

熊本県工業技術センター
研究報告

第33号 平成6年度

REPORTS OF
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
No.33 1995

平成7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33号 (平成6年度) 平成7年11月

目 次

(報 文)

CAMにおける加工条件支援システムの開発	河北隆生
- CAD/CAMにおける各種支援システムの開発 -	高橋孝誠 1 池崎雅宣 細川義政
床衝撃音に対する木質複合材料へのゴムチップ充填効果及び鉛板の積層効果	中村哲男
-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2報) -	上田直行 5 大迫靖雄 矢野佳之
"CAD/CAMシステムのカスタマイズ化に関する研究(第1報)	池崎雅宣 12 高橋孝誠
未利用資源を活用したラッピング加工実験	村田 勝 16
周辺固定円板の横衝撃変形の数値解析	石水泰夫
-衝撃液圧成形法に関する研究-	藤田昌大 21 持原 稔 孝坂浩男 伊東 繁
結合材添加量による焼結材料の特性変化	上村 誠
-新素材粉末の射出成形法-	木村幹男 27 河野敏謙 中川博文
試作マイコンボードの近傍電磁界における磁界強度測定	
-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 33
試作マイコンボードの遠方電磁界における電磁波測定	
-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 38

K-NET規格機器の開発	宮川隆二
－中小企業向け電子計測制御標準プラットホームの開発－	上田直行 45
	城戸浩一
	園田増雄
	萩原宗明
 K-NET規格機器のための効果的なユーザ・インターフェースの開発方法	城戸浩一 49
－中小企業向け電子計測制御標準プラットホームの開発－	
 増粘多糖類の利用法開発	湯之上雅子 53
 焼酎蒸留廃液を利用した焼酎の液体麹仕込試験	土谷紀美
－米製焼酎蒸留副生物の有効利用とそのトータルシステムによる新製品の開発－	中川 優 58
	西村賢了
 化学エッティングによるTi(C, N)粉体の微粉碎促進効果	永田正典
－スマートストラクチャーセラミックスに関する研究(第1報)－	本田悠紀雄 62
	末永知子
	上田直行
 塗布熱分解法による圧電性薄膜の作製	末永知子
－応力検知能力を有する構造用セラミックス材料に関する研究(第2報)－	永田正典 65
	本田悠紀雄
	上田直行
 多糖類精製用アルコール水溶液のリサイクル化の検討	納嶋克也 70
	永田正典
	中根 尚
	柳下 宏
 〔ノート〕	
 調合みそ製造における米、麦麹の影響	
－高品質醸造食品の開発(第2報)－	松田茂樹 74

[技術資料]

調合みそ製造における米、麦麹の影響
—高品質醸造食品の開発（第2報）— 松田茂樹 74

[技術資料]	
省力型昇降椅子の開発	石水泰夫 77
	井戸泰男
	原口隆一
	藤田昌大
	高浜逸郎
	河崎功三

REPORTS OF
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

No. 33 (1994.4-1995.3) Nov. 1995

CONTENTS

[Original Papers]

Development of the Support System for CAM	
-Development of the Support Systems for CAD/CAM-	
..... Takao KAWAKITA, Kousei TAKAHASHI, Masanobu IKEZAKI and Yoshimasa HOSOKAWA	1
Effect of Mixed Gum Chip and Laminating of Lead Plate against Impact Sound Occured on Wooden Composite Materials	
-Study on Design and Development of Functional Composite Materials(2nd Report)-	
..... Tetsuo NAKAMURA, Naoyuki UEDA, Yasuo OHSAKO and Yoshiyuki YANO	5
Study on Customizing of Original CAD/CAM System by Use of Exclusive Language (1st Report)	
..... Masanobu IKEZAKI and Kousei TAKAHASHI	12
Study on Utilization of Volcanic Ashes for Lapping Compound	
..... Masaru MURATA	16
Numerical Analysis on Deformation Process of a Circular Plate Clamped at the Periphery under Shock Loading	
-Study on Impact Hydroforming Method-	
..... Yasuo ISHIGORI, Masahiro FUJITA, Minoru MOCHIHARA, Hiroo OSAKA and Shigeru ITOH	21
Properties of Sintered Materials by Binder Content	
-Injection Molding of New Material Powders-	
..... Makoto UEMURA, Mikio KIMURA, Toshinori KAWANO and Hirofumi NAKAGAWA	27
Measurement of Magnetic Near Field Strength around the Trial Printed Circuit Board with Microprocessor	
-Studies on Improvement of Electronic Machine's Performance under Circumstances of Electromagnetic Noise-	
..... Naoyuki UEDA	33
Measurement of Electric Far Field Strength around the Trial Printed Circuit Board with Microprocessor	
-Studies on Improvement of Electronic Machine's Performance under Circumstances of Electromagnetic Noise-	
..... Naoyuki UEDA	38

Development of Print Circuit Boards Based on Kumamoto-Network Standard (K-NET Standard)	
—Development of Measuring and Control Equipments Based on Kumamoto-Network Standard for Smaller Enterprises—	
..... Ryuji MIYAGAWA, Naoyuki UEDA, Kouichi KIDO, Masuo SONODA and Muneyuki HAGIWARA	45
Effective Method for Developing User Interface for Kumamoto-Network Standard (K-NET Standard) Based Equipments	
—Development of Measuring and Control Equipments Based on Kumamoto-Network Standard for Smaller Enterprises—	
..... Kouichi KIDO	49
Utilization of Gelling Polysaccharide Extracted from Seaweeds	
..... Masako YUNOUE	53
Utilization of Shochu Distilled Wastewater for Shochu Fermentation as Medium of Liquid Koji	
—Effective Utilization of By-product Occurred from Distillation Process in Rice Shochu Production and	
Development of New Products Using its Total System—	
..... Kimi TUCHIYA, Masaru NAKAGAWA and Kenryo NISHIMURA	58
Accelerating Effect of Chemical Etching on Comminution of Ti(C,N) Powder	
—Studies on Smart Structure Ceramics(1st Report)—	
..... Masanori NAGATA, Yukio HONDA, Tomoko SUBNAGA and Naoyuki UEDA	62
Preparation of Piezoelectric Thin Films by Spin-Coating followed by Pyrosis Process	
—Study on Stress-responsive Ceramics for Application to Frame Material (2nd Report)—	
..... Tomoko SUBNAGA, Masanori NAGATA, Yukio HONDA and Naoyuki UEDA	65
Study on Recycling of Alcohol Solution Used for Purification of Polysaccharides	
..... Katsuya NOUZAKI, Masanori NAGATA, Takashi NAKANE and Hiroshi YANAGISHITA	70
[Note]	
Effects of Rice and Barley Koji on Brewing of Mixed Miso	
—Development of High Quality Fermented Seasoning (2nd Report)—	
..... Shigeki MATSUDA	74
[Data]	
Development of Up-and-down Legless Chair of Labor-saving Type Using Air of Low Pressure	
..... Yasuo ISHIGORI, Yasuo IDO, Ryuichi HARAGUCHI, Masahiro FUJITA, Itsuro TAKAHAMA	
and Kouzou KAWASAKI	77

CAMにおける加工条件支援システムの開発

- CAD/CAMにおける各種支援システムの開発 -

河北隆生*・高橋孝誠**・池崎雅宣***・細川義政****

Development of the Support System for CAM

-Development of the Support Systems for CAD/CAM-

Takao KAWAKITA*, Kousei TAKAHASHI**, Masanobu IKEZAKI*** and Yoshimasa HOSOKAWA****

本研究では、フライス切削の正面削り、肩削りにおける使用工具・材種の選択及び各種被削材の切削条件支援システムを開発した。

本システムは、各種フライス切削用工作機械（出力、回転数、送り速度、主軸テーパ）、カッターダイアグ（刃先径）、被削材、平面削り・肩削り、荒加工・仕上げ加工、工具メーカなどを選択することにより、最適なフライス工具及びチップ材種の表示と切削条件の提示が行える。

本システムを利用することにより、適正工具及び加工条件決定の時間短縮と加工能率の向上を図ることができる。

1. はじめに

県内中小企業においては、各種の工作機械、自動プログラムシステム、CAD/CAMシステム等の導入が図られている。しかし、NC工作機械で加工する場合の加工条件あるいは工具選択は、熟練工の経験などから決定しているのが現状であり、企業として確立されたデータベースを保有しているのはまれである。

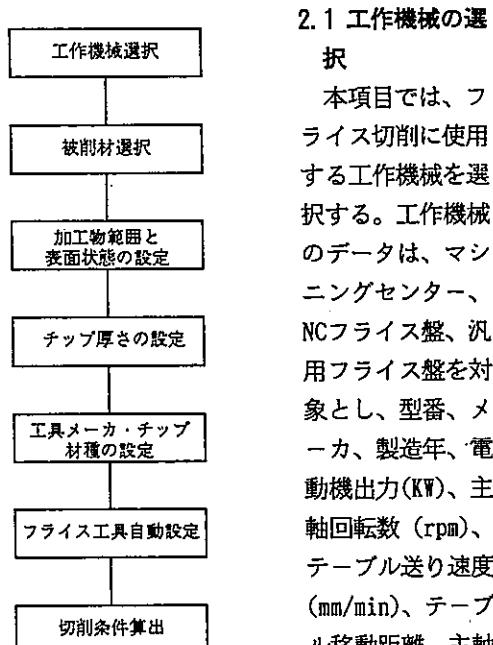
更に、新しい工作機械あるいは初めての材料を使用する場合は今までの経験では対応できず、データブックなどを調査、あるいはメーカーのカタログ等を参考にして決定している。

そこで、本研究では、正面フライス切削（一部肩削りを含む）を対象にした支援システムを開発し、適正工具選択及び加工条件提示の時間短縮と加工能率の向上を図ることを目的とした。

本システムの特徴は、筆者らのこれまでの経験値あるいは実験値をデータベース化したため、経験の浅い加工者でも加工条件及び使用工具が設定できることである。

2. システム概要

本システムの構成を図1に示す。上から順番に必要項目を選択・設定することにより、切削条件などが決定できることになる。以下にそれぞれの項目の概要を示す。



2.1 工作機械の選択

本項目では、フライス切削に使用する工作機械を選択する。工作機械のデータは、マシニングセンター、NCフライス盤、汎用フライス盤を対象とし、型番、メーカー、製造年、電動機出力(kW)、主軸回転数(rpm)、テーブル送り速度(mm/min)、テーブル移動距離、主軸テーパ(#))から構成される。

このデータは、フライス直径の選定と送り条件等の基準となる。

なお、今回使用したデータは、一般的なマシニングセンターを対象としたが、それぞれの企業で使用するためには、データファイルへ工作機械のデータを追加すればよい。

2.2 被削材の選択

本項目では、使用する被削材を選択する。被削材は、JISに準拠した材料記号により、軟鋼、炭素鋼及び鍛鋼品、非鉄金属などに分類した。選択は、大分類で選択後、JIS記号による細分類で選択することになる。

* 情報デザイン部

** 生産技術部

*** 生産技術部（現、熊本県土木部営繕課）

**** 細川エンジニアリング（株）

表1 被削材の分類

鋼種	記号
一般構造用圧延鋼材	SS
機械構造用炭素鋼材	S-C
合金鋼	SNC SNCM SCr SCM SMnC
ステンレス鋼	SUS
工具鋼	SK SKH SKS SKD
軸受け鋼	SUJ
鍛鋼及び焼鋼	SF SC
鋳鉄	FC FCD FCMB FCMWP FCMP
非鉄金属	アルミ アルミニウム 銅 銅合金 チタン チタン合金
超耐熱合金	Fe基 Ni基 Co基
プラスチック	アクリル ナイロン テフロン
調質鋼(高硬度材)	HRC
純モリブデン	Mo
マシナブルセラミックス	マセライト マコール

なお、被削材の大分類を表1に示す。

2.3 被削材の加工範囲と表面状態の設定

本項目では、被削材の加工範囲として幅、長さ、取りしろ(mm)及び被削材の表面状態を設定する。表面状態は、前加工あり、熱処理面、溶断・溶接面の3種類から選択する。

なお、本設定では、選択された工作機械で対応可能かのチェックも行っている。

2.4 チップ厚みの設定

本項目では、平面削りか肩削り、荒加工か仕上げ加工、材料硬度、1回あたりの切り込み量などを設定することで、工具材種のチップ厚みを設定する。

2.5 工具メーカー及びチップ材種の設定

チップ材種を決定するために、代表的な7社の工具メーカーとフライス加工用チップ材種の対応表、及び被削材に適したチップ材種の対応表を作成し、プログラム化した。

したがって、本項目では、工具メーカーを選択することで、既に決定された被削材をもとに最適、適切削可能なチップを表示し、その中から必要なチップを選択することとなる。

なお、工具メーカーとフライス加工用チップの対照表は、メーカーの承認を得たものではなく、若干の相違、あるいはオーバラップした部分があると思われる。

2.6 フライス工具の自動設定

フライス工具を決定するために以下の対応表を作成し、プログラム化した。

- (1) 工作機械の電動機出力と被削材によるカッター径(刃先径)の算出表(表2参照)
- (2) 被削材をフライス工具のアキシャルレーキ、ラジア

表2 カッター径(刃先径)の算出表

被削材	機械出力 (kW) (PS)	(単位: mm)						
		1.2 (3)	1.75 (5)	3.3 (1.5)	7.5 (10)	11 (15)	15 (24)	22 (30)
軟鋼、ステンレス鋼	3.0	6.3	10.0	12.5	16.0	20.0	25.0	
チルド鉄	2.0	6.3	10.0	12.5	16.0	20.0	25.0	
高硬度材(HRC40~55)	2.0	5.0	10.0	12.5	16.0	17.5	20.0	
◆ (HRC55~65)	2.0	5.0	10.0	12.5	16.0	17.5	20.0	
◆ (HRC65~70)	2.0	5.0	8.0	10.0	12.5	15.0	20.0	
◆ (HRC70以上)	2.0	5.0	8.0	10.0	12.5	15.0	17.5	
鉄(軟)	4.0	6.3	12.5	17.5	20.0	25.0	31.5	
非鉄金属	4.0	8.0	12.5	17.5	20.0	25.0	31.5	

ルレーキ角度により、ハイポジポジ、ハイポジ、ポジ、ネガの4種類のフライス形状に分類した対応表

(3) 各メーカーのフライス工具をフライス形状、平面削りや肩削り、チップ厚さにより分類した対応表(一例を表3に示す)

表3 フライス形状の対応表

形 状		名 称	刃数 z (枚)	刃先径 D c (mm)	最外径 D 1 (mm)	
ハイポジポジ	平面 角度	THF 4403RIA	5	8.0	9.4	
		THF 4404RIA	6	10.0	11.3	
		THF 4405RIA	8	12.5	13.7	
		THF 4406RIA	8	16.0	17.2	
		THF 4408RIA	10	20.0	21.1	
		THF 4410RIA	12	25.0	26.1	
		THF 4412RIA	14	31.5	32.5	
	チップ厚 4.76	THF 5403RIA	3	8.0	9.8	
		THF 5404RIA	4	10.0	11.7	
		THF 5405RIA	5	12.5	14.1	
		THF 5406RIA	6	16.0	17.5	
		THF 5408RIA	8	20.0	21.5	
		THF 5410RIA	10	25.0	26.4	
		THF 5412RIA	12	31.5	32.9	
丸	φ20× 4.76	TRF 6003RI	4	8.0	10.0	
		TRF 6004RI	5	10.0	12.0	
		TRF 6005RI	6	12.5	14.5	
		TRF 6006RI	8	16.0	18.0	
		TRF 6008RI	10	20.0	22.0	
		TRF 6010RI	12	25.0	27.0	
		TRF 6012RI	14	31.5	33.5	
肩	チップ厚 3.18	TSE 3050R	3	5.0	5.0	
		TSE 3063R	3	6.3	6.3	
		TSE 3003RIA	4	8.0	8.0	
		TSE 3004RIA	6	10.0	10.0	
		TSE 3005RIA	6	12.5	12.5	
		TSE 3006RIA	8	16.0	16.0	
		TSE 4003RIA	4	8.0	8.0	
チップ厚 4.76		TSE 4004RIA	6	10.0	10.0	
		TSE 4005RIA	6	12.5	12.5	
		TSE 4006RIA	8	16.0	16.0	
		TSE 4008RIA	10	20.0	20.0	
		TSE 4010RIA	12	25.0	25.0	
		TSE 4012RIA	14	31.5	31.5	

これらの表から、フライス工具を自動的に設定できるようにした。

2.7 切削条件の算出

2.6までの入力及び各種の対応表により最終的な切削速度の算出を行う。切削速度V(m/min)は以下の式により求めた。

$$V = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot F \cdot G$$

ここで

A : 被削材料係数, B : 工具材種係数, C : 切り込み係数, D : 送り係数, E₁ : 切削幅係数, E₂ : 連続切削長さ係数, E₃ : 空冷比率係数, F : 同時切削刃数係数, G : 寿命係数

である。それぞれの係数は、実験値及び経験値より算出している。この時の推定寿命は15分とした。

更に、切削速度の算出の後、所要出力、回転数、送り速度の算出も併せて行った。これらは以下のように計算した。

$$\text{回転数 } N(\text{rpm}) = \frac{1000 \times V}{\pi \times D_c}$$

D_c : カッター径(刃先径: mm)

$$\text{送り速度 } F(\text{mm/min}) = N \times z \times f$$

z : 刃数

f : 一刃当たりの送り(mm/刃)

$$\text{所要出力 } P(\text{kW}) = \frac{K_s \times d \times W \times F}{60 \times 10^3 \times 1000}$$

K_s : 比切削抵抗(Kgf/mm²)、d : 切り込み量(mm)

W : 加工幅(mm)、F : 切削送り (mm/min)

また、所要出力の算出値が工作機械の電動機出力を超えたときは、(1)刃数が偶数のときは刃数を半分に減らす(奇数はそのまま) (2)加工幅を半分にする (3)切り込み量を減らすなどの指示を与えるようにした。

3. システムの実行

本システムは、当センター所有のCAD/CAMソフトウェア(U-graph)が実行されるワークステーション(DECstation5000/200)でC言語により開発した。

本システムの起動時の画面表示を図2に示す。

[1]工作機械選択から[5]工具メーカ・チップ材種の設定までの項目を設定すると[*]フライス工具が自動的に設定される。図3に各種条件設定時の画面表示を示す。

その後、キー(P)を入力することで、加工条件が表示される。図4に加工条件提示の画面表示を示す。この画面では、所要出力が工作機械の電動機出力を超えたため、代替の条件を提示している。

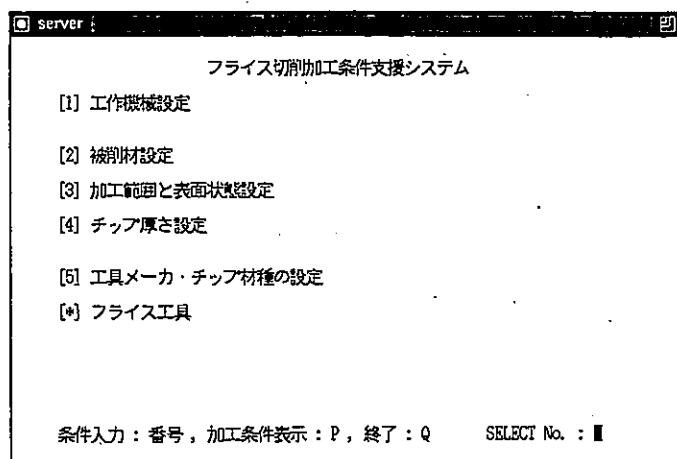


図2 起動時の画面表示

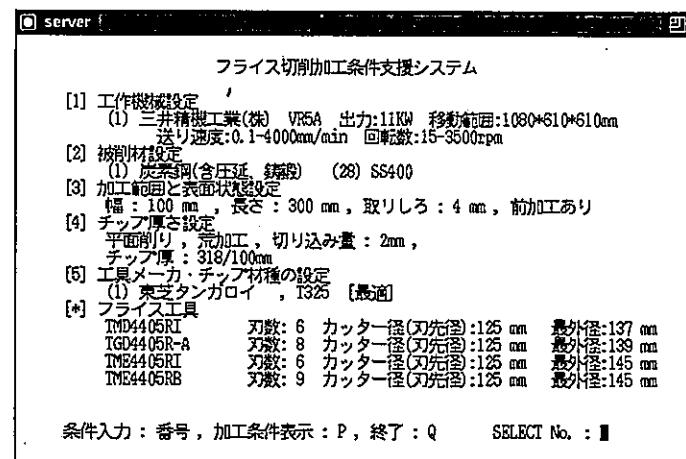


図3 各種条件設定時の画面表示

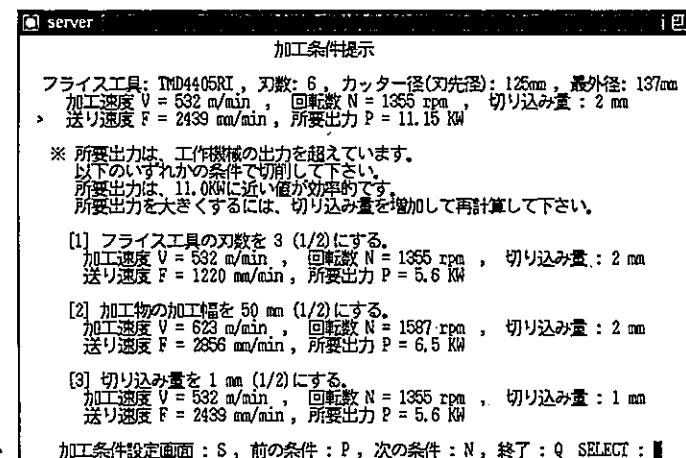


図4 加工条件提示の画面表示

4. おわりに

本研究では、正面フライス切削（一部肩削りを含む）を対象にして、工作機械、被削材料、工具材種、工具及び切削条件の支援システムを開発した。

本システムでは、寿命時間を15分に設定しているので、通常使用している切削条件と比較すると非常に高く感じるかも知れない。しかし、加工能率（加工量）換算で考えると数字の妥当性が理解できると思われる。しかし、加工物の関係で15分以上の寿命時間を得たい場合は、寿

命時間を設定することで速度を可変できるようにしている。

本システムは、現段階では数多くの実証試験等を行っていないので完全とは言えないが、今後実証試験等を重ねて行うことで、データベースの充実あるいは機能強化を図っていく予定である。

また、現システムは、ワークステーションにのみ対応しているが、一般企業に対応できるようにパソコンへの移植も併せて行う予定である。

床衝撃音に対する木質複合材料へのゴムチップ充填効果及び鉛板の積層効果

－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2報）－

中村哲男*・上田直行**・大迫靖雄***・矢野佳之***

Effect of Mixed Gum, Chip and Laminating of Lead Plate
against Impact Sound Occurred on Wooden Composite Materials

-Study on Design and Development of Functional Composite Materials (2nd Report)-

Tetsuo NAKAMURA*, Naoyuki UEDA**, Yasuo OHSAKO***and Yoshiyuki YANO***

県下の企業で製造されている建築用木質材料に、自動車の廃タイヤをチップ化したものを配合あるいは鉛板を積層するなどした数種の複合床材を試作し、軽量・重量衝撃音などの床衝撃音に対する衝撃音特性について市販品との比較検討を行った。

寸法の小さなゴムチップ(8~11mm)を10%混入した木毛セメント板は、軽量衝撃音に対し市販品に比べ0.1(A-W)値で11dB以上の床衝撃音の減衰がみられた。このことは、従来の用途である天井材から床材への用途拡大の可能性が示されたといえる。

また、スラブ石膏ボードに鉛板を積層した複合材は、鉛板の積層位置によって、衝撃音の減衰効果が異なることが明かとなった。

1. はじめに

現代社会には、多くの騒音が存在しているが、その騒音防止対策は、基本的には音源での対策と、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重要となる。また、消音装置の設置も有効であるし、音源を囲み外部に音がないようにすることも考えられる。

音の伝搬経路での対策では、音のエネルギーを発散させるため、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、そして、塀や建物などによる減音効果を考えることができる。

筆者らは、木質材料を用いた住宅の居住性、性能等に関する一連の研究を行っている¹⁾。更にこれらのデータを基礎とした建築用複合材料の開発について検討している。

ところで、建築用木質材料の床材料は、木造住宅はもちろんのこと、RC造集合住宅においても、その使用は増加している。しかし、木質材料を使用した場合、居住性の観点から、上階から下階への騒音、いわゆる床騒音が問題となっている。この点に関しては、既に種々の研究が行われているが、まだ未解決の問題が多い²⁾。

筆者らは、これらの問題を解決すべき材料開発の基礎

として、床騒音について検討を加えてきた³⁾。

また、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も行っている⁴⁾。

本研究では、これらの研究の一環として、従来から検討してきた県産木材の有効利用の延長として、木質材料及び自動車用廃タイヤをベースとした複合床材料及び再生紙パルプなどを材料としたスラブ石膏ボードと鉛板の積層複合床材料の開発を行い、床衝撃音特性について検討した。今回は、これらから得られた結果について報告する。

2. 測定及び測定方法

2.1 測定用材料

表1に示すように、県下の企業で製造販売されている建築用内装材(SMR)、木毛セメントに自動車の廃タイヤをチップ化したものを、配合割合を変えて混入成形した

表1 試験材料の構成

材料名	厚さ(mm)	構成	内 容
SL	1.50	建物構造体	
ST	1.5	コンクリートパネル	
SMR	3.0	木毛セメント+スラブ石膏(樹脂)	
SMG1	3.0	木毛チップ ¹⁾ (10%)+木毛セメント+スラブ石膏	
SMG3	3.0	木毛チップ ¹⁾ (30%)+木毛セメント+スラブ石膏	
SGB2	3.3	木毛チップ ²⁾ (20%)+木毛セメント+スラブ石膏	
SGB3	3.3	木毛チップ ²⁾ (30%)+木毛セメント+スラブ石膏	
P6P	6.6	SMR(0.3mm)+スラブ石膏(6mm)+板(0.3mm)	
6P5	11.3	スラブ石膏(6mm)+板(0.3mm)+スラブ石膏(5mm)	
TTM	6.0	板(3mm)+L.B(15mm)+スリソ(25mm)+L.B(15mm)+シート(2mm)	

¹⁾チップ径(8~11mm)、²⁾チップ径(30~50mm)

* 情報デザイン部

** 電子部

*** 熊本大学教育学部

複合材料(SMG1、SMG3、SGB2、SMG3)、スラブ石膏ボードに鉛板を表面(P6P)あるいは内部に挟み込んで積層した複合材料(6P5)及び畳(TTM)を測定の対象とした。

本試験では、実際にRC造住宅の場合、コンクリート床面にコンクリートパネルを用いて捨て貼りを行い、この上に床材料を設置することも仮定して、本試験では、コンクリート床(SL)に前述した複合床材を直貼りした場合及びコンクリートパネルを捨て貼りをした上に複合床材を設置した場合(SL+ST)での測定を行った。2.2 測定方法

測定対象とした各床材は、寸法を90×90cmに統一した。当センターの残響試験室2階の中央部のコンクリート床に各床材を十分密着するよう設置して、タッピングマシン(軽量衝撃源:リオン(株)製FI-01型)及びタイヤ落下

(重量衝撃源)によって衝撃を与えた。ここで発生した衝撃音を1階に設置したマイクロホン(B&K社製4165型)で受音し、音響測定装置(B&K社製3360型)を通してコンピューター(H.P.社製HP-9000-216型)に8秒間取り入れ、そのデータを1/3オクターブで周波数分析を行った。この場合、衝撃を与えた場所は、2階の中心を通る対角線上の3点とした。この場合の床衝撃音試験システムを図1に、タイヤ、タッピングマシン、スピーカ、マイク計測位置を図2に示す。その他、測定方法は、JIS-A-1418に準拠して行った。

3. 結果及び考察

本報告では、資料を直接コンクリート面に貼りつけた場合、及びコンクリートパネルを捨て貼りをした上に床材料を貼り付けた場合について、床衝撃音試験を行った結果について述べる。衝撃点は、設置した床材料の中心部とし、受音部は、部屋の中心を通る対角線上の3点及び中心とした。これらの衝撃点に、軽量衝撃、重量衝撃を加えて発生した床衝撃音の衝撃音特性に関する検討を行った。

3.1 軽量衝撃源の場合による床衝撃音

3.1.1 床材料をコンクリート面に直貼りした場合

コンクリート面に直貼りした床材料の軽量衝撃音源(タッピング)による衝撃音を8秒間、部屋内部の対角線上の3箇所で受音したもののが平均音圧と周波数の関係を図3、4に示す。この場合のオーバーオール値(O.A.)及びそのA補正値(O.A.-A-W)を表2に示す。

図3、4から床材料を設置しない状態(SL)での衝撃音圧レベルの値は、周波数全域で高い値を示した。特に500Hz以上の周波数帯では、床材を設置した場合と比べ著しく高い値を示している。このことはコンクリートのままの床では、軽量衝撃音に対して問題があることを示している。すなわち、階上において発生する高い周波数帯での音圧レベル、例えばハイヒールでの歩行音、机・いすを移動するときに発生する音など軽量衝撃音がコンクリートを伝わって階下に響き易いことを示している。

また、図3、4のSM、SG系の材料の結果からも明らかなように、コンクリート面上に木毛セメント板や畳を設置することによって、500Hz以上の周波数での衝撃音圧レベルの減少が顕著となっており、この状態での床では、かなり減衰効果があることが明らかとなっている。この中でも畳(TTM)は、200Hz帯より高い周波数に対して、軽量衝撃に対する減衰効果が大きい結果を示し、表2から明らかなように、コンクリート床(SL)と比較して、O.A.値で10dB、可聴域O.A.-A-W値においては約22dB低い値を示し、優れた吸音材であることを示している。

次に、ゴムチップ混入の効果については、図3、表2

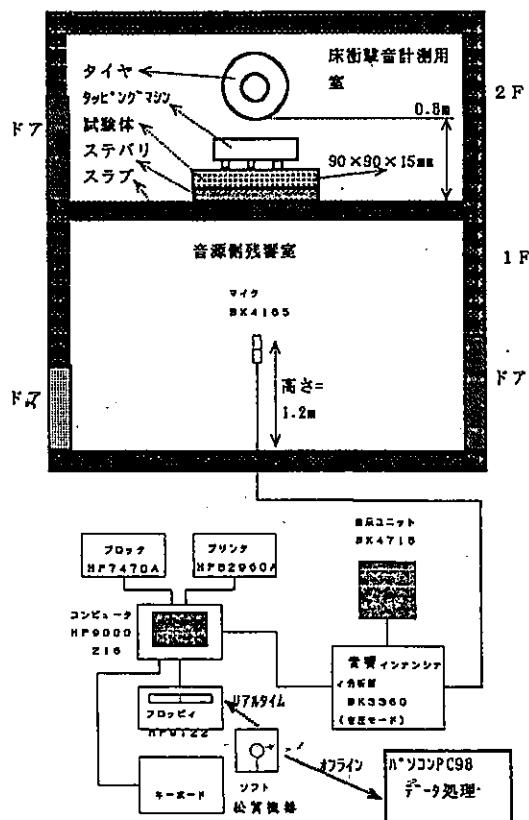


図1 床衝撃音試験システム構成

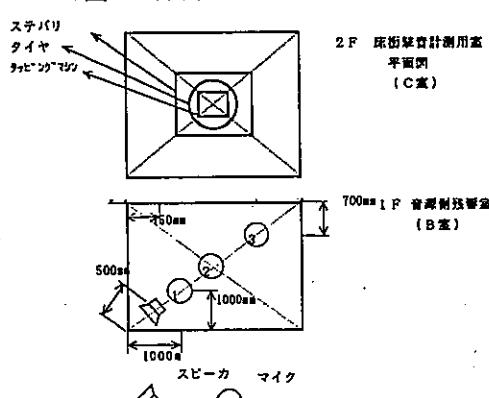


図2 タイヤ・タッピングマシン・スピーカ・マイク計測位置

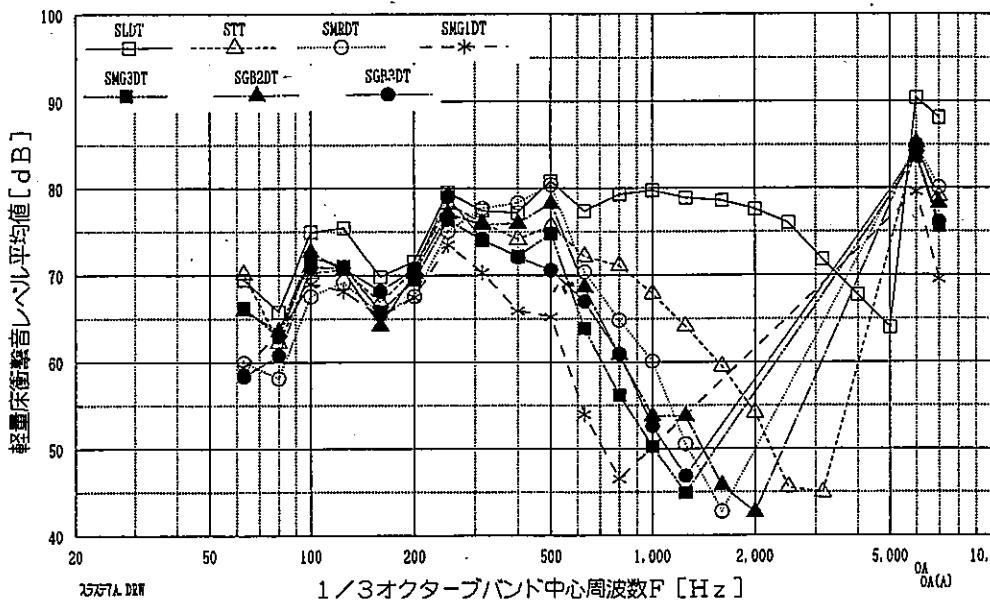


図3 軽量衝撃源に対する直貼りした各種材料の床衝撃音圧レベルと周波数

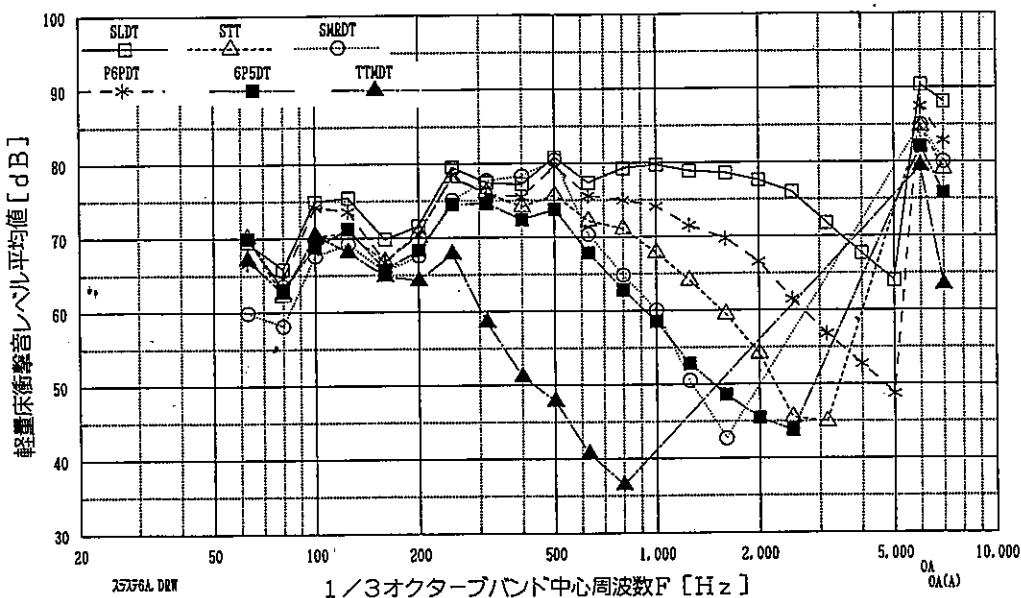


図4 軽量衝撃源に対する捨て貼りした各種材料の床衝撃音圧レベルと周波数

表2 軽量衝撃源に対する直貼りした各種材料の床衝撃音圧レベル (dB)

