

熊本県工業技術センター

# 研 究 報 告

第32号

平成5年度

---

REPORTS OF

KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

No.32

1994

---

平成6年11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32号 (平成5年度) 平成6年11月

## 目 次

---

---

### 〔報 文〕

#### 電子計測機器のデザイン開発事例

##### ー工業デザインプロセスに関する研究(第1報)ー

.....	原口隆一・池永一郎・堀 宗行 清田一光・伊藤則子・栄 秀則 仁木健章 .....	1
-------	--	---

#### 建築用内装材の遮音特性

##### ー特定の機能を有する建築材料の設計と開発に関する研究(第1報)ー

.....	中村哲男・上田直行・大迫靖雄 矢野佳之 .....	7
-------	------------------------------	---

#### 園芸用ハウスのビニールシート張架装置の開発

.....	井戸泰男・池崎雅宣・黒野誠六 .....	13
-------	----------------------	----

#### CBNホイールによるオーステナイト系ステンレス鋼及び合金工具鋼の溝研削

.....	高橋孝誠・八戸和男・松尾哲夫 .....	20
-------	----------------------	----

#### CBNホイールによる工具鋼の高効率・高精度ジグ研削

.....	坂本博宣・峠 睦・松尾哲夫 .....	26
-------	---------------------	----

#### 電波暗室と電磁ノイズ計測システム

##### ー電磁ノイズ環境における電子機器の性能向上に関する研究ー

.....	上田直行 .....	31
-------	------------	----

#### 細胞融合株の改良試験と育種株による焼酎製造実用化のためのベンチスケール試験醸造

##### ー細胞融合による醸造微生物機能の改良に関する研究(第2報)ー

.....	土谷紀美・中川 優・西村賢了 木田建次・園田頼和 .....	42
-------	-----------------------------------	----

しょうゆの淡色化に関する研究

—高品質醸造食品の開発(第1報)—

..... 松田茂樹・石田清和 ..... 46

限外ろ過膜における分画特性の簡易評価方法

..... 納寄克也・永田正典・中根 堯  
柳下 宏・坂下大地・五十嵐千秋 ..... 51

機能性木材の開発

..... 永山賛平 ..... 56

軽質炭酸カルシウムの合成

—石灰石の高度利用研究(第7報)—

..... 内野義登志・末永知子・坂田一成 ..... 63

---

---

**REPORTS**  
**OF**  
**KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE**

No.32 (1993. 4~1994. 3) Nov. 1994

**CONTENTS**

---

---

[ ORIGINAL PAPERS ]

Development of Design for Electric Product

-Studies on the Industrial Design Process (1st Report)-

..... Ryuichi HARAGUCHI, Ichirou IKENAGA, Muneyuki HORI, Ikkou KIYOTA,  
Noriko ITOU, Hidenori SAKAE and Kenshou NIKI ..... 1

The Characteristics of Sound Insulation of Wooden Building Materials

-Studies on the Design and the Development of Composite Materials(1st Report)-

..... Tetsuo NAKAMURA, Naoyuki UEDA, Yasuo OHSAKO and Yoshiyuki YANO ..... 7

Development of an Equipment for Drawing and Spreading of Vinyl Sheet  
on the Roof of Gardening House

..... Yasuo IDO, Masanori IKEZAKI and Seiroku KURONO ..... 13

Slot Grinding of Austenitic Stainless and Alloy Tool Steels with CBN Wheels

..... Kousei TAKAHASHI, Kazuo YAE and Tetsuo MATSUO ..... 20

A Study on the High Efficiency and High Accuracy Jig Grinding for Tool Steel

..... Hironobu SAKAMOTO, Mutsumi TOUGE and Tetsuo MATSU ..... 26

Studies on the Anechoic Chamber and The Electromagnetic Noise Measuring System

-Studies on High Performance of Electronic Machine in Surroundings of  
Electromagnetic Noise -

..... Naoyuki UEDA ..... 31

Improvement of Fusant and Bench-scale Fermentation Test to Commercialize <i>Shochu</i> Making by Bred Strains	
-Studies on Improvement of Function of Brewing Microorganisms by Fusion (2nd Report)-	
..... Kimi TSUCHIYA, Masaru NAKAGAWA, Kenryo NISHIMURA, Kenji KIDA and Yorikazu SONODA .....	42
Studies on Decolorization of Brewing Soy Sauce	
-Development of High Quality Fermented Seasoning(1st Report)-	
..... Shigeki MATSUDA and Kiyokazu ISHIDA .....	46
Study on Characterization Method of Molecular Weight cut-off Performance of Ultrafiltration Membranes	
..... Katsuya NOUZAKI, Masanori NAGATA, Takashi NAKANE, Hiroshi YANAGISHITA, Daichi SAKASHITA and Chiaki IGARASHI .....	51
Development of Functional Woods	
..... Sanpei NAGAYAMA .....	56
Synthesis of Light Calcium Carbonate	
-Studies on Advanced Utilization of Limestone(7th Report)-	
..... Yoshitoshi UCHINO, Tomoko SUENAGA and Issei SAKATA .....	63

# 電子計測機器のデザイン開発事例

## -工業デザインプロセスに関する研究(第1報)-

原口隆一\*・池永一郎\*\*・堀 宗行\*\*\*・清田一光\*\*\*・伊藤則子\*\*\*・栄 秀則\*\*\*・仁木健章\*\*\*

### Development of Design for Electric Product -Studies on the Industrial Design Process(1st Report)-

Ryuichi HARAGUCHI\*, Ichirou IKENAGA\*\*, Muneyuki HORI\*\*\*, Ikkou KIYOTA\*\*\*, Noriko ITOU\*\*\*,  
Hidenori SAKAE\*\*\* and Kenshou NIKI\*\*\*

地方の中小企業も生産技術の向上と自社開発製品の必要性から工業デザインへの取り組みが多く見られるようになってきている。しかし、工業デザイン技術は専門知識、ノウハウ、経験が必要であり、しかも時間と経費が大変かかり地方の中小企業にとって導入がなかなか困難である。本報告は電子計測機器のデザイン開発を、当センター、企業エンジニア、地元のデザイン団体のくまもと産業デザイン協議会デザインコンサルティング委員会メンバーと共同で行ったものである。工業デザインプロセスの提案を行い、それに基づいてテーマ設定、現状把握、製品分析、基本方針の決定、アイデアスケッチ、アイデアの決定、プレゼンテーション、試作、製品テストを行い、その成果についてデザインプロセスデータとして工業デザインプロセスの在り方について検討を行った。

#### 1. はじめに

生産技術力の向上と自社開発製品への必要性から、県内製造業において工業デザインへの取り組みが次第に多く見られるようになってきている。工業デザインは、ある目的のために具体的目標を設定し、その目標を達成するための体系的、計画的な操作であり、専門知識、ノウハウ、経験が必要である。しかも時間と経費は大変かかり中小企業にとって導入することがなかなか困難である。計画的に企業内で専門家の支援を受けながら工業デザイン手法を確立することが今後の重要な課題である。

本報告は、県内企業が電子測定機器の開発を通じ、工業デザインの問題が顕在化したため、当センターと開発企業の担当エンジニア、くまもと産業デザイン協議会デザインコンサルティング委員会メンバーと共同でデザイン開発を行い、その経過についてデザインプロセスデータとして作成し、工業デザインプロセスの在り方の検討を行った。

#### 2. 工業デザインプロセスプランニング

デザインプロセスはデザインの進め方を示すものである

\* 情報デザイン部  
\*\* 金剛株式会社  
\*\*\* くまもと産業デザイン協議会デザインコンサルティング委員会

るが、デザインの環境、対象製品によって、また、デザイナーによって異なるのものである。またデザインプロセスは、デザインを始めるにあたって、何をデザインの問題として有効に取り上げるかはデザインプロセスに大きく依存するものであり、工業デザインにおいて最も重要な課題といえる。今回の工業デザインのプロセスについては今後十分に検討されるべき基本案として図1にプランニングを行いデザイン作業を進めた。

以下デザインプロセスデータ事例として概要について報告する。

テーマ設定	テーマ名、目的、内容、目標、理由
▼	
現状把握	製品概要、制約条件、期間、予算、スタッフ、現場見学 企業概要、ストック情報など
▼	
問題形成	要素分解・工学的要素・材料的要素・設計技術要素・造形的要素 関係づける作業、問題点整理
▼	
製品分析	製品分析、設問法(SWIH)、観察法(特性、欠点、希望点)など によるターゲット製品分析
▼	
市場分析	市場ニーズ情報収集分析
▼	
企業分析	経営方針、企業理念、経営資源、競合企業、類似企業との比較
▼	
調査分析	競合商品、類似商品調査分析比較、競合企業、類似企業調査分析比較 デザインサーベイ実態調査動作分析工程分析
▼	
基本構想	B/S法を用いた思考による構想立案、基本計画書の作成
▼	
解決のためのアイデア探索	解決のためのアイデア生産 デザインコンセプト設定、ターゲットの絞り込み
▼	
モデル化	現状をモデル、略図、記号化

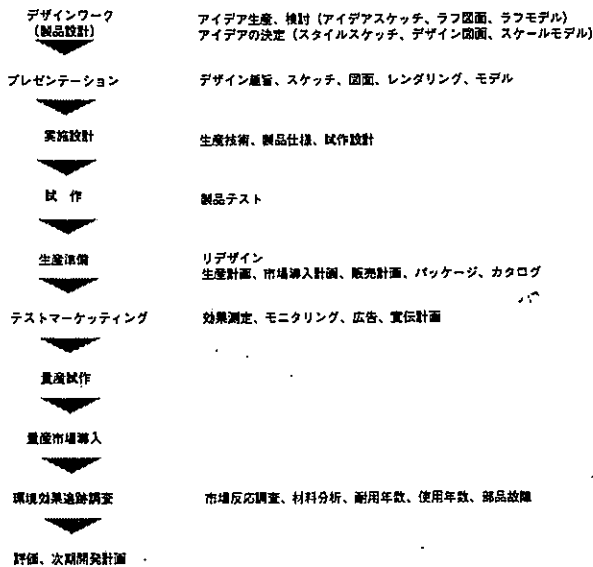


図 1 工業デザインプロセス

3. テーマ立案のプロセス

3.1 開発経過

プリペイドカード (前払いカード) は昭和57年にNTTがテレフォンカードを発売して日本では急速に実用化され普及してきた。特に消費税導入後はこの種の有価カードに対する社会的需要も高まり、法的な整備もなされ、JR、高速道路等公共機関をはじめ、百貨店、スーパー、商店街、タクシー等民間需要へもカードビジネスは拡大し今や我が国もカード社会になりつつある。

K社ではこのカードビジネスに着目し、カード流通機構の中で必要とされるカードの検数作業の合理化のためのOA機器の開発を進め、独自の半導体レーザーによるカード検数センサーを搭載し検数精度の優れたプリペイドカード検数器を開発した。さらに1号機 (図2) を試作し

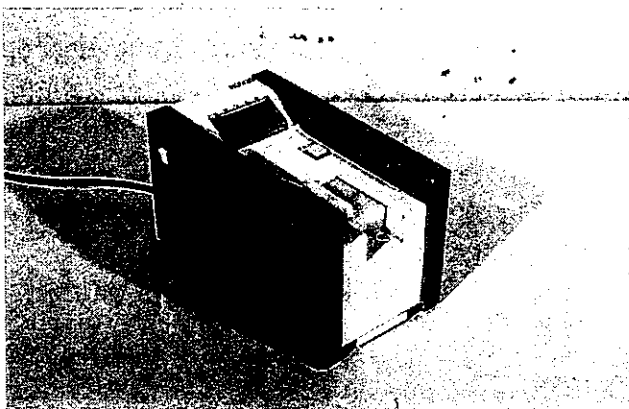


図 2 1号機外観

で'91カードビジネスショーに出品 (東京: H3. 3/22~3/26) した。しかし、性能が良いだけでは商品力が弱いことを実感し、特に外観デザインの改良をユーザーに指

摘された。

3.2 テーマ設定

デザイン作業を進めるにあたって、テーマ、目的、内容、目標、理由についての条件を整理するうえで、下記のようにまず文章化を行った。また、対象製品だけに問題が絞られないように製品に関するデザインの関係図を作成し (図3)、関連事項についても何がデザインに関係するか検討を行った。

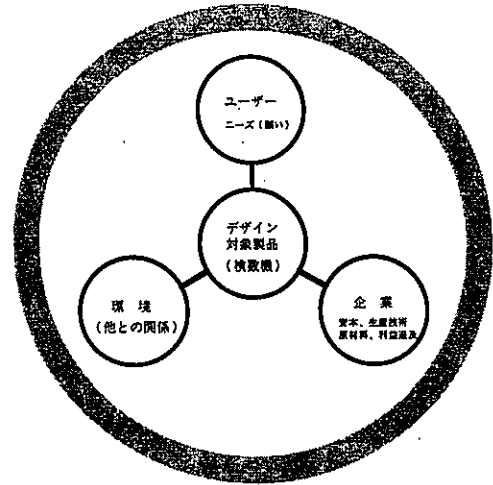


図 3 デザイン関係図

テーマ: 「プリペイドカード検数機のデザイン開発」

目的: プリペイドカード検数機のユーザーを満足させる商品のデザインを提案する。

内容: 1号機試作を基本に改良案を作成する。

理由: 検数精度の性能は高く評価されたが、デザイン等に問題があるとされ、総合的に競合他社製品の評価が高かった。

目標: 試作品を制作し、製品テストを行い改良製品の評価を行う。

3.3 現状把握

3.3.1 製品概要

1号機の概要については以下のとおりである。部材構成を図4に示す。

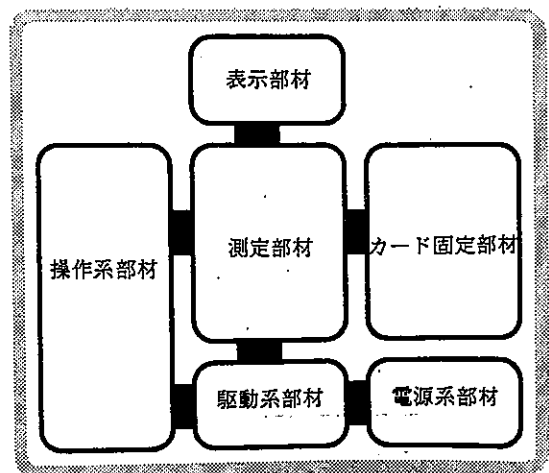


図 4 検数機部材構成

用途：プリペイドカードを100枚単位での封印作業用や  
在庫管理の時の自動的に検数を行う機器。

読み取り方式：半導体レーザーセンサー

表示：LED表示器

外形寸法：135W×235D×135H

### 3.3.2 市場調査

'90、'91カードビジネスフェアに出品したり、NTTなどへのヒアリングや長期間モニター利用を行った。その結果、

- ①検数精度に対する関心は高い。
  - ②テーブルタイプ検数器（100～150枚）のニーズが高い。
  - ③デザインについては具体的な要望は得られなかったが、今後に期待するとの事であった。
- などを得ることができた。

### 3.3.3 問題形成のプロセス

1号機の開発経過について問題形成図として図5に示す。

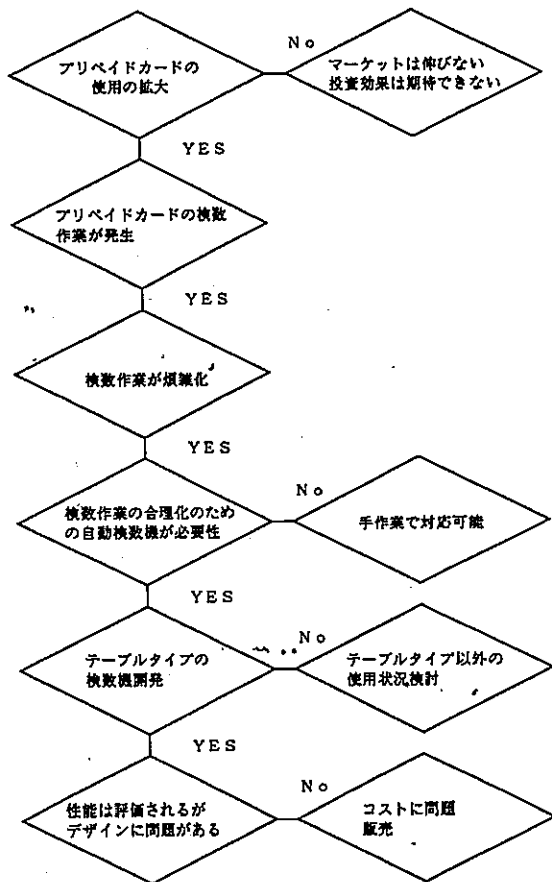


図5 問題形成図

## 4. 製品に関する分析

### 4.1 デザインに関する意見

- ・小型化、軽量化はもっと必要。
- ・机の上での作業性の問題から、高さを低くする。
- ・鉄板は安っぽい感じを与える。

### 4.2 機構面での意見

- ・測定方式についての検討
- ・クランプ、スイッチの配置
- ・カードをはさむクランプの機構
- ・検数枚数の設定（スタイリングに影響）

### 4.3 その他

- ・LED表示器はOA機器には合わない
- ・ロットが見込めないので金型製作は困難だろう
- ・文字のデザイン、スイッチの配置
- ・エラーの表現についての検討

### 4.4 機構面での改善事項

- ・最大限小型化の方向で開発する。特に厚さを薄くできないか。
- ・クランプ部について機構面のアイデアを検討
- ・文字のデザイン、スイッチのレイアウト
- ・エラー表示について他の表現はないか
- ・電源はAC/DC兼用（バッテリー式、ソーラー式も検討）

## 5. 基本方針の決定

### 5.1 デザイン方針検討

- ・軽量化、小型化への取り組み。（樹脂化も検討）特に厚さは極力薄くする機構的改良を進める。
- ・低コスト、量産化への取り組み。
- ・計測機器としての信頼性を表現するシンプルなデザイン
- ・外観は既製品にはないものでオリジナルなフォルム
- ・ニューオフィス環境を考慮したカラーデザイン

### 5.2 機構部の決定事項

- ・操作性からカードを固定するクランプ部分は左側に、スイッチは規格品を使用し右側に配置する。
- ・表示部はLED表示器で検討する
- ・検数エラーをエラーランプ点灯時、検数表示は行う。
- ・スタートスイッチ開始後、センサー可動中の表示は行う。
- ・検数量の最大値は150枚とする。
- ・カード端面をスキャンする方向は、端面が揃え易い下面方式を採用する。
- ・商品名を「PREC COUNTER」から「PLATE COUNTER」に変更

## 6. 一次デザインワーク

### 6.1 アイデアスケッチ



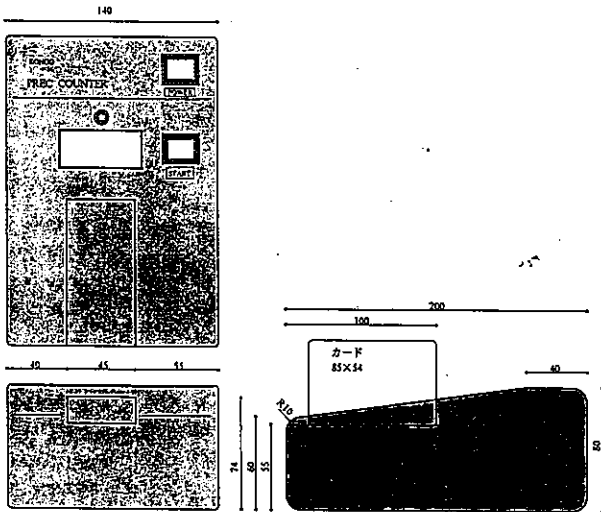


図 6 案1ラップトップ型

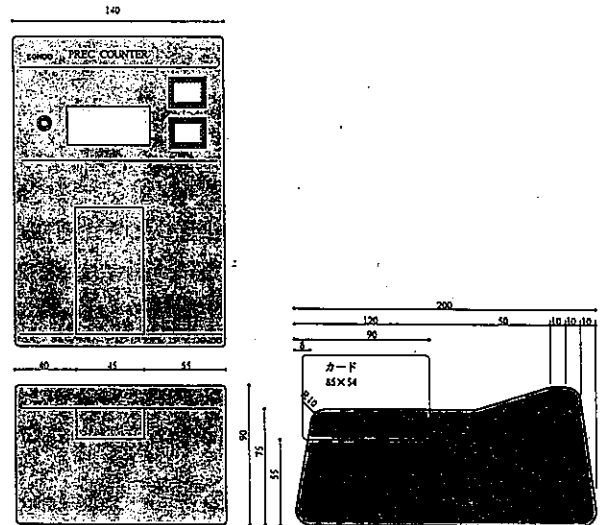


図 7 案2ラップトップ変形型

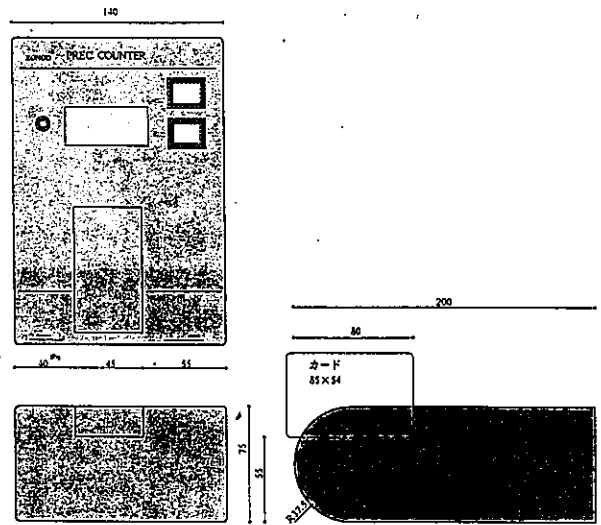


図 8 案3フラット型

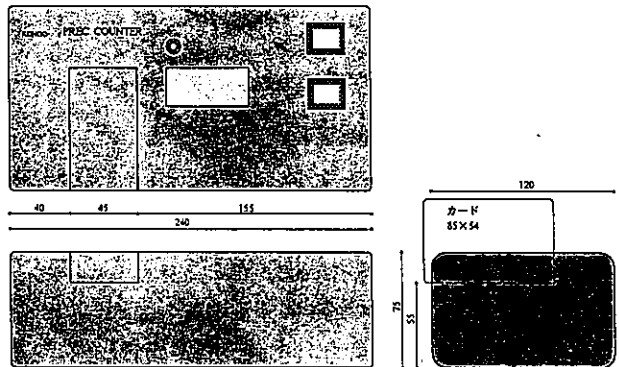


図 9 案4フラット横型

一次アイデアスケッチとして案1ラップトップ型(図6)、案2ラップトップ変形型(図7)、案3フラット型(図8)、第4フラット横型(図9)の4案を提案し、各々石膏モデル(図10)を作成し検討を進めた。

### 6.2 2号機試作

社内的に検討の結果、案4のフラット横型を決定し試作を行った。(図11)

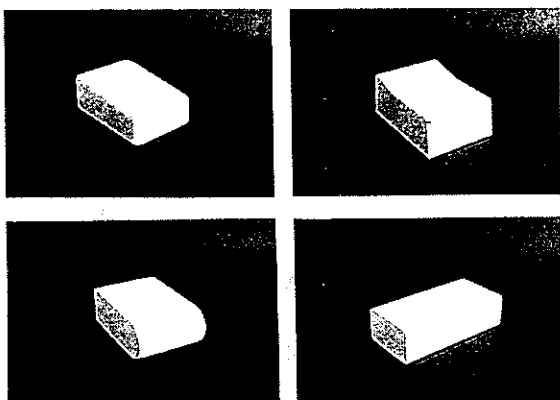


図10 石膏モデル

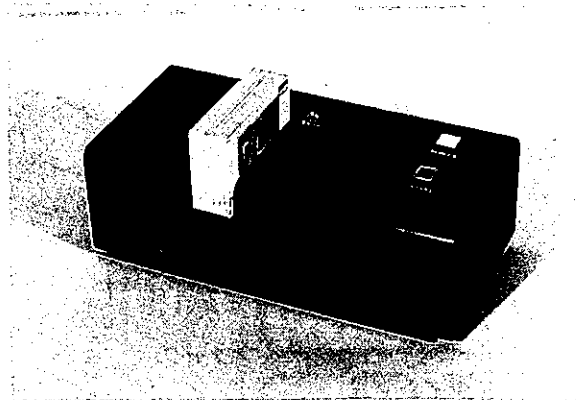


図11 2号機外観

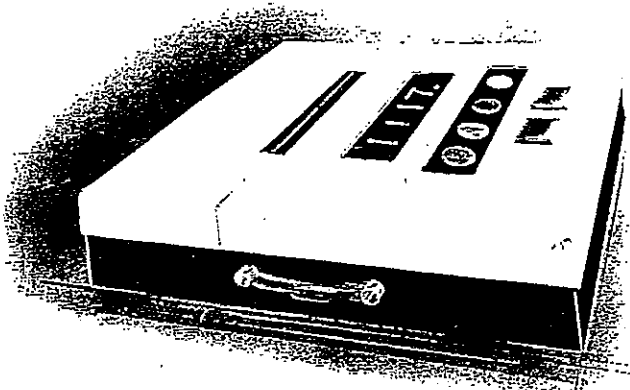


図12 二次アイデアスケッチNo. 1

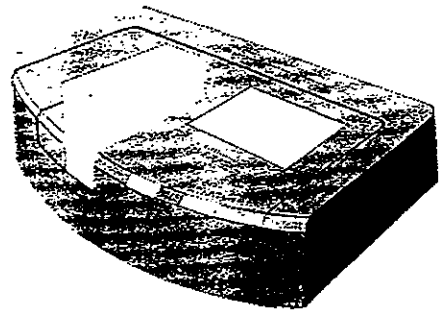


図13 二次アイデアスケッチNo. 2

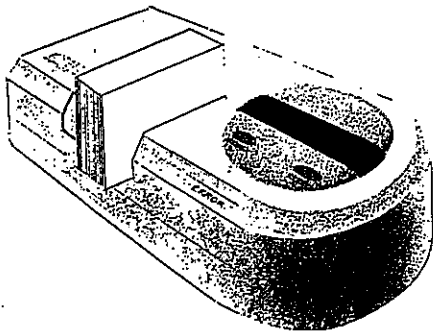


図14 二次アイデアスケッチNo. 3

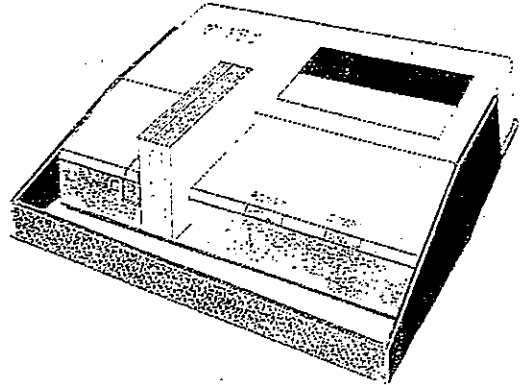


図15 二次アイデアスケッチNo. 4

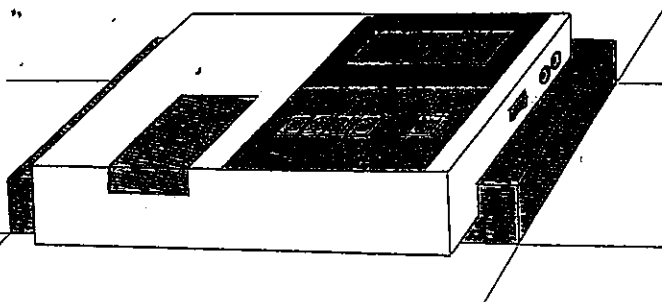


図16 二次アイデアスケッチNo. 5

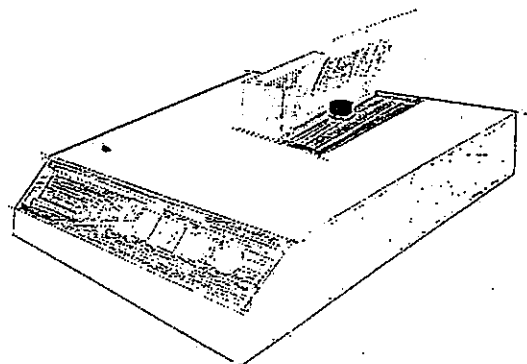


図17 二次アイデアスケッチNo. 6

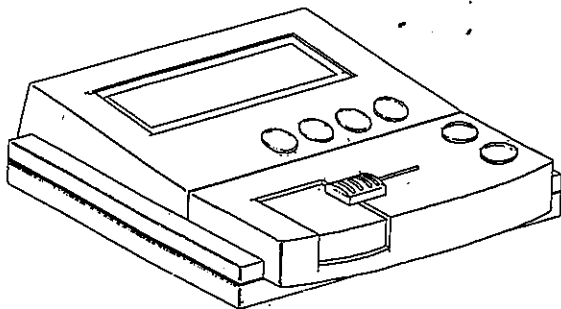


図18 二次アイデアスケッチNo. 7

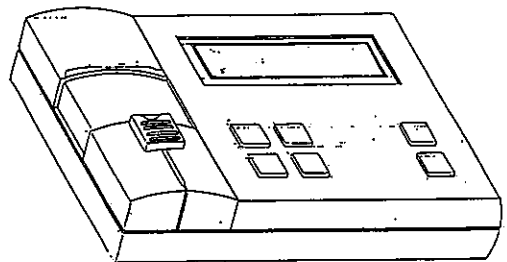


図19 二次アイデアスケッチNo. 8

## 7. 二次デザインワーク

### 7.1 二次アイデアスケッチ

機構の改善により全体の高さが55mmまで薄くなり二次アイデアスケッチ（図12～19）を提案した。

### 7.2 アイデアの決定、評価

アイデアの決定には操作性、メンテナンス性、作りやすさ、斬新性、外観、色彩について評価アンケートを行い図13と図14が評価が高かったが、社内的に検討の結果、最終的に図19に決定した。

### 7.3 プレゼンテーション

決定案を3次元コンピュータグラフィックスソフトである「Alias Studio」でモデリング、レンダリングを行い(図20) シミュレーションや配色計画を行った。

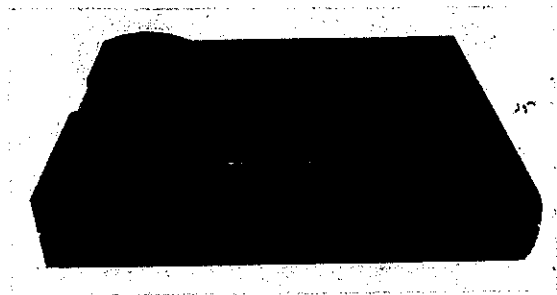


図20 3次元CG図

またモデル制作専門会社に外注しプレゼンテーションモデル(図21)を作成し、3号機として試作、商品化を行った。

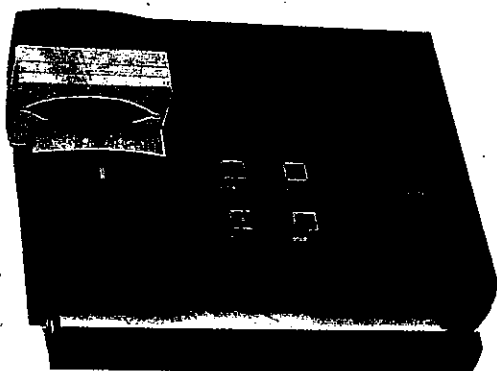


図21 3号機プレゼンテーションモデル

3号機の評価は良好であり、今後ユーザーへのPR活動や追跡調査など継続的に実施してしていく必要がある。また、リース業界の利用や製造方法の確立による低コスト化、生産ロットなど検討課題がある。

### 8. おわりに

デザインの結果である製品は、それを見ることや使用することはできるが、そのデザイン過程を表すデザインプロセスデータはほとんど知ることはできない。デザインを進めるうえで、その過程が大変参考になる。しかし今回具体的な製品デザイン業務を通し、日常グラフィックスデザイン業務が主体であった地元のデザイナーはほとんど初めての課題でありながら、試作から商品化まで共同で完成した。これは県内工業デザイン技術の取り組みのノウハウが蓄積された大きな成果といえる。また各項目を決定するための条件がデザインプロセスの中で重要な位置にあることが分かり、条件の設定により最終段階の製品デザインは決定されていく。

現在県内企業の工業デザインへの必要性が認識され、地元のデザイナーも工業デザインへの取り組みへの意欲と、本事例のように共同での工業デザインの取り組みが進んでいる。今後の課題として工業デザインプロセスの確立と様式の統一化を図り、最終的にはコンピュータ化技術の確立を目的としている。

# 建築用内装材の遮音特性

—特定の機能を有する建築材料の設計と開発に関する研究（第1報）—

中村哲男\*・上田直行\*\*・大迫靖雄\*\*\*・矢野佳之\*\*\*

The Characteristics of Sound Insulation of Wooden Building Materials

-Studies on the Design and the Development of Composite Materials(1st Report)-

Tetsuo NAKAMURA \*, Naoyuki UEDA \*\*, Yasuo OHSAKO \*\*\* and Yosiyuki YANO\*\*\*

熊本県下の企業で製造されている建築用木質材料に、自動車の用済みタイヤをチップ化したものを混入したり、鉛板を積層するなどした、数種の複合壁材を試作し、市販品との音響透過損失量差を求め、遮音特性について検討を行った。

木毛セメント板へゴムチップを混入した壁材では、音圧レベルでの遮音効果は見られなかったが、周波数分析の結果、400～2,500Hzの周波数帯にかけてはゴムチップ添加による効果がみられ、遮音特性を有する製品の開発の可能性を見いだした。

また、スギ風倒木チップにゴムチップを混入または層状で配合した場合、ゴムチップ添加による遮音効果がみられた。特にゴムチップを積層成型した製品については音圧レベル（A補正後）値で6.85dBの音響透過損失量差がみられ、スギ板材とグラスウールを積層した複合壁材以上の遮音効果があることが明らかとなった。

## 1. はじめに

現代社会には、多くの騒音が存在しているが、建物の中で聞こえる騒音は、車による道路交通音や航空機騒音などの交通騒音と、空調設備機器、衛生設備機器のような設備機械、音楽演奏音などの建物内騒音の2つに分けられる<sup>1)</sup>。

この騒音防止対策は、基本的には音源側での対策と、音の伝搬経路での対策に分けられる。

音源での対策としては、可能な限り音の発生を小さくすることが重要であり、共鳴を避けたりすることが必要となる。また、消音機の設置や、音源を囲み遮音するなどが有効と考えられている。

音の伝搬経路での対策では、音のエネルギーの発散のため音源と受音点の距離を離すこと、音源の向きを変えることが考えられる。この場合の遮音は、塀や建物などに遮音性の高い材料を使用することによる減音効果が最も有効かつ実際的と考えられる。

このように、多くの騒音に対応するために、騒音対策が進められている。その中でも、居住環境における遮音に関する関心が高まりつつある。このような傾向は、過密化した居住環境の中で、生活様式が多様化する一方で、生活の質的向上を図りたいという欲求が高まってきたこ

と、あるいはプライバシーを尊重する考え方が、日常生活の中に定着してきたことによると思われる。そのため、騒音対策を考えた住宅工法や建築材料の開発などが行われている<sup>2)</sup>。

筆者らは、従来より県産の材料や廃材等のリサイクル材料をベースとした、多機能を有する材料の開発を目的とした研究を行っている<sup>3)</sup>。

本研究では、これらの研究の一環として、各種の複合材の開発とその遮音特性について検討した。具体的には、難燃性木毛セメント板と自動車の廃タイヤをベースとした壁材料、平成3年の台風19号による風倒木を有効利用するためにスギ風倒木チップベースに廃タイヤチップを混入・積層した複合壁材料、再生紙パルプなどを材料としたスラブ石膏板と鉛板の積層複合壁材を開発した。

今回は、開発した壁材の遮音特性について実験した結果について報告する。

## 2. 測定および測定方法

### 2.1 測定用材料

本研究では、大きく分けて3種類の複合壁材を測定対象とした。表1は難燃性木毛セメントに自動車用廃タイヤゴムチップの粒子の寸法（チップ径、8～13mm、30～50mm）および配合割合（10～30%）を変えて混入複合した壁材料、表2はスギ風倒木チップに小型自動車用廃タイヤゴムチップの配合割合を変えたものと接着剤を混入

\* 情報デザイン部  
\*\* 電子部  
\*\*\* 熊本大学教育学部

圧縮し複合した壁材料、表3はスラブ石膏板を基材とする鉛板と積層複合した壁材料の構成内容を示す。

表1 難燃性木毛セメント板にゴムチップを混入した複合壁材

材料名	厚さ(mm)	構成内容
SMR	30	木毛セメント板+スラブ石膏板
SWG10	30	小型ゴムチップ <sup>1)</sup> (10%) + 木毛セメント板+スラブ石膏板
SWG30	30	小型ゴムチップ <sup>1)</sup> (30%) + 木毛セメント板+スラブ石膏板
SWG20	32	大型ゴムチップ <sup>2)</sup> (20%) + 木毛セメント板+スラブ石膏板
SWG30	32	大型ゴムチップ <sup>2)</sup> (30%) + 木毛セメント板+スラブ石膏板

<sup>1)</sup>チップ径(8-12mm)、<sup>2)</sup>チップ径(30-50mm)

表2 スギ風倒木チップにゴムチップを混入した複合壁材

材料名	厚さ(mm)	構成内容
IK	100	スギ板+グラスウール+スギ板
SW	70	スギ風倒木チップ
SWG20	70	小型ゴムチップ <sup>1)</sup> (20%) + スギ風倒木チップ (混入)
SWG30	70	小型ゴムチップ <sup>1)</sup> (30%) + スギ風倒木チップ (混入)
SWG50	70	小型ゴムチップ <sup>1)</sup> (50%) + スギ風倒木チップ (混入)
SWG132	70	小型ゴムチップ <sup>1)</sup> (32%) + スギ風倒木チップ (積層)
SWG148	70	小型ゴムチップ <sup>1)</sup> (48%) + スギ風倒木チップ (積層)
SWG56	70	小型ゴムチップ <sup>1)</sup> (56%) + スギ風倒木チップ (積層)

<sup>1)</sup>チップ径(8-12mm)

表3 スラブ石膏板と鉛板との積層複合壁材

材料名	厚さ(mm)	構成内容
GP6PB	6.3	スラグ石膏板(6mm) + 鉛板(0.3mm)
PBG6PB	6.6	鉛板(0.3mm) + スラグ石膏板(6mm) + 鉛板(0.3mm)
GB6PGB5	11.3	スラグ石膏板(6mm) + 鉛板(0.3mm) + スラグ石膏板(5mm)
GB6	6.0	スラグ石膏板(6mm: 市販品)

2.2 測定方法

当センターの音響試験室において、隣接する音源残響室および受音残響室の両室を区分する壁面に測定用壁材(幅910mm×高さ1820mm)を設置し、音源残響室に設置した音源装置(㈱アコー社製 TYPE8121)で発生させたピンクノイズを、音源および受音両残響室に設置したマ

