

熊本県工業技術センター

# 研究報告

第30号

平成 3 年度

---

REPORTS OF  
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

No 30

1992

---

平成 4 年 9 月  
熊本県工業技術センター

〒862 熊本市東町 3-11-38

Published by  
Kumamoto Industrial Research Institute  
3-11-38, Higashi-machi, Kumamoto-shi 862 Japan

# 熊本県工業技術センター研究報告

第30号 (平成3年度) 平成4年9月

## 目 次

### 《研究報告》

デaignワークのコンピューター化技術研究(1)	原口 隆一	1		
SLIPによる遠隔地組織とのコンピュータネットワーク接続	河北 隆生	10		
木質複合材料の電磁波シールド特性に関する研究 —複合建築材料の設計と開発に関する研究—	中村 哲男 木村 幹男	大迫 靖雄 外山 隆史	上田 直行	18
ファインセラミックスの成形研削 —精密成形研削加工技術に関する研究—	高橋 孝誠	松尾 哲夫	八戸 和男	25
精密ジグ研削の加工精度に及ぼす研削条件の影響	坂本 博宣	峠 瞳	松尾 哲夫	37
県内機械・金属業界のニーズ・シリーズ調査	河野 敏謙	出納 正道	42	
ファジィ開発支援システムの開発	石松 賢治	岡田 辰也	52	
ファジィ制御ユニットの開発	城戸 浩一	園田 増雄	萩原 宗明	59

ファジィ制御によるケーブル・クレーンの振れ止め	城戸 浩一 ・ 山崎 謙吉	67
エミッタ接地増幅回路のノイズ発生と対策 －電磁ノイズ対策技術に関する研究－	上田 直行	71
ラボスケールにおける無蒸煮発酵法による米製焼酎の製造 －焼酎製造プロセスの開発（第1報）－	中川 優 ・ 八幡 紀美 ・ 西村 賢了 木田 建次 ・ 園田 賴和	82
中間規模プラントを用いた無蒸煮発酵法による米製焼酎の製造 －焼酎プロセスの開発（第2報）－	西村 賢了 ・ 中川 優 ・ 八幡 紀美 木田 建次 ・ 園田 賴和	89
米製焼酎を無蒸煮発酵により製造した場合の経済的考察 －焼酎プロセスの開発（第3報）－	西村 賢了 ・ 中川 優 ・ 八幡 紀美 木田 建次 ・ 園田 賴和	96
麦みそから耐塩性酵母の分離とみそへの利用 有用微生物の探索・管理に関する基礎的研究（第2報）	松田 茂樹 ・ 林田 安生	102
甘夏果汁の酵素と膜による清澄化 －膜法による食品製造技術の改良に関する研究（第2報）－	湯之上雅子 ・ 松田 茂樹 ・ 木村千亜紀	108
液状食品の膜処理試験 －膜法による食品製造技術の改良に関する研究（第3報）－	湯之上雅子 ・ 松田 茂樹	114
電着塗装工程で発生するスケールの除去方法	本田悠紀雄 ・ 坂田 一成 ・ 荒木 悅郎	124
天草低火度陶石の微粉碎化による高強度磁器材料の研究開発	坂田 一成 ・ 永田 正典 ・ 本田悠紀雄	131

---

REPORT  
OF  
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

No. 30 (1991. 4~1992. 3) Sep. 1992

CONTENTS

---

《Report》

Studies on Computer aided Design Work (1)

Ryuichi HARAGUCHI .....	1
-------------------------	---

Connection between the Computer Network System and that of other site by SLIP

Takao KAWAKITA .....	10
----------------------	----

Studies on the Electromagnetic Shielding of Building Composite Materials

—Studies on the Design and the Development of Building Composite Materials —

Tetsuo NAKAMURA Yasuo OHSAKO Naoyuki UEDA Mikio KIMURA and Takashi TOYAMA .....	18
--	----

Study on Form Grinding of Fine Ceramics

—Study on Precision Form Grinding —

Kosei TAKAHASI Tetsuo MATSUO and Kazuo YAE .....	25
--	----

Effect of Grinding Conditions on Accuracy in Precision Jig Grinding

Hironobu SAKAMOTO Mutsumi TOUGE and Tetsuo MATSUO .....	37
---	----

Investigation on Technical Needs and Seeds of Mechanical and Metal Industries

in Kumamoto Prefecture

Tosinori KAWANO and Masamiti SUITO .....	42
--	----

Development of Engineering System for Fuzzy Board

Kenji ISHIMATSU and Tatsuya OKADA .....	52
---	----

Development of Fuzzy Control Unit

Koichi KIDO Masuo SONODA and Muneaki HAGIWARA .....	59
---	----

Anti - sway control of Cable crane by Fuzzy Control Koichi KIDO and Kenkichi YAMASAKI .....	67
Electro Magnetic Noise Generation and its Decrease Method of Common - Emitter Type Amplified Circuit —Studies on Countermeasure Technology of Electro Magnetic Noise— Naoyuki UEDA .....	71
Production of Shochu from Crushed Rice by Non - Cooking Fermentation with Saccharifying Enzymes —Development of Shochu Production Processes ( I ) — Masaru NAKAGAWA Kimi YAHATA Kenryo NISHIMURA Kenji KIDA and Yorikazu SONODA .....	82
Production of Shochu from Crushed Rice by Non - Cooking Fermentation Using a Bench - scale Plant —Development of Shochu Production Processes ( II ) — Kenryo NISHIMURA Masaru NAKAGAWA Kimi YAHATA Kenji KIDA and Yorikazu SONODA .....	89
Case Study on Production Shochu from Crush Rice by Non - cooking Fermentation —Development of Shochu Production Processes ( III ) — Kenryo NISHIMURA Masaru NAKAGAWA Kimi YAHATA Kenji KIDA and Yorikazu SONODA .....	96
Isolation of Halotolerant Yeasts from Barley Miso and Utilization for Miso Making Studies on Isolation and Cultivation of Useful Microorganisms ( 2 ) Shigeki MATSUDA and Yasuo HAYASHIDA.....	102
Clarification of Amanatsu Orange Juice by Enzyme and Membrane — Studies on Food Processing Improvement by Membrane Filtration ( 2 ) — Masako YUNOUE Shigeki MATSUDA and Chiaki KIMURA.....	108
Process of Liquid Food by Membrane — Studies on Food Processing Improvement by Membrane Filtration ( 3 ) — Masako YUNOUE and Shigeki MATSUDA.....	114
Clearing method of the scale in the process of electrodeposition Yukio HONDA Issei SAKATA and Etsuo ARAKI .....	124
Development of the High - mechanical Strength of Porcelain Body by Fine grinding of Amakusa Teikado Pottery Stone Issei SAKATA Masanori NAGATA and Yukio HONDA.....	131

# デザインワークのコンピュータ化技術研究（1）

原口 隆一\*

Studies on Computer aided Design Work(1)

Ryuichi HARAGUCHI\*

## 概要

ここ数年 CAD (Computer aided design)、CG (Computer Graphics)、DTPR (DeskTop Presentation) などパソコンからワークステーションレベルまでコンピュータがデザインの実務に利用されはじめ、デザインワークの在り方を大きく変えようとしている。本稿では従来手作業で行われているデザインワークを、各デザインプロセスでさまざまなソフトウェアを利用し、どのように具体的に行えるかドローイングワークのコンピュータ化技術について検討を行った。

デザインワークのなかでドローイングワークは「形状イメージを視覚化する技術」として、スケッチ、デザイン図、製図、レンダリングなどの表現技法がある。これらの作業をペイント系ソフトウェア、ドロー系ソフトウェア、ポストスクリプト系ソフトウェア、製図系ソフトウェアなどを利用しアイデアスケッチ、プレゼンテーションスケッチ、レンダリング、デザイン図など作成することで進めた。ドローイングワークのコンピュータ化は、デザイナーが蓄積してきたドローイング技術やノウハウを活用しながら、豊富なグラフィックソフトウェアを利用し、目的に応じたシステム構築により2次元レベルのデザインワークは、効率的に行えることである。

## 1. はじめに

コンピュータのハードウェアの急速な進歩とデザイン関係のさまざまなソフトウェアの開発により、CAD (Computer aided design)、CG (Computer Graphics)、DTPR (DeskTop Presentation) の導入が、建築からインダストリアルデザインまで幅広い分野で進んでいる。かつてはデザイナーにとってコンピュータは「とても実用にならない」とか「お遊びにしかすぎない」と言った評価であったが、ここ数年パソコンから

ワークステーションレベルまでデザインの実務に利用されはじめ、デザインワークの在り方を大きく変えようとしている。

デザインワークのコンピュータ化技術を進めるためのコンピュータ環境について図1に示す。従来のデザインツールである筆や絵の具、製図用具などから、ディスプレイ、キーボード、マウスなどにデザイナーの環境が変化してきている。デザイナーはディスプレイを見ながら、キーボードとマウスによりコンピュータ環境を操作してデザインワークを進めることができる。

このコンピュータ化環境においてデザインワークのコンピュータ化技術は次のように分類できる。

### (1) デザイン情報管理技術

デザイン情報をいかに構築し管理するか、デザ

\*情報デザイン部

インワークを進めるにあたって重要な要素である。

#### (2) コンセプトワーク技術

コンセプト、思考の組立、文章の組立など論理の階層化やアイデアや発想の流れをどのように進めるか。アイデアプロセッサとも考えられる。

#### (3) ドローイングワーク技術

一般にCADと呼ばれるプロセスで、スケッチ、イラスト、図面などラフな図面から正確で詳細な図面の作成を行う。

#### (4) プレゼンテーション技術

完成されたデザイン案を第三者に説得するための表現技術をプレゼンテーションと呼ばれる。図面、レンダリング、モデル、主旨などをコンピュータを利用し、より効果的に説得力のあるプレゼンテーションが行われる。

#### (5) シミュレーション技術

デザインを仮想空間の中であたかも本物が存在しているかのように作成し感覚的な判断チェック

に利用するもので、新しいデザインの手法として3次元CGによるシミュレーションが導入されている。

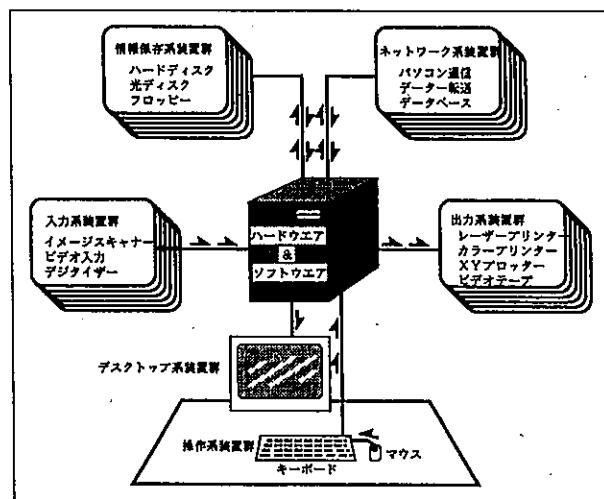


図1 デザインワークのためのコンピュータ環境

デザインワークプロセス	ドローイングの種類	ソフトウェアの種類	
デザインコンセプト	具体的な形状デザインの指標や目標となる概念を形成する思考作業	コンセプトスケッチ 概念図	アイデアプロセッサ系 ソフトウェア
アイデアスケッチ	思い付いたイメージやアイデアを視覚的に表現する作業	イメージスケッチ ラフスケッチ 三面ラフスケッチ スタイルスケッチ 三面スタイルスケッチ ラフモデル	ペイント系ソフトウェア ドロー系ソフトウェア
デザイン図面	デザインの意図や形状を正確に表示、伝達するための作業	デザイン意匠図 外観図 制作図 部品図 詳細図 レンダリング	ドロー系ソフトウェア 製図系ソフトウェア ポストスクリプト系 ソフトウェア
モデル・試作	デザインの形状を3次元的に表現、確認するための作業	スケールモデル 原寸モデル 試作	3次元CGソフトウェア

表1 デザインワークプロセスドローイングと対応ソフトウェア

本稿では、デザインプロセスにおいて従来手作業で行われているデザインワークを、各プロセスでさまざまなソフトウェアを利用しどのように具体的に行えるかドローイングワークのコンピュータ化技術について検討を行った。

## 2. デザインワークの表現技法に関するプロセス

デザインワークのなかでドローイングワークは「形状イメージを視覚化する技術」として、スケッチ、デザイン図、製図、レンダリングなどの表現技法がある。イメージする能力はある程度誰もができるが、デザイナーはイメージを具体的なスケッチや図面に表現する能力が必要である。これらの表現技法は、アイデアを開拓する過程で「検討、評価、確認、伝達」のためのもので、イメージを固定化、完成させていくプロセスであり、デザイナーの手作業で進められる熟練を要する技術・技能とされる。これらのデザインワークの表

現技法についてグラフィックソフトウェアを利用して、具体的なデザイン相談事例においてコンピュータ化技術を検討した。使用機種はマッキン・トッシュIIfxを用いた。

表1に、デザインワークプロセスと各プロセスにおけるドローイングの種類と、それに対応するソフトウェアの種類を示した。

## 3. グラフィックソフトウェア

一般にグラフィックソフトウェアは、図形を表現するデータ形式として、点の集まりで表現するペイントデータ（ラスターデータ）と線で数学的に記述し表現するドローデータ（ベクトルデータ）の2種類に分類される。作成する図形を描くのに適したソフトウェアを選択する必要がある。今回検討したデザイン関係の代表的なソフトウェアについて表2に示す。

分類	特長	代表的なソフトウェア
ペイント系 ソフトウェア	どの描画ツールを使ってもドット構成の集合体になる。画面上の点の一つ一つを描画・修正できる。	MacPaint PixelPaint Studio32 VideoPaint Adobe Photoshop
ドロー系 ソフトウェア	数学的に記述された図形データを視覚的に表現したもの。各图形を独立して移動や編集できる	MacDraw系 建築系 ArchiCAD Minicad 機械系 ClarisCAD PowerDraw 汎用系 MacDraw  MS-DOS系 建築系 VersaCAD 機械系 AutoCAD  PostScript系 Adobe Illustrator Aldus FreeHand
3次元CG ソフトウェア	三次元形状を三面図から入力し色、質感、光源を設定し、立体図としリアルにて表現できる。モデリング機能、レンダリング機能、アニメーション機能に分類される。	Mac3D Swivel3D StrataVision RayDreamDesigner Sculpt3D Electric Image Mac TOPAS Shade II

表2 グラフィックス系ソフトウェア一覧

## 4. 作成事例

### 4.1 ペイント系ソフトウェアによるデザイン図

図2はマックペイントを利用し、シンボルマークのデザインを行ったもので、はじめにスキャナーで写真原稿を入力し、標準画面でおおまかに加工編集、さらに拡大画面でドット単位での細かい陰影付けにより立体感を表現した。楕円については、ドローデータで入力した。点描による表現と同じ感覚で進めることができ、作成に要する時間は手作業よりもかかる場合も考えられが、作業の効率化の問題よりも、コンピュータグラフィックスらしい独自の表現を確立できることが特長である。

### 4.2 ドロー系ソフトウェア

#### によるデザイン図

マックドローによるアイデアスケッチで、寸法はラフな状態で全体の仕上がりを検討するためのアイデア検討資料として利用した。同じものの繰り返し作業は、カット&ペーストで手作業とは比較にならないほど高能率であり作業性は著しく向上する。図3、図4は、いずれもい草を家具に組み込んだ製品開発の具体的なアイデアとして作成した。検討用資料としてはこの程度で十分で、作成時間は手作業に比較すると相当短縮されている。ほとんどマウスだけで作業を進めることができ、アイデアを具体化するのが非常に容易になる。

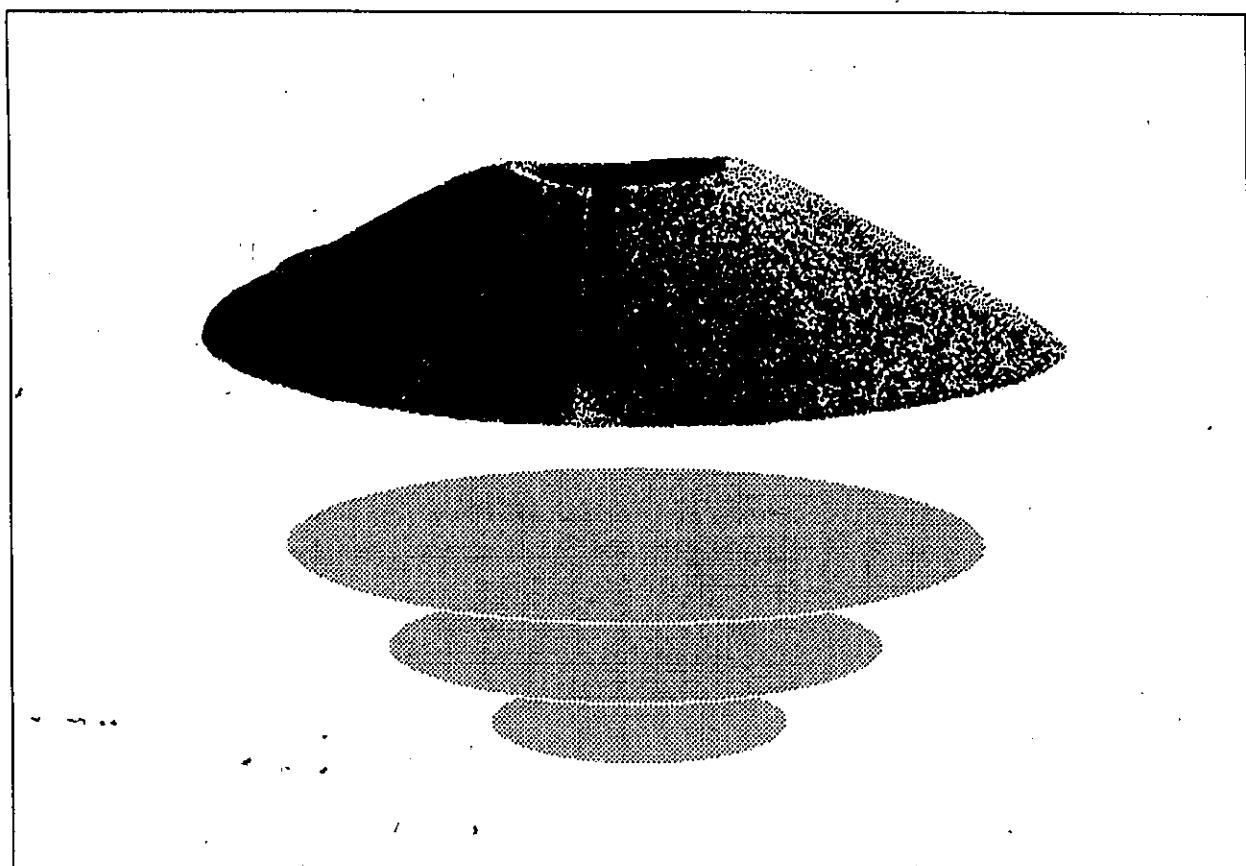


図2 ペイント系ソフトウェアによるデザイン

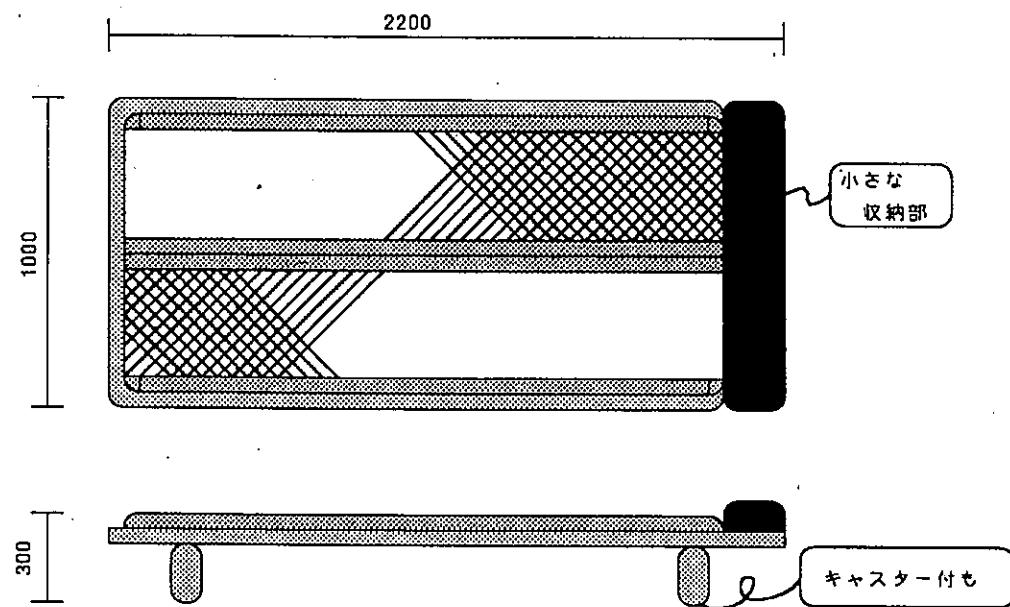


図3 畳ベッドのスケッチ図

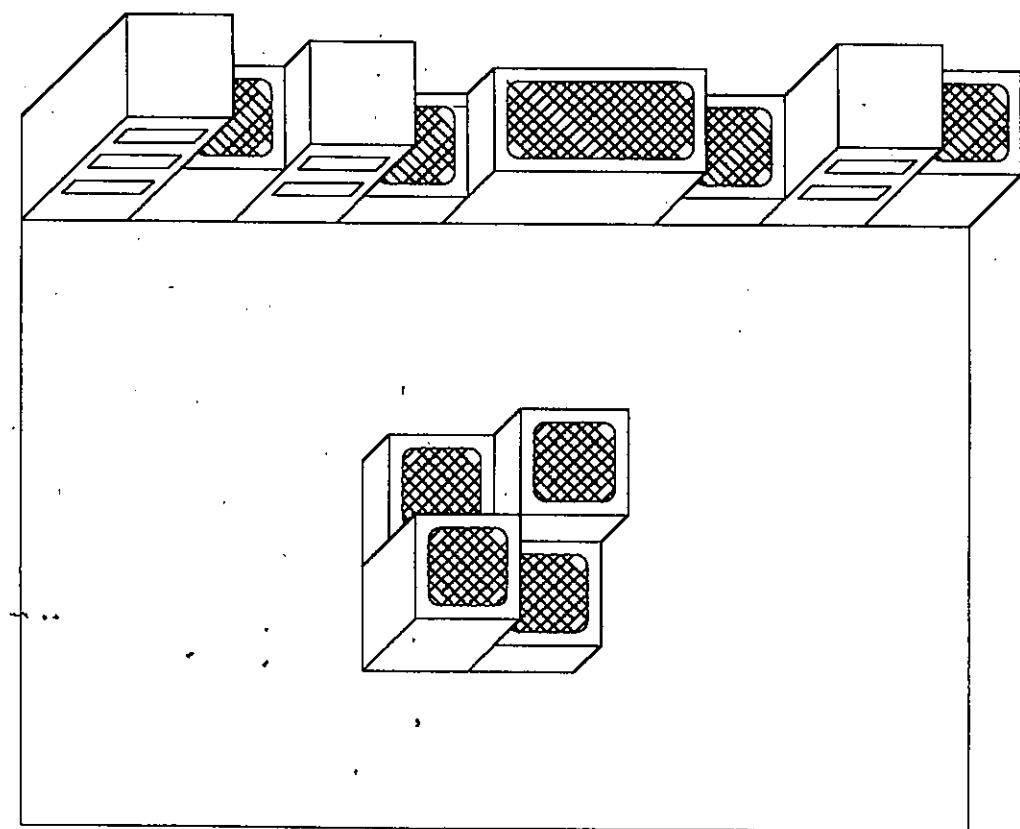


図4 箱家具スケッチ図

#### 4.3 ポストスクリプト系ソフトウェアによるデザイン図

ポストスクリプト系ソフトウェアは、ポストスクリプトで扱われる基本的な图形であるベジエ曲線を操作編集できるため、自由曲線をイメージどおりに描くことができるのが特長である。図5は

電子計測機器の外観デザインを、ボリューム感などを把握しやすく、また外観をよりリアルに表現するため、グラデーション機能などを利用して3面レンダリングとして作成したもので、プレゼンテーションスケッチに利用した。ソフトウェアは Al d u s F r e e H a n d を使用した。

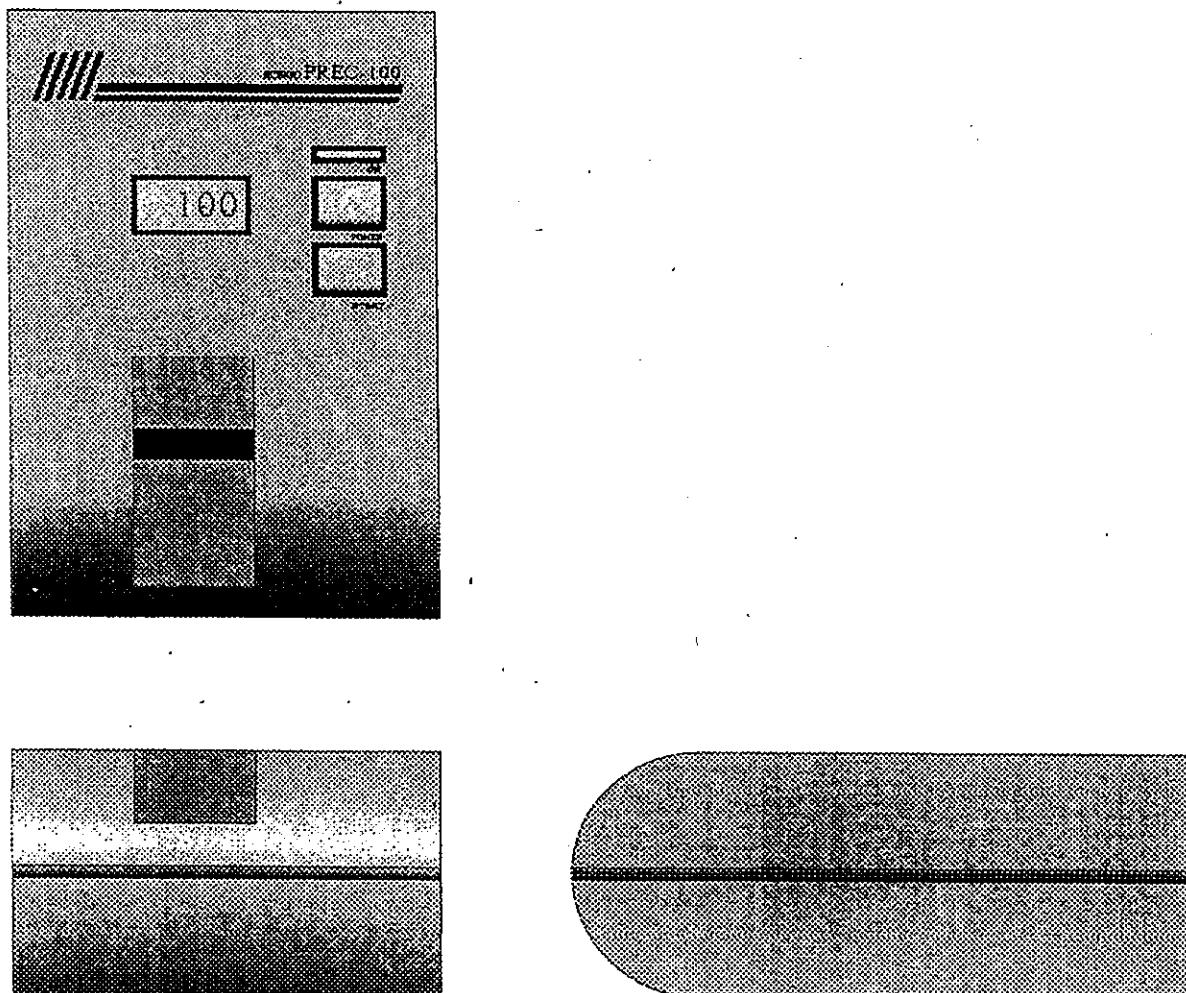


図5 ポストスクリプト系ソフトウェアによるデザイン図

#### 4.4 ポストスクリプト系ソフトウェア

##### によるカラーレンダリング

電子医療機器の配色について、ポストスクリプト系ソフトウェアを利用しカラーレンダリングを作成し検討を行った。(図6) 形状作成ができればその後の配色変更や修正は簡単に行える。3次元形状作成によるレンダリングは、モデリングや

レンダリングの時間が膨大にかかるが、3面レンダリングは簡単に作成でき大変実用的と言える。カラーデザインを扱う場合、ディスプレイ画面上の色とプリント出力の色の再現性が問題になるが、価格的にも性能的にも満足できるプリンターが開発されている。

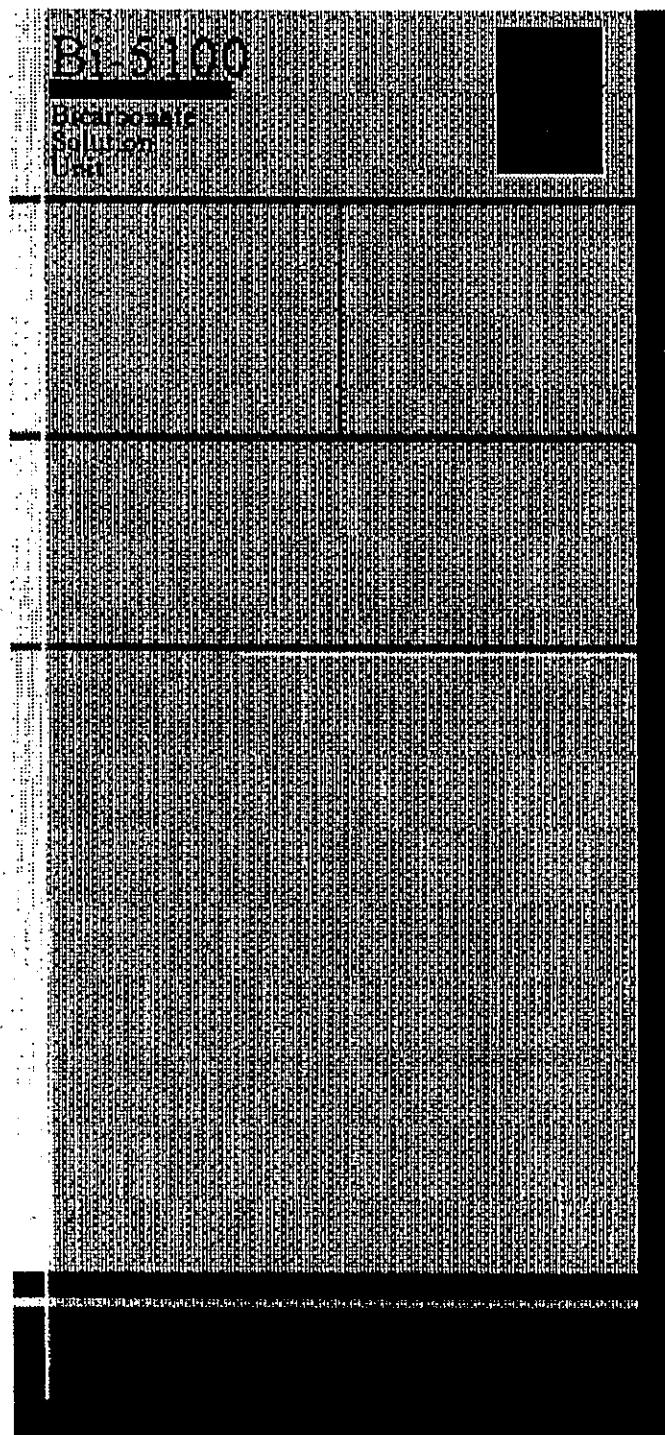


図6 カラーレンダリングの例

#### 4.5 デザイン製図

デザイン製図を行うには、当然ディスプレイの画面が大きい方がよいが、図面を描きながら拡大縮小を頻繁に行うので、ソフトウェア自体の描画速度の方がむしろ重要である。

図7は、簡易木製ハウスの外観図であるが、マックドローIIで作成した。正確な図面は数値入力機能を持つ必要があるが、グリッド機能をうまく使うことで汎用ソフトウェアでもかなり正確な図面作成を短時間行える。

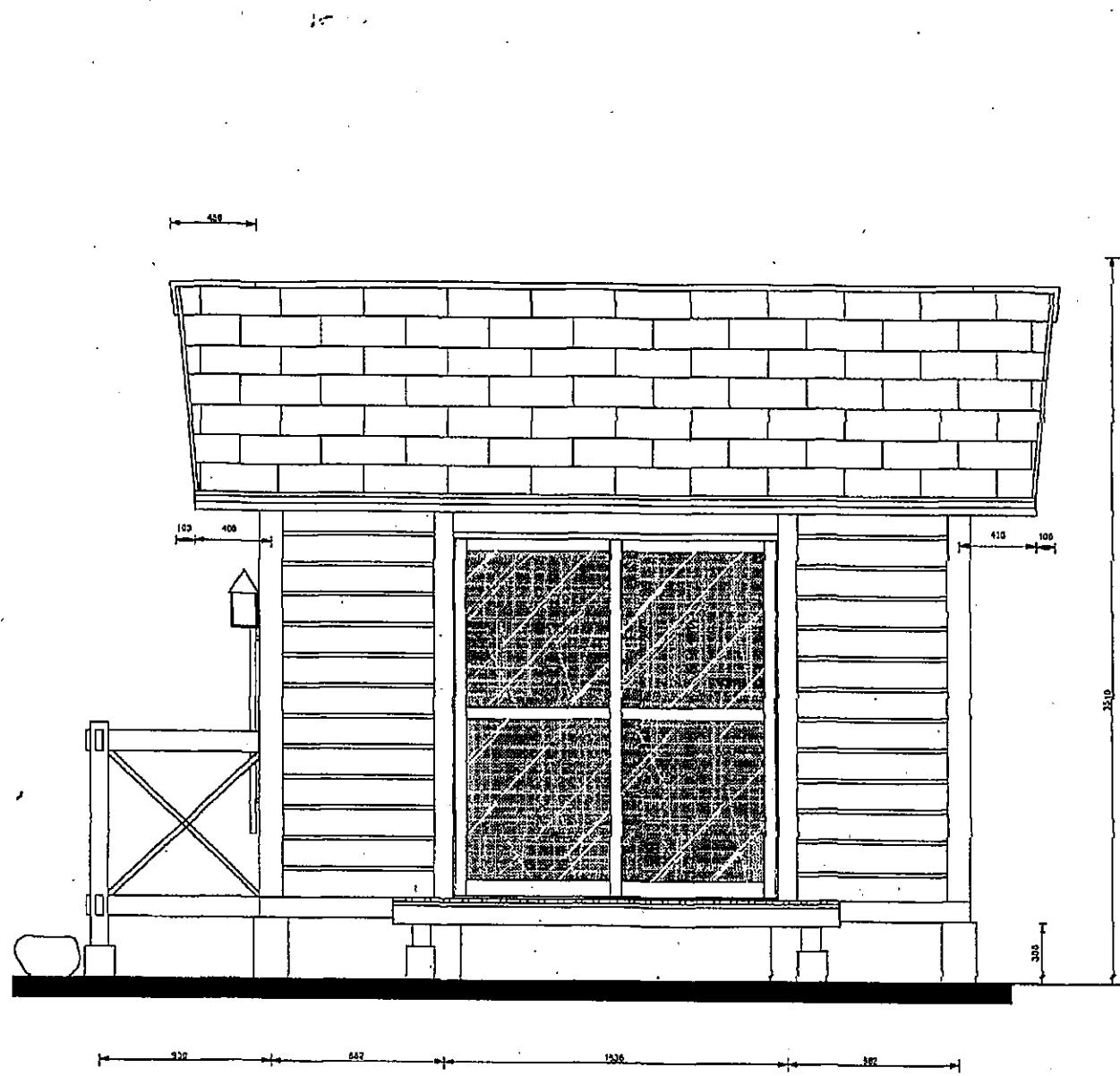


図7 簡易木製ハウス外観図の例

## 5. 考 察

いずれのデザインワークもデザイン相談に応じて作成したもので、ソフトウェアの細かな機能チェックよりも、デザイン相談に対応する実務的利用面での可能性のチェックを中心に行つた。2次元表示レベルのドローイングワークのコンピュータ化は、デザイナーが蓄積してきたドローイング技術やノウハウを活用することが不可欠であり、豊富なグラフィックソフトウェアを利用し、目的に応じたシステム構築により相当効率的に行える。デザインワークのコンピュータ化については、それぞれ長所と短所について次のように分析した。長所については

- (1) 図形の繰り返し作業は、カット&ペースト機能でその作業性は著しく向上する。
  - (2) デザイナーの技能レベルのバラツキが小さくなる、または目立たない。
  - (3) 作成した図形の修正変更が容易である。
  - (4) 作業性が容易である。
- などが考えられる。また、短所については、
- (1) CADのシステムの制約に、デザインワークが限定される。
  - (2) 「透明な存在」となるには、操作を習熟するのに時間がかかる。
  - (3) デザインツールにしては、投資額が大きい。
  - (4) 教育、研修の機会が少なく、人材育成が困難である。
- などが考えられる。

今後デザインワークのコンピュータ化とともに、従来のデザイナーの手の技能に依存する部分が減少し、デザイナーの伝統的な手作業の技術・技能が失われるなど資質が変化していくことが考えられる。しかし反面、デザイナーにとって、コンピュータはデザインツールとして、使い方次第であり、使い込むほどにその機能性は拡大するという、新たにデザイナーの手作業の技術・技能に依存する分野が生じている。いずれにしても、コンピュータは、デザイナーにとって、機能性も使い勝手も向上し、デザイナーの能力の拡張につながっていることは確実である。さらに、コンピュータ化はデザインワークがコンピュータを介

して客観的な数値データとして保存されており、これらのデータがさまざまなメディア（たとえばフロッピーや通信回線で転送など）に姿を変えてやりとりが可能になる。このことは、今後従来のデザインツールではできなかったことがコンピュータ化技術により新しいデザイン手法として確立され、ますますデザインワークのコンピュータ化は進んでいくものと考えられる。

## 6. おわりに

デザインワークにおいて、2次元表示の問題はコンピュータ化技術の一部でしかない。コンピュータ化技術は、単にデザインワークの効率化や省力化の問題でなく、デザインの質の向上やデザインの本来の目的を明らかにすることなどに大きく寄与すると考えている。今後3次元CG、アニメーション、マルチメディアなどコンピュータ化技術の課題は大きい。

当面の課題としてコンピュータやソフトウェアは経済投資で容易に導入できるが、コンピュータに関する知識をもちながら、デザイン関係のソフトウェアを操作しデザインワークができる人材の育成が急務である。

最後に本研究についてご意見やご協力いただいた酒井博幸氏（さかいデザイン設計室）に感謝の意を表します。

# SLIPによる遠隔地組織とのコンピュータネットワーク接続

河北 隆生\*

Connection between the Computer Network  
System and that of other site by SLIP

Takao KAWAKITA\*

## [概要]

当センターでは、既にローカルエリアネットワーク（LAN）を構築し、運用している。しかし、LANは、限られた範囲のネットワークであり、利用形態が限定される。一方、他組織と広域ネットワークを構築することで、情報交換や計算機の相互利用などが可能となるため、ネットワークの利用形態が広がり、ネットワーク機能がさらに有効に利用できる。そこで、本研究では、当センターと財団法人熊本テクノポリス財団電子応用機械技術研究所との間で広域ネットワーク構築を試みたので報告する。

ネットワーク間は、お互いのワークステーションをモ뎀と一般専用回線で接続した。また、ネットワークソフトウェアは、SLIPを使用した。この方法で、リアルタイム性と多様な機能を持つ広域ネットワーク（IP接続）が、低価格で構築できた。今回構築した広域ネットワークは、既に運用を開始し、相互利用と継続的な実験を行っている。この結果、十分実用性があることが分かった。

## 1. はじめに

近年、LANが、普及するにしたがい、ネットワークの必要性と重要性が、認識されるようになってきた。それにともない、遠隔地組織との間で情報交換、ファイル転送、計算機の相互利用などをを行うため、ネットワーク間接続（LAN間接続）を要望する組織が増えてきた。

当センターでは、主にunixオペレーティングシステム（OS）とTCP/IPプロトコルを使用したLANを構築している<sup>1)</sup>。また、外部組織とは、一般公衆回線を用いたuucp接続<sup>2)</sup>による電子メールやニュースなどの情報交換を行っている。特に、電子応用機械技術研究所とは、共同研究を行っており、一般公衆回線を用いた接続による情報交換の

他に、ファイル転送、遠隔ログインによる計算機利用を行ってきた。しかし、一般公衆回線による接続方法では、次のような問題点があった。

- (1) 利用する機能が限定されること
- (2) 情報交換のリアルタイム性がないこと
- (3) 利用時に接続を行う必要があること
- (4) 利用者が一人に限定されること

一方、当センターと電子応用機械技術研究所間の計算機利用および情報量の増加と多様化にともない、さまざまな機能とリアルタイム性を持つネットワーク間接続（IP接続）が、要求されるようになった。しかし、高速かつリアルタイムにネットワーク間接続を行うためには、高価なゲートウェイ機器の設置と高価な高速デジタル専用回線の維持費が必要になる。

そこで、本研究では、低価格でしかもリアルタイムに電子応用機械技術研究所とのネットワーク間を接続するため、ゲートウェイとして既存の

\*情報デザイン部

表1 使用機器と設定

機 器	仕 様 と 設 定
ワークステーション 工業技術センター	AS3260 (東芝社製) CPU:MC68020(25MHz), FPU:MC68881(25MHz) SunOS3.5(4.2BSD)
	RS232C ポート設定 19200bps, CTS/RTS フロー制御
電子応用機械技術研究所	SX9100/DT(luna) (オムロン社製) CPU:MC68030(20MHz), FPU:MC68881(20MHz) UniOS-B(4.3BSD)
	RS232C ポート設定 9600bps, CTS/RTS フロー制御
モデム	トレイルブレザー T2500 (テレピット社製) 9600bps, V.32 モード, MNP5, 全2重
一般専用回線	NTT 帯域品目 3.4KHz, 2線式

ワークステーション、ネットワークソフトウェアとしてSLIP、ゲートウェイ間接続にはモデムと一般専用回線を使用して広域ネットワークを構築した。

本報では、当センターと電子応用機械技術研究所間の広域ネットワーク構築としてネットワーク間接続機器（2章）、ネットワークソフトウェア（3章）、ネットワークアドレスとルーティング（4章）について述べ、本ネットワーク間接続の評価について報告する。

## 2. ネットワーク間接続機器

図1には、当センターと電子応用機械技術研究所のネットワーク間接続のハードウェア構成、表1には、それぞれの機器の仕様と設定を示す。

ネットワーク間は、ゲートウェイワークステーションの非同期式シリアルポート（以下、「RS232Cポート」と呼ぶ。）とモデムをストレートケーブルで、モデム間を2線式の一般専用回線で接続した。

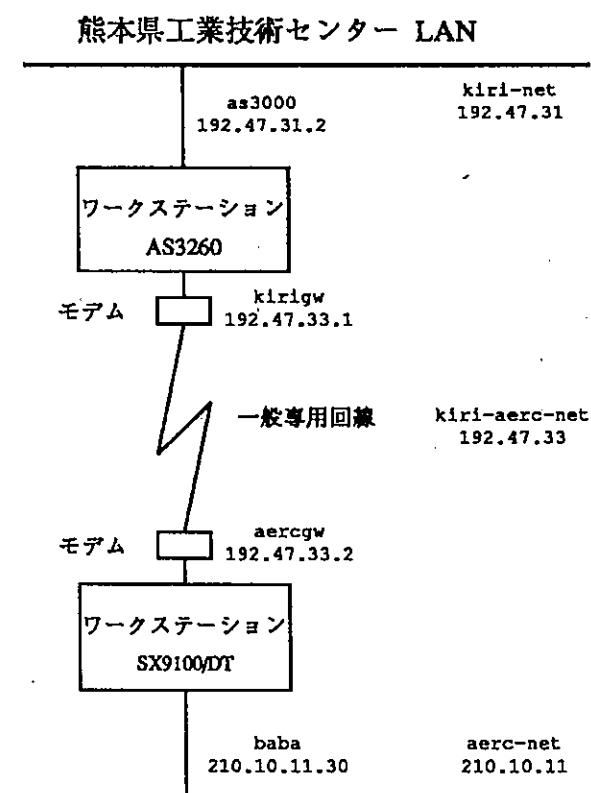


図1 ハードウェア構成とネットワークアドレス

ボーレートは、当センターのワークステーションAS3260（以下、「AS3260」と呼ぶ。）とモデム間を19200bps、電子応用機械技術研究所のワークステーションSX9100/DT（以下、「luna」と呼ぶ。）とモデム間を9600bps、それぞれのモデム間を9600bpsに設定した。ボーレートの設定が異なる理由は、本接続に使用したモデムは、計算機とのインターフェイススピードを19200bpsまでサポートしているが、lunaのRS232Cポートは、9600bpsまでしかサポートしていないためである。

### 3. ネットワークソフトウェア

ネットワークソフトウェアは、SLIP (Serial Line Internet Protocol)<sup>3)</sup>を使用した。SLIPは、RS232Cポートを介して、パケットに分割されたデータ (IPデータグラム<sup>4)</sup>) を伝達する。lunaのOSであるUniOS-B (4.3BSD) は、既にSLIPが組み込まれているが、AS3260のOSであるSunOS3.5 (4.2BSD) には、組み込まれていない。ここでは、ネットワークソフトウェアのインストールと起動について述べる。なお、ネットワークアドレスについては、4章で述べる。

#### 3.1 インストール

AS3260へインストールしたSLIPは、カルフォルニア大学バークレイ校で開発されたものを使用した。SLIPは、SLIPドライバとRS232Cポートをネットワーク・インターフェイスとして定義するプログラムから構成される。

SLIPドライバは、カーネルに組み込んだ。その際、SLIPに関する定義を行うため、いくつかのシステム関連ファイルを修正した。AS3260で修正したファイルと修正概要およびドライバプログラムは、次のとおりである。

- /sys/conf/files

カーネルを構築するために必要なファイルとしてSLIPドライバの定義を追加

- /sys/conf/AS3000 (Configuration File)

カーネルに含めるドライバとしてSLIPドライバの定義を追加

- /sys/h/ioctl.h

SLIP回線規約の定義を追加

- /sys/sys/tty-conf.c

SLIPドライバの機能の定義を追加

- /sys/net/if-sl.c

SLIPドライバプログラム

SLIPドライバは、IPデータグラムをパケットに分割して転送を行う。このパケットサイズ (MTU、最大転送ユニット) が、接続相手の計算機と異なる値であるとデータの取りこぼしが発生する。そのため、MTUの値は、電子応用機械技術研究所のlunaと同じ1,006byteにSLIPドライバプログラムの中で設定した。

RS232Cポートをネットワーク・インターフェイスとして定義するプログラムは、次のとおりである。

- dstaddr

相手方のRS232Cポートのインターネットアドレスを定義するプログラム

- slattach

RS232Cポートをネットワーク・インターフェイスとして定義するプログラム

なお、最新のOSであるSunOS4.1.xでは、カーネルを再構築する時に変更するファイルとデバイスドライバなどはSunOS3.5とは若干異なる。

#### 3.2 SLIPの起動

SLIPは、次の手順で起動する必要がある。

- (1) RS232Cポートをネットワークインターフェイスとして使用するための定義
- (2) 相手方のインターネットアドレスの定義
- (3) ネットワークインターフェイスの起動

これらは、ゲートウェイワークステーション起動時に実行できるように図2に示すコマンドを/etc/rc.localファイルに追加した。なお、luna (SX9100/DT) のOSは、4.3BSDを採用しているため、ifconfigコマンドで相手方のインターネットアドレスを定義できる。

### 4. ネットワークアドレスとルーティング

SLIP接続では、ホストが2台接続されている

## ◇ 工業技術センター側ゲートウェイ (AS3260)

```
# Start up SLIP between KIRI & AERC
/usr/local/etc/slattach ttyb 19200 ; (echo 'slattach') >/dev/console
/usr/local/etc/dstaddr s10 192.47.33.2 ; (echo 'dstaddr') >/dev/console
/etc/ifconfig s10 kirigw ; (echo 'ifconfig') >/dev/console
```

## ◇ 電子応用機械技術研究所側ゲートウェイ (SX9100/DT)

```
# Start up SLIP between AERC & KIRI
/etc/slattach tty01 9600; echo 'start slip.' >/dev/console
/etc/ifconfig s10 aercgw kirigw up; echo 'start ifconfig s10.' >/dev/console
```

図2 SLIP起動コマンド

ネットワークとして取り扱われる。そのため、ゲートウェイワークステーション間では、ネットワーク名 (Network name) とネットワーク番号 (Network Number) の割当が必要になる。また、相手のネットワークへIPデータグラムを配達するためには、ルーティングテーブルの設定が必要となる。ここでは、ネットワークアドレスの割当と登録、ルーティングテーブルの設定、電子応用機械技術研究所の計算機への接続について述べる。

## 4.1 ネットワークアドレスの割当と登録

ゲートウェイワークステーション間のネットワーク名とネットワーク番号は、kiri-aerc-net (192.47.33)とした。また、ホスト名 (Host name) とインターネットアドレス (Internet Address) は、kirigw (192.47.33.1)、aercgw (192.47.33.2)とした。図1には、ネットワーク名、ネットワーク番号およびホスト名、インターネットアドレスの割当を示す。AS3260とluna (SX9100/DT) は、当センターまたは電子応用機械技術研究所のLAN (kiri-net、aerc-net) とkiri-aerc-net間のゲートウェイとなるため、LANとkiri-aerc-netの両方にホスト名とインターネットアドレスを持つこととなる。

ネットワーク情報とホスト情報は、各計算機の /etc/networks ファイルおよび /etc/hosts ファイルへ登録する必要がある。しかし、当センターでは、これらの情報をYP (Yellow Page、現在はNIS (Network Information Service) と呼ばれる。) とBIND (Berkeley Internet Name Domain) で一

元管理しているため、YPサーバ、BINDサーバへ登録した<sup>5)</sup>。

## 4.2 ルーティングテーブルの設定

ルーティングテーブルの設定は、routed デモンプログラムによるダイナミックルーティング<sup>4)</sup>で行った。ダイナミックルーティングは、ネットワークの経路情報を定期的に交換し、自動的にルーティングテーブルを更新する。routed デモンプログラムは、ゲートウェイも含めた全ての計算機の起動時に実行されるように、次のコマンドを /etc/rc.local ファイルに追加した。

```
/etc/routed
```

図3は、SLIP起動時の各計算機のネットワークインターフェイスの状態 (コマンド「netstat -i」の実行) とルーティングテーブル情報 (コマンド「netstat -r」の実行) を示す。当センターの LAN (kiri-net) に接続された計算機から電子応用機械技術研究所の LAN (aerc-net) に接続された計算機へ発信する IP データグラムは、まず AS3260 (kiri-net 側ホスト名 : as3000) へ送られ、次に AS3260 のネットワークインターフェイス (s10、kiri-aerc-net 側ホスト名 : kirigw) から SX9100/DT のネットワークインターフェイス (s10、kiri-aerc-net 側ホスト名 : aercgw) を経由して配達される。

## 4.3 電子応用機械技術研究所の計算機への接続

相手の LAN に接続される計算機のホスト情報は、

## ◇ 工業技術センター側ゲートウェイ (AS3260)

```
% netstat -i
Name Mtu Net/Dest Address Ipkts Ierrs Opkts Oerrs Collis Queue
ie0 1500 kiri-net as3000 215049 2 204003 1 45 0
lo0 1536 loop 127.0.0.1 55369 0 55369 0 0 0
s10 1006 aercgw kirigw 159288 1 167801 881 0 0
```

% netstat -r

## Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
kirigw	kirigw	UH	0	0	s10
aercgw	kirigw	UH	2	1210	s10
kiri-net	as3000	U	16	160439	ie0
aerc-net	aercgw	UG	1	4	s10
loop	127.0.0.1	U	4	20572	lo0

## ◇ 工業技術センターのLANに接続された計算機 (DS5000)

% netstat -i

Name	Mtu	Network	Address	Ipkts	Ierrs	Opkts	Oerrs	Coll
ln0	1500	kiri-net	ds5000	861379	0	509465	0	79
lo0	1536	loop	localhost	125156	0	125156	0	0

% netstat -r

## Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
kirigw	as3000	UGH	0	0	ln0
localhost	localhost	UH	7	102771	lo0
aercgw	as3000	UGH	0	341	ln0
kiri-net	ds5000	U	35	447222	ln0
aerc-net	as3000	UG	0	1	ln0

## ◇ 電子応用機械技術研究所側ゲートウェイ (SX9100/DT)

% netstat -i

Name	Mtu	Network	Address	Ipkts	Ierrs	Opkts	Oerrs	Coll
am0	1500	aerc-net	baba	70732	0	32998	0	0
s10	1006	aerc-kiri-n	aercgw	42340	0	40724	0	0
s11*	1006	none	none	0	0	0	0	0
lo0	1536	loopback_ne	localhost	9192	0	9192	0	0

% netstat -r

## Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refs	Use	Interface
kirigw	aercgw	UH	0	39793	s10
localhost	localhost	UH	0	37	lo0
baba	localhost	UH	9	7664	lo0
kiri-net	kirigw	UG	2	157	s10
aerc-net	baba	U	2	32891	am0

図3 ネットワークインターフェイスの状態とルーティングテーブル情報

それぞれの組織でも登録している。当センターでは、電子応用機械技術研究所のLANに接続される計算機のホスト情報をBINDサーバへ登録した。当センターと電子応用機械技術研究所の計算機を区別するため、電子応用機械技術研究所のLANは、当センターのLAN（ドメイン名：kmt-iri.go.jp）

のサブドメイン（aerc.kmt-iri.go.jp）として定義した<sup>6)</sup>。そのため、当センターの計算機から電子応用機械技術研究所の計算機へは、コマンド行にドメイン名とホスト名を指定することで接続できる。図4は、telnetコマンドでの接続例である。

```
tkawakit@ds5000[357]% telnet baba.aerc
Trying 210.10.11.30...
Connected to baba.aerc.kmt-iri.go.jp.
Escape character is '^]'.
```

#### 4.3 BSD UNIX (baba)

```
login: kawakita
Password:
Last login: Fri Jul  3 18:02:59 from ds5000
UNIOS-B 4.3BSD UNIX: 2.00 #1: GENERIC(root@arika):9/17/91 15:32

Kumamoto Technopolis Foundation
Applied Electronics Research Center
Well come !      This maschine
kawakita@baba[31]%
```

図4 電子応用機械技術研究所の計算機への接続例

## 5. 評価

ここでは、まず、ファイル転送速度と対話操作環境（遠隔ログイン）について評価する。次に、本ネットワーク間接続の利用状況を示し、実用性について評価する。

### 5.1 ファイル転送速度

ファイル転送速度は、FTPプログラムにより測定した。表2は、データ1Mbyteの転送速度である。転送速度は、9600bpsのモデム間接続速度としてはやや遅いと思われる。この原因は、次のことが考えられる。

(1) SLIPドライバのオーバーヘッド処理が大きい。表3は、ボーレート9600bpsでワークステーション（本ネットワーク接続と同一機種を使用）のRS232Cポートを直接接続した時のデータ1Mbyteの転送速度を示すが、この結果からも推測できる。

(2) データ転送は、TCP/IPプロトコルを使用しており、TCP層とIP層などでは、それぞれパケット分割またはフラグメント化されるとともに、経路情報などのヘッダが付加される。

(3) TCP層では、信頼性のあるデータ配達を行う

表2 1MBデータの転送速度  
(AS3260とモデム間:19200bps)

転送方向	最小値 (転送率)	平均値 (転送率)	最大値 (転送率)
AS3260 → luna	0.878 (74.9%)	0.882 (75.2%)	0.886 (75.6%)
luna → AS3260	0.848 (72.4%)	0.859 (73.3%)	0.866 (73.8%)

(単位:Kbyte/sec)

表3 1MBデータの転送速度  
(RS232Cポート直結:9600bps)

転送方向	最小値 (転送率)	平均値 (転送率)	最大値 (転送率)
AS3260 → luna	0.888 (75.8%)	0.889 (75.9%)	0.889 (75.9%)
luna → AS3260	0.873 (74.5%)	0.878 (74.9%)	0.884 (75.4%)

(単位:Kbyte/sec)

ため、1パケット毎に確認応答のためのパケットが返される。本ネットワーク間接続では、2線式の専用回線を使用しているため、パケットの送受信は、同時にできない。

しかし、本ネットワーク間接続では、2線式の専用回線を使用しているにもかかわらず、RS232Cポート直結の転送速度と比較してもわずかに低い値である。これは、AS3260のRS232Cポートのボーレートが19200bpsと高速なため、モ뎀間転送速度9600bpsに比べるとSLIPドライバのオーバーヘッド処理が無視できるのと確認応答パケットの返送が早くなるためである。

以上のことから考慮すると、転送速度としては、納得のいく値といえる。なお、ファイル転送は、compressプログラムなどでデータ圧縮を行うことにより転送時間の向上が図ることができる。

## 5.2 対話操作環境

対話操作環境では、キャラクタモードでtelnet

やrloginを使用した時、僅かな遅延が発生する。遅延の目安として、ラウンドトリップタイム (Round Trip Time) を測定した。ラウンドトリップタイムは、pingコマンドによるICMP Echoパケットの応答速度を計測した。表4にラウンドトリップタイムを示す。測定値と操作感覚からすると、対話操作環境での使用には、ほとんど支障ない。

表4 ラウンドトリップタイム

測定方向	最小値	平均値	最大値
AS3260 → luna	380ms	434ms	500ms
luna → AS3260	383ms	450ms	2433ms

表5 本ネットワーク間接続の利用状況(1)

利用内容	1ヶ月の利用		1回の接続時間		1日の平均	
	接続回数	使用日数	平均	最大	接続回数	接続時間
遠隔ログイン	134	23	14min	3:40min	6.1	1:25min
ファイル転送	73	7	27min	7:55min	3.3	1:29min
電子ニュース転送	31	31	2:50min	5:50min	1	2:50min
1日あたりの平均接続時間の合計						5:44min

(1日の平均は、休日を除いた22日で計算)

表6. 本ネットワーク間接続の利用状況(2)

利用内容	1ヶ月の利用		1通のデータ量		1日の配送数	
	配送数	使用日数	平均	最大	平均	最大
電子メール	136	24	3.6Kbyte	285Kbyte	6.2	12

(1日の配送数の平均は、休日を除いた22日で計算)

### 5.3 利用状況

本ネットワーク間接続は、既に運用を開始している。利用は、遠隔ログイン、ファイル転送、電子メールの配達、電子ニュースの転送がほとんどである。表5、表6は、1ヶ月間（1992年5月）の利用状況を示す。

本ネットワーク間接続の運用において発生した問題は、ファイル転送と対話操作の並列実行時に、対話操作の応答が極端に遅くなることであった。この問題は、緊急を要しない大きなファイル転送は、利用者が少ない時間（例えば、昼食時や夜間）に行うことで解決した。

現在、本ネットワーク間接続は、問題なく運用されており、現在の利用状況も考え合わせると、十分実用性がある。

## 6. おわりに

当センターと電子応用機械技術研究所間の広域ネットワーク構築とその評価について述べた。

ネットワーク間は、ゲートウェイワークステーションのRS232Cポートとモ뎀をストレートケーブルで、モ뎀間を一般専用回線で接続した。ネットワークソフトウェアは、SLIPを使用した。また、ルーティングテーブルの設定は、ダイナミックルーティングで行った。この方法で、リアルタイム性と多様な機能を持つ広域ネットワーク（IP接続）が、低価格で構築できた。

この広域ネットワークは、既に運用を開始している。現在の利用状況では、十分実用性がある。

しかし、今後広域ネットワークの利用が、加速度的に増加した場合、現在のネットワーク間接続では、過負荷（例えば、応答速度が遅くなる。）になることが予想される。その時は、専用ゲートウェイマシンの設置と高速デジタル専用回線接続への移行を検討する必要がある。

今後の課題としては、ホスト情報の分散管理である。現在は、双方の組織で相手のネットワークのホスト情報を登録している。この方法では、相手のホスト情報の変更に対して双方の組織で対応する必要がある。そこで、ホスト情報管理の効率

化と同一性を持たせるため、ホスト情報は、BINDによる分散管理を検討している。

セキュリティは、現在、ユーザ名とパスワードで管理している。ユーザ名とパスワードの管理強化で、ある程度はセキュリティを高めることができるが、さらに高めるためには、内部LANを外部から見えなくする方法（例えば、ゲートウェイ機能を内部LANから完全に切り離す。）などを検討する必要がある。

今後、企業や大学などでは、遠隔地組織との情報交換、ファイル転送、計算機の相互利用などの要望が増えると予想される。利用用途に応じた規模の広域ネットワーク構築、管理運用、セキュリティ強化が、非常に重要となると考えられる。

最後に、本ネットワーク間接続にあたり電子応用機械技術研究所の中島泰彦氏に多大な支援を受けた。謹んで感謝します。

## 参考文献

- 1) 河北隆生：工業技術センターにおけるコンピュータ・ネットワーク構築、管理および利用環境ー、P. 20-27、センター情報九州No. 70、1991. 6
- 2) 村井純、他2名：プロフェッショナルUNIX、P. 204-216、アスキー出版局、1986
- 3) S. J. Leffler、他3名著、中村明、他3名共訳：UNIX 4.3BSDの設計と実装、P. 290、丸善、1991
- 4) Douglas Comer著、村井純、楠本博之訳：第2版TCP/IPによるネットワーク構築、P. 73-88、P. 201-207、共立出版、1991
- 5) 河北隆生：熊本県工業技術センターにおけるコンピュータネットワークの管理運用、P. 7-17、熊本県工業技術センター研究報告No. 29、1991
- 6) 三浦豊樹：BINDサーバ、P. 63-79、ASCII、UNIXマガジン、1990. 7