資料区分	SL	ST	SMDT	SMG1DT	SMG3DT	SGB2DT	SG3DT	P6PDT	GP5DT	TTMDT
O. A	90.39	84.74	85.03	79.59	83.60	85.21	84.10	87.49	82.04	79.37
O. A-A-V	88.11	79.02	80.04	69.53	75.57	78.23	76.16	82.85	75.80	63.38

から、ゴムチップ無添加のSMRD_Tに比べ、衝撃音の音圧レベルが低下していることが分かる。木毛セメントへゴムチップを添加することは、衝撃に対する減衰効果があることが明らかとなった。

ゴムチップの混入は、ゴムチップの寸法、配合割合を各々2種類とし各々衝撃音に対する影響を検討した。寸法についてみると図3で示すとおりSMG1DTが低い値を示しており、チップ粒度の小さいもの(8~12mm)が、床衝撃に対する減衰効果が大きいことを示している。配合割

合についてみると、配合割合が10% (MG1DT) のものが、30% (SMG3DT) のものより衝撃音レベルの低下が大きく、床衝撃音の減衰効果がある結果が得られた。そこで、複合材料の材質的性質を複合材料内のゴムチップの複合状態でみると、目視で材料を観察すると、ゴムチップの混入割合が30%まで増加すると、ゴムチップが木毛セメントの木毛中に均一に分布せず、部分的にゴムが固まるなどして、ゴムチップの密度が不均一になる傾向がみられた。これに対して、ゴムチップ10%配合のものは木毛中にゴムチップがほぼ均等に拡散され、全体的に機密性を高くすることができたためかと推察される。ゴムチップの粒度が大きいものは、配合割合が多くなるに従って衝撃音圧レベルが若干高くなる傾向を示している。しかし、その差はごくわずかであることから、ゴムチップの寸法の小さなものより減衰効果は少ないといえる。

ところで、P6PDT、GP5

DTは、スラグ石膏ボードと鉛板を積層した複合材料であるが、表面に鉛板を積層したもの(P6PDT)よりも内部に挟み込んで積層したもの(GP5DT)が7.05dBも減衰量が大きいことが示され、鉛板の積層状況によって、床衝撃に対する性能がかなり異なることが明らかとなった。また、鉛板を内部に貼る(総厚14mm)ことで、厚さが約2倍の市販品である木毛セメント板とスラブ石膏板の複合材料(SMR; 総厚30mm)と同等の性能が得られることが明らかとなった。

3.1.2 コンクリート面に捨て貼りして試験材を設置した場合

コンクリート床にコンクリートパネルを捨て貼りして試験材料を設置し、軽量衝撃音(タッピング)を、部屋

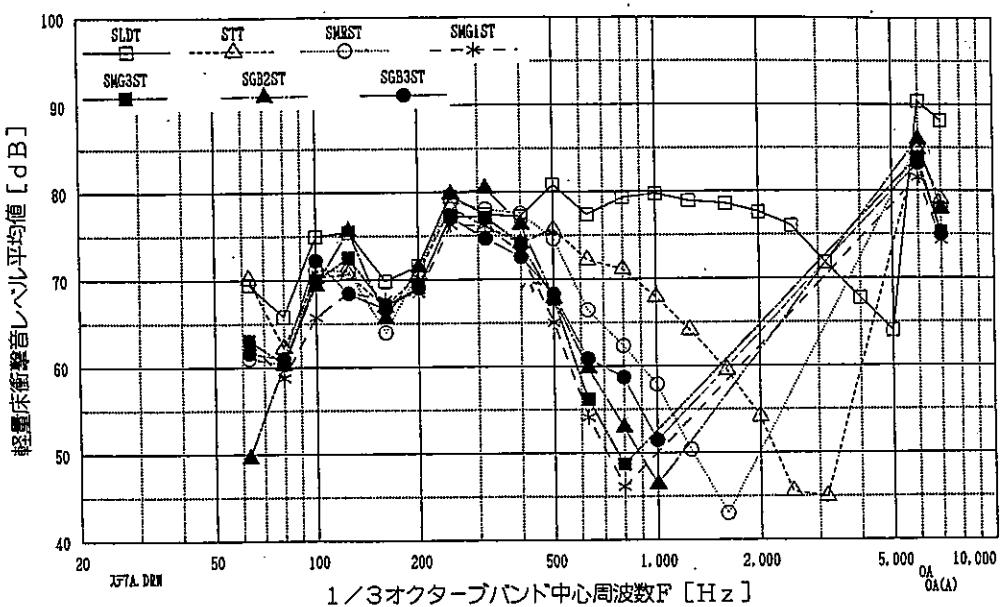


図5 軽量衝撃源に対する直貼りした各種材料の床衝撃音圧レベルと周波数

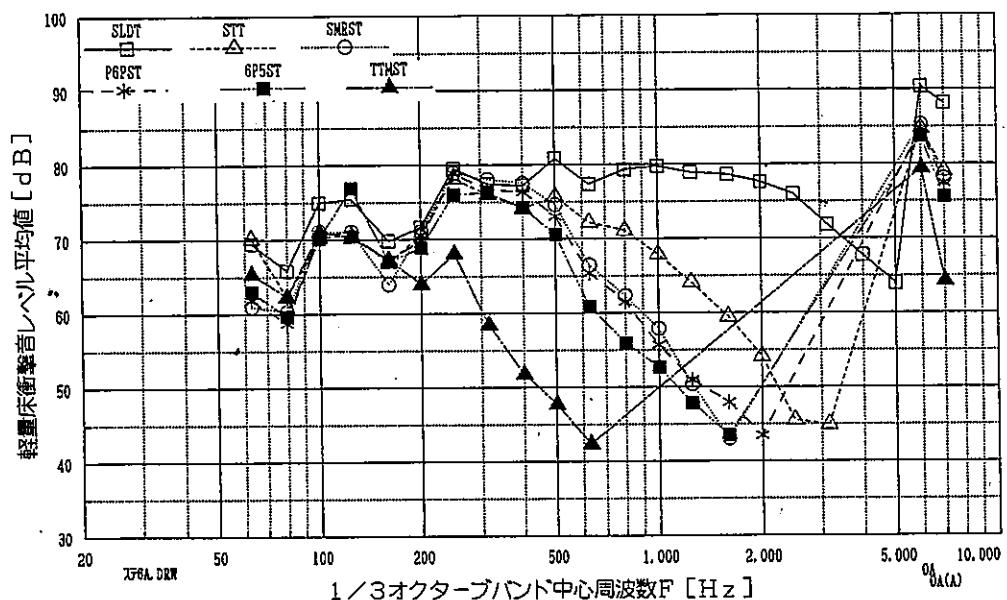


図6 軽量衝撃源に対する捨て貼りした各種材料の床衝撃音圧レベルと周波数

表3 軽量衝撃源に対する捨て貼りした各種材料の床衝撃音圧レベル(dB)

材料区分	SL	ST	SWEST	SWGIST	SMC3ST	SGB2ST	SGB3ST	P6PST	6P5ST	TTMSST
O.A	90.39	84.74	85.23	81.55	83.84	85.91	83.18	84.54	83.70	79.40
O.A-A-W	88.11	79.02	78.03	74.30	75.26	77.90	74.96	77.42	75.59	64.29

内部の対角線上の3カ所で8秒間受音したデータの平均音圧レベルと周波数の関係を図5、6に示す。この場合のオーバーオール値(O.A)及びそのA補正値(O.A-A-W)を表3に示す。

表3から明らかなように、コンクリートスラブを直接タッピングで打撃したSLに比べ、捨て貼り(ST)を行ったものは、床衝撃音レベルが大きく低下することを示しており、軽量衝撃音に対して、捨て貼りによる減衰効果があることが明らかとなっている。また、捨て貼り材の上

に各種床材を設置した場合を、表2と3で比較すると、ほとんどの材料の音圧レベルが捨て貼りしたもののが低い値を示すが、ゴムチップ小片を10%混入した木毛セメント板及び畳の音圧レベルは、表2の値が低い結果を示している。本結果は、ゴムチップ小片を10%混入した木毛セメント板および畳については、捨て貼りなしで、直接コンクリート面に設置したほうが効果が高いことを示している。軽量衝撃音の場合、表面材料の特性が大きく影響する。

畳の場合、むしろ、捨て貼り材料の衝撃音レベルの床衝撃の特性が加わっているためと考えられるが、ゴムチップ混入木毛セメント板の場合も同様な効果が考えられる。しかしながら、この点については、更に検討が必要であろう。ところで、ゴムチップの寸法、混入割合の違いによる衝撃音に対するゴムチップの充填効果については、表2の複合材料をコンクリート面に直張り

した場合と同一の傾向を示したが、各々の間の音圧レベルの差は小さいものとなった。また、鉛板を用いた複合材についても、これをコンクリート面に直張りした場合と同一の傾向を示しているが、捨て貼り材の上に施設した場合、音圧レベルの差が小さくなるなど本報で用いた複合材料では、ほぼ一定の傾向を示した。

3.2 重量衝撃源による床衝撃音

3.2.1 コンクリート面に床材料を直張りした場合

重量衝撃源(タイヤ)によって発生する音は瞬間的であるため、落下時間を特定するのは困難である。そこで、衝撃音レベルが最高の値を示した時間(落時間)を特定して、その時点での周波数分析と音圧分布の測定を行った。その結果を図7、8及び表4に示す。

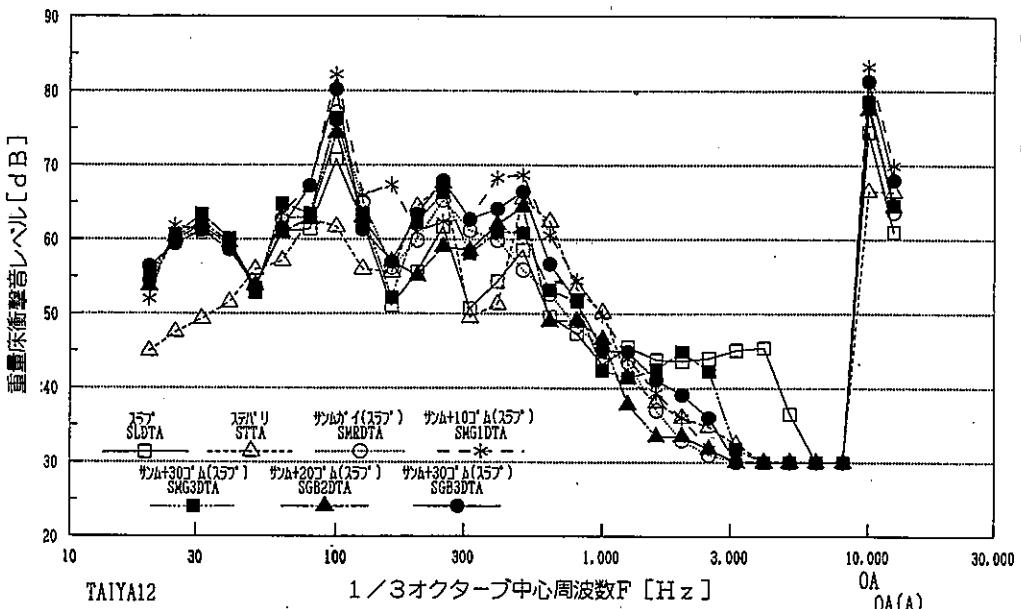


図7 重量衝撃源に対する直貼りした各種材料の床衝撃音圧レベルと周波数

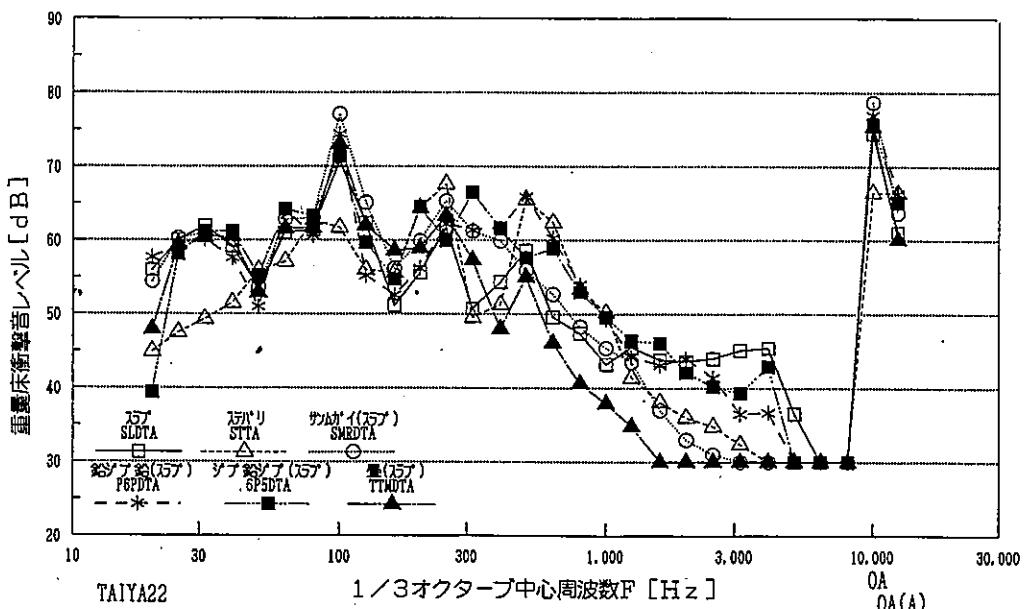


図8 重量衝撃源に対する捨て貼りした各種材料の床衝撃音圧レベルと周波数

表4 重量衝撃源に対する直貼りした各種材料の床衝撃音圧レベル(dB)

資料区分	SL	ST	SMDTA	SMG1DTA	SMG3DTA	SGB2DTA	SGB3DTA	P6PDT	P6SOT	TMDT
O. A	74.70	74.40	78.70	83.20	78.60	79.20	81.40	77.40	75.70	75.50
O. A. A-W	61.60	65.60	63.80	70.00	64.80	64.40	68.40	67.30	65.10	60.10

図7、8の結果から、床材料を設置しないコンクリート面(SL)における音圧レベルの周波数分析の結果は、1KHzまでの音圧は床材料を設置した場合とほぼ同様な値を示すが、1KHz以上の周波数において、音圧レベルが高くなることを示している。またSLのO.A. A-W値は、床材を設置したいずれの場合より低い値を示し、重量衝撃に対しては床材を設置したほうが衝撃に対する減衰効果が高いことを示した。ところで、重量衝撃音は床材料の性質と関係する軽量衝撃音と異なり、建築物の構造体

の剛性と質量によって、その伝搬特性が決定されるといわれている⁶⁾。今回の試験の場合、すべての床材は両面テープでコンクリート面に固定したが、床への固定、密着性は不完全である。したがって、いずれの床材もコンクリートの剛性と質量には及ばないことから本結果となったものと考えられる。

次に重量衝撃源に対する床材料の特性を、まずゴムチップの充填効果に注目してみると、混入量と音圧特性

O.A. A-W値の関係は、表2から軽量衝撃音とは逆に重量衝撃音では表4からSMG3DTがMSG1DTのより5.2dB 減衰量が大きくなることが示された。同様に、SGB3DTよりSGB2DTが4dB 減衰量が高くなる傾向を示し、いずれも軽量衝撃音と重量衝撃音では、逆の結果が得られた。ただ、本研究ではゴムチップ混入に関しては、寸法で2種類、配合割合で2種類を組み合わせた4種類の試験しか行っていないので、更に詳細な検討が必要であろう。

また、鉛板を使用した床材については、表4及び図7から両面に鉛板を積層した6P5DTが鉛板をスラブ石膏板で挟み込んで積層した6P5の音圧レベルより高い値を示している。本結果は、表2、図5に示した、軽量衝撃音試験の結果と同様、両面に鉛板を積層するより内部に挟み込んで積層するほうが床衝撃音の減衰効果が高いことが示されたといえる。ただ、以上述べた床材料についてはコンクリート床SLと比較すると音圧レベルは高く、床材料を設置したことによって衝撃音の減衰効果が失われた傾向を示している。これに対して、畳は、表4から軽量衝撃音試験のときと同様に、他材料はもちろんのこと、コンクリート床SLより低い音圧レベルを示し、減衰効果

が示された。これは、畳を構成するインシュレーションボードやスチレン樹脂が衝撃エネルギーを吸収した結果、コンクリート面への伝搬量が抑えられた結果と考えられる。しかしながら、他材料と比較して、音圧レベルの差は、軽量衝撃音による結果よりはるかに小さいことが示され、重量衝撃音の場合、床材料の種類による床衝撃の減衰効果は小さいことが示されたといえる。

3.2.2 コンクリート面に捨て貼りして試験材を設置した場合

コンクリート面にコンクリートパネルを捨て貼りして

床材料を設置した場合の重量衝撃音源（タイヤ）による床衝撃音を部屋内部の対角線上の3カ所で受音したもののが平均音圧と周波数の関係を図9、10に、また、この場合のオーバーオール値(O.A)及びそのA補正値(O.A-A-W)を表5に示す。

表4、5から明らかなように、コンクリートスラブ(SL)にコンクリートパネルを捨て貼りした上に、床材料を設置して衝撃試験を行った結果、いずれの床材料も直接床に固定した場合に比べ、重量衝撃音に対して減衰効果が変化することが示されている。

まず、重量衝撃源に対する床材料の特性を、ゴムチップの充填効果に注目して検討すると、コンクリート面へ直貼りした床材の重量衝撃音については、混入割合30%のSMG3DTが10%のSMG1DTより5.2dB 減衰量が大きいのに対し、捨て貼りした上に床材料を設置した複合材の重量衝撃音では、逆にSMG1STがSMG3STより1.5dB 減衰量が大きくなる結果を示している。

同様に床材料を直貼りした場合の重量衝撃音では、ゴムチップ混入割合20%のSGB2DTが30%のSGB3DTより4.0dB 音圧レベルの減衰量が高いのに対し、コンクリート面に捨て貼りして床材料を接した複合材の重量衝撃音では、SGB2STよりSGB3STが1.8dB 減衰量が高くなる傾向を示し、いずれも逆の結果が得られた。ただ前述したように、本研究では、ゴムチップの混入について寸法で2種類、配合割合で2種類の4種類しか試験を行っていないことと、コンクリート床への設置状況が不完全

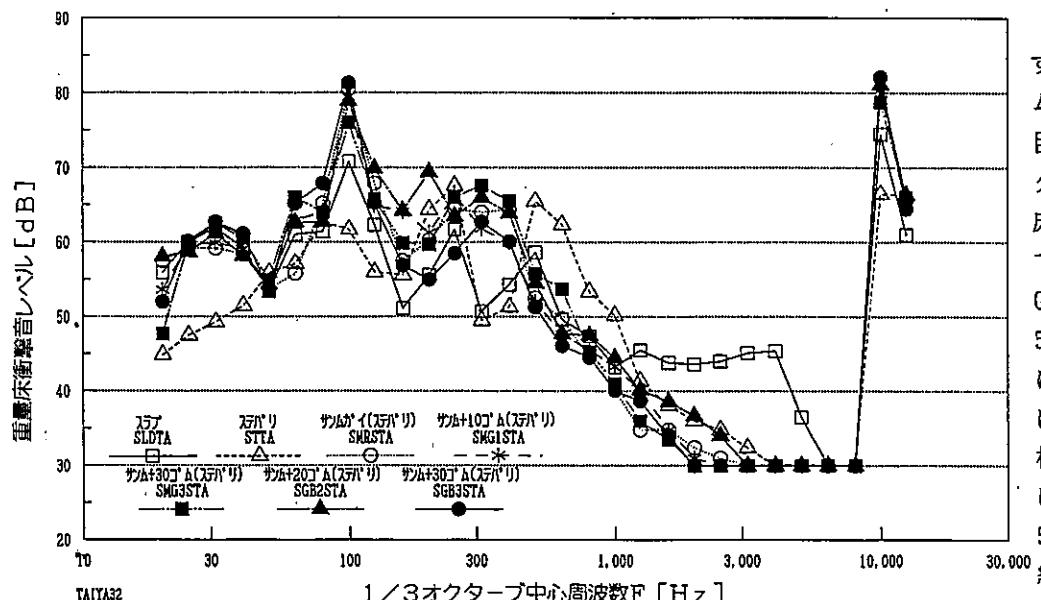


図9 重量衝撃源に対する直貼りした各種材料の床衝撃音圧レベルと周波数

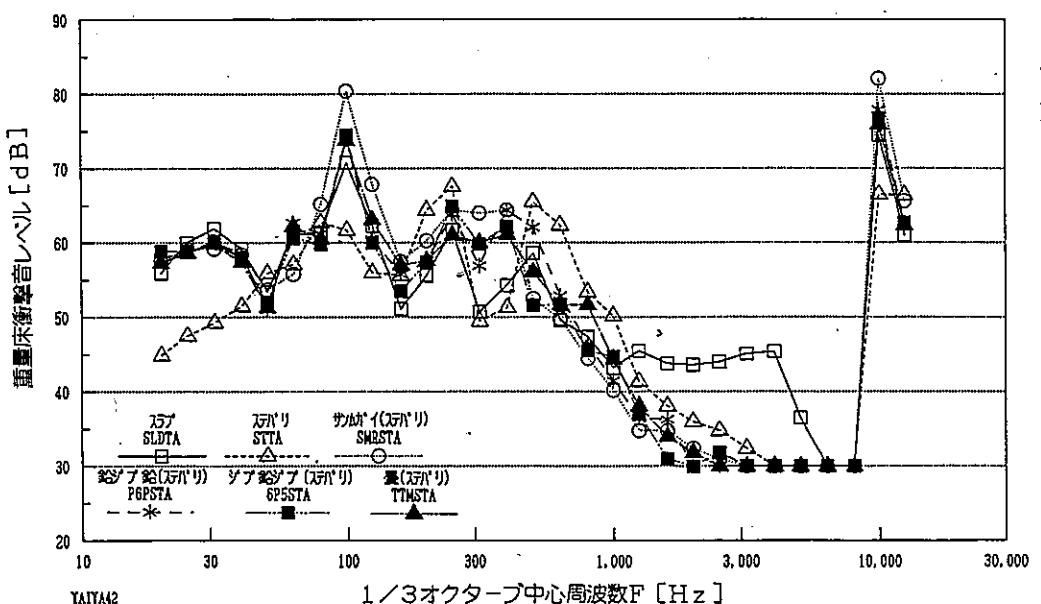


図10 重量衝撃源に対する捨て貼りした各種材料の床衝撃音圧レベルと周波数

表5 重量衝撃源に対する捨て貼りした各種材料の床衝撃音圧レベル (dB)

資料区分	SL	ST	SMGST	SMG1ST	SMG3ST	SGB2ST	SGB3ST	P6PST	P6PSTSTA	TTHSTA
O.A	74.70	74.40	82.10	80.50	78.80	81.10	82.20	78.30	76.90	75.90
O.A-A-W	61.60	66.60	66.10	64.80	66.30	66.30	64.50	64.90	63.80	62.80

であることを考慮すると、これらの結果から、複合材料への明確なゴムチップ充填効果について述べることはできない。今後更に詳細な試験が必要といえる。

次に、鉛板を積層した複合床材についてみると、表4、5からいずれの材料についても直貼りした場合よりも音圧レベルが低くなってしまっており、捨て貼りの効果がみられる。

また、表2、3の軽量衝撃音試験、表4、5の重量衝撃音試験とともに、鉛板との積層複合の場合、両面に鉛板を積層したものより内部に挟み込んで積層したほうが、床衝撃に対する減衰効果があることが示された。本結果は、剛性の低い鉛板の下にコンクリートパネルを貼り付けたため、床材の剛性が向上した結果であるためと思われる。

畳については、表4、5から直貼り状態での音圧レベルが捨て貼りした場合より低い値を示し、捨て貼りの効果はみられない。このことは畳については、コンクリート面に直接設置するほうが衝撃音に対しての減衰効果があることが示されたといえる。本結果は、直貼りの場合、畳を構成するインシュレーションボードやスチレン樹脂が衝撃エネルギーを吸収し、衝撃音のコンクリート面への伝搬量が抑えられて音圧レベルが低下することが推定される。これに対して、捨て貼り材を設置すると、捨て貼り材であるコンクリートパネルとコンクリート面が完全に密着していないため、剛性が低くなり、タイヤ落下時に、捨て貼り材自体も振動し、床材自体の衝撃音が高くなったり結果と推定される。

ただ、直貼り・捨て貼りをした場合のいずれにしても、重量衝撃音試験では、床材料の種類による値の違いは小さい。このことは前述したように、重量衝撃音に対しては、建築物の構造対そのものの影響が大きいことによるといえる。

4. 要 約

本研究では、筆者らが従来から検討してきた県産木材の有効利用の延長として、木質材料及び自動車用廃タイヤゴムチップをベースとした複合床材及び筆者らが開発を検討している再生紙パルプなどを原料としたスラブ石膏板と鉛板の積層複合材料の床衝撃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) 難燃木毛セメント板にゴムチップを混入した複合床

材料の衝撃音の減衰効果（音圧の低下）は、軽量衝撃音については、ゴムチップの粒度の小さいもの(8~12mm)が、重量衝撃音については、ゴムチップの粒度の大きいもの(30~50mm)が高い減衰効果を示した。ただ、ゴムチップの配合割合による減衰効果については、一定の傾向はみられなかった。しかし、これらの点については、更に詳細な検討が必要といえる。

- 2) スラグ石膏板に鉛板を積層した複合床材料の床衝撃音に対する特性は、鉛板とスラグ石膏板との複合構成状況による床衝撃音特性の違いがみられた。すなわち、鉛板を表面に積層するより、鉛板を間に挟み込んで積層したもののが軽量衝撃音に対する減衰効果が顕著であった。また、軽量・重量衝撃音いずれの場合も、コンクリート面へ捨て貼りすることによる減衰効果がみられた。
- 3) 畳は、軽量かつ堅い衝撃である軽量衝撃音に対して高い減衰効果を示し、衝撃の減衰特性の優れた床材であることが明らかとなった。更に、重量衝撃音に対してもある程度の効果があることが判明した。

最後に、本研究を実施するにあたり、製品提供、試験体の制作など御協力をいただいた、三丸産業(株)、朝日防火板工業所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、大迫靖雄外；熊本大学教育学部紀要、自然学科, 39, 125-148(1990)
- 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, P. 267-281(1989)
- 3) 大迫靖雄外；第40回日本木材学会大会研究発表要旨集, 28, (1990)
- 4) 例えば、中村哲男、大迫靖雄、浅野明秀；“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, 29, 1-6(1991)
- 5) 木村翔；“建築音響と騒音防止計画” 東京、彰国社、1977, P. 116
- 6) 木村翔；“建築音響と騒音防止計画” 東京、彰国社、1977, P. 117

CAD/CAMシステムのカスタマイズ化に関する研究（第1報）

池崎雅宣*・高橋孝誠**

Study on Customizing of Original CAD/CAM
System by Use of Exclusive Language(1st Report)

Masanobu IKEZAKI* and Kousei TAKAHASHI**

現在、各種の製造業において2次元や3次元のCAD/CAMシステムの導入あるいは導入を計画している企業が増加する傾向にある。しかし、CAD/CAMを含めたシステムの運用については操作性に不安感を持っていたり、満足していない企業が多い。

その原因は、システムの機能面の不足や操作性が良好でないためである。特に汎用のシステムでは、ユーザーにとってあまり必要でない細かな機能の拡大を進めているため、操作メニューの階層が深くなりがちである。

そのため、操作は目的とする作業を終えるまでの手順が複雑になっている。

これらの問題に対応するため、汎用システムは、カスタマイズ化するための専用言語が装備され、その言語を用いて、メニュー構造を再構築し操作性の改善を図ったり、新たな機能を付加してシステムの強化を行えるものがみられるようになっている。

当センターに設置しているCAD/CAMシステムにおいても、カスタマイズ化機能を有しており、今回は、その専用言語を使用したシステムの改善を試み、操作性の向上を図ることができた。

1. はじめに

CAD/CAMシステムの重要な機能は、NC工作機械に目的の加工を行わせるために必要なNCデータを作成することである。また、NCデータをいかに正確に、早く作りあげることがCAD/CAMシステムの使命であり、そのシステムを操作するユーザーの目的でもある。

この目的の達成には、CAD/CAMシステムがいかに高速に動くものであっても、NCデータを作成するためのシステム操作に時間を要してはいけない。ある加工対象を絞り込んだ専用CAD/CAMシステムにおいては、定型的な操作体型になっており、操作手順が明快でユーザーを悩ますことは少ない。一方、汎用CAD/CAMシステムでは、加工の対象が明らかではないために、システム側では、どのような場合でも対処できるような複雑なメニュー構造になっている。したがって、ユーザーにとっては、操作の選択幅が広がってしまい、この複雑なメニュー構造が、操作の時間を要する原因になっている。

また、汎用CAD/CAMシステムでは、機能の豊富さを強調している場合が多いが、ユーザーが必要としている最大公約数的な機能を拡大させているに過ぎない。

しかしながら、通常、企業はシステムの利用範囲が広いこと、メンテナンスが良いことなどから判断して汎用CAD/CAMシステムを導入することが多い。

当センターに導入しているCAD/CAMシステムは、県内の各企業ニーズに応えられるよう汎用のシステムを設置

している。

汎用CAD/CAMシステムは、そのシステムの専用言語を装備しており、具体的なモデリングや加工対象に対応するプログラム（メニュー）を構築することができるようになっている。

本研究では、汎用CAD/CAMシステムの専用言語を用いてシステムの操作性の改善のため、カスタマイズ化を行ったので、結果を報告する。

2. カスタマイズ用専用言語

プログラムを行う言語は、各システムにそれぞれ用意されており、システム種類の数だけ言語の種類がある。

その言語の形態は、FORTRAN系、BASIC系、C系およびLISP系と大きく分類される。

本研究で用いたシステムは、U-GRAPIIという3次元のCAD/CAMシステムである。このシステムでは、自動プログラミング言語であるAPTに近い言語GRIP (Graphics Interactive Programming language) が装備され、この言語を用いてカスタマイズ用アプリケーションを開発した。

GRIPは次の関数とコマンド群を持っており、その主な機能は以下のとおりである。

2.1 文字列関数

実数、整数値の文字列への変換、文字列を実数、整数值への変換、文字列の比較

2.2 算術関数

+、-、*、**（乗数）、/、=、三角関数、対数関数、ベクトル演算

* 生産技術部（現熊本県土木部営繕課）

** 生産技術部

2.3 図形作成用コマンド

点作成、直線作成、円弧作成、円錐曲線、自由曲線、曲面作成

2.4 システム制御用コマンド

グループ作成、属性作成、削除、ブランク化、図形要素間の幾何情報の検出、図形要素の複写と移動、座標系の作成、レイヤー制御、ビュー制御

2.5 対話用コマンド

メニューの作成、数値と文字列の入力、図形要素の選択、メッセージの出力

2.6 プログラミング制御コマンド

サブプログラムの呼出、繰り返し制御、演算式による分岐、論理式による分岐、条件付ブロック、無条件ジャンプ

2.7 ファイル管理用コマンド

ファイル削除、ファイル移動、ファイル作成、ファイル保存、ファイルオープン、ファイルクローズ、ファイル書き込み、ファイル読み取り

2.8 図形要素データアクセス用コマンド

図形要素幾何情報の検出及び変更、属性値の検出
この他に、工具軌跡作成のための関数、コマンド群が用意されている。

3. カスタマイズ化のためのプランニング

ここでは、CADのカスタマイズを行う場合に基本的にCADのソフトを開発するのではなく、CADの操作を行うユーザーがカスタマイズアプリケーションを作成する立場で、カスタマイズのための基本的な手法を幾つか検討することを目的とする。

3.1 メニュー構成

CADのメニューは、操作をランダムにアプローチできるように、多くの場合は初期メニューに戻って目的の操作メニューに、入る構成になっている。そのため、既存のシステムでは、機能の充実を図るためにメニュー階層が複雑になっている。通常、CADを操作するうえでは次の手順の組立をイメージしながら進めている。このイメージのための時間は操作の熟練でかなり短縮されるようになる。また、熟練すればするほど階層の深いメニュー操作を煩雑な作業に思えてくる。初心者にとって、メニュー階層の複雑さは操作手順の組立さえもままならない場合が生じることがある。既存のCAD/CAMシステムのカスタマイズアプリケーションを考えるとき、シーケンシャルな操作で済むようなメニュー構成にし、途中で操作を中止する以外はメニュー階層が戻らないようなシステム構成にする必要がある。

3.2 操作プロセスの表示

CADの操作手順では、操作過程を確認せずに目的の操

作を完了させてしまうと、操作過程の誤った入力の確認ができずにそのプロセスが終了してしまう。

カスタマイズアプリケーションの開発者だけが、その操作を行うとは限らないので、一つの操作に対して確認が行えるようにCAD上に表示する必要がある。具体的に寸法値の表示、あるいは領域を示すハッティングを行えば、オペレータはその操作の正否の判断しながら次のプロセスへ進めることができる。

3.3 カスタマイズ言語と汎用言語

カスタマイズ言語は図形要素を作成することによってCADのデータベースにその図形要素のデータが構築され、その図形要素の幾何情報の検索が行えるようになっている。そのため、ユーザーが、CADを操作するイメージで、アプリケーションの開発が可能であり、CADシステムの持つ処理時間でプロセスの実行が可能である。また、他の汎用言語のFORTRAN言語やC言語とのリンクが可能なカスタマイズ言語もあるが、高速な数値計算が必要な場合以外の他の汎用言語の使用は、プロセスの処理時間を短縮させることにはあまり貢献しないし、他のユーザーからのアプリケーションのメンテナンスを受け難くさせてしまう。

4. アプリケーション作成事例

当センターで主に使用しているのは、3次元汎用CAD/CAMシステムであるが、このシステムが汎用であることと3次元のシステムであるために、既に述べたようにメニュー階層が複雑であり、2次元の加工を行う場合でも、初心者のユーザーにとっては、かなりのシステムに関する知識と熟練が必要となっている。そこで、まず2次元加工のうち製品外形を加工する輪郭加工を対象にアプリケーションの開発を試みた。