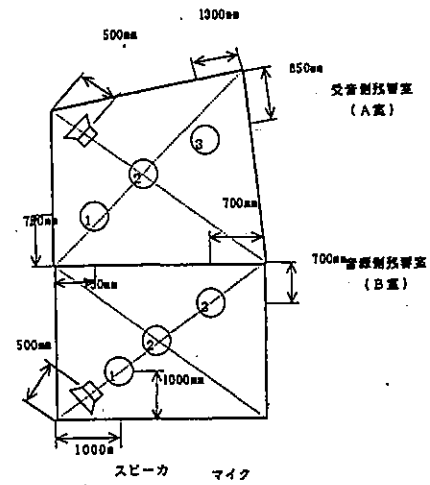


図2 マイクおよびスピーカの測定位置

イクロホン(B&K社製 4165型)で受音し、音響測定装置(B&K社製 3360型)をとおしてコンピュータ(H・P社製 HP-9000-216型)に8秒間記録し、1/3オクターブ周波数分析を行った。この場合の音響透過損失試験システム構成を図1に、マイクおよびスピーカの測定位置を図2に示す。

2.3 遮音特性表示としての音響透過損失

遮音特性は、壁の音響透過損失(TL:Transmission Loss, 単位dB)で評価した。透過損失の値は、音が壁体を透過する際に失われた音響エネルギーを表し、透過損失量が多いほど、遮音性に優れているといえる。なお、測定はJIS A 1416に従って、音源用残響室と受音用残響室のそれぞれの平均音圧レベルならびに受音用残響室の吸音力を測定し、次式によって音響透過損失を求めた。

$TL = D + 10 \log_{10}(S/A) = L1 - L2 + 10 \log_{10}(S/A)$

- ここに
- TL: 音響透過損失(dB)
- D: 空間音圧レベル(dB)
- S: 資料面積(m<sup>2</sup>) - 資料に関する音響透過部分面積 -
- A: 受音用残響室吸音力(m<sup>2</sup>)
- L1: 音源用残響室平均音圧レベル(dB)
- L2: 受音用残響室平均音圧レベル(dB)

3. 結果および考察

3.1 木毛セメントに自動車用廃タイヤゴムチップを混入した複合壁材料の遮音特性

難燃木毛セメントに自動車用廃タイヤの混入割合を替えた場合の音響透過損失量(O.A、O.A(A-W)値: 単位(dB))4)を表4に、音響透過損失と周波数特性の関係を図3に示す。なお、本研究で試作した材料との特性を比較検討するため、コントロール材として市販されている難燃木毛セメントSMRの特性も併せて記載する。

表4 難燃性木毛セメント板にゴムチップを混入した複合壁材の音響透過損失 (dB)

音響特性	材	料	名					
	SMR	SWG10	SWG30	SWG20	SWG30			
O. A	31.99	31.81	29.93	29.22	32.56			
O. A(A-W)	33.03	30.63	30.92	31.88	32.39			

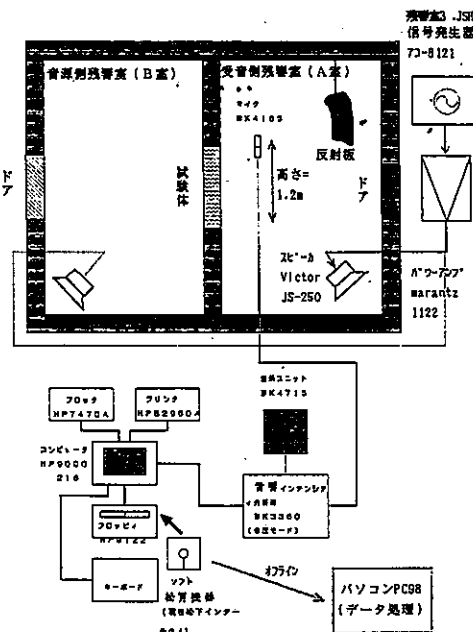


図1 音響透過損失試験システム構成

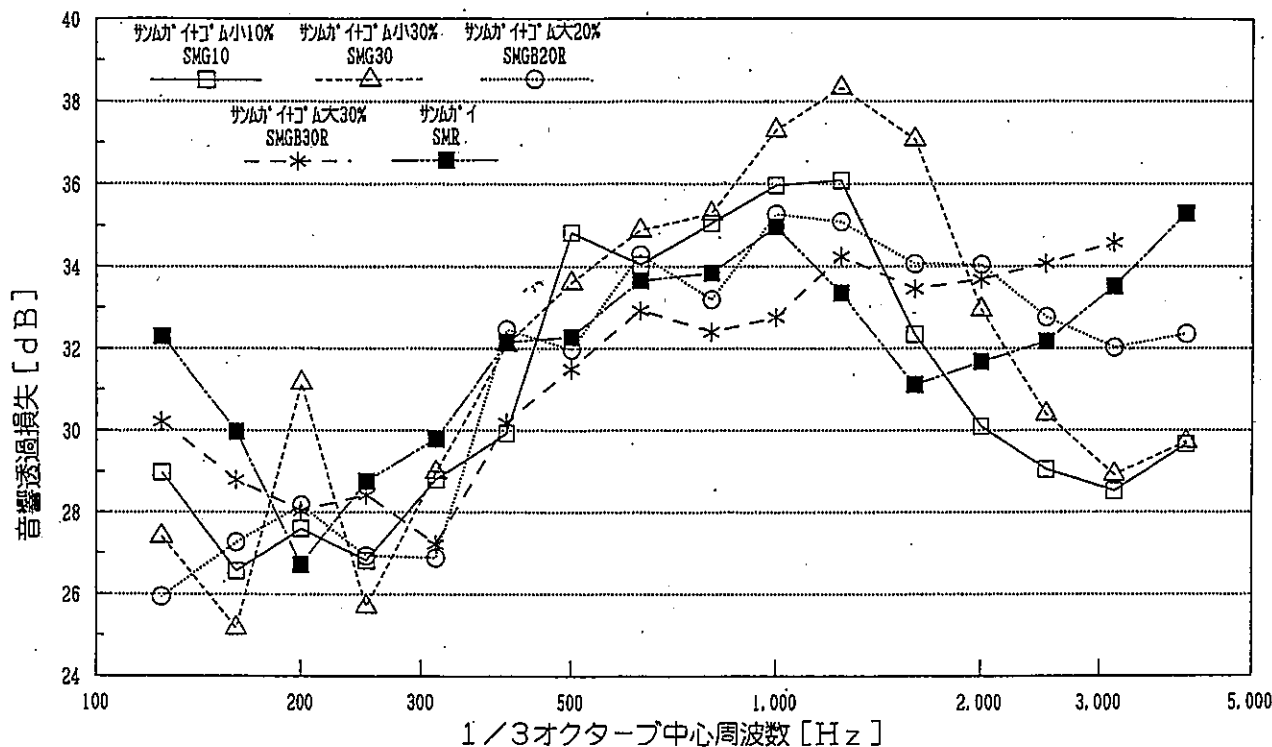


図3 木毛セメント板にゴムチップを混入した複合壁材の音響透過損失と周波数特性

表4から、本研究で開発した複合材料とコントロール材である市販の木毛セメントSMRを比較すると、音圧レベルは、コントロール材よりSMGB30が僅か0.57dB音響透過損失量（以下「TL」という。）が多くなるのを示している。しかし、他のゴムチップ混入複合材は、音圧レベル、A補正後音圧レベルいずれもTLは少なくなり、遮音効果が少なくなることを示している。周波数分析の結果は図3に示すとおり、500～2,000Hzの周波数範囲で、ゴムの小片を混入したSMG10、30のTLがコントロール材より大きな値を示し、この周波数範囲においてゴムを混入することによる遮音効果が現れることを示している。混入割合から材料を比較すると、混入割合の多いSMG30のTLが高い値を示し、遮音効果が高いことがわかる。また、混入したゴムチップの形状が大きなSMGB20R、30Rについては、コントロール材料との大きな差はみられない。このことは、形状の大きなゴムチップを混入した場合、特定の周波数での遮音効果は表われないことを示している。また、小型のチップを混入したものは異なり、混入割合が高い材料が低い値を示している。

寸法の異なるゴムチップの混合による複合壁材の特性を検討するため、目視によってチップの形状の異なる材料のゴムチップの分布状況を観察した。形状の小さなものは全般的にほぼ均等にゴムチップが分布している。形状の大きなものは、混入率が小型のチップと同一割合であっても、チップの数は少ないため、分布が不均一となり、木毛との混合にむらがある傾向が見られた。このように、複合材料の構成状況が混入物の不均一分布であるため、遮音特性に影響を与えたことが考えられる。

ただ、今回の試験は、ゴムチップの大小2種の配合割合の各2対ずつのみの試験であったため、配合割合による遮音効果の傾向は明らかにならなかった。配合割合による遮音効果については、今後さらに検討する必要がある。

### 3.2 スギ風倒木に自動車用廃タイヤゴムチップを混入した複合壁材料の遮音特性

スギ風倒木チップに自動車用廃タイヤゴムチップを混入した複合壁材料のTLを表5に、TLと周波数特性の関係を図4に示す。なお、本研究で作成した材料の特性を比較検討するため、コントロール用として、風倒木のチップのみで成型した成型板SWと一般に使用されている市販のスギ材をベースとした壁材IKの特性も記載する。

表5 スギ風倒木チップにゴムチップを混入した複合壁材の音響透過損失 (dB)

音響特性	材 料 名							
	IK	SW	SWGK20	SWGK30	SWGK50	SWGL32	SWGL48	SWGL56
O. A	24.19	21.37	22.88	22.84	20.01	26.59	23.41	21.80
0. A(A-V)	26.95	21.43	22.18	23.44	18.59	28.28	23.22	20.05

スギ風倒木チップのみで成型された壁材SWは一般壁材IKに比べ5.52dBもTLが少ないことがわかる。この結果、スギ風倒木チップのみから成型された壁材は、遮音効果が悪いことを示している。風倒木チップはその形状が大きく、成型の際の圧縮力も十分といえなく、空隙率が高いことが推定され、このことから遮音効果が低いことが推測できる。しかしながら、SWGL32は、IKより高いT

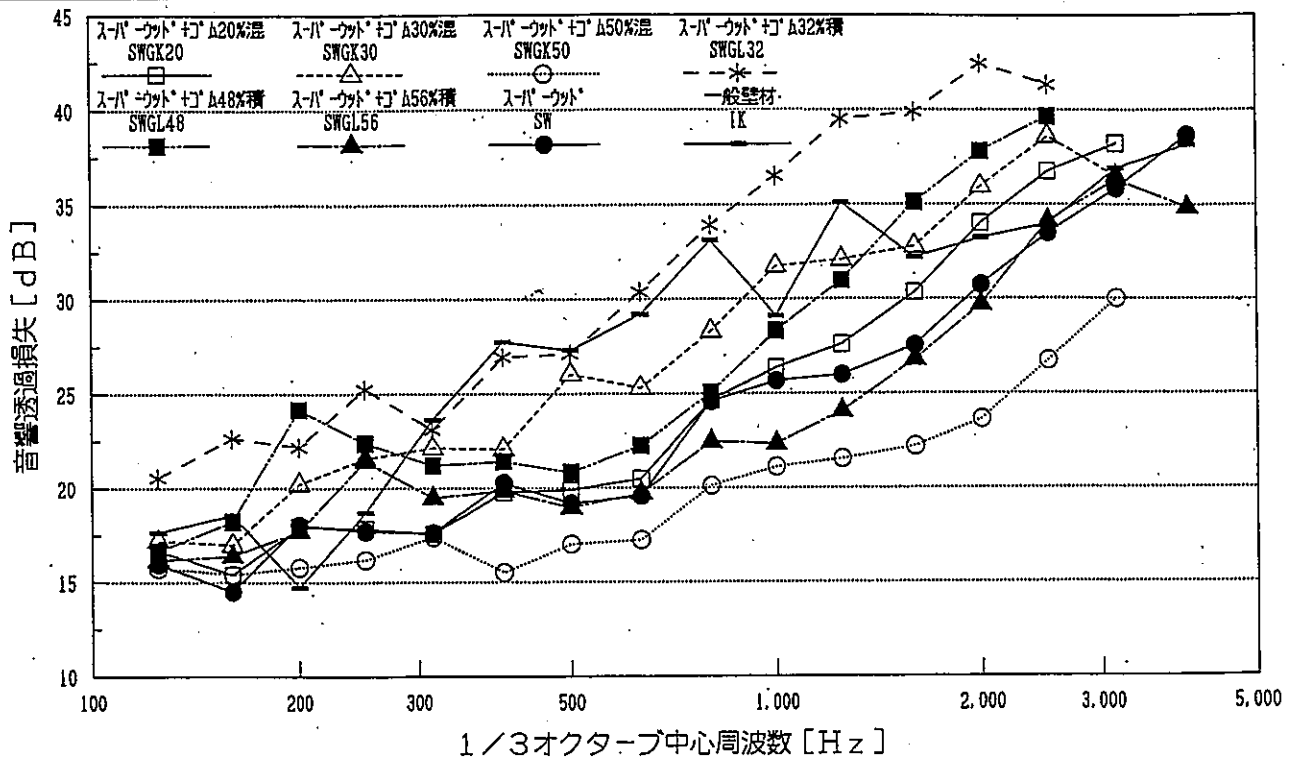


図4 スギ風倒木チップにゴムチップを混入した複合壁材の音響透過損失と周波数特性

Lを示しており、ゴムチップとの複合方法によっては一般壁材IKより遮音効果の高い製品が製造できることが明らかとなった。

これらの音響透過損失の周波数特性について検討するとゴムチップ混入の効果は、図4から明らかなように、ゴムチップを30%混入したSWGK30が全般にわたって大きなTLを示し、遮音効果が高い傾向を示している。また、ゴムチップを20%混入したSWGK20はスギチップ壁(SW)よりやや高いTLを示すのに対して、50%混入したSWGK50はSWよりも値が小さくなり音が透過しやすい傾向を示している。SWGK30は、スギ板とグラスウールの積層複合壁材である市販のIKと比較すると音圧レベル、A補正後音圧レベルが低い値を示している。この結果から、ゴムチップを混入するときの配合割合は、30%前後混入させるとTLが高く、遮音特性に最も優れた結果を示し、遮音効果が高い傾向を示しているといえる。つまり、ゴムチップとの混入割合が、30%より高くても、低くても遮音効果が劣る傾向が明らかといえる。また、風倒木チップによる壁材は遮音効果が低いが、約30%ゴムチップを配合することによって遮音性を向上できることを示しているといえる。

一方、ゴムチップとスギ風倒木チップを層状にして成型した場合(SWGL)は、表5から明らかなように、ゴムチップ混入割合が32%のSWGL32が他と比べ非常に大きなTLを示した。この状態の混合材では、ゴムチップの配合割合が、48、56%と高くなるほど、TLが低くなる傾向を示しており、ゴムチップの配合割合が少なくなるほどTLは高くなり、遮音効果が良くなる結果を示している。

今回は、ゴムチップの配合割合を3種類としたが、今後さらに混合割合の小さな材料に関する試験が必要である。また、SWGL32を一般壁材IKと比較すると、SWGL32のTLは図4に示すとおり測定した周波数全般にわたって高い値を示している。とくに、2KHz付近ではTLが9dB高くなっている。さらに、SWGL32は、一般壁材であるIKより高い音圧レベル、A補正後音圧レベルを示し、風倒木チップのみからなる壁材より遮音性が著しく高くなることを示している。以上の結果から、風倒木チップとゴムチップとの複合は、粒子による混入より層としての複合が、いずれの配合割合でもTLが高く、遮音性に優れることを示している。

ところで、材料によって吸音率が異なる<sup>9)</sup>ことから、ゴムチップを混入した複合壁材料は、ゴムチップの混入量が増加するにつれ、遮音効果が大きくなることが予想された。しかしながら、本結果は必ずしも混入割合の増加による効果を示されていない。このことは、ゴムチップの均一な分布が製作工程上困難なため、複合材料の中でゴムチップの分布が不均一になり、むらのあることなどから風倒木チップとゴムチップ間に空隙ができ、音響が透過しやすくなることが考えられる。また、層状の複合材料においても今回試験に使用した壁材は、ゴムの層とチップの層の厚さが不均一となっている。今後、遮音効果に関する厳密な検討を行うために、壁材の成型における技術の向上を図り、ゴムチップの均一な分布およびゴムの層の厚さを均等にした材料の製造方法についても検討する必要がある。

3.3 スラグ石膏板と鉛板を積層した複合壁材料の遮音特性

スラグ石膏板と鉛板を積層した複合壁材料のTLを表6に、音響透過損失と周波数特性の関係を図5に示す。この場合、コントロール用として、現在市販されているスラグ石膏板GB6の値も同時に示す。

表6から、スラグ石膏複合壁材料がすべてコントロール材であるGB6より高いTLを示し、鉛板を積層した場合に遮音効果が現われている。さらに図5に示す周波数分

表6 スラグ石膏板と鉛板との積層複合壁材の音響透過損失 (dB)

音響特性	材 料 名			
	GP6PB	PGGB6PB	GB6PBGB5	GB6
O. A	27.82	28.58	28.21	25.32
O. A(A-W)	29.46	32.43	31.21	27.89

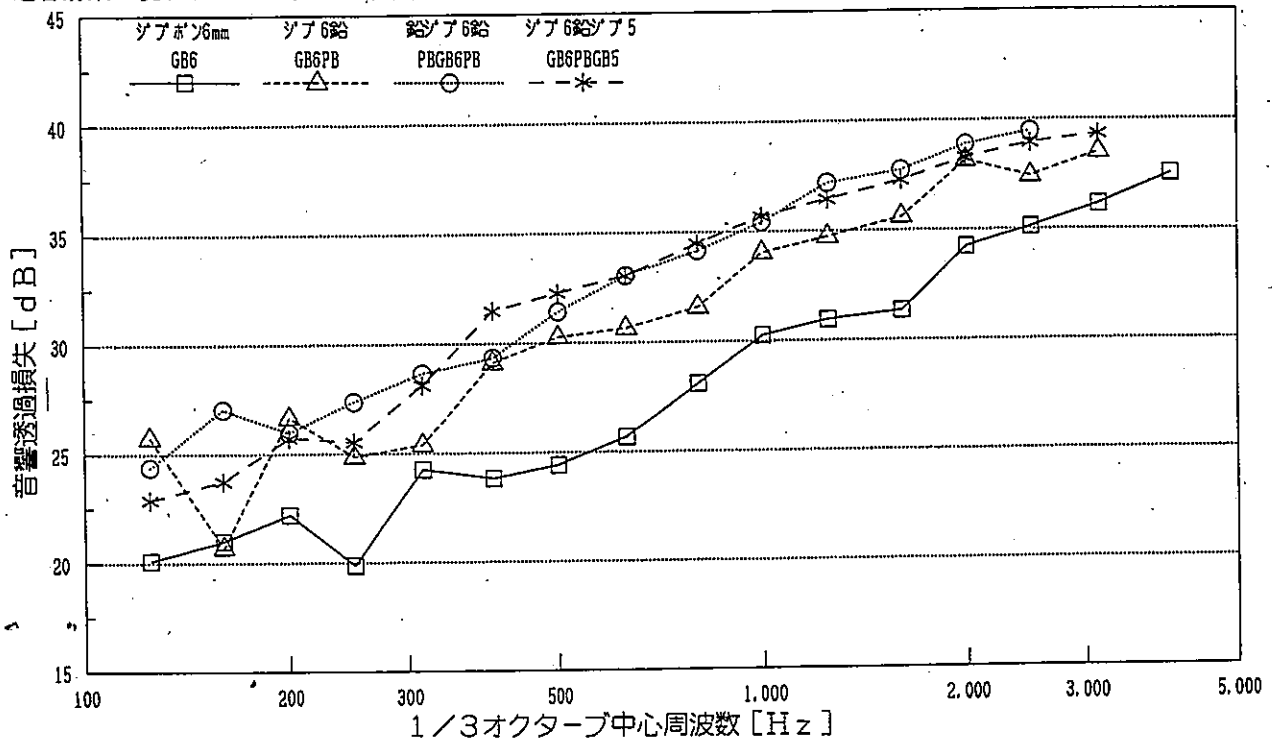


図5 スラグ石膏板と鉛板との積層複合壁材の音響透過損失と周波数特性

析の結果においても、コントロール材であるGB6と比較して、ほぼ全周波数範囲で、積層複合壁材料のTLが高く、複合による効果が明らかとなっている。積層材料の中でのTLは、PGGB6PB > GB6PBGB5 > GB6PB > GB6となっている。しかしながら、この場合、表3に示したように、材料の厚さが異なっているので厳密な比較はできないが、PBGB6PB、GB6PBについては厚さの違いは3mmしかないにもかかわらず、TLの差が大きく、両面に鉛板を積層したPBGB6PBのTLが高い傾向を示している。また、鉛板を1枚中に挟み込んだGB6PBGB5の場合、前述した2種の複合材と比較して、約2倍の厚さがあるにもかかわらず、PGGB6PBとほぼ同様の値を示している。以上の結果から鉛板の枚数が多いと遮音効果が優れ、しかも表面に鉛板を積層した場合に遮音効果が優れていることがわかる。なお、鉛板を積層した積層複合材は、遮音効果のみならず、電磁波シールド特性にも優れており<sup>9)</sup>、多機能を有する複合材料として期待できる。

4. 要 約

本研究では、木質材料および自動車用廃タイヤチップをベースとした壁材料、台風による風倒木処理の一環としてのスギ風倒木チップおよび自動車用廃タイヤチップをベースとした壁材料と再生紙パルプなどを原料としたスラグ石膏板と鉛板の積層複合壁材の開発と遮音特性について検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 木毛セメント板にゴムチップを混入した複合材料は、ゴム混入によって500~2,000Hzの周波数帯での遮音効果がみられた。また、混入するゴムチップの形状によっては木毛との混入の均一性に問題がみられた。さらに、ゴムチップ混入割合によって遮音効果が異なる傾向もみられた。
- 2) 木毛セメント板へのゴムチップ混入による遮音性については、粒度の小さいもの(8~12mm)を混入するほうが大きいもの(30~50mm)を混入するよりも良好な結果が得られた。



3) スギ風倒木チップにゴムチップを配合した成型板では粒子の状態に混入するよりも、ゴムチップを層状にして積層複合したものの方が遮音効果が高くなることが明らかとなった。

4) スギ風倒木チップへのゴムチップの配合割合についてみると、配合割合が低いものが遮音特性に優れた結果を示した。しかしながら、これらを詳細に検討するためには、今後、試験体のゴムの層を均一にする製造方法の検討が必要である。

5) スラグ石膏板に鉛板を積層した複合材は両面に鉛板を張り付けたものが遮音効果が高い傾向を示したが、厚さの効果についてさらに検討する必要があると思われる。

最後に、本研究を実施するにあたり、製品提供、試験体の製作などご協力をいただいた、三丸産業(株)、(株)朝日防火板工業所、小国町森林組合の各関係各位に対し、心より感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 例えば、日本音響材料協会編；騒音・振動対策ハンドブック，技報堂、1985, PP, 129-396
- 2) 例えば、高橋徹；木材の科学と利用技術(3. 居住性)、日本木材学会研究分科会報告書，1989, PP, 267-281
- 3) 例えば、中村哲男，大迫靖雄，矢野佳之；複合材料の設計と開発に関する研究，熊本県工業技術センター研究報告，第29号、1-6(1991)
- 4) 木村翔；“建築音響と騒音防止計画” 彰国社、東京、1977, PP, 116
- 5) 例えば、浅野猪久夫，杉山英男，大熊幹章，岡野健；木材と住宅，学会出版センター；1979, PP, 189-191
- 6) 津田桂一郎，上田直行，中村哲男，大迫靖雄；電磁波シールド効果を持った不燃材の開発，第8回熊本県産学官技術交流会資料集，21-22(1994)

# 園芸用ハウスのビニールシート張架装置の開発

井戸泰男\*・池崎雅宣\*・黒野誠六\*\*

## Development of an Equipment for Drawing and Spreading of Vinyl Sheet on the Roof of Gardening House.

Yasuo IDO\*, Masanori IKEZAKI\* and Seiroku KURONO\*\*

園芸用ハウスのビニールシートは、年中、風雨、太陽光にさらされているため劣化し、太陽光の透過率が減少するため、毎年張り替えなければならない。この張り替え作業は、従来から10人程度の全くの人海戦術で行われているが、農家人口の減少、軽作業化指向のためその機械化が望まれていた。これらの要望に応えるため本研究では、3人でしかも楽にビニールシート張りができる装置を開発した。

本装置概要は、ハウスの屋根面の長手方向に対し交差状で門型に架設されたガイドゲートにビニールシートの先端を固定し、そのガイドゲートを牽引駆動部により周回するエンドレスワイヤで引っ張ることにより、シートをハウス屋根全体にかぶせるものである。

### 1. はじめに

本県における施設園芸は、生産量日本一のすいか、メロンをはじめ、トマト、いちご、花きなど多岐にわたっているが、それらのほとんどがビニールハウスで栽培されている。その設置面積は、50,150千 $m^2$ で2位の茨城県(21,706千 $m^2$ )を大きく引き離し全国一である<sup>1)</sup>。

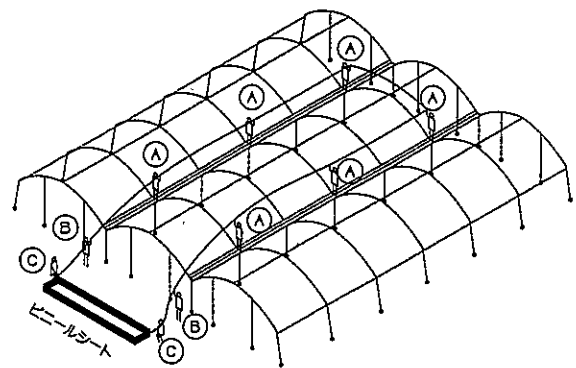
このビニールハウスの管理上の問題点の一つは、ビニールシート(以下シートと略す)に添加されている可塑剤の劣化や塵埃による汚れで日光の透過率が悪くなるため、毎年シートを張り替えなければならないことである。

この作業は、毎年10~11月にかけて、風のない晴れた日の朝方か夕方に、できるだけ短時間にしかも全て手作業で行われる。そのためかなりの人手を必要とする(最低でも6人、大型の連棟になると10数人)ことから、一般に複数の農家が共同で作業を行っている。しかし人数が集まらない地区においては、張り替えたくともできない場合もある。

就農人口の減少が進むなか、一時期に多数の人手を集めることは今後ますます困難になり、また、就農者の高齢化の進行で重労働を敬遠する傾向が強くなってきている。そのため、少人数でしかも楽に張ることができる機械装置の開発が要望されている。本研究ではこれらの要望に応え、少人数で楽に張り替えができるシート張架装置を開発した。

### 2. 従来のシートの張り方

シートの標準的な張り方はハウスの前面に、畳んだシートを置き、そのシートの両端を人が持ち、ハウス長手方向に人力で引っ張りながらハウスの屋根全体にかぶせていく方式である。この方式の場合、シート先端を引っ張って樋の上を歩く人が左右1人ずつの2人、その後につきシートの左右の端を引っ張りながら樋の上を歩く人が左右2人ずつの4人、シートがハウスの角で破けないようにハウスの前面側で案内する人が左右1人ずつの2人、畳んであるシートをほぐしながら送り出す人が左右1人ずつの2人の合計10人で作業を行っている(図1-1)。



- A ビニールハウスの樋上でビニールシートを引っ張りながら歩行する人
- B ビニールハウスの手前でビニールシートがビニールハウスの角で破損しないようにビニールシートを送り出す人
- C 畳んであるビニールシートをほぐしながらビニールシートを送り出す人

図 1-1 従来のシートの張り方(中間の棟)

\* 生産技術部

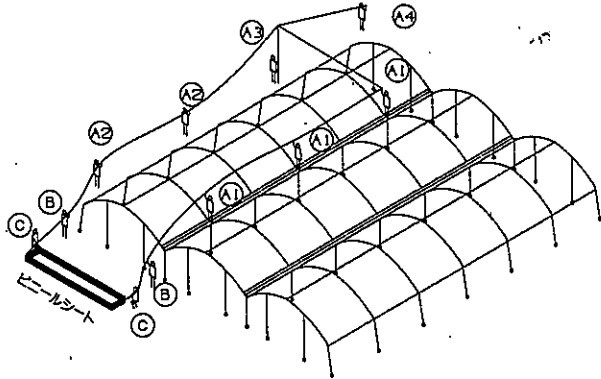
\*\* 熊本県農業研究センター

また、連棟ハウスの両サイドの棟では片側は樋がないので、先頭の人はハウスの高さより長い棒の先にシートを結び、その棒を押し立てて地上を歩くことになるが、その棒はビニールの抵抗で後方に引き倒されようとする。この防止のために棒の先端に結んだ紐を引っ張って

歩く人が1人加わることになり、この場合は11人が必要となる(図1-2)。

このように現在のやり方は、多くの人手を要し、労働力の負担も大きい。

### 3. シート張架装置の概要



- A 1 ビニールハウスの樋上でビニールシートを引っ張りながら歩行する人
- A 2 地上でビニールシートを引っ張りながら歩行する人
- A 3 地上でビニールシートの端を結んだ棒を持ちながら歩行する人
- A 4 地上で棒に結んだ紐を引っ張りながら歩行する人
- B ビニールハウスの手前でビニールシートがハウスの角で破損しないようにシートを送り出す人
- C 畳んであるビニールシートをほぐしながら送り出す人

#### 3.1 開発対象ハウス

園芸用ハウスには、簡単な単棟ハウスと、骨組みもしっかりした連棟ハウスがあるが、今回の開発対象ハウスは、シート張りに手間がかかる1棟の間口が6~8m、長さが100m程度の大型の連棟ハウスとした。

#### 3.2 装置の開発目標

装置の開発目標、仕様を次のとおりとした。

- (1) 一家族(3人程度)で張ることができる装置であること。
- (2) 軽作業で行えること。
- (3) 操作が簡単で、保守管理が容易なこと。
- (4) 力作業は、動力を利用すること。

#### 3.3 装置構成

開発した装置の概要を図2に示す。本装置は、移動案内内部、シート案内内部、牽引駆動部、操作部から構成され、それぞれの構成要素、機能は以下のとおりである。

図1-2 従来のシートの張り方(両サイドの棟)

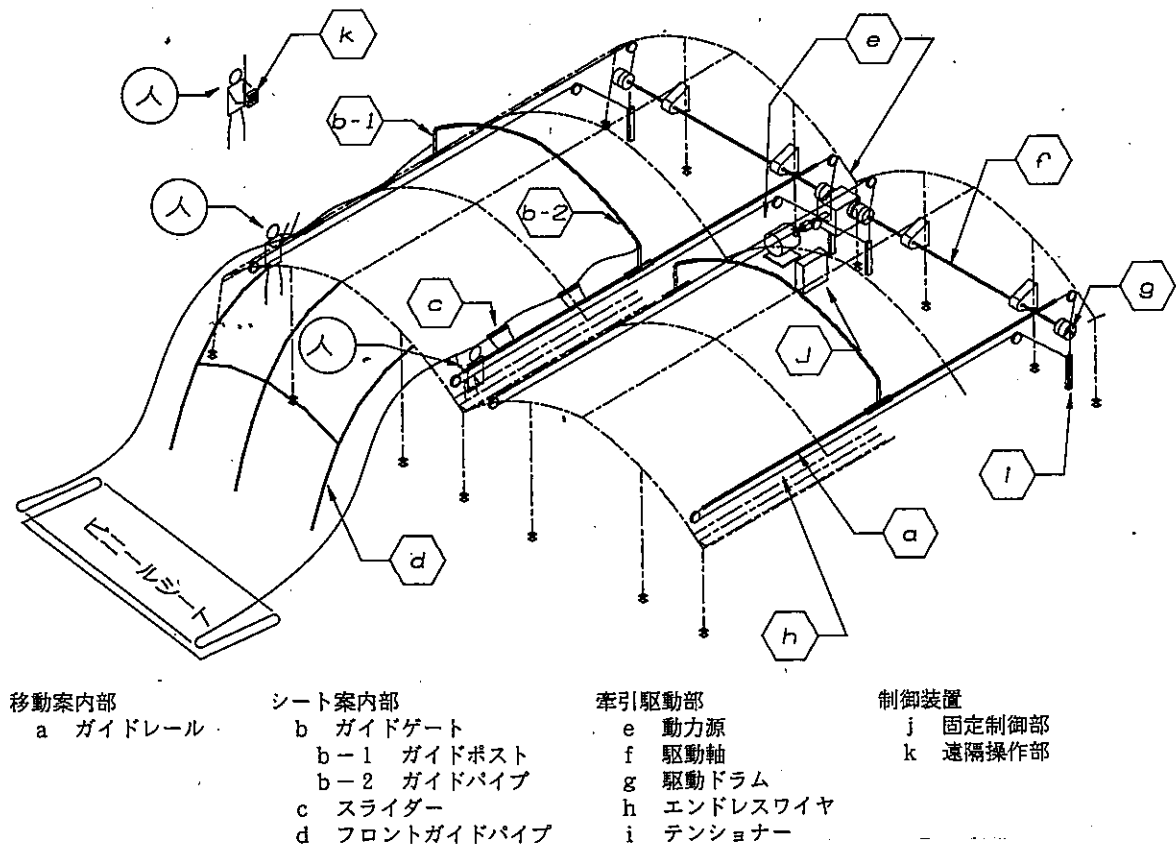


図2 シート張架装置全体図

### 3.3.1 移動案内部

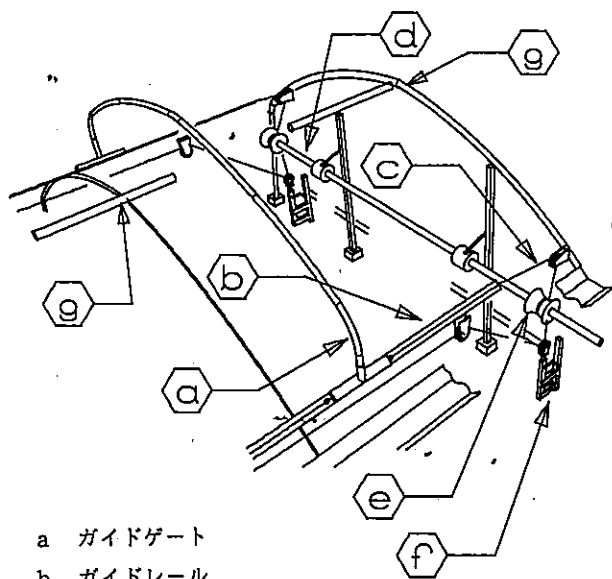
ハウス屋根の長手方向に、ハウス全長にわたって平行に設置した2本のガイドレール(図2, a)で、後述するガイドゲート(b)及びスライダ(c)の軌道となるものである。そのため設置にあたっては、それぞれのレールの直線性、2本のレールの平行性、レールのつなぎ目の円滑性などに留意しなければならない。このことは、ガイドゲートのスムーズな動きを左右する大きな要因にもなっている。

今回はその断面形状が台形の市販品を使用した。軌道として機能するのであれば、その形状は台形に限らず三角形、角形状など任意の形状とすることができる。

今回使用したレールは、一般的にはハウスにシートを固定するために利用されるものであるため、シート張りに使用しないときは、その本来の使用法に立ち戻りシートをハウスに固定するための留め具としても利用することができる。

### 3.3.2 シート案内部

シート案内部は、ガイドゲート、スライダ、フロントガイドパイプから構成され、シートをハウスの上に引き出し、ハウス全長にわたって張りかけていくもので、装置の中心部分になる。



- a ガイドゲート
- b ガイドレール
- c エンドレスワイヤ
- d 駆動軸
- e 駆動ドラム
- f テンショナー
- g ハウスフレーム
- h ビニールシート

図3 ガイドゲート部

#### a. ガイドゲート

図3に示すように、前述のガイドレールに沿って移動する門型(あるいはアーチ型)のゲートで、このゲートにシート先端部を固定し、ゲートを移動させることにより、シートをハウス屋根全面にかぶせることができる。このガイドゲートは、前記のガイドレールに移動自在に嵌(かん)合された移動台(ガイドポスト)と、このガイドポストに着脱自在に嵌合されハウスの長手方向に対し交差状に架設された案内棒(ガイドパイプ)から構成されている。

このガイドパイプとハウス屋根部との間には50cm程度の空間があり、この空間がシート先端部とハウス屋根部との直接の接触を避け、シートに空気を取り込み、牽引抵抗を減らす役目をしている。

ガイドゲートは、シートを張り終わるとガイドレールから取り外せるようになっている。

#### b. スライダ

前述のとおり、ガイドゲートにシートを固定し、ガイドゲートを移動させると、シートはゲートに引っ張られ移動する。しかし、ハウスが長いことから途中でシートが左右にずれてハウスから落ちたり、風で舞い上がったことがある。これを防止するのがスライダの役目である。スライダは両方のガイドレールに嵌合されており、レールの中を自在に動けるようになっている。

このスライダでシートの両側面を保持すると、スライダもシートの移動とともに移動し、シートのずれ、風による舞上がりを防止することができる。

これは、2章で述べた先頭の人に続きシートの側面を引っ張りながら樋の上を歩く人(4人)の代用をするものである。

スライダとシートの固定は、通常パイプにシートを固定するいわゆるパッカーと称する市販の留め具を利用し、スライダの円筒部分にシート巻き、それをパッカーで挟み込み固定する方式をとった。レール上でスライダにシートが固定された状態を図4に示す。

スライダの個数は片面で10個程度(約10m間隔)が適当であるが、風の吹き具合によって増減するとよい。

また、スライダの材質は、今回は銅を使用した。ある程度剛性があり摩擦抵抗の小さいものであれば、ナイロン、ジュラコンなどのエンジニアリングプラスチックでもよい。

またその断面形状は今回は台形としたが、これはレールの断面形状に合わせたためであり、レールの形状が変われば、当然スライダの形状も変わってくる。

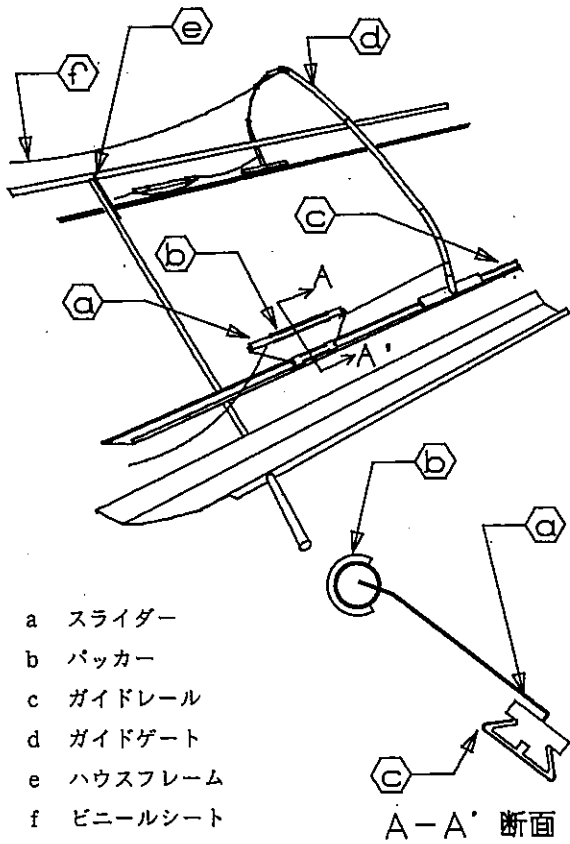


図4 スライダー部

c. フロントガイドパイプ

2章で述べたように、シートがハウス入り口の角で破けないように、ハウスの前面側でシートを案内する作業に2人、畳んであるシートをほぐしながら送り出す作業に2人の合計4人の作業の代用をするのがフロントガイドパイプであり、図2, dに示すようにハウス前面の3箇所円弧状のパイプを設置したものである。このフロントガイドパイプは、ハウス妻部にシートを張る場合には邪魔になるので、簡単に取り外しができる。