# 木質複合材料の電磁波シールド特性に関する研究

## —複合建築材料の設計と開発に関する研究—

中村哲男\*・大迫靖雄\*\*・上田直行\*\*\*  
木村幹男\*・外山隆史\*\*

Studies on the Electromagnetic Shielding of Building Composite Materials  
-Studies on the Design and the Development of Building Composite Materials-

Tetsuo NAKAMURA\*, Yasuo OHSAKO\*\*, Naoyuki UEDA\*\*\*,  
Mikio KIMURA\* and Takashi TOYAMA\*\*

本研究では、熊本県産木材の活用の一つとして電磁波障害防止を目的とした住宅用部材の開発を行った。

今回用いた電磁波シールド材は、県産スギ材を基材とし、レゾルシノール接着剤を用いた接着層に導電性を付与した天草陶石をはじめ、アルミニウムあるいは銅等の金属粉末類あるいは導電性繊維等を混入した複合材、また無電解めっき処理して導電性を持たせたスギ单板をコアとした複合材等を試作し、これらの電磁波シールド特性を近接電界法により測定し解析を行った。

その結果、電磁波シールド効果は、複合に用いる導電物質の形状および添加量に大きく影響されることが明かとなった。すなわち、粉末物質を用いた複合材の電磁波シールド性は、その添加量および添加物質の違いにかかわらず顕著な効果が得られなかったのに対し、繊維状物質の場合は、添加量、添加物質の違いにより電磁波シールド効果に大きな差があることが判明した。また、無電解ニッケルめっきによって導電性を持たせた单板をコアとした複合材については、今後良好な電磁波シールド効果を有する複合材の開発が可能となった。

### 1. 緒 言

近年、マイクロコンピュータをはじめとする種々の電子機器類が多くの産業分野に普及してきた。これにともなって、これらの電子機器から発生する電磁波により他の電子機器の誤動作や妨害

雑音が発生するなど産業界にとどまらず広い範囲で社会問題化している。これは、ICやLSIが多量に使用されているコンピュータ類が高周波パルスを発生するためである。すなわち、これらの機器から発生する電磁波ノイズが制御信号レベルに近いためロボットの誤動作、情報記録の消失などいわゆるEMI（電磁波障害 Electro Magnetic Interference）を起こす原因となっている。

現在、電磁波シールドには機器あるいは装置のプラスチックなどの収納容器に導電性塗料をめっ

\* 情報デザイン部

\*\* 熊本大学 教育学部

\*\*\* 電子部

きしたり、容器を導電性プラスチックで作るなど種々のシールド材の開発<sup>1) 2)</sup>が行われている。しかしながら、部屋あるいは建築物全体に関する電磁波シールドを考慮した建築用材規格の材料開発については、まだ十分な検討が行われていないのが現状である。

そこで、本研究では、今後周囲環境に対応するための建築用電磁波シールド材の開発が強く要求されることを考慮し、電磁波シールド特性を有する建築用複合内装材の開発を検討する。

本年度は、形状の異なる導電性物質を接着剤に混入することにより作成した複合材あるいは無電解めっきを行ったスギ単板をコアとした積層複合材を試作し、近接電界法により複合材の電磁波シールド性を測定した。

これらの結果について、各複合材の導電性物質の形態と関係づけて検討する。

## 2. 実験および実験方法

### 2.1 使用材料

県産木材資源の有効利用を考慮し、使用材料は写真1に示すようにスギ挽き板（長さ200mm×幅200mm×厚さ2mm）を基材として表1

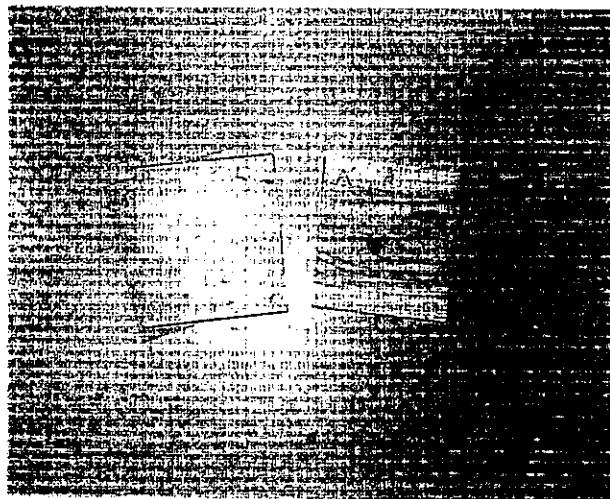


写真1 試験供試用スギ挽き板材

に示す複合材を作成した。

無電解めっき浴には、還元剤として次亜硫酸ナトリウム、錯化剤としてクエン酸ナトリウムを使用し水酸化アンモニウムで所定のPHに調整した。

めっき浴の組成および条件を表2に示す。また、表面の脱脂、清浄化（Cleaning）、粗化（Roughening）、センシタイジング（Sensitizing）およびアクティベイティング（Activating）には、それぞれ水酸化ナトリウム、フッ化水素、塩化第一スズ、塩化パラジウムを用い、脱脂、塩酸中和洗浄、粗化、洗浄、センシタイジング、アクティベイ

表1 木質複合材料の構成内容

基材	接着剤（層）	混入材	混入割合（%）
スギ	無し		—
スギ	アルミニウム粉末		2.0
スギ	無電解ニッケルめっき処理天草陶石粉末		1.0
スギ	無電解ニッケルめっき処理グラスウール		5
スギ	無電解ニッケルめっき処理グラスウール		1.0
スギ	スチールウール		1.0
スギ	カーボンファイバー		1.0
スギ	無電解ニッケルめっき処理1mmスギ板		—

表2 めっき浴の組成およびめっき条件

成 分	濃 度
NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.19mol dm <sup>-3</sup>
Na <sub>2</sub> PH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	0.11mol cm <sup>-3</sup>
Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.34mol cm <sup>-3</sup>
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cl	0.5 mol cm <sup>-3</sup>
PH (NH <sub>4</sub> OHで調整)	6 ~ 10
温 度	313~363K

表3 めっき浴の前処理

処理	成 分	濃 度	処理温度	処理時間
Cleaning	N a O H	10%	50°C	60min
Roughening	H F	20%*	50°C	30min
Sensitizing	S n C l <sub>2</sub> ‡	2.5g/l	25°C	5 min
Activating	P b C l <sub>2</sub> §	0.25g/l	25°C	5 min

\* H C L で P H 2 に調整

§ H C L 0.2mol dm<sup>-3</sup> 添加

ティング、洗浄の順序で処理を行った。表3にその条件を示す。

## 2.2 複合材料の製造方法

複合材は、基材となるスギ挽き板を表1に示す粉末あるいは繊維などを混入したレゾルシノール接着剤(250g/m<sup>2</sup>)を用い、圧縮圧力9.8N/cm<sup>2</sup>で24時間冷圧することにより作成した。なお、無電解めっき処理を行ったスギ挽き板を用いた複合材は、接着剤中に導電物質は使用していない。

## 2.3 電磁波シールド性能の測定方法

電磁波シールド効果の測定は、写真2に示すように(株)アドバンテスト社製のシールド材評価器(TR-17301A)に測定試片をセットし、スペクトラムアナライザー(R-3361)およびプリゼレクト(R-3551)を用いて行った。測定用試料の寸法は、測定装置の関係から、長さ200mm×幅200mm×厚さ5mm以下とし周波数レンジは0~1000MHzで測定した。測定は、写真3に示すようにシールド材評価器の金属製の箱の中央に試料をセットし、その片側に発信用のアンテナを反対側に受信用のアンテナを置いて行った。

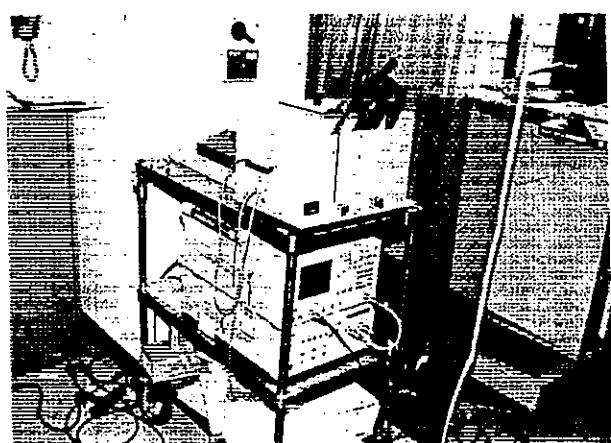


写真2 シールド材評価機器類



写真3 シールド材測定機器への試料のセット状態

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 コントロール材(スギ挽き板をレゾルシノール接着剤のみで接着した複合材)のシールド効果

図1にコントロール材のシールド効果を示す。図の中で、縦軸は電磁波シールド性能を示し、単位は1目盛り10dBである。横軸は周波数を示し0~1000MHzの範囲とし、1目盛りは100MHzである。

本図から明らかなように、測定値はいずれの周波数でもほぼ0を示し、コントロール用複合材を構成している木材(スギ挽き板)あるいはレゾルシノール接着剤そのものには全く電磁波シールド効果が無いことを示している。このことから、木

材あるいは木質材料から構成される一般の木造住宅には電磁波シールド効果が無く、外部で発生する電磁波などに対しては無防備であることを示している。

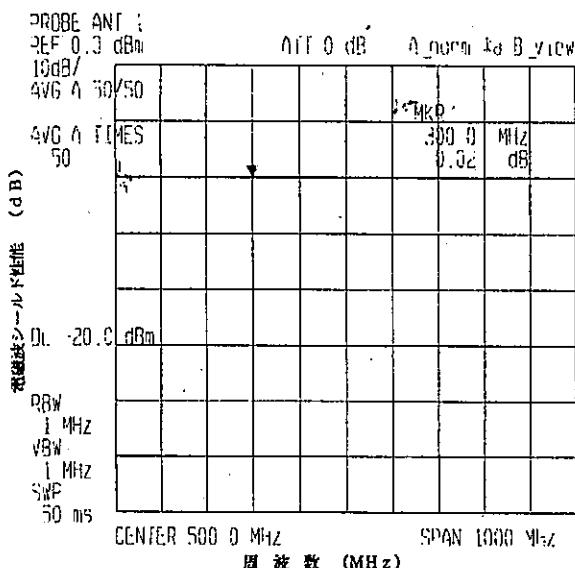


図1 コントロール材の電磁波シールド効果

### 3.2 接着層へ粉末粒子を混入した複合材の電磁波シールド効果

図2に無電解ニッケルめっき処理した天草陶石粉末（325 #パス～400 #フルイ上に残ったもの）およびアルミニウム粉末を混入した複合材の電磁波シールド効果を示す。

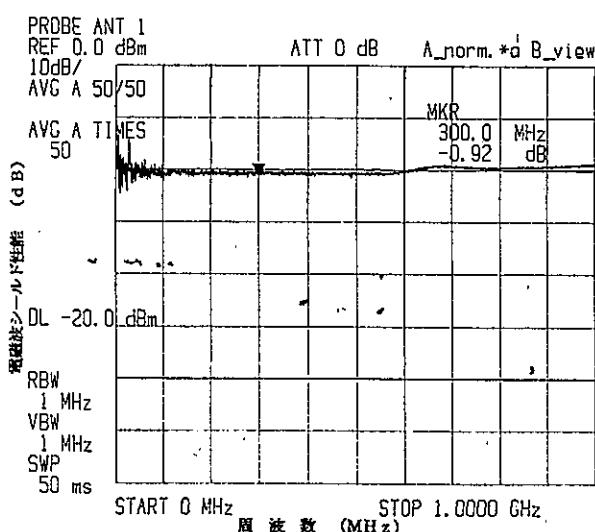


図2 接着層に粉末粒子を混入した複合材の電磁波シールド効果

本図から、天草陶石およびアルミニウム粉末を接合剤に混入した複合剤の電磁波シールド性能は、両者ともほぼ同一の傾向を示し材料による違いはみられない。この結果は、アルミニウム粉末および無電解ニッケルめっき処理した天草陶石を接着剤中に重量比で各々20%、10%混入した接着剤混入系複合剤の電磁波シールド効果が、いずれの複合材においても僅かコンマ数%に過ぎないことを示している。この値は測定誤差内と考えられることから、これらの複合材は電磁波シールド効果を持たないといえる。また、本稿には記載していないが、銅粉末20%（重量比）を混入した接着混入系複合材についてもほぼ同様な結果が得られた。

田中らは<sup>3)</sup>、無機系バインダに沈降防止剤（ポリアクリル酸、アルギン酸、粘土など）を混入し、この混入物3に対して電解銅粉2（重量比）を加えて構成された塗膜が40dB以上の電磁波シールド効果があることを報告している。この場合は、使用した沈殿防止材の性質により電磁波シールド効果に差がみられること、さらに塗膜の厚さが60～80μm以上で効果が表れることを示している。

また、住田は<sup>4)</sup>、ポリマー中の導電性物質に絶縁体を混入した場合の導電性は粒子の分散性に左右されると報告している。ところで、本研究では、接着剤に対し添加物（增量材）として混入される比率は、せいぜい20%（重量比）にすぎない。このことは、田中ら<sup>3)</sup>の行った試験での混入割合と比較して低い割合といえる。しかし、これ以上の混入は、比重の小さいアルミニウム粉末では混入容積が大きくなり接着作業性、接着強度が著しく低下し製品性能に影響することになる。本研究では、導電性物質を接着剤に対し重量比で20%の割合で混入しているが、これは接着作業性を考慮した結果による最大値<sup>5)</sup>である。

以上のことから、導電性物質であるアルミニウム粉末あるいは無電解ニッケルめっき処理した天草陶石粉末を混入した複合材について、電磁波シールド効果が得られなかった理由として混合物の量的な不足、粒子の分散性あるいは接着層が極めて薄いことなどによって電磁波シールド効果を

得るための十分な連続した層が接着剤中に形成されなかつたものと推定される。したがって、電導性物質を接着剤に混入した複合材について電磁波シールド効果を高めるためには、基材となる接着剤として導電性接着剤を活用するなど電導性物質のほか、更に相乗効果が得られるような方法を検討する必要がある。

### 3.3 接着層に導電性繊維を混入した複合材の電磁波シールド効果

図3に接着層へ無電解めっき処理したグラスウール、スチールウールあるいはカーボン繊維を接着剤に混入した複合材および比較用として厚さ1mmのアルミニウム板の電磁波シールド効果を示す。

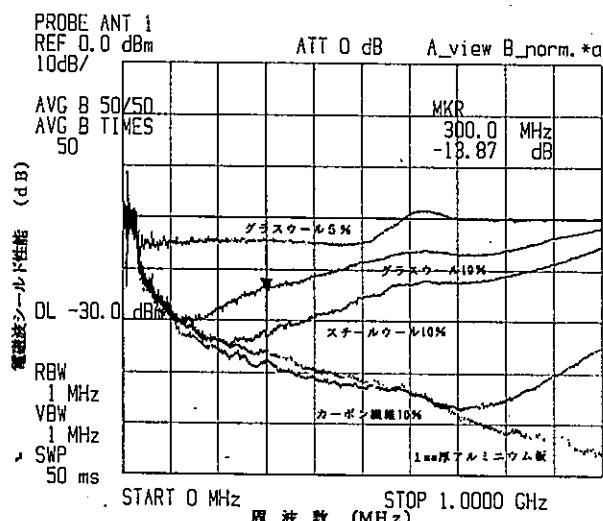


図3 接着層に導電性繊維を混入した複合材の電磁波シールド効果

本図から、無電解めっき処理したグラスウールを接着剤に混入した複合材については、その混入量が5%、10%とも電磁波シールド効果がみられる。さらに、混入量による効果も顕著にみられる。すなわち、グラスウールを重量比5%の割合で接着層へ混入した場合、500MHz帯まで5dB程度のシールド効果が得られたのに対し、2倍の混入量(10%混入)では最大4倍近い電磁波シールド効果の向上を示している。このことから、無電解めっき処理をしたグラスウールは、混

入量の増加によって電磁波シールド効果が著しく向上することが明らかになった。

次に、無電解めっき処理したグラスウール、スチールウール、カーボン繊維の各々を重量比で10%混入した複合材の電磁波シールド効果を同様に図3に示すが、スチールウールの場合、無電解めっき処理したグラスウールに比較して110MHzから高周波域にかけて5~10dB高いシールド効果を示している。同様にカーボン繊維は、110MHzから高周波域にかけて最大20dB以上のシールド効果を示している。また、カーボン繊維を混入した複合材は、特に電磁波シールド効果が顕著となっており500MHz帯までほぼアルミニウム板と同等のシールド効果を示している。

富村らは<sup>6)</sup>、炭素繊維をコアに持つMDF(Medium Density Fiberboard)の製造において、中心層ボードに重量比50%以上の炭素繊維を含むものであれば500MHz帯まで40dB以上の電磁波シールド効果あると報告している。本実験では、炭素繊維を接着剤へ混入した複合材の電磁波シールド効果について検討しており、カーボン繊維が含まれる接着層は極めて薄いため最大30dB程度の電磁波シールド効果しか得られなかったものと思われる。カーボン繊維は、比重が小さく接着層への混入が10%でもかなり接着操作が難しくこれ以上の混入は困難であり、接着操作の面からは、同一重量比の場合、容量的には比重の大きいスチールウールが有利といえる。本実験の結果では、スチールウールの電磁波シールド効果はカーボン繊維のそれより劣っているが、容量比を同一に設定した場合の比較試験が必要と思われる。

以上、図3より、いずれの複合材も電磁波シールド効果があり、接着剤中に導電性物質を混入することにより接着層に導電性を持たせることができることを示している。また、前述したMDFのコアに炭素繊維などを混入する方法より接着剤へ導電性繊維を混入する方法が製造法が簡易であり、製造費も安価であると考えられ、電磁波シールド材としては優れているといえる。

### 3.4 無電解ニッケルめっき処理したスギ単板をコアとした複合積層材の電磁波シールド効果

図4に無電解ニッケルめっき処理したスギ挽き板をコアとして積層した複合材の電磁波シールド効果を示す。

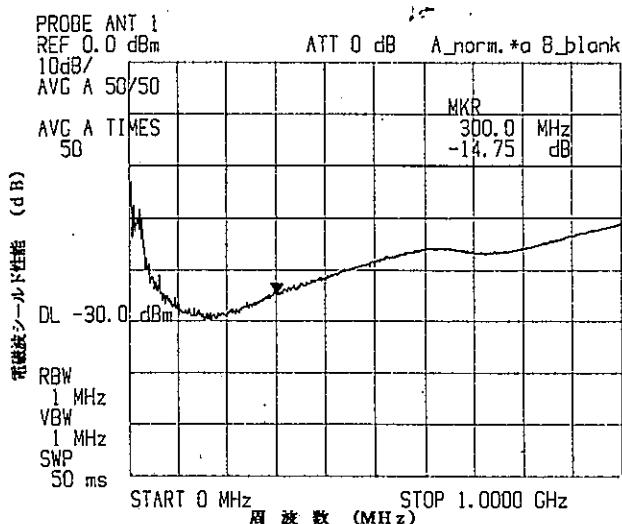


図4 ニッケルめっき処理単板をコア材とした複合積層材の電磁波シールド効果

本図から、無電解めっき処理したスギ挽き板単板をコアとした複合材については、30～300 MHzの周波数帯で約15 dBのシールド効果があることが分かる。一般に電磁波の影響が問題となるのは、コンピュータ機器から発信するノイズで30～500 MHz程度までといわれている。中でもパーソナルコンピュータは30～300 MHzの周波数帯のノイズを多く発信させる。このことより、図4に示した複合材は実用的に使用することが可能な材料といえる。

長澤らは<sup>1)</sup>、ニッケルめっき処理した木片をコアとした木質系電磁波シールド材について40 dB以上のシールド効果を持つ複合材を開発し、めっき処理した導電性木片の添加量が増すことによりシールド効果が増大することを報告している。本実験の結果は長澤らの結果よりシールド効果は低い。これは、試験体のコアの表面状態が異なっていることに起因するものと考えられる。特に、

本実験の場合、コア材は単板であり、木材を処理するための特別な前処理を行っていない。また、

無電界めっき装置はステンレス製のバットを使用したため無電界めっき処理を行う場合、木材がめっき液の表面に浮くなどグラスウールとは異なる状態であった。このためニッケルめっきが均一でなく不連続層ができたためと考えられる。今後、無電界めっきにおける脱脂・洗浄などの前処理あるいはアクティベイティングなどの触媒付加処理について木材に適合する方法を検討する必要がある。コアに単板を使用するこの方法は、木材小片を使用する方法に比較して無電解めっき処理や複合化が簡易であると考えられる。また、金属めっきの種類を選択することにより低周波域に電磁波シールド効果がある周波数特性を有する無電解めっき処理をした単板と更に接着剤に導電性繊維を混入する方法を組み合わせることなどが可能となる。この結果、全周波数域に対応できる複合材の開発が期待できる。

なお、本実験では、アルミニウム箔(20 μm)をコアとした複合材も作成し、その電磁波シールド効果を測定した。その結果、1 mm厚さのアルミニウム板と遜色のない実験結果が得られたが、アルミニウム箔をレゾルシノール樹脂接着剤で積層複合化したものは、常態および333 Kの耐温水によるせん断試験では強度が著しく低下し、木破率が0であったため、アルミニウム箔積層複合材は圧縮せん断接着強度に耐えられないという理由から本稿では省略した。

本実験で用いた全複合材の接着強度試験は、ミズメ(Betula grossa Sieb. et Zucc. 平均気乾比重: 0.72)の柾目材を被着材とし、レゾルシノール樹脂接着剤を用いてJIS-K-6853に基づき圧縮接着せん断試験(常態、耐温水)を、接着作業性などを考慮した添加材最大混入量について検討した上で実施した<sup>3)</sup>。この試験結果については別に報告するが、本実験で使用した複合材は、強度試験により実用に耐えうるものとして認めたものについてのみ検討した。

### 4. 要 約

本研究では、スギ挽き板単板を基材とした複合材の作成において、複合に用いる導電性物質の形

状の違いによる電磁波シールド特性に注目して検討した。その結果次のことが明らかになった。

- 1) 導電物質の形状が電磁波シールド効果に大きな影響する傾向が明らかになった。特に、粉末状物質は混入量に関係なくほとんどシールド効果を示さなかった。
- 2) 導電性繊維状物質の混入では無電解ニッケルめっき処理したグラスウール5%の混入したものに対し、10%混入したものはシールド効果が4倍程度高くなることが認められた。
- 3) 本研究で用いた導電性繊維状物質ではカーボン繊維が最もシールド効果が高く、500MHzまでアルミニウム板と遜色の無いものであった。
- 4) 無電解ニッケルめっき処理により導電化したスギ挽き板単板で積層した複合材料についても電磁波シールド効果が顕著であつた。この場合、シールド効果の絶対値に問題があったが、これらの原因はめっき作業に関する問題と考えられ今後十分実用化が期待できる方法であることが明らかになった。

以上、接着剤への導電性繊維の混入あるいは導電化処理したスギ挽き板単板の積層による複合材料の開発については、顕著なシールド効果を得ることができたが、実用化に当たっては、シールド効果（特に低周波域）の絶対量や複合材の構成など検討しなければならない問題もあり、今後、本研究を基礎として更に検討を加えたい。

## 参考文献

- 1) 例えば、山里弘之：工業材用、29(12)、31～37(1981)
- 2) 例えば、中村和連：工業材料、29(12)、41～43(1981)
- 3) 田中義身ほか、愛知県工業技術センター研究報告、24、11～16(1988)
- 4) 住田雅雄、日本接着協会誌、23(3)、103(1987)
- 5) 大迫靖雄、外山隆史、中村哲男、熊本県産官技術交流会試料集、P. 29～30(1992)
- 6) 富村洋一、鈴木岩雄：木材学会誌、Vol. 33、No. 8、P. 645～649(1987)
- 7) 長澤長八郎、熊谷八百三：木材学会誌、Vol. 1. 35、No. 12、P. 1092～1099(1989)

# ファインセラミックスの成形研削

## —精密成形研削加工技術に関する研究—

高橋 孝誠\*・松尾 哲夫\*\*・八戸 和男\*\*\*

Study on Form Grinding of Fine Ceramics  
—Study on Precision Form Grinding—

Kosei TAKAHASI\*, Tetsuo MATSUO \*\* and Kazuo YAE\*\*\*

### [概 要]

本研究は、被削材としてファインセラミックスを用い、ダイヤモンド砥石によるクリープフィード研削方式による成形研削について、成形条件による法線研削抵抗 ( $F_n$ )、接線研削抵抗 ( $F_t$ )、二分力比 ( $F_n/F_t$ )、表面粗さ等について検討を行った。

その結果、研削抵抗は研削の進行に伴い増加し、工作物送り速度、切り込み量の増加によっても増加する。砥石の周速が速くなると減少する。除去率一定の場合は、切り込み量が送り速度より大きく作用する。砥石幅が小さいほど単位幅当たり抵抗は大きくなる。表面粗さは、送り速度が速いほど大きくなり、研削の進行に伴い小さくなることなどがわかった。

### 1. 諸 言

ファインセラミックスが機械構造用材料として近年注目され、今後その利用拡大が期待されている。しかし、広く機械部品として使用されるためには、高精度でしかも能率のよい加工法の確立が重要な課題となる。

現在、機械加工する場合は主にダイヤモンド砥石による研削加工が行われている。特に溝加工のような成形加工にはクリープフィード研削加工が有効であるとされているが、砥石の選択基準や研削特性に関するデータは十分とは言えない現状である。

研削抵抗を砥石の接線抵抗と法線接線抵抗とに分けて考えると、接線研削抵抗  $F_t$  は実際に研削する成分であるが、これに対して法線研削抵抗  $F_n$  はいわば無駄なエネルギーなので、これらの二分力比  $F_n/F_t$  が小さいほどエネルギーロスが少ないことになる。また、被削材への砥粒の食い込みが悪いほど二分力比が大きくなることも知られている<sup>1)</sup>。

そこで本研究では、ダイヤモンドの薄刃砥石による成形研削について、クリープフィード研削における各種の成形条件と研削抵抗、表面粗さ等の特性について検討を行った。

### 2. 実 験 方 法

#### 2.1 実験装置と研削抵抗の測定方法

実験に用いた研削盤は、三井精機工業（株）製

\* 生産技術部

\*\* 熊本大学工学部

\*\*\* 九州東海大学工学部

のNC超精密成形平面研削盤GHS-630を用いた。主軸は7.5kWで回転数は500~3600rpmの無段变速、サドル最小移動単位および砥石ヘッド上下最小移動単位は0.1μm、クリープフィード送り速度は3~450mm/minである。研削抵抗は工具動力計（佐藤工機（株）製AST-MM）に被削材を取り付けテーブル上下方向と送り方向の2分力を検出し、法線抵抗と接線抵抗を算出した。図1にその概要を示す。

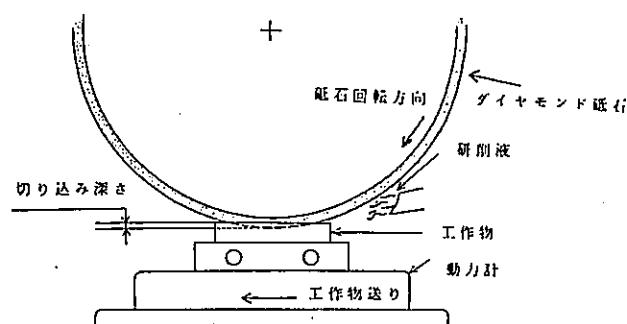


図1 実験の概要

ここで、本実験はクリープフィード研削であるために平面研削と比べて切り込みが著しく大きい。平面研削の場合は、動力計により測定される研削力は実際の研削力である法線抵抗 $F_n$ 、接線抵抗 $F_t$ とで近似できるが、クリープフィード研削においては、動力計に測定される抵抗は、図2-1

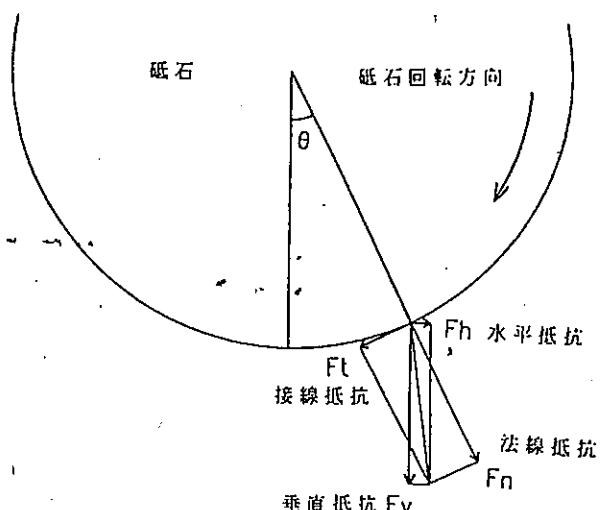


図2-1 研削抵抗の換算

に示すような垂直抵抗 $F_v$ と水平抵抗 $F_h$ であるので、法線抵抗 $F_n$ と接線抵抗 $F_t$ に換算する必要がある。図では、下向き削りにおける研削抵抗を示しており、矢印の向きを正に取ると法線抵抗 $F_n$ 、接線抵抗 $F_t$ は、

$$F_n = F_v \cdot \cos \theta + F_h \cdot \sin \theta$$

$$F_t = F_v \cdot \sin \theta - F_h \cdot \cos \theta$$

となる。ここで、 $\theta$ は図2-2に示すように、鉛直方向と、砥石中心Oと接触弧の中点を結ぶ線を作る角度である。

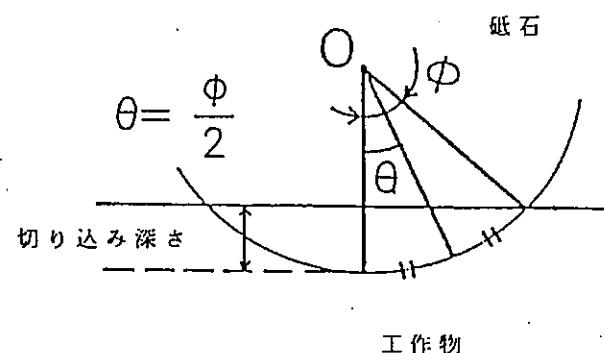


図2-2 角度θの補足図

## 2.2 被削材

被削材は広く用いられているアルミナ系セラミックス( $Al_2O_3$ )3種類、ジルコニア系セラミックス( $ZrO_2$ )2種類、窒化ケイ素系セラミックス( $Si_3N_4$ )1種類の3種を用いた。それぞれの物性を表1に示す。

## 2.3 実験条件

実験条件を表2に示す。各要因の影響についてそれぞれ表に示す範囲で実験を行った。砥石のツールイングとドレッシングは、ロールドレッサーを用いて、砥石回転数500rpm、切り込み10~20μm、前後送り600mm/minを行った。

表1 実験条件

研削砥石 砥石直径 砥石幅 砥粒層	SD170Q60MR4 (川竹ダイヤ株) 200mm 0.8, 1.5, 3.0mm 4.0mm
フランジ直径	180mm
砥石周速度	20, 30, 50m/s
テーブル送り速度	50~450mm/min
切り込み量	2, 3, 4mm
研削長さ/pass	50mm
研削方法	ダウンカット
研削液	ソリューブル (50倍希釈)

表2 被削材(セラミックス)の物性

材質	焼結方法	かさ比重	曲げ強度 kg/mm <sup>2</sup>	硬さ		熱膨張係数 ×10 <sup>6</sup> /°C	熱伝導率 cal/cm.s.k
				H V (P=500g)	H R A		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A	H I P	3.97	75	—	93.6	7.0
	B	H I P	3.94	55	—	93.9	8.0
	C	C·P	3.9	40	1700	—	8.0
ZrO <sub>2</sub>	A	H I P	6.1	150	—	91.5	9.2
	B	C·P	6.05	120	1500	—	9.0
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	H I P	3.23	120	—	92.8	3.6	0.056

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 研削の進行に伴う研削抵抗の変化

図3に成形研削におけるドレッシング後の研削パス回数の進行に伴う法線研削抵抗( $F_{n'}$ )、接線研削抵抗( $F_{t'}$ )及び二分力比( $F_n/F_t$ )の変化を示す。ここに示す法線研削抵抗 $F_{n'}$ 及び接線研削抵抗 $F_{t'}$ は、それぞれ砥石単位幅当たりの研削抵抗である。研削の進行に伴って研削抵抗が増加するのは目づまりと同時にダイヤモンド砥粒の逃げ面が摩耗するためであると考えられる。被削材別にみるとドレッシング直後の研削抵抗はいずれも大差ないが、研削が進行するにつれてその差は顕著に現れてくる。特に窒化ケイ素の場合は研削抵抗の増加が最も大きいが、この原因是砥粒に作用する熱衝撃力のためにダイヤモンド砥粒先端が微少破壊を起こし、砥粒逃げ面が平坦化する結果、急激に研削抵抗が増加するものと思われる。

アルミナの場合は、焼結方法の違い(HIPとC・P)により研削抵抗値とその増加量にかなりの差がある。これは気孔を含めた結晶粒界などの影響によりその差が出てくるものと思われる。

ジルコニアの場合は、焼結方法の違いによる研削抵抗値とその増加量の差は見られない。これは研削加工形態の相違に起因するものと考えられる。すなわち、研削中に研削液を供給していたにも関わらず火花が観察できたことから、研削温度がかなり上昇していたものと推察され、研削熱により破壊靭性値の低下が大きく作用したものと思われる。また研削抵抗は、それぞれ研削初期において急激に増加するが、研削パス回数が多くなると増加率は減少し一定値に近づいている。これは、砥石の摩耗状態が初期摩耗や脱落を経て定状摩耗域に移行するにつれて研削抵抗が増加し、砥石周速、工作物送り速度、切り込み量に対応した一定の抵抗値に収束する傾向を示す。特に、接線研削抵抗においては、研削パス回数に対して上下変動しながら増加している箇所が見られるが、これは研削中にセルフドレッシングや砥粒が破碎されて起こる自生発刃が生じているものと推察される。

二分力比の値は、ドレッシング直後でいずれの

被削材も5～15程度の値を示している。一般に焼き入れ鋼を普通砥石で研削する場合の二分力比が2～5程度であること<sup>2)</sup>を考えれば、これらの二分力比はかなり高いものである。このことは、非常に高い耐圧強度を持つファインセラミックス研削の特徴を示している。また、研削の進行に伴って二分力比が徐々に増加していることから、ダイヤモンド砥粒の逃げ面が摩耗して、上すべりなどの摩耗により法線研削抵抗が接線研削抵抗に比べて高い割合で増加していると考えられる。

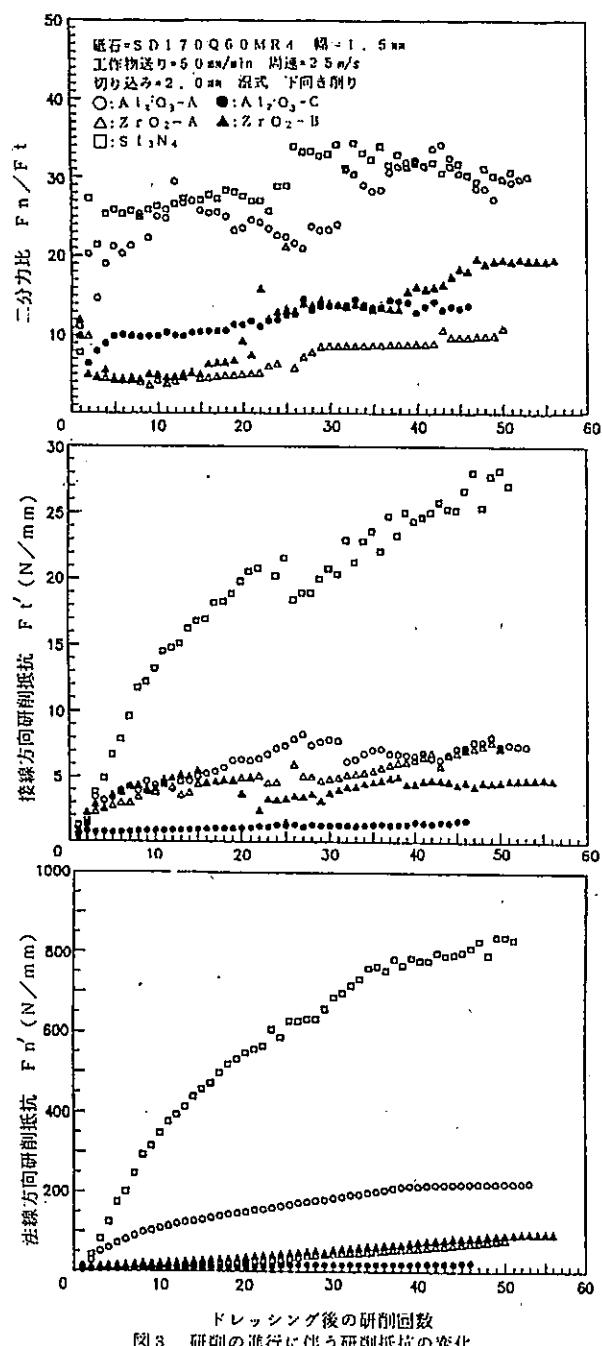


図3 研削の進行に伴う研削抵抗の変化

### 3.2 工作物送り速度の影響

図4にアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -A)、図5にアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -C)の成形研削における、ドレッ

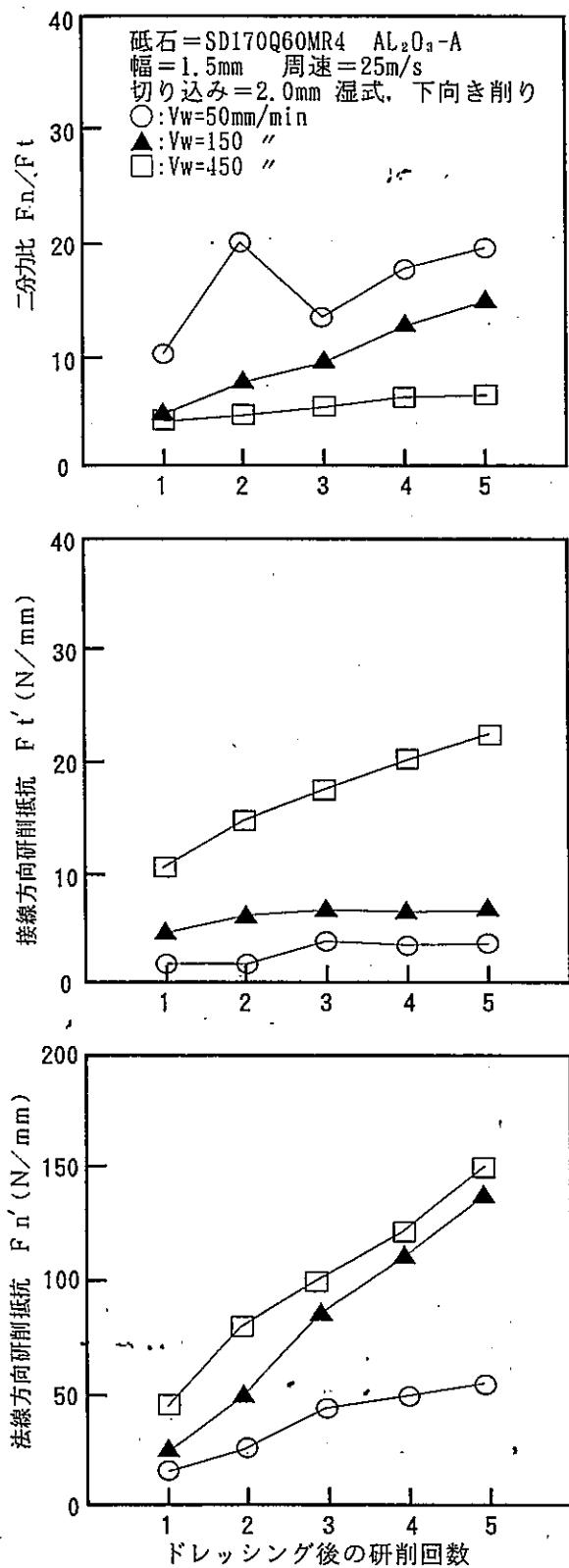


図4 工作物送り速度と研削抵抗( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -A)

シング後の研削回数(削除量)と工作物送り速度( $V_w$ )に対する法線研削抵抗( $F_n'$ )、接線研削抵抗( $F_t'$ )及びその二分力比( $F_n/F_t$ )

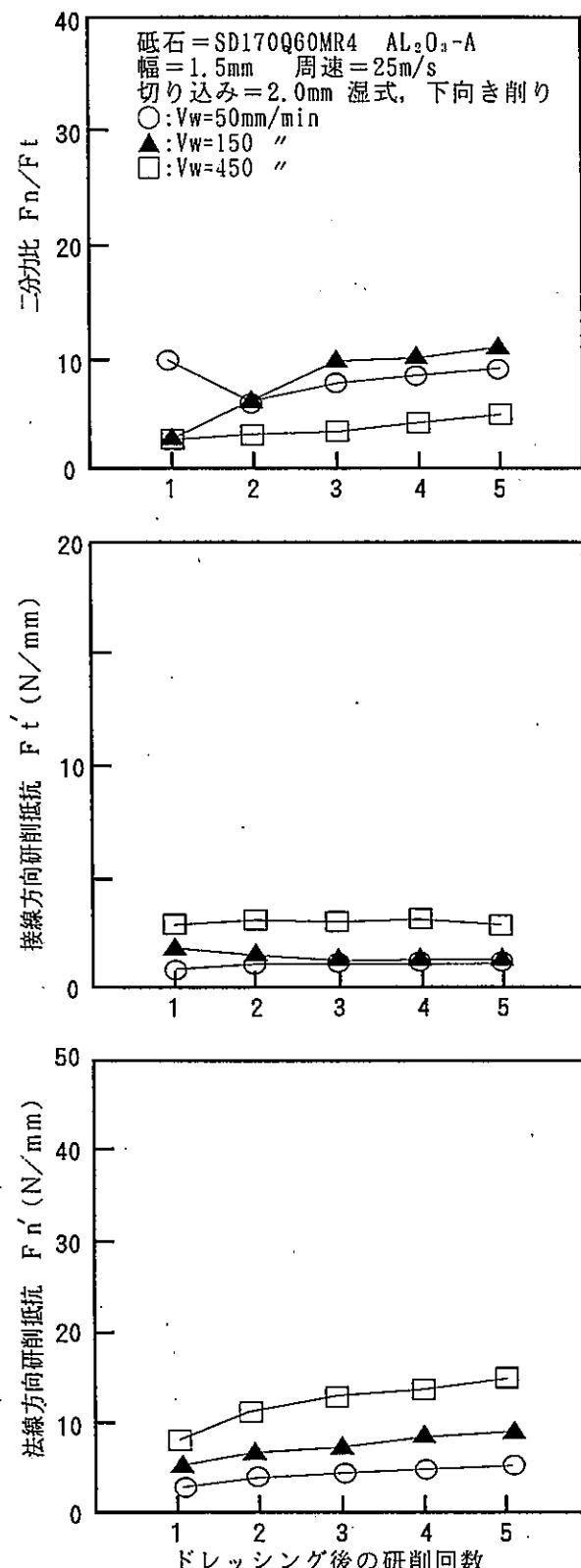


図5 工作物送り速度と研削抵抗( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -C)

を示す。

一部変動が見られるが、研削回数が進むにつれて研削抵抗は増加する傾向を示しているが、これは、3. 1で述べている傾向と一致している。

$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{A}$ では、工作物送り速度に対して、送り速度の増加に従って研削抵抗 ( $F_{n'}$ ,  $F_{t'}$ ) も増加している。一方、二分力比は工作物送り速度の増加に対しては、逆に減少している。

$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{C}$ では、研削抵抗はほぼ A 同様の傾向を示しているが、増加量（グラフの傾き）や研削抵抗の値にかなりの差がある。これは、焼結方法の違い（H I P と C · P）と、曲げ強度の差や気孔を含めた結晶粒界などの影響によりその差が表れているものと思われる。条件的にみれば、工作物送り速度が 50, 150, 450 mm/min となるにつれ過酷になっているが、加工能率から見れば、ある程度の送り速度が必要となる。あくまで抵抗値の大小だけで考えると  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{C}$  の場合には 50 ~ 450 mm/min 間の差が少ないとから、450 mm/min でも十分加工が可能と思われる。 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{A}$  の場合には送り量に対する研削抵抗の増加量が大きいため、加工によるクラックや強度低下などの因子も考慮にいれる必要がある。また、研削回数による研削抵抗の増加量も大きいため、正常な研削を行うにはできるだけ頻繁にドレッシングを行う必要がある。

図 6 にジルコニア ( $\text{ZrO}_2 - \text{A}$ )、図 7 にジルコニア ( $\text{ZrO}_2 - \text{B}$ ) の成形研削における、ドレッシング後の研削回数（削除量）と工作物送り速度 ( $V_w$ ) に対する法線研削抵抗 ( $F_{n'}$ )、接線研削抵抗 ( $F_{t'}$ ) 及びその二分力比 ( $F_n/F_t$ ) を示す。

研削回数が進むにつれわずかに研削抵抗も増加しているが、アルミナに比較するとその差は小さい。工作物送り速度に対する研削抵抗の増加量は、ほぼ送り速度の増加量と比例関係になる。焼結方法の違い（H I P と C · P）による研削抵抗の差はほとんど見られない。表 1 の物性についても、ほとんど差が見られないことも要因の一つであると思われる。加工能率から見れば 45.0 mm/min の送り量でも加工は可能であると思われる。

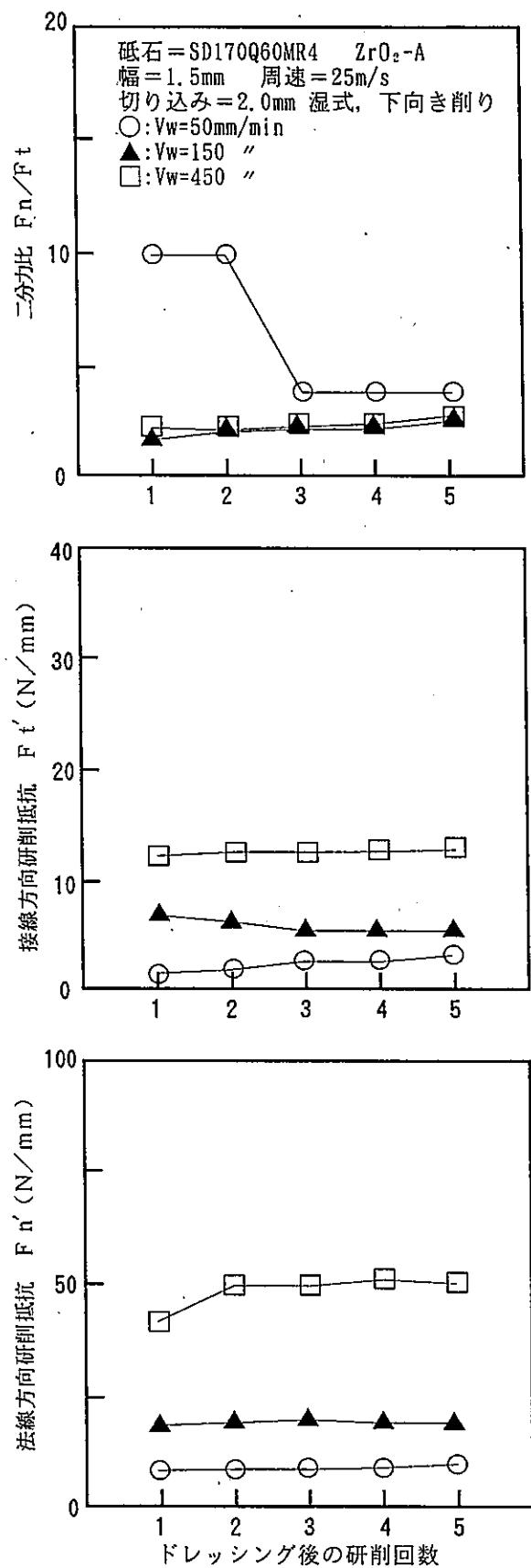


図 6 工作物送り速度と研削抵抗 ( $\text{ZrO}_2 - \text{A}$ )

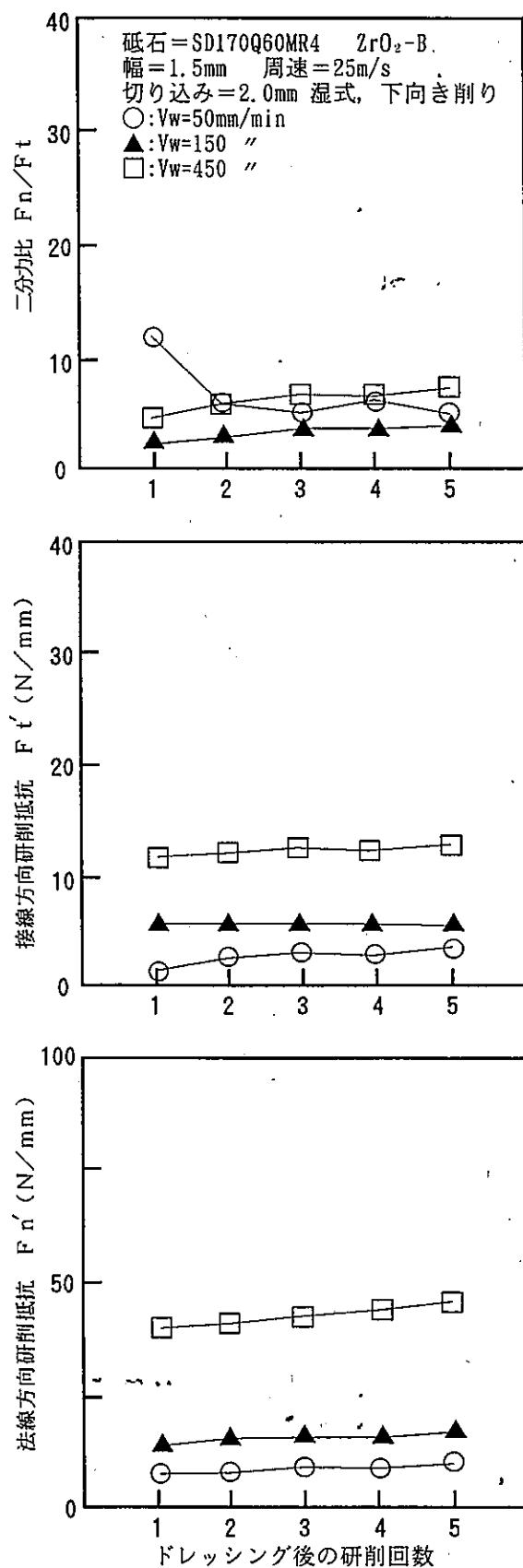
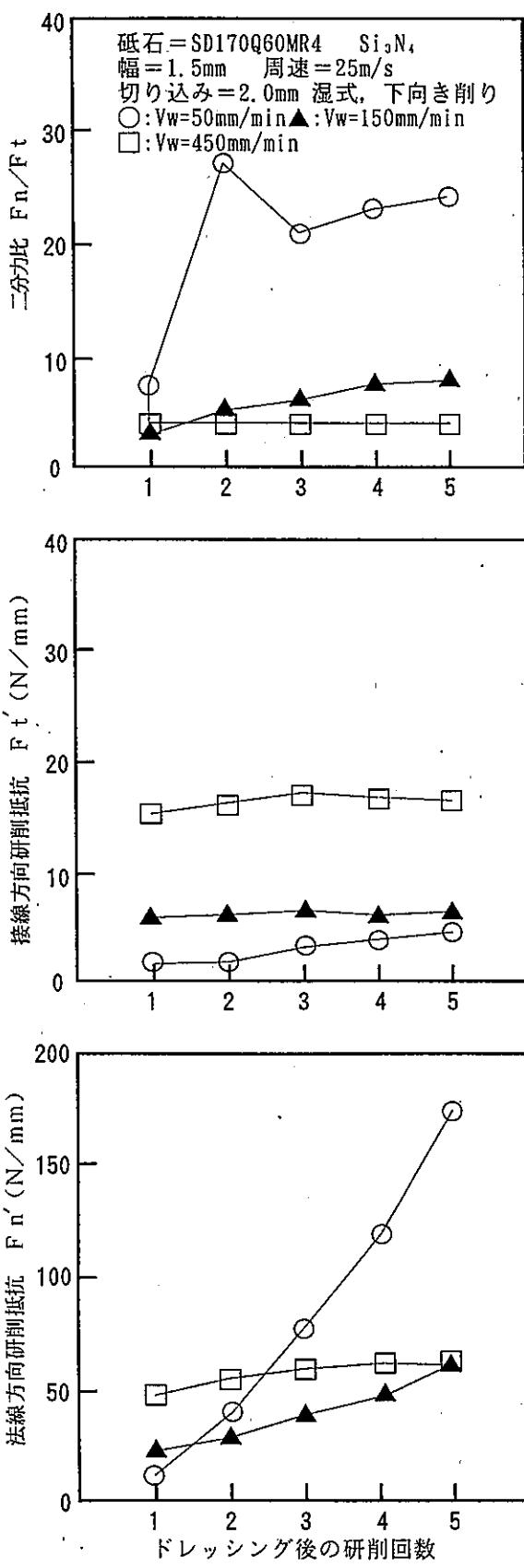
図 7 工作物送り速度と研削抵抗  
( $ZrO_2$ -B)図 8 工作物送り速度と研削抵抗  
( $Si_3N_4$ )

図8に窒化ケイ素( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )の成形研削における、ドレッシング後の研削回数(削除量)と工作物送り速度( $V_w$ )に対する法線研削抵抗( $F_n'$ )、接線研抵抗( $F_t'$ )及びその二分力比( $F_n/F_t$ )示す。これらの図で特徴的なことは、特に工作物送り速度が $50 \text{ mm/min}$ の場合に研削パス回数の進行に伴って法線研削抵抗が急激に増加するとともに、工作物送り速度が大きくなるにつれ法線研削抵抗の増加率が低下していることである。

この材料については、工作物送り速度が低いほど、砥粒切れ刃の材料の食い込みが悪くなり、上すべり現象を起こすことにより砥粒先端の摩耗が著しくなるものと考えられる。工作物送り速度を上げると砥粒切り込み角が増大し、上すべり現象が少なくなることによって摩耗量が減少するため、研削の進行に伴う抵抗の変化は少なくなると考えられる。

### 3.3 切り込み量の影響

図9にアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}$ )の成形研削におけるドレッシング後の研削回数(削除量)と切り込み量( $t$ )に対する法線研削抵抗( $F_n'$ )、接線研削抵抗( $F_t'$ )及びその二分力比( $F_n/F_t$ )示す。

切り込み量が増加すると砥粒1個当たりの削除量の増加により研削抵抗も増加しており、特に法線方向の研削抵抗の増加が顕著である。切り込み量が増加すると二分力比が急激に増加するが、これは法線方向の研削抵抗に比較して接線方向の研削抵抗の増加率が低いためである。また、研削回数の増加に伴って、砥石摩耗や目詰まりなどによって切れ味が劣化し、研削抵抗も増加する傾向にある。これらのことから、切り込み量を大きくすることは加工能率の点では有利であるが、実際に削るエネルギー(接線抵抗)以外の無駄なエネルギー(法線抵抗)が消費されるだけでなく、砥石摩耗に関しても好ましくないと考えられる。

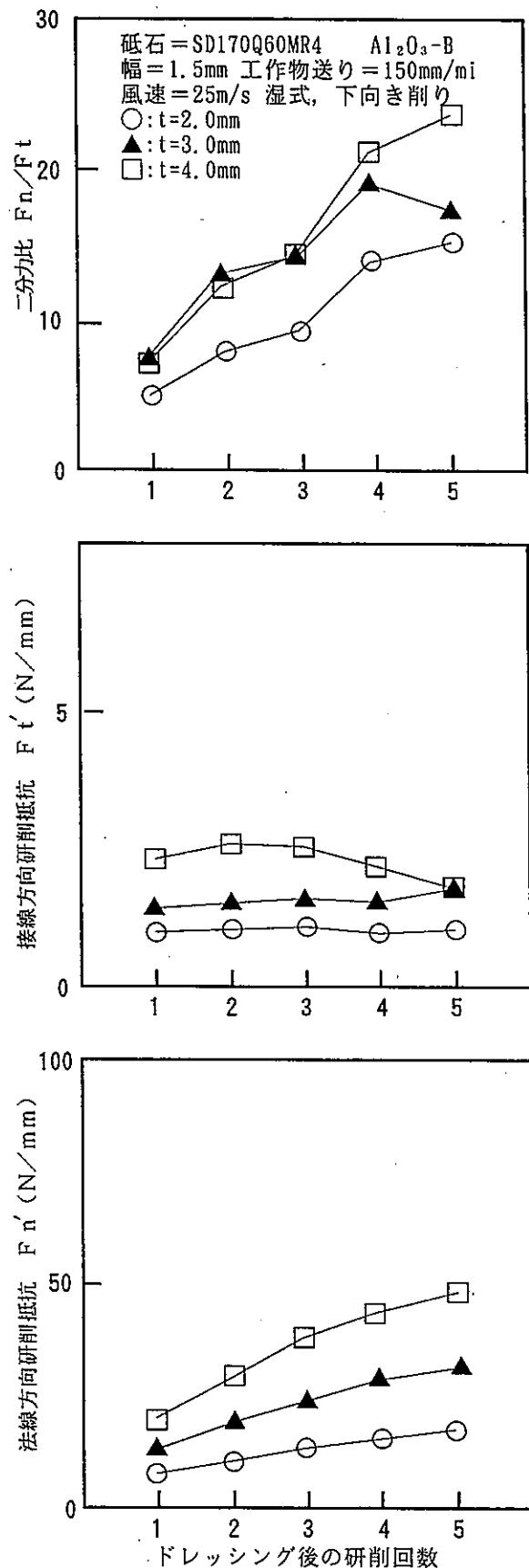


図9 切り込み量と研削抵抗  
( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}$ )

### 3.4 砥石周速の影響

図10にアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}$ ) の成形研削におけるドレッシング後の研削回数(削除量)と砥石周速 ( $V_s$ ) に対する法線研削抵抗 ( $F_{n'}$ )、接線研削抵抗 ( $F_{t'}$ ) 及びその二分力比 ( $F_{n'}/F_{t'}$ ) を示す。

砥石周速度大きいほど砥粒1個当たりの削除量は小さくなるために、法線研削抵抗及び接線研削抵抗は小さくなっているが、各周速度の差は少ない。

砥石周速度を大きくした方が研削抵抗は小さくなる傾向を示すが、クリープフィード研削においては研削点への研削液の供給が行われず、ダイヤモンド砥粒が熱摩耗によって切れ味が低下したり、砥石寿命が短くなるなどの不利益を生じる。したがって、研削液の供給が正常な範囲で砥石周速度を上げることが望ましい。

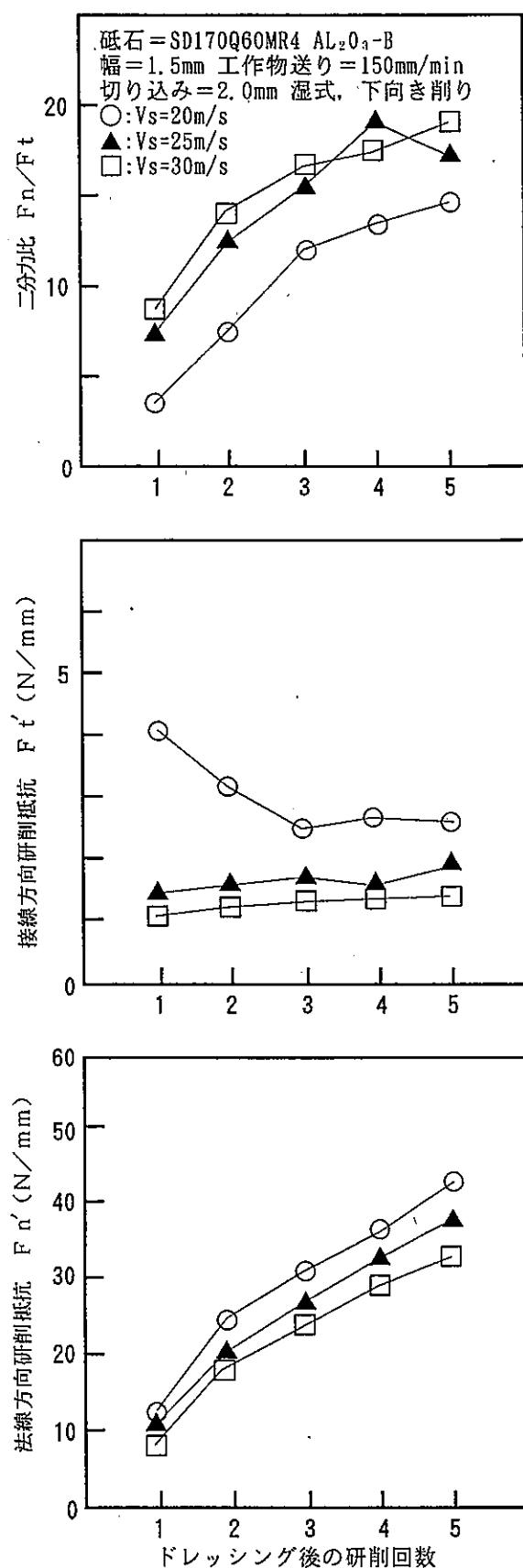


図10 砥石周速と研削抵抗  
( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}$ )

### 3.5 研削削除率一定の場合の切り込み量と工作物送り速度の影響

図11にアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}$ ) の成形研削において、研削削除率 ( $Q = 450 \text{ mm}^3/\text{min} \cdot \text{mm}$ ) を一定にして、切り込み量と工作物送り速度を変化させた場合の法線研削抵抗 ( $F_n'$ )、接線研削抵抗 ( $F_t'$ ) 及びその二分力比 ( $F_n/F_t$ ) 示す。ここで研削除去率 ( $Q$ ) は、砥石の単位幅当たり、単位時間当たりの除去量である。研削除去率を一定にしたときの研削抵抗は、切り込み量の増加とともに増加し、送り速度の増加とともに減少する。また、二分力比で見ても、切り込み量を増加させた方が大きくなっている。これは、研削除去率一定の場合、切り込み量を増加させるよりも、送り速度を増加させた方がエネルギー消費が少なく、砥石に悪影響を及ぼさないことがわかる。