4.1 単一加工領域の輪郭加工

4.1.1 アプリケーション仕様

(1) 図形はあらかじめ作図してあるものとする。

(2) 加工を行う加工領域は単一とする。

(3) 荒取り加工は外周から行う。

(4) 当センターのCAD/CAMシステムでは、工具のアプローチ、逃げの機能はないため、これらの機能を付加する。

(5) 工具軌跡ファイル名、加工座標の設定、加工面の設定、工具速度設定、工具開始及び終点の設定、工具回避面の設定をメニューで可能にする。

4.1.2 単一輪郭加工アプリケーション作成結果

操作メニューは、カスタマイズ化のプロセスで述べたように、できる限りプロセスの戻りを少なくして、手続きに沿ってそのプロセスが次第に進むようになっている。

また、操作上の誤りが予想されるので確認作業を行い

ながら進めている。

アプリケーションで加工軌跡を作成するまでの作業の流れは以下のとおりである。

図形要素は、LINE、ARC、ELLIPS、SPLINE、B-SPLINE 等の選択を可能にしている。加工領域を確認させるためにモデルにハッチングを施す。仕上げ加工のためのアプローチ領域を示し、他の図形要素を加工するときに工具の干渉状況を確認させる。

工具の開始点、終点及び回避面、更に加工面を示す。

このアプリケーションは、CADで既に図形を作成していることを前提にしている。CADの操作を修得していれば輪郭加工の工具軌跡ファイルの加工が可能になっている。また、このシステムで描いていない図形であっても、DXFファイルからデータを呼び込めば、容易に加工データの作成が可能になっている。

単一輪郭加工図形データの例を図1に、そのカッターパスを図2に示す。

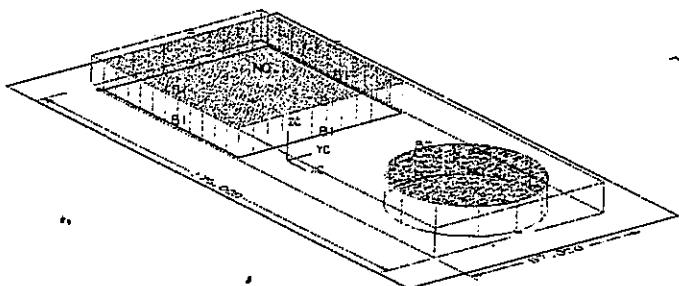


図1 単一輪郭加工図形データ

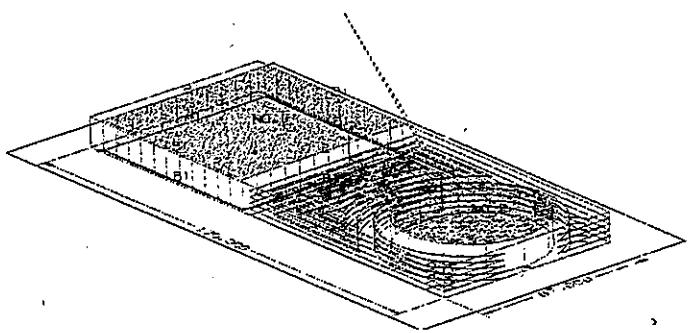


図2 単一輪郭加工カッターパス

4.2 複数加工領域の輪郭加工

4.2.1 アプリケーション仕様

- (1) 図形はあらかじめ作図してあるものとする。
- (2) 加工を行う加工領域は複数領域とする。
- (3) 仕上げ加工では、加工領域の選択を可能にする。
- (4) 荒取り加工は上部から工具が切り下げながら加工する。更に、加工される素材を荒取り加工の領域とする。
- (5) 工具のアプローチ、逃げの機能を付加する。
- (6) 工具軌跡ファイル名、加工面の設定、工具速度設定、工具開始及び終点の設定、工具回避面の設定をメニュー

で設定可能にする。

4.2.2 複数輪郭加工アプリケーション作成結果

加工領域の個数制限は20としたが、この制限個数はシステムによる制限ではなく、多くすることは可能である。

仕上げ加工のためのアプローチ領域を示し、他の図形要素を加工するときに工具の干渉状況を確認させる。

モデルに加工領域を確認させるために加工領域高さと領域確認用のハッチングを施す。

荒取り加工においては、加工領域の高さが異なる場合には荒取り加工工具軌跡の基になる工具軌跡を作成した上で更に操作が必要であったが、操作メニューを組み込んだことにより、この操作が不用になった。

このアプリケーションは、単一領域加工と同様に図形を作成してあることを前提にしている。

図1に示した単一輪郭加工の図形データを使用した複数輪郭加工のカッターパスを図3に示す。

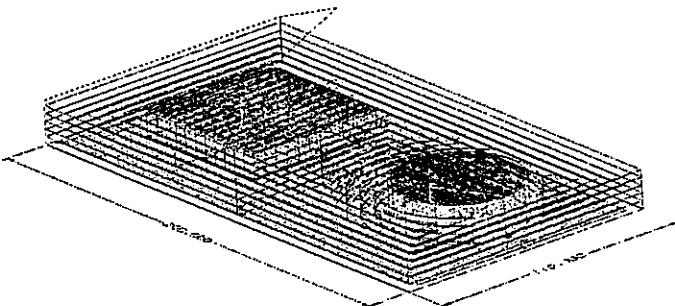


図3 複数輪郭加工カッターパス

4.3 規定形状の輪郭加工

4.3.1 アプリケーション仕様

- (1) 図形は規定の形状の輪郭加工を行うものとし、この形状は円柱、角柱とした。

ただし、形状の大きさと向きはパラメータの入力で設定可能とする。

- (2) 荒取り加工及び仕上げ加工は4.2と同様に行う。

4.3.2 規定形状の輪郭加工アプリケーション作成結果

仕上げ加工のためのアプローチ領域を示し、他の図形要素を加工するときに工具の干渉状況を確認させる。

工具の開始点、終点及び回避面更に加工面を示す。

このアプリケーションは、規定形状の部品で部分的に形状変化があるものについて、パラメータで変化を持たせた図形を作成することができる。CADの操作を知らないでも形状の作成、輪郭加工の工具軌跡ファイルの加工が可能である。

この事例では、円柱、角柱のみを加工対象としたが、複雑な形状でもプログラム化は可能である。ただし、今回用いなかった自由曲線が形状の一部にある場合、その曲線を決定する要因の自由度が高いためプログラムが複雑になり易い。

規定形状の図形データの例を図4に、そのカッターパスを図5に示す。

5 おわりに

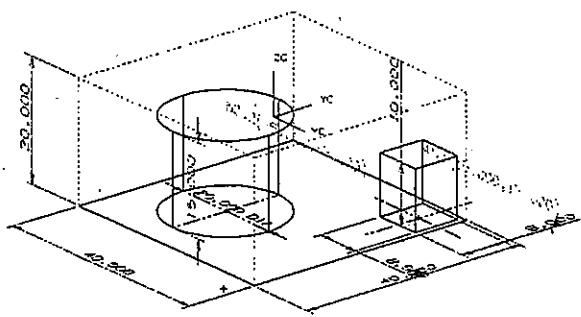


図4 標定形状輪郭加工図形データ

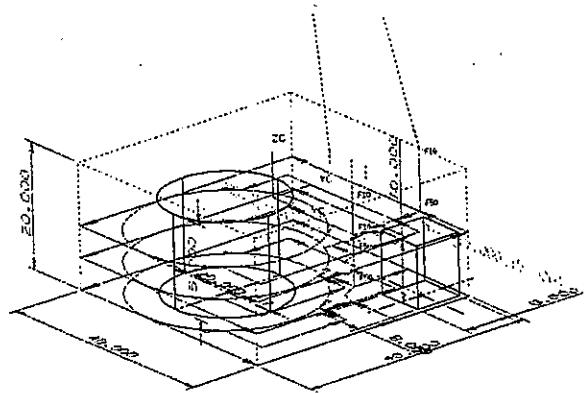


図5 標定形状輪郭加工カッターパス

CAD/CAMシステムのカスタマイズにおいては、その装備しているシステムの機能を越えるアプリケーションを開発するのは困難である。しかし、CAD以外のシステムにもみられるようにユーザーは、システム固有の機能を充分活用してはいない。今回のアプリケーション作成事例のように、専用カスタマイズ言語を使用してのアプリケーションの開発は、システムが持つ機能の多くを引き出すことが可能であり、操作性の改善だけではなくシステムの有効な利用に威力を発揮することができる。したがって、ユーザがCAD/CAMシステムを選定する場合は、そのシステムが保有しているカスタマイズ言語の内容を十分検討する必要がある。

3次元システムに関して、なぜ2次元加工の強化を行うのかは議論になる点である。まず、3次元のシステムでは曲面加工を主体にした機能が強化され、金型作成におけるように複雑な製品形状面の加工には威力を発揮する。一方、プレート等の加工にみられるように一般的な機械加工では2次元システムで十分であり使い勝手もよい。通常の3次元システムでは、2次元及び3次元システムが共存している状況であり、複雑な曲面加工が多くなければ、3次元システムの稼働率が低い傾向が見られる。そのため本研究では3次元システムでの2次元加工機能強化を図ることを目的に行ったものである。また、2次元形状であっても形状の確認は3次元的に行ったほうがより誤りは少ない。

未利用資源を活用したラッピング加工実験

村田 勝*

Study on Utilization of Volcanic Ashes for Lapping Compound

Masaru MURATA*

本研究は、県内未利用資源の有効活用を目的とし、阿蘇火山灰等を採り上げ、ラッピング加工用研磨剤としての活用の可能性を品質工学手法を用いて検討した。

当加工に使用されるラップ剤としては、ダイアモンドスラリー等が用いられるが、ラップ剤コストもかなり高くつくのが現状である。

そこで、加工コスト低減を図るために、未利用資源：火山灰をラップ剤として用いたラッピング加工実験を行った結果、火山灰は、粒径75 μm 以下の物質の重量比率が40%以上を占め、ラッピング加工用遊離と粒として有効と思われる成分を多く含み、荒仕上げから中仕上げ程度のラッピング加工用ラップ剤としての有効性を確認することができた。

1. 緒 言

ラッピング加工は、電子機器部品・計測機器部品等精密機器部品の仕上げ工程において、機械加工後の高精度加工法として従来から利用されている方法であり、近年、当加工に要求される精度も厳しくなってきている。

さらに、昨今、加工業界における厳しいコストダウンのなかで、当ラッピング加工においても、荒仕上げから中仕上げ程度の工程で安価な研磨剤の開発ができれば朗報となる。

今回は、火山灰という未知の誤差要因を含むと粒を用い、荒仕上げから中仕上げ程度のラッピング仕上げ面粗さや研磨除去量に対する加工条件の影響と適正加工条件を見つけるために、品質工学手法を導入した実験を試みた。

2. 実験方法

2.1 ラップ剤の調合

実験に供したラップ剤用火山灰は、阿蘇山、雲仙普賢岳及び桜島の3火山地帯における代表的な地区からのサンプルである。これらの火山灰を、下記に示す粒度試験において0.075mm（以下、75 μm と表す。）パスで分級し、純水で5、15、25%wtに希釈調合したものを用いた。

粒度試験は、（財）熊本県建設材料センターに依頼し、JIS 1204（土の粒度試験）に準拠して行った。その結果を図1に示す。

化学分析は、（株）九州テクノリサーチに依頼し、ICP分析法（Na₂O、K₂O）、硝酸銀法（Cl）、重量法、ヨウ素滴定法（S₀）、蛍光X線分析法（SiO₂、Fe₂O₃、CaO、MgO、Mn

O、P₂O₅、S、TiO₂、Al₂O₃）を用い、合計13成分について行った。その結果を表3に示す。

2.2 試験機器及び実験の方法

実験には、修正リング方式片面仕上げラップ盤（LP-15F、ラップマスター（株）製、水冷式）に、ハイプレスミニマイザー（EM-1、エンギス社製、研磨剤及びルブリカント（潤滑剤）自動噴霧器）を付加した装置を用いた。

ラップ定盤は、マルチメタル定盤（MM991、ランプラン社製）を用い、実験ごとに、ハイプレスラッピングゲージユニット（HLG-15、エンギス社製）で定盤の平面管理（±5 μm 以内）を行った。

ワーク（被研磨材）は、SUS403材（φ25×13、硬さHB223）の両端面をあらかじめ研削加工したもの（仕上げ面表面粗さ平均値：Ra=0.82 μm ）を1実験当たり3個ずつ研磨用受け皿に、正三角形状に配置、圧着したものを用いた。

評価関数は、仕上げ面表面粗さ（Ra値：算術平均粗さ、経験値などから目標：0.1 μm 以下の望小特性値）及び研磨除去量（mg、経験値などから目標：3.5mg/min以上の望大特性値）とし、前者は、表面粗さ形状測定機（サーフコム570A、（株）東京精密製）でワーク直径方向3箇所のRa値を測定し、後者は、電子天秤（AB204、メトラー社製）でワークの研磨前後の重量を計量し、その重量差を加工時間で除して求めた。

2.3 実験の要因及び水準の設定

表1に示すように、研磨特性に影響を及ぼすと思われる要因として、火山灰種類A、火山灰水濃度B、ラップ盤回転数C、ワーク加圧力D、ラッピング加工時間E、火山灰水噴霧量F、水溶性ルブリカント噴霧量G（以下、各要因は、要因A、要因B、……、要因Gと表す。）の7要因を採り上げ、各要因の水準は、同表のように3水準とした。

今回の要因の中で因子の種別が特定しにくいことな

* 生産技術部

表1 ラッピング加工実験の要因及び水準

要因	水準	1	2	3
火山灰種類	A	阿蘇山火山灰	雲仙普賢岳火山灰	桜島火山灰
火山灰水濃度 (%)wt	B	5	15	25
ラップ盤回転数 (rpm)	C	60	80	100
加圧力 (kPa)	D	35	62	89
加工時間 (min)	E	15	20	25
火山灰水噴霧量 (s/min)	F	4(30, 2)	6(20, 2)	8(15, 2)
ルブリカント噴霧量 (s/min)	G	4(30, 2)	5(24, 2)	6(20, 2)

(注)火山灰水及びルブリカント噴霧量4(30, 2)は、30秒毎に2秒間、すなわち、1分間に当たり平均4秒間噴霧することを示す。

だから、表2のように直交表L₁₈の内側に要因A～Gを割り付け、各要因の特性値に対する影響度を検討することとした。

表2 ラッピング加工実験の割り付け [L₁₈(2⁷ × 3⁷)]

要因	火 灰 ラ ワ 加 火 ル 山 山 ッ タ 工 山 ブ 灰 灰 プ ク 時 灰 種 水 盤 加 間 水 類 濃 回 圧 水 度 転 力 噴 度 転 数 量 度 転 量 度 転 量							デ タ	
	No	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	2	2	2	2	2	2	
3	1	1	3	3	3	3	3	3	
4	1	2	1	1	2	2	3	3	
5	1	2	2	2	3	3	1	1	
6	1	2	3	3	1	1	2	2	
7	1	3	1	2	1	3	2	3	
8	1	3	2	3	2	1	3	1	
9	1	3	3	1	3	2	1	2	
10	2	1	1	3	3	2	2	1	
11	2	1	2	1	1	3	3	2	
12	2	1	3	2	2	1	1	3	
13	2	2	1	2	3	1	3	2	
14	2	2	2	3	1	2	1	3	
15	2	2	3	1	2	3	2	1	
16	2	3	1	3	2	3	1	2	
17	2	3	2	1	3	1	2	3	
18	2	3	3	2	1	2	3	1	

3. 実験の結果及び考察

3.1 火山灰の粒度試験及び成分分析結果

昭和27年の県(土木部)が公表した報告:「阿蘇火山灰ヨナ地帯の特異性(砂防調査報告第1号)」では、火山灰が、噴火の時期・試料採取場所等によってその化学的・物理的性質に大きな違いのあることが報告されている¹⁾

が、このことは、今回の火山灰サンプルの場合もある程度の前提条件であることを明記したい。

図1から明らかなように、目的とする粒径75 μm以下の

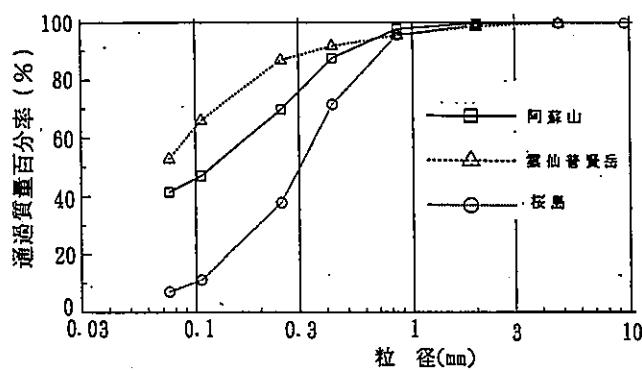


図1 火山灰の粒径加積曲線

表3 火山灰成分分析 (%)

項目	灰種 阿蘇山 火山灰	雲仙普賢 火山灰	桜島 火山灰
Fe ₂ O ₃	8.44	4.52	7.49
SiO ₂	56.43	67.77	61.14
CaO	0.01	0.01	8.23
MnO	0.20	0.13	0.19
MgO	3.06	2.52	3.42
P ₂ O ₅	0.24	0.12	0.14
S	1.29	0.01	0.053
TiO ₂	1.17	0.77	0.99
Al ₂ O ₃	17.87	17.50	16.87
Na ₂ O	2.43	3.69	3.18
K ₂ O	1.80	2.32	1.63
Cl	<0.01	<0.01	0.01
SO ₃	2.60	<0.1	<0.1

火山灰の重量比率については、阿蘇・雲仙火山灰の場合、40%以上にもなるが、桜島火山では10%を割っている。

表3の化学分析結果から、各火山灰の特徴は、次のようになる。

阿蘇山火山灰は、他の2種類と比較して、Sの含有量が多い。雲仙普賢岳火山灰は、 Fe_2O_3 の含有量が最も少なく、逆に SiO_2 の含有量が多くなっている。また、桜島火山灰は、CaO含有量が8%を占め、他の2種類とは異なっているが、いずれの火山灰も、 SiO_2 とが Al_2O_3 が主成分である。

3.2 直交表によるラッピング加工実験結果

3.2.1 表面粗さ(R_a)に及ぼす影響について

直交表L₁₈を使ってラッピング加工した後、各実験ごとの3個のワークについて直徑方向で3点ずつ合計9点の表面粗さRa値を測定した。

これらの値を y_i ($i=1, \dots, 9$) とし、これを次式

$$\sigma^2 = (1/9) (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_9^2)$$

$$SNR = 10 \log(1/\sigma^2)$$

に代入して望小特性のSN比を直交表の18行について求めた。この結果を表4に示す。また、分散分析した結果を表5に示す。

表4 表面粗さ(R_a 値)及び研磨除去量(mg)のSN比(dB)

要因	研磨除去量 (mg) の SN 比						
	火山灰種類	火山灰水濃度	ラップ盤回転数	ワーカー加圧力	加工時間	火山灰水噴霧量	ルブリカント噴霧量
No	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	16.97
2	1	1	2	2	2	2	20.30
3	1	1	3	3	3	3	20.84
4	1	2	1	2	2	3	23.00
5	1	2	2	2	3	3	22.90
6	1	2	3	3	1	2	20.55
7	1	3	1	2	1	3	19.16
8	1	3	2	3	2	1	17.50
9	1	3	3	1	3	2	15.50
10	2	1	1	3	3	2	21.45
11	2	1	2	1	1	3	18.80
12	2	1	3	2	2	1	15.10
13	2	2	1	2	3	1	20.59
14	2	2	2	3	1	2	21.06
15	2	2	3	1	2	3	17.97
16	2	3	1	3	2	3	20.29
17	2	3	2	1	3	1	17.33
18	2	3	3	2	1	2	14.81

表5 表面粗さ(R_a)の分散分析表

要因	表面粗さ (Ra)				研磨除去量 (mg)			
	f	S	V	p (%)	f	S	V	p (%)
A	2	38.838	19.419	32.17	2	42.309	21.153	4.13
B	2	25.746	12.873	20.07	2	175.620	87.810	31.53
C	2	13.094	6.547	8.37	2	61.665	30.833	8.11
D	2	4.467	2.234*		2	0.085	0.042*	
E	2	12.340	6.170	7.68	2	11.987	5.994*	
F	2	2.207	1.104*		2	44.618	22.309	4.61
G	2	2.430	1.215*		2	84.770	42.385	12.86
e	3	9.057	3.019*		3	65.601	21.867*	
e'	9	18.161	2.018	31.71	7	122.291	11.096	38.76
S _t	17	108.179			17	486.655		

(注)e' は、*をプロトして算出した。

表5のeは、誤差項を示し、e'は、e及び有意にならない要因D、F、Gをプールした値を示す。これをもとに寄与率を求めると、表面粗さに影響を及ぼすのは、要因A、B、C、Eの順となる。

表6 表面粗さ(R_a 値)及び研磨除去量(mg)の各SN比の平均値
(dB)

要因	表面粗さ(μm)			研磨除去量(mg)		
	水準1	2	3	水準1	2	3
A	18.910	21.012	17.432	33.970	37.725	35.893
B	20.243	19.648	17.462	31.590	37.028	38.970
C	18.262	18.810	20.282	38.405	34.052	35.132
D	18.558	19.027	19.768	35.940	35.875	35.773
E	18.007	19.350	19.993	35.473	35.117	36.998
F	18.637	19.460	19.257	35.138	34.402	38.048
G	18.600	19.338	19.418	38.747	35.330	33.512

また、表4から要因別、水準別の表面粗さ(R_a)のSN比平均値を求めると表6のようになり、このなかで有意要因A、B、C、Eについて抽出した要因効果は、図2のとおりとなる。

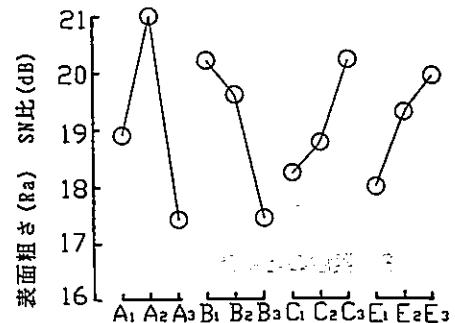


図2 素面粗さ(Ba値)の要因効果図

以上の結果から、次のことが推察される。

要因Aは、火山灰の化学成分の違いによる効果が大き

く効いているのものと推察される。

要因Bについては、ラップ盤とワークとの間に適量の火山灰粒子が介在し、ラップ盤に刺って固定されることでワークを研磨したり、また、脱落を繰り返すというなかで、5%という火山灰濃度の適正値が得られた。

要因Cは、火山灰粒子の切刃がラップ盤に固定されて作用し続ける距離に係わるもので、回転数が大きくなると、火山灰粒子切刃は、遠心力で排除されロス分となり、この辺のバランスングポイントが適正回転数100rpmに落ちついたものと思われる。

要因Eは、ラッピング加工効率を考えた場合、できるだけ短い方が望ましいが、当ラップ剤では、25分という値がリミットと考えられる。

次に、図2において、各要因A、B、C、Eの最高値を採用した条件:A₂B₁C₃E₃が、仕上げ面粗さを評価関数としたときのSN比の高い組み合わせ条件(最適組み合わせ条件)であり、同条件下で工程平均値μを推定すれば次のとおりとなる。

$$\begin{aligned}\mu &= (A_2 - T) + (B_1 - T) + (C_3 - T) + (E_3 - T) + T \\ &= A_2 + B_1 + C_3 + E_3 - 3T \\ &= 24.11 \text{dB}\end{aligned}$$

ここで、例えば、A₂とは要因Aの第2水準での平均値A₂で、表6に示す値で、Tとは表4の実験18回分の平均値を示す。(以下も同様)

これをRa値に換算すれば、

$$10 \log(1/\sigma^2) = 24.11$$

よって、 $\sigma = 0.062 \mu\text{m}$

となり、Ra値のばらつきが $0.062 \mu\text{m}$ になることが推定される。

また、最悪条件の組み合わせ(今回の火山灰を使用した実験は、初めてのことであり、比較対象条件が無いため、最悪条件と比較評価する。)は、A₃B₃C₂E₁であり、この場合の工程平均推定値は、 $\mu' = 13.18 \text{dB}$ 、Ra換算値で $\sigma' = 0.219 \mu\text{m}$ となる。

したがって、最適条件からの差をもとめることで利得は、 $24.11 - 13.18 = 10.93 \text{dB}$ となる。

このことは、最適条件及び最悪条件でラッピング加工したとき、両者の仕上げ面粗さRa値のばらつき σ 、 σ' の比は、 $\sigma/\sigma' = 1/3.53$ であるから、うまくラッピング加工条件を選定すれば、最悪時に比べて仕上げ面粗さRa値のばらつきを1/3以下に小さくすることができるることを示している。

この場合のように、加工条件を効率的かつ効果的に選定するのが品質工学手法の大きな目的の一つである。

3.2.2 研磨除去量に及ぼす影響について

表面粗さRaの場合と同様の計算プロセスで、研磨除去量のSN比(表4)を求め、この結果について分散分析(表5)を行い、要因別SN平均値表(表6)を作成し、これをもと

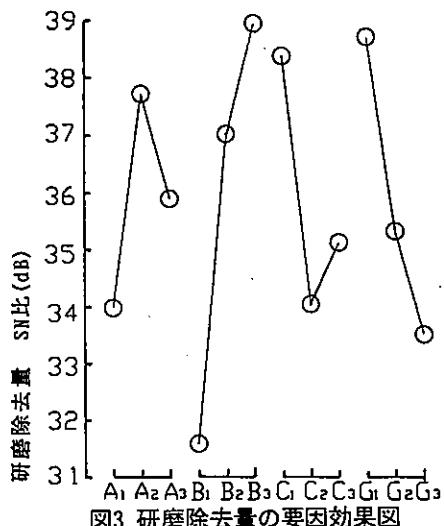


図3 研磨除去量の要因効果図

に有意要因についての要因効果図(図3)を作成した。

ただし、研磨除去量のSN比は、その測定値を y_i ($i=1, 2, 3$)とすれば、望大特性のSN比を求める次式により、直交表の18行について求めた。

$$\sigma^2 = (1/3)(1/y_1^2 + 1/y_2^2 + 1/y_3^2)$$

$$\text{SN比} = 10 \log(1/\sigma^2)$$

以上の結果、研磨除去量の最適組み合わせ条件は、A₂B₃C₁G₁となるが、表面粗さの最適組み合わせ条件A₂B₁C₃F₃と比較すれば、要因B、Cにおいて相反する結果となっている。

このことは、粒の種類及び粒径によっても違ひがあるものと思われるが、次のように推定される。

第1に、火山灰水濃度を増せば、ワークにとって比較的大きめの火山灰と粒切れ刃に遭遇する確率が高くなり、研磨除去量は増加傾向となるが、表面粗さ(Ra)をみると、大きめの圧痕が残るため、Ra値で大きめの値が出る結果となったものと思われる。

第2に、ラップ盤回転数を上げるとワーク運動距離が長くなり、その分ラップ剤も次第に粉碎されて微細になり、いわゆる目づまりに近い状態となるため研磨除去量は低下するが、この目づまりが、かえって切りくずとワークとの金属摩擦を引き起こし表面粗さをよくするように作用したものと推定される。

ここで、実際問題として表面粗さ(Ra)と研磨除去量の効果をどうバランスさせて条件設定するかがポイントになってくる。

今仮に、この両者が同程度の重み付けで満足されるための条件を求めるとき、表面粗さのSN比推定値と研磨除去量のSN比推定値との和を最大にするような要因B、Cの組み合わせ条件を抽出することに問題は帰着する。

9通りの要因B、Cの組み合わせに対する表面粗さのSN比推定値及び研磨除去量のSN比推定値を求め、この両者の和の中で最大のものを求め、要因D、Eについても同様に検討した結果、最適条件をA₂B₂C₃D₃E₃F₃G₁と決定した。

この最適組み合わせ条件下での平均値を推定してみれ

ば、表面粗さで

$$\mu = A_2 + B_2 + C_3 + E_3 - 3T = 23.41 \text{dB}$$

研磨削除量で

$$\mu' = A'_2 + B'_2 + C'_3 + G'_1 - 3T' = 41.84 \text{dB}$$

となり、合計して、次のとおりとなる。

$$\mu + \mu' = 64.45 \text{dB}$$

3.2.3 確認実験

最適組み合わせ条件 $A_2B_2C_3D_3E_3F_3G_1$ の下での確認実験の結果、

表面粗さ (R_a) = 21.50 dB (実測平均値 $0.091 \mu\text{m}$)

研磨除去量 = 43.67 dB (実測平均値 $6.11 \text{mg}/\text{min}$) が得られ、合計は、

$$21.50 + 43.67 = 65.17 \text{dB}$$

この結果を最適条件下での推定平均値と比較すれば、

表面粗さ : $21.50 - 23.41 = -1.91 \text{dB}$

研磨除去量 : $43.67 - 41.84 = 1.83 \text{dB}$

となり、合計は、

$$-1.91 + 1.83 = -0.72 \text{dB}$$

と概ね再現性が確認できたことが分かった。

また、目標値※と比較して、

表面粗さ : $0.091 \mu\text{m} < \text{望小特性値 } 0.1 \mu\text{m}$ ※

研磨除去量 : $6.11 \text{mg}/\text{min} > \text{望大特性値 } 3.5 \text{mg}/\text{min}$ ※

と目標値もクリアしていることが分かった。

さらに、ワーク全面について表面粗さ R_a 値の一様性について検討するため、同ワーク一個につき円周60度ごとに、計6本の直径方向で3点ずつ合計18点、3個トータルで54点の詳細な追加測定を行って望小特性値の平均値を求めた結果、21.54 dBとなり、上記測定値とほとんど一致していたことを付記する。

4. 結 論

今回の実験で、次のようなことが明らかになった。

(1) 火山灰は、天然に産する物質であるだけに、その物

理的、化学的特性には、多様なばらつきも認められるが、粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下で分級された物質の占有率は、重量比率40%以上と非常に多く、その化学組成も在来の人造研磨材の代表的な化学成分に見られるようなものが主流を占め、含有率順に SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 等の物質を含むことが分かった。

(2) 各々 $75 \mu\text{m}$ 以下で分級された阿蘇山火山灰、雲仙普賢岳火山灰及び桜島火山灰をラップ剤として使用した実験の結果、雲仙火山灰水15%液を15秒間隔で2秒間噴霧、潤滑水溶液は30秒間隔で2秒間噴霧し、ラップ盤を1分間10回転で25分間、ワーク加圧力90kPa程度とした場合に、表面粗さ R_a 値で $0.09 \mu\text{m}$ 、時間当たり研磨削除量は、 $6 \text{mg}/\text{min}$ 程度と、概ね良好な数値が得られた。

(3) 今回の実験では、火山灰3種類について、粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の分級灰を一括してラップ剤として取り扱ったが、火山灰の種類を多くし、粒径の分級もさらに2~3段階多くより効率的に細分級してラップ剤に活用できれば、更にきめの細かいラッピング加工も期待され、これは今後の課題としたい。

(4) 今回のように、未知の誤差要因を含み、多くの要因を一括して扱う場合の実験で、品質工学手法の効率性・有効性について確認することができた。

謝 辞

今回の実験において、品質工学手法の導入に際しては、計算ソフト開発で協力いただいた本県土木部営繕課池崎雅宣氏に深謝します。

文 献

- 1) 熊本県土木部、砂防調査報告第1号 “阿蘇火山灰ヨナ地帯の特異性”, P. 41 (1952)

周辺固定円板の横衝撃変形の数値解析*****

—衝撃液圧成形法に関する研究—

石水泰夫*・藤田昌大**・持原稔***・芋坂浩男****・伊東繁**

Numerical Analysis on Deformation Process of a Circular Plate Clamped at the Periphery under Shock Loading.