また、ハウス屋根と妻部の接合部分と、フロントガイドパイプの円弧部分の最もシートと接触する部分には、滑車を取り付け摩擦抵抗の軽減を図っている。

3.3.3 牽引駆動部

ガイドゲートを前後に移動させる牽引駆動部は、図5に示すように動力源、駆動軸、駆動ドラム、エンドレスワイヤ、テンショナーから構成されている。

牽引駆動装置として一般的に考えられるのは、ウインチなどのように巻き取りドラムにワイヤを巻き取って移動させる方法であるが、移動距離が100m近くになると(1)一重巻きの場合、ドラムの外径が大きくなるか、また長さが長くなる。また整列された一重巻にするためには、ドラムに案内溝が必要になるととも溝に沿ってワイヤを案内する揺動装置も必要になってくる。

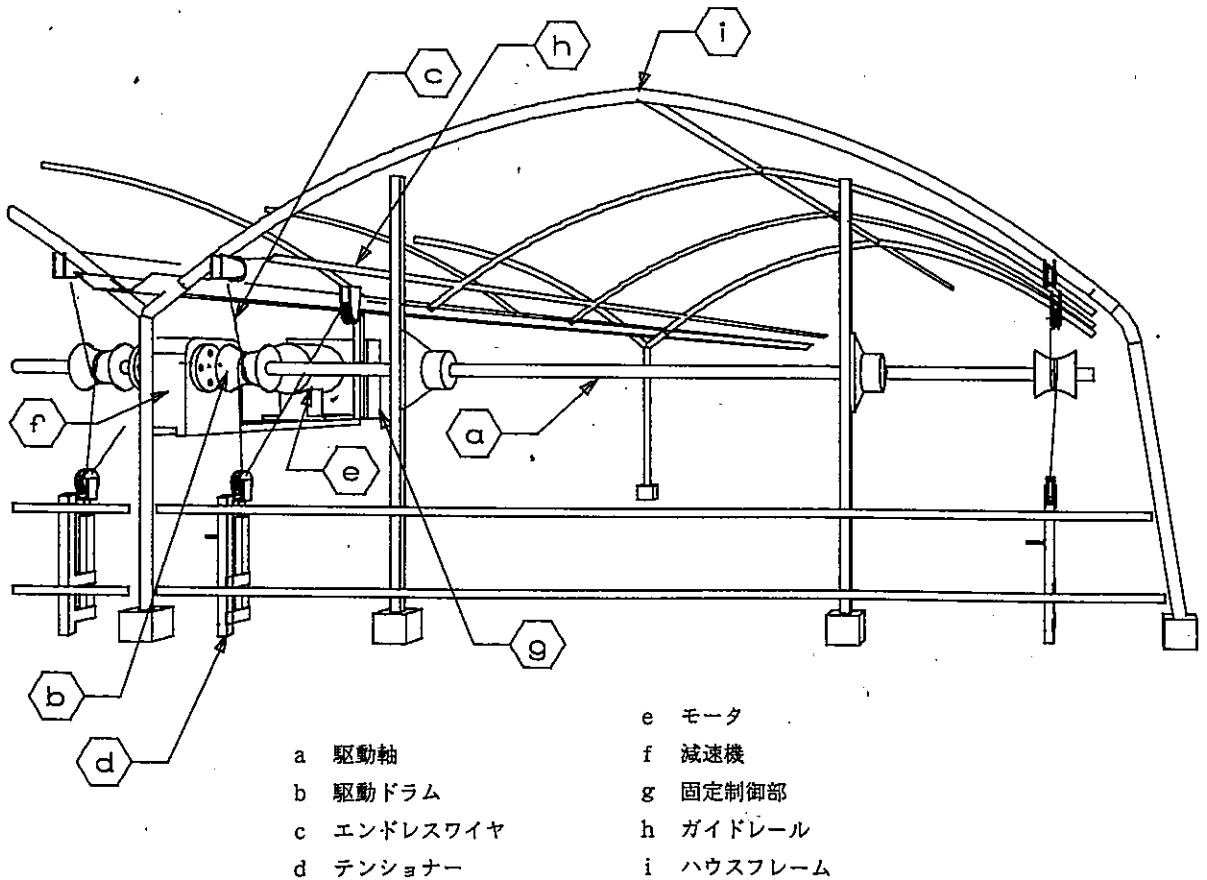


図5 牽引駆動部

(2) 重ね巻きの場合、巻き重ねるに従って径が大きくなり巻取り速度が速くなる。また、整列した重ね巻きにするためには、何らかの補助装置が必要になる。などの問題があり、装置が大きく複雑になり、当装置の牽引方法としては適当ではない。

これに代わるものとして考案したものが、駆動ドラム、エンドレスワイヤを使った当牽引方法であり、次のような特長がある。

- (1) ウインチ方式に比べ装置が小さくて、構造が簡単である。
- (2) 駆動軸の回転方向を変えるだけで、ガイドゲートの前進、後退の切り替えができる。
- (3) 摩擦力により駆動ドラムからエンドレスワイヤに力を伝達しているので、ガイドゲートが何らかの障害物に当たったとき、駆動ドラムとエンドレスワイヤの間で滑りを起こし、装置破損に至らない。
- (4) エンドレスワイヤの張力を調整することにより、ガイドゲートの牽引力を加減できる。

#### a. 動力源

今回使用した動力源の構成要素及び機能は以下のとおりであるが、動力源として使えるものであれば、トラクターや耕運機などの動力源を使用しても差し支えない。

- (1) コンデンサモータ(単相100v、750w、1740rpm)
- (2) 減速機(ウォーム減速機、減速比1/60)
- (3) 流体カップリング

モータと減速機の間で使用し、モータ立ち上がり時の過負荷の軽減を行う。

- (4) エンジン発電機(交流100v、20A)

ハウスに電源が来ていれば不要

#### b. 駆動軸

動力源に直結され、ハウスの長手方向後部端面に設置され、ハウスの全棟に動力を供給できるようになっている。

軸寸法：内径41.6、外径48.6mmの中空軸

減速時の回転数：29rpm

軸トルク：245N・m

#### c. 駆動ドラム

駆動軸に取り付けられており(1棟につき2個)駆動軸の動力を摩擦力によってエンドレスワイヤに伝えるもので形状は鼓状である。差し込みピンの着脱により駆動軸との連結、解除が可能であり、使用する棟のみピンを差し込み駆動軸と連動させる。動力が十分あれば全棟同時に動かすことも可能である。

また、ガイドゲートのガイドポスト部が左右同じ速度で移動しなければ、ガイドゲートはねじれ動かなくなってしまうため、駆動ドラムは高精度で加工しておかなければならない。

ドラム寸法：有効直径120、幅50mm

ドラムの牽引力(1個当たり)：1019N

シートの全牽引力：2038N(1019N×2)

#### d. エンドレスワイヤ

ステンレス製のワイヤ(φ2、L175m)で、駆動ドラムに巻き付けられその摩擦力により、ガイドゲートを牽引するもので、ガイドレールの前後両端に取り付けた滑車の間で周回する。ガイドゲートの移動は、図6に示すようにワイヤとガイドゲートを連結することによりガイドゲートは前後に移動する。

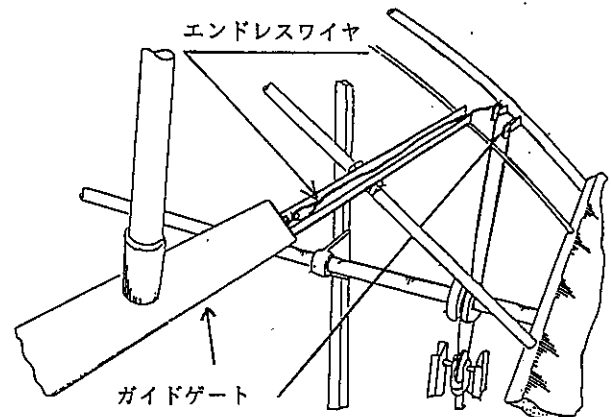


図6 ガイドゲートとエンドレスワイヤの連結

#### e. テンショナー(緊張装置)

前述のエンドレスワイヤに張力を与えるもので、ハウスの後端部に位置し、駆動ドラムとハウス後部の滑車の間で張力を与えるようにしている。

張力の掛け具合は、小さすぎると駆動ドラムとエンドレスワイヤが滑りをおこし、大きすぎると牽引加重が大きくなる。実験の結果、392N程度が駆動ドラムとの間の滑りもなく、ガイドゲートの動きもスムーズであったので、その後の張架実験はこの値で行った。

また張力のかけ方で重要なことは、左右のエンドレスワイヤに同じ大きさをかけなければならないことである。張力が異なると、左右の牽引力に差が生じ、ガイドゲートのスムーズな動きを阻害する要因にもなる。

今回は、実験のため張力を容易に変えられるようにテンショナーを装備したが、適正張力が確認できたので、実用機においては必ずしも可変のテンショナーは必要としない。

#### 3.3.4 制御装置

作業性の向上、少人数化を図るため無線機を利用し、遠隔操作ができるようにした。

##### a. 固定制御部

動力部の近くに設置した制御ボックスで、発電機からの電源の受け入れスイッチ、モータの運転スイッチ、モータの回転方向の切り替えスイッチなどが装備されている。

b. 遠隔操作部

27MHz帯の無線機を使用し、固定制御部から離れた位置でモータの制御が行えるようにした。操作ボックスの電源は乾電池を使用した。

このことにより操作者は、張架状態を観察しながらモータの制御ができるので、一人の節約が可能になる。

4. 張架方法

当装置を使用してシートを張る通常の手順は、次のとおりである。人数はその作業を行うのに必要な最低人数を示している。

事前準備

- (1) フロントガイドパイプの取付 (2人)  
フロントガイドパイプをハウス前面妻部に取り付ける。
  - (2) シート準備 (2人)  
ハウス前方の地上にシートを置く。
  - (3) スライダー、バックカーの準備 (1人)  
ガイドレールの入り口側にスライダーを片側10個(両方で20個)嵌合させる。またバックカーを10個ずつ両方の樋の上に準備する。
  - (4) ガイドゲートを定位置に移動 (1人)  
牽引駆動装置を運転し、ガイドゲートをハウス入り口側(入り口から5m)に移動させる。
- (1)(2)(3)(4)順不同

張架開始

- (5) ガイドゲートへのシートの取付 (2人)  
シート端面をハウスの上に引き上げ、ガイドゲートに固定する(シートを10m引き出し、5m折り返して固定)。
- (6) シート張り (3人)  
遠隔制御装置でガイドゲートを移動させ、ハウス屋根部にシートを張る(ハウス後端から 4.5mまで)。

この時必要な作業人数が、各工程の中で最高の3人で、それぞれの役割は次のとおりである。

- ・張り状態を観察しながら制御装置を操作する：1人
- ・ハウスの入り口の樋の上に上り、バックカーでスライダーにシートを止める。：両方の樋で2人

また、このときのガイドゲートの移動速度は11m/分で、この速度がガイドゲートを止めずにバックカー止め作業ができる限界速度で、これ以上になると連続作業が確保できなくなる。

- (7) シートの固定 (2人)  
ガイドゲートの移動を止め、シートをハウス入り口妻部にスプリングで止める。
- (8) シートへの張力与え (1人)  
再びガイドゲートを2.5mほど移動させ、シートに張力を持たせる。

- (9) シートの仮止め (2人)  
ビニールひもで、ハウスにシートを仮止めする。
- (10) ハウスへのシートの仮止め (1人)  
シートをガイドゲートから外したとき、与えた張力が戻らないように、スプリングでシートをハウスに固定する(左右2か所)。
- (11) ガイドゲートの除去 (2人)  
ガイドゲートからシートを外し、ガイドゲートをレールから外す。
- (12) シートをハウス後部妻部へ固定 (2人)  
シートをハウス後部妻部へ引き下ろし、人力で張力を与えながら、妻部へスプリングで固定する。

5. 今後の課題

現方式により、当初の目的をほぼ達成できたが、より使いやすい装置とするためには、次に述べるような点の改良が必要である。

(1) シート把持方法の改良

スライダーとバックカーによる現方式の問題点として、

- ① シートとスライダーの固定に要領が要り、また時間がかかる。
- ② 風が強い場合、スライダーとバックカーが外れることがある。
- ③ スライダーとバックカーのところからシートが破れることがある。

などがあり、把持方法の確実性の点、ワンタッチ把持の方向から見直す必要がある。

(2) スライダー着脱の容易化

スライダーをレールに着脱する場合、現在はレールの端部でしかできないが、スライダーを割り型にするなどしてレールの途中でも着脱できるようにすると、作業性が向上する。

(3) ガイドゲートの改良

ガイドゲートにシートを固定する場合現方式では、

- ① 屋根に上って作業しなければならない。
  - ② 固定に要領が要る。
- などの問題がある。

①については、ガイドゲートのガイドパイプを折り畳み方式にすると、地上で固定できるようになり作業性が増す。②については、要領の要らないワンタッチ固定の方法を工夫するなどの改良が必要である。

6. おわりに

改良すべき点がいくつか残ったが、一家族で楽に張ることができる装置の開発という点では、当初の目的を達成することができた。

本装置は、連棟ハウスを対象にはいるが、単棟ハウスにも適用できるものである。

今後本装置が企業化され、農家の労働力不足、労力軽減に役立つことを期待したい。

なお、装置製作にあたり協力いただいた（有）岡村鉄工所に謝意を表します。

（特許出願中）

文 献

- 1)岸田義典. "92農業機械年鑑", (株)新農林社, P79 (1992)



# CBNホイールによるオーステナイト系ステンレス鋼及び合金工具鋼の溝研削

高橋孝誠\*・八戸和男\*\*・松尾哲夫\*\*\*

## Slot Grinding of Austenitic Stainless and Alloy Tool Steels with CBN Wheels

Kousei TAKAHASHI\*, Kazuo YAE\*\* and Tetsuo MATSUO\*\*\*

本研究では、メタルボンドCBNホイールを用いてオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304) 及び合金工具鋼 (SKD-11焼き入れ材) のクリープフィード溝研削加工を行い、種々の研削特性について検討することを狙いとしました。ホイールの直径は200mm、幅は1.5及び3.0mmであり、ホイール周速度は25~35m/s、テーブル送り速度は5~275mm/minに変化させた。研削液は水溶性と不水溶性のものを用いた。

これらの実験により、研削抵抗、研削温度、加工溝幅等を測定し、主にテーブル送り速度、切り込み深さ、ホイール周速度、ホイール幅が研削抵抗に及ぼす影響を調べた。さらに、研削焼け及びホイールの面振れについても検討した。

### 1. 緒言

焼入れ工具鋼のように非常に硬く加工が難しいとされている難削材の研削には、CBNホイールを用いると効果的であり、その研削特性については最近多くの報告がなされている。しかし、それらの報告のほとんどは表面研削<sup>1)</sup>や円筒研削<sup>2)</sup>に関するものであり、溝研削<sup>3)</sup>のような成形研削に関するものはまだ十分とは言えない。

本研究では、幅1.5及び3.0mmのメタルボンドCBNホイールを用いてSUS304オーステナイト系ステンレス鋼及びSKD-11焼入れ合金工具鋼のクリープフィード溝研削加工を行い、種々の条件における研削抵抗、研削温度、加工溝幅等を測定した。

研削抵抗の接線方向分力 $F_t$  (接線抵抗) は砥粒が材料を削り取る直接的な力であるが、法線方向分力 (法線抵抗)  $F_n$  は材料を削るには無関係のいわば無駄な抵抗力である。したがって、二分力比 ( $F_t/F_n$ ) が小さいほど砥粒が材料に硬く食い込み、研削のエネルギーロスが大きいとされる<sup>4)</sup>。

そこで、テーブル送り速度、切り込み深さ、ホイール周速度、ホイール幅が研削抵抗に及ぼす影響を調べた。さらに研削焼け及びホイールの面振れについて検討した。

### 2. 実験方法

本実験で用いた研削盤は、三井精機工業(株)製のNC超精

密成形平面研削盤GHS-630で、図1に示すように研削盤のテーブル上に佐藤工機(株)製工具動力計を取り付け、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。

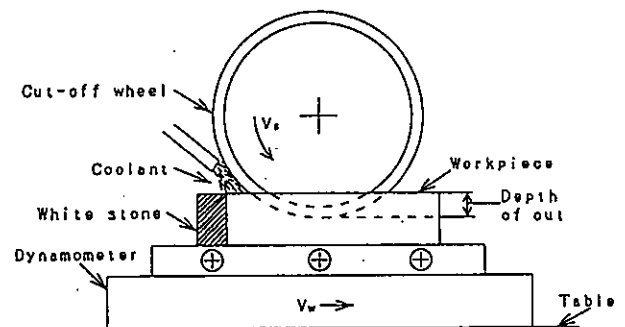


図1 実験装置の概要

工作物の後端に同じ高さのホワイトストーンを取り付け、工作物の加工終了時にホイールの目詰まりを除去するよう工夫した。また、加工の度にアルミナドレッシングを用いてドレッシングを行った。この加工は高切り込み、低送り速度のクリープフィード研削加工である。

実験条件を表1に示す。これらの実験はすべて湿式で行い、送り速度、切り込み深さ、ホイール周速度を種々に変化させた。また、2種類のホイール幅のメタルボンドCBNホイールを用いた。研削温度は、絶縁薄膜をコンスタンタン薄板の両面に貼り、それを2つに割った工作物の間に挟み、熱電対の原理を応用して測定した。加工溝の形状測定においてはニコン(株)製の万能投影機を用いて、溝長さ方向に沿って溝上部幅を、さらに、数か

\* 生産技術部  
\*\* 九州東海大学工学部  
\*\*\* 熊本大学工学部

所を溝長さに直角方向に切断して溝下部幅を測定した。

表 1 実験条件

Wheel type	CBN170P75M
Wheel diameter: $d_s$	$\phi 200$ mm
Wheel width: $b$	1.5, 3.0 mm
Flange diameter	$\phi 180$ mm
Workpiece	SKD-11(hardened), SUS304
Wheel speed: $V_s$	25, 30, 35 m/s
Table speed: $V_w$	5~275 mm/min
Depth of cut: $t$	1~4 mm
Grinding direction	Down cutting
Coolant	Water soluble oil( $\times 50$ ), Non-soluble oil

3. 実験結果及び考察

3.1 研削抵抗

3.1.1 テーブル送り速度の影響

テーブル送り速度と比研削抵抗（単位ホイール幅当たりの研削抵抗）の関係を図2に示す。この図より、SUS304の研削の方がSKD-11よりも大きな比研削抵抗を示すことがわかる。これは、SUS304の延性が高く、切り屑がチップポケットに詰まったり砥流層面に堆積することが原因と思われる。送り速度が増加に対する比研削抵抗の増加率は僅かに減少している。この傾向は小野が提唱した次式<sup>5)</sup>と一致している。

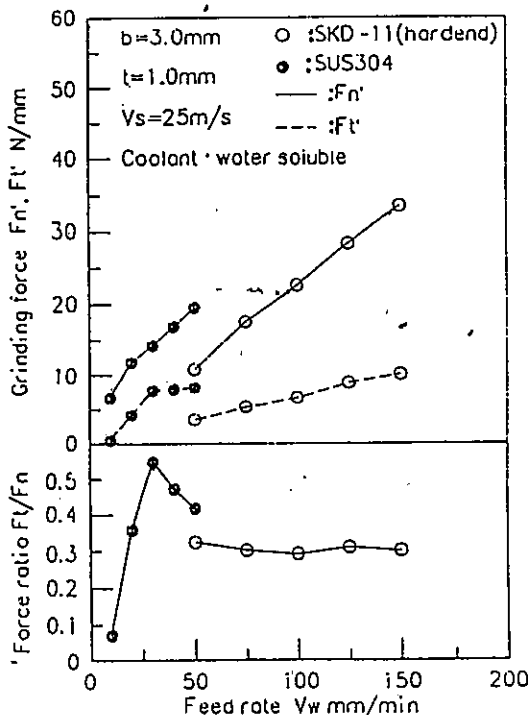


図 2 テーブル送り速度と比研削抵抗及び二分力比の関係

$$F_t = k_o \cdot b \cdot \omega^{-0.5} t^{0.88} (V_w/V_s)^{0.75} d_s^{0.13} \quad (1)$$

$$F_n = \lambda F_t \quad (2)$$

ここで、 $F_t$ は接線抵抗、 $F_n$ は法線抵抗、 $k_o$ 及び $\lambda$ は定数、 $b$ はホイール幅、 $\omega$ は連続切れ刃間隔、 $t$ は切り込み深さ、 $V_w$ は送り速度、 $V_s$ はホイール周速度、 $d_s$ はホイール直径である。

図2に二分力比も示す。SUS304の研削において送り速度が小さいときに二分力比が小さい値を示すのは、砥粒の食い込みが悪いために加工面上で滑りやすいからであると思われる。送り速度50mm/minでSUS304よりもSKD-11の二分力比の方が小さいのは、SKD-11のかたさがSUS304よりも大きく、砥粒が工作物に食い込みにくいことに起因していると思われる。

3.1.2 切り込み深さの影響

比研削抵抗と切り込み深さの関係を、SKD-11については図3に、SUS304については図4に示す。式(1)から予想したよりも、切り込み深さの増加に対して比研削抵抗の増加率が高いのは、研削点への研削液の注入が十分でなかったためであると思われる。切り込み深さが大きくなるとこの現象が顕著になっていることもこの理由からであろう。

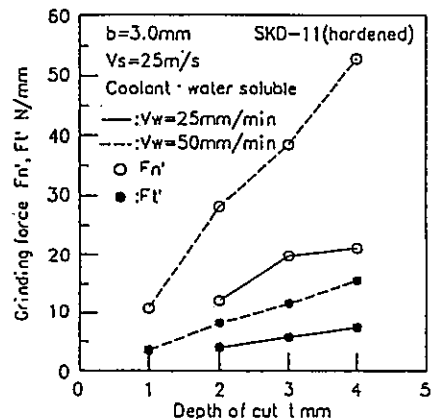


図 3 SKD-11の研削における切り込み深さと比研削抵抗の関係

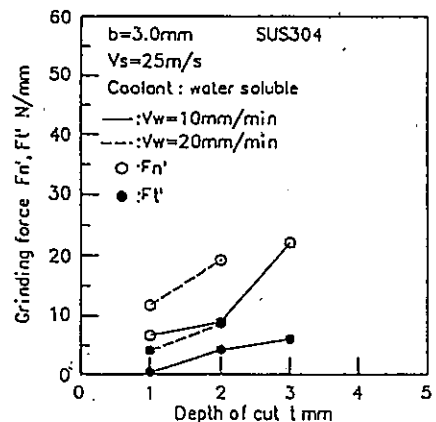


図 4 SUS304の研削における切り込み深さと比研削抵抗の関係

SUS304の研削では、研削焼けの臨界値が低いためSKD-11に比べてテーブル送り速度を40%に低下させた条件としたが、切り込み深さが3mmを超えると研削焼けを起こして加工不能となった。

### 3.1.3 ホイール周速度の影響

式(1)ではホイール周速度の増加に伴って研削抵抗は減少することが示されているが、図5に示す結果にもこの傾向が現れている。これは、ホイール周速度が大きくなるほど砥粒当たりの削除量が減少するからである。しかし、ホイール周速度があまり速すぎると研削抵抗は逆に大きくなるおそれがある。なぜならば、研削点に十分な研削液の供給ができずに冷却作用が不十分となり、砥粒の熱摩耗によって切れ味が鈍化するからである。この図から、SUS304の場合は $V_s=35\text{m/s}$ 以上の研削が有効と見られるが、SKD-11の場合は $V_s=30\sim 35\text{m/s}$ がその限界であることがわかる。しかし、ホイール周速度を大きくした場合には、特に研削液の研削点への供給を十分に行ってやる必要があることはいうまでもない。

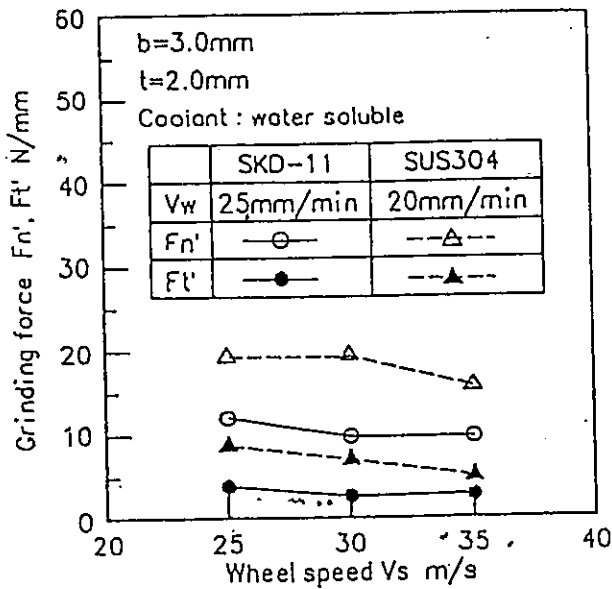


図5 ホイール周速度と比研削抵抗の関係

### 3.1.4 ホイール幅の影響

SKD-11とSUS304の研削において、ホイール幅が1.5mmと3.0mmの場合の研削抵抗の違いを図6に示す。SKD-11に関しては、ホイール幅が小さい方が比研削抵抗は僅かながら大きくなっている。これは、ホイール幅が小さいと、研削中のホイールの面振れが大きくなることや、切り屑の排出が困難になるためであると考えられる。さらに、研削点への研削液の供給が困難になることも原因していると考えられる。

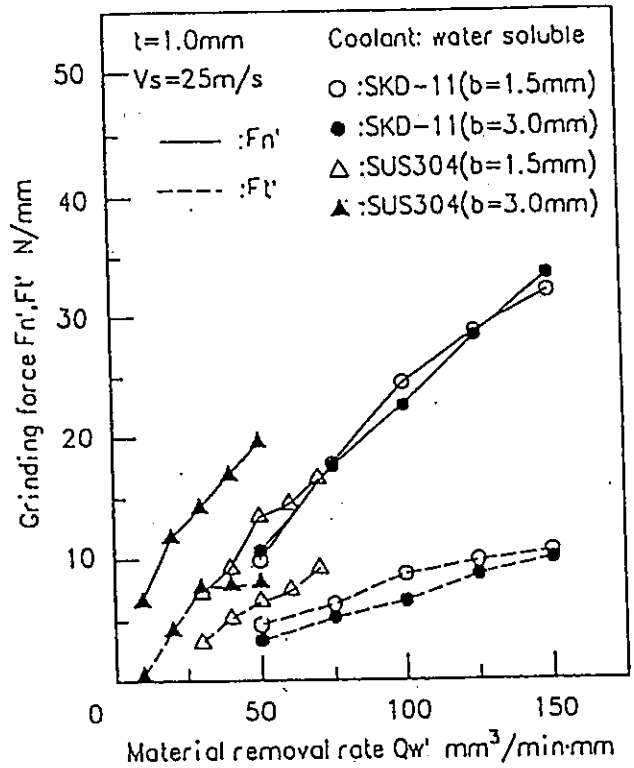


図6 ホイール幅が与える比研削抵抗の影響

しかし、SUS304の研削においては、逆にホイール幅が厚い方が比研削抵抗は明らかに大きい。これは、ホイール幅が厚い場合には、SUS304は熱伝導率が低くまた、熱の放散が比較的小さいために、研削点の温度が高くなり工作物が軟化したためであると考えられる。

### 3.2 研削温度と研削焼け

研削液の種類や流量によって研削効率は大きく変わる。特に、研削温度が高くなりすぎると沸騰が起こり、研削点付近の工作物やホイール面の温度が急上昇するなど、研削温度は研削液の供給条件によって大きく影響される。

本実験においては、研削焼けの臨界条件を調べるために、水溶性と不水溶性の2種類の研削液を用いて研削温度を測定した。材料除去速度と研削温度の関係を図7に示す。 $\tau$ を研削時間とすると、総発生熱量 $Q_0$ は次式(3)で求められる。

$$Q_0 = F_t \cdot V_s \cdot \tau \quad (3)$$

送り速度や材料除去速度の増加に伴って接線研削抵抗が著しく増加するために、送り速度の増加に伴って研削温度が高くなるのが、式(1)及び式(3)からわかる。図7に示されている傾向はこれらの式と一致している。

SUS304は熱伝導率が低く、その研削においては接線研削抵抗が大きいために、SKD-11に比べると研削温度は高く現れる。不水溶性の場合は冷却性が悪いために、やは

り研削温度は高い。

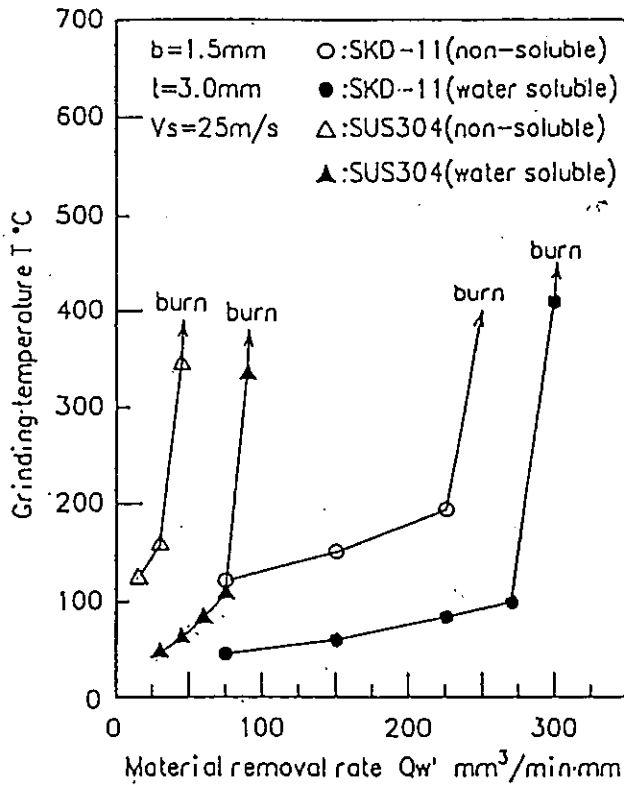


図7 材料除去速度と研削温度の関係

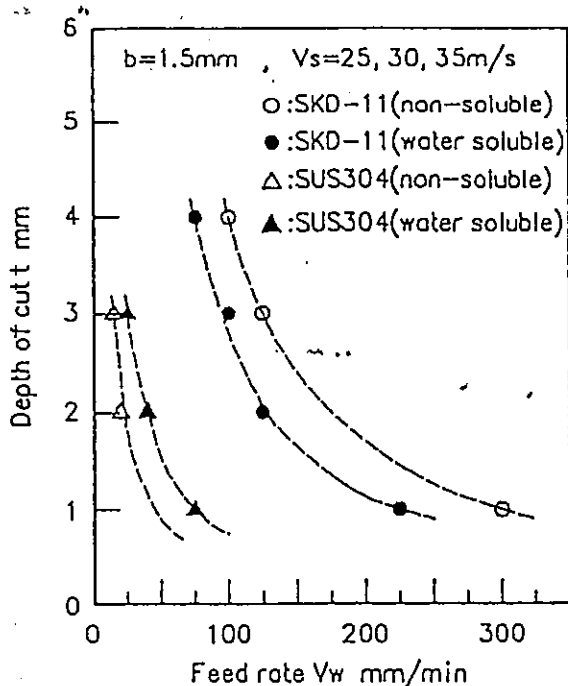


図8 研削焼けの臨界条件

研削焼けの臨界条件を図8に示す。この図からも、SKD-11よりもSUS304の研削の方が、上述の理由により研削焼けが起り易いことがわかる。SUS304の場合は水溶性

研削液の方が研削焼けの抑制には効果的であることが示されているが、SKD-11の場合はそれとは逆の現象が現れている。SKD-11の研削においては、特に研削焼けを起こす領域付近において、不水溶性の冷却性よりも潤滑性の方が研削焼けの防止に効果的に働いているものと思われる。

### 3.3 加工溝幅とホイールの面振れ

#### 3.3.1 加工溝の上部幅

ホイール周速度や切り込み深さを増加すると、加工能率は上がるが、加工溝の直線性は劣化し、蛇行現象が起こる場合もある<sup>9)</sup>。本実験でもホイール入口から出口まで均一な幅で加工することは困難であった。

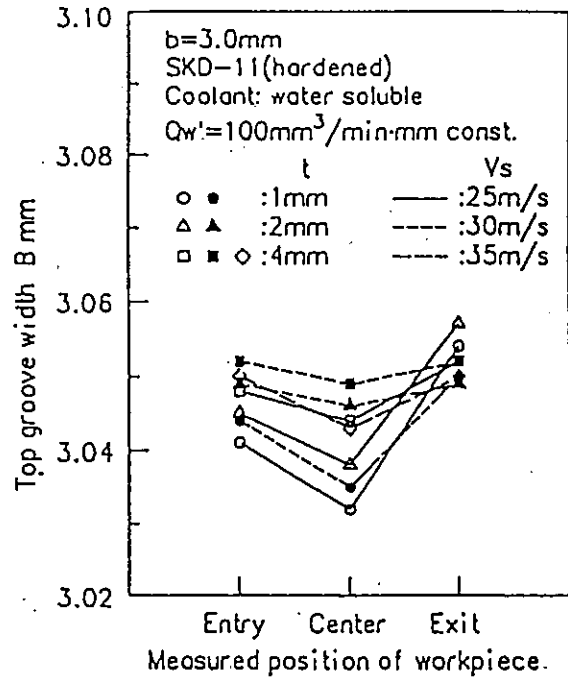


図9 ホイール入り口部、中央部、出口部における加工溝上部幅

ホイール入口部、中央部、出口部の3か所の溝幅の測定結果を図9に示す。この図より、ホイール入口部や出口部に比べると中央部の溝幅が最も小さいことがわかる。この現象はホイールの面振れ挙動に関係している。すなわち、ホイール入口部においてはホイール幅方向の力学的均衡がとれるまでホイールは大きく振れ、ホイールが中央部に進むと加工された溝の壁によってホイール側面が両側から拘束されるために面振れが減少し、さらにホイール出口部においては溝の壁からの拘束がなくなるために再びホイールは面振れを起こすものと考えられる。

また、ホイール入口部と中央部においては切り込み深さが大きいほど溝幅が大きい傾向にあるが、これは切り込み深さが大きくなると次節に述べるプロペラ現象によってホイールの最外周部よりやや中心に近い部位が大

大きく振れるためであると考えられる。しかし、ホイール出口部ではこの傾向が余り見られない。これはホイールが工作物から抜け出す際の切り込み深さと関係なくホイールの面振れ状態がまちまちであるからであると思われる。また、ホイール周速度と溝幅の相関も余り明確に現れていない。

### 3.3.2 加工溝の断面形状

ホイールの面振れ挙動をさらに詳しく調べるために、ホイールが加工長さの中央部まで進んだところでテーブル送りを停止すると同時にホイールを急上昇させる実験を行った。加工長さ方向に沿って加工溝の上部幅と下部幅を測定した結果を図10に示す。図中の破線は、そのときのホイール軸中心の位置を示している。したがって、破線の左側においては切り込み深さは左に進むにつれて小さくなり、破線の右側では切り込み深さは一定である。横軸の40mmの位置は工作物の端であり、すなわちホイール入口部を示している。この図より、溝上部幅が下部幅より大きいことが明瞭である。このことは、軸直下においてホイールの最外周よりもやや中心に近い部位の方が面振れが大きいことを表している。この現象は、ホイールの最外周は加工溝の壁によって面振れを抑制されているためであり、このときのホイールの断面形状が飛行機のプロペラの形状に似ていることから、プロペラ現象と呼ばれる。

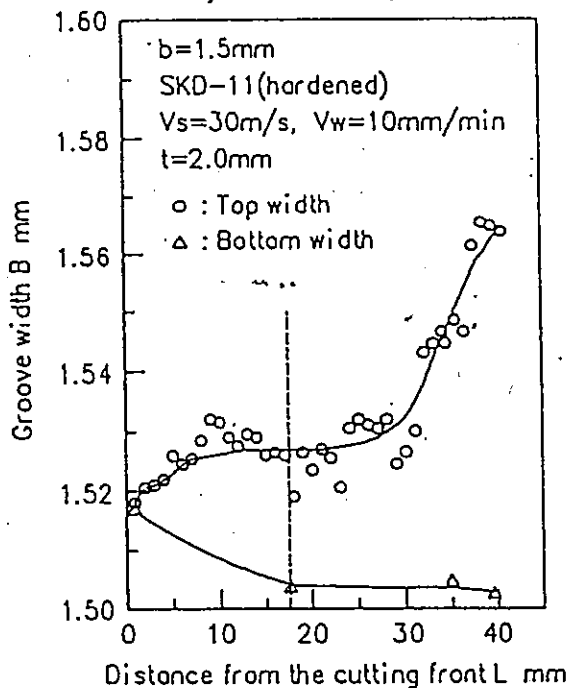


図10 研削先端からホイール入り口部までの溝の上部幅と下部幅

また、この図からもホイール入口部よりも中央部の上部幅の方が大きいことがわかる。研削先端部において上部幅は最も小さくなっており、下部幅は最も大きくなっていることに注目しなければならない。すなわち、ホイール最外周のある点が1回転する中で、加工物表面に接触する瞬間においては、ホイールの面振れは小さいことを意味している。さらにホイールのその点の回転が進んで軸直下に来ると、その点は加工溝の底部にあるため溝の壁によって面振れを抑制され、溝の下部幅は減少する。この現象はホイール入口部に近いところで顕著である。

## 4. 結論

メタルボンドCBNホイールを用いてSUS304オーステナイト系ステンレス鋼及びSKD-11焼入れ合金工具鋼のクリープフィード溝研削加工を行い、種々の研削特性及び加工溝幅について検討し、次の結論を得た。