### 3.6 砥石幅の影響

図12にアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}$ ) の成形研削におけるドレッシング後の研削回数(削除量)と砥石幅 ( $b$ ) に対する法線研削抵抗 ( $F_n'$ )、接線研削抵抗 ( $F_t'$ ) 及びその二分力比 ( $F_n/F_t$ ) を示す。

砥石幅が小さいほど、法線研削抵抗、接線研削抵抗ともに増加している。二分力比は砥石幅が小さい方が接線研削抵抗値が大きいため逆に小さくなっている。これは、砥石側面と研削溝側面との接触による研削抵抗は砥石幅に無関係に存在することに加えて、砥石が薄いほど砥石刃厚方向の振れが大きくなるために接線研削抵抗が増加し、更に研削液の供給が十分に行いにくく、冷却作用及び切り屑の除去作用が困難になるためであると考えられる。

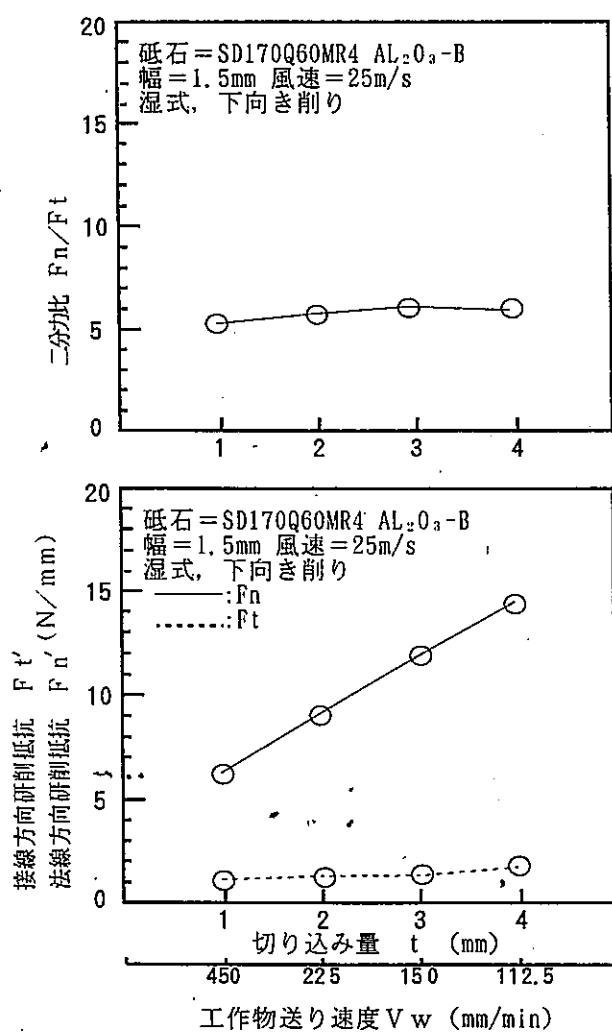


図11 研削削除率一定の研削抵抗  
( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}$ )

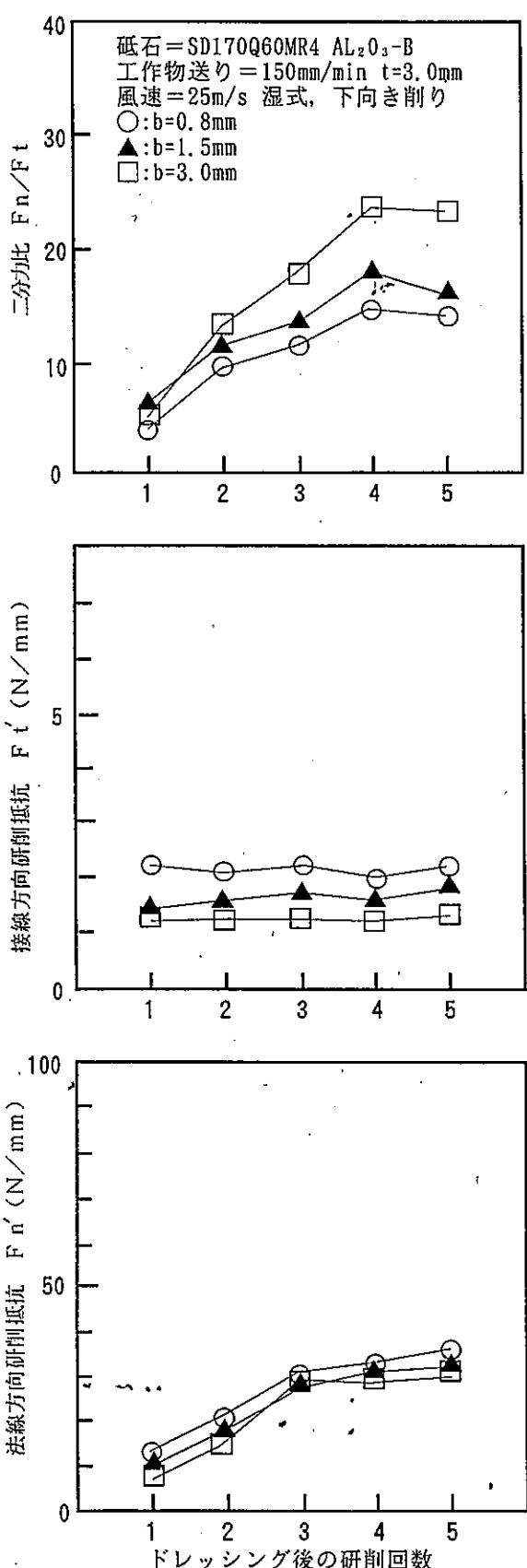


図12 砥石幅と研削抵抗  
 $(\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B})$

### 3.7 加工面の表面粗さ

図13にアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}$ ) の成形研削における、工作物送り速度に対する加工溝底面の研削方向の表面粗さ  $R_{\max}$  をドレッシング直後 (1 パス目) と 5 パス目について示す。工作物送り速度が大きくなると、砥粒 1 個により研削される切り屑の平均断面積が増加するため、表面粗さは悪くなると考えられるが、図にもその傾向が表れている。

また、ドレッシング直後よりも研削回数が多少進んだときが良好になっているが、これは累積削除量が増加すると、ダイヤモンド砥粒の先端部が摩耗して砥粒突き出し量が小さく、かつ一定に近くなり、更には砥粒先端の形状が平滑化していくため、表面粗さが小さくなつたと考えられる。

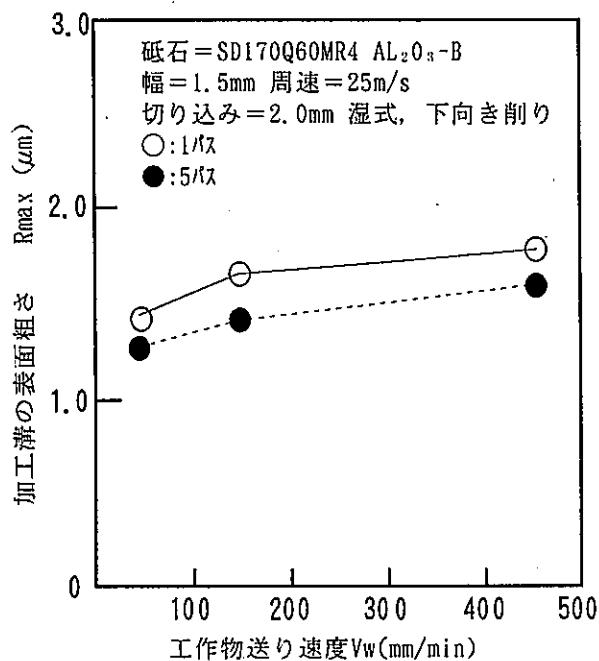


図13 工作物送り速度と表面粗さ  
 $(\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B})$

## 4. 結論

## 参考文献

ダイヤモンド砥石を使用してアルミナ、ジルコニア、及び窒化ケイ素をクリープフィード研削で成形加工し、法線研削抵抗  $F_n'$ 、接線研削抵抗  $F_t'$ 、二分力比  $F_n/F_t$  の検討を行い以下に示す結果を得た。

- (1) 研削の進行に伴い法線研削抵抗、接線研削抵抗、二分力比は増加する。特に窒化ケイ素はその傾向が大きい。
- (2) 工作物送り速度を増加させると法線研削抵抗、接線研削抵抗は増加し、二分力比は低下する。
- (3) 切り込み量が増加すると法線研削抵抗、接線研削抵抗、二分力比ともに増加する。
- (4) 砥石周速度が大きいほど法線研削抵抗、接線研削抵抗は増加し、二分力比は低下する。
- (5) 研削削除率一定の場合、切り込み量より工作物送り速度を増加させた方が研削抵抗は低く、効率が良いと言える。
- (6) 砥石幅が小さいほど、砥石側面の関与の割合が大きいことと研削液の供給が悪くなることから、砥石単位幅当たりの法線研削抵抗、接線研削抵抗は大きくなる。また、砥石側面と加工溝側面との接触は、特に法線分力に影響するために二分力比は大きくなる。
- (7) 加工物送り速度が大きいほど、加工溝底面の表面粗さは悪くなる。また、研削の進行により良好になる傾向を示す。

- 1) 鄭潤教、稻崎一郎、松井敏：ファインセラミックスの高能率研削加工に関する基礎研究、日本機械学会論文集（C編）、53, 485 (1987-1) 209
- 2) 精密工学会編：新版精密工学便覧、コロナ社 (1992) 831

# 精密ジグ研削の加工精度に及ぼす研削条件の影響

坂本博宣\*・峰 瞳\*\*・松尾哲夫\*\*

Effect of Grinding Conditions on Accuracy in Precision Jig Grinding

Hironobu SAKAMOTO\*, Mutsumi TOUGE\*\*, Tetsuo MATSUO\*\*

## 要 約

本研究は高精度を要求される穴の仕上げ加工にジグ研削を適用した場合、加工条件が精度へ与える影響について検討を行ったものである。

その結果、砥石周速が上昇すると仕上げ面粗さ及び真円度が向上する。また、細粒砥石ほど良い傾向を示す。しかし、砥石切込みが大きくなると低下する。更に、これらの現象はトルクの変化と極めてよく対応していることなどが明らかになった。

## 1. 緒 言

ジグ研削は1ミクロン前後の高い加工精度が要求される穴加工の高効率な仕上げに広く用いられている加工法の一つであり<sup>1)</sup>、金型、治工具の精度向上への要求からも重要な研削法として注目されている。本研削法は前加工された小径穴あるいは自由曲面の内面を研削仕上げするのに用いられることが多いため、砥石と被削材の接触弧長さが通常の研削法に比べて長く、曲面の形状により長さも連続的に変化する<sup>2)</sup>。

また、小径砥石を使用するため、砥石軸まわりの剛性が十分に確保できず、剛性不足に起因する加工精度の低下が指摘されている<sup>3)</sup>。このように、ジグ研削法特有の困難な問題を多く抱えているにもかかわらず、研削機構あるいは加工精度に及ぼす研削条件など解明されていない課題が多い。

そこで、本研究ではジグ研削を小径穴の精密仕

上げ加工に適用した場合、研削条件が加工精度、特に仕上面粗さ及び真円度に与える影響について詳しい検討を行った。また、研削条件によっては剛性不足によるアンダーカットが穴仕上げ面に観察されるため、その生成条件及び防止対策についても考察を加えた。更に、トルクを測定し精度との相関を調べた。

## 2. 実 験 方 法

本実験に使用した精密ジグ研削盤は、①砥石が被削材の輪郭に対して法線方向に切込む輪郭制御方式と②砥石が自転しながら被削材の穴内面を公転する遊星回転方式による2通りの加工制御方式が可能である。前者はNC制御によって複雑形状の穴加工が可能であるが、後者は単純形状の丸穴加工しかできない。今回は前者の輪郭制御方式で実験を行った。図1(a)に実験方法の概念を、また図1(b)に装置の外観を示す。

研削条件を表1に示す。被削材は金型材料として最も多く用いられている冷間金型用合金工具鋼SKD11(板厚25mm)であり、熱処理(1320K油

\* 生産技術部

\*\* 熊本大学工学部

焼入れ、850K焼戻し)後実験に供した。用いた砥石は粒度80~300の電着CBN砥石である。表面粗さは(株)小坂研究所のSE-3C形表面粗さ計を用い、 $R_{max}$ を求めた。真円度は(株)東京精密製のロンコム13-BC形真円度測定機を用い、研削代が直径0.25mmの点において測定した。

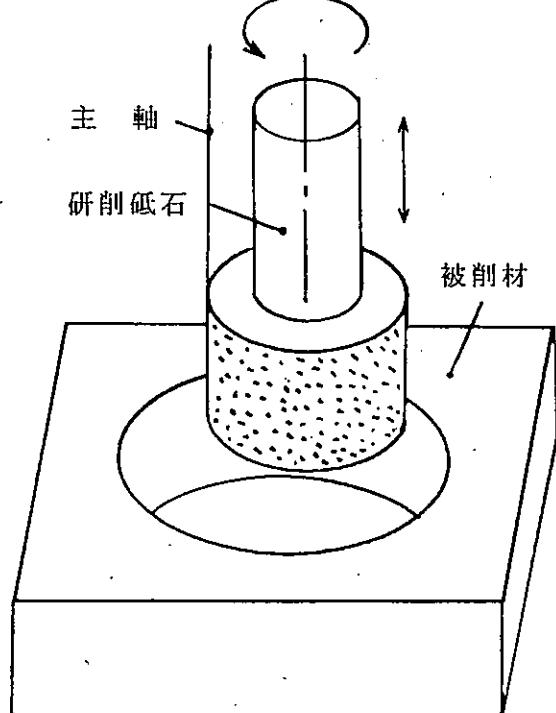


図1(a) 輪郭制御方式による実験方法



図1 (b) NCジグ研削盤の外観

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 仕上げ面粗さに及ぼす影響

図2はCBN120P砥石を用い、設定切込み量50 $\mu\text{m}$ にて砥石周速を変化させた場合の仕上げ面粗さを測定した結果の一例である。仕上げ面粗さは砥石周速の増加に伴いほぼ単調に減少し、仕上げ面は良好なものとなる。これは周速が上昇することにより、研削抵抗が減少するためと考えられる。図3は砥石周速を20m/s一定とし、CBN砥石の粒度を変化させた場合の仕上げ面粗さを示したものである。図より細粒になるほど仕上げ面粗さが良好となる傾向が認められる。これは細粒になるほど連続切刃間隔及び砥粒突出し量が小さくなるため砥粒一個にかかる切削抵抗が減少するとともに<sup>1)</sup>、被削材の破壊単位が減少するためであると推察される。

図4及び図5は研削条件を一定にし、砥石軸径、

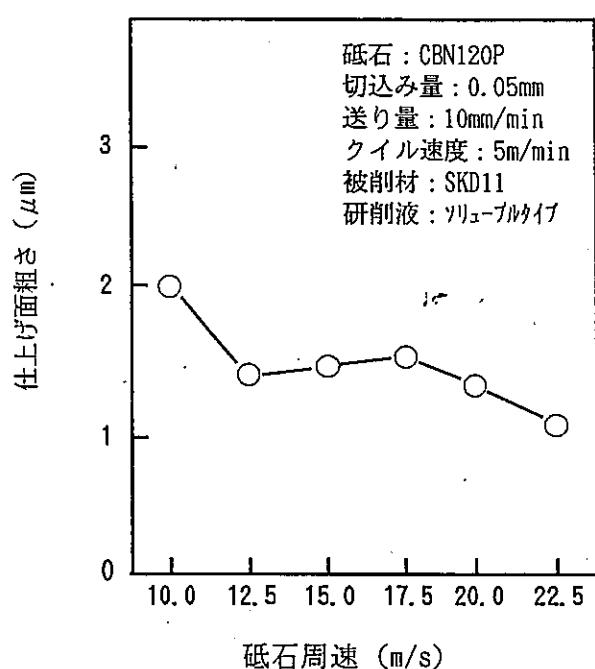


図2 砥石周速と仕上げ面粗さとの関係

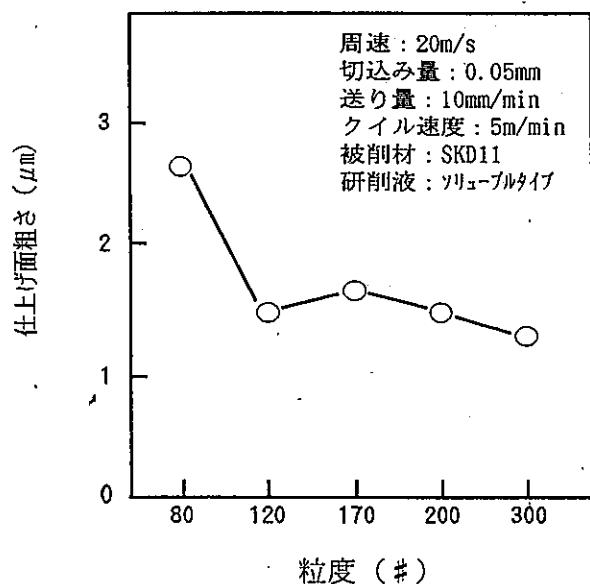


図3 砥石粒度と仕上げ面粗さとの関係

砥石突出し量を変化させた場合の仕上げ面粗さの挙動を示したものである。図より仕上げ面粗さは砥石軸及び砥石突出し量によっても変化する。すなわち、砥石軸が細くなるほど、また砥石突出し量が長くなるほど仕上げ面粗さは悪くなる。これらはいずれも砥石軸まわりの剛性の高低により説明できる。すなわち、砥石の軸剛性が低いほど切込み時における軸の弾性変形量が増大する結果、砥石の逃げが生じるとともに切り残し量が増加し、

砥石が被削材表面をたたく形で研削が進行するためと考えられる。これらることは切込み量を増加させると仕上げ面粗さが悪くなることからも説明できる。図6は切込み量を変化させた場合の仕上げ面粗さの変化を示したものである。

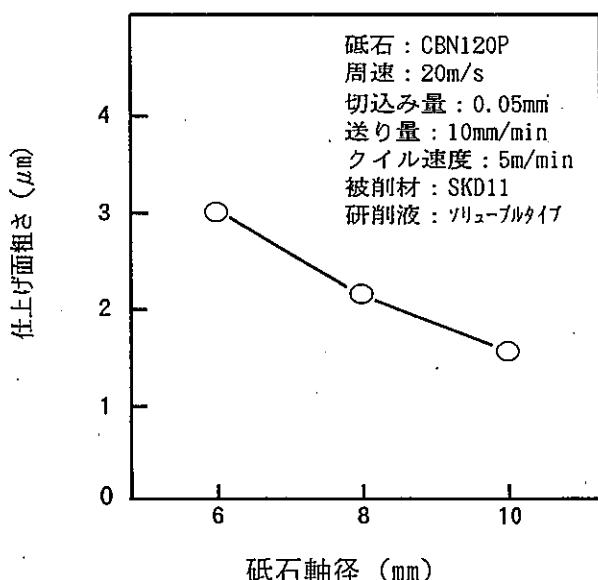


図4 砥石軸径と仕上げ面粗さとの関係

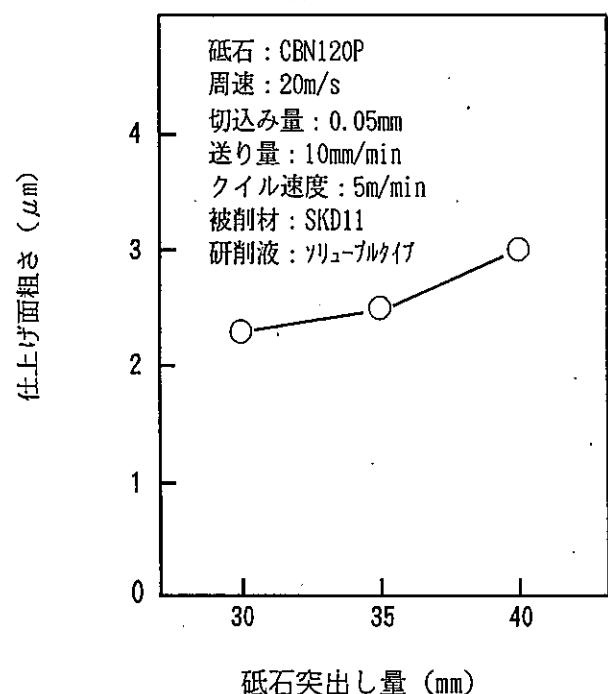


図5 砥石突出し量と仕上げ面粗さとの関係

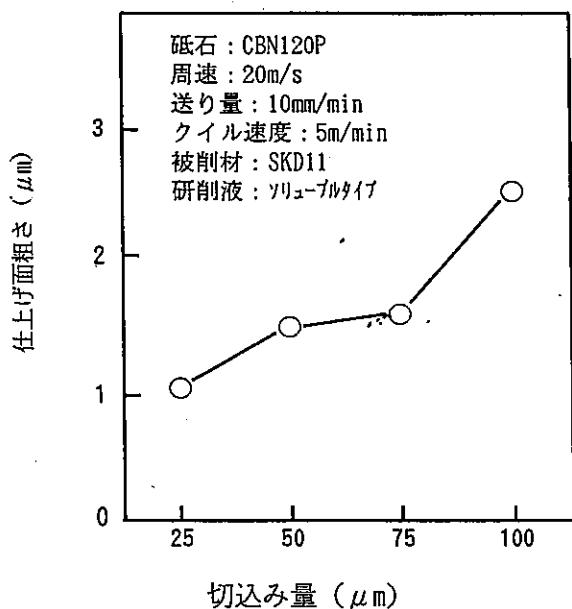


図 6 切込み量と仕上げ面粗さとの関係

### 3.2 真円度に及ぼす研削条件の影響

図 7 は砥石周速の真円度に及ぼす影響を示しており、図 2 と同時に測定したものである。真円度は20m/sまでは減少し、周速の増加とともに良好となる傾向にある。これは図 2 と同様研削抵抗の減少に起因していると考えられる。しかし、22.5 m/sになると砥石軸まわりの剛性不足により振動が発生し、真円度が低下するものと考えられる。図 8 は砥石粒度の真円度に及ぼす影響を示しており、周速は図 7 において極小値を与える20m/sと

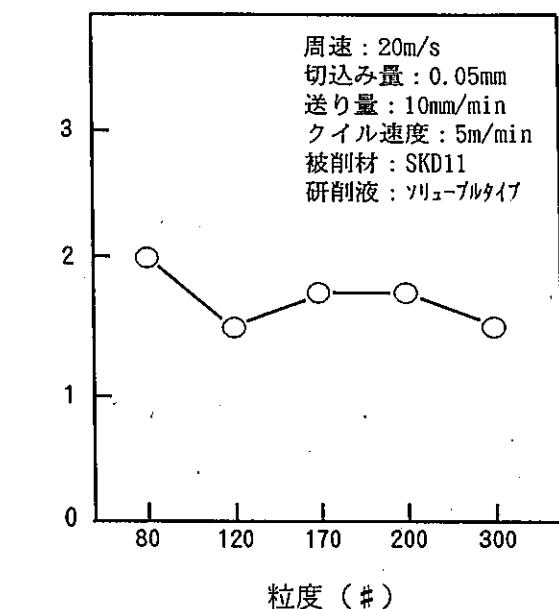


図 8 砥石粒度と真円度との関係

した。粒度80における真円度が若干大きな値を示しているが、他の値はほぼ一定値を有しており、粒度は真円度の改善にはほとんど効果を持たないことが分かる。なお、切込みが0.025mmの場合を除いて、図 9 に示すように砥石のアプローチ円と加工円の接点において約 2  $\mu\text{m}$  の深さを有する特異な形状をした突起が生じた。この突起は砥石軸の軸径が小さいほど、また切込み量が大きいほど顕著に認められる。これらの突起はスパークアウトを 2 回行うことによりほぼ消滅することから、軸剛性の不足及び研削抵抗の増大により研削中の切り残し量が増加することに起因するアンダーカットと考えられ、加工上軸剛性が十分に得られない場合には研削条件を選択する必要がある。

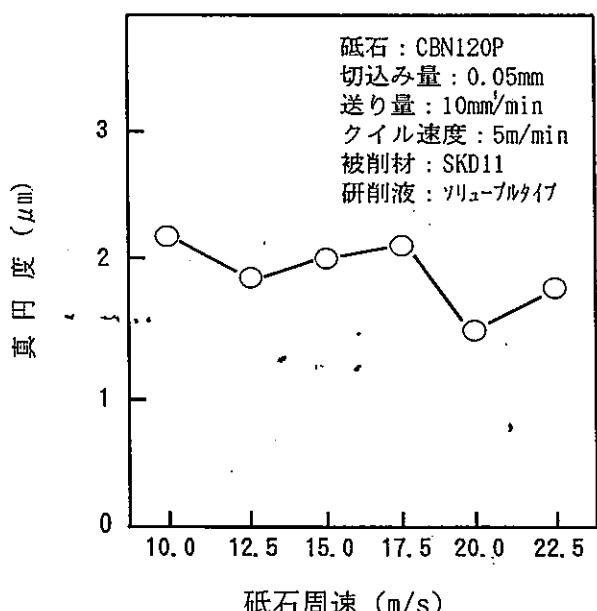


図 7 砥石周速と真円度との関係

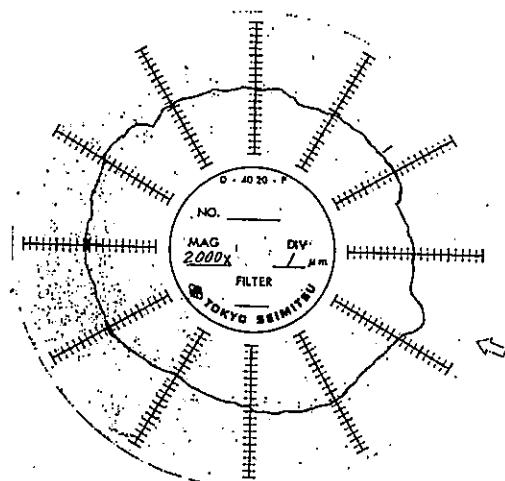


図 9 真円度測定例

### 3.3 累積研削代とトルクとの関係

図10はCBN120P砥石を用い、設定切込み量75 $\mu\text{m}$ 、送り量20mm/minにて砥石周速を変化させた場合のトルクと累積研削代との関係を示したものである。本研削方式におけるトルクは砥石周速の増加に伴い減少するが、20m/sで最小値を示したあと22.5m/sで若干増加している。この微増は図7の真円度が20m/sに比べて悪化することと関連している。考えられる因子としては2つあり、CBN砥石のチップポケットの形状がこの砥石周速では適正でなかったことと、本研削方式では砥石径が小さいため周速22.5m/sになると主軸回転数は35800rpmに達し、主軸受けの外乱が大きくなり、被削材の破壊単位が増大したことが挙げられる。砥石周速の増加に伴うトルクの減少は、砥粒一個による被削材の切り取り厚さが薄くなり被削材の破壊単位が細くなるため、接線研削抵抗が減少することに起因している。ここで、トルクは累積抵抗値の大きな10m/sでは最終的に61.7%増加しており、急激な砥粒摩耗が起こったことを示している。

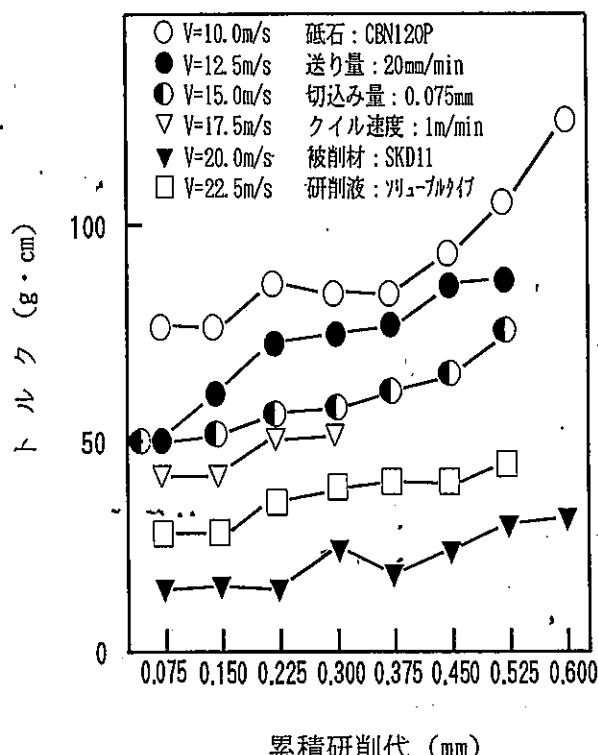


図10 トルクと累積研削代との関係

### 4. 結 言

- (1) 仕上げ面粗さは砥石周速及び粒度の増加により良好となるが、切込み量が増大すると悪くなる。
- (2) 真円度は砥石の粒度にはほとんど影響されないが、周速の増加により良好となる。
- (3) 仕上げ面粗さ並びに真円度は、砥石軸まわりの剛性に影響され、砥石軸が細いほど、また砥石突出し量が長くなるほど悪くなる。
- (4) 砥石軸剛性が低い場合、切り残し量の増加によるアンダーカット現象が認められるが、スパークアウトを施すことにより消滅する。
- (5) トルクは砥石周速の増加により減少するが、累積研削量の増加とともに砥粒摩耗が進行するため上昇する。

### 参 考 文 献

- 1) 松岡甫策：ジグ研削盤による高精度の穴加工、新しい加工技術、工業調査会、(1987) 105。
- 2) 多木甫公：ジグ研削におけるCBN砥石の効果的な使用、ツールエンジニアリング、22、4 (1981) 42。
- 3) CBNホイールのツルーイングとドレッシング：研削盤活用マニュアル、大河出版、7 (1990) 89。
- 4) 海野邦昭：CBN・ダイヤモンドホイールの使い方、工業調査会、(1969) 43。

# 県内機械・金属業界のニーズ・シーズ調査

河野敏謙\*・出納正道\*

Investigation on Technical Needs and Seeds of Mechanical and Metal Industries in Kumamoto Prefecture

Tosinori KAWANO\* and Masamiti SUITO\*

## [概要]

本調査は、県内機械金属関連業界、とりわけ中小企業が、技術革新の激しいなか、どのような技術課題を抱えているのか、また、業界では公設試験研究機関である当センターに対して、どのようなことを要望し、また期待しているのかなどを明らかにし、今後、当センターの業務運営に必要な参考資料を得ることを目的として実施した。その結果、関連業界の現状と問題点並びに当センターの業務全般にわたる要望等について把握することができた。

## 1. はじめに

今日の目まぐるしく変動する技術革新の中で、21世紀を展望した本県工業の育成、とりわけ、その原動力となる中小企業の振興を図ることは、県としても重要課題の一つになっている。県の機関である当センターがこうした時代の流れに対応し、「開かれたセンター」として、常に時代の要請に応えていくためには、より高度で、かつ機動性をもった試験研究機関として、その機能を十分発揮していくことが求められている。そのためには、県内関連業界の状況と課題、技術ニーズ・シーズ等を十分把握したうえで、事業を推進していくことが必要である。

そこで、本調査は、県内機械金属関連企業の現状と問題点及び当センターに対する要望などを把握し、今後の事業計画や業務運営に役立てることを目的として実施した。

## 2. 調査の対象、方法、期間、内容

### 2.1 調査対象業種と企業数

県内で鉄鋼、金属製品、一般・電気・輸送用・

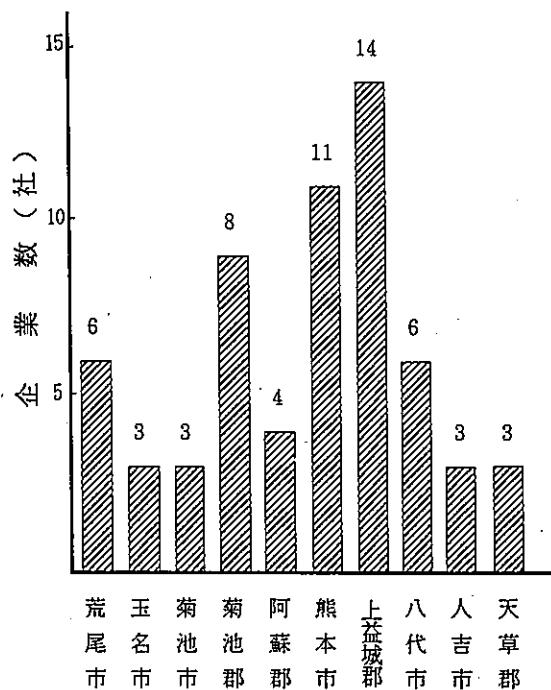


図1 調査地域別企業数

\*生産技術部

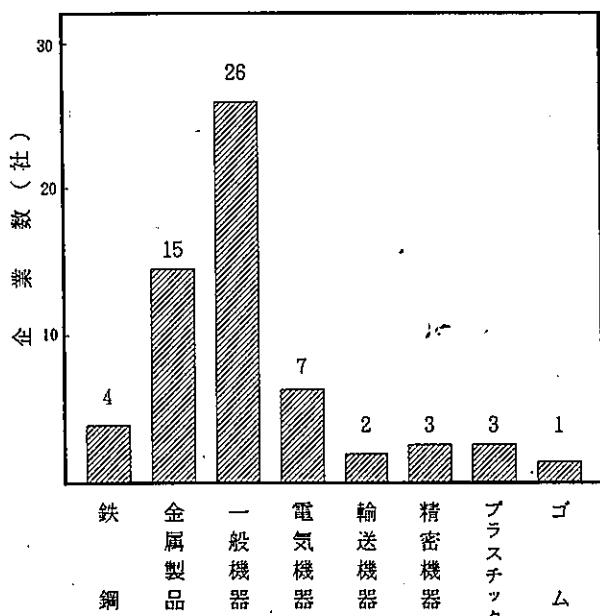


図2 業種別企業数

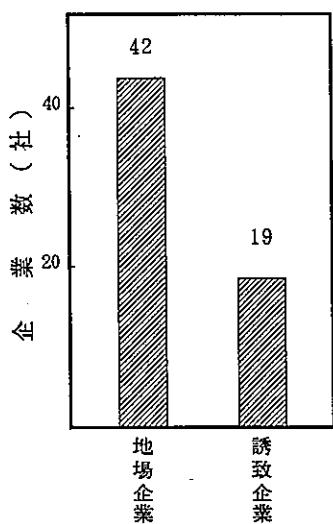


図3 地場・誘致別企業数

精密の各機械器具、及びプラスチック製品、ゴム製品などの製造業を営む地場企業、誘致企業61社について、調査を行った。その中には、資本金1億円以上、従業者数300人以上の大企業4社（一般機械器具2社、電気機械器具1社、ゴム製品1社）も含まれている。県内の調査地域別企業数を図1に、業種別企業数を図2、地場、誘致別企業数を図3に示す。

## 2.2 調査方法

企業の全容について把握している経営者、また

は工場長クラスの方に面会、聞き取り調査を行った。

## 2.3 調査期間

1991年4月から12月の間で実施した。

## 2.4 調査項目

- (1) 企業の概要（創業、生産形態、従業者）
- (2) 生産上の重点管理項目
- (3) 現在の生産量と今後の予測
- (4) 従業員の採用状況
- (5) 従業員の教育研修状況
- (6) CAD/CAM等の導入状況
- (7) 情報の入手先と利用状況
- (8) 現在抱えている経営及び技術上の問題点
- (9) 主たる製品と加工精度
- (10) 今後取組み（進出し）たい分野
- (11) 当センターの利用状況とセンターの対応状況
- (12) 当センターで実施する講習会等へ参加できない理由
- (13) 当センターに対する要望

## 3. 調査結果及び考察

### 3.1 創業開始時期

調査企業の創業開始年を図4に示す。これをみ

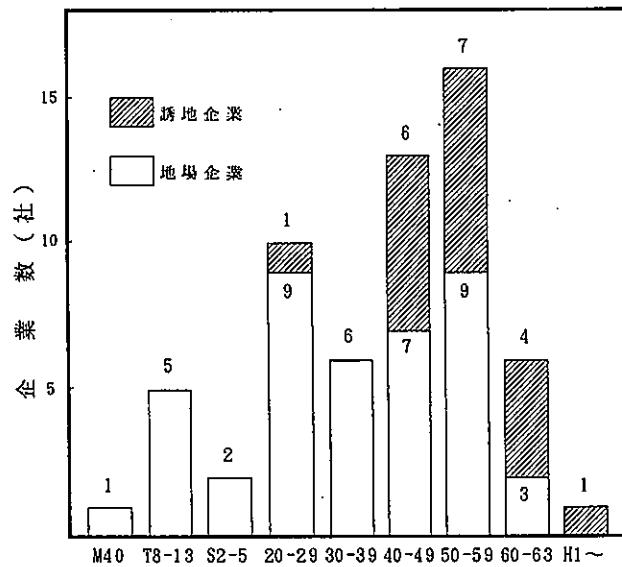


図4 地場企業及び誘致企業の創業年

ると、昭和20年以降に創業を開始した企業が全体の87%を占める。また、誘致企業の場合は昭和20年代の1社を除き、残りは全て昭和40年代以降に立地したことが分かる。

### 3.2 生産形態

図5に示すように、受注型が61社中52社、発注型が4社、受発注型が5社となっている。受注型が圧倒的に多いのは、下請け中小企業が多いことを示している。

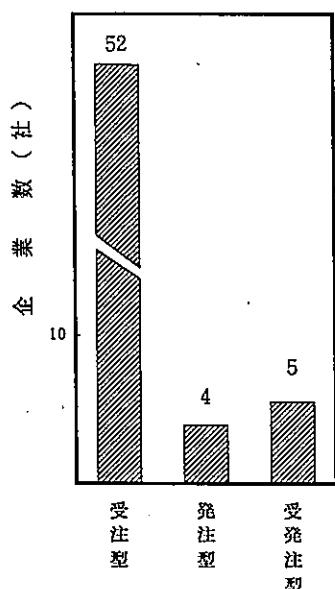


図5 生産形態別企業数

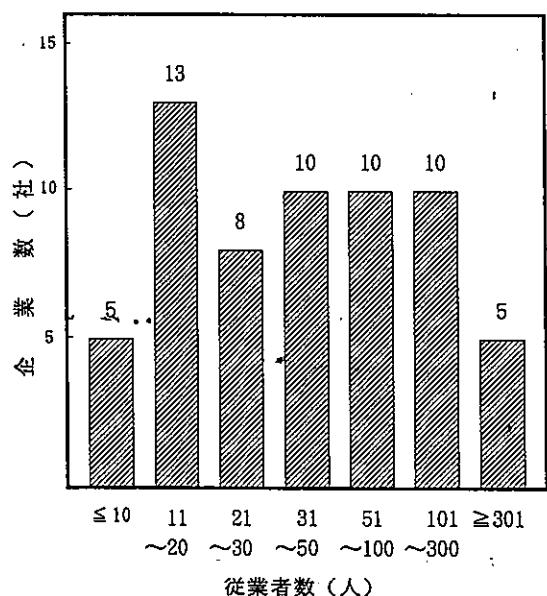


図6 従業者数別企業数

### 3.3 従業者数

今回の調査では、従業者数300人未満の中小企業にウェイトを置いて実施した。図6に従業者数別企業数を示す。300人以上の中には、従業者500人以上の大企業3社も含まれている。

### 3.4 生産上の重点管理項目

品質、納期、コストの3点に絞り、ウェイトの置き方を3項目で100%になるよう各項目ごとの割合(%)をたずねた。その結果を示したのが図7である。製造業の3大課題といわれるだけあって、3項目とも30%台で大差ないが、納期と答えた企業の割合が若干高く、次いで品質、コストの順であった。

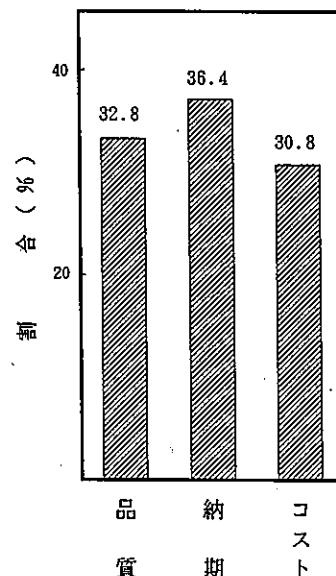


図7 重点技術管理項目

### 3.5 現在の生産量と今後の予測

生産量の増減を対前年比で、また今後の生産量予測を聞いた。その結果を図8、9に示す。それによると、約65%の企業が前年より増加と答え、減少と答えたのはわずか11%であった。増加率の平均値は18.6%、減少率の平均値は15.4%であった。増加が多いのは戦後最長のいざなぎ景気に迫るといわれた中にあっては当然のことであろう。今後の生産量の予測では、減少が減って、その代わり横ばいと答えた企業が増加した。好景気がまだ持続していた年度前半に調査した企

業が多かっただけに、まだ強気の予想をする企業が多く、増加率も平均で20.5%上昇、減少も10%下降と回答している。この結果については、調査期間が9か月と長期にわたり、しかも調査期間の前半と後半では景気にもかなり差が生じたため、同じに扱うには無理もあるが、一応参考までに記載することにした。

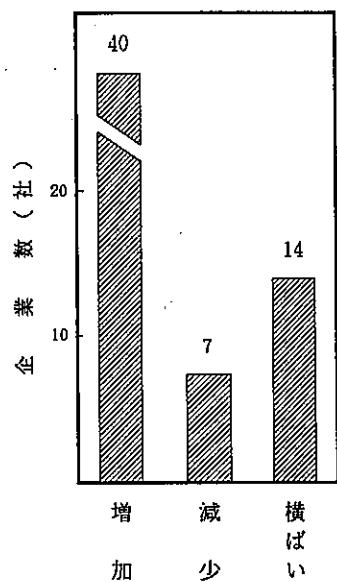


図8 生産量の増減（対前年比）

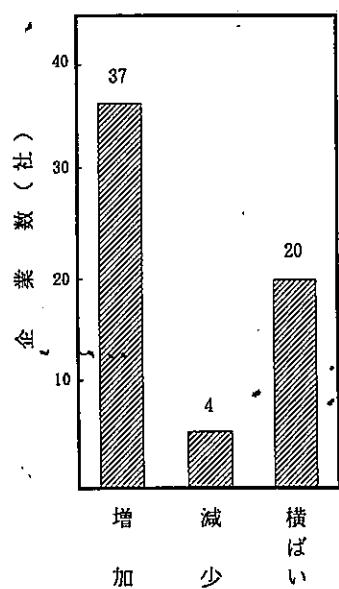


図9 今後の生産量予測

### 3.6 全従業者に対する生産部門従業者の割合

生産部門従業者の割合を調べた結果が図10である。それによると、61社の85%強に当たる52社で7割を超えていている。

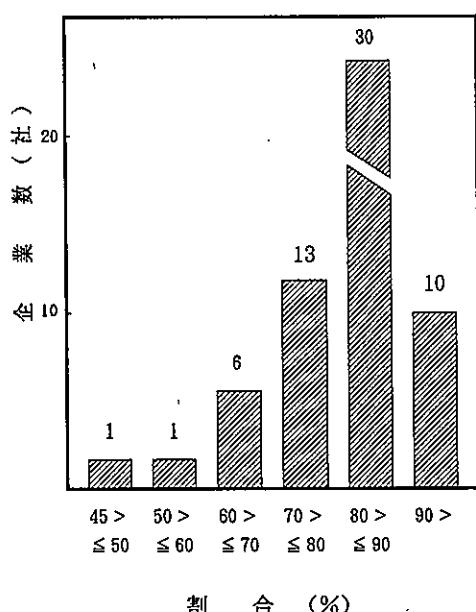


図10 全従業者に対する生産部門従業者の割合

### 3.7 採用状況

従業員の採用状況を図11に示す。調査年度である平成3年4月に新卒者を採用できたのは、

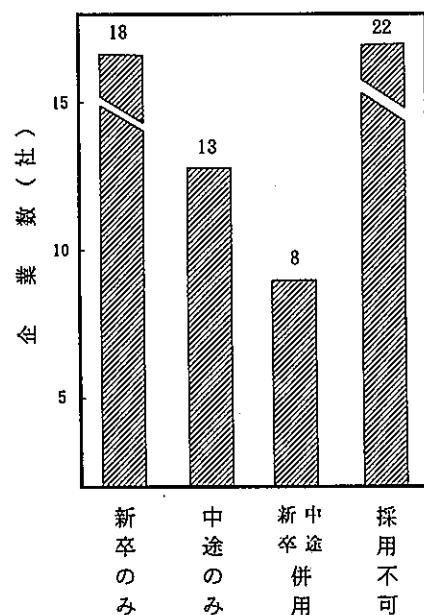


図11 従業員の採用状況

半分以下の26企業(42.6%)、その中で大卒、高専卒を採用できたのはわずか大企業の4社である。新卒者を採用できず中途採用で対応した企業が13社(21.3%)、採用したいのに採用できずにいる企業が22社(36.1%)にものぼる。地場、誘致の大企業や作業環境がよく賃金も高い一部中小企業では、採用も比較的スムーズに行なわれているが、地方といえども人手不足がかなり深刻な状態にあることが分かる。

### 3.8 社員の教育研修

従業員の資質向上のための教育研修はどの企業にとっても重要な課題である。そこで、年間、社員研修にどの程度の予算を使っているのか、また、研修はどこで行っているのかについて調べた。その結果を図12、13に示す。調査した61社のうち、研修予算100万円以下の企業が25社(41%)、100万円を超えるところが19社(31.1%)、中には500~1000万円というところも2社あった。残り17社は、特に予算化していないところや本社予算で実施しているため金額を把握していないところ、実施していても明確に金額を把握していないところなどである。研修は社内研修と社外研修を併せ行っているところが圧倒的に多く48社、社内のみや社外のみは

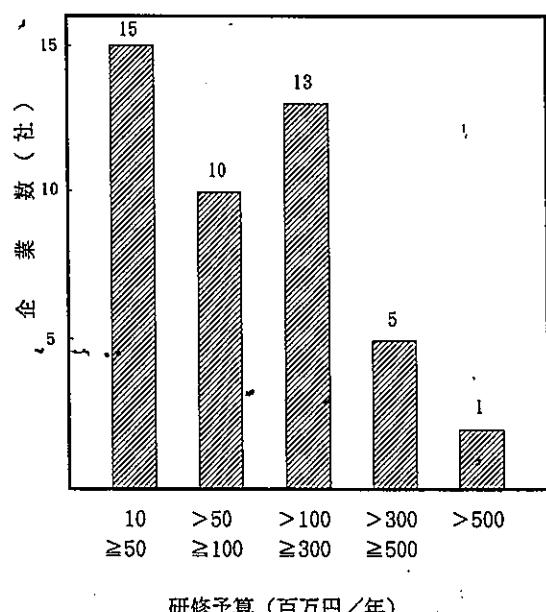


図12 年間研修予算別企業数

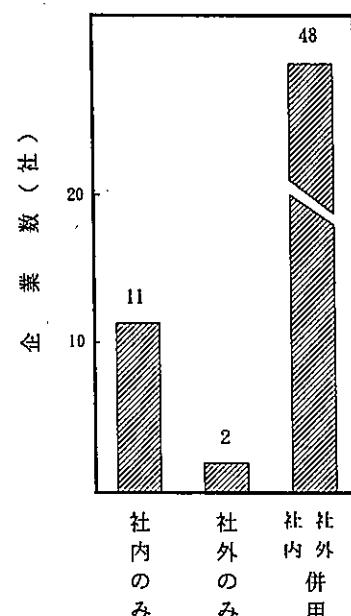


図13 従業員の研修場所

13社でいずれも小規模企業が大半である。社外研修の場合、どこが主催する研修に派遣するのか調べたのが図14である。それによると、関係団体の主催する講習会、研修会に派遣するのが最も多く26社、ついで機械メーカーが16社、当セン

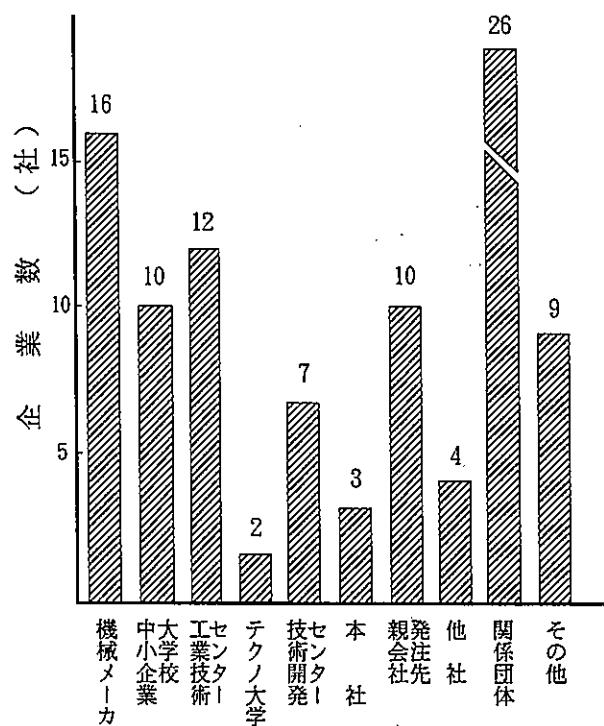


図14 従業員の社外研修派遣先 (複数回答)

ターが12社となっている。そのほか、社外研修の派遣先としては、日科技連（TQCリーダ研修）労働基準協会（安全教育）、本社、発注先、機械メーカー（技術研修等）、関連企業（新人、幹部研修）、中小企業大学校、技能開発センター、テクノ大学（技術研修）、市役所・NTT研修センター・地方銀行の地元支店（新人研修）などがある。また、海外や洋上研修などへ派遣しているところも数社ある。

### 3.9 NC工作機械用自動プログラミング装置及びCAD/CAMシステムの導入状況

自動プログラミング装置とCADあるいはCAM/CAMシステムの導入状況について調べた。その結果を図15に示す。自動プログラミング装置は25社（41%）で、CADはパソコンCADまで含めると13社（21.3%）、CAD/CAMシステムは8社（13.1%）で導入されている。事務用コンピュータ（パソコン含む）は、生産量の少ない小規模企業を除く48社（78.7%）で導入され、OA化への取り組みが着実に進展していることがうかがえる。

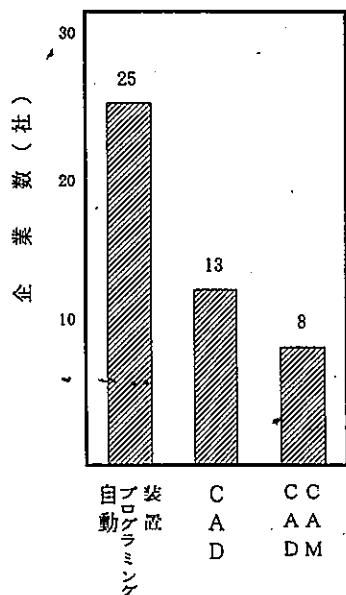


図15 自動プログラミング装置及びCAD/CAMシステムの導入状況

### 3.10 情報の入手先

企業経営に不可欠なのが情報の収集と活用、県内企業の情報入手先とその割合を調べたのが図16である。発注先が最も多く27.3%、次いで機械メーカーの22.4%、業界誌や新聞等が15.6%と続く。当センターは、同業社・系列会社、資材業者、商社に次いで7.8%である。企業の情報入手先として当センターや学校（大学ほか）等の比重が低いことについては、今後その利用促進を図るための方策について検討する必要がある。

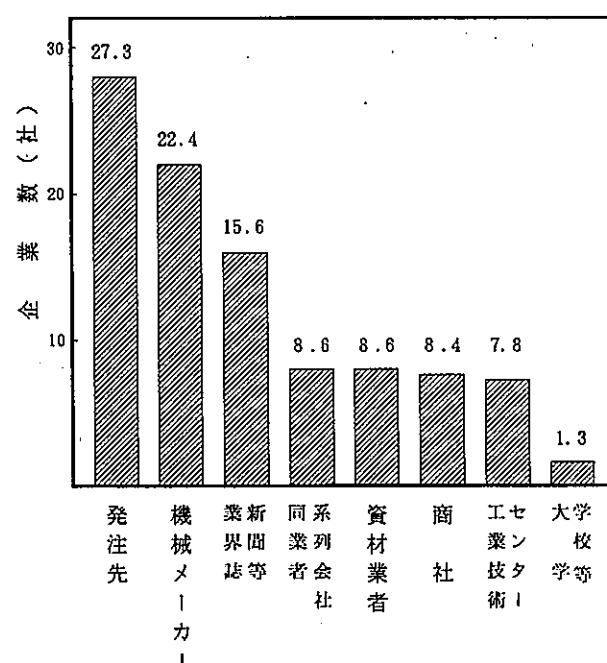


図16 技術情報の入手先と利用率

### 3.11 経営上の問題点

県内企業が現在経営上どのような問題を抱えているのかを調べた。その結果を図17に示す。

求人難がもっとも多く38.8%、次いで人件費や経費の増大が31.5%でこの二つで70%を超える。人手不足が深刻なこと、人手を維持確保するための人件費のアップ、作業環境の改善、先端設備機器の導入などによる経費増大などが主なものである。図の左側の全国の数値<sup>1)</sup>と比べると、2年のタイムラグがあるが、本県企業の場合人件費・経費の増大の割合が高いことが分かる。

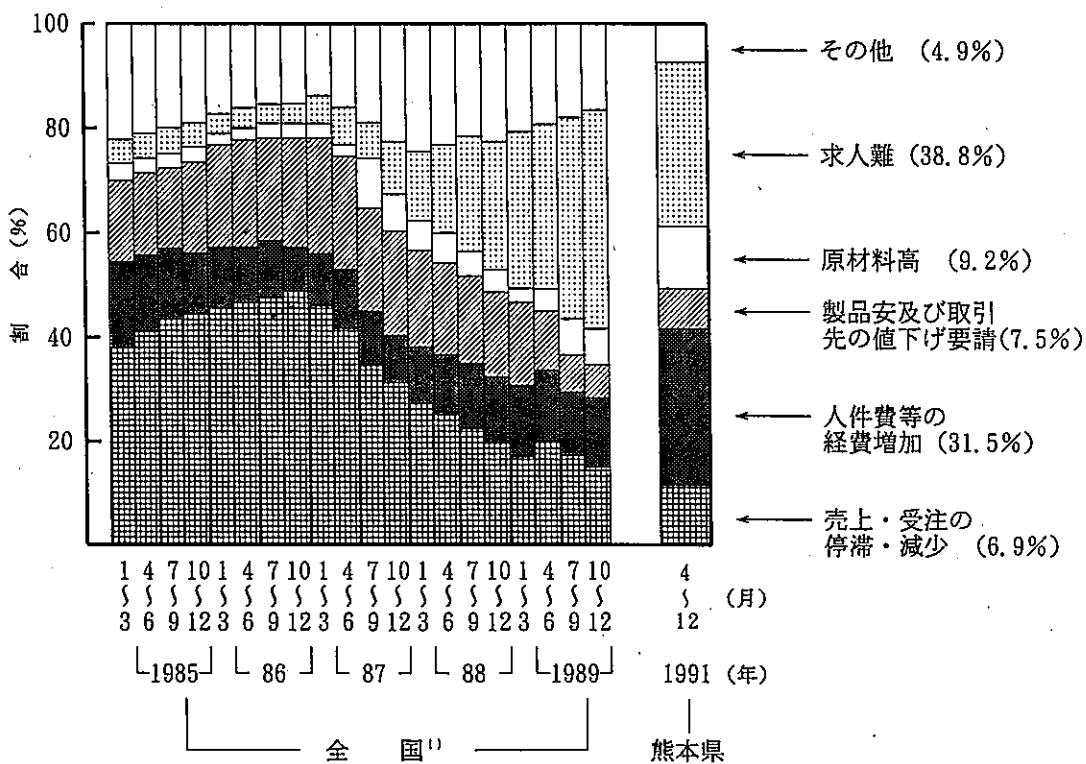


図17 中小企業における経営上の問題点

### 3.12 技術上の問題点

経営上の問題と併せ、技術上の問題点について調べた。回答のあった42社について、その結果を図18に示す。加工精度の向上と制御技術の習得活用、生産ラインの自動・省力・無人化を挙げた企業が圧倒的に多い。先端機器をはじめとする製品のコンパクト化、機能の向上等に伴い部品の加工精度がますます厳しくなる傾向にあること、人手不足・人件費等経費の増大から自動・省力・無人化への志向がきわめて強いことが分かる。その他の項目では、技術者不足を挙げたところが多い。

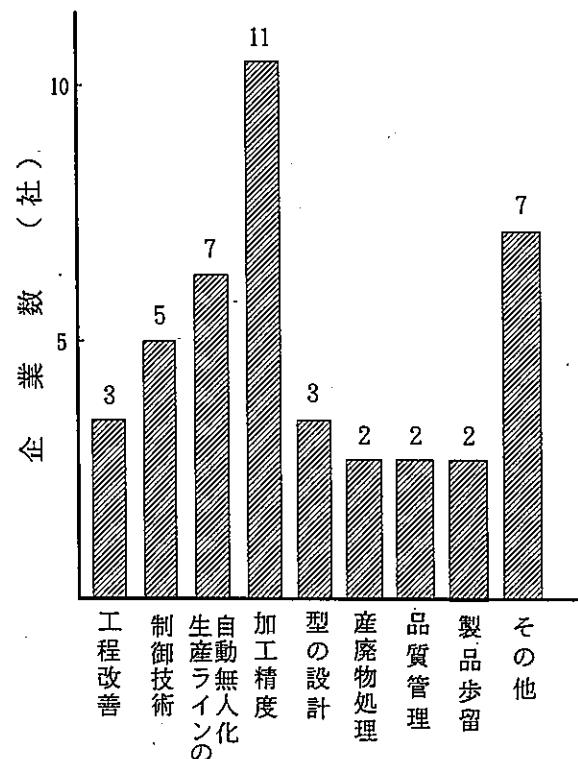


図18 現在抱えている技術課題

### 3.13 製品別の加工精度

今回は、比較的幅広い業種にわたり調査を行ったので、加工精度は $1\text{ }\mu\text{m}$ から $2\text{ mm}$ と広範囲にわたっている。その結果を図19に示す。寸法精度においては、ICや電子部品等で $1\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ 、金型や機械部品で $10\text{ }\mu\text{m}$ 程度、溶接・板金・プレス品で $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度、鋳造品で $1\sim 2\text{ mm}$ 程度と答えたところが多い。技術革新に伴って、加工精度は今後次第に厳しさを増すと予想されることから、県内企業でもそのための設備導入や人材の育成に迫られている。

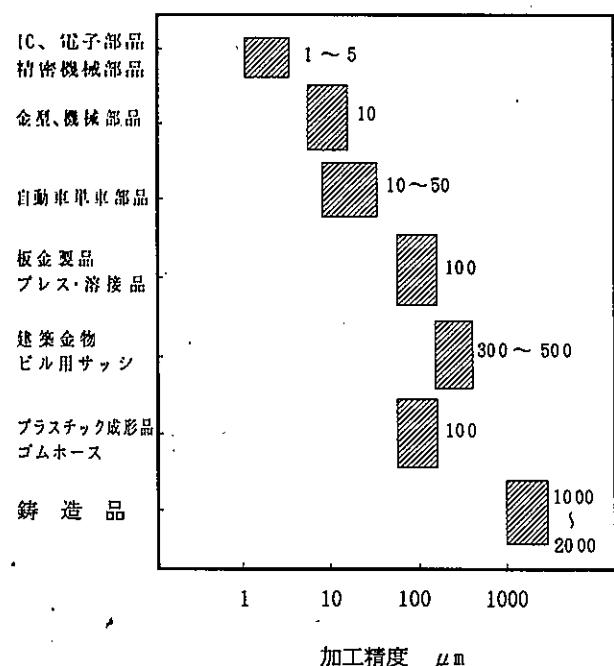


図19 製品別の加工精度

### 3.15 今後伸ばし（取組み）たい分野

県内企業として今後伸ばしていきたい、あるいは新たに取り組みたい分野について調べた。回答のあった50企業について、その結果を図20に示す。各企業ともまず基礎技術の幅を広げたいと考えている。また、多くの企業が、コンピュータ利用の自動化技術、センサ利用技術、電子式ファードバック制御、ガス制御などの制御技術、自動・省力機器製作、精密・超微細加工、研削・研磨加工、精密金型やインジェクションプロー金型の

製作、NCベンド加工、大物機械加工、特殊材質鋳物の製造、表面硬化処理、製品の品質向上、T P M、F M S、セラミックス加工部門への参入など多岐にわたっている。

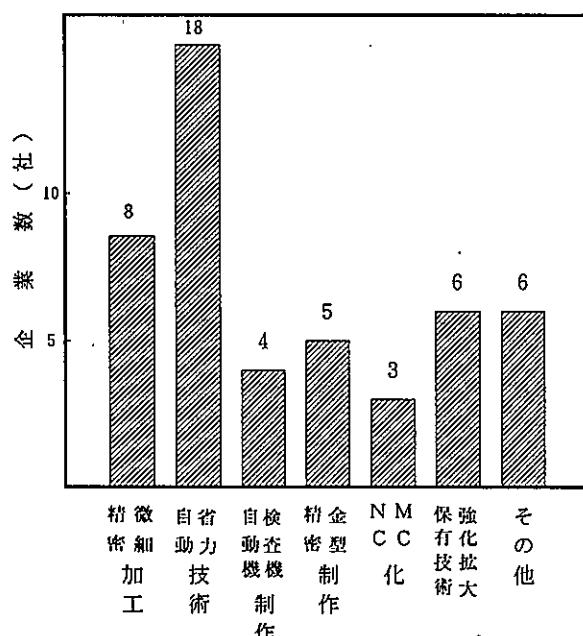


図20 今後伸ばし（取組み）たい分野

### 3.16 当センターの利用状況

県内企業では当センターを年間どの程度利用しているのかを把握するため調査した。その結果を図21に示す。今回調査した61社中、20社で利用ゼロ、利用企業のうち、1~10回が最も多く22社、中には50回以上のところも1社あった。これまで利用したことのない企業の多くが誘致企業であることから、誘致企業には進出後早い機会に訪問し、当センターの業務紹介と併せて、企業のニーズシーズを把握する必要がある。