-Study on Impact Hydroforming Method-

Yasuo ISHIGORI*, Masahiro FUJITA**, Minoru MOCHIHARA***,
Hiroo OSAKA**** and Shigeru ITOH**

衝撃液圧成形法は、水中で高い衝撃圧を発生させ、これを板材に負荷することにより、成形を行うものであるが、非常に短時間に、しかも密閉された容器の中で行われるため、変形過程のメカニズムが実験的にわかりにくい。そこで、衝撃負荷を受けた円板の変形過程について、有限差分法によって数値解析を行った。

これによって、周辺を固定された板の変形が、外周部から生じた下に凸の曲げ波及びその曲げ戻し波によって、傾斜面を形成しながら中央に向かって進行することがわかった。また、ひずみ硬化やひずみ速度効果の影響についても明らかにしている。

1. 緒 言

爆発成形や液中放電成形あるいは電磁成形のように、衝撃圧の作用によって板材を成形する場合の変形機構は、液圧成形法等の準静的な場合と異なることが知られている。この場合、動的な変形過程をたどるので塑性力学的にも興味深い課題となっている。最近コンピュータの性能向上や数値解析法の発達に伴って、塑性力学のいくつかの問題についてより詳細な解析が可能となっている。板の横衝撃過程については、戸部ら¹⁾により薄膜理論に立脚した有限差分法による数値解析がなされ、川井ら²⁾によって弾／完全塑性曲げの有限要素法による数値解析結果が示されている。これらの解析では、面内応力と曲げ剛性というこの問題における2つの要因を別々に捕らえているが、変形機構の全容を明らかにするには両方の要因を合わせて考え、その複合的な働きを解明する必要がある。芋坂らは、板厚方向にも要素分割を行い、金属円板を弾／完全塑性体と見なして、有限差分法による数値解析を行っている³⁾。そこでは膜力的な変形抵抗ばかりではなく、曲げ変形に対する変形抵抗も吟味されているので、曲げ変形に特有の現象についても説明することに成功している。しかしながら、当時のコンピュータの能力のため詳細な議論を展開するには至らなかった。そこで本研究では、さらに詳細な議論を行うために、空間や

時間の区分をより細かく区切ることによって精密な数値解析を行い、更に薄膜理論に従った解析も同時に実行して、両方の結果を比較検討しながら、変形機構の全容を明らかにすることを試みる。その中で特に変形過程における曲げ応力の働きを明らかにする。また、本研究では材料の構成式にひずみ硬化、ひずみ速度効果を導入して、これらが変形機構に及ぼす影響も明らかにしようとする。

2. 解析の方法

2.1 解析対象と解析の基礎式

本研究では、周辺を固定された円板が一様に分布する衝撃圧を受けて変形する問題を解析対象とするが、図1はそれを説明したものである。この図には板厚方向に要素分割する場合を示しているが、固定部に半径5mmの肩を設けて、板の最下部の要素がこの肩部に衝突すると、その要素の衝突面が肩部に固着されると考える。また薄膜理論に従うと考える場合には、平坦な外周固定部を考え、その上に板の要素が固着されていると考える。

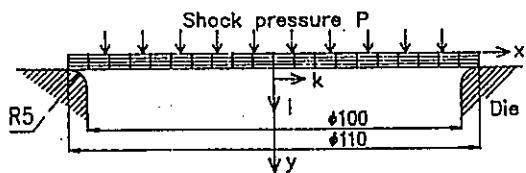


図1 衝撃圧を受けた円板の変形過程の解析モデル

薄膜理論を適用する場合には、子午線方向応力 σ_r と円周方向応力 σ_θ を2つの主応力とする平面応力状態にあると

* 生産技術部
** 熊本大学工学部
*** 鹿児島工業高等専門学校
**** 熊本工業大学
***** 日本塑性加工学会誌, vol.136, no.412, p. 541 (1995)

考えるが、それらを応力成分とする要素の運動方程式は清田が既に導いている¹⁾。本研究ではそれを解析の基礎式として用いた。板厚方向に要素分割する場合には、半径方向応力 σ_z 、元の板面に垂直な方応力 σ_y 、円周方向応力 σ_θ とせん断応力を応力 τ_{xy} 成分と考えるので、解析の基礎となる要素の運動方程式は次の通りである。

$$\begin{aligned} u &= \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\sigma_x - \sigma_\theta}{x} \right) \\ v &= \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\tau_{xy}}{x} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで u 、 v は要素の変位速度の x 方向及び y 方向成分であり、 ρ は板の密度である。

この運動方程式は、オイラー座標で表しているが、数値解析では各分割要素の運動を追跡するために、次のようにラグランジュ座標に座標変換した運動方程式を用いる。なお、式(2)は偏差応力成分 s_x 、 s_y 、 τ_{xy} を用いて表しており、式中の $\sigma_m = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_\theta)/3$ である。また、 k 及び l は導入されるラグランジュ座標であり、 J は座標変換のヤコビアンで式(2)中の一番下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} u &= \frac{1}{\rho J} \left(\frac{\partial (\sigma_m + s_x)}{\partial k} \frac{\partial y}{\partial l} - \frac{\partial (\sigma_m + s_x)}{\partial l} \frac{\partial y}{\partial k} \right. \\ &\quad \left. - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial k} \frac{\partial x}{\partial l} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial l} \frac{\partial x}{\partial k} \right) + \frac{2s_x + s_y}{\rho x} \\ v &= \frac{1}{\rho J} \left(-\frac{\partial (\sigma_m + s_y)}{\partial k} \frac{\partial x}{\partial l} + \frac{\partial (\sigma_m + s_y)}{\partial l} \frac{\partial x}{\partial k} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial k} \frac{\partial y}{\partial l} - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial l} \frac{\partial y}{\partial k} \right) + \frac{\tau_{xy}}{\rho x} \\ J &= \frac{\partial x}{\partial k} \frac{\partial y}{\partial l} - \frac{\partial x}{\partial l} \frac{\partial y}{\partial k} \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 衝撃圧

衝撃圧は、変形する板面に垂直に作用すると考えるが、計算においては圧力作用を直接受ける要素(図1において最上面の要素)の上面に垂直に負荷される外力として処理した。圧力パルスとしては、図2に示される3角パルスの波形を与えるが、その力積によって変形抵抗を何ら有しない板が変位速度 $v_p = 60\text{m/s}$ を得るように P_m の値を決めた。また $t_p = 20\mu\text{s}$ とし、立ち上がり時間を $t_s = 0.2 t_p$ とした。板の変形抵抗を考えない場合には、この圧力パルスによって板が最終速度に達するまでに約0.7mm変位するが、変形の進行から見てこの値は小さいので変形の初期にはほとんど瞬間に $v_p = 60\text{m/s}$ の最終速度に達していると見なして良い。

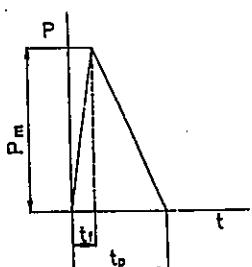


図2 解析に用いた三角形の圧力パルス

2.3 材料モデル及び応力成分の計算法

円板の材料としては銅を想定する。従って、材料の密度、継弾性係数、ポアソン比は次の通りである。

$$\rho = 8,960\text{kg/m}^3, E = 129.8\text{GPa}, \nu = 0.343$$

本研究で取り上げる材料モデルは次の3通りである。

但し、 σ_p は塑性応力、 ϵ_p は塑性ひずみである。

Model(1) 弾／完全塑性体

$$\sigma_p = 240 \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

Model(2) ひずみ硬化材

$$\sigma_p = 20 + 430(\epsilon^P)^n \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

Model(3) ひずみ速度効果も有する材料

$$\begin{aligned} \sigma_p &= 20 + 430(\epsilon^P)^n + C(\epsilon^P) \ln \dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_s \\ &+ 2.9 \times 10^{-2} \dot{\epsilon}^P \epsilon_p \quad (\text{MPa}) \end{aligned} \quad (5)$$

このうち、式(5)は谷村が銅について実験的に求めた式である⁵⁾。Model(2)の材料はModel(3)の材料からひずみ速度効果の項を除いたものである。なお、式(5)において $n = 0.445$ 、 $\dot{\epsilon}_s = 5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、 $\dot{\epsilon}_s = 1.0 \text{ s}^{-1}$ である。 $C(\epsilon^P)$ について、谷村は $\epsilon^P = 0.05 \sim 0.2$ の4段階の数値を示しているので、ここではそれを近似式化して用いた。

なお、Model(2)、(3)を考える時、材料は等方硬化材料であると見なし、ひずみ硬化は塑性ひずみ履歴に依存するとした。また、ひずみ速度効果については、瞬間のひずみ速度に依存すると考えた⁶⁾。

計算はまず応力状態が弾性域にあるとみなして、式(6)によって新しい時刻の応力を求める。

$$\begin{aligned} s'_x &= s_{x0} + 2Gde_x, \quad s'_y = s_{y0} + 2Gde_y, \\ \tau'_{xy} &= \tau_{xy0} + 2Gd\gamma_{xy}/2, \quad \sigma_m = \sigma_{m0} + Kde_v \end{aligned} \quad (6)$$

ここで G はせん断弾性係数、 K は体積弾性係数である。

また、 ϵ_v は体積ひずみ、 ϵ_x 及び ϵ_y は x 方向及び y 方向の偏差ひずみであり、次式によって与えられる。

$$\epsilon_v = (\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z), \quad \epsilon_x = \epsilon_x - \epsilon_v/3, \quad \epsilon_y = \epsilon_y - \epsilon_v/3$$

なお、添字0は前の時刻の値である。式(6)によって求めた応力から相当応力 σ_{eq} を求め、これを前時刻の σ_p と比較する。 $\sigma_{eq} \leq \sigma_p$ であれば、弾性域であるので式(6)で求めたものが新しい時刻の応力成分、つまり $s'_x = s'_x$ 、 $s'_y = s'_y$ 、 $\tau'_{xy} = \tau'_{xy}$ であるが、 $\sigma_{eq} > \sigma_p$ ならば、塑性域であるので次の計算を行う。まず、偏差ひずみ増分を使って相当ひずみ増分 $d\epsilon_{eq}$ を求め、これを塑性ひずみ増分と見なす。次に塑性ひずみ速度及び塑性ひずみを求めて、それらを構成式に適用して、新しい時刻の σ_p を求める。そして、

$$s_x = s'_x \sigma_p / \sigma_{eq} \quad (7)$$

などとして、偏差応力成分 s_x 、 s_y 、 τ_{xy} を新しい降伏面上の点として求め直す。

これは、Maenechenら⁷⁾の計算方法に従っているが、

筆者らはラントルロイ式から出発したやり方でも計算を行った。そして両方の計算結果が一致することを確かめ、式(7)の方法の妥当性を確認した。

2・4 要素分割、時間刻み及び数値計算の手順

数値計算は有限差分法によって行うが、板厚を5分割、半径を110分割した。薄膜理論で計算する場合には半径を100分割した（この場合固定部の直径を100mmとしている）。時間刻み Δt は、要素の最小寸法と材料の弾性波速度から決まるケーラン数が1/5以下になるように決めた。試料の板厚が0.5、1、2mmの場合に対し Δt は 1.0×10^{-5} s、 2.0×10^{-5} s、 4.0×10^{-5} sとした。数値計算は与えられた応力場及び負荷（衝撃圧）から要素の変形速度を求め、ひずみ速度、応力増分を求めて、次の段階の要素の座標及び応力場を求めるという手順で行うが、数値計算プログラムは文献(7)及び(8)を参考して新たに作成した。

3. 解析結果

3.1 変形過程の概要

図3には、弾/完全塑性体の場合の変形過程について薄膜理論で計算した結果を示している。変形過程は、固定されている外周部から中央に向かって曲げ波が進行し、その曲げ波の通過によって、板が変形傾斜角を与えられていくという形態で進行しているが、曲げ波の移動速度 v_b について清田は $v_b = \sqrt{\sigma_p/E}$ であることを薄膜理論の解析解として求めており¹⁾、Hudsonも同様の結果を導いている²⁾。Model(1)の条件でこの値を求めるとき 163.6m/s である。一方、図から折れ曲がり点の移動速度を求めるとき 2.2m/s であり、両者がほぼ一致していることから、本数値解析法の妥当性が立証できる。変形傾斜角 α については、いずれの要素もy方向にのみ変位し、x方向には変位しないと考えると、 $\tan \alpha = v_y/v_b$ で与えられる。

ここで v_b は板のy方向の変位速度である。しかし実際の要素は引き伸ばしながら塑性ヒンジ点（曲げ波到達点）の回りを回転することによって、傾斜角 α が与えられるのでそのことを考慮すると、 α は $\tan^{-1}(v_y/v_b)$ よりもいくらか大きくなると予測される。本図で求めた α は 20.8° であり、これに対して $\tan^{-1}(v_y/v_b)$ から求めた値は、 20.1° であった。

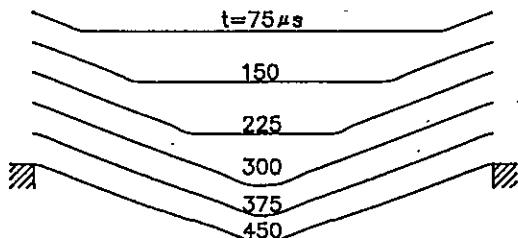


図3 弾/完全塑性薄膜の変形過程

3.2 変形機構に及ぼす板厚の影響

図4には、変形途中 $t=150\mu\text{s}$ における変形形状を、Model(1)について計算した結果を示している。計算は3とおりの板厚について板厚方向にも要素分割する方法で行ったが、薄膜理論で計算した結果も同図中に合わせて示している。これらを比較して、4つの場合の変形形状が良く類似しているのが分かる。つまり変形傾斜角及び中央平坦部のy方向変位量はほとんど等しい。このことは板厚の効果を考える場合にも概略の変形機構は面内応力の大きさによって決まり、薄膜理論によって構成される変形機構に従っていることを示唆している。重要な相違は、板厚効果を考える場合には、外周の変形傾斜部と中央平坦部との間が滑らかな曲げ変形で接続されることである。そして板厚の増加とともに曲げ変形の領域が広くなっている。更にこの曲げ変形に付随して様々な曲げ波が生じているが、これについては次節で議論する。

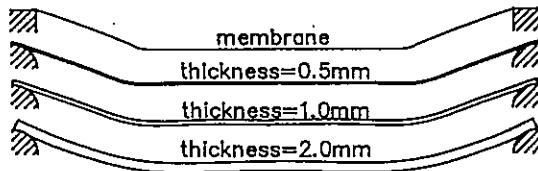
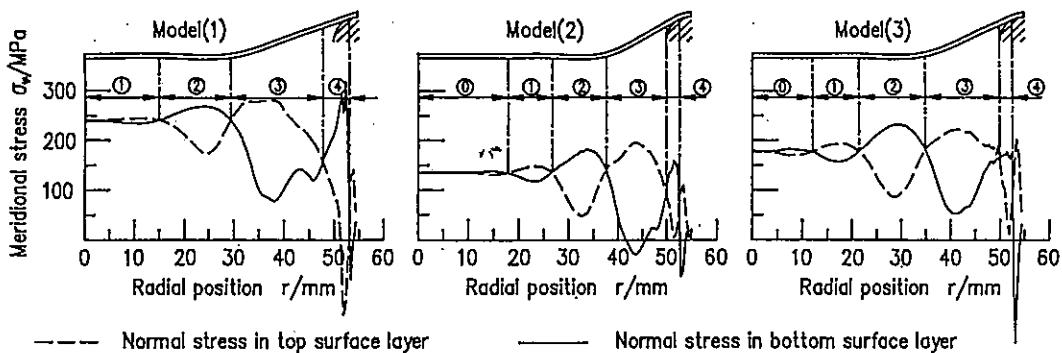


図4 弾/完全塑性体の場合の板厚効果($t=150\mu\text{s}$)

3.3 変形過程における曲げ波の移動

これらの曲げ波を詳しく吟味するために、上表層及び下表層の子午線方向の垂直応力の分布を求めた。図5は変形途中($t=150\mu\text{s}$)における変形形状と上記応力分布を3つの構成式のModelについて求めた結果を示している。

この応力は偏差応力 σ_x, σ_y に平均応力 σ_m を加えて、 σ_x と σ_y を求めた後、各要素の変形傾斜角を求めて、子午線方向垂直応力に換算して求めたものである。図中に縦線で示しているのは、上表層と下表層の応力が一致する位置であり、それを境界にして曲げの方向が変わる。これらの境界で区切られる領域を①、②、③、④の記号で表している。Model(1)を例にとって現象を説明する。②は傾斜部と平坦部を接続する下に凸の曲げ変形の領域であり、これによって上表層は曲げ変形の内側であるので応力は小さく、下表層は外側であるので応力は大きい。この場合膜力的な作用によって、板は面内の引っ張りひずみを受けており、それに曲げ変形によるひずみが付加されて応力を生じるために、全体に応力は正となっている。このため上層部の応力が下層部よりも若干小さくなる程度である。つまり弾/塑性あるいは剛/塑性曲げの問題として扱う場合のように、上層部では負の降伏応力、下層部では正の降伏応力を有するのではないことを注意すべきである。この曲げ波の前方には上に凸の曲率の小さい曲げ波の領域①が生じる。Duwezら¹⁰⁾は弾塑性曲げ波の理論解析において、塑性ヒンジに先行する

図5 板の変形形状と変形過程における子午線方向応力($t=150\mu s$)

弾性曲げ波を説明し、本図と類似の変形形状を示した。本解析結果は、上層部と下層部とも塑性状態にあり、それらの間の応力差は、そこで曲げ変形に見合うように非常に小さなものになっている。領域③は②の曲げから直線への曲げ戻し過程であり、やはり塑性曲げである。この部分は下に凸の曲げ曲率が次第に減じて直線的な傾斜面に至る過程である。領域④は除荷過程の弾性曲げで領域③の反動として生じるため曲げの方向が領域③に対して逆になっている。時間の経過とともにこれらの一連の曲げ波が中央に向かって次々に移動するわけである。

Model(2)の場合、この段階における塑性ひずみはまだ小さいため、領域②の曲げ変形部の応力（断面の平均応力）は小さく（約140MPa）、したがって曲げ波の中央への移動はModel(1)と比べてかなり遅れている。そのため、変形傾斜角はModel(1)の場合よりも大きくなっている。領域②の前方には上に凸の領域①の曲げがみられるが、更にその前方に下に凸の領域④の曲げが生じている。この曲げはModel(1)においても生じるが、この段階では領域①の曲げが既に中央部に達しているためにこの図には現れていない。

Model(3)の場合には、ひずみ速度効果によって曲げ波到達部の応力が約180MPaと高められている。そのためModel(2)より領域②の曲げ波は先行し、したがってModel(1)よりも変形傾斜角は小さくなっている。

3.4 中央点の変位速度と曲げ応力の効果

図6はModel(1)の場合について、板中央の変位速度の時間的変化を求めた結果を示す。図7には、 $t=150, 225, 300\mu s$ の変形形状と上層部と下層部の子午線方向応力の分布を示している。まず $t=150\mu s$ では、領域①の曲げ波が既に中央部に到達しており、上に凸の曲げによって中央部に凹みが形成されつつある。したがって、中央部の変位速度は減速状態にある。 $t=225\mu s$ では、領域②の曲げ波が中央部に到達しているので、既に凹みの形成は終

わり、下方の跳ね出しの働きが大きくなりつつあるので、中央部では加速状態となっている。また $t=300\mu s$ では、領域③の曲げ波が中央部に到達しており、上に凸の曲げ作用によって曲げ戻し作用を受

け、変位速度はほとんど0になるまで減速が生じている。言うまでもなく、曲げ応力の働きは回転運動を引き起こそうとするもので、それによって内部の要素を加速したり減速したりする。つまり中央部の変位は、それより外部の曲げ応力の働きが重畠した結果としてもたらされる。したがって、各領域の曲げ波が中央部に到達するより、時間的に少し先行して中央点は加速、減速が生じ始めるわけである。

Model(2)及びModel(3)の場合の計算結果では、曲げ波の移動速度がModel(1)より低いために、中央点の変位速度における減速、加速、減速、振動、停止などの現象が生じる時刻はModel(1)に比べて遅れる傾向が見られた。しかしながら、定性的には現象はModel(1)と同じ経緯をたどる。

このように曲げ波の複雑な伝播や作用が横衝撃変形において生じるが、型を用いて成形加工を行う場合には型との衝突が新たな曲げ波を誘起するため、現象は一層複雑になると予想される。その場合の現象をシミュレートするには板厚効果（曲げ作用）を考慮した解析を行う必要があると考えている。

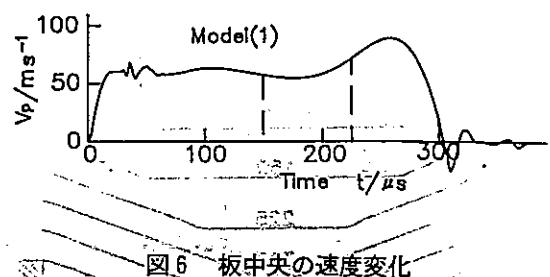


図6 板中央の速度変化

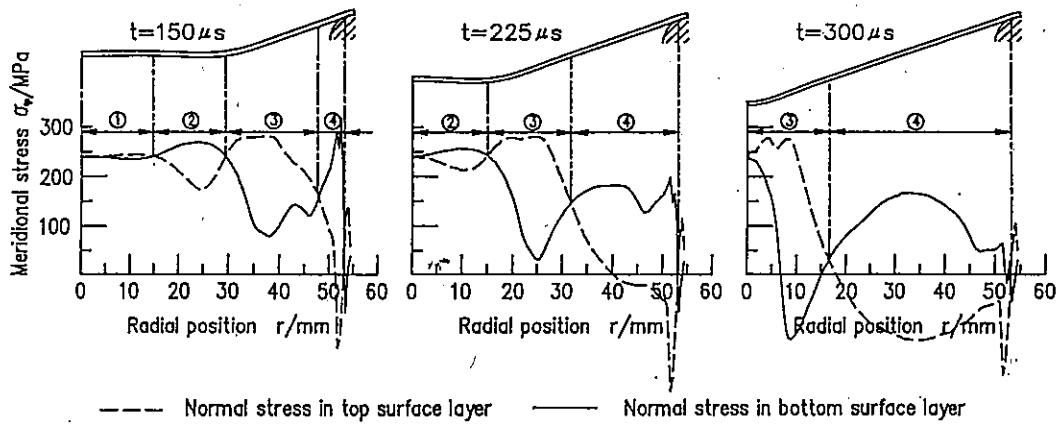


図7 板の変形形状の変化と変形過程における子午線方向応力(model 1)

3.5 最終変形形状

図8は最終変形形状の計算結果である。図には3つの構成式のModelについて、それぞれ薄膜理論による結果(1本の実線)と板厚効果を考慮して計算した結果(2本の実線)を示す。いずれの場合においても、2つの解析方法で得られた変形形状がほとんど一致していることから考えて、薄膜理論による解析によって変形機構の概略を説明できると考えて良い。図9は3つの構成式のModelについて中央部の塑性ひずみの時間的变化を、図10は同じ位置における塑性応力の時間的变化を薄膜理論によって計算した結果を示している。なおModel(1)では塑性状態にある限り塑性応力が一定であるのは言うまでもないが、Model(2)及びModel(3)では塑性ひずみの増大と共に応力は増大する。Fig. 6の応力分布からも分かるように、この中央部の膜応力は曲げ波到達点(Fig. 6中の②の曲げ領域)まで広がっているが、変形の進行とともに曲げ波到達部の応力が上昇するために、曲げ波の移動速度は次第に増加する。このことによって変形が中央に進行するにつれて、変形傾斜角は小さくなる。図9に示すModel(2)、Model(3)の傾斜部の変形形状が下方に少し膨らんだ形状になっているのは、この理由によると考えられる。Model(2)とModel(3)を比較すると、塑性ひずみはModel(2)が大きいにもかかわらず、Model(3)の方が塑性応力は大きくなってしまっており、ひずみ速度効果が明確に現れている。特に、変形の初期においてこの相違は顕著であり、これが固定部近傍の変形傾斜角を小さくする効果をもたらしている。

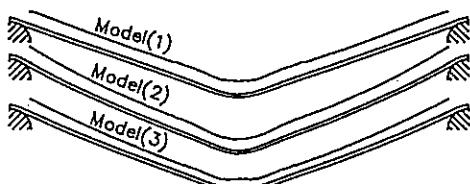


図8 各モデルに対する最終変形形状の相違

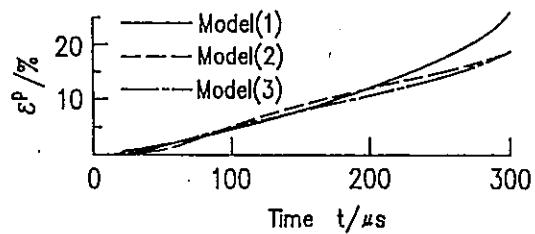


図9 各モデルに対する塑性ひずみ変化

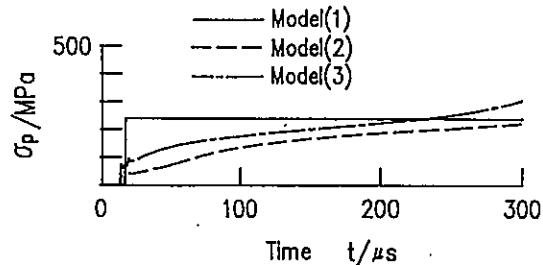


図10 各モデルに対する塑性応力変化

4. 結 言

本論文では、周辺を固定された金属円板が一様な衝撃圧を受けて自由張出し成形する問題を取り上げ、差分法による数値解析結果を述べた。そして薄膜理論に従った数値解析によって求めた曲げ波速度が理論解析的に予測された値とほとんど一致すること、そして板厚効果を考慮した場合の変形形状の数値解析結果が薄膜理論から得られた形状とほとんど一致することから、数値解析法の妥当性を示すことができた。更に解析結果から、この問題の変形機構について以下のような知見が得られた。

- (1) 変形は、外周固定部から誘起された曲げ波の通過によって、傾斜面を形成しながら中央に向かって進行する。その過程において、中央平坦部と傾斜角を結ぶ下に凸の塑性曲げ、そしてその曲げ戻しとして上に凸の塑性曲げ

を生じる。これらの曲げ、曲げ戻しを中心にその前後に曲率の小さい曲げを伴った複雑な曲げ波を生じた。

- (2) 上記の曲げ波は連続して中央方向に移動するが、これらが次々に中央に接近するにつれ、それぞれの曲げ応力の働きによって中央点の変位速度は加速、減速された。
- (3) ひずみ硬化材の場合には、曲げ波が中央方向に移動するにつれて、塑性応力が高くなるために曲げ波の速度は大きくなり、それに従って変形傾斜角は低下するので全体に下方に膨らんだ形状が形成された。ひずみ速度効果は、高ひずみ速度になるほど塑性応力が高くなるため、それに対応して変形傾斜角は低下することが示された。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、材料の構成式については大阪府立大学の谷村真治教授の適切な御教示を受けた。また、数値解析の計算においては卒業研究生井山裕文君の熱心な研究協力を受けた。併せて深甚な謝意を表する。

参考文献

- 1) 戸部俊美, 加藤正名, 小原治樹; 日本機械学会論文集, 44-382, 2166(1978)
- 2) 川井忠彦, 都井裕; 日本機械学会論文集A編, 45-389, 73(1979)
- 3) 李阪浩男, 藤田昌大, 花崎紘一, 藤中雄三; 塑性と加工, 27-301, 288(1986)
- 4) 清田堅吉; 熊本大学紀要, 9-2, 1(1962)
- 5) Tanimura, S. : Proceedings of International Symposium on Impact Engineering, 1, 17(1992)
- 6) 鮎野清憲, 塩入淳平; 日本機械学会論文集A編, 59-566, 105(1993)
- 7) Maenechen, G. & Sack, S. : Methods in Computational Physics, 3, 181(1964), Academic Press
- 8) Amsden, A. A., Ruppel, H. M. & Hirt, C. W. : LA8095 UC-32, 1(1980)
- 9) Hudson, G. E. : J. Appl. Phys., 22-1, 1(1951)
- 10) Duwez, P. E., Clark, D. S. & Bohnenblust, H. F. : Trans. ASME, J. Appl. Mech., 72, 27(1950)



結合材添加量による焼結材料の特性変化

—新素材粉末の射出成形法—

上村誠*・木村幹男*・河野敏謙*・中川博文**

Properties of Sintered Materials by Binder Content

—Injection Molding of New material Powders—

Makoto UEMURA*, Mikio KIMURA*, Toshinori KAWANO* and Hirofumi NAKAGAWA**

本研究は、ステンレス鋼SUS316Lを原料粉末として用いた金属粉末射出成形法において、結合材の添加量及び焼結温度や昇温速度などの焼結条件を変動因子として取り上げ、脱脂率や収縮率あるいは焼結密度を測定することにより焼結金属特性変化を求め、次のような結論を得た。

結合材添加量を9~13wt%と変化させ、大気中における360°C加熱による平均脱脂率を測定したところ、結合材の添加量が11.5wt%で平均脱脂率がピーク値を示し、結合材添加量の増加とともに脱脂率が低下することが分かった。また、焼結試験において、焼結温度を1360°Cおよび1390°Cに設定し、昇温速度を200°C/Hr.、100°C/Hr.、75°C/Hr.と変化させ、結合材添加量に対する平均収縮率を求めた。このことにより、結合材添加量と収縮率が比例関係にあることが分かった。

さらに、各焼結条件での焼結密度を求めたところ、今回用いたプロセスでは結合材添加量の増加に伴って焼結密度が低下することが分かった。また、焼結体の表面粗度は算術平均粗さで1.0 μm以下、最大高さ10.0 μm以下に制御することができる、30mm長での最大うねりも30 μm以下に制御可能なことが分かった。

1. 緒 言

金属粉末射出成形法は、機械加工法や精密鋳造法などの従来の加工法とコストや量産性の点で比較すると、難加工材の複雑形状部品の量産加工において優れている。ウイテック・プロセス^{1) 2)}(金属粉末射出成形焼結合金生産の基本となるプロセス)を利用した製品開発は、その対象粉末の多様化とともに加速的に広まっている。しかし、解決すべき問題点や製品品質を安定して量産するために確立すべき要素技術は数多く残されている。

最近の研究で武川や三浦らは、高寸法精度焼結体の製造方法に関する研究において、加熱脱脂時の変形に及ぼす粉末特性等について報告し、その中で高寸法精度焼結体の作成には脱脂変形の完全な防止が不可欠と提言している。^{3) 4) 5)}

MIM (Metal Injection Molding) 法では使用する原料粉末や結合材の違い、更に使用する設備の特性などによって、同一ロット内でも焼結挙動に違いが生じる。

そこで、本研究では、一般的に使用されるようになってきたオーステナイト系ステンレス鋼をMIM原料粉末とし、入手が容易な市販結合材を用い、高寸法精度焼結体製造

のために必要な基礎データを蓄積するために、主に焼結収縮及び焼結体の表面状態に関する実験を行った。実験は減圧混練と大気雰囲気脱脂、高純度窒素加圧焼結を用い、結合材添加量、焼結温度、焼結昇温速度を変動因子として採り上げた。

今回は、これらの結果の詳細について今後の検討課題を含めて報告する。

2. 実験方法

2.1 MIMプロセス

第1報¹⁾で述べたとおり、本プロセスは混練・射出成形・脱脂・焼結の工程からなり、金属粉末を射出成形可能な可塑性原料に調合し、成形後熱可塑性の結合材を取り除き、焼結することにより所望の焼結部材を得るものである。

2.1.1 射出成形材料

粉末はJIS SUS316L相当の大同特殊鋼(株)製DAP316Lを使

表1 原料粉末の化学組成及び粒度分布

化 学 成 分 (w t %)									
C	S i	M n	P	S	C u	N i	C r	M o	O
0.013	0.73	0.15	0.019	0.004	0.06	13.05	17.54	2.10	0.38
粒 度 分 布									
粒径 (μm)	0~5	10~15	10~15	15~30	20~30	30~40	40~		
分布 (%)	16.9	37.1	24.4	9.9	10.3	1.4	0.0		
平均粒径: 9.4 μm									

* 生産技術部

** 中川電設(株)

用した。その化学組成及び粒度分布を表1に示す。また、結合材としては三菱レーヨン(株)製ダイヤナールBR-105レジン、(株)中京油脂製セルナNE-119ワックスを重量比1対1で混合したものを用いた。

2.1.2 混練

150°Cに予備加熱した万能混合攪拌機(株)ダルトン製5D MV-r)で結合材を調整した後、あらかじめ約105°Cで真空乾燥した原料粉末を少量づつ投入し、完全に結合材と原料粉末が均一に分散するまで減圧混合を行う。その後、攪拌容器から混合物を取り出し直径10cm・厚み5mm程度のプレートにして室温まで放冷した。

2.1.3 射出成形

作製したプレート状の成形原料を射出成形が可能なペレット状に加工した後、三菱重工(株)製射出成形機(80MS P-2.5A)で成形した。成形体の寸法形状を図1に示す。

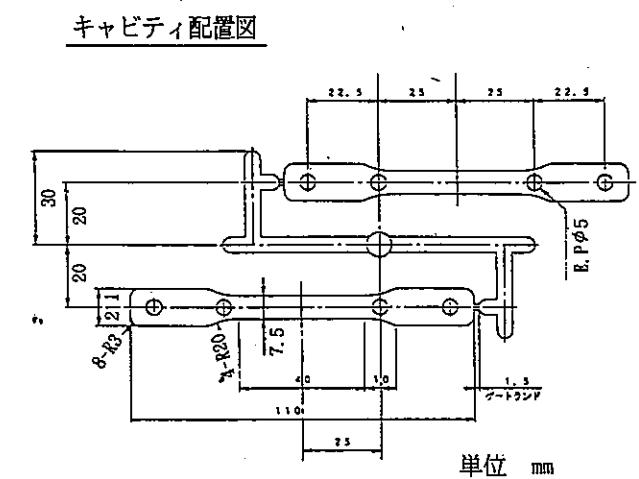


図1 使用金型のキャビティ配置図

表2 結合材添加量と射出成形条件

成形条件	結合材添加量(wt%)								
	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
樹脂温度	142	140	125	120	120	120	125	120	120
シリカ1	145	145	135	135	135	135	135	135	135
シリカ2	140	140	130	130	130	130	132	130	130
シリカ3	135	135	125	125	120	120	120	120	120
金型温度(°C)	35	35	35	30	30	30	30	30	30
スクリュ荷重(%)	5	5	5	0	0	0	0	0	0
スクリュ回転数(%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
射出圧力(%)	60	60	55	55	55	55	55	55	55
射出速度(%)	45	45	55	55	55	55	55	55	55

その他成形条件は共通、%表示は成形機最大能力を100とした場合

また、結合材添加量の違いによる射出成形条件を表2に示す。

2.1.4 脱脂

加熱脱脂に用いた装置は(株)サーマル製無酸化雰囲気炉(SA-40)と(株)島津製作所製真空加圧焼結炉(PVSGgr20/20)

で、前者を一部改造し大気雰囲気脱脂に用い、後者を加圧脱脂(雰囲気: N₂, Ar)、減圧脱脂、窒素大気圧脱脂に用いた。用いた昇温プログラムパターンを図2に示す。図中の①は焼結実験に用いる試料の作成のためにSA-40炉で行った昇温パターンで、②はPVSG炉で脱脂実験を行ったときのものである。

2.1.5 焼結

焼結に用いた装置は前述のPVSGgr20/20で、タイトボックスと呼ばれるグラファイト製の炉材が2次ヒータの役割をしており通常の真空炉に比べ炉内の温度分布が優れているため、チャージごとの温度や雰囲気のばらつきが小さく、安定して焼結体が得られることを特長としている。焼結は加圧、大気圧、減圧度コントロール、減圧の4種類の雰囲気を用い、使用ガスは超高純度窒素を用いた。

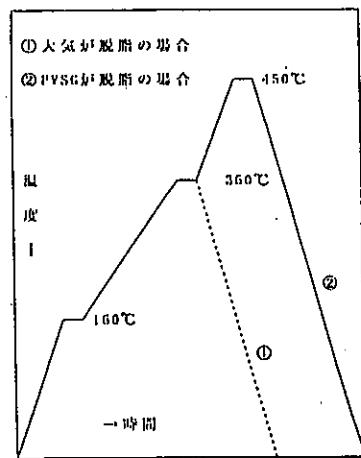


図2 脱脂工程の昇温パターン図

2.2 寸法精度の制御

焼結は焼結温度を1360°C及び1390°Cに設定し、昇温速度を200°C/Hr.、100°C/Hr.、75°C/Hr.とし、結合材添加量に対する平均収縮率を求めた。そのときの雰囲気は高純度窒素、圧力は2kgf/cm²とした。図3に焼結工程における炉内コントロール温度と試料の寸法変化を示す。

収縮率は(株)日本光学社製万能投影機(V24B)を用い成形体寸法と焼結体寸法を測定し求めた。

2.3 焼結体の密度

焼結体の焼結密度はJIS Z 2505-1989金属焼結材料の焼結密度試験法により測定した。なお、測定試料は切り出し等の加工を一切さけ焼結体そのものを測定した。測定

時気温は21~25°Cであったので、計算に用いた水の密度は近似的に0.998g/cm³を用いた。

2.4 表面粗度

焼結後の焼結体表面粗度及びうねりは、焼結後直ちに東京精密(株)製三次元表面粗さ測定器(サーフコム575-3D)

F)で測定した。測定条件は下記のとおりである。

表面粗度	カットオフ値	0.8mm
測定長		4.0mm
縦倍率		1000倍
トレース速度		0.3mm/s
うねり	カットオフ値	8.0mm
測定長		30.0mm
縦倍率		100倍
トレース速度		3.0mm/s

また、表面粗さ測定位置は図1に示したダンベル型引張試験片の平行部の両端及び中心部であり、うねり測定は平行部の全長にわたり、長手方向について行った。

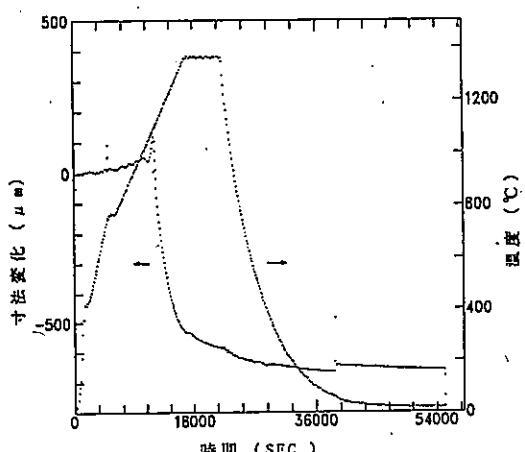


図3 焼結工程の熱変化計測結果

3. 実験結果と考察

3.1 脱脂試験

脱脂工程は第1報⁵⁾に示したとおり高密度で寸法精度の高い焼結体を得るために最も重要な工程である。

本研究ではRandallの脱脂機構の仮説⁶⁾に基づき、脱脂工程を安定して行うために次のような実験を行い、より安定して脱脂のできる条件を求めた。

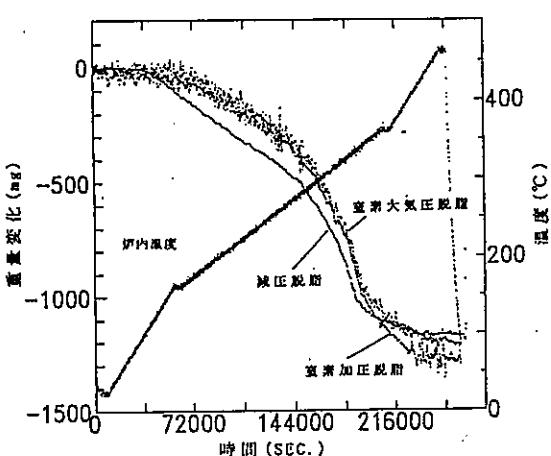


図4 雰囲気を制御したときの脱脂試験結果

脱脂実験は、脱脂雰囲気を窒素大気圧、減圧(10Torr)、窒素加圧(2kgf/cm²)の3つおりにコントロールし、焼結炉に取り付けた熱変化計測装置により熱減量測定することにより行った。その結果を図4に示す。(なお、図中に脱脂時の炉内コントロール温度を付記した。)

