

# 有明工業高等専門学校紀要

第 37 号

平成 13 年 1 月

Research Reports

of the

Ariake National College of Technology

No. 37

January 2001

Published by Ariake National College of Technology

Omata, Japan

## 目 次

情報処理センターパソコン及びネットワーク管理 .....	堀田 幸之 山下 嶽	1
	福田 浩人	
	堀田 孝之	
情報処理センター教育用電子計算機システムの導入 .....	山下 嶽	5
	松野 良信	
	前川 久美子	
電気工学科情報処理演習システムの導入と運用 .....	福田 浩人	11
7世紀から12世紀にかけてのアイルランドにおけるネイションの生成と社会構造研究序説(II) —D. オコラーン「ノルマン人侵入以前のアイルランドにおけるナショナリティと王権」の翻訳と解説を通しての「始め」—	谷口 光男	17
酸化物高温超伝導体における低周波交流損失(2) —等価臨界電流密度を規定するパラメータの影響—	中村 俊三郎 藤吉 孝則 山藤 駿	29
拡張A3NNIモデルの磁気相図 .....	村岡 良紀	35
カチオンおよびアーオン交換膜で仕切られた三相系の膜透過に関する一考察 .....	正留 隆 塙本 祐右 松原 頭	41
可塑化ポリ塩化ビニル膜型電極を指示電極とする酸塩基電位差滴定 .....	正留 隆	45
数値解析に関する演習問題の一つのアイデア .....	山下 嶽 木村 剛三	49
ストレス関連疾患病棟の空間構成に関する研究 その1 不知火病院・海の病棟における病気回復と空間構成の相関について	新谷 肇一 田中 三雄	57
ストレス関連疾患病棟の空間構成に関する研究 その2 不知火病院・海の病棟の空間印象の分析	新谷 肇一 田中 三雄	67
地域居住環境の快適性に関する調査研究 —居住地域と住宅タイプの違いによる居住環境の快適性の因果構造の比較—	山下 俊雄 矢野 隆	77
体外式人工呼吸器の開発研究 .....	田口 紘一 明石 剛二	87

パルス静電応力法の解析アルゴリズムの検討	内海通弘 田中紀捷	95
校内LANバックボーンのGigabit Ethernet化	松野良信 山下巖 堀田孝之 福田浩人	101
外部磁束のコアへの侵入とコアの特性	小澤賢治 村田勝昭	107
部品数を減らしたPWM制御電圧共振コンバータ	小澤賢治 村田勝昭	113
時間領域差分法による光導波路の伝搬特性解析の基礎	森紳太朗	119
熱間鍛造型の熱軟化及び塑性変形抵抗に及ぼす型の表面被膜構造の影響	南明宏	125
連続昇温FT-IRによるピュレット架橋ポリウレタンゴムの熱劣化の追跡	吉武紀道 古川睦久	135
Scoring Methods of a Cloze Test as Pedagogical Testing	安部規子	141
Some Observations on Phrasal Verbs in Defoe's <i>A Journal of the Plague Year</i>	村田和穂	153
菅原道真研究 -『菅家後集』全注釈(二) -	焼山廣志	168

# 情報処理センターパソコン及びネットワーク管理

堀田 孝之・山下 巍

〈平成12年9月29日受理〉

On the Management of the Personal Computer and Network  
at Information Center in Our School

Takayuki HORITA and Iwao YAMASHITA

In 1999, the 50 sets of new personal computers were introduced. They have been connected respectively by the Campus LAN(Local Area Network).

In the paper, we describe an idea on the management of the personal computer and network at information center in our school.

We are going to propose how to manage the personal computer and network systems connected by the campus LAN.

## 1. はじめに

昭和49年、初代の教育用電子計算機FACOM 230-25を導入、その後、FACOM M130Fによる汎用機時代による集中教育を経て、FACOM M330FXとパソコン端末によるTSS分散処理による教育を実現してきた。

さらに、平成7年度、校内LAN敷設設置が認可さ

れて、同時に教育用電子計算機の5年レンタル化が実現して、サーバ／クライアント方式の教育用システムへと変遷していった。そして、今回平成12年度にレンタルリプレースの時期が到来して、新システムへと更新した。そのシステムは、十分な教育効果をあげ得て、かつ正常稼働時のシステム維持と管理の容易さを考慮し、構築を行った。さらに、インターネットを教育に活用するために好都合なシステムとし、これらの

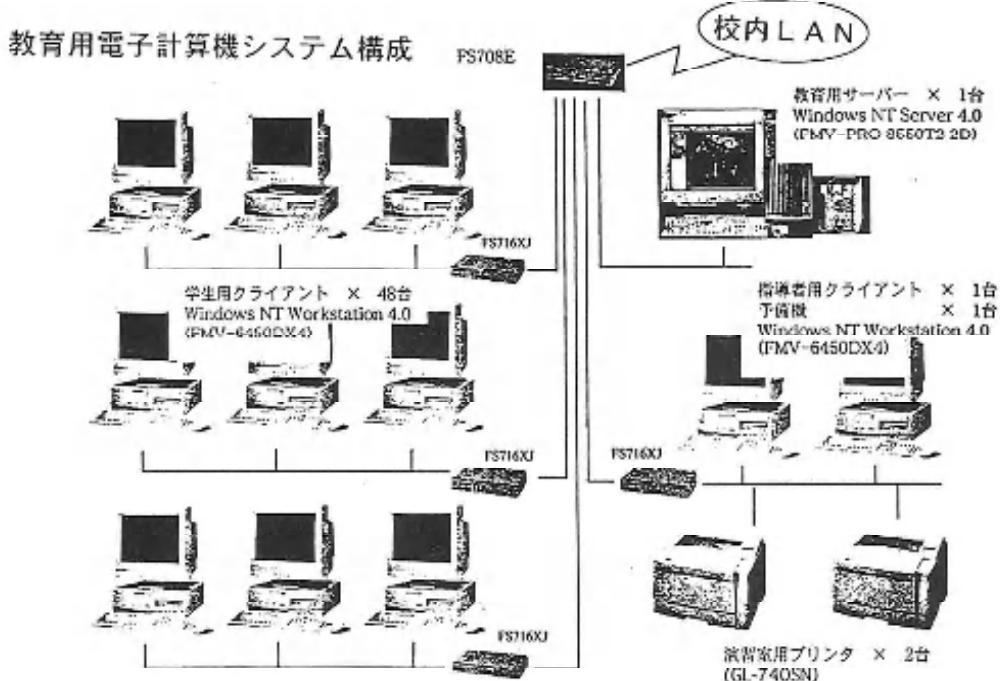


図1 システム構成

システム群の維持・管理方法を種々模索し工夫した。以下、その経過及び利点・短所を述べていく。

## 2. 情報処理教育用システムと管理

### 2. 1 システムの概要

本校は、平成12年2月に教育用電子計算機システムのリプレース時期が到来し、その更新を完了して、同年4月から本格的運用を開始している。主として更新したハード、ソフトは次のものである。

サーバパソコン(WindowsNT)、クライアントパソコン(WindowsNT)、プリンタ、基幹ネットワーク機器、MicrosoftWord2000、MicrosoftExcel2000、PhotoDraw、タイミングソフト、Visual系プログラミングソフト等を導入した。

教育用電子計算機システムのハードウェアの概要を図1に示す。

### 2. 2 授業形態・パソコン利用形態

授業は、共通専門に所属の教官が、1年生を対象に情報処理基礎と言う教科で、一人で電子情報工学科以外の学科を担当、共通の内容で実施している。学生個人毎に1台あてパソコンが使用でき、教官はパソコン画面を液晶プロジェクタで投影しながら、授業を行うことが可能である。週の大半の利用は、低学年時のコンピュータリテラシー教育が主体的ではあるが、専門学科の応用情報処理教育においても週4～5時間程度は利用されている。

学生は、授業以外に、パソコンは昼休み時自由に利用可能であり、放課後は16時半から18時半までの使用は許可制で利用させている。土曜日は図書館の開館時間に合わせ、10時から16時まで使用可能で、これも許可制にしている。今回、一般教育科棟改修により、情報化対応スペースが2室でき、そこに24台ずつのパソコンが設置され、そこも学生は昼休み、放課後の自由時間に利用でき、自発的な学習ができる環境になっている。

### 2. 3 管理手順と方法

センターのパソコン利用は、ある程度は誰でも好きなとき自由に利用できることが理想であるが、無制限に利用をさせると、いつとはなしに、悪戯され、システムが壊されて授業に支障を来すことも過去に経験しているので、今回は、センター側の管理を優先しシステム破壊をある程度防御できる方法を採用している。

その主たる方法は、ウィルスチェック、LOGINパスワードチェック、起動時のオリジナルシステム復帰、

ファイルのローディング制限等を行う。以下、項目毎に管理手順と方法を説明する。

### 2. 3. 1 クライアントのソフトウェア設定

#### 1) キータップ練習ソフト：ひでほんキータッチ

練習の結果についてネットワークサーバ(教育用サーバ)の各個人ディレクトリ(ホームディレクトリ)に保存している(起動時に引数を付加することによりデータ保存先を指定)。

#### 2) 電子メールソフト：Winbif

関連設定ファイル等をハードディスクに保存しないよう指導をお願いしている。よって、フロッピーディスク、あるいはZIPといったメディアに保存させる。

#### 3) Web Browser：NetscapeCommunicator

自動プロクシ設定(PAC機能)を使い、ネットワークサーバの設定ファイルにより、これをネットワーク管理者が変更できるものとしている。また、ディスクキャッシュについては上記プロキシサーバのキャッシュを利用しているため、ローカルディスクキャッシュは"0KB"としている。

#### 4) ウィルス対策ソフト：VirusScan, NetShield

マシン起動時に最新のウィルスバーチャンノファイルを取得する。なお、このときの取得先は現状では計算サーバとしている。詳しくは別記(\*1)。また、起動時にローカル環境のスキャンを行う。

#### 5) セルフメンテナンスシステム：School-Undo

現状ではシステムが壊れたときに利用するバックアップとして考えている。起動時にすべてのシステムを元に戻すことも可能であるが授業開始時にこれを行うことは現実的でなく、どのタイミングでシステムスタート時の環境への復旧作業を行うかはこれから検討課題である。

### 2. 3. 2 プロファイル設定、管理

#### 1) デフォルトプロファイルの準備

演習室クライアントに初めてログオンするユーザのためにデフォルトプロファイルを用意している。

(<http://www.jwntug.or.jp/tech/technote/sysad/defaultprofile-j.html> 参照)

#### 2) Poleditによる管理(制限)

利用面については、旧システムと同じ要領で一部制限を行っている。しかしながら、OSをWindows NTとしたこともあり、以前と比べると非常に開かれたものとなっている。大きな変更点としては、

- ① デスクトップによく使うアプリケーションのショートカットを配置
- ② デスクトップにファイルを保存できない

などの点があげられる。

### 3) 管理面

ログオフ時にローカルに置かれる各ユーザのプロファイルを削除（サーバには保存される）する設定としている。また、直前にログオンしたユーザ名が次回ログオン時に表示されないようにしている。

### 2.3.3 サーバ管理

平成12年9月現在、情報処理センタ技官が主に一人で行っている。なお、サーバ本体の設置位置については情報処理センタ内のサーバ室（空調完備）とし、通常はリモート操作のソフト Desktop On-Call (<http://www.ibm.co.jp/pspiinfo/javadesk/> 参照) を利用し、Web経由でサーバ操作を行っている。

### 2.3.4 電子メールアカウント管理

基本は授業利用者（ユーザ）に発行するものとしている。また、学年単位での統一性を持たせるため、1、2年生について情報処理センタで発行、管理を行い、それ以上の学年については各学科での対応（アカウント発行等）としている。Sendmail for Windows NTを導入しているがWindowsにおけるユーザ管理と電子メール利用におけるユーザとが別管理となるため基本的にはユーザ登録が2回必要となる（Windowsユーザをそのグループ単位で簡単に登録できるツールがあるが登録については一括登録できるものの、抹消作業においては各ユーザごとに行う必要がある）ため非常に面倒な作業となる。現在はPerl Scriptによりユーザ抹消作業を行うよう準備中である。

#### ・ウィルス対策（\*1）

ウィルスバターンファイルを置くファイルサーバとしては教育用サーバを使うべきところであるが以下の2点が問題となった。

① クライアントがサーバに接続するのにCAL（クライアントアクセスライセンス）が使われることにより、ユーザログイン時に同CALが不足し、サーバに警告を示すメッセージが残るほかユーザ使用についてもホームディレクトリへのアクセスが出来ないなどの障害がでた。

② NetShield（サーバ用ウィルス対策ソフト、VirusScanと連携動作）において定期的にバターンファイルを取得することができるはずの所、これがネットワークエラーを発生し、取得できない。これには次の方法で対処している。

- 計算サーバ（Solaris 2.6）において  
[samha](http://www.samha.gr.jp) (<http://www.samha.gr.jp> 等参照)

をインストール、ファイルサーバ機能のみを使い、バターンファイルの置き場所とする。

#### ・バターンファイル更新

(<ftp://ftp.nai.com/pub/antivirus/datfiles/4.X/> 等参照) については手作業で行っている。

### 2.4 センターの管理と学科管理範囲

センターは主に、低学年（1、2年生）の情報処理教育における環境整備とネットワーク基幹基地としての通信管理・運営を行うことを主目的に機能している。

低学年の教育環境については、パソコン50台が校内LANのクライアントとして授業に利用されている関係で、教育用のサーバを1台立て、そこにパソコンログオン時のアカウント登録、メールアカウント登録を行い運用している。

今回、校内LAN基幹部分のネットワーク機器（Layer3スイッチへ）の更新が実現し、通信環境が学科毎、教室系毎に組織だって構築できるパーソナルLANを組むことができ、効率的なネットワーク運営が可能となった。ネットワークの基幹幹線管理はセンターで、学科は学科独自に利用するパソコンの管理と支線ネットワークの管理などを行う。

### 3. 今後の課題

昨年度一般教育科棟改修の関連で、余りにも急速に学内の情報教育機器の整備が進み、その利用や管理の方法をいかにするかは、これから検討して整備すべきと思われる。自由な利用を学生にサービスするには、常時システムを維持管理する管理者を必要とするが、只でさえ、業務過多の上に、そこをどこまで教職員が担当できるか、管理のため専属の職員が配置できるかどうかなど問題山積である。

折角導入された設備を有効活用するには、当面は、併任の教職員が管理責任分担を行い、教育効果がある有効利用を図っていくべきであろう。

### 4. おわりに

本校では、学科にある程度管理をまかせる分散管理方式をとっているが、センター集中管理方式と比べ、どちらの管理方式がいいかは即座に判定できない。本校では、分散管理方式の方が、学科における専門教育の目的がそれぞれ若干異なることからすると、適当のように思っている。センターは学科の要望を聞きつつ、その意図に沿った形で、ネットワーク管理や情報基礎

教育環境を、柔軟に編成できる利点もあると考える。  
今後、この方式をしばらく続けて、試行錯誤的な改善  
を施しながら、校内全体の効率的かつ教育効果を上げ  
るのに最適な情報教育環境を作り上げていきたい。

## 参考文献

- 1) 山下 嶽, 堀田孝之: 教育用パーソナルコンピュー  
タの維持・管理, 有明工業高等専門学校紀要, 第35  
号(平成11年1月)
- 2) 山下 嶽, 堀田孝之: 本校のパソコンシステムの  
維持・管理について: 情報処理教育研究発表会論文  
集第18号, pp. 9-11

# 情報処理センター教育用電子計算機システムの導入

福田 浩人・堀田 孝之・山下 巍・松野 良信・前川 久美子

(平成12年9月29日受理)

Setting up the Educational PC System in the Information Processing Center

Hiroto FUKUDA, Takayuki HORITA,  
Iwao YAMASHITA, Yoshinobu MATSUNO, Kumiko MAEKAWA

The new PC system which consists of clients running Microsoft WindowsNT Workstation and some servers has introduced in March 2000.

In this paper, we describe the introduction of this system and this topics.

## 1. はじめに

平成7年度末に導入した情報処理センター演習室の情報処理教育用電子計算機システム[1]（以下、旧システムと略す）について平成11年度末で借料期間が終了した。平成12年度から利用を開始した新システム（以下、新システムと略す）についての検討のため平成11年度中に仕様策定委員会が開催され、各学科から出席した委員の意見を元に仕様を決定し、平成11年度末に新システム導入を行った。

本論文では、新システム導入の背景としての旧システムの利用状況および新システムの仕様策定の経緯、新システムの概要について説明する。

## 2. 旧システムと利用状況

旧システムは、クライアント50台とサーバ4台、プリンタ4台、プロジェクタ等で構成していた。

クライアント50台のうち4台は教師用／管理用として利用し、残り46台を学生用として利用していた。クライアントのOSはMicrosoft Windows95で、アプリケーションとしては表1に示すものが利用可能であった。

サーバ4台はそれぞれ、WWWサーバ、Mail/Newsサーバ、学生用サーバ、計算サーバとして利用していた。OSはいずれもSolarisである。WWWサーバおよびMail/Newsサーバはネットワーク上の各種サービスを提供することを目的としたものである。学生用サーバには、演習室を利用する全学生についてユーザ登録をしており、telnetでloginして各種コマンドを実行するほか、学生用のPOPサーバとしても利用

していた。計算サーバは、科学技術計算を行うためのもので、CやFortranの言語処理系と各種ライブラリを備えていた。

情報処理センター演習室は、1年生で開講している情報処理基礎のほか、電子情報工学科を除く各専門学科の情報処理関連の授業で幅広く利用されている。情報処理基礎では、リテラシ教育を中心に、PCの基本操作、タッチタイピング、ワードプロセッサや表計算を用いた文書作成、WWWからの情報検索、電子メール、Visual Basicを用いたプログラミングに関する授業が行われている。また、各専門学科の情報処理関連の授業では、応用的な文書作成、表計算を用いた数値計算、C言語プログラミング等に利用されている。

授業以外でも、昼休みや放課後に学生に開放し、授業の予習、復習、実験データの整理、WWWでの情報検索、電子メール等、自由に利用できる。また、公開講座や外部向けの講習会でも各種アプリケーションを利用している。

## 3. 新システムの仕様

### 3.1 仕様策定

他高専では、クラス単位で利用できる校内共通の情報処理演習室が2～3室あるところが多く見受けられるが、本校情報処理センターでは床面積や予算の関係もあってひとつのみの演習室しか持っていない。したがって、本校の情報処理演習システムはこれらの授業すべてを行うことのできるシステムでなければならぬ。このため、仕様策定委員として各学科から1名ずつ参加する形をとった。各委員がそれぞれの学科で行う授業に必要な項目と旧システムで不都合だった点を出し、

表1 旧システムの主なクライアントソフトウェア

アプリケーション	名称
OS	Microsoft Windows95
C/C++	Microsoft Visual C++ 4.0
Basic	Microsoft Visual Basic 4.0
文書作成	Microsoft Works 4.0 Microsoft Office97
WWW クライアント	Netscape Navigator 4.0
mail クライアント	Winbiff V2
telnet クライアント	TeraTermPro
タッチタイピング練習	Type Quick

それらを考慮に入れて新システムの仕様を決定することとした。

新システムの仕様を検討するにあたり、

- ・現在のアプリケーションを実行するのに十分な処理能力を持つハードウェアとする。
- ・従来の授業内容をそのまま実現できるよう、できるだけ従来のアプリケーションと互換性を持たせるか、その移行措置を考慮する。
- ・従来のシステムの問題点をできるだけ解消し、快適な授業環境の確保に努める。

といった基本方針をもとに、検討を始めた。

旧システムでの問題点のうち主要なものとして

- ・タッチタイピングのアプリケーションを5学科の学生が利用するが、そのユーザ管理が2名分しか対応していなかったため、授業で利用しづらい
- ・作図のためのアプリケーションに関し、ペイント系のアプリケーションしかなかったので、作図が難しい。
- ・学生が作成したファイルを保存するためのメディアとしては1.44MBのフロッピーディスクしかなく、ちょっと大きなファイルになると保存できない。
- ・クライアントが横書きの本体の上に17インチディスプレイを置いていたため、授業中に学生の顔が見えない。

といった項目があげられた。

また管理面[2]から新システムに必要な機能として、

- ・ユーザ管理が可能なサーバ／クライアント
  - ・一般ユーザがシステムの変更をできないようなシステム
  - ・ウィルス対策
  - ・管理作業の省力化のためのシステム
- などがあげられた。

今回のシステムから借用期間が4年間から5年間となつたことから、単年度換算で実質的に予算が2割減という状況で5年後でも利用可能なシステムを考慮する必要がある。このような予算の関係もあって、すべての要求を取り入れることは不可能なので、上記のことながらを考慮しつつ最大公約数的に仕様を策定せざるを得なかった。

策定した仕様の要点を以下にまとめる。

### 3.2 仕様の要点

新システムは、図1に示すような構成とし、クライアント50台のほかにサーバ3台、プリンタ3台、ネットワーク機器などで構成する。

クライアントのハードウェアについては、今後5年間の利用を見越してマルチメディア利用が可能な処理能力が必要との観点から、従来のシステムよりもCPU、メモリなどを増強する。また、取り扱うデータ量の増加を考え、全クライアントに100MB以上の容量を持つリムーバブルメディアのドライブを内蔵する。筐体は縦置可能なものとし、モニタも15インチのものとすることで、学生の顔が見えないといったことがないようにする。

サーバについては、従来のシステムでは4台あったものを整理し、ネットワークサーバ、学生用サーバ、計算サーバの3台とする。ネットワークサーバは2口のネットワークインターフェースを持ち、ルータ兼proxyサーバの機能を提供する。学生用サーバは全学生のユーザ管理とファイルサーバの機能を提供する。計算サーバは、特に科学技術計算を担うためのもので、各種プログラミング言語の開発環境を備える。

その他、学生用にレーザプリンタを2台、授業の資料作成や研究用としてカラープリンタとPostScriptプリンタを1台ずつで計4台のプリンタを導入する。

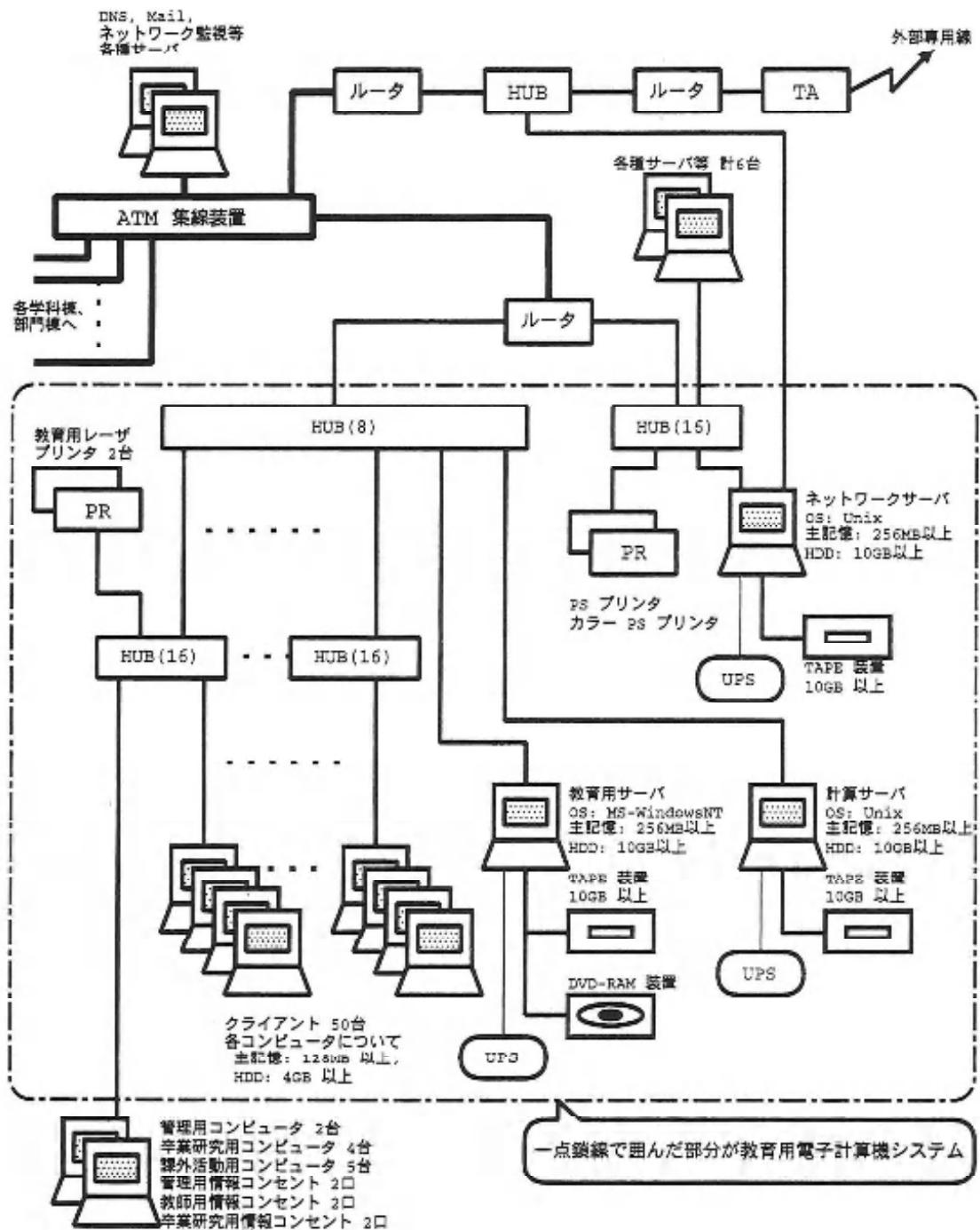


図1 新システムの構成

表2 新システムの主な構成機器

機器名称	仕様等	台数
クライアント(学生用および教師用)	Fujitsu FMV6450DX4 (Intel PentiumIII 450MHz, 128MB RAM, 8GB HDD, 100BaseTX)	50
ネットワークサーバ	Fujitsu GranPower 400S (Sun UltraSPARCIII 333MHz, 128MB RAM, 18GB SCSI HDD, 100BaseTX × 2 ポート)	1
計算サーバ	Fujitsu GranPower 400S (Sun UltraSPARCIII 333MHz, 128MB RAM, 18GB SCSI HDD, 100BaseTX)	1
教育用サーバ	Fujitsu FMVPRO8850T2 (Intel PentiumIII 550MHz, 256MB RAM, 10GB HDD, 100BaseTX)	1
情報処理教育用プリンタ	Fujitsu CL740SN (A4 他, 白黒, 600dpi, 100BaseTX)	2
ポストスクリプトレーザプリンタ	EPSON LP-9200PS3 (PostScript3, A4 および A3, 自動両面印刷, 100BaseTX)	2
カラーポストスクリプトプリンタ	Phaser780JP (PostScript3, A4 および A3, 100BaseTX)	2
イーサネットスイッチ	アライドテレシス CentreCOM FS716XJ (電源内蔵型, 100BaseTX × 16 ポート)	6
イーサネットスイッチ	アライドテレシス CentreCOM FS708XL (電源内蔵型, 100BaseTX × 8 ポート)	1
無停電電源	サーバ用, APC Smart-UPS 1000	3

オペレーティングシステムについては、学生用サーバにMicrosoft WindowsNT Serverを、また、クライアントにMicrosoft WindowsNT Workstationを採用し、ユーザ管理が可能なシステムとする。ネットワークサーバおよび計算サーバについては、管理や利用のしやすさを考慮しUnix系のOSとする。

アプリケーションソフトウェアについては、従来のシステムと同様、情報処理基礎の授業で必要となるタッチタイピング練習ソフト、ワードプロセッサ、表計算、ドロー系ソフトなどを導入する。また、授業の継続性を考慮し、ワードプロセッサ、表計算については従来のシステムで使用していたデータをそのまま利用できるよう、互換性のあるものとする。

ネットワークについては、サーバ-クライアントシステムの導入やマルチメディアの取り扱いによる通信負荷の増加を考慮し、従来の10BaseTによる接続から100BaseTXのイーサネット接続へ変更する。またHUBに代えてイーサネットスイッチを採用し、データ転送の効率化をはかる。

#### 4. 新システムの導入と移行

##### 4.1 導入したシステム

技術審査を経て導入したシステムの主な構成機器を表2に、アプリケーションを表3にそれぞれ示す。

ハードウェアの処理能力としては、予算内で現在実現できる最良のものが構成できたと考える。ソフトウェアについては、ほとんどのアプリケーションについて旧システムの上位バージョンを導入できたので、授業等での移行は問題ないと考える。また、管理面においてもMicrosoft WindowsNTのサーバ/クライアントシステムとしたことで、LANを活用したシステム管理による省力化が期待できる。

##### 4.2 新システムへの移行

新システムへの移行に先立ち、旧システムの撤去を平成12年3月中旬から開始した。クラスによっては演習室で試験を実施している科目もあったが、移行期間の都合に合わせていただく形となってしまった。

旧システムの撤去後、机の配置を変更するためにLANケーブルの張り替えを行った。旧システムの時は全クライアントが前方を向くように配置していたために机間がせまく通りにくいという問題があったが、机を向かい合わせに配置することでこの問題を解消した。

この作業の後、設置、調整を行い、平成12年4月10日に校内関係職員向けに利用説明会を開催し、平成12年度から授業等における新システムの利用を開始した。

表3 新システムの主なクライアントソフトウェア

アプリケーション	名称
OS	Microsoft Windows NT4.0 Server
C/C++	Microsoft Visual C++ 6.0 SE
Basic	Microsoft Visual Basic 6.0 LE
ワードプロセッサ	Microsoft Word2000 4.0
表計算	Microsoft Excel2000
ドロー	Microsoft PhotoDraw2000
WWW クライアント	Netscape Navigator
mail クライアント	WZ EDITOR 4.0 with WZ MAIL
telnet クライアント	TeraTermPro
タッチタイピング練習	Touch Type Master
ウィルス対策	VirusScan/NetShield
システム管理	School-UNDO

## 5. おわりに

平成11年度前後にこの情報処理センター演習室のシステム以外に物質工学科を除く全学科がそれぞれ40～50台規模のPC環境を持つ状況となった。これを受け、今後の運用は、情報処理センター演習室では低学年の情報処理基礎での利用を中心とし、上学期の情報処理は各専門学科のPCを利用する形態へと移行するであろう。

情報処理関連技術、特にハードウェアに関しては日進月歩ならぬ秒針分歩のいきおい進歩している。今後5年間、本システムを有効に活用できるようシステム運用面での検討を進め、本システムのさらなる充実をはかりたい。

## 謝辞

本システム導入にあたり機種選定および技術審査をこころよく引き受けていただいた委員諸氏に感謝の意を表したい。

## 参考文献

- [1] 山下他：「有明工業高等専門学校校内LANシステム導入について」有明高専紀要第33号、pp.109-114(1997)
- [2] 堀田、山下：「教育用パーソナルコンピュータの維持・管理」有明高専紀要第35号、pp.1-4(1999)



# 電気工学科情報処理演習システムの導入と運用

福田 浩人

〈平成12年9月29日受理〉

Introducing the New Educational PC System for the Information Processing  
and Its Use in the Department of Electrical Engineering

Hiroto FUKUDA

In the Department of Electrical Engineering, a new educational system for the information processing has introduced on March 2000. This system can be used to develop programs, numerical calculating, documents writing, and so on. And we have developed the contrivance to maintenance client PCs automatically.

In this paper, we describe the system.

## 1. はじめに

有明高専電気工学科では、これまで学科で所有する Macintosh 46台と情報処理センター演習室のPC (MS-Windows95), サーバ(Solaris)を利用して情報処理関連の授業、実験、卒業研究などを行ってきた。

Macintoshの旧システムを導入してから約8年が経過しシステムが古くなったことに起因して、故障の多発による授業で利用が難しいといった状況の発生や最近のアプリケーションを実行するための処理能力の不足、管理上の手間の増加といった問題が多発して、システムの更新を検討せざるを得ない状況となった。これを受け、また、平成11年度の学科構改修にあわせた形で、情報処理演習システムについての検討を行い、更新した。

新システムでは、サーバ/クライアントともOSとしてPC/AT互換機上で動作するLinuxを用い、アプリケーションは各種フリーソフトウェアを中心構成した。新システムは、平成12年度から利用を開始している。

本論文では、新システムの機種選定までの経過および導入した新システムの構成、運用、管理面等について述べる。

## 2. 新システム導入の背景

電気工学科では、2年から4年で情報処理を開講しているほか、3年の実験で情報処理に関するテーマを取り入れており、プログラミング言語処理系や各種ア

プリケーションソフトウェアを利用している。また他の実験や卒業研究ではワードプロセッサやドローソフト、表計算などを利用している[1]。

従来は、情報処理センター演習室のPCおよびサーバを用いて情報処理の授業を行い、他の実験等を学科の演習室にて行うという形をとっており、教科によって異なるシステムを利用していた。いずれの演習室のシステムも校内LANに接続していたもの[2]。従来のシステムでは機種の違いなどが起因して、データのやりとりはフロッピーディスクを利用するしか手段がなかった。また、学科の演習室のシステムにはファイルサーバがなかったため、データの保存にもフロッピーディスクが不可欠だという不便さがあった。これらの問題点を改善するため、新システムではプログラミングから文書作成まで幅広く利用できるクライアントとファイルの一元管理等の各種サービスを提供するサーバからなるシステム構成とした。

機種選定にあたり、従来のシステムからの移行についてけ、あまり重要性がないと判断し、特に考慮しないことにした。学科が所有していたMacintoshのシステムは、システムもアプリケーションも古いものが多く、移行を考慮すると予算の関係もあり、システムの機能が制限されるおそれがあったためである。結果的に、一部の授業や実験では内容の変更が必要となつたが、大きな問題はなかった。

以上のことがらをふまえ、機種選定委員会において新システムの仕様を決定した。

表1 システムの主な構成機器

機器名称	仕様等	台数
クライアント(学生用)	Fujitsu FMV5500ML4 (AMD K6-2 500MHz, 64MB RAM, 10GB HDD, 100BaseTX)	48
クライアント(教師用)	Frontier 神代 FBX500C (Intel Celeron 500MHz, 64MB RAM, 6GB HDD, 100BaseTX, 100MB ZIP)	1
ネットワークサーバ	Frontier 神代 FBX3550 (Intel Pentium III 550MHz, 256MB RAM, 10GB HDD, 100BaseTX × 2 ポート, WideSCSI)	1
ファイルサーバ	Frontier 神代 FBX3550 (Intel Pentium III 550MHz, 256MB RAM, 10GB HDD, 100BaseTX, WideSCSI)	1
ディスプレイ	クライアントおよびサーバ用, ViewSonic E653-J (15インチマルチスキャン CRT)	51
プリンタ	EPSON LP-9200PS3 (PostScript3, A4 および A3, 自動両面印刷, 100BaseTX)	2
イーサネットスイッチ	アライドテレシス CentreCOM FS716XJ (電源内蔵型, 100BaseTX × 16 ポート)	1
イーサネットスイッチ	アライドテレシス CentreCOM FS708XL (電源内蔵型, 100BaseTX × 8 ポート)	8
プロジェクタ	InFocus LP435z (1024 × 768, 1000 ANSI ルーメン, RGB 入出力, VIDEO 入力)	1
無停電電源	サーバ用, APC Smart-UPS 1000	1

### 3. システム構成

#### 3.1 ハードウェア

新システムの主な構成機器を表1に示す。

新システムには、1クラスの授業でひとり1台のPCを利用できるよう、48台の学生用クライアントがある。机の大きさや演習室の広さを考慮して、学生用クライアントのディスプレイは15インチのものを採用した。

教師用クライアントには液晶プロジェクタを接続しており、演習室前方のスクリーンに教師用クライアントの画面をそのまま投影できるようにしている。情報処理センター演習室の学生用クライアントにZIPドライブが内蔵されているので、これらとデータのやりとりが可能なように教師用クライアントにもZIPドライブを内蔵している。

プリンタはネットワーク対応のもので、どのクライアントからも利用できる。従来は紙の節約のために裏紙を利用してましたが、トナーカートリッジやプリンタ内部の汚れがひどくなるという問題があったので、今回のシステムでは両面印刷が可能なプリンタを導入し、裏紙を使用せずにすむように考慮した。

#### 3.2 ソフトウェア

フリーソフトウェアが充実していることや管理のしやすさを考慮して、サーバ/クライアントともOSとしてLinuxを採用した。具体的には、サーバにTurboLinux Server6.0日本語版を、学生用および教師用クライアントにTurboLinux Pro 4.2日本語版を導入した。

GUI (Graphical User Interface)としては、X (X Window System)が利用できる。Xのウインドウマネージャとしては、GNOMEやKDEなどがあり、利用者の好みに応じて選択できる。

クライアントのアプリケーションソフトウェアとしては、GCC (GNU Compiler Collection; C言語等のコンパイラを含む言語処理系), XEmacs (高機能テキストエディタ EmacsのGUI強化版), Netscape Communicator (WWWブラウザ兼mail/newsクライアント), TeX (文書処理ソフトウェア)などの他にApplixwareという商用の統合ソフトウェアを導入したので、MacOSやMicrosoft Windowsなどとはほぼ同様の操作環境でワードプロセッサ、表計算、描画ツール、プレゼンテーションツールなども利用できる。日本語入力はATOK, Wnn6, Cannaが利用可能で、各ユーザの設定によって切り換えることができる。こ

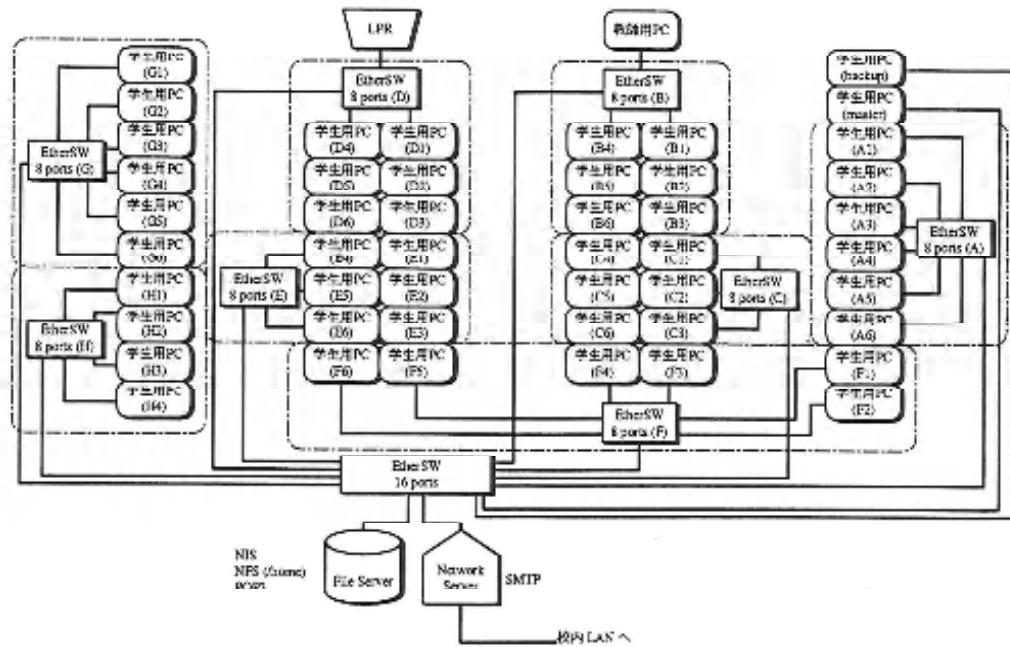


図1 システムのネットワーク構成

れ以外にも、多数のフリーソフトウェアをインストールしており、さまざまな用途に利用可能である。

教師用クライアントについては、液晶プロジェクタを接続していることから授業以外にプレゼンテーションでの用途も考慮して、LinuxとMicrosoft Windows98のデュアルブートシステムとした。

サーバについては、NIS (Network Information Service), NFS (Network File System), MTA (Mail Transfer Agent)などの各種ネットワークサービスを提供するためのサーバソフトウェアを導入している。

### 3.3 ネットワーク

システムのネットワーク構成を図1に示す。演習室内は全て100BaseTXで接続している。演習室のホスト用に以前のMacintoshのシステムと同じedu.ee, ariake-net.ac.jpサブドメインを割り当てている。昨今のセキュリティ問題に対処できるよう考慮して、校内LANへは、ネットワークサーバを介して接続している。このような構成とすることで、不必要的アクセスをネットワークサーバで拒否できるようにしている。また、ネットワークサーバをproxyサーバとして利用することで、校内LANへの負荷を軽減することができる。

## 4. システムの運用と管理

### 4.1 ネットワークサービス

ファイルサーバは、NFSとNISのサービスを提供している。各クライアントのユーザディレクトリはNFSでファイルサーバのディスクをマウントしており、学生のファイルは全てファイルサーバに保存するようになっている。また、管理者アカウントを除く全ユーザーの登録はファイルサーバでおこなっており、NISを利用してクライアントにその情報を提供している。これらによって、ユーザはどのクライアントでも同一の環境で利用できるようになっている。

メールについては、ネットワークサーバがSMTPサービスを提供し、ファイルサーバがPOPサービスを提供している。MTAには、sendmailが良く利用されるが、本システムでは設定のしやすさから、qmailを用いた。各クライアントから発信したメールは、一旦、ネットワークサーバが受け取り、宛て先が校内のメールサーバであれば直接配達し、校外宛てであれば情報処理センターのメールサーバへ転送するよう設定している。演習室のホスト宛てのメールは、全てネットワークサーバで受信し、ファイルサーバへ登録しているユーザ宛てのメールのみファイルサーバへ転送するよう設定している。学生が演習室でメールを読む場合は、POPでファイルサーバから各クライアントへメールを受け取る。

WWWについては、ネットワークサーバをproxyサー

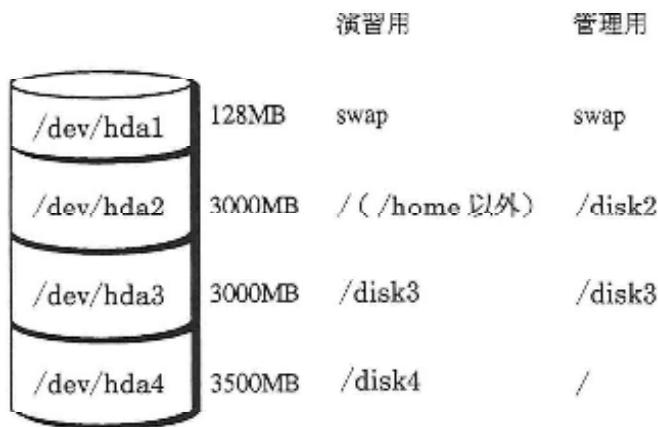


図2 学生用クライアントのディスク構成

バとして利用して校内LANへの負荷を軽減する計画であったが、設定作業を行う時間が確保できなかったため、とりあえず情報処理センターのproxyサーバを利用るようにしている。

他のネットワークサービスについては、セキュリティを考え、一部のサービスを除いて各クライアントでtcp\_wrapperを用いて制限をかけている。さらに、ネットワークサーバでも制限をかけており、基本的に演習室内と外とでは直接データのやりとりを行わないよう設定している。この結果、ネットワーク的にはWWWやメールを除いて演習室内で閉じたシステムとなっているが、利用面で特に不都合は起こっていない。

#### 4.2 システム運用

ファイルサーバおよびネットワークサーバは、各種サービスを提供していることもあって、24時間運転を行っている。動作は安定しており、特に問題はない。

サーバに関して、仕様策定時にバックアップの手立てを考慮していなかったので、学生用クライアントを1台利用してバックアップ用として運転している。ファイルサーバの/etcと/homeおよびネットワークサーバの/etcをrsync[3]を用いてcronで1日に1度バックアップを取っている。

学生用クライアントについては、常時運転ではなく使用開始時に電源を入れて使用するようにしている。Unix系のOSを採用したため、利用者が使用後電源を切ることは難しいので、cronを用いて、ユーザがログインしていないクライアントを自動的にシャットダウンするように設定している。

クライアントのログは、全てファイルサーバに保存するように設定している。これとネットワークサーバのログ（合計で数100KB/日）を24時間ごとにメールで管理者宛に送信して動作を監視している。

#### 4.3 クライアントの自動更新システム

システムの維持・管理は教育の本質的な部分ではないにも関わらず、多大な労力を要する。特に、学生用クライアントがきちんと動作しないと授業にさしつかえるため、情報処理関連の授業では、システムの管理が重要となる。管理および利用を考えると、クライアントのディスク内容はIPアドレスやホスト名を除き同一にしたほうが都合がよい。学生用クライアントの管理に要する負担を軽減するため、クライアントシステムの更新時に必要となる作業を自動化するシステムを構築した。

学生用クライアントのハードディスクは、図2のようなパーティション構成としている。/dev/hda2と/dev/hda4にそれぞれLinuxをインストールしており、/dev/hda2から起動すると演習用システムとして起動し、/dev/hda4から起動すると管理用システムとして起動するようにしている。管理用システムを起動したときは、/disk2に演習用のパーティションをマウントする。こうすることで、シェルスクリプトやrsh、rsyncなど通常のLinuxの機能を用いて演習用システムの更新を簡単に行うことができる。

自動更新は、図3の表にしたがってシェルスクリプトによって行う。表の各行の1欄めはホスト名で、2欄め以降が動作をあらわしている。当該ホストの2欄め以降について、

- 0であれば、IPアドレスとホスト名に関連するファイルを書き替える
- ホスト名であれば、
  1. rsyncでそのホストへ演習用パーティションの内容をコピーし、
  2. そのホストの自動更新スクリプトをバックグラウンドで起動する
- Xであれば、スクリプトを終了する

	master	A1	C1	G1	H1	X
A1		O	B1	E1	A2	A3 X
A2				O	A4	X
A3					O	A6 X
A4					O	A5 X
A5						O X
A6						O X
(中略)						
G1			O	G2	G3	X
G2				O	G4	X
G3					O	G6 X
G4					O	G5 X
G5						O X
G6						O X
H1				O	H2	H3 X
H2					O	H4 X
H3						O X
H4						O X

図3 演習用パーティションの更新表（一部）

という動作を繰り返す。このようにして、各クライアントがねずみ算的に演習用パーティションの内容をコピーしていくようにした。

ファイル数個程度の変更であれば、全クライアントの更新に要する時間は10分～30分程度である。

## 5. 新システムの利用

### 5.1 授業等での利用

2Eおよび3Eの情報処理は、今年度については前年度までと同内容で演習を行っている。ただし、前年度までのシステムでは、クライアントのtelnetアプリケーションから1台のサーバに一斉にアクセスしていたのに対し、新システムではXを利用してマルチウィンドウ環境で操作できるため、大幅に利用環境の改善をはかることができた。来年度からは2年生が新カリキュラムに移行し情報処理の授業時間数が変更になるので、これを機会に新システムに合わせた授業内容への変更を検討する予定である。

3年の実験ではテーマのひとつとしてHyperCardを利用したテーマを行っていたが、システム更新によってテーマの変更が必要になったため、新たにHTMLを題材としたテーマを取り入れた。操作環境が良くなつたこともある、特に問題なく移行できた。

その他についてもApplixwareや各種フリーソフトウェアを利用できるので、それらの操作に慣れていない

いという点を除けば、問題は見受けられない。

### 5.2 利用の手引き

Linuxには、多くのオンラインドキュメントが付属しているものの、Linuxを利用したことのある学生が皆無であり、参考になる書籍も購入させていないため、初心者向けに利用の手引きを作成し、配付した。

さらに、これをHTML化しファイルサーバに置き、学生用クライアントから参照できるようにする計画である。こうすることで、手引きを改訂しても改めて印刷・配布する必要がなくなり、常に最新の情報を提供できるようになると考える。これについては、現在、卒業研究のテーマの一部として取り上げており、卒研究生とともに作業を進めている。

## 6. おわりに

本校において、Linuxを利用した演習システムは初めての試みだったが、現在のところ大きな問題もなく運用できている。管理面についても、MS-Windowsなどの非マルチユーザ環境と異なり、自動更新システムを用いることでかなりの省力化を実現できた。

今後、利用の手引き等のドキュメント類を充実させ、利用環境の整備を進める予定である。また、授業等の内容についても、システムの制限によってこれまでできなかった内容を取り入れるなどして、改善を検討し

ている。

#### 謝辞

本システム導入にあたり機種選定および技術審査をこころよく引き受けていただいた委員諸氏、および予算面でご高配いただいた山藤校長、鈴谷会計課長、ネットワークの設定に際しご助言等いただいた情報処理センタースタッフ諸氏、機器の設置および動作確認等を行っていただいた電気工学科吉富技官、各種アプリケーションの動作確認を手伝ってくれた卒業研究生の5年電気工学科高井くん、八浪くんに感謝の意を表したい。また、Linuxをはじめとするフリーソフトウェアの開発者のみなさまに感謝の意を表したい。

#### 参考文献

- [1] 福田：「表計算ソフトを用いた数値計算教育の試み」高専情報処理教育研究発表会論文集第18号, pp.82-85(1998)
- [2] 福田、深町、松野：「有明高専電気工学科におけるLAN教育環境の整備」高専情報処理教育研究発表会論文集第17号, pp.92-94(1997)
- [3] 島：「UNIX 知恵袋 60 rsync」  
UNIX MAGAZINE 2000年7月号, ASCII,  
pp.75-83(2000)
- [4] 國安 他：「フリーUNIXで作るネットワークサーバ構築ガイド」秀和システム(1998)

## 7世紀から12世紀にかけてのアイルランドにおける ネイションの生成と社会構造研究序説（Ⅱ）

—D. オコラーン「ノルマン人侵入以前のアイルランドにおけるナショナリティと王権」の翻訳と解説を通しての「始め」—

谷口光男

〈平成12年9月29日受理〉

An Introduction to Study for the Formation of the Nation and the Social Structure in Ireland from the Seventh to the Twelfth Century: Preface by Translating and Explaining D. Ó Corráin's Essay, 'Nationality and Kingship in pre Norman Ireland'

Mitsuo TANIGUCHI

In the symposium in Kumamoto University in 1997, Ms Suzan Reynolds proposed a new idea on the origins of Nation Identity. Encouraged by Ms Reynolds's suggestion, we decided to translate to D. Ó Corráin's essay 'Nationality and kingship in pre-Norman Ireland'. For, Ireland, where a region that has been experienced the process of the complicated formation of nation-state, gives us a valuable example about 'nation'.

This paper attempts to contribute to the study of nationhood in Ireland.

### はじめに

1. 翻訳までの経緯
2. アイルランドの中世史におけるネイション研究史
3. 手続き

I 研究史と課題 (以上前号)

### II 「アイルランド人」意識の生成

III 法の変容 (以上本号)

IV 教会

V 王権

VI 総括

おわりに

文献目録

### II 「アイルランド人」意識の生成

[p.5]

[6]

ノルマン人侵入以前のアイルランドにおいて、私が

「ナショナリティー」という言葉で理解するものを概述することがまず適切だろう。当然、私たちは、「アイルランド人」がキリスト教の文脈以外に彼ら自身どのような意識をもっていたのかを正確に知ることはできない。というのも、この問題に関する最古のアイル

ランドの史料一系図、出自伝説origin-legends【1】、関連史料一は、異教とキリスト教の系がもつれ絡んでいるからである。彼らあるいは少なくとも彼らの王家一が、彼ら自身と彼らの出自をいくらか説明していたことは確かである<sup>1)</sup>。最古のアイルランドの王家は、彼ら自身を神々の子孫であると看做した証拠がいくつもあるが<sup>2)</sup>、そのような出自についての神話的叙述は、全体として、アイルランドの「民」の出自というよりもむしろ、個々の王家に關係していたと思われる。聖書の歴史宗教のような、また全人類の出自伝説のようなキリスト教信仰は、それと同時に起こったニダヤ教やギリシア・ローマの歴史文学の伝承とは全く別としても、「アイルランド人」の出自と同定、また諸ネイションの中での彼らの位置に関する問題を自然と提起した。世俗の詩の最古のものの一つである『ラドセンド・マク・バルヘダのフルスナッドthe fursunnad of Laidcend mac Baircheda』【2】は、それ自体、その問題に明確に関連している<sup>3)</sup>。地上の諸ネイションの分離した表を含み、レンスターLeinsterの王家をミルMil【3】に、従ってノアとアダムにまで遡って辿るこれらの詩の部分は、カーニー教授によって7世紀中期と年代が同定された<sup>4)</sup>。その詩の他の部分は非常に古く、「アイルランド人」の聖書起源とは矛盾する多くの異教の要素を含んでいる。7世紀の部分は、カーニー教授が「ミルを通したアイルランドの、またアダムを通した世界の統一〔の〕…理論」と呼ぶものを精巧に作り上げている。また彼は、630年頃に書いているシュナハーン・トルペシト Senchán Torpéist【4】が「[アイルランド人]がミル Mil of Spainの共通の子孫であるという政治的に、またおそらく理論的に有効な考え方の考案者であった」と示している。それは有効な概念であることを証明した【5】。

#### 訳註

【1】アイルランドの出自伝説に関する主な史料は、M.A.オブライエンによって『アイルランド系図集Corpus Genealogiarum Hiberniae』としてまとめられている。その第一巻は、12世紀の写本Rawlinson B.502と『レンスター書Book of Leinster』を中心に、15世紀初期の『レカン黄版書Yellow Book of Lecan』と『バリーモート書Book of Ballymote』、そして15世紀の写本Laud610から、ノルマン人侵入以前のアイルランドの系図と関連史料を収録している。最終的には、最古の神話的系図から1500年までのすべての系図を収録するはずであったが、オブライエンの死により未だ完成をみていない。第一巻は、中世初期のアイルランド史における重要な史料となっており、オコラーンも本論で引用しているが(原註17)、編集の際の不完全さも指

摘されている(M.A.O'Brien (ed.) *Corpus Genealogiarum Hiberniae*, i (Dublin, 1962; repr., 1976), pp. ix-xvi; J. V. Kelleher, 'The pre-Norman Irish genealogies', *Irish Historical Studies*, 16 (1968), pp. 138-53を参照)。出自伝説に関するそれ以外の研究としては以下の文献を参照。F. J. Byrne, 'Senchas: the nature of Gaelic historical tradition', *Historical Studies*, 9 (1974), pp. 137-59; E. Mac Neill, 'Early Irish population-groups: their nomenclature, classification, and chronology', *Proceedings of the Royal Irish Academy*, 29 C 7 (1911-12), pp. 59-114; K. Meyer, 'The Laud genealogies and tribal history', *Zeitschrift für Celtische Philologie*, 8 (1911), pp. 291-338, 418-19; M.A.O'Brien, 'Irish origin legends', M. Dillon (ed.), *Early Irish Society* (Dublin, 1954), pp. 36-51; Do., 'Old Irish personal names', *Celtica*, 10 (1973), pp. 211-36; B. Ó Cuív, 'Aspects of Irish personal names', *Celtica*, 18 (1986), pp. 151-84; T. F. O'Rahilly, *Early Irish History and Mythology* (Dublin, 1946).

【2】フルスナッドfursunnadとは、字義通りには「照らす、光を投げかける」という意味で、王家の長たる王たちを賞賛する系図の詩に用いられた言葉である。ラドセンドは、異教時代(F. J. バーンは5世紀としている)の詩人といわれている(M.A.O'Brien (ed.) *Corpus Genealogiarum Hiberniae*, i (Dublin, 1962; repr., 1976), p. 4, p. 670; F. J. Byrne, 'Senchas: the nature of Gaelic historical tradition', *Historical Studies*, 9 (1974), pp. 137-59, at p. 135; J. Carney, 'Three Old Irish accentual poems', *Eriu*, 22 (1971), pp. 23-80, at p. 67).

【3】ミルMil of Spainとは、いわゆる「ケルト神話」の中でアイルランドに侵入してきた五つの集団のうち、最後に侵入した集団の長である。R. I. ベストはミルが「スペイン王」であると述べている(R. I. Best, (ed. and trans.), 'The settling of the Manor of Tara', *Eriu*, 4 (1908-1910), pp. 121-172, at pp. 132-137; 盛節子「アイルランドの宗教と文化—キリスト教受容の歴史—」日本基督教団出版局, 1991, pp. 87-88.)。日本語に翻訳されている「ケルト神話」ではミレー、ミレシアなどと訳されている場合もあるが、ここでは、オコラーンの表記に従った。

【4】J.カーニーはシュナハーンがマンスターの出身で「高貴だが気難しい老人」また「アイルランドの第一の詩人」であると述べており、バーンは「乱暴で不作法な詩人で学者」と述べている(F. J. Byrne, *Irish kings and high-kings* (London, 1973), pp. 243-44; J. Carnay, 'Three Old Irish accentual poems', *Eriu*, 22 (1971), pp. 23-80, at p. 73-74.)。彼については、J. Carney, *Studies in Irish literature and history* (Dublin, 1955), pp. 165ff.; Do., 'Three Old Irish accentual poems', *Eriu*, 22 (1971),

pp. 23-80, at p. 73-80; R. Thurneysen, 'Colmán mac Lénéni und Senchan Toréist', *Zeitschrift für Celtische Philologie*, 19(1922), pp. 193-209, at p. 209; 井村君江『ケルトの神話—女神と英雄と妖精と—』筑摩書房, 1983(1996), pp. 34-37.を参照。

【5】カーニーは、その観念が20世紀の今日に至るまで、アイルランドの歴史的思考にその位置をとどめている、と指摘している(J. Carney, 'Three Old Irish accentual poems', *Eriu*, 22 (1971), pp. 23-80, at p. 73.)。

### [7]

その伝承は、次に、8世紀末に書かれたネンニウスの『ブリテン人誌Historia Brittonum』の中に一層詳細な形で証明される<sup>4</sup>。【p.6】「アイルランドの王の詩人」と記述され、ほぼ間違いなく聖職者であったオスカインのメール・ムラ Máel Mura of Othain (887年没)の詩は、その伝承をさらに発展させる。『カン・ア・ヴァナダス・ナ・ガエディールCan a mbunadas na nGaedel?』と題されたこの詩の中で、彼は自身に学術的な問題を課した。即ち、「アイルランド人」の起源は何か、彼らはどこから来たのか、なぜ彼らはアイルランドへ来たのか、またなぜ彼らは様々な名前で呼ばれるのか(Scuitt, Gáedil, Féni)。その問題に答えるため、彼はミルの伝説と「アイルランド人」の聖書起源を引用する。様々な名前が、系図学的構型やアイルランドの様々な部族と王家に割り当てられた祖先の因果関係学によって説明され—それらに彼はより詳細な説明を与えており、すべて一つの共通の祖先の家系に結びつけられる<sup>5</sup>。そのような作品から、数世紀にわたって『アイルランドの侵入の書Lebor Gabála Érenn』【6】の中にかたまつていった幅広い推論、疑似歴史的構成概念や演説法が発展した。その書は「アイルランド人」の先史に関する完全な説明を提供し、単一の祖先に由来するという方法で「アイルランド人」に共通のアイデンティティを与えた<sup>6</sup>。ヴァン・ハメルは、10世紀の後半に残される改訂版の原型を同定した。無論、それは数世紀にわたって複写され増補され続けたけれども<sup>7</sup>。名声ある修道院の学者ドゥブリティール・ウア・ヴァスガイールDublittir Ua hÚathgaile (1082年活躍)は、より一層精巧な民族性ethniconをうみだした。それは彼が「アイルランド人」と彼らの言語を統合してうみだしたものである。というのも、これらすべてのテキストが言語に強い興味を示しているからである<sup>8</sup>。「アイルランド人」の言語の発見に関する彼の記述は、当然あらゆる近代の文化的なショナリストたちを大いに喜ばせた。即ち、「フェニウス・ファルサッド Fénus Farsaidによって発見された10年後、口の中で旋律的で心地よいその言葉は…」<sup>9</sup>。

### 訳註

【6】『アイルランドの侵入の書Lebor Gabála Érenn』とは、すべてノアの子孫とされるバーホロン Partholón, ネメズNemed, フィルボルグFil Bolg, トゥアハ・デ・ダナー Tuatha Dé Danannそしてミルという五つの族団による各々のアイルランドへの侵入が描かれる。そして、最終的にターラを中心に支配を確立したミルがアイルランドのすべての人々の祖先であるとして、共通のアイデンティティを与えながらアイルランドの先史時代を説明している。この神話と歴史の混合物といわれている『侵入の書』については多くの研究があるが、オコラーンが挙げた文献以外では、以下の文献を参照。F. J. Byrne, *Irish kings and high-kings* (London, 1973), pp. 9-10; M.A.O'Brien, 'Irish origin legends', M. Dillon (ed), *Early Irish Society* (Dublin, 1954), pp. 36-51; T.F.O'Rahilly, *Early Irish History and Mythology* (Dublin, 1946); 井村君江『ケルトの神話—女神と英雄と妖精と—』筑摩書房, 1983(1996), pp. 54-63; 盛節子『アイルランドの宗教と文化—キリスト教受容の歴史—』日本基督教団出版局, 1991, p. 88.

### [8]

主要な系図史料は、その多くは極端に古いものであるが、この同じ出自伝説に基づいており、テキストが新しくなるほどその伝説は際立っているのに注目することは興味深い。この自意識過剰な古物研究主義の背後にあるのは、アイルランドのすべての民が一つの共通の源(遠く離れていても)に、即ち一つのネイションnationに由来するという教義である。フランク人、サクソン人、ロンバルト人、ゴート人、ギリシア人がネイションnationesであるように、「アイルランド人」もまたネイションnationである。例えば、「アイルランド人」の慣行がヨーロッパの他地域のそれとは異なっていると思われた7世紀の復活祭問題のような論争【7】に示される巡礼や布教努力の伝統と、とりわけ【p.7】教会の均一化—少なくともその最古の形においては、地域的なアイデンティティーを超越した均一化—の影響は、「アイルランド人」の「他者」意識を深めたに違いない。

### 訳註

【7】「復活祭論争」とは、キリスト教徒の信仰生活の中心であり、教会典礼の要でもある復活祭の日付をどのようにして決定するかをめぐっておこった論争である。特にアイルランドでは、イングランド教会との対立、またアイルラ

ンド教会内部での伝統派とローマ派との対立がおよそ100年間にわたって展開された。そして最終的にローマ式の計算方法がアイルランドに導入され、伝統派が主張していたケルト方式は放棄されることとなる。「復活祭論争」については以下の文献を参照。K. Hughes, *The Church in early Irish society* (London, 1966); Do., *Early Christian Ireland: introduction to the sources* (London, 1972); Do., *Church and society in Ireland, A.D. 400-1200* (ed.), D. Dumville (London, 1987); J.F. Kenney, *The sources for the early history of Ireland: ecclesiastical: an introduction and guide* (N.Y., 1966; 1979; repr., Dublin, 1993); D. McCarthy, 'Origin of the latercus paschal cycle of the Insular Celtic church'. *Cambrian Medieval Celtic Studies*, 28 (1994), pp. 25-49; D. Whitelock, R. McKitterick, and D. Dumville (ed.), *Ireland in early medieval Europe: studies in memory of Kathleen Hughes* (Cambridge, N.Y., 1982), pp. 307-319; 盛節子『アイルランドの宗教と文化—キリスト教受容の歴史—』日本基督教団出版局, 1991, pp. 182-191。

## [9]

「ナショナリティー」の意識はまた、一つの形に従って、アイルランドの法集成に現われる。それらの多くは7世紀に編纂されたもので、7世紀自体は、アイルランド教会における伝統派とローマ派との間の対立のために宗教会議と教会論争の騒然とした世紀であった。アイルランドの法は、適用においていかに地域的であっても、あるいは実際個々の法学校に多く依存しても、それ自体すべての「アイルランド人」に対して有効なものと看做されている。このことは「血の裁判 *Bretha Crólige*」という史料において顕著な点で明示される。それは侵害によって生じた病気の扶養費に関して以下のように述べている<sup>8</sup>【8】。

（あらゆる者が、アイルランドの島の慣習に従って、彼の[夫婦の]結婚に対してディーレ *dire* 〈人命金〉【9】を支払われる。それが多数であろうと一つであろうと）<sup>9</sup>。

より一層興味深いことに、この一節は、ある点で、アイルランドの慣習とローマ派によって支持された普遍的なキリスト教の規範とを対比する点で法学者は絶対であるという史料に現われている。同様の術語はコルス・ベスクナ・ブレヘムヌス・インドゥセ・エレン *Córus bescna :breithemnus indse hErend*—それは「アイルランドの島の法学」と訳されるべきである—の中で繰り返される<sup>10</sup>。法が適用において（多くの中

世の法組織がどこでもそうであるように）地域的、あちこちで慣習が異なったことは明らかであるが、にもかかわらず、全体としてアイルランドの慣習は法学者の記憶にあり、シェンカス・マー *Senchas Már* 【10】の権威の増大とともに、均一性への真の傾向があったのかもしれない。法学者や他の知識人階層—聖職者であれ俗人であれ—は、地域的な境界によって妨げられず、彼らが望んだところで仕事をするために自由に旅をした、また彼ら—非常に自覚し十分に尊敬されたエリート—にとって、アイルランド全島が彼らの仕事場であった。ナショナリティーの意識が彼らの中から最初に現われ、そして彼らによって育まれたことは驚くことではない。

## 訳註

【8】本論にはこの箇所に28という註は存在しないし、そもそも28という原註自体存在しない。おそらく誤植であろう。

【9】ディーレ *dire* (英語ではhonour of price, あるいはbody fine)とは、「慣習法」の中で定められた人間の「金銭的」価値、個人の法的地位に従って、契約違反等に対する「罰金」として支払われた (D.A.Binchy, 'Bretha Crólige', *Eriu*, 12 (1934), pp. 1-77, P. 56; F.J.Byrne, *Irish kings and high-kings* (London, 1973), p. 175; D.Ó Cróinín, *Early Medieval Ireland, 400-1200* (London, 1995)p. 296.)。

【10】シェンカス・マー *Senchas Már* とは、字義通りには「偉大なる伝統」という意味で、8世紀初頭にそれまでの法的知識を一つの法書として編纂したものである。シェンカスについては、前号p.13訳註【9】を参照。

## [10]

しかしながら、このナショナリティーの意識はすぐに政治の中にこぼれた。というのも、それがイ・ネール家 Uí Néill 【11】のプロパガンダたちの政治的主張に含まれたからである。二つの例で十分だろう。7世紀に書いているムルクー Muirchú は *temoria que est caput Scotorum* 「[アイルランド人]の頭であるターラ Tara」について語っており<sup>11</sup>、一方アドムナーン Adomnán はディアルマート・マク・セルバール Diarmait mac Cerbaill を *totius Scotiae regnatorem a deo ordinatum* 「全アイルランドの支配者、それは神によって定められた」と叙述している<sup>12</sup>【12】。【p.8】これらの主張は非常に明確な意図をもち、偉業というよりむしろ野望の証拠となる。それはど明示的ではないが、それらは、少なくとも何人かの王のプロパガンダたちの中では、一つのネイション *natio*、即ちより広い共同体—何らかの形で、7世紀におけるイ・ネール家のト干にとって賞賛すべき野

望であり、彼らの支配する共同体ーとしての「アイルランド人」の意識の証拠となる。統いて起こるこれらイ・ネール家の上王たちの膨張活動、地域的な小王国群の衰退、ヴァイキングとの接触、より広範な勢力区の出現は、その意識を深めるのに役立ったに違いない。11・12世紀までに叙事詩家たちは全アイルランドの君主制の概念を完全かつ精巧に作り上げ、それをキリスト教以前の過去に投影した。その結果、彼らの同時代人にとて、アイルランドの王権—何らかの形でのアイルランドの政治的統一—は、遠い昔の伝統の性格を呈した。叙事詩家たちの作品は政治的理論であり、その理論は11・12世紀の強大な王たちの活動と野望に応え、頻繁に創造的刺激を与えたものである。私がナショナリティによって理解するものがこのアイデンティティーの感覚であり、9世紀から12世紀の間で、年代記の記載の微妙な変化にそれを感じることができると考える。一例を挙げると、フィル・エレン *fir Brenn* 字義通り「アイルランドの人々」という言葉は、最強の王たちの、また彼らの支配下にあるより下位の王や貴族たちの従者に使用されるようになる。この言葉は、メール・セクニール・マクメール・ルナッド Mael Sechnaill mac Maele Ruanaidやムルヘルタッフ・ワア・ブリアン Muirchertach Ua Briainそしてルードリー・ウア・コンコバール Ruaidri Ua Conchobair—皆その時代の有名な王たちである—に関して使用され、全体としてアイルランドの概念のみならず、その時代の支配的な王の運命とともに、全体としてある種のアイルランドの国政の同定をも暗示した。

#### 訳註

【11】イ・ネール家 Uí Néill は、もともとコナハトに居をおく王家であったが、5世紀のニーアル Niall Noigiallaech のときに他の3人の兄弟たちと分かれてから「ニーアルの子孫 Uí Néill」という名前をとったといわれている。アイルランド北部では最強の王家で、王国の拡大化を最も強力に推し進めた。イ・ネール家については以下の文献を参照。F. J. Byrne, *Irish kings and high-kings* (London, 1973); G. Mac Niocaill, *Ireland before the Vikings* (Dublin, 1972); D. Ó Corráin, *Ireland before the Normans* (Dublin, 1972)。

【12】ムルクー Muirchú は7世紀の聖人伝作家で、680-700年頃に聖パトリックの伝記『聖パトリック伝 Vita S. Patricii』を残している。アドムナン Adomnán は7世紀のアイオナ Iona 修道院の修道院長で、『聖コロンバ伝 Vita Columbae』の作者として有名であり、『アドムナンの法』という修道院の諸規則を規定した史料を残している。ディアルマート・マク・セルバール Diarmait mac Cerbaill は

イ・ネール家の出身で565年に没したが、大王の一人として史料に登場してくる(盛節子『アイルランドの宗教と文化—キリスト教受容の歴史—』日本基督教団山版局, 1991, pp. 25-126, p. 211, pp. 76-98.)。

### III 法の変容

#### 【11】

ビンチー教授による法の古さの強調は<sup>34</sup>、初期の時代にあまり馴染みのない歴史家たちに誤解されているといわれるかもしれない。例えばウォーレン教授がいうように、アイルランドの法において、王、主要な修道院長、オラム *ollam* 【13】に同等の地位が与えられているというのはまったくその通りである。明らかに異なる(法)学校に由来し、ある程度年代でも多様な(8世紀の始めよりも新しいものはない)法史料は、人命金あるいは地位—法史料が司教、また暗に主要な修道院長のものだと考える地位—に関して完全に一致しているわけではない。[p.9]しかしながら、史料が一般に彼(修道院長)の地位をリー・トゥアセバ *túath* 【14】のそれと同等に扱っていることは、ある程度自信をもって述べができる。これは、王と修道院長が同様の権威行使したといっているのではない。というのも、法学者の関心事である社会的法的地位と、王によって行使された政治的権威とはっきりと区別しなければならないからである。7・8世紀に教会が独立で獲得した快適な地位は、それを王の政治的ライバルにはしなかった。むしろ、私たちがみるよう、教会は王権をさらに強化したのである。

#### 訳註

【13】オラム *ollam* とは、字義通りには「精神性者、専門家」という意味でアイルランドの知識人階層の中で最高位にあるものを指し、古代のドルイドの継承者ともいわれている。F. J. Byrne, *Irish kings and high-kings* (London, 1973), p. 13; D. Ó Cróinín, *Early Medieval Ireland, 400-1200* (London, 1995), p. 300.

【14】リー・トゥアセバ *túath* とは、アイルランドの「部族の土」を意味している。『アイルランド古代慣習法 Ancient Laws of Ireland』では、王のヒエラルキーについて三段階に分類している。(1)トゥアスの王リー *rí* あるいはリー・トゥアセバ *túath*, (2)「中王」たる数トゥアスの連合体の王ルーリ *rúiri* あるいはリー・トゥアスバ *túath*, (3)「上王」(「中王の中の中王」)という意味で)である最高位の王リー・ルレックバ *ruirech* あるいはリー・コーキド *rí cōicid* である。しかし、このヒエラルキーの最後のかき石、アード・リー *ard-rí* すなわちハイ・キング(「全ア

イルランドの「大王」は『慣習法』の中ではまったく言及されていない。「大王」は古代に遡るものではなく、また必ずしも全アイルランドの支配権を含んでいるわけでもない（F. J. Byrne, *Irish kings and high-kings* (London, 1973), pp. 41-42.）。17世紀までの史料では、「大王」はどのような「上王」にも無差別に使用されている。「大王」を所謂「アイルランドの王」に最初に限定したのは、17世紀の歴史家ジョフリー・キーティング（Geoffrey Keating, 1570-c. 1650. 最初の『アイルランド史』四巻を作成）であるといわれている（D. A. Binchy, *Celtic and Anglo-Saxon Kingship* (Oxford, 1970) pp. 31-33.）。

### [12]

リー・トゥアセ、即ち、オラムや修道院長と同等の地位とされた部族の王の地位の重要性は、既に後退していた。それは教会法史料の時代においてさえそう思われた。初期の法史料の一つは以下のように述べている。*niba tuath tuath gan egsna gan egluis gan filidh gan righ aracorathar cuir agus cairde do thunthainn* (学者、教会、詩人をもたず [他の] 諸トゥアス *túatha* と契約や条約を結ぶ[extends(?)] 王をもたないトゥアス *túath* はトゥアスではない)“

【15】ここで、この法史料の中に私たちはトゥアスの消滅の徵候をみてとれる、というのも、その叙述は、以前は完全な意味でトゥアス *túatha* であった共同体がもはやそのような構造的特質をもたなくなつたことを暗に示している。実際、6・7世紀におけるエオフナフト家 Éoganacht やイ・ネール家のようない強大な王家の台頭と彼らの拡大が、トゥアスに基づく古い組織を徐々に衰退させたことを示した。この結論は、8世紀に関する限りでは、同時代の年代記の記載によって容易に実証される。これらの中で、私たちは諸トゥアス *túatha* の王たち、あるいは大きな王国（ルー・リタruing）の王たちでさえ、より下位の称号である *dux* と看做されているのをみる。例えば、756年デルヴァ・エスィラ Delbna Ethra の小王国の王は *dux* と呼ばれた。771年と796年、同様の術語はルイグネ Luigne とキーアラーライエ Ciarraige の王に適用された。9世紀において、この用法はさらに拡大され、リーグシェ Laigse、ムグドルナ Mugdorna、ケネル・ゴニル Cenél Conaill、イ・マイーク・ウアス *Tí Meic Uais* の中王たちはより下位の *duxes* という称号を帯びている。より一層強力な王権の発展はこれら下位の王たちをさらに屈服させ、11・12世紀において、[p.10] 古いトゥアスと同じ大きさの領域の支配者の通常の称号はティゲルナ *tigerna*、トーセク *toisech*、トーセク・ドゥーチャス *toisech dūchais*

で、それらすべては「領主」と訳されるだろう”。

### 訳註

【15】トゥアスについては、前号pp.13-14の訳註【13】を参照。*tuath* は單数形、*tuatha* は複数形。

### [13]

ライドン教授が述べるように、王が近隣王国に傀儡王をおくことを、あるいは他の王国を併合することを禁じたより古い慣習もまた、8世紀までに終わっていた。かつてこれらの慣習は、法学者の洗練された岡式的な理論の外に存在したかどうかと思う。実際、私たちは8世紀に同様の出来事への年代記の言及に何度もでくわす。二つも引用すれば十分だろう。744年、アルスター年代記は以下のことを記している。*foirddbe Corcu MuDruadh don Deiss* (ディース Déis によるコルク・モドゥラド Corcu Modruad の滅亡)。ディースはここではダール・ガシュ Dál Cais と同定される。そしてこのときから、ダール・ガシュによるクレア Clare の広範な土地の占有と彼らの政治権力の台頭の始まりを記している。752年、同年代記は以下のことを記している。*foirddbe Breccige da Cheniul Coirpri i Telach Findin* (テラッフ・フィンディン Telach Findin におけるケネル・カルブネ Cenél Cairpre によるブレクレギ Breccige の滅亡)。この後、ブレクレギは歴史から消える。彼らはすべてケネル・マイナ Cenél Maine - イ・ネール家の台頭してきた分家でイ・ネール家は彼らブレカーン・マック・マイナ Breccán mac Maineのために名前を作り出した - に吸収され、このブレカーンの孫からブレクレギの新しい支配家系は由来するといわれる。より下位の民たちの土地が収用されただけでなく、征服者たちはしばしば彼らの名前を、また彼らの部族の聖人さえもとった。8世紀後期と9世紀において、イ・ケンシェラン Uí Chennselaig - レンスター南部の支配王家 - の分家は、イ・ドゥローナ *Tí Dróna* を征服し、征服者の名前をとった。キアンナフト Cianachta の土地を奪ったシール・ナエド・スラーネ Síl nÁeda Sláine の北部の分家は、8世紀中期までにキアンナフトとして知られた。816年に死んだイルギヤラップ・ウア・マイール・ウマイル Irgalach ua Mail Umai は、*rer Corco Sogain* 〈コルコ・ソギャイン Corco Sogain の王〉と呼ばれている。実際、コルコ・ソギャインは彼のイ・ネール家の分家カイーレ・フォラマン Caille Follamain が征服した小集団であった。そのように古い、土地を奪われた民の記憶は、非常にぼやけていた

けれども、8・9世紀に活動していた学者たちは、既にそれらの古物研究家のリストを編纂していた<sup>16</sup>。

#### [14]

オーベンのいうヴァイキング戦争後の時代に繁栄した185の部族は、後の時代の古物研究家の計算で求められたに違いない。ギラルドゥス・カンブレンシス *Giraldus Cambrensis* は、アイルランドにおけるカントレッド *cantred* 【16】の数を176としている<sup>17</sup>。しかしながら、彼がアイルランド語の術語トゥリーハ・ケット *tricha cét* 【17】をラテン語訳しているのは明らかである<sup>18</sup>。[p.11]彼の推量は彼自身の計算からくるものではなく、『アイルランド地誌 *Topographia*』の第二部の大部分のように、アイルランドの史料に由来する。従って、ギラルドゥスの作品は同時代の計算としての独自の価値はもない。キーティングやオフフーティーや他の作家たちは184ないし185という数を与えていたが、これらすべてはホーガンが示したように「カ・リン・トゥーリハ・エリン *Ca lin tricha in Erind?*」という詩に由来する。その詩は多くの中世写本に保存され、文体や言語においては12世紀の古物研究主義の典型的な産物である<sup>19</sup>。さらに困難がある。つまり、トゥリーハ・ケットはアイルランドの史料では、トゥアスないし部族を決して意味しないように思われる所以である。ホーガンによると、それはより古い時代において兵士の集まりと結びついた領域を示している。その後（即ち11世紀以降）それは地理的な領域を示している。実際、それはアルスター年代記において1106年課税単位として証明される。その年、パトリックのコーヴ *coarb* 【18】であるケラッフ *Cellach* はマンスターを巡回し、彼の完全な支払われるべき物、即ち七頭の雄牛、七頭の羊、半オンスの銀をマンスターにおけるトゥリーハ・ケットの各領域ごとに (*cech fuind tricha i Mumain*) 受け取った。それゆえ、オーベンのいう185の部族は誤解の産物である。つまり、それらは決して存在しなかったのである。彼の説明に対して、マクニールはアイルランド全土で約80のトゥアスが存在したと見積もっている<sup>20</sup>。私自身としては、彼がこの推量に達した正確な方法を発見しようがないし、バーン教授とともに、「初期アイルランドの絶えず変化する政治的境界に適切で図式的なパターンを課そうと試みる…誘惑」に抵抗したいと思う<sup>21</sup>。私たちが確信をもつていけるのは、10世紀において、あらゆる政治的重要性をもつ12の上位王国しか存在しなかったこと、そしてこれらは12世紀中期までに劇的に数を減らしたことである。

#### 訳註

【16】カントレッド *cantred* は1ハンドレッド *hundred* の意。

【17】トゥリーハ・ケット *tricha cét* は、本論中にもてくるように、字義通りには「兵士の集まり」を意味し、その後（11世紀頃から）地理的領域を示すようになる。D. Ó Crónin, *Early Medieval Ireland, 400-1200* (London, 1995), pp. 275-276, p. 302.

【18】コーヴ *coarb* とは修道院の物質的財産の相続者を意味し、通常は、修道院長がその任に当たっている（感節子『アイルランドの宗教と文化—キリスト教受容の歴史—』日本基督教団出版局、1991, p. 121, pp. 76-98.）。

#### [15]

多くは12世紀に関係するように思われる他の法制度は、ずっと廃れるようになった。7世紀の間、4世代の男系親族で、より古い時代において法及び財産所有の構成単位として重要であったデルヴィネ *derbfine* は廃れ、より単純な3世代の集団であるゲルヴィネ *gelfine* に取って代られた<sup>22</sup>。同様に、王位継承問題において、以下のことが示されうる。即ち、適格性は、デルヴィネの相続慣習によってではなく一近かれ遠かれ、そのような慣習は人々の考えでは物事の適性の一般的な考え方のようであったかもしれないけれども一、強さと自信を増している王家内部での日々の権力闘争の実体によって、規定された<sup>23</sup>。[p.12]しかしながら、そのタブーをもったトゥアスとその多様な錯綜性をもったデルヴィネが、さらに後の時代の歴史家たちのページをうつとうしいほどに横切って進んでいくのを、私たちは依然としてみている。さらに一層顕著なことに、もし私たちが何人かの歴史家の見解を認めるならば、これらの制度は16世紀のアイルランドにおいて—それらが廃れるようになつたおよそ1000年後、また少なくともアイルランドの法学者がそれらが意味したことを見明らかに理解することを止めた500年後—依然として存続し繁栄していた<sup>24</sup>。

#### [16]

数世紀にわたるゲール社会の政治的保守主義、部族制、あるいは想像された不变性に関しての、誤解の多くは、二つのレベルでの方法論的誤りの結果である。より一般的なレベルでは、歴史家たちは、史料の中で彼らに与えられた明らかに静態的なアイルランド社会の映像によって騙され、結果として、彼らは、制度における変化、また全体として社会における政治的社會的革新を示すこれらの強調の変化や表現のニュアンスに対して鈍感であった。このことは、特にアイルランドに当てはまることがある。そこでは大部分の古い歴

史的史料は、文学であり、専門的な知識人階層、同時代の権力者の従者たちの非常に慣習に従わされた産物である。彼らはすべての変化をそれに遠い昔の慣習の制裁を加えることによって正当化するために骨を折り、現在を正当化するために過去を無常に作り変えた<sup>13</sup>。この種の活動は、アイルランドに限定されないし、事実、11・12世紀のヨーロッパの伝説創造において一世俗のものであれ教会のものであれ一密接な類似がある。実際、近代の歴史学者たちのもつゲール的アイルランドの不变性は、彼らの義務を免除する点で彼らの中世の祖先たちの影響の証拠である。例えば、ダール・ガッシュの権力の台頭は、彼らの政治的野心のために、彼らの先の系図の劇的な改竄だけでなく、アイルランドにおけるヴァイキング戦争の歴史の改竄をも導き、彼らのライバルたちが容易に模倣することができない例を与えた<sup>14</sup>。そのような歴史の改竄において、基本的な政治的变化や近年の出来事の変えられた状況は、[p.13] しばしば遠く離れた過去に遡って投影され、従って継続性と不变性の機能が維持されている。より個々の事例のレベルでは、何人かの歴史家は、全体として社会の態度に関する法学者の学者ぶった古さを誤解しているといわれるかもしれないし、ある程度、彼らの法史料（書いたときには時代遅れでなかったとしても、おそらく保守的であった）を実践に関する本当の話として理解しているといわれるかもしれない。（法）学校のテキストにおいてさえみられうるように、慣習法は実際には変化した。そこでは私たちが後の注釈者たちが、一彼らはそれらを理解していたのであるが、より古いテキストの諸規則を彼ら自身の時代の実践と一致させようと試みているのがわかる。また、中世後期と近代初期に関して、マクニオカイル博士は、古典的な論文は今までのように引用されたけれども、それらはそれが行われていた実際の訴訟あるいは方法に関連性はもたないと指摘している。それらは意味というよりも音で引用されたのであり、法を司る人々に神秘性を与えた有効な装飾であった。彼らはより一層平凡な実際的な方法で彼らの仕事をしたけれども<sup>15</sup>。実際に行われていたことが、後の法文学や法史料ではない偶然の言及から（ともかくそれができるならば）つなぎあわせられなければならない。例えば私たちは、11・12世紀における王の法的権力、王の家の秩序、あるいは王の役人の法的機能を私たちに好意的に語ってくれるテキストをもたない—またもし私たちがもつたとしても、最大の注意をもって扱わなければならぬ。私たちのもつすべての乏しい史料からそのような問題を見発することに伴う、詳細で骨を折る研究がやがて行われなければならないというのは同様に本當である。

し、後の王と法学者や法との関係、王の法制定力、王の臣民の財産への権利に関して、私は2・3の示唆を提供することができるだけである。

### [17]

ウォーレン教授の意見—法はある一定の宗教的制裁を与えられ、このことは変化に対する圧力を妨げるためになされたーは、それ自体の点では完全に本當であるが、彼がそれを意図した意味ではそうではない。私たちがみているように、彼はその叙述をシェンカス・マー・ビンチー教授が示したように、12世紀の始めに書かれたが、より古い史料を含んだ又書一のプロローグに基盤をおいている<sup>16</sup>。実際、そのプロローグは、どのようにして「アイルランド人」が彼らの在地の法をキリスト教信仰と調和させたかに関する伝説の発展形態である。つまり、聖書と矛盾する法の部分は捨てられた。[p.14] そして改訂された法は、およそ生れるアイルランドの法学者は誰も変えることのできないパトリックの法である。その伝説のより古い版はコルス・ペースクナに現れており<sup>17</sup>、そこではそれは同様の目的に役立っている。ビンチーが示すように「コルス・ペースクナの編纂者が本当に強調したかったことは、シェンカスとキリスト教の教えとの完全な適合であった。彼は実際、攻撃に対して伝統的な法を擁護していた」。これら攻撃の最も劇的なものは、7世紀アイルランド教会におけるローマ派からの、また、世俗の婚姻に関するアイルランドの法に異論があると考える12世紀の改革者たちからのものであった。<sup>18</sup> それゆえ、シェンカス・マーの12世紀のプロローグは、その上地即ち聖パトリックの土地において、一般的な性格をもった法的制度的変化に抵抗するために古代の法集全体に最高の宗教的権威を与えるための試みというよりもむしろ、社会生活の一定の限定された領域におけるアイルランドの特殊性の弁明と擁護である—教会改革たちはそれら自体を問題にしていたのであるが—。

### [18]

しかしながら、法のパトリックの改訂の伝説に関する他のより一般的な理由があるようと思われる。というのも、9世紀と12世紀の間の年代記を一見すると、法実践者たちの中での最も興味深い発展を明らかにしている。彼らの非常に多くは教会人であり、多くは高位にある人々である。次の例はその傾向を例証するのに役立つだろう【19】。

A.U.s.a. 802:

*Allil m. Cormaice, abbas Slane, sapiens et iudex*

*optimus obiit.<sup>19</sup>* (アリルAilill m. Cormaicは、スレインSlaneの修道院長であり、最高に分別ある告発人であるが、死んだ)。

A.F.M.,s.a. 884 (=887):

*Colcu mac Connacáin, abb Cinn Ettich, ollam, aurlabhraidh agus senchaidh as deach ro bhui i nErinn ina reimhes [d'ecc].* (コルクColcu mac Connacáinは、ケニティーKinnittyの修道院長であり、オラムで、法弁論者で、彼の時代のアイルランドにおいて最高の歴史家であるが、死んだ)。

*Three frags p.210 (=908):*

ペラック・ムグナBelach Mugnaの戦いで殺された者の中にコルマンColmánがいた、*ab Cinn Ettich ard-ollamh brithemnachta Eirenn* (コルマン、ケニティーの修道院長で、アイルランドの法学の主要なオラム)<sup>20</sup>。

[p.15]

A.F.M.,s.a. 937 (=939); cf. Ann.Ult.,s.a. 939:

*Finnachta mac Ceallaigh comharba Doire, epscop agus saor berla Fene [d'ecc].* (フィナフトFinnachta mac CeallaighはデリーDerryの修道院長で、司教で、アイルランドの法における学者であるが、死んだ)。

Ann. Inisf.,s.a. 1032:

*Ailill Hua Flaithim, airchinnech Aird Ferta Brenainn quievit. Ollam Muman a brethamnas hé* (アリルAilill Hua Flaithimは、アードファートArdfertのエレナップerenagh【20】であるが、永眠した。彼は法学においてマンスターのオラムであった)<sup>21</sup>。

A.U.,s.a. 1041; Ann. Tig.,s.a. 1041:

*Mac Beathad m. Ainmere. ard-ollam Ard Macha agus Erenn archena* (マクベスアッドMac Beathad mac AinmereはアーマーArmaghの、またアイルランドの主要なオラムであったが、死んだ) ; Ann. Tig. はさらに付け加えている: *airdbreatham Aird Macha agus tuile eolais Erenn* (アーマーの主要な裁判官で、アイルランドの知識の海)。

A.F.M.,s.a. 1095; Ann. Inisf.,s.a. 1095:

疫病で死んだ有名な人の中に、*Hua Manchain . i. an brethem, comharba Caoimhghin... agus Augustin Ua Cuinn, airdbreithem Laighen* (ウア・マンハーンHua Manchain、即ち裁判官でグレンダロー

Glendaloughの修道院長であり…そしてアウグスティン・ウア・クウィンAugustin Ua Cuinn,レンスターの主要な裁判官である) ; Ann. Inisf.はウア・マンハーンを*do muintir Glinne do Lacha* (グレンダローの共同体の) 者として記述している。

Ann. Inisf.,s.a. 1106:

*In brethem Hua Rebacháin, airchinnech Mungarat mortuus est* (裁判官ウア・レヴァハンUa Rebacháinは、モンガレットMungretのエレナップであるが、死んだ)。

A.F.M.,s.a. 1158:

*An breithemh Ua Dúilendáin, airchindech Eassa Dara, ollamh feineachais agus tuoiseach a thuaithe d'ecc* (裁判官ウア・ドゥイレンダーンUa Dúilendáinは、バリーズアディアBallysadareのエレナップであり、アイルランドの法のオラムであり、彼の領地の領主であるが、死んだ)<sup>22</sup>。

これら年代記の記載は、以下の格言によって裏付けされている。*Féineachas hÉrenn Cluain hUama; bérla Féine hÉrenn Corcach; brethemnas hÉrenn, Sláin* - 即ちクロインCloyne, コークCork, スレインの各修道院はアイルランドの法研究で有名であった<sup>23</sup>。

#### 訳註

【19】ここで使用されている年代記は以下の通り。A.U. =『アルスター年代記Annals of Ulster』; A.F.M. =『フォー・マスターズ年代記Annals of the Kingdom of Ireland by the Four Masters』; *Three frags* =『アイルランド年代記Annals of Ireland: Three fragments』; Ann. Inisf. =『イニシファレン年代記Annals of Inisfallen』; Ann. Tig. =『ティエルナップ年代記Annals of Tigernach』。Ann. Ult. はどの年代記の略語かわからなかった。おそらく『アルスター年代記』のことではないかと思われるが、それならA.U.と表記するはずであり、詳細は不明（但し、『アルスター年代記』の939年にも同様のことが記録されている）。

【20】エレナップerenaghとは、「修道院共同体の管轄者」、「修道院領の裁治権者」を意味しており、通常、修道院長を指している。また、エレナップはコーヴcoarbと同義語である（盛節子「12世紀アイルランド教会改革(1)－修道院教会制度の改編をめぐって－」『エール』16号(1996),pp.22-44.)。

#### 原註

<sup>18</sup> 出自伝説には一つの特徴的なタイプがある。まず、(1)古

代の神(々)の直系の子孫として王家を扱っているもの、例えば、アングロ・サクソンの王家の系図(Kenneth Sisam 'Anglo-Saxon royal genealogies' *Brit. Acad. Proc.* 39(1953), pp.287-348.)また、(2)部族の祖先を遠く離れた名祖の祖先(歴史的であれ非歴史的であれ)に遡るもので、しばしば移民として叙述されるもの(I.M.Lewis 'Historical aspects of genealogies in northern Somali social structure' *Afric. Hist. Jn.* 3 (1962), pp.35-48; Ian Cunnison, *History on the Luapala* (Rhodes-Livingstone Papers, no. 21, London, 1951); Laura Bohannon 'A genealogical charter' *Africa* 22 (1952), pp.301-15.)どちらのタイプも初期のアイルランドの史料には残っている。

<sup>17</sup> これは少なくともラギンには当てはまる。彼らはLabraid Loingsech LorcあるいはLoegaireあるいはMoenを共通の祖先と見做しており(*Loegaire Lorc is hē senathair Laigin*, Rawl. B502, 115a16=O'Brien Corpus geneal. III b., pl.), 最古の史料は彼を神と叙述している。T.F.O'Rahilly, *Early Irish history and mythology* (Dublin, 1946) はこのことを関連の問題とともに取り上げているが、彼の結論には注意が必要である。

<sup>18</sup> Corpus genal. Hib. i, 4-7; cf. pp.201-2.

<sup>19</sup> James Carney 'Three Old Irish accentual poems' *Ériu* 22 (1971), pp.65-73.

<sup>20</sup> ibid., p.73

<sup>21</sup> A.G.Van Hamel(ed.), *Lebor Bretnach* (Dublin, 1932).

<sup>22</sup> J.H.Todd(ed.), *The Irish Nennius* (Dublin, 1848), pp.220-87, Bk Leinster, iii, 516-23.

<sup>23</sup> R.A.S.Macalister(ed.), *Lebor Gabála Érenn*, (5 vols, Dublin, 1938-56); この史料の解説については以下を参照。Rudolph Thurneysen 'Zu irischen Handschriften und Literaturdenkmälern' 2nd series, *Abhl. d. kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Phil.-Hist. Klasse* 14/3 (Berlin, 1913); A.G.Van Hamel, 'On Lebor Gabála' *Z.C.P.* 10 (1915), pp.97-197.,

p.115.

<sup>24</sup> ibid., p.115.

<sup>25</sup> Bk Leinster, iii, 563-73.

<sup>26</sup> ibid., p.573.