- (1) SKD-11よりもSUS304の研削の方が研削抵抗は大きくなり、SUS304の研削におけるテーブル送り速度や切り込み深さに対する研削抵抗の増加率は、材料の延性の違いからSKD-11の研削の場合よりも大きい。
- (2) 切り込み深さが増加すると研削液の供給が十分に行われず、研削抵抗は予想以上に大きくなる。
- (3) ホイール周速度の増加に伴って研削抵抗は減少するが、速すぎると研削液の供給が十分でなくなるために、逆に増大する。
- (4) SKD-11の研削においては、ホイール幅が小さいほど比研削抵抗は大きくなる。しかし、SUS304の研削においてはこれとは逆の結果となる。
- (5) 研削温度は不水溶性よりも水溶性の研削液を用いた方が低く現れる。また、SKD-11よりもSUS304の研削の方が研削温度が高い。さらに、SKD-11の研削においては水溶性の研削液を用いた方が研削焼けが起こり易く、SUS304の研削においては不水溶性の研削液を用いた方が起こり易い。
- (6) 加工溝長さに沿う中央部における溝上部幅は、ホイール入口部や出口部よりも狭くなる。
- (7) 溝長さ全体にわたって下部幅よりも上部幅の方が大きく、ホイール入口部においてこの傾向は強い。
- (8) 加工中は、ホイールの軸直下断面において、ホイールの最外周部よりもやや中心に近い部位の面振れが大きい。

文 献

- 1) 例えば、T. Tawakoli: High-Efficiency Deep Grinding (HEDG) with Shaved CBN Wheels, SME, 4th International Grinding Conference and Exposition, (1990)
- 2) 例えば、久留須誠: レジンボンド CBN 砥石による円筒トラバース研削の研究、精密工学会誌、57-3, (1991), 517-522
- 3) 例えば、T. Matsuo, et al.: Slot Grinding of Steels and Ceramics with Superabrasive Wheels, Annals of the CIRP, 37-1, (1988), 315-318
- 4) 鄭潤教、稲崎一郎、松井敏: ファインセラミックスの高効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), 209-215
- 5) 小野浩二: 研削仕上、槇書店、(1962), 23
- 6) 宮嶋敦、稲崎一郎、関家臣二: ダイヤモンドブレードを用いたガラスの精密切断加工、日本機械学会論文集 C 編、56-521, (1990), 212-216

## CBNホイールによる工具鋼の高能率・高精度ジグ研削

坂本博宣\*・峠 睦\*\*・松尾哲夫\*\*

A Study on the High Efficiency and High Accuracy Jig Grinding for Tool Steel

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

工具鋼の高能率・高精度ジグ研削を図るため、CBNホイールを用いて研削条件の加工精度及び研削抵抗に及ぼす影響を調べた結果、以下のことが明らかになった。

- (1) ホイール周速が増加すると研削抵抗は減少する。このため、高周速領域ほど高切込み、高送り研削が可能となり、高能率加工が容易になる。
- (2) 研削抵抗は研削初期に急激に増大するが、その後累積研削量の増加に伴わずかに増加する。このため、ドレッシングを行わないで多く部品を研削できる。
- (3) クイル送りを与えることにより研削抵抗は約半分に減少する。この結果、高能率及び高精度研削がいつでも可能となる。

### 1. 緒言

ジグ研削は現在中小企業においても金型・治工具の高精度・高能率仕上げ加工にはなくてはならない加工技術となっている。本研削法が穴内面の仕上げ加工に適用される場合、小径砥石が多く用いられている。しかし、本研削法固有の問題点として、砥石軸系の剛性が低い、砥石の摩耗が早いために研削特性が不安定になりやすいなど様々な問題が生じる。したがって、現場ではある程度低い研削条件のもとで長時間をかけて研削し精度のみを確保しているのが実状である。しかしながら、近年の金型・治工具の低価格化、短納期化は市場のすう勢であるため、高精度化と高能率化は同時に追求されなければならない課題である。以上のようにジグ研削は他の研削法にない多様な問題点を擁しているにもかかわらず、その研削機構や現象を解明するための系統だった研究報告は現在極めて少ない。

そこで本研究においては、NCジグ研削盤を用いて金型材をCBNホイールによる研削実験を行い、研削条件と研削抵抗の相関を求めた。これを基に、ジグ研削の高精度・高能率加工の限界を検討した。

### 2. 実験方法

本実験におけるジグ研削加工の概念を図1に示す。本

研究では砥石が被削材の輪郭または加工経路に対して法線方向に切込む輪郭制御方式で実験を行った。図において、砥石軸は加工経路上に設定されているC軸から砥石半径に一致する距離だけ偏心しており、偏心方向は加工経路に対して常に直角方向を向くように自動制御されている。このため、本方式は加工経路が急激に変化する場所でも砥石中心が通る経路（工具径補正）を考慮したプログラムが必要でなく、複雑な形状を有する加工面でも容易に加工できる利点がある。

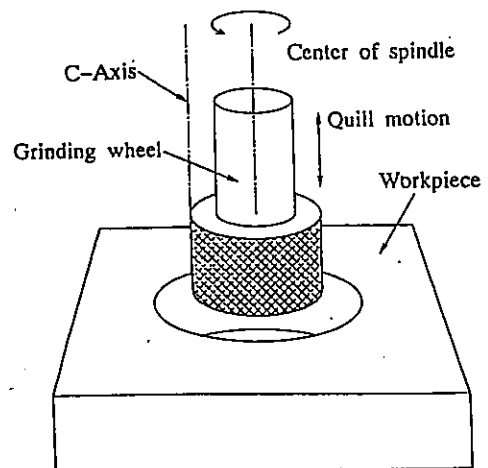


図1 ジグ研削加工の概念図

研削条件を表1に示す。被削材は金型材料として最も広く用いられている冷間金型用合金工具鋼SKD11であり、直線加工の場合は厚さ8mm、長さ60mm、幅50mmの直方体、また丸穴加工の場合は前もってジグボアで直径17.8mmの穴を開けたものを使用した。被削材は1320Kにて真

\* 生産技術部

\*\* 熊本大学工学部

空中1hr保持後油焼入れし、その後850Kで2回焼戻しを施して実験に供した。使用した砥石は粒度80~300の電着CBNホイールであり、ホイール形状はホイール直径12mm、突出し量40mm、軸径10mmである。なお、軸剛性の影響について調べるため、軸径を6, 8, 10mmの3段階に変化させたものを用意した。

表 1 研削条件

Workpiece	SKD11 (Hv 800)
Grinding wheel	Electro-deposit CBN
Grain size number	80, 120, 170, 200, 300
Depth of cut $t$ (mm)	20, 50, 100, 150, 200
Work feed rate $V_w$ (mm/min)	10 - 50
Wheel speed $V_s$ (m/s)	10 - 27.5
Quill speed $V_q$ (m/min)	1 - 5
Diameter of wheel spindle (mm)	10
Length of wheel overhang (mm)	40
Grinding fluid	Soluble type (3 l/min)

仕上げ面粗さは小坂研究所製のSE-3C形表面粗さ計を用いRaを求めた。測定は累積研削量が500mm<sup>2</sup>の点で測定した。

研削中の研削抵抗は防水処理を施した二分力測定可能な枠組み型動力計を用いて測定した。さらに、枠組み形動力計を用いてホイール軸系の静剛性を測定した。なお、以下に示す結果では特に示さない限りホイール形状は直径12mm、突出し量40mm、軸径10mmとしている。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 砥石周速の研削抵抗に与える影響

本実験では直線加工を選択した。なお、CBNホイールはツルーイングおよびドレッシングを施さずに使用した。図2は切込み量50μm、送り速度20mm/minの一定条件のもとでホイール周速を10m/sから27.5m/sまで変化させた場合のホイール周速が研削抵抗に与える挙動を示したものである。

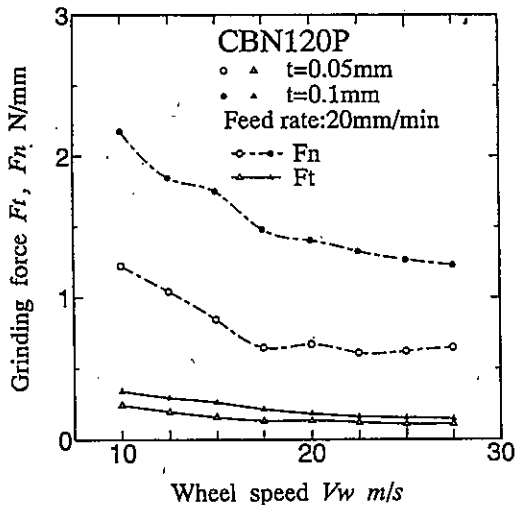


図 2 ホイール周速と研削抵抗との関係

図より明らかなように、研削抵抗は全体的に周速の上昇に伴い指数関数曲線的な減少傾向を示す。

これはホイール周速の増加により被削材の破壊単位(最大切りくず厚さ)が減少するためと推察される。接線分力は周速12.5m/sないし15.0m/sあたりまでは明らかに指数関数曲線的な変化を示すが、それ以上の周速では減少率が微小となり、ほぼ直線的に変化する。これは周速が20m/s以上になると最大切りくず厚さが大きく変化しないことによる。一方、法線分力は特に周速10.0m/sから17.5m/sにかけて変化が著しいが、20m/sから27.5m/sの領域では大きな変化は認められない。これは周速の上昇により比研削エネルギーが増加した結果、切りくずがチップポケットに堆積しやすくなり目詰まりが生じたためと推察される。切込み量を100μmにすると研削抵抗はほぼ2倍となる。これは切込み量が倍増したことにより被削材の破壊単位(最大切りくず厚さ)が増大したためであると考えられる。

図3はホイール周速10m/s、20m/sにおいて送り速度を20mm/minの一定にし、切込み量を25μmから200μmまで変化させた場合の切込み量と研削抵抗の関係を示したものである。図より明らかなように、切込み量と研削抵抗の間には正の比例関係が認められる。

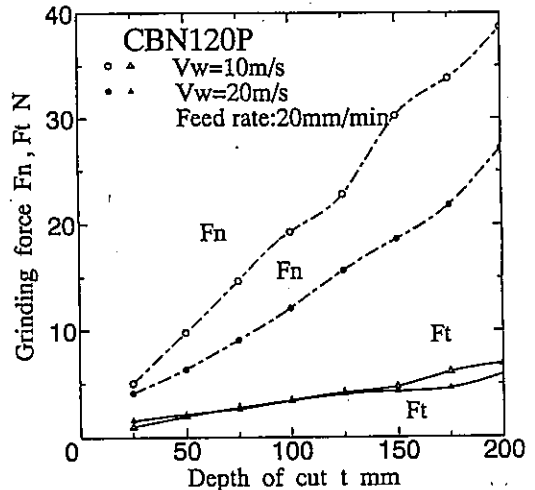


図 3 切込み量と研削抵抗との関係

これは切込み量が増加することにより被削材の破壊単位が比例的に増大するからである。接線分力は切込みの全領域においてわずかだけ増大するが、法線分力は大きな勾配で増大する。これは、砥粒すくい面の形状が砥石切込み量の増加によってあまり影響されないのに対して、砥粒逃げ面は摩滅摩耗によって平坦化が進むため、設定切込み量を満足するよういっそう大きな加圧力が作用するためと考えられる。本実験によると、研削抵抗はホイール周速10m/sでは切込み150μmにおいて接線分力の5.94倍、また20m/sでは9.10倍大きくなっている。砥石周速20m/sでは接線分力が10m/sのほぼ70%まで減少するが、



法線分力は約87%までしか減少しない。

図4は10m/s, 20m/sのそれぞれのホイール周速において、切込み量100 $\mu$ mのもとで送り速度を5mm/minから50mm/minまで変化させたときの研削抵抗の挙動を示す。

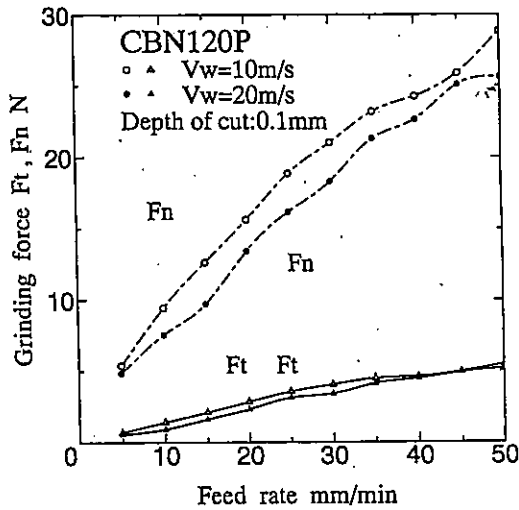


図4 送り速度と研削抵抗との関係

図より明らかなように、これも切込み量を変化させた場合と同様な理由でほぼ類似の挙動を示す。ただし、研削抵抗の増加率はホイール周速10m/sのほうが20m/sの場合より僅かに高い。これは、低周速域では砥粒に作用する負荷が大きいため砥粒の自生作用が活発であるため砥粒摩耗が破碎形態を示すが、高速域になると砥粒に作用する負荷が軽くなるため砥粒摩耗が摩滅摩耗形態へ移行することによると推察される。

図5はホイール周速10m/s、切込み量20 $\mu$ m、送り速度20mm/minの条件のもとで、粒度80, 120, 170, 200, 300の5種類のホイールを用いて研削実験を行ったときの研削抵抗を示す。粗粒ほど高い研削抵抗値を示すが、粒度170が極小値を示したあとそれ以上の細粒ホイールにおいてはほとんど変化は認められない。

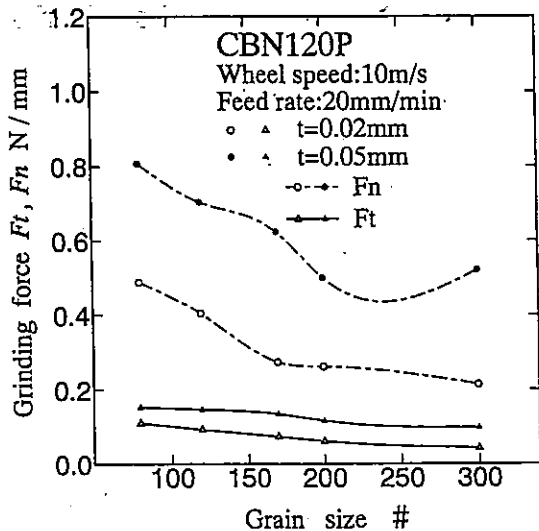


図5 ホイール粒度と研削抵抗との関係

これは、粒径が大きいほど設定切込み量を食い込むのに大きな加圧力が必要なことと、粗粒砥石ほど連続切れ刃間隔が長くなり被削材の破壊単位が大きくなるためである。しかし、細粒ホイールほど被削材へ容易に貫入できるが、逆に同時研削切れ刃数の増加するためチップポケットが小さくなり目づまりが生じることから、粒度170以上のホイールでは研削抵抗が増大すると考えられる。

### 3.2 累積研削量と研削抵抗との関係

図6はCBN120Pホイールを用い、直線加工のもとでホイール周速10m/sおよび20m/s、設定切込み量100 $\mu$ m、送り速度20mm/minの固定条件で実験を行ったときの累積研削量に対する法線及び接線研削抵抗の変化を示したものである。図より明らかなように、接線分力は累積研削量80mm<sup>3</sup>まで比較的急な勾配で増大するが、それ以降は累積研削量が増加してもほとんど変化が認められない。

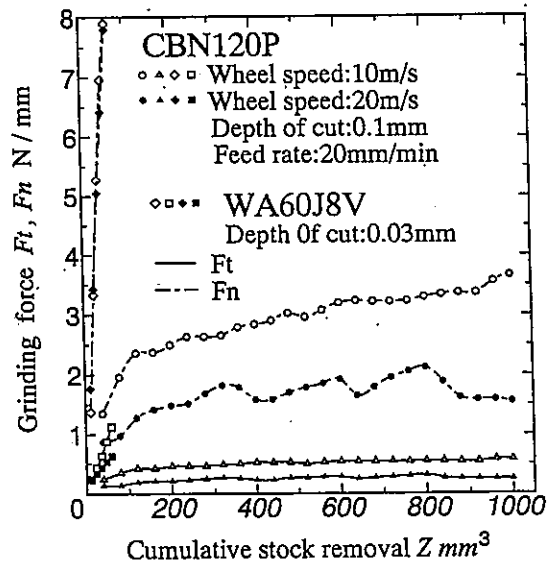


図6 累積研削量と研削抵抗との関係

一方、法線分力は累積研削量120mm<sup>3</sup>まで著しく増大し、それ以後は緩やかな勾配で直線的に上昇し、累積研削量1000mm<sup>3</sup>では29.32Nに達している。このように、研削初期に法線分力が急激に増加しその後安定した挙動を示すのは、以下の理由によるものと考えられる。電着CBNホイールはツルイングを施さずに使用しているため、ホイール作用面における砥粒突出し高さは不揃いである。このため、研削初期には突出し高さの大きい少数の砥粒のみが被削材除去に関与し、比較的低い加圧力で被削材に食い込む。この間、個々の砥粒への負荷が大きくなるため砥粒の自生作用が活発となり、砥粒切れ刃形状が複雑化する。このことから、同時研削切れ刃数が急激に増加するため研削抵抗の増加率が高くなる。次に、研削時間の経過とともにホイール作用面の砥粒摩耗が漸次進行し砥粒突出し高さが揃ってくると、次第に同時研削切れ

刃数が増加し多くの砥粒が被削材除去に関与ようになる。その結果、砥粒逃げ面が全体的に平坦化し加圧力が安定化すると研削抵抗の変動は微小となり、研削抵抗はほぼ直線的に推移するものと推察される。

そこで、研削の進行が研削抵抗変化に及ぼす影響を明らかにするため、砥粒逃げ面形状が累積研削量とともにどのように変化するかを砥粒逃げ面摩耗平坦率の変化から考察する。図7はCBN120Pを用いて砥石周速10m/s、切込み量100 $\mu$ m、送り速度20mm/minの研削条件で実験を行った場合の、累積研削量に対する砥粒逃げ面摩耗平坦率の変化を代表例として示す。

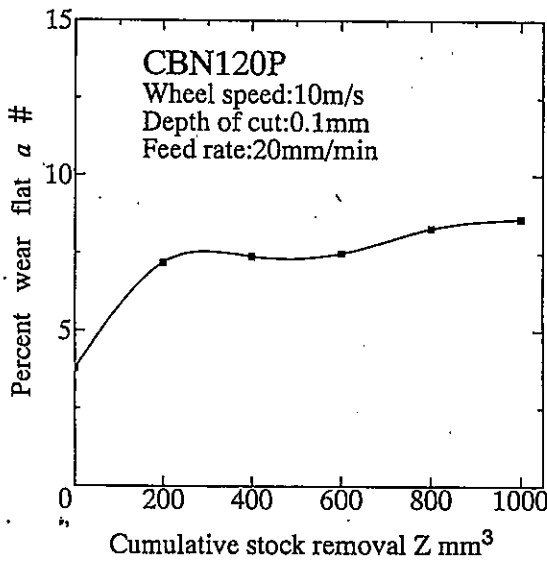


図7 砥粒逃げ面平坦率と研削抵抗との関係

図より明らかなように、砥粒逃げ面摩耗平坦率は研削初期に著しく増大し、その後指数関数曲線状に僅かながら上昇する。砥粒逃げ面摩耗平坦率は累積研削量200mm<sup>3</sup>では4%, 1000mm<sup>3</sup>では8%を示す。このように、累積研削量に対する砥粒逃げ面摩耗平坦率を表す曲線は前述した研削抵抗の挙動と良く一致する。

ホイール周速が20m/sになると法線分力は10m/sの約1/2に減少する。これはホイール周速が2倍になることにより被削材の最大切りくず厚さが1/2に減少すること、比研削エネルギーの増加により被作材の破壊抵抗が減少することが大きな原因と考えられる。

### 3.3 クイル運動の研削抵抗に及ぼす影響

これまでは砥石に主軸方向の往復運動つまりクイル運動を与えない場合の研削実験について検討した。ここでは、砥石にクイル運動を付加した場合の研削抵抗の挙動、クイル運動が加工効率および仕上げ面粗さに与える影響について考察する。図8はCBN120Pを用いて砥石周速10m/s、切込み量100 $\mu$ m、送り速度20mm/min、クイル速度3m/minのもとで研削を行ったときの研削抵抗と累積研削量との関係を示す。また比較のため、クイル運動を与えなかった場合の実験結果も合わせて示す。

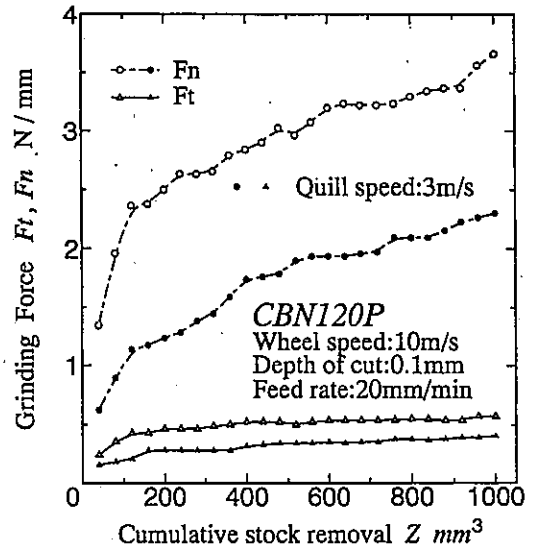


図8 クイル動作の研削抵抗に及ぼす影響

図より明らかなように、研削抵抗は接線分力・法線分力ともクイル運動を与えることによって与えない場合の約2/3まで低下する。これは砥石送り方向とそれに垂直な主軸方向で形成される合ベクトル方向へ研削抵抗が作用し、個々の砥粒の被削材除去量が減少するためと考えられる。

また、図9はホイール周速10m/s及び20m/sのもとで、切込み量100 $\mu$ m、送り速度20mm/minにてクイル速度を1m/minから5m/minまで変化させた場合の研削抵抗の変化を示す。図よりクイル速度が増加すると研削抵抗はいずれのホイール周速においても指数曲線的に減少する。これはクイル速度が上昇すると同時研削切れ刃数が増加し、被削材の切りくず厚さが減少するためと説明できる。なお、周速10m/sにおいて、研削抵抗はクイル速度の上昇に伴い顕著な減少傾向を示す。

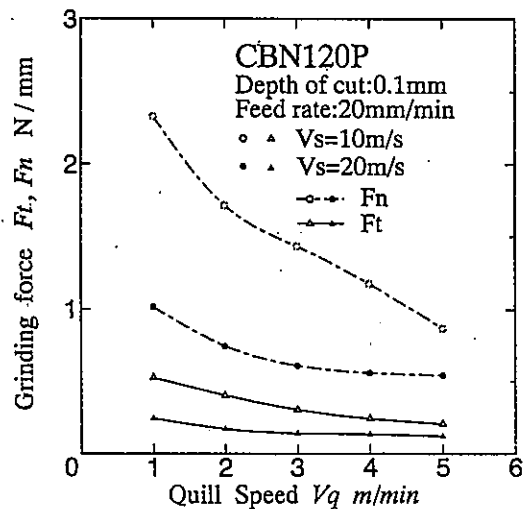


図9 クイル速度と研削抵抗との関係

一方、周速20m/sの場合、クイル速度3m/sまで顕著な減少傾向が認められるが、クイル速度がそれ以上になる

と減少率が極めて低くなり、次第に一定値に近づく。また図10は周速を変化させた場合の被削材仕上げ面粗さを示したものである。周速以外の研削条件は一定とし、クイル運動を与えた場合と与えなかった場合を対比させて示す。

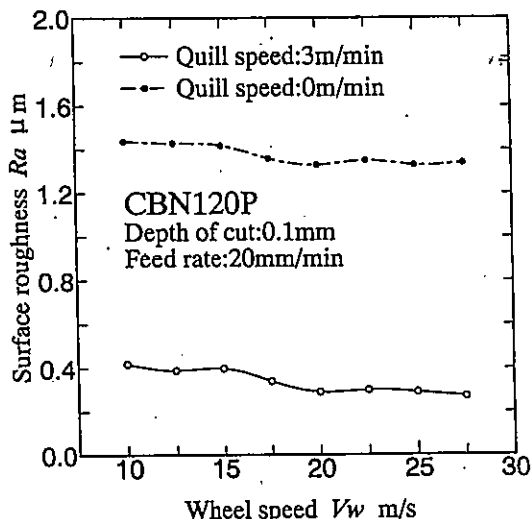


図10 クイル速度の仕上げ面粗さに及ぼす影響

図より明らかなように、クイル運動を与えることにより、いずれの砥石周速においても仕上げ面粗さが5倍ほど向上している。また、ホイール周速が上昇すると仕上げ面粗さはほぼ直線的に向上している。このことは研削抵抗の挙動と極めてよく一致している。

#### 4. 結 言

CBN電着ホイールを用いて小径穴の精密ジグ研削実験を行い、研削条件による研削抵抗変化の挙動ならびに砥粒逃げ面摩耗平坦率の変化を通して、研削条件が仕上げ面粗さに与える影響を調べた。得られた結論を要約すると以下のとおりである。

- (1) 研削抵抗はホイール周速の増加に伴い指数曲線状に減少し、切込み量ならびに送り速度に対しては直線的に増加にする。また、研削抵抗は砥粒粒度80~170においては低下するが、それより粒度が高くなっても低下しない。
- (2) 研削抵抗は接線・法線分力とも累積研削量の増加に伴い増大する。その増加率は特に研削初期において顕著である。接線分力の変化は全研削時間を通してわずかである。しかし、法線分力は比較的大きな勾配で直線的に増大する。これはCBN砥粒が研削時間に伴い摩耗するためである。
- (3) 電着CBNホイールの摩耗は砥粒突出し高さが揃っていない研削初期に多く、それ以降は研削時間の経過に伴い極めて少なくなる。
- (4) 主軸にクイル運動を与えると研削抵抗は約2/3まで低下する。その結果仕上げ面粗さは5倍程度向上する。また、クイル運動速度を増加すると研削抵抗は低下する。

#### 文 献

- 1) 研削盤活用マニュアル, (1990) 58, 大河出版
- 2) 加藤保英; ジグ研削盤による穴加工, 機械と工具, 4(1994) 46
- 3) 河村ほか; 研削加工と砥粒加工, (1988) 33, 共立出版
- 4) 長谷川嘉雄ほか; 高送り電解研削に関する研究, 精密工学会誌, 52, 7 (1986)

# 電波暗室と電磁ノイズ計測システム

## —電磁ノイズ環境における電子機器の性能向上に関する研究—

上田直行\*

Studies on the Anechoic Chamber, and the Electromagnetic Noise Measuring System

—Studies on High Performance of Electronic Machine in Surroundings of Electromagnetic Noise—

Naoyuki UEDA\*

簡易小型電波暗室およびEMI（電磁妨害）計測システムの構築を行った。本稿ではEMI計測システムの概要および電波暗室の構造・材料・電源・アース・性能などについて述べる。特に電波暗室の電氣的性能は、電磁波シールド・電源フィルタ・サイトアッテネーションの各特性とも良好な計測結果が得られた。しかし、電磁界分布特性は、高周波領域で一部規格外の結果となった。EMI計測システムは、機器から発生する電磁波ノイズの計測ならびに電源から発生する放射ノイズおよび伝導ノイズの計測を可能とした。被試験器の電磁ノイズ計測は、電波暗室と計測室間に専用のインタフェースを設置した。そして、測定対象物内部の電気信号状態を詳細検討するため、インタフェースにGPIB用コネクタを取り付け、各計測器間をGPIBで接続した。また、将来光ケーブル敷設などのための予備ホールを取り付けた。計測器や被試験器用電源は、外部からの伝導性電磁ノイズを遮蔽するために、ノイズカットトランス・ノイズフィルタの他に、安定化電源も用意した。今後、EMS（電磁的感受性）計測システムの導入を図る予定である。

### 1. はじめに

高度情報化社会の進展に伴って、電波を利用した機器がますます増加している。つまりわれわれ身の回りの空間では、電子スモッグという言葉に象徴されるように、不要な電磁波が飛び交い、正常な機器を誤動作させる危険性をはらんでいる。また、屋内においては、パソコン等から発生する電磁波及び伝導ノイズが問題となっている。このような状況で、電子機器から発生する電磁波や伝導ノイズの性質、並びに電磁波や伝導ノイズが電子機器に与える影響を研究するには、周囲環境ノイズから遮断された電磁空間を構築し、その中で精密な電磁ノイズを計測する必要がある。この要求を満たす設備として、オープンサイト・シールドルーム・電波暗室があげられる。

一方、県内産学官で運営されている「熊本県産学官知能システム研究会」からは、「地場企業に役立つ電波暗室設置に関する調査」というタイトルで、電波暗室設置の要望書が提出された。

以上の背景をもとに、数年前から検討を続けてきた結果、平成5年度に電波暗室の設置を行った。

本報告は、電波暗室を中心に、被試験機器や電子計測器との関係から述べる。

### 2. 基本設計思想

ここでは、電波暗室および計測室の仕様ならびに計測システムと電源に関する仕様について述べる（表1）。

表1 電波暗室および計測室仕様

分類	項目	電波暗室	計測室
メーカー		松下インターテック株式会社	
型式		MH5100	
構造 寸法	構造	6面体小型電波暗室	シールドルーム
	室内寸法	7.0(F)×3.0(D)×2.5(H)m	4.3(F)×2.9(D)×2.5(H)m
重量	供試器	標準有効寸法(直径)×0.5(高さ)m以内、重量100kg以内	ドア寸法930(幅)×1930(高さ)m以内、重量300kg以内
ターンテーブル		直径1.2m、GPIB制御、手動可、架台84(F)×84(D)×81(H)m搭載	
アンテナタワー		昇降範囲1~1.75m、GPIB制御、支柱=グラスファイバ	
インタフェース		NIマルチ実機板(コシ)×6、BNCコシ×6、GPIBコシ×2、セトコシ×2	
材料	シールド材	シールドパネル、銅板、亜鉛メッキ銅板	
	電波吸収材	フェライト、電波吸収タイル	無し
	ドア材	シールド材、電波吸収材内蔵	シールド材
	F-スプレット	無し	NIマルチ銅板(類似電源回路制御)
電源	トランス	1) 絶縁トランス=1φ200/200 100V 60Hz 6kVA×1 2) 1次コシトランス=3φ200/200V 60Hz 2kVA×1 同じく10kVA×1	
	安定化電源	3) 交流安定化電源=1φ200/200または100V 40-500Hz 2kVA×1	
	フィルタ	供試器用=1φ250V 20A 50/60Hz ×4及び3φ250V 30A 50/60Hz ×2 計測器用=1φ250V 20A 50/60Hz ×4	
	コンセント	供試器用=1φ100V 15A ×2 3φ200V 30A ×2 1φ100-240V 2kVA×2 計測器用=1φ100V 15A ×4	供試器用=1φ100V 15A ×4 1φ100-240V 2kVA×2 計測器用=1φ100V 15A ×4 アース用=3φ200V 20A ×1

\* 電子部

設置スペース・予算の制約から、簡易小型電波暗室とする。また、計測室も設ける。

2)性能は、EMI (Electro Magnetic Interference: 電磁妨害) のみならず、EMS (Electro Magnetic Susceptibility: 電磁的感受性) も含めたEMC (Electro Magnetic Compatibility: 電磁的両立性) 計測が可能ないようにしておく。

3)既設の室へ設置する制約があるが、性能を損なわないものとする。

4)EUT (Equipment Under Test: 供試機器、試験体、被試験機器などと呼ばれる。) 内部状態の検出数や制御信号入力数を多くとれるようなインタフェースを用意しておく。

5)電源関係は以下のとおり。

- ①電源は、EUTが特定できないため、容量を大きくとり、単相及び三相とも対応可能とする。また、安定化電源を設置する。周波数切り替えも可能とする。
- ②トランスは、高周波領域まで絶縁性能が高いものを使用する。一次側電圧は、単相100V及び三相200V入力とする。容量は、前記5)①項を満足するものとする。
- ③トランス出力側とEUT間には、高周波用ノイズフィルタを挿入する。
- ④接地は、当センター内接地とは独立したものとする。

6)計測は、すべてコンピュータによる自動計測システムとする。また、計測項目は、この暗室の仕様に適合したものとする。

7)暗室及び計測の規格は、国内規格及び国際規格に準拠したものを採用する。

8)拡張性を考慮したものとする。

### 3. 結果および考察

以下に、電波暗室および計測制御システムの実際の導入と計測結果について考察する。

#### 3.1 電波暗室の構造 (図1、図2)

電波暗室は、温度湿度の管理と設置スペースの関係から、既設の恒温恒湿室に設置した。その室内寸法は、ハイトパターン (電界強度分布) の変化やクランプ走行台等の計測器設置スペースを考慮し、7(W)×3(D)×2.5(H)mとした。また、計測室の室内寸法は、計測器及びEUTの設置スペースを考慮し、7(W)×3(D)×2.5(H)mとした。ただし、実際の電波暗室の仕上がり外形寸法は、使用材料の分だけこれらのものより厚くなっている。

今回の計測器は、EMI対応のみを導入したが、EMS (Electro Magnetic Susceptibility=電磁的感受性) 対応も可能なスペースを確保した。

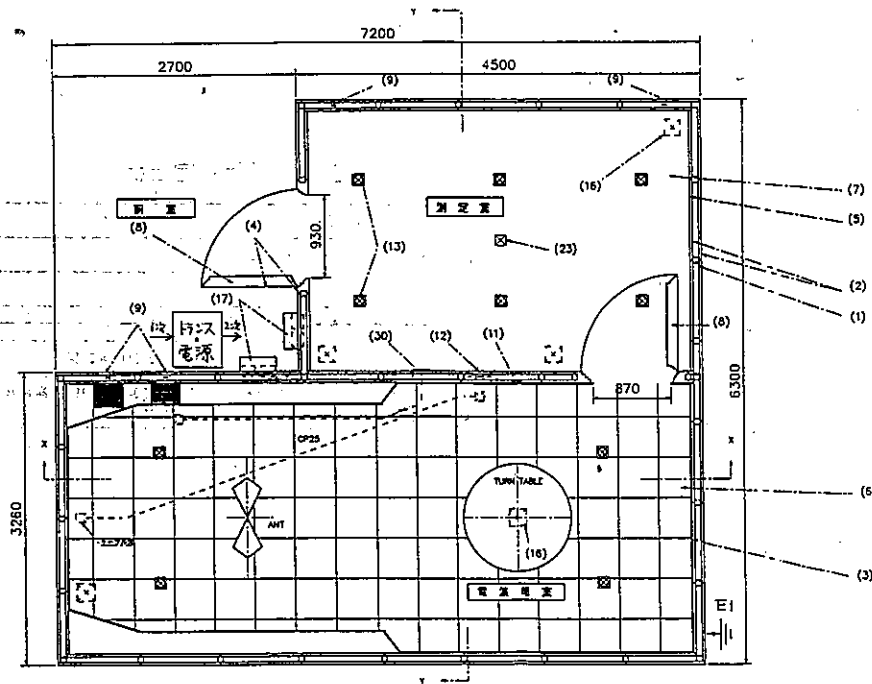


図1 電波暗室の平面図

(1)	扉
(2)	シールド材
(3)	電磁遮蔽材
(4)	床仕上げ
(5)	ポリウレタン
(6)	FLOOR
(7)	カーペット
(8)	シールドドア
(9)	換気口
(11)	モニター区
(12)	信号線パネル
(13)	照明
(15)	コンソール
(16)	ターンテーブル
(17)	ラインフィルタBOX
(23)	火災報知機用信号線
(30)	ファン速度制御信号線パネル

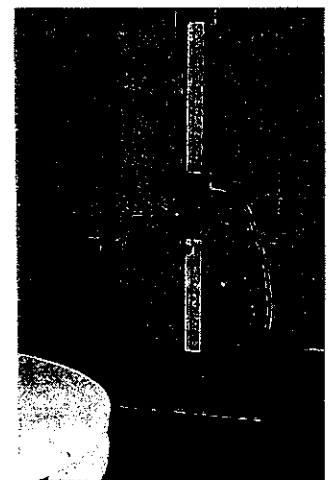


図2 出来上がった電波暗室内の一部

EMI計測に対する各種規格CISPR(国際無線障害特別委員会)、FCC(連邦通信委員会)、VCCI(情報処理装置等電波障害自主規制協議会)等の3m法によれば、反射床面の大きさ(第一フレネルゾーン)S[m<sup>2</sup>]は

$$S = \sqrt{3}d \times 2d \quad (1)$$

で与えられる<sup>3), 4)</sup>。

ここでdはEUTとアンテナ間の測定距離である。d=3mで行うからS=5.2×6mとなる。受信アンテナは、EUTから放射された直接波と床に放射された反射波の合成波として受信する。したがって、実際の電波暗室は、その反射床面7×3mであり、この規格値Sより小さいため、EUTの反射波が少なくなり、サイトアッテネーションとのずれが大きくなる。また、吸収体を使用しているため、反射波は更に小さくなる。

次に受信アンテナは、同規格によれば1~4mの高さで掃引することになっている。垂直偏波のハイトパターンが受信アンテナ高さ1m近辺でピークになるのに対し、水平偏波のハイトパターンは受信アンテナ高さ2.5m以上でピークとなる<sup>3)</sup>。ところが、暗室の高さは2.5mしかないため、アンテナ(受信または送信)は実質1~1.75mしか上下できない。そのためオープンサイトと比較すると、いわゆるサイトアッテネーションとよばれるずれが生じる。例えば100MHz以下の低周波領域で、30MHzの場合の波長=光速/電波の周波数=3×10<sup>8</sup>[m/s]/30M[Hz]=10mとなり、電波暗室の寸法が足りなくなり、オープンサイトと異なった特性となる。

### 3.2 電波暗室の材料(図3、図4)

電波暗室に使われた主な材料は、以下のとおりである。

- 1)鉄関係(鉄板、亜鉛めっき鋼板)
- 2)銅関係(銅板、銅箔、Niめっき真鍮板)
- 3)アルミ関係(アルミ箔)
- 4)吸収体関係(フェライト、電波吸収タイル)
- 5)帯電関係(帯電防止Pタイル、帯電防止カーペット)

これらの材料が組み合わされて、室が構成されている。

電波暗室は、EUTから発生する電磁波を計測する場合、暗室外部から侵入する不要な電磁波を遮断する必要がある。また、電磁波をEUTに照射して耐性試験を行う場合、電磁波が室外に漏洩して、他の電子機器に妨害を与えてはならない。これを防止するためには、電磁波の反射と吸収を行う材料で室を構成する必要がある。

金属板(箔)の遮蔽理論によれば、電磁波が金属体に入射したときの遮蔽効果の総計S[dB]は、金属内伝搬による減衰A[dB]と、金属表面と空気との間の反射損失R[dB]と、金属板両面の反復反射による損失M[dB]の和に等しい。すなわち、