図より、同量の結合材を添加した成形体を上記3つおりの雰囲気で脱脂し、減圧状態での加熱の場合、160°C付近の比較的低温域から減量が始まっていることが分かる。

また、360°C以上の比較的高温の領域では、最終的な減量は窒素加圧脱脂の場合が大きい減量を示し、減圧脱脂と窒素大気圧脱脂の場合が同程度で低い減量にとどまっていることが分かる。これは、減圧雰囲気では加熱により分解された結合材が炉外へ排出されるためのキャリアガスが炉内に不足し、成形体表面と成形体内部での結合材の濃度勾配が小さくなるためではないかと推察される。また、図4からは、脱脂初期を除けば成形体の減量速度に雰囲気の違いが影響していないことが分かる。これにより、脱脂中期の結合材分解温度域では、雰囲気の違いは脱脂速度に影響を与えないことが明らかになった。

脱脂工程での成形体からの結合材離脱現象は、結合材の溶出と気化がある^{7) 8)}と言われている。しかし、測定が脱脂容器ごとに全重量を測定していることから、溶出と気化の減量を分離することは困難であるので明確に結論付けはできないが、今回使用した結合材は無酸化雰囲気中でも比較的良好な脱脂ができることが確認された。つまり、燃焼(酸化)が無くても脱脂することが可能であることが分かった。

次に最高温度360°Cの大気脱脂の最終脱脂率を図5に示す。結合材添加率11.5wt%を境に最終脱脂率が低下していることが分かる。この領域は、計算上成形体中の結合材体積率が50%を超える範囲で、この領域では成形体から結合材が離脱しにくくなると思われる。

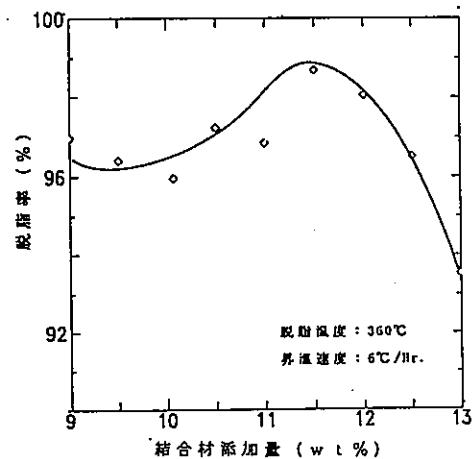


図5 大気脱脂における結合材添加量と最終脱脂率の関係

著者らは、空隙の体積率と結合材残存率とが比例関係と逆比例の関係となる遷移点がこの結合材添加率11.5%になる現象について更に検討を加えているところである。

3.2 寸法制御

焼結試験によって得られた結合材添加量に対する焼結体の平均収縮率を図6(1360°C焼結)、図7(1390°C焼結)に示す。焼結温度は一般に粉末粒度や粒径、けい素などの添加量などによって決定されるが¹¹⁾、今回の実験で用いた焼結温度の設定は、粉末メーカーの推奨焼結温度域の下限及び上限を用いた。図6、7より、結合材添加量と収縮率の関係が直線関係にあることがわかる。また、その収縮率は焼結温度を変化させた場合でもほぼ等しくなった。その差は結合材添加量10.5wt%の試料を例にとると、焼結温度が異なる場合、200°C/Hr. 昇温時で300μm、昇温速度を75°C/Hr. と200°C/Hr. で比較してみると700μmとなり、それぞれ焼結体寸法の約0.3%と0.8%に相当する。したがって、今回の焼結実験において設定した焼結温度域での平均収縮率は焼結温度よりも昇温速度に大きく依存していることが分かる。これは、焼結温度を変化させても平均収縮率が変化しなかったことより判断できる。実験より得た結合材添加量と平均収縮率の関係を次式で直線近似できた。収縮率をY、結合材添加量をXとする。

$$Y=8.26+0.752X \cdots A, 1$$

$$Y=8.94+0.701X \cdots A, 2$$

$$Y=8.96+0.705X \cdots A, 3$$

$$Y=8.21+0.755X \cdots B, 1$$

$$Y=9.31+0.671X \cdots B, 2$$

$$Y=8.99+0.710X \cdots B, 3$$

A…1360°C焼結 B…1390°C焼結

1…200°C/Hr. 昇温 2…100°C/Hr. 昇温 3…75°C/Hr. 昇温

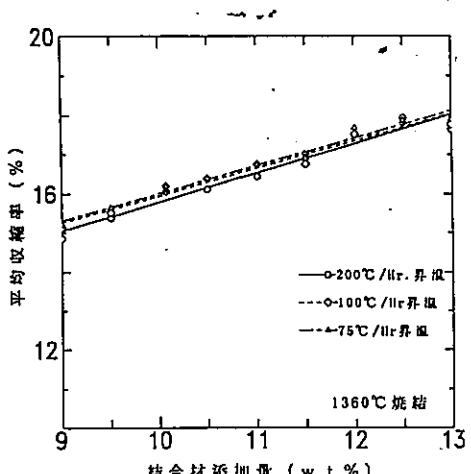


図6 結合材添加量と焼結体の平均収縮率 (I)

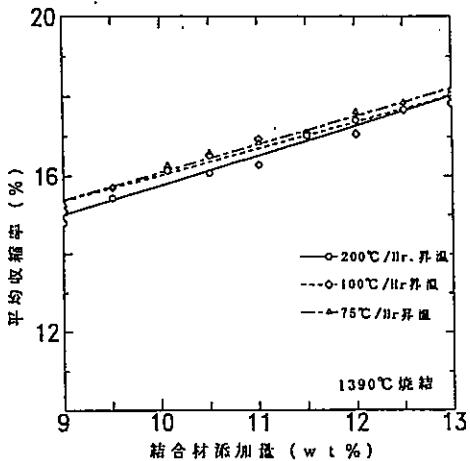


図7 結合材添加量と焼結体の平均収縮率 (II)

のことにより、焼結時の昇温速度と結合材添加量を変化させることで焼結体の寸法を製品全長±2%の範囲で制御することができるようになった。

今回の実験は長手方向の線収縮率を収縮率として取り扱っているが、MIM法では成形体の粉末充填密度及び残留内部応力分布がかなり均一であるので、焼結収縮はほぼ3次元的に均等と考えてよく¹²⁾、金型設計においては結合材添加量の体積比率と焼結密度から計算した体積収縮を考慮して設計しなくともよいことを示している。

3.3 焼結密度

鉄系焼結部材の評価ではJIS Z 2550-1983で規定しているように、その機械的性質及び密度と化学成分が重要な項目となる。その中でも密度は相対的にその部材の欠陥率を表す数値となるので特に重要である。結合材の添加量を変化させたときの焼結密度の変化を図8、9示す。図より結合材添加量10.0%、焼結温度1390°Cでの例をとると、昇温速度を変えることにより得られた焼結体の焼結密度は7.44~7.48g/cm³になり、SUS316L鋼の理論密度を8.03g/cm³(13)¹³⁾とすると相対密度は92.7~93.1%であった。しかし、各種メーカのSUS316L相当品溶性材について、実験より得た焼結体と同様の密度試験を行ったところ、その値は8.00g/cm³前後にはばらついた。したがって、市販鋼と比較すると、今回の実験で作製した焼結体の相対焼結密度は最高で95%超になり、JIS Z 2550-1983に示されたオーステナイト系ステンレス鋼の品質例でいう相対密度85%超という規格をはるかに上回る良好な値であったといえる。

今回の焼結プログラムは、熱変化計測装置での実炉試験に基づき焼結温度域(焼結収縮が起こらない、比較的低温域)まで急加熱している。通常の焼結は脱脂工程と連続して行われ一定昇温速度で加熱されるので、焼結温度域以下の昇温部分が2次脱脂工程の役割をしている。しかし、今回の実験では、焼結時間を短縮するためこの工程を省略して行っている。

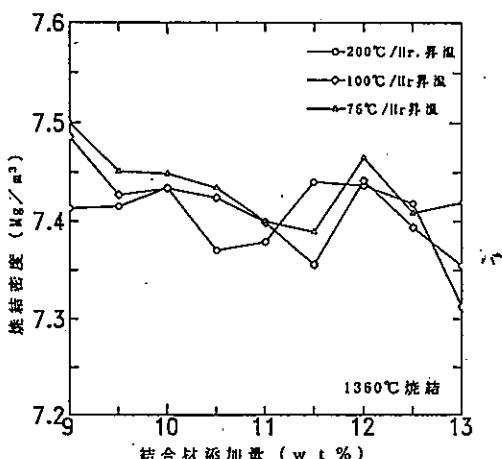


図8 結合材添加量と焼結体の密度変化（I）

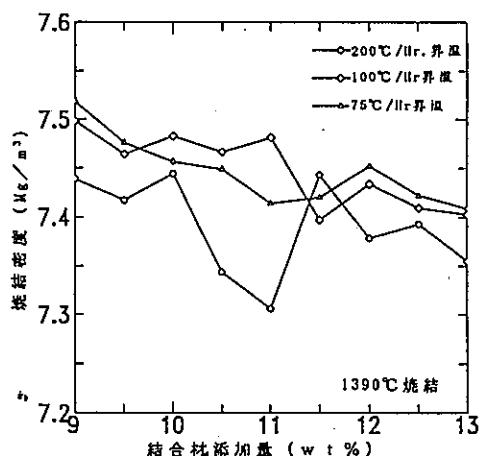


図9 結合材添加量と焼結体の密度変化（II）

また、図8(1360°C焼結)、図9(1390°C焼結)に示すように、焼結体の焼結密度は、結合材添加量の増加とともに低下しているのが分かる。これは、結合材の脱脂率(成形体中の全結合材量に対する脱脂工程での結合材除去率)をほぼ一定に保っても、単位体積内に残存する結合材の全量が、結合材添加量の増加とともに増加し、これが焼結現象を阻害する要因になっていると考えられる。一般に行われる脱脂工程は脱脂率を90%程度に留める。これは、ブラウン(脱脂体)にハンドリング強度を持たせるためと、脱脂变形を防ぐためである。今回の実験では図5より結合材添加量11.5%以上の領域では脱脂率が低下しているのが分かる、このことが焼結体の焼結密度変化に間接的に影響していると推察される。今後は試料の密度分布を調査¹⁴⁾するとともに、微量の結合材残存分が焼結機構にどのような影響を与えているかを解明することは今後の研究課題である。

3.4 焼結体の表面粗度

焼結体の表面粗さやうねりは、粉末射出成形法により製作された部材が精密に成形されているかを判断する場合重要な評価基準となる。これらの、表面状態を任意に

制御できれば、焼結後の加工を必要としない製品の製作が可能となる。

図10に結合材添加量と焼結体表面の算術平均粗さ(Ra)との関係を示す。Raは結合材添加量の増加とともに大きくなる傾向にある。結合材添加量9.0~12.0wt%では焼結温度1360°C、1390°Cいずれの条件であっても0.85μmから1.45μmの範囲に収まり、比較的ばらつきが小さく安定している。しかし、結合材添加量12wt%を超える範囲においては焼結体のRaは、数値のばらつきがともに大きくなる傾向を示している。

一方、図11に結合材添加量と焼結体表面の最大高さ(Ry)の関係を示す。Ryは結合材添加量の増加とともに大きくなり、結合材添加量9.0~12.0wt%の範囲では比較的安定しているが、12.5wt%を超える範囲では、ばらつきが大きくなり、図10で示したRaと同じような傾向を示している。

このことから、焼結体の表面粗度は、今回設定した焼結温度及び昇温速度の範囲内で、結合材添加量9.0~12.0wt%の範囲内であれば、結合材添加量の影響は比較的小ないことが明らかになった。反面、結合材添加量が12.5wt%を超えるれば算術平均粗さRa、Ryともばらつきが大きくなる傾向があり、結合材添加量は製品の表面粗度には重要な因子であるといえる。

図12に結合材添加量と焼結体表面のうねり(Wcm)との関係を示す。焼結温度が1390°Cで、昇温速度の比較的高い焼結体では、Wcmの値が結合材添加量の増加とともに小さくなっているのが分かる。焼結温度が1360°Cの時は、昇温速度の影響をあまり受けずに結合材添加量の増加とともにWcmが大きくなっている。また、1390°C焼結の場合、Wcmは1360°C焼結時のそれと比較して大であり、大きな形状ひずみがでていることになる。

以上のことから、面粗度は焼結温度の影響をあまり受けないが、うねりは焼結温度の影響を比較的大きく受け

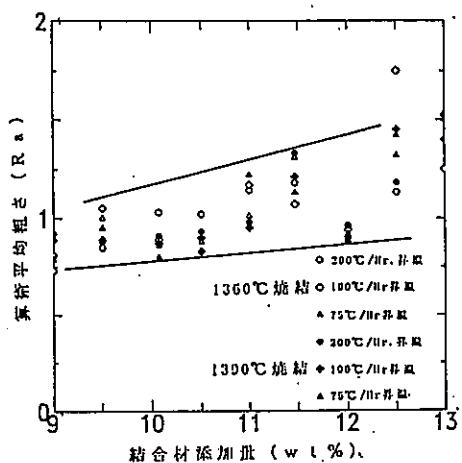


図10 結合材添加量と焼結体の表面粗さ（I）

ることが分かった。しかし、全般に W_{cm} の値が 20~70 μm の間でばらついていることから、焼結体表面の面ひずみは結合材添加量や昇温速度、焼結温度ではコントロールできないことがわかった。しかし、30mm長の範囲内ではうねりを 70 μm 以下にできることがわかった。今後はうねりに影響する要因を確認するとともに、焼結体の W_{cm} を最小の 20 μm 付近でコントロールするための実験を検討している。

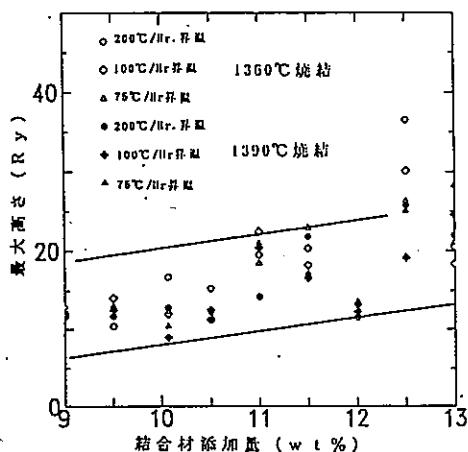


図11 結合材添加量と焼結体の表面粗さ（II）

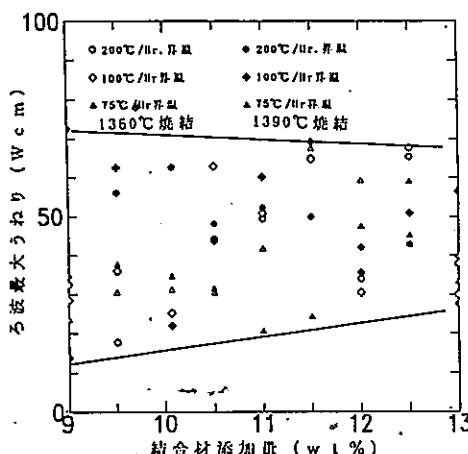


図12 結合材添加量と焼結体のうねり

4. 結論

1) 今回用いた結合材は、無酸化雰囲気中でも脱脂できることが分かった。また、大気雰囲気脱脂において成形体中の結合材重量比が 11.5wt%以上は結合材添加量の増加とともに脱脂率が低下することが分かった。

2) 焼結時の昇温速度と結合材添加量を変化させることにより、焼結体の寸法を製品全長の ±2% の範囲で制御できることは明らかになった。

3) 焼結温度や結合材添加量を調整することにより、相対密度 95% の焼結体を得ることができた。

4) 焼結体の表面粗度は、結合材添加量とともに大きくなることが分かった。しかし、結合材添加量 9.0~12.0 wt % の範囲において、面粗度は比較的安定していることが明らかになった。

5) 焼結体のうねりは焼結温度の影響を受けるので、うねりの小さい焼結部材が必要なときは、焼結温度の設定を必要最低限に設定しなければならないことが分かった。

文 献

- 外村俊弥，“金属粉末射出成形品とその特性” 素形材技術調査報告書Ⅱ 35-42 (1987), (財) 素形材センター
- Arnold R. Erickson & Raymond E. Wiech, Jr.; Metals Handbook Ninth Edition, Vol 7 Powder Metallurgy(1984) p. 495-500
- 武川淳二郎；粉体および粉末冶金 40, 484(1993)
- 三浦立；粉体および粉末冶金 40, 479(1993)
- 三浦立；粉体および粉末冶金 42, 97(1995)
- 上村誠；“新素材粉末の射出成形” 熊本県工業技術センター研究報告NO. 31, p11-16(1993)
- 日本化学会；化学便覧基礎編Ⅱ, 3(1988), 丸善
- Randall M. German; Theory of Thermal Debinding, Int J powder Metall, 23(4) 237-254(1987)
- H. Manninen & J. Virolainen; "Analysis of Binder Removal" PM 1990s Vol. 3, 115-119(1990)
- B. K. Lograsso & R. M. German; "Thermal Debinding of Injection Molded Powder Compact" Powder Metall Int 22(1), 17-22(1990)
- Arnold R. Erickson & Raymond E. Wiech, Jr.; Metals Handbook, 9th Ed., Vol 17, 495-500(1984), American Society for Metals
- 齊藤勝義ら監修；金属粉末の射出成形技術, 174(1988), (株)総合技術センター
- 長谷川正義監修；ステンレス鋼便覧5版, 430(1976), 日刊工業新聞社
- (財) 素形材センター；粉末冶金に関する調査研究 12~17(1991)

試作マイコンボードの近傍電磁界における磁界強度測定 —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*

Measurement of Magnetic Near Field Strength around the
Trial Printed Circuit Board with Microprocessor

-Studies on Improvement of Electronic Machine's Performance
under Circumstances of Electromagnetic Noise-

Naoyuki Ueda*

電磁ノイズ対策の観点から、電子機器から発生する近傍電磁界の磁界について検討した。被試験体には、Z80のCPUを搭載した試作マイコンボードを使用し、クロック信号と近傍電磁界の磁界強度の波形観測及びスペクトル解析を行った。その結果、クロック信号と近傍磁界の基本周波数と高調波の周波数はほぼ一致したが、その大きさは一致しなかった。

1. 緒 言

電子機器から空間へ放射される電磁波は、まず機器近接では近傍電磁界となり、電磁界インピーダンスが一定となる時点で、遠方電磁界へと移行して伝搬して行く。電磁ノイズの規格では、電磁波の電界強度と周波数との関係のみで限度値が決められているので、この許容値内でよい。しかし、規格を外れた機器の電磁ノイズ対策を行う場合、電磁波の発生源を断つ方法と、電磁波を受ける側で遮断する方法があるが、適切な防止対策を施すのは困難なのが現状である。その原因のひとつは、機器内電気信号と電磁波との関係が不明であることがあげられる。そこで、この両者の関係を明らかにするために、Z80のCPUを搭載したマイコンボードを試作し、そのボードの電子回路内クロック信号と近傍磁界とを測定したので、その結果について報告する。このクロックが、最終の電磁ノイズ規格として決まる遠方電磁界にそのまま影響を及ぼしていると考えられるが、詳細は本誌の別の章で述べる。

2. 測定方法

2.1 測定条件

今回使用した測定システムは、文献¹⁾に準拠しており、図1に示す。

- ① 使用環境：当センター1階電波暗室（松下インター
テクノ MH5100）¹¹⁾
- ② EUT（被試験体）：試作マイコンボード

マイコンボードの構成は下記のとおり。

- ① ワンボードマイコン本体 (Z80 CPU、ROM、RAM、Z80 PIO、発振器2.500MHz等)、
 - ② キーボード
 - ③ PIO (Z80PIO等)
 - ④ モニタ (LED等)
 - ⑤ 電源 (3端子レギュレータ等)
- 3) 測定器
- ① アナログオシロスコープ (Tektronix 2465 300MHz)
 - ② スペクトラムアナライザ (アドバンテスト R3361A 9K-2.6GHz)
 - ③ RFパワーアンプ (アドバンテスト TR45002 .8-100 MHz 3W 40dB)
 - ④ 近接磁界プローブ1 (HP 11941A 9K-30MHz)
 - ⑤ 近接磁界プローブ2 (HP 11940A 30K-1GHz)
- なお、使用環境以外は、文献¹⁾と同様の測定条件とした。

2.2 測定方法

常時CPUが動作状態時の試作マイコンボードを使用し、クロック信号の電圧と近傍磁界の磁界強度の波形観測及びスペクトル解析を行った。

3. 測定結果及び考察

実際の測定は、図2及び図3のように、近傍磁界プローブでZ80の近隣や他の部品、他のボードを測定した。また、ボードの裏面やバスケーブルも測定した。その結果、磁界強度は、Z80近隣のクロックに関係する部分が最も大きいことが判明したので、ここでは主にその中で最大の出力と思われる箇所の磁界強度を図4に示す。このと

* 電子部

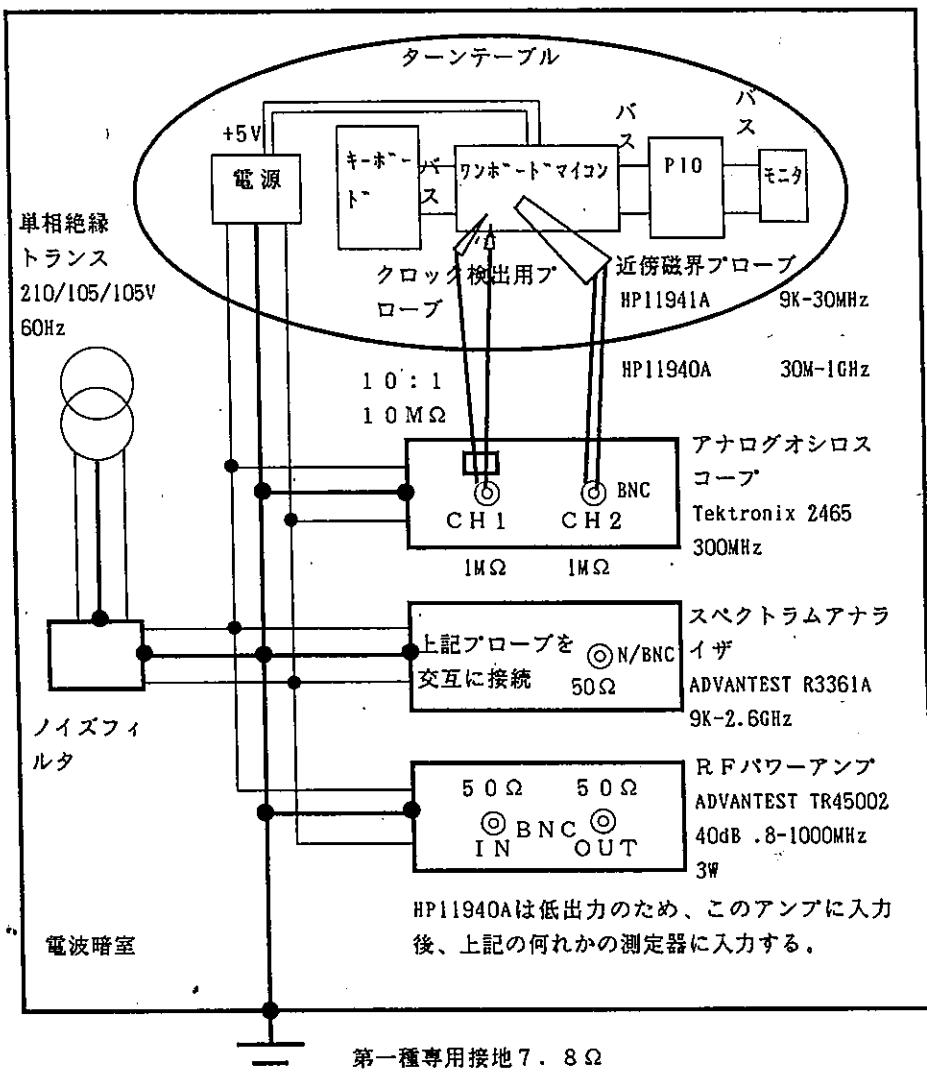


図1 試作ワンボードマイコンの近傍磁界測定システム

きの周波数範囲は、図4に示すように9K-30MHzである。

図4の1)に時間領域におけるZ80クロック電圧信号波形とその近傍磁界での磁界強度波形を示す。

まず時間領域におけるZ80のクロック信号波形は、2.45MHzの矩形波である。近傍磁界の波形は、クロック信号に同期して同じ2.45MHzであった。磁界波形だけ観察すると、Faradayの電磁誘導の法則に従った波形⁵⁾, ⁶⁾, ⁷⁾, ⁸⁾となり、クロックとはおよそかけ離れた鈍った波形に変形していることがわかった。

つぎに、図4の2)にこのクロック波形のスペクトル解析結果を示す。基本波(スペクトラムアナライザによる実測値2.44MHz)に対して、偶数波及び奇数波が交互に表れている。その高調波分の周波数も、基本波の偶数倍及び奇数倍となっている。矩形波は、偶数波は無く、奇数波のみで構成される⁹⁾。しかし、実測から、クロックは偶数波も奇数波に比べれば小さいものの発生

は、周波数は全て一致した。このことは、遠方電磁界領域で測定を行う場合に、電子機器の電磁波ノイズのスペクトルが、一般にはランダムな電界強度となることの根拠を示している。また、個々の高調波も一致することが推定できる。

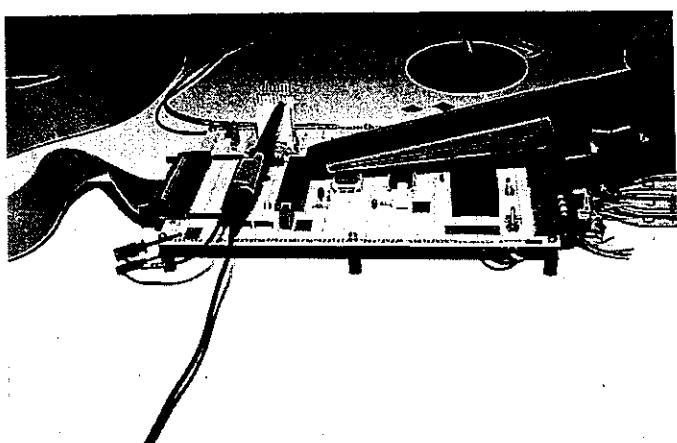


図2 近傍磁界測定例

している。奇数波のレベルは、周波数が高くなるにつれて、漸近的に減少している。しかし、偶数波のレベルは、ほとんど同じ値で高周波領域へ推移している。

図4の3)に近傍磁界の磁界強度スペクトル解析結果を示す。近傍磁界の基本波と高調波の周波数は、クロックの場合とよく一致している。しかし、各高調波の磁界強度は、全体的にあまり減衰していない。奇数波の磁界強度は、クロックほど漸近的減少がみられない。偶数波レベルも、クロックほど同一レベルになっていない。

各場所を変えて測定を行ったが、磁界の波形が異なること、磁界強度の基本波及び高調波の大きさが異なることを除いて

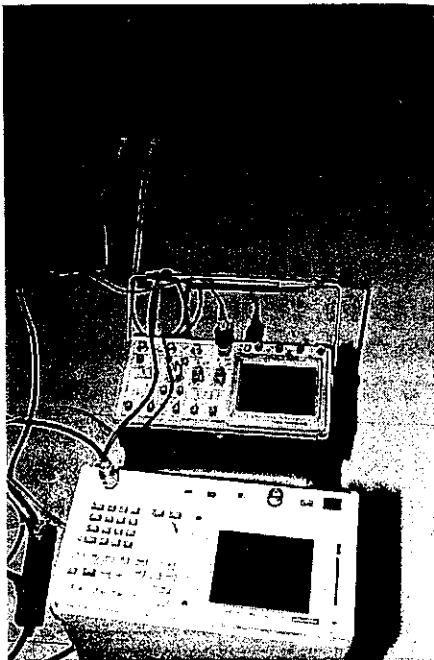
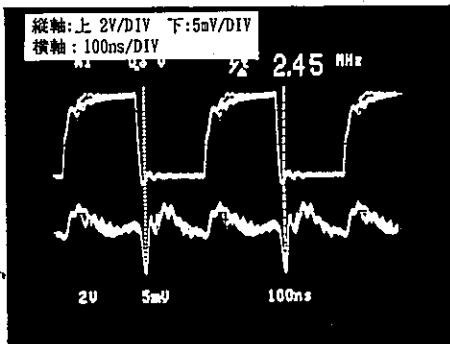
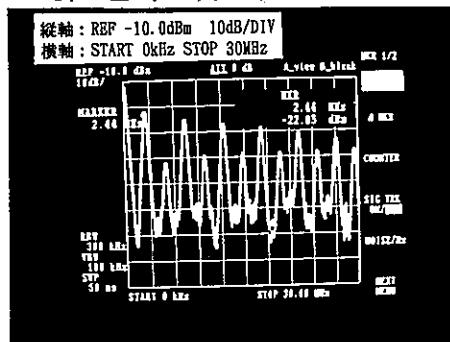


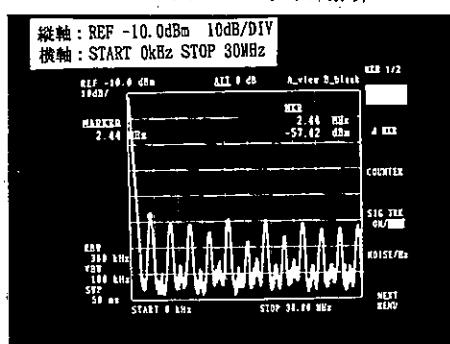
図3 使用測定器類



1) 上: クロック 下: 近傍磁界



2) クロックのスペクトル解析



3) 近傍磁界のスペクトル解析

図4 9K-30MHz測定結果例

次に、近傍電磁界が遠方電磁界へ移行する過程について考察する。

まず、電磁界源の波長 λ [m]、電磁波源と電磁波の受信点の距離 r [m]、電磁界インピーダンスの電界成分及び磁界成分 $Z_E [\Omega]$ 及び $Z_H [\Omega]$ との関係は、文献¹⁾によれば次のようになる。

$$[Z_E/Z] = \frac{[(kr)^6 + 1]^{1/2}}{[kr[(kr)^2 + 1]]} \quad (1)$$

$$[Z_H/Z] = \frac{[kr[(kr)^2 + 1]]}{[(kr)^6 + 1]^{1/2}} \quad (2)$$

$$\text{ここで、 } z = 120\pi [\Omega] = 377.99 [\Omega] \quad (3)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, [/\text{m}] \quad (4)$$

(1)及び(2)の関係を表すグラフは、図5のようになる¹⁾。今回対象としている研究は、磁界成分である。

近傍電磁界と遠方電磁界との境界条件は、ほぼ

$$kr = 1 \quad (5)$$

で決まる。すなわち(4)を(5)へ代入し

$$r = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (6)$$

で決まる^{1), 2)}。すなわち

$$\frac{r}{\lambda} = \frac{1}{2\pi} = 0.159\dots \quad (7)$$

が、一応の境界条件となる。

ここで、

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (8)$$

である。ここに、 c は電磁波の伝搬速度（光速）であり、 f は電磁波の周波数 [Hz] である。

図5において、 r/λ 軸で一般的に考えると、

$$r = \lambda \quad (9)$$

すなわち、波長が電磁波源と電磁波の受信点の距離と等しくなる点

$$\frac{r}{\lambda} = 1 \quad (10)$$

がより厳密な境界条件と言える。

いま、使用した磁界プローブの分岐周波数 f を 30MHz とすると、

$$\lambda = 10 [\text{m}] \quad (11)$$

$$r = 1.59 [\text{m}] \quad (12)$$

従って電磁波源と電磁波の受信点間の距離 r が 1.59[m] 以上離隔すれば、工学的にはほぼ近傍電磁界は遠方電磁界として取り扱うことができる。しかし、厳密にはこの分岐点より距離が離隔するにつれて、磁界成分のインピーダンスが $120\pi [\Omega]$ より大きくなっていること、 r が 10m 以上の時 $120\pi [\Omega]$ に戻る。

他の例として、VHF帯とUHF帯との境界である電磁波周波数が 300MHz では、

$$\lambda = 1[\text{m}] \quad (13)$$

$$r = 0.159[\text{m}] \quad (14)$$

となり、300MHzの場合も30MHzの場合と同様の結果となる。厳密には1m以上離隔で遠方電磁界となる。また、各種電磁波ノイズ規格上限周波数1GHzでは、

$$\lambda = 0.3[\text{m}] \quad (15)$$

$$r = 0.0478[\text{m}] \quad (16)$$

となる。この時は、厳密には0.3m以上離隔で遠方電磁界となる。

低周波領域の9[kHz]では、

$$\lambda = 33.33[\text{m}] \quad (17)$$

$$r = 5.305[\text{m}] \quad (18)$$

であり、厳密には33.33km以上離隔で遠方電磁界となる。この値で電波暗室をつくるのは、非現実的である。

文献^{2), 3)}電磁ノイズ規格では、近傍電磁界は、測定周波数範囲が9kHzから30MHzまでで、かつこれに合致したループアンテナで測定するようになっている。以上の考察から明らかのように、1GHzにおいてもボードから約5cm以内は、近傍電磁界領域にあるため、電磁ノイズ対策上も30MHzから1GHzまでの周波数領域における近傍電磁界を定量的に測定する必要がある。これについては、別途報告する予定である。