<sup>27</sup> D.A.Binchy 'The date and provenance of the Uraicecht Becc' *Ériu* 18 (1958), pp.44-54. (はNemedと呼ばれる史料群とCáin Fuithirbeが南部の学校に由来し, *Senchas Már* は北部の(諸)学校のものであったと主張する; 彼はまた Crith Gablach (Dublin, 1941, p.xviii)が北半分、ミーズないしアルスターのおそらく *Senchas Már* とは異なる(諸)学校で書かれたとも主張している。詳しくはD.A.Binchy 'Bretha Nemed' *Ériu* 17 (1955), pp.4-6. 参照。

<sup>28</sup>

<sup>29</sup> D.A.Binchy 'Bretha Crolige' *Ériu* 12 (1934), pp.1-77; 問題の一節は§57; cf.編集者のコメント, ibid., p.74.

<sup>30</sup> *Anc. laws Ire.*, iii, 30.

<sup>31</sup> Bk. Arm., 2Rb 28.

<sup>32</sup> William Reeves(ed.), *The life of Columba... by Adamnan* (Dublin, 1857), pp.67-8=A.O. and M.O. Anderson, *Adamnan's Life of Columba* (Edinburgh, 1961), p.280; see further F.J.Byrne, *The rise of the Uí Néill*, pp.3-8, and *Irish kings*, pp.254-71.

<sup>33</sup> A.U., s.a. 858, 1102, 1106, 1167, 1168.

<sup>34</sup> D.A.Binchy 'The linguistic and historical value of the Irish law-tracts' *Brit. Acad. Proc.*, 39 (London, 1943), pp.196-227; 'Linguistic and legal archaisms in the Celtic law-books' *Philolog.Soc.Trans.*, (1959), pp.14-24; 'Celtic suretyship: a fossilized Indo-European institution' *Indo-European and Indo-Europeans: papers presented at the third Indo-European Conference*, 1963 (Philadelphia, 1970), pp.355-67.

<sup>35</sup> 'Miadslechta' in *Anc. Laws Ire.*, iv, 362; 'Uraicecht Becc' in *Anc. Laws Ire.*, v, 2-114=Enn Mac Neill 'Ancient Irish law: of status or franchise' *R.I.A.Proc.*, 36 sect. C (1923), pp.272-81; *Crith Gablach*, pp. 18-19; E.J.Gwynn, 'An Old-Irish tract on the privileges and responsibilities of poets' *Ériu* 13 (1940), pp.30; see further Kathleen Hughes. *Ch. In early Ir. Soc.*, pp.134-6.

<sup>36</sup> E.J.Gwynn, 'Tract on the privileges of poets', pp.31, 224. 形式は近代的にみえるが(写本はDuballach Mac Fir Bhisighのものである), 容易に古アイルランド語に復元されうることは注目すべきである。というのも, ar-cuiretherの同様の用法は以下を参照。*Crith Gablach*, pp.15-34; *Contributions to a dictionary of the Irish language*, A. fasc 2 (Dublin, 1967), col.365.

<sup>37</sup> Binchy, *Celtic and Anglo-Saxon Kingship*, pp.34-40; Thomas Charles-Edwards, 'Some Celtic kinship terms' *Bulletin of the Board of Celtic Studies*, 29 (1971), pp.117-22.

<sup>38</sup> A.U., s.a. 756

<sup>39</sup> A.U., s.a. 771, 796. 同時代の広く同じようなアングロ・サクソン期のduxの用法については以下を参照。Eric John, *Orbis Britanniae and other studies* (Leicester, 1966), pp.24-5., pp.27-35.

<sup>40</sup> A.U., s.a. 860, 870, 872, 877, 879, 883, 894, 912ste.

<sup>41</sup> これらの術語に関しては以下を参照。

Gearóid Mac Niocaill, 'A propos du vocabulaire social irlandais du bas moyen âge' *Études celtiques* 12 (1970-71), pp.512-46; 地域的な系図学的(12世紀)背景におけるこれらの用法に関しては以下を参照。John O'Donovan,

*Miscellany of the Celtic Society* (Dublin, 1846), pp.48-56.

<sup>42</sup> BK Lec. 60 Rb. 17-25=B.B. 82a36-45; see also Paul Walsh 'Meath in the Book of Rights' John Ryan(ed.), *Féil-sgríbhinn Éoin Mhic Néill* (Dublin, 1940), pp.511-2.  
<sup>43</sup> そのようなリストと派生物に関しては以下を参照。T.C.D., H. 2. 7., 156 d 19-163a31; R.I.A. Stowe C12, 40 R 18; *Ériu*, iii (1907), pp.138-40; Y Cymrodror, xiv (1901), pp.122-34; T. Ó Raithbheartaigh(ed.), *Genealogical tracts, i* (Dublin, 1932), pp.63-84, 107-32.

<sup>44</sup> James F. Dineen(ed.), *Giraldi Cambrensis opera*, v (London, 1867), p.145.

<sup>45</sup> James Hogan 'The *tricha cét* and related land-measures' *R.I.A. Proc.*, 38, sect.C (1920), pp.148-235., pp.169-74.

<sup>46</sup> Ibid, pp.148-235.

<sup>47</sup> Mac Neill, *Early Irish laws and institutions*, p.96.

<sup>48</sup> F.J. Byrne, 'Tribes and tribalism', loc cit., pp.159-60;しかし *Irish kings and high-kings* の p.7 では次のように述べている、「5世紀から12世紀の間にこの国には少なくとも150人以上の王が存在したのは間違いない」。

<sup>49</sup> T.M. Charles-Edwards, 'Kinship, status and the origin of the hide' *Past and Present* 56 (1972), pp.1-33; Liam Ó Buachalla, 'Some researches in ancient Irish law' *Cork Hist. Soc. Jn.*, 52 (1947), pp.41-54 がこれらの制度についての説明を間違っているということは注意すべきである。

<sup>50</sup> Ó Corrain, 'Irish regnal succession: a reappraisal' *Studia Hib.*, 11 (1971[1972]), pp.7-39.

<sup>51</sup> G.A. Hayes-McCoy, 'Gaelic society in Ireland in the late sixteenth century' G.A. Hayes-McCoy(ed.), *Historical Studies*, 4 (London, 1963), pp.45-61; Nicholas P. Canny, 'Hugh O'Neill and the changing face of Gaelic Ulster' *Studia Hib.*, 10 (1970), pp.7-35.

<sup>52</sup> 他の社会におけるこの過程の興味深い例については以下を参照。J.H. Plumb, *The death of the past* (Harmondsworth, 1973), pp.11-50; A.H. Shah and G. Shropshire, 'The Vahivana Barots of Gujerat; a cast of genealogists and mythographers' *American Folklore Jn.*, 71 (1958), pp.246-76; E.L. Peters 'Aspects of rank and status among Muslims in a Lebanese village' J.A. Pitt-Rivers(ed.), *Mediterranean countrymen* (The Hague, 1963), pp.159-200.

<sup>53</sup> それら「改編」された系図は、Eoin Mac Neillの論文 *The Vita Tripartita of St Patrick* *Ériu* 11 (1930), pp.34-40により最初に暴露された。この論文はEoin Mac Neill, *St Patrick* (Dublin, 1964), pp.214-20.に再録されている。

R.Fawtier, *Capetian kings of France* (London, 1960), pp.55-7. ヴァイキング戦争に関する Dál Cais のために書かれた物語は以下を参照。ヒューグ・カバーのカロリング継承に関する意図的に普及された諸伝説と比較せよ。

J.H. Todd(ed.), *Cogadh Gaeelach Gallaibh* (London, 1867), pp.136-40, 160; この後者の作品がそれ自体歴史家たちに押しつけ続けた方法の例に関しては以下を参照。

Gwyn Jones, *A history of the Vikings* (London, 1968), pp.204-8; Johannes Brondsted, *The Vikings* (Harmondsworth, 1970), pp.55-8; G.Turville-Petre 'Poetry of scalds and of the filid' *Ériu* 22 (1971), pp.2-3.

<sup>54</sup> Gearóid Mac Niocall 'Notes on litigation in late Irish law' *Ir. Jurist*, 2 (1967), pp.299-307.

<sup>55</sup> Binchy, 'The pseudo-historical prologue to the *Senchas Már*' *Studia Celt.*, 10-11 (1975-6), pp.15-28. この論文のコピーを頂きそれから引用することを許して下さったビンチー教授に深く感謝する。

<sup>56</sup> *Anc. Laws Ire.*, iii, 28-32.

<sup>57</sup> Ibid.

<sup>58</sup> Rudolph Thurneysen and others, *Studies in early Irish law* (Dublin, 1931); 旧約聖書への言及によるアイルランドの一大多妻制の見事な弁明は以下を参照。'Bretha Crólige', p.44 § 57; *Acallam na Senórach* という12世紀の文学的な枠物語は、改革派と伝統派の間の婚姻に関する同時代の論争を興味深く反映している。コナハトの王 Áed mac Muiredaig は、聖パトリックの一夫一婦制への主張に対して激しく怒っているように叙述されている (Whitley Stokes(ed.), *Acallamh na Senórach in Irische Texte, Verte Serei*, i (Leipzig, 1900), pp.176-7.)。

Tairdelbach Ua Conchobair (+1156) と彼の息子 Ruaidri (+1189) は両者ともコナハトの王で「ハイ・キング」であるが、彼らの自分の力で勝ち得た名声を反映しているような技法である。

<sup>59</sup> 彼は Slane, Louth, Duleek の修道院を修道院長たちに与えた聖職者の家系に帰属していた (Hughes, Ch. In early Ir. Soc., p.163.).

<sup>60</sup> この称号から、彼がマンスターの王で同名の戦いで殺された Cormac mac Cuilennáin の裁判官であったことは間違いない。

<sup>61</sup> 彼がマンスターの王 Donnchad mac Briain の裁判官であった可能性はある。

<sup>62</sup> K.W. Nicholls 氏は、この男が後の Mac an Bhreitheamhan, Ballysadare の O'Rourke の家系の祖先であるように思われる私に示唆してくれた。

<sup>63</sup> Kuno Meyer(ed.), *The triads of Ireland* (Dublin R.I.A., Todd Lecture Series, 12, 1906), p.2; Corkに関する

る記載は、MS H.1.5に次のように注釈されている。*.I.a n-iomat breithemhuin no cuirt no sgol feinechuis ann* (ibid., p.36)。

## 酸化物高温超伝導体における低周波交流損失（2） —等価臨界電流密度を規定するパラメータの影響—

中村俊三郎・藤吉孝則・山藤 馨

（平成12年9月5日受理）

AC Loss in High- $T_c$  Cuprate Superconductors (2)

—Effects of the Parameters Characterizing the Effective Critical Current Density—

Shunzaburo NAKAMURA, Takanori FUJIYOSHI, Kaoru YAMAFUJI

The AC loss in high- $T_c$  superconducting slab was numerically calculated for various values of the parameters characterizing the effective critical current density in order to investigate the usable range of the existing theoretical expressions for the AC loss. The varied parameters are  $J_0$  and  $J_m$  that are a measure of the average value and the minimum value of the effective critical current density, respectively. The theoretical values were compared with the numerically calculated values for the ranges of the parameters that were  $1.0 \times 10^9 \leq J_0 \leq 1.0 \times 10^{10} \text{ A/m}^2$  and  $4.8 \times 10^8 \leq J_m \leq 4.8 \times 10^9 \text{ A/m}^2$ . It became clear that the theoretical expressions should be modified when the amplitude of the AC magnetic field exceeds the characteristic magnetic field at which the magnetic flux reaches the center of specimen.

### 1. はじめに

酸化物高温超伝導線材の開発が進み、最近では液体窒素冷却の超伝導変圧器<sup>1)</sup>などの交流電力機器が試作されている。液体ヘリウム温度付近で動作させる金属系超伝導線材を用いた交流電力機器における線材の交流損失による冷凍機負荷は、その交流損失の数百倍となるが、液体窒素温度付近で動作させる酸化物高温超伝導線材の交流電力機器では、それに比べて小さいとはいえる。その線材における交流損失は数十倍となって冷凍機の電力負荷となってはねかえってくる。したがって、超伝導電力機器の設計において、超伝導線材の交流損失の予測評価は非常に重要である。

超伝導線材の多くは多芯構造を有し、その交流損失は、超伝導体の履歴損失、超伝導フィラメント間の結合損失、安定化材またはマトリックス中の渦電流損失などに分けて考えることができる。金属系低温超伝導体の交流電力機器応用においては、高抵抗マトリックスを用いた極細多芯線が用いられる。多芯線内の超伝導フィラメントの直径はミクロン又はサブミクロン程度と極めて細いため、 $10^{-1}$ – $10^3 \text{ Hz}$ 程度の低周波の交

流磁界又は交流電流を印加した際に発生する超伝導フィラメントの履歴損失については、Beanモデル<sup>2)</sup>に基づくNorrisの式<sup>3)</sup>で十分定量的に記述される。また、結合損失はマトリックスの抵抗率とツイストピッチから、渦電流損失はマトリックスの抵抗率とその形状から定量的に評価できる<sup>4)</sup>。

一方、酸化物高温超伝導線材の場合、結合損失と渦電流損失は金属系低温超伝導線材と同様な評価が可能と考えられる。しかし、超伝導体の履歴損失については、今後の応用が期待される液体窒素温度より高温側の温度領域においてNorrisの式が適用できなくなる。これは、酸化物高温超伝導体は異方性が大きい層状結晶構造を有するため、この温度領域では高い直流磁界下での混合状態における磁束ピンニングに対する熱運動の影響が大きくなるからである<sup>5)</sup>。このため、実用上重要な低周波の交流磁界又は交流電流を印加した時においても、試料内部の磁束分布の緩和時間が交流の周期と同程度になり<sup>6)</sup>、1周期当たりの低周波交流損失も、単純な履歴損失と異なり、周波数依存性を持ってくる<sup>7)</sup>。したがって、低周波における履歴損失は、Norrisの式のように周波数依存性を持たない式では記述出来ない。このことから、酸化物高温超伝導体の低周波交流履歴損失を定量的に記述できる理論表式の

\*熊本大学工学部電気システム工学科

役割は、線材の交流損失評価の基礎として重要である。

最近、酸化物高温超伝導体の高温側のグラス・液体転移温度付近の広い温度範囲で電界・電流密度特性の測定結果を定量的に記述する理論式が提出された<sup>1,2)</sup>。さらに、その理論式を物質方程式と見なしてMaxwell方程式を解けば、低周波交流損失が理論的に評価出来る。しかし、非線形のMaxwell方程式を理論的に正確に解くのは困難なため、近似的に解くことにより、低周波交流履歴損失の簡便な表式が最近提出された<sup>3)</sup>。本研究の目的は、この簡便な理論式の値と上述の非線形Maxwell方程式を数値計算して履歴損失を求めた値とを比較して、理論式の適用範囲を明らかにすることである。なお、ここで用いた数値計算手法については、Bi2212バルク試料についてその適用性は確認されている<sup>4)</sup>。

電界・電流密度特性の理論式<sup>5,6)</sup>は、各物質にはほぼ固有のフロー抵抗率( $\rho_{ff}$ )を除き、3つのパラメータ、 $m$ 、 $J_0$ 、 $J_{cr}$ で規定される。また、これら3つのパラメータは、低周波交流損失の理論式における有効臨界電流密度 $J_c$ に含まれるパラメータでもある。前報<sup>3)</sup>では、第一段階として、これらのパラメータの中で電界が電流密度に対してどれほど急激に増加するかの目安を与えるビンディング・パラメータ( $m$ )が交流損失に及ぼす影響に注目して研究を行った。その際、他の2つのパラメータ( $J_0$ と $J_{cr}$ )は、酸化物超伝導体の1つであるYBCO薄膜の測定値から得られた代表的な値を使用した。

その結果、 $J_0 = 1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ 、 $J_{cr} = 4.8 \times 10^7 \text{ A/mm}^2$ で、ビンディング・パラメータ $m$ 、周波数 $f$ 、交流磁界振幅 $B_m$ がそれぞれ $3 \leq m \leq 10$ 、 $0.1 \leq f \leq 100 \text{ Hz}$ 、 $10^{-5} \leq B_m \leq 10^{-1} \text{ T}$ の範囲において、交流損失の理論式と数値計算とはほぼ定量的な一致を示した。銅酸化物系超伝導体の低周波交流損失は、高温側のグラス・液体転移温度付近で著しい周波数依存性を示すが、この著しい周波数依存性について定量的にはほぼ一致したこと、上記の理論式の高い適用性が確かめられたことになる。

前報<sup>3)</sup>では、有効臨界電流密度 $J_c$ を特徴づける2つのパラメータ $J_0$ と $J_{cr}$ については、それぞれ1つの値を選び、 $m$ の値を変化させて、交流損失の理論式の適用性を調べた。そこで、本論文では、厚さ $2d = 0.5 \text{ mm}$ の試料について、ビンディング・パラメータは代表的値 $m = 3$ に固定し、 $J_c$ を特徴づける他の2つのパラメータをそれぞれ $1.0 \times 10^6 \leq J_0 \leq 1.0 \times 10^7 \text{ A/m}^2$ 、 $4.8 \times 10^7 \leq J_{cr} \leq 4.8 \times 10^8 \text{ A/mm}^2$ の範囲で変化させ、低周波交流損失に及ぼす影響を調べることによって、交流損失の理論式の適用性についてさらに研究し

た結果を報告する。

## 2. 低周波交流損失の理論表式

低周波交流損失の理論表式については、その導出の過程は前報<sup>3)</sup>でも述べたが、後の議論との関係でここでも概説しておく。酸化物高温超伝導線材の超伝導材料は大きく分けてY(イットリウム)系とBi(ビスマス)系がある。超伝導線材の形状は、それら材料の特性や用途によってテープ状や多芯線形状をしている。したがって、線材内の超伝導体の形状もスラブ状であったり、円柱形又は橢円柱形の切り口を持つ。しかしながら、形状の効果は簡単に補正できることから、厚さ $2d$ の無限に広いスラブに対する表式を導いておけばよい。

厚さの方向に $x$ 軸を取り、 $z$ 軸方向に磁束密度 $B_{dc}$ の直流磁界を印加し、これに $y$ 軸方向に $B_m = B_m \sin \omega t$ の交流磁界を重畠した時の1周期当たり単位体積当たりの低周波交流損失を $W$ とすれば、Beanモデル<sup>7)</sup>に基づくNorrisの式は次式で与えられる<sup>8)</sup>。

$$W = \frac{2}{3} \frac{B_m^3}{\mu_0^2 d J_{cr}} ; 0 < B_m \leq B_p \quad (1a)$$

$$W = \frac{2}{3} \mu_0 d^2 J_{cr}^2 + 2d J_{cr} (B_m - \mu_0 d J_{cr}) ; \quad (1b)$$

$$B_p \ll B_m \ll B_{dc}$$

ここで、 $B_p = \mu_0 d J_{cr} (B_p)$ は交流磁束密度が試料の中心まで到達する $B_m$ の値、 $\mu_0$ は真空透磁率である。金属系の超伝導体に対して提出されたNorrisの原式では、 $J_c$ 及び $\tilde{J}_c$ は理論的な臨界電流密度 $J_c$ に等しいと仮定されている。Beanモデルでは、試料内の電流密度 $j$ に等しいと仮定されているからである。

金属系超伝導体の場合には、理論的な臨界電流密度 $J_c$ よりも十分大きい電流密度での電界・電流密度特性は、

$$E = \rho_{ff} (J - J_c) \quad (2a)$$

で良く記述されるが、 $J \sim J_c$ の極く近傍では

$$\ln E = \ln E_c + n \ln (J/J_c^E) \quad (2b)$$

の形の式で良く記述される。測定された電界から(2b)式に基づいて $J_c^E$ と、電界・電流密度特性の「鋭さ」の目安を与える $n$ 値を決定する。 $n$ 値が数十もあり、磁束フロー抵抗率 $\rho_{ff}$ の値も酸化物系超伝導体の場合より2桁以上も大きいため、決定された $J_c^E$ の値の $J_c$ からのはずれは、 $E_c$ の値を臨界電流密度測定上の実用的範囲で少々動かしても、無視できる程小さい。

一方、銅酸化物系超伝導体の場合には、グラス・液体転移温度 $T_g$ ( $B$ )の付近のかなり広い温度範囲で、

電界・電流密度特性が次式で定量的に記述出来る<sup>5, 7)</sup>。

$$E = \begin{cases} \frac{\rho_{pp}}{(m+1)J_0^m} (J - |J_{cm}|)^{m+1} S(J - |J_{cm}|); & T < T_g(B) \\ \frac{\rho_{pp}}{(m+1)J_0^m} [(J + |J_{cm}|)^{m+1} - |J_{cm}|^{m+1}]; & T > T_g(B) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $S(x)$ は $x < 0$ で0、 $x > 0$ で1をとる階段関数、 $\rho_{pp}$ は熱振動が存在するときの磁束フロー抵抗率であり、パラメータ、 $m$ 、 $J_0$ 、 $J_{cm}$ の値は電界・電流密度の測定結果から決定できる。 $m$ は(2b)式における $n$ が $m+1$ に対応し、電界・電流密度特性の「鋭さ」の目安をあらわす。本研究で注目した $J_0$ は $J_c$ の分布幅の平均値に関係する値であり、また $J_{cm}$ は $J_c$ の分布における最小値を表す。

最近提出された銅酸化物系超伝導体に対する低周波交流損失 $W$ の式は、(1a)、(1b)式における $J_c$ 及び $J_{cm}$ に対して、銅酸化物系超伝導体の場合を定量的に記述する式を提出することを目的として導かれた<sup>8)</sup>。

銅酸化物系超伝導体の場合には、 $m$ の値はこれまでに開発された線材では10以下と極めて小さく、 $\rho_{pp}$ の値も金属系の $\rho_{pp}$ よりも2桁以上小さいため、 $E_c$ の選び方によって得られる $J_c^*$ の値が大きく変わり、これを $J_c$ 又は $J_{cm}$ に等しいとして(1a)、(1b)式に代入すると $W$ の値が大きく変動する。そこで、磁束密度 $B_m = B_m \sin \omega t$ の交流磁束が印加された時に試料表面に誘起される電界は $B_m d\omega$ の程度であるので、 $E_c$ として試料内の電界の空間平均を半周期に亘って平均した量を理論的に評価すると、 $E_c$ は形式的に、

$$E_c = \alpha^{m-1} B_m d\omega; B_m < B_p \quad (4a)$$

$$E_c = \alpha^{m-1} B_m d\omega; B_m > B_p \quad (4b)$$

と置くことができる<sup>9)</sup>。ここで $\alpha$ と $\bar{\alpha}$ は電界の平均化ファクターである。しかし、 $\alpha$ 及び $\bar{\alpha}$ の表式を正確に求めるのは困難なため、試料内の電界分布に対して近似的な考察を行い<sup>5, 7)</sup>、次式で近似する。

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{m+1}{m+2} \quad (5a)$$

$$\bar{\alpha} = \frac{m+1}{m+2} \frac{(D_m + B_p)^2 + 10^{-1}(B_m - B_p)^2}{2(B_m + B_p)^2 + 10^{-1}(B_m - B_p)^2} \quad (5b)$$

(4a)式の $E_c$ を(3)式の左辺の $E$ に等しいと直ければ $J_{cm}$ が求まり、

$$J_{cm} = \begin{cases} |J_{cm}| + \alpha J_c(B_m); T < T_g(B_{dc}) \\ \left[ |J_{cm}|^{m+1} + (\alpha J_c(B_m))^{m+1} \right]^{\frac{1}{m+1}} - |J_{cm}|; T > T_g(B_{dc}) \end{cases} \quad (6a)$$

$$J_c(B_m) = J_0 [(m+1)B_m d\omega / \rho_{pp} J_0]^{1/(m+1)} \quad (6b)$$

が得られる。 $J_{cm}$ は(6a)式の $\alpha$ を $\bar{\alpha}$ で置き換えて得られる。

$$B_p = \mu_0 d J_{cm}(B_p) \quad (7)$$

で定義される。

### 3. 数値計算結果と理論式の比較

#### 3. 1 $W$ の $\omega$ 依存性が顕著な場合

交流損失の周波数依存性が大きくなりBeanモデルからのはずれが顕著になると考えられるのは、(6a)式から $\alpha J_c \gg J_{cm}$ の場合である。臨界電流密度パラメータ $J_0$ が $1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ 、 $J_{cm}$ が $4.8 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ の場合の交流損失の交流磁界振幅 $B$ 依存性を図1に示す。(1a)、(1b)式から、 $W$ は $B_m < B_p$ では $B_m$ のほぼ3乗、 $B_m > B_p$ では $B_m$ のほぼ1乗で増加することが予想される。周波数 $f = 1.0, 10$ および $100 \text{ Hz}$ の場合における(7)式から計算した $B_p$ は、それぞれ $0.25, 0.54$ および $1.16 \text{ T}$ である。図1では、いずれの場合も $B_m < B_p$ となっており $W$ は、理論値および数値計算値とともに、ほぼ $B_m$ の3乗で増加していることがわかる。また、数値計算結果は比較的大きな周波数依存性を示しているが、理論値も同程度の依存性を示している。これは、臨界電流密度パラメータの条件が $J_0 \gg J_{cm}$ であることによる。(6b)式から $J_c \sim 10^3 \text{ A/m}^2$ 程度であることを考えると(6a)式において $\alpha J_c \gg J_{cm}$ となり、 $J_c$ の周波数依存性が大きくなるためである。これらのことから、理論値と数値計算結果は、定量的にはほぼ一致しているといえる。

しかしながら、数値を詳細に見ると全体的に理論値は数値計算結果より少し小さい値を示している。この点に関して、図2に試料内磁束密度分布の数値計算結果を示す。この分布は $f = 10 \text{ Hz}, B_m = 0.03 \text{ T}$ の場合で、前もって交流磁界を80周期繰り返し印加した後の1周期分について1/4周期ごとの磁束密度分布を示したものである。その分布がBeanモデルに当てはまらない点は、例えば試料表面の磁束密度 $B$ が $2.03 \text{ T}$ になった瞬間の磁束密度分布に注目すると、 $B$ は試料内部に向かうに従って小さくなり $2.0 \text{ T}$ になっているが、試料内部で磁束密度が直線的に変化せず少し湾曲していること及びその場所からさらに試料内部で $B$ が振動している領域があることである。理論表式には、前者の効果は平均化パラメータ $\alpha$ を通じて含まれているが後者の効果は含まれていない。その結果、理論値は数値計算値より僅かに小さい値になるものと考えられる。

### 3. 2 $W$ の $\omega$ 依存性がある程度顕著な場合

前節では臨界電流密度パラメータ  $J_0$  が比較的大きい値を持ち、その一方  $J_{\text{cr}}$  が比較的小さな値を持つ場合について検討したが、本節では両者の大小関係を変えて  $\alpha J_0$  と  $J_{\text{cr}}$  が同程度の値を持つ場合について検討する。図 3 に  $J_0 = 1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ,  $J_{\text{cr}} = 4.8 \times 10^7 \text{ A/m}^2$  のときの交流損失  $W$  の交流磁界振幅  $B_m$  依存性を示す。この図は前報<sup>1)</sup>でも示したものであるが、も

う少し細かく検討する。周波数  $f = 1.0, 10$  および  $100 \text{ Hz}$  における中心到達磁束密度  $B_p$  は、それぞれ  $0.044, 0.073$  および  $0.136 \text{ T}$  である。周波数が  $1.0 \text{ Hz}$  では  $B_p$  より小さい  $B_m$  の領域で理論値と数値計算結果は良く一致しているが  $B_p$  より  $B_m$  が大きくなると理論値は数値計算値より僅かに小さくなる。周波数が  $10 \text{ Hz}$  の場合は、 $B_m$  のほとんどの領域で  $B_m < B_p$  であり、また  $100 \text{ Hz}$  の場合は、 $B_m$  の全領域で  $B_m < B_p$  である。両者においては、理論値と数値計算結果は非常に良く一致している。 $B_m > B_p$  の領域で理論値が数値計算結果より小さくなる点に関しては後で議論する。

交流磁界振幅  $B_m$  が  $B_p$  よりも小さい場合と大きい場合の試料内磁束密度分布の例として、図 4 と図 5 にそれぞれ  $f = 10 \text{ Hz}$  で  $B_m = 0.03 \text{ T}$  と  $0.1 \text{ T}$  の時の試料内磁束密度分布を示す。図 4、図 5 ともに試料内部に振動的分布を示す領域が見られるが理論値にはほとんど誤差は見られない。したがって、 $\alpha J_0$  と  $J_{\text{cr}}$  が同程度の場合には(5a)式の平均化ファクター  $\alpha$  が適切に機能していると考えられる。

損失  $W$  の周波数依存性がある程度顕著な場合のもう一つの典型例として、 $J_0$  と  $J_{\text{cr}}$  が共に比較的小さい値を持ち、 $\alpha J_0$  と  $J_{\text{cr}}$  が同程度になる場合のうち、周波数  $10 \text{ Hz}$  のときの  $W$  の  $B_m$  依存性を図 6 に示す。この時の  $J_0$  は  $1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ,  $J_{\text{cr}}$  は  $4.8 \times 10^5 \text{ A/m}^2$  である。この場合、(7)式で与えられる  $B_p$  が  $0.0073 \text{ T}$  と小さくなるため、 $B_m > B_p$  の領域が図中のかなりの範囲を占めている。

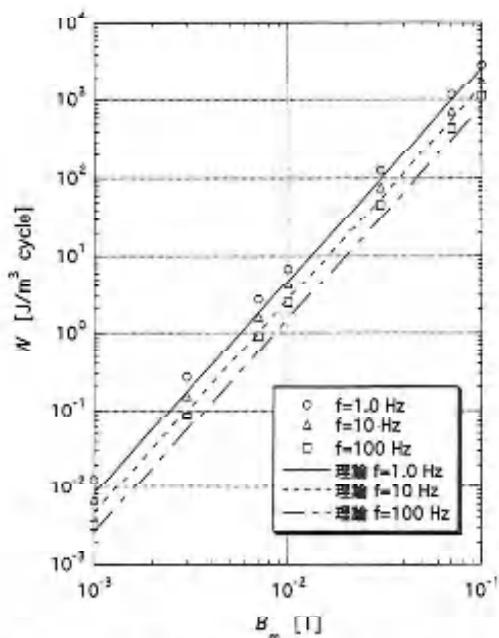


図 1. 低周波交流損失  $W$  の交流磁界振幅  $B_m$  依存性。  
ピンニング・パラメータ  $m = 3$ , 温度  $T = 83 \text{ K}$   
における理論値と数値計算結果との比較。  
 $J_0 = 1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ,  $J_{\text{cr}} = 4.8 \times 10^7 \text{ A/m}^2$ .

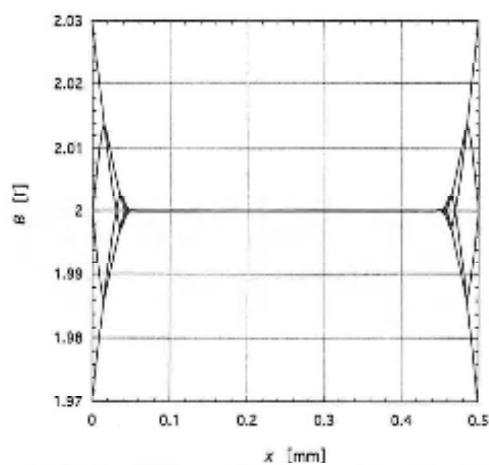


図 2. 試料内の磁束密度分布。 $m = 3$ ,  $T = 83 \text{ K}$ ,  
 $f = 10 \text{ Hz}$ ,  $B_m = 0.03 \text{ T}$ ,  $J_0 = 1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ,  
 $J_{\text{cr}} = 4.8 \times 10^5 \text{ A/m}^2$ .

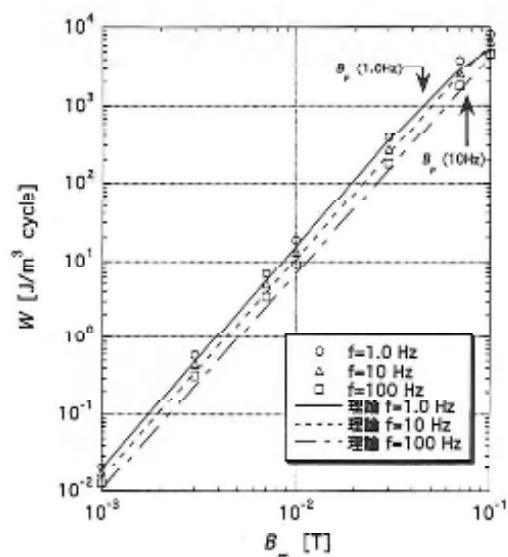


図 3. 低周波交流損失  $W$  の交流磁界振幅  $B_m$  依存性。  
ピンニング・パラメータ  $m = 3$ , 温度  $T = 83 \text{ K}$   
における理論値と数値計算結果との比較。  
 $J_0 = 1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ,  $J_{\text{cr}} = 4.8 \times 10^7 \text{ A/m}^2$ .

交流磁界振幅  $B_m$  が  $B_p$  より小さい領域では、理論値は数値計算結果と良い一致を示しているが、 $B_m$  が  $B_p$  より大きくなると理論値は数値計算結果よりもかなり小さくなる。

この点に関して、 $B_m$  が  $B_p$  より大きい0.1Tの時の試料内磁束密度分布を図7に示す。この図の磁束密度勾配から求められる平均電流密度は、(6a)式において  $\alpha$  を  $\bar{\alpha}$  に書き換えた  $\bar{J}_{\alpha}$  に対応するものであるが、図7から評価した  $(\bar{J}_{\alpha})^{obs}$  は約  $7.5 \times 10^7 \text{ A/m}^2$  となる。一方、(6a)式から求められる  $(\bar{J}_{\alpha})^{theo}$  は  $4.1 \times 10^7 \text{ A/m}^2$  となる。このように、 $(\bar{J}_{\alpha})^{obs} > (\bar{J}_{\alpha})^{theo}$  となっていることが  $B_m > B_p$  の領域で理論値が数値計算値より小さくなることの原因であると考えられる。

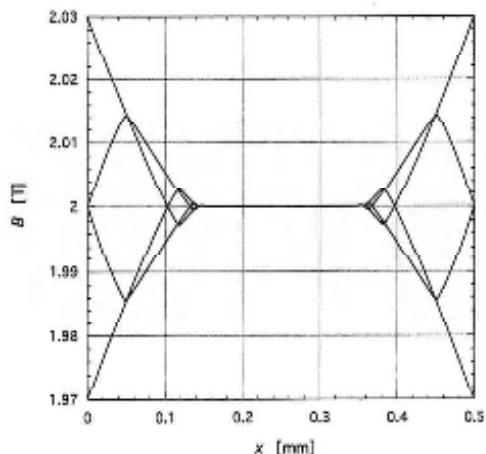


図4. 試料内の磁束密度分布。 $m = 3$ ,  $T = 83\text{K}$ ,  $f = 10\text{Hz}$ ,  $B_m = 0.03\text{ T}$ ,  $J_\alpha = 1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ,  $J_{ct} = 4.8 \times 10^7 \text{ A/m}^2$ .

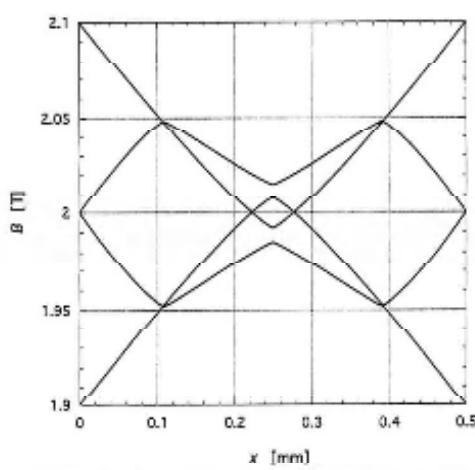


図5. 試料内の磁束密度分布。 $m = 3$ ,  $T = 83\text{K}$ ,  $f = 10\text{Hz}$ ,  $B_m = 0.1\text{ T}$ ,  $J_\alpha = 1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ,  $J_{ct} = 4.8 \times 10^7 \text{ A/m}^2$ .

(6a)式のあとに述べた  $\bar{J}_{\alpha}$  の定義より判るように  $\bar{J}_{\alpha} = J_{ct} + \bar{\alpha} J_\alpha$  であるから、このことは、 $B_m > B_p$  の場合の電界の平均化パラメータ  $\bar{\alpha}$  を与える(5b)式の修正が必要なことを示している。

将来、銅酸化物材料の多芯線化が進むと、線材の等価半径  $d$  は小さくなるため、(7)式で与えられる  $B_p$  の値も小さくなる。したがって、 $B_m > B_p$  の場合も実用上重要になって来ることが予測され、(5b)式の修正は今後の重要な課題の一つとなるであろう。

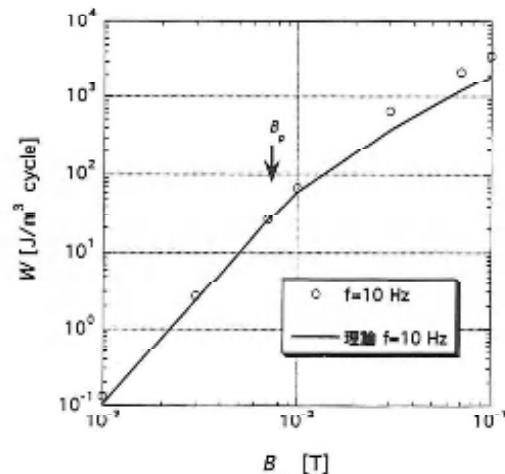


図6. 低周波交流損失  $W$  の交流磁界振幅  $B_m$  依存性。ピンニング・パラメータ  $m = 3$ , 温度  $T = 83\text{K}$  における理論値と数値計算結果との比較。 $J_\alpha = 1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ,  $J_{ct} = 4.8 \times 10^7 \text{ A/m}^2$ .

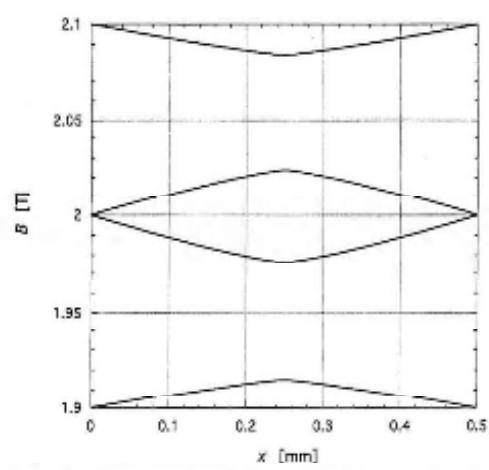


図7. 試料内の磁束密度分布。 $m = 3$ ,  $T = 83\text{K}$ ,  $f = 10\text{Hz}$ ,  $B_m = 0.1\text{ T}$ ,  $J_\alpha = 1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ ,  $J_{ct} = 4.8 \times 10^7 \text{ A/m}^2$ .

#### 4. まとめ

銅酸化物系超伝導体におけるグラス・液体転移温度  $T_c(B)$  より僅かに低い温度である 83K での低周波履歴損失について、理論式の適用範囲を調べるために臨界電流密度パラメータを変化させて、理論式による値  $(W)^{\text{the}}$  と数値計算による値  $(W)^{\text{num}}$  とを比較した。外部交流磁束密度  $B_a$  が  $B_c$  より小さい場合は  $(W)^{\text{the}}$  と  $(W)^{\text{num}}$  とは良い一致を示したが、 $B_a$  が  $B_c$  より大きくなると、 $(W)^{\text{the}}$  は  $(W)^{\text{num}}$  よりも小さくなつた。この原因は、 $B_a > B_c$  で  $(j_{ce})^{\text{obs}} > (j_{ce})^{\text{the}}$  となっていることによる、このことは電界の平均化パラメータ  $\bar{\sigma}$  を与える(5b)式を修正する必要があることを示している。この修正式を導くこと、また、グラス・液体転移温度  $T_c(B)$  より高い温度範囲で臨界電流密度パラメータを変化させて理論式の適用性を調べることが今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 船木和夫ら、低温工学 33 (1998) 371.
- 2) C. P. Bean, *Phys. Rev. Lett.* 8 (1962) 250.
- 3) N. M. Wilson, *Superconducting Magnets*, Clarendon Press, Oxford (1983).
- 4) G. Blatter et al., *Rev. mod. Phys.* 66 (1994) 1125.
- 5) K. Yamafuji, T. Kiss and T. Fujiyoshi, *STUDIES IN HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS*, Nova Science Publishers, New York 31 (2000) 1.
- 6) K. Yamafuji, T. Wakuda and T. Kiss, *Cryogenics* 37 (1997) 421.
- 7) K. Yamafuji and T. Kiss, *Physica C* 290 (1997) 9.
- 8) 中村俊三郎、藤吉孝則、山藤馨、有明高専紀要 36 (2000) 31.

## 拡張A3NNIモデルの磁気相図

村岡 良紀

〈平成12年9月29日受理〉

Magnetic Phase Diagrams of Extended Axial Third-Nearest Neighbor Ising Model

Yoshinori MURAOKA

We consider the extended axial third-nearest neighbor Ising (A3NNI) model, which consists of  $S=1$  Ising spins and includes not only the ordinary bilinear exchange interaction but also the 3-site 4-spin interaction as the next nearest neighbor interaction. The finite temperature magnetic phase diagram of this model has been investigated by means of the site dependent molecular field approximation. The phase diagrams show the direct phase transition from the ground state  $q=1/3$  phase to the antiferromagnetic phase, which has been observed in  $\text{UNi}_2\text{Si}_2$ .

### 1. はじめに

競合する相互作用またはフラストレーションを持つ多くの系において、変調構造相等の興味深い秩序相が出現する。このような系のなかで、格子に対して整合または不整合な空間的変調構造相を示す非常に基本的なモデルとしてANNNT (Axial Next-Nearest Neighbor Ising) モデルは精力的に研究されてきている<sup>[1]-[3]</sup>。理論的研究は「悪魔の階段」、「悪魔の花」等によって特徴づけられているこのモデルの興味深い性質を明らかにしてきた<sup>[2]-[7]</sup>。多くの変調構造を示す強誘電体、磁性体、合金、液晶等における実験結果がこのANNNI モデルにより定性的に説明されている<sup>[1]-[5]</sup>。

スピン量子数<sup>[8]-[10]</sup>および競合する相互作用の到達距離<sup>[11]-[13]</sup>に関して、多くの拡張ANNNI モデルが提案されているが、これらの拡張モデルの中で第3隣接層間相互作用まで考慮したA3NNI (Axial Third-Nearest Neighbor Ising) モデルに対してANNNI モデルと同様に多くの研究がなされている。A3NNI モデルは図-1 に示すように単純立方格子上にイジングスピンを配置し、スピン間相互作用として層内最隣接間相互作用  $J_0 > 0$ 、最隣接層間相互作用  $J_1, J_2$  と競合する次隣接層間相互作用  $J_2 < 0$  および第3隣接層間相互作用  $J_3$  を考えたものであり、次のハミルトニアンにより記述される。

$$H = -J_0 \sum_{\langle i,j \rangle \parallel (z)} S_i S_j - J_1 \sum_{\langle i,j \rangle \perp (z)} S_i S_j - J_2 \sum_{\langle i,j \rangle \parallel (x,y)} S_i S_j - J_3 \sum_{\langle i,j \rangle \parallel (x,y,z)} S_i S_j \quad (1)$$

ここで、 $S_i$  は  $S_i = \pm 1/2$  の値を取り得るイジングスピン、(1)式のn.n., n.n.n. および3rd.n.n. はそれぞれ nearest neighbor, next-nearest neighbor および 3rd-nearest neighbor を表す。また  $\langle i,j \rangle \parallel (z)$  お

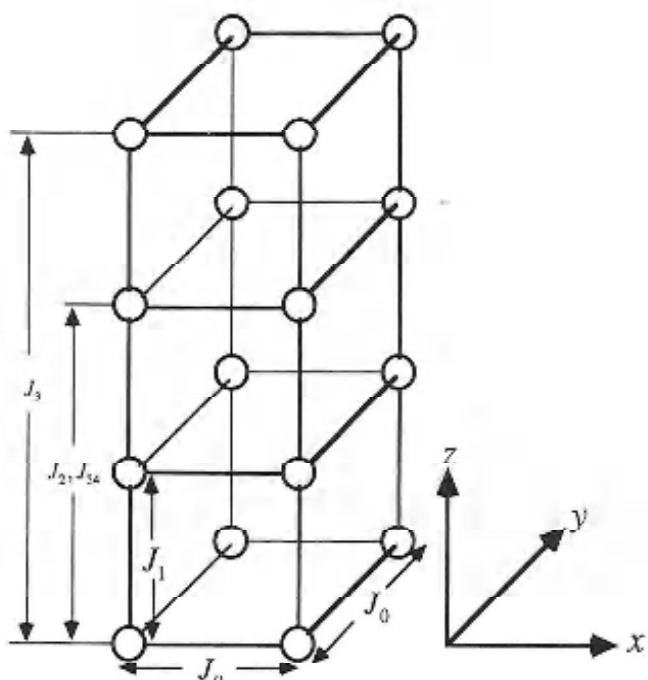


図-1 3次元拡張A3NNIモデル

より $\langle i, j \rangle (\parallel z)$ はそれぞれ $z$ 軸に垂直な層内および $z$ 軸に平行な鎖内のスピン間について和をとることを示している。

Yamada and Hamayaは $A_xBX_4$ 型誘電体における不整合・整合相転移の多くの性質をA3NNIモデルに基づいて説明できることを示した<sup>10</sup>。最近、Yamashitaは強誘電性スマートティック液晶の逐次相転移において現れる強誘電性相がA3NNIモデルの相図により説明できることを示した<sup>14</sup>。

スピン量子数に関する拡張を考える場合、スピン間相互作用として通常の双1次交換相互作用、 $-JS_iS_j$ 、ばかりではなく双2次交換相互作用、 $-JS_i^2S_j^2$ 、3-サイト4-スピン相互作用、 $-JS_iS_j^2S_k$ 、等の高次のスピン間相互作用を考慮したモデルを考えることができる。これらの高次のスピン間相互作用の出現機構に関しては、結晶場中にある磁性イオンに関する2次振動および磁歪効果のスピン変数を用いた表現による説明がなされている<sup>15</sup>。

これまでの分子場近似<sup>16, 17</sup>およびMonte Carlo法<sup>18</sup>に基づく研究により、 $S > 1/2$  ANNNIモデルの磁気相図は $S = 1/2$  ANNNIモデルの磁気相図と定性的に同じであることを明らかにした。高次のスピン間相互作用を持つ系として次隣接層間相互作用に3-サイト4-スピン相互作用を持つ $S = 1$  ANNNIモデル( $J_1 < 0$ )の有限温度磁気相図を図-2に示す。ここで $a = S(S+1)/3$ 、 $-\kappa_{34} = S^2J_{34}/|J_1|$ である。また、図中の分数は各変調構造の $z$ 軸方向の波数を表す。

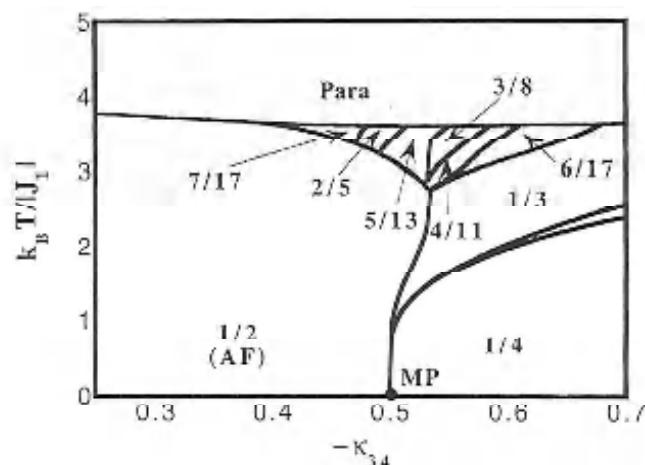


図-2 3-サイト4-スピン相互作用を持つ $S = 1$  ANNNIモデル( $J_1 < 0$ )の有限温度磁気相図。ここで $a = S(S+1)/3$ 、 $k_B$ はBoltzmann定数、 $\kappa_{34} = S^2J_{34}/|J_1|$ である。分数は $z$ 軸方向の変調構造の波数を表す。

構造の $z$ 軸方向の波数 $k/2\pi$ を表している。この磁気相図の特徴は反強磁性相が変調構造相側に張り出しており、その結果として $0.5 < -\kappa_{34} < 0.53$ の領域において温度の上昇とともに逆位相構造相→変調構造相→強磁性相→変調構造相・常磁性相へのリエントラント転移が出現する。またスピン量子数の増加とともにリエントラント転移を生じる領域が拡がる。

本研究では高次のスピン間相互作用の1つである3-サイト4-スpin相互作用を次隣接層間相互作用として持つ $S = 1$  拡張A3NNIモデルを考える。このモデルは、次のハミルトニアンにより記述される(図-1)，

$$H = -J_1 \sum_{\langle i,j \rangle (-z)} S_i S_j - J_2 \sum_{\langle i,j \rangle (0z)} S_i S_j - J_3 \sum_{\langle i,j \rangle (yz)} S_i S_j \\ - J_3 \sum_{\langle i,j \rangle (xz)} S_i S_j - J_3 \sum_{\langle i,j \rangle (zz)} S_i S_j^2 S_k \quad (2)$$

ここで、 $S_i$ は $S_i = \pm 1, 0$ の値を取り得るイジングスピン、第5項が新たに次隣接層間相互作用として導入した3-サイト4-スpin相互作用を表している。このモデルの基底状態に現れるスピン配置は $S = 1/2$  A3NNIモデルと同じであり、 $J_1 < 0$ および $J_3 > 0$ の場合反強磁性相( $\uparrow\downarrow$ )、 $q = 1/3$ 相( $\uparrow\uparrow\downarrow$ )および $q = 1/4$ 相( $\uparrow\uparrow\downarrow\downarrow$ )である<sup>19, 20</sup>。このモデルを分子場近似に基づいて解析し、有限温度磁気相図を描きその相転移を議論する。

本稿の構成は次の通りである。まず第2節において、分子場近似により磁化、自由エネルギー等を導出する。第3節において一般化帯磁率を導出し、秩序-無秩序転移温度および臨界波数を求める。第4節において $S = 1$  拡張A3NNIモデルの磁気相図を描き、 $J_3 > 0$ のとき低温領域において $q = 1/3$ 相( $\uparrow\uparrow\downarrow$ )→反強磁性相( $\uparrow\downarrow$ )の相転移が現れることを明らかにした。最後の第5節では結果をまとめ今後の課題について述べる。

## 2. 分子場近似

$S = 1$  拡張A3NNIモデルのハミルトニアン((2)式)に対して分子場近似を用いると、分子場近似のハミルトニアン

$$H_{MF} = - \sum_j (S_i h_j + S_j^2 h_j^*) \\ + \frac{1}{2} \sum_i (\langle S_j \rangle h_j + 2 \langle S_j^2 \rangle h_j^*) \quad (3)$$

を得る。ここで、

$$h_j = J_0 \sum_{i(i \perp z)}^{n,n} \langle S_i \rangle - J_1 \sum_{i(i \parallel z)}^{n,n} \langle S_i \rangle + J_2 \sum_{i(i \parallel z)}^{n,n,n} \langle S_i \rangle \\ + J_3 \sum_{i(i \parallel z)}^{n,n} \langle S_i \rangle + J_{34} \sum_{i,k(i \parallel z)}^{n,n,n} \langle S_i \rangle \langle S_k^2 \rangle, \quad (4)$$

$$h_j^* = J_{34} \langle S_{j-1} \rangle \langle S_{j+1} \rangle. \quad (5)$$

(3)～(5)式より熱平均値  $\langle S_j \rangle$  および  $\langle S_j^2 \rangle$  はそれぞれ

$$\langle S_j \rangle = \frac{2 \exp(\beta h_j^*) \sinh \beta h_j}{1 + 2 \exp(\beta h_j^*) \cosh \beta h_j}, \quad (6)$$

$$\langle S_j^2 \rangle = \frac{2 \exp(\beta h_j^*) \cosh \beta h_j}{1 + 2 \exp(\beta h_j^*) \cosh \beta h_j}. \quad (7)$$

である。1スピン当たりの自由エネルギー  $F$  は、

$$F = \frac{1}{N} \sum_j [-T \log(1 + 2 \exp(\beta h_j^*) \cosh \beta h_j) \\ + \frac{1}{2} \langle S_j \rangle h_j + \langle S_j^2 \rangle h_j^*], \quad (8)$$

により与えられる。

$z$  軸方向（競合方向）のスピン配列は整合相を考える限りでは、 $N$  層ごとに周期的に同じ配列が繰り返し現れるため、(6)および(7)式は  $2N$  元連立方程式となる。周期的境界条件を満足する  $N$  個のスピンの配列には、独立な  $(N+1)/N$  ( $N$  : 奇数),  $(N+2)/N$  ( $N$  : 偶数) 種類が考えられ、それらのひとつひとつに対して最隣接層間の距離を単位とした波数ベクトルが定義される。拡張A3NNIモデルにおいては、層内に働く相互作用  $J_0$  は強磁性的であるので、同じ層内にあるスピンはすべて等しい熱平均値をとり波数ベクトルの  $x, y$  成分は常に 0 と考えられる。したがって、波数ベクトルの  $z$  成分が重要な意味を持つ。以下では、波数という場合波数ベクトルの  $z$  成分を表すものとする。

(6)および(7)式は様々な波数に対する解を持ち、その値は温度とともに変化するが逐次代入法によって自己無撞着的に数值解として求めることができる。各温度で実際に出現する安定なスピン配列は、このようにして求められた様々な波数に対する解のうち、(8)式で与えられる1スピン当たりの自由エネルギーを最低にするものとして決定される。

あらゆるスピン配列を考慮するためには、 $N$  を無限大にとらなくてはならないが、計算上の制約から、ここでは  $N$  の最大値を 17 とした。このとき、考えるべき独立なスピン配列は、 $k_z = 0$  の強磁性状態、 $k_z = \pi$  の反強磁性状態および  $1/17 \leq k_z / 2\pi < 1/2$  の

範囲にある変調構造および逆位相構造である。 $N$  の値をさらに大きくとることによって、より複雑なスピン配列を考慮に入れることができますが、そのようなスピン配列は極めて狭い温度領域において安定であり、磁気相図に大きな影響を及ぼさないため考察から除外した<sup>21)</sup>。

### 3. 一般化帯磁率

一般化帯磁率を導出し、 $S=1$  拡張A3NNIモデルの秩序-無秩序転移温度および臨界波数を計算する。常磁性状態に外部磁場  $H_j$  を加えるとき誘起される  $\langle S_j \rangle$  および  $\langle S_j^2 \rangle$  を 1 次の微少量まで求めると、

$$\langle S_j \rangle = a\beta(h_j - g\mu_B H_j), \quad (9)$$

$$\langle S_j^2 \rangle = a(1 + \beta h_j), \quad (10)$$

ここで  $g$  および  $\mu_B$  はそれぞれ  $g$  因子およびBohr磁子であり、 $H_j$  はサイト  $j$  にかかる外部磁場を表す。また、 $a = S(S+1)/3$  である。 $H_j$  および  $\langle S_j \rangle$  のフーリエ変換、

$$H_j = \sum_k H_k e^{ik \cdot r_j}, \quad (11)$$

$$\langle S_j \rangle = \sum_k \langle S_k \rangle e^{ik \cdot r_j}, \quad (12)$$

を導入し、ある特定のモードの外部磁場  $H_k$  に同調する  $\langle S_k \rangle$  を求めると、

$$\langle S_k \rangle = \frac{a}{T} [(J(\mathbf{k}) + a\tilde{f}(\mathbf{k})) \langle S_k \rangle - g\mu_B H_k], \quad (13)$$

ここで、

$$J(\mathbf{k}) = 2J_0(\cos k_x + \cos k_y) + 2J_1 \cos k_z \\ + 2J_2 \cos 2k_x + 2J_3 \cos 3k_x, \quad (14)$$

$$\tilde{f}(\mathbf{k}) = 2aJ_{34} \cos 2k_x, \quad (15)$$

である。ただし格子定数は 1 にとっている。上で述べたように、層内に働く相互作用  $J_0$  は強磁性的であるので、同じ層内にあるスピンはすべて等しい熱平均値をとり波数ベクトルの  $x, y$  成分は常に 0 と考えられ、以下では  $k_x = k_y$  とする。したがって、(14)式および(15)式は

$$J(k) = 4J_0 + 2J_1 \cos k + 2J_2 \cos 2k + 2J_3 \cos 3k, \quad (16)$$

$$\tilde{J}(k) = 2aJ_{34} \cos 2k, \quad (17)$$

となる。

波数  $k$  に依存した一般化帯磁率は、

$$\chi(k) = -\frac{Ng\mu_B \langle S_k \rangle}{H_k}, \quad (18)$$

により与えられ、(13) 式より

$$\chi(k) = \frac{C}{T - T(k)}. \quad (19)$$

ここで、

$$C = Na(g\mu_B)^2,$$

$$T(k) = a\{J(k) + a\tilde{J}(k)\}, \\ = 2a(J_0 + J_1 \cos k + J_2 \cos 2k \\ + J_3 \cos 3k + aJ_{34} \cos 2k)$$

したがって、 $T(k)$  を最小にする  $k$  が臨界波数  $k_c$  を与え、このときの  $T(k)$  の最小値  $T(k_c)$  が秩序-無秩序転移温度  $T_c$  を与える。

各相互作用の大きさを最隣接層間相互作用の大きさ  $|J_1|$  で規格化し、 $\kappa_0 = J_0/|J_1|$ 、 $\kappa_2 = J_2/|J_1|$ 、 $\kappa_3 = J_3/|J_1|$ 、 $\kappa_{34} = S^2 J_{34}/|J_1|$ 、 $\kappa = \kappa_2 + a\kappa_{34}$  とおく。反強磁性相、変調構造相および常磁性相の 3 相が共存するリフシツ点は

$$\kappa = \frac{1}{4}(9\kappa_3 - 1), \quad \frac{T_{LP}}{a|J_1|} = 2(1 + 2\kappa_0 - \kappa_3 + \kappa), \quad (20)$$

により与えられる。

#### 4. 有限温度磁気相図

$S = 1$  拡張A3NNIモデルの有限温度磁気相図を図-3 に示す。ここで、 $\kappa_2 = 0.0$  (a)、 $-0.1$  (b) および  $0.1$  (c) にとった。AF は反強磁性相、Para は常磁性相を表し、図中の分数は各相の波数  $q = k/2\pi$  を表している。以後、波数というときはこの  $q$  のことを示すこととする。磁気相図の MP1 および MP2 は変調構造相が縮退している 2 つのマルチフェイズ点を表している。これらの点の座標はそれぞれ

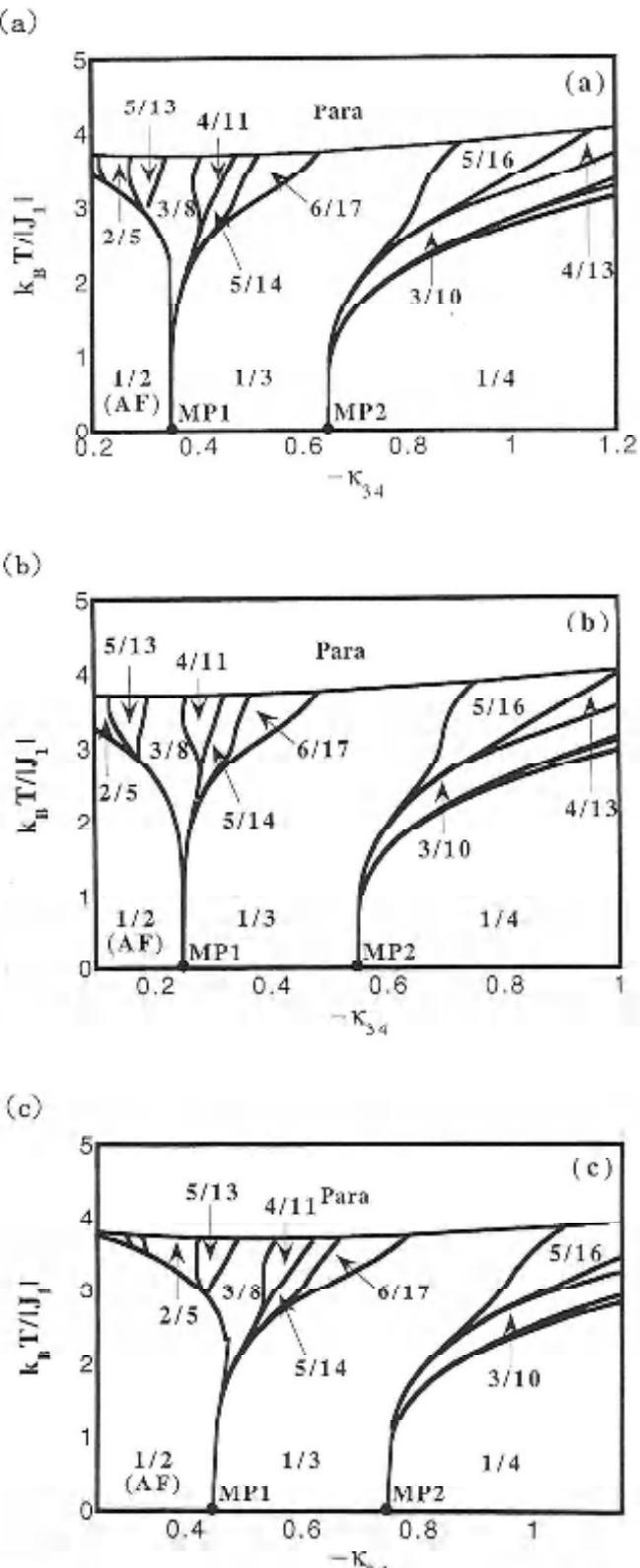


図-3 3-サイト 4-スピン相互作用を持つ  $S = 1$  A3NNI モデル ( $J_1 < 0$ ) の有限温度磁気相図。(a)  $\kappa_2 = 0.0$ 、(b)  $\kappa_2 = -0.1$  および (c)  $\kappa_2 = 0.1$ 。MP1 および MP2 は 2 つのマルチフェイズ点を表している。分数は  $z$  軸方向の変調構造の波数を表す。

$$MP1 : (-\kappa_{34}, T) = \left( \frac{1}{2} + \kappa_2 - \frac{3}{2} \kappa_3, 0 \right),$$

$$MP2 : (-\kappa_{34}, T) = \left( \frac{1}{2} + \kappa_2 + \frac{3}{2} \kappa_3, 0 \right),$$

によって与えられる。

拡張ANNNIモデルの場合と同様、磁気相図に現れている変調構造相の波数は通常のANNNIモデルと同じであり、相境界が3-サイト4-スピン相互作用の効果により変形している。図-3の相図の比較より、MP1より分岐している相境界は $\kappa_2$ の増加とともにMP1の右側へと移動することがわかる。一方、MP2より分岐している相境界は基本的にはMP2の左側へと移動しているが、 $q=1/4$ 相と $q=3/10$ 相間の相境界の $\kappa_2$ 依存性は他の相境界ほど顕著ではない。本研究で行った分子場近似による熱平均値 $\langle S_i \rangle$ および $\langle S_i^2 \rangle$ の数値計算からこの相境界の $\kappa_2$ 依存性に対する物理的説明は困難であるが、拡張ANNNIモデルの場合と同様各相のエントロピーが $\kappa_2$ に強く依存しており、その結果各相の自由エネルギーが $\kappa_2$ に強く依存し、相境界の $\kappa_2$ 依存性が現れると考えられる。この $\kappa_2$ 依存性についてはマルチフェイズ点近傍における自由エネルギーの解析を行う必要がある。

拡張ANNNIモデルの磁気相図において特に注目すべき点は、 $\kappa_2 > 0$ (図-3(c))の場合である。図-3(c)の $0.45 < -\kappa_{34} < 0.475$ の領域では、温度の上昇とともに $q=1/3$ 相( $\uparrow\uparrow\downarrow$ )→反強磁性相( $\uparrow\downarrow\downarrow$ )→変調構造相→常磁性相の逐次相転移が現れる。また図-4に示すように、 $\kappa_2$ の増加とともにこの相転移が現れる領域が拡がることがわかる。ここで、 $\Delta = -1/2 - \kappa_2 + 3\kappa_3/2 - \kappa_{34}$ である。この相転移は

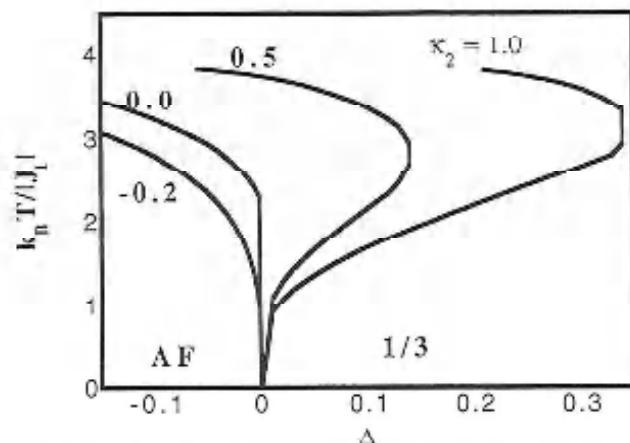


図-4 反強磁性(AF)相-q=1/3相( $\uparrow\uparrow\downarrow$ )境界線の $\kappa_2$ 依存性。ここで、 $\Delta = -1/2 - \kappa_2 + 3\kappa_3/2 - \kappa_{34}$ である。

$UNi_2Si_2$ において得られている中性子散乱の結果と定性的に一致している<sup>23)</sup>。 $UNi_2Si_2$ の磁気相転移はA3NNIモデルおよびその拡張モデルを用いて解析されてきたが、我々の調べた限りでは $q=1/3$ 相から反強磁性相への相転移が現れるモデルはこれまで存在しない<sup>24)-26)</sup>。我々の提案した3-サイト4-スピン相互作用を持つ拡張ANNNIモデルは $UNi_2Si_2$ の磁気相転移を説明できるモデルと考えられる。

通常3-サイト4-スピン相互作用のような高次のスピン間相互作用は比較的小さな相互作用として扱われる。 $UNi_2Si_2$ においては非常に大きな熱膨張を示すことが報告されており<sup>27)</sup>、磁歪効果の場合と同様にこの熱膨張をスピン演算子の形で考慮するときに高次のスピン間相互作用が現れる。熱膨張を考慮した上で $UNi_2Si_2$ の磁気相転移を議論するためには高次のスピン間相互作用の導入が不可欠となる。Mailhot et al.は最隣接層間の双2次交換相互作用を考慮したモデルの理論計算を行っているが、 $UNi_2Si_2$ の磁気相転移を再現できていない<sup>28)</sup>。したがって、 $UNi_2Si_2$ の磁気相転移においては3-サイト4-スピン相互作用が本質的な役割を担っていると考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、分子場近似に基づき3-サイト4-スピン相互作用を持つ $S=1$ 拡張ANNNIモデルの有限温度磁気相図を求めた。温度の上昇とともに $q=1/3$ 相( $\uparrow\uparrow\downarrow$ )→反強磁性相( $\uparrow\downarrow\downarrow$ )→変調構造相→常磁性相の $UNi_2Si_2$ における磁気相転移と一致する領域( $0.45 < -\kappa_{34} < 0.475$ )が $\kappa_2 > 0$ (図-3(c))の場合の磁気相図上に現れ。我々の提案した3-サイト4-スピン相互作用を持つ拡張ANNNIモデルは $UNi_2Si_2$ の磁気相転移を再現できることを示した。

$UNi_2Si_2$ に関しては磁場中および静水圧下における磁気相図も得られている<sup>29)</sup>。我々のモデルに基づいたこれらの磁気相図の解析は今後の課題である。マルチフェイズ点近傍における自由エネルギーの解析にもとづいた相境界の $\kappa_2$ 依存性に対する物理的説明を与えることは重要であり、現在計算を進めている。また、Monte Carlo法により分子場近似で得られた磁気相図の検証およびより定量的な解析も必要である。

## 参考文献

- 1) W.Selke, Phys.Rep.170, 213 (1988).
- 2) J.Yeomans, Solid State Physics 41, 151 (1988).
- 3) P.Bak and J.von Boehm, Phys.Rev. B21, 5297

- (1980).
- 4) C.S.O.Yokoi, M.D.Coutinho-Filho and S.R.Salinas, Phys.Rev. B24, 4047 (1981).
  - 5) W.Selke and M.Fisher, Phys.Rev.B20, 257 (1979).
  - 6) S.Render and H.E.Stanley, J. Phys.C :Solid State Phys. 10, 4765 (1977).
  - 7) J.Oitmaa, J. Phys.A :Math.Gen. 18, 365 (1985).
  - 8) M.Yamashita, Ferroelectrics 181, 201 (1996)
  - 9) T.Idogaki, K.Oda, Y.Muraoka and J.W.Tucker, J.Magn.Magn.Mater. 171, 83 (1997).
  - 10) J.L.Cadorin, C.S.O.Yokoi, Physica A248, 176 (1998).
  - 11) Y.Yamada and N.Hamaya, J.Phys.Soc.Jpn. 52, 3466 (1983).
  - 12) W.Selke, M.Barreto and J.Yeomans, J.Phys.C:Solid State Phys. 18, L393 (1985).
  - 13) M.Barreto and J.Yeomans, Physica A134, 84 (1985).
  - 14) M.Yamashita, Mol.Cryst.Liq.Cryet. 263, 93 (1995).
  - 15) T.Iwashita and N.Uryū, J. Phys.C :Solid State Phys. 17, 855 (1984).
  - 16) Y.Muraoka, M.Ochiai and T.Idogaki, J. Phys.A:Math.Gen. 27, 2675 (1994).
  - 17) Y.Muraoka, M.Ochiai and T.Idogaki, J. Magn. Magn. Mater. , 140-144, 1489 (1995).
  - 18) Y.Muraoka, M.Ochiai, T.Idogaki and N.Uryū, J. Phys.A:Math.Gen. 26, 1811 (1993).
  - 19) M.Kaburagi and J.Kanamori, Prog.Theor.Phys. 54, 30 (1975).
  - 20) Y.Muraoka, M.Kanemaru and T.Idogaki, J.Magn.Magn.Mater. 177-181, 773 (1998).
  - 21) J. von Boehm and P.Bak, Phys. Rev. Lett. 42, 122 (1982).
  - 22) H.Lin, L.Rebelsky, M.F.Collins, J.D.Garrett, W.J.J.Buyers, Phys.Rev.B43, 13232 (1991).
  - 23) A.Mailhot, M.L.Plumer, A.Caille, P.Azaria, Phys. Rev.B45, 10399 (1992).
  - 24) G.Quirion, F.S.Razavi, , M.L.Plumer, J.D.Garrett, Phys. Rev.B57, 5220 (1998).
  - 25) V.Massidda, J.Magn.Magn.Mater. 192, 505 (1999).
  - 26) F.Honda, Doctor thesis, Kumamoto University.

# カチオンおよびアニオン交換膜で仕切られた 三相系の膜透過に関する一考察

正留 隆・塚本祐右・松原顕\*\*

〈平成12年7月31日受理〉

A Study of Membrane Transport in the Three-phase System Separated by Cation- and Anion-Exchange Membranes

Takashi MASADOME, Yusuke TSUKAMOTO, and Akira MATSUBARA

## Summary

Using the three-phase system where three aqueous phases were separated by cation- and anion-exchange membranes arranged in series, the effect of arranging membranes in series was studied. Membrane potentials at zero membrane current were measured in the three-phase system as well as in the single-membrane system. The results showed that no differences in membrane potential at zero membrane current were detected between two systems. The overall membrane potential across both membranes in the three-phase system was simply the sum of membrane potential in each single-membrane system.

According to the theoretical consideration, the difference in membrane potential at zero membrane current between in the three-phase system and in the single-membrane system was attributed to the difference in transport number. The above results showed that transport numbers of ions across each membrane were little affected by arranging another membrane in series, so extra effect was not observed.

## 1. 緒言

カチオンおよびアニオン交換膜を直列または並列に配置した複合膜は、生体膜のモデルとして<sup>1-4)</sup>、また、海水の脱塩を目的として研究されてきた<sup>5-9)</sup>。複合膜については、KedemとKatchalskyによって導かれた理論があり<sup>5-7)</sup>、多くの研究者によって採用されてきたが、実験結果の解釈に必ずしも有用であるとは言い難い。他方、より実験と結びついた君塚らの理論は多くの膜現象に適用され、イオン透過性の解明に成果を上げてきた<sup>8-10)</sup>。

通常の直列複合膜では、2つの膜に挟まれた中間層の状態がはっきりしないという難点があり、直列複合膜のイオン透過性の解明を阻んできた。ここでは、カチオンおよびアニオン交換膜を直列に配置した三相系について基礎的な実験を行い、結果を君塚らの理論により検討することを試みた。

## 2. 理論

電解質水溶液はNaClの一塩系とし、また、單一膜系にも三相系にも同じ定電流Iが流れている場合を考える。

まず、Figure 1に示されている2つの單一膜系cおよびaを別々に考える。カチオン交換膜で仕切られた單一膜系cに関する電流式は次の通りである<sup>11)</sup>。

$$I = i_{\text{Na}}^c + i_{\text{Cl}}^c = -G_m^c(V^c - V_0^c) \quad (1)$$

ここで、 $G_m^c$ はカチオン交換膜の膜伝導度である。また、 $V^c$ および $V_0^c$ は、それぞれ膜電位および電流ゼロにおける膜電位であり次式で与えられる。

$$V^c = \phi^{\text{II}} - \phi^{\text{I}} \quad (2)$$

$$V_0^c = t_{\text{Na}}^c V_{\text{Na}}^c + t_{\text{Cl}}^c V_{\text{Cl}}^c \quad (3)$$

ここで、 $\phi^{\text{I}}$ と $\phi^{\text{II}}$ はI相とII相の電位であり、 $t_{\text{Na}}^c$ と $t_{\text{Cl}}^c$ は $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ イオンの輸率である。 $V_{\text{Na}}^c$ と $V_{\text{Cl}}^c$ は $\text{Na}^+$ イオンと $\text{Cl}^-$ イオンの平衡電位であり、次式で与えられる。

\*元有明高専一般教育科化学教室  
\*\*元九州大学理学部化学教室

$$V_{\text{Na}}^c = (RT/z_{\text{Na}}F) \ln \frac{a_{\text{Na}}^{\text{II}}}{a_{\text{Na}}^{\text{I}}}, \quad (4)$$

$$V_{\text{Cl}}^c = (RT/z_{\text{Cl}}F) \ln \frac{a_{\text{Cl}}^{\text{I}}}{a_{\text{Cl}}^{\text{II}}} \quad (5)$$

同様に、アニオン交換膜で仕切られた单一膜系 a に対する電流式は次式で表される。

$$I = I^a = i_{\text{Na}}^a + i_{\text{Cl}}^a = -G_m^a (V^a - V_0^a) \quad (6)$$

ここで、单一膜系 c の諸式に対応する式を列挙しておくと以下の通りである。

$$V^a = \phi^{\text{III}} - \phi^{\text{II}} \quad (7)$$

$$V_0^a = i_{\text{Na}}^a V_{\text{Na}}^a + i_{\text{Cl}}^a V_{\text{Cl}}^a \quad (8)$$

$$V_{\text{Na}}^a = (RT/z_{\text{Na}}F) \ln \frac{a_{\text{Na}}^{\text{III}}}{a_{\text{Na}}^{\text{II}}}, \quad (9)$$

$$V_{\text{Cl}}^a = (RT/z_{\text{Cl}}F) \ln \frac{a_{\text{Cl}}^{\text{III}}}{a_{\text{Cl}}^{\text{II}}} \quad (10)$$

Figure 1 には、2つの单一膜系から構成された三

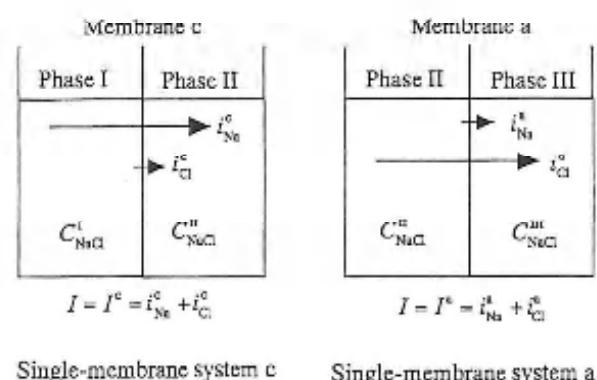


Figure 1. Illustrations for ion transport in the single-membrane system and in the three-phase system.

相系に、单一膜系の場合と同じ定電流  $I$  を流したときの図も示されている。三相系において、カチオンおよびアニオン交換膜を流れる電流は次式で与えられる。

$$I = I^c = i_{\text{Na}}^c + i_{\text{Cl}}^c = -\tilde{G}_m^c (\tilde{V}^c - \tilde{V}_0^c) \quad (11)$$

$$I = I^a = i_{\text{Na}}^a + i_{\text{Cl}}^a = -\tilde{G}_m^a (\tilde{V}^a - \tilde{V}_0^a) \quad (12)$$

ここで、单一膜系でも三相系でも全電流は同じである場合を考えているが、三相系の他の物理量には上付きの～を付して单一膜系と区別している。三相系の部分系 c と a についても対応する单一膜系の諸式と同形の式が成り立つが、ここでは電流ゼロにおける膜電位式のみ以下に示す。

$$\tilde{V}_0^c = i_{\text{Na}}^c V_{\text{Na}}^c + i_{\text{Cl}}^c V_{\text{Cl}}^c \quad (13)$$

$$\tilde{V}_0^a = i_{\text{Na}}^a V_{\text{Na}}^a + i_{\text{Cl}}^a V_{\text{Cl}}^a \quad (14)$$

(9) 式および (10) 式を  $-I/\tilde{G}_m^c = \tilde{V}^c - \tilde{V}_0^c$  および  $-I/\tilde{G}_m^a = \tilde{V}^a - \tilde{V}_0^a$  の形に書き直し、辺々を加えると、

$$I = -\tilde{G}_m (\tilde{V} - \tilde{V}_0) \quad (15)$$

となる。ここで、 $\tilde{V}$ 、 $\tilde{V}_0$  および  $\tilde{G}_m$  は、それぞれ直列複合膜の膜電位、電流ゼロにおける膜電位および膜伝導度であり、次のように通常の直列回路に対応する形の式で表すことができる。ただし、通電実験に際しては、電位および伝導度に対する水溶液の寄与を差し引かなければならない。

$$\tilde{V} = \tilde{V}^c + \tilde{V}^a = (\tilde{\phi}^{\text{II}} - \tilde{\phi}^{\text{I}}) + (\tilde{\phi}^{\text{III}} - \tilde{\phi}^{\text{II}}) - \tilde{\phi}^{\text{III}} - \tilde{\phi}^{\text{I}} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \tilde{V}_0 &= \tilde{V}_0^c + \tilde{V}_0^a \\ &= (i_{\text{Na}}^c V_{\text{Na}}^c + i_{\text{Cl}}^c V_{\text{Cl}}^c) + (i_{\text{Na}}^a V_{\text{Na}}^a + i_{\text{Cl}}^a V_{\text{Cl}}^a) \end{aligned} \quad (17)$$

$$1/\tilde{G}_m = 1/\tilde{G}_m^c + 1/\tilde{G}_m^a \quad (18)$$

### 3. 実験

三相系の電流ゼロにおける膜電位の測定装置を Fig. 2 に示す。まず、相 I と相 II の間にカチオン交換膜を、相 II と相 III の間にはアニオン交換膜を装着した。カチオンおよびアニオン交換膜としては、それぞれ Ionac 社製の MC-3470 および MA-3475 を用いた。各室には同じ種類の電解質溶液を入れ、その溶液に銀-塩化銀電極を浸した。相 I と相 II、相 II と相 III、相 I と相 III の間の電位差を銀-塩化銀電極を通じて電位差計 (Orion 社製 920A) で測定した。電位測定温度は、恒温槽により  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$  に保った。なお、電解質溶液としては、NaCl ならびに CaCl<sub>2</sub> 溶液を用いた。

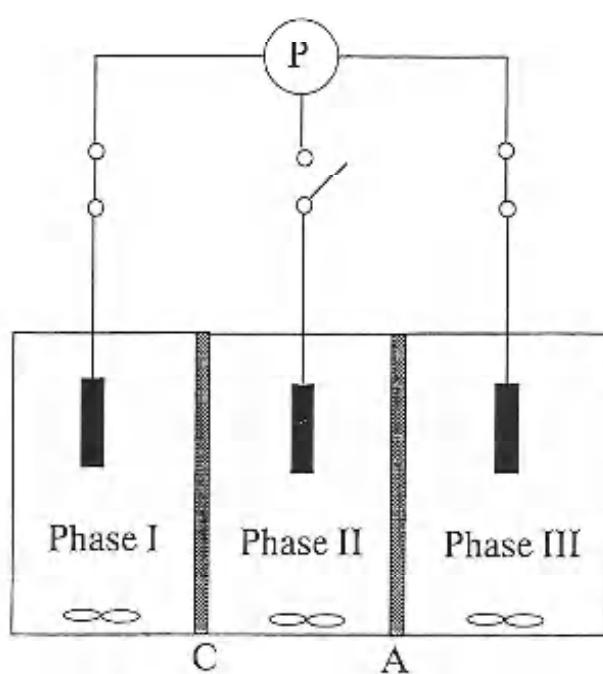


Figure 2. Schematic diagram of the cell used for the measurement of the membrane potential at zero current in the three-phase system.

C : cation-exchange membrane  
A : anion-exchange membrane

■ : Ag-AgCl electrode (P) : potentiometer

○○○ : magnetic stirrer

#### 4. 結果および考察

相IIの濃度を $10^{-2}$ mol/l、相IIIの濃度を $10^{-3}$ 、 $10^{-2}$ 及び $10^{-1}$ mol/lの3通りとし、相IIと相IIIの濃度の組み合わせに対して、相Iの濃度を $10^{-3}$ ～ $10^{-1}$ mol/lまで変化させたときの部分系aの電流ゼロにおける膜電位 $\bar{V}_0^a$ がTable 1に示されている。こ

の表には、単一膜系の膜電位 $V_0^c$ も示されているが、両者の値はほぼ等しく、それらはまたI-II相間の $\text{Na}^+$ イオンの平衡電位 $V_{\text{Na}}^c$ にほぼ等しい値を示した。また、III相の $\text{NaCl}$ 濃度を $10^{-3}$ または $10^{-1}$ mol/lと変化させても $\bar{V}_0^a$ の値はほとんど変化しなかった。また、相IIの濃度を $10^{-2}$ mol/l、相Iの濃度を $10^{-3}$ 、 $10^{-2}$ 及び $10^{-1}$ mol/lの3通りとし、相IIと相Iの濃度の組み合わせに対して、相IIIの濃度を $10^{-3}$ ～ $10^{-1}$ mol/lまで変化させたときの部分系aの電流ゼロにおける膜電位 $\bar{V}_0^a$ の値がTable 2に示されている。この表には、単一膜系の膜電位 $V_0^a$ も示されているが、両者の値はほぼ等しく、それらはまたII-III相間の $\text{Cl}^-$ イオンの平衡電位 $V_{\text{Cl}}^a$ にほぼ等しい値を示した。また、I相の $\text{NaCl}$ 濃度を $10^{-3}$ または $10^{-1}$ mol/lと変化させても $\bar{V}_0^a$ の値はほとんど変化しなかった。Table 3には、直列複合膜の電流ゼロにおける膜電位 $\bar{V}_0$ が示されているが、 $\bar{V}_0$ は $V_0^c$ と $V_0^a$ の単なる和に、それはまた $V_{\text{Na}}^c$ と $V_{\text{Cl}}^a$ の単なる和にほぼ等しい値を示した。したがって、電流ゼロの膜電位に関する限り、膜を直列に複合した効果は認められなかった。 $\text{CaCl}_2$ についても同様な結果が得られた。

上の結果を理論式で検討してみよう。(3)式と(11)式および(7)式と(12)式を比較すると、電流ゼロにおける膜電位の単一膜系と三相系の部分系における違いは輸率の違いとして表されている。上の実験結果は、 $t_{\text{Na}}^c \approx t_{\text{Na}}^a \approx 1$  および  $t_{\text{Cl}}^c \approx t_{\text{Cl}}^a \approx 1$  であることを示している。その結果、

$$V_0^c \approx \bar{V}_0^c \approx V_{\text{Na}}^c, V_0^a \approx \bar{V}_0^a \approx V_{\text{Na}}^a \quad (17)$$

となり、三相系の部分系aおよびaの電流ゼロにおける膜電位は、それぞれI-II相間の $\text{Na}^+$ イオンの平衡電位 $V_{\text{Na}}^c$ およびII-III相間の $\text{Cl}^-$ イオンの平衡電位 $V_{\text{Cl}}^a$ で表される。さらに、(15)式より

Table 1 Membrane potentials at zero current in the single-membrane system c and in the subsystem a of the three-phase system ( $C_{\text{NaCl}}^{\text{II}} = 10^{-2}$  mol/l)

$C_{\text{NaCl}}^{\text{I}}$ /mol/l	Membrane potential at zero current/mV		Equilibrium potential/mV	
	$V_0^c$	$\bar{V}_0^c$	$V_{\text{Na}}^c$	$V_{\text{Na}}^c$
	$C_{\text{NaCl}}^{\text{III}} = 10^{-3}$ mol/l	$C_{\text{NaCl}}^{\text{II}} = 10^{-1}$ mol/l		
$1 \times 10^{-3}$	54.4	55.2	55.5	57.4
$2 \times 10^{-3}$	37.9	38.7	40.3	40.0
$5 \times 10^{-3}$	15.0	16.3	17.7	17.1
$1 \times 10^{-2}$	-1.0	-0.9	-0.8	0.0
$2 \times 10^{-2}$	-18.8	-17.8	-16.2	-17.0
$5 \times 10^{-2}$	-40.6	-39.7	-38.1	-38.9
$1 \times 10^{-1}$	-55.7	-55.7	-55.5	-55.3

Table 2 Membrane potentials at zero current in the single-membrane system c and in the subsystem c of the three-phase system ( $C_{\text{NaCl}}^{\text{II}} = 10^{-2} \text{ mol/l}$ )

$C_{\text{NaCl}}^{\text{III}}/\text{mol/l}$	Membrane potential at zero current/mV		Equilibrium potential/mV	
	$V_0^{\text{a}}$	$\tilde{V}_0^{\text{a}}$	$V_{\text{Cl}}^{\text{a}}$	$V_{\text{Cl}}^{\text{a}}$
	$C_{\text{NaCl}}^{\text{I}} = 10^{-3} \text{ mol/l}$	$C_{\text{NaCl}}^{\text{I}} = 10^{-1} \text{ mol/l}$		
$1 \times 10^{-3}$	56.1	56.5	56.5	57.3
$2 \times 10^{-3}$	38.8	39.0	39.0	39.9
$5 \times 10^{-3}$	16.0	16.1	16.1	17.0
$1 \times 10^{-2}$	-0.9	-0.9	-0.9	0.0
$2 \times 10^{-2}$	-17.3	-17.4	-17.5	-16.8
$5 \times 10^{-2}$	-38.2	-38.6	-38.6	-38.6
$1 \times 10^{-1}$	-56.0	-53.8	-54.0	-54.6

Table 3 Comparison between  $\tilde{V}_0$  and  $V_0^{\text{c}} + V_0^{\text{a}}$  ( $C_{\text{NaCl}}^{\text{III}} = 10^{-1} \text{ mol/l}$ )

$C_{\text{NaCl}}^{\text{I}}/\text{mol/l}$	Membrane potential at zero current/mV			Equilibrium potential/mV	
	$V_0^{\text{c}}$	$V_0^{\text{a}}$	$V_0^{\text{c}} + V_0^{\text{a}}$	$\tilde{V}_0$	$V_{\text{Na}}^{\text{c}} + V_{\text{Cl}}^{\text{a}}$
$1 \times 10^{-3}$	55.5	-54.5	1.0	2.1	2.8
$2 \times 10^{-3}$	40.3	-54.5	-14.2	-13.0	-14.6
$5 \times 10^{-3}$	17.7	-54.5	-36.8	-35.8	-37.5
$1 \times 10^{-2}$	-0.8	-54.5	-55.3	-54.3	-54.6
$2 \times 10^{-2}$	-16.2	-54.5	-70.7	-69.6	-71.6
$5 \times 10^{-2}$	-38.1	-54.5	-92.6	-91.5	-93.5
$1 \times 10^{-1}$	-55.5	-54.5	-110.0	-109.0	-109.9

$$\tilde{V}_0 = \tilde{V}_0^{\text{c}} + \tilde{V}_0^{\text{a}} \approx V_0^{\text{c}} + V_0^{\text{a}} \approx V_{\text{Na}}^{\text{c}} + V_{\text{Cl}}^{\text{a}} \quad (18)$$

となり、直列複合膜の電流ゼロにおける膜電位も  $V_{\text{Na}}^{\text{c}}$  と  $V_{\text{Cl}}^{\text{a}}$  の単なる和として表される。その原因は、三相系におけるカチオンおよびアニオン交換膜の輸率が單一膜系の場合とはほぼ等しく、かつほぼ理想的なカチオンおよびアニオン選択性を保持していることにある。

## 5. 結論

カチオンおよびアニオン交換膜によって仕切られた三相系において、電流ゼロにおける膜電位を測定した。この系では、直列複合膜の電流ゼロにおける膜電位は、カチオンおよびアニオン交換膜の単一膜系の電流ゼロにおける膜電位の単なる和として表され、膜を直列複合した効果は認められなかった。

## 参考文献

- R. Neihof and K. Sollner, J. Phys. Chem., 54, 157 (1950).
- R. Neihof and K. Sollner, J. Gen. Physiol., 38, 613 (1954).
- T. Winnicki, G. Blazejewska, and A. Mika-Gibala, Desalination, 32, 77 (1980).
- J. N. Weinstein and S. R. Caplan, Science, 161, 70 (1968).
- O. Kedem and A. Katchalsky, Trans. Faraday Soc., 59, 1918 (1963).
- O. Kedem and A. Katchalsky, Trans. Faraday Soc., 59, 1931 (1963).
- O. Kedem and A. Katchalsky, Trans. Faraday Soc., 59, 1941 (1963).
- H. Kimizuka and K. Kaibara, J. Colloid Interface Sci., 52, 561 (1975).
- H. Kimizuka, K. Kaibara, E. Kumamoto, and M. Shirozu, J. Memb. Sci., 4, 81 (1978).
- A. Matsubara, F. Komada, and H. Kimizuka, Bull. Chem. Soc. Jpn., 67, 1565 (1994).

# 可塑化ポリ塩化ビニル膜型電極を指示電極とする 酸塩基電位差滴定

正留 隆

〈平成12年7月31日受理〉

Potentiometric Acid-base Titration Using a Plasticized Poly(vinyl chloride) Membrane Electrode with no Added Ion-Exchanger as an Indicator Electrode

Takashi MASADOME

The potential response of an electrode based on an *o*-nitrophenyl octyl ether (*o*-NPOE)-plasticized poly(vinyl chloride) (PVC) membrane with no added ion-exchanger to pH was examined in detail. The electrode shows sub-Nernstian response (ca. 30mV/decade) to  $\text{OH}^-$  ion in the pH range from 6.5 to 10.0. Furthermore, the potentiometric acid-base titration using a plasticized poly(vinyl chloride) membrane electrode with no added ion-exchanger as an indicator electrode was examined. The end-point is detected as a sharp potential change due to an increase in the concentration of  $\text{OH}^-$  ion or  $\text{H}^+$  ion. The potential jump at the end-point was as large as 100mV for the titrations of 0.1 M HCl or 0.025 M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  solution with 0.1 M NaOH standard solution, respectively.

The end-point obtained by the plasticized PVC membrane electrode coincides with that by the conventional glass electrode within ca. 2% of the titration error. Phosphoric acid solution could be determined by the titration with 0.1 M NaOH standard solution using the plasticized PVC membrane indicator electrode.