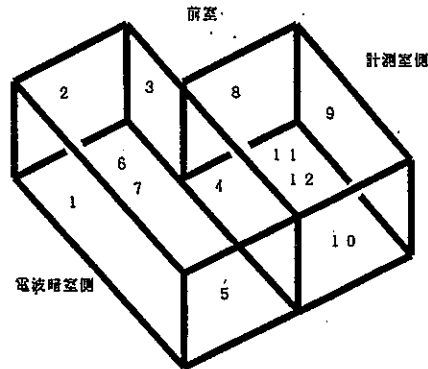
$$S = A + R + M \quad (2)$$

となる<sup>3)</sup>。

反射Rの一例として、平面波の場合

$$R = 108.2 - 10 \log_{10} f / 10^6 + \log_{10} G / \mu r \quad (3)$$

となる。



電波吸収体及びシールド材からみた各面の構成

- 1=暗室側面=鉄板+亜鉛めっき鋼板+アルミ箔+フェライト(一般面)  
=鉄板+亜鉛めっき鋼板+アルミ箔+フェライト+アルミ箔(特殊面)
- 2=暗室側面=鉄板+亜鉛めっき鋼板+アルミ箔+フェライト
- 3=暗室側面=鉄板+銅板+銅箔+亜鉛めっき鋼板+アルミ箔+フェライト+アルミ箔(特殊面)
- 4=暗室と計測室の境界面=フェライト+アルミ箔+亜鉛めっき鋼板(一般面)  
=アルミ箔+フェライト+アルミ箔+亜鉛めっき鋼板(特殊面)  
=鉄板+電波吸収タイル(ドア)  
=Niめっき真鍮板(インダフェース)
- 5=暗室側面=鉄板+亜鉛めっき鋼板+アルミ箔+フェライト
- 6=暗室天井=鉄板+亜鉛めっき鋼板+アルミ箔+フェライト
- 7=暗室床=銅板+亜鉛めっき鋼板+アルミ箔+フェライト+帯電防止Pタイル
- 8=計測室側面=鉄板+銅板+銅箔+亜鉛めっき鋼板(特殊面)  
=鉄板+その他(ドア)
- 9=計測室側面=鉄板+銅板+銅箔+亜鉛めっき鋼板(特殊面)  
=鉄板+亜鉛めっき鋼板(一般面)
- 10=計測室側面=鉄板+亜鉛めっき鋼板(一般面)
- 11=計測室天井=鉄板+亜鉛めっき鋼板(一般面)
- 12=暗室床=銅板+亜鉛めっき鋼板+帯電防止カーペット

図3 電波暗室の材料構成



図4 電波暗室パネル組立工事

おf=周波数[Hz]、G=銅に対する比導電率、 $\mu_r$ =比透磁率である。したがって、遮蔽効果は、 $G/\mu_r$ が大きい銅やアルミのとき高い。

減衰Aについては、

$$A=131.4\sqrt{f\mu_r G} \times t \quad (4)$$

で表せる。

ここでt=板の厚さ[mm]である。したがって、遮蔽効果は $\mu_r G$ が大きい鉄やフェライトのとき高い。従来吸収体は、ウレタンピラミッド吸収体が主流であったが、1/2波長の吸収体厚が必要なため、前述のように30MHzの時は波長が10mになり吸収体は厚5mとなって、暗室全体が大きくなる。しかし、強磁性半導体であるフェライト(MOFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を使用した場合、その吸収体の厚みは約5mmであった<sup>3, 6)</sup>。

実際の遮蔽効果を決める因子は、

- ・物質の吸収、反射に関する係数(前述)
- ・箔、金網など材料に関する係数
- ・暗室の形状に関する係数
- ・暗室の寸法に関する係数
- ・換気孔などの固定継目に関する係数
- ・扉などの開閉継目に関する係数

がある<sup>5)</sup>。

これらを考慮して、電波暗室は、反射材料である銅・アルミと、吸収材料である鉄・フェライトなどの複合化で実現されている。特に、換気孔・フィルタ・トランス類のある面や扉などは、反射および遮蔽材料の枚数も多く使用している。

暗室は、一般的な直方体であるが、一部の壁にある角度をつけることにより、反射波による定在波がたちにくい形状としている。換気孔は、アルミハニカムによりシールド性を保持している。

扉は、2重シールドフィンガーコンタクトにより、電波の漏れを防止している。

計測室は、電波暗室内に置かれたEUTのケースならびに電源ケーブルから発生する電磁波を計測するほかに、計測室に置かれた擬似電源回路網(LISN)を使ってEUTの電源ケーブルの伝導ノイズを計測する。したがって、電磁波よりもむしろ電源から侵入するノイズを遮断する必要がある。また、電磁波遮断という点からは、電波暗室ほど施工しなくてもよいことになる。このような理由により、計測室は、フェライトは除外されており、電波暗室ほど材料の複合化はなされていない。しかし、例えば同一計測室内にインパルスノイズシミュレータや、大容量RF(Radio Frequency)信号発生設置が導入された場合、これまでの経験から不用な電磁波が発生しており、電波暗室と同一仕様の計測室が必要となる。また、換気孔・

フィルタ・トランス類のある面や扉などは、他の面よりも電磁遮蔽および吸収材料の枚数も多く使用している。

また、アンテナタワー、クランプ走行台、ターンテーブルのベルト、各支持台などの材料は、電磁波の影響が少ないFRP、ベークライト、プラスチック類を使用している。

### 3.3 電波暗室用電力系統とアース系統(図5、図6)

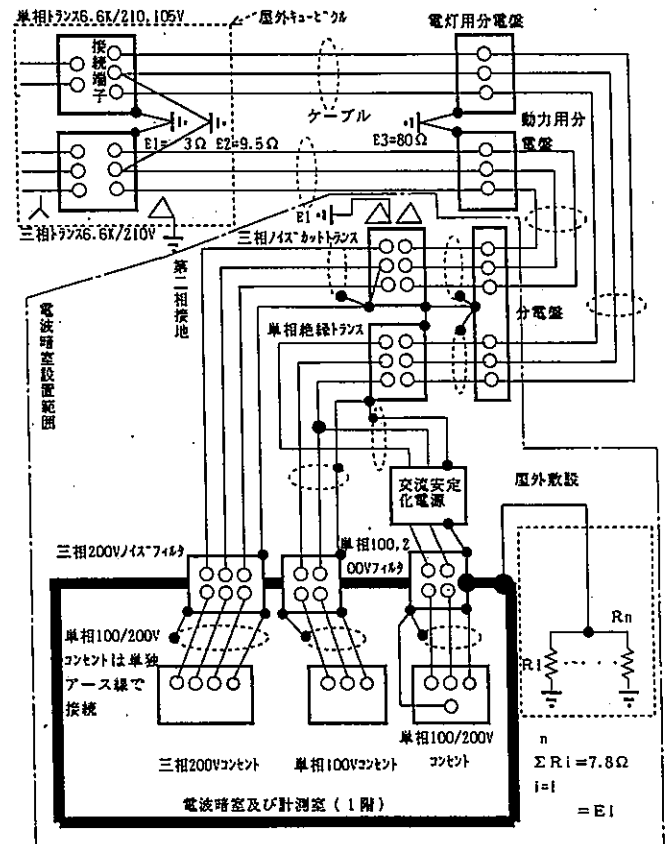


図5 電波暗室用電力系統とアース系統

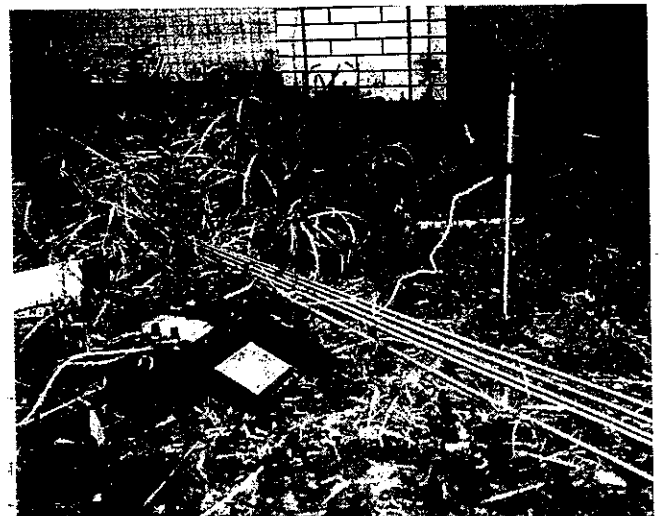


図6 第一種接地工事

電波暗室で使用する電源は、単相105V・210Vおよび三相210Vである。屋外キュービクルから電波暗室までの電源供給は、以下の順で給電される。

1)屋外キュービクル 高圧受電6.6kVから単相トランスへ入力し、単相三線式ケーブルの210V、105Vへ変圧して、電子機械分館の電灯用分電盤へ入力する。三相トランスは、6.6kVを210Vへ変圧し、同様に三相三線式ケーブルで動力用分電盤へ入力する。

単相、三相とも一線は第二種接地に接続されている。

2)電子機械分館の分電盤 屋外キュービクルからのケーブルをそのまま単相は電灯用分電盤、三相は動力用分電盤へ接続する。ここから、電波暗室の分電盤へそのまま入力する。

3)電波暗室の分電盤 電子機械分館の分電盤から、単相・三相ともに電波暗室の一体型分電盤へ入力する。ここから、単相および三相トランスへ分岐される。

4)電波暗室のトランス 電波暗室の分電盤からそのまま電波暗室のトランスへ入力する。ここで、トランスの一次側のアースは、屋外キュービクルからの第二種接地=9.5Ωで接続されているが、二次側は電波暗室専用の第一種接地=7.8Ωに接続されている。このトランスは、一次側と二次側を絶縁し、一次側に接続されている機器類の電磁ノイズの影響が二次側に移行するのを防止している。

三相トランスは、二次側の第二相を第一種接地とし、ノイズフィルタを介して、三相210Vコンセントへ接続される。ノイズフィルタは高周波領域のノイズをカットするのに有効である。

単相トランスは、一つはノイズフィルタを介して、単相105Vコンセントへ接続される。もう一つは、安定化電源を経由して、ノイズフィルタ、単相105/210Vコンセントへ接続される。この安定化電源は、商用電源の電圧および周波数が長期あるいは瞬時に変動しても、一定の電圧・周波数を確保することができる。また、高周波電磁ノイズ侵入防止策がなされている。

電波暗室および計測室の各コンセントのアース端子は、単相・三相ともにそれぞれ独立に第一種接地に接続される。

つぎに、電波暗室のアースの設置について述べる。アースは、アース棒を電波暗室のすぐ近くの屋外に、トータルで接地抵抗=10Ω以下となるように、複数個大地へ打ち込んだ。実測結果は、接地抵抗は7.8Ωであり、第一種接地の条件を満足している。すなわち、電波暗室の接地は、すべてこの第一種接地が基準電位となる。当センター内機器からのノイズ防止のためにも、また逆に電波暗室で使用する機器から当センター内機器へのノイズ防止のためにも、接地の独立化は有効な手段のひとつである。しかし、屋外キュービクルで設置されている第

二種接地と電波暗室の第一種接地間、あるいは電子機械分館で設置されている第三種接地と電波暗室の第一種接地間では、電波暗室の第一種接地を除き、接地電圧および接地電流の存在を過去に確認しているため、接地電位差が発生するのは、不可避である。これを極力避けるには、電波暗室そのものを電源・接地を含めて独立した場所に設置すれば理想的な電磁環境となる<sup>7)</sup>。

接地線の引き回しは、可能な限り短くした方が、外部の電磁ノイズの影響を受けにくく、逆に電波暗室から外部への漏洩も少なくなる。つまり接地線と電波暗室間は、可能な限り隣接した方がよい。このような点も考慮し、電波暗室は、1階に設置した。

### 3.4 電波暗室用電源供給系統 (図7、図8)

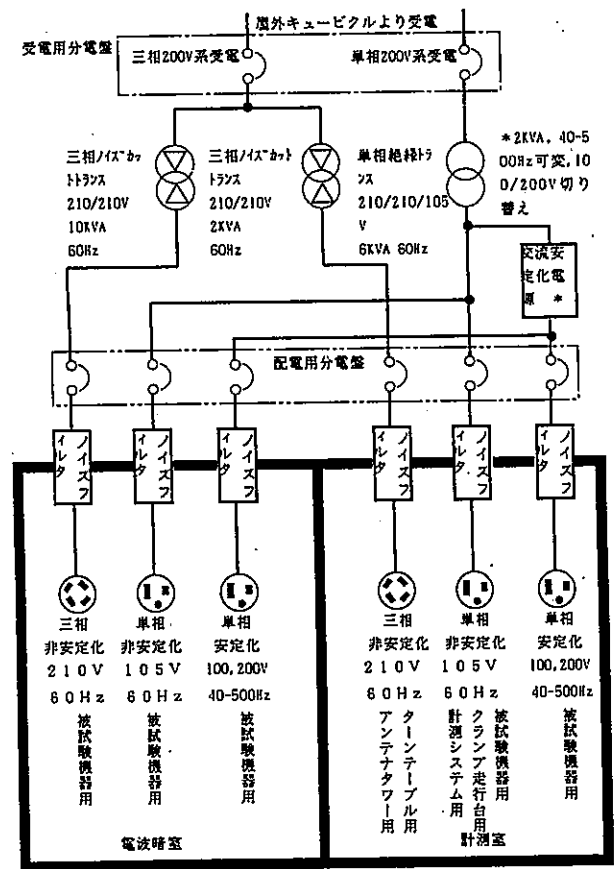


図7 電波暗室用電源供給系統

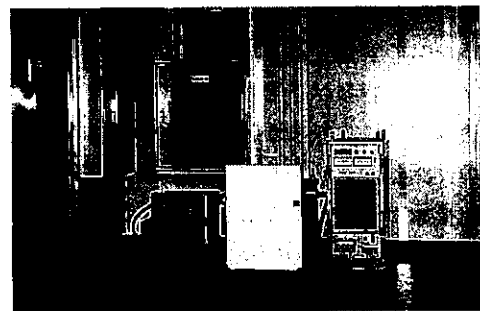


図8 電波暗室電源部



前章の電波暗室および計測室に供給する電源についてさらに詳細に述べる。

1) 単相200V系受電/単相100V, 200V系出力

単相200V系受電トランスは、単相用絶縁トランスを使用し、その出力は単相100V系および200V系とした。

単相100V系出力は、105Vで電波暗室と計測室に分岐して、ノイズフィルタ(EMIフィルタともいう)をそれぞれ通って3端子コンセントへ出力される。用途は、電波暗室が被試験器用、計測室が電源線の放射ノイズを計測するクランプ走行台コントローラ・計測器・被試験器用などとした。ノイズフィルタは、高周波ノイズ対策用のもので周波数範囲が100K~500MHzのものを用いている。そして、更に効果を高めるために、ノイズフィルタをカスケード(二段直列)接続し、1GHz帯近傍まで有効に働くようにしている。減衰量も1個当たり80dBを保証している<sup>9)</sup>。

単相200V系出力は、210V入力の交流安定化電源へ入り、105Vまたは210V出力となり、フィルタを通り、電波暗室と計測室に分岐する。電源の周波数は50Hzや60Hzや400Hzがよく使用されるため、安定化電源の周波数は、40~500Hz連続可変のものとした<sup>9)</sup>。用途は、いずれの室も、安定化を必要とする被試験器用とした。

2) 三相200V系受電/三相200V系出力

三相200V系受電トランスは、絶縁トランスよりもさらに性能のよいノイズカットトランスを使用した。すなわち、一次二次間の遮蔽を嚴重にするなど構造・材料の改良で、コモンモードノイズ・静電結合・電磁誘導を向上させ、10K~100MHz程度まで減衰効果が大きいものを使用した<sup>10)</sup>。三相200V出力は、それぞれのノイズフィルタを通して、電波暗室の被試験器用とし、また計測室のターンテーブル及びアンテナタワーのコントローラ用電源とした。

3) 分電盤

分電盤は、安全性を考慮して受電用にひとつと、配電用にひとつ設置した。そして、電源スイッチ(MCB)は、単相受電用にひとつ、三相受電用にひとつ設置した。また、配電用分電盤は、電波暗室及び計測室ともそれぞれ負荷に対応して、独立に設置することで、事故発生時の波及を最小限押さえられるように安全性を配慮した。

4) トランスの容量

トランスの容量は、負荷の大きさで決まるが、どのような負荷が接続されるか不明なため、単相用トランスは既知の計測器やコントローラの容量を参考に6KVAとし、安定化電源は2KVAとした。ひとつの三相用トランスは、コントローラの概略の容量より2KVAとした。もう一方の三相用トランスは被試験器用の電力容量KVAまで計測できるように10KVAに選定した。

3.5 計測器の電源とアース(表2、表3、図9)

当センターでは、電磁ノイズ試験設備がほぼ揃っているが、ここでは電波暗室の関係から、主としてEMI計測制御システムについて述べる。

計測器および供試機器のアースは、すべて電波暗室専用の第一種接地に接続し、他の系統のアースへは一切接続していない。これにより、他の系統のアースからのノイズを排除している。

1) 雑音端子電圧のアース

擬似電源回路網と供試機器は、ともにグランドプレーン上に置いて、かつアースをとり同一電位で計測する。擬似電源回路網は、零相電流が流れるため、必ず絶縁トランスを使って一次二次間を絶縁し、漏電ブレーカの誤動作を防止している。なお、今回のメーカー製品試験時、絶縁トランスだけではノイズの影響が無視できない状態であったため、安定化電源を使用することにより、この問題を解消した。

ターンテーブルの制御

コントローラで駆動部のモータを回転させ、ベルトドライブにてターンテーブル及びその上に搭載した被試験機器を回転させる。モータは、計測室に設置し、全体を鋼板でシールドし、電波暗室へのノイズ侵入を防止している。また、電波暗室の電磁界分布がより均一化される。

3) アンテナタワーの制御

アンテナタワーの駆動部は、アンテナの上下移動および水平・垂直切り替えのために、電波暗室に置かざるを得ない。そこで、計測室に置いたコントローラと駆動部にノイズフィルタを挿入して、できるだけコントローラ側電波暗室へノイズが侵入しないようにしている。

表2 電磁ノイズ試験機器一覧

機器名	メーカー	型式	仕様、用途
パソコン	日本電気㈱	PC8821ap	i486DX2(66MHz)、Windows3.1内蔵
EMI用ケーブル	㈱777	PR25-1104-FI	電磁界・電線ノイズ計測、YCC1等対応
プリンタ	キヤノン㈱	LBP-3406EII	最大B4、A4、A5、A6、A7、A8、A9、A10、A11、A12、A13、A14、A15、A16、A17、A18、A19、A20、A21、A22、A23、A24、A25、A26、A27、A28、A29、A30、A31、A32、A33、A34、A35、A36、A37、A38、A39、A40、A41、A42、A43、A44、A45、A46、A47、A48、A49、A50、A51、A52、A53、A54、A55、A56、A57、A58、A59、A60、A61、A62、A63、A64、A65、A66、A67、A68、A69、A70、A71、A72、A73、A74、A75、A76、A77、A78、A79、A80、A81、A82、A83、A84、A85、A86、A87、A88、A89、A90、A91、A92、A93、A94、A95、A96、A97、A98、A99、A100
ブロック	㈱777	R9833	A4版、6色、250mm/s、G7-18
クランプ走行台	㈱777	D2151XV	アンテナタワー、ターンテーブル用
クランプ走行台用	㈱777	D2153VJ	クランプ走行台用
電磁ノイズの周波数解析	㈱777	R3361A	電磁ノイズの周波数解析、9k-2.6GHz
電磁ノイズの周波数解析	㈱777	R3551	7.75-950MHz、7.75MHz/30dB
電磁ノイズの周波数解析	㈱777	7104	1GHz/200ps/div、200ps/div
電磁ノイズの周波数解析	㈱777	R1650A	80MHz/100ns/div、100MHz/20ns/div
電磁ノイズの周波数解析	㈱777	R175A	24CH/100ns/50MHz/div
ループアンテナ	ENC社	B502	10k-300MHz
ループアンテナ	Schwarzbeck社	YBA 9103	30-300MHz
ループアンテナ	Schwarzbeck社	UBALP 9107	300k-1GHz
擬似電源回路網1	独立電子工業㈱	KNF-242	YDE規格 10k-300MHz
擬似電源回路網2	独立電子工業㈱	KNF-242C	CISPR規格 10k-300MHz
擬似電源回路網3	独立電子工業㈱	KNF-407	FCC規格 450k-300MHz YCC1規格 0.15-300MHz
吸収・補助ケーブル	独立電子工業㈱	KT-10、KT-20	YDE規格 30M-1GHz
吸収ケーブル	㈱777	D2451V1	電圧0.1-5.1mV 速度3.6-24cm/s
ケーブル評価装置	㈱777	TR17301A	試料200×200×5mm 10k-1GHz
交流安定化電源	㈱NF回路設計	EA-2100A	AC100/200V 40-500Hz 2kVA
電源ノイズ監視装置	三基電子工業㈱	PLR-2000	最大入力AC2000V 800ms以上
静電気圧容試験器	三基電子工業㈱	SET-30A	最大±30kV 7"φ×250pF、250Ω
高周波ノイズ発生器	三基電子工業㈱	CSS-2000SS	最大30V・100% 0.5-2047.5CYCLE
高周波ノイズ発生器	三基電子工業㈱	ENS-24P	方形波2kVMAX 幅50ns 立ち上りns
高周波ノイズ発生器	三基電子工業㈱	LSG-12K-S	JEC規格 ±(1.2×50)μs 12kV
耐電圧試験器	清水電子工業㈱	TOS 8750	AC5kVMAX 0.5-100mA
絶縁抵抗計	東亜電機工業㈱	SH-8210	10-1000V 5×10 <sup>-2</sup> ×10 <sup>11</sup> Ω
EMノイズ計	㈱ノイズ研究所	FVC-777	電磁界0.1mk-1GHz 表示範囲40dB
EMノイズ計	㈱ノイズ研究所	NCC-532	最大AC2500V 300ns以上 逆イ型
EM1ロケータ	三基電子工業㈱	ES-81V	100k-350MHz、5mV・120mV
EM電圧測定器	SIMCO社	FW-300	最大±50kV
ガウスメータ	F.T.BELL社	4048	最大20kG DC-5kHz 分解能0.1G
近視界プローブ	H.P.社	I1940、IA	9k-30MHz、30W-1GHz 0.5V
直流安定化電源	清水電子工業㈱	PA0110-30L	DC110V 30A 6kVA
TEMセル	㈱777	TR17305特注	150k-1500Hz VSWR=1.5以下
電力増幅器	㈱777	TR45002	300k-1GHz 40dB 3F

表3 EMC試験器の分類

大分類	中分類	小分類	該当試験器	付帯設備など
EMC (電磁的汚染)	EMI (電磁妨害)	伝導性	線電圧回路刺	電波暗室・ダクト・ブレン・EMI自動計測システム・交流安定化電源・直流安定化電源
			電源ノイズ監視装置	絶縁トランス
			ノイズホット	絶縁トランス
		放射線	吸収クランプ	電波暗室・補助クランプ・クランプ走行台・EMI自動計測システム・ダクト・ブレン
			電磁波ノイズ試験	電波暗室・EMI自動計測システム・ダクト・ブレン・アンテナ・受信機
			静電気測定器	(ハンディタイプ、単独使用)
			ガウスメータ	(ハンディタイプ、単独使用)
			EMIノイズセー	絶縁トランス
			シールド率試験	信号発生器・ダクト・ブレン・送受信機・アンテナ
	EMS (電磁的感受性)	伝導性	絶縁抵抗計	絶縁トランス
			耐電圧試験器	絶縁トランス
			静電気障害試験器	絶縁シート・ダクト・ブレン・絶縁トランス・机
			静電放電試験器	絶縁トランス
			高周波ノイズシミュレータ	絶縁トランス・ダクト・ブレン
			雷サージ発生器	絶縁トランス・絶縁台
		放射線	ファストフリップノイズシミュレータ	(付帯購入予定)
			EMIロケータ	(ハンディタイプ、単独使用)
			TEMセル	絶縁抵抗・信号発生・アンテナ・電力増幅器・受信機(電界強度計・近似器)
	イミュニティ試験	電波暗室・信号発生装置・EMS計測システム・ダクト・ブレン・アンテナ・受信機(平成6年度導入予定)		
	電磁界均一性試験	電波暗室・信号発生装置・EMS計測システム		

4) クランプ走行台の制御

被試験機器の電源の電磁波ノイズを計測する吸収クランプおよび補助クランプのクランプ走行台は、左右移動は、計測室のコントローラと電波暗室の駆動部を直接接続して行う。この場合、クランプは単独の試験となるので、特にノイズフィルタは使用していない。

5) パソコン類の操作用電源

パソコン、プリンタ、プロッタなどの電源は、トランス、フィルタ経由コンセントに接続して使用する。

6) 計測器の電源

オシロスコープ、ロジックアナライザ、パターンジェネレータなどは、トランス、フィルタ経由コンセントに接続して使用する。ただし、第一種接地からのノイズが問題となるような場合には、コンセントと計測器間に絶縁トランスを挿入し、第一種接地とは浮かした状態で測定する。

7) 被試験機器の試験用電源

一般の被試験機器は、トランス→ノイズフィルタ→コンセント→被試験機器の電源系統順で試験するが、被試験機器から発生するノイズの影響や、被試験機器の電源入力安定化が特に要求される場合は、安定化電源を使用する。

3.6 計測器の信号系統 (図10、図11)

1) 専用ケーブル

ターンテーブル、アンテナタワー、アンテナ、クランプ走行台は、電源線と信号線込みの専用ケーブルでコントローラ1、2と接続している。また、パソコンと計測器の接続は、GPIB接続としている。

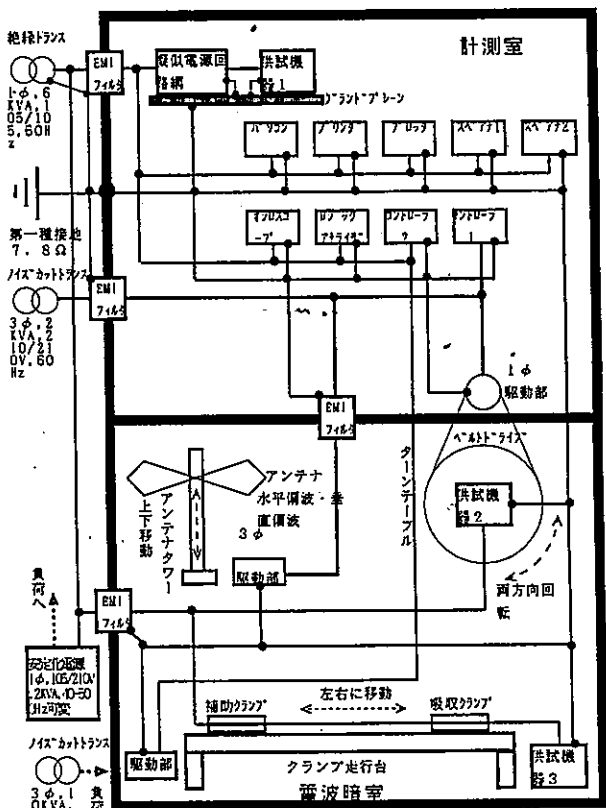


図9 EMI計測器の電源とアース

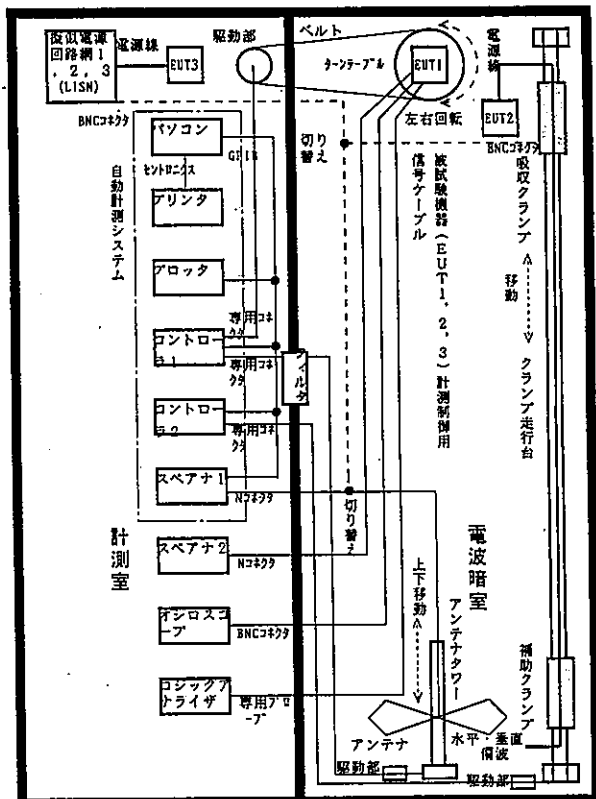


図10 EMI計測器の信号系統

2) インタフェース

前記以外の計測・制御は、図12に示すように電波暗室と計測室間に設けたインタフェースを介して行うようにした。計測器は、計測器自体から発生する電磁ノイズの影響を防止するために、計測室に設置し、電波暗室内の被試験機器とインタフェースを介して計測・制御する方法を採用した。



図11 EMI計測システム

3.7 電波暗室・計測室間インタフェース (図12、図13)

昨年度試験したTEMセルの経験を活かして<sup>11)</sup>、オシロスコープ、スペクトラムアナライザなどの計測器は、Nコネクタ、BNCコネクタ接続により、供試機器の計測が可能にようにした。また、ロジックアナライザやパターンジェネレータなどの複数信号を処理するものは、GPIBを用意した。このほか、将来EMS計測システム用光ケー

ブル対応の予備ホールを設けた。

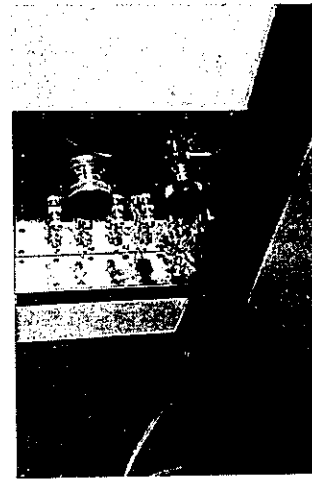


図13 計測室から見たインタフェース

3.8 電波暗室および計測室の性能 (表4、図14、図15)

1) 電磁波シールド (遮蔽) 特性

電波暗室完成後のシールド効果率 (減衰量) を計測した。計測条件は、以下とした。

①室内のタイルやクロスを施工する前の電波暗室および計測室を計測した。つまり、これらの施工後の特性試験を行えば、厳密には若干異なることが予想される。しかし、ここではできるだけ正味の特性を仕様で定義しているため、このような条件とした。

②計測方法の準拠規格は、MIL-STD-285とした。これは、電磁波の波動インピーダンスがシールド材の両側で同じであれば、両側の電磁界強度E1、E2の計測により

$$\text{シールド効果率 (減衰量)} = 20 \log_{10} (E1/E2) [\text{dB}] \quad (5)$$

で表せるものである<sup>1)</sup>。ここで、E2がドアを開けたときの値 (基準値) であり、E1がドアを閉めたときの値 (減衰量) である。信号発生器+パワーアンプ+送信アンテナで電磁波を発生させ、受信アンテナ+スペクトラムアナライザで発生した電磁波のdB計測と周波数解析を行った。

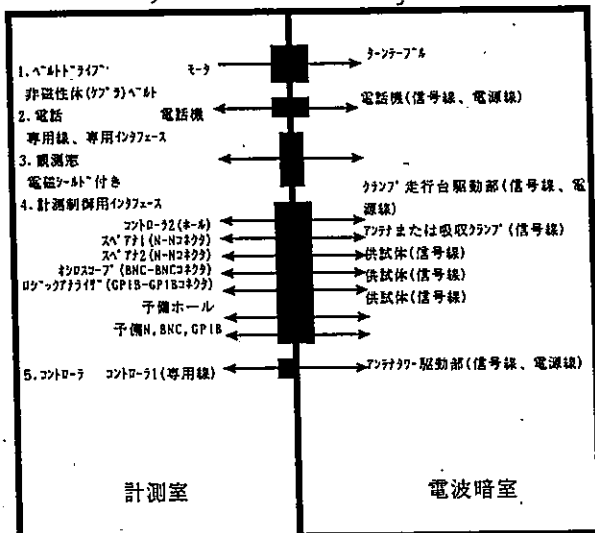
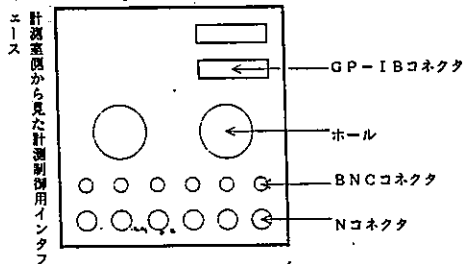
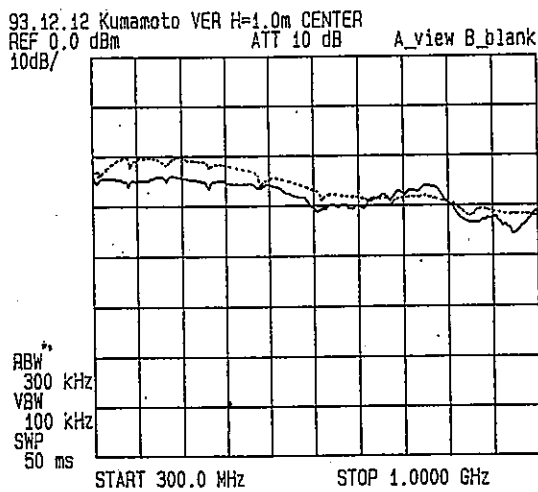
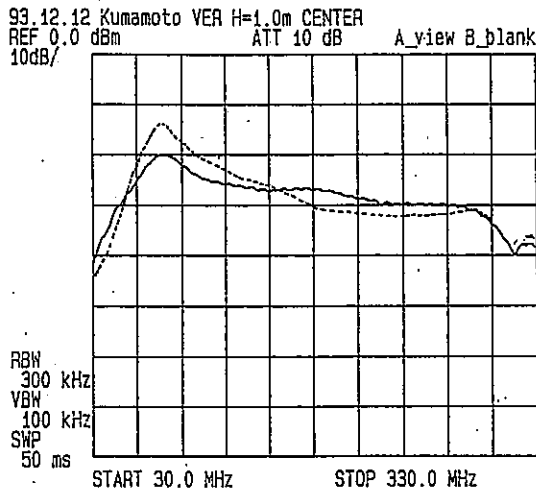


図12 電波暗室・計測室間インタフェース

表4 電波暗室および計測室の性能

項目	仕様	計測結果
電磁波シールド特性 (電波暗室・計測室間、計測室・室外間)	150k ~ 30MHz (境界): 80dB以上 30M ~ 1GHz (電界): 80dB以上	86dB以上 (MIL-STD-285準拠による計測実施) 100dB以上
ノイズフィルタ特性 (電波暗室・計測室)	150k ~ 30MHz: 80dB以上	81dB以上
サイトアッチャー特性 (電波暗室)	30M ~ 300Hz: ±6dB以内 30M ~ 1GHz: ±4dB以内	±6dB以内 ±4dB以内
電磁界分布特性 (電波暗室)	80M ~ 1GHz: -0 ~ +5dB 12C801-3, C15PR 6(22)適合	80M ~ 300Hz: -0 ~ +5dB 300M ~ 1GHz: -0 ~ +11dB (注)

(注) 規格内に納めるには電波暗室内に電磁波整合オプション (電波吸収体) 追加が必要。



(点線=オープンサイト計測結果、  
実線=電波暗室計測結果)

図14 サイトアッテネーション計測例

・計測場所

電波暗室-計測室間および計測室-室外間

・計測周波数

電界=30~1000MHzの水平偏波および垂直偏波

磁界=0.15~30MHz

計測の結果、シールド効果率は磁界では86dB以上あり仕様よりも6dB良好であり、また電界では100dB以上あり仕様よりも20dBも良好であった。これは、前述の遮蔽効果を決める因子が、実際うまく相乗効果を発揮したからであると考えられる。

2)ノイズフィルタ特性

ここで言うノイズフィルタは、電源用フィルタを意味する。フィルタの減衰特性は、フィルタを回路に挿入した場合としない場合の比をとるMIL-STD-220規格がある<sup>12)</sup>。しかし、この規格どおりに行えば、フィルタの取り付けやフィルタとトランス、フィルタとコンセント間のケーブル接続など施工工程上問題が発生するため、ここでは計測の迅速化と実際に即した計測が重要と考え、フィルタの入力端子にRF信号発生器で信号を入力し、数m先の電源ケーブルに取り付けたコンセントでの減衰量をスペクトラムアナライザで計測した。

電波暗室用フィルタおよび計測室用フィルタを計測した。このとき入力周波数は0.15~30MHzの範囲とした。

ノイズフィルタの減衰特性の計測結果は、81dBであり、仕様以上の値が得られた。

3)サイトアッテネーション特性

電波暗室における送信アンテナと受信アンテナ間の電波減衰特性は、以下の条件で計測した。

- ・送信アンテナ高さ=床から1m固定
- ・受信アンテナ高さ=床から1~1.5m上下移動
- ・計測周波数=30~1000MHzで連続掃引
- ・使用アンテナ=バイコンカルアンテナ、ログペリオディックアンテナ
- ・計測偏波面=水平偏波、垂直偏波
- ・計測位置=受信アンテナ基準点から前後左右0.5mの点計5点

- ・送受信アンテナ間距離=3m
- ・計測原理 信号の流れは、信号発生器→送信アンテナ→受信アンテナ→スペクトラムアナライザとなるので、このときの電圧値をV1[dBμV]とする。つぎに、送受信アンテナを取り除き、接続ケーブルの影響を計測するために、信号発生器→ケーブル→スペクトラムアナライザのときの電圧値をV0[dBμV]とすれば、求めるサイトアッテネーション=NSA[dB]は、

$$NSA=V0-V1-(Aft+AFr) \quad (6)$$

となる。ここで、Aft、AFrは、送信および受信アンテナのアンテナ係数を表す<sup>9)</sup>。

なお、信号発生器とスペクトラムアナライザは、独立した計測器であるが、実際は信号発生器内蔵のスペクトラムアナライザを本サイトアッテネーションの計測に使用した。

メーカーの基準値となるオープンサイトでのサイトアッテネーション計測値と、電波暗室でのサイトアッテネーション計測値との差をもって表すサイトアッテネーションは、仕様どおりの30~300MHzで±6dB以内に収まった。また、クワイエットゾーン内偏差も30~1000MHzで±4dB以内に収まった。ただし、ここでいうクワイエットゾーンの保証範囲は、ターンテーブル位置の中

心より半径50cm、高さ1m以上1.5m以下で囲まれる円柱体の内部と定義する。しかし、国際規格では、高さを4mまで上げて行うようになっているため、サイトアッテナション計測値は条件付きの値である。