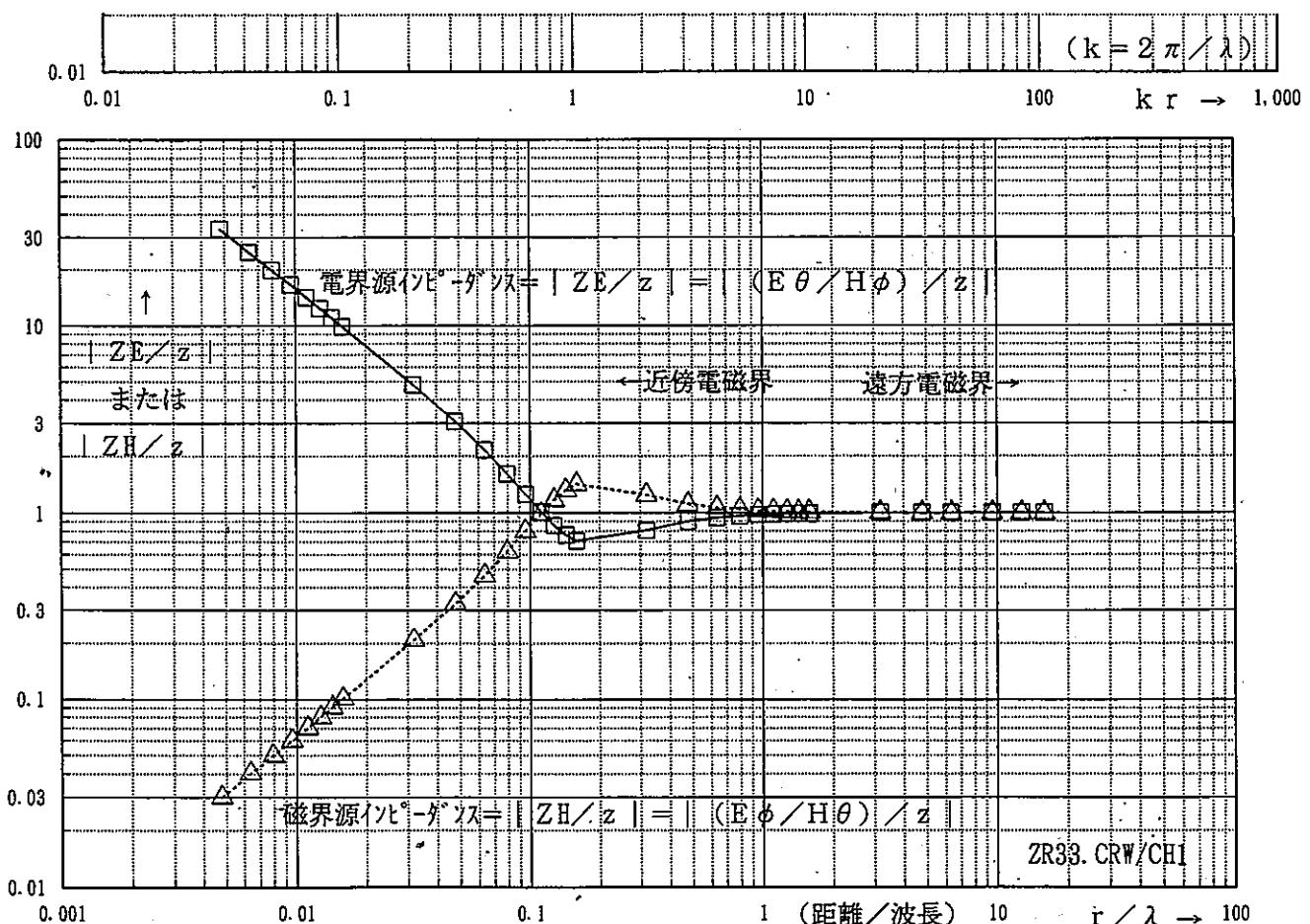


図5 近傍電磁界における電磁界インピーダンス

4. 結 論

8ビット系CPUのZ80を搭載した試作マイコンボードのクロック信号と、これから放射される近傍電磁界の強度との関係について検討した。その結果、周期のみが一致し、波形はあまり一致しなかった。一方、スペクトラム解析結果は、基本波及び高調波スペクトルの周波数がほぼ完全に一致した。しかし、各高調波の大きさは一致しなかった。

今後、周波数30MHzから1GHzにおけるクロックと近傍電磁界との関係を検討し、遠方電磁界と近傍電磁界、遠方電磁界とクロックの関係を明らかにする。

また周波数9kHzから30MHzについても、別の電磁波ノイズ試験専用ループアンテナを用いて、遠方電磁界と近傍電磁界との関係を測定する予定である。

一方、近傍電磁界の電界強度についても測定し、電界強度との関係を明らかにする必要がある。

文 献

- 1)赤尾保男. “環境電磁工学の基礎”. 東京, 電子情報通信学会, 1993. P. 114-116, P. 156.
- 2)アドバンテスト. “EMI/EMCハンドブック”. 東京, アドバンテスト, 1989. P. 15-20, P. 27.
- 3)ノイズ研究所ノイズ対策室. “ノイズ対策マニュアル”. 神奈川. イー・エム・シー, 1988. P. 310, P. 338-347.
- 4)上田直行. “TEMセルによるマイコンボードのイミュニティ試験”. 熊本, 本誌, 1993. P. 17-23.
- 5)MARK TERRIEN. “THE HP 11940A CLOSE FIELD PROBE: Characteristics and Application to EMI Troubleshooting”. U.S.A, HEWLETT PACKARD, 1986. P. 2-34.
- 6)HEWLETT PACKARD. “11940A CLOSE-FIELD PROBE: OPERATION NOTE”. U.S.A, HEWLETT PACKARD, 1986. P. 1-13.
- 7)HEWLETT PACKARD. “11941A CLOSE-FIELD PROBE: OPERATION NOTE”. U.S.A, HEWLETT PACKARD, 1987. P. 1-17.
- 8)山田直平. “改訂版 電気磁気学”. 東京, 電気学会, 1968. P. 285-290, P. 317-330.
- 9)寺澤寛一. “増訂版 自然科學者のための數學概論”. 東京, 岩波書店, 1969. P. 149-157.
- 10)金本 正. “ノイズ軽減対策の初步(準静電磁界)”. 東京, 横河レンタ・リース, 1995. P. 15-17.
- 11)上田直行. “電波暗室と電磁ノイズ計測システム”. 熊本, 本誌, 1993. P. 31-41.

試作マイコンボードの遠方電磁界における電磁波測定 —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*

Measurement of Electric Far Field Strength around the
Trial Printed Circuit Board with Microprocessor

-Studies on Improvement of Electronic Machine's Performance
under Circumstances of Electromagnetic Noise-

Naoyuki Ueda*

電子機器の電気信号、近傍電磁界と遠方電磁界を測定することにより、電気信号と遠方電磁界との関係を検討した。電子機器としては、Z80を実装した試作マイコンボードを使用し、遠方電磁界での磁界強度の波形と、周波数領域30MHzから1GHzでの波形のスペクトル解析を行った。その結果、時間領域における試作ボードのクロック信号の周期は、遠方電磁界の電界強度の周期とほぼ完全に一致した。一方、波形のスペクトル解析では、偶数高調波及び奇数高調波の周波数は、クロック信号、近傍磁界と遠方磁界とともにほぼ一致した。しかし、その大きさはあまり一致しなかった。また、試作マイコンボードでは、クロック信号の基本信号と高調波以外にも広い周波数範囲で多くの高調波が観測できた。これが原因でクロック以外の高周波領域での高調波に影響を及ぼしていることもわかった。

1. 緒 言

電子機器から発生する電磁ノイズ対策は、ノイズ発生源としての電子回路サイドからのアプローチと、電磁波として空間に放射された場合の受信サイドからのアプローチがある。しかし、電子回路サイドからのアプローチと受信サイドからのアプローチとを関連づける解析的な研究は、あまりなされていない。

そこで、電子回路の電気信号と近傍電磁界との関係、近傍電磁界と遠方電磁界との関係、及び電子回路の電気信号と遠方電磁界との関係を明確にする必要がある^{1, 2, 3, 8, 10)}。

今回は、電子機器として、試作マイコンボードを使用して、近傍磁界の強さを測定し、ボード内クロック信号と近傍電磁界との関係、近傍電磁界と遠方電磁界との関係、及びクロック信号と遠方電磁界との関係を確認したので、その結果について報告する。

2. 測定方法

2.1 測定条件

今回の測定に使用した設備、EUT、測定器は以下のとおりである。

1) 使用環境：当センター1階電波暗室¹¹⁾（松下インターテクノ MH5100）

2) EUT (被試験体) : 試作マイコンボード

マイコンボードの構成は下記のとおり。

- ①ワンボードマイコン本体 (Z80 CPU、ROM、RAM、Z80 PIO、発振器2.500MHz等)
- ②キーボード
- ③PIO (Z80PIO等)
- ④モニタ (LED等)
- ⑤電源 (3端子レギュレータ等)

3) 近傍磁界測定関係^{4, 8, 12)}

- ①アナログオシロスコープ (Tectronix 2465 300MHz)
- ②スペクトラムアナライザ (アドバンテスト R3361A 9K-2.6GHz)¹⁴⁾
- ③RFパワーアンプ (アドバンテスト TR45002 .8-1000MHz, 3W 40dB)
- ④近接磁界プローブ1 (HP 11941A 9K-30MHz)¹¹⁾
- ⑤近接磁界プローブ2 (HP 11940A 30K-1GHz)^{5, 6)}

4) 遠方電磁界測定関係

- ①バイニカルアンテナ (Schwarzbeck VHA 9103 30-300MHz)
- ②ログペリオディックアンテナ (Schwarzbeck UHAL P 9107 30M-1GHz)
- ③EMI測定システム (アドバンテスト R2541)

なお、その他の機器類は、文献¹²⁾と同様の測定条件とした。

2.2 測定方法

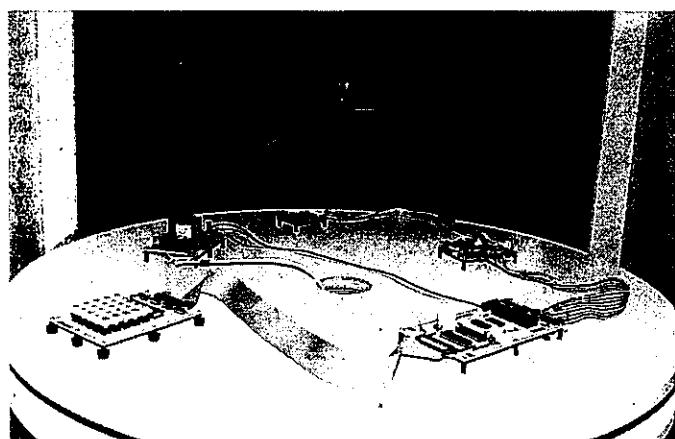
常時CPUが動作状態時の、CPUのクロック電圧に対する

* 電子部

近傍磁界の磁界強度と遠方電磁界の電界強度を観測及びスペクトル解析した^{1,2)}。

また、測定は、国内のVCCI（情報処理装置等電波障害自主規制協議会）規格^{2, 3)}に準拠して実施した。

電波暗室内のターンテーブル上に置かれた試作ワンボードマイコン、自動測定システムの概観を図1に示す。ターンテーブルは一回転し、受信アンテナは水平偏波・垂直偏波並びに1mと1.75m高さに変化し、これらの組み合わせの中で最大のレベルをコンピュータで自動計算し、出力する。また、測定したZ80を搭載したボードを図2に示す。



1) 電波暗室内にセットされたマイコンボード

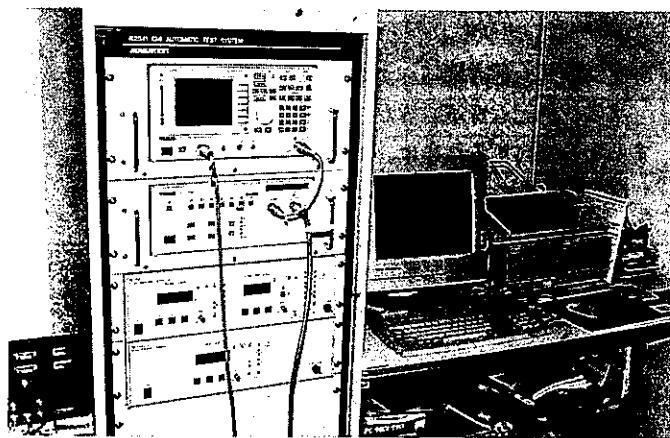
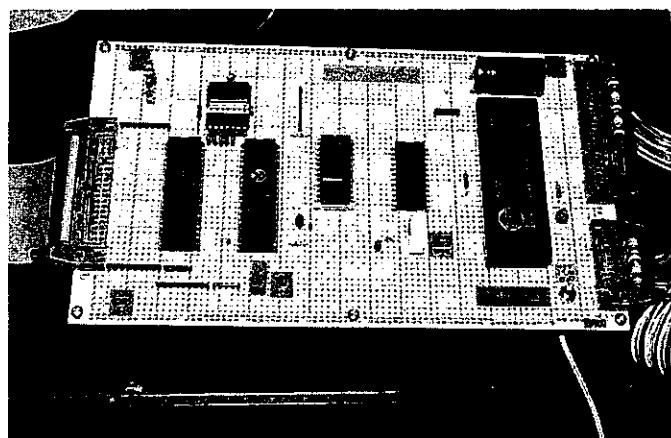
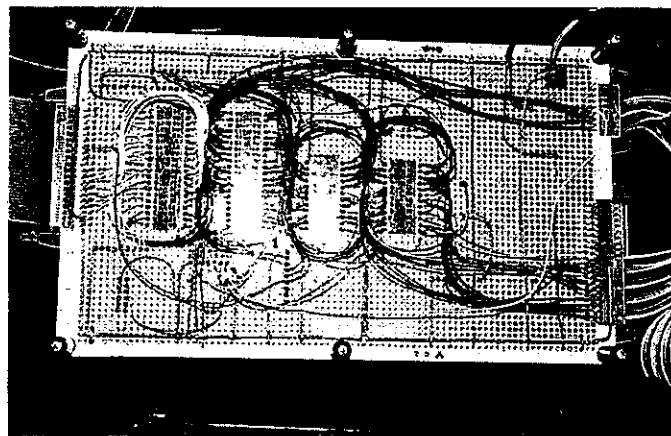


図1 遠方電磁界測定自動システム



1) 表面実装状態



2) 裏面ハンダ・配線状態

図2 Z80搭載試作ワンボードマイコン

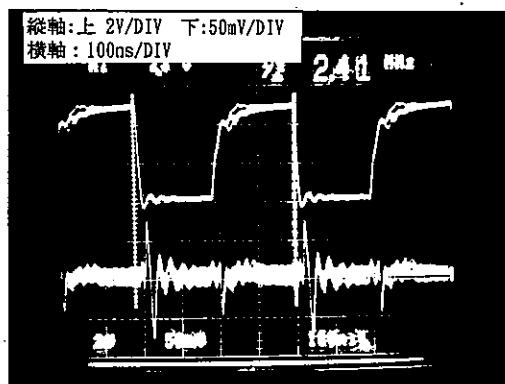
3. 測定結果及び考察

3.1 30-60MHz近傍磁界測定

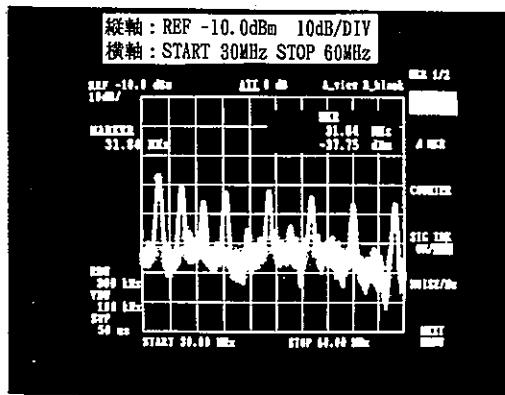
図3に30MHzから60MHzまでの近傍磁界の測定結果を示す。

すなわち、Z80クロック信号波形と近傍磁界波形は2.4MHzの基本周波数に同期して動作している。低周波領域で近傍磁界波形が急峻になっているのは、磁界プローブが低周波分を取り込めないためである。

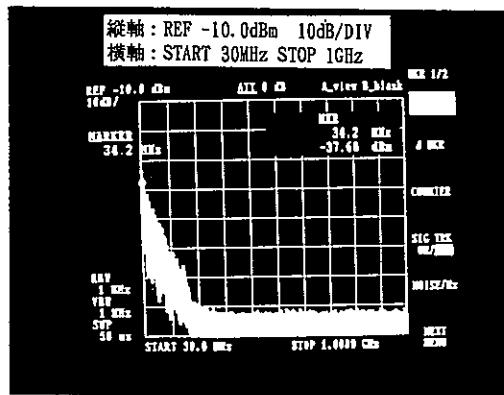
また、周波数領域におけるスペクトルは、クロックと近傍磁界とがほぼ一致した。



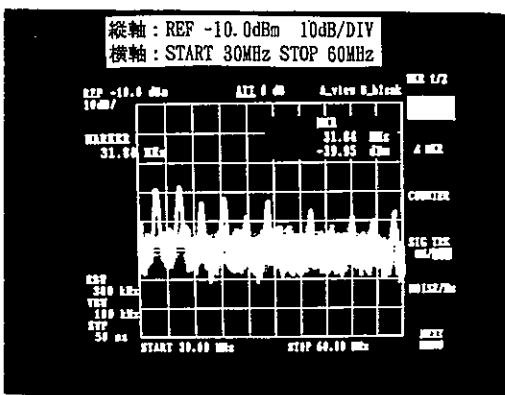
1) 上：クロック 下：近傍磁界の磁界強度



2) クロックのスペクトル解析

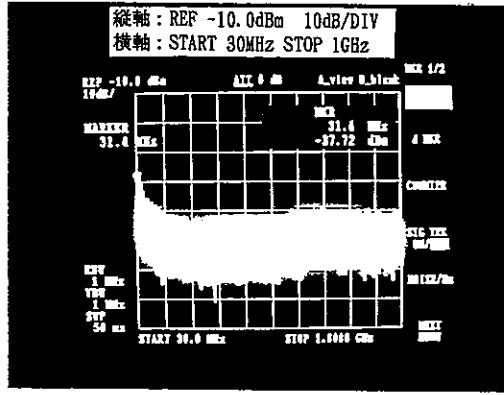


1) クロックのスペクトル解析



3) 近傍磁界のスペクトル解析

図3 30M-60MHz測定結果



2) 近傍磁界のスペクトル解析

図4 30M-1GHz測定結果

3.2 9K-30MHzと30-60MHz近傍磁界との比較

文献¹²⁾では周波数帯域9K-30MHzでの近傍磁界の強度測定を行ったが、周波数帯域30-60MHzでの近傍磁界は、同様のスペクトル測定結果が得られた。

クロック・磁界共に高調波のスペクトルは、9K-30MHz周波数領域では規則正しく並んでいたが、30M-1GHz周波数帯域ではランダムな並びが目立ち、基本波の高調波以外の周波数成分の磁界スペクトルも出てきている。

3.3 30M-1GHz近傍磁界測定

図4に30MHzから1GHzまでのクロックと近傍磁界測定結果を示す。

クロックの高調波の大きさは、周波数帯域30-200MHzまでは、直線的に約40dBほどレベルが減少しているが、周波数帯域200M-1GHzまでは、ほぼ一直線にレベルが低下したまで推移している。一方、近傍磁界の方は、周波数帯域30-100MHzまでは、直線的に約10dBレベルが低下しているが、周波数帯域100M-1GHzまでは、高レベルのままほぼ漸近的に上昇した直線で推移している。このことは、高周波成分は、伝導性の電気信号では、速く減衰するのに対して、一旦空間に放射された磁界では、減衰しにくいからである。

3.3 30M-1GHz遠方電磁界測定

次に、前記近傍電磁界が遠方電磁界にどのように移行するかを検討するために、その測定結果について述べる。

図5に、マイコンボードの遠方電磁界の測定(VCCI規格に準拠した電磁波ノイズ試験)結果を示す。ここで、マイコンボードがまだ動作していない、つまり電波暗室・アンテナ・ケーブル・自動測定システム全てのキャリブレーションに必要な電磁界の周波数特性(これを「暗電磁ノイズ: BACKGROUND ELECTRO-MAGNETIC NOISE」と仮称する。)も、併せて示す。したがって、厳密な電界強度は、実測値から暗ノイズを差し引いた値である。

同図から遠方電磁界の電界強度は、周波数帯域30-60MHzが最も高く、周波数450MHz位までが観測され、周波数450M以上ではほとんど観測されない。また全体的には、ピークの包絡線をとると、ほぼ漸近的に約25-30dB[μV/m]ほど450MHz以上の高周波にゆくほど減少している。

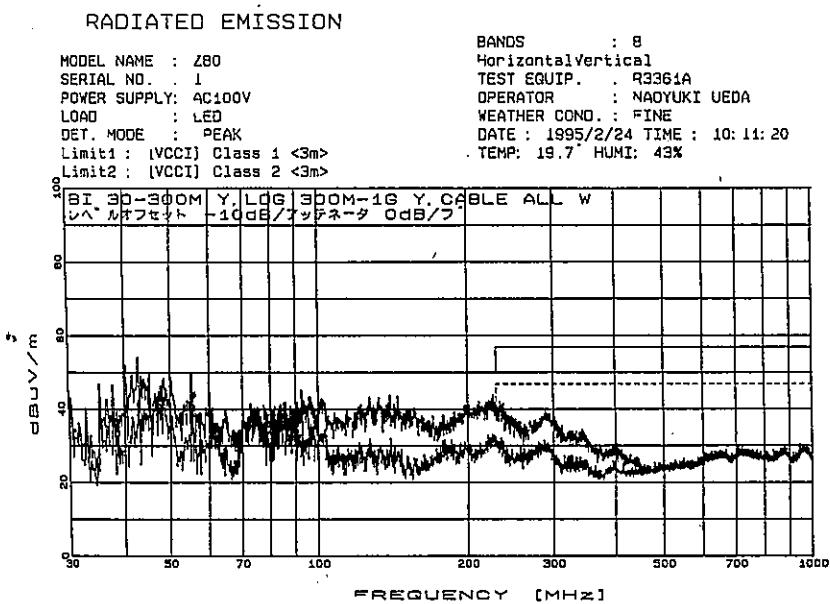
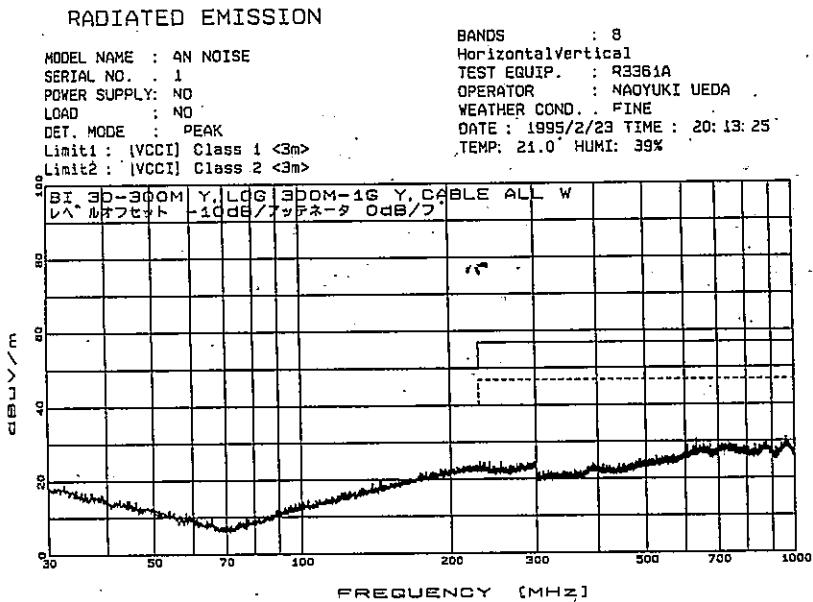


図5 30M-1GHz遠方電磁界測定結果

3.4 30M-60MHz遠方電磁界と基本周波数との関係

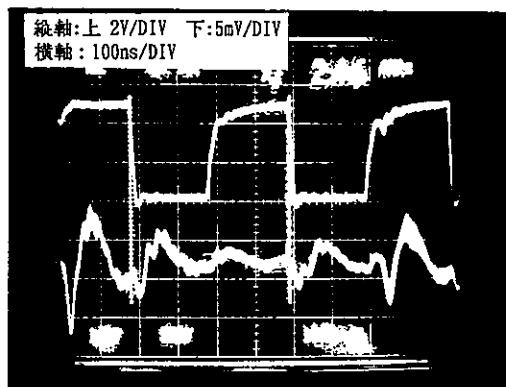
前記で遠方電磁界スペクトルレベルが最も高かった周波数帯域30M-60MHzの範囲について、近傍磁界の高周波成分は、基本的にはクロックの偶数及び奇数の高調波である。

図6に、分解能をあげた近傍磁界測定結果を示す。また、図7に基本周波数と遠方電磁界との関係を示す。

この図から、クロックの基本周波数は、近傍磁界基本周波数と全く一致している。この実測値f1は、 $f_1 = 2.529\text{MHz}$ である。

ここで、どの程度の誤差があるかを一例として、VCCI規格値をオーバーした4点について、計算を試みた結果を表1に示す。規格値をオーバーしたのは、第16、第17、第18、第22高調波であり、この計算値と実測値誤差は0.5%以内であり、測定器の誤差を見込んで、極めてよ

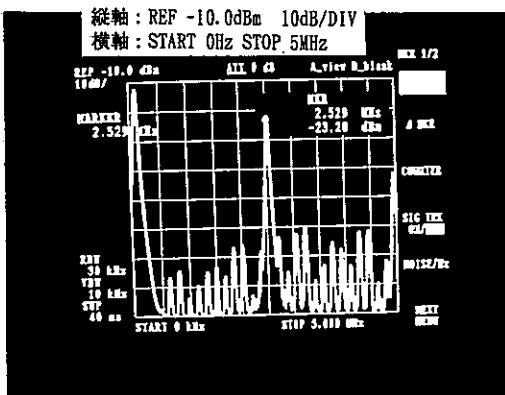
去ないしは低減すればよいことになる。対策箇所は、近傍磁界の範囲内で対策を行えば、近隣の機器は基より、遠方電磁界にある他の機器に及ぼす影響もより少ないとになる。



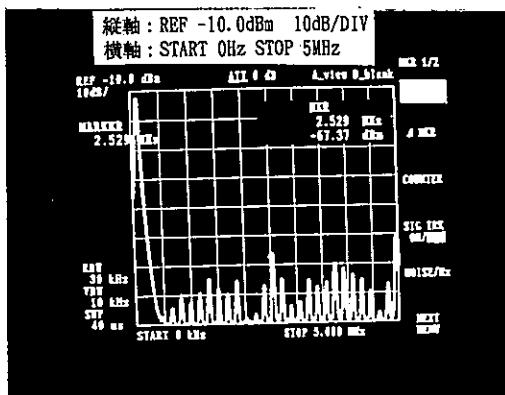
1) 上: クロック 下: 近傍磁界の磁界強度

い一致をみている。他の場合、第24調波までを計算して、実測値と比較しても、同様の結果を得た。

「遠方電磁界のスペクトル解析の結果より、ボードのクロックあるいは近傍磁界の基本波が必ず出現し、他の高調波と比べて極めて高いレベルを示す。このことは、理論上基本波を減ずるものがあれば、高調波すなわち電磁ノイズは相殺できることを意味している。実際の対策としては、電磁ノイズの原因となる基本周波数がわかれば、例えばアルミ板で遮蔽するとかフェライトで吸収させて、電磁波を除去、電磁波を除



2) クロックのスペクトル解析



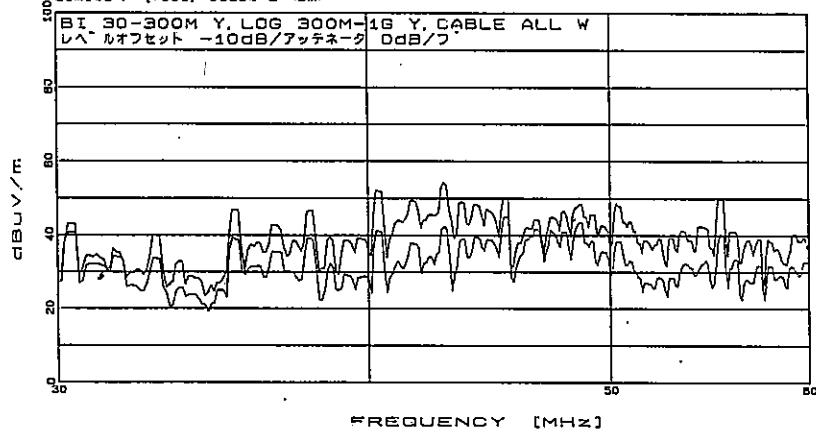
3) 近傍磁界のスペクトル解析

図6 0-5MHz近傍磁界測定結果

RADIATED EMISSION

MODEL NAME : Z80
 SERIAL NO. : 1
 POWER SUPPLY: AC100V
 LOAD : LED
 DET. MODE : PEAK
 Limit1 : [VCCI] Class 1 <3m>
 Limit2 : [VCCI] Class 2 <3m>

BANDS
 Horizontal Vertical
 TEST EQUIP. . R3361A
 OPERATOR . NAOYUKI UEDA
 WEATHER COND. . FINE
 DATE : 1995/2/24 TIME : 10:11:20
 TEMP: 19.7 HUMI: 43%



1) 30-60MHz部分の遠方電磁界特性

周波数 (MHz)	電界強度 (dBuV/m)	角度 (°)	高さ (cm)	測定面 傾斜	規格値 (dBuV/m)	余裕 (dB)	f = 2, 529 M [Hz]				
30.300	43.1	0	100	水平	50.0	6.9	12f1	48.500	48.4	0	100
31.100	34.8	0	100	水平	50.0	15.3		49.100	45.6	0	100
31.500	36.4	0	100	水平	50.0	13.6		49.600	42.7	0	100
32.300	30.7	0	100	水平	50.0	19.3		50.100	46.7	0	100
32.800	40.3	0	100	水平	50.0	9.7	13f1	50.600	43.7	0	100
33.600	33.0	0	100	水平	50.0	17.1		51.100	38.7	0	100
33.900	26.8	0	100	水平	50.0	21.2		52.300	39.1	0	100
34.600	26.4	0	100	水平	50.0	23.7		52.800	39.3	0	100
35.300	46.9	0	100	水平	50.0	3.1	14f1	53.400	41.3	0	100
36.100	37.9	0	100	水平	50.0	12.1		54.300	42.5	0	100
36.600	42.8	0	100	水平	50.0	7.3		55.300	50.2	0	175
37.300	38.5	0	100	水平	50.0	11.5		56.000	41.2	0	100
37.900	46.6	0	100	水平	50.0	3.4	15f1	56.700	36.7	0	100
38.600	39.5	0	100	水平	50.0	10.5		57.300	39.2	0	100
39.100	38.5	0	100	水平	50.0	11.5		57.800	39.0	0	100
39.600	39.1	0	100	水平	50.0	10.9		59.200	40.6	0	100
40.300	52.3	0	100	水平	50.0	2.3	16f1	59.700	39.4	0	100
41.600	43.3	0	100	水平	50.0	0.7		60.300	44.6	0	100
42.900	54.3	0	100	水平	50.0	▲ 4.3	17f1	61.000	40.4	0	100
43.600	49.1	0	100	水平	50.0	0.9		61.500	36.3	0	100
44.100	46.3	0	100	水平	50.0	1.7		62.300	35.1	0	100
44.600	47.2	0	100	水平	50.0	2.6		62.800	34.0	0	100
45.300	50.2	0	100	水平	50.0	▲ 0.2	18f1				
46.600	44.4	0	100	水平	50.0	5.6					
47.300	45.0	0	100	水平	50.0	5.0					
47.900	46.6	0	100	水平	50.0	3.4	19f1				

2) 第24高調波までの遠方電磁界との相関

図7 基本周波数と遠方電磁界との関係

表1 遠方電磁界の高調波

基本波f1=2.529MHz			
高調波	計算値 [MHz]	実測値 [MHz]	誤差(対実測値 [%])
16f1	40.464	40.300	0.164(0.407)
17f1	42.993	42.900	0.093(0.217)
18f1	45.522	45.300	0.222(0.490)
22f1	55.638	55.300	0.338(0.611)

3.5 遠方電磁界と基本周波数以外の高調波との関係

遠方電磁界のスペクトルを解析すると、前記の基本周波数の高調波以外の周波数が多数みられる。矩形波は、基本波と奇数高調波のみで構成され、それ以外の偶数高調波成分はない^{9, 13)}。

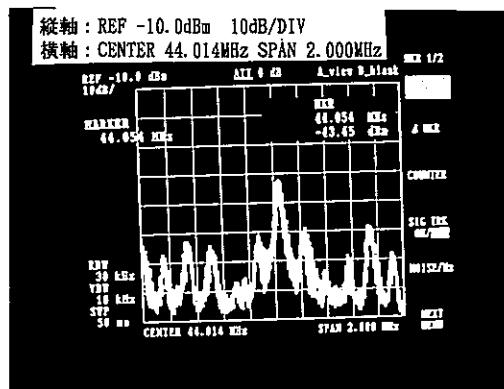
そこで、前記図6で示した2.529MHz前後の試作ボードのクロック電圧に対するスペクトルを、詳細に観察した。これによれば、基本周波数以外にも、多数のスペクトルが観察された。これらのスペクトルが、クロックの基本波以外の基本波となって、高周波領域に伝搬しているということができる。ちなみに、その基本波f1Hは3.743MHzで、前記と同様の計算を行った結果を表2に示す。この場合、第12、第13、第14、第15、第16高調波のいずれも計算値と実測値は、その誤差は前記同様0.5%以内であり、測定器の誤差を見込んで、極めてよい相関があることがわかった。他の高調波についても、同様の考え方で説明がつく。

表2 近傍電磁界の基本周波数以外の周波数による高調波

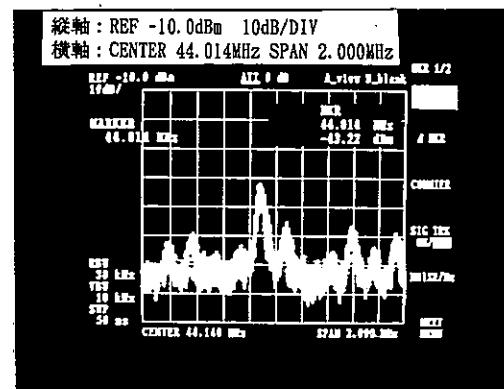
基本周波数以外の周波数f1H=3.743MHz			
高調波	計算値 [MHz]	実測値 [MHz]	誤差(対実測値 [%])
12f1H	44.916	44.600	0.316(0.708)
13f1H	48.659	48.600	0.059(0.121)
14f1H	52.402	52.300	0.102(0.195)
15f1H	56.145	56.000	0.145(0.259)
16f1H	59.888	59.700	0.188(0.314)

3.6 特定スペクトラム付近の考察

任意のスペクトラムを詳細に考察する。一例として、図8に示す44MHz付近(周波数範囲は、43.317MHzから45.067Hzまで)のスペクトラムは、前記の基本周波数の高調波は含まれていない。これは、基本周波数またはその高調波以外の周波数が存在している。実際には、このような周波数が数多く観察された。