### 3.17 利用企業からみた当センターの対応状況

これまで利用したことのある41社について、その際の当センターの対応状況について調査した。その結果を図22に示す。これによると7割弱が対応がスピーディということで満足しており、残りも生産に間に合う程度に対応してくれたということで、評価は概して良好であった。

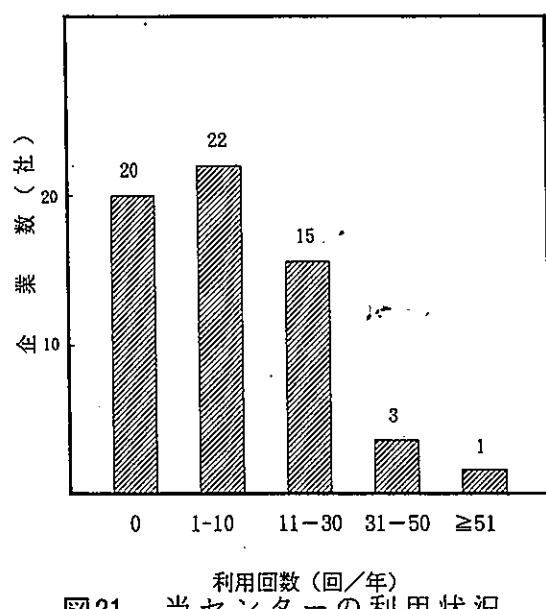


図21 当センターの利用状況

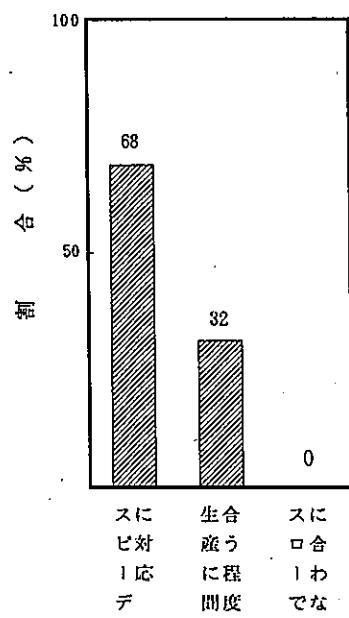


図22 利用企業からみた当センターの対応状況

### 3.18 当センターで実施する講習会、研修会に参加できない理由

今後の講習会、研修会実施の際の参考にするため、これまで当センターで実施した講習会、研修会に参加できなかった理由について調査した。その結果を図23に示す。半数がテーマと自社の業

務内容が異なるためと答えており、当然といえば当然である。また、3割が生産に追われて参加させる余裕がないということで、人手が不足している小規模企業に多かった。開催の案内がこないからというのも2割弱あるが、これは、当センターとこれまで一度も接触がなく、案内先名簿がない企業である。

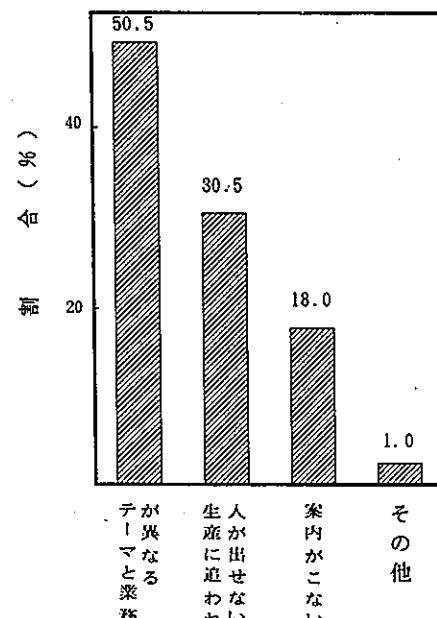


図23 講習(研修)会に参加できない

### 3.19 当センターに対する要望事項

当センターにおける今後の業務運営の参考にするため業務全般について要望を調べた。回答のあった37企業について、その結果を図24に示す。

技術講習や技術指導、設備機器の設置に関するものが多い。項目ごとに要望を列挙すると次のとおりである。

#### (1) 講習会関連

テーマに関しては、「図面の見方」や公的な資格取得ができるもの。自社の業務にマッチしたもの、自社にある設備に関するもの。内容に関しては、レベルが高すぎるのでもっと基礎的なもの、反対に低すぎる、一般的すぎるのでもっと高度なもの、具体的なもの。講習の回数や時間については、一度に何人も参加させることはできないので何回にも分けて、また、半日単位でなくもっと時

間をかけて実施する。テーマ、開催曜日、時間帯などに関してはアンケート調査を行う、できれば土曜・日曜日に実施。講習参加者には修了証を交付するなどの要望があった。

研究室の設置、専門書の貸出し。制御関連指導部門の充実とプラスチック加工関連指導部門の設置などの要望があった。

#### 4. ま と め

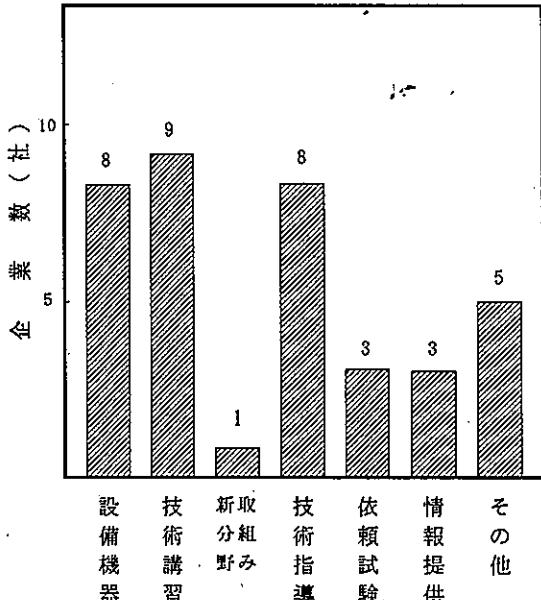


図24 当センターに対する要望事項

#### (2) 技術指導関連

加工技術に関しては、金型の製作法、各種NC機械やMC加工に必要な工具・切削条件に関するもの、ばね端面の研削法、内製化のための機械加工の基礎、現場にマッチした工具選択法、技術アドバイザーによる定期的な巡回指導、また、自動・省力化に関しては、生産ラインの自動化・省力化、自動・省力機の開発支援などの要望があった。

#### (3) 設備機器

板金加工機、プラスチック成形機、レーザ測定機、赤外線カメラ、カントバック、塩水噴霧試験機、摩耗試験機、グラファイト加工機、ばねの寿命測定用試験機、残留応力測定用X線解析装置などの設置要望があった。

#### (4) 情報提供

切削等加工技術、新工具、最新機器に関する情報の提供、及び積極的な情報の発信などの要望があった。

#### (5) その他

技術相談する際のセンター総合窓口の設置や貸

今回、調査を行ってまず感じたことは、当センターと県内企業とのつながりが、まだ不十分であるということである。とくに、調査した企業の中には当センターの存在を知らなかったり、知っていても業務内容を知らないところも見受けられた。また、技術情報の入手先として当センターは全体の8%程度と低率、また、調査企業の1/3がまだ一度も当センターを利用したことがなかったり、講習(研修)会のテーマにしても自社業務とマッチしないなど、今後改善すべき点は多い。現在の課題、あるいは今後取り組みたい分野としては、自動・省力化と精密加工を挙げる企業が最多く、当センターとしても、今後はこの二つを中心にして対応ができる指導体制の確立に努力する必要がある。当センターが「開かれたセンター」となるためには、技術相談にしろ、技術指導、依頼試験にしろ、企業からの相談や指導申込み、依頼を待って実施する受身の姿勢ではなく、もっと積極的に企業に出向きニーズやシーズを吸い上げ、それを事業に反映させることの必要性を痛感した。

最後に、本調査を実施するに当たって、御多忙のなか御協力いただいた企業の関係者各位に対し、感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 「中小企業動向調査」、中小企業金融公庫、1990

# ファジィ開発支援システムの開発

石松 賢治\*・岡田辰也\*\*

Development of Engineering System for Fuzzy Board

Kenji ISHIMATSU\*, Tatsuya OKADA\*\*

近年ファジィ理論を応用した制御方法が注目されている。そこで、我々はファジィ制御を行なうファジィ制御ボード<sup>1)</sup>と画像認識をファジィ理論で行なうファジィ認識ボード<sup>2)</sup>（以下この2つのボードを「ファジィボード」と略す）を開発した。

このようなファジィ理論を応用したハードウェアをより有効的に活用するには、十分な開発環境が必要である。これらのファジィボードのソフトウェア開発をより短時間に効果的に行うこと目的として、今回ファジィボード開発システムFORMS（Fuzzy Oriented Reliable Manufacturing System）を開発した<sup>3) 4)</sup>。このシステムは、ファジィボードの知識データを編集し、ファジィシミュレーションやファジィボードの実行やテスト等を行う統合的なシステムである。

## 1. はじめに

ファジィ制御ボードは、ファジィ制御を行うために必要なハードウェアとソフトウェアを搭載した汎用性の高いマイコンボードである。このボードは、A/D変換、D/A変換とファジィ推論の機能を持ち、ワンチップマイコンやファジィ推論チップ等から構成される<sup>1)</sup>。このような汎用性の高いボードを開発するには、十分な開発支援システムが必要である。このファジィボードを動作させるために必要な知識データは、ファジィコンフィグ情報、ファジィルールやメンバシップ関数（以下「MF」）と略する）である。ファジィコンフィグ情報は、ファジィ推論方法、周期やファジィボード内の接続関係（A/D変換部とファジィ推論部あるいはファジィ推論部とD/A変換

部の接続）等である。今回開発したシステムは、この知識データを作成し、ファジィボードを実行あるいは実行結果を検討するための機能を有する統合的なシステムである。

このファジィボードには、「ファジィ・コントローラ・モード」と「コマンド処理ボード」の2つの動作形態がある<sup>1)</sup>。「ファジィ・コントローラ・モード」は、ボード単独でファジィ制御を行うものである。このモードの開発は、すべてFORMSを用いて行う。「コマンド処理モード」は、パソコン（ホスト）の拡張スロットにファジィボードを装着し、パソコンからコマンドを送ることで、ボードの持つ各種機能を実行するものである。このモードの開発は、ファジィボード知識データをFORMSを用いて作成し、ファジィ制御のプログラムは、ユーザがC言語を用いて作成する。このモードは、ファジィ・コントローラ・モードでは実現できない複雑な制御を行う場合に利用する。

本報告では、本システムの使用環境や概要と本

\* 電子部

\*\* 電子応用機械技術研究所

システムを用いたファジィボードの開発方法について述べる。

## 2. FORMSシステムについて

### 2.1 システムの概要

FORMSシステムの概要図を図1に示す。このシステムは、主に7つのモジュールと3つのファイルから構成されている。このシステムのモジュールは、ファジィボード知識データを作成する前処理部と作成した知識データを活用する後処理部に大きく分けられる。

前処理部は、コンフィグレーション作成、メンバー・シップ関数編集とルール編集の3つのモジュールから構成される。ここで作成された知識データは、ジョブファイルに出力される。

後処理部は、ファジィシミュレーション、データ転送およびテストの3つのモジュールから構成される。

ユーザ入力ファイルとテストファイルは、ファジィの連続シミュレーションを行うための入力データのファイルである。ユーザ入力ファイルは、テキストファイルであり、ユーザが作成できる。テストファイルは連続テストモジュールで作成することができる。

本システムの使用に際しては、表1のハードウェアおよびMS-DOS(VER3.3以上)とマウスドライバが必要である。

次のコマンドを入力することで、FORMSのジョブマネージャが起動される。

MANAGE

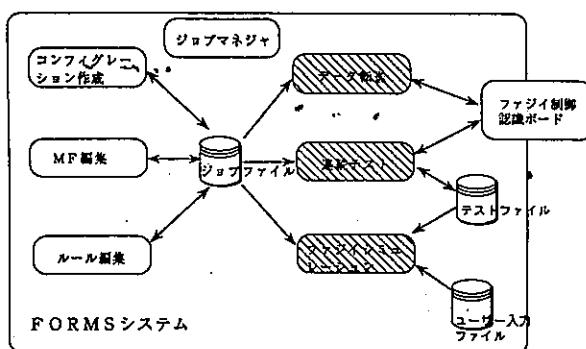


図1 FORMSシステム概要図

機器名	数	備考
パーソナルコンピュータ	1	PC9801シリーズ メモリ640KB、HDD実装の事
ディスプレイ	1	ハイレゾモードには対応していない
マウス	1	
プリンタ	1	
ファジィ制御認識ボード	1	外部拡張バスに実装

表1 ハードウェア構成

### 2.2 ジョブマネージャ

ジョブマネージャは、FORMSシステムの起動と終了、各モジュールの起動およびジョブファイルの管理を行う。

図2は、ジョブマネージャを立ち上げた時、モジュール起動メニューの表示画面である。ジョブマネージャは、新規あるいは既存のジョブファイルを指定し、モジュールの起動を行う。また、既存ジョブファイルをコピーして、新規のジョブファイルを作成する機能がある。

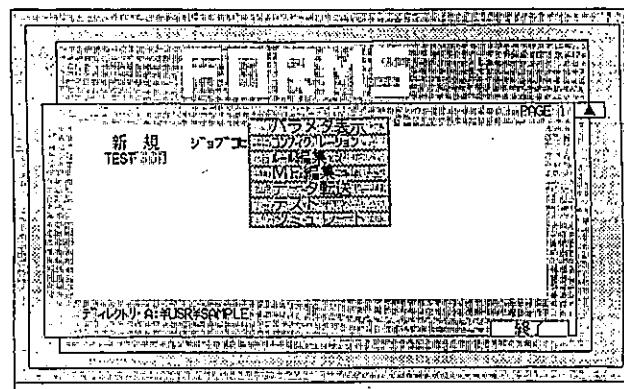


図2 ジョブマネージャ画面

### 2.3 コンフィグレーション作成

コンフィグレーション作成モジュールは、ファジィボードのハードウェア情報を定義する。大別すると以下の3種の情報に分類される。

- (1) ファジィ推論の推論種別や推論周期
- (2) 入出力変数の各種パラメータ
- (3) 外部信号との結線

作成したデータは、ジョブ名のついたファイルとして保存できる。図3は、全ての定義を終えた状態でのコンフィグレーション作成画面である。

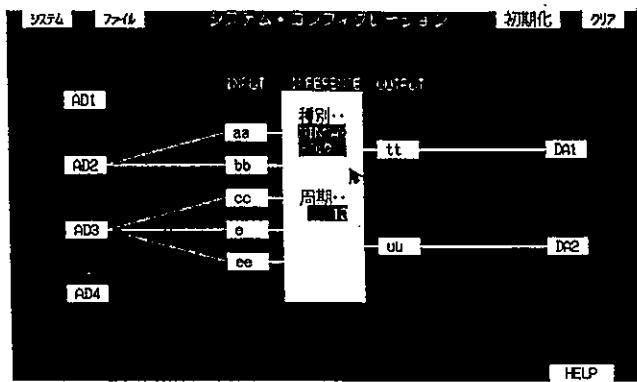


図3 コンフィグレーション作成画面

#### 2.4 MF編集

このモジュールは、MFの形状を定義する。編集初期のMFの形状は、システムデフォルト形状(図4)が使われる。

デルタ型のMFは、左右対象な3角形もしくは台形の形状であり、中心位置、X軸方向の幅、斜辺の傾きの編集できる。シングルトン型は、X軸に垂直な直線であり、X軸方向の位置のみを編集できる。

操作は、マウスによるオペレーションで行い、キーボードを使用することはない。MF形状の変更は、次の手順で行う。

- (1)編集する変数をマウスで選択する。
- (2)編集するラベルをマウスで選択する。
- (3.1) X軸上の位置を変更するときは、頂点をマウスで指定して動かす。
- (3.2) X軸方向の幅を変更するときは、MFの斜辺をマウスで指定して動かす。
- (3.3) 斜辺の傾きを変更するときは、底辺と斜辺に挟まれた頂点をマウスで指定して動かす。

作成したMFは、ジョブファイルにセーブできる。

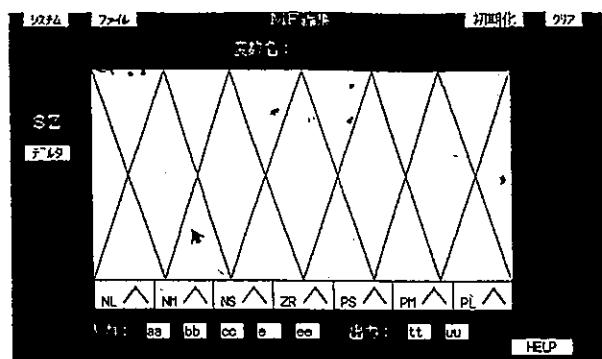


図4 MF編集画面

#### 2.6 ルール編集

ルール編集は、ファジィルールの編集を行うためのモジュールである。図5は、ルール編集の画面である。編集領域上部には、システムコンフィグレーションで定義した入出力変数名（最大入力5個、出力2個）が表示される。

ファジィルールは、IF～THEN～形式で表現する。前件部(IF部)は、入力変数と各入力変数に対応するファジィラベル名の組み合わせ、後件部(THEN部)は、出力変数と各出力変数に対応するファジィラベル名の組み合わせおよび重み値により構成される。

1行が1ルールに対応しており、1画面で16ルールの記述ができる。最大ルール数は128ルール、最大画面数は8画面である。

ルール編集の操作は、マウスによるオペレーションで行い、キーボードを使用することはない。ラベル名の選択は、ラベル名フィールドを適切なラベル名が表示されるまでマウスでクリックする。同様に、重みフィールドをマウスでクリックすることで重みの値を変更することができる。

その他の編集支援機能は、行削除機能、編集開始時の状態に戻れるクリア機能がある。

作成したファジィルールデータは、ジョブファイルに保存できる。

This screenshot shows a rule edit interface. At the top, there are tabs for 'システム' (System), 'ファイル' (File), 'ルール編集' (Rule Edit), '行削除' (Delete Row), and 'クリア' (Clear). The main area is a table with 16 rows, each representing a rule. The columns are labeled 'aa', 'bb', 'cc', 'ee', 'tt', 'uu', and '重み'. The first few rows show rule definitions like 'aa: NL, bb: NH, cc: NS, ee: ZR, tt: PL, uu: NL, 1.0'. The table has a grid pattern with 8 columns and 17 rows.

図5 ルール編集画面

#### 2.5 ファジィシミュレーション

このモジュールは、ファジィシミュレーションを行う。ファジィシミュレーションは、単一シミュレーションと連続シミュレーションがある。単一シミュレーションは、一組のファジィ入力値

で推論を行い、推論結果と推論経過を表示する。連続シミュレーションは、複数組のファジィ入力値を与えて推論を行い、その結果をグラフィック表示する。

### 2.5.1 単一シミュレーション

单一シミュレーションは、図6の「実行」メニューをマウスでクリックすると実行する。図6で、“FuzzyIN”枠は、ファジィ入力状態（ファジィ入力変数名、入力値実数表現、入力値）を、“FuzzyOUT”枠は、ファジィ出力（ファジィ出力変数名、出力結果字数表現、出力値）を表示している。ファジィ入出力変数値は、実際のシミュレーションプログラムの内部データでは0～4095の整数値（16進数では0～FF）であるが、この整数値と人間の分かりやすい0.0～1.0の実数値の2種類を表示している。“Status”枠は、推論種類、ルール数と発火ルール数を表示している。図6のグラフィック画面は、デファジィの処理の様子を表示している。

図6の「Rule表示」メニューをクリックすると、発火したルール単位にシミュレーション経過を表示する（図7）。「前のルール」と「次のルール」をクリックすると、発火したルールの内容が表示される。

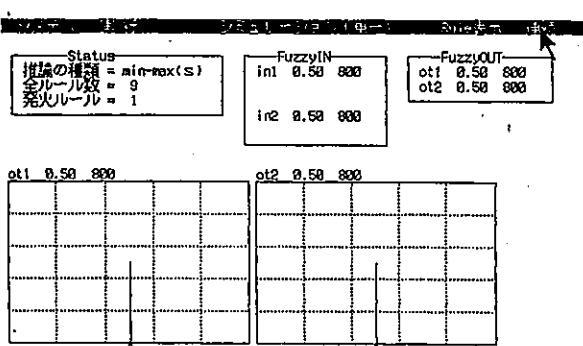


図6 単一シミュレーション画面

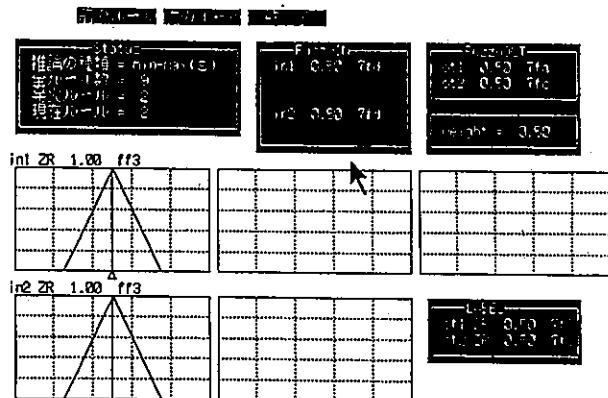


図7 ルール単位の表示

### 2.5.2 連続シミュレーション

図6の「連続へ」メニューをマウスでクリックすると、連続シミュレーションを実行する。

連続シミュレーションに与える複数組のファジィ入力値は、ユーザが指定したファイルからデータを読み込み、メモリにセットされる。ユーザが指定できるファイルは、次の2種類のファイルのうちの1つだけである。

- ・入力ファイル... ユーザが作成したファイル
- ・テストファイル... 連続テストプログラムで出力したファイル

連続シミュレーションを実行し、グラフィック表示したものが図8である。グラフィック表示部分をクリックした位置の値（ファジィ入力値、出力値等）が、表示される。このクリックしたファジィ入力値は、メモリ上に保存され、单一シミュレーションに戻り、このファジィ入力値で单一シミュレーションを実行することができ、ファジィ推論の途中経過を確認することができる。

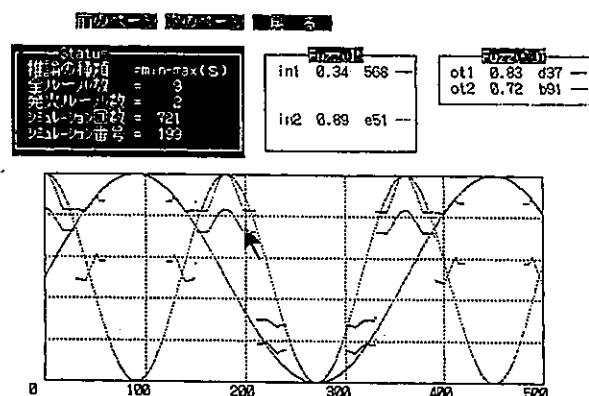


図8 連続シミュレーション画面

## 2.6 データ転送

データ転送プログラムは、コンフィグレーション作成、MF編集とルール編集で作成したジョブファイルを読み込み、このデータをファジィ制御ボードへ転送し、実験的に1回だけボード上でファジィ制御を行うプログラムである。

データ転送プログラムは、立上げ時にファジィ制御ボードの存在とジョブファイルの内容を確認する。

ファジィボードデータを転送し、1回だけファジィ制御を行った結果が図9である。表示される内容は、実行時間、発火ルール数、A/D変換データ、D/A変換データ、ファジィ推論入力値とファジィ推論出力値である。

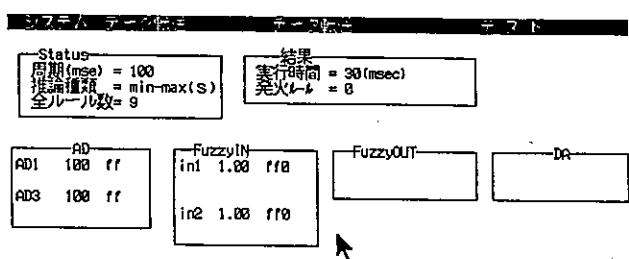


図9 データ転送画面

## 2.7 連続テスト

連続テストは、データ転送モジュールでファジィボード知識がセットされたファジィボードを連続してファジィ制御するモジュールである。

このプログラムの立ち上げ時には、データ転送プログラムと同様に、ファジィボードの存在とジョブファイルの内容を確認する。

図10は、連続テストの結果である。グラフィック表示内をクリックすると、クリックした位置のファジィ制御結果(A/D変換データ、D/A変換データ、ファジィ推論入力値とファジィ推論出力値)が表示される。

ファジィボードをテストした結果は、テストファイルとして保存できる。

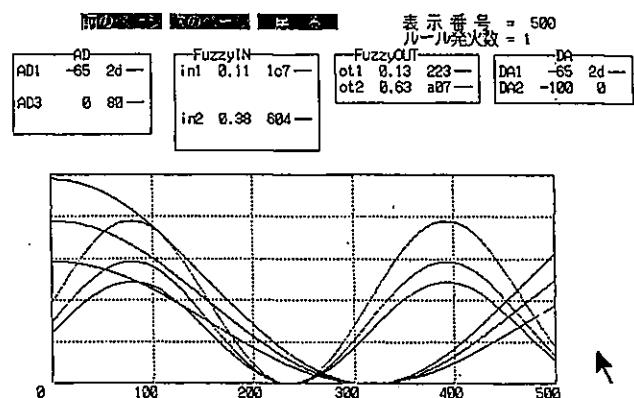


図10 連続テスト画面

## 2.8 その他のコマンド

ここでは、MS-DOSのコマンドラインから実行できるコマンドについて述べる。

### 2.8.1 知識データ転送コマンド

知識データ転送コマンドは、コマンドモードにおける開発で使用し、ファジィ制御ボードの存在とジョブファイルの内容を確認し、知識データをファジィボードへ転送する。実行方法は、

`transf i ジョブファイル名`  
である。

### 2.8.2 知識データ出力コマンド

このコマンドは、FORMSで作成した知識データ(ジョブファイル)の内容を、ファジィボードコンフィグ情報、MF、ファジィルールの順に画面に表示する。実行方法は、

`listf i ジョブファイル名`  
である。

## 2.9 ユーザ入力ファイル

ユーザは、ユーザ入力ファイルを作成することで、任意の入力データによる連続シミュレーションを実行することができる。ユーザ入力ファイルは、市販のエディタ等を使い容易に作成することができる。ユーザ入力ファイルの仕様は、次のとおりである。

- ・ファイル名は、8文字以内の英数字
- ・拡張子名は、“IN”

- ・データ形式は、テキストファイル
- ・1行は、シミュレーション1回分の入力値
- ・入力値は、0.0~1.0の実数値
- ・各入力値の区切りは、スペースまたはタブ
- ・1行の入力値の数は、実際のファジィ推論部の入力数と同数

### 3. 開発方法

#### 3.1 ファジィ・コントロール・モードの開発方法

ファジィ・コントロール・モードの開発は、C言語等のソフトウェアの知識を必要とせず、FORMSだけで行う。開発の手順は次のとおりである。

- (1) コンフィグレーション作成、MF編集とルール編集のモジュールを使用し、ファジィボード知識データを作成する。
- (2) 作成した知識データでシミュレーションを実行し、知識データの内容を確認する。
- (3) データ転送モジュールを使用し、知識データをファジィボードへ転送する。
- (4) 連続テストを実行し、ファジィ制御の実行結果を検討する。もし制御がうまく実行できない時は、(1)に戻る。

#### 3.2 コマンドモードの開発方法

コマンドモードの開発は、次のとおりである。

- (1) ファジィボード知識データを作成する。FORMSのコンフィグレーション作成、MF編集とルール編集のモジュールを使用する。
- (2) 作成した知識データでシミュレーションを実行し、知識データの内容を確認する。
- (3) MS-DOSのコマンドラインから、データ転送コマンド「TRANSF1」を実行し、作成した知識データをファジィボードへ転送する。
- (4) 開発したユーザプログラムを実行する。

##### 3.2.1 ユーザプログラムの開発

コマンドモードのファジィ制御プログラムの開発は、ファジィボード開発用ソースプログラム(FBOARD.C)とインクルードファイル(FBOARD.H)を使用する。

FBOARD.H) を使用する。

ユーザは、ユーザが作成したソースプログラムとこの開発用ソースプログラムをコンパイルリンクすることで、ユーザ独自のファジィ制御プログラムを作成できる。

この開発用ソースプログラムは、MicroSoft-C (VER 5.1以上)あるいはQuick-C (VER 2.0)のコンパイラを必要とし、ラージモデルでコンパイルしなければならない。

この開発用ソースプログラムは、ユーザが使用できる12個の関数を用意している。その関数の一覧を表2に示す。

関数名	内 容
(1) ファジィ制御ボード初期設定関数	
setSegment()	ファジィ制御ボードのセグメント値を設定する
setCommandMode()	ファジィ制御ボードをコマンドモードにする
execTransF1()	ファジィ知識データをファジィチップへ転送する
(2) ファジィ制御ボード制御関数	
setTime()	ファジィ制御ボードの時計をセットする
getTime()	ファジィ制御ボードの時計の時間を得る
execF1()	ファジィ推論を実行する
execADc()	A/D変換を実行する
execDac()	D/A変換を実行する
(3) データの読み込み書き込み関数	
readADc()	A/D入力データを読み込む
writeFin()	ファジィ推論入力データを書き込む
readfout()	ファジィ推論出力データを読み込む
writeDAc()	D/A出力データを読み込む

表2 ファジィボード開発 C言語関数一覧

### 4. おわりに

本稿では、ファジィ制御ボードをファジィ・コントローラ・モードでの開発を支援するソフトウェアシステムFORMSとこのファジィ制御ボードをより高度に使用するコマンドモードの開発方法を述べた。

FORMSを使った知識データの作成は非常に簡単である。例えば2入力1出力でルール数12個程度の一般的な知識データは10分以内で作成

できる。この知識データのシミュレーション実行時間は、約10 msecであった。

FORMSは、これから種々の問題点が発生すると予想される。今後は、これらの問題点を解決するとともに、このシステムのマンマシンインターフェース等の検討を行い、改良を加えて行きたい。

### 参考文献

- 1)城戸浩一、“ファジィ制御ユニットの開発”、地域人材不足対策技術開発事業研究報告書、平成4年6月、P 1
- 2)萩原宗明、“ファジィ認識ユニットの開発”、地域人材不足対策技術開発事業研究報告書、平成4年6月、P 8
- 3)石松賢治、“ファジィ制御認識ボードの開発支援ツールの開発（その1）”、地域人材不足対策技術開発事業研究報告書、平成4年6月、P 16
- 4)岡田辰也、“ファジィ制御認識ボードの開発支援ツールの開発（その2）”、地域人材不足対策技術開発事業研究報告書、平成4年6月、P 24

# ファジイ制御ユニットの開発

城戸浩一\*・園田増雄\*・萩原宗明\*\*

Development of Fuzzy Control Unit

Koichi KIDO\*, Masuo SONODA\*, Muneaki HAGIWARA\*\*

本稿では、ファジイ制御を行うために開発した電子装置（ファジイ制御ユニット）の概念と構成について述べる。

この装置は、電子回路基板（ファジイ制御ボード）と電源ラックから構成される。ファジイ制御ボードは、ファジイ制御に必要な各種機能を実装したパソコン用のインテリジェント・ボードのことである。このボードの特長として、次の3つのことがあげられる。

- (1) ボード上にA/D変換器、D/A変換器、ファジイ推論チップ、タイマ及びアナログ入出力アンプを搭載しているため、基本的にセンサやアクチュエータを接続するだけでファジイ制御システムを構築できる。
- (2) 専用のファジイ・コントローラ・ボードとして単独で動作させたり、また汎用のA/D変換、D/A変換、タイマ及びファジイ推論機能を持った汎用の処理ボードとしてパソコンの拡張スロットに入れてプログラミング言語を用いて使用することもできる。
- (3) 定值制御型の制御システムであれば、制御プログラムを作成することなく、データを設定するだけで実現できる。

## 1. はじめに

最近、ファジイ理論を応用した制御方法が注目され、様々なファジイ制御システムが開発されている。<sup>1) 2)</sup>

ところで、こうしたファジイ制御システムを開発するためには、一般に、A/D変換器やD/A変換器、タイマといった各種のハードウェアを用意し、リアル・タイム・マルチ・タスク・プログラミングの考え方に基づき、C言語などのプログ

ラミング言語によって制御プログラムを作成しなければならない。ところが、こうした開発は、システム開発が専門でない技術者にとって負担が大きく簡単に行えるものではない。そのため、開発したい制御システムがあっても、システム開発力がないために自主開発をあきらめざるをえない場合がある。

そこで、本研究では、システム開発が専門でない技術者でもファジイ制御システムを簡単に構築できるような電子装置を開発することにした。

開発方針として、ファジイ制御を行うために必要なソフトウェアやハードウェアについては新たに用意または開発しなくてもすむようにできるだけ装置内に組み込むこととした。

\* 電子部

\*\* (財) 熊本テクノポリス財団

電子応用機械技術研究所

本報告では、開発したシステム（以下、「ファジィ制御ユニット」という）の概念及び構成などについて述べる。

なお、本研究は、中小企業庁の補助事業である地域人材不足対策技術開発事業の一環として、平成2年度と3年度の2年間にわたって実施したものである。

## 2. システムの概念

ファジィ制御ユニットとは、ファジィ制御を行うための電子装置のことで、演算処理を行う電子回路基板（「ファジィ制御ボード」という）と電源ラックとから構成される。

### 2.1 ファジィ制御ボードの概念と特長

ファジィ制御ボードは、ファジィ制御を行うために必要な各種機能を搭載したパソコン（NEC、PC98）用のインテリジェント・ボードのことである。本ボードの外観を図1に示す。

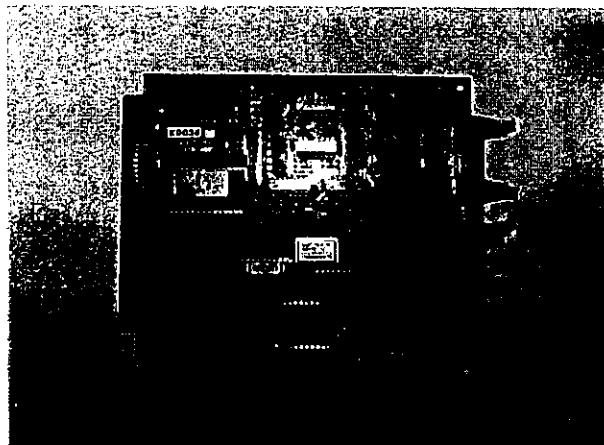


図1 ファジィ制御ボード外観

本ボードは、次のような3つの特長を持つ。

- (1) ボード上にA/D変換器、D/A変換器、ファジィ推論チップ、タイマ及びアナログ入出力アンプを搭載しているため、基本的にボード上のコネクタにセンサやアクチュエータを接続するだけでファジィ制御システムが構築できる。
- (2) 専用のファジィ・コントローラ・ボードとして単独で動作させることも、また汎用のA/D

D変換、D/A変換、タイマ及びファジィ推論機能を持った汎用の処理ボードとしてパソコンの拡張スロットに入れプログラミング言語を用いて使用することもできる。

- (3) 定值制御型のファジィ制御システムであれば、制御プログラムを作成することなく、データを設定するだけで実現できる。

### 2.2 ファジィ制御ボードの仕様

#### 2.2.1 機能仕様

本ボードは、次のような機能を持つ。

- (1) A/D変換機能

センサから出力されるアナログ信号をデジタル量に変換する。ボードでは、入力信号の電圧レンジをジャンパー・ピンにより選択できる。

- (2) D/A変換機能

デジタル量をアナログ信号に変換する。D/A変換されたアナログ信号は、アンプ回路によって電流増幅される。

- (3) ファジィ推論機能

本ボードでは、ファジィ推論は専用の推論チップを用いて行う。具体的なファジィ推論の仕様は次のとおりである。

入出力

点 数：最大 5入力、2出力

分解能：12 bit (符号無し)

推論

機 構：ファジィ・プロダクション・ルールによる前向き推論

方 式：min-max-重心法

出力形態：位置型、速度型

ルール

個 数：最大 128個

形 式：最大 5条件、2結論

メンバーシップ関数

条件部

MF形状：S、Z、△、II

ラベル数：最大 7個 (1変数につき)

結論部

MF形状：シングルトン

ラベル数：最大 7個 (1変数につき)

## (4) タイマ機能

10 msec毎にカウント・アップする16ビットのタイマを持ち、タイマ値の設定と参照ができる。本ボードでは、このタイマのことをマイコンのハードウェア・タイマと区別するために「ストップ・ウォッチ」と呼ぶ。

## (5) ファジィ制御機能

ファジィ制御機能とは、図2に示すように、A/D変換、前処理、ファジィ推論、後処理、D/A変換といった一連の処理を一定時間（制御周期）毎に繰り返すことである。

前処理とは、A/D変換された値をファジィ推論入力に入れる前に行う変換処理のこと、具体的にはA/D変換値から制御偏差や制御偏差の変化分などを計算する「演算処理」と演算処理の結果をファジィ推論の入力レンジに合う

ように変換する「レンジ調整処理」から構成される。

後処理とは、ファジィ推論の出力をD/A変換器に入れる前に行う変換処理のこと、具体的にはファジィ推論出力をD/A変換器の入力レンジに合うように変換する「レンジ調整処理」とファジィ推論の出力形態、すなわち位置型か速度型かに応じてD/A変換器に出力する値を計算する「演算処理」から構成される。

A/D変換器の出力と前処理の入力との間の接続は、自由に行うことができる。

## (6) アナログ・データ収集機能

一定時間毎にA/D変換を繰り返すことができる。

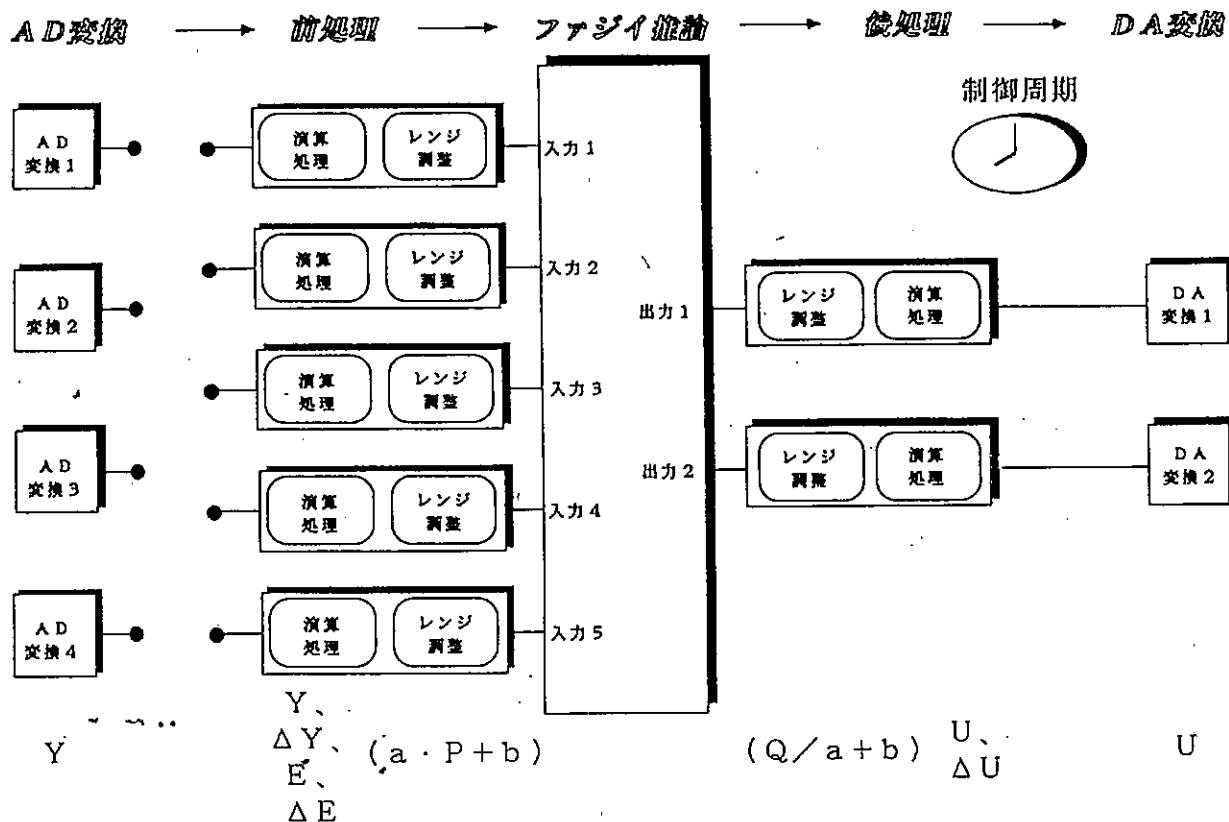


図2 ファジィ制御機能

## 2.2.2 ハードウェア仕様

### (1) アナログ入力部

入力点数	4 ch
電圧レンジ	0 ~ 5 V
	0 ~ 10 V
	-5 ~ 5 V
	-10 ~ 10 V
	(ジャンパボーピンで選択)

### (2) A/D変換部

分解能	8 bit
-----	-------

### (3) 演算部

CPU	8 bit
ROM	32 KByte
RAM	24 KByte
DPM	2 KByte

### (4) D/A変換部

分解能	8 bit
-----	-------

### (5) アナログ出力部

出力点数	2 ch
電圧レンジ	0 ~ 5 V

### (6) バス・インターフェース部

接続バス	NEC、PC98バス
メモリー・アドレス	C0000H (PLDで変更可)

## 2.2.3 ソフトウェア仕様

### (1) 動作モード

本ボードには、「コマンド処理モード」と「ファジィ・コントローラ・モード」の2つの動作モードがある。動作モードの切り替えは、ソフトウェア・スイッチによって行う。

コマンド処理モードとは、ファジィ制御ボードをパソコン(ホスト)の拡張スロットに挿入し、ホストからのコマンドによってボードの持つ各種機能を実行できる動作形態のことである。このモードは、ファジィ制御に必要なデータを作成した後に、これらのデータをボードに設定する場合や、複雑な制御対象の制御プログラムを開発する際にボードの持つ機能を利用する場合に設定する。

ファジィ・コントローラ・モードとは、ホスト(パソコン)からの指示を受けずにボード単

独でファジィ制御を行うことができる動作形態のことである。このモードは、ファジィ制御に必要なデータの作成と設定が終わり、パソコンから取り外して実際に機器に組み込んで使用する場合に設定する。

### (2) 使用方法

コマンド処理モードにおけるボードの一般的な使用方法は、DPM(デュアル・ポート・メモリー)に対して必要なデータと実行したい処理コマンドを書き込んだ後、DPMから必要なデータを読み出すというものである。実際にボードを使用する場合には、インターフェース関数ライブラリを用いる。

ファジィ・コントローラ・モードでは、ボード上のスイッチによってファジィ制御の起動と停止を行う。

### (3) コマンド

コマンドのコードと意味を次に示す。

01H	DPMの初期化
02H	エラーのリセット
08H	スタートスイッチの読み出し
11H	知識データの推論チップへの転送
21H	ファジィ制御の起動
22H	ファジィ制御の停止
23H	ファジィ制御の評価
24H	ファジィ制御のデータのチェック
31H	ファジィ推論の実行
32H	A/D変換の実行
33H	D/A変換の実行
41H	アナログ・データ収集の起動
42H	アナログ・データ収集の停止

## 3. ファジィ制御ボードの構成

### 3.1 ハードウェア構成

本ボードの回路ブロックを図3に示す。CPUには、ワンチップ・マイコン(NEC、μPD78233LQ)を使用した。このマイコンには、A/D変換器、D/A変換器、タイマなどが内蔵されている。ファジィ推論チップは、ファジィ推論モジュール(OMRON、FB30MC)を使用した。このチップは、RAMと同じように取り扱うことができる。DPM

Mには、デュアル・ポート・メモリ(富士通、MB8421)を使用した。このメモリに対しては、記憶内容が消えないようにバッテリーによって電源補償を行った。

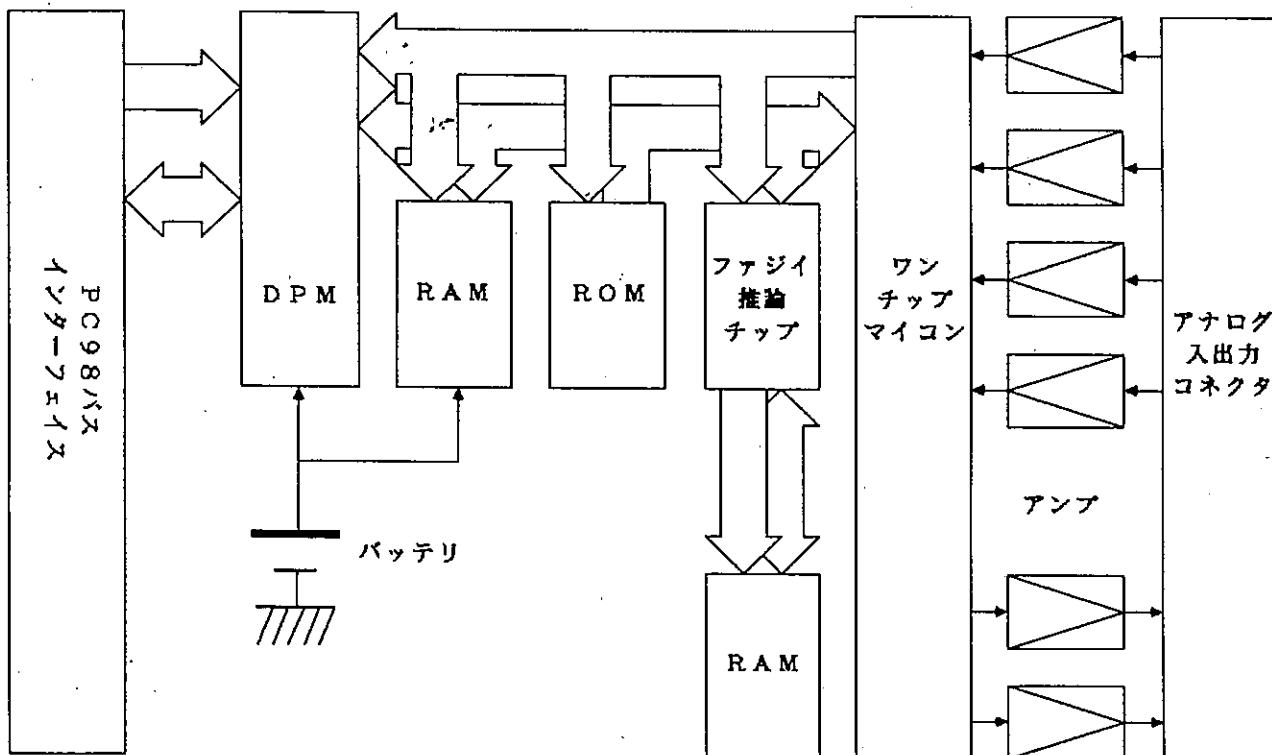


図3 回路ブロック図

### 3.2 ソフトウェア構成

本ボードに搭載したソフトウェアは、リアル・タイム・モニタとその上で動作するアプリケーション・プログラムから構成される。

#### 3.2.1 リアル・タイム・モニタ

##### (1) 概要

ファジィ制御ボードには、ファジィ制御用プログラムの開発効率を上げるためにリアル・タイム・モニタ（以下、「モニタ」と言う）を搭載した。

このモニタは、ITRON仕様のサブセット版で福島県工業試験場においてZ80CPU用に開発されたもの<sup>3)</sup>をμPD78233用に移植し、機能の追加修正をしたものである。

モニタ・プログラムは、アセンブリ言語で記述したが、タスクはC言語で記述できるようにインターフェース・ライブラリを用意した。

モニタは、スケジューラにより処理に必要なタスクを選択・実行し、29種類のシステム・コールによりユーザに対して5種類の管理機能をサービスしている。

以下において、スケジューラ、管理機能及びシステム・コールについて述べる。

##### (1) スケジューラ

スケジューラは、処理に必要なタスクにCPUの使用権を与える。使用権は、実行可能なタスクのうちで最も優先権の高いタスクに与える（プライオリティ方式）。

なお、スケジューラのタスク切り替えは、イベントが発生したときに行われる（イベント・

ドリブン方式)。

#### (2) タスク管理

タスクには、未登録状態、休止状態、待状態、実行可能状態、実行状態がある。タスク管理とは、タスクの起動と終了及び遷移を行うことである。状態遷移は、生成、削除、起動、停止、条件待ちのシステム・コールにより実行される。

タスクは、タスク番号で管理され、タスク番号 0～63の64タスクを扱うことができる。ただし、タスク 0とタスク63はモニタで使用しているためユーザのタスクは 1～62の62タスクが登録できる。タスク番号の若い方が優先順位は高い。

#### (3) 同期・通信機能

同期、通信機能は、タスク間の処理の同期、排他制御、メッセージ(先頭番地)の交換を行い、お互いに関係するタスクが勝手に実行されないよう交通整理を行う。

#### (4) 割り込み管理

割り込み管理は、割り込みハンドラと割り込みタスクの2種類の処理方法をサポートした。

割り込みハンドラは、高速に処理されるもので、緊急で短時間に実行される。

割り込みタスクは、割り込みハンドラからシステム・コールにより起動され、処理時間が割り込みハンドラよりも長い。

#### (5) 時計管理

時計管理は、タスクを指定した時間(10msec単位)待ち状態にしたり、システム・コールで設定されるタイムアウトを管理する。

このモニタの特長としてストップウォッチ機能がある。これは、あるメモリを常に10msec単位でカウントアップするものである。

#### (6) メモリ管理

- ・ メモリ管理は、システム・コールによりモニタからメモリロック(16バイト単位)で獲得してデータ領域(動的変数)やメッセージ領域として利用できるようにする。メモリロックは、使用目的が完了したら開放し、他のタスクが利用できるようにする必要がある。

#### (7) システム・コール使用例

システム・コールは、C言語の関数として利

用できる。

#### 使用例 1

タスク番号tsk\_noを生成する。

```
int cre_tsk(tsk_no, sta_ad, tsk_tcb,
            tcb_size);
int tsk_no; タスク番号
void *sta_ad; タスクの先頭番地
char *tsk_tcb; タスクコントロール
    ブロック(TCB) の
    先頭番地
short tcb_size; TCB のサイズ
    (バイト数)
```

#### 使用例 2

タスク番号 3 のタスクを起動する。

```
int sta_tsk(3);
このように簡単にシステム・コールを記述することができるので、タスクプログラムを短期間に作成することができた。
```

### 3.2.2 アプリケーション・プログラム

#### (1) 構成

本プログラムのタスク構成(一部)を図4に示す。

#### (2) 動作

本プログラムの基本となるコマンド処理シリーズの動作は、次のようなものである。DPMにコマンドが書き込まれると、DPMからの割り込みが発生し、「割り込みハンドラ」が起動される。割り込みハンドラは、「コマンド解釈タスク」を起動する。コマンド解釈タスクは、DPMに書かれたコードを読み込み、その値に応じたタスク(コマンド処理タスク)を起動する。起動されたコマンド処理タスクは、DPMに設定されたデータを読み込み、必要な処理を行い、結果をDPMに書き込む。

ファジィ制御は、次のように処理される。ファジィ制御の起動コマンドが発行されると、「ファジィ制御起動タスク」が起動され、このタスクがDPMのステータスに定義してあるフラグ(ファジィ制御モードフラグ)をセットする。このフラグがセットされると、アイドル時に動作している「動作モード切り替えタスク」

が「ファジィ制御タスク」を起動する。このファジィ制御タスクは、ファジィ制御モード・フラグがセットされている間、一定時間毎に、ファジィ制御のための入出力と演算処理を行う「単一ファジィ制御タスク」を起動する。この単一ファジィ制御タスクの中から「A/D変換タスク」、「ファジィ推論タスク」、及び「D/A変換タスク」が起動される。一方、アイドル

時間中にファジィ制御の停止コマンドが発行されると、「ファジィ制御停止タスク」が起動され、ファジィ制御モード・フラグをリセットする。このフラグがリセットされると、ファジィ制御タスクは、一定時間毎に単一ファジィ制御タスクを起動する動作を終了する。

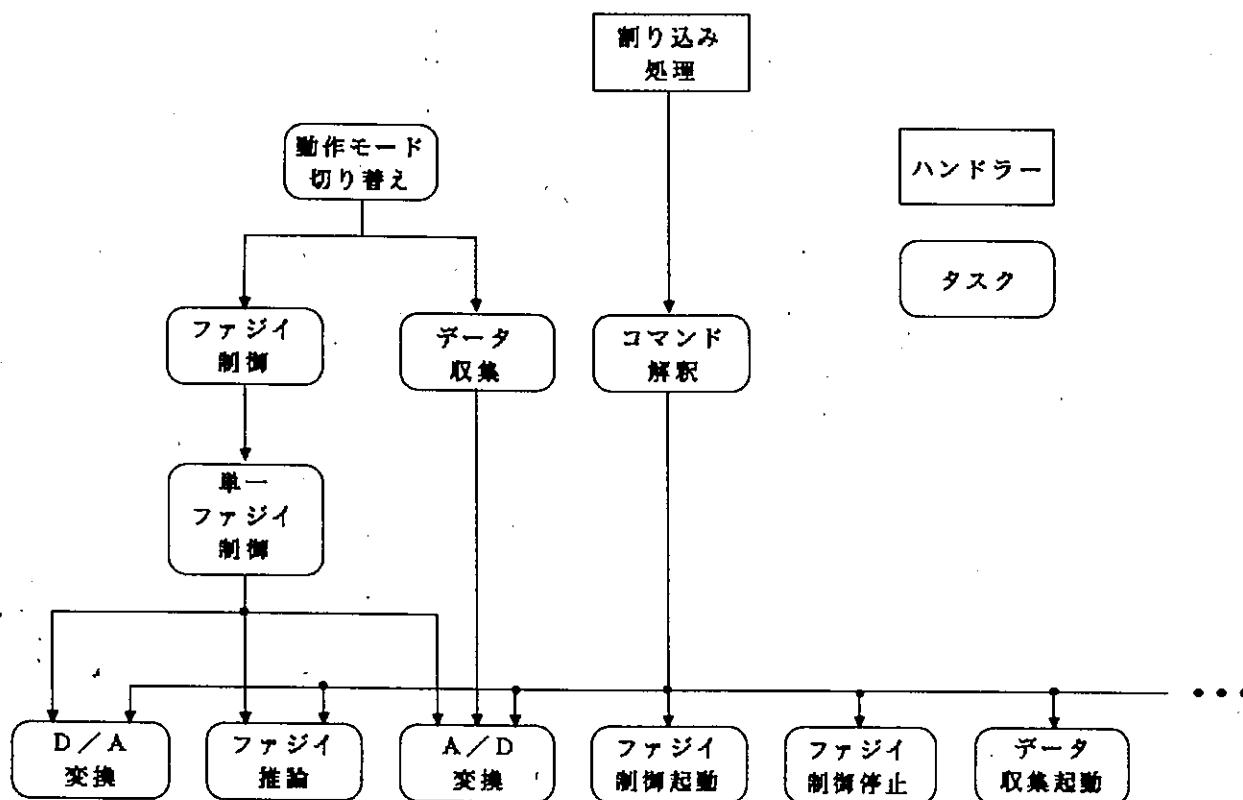


図4 アプリケーション・プログラムのタスク構成（一部）

#### 4. おわりに

ファジイ制御を行うために必要な各種機能を搭載したパソコン用のインテリジェント・ボードを開発した。

今後の課題としては、まず処理の高速化が挙げられる。現在、ファジイ制御のための処理を1回実行するのに40～50 msec程度必要としている。そのため、変化の速い制御対象に対しては、コマンド処理モードにおいて制御プログラムを作成しなければならない。対策としては、CPUを処理能力の高いものに替えることやリアル・タイム・モニタのプログラムをチューニングして処理を高速化することなどが考えられる。

#### 参考文献

- (1) 菅野：ファジイ制御、日刊工業新聞社、1988
- (2) 寺野、浅居、菅野：応用ファジイシステム入門、オーム社、1989
- (3) FZRTM使用説明書、福島県福島工業試験場、1989

# ファジィ制御によるケーブル・クレーンの振れ止め

城戸 浩一\*・山崎 謙吉\*\*

Anti-sway Control of Cable crane by Fuzzy Control

Koichi KIDO\*, Kenkichi YAMASAKI\*\*

## [概要]

本研究では、ケーブル・クレーンの運転の自動化の第一段階として、フックの振れ止めを取り上げ、ファジィ理論を応用した振れ止め制御システムを構成し、実機を用いた実験により振れ抑制効果を確認した。

振れ止め制御は、トロリーをフックの振れに追従させる動作とそれによって変化したトロリーの速度を元に戻す動作の2つから構成される。前者についてはファジィ制御により、また後者についてはオープン・ループ制御によりそれぞれ実現した。

本稿では、ファジィ制御を用いた振れ止めの方法と制御システムの構成について説明し、振れ止め実験の結果を示す。

## 1. はじめに

ダムや橋梁などの建設現場で使用されるケーブル・クレーンは、操作に勘と経験が必要なため、熟練した操作者によって運転されている。しかし、最近の人手不足により熟練者が不足してきているため、運転を自動化することが望まれている。

本研究では、ケーブル・クレーン運転自動化の第一段階としてフックの振れ止めを取り上げ、ファジィ理論を応用した振れ止め制御システムを構成し、実機を用いた実験により振れが抑制されることを確認した。

本稿では、ファジィ制御による振れ止めの方法と制御システムの構成について説明し、振れ止め実験の結果を示す。

## 2. 実験設備の概要

実験設備の構成を図1に示す。主ケーブルはトロリーを支えるためにあり、また横行用ケーブルはトロリーを移動させるためである。横行用ケーブルはウインチによって駆動され、ウインチはインバータ制御の誘導モータにより駆動される。インバータは、パソコン(NEC, PC98DA)によって制御

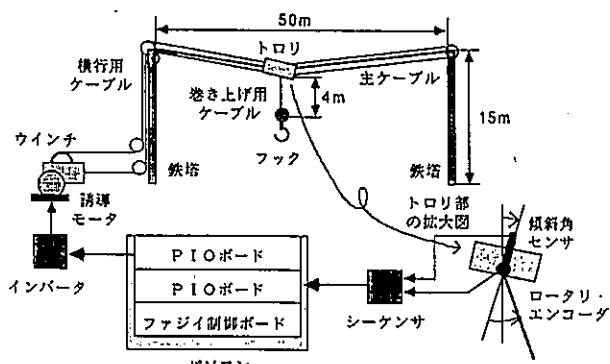


図1 実験設備の構成

\* 電子部

\*\* 熊本索道株式会社

される。

トロリには、それ自体の傾斜角を計測するための傾斜角センサと、トロリと巻き上げ用ケーブルとの間のなす角を計測するためのロータリ・エンコーダを取り付けた。2つのセンサの値をそれぞれシリアル通信によりシーケンサへ送り、さらにシーケンサからパソコンへ転送する。フックの振れ角は、これら2つのセンサの値の差とした。

### 3. 振れ止めの方法

振れ止めは、次のような2つの制御動作を組み合わせて行う。

- (1) トロリの加減速を繰り返して、トロリをフックの振れに追従させる（この動作を「振れ追従動作」と呼ぶ）。
- (2) フックの振れが十分小さくなったら、フックを振らさないようにトロリの速度を元の値まで戻すかあるいは所定の速度まで変化させる（この動作を「速度復帰動作」と呼ぶ）。

### 4. 振れ止め制御システムの構成

振れ止め制御システムは、図2に示すように、制御対象と2つのコントローラ（制御器）から構成した。

制御対象は、インバータ、誘導モータ、ウインチ、横行用ケーブル、トロリ、シリアル通信ケーブル及びシーケンサの直列結合したものである。そのため、制御対象には約500 msecのむだ時間が存在する。

制御対象に対する入力（制御入力）と制御対象からの出力（制御出力）は、それぞれインバータ

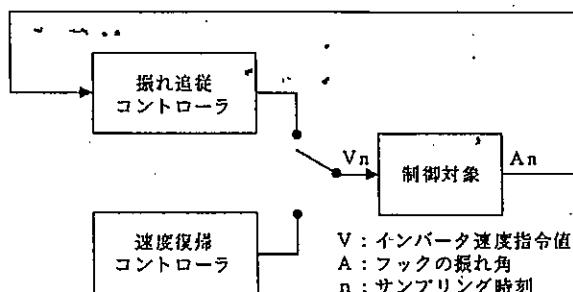


図2 振れ止め制御システムの構成

に対する速度指令値（V）とフックの振れ角（A）である。

振れ追従コントローラは、トロリをフックの振れに追従させるためのコントローラのことである。速度復帰コントローラは、振れ追従動作によって変化したトロリの速度を元に戻すためのコントローラのことである。

前者についてはファジィ推論により、また後者については関数計算によりそれぞれ制御演算を行っている。

振れ止め制御システムのサンプリング周期は、100msecとした。

#### 4.1 振れ追従コントローラ

本コントローラの構成を図3に示す。このコントローラは、基本的には、図4のように定義したフックの振れ幅（Wn）とその変化速度（△Wn/△t）とからインバータの速度指令値の変化分（△Vn）をファジィ推論によって求め、その値（△Vn）と前回サンプリング時のインバータ速度指令値（Vn-1）との和を今回のインバータ速度指令値（Vn）として出力するものである。ここでは、むだ時間補償<sup>1)</sup>として、フックの振れ幅（Wn）とその変化速度（△Wn/△t）の組から動径（Rn）と偏