## 1. 緒言

感応膜にイオン交換体を加えていない可塑化ポリ塩化ビニル(PVC)膜型電極は、イオン交換体を含むPVC膜を感応膜とする電極に比べて、イオン交換体の水溶液中への溶出による感応膜の劣化は起こらないので、その電極の寿命は長いと予測される。しかしながら、従来の可塑化PVC膜型電極の研究では電極の主に疎水性陽イオンや陽イオン性界面活性剤に対する応答性を検討しているが、その他のイオン種に対する応答、とくに陰イオン性界面活性剤に対する応答の検討はほとんどなされていない。著者らは、この種の電極の界面活性剤イオンに対する応答性と電極感応膜組成(可塑剤の種類と高分子支持体)との関係について詳しく検討したところ、*o*-ニトロフェニルオクチルエーテル(*o*-NPOE)で可塑化したPVC膜型電極が陽イオン性界面活性剤、陰イオン性界面活性剤並びにテトラフルオロホウ酸イオンにも良好に応答することを見いだした<sup>1-3)</sup>。この電極は予測と一致して、電極の電位の安定性や寿命の点で十分実用性の高い基本的特性

を持っており、さらに、同電極が下水や河川水などの環境水中の陰イオン性界面活性剤の定量に適用できることが分かった<sup>4)</sup>。

著者らは、同電極の陰イオン性界面活性剤に対する電位応答に及ぼすpHの影響も検討した<sup>5)</sup>。その結果、陰イオン性界面活性剤の濃度が $10^{-5}$ 及び $10^{-4}$  Mの場合、イオン電極の電位は塩基性領域で低下することがわかった。この電位の低下は、電極が  $\text{OH}^-$ イオンの妨害を受けていること、すなわち電極が  $\text{OH}^-$ に対し応答していることを示唆している。

そこで本研究では、この電極のpHに対する応答性を詳細に検討すると共に、この電極を酸塩基滴定の指示電極へ応用した。その結果、この電極は酸塩基滴定の指示電極として有効であったので報告する。

## 2. 実験

### 2. 1 試薬

可塑剤である*o*-NPOEは同仁化学研究所製を用いた。PVCは和光純薬工業(重合度1100)を用いた。

その他の試薬は市販特級を用いた。

## 2. 2 PVC 膜の作製

1.0g の *o*-NPOE と 0.4g の PVC 粉末をテトラヒドロフラン (THF) 10ml に溶解し、その溶液を直径 6.8cm の平底ガラス皿中に流し込み、48 時間以上放置し、THF を揮散させることによって膜厚約 0.2mm の PVC 膜を得た。

## 2. 3 電極電位の測定

作製した PVC 膜から直径 0.4cm の円形に膜を切り取り、その一つを電気化学計器社製の電極胴体に PVC の THF 溶液を接着剤としてはりつけ、電極を作製した。この電極の pH に対する応答の検討並びにこの電極を酸塩基滴定の指示電極へ応用するために、以下の電池系を構成しその電極電位を室温でかくはんしながらイオンメーター（電気化学計器 COM-20R）を用いて測定した。なお、溶液の pH は堿場製作所製 pH 電極と同所製 pH メーターを用いて測定した。

(-) Ag/AgCl/satd. KCl/1 M CH<sub>3</sub>COOLi/  
sample solution/PVC membrane/  
inner solution/AgCl/Ag (+)

## 3. 結果及び考察

### 3. 1 可塑化 PVC 膜型電極の pH に対する応答性

*o*-NPOE 可塑化 PVC 膜型電極の電極電位の pH 依存性を Fig. 1 に示した。ここで試料溶液のイオン強度は塩化ナトリウム溶液で 0.1 とし、試料溶液の pH を少量の塩酸溶液あるいは水酸化ナトリウム溶液で変化させて電極電位を測定した。Fig. 1 からわかるように、0.1 M 塩化ナトリウム中であるにもかかわらず、この電極はネルンスト的応答感度よりやや感度が低いが、6.5~10 の pH 範囲で 30mV/pH の応答感度を示した。一方、pH 6 以下の酸性側では pH に対する応答感度は約 15mV/pH であり、pH が 6.5 から 10 の場合の約 1/2 であった。すなわち、本電極は OH イオンに対して高い選択性をもっていることが確かめられた。強酸-強塩基の滴定の終点での pH は約 7 で、弱酸-強塩基滴定の終点での pH は 8~9 程度である。既に述べたように、本電極は、pH 6.5~10 の pH 範囲が最も応答感度が良い領域であるので、強酸-強塩基滴定、弱酸-強塩基滴定の指示電極への適用が可能と考えられる。

*o*-NPOE 以外の可塑剤については、Higuchi らがフタル酸ジオクチル (DOP) で可塑化した PVC 膜型

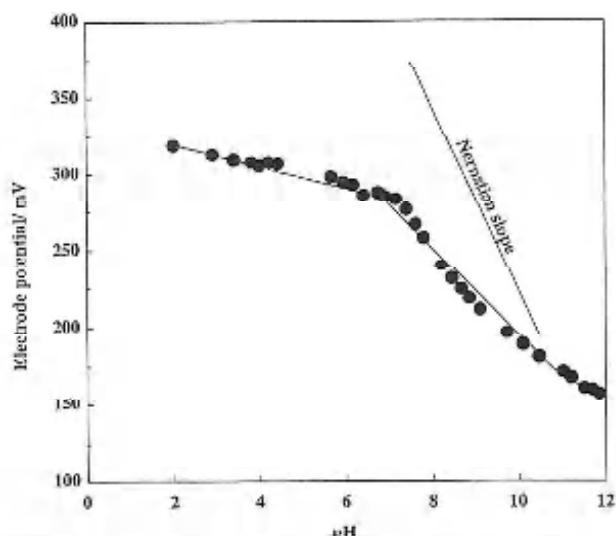


Figure 1 Potential response of the plasticized poly (vinyl chloride) membrane electrode to pH.

電極を作製している<sup>13</sup>。彼らは、この電極が  $10^{-5}$ ~ $10^{-4}$  M の塩酸溶液に対して 40mV/decade の応答感度を、 $10^{-3}$ ~ $10^{-1}$  M 塩酸溶液に対して傾き 27mV/decade の応答感度を示すことを報告している。この電極は、本研究の *o*-NPOE 可塑化 PVC 膜型電極と異なり酸性領域で感度がよい。しかしながら、強酸-強塩基あるいは弱酸-強塩基滴定の終点の pH 領域での DOP 可塑化 PVC 膜型電極の感度は低いので、DOP 可塑化 PVC 膜型電極は、酸塩基滴定の指示電極には適していないものと推定される。

### 3. 2 可塑化 PVC 膜型電極を指示電極とする酸塩基滴定

*o*-NPOE 可塑化 PVC 膜型電極を指示電極として用い、0.1 M 塩酸溶液を 0.1 M 水酸化ナトリウム溶液で滴定した場合の滴定曲線を Fig. 2 に、0.025 M 酢酸と 0.1 M 塩化ナトリウムの混合溶液を 0.1 M 水酸化ナトリウム溶液で滴定した場合の滴定曲線を Fig. 3 にそれぞれ示す。併せて、通常の pH 電極を用いて電位差滴定を行った結果も示した。Fig. 2 及び 3 からわかるように、可塑化 PVC 膜型電極を指示電極として用いた場合の滴定終点での電位変化は 100mV 程度であり、著者らが既に報告した同電極を用いた四級アンモニウムイオンの電位差滴定の終点における電位変化<sup>13</sup>よりもやや小さいが、終点を判定するのに十分な電位変化であった。また、可塑化 PVC 膜型電極を用いて得られた終点と通常の pH 電極を用いて得られた終点はほぼ一致している。さらに、本電極を指示電極としリン酸溶液の水酸化ナトリウム溶液による滴定

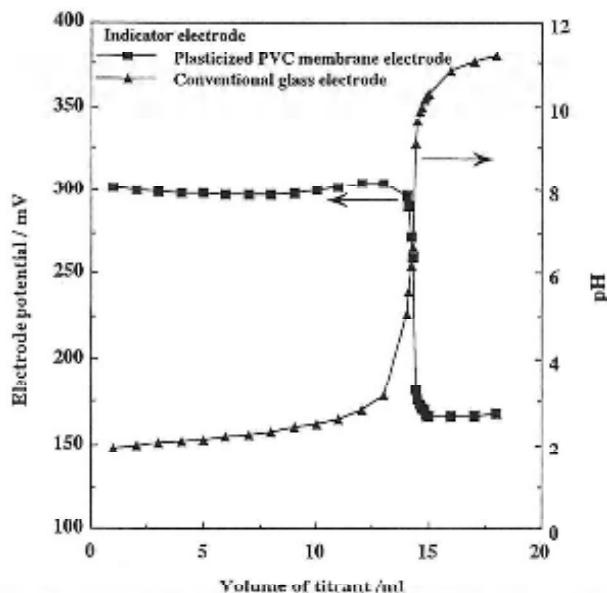


Figure 2 Potentiometric titration curves for the titration of HCl solution with 0.1M NaOH standard solution obtained by using the plasticized PVC membrane electrode and conventional glass electrode.

Sample: 0.1M HCl solution containing 0.1M NaCl (100ml)

Titrant: 0.1M NaOH standard solution ( $f=0.730$ )

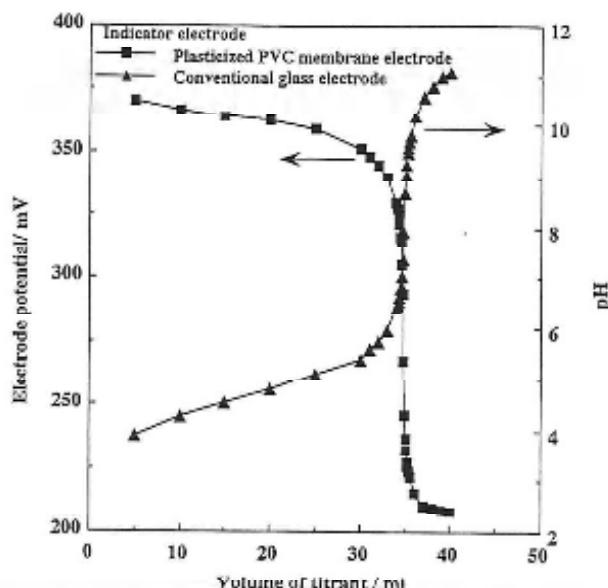


Figure 3 Potentiometric titration curves for the titration of acetic acid solution with 0.1M NaOH standard solution obtained by using the plasticized PVC membrane electrode and conventional glass electrode.

Sample: 0.025M CH<sub>3</sub>COOH solution containing 0.1M NaCl (100ml)

Titrant: 0.1M NaOH standard solution ( $f=0.730$ )

を検討したところ、第一当量点及び第二当量点で明瞭な電位変化が認められた。なお、本電極を指示電極として用いることによって、水酸化ナトリウム溶液の塩酸、酢酸、リン酸溶液による逆滴定も可能であることを確認している。以上、著者らが開発した可塑化PVC膜型界面活性剤イオン電極は酸塩基滴定の指示電極としても有効であり、さらに白金線をo-NPOE可塑化PVC膜で被覆したいわゆる被覆線型電極<sup>11</sup>も容易に作製可能であることから、本電極は学生実験への適用も可能であると考えられる。

## 文 献

- 1) N. Ishibashi, T. Masadome, and T. Imato, Anal. Sci., 2, 487 (1986).
- 2) T. Masadome, T. Imato, and N. Ishibashi, Anal. Sci., 3, 121 (1987).
- 3) 正留 隆, 今任稔彦, 石橋信彦: 分析化学, 36, 508 (1987).
- 4) 正留 隆, 九州大学博士論文 (1993).
- 5) T. Higuchi, C. R. Illian, and J. L. Tossounian, Anal. Chem., 42, 1674 (1970).
- 6) 鈴木周一編, イオン電極と酵素電極, 講談社サイエンティフィック, 講談社 (1981).



# 数値解析に関する演習問題の一つのアイデア

山下 岩・木村剛三\*

〈平成12年9月29日受理〉

An Idea on the Example for Exercises in Numerical Analysis

Iwao YAMASHITA and Gozo KIMURA

In the education of computer science and applied mathematics at our school, numerical analysis has been treated as an important item. It is more proper to solve many problems with the lecture for numerical analysis in order to master a numerical technique.

Therefore, we have devised a new method on several problems for the ordinary differential equation. Because they are suitable exercises on applied mathematics and computer science in 4 and 5 grade at our school, we report two examples for the advanced ordinary differential equation.

## § 1. はじめに

高専数学をマスターして、その応用として本校4学年時に応用数学の中で数値解析が従来実施されていたが、カリキュラムの見直しがされて、応用数学でできない部分を情報処理の中でやるという工夫がなされてきた。また、最近は、高専向けの応用数学の内容<sup>1), 2)</sup>に数値解析は除かれている。そのような状況の中で、いきおい内容は基礎的な部分の教育に時間が占有されてレベルをあげた応用までは手が届かない、じっくり考えさせ、応用数学本来の目的とする理論解析まで踏み込んだ内容が取り扱えないという状況を多少なりとも補完できる問題事例を作り、情報処理以外の時間、例えば土工実験、上級の応用情報処理演習あるいは卒業研究のセミナなどの課題として利用すれば効果的かと判断してここに報告する。

課題は2例作成し、「河川を横断する船の航跡解析問題」、「目的物を追尾する飛翔体の追跡経路問題」の課題テーマで、以下それぞれ別々に説明する。

## § 2. 河川を横断する船の航跡解析問題

### 2. 1 問題設定

船で川を渡るとき、一般に船首を川上の方に向けながら、言い換えれば船の進路が川に直角になるようにして進めるだろう。

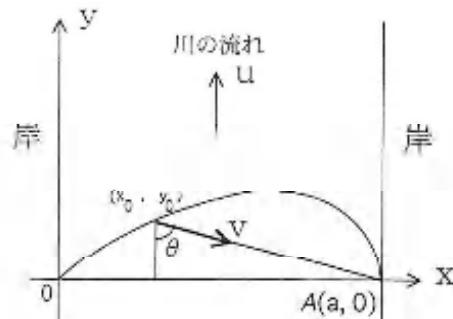


図1 予想される航跡

ここでは、対岸の目的地  $A(a, 0)$  を指向しながら進めるとどのような航跡を描くかを考える。

### 2. 2 定式化と解

#### 2. 2. 1 船の出発点が原点以外の場合

川は川幅  $a$ 、流速  $u$  一定、断面一様なものとし  $x=0, x=a$  を両岸とし、船は点  $(x_0, y_0)$  を出発し、一定速度  $v$  ( $0 < u < v$ ) で対岸の  $A(a, 0)$  に向かうものとする(図1)。また  $PA$  が  $y$  軸の負の方向となす角を  $\theta$  とすれば

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= v \sin \theta \\ \frac{dy}{dt} &= u - v \cos \theta \\ \tan \theta &= \frac{a-x}{y} \end{aligned} \quad (2.1)$$

が成り立つ。上の2式から

$$\frac{dy}{dx} = \frac{u-v\cos\theta}{v\sin\theta} = \frac{u}{v} \frac{\sqrt{1+\tan^2\theta}}{\tan\theta} - \frac{1}{\tan\theta} \quad (2.2)$$

$$\text{ここで, } y = \frac{a-x}{\tan\theta} = (a-x)Y \quad (2.3)$$

とおけば (2.2) を用いて,

$$\frac{dy}{dx} = Y + (a-x) \frac{dY}{dx} = -Y + \frac{u}{v} \sqrt{Y^2+1} \quad (2.4)$$

$$\therefore \frac{dY}{\sqrt{Y^2+1}} = \frac{u}{v} \frac{dx}{a-x} \quad (2.5)$$

積分して

$$\log(Y + \sqrt{Y^2+1}) = -\frac{u}{v} \log(a-x) + \log c \quad (2.6)$$

$c$  は積分定数。

$$\left\{ \frac{y}{a-x} + \sqrt{\left(\frac{y}{a-x}\right)^2 + 1} \right\} (a-x)^{\frac{u}{v}} = c \quad (2.7)$$

あるいは

$$\left\{ y + \sqrt{y^2 + (a-x)^2} \right\} (a-x)^{\frac{u}{v}-1} = c \quad (2.8)$$

ここで,  $x=x_0$ ,  $y=y_0$  のとき,  $c=c_0$  とすれば

$$c_0 = \left\{ y_0 + \sqrt{y_0^2 + (a-x_0)^2} \right\} (a-x_0)^{\frac{u}{v}-1} \quad (2.9)$$

また (2.8) から

$$y + \sqrt{y^2 + (a-x)^2} = c_0 (a-x)^{-\frac{u}{v}+1}$$

について解けば,

$$y = \frac{c_0}{2} (a-x)^{-\frac{u}{v}+1} - \frac{1}{2c_0} (a-x)^{\frac{u}{v}+1} \quad (2.10)$$

ここで,  $x=a$  とおけば  $y=0$  となり  $c_0$  の如何に関わらず  $A(a, 0)$  を通る。つぎに, (2.10) を  $x$  で微分すれば,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{c_0}{2} \left( \frac{u}{v} - 1 \right) (a-x)^{-\frac{u}{v}} + \frac{1}{2c_0} \left( \frac{u}{v} + 1 \right) (a-x)^{\frac{u}{v}} \quad (2.11)$$

## 2.2.2 船の出発点が原点の場合

(2.9) で  $x_0=0$ ,  $y_0=0$  とおけば

$$c_0 = a \cdot a^{-\frac{u}{v}-1} - a^{\frac{u}{v}} \quad (2.12)$$

ゆえに (2.10) は

$$y = \frac{1}{2} (a-x) \left\{ \left( \frac{a}{a-x} \right)^{\frac{u}{v}} - \left( 1 - \frac{x}{a} \right)^{\frac{u}{v}} \right\} \quad (2.13)$$

$x$  で微分すれば,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2v} \left\{ (u-v) \left( \frac{a}{a-x} \right)^{\frac{u}{v}} + (u+v) \left( 1 - \frac{x}{a} \right)^{\frac{u}{v}} \right\} \quad (2.14)$$

$$x=0 \text{ とおけば } \frac{dy}{dx} = \frac{u}{v}$$

$x=a$  では

$$\lim_{x \rightarrow a^-} \frac{a}{a-x} = \infty, u-v < 0 \text{ なので, (2.14) の } \{ \}$$

内第1項は  $-\infty$  に発散する。第2項は  $x=a$  で 0 になるので,  $a$  点における接線は  $y$  軸に平行となる。

次に極大点を求めるため (2.14) を 0 とおいて

$$x=a \left\{ 1 - \left( \frac{v-u}{v+u} \right)^{\frac{v}{2u}} \right\} \quad (2.15)$$

そのときの極大値  $y_{\max}$  は (2.13) に代入して

$$y_{\max} = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{v-u}{v+u} \right)^{\frac{v-u}{2u}} - \left( \frac{v+u}{v-u} \right)^{\frac{v+u}{2u}} \right\} a \quad (2.16)$$

## 2.2.3 渡りに要する時間

渡りに要する時間  $T$  を求めてみよう。 (2.1) から

$$\frac{dx}{\sin\theta} = v dt$$

すなわち

$$\int_0^a \frac{dx}{\sin\theta} = \int_0^T v dt = vT \quad (2.17)$$

$$\therefore T = \frac{1}{v} \int_0^a \frac{dx}{\sin\theta} \quad (2.18)$$

$$\text{ここで, } \sin\theta = \frac{\tan\theta}{\sqrt{1+\tan^2\theta}}, \tan\theta = \frac{a-x}{y} \text{ から}$$

$$\frac{1}{\sin\theta} = \frac{\sqrt{y^2 + (a-x)^2}}{a-x} \quad (2.19)$$

さらに, (2.13) を代入して

$$\frac{1}{\sin\theta} = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{a}{a-x} \right)^{\frac{u}{v}} + \left( 1 - \frac{x}{a} \right)^{\frac{u}{v}} \right\} \quad (2.20)$$

$$\therefore T = \frac{1}{2v} \int_0^a \left\{ \left( \frac{a}{a-x} \right)^{\frac{u}{v}} + \left( 1 - \frac{x}{a} \right)^{\frac{u}{v}} \right\} dx$$

$$= \frac{a}{2} \left\{ \frac{1}{v-u} + \frac{1}{v+u} \right\} = \frac{av}{v^2 - u^2} \quad (2.21)$$

## 2.2.4 航跡の長さ $L$

航跡の長さ  $L$  を考える。

$$L = L_0 = \int_0^a \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (2.22)$$

ここで、

$$\begin{aligned} 1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 &= 1 + \left[ \frac{1}{2v} \left\{ (u-v) \left(\frac{a}{a-x}\right)^{\frac{u}{v}} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (u+v) \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}} \right\} \right]^2 \\ &- 1 + \frac{1}{4v^2} \left\{ (u-v)^2 \left(\frac{a}{a-x}\right)^{\frac{2u}{v}} \right. \\ &\quad \left. + 2(u^2-v^2) + (u+v)^2 \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{\frac{2u}{v}} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore L_0 &= \int_0^a \left[ 1 + \frac{1}{4v^2} \left\{ (u-v)^2 \left(\frac{a}{a-x}\right)^{\frac{2u}{v}} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + 2(u^2-v^2) + (u+v)^2 \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{\frac{2u}{v}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} dx \end{aligned} \quad (2.23)$$

この積分は、簡単にできそうにない。このような場合、シンプソンの方法による数値積分が一般的だと思われるが  $x=a$  における  $a/(a-x)$  の処理が面倒であろう。

そこで、近似計算として、 $0 \leq x \leq a$  を  $2n$  等分

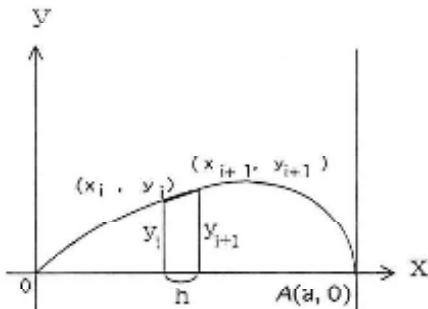


図2 航跡の折れ線近似

し、そのときの  $(x, y)$  を  $(x_i, y_i)$  ( $i=0, 1, 2, \dots, 2n$ ) (図2参照) で表わせば航跡の長さとして、

$$L_1 = \sum_{i=0}^{2n-1} \sqrt{h^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (2.24)$$

が得られる。ここに、 $h = a/2n$  である。

つぎに、折れ線では精度が不十分とする人のため、シンプソンの方法に倣って、3点づつとて放物線で近似することを考える。前と同じように、

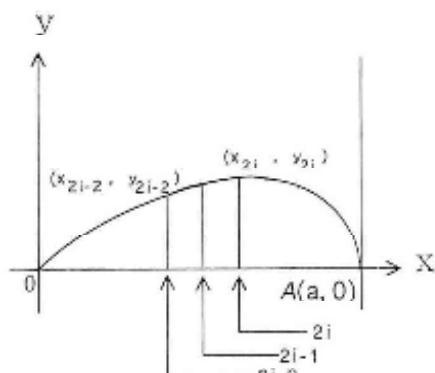


図3 3点を通る放物線近似

$0 \leq x \leq a$  を  $2n$  等分し、 $h = a/2n$  とする。3点  $(x_{2i-2}, y_{2i-2})$ ,  $(x_{2i-1}, y_{2i-1})$ ,  $(x_{2i}, y_{2i})$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) (図3参照) を通る弧の長さを求める。平行移動によつてグラフは形、大きさを変えないから、

$$\begin{aligned} (x_{2i-2}, y_{2i-2}) &\rightarrow (-h, y_{2i-2}) \\ (x_{2i-1}, y_{2i-1}) &\rightarrow (0, y_{2i-1}) \\ (x_{2i}, y_{2i}) &\rightarrow (h, y_{2i}) \end{aligned}$$

とし、この3点を通る放物線を

$$y = ax^2 + bx + c \quad (2.25)$$

とすれば、弧の長さ  $l_i$  は

$$l_i = \int_{-h}^h \sqrt{1 + (2ax+b)^2} dx \quad (2.26)$$

となる。

$2ax+b=t$  とおけば

$$dx = \frac{dt}{2a}, \quad (x=-h, t=-2ah+b=\alpha),$$

$$(x=h, t=2ah+b=\beta)$$

とすれば、

$$\begin{aligned} l_i &= \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{1+t^2} \frac{dt}{2a} \\ &= \frac{1}{4a} \left\{ \beta(\beta^2+1) + \log(\beta + \sqrt{\beta^2+1}) \right. \\ &\quad \left. - \alpha(\alpha^2+1) - \log(\alpha + \sqrt{\alpha^2+1}) \right\} \end{aligned} \quad (2.27)$$

ここに、

$$a = \frac{1}{2h^2} (y_{2i-2} - 2y_{2i-1} + y_{2i})$$

$$b = -\frac{1}{2h} (y_{2i-2} - y_{2i}) \quad (2.28)$$

$$c = y_{2i-1}$$

とする。航跡の長さ  $L_2$  は

$$L_2 = \sum_{i=1}^n l_i \quad (2.29)$$

航跡の長さの計算は、いずれにしても煩雑であり、プログラムを作成して純粋に数値計算に頼る方が無難である。

### 2. 2. 5 計算例

なるべく計算が簡単になるような数値を選んで計算例を示す。

$$a=120 \text{ m}$$

$$u=10 \text{ m/min.}$$

$$v=15 \text{ m/min., } 20 \text{ m/min., } 25 \text{ m/min.}$$

を事例として選び計算する。 $v=20 \text{ m/min.}$ に対する計算は(2. 13)から

$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{2}(120-x) \left\{ \left( \frac{120}{120-x} \right)^{\frac{10}{20}} - \left( 1 - \frac{x}{120} \right)^{\frac{10}{20}} \right\} \\ &\quad - \frac{1}{2}(120-x) \left\{ \sqrt{\frac{120}{120-x}} - \sqrt{1 - \frac{x}{120}} \right\} \end{aligned} \quad (2. 30)$$

この計算の概要を示したのが表1である( $v=15 \text{ m/min., } 25 \text{ m/min.}$ の場合も含む)。

パラメータ  $a=120 \text{ m}, u=10 \text{ m/min.}$   
 $v=15, 20, 25 \text{ m/min.}$

x	y ( $v=15$ )	y ( $v=20$ )	y ( $v=25$ )
0	0.0000	0.0000	0.0000
5	3.2633	2.4474	1.9576
10	6.3844	4.7871	3.8293
15	9.3595	7.0156	5.6110
20	12.1847	9.1287	7.2993
25	14.8555	11.1220	8.8903
30	17.3669	12.9904	10.3794
35	19.7135	14.7284	11.7618
40	21.8891	16.3299	13.0318
45	23.8866	17.7878	14.1833
50	25.6980	19.0941	15.2091
55	27.3138	20.2395	16.1010
60	28.7232	21.2132	16.8495
65	29.9131	22.0626	17.4454
70	30.8675	22.5924	17.8694
75	31.5670	22.9640	18.1113
80	31.9867	23.2940	18.1480
85	32.0940	22.9526	17.9589
90	31.8449	22.5000	17.5013
95	31.1761	21.6807	16.7359
100	29.9907	20.4124	15.5931
105	28.1250	18.5616	13.9659
110	25.2535	15.8771	11.6531
115	20.5004	11.7371	8.2118
120	0.0000	0.0000	0.0000

表1 川を横切る船の航跡問題の計算

また、極大値( $v=20 \text{ m/min.}$ の場合)は(2. 15), (2. 16)から

$$x = \left\{ 1 - \left( \frac{20-10}{20+10} \right)^{\frac{20}{2 \times 10}} \right\} \times 120$$

$$= \frac{2}{3} \times 120 = 80 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{20-10}{20+10} \right)^{\frac{20-10}{2 \times 10}} - \left( \frac{20-10}{20+10} \right)^{\frac{20+10}{2 \times 10}} \right\} \times 120 \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{1}{3} \right)^{\frac{1}{2}} - \left( \frac{1}{3} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} \times 120 = \frac{40\sqrt{3}}{3} \\ &= 23.0940 \text{ m} \end{aligned}$$

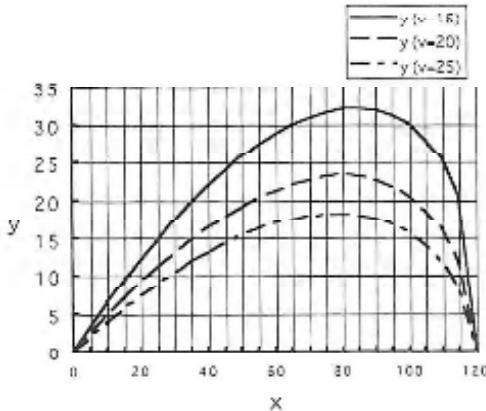


図4 航跡

以上の計算から得た航跡の概形を図4に示す。  
所要時間( $v=20 \text{ m/min.}$ の場合)は、(2. 21)から

$$T = \frac{120}{2} \left( \frac{1}{20-10} + \frac{1}{20+10} \right) = 60 \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{30} \right) = 8 \text{ min}$$

これは、 $u=0$ の場合  $120/20=6 \text{ min}$  である。

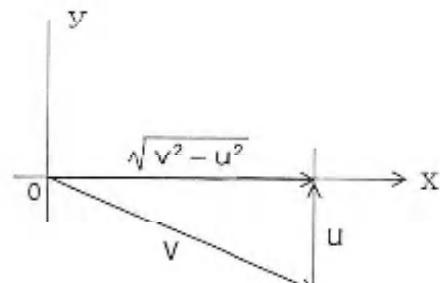


図5 流れに直角の場合

また、流れに直角に渡る場合、船の $x$ 軸方向の速度 $\sqrt{v^2 - u^2}$ となるから(図5)

所要時間( $v=20$ の場合)は

$$\frac{120}{\sqrt{20^2 - 10^2}} = \frac{120}{10\sqrt{3}} = 4\sqrt{3} = 6.93 \text{ min}$$

となることも妥当な値であろう。

ちなみに、極大値は $v=15, 25 \text{ m/min.}$ については、それぞれ  $x=84.1116 \text{ m}$  と  $y=32.0905 \text{ m}$  及び  $x=78.3888 \text{ m}$  と  $y=18.1606 \text{ m}$  であり所要時間は14.4分と5.71分である。

### § 3. 目的物を追尾する飛翔体の追跡経路問題

#### 3. 1 問題設定

飛翔している目的物を飛翔体で追尾する問題は、研究文献の中にも見られる<sup>3)</sup>。

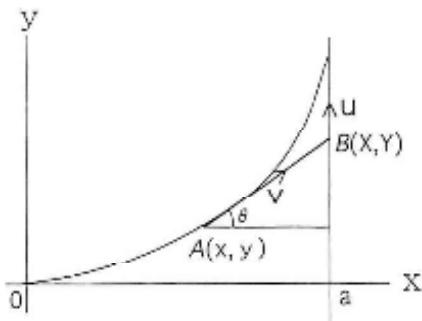


図6 飛翔体Aの予想される軌跡

ここでは、図6に示す通り、飛翔体  $B(x, y)$  は直線  $x=a$  上を一定速度  $u$  で進んでいる。また、飛翔体 A は B が x 軸との交点を通るときに動き始め、一定速度  $v$  ( $0 < u < v$ ) で常に B を指向しながら進むものとする。このとき A がどのような軌跡を描きながら A を追尾するかを考える。

#### 3. 2 定式化と解

$B(x, y)$  について

$$X=a, Y=ut \quad (3. 1)$$

が成り立つ。A( $x, y$ )についてはABがx軸の正の方向となす角を  $\theta$  とすれば、

$$\left. \begin{array}{l} \dot{x}=v\cos\theta \quad (\because -\frac{d}{dt}, \text{ 他も同様}) \\ \dot{y}=v\sin\theta \\ \frac{dy}{dx}=\tan\theta=\frac{Y-y}{X-x}=\frac{ut-y}{a-x} \end{array} \right\} \quad (3. 2)$$

が成り立つ。第3式から

$$(a-x)\sin\theta=(ut-y)\cos\theta \quad (3. 3)$$

両辺を  $t$  で微分して

$$\{(a-x)\cos\theta+(ut-y)\sin\theta\}\dot{\theta}=u\cos\theta \quad (3. 4)$$

さらに  $ut-y=(a-x)\tan\theta$  を代入

$$(a-x)\dot{\theta}=u\cos^2\theta$$

即ち

$$\frac{d\theta}{dt}=\frac{u\cos^2\theta}{a-x} \quad (3. 5)$$

と (3. 2) 第1式とから

$$\frac{d\theta}{dx}=\frac{u\cos\theta}{v(a-x)} \quad (3. 6)$$

$$\therefore \frac{d\theta}{\cos\theta}=\frac{u}{v} \frac{d\left(\frac{x}{a}\right)}{1-\frac{x}{a}} \quad (3. 7)$$

積分して

$$\frac{1}{2}\log\frac{1+\sin\theta}{1-\sin\theta}=-\frac{u}{v}\log\left(1-\frac{x}{a}\right)+\log c \quad (3. 8)$$

$x=0$  のとき、 $\theta=0$  とすれば  $c=1$  すなわち

$$\frac{1+\sin\theta}{1-\sin\theta} \cdot \left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}=1 \quad (3. 9)$$

$\sin\theta$  について解けば、

$$\sin\theta=\frac{1-\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}}{1+\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}} \quad (3. 10)$$

なお、これから

$$\cos\theta=\frac{2\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}}{1+\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}} \quad (3. 11)$$

$$\tan\theta=\frac{1}{2}\left\{\left(1-\frac{x}{a}\right)^{-\frac{u}{v}}-\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}\right\} \quad (3. 12)$$

を求めておく。(3. 2) 第1式に (3. 11) を代入して

$$\frac{1}{2}\left\{\left(1-\frac{x}{a}\right)^{-\frac{u}{v}}+\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}\right\}dx=vdt \quad (3. 13)$$

積分して

$$\begin{aligned} & -\frac{a}{2}\left\{\frac{v}{v-u}\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{v-u}{v}}+\frac{v}{v+u}\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{v+u}{v}}\right\} \\ & =vt+c \end{aligned} \quad (3. 14)$$

$x=0$  で  $t=0$  とすれば、

$$c=-\frac{av^2}{v^2-u^2} \quad (3. 15)$$

$$\begin{aligned} t & =\frac{a}{2}\left[\frac{2v}{v^2-u^2}-\left(1-\frac{x}{a}\right)\left\{\frac{1}{v-u}\left(1-\frac{x}{a}\right)^{-\frac{u}{v}}\right.\right. \\ & \quad \left.\left.+\frac{1}{v+u}\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}\right\}\right] \end{aligned} \quad (3. 16)$$

これらの式を

$$y=ut-(a-x)\tan\theta$$

に代入して

$$\begin{aligned} y & =\frac{a}{2}\left[\frac{2uv}{v^2-u^2}-\left(1-\frac{x}{a}\right)\left\{\frac{u}{v-u}\left(1-\frac{x}{a}\right)^{-\frac{u}{v}}\right.\right. \\ & \quad \left.\left.+\frac{u}{v+u}\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}\right\}\right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -a\left(1-\frac{x}{a}\right)\frac{1}{2}\left\{\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{v}{u}}-\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{u}{v}}\right\} \\
 & =\frac{a}{2}\left[\frac{2uv}{v^2-u^2}-\frac{v}{v-u}\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{v-u}{v}}\right. \\
 & \quad \left.+\frac{v}{v+u}\left(1-\frac{x}{a}\right)^{\frac{v+u}{v}}\right] \\
 & \quad (3.17)
 \end{aligned}$$

$A$  が  $B$  に追いつくまでの時間  $T$  は (3.16) で,  
 $x=a$  とおいて,

$$T=\frac{av}{v^2-u^2} \quad (3.18)$$

そのときの  $y$  座標  $H$  は

$$H=ut=\frac{auv}{v^2-u^2} \quad (3.19)$$

### 3.3 計算例

できるだけ数値がきれいな結果を導くために、以下の

$$a=120 \text{ m}$$

$$u=200 \text{ m/sec}$$

$$v=300, 400, 500 \text{ m/sec}$$

の場合について計算した。その  $v=400$  のときの結果が表2と図7、図8である。

パラメータ

$$a=120 \text{ m}, u=200 \text{ m/min.}, v=400 \text{ m/min.}$$

x	y	t
0	0.0000	0.0000
5	0.0528	0.0125
10	0.1144	0.0250
15	0.1868	0.0375
20	0.2685	0.0501
25	0.3600	0.0625
30	0.4617	0.0750
35	0.5730	0.0875
40	0.7037	0.1000
45	0.8539	0.1134
50	1.0236	0.1263
55	1.2130	0.1393
60	1.4226	0.1525
65	1.6513	0.1659
70	1.8986	0.1795
75	2.1609	0.1933
80	2.4416	0.2075
85	2.7413	0.2222
90	3.0600	0.2375
95	3.3964	0.2538
100	3.7519	0.2707
105	4.1241	0.2895
110	4.5121	0.3110
115	4.9153	0.3379
120	5.3340	0.4000

表2 飛翔体追尾解析計算

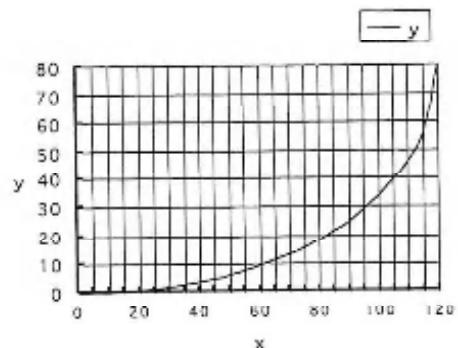


図7 追尾軌跡

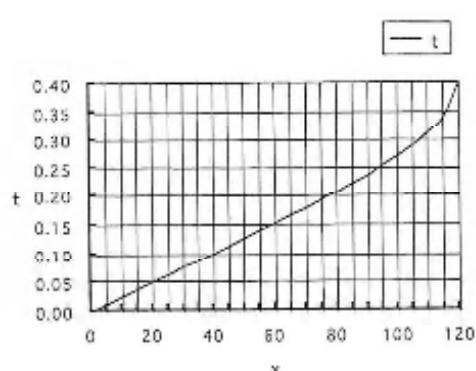


図8 追尾経過時間

以上の結果から、 $B$  が  $x$  軸を通過してから 0.4 秒後 80 m を通過する地点で  $A$  が  $B$  に追いつくことになる。

### 3.4 演習問題提示例

#### 事例1

前述の図1の通り、船が川を対岸に向けて横切ろうとする。対岸の目的地  $A(a, 0)$  を指向しながら進むと、船はどのような航跡を描くかを解析せよ。

川は川幅  $a$ 、流速  $u$  一定、断面一様な川とする。船は、原点  $O$  を出発して、速度  $v$  ( $0 < u < v$ ) で対岸の  $A(a, 0)$  に向かう。

(1) 船の出発点が原点  $O$  以外の場合、(2) 原点  $O$  の場合における船の描く航跡を計算する式を導け。さらに、コンピュータを用い計算をし、グラフ化して整理せよ。ただし、計算には、パラメータ  $a, u, v$  の値は、2. 25節の例を用いよ。

学生の数学学力到達程度に応じて、次の2段階程度のレベルに分けて与えるのが適当であろう。

#### レベル1.

2. 2節の式の変形の過程を追い、理解せよ。

#### レベル2.

自力で、航跡の位置を計算する式を導け。

付随的な問題として、

③渡りに要する時間、④航跡の長さを求める問題も提示できる。

### 事例2

前述の図6に示すとおり、飛翔体B( $x, y$ )は直線 $x=a$ 上を一定速度 $u$ で進んでいる。また、飛翔体AはBが $x$ 軸との交点を通るときに動き始め、一定速度 $v$ ( $0 < u < v$ )で常にBを指向しながら進むものとする。このときAがどのような軌跡を描きながらBに追いつくかを解析せよ。得られた式を用いて、コンピュータを用い計算し、グラフ化して整理せよ。計算の際のパラメータ $a, u, v$ は3.3節の値を使う。

これも、学生の数学学力到達度のレベルに応じて、問題設定を変更して与えるとよい。

### §5. おわりに

高専の応用数学の上級コースとしての演習問題とし

て、あるいは情報処理の数値解析としての演習問題として適当と思われる例題を2例考えた。問題の把握と変数や関係式の設定及び解法は初等的な微積分の知識で解決可能であろう。同じような問題設定で別な変数の取り方やスマートな解法もあるかも知れない。また、ここでは、計算の途中の解の収束・発散性の吟味までは行っていないことを付記しておく。

### 参考文献

- 1) 大日本図書: 応用の数学
- 2) 森北出版: 応用数学要論シリーズ
- 3) Lu-Ping Tsao and Ching-Show Lin:  
Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci. (JSASS),  
43(2000), pp. 55-60



# ストレス関連疾患病棟の空間構成に関する研究

## その1 不知火病院・海の病棟における病気回復と空間構成の相関について

新谷 肇一・田中三雄

(平成12年9月29日受理)

A Study on the Space Designs of Wards for Patients with Stress-Related Disease

Part 1 The Correlation between Recovery from Stress-Related Disease and

the Space Designs on the Seaside Ward of Shiranui Hospital

Choichi SHINYA, Mitsuo TANAKA

As the case study on the space design of wards for patients with stressrelated disease, the purpose of this study is to clear the correlation between recovery from stress-related disease and the space design on the Seaside Ward of Shiranui Hospital which is a pioneer in the treatment of stress care with Regression Technique. As a result, we found out that the quietness, spread and soft designs of space in bedrooms and common rooms such as dayroom and livingroom are important for patients'recovery from stress-related disease.

### 1. はじめに

現代社会は職場、学校、家庭とあらゆる生活空間でストレスの増加が叫ばれている。その原因としては、急激な産業構造および社会・家庭環境の変化があげられる。

精神障害の発病にあたって身体的要因の関与がなく、社会的・心理的な原因によって起こる精神障害を心因性精神障害といい、一般にはストレス関連疾患と呼ばれている。これらのストレス関連疾患者のために、従来の精神病院とは異なった専用の治療病棟が必要である。

1989年12月に開院した大牟田市の不知火病院・海の病棟（ストレス・ケア・センター）は、わが国では先駆的なストレス関連疾患専門の治療病棟である。病院の院長である徳永雄一郎氏と建築家の長谷川逸子氏との共同作業で生まれたその病棟は、「薬なしの治療をめざし建物や環境を治療道具とする」という意図のもとに、次の3つの建築理念で設計された建物となっている。すなわち「光や海などの自然の変化を室内でも感じとれる空間」、「一人になれて一人でない病室」、「安らぎのある母親的空間」の3点である。このストレス・ケア・センターのユニークな試みは、精神的ストレスを開放する建築空間デザインのあり方を示唆していると考えられる。この研究は、病気回復と建築の

空間構成との相関および患者が感じる空間印象の構造について考察しようとするものであり、第1報で前者、第2報で後者について報告する。

### 2. 研究方法

本報では病気回復と建築の空間構成との相関を重回帰分析の手法を使って考察した。重回帰分析は、定量的データを予測する変数とした線形（1次）の関係式として得られ、いくつかの特性・要因についてそれぞれの係数（ウェイト）を得ることにより、予測式として用いられるものであり、予測する変数を目的変数と呼び、特性・要因を説明変数と呼ぶ。まず、目的変数である病気回復の尺度については、国際的に通用しているS D S (Self Depression Scale)（患者の自己評価による抑うつ性尺度）の退院時の値および入院時と退院時の値差、患者自身の評価によるリラックス感、回復感、入院評価感を用いた。なお、S D S は質問紙法による情意テストであり、表1に示すように20項目より構成されており、点数制でその値は小さい方が病状が軽いことを示している。これらの項目で、第1、3の2項目は主感情、第2、4、5、6、7、8、9、10の8項目は整理的随伴症状、第11、12、13、14、15、16、17、18、19、20の10項目は心理的随伴症状を評価している。

表1 SDS (Self Depression Scale) 質問用紙例

次の質問を読んで 現在あなたの状態に もっともよくあてはまる と思われる欄に ○印をつけて下さい。 すべての質問に答えて下さい。

	ないか たまに	とき どき	かなりの あいだ	ほとんど いつも
1. 気が沈んで憂うつだ	○	○	○	○
2. 朝がたは いちばん気分がよい	○	○	○	○
3. 泣いたり、泣きたくなる	○	○	○	○
4. 夜よく眠れない	○	○	○	○
5. 食欲は ふつうだ	○	○	○	○
6. まだ性欲がある 異性に対する興味がある	○	○	○	○
7. やせてきたことに 気がつく	○	○	○	○
8. 便祕している	○	○	○	○
9. ふだんよりも 動悸がする	○	○	○	○
10. 何となく 疲れる	○	○	○	○
11. 気持は いつもさっぱりしている	○	○	○	○
12. いつもとかわりなく 仕事をやれる	○	○	○	○
13. 產ち着かず、じっとしてられない	○	○	○	○
14. 将来に 希望がある	○	○	○	○
15. いつもより いらいらする	○	○	○	○
16. たやすく 決断できる	○	○	○	○
17. 着に立つ、荷物の運び人間だと想う	○	○	○	○
18. 生活は かなり充実している	○	○	○	○
19. 自分が元いだ方が ほかの者は差に喜ばせると思う	○	○	○	○
20. 日常していることに 満足している	○	○	○	○

表2 説明変数(空間構成の評価等)

一般評価	1	医師への信頼度	建物の構成	26	建物内部の広さ
	2	看護の行き届き度		27	日当たり
	3	他の患者との関係		28	曲線や曲面構成の建物
	4	建物に対する好感度		29	建物の内部の色彩
空間の落ち着き度	5	病室の落ち着き度	病室の構成	30	建物内の無駄や遊びの空間
	6	ティルームの落ち着き度		31	部屋の形状が不整形である
	7	図書室の落ち着き度		32	廊下が蛇行している
	8	リビングルームの落ち着き度		33	病室のつくり
	9	和室の落ち着き度		34	病室の広さ
	10	LR・食堂の前庭の落ち着き度		35	病室の天井の高さ
	11	喫茶コーナーの落ち着き度		36	病室の天井に天窓がある
	12	ディケアルームの落ち着き度		37	病室の日当たり
	13	食堂の落ち着き度		38	病室から海の景色が見える
	14	ティルームの利用度		39	病室に整理棚・本棚がある
空間の利用度	15	リビングルームの利用度		40	病室に2つ、3つ扉がある
	16	喫茶コーナーの利用度		41	各自のベットの傍らの小窓
	17	LR・食堂の前庭の利用度		42	プライバシーの遵守度
	18	外出頻度		43	DRとNSが互いに近い
外出散歩等	19	朝・夕の散歩頻度	2階廊下の構成	44	病室間の隙間から見える景色
	20	ラジオ体操の参加頻度		45	2階廊下の大窓の七色の光
	21	食堂の雰囲気		46	天窓から見える夜の星
空間の雰囲気	22	浴室の雰囲気		47	廊下に面するテラスの明るさ
	23	LR・食堂の前庭の雰囲気		48	小さなコーナーや遊びの空間
外部環境	24	建物の周りの環境		49	壁面の緩やかなカーブ
	25	建物のすぐ前に海がある		50	開口部による換気の良さ

次に、説明変数である建築の空間構成の評価についての尺度は、表2に示す50項目について、入院患者を対象に、4段階もしくは5段階の選択方法のアンケートによる意識調査の結果を用いた。調査は1997年10月30日から1998年7月17日までに不知火病院・海の病棟を退院した患者165名を対象に、患者の退院時に行ったものである。

説明変数の数が多いので、まず全説明変数について重回帰分析を行い、その中から目的変数に対する説明変数の影響力を統計的に検定したF値が1.0以上になるものを選び出し、それらの説明変数で再度、重回帰分析を行うという方法を用いた。

### 3. 重回帰分析による病気回復と建築の空間構成等の評価との相関

#### 1) 退院時のSDS値を目的変数とした場合

退院時のSDS値は退院時の病気回復の状態を示していると考えられる。これを目的変数にして、まず、全説明変数について重回帰分析を行い、目的変数に対する説明変数の影響力を統計的に検定したF値が1.0以上になるものを選び出し、それらの説明変数で再度、重回帰分析を行った結果が表3である。これによるとF値が有意に達しているのは「外出頻度」が最も大き

く、次に、「他の患者との関係」、「食堂の落ち着き度」、「病室に2つ、3つ扉がある」があがっている。クロス集計で確認しても、SDS値が低いすなわち病気回復の状態の患者ほど外出頻度が多くなっている(表4)(図1)。「他の患者との関係」(表5)(図2)、「食堂の落ち着き度」、「病室に2つ、3つ扉がある」にも同様なことが言える。また、有意水準には至っていないが、「病室の天窓」、「換気の良さ」、「喫茶コーナーの利用度」なども高い数値を示している。

以上のことから、病気がある程度回復した状態にある患者は、院内・外での活動を活発に行い、院内での対人関係もよいことが、医学的にみても患者の精神状態に深い関連があると言える。また建物について言うならば、病室の天窓や開口部による換気の良さなど、空間の快適性が影響を与えていることが分かる。

#### 2) 入院時と退院時のSDS値の差を目的変数とした場合

入院時と退院時のSDS値の差は病気の回復度を示すと考えられる。これを目的変数にして、まず、全説明変数について重回帰分析を行い、F値が1.0以上の説明変数で再度、重回帰分析を行った結果が表6である。これによると、F値が有意に達しているのは「デイルームの利用度」が最も大きく、次に「デイルーム

表3 退院時のSDS値を目的変数とした場合の重回帰式の結果

重回帰式 変数選択 外的基準	全ての変数 SDS値(退院時)		精度					
			決定係数	0.3162				
			修正済決定係数	0.2047				
			重相関係数	0.5623				
			修正済重相関係数	0.4524				
			標準誤差	9.4081				
			F <sup>2</sup> -ヒートソル比	1.9119				
			赤池のAIC	805.3535				

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	符号の逆転
1. 医師への信頼度	1.8277	0.1239	1.5995	0.2092		1.4452	0.1307	0.1087	
2. 他の患者との関係	3.4412	0.2562	5.7208	0.0188	*	1.4387	0.2420	0.3440	
3. ディルームの落ち着き度	-0.9890	-0.0522	0.5441	0.4626		1.3405	-0.0767	0.1570	X
4. 図書室の落ち着き度	-1.7833	-0.1362	1.7856	0.1848		1.2346	-0.1380	0.0012	X
5. 食堂の落ち着き度	3.0683	0.2433	4.8307	0.0305	*	1.3951	0.2234	0.1995	
6. 喫茶コーナーの利便度	1.4816	0.1305	1.9846	0.1623		1.0517	0.1453	0.1849	
7. 庭の雰囲気	-2.0152	-0.1551	1.7356	0.1910		1.5296	-0.1361	0.1150	X
8. 外出頻度	3.7954	0.3050	9.9126	0.0022	**	1.2055	0.3118	0.3440	
9. 日当たり	1.5757	0.1283	0.9820	0.3243		1.5901	0.1025	0.0396	
10. 床下が蛇行している	-0.7540	-0.0597	0.2936	0.5892		1.3915	-0.0564	0.1222	X
11. 换気の天井に天窓がある	1.0711	0.1308	3.0414	0.0546		1.0729	0.1780	0.1966	
12. 病室の日当たり	-1.9225	-0.1794	1.8833	0.1733		1.4009	-0.1416	-0.0406	
13. 病室から海の景色が見える	0.4458	0.0454	0.1554	0.6943		1.1309	0.0411	-0.0074	X
14. 病室に2つ、3つ扉がある	-2.7555	-0.2337	4.2270	0.0426	*	1.3402	-0.2096	0.0178	X
15. 開口部による換気の良さ	2.0065	0.1803	2.4112	0.1239		1.2922	0.1598	0.1754	
定数項	21.2076		15.4994	0.0002	**	5.3869			

表4 SDS値と「外出頻度」の相関

上段: 座数 下段: %	合計	外出頻度					
		よくする する	ときどき ない	あまりし い	全くしな い	不明	
SDS値 レベル(退院時)	合計	165 100.0	69 41.8	63 38.2	24 14.5	5 3.0	4 2.4
	~29	28 100.0	16 57.1	8 28.6	3 10.7	-	1 3.5
	30~39	40 100.0	18 45.0	14 35.0	6 15.0	-	2 5.0
	40~49	52 100.0	24 46.2	20 38.5	7 13.5	1 1.9	-
	50~59	33 100.0	7 21.2	15 45.5	8 24.2	2 6.1	1 3.0
	60~	4 100.0	- -	2 50.0	- 50.0	2 -	-
	不明	5 100.0	4 50.0	4 50.0	- -	- -	-

表5 SDS値と「他の患者との関係」の相関

上段: 座数 下段: %	合計	他の患者との関係					
		大変うま くいって いる	ある程度 うまくい っている	どちらと もいえな い	あまりう まくい っていない	ほとんど うまくい っていない	不明
SDS値 レベル(退院時)	合計	165 100.0	42 23.5	99 56.0	15 11.5	3 1.8	2 1.2
	~29	28 100.0	14 50.0	13 46.4	1 3.6	-	-
	30~39	40 100.0	9 22.5	27 67.5	3 7.5	1 2.5	-
	40~49	52 100.0	8 15.4	38 73.1	3 9.6	1 1.9	-
	50~59	33 100.0	10 30.3	15 45.5	5 15.2	1 3.0	2 6.1
	60~	4 100.0	- -	1 25.0	3 76.0	- -	-
	不明	5 100.0	1 12.5	5 62.5	2 25.0	- -	-

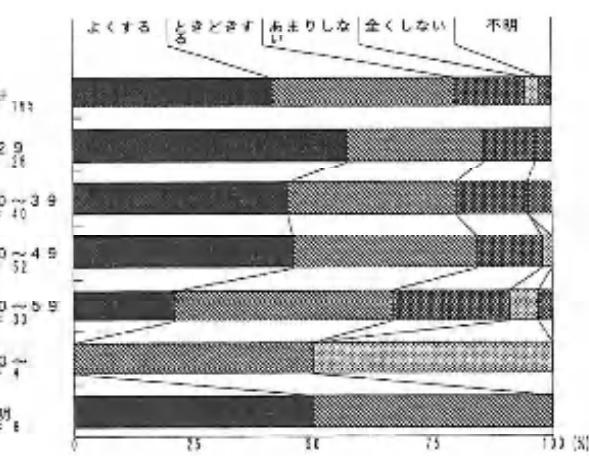


図1 SDS値と「外出頻度」の相関

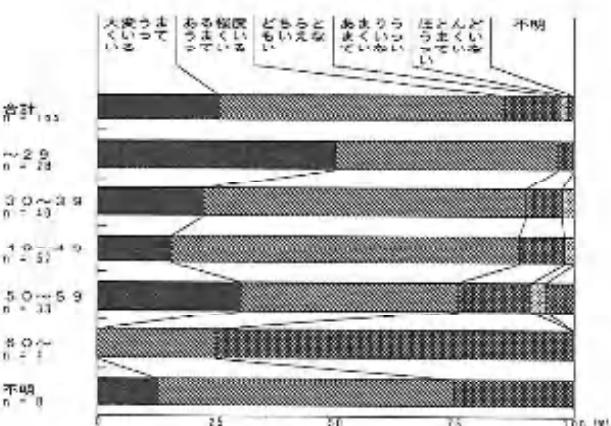


図2 SDS値と「他の患者との関係」の相関

表6 入院時と退院時の SDS 値の差を目的変数にした場合の重回帰式の結果

重回帰式 変数選択 外的基準	全ての変数		SDS 値の差		精度	決定係数	修正済決定係数	重相関係数	修正済重相関係数	標準誤差	ダービントリ比	赤池の AIC
	変数名	偏回帰係数	標準偏回帰 係数	F 値	P 値							
1. 看護の行き届き度	-2.0488	-0.1358	1.7749	0.1861	*	1.5378	-0.1381	-0.0483				
2. 他の患者との関係	2.1032	0.1381	1.5798	0.2120		1.7211	0.1313	0.1381				
3. 建物に対する好感度	2.0540	0.1459	1.2515	0.2662		1.8360	0.1171	0.1738				
4. ディルームの落ち着き度	-3.7683	-0.3109	5.9568	0.0166	*	1.5440	-0.2492	0.0013	X			
5. 和室の落ち着き度	0.7455	0.0653	0.4065	0.5254		1.1745	0.0671	0.0841				
6. 横茶室の落ち着き度	2.7231	0.2089	3.8184	0.0538		1.3938	0.2017	0.1995				
7. 食堂の落ち着き度	1.8424	0.1392	1.2409	0.2683		1.6539	0.1166	0.1454				
8. ディルームの利用度	5.0127	0.3323	8.9854	0.0035	**	1.6722	0.3013	0.2127				
9. 道の香り気	-2.5387	-0.1862	2.2083	0.1408		1.7083	-0.1548	0.0553	X			
10. 建物内の無駄や遊びの空間	-2.8694	-0.2163	2.5053	0.1170		1.8128	-0.1646	0.0990	X			
11. 部屋の形状が不整形である	2.1485	0.1552	1.3204	0.2521		1.8641	0.1206	0.1691				
12. 病室の天井に天窓がある	0.0708	0.0071	0.0043	0.9481		1.0846	0.0009	0.0165				
13. 病室から海の景色が見える	2.5153	0.2354	3.7756	0.0551		1.2945	0.2007	0.1043				
14. 病室に2つ、3つ扉がある	-2.1583	-0.1764	2.1947	0.1420		1.4569	-0.1543	-0.0185				
定数項	-24.5245		20.1353	0.0000	**	5.4654						

の落ち着き度」があがっている。標準偏回帰係数を見ると、「デイルームの落ち着き度」はマイナスになっており、病気の回復度が高いほどデイルームの落ち着き度を評価していないということになる。しかしクロス集計を見ると、「デイルームの落ち着き度」を大変良い、ある程度良いと答えた人は全体の43.6%に対し、あまり良くない、全く良くないは15.2%と、デイルームの落ち着き度を評価していない患者は少なく、どちらかといえば回復度の低い人ほど評価が高いことから上ののような結果になったと思われる（表7）（図3）。「デイルームの利用度」については、SDS値の差が高い患者ほど評価していることが分かる（表8）（図4）。また、有意水準には至っていないが、「喫茶室の利用度」、「海の景色が見える」、「建物に無駄や遊びの空間がある」、「庭の雰囲気」、「病室に2つ、3つ扉がある」なども高い数値を示している。

以上のことから、患者の SDS 値の差つまり患者の入院時から退院時までの回復度が大きい人ほど、デイルームの利用度あるいは海の景色が見えることが大きな影響を与えていていることが分かる。またこれらは医学的にみても深い関連があると言える、すなわち、病気が回復するにつれて自分の病室に閉じこもらず、積極的にデイルームなどに出向いて行くようになることからもうなづける。また、この「海の棟棟」を設計する

にあたって、建物が海に面するようにし、この潮の干満という自然の変化、自然のリズムを室内でも感じとれる空間をつくることが意図されたが、このような建物のつくりが病気の回復に大きな影響を及ぼしていることが伺える。

3) 患者自身の評価によるリラックス感を目的変数にした場合

患者自身が入院生活の中で感じるリラックス感の度合いは病気の回復度を示す1つの目安と考えられる。同じようにこれを目的変数にして、まず、全説明変数について重回帰分析を行い、F値が1.0以上の説明変数で再度、重回帰分析を行った結果が表9である。これによると、F値が有意に達しているのは「病室の落ち着き度」が最も大きく、次に「看護の行き届き度」「他の患者との関係」があがっている。標準偏回帰係数を見ると、「看護の行き届き度」はマイナスになっており、リラックス感が高い患者ほど評価をしていないということになる。しかしクロス集計（表11）（図5）を見ると、「看護の行き届き度」を非常に行き届いている、ある程度行き届いていると答えた人は全体の80%に対し、あまり行き届いていない、ほとんど行き届いていないは3%とほとんどの患者が看護の行き届きを評価しており、どちらかといえばリラックス感

表9 患者自身の評価によるリラックス感を目的変数とした場合の重回帰式の結果

重回帰式		全ての変数		精度					
変数選択	外的基準	リラックス感		決定係数	0.4882	修正済決定係数	0.4157	重相関係数	0.6987
重回帰式	変数選択	外的基準	リラックス感	標準誤差	0.5826	ダーピングツ比	2.1220	赤池のAIC	244.2203
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	符号の逆転
1.看護の行き届き度	-0.1799	-0.1752	5.1476	0.0252	*	0.0793	-0.2087	0.0179	X
2.ほかの患者との関係	0.1650	0.1671	4.3124	0.0401	*	0.0795	0.1917	0.4335	
3.建物に対する好感度	0.1590	0.1693	3.1183	0.0801		0.0900	0.1639	0.4406	
4.病室の落ち着き度	0.1371	0.1460	17.4719	0.0001	**	0.0807	0.3659	0.4802	
5.図書室の落ち着き度	0.0195	0.0208	0.0586	0.8092		0.0805	0.0228	0.3361	
6.リビングルームの落ち着き度	0.1402	0.1654	3.6611	0.0582		0.0733	0.1772	0.3972	
7.庭の落ち着き度	0.1248	0.1427	2.6884	0.1039		0.0761	0.1524	0.3624	
8.食堂	0.0301	0.0346	0.1402	0.7088		0.0805	0.0352	0.3664	
9.デイルームの利用度	0.0144	0.0131	0.0292	0.8846		0.0845	0.0101	0.1770	
10.建物の周りの環境	0.0100	0.0120	0.0218	0.8828		0.0680	0.0139	0.1642	
11.建物のすぐ前に海がある	0.0943	0.1218	1.5118	0.2214		0.0767	0.1149	0.2271	
12.建物内部の広さ	0.0790	0.0832	0.9285	0.3373		0.0820	0.0903	0.3516	
13.曲線や曲面構成の建物	-0.0706	-0.0730	0.6788	0.4118		0.0857	-0.0773	0.2615	X
14.病室から海の景色が見える	-0.1077	-0.1393	1.8399	0.1777		0.0794	-0.1266	0.2132	X
15.病室に2つ、3つ扉がある	0.1162	0.1280	1.8853	0.1725		0.0846	0.1281	0.3248	
16.自分のベットの傍らの小窓	-0.0686	-0.0704	0.8388	0.3617		0.0749	-0.0858	0.1727	X
定数項	0.1922		0.4381	0.5094		0.2904			

表7 SDS値差と「デイルームの落ち着き度」の相関

上段: 屋数 下段: %	合計	デイルームの利用度				
		よく利用する	ときどき利用する	あまり利用しない	全く利用しない	不明
SDS値の差レベル	合計	165	59	73	18	3
	100.0	41.8	44.2	10.9	1.8	1.2
	~0	18	7	6	5	-
	100.0	38.9	33.3	27.8	-	-
	1~7	36	11	10	5	-
	100.0	30.6	50.0	16.7	2.5	-
	8~14	41	19	16	4	1
	100.0	45.3	35.3	9.8	2.4	-
SDS値の差レベル	15~21	33	16	15	2	-
	100.0	48.5	45.5	6.1	-	-
	22~	26	12	12	-	1
	100.0	46.2	45.2	-	3.8	3.8
	不明	11	4	6	1	-
	100.0	36.4	54.5	9.1	-	-

表8 SDS値差と「デイルームの利用度」の相関

上段: 屋数 下段: %	合計	デイルームの落ち着き度				
		大まかに落ちつける	ある程度落ちつける	普通	あまり落ちつけない	不明
SDS値の差レベル	合計	165	17	55	62	22
	100.0	10.3	33.3	37.5	13.3	1.8
	~0	18	2	10	3	3
	100.0	11.1	55.6	16.7	16.7	-
	1~7	36	3	6	18	6
	100.0	8.3	16.7	50.0	16.7	2.8
	8~14	41	5	18	13	5
	100.0	12.2	38.0	31.1	12.2	4.9
SDS値の差レベル	15~21	33	2	14	13	2
	100.0	6.1	42.4	39.4	6.1	-
	22~	26	4	7	10	3
	100.0	15.4	26.9	38.5	11.5	-
	不明	11	1	2	5	3
	100.0	9.1	18.2	45.5	21.3	-

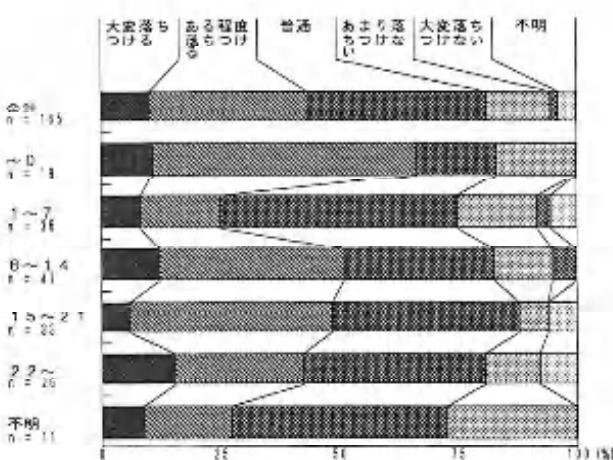


図3 SDS値差と「デイルームの落ち着き度」の相関

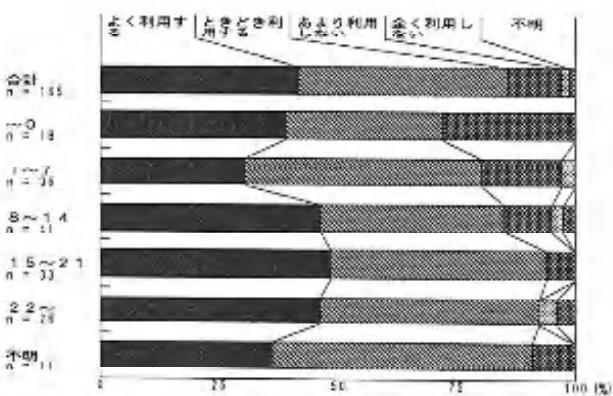


図4 SDS値差と「デイルームの利用度」の相関

表12 患者自身の評価による病気の回復感を目的変数とした場合の重回帰式の結果

重回帰式 変数選択 外的基準	全ての変数 回復感	精度
		決定係数
		修正決定係数
		重相関係数
		修正済重相関係数
		標準誤差
		タービンツ比
		赤池のAIC

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	符号の逆転
1. 医師への信頼度	0.2850	0.2894	14.1436	0.0003	**	0.0758	0.3375	0.3295	
2. 看護の行き届き度	-0.1232	-0.1344	2.8531	0.0340		0.0730	-0.1590	-0.0217	
3. ほかの患者との関係	0.3307	0.3548	17.3420	0.0001	**	0.0794	0.3690	0.5394	
4. 建物に対する好感度	0.1189	0.1423	2.1946	0.1414		0.0803	0.1399	0.3404	
5. 図書室の落ち着き度	-0.0509	-0.0621	0.6727	0.4139		0.0621	-0.0780	0.1819	X
6. ディケアルームの落ち着き度	0.1952	0.2516	9.4859	0.0026	**	0.0634	0.2818	0.3869	
7. 床の実感気	-0.0377	-0.0427	0.2354	0.6285		0.0778	-0.0462	0.2755	X
8. 外出頻度	0.0918	0.1072	1.8931	0.1716		0.0667	0.1301	0.2548	
9. 建物の周りの環境	-0.0910	-0.1199	2.1047	0.1497		0.0627	-0.1370	0.1186	X
10. 病室から海の景色が見える	0.0396	0.0611	0.5201	0.4723		0.0549	0.0686	0.1211	
11. 病室に2つ、3つ部屋がある	-0.1609	-0.1986	5.0948	0.0260	*	0.0713	-0.2164	0.1672	X
12. 天窓から見える夜の星	-0.0633	-0.0840	0.7585	0.3857		0.0726	-0.0828	0.1949	X
13. 階下に面するテラスの明るさ	0.1496	0.1761	2.8595	0.0937		0.0885	0.1592	0.2640	
14. 小さなコーナーや遊びの空間	0.1653	0.1956	3.3646	0.0003		0.0904	-0.1723	0.2606	X
15. 壁面の緩やかなカーブ	0.2487	0.2873	7.6816	0.0066	**	0.0898	0.2555	0.3709	
定数項	0.2985		1.4485	0.2313		0.2480			

が低い患者ほど評価が高いことから上の結果になったと思われる。また、「病室の落ち着き度」、「他の患者との関係」については、リラックス感が高い患者ほど評価していることが分かる(表11)(図6)。また、有意水準には至っていないが、「リビングルームの落ち着き度」、「建物に対する好感度」、「リビングルームの利用度」なども高い数値を示している。

以上のことから、患者がリラックスできていると感じるには、病室やリビングルームの落ち着き度あるいは他の患者との関係が影響を与えていていることが分かる。その中でも病室の落ち着き度は特に重要な要因であり、一日の大半を過ごすであろう病室が患者のリラックス感に果たす役割は大きい。

#### 4) 患者自身の評価による病気の回復感を目的変数にした場合

患者自身が入院生活の中で感じる病気の回復感の度合いは病気の回復度を示す1つの目安と考えられる。同じようにこれを目的変数にして、まず、全説明変数について重回帰分析を行い、F値が1, 0以上の説明変数で再度、重回帰分析を行った結果が表12である。これによると、F値が有意に達しているのは「他の患者との関係」が最も大きく、次に「医師への信頼度」でありこの2つが特に大きい。続いて「デイケアルームの落ち着き度」「壁面の緩やかなカーブ」があがっている。クロス集計を見ても、病気が回復に向かっているという患者ほど、これらを高く評価していること

が分かる(表13)(図7), (表14)(図8)。また、有意水準には至っていないが、「廊下に面するテラス」「建物に対する好感度」なども高い数値を示している。また「病室に2つ、3つ扉がある」「小さなコーナーや遊びの空間」「看護の行き届き度」も値は高いがマイナスとなっており、これらについては、全体として評価が高いが、回復感の高い人よりも低い人が評価しているからである。

以上のことから、患者自身が病気が回復に向かっていると感じるには、患者同士の円滑な関係や医師への信頼度が最も重要であり、続いてデイケアルームの落ち着き度や壁面の緩やかなカーブなども大きな影響を与えている。デイケアルームは入院患者にとってはエアロビクスや卓球、音楽演奏などに利用されている空間である。建物については、「壁面の緩やかなカーブ」や「小さなコーナーや遊びの空間」などに見られるような曲面構成のゆとりのある空間が評価されていることから、設計者の意図する母親的優しさや豊かさを感じさせる空間というコンセプトが成功していることが伺える。

#### 5) 患者自身の評価による入院評価感を目的変数にした場合

患者自身が入院生活の中で、入院してよかったです感じ度合いは病気の回復度を示す1つの目安と考えられる。同じようにこれを目的変数にして、まず、全説明変数について重回帰分析を行い、F値が1, 0以上

表15 患者自身の評価による入院評価感を目的変数にした場合の重回帰式の結果

重回帰式 変数選択 外的基準	全ての変数 入院評価感		精度												
			決定係数	0.5859	修正決定係数	0.5506	重相関係数	0.7655	修正済重相関係数	0.7421	標準誤差	0.4970	F値	2.0706	AIC
1. 医師への信頼度	0.2514	0.2378	14.9535	0.0002	**	0.0650	0.3223	0.3902							
2. ほかの患者との関係	0.3257	0.3255	24.3953	0.0000	**	0.0660	0.3588	0.5818							
3. リビングルームの落ち着き度	0.0444	0.0586	0.6397	0.4253		0.0555	0.0702	0.3730							
4. 庭の落ち着き度	0.0337	0.1119	1.8980	0.1707		0.0680	0.1204	0.4765							
5. デイケアルームの落ち着き度	0.1503	0.1881	7.2061	0.0082	**	0.0560	0.2300	0.4535							
6. リビングルームの利用度	-0.0105	-0.0132	0.0412	0.8395		0.0516	-0.0179	0.2004	X						
7. 庭の雰囲気	0.0393	0.0417	0.2873	0.5929		0.0734	0.0471	0.4142							
8. 明・夕の散歩頻度	0.0011	0.0016	0.0007	0.9797		0.0441	0.0022	0.1653							
9. 病室の大井の良さ	0.1845	0.1804	5.5554	0.0199	*	0.0698	0.2032	0.4282							
10. 小さなコーナーや遊びの空間	0.1960	0.2142	9.3840	0.0027	**	0.0640	0.2604	0.4422							
11. 朝口部の換気の良さ	-0.1629	-0.1976	8.0094	0.0062	**	0.0572	-0.2431	0.1771	X						
定数項	-0.5061		6.9909	0.0092	**	0.1914									

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	標準誤差	偏相關	単相関	符号の逆転
1. 医師への信頼度	0.2514	0.2378	14.9535	0.0002	**	0.0650	0.3223	0.3902	
2. ほかの患者との関係	0.3257	0.3255	24.3953	0.0000	**	0.0660	0.3588	0.5818	
3. リビングルームの落ち着き度	0.0444	0.0586	0.6397	0.4253		0.0555	0.0702	0.3730	
4. 庭の落ち着き度	0.0337	0.1119	1.8980	0.1707		0.0680	0.1204	0.4765	
5. デイケアルームの落ち着き度	0.1503	0.1881	7.2061	0.0082	**	0.0560	0.2300	0.4535	
6. リビングルームの利用度	-0.0105	-0.0132	0.0412	0.8395		0.0516	-0.0179	0.2004	X
7. 庭の雰囲気	0.0393	0.0417	0.2873	0.5929		0.0734	0.0471	0.4142	
8. 明・夕の散歩頻度	0.0011	0.0016	0.0007	0.9797		0.0441	0.0022	0.1653	
9. 病室の大井の良さ	0.1845	0.1804	5.5554	0.0199	*	0.0698	0.2032	0.4282	
10. 小さなコーナーや遊びの空間	0.1960	0.2142	9.3840	0.0027	**	0.0640	0.2604	0.4422	
11. 朝口部の換気の良さ	-0.1629	-0.1976	8.0094	0.0062	**	0.0572	-0.2431	0.1771	X
定数項	-0.5061		6.9909	0.0092	**	0.1914			

表10 リラックス感と「看護の行き届き度」の相関

		看護の行き届き度					
上段: 座数 下段: %	合計	非常に きどい ている	ある程度 きどい ている	どちら とも ない	あまり きどい ていない	ほとん どない	不明
		きどい ている	きどい ている	どちら とも ない	きどい ていない	ほとん どない	不明
リラックス感	合計	165	52	66	13	4	1
	100.0	35.8	52.1	7.9	2.4	0.6	1.2
	大変できている	38	19	16	-	2	1
	100.0	50.0	42.1	-	5.3	2.6	-
	ある程度でき ている	37	29	58	4	2	-
	どちらとも言え ない	19	5	9	4	-	1
	あまりできてい ない	7	4	2	-	-	1
	ほとんどできて いない	4	2	1	-	-	14.5

表11 リラックス感と「病室の落ち着き度」の相関

		病室の落ち着き度					
上段: 座数 下段: %	合計	大変落ち着 かづける 角もつけ る	普通	あまり落 ちつけな い	大変落 ちつけな い	不明	
		落ち着 かづける 角もつけ る	普通	あまり落 ちつけな い	大変落 ちつけな い	不明	
リラックス感	合計	165	43	75	27	7	13
	100.0	26.1	45.5	16.4	4.2	-	7.9
	大変できている	38	20	74	3	-	2
	100.0	52.6	36.8	5.3	-	-	5.3
	ある程度でき ている	37	23	49	14	3	-
	どちらとも言え ない	19	5	9	7	2	-
	あまりできてい ない	7	-	2	4	-	1
	ほとんどできて いない	4	-	28.6	57.1	-	14.3

表13 回復度と「他の患者との関係」の相関

		他の患者との関係					
上段: 座数 下段: %	合計	大変うま くいく っている	ある程度 うまくいく っている	どちら とも ない	あまり うまくい っていない	ほとん どない	不明
		うまくい っている	普通	どちら とも ない	あまり うまくい っていない	ほとん どない	不明
回復度	合計	165	42	99	19	3	1
	100.0	25.5	59.0	11.3	1.8	1.2	-
	大変回復して いる	60	29	29	2	-	-
	100.0	45.3	48.3	3.3	-	-	-
	ある程度回復 している	93	13	64	11	1	-
	どちらともいえ ない	11	-	6	4	1	-
	あまり回復して いない	100.0	-	54.5	35.4	9.1	-
	ほとんど回復し ていない	100.0	-	-	50.0	25.0	25.0

表14 回復度と「医師への信頼度」の相関

		医師への信頼度					
上段: 座数 下段: %	合計	大変に頼 できる	ある程度 頼できる	どちら とも ない	あまり頼 できない	ほとん どない	不明
		頼できる	頼めない	どちら とも ない	頼めない	ほとん どない	不明
回復度	合計	165	56	54	11	2	1
	100.0	33.2	32.7	6.7	1.2	-	1.2
	大変回復して いる	30	47	9	1	2	-
	100.0	78.3	15.0	1.7	3.3	-	1.7
	ある程度回復 している	90	45	40	5	-	-
	どちらともいえ ない	11	3	4	3	-	1
	あまり回復して いない	100.0	27.3	36.4	27.3	-	3.1
	ほとんど回復し ていない	100.0	25.0	25.0	50.0	-	-

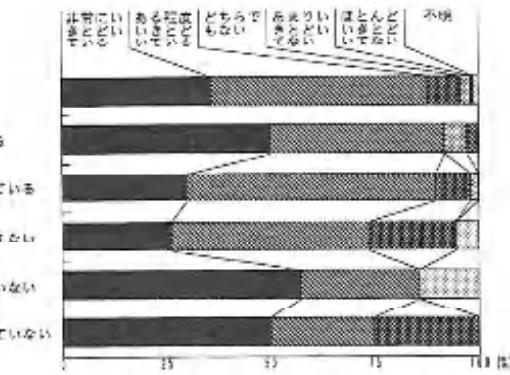


図5 リラックス感と「看護の行き届き度」の相関

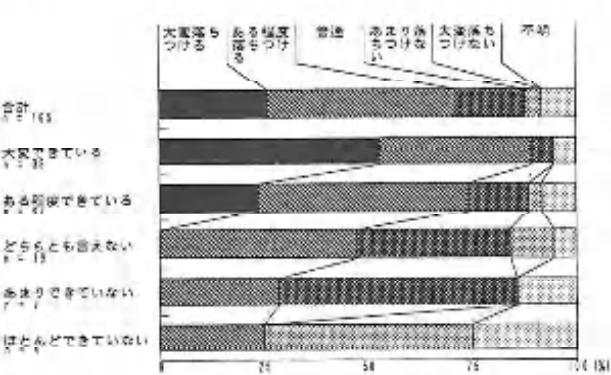


図6 リラックス感と「病室の落ち着き度」の相関

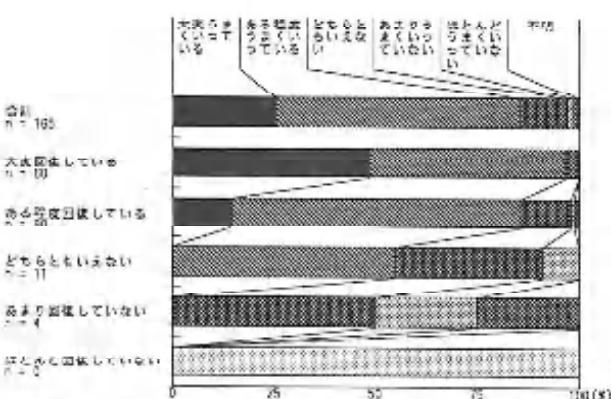


図7 回復度と「他の患者との関係」の相関

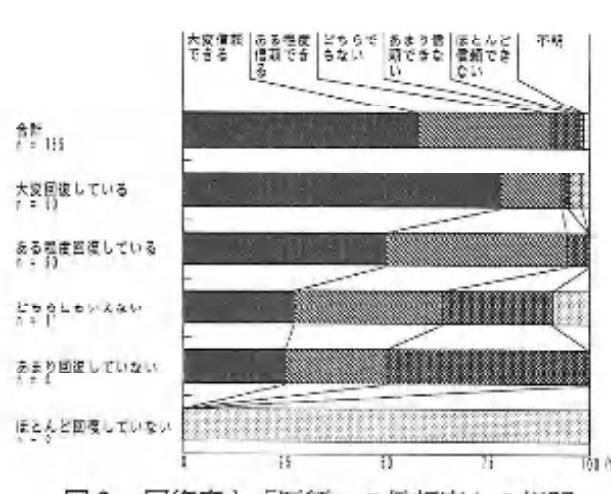


図8 回復度と「医師への信頼度」の相関

の説明変数で再度、重回帰分析を行った結果が表15である。これによると、F値が有意に達しているのは「他の患者との関係」が最も大きく、次に「医師への信頼度」でありこの2つが特に大きい。続いて「小さなコーナーや遊びの空間」「ダイケアルームの落ち着き度」「病室の天井の高さ」があがっている。クロス集計で確認しても、入院して良かったと思っている人はどちらの項目は高い評価を得ている（表16）（図9）、（表17）（図10）。また「換気の良さ」も値が高く有意水準に達しているがマイナスとなっており、これについては入院評価感の高い人も低い人も評価しているが、どちらかと言えば低い人の方が評価しているからである。

以上のことより、患者が入院して良かったと感じるには、回復感の所で述べたと同様に、やはり患者同士の円滑な関係や医師への信頼度が最も重要であり、統いてゆとりの空間も大きな影響を与えている。

#### 4.まとめ

病気の回復度を示すものとして、「退院時のSDS

値」、「入院時と退院時のSDS値の差」、「リラックス感」、「病気回復感」、「入院評価感」の4つをとりあげたが、SDS値は医学的な病状の度合いを示すもので、患者自身が感じるリラックス感や回復感、入院評価感とは異なるが、患者自身が病院でリラックスできる、回復してきている、入院して良かったと感じることが病気の回復につながることから、重要な回復の指標であると考えられる。考察の結果、次のようなことが分かった。

退院時のSDS値すなわち退院時の病気回復の状態に対しては、「外出頻度」「他の患者との関係」「食堂の落ち着き度」が統計的に有意な相関を示しており、院内・外での活動の頻度、病院内の対人関係が大きく関わっていることが分かる。また建物について言えば、病室の天窓や換気の良さなど、空間の快適性が関わっていることが伺える。

入院時と退院時のSDS値の差すなわち患者の入院時から退院時までの回復度に対しては、「デイルームの利用度」が統計的に有意な相関を示しており、「海の景色が見える」「喫茶室の落ち着き度」も高い。共用空間のあり方や病棟周囲の自然環境が大きく関わっている。

表16 入院評価感と「医師への信頼度」の相関

上段: 住民 下段: %	合計	医師への信頼度					
		大変信頼できる ある程度信頼できる どちらともいえない あまり信頼できない ほとんど信頼できない 不規	11	3	-	2	
	合計	165 100.0	96 58.2	54 32.7	11 6.7	3 1.2	-
大変良かったと思っている	95 100.0	69 72.6	22 23.2	1 1.1	2 2.1	-	1
どちらともいえない	54 100.0	24 44.4	25 45.3	5 9.3	-	-	-
あまり良かったとは思っていない	10 100.0	1 10.0	6 60.0	3 30.0	-	-	-
どちらとも言え	10 100.0	10 40.0	6 20.0	3 40.0	-	-	-
あまり良かったとは思っていない	5 100.0	2 40.0	2 40.0	1 20.0	-	-	-
どちらとも思っていない	1 100.0	-	-	-	-	-	-
ほとんど良かったとは思っていない	-	-	-	-	-	-	-
ほとんど良かったとは思っていない	-	-	-	-	-	-	-
不明	1 100.0	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	100.0

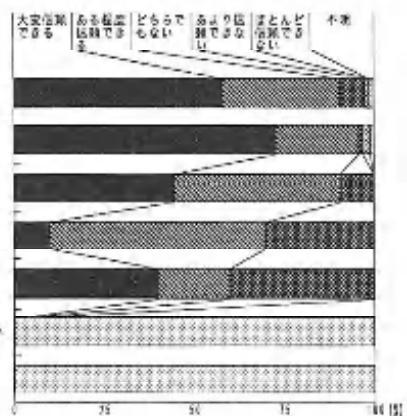


図9 入院評価感と「医師への信頼度」の相関

表17 入院評価感と「他の患者との関係」の相関

上段: 住民 下段: %	合計	他の患者との関係					
		大変うまくあつた いいってうまいとい うるさい	ある程度 いい	どちらともい うるさい	あまりう まくない	ほとんど うまくない	不規
	合計	165 100.0	42 25.5	99 60.0	29 11.5	3 1.2	-
大変良かったと思っている	95 100.0	34 35.8	59 62.1	7 2.1	-	-	-
どちらともいえない	54 100.0	6 14.0	36 66.7	10 18.5	-	-	-
あまり良かったとは思っていない	10 100.0	1 10.0	3 30.0	3 30.0	10 10.0	-	-
どちらとも言え	10 100.0	-	-	-	-	-	-
あまり良かったとは思っていない	5 100.0	-	-	-	-	-	-
どちらとも思っていない	1 100.0	-	-	-	-	-	-
ほとんど良かったとは思っていない	-	-	-	-	-	-	-
不明	1 100.0	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	100.0

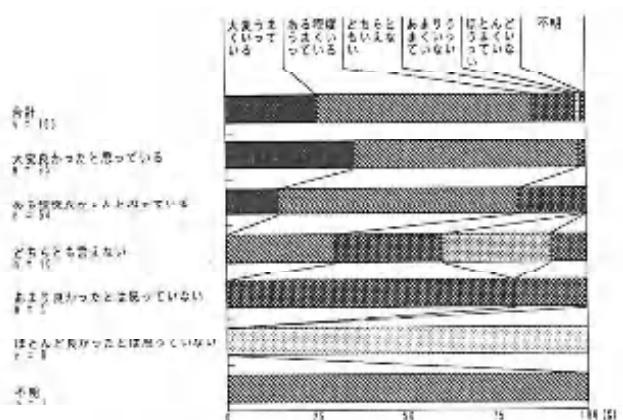


図10 入院評価感と「他の患者との関係」の相関

ていることが分かる。

患者自身が感じるリラックス感に対しては、「病室の落ち着き度」、「他の患者との関係」が統計的に有意な相関を示しており、リビングルームの「落ち着き度」「利用度」や「建物に対する好感度」も高いことから、空間の落ち着き度や院内の対人関係が大きく関わっていることが分かる。1床室でありながら個室の生活感も味わえるように設計された病室や建物に対する好感度を高めていることが重要であると言える。

患者自身が感じる病気の回復感に対しては、「他の患者との関係」、「医師への信頼度」、「デイケアルームの落ち着き度」、「壁面の緩やかなカーブ」が統計的に有意な相関を示しており、院内の対人関係や医師への信頼度と空間の落ち着き度が大きく関わっていることが分かる。また、「廊下に面するテラス」、「建物に対する好感度」も評価が高く、ゆとりのある空間が重要であると言える。患者自身が感じる入院評価感に対しては、「他の患者との関係」、「医師への信頼度」、「小さなコーナーや遊びの空間」、「デイケアルームの落ち着き度」が統計的に有意な相関を示しており、院内の患者同士の対人関係や医師への信頼感およびゆとり

のある空間が大きく関わっており、上記の回復感と似た評価であることが分かる。今回は病気の回復を医学的に判定する指標として、SDS値を採用したが、これは患者の自己評価による抑うつ性尺度であり、患者によっては、入院時よりも退院時の方が却って数値上の評価が悪くなっている人もあり、データの信頼性の点で検討を要する。病気の回復を医学的に、より客観的に判定する指標があればその方が良いと思われるが、SDS調査以外に医師による評価尺度であるハミルトン法というものもあり、今後病院側の協力を得てこの指標で再度分析することも考えている。

#### 謝辞

本研究は、大木建設株式会社からの研究助成により、数年間にわたり有明高専建築学科の卒業研究生とともに行ったものであり、調査の際には、不知火病院の徳永院長はじめスタッフの方々と患者の皆さまの温かいご協力を得て行うことができました。ここに記して感謝の意を表します。

# ストレス関連疾患病棟の空間構成に関する研究

## その2 不知火病院・海の病棟の空間印象の分析

新谷肇一・田中三雄

(平成12年9月29日受稿)

A Study on the Space Designs of Wards for Patients with Stress-Related Disease  
Part 2 Analysis of Spatial Impressions on the Seaside Ward of Shiranui Hospital

Choichi SHINYA, Mitsuo TANAKA

As the case study on the space design of wards for patients with stressrelated disease, the purpose of this study is to define the factors of spatial impressions of various interior spaces in the Seaside Ward of Shiranui Hospital which is a pioneer in the treatment of stress care with Semantic Differential Technique. As a result, we found out that four factors of spatial impressions, - warmth of space, cleanliness of space, spread of space and softness of space are important for patients' recovery from stress-related disease.