1) クロックのスペクトル解析

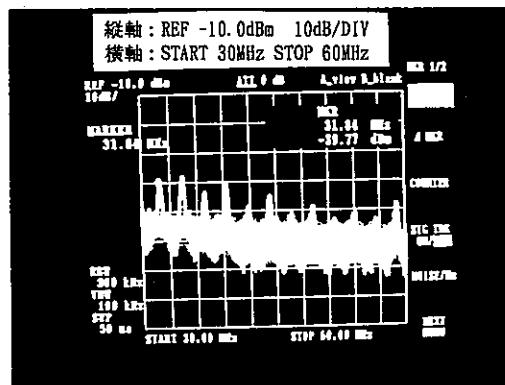


2) 近傍磁界のスペクトル解析

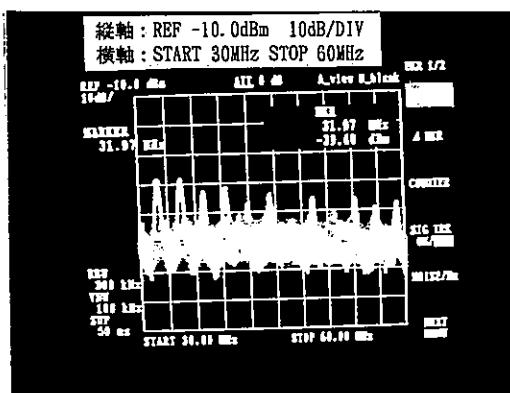
図8 44MHz付近の測定結果例

3.7 測定場所によるスペクトラムの差異

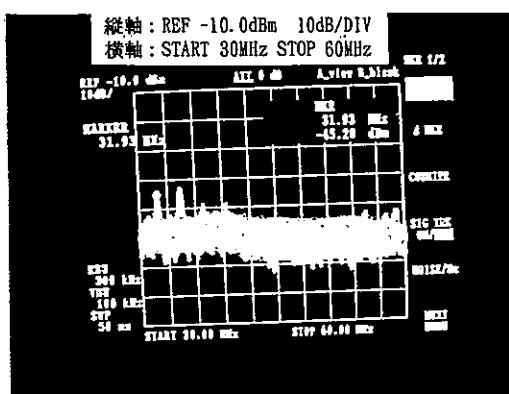
測定する場所が異なると、磁界強度の波形の変化が見られ、したがって磁界強度の周波数領域におけるスペクトラムも異なってくる。一例として、マイコンボードのZ80CPU付近の近傍磁界を図9に示す。3地点のスペクトラムの周波数は同じである。しかし同一周波数に対するレベルが3カ所とも異なっていることがわかる。このことは、遠方電磁界のスペクトラム特性における周波数と強度にそのまま影響を及ぼすことになる。



1) Z80表面中央付近



2) Z80表面上部右端付近



3) Z80表面下部左端付近

図9 測定場所によるスペクトルの違い

3.8 スペクトラムの電磁界強度の差異

以下の項目が考えられる。

- ・デバイスの構造・製造方法・パッケージ・材料
- ・基板材料
- ・基板とデバイスの配置・実装方法・配線方法
- ・ボード間の接続方法、配置
- ・電波暗室の形状・寸法・材料
- ・計測システム
- ・接地
- ・電源系

直接には、単一のクロックから発生した複数の電磁波の反射・吸収・透過が複雑にからみあい、位相が同じ+方向の時には強めあい、位相が反転して-方向の時には弱めあったりしながら、ランダムなスペクトルとなると考えられる。なお、本電波暗室は、六面フェライト張りであるので、特に床面については電磁波が吸収され、反射波は少ない。

4. 結論

1) 試作マイコンボードのクロック信号の電磁波ノイズは、近傍磁界として空間に放射され、さらに遠方電磁界へと移行する。

2) クロックの電圧波形と近傍磁界の磁界強度波形とは、相当異なるものとなった。しかし、基本周波数は全く一致していた。

3) クロックと近傍磁界のスペクトラムは、周波数では一致したが、強度は異なっていた。クロックと遠方磁界のスペクトラムは、周波数では一致した。しかし、レベルは異なっていた。

4) 近傍磁界と遠方電磁界との比較は、スペクトラムは一致したが、レベルは異なっていた。

5) 試作ボードのクロックは、基本周波数及び高調波以外の成分も含まれており、これが近傍磁界及び遠方電磁界にもそのまま影響を及ぼしている。

今後、本成果をもとに、電子機器の電磁ノイズの測定とその防止対策を研究する。

文 献

- 1) 赤尾保男. "環境電磁工学の基礎". 東京, 電子情報通信学会, 1993. P. 114 - 116.
- 2) アドバンテスト. "EMI/EMCハンドブック". 東京, アドバンテスト, 1989. P. 15 - 20, P. 27.
- 3) ノイズ研究所ノイズ対策室. "ノイズ対策マニュアル". 神奈川. イー・エム・シー, 1988. P. 310, P. 338 - 347.
- 4) 上田直行. "TEMセルによるマイコンボードのイミュニティ試験". 熊本, 本誌, 1993. P. 17 - 23.
- 5) MARK TERRIEN. "THE HP 11940A CLOSE FIELD PROBE: Characteristics and Application to EMI Troubleshooting". U.S.A, HEWLETT PACKARD, 1986. P. 2 - 34.
- 6) HEWLETT PACKARD. "11940A CLOSE-FIELD PROBE: OPERATION NOTE". U.S.A, HEWLETT PACKARD, 1986. P. 1 - 13.
- 7) HEWLETT PACKARD. "11941A CLOSE-FIELD PROBE: OPERATION NOTE". U.S.A, HEWLETT PACKARD. 1987. P. 1 - 17.
- 8) 山田直平. "改訂版 電気磁気学". 東京, 電気学会, 1968. P. 285 - 290, P. 317 - 330.
- 9) 寺澤寛一. "増訂版 自然科学者のための數學概論". 東京, 岩波書店, 1969. P. 149 - 157.
- 10) 金本 正. "ノイズ軽減対策の初步(準静電磁界)". 東京, 横河レンタ・リース, 1995.
- 11) 上田直行. "電波暗室と電磁ノイズ計測システム" 熊本, 本誌, 1993. P. 31 - 41.
- 12) 上田直行. "試作マイコンボードの近傍電磁界における磁界測定". 熊本, 本誌, 1995.
- 13) 電気学会. "電気工学ポケットブック(第4版)". 東京, オーム社, 1991. P. 172 - 187, P. 1491 - 1492.
- 14) アドバンテスト. "総合カタログ". 東京, アドバンテスト, 1991. P. 116 - 213, P. 284 - 317..

K-NET規格機器の開発

-中小企業向け電子計測制御標準プラットフォームの開発-

宮川隆二*・上田直行*・城戸浩一*・園田増雄**・萩原宗明***

Development of Print Circuit Boards on Kumamoto-Network Standard(K-NET Standard)

-Development of Measuring and Control Equipments Based on Kumamoto-Network Standard
for Smaller Enterprises-

Ryuji MIYAGAWA*, Naoyuki UEDA*, Kouichi KIDO*, Masuo SONODA**
and Muneaki HAGIWARA***

自動化システムの開発にかかる時間とコストを削減するため、熊本県独自の制御用ネットワークK-NETを提案し、その規格設定を行った。このK-NET規格に適合した標準機器を用意しておくことで、個別機器及び機器を組み込んだ自動化システムに対する大幅な開発期間の短縮を達成することができた。本事業で得られた成果により、規格品の標準ねじ、ナット、フレームを組み合わせて機械を作るような感覚で、標準機器を組み合わせることにより、電気的な自動化システムを短期間に構築することが可能になった。

1. はじめに

平成3年度に行った地場企業136社のアンケート調査結果によれば、本県の地場企業が抱える最も重要な問題の一つは人材不足である。地場企業の68%以上がこの問題を感じており、とりわけ研究開発部門の人手不足が深刻で、人手不足対策の切り札である自動化そのものが困難になりつつある。そのため、どのような自動化システムにも対応でき、短期間で低コストな開発環境を早急に整えることが強く望まれている。

この問題に対する最も効果的な解決策として、電子技術をハードウェアとソフトウェアの両面からプラットフォーム化することが考えられる。プラットフォームを整えることによって、その規格に適合した機器を適当に組み合わせるだけで、自動化システムを短期間に開発できるようになる。つまり、規格品の標準ねじ、ナット、フレームを組み合わせて機械を作るような感覚で、電気的な自動化システムを構築することが可能となる。

本報告書では、まず自動化システム開発のプラットフォームとして提案したK-NETについて説明し、次に本事業で開発したK-NET規格機器について紹介する。

2. K-NETの概要

K-NETとは、中小企業庁が行う地域人材不足対策技術

開発事業の補助を受けて、当センターと熊本テクノボリス財団の電子応用機械技術研究所の共同研究によって提案された制御用ネットワークのことである¹⁾。本研究の目標は、地場企業に必要なK-NET規格をまず作成し、この規格に準拠した標準機器及び標準プログラムを製作することである。そして、これらを応用した自動化装置を短期間に、かつ容易に開発可能なものとすることを最終目標とする。K-NET規格は、以下の項目にポイントを置いて決定した。

1. 中小企業が必要とする機能や問題点の調査分析結果を反映させる。
2. 使い易いこと。
3. 冗長性を廃し、低コスト化を図る。
4. 将来を見込んだ拡張性を考慮する。
5. ソフトが開発しやすい。

この仕様を実現する手段として、従来の集中制御法ではなく、分散制御方式を採用した。そのため、一般的な制御システムつまりシーケンサを中心としたシステムと比べると、K-NETを使ったシステムは、

- 1) システムの開発コストが大幅に削減される。
- 2) 開発期間が大幅に短縮される。
- 3) 配線が非常に単純になる。
- 4) システム変更が非常に簡単である。
- 5) 他社との共同開発が円滑に行える。

という大きなメリットを持っている。

K-NETを使った制御システムの典型的な例を図1に示す。K-NET規格を満たす複数のK-NET機器が、K-NETに接続されている。各K-NET機器は単純な機能しか持っていない

* 電子部
** 情報デザイン部
*** 電子応用機械技術研究所

が、K-NETを介した通信によって、お互いに情報を交換することができ、全体として一つの制御システムとして機能する。

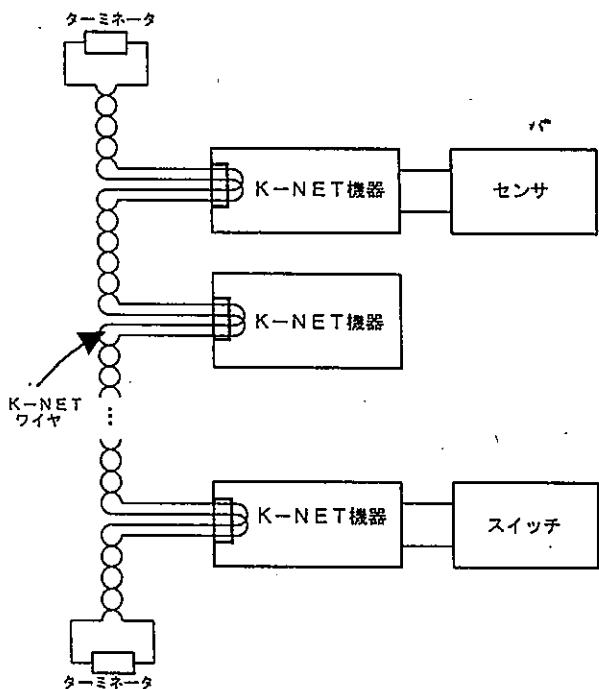


図1 K-NETを使った制御システム

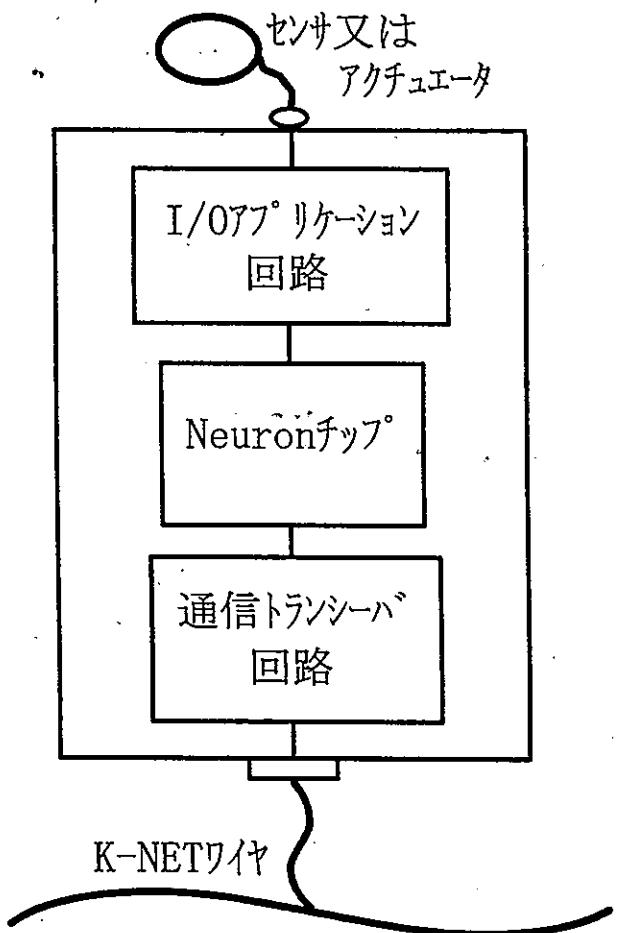


図2 K-NET機器の基本的な回路構成

K-NET機器には、図2に示すようなアメリカのエシェロン社によって開発されたNeuronチップが搭載されている。NeuronチップのI/OポートにはI/Oアプリケーション回路が組み込まれ、チップの通信ポートにはK-NET規格の通信トランシーバ回路が組み込まれている。I/Oアプリケーション回路は、通常センサ用の補助回路やモータの駆動回路等である。通信トランシーバ回路は、K-NET規格に従った回路が組み込まれており、基本回路は図3に示すとおりである。

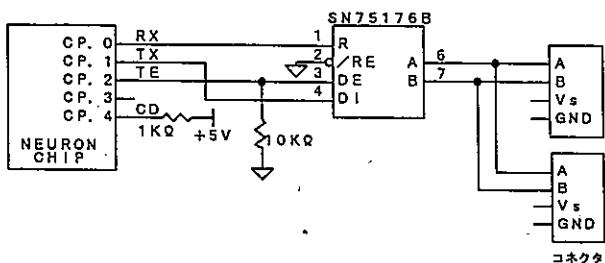


図3 K-NET規格の通信トランシーバ回路

K-NETの通信プロトコルは、エシェロン社の技術であるLON TALKプロトコルに基づくもので、OSI（開放型システム間相互接続）参照モデルに準拠している。物理層にはツイストペア線を用いRS485規格に準拠した信号の伝達方式を採用しており、K-NET機器は、信号線と電源線を含む1本のツイストペア線で相互接続される。コネクタの形状は、モジュラータイプを始めとして全部で3種類選択できる。

K-NET機器間の通信では、リアルタイム制御性を確保するために、必要最小限のイベント情報しか交換されない。イベント情報とは、“スイッチがオンになった”、“温度がある値を超えた”といった動的な情報のことと、ファイルデータのような静的で大きな情報とは性格的に異なり、通常は数バイト程度の大きさで十分である。

あるイベントを受け取った機器は、そのイベントに応じた適切な動作を行う。これらの動作は、あらかじめプログラミングされ、Neuronチップ内のEEPROM内にロードされている。プログラムは、Neuron Cと呼ばれる分散制御に適した言語によって記述することができる。分散システムであるので、一つのK-NET機器の動作を記述するNeuron Cのアプリケーションプログラムは、10数行程度の非常に簡単なものである。イベントの交換も、ある変数への代入によって行うため、ネットワークに関する知識は不要ない。したがって、K-NETは、ネットワークを使った分散システムであるにも関わらず、通信プロトコル等の複雑な問題に時間を奪われることなく、目的のシステム開発に専念することができる。

まとめると、K-NETシステムは、ネットワーク技術を

利用した柔軟性のあるリアルタイム分散システムであるため、図4に示すような手順で簡単にシステム開発ができる。各機器のプログラミングは非常に簡単で、ネットワークに関する知識も一切必要としない。

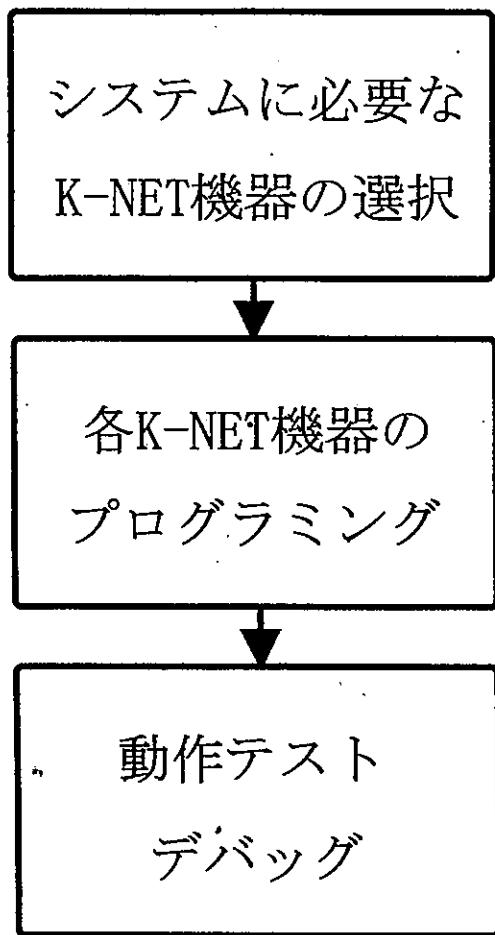


図4 K-KETを使った場合のシステム開発手順

3. K-NET規格機器

K-NET規格機器の設計・製作にあたっては、中小企業のニーズに合ったものを優先させ、以下の点を考慮した。

1. パソコンとのインターフェース基板の開発
2. 画像処理機能ボードの開発
3. ROM化DOS組み込みCPU回路基板の開発
4. モータコントローラの開発

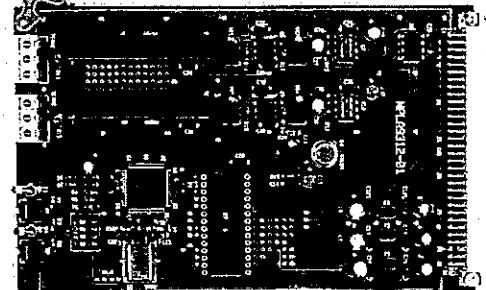


図5 標準K-KET規格機器の基板外観

表1 標準K-KET規格機器

1. デジタル入出力
2チャンネルデジタル入出力ユニット 4チャンネルデジタル入力ユニット 2チャンネルデジタル出力ユニット 4チャンネルデジタル出力ユニット TTL入(高)出力ユニット TTL(入)出力ユニット 2チャンネルリレー出力ユニット
2. 特殊入出力
A/Dコンバータユニット ユニポーラA/Dコンバータユニット バイポーラA/Dコンバータユニット 4~20mA電流用A/Dコンバータユニット 小型7セグメント表示器 大型7セグメント表示器 16×16 LEDマトリックス ハンドィターミナルユニット ステッピングモータコントロールドライバユニット
3. パソコン用インターフェース
ISAバスインターフェースユニット RS232Cコンバータユニット RS232Cコンバータユニット 小型ネットワークマネージャユニット
4. ユニバーサル
ユニバーサル基板A(3120)タイプシリーズ ユニバーサル基板B(3120)タイプシリーズ ユニバーサル基板B(3150)タイプシリーズ
5. ワンボードマイコン
78K2ユニバーサルユニット ROMDOS互換CPUユニット ROM化DOS搭載CPUユニット ROMDOSユニットV25用K-NETインターフェース K-NET J18ユニット
6. ネットワーク
リピータユニット ルータユニット 電源ターミナルユニット

以上の点を考慮して、約30種類に及ぶ標準K-NET規格機器を開発した²⁾。標準K-NET規格機器を、表1にリストアップしているが、大きく

1. デジタル入出力
2. 特殊入出力
3. パソコン用インターフェース
4. ユニバーサル
5. ワンボードマイコン
6. ネットワーク

に分類できるので、これらについて簡単に説明する。

デジタル入出力機器は、耐ノイズ性を考慮したフォトカプラ入出力、TTLレベル入出力、リレー入出力を持つものが用意されており、ほとんどのデジタル入出力をカバーしている。

特殊入出力機器は、A/Dコンバータ、LED表示器、キー入力及びLCD表示器、ステッピングモータドライバがある。入出力レベルはジャンパによって変更可能になっているので、適用範囲が広くなっている。

パソコン用インターフェースは、パソコンの標準バスであるISAバスタイプと直列伝送方式で最も広く使われ

ているRS232Cタイプを用意している。これらの機器は、パソコンをK-NETに接続する際のネットワークアダプタ的な役割をする。パソコンから入力した文字を他のK-NET機器に伝達したり、他の機器から送られてくる値をディスプレイに表示させることが可能になる。

ユニバーサル機器は、非常に特殊な要求にも対応できるよう、アプリケーション回路の設計をK-NETユーザにまかせた機器である。特別仕様の回路が要求される場合には、非常に便利である。

ワンボードマイコン機器は、Neuronチップの補助処理装置としてNEC製のマイクロプロセッサV25や日立製のマイクロプロセッサH8を搭載したものである。中規模であるが、多くのI/Oピンが必要な場合や高速処理が要求される場合に有効である。

ネットワーク機器には、K-NET上の信号を物理的に増幅するリピータ、通信トラフィックを軽減するためのルータなどがある。これらは、大規模なK-NETシステムを構築する場合に必要となる。

図5には、標準K-NET規格機器の基板の一例を示している。てのひらサイズでコンパクトに設計されているため、自由な機器の配置が可能になっている。

以上は、要素技術開発として述べたものであるが、本成果に基づく応用技術開発（自動化装置等試作事業）において、「計量集密保管自動倉庫」（金剛株式会社）及び

「加工部品の自動寸法検査システム」（櫻井精技株式会社）が試作されたことを付記する。

4.まとめ

自動化システムの開発に、標準K-NET規格機器を利用することで、大幅な開発期間短縮とコスト削減が実現できる。開発ステップが、K-NET機器の選択、プログラミング、デバッグと非常に簡単になっている。今後は、この技術を県内中小企業へ広く普及するために、講習会の開催と個別に企業への指導を行っていく予定である。

謝 辞

本事業は熊本知能システム制御研究会の分科会に相当するマイコン制御研究会の多くの方々の協力によって終了することができました。心から感謝します。また、適切な技術指導をしていただいたエシェロンジャパン社の皆様に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 熊本県；K-NET規格書, p.1-34 (1994).
- 2) 熊本県；K-NET機器集, p.1-92 (1995).

K-NET規格機器のための効果的なユーザ・インターフェイスの開発方法 －中小企業向け電子計測制御標準プラットフォームの開発－

城戸 浩一*

Effective Method for Developing User Interface for Kumamoto-Network Standard
(K-NET Standard) Based Equipments

-Development of Measuring and Control Equipments Based on Kumamoto-Network Standard
for Smaller Enterprises-

Kouichi KIDO*

K-NET規格機器のための効果的なユーザ・インターフェイス (User Interface) の開発方法について検討し、開発環境を整備した。

採用したUI開発方法は、パソコン、UI作成ツール、UI実行ツール及び通信ソフトなどでユーザ・インターフェイス・システム (UIS) を構成し、K-NET規格機器の中の変数の値を操作あるいは表示するためのUI画面をUI作成ツールを用いて作成した後、K-NETシステム、通信ソフト及びUI実行ツールを起動させてUI動作を行わせるというものである。

このUI開発方法の特長は、K-NETシステムのためのUISを短期間に開発できること、UIが使い易いこと、UIの修正や変更が容易に行えることである。

この開発方法を応用することにより、実験装置のためのUISを短時間に開発することができた。

1. はじめに

K-NET規格機器¹⁾（以下「K-NET機器」と略称）は、機械装置内あるいは建物内に分散して配置された各種のセンサーやアクチュエータ、スイッチなどをネットワーク化し分散制御を行うために開発された電子機器である。K-NET機器を用いて制御や計測、監視などを目的としたシステムを構成すると、①ソフトウェア開発効率が向上する、②仕様の変更やシステムの拡張に対して容易に対応できる、③配線量を削減できる、④開発期間を短縮できる、⑤開発経費を低減できるなどの効果が得られる。

ところで、ユーザまたは操作者とコンピュータまたは機械との間のインターフェイス（接触面または境界面）のことを一般にユーザ・インターフェイス(UI)またはマン・マシン・インターフェイス(MMI)などと呼ぶ。従来のUI開発方法としては、スイッチやボタン、ボリュウム、テン・キーなどの操作器とメータやライトなどの表示器がパネル上に配置された専用の装置（操作盤や制御盤など）、あるいは、そのような操作器や表示器をCRT画面にグラフィック表示する専用のソフトウェア（CRTオペレーション・プログラムなど）が開発され、使用されてきた。しかしながら、こうした専用の装置やソフトウェアは、開発に時間がかかり、また、仕様の変更やシステムの拡張に対して柔軟に対応することが困難であるなどの問題があった。K-NET機器に付いても、UIを従来の方

法で開発しようとすると、上記のような問題が必然的に発生することになる。その結果、UIを含めたK-NETシステム全体の開発期間を短縮できないことになり、また、K-NET機器の特長である修正変更の容易さも活かせないことになる。

そこで、本研究では、こうした問題を解決するために、K-NET機器のための使いやすいUIを短時間に作成でき、しかも、修正や変更が容易に行えるようなUI開発方法について検討し、開発環境として整備した。

本稿では、K-NET機器のための効果的なUIの開発方法とその方法を応用した実験装置のためのUIの開発例について述べることにする。

2. K-NET機器のためのUIに対する要件とUIの開発方法

2.1 K-NET機器のためのUIに対する要件

K-NETシステムでは、基本的に、一つ一つのセンサー・アクチュエータ、スイッチ、ライトなどに対して一つのK-NET機器が取り付けられる。センサーやスイッチなどの出力値は、その値が変化した時あるいは一定時間毎に各K-NET機器の中のそれらセンサーやスイッチのために用意された変数（「ネットワーク変数」と呼ばれる）に書き込まれる。また、K-NET機器の中のアクチュエータやランプなどのために用意された変数（これもネットワーク変数である）に値が書き込まれたとき、K-NET機器はその値をアクチュエータやライトなどに出力する。それゆえ、K-NETシステムの状態量の取得やK-NETシステ

* 電子部

ムに対する動作の指示は、K-NET機器のネットワーク変数の値を読み書きするだけで実現できる。したがって、K-NET機器のためのUIとしては、K-NET機器のネットワーク変数の値の操作と表示を簡単に行えることが必要であり、かつ、そのことができれば十分である。

上記以外のK-NET機器のためのUIに対する要件としては、UIが使いやすいこと、UIを短時間に作れること、UIの修正変更が容易に行えることなどがあげられる。

2.2 K-NET機器のためのUIの開発方法

検討の結果、K-NET機器のためのUI開発は、2.3で述べるようなシステムを用いて、2.4のような開発手順で行うこととした。

2.3 ユーザ・インターフェイス・システム(UIS)

UIの作成及び実行のためのシステム（以下「UIS」と呼ぶ）の構成を図1に示す。本システムは、DOS/Vパソコン、

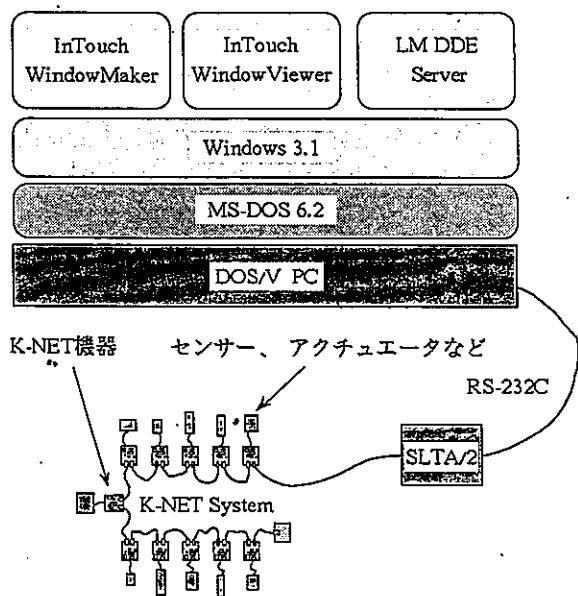


図1 UISの構成

MS-DOS6.2、Windows3.1、InTouch²⁾、WindowMaker、InTouch WindowViewer及びLM DDE Server³⁾から構成される。

InTouch WindowMakerとInTouch WindowViewerは、それぞれUIの作成と実行を行うためのソフトウェアで、米Wonderware社の製品である。InTouchの特徴は、UIがオブジェクト指向であること、UIをプログラミングなしに作成することができること、変数の操作あるいは表示のための画面部品（グラフィック部品）が多数用意されていることなどである。

LM DDE Serverは、米ECHELON社の製品で、K-NETシステムからネットワーク変数の値を読み込んでWindows3.1の持つDDE(Dynamic Data Exchange)機構によって他のアプリケーション・プログラムに提供したり、あるいは、他のアプリケーション・プログラムからDDE機構によって提供されたデータをK-NETシステムのネットワーク変数へ書き込んだりすることができる。LM DDE Serverは、

専用のアダプター（ECHELON社製、SLTA/2）を介してK-NETシステムのネットワーク変数へアクセスする。LM DDE Serverを起動するためには、K-NETシステムのネットワーク変数の構成等を記述したデータベースを用意する必要がある。

UI作成時にはWindowMakerを起動させるだけよいが、UI実行時にはK-NETシステム、WindowViewer及びLM DDE Serverを起動させる必要がある。

UI実行時のシステムの動作は、次のとおりである。まず、センサーの検出対象の状態が変化したりあるいはスイッチが切り替えられたりすると、K-NETシステムはセンサーやスイッチの出力値を関係するネットワーク変数に書き込むと同時に、そのネットワーク変数の値をLM DDE Serverへ送る。LM DDE Serverは、ネットワーク変数の値を受け取ると、DDE機構によりその値をWindowViewerへ送る。WindowViewer側では、送られてきた値にしたがってCRT画面上に表示された、例えば、メータやライトなどの画面部品の表示内容を変化させる。逆に、ユーザがCRT画面上に表示された画面部品、例えば、ボタンやスイッチなどを操作すると、WindowViewerは更新された値をDDE機構によりLM DDE Serverへ送る。LM DDE Serverは、その更新値を受け取ると、その値をK-NETシステムの対応するネットワーク変数に書き込む。K-NETシステム側では、更新されたネットワーク変数の値にしたがって対応するアクチュエータやランプを変化させる。

2.4 UISの開発手順

本UISの開発手順は、以下のとおりである。

1) K-NETシステムの構築

専用の開発ツール（ECHELON社、LonBuilder）を用いてK-NETシステムを構築する。この作業が終了すると、K-NETシステムの構成等を記述したデータベースが作成される。

2) データベースの変換

1)で作成されたデータベースを変換プログラムによってLM DDE Serverのためのデータベースに変換する。

3) UI画面の作成

WindowMakerを起動させ、2.5で述べるような手順でK-NETシステムのためのUI画面を作成し、データファイルを作成する。

4) UI動作の実行

K-NETシステムとUISを接続した後、2)で得られたデータベースを指定してUISのLM DDE Serverを立ち上げ、3)で作成されたデータファイルを指定してUISのWindowViewerを起動させる。

2.5 WindowMakerにおけるUI画面の作成手順

K-NETシステムのためのUI画面をWindowMakerで作成する手順は、次のとおりである。

- 1)画面部品を配置するためのウインドウの位置や大きさ、動作などを設定する。
- 2)K-NETシステムの中の操作または表示したいネットワーク変数をタグ変数として登録する。
- 3)登録したタグ変数に適当な画面部品を画面部品集の中から選択する。
- 4)選択した画面部品をウインドウ上の適当な位置に適当な大きさで配置する。
- 5)配置した画面部品に対して登録したタグ変数名とその画面部品の動作などを設定する。
- 6)K-NETシステムの操作または表示したいすべてのネットワーク変数について、上記2)から5)までの操作を繰り返す。

なお、ウインドウや画面部品の位置や大きさの設定はマウスを使って簡単に行うことができ、また、それらの動作の設定もメニューから適当な値をマウスを使って選択するだけで行うことができる。

3. UISの開発例

3.1 UISの開発対象

本UISの開発対象は、試料を回転させながら赤外線に

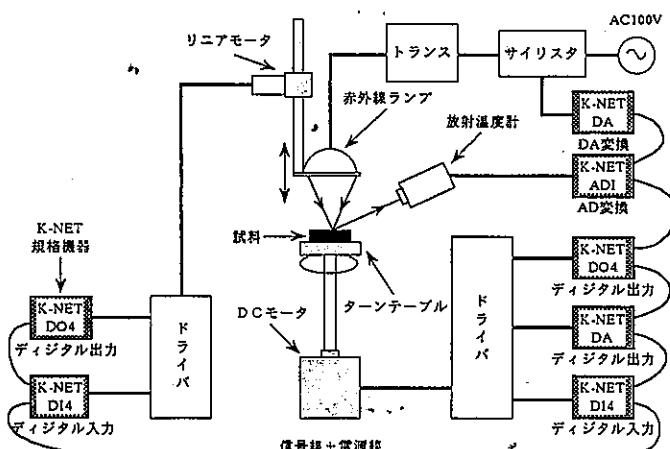


図2 UISの開発対象

よって加熱する機構を持った酸化物結晶の作製装置で、図2に示すように赤外線ランプ、放射温度計、試料回転用のモータ、赤外線ランプ昇降用のリニアモータ及びこれらに接続されたK-NET機器などから構成される。

本装置において使用されるネットワーク変数は、次のとおりである。

- ①赤外線ランプの光量値
- ②放射温度計の出力値
- ③試料回転用モータの起動停止指令値
- ④試料回転用モータの回転方向指令値
- ⑤試料回転用モータの回転速度指令値
- ⑥赤外線ランプ昇降用モータの上昇指令値
- ⑦赤外線ランプ昇降用モータの下降指令値

3.2 開発したUIS

本UISにおいて使用した画面部品(GPと略記)とそれに設定されるネットワーク変数(NVと略記)は、次のとおりである。

- ①GP：(数値変更用)スライダー
NV：赤外線ランプの光量値
- ②GP：(数値表示用)バー表示器
NV：放射温度計の出力値
- ③GP：(二者択一用)切り替えスイッチ
NV：試料回転用モータの起動停止指令値
- ④GP：(二者択一用)切り替えスイッチ
NV：試料回転用モータの回転方向指令値
- ⑤GP：(数値表示用)バー表示器
NV：試料回転用モータの回転速度指令値
- ⑥GP：(動作指示用)押しボタン・スイッチ
NV：赤外線ランプ昇降用モータの上昇指令値
- ⑦GP：(動作指示用)押しボタン・スイッチ
NV：赤外線ランプ昇降用モータの下降指令値
- ⑧GP：(グラフ表示用)リアルタイムトレンド表示器
NV：赤外線ランプの光量値と放射温度計の出力値
- ⑨GP：時計
NV：無し

開発したUISの画面を図3に示す。

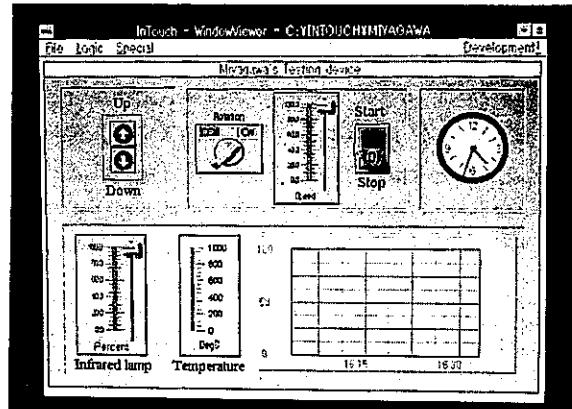


図3 開発したUISの画面

3.3 評価

本UISの開発(K-NETシステムの構築作業を除く)に要した時間は約1時間であった。従来のように専用の操作盤を作ると数時間あるいは数日程度要し、また、専用のCRTオペレーション・プログラムを開発するとそれ以上の日数を必要とすることを考慮すると、本UI開発方法は開発期間を大幅に短縮できるという点でたいへん有効である。