4) 電磁界分布特性

電磁波を機器へ放射し、機器の耐性試験(イミュニティ試験)を行う場合、機器が置かれる電波暗室の電磁界分布が問題となる。

ここでは、国際電気標準会議が検討しているIEC-801-3規格(案)に準拠して、以下の条件で試験した。

- ・送信アンテナ～受信センサ間の計測距離=3m
- ・周波数=80~1000MHz
- ・使用アンテナはバイコンニカルアンテナ、ログペリオディックアンテナ

- ・送信アンテナ高さは、床から1.25m固定
- ・受信センサ高さは、センサ(床から1550cmの位置)を中心に、床から上下方向に800~2300cm間および左右方向に計1500cm間の同一平面範囲で16点計測する。

・試験器は、信号発生器、RFアンプ、パワーメータ、パソコン、プロッタなど

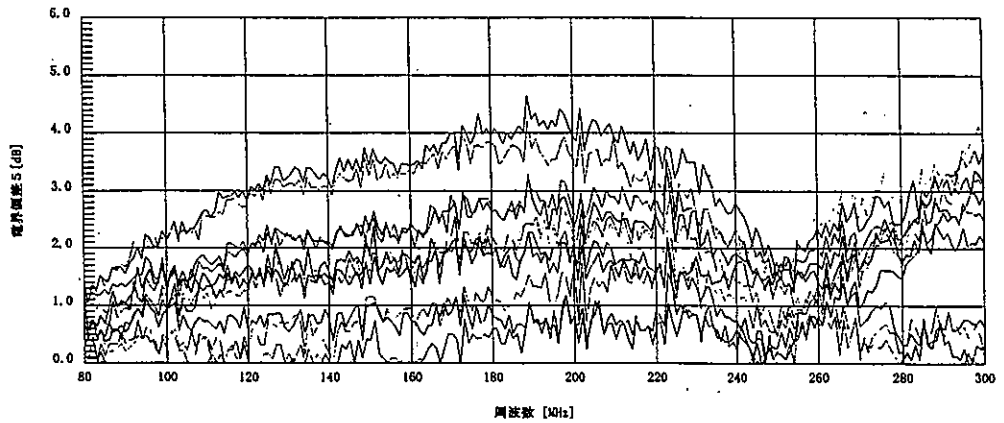
計測結果は、16計測点中の75%以上が仕様を満足すれば良いことになっている。すなわち良好な12点を抽出したところ、仕様の6dB以内に対して、80~300MHzでは5dBで満足したが、300~1000MHzで

は11dBで6dB規格をオーバーした。これは、前述のフレネルゾーンの電磁界分布に不具合が生じていると思われるため、暗室の中央部分に電磁波整合用電波吸収体を追加すれば、規格内に収まることが期待できる。なお、16計測点すべてに対しては、20%をオーバーした。

試験モード : 任意	使用アンテナ : バイコンニカル(9106)
周波数範囲 : 80.00 ~ 300.00 MHz	ステップ方式 : 等差 1.00 MHz
電界強度 : 3.0 V/m	アンテナ高さ : 1.25 m
	アンテナ方向 : 水平
	最大EUT寸法 : 1.5 m
年月日 : Mon Dec 13 14:08:24 1993	気温 : 15 °C
試験標準 : IEC-1000-4-3-801-3	湿度 : 60 %
会社名 : KUMAMOTO Pref. Ind. Engineering.	気圧 : 1001 hPa
担当者名 : K. Matsuo, MIT/OSK-EL	試験距離 : 3 m
備考 : Calibration	場所名 : Kumamoto city
	電波暗室名 : EMC FULL ANECHOIC CHAMBER (300MHz)

# 0 — # 1 — # 2 — # 3 — # 4 — # 5 — # 6 — # 7 — # 8 —  
# 9 — # 10 — # 11 — # 12 — # 13 — # 14 — # 15 — # 16 —

電界強度 5 水平 プレーン 1



試験モード : 任意	使用アンテナ : ログペリオディック(3146)
周波数範囲 : 300.00 ~ 1000.00 MHz	ステップ方式 : 等差 2.00 MHz
電界強度 : 3.0 V/m	アンテナ高さ : 1.25 m
	アンテナ方向 : 水平
	最大EUT寸法 : 1.5 m
年月日 : Sun Dec 12 13:30:38 1993	気温 : 15 °C
試験標準 : IEC-1000-4-3-801-3	湿度 : 60 %
会社名 : KUMAMOTO Pref. Ind. Engineering.	気圧 : 1001 hPa
担当者名 : K. Matsuo, MIT/OSK-EL	試験距離 : 3 m
備考 : Calibration	場所名 : Kumamoto city
	電波暗室名 : EMC FULL ANECHOIC CHAMBER (300MHz)

# 0 — # 1 — # 2 — # 3 — # 4 — # 5 — # 6 — # 7 — # 8 —  
# 9 — # 10 — # 11 — # 12 — # 13 — # 14 — # 15 — # 16 —

電界強度 5 水平 プレーン 1

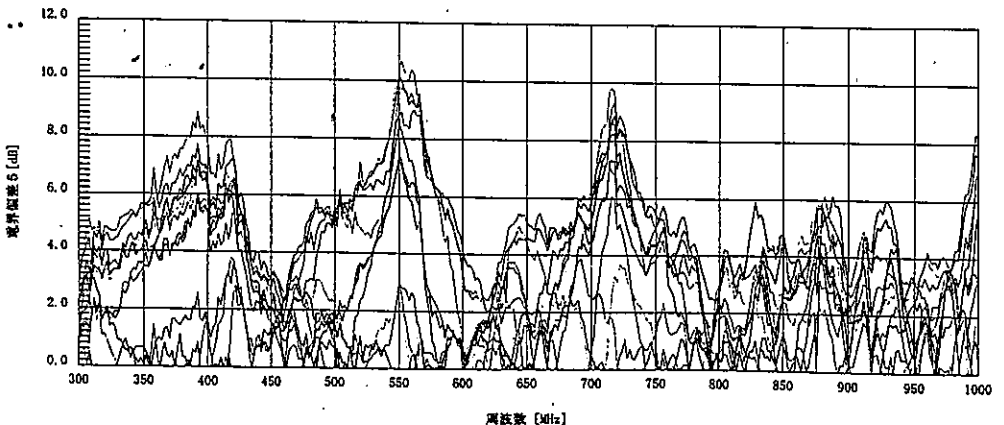


図15 電磁界分布計測例

## 4. 結 論

簡易小型電波暗室・計測室の設置と、これを使ったEMI（電磁妨害）計測システムの導入を中心に述べた。電波暗室・計測室の性能は、電磁波シールド特性・電源フィルタ特性・サイトアッテネーション特性についてすべて仕様を満足する計測結果が得られた。しかし、EMS（電磁的感受性）試験の条件である電磁界分布特性は、高周波領域で仕様を満足しなかった。

EMI計測システムは、パソコンを使い、機器全体の電磁波ノイズ放射試験・機器電源の雑音電力（放射ノイズ）試験・電源の端子電圧（伝導ノイズ）試験が、各種規格で可能となった。また、特にEMS試験では重要になってくる被試験器の状態を複数個同時にミクロ的に監視・制御できるように、 GPIBなどのインタフェースを設置した。

前記の仕様を満足するように、電源系統やアース系統の条件整備を行った。電源は、ノイズカットトランス・安定化電源・ノイズフィルタを使用し、またアースは第一種独立接地とした。

今回の電波暗室と試験器の導入により、県内企業が望んでいたEMI試験がひととおり可能となった。すなわち、正規の規格適合試験前にEMI対策改善試験が十分できる体制が整った。

今後の予定は、電磁界分布が均一となるようなフレネルゾーンの対策とEMS計測システムを導入する。そして、EMS（電磁的両立性）の観点から、総合的な製品試験とノイズ防止対策技術を検討する。

## 文 献

- 1) “地場企業に役立つ電波暗室設置に関する調査”，（平成5），熊本県産学官知能システム研究会
- 2) “電波障害イミュニティと最新試験法”，電子技術，Vol.33No.6, p45, (1991), 日刊工業新聞社
- 3) “Q&A 実践ノイズ対策50のヒント”，エレクトロニクス，第38巻第8号第471号, pp46-47, pp50-51, p57, (1993), オーム社
- 4) 清水康敬ほか：“電磁波の吸収と遮蔽”，p442, p447, p454, (1989), 日経技術図書
- 5) 荒木庸夫：“電磁妨害と防止対策”，pp116-161, (昭和52), 東京電機大学出版局
- 6) 鳳誠三郎：“電気材料 改訂版”，pp191-202, (昭和44), 共立出版
- 7) 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”，本誌, No. 29, pp49-59(1991)
- 8) “SOSHIN EMI FILTERSカタログ”，双信電機(株)
- 9) “交流電源（EAシステム）取扱説明書”，1988, (株)エヌエフ回路設計ブロック
- 10) “ノイズカットトランスカタログ”，(株)電研精機研究所
- 11) 上田直行：“TEMセルのインタフェース”，本誌, No. 31, pp24-30(1993)
- 12) “Q&A 実践ノイズ対策集（Part2）”，エレクトロニクス，第38巻第12号第475号, p32, (1993), オーム社
- 13) “EMC設計対策室完成引渡書”，(1993), 松下インタテクノ(株)
- 14) “EMI/EMC計測システムガイドブック”，(1989), (株)アドバンテスト
- 15) “ポジションコントローラ、アンテナタワー、ターンテーブル、クランプコントローラ、クランプポジショナー各取扱説明書”，(1993), (株)デバイス

# 細胞融合株の改良試験と育種株による焼酎製造実用化のためのベンチスケール試験醸造

## —細胞融合による醸造微生物機能の改良に関する研究(第2報)—

土谷紀美\*・中川 優\*・西村賢了\*・木田建次\*\*・園田頼和\*\*\*

Improvement of Fusant and Bench-scale Fermentation Test to  
Commercialize *Shochu* Making by Bred Strains.

-Studies on Improvement of Function of Brewing  
Microorganisms by Fusion (2nd Report)-

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

我々は、これまでに吟醸香生成能の高い焼酎用酵母の育種を目的として、人吉地方の醸造場から分離した焼酎用酵母S-4と清酒用酵母協会9号酵母の細胞融合によって、融合酵母KF3、KF5を得ている。KF3、KF5は、うわ立香の主成分である酢酸イソアミル生成能に優れており、ソフトタイプで香りの高い焼酎が好まれ主流となっている今日にマッチした酵母であると考えられる。さらに焼酎の含み香を高めるため、KF3株を改良・育種し、 $\beta$ -フェネチルアルコール及び酢酸 $\beta$ -フェネチル高生産株の取得を試みた。

また、これらの育種株による焼酎製造を実用化するために、80Lのベンチスケールでの試験醸造を行い、もろみ及び減圧蒸留により得られた焼酎を分析した。その結果、育種株がスケールアップ試験においても目的とする香気生成に特徴を発揮したので報告する。

### 1. はじめに

最近、酒類の需要拡大を図って製品の多様化が進められているが、焼酎も例外ではない。夏場の消費拡大を狙って、清酒を冷やで飲むように焼酎をロックで楽しむ飲み方も一つの流れになってきており、そのためさらに香味の高い焼酎が望まれている。

含み香の主体で焼酎の香味に幅を与えると言われる成分に、 $\beta$ -フェネチルアルコール、酢酸 $\beta$ -フェネチルがある。フェニルアラニンのアナログであるフルオロフェニルアラニンに対して耐性を獲得した酵母は、この2成分の高生成能を有することが多い。このことを利用して、これまでに育種した融合酵母KF3<sup>1)</sup>に変異処理を施してフルオロフェニルアラニン耐性株を分離し、発酵試験により $\beta$ -フェネチルアルコール、酢酸 $\beta$ -フェネチル高生産株を取得し、さらに、これらの育種株を用いてベンチスケールの試験醸造を行って、焼酎製造実用化について検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 DL-p-フルオロフェニルアラニン(FPA)耐性株の取得

秋田らの方法<sup>2)</sup>に準じて取得した。すなわち、YCB培地で24時間静置培養した菌体を、滅菌水で洗浄した後、2%グルコースを含む0.1Mリン酸緩衝液10mlに懸濁した。変異誘起剤EMSを0.3ml添加した後、30°C、45分間穏やかに振とうして処理した。その後、5%チオ硫酸ナトリウムで洗浄し、さらに滅菌水で洗浄後、p-FPA培地に塗布した。出現したコロニーをフェニルアラニン含有YCB培地に植菌し、生育した株を耐性株として分離した。

#### 2.2 小仕込試験

耐性株の最終評価は、2L三角フラスコを用いた小仕込試験(2段仕込)により行った。焼酎米麴165g、汲み水200ml及び前培養酵母液3mlを三角フラスコに加え1次仕込を行い、5日後に掛米400g、汲み水750mlを添加し2次仕込を行い、25°C14日間発酵させた。

#### 2.3 ベンチスケール試験醸造

##### 2.3.1 使用菌株及び原料

融合酵母KF3、並びにp-フルオロフェニルアラニン耐性株(以下、耐性株)R15、R16、対照株として融合株の親株である協会9号酵母(*Saccharomyces cerevisiae* Kyokai No. 9, 以下 K-9)と焼酎用酵母S-4(*S. cerevisiae*,

\* 微生物応用部  
\*\* 熊本大学工学部  
\*\*\* 熊本大学工学部(現熊本県立大学)

以下 S-4<sup>1)</sup> の計5株を使用した。

麴米と掛米は精米歩合約85%の国内産破碎精米（他用途米）を使用した。麴米は焼酎用麹菌（*Aspergillus Kawachi*, 河内源一郎商店）を原料米に対して0.1%用いて製麴した。

### 2.3.2 焼酎仕込法

仕込は総米21.78kg、麴歩合40%、汲水歩合165%の2段仕込とし、80L容ステンレスタンクを用いて試験した。Brix10の麴汁培地で25℃、2日間培養した酵母培養液を、1次もろみに対して0.3% (V/V) 添加し、室温20℃の恒温で発酵させた。1次仕込6日目に2次仕込を行ったが、2次もろみについては品温を制御することなく発酵させた。

蒸留は、100L減圧蒸留装置（V-100U型、株式会社ケーアイ）にもろみ56Lをいれ、680~710mmHg減圧下で行った。蒸留液を4℃で1週間冷却し、ペーパーろ過した。

### 2.3.3 官能試験

アルコール濃度25%に調整した製品を試料として、焼酎審査員7名のパネラーで、5点法により評価した。

### 2.4 焼酎もろみおよび焼酎製品の分析法

もろみ中のエタノール濃度及び低沸点香り成分、中沸点香味成分の測定は、前報<sup>1)</sup>の方法に従った。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 β-フェネチルアルコール高生産株の取得及び評価

融合酵母KF3を変異処理し、p-FPA耐性変異株を得た。これら耐性株の300mlスケールでの小仕込試験を行い、β-フェネチルアルコールと酢酸β-フェネチル高生産株4株(R1、R7、R15、R16)を取得した。これら耐性株4株と親株KF3を焼酎米麴を用いた2Lスケールの小仕込試験に供した。耐性株4株はいずれも親株と同等の発酵速度を有しており、2次仕込後12日で発酵が終了した。この時の発酵終了もろみの分析結果を表1に示す。全ての耐性株は親株と同等のアルコールを生成するだけでなく、1.4倍から2倍の酢酸β-フェネチルと1.3倍から1.7倍のβ-フェネチルアルコールを生成した。また、酢酸イソアミルとカプロン酸エチルについては、親株と同程度か若干上回る傾向にあった。

表1 小仕込試験による発酵もろみのエタノール及び香り成分濃度

酵母	エタノール (%)	n-プロピルアルコール (ppm)	i-ブチルアルコール (ppm)	i-アミルアルコール (ppm)	酢酸イソアミル (ppm)	カプロン酸エチル (ppm)	β-フェネチルアルコール (ppm)	酢酸β-フェネチル (ppm)
KF3	18.2	145	162	410	4.7	1.4	61	6.0
R1	18.2	134	202	407	4.7	1.3	96	9.2
R7	18.4	152	215	422	5.1	1.7	77	8.1
R15	18.4	136	248	402	5.4	1.7	101	11.8
R16	18.4	158	269	426	5.4	1.6	102	10.2

KF3, 融合株; R1, R7, R15 and R16, DL-α-フルオロフェニルアラニン耐性株

### 3.2 ベンチスケールによる試験醸造

5種類の酵母を用いて仕込配合、仕込日程、仕込温度等を同一条件とする5試験区で行った。

1次もろみは20℃の恒温で6日間発酵させ、もろみ温度は2日目に最高29℃まで上昇した。2次仕込に使用した発酵槽は温度制御装置を有していなかったため、2次もろみは温度を制御することなく発酵させた。その時のエタノールの生成経過及び品温の変化を図1に示す。もろみ温度は各試験区でほとんど差がなかったため、各もろみ温度の平均値を示した。2次仕込直後のもろみ温度が低すぎた上、厳寒期であったため、焼酎製造にとってはかなりの低温発酵をたどり、通常の米焼酎製造（工場規模）と比較して発酵の遅れがみられた。しかし、育種株（KF3、R15、R16）はいずれも両親株に優る発酵力を示した。

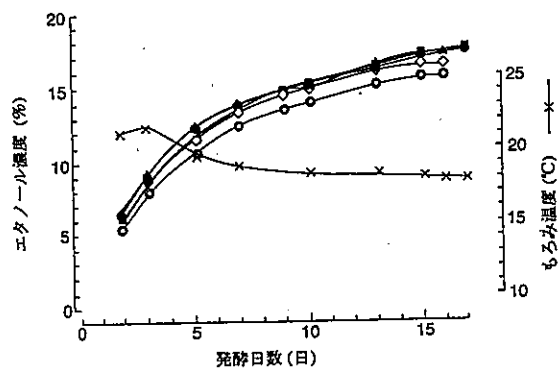


図1 もろみの発酵経過と品温経過

(◇, S-4; ○, K-9; ▲, KF3; ●, R15; ■, R16)

表2にエタノール生成量、発酵歩合を示す。原料米中の全糖量は米のでんぷん価を75として算出した<sup>3)</sup>。育種株の発酵歩合は、S-4株を若干上回り、またK-9株に比べ約6%高かった。

表2 エタノール生成量と発酵及び蒸留歩合

酵母	原料でんぷん総量 (kg)	エタノール生成量 (kg)	発酵歩合 (%)	蒸留歩合 (%)
S-4	16.38	9.34	80.0	94.5
K-9	16.38	8.86	75.9	90.1
KF3	16.38	9.62	82.1	96.8
R15	16.38	9.64	82.3	95.0
R16	16.38	9.70	82.8	95.3

### 3.3 もろみの分析・評価

表3は発酵もろみ中のアルコール濃度及び低沸点香り成分の分析値とE/A比（酢酸イソアミル/イソアミルアルコール×100）を示している。

表3 発酵もろみのエタノール濃度及び低沸点香り成分

酵母	エタノール濃度 (%)	酢酸エチル (ppm)	n-プロピルアルコール (ppm)	i-ブチルアルコール (ppm)	i-アミルアルコール (ppm)	酢酸イソアミル (ppm)	E/A
S-4	16.5	51	105	104	289	3.3	1.1
K-9	15.6	77	91	86	238	3.8	1.6
KF3	17.0	61	116	110	328	5.1	1.6
R15	17.1	67	117	121	326	5.5	1.7
R16	17.2	67	117	120	335	5.4	1.6



通常、細胞融合株は親株の能力の中間値をとるといわれているが、本試験の発酵条件では両親株よりも融合株及びその耐性株が高いアルコール生成能を有していた。しかし、発酵温度30℃以上では親株S-4は融合株より高い発酵能を示したことから、各酵母の発酵温度に対する適性の違いが推定される。

融合株KF3は吟醸香成分の1つである酢酸イソアミルを5.1ppm生成しており、この値はS-4の1.6倍であった。耐性株R15、R16の低沸点香気成分は親株であるKF3と良く似た組成を示したが、酢酸イソアミルは若干増加していた。これらの結果は、小仕込試験の結果にほぼ一致していたことから、スケールアップした試験規模においても育種株の特性を活かせることが実証された。

また、香りの指標となるE/A比をみると、融合株KF3及び両耐性株はK-9株と同等の比を示したが、この値はラボスケールの結果に比べて高い値であった。中田らの報告<sup>9)</sup>によると、発酵温度が低くなるに従ってイソアミルアルコール及びイソブチルアルコール等の高級アルコールの生成量は減少し、また、高峯ら<sup>9)</sup>は発酵温度が低くなるに従って、酢酸イソアミルを生成する酵素(イソアミルアルコールトランスフェラーゼ)の活性が高まると報告している。すなわち、発酵温度が小仕込試験<sup>9)</sup>よりも低温だったため、報告されているように高級アルコールやエステルの増減により、結果としてE/A比が増加したと考察される。

### 3.4 吟醸香成分の生成経過

2次もろみ中の吟醸香成分の生成経過を調べた。図2はKF3、S-4、K-9の酢酸イソアミル濃度の経日変化を、また、図3はKF3、R15、R16のβ-フェネチルアルコール及び酢酸β-フェネチル濃度の経日変化を示す。酢酸イソアミルの生成は、3株とも発酵13日目まで増加し、その後一定したが、生成量は明らかに3株で相違した。β-フェネチルアルコールの生成は、KF3株では7日目まで、耐性株では10日目まで増加し、その後一定したが、生成量において融合株と耐性株の間に大きな差が見られた。耐性株R16による酢酸β-フェネチルの生成は他の2株と異なり、発酵終了時まで増加した。

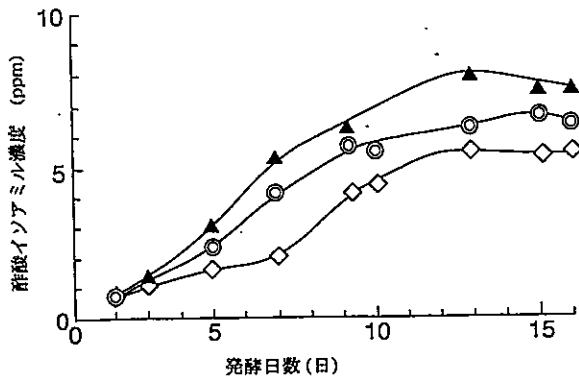


図2 発酵もろみ中の酢酸イソアミル量の変化 (▲, KF3 ; ◇, S-4 ; ◎, K-9)

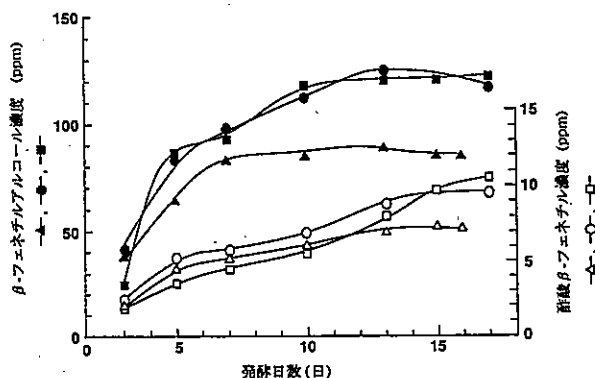


図3 発酵もろみ中のβ-フェネチルアルコール及び酢酸β-フェネチル量の変化 (▲, △, KF3 ; ●, ○, R15 ; ■, □, R16)

### 3.5 焼酎製品の分析・評価

減圧蒸留により得られた製品の香気成分を分析した結果を表4に示す。耐性株により試醸された焼酎は、KF3により試醸された焼酎の1.4倍~1.5倍のβ-フェネチルアルコールを含み、約1.6倍の酢酸β-フェネチルを含んでいた。酢酸イソアミルは、焼酎製品間でももろみ間と同様な傾向がみられたが、イソアミルアルコールは、もろみ中でみられた育種株間の差は製品中では見られなかった。

表4 焼酎製品の香気成分

酵母	イソアミルアルコール (ppm)	酢酸イソアミル (ppm)	β-フェネチルアルコール (ppm)	酢酸β-フェネチル (ppm)
S-4	448	4.3	68	3.0
K-9	455	5.0	67	4.3
KF3	499	8.2	71	6.0
R15	481	7.9	93	9.4
R16	502	8.0	106	9.6

### 3.6 焼酎の官能評価

焼酎製品について行った官能評価の結果、香りや味等の総合評価を5段階評価で表したところ、融合株KF3及び両耐性株と親株S-4との間に差は見い出せなかった(表5)が、育種株はいずれも香りが高く、特にR16は味に幅があるとのコメントを得た。

表5 官能試験による評価

酵母	評点	コメント
S-4	17	味丸い
K-9	21	辛い
KF3	17	香り高い
R15	18	無難
R16	17	香り高い 味に幅あり

パネル7名 (1:良 5:悪)  
焼酎試料:アルコール度数25度

## 4. まとめ

## 謝 辞

酢酸イソアミル高生産酵母KF3の変異処理試験によって得られたp-フルオロフェニルアラニン耐性株(R15、R16)は、小仕込試験において、融合株と比較して同等の酢酸イソアミルと2倍近い $\beta$ -フェネチルアルコール、酢酸 $\beta$ -フェネチルを生成していた。

これら育種株による焼酎製造実用化を目指し、容積80L規模のスケールアップ試験醸造を行った結果、発酵温度が低すぎたため、発酵経過は緩慢であったが、育種株の発酵歩合は対照株S-4株よりも2~3%高く、実用株として適していることが確かめられた。

KF3は吟醸香の主成分である酢酸イソアミルを親株S-4の1.5倍以上生成していた。また、耐性株2株もKF3を上回る量を生成し、耐性株により試醸された焼酎はKF3により試醸された焼酎の1.4~1.5倍の $\beta$ -フェネチルアルコール及び1.6倍の酢酸 $\beta$ -フェネチルを含んでいた。スケールアップした試験醸造においても育種株の特長を焼酎の品質に反映することができ、実用可能であると考えられた。

ソフトではあるが味・香りが単調な傾向にある減圧蒸留製品が多い中で、これらの育種株により、味・香りに幅のある焼酎製造が期待できる。

本研究に協力された熊本大学工学部卒論学生小川清君及び永吉功一君に御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 土谷紀美, 木田建次, 中川優, 西村賢了, 園田頼和; 日本醸造協会誌, 88, (9) 701(1993)
- 2) O. AKITA, T. IDA, T. OBATA, S. HARA: J. Ferment. Bioeng., 69, 125 (1990)
- 3) 本格焼酎製造技術: p 227, (財)日本醸造協会
- 4) 中田久保, 鶴田純子, 長野詩子, 細野由起子, 穂坂賢; 醸酵工学会誌, 68, 275(1990)
- 5) 高峯和則, 木田建次, 園田頼和, 生田六也, 塚田定清; 日本醸造協会誌, 85, (11) 825 (1990)

## しょうゆの淡色化に関する研究

### —高品質醸造食品の開発(第1報)—

松田茂樹\*・石田清和\*\*

#### Studies on Decolorization of Brewing Soy Sauce

#### -Development of High Quality Fermented Seasoning (1st Report)-

Shigeki MATSUDA\* and Kiyokazu ISHIDA\*\*

しょうゆの淡色化のために原料及びその配合割合、さらに発酵条件等を検討した。小規模仕込試験においては、種麹及び大豆原料の種類あるいは大豆と小麦の配合割合がしょうゆの色調に影響することが確認された。特に、脱脂加工大豆は丸大豆に比べて着色しやすいことと発酵ろ液の全窒素やエキス分が多いと着色しやすいことが顕著であった。さらに、中間規模の仕込試験ではしろしょうゆの製造方法を改変し、窒素分を高めると同時に着色を抑制するために丸大豆20、小麦80の割合で製麹し、仕込後は糖化主体の発酵経過を行った。この結果、色調及び成分的にしろしょうゆとうすくちしょうゆの中間的な品質のしょうゆが短期間に得られた。

#### 1. はじめに

熊本県内におけるみそ、しょうゆ等の発酵調味食品の需要は慢性的に低迷した状況にあり、県内におけるしょうゆの生産量は1.7万KLで前年比97.4%に減少している<sup>1)</sup>。

このような減退傾向の抑止策として、これまでの伝統技術を生かしながら新たな醸造技術による製品開発が必要と考えられる。本研究では、しょうゆ醸造に関する発酵原料の組成や発酵工程の改良により高品質の発酵調味料の開発を行うものである。

しょうゆの種類の中でうすくちしょうゆは業務用を中心に僅かな需要の伸びがみられる。また、中京地方においては従来から色調の極めて淡いしろしょうゆが料理用として一定の市場をなしている<sup>2)</sup>。このしろしょうゆは無塩可溶性固形分が多いため甘味の伸びはあるものの窒素成分が低いので旨味はそれほど感じない。しかしながら、色調的にはわずかに黄色を呈している程度であり、色の淡色化の傾向が強い九州地方の嗜好に合っていると思われる。これまでしょうゆの淡色化のために、種々の技術が考案され、仕込み時に仕込塩水を置換する方法等が報告されている<sup>3)</sup>。本研究は、主に原料配合や発酵管理面からしょうゆの淡色化を意図したものである。現在、九州地方において主流となっているアミノ酸液を主体とするうすくちしょうゆと異なる本醸造タイプの淡色のしょうゆを製造することにより、新たな需要の開拓が見込まれる。そこで、このしろしょうゆの製造方法を改変

し、本県の嗜好に合ったうすくちしょうゆの製造を目的として、小規模及び中間規模の仕込試験を行ったので、その結果を報告する。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 小規模仕込によるしょうゆの淡色化試験

種麹、原料割合及び発酵温度等がしょうゆの淡色化に与える影響について、各試験区とも仕込総量約300mlで小規模試験を行った。

##### 2.1.1 原料及び原料処理

しょうゆの原料は脱脂加工大豆(アメリカ産)、丸大豆(フクユタカ：国産)、脱皮大豆(中国産)及びこうじ麦(日清製粉)を使用した。塩はJT並塩を用い、ポーメは20に調整した。汲み水は原則として13水とした。

脱脂加工大豆は、120%散水後、1kg/cm<sup>2</sup>で20分間蒸煮した。丸大豆と脱皮大豆は、それぞれ1晩、2時間浸漬後1kg/cm<sup>2</sup>で20分間蒸煮した。

##### 2.1.2 種麹のしょうゆの色調に与える影響

種麹各社から入手した11種のしょうゆ麹について試験した。丸大豆37.2gを蒸煮し、こうじ麦36gを混合したものにしょうゆ麹0.1gを接種し、27℃で44時間製麹した。塩水130mlを加えて混合し、40℃で5日間発酵させた後、ろ液について着色度その他の成分分析を行った。

##### 2.1.3 大豆原料によるしょうゆの色調

脱脂加工大豆を蒸した1試験区と丸大豆と脱皮大豆についてはそれぞれ蒸した場合と炒った場合の4試験区、計5試験区を設定した。

\* 微生物応用部

\*\* 熊本県みそ醤油工業協同組合

2.1.4 諸味の消化、発酵温度の影響

丸大豆37.2gを蒸煮し、こうじ麦36gを混合したものにしょうゆ麴0.1gを接種し、27℃で44時間製麴した。塩水130mlを加えて混合し、発酵温度を35、40、45、50及び55℃でそれぞれ5日間発酵させた後、ろ液について着色度その他の成分分析を行った。

2.1.5 原料の配合比率が色調に与える影響

原料大豆と小麦の配合割合がしょうゆの色調に与える影響を調べるための試験区を表1に示す。それぞれの試験区を40℃で5日間発酵させた後、ろ液について着色度その他の成分分析を行った。

表1 しょうゆ製造における原料大豆と小麦の配合比率

大豆種類	大豆：小麦*	大豆重量(g)	小麦重量(g)
丸大豆	20:80	14.4	60.0
	35:65	25.2	48.8
	50:50	36.0	37.5
	65:35	46.8	26.3
	80:20	57.6	15.0
脱脂加工大豆	20:80	12.0	60.0
	35:65	21.0	48.8
	50:50	30.0	37.5
	65:35	39.0	26.3
	80:20	48.0	15.0

\* 元容積による比率

2.2 中間規模によるしょうゆの淡色化試験

原料大豆及び種麴の種類がしょうゆの淡色化に与える影響について、各試験区とも仕込総量約30Lで小規模試験を行った。

2.2.1 原材料及び原料処理

原料大豆2kgを蒸煮し、こうじ麦8kgを混合したものに種麴5gを添加し製麴した。丸大豆は一晚浸漬後、圧力鍋で30分蒸煮。脱脂加工大豆は120%散水後0.6kg/cm<sup>2</sup>で50分間加圧蒸煮を行った。

2.2.2 製麴及び諸味管理

製麴温度は、28から30℃で経過し、45時間で出麴としたものにボーマ20の塩水18Lを混合し、発酵させた。

発酵は25℃で仕込み、その後34℃で10日間加温し、さらに20℃で40日間発酵させ、仕込み初期における高温消化を主体に行った。

2.3 成分分析及び酵素活性測定

発酵の終了した諸味は布袋で圧搾した後、ワットマンろ紙でろ過して分析試料とした。しょうゆの全窒素(T.N)、塩分等の成分及び出麴の酵素活性はしょうゆ試験法<sup>1)</sup>に従った。また、しょうゆの色調、着色度は茂田井ら<sup>5)</sup>の方法で測定した。

2.4 官能審査結果

発酵終了後の各試験区のろ液についてそのままのもの、85℃で火入れしたもの及びろ液にアミノ酸液をT.N比で50%添加したものを試料にして官能審査を行った。評価は、県内の醸造技術者で組織される熊本県醸造技術研究会の会員14名により、3点法で行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 小規模仕込によるしょうゆの淡色化試験

3.1.1 種麴のしょうゆの色調に与える影響

各種種麴による麴で仕込んだ諸味の発酵後のろ液の成分を分析した結果を表2に示す。なお、比較のために市販しろしょうゆの分析結果も併記した。塩分は16.1から17.3%で試験区の間にはほとんど差はみられなかった。このことから原材料の仕込みは均一であったと考えられた。

表2 各種種麴による発酵ろ液の色調

種麴種類	全窒素 (%)	塩分 (%)	エキス (%)
No.1	1.19	17.3	19.3
No.2	1.20	16.7	20.3
No.3	0.52	17.1	14.7
No.4	1.15	16.3	18.8
No.5	1.08	16.4	18.3
No.6	1.08	16.4	19.6
No.7	1.03	16.6	18.2
No.8	0.88	16.7	17.2
No.9	1.08	16.6	19.4
No.10	1.13	16.1	20.2
No.11	1.15	16.4	19.0
しろしょうゆ	0.48	17.4	20.1

一方、ろ液のT.Nは種麴の種類により0.52から1.20%までかなり幅が認められた。T.NはNo.2が1.20%で最も高く、次いでNo.1の1.19%、No.11の0.15%であった。なお、市販しろしょうゆのT.Nは0.48%であった。

無塩可溶性固形分(エキス分)も14.65から20.25%まで差がみられた。No.2が最も多く20.25%で、次いでNo.10の20.15%であった。また、最も少ないものはNo.3の14.65%であった。市販しろしょうゆのエキス分は20.06%であった。

しょうゆの着色度を表すE<sub>450</sub>を測定した結果を図1に示す。ろ液の着色度E<sub>450</sub>は、No.3の試験区が0.47で最も低く、視覚的にも最も淡色であった。次いでNo.8の0.80、No.7の0.82の順に淡色であった。逆に着色度の最も高い試験区はNo.4で1.27であった。

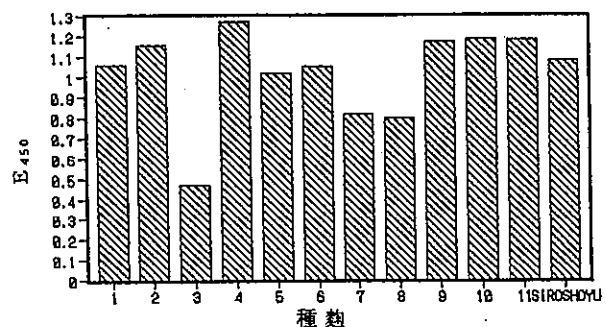


図1 種麴の種類による発酵ろ液の着色度E<sub>450</sub>の違い

しょうゆの色調の良否を表すΔAの測定結果を図2に示す。ろ液のΔAの値は、No.1が0.45で最も高く、次いでNo.10の0.44でありこれらは色調的に良好であった。こ

れに対して着色度の低かったNo. 3とNo. 8は、それぞれ0.33と0.26で低い値を示した。

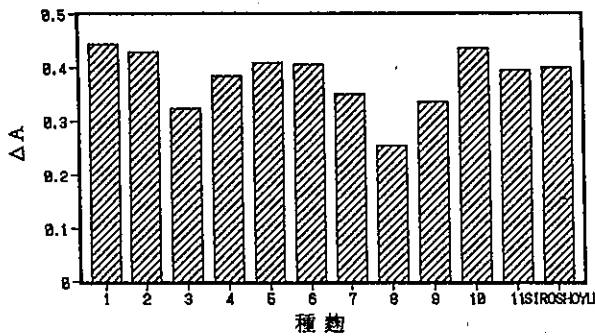


図2 種別の種類による発酵ろ液のΔAの違い

これらの結果から、ろ液のT.Nが少ないものほど着色が少なく、T.Nが多いものほど着色が著しいことが明らかである。これは一般的にしょうゆの着色がアミノ・カルボニル反応によるとされており<sup>9)</sup>、アミノ酸や糖分が多い場合着色しやすいことが確認された。また、種別のしょうゆの品質に与える影響は大きいと考えられるので、着色が少なく色調が良好なものを製造する場合はNo. 3が好適で、次にNo. 7が適していると思われるが、No. 3は蛋白分解力、糖化力ともに弱くT.Nやエキス分が少ないので総合的にNo. 7が良いと考えられる。

いずれの試験区においても塩分、エキス分ともにしるしょうゆに比べて低い結果であった。一方、T.Nはかなり高くなっており、これは原料配合がうすくちしょうゆの製造方式によるためである。この点においてしるしょうゆと基本的に異なるものであり、原料配合を改変することにより成分的、色調的にしるしょうとうすくちしょうゆの中間的な特徴を併せ持つしょうゆの製造が可能であることが示唆された。

### 3.1.2 大豆原料によるしょうゆの色調

原料大豆の種類と異なる処理方法により、製麹し、仕込んだ諸味のろ液の成分分析と色調を測定した結果を表3に示す。

表3 原料大豆と処理方法による発酵ろ液の品質

大豆種類	処理方法	全窒素(%)	食塩(%)	エキス(%)	色調(ΔA)	着色度(E <sub>450</sub> )
丸大豆	蒸し	1.09	18.0	19.8	0.405	1.22
丸大豆	炒り	1.11	18.4	19.0	0.372	0.83
脱皮大豆	蒸し	1.30	17.6	20.3	0.419	1.22
脱皮大豆	炒り	1.13	18.6	19.2	0.333	1.43
脱脂加工大豆	蒸し	1.37	16.7	20.3	0.303	2.43