### 1. はじめに

前報に続き、ストレス関連疾患病棟である大牟田市の不知火病院・海の病棟（ストレス・ケア・センター）における入院患者を対象に S D 法（Semantic Differential Technique）による空間意識の調査を行い、因子分析による解析を行った。患者に対する印象調査に関するアンケートは、1997年10月30日から1998年7月17日までに、不知火病院・海の病棟を退院した患者165名を対象に、患者の退院時に行ったものである。S D 法は、ある空間などを体験し、その結果生じた心的反応を測定する時に用いられる。今回の調査では、空間の〈雰囲気〉を表す26の形容詞対（例えば〈狭い感じー広い感じ〉や〈殺風景な感じー雰囲気のある感じ〉など）を評定尺度として7段階評価により、患者が病棟の建物全体、病室、デイルーム、リビングルームに対してどういう印象を受けているかを調査した。ここで、最初に用意した尺度は有意的なものであるから、後に述べるような数学的処理（因子分析）を施してこれらを整理し、もしその結果、n 個の項目（尺度）で代表させることが適当であることが分かったら、物理的空间の雰囲気は、n 次元の心理的空間上の点として、定量的に表現されることになる（参考文献<sup>1), 2)</sup>）。

### 2. 評定平均値（プロフィル）

病棟の建物全体、病室、デイルーム、リビングルームの各尺度ごとの平均値すなわち評定平均値（プロフィル）をグラフに示したのが図1である。すなわち

1) 〈病棟全体〉については、評価が高かったものは、「清潔感」「明るさ」があげられる。次いで、「さわやかさ」「雰囲気がある」が高い。これより清潔で手入れのいきとどいたところが、患者にとって居心地のよい雰囲気を醸し出していると考えられる。

2) 〈病室〉については、「清潔感」が高い評価を得、次いで「明るさ」「整然さ」が高い。この病室の清潔感、明るさは病棟の評価に反映されている。また、収納などきちんと整った病室になっていることから患者が病室に対して整然を感じるのであろう。

3) 〈デイルーム〉については、病棟全体、病室同様、「清潔感」が高い評価を得、次いで「明るさ」「さわやかさ」が高く、病棟全体に近い評価となっている。しかし、比較的どの尺度も中立点に近い値になっている。

4) 〈リビングルーム〉については、評価が高いものは、「清潔感」「明るさ」「開放的な感じ」である。これより、リビングルームは食堂と一体となった明るく開放的な空間が評価されていると考えられる。

5) 4 空間を比較しながら全体的にみると、どれも「清潔感」が最も高い評価を得ており、次いで「明る

さ」があげられる。病棟全体、病室の評価と比べると比較的、デイルーム、リビングルームの評価は落ちるが、全体的によい評価を得ている。

### 3. 因子分析

因子分析は「目的変数のない場合」の手法で、変数相互の関係から因子軸を見つけることを目的としている。今回は7つの因子軸を見つけ出した。因子の解釈は、因子負荷量の大きさと平均値によって行う。そのままでは解釈が困難な場合は、因子軸の回転を行う直行回転のパリマックス法を用いて、その回転後の結果を出力している。因子負荷量の値から、各々のファクターに対する変数の影響の度合いが分かり、変数相互の「位置関係」や「類似性」などを把握することができる。

以下の因子負荷量表は各因子軸ごとの因子負荷量の大きいものを集めて、因子軸ごとのグルーピングが一日でわかるようにまとめて太線で囲んだものである。尺度名はそれぞれ対になった形容詞になっており、1～7までの間でそれぞれ平均値がとられている。平均値は4.0を中心点として1に近ければ左側の形容詞に、7に近ければ右側の形容詞に従属している事を示している。各因子の種別は、さしあたり、第1・第2因子を主要因子、第3・第4因子を強力因子、第5・第6因子を必要因子とし、残りの第7因子は特性因子とする。また、因子寄与とはそれぞれの因子に対する寄与

率を表している（参考文献<sup>1), 2)</sup>）。

#### 1) 病棟の建物全体の印象

病棟全体の評価では、表1の〈寂風景な感じ—霧囲気のある感じ〉から〈落ち着かない感じ—落ち着く感じ〉までの尺度を第1因子軸（自然な感じ—人工的な感じ）から〈つるつるした感じ—ざらついた感じ〉までの尺度を第2因子軸とし、この2つを主要因子とした。〈楽しい感じ—つまらない感じ〉から〈明るい感じ—暗い感じ〉までの尺度を第3因子軸（不潔な感じ—清潔な感じ）から〈うっとうしい感じ—さわやかな感じ〉を第4因子軸とし、この2つの強力因子とした。〈男性的な感じ—女性的な感じ〉から〈変化のある感じ—単調な感じ〉を第5因子軸、〈動的な感じ—静的な感じ〉を第6因子軸、〈格式ばった感じ—型にはまらない感じ〉から〈しつとりとした感じ—さらっとした感じ〉を第7因子軸とし、この3つを必要因子とした。

この因子負荷量の表から、病棟が入院患者に与える印象として、主要因子では影響力の大きい尺度名からとて第1因子軸を「空間のゆとり因子」、第2因子軸を「空間の落ち着き・安心感因子」として因子名をつけた。主要因子以下の因子名は第3因子軸を「空間の温かさ・活気因子」、第4因子軸を「空間の清潔・整然因子」、第5因子軸を「空間の女性的なやわらかさ因子」、第6因子を「静的な空間因子」、第7因子を「空間の遊びデザイン因子」とした。

次に、各因子内での項目間の相関を調べてみると、入院患者による病棟評価の第1因子軸「空間のゆとり

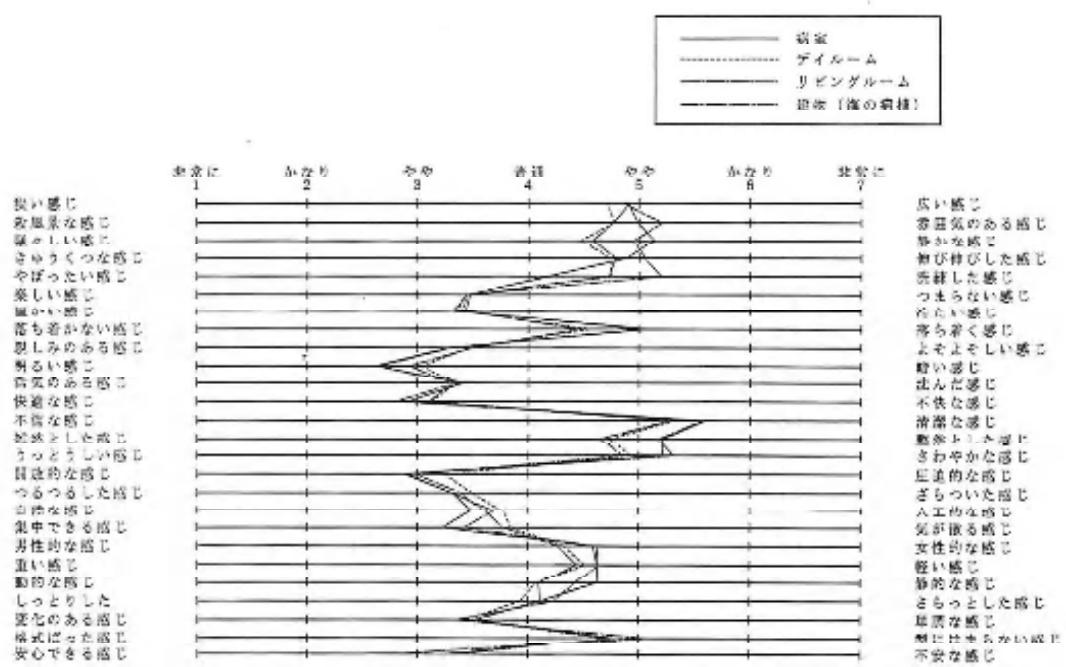


図1 病棟・病室・デイルーム、リビングルームの評定尺度および評定平均値図

因子」においては、〈窮屈な感じー伸び伸びした感じ〉の尺度と〈騒々しい感じー静かな感じ〉の尺度の相関が0.6662と高く、次いで〈窮屈な感じー伸び伸びした感じ〉の尺度と〈野暮ったい感じー洗練された感じ〉の尺度の相関が0.0126、〈殺風景な感じ 霧囲気のある感じ〉の尺度と〈窮屈な感じー伸び伸びした感じ〉の尺度の相関が0.5896となっている。このことから、患者にとって伸び伸びした感じは、静かさや洗練された感じと関連していることがわかる。第2因子軸は相関値が低く、第3因子軸「空間の温かさ・活気因子」においては、〈楽しい感じーつまらない感じ〉の尺度と〈温かい感じー冷たい感じ〉の尺度の相関が0.7565と最も高く、この楽しい感じと温かい感じは互いに関連していることがわかる。第4因子軸「空間の清潔・整然因子」においては、〈うっとうしい感じーさわやかな感じ〉の尺度と〈不潔な感じー清潔な感じ〉の尺度の相関が0.7311と最も高く、さわやかさと清潔感が互いに関連している。第5因子以下の因子は相関値が低く、因子に対しての影響力はあまり高いとは言えない。

## 2) 病室の印象

病室評価では、表2の〈温かい感じー冷たい感じ〉から〈しつとりした感じーさらっとした感じ〉までの尺度を第1因子軸、〈窮屈な感じー伸び伸びした感じ〉から〈殺風景な感じ 霧囲気のある感じ〉までの尺度を第2因子軸とし、この2つを主要因子とした。〈不潔な感じー清潔な感じ〉から〈開放的な感じー圧迫的な感じ〉までの尺度を第3因子軸、〈男性的な感じー女性的な感じ〉から〈重い感じー軽い感じ〉までの尺度を第4因子軸とし、この2つを強力因子とした。〈格式ばった感じー型にはまらない感じ〉から〈変化のある感じー單調な感じ〉を第5因子軸、〈自然な感じー人工的な感じ〉を第7因子軸とし、この2つを必要因子とした。

この因子負荷量の表から、病室が入院患者に与える印象として影響力の大きい尺度名より、主要因子では第1因子軸を「空間の温かさ・活気因子」、第2因子軸を「空間のゆとり因子」として因子名をつけた。主要因子以下の因子名は第3因子軸を「空間の清潔・整然因子」、第4因子軸を「空間の女性的なやわらかさ因子」、第5因子軸を「空間の遊びデザイン因子」、第

表1 因子負荷量(病棟全体)

尺度名	平均	1因子	2因子	3因子	4因子	5因子	6因子	7因子
殺風景な感じ-霧囲気のある感じ	5.22	-0.7260	-0.1650	-0.0881	0.1622	-0.1580	-0.0474	0.1108
窮屈な感じ-伸び伸びした感じ	5.08	-0.6585	-0.1683	-0.2508	0.3641	-0.1972	0.0359	0.0390
騒々しい感じ-静かな感じ	4.95	-0.6184	-0.2012	-0.2151	0.2705	-0.1919	0.2945	-0.0674
狭い感じ-広い感じ	4.86	-0.6041	-0.2685	-0.0570	0.1118	0.0037	-0.1538	-0.1605
野暮ったい感じ-洗練された感じ	5.20	-0.5526	-0.1449	-0.1778	0.4188	-0.1919	-0.0111	0.0077
落ち着かない感じ-落ち着く感じ	5.02	-0.5386	-0.3836	-0.2005	0.2239	-0.1771	0.0680	-0.0069
自然な感じ-人工的な感じ	3.71	0.1684	0.6895	0.1485	-0.0492	0.0088	-0.0372	-0.0341
集中できる感じ-気が散る感じ	3.43	0.2821	0.6614	0.2325	-0.1748	0.1506	0.0170	-0.0708
開放的な感じ-圧迫的な感じ	2.91	0.2192	0.5595	0.2946	-0.2547	0.2341	-0.0016	0.0929
安心できる感じ-不安な感じ	2.85	0.3945	0.4909	0.2035	-0.1856	0.1999	-0.1781	-0.2871
親しみのある感じ-よそよそしい感じ	3.31	0.2959	0.4900	0.3804	-0.1932	0.0769	0.2106	-0.2672
つるつるした感じ-ざらついた感じ	3.31	0.0154	0.3994	0.2046	-0.3958	0.3775	-0.0165	0.0890
美しい感じ-つまらない感じ	3.43	0.1539	0.2137	0.8262	-0.1273	0.0782	-0.0073	0.0104
温かい感じ-冷たい感じ	3.35	0.1196	0.2376	0.7868	-0.0655	0.1741	0.0151	-0.1240
快適な感じ-不快な感じ	2.81	0.2771	0.4738	0.5006	-0.2635	0.1223	0.0591	-0.2747
活気のある感じ-沈黙した感じ	3.36	0.2079	0.2898	0.4691	-0.2760	0.0805	0.4254	-0.0841
明るい感じ-暗い感じ	2.65	0.2120	0.3607	0.4110	-0.2799	0.0189	0.3174	-0.3287
不潔な感じ-清潔な感じ	5.57	-0.2750	-0.0924	-0.0578	0.7878	-0.0641	-0.0643	0.1438
雰囲とした感じ-整然とした感じ	5.18	-0.1696	-0.1886	-0.1097	0.7019	-0.1998	0.0499	0.0848
うっとうしい感じ-さわやかな感じ	5.31	-0.4054	-0.2261	-0.1987	0.6587	-0.1207	0.0138	0.1325
男性的な感じ-女性的な感じ	4.62	-0.2027	-0.0293	-0.0724	0.2729	-0.4951	0.0007	0.0890
重い感じ-軽い感じ	4.64	-0.2317	-0.2492	-0.2570	0.1672	-0.4635	0.2000	0.2540
変化のある感じ-単調な感じ	3.35	0.2906	0.3188	0.3139	-0.0086	0.3888	0.2552	0.0115
單純な感じ-複雑な感じ	4.43	-0.0493	-0.0514	0.0333	0.0253	-0.0091	0.8091	0.1003
格式ばった感じ-型にはまらない感じ	5.08	-0.3537	-0.2116	-0.0402	0.0597	-0.3833	-0.1380	0.4240
しつとりした感じ-さらつとした感じ	4.23	0.1551	0.0055	-0.0812	0.1200	-0.0526	0.1089	0.4031
因子寄与率		13.5(%)	11.7(%)	10.6(%)	10.4(%)	5.1(%)	3.9(%)	3.4(%)

7因子軸を「空間の自然因子」とした。

次に各因子内の項目間の相関を調べてみると、病室評価の第1因子軸「空間の温かさ・活気因子」においては、〈温かい感じ-冷たい感じ〉の尺度と〈親しみのある感じ-よそよそしい感じ〉の尺度の相関が0.8231で最も高く、次いで〈温かい感じ-冷たい感じ〉の尺度と〈楽しい感じ-つまらない感じ〉の尺度の相関が0.7939となっている。このことから温かい感じは、親しみ感と楽しい感じに非常に関連し合っており、温かい感じが増すと、親しみ感や楽しい感じが増すといえる。第2因子軸の「空間のゆとり因子」においては〈窮屈な感じ-伸び伸びした感じ〉の尺度と〈狭い感じ-広い感じ〉の相関が0.6700で最も高く、次いで〈窮屈な感じ-伸び伸びした感じ〉の尺度と〈安心できる感じ-不安な感じ〉の尺度の相関が0.6697となっている。このことから開放感は広さと安心感に非常に関連し合っており、広さや安心感が増すと開放感が増すといえる。第3因子軸の「空間の清潔・整然因子」は〈雑然とした感じ-整然とした感じ〉の尺度と〈うつとうしい感じ-さわやかな感じ〉の尺度の相関が0.7438であり、この2つの尺度が互いに関連し合っている

ことが分かる。第4因子軸以下の因子は、相関値が低く、因子に対しての影響力はあまり大きいとは言えない。

### 3) デイルームの印象

デイルームの評価では、表3の〈温かい感じ-冷たい感じ〉から〈安心できる感じ-不安な感じ〉までの尺度を第1因子軸〈雑然とした感じ-整然とした感じ〉から〈集中できる感じ-気が散る感じ〉までの尺度を第2因子軸とし、この2つの主要因子とした。〈広い感じ-狭い感じ〉から〈窮屈な感じ-伸び伸びした感じ〉までを第3因子軸、〈格式ばった感じ-型にはまらない感じ〉から〈変化のある感じ-単調な感じ〉までを第4因子軸とし、この2つを強力因子とした。〈しっとりとした感じ-さらっとした感じ〉を第5因子軸、〈動的な感じ-静的な感じ〉から〈男性的な感じ-女性的な感じ〉を第6因子軸、〈開放的な感じ-圧迫的な感じ〉を第7因子軸とし、これを必要因子とした。

この因子負荷量の表からデイルームが入院患者に与える印象として、主要因子では影響力の大きい尺度名より第1因子軸を「空間の温かさ・活気因子」、第2

表2 因子負荷量(病室)

尺度名	平均	1因子	2因子	3因子	4因子	5因子	6因子	7因子
温かい感じ-冷たい感じ	3.31	0.8325	0.2105	0.0877	0.1191	-0.0706	-0.0300	0.2069
親しみのある感じ-よそよそしい感じ	3.28	0.8036	0.2759	0.2184	0.1546	-0.0340	-0.0506	0.1773
楽しい感じ-つまらない感じ	3.46	0.7515	0.2635	0.0402	0.1387	-0.0561	-0.1521	0.1802
明るい感じ-暗い感じ	2.62	0.7091	0.1819	0.2835	0.0826	-0.1355	0.1204	0.2107
活気のある感じ-沈黙した感じ	3.42	0.6845	0.2482	0.1557	0.1610	-0.1658	-0.2524	-0.0036
快適な感じ-不快な感じ	2.91	0.5398	0.5154	0.4041	0.2221	-0.1444	-0.0908	-0.1849
しっとりした感じ-さらっとした感じ	4.11	0.2348	-0.0354	0.0140	-0.0847	0.0878	-0.1950	0.0560
窮屈な感じ-伸び伸びした感じ	4.89	-0.3469	-0.7154	-0.3169	-0.1641	0.0851	0.2223	-0.0167
落ち者かない感じ-落ち着く感じ	5.09	-0.1665	0.6818	-0.2236	-0.0813	0.2417	-0.0382	-0.0364
集中できる感じ-気が散る感じ	3.23	0.2530	0.6552	0.2504	0.1094	-0.1478	-0.0758	0.2389
騒々しい感じ-静かな感じ	5.14	-0.2318	-0.6520	-0.2761	-0.2674	0.0301	-0.0356	-0.0566
安心できる感じ-不安な感じ	3.04	0.4935	0.5409	0.2936	0.1528	0.0518	0.1064	-0.0680
狭い感じ-広い感じ	4.90	-0.1724	-0.5111	-0.2792	-0.0760	-0.0252	0.4601	-0.0654
殺風景な感じ-雰囲気のある感じ	4.99	-0.4388	-0.4969	-0.2255	-0.2168	0.1177	0.2142	-0.0966
不適な感じ-適度な感じ	5.60	-0.0833	-0.3539	-0.7267	0.0391	0.1847	0.0584	-0.0148
雑然とした感じ-整然とした感じ	5.22	-0.1209	-0.3849	-0.6909	-0.2414	0.1397	0.0623	-0.2138
うつとうしい感じ-さわやかな感じ	5.22	-0.2830	-0.3456	-0.6504	-0.3220	0.1277	0.0038	-0.0300
つるつるした感じ-ざらついた感じ	3.32	0.2596	0.1391	0.5421	0.4775	-0.1025	-0.1298	0.1405
開放的な感じ-圧迫的な感じ	2.88	0.3625	0.3748	0.5332	0.2184	-0.2228	-0.1095	-0.1028
男性的な感じ-女性的な感じ	4.59	-0.1373	-0.0284	-0.0725	-0.5774	-0.0052	0.0725	0.0580
動的な感じ-静的な感じ	4.62	0.0287	-0.2661	-0.1022	-0.5107	-0.0084	-0.1497	-0.0196
重い感じ-軽い感じ	4.62	0.2847	-0.2213	-0.3975	-0.5086	-0.0165	0.1014	-0.2434
格式ばった感じ-型にはまらない感じ	4.77	-0.1884	-0.2661	-0.0625	-0.2215	0.5993	0.0823	-0.1084
野暮ったい感じ-洗練された感じ	4.18	0.0313	0.0086	-0.1732	0.1985	0.5272	-0.1080	-0.0106
変化のある感じ-単調な感じ	3.52	0.3354	0.2329	0.1648	0.2159	-0.4020	-0.3388	-0.1492
自然な感じ-人工的な感じ	3.50	0.3321	0.2820	0.2811	0.0092	-0.1334	-0.0481	0.4597
因子寄与率		17.7(%)	15.6(%)	12.1(%)	6.8(%)	4.3(%)	2.6(%)	2.5(%)

因子軸は「空間の清潔・整然因子」として因子名をついた。主要因子以下の因子名は、第3因子軸を「空間のゆとり因子」、第4因子軸を「空間の遊びデザイン因子」、第5因子軸を「空間の自然因子」、第6因子軸を「空間の女性的なやわらかさ因子」、第7因子軸を「空間の開放性因子」とした。

次に、項目間の相関を調べてみると、デイルーム評価の第1因子軸「空間の温かさ・活気因子」においては〈活気のある感じー沈滞した感じ〉の尺度と〈明るい感じー暗い感じ〉の尺度の相関が0.7704で最も高く、次いで〈温かい感じー冷たい感じ〉の尺度と〈楽しい感じーつまらない感じ〉の尺度の相関が0.7268、〈明るい感じー暗い感じ〉の尺度と〈快適な感じー不快な感じ〉の尺度の相関が0.7079となっており、それぞれ高い相関を示しており、空間の温かさや活気は、明るさや楽しさ、快適さに関連していることがわかる。第2因子軸の「空間の清潔・整然因子」においては、〈うつとうしい感じーさわやかな感じ〉の尺度と〈野暮ったい感じー洗練された感じ〉の尺度の相関が0.6837で最も高く、次いで〈雰囲とした感じー整然とした感じ〉の尺度と〈野暮ったい感じー洗練された感じ〉の尺度

の相関が0.6393となっており、空間の清潔・整然さはさわやかさと洗練さが関連している。第3因子の「空間のゆとり因子」においては〈狭い感じー広い感じ〉の尺度と〈殺風景な感じー霧囲気のある感じ〉の尺度の相関が0.7073と最も高く、次に〈狭い感じー広い感じ〉の尺度と〈窮屈な感じー伸び伸びした感じ〉の尺度の相関が0.6996、〈殺風景な感じー霧囲気のある感じ〉の尺度と〈窮屈な感じー伸び伸びした感じ〉の尺度の相関が0.6792となっており、これらが互いに関連している。第4因子以下の因子は相関値が低く因子に対する影響力はあまり大きいとは言えない。

#### 4) リビングルームの印象

リビングルームの評価では、表4の〈親しみのある感じーよそよそしい感じ〉から〈うつとうしい感じーさわやかな感じ〉までの尺度を第1因子軸、〈狭い感じー広い感じ〉から〈騒々しい感じー静かな感じ〉までの尺度を第2因子軸とし、この2つを主要因子とした。〈男性的な感じー女性的な感じ〉から〈不潔な感じー清潔な感じ〉までの尺度を第3因子軸、〈落ち着かない感じー落ち着く感じ〉から〈集中できる感じー気が散る感じ〉までの尺度を第4因子軸とし、この2

表3 因子負荷量(デイルーム)

尺度名	平均	1因子	2因子	3因子	4因子	5因子	6因子	7因子
温かい感じー冷たい感じ	3.40	-0.7832	0.1514	0.1388	0.1277	-0.1890	0.2061	-0.0184
楽しい感じーつまらない感じ	3.45	0.7643	0.1394	0.1622	0.0546	-0.0971	0.0545	-0.0578
活気のある感じー沈滞した感じ	3.36	-0.7016	0.3008	0.2289	0.0863	-0.2039	-0.3100	-0.0028
親しみのある感じーよそよそしい感じ	3.47	-0.6549	0.2427	0.0999	0.0547	-0.1201	0.1499	-0.3409
明るい感じー暗い感じ	3.03	-0.6367	0.4276	0.1911	0.2778	-0.0395	-0.1225	-0.1612
快適な感じー不快な感じ	3.13	-0.6145	0.4461	0.1835	0.3021	0.0204	-0.0433	-0.2460
安心できる感じー不安な感じ	3.40	-0.5601	0.3321	0.1397	0.2071	-0.1925	0.0486	-0.3558
雰囲とした感じー整然とした感じ	4.74	0.1550	-0.7654	-0.2799	-0.0243	0.0608	-0.0264	-0.0971
うつとうしい感じーさわやかな感じ	4.92	0.3231	-0.6961	-0.2272	-0.2276	-0.0387	-0.0728	0.1244
不潔な感じー清潔な感じ	5.31	0.2140	-0.6131	-0.1889	-0.3001	-0.0325	-0.1383	-0.0687
つるつるした感じーざらついた感じ	3.50	-0.3404	0.5910	0.0629	0.1309	-0.1562	0.0310	-0.1600
野暮ったい感じー洗練された感じ	4.75	0.2358	-0.5908	-0.4656	-0.2401	0.0066	-0.0502	0.0592
重い感じー軽い感じ	4.51	0.1633	0.5321	-0.3057	-0.4368	0.0903	-0.0425	0.1321
落ち着かない感じー落ち着く感じ	4.56	0.2923	-0.5111	-0.3038	-0.1002	0.1291	-0.1249	0.2694
集中できる感じー気が散る感じ	3.85	-0.4799	0.4949	0.1863	0.0375	-0.2936	-0.0925	-0.1972
狭い感じー広い感じ	4.72	0.1063	-0.2037	-0.7998	-0.0747	0.0310	-0.0623	0.1763
殺風景な感じー霧囲気のある感じ	4.78	0.2787	-0.2837	0.7117	-0.2427	0.0384	-0.1132	0.0173
窮屈な感じー伸び伸びした感じ	4.74	0.2814	-0.4370	0.6637	-0.0852	0.0384	-0.0617	0.1169
格式ばった感じー型にはまらない感じ	4.73	0.1652	-0.3456	-0.1966	-0.5573	0.0152	0.0549	0.0384
変化のある感じー单调な感じ	3.44	-0.3271	0.1053	0.0773	-0.5456	-0.2738	-0.1889	-0.1994
しっとりした感じーさらっとした感じ	3.93	-0.1297	-0.0947	0.0588	0.0994	-0.6254	-0.0694	0.0122
自然な感じー人との感じ	3.78	-0.1539	0.1938	-0.0349	0.0271	0.5424	0.0015	-0.1264
動的な感じー静的な感じ	4.08	0.0140	0.0139	-0.0333	0.0921	-0.0698	-0.5650	0.0437
騒々しい感じー静かな感じ	4.47	0.1372	-0.3546	-0.3658	-0.1801	-0.0693	-0.4594	0.0113
男性的な感じー女性的な感じ	4.33	-0.0037	-0.2204	-0.1203	-0.4463	0.1416	-0.4484	-0.1445
開放的な感じー圧迫的な感じ	3.25	-0.2922	0.1038	0.1937	0.0087	-0.1092	0.0001	-0.6203
因子寄与率		16.7(%)	16.5(%)	10.1(%)	6.1(%)	4.2(%)	4.0(%)	3.9(%)

つを強力因子とした。〈自然な感じ-人工的な感じ〉から〈格式ばった感じ-型にはまらない感じ〉を第5因子軸、〈しっとりした感じ-さらっとした感じ〉を第6因子軸とし、〈動的な感じ-静的な感じ〉を第7因子軸としこの2つを必要因子とした。

この因子負荷量の表からリビングルームが入院患者に与える印象として、主要因子では影響力の大きい尺度名より第1因子軸を「空間の温かさ・活気因子」と、第2因子軸を「空間のゆとり因子」として因子名をつけた。主要因子以下の因子名は第3因子軸を「空間の女性的なやわらかさ因子」、第4因子軸を「空間の清潔・整然因子」、第5因子を「空間の遊びデザイン因子」、第6因子軸を「さらっとした空間因子」、第7因子軸を「静的な空間因子」とした。

次に、各因子内での項目間の相関を調べてみると、リビングルームの評価の第1因子軸「空間の温かさ・活気因子」においては〈親しみのある感じ-よそよそしい感じ〉の尺度と〈温かい感じ-冷たい感じ〉の尺度の相関が0.7459で最も高く、次いで〈明るい感じ-暗い感じ〉の尺度と〈快適な感じ-不快な感じ〉の尺度の相関が0.7351となっている。このことから、温か

さは親しみや明るさ、快適さとの関連が非常に強く、温かさが増すと親しみや快適さが増すと言える。第2因子軸の「空間のゆとり因子」においては〈殺風景な感じ-霧雨氣のある感じ〉の尺度と〈野暮ったい感じ-洗練された感じ〉の尺度の相関が0.7684で最も高く、次いで〈狭い感じ-広い感じ〉の尺度と〈窮屈な感じ-伸び伸びした感じ〉の尺度の相関が0.7077となっている。これより開放感は広さや洗練された感じと非常に関連していることがわかる。第3因子以下の因子は相関値が低く、因子に対しての影響力はあまり大きいとは言えない。

#### 5) 総合空間の印象

ここでいう総合空間の印象とは、病室、デイルーム、リビングルームの3空間の空間印象データを加え合わせ分析を行った結果である。3空間を総合した因子名を見つけることを目的としている。

総合空間の印象では、表5の〈温かい感じ-冷たい感じ〉から〈つるつるした感じ-ざらついた感じ〉までの尺度を第1因子軸、〈雑然とした感じ-整然とした感じ〉から〈自然な感じ-人工的な感じ〉までの尺度を第2因子軸とし、この2つを主要因子とした。〈狭

表4 因子負荷量(リビングルーム)

尺度名	平均	1因子	2因子	3因子	4因子	5因子	6因子	7因子
親しみのある感じ-よそよそしい感じ	3.50	0.8380	0.1308	0.0566	-0.2142	0.0707	0.0460	0.1917
温かい感じ-冷たい感じ	3.43	0.7757	0.1483	0.1882	-0.0908	0.2495	-0.1166	0.0910
美しい感じ-つまらない感じ	3.47	0.7701	0.1663	0.1607	-0.0683	0.2138	0.0714	-0.0289
活気のある感じ-沈黙した感じ	3.32	0.7427	0.2273	0.2230	-0.1752	0.0628	-0.0597	-0.2061
明るい感じ-暗い感じ	2.93	0.6621	0.4257	0.3306	-0.0883	0.0644	0.1370	0.0106
快適な感じ-不快な感じ	3.11	0.6063	0.4113	0.2370	-0.3315	0.1247	0.0701	-0.1460
安心できる感じ-不安な感じ	3.27	0.5749	0.3486	0.2719	-0.3204	0.2743	-0.0187	-0.1274
うつとうしい感じ-さわやかな感じ	4.85	-0.4546	0.3554	-0.3893	0.4326	-0.1375	-0.2511	-0.0321
狭い感じ-広い感じ	4.91	-0.1097	-0.7723	-0.0553	0.2051	-0.1449	-0.1314	0.0063
窮屈な感じ-伸び伸びした感じ	4.79	-0.2502	-0.7385	-0.1471	0.1056	-0.2037	-0.0376	-0.2621
殺風景な感じ-霧雨氣のある感じ	4.77	-0.4240	-0.6900	-0.2167	0.2791	-0.0673	0.1073	0.0533
野暮ったい感じ-洗練された感じ	4.73	-0.2584	-0.8663	-0.2731	0.3644	0.0354	0.1075	-0.0412
開放的な感じ-圧迫的な感じ	2.98	0.4502	0.5099	0.2414	0.1655	0.3025	0.1587	-0.0524
穏やかな感じ-静かな感じ	4.58	-0.1856	-0.4850	-0.3309	0.3926	-0.0511	0.1673	-0.2745
男性的な感じ-女性的な感じ	4.27	-0.1271	-0.0833	-0.5688	0.1191	-0.0576	-0.1206	-0.1381
つるつるした感じ-ざらついた感じ	3.40	0.3543	0.2578	0.5097	-0.1757	0.0643	0.0173	0.1664
重い感じ-軽い感じ	4.44	-0.3339	-0.2437	-0.5040	0.1469	-0.2802	-0.0716	0.0991
不潔な感じ-清潔な感じ	5.27	-0.3579	-0.2701	-0.4475	0.3840	-0.0528	-0.2919	0.0101
落ち着かない感じ-落ち着く感じ	4.46	-0.2274	-0.3037	-0.0636	0.5705	-0.2295	-0.0870	-0.1051
雑然とした感じ-整然とした感じ	4.65	-0.0845	-0.1997	-0.3169	0.5425	-0.0808	-0.1060	-0.2424
集中できる感じ-気が散る感じ	3.78	0.4844	0.1838	0.1991	-0.5277	0.1240	-0.1992	0.0239
自然な感じ-人工的な感じ	3.60	0.4118	0.1049	0.0584	-0.2080	0.5367	-0.1353	0.1219
変化のある感じ-一貫性のある感じ	3.51	0.3415	0.3388	0.3698	-0.1617	0.4468	-0.1530	-0.1424
格式ばった感じ-型にはまらない感じ	4.81	-0.2569	-0.3906	-0.2054	0.1972	-0.4446	-0.1967	0.0520
しっとりした感じ-さらっとした感じ	4.11	0.0092	-0.0135	-0.0954	0.0219	0.0243	-0.4958	-0.1406
動的な感じ-静的な感じ	4.09	0.0661	-0.0624	-0.1053	0.1238	0.0019	-0.1918	-0.5191
因子寄与率		20.7(%)	15.1(%)	8.5(%)	8.4(%)	4.8(%)	2.8(%)	2.7(%)

い感じー広い感じ)から〈野暮ったい感じー洗練された感じ〉までを第3因子軸、〈重い感じー軽い感じ〉から〈変化のある感じー単調な感じ〉を第4因子軸とし、この2つを強力因子とした。〈動的な感じー静的な感じ〉を第5因子軸、〈しっとりした感じーさらっとした感じ〉を第6因子軸、〈開放的な感じー圧迫的な感じ〉を第7因子軸とし、この3つを必要因子とした。

この因子負荷量の表から、3空間が入院患者に与える印象として、影響力の大きい尺度名より主要因子では第1因子軸を「空間の温かさ・活気因子」、第2因子軸を「空間の清潔・整然因子」として因子名を付けた。主要因子以下の因子名は、第3因子軸を「空間のゆとり因子」、第4因子軸を「空間の女性的やわらかさ因子」、第5因子軸を「静的な空間因子」、第6因子軸を「さらっとした空間因子」、第7因子軸を「空間の開放性因子」とした。

次に各因子軸内での項目間の相関を調べてみると、入院患者による全体評価の第1因子軸「空間の温かさ・活気因子」においては「温かい感じー冷たい感じ」の尺度と「楽しい感じーつまらない感じ」の尺度の相関が0.7615と最も高く、次いで「温かい感じー冷たい感じ

じ」の尺度と「親しみのある感じーよそよそしい感じ」の尺度の相関が0.7255となっていることから患者にとって温かい感じは楽しい感じや親しみのある感じと関連が非常に高く、温かさが増すと楽しさや親しみが増すということが言える。第2因子軸は相関値が低く、第3因子軸「空間のゆとり因子」においては「狭い感じー広い感じ」の尺度と「窮屈な感じー伸び伸びとした感じ」の尺度の相関が0.6885と最も高く、次に「窮屈な感じー伸び伸びとした感じ」の尺度と「殺風景な感じー雰囲気のある感じ」の尺度の相関が0.6865、「狭い感じー広い感じ」の尺度と「殺風景な感じー雰囲気のある感じ」の尺度の相関が0.6543と高く、3つの尺度は互いに相関が高いことがわかる。第4因子軸以下の因子は相関値が低く、因子に対する影響力はあまり高いとは言えない。

#### 6) 各空間の因子軸構成の比較

以上述べた各空間ごとの因子軸構成を表6に示す。

この表より、3空間をまとめた総合空間の因子軸構成は、第1、第2および第3因子軸でデイルームのそれと同じであり、3空間の中で一番影響を及ぼしたと考えられる、海の病棟の建物全体に対する印象と3つ

表5 因子負荷量(総合空間:病室+デイルーム+リビングルーム)

尺度名	平均	1因子	2因子	3因子	4因子	5因子	6因子	7因子
温かい感じー冷たい感じ	3.39	0.7812	0.1614	-0.1400	0.1603	-0.0050	0.2403	-0.0147
親しみのある感じーよそよそしい感じ	3.42	0.7670	0.2536	-0.1329	0.0924	-0.0996	0.1144	-0.1273
楽しい感じーつまらない感じ	3.48	0.7567	0.1088	-0.1783	0.1183	-0.0177	0.1561	-0.1135
明るい感じー暗い感じ	2.88	0.7294	0.2308	-0.2373	0.2366	0.0334	-0.0967	-0.0412
活気のある感じー沈んだ感じ	3.37	0.7242	0.2012	-0.2039	0.2505	0.2310	0.1414	0.0603
快適な感じー不快な感じ	3.04	0.5332	0.3797	-0.3478	0.2437	0.0355	-0.0003	-0.1050
安心できる感じー不安な感じ	3.26	0.5603	0.3918	-0.2476	0.1477	-0.1096	0.1087	-0.2233
つるつるした感じーざらついた感じ	3.40	0.4449	0.2871	-0.1583	0.3815	-0.1316	-0.0714	-0.1444
雖然とした感じー整然とした感じ	4.83	-0.1994	-0.6536	0.2195	-0.2694	0.1470	0.1729	-0.0908
落ち着かない感じー落ち着く感じ	4.69	-0.2201	-0.5223	0.3041	-0.0893	0.1136	-0.0829	0.1178
集中できる感じー気が散る感じ	3.64	0.3989	0.5869	-0.2390	0.0817	-0.0885	0.2522	-0.0458
不満な感じー清潔な感じ	5.37	-0.2785	-0.5292	0.2299	-0.3285	0.0201	0.2778	0.2142
うつとうしい感じーさわやかな感じ	4.99	-0.4247	-0.5212	0.2952	-0.3848	0.0823	0.1941	0.0682
穏々しい感じー静かな感じ	4.67	-0.2116	-0.4580	0.4065	-0.1484	0.3885	0.0149	-0.0153
自然な感じー人工的な感じ	3.61	0.2882	0.3742	-0.0291	0.1276	-0.0082	0.3508	-0.2775
狭い感じー広い感じ	4.85	-0.1699	-0.1773	0.7671	-0.1203	0.0614	-0.0209	0.0966
殺風景な感じー雰囲気のある感じ	4.84	-0.3840	-0.2528	0.6530	-0.2463	0.0919	-0.0877	0.0012
窮屈な感じー伸び伸びした感じ	4.80	-0.3568	-0.3447	0.5442	-0.1514	0.1342	0.0003	0.1312
野暮ったい感じー洗練された感じ	4.57	-0.1440	-0.2387	0.4176	-0.2572	-0.2299	0.1582	0.0025
重い感じー軽い感じ	4.53	-0.3210	-0.2930	0.2280	-0.5604	0.0806	-0.0133	0.0680
男性的な感じー女性的な感じ	4.38	-0.1093	-0.0349	0.0659	-0.5469	0.3753	0.0326	-0.0579
格式ばった感じー一型にはまらない感じ	4.82	-0.1705	-0.2648	0.2842	-0.4659	-0.1197	-0.0646	0.2019
変化のある感じー単調な感じ	3.50	0.3428	0.1655	-0.2457	0.4269	0.1558	0.2070	-0.1290
動的な感じー静的な感じ	4.24	0.0132	-0.1369	0.0386	-0.0547	0.5770	0.1157	0.0331
しっとりした感じーざらついた感じ	4.08	0.1173	-0.0323	0.0012	-0.0069	0.0836	0.3471	0.0048
開放的な感じー圧迫的な感じ	3.08	0.4334	0.1115	-0.3368	0.1650	-0.0772	0.0000	-0.4050
因子寄与率		19.9(%)	12.0(%)	10.8(%)	7.6(%)	3.5(%)	2.7(%)	2.2(%)

の空間を合わせた総合空間とは、やはり異なった因子軸の構成をしており、海の病棟の主要な3空間を合わせた総合空間の方がより客観的であると判断し、これでみてみると、主要因子としては第1因子軸の「空間の温かさ・活気因子」と第2因子軸の「空間の清潔・整然因子」、強力因子としては第3因子軸の「空間の

ゆとり因子」と第4因子軸の「空間の女性的やわらかさ因子」が読みとれ、これらが海の病棟の空間心理構造上重要な因子軸であると言える。

表6 病棟・病室、デイルーム、リビングルーム・総合空間の因子軸構成

	建物 (海の病棟)	病室	デイルーム	リビングルーム	総合評価
第1因子軸	空間の ゆとり因子	空間の温かさ ・活気因子	空間の温かさ ・活気因子	空間の温かさ ・活気因子	空間の温かさ ・活気因子
第2因子軸	空間の落ち着き ・安心感因子	/	空間の清潔 ・整然因子	空間の ゆとり因子	空間の清潔 ・整然因子
第3因子軸	空間の温かさ ・活気因子	空間の清潔 ・整然因子	空間の ゆとり因子	空間の女性的な やわらかさ因子	空間の ゆとり因子
第4因子軸	空間の清潔 ・整然因子	空間の女性的な やわらかさ因子	空間の遊び デザイン因子	空間の清潔 ・整然因子	空間の女性的な やわらかさ因子
第5因子軸	空間の女性的な やわらかさ因子	空間の遊び デザイン因子	空間の 自然因子	空間の遊び デザイン因子	静的な 空間因子
第6因子軸	静的な 空間因子	/	空間の女性的な やわらかさ因子	さらっとした 空間因子	さらっとした 空間因子
第7因子軸	空間の遊び デザイン因子	空間の 自然因子	空間の 開放性因子	静的な 空間因子	空間の 開放性因子



図2 不知火病院・海の病棟（ストレス・ケア・センター）の平面図

#### 4. まとめ

ストレス関連疾患専門の治療病棟である不知火ストレス・ケア・センターにおいて、入院患者を対象に、S-D法による空間意識の調査を行い、因子分析による解析を行った。その結果、患者にとって好ましい心理的な空間の構成要素として「空間の温かさ・活気」、「空間の清潔・整然」、「空間のゆとり」、「空間の女性的やわらかさ因子」が重要であることがわかった。

「空間の温かさ・活気因子」は、空間の明るさ、快適さなどの尺度とともに親しみやすさや楽しい感じなどの尺度を含んでおり、空間のデザイン性が大きく働いているのはもちろんあるが、単なるデザイン性だけではなく、そこには楽しさや活気などの尺度を含んでいることからも明らかのように、医師や看護婦に対する信頼感及び患者同士の連帯感などが多大に影響した因子であることが伺える。

「空間の清潔・整然因子」は清潔さ、整然さ、さわやかさなどの尺度を含んでおり、毎日の掃除や手入れが行き届き、物の整理、整頓がよくできていると同時に、さわやかさを感じさせる室内の色彩計画が重要であることが伺える。

「空間のゆとり」は、空間の広がり感、開放性、天井の高さが高いなどが影響する尺度である。このストレス・ケア・センターが通常の病棟に比べて、一人あたりの床面積が約3倍であることからも分かるように、病棟の面積に余裕が感じられることが重要であると言える。「空間の女性的やわらかさ因子」は、空間（柱、壁、天井、家具など）と曲面構成や遊びの空間あるいは

はソフトな色彩計画などが影響する尺度である。長谷川逸子氏が設計したこのストレス・ケア・センターは、図2の平面図をみてもわかるように、まさにこの面で特徴的である。

以上、ストレスを解放する建築空間デザインのあり方を考える上で指針となりうる知見を得たが、今後、さらに空間に対する心理的意識と物理的空间構成要素との関係性について調べることが必要である。

#### 謝辞

本研究は、大木建設株式会社からの研究助成により、数年間にわたり有明高専建築学科の卒業研究生とともにを行ったものであり、調査の際には不知火病院の徳永院長はじめスタッフの方々と入院患者の皆様のご協力を得て行うことができました。

ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 船越 徹, 積田 洋: 街路空間の研究(その1)  
街路空間における空間意識の分析(心理量分析) 日本建築学会論文報告集, 第327号, 昭和58年5月
- 2) 日本建築学会編: 建築・都市計画のための調査・分析. 井上書院, 昭和62年4月
- 3) 宗本順三, 崎山 徹: 外部空間の「印象」とその要因となる空間特性についての研究, 「日本建築学会論文報告集, 第453号, 1993年11月



# 地域居住環境の快適性に関する調査研究

## —居住地域と住宅タイプの違いによる居住環境の快適性の因果構造の比較—

山下俊雄・矢野 隆\*

〈平成12年9月4日受理〉

Comparison of Causal Models of Amenity between in Detached and Apartment Houses, and between in Town and the Suburbs

Toshio YAMASHITA and Takashi YANO

Surveys on amenity were carried out for the people living in detached and apartment houses in town, and for those living in detached houses in the suburbs of Omura city, with environmental pollution factors taken into account. From results of path analysis on amenity, revised path models on amenity were basically similar and complicated in town in spite of different house types. Main factors which affected on amenity were also similar in town. They were noise factors, "damp in rooms" and area factors such as "discipline" and "convenience of shopping". However the revised path model in detached houses was simple in the suburbs and main factors were different from those in town. A few factors such as "relation of neighbors", "trees around houses" and "disturbance of conversation in rooms" had strong direct effects on amenity. Noise factors of environmental pollution factors had direct and indirect effects on amenity in common with town and the suburbs. Traffic noise problems must be solved without delay in order to improve amenity in both areas.

### 1. はじめに

現在、建築環境工学が取り組むべき緊急の課題として地球環境問題があげられる。この問題に関しては、地球の温暖化の問題を急頭に住宅の省エネルギー・太陽熱の有効利用という観点から検討されてきた。しかし精神的に豊かで快適な生活を営むためにはエネルギー問題を解決するだけでは十分ではない。その地域の居住環境の快適性には住宅の性能をはじめ我々を取り巻く音、熱、光、空気といった物理環境や住宅周辺の緑や水、生物といった生態学的環境、社会施設や歴史的な建造物、さらに気候、風土、文化など社会文化的な要因が我々の情緒や感性に複雑に影響していると考えられる。居住環境の快適性を効率的に向上させるためには、どのような要因がどのような過程を経て快適性に影響するのかを定量的、かつ包括的にとらえ、その知見を建築計画に反映しなければならない。

筆者らはこれまで騒音の影響評価の調査研究<sup>1)</sup>を行っ

てきており、本研究はこれらの研究を発展させ、騒音だけでなく他の物理環境要因や非物理的要因の居住環境への影響を明らかにしようとするものである。

今回、大牟田市の市街地に建つ戸建住宅と集合住宅および郊外に建つ戸建住宅の居住者に居住環境の快適性に関する調査を行い、居住環境の快適性への主要な影響要因とその影響の程度およびその影響過程（因果構造）を住宅タイプ（戸建住宅と集合住宅）と地域（市街と郊外）の観点から比較検討を行った。

### 2. 調査の概要

#### 2.1 調査地区と対象者

調査は3年にわたって行われた。市街に建つ戸建住宅と集合住宅に関する調査は1996年と1998年に行われ、その調査対象地区は戸建住宅と集合住宅が混在するJR大牟田駅から西鉄新栄町駅の間の地域と大牟田市の繁華街から少し東の地域の二地域である。

JR大牟田駅から西鉄新栄町駅の間は大牟田の繁華街で大型店舗を含む商店街や歓楽街となっている。主

\*熊本大学工学部教授（工博）

表-1 調査の概要

	市街戸建	市街集合	郊外戸建
調査時期	'96年と'98年 9~10月	'99年 10~11月	
調査地区	本町, 柿塚町 鳥塚町, 平原町 大正町, 荘町 浜田町, 明治町 住吉町, 久保田町	白銀 岩本 上内 宮部 宮崎	
対象者	512人	698人	400人
回収数	358人	389人	256人
回収率	69.9%	55.7%	64.0%
有効サンプル数	350人	382人	256人

た、他方の地域は地理的には大牟田市内の中心部であり、JRや西鉄の駅にも近いが、いくつもの重化学工場が立ち並んでいる。集合住宅には民間のマンションが多く、その建物の全戸を対象とした。戸建住宅については地域環境要因等が異なるように集合住宅の周辺から選定した。

郊外の戸建住宅に関する調査は1999年に行われ、大牟田市の北部の地域を調査対象地区とした。この地域には田園が残っており、その中を高速道路インターチェンジへの主要道路が走っている。近くには小規模な商店街はあるが、その多くは住宅である。

対象者は選挙人名簿を基に一戸につき一名をランダムに抽出した。調査の概要を表-1に示している。アンケートの回収率は戸建住宅で64~70%であるのにに対して集合住宅では56%と約10%小さい。アンケート回収後に回答が不十分なサンプルを除外し、有効サンプル数を市街戸建住宅、市街集合住宅、郊外戸建住宅についてそれぞれ350人、382人、256人とした。

## 2.2 調査方法と調査項目

調査では事前にアンケートへの協力依頼の文書を各対象者に郵送した。その1週間後にアンケートを配布し、3~4日後に回収するという留置き法を用いた。

調査項目は個人要因、住宅要因、地域環境要因、環境汚染要因とその具体的影響の五つに大別され、約80項目である。調査項目を表-2に示す。なお、居住環境の快適性をあらわす質問項目は居住環境の満足度という表現を用いている。

## 3. 単純集計結果

### 3.1 回答者の属性

戸建住宅の回答者の男女比は約4:6であるのに対して集合住宅では3:7と若干男性が少ない。年齢は戸建住宅では60歳代以上が約33%でもっと多く、年

表-2 調査項目

個人要因	年齢、性別、職業、家族数、地域居住年数 住宅居住年数、近所付き合い 町内活動への参加、暑さ寒さに対する敏感さ 騒音に対する敏感さ
住宅要因	住宅所有、住宅構造、建築年数、敷地広さ 庭広さ、駐車場広さ、住宅広さ、住宅外観 眺望、室数、間取り、収納広さ、内装仕上 室内日当り、通風、断熱性、遮音性能 防露防湿、住宅設備、住宅の安全性 プライバシー(外からの視線)
地域環境要因	周囲の緑、町並み、地域の風紀、街灯数 地域の防犯、道路安全性、バス停等の近さ 商店街近さ、医療施設の近さ 学校幼稚園の近さ、銀行郵便局の近さ 交番消防の近さ、公園遊び場の近さ 喫茶施設の近さ、散歩散策コースの近さ ゴミ収集場の衛生 居住環境の満足度
環境汚染要因	日照障害の不快感とその原因 悪臭の不快感とその原因 空気汚染の不快感とその原因 住宅の振動の不快感とその原因 騒音の不快感とその原因
環境汚染要因の具体的影響	日照障害の具体的影響 室内の冬の寒さ、室内がじめじめする 洗濯物が乾きにくい、室内が薄暗い 空気汚染の具体的影響 呼吸障害、悪を聞られない不満 建物が汚れる、洗濯物が汚れる 住宅振動の具体的影響 振動によるイライラ、TV画面の乱れ 道具家具のがたつき、振動による覚醒 騒音の具体的影響 戸外会話妨害、住宅内会話妨害 電話騒音妨害、TV騒音妨害、読書妨害 休息妨害、騒音によるイライラ 寝つかれない、騒音による覚醒 窓を開けられない不満

齢が下がるにつれてその割合も小さくなっているが、集合住宅では40歳代でもっとも大きく、約30%，ついで30歳代で大きく、60歳代以上でも18%の人が集合住宅に居住している。家族数は戸建住宅、集合住宅とともに2~4人が多い。その地域での居住年数は戸建住宅と集合住宅で大きく異なり、集合住宅では10年未満で約50%，10~20年未満で約43%と両者をあわせて93%であるのに対して、戸建住宅では10年未満、10~20年、20~30年、30~40年、40年以上のどの年数でも13~25%の分布をしている。

市街戸建住宅と郊外戸建住宅では回答者の属性はほぼ同様であるが、戸建住宅と集合住宅の回答者の属性は年齢や地域居住年数で異なる。戸建住宅では以前からその地域に住んでいた回答者を多く含むのに対して、集合住宅では新たにその地域に住居を求めた回答者が多いものと思われる。マンションの建設が高々30年前から始まつたことを考えると、年齢と地域居住年数の戸建住宅と集合住宅での相違は致し方ないものと考えられる。

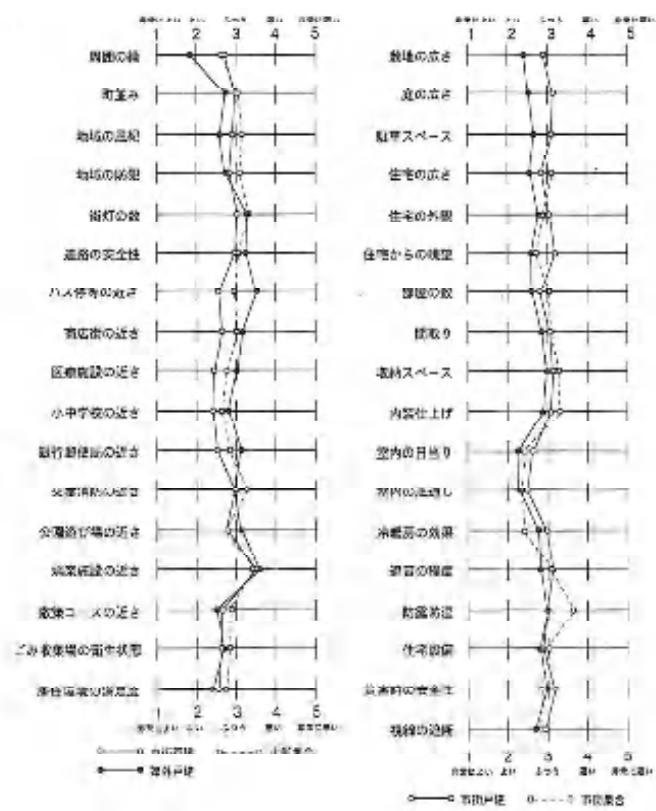


図-1 地域環境要因と住宅要因の評価

### 3.2 地域環境要因

図-1は5段階評価尺度によって種々の地域環境要因と住宅要因を評価した結果を平均値で表したものである。数値の1が「非常によい」、5が「非常に悪い」を表している。

地域環境要因ではいくつかの項目を除くと全体的に「ふつう」から「よい」の側にあり、総体的には評価は悪くない。

郊外戸建住宅では周囲の緑、地域の風紀、地域の防犯、散策コースの近さでよい評価となっている。周囲に田園や緑が残っていることや交番や消防署が近くにあるためだと思われる。しかし、道路の安全性、バス停等の近さ、商店街の近さ、医療施設の近さ、小中学校の近さ、銀行郵便局の近さは市街戸建住宅や市街集合住宅と比べて最も評価が悪い。道路の安全性の評価の悪さは大型車の走行が多い主要道路と歩道のない狭い生活道路が原因であろう。他の項目の評価の悪さは交通機関やデパート・商店街、種々の社会施設が市街に集中しているための不便さを表している。

これに対して、市街戸建住宅ではバス停等の近さ、商店街の近さなど郊外戸建住宅で評価の悪い項目について最もよい評価となっている。市街の集合住宅と戸建住宅は同一地域内にあり、地域環境要因は大きく異

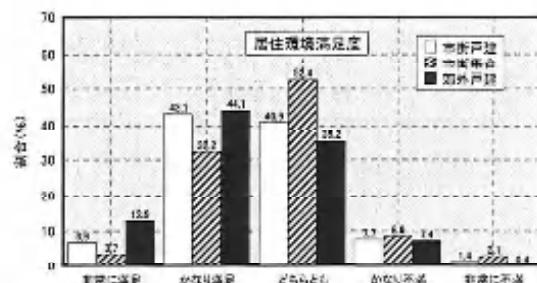


図-2 居住環境の満足度に関する単純集計結果

ならないと考えられるが、集合住宅でこれらの利便性に関する項目の評価は戸建住宅よりも悪い。集合住宅では建物上階に住戸がある場合の階段の昇降の不便さと、ひとつの建物に多くの住戸がありそれらをすべて対象住戸としていることが原因ではないかと思われる。また、集合住宅では地域の風紀や防犯の評価が戸建住宅よりも悪いが、建物の階段室での不安が原因ではないかと考えられる。交番消防の近さの評価も悪く地域内に交番や消防施設が少なく、風紀や防犯の悪さもあり、不安を感じているものと思われる。

このように個々に不満はある、地域や住宅タイプでの不満は異なるが、その地域の居住環境の満足度についての評価は図-2に示すように大きな差はない。しかし、郊外戸建住宅で「かなり満足」、「大変満足」と答えた回答者が他と比べて多いことがわかる。

### 3.3 住宅要因

住宅要因についてもほとんどの項目が「ふつう」から「よい」の評価となっている。郊外戸建住宅では市街戸建住宅と比べて敷地、庭、駐車スペースや住宅の広さでよい評価となっており、郊外であることから土地が十分に確保できているものと思われる。また、眺望と室内の日当りを除けば他の要因では両者の評価はほぼ近いものとなっている。

三つの住宅で評価値に比較的差がある要因は住宅の広さ、眺望、冷暖房効果、防露防湿である。市街集合住宅の住宅の広さは100m<sup>2</sup>以下が80%を占めているのに対して、50~100m<sup>2</sup>で市街戸建住宅:48%、郊外戸建住宅:32%、100~150m<sup>2</sup>でそれぞれ43%と41%となっており、戸建住宅のほうが住宅面積が広くこれを反映した結果となっている。住宅からの眺望では郊外戸建住宅と市街集合住宅での評価はほぼ同じで、市街戸建住宅で悪い。市街戸建住宅は隣棟間隔が狭く建て混んでいるものと思われる。

市街集合住宅では防露防湿の評価が特に悪い。集合住宅の多くはRC造であり開口部はアルミサッシュを使用し、非常に気密性の高い住戸であるため、室内で

表面結露や内部結露が発生していることが推測される。そのため仕上材がしみやカビで汚れて、内装仕上の評価も悪いものと考えられる。しかし、冷暖房効果の評価は集合住宅で最もよく、木造やプレファブの住宅に比べ、建物の熱容量が大きく、断熱性も高いためであろう。市街集合住宅の遮音の程度評価は郊外戸建住宅より悪く、市街戸建住宅とはほぼ同じ評価である。市街地では交通量が多く、自動車の騒音が主な原因であると思われるが、RC造では後述するように建物内で発生する固体音も原因であると考えられる。郊外と市街の戸建住宅の遮音の程度の評価の差は地域の騒音の程度の差が原因であろう。

### 3.4 環境汚染要因とその原因

環境汚染要因として日照障害、悪臭、空気汚染、振動、騒音の5つの不快感についての単純集計結果が図-3(a)～(c)である。いずれの図においても「全く不快でない」と答えた回答者が多い。

日照障害の不快感については市街戸建住宅では「全く不快でない」と答えた回答者が市街集合住宅と郊外戸建住宅と比べて若干少ない。図-4(a)は日照障害の原因であり、原因として指摘した回答者数を表している。その原因として市街戸建住宅で最も指摘が多いのが隣棟間隔の狭さと高層建築物である。また、市街集合住宅では日照障害の原因として延物の方位の悪さの指摘が多い。

悪臭の不快感についても日照障害の不快感と同様な分布を示しており、不快感を感じている回答者（「少し不快」、「かなり不快」、「非常に不快」と答えた回答者の割合の合計）は市街戸建住宅で約22%、市街集合住宅で約24%おり、郊外戸建住宅の約2倍となっている。その原因として市街戸建住宅では自動車の排ガス、工場からの煙、生活排水、屎尿の匂いが同程度に指摘されている。市街集合住宅では工場からの煙の指摘が突出して多く、ついで自動車の排ガスとゴミ収集場の匂いとなっている。前述したように大牟田市には中心部に重化学校があり、そこからの煙が高層階の居住者には問題であることがうかがわれる。また、集合住宅ではゴミ収集場が階段室付近かその近くであることでも問題であろう。

空気汚染の不快感では市街と郊外で異なり、市街で不快感を感じている回答者が戸建住宅で37%、集合住宅で45%いるのに対して、郊外戸建住宅では5%と非常に少ない。市街でのその原因は自動車の排ガスと工場からの煙が主である。

振動の不快感では市街戸建住宅で不快に感じている回答者が約34%と多い。この原因は自動車の走行であり、郊外戸建住宅でもその指摘が多い。道路構造を改

善することや木造の多い戸建住宅では新たに建てる場合基礎構造をペタ基礎にするなどの対策が必要である。

騒音の不快感は他の不快感のグラフと傾向を異にしており、不快に感じている回答者は市街地の戸建住宅で45%、集合住宅で55%と多く、また、「かなり不快」と「非常に不快」と感じている回答者の割合が他の不快感の場合より大きくなっている。原因として自動車とバイクの騒音の指摘が最も多く、市街地では早急に道路交通騒音に対する対策を講じることが必要である。集合住宅でも不快感を感じる人が多いのは、集合住宅は道路に面している建物が多いことと、面していない場合でも道路から上階の住戸に直接音が届くことが考えられる。また、集合住宅の騒音の原因として隣家の足音やドアの開閉音の指摘も多く、前述した住宅の遮音の程度の評価の悪さの原因でもあり、固体音に対する対策も必要である。さらに市街地では騒音の原因としてペットの鳴き声の指摘も多い。

## 4. 居住環境の満足度に関する重回帰分析

個人要因、住宅要因、地域環境要因、環境汚染要因の各要因群内で、居住環境の満足度にどのような要因が主に影響を及ぼしているかを検討するために、居住環境の満足度を目的変数とし、各要因群ごとに重回帰分析を行った。表-3～表-6はその結果である。表中の数値はデータを標準化した時の偏回帰係数（標準偏回帰係数）である。また、網掛け部分は有意水準1%または5%で統計的に有意な影響を及ぼしている要因を示している。

### 4.1 個人要因

表-3から個人要因で市街戸建住宅、市街集合住宅、郊外戸建住宅の三つに共通して居住環境の満足度に統計的に有意な影響を及ぼしている要因は近所づきあいであることがわかる。すなわち近所づきあいがよい（悪い）ほど居住環境の満足度もよい（悪い）といえる。市街戸建住宅では騒音の敏感さが統計的に有意であるが、騒音に敏感であると思っている人はどの居住環境の満足度は悪く、騒音の多い市街地では特に戸建住宅で騒音が気になっていることがわかる。

年齢が居住環境の満足度に統計的に有意な影響を及ぼしており、その標準偏回帰係数の値が負であるのは年代が高いほど居住環境の満足度がよいことを示している。集合住宅に居住する人の年代別割合は20歳代：12%、30歳代：23%、40歳代：32%、50歳代：15%、60歳代以上：18%と年齢層の高い居住者も多い。家族数と年齢のクロス集計の結果では50歳代と60歳代以上では家族数が1人または2人がほとんどであり、集合

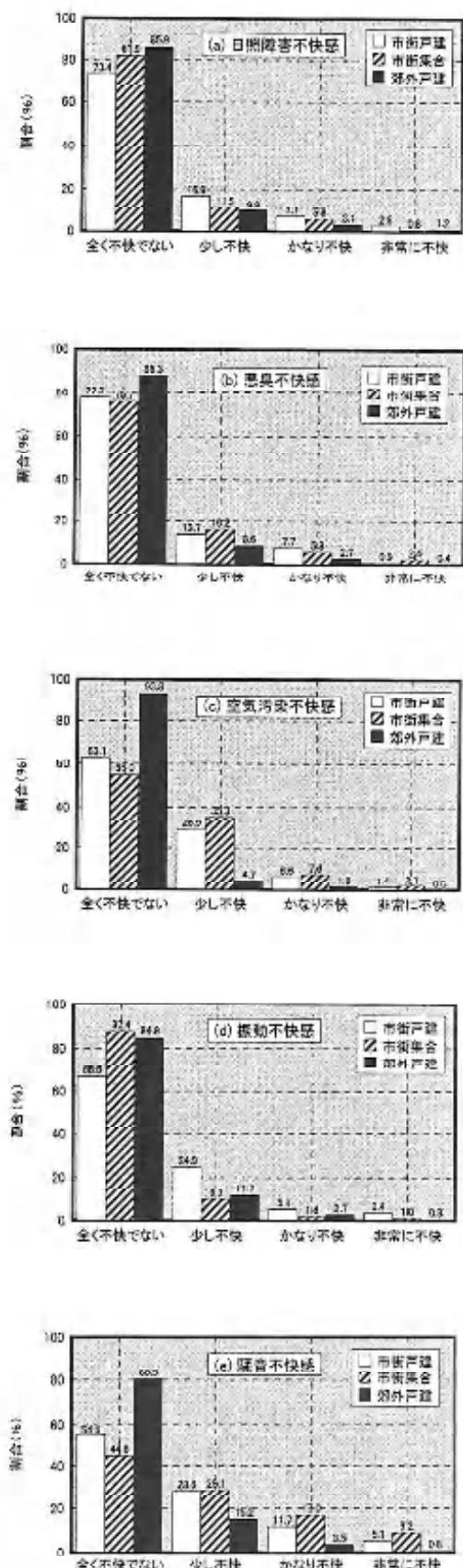


図-3 環境汚染要因に関する単純集計結果

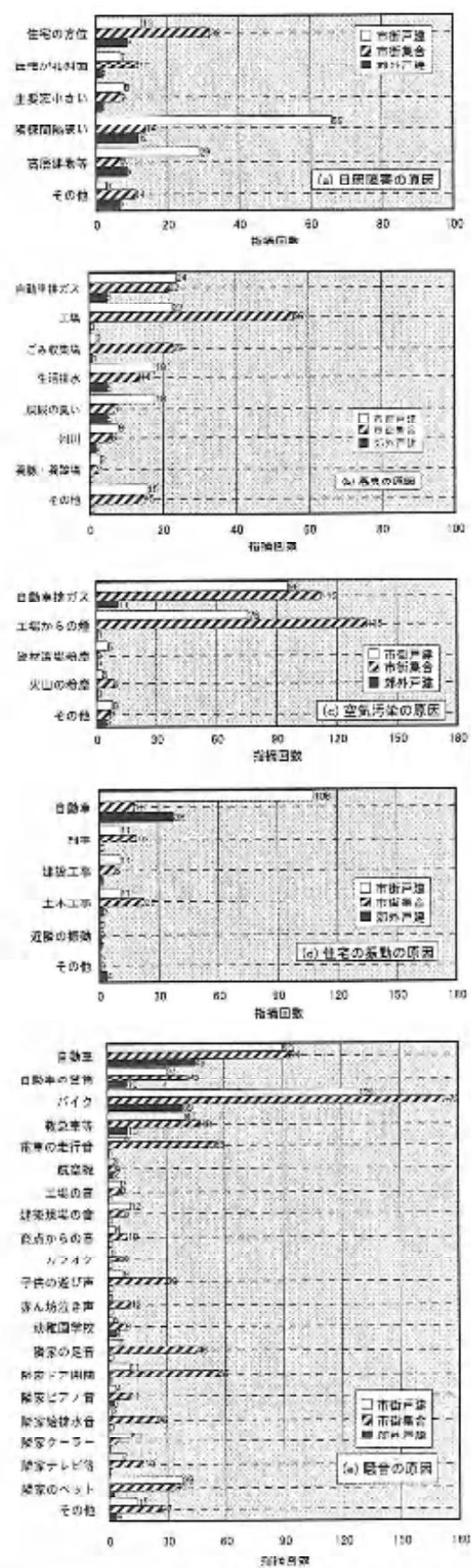


図-4 環境汚染要因の不快感の原因

住宅では庭の手入れ等の必要がなく、家族数も少ないので高齢者にとって住みやすいのかかもしれない。

しかし、決定係数は市街戸建住宅、市街集合住宅、郊外戸建住宅のいずれについても0.06~0.08と小さい。説明変数が6つと少ないこともあり、これらの個人要因だけでは居住環境の満足度の変動を6~8%しか説明できない。

#### 4.2 住宅要因

表-4の住宅要因では三つの住宅に共通して居住環境の満足度に影響を及ぼしている要因はないが、眺望とプライバシーの確保（外からの視線の遮断）の影響が大きいことがわかる。眺望は市街集合住宅と郊外戸建住宅で有意な影響を及ぼしており、市街集合住宅では上階の住戸からの眺望のよさ、郊外戸建住宅では戸が建てこんでおらず、住宅内からの眺望が得られ、眺望がよいほど居住環境の満足度もよいことがわかる。

プライバシーの確保は市街および郊外の戸建住宅で

正の大きな影響を及ぼしている。市街では塀等を設置し、眺望は得られないがそれで視線を防いでいる。外からの視線の遮断は眺望と裏腹な関係にあるが、郊外では敷地に余裕があることや主要道路はあるものの車の通行が上で通行人が少ないことなどから、眺望も得られるが外からの視線はあまり気になっていないと思われる。

市街集合住宅では住宅の広さより、間取りの影響が大きく、居住環境の満足度との単相関も住宅の広さで0.29であるのに対して、間取りで0.41と大きい。集合住宅であるため広さについてはそれほど広くなくても不満はないが、合理的な間取りであるほど居住環境の満足度が大きいと考えられる。なお、郊外戸建住宅で冷暖房効果が負の影響を及ぼしているが、冷暖房効果が悪いほど居住環境の満足度がよいということになり、合理的な解釈ができない。

表-3 重回帰分析結果（個人要因）

変数	標準偏回帰係数		
	市街戸建	市街集合	郊外戸建
地域居住年数	0.000	0.037	-0.111
町内活動参加	0.015	-0.073	0.017
近所づきあい	0.263	0.169	0.218
性別	-0.019	0.072	0.024
年齢	0.068	-0.118	0.037
騒音敏感度	0.178	0.101	-0.023
決定係数 R <sup>2</sup>	0.065	0.055	0.076

表-4 重回帰分析結果（住宅要因）

変数	標準偏回帰係数		
	市街戸建	市街集合	郊外戸建
住宅の広さ	0.015	0.043	-0.030
住宅の外観	0.043	0.069	0.133
眺望	0.099	0.109	0.145
部屋数	-0.100	-0.002	-0.003
間取り	0.076	0.177	0.032
収納スペース	0.006	0.071	0.005
内装仕上	-0.031	0.081	0.074
室内の日当り	0.003	-0.010	-0.014
室内の風通し	0.001	0.005	0.073
冷暖房効果	-0.018	0.071	-0.391
遮音の程度	0.137	0.057	0.143
防露防湿	0.110	-0.055	0.037
住宅設備	0.069	0.111	-0.017
住宅の安全性	-0.062	0.032	0.044
プライバシー	0.153	0.107	0.236
決定係数 R <sup>2</sup>	0.154	0.292	0.253

表-5 重回帰分析結果（地域環境要因）

変数	標準偏回帰係数		
	市街戸建	市街集合	郊外戸建
周囲の緑	0.089	0.156	0.349
町並み	0.162	0.343	0.121
地域の風紀	0.129	0.200	0.058
地域の防犯	0.181	0.191	-0.075
街灯の数	-0.016	0.041	0.095
道路安全性	0.043	0.044	0.063
バス停等の近さ	0.017	0.007	0.041
商店街近さ	0.136	0.135	0.108
医療施設近さ	0.002	0.170	-0.106
小中学校近さ	0.063	-0.013	0.044
銀行郵便局近さ	0.040	-0.062	-0.154
交番消防近さ	0.141	0.068	0.089
遊び場近さ	-0.001	-0.070	0.071
娯楽施設近さ	-0.103	-0.020	0.001
散策コース近さ	0.072	0.079	-0.100
ゴミ収集場衛生	0.025	0.027	0.211
決定係数 R <sup>2</sup>	0.289	0.383	0.335

表-6 重回帰分析結果（環境汚染要因）

変数	標準偏回帰係数		
	市街戸建	市街集合	郊外戸建
日照障害不快感	0.211	0.109	0.383
悪臭不快感	0.154	0.058	0.107
空気汚染不快感	0.038	0.186	-0.006
振動不快感	-0.001	-0.024	0.078
騒音不快感	0.256	0.205	0.173
決定係数 R <sup>2</sup>	0.205	0.126	0.107

### 4.3 地域環境要因

表-5から地域環境要因では全体的に周囲の緑、町並み、地域の風紀、地域の防犯が居住環境の満足度に有意な影響を及ぼしている。緑が多い（少ない）ほど、町並みがよい（悪い）ほど、またその地域の風紀や防犯がよい（悪い）ほど居住環境の満足度も大きい（小さい）。地域環境要因の説明変数が多いこともあるが、決定係数は0.29～0.38と大きく、地域環境要因の居住環境の満足度への影響は大きい。

### 4.4 環境汚染要因

表-6の環境汚染要因では日照障害の不快感と騒音の不快感が全住宅で居住環境の満足度に有意な影響を及ぼしている。日常生活において日照の確保は不可欠であり、騒音問題も市街地だけでなく郊外においても問題であることがわかる。また、市街地では自動車の排気ガスとともに調査地区内の重化学工場等の排煙が悪臭や空気汚染の不快感として居住環境の満足度に影響を及ぼしていることがわかる。

## 5. 居住環境の満足度に関するバス解析<sup>2), 3)</sup>

重回帰分析では個々の要因群ごとに居住環境の満足度への影響について検討したが、これはその要因群内での主要な影響要因であった。しかし、居住環境の満足度には個人要因、住宅要因、地域環境要因や環境汚染要因など種々の要因が複雑に影響を及ぼしており、これらの要因群を同列に取り扱った場合にどの要因が居住環境の満足度への主要な影響要因であるかを特定する必要がある。また、ある要因が居住環境の満足度に直接影響を及ぼすとともに、他の要因を介して間接的に影響を及ぼすことも考えられる。例えば室内の日当たりの悪さが居住環境の満足度に直接影響するとともに、それが原因で室内がじめじめし、日照障害の不快感を引き起こし、居住環境の満足度の低い評価につながると思われる。

バス解析は居住環境の満足度を目的変数とした時に、その説明変数に重層的な関係を仮定し、説明変数の目的変数への直接的な効果と間接的な効果の双方を推定し、その合計を総合効果として評価するとともに、間接的な効果の影響過程を明らかにする手法である。

### 5.1 初期バスモデルの構成

バス解析では従来の研究による知見と経験に基づいた直感的な判断から図-5に示すような初期バスモデルを構成する。 $X_{15} \sim X_{31}$ は外生変数と呼ばれモデル内で他の変数の影響を受けない変数である。 $X_2 \sim X_{14}$ は他の変数の影響を受ける変数で、内生変数と呼ばれる。モデルの構成に際して、バス（矢印）で結ばれる

変数間で因果関係が成立するには、1) 単純な相関関係が明らかであること、2) 繼時的順序が存在すること、3) モデル外の共通原因変数が存在しないことの3つの条件が充たされる必要がある。しかし、条件3)の確認は困難であり、この分析では共通原因変数は存在しないものとして初期バスモデルを構成した。

### 5.2 外生変数と内生変数の選択

初期バスモデルの構成に際して上述した条件2)を考慮し、外生変数には個人要因、住宅要因、地域環境要因を、内生変数には環境汚染要因とその具体的な影響をあてた。

外生変数は多重線形性を避けるために、できるだけ互いに相関の小さい変数を選択する。そのため地域環境要因、住宅要因、個人要因の各要因群で因子分析を行い、似通った要因のグループ化を行った。その一例として表-7に市街戸建住宅の地域環境要因に関する因子分析結果を示している。表-4より第1因子は銀行郵便局の近さ等に代表される社会・商業施設の利用の便利さ、第2因子は周囲の緑に代表される自然環境のよさ、第3因子は余暇を過ごす施設等の便利さ、第4因子は地域の防犯上の安全性、第5因子は道路の安全性と考えられ、地域環境要因は五つのグループに分類される。これらのグループごとに各要因間で相関が小さくかつ居住環境の満足度とできるだけ大きな相関を持つ1～2の要因を重回帰分析の結果も参考にして選択した。このとき各住宅でできるだけ要因が揃うようにした。他の要因群からも同様な手続きを経て説明変数を選択した。

表-7 地域環境要因の因子分析結果  
因子負荷量（市街戸建住宅）

変数名	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子
周囲の緑	-0.122	-0.374	0.223	0.187	-0.008
町並み	-0.003	-0.361	0.058	0.241	0.125
地域の風紀	-0.011	-0.343	0.100	0.374	0.004
地域の防犯	-0.083	-0.200	0.052	0.587	0.027
街灯の数	0.074	-0.170	0.111	0.422	0.296
道路の安全性	0.160	-0.094	0.367	0.171	0.459
バス停等の近さ	0.472	-0.053	0.084	0.034	0.594
商店街の近さ	0.692	-0.058	0.062	-0.076	0.365
医療施設の近さ	0.526	-0.202	0.073	0.155	0.280
小中学校の近さ	0.804	0.088	-0.018	-0.052	-0.027
銀行郵便局近さ	0.606	0.008	0.028	0.055	0.084
交番消防署近さ	0.737	0.090	0.177	-0.043	0.064
遊び場の近さ	0.483	-0.207	0.352	-0.063	0.135
娯楽施設の近さ	0.546	0.078	0.298	-0.035	0.192
散策コース近さ	0.106	-0.297	0.501	0.091	0.040
ゴミ収集場衛生	0.115	-0.158	0.549	0.159	0.119
奇子率 R	0.215	0.067	0.087	0.074	0.059
累積寄与率	0.215	0.301	0.378	0.452	0.511

内生変数については五つの環境汚染要因の不快感とその下層にその環境汚染要因の具体的な影響をできるだけ相関が小さいものを1～3要因選んだ。これらの要因で各住宅について図-5に示す同一の初期パスモデルを構成した。この初期パスモデルでは図を簡略化して示しているが、各要因から上層の要因へは基本的にほとんどの要因にパスを引いている。しかし、因果関係がないと思われるいくつかの要因間にはパスを引かずに分析している。

### 5.3 分析結果

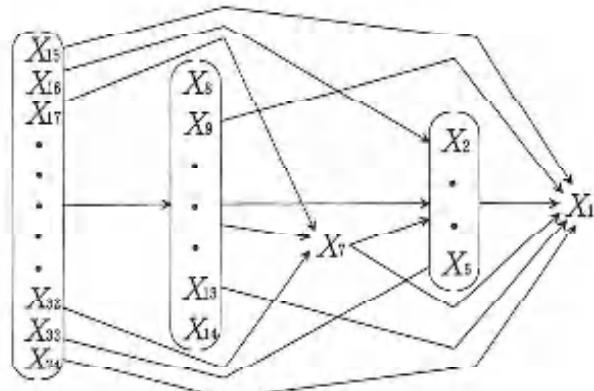
初期パスモデルの分析から、居住環境の満足度や各内生変数に有意水準1%または5%で統計的に有意な影響を及ぼしている要因を選択し、各住宅について図-6に示す修正パスモデルを再構成した。市街戸建住宅と市街集合住宅については有意水準1%と5%の要因が多く残り修正パスモデルが複雑であったため、できるだけ特徴を明確に表せるように有意水準1%の要因だけで修正パスモデルを構成し分析している。分析した結果を図-6と図-7に示している。

初期パスモデルでの居住環境の満足度の33の要因による決定係数は市街戸建住宅：0.38、市街集合住宅：0.45、郊外戸建住宅：0.42であり、これらの多くの説明変数でも居住環境の満足度の変動を38～45%しか説明できていない。各修正パスモデルでは要因数が1/4～1/3に減少しているがその決定係数は市街戸建住宅：0.34、市街集合住宅：0.41、郊外戸建住宅：0.37と初期パスモデルの決定係数と比較してその値の減少は小さく、修正パスモデルで居住環境の満足度を特徴的に説明していると考えられる。

図-6の3つの修正パスモデルを比較すると、郊外戸建住宅の修正パスモデルが単純であるのに対して、市街戸建住宅と市街集合住宅のパスモデルでは居住環境の満足度への影響要因が多く、その影響過程が複雑であることがわかる。

#### 5.3.1 市街戸建住宅と市街集合住宅の比較

外生変数で市街戸建住宅と市街集合住宅で居住環境の満足度に共通して大きな直接効果を持っている要因は $X_{29}$ :町並み、 $X_{30}$ :地域の風紀、 $X_{32}$ :商店街の近さである。これらの要因をよく評価している人はほど居住環境の満足度の評価のよく、悪い評価をしている人はほど満足度の評価も悪いことがわかる。しかし、地域の風紀と商店街の近さについての評価は、3.2で述べたように戸建住宅と集合住宅で評価に差があり、集合住宅で悪い。これは集合住宅では階段室周辺の風紀に対する不安や上層階に居住する人々の商店街までの不便さが原因であると思われる。そのため、地域の風紀や商店街の近さの評価が悪い人ほど居住環境の満足度の



$X_1$ :居住環境の満足度、 $X_2$ :日照障害の不快感、 $X_3$ :騒音の不快感  
 $X_4$ :窓を開けられない不満、 $X_5$ :室内のじめじめ、 $X_6$ :呼吸障害  
 $X_7$ :通勤の疲れ、 $X_8$ :騒音によるイライラ、 $X_9$ :住宅内会話妨害  
 $X_{10}$ :TV聴取妨害、 $X_{11}$ :寝つけない不満、 $X_{12}$ :地域居住年数  
 $X_{13}$ :近所付き合い、 $X_{14}$ :年齢、 $X_{15}$ :隣人に与する迷惑感  
 $X_{16}$ :空き家の外観、 $X_{17}$ :室内からの眺望、 $X_{18}$ :住宅の間取り  
 $X_{19}$ :内装仕上、 $X_{20}$ :室内の風通し、 $X_{21}$ :温湿度の程度  
 $X_{22}$ :生活設備、 $X_{23}$ :プライバシー(視線の遮蔽)、 $X_{24}$ :周囲の林  
 $X_{25}$ :町並み、 $X_{26}$ :地域の風紀、 $X_{27}$ :道路の安全性、 $X_{28}$ :商店街の近さ、 $X_{29}$ :駅までの距離、 $X_{30}$ :駅までの移動時間

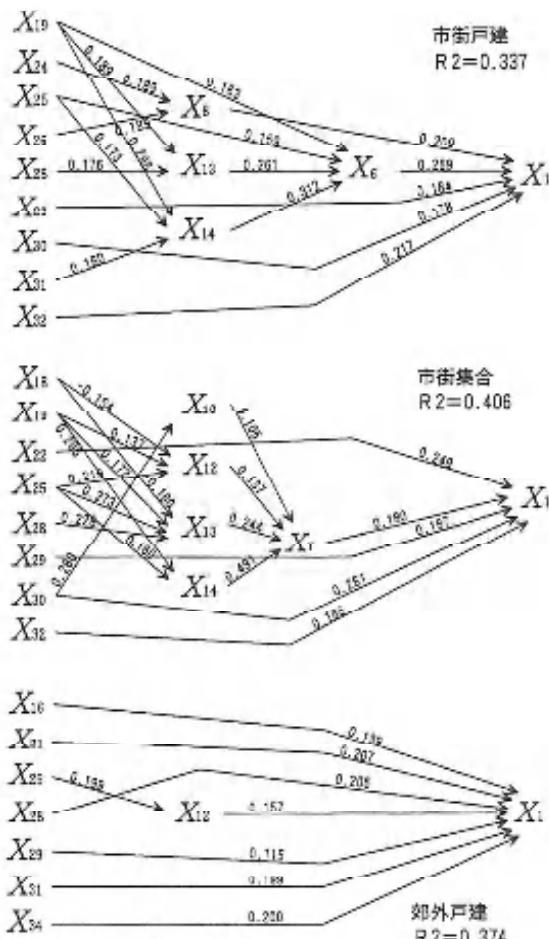
図-5 居住環境の満足度に関する初期パスモデル

評価が悪い人が多いと考えるべきであろう。

内生変数では市街戸建住宅では $X_8$ :騒音の不快感と $X_9$ :「室内がじめじめする」が大きな直接効果を及ぼしている。「室内がじめじめする」と感じている人は市街戸建住宅で最も多く、市街地では隣棟間隔が狭いことや高層建築で日照が充分得られていないためであろう。

市街集合住宅では内生変数のうち $X_7$ :窓を開けられない不満感が居住環境の満足度に直接効果を及ぼしている。修正パスモデルからわかるように、その原因として騒音の具体的影響である $X_{14}$ :寝つけない、 $X_{15}$ :TV聴取妨害、 $X_{16}$ :住宅内会話妨害が $X_7$ :窓を開けられない不満感を誘発し、居住環境の満足度に間接的に影響を及ぼしている。TV聴取妨害と「寝つけない」は市街戸建住宅でも騒音の不快感を介して間接効果を及ぼしている。また、外生変数である $X_{29}$ :騒音に対する敏感さと $X_{30}$ :住宅の遮音の程度はいくつもの内生変数に直接効果をもち、それらを介して居住環境の満足度に間接的に影響を及ぼしている。これらの外生変数は騒音に関する要因である。

このように修正パスモデルには騒音に関する外生変数や内生変数が多く残っており、市街地では居住環境の満足度を向上させるには騒音対策が重要であることがわかる。また、市街地では住宅タイプが異なっていても居住環境の満足度への影響要因とその影響過程は類似している。



X<sub>1</sub>:居住環境の満足度, X<sub>2</sub>:騒音の不快感  
 X<sub>3</sub>:窓を開けられない不満, X<sub>4</sub>:室内にじめじめ  
 X<sub>5</sub>:建物の汚れ, X<sub>6</sub>:住宅内会話妨害  
 X<sub>7</sub>:TV聴取妨害, X<sub>8</sub>:壁つけない不満, X<sub>9</sub>:近所付合い  
 X<sub>10</sub>:年齢, X<sub>11</sub>:騒音に対する敏感さ, X<sub>12</sub>:窓内からの眺望  
 X<sub>13</sub>:住宅の間取り, X<sub>14</sub>:室内の風通し, X<sub>15</sub>:騒音の程度  
 X<sub>16</sub>:住宅設備, X<sub>17</sub>:周囲の緑, X<sub>18</sub>:町並み,  
 X<sub>19</sub>:地域の風景, X<sub>20</sub>:道路の安全性, X<sub>21</sub>:商店街の近さ  
 X<sub>22</sub>:ゴミ収集場の衛生

図-6 居住環境の満足度に関する修正バスモデル

### 5.3.2 郊外戸建住宅

これに対して郊外戸建住宅では修正バスモデル中のほとんどの要因が居住環境の満足度に直接効果を及ぼしておりその構造は単純である。また、その影響要因で特徴的なことは市街地の影響要因と異なり、X<sub>16</sub>:近所付合い, X<sub>21</sub>:眺望, X<sub>28</sub>:周囲の緑といった人間関係や自然環境にかかわる要因であることである。郊外戸建住宅では商店街の近さ等の利便性の評価は市街地と比べると悪く、利便性が悪いため居住環境の満足度も悪いという意味で、利便性に関する要因が満足度に影響を及ぼすことが推測されたが、利便性に関する要因は主要な要因ではない。これは自然環境や人間関係が

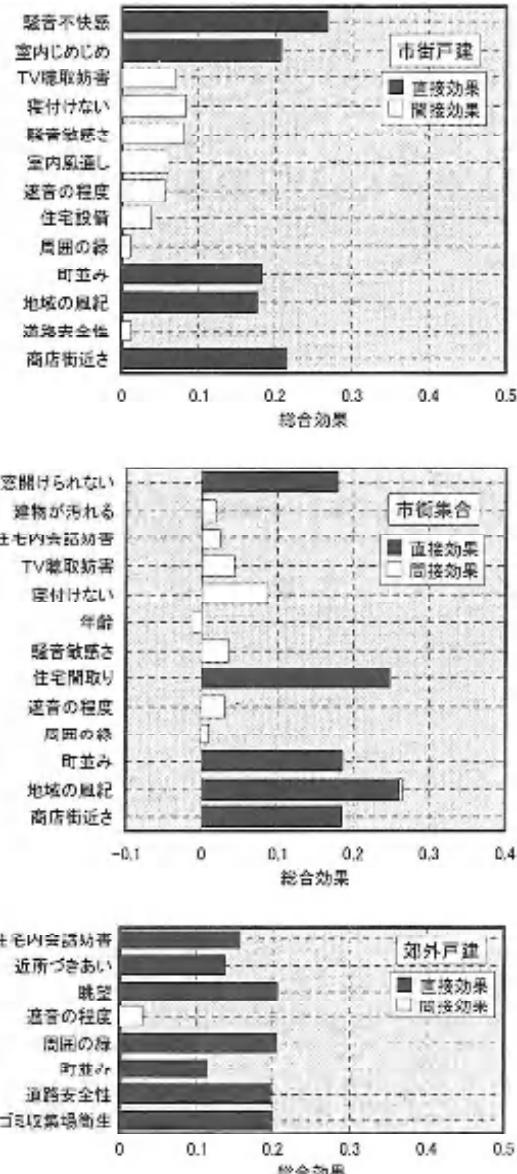


図-7 居住環境の満足度に関する分析結果

よければ利便性が少々悪くても居住環境に満足していると解釈される。X<sub>31</sub>:道路の安全性の評価は市街地よりも悪く、安全でないと感じている人ほど居住環境の満足度が小さい。これは前述したように調査地域に高速道路のインターチェンジにつながる主要道路があり、普通自動車をはじめ大型車が頻繁に通過することや狭い生活道路を自動車が通過することが原因である。また、X<sub>15</sub>:騒音の程度がX<sub>17</sub>:住宅内会話妨害に影響を及ぼし、これを介して居住環境の満足度に間接的に影響しているとともに、住宅内会話妨害が居住環境の満足度に直接影響を及ぼしている。この騒音に関する要因が主要な影響要因であることは市街地と同様である。

## 6. まとめ

大牟田市の市街地の戸建住宅と集合住宅、郊外の戸建住宅について居住環境の快適性に関する調査を行い、居住環境の快適性の因果構造を戸建住宅と集合住宅、市街地と郊外という点から比較検討し、以下の知見を得た。

- 1) 市街地では住宅タイプにかかわらず居住環境の満足度への影響要因が多く、その影響過程（因果構造）も複雑であり、また類似しているのに対して郊外戸建住宅では影響要因は少なく影響過程は単純であった。
- 2) 市街地では住宅タイプにかかわらず影響要因は酷似しており、町並み、地域の風紀、商店街の近さ、騒音の不快感、「室内がじめじめする」であり、地域の安全性や利便性の要因と日照と騒音に関する要因であるのに対して、郊外戸建住宅では近所付合い、眺望、周囲の緑、住宅内会話妨害であり、人間関係や安らぎを表す要因と騒音に関する要因であった。
- 3) 環境汚染要因の中では、市街地、郊外にかかわらず

騒音の不快感や騒音による具体的な影響が大きな影響を及ぼしており、居住環境の快適性の向上には騒音問題の解決は不可欠である。

今回用いた初期パスモデルは調査する側がこれまでの知見と経験に基づいて構成したものである。しかし、そのパスモデルが調査される側である回答者が考える居住環境の快適性の因果構造を的確に表現できているのか疑問がある。そのため今後、回答者の意識に基づいた居住環境の快適性の因果構造を明らかにし、この分析結果と比較検討することを考えている。

## 【参考文献】

- 1) 泉清人他：北海道と九州における道路交通騒音に関する社会調査、日本建築学会計画系論文報告集、No.442、1992年など
- 2) Asher, H. B. 著、広瀬弘忠訳：因果分析法、朝倉書店、1987年
- 3) 安田三郎、海野道郎共著：社会統計学、丸善株式会社、昭和63年

# 体外式人工呼吸器の開発研究

田口 紘一・明石 剛二

〈平成12年9月28日受理〉

A Study on the Development of External Respirator

Koichi TAGUCHI and Koji AKASHI

We were commissioned to develop a new type of respirator for the patient of muscular dystrophy by the National CHIKUGO Hospital. This apparatus supports breath by breast's compression, because it gives more comfortable time for the user than other type of apparatuses. Also it is possible to give enough respiratory volume. Up to this time, this system is in operation without any claim for two years.