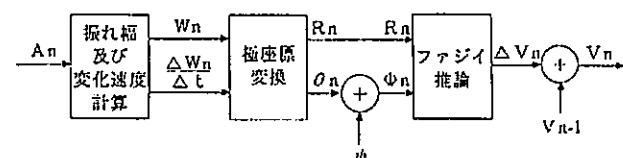


図3 振れ追従コントローラの構成

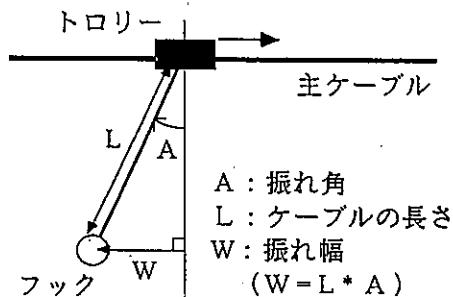


図4 フック振れ幅（W）の定義

角 ( $\theta_n$ ) の組に極座標変換を行った後、この  $R_n$  と、 $\theta_n$  をむだ時間に相当する位相角 ( $\phi$ ) だけ位相を進めた  $\Phi_n$  ( $= \theta_n + \phi$ ) とをファジィ推論の入力とした。むだ時間に相当する位相角 ( $\phi$ ) は、フックの振れの周期 (4 sec) とむだ時間 (約 0.5 sec) の比が約 8 : 1 であることから、 $2\pi/8 = \pi/4$  (rad) とした。

使用したファジィ推論のためのルールとメンバーシップ関数を図 5 と図 6 にそれぞれ示す。

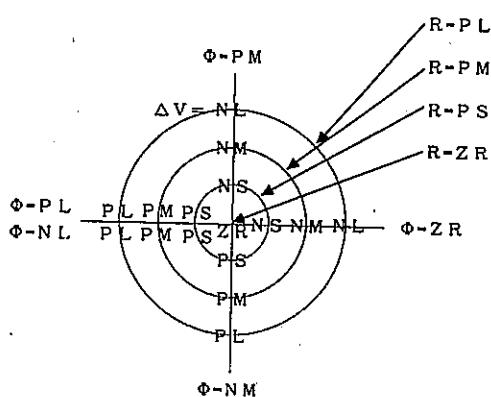


図 5 制御ルール

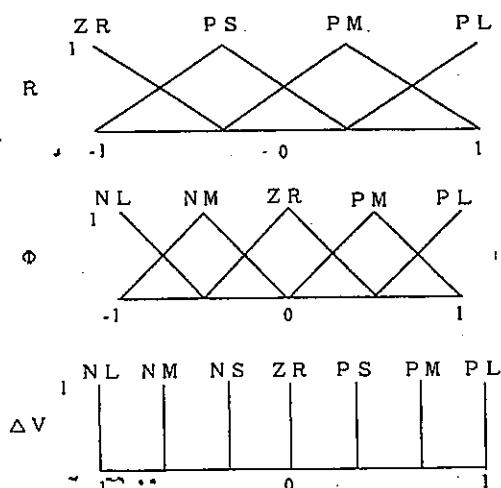


図 6 メンバーシップ関数

#### 4.2 速度復帰コントローラ

このコントローラは、図 7 に示すようなパターンのインバータ速度指令値 ( $V_n$ ) を出力する。

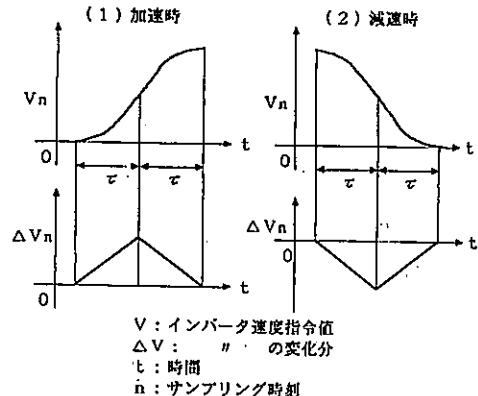


図 7 速度復帰コントローラの出力

#### 5. 振れ止め制御実験

##### 5.1 実験仕様

本研究では、次のような手順によって振れ止め実験を行った。

- (1) フックを振らした状態でトロリを定速でしばらく移動させる。その間に、フックの振れの周期の計測と、トロリとフックとの間のケーブルの長さを計算する。
- (2) フックが、トロリの後方（進行方向と逆の方向）の最高地点まで振れたら、振れ追従動作を開始する。振れ追従動作は、15秒間実行する。
- (3) 5秒間トロリを定速で移動させる。
- (4) 速度復帰動作によってトロリを停止させる。

##### 5.2 実験結果

本実験におけるインバータ速度指令値の時間変化とフックの振れ角の時間変化をそれぞれ図 8 と図 9 に示す。振れ追従動作が行われているのは、実験開始約10秒後位からの15秒間である。また、速度復帰動作がおこなわれているのは、実験開始約30秒後からの6秒間である。

図 8 から、振れ追従動作を行った結果、最初50であったインバータ速度指令値が約150 に変化していることが分かる。

図 9 から、振れ追従動作により  $10^\circ$  程あったフックの振れが  $2^\circ$  程度に抑えられ、また速度復帰動作を行ってもフックの振れは大きくなっている。

ないことが分かる。

今回の実験では、フックの振れを完全に止めることはできなかったが、振れの抑制効果は確認できた。

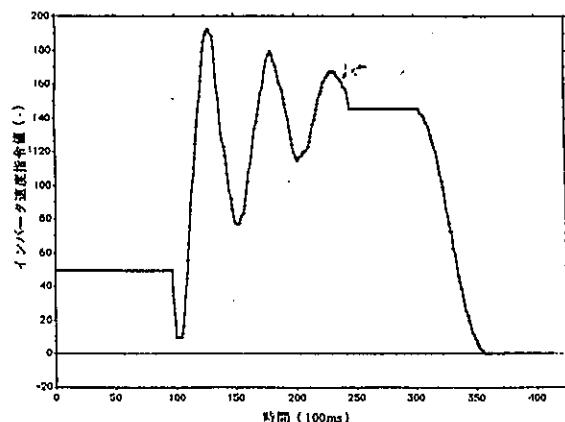


図8 インバータ速度指令値の変化

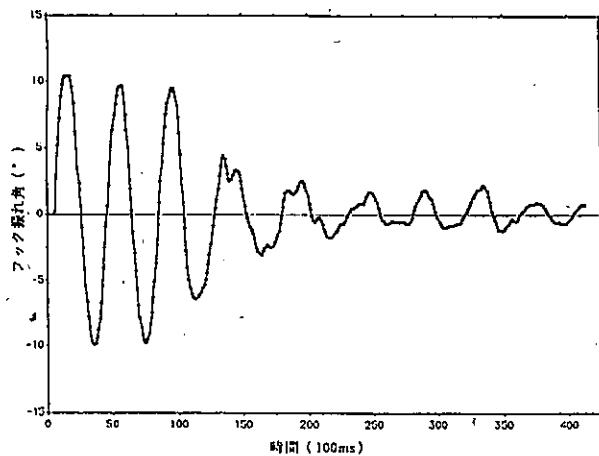


図9 フック振れ角の変化

## 6. おわりに

ファジィ理論を応用した振れ止め制御システムを構成し、実機を用いた実験により振れ抑制効果を確認した。

今後の課題としては、次の2つのが挙げられる。

- (1) 振れ追従動作におけるファジィ推論のルールやメンバーシップ関数などをチューニングすることによって振れを効率よく抑えること。
- (2) 実際のケーブル・クレーンの運転には吊り荷の昇降動作があり、しかもこの動作とトロリの横行動作は同時に起こなわれているため、昇降動作を伴う吊り荷の振れ止めの方法について検討すること。

### 参考文献

- (1) 菅野道夫：ファジィ制御、日刊工業新聞社、1988

# エミッタ接地増幅回路のノイズ発生と対策

## —電磁ノイズ対策技術に関する研究—

上田直行\*

Electro Magnetic Noise Generation and its Decrease Method  
of Common-Emitter Type Amplified Circuit

—Studies on Countermeasure Technology of Electro Magnetic Noise—

Naoyuki UEDA\*

電子回路のノイズ発生メカニズムとその低減対策を検討するために、電源を含むエミッタ接地増幅回路を試作し、正弦波及び矩形波入力に対するバイアス変動の評価試験を行った。その結果、汎用の定電圧素子等を使えば、低減効果が大きいことがわかった。しかし、その反面、利得、位相の周波数特性は、劣ることがわかった。

回路のコモンは高周波領域では 0 V で一定ではなく、ノイズが発生していることがわかった。これらのことから、電子機器は、機器自身からのノイズを外部へ波及させず、かつ外部から機器へノイズを進入させないためにも、可能な限りアースの独立化を図る必要がある。今後さらに効果を高めるには、高周波用デバイスの選定・グランド処理法・グランド材料等の検討が必要である。

### 1. はじめに

電子デバイスの低電圧化・高速化・高集積化に伴い、電子機器の電磁ノイズに対する障害が問題となっている。一般に、ノイズのモデル化は困難なため、当該機器毎防止対策を施しているのが現状である。

前報<sup>1)</sup>においては、当センター内での接地電位および接地電流に関する現地調査を報告した。

すなわち、これまでノイズ対象機器の中味は、

ブラックボックスであったため、機器外部からの現象だけしか検討することができず、中の回路の防止方法まで行うのは不可能であった。つまりノイズ対策は、中の回路メカニズムを理解することがぜひ必要である。そこで本研究は、ノイズの発生源と防止対策をできるだけ客観的に把握するために、電子回路を試作し、この回路に対する評価試験を実施した。

### 2. 試作回路の構成

電子回路は、電源部と本体とに分けて試作した(図 1)。電源部は、電圧出力リップルが少ない、すなわち本体へのノイズの影響が少ない三端子レ

\*電子部

ギュレータを使用した。本体は、ディスクリート素子によるエミッタ接地増幅回路を採用した。回路のバイアスの種類は、電流帰還型とした。バイアス電源は、本来動作点をA級で決めるのが好ましいが、その決め方は、本研究の主旨と異なるので、文献<sup>2), 3), 4)</sup>を参考に回路が安定した動作となるような値を決定した。本体の回路は固定とし、回路定数のみを可変とした。

### 3. 測 定 条 件

#### 3.1 測定点

入力に対する出力の測定箇所は、以下の点とした。

- 1) 信号入力部（トランジスタのベース部）= A点
- 2) 信号出力部（トランジスタのコレクタ部）= L点
- 3) 電源出力部（三端子レギュレータの出力部）= D点
- 4) トランジスタのエミッタ部= E点
- 5) コモン部= G点

但し、1)から4)までは、コモン部に対する電位を測定し、5)はアルミ板に対するコモン電位を測定した。なお、アルミ板は、接地板を想定した。

#### 3.2 入力条件

ノイズの回路への入力は、評価をわかりやすくするため、信号発生器を使用した。コモン部の試験は、試作ワンボードマイコンのクロックを使用した。また、信号は全て、コモンに対して入力した。以下に入力条件を示す。

- 1) 信号の種類  
正弦波（コモン部へは使用せず）及び矩形波
- 2) 信号の大きさ  
 $20 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ 及び $5 \text{ V}$ （コモン部用のみ）  
( $20 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ の入力は、 $100 \text{ kHz}$ 内で目視において出力の歪が少ない値を選定した。)
- 3) 周波数  
 $100 \text{ Hz}$ （低域周波数）、 $1 \text{ kHz}$ （中域

周波数）、 $100 \text{ kHz}$ （高域周波数）、 $2.5 \text{ MHz}$ （コモン部用のみ）、 $5 \sim 200 \text{ MHz}$ （利得、位相特性に対して）

#### 3.3 使用計測器類

- 1) マルチメータ（直流電圧値の測定）
- 2) テスター（直流電流増幅率 $h_{FE}$ 、直流抵抗の測定）
- 3) L C Z メータ（コンデンサ容量の測定）
- 4) オシロスコープ（波形観測）
- 5) 信号発生器（信号発生）
- 6) ネットワークアナライザ（アナログ回路の周波数・位相解析）
- 7) スペクトラムアナライザ（波形の周波数解析）

#### 3.4 回路素子パラメータ（表1）

使用素子は以下とした。

- 1) 抵抗
- 2) コンデンサ
- 3) 定電圧ダイオード
- 4) 定電流ダイオード
- 5) 汎用ダイオード

#### 3.5 回路定数の組合せ

前記素子の組合せは、以下とした。

- 1) 抵抗+コンデンサ1=組合せ（No. 1）
- 2) 抵抗+コンデンサ2=組合せ（No. 2）
- 3) 抵抗+コンデンサ2+定電圧ダイオード=組合せ（No. 3）
- 4) コンデンサ2+定電圧ダイオード+定電流ダイオード+汎用ダイオード=組合せ（No. 4）

#### 3.6 試験項目

- 1) 信号入力に対する各点の出力の測定
- 2) 電圧低減対策の検討
- 3) 増幅器としての周波数特性の測定

#### 3.7 評価項目

- 1) 電圧の大きさ、位相、波形の検討
- 2) 電圧波形の周波数解析

## 3) ゲイン、位相の周波数に対する特性の検討

## 3.8 バイアスの決定

バイアス電圧及びバイアス電流は、組合せNo. 1を基本として、できるだけこれに合うようにした。しかし、特にNo. 4は、実際のデバイスの選定が困難なため、厳密には少し異なった値とした。

例えば、No. 1のベース・コレクタ・エミッ

タの電圧／電流がそれぞれ3.780V／0.019mA、5.813V／3.159mA、3.108V／3.171mAであるのに対し、No. 4は同様に、3.834V／0.01mA、8.270V／2.333mA、3.181V／約2.333mAであった。

## 4. 結果及び考察

## 4.1 波形観測

## 4.1.1 信号入力0Vの応答(図2)

記号の定義を以下のように行う。

$V_D$ =三端子レギュレータ出力部D点の交流分電圧

$V_E$ =トランジスタのエミッタ出力部E点の交流分電圧

組合せNo. 1の例では、 $V_D$ および $V_E$ は、共にほぼ0Vであった。厳密には、 $V_D=1.25 \text{ mV}_{\text{P-P}}$ のリップルと思われる出力が出ていた。

これに関しては、後述するが、60Hzの商用電源を基本波とする高調波が重畠していると思われる。他の組合せの場合も、同様の結果が得られた。

素子名	具 体 的 な 素 子 の 組 合 せ			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
$Z_{bc}$	14.94kΩ	14.94kΩ	14.94kΩ	100kΩ (14A)
$Z_{bg}$	5.08kΩ	5.08kΩ	5.08kΩ	F14C×7個 ±0.8V/個
$Z_{eg}$	0.980Ω	0.980Ω	R03.0E8 (3.0V)	R03.9E8 (3.0V)
並列素子	92.0μF	1.350μF	1.350μF	1.350μF

表1 素子パラメータと組合せ

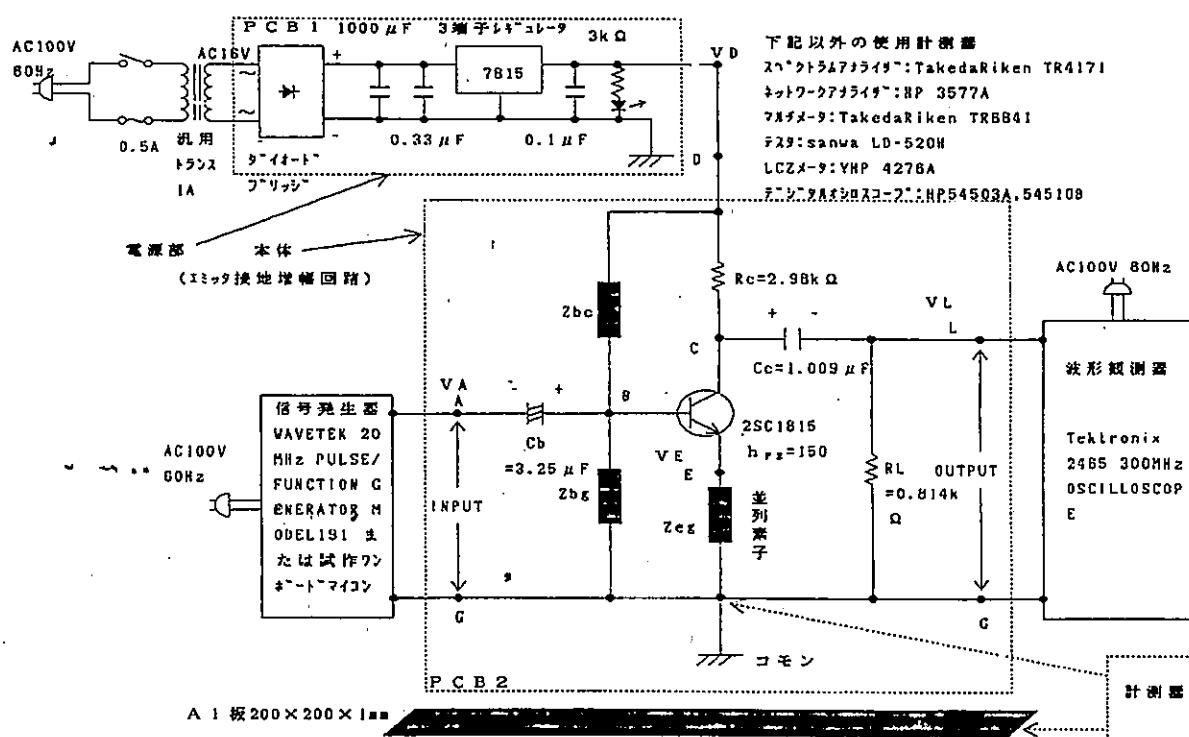


図1 試作回路

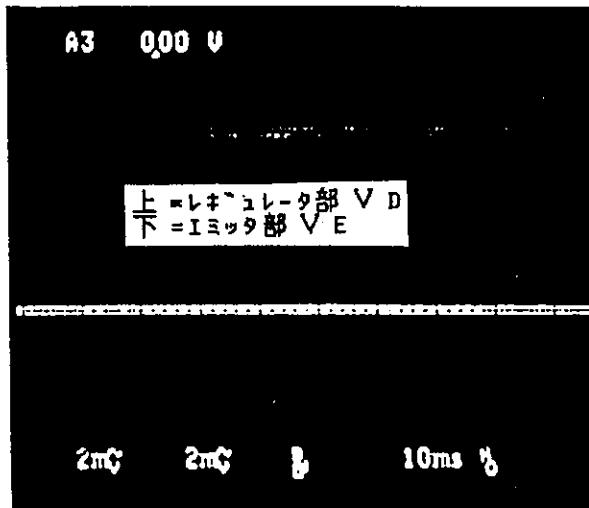


図2 入力VA=0Vの応答

## 4.1.2 100Hz 正弦波入力の応答（図3）

記号の定義を以下のように行う。

VA=信号入力部（トランジスタのベース部）

A点の交流分電圧

VL=信号出力部（トランジスタのコレクタ部）

L点の交流分電圧

組合せNo. 1の出力は、 $VD = 0 \text{ V}_{\text{p-p}}$ 、 $VE = 15.0 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ であった。 $VE$ は、波形及び周波数とも、入力VAとほぼ一致した。 $VA$ は $VB$ に直接影響し、 $VA = 20 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ の75%がエミッタ部のバイアス電圧に変動を与えていた。この変動は、出力VLの不安定性や波形歪をもたらす。

組合せNo. 4の出力は、 $VD = 0 \text{ V}$ 、 $VE = 1.35 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ であった。No. 1と比較すると、 $VE$ は約1/11に低減されている。これは、以下の理由で効果があったと考えられる。

①並列インピーダンス素子Zegのうちバイパスコンデンサの容量を約1.5倍大きくしたこと。ただし、いたずらに大きくすると、ラッシュカレントが流れる等の悪影響が懸念される。

②Zegのコンデンサと並列に、抵抗の代わりに定電圧ダイオードを挿入し、定電圧化したこと。

③各点の電圧・電流を決めるのに、抵抗の代わりに、定電流ダイオード及び汎用ダイオードを用いて、定電圧化・定電流化したこと。

なお、波形・周波数は、前記と同様に入力とほぼ同じであった。

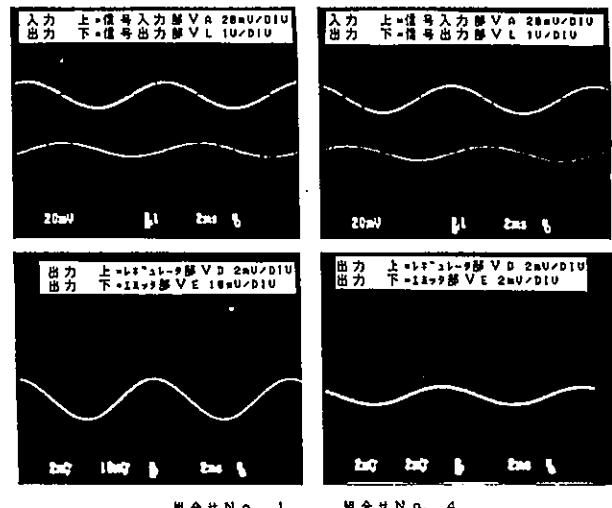


図3 100Hz 正弦波応答 (2ms/DIV)

## 4.1.3 100Hz 矩形波入力の応答（図4）

組合せNo. 1の出力は、 $VD = 0 \text{ V}$ 、 $VE = 1.6.0 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ であり、周波数を含めて正弦波と同じ傾向にある。ただ、 $VE$ の波形は、 $VA$ と比較すると、鈍りが大きいので高調波成分が少ないようである。

組合せNo. 4の出力は、 $VD = 0 \text{ V}$ 、 $VE = 1.65 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ であった。No. 1と比較すると、 $VE$ は約1/10に低減されている。これも、前記と同様の素子を使用することにより、矩形波に対しても有効であることを示している。但し、信号入力VAが、No. 1よりも波形の鈍りが大きくなっている。これは、回路全体の入力インピーダンスがNo. 1と異なったことを意味する。

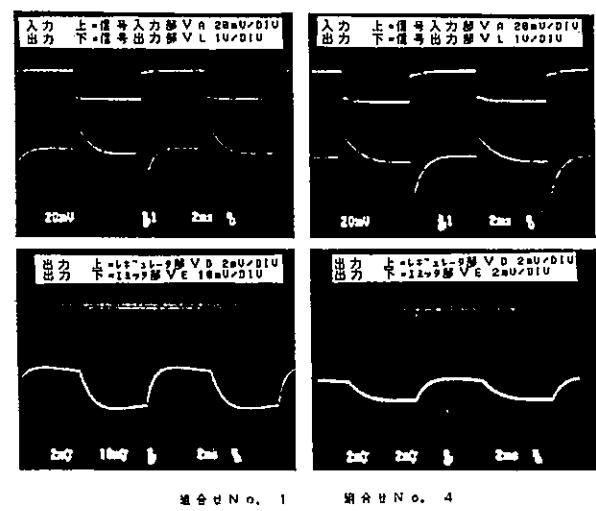


図4 100Hz 矩形波応答 (2ms/DIV)

#### 4.1.4 100 kHz 正弦波入力の応答（図5）

組合せNo. 1は、出力VD=2.55 mV<sub>P-P</sub>、VE=0.70 mV<sub>P-P</sub>であった。前記100Hzでは、VE>VDであったが、こちらはVE<VDと逆転した。値は、100kHz時VD/100Hz時VE=0.17と小さくなっていた。

No. 4では、VD=2.25 mV<sub>P-P</sub>でVE=0 V<sub>P-P</sub>であった。VDは、No. 1と比較して、約90%の減少しか得られなかった。

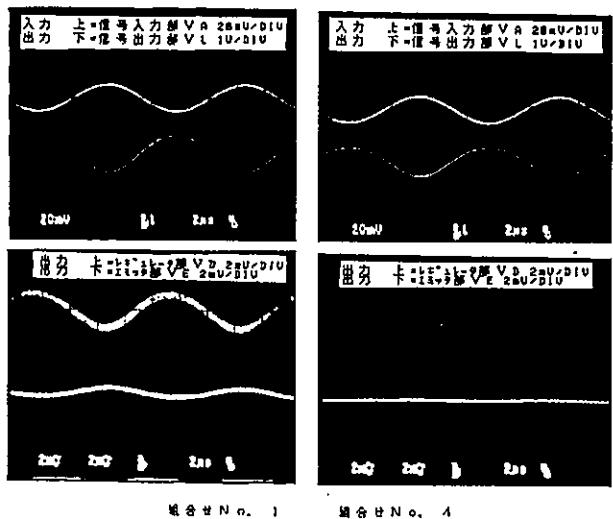


図5 100 kHz正弦波応答 (2 μs/DIV)

#### 4.1.5 100 kHz 矩形波入力の応答（図6）

組合せNo. 1は、出力VD=13.0 mV<sub>P-P</sub>、VE=3.25 mV<sub>P-P</sub>であった。この場合の特徴は、両者とも波形の立ち上がり・立ち下がりが急峻なことである。

組合せNo. 4は、出力VD=9.9 mV<sub>P-P</sub>、VE=2.80 mV<sub>P-P</sub>であった。No. 1との違いは、若干両者とも電圧が低減されている。また、VEは、No. 4の方が速く0Vに収束している点が異なる。

以上は、組合せNo. 1とNo. 4について述べたが、No. 2とNo. 3は、この中間値を示した。また、周波数は、100Hzと100kHzについて述べたが、1kHzはこの中間値を示した。

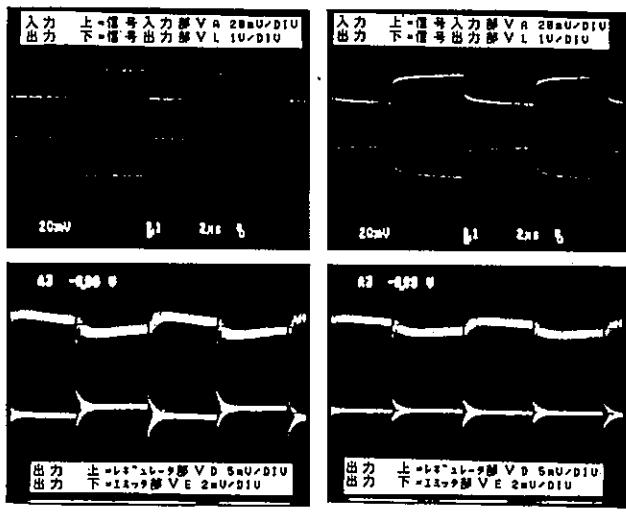


図6 100 kHz矩形波応答 (2 μs/DIV)

#### 4.1.6 2.5MHz 矩形波入力の応答（図7）

この試験は、コモンそのものの電圧変動を確認するために行った。回路素子の組合せは、No. 1とした。その結果は、入力VA=3.5 V<sub>0-P</sub>でコモンとアルミ板間の電圧VCA=600 mV<sub>P-P</sub>が発生した。VCAの波形は、VAと異なるが、周波数は一致した。このことから、高周波になれば、コモン電圧そのものが変動し、回路全体にノイズとして悪影響を与えることがわかった。他の回路との関係でいえば、該当回路から発生するノイズを最小限に抑えるには、該当回路のみの独立したアースが望ましい。逆に、外部のノイズ進入を阻止するには、外部回路のアースへは接続しないことが望ましい。

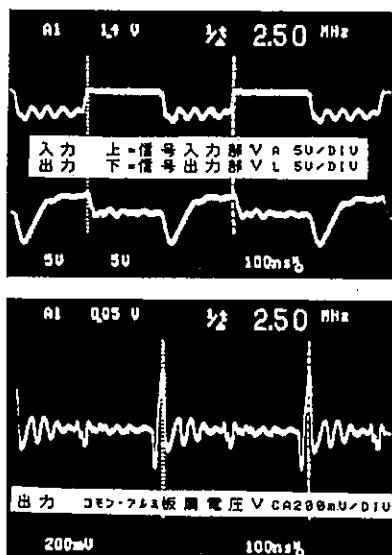


図7 2.5 MHz矩形波応答 (100ns/DIV)

## 4.2 増幅器としての周波数特性

仮にノイズ対策として、組合せNo. 4を採用した場合、非線形回路の増幅器としての周波数特性が大きな問題となる。そこで、信号入出力間の増幅度と位相角の周波数特性試験を行った。

比較のために、標準的な回路であるNo. 1も試験した。

### 4.2.1 増幅度 (図8)

増幅度は、カットオフ周波数 $f_C$ で比較した場合、No. 4が約 $f_C = 150 \sim 550$  kHzに対し、No. 1は、約 $f_C = 300 \sim 10$  MHzであった。すなわち、No. 4の帯域幅が非常に狭いことを示している。これは、No. 4が特に高域で劣っているからであるが、低域はむしろ優れている。また、平坦性は、No. 1では理想的な形をしているが、No. 4では変化がみられる。これらの原因は、ダイオード類の特に高周波特性に依存していると思われる。従って、広帯域増幅器として使う場合は、No. 4は、あまり適していない。

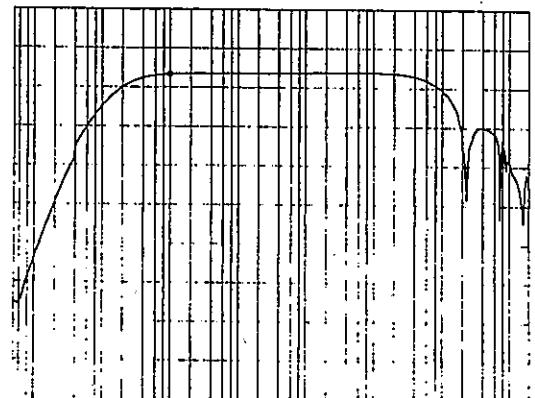
### 4.2.2 位相角 (図9)

入力VAと出力VLの位相反転は、組合せNo. 1が約20 kHzであるのに対して、No. 4は約3.5 kHzであり、No. 4が早く反転する。また、高域でも、No. 4が、位相遅れを早く発生している。この原因は、ダイオードの非線形性によると思われる。言い換えればリアクタンス分の周波数依存性に起因している。一般に、位相遅れは、高速応答が要求される場合は不利になるし、また正帰還による発振の恐れもある<sup>8)</sup>ために好ましくない。従って広帯域増幅器として使用する場合は、No. 4はあまり好ましくない。

## 4.3 周波数解析

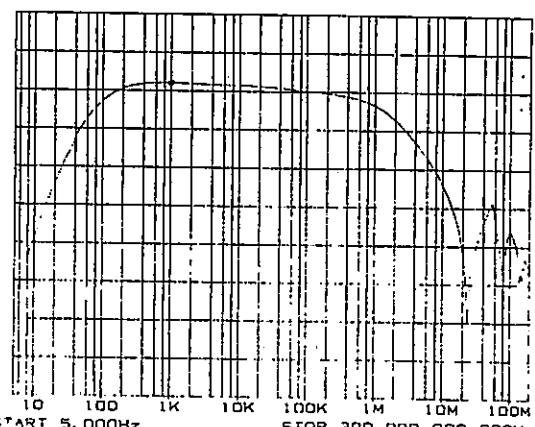
ここでは、組合せNo. 4のみについて述べる。なお、前記波形観測試験では、20 MHz以上はオシロスコープの入力側でカットしたが、この試験ではカットしなかったため、波形が太めの線で示されている。試験条件は、極力同一となるように注意したが、半導体の温度特性等により、値が

REF LEVEL 0.000000 dB  
DIV 10.000000 dB  
MARKER 1 004.000Hz  
MAG (R) -16.547dBm



組合せ No. 1

REF LEVEL 0.000000 dB  
DIV 10.000000 dB  
MARKER 1 004.000Hz  
MAG (R) -7.900dBm



組合せ No. 4

図8 増幅度の周波数特性

若干異なることを付記しておく。

### 4.3.1 100 Hz入力に対する解析

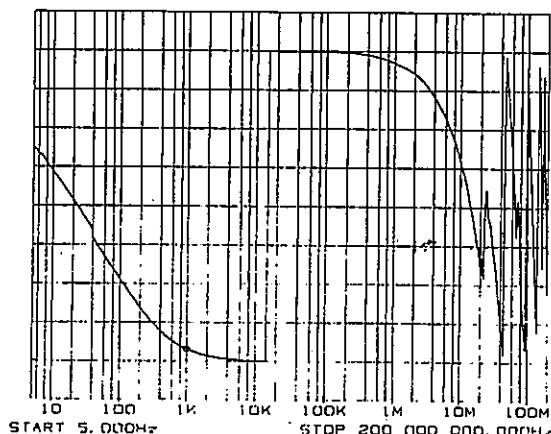
#### 1) 正弦波入力の場合 (図10)

レギュレータ部の電圧 $VD$ は、時間領域では0 Vにみえたが、周波数領域では66.0 Hzを基本波とし、第2高調波は124.5 Hz等第5高調波位まで重畠していることがわかった。この発生源は、商用電源側60 Hzと信号入力100 Hzがあるが、この場合は前者の影響と思われる。エミッタ部の電圧 $VE$ は、信号入力100 Hzの影響を受けて、時間・周波数領域とも周波数はほぼ100 Hzで一致している。

#### 2) 矩形波入力の場合 (図11)

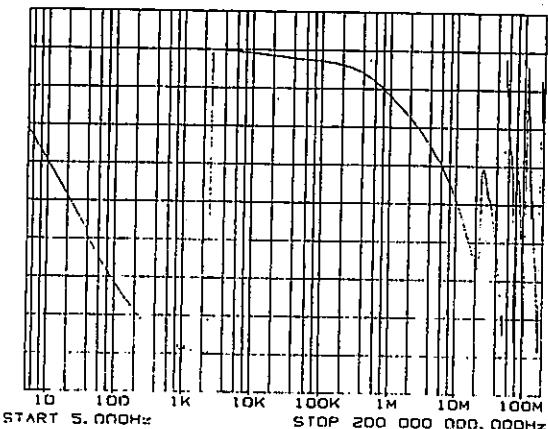
## 4.3.2 100 kHz 入力に対する解析

REF LEVEL /DIV  
0.0deg MARKER 1 004.080Hz  
45.000deg PHASE (R) -165.727deg



組合せ N. o. 1

REF LEVEL /DIV  
0.0deg MARKER 1 004.080Hz  
45.000deg PHASE (R) -172.676deg



組合せ N. o. 4

図9 位相角の周波数特性

VDの周波数解析は、前記とほぼ同様の成分となつた。VEは92 Hzを基本波とし、奇数調波と偶数調波が交互に表れる典型的な高調波特性を示した。

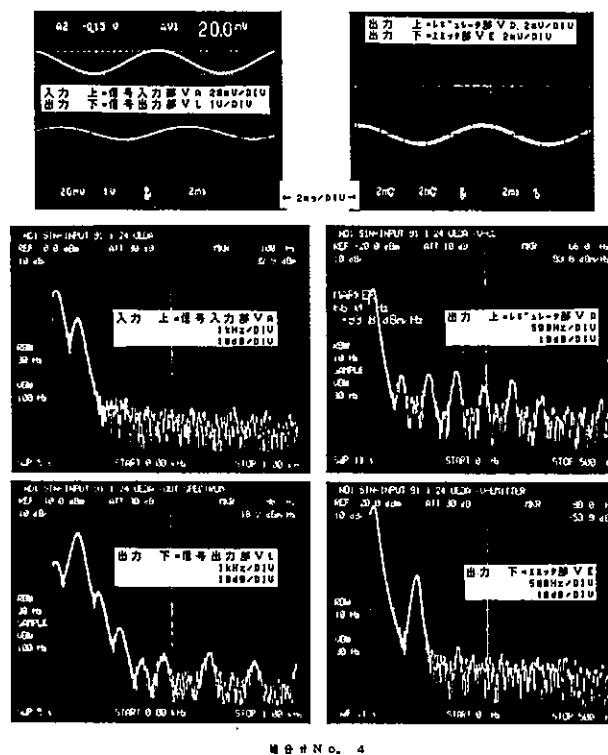


図10 正弦波 100 Hz 入力に対する周波数解析

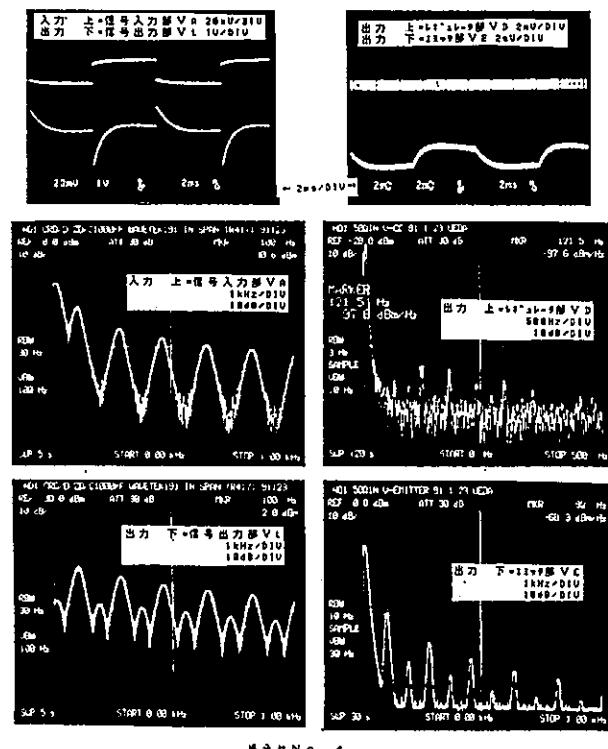
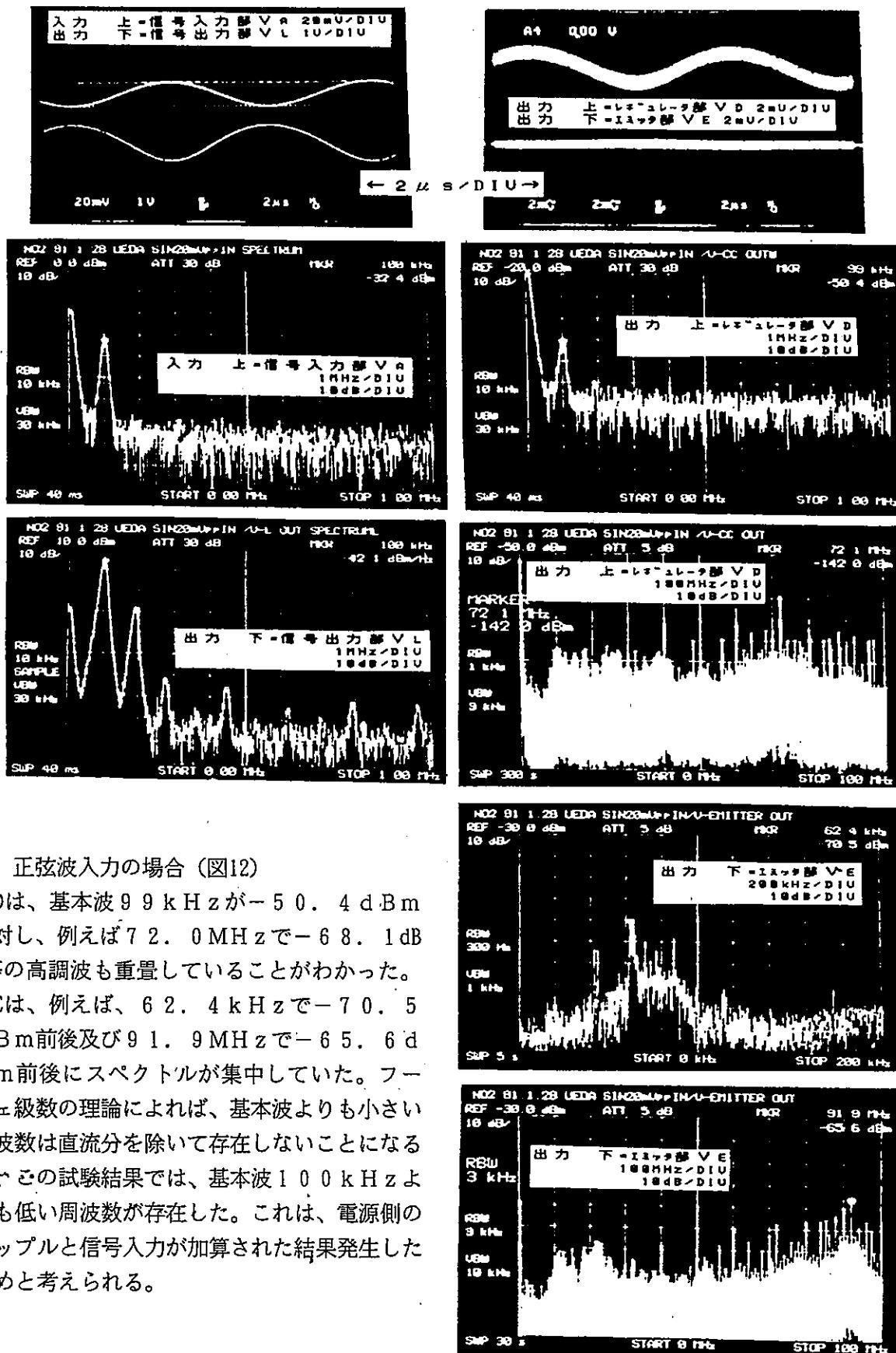


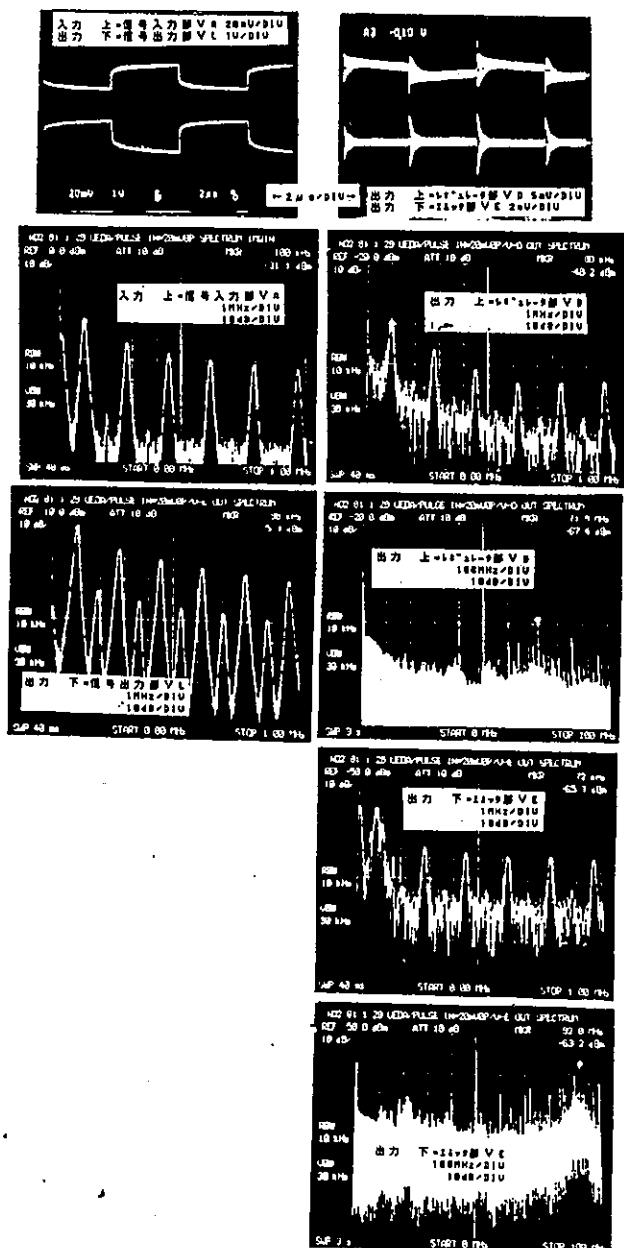
図11 矩形波 100 Hz 入力に対する周波数解析



### 1) 正弦波入力の場合 (図12)

VDは、基本波 99 kHzが-50.4 dBmに対し、例えば 72.0 MHzで-68.1 dBm等の高調波も重畠していることがわかった。

VEは、例えば、62.4 kHzで-70.5 dBm前後及び 91.9 MHzで-65.6 dBm前後にスペクトルが集中していた。フーリエ級数の理論によれば、基本波よりも小さい周波数は直流分を除いて存在しないことになるが、この試験結果では、基本波 100 kHzよりも低い周波数が存在した。これは、電源側のリップルと信号入力が加算された結果発生したためと考えられる。



組合せ N o. 4

図13 矩形波 100 kHz 入力に対する周波数解析

## 2) 矩形波入力の場合 (図13)

VDは、基本波を 98 kHz とし、ほぼ奇数次高調波が重畠している。ここでは、71.9 MHzで -67.4 dBm あり、第5高調波 448 kHzで -72.0 dBm を越えている。これは、波形の鋭い立ち上がり・立ち下がりからも、高周波領域のノイズ混入を予想できる。VEは、72 kHzで -65.3 dBm を基本波とし、ほぼ偶数次高調波が重畠している。この場合、高周波領域のノイズが低周波領域のノイズより大

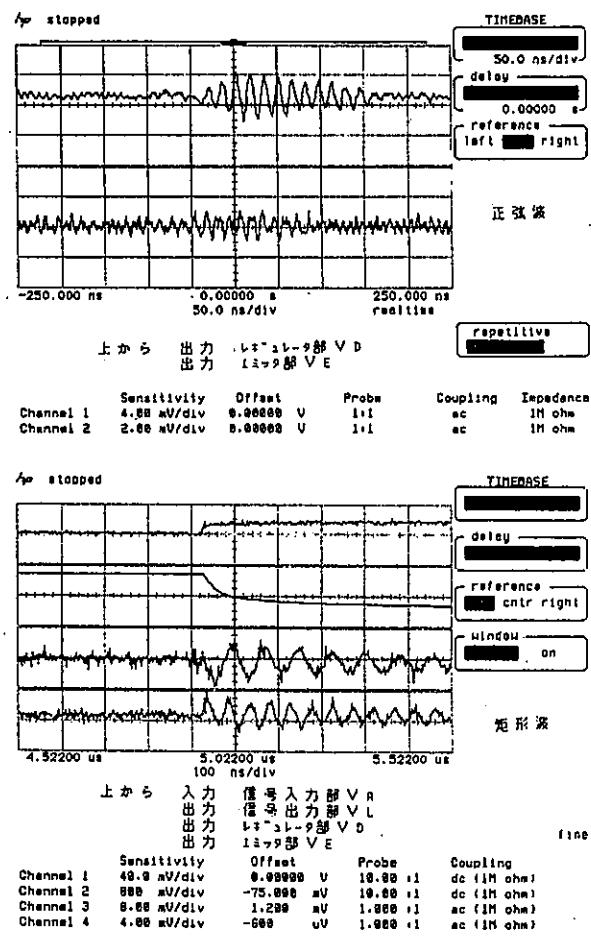
きく、例えば 92.0 MHz で -63.2 dBm と基本波よりも大きい。

## 4.4 波形の詳細 (図14)

前記周波数解析で、特に高周波領域の値を裏付けるために、波形の詳細を観測した。回路素子の組合せは、No. 4 とし、周波数は 100 kHz に限定して述べる。

### 1) 正弦波入力の場合

レギュレータ部の電圧 VD は、100 kHz を基本波形とし、この波形を更に詳細に観測すると、高周波領域での振動歪波形を重畠したものであることがわかった。この歪波形の周波数を求めるに、約 60 MHz が得られた。これは、前記のスペクトル解析とほぼ合致している。また、この他にもいろいろな歪波形が重畠していた。



組合せ N o. 4 100 kHz

図14 波形の詳細

エミッタ部の電圧  $V_E$  は、前記ではほぼ直線であったが、実際は同様に歪波の集まりであることがわかった。周波数を求めるとき、約 8.0 MHz で、前記スペクトルともほぼ一致した。

## 2) 矩形波入力の場合

信号入力立ち上がりに対する応答について観測した。VD は約 1.3 MHz、VE は約 2.0 MHz の減衰振動波形が得られた。両者とも高周波領域でのスペクトルと合致していないのは、時間の初期の部分で計算したからと思われる。すなわち時間がたつにつれて、電圧の大きさは小さくなるが、周期は短く（つまり周波数は高く）なるし、初期の波形でも数多くの高周波の波形で重畠されているため、これらのこと考慮すれば、高周波領域のスペクトルが多く表示されるはずである。

## 4.5 ノイズのモデル化とグランド法 (図15)

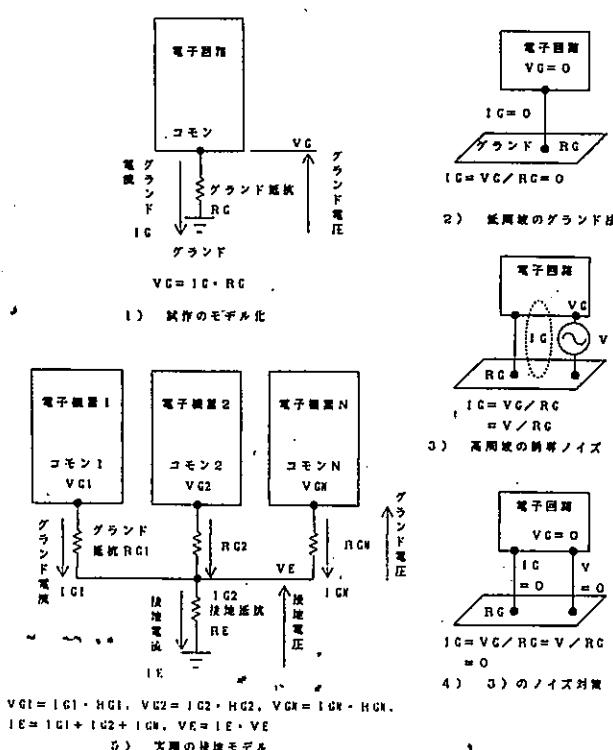


図15 ノイズのモデル化

### 4.5.1 試作のモデル化とグランド法

アルミ板は、グランドとみなせるので、以下のように記号を定める。

アルミ板を流れる電流（グランド電流） =  $I_G$

アルミ板の抵抗（グランド抵抗） =  $R_G$

コモン・アルミ板間電圧（グランド電圧） =  $V_G$

これらの間には、次の関係式が成立する。

$$V_G = I_G \cdot R_G \quad (1)$$

$I_G$  は、流さないのが理想であるが、実際は流れる可能性が高い。そこで、 $V_G$  をできるだけ小さくするには、 $R_G$  の小さな材料を使ったほうがよい。 $R_G$  は交流的にはインピーダンスであるから、周波数特性を考慮して材料選定を行う必要がある。

コモンとグランド間の接続方法は、周波数帯域で異なる。

低周波領域では、一点グランドとすることにより、コモンとグランドは同電位となり、 $V_G = 0$  V と考えられるから、(1)式から  $I_G = V_G / R_G = 0$  A となる。

高周波領域でも同様の一点グランドが適用できるかを考える。この場合は、電磁誘導等により、コモンとグランド間に電圧  $V_N$  が等価的に印加される。従って、 $V_G = V_N$  を(1)へ代入して、 $I_G = V_G / R_G = V_N / R_G$  なる電流が流れることになる。この  $I_G$  を除去するには、 $V_N = 0$  V となるように多点グランドとする。これにより、コモンとグランドを同電位に近づけることができる。ただし、コモンとグランドのインピーダンスは極力小さいことが条件となる。

### 4.5.2 実際のモデル化とグランド法

実際は、前記の原理に基づく電子機器が複数台ひとつつの接地線へ接続されているので、機器相互のノイズの影響が出てくる。すなわち、式で表すと以下のようになる。

機器 1、2、N について、順次前記と同様に記号を定める。

グランド電流 =  $I_{G1}$ 、 $I_{G2}$ 、 $I_{GN}$

グランド抵抗 =  $R_{G1}$ 、 $R_{G2}$ 、 $R_{GN}$

グランド電圧 =  $V_{G1}$ 、 $V_{G2}$ 、 $V_{GN}$

接地電流 =  $I_E$

接地電圧 =  $V_E$

接地抵抗 =  $R_E$

よって、次の式が成立する。

$$V_{G1} = I_{G1} \cdot R_{G1} \quad (2)$$

$$V_{G2} = I_{G2} \cdot R_{G2} \quad (3)$$

$$V_{GN} = I_{GN} \cdot R_{GN} \quad (4)$$

$$I_E = I_{G1} + I_{G2} + I_{GN} \quad (5)$$

$$V_E = I_E \cdot R_E \quad (6)$$

この相互の電圧・電流の影響を避けるには、別の接地線へ接続するか、機器毎単独のグランドとして、接地線へは接続しないことが考えられる。

## 5. おわりに

エミッタ接地増幅回路のバイアス変動とその低減対策について試験を行った。その結果、線形素子の代わりに定電圧・定電流用非線形素子を使えば、低減効果のあることがわかった。しかし、非線形素子の場合、利得や位相の周波数特性は、線形素子の場合よりも劣ることがわかった。一方、回路のコモン電圧そのものも変動していることがわかった。これに対する低減については、グランド方法やグランドの材料について検討する必要がある。

今後は、回路の放射性イミュニティに関する研究を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 上田直行：“接地電位および接地電流の波形観測と周波数解析－電磁ノイズ対策技術に関する研究”，本誌，No.29, PP49-59(1991)
- 2) 落合 萌：“使えるオペアンプ”，無線と実験, PP191-193(1988), 誠文堂新光社
- 3) 中山 章, ほか：“電子工学読本”, (1969), オーム社
- 4) “'86東芝半導体データブック（小信号トランジスタ編”, PP389-391(1986), (株)東芝
- 5) 大越孝敬：“基礎電子回路”, (1967), オーム社
- 6) S. シーリー：“電子管回路 上”, (1968), 岩波書店
- 7) 小郷 寛, ほか：“電子回路学”, PP87-127 電気学会
- 8) 窪田登司：“アンプ制作のノウハウ”, (1987), 日本放送出版協会
- 9) 窪田登司：“実践的電子回路入門”, エレクトロニクスライフ, PP85-89(1992), 日本放送出版協会
- 10) 平山 博：“電気回路論”, PP20-28(1985), 電気学会
- 11) : 荒木庸夫 “電磁妨害と防止対策”, (1977), 東京電機大学出版局

# ラボスケールにおける無蒸煮発酵法による米製焼酎の製造

## —焼酎製造プロセスの開発（第1報）—

中川 優・八幡紀美・西村賢了・木田建次\*・園田頼和\*

Production of Shochu from Crushed Rice by Non-Cooking Fermentation  
with Saccharifying Enzymes

### - Development of Shochu Production Processes (I) -

Masaru NAKAGAWA, Kimi YAHATA, Kenryo NISHIMURA,  
Kenji KIDA\* and Yorikazu SONODA\*

糖化酵素剤を用いた無蒸煮発酵法による米製焼酎の製造について、ラボスケールで発酵条件等の検討を行った。市販の酵素剤により基質特異性が認められ、目的の酒質から適した酵素剤を選択した。腐敗を防ぐためにクエン酸の添加を検討したが、汲み水に0.2%添加することにより雑菌汚染防止効果が認められた。酵素剤のリバーゼ活性により、もろみの高級脂肪酸エステル含量に差が見られた。蒸煮、無蒸煮発酵とも発酵所要日数は9日間で、アルコール生成量にも差は認められなかった。製品中の香気成分は無蒸煮の方が蒸煮に比べ高い値を示したが、麹を使う従来法に比べると低かった。高級脂肪酸エステルは従来法の約1/2と低かった。無蒸煮発酵法のラボスケールの仕込みにおいて、十分実用化に値する米製焼酎の製造法であることを見い出すことができた。

### 1. はじめに

焼酎製造工程においては、蒸煮及び製麴工程で大量の蒸気が消費されるだけでなく、かなりの人員や労力が必要となっている。そこで、製造コストの削減のために、原料を蒸さない無蒸煮発酵法や麹を使わず酵素剤を使用する酵素仕込法が考えられる。椎木等は無蒸煮発酵法により造られた酒は、原料の香りを良く残すと報告している<sup>1)</sup>。

また、木田等は糖化酵素を用いたイモ焼酎の製

造において、イモだけで無蒸煮発酵を行うと生芋臭が認められるが<sup>2)</sup>、蒸煮した甘藷に米を加えることにより高級脂肪酸エステルの生成量が増加し、切れの良い新しいタイプの焼酎を製造することが出来るとしている<sup>3)</sup>。これは、米を添加することにより高級アルコールの生成経路が、アミノ酸合成経路（over flow 説<sup>4, 5)</sup>）からEhrlich経路<sup>5, 6)</sup>へ転換するためである<sup>3)</sup>。

本研究では、上述した報告から米焼酎の無蒸煮発酵が可能と考えられたので、以下の手順で検討した。

- (1) 市販の糖化酵素の選択
- (2) 小仕込試験装置による無蒸煮発酵の検討  
小仕込試験の結果、仕込水にクエン酸を加える

\*熊本大学工学部

ことにより無蒸煮発酵法による米製焼酎の生産が可能となった。また、市販の糖化酵素にはグルコアミラーゼ以外の酵素活性が含まれており、使用する酵素により発酵速度の違いは勿論のこと、もろみ中の香味成分にも若干の違いが出ることが分かった。

今回はこれらの結果を含めた小仕込試験について報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用菌株

酵母は焼酎用協会2号酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)を使用した。また、従来法で使用した焼酎用白麹(*Aspergillus kawachi*)は東肥醸造株式会社(熊本市)から分与されたものである。

### 2.2 使用培地及び原料水

酵母用培地としてBrix10の麹汁培地を用いた。

また、使用した原料米は破碎米(多用途米)であり、そのデンプン値は73(全糖81%)であった。

### 2.3 使用酵素

使用した酵素は表1に示す7種類の*Rhizopus*及び*Bacillus subtilis*起源の市販酵素であり、主として清酒及び焼酎用糖化酵素である。

表1 市販酸素剤の酸素力価

酵素 起源	グルコアミラーゼ					(U/mgタンパク)		
	基質					$\alpha$ -アミラーゼ	酸性プロテアーゼ	リバーゼ
	可溶性 デンプン	コーン デンプン	コメ デンプン	カンショ デンプン	コムギ デンプン	基質 可溶性 デンプン	基質 カゼイン	基質 オリーブ オイル
A <i>Rizopus</i>	13.4	2.0	2.5	1.9	1.8	733.3	36.1	6.9
B <i>B. subtilis</i>	12.5	1.1	3.2	1.4	3.9	505.3	3.5	0.3
+ <i>Rizopus</i>								
C <i>Rizopus</i>	11.4	1.3	3.6	1.6	2.7	444.9	4.9	1.3
+ <i>B. subtilis</i>								
D <i>Rizopus</i>	14.9	2.0	1.7	1.1	1.3	-	-	-
E <i>Rizopus</i>	9.4	2.1	2.5	1.5	2.8	255.4	10.5	0.5
F <i>Rizopus</i>	9.7	2.1	3.2	1.8	2.8	-	-	-
G <i>Rizopus</i>	9.8	1.4	2.5	1.9	2.0	210.7	5.1	1.4

グルコアミラーゼ: 1UL = 1  $\mu$ mol直接還元糖/分

$\alpha$ -アミラーゼ: 1Uは10mgの可溶性デンプンを加水分解し、吸光度(600nm)を0.4までさげるのに必要な酸素量

酸性プロテアーゼ: 1U = 1  $\mu$ g チロシン/分

リバーゼ: 1U = 2  $\mu$ g 脂肪酸/分

## 2.5 従来法による焼酎製造

麹米43g、酒母9ml及びクエン酸を含まない汲み水43mlを500ml三角フラスコに入れ、25°Cの恒温水槽中で一次仕込みを行った。5日後に、蒸煮米108g(乾物として)及び汲み水175mlを追加し、同一条件で二次仕込みを行った。

## 2.6 蒸留方法

もろみ290gを1lナス型フラスコに入れ、蒸気を導入することにより常圧蒸留を行った。蒸留は1回を行い、145mlの留出液を採取した。蒸気は蒸留水を丸底フラスコに入れマントルヒーターで加熱することにより得た。

一方、減圧蒸留は1lロータリーエバポレータを用いて、温度45°C、気圧30Torrで行った。

なお、冷却管には0°Cの冷水を常時通水した。

## 2.7 酵素活性の測定

### 2.7.1 グルコアミラーゼ活性

JIS K 7001糖化用アミラーゼ試験法<sup>7)</sup>に準じて測定した。振盪(反応)はモノー型振盪器を使用し、反応温度は30°C、反応時間は40分とした。基質溶液は2%デンプン質溶液5ml及び0.1Nリン酸緩衝液(PH4.0)4mlを混和し調整した。

また、酵素剤溶液はタンパク質濃度が0.25g/lとなるように調整し、基質溶液に1ml添加した。反応後、1N NaOH溶液0.6mlを加え反応停止を行い、生成した還元糖量を酵素力価の指標とした。

なお、酵素力化の1単位は、1分間に1μmolの還元糖を生成する値と定義した。

### 2.7.2 α-アミラーゼ活性

改変Wohlgemuthの方法<sup>8)</sup>に従った。反応は40°C、PH4.5の条件下で行った。力価1単位は、10mgのアミロース含む基質溶液の吸光度(600nm)を30分後に0.4まで低下させる酵素量とした。

### 2.7.3 酸性プロテアーゼ活性<sup>9)</sup>

2%カゼイン溶液2mlに、酵素溶液2mlを加え10分間反応させ、反応の停止には0.4M TCA溶液(4ml)を使用した。酵素力価1単位は、1分間に

チロシン1μg相当を生成する酵素量とし、カゼイン溶液の調製は国税庁所定分析法<sup>10)</sup>に従った。

### 2.7.4 リパーゼ活性

JIS K 0601工業用リパーゼ試験法の方法<sup>10)</sup>に従った。乳化基質溶液5mlに酵素溶液1mlを加え20分間反応させ、反応停止にはアセトンエタノール混合溶液(10ml)を使用した。反応停止後、1/20N NaOH溶液10ml、アセトンエタノール混合溶液10ml、フェノールフタレイン溶液1~2滴を加え、1/20N HCl溶液で逆滴定し、滴定量から酵素活性を算出した。