しょうゆの着色の要因としては大豆原料の影響が大きく、脱脂加工大豆を用いた場合、T.Nは高くなるものしょうゆの着色度は増し、濃色化する傾向が認められた。すなわち、着色度E<sub>450</sub>の値は丸大豆が低く、次いで脱皮大豆であり、脱脂加工大豆は値が2.43と高く、着色しやすい原料であることが確認された。中でもしるしょうゆの製法に準じた試験区の丸大豆を炒った後、蒸した場合

では0.83と淡色であった。色調ΔAは脱皮大豆が0.33~0.42で最も高く色調的に優れていることが分かった。脱脂加工大豆は0.30で、丸大豆はこれらのものであった。

以上のことから、大豆の種類としては丸大豆、次いで脱皮大豆が好適で脱脂加工大豆は色を淡色にするという点からは不向きであると思われる。

T.Nは、脱脂加工大豆が1.37%で最も多く、次いで脱皮大豆の1.13~1.03%で、丸大豆では1.1%前後であった。この程度であればうすくちしょうゆとして遜色のないものと考えられる。

これまでに、しょうゆあるいはしょうゆ様の発酵調味料の色を淡色にするということから、米、米粉、白糠、大麦、コーングリッツ、小麦グルテン等の各種の原料が検討されて、白糠を原料にしたものが製品化されている。その他の原料は、色は淡色になるがT.Nが低く、味の点で問題があることが指摘されている<sup>7, 8, 9, 10)</sup>。したがって、T.Nを高くするには、ある程度大豆原料を用いる必要があると思われるが小麦との配合比率を考慮しなければならない。

### 3.1.3 諸味の消化、発酵温度の影響

各温度で消化した諸味から得られたろ液の分析結果を表4に示す。着色度E<sub>450</sub>は、55℃で2.16で最も高く、温度が低くなる程低くなり、35℃では0.75であった。

表4 諸味の消化温度と発酵ろ液の品質

消化温度(℃)	全窒素(%)	塩分(%)	エキス(%)	色調(ΔA)	着色度(E <sub>450</sub> )
35	0.95	18.5	17.7	0.414	0.75
40	1.04	18.0	19.4	0.335	1.00
45	1.12	18.7	20.1	0.441	1.07
50	1.14	17.2	19.4	0.443	1.77
55	1.23	20.0	19.8	0.478	2.16

さらに、ΔAは35、40℃では低いが45、50℃では高い値を示し、高温になるにつれて色調が良好であるとともに濃くなることが確認された。視覚的にも50℃以上では、着色が著しく40ないし45℃の消化温度が適当と考えられた。

T.Nは、温度が高くなる程多くなる傾向を示したが、45と50℃ではほとんど差がないと考えられるので、40あるいは45℃の消化温度が適当と思われる。

### 3.1.4 原料の配合比率が色調に与える影響

原料大豆と小麦の配合割合による発酵後のしょうゆの成分分析結果を表5に示す。T.Nは丸大豆の場合0.39~1.23%であり、これに対して脱脂加工大豆の試験区では0.47~1.43%と高く、かつ小麦に対する大豆の使用割合が多くなる程高くなる傾向がみられた。同様に着色度E<sub>450</sub>も丸大豆に比べて脱脂加工大豆で高く、どちらの試験区でも大豆の配合割合が高くなるにつれて濃化する結果が得られた。一般的に大豆の表皮にはしょうゆの着色の原因であるヘミセルロースやペントザン等が含まれる

ことが明らかにされており<sup>1)</sup>、今回の試験結果から着色を抑制するためには大豆20、小麦80の割合が適当な配合と考えられた。なお、日本農林規格に定めるうすくちしょうゆの色度の規格は22であるが、本試験の結果では小麦の比率が65以上の場合に色度50以上のものがあり、極めてうすい色調のしょうゆの製造が可能と思われた。

表5 原料大豆と小麦の配合比率による発酵ろ液の品質

大豆種類	大豆：小麦*	全窒素(%)	塩分(%)	エキス(%)	着色度(E <sub>450</sub> )	色度
丸大豆	20:80	0.39	20.6	14.6	0.28	56<
	35:65	0.64	19.5	16.0	0.40	54
	50:50	0.92	17.7	16.9	0.63	49
	65:35	0.93	17.9	16.4	0.70	51
	80:20	1.23	16.5	16.6	1.41	45
脱脂加工大豆	20:80	0.47	20.8	14.5	0.41	53
	35:65	1.08	17.9	20.6	1.03	45
	50:50	1.26	17.1	20.2	1.54	40
	65:35	1.32	16.5	19.5	1.78	39
	80:20	1.43	15.8	17.7	2.45	39

\* 容積による比率

### 3.2 中間規模によるしょうゆの淡色化試験

小仕込試験の結果から原材料割合や発酵条件を定め、以下の結果を得た。

#### 3.2.1 原材料及び原料処理

中間規模の仕込試験における製麹工程では、盛り込み総量は14.4kgで出麹時の総量10.5kgで出麹水分25%であった。これにポーメ20の塩水18Lを混合し、仕込総量は31kgであった。

#### 3.2.2 製麹及び諸味管理

出麹の酵素活性を測定した結果を表6に示す。

表6 中間規模試験における出麹の酵素活性

試験区		酵素活性(U/g)			
大豆種類	種麹種類	TP*	AP**	ALP***	GA****
丸大豆	うすくち種麹	88	166	172	24.9
	脱脂加工大豆	179	162	150	24.2
丸大豆	こいくち種麹	292	336	32	24.5

\* 全プロテアーゼ  
\*\* 酸性プロテアーゼ  
\*\*\* アルカリプロテアーゼ  
\*\*\*\* グルコアミラーゼ

麹の酵素活性は種麹の種類及び大豆原料による差が認められた。こいくち用の種麹では全プロテアーゼ、酸性プロテアーゼの活性が強く、アルカリプロテアーゼの活性は弱かった。一方、丸大豆を用いた麹では脱脂加工大豆に比べてアルカリプロテアーゼの活性が高い結果であった。なお、グルコアミラーゼは各試験区にほとんど差はみられなかった。

諸味の温度経過は、仕込後の24℃から加温し、2日目以降10日目まで糖化を目的として品温を35℃に保持し、その後の着色を抑制するため20℃前後の低温で発酵させる方法をとった。仕込後40日で圧搾した。

### 3.2.3 発酵ろ液の成分分析結果

発酵終了諸味を圧搾し、得られたろ液の成分分析結果を表7に示す。

表7 中間規模試験における発酵ろ液の品質

試験区		全窒素(%)	塩分(%)	エキス(%)	色度
大豆種類	種麹種類				
丸大豆	うすくち種麹	1.10	19.8	21.9	49
脱脂加工大豆	うすくち種麹	1.23	18.9	21.3	47
丸大豆	こいくち種麹	1.15	19.5	22.5	49
市販しろしょうゆ		0.48-0.56	17.7-18.1	20.9-26.1	

塩分は18.7~19.5%、エキス分は19.4~22.5%で市販しろしょうゆに比べてほぼ同程度であるがT.Nは1.02~1.23%としろしょうゆの約2倍であった。また、色度は丸大豆の場合49で脱脂加工大豆の場合47であった。小仕込試験の結果と同様に丸大豆を原料とした場合、T.Nはやや低いが色調は淡色であった。

### 3.2.4 官能審査結果

発酵終了後の各試験区のろ液についてそのままのもの、90℃で火入れしたもの、ろ液にアミノ酸液をT.N比で50%添加したものを試料として官能審査を行った結果を表8に示す。なお、比較のため市販のうすくちしょうゆ(特級本醸造)としろしょうゆも併せて評価した。

表8 発酵ろ液及び市販しょうゆの官能審査結果

試料		官能審査総合評価*
処理	しょうゆ種類	
生	丸大豆(うすくち種麹)	1.42
	脱脂加工大豆(うすくち種麹)	1.50
	丸大豆(こいくち種麹)	1.64
火入れ**	丸大豆(うすくち種麹)	1.71
	脱脂加工大豆(うすくち種麹)	1.78
	丸大豆(こいくち種麹)	2.57
アミノ酸混合***	丸大豆(うすくち種麹)	1.71
	脱脂加工大豆(うすくち種麹)	1.78
	丸大豆(こいくち種麹)	1.64
	しろしょうゆ	2.00
	うすくち本醸造(特級)	1.64

\* 1:良いもの、2:普通、3:良くないもの3点法で検点し審査員14名の平均値で表した。

\*\* 85度遠温。

\*\*\* 発酵ろ液に対しアミノ酸を50%添加したもの。

この結果、生のろ液が最も良く、市販のうすくちしょうゆやしろしょうゆに比べても評価が高かった。しかしながら火入れ後はやや評価が低くなった。これは、火入れしたことにより着色したためと考えられる。なお、アミノ酸液と混合した場合は評価が高いことから、T.N分の高いアミノ酸液と併用することで色をうすくすることが可能と考えられる。

4. 要 約

謝 辞

しょうゆの淡色化に関して原材料や発酵条件等を検討し、さらに中間規模のしょうゆの仕込試験を行ったところ以下の結果を得た。

(1) しょうゆの色調に及ぼす種麴の影響

種麴の種類によりしょうゆの品質に差がみられ、蛋白分解力と糖化力の強いものは着色しやすく、T.Nやエキス分が少ないものは淡色の傾向がみられた。したがって、この中間的な性質をもった種麴が本試験の目的にかなうものと考えられた。

(2) 大豆原料によるしょうゆの色調

脱脂加工大豆はT.Nは高くなるが、着色しやすいと考えられた。これに対して丸大豆を用いたしょうゆは淡色で色調的にも優れていることが分かった。

(3) 諸味の消化、発酵温度の影響

T.Nの溶解は温度が高くなる程多くなるが、着色も進行する。このため、実際に加温する場合は40℃前後が適当と考えられた。

(4) 原料の配合比率が色調に与える影響

原料の配合割合は大豆に対して小麦の比率を高めると淡色になる傾向が認められた。しかしながら、T.Nは大豆の比率が多い程高い値を示した。

(5) 中間規模製造によるしょうゆの品質

小麦の配合比率を高め、仕込み初期高温、後期低温の糖化主体の温度経過をさせることで、短期間で色調の淡いしょうゆの製造が可能であった。得られたしょうゆの品質は市販しろしょうゆに比べてT.Nが高く、うすくちしょうゆに比べて還元糖が多く両者の中間的なものであった。

本研究は熊本県醸造技術研究会の研究員の方々に多大なご協力をいただきました。

特に、富永宏（昭和商事（株））、下柿元篤（ホンサン（株））、山川俊助（（株）山内本店）、坂本幸二、池田和歌子（フンドーダイ（株））、松永正秀（東肥醸造（株））及び石川敬五（浜田醤油（株））の皆様には仕込試験や分析等のご協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 山下勝也：大豆月報，No.2，p.14（1992）
- 2) 海老根英雄，千葉秀雄：味噌・醤油入門，日本食糧新聞社，p.173（1981）
- 3) 野口誠，小谷幸敏，影山拓一，醬研，16，245（1990）
- 4) 財団法人日本醤油研究所：しょうゆ試験法，p.2（1985）
- 5) 茂田井宏，農化，46，631（1972）
- 6) 栃倉辰六郎：醤油の科学と技術，p.83（1987）
- 7) 姫野国夫，醬研，12，41（1986）
- 8) 山本泰，醬研，4，227（1978）
- 9) 根岸幹雄，醸協，76，384（1984）
- 10) 湯之上雅子，松田茂樹，石田清和，本誌，37，210（1987）
- 11) 中浜敏雄：醤油醸造の最新の技術と研究，p.335（1972）

# 限外ろ過膜における分画特性の簡易評価方法

納寄 克也\*・永田 正典\*・中根 堯\*\*・柳下 宏\*\*  
坂下 大地\*\*\*・五十嵐 千秋\*\*\*

## Study on Characterization Method of Molecular Weight cut-off Performance of Ultrafiltration Membranes

Katsuya NOUZAKI\*, Masanori NAGATA\*, Takashi NAKANE\*\*,  
Hiroshi YANAGISHITA\*\*, Daichi SAKASHITA\*\*\*  
and Chiaki IGARASHI\*\*\*

本研究では、市販限外ろ過膜等の分子量分画特性を簡便に再現性よく測定する方法を確立すること目的として、ゲル浸透クロマトグラフィー（以下GPCと略す）で分離が可能なポリエチレングリコール（以下PEGと略す）を溶質として含む溶液を試験液として用い、膜性能におよぼす操作圧力、溶液濃度、膜面攪拌速度の影響等を検討することにより、5種類のPEGを混合させた水溶液を用いた一度の測定で、単成分系PEG水溶液を用いる従来法で得られた分子量分画曲線とほぼ同一のものを得ることができることを明らかにした。

### 1. はじめに

代表的な膜分離技術である限外ろ過法は、現在多くの産業分野で物質の分離・濃縮・精製・回収等に利用されている。また、その簡便性、常温操作性、省エネルギー性、省スペース性などの特色から、食品加工や環境浄化などの分野でも広く利用されている。

このように、様々な分野で利用されている分離技術ではあるが、その最も重要な技術要素である分離膜の性能評価方法については、検討すべき因子が多く、それらが相互に影響し合い複雑な挙動を示し、一般に再現性も悪いため、これまで具体的に詳しく検討された例はあまりない<sup>1)2)</sup>。さらに、市販膜の場合、メーカーによって透過流束、阻止率、分子量分画特性などの測定方法がそれぞれ異なり、カタログ値で膜性能を単純に比較することは困難である<sup>3)</sup>。したがって、実際にはユーザーがその使用に先立って膜性能を自分で測定することが必要不可欠となっており、膜性能の簡便な測定方法の確立が強く望まれている。

そこで本研究では、市販限外ろ過膜等の分子量分画特性を簡便に再現性よく測定する方法を確立することを目的として、各種条件下で膜性能の測定を行い、膜性能の測定値におよぼす各種操作因子の影響や、望ましい測定条件等を明らかにした。

### 2. 実験方法

本実験に使用したバッチ式膜試験装置（有効膜面積12.6cm<sup>2</sup>）を図1に示す。操作圧力は3kgf/cm<sup>2</sup>を基準として測定し、膜面付近の濃度分極を抑えるためにスターラの回転数は原則として1,000rpmで実験した。

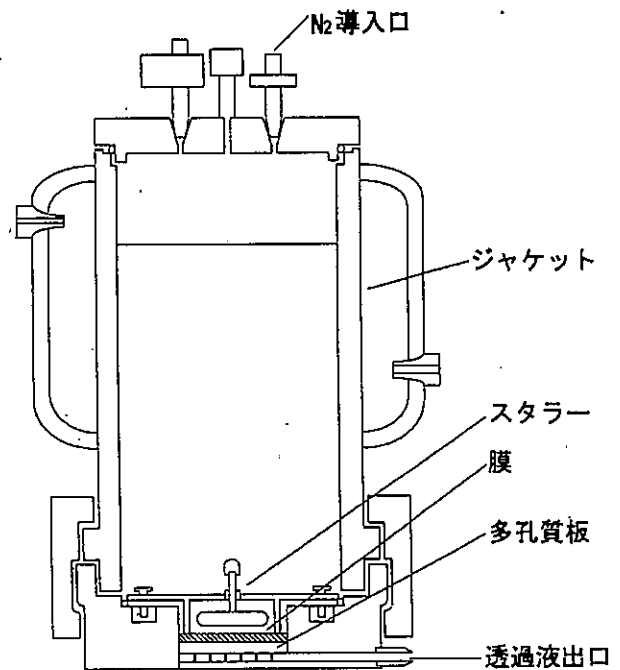


図1 バッチ式膜試験装置

\* 材料開発部

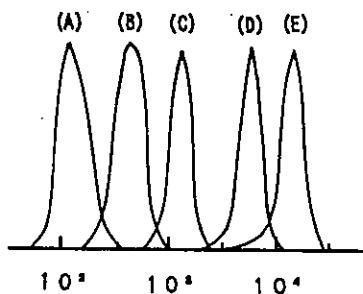
\*\* 工業技術院物質工学工業技術研究所

\*\*\* 備後原総合研究所



分離膜としては、親水性の高い限外ろ過膜で、カタログ表示の分子量分画特性が10,000のAmicon社製のポリサッカライド製限外ろ過膜YM-10(Lot. No. AD02536A)を使用した。

試験液には、純水およびPEG水溶液を用いたが、その溶質分であるPEGは、図2に示すようなGPCクロマトグラムで分布が単分散でシャープなピークを示す和光純薬工業社製の分子量200、600、2,000、6,000のものとFluka社製の分子量20,000のものを使用した。PEG水溶液としては、各分子量のものを0.1~1.5wt%含む水溶液を用い、その濃度はGPC液体クロマトグラフ（カラム：東ソー社製、T SKge1G3000PW<sub>XL</sub>）で測定した。



(A) M.W. = 200 (B) M.W. = 600 (C) M.W. = 2000  
(D) M.W. = 6000 (E) M.W. = 20000

図2 PEGの分子量分布

なお、膜性能は、次式で求めた体積流の膜透過流束Qと、PEGの阻止率Rで評価した。

$$Q = \frac{\text{膜透過液量}}{\text{有効膜面積} \times \text{時間}}$$

単位：(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d)

$$R = \left(1 - \frac{\text{膜透過液濃度}}{\text{原液濃度}}\right) \times 100$$

単位：(%)

### 3. 結果および考察

#### 3.1 純水の膜透過流束

膜透過流束におよぼす操作圧力の影響について、純水を用いて調べた結果を図3に示す。この場合、操作圧力は6→5→4→3→2→1→2→3→4→5→6kgf/cm<sup>2</sup>と順番に1kgf/cm<sup>2</sup>ずつ変化させ、それぞれ所定の圧力にし、約1時間後の膜透過挙動が比較的安定してから膜透過流束を測定した。

操作圧力が3kgf/cm<sup>2</sup>以下では、圧力を下げていく場合と上げていく場合のどちらの場合も、膜透過流束にあまり差がなく、膜透過流束は操作圧力に対してほぼ比例関

係を示し、膜透過におよぼす圧密化の影響はあまり認められなかった。しかし、圧力がそれ以上高くなると、この直線から次第に下方にずれ始め、膜が圧密化する傾向が認められた。

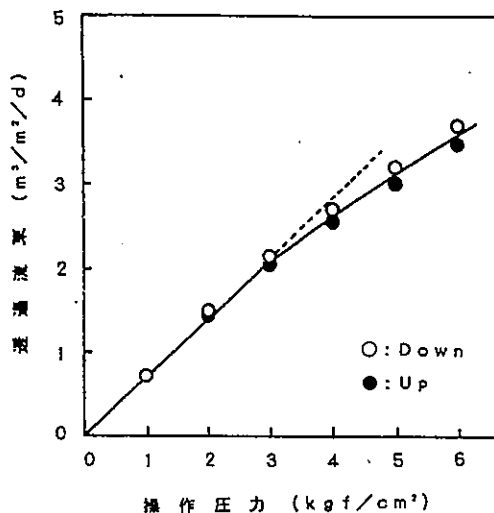


図3 操作圧力と透過流束の関係

このことから、圧密化を防ぎ再現性のある安定した膜透過流束値を得るには、操作圧力はおおむね1~3kgf/cm<sup>2</sup>の範囲内で測定することが望ましいと判断された。

#### 3.2 分子量分画特性

##### 3.2.1 単成分PEG水溶液を用いた場合

まず、それぞれのPEGを0.3wt%の濃度に調整した単成分の水溶液を用いて、そのPEG阻止率を順番に測定する従来法により<sup>1)</sup>、分子量分画特性を測定した結果について図4に示す。得られた分子量分画曲線は約2桁にわたっ

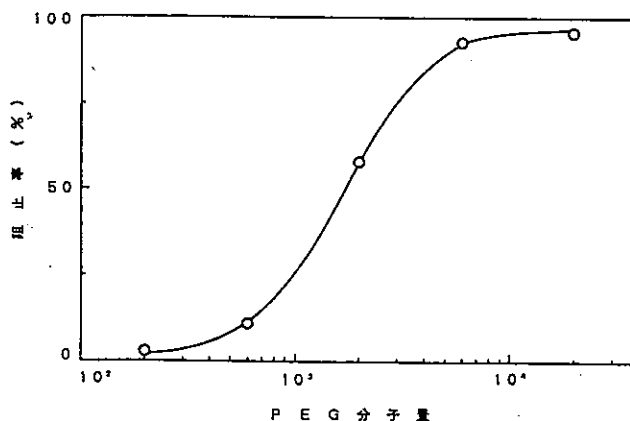


図4 単成分系PEGによる分子量分画特性  
操作圧力：3kgf/cm<sup>2</sup>と原液濃度：0.3wt%PEG

ており、あまりシャープではなかったが、分子量10,000以上のPEGに対してはその阻止率が95%を越えていた。

また、その時の透過流束を図5に示す。PEGの分子量が高くなるにつれて透過流束が徐々に減少する傾向を示しているが、これは、分子量が高くなると阻止率が高くなるため、膜表面での濃度分極が顕著になり、膜表面にゲル層が形成され有効圧力差が減少するためと考えられる。

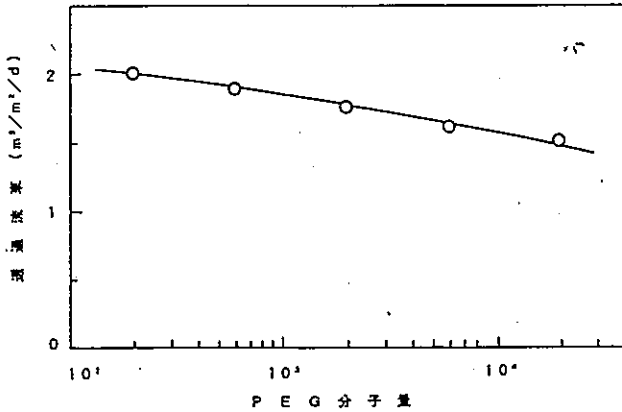


図5 PEG分子量と透過流束の関係  
操作圧力：3kgf/cm<sup>2</sup> 原液濃度：0.3wt%PEG

3.2.2 混合成分系PEG水溶液を用いた測定

次に、PEG混合系水溶液を用いて一度の測定で分子量分画特性を得ることができるかどうかを調べてみた。

図2に示したようにGPC液体クロマトグラフで分離が可能な5種類のPEGを混合させた水溶液を用いて、一度で測定した結果を図6に示す。なお、同図には比較のため、図4に示した単成分系PEG水溶液を用いて測定した結果も示した。混合系のPEGで得られた阻止率は単成分系で得られたものとほぼ一致し、見かけ上その干渉効果は認められず、混合系のPEG水溶液を用いた一度の測定で分子量分画特性を得ることが十分可能であることがわかった。参考のため図7に、原液と膜透過液のGPCクロマトグラムの例を示す。

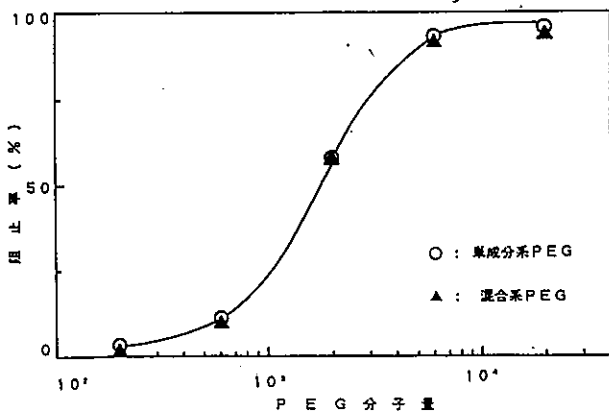


図6 PEGの分子量分画特性  
操作圧力：3kgf/cm<sup>2</sup> 原液濃度：0.3wt%PEG

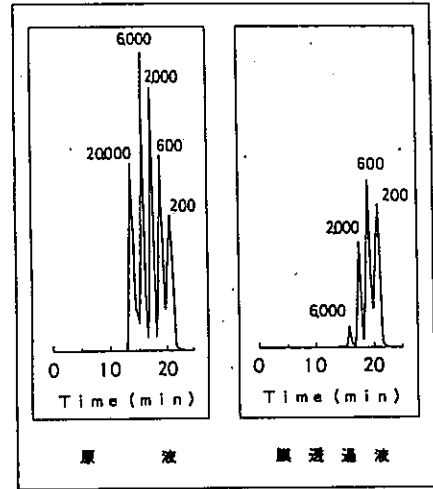


図7 PEGのGPCクロマトグラム

3.3 PEG濃度の影響

次に、上記の混合系PEG水溶液を用いて、その濃度の影響を調べた結果を表1に示す。この場合、トータル濃度を変えてもPEGの混合比率は常に一定とした。

阻止率については、濃度の影響が比較的少なく、これらの値を図6上にプロットしてみてもその分画分子量曲線の形状はほとんど変わらなかった。

しかし、透過流束についてはトータル濃度が0.3wt%まではその変化は比較的少ないが、それ以上に濃度が高くなるとかなり低下してくる。この膜透過流束の低下は、PEG濃度の増加により浸透圧が高くなり有効圧力差が減少するためと思われる。

表1 混合系PEGによる濃度の影響

PEG濃度 (wt%)	透過流束 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)	阻止率 (%)		
		PEG600	PEG2000	PEG6000
0.1	1.75	10.3	46.9	93.0
0.3	1.69	9.6	48.5	93.1
0.6	1.55	8.9	48.7	94.2
1.0	1.41	6.9	45.0	94.1
1.5	1.31	6.8	45.8	95.6

したがって、トータルPEG濃度が少なくとも0.6wt%程度以下であるならば、測定するPEG濃度が異なっても分子量分画特性にはほとんど影響がないことがわかった。

3.4 濃度分極の影響

3.4.1 攪拌速度の影響

濃度分極の影響を調べるため、まず、PEG6,000の0.3wt%水溶液を用いて、スターラの回転速度を変えた場合のPEG阻止率と膜透過流束の変化を測定し、膜面の攪拌効果を調べてみた。その結果を図8と図9に示す。

阻止率については、少なくともその回転数を800rpm (スターラの先端速度は約170cm/sec) 以上にすればほ

ば一定の値が得られることがわかった。しかし、同図にも示されているように、操作圧力の影響は明らかに認められた。

膜透過流束については、操作圧力が高くなるほど回転速度の影響が大きく現れ、濃度分極が極めて顕著になることがわかった。

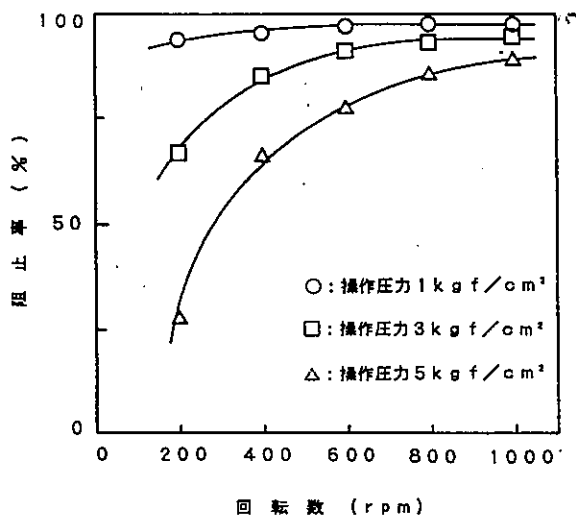


図8 操作圧力と攪拌速度と阻止率の関係  
試験液：0.3wt%PEG6000水溶液

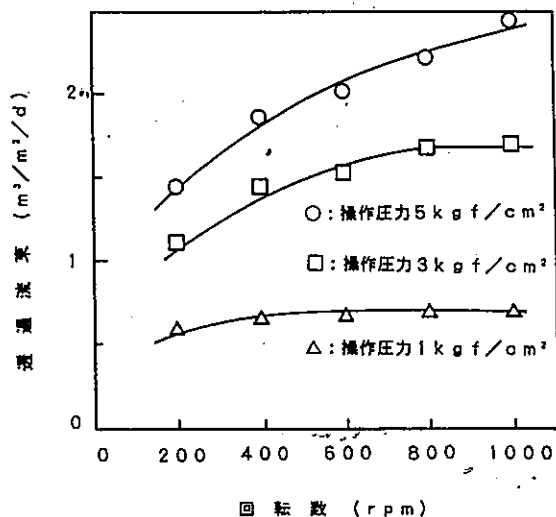


図9 操作圧力と攪拌速度と透過流束の関係  
試験液：0.3wt%PEG6000水溶液

### 3.4.2 操作圧力の影響

上記のように、操作圧力が高くなると濃度分極の影響が大きくなることがわかったため、分子量の異なるPEG（単成分）の0.3wt%水溶液を用いて、阻止率におよぼす操作圧力の影響をさらに詳しく調べてみた。その結果を図10に示す。

阻止率の低い分子量200と600のPEGでは、圧力の上昇とともに阻止率もわずかながら上昇する傾向がみられた。この場合は、阻止率は極めて低く濃度分極の影響はほとんどないと考えられるため、操作圧力の増加とともに水

の透過流束が増え、その増加がわずかではあるが阻止率を示すPEGの透過の増加を上廻ることにより、結果的に阻止率が増加するものと考えられた。

高い阻止率を示す分子量6,000以上のPEGの場合には、逆に操作圧力が高くなるほど阻止率が低下する傾向を示しているが、これは濃度分極の影響によるものと考えられる。しかし、圧力が3kgf/cm<sup>2</sup>でも95%近い阻止率を示している。

その中間的な阻止率を示す分子量2,000のPEGでは、操作圧力1~2kgf/cm<sup>2</sup>のときに極大値を示し、その挙動も中間的な様相を示した。

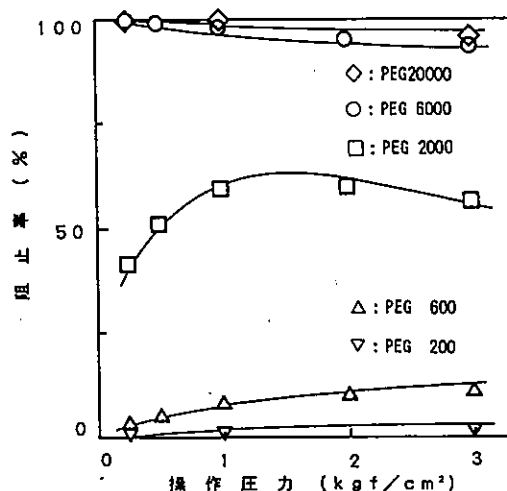


図10 操作圧力とPEG分子量と阻止率の関係  
原液濃度：0.3wt%PEG

これらの結果から、操作圧力が高くなると膜透過流束が増加し、ある程度以上の阻止率を示す膜では一般に濃度分極が出てくるが、操作圧力を3kgf/cm<sup>2</sup>程度以下にして膜透過流束をあまり大きくせず、スターラの回転速度を高めるなどして膜面の流速を十分高くすることにより、その影響は事実上無視できることがわかった。

## 4. 結論

市販の限外ろ過膜を用いて、その分画特性の評価方法を検討し、以下の結果を得た。

- ①膜の圧密化および濃度分極の影響を避けるため、測定は操作圧力1~3kgf/cm<sup>2</sup>の範囲で行うのが望ましい。
- ②膜面付近の濃度分極の影響を事実上無視できるようにするためには、スターラの回転数を800rpm（先端速度で約170cm/sec）以上にする必要がある。
- ③単成分系、混成成分系いずれのPEGであっても、分子量が同じであれば、ほぼ同一の阻止率が得られ、その干渉効果は認められない。
- ④したがって、GPC液体クロマトグラムでピークの分離が可能である5種類のPEGを含む水溶液を試験溶液として使うことにより、その膜の分子量分画曲線を一度の測定で得ることができる。

⑤この場合、PEGのトータル濃度は、0.6wt%程度以下にすることが望ましい。

2)柳下宏他, 膜, 15(2), 56(1990).

3)大矢晴彦他, 膜, 14(1), 88(1989).

4)橋本光一, "人工膜の性能評価法", 74(1981).

文 献

1)R. W. Baker and H. Strathmann, J. Appl. Polym. Sci., 14, 1197(1970).

## 機能性木材の開発

永山 賛平\*

### Development of Functional Woods

Sanpei NAGAYAMA\*

木材へ機能性をもたせる方法として、無機物（水溶性の物質）を木材中で生成複合させ、難燃性、防腐蚀性、防虫性、耐候性、耐摩耗性を付加した機能性のある木質材料（無機質複合化木材）の開発を試みた。県産材を用いた無機質複合化木材の製造とその若干の機能評価試験を行った結果、硬さ、耐摩耗性、難燃性に優れた木質材料を製造できることを見いだした。また、難燃性に関しては、JIS A 1321に規定されている難燃3級の基準値に適合する無機質複合化木材の製造方法4種を見いだすことができた。

#### 1. はじめに

木材は多くの長所を有しているが、短所も多い。そのうちとくに、木材を建築材料として使用する場合、腐朽、燃え易さが最大の欠点となる。そのため、大規模建築などへの使用が制限されてきた。そこで、これらの欠点を補うために、長年にわたり、木材の防腐蚀化、難燃化の試みがなされてきた<sup>1, 2)</sup>。現在これらに対応するため種々の薬液処理方法についての検討が行われている<sup>3, 4)</sup>。しかし、これらの方法は性能の維持や環境への安全性が問題とされている<sup>5)</sup>。このような点から、機能や安全性の面から従来から採られている薬液処理以外の方法が模索されてきた。これは、無機物（水溶性の物質）を木材中で生成複合させ、難燃性、防腐蚀性、防虫性、耐候性、耐摩耗性を付加した機能性のある木質材料（無機質複合化木材）の開発の試みである<sup>6, 7)</sup>。

本研究では、前述の性能を付加した材料の開発を目指し、県産材を用いた無機質複合化木材の製造とその若干の機能評価試験（主に燃焼試験）を行い実用化への可能性を検討した。

#### 2. 実験及び実験方法

##### 2.1 二重拡散法による製造条件

本研究では、成分の異なる二種類の溶液に木材を浸漬し、木材中に水不溶性の反応生成物（無機質複合物）を

形成させる二重拡散法を用いた。二重拡散法による製造フローは、図1の通りである。

無機質複合化のためには、試料があらかじめ高い含水率状態になっていることが必要である。そこでまず、水温を変えた場合の水中浸漬法及び真空デシケータを用いた減圧注入法により木材の時間的な含水率変化を測定し、飽水化の検討を行った。次に、飽水状態の木材を、I液（塩化バリウム＋ほう酸）、II液（りん酸水素アンモニウム＋ほう酸）の、いずれも飽和溶液に浸漬して無機質複合物を形成させた。

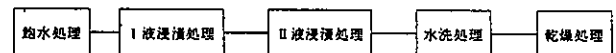


図1 二重拡散法による無機質複合化木材の製造工程

##### 2.2 浸漬繰り返しによる製造条件

試料が大きくなると、二重拡散法1回処理では、木材中に形成される無機物の量が少なく、目的とする性能を満足しないことが考えられる。そこで二重拡散法での浸漬時間、繰り返し回数を変えた場合の重量増加率の変化を検討した。

##### 2.3 機能評価試験

本研究で、無機複合化した木材について、以下の機能について試験を行った。

- (1) 硬さ試験：試験方法はJIS Z 2117に従った。
- (2) 摩耗試験：試験方法はJIS A 1453に従った。
- (3) 強度試験：試験方法はJIS Z 2111, 2113に従った。
- (4) 吸湿試験：試験方法はJIS Z 2101に従った。

\* 材料開発部

(5) 耐候性試験：試験は屋外暴露によって行った。本試験には、スギ、ヒノキの無処理材及び二重拡散法により製造した無機質複合木材(処理材：12×55×210mm)それぞれ2枚ずつを試料として用いた。この試料を当センター屋上で、南面30度で、10ヶ月間屋外暴露試験を行った。試験開始後一定期間ごとに表面のL\*a\*b\*表色系についてカラーテストを用いて、一つの試料について3ヶ所ずつ、測定箇所が同一となるような型枠を用いて測色した。また目視により外観の変化を観察した。屋外暴露後の試料については、輪郭形状測定機を用いて表面形状を測定した。また屋外暴露前後において、試料の内部で無機物がどのような状態を保っているかをSEMを用いて観察した。

(6) 難燃性試験 試験方法はJIS A 1321に従った。

#### 2.4 難燃性付与を目的とする製造方法

二重拡散法において、難燃3級の基準値を満足する無機質複合木材を製造するためには浸漬繰り返し2~3回の処理が必要である。このため製造時間が長くなり、また高温の水溶液中に浸漬するため材色の変化が大きくなるなどの欠点が考えられる。そこで製造時間の短縮及び製造方法の改良を目的として以下の実験を行った。

##### 2.4.1 減圧注入法による製造方法

二重拡散法においては、試料が十分に飽水化されることが前提条件となる。この飽水化の過程を省略して直接I、II液を試料に注入し、目的とする難燃3級の基準値を満足する複合木材を製造する方法の検討を行った。用いた試験片はスギ材(気乾材：120×240×9mm)であり、製造方法は次のとおりである。

- (1) 排気(30min) - I液減圧注入(2hr) - II液浸漬(60°C 24hr)
- (2) 排気(30min) - II液減圧注入(2hr) - I液浸漬(60°C 24hr)
- (3) 排気(30min) - I液減圧注入(2hr) - 乾燥(75°C 72hr) - 排気(30min) - II液減圧注入(2hr)
- (4) 排気(30min) - I液減圧注入(2hr) - 減圧乾燥(25°C 1hr) - 排気(30min) - II液減圧注入(2hr)
- (5) 排気(30min) - II液減圧注入(2hr) - 乾燥(75°C 72hr) - 排気(30min) - I液減圧注入(2hr)
- (6) 排気(30min) - II液減圧注入(2hr) - 減圧乾燥(25°C 1hr) - 排気(30min) - I液減圧注入(2hr)

##### 2.4.2 加圧注入法による製造方法

材色の変化が大きく、製造時間の長い二重拡散法にかわる方法として、加圧注入装置を用いた無機質複合木材の製造方法の検討を行った。用いた試験片はスギ材(240×240×12mm)であり、製造方法は次のとおりである。

- (1) 前排気(15min) - I液加圧注入(10kgf/cm<sup>2</sup> 30min) - II液浸漬(60°C 24hr)
- (2) 前排気(15min) - I液加圧注入(10kgf/cm<sup>2</sup> 60min) -

- II液浸漬(60°C 24hr)
- (3) 前排気(15min) - I液加圧注入(20kgf/cm<sup>2</sup> 30min) - II液浸漬(60°C 24hr)
- (4) 前排気(15min) - I液加圧注入(20kgf/cm<sup>2</sup> 60min) - II液浸漬(60°C 24hr)
- (5) 前排気(30min) - I液加圧注入(10kgf/cm<sup>2</sup> 30min) - II液浸漬(60°C 24hr)
- (6) 前排気(15min) - I液加圧注入(10kgf/cm<sup>2</sup> 5min) - II液加圧加入(10kgf/cm<sup>2</sup> 10min)
- (7) 前排気(15min) - I液加圧注入(10kgf/cm<sup>2</sup> 15min) - II液加圧加入(20kgf/cm<sup>2</sup> 20min)
- (8) 前排気(15min) - I液加圧注入(10kgf/cm<sup>2</sup> 15min) - II液加圧加入(10kgf/cm<sup>2</sup> 10min)
- (9) 前排気(15min) - I液加圧注入(10kgf/cm<sup>2</sup> 10min) - II液加圧加入(20kgf/cm<sup>2</sup> 20min)