## 1. 緒言

現在、呼吸不全をきたしている筋ジストロフィー患者に対して、体外式陰圧人工呼吸器、気管切開陽圧人工呼吸器、経鼻間欠的陽圧人工呼吸器の3種類があるが、いずれも患者にとってかなりの煩わしさを伴う。今回開発を試みているものは、国立療養所筑後病院において発想されたもので、手作業で胸部を圧迫して行う人工呼吸療法が、患者にとって最も煩わしさが少ないということがわかったため、当病院からの依頼によって、その機械化を行ったものである。

本研究ではまずベッド上で行う人工呼吸器を開発設計試作し、その後車椅子上で装着できる人工呼吸器の開発を試みるとともに、呼吸量および胸部圧迫力の測定を行い、その性能評価についての検討も行った。

## 2. 従来の筋ジストロフィー患者に対する補助人工呼吸療法

筋ジストロフィーは、全身の骨格筋を徐々に侵す病気で、呼吸筋もその骨格筋であるので病状が進行すると呼吸不全に陥る。したがって補助人工呼吸器を使って延命を図ることになる。従来の補助人工呼吸療法は病状によって、いくつかの種類が開発されている。呼吸筋が全く働かない重病の場合には気管切開して気管カニューレを挿入し、陽圧で空気を送り込む陽圧式人工呼吸器が使用される。換気効率が最も高いが、気管カニューレの挿入のため気管分泌物が多くなり、その吸引操作やカニューレの交換も必要で、高価な装置となる。ある程度患者の呼吸器の働く状態では体外式陰圧

人工呼吸器が用いられる。これは患者の胸部にグリットと呼ばれるかごをかぶせ、その上を通気のない衣服状の布で覆い、気密となつた空間を真空ポンプで陰圧に引くものである。気管切開をしなくてよいが体に密着したかごがかなり大きくなる割りには換気効率が低い。鼻マスクを用いて陽圧で空気を送り込む方式もある。空気の送り込みは小型の人工呼吸器を使えば車椅子に積んで移動ができる。慣れれば装着したまま食事ができる、換気効率も比較的高いなど利点が多いが、風邪をひいて鼻がつまつたときは快適性が著しく低下すること、眼鏡をかけにくいくこと、陽圧式共通の欠点として気胸が難治性となりやすい等の欠点もある。軽度の病状の時には鼻マスク式がよく使われている。

## 3. 胸部圧迫式呼吸補助法について

この方法は原理としては応急手当として手で行う人工呼吸法と同じである。胸を肋骨の上から強く押すことによって肺を圧迫し、肺の中の空気を吐き出させ、ゆるめたときに自然に吸入する。感覚的には応急手当の時は体重をかけて大きな力で胸部を圧迫するので、この方法は患者にとって快適な方法とは考えられてこなかった。また機構としては、肺の中の空気を吐き出させるだけであり、吸引は患者の身体の弹性回復を利用している点も呼吸器として完結性を欠いていると考えられていたかも知れない。その点前述の他の方法は原理的には胸部圧迫式よりも多量の空気を確実に患者に強い力を加えずにできるという利点がある。しかし装置が大型となり患者に装着した場合、患者の身体が拘束され身動きができる範囲が狭くなっている。陰圧

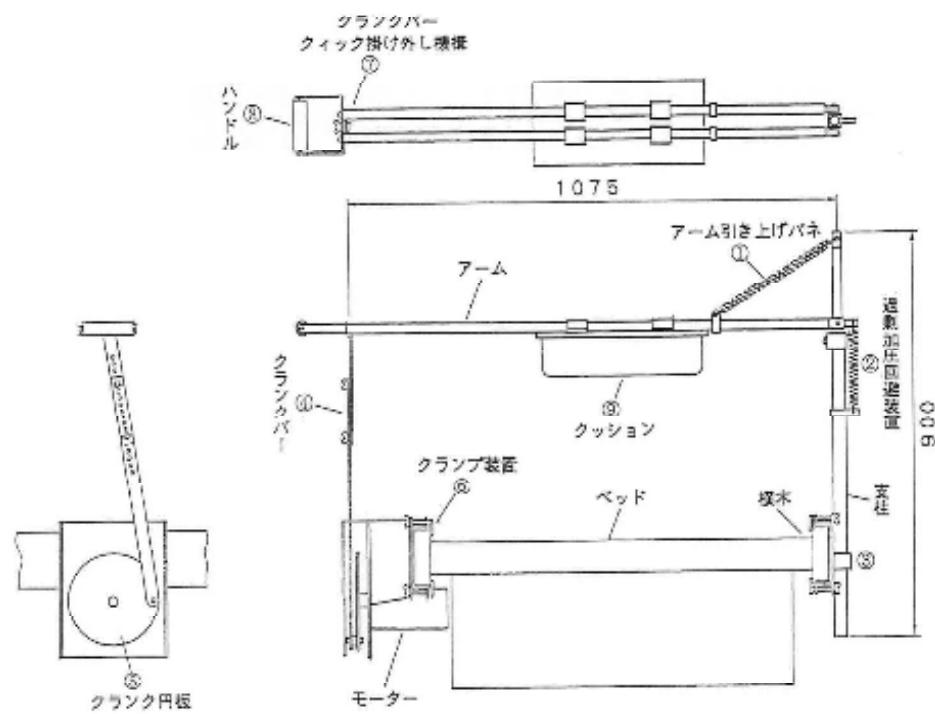


図1 ベッド用人工呼吸器構想図

式は上半身を覆ってしまう吸引棒によって体をねじることさえできない。このような拘束は患者にとって大変な苦痛である。患者は元々筋肉が衰えているので寝返りはできないのであるが、少しよじる程度のことはできるのである。この少しでも動かせることができることが非常に大事なことなのである。また経鼻法は鼻に空気供給管を差し込んでいるので煩わしく決して快適とは言えない装置である。顔の真ん中に管を通された格好は人間の尊厳を著しく損なうものである。

患者のなかで、ある程度自己呼吸能力がまだ残っている病状の軽い人がいて、その人は毎日母親から外庭に連れ出され日光浴をしてもらっている。そのときは人工呼吸器を外し、母親が手で患者の胸を押し患者の呼吸補助をしてやることになる。手で押してもらった方が快適であるということで、ベッドに戻った後も手で押すことを要求したことから、この方法が患者にとって不愉快なものでないことがわかったのである。はじめの頃は看護婦が手で押してやっていたのであるが、それでは疲れるので、ベッドの奥の手すりに棒をくくり付け、その棒に座布団を縛り付け、手すりにくくりつけたところを支点にして棒を上下に動かし、座布団を患者の胸に押しつけることを係の看護婦が考案した。この原理で必要な力が半分になり、棒の前端を下へ引き下げればよいので看護婦の労働は緩和されたのであるが、これが機械化されれば看護婦の労働は解放されることになるので、著者のところへ相談に来られた

わけである。

#### 4. ベッド用人工呼吸器の設計構想

装置の構造はベッドに固定した支柱の先端を支点としたアームの上下振り子運動により、患者の胸部を機械的に押圧して行う補助呼吸器である。図1に全体の構造図を示す。中央にクッションの付いたアームをベッドの側面に立てた支柱に取り付ける。支柱と反対側のアーム端からクランクバーを下げる。ベッド側面に取り付けた駆動部でクランクバーを往復運動させる。駆動部はクランク機構によってモーターの回転を往復運動に変える。

主な仕様は病院側の要望によって次のように決定した。

圧迫周期：1秒～5秒の間で変化できること

圧迫荷重：最大10kgf (98N)

過荷重回避装置を付けること

クッション振幅：最大90mm

圧迫荷重は実際に使用予定の患者に対して看護婦が手動で行った場合の感触をバネ秤で測定し、およそ80Nと推測した。

人工呼吸器の機構はアームの上下運動だけなので比較的簡単である。しかし患者に直接接し圧力を加えるので、種々の安全機構が必要になる。設計方針、必要な機構として以下のことを組み込むことを考えた。

- (1) 胸部を圧迫したまま停止しないこと。
- (2) 過剰圧力の回避機能を設けること。
- (3) 圧力の調整がされること。
- (4) 周期、振幅の変更ができるること。
- (5) 取り付け取り外しの簡便化を図ること。
- (6) 小型化、軽量化を図ること。

以上、6項目の設計目標を目指して設計を行った。

(1)に対しては、停止時のモーター軸の摩擦トルクより大きな力でアームを引き上げるため、図1中の①に示すように、支柱の上方からバネをアームに取り付けて、常にアームを上方に引っ張っている状態にした。

(2)の過剰加圧回避機構に対しては、アームの支点を支柱の側面に組み込んだバネで引き下げておき加圧部に、患者が体をよじった時に圧迫位置が変わり過剰の圧力がかかった場合、そのバネの調整荷重以上の力がかかるとアームの支点が上方移動し、それ以上の力が発生しないようにした。最大荷重の調整は図1中②に示すようにアーム端から掛けている最大荷重調整バネの他端の位置を移動させ、バネの伸びを変化させることによって行う。図2に支柱上部のスライド装置を示す。下部支柱の中に差し込まれた上部支柱は偏荷重がかかっているので、すべり機構では摩擦が大きく動かないでスライド部上下に車輪を組み込んで転がり接触とした。

(3)の圧力調整に対しては、圧力はアームの下支点と患者の胸の位置および過剰加圧回避装置の調整荷重で定まるので支点位置の調整ができるようすることと前述の過剰加圧調整装置によって目的を達することができる。アームの高さ位置の調整は支柱の取付部(図1中③および図3)をゆるめて上下のスライドをすることと、連結バーの長さを調整できるようにバーを互いに多数の穴を持つ2枚の板を重ねて適切な長さでね

じ留めできるようにした(図1中④)。

(4)の振幅の調整はクッションを往復運動をさせるためのクランク機構においてクランクアーム部を円板にし(図1中⑤)，それに連結バーを連結させる穴を半径の異なる位置に多数あけ、連結穴の位置を変えることにより、クランク半径が変化し、それに伴いアームの振幅が変化するようにした。周期の変化については直流可変速ギアドモーター(出力40W、回転数12~60rpm)を用いた。

(5)の取り付け・取り外しを簡単にするために、いくつかの箇所で工夫をした。

1) 使用者が取り付け・取り外しを行う箇所はM5の蝶ナットで統一した。

2) ベッドへの装置の取り付けはベッド横木(角パイプ製)に横木に細工することなく、側面から上下を挟み込む形式で簡単に取り付けられるようにした。(図1中⑥および図3)

3) アームと連結バーはねじを緩めることによって簡単に分離できるようにした(図1中⑦)。呼吸器の不要の時はこの分離によってバーは引き上げバネによって支柱側に跳ね上がり、邪魔にならなくなる。

(6)小型軽量化のために基本的に高力アルミ合金パイプ、アルミ板材を多用した。

(7)その他アームの先にハンドルを付け、万一の場合は手動で人工呼吸を行えるようにした(図1中⑧)。クッション材は病院側で手動の手製の呼吸器を作ったときに使用した車椅子用座に使用されているものを病院側から提供してもらい使用した。厚さは約100mmである(図1中⑨)。後述のように圧迫圧力分布測定の結果、圧迫力が広い範囲に分散し、適材であることがわかった。

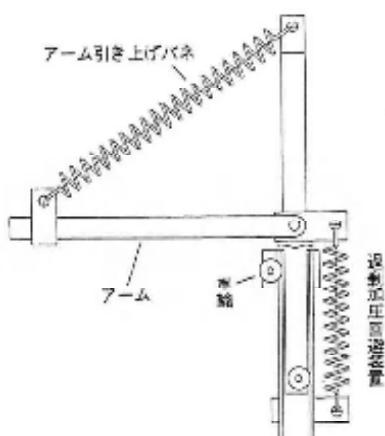


図2 安全機構

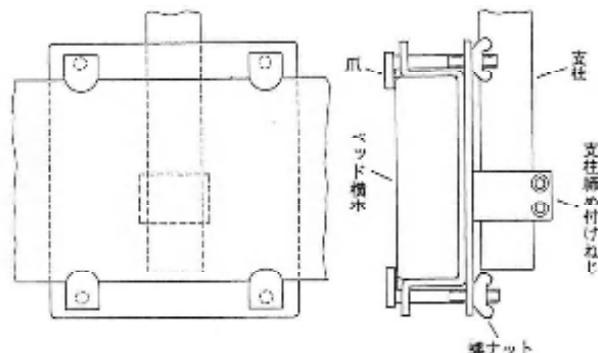


図3 ベッドへの取付部

## 5. 装着結果

筋ジストロフィー患者に装着したところ、ほとんどフレームがなく受け入れられた。図4に装着時の様子を示す。この装置の導入によって患者の保護者や看護婦が當時クッションを駆動させるという労働から解放されることになった。ただし本装置は試作品であり長期にわたる駆動テストをしていないのであくまで看護婦の管理下で使用することを強く要望した。したがって夜の睡眠中は経鼻式の人工呼吸器を使用しているようである。

納入してから2年が経過しているが故障無く、継続して使用もらっている。

## 6. 在宅用および車椅子用人工呼吸器

前項で開発したベッド用体外式人工呼吸器が好評だったので、その改良型として、在宅用および車椅子用の体外式人工呼吸器の試作を行った。

図5に在宅用人工呼吸器の概略図を示す。基本的にはベッド用と同じである。ベッドに取り付ける代わりに畳に布団を敷いてある状態で使えるようにしたものである。畳と布団の間に5mm厚さのアルミ板を差し込み、一端に支柱を他端にクラシック機構を設けた。クッションの振幅はベッド用よりもやや小さく45~60mmとした。これは患者にとって呼吸周期のなかで荷重はなめらかに変化したほうが快適で、そのためにはクッションのへこみの量に近い振幅のほうが目的を達することができるからである。

図6に車椅子用のものを示す。課題は機構のコンパクト化である。駆動機としては小型直流可変速ギアドモーターを使用した。また速度可変範囲は、周期2~4秒である。胸押しクッションの振幅は50mmとした。駆動部はモーター外径に合わせ60mm以内に全部を納めることに努めた。クラシック式にすると、駆動部の振幅は50mm程度しか得られないで、クッション部ではその1/2の25mmとなる。したがって別の機構が必要になり、図7に示すようにブーリーにワイヤを巻き付ける方法を考えた。この方法では2/3回転で約2倍の100mm程度引くことができる。1周期毎のモーターの反転はモーター部に大きな負荷をかけるので偏心アームによるかけはずし方法を考案した。爪部は丸みを持たせ、銅の焼き入れ処理を行って摩耗対策をとった。過荷重回避装置としては設定荷重を超えるとアームの先端部が折れ曲がるような機構を設けた(図7(b))。しかし、患者に装着したところ、戻り行程が急激で音も発生し、不快感を与え、よい結果を得られなかった。ま



図4 ベッド用人工呼吸器の装着状況

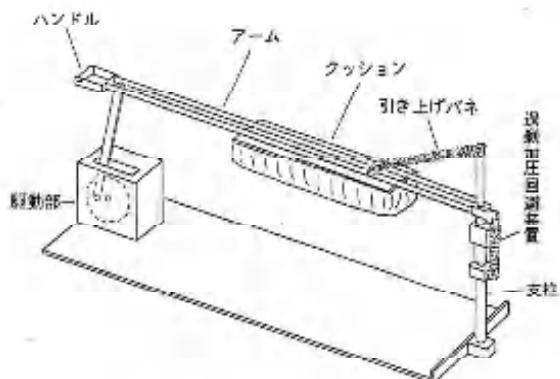


図5 在宅用人工呼吸器

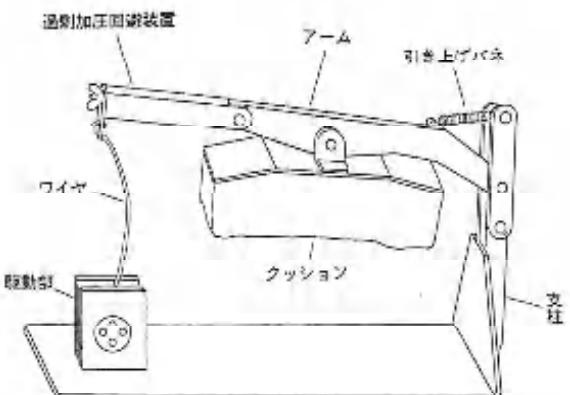
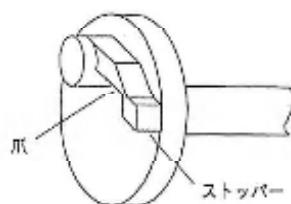
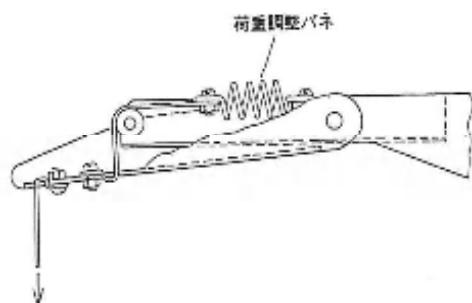


図6 車椅子用人工呼吸器の概略図

た過荷重回避装置も作動がぎこちなく、荷重設定もしにくかった。下支点停止の回避もモーター部の小型化のためトルクの小さいモーター使用となつたため減速比を大きくしなければならず目的が達成されていない。この方式では、ダンパーを設けるなど若干の改良方法が考えられるが、モーター部を胸の上に置くなど根本



(a) ワイヤ引き込み機構



(b) 過剰加圧回避装置

図7 車椅子用に採り入れた機構

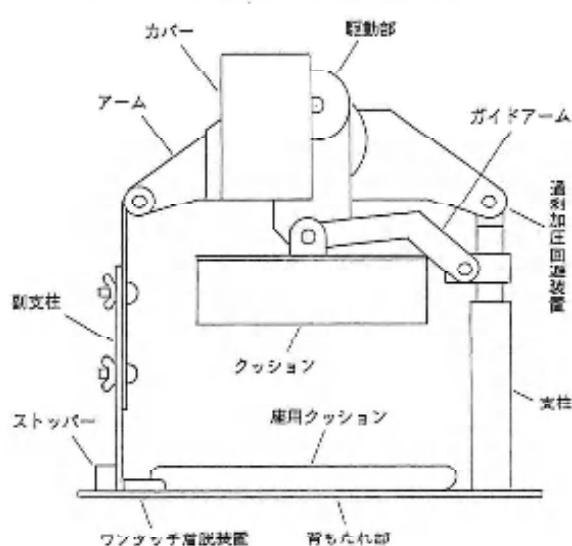


図8 車椅子用人工呼吸器（改良型）

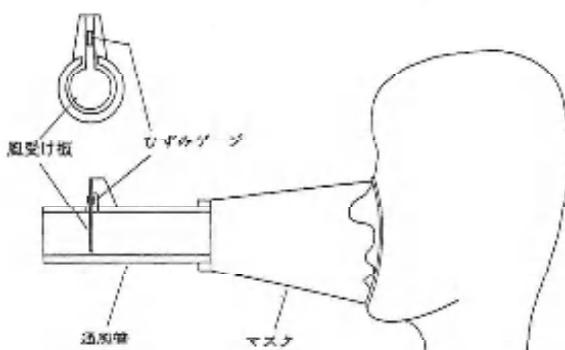


図9 呼吸量測定器の概要

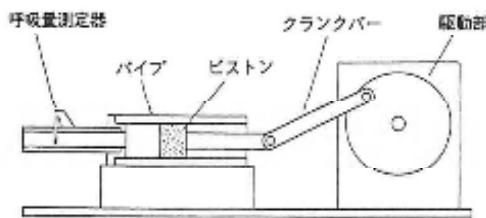


図10 呼吸量測定器の検定

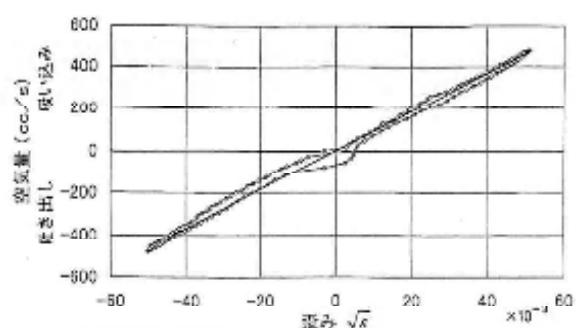


図11 呼吸量測定器の検定結果

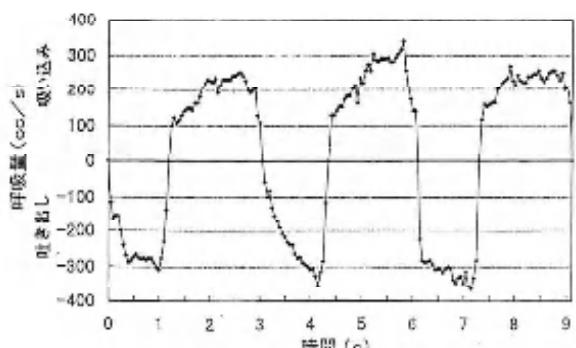


図12 健全者の呼吸量線図

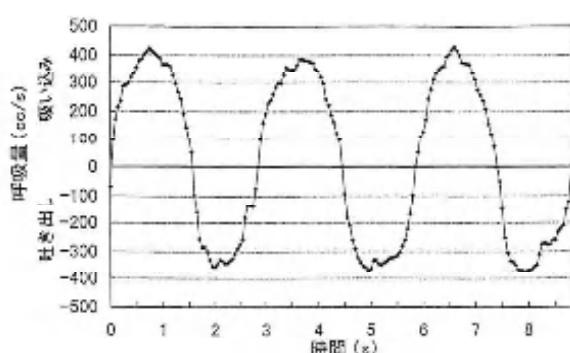


図13 人工呼吸器による呼吸線図

的に構造を練り直す必要があると思われた。

そこで図8に示すような改良形を試作した。駆動部をアーム中央に取り付け、直接クラシックバーでクッションを押す形式である。過荷重回避装置はベッド用と同様に支柱にスライド部を設けて、設定荷重を超えるとアーム支点が上方へ移動するようにした。この構造では支柱にかかる偏荷重が少なく、すべり形式で支障はなかった。取り付け取り外しは支柱と反対側の支え板下部をワンタッチで脱着できるようにした。患者に装着したところまずまずの反応だった。

## 7. 呼吸量測定

### 7.1 呼吸量測定器の開発・製作

今回開発した胸部圧迫式人工呼吸器の性能を評価するために呼吸量の測定を計画した。病院に問い合わせたところ、そのような測定器は無いということなので、測定器の製作から行うこととした。呼吸量測定器の原理・機構として次のようなものを考案した。すなわち図9に示すように柄のついた円形のプラスチック板をパイプ内に設置し、パイプを通して呼吸したときに生じる風圧によるプラスチック板のたわみを板の柄に貼り付けたひずみゲージで検出する。風量と検出ひずみ量の関係は、図10に示すように、ピストンの往復運動時の空気量の変化とそのときの測定されたひずみゲージの出力との関係から求められる。

図11に実験結果より求めた空気量とひずみの関係を示す。グラフより、

$$Q = 9.5 \times 10^3 \sqrt{\epsilon}$$

という関係が得られ、この式より呼吸量を求めた。

### 7.2 呼吸量測定結果

製作した人工呼吸器による呼吸量を、健全な人に対して実験を行った。被実験者に口マスクをしてもらい、口マスクの先端に呼吸量測定器を取り付けた。この状態で、まず普通の呼吸をしてもらう。その結果を図12に示す。呼吸の周期は約3秒、線図は頂点が平坦な台形で等速吸引・吐き出しが行われていることがわかる。また瞬間呼吸量は吐き出し、吸い込みとも約300cc/sであることがわかる。この線図を積分して一呼吸における呼吸量を計算すると約340ccとなる。したがって1分間当たり6800ccの呼吸量となる。次に同じ被実験者に自らの筋肉を使わずに人工呼吸器による呼吸のみを行ってもらった。最大加圧力は約80N、ストロークは50mmである。結果を図13に示す。線図はサインカーブに近い曲線を描き、人工呼吸器のクッションの上下

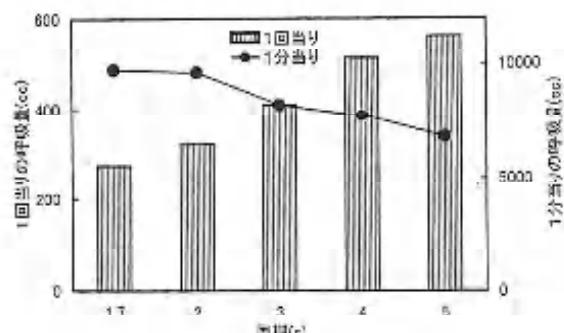


図14 周期と平均呼吸量

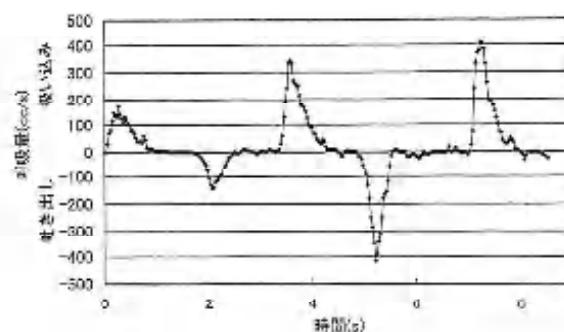


図15 患者の呼吸量線図

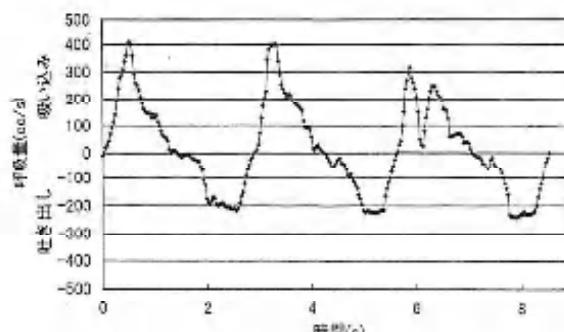


図16 人工呼吸を装着した場合の患者の呼吸量線図

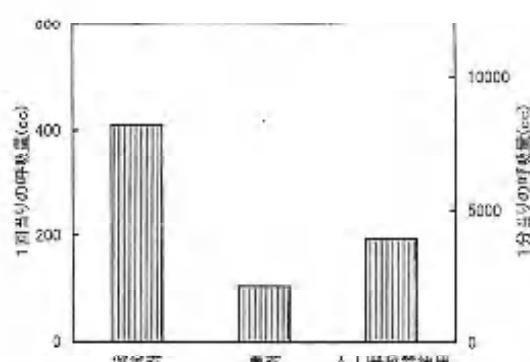


図17 1回当たり、時間当たりの呼吸量の比較

運動の位置変化と一致している。瞬間最大呼吸量は400cc/sに達し、したがって一呼吸当たり、一分間当たりの呼吸量も410ccおよび8200ccとなり、人工呼吸器を使わずに普通に呼吸したときよりも多いことがわかる。図14に周期を変えた場合の結果を示す。周期を長くすると一呼吸当たりの呼吸量は増加するが、一分当たりの呼吸量は減少する。図15は人工呼吸器を装着しないときの患者の自力呼吸の呼吸線図である。吸引、吐き出しあとも極短い時間に行われ、その間は呼吸が途絶えがちであること、一回毎の呼吸量が大きく異なることなど、患者の呼吸力が非常に弱まっていることがわかる。図16はその患者に本人工呼吸器を装着した場合の呼吸線図である。呼吸量は明らかに増大し、人工呼吸器の周期とともに吸引と吐き出しの間が途絶えることなく呼吸が続いていることがわかる。図17に健全者、患者の自力呼吸、患者に人工呼吸器を装着した場合の呼吸量の比較を示す。患者の自力呼吸量は2000cc/min程度で、この量では不足でこの量で耐えられるのは30秒程度である。その患者に人工呼吸器を装着すると1回当たり約200cc、1分間当たり4000ccの呼吸量が得られた。この値は呼吸器を調整して、患者が満足した呼吸量の値である。患者は自らの力で呼吸せず人工呼吸器に委ねた呼吸をしていると思われる、その方が楽だからである。

## 8. 胸部圧迫圧力測定

### 8.1 圧力測定方法

胸部圧迫式人工呼吸器で最も懸念されるのが胸部にかかる荷重である。適切荷重の80Nが狭い範囲に集中しないように分散してかけることがまず快適感に対し要求されることであろう。そこで患者が胸部で受けクッション圧力を測定することにした。

図18に示すように、土台の金属の上に超小型圧力ゲージ（直径6mm、厚さ0.6mm）を貼り付け、それを圧力測定装置とした。圧力ゲージ上の荷重を等分布するためにゲージの上にスポンジを貼り付けた。今回は、この圧力測定装置を使用して、平板型、腹部を形とった山形、胸部を形取った二つの山形の形状が異なる三種類のアルミ板について測定を行った。

### 8.2 圧力測定結果

三種の板型に対する圧力分布を比較したグラフを図19に示す。同図（a）から平板は圧力の分布がほとんど一定であると認められる。この測定以外にも縦、斜めと測定を行ったが、ほとんど一定であったため平板についての圧力分布はどの場所でもほぼ一定というこ

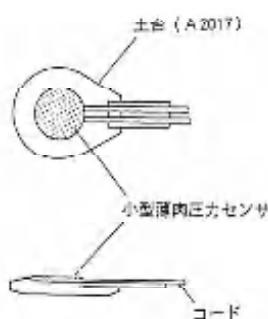
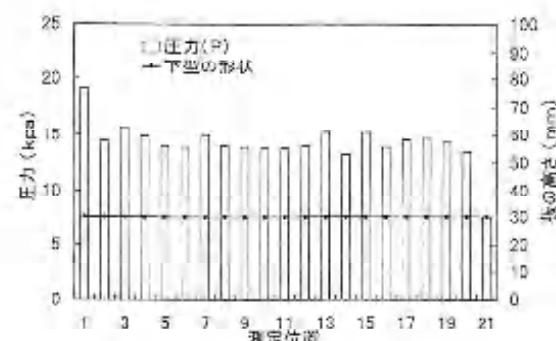
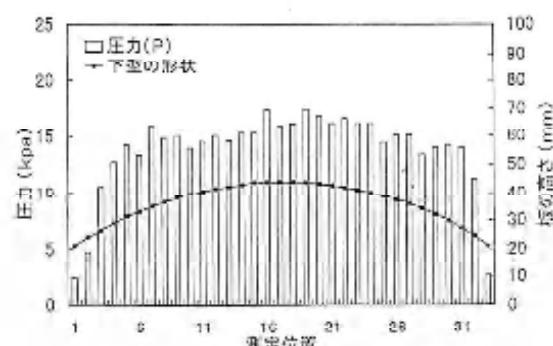


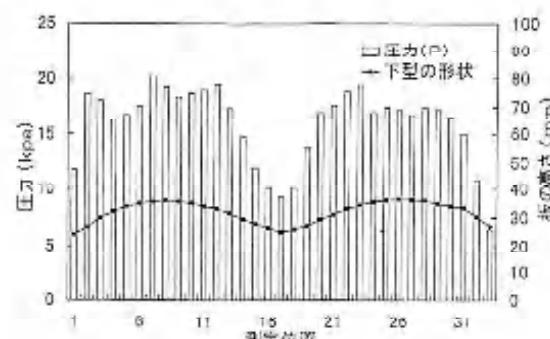
図18 圧力測定装置



(a) 平板に対する圧力分布



(b) 山形板に対する圧力分布



(c) 二つ形板に対する圧力分布

図19 クッションから受ける圧力分布

とがわかった。また山形（同図（b））、二つ山形（同図（c））においても、あまり接触しないくぼみを除いては、ほぼ一定の圧力分布を得ることができ、最高圧力もさほど上昇していないことがわかる。

また、山形の中心部で時間的圧力変化を測定した。圧力の変化状況を図20に示す。圧力の変化はサインカーブではなく、加圧の1.5秒の間、圧力は10～15kPaと緩やかに変化している。これは図13、図16の吐き出し行程での呼吸量変化の傾向と一致している。このような変化は患者にとって快適な変化ではないかと思われる。

## 9. 結言

本研究では、3種類の人工呼吸器を試作し、その性能評価について述べた。開発した胸部圧迫式人工呼吸器は健全な人の呼吸量に匹敵する量を十分に供給することができる。また胸部にかかる圧力はクッション全域に分散され、総荷重で80N、圧力で15kPaと少なく、他の方法と比較した場合、患者にとって大きな負担とはなっていないようである。しかし筋ジストロフィー患者によって一人一人の病状が違うため、機器の動作制御や装着方法など難しく、特に車椅子用はまだ多くの問題点が残っている。今後はさらに患者の快適性を追求し、実用化を目指すことが必要である。

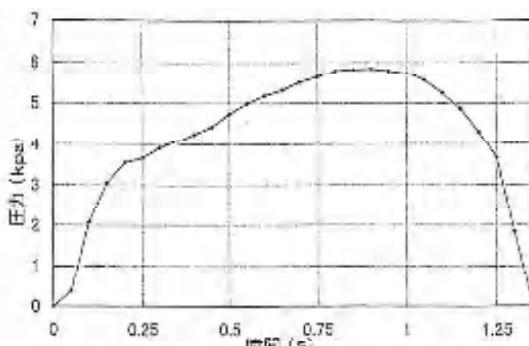


図20 クッション中心部の圧力変化

# パルス静電応力法の解析アルゴリズムの検討

内海通弘・田中祐捷\*

〈平成12年9月29日受理〉

Algorithms in Data Analysis for the Pulse Electroacoustic Method

Michihiro UCHIUMI and Toshikatsu TANAKA

The pulse electroacoustic method (PEA) has been used for measurements of space charge and surface charge of insulation dielectrics under dc high-voltage stress. Mathematical formulation of the PEA instrumentation was reviewed and summarized in a physical aspect. Although surface charge at the electrodes and the space charge in dielectrics had been treated separately, a generalized governing equation has been established for both surface charge and space charge. For this purpose, it was shown that the surface charge has need of an expression as charge density in C/m<sup>3</sup> with a finite distribution although the thickness of the surface charge is not observable.

## 1. はじめに

絶縁材料が長時間高电压に曝露されると、解離や電子の注入によってバルク中に空間電荷が形成される事が知られている。この空間電荷は、材料の絶縁破壊の引き金となるトリーの発生原因ともなっている。この空間電荷の形成、消滅過程を観測し、考察することは、絶縁材料を研究する上で、大変重要な手法となっている。

従来、空間電荷を測定する方法として、電子ビーム法、熱パルス法、カーフェル法などがあったが、測定時に空間電荷を破壊してしまう欠点があった。最近、非破壊的な測定方法として超音波を使う方法が注目され、中でもレーザ誘起圧力パルス (Laser-Induced Pressure Pulse: LIPP) 法<sup>(1)-(3)</sup>とパルス静電応力 (Pulse Electroacoustic: PEA) 法は今後の発展が期待されている。後者のパルス静電応力測定法は、高田ら<sup>(4)-(6)</sup>を中心に開発されたもので、日本では、大学・高専の電気工学科で絶縁材料の空間電荷の研究に普及しつつある。レーザを用いない、パルス静電応力法は安価で、装置が手作りできる点で、高専レベルの教育研究に最適と思われる。

筆者は、新しい計測法として、最近注目を浴びているパルス静電応力法を利用して、空間電荷、電界、電位分布の関連性を実感として把握できるような実験テーマに組み立てる事を目標に、研究を行っている。電

気磁気学は、電気回路、電子回路などの科目の基礎ともなっており、電気電子工学において、もっとも重要な科目のひとつである。電気磁気学では、空間電荷、電界、電位分布の関連性をポアソンの式を使って学ぶ。すなわち、電荷、電界、電位の3つのうちどれか1つがわかれば、残りの2つの量はポアソンの式を使って解析的に容易に得られる。したがって、電荷を電界により計測するこの手法を用いれば、学生にとって直感的な理解が得難いガウスの定理、ポアソンの方程式を目の当たりに理解させることができる。このように、パルス静電応力法は、電気工学の分野である絶縁材料工学や放電工学への興味を誘うだけでなく、高等教育に新しい息吹を送り込む教材となるものと思われる。

開発されつつあるこの測定装置は、いまだ測定原理の確立に問題を残しているので、本論文では、その測定原理に対して、新しい見解を示すと共に、その装置によるデータの解析手法の検討を行ったので報告する。

## 2. 測定装置の概要

PEA 装置の原理図を図1に、装置の概略図を図2に示す。この装置は、測定試料に直流高电压と高电压パルスを印加する上部電極と、信号を検出する下部電極の2つに分けられる。

パルスジェネレータにより発生させた電圧パルスを、上部電極を通して試料に印加する。試料内部に空間電荷が存在することにより音波が発生し、試料、アルミニウム板を通して、下部電極に到達する。この音波を

\*(財)電力中央研究所

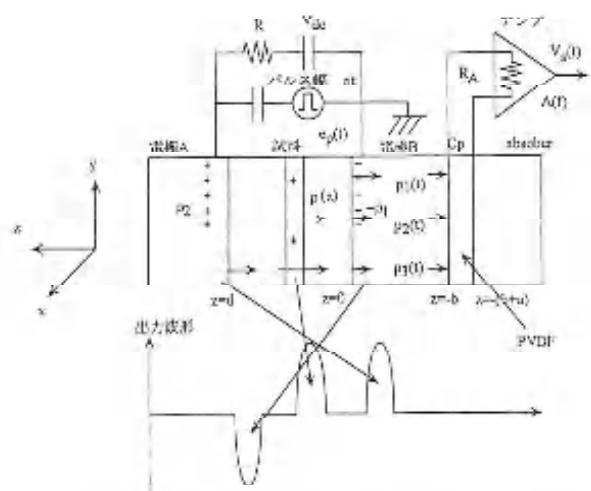


図1 パルス静電応力の原理図

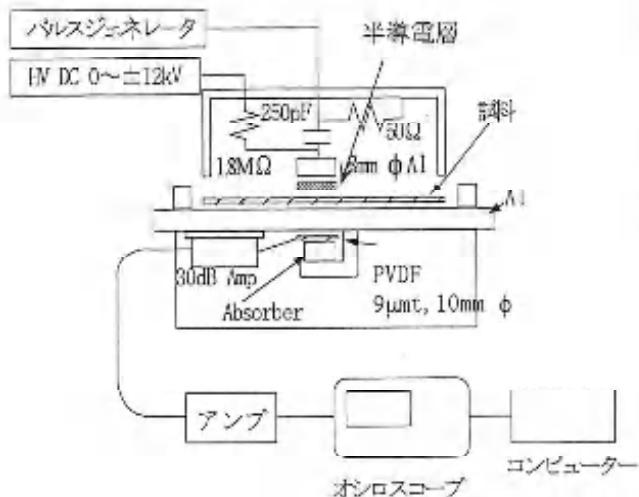


図2 パルス静電応力の装置の模式図

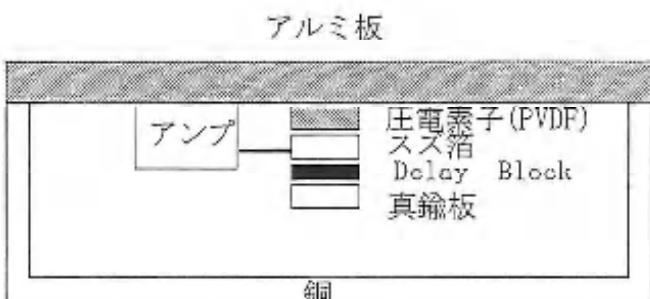


図3 下部電極内音波検出係

下部電極内の圧電素子で電気信号に変換し、高周波広帯域アンプ(Tron Tech W500K)で増幅した後、オシロスコープでモニタする。このデータは、GPIBを通してパソコンコンピュータへ転送され、処理される。下部電極のアルミニウム板は、電圧バルスが試料

に印加される際に発生するノイズを消すために十分な厚さが必要で、1cm程度が望ましい。この厚さのために、音波の遅延が起こり、測定波形は電圧バルス印加から約1.6μsの遅延時間を生じる。

この上部電極は、内部電極がアルミニウム、外部電極が真鍮から成り、外部電極は絶縁破壊したときのガード電極であり、共振した信号の逃げ道である。外部回路がきちんと接地されていないと試料と、上部・下部電極との間で沿面放電が生じる。その際、外部電極と試料の間に電圧を生じ、時には信号と同程度のノイズを生じることがあるので注意を要する。

PEA装置下部電極内の音波検出系の詳細図を図3に示す。音波検出用の圧電素子は、PVDF(ポリフッ化ビニリデン)フィルムを使用した。圧電素子の厚さは、測定波形の分解能に影響し、圧電素子が厚いほど分解能は悪くなるが、薄い圧電素子を使用すると、測定感度が悪くなり信号が小さくなる。その結果、分解能とS/N比が最もよくなる最適な圧電素子の厚さが存在する。本実験では、0.5mm、1mmの試料厚に対して、最適なPVDFの厚さは9μmであった。この圧電素子はノイズの影響を最小限にするために、最短距離(1cm)でアンプに接続する。遅延緩衝体は、反射波が測定信号に影響を及ぼすのを防ぐために用いられ、アクリル板で8mmの厚さが必要である。

### 3. 測定原理の定式化

本論文では、絶縁材料に一方向に一定電界をかけて、蓄積させた空間電荷の計測法について考察する。空間電荷を計測するために、プローブとして、高電圧バルスを印加する。このインパルス電界により発生する圧力波を計測することによって、空間電荷分布を計測することができる。この実験装置の概念図を図2に示す。

直流電圧を印加したとき誘起される表面電荷は、試料の比誘電率を $\epsilon_r$ として

$$\sigma = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad (1)$$

である。このとき電界 $E$ により電極間に働く引力は、マックスウェル応力であり、

$$f = \frac{1}{2} \sigma E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2 \quad (2)$$

で与えられる。一方、ここで、図1において、微小領域 $z \sim z + \Delta z$ に存在する空間電荷 $\rho(z)$ に働く力は

$$\Delta f(z) = \rho(z) \Delta z E(z) \quad (3)$$

である。

このように、電極とバルク内で方程式が異なるので、分離して考察する。厚さ $d$ の測定試料に、時間幅 $\Delta T$ のバルス電圧 $V_p$ を印加すると、 $e_p = V_p/d$ の電

界が  $\Delta T$  の間かかる。時刻  $t=0$ においてパルス電界により電極Bに発生する力は次式で表される。

$$f_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{2} \left( \frac{\sigma_1}{\epsilon_0 \epsilon_r} + e_p \right)^2 \quad (4)$$

ここで、パルス電界により発生する力のみを考慮して、直流電圧による定常項  $\sigma_1$  を無視して、時間的に変化する項のみを考える。

$$f_1 = \sigma_1 e_p + \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r e_p^2 \quad (5)$$

同様に電極Aに働く力は、同様に定常項を無視して、次式になる。

$$f_2 = \sigma_2 e_p - \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r e_p^2 \quad (6)$$

上の2つの式の第2項は表面電荷と関係しておらず、第1項に比べて小さいとして、無視する。無視できない場合は、直流電圧電源がオフ  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$  の条件で計測して補正する。圧力波の振幅は、 $z$  方向の正負両方向に伝わり、音響インピーダンスによってきまる。固有音響インピーダンスは、 $c$  を音速、 $\rho$  を密度として、 $Z = \rho c$  で与えられ、固体中の音速は、ヤング率  $E$  と  $c = (E/\rho)^{0.5}$  の関係がある。電極のアルミ板と試料のポリエチレンの音響インピーダンスをそれぞれ、 $Z_{Al} = 17.3 \times 10^6 \text{ kg/sm}^2$ 、 $Z_{se} = 1.88 \times 10^6 \text{ kg/sm}^2$  とおくと、 $z$  方向の負の向きに伝わる波の振幅は、

$$f_1 = \frac{Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{se}} \sigma_1 e_p \quad (7)$$

と書ける。電極に存在する電荷は無限小の厚さで分布しているが、プローブ電界の時間幅  $\Delta T$  が有限であるため、厚さ  $\Delta z = c \Delta T$  で広がって観測される。観測可能量としては、面電荷密度といよりも、体積電荷密度と考えられるので、 $t=0$  のとき、( $e = \Delta T/2$ )

$$f_1 = p(0) = \frac{Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{se}} c \int_{-\infty}^{0-t} \rho(c\tau) e_p(\tau) d\tau \quad (8)$$

のように、パルス電界のパルス幅程度にわたって時間積分した量に置き換えて差し支え無い。

同様に、 $t=d/c$  のとき、

$$\begin{aligned} f_2 &= p\left(\frac{d}{c}\right) \\ &= \frac{2Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{se}} \frac{Z_{se}}{Z_{Al} + Z_{se}} c \int_{d/c-t}^{d/c} \rho(c\tau) e_p\left(\tau - \frac{d}{c}\right) d\tau \end{aligned} \quad (9)$$

となる。ここで、音響インピーダンスの整合を取るために、 $z=d$  にインピーダンスが  $Z_{se}$  とみなせる導電性材料を挿入すると、(9)式の2番目の比は  $1/2$  となるので、 $t=d/c$  のとき、

$$\begin{aligned} f_2 &= p\left(\frac{d}{c}\right) \\ &= \frac{Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{se}} c \int_{d/c-t}^{d/c} \rho(c\tau) e_p\left(\tau - \frac{d}{c}\right) d\tau \end{aligned} \quad (10)$$

と書ける。なお、波が試料からアルミ電極に入るときは、インピーダンスが大きくなるので、位相は  $\pi$  だけ変わると、今は振幅だけを考えているので関係ない。

一方、パルク内に目を移してみると、微小領域  $z \sim z + \Delta z$  に存在する空間電荷  $\rho(z)$  に働く力は次式で与えられる。

$$\Delta f_3 = \rho(z) \Delta z e_p(t) \quad (11)$$

ここで、空間電荷  $\rho(z)$  は印加されるパルス電界から影響は受けないと仮定する。この圧力波も、 $z$  方向の負の向きに伝わる波のみを考えると、振幅は半分になる。 $z=0$  で観測を行うと、信号は伝播に要する時間  $z/c$  だけ遅れて観測される。 $z=0$  で時刻  $t$  に観測される信号は、 $t$  上り  $z/c$  だけ前に加えた電界と  $z$  にある空間電荷密度に比例しているので、

$$\Delta p_3(t, z) = \frac{1}{2} \rho(z) \Delta z e_p(t - \frac{z}{c}) \quad (12)$$

となる。時刻  $t$  に、すべての領域 ( $z=0$  から  $d$  まで) から受ける圧力は  $z$  について積分してえられる。結局、試料からアルミへの透過率も考慮して、

$$p_3(t) = \frac{2Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{se}} \frac{1}{2} \int_0^d \rho(z) e_p(t - \frac{z}{c}) dz \quad (13)$$

である。この式は、印加電界の波形が連続任意な形でも成り立つ式である。

ここで、積分の変数を  $z$  から  $\tau = z/c$  に変換する。

$$p_3(t) = \frac{2Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{se}} \frac{1}{2} \int_0^{d/c} c \rho(c\tau) e_p(t - \tau) d\tau \quad (14)$$

次に、パルス間隔は十分広く、後続のパルスが影響しないとし、しかも、パルスが試料を通過する時間  $d/c$  よりも、単一パルスの幅  $\Delta T$  は非常に狭い、 $\Delta T \ll d/c$  とすれば、(14)式の距離についての積分はパルス近傍だけでよいから、 $0 < t < \frac{d}{c}$  のとき

$$p_3(t) = \frac{2Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{se}} \frac{1}{2} c \int_{t-e}^{t+e} \rho(c\tau) e_p(t - \tau) d\tau \quad (15)$$

となる。

以上の式(8)(10)(15)をまとめると、時刻  $t$  に観測される圧力は、次式となる。 $0 \leq t \leq \frac{d}{c}$  のとき

$$p(t) = \frac{Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{se}} c \int_{t-e}^{t+e} \rho(c\tau) e_p(t - \tau) d\tau \quad (16)$$

本装置では、音波は、 $z=-b$  において厚さ  $a$  の圧電素子によって測定する。発生した圧力波は圧電素子 PVDF 内を伝搬する。その際、圧電効果のため PVDF の表面上に電荷  $q(t)$  が誘起される。

$$q(t) = d_{33} p(t) S \quad (17)$$

$d_{33}$  は圧電定数で、 $S$  は PVDF の面積である。PVDF 間に生じる電位差は

$$\nu_{PVDF}(t) = \frac{q(t)}{C_p} \quad (18)$$

$C_p$  は PVDF の静電容量で、 $C_p = \epsilon_0 \epsilon_r S / a$  である。 $a$  は PVDF の厚さであるから、上式から

$$\nu_{PVDF}(t) = \frac{d_s a}{\epsilon_0 \epsilon_r} p(t) \quad (19)$$

となり、圧力波  $p(t)$  により発生した電位差は厚さに依存し、面積には依存しないということがわかる。

$d_{33}$  を圧電定数で  $d_{33} = d_{33} / \epsilon_0 \epsilon_r$  とすると、PVDF のインパルス応答は、振幅  $a_m$ 、パルス幅  $\tau$  の單一方形波で

$$h(t) = g_{33} [u(t) - u(t - \Delta\tau)] \quad (20)$$

となる。 $\Delta\tau = a / V_p$  は PVDF を通過する時間で、 $V_p$  は PVDF 中の圧力波の速度である。電位差  $\nu_{PVDF}(t)$  は圧力波  $p(t)$  と伝達関数  $h(t)$  のコンボリューションに比例する。

$$\nu_{PVDF}(t) = c_p \int_0^t h(t') p(t - t') dt' \quad (21)$$

通過時間  $\Delta\tau$  が圧力パルス幅より短いと、 $h(t)$  はデルタ関数に近似される。よって、PVDF からの出力信号は次式になる。

$$\nu_{PVDF}(t) = g_{33} a p(t) \quad (22)$$

このように測定される波形は、空間電荷分布に比例しているのがわかる。ここで、(16)式を代入すると、

$$\nu_{PVDF}(t) = g_{33} a \frac{Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{sa}} c \int_{t-\tau}^{t+\tau} \rho(c\tau) e_p(t - \tau) d\tau \quad (23)$$

が得られる。ここで、右辺の積分に掛けられている係数は、周波数依存性があることが知られており、解析を複雑にしている。この係数を正確に求めるのは難しいので、これを  $K$  とおく。実験より相対的な  $\rho(z)$  が求められるが、係数  $K$  は印加電圧  $V_{dc}$  を使って、次のように求める。

$$E(z) = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \int_0^z \rho(z') dz' \quad (24)$$

$$V(z) = \int_0^z E(z') dz' \quad (25)$$

ここで、 $K$  が  $V(d) = V_{dc}$  の測定条件から求められる。

#### 4. 議論

##### 4. 1 パルス電界の二乗の項が無視できない場合

パルス電界の二乗の項を(5)(6)式では、無視したが、無視できないとすると、

$$p_1 = \frac{Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{sa}} (\sigma_1 e_p + \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r e_p^2) \quad (26)$$

$$p_2 = \frac{Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{sa}} (\sigma_2 e_p - \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r e_p^2) \quad (27)$$

となって、式が複雑になる。ここで、バージン試料を用いて、直流電圧も印加しないとすると、 $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$  と言えるので、

$$p_{2,3}$$

$$= \frac{Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{sa}} \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r (e_p^2(0) - e_p^2(-\frac{d}{c})) \quad (28)$$

の分だけ余分な信号で出力される。この値をあらかじめ計測しておくと、パルス電圧が一定であれば、この値はいつも同じであるから、この分をデータから差し引いて解析すればよいことがわかる。

#### 4. 2 高電圧電極と試料間に挿入された半導電層の音響インピーダンスが整合しない場合

音響インピーダンスが整合していない場合、その分表面電荷密度に誤差を生じるので、面倒な解析を行わねばならなくなる。したがって、可能な限り、半導電層の位置を調整したほうが良いことがわかる。この影響が出るのは、 $f_2$  だけであり、 $\gamma = 2 \frac{Z_{sa}}{Z_{Al} + Z_{sa}}$  とおくと、

$$f_2 = f(\frac{d}{c}) \\ = \frac{Z_{Al}}{Z_{Al} + Z_{sa}} c \int_{d/c - \tau}^{d/c + \tau} \rho(c\tau) e_p(\tau - \frac{d}{c}) d\tau \quad (29)$$

となるので、 $\gamma$  が 1 より大きくなるほど、高電圧側の誘導電荷を過大評価してしまうことになることがわかる。空間電荷がないことが証明されている試料を使って、接地側の誘導電荷と等しくなるまで、半導電層の位置を調整することが必要である。

#### 4. 3 分極電荷の測定可能性

誘電体を電界中におくと分極し、両端面に分極電荷が現われる。直流電圧  $V_{dc}$  を空のコンデンサに印加すると、容量は  $\epsilon_0 S / d$  で、電極には  $\epsilon_0 V_{dc} / d$  の面密度の電荷が現れる。そこで、比誘電率  $\epsilon_r$  の誘電体を挿入すると、容量は  $\epsilon_0 \epsilon_r S / d$  に増え、面密度は  $\epsilon_0 \epsilon_r V_{dc} / d$  になる。これは、誘電体の分極電荷を打ち消すため、 $\epsilon_0 (\epsilon_r - 1) V_{dc} / d$  の電荷が電源及びアースから流れ込んできたためである。

この分極電荷は、空間電荷と同じようにパルス電界によって圧力波を発生し、この装置によって測定されるものと考えられる。しかし、本装置の場合、電極と誘電体の端面が密着しているので、測定距離分解能が悪い場合は、 $\epsilon_0 (\epsilon_r - 1) V_{dc} / d$  の電荷はキャップセルしあって、データに現れない。したがって、分解能の悪い装置で見た場合、真空中のコンデンサと同じだけの面密度の電極電荷しか観測されないことがわかる。

3節で述べたように、音響インピーダンスが小さいほうから大きいほうに波が伝わる場合に、位相が△だけ変化する。これが起こるのは、空間電荷と高電圧側電極の誘導電荷による圧力波の場合であり、接地側の電極で発生する圧力はアルミで発生するため、試料をとおらないので、インピーダンス変化を受けない。したがって、接地側電極の電荷だけ、位相がもとのままであることがわかる。位相変化が測定結果に与える影響は今後の課題である。

式(24)から電荷と電界の関係が、また、式(25)より電界と電位の関係が理解できる。したがって、この装置を使って、ポリエチレンなどの空間電荷を計測し、解析することによって電磁気学の基礎を学ぶことができる。今後、高専教育のための教材としての確立を目指したいと考えている。

## 5. まとめ

本論文では、電極上の面電荷密度とバルク中の空間電荷密度が従来、異なった式で表現されていたが、一般化した式により、両方を表せることを示した。また、金属電極の場合、電荷は、厚さゼロの表面に分布しているので、面積電荷密度として表されるが、本測定法においては、体積電荷密度で表現した方が合理的であることを示した。

レーザ誘起圧力パルスの装置を製作するとともに、測定原理、解析手法についての検討を行った。測定結果を空間電荷密度で表すか、面電荷密度で表すか。現在のところ意見が分かれることもあるが、我々は、面電荷密度で表示してきた。今後、両表示間での換算を容易にする方法を確立する必要がある。この装置は音響インピーダンスの関係で測定試料が制限されている。今後、測定対象を拡大するための装置の改良を目指して研究を進めていきたいと考えている。

## 謝辞

本装置を製作するにあたって、郵政省通信総合研究所の前野恭氏、武藏工業大学教授高田達雄先生にご指導を頂き、ここに感謝します。

## 参考文献

- Y. Suzuki, H. Muto, T. Mizutani, M. Ieda "Investigation of Space Charge in High Density Polyethylene Using Thermal Pulse Response", Japan J. Appl. Phys."24, pp. 604, 1985
- C. Alquie, G. Dreyfus and J. Lewiner, "Stress-Wave Probing Electric Field Distribution in Dielectrics", Phys. Rev. Lett., Vol 47, pp 1483-1487, 1981.
- R. Gerhard-Multhaup, "Evolution of Experimental Techniques for the study of the Electrical Properties of Insulating Materials", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. EI-22, pp. 351-360, 1986.
- R. Patsch, "Space Charge Phenomena in Polyethylene at High Electric Fields", J. Phys. D, Vol. 23, pp. 1497-1505, 1990
- T. J. Lewis, "Electrical Effects at Interfaces and Surfaces", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. EI 2, pp. 289-295, 1986
- T. Hino, "Thermally Stimulated Characteristics in Solid Dielectrics", pp. 301-311, 1980
- T. Takada and T. Sakai, "Measurement of Electric Fields at a Dielectric/Electrode Interface Using an Acoustic Transducer Technique", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. E I-18, 628, 1983.
- 梯部・前野・高田, "パルス静電応力法を用いた誘電体中の蓄積電荷測定", 電学論A, 106, pp. 118, 1986



## 校内LANバックボーンのGigabit Ethernet化

松野 良信・山下 嶽・堀田 孝之・福田 浩人

〈平成12年9月28日受理〉

Changes to Gigabit Ethernet on Backbone Network of Campus LAN System

Yoshinobu MATSUNO, Iwao YAMASHITA, Takayuki HORITA and Hiroto FUKUDA

Today, The Campus LAN (Local Area Network) System is one of the major methods of education and office work in Ariake National College of Technology. Then, our campus LAN system needs to be that is constructed from the best solution on the time of day. Therefore, we have changed the backbone network of our campus LAN for the better on March 2000. This is the change from ATM (Asynchronous Transfer Mode) to Gigabit Ethernet. The new LAN structure has a Layer 3 center switch and Layer 2 branch switches interconnected by 1000BASE-SX lines with virtual LAN. And, we improved robustness of the network security. In this paper, we report a new backbone network and study about security solutions from the Internet.

### 1. はじめに

最近の社会では、コンピュータネットワークは、非常に重要な役割を果たすようになってきている。これは、有明高専においても同様で、1995年度の全校的な校内LANの構築以来、現在では教育活動はもちろん事務連絡等の業務においても、電子メールやWebベースのサービスを通じて、校内LANの果たす役割は大きめで大きいものとなっている。また、校内LANを通じた校内のホストから校外(インターネット)へのアクセスについても、現在の教育研究活動には欠かせないものである。さらに、近年のコンピュータ環境の充実などとあわせて、校内LAN上のトラフィックが、近い将来にかけて急増することも予想される。

そこで、急増するであろう校内LANのトラフィックへの対応と、校内LAN機器の更新を兼ねて、2000年3月に、従来ATM方式を採用していた校内LANの基幹(バックボーン)ネットワークをGigabit Ethernet方式に変更した。

本稿では、今回の校内LANバックボーンの更新について、その経緯とともに報告する。また、校内LANに対するセキュリティ対策についても検討する。

### 2. 校内LANバックボーン更新までの経緯

まず、新しく構築したバックボーンネットワーク(新ネットワーク)について紹介する前に、従来のバッ

クボーンネットワーク(従来ネットワーク)からの更新に至るまでの経緯について述べる。

#### 2.1 従来ネットワークの問題点

有明高専の全校的な校内LANは、1995年度に最初に構築されたもので、図1のように、ATM方式(IP over ATM)をバックボーンに採用し、支線部分にはATMルータを経由した10BASE-TのEthernetとなっていた。これは、1995年当時としては、比較的高性能で妥当なものであったと考えている[1][2]。

しかし、現在までの約5年間のネットワーク関連技術の進歩と、それを取り巻く状況等の変化により、この校内LANでは、次のような問題点が浮上してきた。

- バックボーンの155Mbpsは、現在では必ずしも十分高速とは言えない。
- ホスト(PC等)のFast Ethernet(100BASE-TX)化にATMルータが対応できない。
- ATMルータ毎にネットワークセグメントを分けるを得ず、ルーティングが複雑となる。
- ATMルータの実体がワークステーションのため、HDD等のトラブルが発生する。
- ATM交換機およびATMルータの障害時の対応に不安がある。

さらに、1998年度～1999年度にかけて有明高専内では、表1のようなコンピュータ関連の演習室等の増強とビデオ・オン・デマンド(VOD)システムの導入が行われた[3]。

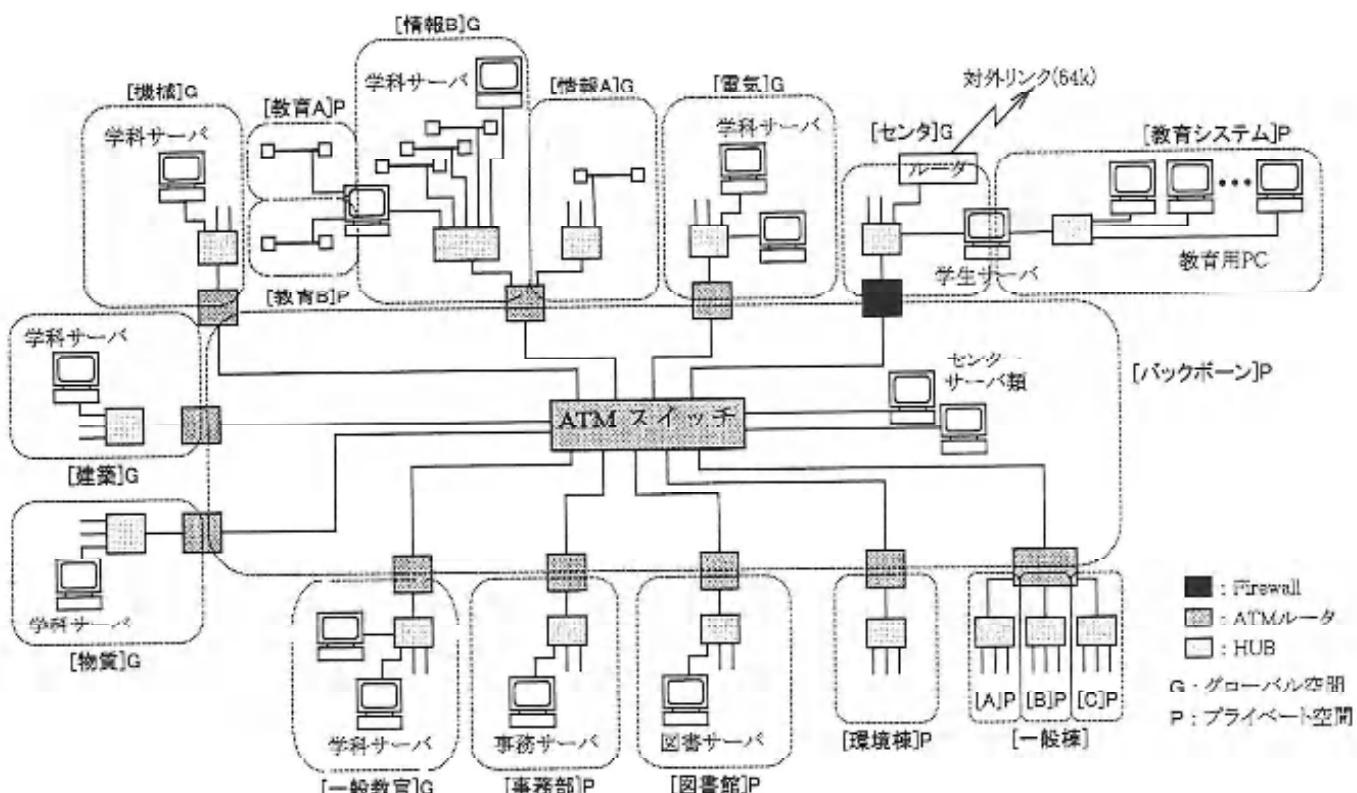


図1 従来のネットワーク構成図

表1 最近のコンピュータ関連システムの増強

更新分	
1998 年度	CAD システム : PC50 台他 電子情報工学科 PC システム : PC47 台
新規分	
1999 年度	建築学科 CAD システム : PC45 台他 建築学科マルチメディア室 : WBT24 台, サーバ 2 台他 一般教育科情報科対応スペース : WBT48 台, サーバ 2 台他 VOD システム(サーバ 2 台, クライア ント 6 台)
更新分	
	情報処理センタ演習室 : PC50 台, サ ーバ 2 台他 電気工学科 PC システム : PC49 台, サーバ 2 台他 電子情報工学科 UNIX システム : X 端末 23 台, サーバ 2 台他

これらの中の新規分システムは、現在はまだ未接続なものもあるが、最終的には校内LANに接続される予定である。また、更新分についても更新前は校内

LANに接続していなかった(できなかった)ものが今回の更新で新たに校内LANに接続するなど、結果的には相当数のホスト数が増加する。したがって、コンピュータの高性能化や情報のマルチメディア化に伴う情報そのもののデータの大型化とあわせて、校内LAN上のトラフィックが増大する可能性があると考えられる。従来ネットワークでは、これらのトラフィックの増大に対する不安があった。また、複雑なルーティングの維持管理や、機器類の老朽化に伴う障害の増加も懸念材料となっていた。

## 2.2 新ネットワークの必要条件の検討

前節で述べたような校内LANバックボーンの問題点の解消と、演習室等の新規システムおよび更新システムの要求に対応するためには、抜本的に校内LANの構成を見直すべきであると考えた。そして、新たな校内LANバックボーンを検討するにあたり、我々は次の点について重要視した。

- 1) 柔軟なネットワークセグメント構成が可能であること。
- 2) ルーティングが集中的に管理できること。
- 3) 各機器はディスク装置を持たないこと。
- 4) 支線側で100BASE-TXにも対応できること。
- 5) 従来のバックボーン以上の高速な通信に対応できること。

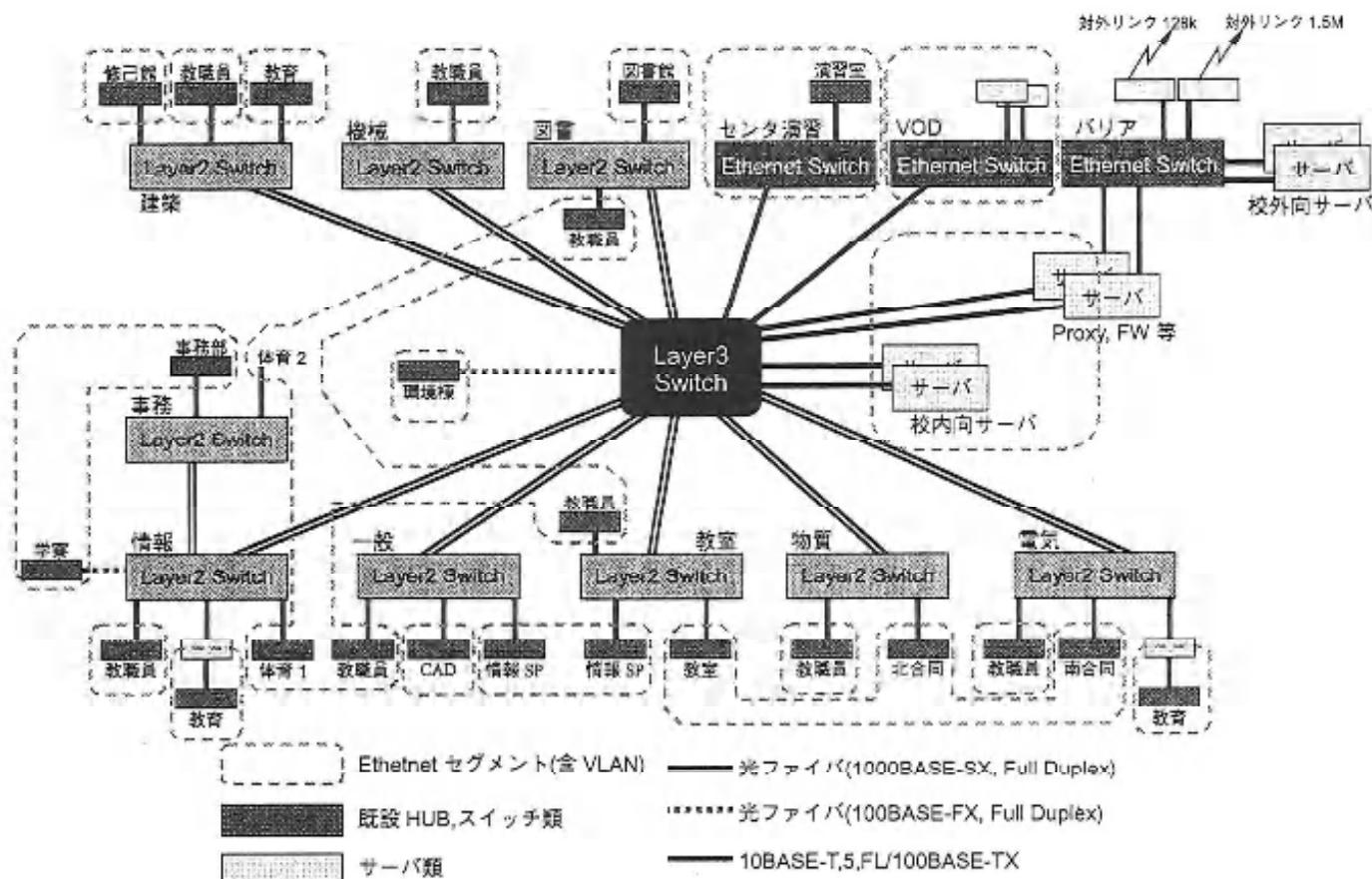


図2 新ネットワーク構成図

## 6) 将来的な拡張が可能であること。

これらについて簡単な検討理由を挙げる。まず、1)については、従来はATM方式を用いてはいたが、IP over ATMによる構成を取っていたため、ネットワーク機器(ATMルータ)の配置によって物理的に決定されるセグメント構成しかとれなかったが、実際には学科棟等にまかがるネットワークセグメントを構築したい。

2),3)については、従来ネットワークではワークステーションにより実現されているATMルータが各学科棟等に配置されているため、ルーティング変更や障害時の対応が困難であった。学科等での分散管理も検討したが、現実的には情報処理センターで対応せざるを得ない状況が多かったため、できれば集中管理したい。

4)は、最近のPC等での100BASE-TXインターフェースの一般化、100BASE-TX対応スイッチの低価格化等の現状を考慮すると、近い将来に予想される支線側の100BASE-TX化の要望にも対応可能にしておきたい。

5),6)に関しては、緊急的に必要なものではないかもしれないが、コンピュータネットワーク関連の進歩は非常に早いため、今後に向けてのマージンを持たせ

ておく必要がある。

## 3. 新ネットワークの構築

前述の新ネットワークの必要条件を満たすよう、機器の選定と構築を行った。まず、新ネットワークを構成するプロトコルに、Gigabit Ethernet (1000BASE-SX)を採用することにした。これは、従来ネットワークで用いていたマルチモード光ファイバをそのまま利用し、従来ネットワークの数倍の通信速度(155Mbps → 1Gbps)を提供できるものである。さらにGigabit Ethernetは、機器類もここ最近入手しやすくなってきたため、現状で最もコストパフォーマンスが高いと判断した。その上で、柔軟なネットワーク構成可能な仮想LAN(VLAN)の機能を有し、ルーティングが集中的に管理可能で、かつ高速ルーティングが可能な機器類を選定し、新ネットワークを構築した[4]。

新ネットワークの構成の概略を図2に示す。また、参考までに今回採用したLayer 3およびLayer 2スイッチの仕様の概略を表2に示す。図を見ると分かるように、新ネットワークの中心に、前述の条件を満たす機器として、Gigabit Ethernetポートを持つLayer 3

表2 Layer 3, 2スイッチ仕様概要

Layer 3 スイッチ <Cisco 社製 Catalyst6506>	
マルチレイヤ・マルチプロトコルスイッチ	
バックプレーン帯域幅 : 32Gbps	
Layer2/3 スイッチング性能 : 15Mpps	
Gigabit Ethernet : 10 ポート	
100BASE-TX/10BASE-T : 48 ポート	
Layer 2 スイッチ <Cisco 社製 Catalyst3512XL-EN>	
Gigabit Ethernet : 2 ポート	
100BASE-TX/10BASE-T : 12 ポート	
VLAN トランクサポート	

スイッチを配置し、各学科棟等には、VLAN対応(VLANトランクサポート)のLayer 2スイッチを配置している。Layer 3スイッチとLayer 2スイッチの間を、全2重のGigabit Ethernet(最大2Gbps)で接続しており、支線部分については、従来のHUB類をLayer 2スイッチに接続している。ここで、従来ネットワークでは環境開発施設(環境棟)と学生寮(学寮、県外)にも、ATMルータを設置し、ATM方式(155Mbps)で接続していたが、新ネットワークでは、実際には接続ホスト数が少ない(環境棟)ことと距離が遠い(学寮)ことから、全2重の100BASE-FX(最大200Mbps)で接続することにした。

新ネットワークの構成では、各学科や事務部、図書館等ごとにVLANを設定している。パックボーンに採用したLayer 3スイッチは、Gigabit Ethernetのリンクに全てのVLANをトランкиングしているので、支線側のLayer 2スイッチでは、任意のポートにVLANを割り当てることが可能になる。その結果、複数の学科棟等にまたがる学科や教室等もVLANを同じにしておけば、ネットワークセグメントは同一にすることが可能になった。また、VLAN(ネットワークセグメント)間のルーティングは、Layer 3スイッチで集中して管理するため、従来ネットワークの複数のATMルータからなる複雑かつ面倒なルーティング管理からも開放された。

ちなみに、新ネットワークに変更するにあたっては、全てがEthernetのプロトコルを用いることになるため、VLANを導入せずに单一のネットワーク空間とする構成も考えられたが、700台近いホストが接続されることを考慮し、検討の結果VLANを使用し、ネットワークセグメント(ブロードキャストドメイン)を分割することにした。ちなみに、Layer 3スイッチの機

能を用いると、ホスト側の変更を伴わずに、単一のネットワーク空間を実現できる(ホスト側からはVLANと同等に見えるようにできる)ようである。

#### 4. 校内LANのセキュリティ対策

今回の校内LANパックボーン変更にあわせて、校内LAN上のホストのIPアドレスを全て変更した。具体的には、従来ネットワーク時には、有明高専の所有する4Cのグローバルアドレスと、クラスCのプライベートアドレスが混在(とともに26ビットマスク)していたが[1],[2],[5]、新ネットワークでは、全てのホストでクラスBのプライベートアドレスに24ビットマスクをかけて用いるようにした。

この変更は、従来はインターネットとの通信が実質的に無制限に可能となっていたグローバルアドレスが割り当てられたホストに対して、ファイアウォールによるセキュリティ強化を可能にする。情報処理センターの管理が行き届かないホスト(教官の研究室などのホスト)が、SPAMやポートスキャン等のアタックを受けたりしたこともあり、必要不可欠な対応であるといえる。また、一部のネットワークセグメントで、26ビットマスクではアドレスの不足が懸念されていたが、24ビットマスクとすると、当面その問題は気にする必要がなくなった。

しかし、全てのホストがプライベートアドレスを持つことになったため、校外からのアクセスはもちろん、そのままでは直接的には校外へもアクセス不能となつた(Proxyサーバ等を経由することでサービスの利用は可能としていた)。セキュリティを重視すれば当然ではあるかもしれないが、従来はほとんど自由に校外との通信が可能だったこともあり、透過的にインターネットとの直接的な通信への要望が強く寄せられるようになってしまった。

そこで、2000年7月現在、一部のホストに対しては、ファイアウォールにてアドレス変換を実施し、特定のポートを開けるサービスを試験的に実施している。この運用については、もうしばらく様子を見る必要があるだろう。

#### 5. まとめ

今回は、1995年に整備した校内LANのパックボーン部分について、Gigabit Ethernetを採用した構成に変更した。これにより、当面の間の校内LANトラフィックの増加や、支線側における10BASEから100BASEへの性能向上の要望にも応えやすくなつたとい

える。また、セキュリティ対策に関しても、従来のように校内LAN上にほとんど制限がかからないホストが存在する状態からは、かなり外部からのアクセスに関して防御可能な形態になったと考えている。

今後については、Layer 3スイッチによる校内LAN上のトラフィック制御や、教育用システムと業務用システム間のセキュリティ管理なども検討する必要があるかもしれない。

## 参考文献

- [1] 松野, 山下, "ATMバックボーンを採用した校内 LANシステム," 有明工業高等専門学校紀要, 第33号, pp.115-119, 1997
- [2] 松野, 山下, "有明高専校内LANの導入と問題点," 情報処理教育研究発表会論文集 第16号, pp.154-157, 1996
- [3] 堀田, 山下, "本校の情報教育環境と管理について," 情報処理教育研究発表会論文集 第20号, pp.21-24, 2000
- [4] 松野, 山下, 堀田, 福田, "有明高専校内LANにおけるバックボーンのGigabit化," 情報処理教育研究発表会論文集 第20号, pp.256-259, 2000
- [5] 松野, 山下, 福田, 堀田, "有明高専における対外接続の2重化," 情報処理教育研究発表会論文集 第19号, pp.167-169, 1999



# 外部磁束のコアへの侵入とコアの特性

小澤 賢治・村田 勝昭\*

(平成12年9月28日受理)

Analysis of Characteristics of a Core with External Flux

Kenji OZAWA, Katsuaki MURATA

We have studied characteristics of core which is exposed by permanent magnet flux. We have gotten expressions for B-H curve and inductance of core.

## 1. はじめに

スイッチング電源において、コントロール部は集積化により著しく小型・軽量化されているが、電力を直接扱うコンバータ部ではそこで用いられるトランジスタやインダクタなどが原因で小型・軽量化が遅れている。偏磁したコアの利用においてはB-H特性図の第一象限しか使用しておらず、コアの飽和を避けるために、コアの断面積が大きくとられている。

偏磁を避ける方法として、プッシュプル回路や共振コンデンサなどのが使用される<sup>11, 21</sup>。また、コイルにより直流磁界を導入し動作点の出発点を第4象限に持ってくることも考えられるが損失など問題が多い。

本稿はフライバック型コンバータのトランジスタや整流回路のインダクタの小型化を念頭におき、外部から磁石による磁束を導入したときのコアの特性を解析したものである。

## 2. モデルと基本式

図1は、コイルを持った断面積 A、磁路長  $l_0$  のトロイダルコアに永久磁石の磁極 N, S を接触させたものである。コアを、図のように1と2の部分に分けて考えることができる。1の部分の磁路長、透磁率、磁極によるバイアス磁束およびバイアス磁界を、それぞれ  $l_1$ ,  $\mu_1$ ,  $\phi_{1b}$ ,  $H_{1b}$  とする。2の部分においても同様に  $l_2$ ,  $\mu_2$ ,  $\phi_{2b}$ ,  $H_{2b}$  とする。

コイル(巻き数  $N_d$  回)に電流  $I_d$  を流したときコア内に発生する磁束を  $\phi_d$  とする。

磁極の持つ磁束は一定で  $\phi_{mag}$  とする。

部分1および2が同時に大きく飽和しない限り磁束

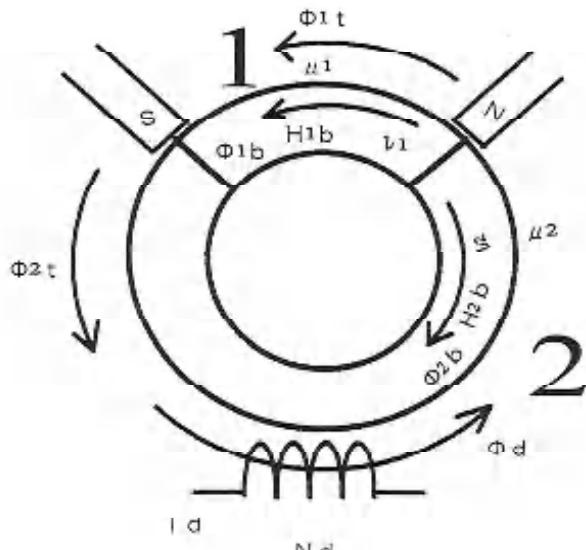


図1 コイルと永久磁石による磁束

$\phi_{mag}$  はコアの透磁率は空中のそれに比べ十分大きいので、空中に漏れることなくすべてコア内を通るものとする。

磁極に関して次の式が成立する。

$$\begin{aligned} l_1 + l_2 &= l_0 \\ H_{1b} \cdot l_1 - H_{2b} \cdot l_2 &= 0 \\ \phi_{1b} + \phi_{2b} &= \phi_{mag} \\ \phi_{1b} &= A \cdot B_{1b} \\ \phi_{2b} &= A \cdot B_{2b} \\ B_{1b} &= \mu_1 \cdot H_{1b} \\ B_{2b} &= \mu_2 \cdot H_{2b} \end{aligned}$$

一方、コイルによる磁束も存在するので、1の部分の全磁束を  $\phi_{1t}$  とし、2の部分のそれを  $\phi_{2t}$  とすると次の関係が成立する。

$$\phi_{1b} + \phi_d = \phi_{1t} \quad (1)$$

$$-\phi_{2b} + \phi_d = \phi_{2t} \quad (2)$$

また、1の部分および2の部分の透磁率を次のように仮定する。

透磁率は着目する領域の磁界あるいは磁束により複雑に影響されるが、磁束  $\phi_{1b}$ ,  $\phi_{2b}$  の絶対値が飽和磁束  $\phi_s$  の以下では一定値  $\mu_c$  をとりそれ以外では次のようになるものとする。

$$\mu_1 = \mu_c \frac{\phi_s}{|\phi_{1t}|}$$

$$\mu_2 = \mu_c \frac{\phi_s}{|\phi_{2t}|}$$

以上の式よりバイアス磁束  $\phi_{1b}$ ,  $\phi_{2b}$  およびバイアス磁界  $H_{1b}$ ,  $H_{2b}$  を求めると次のようになる。

$$\phi_{1b} = \frac{l_2 \cdot \mu_1}{l_1 \mu_2 + l_2 \cdot \mu_1} \cdot \phi_{mag} \quad (3)$$

$$\phi_{2b} = \frac{l_1 \cdot \mu_2}{l_1 \mu_2 + l_2 \cdot \mu_1} \cdot \phi_{mag} \quad (4)$$

$$H_{1b} = \frac{l_2}{l_1 \mu_2 + l_2 \cdot \mu_1} \cdot \phi_{mag}$$

$$H_{2b} = \frac{l_1}{l_1 \mu_2 + l_2 \cdot \mu_1} \cdot \phi_{mag}$$

### 3. コアの状態

$\phi_{1t}$  と  $\phi_{2t}$  との関係は次式で表される。

$$\phi_{1t} = \phi_{2t} + \phi_{mag}$$

また、 $\phi_{1t}$  と  $\phi_{2t}$  の関係は次式となる。

式(3), (4)において  $l_1=0$  とすると、

$$\phi_{1b} = \phi_{mag}, \phi_{2b} = 0$$

$l_1=l_0$  とすると

$$\phi_{1b} = 0, \phi_{2b} = \phi_{mag}$$

$l_1=l_0/2$  とすると模型の対称性から次のようにになる。

$$\phi_{1b} = \phi_{2b}$$

$\phi_{1t}$  と  $l_1$  をパラメータとした時の状態を示すと図2となる。

図2において、各領域での透磁率  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  の状態は次のようになる。

領域①  $\mu_1, \mu_2$ : 不飽和

領域②  $\mu_1$ : 饱和  $\mu_2$ : 不飽和

領域③  $\mu_1, \mu_2$ : ともに正に飽和

領域④  $\mu_1$ : 不飽和  $\mu_2$ : 饱和

領域⑤  $\mu_1, \mu_2$ : ともに負に飽和

領域⑥  $\mu_1, \mu_2$ : 饱和

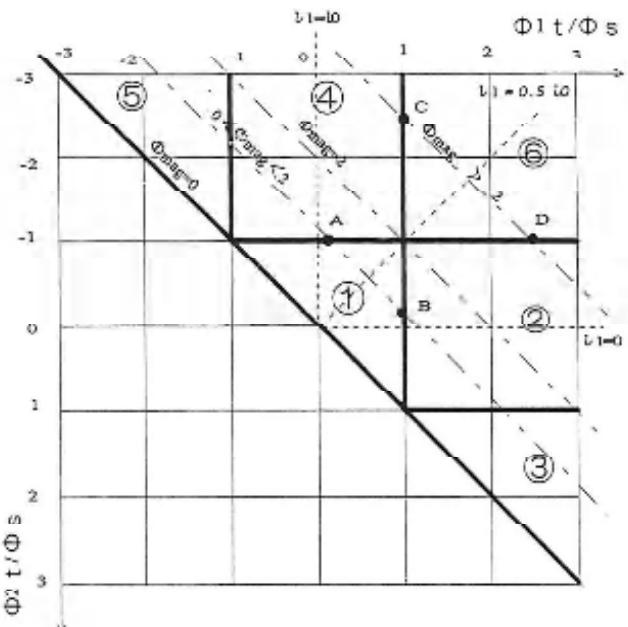


図2 コアの動作点

コイルによる励磁がない場合の磁極によるバイアス磁束は、

$$\phi_{1t} = \phi_{1b} + \phi_{d1}$$

$$= \phi_{1b} \geq 0$$

$$\phi_{2t} = -\phi_{2b} + \phi_{d2}$$

$$= -\phi_{2b} \leq 0$$

であるので、図中の  $l_1=0$ , および  $l_1=0.5L_0$  の場合を示す向破線に囲まれた領域となる。

### 4. 各領域におけるバイアス磁束 $\phi_{1b}$ , $\phi_{2b}$ および全磁束 $\phi_{1t}$ , $\phi_{2t}$

I. 領域① ( $|\phi_{1t}|, |\phi_{2t}| < \phi_s$ )

式(3), (4)において、 $\mu_1=\mu_2=\mu_c$  とすると

$$\phi_{1b} = \left(1 - \frac{l_1}{l_0}\right) \cdot \phi_{mag} \quad (5)$$

$$\phi_{2b} = \frac{l_1}{l_0} \cdot \phi_{mag} \quad (6)$$

II. 領域② ( $\phi_s < \phi_{1t}, |\phi_{2t}| < \phi_s$ )

式(3), (4)において、 $\mu_1=\mu_c \cdot \phi_s / |\phi_{1t}|$ ,  $\mu_2=\mu_c$  であるので、

$$\phi_{1b} = \frac{-(l_1 \cdot \phi_d + l_2 \cdot \phi_s) + \sqrt{F_1}}{2 \cdot l_1} \quad (7)$$

$$\phi_{2b} = \frac{(l_1 \cdot \phi_d - l_2 \cdot \phi_s) + \sqrt{F_1}}{(l_1 \cdot \phi_d + l_2 \cdot \phi_s) + \sqrt{F_1}} \cdot \phi_{mag} \quad (8)$$

ただし、

$$F_1 = (l_1 \cdot \phi_d + l_2 \cdot \phi_s)^2 + 4 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \phi_s \cdot \phi_{mag} \quad (9)$$

III. 領域③ ( $\phi_s < \phi_{1t}$ ,  $\phi_{2t}$ )

$$\mu_1 = \mu_c \cdot \phi_s / |\phi_{1t}| = \mu_c \cdot \phi_s / (\phi_{1b} + \phi_d)$$

$\mu_2 = \mu_c \cdot \phi_s / |\phi_{2t}| = \mu_c \cdot \phi_s / (-\phi_{2b} + \phi_d)$  であるので,

$$\phi_{1b} = \frac{l_2 \cdot (-\phi_{2b} + \phi_d)}{l_1 \cdot (\phi_{1b} + \phi_d) + l_2 \cdot (-\phi_{2b} + \phi_d)} \cdot \phi_{mag} \quad (10)$$

$$\phi_{2b} = \frac{l_1 \cdot (-\phi_{1b} + \phi_d)}{l_1 \cdot (\phi_{1b} + \phi_d) + l_2 \cdot (-\phi_{2b} + \phi_d)} \cdot \phi_{mag} \quad (11)$$

式(10), (11)を $\phi_{1t}$ ,  $\phi_{2t}$ に関して解けばよい。

IV. 領域④ ( $|\phi_{1t}| < \phi_s$ ,  $\phi_{2t} < -\phi_s$ )

$$\mu_1 = \mu_c$$

$\mu_2 = \mu_c \cdot \phi_s / |\phi_{2t}| = \mu_c \cdot \phi_s / (\phi_{2b} - \phi_d)$  であるので,

$$\phi_{1b} = \frac{-(l_1 \cdot \phi_s + l_2 \cdot \phi_d) - \sqrt{F_2}}{(l_1 \cdot \phi_s - l_2 \cdot \phi_d) - \sqrt{F_2}} \cdot \phi_{mag} \quad (12)$$

$$\phi_{2b} = \frac{-(l_1 \cdot \phi_s - l_2 \cdot \phi_d) - \sqrt{F_2}}{2l_2} \cdot \phi_{mag} \quad (13)$$

ただし,

$$F_2 = (l_1 \cdot \phi_s - l_2 \cdot \phi_d)^2 + 4 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \phi_s \cdot \phi_{mag} \quad (14)$$

V. 領域⑤ ( $\phi_{1t}, \phi_{2t} < -\phi_s$ )

領域③と同一

VI. 領域⑥ ( $\phi_{1t} > \phi_s$ ,  $\phi_{2t} < -\phi_s$ )

$$\mu_1 = \mu_c \cdot \phi_s / |\phi_{1t}| = \mu_c \cdot \phi_s / (\phi_{1b} + \phi_d)$$

$\mu_2 = \mu_c \cdot \phi_s / |\phi_{2t}| = \mu_c \cdot \phi_s / (\phi_{2b} - \phi_d)$  であるので,

$$\phi_{1b} = \frac{l_2 \cdot (\phi_{2b} - \phi_d)}{l_1 \cdot (\phi_{1b} + \phi_d) + l_2 \cdot (\phi_{2b} - \phi_d)} \cdot \phi_{mag} \quad (15)$$

$$\phi_{2b} = \frac{l_1 \cdot (\phi_{1b} + \phi_d)}{l_1 \cdot (\phi_{1b} + \phi_d) + l_2 \cdot (\phi_{2b} - \phi_d)} \cdot \phi_{mag} \quad (16)$$

式(15), (16)を $\phi_{1b}$ ,  $\phi_{2b}$ に関して解けばよい。

## 5. 領域間の境界を与える磁束 $\phi_d$

励磁磁束が0から正の方向に一周期変化した場合の、透磁率の飽和・不飽和の境界を与える $\phi_d$ を求めるところのようになる。

I. 領域①から領域②への移動を与える励磁磁束 $\phi_{d1,2}$ :

領域①において,  $\phi_{1t} = \phi_s$  となるので式(1), (7)より

$$\phi_{d1,2} = \phi_s - \phi_{1b} = \phi_s - \left(1 - \frac{l_1}{l_0}\right) \cdot \phi_{mag} \quad (17)$$

II. 領域②から領域③への移動を与える励磁磁束 $\phi_{d2,3}$ :

領域②において,  $\phi_{2t} = \phi_s$  となるので式(2), (8)より

$$\phi_{d2,3} = \phi_s + \frac{(l_1 \cdot \phi_{d2,3} - l_2 \cdot \phi_s) + \sqrt{F_3}}{(l_1 \cdot \phi_{d2,3} + l_2 \cdot \phi_s) + \sqrt{F_3}} \cdot \phi_{mag} \quad (18)$$

ただし,

$$F_3 = (l_1 \cdot \phi_{d2,3} + l_2 \cdot \phi_s)^2 + 4 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \phi_s \cdot \phi_{mag}$$

式(18)より $\phi_{d2,3}$ が求まる。

III. 領域②から領域⑥への移動を与える励磁磁束 $\phi_{d2,6}$ :

領域②において,  $\phi_{2t} = -\phi_s$  となるので式(2), (8)より

$$\phi_{d2,6} = -\phi_s + \frac{(l_1 \cdot \phi_{d2,6} - l_2 \cdot \phi_s) + \sqrt{F_4}}{(l_1 \cdot \phi_{d2,6} + l_2 \cdot \phi_s) + \sqrt{F_4}} \cdot \phi_{mag}$$

$$F_4 = (l_1 \cdot \phi_{d2,6} + l_2 \cdot \phi_s)^2 + 4 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \phi_s \cdot \phi_{mag}$$

上式より $\phi_{d2,6}$ が求まる。

IV. 領域①から領域④への移動を与える励磁磁束 $\phi_{d1,4}$ :

領域①において,  $\phi_{2t} = -\phi_s$  となるので式(2), (6)より

$$\phi_{d1,4} = -\phi_s + \frac{l_1}{l_0} \cdot \phi_{mag} \quad (19)$$

V. 領域④から領域⑤への移動を与える励磁磁束 $\phi_{d4,5}$ :

領域④において,  $\phi_{1t} = -\phi_s$  となるので式(1), (2)より

$$\phi_{d4,5} = -\phi_s + \frac{-(l_1 \cdot \phi_s + l_2 \cdot \phi_{d4,5}) - \sqrt{F_5}}{l_1 \cdot \phi_s - l_2 \cdot \phi_{d4,5} - \sqrt{F_5}} \quad (20)$$

ただし

$$F_5 = (l_1 \cdot \phi_s - l_2 \cdot \phi_{d4,5})^2 + 4 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \phi_s \cdot \phi_{mag}$$

式(20)より $\phi_{d4,5}$ が求まる。

VI. 領域④から領域⑥への移動を与える励磁磁束 $\phi_{d4,6}$ :

領域④において,  $\phi_{2t} = \phi_s$  となるので式(2), (13)より

$$\phi_{d4,6} = \phi_s + \frac{-(l_1 \cdot \phi_s - l_2 \cdot \phi_{d4,6}) - \sqrt{F_6}}{2 \cdot l_2} \quad (21)$$

ただし

$$F_6 = (l_1 \cdot \phi_s - l_2 \cdot \phi_{d4,6})^2 + 4l_1 \cdot l_2 \cdot \phi_s \cdot \phi_{mag}$$

式(21)より  $\phi_{d4,6}$  が求まる。

## 6. 励磁磁束が 0 から正の方向に一周期変化した場合の、磁束動作点の移動

はじめに  $\phi_d=0$  のときのバイアス磁束  $\phi_{1b}, \phi_{2b}$  とコアの 1 の部分の磁路長  $l_1$  との関係はつきのようになる。

I.  $0 < \phi_m < \phi_s$  の場合：式(5), 式(6)において  $-\phi_s < \phi_{1b}, \phi_{2b} < \phi_s$  となるので  $l_1$  の如何にかかわらず領域①にある。

II.  $\phi_s < \phi_m < 2\phi_s$  の場合：図 2 の点 A を与える  $l_1$  を  $l_1A$  とすると、式(6)において、 $-\phi_{2b} = -\phi_s$  である。

$$l_{1A} = \frac{\phi_s}{\phi_{mag}} \cdot l_0$$

図 2 の点 B を与える  $l_1$  を  $l_1B$  とすると、式(5)において、 $\phi_{1b} = \phi_s$  である。

$$l_{1B} = \left(1 - \frac{\phi_s}{\phi_{mag}}\right) \cdot l_0$$

III.  $2\phi_s < \phi_m$  の場合：図 2 の点 C を与える  $l_1C$ 、および点 D を与える  $l_1D$  は、それぞれ式(8)および式(12)において  $\phi_{1b} = \phi_s$  および  $\phi_{2b} = \phi_s$  することにより求められる。

したがって、 $\phi_d=0$  の場合の  $\phi_{1b}, \phi_{2b}$  はつきの通りである。

$0 < \phi_{mag} < \phi_s$  の場合：領域①にのみ存在する。

$\phi_s < \phi_{mag} < 2\phi_s$  の場合：

$0 < l_1 < l_1B$  のとき領域②に存在する。

$l_1B < l_1 < l_1A$  のとき領域①に存在する。

$l_1A < l_1 < l_0$  のとき領域④に存在する。

$2\phi_s < \phi_{mag}$  の場合：

$0 < l_1 < l_1D$  のとき領域②に存在する。

$l_1D < l_1 < l_1C$  のとき領域①に存在する。

$l_1C < l_1 < l_0$  のとき領域⑥に存在する。

以上のことから、励磁磁束が 0 から正の方向に一周期変化した場合の磁束動作点の移動領域は次のようになる。

## I. $0 < \phi_{mag} < \phi_s$ の場合

領域① → 領域② → 領域③ → 領域② → 領域①  
→ 領域④ → 領域⑤ → 領域④ → 領域①

## II. $\phi_s < \phi_{mag} < 2\phi_s$ の場合：

$0 < l_1 < l_1B$  のとき

領域② → 領域③ → 領域② → 領域① → 領域④

領域⑤ → 領域④ → 領域① → 領域②

$l_1B < l_1 < l_1A$  のとき

領域① → 領域② → 領域③ → 領域② → 領域①

→ 領域④ → 領域⑤ → 領域④ → 領域①

$l_1A < l_1 < l_0$  のとき

領域④ → 領域① → 領域② → 領域③ → 領域②

→ 領域① → 領域④ → 領域⑤ → 領域④

## III. $2\phi_s < \phi_{mag}$ の場合：

$0 < l_1 < l_1D$  のとき

領域② → 領域③ → 領域② → 領域⑥ → 領域④

→ 領域⑤ → 領域④ → 領域⑥ → 領域②

$l_1D < l_1 < l_1C$  のとき

領域⑥ → 領域② → 領域③ → 領域② → 領域④

→ 領域④ → 領域⑤ → 領域④ → 領域⑥

$l_1C < l_1 < l_0$  のとき

領域④ → 領域⑥ → 領域② → 領域③ → 領域②

→ 領域⑥ → 領域④ → 領域⑤ → 領域④

## 7. コイルから見たコアの特性

図 1 に示すコアのコイルから見たインダクタとしての特性は次のようになる。

コイルの巻き数を  $N_d$  とし、コアの 1 の部分および 2 の部分の磁気抵抗をそれぞれ  $R_1$  および  $R_2$  とすると励磁磁束  $\phi_d$  は次の式で表される。

$$d\phi_d = \frac{1}{Rt} \cdot dN_d I_d$$

$$R_t = R_1 + R_2$$

$$R_1 = \frac{l_1}{\mu_1 \cdot A}$$

$$R_2 = \frac{l_2}{\mu_2 \cdot A}$$

$$\therefore d\phi_d = A \cdot \mu_t \cdot d \frac{N_d I_d}{l_0}$$

$$\mu_t = \frac{\mu_1 \cdot \mu_2}{\frac{l_1}{l_0} \cdot \mu_2 + \frac{l_2}{l_0} \cdot \mu_1}$$

ここで、 $\mu_t$  は 2 つの部分からなるコアの 1 個のコアとしての微分透磁率を表す。

励磁磁束  $\phi_d$  に対応する磁束密度を  $B_d$  とすれば、 $N_d \cdot I_d / l_0$  は励磁磁界  $H_d$  であるので、

$$dB_d = \mu_t \cdot dH_d$$

透磁率は、磁界または磁束密度のいずれか一方で定まるが、先に透磁率  $\mu_1, \mu_2$  を  $\mu_1 = \mu_c \cdot \phi_s / |\phi_{1t}|, \mu_2 = \mu_c \cdot \phi_s / |\phi_{2t}|$  と定めたので、数値計算を容易にするために次のように変形する。

$$\begin{aligned} dH_d &= \frac{1}{\mu_t} dB_d \\ \therefore H_d &= \int_0^{B_d} \frac{1}{\mu_t} dB \\ &= \int_0^{B_d} \frac{\frac{l_1}{l_1 + l_2} \cdot \mu_2 + \frac{l_1}{l_1 + l_2} \cdot \mu_1}{\mu_1 \cdot \mu_2} dB \end{aligned} \quad (22)$$

また、コイルの持つインダクタンス  $L_d$  は、

$$L_d = \frac{N_d \cdot \phi_d}{I_d} = \frac{A \cdot N_{d_2}}{l_1 + l_2} \cdot \frac{\phi_d}{\int_0^{\phi_d} \frac{1}{\mu_t} d\phi_d} \quad (23)$$

式(22)および式(23)により、それぞれ、コイルから見たコアのB-H特性およびコイルの持つインダクタンスを求めることができる。

ここで、 $\mu_t$  は、励磁磁束  $\phi_d$  でなく磁極の強さ  $\phi_{mag}$  およびその位置  $l_1$  にも影響されその結果コアの動作点は図2の各領域を移動することになるので、これらの積分を行うにあたっては、各領域における透磁率を代入することになる。

たとえば、 $0 < \phi_{mag} < 2\phi_s$  で  $l_0 < l_1 < l_1 A$  の場合、

$$\begin{aligned} \int_0^{\phi_d} \frac{1}{\mu_t} d\phi_d &= \int_0^{\phi_{d1,4}} \frac{1}{\mu_t} d\phi_d + \int_{\phi_{d1,4}}^{\phi_{d1,2}} \frac{1}{\mu_t} d\phi_d + \\ &\quad \int_{\phi_{d1,2}}^{\phi_{d2,3}} \frac{1}{\mu_t} d\phi_d + \int_{\phi_{d2,3}}^{\phi_d} \frac{1}{\mu_t} d\phi_d \end{aligned}$$

として、 $\mu_t$  にはそれぞれの領域における  $\mu_1, \mu_2$  を代入して数値積分すればよい。

## 8. おわりに

コアの透磁率が、不飽和の時は一定値であり飽和しているときは磁束に反比例するとみなして、磁石の磁束が侵入しているコアの透磁率およびこれにコイルを施したときのインダクタとしての性質を解析した。得られた式の多くは、4次以上の高次方程式であったり複雑な積分を含む。

今後、数値計算と実験によりフライバック形コンバータ用のトランジスタとしての可能性を調べる予定である。

## 参考文献

- 1) 原田耕介：スイッチング電源ハンドブック，P12  
(日刊工業新聞社, 1993)
- 2) 村田, 原田, 小澤：“簡単化された絶縁型高効率コンバータ”信学技報, EE 98-65 PP. 9~15  
(1999-01)



# 部品数を減らしたPWM制御電圧共振コンバータ

小澤 賢治・村田 勝昭\*

〈平成12年9月28日受理〉

PWM Controlled Resonant Converter with Small Number of Elements

Kenji OZAWA, Katsuaki MURATA

We have realized a PWM Controlled resonant converter which consists of a small number of components. As parasitic elements in the circuit are used for resonant elements we can use this circuit for high frequency switching converter.