## 2.8 分析方法

もろみ中のエタノール濃度及び低沸点香味成分は、高峯等の方法<sup>2)</sup>に記載されたガスクロマトグラフィー(GC)により定量した。ただし、酢酸イソアミルについてはヘッドスペース法<sup>2)</sup>により定量を行った。

また、もろみの中高沸点香味成分は、蒸留後、留出液50mlをエーテルで抽出しGCにより定量した。蒸留して得られた製品(以後、製品とする)についても同様に分析を行った。

もろみ中の全糖及び酸度についても高峯等の報告<sup>2)</sup>に記載された方法により測定した。また、有機酸成分は高速液体クロマトグラフを用いたポストラベル法<sup>11)</sup>で分析した。酵素剤のタンパク質含量は、ローリフォーリン法<sup>12)</sup>により分析した。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 無蒸煮発酵法で使用する酵素剤の選択

表1に示したように種々デンプン質原料を基質とし、それぞれの酵素剤の糖化活性を調べた。基質が異なると各種酵素剤の糖化力も大きく異なることから、酵素剤は焼酎製造に用いるデンプン質原料により選択されなければならないことが示唆された。しかし、糖化力だけで使用する酵素を選択することは、発酵期間中における酵素の安定性などから問題があると考えられた。

そこで、7種類の酵素剤を用いて実際に無蒸煮発酵法による米からの焼酎製造試験を行うことに

した。また、参考として後述する発酵試験において速度面で優れていた上位5種類の酵素剤のアミラーゼ活性、酸性プロテアーゼ活性及びリパーゼ活性を測定し、併記した。

### 3.2 無蒸煮発酵におけるクエン酸添加の影響

従来法では麴菌が生成するクエジ酸及びクエン酸によるpH低下により雑菌汚染が防止されるといわれている。また、クエン酸は蒸留により製品に持ち込まれる恐れがないことから、無蒸煮発酵を安定して行わせるために汲み水へのクエン酸の添加効果について検討した。

図1に示したように、クエン酸を汲み水に対して0.2%添加した場合、無添加に比べて発酵速度は向上した。しかし、0.4%添加すると発酵速度は逆に低下した。発酵速度の低下はクエン酸そのものによる影響か、もしくはクエン酸添加に伴うpH低下によるものと考えられた。クエン酸無添加での発酵速度の低下は、汲みの有機酸含量（特に乳酸及び酢酸）が0.2%添加した場合に比べて増加していることから、雑菌汚染によるものと考えられた。なお、0.2%添加の乳酸及び酢酸濃度はそれぞれ540、190mM/lで、無添加では2,030mg/lであった。

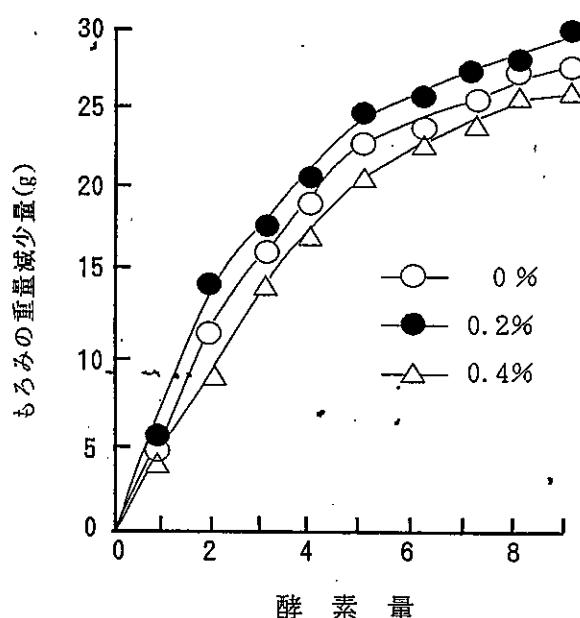


図1 無蒸煮発酵における酵素量の影響  
(酵素剤A:0.25gタンパク質/100g破碎米)

### 3.3 酵素剤添加量の検討

0.2%のクエン酸を含む汲み水を用いて、7種類の酵素剤の添加量を変化させ無蒸煮発酵試験を行った。図2の縦軸に示したもろみの減少速度(g/日)は、発酵開始から4日めまでに減少したもろみの重量から算出した。横軸の酵素添加量は破碎米100gに対する酵素剤中のタンパク質濃度である。

酵素剤をタンパク質として0.1g以上添加すると酵素量による発酵速度の変化は認められなかったが、添加量0.05gでは酵素間で発酵速度に有意差が見られた。

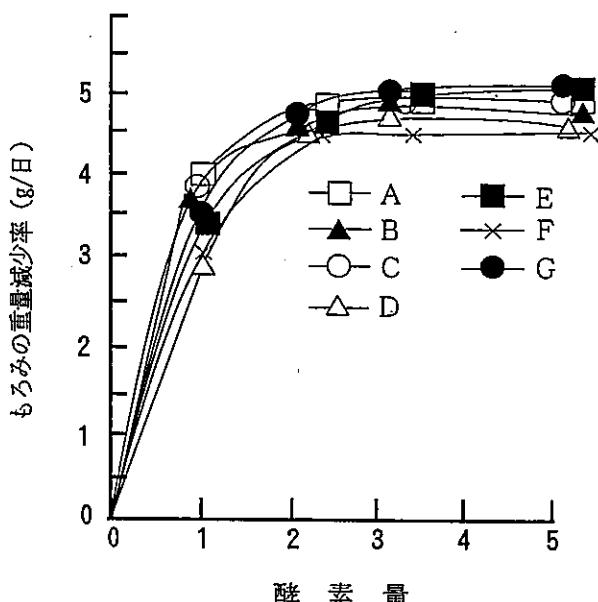


図2 無蒸煮発酵における酵素量の影響

{ 酵素量1:0.05g タンパク質/100g 破碎米  
もろみの重量減少率: 発酵開始から4日目  
までの平均(1日当たり)重量減少量 }

そこで、添加量0.05gにおいて発酵速度の優れていた上位5種類の内4種類の酵素について、発酵速度の経日変化を算出し、図3に示した。縦軸は単位時間当たりのもろみの重量減少率(g/日)を示しているが、発酵開始時に発酵速度の早いタイプ(酵素剤A、C)と発酵後期においても発酵速度がある程度持続するタイプ(酵素剤E、F)に大別された。前者のタイプに属する酵素剤のα-アミラーゼ活性は、他の酵素剤に比べ高いことから、アミロースの末端部分が増加し、その結果、糖化

速度及び発酵速度が向上したものと考察される。

一方、後者のタイプの酵素剤は他の酵素剤に比べ、グルコアミラーゼの安定性において優れていたと思われる。

前者のタイプは雑菌汚染対策から有利であり、後者のタイプは発酵歩合の点から有利と考えられたので、それこれから1種類の酵素剤、すなわちA及びEを選択し、以後の試験に使用した。

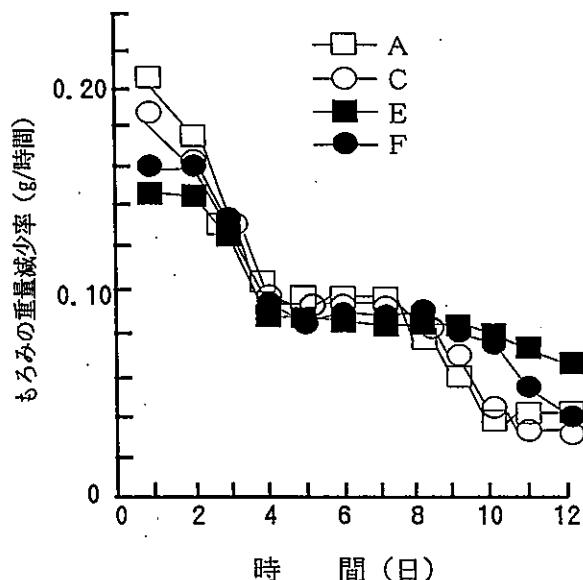


図3 各酵素剤の無蒸煮発酵法での発酵速度

### 3.4 もろみ及び製品の香味成分の比較

酵素添加量0.1g(タンパク質/100g 破碎米)、発酵温度25°Cの条件下で小仕込試験を行った。9日後にはもろみの重量減少が停止したので、発酵が終了したものと判断し、もろみ及び製品の香味成分の分析を行った。

表2はもろみ中の低沸点香味成分以外にエタノール濃度及び酸度を示し、また、表3はエタノール濃度を25%(V/V)に調製した製品の中高沸点香味成分を示している。ただし、製品はもろみを常圧蒸留及び減圧蒸留して得られたものである。

表2に示したように、生成されたエタノール濃度は両酵素ともほとんど変わらず、破碎米のテンブン価から算出した発酵歩合は酵素剤A及びEでそれぞれ94.2、94.0%であった。また、高級アルコールについても使用した酵素間にほとんど差は

見られなかった。これは、両酵素剤のプロテアーゼ活性に差はあるが(表1参照)、酵素剤Eのプロテアーゼ活性でも破碎米中に含まれているタンパク質が十分加水分解され、アミノ酸が増加し、その結果、高級アルコールがEhrlich経路により

表2 無蒸煮発酵法によるもろみの低沸点香味成分

	酵素剤A (mg/l)	酵素剤E (mg/l)
エタノール(g/l)	142.2	141.9
pH	3.9	3.8
酸度(m/l)	7.6	8.2
アセトアルデヒド	1445.5	123.4
n-ブロピルアルコール	970.7	950.4
酢酸エチル	104.6	94.5
イソブチルアルコール	202.4	184.3
イソアミルアルコール	436.9	438.9
活性アミルアルコール	247.1	219.9
酢酸イソアミル	4.0	4.1

酵素量: 0.1g タンパク質/100g 破碎米

クエン酸濃度: 游み水に対して0.2%

生成されたため大差なかったと考えられる。

一方、常圧蒸留により得られた製品についてみると表3に示したように低中沸点香味成分に大差ないが、高沸点香味成分特にリノール酸エチル及びオレイン酸エチルに差がみられた。一般に米には乾物当り2.4%の脂質が含まれており<sup>13)</sup>、それを構成する脂肪酸の主たる成分はリノール酸及びオレイン酸である<sup>13)</sup>。したがって、表1に示したように酵素剤Aのリバーゼ活性がEの約15倍も

表3 無蒸煮発酵法による製品(25% EtOH)の香味成分

香 味 成 分	常圧 蒸 留		減 圧 蒸 留	
	酵素剤A	酵素剤E	酵素剤A	酵素剤E
アセトアルデヒド	155.4	113.4	129.2	152.3
n-ブロピルアルコール	1,498.9	1,527.9	1,559.9	15,524
酢酸エチル	461.3	615.3	529.8	677.1
イソブチルアルコール	358.1	374.9	483.2	475.0
イソアミルアルコール	494.6	470.0	564.6	527.9
活性アミルアルコール	255.5	247.0	265.9	274.0
酢酸イソアミル	5.4	5.5	4.4	4.9
β-フェニルアルコール	127.4	122.3	75.5	74.1
カブリル酸エチル	1.4	1.5	0.5	0.5
酢酸-β-フェニル	2.0	2.2	1.7	1.9
ミリストン酸エチル	1.7	1.4	N.D.	N.D.
リノール酸エチル	12.4	8.1	0.5	0.2
オレイン酸エチル	6.0	4.0	N.D.	N.D.
ステアリン酸エチル	1.7	1.0	N.D.	N.D.

酵素量: 0.1g タンパク質/100g 破碎米

クエン酸濃度: 游み水に対して0.2%

N.D.: 不検出

あることから、生成される高級脂肪酸エチルの濃度に違いが出たものと推察される。しかし、減圧蒸留で得られた製品についてみると、中高沸点香味成分、特に高沸点香味成分は減圧蒸留ではほとんど留出されないため、低中高沸点香味成分の組成は、使用する酵素剤に関係なくほとんど変わらないものとなった。

### 3.5 蒸煮発酵法及び従来法との比較

破碎米を蒸煮する以外は無蒸煮発酵法と全く同一条件で、ただし酵素剤Aを用いて蒸煮発酵法による試験を行った。蒸煮することにより発酵開始時の速度は向上したが、発酵に要した日数は無蒸煮発酵と変わらず9日間であった。また、生成されたエタノール濃度についても表4に示したように143.1g/lと大差はなかった。(表2参照)

香味成分について表4及び5に示し、従来法で得られたもろみ及び製品の分析値も併記した。蒸煮することによりもろみの低沸点香味成分、特にイソアミルアルコール及び活性アミルアルコールは約1/2と大幅に低下した。また、その低下によりイソアミルアルコールから生成される酢酸イソアミルも約1/2に低下していた。これは蒸煮により原料中に含まれていた遊離脂肪酸が揮発したためと考えられる<sup>15)</sup>。しかし、従来法でも原料は蒸煮するがもろみ中の低沸点香味成分はほとんど変わらず、逆にイソアミルアルコール及び酢酸イソアミルは増加していた。来れば、麹菌により糖化酵素以外にも種々の酵素が生成され<sup>16)</sup>、その結果発酵期間中に結合脂質が加水分解され、遊離の脂肪酸が増加したためと考えられる(表2及び4参照)。

製品についても蒸煮発酵法では無蒸煮発酵法に比べて低沸点香味成分は減少していることから、無蒸煮発酵法で得られた製品の方が従来法で得られた製品にむしろ近かった。しかし、両法(無蒸煮、従来)で得られた製品の香味成分を比較すると、低沸点香味成分では酢酸イソアミルは従来法の約3/4と低かった。中高沸点香味成分ではβ-フェネチルアルコール濃度は無蒸煮発酵法の方が約1.5倍であったが、物理的な味<sup>17)</sup>を付与すると言われるリノール酸エチルやオレイン酸エチルで

は逆に従来法の方が約2倍高かった。(表3及び

表4 蒸煮発酵法及び従来法によるもろみの低沸点香味成分(mg/l)

	蒸煮法 酵素剤A	従来法 (麹使用)
エタノール(g/l)	143.1	144.2
pH	3.8	3.6
酸度(m/l)	8.4	9.4
アセトアルデヒド	75.1	65.4
n-プロピルアルコール	862.1	834.1
酢酸エチル	89.0	256.9
イソブチルアルコール	204.2	188.9
イソアミルアルコール	209.7	599.7
活性アミルアルコール	153.2	252.8
酢酸イソアミル	2.2	6.7

酸素量:0.1g タンパク質/100g 破碎米

5参照)。

以上、無蒸煮発酵法で得られた製品は蒸煮発酵法で得られたものと比較して香味成分に富んでいた。しかし、従来法で得られたものと比較すると酢酸イソアミル及び高級脂肪酸エチル濃度は3/4から1/2と低かった。

表5 蒸煮発酵法及び従来法による製品(25%EtOH)の香味成分(mg/l)

	蒸煮法 酵素剤A	従来法 (麹使用)
アセトアルデヒド	96.4	64.5
n-プロピルアルコール	1,283.9	1,487.9
酢酸エチル	284.5	370.9
イソブチルアルコール	365.3	371.5
イソアミルアルコール	240.2	440.2
活性アミルアルコール	165.3	162.9
酢酸イソアミル	2.7	7.9
β-フェネチルアルコール	106.7	98.2
カプリル酸エチル	1.1	1.1
酢酸-β-フェネチル	1.5	2.7
ミリストン酸エチル	1.2	4.4
リノール酸エチル	9.8	23.4
オレイン酸エチル	4.2	12.8
ステアリン酸エチル	1.3	-

酸素量:0.1g タンパク質/100g 破碎米

-:未測定

## 4. おわりに

糖化酵素を用いた無蒸煮発酵法により米焼酎製造を検討した。得られた結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 市販酵素剤を選択するためにグルコアミラーゼ活性を測定したが、使用する基質（デンプン質原料）により活性が大きく変わった。
- 2) 渣み水にクエン酸を0.2% (W/V) になるように加えることにより無蒸煮発酵が可能となった。
- 3) 小仕込試験により市販酵素剤の評価を行ったが、100g破碎米に対してタンパク質として0.1g以上になるように酵素剤を添加すると発酵速度に大差なく、9日間で発酵は終了した。しかし、タンパク質として0.05g添加した場合は発酵速度に差が認められた。発酵速度の経日変化を調べたところ、発酵開始時に発酵速度の早いタイプと、発酵後期においても発酵速度がある程度持続するタイプに大別された。前者の特徴は、 $\alpha$ -アミラーゼ活性が他の酵素剤に比べて高かった。
- 4) 選択した酵素剤A及びEを用いて小仕込試験を行った。両者とも発酵歩合は約94%であったが、蒸留しけ得られた製品中の高沸点香味成分であるリノール酸エチル及びオレイン酸エチルに差がみられ、酵素剤Aを使用した時の方が高かった。これは、酵素剤Aに含まれるリバーゼ活性が酵素剤Eに比べ15倍も高かったためであると考えられる。
- 5) 酵素剤Aを用いて原料米を蒸煮する効果について検討した。開始時の発酵速度は向上するが、発酵に要する日数は9日間と変わらず、また生成されるエタノール濃度も143g/lと変わらなかった。
- 6) もろみ及び製品の香味成分の比較を行った結果、無蒸煮の方が、蒸煮に比べ香味成分に富んでおり、従来法で得られたものに近かった。しかし、香味成分で最も重要な酢酸イソアミルが5.4mg/lと従来法の7.9mg/lに比べ低く、高級脂肪酸エチルも約1/2と低い値を示した。

## 文 献

- 1) 椎木敏、岩野君夫、三上重明、清水慎一郎：醸協, 82(9), 651(1987)
- 2) 高峯和則、木田建次、園田頼和、生田六也、塙田定清：醸協, 84(8), 560(1989)
- 3) 高峯和則、木田建次、園田頼和、生田六也、塙田定清：醸協, 85(11), 825(1990)
- 4) T. Ayrapaa : J. Inst. Brew., 71, 341(1965)
- 5) 吉沢 淑：醸協, 75(6), 451(1980)
- 6) 吉沢 淑：醸協, 61(6), 481(1966)
- 7) 日本工業標準調査会：工業用アミラーゼJIS K 7001, 5(1990), 日本規格協会
- 8) 大阪大学工学部醸酵工学科：醸酵工学実験書, 187, 189
- 9) 注解編集委員会：国税庁所定分析法注解, 222 (1974)
- 10) 日本工業標準調査会：工業用リバーゼの活性測定方法JIS K 0601, 5(1988), 日本規格協会
- 11) K. Kida, Ikbal, Y. Sonoda, M. Kawase and T. Nomura : J. Ferment. Bioeng., 72, 54, (1991)
- 12) O. H. Lowry, N. J. Rosebrough, A. L. Farr and R. J. Randall : J. Biol. Chem., 193, 265(1951)
- 13) 平 宏和：化学と生物, 27, 168(1989)
- 14) 坂口正明：バイオサイエンスとインダストリー, 47, 1058(1989)
- 15) 吉沢 淑、石川雄章：醸酵工学, 63, 161(1985)
- 16) 原田祥司、瀬頭一平、吉田 肇、若林邦宏、伊藤 清、蓮尾徹夫、宮野伸之：醸協, 83 (7), 485(1988)
- 17) 小原正美：食品の味, 143(1967), 光琳書院

# 中間規模プラントを用いた無蒸煮発酵法による米製焼酎の製造

## —焼酎プロセスの開発（第2報）—

西村賢了・中川 優・八幡紀美・木田建次\*・園田頼和\*

Production of Shochu from Crushed Rice by Non-Cooking Fermentation  
Using a Bench-scale Plant.

- Development of Shochu Production processes(II) -

Kenryo NISHIMURA, Masaru NAKAGAWA, Kimi YAHATA,  
Kenji KIDA\* and Yorikazu SONODA\*

### 1. 緒 言

大部分の中小の焼酎醸造場では人手不足から省力化が望まれている。焼酎の製造工程における原料の前処理工程、製麴工程は全仕事量の30%を占める人手のかかる工程である。また最近では、焼酎はどちらかと言えばマイルドなものが好まれる傾向にある。そのために醸造場では減圧蒸留機やイオン交換機を設置し、嗜好マッチした製品を作ることに傾注している。そのために設備投資に伴う製造コストのアップは回避できないのが現状である。

そこで、我々は省力的、省エネルギー的で、且つマイルドな焼酎を製造するシステムを確立するために、糖化酵素を用いた無蒸煮発酵法について検討してきた<sup>1)</sup>。その結果、クエン酸を加えることにより無蒸煮発酵が可能となり、また使用する酵素剤により発酵経過に違いが見られた。さらに、もろみ及び製品の香気香味成分、特に高級脂肪酸エステルの含量は、使用する酵素剤中のリバーゼ

活性により大きく異なることがわかった。

本章では、小仕込試験の結果に基づき中間規模プラントを用いて実用化するための検討を実施した。実施に先立ち、まず小仕込試験により発酵温度や酒母添加量の検討を行った。その後、中間規模装置により発酵試験を行い、特に香気香味成分の経時変化を追跡した。また、常圧や減圧蒸留により得られた製品の官能試験を行い、実用化の可能性を探った。

### 2. 実験方法

#### 2.1 使用菌株

酵母として協会焼酎酵母である Saccharomyces cerevisiae SK 2号株を使用した。

#### 2.2 使用培地及び原料米

酒母用培地としてBrix 10の麹汁培地を用いた。また、発酵試験で使用した原料米は破碎米(多用途米)であり、そのデンプン価は73(全糖81%)であった。

#### 2.3 使用酵素

使用した酵素は、前報で選択した Rhizopus 起

\*熊本大学工学部

源の市販酵素剤A及びEの2種類の中で、リバーゼ活性の低かった酵素剤Eを使用した。

#### 2.4 小仕込試験

浸漬米90g(乾物として)、0.2%(W/V)のクエン酸を含む汲み水135ml及び酵素剤E 0.181g(破碎米100gに対してタンパク質として0.1gとなる)を300ml容三角フラスコに加えた後、所定量の酒母を加えた。その後、三角フラスコの上部にシリコングム栓を介してマイセル管を連結した後、所定温度の恒温水槽に浸漬した。三角フラスコを1日2~3回手で攪拌することにより発酵試験を行い、発酵温度及び酒母添加量の検討を行った。

上述した発酵試験に使用した酒母は、蒸煮滅菌した酒母用培地100mlに焼酎酵母SK2を1白金耳植菌した後、25°Cで20時間振盪培養したものである。また、浸漬米は破碎米90gを水道水で3回洗浄した後、一晩水道水に浸漬し、仕込み1時間前に木綿を敷いたザルで水切りしたものである。汲み水は水道水であり、雑菌汚染防止のために0.2%のクエン酸を添加した。

#### 2.5 中間規模試験

図1に示した中間規模装置を用いて無蒸煮及び蒸煮発酵法による焼酎製造を検討した。発酵槽は実容積130lのステンレス製容器で、冷却水(温度4°C)及び温水(温度30°C)により25°Cになるように制御された水道水に一夜浸漬した破碎米50Kg、0.2%(W/V)のクエン酸を含む汲み水75l(汲み水歩

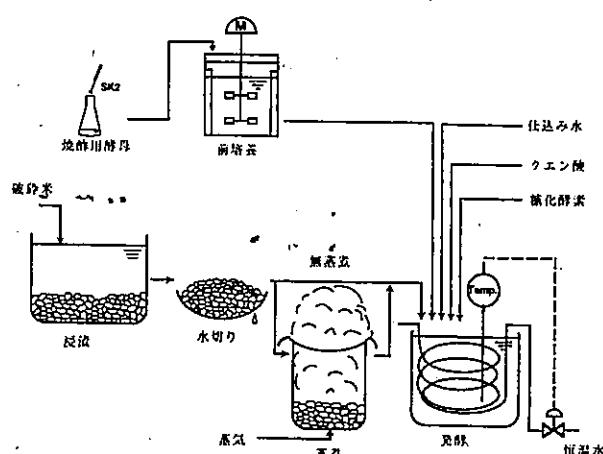


図1 中間規模プラント試験の概要図

合、150%)及び酵素剤E 100.6g(0.1g/100g破碎米)を発酵槽に加えた後、酒母4.5l加え、25°Cの条件で無蒸煮発酵を行った。また、比較試験として30分間蒸煮した浸漬米を用いて蒸煮発酵試験を行った。両試験とも一日に2~3回權でもろみを攪拌した。

本発酵試験で使用した酒母は、小仕込試験と同様にして調製した酒母100mlを、滅菌した麴汁培地18lを含んだ30l発酵槽に添加した後、25°C、通気量0.1vvmの条件で20時間好気培養したものである。

#### 2.6 蒸留方法

発酵終了醪120lを等分した後、一台で常圧及び減圧蒸留ができる100l蒸留機(KI式真空減圧焼酎蒸留装置)にもろみ60lを入れ、蒸留した。常圧蒸留は、もろみ最終温度99°Cで1時間から1時間15分かけて行った。また、減圧蒸留は初発温度35°Cから最終温度43°Cとなるように、1時間15分から1時間30分かけて行った。

精製は、蒸留した流出液を2°Cにおいて10日間放置した後、No.2のろ紙でろ過することにより行った。このろ過液に水道水を加え、エタノール濃度25%(v/v)になるように調整したものを製品とした。

#### 2.7 分析方法

使用した酵素剤Eをグルコアミラーゼ活性は、前報で報告したようにJIS-K7001糖化用アミラーゼ試験法<sup>2)</sup>に準じて測定した。

もろみの酸度の分析は、国税庁所定分析法注解により行った。すなわち、試料5mlをN/10水酸化ナトリウムで滴定し、pH8.4を終点としたとき、次式により酸度として表示した。

$$\text{酸度} = a(\text{滴定ml数}) \times F(\text{規定度}) \times 10/5$$

もろみ中のエタノール濃度は、イソプロパノールを内部標準液とし、ポラパックQを充填したカラム( $\phi 3\text{mm} \times 1\text{m}$ )を装着した検出器FID付のガスクロマトグラフ(GC-7A、島津)により分析した。また、酢酸イソアミルとカプロン酸エチル以外の低沸点香味成分は、西谷の方法<sup>3)</sup>に従い直接注入法

により分析した。酢酸イソアミルとカプロン酸エチルは、ヘッドスペース法によるガスクロマトグラフィーにより定量した。すなわち、30ml容バイアル瓶にもろみ5gもしくは製品5ml加え、これに内部標準液(1000mg/ml n-アミルアルコール溶液)1mlを入れ、セプタムとアルミキャップで密封した後、50°C、20分間加温後、そのヘッド・スペース・ガス1mlをヘッドスペース・ガスクロマトグラフ(14A-HHS-2A、島津)に注入した。分析条件は、昇温条件(50°C→120°C、昇温速度5°C/min)以外は前報<sup>1)</sup>と全く同じとした。

もろみ中の中高沸点香味成分は、蒸留後、留出液50mlにエーテル60mlを加え抽出した後、ガスクロマトグラフにより定量した。蒸留して得られた製品についても留出液と同様にして分析した<sup>3)</sup>。

もろみ中のグルコース濃度は、Fキット(山之内製薬)を用いたグルコスタット法により分析した。測定原理は、①Glucose + ATP → G-6-P + ADP ②G-6-P + NADP → グルコン酸-6-リン酸 + NADPH + H<sup>+</sup>であり、生成したNADPHの量を340nmの吸光度の増加で定量し、グルコース濃度を測定した。

また、有機酸成分は高速液体クロマトグラフを用いたポストラベル法<sup>4)</sup>で分析した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 小仕込試験での諸条件の検討

中間規模試験を行う前に、小仕込試験で発酵温度、酒母添加量などの検討を行った。

##### 3.1.1 発酵温度の検討

図2は、発酵速度に及ぼす発酵温度の影響を示している。無蒸煮では蒸煮に比べて低温での発酵速度は遅いが、発酵温度が高くなるほど大きくなり27°Cで平均0.237g/l・hとなった。発酵10日間での重量減少量は蒸煮、無蒸煮ともに27°C以上で減少した。これは、図3に示したように酵素剤Eの至適温度は35°Cにあることから、酵素剤そのものの熱安定性、もしくは焼酎酵母SK-2の熱安定性に問題があるものと思われた。なお、発酵速度は、発酵開始後3日間のもろみ重量減少量から最小二乗法で算出した。

表1は、発酵終了後のもろみ中の低沸点香味成分の分析値を示しているが、全ての香味成分において無蒸煮の方が高い値を示した。無蒸煮のもろみについて見ると、香味成分において特に重要な酢酸イソアミルは発酵温度が高くなると減少した。これは、高峯が報告<sup>5)</sup>したように発酵温度が高く

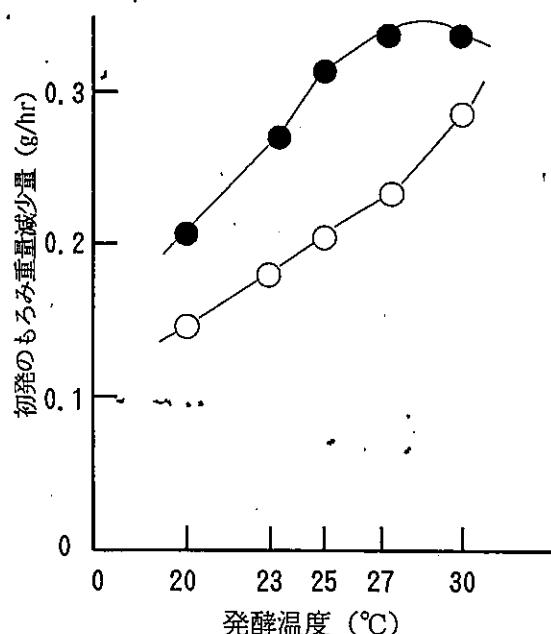
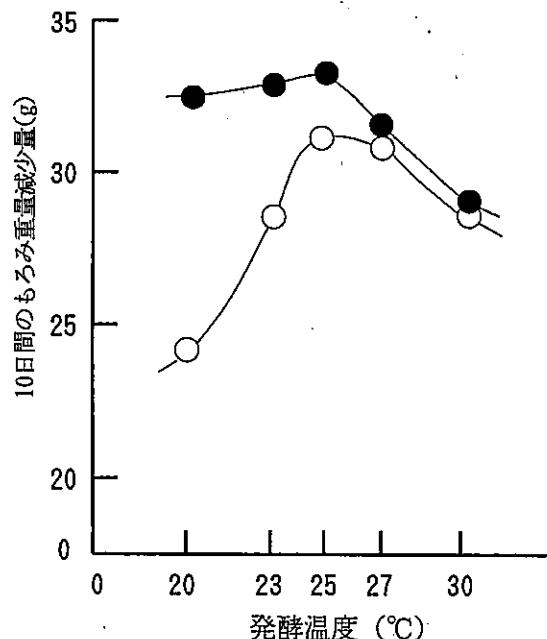


図2 発酵速度に与える発酵温度の影響  
○：無蒸煮 ●：蒸煮



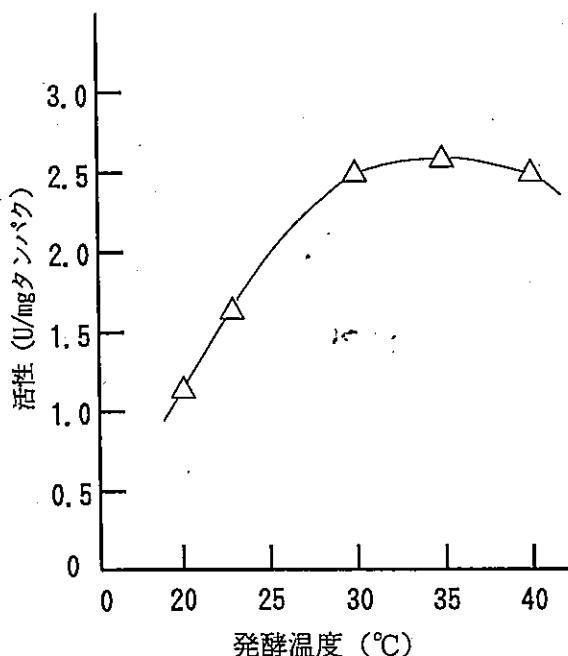
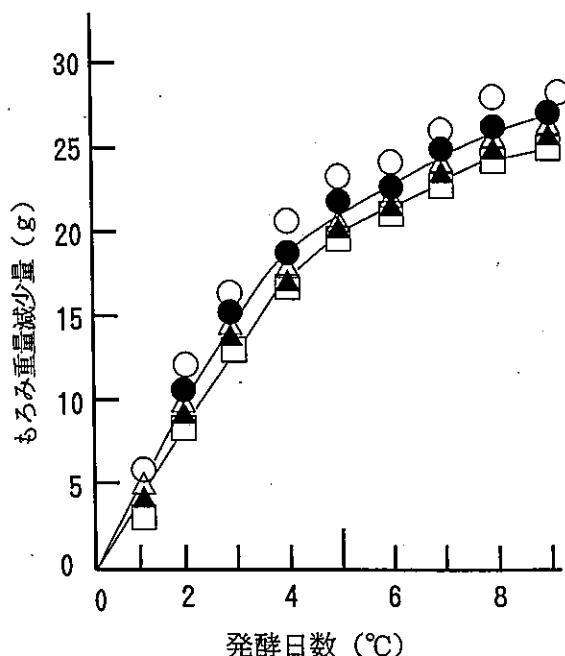


図3 酵素活性に与える温度の影響

図4 発酵における酒母割合影響  
酒母添加量: □1% ▲2% △3% ○10%

なるとアルコールアセチルトランスフェラーゼ(AATase)活性が低下することに起因すると考えられる。しかし、マイルド化の指標となるA/B比(イソアミルアルコール/イソブチルアルコール)は発酵温度が高くなるほど大きくなり、25°C以上で2.6とほぼ一定した。この結果は、発酵温度が高くなると一般にA/B比は低下するとの報告<sup>10)</sup>に反するが、焼酎酵母SK-2ではほとんど低下しないとの報告<sup>11)</sup>をサポートするものである。

焼酎の製造においては発酵温度が30°Cを越えることは珍しくないが、最近の酒質のマイルド化に伴い香りが重視され、吟醸香を高めるため発酵温度を下げる傾向にある。発酵温度は特にマイルドな焼酎を作るため、発酵速度、香気成分生成の面から、25°Cに設定した。

### 3.1.2・酒母添加量の検討

酒母添加量の削減を目的に、添加量1~10%の範囲で発酵試験を行った。

図4は発酵の経過を示しているが、添加量による発酵速度への影響はほとんど見られず、所要発酵日数は3%添加では10%添加に比べ約1日延びる程度であった。

また、図示しなかったが酒母を4°Cで5日間貯

藏しても、発酵速度への影響はほとんど見られなかった。

### 3.2 中間規模試験での焼酎製造

小仕込試験の結果に基づき、酒母添加量3%、発酵温度25°Cの条件で中間規模試験を行った。図5に発酵経過を示したが、無蒸煮発酵においても10日間で発酵は終了し、蒸煮の9日間に比較し大差なかった。しかし、もろみ中のグルコース濃度に違いが見られ、蒸煮もろみでは1日目で既に22.3g/100mLあったが、無蒸煮発酵では1.3g/100mLしか生成されていなかった。無蒸煮発酵では糖化律速となっているが、このこともまた雑菌汚染防止に寄与したものと言える。

### 3.3 発酵期間中の香気香味成分の変化

発酵中の香気香味成分の経日変化を図6~8に示した。

図6に示したようにイソアミルアルコールは、蒸煮、無蒸煮ともに発酵の旺盛なときに増加したが、発酵香気には減少した。イソアミルアルコールから生合成される酢酸イソアミルは、無蒸煮発酵では発酵後期まで増加したが、蒸煮発酵では発

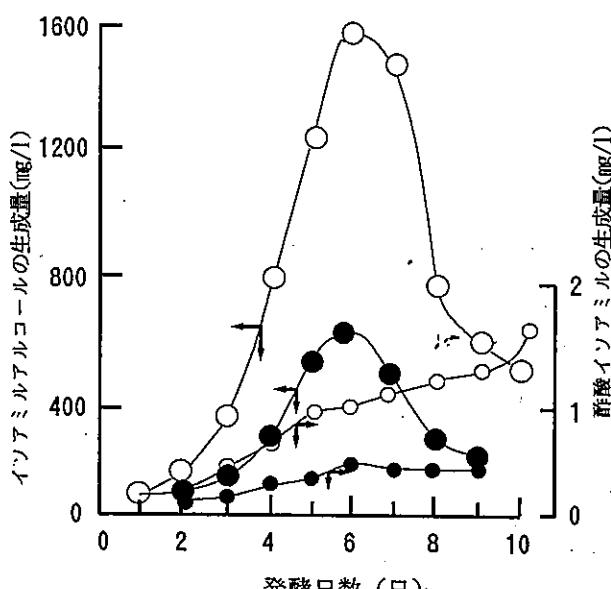


図6 中間規模発酵試験におけるイソアミルアルコールと酢酸イソアミルの経過  
○：無蒸煮 ●：蒸煮

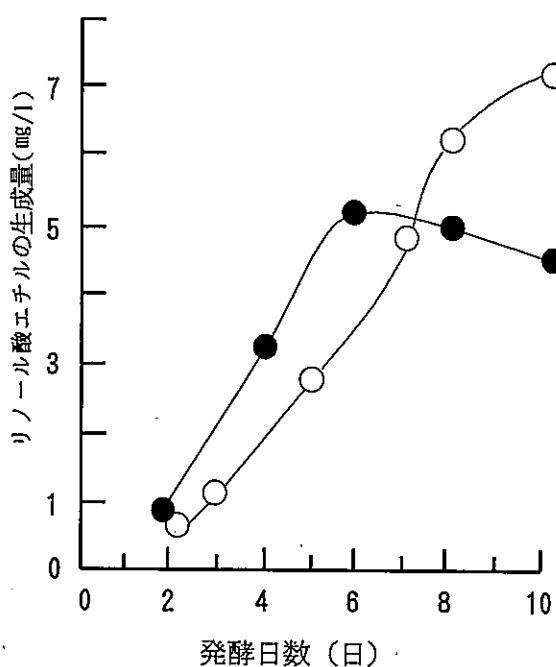


図8 中間規模発酵試験におけるリノール酸エチルの経過

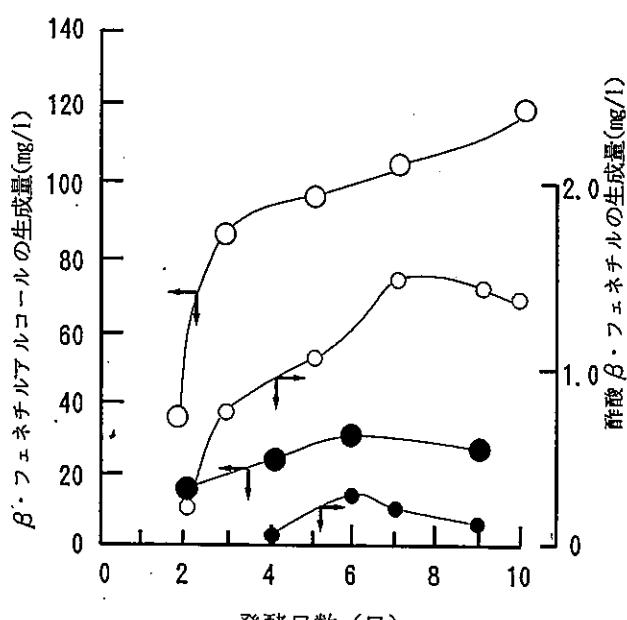


図7 中間規模発酵試験における $\beta$ -フェネチルアルコールと酢酸 $\beta$ -フェネチルの経過  
○：無蒸煮 ●：蒸煮

酵後期には増加することなくほぼ一定の値を示した。

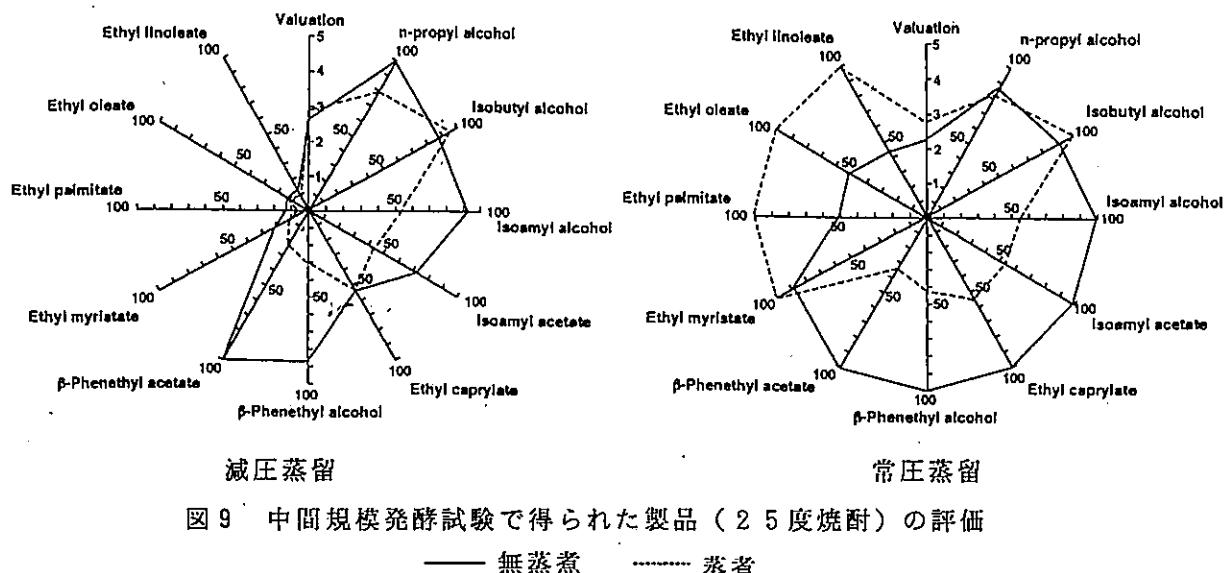
$\beta$ -フェネチルアルコール及び酢酸 $\beta$ -フェネチルの生成量は、図7に示したように蒸煮、無蒸煮で大きく異なったが、両成分共に発酵の進行とともに増加し、その後一定した。

高沸点香味成分であるミリスチン酸エチル、オレイン酸エチル及びリノール酸エチルは、ほぼ同様な挙動を示したので、リノール酸エチルの経過のみを図8に示した。蒸煮発酵では発酵中期に最大値を示し、発酵後期に減少した。一方、無蒸煮発酵では発酵後期まで増加した。高沸点香味成分の分析値は、小仕込試験の分析値によく一致していることから従来法で得られた値（小仕込試験）の約1/2と低いことになる、したがってマイルドな焼酎を作るためには、酵素剤Eを用いた本システムが適しているものと思われた。

以上、生成される低沸点香気、中高沸点香味成分量は、前報<sup>1)</sup>の小仕込試験と同様、無蒸煮発酵法の方が全ての成分で多かった。これは、蒸煮することにより原料中に含まれていた遊離脂肪酸が揮発したためである。<sup>2)</sup>。

### 3.4 製品の香氣香味成分に及ぼす蒸煮方法の影響

無蒸煮及び蒸煮発酵で得られもろみを、同一の蒸留機を使い、常圧及び減圧下で蒸留を行った。製品の官能試験は、14名のパネラーにより5点法で行った。



### 3.4.1 減圧蒸留により得られた製品

製品の主要香味成分の割合を図9に示した。減圧蒸留で得られた製品においては、無蒸煮発酵で得られたものの方が2.68と蒸煮発酵で得られたものの2.89に対して高い評価となった。これは、既に述べたように蒸煮発酵のもうみ中の香味成分は、無蒸煮発酵のものに比べ全て低かったため、蒸留によって得られた製品においても香味成分は全て少なかった。すなわち、蒸煮発酵により得られた製品は、香りも低く、また高級脂肪酸エステルがほとんど含まれていないため辛口タイプのものであった。

無蒸煮発酵で得られた製品は、低沸点香気、中沸点香味成分が多く、またA/B比も2.6と高いことから、香りがよくマイルドな製品を得ることができたが、高級脂肪酸エステルが少なかったため、若干辛口タイプであった。

### 3.4.2 常圧蒸留により得られた製品

常圧の製品の主要香氣香味成分の割合も図9に示した。一般に常圧で蒸留した焼酎には香氣、香味成分いずれも多く含まれているが、高級アルコール類のA/B、A/P、B/P比などのバランスの取れた製品が好まれている<sup>8)</sup>。蒸煮発酵で得られた焼酎の香味成分は、減圧蒸留の製品と同様、蒸煮ではイソブチルアルコールを多く含むため、A/B比は小さくなっている。一方、無蒸煮発酵で得ら

れた製品はイソアミルアルコールを多く含んでいたためA/B比は大きく、他の香味成分も多く含んでいる。また、常圧蒸留で得られた製品は減圧蒸留によるものと比べ、高級脂肪酸エステルは若干増加しているため減圧で得られた製品に比べ丸みのあるもので、評点も2.28と嗜好性においても満足できるものであった。

無蒸煮発酵で得られた製品は原料の特性がよく現れると言われている<sup>9)</sup>。今回、無蒸煮発酵法で得られた製品は、香氣、香味成分とともに蒸煮に比べ優れていた。また、従来法の二次もうみを常圧蒸留し得られた製品と比較して、高級脂肪酸エステルが少なかったためマイルドなものとなり、パネラーから高い評価を得ることができたものと思われる。

## 4. 約

前報の結果に基づき Rhizopus 属起源の市販酵素剤及びクエン酸を含む仕込水を用いて、無蒸煮発酵法による小仕込試験を行った。発酵温度が高くなるともうみ中のイソアミルアルコール含量は低下したが、発酵歩合、A/B比（イソアミルアルコール/イソブチルアルコール）から発酵温度を25°Cと設定した。また、発酵速度は酒母添加量にほとんど影響されなかったことから、添加量を3%とした。

小仕込試験の結果に基づき、中間規模装置を用いて発酵試験を行ったが、無蒸煮発酵法での所要日数は10日間と小仕込での試験の結果と変わらなかった。しかし、もろみ中のグルコース濃度の経日変化から、蒸煮発酵に比べ無蒸煮発酵では糖化律速になっていることが分かった。

無蒸煮発酵のもろみの香気、香味成分は、蒸煮発酵のもろみに比べて全て高かった。また、蒸煮と無蒸煮によるもろみ中の香気、香味成分の経日変化に違いがみられた。これらのもろみを用いて蒸圧及び減圧下で蒸留を行った結果、無蒸煮発酵の常圧で得られた製品が香り高く、マイルドでしかも丸みがあり評価も2.28と最も高かった。

## 文 献

- 1) 木田建次, 西村賢了, 中川優, 園田頼和; 酿協, 86, (12)(1991)
- 2) 日本工業標準調査会; 工業用アミラーゼ JIS K 7001, P 5, 日本規格協会(1990)
- 3) 西谷尚道; 酿協, 78, (4) 275 (1983)
- 4) K. Kida, Ikubai, Y. Sonoda, M. Kawase and T. Nomura; J. Ferment. Bioeng. 72, 54, (1991)
- 5) 高峯和則, 木田建次, 園田頼和, 生田六也, 塚田定清; 酿協, 85, (11) 825(1990)
- 6) 中田久保, 鶴田純子, 穂坂賢; 酸酵工学, 66, (4) 203 (1988)
- 7) 西谷尚道, 佐藤哲郎, 菅間誠之助; 酿協, 73, (6) 484 (1978)
- 8) 西谷尚道, 酿協, 75, (8) 641 (1980)
- 9) 椎木敏, 岩野君男, 三上重明, 清水慎一郎; 酿協, 82, (9) 651 (1987)

# 米製焼酎を無蒸煮発酵により製造した場合の経済的考察

## —焼酎プロセスの開発（第3報）—

西村賢了・中川 優・八幡紀美・木田建次・園田頬和\*

Case Study on Production Shochu from Crush Rice  
by Non-cooking Fermentation.

### - Development of Shochu Production processes (III) -

Kenryou NISHIMURA, Masaru NAKAGAWA, Kimi YAHATA,  
Kenji KIDA\* and Yorikazu SONODA\*.

#### 概要

前報で中間プラントスケールでの無蒸煮発酵法の製品を製造し、特徴のある製品を得たことを報告したが、無蒸煮発酵法を球磨焼酎の酒造場に導入した場合の経済的評価を行った。

焼酎製造プロセスは製麹、発酵、蒸留、精製の工程から成っているが、今回、最も人手のかかる製麹工程を市販の酵素剤を用いて省略し、発酵も米を蒸さずに行うことで、焼酎の製造における37.5%近くを省くことができた。また、米を蒸さないことからエネルギーの26.8%を省くことができた。

#### 1. 緒言

前章まで、米製焼酎製造において無蒸煮発酵法による製造法を確率するために、ラボスケールにおける検討と中間プラントによる実証試験を行った。その結果、無蒸煮発酵による製造でも蒸煮発酵に劣らない発酵速度が得られ、その上、無蒸煮発酵で得られた製品は香氣成分を多く含み、香味成分のバランスの良いマイルドな製品を製造することが可能であった。本章では、更にこれらの結果に基づいて焼酎工場のエネルギー消費量を明ら

かにしながら、米製焼酎製造における無蒸煮発酵法の経済的優位性の検討を行った。

#### 2. 実験方法

エネルギー消費量を明らかにするため、年間生産量100kL規模(25度)の焼酎製造工場1社を対象にボイラの給水量、排ガスの温度、排ガス中の酸素濃度、重油使用量、麹室及び蒸留機のドレン量の6項目について一定時間毎(15分間隔)に測定を行った。その概要を図1に示す。また、測定は各々の工程(表1)に対し2回ずつ行い、平均値を測定値とし、2つの工程の一部が重なる場合はドレン量により使用蒸気量を分割した。

\*熊本大学工学部

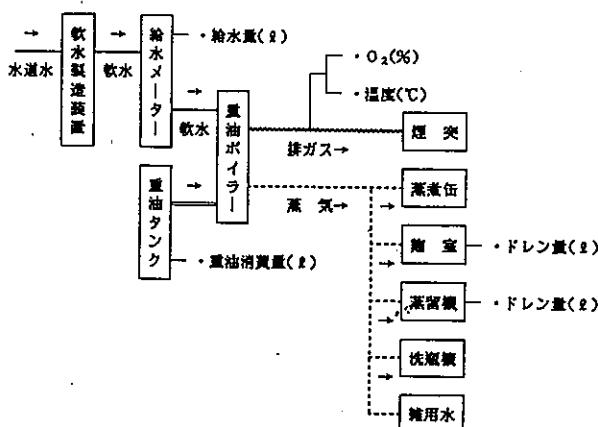


図1 エネルギーの流路図

表2 製造工程別のエネルギー消費量

工 程	工程中の割合	蒸 気 量	重 油	
			数 量	金 額
製 麴	14.4 (%)	266.0 (ℓ)	24.6 (ℓ)	1,200 (円)
掛 米	12.5	232.3	21.5	1,054
蒸 留	36.4	674.1	62.4	3,058
洗 瓶	34.3	634.3	58.7	2,876
その他	2.4	44.2	4.1	200
合 計	100.0	1,851.1	172.0	8,428

※原料米 630kg使用  
25度焼酎 1,000 ℥当り

表1 焼酎工場でのエネルギー消費量の測定手順

工 程	蒸気使用設備	測 定		
		第1日目	第2日目	第3日目
製 麴	麹米蒸煮	蒸 煮 缶	○	○
	麹室保温	麹 室	○	○
掛 米 蒸 煮	蒸 煮 缶		○	○
蒸 留	蒸 留 機	○		○
洗 瓶	洗 瓶 機		○	
そ の 他	雜 用 水	○	○	○

測定は下記の方法によった。

排ガス温度：熱電対(CHINO)

打点記録計(EH-19D022-R, CHINO)

排ガス酸素濃度：ポータブル酸素濃度計

(0x61, 横河電機株)、ポータブルレ

コーダー(3057, 横河電機株)

給水量：水道メーター(20A, 株金門制作所)

ドレン量：メスシリンドラー

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 中小の米製焼酎工場におけるエネルギー消費量

今回調査を行った原料米630kg規模の焼酎工場の製造工程別エネルギー消費量を調べたが、表2に結果を示した。

焼酎の蒸留法は消費者の嗜好の変化により、常圧蒸留法からソフトな酒質の得られる減圧蒸留法へと変わってきており、蒸留法によるエネルギーの消費については減圧蒸留法の方が16%省エネルギーであると言われている<sup>1)</sup>。調査した工場では蒸留法が減圧蒸留にもかかわらず蒸留工程に36.4%、蒸気量にして674.1kgと工程中最もエネルギーを使用していた。蒸留では主にもろみを加熱する工程と焼酎が留出する工程に分けられるが、今回の蒸留では加熱工程を211 ℥/h、留出工程は150 ℥/hの割合で加熱を行い、蒸留時間は4時間20分であった。

次いで多いのは洗瓶工程で34.3%、蒸気量634.3 ℥、重油使用量58.7 ℥である。これは中小の清酒工場の瓶詰工程のデーターや清酒の工程別エネルギーの消費量のデーターに合致する<sup>2) 3)</sup>。

米を蒸す工程は掛米の蒸煮工程と製麹工程で必要であり、掛米の蒸煮工程のエネルギーは全工程の12.5%、蒸気量232.3 ℥であり、製麹工程は14.4%、蒸気量266 ℥である。両工程を合わせると26.9%となり、A重油を使用した場合46.1 ℥(金額2,254円)である。蒸しに必要な蒸気量は理論的には白米重量の約10%(蒸気量kg/白米kg)であると言われているが<sup>3)</sup>、普通の工場では理論値で蒸している工場はほとんど無い。製麹工程は麹米を蒸すエネルギーと麹を保温するためのエネルギーに分けられるが<sup>4)</sup>、保温には余り蒸気は使われないので、ほとんどは蒸すエネルギーである。調査した工場では蒸気量の割合は51.6%であり、蒸し時

間が50分と普通より長めにしていることから、蒸気量からも蒸気を理論値に比べ多く消費しており、20~30分程度に短縮できる。

### 3.2 米製焼酎工場でのケーススタディの条件

#### 3.2.1 焼酎工場の工程別作業量

米を原料とする焼酎工場での作業に必要な人員については、250~650kg・米/人・日であると言われている<sup>5)</sup>。今回調査した工場は原料水630kgで作業員2人であり、315kg・米/人・日であり球磨地方の標準的な工場である。

表3に工程別作業量を示したが、製造工程中最も手間のかかると言われている製麴工程に自動製麴機を使うことにより省力化が図られ、原料処理と製麴工程(併せて30.1%)に比べ、一次と二次もろみ工程(併せて39.7%)の方が9.6%多くなっている。これは、最近の酒質が香りを重視するため、もろみの品温を低温で管理する必要があり、もろみの管理に手間がかかるようになっていることを示すものである。

表3 工程別仕事量

工 程	工程中の割合	作業人員	備 考
原料処理	11.0 (%)	0.22(人)	省力化 人円/人 $0.75 \times 20,000$ $= 15,000$ 円
製 麴	19.1	0.38	
一 次 もろみ	7.7	0.15	
二 次 もろみ	32.0	0.64	
蒸 留	18.0	0.36	
精製調合	3.6	0.02	
そ の 他	8.1	0.16	
合 計	100.0	2.00	

※但し、瓶詰工程は除く

#### 3.2.2 焼酎用麹の製造原価

無蒸煮発酵法では市販の酵素剤を使用することから麹は不要になるので、一般的な麹の原価を知るため、毎日麹米180kgを使用する工場の麹の製造原価を試算した。製造条件は表4に示した。麹米は多用途米を使用し、価格は27,000円であった。製麴機は冷却機能を備えた200kg用の機種を使用し、1回の製麴につき減価償却費1,600円であった。労務費は工程別作業量からの作業員のデータ

表4 麹の製造原価(原料米180 kg使用)

項 目	単 価	数 量・单 位	金 額	25度焼酎 1000 L 当り 原料代を差引いた金額
原料代(多用途米)	150円/kg	180kg	27,000円	—
種 麹 代	4円/g	180 g	270円	637円
重 油 代	49円/l	24.6 l	1,200円	1,061円
労 メ ル 労務費	2,000円/日	3日×0.38人	22,280円	20,159円
原 価 償 却 費	4,000,000円/台	2台×1/5,000回	1,600円	1,414円
そ の 他			1,000円	884円
合 計			53,800円	24,155円

麹1kg当りの製造原価:  $53,800 \text{ 円} \times 1 / 180 \text{ kg} = 299 \text{ 円}$   
備考) 200kg用製麴機使用

ター(1日 0.38人)を使い、日当20,000円で1回の製麹に3日間かかるとして22,800円であった。全製造コストの合計が53,800円であり麹1kg当たりの製造減価は53,800円/180kg=299円となった。原料費を差し引いた製造価格は27,340円で、25度焼酎1,000ℓ当たり24,155円であった。

### 3.3 米製焼酎工場での無蒸煮発酵法を導入した場合の経済効果

米製焼酎製造における無蒸煮発酵法について、省力・省エネルギー的な製造法を試み、その有利性を実証するため検討を行った。

今回、米焼酎の産地である球磨地方の中規模の工場において、エネルギー・作業量の面から実状を把握し、無蒸煮発酵法を導入した場合の蒸煮工程、製麹工程を省いたケースについての有利性について試算を行った。

#### 3.3.1 既存の製造法におけるエネルギー消費、作業量

図2に現在行われている焼酎の製造工程について示した。これは球磨焼酎の一般的な製造法である。表5に今回のケース・スタディに使った製造の仕込配合を示した。汲水歩合160%、麹歩合40

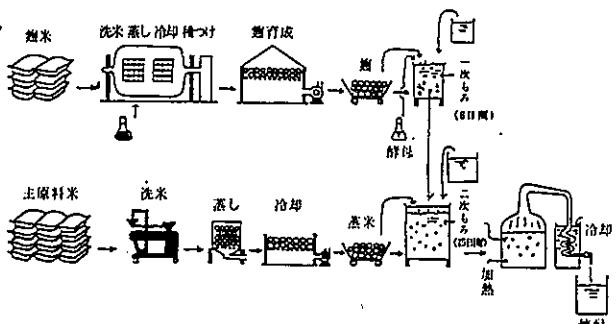


図2 従来法での米焼酎製造工程

表5 仕込配合

	一 次	二 次	合 計
麹 米	180 kg		180 kg
掛 味		450 kg	450 kg
汲 水	216 ℥	792 ℥	1,008 ℥

製品 : 650 L (原酒・43.5) → 1,131 ℥ (25度)

%である。もろみ総量は1,700ℓで、減圧蒸留により純アルコール282.8ℓ、収得歩合448.8ℓアルコール/t多用途米で平均的な球磨焼酎の製造をモデルとした。これにより製造された焼酎は25度に換算すると1,131ℓに当たり、1,000ℓの焼酎を製造するためには557kgの原料米が必要である。

製造工程別のエネルギー消費量は表2に示し前述したが、25度焼酎1,000ℓ製造するのに蒸気量1,851.1ℓ、熱量656.1Kcal/kg、A重油として172ℓ、8,428円必要であった。

#### 3.3.2 無蒸煮発酵法による製造のエネルギー消費及び作業量

本報の無蒸煮発酵法の特徴は省エネルギーのために米を蒸さない点と、省力化のために麹を造らず、広く一般的に使われている市販の酵素剤を使う点である。今回開発を行った無蒸煮発酵法による製造工程を図3に示した。蒸煮工程、製麹工程を省くことにより製造工程が大幅に簡素化され、

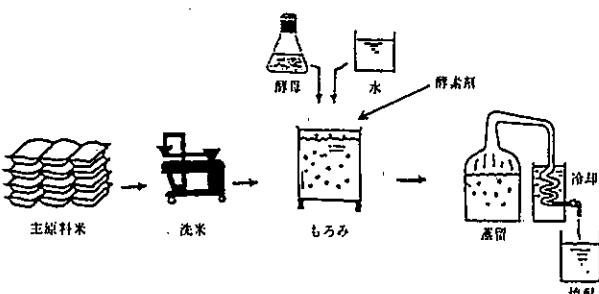


図3 無蒸煮発酵法での米焼酎製造工程

表2に示した原料処理工程の大部分、製麹工程、一次もろみ工程が省かれ、37.8%の作業量が省力化として達成できる。製造日数も一次もろみ工程がなく二次もろみ工程の日数も11日間と従来の一次もろみ工程6日間、二次もろみ工程15日間の合計21日間の約半分に短縮することができ、仕込みサイクルを短くすることができ、設備や作業など製造に余裕をもたせることができる。

今回の無蒸煮発酵法による製造は前章の中間プラント製造で述べたとおり、現有の設備で製造できるように、既存の製造法と同様の仕込配合で製造を行っており、本項では前述した条件で原料米

表6 エネルギー、仕事量の面からのコスト計算

		既存の製造法 (A)	無蒸煮発酵による 製造法 (B)	(A-B)/(A)	差額 (A-B)
エネルギー 量	蒸気量	1,851.1 ℥	1,352.8 ℥	26.8 %	2,259 円
	A重油	172.0 ℥	125.9 ℥		
		8,428 円	6,169 円		
原材料	麺製造代 又は 酸素代	24,173 円	酸素代 4,504円 クエン酸代 4,680円 計 9,184円	62.0 %	14,971 円
作業量	作業人員	2.00 人	1.25 人	87.5 %	15,000 円
	人件費	20,000円×2.00人 =40,000円	20,000円×1.25人 =25,000円		
節約できた金額					32,230 円

※原料米 630kg 使用、25度焼酎1000 ℥当たり

630kg を使用する工場規模でのエネルギー、仕事量の面から試算を試み、既存の方法と比較した結果を表6に示した。

エネルギー的には製麴工程、掛米工程が省けるので、蒸気量498.3 ℥、A重油46.1 ℥(金額2,259円)の省エネルギーが図られる。これは焼酎原酒の製造エネルギーコストの42.6%、焼酎全製造エネルギーコストの27.0%に相当する。