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 二重拡散法による製造条件の検討

##### 3.1.1 飽水化試験

表1に飽水化の試験結果を示す。本表から、浸漬法に

表1 飽水化試験結果

温度(°C) \ 時間(hr)		0	8	24	48	72
浸漬法	常温(20~25)	9.9	78.7	101	115	127
	40	10.3	76.4	97.0	114	128
	60	10.3	87.9	114	141	161
	80	11.3	85.0	109	132	145
減圧法	\ 時間(min)	0	7	14	21	28
	常温 (減圧度20toor)	6.4	153	210	224	229

\*試験片：スギ 55×140×4 (mm) (各5片) 単位：%

おいては、木材を水に浸漬後24時間で含水率100%に達し、その後緩やかに上昇し、72時間で130~160%まで増加する。しかしながら、減圧注入法では、7分ですでに150%、14分で210%の含水率に達することが示される。本研究に用いられる拡散処理においては、溶質の拡散経路が連続していることが必要で、そのためには、木材ができるだけ高い含水率状態に達していることが望ましい。ところが浸漬法では、細胞空隙などに含まれる空気などが障害となり、木材の含水率を200%以上にするには、かなり長時間の浸漬が必要となる。したがって、木材の飽水化には減圧法を用いることが適切と考えられる。また、浸漬温度と含水率変化の関係をみると、50°Cで最大値を示す傾向がみられる。ただ、温度が上昇すると、材色の変化が大きくなる傾向がみられた。

##### 3.1.2 浸漬温度及び時間と無機質複合化状況

図2に無機質含有溶液の浸漬温度と木材中の無機物の

重量増加率との関係を示す。本図からスギ、ヒノキともに60℃で重量増加率の最大値が得られている。このことから、重量増加率にとって最適な浸漬温度は60℃前後であるといえる。次に最適浸漬時間をみるため、60℃における浸漬時間と無機物の重量増加率との関係を求めた結

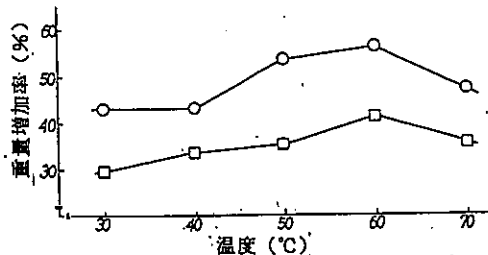


図2 浸漬温度と重量増加率との関係  
○:スギ □:ヒノキ

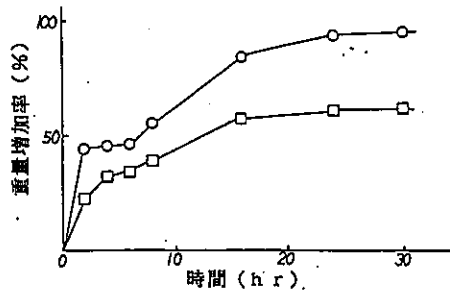


図3 浸漬時間と重量増加率との関係  
○:スギ □:ヒノキ

果を図3に示す。本図よりスギ、ヒノキともに、浸漬時間6時間までの重量増加率は極めて少なく、8時間後から18時間まで増加率の上昇がみられ、その後24時間まで増加率の漸増がみられる。それ以上の浸漬時間では、増加率は一定であることが示された。以上の結果から、無機質複合化木材の製造条件としては、I、II液ともに浸漬温度、時間は60℃、24時間が最適であると考えられる。

### 3.2 浸漬繰り返しによる製造条件の検討

浸漬繰り返しによる試験結果を表2に示す。予備の燃

表2 二重拡散法の浸漬、繰り返しによる試験結果

浸漬時間 (hr)		繰り返し回数	総時間 (hr)	重量増加率 (%)	
I液	II液			スギ	ヒノキ
4	4	1	8	28.8	-
4	4	2	16	57.9	53.8
4	4	3	24	56.2	63.3
8	8	1	16	51.4	45.1
8	8	2	32	83.8	77.4
8	8	3	48	97.6	82.6
24	24	1	48	57.4	51.4
24	24	2	96	98.6	72.1
24	24	3	144	123	80.6

燃試験を行った結果、難燃3級の基準に合格したのは、重量増加率がスギで88%以上、ヒノキで68%以上であった。今回の試験において、スギの場合、難燃3級の基準に合格すると予想される重量増加率90%を得るためには、本

表から明らかのように、24-24(hr)の浸漬で、繰り返し2回、8-8(hr)の浸漬で繰り返し回数3回が必要である。これを製造に要する時間数でみると、96時間と48時間となり、8-8(hr)での浸漬、繰り返しのほうが、手間はかかるが製造時間は大幅に短縮できることが明かである。一方、ヒノキにおいては難燃3級の基準に合格すると予想される増加率70%を得るためには、材のバラツキを考慮しても8-8(hr)での浸漬、繰り返し回数2回、総時間32時間で十分であると考えられる。

以上の結果から明らかのように、二重拡散法においては、I、II液の浸漬時間よりも繰り返し回数の方が重量増加率に対する効果が大きいことが明かである。

### 3.3 機能評価試験

#### 3.3.1 硬さ試験

試験結果を表3に示す。スギ、ヒノキともに、処理材

表3 硬さ試験結果

		硬さ (MPa)	
		処理材	無処理材
スギ	9.2	5.2	
ヒノキ	22.2	13.5	

(無機質複合化木材)の値が、無処理材の約1.5倍を示した。これは処理材では、反応生成物が表面に近い部分に多く存在する事が観察され、その影響が硬さ値の上昇につながったものと思われる。

#### 3.3.2 摩耗試験

試験結果を表4に示す。表から明らかのように、処理

表4 磨耗試験結果

	深さ (mm)				変化率 (%)	
	早材部		晩材部		処理材	無処理材
	処理材	無処理材	処理材	無処理材		
スギ	0.26	0.56	0.07	0.10	16.4	50.7
ヒノキ	0.30	0.56	0.12	0.31	29.1	45.4

材無処理材の摩耗深さの差が、スギ、ヒノキともに、早材部において顕著であった。これは無機物が、早材部に多く存在するため、この部分の硬度が上昇したためであると思われる。また、摩耗面積の変化率には、スギ、ヒノキの樹種による差がみられ、処理木材のスギの変化率の差が顕著(ヒノキの約2倍)に示され、スギにおける高い処理効果が明かである。

#### 3.3.3 強度試験

試験結果を表5に示す。圧縮強さでは、スギ、ヒノキともに処理材の値が無処理材に比べ若干高い傾向を示している。これは、木材中の無機物が早材部に多く存在するためであると考えられる。一方、曲げ強さでは逆に処

表5 強度試験結果

	圧縮強さ (MPa)		曲げ強さ (MPa)	
	処理材	無処理材	処理材	無処理材
スギ	28.1	24.4	47.2	51.5
ヒノキ	36.3	36.1	63.7	75.1

理材の値が低下している。これは製造方法に由来するもので、高温の水溶液中に木材を浸漬する事により木材が変質し、その結果強度が低下したのではないかと考えられる。

3.3.4 吸湿試験

試験結果を表6に示す。スギ、ヒノキともに処理材の平均膨張率は無処理材に比べ高い値を示している。FE-

表6 吸湿試験結果

	スギ		ヒノキ	
	処理材	無処理材	処理材	無処理材
平衡含水率 A (%)	8.6	12.2	8.5	12.1
平衡含水率 B (%)	13.0	17.5	13.0	17.0
平均膨張率 A (%)	0.086	0.059	0.167	0.052
平均膨張率 B (%)	0.366	0.147	0.212	0.172

\* 平衡含水率 A : 温度40℃湿度75%における平衡含水率  
 " B : " " 90% "  
 平均膨張率 A : 含水率1%に対する半径方向の平均膨張率  
 " B : " " 接線方向 "

SEMによると、処理木材の内部には無機物(りん酸バリウム)以外に、未反応の物質(塩化バリウム、りん酸水素アンモニウム)が残存していることが観察された。一般にりん酸水素アンモニウムは吸湿性が高いことで知られている。このため処理木材の吸湿量が多くなり、その結果として平均膨張率も高い値を示したものと思われる。

3.3.5 耐候性試験

(1) 目視による外観の変化

屋外暴露後約2週間経過以後、スギ、ヒノキともに処理材は白色度が、無処理材は黒色度が増える傾向を示した。また、木口面での青ごけの付着が無処理材では1ヶ月、処理材では6ヶ月経過後にみられた。1ヶ月を経過すると幅ざりが顕著となり、5ヶ月を経過すると木口面に割れが発生し始め、次第に広がる傾向を示した。ただ、これらの傾向には処理材、無処理材での差はみられなかった。

(2) 表面形状及び中心線平均粗さ

暴露試験後の早材部と晩材部の凹凸の差及び中心線平均粗さの測定結果を表7に示す。表面形状測定によると、スギ、ヒノキともに幅ざりの量は処理材、無処理材でほとんど差がみられなかったが、早材部と晩材部の凹凸の差は、無処理材がスギで約1.5倍、ヒノキで約3倍高

表7 表面形状測定結果

材料区分	凹凸の差 (mm)	中心線平均粗さ* Ra (μm)
スギ(処理)	0.19	2.6
スギ(無処理)	0.32	7.1
ヒノキ(処理)	0.04	1.1
ヒノキ(無処理)	0.12	2.6

表7

\* Ra値 (λc) 値 2.5mm 測定長さ 12.5mm

い値を示した。処理材では、無機物が柔らかい早材部に多く存在するために暴露による影響を受けにくかったことを示しているといえる。中心線平均粗さについても同じ傾向がみられ、処理材より無処理材の粗さが顕著であった。

(3) L\*a\*b\*及びΔE\*の変化

図4に屋外暴露試験によるL\*値(明度)の変化を示す。

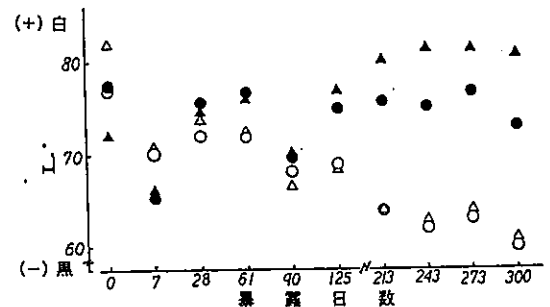


図4 屋外暴露によるL\*値の変化

●: スギ処理材 ○: スギ無処理材 ▲: ヒノキ処理材 △: ヒノキ無処理材

本図からスギ、ヒノキともに処理材はL\*値が低下することを示している。この結果は無処理材は表面が黒化していくこと、つまり屋外暴露により表面が汚染される傾向を示しているといえる。一方、処理材は測定毎に多少のバラツキはあるものの、スギのL\*値の低下はわずかであり、ヒノキでは逆にわずかに増加し、白色化が進む傾向を示している。すなわち処理材はスギ、ヒノキともに屋外暴露による表面の汚染が少ない傾向を示しているといえる。また処理材は暴露日数約200日を経過するとL\*値はほぼ一定となり、変化が少なくなる傾向を示した。

次にa\*値、b\*値の変化を図5、6に示す。a\*値は(+)

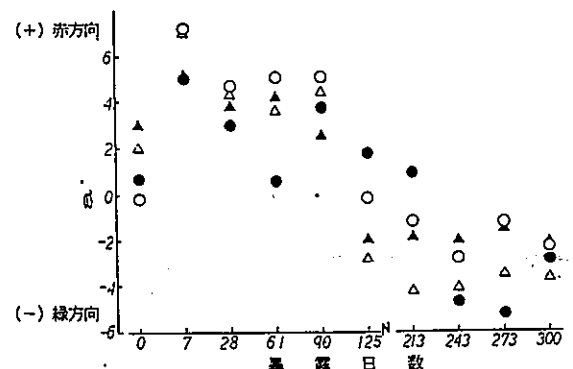


図5 屋外暴露によるa\*の変化

●: スギ処理材 ○: スギ無処理材 ▲: ヒノキ処理材 △: ヒノキ無処理材



赤方向、(-) 緑方向を示し、b\*は (+) 黄方向 (-) 青方向を示す。図から明らかなように、屋外暴露初期において処理材、無処理材ともに赤色化、黄色化傾向を示し、L\*値と同様、暴露日数200日を経過するとほぼ一定となり、青色化、緑色化の傾向を示した。

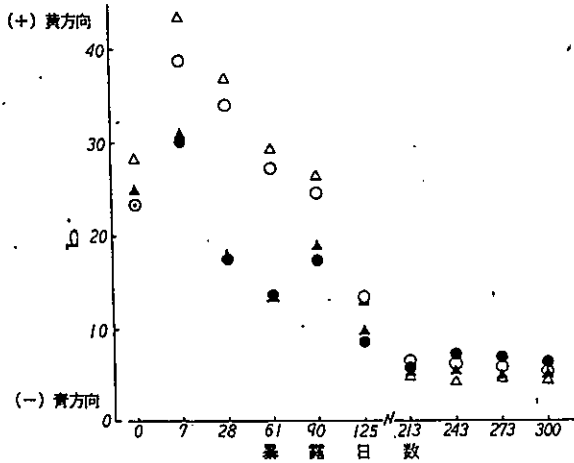


図6 屋外暴露によるb\*の変化

●: Sugi 処理材 ○: Sugi 無処理材 ▲: Hinoki 処理材 △: Hinoki 無処理材

図7に色差(ΔE\*)の変化を示す。処理材のΔE\*値

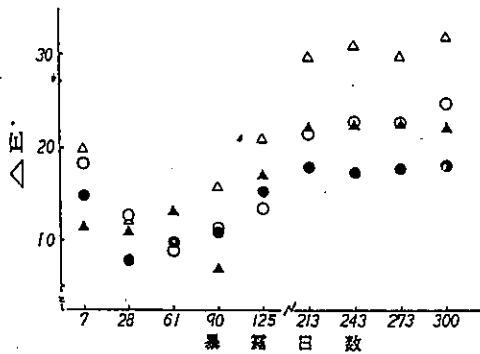


図7 屋外暴露によるΔE\*の変化

●: Sugi 処理材 ○: Sugi 無処理材 ▲: Hinoki 処理材 △: Hinoki 無処理材

は試験開始後1週間で大きく変化するが、その後徐々に減少し、約3ヶ月をすぎると逆に増加し、7ヶ月を過ぎるとほぼ一定の値となる。無処理材も同様の傾向を示すが増加に転じる日数が約1ヶ月早い。暴露試験後の値はスギ、ヒノキとも無処理材の方が大きい値を示しているがスギよりもヒノキの方がその差が大きい。つまり、屋外暴露によって処理、無処理の別なく変色はするが、スギよりもヒノキが処理による耐変色効果が大きいことを示している。

(4) SEM像の観察

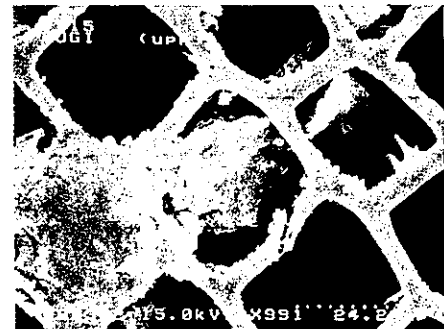
図8に屋外暴露前後のSEM像を示す。

屋外暴露試験前の試料では、少なくとも表層部に形状の類似した結晶の成長がみられたが、暴露後の試料におい

ては、その形状は変化し、残存量も減少していた。また暴露後の試料の重量が、暴露前に比べて減少していた。これらの結果は、試験中の雨露の影響を受けて結晶の形が変化し、さらに無機物は水不溶ではあるが、木材中の細胞組織とは結合していないため、試験中、組織内部に侵入した水分により細胞腔等を通じて外部に流出したものである。



暴露前



暴露後

図8 屋外暴露前後のSEM像

3.3.6 難燃性試験

(1) 重量増加率の差異による難燃性試験

表8に二重拡散法により製造した無機質複合化木材の

表8 重量増加率の差異による難燃性試験結果

	難燃3級基準値	材料区分					
		スギ		ヒノキ			
		50.4	88.6	123	51.4	68.5	50.6
突起の有無	なし	あり	なし	なし	あり	なし	なし
裏面の亀裂幅	全厚の1/10以下	>1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10
溶融の有無	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
残炭	加熱終了後30秒以下	30	29	20	28	0	0
排気温度	3分以内に標準曲線を超えないこと	<3	>3	>3	>3	>3	>3
発煙係数	t d θ = 350以下	>350	141	85	100	30	24
	C <sub>A</sub> = 120以下	35	39	28	75	38	42
判定		×	○	○	△	○	○

重量増加率の差異による難燃性試験結果と難燃3級の基準値を示す。用いた試験片はスギ及びヒノキの単板(220×220×9mm)である。

本結果から重量増加率88.6%及び123%のスギ、68.5%及

び80.6%のヒノキが難燃3級の基準値を満たしていることが示されている。また51.4%のヒノキの場合はわずかに基準値を満たしていない。このことは、無機物の重量増加率がスギで約90%、ヒノキの場合は材がもともと燃えにくいことにもよると思われるが、約70%を越えるものについては基準値をクリアーすることを示したといえる。

### (2) 試験材の厚さの差異による難燃性試験

表9に材の厚さの差異による難燃性試験結果を示す。

表9 材の厚さの差異による難燃性試験結果

	難燃3級基準値	材料区分		スギ						ヒノキ							
		スギ	ヒノキ	6	9	12	6	9	12	6	9	12	6	9	12		
変形の有無	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
裏面の亀裂幅	全厚の1/10以下	>1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10	<1/10
溶解の有無	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
残炎	加熱終了後30秒以下	29	28	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
排気温度	3分以内に標準曲線を越えないこと	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3	>3
発煙係数	$t d \theta = 350$ 以下	136	120	141	126	24	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	$C_A = 120$ 以下	24	24	39	21	42	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
判定		×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

本結果から、厚さ6mmのスギの場合、重量増加率が10.2%であっても難燃3級の基準値に適合していない。これは裏面の亀裂が大きいのが原因であり、その他の項目は十分に満足している。厚さ9mm及び12mmにおいてはすべての項目について適合している。一方、ヒノキにおいては、厚さ6mmでも重量増加率が80%以上あると難燃3級の基準値に適合している。難燃性試験の項目で板厚による影響が大きいのは変形及び裏面における亀裂である。特にスギにおいては厚さ6mmの場合、たとえ重量増加率が100%以上であっても基準値をクリアーしないことが明らかとなった。つまりこのような薄板(6mm以下)を処理する場合には、合板にするなどの後加工が必要になるものと思われる。

### (3) 耐候性試験後の難燃性試験

耐候性試験後の難燃性試験結果を表10に示す。本表で

表10 難燃性試験結果

材料区分	スギ	ヒノキ
無機物量 A (g)	166	167
無機物量 B (g)	146	149
変形の有無	なし	なし
裏面の亀裂幅	<1/10	<1/10
溶解の有無	なし	なし
残炎	29	28
排気温度	>3	>3
発煙係数	291	127
	40	33

無機物量Aは耐候性試験前の、Bは試験後の試料中の無機物量を示す。本表から明らかなように耐候性試験による

無機物の減量はスギで20g、ヒノキで18gであるが、難燃性試験の結果は難燃3級の基準値をクリアーするものであった。耐候性試験において水分による無機物の減量は避けられないにしても、難燃材としての性能は維持できることを示したといえよう。

### 3.4 難燃性付与を目的とする製造方法の検討

#### 3.4.1 減圧注入法による製造方法の検討

減圧注入法により得られた結果を表11-1に示す。

表11-1 減圧注入法による試験結果

製造方法	重量増加率 (%)
①	70.8
②	52.4
③	47.5
④	41.8
⑤	24.2
⑥	16.8

表11-2 減圧注入法による試験結果

製造方法	重量増加率 (%)	排気時間(min)	注入時間(hr)	重量増加率 (%)	燃焼試験判定
①	70.8	30	2	70.8	×
②	52.4	30	3	80.8	△
③	47.5	30	4	80.5	△
④	41.8	60	2	68.8	×
⑤	24.2	60	3	90.6	○
⑥	16.8	60	4	89.6	○

表から明らかなように、効果が最も大きいのは①の方法である。③～⑥の方法は効果があまり認められなかった。これは途中の乾燥過程が障害となっているためではないかと考えられたので、③の方法で、乾燥過程を省略して試験を行ったが、結果は重量増加率が48.6%となり、乾燥過程を省略していない方法とほとんど差がみられなかった。次に①の方法で、難燃3級の基準値に適合するだけの無機物生成量を得るために、排気時間と注入時間を変えた場合の効果について検討した。結果を表11-2に示す。表より明らかなように排気(60min)－減圧注入(3hr)の組み合わせで重量増加率90%を得ることができ、燃焼試験の結果、難燃3級の基準値をクリアーした。

以上の結果、I液(塩化バリウム)を直接木材(気乾材)に注入し、その後II液(りん酸水素アンモニウム)に浸漬する方法で、本来の二重拡散法で製造したものより材色の変化が少なく、難燃3級の基準値にも適合する無機質複合化木材を製造できることが明らかとなった。

#### 3.4.2 加圧注入法による製造方法の検討

加圧注入法による試験結果を表12に示す。本結果から

表12 加圧注入法による試験結果

製造法	重量増加 (g)	燃焼試験判定
①	144	○
②	149	○
③	67.9	×
④	117	○
⑤	98.2	○
⑥	61.9	×
⑦	67.0	×
⑧	118	○
⑨	64.1	×

明らかなようにI液を直接木材(気乾材)に注入し、その後II液に浸漬する方法(①~⑤)では、ほとんどの方法で重量増加が100g以上を示し、また燃焼試験においても難燃3級の基準値をクリアしている。ただ③の方法で重量増加が少なかった。これは用いた試験片の心材率が高かったためと考えられる。

又、I、II液とも加圧注入する方法(⑥~⑨)では、⑧だけが重量増加100g以上で、燃焼試験でも難燃3級の基準値をクリアしている。これらの方法ではI、II液の注入量の割合が重要となってくるものと思われる。I液を注入しすぎるとII液の入る余地がなくなり、木材内部での反応が起こりにくく、反応生成物(無機物)量が少なくなり、I液が少なすぎても効果がなくなると考えられる。また、加圧力を上げすぎると試料の破損がおきたり、注入後液のしみだしがおきる傾向が見られたことから、加圧力は10~20kgf/cm<sup>2</sup>の範囲が適当であると考えられる。

以上の結果より、I液を直接木材に加圧注入し、その後II液に浸漬する方法及びI、II液を直接木材に加圧注入する方法のいずれにおいても、難燃3級の基準値に適合する無機質複合化木材が製造できることが明らかとなった。

#### 4. まとめ

本研究では機能性木材の開発のために製造方法の検討、機能評価試験等を行った。その結果

(1)二重拡散法において

- ①木材の飽水化には減圧注入法が適切と考えられる。
- ②無機質複合化木材の製造条件はI、II液ともに浸漬温度、時間は60℃、24時間が最適である。
- ③処理後の養生時間は必要でなく、また水洗時間は24時間で充分である。
- ④材が大きくなると、目的の性能を得るためには浸漬時間よりも繰り返し回数のほうが重量増加に対する効果が大きい。

(2)無機質複合化木材は硬さ、耐摩耗性、難燃性に優れている。

(3)無機質複合化木材の製造方法は以下のとおりである。

- ①飽水-I液浸漬-II液浸漬-水洗-乾燥
- ②I液減圧注入-II液浸漬-水洗-乾燥
- ③I液加圧注入-II液浸漬-水洗-乾燥
- ④I液加圧注入-II液加圧注入-水洗-乾燥

以上の4方法により、JIS A 1321に規定されている難燃3級の基準値に適合する無機質複合化木材を製造することができる。実用化のために、これらの方法をさらに検討し、より上質の無機質複合化木材を製造する予定である。

#### 謝 辞

最後に本研究の推進を通じて終始ご指導いただきました物質工学工業技術研究所、長澤長八郎主任研究官に厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1)日本木材学会研究分科会報告書：“木材の科学と利用技術”，No.5,(1989)
- 2)日本木材学会研究分科会報告書：“木材の科学と利用技術II”，No.2,(1991)
- 3)B.A.Richardson: Wood Preservation, Construction Press(1978)
- 4)日本木材保存協会編：“木材保存学”，文教出版(1982)
- 5)農水省林業試験場編：“木材工業ハンドブック”，丸善(1982)
- 6)平原正三：“変わる木材”海青社，54-62(1991)
- 7)西本孝一：セラミックウッドに関する研究，第1~3報，(財)建築研究協会，(1988~1990)

# 軽質炭酸カルシウムの合成

—石灰石の高度利用研究(第7報)—

内野義登志\* 末永知子\* 坂田一成\*

Synthesis of Light Calcium Carbonate

-Studies on Advanced Utilization of Limestone(7th Report)-

Yoshitoshi UCHINO\*, Tomoko SUENAGA\* and Issei SAKATA\*

前報<sup>1)</sup>に引続いて製紙用のフィラーとしての軽質炭酸カルシウム(以下軽質炭カルと略す)を製造する目的で合成条件の検討を行った。今回は消石灰濃度7%と15%について、前に行った10%を標準にして合成効率を比較した。その結果、液温35℃、消石灰濃度7%、炭酸ガス流量250ml/minのとき、所要反応時間230分と、比較的短時間で合成が可能であった。また、消石灰濃度15%、液温35℃、炭酸ガス流量750ml/minの場合、220分で反応が終了した。この生成物のアラゴナイト+カルサイトに対するアラゴナイトのX線回折強度比は67%となり、アラゴナイト生成量が最大となった。また電子顕微鏡観察(SEM像)の結果、形状はイガ栗状のアラゴナイトであることが確認できた。

## 1. 緒言

本研究では石灰石の高度利用を図るため、軽質炭カルの合成法について検討を行い製紙用フィラーとしての軽質炭カルへの応用を行う。すなわち、軽質炭カルを製紙用フィラーとして用いる場合は、プラスチックワイヤーの摩耗度が問題になるので、摩耗度の少ない軽質炭カルを得るため、結晶の形態制御を行って合成する方法について研究した。

前報<sup>1)</sup>において県内産の消石灰によって調製した消石灰乳に炭酸ガスを導入して、ガス液反応によって軽質炭カルを合成し、消石灰濃度10%、液温35℃、炭酸ガス流量250ml/minの場合が最良で、アラゴナイトのX線回折強度が1,072CPSと最も高く、一方カルサイトは851CPSとなることを明らかにした。しかし、この場合の欠点は反応所要時間が370分と時間が長くなることである。そこで、今回は反応時間の短縮を目指して消石灰乳の液温、濃度及び炭酸ガスの流量を変えて実験を行い、最適条件を求めるとともに、重質炭カルの摩耗度を測定し比較した。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験装置

実験装置として東京理科機械(株)製恒温水槽を用い、恒温水槽の温度調節には大洋科学工業(株)製の温調ユニット

T-2H型を用いた。

また、反応液の導電率及び温度の測定には京都電子工業(株)製デジタル導電率計CM-117型を用い、反応液の導電率及び温度の測定記録には理化電機工業製のプログラマブルペンレコーダモデルHR2300型を用いた。

X線回折装置は、理学電機(株)製RAD-II型を用い、更に生成微粒子の形状観察には(株)日立製作所製走査型電子顕微鏡S-4000型を用いた。摩耗試験は、日本フィルコン(株)製のNF式摩耗試験機を用いた。

### 2.2 実験材料

実験材料は、県内産消石灰及び炭酸ガス(純度99.5%)を用いた。

### 2.3 実験操作

恒温槽中で所定の温度に維持した1000mlのビーカーに800mlの蒸留水と56g(7%)又は120g(15%)の水酸化カルシウム(消石灰)を入れてよく攪拌して消石灰乳を調製した後、直ちに炭酸ガスを導入して記録計にて導電率と温度を自動記録した。反応の終点は山田ら<sup>2)</sup>の方法に従って導電率が最小の値を示す点とした。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 消石灰濃度

炭酸カルシウムの結晶の形態制御が反応温度、炭酸ガス流速、消石灰濃度の変化などにより可能<sup>3)</sup>である。したがって反応温度を15℃より50℃まで5℃間隔で、CO<sub>2</sub>流速を250、500、750、900ml/minと変化させ、消石灰濃度を7%として反応を行わせた。その結果を表1に示す。

\* 材料開発部

表1 炭酸カルシウム合成条件と合成品のX線分析結果 (7%石灰乳)

反応温度 (°C)	反応時間 (分)	CO <sub>2</sub> 流量 (ml/min)	アラゴナイト (CPS)	カルサイト (CPS)	アラゴナイト/(アラゴナイト+カルサイト) (%)
15	250	250	229	3,047	7
15	180	500	233	2,852	8
15	120	750	233	2,666	8
15	110	900	0	2,659	0
20	215	250	323	3,324	9
20	130	500	246	3,239	7
20	110	750	244	3,050	7
20	100	900	0	3,052	0
25	210	250	374	1,630	35
25	120	500	589	2,524	19
25	75	750	212	3,267	6
25	95	900	0	3,307	0
30	220	250	1,026	786	57
30	110	500	478	2,575	16
30	70	750	435	2,355	16
30	80	900	215	3,065	7
35	230	250	1,344	800	63
35	150	500	1,152	844	58
35	100	750	1,078	1,117	49
35	100	900	962	1,409	41
40	220	250	1,082	915	54
40	140	500	982	1,034	49
40	110	750	979	1,019	49
40	90	900	917	1,148	44
45	270	250	1,220	1,021	54
45	165	500	1,139	1,067	52
45	80	750	1,017	1,275	44
45	95	900	1,087	1,206	47
50	250	250	982	923	52
50	115	500	989	893	53
50	90	750	834	1,236	40
50	90	900	807	1,176	41

反応温度25°Cまではアラゴナイトの生成は少ない。しかし、30°C以上になると生成量が増加し、かつ炭酸ガス流量が少ない方がアラゴナイトは多く生成していることがわかる。なお、炭酸カルシウムの結晶形態はカルサイト、アラゴナイト、バテライトの3種類あり、それぞれ結晶形が異なっている。製紙用フィルターとして用いる場合は、イガグリ状アラゴナイトがプラスチックワイヤーの摩耗度が少ないので適していると一般に言われている。本実験では表1に示すとおり、消石灰7%の場合、反応温度35°C、炭酸ガス流速250ml/minがアラゴナイトを最も多く生成し、アラゴナイト+カルサイトとのX線回折強度比が63%と高い値を示した。

次に消石灰濃度を15%とし、液温と炭酸ガス流量を変化させ軽質炭カルを合成した。その結果を表2に示す。

表2 炭酸カルシウム合成条件と合成品のX線分析結果 (15%石灰乳)

反応温度 (°C)	反応時間 (分)	CO <sub>2</sub> 流量 (ml/min)	アラゴナイト (CPS)	カルサイト (CPS)	アラゴナイト/(アラゴナイト+カルサイト) (%)
15	190	750	0	2,682	0
15	205	900	54	2,668	2.0
20	200	750	0	3,098	0
25	190	750	732	1,156	38.8
30	205	750	990	678	60.0
35	220	750	1,042	510	67.1
40	410	500	1,026	709	59.1
45	210	900	1,017	727	58.3
50	220	900	970	880	52.4

15°Cと20°Cではアラゴナイトは殆ど生成しないが、25°Cでは急激に生成し、また30°C以上ではほぼ一定 (X線回折強度約1000CPS) となることがわかった。

反応温度35°C、炭酸ガス流量750ml/minのとき反応時間が220分かかった。このときアラゴナイトが最も多く生成し、表2に示すとおりアラゴナイト+カルサイトとのX線回折強度比が67%となった。また、電子顕微鏡写真 (SEM像) を図1に示す。図1より結晶形態として針状のアラゴナイトが凝集したイガグリ状を呈していることがわかる。

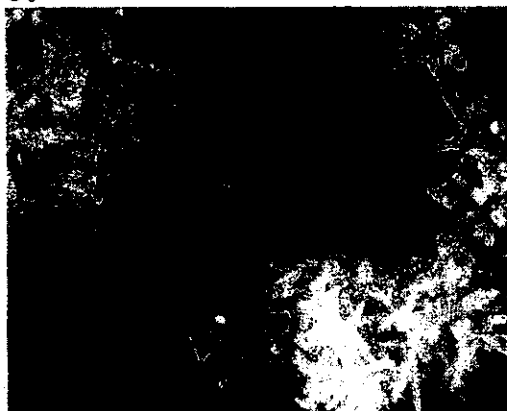


図1 合成炭酸カルシウムの走査型電子顕微鏡写真  
消石灰濃度15%・反応温度35°C・炭酸ガス流量750ml/分

### 3.2 炭酸ガス流量

前報における実験では消石灰濃度10%で炭酸ガスを吹き込んで軽質炭カルの合成を行ったが、今回は7%の濃度で反応を行わせ、炭カルの合成効率を検討した。効率の基準としては炭酸ガスの反応終点までの吹き込み時間数とした。そして次の様な計算式で炭酸ガスの流量減少を比率 (%) で表した。

$$\frac{a-b}{a} \times 100 = \text{所要炭酸ガス流量減少率}(\%)$$

a: 消石灰10%濃度のときの反応時間数(分)  
b: 消石灰7%濃度のときの反応時間数(分)

この値が30%のとき、比率は同じとなり所要炭酸ガス量で炭カル生成量が一致することになる。なお、30%より大きければ生成比率が良くなり、より少量の炭酸ガスで多量の炭カルが合成できることになり、効果が良いということになる。

本実験では、炭酸ガス吹き込み量250ml/minでは、液温35°C・消石灰濃度7%のとき所要炭酸ガス流量減少率は37.8%となり、その場合、表1に示したとおりX線回折強度からアラゴナイトの生成量も多くなっている。

一方、炭酸ガス流量500ml/minでは液温15°Cから50°Cまで全て流量減少率が小さくなった。すなわち、35°Cで反応させるなら消石灰濃度7%では、所要炭酸ガス流量減少率は16.7%となった。しかし、アラゴナイトのX線

回折強度が1,152CPSとなりかなり多く合成できることがわかった。

次に炭酸ガス流量750ml/minとして消石灰濃度10%及び15%について、所要炭酸ガス流量の増加率を比較した結果を表3に示す。

表3 炭酸ガス流量750ml/分における炭酸カルシウム合成実験結果

CO <sub>2</sub> 流量	750ml/min						
	所要反応時間		所要炭酸ガス流量増(%)	アラゴナイト生成量 X線回折強度(CPS)		カルサイト生成量 X線回折強度(CPS)	
	10%	15%		10%	15%	10%	15%
(°C)	(分)	(分)					
15	125	190	52	0	0	2,511	2,682
20	115	200	74	0	0	2,836	3,038
25	95	190	100	0	732	3,106	1,156
30	90	205	128	632	998	1,156	678
35	105	220	110	937	1,042	873	510
40	125	240	92	724	991	1,215	702
45	140	250	79	956	1,012	962	590
50	160	340	113	904	956	929	943

表3の所要炭酸ガス流量増加率は次式により求めた。

$$\frac{d-a}{a} \times 100 = \text{所要炭酸ガス流量増加率(\%)}$$

a:消石灰10%濃度の時の反応時間数(分)

d:消石灰15%濃度の時の反応時間数(分)

上式において炭酸ガス流量増加率が50%のとき、消石灰濃度増加率と一致することになり、これより多ければ所要炭酸ガス量が多くなり効率が落ちることを意味している。本実験では全て50%より多く、効率が悪くなった。しかしアラゴナイトを多く合成することが目標であるので、表3から明らかとなり、反応液温度35°C、所要炭酸ガス流量増加率110%として合成すると、アラゴナイトとカルサイト+アラゴナイト比(X線回折強度比:1,042/1,042+510)を求めると67%となり、アラゴナイト生成条件としては最良であることが判明した。また、反応時間数と炭酸ガス流量速度を掛け合わせた総反応流量を計算して比較しても、この場合が最も適当であると認められた。

### 3.3 摩耗試験機による製紙用プラスチックワイヤーの摩耗試験

合成した軽質炭カルの製紙用充填材としての品質を評価するため、プラスチックワイヤーの摩耗試験を行った。なお市販品も参考のため行った。表4にその結果を示す。最も摩耗度の少なかったのは消石灰濃度15%、液温35°C

の場合で、17.6mg/180分となった。この程度の摩耗であれば実用に供し得るのではないと思われる。

表4 抄紙機のプラスチックワイヤー摩耗試験結果

	試料名	摩耗量(mg/180分)
実施例 3-1	石灰乳、7wt%、35°C下合成	42.8
実施例 3-2	石灰乳、10wt%、35°C下合成	35.7
実施例 3-3	石灰乳、15wt%、35°C下合成	17.6
比較例 1	S社 軽質炭カル	320.2
比較例 2	K社 軽質炭カル	39.0
比較例 3	I社 重質炭カル	432.8

## 4. 要約

- (1) 消石灰濃度7%のとき、30°Cより液温が高くなると炭酸ガス流量が少ない方がアラゴナイト生成量は多くなり、特に反応温度35°C、炭酸ガス流量250ml/minの場合、炭酸ガス流量減少率が37.8%となり、かつアラゴナイトが多く生成し、アラゴナイト+カルサイトとのX線回折強度比が63.0%と高い値を示した。
- (2) 消石灰濃度15%の場合、反応温度35°C、炭酸ガス流量750ml/min炭酸ガス流量増加率を110%とした場合、アラゴナイトが最も多く生成し、アラゴナイト+カルサイトとのX線回折強度比が67.0%となり、また微粒子の形状観察から、結晶はイガグリ状となっており、本合成条件として最適であることが明らかとなった。
- (3) 15%消石灰乳液を35°Cに調節し、炭酸ガスを通じて合成した軽質炭カルは、プラスチックワイヤーの摩耗度を低く押さえ得ることがわかった。

## 文献

- 1) 内野義登志, 末永知子, 坂田一成: "軽質炭酸カルシウムの合成", 熊本県工業技術センター研究報告, No. 29, 75~78(1990)
- 2) 山田英夫, 原尚道: "Ca(OH)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>系反応によるコロイド状炭酸カルシウムの生成過程", 石膏と石灰, No.194, 3~12(1985)
- 3) 荒井康夫, 安江任: "炭酸カルシウムの形態制御", 石膏と石灰, No.228, 41~52(1990)

編集委員

出納正道

中村哲男	土谷紀美
坂本博宣	納寄克也
石松賢治	

---

熊本県工業技術センター研究報告 第32号

編集・発行 熊本県工業技術センター  
〒862 熊本市東町3丁目11-38  
TEL 096-368-2101  
FAX 096-369-1938

印刷所 (有)米田印刷  
〒860 熊本市坪井6丁目594  
TEL 096-345-0150  
FAX 096-345-2628

---