## 1. まえがき

スイッチング電源においては、トランジスタやリードなどの磁気素子および平滑用コンデンサを小型化する目的で、スイッチング周波数を高くする努力がなされている。

しかし、スイッチング周波数を高くすると寄生容量と寄生インダクタンスによる電圧サージ・電流サージやスイッチング損失が増大するので高周波化は容易ではない。この弊害を取り除く共振型コンバータでは、出力電圧制御のためにスイッチング周波数を変化させることが必要になりまたスイッチへのストレスも大きくなるなどの短所を持つ<sup>1)</sup>。この短所を改良するためにPWM制御電圧共振型コンバータが開発されたが、部品数が大きくなる。

本稿では、部品数を減らしたPWM制御電圧共振型コンバータを紹介する。シミュレーションの結果、零電圧スイッチングが行われスイッチに対するストレスも抑えられることが確認された。また、本コンバータでは、寄生要素の大部分が共振要素として回路定数に取り組まれるので高周波スイッチングが可能である。

## 2. 回路構成

図1、および図2は、それぞれ今回提案するPWM制御可能な電圧共振コンバータと従来からのフォワード型コンバータの回路構成を示す。

図2において、トランジスタの励磁エネルギーを電源に回生させるための巻き線  $N_c$  とダイオード  $D_c$ 、平滑インダクタ  $L_o$ 、およびフライホイールダイオード  $D_f$

を除去し、コンデンサ  $C_m$ 、 $C_b$ 、 $C_r$  およびスイッチ  $Q_s$  を追加したものが図1の回路である。新回路は、従来からのフォワード型コンバータと同一の部品数である。

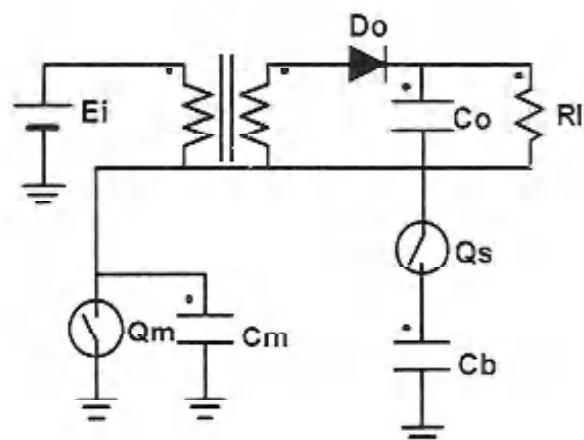


図1. 部品数を減らした PWM 制御電圧コンバータ

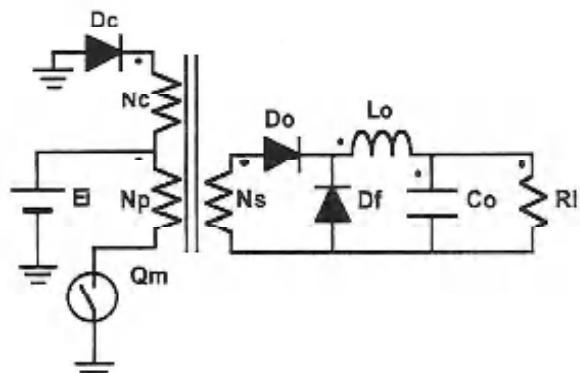


図2. 従来型のフォワードコンバータ

図1.において、コンデンサ  $C_m$  は、トランスに蓄えられた励磁エネルギーを電源に回生し、トランスの磁束をリセットさせる電圧を発生し同時にスイッチ  $Q_m$  に零電圧スイッチングさせる役目を持つ。コンデンサ  $C_r$  は、出力電圧の昇圧およびトランスの偏磁を減らす働きを行う。スイッチ  $Q_s$  とコンデンサ  $C_b$  は、スイッチ  $Q_m$  の電圧ストレスを小さくする。

図1.において  $T_r$  は漏れトランスを用い、その漏れインダクタンスは、平滑インダクタおよびコンデンサ  $C_r$  との共振素子として働く。

### 3. 等価回路および回路定数

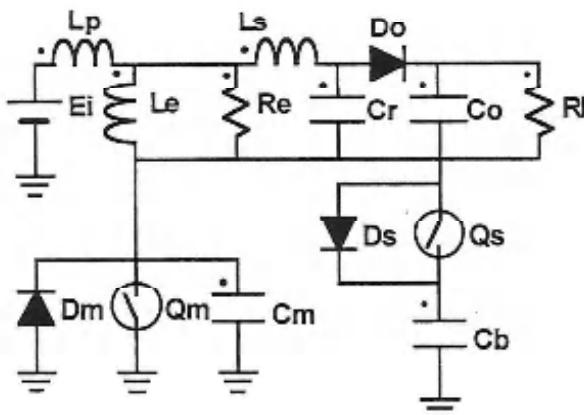


図3. 等価回路

図3. は、図1. の回路解析のための等価回路である。インダクタンス  $L_p$ ,  $L_s$ ,  $L_e$  は、漏れトランスを表し、それぞれ一次側漏洩インダクタンス、二次側漏洩インダクタンス、および励磁インダクタンスを表す。 $R_e$  はトランス損失の等価抵抗である。スイッチ  $Q_m$ ,  $Q_s$  は電界効果トランジスタであり、ダイオード  $D_m$ ,  $D_s$  はそれぞれのボディダイオードを表す。

コンデンサ  $C_m$  には、スイッチ  $Q_m$ ,  $Q_s$  の電極間容量とトランス一次巻き線分布容量が含まれる。

コンデンサ  $C_r$  には、トランス二次巻き線分布容量が含まれる。またインダクタンス  $L_p$ ,  $L_s$  には回路の寄生インダクタンスが含まれる。

図3. の等価回路の各定数を次のように決定した。  
 $L_p: 20\mu H \quad L_s: 20\mu H \quad L_e: 200\mu H \quad R_e: 2.4k\Omega$

$C_m: 5.7nF \quad C_r: 12.2nF \quad C_b: 100nF$

$Q_m, Q_s: R_{on} = 0.1\Omega, R_{off} = 1M\Omega$

$D_m, D_s, D_o: R_{on} = 0.1\Omega, R_{off} = 1M\Omega$

$V_f = 0.6V$

$C_o: 47\mu F \quad R_l: 50\Omega$

$E_i: 50 V$

$F_s: 200kHz \quad \text{Duty: } Q_m, Q_s \text{ 共通 } 0.4$

### 4. シミュレーション結果

図3. の等価回路の各要素に上記の定数を与えたときの各部の波形のシミュレーション結果を示す。

ただし、スイッチング周波数  $F_s$  は  $200kHz$  とし、スイッチ  $Q_m$ ,  $Q_s$  のタイミングは図4. の通りである。

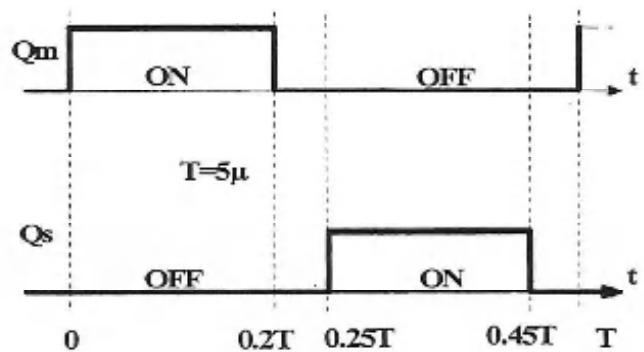


図4. スイッチ  $Q_m$ ,  $Q_s$  のタイミング

図5., 図6., 図7., 図8. に各部の電圧・電流波形を示す。

図5., 図6. より、スイッチ  $Q_m$ ,  $Q_s$  はいずれも電圧が0になった後で電流が流れ始めており零電圧スイッチング動作をしていることがわかる。また、スイッチが開いた後スイッチの電圧が立ち上がっている。このことからこの回路のスイッチング損失はきわめて小さくなる。

図. 8より、インダクタンス  $L_e$  の電流は出力電流 ( $D_o$  の平均電流) はきわめて小さくなることがわか

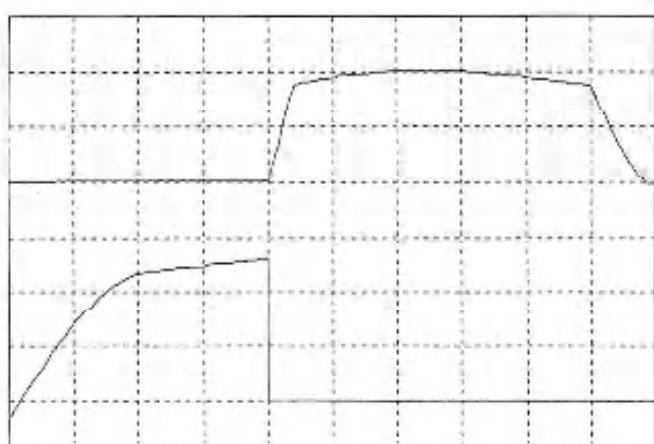


図5.  $Q_m$  の波形：電圧（上  $50V/div$ ）  
電流（下  $1A/div$ ）

る。この事から、本回路に使用するトランスの偏磁は非常に小さいことになり、トランスのコアの断面積を小さくすることができます。

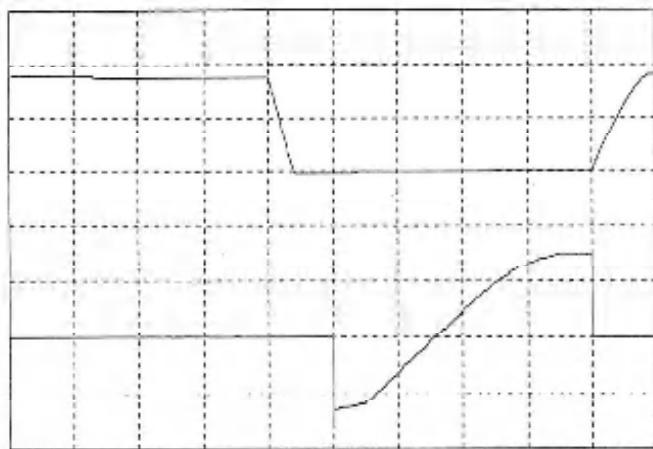


図6.  $Q_s$ の波形：電圧（上 50V/div）  
電流（下 1A/div）

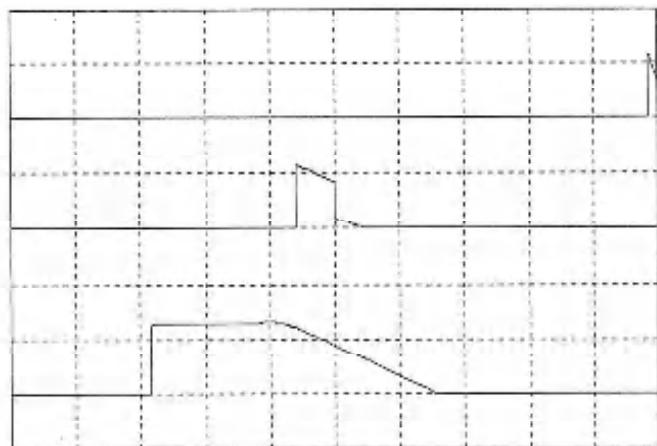


図7.  $D_m$ ,  $D_s$ ,  $D_o$  の電流波形： $D_m$ （上 50V/div）  
 $D_s$ （中 2A/div）  
 $D_o$ （下 2A/div）

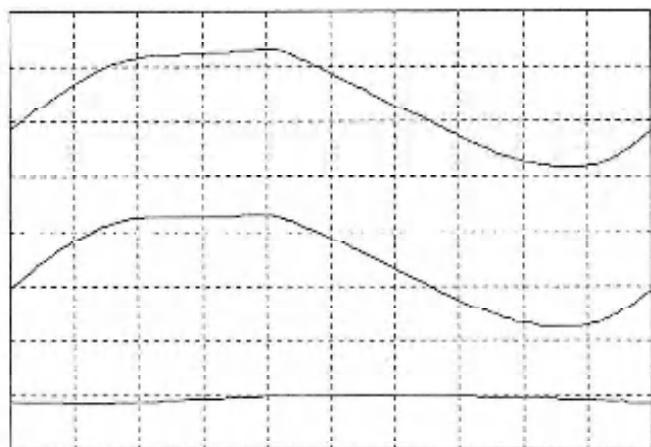


図8.  $L_p$ ,  $L_s$ ,  $L_e$  の電流波形： $L_p$ （上 2A/div）  
 $L_s$ （中 2A/div）  
 $L_e$ （下 2A/div）

## 5. 回路の動作

本回路の動作は10個の状態から成り立っている。以下にその動作を示す。図中、幅の広い線は電流の流れを示す。なお、以下においては  $L_e$ ,  $R_e$  のインピーダンスが大きいのでそこを流れる電流は無視する。

### ①状態1

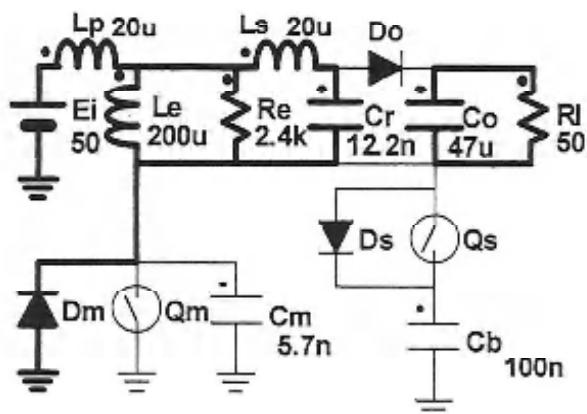


図9. 状態1

この状態では、スイッチのうち  $D_m$  だけが導通である。 $Q_m$  の電圧は0になるのでこの期間中に  $Q_m$  を閉じておく。

主電流の経路は  $D_m \rightarrow C_r \rightarrow L_s \rightarrow L_p \rightarrow E_i$  となる。 $C_r$ ,  $L_s$ ,  $L_p$  で定まる比較的大きい振動数の電流が、その増加率を減らしながら流れれる。

この間、コンデンサ  $C_r$  は、負の方向に充電される。負荷  $R_I$  への電力はコンデンサ  $C_o$  のエネルギーが供給される。

### ②状態2

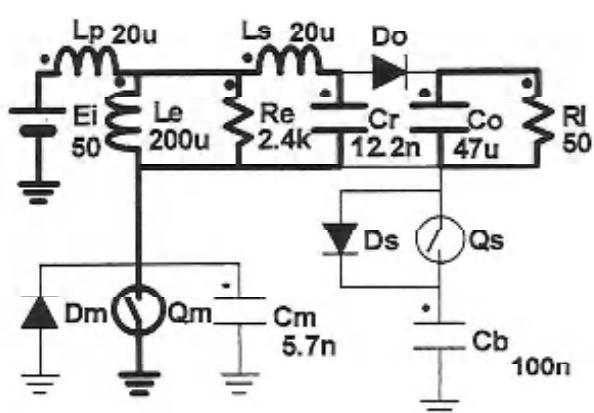


図10. 状態2

③状態 3

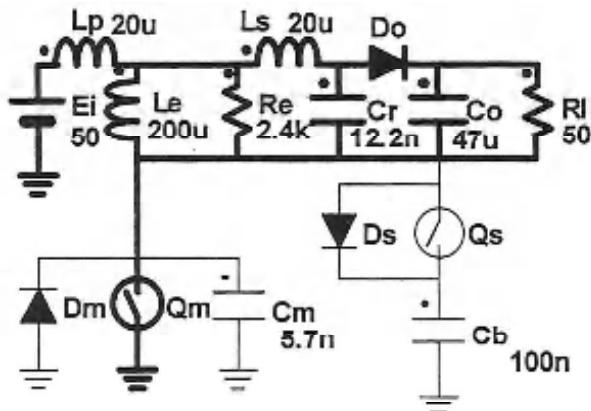


図11. 状態 3

⑥状態 6

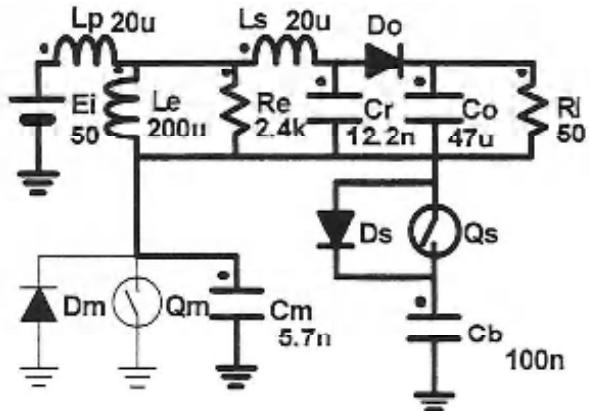


図14. 状態 6

④状態 4

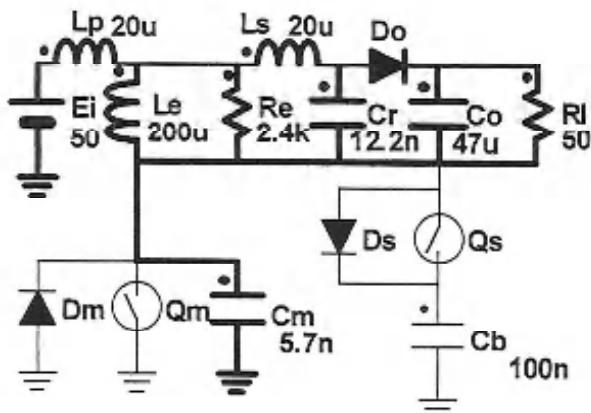


図12. 状態 4

⑦状態 7

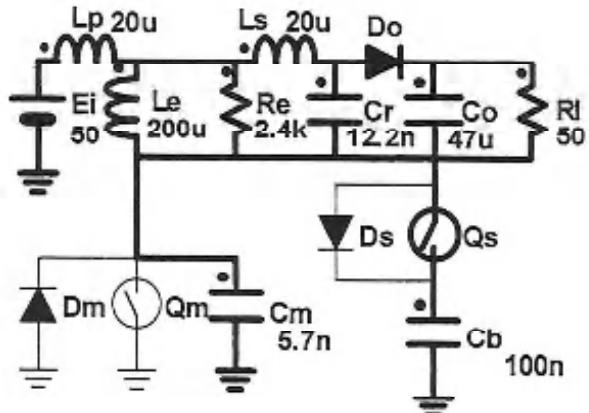


図15. 状態 7

⑤状態 5

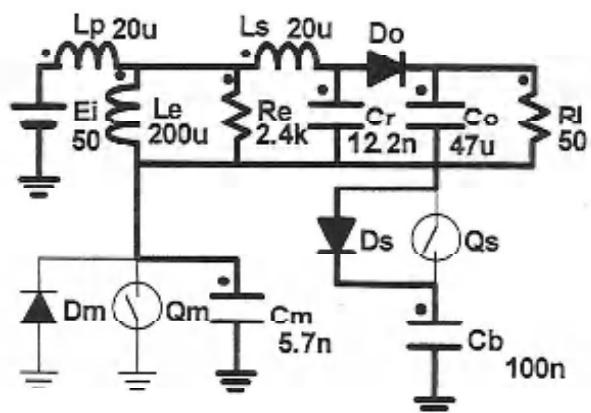


図13. 状態 5

⑧状態 8

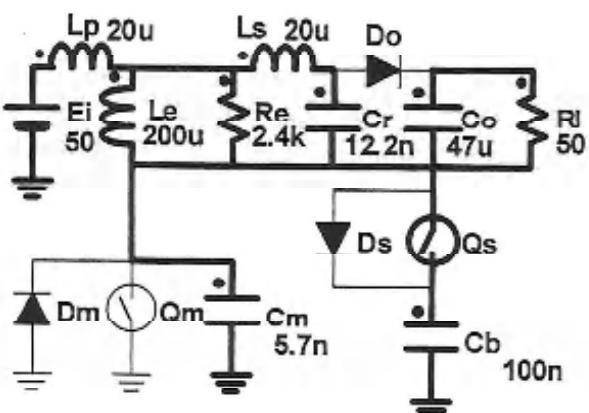


図16. 状態 8

⑨状態9.

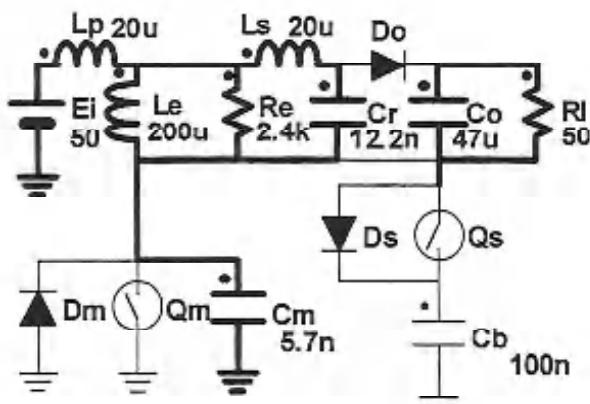


図17. 状態9

⑩状態10.

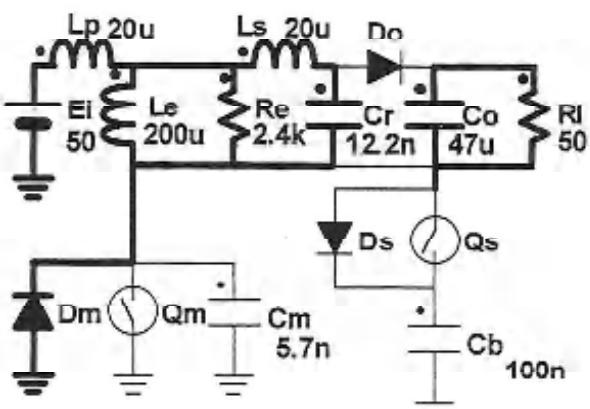


図18. 状態10

状態2

$L_p$  の電流が正になる時にこの状態に遷移する。

主電流の経路は  $Q_m \leftarrow C_r \leftarrow L_s \leftarrow L_p \leftarrow E_i$  となる。経路は、状態1. と同じであるのでとそれと同じ振動数の電流が流れ、この間、 $C_r$  は正方向に充電されるので正の向きに電圧が上昇する。

状態3

$C_r$  の電圧が  $C_o$  の電圧に達することにより  $D_o$  が導通しこの状態に遷移する。 $C_o$  の容量が  $C_r$  の容量に比べて大きいため  $E_i$  からの交流分は  $C_o$  を通る。

したがって、電流の変化は緩やかになる。

負荷への電力の供給は、 $E_i$  からの直流分により行われる。

状態4

$Q_m$  を開くことによりこの状態に遷移する。

$C_m$  の電圧は、0からスタートすることになるので、ここで  $Q_m$  の零電圧スイッチングが実現する。 $C_m$  の電圧が正の向きに増えるので、 $E_i$  からの電流は減

少していく。

状態5

$C_m$  の電圧が、 $C_b$  の電圧達したときに  $D_s$  が導通してこの状態になる。

$C_b$  がなければ、 $C_m$  の電圧は電流ループの共振で定まる大きな電圧まで上昇することになるが、ここでは、大きな容量の  $C_b$  の働きによりクランプされる。

状態6

状態5. にあるとき、 $Q_s$  をとじる。このとき  $D_s$  が導通しているので零電圧スイッチングとなる。

この時点では、 $L_p$  の電流は依然として正である。

状態7

ループの電流の向きが逆転することによりこの状態になる。このきかんでは、 $C_m$ 、 $C_b$ 、 $C_r$  は放電中であるのでその電圧は0に向かう。

状態8

$C_r$  の電圧が、 $C_o$  の電圧まで下がると  $D_o$  が遮断になってこの状態に遷移する。

電流のループから、 $C_o$ 、 $R_I$  が切り離されるので、 $C_m$ 、 $C_b$  は比較的大きなスピードで放電してゆく。

状態9

$C_m$ 、 $C_b$  の電圧が負になる前に  $Q_s$  を開く。このとき、 $Q_s$  の電圧は、0から立ち上がり零電圧スイッチングとなる。電流のループが、状態1と同じになり、 $C_m$  は早い変化で放電してゆく。

状態10

$C_m$  の電圧が、負になることでこの状態に遷移する。

## 6. むすび

部品数が従来からのフォワード型コンバータと同じ PWM制御可能な電圧共振型コンバータ回路を構成した。この回路は寄生要素の大部分を共振要素として回路定数に取り組んでいるので高周波スイッチングが可能である。また、トランジストの励磁電流の直流分を抑えることができるのでトランジストの小型・軽量化が可能である。シミュレーションの結果、零電圧スイッチングが行われスイッチに対するストレスも抑えられることができた。

今後、零電圧スイッチング可能なスイッチ  $Q_m$ 、 $Q_s$  のターン・オフ時間幅を最大にするパラメータを求める予定である。

## 参考文献

- 1) 村田、原田、小澤：“簡単化された絶縁型高効率コンバータ”信学技報. EE98-65 PP.9~15(1999-01)



# 時間領域差分法による光導波路の伝搬特性解析の基礎

森 紳太朗

〈平成12年8月30日受理〉

Basic Study of Numerical Analysis of Optical Waveguides  
Using the Finite-Difference Time-Domain Method

Shintaro MORI

It is important to analyze an electromagnetic wave propagation characteristics in dielectric optical waveguides for optical signal processing in communication systems. However, analytical solutions are obtained only for simple problems. The Finite-Difference Time-Domain(FD-TD)method is one of the numerical methods to calculate an electromagnetic wave propagation in dielectric waveguides. In the FD-TD method, Maxwell's equations are replaced by a system of finite difference equations. To evaluate the validity of FD-TD method, we have checked the accuracy of the solution for symmetric 3-layered slab waveguides, which are most basic for dielectric waveguides. The result shows the validity of FD-TD method in analysis of propagation characteristics in dielectric optical waveguides.

## 1. まえがき

近年のデジタル技術の進展を背景とした超高速光エレクトロニクス技術において、光集積回路における反射、放射およびそれらの相互の結合などを含めた回路系全体の伝搬特性の解析が必要になってきている。光集積回路とは、光導波路上に種々の機能を持つ回路を配置したり、光導波路自体に構造を持たせたりして、それらを集積化することによって様々な光信号の処理を行うことを目的とした機能デバイスである<sup>1)</sup>。これらの光集積回路の設計および開発を行う上で、光導波路の伝搬特性を解析することは非常に重要である。誘電体導波路の中を伝搬する光の特性を明らかにするためには Maxwell の方程式を解く必要があるが、導波路の形状が複雑になると従来の解析的近似法のはかに厳密な数値解析法が必要となる。その Maxwell の方程式の数値解析法としては、任意の導波路構造および媒質条件を扱うことができ、導波路内で起こりうる導波、散乱、反射、放射などの様々な現象をすべて考慮することができる手法が望まれている。

Maxwell の方程式の時間領域における直接解法として、1966年に Yee によって提案された時間領域差分法 (Finite Difference Time Domain method : FD-TD 法)<sup>2)</sup> がある。この手法は各電磁界変数と各離散点とを一一に対応づけて Maxwell の方程式の

各成分表示を差分方程式に変換して解く方法である。FD-TD 法は比較的簡単なアルゴリズムで計算することができ、任意の電磁界変数が各格子点に割り当てられるので、複雑な形状や媒質条件の問題に対して解析するのが容易であり、解析対象が広い。また、直接時間を含む Maxwell の方程式を解くために、反射などを含めた系全体の電磁界現象を簡単に時間軸上で解析できる。

本報告では、FD-TD 法を用いて 2 次元の誘電体導波路を伝搬する固有モードの光の振る舞いを調べ、光導波路の伝搬特性解析に対する FD-TD 法の有効性について述べる。

## 2. 法時間領域差分法による Maxwell の方程式の定式化

ここでは、FD-TD 法の原理について、Maxwell の方程式の有限差分近似を導出し、誘電体導波路への適用を述べる。

本研究では線形、等方性、無損失媒質の 2 次元問題を取り扱う。解析モデルとして、図 2.1 に示す  $y$  方向に一様で伝搬方向が  $z$  方向の誘電体導波路を考える。2 次元問題では二つの独立な電磁界モードである TE モードと TM モードが存在する。ここでは TE モードについてのみ取り扱う。

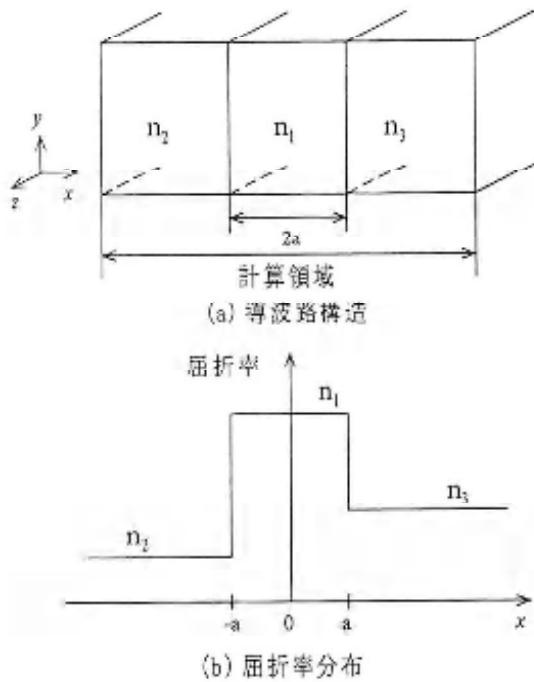


図 2.1 3層スラブ構造と屈折率分布

誘電率  $\epsilon$ 、透磁率  $\mu$  が時間に依存しないと仮定し、導電率  $\sigma$  を零とすると、一般に Maxwell の方程式は次式のように表される。

$$\epsilon \frac{\partial E}{\partial t} = \nabla \times H \quad (2.1)$$

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = -\nabla \times E \quad (2.2)$$

直交座標系において式 (2.1), (2.2) を  $x, y, z$  成分に分けると次式を得る。

$$\epsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \quad (2.3)$$

$$\epsilon \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \quad (2.4)$$

$$\epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \quad (2.5)$$

$$\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \quad (2.6)$$

$$\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \quad (2.7)$$

$$\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \quad (2.8)$$

ここで、 $y$  方向に一様である、すなわち  $\partial/\partial y=0$  と仮定すると、TE モードに対する Maxwell の方程式は次式となる。

$$\epsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} + \frac{\partial H_z}{\partial x} - \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 \quad (2.9)$$

$$\mu \frac{\partial H_x}{\partial t} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = 0 \quad (2.10)$$

$$\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} + \frac{\partial E_y}{\partial x} = 0 \quad (2.11)$$

式 (2.9)～(2.11) に中心差分を適用する。

まず、 $(x, y, z)$  を離散化し、Yee の表記<sup>2)</sup>に従って空間格子点を

$$(i, j, k) = (i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z) \quad (2.12)$$

で表し、空間と時間の関数を次式で表す。

$$F^n(i, j, k) = F(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z, n\Delta t) \quad (2.13)$$

ここで、 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  はそれぞれ  $x$  方向、 $y$  方向および  $z$  方向の空間刻みであり  $\Delta t$  は時間刻みである。式 (2.12), (2.13) を用いて Maxwell の方程式 (2.9)～(2.11) 中における空間微分と時間微分を式 (2.14), (2.15) の中心差分で近似する。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial F^n(i, j, k)}{\partial x} \\ &= \frac{F^n(i+\frac{1}{2}, j, k) - F^n(i-\frac{1}{2}, j, k)}{\Delta x} + O(\Delta x^2) \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial F^n(i, j, k)}{\partial t} \\ &= \frac{F^{n+\frac{1}{2}}(i, j, k) - F^{n-\frac{1}{2}}(i, j, k)}{\Delta t} + O(\Delta t^2) \end{aligned} \quad (2.15)$$

式 (2.9)～(2.11) に式 (2.14) を適用するために電界と磁界の各成分を図 2.2 に示す格子に対応させる。また式 (2.15) を適用するために電界と磁界を互いに  $\Delta t/2$  づつずらして定義する。これらにより式 (2.9)～(2.11) に対応する差分方程式は次のように表される。

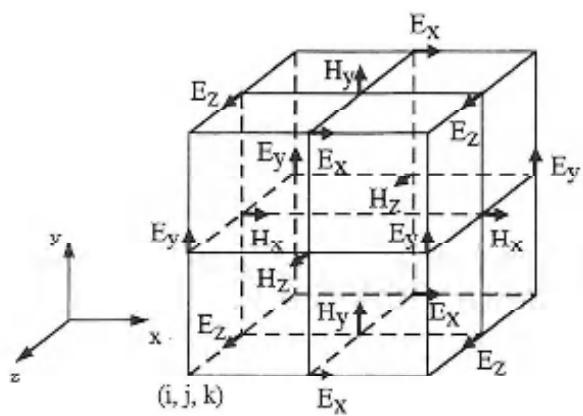


図 2.2 電磁界成分の位置

$$H_z^{n+\frac{1}{2}}(i, j, k + \frac{1}{2}) - H_z^{n-\frac{1}{2}}(i, j, k - \frac{1}{2}) + \frac{\Delta t}{\mu(i, j, k + \frac{1}{2}) \Delta z} [E_y^n(i, j, k + 1) - E_y^n(i, j, k)] \quad (2.16)$$

$$H_z^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j, k) = H_z^{n-\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2}, j, k) - \frac{\Delta t}{\mu(i + \frac{1}{2}, j, k) \Delta x} [E_y^n(i + 1, j, k) - E_y^n(i, j, k)] \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} E_y^{n+1}(i, j, k) &= E_y^n(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j, k) \Delta z} [H_z^{n+\frac{1}{2}}(i, j, k + \frac{1}{2}) - H_z^{n+\frac{1}{2}}(i, j, k - \frac{1}{2})] \\ &\quad - \frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j, k) \Delta x} [H_z^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j, k) - H_z^{n+\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2}, j, k)] \end{aligned} \quad (2.18)$$

境界条件は、与えられる導波路構造により、各格子点における媒質定数である誘電率  $\varepsilon(i, j, k)$  および透磁率  $\mu(i, j, k)$  を変えるだけでよく、任意の境界形状でもその適用は容易である。

実際の計算は、次の手順で行う。まず、初期条件を与える。はじめに入射点における格子点に時間  $t=0$  で電界あるいは磁界を与える。ここでは、電界を入射波とする。次に残りの空間の各格子点については、時間  $t=0$  では導波路内には何も界がないので、すべての電界または磁界の値を零とする。初期条件および式 (2.16), (2.17) より時間  $t=(1/2)\Delta t$  における電界の各成分がわかる。ここで得られた電界の各成分と式 (2.18) より時間  $t=\Delta t$  における電界の各成分が求まる。再び入射点に電界を与え、次の時間  $t=(1+1/2)\Delta t$  の電界を求め、それより  $t=2\Delta t$  の電界を求める。この様に、FD-TD 法は式 (2.16)～(2.18) を繰り返し解くことによって逐次的に電磁界を求めることができる。

また、FD-TD 法は陽解法の差分を用いているので、解の安定性のために時間離散間隔  $\Delta t$  は安定条件を満足する必要がある。安定性に対する条件は次式で与えられる<sup>[3]</sup>。

$$c_0 \Delta t \leq \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.19)$$

ここで、 $c_0$  は真空中の光速を表す。

### 3. 導波路の伝搬特性

ここでは、図 2.1 に示す 2 次元 3 層スラブ導波路を伝搬する光の様子を FD-TD 法を用いて計算する。導波路を伝搬する電界を

$$E_y(x, y, z) = E_0(x) \cos(\omega t - \beta z) \quad (3.1)$$

で与える。ここで、 $\beta$  は  $z$  方向の伝搬定数である。また、 $E_0(x)$  は導波層の幅によって定められる  $x$  方向の界分布であり、クラッド、導波層および基板における

界分布は次式で表される<sup>[4]</sup>。

$$E_0 = \begin{cases} A \cos(\kappa a + \phi) \exp[\xi(x-a)] & x < -a \\ A \cos(\kappa a - \phi) & -a \leq x \leq a \\ A \cos(\kappa a - \phi) \exp[-\sigma(x+a)] & x > a \end{cases} \quad (3.2)$$

ここで、 $\kappa, a$  および  $\xi$  はそれぞれ導波層、クラッド、基板中の  $x$  方向の波数であり次式で与えられる。

$$\begin{cases} \kappa = \sqrt{k_0^2 n_1^2 - \beta^2} \\ \sigma = \sqrt{\beta^2 - k_0^2 n_2^2} \\ \xi = \sqrt{\beta^2 - k_0^2 n_3^2} \end{cases} \quad (3.3)$$

ただし、 $k_0$  は真空中の光の波数 ( $k_0 = 2\pi/\lambda$ ) である。ここで、これらの  $x$  方向の波数は次式の固有値方程式を満足する<sup>[4]</sup>。

$$2ak = m\pi + \tan^{-1}\left(\frac{\sigma}{\kappa}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{\xi}{\kappa}\right) \quad (3.4)$$

ただし、 $m$  はモード番号であり  $m=0, 1, 2, \dots$  である。ここで、個々の光導波路の導波路構造パラメータに関係なく光導波路の伝搬特性を統一的に記述するパラメータとして、正規化周波数  $V$  やおよび屈折率分布の非対称性の尺度  $\gamma$  を定義する。

$$V = 2ak_0 \sqrt{n_1^2 - n_3^2} \quad (3.5)$$

$$\gamma = \frac{n_3^2 - n_1^2}{n_2^2 - n_3^2} \quad (3.6)$$

式 (3.3), (3.4) から、光が導波層に閉じ込められて伝搬するためには  $\kappa$  は実数でなければならない。つまり

$$n_3 \leq \frac{\beta}{k_0} \leq n_1 \quad (3.7)$$

でなければならない。 $\beta/k_0$  は無次元の量であり、光導波路解析においては

$$n_0 = \frac{\beta}{k_0} \quad (3.8)$$

としてこれを等価屈折率として定義する。 $n_0 < n_3$  の場合にはクラッド中の電磁界の横方向変化が正弦波的になり、クラッド側に光が漏れる状態となる。従って $\beta = n_0 n_3$  は導波モードが遮断されて放射モードに移行する境界であり、これをカットオフ条件という。ここで、次式

$$b = \frac{n_0^2 - n_3^2}{n_1^2 - n_3^2} \quad (3.9)$$

で表される正規化伝搬定数  $b$  を導入すると、式 (3.8), (3.9) より導波モードに対しては

$$0 \leq b \leq 1 \quad (3.10)$$

カットオフ条件は

$$\gamma = 0 \quad (3.11)$$

となる。正規化伝搬定数  $b$  と正規化周波数  $V$  を用いて固有値方程式 (3.4) を書き直すと

$$V\sqrt{1-b} = m\pi + \tan^{-1}\sqrt{\frac{b}{1-b}} + \tan^{-1}\sqrt{\frac{b+\gamma}{1-b}} \quad (3.12)$$

となる。 $V$  をパラメータとして数値計算で求めた分散曲線を図 3.1 に、TE モードの電界分布を模式的に図 3.2 に示す。実際の計算では、導波層の幅を与えて固有値方程式から各モードに対する等価屈折率を計算し、それを用いて式 (3.2) より入射界を求める。

導波路を伝搬する電磁波の振る舞いを説明する場合、界分布を用いるよりパワー分布を用いた方がより明晰である。導波路内の複素ポイントティングベクトル  $S$  は次式

$$S = E \times H \quad (3.13)$$

で表される。電磁界が式 (3.1) に示すように単一の角周波数  $\omega$  で正弦的に変化している場合の時間平均の伝送パワーはポイントティングベクトルの時間平均値  $\langle S \rangle$  を用いて

$$P = \iint \langle S \rangle \cdot e_z dx dy \quad (3.14)$$

と表される。ここで、 $e_z$  は  $z$  方向の単位ベクトルである。2 次元構造の導波路を伝搬する TE モードの伝送パワーは次式で表される。

$$P = \iint \langle E_y \cdot H_z \rangle dx \quad (3.15)$$

式 (3.14) を用いて  $z$  伝搬させた後の伝送パワー  $P_z$  の伝送損失  $P_{loss}$  を次式で計算する。

$$P_{loss} = -10 \log \frac{P_z}{P_0} [\text{dB}] \quad (3.16)$$

FD-TD 法の解析精度の検証のためにモードの形成の度合い  $L_M$  を用いる。モード形成の度合いは固有モード

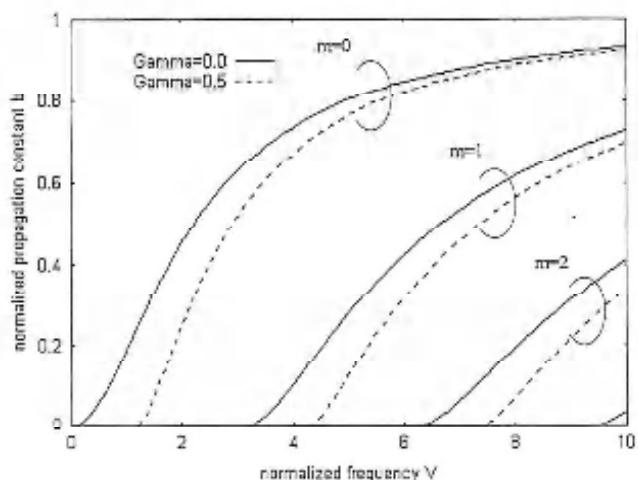


図 3.1 スラブ導波路の TE モードの分散曲線  
( $\tau=0$ : 対称,  $\tau=0.5$ : 非対称 の場合)

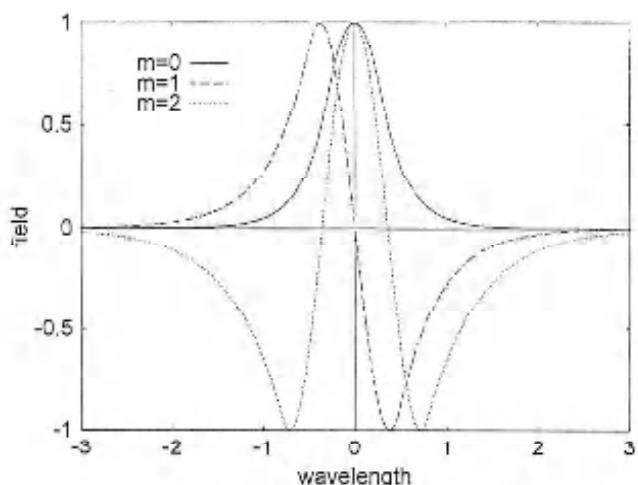


図 3.2 3 層スラブ導波路の導波モードの電界分布  
(0, 1, 2 次モード)

ドの厳密界の自乗平均値  $\langle E_{exact} \rangle$  と得られた電界分布の自乗平均値  $\langle E_y \rangle$  との重畠積分により次式

$$L_M = -10 \log \frac{\left[ \int_{-\infty}^{\infty} \langle E_{exact} \rangle \langle E_y \rangle dx \right]^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \langle E_{exact} \rangle^2 dx \int_{-\infty}^{\infty} \langle E_y \rangle^2 dx} [\text{dB}] \quad (3.17)$$

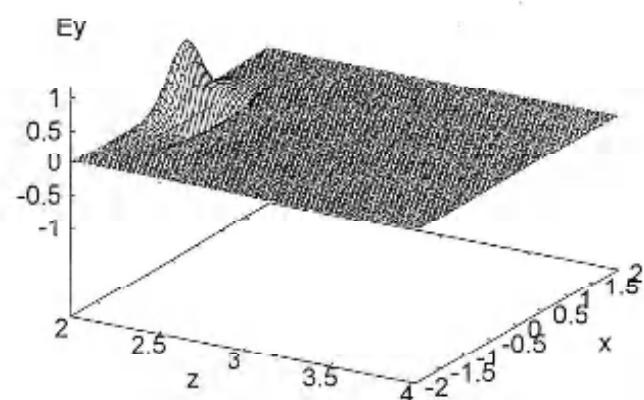
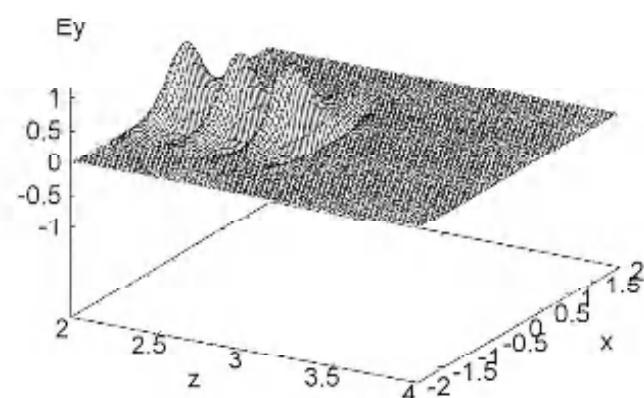
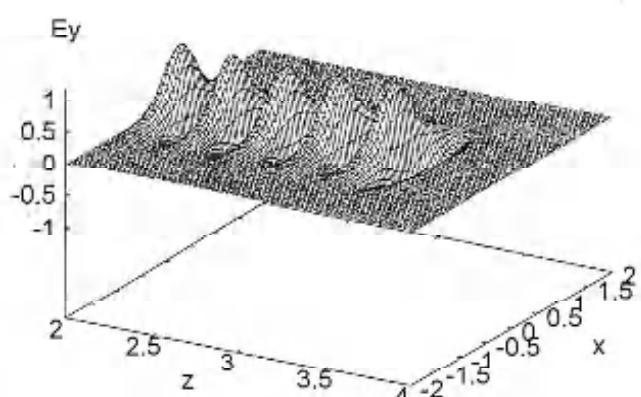
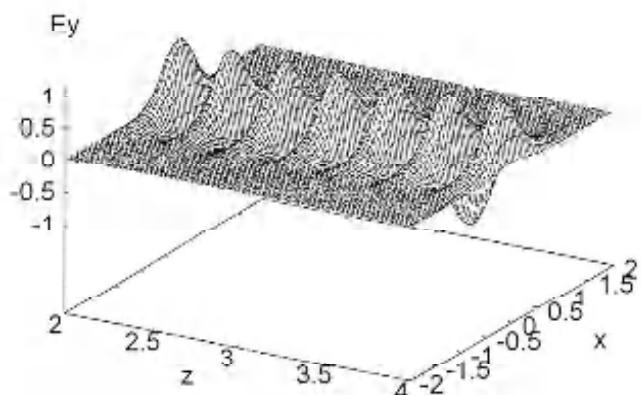
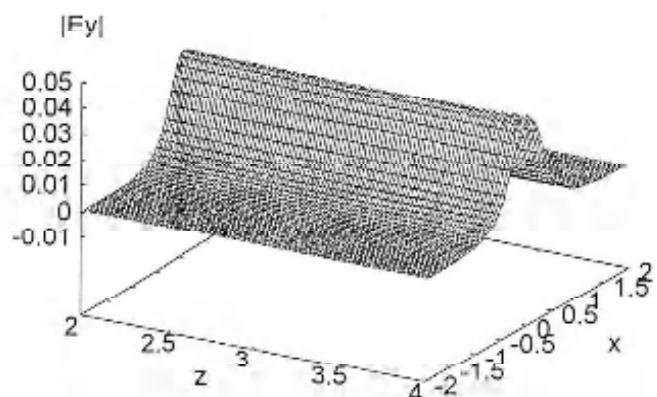
と定義される。導波モードならばモード分布は損失無く伝搬するので相似であり、 $L_M$  は零となる。

#### 4. 対称 3 層スラブ導波路の光の伝搬

ここでは、光導波路としてもっとも基本的な対称 3 層スラブ導波路を伝搬する固有モードの電界を FD-

TD法を用いて計算する。計算に用いたパラメータは、導波層の屈折率  $n_1 = 3.2584$ 、クラッド層および基板の屈折率  $n_2 = n_3 = 3.1694$  であり、対称な構造である。また、空間の長さは自由空間の波長  $\lambda$  で規格化している。入射波は  $TE_0$  モードの固有モードを入射し、 $x$  方向の計算領域は  $L = 6\lambda$ 、 $z$  方向の計算領域は  $8\lambda$  とした。また、 $x$  方向および  $z$  方向の空間の刻み幅は  $\Delta x = 0.03\lambda$  および  $\Delta z = 0.02\lambda$ 、時間の刻み幅  $c\Delta t = 0.01\lambda$  である。

図4.1(a)～(c)に、時間  $t$  を変化させた場合の  $x = -2\lambda \sim 2\lambda$ 、 $z = 2\lambda \sim 4\lambda$  の領域における電界の様子を示す。これらの図より、入射波が導波層に閉じこめられて  $z$  方向に伝搬していく様子がわかる。次に、 $TE_0$  モードを  $t = 900$  まで伝搬させた場合の電界分布と電界強度分布を図4.2に示す。これらのデータから、界の入射点から  $3\lambda$  の地点での伝送パワーおよびモード形成の度合いを算出したものを表4.1に示す。これより、固有モードが正確に求められており、FD-TD 法が対称3層スラブ導波路の解析に対して有効であるこ

図4.1(a)  $TE_0$  モードの電界分布  $t=100$ 図4.1(b)  $TE_0$  モードの電界分布  $t=300$ 図4.1(c)  $TE_0$  モードの電界分布  $t=500$ 図4.2(a)  $TE_0$  モードの電界分布 ( $t=900$ )図4.2(b)  $TE_0$  モードの電界強度分布 ( $t=900$ )表4.1  $TE_0$  モードの伝送損失とモード形成の度合い

$P_t / P_0$	$9.9952083 \times 10^{-1}$
$P_{loss}$ [dB]	$2.0815076 \times 10^{-3}$
$L_M$ [dB]	$5.9365868 \times 10^{-4}$

とが分かる。

## 5. むすび

光導波路の伝搬特性の解析は電磁波問題に帰着されるが、電磁界現象を解析する場合、解析的手法は簡単な問題にしか適用できず、複雑な形状や媒質の条件を取り扱う場合は数値解法を用いることになる。本研究で用いている時間領域差分法（FD-TD 法）は Maxwell の方程式の各成分表示を差分方程式に変換する方法で、直接時間軸上で解析を行うことができる。

ここでは、光導波路としてもっとも基本的な対称 3 層スラブ導波路を伝搬する  $TE_0$  モードの電界を FD-TD 法を用いて計算した。その結果、精度の良い界が得られており、FD-TD 法が光導波路の伝搬特性の解析に対して有効であることを確認した。

## 参考文献

- [1] 西原浩、春名正光、榎原敏明：“光集積回路”，オーム社（1994）
- [2] Yee K. S., “Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media”, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-14, pp. 302-307, May 1966.
- [3] Taflove A. and Brodwin M. E., “Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations”, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-23, pp. 623-630, Aug. 1975.
- [4] 岡本勝就：“光導波路の基礎”，コロナ社（1992）

# 熱間鍛造型の熱軟化及び塑性変形抵抗に及ぼす型の表面被膜構造の影響

南 明宏

〈平成12年9月29日受理〉

Effect of Surface Structure on the Thermal Softening and the Resistance of Plastic Deformation of Hot Forging Die

Akihiro MINAMI

Die life decreases considerably due to the softening of the surface layer of a die caused by a high thermal load. In order to optimize the surface structure of dies, the influence of thickness of the hard coating film on the plastic deformation of the punch was investigated systematically. The distribution of temperature and softening in the punch for backward extrusion and in the die for hot forging processes were analyzed by finite-element method(FEM) together with experimental simulation. The tempering test was carried out to clarify the thermal softening of nitrided surface of the die and the results applied to dynamic loading. The thermal softening equation is produced by using master tempering curve, which is generated by a tempering parameter  $R = \log_{10} t + 0.0165 (T - 700.0)$ , where  $t$  and  $T$  are tempering time (hr) and temperature (K) respectively.

The plastic deformation resistance of the punch or die corner was analyzed under various tribological conditions including sliding velocity and friction, incorporating the presumed depth of the softened layers. To prevent the surface layer from deformation plastically, the following two points should be reflected in the design of the thermal loading cycles and the surface structure of the die. The first is that the thickness of the thermally softened layer under the hard layer should become less than that of the hard layer. The second is that if the thermally softened layer of about 1mm in thickness develops the decrease in the deformation resistance of the softened layer should be to within 80% of the deformation resistance of the bulk material.

## 1. 緒言

歯形鍛造や複雑形状の精密熱間型鍛造では、厳しい熱負荷にさらされるため型寿命の改善が成否の鍵を握っている。型は、摩耗、塑性変形および熱劣化を起點とする割れによって寿命に至る。型寿命を改善するには、型と高温素材との接触時間や摩擦滑りを極力低減し、型冷却を効果的に達成できる工程設計、作業条件の最適化が求められている。また、選択される工具材質および表面被膜構造条件によって熱負荷限界が異なるので、これを最適設計することが必要になる。特に、表面被膜については耐摩耗性や耐焼き付き性を改善させる目的で浸炭、窒化、軟窒化、CVDおよびPVDあるいはレーザー・アロイング等の数多くの表面改質技術が導入されている。これまで、作業条件を変更した場合

に型表面が到達する温度や熱軟化状態を見積もる方法を明らかにしてきた<sup>1)-6)</sup>。

本報では、温度上昇あるいは熱負荷によって型角部の熱軟化および塑性変形抵抗や塑性変形がどの程度影響されるかを明らかにしていく。そのために、温・熱間鍛造金型材〔JIS SKD61およびYXR33(JIS SKH相当)〕に真空焼き入れ一焼き戻しの熱処理を行った金型表面に硬質被膜処理の中でも最も頻繁に利用されているイオン窒化処理を施してモデル鍛造試験を行い、金型および鍛造材料の温度履歴に関するデータを摂むと共に試験終了後の熱軟化の状態も調べる。また、金型材について静的な焼き戻し軟化実験をも実施し、焼き戻しパラメータを利用して熱軟化式を作成する。また、塑性変形抵抗や塑性変形が表面被膜構造によってどう影響するかを把握し、型寿命改善のために望まし

い条件を検討するために金型母材+軟化層+硬質被膜層との3層構造のモデルを考え、鍛造試験によって得られた温度履歴や焼き戻し軟化式等の情報をも考慮した数値解析をも試みる。その際に、型や鍛造材料の摩擦剪断係数、軟化層と硬質被膜層との厚さの比(相対厚さ)、相対変形抵抗(軟化層部と硬質被膜層部のそれぞれの変形抵抗の比)等をパラメータとして有限要素法(FEM)により解析を進める。これらの実験および数値解析結果について報告する。

## 2 热負荷鍛造試験

### 2.1 モデル鍛造試験

モデル鍛造試験<sup>④</sup>には金型材質としてマトリックス高速度工具鋼の1つであるYXR33材[日立金属(株)]を使用した。この金型に表1に示すように真空焼入れ(1150°Cで13min保持後N<sub>2</sub>ガスで強制空冷)および焼戻し(560°Cで90min, 550°Cで90minそして550°Cで2hr保持後空冷)の計3回の熱処理を施した。熱処理後の平均硬度は720HVである。また、イオン窒化処理は表2のような条件で行った。窒化処理後の窒化型の平

均硬度は1230HVであり、このときの窒化層の膜厚は約0.2mmである。鍛造材料はS45C母材先端表面にステンレス肉盛り溶接を行ったものを用いた。モデル鍛造試験用金型の形状は既報<sup>④-⑥</sup>で報告した熱間鍛造用合金工具鋼の中でもよく使用されるSDKD61材のと同一である。熱電対装着の仕方や温度計測の方法についても既報<sup>④-⑥</sup>のとおりである。金型の熱負荷試験は鍛造材料初期材料温度:T<sub>mo</sub>=1150°C、接触面圧:P=44.7MPaと55.2MPa、サイクル時間:t<sub>cy</sub>=2.0sec(型と材料の接触時間:t<sub>c</sub>=0.40, 0.50sec, 0.52sec、冷却時間:t<sub>ca</sub>=1.60sec, 1.50sec, 1.48sec)で5000回、20000、30000回鍛造した。試験終了後、型表面の形状および硬度測定にて劣化や軟化の度合いを調べた。

### 2.2 焼き戻し軟化実験

焼き戻し軟化実験および窒化層部の物性値測定に使用した試験片材質はいずれもYXR33材であり、これらにモデル鍛造試験用の金型と同じ条件で真空焼入れおよび焼戻しを行った。イオン窒化処理条件は表2のとおりである。モデル鍛造試験用の窒化型と比べて放電電流や放電電圧および処理時間が異なるのは両者の形状や寸法の違いによるものである。試験片の寸法は

表1 金型および焼き戻し軟化試験片熱処理条件

Heat treatment (Quenching + Tempering)

	Heat treatment	Hardness
Model forging tool	1150°C N <sub>2</sub> gas quenching and	680HV (average) HRC 59 ~ 60
Tempering specimen and N-Chip	560°C + twice 550°C tempering	680HV (average) HRC 59 ~ 60

表2 イオン窒化処理条件

Ion Nitriding

	A.C (A)	A.V (V)	T.P (Torr)	T.T °C	U.G	G.R	T.Ti (He)	V.H.N (HV)
Model forging tool	40	200	4~6	520	N <sub>2</sub> and H <sub>2</sub>	3:2	18	1230
Tempering specimen, N-Chip	20	460	4~6	520	N <sub>2</sub> and H <sub>2</sub>	3:2	28	1158

A.C : Arc Current , A.V : Arc Voltage , T.P : Treatment Pressure , T.T : Treatment temperature , U.G : Used Gas , G.R : Gas Ratio , T.Ti : Treatment Time , V.H.N : Vickers Hardness Number

Thickness of nitrided surface layer : Th=0.2mm

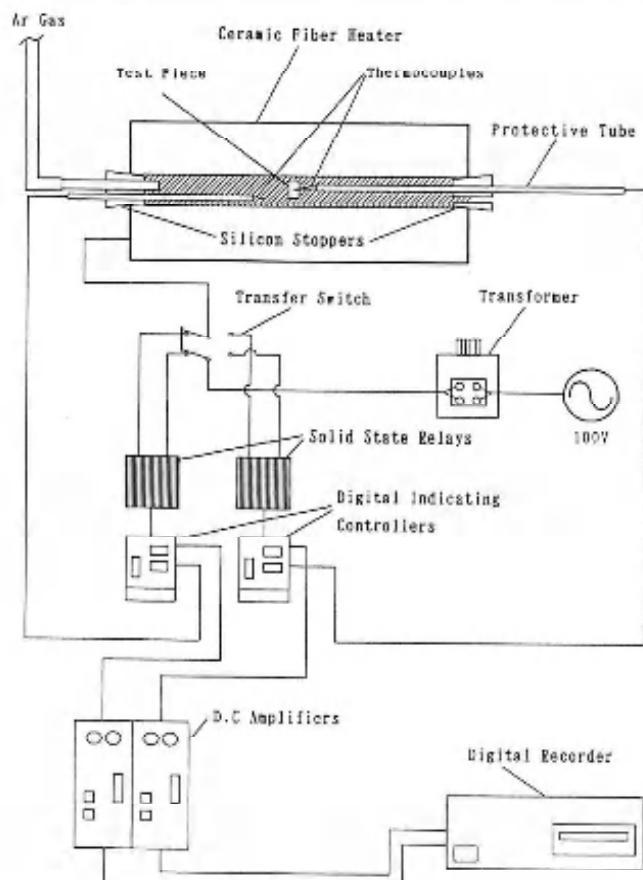


図1 静的焼き戻し軟化実験装置概要図

5 mm × 10 mm × 5 mm である。熱処理および窒化処理後の平均硬度はそれぞれ 680HV, 1158HV である。また、窒化層の膜厚は約 0.2mm である。図 1 に示すようにセラミック炉(内径 φ32 × 外径 φ89 × 長さ 305 mm)の片方より中央部まで CA 熱電対を挿入し、炉内雰囲気温度が設定温度になった後、もう片方から試験片(熱電対を試験片に直接スポット溶接)を入れる。試験片温度が設定値に到達してから所定時間焼き戻す。各所定時間経過後、炉から試験片を取り出し、常温まで油冷する。その後表面をアルミナ研磨剤を用いてラッピングし、鏡面仕上げした後硬度測定する。今回の軟化実験では焼き戻し温度は 600°C, 650°C, 680°C, 700°C の 4 種類とし、焼き戻し時間は 20 分、40 分、60 分、100 分、200 分、400 分および 800 分までの累計時間とした。

### 2.3 モデル鍛造試験結果と考察

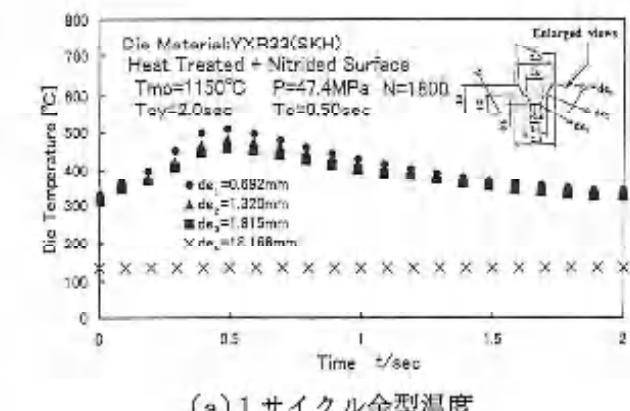
窒化処理を施した金型の鍛造サイクル中の温度履歴を図 2 に示す。サイクル回数: N=1800 (1hr 経過後) 後における 1 サイクル温度を見てみると工具と材料の接触終了時における最高到達温度: Tmax は表面に最も近い測温点で 500°C を越えている。自然冷却終了時における最低温度: Tmin は金型表面近傍で 300°C となっている。これより、金型の温度振幅:  $\Delta T = T_{max} - T_{min}$  は約 200°C であり、約 0.24% の熱ひずみ振幅を受けていることになる。また、金型基準温度は約 120°C ではほぼ一定である。実験後の金型の硬度は割型表面中心軸線上を測定した(図 3)。このときに使用した鍛造材料本数は 4 本であり、1 本目から 4 本目までのショット数はそれぞれ約 15400 shot, 約 17200 shot, 約 3600 shot, 約 3600 shot である。3 本目のときを除いて温度履歴はほぼ図 2 のようになっており、4 つの測温点から金型先端表面の温度を外挿すると最高でも約 550°C 程度である。したがって、後に述べる焼き戻し軟化実験結果から考えても金型先端近傍では窒化表面層の硬度が初期硬度からほとんど軟化していないのが分かる。ただし、図 3 中で金型先端から約 0.35mm の深さまでが初期硬度より約 130HV 低い 1100HV となっているのは、3 本目のときに金型表面温度が約 640°C になっていたことが影響して少し軟化したものと考えられる。

図 4 は鍛造サイクル数 N=20000 および N=30000 後の金型の半径方向の硬度分布を示している。N=20000 の場合には測定点が型先端から深くなるにつれてほぼ左右対称に硬度が上昇し初期硬度に近づいている。これは鍛造中の熱サイクルが均等に負荷されていることを意味している。一方、N=30000においても、ほぼ同様の分布が見られる。ショット数が 1 万回増え

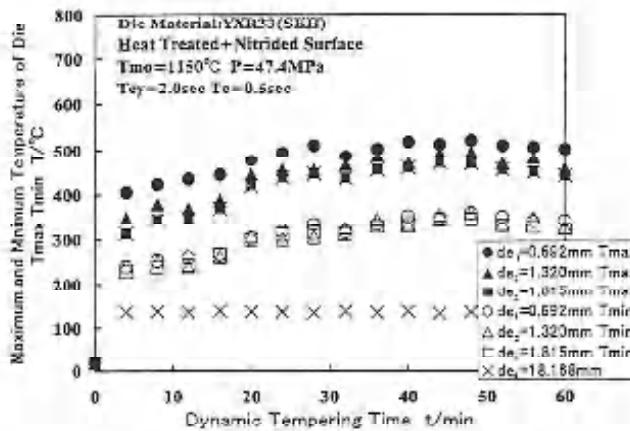
たにも関わらず硬度低下は 2 万サイクル時とあまり変化がないことから熱負荷が弱かったものと推測される。また、左右の分布にばらつきが見られるところがあり、鍛造サイクル中に金型と鍛造材料とがあまり良好ではなかったと考えられ、この傾向が硬度分布に多少なりとも影響を与えたのではと思われる。

### 2.4 烧き戻し軟化実験結果と考察

軟化実験により得られた熱処理および窒化試験片の焼き戻し硬さをそれぞれ図 5 に、本研究室で従来より用いている焼き戻しパラメータ R で整理した母曲線を図 6 に示す。また、図 6 実線および破線はそれぞれ R パラメータを含む YXR33 と SKD61 の軟化式も合わせて載せている。この両図より実測硬度値と軟化式による硬度値との最大誤差は熱処理試験片の場合の一部を除いて約 20HV 以内であり、比較的良好な精度で一致していることが分かる。また、窒化試験片の場合、YXR33 の母曲線は SKD61 のそれを全体的に約 50HV 増



(a) 1 サイクル金型温度



(b) Tmax および Tmin 温度軌跡

図 2 鍛造サイクル中における温度履歴

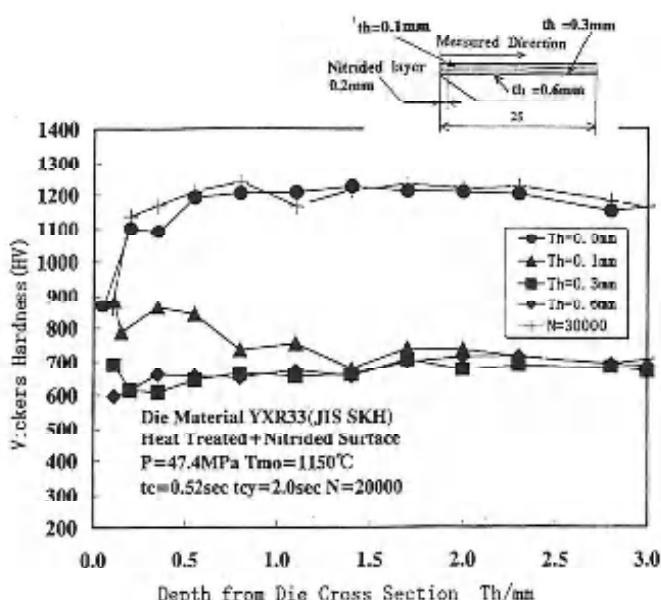
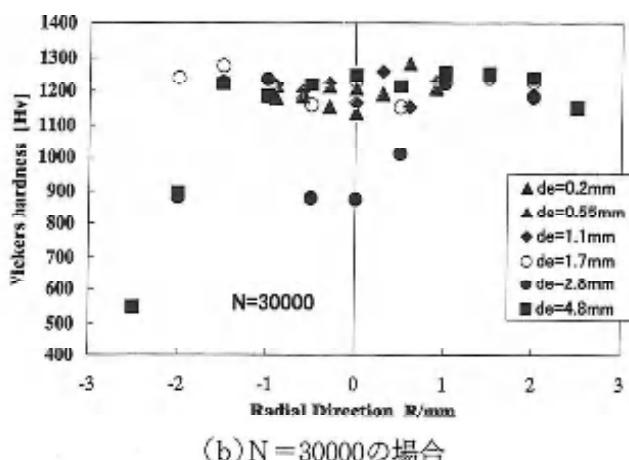
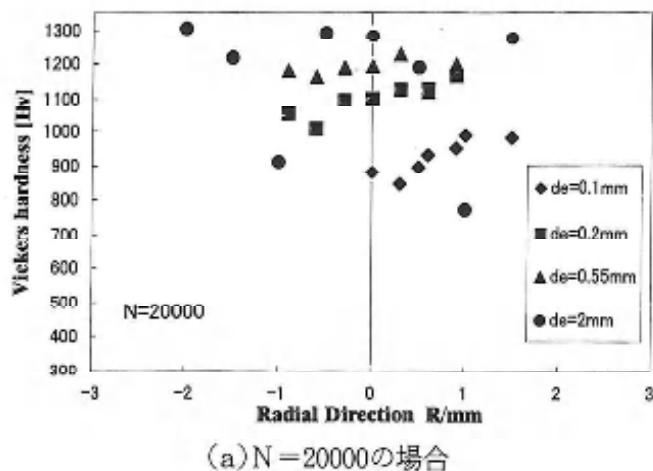
図3 窒化型硬度分布 ( $N=20000$ )

図4 窒化型半径方向硬度分布

加する方向に平行移動した形となっている。このことから工具材の窒化層の初期硬度が分かれれば大体の軟化式を求めることができそうである。

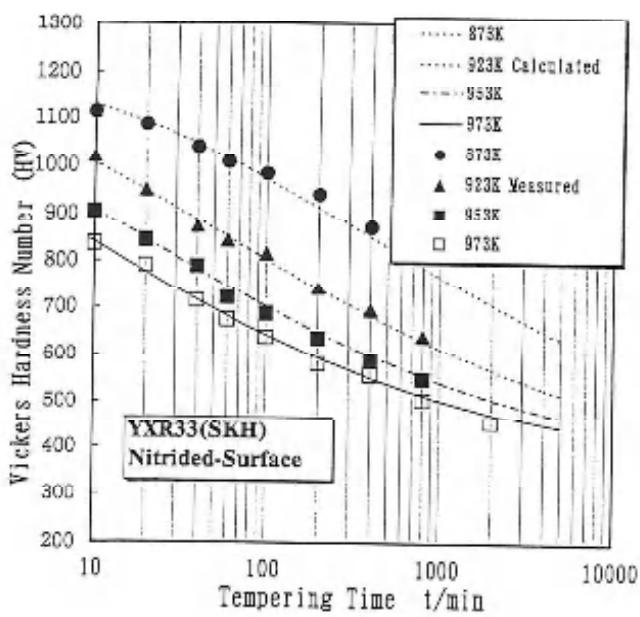
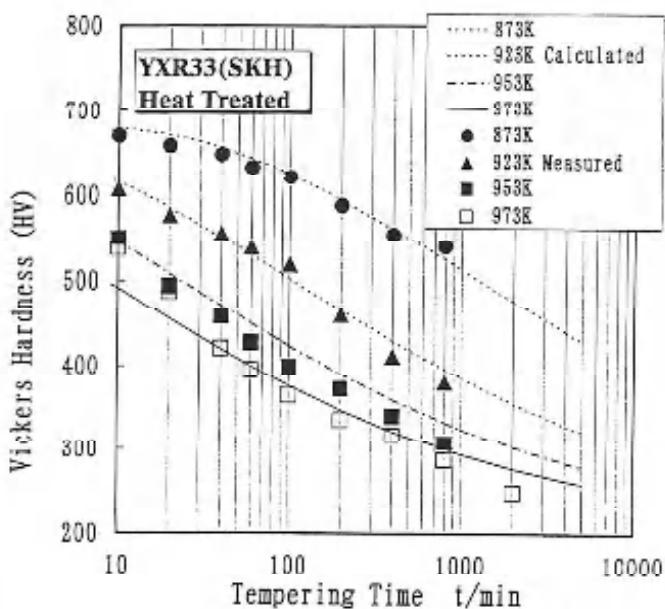
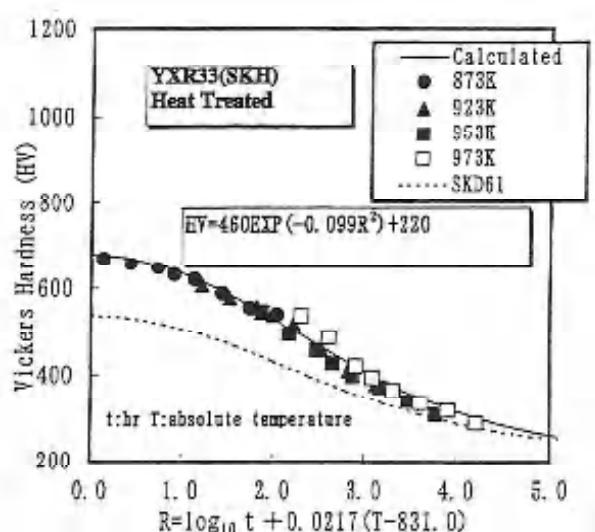
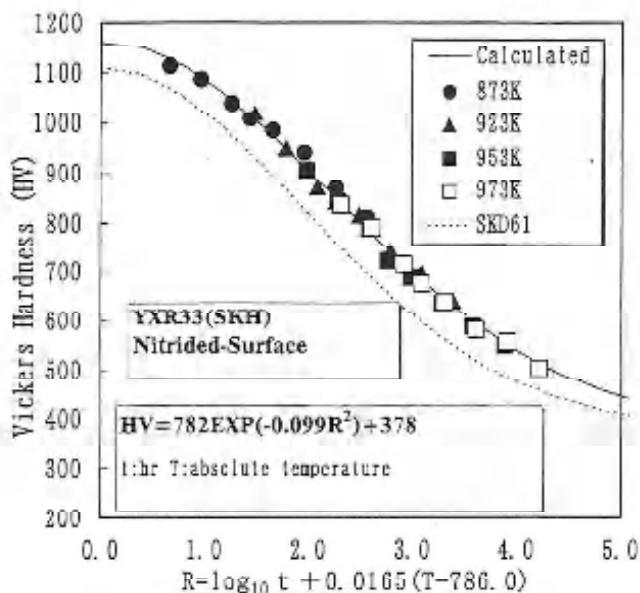


図5 焼き戻し条件と硬さ



(a) 热处理型(焼き入れ+焼き戻し)の場合



(b) 窒化型(热处理+窒化处理)の場合

図6 Rパラメータによる焼き戻し母曲線

### 3. 热解析および变形モデル

型鍛造で型寿命に影響する部位は、接触時間の長くなる熱負荷が大きい型のコーナー部である。特に、コーナー部が摩擦すべり負荷を受ける場合には条件は厳しくなる。勿論、型角は塑性変形しないように設計しなければならない。しかしながら、熱負荷の予測が十分でないと温度上昇と鍛造圧によって鍛造ごとに僅かな塑性変形が重なり大きな塑性変形に至る危険性がある。

最適な型設計をするためには熱負荷による熱軟化の影響を明らかにしなければならない。ここでは、熱負荷によって軟化した型コーナー部の変形抵抗を塑性有限要素法用いて評価し、工具表面構造の最適化を図る手法を検討している。

#### 3. 1 型の熱軟化解析

寿命対象となる型部の典型として図7に示すような後方押し出しポンチのコーナー部を取り上げ、摩擦すべりと圧力（押し潰しの変位）を作成した場合の工具角部が示す塑性変形抵抗特性を典型モデルとして評価してみる。

解析を簡単にするためにおよび塑性変形を評価しやすくするため角部は図10（左図）に示すように面取りで置き換えている。型コーナー部は温度上昇が著しく、そのために型材の変形抵抗が低下する。工具表面には窒化層や被膜層が通常存在しているものとし、被膜厚さや被膜下の型の変形抵抗をどの様な基準で設定すべきかを問題にする。熱解析の結果を図7～図8に示す。熱解析は鍛造サイクルを6つの段階に分けて行っている。すなわち、下型への鍛造材料投入後接触、鍛造中、エジェクト、自然空冷、強制空冷そして準強制空冷である。熱軟化層の厚さは熱負荷によって変化する。図8は、接触時間0.13秒、1サイクル時間3.5秒、型と加工材料との接触熱コンダクタンス： $K_c = 41.7 \text{kW/m}^2\text{K}$ 、強制冷却熱伝達係数： $\alpha_c = 1.5 \text{kW/m}^2\text{K}$ そして冷却時間1.8秒の条件における温度分布を示している。図9(a), (b)は表3に示す条件で解析を行ったときの温度分布である。この温度分布を基にして硬度を評価した結果が図9の硬度分布である。パンチコーナー部の硬度は初期硬度537HVから250HVまで減少しているのが明確に分かる。

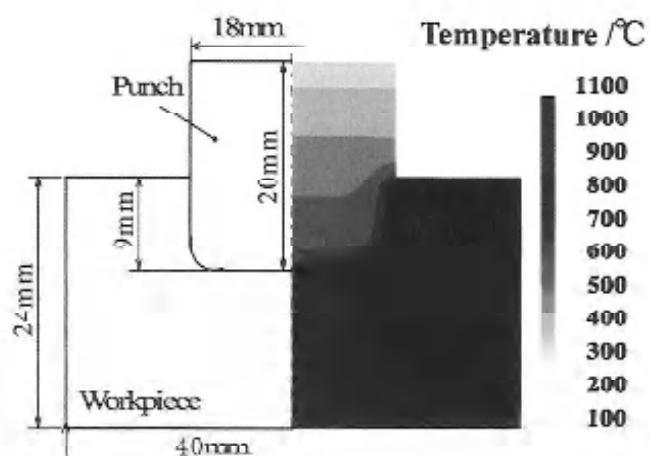


図7 ポンチおよび加工材料の形状と温度分布

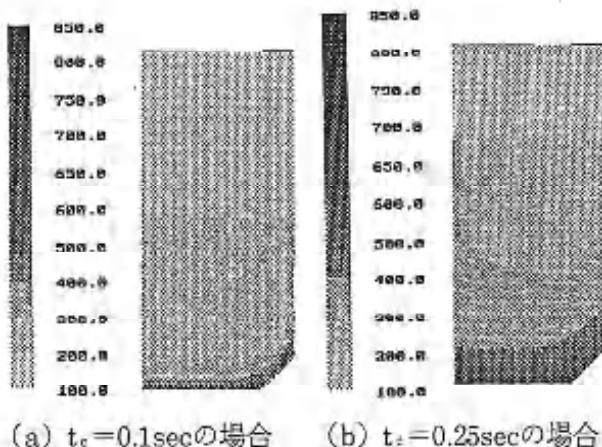


図8 ポンチ温度分布

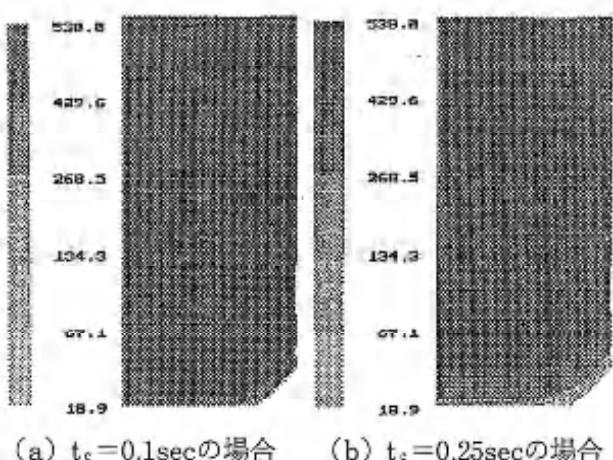


図9 ポンチ硬度分布

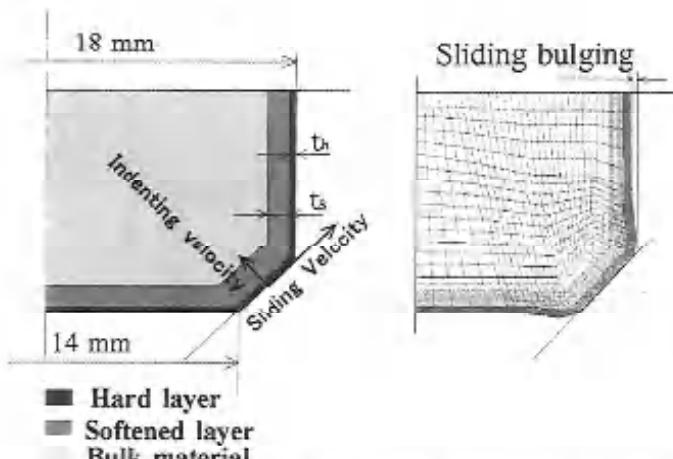


図10 数値シミュレーションモデルとバルジ変形例

### 3. 2 型の変形解析

パンチコーナー部において、温度上昇があると変形抵抗はかなり低下する。そこで、通常は型表面を硬化させるために窒化層もしくは硬質被膜層が施される。型設計過程において、この硬化層の厚さと硬化層下の母材の変形抵抗を決定するための規準を定義することは重要である。以下に述べる解析はこれらの規準を確立するために行うものである。ここでは、図10の左図に示すような3層モデルを考える。

このモデルでは、摂氏100度における型材料(JIS S KD61)母材、熱軟化影響層および硬質被膜層の変形抵抗をそれぞれ $Y$ 、 $aY$ 、 $zY$ とした。摩擦剪断因子、滑り速度および軟化層と硬質層との相対厚さ比:  $\delta = t_s/t_h$ を主な変数として選び解析した。変形抵抗や塑性ひずみ(相当塑性ひずみ)はこれらの変数を変更して計算した。図10に示すように押し込み速度1に対して滑り速度3の比の条件で解析を行った。表4は数値解析に用いた条件表である。

図11～図14は面取り2mm、硬質被膜厚さ0.2mm、熱軟化層の変形抵抗が0.5Yの場合の計算結果を表している。図11は軟化層の相対厚さと最大相当ひずみとの関係を示している。図12は軟化層の相対厚さ比と図10(右図)に定義されているようなバルジ変形との関係を表している。図14は軟化層の相対厚さ比が4の場合の中間層(軟化層と強化層、例えば $a=0.5\sim 1.5$ )と最大相当ひずみとの関係を示している。図15は軟化層の相対厚さと軟化層の変形抵抗との関係を表している。

#### 3. 2. 1 热軟化層厚さの影響

図11に見られるように、最大相当ひずみは $\delta$ の値が1までは摩擦剪断因子:  $m_a$ のいずれの値の場合も変化がないが、それ以上になると $m_a$ が大きくなるほど高くなる。最大相当ひずみのピーク値は $m_a$ が大きくなるほど $\delta$ は小さいところに現れ、 $m_a$ が小さくなるにつれてピーク値は $\delta$ が大きくなる方向に移動していく。図12において、それぞれの $m_a$ に対するバルジ変形は $\delta$ が1までは緩やかに上昇し、1～3に掛けて急激に増加し、3ではほぼ一定となる。図13は硬化層厚さが0.2mm、押し込み速度:  $V_i$ と滑り速度:  $V_s$ を変化させたときの相当ひずみ分布を示している。 $V_i = 1$ 、 $V_s = 3$ で軟化層の厚さが0.13mmの場合には、相当ひずみは硬化層と母材左コーナー領域の間に集中している(図13(a))。硬化層厚さが0.8mm以上になると、最大相当ひずみは明らかに軟化層と母材右コーナー部との境界に見られ、またバルジ変形もパンチコーナー部で大きくなる(図13(b))。 $m_a = 0.5$ 、すなわち摩擦状

態が固着摩擦状態を越えて(例えばサイジングが起きている状態)しかも軟化層の厚さが0.067mmと薄い場合には大きな相当ひずみの層が硬化層に沿って集中している。これは硬化層の剥離を招く可能性がある(図13(c))。滑り速度が無く、押し込み速度のみの場合(図13(d),(e))には、最大相当ひずみははっきりと母材の右と左角部に見られる。

軟化層が薄い(厚さ0.067mm)と最大相当ひずみは

表3 热软化解析条件

Punch Material	SKD61
Forging Material	S45C
Initial Forging Material	1200°C
Temperature	
Punch Base Temperature	100°C
Contact Thermal Conductance : K	9.21, 18.42, 27.6, 36.01, 41.87, (kW/m <sup>2</sup> K)
Heat Transfer Coefficient (Forced Cooling) (kW/m <sup>2</sup> K)	0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0
Room Temperature	30°C
Contact time	0.1, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30sec
Forging Cycle Time	3.5sec

表4 热負荷解析条件

Thickness of Hard Layer /mm	Thickness of Softened Layer /mm	Relative Thickness Softened / Hard
0.2	0.000	0.0
0.2	0.067	0.33
0.2	0.133	0.67
0.2	0.200	1.0
0.2	0.400	2.0
0.2	0.600	3.0
0.2	0.800	4.0

Flow Stress	
Bulk Metal	1Y
Hard Layer	2Y
Softened Layer	0.5Y
Friction Shear Factor : m	0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.5

母材の右および左角部の硬化層と軟化層との間に現れる(図13(d))。軟化層の厚さが0.8mmのとき、最大相当ひずみはパンチコーナー部の硬化層と軟化層の間と母材と軟化層の間に存在する。

一般に最大相当ひずみの位置は硬化層と軟化層の間の領域から母材と軟化層の間のそれへと移動していく傾向にある。

図15によると、パンチ全コーナーに渡って相対変形抵抗は約24%減少している。図11および12から、相当

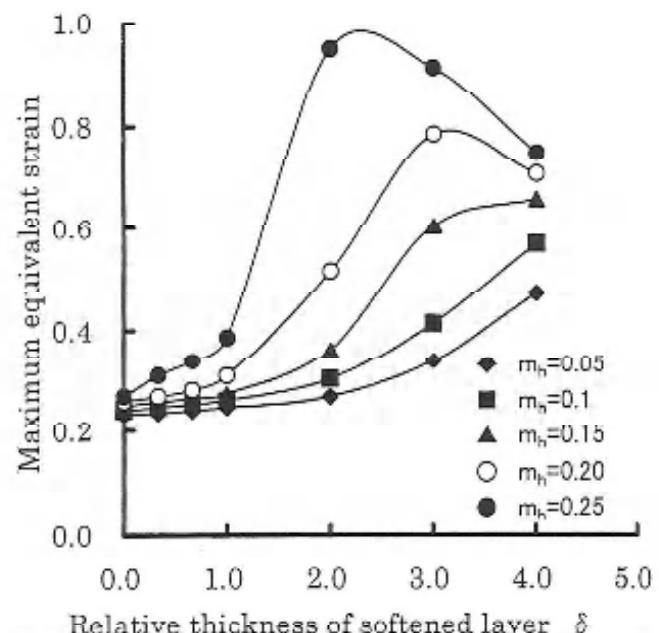


図11 热软化層の厚さが最大相当ひずみに及ぼす影響

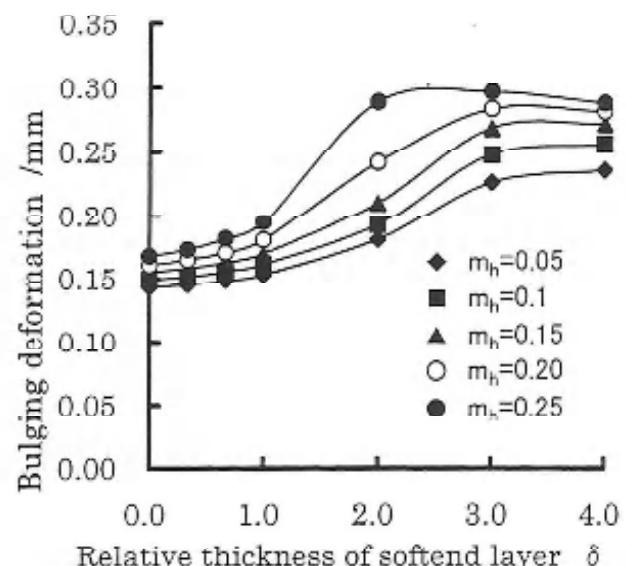


図12 热软化層の厚さがバルジングに及ぼす影響

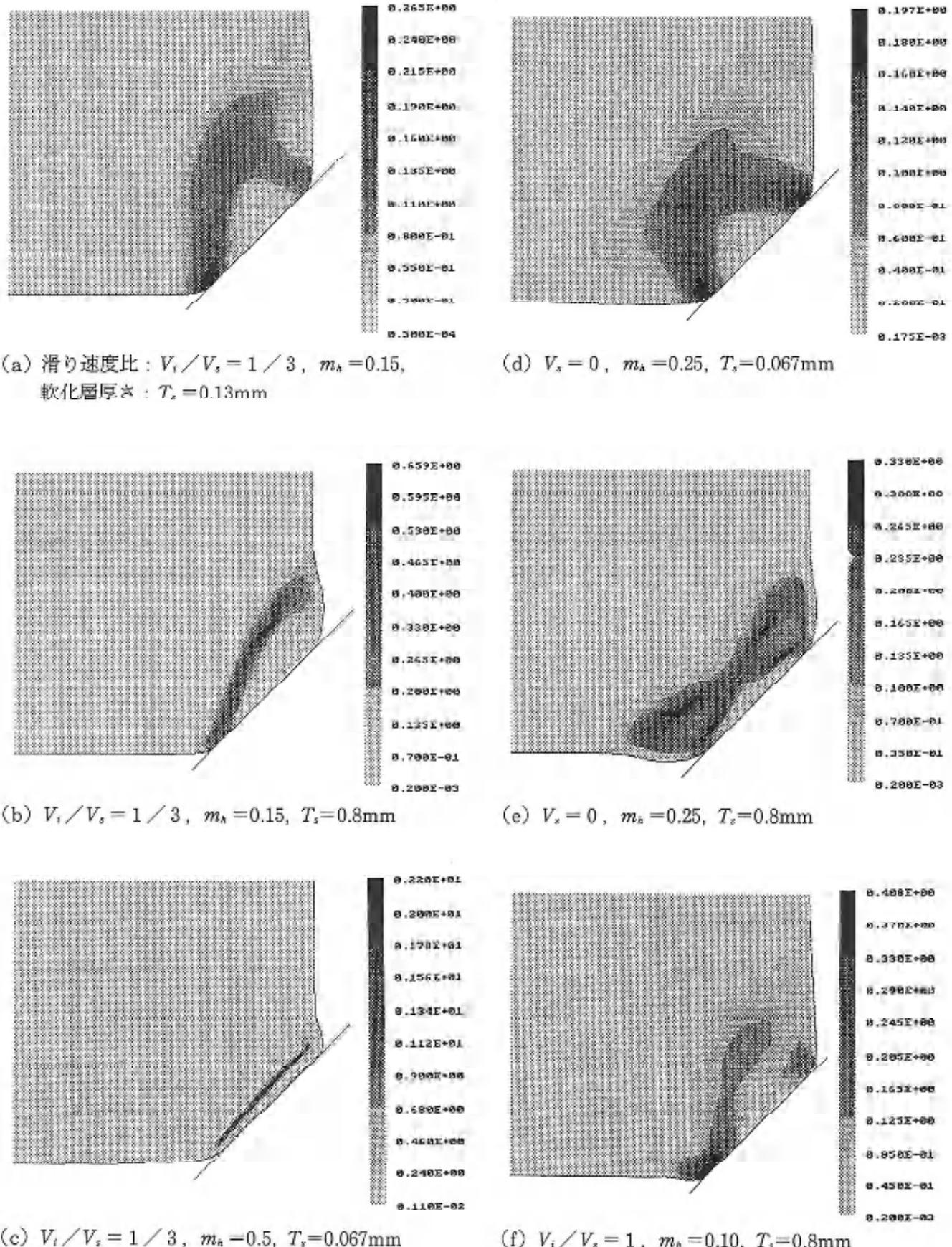


図13 相当塑性ひずみ分布

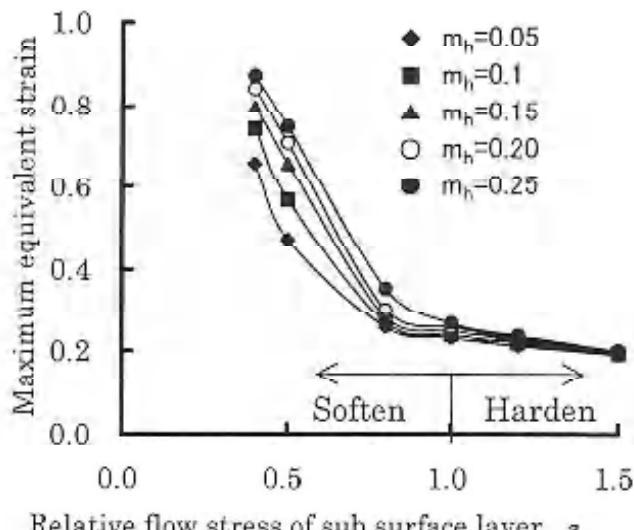


図14 中間層の変形抵抗が最大相当ひずみに及ぼす影響分布

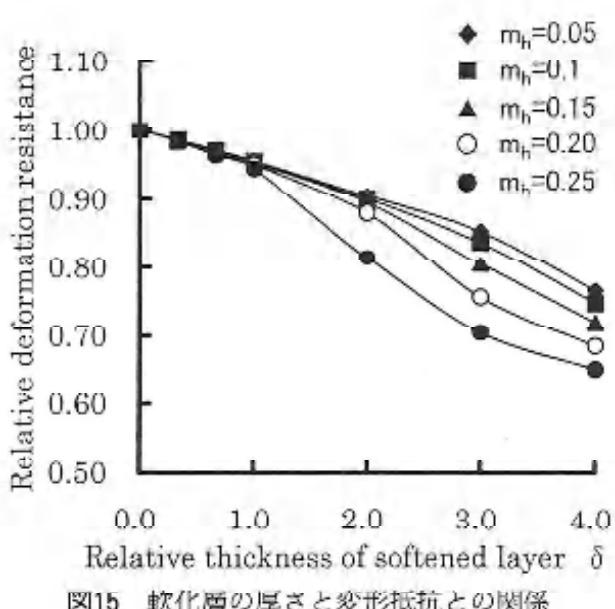


図15 軟化層の厚さと変形抵抗との関係

ひずみやバルジ変形は軟化層の相対厚さが臨界値である。この値が1～2となるとかなり増加することが明白である。

### 3. 2. 2 滑り摩擦の影響

摩擦剪断応力  $\tau_f$  は被加工材料の剪断降伏応力  $k_f$  に対応して用いられる。図11～15において、型表面の硬質層の剪断降伏応力  $k_f$  に対して摩擦剪断係数  $m_f$  をパラメータとして採用されている。実際の摩擦剪断応力  $\tau_f$  は被加工材の剪断降伏応力  $k_f$  に対して考えるべきであるので硬質被膜の摩擦剪断係数  $m_f$  は、  $m_f < m_f / 4$  として対応させる。ここでは、  $m_f$  が0.25以下の場

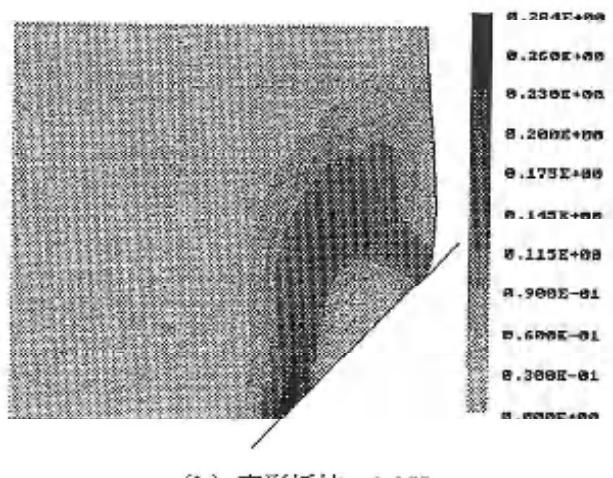
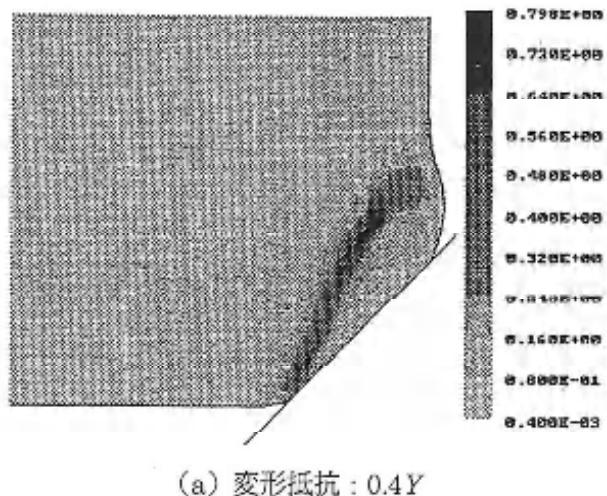


図16 中間軟化層とひずみ分布との関係

合の結果が示されている。

軟化層の影響が顕著に現れる臨界値  $\delta_{cr}$  は、摩擦が大きいほど小さくなる。したがって、摩擦が大きいほど熱負荷を小さく押さえる必要がある。

### 3. 2. 3 強化された軟化層(中間層)の影響

今まで述べた結果は、軟化層の変形抵抗を0.5Y ( $a=0.5$ )とした場合に限られた。実際の型製造においては、軟化した領域はレーザーアロイング法を含む様々な手法を利用して硬化させられる。変形抵抗は  $a$  の値が0.8より小さいときに急激に上昇している。

## 4. 結 言

モデル鍛造試験、静的焼き戻し軟化試験および鍛造中の型の塑性変形抵抗や塑性変形等をFE解析により求めた結果より以下のようないくつかの結論が得られた。

- (1) 溫・熱間鍛造用合金工具鋼の代表格であるSKD 61材のときと同様にYXR33(マトリックス高速度工具鋼)の場合にも同一条件の熱負荷を型に与えた場合には窒化型の方が熱処理型よりも表面の劣化および熱軟化の度合いが小さく、また後者の方が鍛造サイクル中の温度上昇が低いことが分かった。
- (2) 热処理のみとそれに窒化処理を施した場合の焼き戻し軟化を従来より用いている焼き戻しパラメータRを含む以下の式でそれぞれ表示することができた。  

$$HV = 460 \exp[-0.099R^2] + 220 \text{ (HV)}$$

ここで、 $R = \log_{10} t + 0.0217(T - 831.0)$   
 (熱処理のみ)

$$HV = 782 \exp[-0.099R^2] + 378 \text{ (HV)}$$

ここで、 $R = \log_{10} t + 0.0165(T - 786.0)$   
 (窒化層部有り)
- (3) 型表面を塑性変形から守るためにには、硬質被膜層下に生じる熱軟化層厚さを硬質被膜層と同じ程度にすることが必要である。
- (4) 型表層から1mm程度の熱影響層が発達する場合には、その範囲の熱軟化層の抵抗が母材変形抵抗の80%程度の軟化に押さえることが大事である。
- (5) 滑りが大きくなる速度条件では、摩擦剪断応力による影響が特に見られるので、材料各部での潤滑条件をよくするか、または被膜の厚さを大きくする必要がある。

### 謝 辞

本研究におけるモデル鍛造試験および焼き戻し軟化実験等においては機械工学科富安哲也、藤野慈孝、有吉猛、大淵晃裕諸氏に実験関係を、また熊本大学工学部知能生産システム工学科の園井健彦氏には各種FE

解析関連を御協力して頂きました。記して厚く謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 南・済木他：温・热間鍛造における型の热的接触・冷却条件の評価法、塑性と加工、30-336(1989), 51-56, 1989.1.
- 2) 南・済木他：温・热間鍛造における热的接触問題と金型の热負荷、鍛造技報、14-39, 1-18, 1989-10.
- 3) 南・済木他：热間鍛造型の热負荷シミュレーションの効率化、日本机械学会地方講演論文集, No.968-2, 58-60, 1996.7.
- 4) 南・済木他：表面窒化処理を施した温・热間鍛造金型の热負荷解析、第46回塑性加工連合講演会, 249-250, 1995.9.
- 5) 南・済木他：表面窒化処理を施した热間鍛造金型の热軟化予測、塑性加工春季講演会, 210-211, 1996.5.
- 6) A.MINAMI, H.SAIKI, Effect of Surface Hardening by Nitriding on Thermal Softening and Deterioration of dies in Warm and Hot Forging, Proceeding of the 5th International Conference on Technology of Plasticity, vol. 1, 389-392, 1996. 10.
- 7) 南：温・热間鍛造用金型の热軟化に関する研究、有明工業高等専門学校紀要第31号(1995), 107-111.
- 8) 南・済木他：表面窒化処理を施した热間鍛造用マトリックス高速度工具鋼の热軟化予測、第50回塑性加工連合講演会, 111-112, 1999. 10

# 連続昇温FT-IRによるビウレット架橋 ポリウレタンゴムの熱劣化の追跡\*

吉武 紀道・古川睦久\*\*

〈平成12年9月29日受理〉

Study of the Thermal Degradation of the Biuret-crosslinked Polyurethane Elastomer by FT-IR with Linear Temperature Programmed Pyrolysis

Norimichi YOSHITAKE and Mutsuhisa FURUKAWA

Biuret cross-linked polyurethane Elastomer (PUE) was prepared from poly (oxytetramethylene) glycol ( $M_n=2000$ ), 2, 4-tolylene diisocyanate(TDI), and 4, 4'-methylene bis o-chloroaniline (MOCA).