既存の製造法における麴の製造減価は1kg当たり299円で、25度焼酎1,000 ℥当たり原料米代を差し引いた麴の金額は24.155円であった。これに対し無蒸煮発酵法では酵素剤、クエン酸を使用し、その金額は4,504円、4,680円で合計9,184円である。

その内訳は

○酵素剤の金額：(25度焼酎 1,000 ℥当たり)

原料米；630kg×1,000 ℥÷1119 ℥=563kg(従来法では630kgの原料米から25度焼酎1,119 ℥製造)

酵素量；563,000g÷100g×0.2=1,126g

酵素代；1,126g×4,000 円/kg=4,504円

○クエン酸の金額：(25度焼酎 1000 ℥当たり)

汲み水；1,008 ℥×1,000 ℥÷1,119 ℥=900.8 ℥

(無蒸煮法では630kgの原料米から1,008 ℥汲水)

クエン酸量；900.8 ℥×0.002=1,80kg

クエン酸代；1,80kg×2,600円/kg=4,680円

既存の製造法作業に比べ原料処理、製麴、一次もろみの工程が省かれるので、原酒製造工程の37.8%、作業人員の0.75人が省力化になる。人件費を1日20,000円とすると15,000円の経費節約になる。

### 3.3.3 無蒸煮発酵法と既存の製造法とのコストの比較

既存の製造法から本報で開発した無蒸煮発酵法に製造法を変えて製造する場合には、新たな設備投資は必要なく、ただ単に製造法を変えるだけでもよい。エネルギー消費、製麴、作業の面から比較してみると、25度焼酎1,000 ℥当たりそれぞれの差額2,259円、14,971円、15,000円合計32,230円

の経費節約となる。1.8 ℥当たり58.0円の経費節約となり、製造原価は600円前後であるから約1割のコストダウンになり非常に大きなメリットになる。

#### 4. 要 約

無蒸煮発酵法により焼酎の製造を行うと、米を蒸さずにまた麹を造らない等の点から、省力、省エネルギー化が図れることが考えられるので、球磨焼酎工場のエネルギー調査などを行い、無蒸煮発酵法の経済的優位性について検討を加えた。得られた結果を要約すると次のとおりである。

1. 球磨焼酎工場のエネルギー消費は、蒸留工程に36.4%、洗瓶工程に34.3%、製麹工程に14.4%、掛米工程に12.5%、その他2.4%であった。
2. 最近の焼酎工場では、自動製麹機の導入や発酵温度を下げて発酵させるので、原料処理、製麹工程（併せて30.1%）より一次、二次もろみ工程（併せて39.7%）の方が作業量が大きく手間のかかる工程であった。
3. 焼酎用麹の製造原価を試算すると、麹1kg当たり299円（原料米代を除くと148.9円）であった。
4. 原料米630kgを使用する工場で本報による無蒸煮発酵法を導入した場合の省力、省エネルギーについて試算を行うと、エネルギー消費量で2,259円、製麹代で14,971円、作業量で15,000円、合計32,230円節約することができ、25度焼酎1.8 ℥当たり58.0円コストダウンとなつた。

焼酎工場におけるエネルギー消費量の測定をご指導下さいました、熊本県技術アドバイザー土山昇氏に謹んで感謝いたします。

#### 文 献

- 1) 湯之上雅子、西村賢了、松田茂樹；熊本県工業技術センター研究報告 23, 73~80(1985)
- 2) 佐藤和夫；醸協 44, (12) 861~866 (1982)
- 3) 秋山裕一；醸協 76, (3) 146~150 (1981)
- 4) 秋山裕一；醸協 54, (1) 2 ~7 (1954)
- 5) 日本醸造協会；しょうちゅう醸造技術 p.5 (1983)

# 麦みそから耐塩性酵母の分離とみそへの利用

—有用微生物の探索・管理に関する基礎的研究（第2報）—

松田茂樹\*・林田安生\*

Isolation of Halotolerant Yeasts from Barley Miso and Utilization  
for Miso Making

—Studies on Isolation and Cultivation of Useful Microorganisms(2)—

Shigeki MATSUDA\* and Yasuo HAYASHIDA\*

## 1. はじめに

食品分野への微生物や酵素の応用を図るために菌の分離方法や利用について試験を行った。特に、みその中で活動し発酵に関わりのある耐塩性酵母を分離し、その性質の把握を行うとともにみそに添加した場合の効果について検討した。多くの微生物は0.2M以下の食塩濃度で生育するのに対し、0.2M以下の食塩濃度で旺盛な発育が見られるが、より高濃度の食塩存在下でも発育可能な微生物は耐塩性微生物と称される<sup>1)</sup>。みそ、しょうゆ、漬物などに生育する微生物はほとんどこれに属する。みそ製造において酵母は香気生成に重要な働きをなしており、発酵期間中を通して多種多様な香気成分を醸成しその熟成に寄与していることが知られている<sup>2)</sup>。しかしながら、県産のほとんどの麦みそは熟成期間が短いため原料臭の残存や熟成香の不足などの問題が指摘されている。そこで本研究では本県で最も生産量が多く、糖分と塩分が比較的高いことを特徴とする麦みそ<sup>3)</sup>に香気を付与する優良な酵母を検索し、みそ醸造に応用する

ことを試みた。そのために広く麦みそ中に耐塩性酵母を求め酵母の分離を行ない、発酵性や生育度を測定した。また、分離選抜した酵母を用いて中間規模の仕込試験を行い、みその香気成分の分析と併せ品質評価を行ったのでその結果を報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 耐塩性酵母の分離源および分離方法

昭和63年から平成2年にかけて本県各地の味噌工場および熊本県みそ鑑評会に出品された麦みそ約150点を酵母の分離源とした。

これらのみそから酵母の分離方法の方法としては、みそを滅菌した食塩水に懸濁し、この液を2MNaClおよび3%寒天を含む麹汁培地に加え30°Cで5から7日間平板培養を行い、分離した酵母については産膜性のものとそうでないものに区分した後それぞれ純粋分離を行った。

### 2.2 分離酵母の同定

分離した優良な酵母については生理的試験、形態的試験などの分類学的な試験を行い同定した。同定試験はYEASTS<sup>4)</sup>に準じて行った。

\*微生物応用部

### 2.3 酵母の分離選抜方法

アルコールの生成能をみるために10%食塩を含むYPD培地(1%酵母エキス、2%ポリペプトン、2%グルコース)を用いて一次培養した後、30°Cで本培養を行い、培地中のアルコール濃度を分析した。

また、高塩分濃度でのアルコール生産能をみるために3Mの食塩を含む培地で発酵試験を行い、マイセル発酵管を装着した三角フラスコで発酵させCO<sub>2</sub>の発生に伴う重量減少を経日的に測定して求めた。培地中のアルコール濃度は発酵液をミクロフィルター(0.45 μm)でろ過し、ガスクロマトグラフ(FID)で分析した。

### 2.4 香気成分の分析方法

みその香気成分は低沸点の成分についてはヘッドスペースガスクロマトグラフ<sup>5)</sup>および中高沸点の成分については下田等のカラム吸着法<sup>6)</sup>による濃縮を行った後キャピラリーガスクロマトグラフを用いて分析した。この場合の前処理としてはみそ100gにメタノール100mlを加えて攪はんし、さらに水50mlを加え3500rpmで遠心分離を行う。得られた上澄をPORAPAKQを充填したカラムに通して香気成分を吸着後、水で洗浄しエーテルで抽出する。n-オクタノールを内部標準物質として加え、減圧濃縮し1mlとし分析用試料とした。

表1 ガスクロマトグラフ分析条件

(I) ヘッドスペース香気成分

分析装置	: Shimadzu GC-14A(FID)
カラム	: キャピラリーカラム CBP-S25-050
カラム温度	: 40→100°C(5°C/min)
検出器温度	: 220°C
試料気化室温度	: 220°C
キャリヤーガス	: ヘリウム 1.66ml/min
試料保温温度	: 40°C
試料保持時間	: 20分
ヘッドスペース注入量	: 0.4ml

(II) 中高沸点香気成分

分析装置	: Shimadzu GC-7A(FID)
カラム	: 10%PEG-20M Chromosorb WAW(60-80mesh) : 3.1mm×3m ガラスカラム
カラム温度	: 40→220°C(4°C/min)
検出器温度	: 230°C
試料気化室温度	: 230°C
キャリヤーガス	: 窒素40ml/min
注入量	: 5μl

香気成分の分析条件を表1に示した。なお、香気成分の同定にはガスクロマトグラフ質量分析計GCMS-QP1000(島津製作所)を用いた。

### 2.5 みその仕込試験

分離した酵母を用いた小規模の仕込試験は食塩約10%、麹歩合20歩の麦みそとして約6Kgの仕込量とし、酵母菌数の違いによる香気生成の状態から適正添加菌数を把握するため酵母の添加菌数は仕込み1g当たり10<sup>3</sup>、10<sup>4</sup>、10<sup>5</sup>の添加量とし無添加のものを対照とした。表2にこれらの仕込配合を示した。30°Cで約1ヶ月熟成させた後成分の分析と香気成分の分析を行った。

中間規模の場合、1試験区約60Kgの仕込量で実施した。

表2 麦みそ製造における酵母添加の試験区

酵母種類	酵母添加量	原材料使用量(kg) *				
		大豆	麦(麦麹)	食塩	種水	仕込総量
—	無添加	7.5	15	0.7	0.54	6.64
58-1W	10 <sup>3</sup> /g	7.5	15	0.7	0.54	6.64
	10 <sup>4</sup> /g	7.5	15	0.7	0.54	6.64
	10 <sup>5</sup> /g	7.5	15	0.7	0.54	6.64
18-3Y	10 <sup>5</sup> /g	7.5	15	0.7	0.54	6.64
18B	10 <sup>5</sup> /g	7.5	15	0.7	0.54	6.64

\* 麹歩合: 20歩 目標水分46% 塩分10.5%

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 耐塩性酵母の分離結果

麦みそを主体にして県内各地の試料から分離した耐塩性酵母のうち非産膜性の酵母は186株であった。これらの酵母の塩分存在下での生育分布をみると3MNaClで非常に良く生育するもの8株、3MNaClで良く生育するものの169株、3MNaClでは生育弱いもの6株、3MNaClでは生育しないが2Mで生育するもの3株であり、ほとんどの酵母が3Mの濃度でも良好に生育できる耐塩性を有していた。

しかしながら分離源としてのみそには酵母の生育が微弱なためかこれらの酵母が検出されないものもあり、発酵管理の面で検討する必要があると思われた。

### 3.2 分離酵母の同定結果

分離した5株の酵母の分類学的な属種を決定するための発酵試験を行ったところグルコースで良く発酵し塩酸エチルアミン、硝酸カリウムでやや発酵し、亜硝酸ナトリウムで発酵しなかった。

また、炭素源の資化性試験を行ったところガラクトース、マルトース、グリセロール、グルクトール、マンニトールおよびエタノール等を資化し、リボース、アラビノース、セロビオース、サリシン、ラフィノース等の糖類を資化しなかった。これらの生理試験の結果、*Zygosaccharomyces rouxii*の生理的性質との一致性が高いことから、これらの酵母は本菌と同種の菌であると思われた。

### 3.3 発酵および生育試験

分離した酵母について発酵試験を行ない生成した培地中のアルコールを分析し、アルコール濃度と菌株の度数分布を図1に示した。ほとんど検出しないものから最高1.2%の濃度のものが検出されたが、多くの酵母で0.8から1%の範囲のエタノール含量であった。これらのうちアルコール生成の比較的多かった酵母6株について3MのNaClを

含むYPD培地で経時的なアルコール発酵能を調べた。

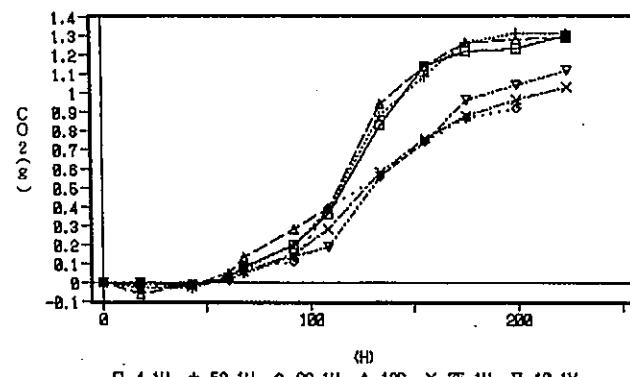


図2 分離酵母の発酵性 (3M NaCl YPD 培地)

その結果を図2に示したが58-1W、4-1W、18Bなどが発酵が速く75-1W、10-1Yは発酵がやや低調であった。発酵が旺盛であった菌株を用いて小規模のみそ仕込試験を行った。

### 3.4 みその仕込試験結果

試験みその仕込時の目標塩分10.5%、同じく水分46%の設定に対して、熟成みその塩分は9.9から10.7%でほぼ仕込時の設定であったが水分は43.4から44.5%でありやや少ない結果であった。

既報<sup>5)</sup>においてみそおよび酵母培養液の低沸点化合物の分析にヘッドスペースガスクロマトグラフを用いることが効果的であることを確認しているので、この熟成したみそのヘッドスペース部の香気成分をガスクロマトグラフで分析し、その結果を図3に示した。分離酵母58-1Wをみそ1g当たり10<sup>5</sup>添加した試験区でみた場合、酵母を添加した試験区は対照区に比べてエチルアルコールなどの低沸点化合物の存在量に大きな差があることが分かった。また、それぞれの試験区の主な香気成分の検出量を表3に示した。酵母添加の試験区ではエチルアルコールやイソアミルアルコールの量が多い傾向を示した。

同じく熟成したみその中高沸点化合物のガスクロマトグラムを図4に、これらの香気成分の存在量を内部標準物質とのピーク面積比から求めた結果を表4に示した。

従来からみその香気については多くの研究がな

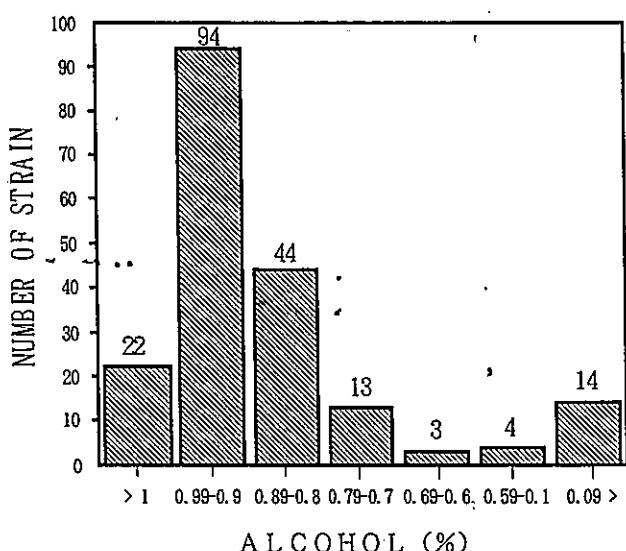


図1 アルコール生成量に対する酵母菌株数の度数分布

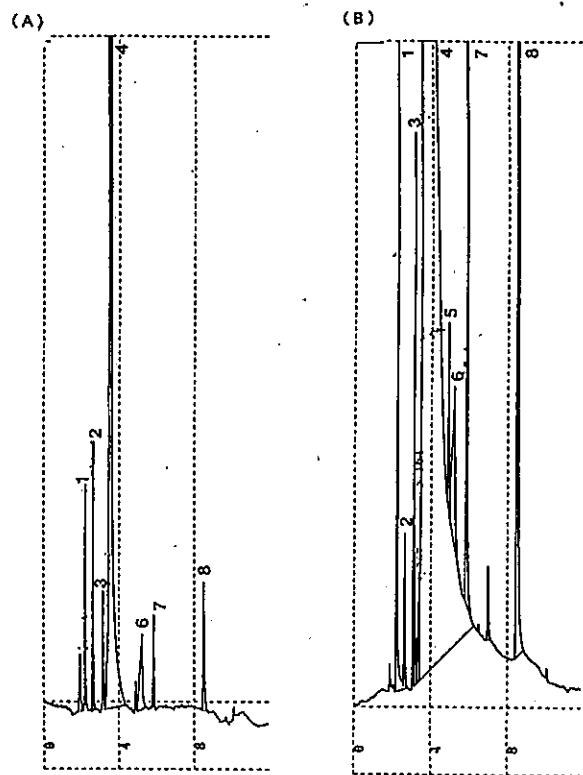


図3 みそのヘッドスペース香気成分(熟成期間1ヶ月:30°C)  
(A) 酵母無添加 (B) 酵母添加(58 1W:10<sup>5</sup>/g)

表3 試験みそのヘッドスペース香気成分

ピークNo	化合物名	ピークカウント数	
		無添加区	添加区 (58-1W:10 <sup>5</sup> /g)
1	Acetaldehyde	3768	33581
2	unknown	4968	4632
3	Etylacetate	0	13045
4	Ethanol	260547	7289733
5	unknown	0	4682
6	unknown	4129	10474
7	i-Butanol	2146	37328
8	i-Amylalcohol	3760	59228

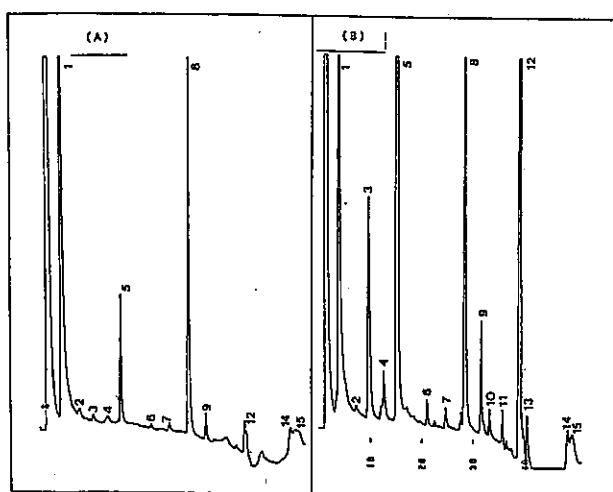


図4 みその中高沸点香気成分  
(A) 酵母無添加 (B) 酵母添加(58 1W:10<sup>5</sup>/g)

表4 酵母添加試験みその中高沸点香気成分

ピークNo	化合物名	濃度 (ppm)	
		無添加区	添加区 (58-1W:10 <sup>5</sup> /g)
1	unknown	25.4	16.9
2	unknown	0.2	0.3
3	2-Methyl-1-propanol	0.2	3.7
4	unknown	0.4	0.7
5	3-Methyl-1-butanol	2.6	32.7
6	unknown	0.1	0.3
7	unknown	0.2	0.3
8	1-Octanol *	9.0	9.0
9	Ethyl levulinate	0.6	1.3
10	Ethyl benzoate	0.1	0.3
11	Ethyl phenyl acetate	0.0	0.4
12	2-Phenyl ethanol	0.7	15.0
13	unknown	0.0	0.8
14	unknown	0.5	1.0
15	1,2-Benzene dicarboxylic 1.0 acid bis(Methoxyethyl)ester		1.2
Total		41.0	83.9

\* : 内部標準物質

されており約200種類の化合物が報告されている。しかしながら各種のみその香気成分がどの様な特性があるのかは研究されつつあるところであり、麦みその香りについても研究例は多くない。通常

みその中の存在量の多い成分として報告されている物質はエタノール、3-メチル-1-ブタノールなどのアルコール類や酢酸エチルなどのエステル類あるいは2-フェニル-1-エタノールなどの芳香族

化合物が知られている<sup>1)</sup>。今回試験した麦みそにもこれらの種類の化合物が見いだされた。特に、酵母を添加した試験区では対照区に比べて種類も量的にも多い結果が得られた。

熟成みその官能的な評価としては酵母の添加量が $10^5/g$ の試験区については発酵香があり、原料臭が低減していた。一方、 $10^3, 10^4/g$ 添加の試験区は発酵した香りが立たず、対照区とほとんど変わりがなく酵母の添加効果は認められなかった。

このようにみその香りの改善は添加する酵母の状況に左右される。また、官能的な評価によるみその品質の差はガスクロマトグラフによる香気成分の分析結果とも関連があるものと思われた。

### 3.5 中間規模の仕込試験

分離した酵母58-1Wと、これとは別に県内みそ工場で分離された酵母2種類を用いて60Kg単位の仕込試験を行った。熟成1カ月後の官能評価の結果を表5に示した。先の小仕込の結果と同様に $105/g$ の添加量で豆臭などの原料臭が抑制されることが確認された。

表5 仕込み後1ヶ月の官能テストの結果

No	試験区	A	B	C	D	E	平均	概	評
1	$H12 \times 10^3$	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	1.8	原料臭、未熟臭、おとなしい	
2	$H12 \times 10^4$	1.5	2.0	1.5	1.5	2.0	1.7	原料臭あり	
3	$H12 \times 10^5$	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.3	原料臭なく、柔らかな香り	
4	$H8 \times 10^5$	1.0	1.5	1.0	1.5	1.5	1.3	発酵臭あり、柔らかな香り	
5	$58-1W \times 10^5$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.4	発酵臭あり、柔らかな香り	
6	無添加	1.5	1.5	2.0	2.5	1.5	1.8	原料臭、未熟臭あり	

官能審査員：5名

審査方法 1:良い 1.5:普通 2:悪いの3段階評価

### 4. 要 約

平成元年から平成3年まで県内各地の麦みそから耐塩性酵母を分離し、これらの中から食塩の存在下でも良好に生育し香気成分を生成する酵母の分離選抜を行った。さらに、選抜した酵母をみそに添加した場合の効果を検討した。この結果、酵母を添加することにより仕込後早い時期から発酵臭があり、原料臭が低減することが確認できた。こ

の場合、酵母添加区においてエタノールや酢酸エチルなど低沸点の香氣成分が多く検出された。さらにメチルブタノール、フェニルエタノールなどの中高沸点成分が多く検出され、みそとして豊富な香り成分が醸成されていることが判明した。

また、同定試験の結果分離したこれらの耐塩性酵母はZygosaccharomyces rouxiiであると思われた。

### 文 献

- 1) 増井正幹、大西博、畠本力：“好塩微生物” 医歯薬出版株式会社、P. 2 (1980)
- 2) 伊藤寛、海老根英雄：“みその香氣成分の研究”、味噌の科学と技術、No. 198、19 (1970)
- 3) 松田茂樹、湯之上雅子、石田清和、浅野さとみ：“県産麦みその品質調査”、本誌、19、63 (1981)
- 4) J.A. BARNETT&D. YARROW : YEASTS, Cambridge University Press
- 5) 松田茂樹、林田安生、湯之上雅子：“ガスクロマトグラによるみそおよび耐塩性酵母のヘッドスペース香氣成分の分析”、本誌、27、59 (1989)
- 6) 下田満哉、平野好司：分化、36、792 (1987)
- 7) 菅原悦子：“味噌香氣成分の探索”、醸協、86、411 (1991)

### 概 要

みその中で活動し発酵に関わりのある耐塩性酵母の分離し、性質の把握を行うとともにみそに添加した場合の効果について検討した。県内各地の麦みそから耐塩性酵母を分離し、これらの中から食塩の存在下でも良好に生育し香氣成分を生成する酵母の分離選抜を行った。さらに、選抜した酵母をみそに添加した場合の効果を検討した。この結果、熟成みその官能的な評価としては酵母の添加量が $10^4, 10^5/g$ の試験区については発酵香があり、原料臭が低減していた。一方、 $10^3/g$ 添加の

試験区は発酵した香りが立たず、対照区とほとんど変わりがなく酵母の添加効果は認められなかつた。この場合、酵母添加区においてエタノールや酢酸エチルなど低沸点の香気成分が多く検出された。さらにメチルブタノール、フェニルエタノールなどの中高沸点成分も多く検出され、みそとして豊富な香り成分が醸成されていることが判明した。

# 甘夏果汁の酵素と膜による清澄化

## —膜法による食品製造技術の改良に関する研究(第2報) —

湯之上雅子、松田茂樹、木村千亜紀\*

Clarification of Amanatsu Orange Juice by Enzyme and Membrane  
—Studies on Food Processing Improvement by Membrane Filtration(2)—

Masako YUNOUE, Shigeki MATSUDA and Chiaki KIMURA\*

甘夏果汁の濃縮に膜技術を利用する想定して、セルラーゼ、ペクチナーゼ併用による酵素処理後、限外ろ過処理する試験を行った。

12種類のペクチナーゼから1種類を選択し、酵素処理条件についても検討を加えた。

セルラーゼ0.1%、ペクトリーゼ0.02%を添加し、40°C、4hr処理で最も効率的な処理ができた。酵素処理果汁と原果汁を限外ろ過処理した結果、酵素処理により、ろ過の効率が2倍以上向上することが分かった。

限外ろ過では、酵素は高分子のため膜内に保持されると考えられたが、透過液の酵素活性を測定した結果、膜の分画分子量の大きさによっては膜外に透過することが分かったので、適切な膜の選択が必要である。

色度、660nmODの測定により、着色物質は膜内に保持されることが分かった。着色物質を含む保持液の量は被処理果汁全体の5%程度と非常に少なくなるため、加熱殺菌工程における省エネルギー化が図れるとともに、加熱による香気成分の損失を抑制することが可能となる。

甘夏みかんの苦味物質であるナリンギンを分析したが、セルラーゼとペクチナーゼ併用の酵素処理により低減化できた。これらの酵素にナリンギナーゼ活性が存在したと考えられた。

### 1.はじめに

果汁製造では、一般に、搾汁された果汁は濃縮工程を経て貯蔵され、濃縮還元果汁として販売されている。最近、温州ミカンジュースの濃縮に、セパラシステム社の開発したフレッシュユノートシステム<sup>1)</sup>が導入された。このシステムは、限外ろ

過によりミカンジュースを菌体、パルプ質、ペクチン等を含む懸濁液と清澄液とに分離する工程と、清澄液を逆浸透濃縮する工程、限外ろ過による保持液の加熱殺菌工程および濃縮液と加熱殺菌された保持液の混合工程で成り立っている。このシステムでは加熱処理を受ける液量が、全体の5%程度と非常に少ないため、加熱による香気成分の損失が抑制され、品質の良い濃縮果汁が得られる。さらに、エネルギーの消費も低く抑えられるという特徴を有している。このシステムにおける清澄化について、熊本県の特産品の一つである甘夏ミ

微生物応用部

\* : 熊本女子大学 食物栄養学科

カンをとりあげ、清澄化が最も効果的に行われる条件を選ぶことを目的として実験を行った。

限外ろ過による果汁の清澄化においては、ペクチニ質などの高分子物質がろ過の妨害物質となるため、限外ろ過を濃縮の前処理としてとらえた場合、高分子物質を低分子化させて、ろ過の効率をあげることは意義あることと考えられたので、種々の市販酵素を用いて酵素処理を行った。

さらに、限外ろ過処理し、酵素処理の有効性について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 甘夏果汁の酵素処理試験

#### 1) 原料

甘夏果汁は福田農園から購入し、冷凍保存した。

#### 2) 使用酵素

使用した酵素を表1に示す。

表1 使用した酵素

酵素名	メーカー名
セルラーゼY-N C	ヤクルト本社
ペクチナーゼG	天野製薬
ペクチナーゼA	天野製薬
ペクチナーゼタナベ	田辺製薬
ペクチナーゼタナベ2号	田辺製薬
ペクチナーゼSS	ヤクルト本社
ペクチナーゼHL	ヤクルト本社
ペクチナーゼ3S	ヤクルト本社
ペクチナーゼSS KYOWA	協和化成
スマチームSPC	新日本化学工業
ペクトリアーゼ	盛進製薬
スクラーゼS	三共
スクラーゼN	三共

表2 酵素処理条件

処理温度(°C)	35		40	45
酵素濃度(%)	セルラーゼ ペクチナーゼ	0.05 0.02	0.10 0.05	0.15 0.10
処理時間(hr)	2		4	6
		22		

#### 3) 酵素処理の条件

酵素処理の条件は表2のとおりとした。

#### 4) 酵素処理の方法

酵素処理のフローシートを図1に示す。

#### 5) 酵素の選択

660nmODと残査重量から効果のあったペクチナーゼを5点を選択した。

#### 6) 酵素処理条件の選択

5点のペクチナーゼについて酵素濃度、処理時間を検討し、さらに1点のペクチナーゼを選択した。

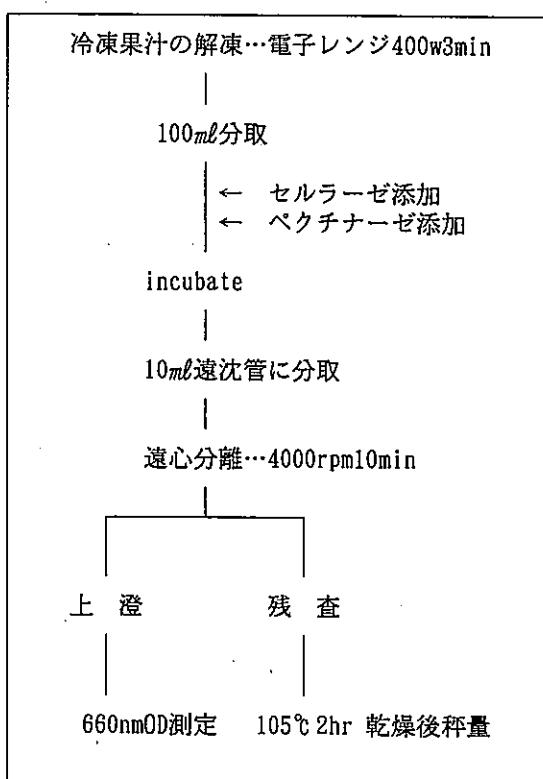


図1 酵素処理のフローシート

### 2.2 限外ろ過処理試験

1) 使用装置：日東電工(株)製バッチ式平膜テ

ストセル C70-B

2) 使用膜 : IRIS3065 4万分画

IRIS3065 7万分画

IRIS3065 20万分画

(三井石油化学工業株式会社)

### 2.3 酵素力価の測定

酵素は高分子の物質であるため、一般に限外

ろ過処理による透過液中には透過しないと考えられるが、分画分子量の大きい膜では透過する可能性もあるため、酵素力価の測定を行った。

- 1) ポリガラクチュロナーゼ活性<sup>2)</sup>：還元力測定法
- 2) ペクチンメチルエステラーゼ活性：Hagerman の方法<sup>3)</sup>
- 3) ペクチンリニアーゼ活性<sup>2)</sup>：235nm吸光度測定法
- 4) セルラーゼ活性<sup>2)</sup>：カルボキシメチルセルロースを基質として生じる還元糖量の測定による方法

## 2.4 成分分析

- 1) BX : ATAGO RX-1000で測定した。
- 2) 色度：多光源分光測色計（スガ試験機）で測定した。
- 3) 660nmOD：自記分光光度計で測定した。
- 4) ナリンギン：高速液体クロマトグラフで分析した<sup>4) 5)</sup>。  
 カラム： $\mu$ Bondapak C18  
 移動相：MeOH : H<sub>2</sub>O=4:6  
 流速：1.5 ml/min  
 カラム温度：40°C  
 検出器：UV280nm

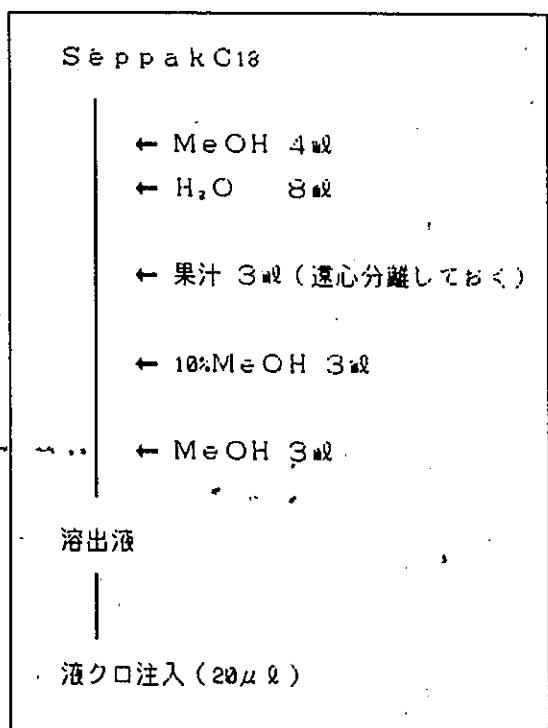


図2 ナリンギン測定試料の前処理

スタンダード、試料はSep Pak C18で前処理を行った。前処理のフローシートを図2に示す。ナリンギンの確認：液クロ流出液を分取し、Davis法で発色させ、可視部の吸光カーブにより確認した。

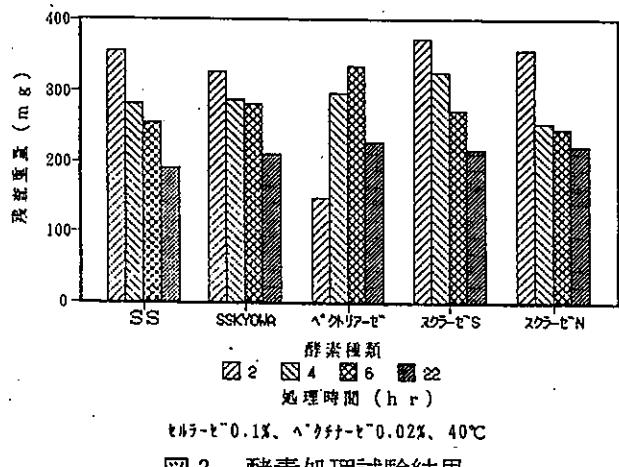
- 5) ペクチン：70%アルコール不溶性物質を希塩酸で加水分解し、Blumenkrantz<sup>6)</sup>らの方法でガラクチュロン酸を定量した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 甘夏果汁の酵素処理試験結果

セルラーゼ1種類にペクチナーゼ12種類を組み合わせて、35°Cと40°Cで2、4、6、22hr処理し、残査重量と660nmODから5種類のペクチナーゼを選び、処理温度40°Cとした。選んだ5種類のペクチナーゼとセルラーゼの濃度を種々組み合わせて試験を行い、最も適するペクチナーゼとしてペクトリアーゼを選んだ。試験の結果を図3、4に示す。選んだペクトリアーゼとセルラーゼの濃度、処理温度および処理時間について検討した結果、ペクトリアーゼ0.02%、セルラーゼ0.1%の組み合わせで、40°C、4hr処理が最も効果的であることが分かった。この結果を図5、6に示す。

果汁の清澄化について、リンゴ、ブドウなどの果汁にはペクチナーゼ製剤が広く使用されているが、甘夏などの柑橘類ではセルラーゼを併用することが必要である<sup>7)</sup>とされており、この試験においてもペクチナーゼ単独では清澄化が進まなかつた。



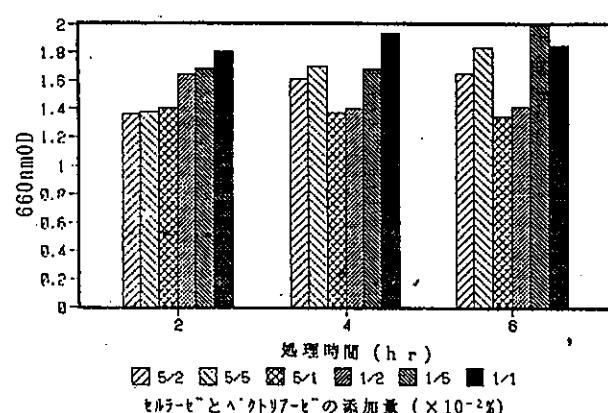
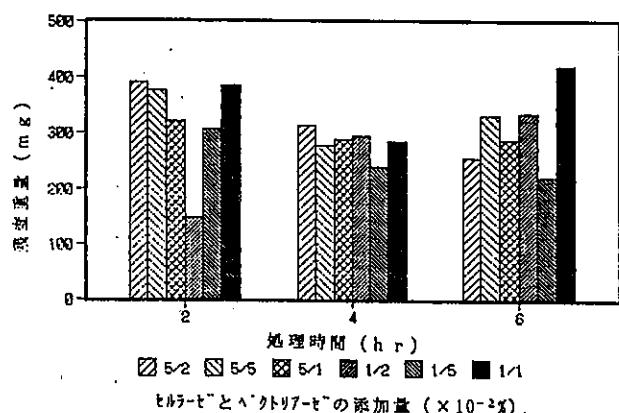
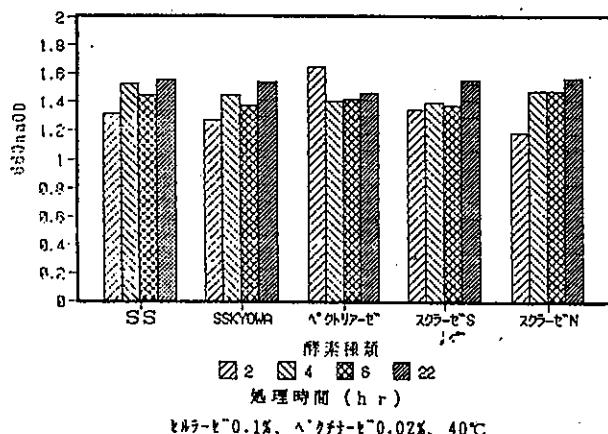
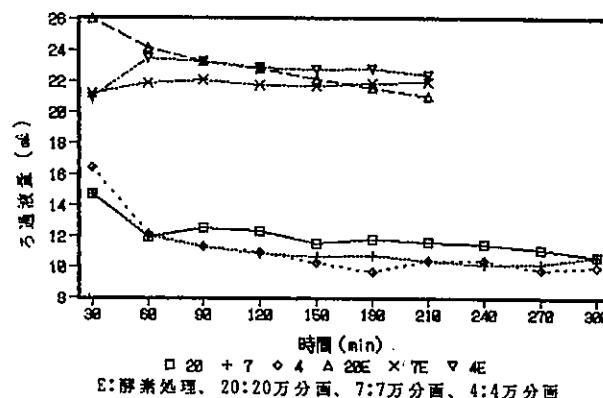


図6 ペクトリーゼ処理条件の検討 (660nmOD)

### 3.2 限外ろ過処理試験

3.1で選んだ酵素処理条件で処理した甘夏果汁と無処理の果汁を3種類の限外ろ過膜を用いてろ過した結果を図7に示した。

この結果から、限外ろ過処理に及ぼす酵素の効果が明らかである。すなわち酵素処理によってろ過効率が約2倍になっている。酵素の費用や酵素処理時間を考慮しても、ろ過効率の点で酵素処理した方がよりよいと考えられる。また、膜の分画分子量による差はそれほど大きくなかったので、酵素が透過しない程度の膜を選べばよいことが分かった。



### 3.3 酵素力価の測定

限外ろ過の保持液は加熱殺菌するため酵素が失活するが、透過液は加熱処理しないので酵素の透過が問題となる。透過液と保持液の酵素力価を測定した結果を表3に示す。

この結果、7万分画と20万分画の膜では明らかに酵素が透過しており、4万分画の膜でもわずかではあるが、透過していると考えられるので、酵素の透過しない膜の選定が必要である。

表3 酵素力価測定結果

		ポリガラクトウローゼ活性 (mg/mg)	ペクチオエスター活性 (A620/min)	ペクチンアーゼ活性 (μg/unit)	セルラー活性 (mg/10mℓ)
原果汁		0.0125	0.001	0.018	0.28
IRIS3065 4万分画	保持液	0.0150	0.002	0.013	0.70
	透過液	0.0090	0.003	0.015	0.34
IRIS3065 7万分画	保持液	0.0160	0.002	0.011	0.70
	透過液	0.0100	0.007	0.015	0.58
IRIS3065 20万分画	保持液	0.0145	0.003	0.008	0.70
	透過液	0.0175	0.003	0.018	0.55

## 3.4 成分分析

- 1) Bx : 原果汁と酵素処理果汁の限外ろ過処理による透過液のBxの変化について図8に示す。膜の分画分子量や酵素処理の有無には関係なくほとんど一定であった。
- 2) 酵素処理液の膜ろ過液について、色度および660nmODの測定結果を表4に示す。

この結果、透過液はいずれも無色透明に近いことが明らかとなった。保持液は原果汁に比べて、a\*とb\*の値が大きく、赤みや黄みが増加したことを示している。また、L\*値は減少しており色が濃くなったことを示すものである。660nmODにおいては、酵素処理液は保持液、透過液ともに原果汁より低い値を示し、ペクチン質などの混濁物質が減少したことを見ている。以上のことから、甘夏果汁の着色物質は膜処理により保持液側に残るため、これを加熱殺菌して、濃縮処理した透過液に混合することによつ

て濃縮甘夏果汁を得ることができる。

- 3) ナリンギンの分析結果を表5に示す。

酵素処理によってナリンギンは減少しており、酵素にナリンギナーゼが含まれていたと考えられる。また、ナリンギンは膜を透過することが

表4 色度および660nmOD測定結果

	L*	a*	b*	660nmOD
原果汁	79.84	1.40	24.21	1.034
IRIS3065 4万分画	75.06	1.70	38.40	0.437
	透過液	99.57	-0.53	2.17
IRIS3065 7万分画	69.39	2.35	42.64	0.510
	透過液	99.62	-0.64	2.76
IRIS3065 20万分画	75.86	1.25	35.80	0.578
	透過液	99.81	-0.52	2.08

表5 ナリンギン分析結果

	ナリンギン濃度 (ppm)	
	酵素処理果汁	酵素無処理果汁
原果汁		243.6
IRIS3065 4万分画	保持液	252.4
	透過液	59.0
IRIS3065 7万分画	保持液	50.7
	透過液	43.1
IRIS3065 20万分画	保持液	35.8
	透過液	58.8

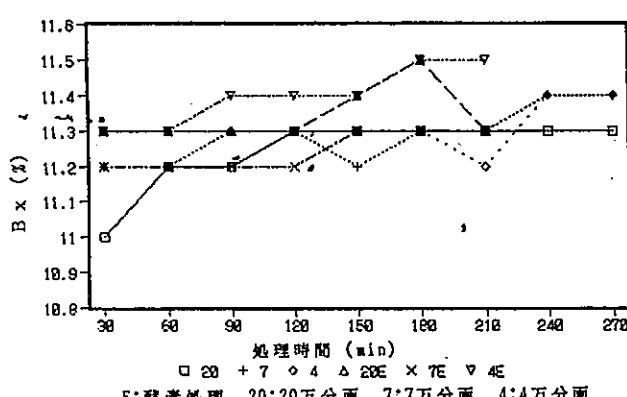


図8 透過液のBx測定結果

分かった。

#### 4) ベクチンの分析結果を表6に示す。

この結果から、酵素処理によってベクチンがかなり減少することが分かった。また、ベクチンは高分子のため、膜処理により保持液側に残ることが確認できた。

以上の結果から、甘夏果汁の限外ろ過処理においては、セルラーゼとペクチナーゼ併用による酵素処理が有効であることが確認できた。

表6 ベクチン分析結果

	#ラクチヨン酸 ( $\mu\text{g}/0.2\text{mL}$ )
原果汁	5.65
NTU2120 保持液	14.70
透過液	0.08
酵素処理果汁	2.97
NTU2120 保持液	5.03
透過液	0

## 文 献

- 1) 渡辺敦夫：食品膜技術懇談会 第二回秋期研究例会資料 2-5
- 2) 小崎道夫：酵素利用ハンドブック 地人書館 300-301, 338, 345
- 3) Ann E. Hagerman and Paul J. Austin : J. Agric. Food Chem. 1986, 34, 440-414
- 4) R. L. Rouseff, S. F. Martin, and C. O. Youtsey : J. Agric. Food Chem. 1986, 35, 1027-1030
- 5) 日比清勝, 坊之下雅夫 : 食品と科学 7, 1989, 120-122
- 6) N. Blumenkrantz and G. Asboe-Hansen : Analytical Biochemistry, 54, 1973, 484-489
- 7) 尾崎準一 : 果汁果実飲料ハンドブック 朝倉書店 108-11

## 4. おわりに

甘夏果汁の限外ろ過処理において酵素処理の有効性について検討した。

- 1) ベクチナーゼ12種類を用いて、セルラーゼとの併用で酵素処理後の残査重量と660nmODから5種類のペクチナーゼを選んだ。
- 2) 5種類のペクチナーゼをもちいて酵素処理条件等を検討し、ペクトリニアーゼを選び、40°C4hr、酵素濃度等を決定した。
- 3) 酵素処理果汁と原果汁の限外ろ過処理を行った結果、酵素処理果汁のろ過速度は、原果汁の約2倍であった。
- 4) 成分分析の結果、着色物質やベクチン質は保持液側に残ることが分かった。また、苦味物質のナリンギンは酵素処理によって低減化できた。

最後に、この試験においてご助言をいただきました工業技術院 微生物工業技術研究所細野邦昭先生に深謝いたします。

# 液状食品の膜処理試験

—膜法による食品製造技術の改良に関する研究（第3報）—

湯之上雅子・松田茂樹

Process of Liquid Food by Membrane

—Studies on Food Processing Improvement by Membrane Filtration(3)—

Masako YUNOUE, Shigeki MATSUDA

本県産の果実、野菜および調味料などの液状食品の限外ろ過膜（UF）、逆浸透膜（RO）、電気透析膜（ED）を用いた膜処理試験を実施した。

甘夏果汁の膜モジュールによるUF、RO処理では多段処理が必要であることが分かった。

なしやしょうがの清澄化においては、セルラーゼやペクチナーゼなどの酵素を併用した方が、膜処理の効率が良く、成分の抽出率も良好なことが分かった。また、なしの濃縮にも多段処理の必要性が感じられた。

ブルーベリー色素の調製においては、膜を用いて清澄化と濃縮を行い、サイクロデキストリンを添加して凍結真空乾燥した後粉末化した。

摘果からかんきつ酢を調製するために膜を用いたところ、苦味成分が低減化した清澄化果汁が得られたので、ポン酢やドレッシングなどの加工原料としての用途が開けた。また、濃縮することで高酸度酢として使える。

甘夏果汁の脱酸としょうゆの脱塩にEDを用いて試験を行い、conductivityで管理できることが分かった。また、処理液の量によって処理時間が違うこと、すなわち量が多いと時間がかかる（2倍の液量では2倍の時間）ことが分かった。

脱酸回収液中のクエン酸をRO濃縮して工業的な用途開発について考える必要がある。

## 1. はじめに

熊本県は農業県であり、種々の果実や野菜類が生産されている。近年、果実と野菜を混合した飲料が、健康志向とも相まって、製造量を伸ばしており、本県においても一部その製品化がなされている。しかし、従来、果汁や野菜ジュースの製造

においては、加熱濃縮が行われており、香気成分やビタミン類の損失、風味の変化および色の変化が生じること、さらに、加熱にともなう消費エネルギーが大きいことなどが欠点とされてきた。一方、限外ろ過膜（UF）や逆浸透膜（RO）を用いる清澄化や濃縮においては、熱を用いないため品質の劣化が少なく、消費エネルギーも少ない。

前報<sup>1)</sup>で、本県産の甘夏果汁の清澄化について報告したが、これに続けて本県産の果実や野菜ジュースの製造において、その清澄化と濃縮に限外ろ過と逆浸透膜を利用して試験を行った結果に

について報告する。

また、電気透析膜（ED）を用いる脱塩装置により、甘夏果汁の脱酸およびしょうゆの脱塩について試験を行ったので、あわせて報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 UF および RO による甘夏果汁の清澄化と濃縮（モジュール試験）

前報<sup>1)</sup>では、小型の平膜試験装置によって、酵素併用による甘夏果汁の清澄化を行ったが、ここでは、20 ℥以上の処理ができる膜モジュールによる試験を行った。

1) 使用装置：日東電工（株）製UF、RO兼用機 RUW-4X

2) 使用膜モジュールおよび運転条件：

キャピラリー型UFモジュール NTU3250-C1R  
(膜面積0.4m<sup>2</sup>)、流量：10 ℥/min、入口圧：  
3kgf/cm<sup>2</sup>

ROスパイラルエレメント、NTR7199-S2 (膜面積1.7m<sup>2</sup>) 流量：10 ℥/min、入口圧：40kgf/cm<sup>2</sup>

### 2.2 UF によるしょうが搾汁液の清澄化

県内のしょうがの出荷量は、平成2年度で4960t (加工用含む) で、みそ漬け、砂糖菓子、キャ

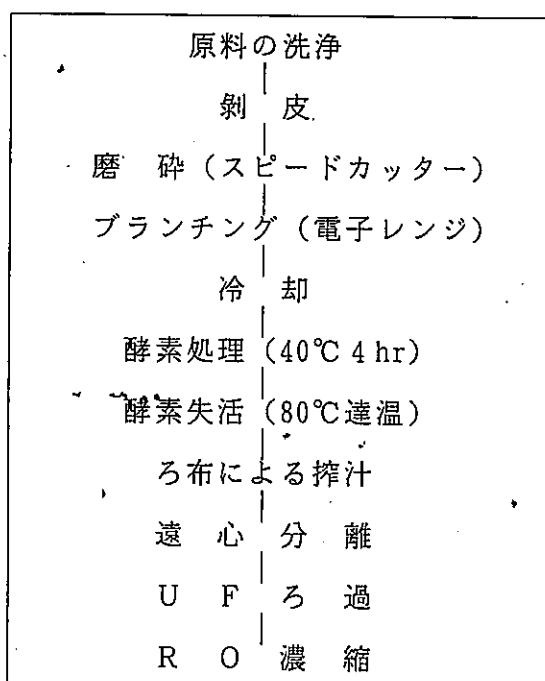


図1 フローシート

ンデー、飲料などに加工され、主として土産品として販売されている。このうち飲料では、ジンジャーエールのような炭酸飲料に使用されているが、搾汁液は日数がたつにつれ、オリが生成するという問題が生じたため、その解決策として膜処理を試みた。

- 1) フローシートを図1に示す。
- 2) 使用酵素：セルラーゼオノゾカ3S 0.1%  
スマチームMC 0.1%
- 3) 使用装置：日東電工（株）製バッチ式平膜テ  
ストセル C70-B
- 4) 使用膜：NTU2120
- 5) 使用圧：2kgf/cm<sup>2</sup>
- 6) 成分分析：前報<sup>1)</sup>に準じた。

### 2.3 UF および RO によるなし果汁の清澄化と濃縮

なしを使った加工品としては、なしワインやなし酢などが考えられるが、なし果汁そのものの商品化を想定して、酵素処理を併用したUFによる清澄化およびROによる濃縮を行った。

- 1) 試験区：①剥皮酵素処理  
②剥皮酵素無処理  
③皮付き酵素処理  
④皮付き酵素無処理
- 2) フローシート：図1のとおりとした。
- 3) 使用酵素：セルラーゼオノゾカ3S 0.1%  
ペクチナーゼ3S 0.1%
- 4) 装置およびUF膜は2.2と同じ物を同じ条件下で使用した。RO膜はNTR7250を使用し、使用圧は30kgf/cm<sup>2</sup>とした。
- 5) 成分分析：前報<sup>1)</sup>に準じた。

### 2.4 UF および RO によるブルーベリー果汁の清澄化と濃縮および濃縮液から色素の調製

ブルーベリーの県内生産量は、平成2年度で20t、生果で販売されるほか、果汁、ジャム、ワインなどに加工されており、生産量は増加の傾向にある。しかし、生果としての需要が頭打ちの状態で、新しい高付加価値製品の開発が迫られている現状である。一方、ブルーベリー色素などのアン

トシアニンは、近年、天然の着色料として食品への利用が急速に増加しているだけでなく、抗酸化能などを有する機能性物質としての検討も開始されている。また、ブルーベリーから抽出したアントシアニン色素には疲れ目回復に効果があるという報告<sup>2)</sup>もある。そこで、この色素を効率よく抽出するために膜を用いて試験を行った。

- 1) 原料：阿蘇郡蘇陽町農協から供与された生果を凍結保存した
- 2) フローシート：図1のとおりとした。
- 3) 使用酵素：スミチームMC 0.1%  
スミチームC 0.1%  
ペクチナーゼSS協和 0.1%
- 4) 使用装置：2.2と同じ
- 5) 使用膜および使用圧：NTU3150、2kgf/cm<sup>2</sup>  
NTR7410、20kgf/cm<sup>2</sup>
- 6) 成分分析：前報<sup>1)</sup>に準じた。
- 7) 色素成分分析：0.5%塩酸-メタノール抽出後、カラムクロマトグラフィー(LH20)で精製した後、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)で分析した。HPLCの条件は宮崎らの方法<sup>3)</sup>に従った。
- 8) 色素の調製：RO濃縮時にダイアフィルトレーションを行い、糖や有機酸など色素以外の物質をできるだけ除去した後、色素の安定化のためにサイクロデキストリンを添加して10,000 rpmで5分間ホモジナイズし、凍結真空乾燥した。

## 2.5 UFおよびROによる摘果かんきつ酢の清澄化と濃縮

本県はかんきつ類の生産量が多く、種々の果実の摘果も多量に出るので、この摘果のかんきつ酢としての利用について膜を用いて検討した。

- 1) 原料：熊本県農業研究センター果樹研究所で栽培された清見、温州みかんを平成3年9月12日に摘果しリーマー式の搾汁機で搾汁した。搾汁した果汁は-20°Cで凍結保存した。
- 2) フローシート：図1のとおりとした。
- 3) 使用酵素：セルラーゼオノズカ3S 0.05%  
ペクチナーゼ3S 0.05%
- 4) 使用装置：UF：ミリポアペリコンカセットシステム

RO：2.2と同じ

- 5) 使用膜：UF：ミリポア30000NMWLペリコンカセット(膜面積：5.0ft<sup>2</sup>)  
RO：NTR7250(使用圧：40kgf/cm<sup>2</sup>)

6) 成分分析：前報<sup>1)</sup>に準じた。

- 7) 苦味物質の分析：UFろ過の透過液では官能試験の結果、苦味が低減化していたのでHPLCでリモニンとノミリンを分析した。HPLCの条件はT. A. VAN BEEKらの方法<sup>4)</sup>に従った。なお、リモニンとノミリンの標準物質は、佐賀県果樹試験場、柴田萬氏より供与していただいた。

## 2.6 EDによる甘夏果汁の脱酸およびROによる回収液の濃縮

本県産の甘夏みかんは酸度が高く、その果汁をストレートで飲用するとかなり酸味が高いと感じるため、加糖して糖酸比を高め飲用時に水で薄めるように加工したり、イオン交換樹脂で酸を除く方法がとられている。本報ではEDによる脱酸について試験を行った。

また、EDの回収液のクエン酸をRO膜を用いて濃縮し、食品以外の利用の可能性について検討した。

- 1) 使用装置：旭化成工業(株)製卓上脱塩装置マイクロアシライザーG3  
RO：2.2と同じ
- 2) 使用膜：アシプレックス・カートリッジA 230-800(膜面積：800cm<sup>2</sup>)  
RO：NTR7250(使用圧：20kgf/cm<sup>2</sup>)
- 3) 電解液：5%NaNO<sub>3</sub>

## 2.7 EDによるしょうゆの脱塩

健康維持のため低塩化の傾向が強まっており、低塩しょうゆや減塩しょうゆの消費が増加している。しょうゆ醸造においては、正常な発酵が行われるために17%程度の塩分が必要とされるため、発酵終了後、塩分を除かなければならない。その1方法としてEDを用いた。

- 1) 使用装置：2.6と同じ

- 2) 使用膜 : アシプレックス・カートリッジ  
AC-110-400 (膜面積: 400cm<sup>2</sup>)  
3) 電解液 : 5%Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 UF および RO による甘夏果汁の清澄化と濃縮 (モジュール試験)

結果を図2、3および表1に示した。

UFろ過は2回連続して実施したが、図2から、UFろ過の1回目より2回目のFluxがかなり落ちているのが分かるが、使用後の膜の洗浄を十分行うことが必要である。RO濃縮では図3で処理時間が40分過ぎると急激にFluxが低下し始める現象

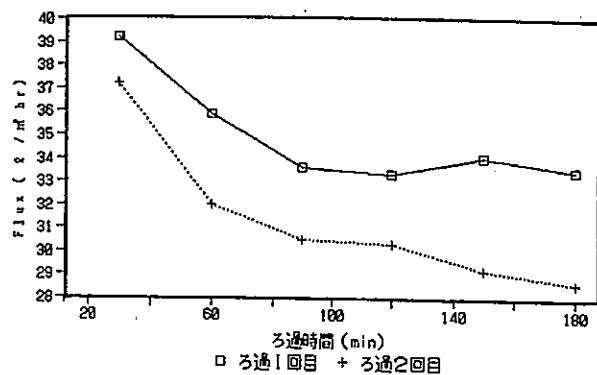


図2 甘夏果汁の清澄化 (モジュール試験)  
NTU 3250-C1R

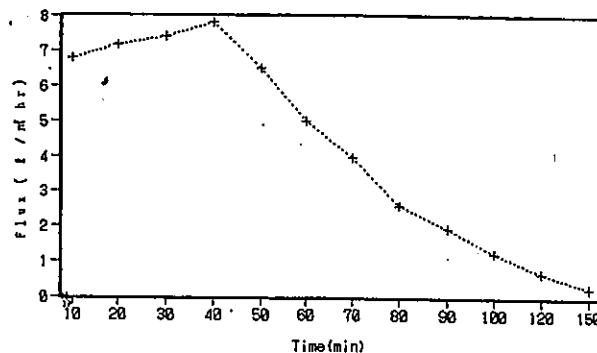


図3 ROモジュール試験  
NTR-7199-S2

表1 UF, ROモジュールによるろ過試験結果

	Bx	pH	クエン酸(%)
UF保持液	11.9	3.12	2.01
UF透過液	11.2	3.05	1.93
RO保持液	24.2	2.97	4.35
RO透過液	0.2	2.90	0.05

が見られ、膜面が溶質によりファウリングを起こしたことが原因と考えられた。表1から、1回のRO濃縮では、約2.2倍の濃縮率しか得られなかった。多段処理の必要性が感じられた。

#### 3.2 UFによるしょうがろ過試験結果

結果を図4、5、6および表2に示した。

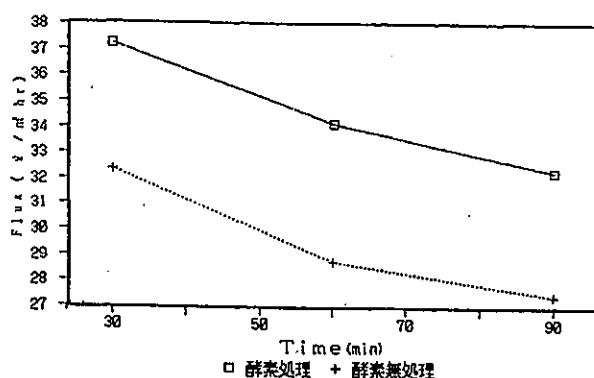


図4 しょうがろ過試験結果  
(NTU 2120, 2 kgf/cm²)

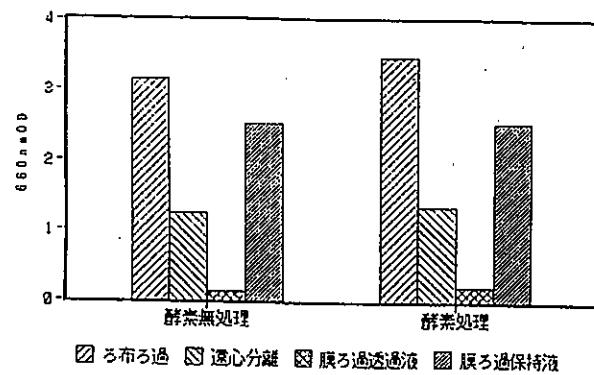


図5 各処理工程の660nmODの差

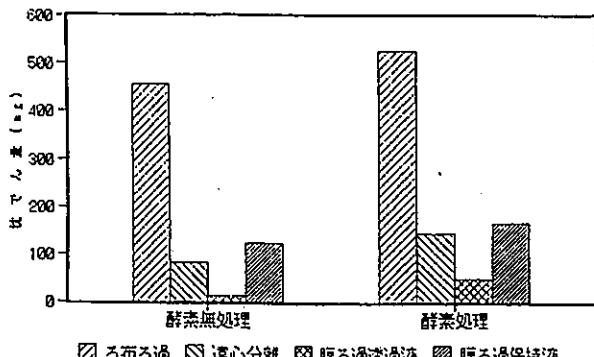


図6 各処理工程の沈殿量の差

表2 しょうがの膜ろ過試験結果

	酵素無処理				酵素処理			
	ろ布ろ過	遠心分離	膜ろ過透過	膜ろ過保持	ろ布ろ過	遠心分離	膜ろ過透過	膜ろ過保持
Y%	71.57	72.52	81.85	61.06	76.01	78.69	85.24	69.64
x	0.3617	0.3617	0.35	0.3769	0.3561	0.3557	0.3449	0.3677
y	0.3738	0.3745	0.3663	0.3845	0.3715	0.3715	0.3663	0.3795
Bx	2.4	2.4	2.3	2.5	3.1	3.1	2.9	3.2
PH	5.76	5.77	5.74	5.79	5.34	5.34	5.33	5.34
クエン酸(%)	0.076	0.074	0.075	0.078	0.107	0.099	0.103	0.102

酵素処理により搾汁率が84%から97%にあがり、さらに膜処理の能力が15%ほど高まることが分かった。また、膜処理により660nmODと沈でん量がかなり低くなっていること、清澄化されたことが確認できた。透過液では、Y(%)が高いので明度が高く、x、yが若干低めで赤み、黄みが少ないことが分かった。Bx、PH、酸度などの成分にはあまり差が見られなかったが、酵素処理の有無で差が見られた。すなわち、酵素処理液の方がBx、酸度が高く、PHが低い結果であった。酵素処理のメリットがここにもあると思われた。酵素処理で成分を十分引き出した後、膜処理を行うと、糖分や酸成分の多い清澄化液が得られる。

### 3.3 UFおよびROによるなし果汁の清澄化と濃縮

結果を図7、表3、4に示した。

酵素処理で搾汁率、透過流束とともに上がることが分かった。りんごやなしなどペクチン質の多い果実では、果汁の製造に酵素処理が必要であると考えられる。660nmODとY(%)の値から、膜ろ過の清澄化に及ぼす効果がかなり大きいことが分かった。また、酵素もかなり清澄化に効いていることが分かった。RO濃縮では、Bxが12.9から21.6へ、酸度が0.25から0.35へ変化したが、これ以上に濃縮倍率を上げるために多段処理が必要と考えられた。