This PUE was heated continuously from room temperature to 400°C at heating rate of 7~10°C /min. FT-IR spectra at each temperature were measured. The thermal degradation process was studied by analysis of FT-IR spectra.

The results led to the conclusion that the thermal degradation occurred through the following stages.

A. Thermal degradation of PUE upto 280°C.

1. The hydrogen bonding between NH of urethane bonding and ether bonding of softsegment was cleaved.
2. The biuret bonding as a cross-linkage dissociates to urea and isocyanate.
3. The urethane and urea bondings in main chains dissociate to diol, amine and isocyanate.

B. Thermal degradation of PUE at near 340°C

4. Urethane bonding of a main chain was decarboxylated with carbon dioxide.
5. Moiety of the polymer glycols components which preproduced on step 3 and/or 4 were thermal-decomposed.

C. Thermal degradation of PUE over 380°C

6. Polymer glycols were significantly thermal-decomposed.

## 1. 緒言

ポリウレタンの熱分解、または熱劣化についての研究は熱分解ガスクロマトグラフィー (PyGC, PyGC-MS, PyGC-FTIR), 直接熱分解マススペクトロメトリー (DP-MS), 热分析 (DTA, DSC, TG), フーリエ変換赤外分光光度法 (FT-IR) 等<sup>1~10</sup>を用いて行われ、その報文は少なくはない。最近は <sup>15</sup>N, <sup>13</sup>C-CP/MAS NMR (Cross Polarization/Magic Angle Spinning NMR) による研究も見受けられる<sup>11</sup>。

FT-IRによるポリウレタンの研究は水素結合や、熱劣化に関する研究は多いが、熱処理温度が300°C以上での測定は極めてまれである。N.Grassie<sup>12</sup>は最高500°Cの測定を行っているが、連続昇温加熱測定における測定ではない。K.Herzog<sup>13</sup>はポリエステル系ウレタンの熱分解をFT-IRにより追跡し分解反応はジイソシアナートとポリエステルジオールの熱解離に始まりカルボジイミド、二酸化炭素の生成と続き300°C~400°Cではカルボジイミドとポリエステルジオールの熱分解が生じると報告している。又D.O.Hummel等<sup>14</sup>は昇温加熱過程における熱分解研究法をLTP法 (Linear Temperature Program) と規定し、LTP-Py-MS, LTP-Py-FTIR等によりいくつかのポリマーについて熱分解過程の詳細な検討を行い本法の有効性

\*「ポリウレタンの熱分解に関する研究 第17報」とする。  
\*\*長崎大学工学部材料工学科高次構造材料科学研究室教授  
(852-8521 長崎市文教町1-14)

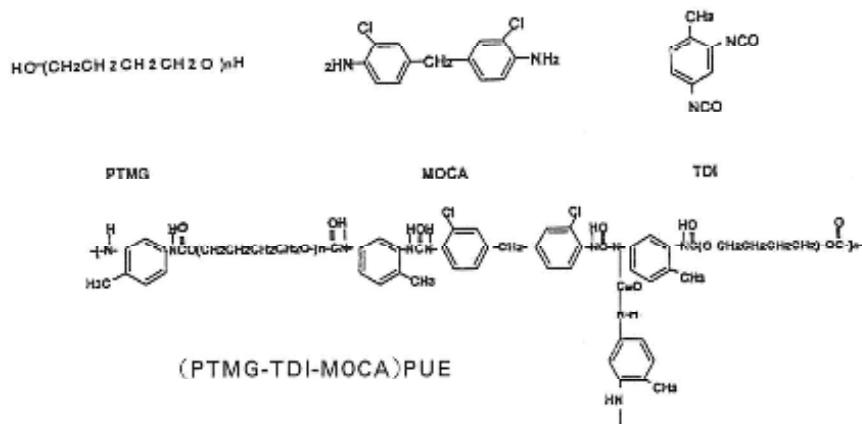
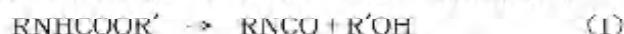


Fig.1 Structure of Raw Materials and Polyurethane used

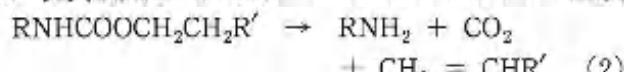
を強調している。

ウレタン熱分解については A.W.Hoffmann が芳香族ウレタンは 170~180°C でイソシアナートとアルコールに熱解離することを認めて以来、向山、Deyer 等その他の研究により次の反応機構が知られている<sup>2~4)</sup>。

### 1. イソシアナートとアルコールへの熱解離反応



### 2. 脱炭酸反応による第一アミンとオレフィンの生成



### 3. 脱炭酸反応による第二アミンの生成



等である。

ポリウレタンは、架橋点を形成するアロハナート結合あるいは、ピウレット結合、主鎖を形成するウレタン、ウレア結合、芳香核、メチレン鎖、エーテル結合、ニステル結合のほかに、カルボジイミド、イソシアナートの二量体、(ウレチジンジオン環)、三量体(イソシアヌレート)等を含むものと考えられ複雑な化学構造を有している。

本論文では一定昇温速度で室温より 400°C まで連続加熱にともないピウレット架橋ポリエーテル系ウレタンエラストマー(PUE)が、熱劣化さらに熱分解していく過程を透過法による加熱セルを装備したFT-IRによって追跡し、そのメカニズムを検討した。

なお本ポリエーテル系ウレタン試料においてはアロハナート結合とイソシアナート基の反応によるアロハナート結合の生成も考えられるが、反応速度論的に考えてウレア結合部でピウレット結合で架橋すると考え、アロハナート結合の生成については考慮していない。

## 2. 実験

### 2. 1 試料

ポリウレタン試料には、ピウレット架橋のポリ(オキシテトラメチレン)グリコール(PTMIG2000)-2, 4-トリレンジイソシアナート(TDI)-4, 4'-メチレンビス-o-クロロアニリン(MOCA)系PURを用いた。このPUEをやすりで細かく削り、筛にかけて粒の大きさをそろえ KBr と混合し、プレスした後、加熱セルに装着し FT-IR 測定に供した。Fig.1 に原料及び用いたPUEの構造を示す。

### 2. 2 測定

ニコレー社製 FT-IR710 型に、試料を装着した加熱セルをセットして測定した。加熱セルはスペクトラテック社製、温度調節器はオムロン型 E5T プログラム電子温度調節器(立石電機 KK 製)を用いた。昇温速度は平均約 7~10°C/min であった。分解能は 4 cm<sup>-1</sup>、スキャン回数は 32 回とし、16 回スキャンの時の温度を記録した。なお理学電機(株)製、熱分析装置(TAS-400)による重量熱分析測定も行った。昇温速度は 20 °C/min とした。

## 3. 結果

### 3. 1 热分析の結果

Fig.2 に DTA-TG-DTG 曲線を示す。DTA では 200°C 付近にハードセグメントの軟化点と考えられる吸熱ピークが、380°C 付近に三つに別れた吸熱ピーク、TG 及び DTG から 250°C 付近より熱重量減少が開始し、その間 380°C と 420°C 付近の二つのピーク(熱重量変化率が最大になる温度)が現れ、二段階で熱重量減少が生じることがわかる。

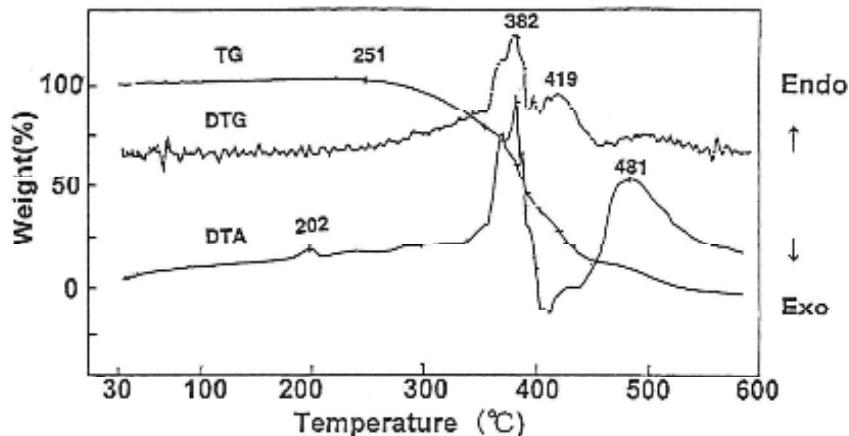


Fig.2 DTA-TG-DTG Curves of PTMG-TDI-MOCA PUE

Table 1 Assignments of FT-IR for Polyurethanes  
Band Location( $\text{cm}^{-1}$ )

Compounds or Group	Observed value	Literature value	Assignment
1) Aliphatic 1 2	1730	1761 ~ 1721 (1760 ~ 1710)	$\nu\text{-C=O}$
	1577	1721 ~ 1685 (1705 ~ 1653)	$\nu\text{-C=O}$
2) Burst 1 2	1591	1720 ~ 1680 (1720 ~ 1690)	$\nu\text{-C=O}$
	1582	1708 ~ 1653	$\nu\text{-C=O}$
3) Urethane 1	3400 ~ 3200 (3355 ~ 3300)	3400 ~ 3200(3460)	$\nu\text{-NH(HB)}$ $\nu\text{-NH(NH-Carbonyl)}$
	3300	3310 ~ 3280	$\nu\text{-NH(HH-Ether)}$
	3430	3500 ~ 3400(3460)	$\nu\text{-NH(Free)}$
	1690	1600 ~ 1500	$\delta\text{-NH}$
	1738 ~ 1700 1740 ~ 1700 1710	1720 ~ 1710	$\nu\text{-C=O}$ $\nu\text{-C=O}$ $\nu\text{-C=O}$
4) Urethane 2	1640	1670 ~ 1630(1640 ~ 1610)	$\nu\text{-C=O}$
5) Urea	1100	1100	$\nu\text{-C-O-C}$
6) Ether	1100	1100	$\nu\text{-C-O-C}$
7) Benzene ring	1500	1600	Benzene Ring
	1517	1500	Benzene Ring
8) Uretidinone		1783 ~ 1770	$\nu\text{-C=O}$
9) Isocyanurate		1708 ~ 1770	$\nu\text{-C=O}$
10) Isocyanate	2277	2270 ~ 2240	$\nu\text{-NCO}$
11) Carbodiimide		2120	$\nu\text{-N=C=N}$

### 3. 2 連続加熱FT-IR測定による熱劣化の追跡

室温でのPUEのスペクトルの主な吸収ピークの位置と帰属を、各結合のピーク位置の文献値<sup>21) 22)</sup>とともにTable 1に示す。

#### 3. 2. 1 NHの伸縮振動領域( $\nu\text{NH}$ )

Fig.3に3800~2600 $\text{cm}^{-1}$ 領域のスペクトルの温度変化を示す。室温で3300 $\text{cm}^{-1}$ 前後に見られる水素結合したNH基の伸縮振動( $\nu\text{NH}$ )に帰属されるプロードな吸収は、昇温にともない、徐々にその強度を減少

し、又このピーク位置を高波数側へ移していく。この吸収は240°C位から3430 $\text{cm}^{-1}$ 付近に移動し、水素結合が切れていくことを示している。又この $\nu\text{NH}$ の吸収は280°Cではほぼ消滅した。これはウレタン結合がほぼ280°Cで熱分解していると考えられる。

#### 3. 2. 2 C=Oの伸縮振動領域( $\nu\text{C=O}$ )

Fig.4に1800~1680 $\text{cm}^{-1}$ 領域のスペクトルを示す。1740 $\text{cm}^{-1}$ から1640 $\text{cm}^{-1}$ の吸収はウレタン、ビウレッ

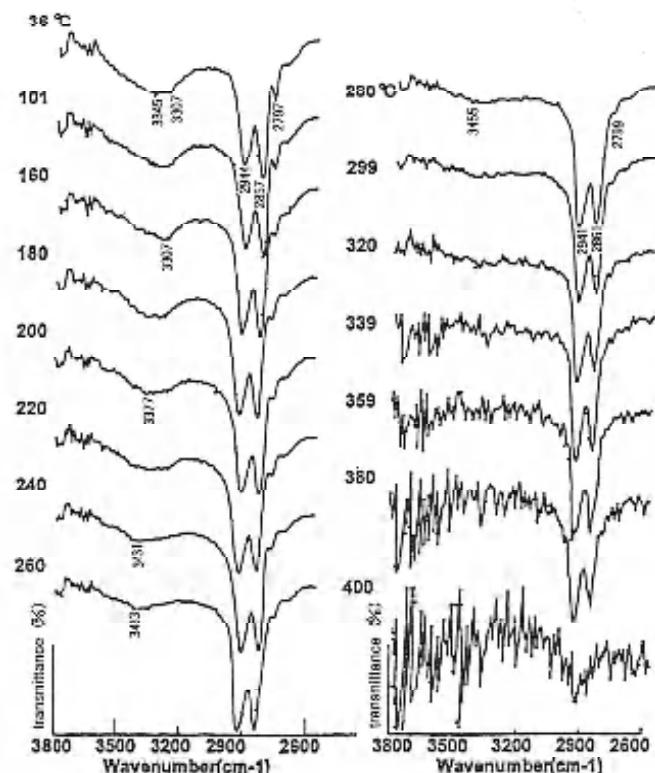


Fig.3 Temperature Dependence of FT-IR Spectra of PTMG-TDI-MOCA PUE (3800~2600 $\text{cm}^{-1}$  region)

ト、ウレア等の $\nu C=O$ に帰属される。1740 cm<sup>-1</sup>付近のピークは水素結合していないウレタン基の、1710 cm<sup>-1</sup>付近のピークは水素結合したウレタン結合の $\nu C=O$ に帰属された。1691, 1662 cm<sup>-1</sup>付近のピークはそれぞれピウレット結合の第1, 第2ピークの $\nu C=O$ に、1640 cm<sup>-1</sup>付近のピークは尿素の $\nu C=O$ に帰属された。

水素結合したウレタンの $\nu C=O$ の1730 cm<sup>-1</sup>と1710 cm<sup>-1</sup>のピークは加熱と共に徐々に減少しやや低波数に移行しながら、260°Cで不明確となり、280°C付近ではほぼ消滅した。

一方1740 cm<sup>-1</sup>付近の水素結合していないウレタン結合の $\nu C=O$ は299°C迄は最大ピークを保ち、あいともなって認められていた1730, 1710 cm<sup>-1</sup>ピークは昇温と共に消滅し、ほぼ1本のピークと見なされるにいたった。このピークは320°Cでは1735 cm<sup>-1</sup>へとやや低波数側にシフトし、そのピーク強度は1725 cm<sup>-1</sup>のピーク強度より小さくなかった。

ピウレット結合の $\nu C=O$ と見なされる1691, 1662 cm<sup>-1</sup>等のピーク強度は、温度と共に減少の傾向を示した。1640 cm<sup>-1</sup>付近のウレア結合の $\nu C=O$ のピーク強度は220°C付近から減少し始め260°Cで消滅した。

ベンゼン環に基づく1600 cm<sup>-1</sup>付近の吸収はその強度を、次第に減少していきピークはプロードとなり

280°Cまでは低波数へ移行し1594 cm<sup>-1</sup>付近のピークと成了。しかし299°Cでは1605 cm<sup>-1</sup>に移行した。

1783 cm<sup>-1</sup>の吸収は、ケトンあるいは過酸化物による $\nu C=O$ と考えられるが、240°Cから減少し始め280°C, 300°Cで消滅した。300°C以上ではやや低波数側で320°Cより1773 cm<sup>-1</sup>ピークが増大した。

339°C以上でスペクトルは全体の姿を変えた。熱分析の結果から熱重量減少がさかんに進み熱分解が激しく起こっていると考えられる。DTGにおいて380°Cは変化率の最大の温度に相当し、低分子の熱分解ガスが発生しているものと考えられた。ピークは1773, 1750, 1735, 1719, 1702, 1685, 1655, 1621 cm<sup>-1</sup>等に現れ、400°Cでは1773, 1750, 1700, 1652 cm<sup>-1</sup>のピークの増大が顕著であった。1750 cm<sup>-1</sup>のピークは熱劣化、熱分解にともない増大してきた $\alpha$ -ケトニステル(CO-COO-CH<sub>2</sub>)に基づく吸収と考えられた。

### 3. 2. 3 NHの変角振動領域( $\delta NH$ )とC-O-Cの伸縮振動領域( $\nu C-O-C$ )

Fig.5に1600~1000 cm<sup>-1</sup>領域のスペクトルを示す。1550~1500 cm<sup>-1</sup>領域において36°Cでは1546, 1530 cm<sup>-1</sup>, 1517 cm<sup>-1</sup>付近にピークあるいはショルダーみられる。前者の二つのピークは $\delta NH$ に帰属され

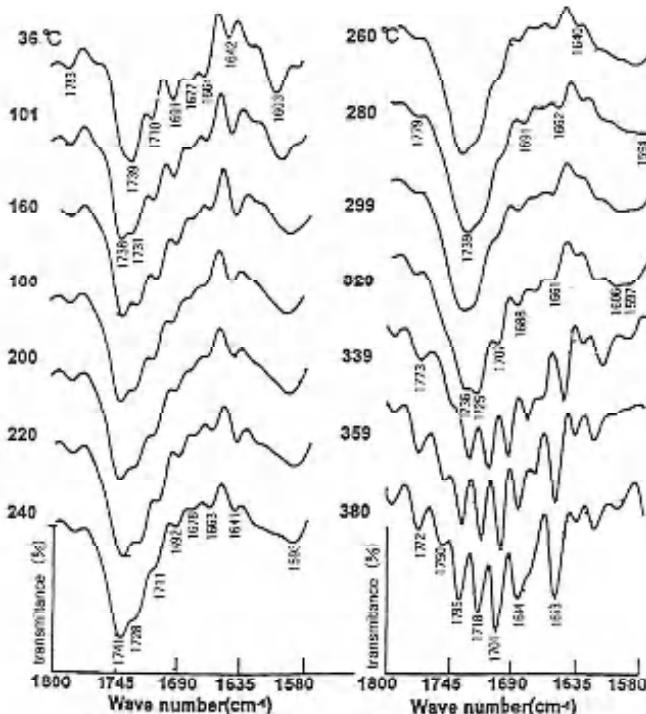


Fig.4 Temperature Dependence of FT-IR Spectra of PTMG-TDI-MOCA PUE (1800~1580 cm<sup>-1</sup> region)

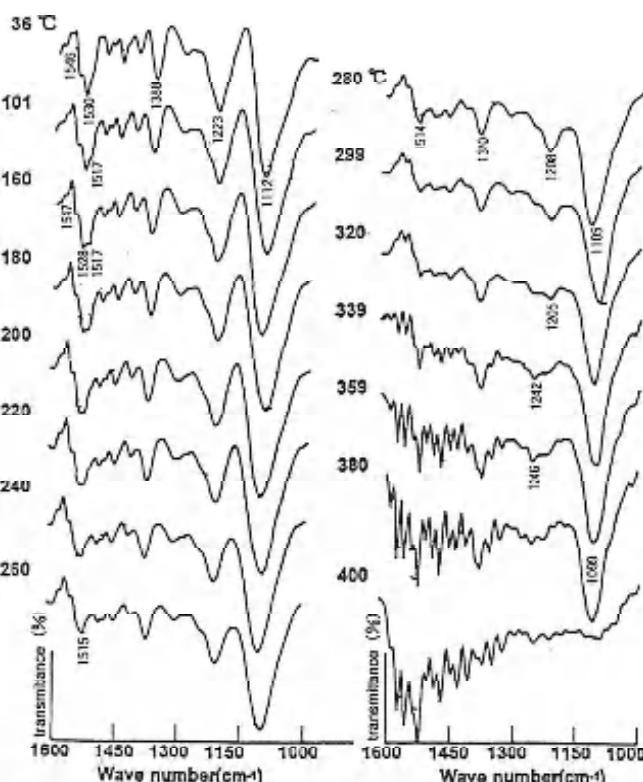


Fig.5 Temperature Dependence of FT-IR Spectra of PTMG-TDI-MOCA PUE (1600~1000 cm<sup>-1</sup> region)

$1517\text{ cm}^{-1}$  の吸収はベンゼン核に基づくと考えられる。 $\delta\text{NH}$  は $\nu\text{NH}$  とほぼ同様の減少を示したが、 $\nu\text{NH}$  ほど明確な変化ではなかった。

200°Cで $1517\text{ cm}^{-1}$  のピーク強度は $\delta\text{NH}$  のそれを越え、 $\delta\text{NH}$  のピーク強度は温度の上昇と共に減少し、280°Cではベンゼン環の $1517\text{ cm}^{-1}$  のピークが主体となった。しかし更に温度を上げるとこのピークも減少していく。339°Cでは $1509\text{ cm}^{-1}$  に新たなピークが生じるとともに、先に述べたようにこの温度以上でスペクトル全体として姿を変化する。ポリマークリコール部のエーテル結合に帰属される $1110\text{ cm}^{-1}$  付近の $\nu\text{C-O-C}$  は380°Cまで鋭く現れていたが400°Cで消滅した。380°C以上で急激に熱分解し、低分子のガスとなっているものと考えられ、この変化はDTGにおける重量減少変化率の最大ピークに対応する。この変化はFig.3に見られるように $2940, 2860\text{ cm}^{-1}$  付近の $\nu\text{CH}$  の吸収が400°Cでの消滅にも対応している。これらの結果より300°C以上ではポリマークリコール部の結合が熱分解し一酸化炭素や二酸化炭素、低分子量の炭化水素等の小さな分子へ熱分解していくことが示唆される。

### 3. 2. 4 N=C=O の伸縮振動領域 ( $\nu\text{N=C=O}$ )

Fig.6に $2300\sim2200\text{ cm}^{-1}$  領域のスペクトルを示す。 $2270\text{ cm}^{-1}$  付近の $\nu\text{N-C=O}$  の吸収は180°Cからわずかに認められ、その強度は220°Cで最大に達し320°Cで消滅した。

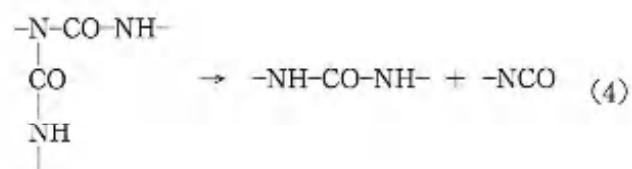
この吸収の強度は全体的には僅かであった。ウレタ

ン結合は一部ポリマークリコール部のOHとTDI部のNCOに解離しているものと考えられるが、生じたNCOがより高温(320°C)で消えることは二量体、三量体へ変化するか、NCOが僅かであるために雰囲気の空気、水分でウレア結合、アミン結合などへ変化することが考えられる。また高温では、熱解離は増加することなく脱炭酸反応へ移行していくためではないかと考えられる。

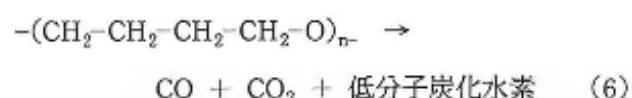
## 4. 考 察

以上の吸収スペクトルの温度変化よりPTMG-TDI-MOCA系ポリウレタンエラストマーの熱劣化、熱分解は次のように考えられる。ハードセグメントの軟化点と考えられるDTAにおけるピーク温度の200~220°Cでは赤外吸収スペクトルに大きな変化を認めなかつたが、280, 340, 400°Cにおいて明確な変化が認められた。すなわち $\nu\text{NH}$  や $\delta\text{NH}$  の吸収が280°Cで消滅することによりこの温度付近でウレタン結合が熱分解することがわかる。

ウレタン結合の $\nu\text{C=O}$  にともなう微少ピークが消えた温度からピクレット結合やウレア結合などが280°C前後で熱解離するものと考えられた。



340°C以降で、ウレタンの $\nu\text{C=O}$  が消えることより2.3式に示したように脱炭酸反応による熱分解が起こっていることが考えられた。また $\nu\text{CH}$  が減少していくことによりポリマークリコールの熱分解も進んでいることが推察された。(6)式に示す。



380~400°Cで $\nu\text{C-O-C}$  の消失により、ポリマークリコール部が激しく熱分解するものと考えられる。

$\nu\text{N=C=O}$  が観察されたことより、(1)式に示したように熱解離反応も幾分生じていることがわかる。

ウレタン結合は一部ポリマークリコールとTDIのNCOに解離していると考えられるが、生じたNCOがより高温で消滅することは三量体(イソシヌレート環)が生成するか((7)式)、NCOがわずかであるために雰囲気の水分でアミン結合などに変化したためと

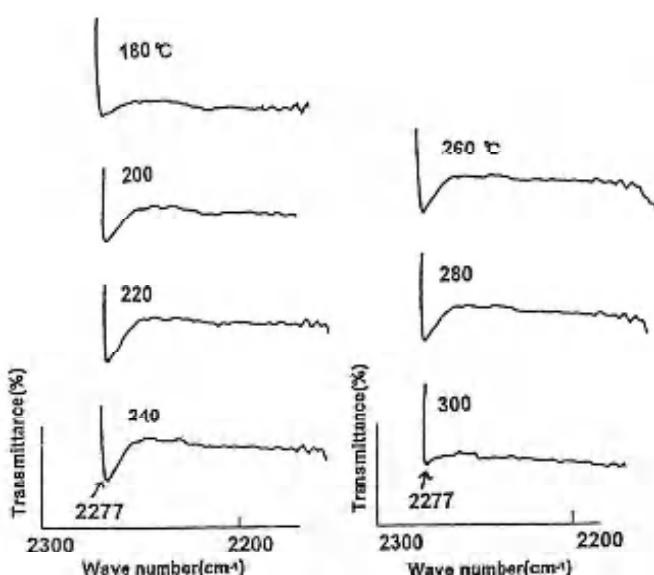
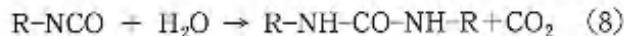
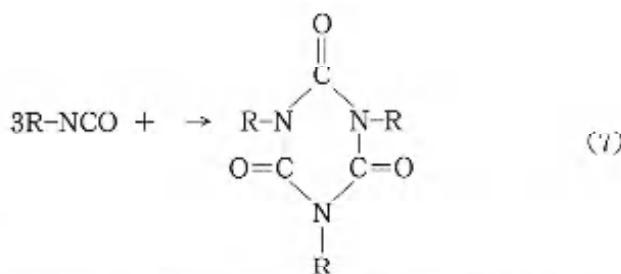


Fig.6 Temperature Dependence of FT-IR Spectra of PTMG-TDI-MOCA PUE ( $2300\sim2200\text{ cm}^{-1}$  region)

考える ((8)式).



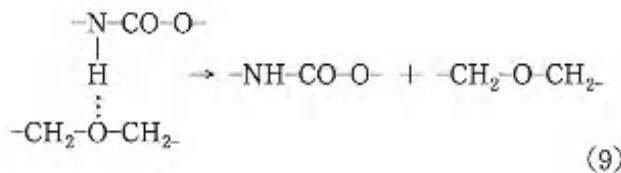
より高温では、熱解離は増加することなく、脱炭酸反応に移行していくことが示唆される。

## 5. 結 論

以上の結果と考察より、本実験に用いたポリウレタンゴム試料では、おおよそ次のように温度により多段階の熱劣化、熱分解が進むものと結論される。

A. 280°Cまでに

1. ウレタンーウレタン、ウレタンーウレアの水素結合の切断に加えてポリマークリコールのエーテル結合とウレタン結合のNHとの間の水素結合の切断。



2. 架橋点のピウレット結合の熱解離

3. 主鎖のウレタン、ウレア結合の熱解離

B. 340°Cにおける熱分解

4. 主鎖のウレタン結合の脱炭酸反応による熱分解
5. 3, 4より生じたポリマークリコール部の熱分解

C. 380°C以上における熱分解

6. ポリマークリコール部の急速な激しい熱分解等の段階を経て熱分解していく。

## 参 考 文 献

- 1) T. Tanaka, T. Yokoyama and Y. Yamaguchi, *J. Polym. Sci. A-1*, 6 p 2137(1968)
- 2) W. J. Macknight and M. Yang, *J. Polymer Sci. Symposium* 42, p 817(1973)
- 3) N. Grassie and M. Zulfiqar, *J. Polym. Sci., Chem. Ed.*, 16 p 1563(1978)
- 4) N. Grassie and M. Zulfiqar, M. I. Guy, *J. Polym. Sci., Chem. Ed.*, 18 p 265(1980)
- 5) C. D. Eisenbach, W. Gronski *Makromol. Chem. Rapid Commu.*, 4 p 77(1983)
- 6) N. Grassie and G. A. Perdomo Mendoza, *Polym. Deg. and Stab* 09 p 155(1984)
- 7) N. Grassie and G. A. Perdomo Mendoza, *Polym. Deg. and Stab* 10 p 43(1985)
- 8) N. Grassie and G. A. Perdomo Mendoza, *Polym. Deg. and Stab* 10 p 267(1985)
- 9) N. Grassie and G. A. Perdomo Mendoza, *Polym. Deg. and Stab* 11 p 145(1985)
- 10) N. Grassie and G. A. Perdomo Mendoza, *Polym. Deg. and Stab* 11 p 359(1985)
- 11) Harthcock, M. A., *Polymer*, 30, p 1234(1989)
- 12) K. Herzog, *Makromol. Chem., Macromol Symp.* 52 p 207(1991)
- 13) D. O. Hummel, U. Neuhoff, A. Bretz, H-J Dussel, *Makromol. Chem.*, 194, p 1b4b(1993).
- 14) D. Joel, A. Hauser, *Angew. Makromol. Chem.* 217, p 191(1994).
- 15) N. Reynolds, H. W. Spiess, H. Hayen, H. Nefzger, C. D. Eisenbach, *Makromol. Chem. Phys.*, 195, p 2855(1994).
- 16) W. Tang, W. J. MacKnight, and S. L. Hsu, *Macromolecules*, 28, p 4284(1995)
- 17) C. D. Eisenbach and, T. Heinemann, *Macromolecules*, 28, p 4815(1995)
- 18) S. Hirose, K. Kobashigawa, Y. Izuta, and H. Hatakeyama, *Polym. Int.* 47 p 247(1998)
- 19) M. Ravey, E. D. Weil, I. Keider, E. M. Pearce, *J. Appl. Polym. Sci.*, 68, p 231(1998).
- 20) D. W. Duff and G. E. Macie, *Macromolecules*, 24 p 651(1991)
- 21) D. O. Hummel, S. Gottgen, U. Neuhoff and H. J. Dussel, *J. Anal. and Appl. Pyrolysis*, 33 p 195(1995)
- 22) A. W. Hofmann; *Ber.* 3, p 657(1870)
- 23) 向山: *有機合成化学* 16, p 55(1958).
- 24) J. H. Saunders and K. C. Frisch, "Polyurethanes Chemistry and Technology", Part1, p. 106, Wiley-Interscience, New York(1962)
- 25) D. J. David, H. B. Staley, *High Polymers Vol. XVI Analytical Chemistry of the Polyurethanes Part 3*, p 100, 102, 103, 171, 259 Interscience(1969)
- 26) 村橋, 井本, 谷 *合成高分子V*, p 309 朝倉書店(1971)

## Scoring Methods of a Cloze Test as Pedagogical Testing

Noriko ABE

(Received 28 August, 2000)

### 1. INTRODUCTION

The term "test" is more influential than anything else in Japanese classrooms, where students' marks largely depend on written tests rather than performance in everyday class. This is partly because in large classes of over 40 students it is difficult for teachers to assess each student during class activities. Students' biggest interest is to get good marks in the written test and to know what is asked there.

Teachers make various test questions such as of vocabulary, grammar, pronunciation, reading comprehension, composition, for daily classes, mid-term and term-end exams. These tests are usually achievement tests to see if learning has or has not taken place. Spolsky (1995) calls this "pedagogical testing" (p.7). There are some other purposes for teachers. From Owen et al.'s list (1997 p.4) I would like to choose (a) to rank students in a class or school, (d) to motivate students to work harder, (m) to exercise control over students. Spolsky (1995 p.7) admits other uses of tests, saying, "Even in the classroom, a test may be used with the alternative or additional purpose of motivating or punishing or classifying or grading a student."

A test has an effect called backwash on learning and teaching. About the backwash of a written test in Japanese classrooms, some Japanese researchers have negative views. Wakabayashi & Negishi (1993) criticise tests in Japanese classrooms, pointing out teachers' inadequate knowledge and skill resulting from the teacher education system, and conclude that the defective test questions they make have produced a lot of dropouts from English classrooms. Another example of harmful backwash of testing can be found in Masakiyo (1985). He asked several Japanese teachers to make blanks in the passage to make comprehension tests and as a result found out most of them delete only function words such as conjunctions, relative pronouns and prepositions. He insists this leads to students' attitude to reading. They analyse the passage linguistically instead of trying to grasp the content of the passage. He suggests more frequent use of a cloze test in which various aspects of language skills are tested.

In this paper, I would like to focus on a cloze test and its two different types of scoring—exact word scoring and semantically acceptable scoring (SEMAC). I will finally discuss what the results show and which method is better for Japanese students.

### 2. A CLOZE TEST AND ITS SCORING METHODS

A cloze test consists of a text from which every  $n^{\text{th}}$  word has been deleted and the task is to replace the deleted words. It was first introduced by Taylor (1953) as a measure of testing reading comprehension and came to be used widely as a measure of overall language proficiency. Several researchers took a similar view on the validity<sup>1</sup> of this test (see Bormuth, 1962; Brown

<sup>1</sup> (in testing) the degree to which a test measures what it is supposed to measure, or can be used successfully for the purposes for which it is intended (Richards et al. 1992 p.396).

1979; Engineer, 1977; and Oller, 1979). However, in recent years there has been renewal of interest in the validity of a cloze test. Along with its advantages to make it popular such as a high correlation with other types of tests, easiness to construct and score, some disadvantages have been pointed out. Alderson (1979) and Klein-Braley (1981) criticised the test from the viewpoint of both validity and technique and suggested other alternatives should be sought.

Let me see some examples of the alternatives. One of them is "C-test" developed by Klein-Braley and Raatz (1984). In the "C-test" testees are given several short texts in which the second half of every second word is deleted. In "Cloze elide" testees are required to elide unnecessary words in the text. In "Modified cloze," several choices to choose from are given instead of blanks.

I would like to consider for a moment how we can use the cloze test efficiently in classrooms where teachers usually give students a "pedagogical test" rather than a proficiency test. The material for reading comprehension is usually the passage the students have studied in class. In order to make preparation for the cloze test, Wakabayashi & Negishi (1993 p.109) say, the students will memorise every word in the text and it will have another harmful backwash effect. As an alternative, they introduce a method to make a cloze test in the summary text of the original passage. In this way the students will be encouraged to comprehend the passage as a whole.

I will now return to the subject of variations of a cloze test. Another variation in the cloze test concerns the scoring method. Brown (1994) explains, "Scoring can vary from requiring the testee to supply the exact word that was deleted to supplying an acceptable word which makes sense in the context of the passage" (p.263). Each of these methods has an advantage and a disadvantage. Exact word scoring is easier to score but disadvantageous to the testees in that synonyms of correct answers are not accepted. SEMAC can be felt to be fairer, though it is sometimes difficult to decide on the acceptable answers. Concerning this problem Klein-Braley & Raatz (1984) summarise as follows:

there are major problems with scoring since scorers are very much less than unanimous about the acceptability of individual solutions offered in acceptable scoring procedures, while the use of exact scoring produces extremely difficult and therefore very frustrating tests (p.135).

Brown (1994 p.263) suggests the latter is often more psychologically reassuring for the testee, an especially important consideration in classroom uses of cloze tests. Wakabayashi & Negishi (1993) also argue for SEMAC for the classroom, where it is too difficult for teachers to explain and persuade students why the synonyms for the correct answers are rejected. They suggest the use of a modified cloze instead to avoid the trouble of scoring. Alderson (1978) also regards the semantically acceptable scoring procedure as being superior to any other.

Considering the examples quoted above, it might be said that a lot of scholars agree on the superiority of SEMAC. However Owen et al. (1997) insist we should deal with this issue in terms of the correlation<sup>2</sup> for the two methods. They say:

When a set of cloze answers is scored both ways—exact and SEMAC—the two sets of scores almost always correlate above .90 and usually above .95. When the correlation between scores on two tests is this high, it suggests that the two tests

<sup>2</sup> a measure of the strength of the relationship between two sets of data. A common coefficient of correlation used is known as *Pearson Product Moment Coefficient* symbolised by  $r$ . Its value varies from  $-1.00$  to  $+1.00$ , with the value of zero indicating the absence of any correlation and either a minus or plus one indicating perfect correspondence of scores. For example if students received quite similar scores on two tests their scores would have a high positive correlation (Richards et al. 1992 p.89).

are measuring the same thing. In the present case the very high correlations suggest that the two scoring systems are giving us the same information, are measuring the same quality. If this is the case, one of them is just as good as the other, implying that since we have a free choice as to which to use, we should take the one that requires less effort - exact scoring (p.30).

Owen et al's argument makes sense. A lot of teachers will wonder why busy teachers should waste extra time and labour in marking students' papers when they have an easier scoring method which gives them the same results.

Here I would like to raise two questions: (a) Is it true that there is a very high correlation for exact word scoring and SEMAC? (b) If so, does that leave no room for further discussion of the choice of the scoring method? In order to discover the evidence of the two questions above, I conducted an experiment in a Japanese classroom. In creating a cloze test, I paid careful attention to Hughes' following advice (1989 p.70).

- (a) The chosen passage should be at a level of difficulty and style appropriate to the testees.
- (b) The passage should be tried out on a good number of comparable native speakers and the range of acceptable responses determined.
- (c) It should be made clear what is to be regarded as a word (with examples of *isn't* etc., where appropriate).
- (d) Testees should be given several opportunities to become familiar with the technique.

### 3. EXPERIMENT

#### 3.1 The testees

The testees are 30 technical college students and their major is material science and engineering. They are all Japanese and 20 years old. They have studied English for seven years, but their interest and time in learning English is limited and this year they have only one English class (50 minutes) a week.

#### 3.2 The passage (see APPENDIX A (a))

The passage is of 226 words, taken from "Gateway to Reading" (1992 Chart Institute Tokyo) edited for Japanese lower grade high school students. I chose this passage because the story is general and the testees need no special background to understand the content. This story is a joke with a clear punchline and easy to follow. The level of vocabulary and the style is also appropriate for the testees.

In the text every 7<sup>th</sup> word is deleted with three sentences uninterrupted and there are 25 blanks. With a seventh word deletion rate, there are enough blanks in this short story to assess the testees' proficiency. Whereas statistical requirements may necessitate having as many as 50 blanks, the needs of the classroom are more modest and 25 blanks will be sufficient.

For further interest, I categorised the deleted words into two groups - functional words which construct the sentences and lexical words which are closely related to the story development. There are 12 functional words and 13 lexical words. The functional words are "was," "I," "me," "he," "of," "on," "just," "and," "to" and the lexical words are "left," "kitchen," "drink," "wonderful," "eggs," "cold," "said," "orange," "join," "able," "doormat," "no," "living."

### 3.3 Procedure

Because the students had never taken a cloze test before, I gave them two trial tests using shorter passages (see APPENDIX A (h)(r)) so that they would get familiar with the system. In these passages, every 8<sup>th</sup> word was deleted in order to make them a little easier to follow. These pretests were useful in helping them understand that any type of word, including articles and contracted forms like "couldn't" "haven't" can be deleted except proper nouns and numbers. At first they were at a loss how they can find the answer and it took some time before they got used to it.

After the main test, it was scored in the two ways—the exact word method and SEMAC. For semantically acceptable alternatives (APPENDIX B), I asked three native English teachers for advice.

Finally, Microsoft Excel was used to calculate the correlation coefficient for the marks scored by the two methods.

## 4. RESULTS AND ANALYSIS

Table 1 shows the individual student's score which is arranged according to the score rank. In addition to the total score, scores of the two groups of functional words and lexical words are shown. In the SEMAC part, the number "-1" means that one of the answers which is rejected in exact word scoring is accepted as an alternative in SEMAC and his/her total score is increased.

Table 1 Individual Student's Score by the Two Methods

Student	Exact Word Scoring			SEMAC		
	Functional Words (12)	Lexical Words (13)	Total (25)	Functional	Lexical	Total (25)
A	8	4	12	+1		13
B	9	3	12	+1		13
C	7	4	11	+2		13
D	9	2	11	+2		13
E	8	2	10	+2		12
F	6	4	10	+1		11
G	8	2	10	+1		11
H	5	4	9			9
I	5	4	9	+1		10
J	5	4	9	+2		11
K	7	2	9	+1		10
L	5	3	8	+1		9
M	4	4	8	+1		9
N	5	3	8	+1		9
O	6	2	8	+2		10
P	6	2	8	+2		10
Q	4	3	7	+2		9
R	4	3	7	+2		9
S	5	2	7			7
T	4	3	7	+1		8
U	5	2	7			7
V	5	2	7	+1		8
W	5	1	6	+1		7
X	3	2	5	+2		7
Y	4	1	5	+1		6
Z	1	3	4	+1		5
a	2	2	4			4
b	3	1	4	+1		5
c	3	1	4			4
d	3	0	3	+2		5
	$\bar{x}=5.1$	$\bar{x}=2.5$	$\bar{x}=7.6$		$\bar{x}=1.2$	$\bar{x}=8.8$

From Table 1, we can see two things. One is that there is no dramatic change of ranks in either scoring method. Those students who got good marks in exact word scoring again got good marks in SEMAC. The alternatives they answered were very few and there is no difference between the top group and the low group: between 0 and 2. The other thing is that most of the students got more correct answers in functional words than in lexical words. The range of the marks between the top group and the low group is larger in functional words (1–9) than in lexical words (1–4).

Table 2 Descriptive Statistics

	Exact Word Scoring	SEMAC
Cases	30	30
Mean	7.733	8.800
S. D.	2.484	2.709
Minimum	3.000	4.000
Maximum	12.000	13.000

Table 2 shows that the mean, the maximum and the minimum were all very low, which means that this test was too difficult for the testees.

Table 3 Pearson Product Moment Correlation Coefficient

	Exact Word Scoring	SEMAC
Exact Word Scoring	1.000	0.9675
SEMAC	0.9675	1.000

Pearson Product Moment Correlation Coefficient by the Two Methods:  $r = 0.9675$ . In Table 3 the figure proves clearly that there is a very high correlation between the marks scored by the two different methods. I was able to confirm Owen et al.'s (1997) claim that the two sets of scores correlate at the extremely high figure of 0.9675.

## 5. JAPANESE STUDENTS AND TESTING

As confirmed in the preceding section, the correlation coefficient was very high between the two methods and whichever scoring method we adopted, there was no big change of rank among the testees. This brings us to the second question: does this mean teachers should always adopt the exact scoring so that they can save labour and time to mark students' paper?

In order to answer this question, let me examine Table 1 again. The marks are generally low and especially in the blanks for lexical words the result was surprisingly poor. I will now examine carefully why they were this unsuccessful.

Firstly, I would like to emphasise a harmful backwash of the type of test they have taken so far. Since in the reading comprehension tests, they have been asked mainly about functional words, they try to analyse the text in terms of sentence structures.

Take Blank 24 as an example. The correct answer is "no," and this sentence is an important punchline of the funny story. However 25 students out of 30 answered articles of "a", "an" or "the" for this blank. This phenomenon shows that they depended on their grammatical knowledge to find the answer without understanding the development of the story.

In this sense, a cloze test, in which every  $n^{\text{th}}$  word is deleted, can be an effective device to reform a traditional style of reading comprehension tests in Japan. Hughes (1989 p.1) says, "Back wash can be harmful or beneficial. If a test is regarded as important, then preparation for it can come to dominate all teaching and learning activities." The tests often regarded as most important in Japan are entrance exams for universities. If cloze type tests become more popular in entrance exams, both teachers and students will be less interested in analysing the text linguistically and place more emphasis on how to comprehend the text as a whole.

The next problem we should not overlook is the lack of communication strategies on the testees' part. In Blank 10, the right answer is "wonderful." Even if they cannot say "a wonderful meal" or "a delicious meal", I am sure "a good meal" is within their reach. One of the students said he did not know the English word for "oishii" (delicious) so he could not fill in anything. His comment reveals the students are not used to expressing something with their own words and they do not know how they should deal with the problems of insufficient vocabulary. Richards et al. (1992) explain communication strategy in the following way:

Communication strategy is a way used to express a meaning in a second or foreign language, by a learner who has a limited command of the language. In trying to communicate, a learner may have to make up for a lack of knowledge of grammar or vocabulary. For example the learner may not be able to say *It's against law to park here* and so he/she may say *This place, cannot park*. For *handkerchiefs* a learner could say *a cloth for my nose*, and for *apartment complex* the learner could say *building* (p.64).

I think when students are given various occasions to experience successful communication with these strategies, they will not give up and keep silent but learn to express themselves making the most of the words and expressions they already have. It will be useful to expose them to creative activities in class where they are supposed to tell a true story or explain something to the rest of the class. In these activities, the "right or wrong" judgement will not encourage positive attitude to communication.

Therefore the point I would like to make is that there is a very high correlation for exact word scoring and SEMAC and that in spite of the high correlation I recommend to use SEMAC in classrooms for the motivation of the students and their future progress in learning English.

## 6. CONCLUSION

In this paper I focused on a cloze test and its two scoring methods—exact word scoring and semantically acceptable scoring method (SEMAC). Considering the inadequacy of teacher knowledge in testing in Japan, I also discussed how a cloze test and the appropriate scoring method can contribute to English education in Japan.

First, reviewing the characteristics and advantages and disadvantages of the test, I introduced some of its variations. Next I focused on the two scoring methods and their

correlation. I found out that some researcher argue for SEMAC while there is an argument for the exact word scoring on the grounds of the high correlation for the two methods. In order to confirm the correlation for these methods. I designed a 25-gap cloze test to carry out an experiment in a Japanese classroom.

In the procedure, following the pretests to make them familiar with the test, I gave 30 testees a main cloze test. After I marked the papers according to both methods, I used Excel to calculate the correlation coefficient for them. As a result, a very high correlation of 0.9675 was calculated and the claim above was fully confirmed.

In the next chapter I expanded the discussion to the second question: a high correlation always justify the adoption of exact word scoring by teachers? I do not share this view. This is because I noticed by further analysis students' poorer performance in the lexical words of the text. One possible cause is an effect of the tests in the past, in which their grammatical knowledge is usually tested. This effect can be called a harmful backwash. I pointed out the possibility of beneficial backwash on teaching and learning a wider use of a cloze test can cause in Japan.

As another possible cause of the testees' unsatisfying performance, I took up the problem of communication strategies to enable them to make up for their inadequate language skills. I insisted SEMAC, where not only correct words but also alternatives are accepted, should motivate students to communicate positively.

It is important to bear in mind that one of the important purposes of a "pedagogical test" is to motivate students to work harder. It should be concluded from what has been said above that in the case of classroom use, SEMAC is a more encouraging and useful scoring method than exact word scoring.

## APPENDIX A

(a) An old friend from abroad was going to stay at my house. He telephoned from the airport to tell me that he had arrived. I was still at the office at the time, but I had made arrangements for his arrival. After explaining where my new flat ( 1 ), I told him that I had ( 2 ) the key under the doormat. Because ( 3 ) was probably going to be late, ( 4 ) advised him to go into the ( 5 ) and help himself to food and ( 6 ).

Two hours later my friend telephoned ( 7 ) from the flat. At the moment, ( 8 ) said, he was listening to some ( 9 ) my records after having had a ( 10 ) meal. He had found a pan ( 11 ) the gas stove and fried two ( 12 ) and had helped himself to some ( 13 ) chicken from the refrigerator. Now, he ( 14 ), he was drinking a glass of ( 15 ) juice and he hoped I would ( 16 ) him. When I asked him if ( 17 ) had reached the flat without difficulty, ( 18 ) answered that he had not been ( 19 ) to find the key under the ( 20 ). but fortunately the living room window ( 21 ) by the apple tree was open ( 22 ) he had climbed in. I listened ( 23 ) all this in surprise. There is ( 24 ) apple tree in front of my ( 25 ) room, but there is one in front of my neighbour's!

(b) One day, when a barber was busily ( 1 ) a man's hair, a handsome young stranger ( 2 ) in. He had a small boy with ( 3 ). They sat down together and waited until ( 4 ) barber had finished. Then the young man ( 5 ) the barber to shave him and to ( 6 ) the small boy's hair.

(c) There were a lot of men's clubs in London a few years ago. Men went there and read their newspapers quietly, or drank or had meals with their friends.

All of these men's clubs had ( 1 ) lot of very good servants. At ( 2 ) club one of the servants was ( 3 ) doorman. Mr. Grace was the doorman of ( 4 ) of these clubs. He was fifty-five ( 5 ) old, and he had grey hair ( 6 ) a big moustache. The telephone ( 7 ) in his office at six o'clock ( 8 ) the evening, and a woman spoke ( 9 ) him. She said, "Are you the ( 10 ) of the George Club?"

"Yes, I ( 11 )," Mr. Grace answered.

"Please give my husband ( 12 ) message," the woman said.

"Your husband isn't ( 13 ) the club this evening," Mr. Grace answered.

"( 14 ) I haven't told you his name!" ( 15 ) woman said angrily.

"That isn't necessary," Mr. Grace answered. "No husband is ever at the club."

## APPENDIX B

Blank No.	Exact Answers	Acceptable Answers
1	was	-----
2	left	put
3	I	-----
4	I	-----
5	kitchen	pantry/flat/apartment
6	drink	-----
7	me	-----
8	he	-----
9	of	-----
10	wonderful	good/delicious
11	on	-----
12	eggs	sausages/toasts/waffles/tomatoes
13	cold	fried
14	said	-----
15	orange	apple/grapefruit/banana
16	join	see/meet
17	he	-----
18	he	-----
19	able	-----
20	doormat	-----
21	just	right
22	and	-----
23	to	-----
24	no	-----
25	living	-----

## References

- Alderson, J. C (1978) *A study of the cloze procedure with native and non-native speakers of English*. Ph. D. thesis, University of Edinburgh.
- Alderson, J. C. (1979) The cloze procedure and proficiency in English as a foreign language. *TESOL Quarterly* 13, 219-26.
- Brown, H. D. (1994) *Principles of Language Learning and Teaching*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Regents.
- Brown, J. D. (1979) A correlational study of four methods for scoring cloze tests. Paper presented at the 1977 TESOL Convention, Boston.
- Engineer, W. D. (1977) *An investigation of a reading model for English as a second language*. Ph. D. thesis, University of Edinburgh.
- Hughes, A. (1989) *Testing for Language Teachers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Klein-Braley, C. (1981) *Empirical investigations of cloze tests: an examination of the validity of cloze tests as tests of general language proficiency in English for German university students*. Duisburg, Doctoral Dissertation.
- Klein-Braley, C. & Raatz, U. (1984) 'A survey of research on the C-test.' *Language Testing* 1:134-146
- Masakiyo,T. (1985) *Eigo Jugyo no Gengo Katsudo*. Tokyo: Sanseido.
- Oller, J.W. (1979) *Language Tests at Schools*. London: Longman.
- Owen, C. with Rees, J. and Wisener, S. (1997) *Testing*. Birmingham:the University of Birmingham.
- Richards, J. & Platt, J & Platt, H. (1992) *Dictionary of Language Teaching & Applied Linguistics*. Harlow: Longman.
- Spolsky, B. (1995) *Measured Words*. Oxford: Oxford University Press.
- Taylor,W.L. (1953) 'Cloze procedure: a new tool for measuring readability' *Journalism Quarterly*, 30: 415-33.
- Wakabayashi, S. and Negishi, M. (1993) *Musashin na Tesuto ga Ochikobore wo Teukuru*. Tokyo: Taishukan.



## Some Observations on Phrasal Verbs in Defoe's *A Journal of the Plague Year*

Kazuho MURATA

(Received 29 September, 2000)

### 1. Introduction

In his stimulating study of phrasal verbs, Hiltunen (1994: 129) comments as follows: "[the phrasal verb] is now part and parcel of the English language, but its importance has not always been adequately recognized." And he compares phrasal verbs in the Early Modern English section (1500-1710) of the *Helsinki Corpus of English Texts* with those in the *London-Oslo/Bergen Corpus* of present-day written British English, to describe the usage of the phrasal verb in the early modern period. In this comparison, he makes several experimental attempts. That is, among a variety of adverb particles as components of phrasal verbs, he confines his discussions to seven particles as "typical in the sense that they belong to the most productive elements forming phrasal verbs in contemporary English" (129): "up," "out," "away," "down," "off," "back," and "forth."<sup>1</sup> Next, by listing their frequencies of occurrences with verbs, he shows us the differences and similarities in phrasal verbs from both corpora. Further, from the point of view of lexis and style, he examines the distributions of the examples in eight text types in the *Helsinki Corpus*.<sup>2</sup> Thus, Hiltunen's approach gives us hints on how to treat phrasal verbs from the historical perspective. Therefore, on the basis of Hiltunen (1994) I shall investigate phrasal verbs in the prose works by Defoe, which, as reflecting eighteenth century English, seem to contain both the prevalent usage of this period and his idiosyncratic usage. The aim of the present paper is to elucidate how the phrasal verbs in *A Journal of the Plague Year* (1722) [PY], as a preliminary step, are used.<sup>3</sup>

Here I would like to make the term "phrasal verb" more specific. The construction consisting of a verb plus a particle has been described variously, but Quirk et al. (1985: 16.2) classify this kind of verbs into the following three types: phrasal verbs, prepositional verbs, and phrasal prepositional verbs. In using the term "phrasal verb" Hiltunen entirely depends on them. In this respect, I call the combination of a verb and an adverb particle a "phrasal verb" in this paper. However, there remains one complicated problem. As for the phrasal verbs, Quirk et al. (1985: 16.2-3) refer to idiomatic or cohesive combinations as a single unit, and distinguish them from "free combinations in which the verb and the adverb have distinct meanings on the other." In short, there can be two contrastive types in verb-adverb particle combinations: "put off" (= postpone) [PHRASAL VERB] vs "sit down" [FREE COMBINATION]. As Quirk et al. (1985: 16.11) admit that the distinction between idiomatic and nonidiomatic status is "gradient rather than clear-cut," however, it is impossible for us to divide examples in PY strictly into the two types. In fact, Hiltunen, not paying much attention to such distinctions, calls verb-adverb particle combinations (whether idiomatic or not) "phrasal verbs." Thus considered, we should follow him.

This short paper will discuss: (a) the frequencies of seven adverb particles, (b) the frequencies and characteristics of verbs combined with the particles, (c) syntactic features of phrasal verbs in PY. Although semantic features of phrasal verbs in this text, such as the problems of polysemy or synonymy, are quite interesting, their consideration must be reserved for a separate study.

## 2. The Frequencies of Seven Adverb Particles

Before examining the frequencies of the seven particles in *PY*, it will be necessary to make our treatment of adverb particles clear and distinct.

First, particles in the nominalized cases of phrasal verbs (such as "This shutting up of houses" (47)) are included, but compound nouns like "outcry" are not discussed. Secondly, I completely exclude instances of prepositions (such as "I row down the River" (108)). Thirdly, in spite of their adverbial status, instances which occur without the government of any verb (such as "He told yes, all the way up from the Point" (110)) are excluded. Fourthly, the instances combined with *be* (such as "We have been away some time" (132)) are also excluded. Fifthly, with "out," the phrase "out of" is excluded as preposition.<sup>4</sup> Lastly, with the idiomatic phrase "up and down" as an adverb (such as "there were numbers of People fled out of London that way, who lay up and down in the Forest" (148)), I tally it separately.

After due modifications, here are the frequencies of the seven particles:

up, 285; out, 151; away, 114; down, 73; off, 57; back, 42; forth, 1; up and down, 2.

In this result, the highest frequency of "up" may support Kennedy's (1920: 23) statement that "By far the most important prepositional-adverb in modern usage is *up*. It occurs in more than twice as many combinations as the particle *out*, the next in frequency of combination." Further, the fact that "forth" occurs only once attracts our attention. In general, this particle is hardly used in Defoe's fictional works.<sup>5</sup> According to Hiltunen's (1994: 132) data, this particle is often used in early modern English, but in present-day English is rare. In this respect, it is interesting that Defoe's usage of this particle belongs rather to the latter age.

## 3. On the Verbs combined with the Particles

Our chief concern in this section is with verbs which are combined with the particles discussed in the previous section. The co-occurring verbs and their frequencies follow each particle and its frequency:

up, 285 => shut, 123; come, 23; take, 21; lock, 17; set, 15; go, 8; look, 5; give, keep, lay, lift, reckon, 4; dig, fill, get, lie, rise, send, 3; blow, burn, fetch, make, run, stop, 2; turn, bring, grow, row, walk, tie, pent, pick, pluck, wind, clear, pack, hold, cast, muffle, wrap, raise, draw, stare, freeze, break, padlock, block, 1 (47 verbs).

out, 151 => break, come, 19; go, 12; cry, get, 9; call, find, set, 6; carry, fetch, look, throw, 4; bring, send, stir, 3; fit, flee, make, scream, run, turn, take, walk, venture, 2; choose, put, direct, wear, stretch, lay, shriek, shake, pull, point, give, lead, keep, shoot, enquire, single, fall, let, cut, issue, start, help, 1 (46 verbs).

away, 114 => go, 36; carry, 13; run, 9; take, send, sweep, 7; get, fetch, flee, 4; come, throw, turn, 3; call, clear, convey, drag, drive, fly, hurry, lead, make, slip, shift, travel, walk, wander, 1 (26 verbs).

down, 73 => set, 13; drop, 7; fall, sit, 6; run, go, 5; bring, come, 4; burn, lay, take, 3; carry, cut, let, lie, pull, put, throw, 2; break, cry, drive, help, hold, lie, look, push, write,

send, 1 (28 verbs).

off, 57 => carry, 12; put, go, 7; keep, 5; take, cast, cut, 3; leave, 2; die, make, buy, roll, break, palisade, pull, sweep, scum, strip, set, remove, make, live, hear, 1 (23 verbs).

back, 42 => go, 14; come, 10; bring, 7; carry, look, 2; drive, force, fetch, beat, turn, swim, pass, 1 (12 verbs).

forth, 1 => hang (1 verb).

To begin with, it would be necessary to deal with the problem which cannot be observed through a glance of the list. Here in the list of verbs are not a few cases where a preposition comes after a particle in the phrasal verb, like "the Parish Officers came up to them" (142). Among them are some cases where the relations between phrasal verbs and prepositions are strong and cohesive, for example: "Apothecary opening his Breast, fetch'd a Sigh, and said no more, but this, look up to God;" (197). As *OED2* suggests, "look up to (God)" is apparently an idiomatic expression with a figurative sense as "to have a feeling of respect or veneration for" (*OED2* s.v. look, 45. d.). Such an instance may belong to what Quirk *et al.* call a "phrasal prepositional verb." Nevertheless, we dare not draw distinction between "phrasal verbs" and "phrasal prepositional verbs" in this study, and would like to regard "look up to" as a part of the phrasal verb "look up."

Let us concentrate on the verbs in the list. There are certainly common phrasal verbs which can be often and usually used in any text or any period. In this list, for example, "come up," "take up," "go out," or "go away" may be so. Based on Hiltunen's (1994: 132-33) data, these combinations are frequently used in both early modern English and present-day English.

On the other hand, there are some phrasal verbs whose frequencies are influenced by what Hiltunen (1994: 135) calls "text-specific features."<sup>6</sup> In our text which records the Great Plague of London in the year 1665, the frequency of "shut up" no doubt involves such features; its 123 occurrences account for 43 percent among the total of the combination with "up." The instances of "shut up" are all transitive, and many of them have grammatical objects of "house" or "people" (in particular, the former). This means that this text is full of descriptions of blockading infected houses or isolating infected people in order to prevent the plague. Moreover, this list shows that "lock up" appears almost as often as common phrasal verbs like "come up," "take up" or "set up." This also comes from the subject matter of the text; "lock up" can be synonymous with "shut up" in the context.

Among other phrasal verbs with "text-specific features," as far as the list is concerned, are "sweep away" and "carry off." These two phrasal verbs are closely related to the descriptions of "death" brought about by the plague. Especially, seven instances of "sweep away" are always so related. For example: "the whole Families were swept away together" (34). With "carry off," six of its 12 occurrences are apparently metaphorical descriptions of death, as follows: "the Gross of the People were carried off in these two Months" (98), [*OED2*, s.v. carry, 51. carry off. a. trans. To remove from this life, be the death of, c1680~].

Lastly, what must not be overlooked here is the collocational variety of "out." Although the occurrences of "out" are almost half as frequent as "up" (owing to exclusive uses of "shut up"), the number of verbs combined with "out" is almost the same as for "up": 46 types vs 47 types. This evidence might support Hiltunen's suggestion "among the above particles, *out* would seem to be the one that has extended its domain most since Early Modern English" (135), more or less.

#### 4. Syntactic Features: A Case of "Shut up"

In considering the syntax of phrasal verbs in *PY*, an elaborate examination of instances of "shut up" may offer us a key to a thorough grasp of Defoe's usage in phrasal verbs. In fact, "shut up" with the highest frequency is used in a variety of patterns. Among them, the following three patterns provide us with interesting problems in syntax: nominalizations, postmodifications, and adverbial insertions.

##### 4.1 Nominalization

Among 123 occurrences of "shut up," 34 instances (28%) occur in the form of "shutting." Interestingly enough, all the instances are in nominal uses; there are no verbal instances (i.e. present participles in progressive forms or participial constructions).

More specifically, 12 of the 34 come after prepositions (e.g. "the Inconveniences of shutting up Houses" (73)). Further, 18 instances come after "the," "this" and possessive pronouns (e.g. "But I return to the shutting up of Houses" (57)). Among the four remaining instances, two function as subject (e.g. "It is true that shutting up of Houses had one Effect" (159)). One is in the subheading (i.e. "Shutting up of the House" (41)). The last one appears after the deletion of preposition (e.g. "... to prevent Authority shutting up their Houses" (6)). Thus, it is obvious that the uses of "shutting" are all nominal.

Next, investigating transitive features of "shutting up," I find that this combination occurs 19 times as a type A, "shutting up + of + object," and 13 times as a type B, "shutting up + object." Two other cases belong to neither group.

In 11 of the 19 instances, type A follows a definite article: e.g. "the shutting up of houses." On the other hand, in spite of the definite article, in two cases "shutting up" takes an object directly: e.g. "the shutting up Houses thus by Force, ... was of little or no Service in the Whole" (71). Jespersen's (1909-49, Vol. V: 9, 34.) comment may be relevant here: "The object without *of* after the gerund preceded by the definite article is much more frequent than one would expect, as modern native grammarians are unanimous in condemning it." Further he cites instances from Defoe and makes a significant observation that such usage is "frequent in Defoe" (*ibid*). This seems to apply to the case of gerunds in phrasal verbs, as seen from the above instance. Incidentally, in phrasal verbs other than "shut up" in *PY*, the same pattern occurs in the following instances: "the locking up the Doors of Peoples Houses" (47), "this occasion'd the putting off, and dismissing an innumerable Number of Journey-men" (223), and "... which as I take it, was to an Apothecary's for a Plaster for the Maid, which he was to stay for the making up" (51).

With type B, including the two instances mentioned above there are nine instances (among 13) where "shutting up" comes after prepositions, such as "the Power of shutting People up in their own Houses, was granted by Act of Parliament" (37).

As for two examples of "shutting up" which belong to neither group, in one case the object is deleted, "The shutting up to be for the space of four Weeks after all be whole" (43), while in the other "shutting" and "up" are, unusually, separated by "of": "I mention'd above shutting of Houses up" (36). Jespersen (1909-49, Vol. V: 9, 11.) notes that "The gerund and adverb may in rare cases be separated by an object" and cites only one instance from Defoe's *Roxana*: "any of the people that had the breeding of them [children] up."

Is this syntax peculiar to Defoe? In fact, we can find another instance in our text. It occurs in the nominalization of "break out." This phrasal verb occurs 19 times, three as instances of nominalization (i.e. "breaking out"). Two of them are in a general pattern, such as "the first breaking out of the distemper" (72). However, one appears as in "the first breaking of it [the

distemper] out in a House in Long-Acre" (194). In order to judge whether or not this syntax might be influenced by the pronominalization, it is absolutely necessary to check many more instances from Defoe's other works.

Furthermore, what must be added here is that "shutting up of houses" is the nominalization of a transitive combination, "S = shuts up + houses," while "breaking out of the distemper" is one of an intransitive combination, "the distemper breaks out." That is, we must note that "of" in the former case is objective, but in the latter is subjective.

#### 4.2 Postmodification

Another notable feature in this transitive "shut up" is a passive aspect. Of the 123 total occurrences of "shut up," 68 (55%) are passive. Of these, 46 occur with "be" (including such a case as "there are houses shut up" (52)). The remaining 22 instances can be regarded as semantically and contextually passive, without "be." Above all, the use of this combination as participial adjective (or modifier) attracts our attention. The 11 instances with a passive sense always function as postmodification, as in:

What variety of Stratagems were used to escape and get out of Houses thus shut up. (156)

A great variety of these Cases frequently happen'd between the Watchmen and the poor People shut up. (157)

These instances are cases where both a relative pronoun and "be" may be regarded as deleted. One-word transitive verbs can function as premodification, while this phrasal verb never does so. Compare the uses of "shut up" and "infect" in the following citations:

[1] a Watchman who attended at an infected House shut up, promis'd to send a Nurse in the Morning; (119)

[1a] that Employment of watching Houses that were infected and shut up. (97)<sup>7</sup>

The pattern of premodification in phrasal verbs occurs only once in PY, as in: "It is true, some of the Dissenting turn'd out Ministers staid" (236).<sup>8</sup>

#### 4.3 Adverbial Insertion

Lastly, let us examine the case where an adverb appears before a particle in transitive phrasal verbs. This linguistic phenomenon may be closely connected not only with syntactic problems of phrasal verbs, but also with semantic ones. With the transitive one "shut up," we have only two instances:

... she is to go next Week, and to shut the House quite up. (123)

Whole Rows of Houses in some Places, were shut close up; (17)

As for adverbs "quite" and "close," the former is an intensifier of the particle "up," while the latter, in the sense of "tightly, fast, so as to leave no interstices, outlets, or openings" (*OED2* s.v. close, adv. 4.), is an adverbial modifier of "shut." However in both instances such insertions are characteristic of the transitive "free combinations," that Quirk *et al.* note.<sup>9</sup> Other "transitive"

instances in our text are:

[They were] carried quite away. (83)

... and which if they had been wise enough to have done, and lock'd themselves entirely up, as some few did, ... (97)

The above instances involving intensifiers "quite" and "entirely" obviously contain features of free combinations. However, the following instance, together with the adverb, is quite different from them:

Poor Woman! says he, she is brought sadly down; she has a Swelling and it is broke, and I hope she will recover; ... (108)

"Bring down" in this context belongs to an idiomatic phrasal verb rather than a free combination, because it contains rather metaphorical features. In addition, the insertion of an emotional adverb "sadly" seems rather deviant. However, taken into consideration that this passage is not in the narrative but in the dialogue by a character, even though quotation marks are not used, such an inserted combination may mirror one phase of the colloquial scenes in those days.

### 5. Final Remarks

This experimental survey on the basis of Hiltunen (1994) reveals, to some extent, some important aspects of phrasal verbs in *PY*. What can be pointed out at least here is the syntactic variety of those verbs, as discussed through the instances of "shut up." In particular, the variations in the nominalized cases may lead to Defoe's idiosyncratic usage as appropriate for the style of a "journal." On the other hand, with special reference to the frequencies of adverb particles, it would be possible to mention that Defoe's usage in those verbs is not very different from the usage in the early modern period. Because the order of frequency for the six particles, except for "forth," in *PY* is, after all, the same as that in the *Helsinki Corpus*: in order of frequency, "up," "out," "away," "down," "off," "back." Of course, we must admit that our selection of only seven particles is not always sufficient or suitable for an exhaustive study of the phrasal verb in this small corpus. Hiltunen's approach, however, will surely be more effective for the study of a much larger corpus or the comparison between different texts.

Therefore, my next task is to apply this approach to the whole prose work of Defoe, especially the fictional works published between 1719 and 1724, and to make comparison between the texts. In fact, Defoe's fictional works deal with a variety of subject matters. That is, *PY* is the journal or reportage of the disaster, while *Robinson Crusoe* (1719) is an adventure story in an uninhabited island or *Moll Flanders* (1722) is a mock romance of a fallen woman. Such differences in subject matter obviously influence the uses of the phrasal verb, such as its word order, by the same author (or writer).<sup>10</sup> Thus considered, a closer observation of the phrasal verb in Defoe's works from the historical perspective must be made in relation to the movement of the English prose in the first half of the eighteenth century.

## Notes

<sup>1</sup> In his pioneer study of phrasal verbs, Kennedy (1920) discusses verb-adverb combinations including sixteen "prepositional adverbs," but excludes "away."

<sup>2</sup> The eight text types are: statutes, official letters, sermons, trials, private letters, handbooks, fiction, and the Bible. As for the characteristics between text types, Hiltunen notes, for example, as follows: "The sermons are characterised by the biblical idiom and many of the combinations found in this text type also occur in the Bible, e.g. *bring forth* (fruit), *take away* (faith, hope), *lift up* (eyes), *pass away*, *fall down*, *throw down*, and *give up* (faith, hope)" (137).

<sup>3</sup> Quotations are from Louis Landa ed. *A Journal of the Plague Year* (Oxford World's Classics: 1998). Page numbers follow, and the underlinings or the bold letters are my emphases.

<sup>4</sup> Instances of "out of" range from rather nominal ones like "the next Day I found my self very much out of Order also;" (13) to rather verbal ones like "Heaps and Throngs of People would burst out of that Alley," (177), though none of them are discussed in this study. Nevertheless, we must not overlook or exclude instances such as "in the shooting out of the Cart," (62), because the syntactic relation of this instance is not [the shooting] + [out of the Cart], but [the shooting out] - [of the Cart]; it is the nominalization of "the Cart shoots out."

<sup>5</sup> For reference, the frequencies of "forth" in Defoe's other works are as follows: *Moll Flanders* (1), *Roxana* (1), *Captain Singleton* (4), *Robinson Crusoe* (0).

<sup>6</sup> He further observes, "one and the same combination may be repeated several times in succession. Usually this is due to the subject matter of the text, ..." (ibid).

<sup>7</sup> Of course, even one-word verbs in our text are often postposed, as follows: "the Houses infected were shut up ..." (158).

<sup>8</sup> In Penguin edition of PY, the editors Anthony Burgess and Christopher Bristow change "turn'd out" to the apparent adjective form "turned-out" (Penguin Classics 1986: 244).

<sup>9</sup> As a test of the cohesion of transitive verb-adverb combination, Quirk et al. suggest "insertion of an adverb before the particle." Further they explain as follows: "Where there is an ambiguity between idiomatic and nonidiomatic interpretations of the same combination, insertion of an adverb will select the nonidiomatic one. Thus [1], unlike [2], can mean 'She reared the girls':

She brought the girls up. [1]

She brought the girls right up. [2]

But [2] can only have a spatial meaning 'She caused the girls to come up (the stair, etc)' (Quirk et al.: 16.4)." Needless to say, "idiomatic" and "nonidiomatic" stand for what they call "phrasal verbs" and "free combinations" respectively. As a next task, we must carefully and sensitively check out many instances (also from Defoe's other works) and examine whether such a grammatical test in contemporary English applies to Defoe's usage in eighteenth century, or not.

<sup>10</sup> Murata (2000) observes that *Captain Singleton* (1720), which mainly describes adventures at sea, contains such a variety of nautical terms using phrasal verbs as never found in his other works. Furthermore, with the word order of phrasal verbs, the pattern "particle + subject + verb" (i.e. the type *away she comes*) occurs only once in PY, while in *Moll Flanders*, this pattern comprises no fewer than 22 of the 136 occurrences of "away." Such a difference might be one of Defoe's linguistic attempts to differentiate these two works published in the same year.

## References

- Bolinger, D. (1971) *The Phrasal Verb in English*. Massachusetts: Harvard University Press.
- Gordon, I.A. (1966) *The Movement of English Prose*. London: Longman.
- Hiltunen, R. (1994) "On Phrasal Verbs in Early Modern English. Notes on Lexis and Style," *Studies in Early Modern English* (ed. Dieter Kastovsky). Mouton de Gruyter. 129-140.
- Ito, H. (1980) *The Language of The Spectator: A Lexical and Stylistic Approach*. Tokyo: Shinozaki Shorin.
- Ito, H. (1993) *Some Aspects of Eighteenth Century English*. Tokyo: Eichosha.
- Jespersen, O. (1909 49) *A Modern English Grammar on Historical Principles*. (7 vols.) London: George Allen & Unwin. Copenhagen: Munksgaard.
- Kennedy, A.G. (1920) *The Modern English Verb-Adverb Combination*. Palo Alto: Stanford Univ. Press. Rpt., New York: AMS Pr., 1967.
- Lannert, G.L. (1910) *An Investigation into the Language of Robinson Crusoe as Compared with That of Other 18th Century Works*. Uppsala: Almqvist & Wiksell.
- Lass, R.(ed.) (2000) *The Cambridge History of the English Language Vol. III. 1476-1776*. Cambridge University Press.
- McCarthur, T.(ed.) (1992) *The Oxford Companion to the English Language*. Oxford University Press.
- Murata, K. (2000) "On Verb-Adverb Combination in Defoe's *Captain Singleton*: With Special Reference to Nautical Terms." *Research Reports of the Ariake National College of Technology* 36. 151-60.
- Palmer, F.R. (1987) *The English Verb* (2nd ed.). London: Longman.
- Quirk, R. et al. (1985) *A Comprehensive Grammar of the English Language*. London: Longman.
- Smith, L.P. (1948) *Words and Idioms: Studies in the English Language* (5th ed.). London: Constable.

は、その一例、それぞれ詩題の雨夜の紗燈と風中の琴をいろいろの物にたとえる。〔古今集以前〕二六五～二六六頁)

(注一) 抜稿「菅原道真研究」『菅家後集』全注釈(1)

「国語国文学研究」三六号(熊本大学文学部国語国文学会)

(注二) 抜稿「道真の詩「早春侍宴仁寿殿 同賦認春心製」「対鏡」の二

詩をめぐって—道真の『白氏文集』からの概取態度の一考察(そ

の六)

「国語国文学研究」二六号(熊本大学文学部国語国文学会)

(注三) 岩波日本古典文学大系『菅家文草・菅家後集』三〇三頁

(注四) 日本漢詩人選集—『菅原道真』 小島憲之・山本登朗著

一五二～一五四頁

(注五) 岩波日本古典文学大系『菅家文草・菅家後集』七三五頁・補注

1990年九月一九日 執筆了

世紀初めの魏晉の頃で『詩經』や『楚辭』にもその例がないし、漢代においても夕日は詩にうたわれることはなかった。故に「返景」「返照」についての用例も『文選』や六朝詩の『玉台新詠』には見えない。「返景」の語が見えるのは唐・王維の『鹿柴』と『瓜園詩』の一詩で、特に後者の『瓜園詩』中の「返景」には南朝宋の劉孝緯の『侍宴集賈常應令』中にある「返景入池林」を踏まえたものと考察され、この劉孝緯の詩句の「返景」には『初學記』卷一、天部上、日の頃にある「日西落、光反照於東、謂之反景、(日西)に落ち、光東を反照する。これを反景と謂ふ)」を背景とした使用例だと考察され、「反景」とは西から東の方角を照らす夕日の光そのものなのであり「反」は光が格別何かに当たって反射するというのではなく、太陽が沈む西とは反対の方向、つまり東へ光がかかるといふことを意味するものごとくに思われる。「景」は太陽そのものではなく、光を意味する語と結論付けられている。

一方、返照も『文選』の『玉台新詠』にその用例は見られず、唐以降の詩人にこの語が多く使われるようになつたことを杜甫の詩の例を引きながら論じられている。そして「返照」の「返」も「反景」の場合と同様に西から東へかえすという意味にとるべきだとまとめられている。

(「返景」・「返照」考 一一二二三〇頁)

◎二句目 「誤」(獨宿禪) 四句目 「疑鶴未歸田」の表現について  
既に生学より指摘されている(平安時代文学と白氏文集—道真の文学研究篇第三冊)金子彦一郎著(三九五—二九六頁)事だが、この表現には次の「白氏文集」の投影が濃厚である。

2624 和劉郎中望終南山秋雪

劉郎中が終南山の秋雪を望むに和す

遍覽古今集

都無秋雪詩

陽春先唱後

陰嶺未消時

草詩霧凝重

松疑鶴散遲

清光莫獨占

清光獨り占むる莫く

亦對白雲司

(続国訳漢文大成・白樂天詩集二)(傍線筆者)

又、小島憲之氏は著『古今集以前』の中の「比喩的表現」の頁でこの道真の句をひかれ次のように論じられている。(傍線、筆者)  
○雪を白雪に見たてたもの。島田忠臣の「人間去却り踏む白雲の天」(卷上、觀林亭雪)もその一例。また菅原道真の「雲は独り磯に宿るかと誤つ」(後集 東山小雪)も、雪を谷間に沈む白雲になぞらえる。この比喩は漢詩の手法に基づき、平安詩人や歌人たちが採用した、いわゆる「外から」の比喩である。もとは日本的なものではない。

○鶴を愛した白居易には

松には疑ふ鶴の散すること遅きかと(後集 卷九、和劉郎中望終南山

山秋雪)

翅を曝せば常に疑ふ白雪の消たらむかと(同、池鶴一首)

の如く、西と白鶴とをそれぞれ比喩として捕える。友人、元稹の詩にも

孤飛して空鶴唳き、裴回して霜雪蘿く(卷二、松鶴)

とみえる。やがて鶴と雪との比喩は、平安人の詩にも及ぶ。道真の、

鶴は未だ田に帰らざるかと疑ふ(後集 東山小雪)

にもみえ、白詩に学んで雪を白鶴になぞらえる。忠臣の「叙雪、五十韻」

(卷上)にみえる「松に栖む鶴自らに馴る」も、その表現に雪が背景となる。このような詩の比喩は次第に歌の常識的なそれにも及ぶ。紀貫之の千世までの雪かとみれば松風にたぐひて鶴の声ぞ聞ゆる(「貫之集」卷

一) 松が枝に鶴かと見ゆる白鶴は積れる年のしるしなりけり(同卷二)などもその例である。漢詩に基づく比喩は、常識的・規約的な比喩として平安人の詩はもちろん、歌の世界に流行する。

(古今集以前) 一五八—一六四頁)

更に、小島憲之氏は「誤・疑」の表現について次のように論じられている。

「誤」の用法は、詩でいえば、盛唐ごろから例が多くなる。

「誤つ」ことは直線的にいえば「似ること」(「如し」と同じ)にもなるが、屈折していえば「ではないかと疑つ、思う」ことである。道真の詩には、「誤」と「疑」との対比の詩句が数例もある。たとえば

晴れては誤つ雲を穿ちて星の午に見ゆるかと、秋には疑ふ雨を貫して菊

の新に開くかと(卷五、賦雨紗燈、応製)

雪の別鶴に驚くかと誤ち、野の幽蘭を払ふかと疑ふ(同、風中琴)

見誤ったのだつた。

・白鶴が田に帰らないで山にいるのかと思うと、それは山に降った白鶴だ？

たのである。

・山に降った新雪をめでて外に出でみたいのだが、それは今の私には許されないことだ。

・どうすることも出来ずこの客舎にすわったままで遠望して雪をながめやり、一人感嘆を嘆いている。

・旅にある身の物思いは、切なく魂も消え消えとなり易い。

・折に触れてこうした境遇に出会うと（忘れていた旅愁を新たにする。）身の憂えは、依然として旧のままによみがえることだ。

### 語訳

○初冬……冬のはじめ。はつふゆ。陰曆一〇月の異名。「漢語大詞典」では「孟冬・冬季的第一ヶ月」と説明する。「白氏文集」には「310 初冬早起奇夢得」「3292 初冬月夜得皇甫澤州手札詩數篇因遺報書。偶題長句」のよう詩題にこの語を含むものが散見する。「菅家文草」には「336 閏九月盡、燈下卽事、應製」に「明朝縱戴初冬日、豈勝蕭々夢裡遊」の句が見える。

○晚……日暮れ。夕暮れ。

○反照……夕焼け。反景、夕焼けの光。「漢語大詞典」には「②夕陽の返光」と説明し、「唐賀島・宿慈恩寺都公房詩」の一反照臨江馨、新秋遇雨山」の句を載せる。「白氏文集」には「1027 南湖早春」に「風迴雲斷雨初晴、反照湖邊暖復明」の句が、又「1138 和行簡望郡南山」に「反照前山雲樹明、從君苦道似華浦」の句が見える。「田氏家集」「166 七夕池上単事」に「反照光生向晚闕、蜘蛛網〔浪花時〕」の用例がある。「菅家後集」「506 晚望東山遠寺」に「秋日因反照看、華堂指著白雲端」の句がある。

○禰……たに・谷川。「正字通」①禰與潤通、「漢語大詞典」には「①丙山間的水溝」と説明し、「詩經」召南・采蘋にある「于以采蘋，于澗之中（毛傳）山夾水曰澗」の用例を探る。

### 補説

の百参照

○誤……疑……  
○放……ときはなす。自由にさせる。「漢語大詞典」には、「③免去」と説明し、「白氏文集」「杜陵叟」の「白麻紙上書德音、京畿盡放今年稅」の例を載せる。

○賞……めでる。楽しむ。

○無端……わけもなく、である。なんということなく、である。「漢語大詞典」では「⑥無心、無意」「⑦無奈、表小事與願違、或沒有為法」と説明し、「韓愈、《感春》詩之四」にある「今者無端詭言史、智慾只是第精神」の句をひく。「菅家文草」には「275 冬夜對月憶友人」に「月轉孤輪滿百城、無端懲殺客中情」の句が、「305 對殘菊詠所懷、寄物忠兩才子」に「風家事亂無端、半畝華園寸步難」の句が見える。

○望憐……いつくしみ見わたす。遠くを見わたしていくとおしく思う。

○客遠……旅人の心、思い。旅にある身の思い。「客」は「常に住むべき所を離れて臨時に他所へ行っている人」を指す。「漢語大詞典」には「游子的魂魄・精神」と説明し、「唐駱賓王《冬日野望》詩」の「三江歸望断、千里故鄉遙、勞歌徒自奏、客魂誰爲招」の用例を挙げる。

○過境……境遇。「漢語大詞典」には「境況（一状況）和遭遇」の説明がある。「白氏文集」には「504 漸老」に「遇鏡多愴辛、逢人少舊故」の句が、「2300 秋遊平泉贈韋處士閑禪師」に「心與過境發、身力因行知」の句が見える。「菅家文草」中には「30 戊子之歲、八月十五日夜、階月臺、各分一字」に「詩人過境感何勝、秋氣風情一種凝」の句が、「菅家後集」「504 官舍幽趣」に「鄰中不得避諱諱、過境幽閑自足誇」の句が見える。

○依然……もとのまま。昔を懐かしく思うこと。「漢語大詞典」では「②形容思念・依恋的情態」と説明し、「南朝梁江淹《別賦》」の「惟世間今重別、謝主人今依然」の用例、又、「唐高適《過沖和先生》詩」の一拊背念離別、依然山「庭」の用例を挙げる。「白氏文集」には「282 洛陽春」に「洛陽陌上春長在、昔別今來二十年、唯舊少年心不得、其餘萬事盡依然」の句がある。「田氏家集」には「80 題松下石」に「松石無心猶若此、人間文結體依然」の句がある。

### 補説

○二句目「山青反照前」の「反照」の表現内容について。  
向島成美氏は著「漢詩のことば」（あじあブックス 大修館書店）の中で、次のような詳細な論を展開されている。

漢語で「返景」「返照」の日本語訳が「夕日の照りかえし」とあるのが人半だが、この語の含む「光線が一旦何かに当たって反射する」意は漢語にはないのではないかという視点より論を起こされ、中国の古典籍より多くの用例を出し考察分析をなされている。  
具体的には、中国詩文のトで夕日がうたわれるようになつたのはほぼ三

◎六句目「風氣如刀不破愁」の表現について  
この句については、小島憲之氏が既に指摘されているように（注四）  
「風氣」が「刀のこと」という表現は次の『白氏文集』が踏まえられて  
いると考えられる。

2542 晚 寒

急景流如箭	急景	流ることと箭のこととく
寒風利似刀	寒風	利きことと 刀に似たり
暝催雞翅斂	暝催	して雞翅斂まり
寒束樹枝高	寒束	ねて樹枝高し
縮水濃和酒	縮水	水を縮めて和酒を濃かにし
加絲厚素袍	加絲	縫を加へて素袍を厚うす
可憐冬計畢	可憐	憐むべし 冬計畢り
緩卧醉陶陶	緩卧	緩かに臥し醉うて陶陶たり

(傍線 筆者)

更にこの「風氣」が「愁いを破る」の「破」の表現には、和歌の縁語と掛詞に似た用法が含まれており、愁いを「風」との関連で「吹き破る」意で用いたのと、愁いを「消す」の意を重ねあわせられている。

◎八句目「此秋獨作我身秋」の表現について  
この句の表現には『白氏文集』の次の句の投影があることが既に川口久雄氏（注五）や小島憲之氏（注四）により指摘されている。

〔白氏文集〕（鷺子樓 三百井序）

860 其一	満窓明月滿簾霜	満窓の日月	滿簾の霜
	披冷燈殘拂臥牀	披冷やかに	燈殘して臥牀を拂ふ
	燕子樓中霜月夜	燕子樓中	霜月の夜
	秋來只爲一人長	秋來	只だ一人の爲に長し

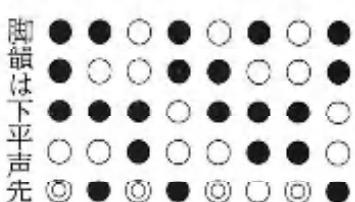
(傍線 筆者) (新編漢文大系 白氏文集三) (二八三頁)

487 東山小雪五言

本文

平仄

○題字下「五言」なし……	(静嘉)(尊三)
○獨……猶(○)(尊三)	(太島)(太一)(太二)(印本)
○獨……潤(●)(内一)	(静嘉)(松平)(尊一)(尊二)
○依……未(●)(尊三)	

脚註は下平声先韻韻字は前・田・憐・然である。  


校異

○題字下「五言」なし……	(静嘉)(尊三)
○獨……猶(○)(尊三)	(太島)(太一)(太二)(印本)
○獨……潤(●)(内一)	(静嘉)(松平)(尊一)(尊二)
○依……未(●)(尊三)	

○題字下「五言」なし……	(静嘉)(尊三)
○獨……猶(○)(尊三)	(太島)(太一)(太二)(印本)
○獨……潤(●)(内一)	(静嘉)(松平)(尊一)(尊二)
○依……未(●)(尊三)	

通釈

訓説

・雪は白し	初冬の晩
・山は青し	反照の前
・雲は獨り	闇に宿るかと誤つ
・鶴は木だ	田に歸らざるかと疑ふ
・行きて見て賞せむことを放されず	
・無端くて坐して望みて憐れむ	
・客魂	消滅し易し
・境に遇ひて	獨り依然たり

- ・初冬の夕暮れの今日、外では雪が降り白化粧の様である。
- ・山は夕焼けの中に残影を受けて青く浮き立ったように見える。
- ・谷間に白い雲がたちこめているのかと思うと、それは白雲が降ったのを

○鏡……… 括説 の眞参照。

○風氣……①風をいう。「江淹、金燈草賦」に「映霞光而燭爚、懷風氣而參差」とある例、②劍などから発する氣のことをいふ。「西京雜誌」「一」に

「高帝斬白蛇剣、云々、開匣拔鞘、輒有風氣光彩射人」の例がある。「漢語大詞典」には「指空氣和由空氣流動而生的風」の説明があり、「文選」「宋玉・風賦」の「其所託者然、則風氣殊焉」の例を引く。「白氏文集」では

「2523 太湖石」に「風氣透巖穴 苦文護洞門」の句が見える。「苦家後集」では「507 風雨」に「朝朝風氣動 夜々雨聲寒」の句がある。

○愁………うれいを打ち消す。「黃滔、奉酬翁文堯員外神泉之遊見寄嘉什詩」に、「泉源出石清消暑、僧語離經解破愁」の例が見える。「漢語大詞典」では「排解愁悶」の説明がある。「白氏文集」710回李十一醉憶元九の詩に「花時同醉破春愁、醉折花枝作酒籌」の句が見える。

○慘標………いたみおそれる。又いたましい。「漢語大詞典」では「①悲痛之極」と説明し、「漢書」の一九懷、忠にある「感余志兮慘標、心愴惄兮自憐」の句を載せる。又「②表惺貌」の説明に「古詩十九首」「孟冬寒氣至、北風何慘標」の句を引く。

### 補説

#### ◎五句目「月光似鏡無明罪」の表現について

「菅家文草」「菅家後集」の中で「月光」を「鏡」にたとえる表現はこの「435 秋夜」の他にも散見するが、一方で「鏡」と「無明罪」の表現との関わりについては「菅家文草」「254 對鏡」に注目する必要がある。この詩と「白氏文集」との関わりについての考察を既に拙稿で論じた（注）ことがある。ここでは「鏡」そのものの語を考察する為に再度原文の一部

254 對鏡  
四十四年人 四十四年の人

生涯未老身 生涯未だ老身ならず  
我心無所忌 對鏡欲相親  
半面分明見 半面分明に見ゆ  
雙眉斗頓頻 此愁何以故  
此愁何以故  
白毛新なることを照すこと得ればなり

自疑鏡浮蘇 自ら疑ふらくは 鏡に騎を浮かぶかと

再三拭去塵 再三 塵を拭ひ去れば

塵消光更信 塵消えて 光更に信かなり

知不失其眞 知りぬ 其の眞を失はざることを

(下略)

\*傍線 筆者

この詩は道貞が讃岐の國守として赴任中に詠んだもので、鏡に今自分

の容姿を写したところ、白髮が生えてきた愁人の己れの姿が明らかになつたといつた主旨のものである。ここで道貞自身が鏡に己れの姿を写すという意味合いを押さえておく必要がある。既に川口久雄氏が頭注で指摘され

ている（注三）ように、鏡は将来の吉凶を照らすもの、思うところを自照すればやがてあらわれる。又鏡は毛筋ほどの微細なことや病気のことまでも照らし出すと考えられていたとの認識は、「藝文類聚」「服飾部下・鏡」の項に載せられている。「抱朴子」中の「或問知將來將來吉凶爲有道乎。答曰、用明鏡九寸自照、有所應存。七日則見神仙、知千里外事也」の内容が道貞を始めとする当時の漢詩人に享受されていたことの証となる。故にこの「254 對鏡」の三句目「我が心忌む所無し」だから四句目「鏡に対しても相親しまんこそ」の句が生まれるのである。換言すれば、己れに忌む所があれば鏡からそれを見抜かれ、鏡そのものが覺つてしまふのであるし、又将来に不安があつても鏡に凶として黙りが生じるはずである。九句目「自ら疑ふらくは鏡に騎を浮かぶかと」と一寸道貞が不安になるのは、「鏡に騎が浮かぶ」のは、自分の将来に凶とする不安要因がひそんでいることを鏡が予知しているのではないか、又自分に忌む所があるので鏡により見抜かれているからではないかと考えるからである。故に一〇句目で鏡の表面を磨き、「一句目でそれにより「光が更に信か」になり、一二句で「知りぬ、其の眞を失はざることを」と安堵する内容になつていて。このよう

な鏡に対する認識が基底にあることを踏まえてみると、「435 秋夜」の「月光 鏡に似て罪を明らかにする」と「無し」の表現内容が理解出来る。つまり「本当の鏡なら人に罪がなければ」と思ひ所がなければ明らかに鏡面を書く、非科があれば鏡面は曇るというのにこんなにも明らかに鏡面さながらに月光が照り輝いている（「私には何一つやましい所がない事を証してくれるははずな」のに、私の無実を何一つ証してくれない」という納得出来ない、不満の心情が明らかになるのである。

## 通釈

・黄色にやみつかれ萎えしわんだ血色のない顔、霜をかぶっているかのよ  
うな白髪頭（これも、老いたる身の必然）  
・ましてや、京都より千五百里も離れた西のはてに追いやられた私の容姿  
がどうなつているか言うまでもなからう。

・今思えば、昔、京に居て得意の時代、私はかんざしや組ひもをして正装  
で宮中に伺候していたものである。（束縛も多かつたが心に張りがあり  
充足した日々であったことよ）

・ところが今は貶謫の身、仕官する束縛から解放されたものの、日々の生  
活は生い茂る雑草の中の田舎暮らし。（牢生活をさせられているのと大  
差はない。）

・月光のさやけさは鏡面そのものようだ。（本当の鏡なら人に罪がなけ  
れば明らかに顔面を写し、罪科があれば鏡面は曇るというのに）こんな  
にも明らかに照り輝いているのに、私の無実を何一つ証してはくれない。  
・秋風のつきさすような冷氣はまるで刀のそれのようなのに、我が肌身に  
はつきさせても、私のこの深くこもった愁いは破っては（消しては）く  
れない。

・そんな月の光を見るにつけ、秋風の音を聞くにつけても私には、身震い  
がおきるほどすさまじく感じられる。

・（一般に秋は人々にとり悲しい季節であるけれども）とりわけ今年の秋  
の愁えは、わが身の上に集まり、秋にだけに悲しみが限りなく深いよう  
に思えてならないことよ。

## 語釈

○萎……萎えしわむ。衰弱する。【萎黃】①枯黃 「楚辭」「宋玉・九辨」  
柯彷彿而萎黃（注）萎「作委」作接 ②憔悴 〔漢語大詞典〕『白氏文  
集』「3030 開冷」に「黃萎瘦葉結紅破蓮芳華」の句が見える。

○顔色……顔色・容貌・容姿。『論語』「泰伯」に「正顏色斯近信矣」の例  
が見える。「漢語大詞典」では①面容・面色と説明し「礼記」「玉藻」の  
「凡祭容貌顔色、如見所祭者」の例、及び「南朝梁江淹『古離別』詩」の  
「顔一見顔色、不異瓊樹枝」の例を探る。「晉書文章」「39 暮春、送因州茂  
司馬、備州宮司馬之任、同賦賦子」に「愛若顏色炳迴眼、醉淚空欺官廟華」  
の句が、又「晉書後集」「486 哭奧州驍使君」に「豫前顏色喜、便是買官  
者」の句が見える。

○白頭……霜のように白い頭。白髪頭。〔杜甫《春望》詩〕に「白頭搔  
更短渾欲不勝簪」、「許津《秋思》詩」に「高歌一曲掩明鏡、昨日少年今白  
頭」の例が見える。「晉書文草」「224 春尽」に「花鳥從迎朱暮老、鬢毛何  
故曰白髮」の句がある。

○況復……いわんや。ましては言うまでもない。前より大きい事柄を持  
ち出し前者に比して後者はあちらんとする意。「復」は「况」を強  
める助字。〔漢語大詞典〕には「(6)副詞(一)更加」とある。用例として  
「晉書文草」「26 海上月夜」に「秋風海上宿草花、況復蕭々客望跡」が、  
又「45 封殘菊待寒月」に「漁夫樵夫抑意難、況復詩人非俗物」が見える。

○外投……他（朝廷の外）方に遠ざける。

○榮花……榮華。栄えて時めく。社会的地位が高くて華やかに栄える。

〔史記〕「外戚世家」に「丈夫當時貴、光耀榮華、貧賤之時、何足累之哉」  
の例が見える。「白氏文集」を索くと「215 初除主客郎中・知制誥、與王  
十一・李七・元九三舍入中書同宿、話舊感懷」に「紫垣青署榮華地、白髮  
郎官老龍時」の句が、又「123 蘭相公遷日遠禪師有感而贈」に「宦途  
堪笑不勝悲、昨日榮華今日衰」の句が見える。「晉書文草」中には「292  
苦口長 十六韻」に「榮華心剣念、名利手偏執」の句が、「228 四 八 重  
陽後朝、同賦花有淺深、應製」に「榮華物我皆天授、時去時來罷不能」の  
句が見える。「田氏家集」では「45 惜春命飲」に「光景在人車轉轍、榮華  
住世水成書」の句が見える。

○簪組……かんざしと冠のひも。転じて高位高官の人をいう。〔漢語大詞  
典〕では「冠簪和冠帶」と説明し「唐、王維『留別立為』詩」の「親勞簪  
組送、欲趁榮花還」の句を引く。「白氏文集」には「240 蘭若寓居」に  
「簪衣換簪組、藜杖代車馬」の句が、「273 朝廻遊城隍」に「常時簪組累、  
此日和身忘」の句が見える。「晉書文草」では、類義語の一簪綴が、「464  
閑適」に「曾向簪綴行路難、如今杖策處身安」の句に見える。

○貶謫……官位を下げて遠方へ流すこと。配流。〔漢語大詞典〕では「古  
代官吏因過失或犯罪而被降職或流放」と説明する。

○草萃……荒れ果てたくさむら。生い茂った雑草、又荒蕪の地にいう。こ  
こでは道真の太宰府での谪居を指す。「孟子」「離婁上」に「辟草萃任土地  
者次之」の例が見える。「漢語大詞典」では「(2)指荒蕪之地」と説明し  
「管子」「七臣七上」の「主好本、則民好望草萃」の例を引く。「白氏文集」  
では「308 醉臘秘書二十韻」に「識分忘軒冕、知帰返草萃」の句が見える。  
○内………とらわれ人。罪を犯し牢に捕らわれている者。

(静嘉) ..... 静嘉堂所蔵本  
 (大島) ..... 金沢市大島文庫本  
 (加越) ..... 金沢市加越能文庫本  
 (太一) ..... 太宰府天満宮所蔵本 (一)  
 (太二) ..... 太宰府天満宮所蔵本 (二)  
 (松平) ..... 島原松平文庫本

一 冊 冊 冊 冊 冊 冊

一 冊

(金沢大) ..... 金沢大学所蔵本  
 (中之島) ..... 大阪府立中之島図書館所蔵本

一 冊

(九州大) ..... 九州大学所蔵本  
 (京都大) ..... 京都大学所蔵本  
 (筑波大) ..... 筑波大学所蔵本  
 (東北大) ..... 東北大学所蔵本

一 冊

(東洋大) ..... 東洋大学所蔵本  
 (吉陵部) ..... 吉陵部所蔵本

一 冊

(舞鶴) ..... 舞鶴中央図書館所蔵本

一 冊

(鈴鹿) ..... 鈴鹿文庫本

一 冊

(住吉一) ..... 住吉大社所蔵本 (一)  
 (住吉二) ..... 住吉大社所蔵本 (二)

一 冊

(多和) ..... 多和文庫本  
 (三手) ..... 三手今井所蔵本

一 冊

(島根大) ..... 島根大学所蔵本  
 (内閣一) ..... 内閣文庫本 (一)  
 (内閣二) ..... 内閣文庫本 (二)  
 (内閣三) ..... 内閣文庫本 (三)  
 (内閣四) ..... 内閣文庫本 (四)  
 (川口) ..... 石川県立図書館川口文庫本

一 冊

一、平仄の表記には、平声に○、仄声に●、韻字に◎を用いた。  
 二、語釈等で土に利用した辞典は諸橋敏次編『大漢和辞典』及び  
 詞典編輯委員会・漢語大詞典編纂『漢語大詞典』である。

漢語大

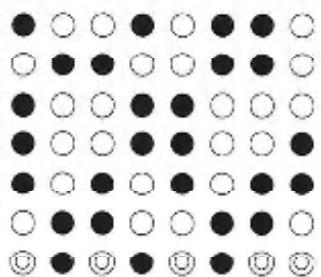
## 本文

485 秋夜 九月一五日

## 平仄

黄萎顏色白霜頭  
 况復千餘里外投  
 昔被榮花簪組縛  
 今為貶謫草萃囚  
 月光似鏡無明罪  
 風氣如刀不破愁  
 隨見隨聞皆慘慄  
 此秋獨作我身秋

脚韻は下平声尤韻。韻字は頭・投・囚・愁・秋である。



## 校異

### ○花

華 (○) (内二) · (大島) · (松平) · (尊四) · (太一)

· (太二) · (金沢大) · (中之島) (九州大) (京都大) (筑波大) (東北大) (東洋大) (吉陵部) (舞鶴) (鈴鹿) (住吉一)

(住吉二) (多和) (三手) (島根大) (内閣二) (内閣三) (内閣四) (川口)

### ○謫

謫 (●) (内閣一)

## 訓詁

黃萎の顏色 白霜の頭

況んや復た千餘里の外に投するをや。

昔は榮花簪組に縛せられ

今は貶謫草萃の囚と為る

月光 鏡に似て罪を明らかにすること無し

風氣 刀のごとくにして 愁を破らず

見るに隨ひ、聞くに隨ひて 皆慘慄。

此の秋 獨り 我が身の秋と作る

# 菅原道真研究 —『菅家後集』全注釈(II) —

焼山廣志

〈平成十一年九月〉[十九日敬呈]

A Study of Sugawara Michizane

Hiroshi YAKIYAMA

Explanatory notes on all the poems of *Kankekoshū* (Private edition of Sugawara Michizane's poetry in Chinese written in the Dazaifu period)---Section II

## 凡例

前回に続じて『菅家後集』の全注釈を試みた。〔桂一〕『菅家後集』の概略として小島憲之氏は、「醍醐天皇の代になつて五十年、昌泰(しゃうたい)四年(九〇一)正月二十五日、五七歳の道真は突然罪を問われ、太宰權師(だざいごんじ)に左遷されて都を追われた。上流貴族を流罪にする時は左遷の形をとることになつており、道真は事実上太宰府に流されたのである。『扶桑略記』によれば、道真を重用した宇多上皇(ひのむちのじよ)は「知らせを聞いて急ぎ参内し天皇を諒止しもつむしたが、警備にはまられて門内に入る」ともやきなかつたといふ。運命を一変させたのである」とから約二年の後、延喜三年(九〇三)一月二十五日、道真は配所での苦しい生活の末に死を迎えるが、その間の詩集は『菅家後集』といふ名の詩集となつて今に伝わっている。『菅家後集』は、その奥井(よゐ)によれば、もと「西府新詩」(「西府」は都から西方にあたる太宰府)と題され、死に臨んだ道真から封印して紀良谷雄に送られたという。(日本漢詩人選集『菅原道真』一四〇一四二頁)と説明されている。

- |                      |        |
|----------------------|--------|
| (尊一) ..... 尊経閣所蔵本(一) | 一冊(底本) |
| (尊二) ..... 尊経閣所蔵本(一) | 一冊     |
| (尊三) ..... 尊経閣所蔵本(二) | 一冊     |
| (尊四) ..... 尊経閣所蔵本(四) | 一冊     |
| (内一) ..... 内閣文庫本(一)  | 一冊     |

## 研究活動概要

## 発表した論文・著書及び講演題目

(自 1999 年 10 月～至 2000 年 9 月)

論文題目又は著書名	著 者	掲載誌名・巻号	年 月
スラスト軽減のための新しいドリルチゼル部形状の開発	田口 紘一 貝田 正實	明石 剛二 有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
スラスト軽減のための新しいドリルチゼル部形状の開発（第2報 改良型の切削性能）	田口 紘一 貝田 正實	明石 剛二 有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
仕上げ加工におけるチップ取り付け角の工具寿命へ及ぼす影響	田口 紘一	明石 剛二 有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
廃食油からのリサイクル石けん製造プランの設計・製作（最終報）	木下 正作 上原 弘	多田隈秀憲 川崎義則 有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
廃食油からのリサイクル石けん製造プランの設計・製作－卒業研究テーマとしての3年間の実践報告－	川崎義則	木下 正作 日本高専学会創造教育 実践実例集	平成12年6月
廃食油からのリサイクル石けん製造プランの設計・製作－卒業研究テーマとしての3年間の実践報告－	川崎義則	木下 正作 高等専門学校の教育と 研究, 第5巻第2号	平成12年6月
ミニヒートパイプ列による電子機器の冷却に関する研究（最大熱輸送量を予測する理論計算）	吉田 正道 ( M.Groll )	( M.Schneider ) 有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
Development of generative and adaptive CNC for machine tool based on the distributed object technology	( T.Satake ) ( A.Hayashi )	S.Haramaki 10th International Conference on Flexible Automation And Intelligent Manufacturing	平成12年6月
Development of flexible and adaptive instruction data generation for multi-axis machine tool	( A.Hayashi ) ( T.Satake )	S.Haramaki 10th International Conference on Flexible Automation And Intelligent Manufacturing	平成12年6月
BTA方式工具を用いた深穴加工における精度向上に関する研究	明石 剛二	九州大学学位請求論文	平成12年4月

深穴あけ加工における真円度誤差制御システムの開発	明石剛二 田口紘一	日本機械学会論文集 C編, 第66巻第645号	平成12年5月	
曲がり制御深穴あけ法の開発(超音波を用いた穴の曲がり測定法の基礎実験)	明石剛二 田口紘一	日本機械学会論文集 C編, 第66巻第646号	平成12年6月	
Robust winder control system using adaptive model output following control method	M.Takahashi (I.Mizumoto) (M.Kuribayashi)	Y.Kawasaki (Z.Iwai) (T.Yasukouchi)	Proc. of the IFAC SYSID 2000	平成12年6月
Quantitative expression of mixed taste of amino acids using multichannel taste sensor	(K.Toko)	T.Nagamori	電気学会論文誌, Vol.119-E	平成11年11月
マルチチャンネル味覚センサを用いたPV A溶液の高感度測定	(日野康史) 永守知見 (竹口寛)	(都甲潔) (川畑明)	電気学会論文誌, Vol.120-E	平成11年12月
味覚センサを用いたアミノ酸とジペプチドの研究	永守知見 (吉川由紀子)	(都甲潔)	日本味と匂学会誌, 第6巻	平成11年12月
Detection of the suppression of saltiness by Umami substances using a taste sensor	T.Nagamori (Y.Kikkawa) (K.Endou)	(K.Toku) (T.Watanabe)	Sensors and Materials, Vol.11	平成12年2月
マルチチャネル味覚センサを用いたアミノ酸の味に関する研究	永守知見		九州大学学位請求論文	平成12年2月
パルスパワーを用いたNOx処理におけるガス組成の影響	(浪平隆男) 塙本俊介 (秋山秀典)	(王斗麗) (勝木淳)	電気学会論文誌A, 第119巻第10号	平成11年10月
Production of nitric monoxide using pulsed discharges for a medical application	(T.Namihira) (D.Wang) (R.Hackam) (H.Akiyama)	S.Tsukamoto (S.Katsuki) (K.Okamoto) (H.Akiyama)	IEEE Transactions on Plasma Science Special Issue, Vol.28, No.1	平成12年2月
Improvement of NOx removal efficiency using short width pulsed power	(T.Namihira) (D.Wang) (R.Hackam) (Y.Uchida)	S.Tsukamoto (S.Katsuki) (H.Akiyama) (M.Koike)	IEEE Transactions on Plasma Science,	平成12年5月
High-current pulsed power generator ASO-X using inductive voltage adder and inductive energy storage system	S.Kohno (I.V.Lisitsyn)	(Y.Teramoto) (S.Katsuki) (H.Akiyama)	Japanese Journal of Applied Physics, Vol.39 Part 1, No.5A	平成12年5月

The development of a shock wave distorted by shock/vortex interaction	T.Minota	Shock Waves (Proc.22nd Int. Symp. Eds. G.J. Ball et al),	平成12年3月	
教育・研究用移動ロボットの研究(2) —第2ステップモデルの全体構造と重量—	瀬々 浩俊 川崎 義則	堀切 淳一 木下 止作	有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
酸化物高温超伝導体における低周波交流損失(1) —ピソンニング・パラメータ依存性について—	中村俊三郎 山藤 醇	(藤吉 孝則)	有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
電力系統の保護・安定化制御のための光計測システムの研究	(林 宏光) (岩佐宗八) (植田清隆) (寺蔭完一)	(近藤 剛) (内海通弘) (樋口貞雄) (淹和市郎)	九州大学電離気体実験 施設報告, 第9号	平成11年10月
CO <sub>2</sub> 濃度分布計測用差分吸収ライダーの開発	(内田 大雄) (川野繁朗) (植田 清隆) (N.J.Vasa) (興 雄司)	(柳田 達哉) (内海通弘) (村岡 克紀) (生田 光輝) (前田 二男)	九州大学電離気体実験 施設報告, 第9号	平成11年10月
誘電模擬装置における定在コロナストリーマの観測	(松岡 貴子) 内海通弘 (村岡 克紀) (中村 俊公)	(境 真一郎) (植田 清隆) (赤崎 正則) (木下 文宏)	九州大学電離気体実験 施設報告, 第9号	平成11年10月
Ablation effect on an impulse discharge induced by a laser plasma channel	M.Uchiumi (K.Muraoka) (M.Akazaki) (C.Honda)	(K.Ueda) (F.Kinoshita) (T.Tanaka) (C.Honda)	Proceedings of SPIE of International Forum on Advanced High-power Lasers and Applications, High-Power Lasers in Energy Engineering, No.3886	平成11年11月
直流電界計測用光応用電界センサを用いた放電空間中の電界計測	(谷口真一郎) (大坪昌久) 内海通弘	(辻 利則) (本田 親久) (植田 清隆)	宮崎大学工学部紀要, 第29号	平成12年9月
Laser-induced discharge in a rod plane electrode in the presence of a negative dc electric field	M.Uchiumi (K.Muraoka) (C.Honda) (M.Akazaki)	(K.Ueda) (T.Tanaka) (F.Kinoshita) (M.Akazaki)	Electrical Engineering in Japan, Vol.132, No.4	平成12年9月

Studies on reconfigurations in WDM lightwave networks (WDM光波網の再構成に関する研究)	嘉藤 学	九州工業大学学位請求論文	平成12年3月
光波ネットワークの網再構成 —メタヒューリスティックスの適用—	嘉藤 学 (尾家祐二)	電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-B, No.12	平成11年12月
Reconfiguration algorithms based on meta-heuristics for multihop WDM lightwave networks	M.Kato (Y.Oie)	Proc. of IEEE International Conference on Communications 2000	平成12年6月
認知心理学的アプローチに基づくソフトウェア理解度評量法	山崎直子 (松原義徳) (掛下哲郎)	日本ソフトウェア科学会誌「コンピュータソフトウェア」, 第16巻第6号	平成11年11月
二酸化マンガン固定化膜を用いた過酸化水素センサー	永田良一 (権藤晋一郎) (上村芳三) (幡手泰雄)	化学工学論文集、第26卷第1号	平成12年1月
回転ノズルを用いたアルギン酸カルシウムゲル粒子の調製	永田良一 (吉賀啓太) (権藤晋一郎) (上村芳三) (幡手泰雄)	化学工学シンポジウムシリーズ, No.73	平成12年5月
混合希釈剤を用いたマクロ細孔セルロースゲルの調製と性質	松本和秋 (本里義明)	日本化学会誌, 第11号	平成11年11月
ゾルーゲル法によるリチウム一次電池用二酸化マンガンの合成	宮本信明 (北原里美) (松藤善梨子) (森田玲子)	電気化学, 第68巻第2号	平成12年2月
噴霧熱分解法によるリチウム一次電池用二酸化マンガンの合成	宮本信明 (釣野智史) (中本貴大)	電気化学, 第68巻第4号	平成12年4月
Measurement and correlation of infinite dilution activity coefficients of ethers in alkanols	(K.Fukuchi) (K.Miyoshi) (T.Watanabe) (S.Yonezawa) (Y.Arai)	Fluid Phase Equilibria, No.156	平成11年
エーテル+メタノール+アルカン系液液平衡のASOGによる相関	渡辺 徹 (本田克美) (東内秀樹) (荒井康彦)	有明工業高等専門学校紀要, 第36号	平成12年1月
アルミナ/ポリエチレン複合溶射材料と溶射皮膜性能	川瀬良一 (藤原理恵子)	高温学会誌, 第25巻 Supplement	平成11年11月

Flow injection determination of iodide ion in a photographic developing solution using iodide ion-selective electrode detector	T.Masadome ( R.Sonoda ) ( Y.Asano )	Talanta, Vol.52	平成12年
可塑化ポリ塩化ビニル膜型電極検出器を用いる陰イオン性高分子電解質のフローインジェクション分析	正留 隆 (今任 稔彦) (浅野 泰一)	J. Flow Injection Anal., Vol.16 Supplement	平成12年 2月
臭化3, 6-ビス(ジメチルアミノ)ドアシルアクリジニウムを用いる陽イオン性界面活性剤のフローインジェクション蛍光分析	正留 隆 (浅野 泰一)	J. Flow Injection Anal., Vol.16 Supplement	平成12年 2月
テトラフェニルホウ酸電極検出器を用いる陽イオン性高分子電解質のフローインジェクション分析	正留 隆 (浅野 泰一)	J. Flow Injection Anal., Vol.16 Supplement	平成12年 2月
8-アニリノ-1-ナフタレンスルホン酸アンモニウムを用いる非イオン性界面活性剤のフローインジェクション蛍光定量	正留 隆 (浅野 泰一)	J. Flow Injection Anal., Vol.16 Supplement	平成12年 2月
可塑化ポリ塩化ビニル膜型電極検出器を用いる非イオン性界面活性剤のフローインジェクション分析	正留 隆 (今任 稔彦) (浅野 泰一)	J. Flow Injection Anal., Vol.16 Supplement	平成12年 2月
可塑化ポリ塩化ビニル膜型電極検出器を用いる陰イオン性界面活性剤のフローインジェクション分析	正留 隆 (今任 稔彦) (浅野 泰一)	J. Flow Injection Anal., Vol.16 Supplement	平成12年 2月
臭化物イオン電極検出器を用いる現像液中の臭化物イオンのフローインジェクション電位差分析	正留 隆 (浅野 泰一) (中村 敬)	J. Flow Injection Anal., Vol.16 Supplement	平成12年 2月
可塑化ポリ塩化ビニル膜型電極検出器を用いる陽イオン性界面活性剤のフローインジェクション分析	正留 隆 (今任 稔彦) (浅野 泰一)	J. Flow Injection Anal., Vol.16 Supplement	平成12年 2月
水晶振動子マイクロバランス法を利用する界面活性剤及び高分子電解質センサーの開発	正留 隆 (今任 稔彦)	科学研究費(基盤研究(C)(2))研究成果報告書	平成12年 3月
Relationship between the hydrophobicity of cations and the cationic response of a plasticized poly(vinyl chloride) membrane electrode with no added ion-exchanger	T.Masadome ( T.Imato ) ( S.Wakida ) ( K.Higashi ) ( Y.Asano )	Analytical Sciences, Vol.16	平成12年 4月

The establishment of the new safety test with C. elegans—the case of trace element—	( T.Miwa ) ( H.Shimada ) N.Tominaga ( Y.Mitsui ) ( S.Kohra ) ( K.Arizon)	Biomed. Res. Trace Elements, Vol.10 No.3	平成11年7月
The improved HPLC system for fish plasma vitellogenin and its application	( H.Ishibashi ) ( K.Tachibana ) ( M.Tuchimoto ) ( Y.Ishibashi ) ( A.Yamaguchi ) N.Tominaga ( K.Arizon)	Proceedings of The 3rd IWA specialized conference of hazard assesment and control of environmental contaminants —ECOHAZARD'99—,	平成11年12月
地域公共図書館の相互利用型ネットワークにおける利用形態と運営の在り方	北岡 敏郎	生涯学習空間, 第20号	平成12年1月
降伏線理論に基づく鉄筋コンクリート部材の統一的解析法に関する研究	上原 修一	九州大学学位請求論文	平成12年1月
組み合わせ応力の相関を考慮した降伏線理論による142体のI形耐震壁の極限解析	上原 修一 (崎野 健治) (江崎 文也)	構造工学論文集, 第46巻(B)	平成12年3月
長福寺(大分県日田市)の建物について	松岡 高弘	有明工業高等専門学校紀要, 第36号	平成12年1月
旧貝島嘉蔵・健次家の住宅について	森山 恵香 松岡 高弘 (川上 秀人) (北野 隆)	有明工業高等専門学校紀要, 第36号	平成12年1月
旧三井田川鉱業所百円坂俱楽部調査報告書	松岡 高弘 (川上 秀人)	田川市教育委員会	平成12年3月
北部九州を中心とした炭鉱関連施設に関する建築学的研究	(川上 秀人) 松岡 高弘	平成9年度～平成11年度科学研究費補助金基盤研究(C)(2)研究成果報告書	平成12年3月
筑豊の炭鉱主の住宅—麻生家と貝島家の住宅—	松岡 高弘 (川上 秀人)	筑豊近代化大年表(大正編), 近畿大学九州工学部図書館地域資料室	平成12年9月
紀長谷雄の賦・出典考～「春雪賦」をめぐって～	焼山 廣志	国語・国文学論考, 签 間書院	平成12年4月

7世紀から12世紀にかけてのアイルランドにおけるネイションの生成と社会構造研究序説（I）－D. オコラーン「ノルマン人侵入以前のアイルランドにおけるナショナリティと王権」の翻訳と解説を通しての「始め」－	谷口光男（鶴島博和）	有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
『ロデリック・ランダムの冒険』(スモレット著) *Tobias Smollett: <i>The adventures of Roderick Random</i> (1748) の翻訳書	(伊藤弘之) (加茂淳一) (竹下裕俊) (田畠智司) (堀正広) 村田和穂 (村田倫子)	荒竹出版	平成11年12月
On the verb-adverb combination in Defoe's <i>Captain Singleton</i> : with special reference to nautical terms	K.Murata	有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
Sexism and English textbooks for Japanese students	N.Abe	有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
Kyushu Okinawa Summit Guide 2000 (翻訳)	(田中昭子) (古野瑠子) (大橋緑) 安部規子 (千葉浩美) (橋口保大) (荒木多恵子)	産経新聞メディアックス	平成12年5月
On the existence of Hölder continuous weak solutions for degenerate quasi-linear elliptic systems	M.Araki	International Journal of Differential Equations and Applications, Vol. 1 A, No. 1	平成12年8月
混合スピンANNNIモデルの有限温度磁気相図	(笠間敏博) 西山治利 村岡良紀	有明工業高等専門学校 紀要, 第36号	平成12年1月
Magnetic phase diagrams of axial third-nearest-neighbour Ising model	Y.Murakami (M.Kanemaru) (A.Tanaka) (T.Idogaki)	Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.210	平成12年2月
Exact ground-state phase diagram of mixed-spin ANNNI model	Y.Murakami (K.Oda) (T.Idogaki)	Physica B, Vol.284-288	平成12年7月
Magnetic and structural phase transformations in DyB <sub>6</sub> under high pressure	T.Sakai (G.Oomi) (Y.Uwatoko) (S.Kunii)	Proceedings of the International Conference on Solid-Solid Phase Transformations '99,	平成11年10月

Effect of pressure on the giant magnetoresistance of magnetic multilayers	( G.Oomi ) (Y.Uwatoko) (H.Fujimori)	T.Sakai (K.Takanashi)	J. Magn. Soc. Japan, Vol.24	平成12年1月
Anomalous magnetoelastic properties of DyB <sub>6</sub> under high pressure	T.Sakai (Y.Uwatoko)	( G.Oomi ) ( S.Kunii )	Physica B, Vol.281-282	平成12年5月
Giant magnetoresistance of Co/Cu magnetic multilayers at high pressure	( G.Oomi ) T.Sakai ( K.Takanashi ) ( H.Fujimori )	H.Miyagawa ( K.Saito )	Physica B, Vol.284-288	平成12年7月
Giant magnetoresistance of magnetic multilayers with two magnetic components at high pressure	T.Sakai ( T.Ono )	( G.Oomi ) ( T.Shinjo )	Proceedings of Moscow International Symposium on Magnetism(MISM 99) Part. 2	平成12年9月

(注) 氏名欄( )は学外者を示す

講演題目	講演者名	発表した学会・講演会名	年月
ドリルチゼル部形状の改善	田口 紘一 明石 刚二	1999年度精密工学会沖縄地方講演会	平成11年12月
鉱石探索の長距離坑道(5km以上)に適用可能な運搬車両の安全運転制御ハイテク技術	川崎 義則 高橋 将徳	第9回九州地区高専フューラム	平成11年11月
養護学校における知的障害児の機能回復を目的とした自走車の開発	木下 正作 川崎 義則	第14回熊本県産学官技術交流会	平成12年1月
障害児の自発的運動・動作を促す自走車の開発	木下 正作 川崎 義則	日本機械学会九州支部 第53期総会講演会	平成12年3月
機能回復を目的とした障害児用自走車の開発	川崎 義則 木下 正作	第5回知能メカトロニクスワークショップ	平成12年8月
表面窒化処理を施した熱間鍛造用マトリックス高速度工具鋼の熱軟化予測	南 明宏 (丸茂 康男) (齊木 弘行)	第50回塑性加工連合講演会講演論文集	平成11年10月
鍛造型表面微細構造への材料充満様に及ぼす摩擦すべり率の効果	(齊木 弘行) (丸茂 康男) 南 明宏	第31回塑性加工春季講演会講演論文集	平成12年5月
熱間鍛造型の塑性変形抵抗に及ぼす型の表面皮膜構造の影響	(齊木 弘行) (丸茂 康男) 南 明宏	第31回塑性加工春季講演会講演論文集	平成12年5月

多軸工作機械の軌道制御	原 槻 真也 (林 朗弘) (横 関 俊介)	精密工学会春季大会 ROBOMECH'00	平成12年3月 平成12年5月
多自由度機械の群機械モアリング	(林 朗弘) 原 槻 真也 (佐 竹 利文) (横 関 俊介)	2000年度精密工学会北海道支部学術講演会	平成12年9月
曲がり制御深穴あけ法の開発(超音波を用いた穴の曲がり測定法の基礎実験)	明 石 刚二 田 口 紘一 (延 時 敬礼) (水 本 郁朗) (岩 井 善太) 高 橋 将徳	日本機械学会九州支部・中国四国支部合同企画長崎地方講演会	平成11年10月
Backstepping法に基づく多入出力適応モデル出力追従制御系の出力依存性外乱に対するロバスト設計	(延 時 敬礼) (水 本 郁朗) (岩 井 善太) 高 橋 将徳	第18回計測自動制御学会九州支部学術講演会	平成11年11月
パックスティング法によつて多入出力適応制御手法の外乱に対するロバスト設計法	高 橋 将徳 (水 本 郁朗) (岩 井 善太) (延 時 敬礼)	第20回適応制御シンポジウム	平成12年1月
観測正実性に基づく切り替え型適応出力フィードバック制御系構成法	高 橋 将徳 (水 本 郁朗) (岩 井 善太)	第29回制御理論シンポジウム	平成12年5月
味覚センサを用いたアミノ酸とジペプチドの研究	永 守 知見 (都 甲 潔) (吉 川 由紀子)	日本味と匂学会第33回大会	平成11年10月
味覚センサを用いたジペプチドの研究	永 守 知見 (都 甲 潔) (吉 川 由紀子)	電気関係学会九州支部連合大会	平成11年10月
パルスパワーを用いた排ガス処理におけるストリーマ放電現象の解析	(浪 平 隆男) (王 斗艶) 塙 本 俊 介 (勝 木 淳) (秋 山 秀 典)	平成11年度電気関係学会九州支部連合会大会	平成11年10月
パルスパワーを用いた排ガス処理におけるフライアッシュの影響	塙 本 俊 介 (浪 平 隆男) (王 斗艶) (勝 木 淳) (秋 山 秀 典) (佐 謙 昭広) (内 田 佳 孝) (小 池 正)	平成11年度電気関係学会九州支部連合会大会	平成11年10月
パルスパワーを用いた排ガス処理におけるガス流量の影響	(王 斗艶) (浪 平 隆男) 塙 本 俊 介 (勝 木 淳) (秋 山 秀 典)	平成11年度電気関係学会九州支部連合会大会	平成11年10月
パルスアーク放電プラズマを用いたNO生成	(浪 平 隆男) (王 斗艶) 塙 本 俊 介 (辻 公 悅) (勝 木 淳) (秋 山 秀 典) (岡 本 和 文)	平成11年度電気関係学会九州支部連合会大会	平成11年10月

パルスパワーを用いた排ガス処理における フライアッシュの効果	塙本俊介 (浪平隆男) (王斗艶) (勝木淳) (秋山秀典) (佐藤昭広) (内田佳孝) (小池正実)	平成12年度電気学会全 国大会	平成12年3月
パルスパワーを用いた排ガス処理同一軸円 筒電極における処理ガスの軸方向分布一	(浪平隆男) (王斗艶) 塙本俊介 (勝木淳) (秋山秀典)	平成12年度電気学会全 国大会	平成12年3月
パルスパワー方式排ガス処理におけるアン モニアの効果	(浪平隆男) (堀秀男) (王斗艶) 塙本俊介 (勝木淳) (秋山秀典) (内田佳孝) (小池正実)	電気学会・パルスパワー 研究会	平成12年5月
パルスパワーを用いたNOx処理における フライアッシュの効果	塙本俊介 (浪平隆男) (勝木淳) (秋山秀典) (佐藤昭広) (内田佳孝) (小池正実)	電気学会・パルスパワー 研究会	平成12年5月
Unstable behavior of an exploding wire array for z-pinch	(Y.Teramoto) S.Kohno (S.Katsuki) (N.Shimomura) (M.Nagata) (H.Akiyama)	13th International Conference on High- Power Particle Beams	平成12年6月
Zピンチ用ワイヤアレイ中の電波分布計測	(寺本雄介) 河野晋 (勝木淳) (下村直行) (秋山秀典)	平成12年度電気関係学 会九州支部連合大会 (第53回連合大会)	平成12年9月
有明工業高等専門学校電気工学科情報処理 演習システムの概要	福田浩人	第20回高等専門学校情 報処理教育研究委員会 発表会	平成12年8月
平板に沿って進行する渦輪の挙動の3次元 的観測	菱田登世子	日本流体力学会年会	平成12年7月
有明地域の研究開発向上に関する取り組み について	瀬々浩俊	筑福岡県産業・科学技 術振興財団大牟田地域 特定中小企業集積支援 技術開発事業研究発表 会	平成11年12月
大気中CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> 計測用ライダーシステムの 開発	(内田大雄) (川野繁朗) 内海通弘 (植田清隆) (村岡克紀) (N.J.Vasa) (生田光輝) (興雄司) (前田三男) (内野修)	平成11年度電気関係学 会九州支部連合大会 (第52回連合大会)	平成11年10月

レーザー誘雷に有効なプラズマチャネルの検討	(松岡貴子) (草野修) 内海通弘 (植田清隆) (村岡克紀) (赤崎正則)	平成11年度電気関係学会九州支部連合大会 (第52回連合大会)	平成11年10月	
LDPEラミネート誘電体界面における電圧誘起電荷の蓄積・減衰過程の一考察	(田中紀捷) 内海通弘	第31回電気電子絶縁材料システムシンポジウム	平成11年11月	
誘雷模擬装置における定住コロナストリーマの観測	内海通弘	九州大学電離気体実験施設10周年記念講演	平成11年12月	
地球温暖化分子の計測用差分吸収ライダーの開発	内海通弘 (内田大雄) (川野繁朗) (植田清隆) (村岡克紀) (N.J.Vasa) (生田光輝) (奥雄司) (前田三男)	第6回人気ライダー観測研究会	平成11年12月	
DIALを用いたメタン漏洩検知システムの開発IV	(斎藤浩二) (工藤務) (生田光輝) (N.J.Vasa) (奥雄司) (前田三男) 内海通弘	第47回応用物理学関係連合講演会	平成12年3月	
地球温暖化分子計測用差分吸収ライダーの開発	(川野繁朗) (内田大雄) 内海通弘 (植田清隆) (N.J.Vasa) (生田光輝) (奥雄司) (前田三男)	電気学会全国大会	平成12年3月	
有明高専校内LANにおけるバックボーンのGigabit化	松野良信 堀田孝之	山下巖 福田浩人	第20回高等専門学校情報処理教育研究発表会	平成12年8月
伝播遅延時間を考慮したWDM網の再構成手順とその評価	嘉藤学	(尾家祐二)	電子情報通信学会情報ネットワーク研究会	平成12年4月
Chidamberメトリクスを用いたオブジェクト指向プログラムの理解容易性評価	山崎直子 (掛下哲郎)	平成11年度電気関係学会九州支部連合大会	平成11年10月	
静的なオブジェクト指向プログラムに対する理解コスト計量法と実験的評価	山崎直子 (掛下哲郎)	情報処理学会ソフトウェア工学研究会	平成12年3月	
静的なオブジェクト指向プログラムに対する理解コスト計量法	(掛下哲郎) 山崎直子	オブジェクト指向2000シンポジウム	平成12年8月	
An Understandability Metrics for Object Oriented Programs	N.Yamasaki (T.Kakeshita)	平成12年度電気関係学会九州支部連合大会	平成12年9月	
有明高専物質工学科における“分析機器のネットワークシステム化”	宮本信明 渡辺徹	第9回産学交流ユースフォーラム	平成11年10月	

熱分解GC法による屋外暴露試験ポリウレタンの劣化状態の検討	吉武紀道 (大津奈津子) (古川睦久)	第4回高分子分析討論会	平成11年11月
熱分析法によるポリウレタンの劣化について	吉武紀道 (井上研作) (藤本尊文) (古川睦久)	第5回高専シンポジウム	平成12年1月
熱分解GC-MS法によるポリウレタンの熱分解生成物	吉武紀道 (古住明寛) (下川将広) (古川睦久)	第5回高専シンポジウム	平成12年1月
2成分溶液中のエーテル、アルコール、炭化水素の無限希釈活量係数の測定と相関	(福地賢治) (三吉克己) 渡辺徹 (米澤節子) (荒井康彦)	第20回日本熱物性シンポジウム	平成11年10月
MTBE+メタノール+ヘプタン系の定圧気液平衡の測定と相関	渡辺徹 (本田克美) (荒井康彦)	化学工学会第33回秋季大会	平成12年9月
プラスチック/セラミック複合溶射材料の製造法に関する開発研究	川瀬良一	高温学会溶射討論会	平成11年11月
セラミック溶射皮膜の封孔処理とその評価法	川瀬良一	日本溶射協会全国講演大会	平成12年6月
洗剤を用いない洗濯機の開発	水室昭二 (若原修平) (中尾友子)	第6回水環境技術研究会	平成12年3月
環境ホルモンと牛血清アルブミンの相互作用	水室昭三 (徳本家康)	第6回水環境技術研究会	平成12年3月
マイクロバブルの洗浄効果	水室昭三	第7回水環境技術研究会	平成12年8月
進級できない学生について	水室昭三	日本高専学会第6回総会	平成12年8月
マイクロバブルの物理化学的特徴	水室昭二	マイクロプロネット研究所発足記念講演会	平成12年9月
高分子電解質の電位差分析法の開発	正留 隆	豊橋科学技術大学物質工学系教育・研究講演会	平成11年12月
Response Mechanism of Neutral Carrier Based Electrodes Using Their Liquid-Membrane Based Ion-sensitive Field-effect Transistors	( S.Wakida ) T.Masadome ( Y.Asano ) ( T.Tsujimura ) ( S.Yoshikawa )	8th International Meeting on Chemical Sensors	平成12年7月

界面活性剤イオン電極を検出器とするFIA法によるアルカリ金属イオンと非イオン性界面活性剤の錯形成能の評価	正留 隆 (今任 稔彦)	日本分析化学会第49年会	平成12年9月
表面プラズモン共鳴現象を利用する有機ハロゲン化合物応答センサーの開発	(徳田 友幸) (城之園恵子) (今任 稔彦) 正留 隆 (浅野 泰一) (丹羽 修)	日本分析化学会第49年会	平成12年9月
ヨウ化物イオン電極検出器を用いる現像液中のヨウ化物イオンのフローインジェクション電位差分析	正留 隆 (浅野 泰一)	日本分析化学会第49年会	平成12年9月
C. elegansを用いた生態毒性の簡易スクリーニング法	(島田 秀昭) 富永伸明 (高良 真也) (三井 義則) (有菌 幸司)	環境トキシコロジーシンポジウム	平成11年10月
幼齢C. elegansにおけるメタロチオネイン、ビテロジェニンの遺伝子発現及び行動に及ぼす重金属の影響	(島田 秀昭) 富永伸明 (高良 真也) (三井 義則) (三輪 高志) (有菌 幸司)	日本内分泌搅乱物質学会第2回研究発表会	平成11年12月
The improved HPLC system for fish plasma vitellogenin and its application	(H.Ishibashi) (K.Tachibana) (M.Tuchimoto) (Y.Ishibashi) (A.Yamaguchi) N.Tominaga (K.Arizona)	The 3rd IWA specialized conference of hazard assessment and control of environmental contaminants - ECOHAZARD'99 -	平成11年12月
ステロイドホルモン及び合成ホルモンの線虫に及ぼす経代影響	富永伸明 (川上 真人) (川口 友彰) (高良 真也) (三井 義則) (有菌 幸司)	日本内分泌搅乱物質学会第2回研究発表会	平成11年12月
線虫を用いた試験	富永伸明 有菌 幸司	国立環境研究所「環境中の化学物質総リスク評価のための毒性試験系の開発に関する研究」研究報告会	平成12年2月
DNA tip を用いた線虫での遺伝子発現の解析	(有菌 幸司) (浦 和寛) (園田 理紗) (上杉 裕子) (小原 雄治) 富永伸明 (井口 泰泉)	第5回Testis Workshop精子形成・精巣毒性研究会シンポジウム	平成12年9月
線虫を用いた環境化学物質の毒性評価	(甲斐利典) (三井 義則) (有菌 幸司) (高良 真也) (中原 紀之) 富永伸明	第6回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会合同研究発表会	平成12年9月

道路交通騒音に対する社会反応の異文化間比較－イエーテボリ、札幌、熊本、バンコクの戸建て住宅に関する分析－	(村瀬 巧) (矢野 隆) (佐藤哲身) 山下俊雄 (川井敬二)	日本建築学会研究報告 九州支部第39号環境系	平成12年3月
道路交通騒音に対する社会反応の異文化間比較－住宅タイプ別の社会反応に関する分析－	(村瀬 巧) (矢野 隆) (佐藤哲身) 山下俊雄 (川井敬二)	日本建築学会研究報告 九州支部第39号環境系	平成12年3月
イエーテボリ、札幌、熊本、バンコクの戸建住宅住民の道路交通騒音に対する不快感の分析－道路交通騒音に対する社会反応の異文化間比較研究(6)	(村瀬 巧) (矢野 隆) (佐藤哲身) 山下俊雄 (川井敬二)	日本建築学会大会学術講演梗概集(D-1) 環境工学(I)	平成12年9月
書籍配架の実態からみた一般書コーナー分割の可能性 地域公共図書館におけるコーナー再編成に関する研究(1)	北岡 敏郎	日本建築学会大会学術講演梗概集	平成12年9月
組み合わせ応力の相関を考慮した降伏線理論によるRC柱部材の極限解析	上原修一 (江崎文也) (崎野健治)	コンクリート工学年次大会2000	平成12年6月
三井山野鉱業所の俱楽部について	松岡高弘 (川上秀人)	日本建築学会九州支部研究報告第39号・3	平成12年3月
旧柳川藩の浮土真宗寺院本堂の建築的特徴－外陣の平面構成を中心として－	松岡高弘	第2回柳川市史連絡会	平成12年9月
『菅原道真の漢詩』(1)	燒山廣志	大牟田市民文学講座 (大牟田市生涯学習課 依頼講演)	平成11年11月
『菅原道真の漢詩』(2)	燒山廣志	大牟田市民文学講座 (大牟田市生涯学習課 依頼講演)	平成11年12月
『中国の詩蹟を訪ねて』(1)～蘇州・太湖・西湖の旅～	燒山廣志	大牟田市教育委員会自主婦人学級「合歓の会」	平成12年2月
『中国の詩蹟を訪ねて』(2)～西安・洛陽の旅～	燒山廣志	大牟田市教育委員会自主婦人学級「合歓の会」	平成12年2月
和漢比較文学～菅原道真の漢詩研究(1) ～	燒山廣志	福岡県「ふくおか学びの森推進事業」講座	平成12年9月
和漢比較文学～菅原道真の漢詩研究(2) ～	燒山廣志	福岡県「ふくおか学びの森推進事業」講座	平成12年9月

Defoeのフィクションにおける Verb-Adverb Combinationについて —Moll Flanders (1722)を中心にして—	村田和穂	英語史研究会第3回大 会	平成12年3月	
混合スピニANNNIモデルの磁気相図Ⅱ	(笠間敏博) 西山治利	村岡良紀	第105回日本物理学会 九州支部例会	平成11年11月
混合スピニANNNIモデルの有限温度磁気 相図Ⅱ	(笠間敏博) 西山治利	村岡良紀	日本物理学会春の分科 会	平成12年3月
高次スピニ間相互作用を持つ競合スピニ系 の磁気相図	村岡良紀	日本物理学会第55回年 会	平成12年9月	
混合スピニANNNIモデルのモンテカルロ シミュレーション	(笠間敏博) (島本知茂)	(岡田邦英) 村岡良紀	日本物理学会第55回年 会	平成12年9月
金属人工格子の巨大磁気抵抗に及ぼす圧力 効果	(巨海玄道) (上床美也) (藤森啓安)	酒井 健 (高梨弘毅)	第23回日本応用磁気学 会学術講演会	平成11年10月
DyB <sub>6</sub> におけるネール温度の異常な圧力依 存性	酒井 健 (毛利信男) (国井 晃)	(巨海玄道) (宮川英明)	第105回日本物理学会 九州支部例会	平成11年11月
高圧下における金属人工格子の磁気抵抗Ⅲ	酒井 健 (小阪 功) (上床美也) (齊藤今朝美)	宮川英明 (巨海玄道) (高梨弘毅) (藤森啓安)	第40回高圧討論会	平成11年11月
Co/Cu人工格子におけるスピニ依存散乱 とバルク散乱の圧力効果	酒井 健 (小阪 功) (上床美也) (齊藤今朝美)	宮川英明 (巨海玄道) (高梨弘毅) (藤森啓安)	第105回日本物理学会 九州支部例会	平成11年11月
高圧下におけるDyB <sub>6</sub> の電子状態	酒井 健 (上床美也) (国井 晃)	(巨海玄道) (毛利信男)	「軌道の秩序と振らぎ」 研究会	平成12年1月
巨大磁気抵抗の振動現象に及ぼす圧力効果 —Co/Cu人工格子について—	酒井 健 (小阪 功) (高梨弘毅) (藤森啓安)	宮川英明 (巨海玄道) (齊藤今朝美)	日本物理学会2000年春 の分科会	平成12年3月
RuSr <sub>1-x</sub> GdCu <sub>x</sub> O <sub>3</sub> の超伝導に及ぼす圧力効 果	酒井 健 (江藤徹二郎) (巨海玄道) (神沢志保)	(本多史憲) (加賀山朋子) (D.P.Hai) (門脇和男)	日本物理学会第55回年 次大会	平成12年9月

高圧下におけるDyB<sub>2</sub>単結晶のメタ磁性 酒井 健（巨海玄道） 第24回日本応用磁気学会 平成12年9月  
 (国井 哲)

本校の情報教育環境と管理について（特に 山下 巍 堀田孝之 第20回高等専門学校情報処理教育研究発表会 平成12年8月  
 センターPCシステムと管理）

(注) 氏名欄（ ）は学外者を示す

## 【特許】

発明の名称	発明者	特許番号	取得年月日
ハロゲン化銀現像液中のハロゲン分析装置、分析方法並びにそれを用いた現像液の補充方法及び現像液の再生方法	正留 隆 浅野泰一 中村 敬	特開2000-249682	平成12年9月14日

## 【表彰等】

受賞名	学科	受賞者名	受賞年月
九州工学教育協会賞	機械工学科	川崎義則	平成12年2月
情報処理学会九州支部奨励賞	電子情報工学科	山崎直子	平成12年5月

## 【文部省在外研究員／内地研究員】

期間	研究題目	学科	研究者名	留学先
平成12年6月 ～ 平成13年3月	非線形プロセス系に対するロバスト適応制御手法およびその化学プロセス制御系への応用に関する研究	機械工学科	高橋将徳	アメリカ合衆国
平成12年6月 ～ 平成13年3月	擬凸領域上の正則写像の研究	一般教育科	本田竜広	連合王国
平成12年9月 ～ 平成13年2月	日本現代詩における思想の受容と方法意識について	一般教育科	岩本晃代	九州大学

### 【奨励研究（A）】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者	金 額
平成12年度	メタヒューリスティックスの網再構成への適用ならびにその評価	電子情報工学科	嘉藤 学	1,600,000
平成12年度	ジャイナ教認識論における到達／非到達作用説の研究	一般教育科	山口 英一	700,000

### 【奨励研究（B）】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者	金 額
平成12年度	養護学校における知的障害児のための自走機能をもつ立位保持装置の開発	機械工学科	木下 正作	240,000

### 【基盤研究（B）】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者	金 額
平成12年度	味覚センサの動的応答を利用した複合味の単一味情報（基本味）への分解と定量化	電子情報工学科 （代表者 都甲 潔）	松野 哲也	500,000
平成12年度	耐熱・耐食・耐摩耗性に優れたプラスチックとセラミックスの複合溶射皮膜の開発	物質工学科	川瀬 良一	1,500,000
平成12年度	固相検出法による内分泌かく乱物質の迅速高感度簡易計測法の開発	物質工学科	正留 隆	5,900,000

### 【基盤研究（C）】

年 度	研 究 題 目	学 科	研究者	金 額
平成12年度	極短パルスレーザーで生成したフィラメント状プラズマの生成機構と放電誘導特性の解明	電気工学科	内海 通弘	2,200,000
平成12年度	ステレオーシャドウグラフ法による渦と衝撃波の三次元干渉現象の解明	電子情報工学科	篠田 登世子	900,000
平成12年度	食肉の品質管理のための電位計測式食肉鮮度センサの開発	物質工学科	正留 隆	2,200,000

## 【奨学寄付金】

年 度	研究題目	学 科	研究者	金 额	寄付者名
平成12年度	Reconfiguration Algorithms Based on Meta-Heuristics for Multihop WDM Lightwave Networks	電子情報工学科	嘉藤 学	220,000	情報科学国際交流財団
平成12年度	高分子の劣化に関する研究	物質工学科	吉武 紀道	200,000	フロンティア・ラボ(㈱)
平成12年度	環境化学物質の新規生物学的影響評価法の開発研究	物質工学科	富永 伸明	1,000,000	吉田学術教育振興会

## 【各種委員会委員等】

年 度	委 会 名 等	学 科	研究者名
平成12年度	大牟田市産業活性化推進協議会委員	機械工学科	田口 紘一
平成12年度	大牟田技術開発支援事業専門委員会委員	機械工学科	田口 紘一
平成12年度	大牟田スタートアップセンター評議委員会委員	機械工学科	田口 紘一
平成12年度	荒尾市環境審議会委員	機械工学科	田口 紘一
平成12年度	熊本知能システム技術研究会（RIST）委員	機械工学科	川崎 義則
平成12年度	ロボティクス・メカトロニクス講演会（ROBOMECH'2000）実行委員会委員（日本機械学会）	機械工学科	川崎 義則
平成12年度	ヒューマンフレンドリーメカトロニクス研究会委員（日本機械学会ロボティクスマカトロニクス部門）	機械工学科	川崎 義則
平成12年度	先端材料技術交流会先端材料第156委員会委員	機械工学科	南 明宏
平成12年度	電気学会感性バイオセンサ調査専門委員	電気工学科	永守 知見
平成12年度	電気学会「誘電絶縁材料の空間電荷分布計測法標準化調査専門委員会」委員	電気工学科	内海 通弘
平成12年度	日本化学会九州支部高専フォーラム協議会代表世話人	物質工学科	吉武 紀道
平成12年度	日本化学会九州支部高専フォーラム協議会代表世話人	物質工学科	宮本 信明

平成12年度	日本分析化学会50回記念大会実行委員	物質工学科	正留 隆
平成12年度	大牟田市都市計画審議会会長	建築学科	新谷 肇一
平成12年度	大牟田市建築審査会会长	建築学科	新谷 肇一
平成12年度	大牟田市保健福祉ネットワーク協議会委員	建築学科	新谷 肇一
平成12年度	大牟田市あんしん介護創造専門部会長	建築学科	新谷 肇一
平成12年度	大牟田市環境審議会委員	建築学科	新谷 肇一
平成12年度	大牟田市町名整理審議会委員	建築学科	新谷 肇一
平成12年度	日本建築学会九州支部建築計画委員会委員	建築学科	新谷 肇一
平成12年度	日本高専学会理事および評議員	建築学科	新谷 肇一
平成12年度	大牟田市緑の基本計画策定委員会副委員長	建築学科	北岡 敏郎
平成12年度	大牟田市商業近代化推進協議会委員	建築学科	北岡 敏郎
平成12年度	日本建築学会九州支部建築計画委員会委員	建築学科	北岡 敏郎
平成12年度	荒尾市都市計画審議会委員	建築学科	北岡 敏郎
平成12年度	大牟田住まい・まちづくりネットワーク委員長	建築学科	北岡 敏郎
平成12年度	日本建築学会九州支部構造委員会委員	建築学科	上原 修一
平成12年度	日本コンクリート工学協会九州支部常任委員	建築学科	上原 修一
平成12年度	日本建築学会九州支部歴史意匠委員会委員	建築学科	松岡 高弘
平成12年度	柳川市史専門研究員	建築学科	松岡 高弘
平成12年度	久留米市伝統的町並み保存審議会委員	建築学科	松岡 高弘
平成12年度	和漢比較文学会研究会員（九州支部）	一般教育科	焼山 廣志
平成12年度	大牟田市生涯学習まちづくり推進本部委員	一般教育科	焼山 廣志
平成12年度	福岡県「南筑後地域学びの森推進委員会」推進委員	一般教育科	焼山 廣志
平成12年度	「南筑後地域学びの森推進委員会」大牟田地域実行委員会実行副委員長	一般教育科	焼山 廣志

平成12年度	英語検定試験準1級面接委員	一般教育科	安部 規子
平成12年度	大牟田市環境審議会委員	一般教育科	水室 昭三
平成12年度	日本高専学会理事・編集委員長	一般教育科	水室 昭三
平成12年度	水環境技術研究会会長	一般教育科	水室 昭三
平成12年度	地域情報化研究会委員	共通専門	山下 嶽

---

### 【卒業研究】(平成11年度)

#### 機械工学科

研究題目	指導教官	学生名
能動消音に関する研究	石崎勝典	牛飼 悟・松高 豊
セラミックスと軟鋼の拡散接合に関する研究	大山司朗	藤岡俊治・藤原哲夫
セラミックスの研削加工における残留応力及び強度低下について	大山司朗	時吉智恵・オマール
熱間鍛造用マトリックスハイスの熱負荷に関する研究	南 明宏	有吉 猛・大淵晃裕
硬軟質クラッド薄板の深絞り成形に関する研究	南 明宏	野田哲平・野中健一郎
旋回型クレーン系の振れ止め制御問題	川㟢義則	諫山秀一・北島康裕
知的障害児の機能回復を目的とした自走車の開発	川㟢義則	松川徹男・八尋勝宏
複合流路内気液二相流の流量配分に及ぼす流動障害物の影響	猿渡真一	角 高宏・松尾智徳
分岐管における気液二相流の流量配分の予測	猿渡真一	落石和親・蒲池雅樹
垂直細管内気液二相流における管内径と液粘性の影響	坪根弘明	岡田光弘・堂 優一
二相二重管熱サイフォンにおける内管内気泡流入に関する研究	吉田正道	寺嶋秀幸・山田 誠
二相編心二重管熱サイフォン内の流動と熱伝達 (可視化実験装置の製作)	吉田正道	江崎達祐・松岡健太郎
磁気歯車に関する研究	原慎真也	黒川正寛・武藤往也
工作機械の軌道制御に関する研究	原慎真也	小合瀬修吏・下川泰輝
機械工学実験用吐き出し式風洞の設計製作	田口紘一	田中宗一郎・原田 効

真円度制御深穴あけ法の開発研究	明石剛二	梅崎誠治・田中 徹
曲がり制御深穴あけ法の開発研究	明石剛二	西郷 友
ロバスト適応制御手法による巻上げ機の制御に関する研究	高橋将徳	木山 敏・澤村啓輔
柔軟な構造を有する搬送車の位置決め制御に関する研究	高橋将徳	竹永俊彦・中村嘉郎

## 電気工学科

研究題目	指導教官	学生名
校内LANによるマルチメディアデータ送受信に関する研究	山下 嶽	内山大輔・前野哲志 松尾智志
ハイパーカードを用いた教育補助スタックの作成	辻 一夫	樋崎康一・今田大五 古村純一
PLLの応用	近藤誠四郎	徳安輝明・友田雅広 林 剛志
線対平板電極におけるコロナ電流密度分布の規格化	浜田伸生	近藤大蔵・田中義和 藤丸和博
電流共振形DC-DCコンバータの特性	小澤賢治	植田麻美・谷川洋介 中山敬士
簡易ノンリニア編集による教材作成	中川忠昭	堤 晋也・松本準也 古園井洋治・西村太志
脂質膜を用いた膜電位の計測(1)	永守知見	北島健介・坂口 淳
脂質膜を用いた膜電位の計測(2)	永守知見	村上仁彦・山田崇仁
パルスパワーを用いた排ガス処理	塙本俊介	池松達也・福原進也 長 悅史
Pulse Forming Networkの製作・特性試験	河野 晋	高倉秀利・中川良伸
水中におけるパルス強電界の基礎研究	河野 晋	日野宗利
校内LANを用いた連絡システムの構築	福田浩人	田中克史
数値計算の誤差に関する研究	福田浩人	井上博文
PCによる実験支援環境の整備	福田浩人	遠藤康史

## 電子情報工学科

研究題目	指導教官	学生名
nチャネルMOSFETの試作（I）	中村俊三郎	前田 誠・松岡浩美 松本珠美江
アミューズメントロボットの研究Ⅶ －同時並行動作プログラムとファイル転送機能追加－	瀬々浩俊	嘉賀祐貴
アミューズメントロボットの研究Ⅷ －グリップメカの設計と試作－	瀬々浩俊	西山修一
RT-Linuxの応用研究Ⅱ　－ロボットカメラの遠隔表示制御－	瀬々浩俊	杉尾聰美
再帰サンプリングモンテカルロ法を用いた格子タンパク質モデルの構造予測	松野哲也	坂西真吾
再帰サンプリングモンテカルロ法を用いたRNAの2次構造予測	松野哲也	濱田伸一
グラフマッチング問題を解く専用ハードウェアの設計	松野哲也	宮本早苗
テレオペレーション技術の研究 －フォースフィードバックシステムの試作－	石井康太郎	古賀豊久・合島 圭
テレオペレーション技術の研究　－超音波距離計の試作－	石井康太郎	中尾 太・宮崎尊秀
教育用構造計算システムの開発 －構造計算部構築とリソース不足解決法－	山崎直子	永江健児 チュオン・キュ・リン
ステレオシャドウグラフ法による流れの3次元的観測	蓑田登世子	小倉由美・三小田由香
ステレオ法による3次元形状の復元	蓑田登世子	石井葉子・城村 歩
PVMによる並列計算システムの構築とその評価	森伸太郎	森尾裕子・湯村知佳子
3次元データのアニメーション化プログラム“A-Magicの改良”	森伸太郎	後藤 学・杉山加奈子
校内情報システムの試作	河村豊実	田中君佳・山下 彩
文字型ネットワークサービスのGUI化と応用	松野良信	片山三樹雄・田中 力 田中陽一・室瀬秀明
DCモータドライブ制御シミュレータ　－DCモータ部の研究－	堀切淳一	古賀理一・田中啓粥
DCモータドライブ制御シミュレータ －ファジイ制御シミュレータプログラムの作成－	堀切淳一	江崎幸一・境 沙織

## 物質工学科

研究題目	指導教官	学生名
過酸化水素の分解膜または粒子を用いた過酸化水素センサーの試作	永田良一	天野佐弥佳
パラコッカス脱窒細菌による硝酸性窒素の除去	永田良一	川上雅智
回転円盤法を用いたアルギン酸カルシウムゲルの微粒子の調整	永田良一	田中慎也
屋外暴露ポリエステル系ウレタンの劣化解析	吉武紀道	井上研作
ポリウレタンの熱分解に及ぼす触媒の影響	吉武紀道	下川将広
屋外暴露ポリエーテル系及びポリカーボネート系ウレタンの劣化解析	吉武紀道	藤本尊文
熱分解CC-MS法によるポリエーテル系及びポリエステル系ウレタンゴムの熱分解機構の検討	吉武紀道	吉住明寛
疎水性セルロースゲルの調製	松本和秋	江崎奈都子
塩基性ポリビニルアルコールイオン交換体の合成と性質	松本和秋	岸本大志
酢酸酪酸セルロースと希釗剤からの多孔質セルロースゲルの調製	松本和秋	田川勇気
酢酸酪酸セルロースとアセチル化プルランと混合希釗剤からの多孔質セルロースゲルの調製	松本和秋	春口 渉
ポリアクリロイルモルホリンゲルの合成	松本和秋	藤本美和
ゾルーゲル法による二酸化マンガンの合成と特性	宮本信明	北原里美
超音波噴霧熱分解法による二酸化マンガンの合成と特性	宮本信明	釘野智史
酢酸マンガンと炭酸アンモニウムによる二酸化マンガンの合成	宮本信明	中本貴大
各種有機酸を用いたゾルーゲル法からの二酸化マンガンの合成と特性	宮本信明	松藤善梨子
錯体重合法による二酸化マンガンの合成と特性	宮本信明	森田玲子
セラミック溶射皮膜の封孔処理とその評価法に関する研究	川瀬良一	赤司知佳
ポリフェニレンサルファイドとアルミナの複合溶射皮膜性能と予熱温度の関係	川瀬良一	森山哲代

ポリエーテルエーテルケトンとアルミナの複合容射皮膜の作製 とその性能評価	川瀬良一	安谷亜希子
MTBE+メタノール+ヘプタン系の液液平衡測定とASOGによる推算	渡辺 徹	金子栄作
オスマー型気液平衡装置によるヘプタン+メタノール+MTBE系の気液平衡再測定及びASOGによる推算	渡辺 徹	岸本志乃布
MTBE+ヘプタン、MTBE+オクタン二成分系の気液平衡測定とASOGによる推算	渡辺 徹	福山美輪
MTBE+メタノール+オクタン系の液液平衡測定とASOGによる推算	渡辺 徹	古川浩章
外因性内分泌搅乱化学物質と牛血清アルブミンの相互作用	氷室昭三	塙本家康
洗剤を使用しない洗濯機の開発	氷室昭三	中尾友子
ポリマーブレンドにおける水素結合	氷室昭三	松本暁典
マイクロバブルの水への影響	氷室昭二	若原修平
カドミウムイオンセンサーを検出器とする陰イオン性高分子電解質のフローインジェクション電位差分析	正留 隆	石原恵美子
ニュートラルキャリヤー型カルシウムイオン電極における添加塩の効果	正留 隆	今村尚子
ヨウ化物イオン電極検出器を用いるフローインジェクション分析法による現像液中のヨウ化物イオンの計測法の開発	正留 隆	園田理沙
フィールド計測用モバイル型表面プラズモンセンサーの開発のための基礎的検討	正留 隆	田代智也
化学物質のホルモン様活性検出法の開発	富永伸明	荒木真由美
線虫の形態観察	富永伸明	川上真人
線虫をモデルとした化学物質の経代影響	富永伸明	川口友彰
環境ホルモン新規検出法の開発	富永伸明	山下満里子
有機性廃棄物の微生物利用処理に関する研究 —ジャガイモ毒ソラニン分解菌の培養、単離および観察—	笹木昭弘	黒田朝香

有機性廃棄物の微生物利用処理に関する研究  
—活性汚泥中に存在する微生物による食用油の分解—

笹木昭弘

中村由香理

有機性廃棄物の微生物利用処理に関する研究  
—活性汚泥中に存在する微生物による合成洗剤の分解—

笹木昭弘

堀 真理恵

## 建築学科

研究題目	指導教官	学生名
プログラム荷重下におけるすみ肉溶接継手の曲げ疲労寿命	原田克身	大戸奏子・龍頭伸秀
炭素繊維シートを接着した鋼材の疲労き裂進展性状	原田克身	品川健介・前岡いづみ
養護施設における児童・保母の生活構成と空間利用に関する研究 —荒尾市のシオン園及び全国の小舎制施設を対象として—	新谷肇一	江崎 愛・諏訪本麻吏 松村めぐみ
精神的ストレスを解放する建築空間デザインの手法に関する研究 —不知火病棟・海の病院の空間構成の評価（退院時の患者を対象として）—	新谷肇一	高口智子・森 優希
居住環境の快適性に関する調査研究 —新幹線開通前と開通後の居住環境の快適性の比較！—	山下俊雄	清原友美・野口祐二
レパートリー・グリッド発展手法による居住環境の快適性の評価構造に関する研究	山下俊雄	福澤 匠・光田典雄
公共図書館の規模計画に関する研究 —貸出冊数の変動要因と算定—	北岡敏郎	下野原聖・永井一也
公共図書館の相互利用型ネットワークに関する研究 —距離要因から見た〈域外〉〈域内・外〉利用型の図書館利用の特徴—	北岡敏郎	坂上美穂・前田容里
降伏線理論によるコンクリート系部材の極限解析 —SRC柱について—	上原修一	高柳力也
降伏線理論によるコンクリート系部材の極限解析 —中段筋のあるRC矩形柱について—	上原修一	中野 耕
降伏線理論によるコンクリート系部材の極限解析 —RC円形柱について—	上原修一	ウィリー
有明高専校舎の耐震診断 —耐震診断ソフトによる結果との照合—	上原修一	川下未貴・松永 哲
筑豊炭田における炭鉱社宅の平面構成に関する研究 —三菱飯塚炭鉱と住友忠隈炭鉱の職員社宅を中心として—	松岡高弘	藤田智子

旧中島徳松飯塚別邸の建築に関する研究	松岡高弘	安陪春香
旧柳川藩における浄土真宗寺院本堂の研究	松岡高弘	井口弘彰
旧柳川藩における小規模浄土真宗寺院木堂に関する研究	松岡高弘	江見 歩
福岡県筑後地区における木造建築物の耐震診断調査 －久留米市・大牟田市・三潴郡における耐震診断調査－	小野聰子	石橋和也・田島真一朗
教育用構造計算システムの開発 －鉄筋コンクリート造の場合における仕様書作成・改定および システムの評価・改善－	小野聰子	岩田篤資
建築構造物の常時微動から損傷部分を同定する手法の開発に する研究 －固有値解析および自由振動解析による損傷同定に関する基礎 研究－	小野聰子	田中宏明
麻生大浦分家の建築に関する研究	森山恵香	余語千秋
商業照明の心理評価 －大牟田市内のコンビニエンス・ストアを対象として－	中野浩志	鐘ヶ江国子・森木史子

## 【学位論文】

学位記番号 九州大学工博乙第一三六二号  
 授与年月日 平成十二年五月二十三日 授与  
 氏名 明石剛二  
 学位論文題目

## BTA方式工具を用いた深穴加工における精度向上に関する研究

### 論文要旨

深穴加工の分野においても高精度な加工が要求されるようになってきているが、現状の加工技術ではかなり大きな曲がり誤差などが生じる場合がある。たとえば、工具径100mm深さ5mの穴加工では最深部の穴の半径方向位置誤差は数mmを覚悟しなければならない。一方、深穴加工においては工具シャンクが細長く剛性が低くなることや切りくず排出性を考慮する必要があることなどの制限を受けるために加工精度向上を目的とした研究数は少なく、高精度な加工技術の確立が大幅に遅れているのが現状である。そこで、BTA(Boring and Trepanning Association)方式工具を用いた深穴加工における精度向上を目的とし、現在までに全く実用化されていない深穴制御加工システムの開発を行った。本論文はその開発成果をまとめたものである。対象とした加工穴の精度は真直度および真円度である。また、今後期待される技術である曲がり穴加工の開発に先立ち、曲率の大きな曲がり穴測定法の開発指針も示した。

第1章では本研究の目的および従来の研究状況について述べた。

本論文の第2章から第7章までは真直度精度向上に対する研究成果を示した。

穴の曲がりが生じないようにするために、工具先端が目標軸からはずれた場合に、工具を目標軸上に戻すような作用を強制的に行わねばならない。そのためには工具を目的通りにシフトさせることのできるシステムを開発する必要がある。開発したシステムにより、穴の深さに関係なく曲がり誤差を0.1mm以内に抑えることができれば、加工現場における現状では満足できる真直度を得ることができる。

第2章では、穴の曲がりを修正するための各種方法を挙げ、その中で最も実用化が期待できるパッド駆動法を検討し、工具のシフト機構を明らかにした。

第3章では工具先端位置測定システムの開発について述べた。曲がり制御を実施するためには加工中の穴の位置測定を行う必要がある。そこでレーザー光およびコーナキューブプリズムを用いた光学的測定法を提案し、穴の曲がり誤差を0.1mm以内に抑えるための測定精度を有するシステムを構築した。

第4章では、第2章で検討したシフト機構を実現するため、くさびおよび特殊カム機構を有する工具と制御システムの開発を試み、光学的測定法とシフト機構とを連携させることで、目標軸に向かって加工穴を1mmシフトさせることができ、曲がり制御の実現の可能性が高いことを示した。

第5章では、くさび駆動方式の問題点を克服し実用化し易い機構とするため積層型圧電素子を用いた駆動方式を開発し、そのシステムの性能を明らかにした。強制シフト加工実験の結果、穴深さ100mmあたり約0.7mmのシフトが可能であることが示され、実際の穴の曲がりを想定しても十分制御可能なことが確認できた。また、シフト機構と光学的測定法による加工途中での工具先端位置測定結果とを連動させることにより、基準軸に沿って±0.05mmの許容誤差範囲で曲がり制御を行うことができた。なお、レーザー光の広がりによる制限は受けけるが、本システムによるシフト加工能力は穴深さには関係ないと考えられる。

第6章ではパッド駆動法による曲がり制御の変位能を明らかにした。また、曲がり制御の変位能に及ぼす因子と1.パッド駆動量のほかにオイルクリアランスが重要であることを示し、工具設計上の指針を与えた。

第7章では、さらに曲がり制御深穴加工法の適用範囲を広げることを目指し、光学的測定法に代わる超音波による新しい穴の曲がり測定を開発し、0.1mmの精度で測定できることを示した。本超音波測定法は穴の曲がり状況を工具内測定ではなく、外部からの測定、すなわち加工穴外部（被削材外面）より測定するものである。光学的測定法と比較して、工具内に測定管などを装備する必要がなく、工具に簡素化が図れることで小径工具への曲がり制御深穴加工の適用が可能となる。

論文の第8章、第9章では穴の真円度精度向上および曲がり穴の測定法に対する研究成果を示した。

第8章では、深穴加工における真円度精度向上を目的として、曲がり制御システムを応用した加工中の穴形状の測定システムおよび穴形状修正制御システムを開発し、そのシステムを用いた加工実験の結果より、多角形誤差を10  $\mu\text{m}$ 程度まで抑えることが可能であることを明らかにした。

第9章は、測定管をフレキシブルにし、その中にひずみゲージを貼付した板ばねを入れることで、曲率の大きな曲がり穴の形状を測定できる可能性があることを示した。

第10章では結論を述べた。

学位記番号 九州大学シ情博甲第一一六号  
 授与年月日 平成十二年三月二十七日 授与  
 氏名 永守知見  
 学位論文題目

## マルチチャネル味覚センサを用いたアミノ酸の味に関する研究

### 論文要旨

食品の味を計測することは、食品生産における品質管理、食品の開発などの分野において必要不可欠なことである。しかしながら、食品メーカーにおける食品の味の評価は、現在でもパネラーと呼ばれる人間が実際に味わって行う官能検査に大きく依存している。

アミノ酸はその種類により様々な味を呈する。タンパク質を構成するアミノ酸は20種類あり、物理的、化学的に多様な特徴を示す。この呈味性のあるアミノ酸を利用することは重要であり、種々の食品の味の形成や特徴付けに寄与している。またアミノ酸は単独で5基本味からなる複合味（複合味）を呈することが官能検査によって示されており、これまでアミノ酸の味の種類、強度について数多くの研究がなされている。そこで味を客観的に再現性よく測れる装置を用いてアミノ酸の味質、強度などを定量的に表すことができれば、食品製造ラインの自動化、食品の品質保証など、その影響力は計り知れないものがある。

本論文は、味覚センサを用いたアミノ酸の味の定量化、複合味の定量化、アミノ酸による抑制効果の定量化、さらにアミノ酸がペプチド結合してできるペプチドの味質を調べた研究をまとめたもので、以下に述べる6章より構成されている。

第1章では、まず生物における味受容について概観し、本研究の目的と方針について述べている。

第2章では、まず5基本味に属する、NaClやHClなどさまざまな典型的味物質を測定した。5基本味に対して、それぞれ特徴的な応答電位が得られ、味覚センサが味そのものに応答していることを示した。次に苦味を呈するアミノ酸であるトリプトファン、フェニルアラニン、イソロイシンの応答パターンと5基本味を比較した。その結果、苦味物質キニーネ塩酸塩（以下、キニーネと略す）に極めて近い相関を示すことが、相関係数により確かめられた。さらに、トリプトファンの応答電位に主成分分析及び重回帰分析を施し、キニーネの等価的苦味強度を求める方法を提案した。その結果は、官能検査とよく合致し、人の官能検査によらず味覚センサを用いることにより、苦味度を表すことができるることを示している。生理学的には、アミノ酸の受容体とキニーネのような植物系アルカロイドの苦味の受容体は異なると信じられている。しかしながら、この実験において、味覚センサでは脂質膜を使用することにより、キニーネの苦味の応答と同様な応答が得られた。このことは、苦味を呈するアミノ酸とアルカロイドが二分子膜の同じ部分で受容されている可能性があることを示唆しており、味覚受容メカニズムに一石を投じる結果と考えられる。

第3章においては、味覚センサによく応答する甘味のアミノ酸アラニンと前章で用いた苦味のトリプトファンの混合液を用意し、単独で甘味と苦味の複合味を呈するアミノ酸であるメチオニンとの比較を行い、味覚センサの応答電位から混合比を推定し、官能検査との比較を行った。メチオニンは甘味と苦味の両方を持ち、アラニンとトリプトファンの混合液と同じパターンを示した。このことは、官能検査によても確認することができた。以上のように、味覚センサを用いることにより、混合液の混合比の推定が行えることを示した。

第4章においては、アミノ酸系のうま味物質であるグルタミン酸ナトリウム（MSG）により塩味度が抑制される“塩慣れ効果”を調べた。受容膜の改良と選択を行うことで、これまで人の官能検査により確かめられてきた抑制効果を、味覚センサを用いることにより、定量化できることを示した。また塩分の濃い領域で、過去に行われた官能検査との比較から、人間では識別できない濃い味の領域でも、味覚センサであれば明瞭に識別できることを示唆している。

さらに第5章では、アミノ酸がペプチド結合してできる呈味が弱いペプチドを、味覚センサを用いて調べ、アミノ酸と同様に応答電位から味質の分類ができるることを示した。アミノ酸とペプチドに対する応答を調べ、相関係数を調べることにより、官能検査の結果に極めて近い相関を示すことが確かめられた。主成分分析した結果、アミノ酸、ペプチドにかかわらず、基本味に明瞭にグルーピング化できた。ペプチドも、味質、強度など定量的

に表せることを示しており、今後の展開が期待される。  
最後に第6章において、本研究により得られた結果について総括を行った。

学位記番号 九州工業大学情工博乙第二一号  
 授与年月日 平成十二年三月二十四日 授与  
 氏名 嘉藤 学  
 学位論文題目

## **Studies on Reconfigurations in WDM Lightwave Networks (WDM光波網の再構成に関する研究)**

### **論文要旨**

近年、高速なデータ転送を必要とするアプリケーションに対する要求が高まっており、それらの要求に応えることのできる高速通信網の構築が望まれている。波長分割多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）技術は高速通信網を構築するための有望な技術の一つであり、この技術を用いた通信においては光ファイバの低損失領域が複数のチャンネルに分割され各々のチャンネルが一組のユーザ間に割り当てられる。このようなWDM技術を基盤とする光波網は、送信ノードから送信されたパケットが目的ノードに到達するまでに必要な伝送回数（小アップ数）の違いによりシングルホップ網とマルチホップ網に大別される。

本論文では、規則的にノードが配置されているトポロジーを持つマルチホップ網に着目し、その再構成について検討する。WDM光波網の論理構成は、ノードにおける可変波長送受信器の波長を再割り当てすることによって変更することが可能である。網の再構成は、ユーザ間のトラヒックパターンの変化、ノードやリンクの故障、ノードの追加と削除に伴って行われるものと予想される。本論文においては特に、ユーザ間のトラヒックパターンの変化に伴って行われる再構成及びノードの追加に伴って行われる再構成（網拡張）に着目する。前者の目的は最大スループット特性を改善し網により多くのトラヒックを収容可能とすることであり、後者の目的は各ノードの構成を変更することなく大規模網を構築することである。

本論文は、以下の6章から構成されている。

まず第1章において、WDM光波網の分類、代表的なマルチホップ網、再構成の概要、本論文の意義及び目的を述べている。

第2章と第3章において、トラヒックパターンの変化に対応して最適ノード配置を求めるためのノード再配置アルゴリズムを考案する。まず第2章では、食欲法（グリーディー法）に基づく再配置アルゴリズムを考案し評価を行っている。各種アルゴリズムパラメータがネットワーク性能へ及ぼす影響及び再構成の有効性を示している。このアルゴリズムを用いると比較的短い計算時間で近似解を求めることが可能である。しかしその一方で、求めることのできる近似解の精度は比較的低く抑えられる。そこで次に第3章において、局所探索法、タブー探索法、遺伝アルゴリズム、アニーリング法などのメタ戦略（メタヒューリスティックス）を適用することを試みる。メタ戦略とは、組合せ最適化問題に対する近似解を得るために新しい枠組であり、初期解を得るために基本戦術と得られた初期解をさらに改良するための戦術を組み合わせた枠組みである。そこで考案したメタ戦略に基づく各アルゴリズムを用いると、食欲法に基づくアルゴリズムを用いる場合よりも高い精度の近似解が得られることを示している。また、従来の研究の多くにおいては、あるステップ数を経た後に得られる近似解の精度を評価尺度としている。本論文においては、予め設定した精度の近似解が得られるまでのプロセス時間を評価尺度として採用し、アルゴリズムの性能を比較している。その結果として、タブー探索法に基づくアルゴリズムを用いると、短いプロセス時間で所望の精度の解を得ることができることが明らかになっている。更に各メタ戦略の初期解の生成法が解の収束に及ぼす影響を調べている。初期解を生成する方法として、第2章で考案した食欲法に基づくアルゴリズムを用いる場合は、ランダムサンプリング法を用いる場合と比べ、より短い時間で所望の精度の近似解が得されることを示している。

第4章では、各ノードを最適配置へ再配置するための手順である再構成手順について検討している。網運用の際、ノード再配置アルゴリズムを用いて最適ノード配置をまず求め、その後再構成手順に従って再構成が実施される。本章では、システムが固定波長送信器と可変波長受信器から構成されているという仮定のもと、数種類の再構成手順を提案し、計算機シミュレーションによりそれらの性能を評価している。提案した手順は、網内の全

ノードに備えてある受信器を一斉に同調する手順及び一組のノードの交換（スワップ）を複数回繰り返す手順に大別することができる。これらの手順のしたがって網を再構成する過程における過渡的な網性能を明らかにしている。特に、パケット転送時間で正規化した受信器の同調時間が最大パケット総遅延時間に及ぼす影響を調べている。その結果として、正規化同調時間が比較的短い範囲においては前者の手順、一方比較的長い範囲においては後者の手順の一つを用いることによって網性能へ及ぼす影響が小さくなることが示されている。良好な特性を示すその後者に属する手順では、一組のノードのスワップが行われる各ステップを各々2つのフェーズに分ける。その各フェーズにおいて半分の受信器は同調を行うため利用できないが、その一方で残りの半分の受信器は利用可能である。

第5章では、シングルホップ網とマルチホップ網の両方の特徴を備えた光波網を対象に、その網拡張について検討している。隣接する一組のノードで单一のチャンネルを共有し交互に使用する時分割多重アクセス（TDM A; Time Division Multiple Access）方式を提案している。この方式を採用することにより各ノードの構成を変更することなく網を拡張することが可能となる。TDMA機能を備えているノードから構成される網を最大規模に拡張した場合の網性能を持ち行列理論により解析的に明らかにしている。その結果として、TDMA機能が備わっていない網と比べて、ノードあたりの最大スループットは若干減少するが、その一方で網全体の総最大スループットが著しく増加することを明らかにしている。

第6章では、本論文の総括を述べるとともに、今後の課題を提起している。

学位記番号 九州大学人環博甲第一三号  
 授与年月日 平成十二年三月二十七日 授与  
 氏名 上原修一  
 学位論文題目

## 降伏線理論に基づく鉄筋コンクリート部材の統一的解析法に関する研究

### 論文要旨

1995年1月17日の、兵庫県南部地震では、旧基準で設計された構造物を中心に、多くの鉄筋コンクリート（以下、RCとする）構造物が重大な被害を受けた。地震規模が、想定されていた規模を上回るものであったため、設計者の予想を超える甚大な被害を受けた構造物も少なくない。また、1997年3月26日および5月13日の鹿児島県北西部地震においても、学校建築物を中心に多くの鉄筋コンクリート構造物が被害を受けた。

これらの震災から、日本国内の、比較的厳しい耐震基準に則った鉄筋コンクリート構造物であっても、ある程度の規模の地震に見舞われた場合は、現実に、弾性限度を大きく超え、塑性域に達することが明らかとなり、構造物の終局時の挙動評価が極めて重要であることが再認識されるところとなった。

現在、多くの先進国では、構造物の設計法として終局強度型の設計法を採用している。一方、我が国においては、ほとんどの構造物は、許容応力度設計法で設計されているが、1981年に新耐震設計法が施行された後は、2次設計によって大地震に対する安全性を確認することなど、終局強度型設計法の概念が取り入れられている。

さらに、近年、「韌性保証型の耐震設計法」や「限界状態設計法」など終局強度型の設計法が整備されつつあることから、今後はこれらの設計法に移行していくものと考えられる。

このような終局強度型の設計法を、より合理的なものとするためには、「構造物や部材の終局時の力学性能を的確に評価できる解析法」を確立しておくことが極めて重要である。また、構造設計者が、その解析法や設計法を適切に運用できるようにするためには、それらを普遍的で統一的な理論に基づくものとしておく必要がある。

鉄筋コンクリート構造物の統一的な解析・設計理論として、Schlaichらが提案しているストラットとタイを用いた理論、Hsuが提案している既往の曲げ理論などをも包含したトラスモデル理論がある。我が国においては、加藤・称原、若林・南によるトラス機構とアーチ機構を組み合わせたモデルなどがある。これらはすべて、部材あるいは構造物の抵抗機構に基づく、つまり下界定理に基づく理論である。

一方、破壊機構、つまり上界定理に基づく解析法に関する研究は、これまで取り組まれることが少なく、曲げモーメント・軸力・せん断力の相関性を取り入れた統一的な解析法に関する研究は、皆無である。そこで、本研究では、「曲げモーメント・軸力・せん断力の相関性を取り入れた降伏線理論、つまり上界定理に基づく統一的な解析法を開発すること」を目的とする。

なお、本論文では、「統一的解析法」を「曲げモーメント、軸力、せん断力およびねじり力を同一の理論に基づき取り扱い、すべてのRC構造物や部材に適用可能な解析法」と位置づけている。ただし、ねじり力については、建築構造物ではせん断力などに比べて重要度が高くなないことから、本論文では取り扱わないこととする。

降伏線理論に基づく解析法は、1980年代に、JohansenらによりRCスラブの解析法として研究されたが、ここで提案する方法は、組み合せ応力の相関を考慮することにより、柱や耐震壁など、面内力を受ける部材に適用できるように、それを応用・発展させたものと位置づけられる。

ところで、1977年、川井は極限解析法を一般化、離散化し、コンピュータ使用を前提とした極限解析法である「離散化極限解析法」を提案した。この解析法は、固体が載荷の極限においては、いくつかのブロックからなるリンク機構を形成して剛体運動を起こし、不安定になっていく実験的事実に着目し、固体を剛体とそれらをつなぐばねに分割し、モデル化したものである。このモデルは「剛体ばねモデル」とよばれる。この解析法によれば、極限解析上の上界の解と破壊メカニズムが得られ、土質岩盤力学等の分野では大きな成果をあげている。

従来の、手計算レベルでの極限解析法では、応力の相関を考慮した場合、構造物の破壊メカニズムを求めることは極めて難しいとされている。そこで、本研究において、この川井の離散化極限解析法を用いた。RC構造物の解析法を提案し、RC構造物の簡便な極限解析法と位置づける。また、この離散化極限解析法の構築においても、手計算を想定した極限解析法と同じ理論に基づかせることにより、離散化レベルでの成果と手計算レベルで

の成果を、それぞれの解析法に生かすことを考えている。

本研究の成果である、降伏線理論、つまりに上界定理に基づく統一的な解析法は、現在、世界的に進められている。「コンクリート系構造の統一理論」構築の中で、重要な地位を占めるものになると考えている。

次に本論文の概要と各章の詳細を記す。

本研究では、「曲げモーメント・軸力・せん断力の相関性を取り入れた降伏線理論つまり上界定理に基づく統一的な解析法を開発すること」を目的としている。その目的のため、大きく3つの部分に分かれる研究を遂行している。それらは、

- (1) 降伏線理論の基礎となる、組み合わせ応力を受けるRC断面の降伏条件の提案と破壊実験によるその検証（第2章、第3章）
- (2) そのRC断面降伏条件を用いた、RC部材（RC柱、耐震壁）の極限解析法の提案とその検証（第4章～第6章）
- (3) そのRC断面降伏条件を用いた、RC部材の離散化極限解析法の提案とその検証（第7章）

である。

次に、各章の詳細を記す。

まず、第1章では、研究の目的などを示している。

第2章では、軸力・せん断力を受けるRC断面の降伏条件を、仮想仕事の原理より導いている。次に、コンクリートの降伏条件と鉄筋の降伏条件の一般化累加によても、同じ降伏条件が得られることから、導いた解が「正解」であることを示している。既往の研究により、一般化累加により求められた降伏条件は、「正解」であることはすでに証明されていることではあるが、ここではそれが確認されることになる。

さらに、この降伏条件とMattock実験結果を比較し、RC断面に含まれる鉄筋の定性的な応力状態を予測できることを示している。また、既往の123体の試験体を使って、コンクリート強度の有効係数に及ぼす、垂直応力の影響を調べ、その評価式を提案している。

第3章では曲げモーメント・軸力・せん断力を受けるRC断面の降伏条件について検討している。はじめに、曲げモーメント・軸力・せん断力を受ける無筋コンクリート断面の場合、RC断面で鉄筋が断面に直交する場合、RC断面で鉄筋が断面に斜交する場合の3シリーズの実験を報告している。次に、それに対し、一般化累加強度（無筋断面の場合は単にコンクリートの降伏条件となる）を示している。さらに、垂直ひずみ勾配がコンクリート強度の有効係数に及ぼす影響を調べ、その評価式を提案している。最後に、その評価式により断面の強度と鉄筋の応力状態がほぼ予測できることを示している。

第4章では、曲げモーメント・軸力・せん断力の相関を考慮した降伏線理論による柱部材の極限解析法の提案をしている。はじめに、曲げモーメント・軸力・せん断力の相関を考慮したRC柱断面の降伏条件を、一般化累加強度理論に基づき誘導している。次にそれを用いて、RC柱の水平強度を求める方法を示している。さらに、コンクリート強度の有効係数について考察し、提案する解析法によれば、JCI（日本コンクリート工学協会）選定試験体の強度や破壊断面が良く予測できることを示している。最後に、パラメトリックスタディにより、提案する解析法が、既往の実験式などとよく対応することなどを示している。

第5章では、曲げモーメント・軸力・せん断力の相関を考慮した降伏線理論によるRC造耐震壁の極限解析法の提案をしている。はじめに、曲げモーメント・軸力・せん断力の相関を考慮したI形断面の降伏条件を、一般化累加強度理論に基づき誘導している。次にそれを用いて、耐震壁の水平強度を求める方法を示している。さらに、提案する解析法によれば、JCI選定I形断面の試験体の強度や破壊断面が良く予測できることを示している。そのほか、長方形断面、ボックス形断面、リブ付き断面耐震壁の解析法を提案し、それぞれの断面を有するJCI選定試験体の実験結果とよく対応することを示している。

第6章では、第5章で提案した解析法を、既往の文献に示す142体の耐震壁試験体に適用している。これらの試験体には、高強度材料を用いた試験体が含まれている。まず、この検討において明らかとなった、解析結果と実験結果の不適合の原因を考察して、「あらたな降伏条件の追加」と「シアスパン比の影響を考慮したコンクリート強度有効係数の評価法」を提案している。次に、この修正した解析法によれば、142体の実験結果を、既往の実験式などより良好に評価できることを示している。さらに、パラメトリックスタディにより、各変数が、強度や破壊断面などに及ぼす影響などを検討している。

第7章では、まず、軸力・せん断力を受けるRC断面の降伏条件を用いた耐震壁の離散化極限解析法を提案し

ている。次に、2体の耐震壁の解析から、提案する方法により、強度と破壊断面が予測できることを示している。さらに、曲げモーメント・軸力・せん断力を受けるRC断面の降伏条件を用いた耐震壁の離散化極限解析法を用いれば、わずかな要素で、曲げ破壊する壁板、せん断破壊するディープビームの強度と破壊断面を解析できることを示している。

最後に、第8章では、本論文の総括を示している。

平成12年度 編集委員

委員長 宮川英明（教務主事）  
委員 濑戸洋（図書館長）  
" 猿渡眞一（機械）  
" 近藤誠四郎（電気）  
" 順々浩俊（電子情報）  
" 永田良一（物質）  
" 上原修一（建築）  
" 中本潔（一般教育）  
" 酒井健（一般教育）

---

有明工業高等専門学校紀要

第37号（2001）

平成13年1月31日発行

編集 有明工業高等専門学校紀要編集委員会  
発行 有明工業高等専門学校  
大牟田市東萩尾町150  
電話 大牟田（0944）53-8613

---

## CONTENTS

On the Management of the Personal Computer and Network at Information Center in Our School	Takayuki HORITA Iwao YAMASHITA	1
Sewing up the Educational PC System in the Information Processing Center	Hiroto FUKUDA Takayuki HORITA Iwao YAMASHITA Yoshinobu MATSUNO Kumiko MAEKAWA	5
Introducing the New Educational PC System for the Information Processing and Its Use in the Department of Electrical Engineering	Hiroto FUKUDA	11
An Introduction to Study for the Formation of the Nation and the Social Structure in Ireland from Seventh to the Twelfth Century:Preface by Translating and Explaining D.O Corrāin's Essay, 'Nationality and Kingship in pre-Norman Ireland'	Mitsuo TANIGUCHI	17
AC Loss in High-Tc Cuprate Superconductors(2) —Effects of the Parameters Characterizing the Effective Critical Current Density—	Shunzaburo NAKAMURA Takanori FUJIYOSHI Kaoru YAMAFUJI	29
Magnetic Phase Diagrams of Extended Axial Third-Nearest Neighbor Ising Model	Yoshinori MURAKO	35
A Study of Membrane Transport in the Three-phase System Separated by Cation-and Anion-Exchange Membranes	Takashi MASADOME Yusuke TSUKAMOTO Akira MATSUBARA	41
Potentiometric Acid-base Titration Using a Plasticized Poly (vinyl chloride) Membrane Electrode with no Added Ion Exchanger as an Indicator Electrode	Takashi MASADOME	45
An Idea on the Example for Exercises in Numerical Analysis	Iwao YAMASHITA Gozo KIMURA	49
A Study on the Space Designs of Wards for Patients with Stress-Related Disease Part 1 The Correlation between Recovery from Stress-Related Disease and the Space Designs on the Seaside Ward of Shiranui Hospital	Choichi SHINYA Mitsuo TANAKA	57
A Study on the Space Designs of Wards for Patients with Stress-Related Disease Part 2 Analysis of Spatial Impressions on the Seaside Ward of Shiranui Hospital	Choichi SHINYA Mitsuo TANAKA	67
Comparison of Causal Models of Amenity between in Detached and Apartment Houses, and between in Town and the Suburbs	Toshio YAMASHITA Takashi YANO	77
A Study on the Development of External Respirator	Koichi TAGUCHI Koji AKASHI	87
Algorithms in Data Analysis for the Pulse Electroacoustic Method	Michihiro UCHIUMI Toshiatsu TANAKA	95
Changes to Gigabit Ethernet on Backbone Network of Campus LAN System	Yoshinobu MATSUNO Iwao YAMASHITA Takayuki HORITA Hiroto FUKUDA	101
Analysis of Characteristics of a Core with External Flux	Kenji OZAWA Katsuaki MURATA	107
PWM Controlled Resonant Converter with Small Number of Elements	Kenji OZAWA Katsuaki MURATA	113
Basic Study of Numerical Analysis of Optical Waveguides Using the Finite-Difference Time-Domain Method	Shintaro MORI	119
Effect of Surface Structure on the Thermal Softening and the Resistance of Plastic Deformation of Hot Forging Die	Akinori MINAMI	125
Study of the Thermal Degradation of the Bis(uret-crosslinked Polyurethane Elastomer by FT-IR with Linear Temperature Programmed Pyrolysis	Norimichi YOSHITAKE Mutsuhisa FURUKAWA	135
Scoring Methods of a Cloze Test as Pedagogical Testing	Noriko ABE	141
Some Observations on Phrasal Verbs in Defoe's <i>A Journal of the Plague Year</i>	Kazuho MURATA	153
A Study of Sugawara Michizane	Hiroshi YAKIYAMA	168