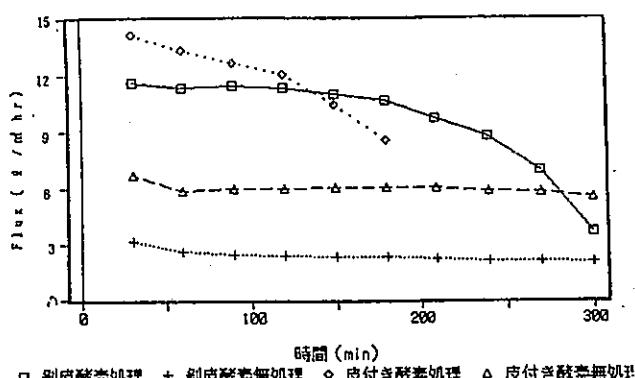


図7 なし果汁ろ過試験  
(NTU 2120, 2 kgf/cm<sup>2</sup>)

表3 酵素処理による搾汁率の差

	搾汁率(%)
剥皮酵素処理	92.6
剥皮酵素無処理	87.5
皮付き酵素処理	91.1
皮付き酵素無処理	85.2

表4 なし果汁清澄化試験結果

		660nmOD	Y %	X	y	Bx	pH	クエン酸(%)
剥 皮	酵素処理 搾汁	2.123	55.86	0.3446	0.3574	13.1	4.29	0.28
	遠心分離	0.142	91.42	0.3254	0.3425	13.1	4.1	0.3
	膜ろ過	0.032	93.8	0.3231	0.3404	12.6	4.28	0.29
皮 付 き	酵素無 搾汁	2.617	40.81	0.3556	0.3655	12.3	4.69	0.22
	遠心分離	1.549	56.49	0.3447	0.3578	13.1	4.1	0.3
	膜ろ過	0.022	96.14	0.319	0.3362	12.0	4.68	0.18
皮 付 き	酵素処理 搾汁	2.511	37.48	0.3833	0.3861	14.3	4.31	0.28
	遠心分離	0.16	85.59	0.3328	0.3512	13.4	4.16	0.25
	膜ろ過	0.083	88.2	0.3298	0.3475	12.9	4.32	0.25
皮 付 き	酵素無 搾汁	2.651	32.85	0.3961	0.3947	12.6	4.68	0.2
	遠心分離	1.641	46.27	0.3772	0.3836	12.6	4.56	0.2
	膜ろ過	0.039	92.67	0.3257	0.3428	12.4	4.7	0.16

### 3.4 UF および RO によるブルーベリー果汁の清澄化と濃縮および濃縮液から色素の調製

結果を表5、図8、9に示す。

表5 ブルーベリーろ過試験結果

660nmOD	0.486
L	13.83
a	29.23
b	10.35
Bx	10.9
pH	2.67
クエン酸(%)	2.08
糖酸比	5.24

ブルーベリーはワックス成分が多いため酵素が効きにくいといわれているが、図8でも酵素処理をしたにもかかわらず、Fluxが急速に低下しており、酵素処理について酵素濃度、酵素の種類、処理時間などを検討することが必要である。この試験においても、酵素処理後の残渣がかなりの量出たが、残渣から色素を抽出し、膜で濃縮することも考えられる。濃縮液から色素を調製する場合は、

色素以外の成分を除くためにダイアフィルトレーションを行うことが必要であった。ダイアフィルトレーションをしないと、凍結真空乾燥してもすぐに吸湿して粉末化が困難であった。

UFろ過果汁の成分はBxが10.9、酸度が2.08で糖酸比が5.24であるが、そのまま飲用するには酸が強すぎるので、着色料的感覚で用いた方がよいと思われる。

図9の液クロバターンから数種のアントシアニンが含まれることが分かった。

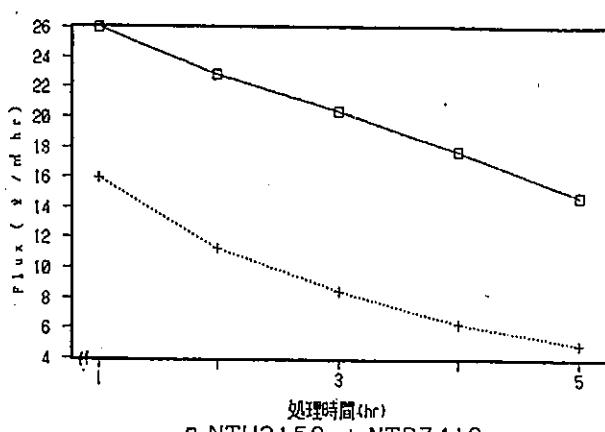


図8 ブルーベリーろ過試験結果

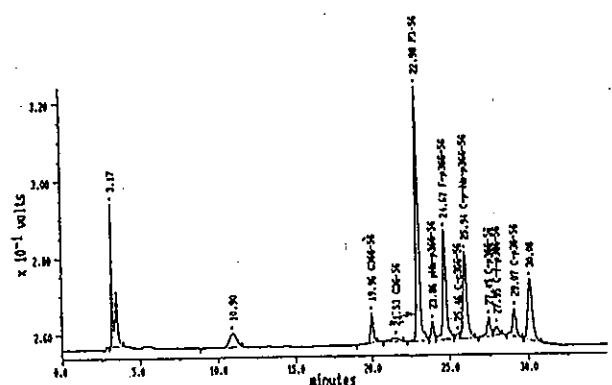


図9 ブルーベリー色素の液クロパターン

### 3.5 UF および RO による摘果かんきつ酢の濾過と濃縮

結果を図10~13、表6に示した。

図10から、UFろ過により清澄化されたことが明らかである。

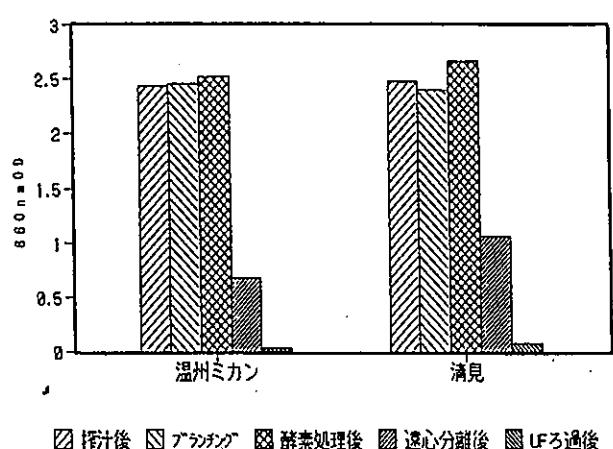


図10 摘果かんきつ果汁の660nmOD

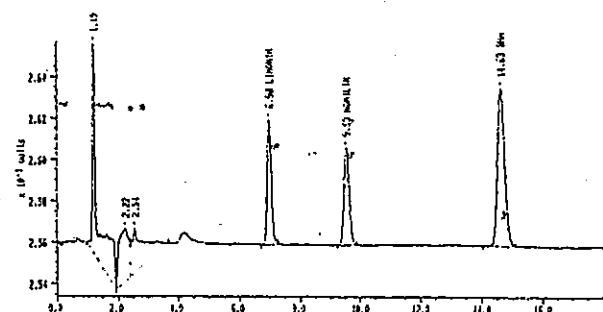
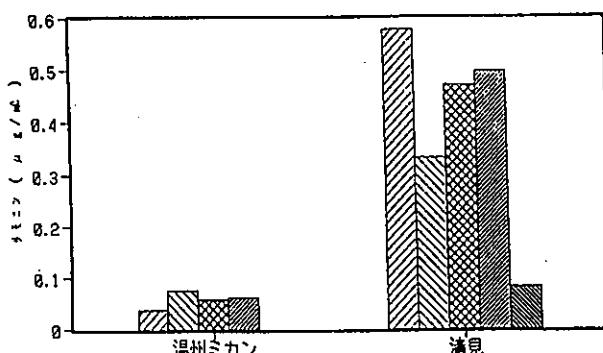


図11 リモニン、ノミリンの液体クロマトグラム



■ 榨汁後 ■ ブランチング ■ 酵素処理後 ■ 遠心分離後 ■ UFろ過後

図12 摘果かんきつ果汁のリモニン ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )

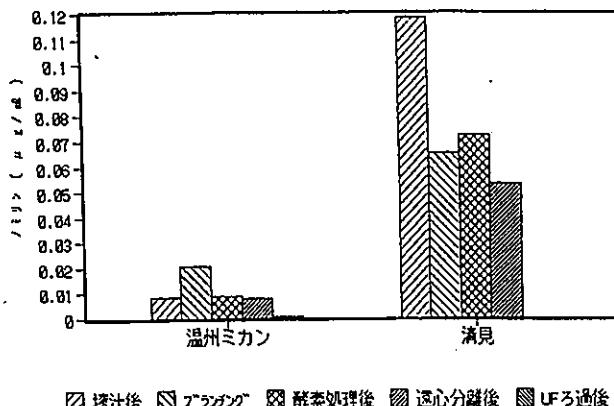


図13 摘果かんきつ果汁のノミリン ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )

図11には苦味物質の液体クロマトグラフを示したが、この方法で分析できることを確認した。また、図12、13にリモニンとノミリンの含有量を示したが、UFろ過で苦味物質を減少させられることが分かった。さらに、温州みかんと清見の苦味物質がナリンギンではなく、リモニンとノミリンであることを確認した。

表6の濃縮試験結果から、高酸度酢としてポン酢やドレッシングなどの加工原料として利用することもできるし、UF透過液をそのまま利用することも可能である。

表6 RO膜による濃縮試験結果 (NTR7250 40kgf/cm<sup>2</sup>)

	温 州				清 見			
	液量 (ml)	Bx	pH	クエン酸(%)	液量 (ml)	Bx	pH	クエン酸(%)
UF 透過液		8.0	2.87	1.98		8.2	2.67	3.7
RO 透過液	140	1.3	3.09	0.46	146	1.4	2.82	0.85
RO 濃縮液	60	21.7	2.96	5.40	54	21.7	2.82	10.56
濃縮倍率	3.3				3.7			

### 3.6 EDによる甘夏果汁の脱酸およびROによる回収液の濃縮

甘夏果汁1ℓをEDで処理した結果を図14、15、16、表7に、回収液のROによる濃縮試験の結果を図17、表8に示した。

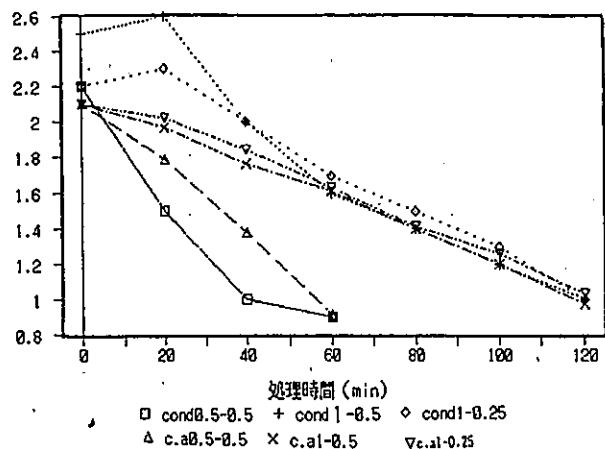


図14 果汁量と回収液量による差  
conductivityとcitric.a

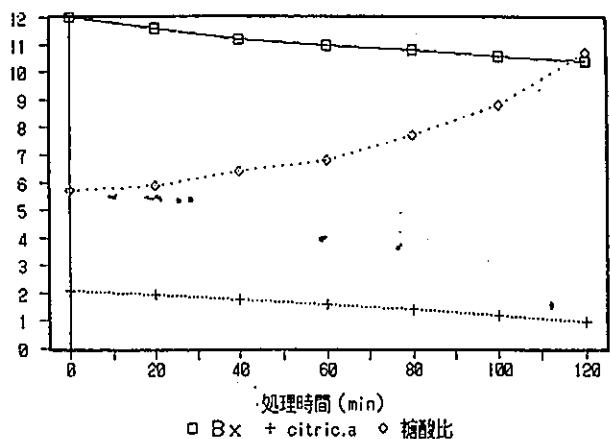


図15 甘夏果汁の脱酸試験  
Bx、クエン酸、糖酸比の変化 (果汁1ℓ)

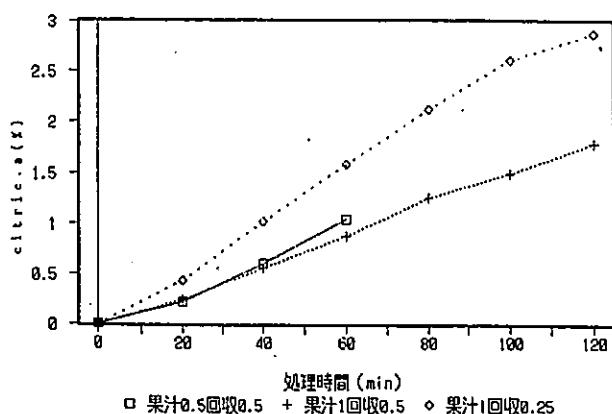


図16 果汁量と回収液量による差  
回収液クエン酸濃度

表7 脱酸結果

	Bx	pH	クエン酸(%)	糖酸比
甘夏果汁	12.0	2.9	2.10	5.7
脱酸甘夏果汁	10.2	2.64	1.01	10.1

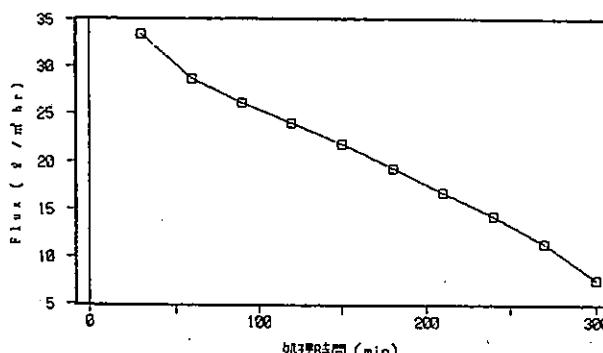


図17 脱酸回収液の濃縮試験  
(NTR 7250, 20kgf/cm²)

表 8 濃縮試験結果

	B x	クエン酸(%)
回 収 液	4.2	1.72
濃 縮 液	18.0	7.64

(N T R 7250, 20kgf/cm<sup>2</sup>)

クエン酸2.1%の甘夏果汁1ℓを2時間処理すると、クエン酸1.0%まで減少できることが分かった。このときの糖酸比が10程度になるので、嗜好の範囲にはいることになる。EDでは、conductivityを見ながら処理を行うが、conductivityの値で脱酸の程度をチェックできるので、終了設定をconductivityにすることにより無人運転が可能となる。回収液量を500と250にして試験したが、脱酸の程度はほとんど変わらず、回収液のクエン酸濃度が約1.6倍になった。回収液を利用する場合は濃度の濃い方が好都合であるので、回収液量を少なくした方がよいと思われた。回収液をイオンクロマトグラフィーで分析した結果、電解液のNO<sub>3</sub>イオンが検出されたため食品への利用はできないことが分かった。

回収液の濃縮では、1回の処理で4.4倍まで濃縮できた。クエン酸の工業的用途について検討し、利用の途を開くことが必要である。

### 3.7 EDによるしょうゆの脱塩

結果を図18、表9に示した。

3.6と同じでconductivityを指標として試験ができることが分かった。また、所定の塩分量にするまでにかかる時間は、処理する量によって変わり、処理量が2倍になれば、所用時間が2倍かかった。減塩しょうゆは通常のしょうゆの塩分の1/2以下の塩分含量のものと規定されているが、この装置を用いれば、塩分をほとんど含まないしょうゆをつくることができる。

さらに、T.Nやエキス分が増加するので濃厚なしょうゆができる。

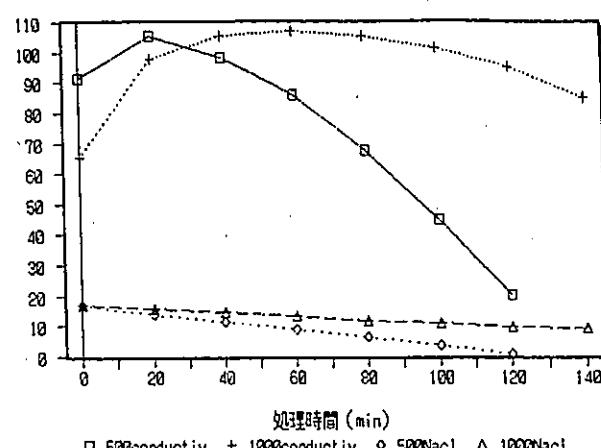


図18 しょうゆの脱塩  
(サンプル量による差)

表 9 脱塩結果

	処理量(ml)	処理時間(min)	T.N(%)	NaCl(%)	エキス(%)
しょうゆ	—	—	1.82	17.13	22.1
脱塩しょうゆ	500	70	1.82	8.14	25.7
脱塩しょうゆ	500	120	2.06	0.90	30.3
脱塩しょうゆ	1000	140	1.95	9.30	26.1

### 4. おわりに

県内で生産される果実や野菜、調味料などを限外ろ過膜(UF)、逆浸透膜(RO)、電気透析膜(ED)を用いて処理した。

その結果、以下のことが分かった。

- 1) 果実や野菜などの清澄化果汁を得るために、セルラーゼやペクチナーゼなどの酵素を併用して膜処理をした方が効率よくろ過が進み、さらに抽出される成分が濃くなった。
- 2) 果汁の濃縮は1段の逆浸透処理では2倍程度の濃縮しかできないので、多段処理が必要である。
- 3) ブルーベリー色素を濃縮果汁から調製する場合、サイクロデキストリンを添加すると、凍結真空乾燥後の粉末化が容易であった。
- 4) UF膜で苦味成分(リモニン、ノミリン)が減少した。

5) EDによる脱酸や脱塩はconductivityを指標として、所定の酸や塩の濃度にすることができる。

最後に、リモニンとノミリンの標準物質を供与していただきました佐賀県果樹試験場 柴田萬氏に深謝いたします。

## 文 献

- 1) 湯之上 雅子外；本誌
- 2) 食品と科学 7, 65, (1989)
- 3) 宮崎 丈史外；園学雑, 60, 217-224(1991)
- 4) T. A. VAN BEEK et al ; Journal of Chromatography, 464, 375-386 (1989)

# 電着塗装工程で発生するスケールの除去方法

本田 悠紀雄\*・坂田 一成\*・荒木 悅郎\*\*

Clearing method of the scale in the process of electrodeposition

Yukio HONDA\*, Issei SAKATA\*, Etsuo ARAKI\*\*

工業塗装では、洗剤使用量の低減、塗装率の向上、省エネルギーの推進、労働環境を改善するため、各方面で新しい塗料や設備が開発されすでに一部実用化されている。これらの高度な技術や設備を効率的に稼働するためには、用いる原料や設備を常に良好な状態に維持管理しなければならない。特に、脱脂工程及びリン酸塩皮膜工程の配管やスプレーの先端に位置するノズル等には、著しくスケールが発生し塗装効率を低下させる。本研究では、このスケールを効率的に除去する方法について検討した。その結果、ノズル等の内壁に付着するスケールを除去する方法として、処理液に10%水酸化ナトリウムを用い、更に直径2~3mmのジルコニア製ボールと共に超音波洗浄器に投入し、物理的なエネルギーを与えることできほぼ完全に取り除くことができた。

## 1. 緒 言

書架、収納家具、移動棚等に用いられる鉄鋼製部材は、金属表面の保護及び美観の付与を目的として図1に示す工程に従って塗装が行われている。

この工程のうち、脱脂工程やリン酸塩皮膜工程の配管、ノズル及び付帯設備等にスケールが発生する。特にノズルの先端部では噴霧孔がふさがり塗装作業が困難な状態に陥る。このため、塗装ラインを一時停止し、ノズルを取り外した後除去作業を行っている。この除去作業は、2~3ヶ月毎に入手を使って行っているが、作業環境が悪く非能率的でしかも長時間ラインを停止するため、生産効率が低下しコストアップの原因となっている。

本研究では、スケール発生の原因を究明とともに、最適なスケールの除去方法について検討し、同様な作業工程を持つ中小企業に対し、共通する課題を解決する手段として提供し、県内企業の技術力向上に寄与する。

なお、本試験は技術アドバイザー事業の一環として実施したものであり、試験終了後の成果は広く県内関連企業に普及する。

\* 材料開発部

\*\*熊本県技術アドバイザー

表1 スケールの処理条件

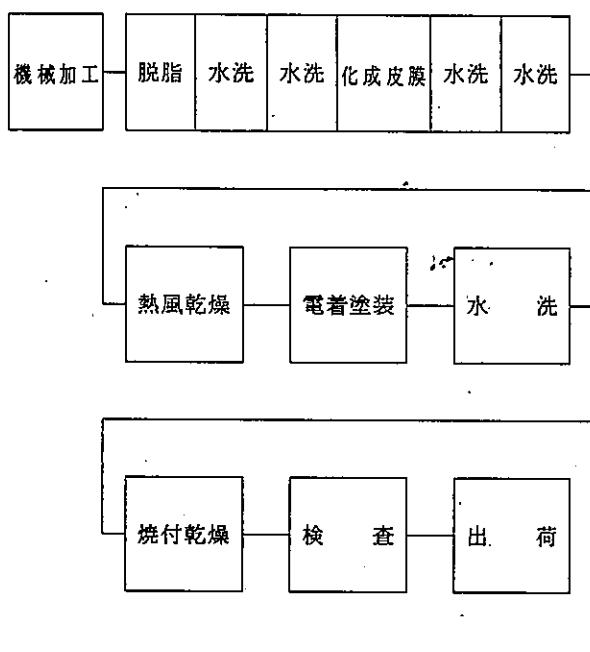


図1 塗装工程図

実験No	処理液	濃度 (%)	時間 (h)	材質	備考
1	HCl	5	31	ステンレス	
2	$H_3PO_4$	10	28.5	鉄	
3	NaOH	10	8	鉄	
4	市販品	2倍希釈	13	ステンレス	
5	$H_3PO_4$ , NaOH	10	8	"	交互処理
6	NaOH, $H_3PO_4$	10	8	"	"
7	$H_3PO_4$	10	7	"	循環法
8	"	10	8	"	"
9	"	10	7	"	"
10	"	10	7	"	"
11	NaOH	10	10	"	超音波処理
12	"	10	10	"	超音波共振法

## 2. 実験方法

生成したスケールは、事前のX線結晶解析法、蛍光X線分析法により、不溶性リン酸鉄及びケイ酸塩鉱物が主成分であり、それらを溶解する最適処理方法を見いだすということで実験を進めた。

処理液には、危険性が少なくしかも廃液処理が容易な酸及びアルカリを用いた。すなわち、マグネテックスターで処理液を攪拌し、表1に示すように、リン酸、水酸化ナトリウム、市販の処理液を用いノズル及び保持具に付着するスケールの除去試験を行った。

また、付着したスケールの除去効率を向上させるため、処理液を図2に示す小型循環ポンプを用いて循環させる方法及び図3に示す超音波洗浄器を併用した場合の除去効果について検討した。除去率は、処理前後の試料の質量差から算出した。

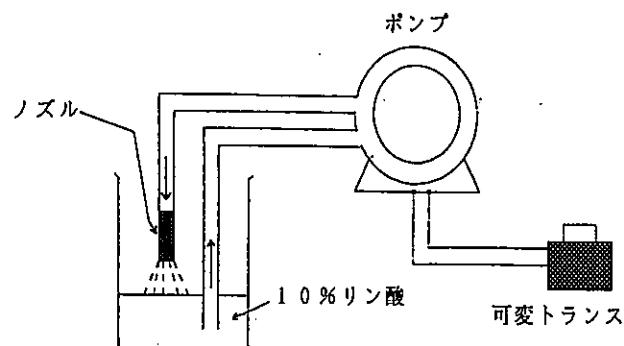


図2 循環法

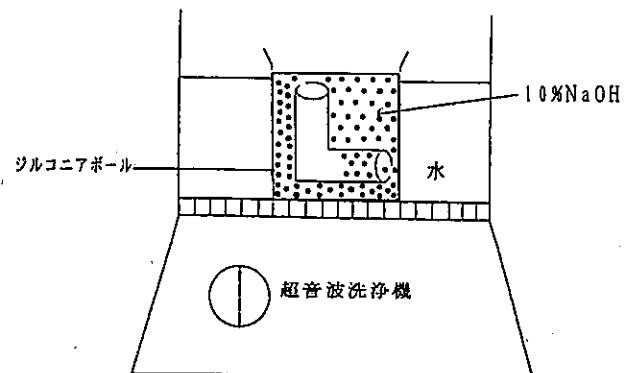


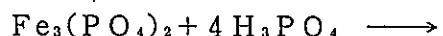
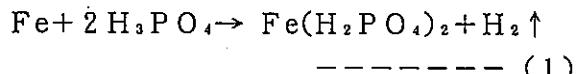
図3 超音波共振法

### 3. 結果及び考察

ノズル等に付着するスケールのうちリン酸鉄等を含むものは、化成皮膜工程で使用する処理剤<sup>1)</sup>と母材等との反応による生成物である。一方、ケイ酸塩を含むものは、脱脂工程で使用する薬品中のケイ酸等が不溶化したものである。これらのスケールは、数年を経過しているため容易に溶解または離脱せず、短時間で完全に除去することは困難である。特に、操業上問題となるノズル等の内壁に付着するスケールは、全面に付着し長期に渡って成長し沈着したため、内径 5 mm の間隔が 1 ~ 2 mm 程度にまで狭くなっている。

スケールの除去試験は、現場で直接処理液をプラント中に流し循環させる処理方法を想定し、処理液を攪拌しながら行なったが、ノズル内部では水流の影響が弱く外壁から離脱が始まる。各実験方法による除去効果を図 4 ~ 図 11 に示す。

スケールが除去される反応式は、



と考えられ、(2) 式ではリン酸が過剰の場合右方向へ進み、リン酸が(1)式で鉄等に消費されると左へ進む可逆反応である。

図 4、5 から、5 % 塩酸処理、10 % リン酸処理の両方に見られるとおり、処理開始から 1 時間程度までは急速に除去される。この間は、酸が各母材表面の付着物を分解する反応が進行していると考えられるが、スケールが剥離し母材の一部が露出し始めると母材の溶解が支配的になると考

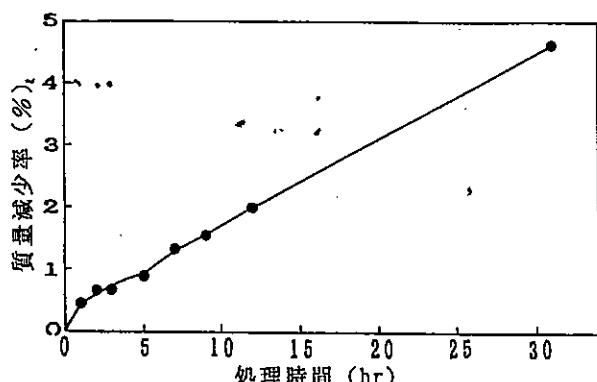


図 4 5% HCl 処理効果

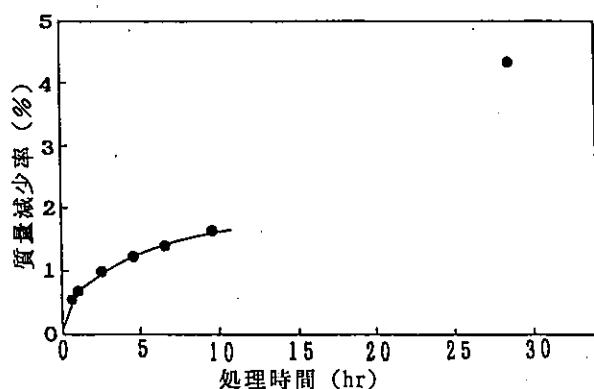


図 5 10% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 処理効果

られる。この傾向は、10 % リン酸処理したもののがより明確に認められるが、スケールの付着量の差によることも考えられる。また、母材からの鉄の溶出をなるべく少なくするためにには、5 % 塩酸の場合 5 時間 10 % リン酸の場合 10 時間以内にする必要がある。

図 6 から、10 % 水酸化ナトリウム液単独処理では、質量減少率が低くスケールの除去効果が悪いことを示す。このことは、ノズルに付着するスケール成分のうち、常温ではアルカリに溶けにくく

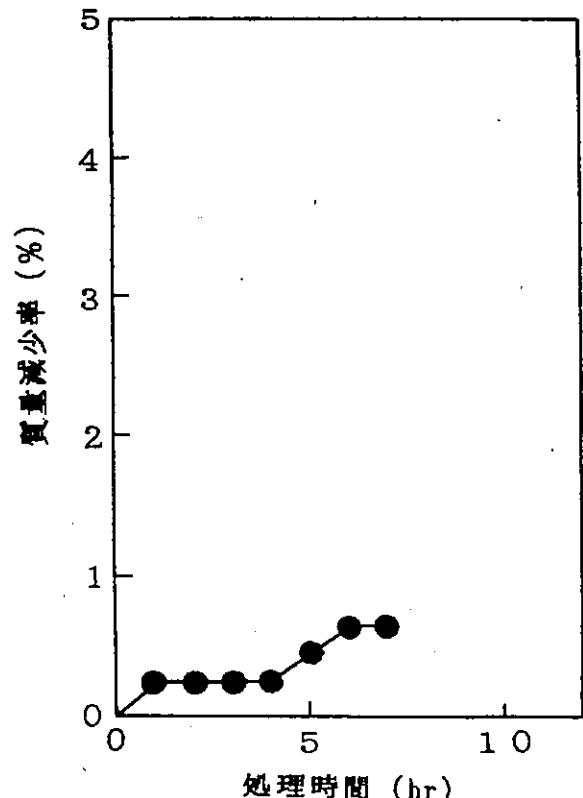


図 6 10% NaOH 処理効果

い成分が共存することを示す。

図7から、市販の洗浄液を用いて処理すると7時間まではスケールが溶解し除去されるが、以後鉄の溶出が多く見られた。

以上、酸及びアルカリ液について検討した結果、単独処理では初期の目的を達成することが困難であることが判明した。次に、酸とアルカリを交互に用いた処理、物理的な刺激を併用した方法について検討した。

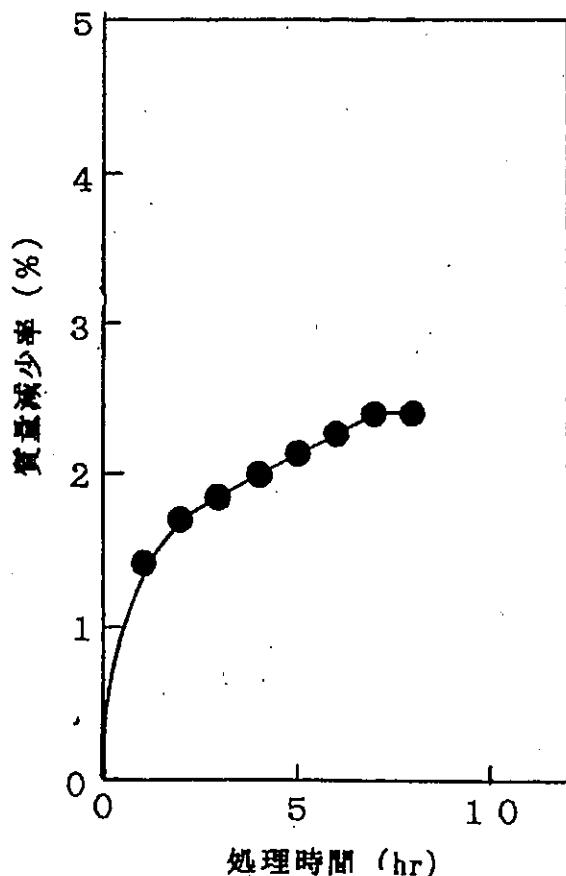


図7 市販剤による処理効果

図8、9から、酸とアルカリ併用処理の場合、単独の場合と比較して除去率が高いのは、生成したスケールのうちアルカリ可溶成分（ケイ酸塩鉱物）と、酸に可溶な成分（リン酸鉄）が混在していることを示し、アルカリと酸による相乗効果が働きスケールの除去が促進されたものと考えられる。

しかし、水流の影響を受けにくい部分のスケールが脱離せず一部残留し、同時にリン酸による腐

食が進行するが、質量減少率が高いことからもわかるように内壁に付着するスケールがかなり除去され、外観上スケールの残存は他の方法と比較して少ない。

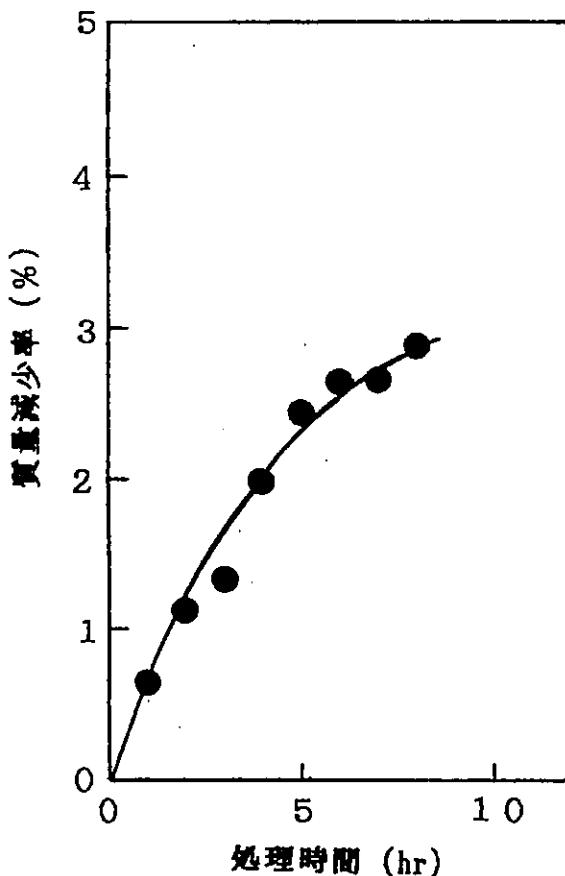


図8 交互処理（酸洗浄先）効果

図10～13に循環ポンプを用いた場合の除去効果を示す。処理効果を向上させるためあらかじめ10%水酸化ナトリウムで所定の時間前処理した後、10%リン酸を循環させた。その結果、前処理効果が現れるのは2時間以上であった。しかし、リン酸処理を継続するとノズルの先端部やビニールパイプとノズルの接続部で生じる圧力差で、この部分が集中的に溶解し腐食が著しいとから実用化は困難である。

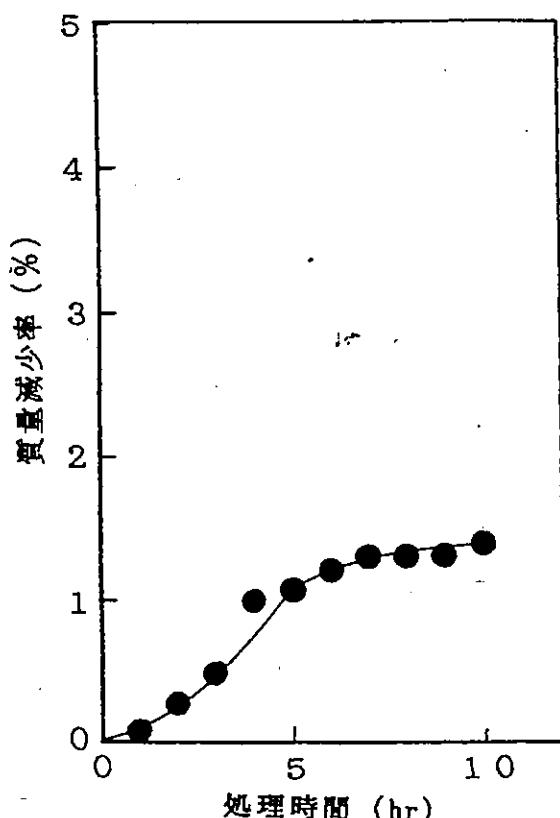


図10 循環処理効果  
前処理 なし

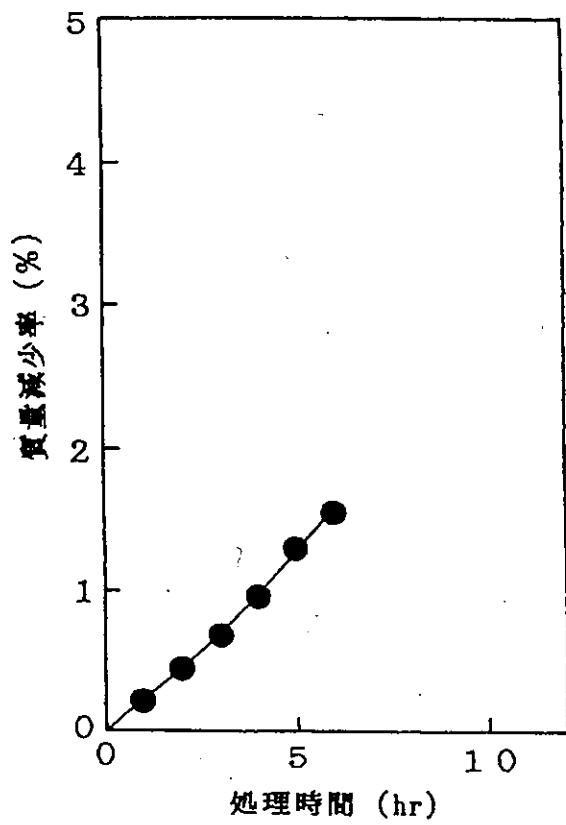


図12 循環処理結果  
10 % NaOH 2 hr

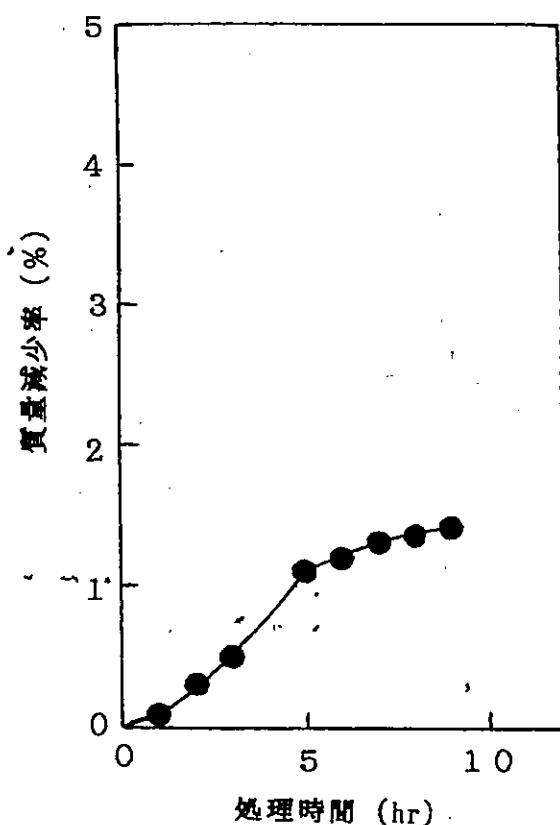


図11 循環処理効果  
10 % NaOH 1 hr

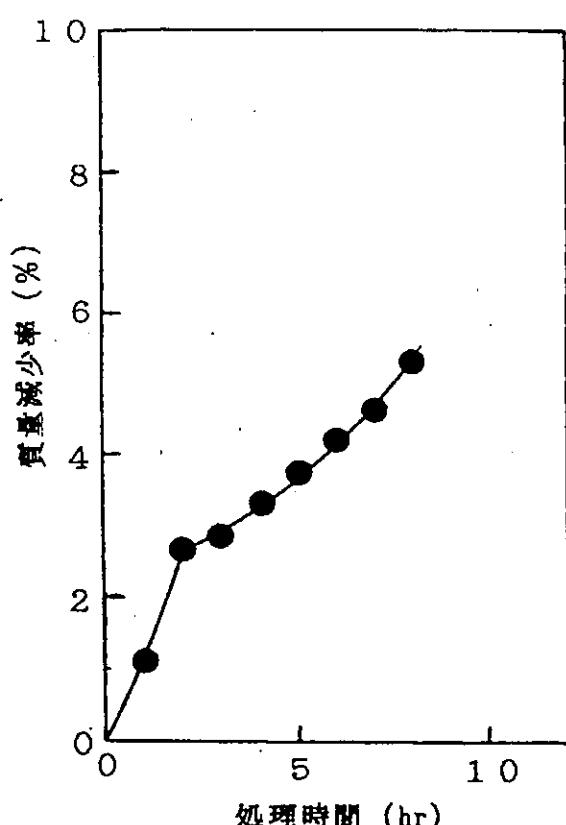


図13 循環処理結果  
10 % NaOH 3 hr

図14から、10%水酸化ナトリウム液を用い超音波処理を行うと、9時間で質量減少がなくなり他の方法と比較して効果的である。しかし、目視検査の結果、表面付近や内部に付着する比較的新しいスケールと思われるものは除去されたが、コーナー付近に付着し超音波の影響を受けにくいものが一部残留した。このことは、超音波処理を併用すると、熱エネルギーが発生し処理温度が上昇することと、振動が与える除去効果によって母材の溶出を避け、スケールの除去効果を向上させたものである。

ノズル等の内部に強固に付着するスケールは、図3に示すように直径2~3mmのジルコニア製ボールを用い、更に超音波振動を併用することで除去した。結果を図15に示す。図15から図14のジルコニアボールを用いない方法と比較してやや質量減少率では少ないものの、ジルコニアボールがノズルの内部まで進入し、目視検査の結果内壁に付着するスケールの大部分が除去されていることが確認された。

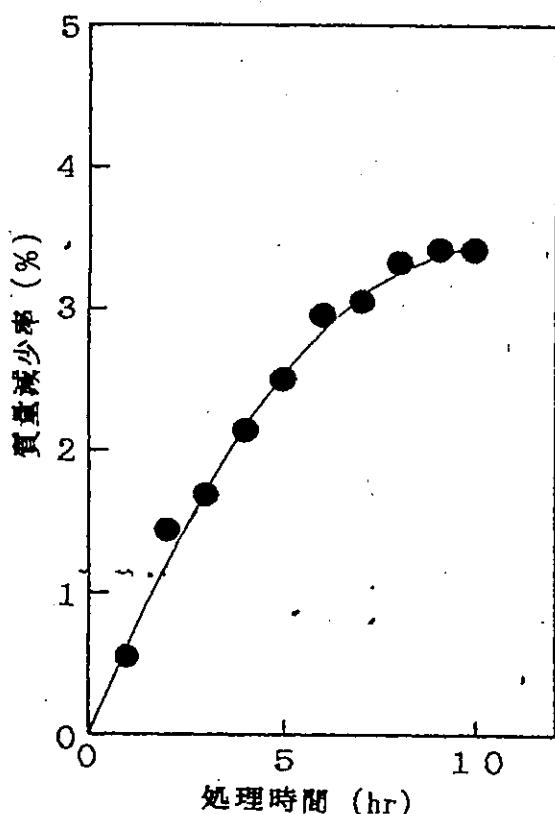


図14 超音波処理

10%NaOH

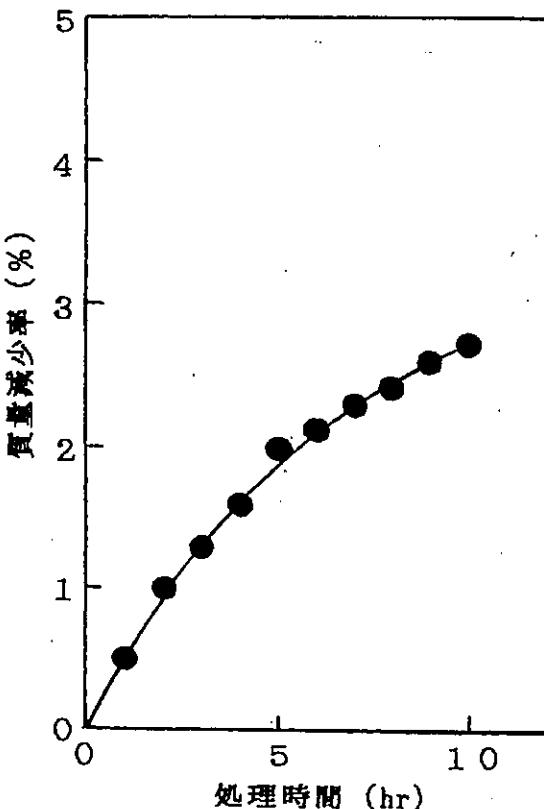


図15 ノズル等の内部に強固に付着するスケールの超音波共振法による処理結果  
10%NaOH

#### 4. ま と め

本試験の結果、付着するスケールの種類や付着量及び母材の溶出量に差があるため、質量減少率をそのままスケールの除去効果とすることはできないが、外観検査と質量減少率から次のことが判明した。

- (1) 塩酸及びリン酸処理では、スケールが除去または剥離した部分から母材の溶解が激しくなる。
- (2) 10%水酸化ナトリウム液単独では処理効果が少ない。
- (3) 10%リン酸と10%水酸化ナトリウム溶液を用いた交互処理法が効果的であるが、リン酸による腐食が発生する。
- (4) 循環処理では、圧力が集中する金属部の腐食が著しく実用上問題である。
- (5) 10%水酸化ナトリウム液を用い、超音波処理を併用すると母材の溶出がなく効果的であるが、ノズル等の内部のコーナー部に付着するスケールが一部残留する。
- (6) 内壁コーナー部に付着するスケールを取り除くためには、ジルコニアボールに振動を与える物理的な力を利用する必要がある。

#### 参 考 文 献

- 1) J I S K 3 1 5 1 塗装下地用りん酸塩化成処理剤

# 天草低火度陶石の微粉碎化による高強度磁器材料の研究開発

坂田一成\*・永田正典\*・本田悠紀雄\*

Development of the High-mechanical Strength of Porcelain Body  
by Fine grinding of Amakusa Teikado Pottery Stone

Issei SAKATA\*, Masanori NAGATA\* and Yukio HONDA\*

現在まで未利用であった天草低火度陶石の有効利用化を図るため、本年度は攪拌ミルによる微粉碎試験を行い、得られた粉体の最適焼成条件について研究した。

鋳込み用選中陶土と細工用選中陶土について、それぞれ 1150、1200、1250、1300°C で焼成した場合、焼成温度が高くなるにしたがい、曲げ強度が増大していくことが判明した。しかし、鋳込み選中陶土を攪拌ミル粉碎処理したものについては、1250°Cにおいて曲げ強度が最大となった。この差異は、攪拌ミル粉碎処理によって微粉碎化が進み、焼成体の石英粒子とガラス相との熱膨張係数の差異に基づくプレストレス効果が有効に働いためであると、粉体の粒度分布の違いが原因であると考えられる。

## 1. 緒 言

前年度は、現行のスタンプミル粉碎法に代わる粉碎方法について検討するため、数種類の粉碎方法による微粉碎化実験を行った。その結果、高強度磁器原料を作製するためには、攪拌ミル粉碎法が有効であることが判明した。そこで、本年度は攪拌ミル粉碎実験を詳細に実施し、焼成後、曲げ強度試験を行い、最適焼成条件を明らかにすることを目標とした。天草の現場で実際に使われている陶土を試料とし、現行のスタンプミルによる粉碎から、攪拌ミル粉碎に代えた場合を想定し実験を行った。その結果、現在のスタンプミル粉碎によるものに比べ、曲げ強度の向上が認められた。

そこで、この結果を現在では未利用の低火度陶石に適用し、強度の向上がなされるかを実験した。

## 2. 実験方法

### 2.1 粉碎原料の選定と調製

まず、天草陶石鉱床を調査し試料のサンプリングを行い、粉末X線回折試験、化学分析及び熱分析(TG-DTA)を行って品質を調べた後に、粉碎原料を選定した。すなわち、これらの分析結果から、平均的品質を持つ陶石をそれぞれ選定した。長石を含まない天草陶石の代表としては、皿山脈伝兵衛木場の2等石を、また、長石質陶石の代表としては海岸脈道田迫産出の低火度陶石を選び、各々1t採掘した。実験に用いた試料は、表1のとおりである。

表1の分類は、実際に現場で使われている陶土の品位分類法に従っており、鋳込み、細工はそれ

\* 材料開発部

表1 実験に使用した陶土の一覧

No.	試験体名(分類番号)
1	鋳込み選中原料 (A-1)
2	細工選中原料 (B-1)
3	鋳込み選中No.1 (A-2)
4	細工選中No.3, 4 (B-2)
5	鋳込み選上原料 (C-1)
6	鋳込み選上No.2 (C-2)
7	ろくろ特上No.5 (D-1)

ぞれ、鋳込み成形用、ろくろ成形用陶土である。また、原料は、現行のスタンプミル粉碎による市販陶土であり、No. がついている試料は、攪拌ミルで粉碎してある製品である。

## 2.2 攪拌ミル粉碎処理

攪拌ミル粉碎には、ホソカワミクロン製アクアマイザー AQ20 型を使用した。攪拌ミルによる粉碎では、原料スラリーと媒体ボールとの相互の衝突による衝撃力、剪断力、摩擦力とで被粉碎物が粉碎される。そのため、原料スラリー濃度、攪拌ローターの回転速度、スラリー循環量が粉体の性状に影響すると考えられるので、予備実験を行い最適操作条件を求めた。攪拌ミルの操作条件を表2に示す。

表2 AQ20型の操作条件

ボール充填量(アルミナ)	20 L (30mmφ)
原料スラリー量(濃度)	12 L (47mass%)
スラリー循環量	6 kg/min
攪拌ローター回転数	130 rpm
ピン(アルミナ棒)	8 本
所要動力	1.5 kW
寸法(cm)	80×120×150(H)

## 2.3 真空加圧鋳込みによる試験片作製方法

陶土残存水分量を 2 % と考え、作製した 30 mass% 泥漿を真空脱泡加圧鋳込み装置(新栄機工社製)の石膏型に流し込んだ後、200 kgf/cm<sup>2</sup> に加圧し、鋳込み成型した。石膏型を数日間乾燥させた後、試験片を離型し、木片上にて自然乾燥

させた。乾燥後、試験片のバリ取りを行うと共に、5 cm の刻印を施し、110°C、2 h 乾燥させた後、放冷し秤量した。

## 2.4 焼成

梶山工芸所製の電気炉を用い、各々 1150、1200、1250、1300°C で、焼成試験を行った。その際に用いた温度プログラムは、図1 のようであった。焼成した試験片を放冷した後、秤量した。焼成温度を 1200°C とした場合の例を挙げた。

## 2.5 曲げ強度試験

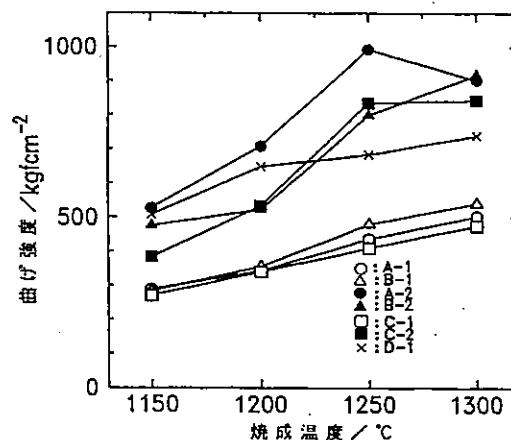
焼成した供試物は、JIS R 1601に準じて 4 点曲げにて測定を行った。

## 3. 実験結果と考察

まず、市販陶土を攪拌ミル処理した場合の結果について述べ、次に、天草低火度陶石を用いた場合の結果について検討する。

### 3.1 市販陶土の焼成温度と曲げ強度との関係

市販陶土を各粉碎条件で粉碎した試料について、それぞれ焼成性状を調べた。まず、鋳込み選中原料 (A-1)、細工選中原料 (B-1)、鋳込み選中粉碎製品 No.1 (A-2)、細工選中粉碎製品 No.3, 4 (B-2) について、焼成体の焼成温度と曲げ強度及び焼成収縮との関係を調べた結果を図

図2 焼成温度と焼成体の曲げ強度との関係  
(市販陶土)

2に示す。

A-1とB-1については、焼成温度が高くなるにつれ曲げ強度が増加していることがわかる。一方、A-2とB-2については、B-2は温度を高くすれば曲げ強度は増加するが、A-2は、逆に減少している。次に、A-1とA-2、B-1とB-2を比較した場合、従来のスタンパー粉砕したものよりも、攪拌ミル粉砕したものが、粒子は細かくなり、プレストレス効果が働きやすくなった結果、曲げ強度が増加したと考えられる。

### 3.2 焼成収縮率と曲げ強度との関係

焼成温度と焼成収縮率との関係について考察してみる。図3から明らかなとおり、A-1とA-2、B-1とB-2において、B-2のみ 1250°C を境として急激に収縮率が増加し、1300°Cで平衡に達している。このことは、B-2については、1250°C 内外が最適焼結温度であることを示唆している。また、1300°Cまで焼成温度をあげ

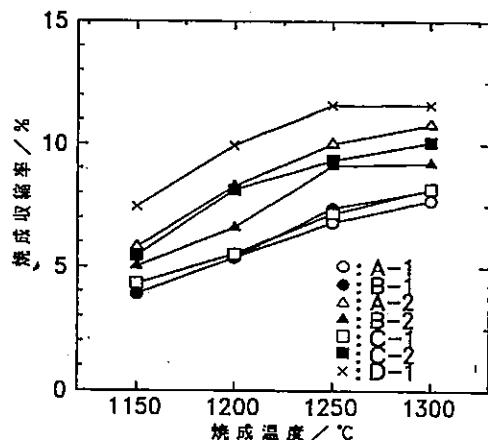


図2 焼成温度と焼成体の焼成収縮率との関係  
(市販陶土)

た場合、収縮率が上るのは、その温度以下では、焼成が不十分であるからと思われる。

### 3.3 低火度陶石における粉砕と曲げ強度との関係

長石を含む試料の焼成温度と曲げ強度との関係を図4に示す。長石を含まない試料と挙動が異な

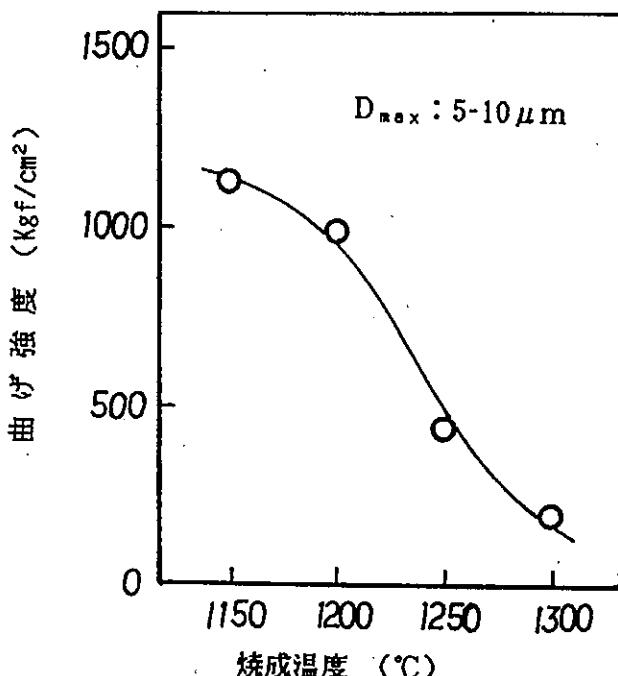


図4 焼成温度と焼成体の曲げ強度との関係  
(Q-S-K-F系)

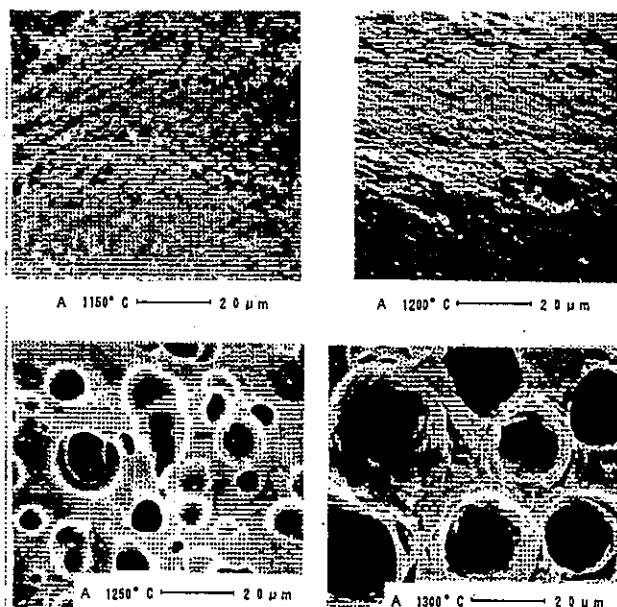


図5 長石質陶石粉体(KH)の焼成体破断面の微構造

り、焼成温度が低くなるに従って曲げ強度は大きくなっている。特に、1150°Cでは、曲げ強度は 1131 kgf/cm² となり、肥前地域の陶磁器より 330~430 kgf/cm² 大きい。そこで、素地の焼結状態を調べるために、曲げ強度試験後の試料について断面の微細観察を行った。結果を図5に示す。

1300°C (D)では、20 μm 以上の大きな空孔

及び同程度の気泡が認められる。また、1250°C (C) でも大きさは小さくなるものの同様の現象が認められ、空孔と気泡の存在により素地の緻密性が悪くなっている。一方、1200°C (B)、1150°C (A) と低温になるに従い、空孔の大きさは小さくなるとともに気泡は認められなくなり、焼結が進行していく様子がわかる。このことについて、最大粒子径は 5~10 μm と市販陶土より相当微粉碎されており、石英粒子も細かくなっていると予想される。また、長石質陶石であるため、アルカリ分 ( $K_2O + Na_2O$ ) が多く、ガラス化が起こりやすくなっている。従って、焼成温度が高いと石英粒子がガラス相に溶けすぎ、石英粒子のプレストレス効果が小さくなること及び径の大きな空孔の発生及び発泡化現象が起こり素地の緻密性が悪くなることが重なって、強度低下につながったと考えられる。逆に、1150°C 程度なら、石英粒子の溶解も減少し、プレストレス効果が有効に働き、また高アルカリ分により焼結が進みやすくなり緻密性が向上するため、高強度化につながったものと考えられる。

次にプレストレス効果について検討するため、曲げ強度と石英の格子面間隔  $d_{SiO_2}$  (100) との関係について調べた結果を図 6 に示す。長石を含まない K S、K I は曲げ強度と  $d_{SiO_2}$  (100)

値に明確な相関が認められ、石英の格子面間隔が大きくなるに従って、曲げ強度も増加し、プレストレス効果の存在を強く示唆している。一方、K H には相関がなく、 $d_{SiO_2}$  (100) 値は、4.283~4.285 Å とほぼ一定になっている。なお、破断面の観察で述べたとおり、曲げ強度の小さい試料には未焼結の粉体粒子が存在したり、または、大きな空孔、気泡の発生があり、素地の緻密さも減少していることから、上記 2 説以外に素地の密度が関係していると推定される。プレストレス効果 자체を検討するには、試料に発泡等が生じない低温域で焼成実験を行って、焼成体を得た後、曲げ強度と  $d_{SiO_2}$  (100) 値との関係を求める必要がある。

## ま と め

1. 天草で実際に使われている市販陶土の攪拌ミルによる微粉碎化による実験を行った結果、従来のスタンパー粉碎した場合、最高で 540 kgf/cm<sup>2</sup> であったのに対し、攪拌ミル粉碎処理した場合は、992 kgf/cm<sup>2</sup> であり曲げ強度の向上が認められた。

また、最適焼成温度は、1250°C であった。

2. 攪拌ミル粉碎した長石質陶石試料について、焼成温度と曲げ強度との関係を調べた結果、1300°C より低温になるに従って、曲げ強度は大きくなり、1150°C では 1130 kgf/cm<sup>2</sup> (市販陶磁器製品: 700~800 kgf/cm<sup>2</sup>) となった。また、強度発現機構について考察した結果、長石を含まない陶石の場合、焼成体の曲げ強度と石英結晶格子面間隔、 $d_{SiO_2}$  (100) 値に明確な相関が見られ、プレストレス効果の存在を強く示唆していることが明らかになった。

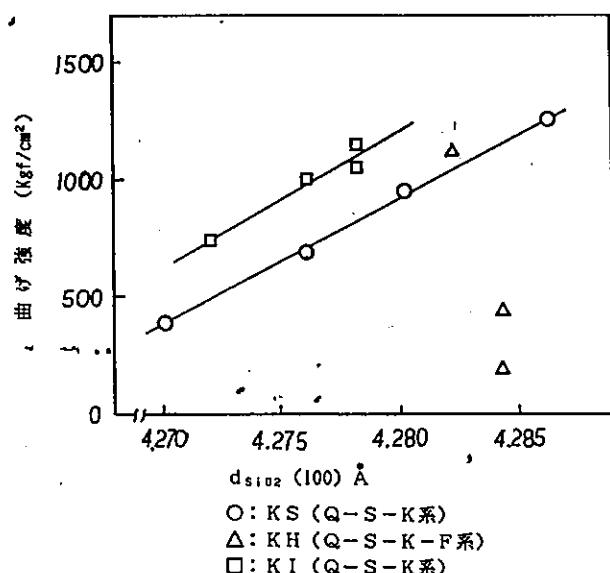


図 6 焼成体の石英結晶格子面間隔  $d_{SiO_2}$  (100) と曲げ強度の関係

編集委員

中根 堯	
河北 隆生	林田 安生
高橋 孝誠	末永 知子
重森 清史	

---

熊本県工業技術センター研究報告 第30号

編集委員会 熊本県工業技術センター編集委員会

発行所 熊本県工業技術センター

〒862 熊本市東町3-11-38

TEL096-368-2101

印刷所 (株)下田印刷熊本支店

〒860 熊本市南熊本3丁目1-3

TEL096-362-7171

---