本UISの開発では、実験装置のユーザと相談し修正変更を行いながら、ユーザが好む画面部品をユーザの希望する位置に希望する大きさで配置させることができたため、ユーザの考えるイメージに近いものを作ることができた。このことは、本UI開発方法が顧客満足度の観点からも優れた方法であることを示している。

WindowViewerに表示される画面部品は、その図柄が現実の部品に似せて作られているため、外観からその部品の概念や操作方法を直感的に理解することができた。それゆえ、本UI開発方法は、ユーザにとって分かりやすく使いやすいUIを実現できるという点で有効な開発方法であると言える。

本UI開発方法は、K-NETシステムの構築作業を除けば、作業はいたって簡単であるため、プログラマーでなくとも十分修得できるものである。さらに、本UI開発方法の中のUI画面の作成に限って言えば、特にプログラムを作成する必要もなくまた要求されるのは見た目や使い勝手の良さであるため、UI画面の作成者としてはプログラマーよりもデザイナーの方が適当であると思われる。

4. おわりに

K-NET機器のための使いやすいUIを短時間に作成でき、しかも、修正変更が容易に行えるようなUI開発環境を整備した。また、本UI開発方法を用いることにより実験装置のためのUISを短時間に開発することができた。

文 献

- 1) 宮川隆二, 上田直行, 城戸浩一, 園田増雄, 萩原宗明." K-NET規格機器の開発". 熊本県工業技術センター研究報告. No. 33, p.45-48(1995).
- 2) Wonderware Corporation." InTouch User's guide". CA, Wonderware Corporation, 1994. 490P
- 3) ECHELON Corporation." Lon Manger DDE Server User's Guide". CA, ECHELON Corporation, 1993. 128P

増粘多糖類の利用法開発

湯之上雅子*

Utilization of Gelling Polysaccharide Extracted from Seaweeds

Masako YUNOUE*

有明海で採取されるオゴノリから寒天分の抽出法について、アルカリ処理法、酸処理法の条件の検討を行った。アルカリ濃度と処理温度、酸の種類、酸濃度と処理温度について、抽出寒天のゼリー強度とあわせて試験し、最適処理法を求めた。

ヒジキやカジメなどの褐藻類に含まれるアルギン酸ナトリウムの抽出法について検討した。カジメの方がアルギン酸含量が高かった。アルギン酸カルシウムのゲル化能を利用して寒天にコーティングを行い耐熱性を付与することを検討した。果汁でアルギン酸カルシウムのビーズを作り、寒天で調製したゼリーに混入した食品を作った。

ワカメカブの食品への利用について、乳飲料、糸寒天、めん類への添加を検討した。いずれもワカメカブ中のアルギン酸とカルシウムのゲル化能を利用し、沈殿防止、カルシウムの強化、ゆで処理時の成分の溶出防止を目的として試験した結果、その効果があることが分かった。

1. はじめに

本県では、有明海や天草地方で海藻類が豊富に生産されているが、乾燥や塩蔵などの一次加工だけがなされており、原料供給地にとどまっている。

海藻類には、食品加工のみならず化学工業においても有用な成分（寒天、アルギン酸、カラギーナンなど）が含まれており、さらに、有効な生物活性を持つといわれている成分（フコイダン）¹⁾も含まれている。また、これらの多糖類は食物繊維としての機能性を有し、血中コレステロール値の低下作用や有害重金属の体外への排出作用、抗ガン性、抗腫瘍活性を持つといわれている²⁾。

これらの有用成分を抽出し、食品加工に応用し、付加価値の高い食品を開発することを目的として試験を行った。

2. 実験方法

2.1 原材料

海藻類は県内海藻取り扱い業者から購入した。

低凝固性寒天は伊那食品工業株式会社からサンプルとして供与してもらった。アルギン酸ナトリウムはM/G比（マンヌロン酸／グルロン酸）の異なる3種を製造会社から購入した。

2.2 オゴノリから寒天分の抽出

オゴノリはテングサと違って熱水だけでは抽出ができない。熱水または希酸による抽出の前処理としてアルカリ

による加熱が必要である。

寒天の抽出は寒天ハンドブック³⁾に準拠して行った。アルカリ濃度と処理温度、処理時間および酸の種類と濃度、処理温度、処理時間について検討した。抽出した寒天で1.5%濃度の寒天液を調製し、20°Cで15時間放置後、ゼリー強度をレオメーター（不動工業株式会社製NRM-2010J-CW）で測定した。10mmφのアダプターを用いた。

2.3 褐藻類からアルギン酸の抽出

ヒジキ、カジメなどの褐藻類からアルギン酸の抽出は藻類研究法⁴⁾に従った。

2.4 海藻多糖類の利用法開発

2.4.1 耐熱性の糸寒天

糸寒天に耐熱性を付与するために、水戻しした糸寒天をアルギン酸ナトリウムの1%溶液に浸漬した後、2%乳酸カルシウム溶液に浸してアルギン酸カルシウムの被膜を形成させコーティングを行った。

2.4.2 アルギン酸カルシウムビーズ入りゼリー

人参果汁、甘夏ミカン果汁、紅茶飲料などでアルギン酸カルシウムのビーズを調製し、寒天で作った牛乳ゼリーに混入して、食感の違いや色の調和などについて検討した。このときアルギン酸ナトリウムの濃度は1%固定とし、乳酸カルシウムの濃度を変えて、ビーズの切断強度をレオメーターで測定した。クリアランスは0.2mmとし、アダプターは歯型押棒を用いた。寒天濃度は0.5、1.0、1.5%で調製し、硬さを比較した。

2.4.3 ワカメカブ入り糸寒天

アルカリ処理したオゴノリ500gから抽出した寒天液5.5Lに、乳酸カルシウムまたは塩化カルシウムを10g添加し、サイクロテックで微粉碎した乾燥ワカメカブ25gを混入してかくはんしながらゲル化させた。

* 微生物応用部

固まった寒天を糸寒天様に細切りした後凍結し、更に解凍融解後乾燥して、ワカメメカブ入りカルシウム強化乾燥糸寒天を得た。

一般成分とミネラル分の成分分析を行い、オゴノリから抽出した糸寒天と比較した。

2.4.4 ワカメメカブ添加うどん

うどん調製時に、粉重量に対して3%のワカメメカブと1%の乳酸カルシウムを添加した。

ゆで水への糖とカルシウムの溶出について測定し、通常のうどんと比較した。

糖の溶出量はフェノール硫酸法、カルシウムは原子吸光光度法で測定した。

2.4.5 ワカメメカブ入りきな粉牛乳

健康飲料としてきな粉牛乳を飲用する人が増えているが、きな粉が沈殿して飲みにくいため、ワカメメカブと牛乳のカルシウムでアルギン酸カルシウムのゲルを作り、きな粉の沈殿を防止することを試みた。

牛乳のカルシウムだけではカルシウムが不足と考え、塩化カルシウムを、また、鉄分の強化のためにブルーンエキスを添加した。配合割合は、牛乳200mlにきな粉5g、ワカメメカブ粉末2g（塩分0.05g）、ブルーンエキス5g、塩化カルシウム0.02%とした。

成分分析を行い、牛乳との比較を行った。

2.4.6 きな粉牛乳の沈殿防止

カルシウムと反応してゲル化する冷水可溶性多糖類の中でローメトキシルペクチン、アルギン酸ナトリウム、ラムダカラギーナンを使ってきな粉の沈殿防止を試みた。

牛乳100mlにきな粉5gを添加し、多糖類を種々組み合わせて0.25~1.0%添加し、きな粉の沈殿を防止し、凝固しないものの粘度を、デジタル粘度計（株式会社トキメック製DVL-BII型）で測定した。

2.4.7 低凝固性寒天の利用

低凝固性寒天を使ってきな粉の沈殿防止を試みた。ゼリー強度の異なる6種の低凝固性寒天を0.5、1.0、1.5%添加して粘度を測定した。

このとき、分量の寒天を20mlの水に加熱溶解した後、牛乳80mlときな粉5gを加えた。

3. 実験結果と考察

3.1 オゴノリから寒天分の抽出

アルカリ処理の条件については、1、2、3、6%NaOHで処理の温度と時間を、23°C3hr、10°C16hr、55~65°C3hr、85°C3hrと変えて試験を行ったが、その後の酸処理による抽出の結果、低温処理ではアルカリ処理の効果が得られなかったため、85°C3hr処理を採用した。

酸処理の温度と時間は、過度の煮沸が寒天の分解を促進し、凝固しなくなないので、98~99°Cで、硫酸処理の

場合1hr、酢酸処理の場合2hrとした。

抽出凝固した寒天を細切した後凍結させ、解凍融解後水分を除去して40°Cで乾燥した。重量を測定して、原藻100g当たりの収量を得た。

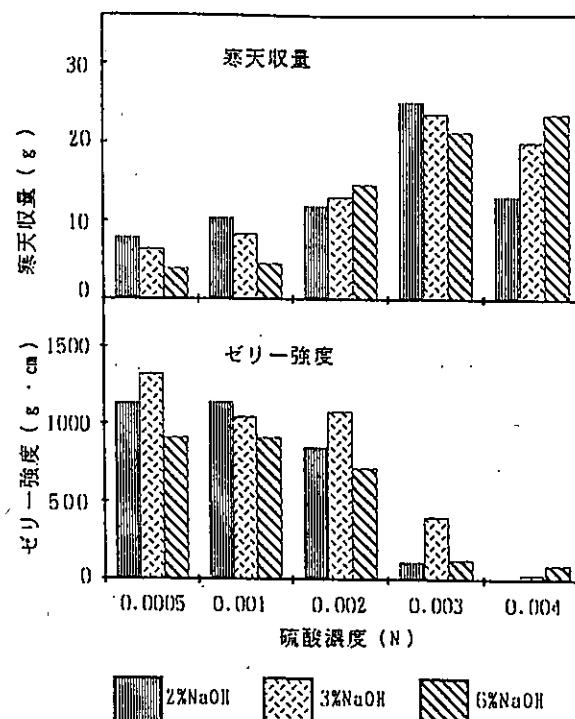


図1 寒天収量とゼリー強度
硫酸による抽出

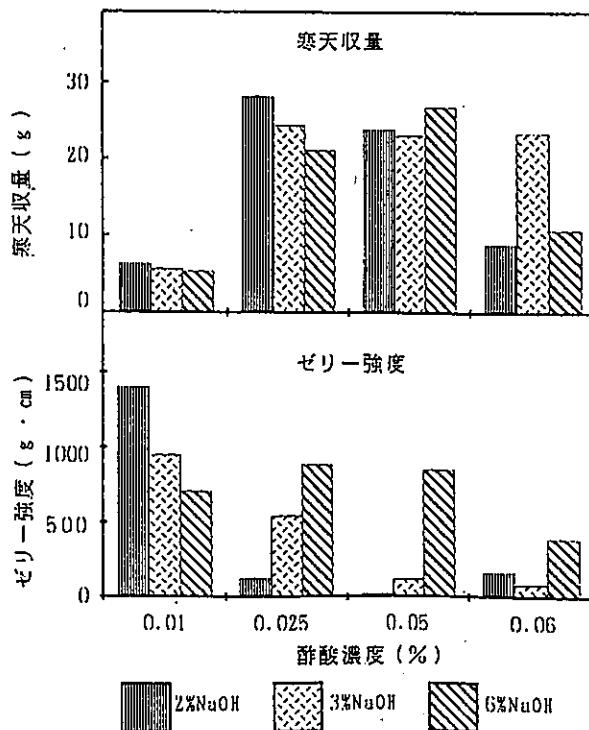


図2 寒天収量とゼリー強度
酢酸による抽出

乾燥寒天をサイクロテックで粉碎して、ゼリー強度測定用の寒天を作った。1.5%濃度の寒天200mlを300mlビーカーに入れて凝固させ、ゼリー強度を測定した。

硫酸抽出、酢酸抽出による寒天収量とゼリー強度を図1と図2に示した。寒天収量が多く、ゼリー強度も強い処理法は、6%NaOH-0.025%酢酸と6%NaOH-0.05%酢酸であった。硫酸処理では両方の条件を満たす処理法は得られなかった。しかし、ゼリー強度が弱くても収量が多いければ、低凝固性寒天としての利用の可能性を考えられる。すなわち、0.003N硫酸抽出の寒天収量は、アルカリ処理の濃度の違いに関わらず、21~25%あるが、ゼリー強度は113~400(g·cm)と弱かった。

寒天の新しい利用法として、低凝固性寒天の増粘性に着目した新食品の開発が行われているが、市販されている6種の低凝固性寒天(A~F)のゼリー強度を測定し、図3に示した。いずれもゼリー強度が100以下であった。

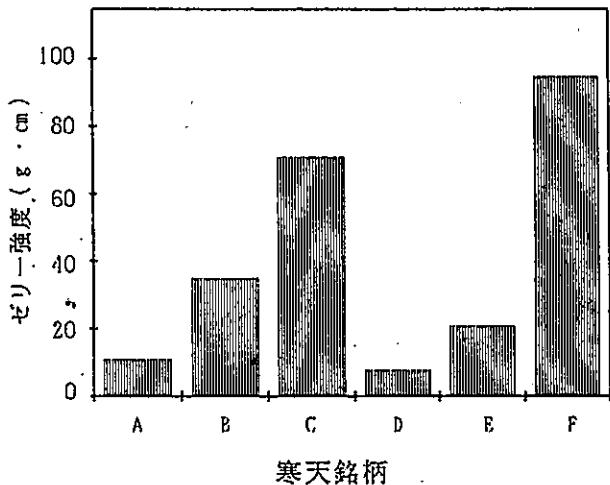


図3 市販低凝固性寒天のゼリー強度

図1、2と図3を比較してみると、ゼリー強度は低いが、寒天収量は多い抽出法がいくつか見られる。ゼリー強度が100前後で収量の多い方法を選び出すことができる。

3.2 褐藻類からアルギン酸の抽出

褐藻類に含まれるアルギン酸が利用されている分野として、繊維工業、食品工業、化粧品工業、医療、医薬分野、農業、バイオリアクターの固定化剤などがあげられている²⁾。

本県では、ヒジキ、カジメなどの褐藻類が天草地方で豊富に採取されているが、工業的利用はなされていない。

これらの海藻のアルギン酸含量を測定した結果、ヒジキに約25%、カジメに約31%含まれていた。

3.3 海藻多糖類の利用法開発

3.3.1 耐熱性の糸寒天

ダイエット食品または健康食品として寒天ヌードル(糸寒天を水戻したもの)を食べることが流行している。

寒天の機能性としては、食物繊維の生理機能として、血中や体内コレステロールの減少、消化器官でのコレステロールの吸収阻害、吸水・膨潤作用などがあげられる⁵⁾。これらの機能性を利用する方法に寒天ヌードルがあるが、熱湯では糸寒天が溶けるので、うどん的食べ方ができない。

糸寒天に耐熱性を持たせるための手法として、アルギン酸カルシウムによるコーティングを試みた。

水戻した糸寒天にはコーティングが困難で、食感もあまり良くなかった。また、煮沸すると寒天分が溶け出した。熱湯に浸漬するだけではあまり溶け出さないので、温めて食することは可能であった。

コーティングの方法や他の多糖類を利用するなどの改良により可能性はあると考えられる。

3.3.2 アルギン酸カルシウムビーズ入りゼリー

人参果汁、甘夏果汁、紅茶飲料でアルギン酸カルシウムのビーズを調製した。2%乳酸カルシウムの果汁溶液中に果汁で溶かしたアルギン酸ナトリウム1%溶液を滴下して調製した。

牛乳で調製した寒天に混入したゼリーは人参果汁のビーズが配色、栄養面から良好であった。今後寒天の濃度および他の多糖類の利用についての検討が必要である。甘夏果汁や紅茶飲料で調製したビーズは飲料に混ぜてもいいと考えられる。

乳酸カルシウムの濃度の違いによるビーズの切断強度について図4に示した。

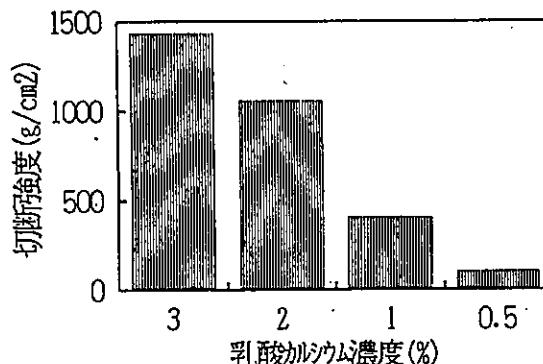


図4 アルギン酸ビーズの切断強度
乳酸カルシウム濃度による差

アルギン酸ナトリウムの濃度は1%固定で調製し、乳酸カルシウム1%まではビーズが形成されたが、0.5%ではきれいなビーズの形にならなかった。図4に示すように、乳酸カルシウムの濃度を調整することによってビーズの固さを調整することが可能である。

3.3.3 ワカメメカブ入り糸寒天

ワカメメカブには水溶性アルギン酸やアルギン酸、さらに生理活性を有するとされているフコイダンなどが含まれている。ワカメメカブも加工度の低い海藻であるが、

粉末にしてカルシウムと反応させて、種々の食品に混入すれば、アルギン酸カルシウムが形成されてゲル化し、新規な食品の開発が可能と思われた。

オゴノリから抽出した寒天と、抽出寒天にワカメカブと乳酸カルシウムまたは塩化カルシウムを添加して調製した寒天の成分分析結果とミネラル分の分析結果を図5、6に示した。これは、海藻サラダの中に入れて販売されている糸寒天の代わりに入れることを想定したものである。

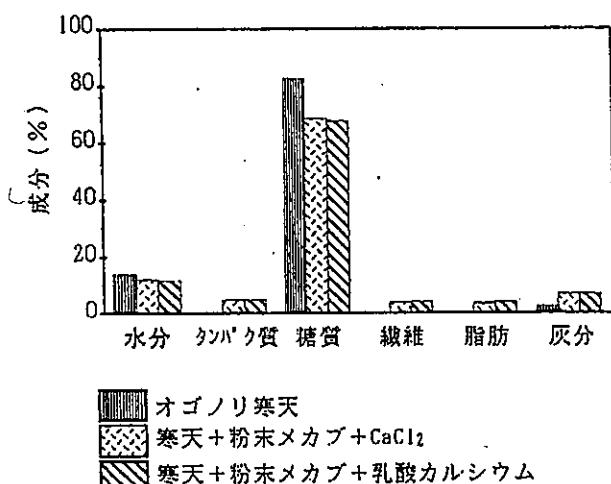


図5 寒天成分分析結果

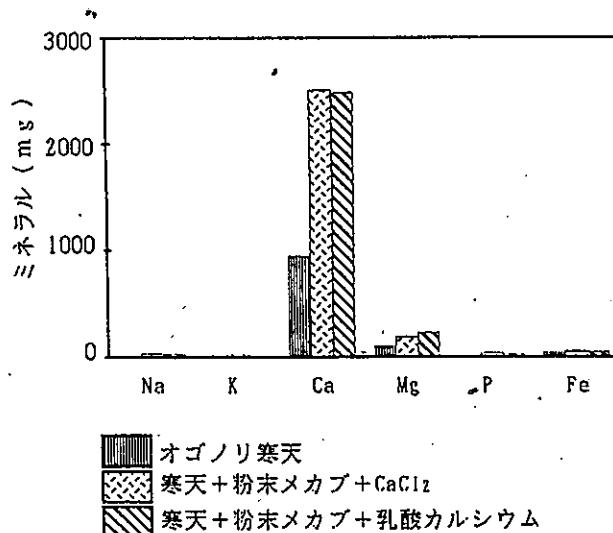


図6 寒天ミネラル分析結果

普通の寒天と比べて、タンパク質、繊維、脂肪が多く、カルシウムは添加しているため当然多くなっているが、マグネシウム、リン、鉄も多い。糖質がかなり多いが、寒天の糖質はほとんどが食物繊維と考えることができる。また、機能性成分だけでなくカルシウムの強化もできる。

3.3.4 ワカメカブ添加うどん

乾めんの成分分析結果を表1に、乾めん20gを500mlの熱水中で16分間ボイルした時のゆでめんと溶出液の分析

結果を表2に示した。なお、水分と溶出カルシウム、溶出糖以外は乾物中の%で表した。

表1 ワカメカブ入りうどんの分析結果

分析項目	試料	コントロール	乳酸カルシウム1%	ワカメカブ3%	乳酸カルシウム1% ワカメカブ3%
		水分 (%)	カルシウム (%)	カルシウム (%)	カルシウム (%)
水分 (%)	コントロール	13.4	14.7	14.6	14.3
蛋白質 (%)	コントロール	9.5	9.4	9.9	9.7
脂肪 (%)	コントロール	1.3	1.4	1.3	1.4
纖維 (%)	コントロール	0.3	0.3	0.4	0.6
灰分 (%)	コントロール	3.6	4.0	4.5	4.9
カルシウム (mg%)	コントロール	25.9	170.1	45.2	183.2
鉄 (mg%)	コントロール	8.4	2.5	2.7	3.2

表2 ゆでめんと溶出液の分析結果

分析項目	試料	コントロール	乳酸カルシウム1%	ワカメカブ3%	乳酸カルシウム1% ワカメカブ3%
		水分 (%)	カルシウム (%)	カルシウム (%)	カルシウム (%)
水分 (%)	コントロール	71.1	71.4	66.5	71.0
カルシウム (mg%)	コントロール	22.8	75.9	40.3	129.5
溶出Ca (mg)	コントロール	0.9	16.6	1.1	10.6
溶出Ca (%)	コントロール	19.2	56.3	13.6	33.7
溶出糖 (g)	コントロール	0.9	0.9	1.0	1.0

乾めんの場合は、カルシウム以外の成分にはあまり差がないが、溶出カルシウムの差が大きく、ワカメカブと乳酸カルシウムを併用することにより、カルシウムの溶出が抑制されることが示された。溶出糖の量にはあまり差がなかった。

官能試験の結果では、ワカメカブと乳酸カルシウム併用のうどんで食感、風味ともに良の評価が得られた。ここでも、アルギン酸とカルシウムの反応によるゲル化の効果が見られた。

3.3.5 ワカメカブ入りきな粉牛乳

成分分析の結果を表3に示した。

表3 メカブ入りきな粉牛乳の成分

成分	牛乳	きな粉牛乳
水分 (%)	88.03	84.20
蛋白質 (%)	3.09	3.95
糖質 (%)	4.94	7.82
纖維 (%)	0.13	0.26
脂肪 (%)	3.09	2.78
灰分 (%)	0.72	0.99
エネルギー (Kcal)	61	73
塩分 (%)	0.14	0.17
ナトリウム (mg%)	110.5	126.6
カリウム (mg%)	402.8	528.7
カルシウム (mg%)	279.1	288.4
マグネシウム (mg%)	28.5	49.9
鉄 (mg%)	0.59	3.27
リン (mg%)	250.0	267.9

当然のことながら、タンパク質、糖質、繊維が増加し、鉄分の強化ができた。しかし、カルシウムは予期したほど増加しなかった。

また、アルギン酸カルシウムによるきな粉の沈殿防止は期待した効果が得られなかった。

3.3.6 きな粉牛乳の沈殿防止

3種類の冷水可溶性多糖を組み合わせて、きな粉牛乳に添加し、凝固しないで、きな粉の沈殿防止ができるか検討した。組み合わせの濃度と凝固性、粘度について表4に示した。粘度が200~800mPa·sであれば、沈殿防止と流動性が得られた。

表4 多糖類による凝固性と粘度

アガリコン(%)	アルギン酸(%)	カラキーナン(%)	凝固性	粘度(mPa·s)
0.25		0.25	-	369.7
0.25	0.25	0.25	-	405.0
0.5			-	630.0
0.5	0.25		-	385.0
0.5		0.25	+	637.0
0.5	0.125	0.125	-	1083.0
		0.25	-	209.6
		0.5	-	1968.0
	0.25	0.25	-	793.0

冷蔵貯蔵したところ、1週間は変化が見られなかったが、1ヶ月ではかなり離水しており実用的でないことが分かった。

3.3.7 低凝固性寒天の利用

6種の低凝固性寒天(A~F)による試験の結果を表5に示した。

表5 低凝固性寒天の粘度

	0.5%	1.0%
A	307.7	900
B	368.9	298
C	366.3	2897
D	218.2	2416
E	281.3	5740
F	365.4	14300

1%では凝固した。0.5%で調製したものも1ヶ月間冷蔵貯蔵したが、変化は見られなかった。粘度は200~400mPa·sを示しており、流動性を保っていた。

この場合、低凝固性寒天の利用が有効であることが分かった。

おわりに

本県で生産されている海藻類の有効利用を図るため、海藻中の有効成分の抽出法と食品加工への利用法について検討した。

- 1) オゴノリからの寒天抽出法としてアルカリ処理濃度、時間、温度と酸処理の種類、濃度、温度、時間を設定し、抽出条件を決めた。収量とゼリー強度の関係から低凝固性寒天の可能性が認められた。
- 2) 海藻多糖類の利用法については、耐熱性の糸寒天、アルギン酸カルシウムビーズ、ワカメメカブ入り糸寒天、ワカメメカブ添加うどん、ワカメメカブ入りきな粉牛乳、低凝固性寒天の利用などについて試験を行った。

耐熱性を持たせるためにアルギン酸カルシウムでコーティングした糸寒天は、耐熱性はあまり得られなかつたが、食感の異なる糸寒天として利用できると考えられる。

アルギン酸とカルシウムの反応によるゲル化の利用については検討する余地がある。

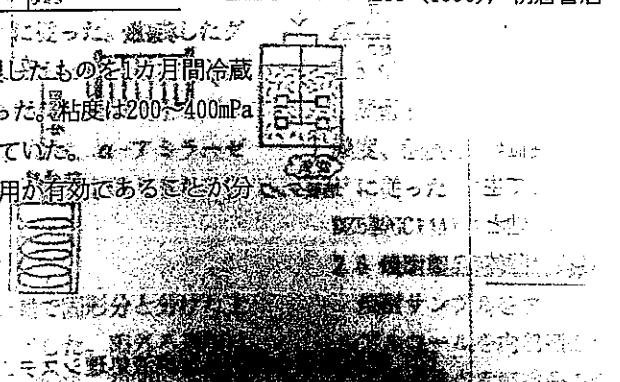
ワカメメカブを粉末にして他の食品に利用することで機能性を増すことが可能である。

謝 辞

ワカメメカブ添加うどんの調製に際して、御協力いただきました熊本製粉株式会社に感謝いたします。

文 献

- 1) 日本国水産学会編；海藻の生化学と利用、33 (1983), 恒星社厚生閣
- 2) 大石圭一；海藻の科学、133 (1993), 朝倉書店
- 3) 林金雄、岡崎彰夫；寒天ハンドブック、272 (1970), 光琳
- 4) 西澤一俊、平原光雄；藻類研究法、共立出版
- 5) 西成勝好、矢野俊正；食品ハイドロコロイドの科学、285 (1990), 朝倉書店



焼酎蒸留廃液を利用した焼酎の液体麹仕込み試験

－米製焼酎蒸留副生物の有効利用とそのトータルシステムによる新製品の開発－

土谷紀美*・中川 優*・西村賢了*

Utilization of Shochu Distilled Wastewater for Shochu
Fermentation as Medium of Liquid Koji.

-Effective Utilization of By-product Occurred from
Distillation Process in Rice Shochu Production and
Development of New Products Using its Total System.-

Kimi TSUCHIYA*, Masaru NAKAGAWA* and Kenryo NISHIMURA*.

現在、焼酎蒸留廃液の半量以上が海洋投棄によって処分されているが、近々禁止される状況である。そこで蒸留廃液の陸上処理技術を確立するために、廃液を微生物の培地として利用した処理システムのパイロットプラントを試作し試験を行った。この研究の分担テーマとして、当センターでは焼酎蒸留廃液を利用した麹菌培養液を、液体麹として焼酎仕込みに使用する試験を行った。本プラントにおける培養条件では、培養液をそのまま液体麹として利用するにはグルコアミラーゼ活性が低かったが、①培養液を濃縮する方法、あるいは②市販酵素を不足分少量添加する方法により、培養液を利用した液体麹仕込みで焼酎製造が可能であった。

1. はじめに

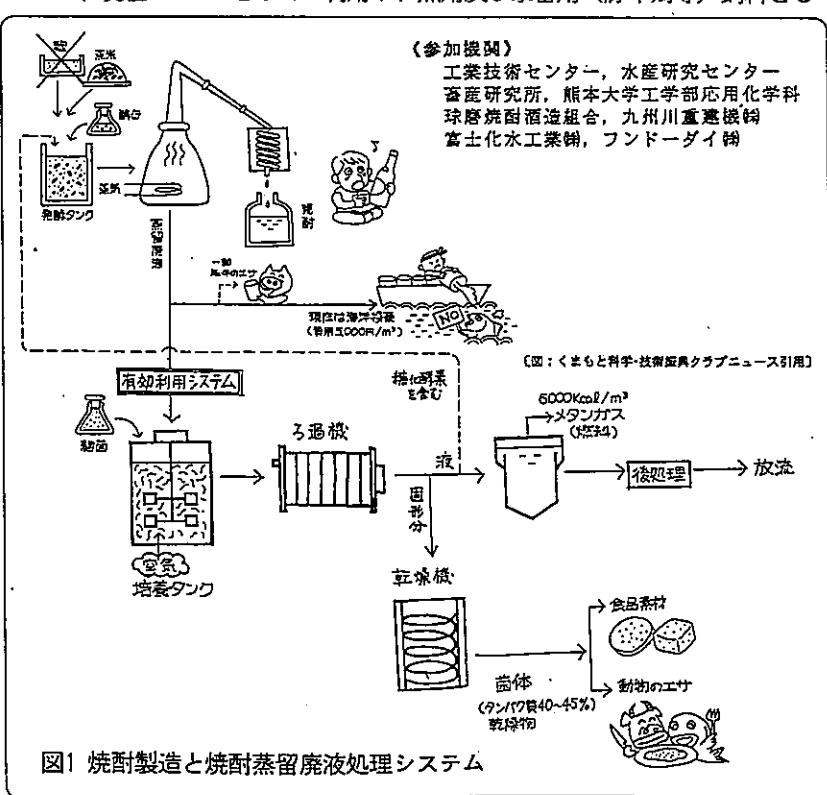
熊本県では、約17,000kL(平成4酒造年度)の焼酎の生産に伴い、約19,000kLの焼酎蒸留廃液が排出されている。この蒸留廃液はドロドロの液体でBODが極めて高く(約80,000ppm)腐りやすく、処理が難しいため、現在約半量以上が海洋投棄によって処分されている。しかし、環境保全の観点から、将来的に国際条約により焼酎蒸留廃液の海洋投棄が禁止される予定であり、陸上処理技術が確立していない現在、業界には危機感が高まっている。

この問題に取り組むため、熊本大学工学部の技術シーズを基にした処理システム(図1下部)のパイロットプラントを人吉市の焼酎醸造場に試作設置し、産学官共同(参加機関;図1)で実用化試験を実施した。

このシステムは、腐りやすいという欠点でしかなかった焼酎蒸留廃液の高栄養価の特徴を、反対に微生物の栄養源として生かしたシステムで、まず、廃液を培地として焼酎麹菌を培養する。培養後、菌体

を取り出すとBODは約半分近くに減少する。この液をメタン発酵処理して、さらに窒素分を除去する処理等を加えると、最終的には河川に放流できる水質になる。

また、培養菌体は乾燥すると約40%以上の微生物たん白を含むことから、しょうゆのたん白原料等、食品素材としての利用や、魚用及び家畜用(豚牛鶏等)飼料とし



* 微生物応用部

ての利用が期待でき、その利用試験も同時に行つた。

また、麹菌の培養液中には、麹菌が生産した糖化酵素が多く含まれると考えられ、この酵素の有効利用について検討した結果を以下に報告する。酵素類を培養液から精製する方法はコストがかかるため、より簡便に低コストで酵素の利用を図るには、培養液をそのまま液体麹として焼酎製造に利用する方法（図1、点線）が適していると考え、本試験を行つた。この利用法が可能なら、通常仕込みに使用する（固体）麹は必要なく、製麹工程の省略等大幅な省力化が期待できるとともに、焼酎品質の多様化が図れる。

2. 実験方法

2.1 パイロットプラントによる麹菌培養

使用した焼酎蒸留廃液は白岳酒造研究所から供与されたもので、図2の手順で麹菌を培養した。培養機は九州川重建機製の内筒回転型を特徴とする培養槽（容量1m³）を用いた。麹菌は、実際に焼酎製造に用いられている白麹菌*Aspergillus kawachii*を使用した。

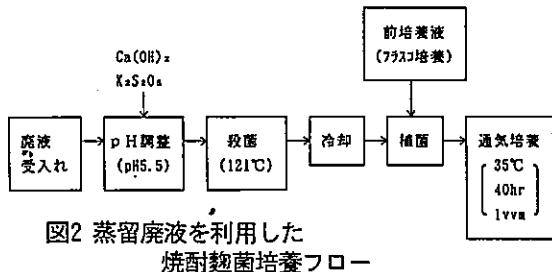


図2 蒸留廃液を利用した
焼酎麹菌培養フロー

2.2 糖化酵素活性測定

図2の条件で得られた培養液をフィルターで清澄化し、糖化酵素 α -アミラーゼ及びグルコアミラーゼ活性を簡便性を考慮して以下の方法により測定した。

2.2.1 α -アミラーゼ

ヨウ素デンプン法（アミラーゼテストワコー、WAKO）により測定し、それに0.4を乗じて国税庁所定分析値に換算した。1IUは酵素溶液が40°C、30分でデンプン10mgを分解する活性とした。

2.2.2 グルコアミラーゼ

酵素反応は国税庁所定分析法¹⁾に従つた。生成したグルコースは酵素法（Fキット、ベーリンガー山之内）により測定した。1IUは酵素溶液1mlが40°C、60分でグルコース1mgを生成する活性とした。なお、 α -アミラーゼの活性が高いと考えられるときは、影響を抑えるため希釈して測定に供した。

2.3 限外ろ過膜による濃縮試験

前処理として、培養液を遠心分離で固形分と分けた上清をフィルターに通したものを使用した。限外ろ過膜はポリスルホンの材質で分画分子量10000、30000、50000

の3種類から、シリンジ加圧で濃縮試験を行い、選定した。

限外ろ過システムミニタンTM (MILLIPORE) を用いて、流速ダイアル6、圧11~12PSI、膜30000NMMLの条件で培養液を約20倍濃縮した。なお、サンプルは冷却しながら循環させた。

2.4 焼酎小仕込み試験

麹菌培養液濃縮液及び未濃縮の培養液に酵素を補添した液を液体麹として、500ml三角フラスコのスケールで焼酎の仕込み試験を行つた。試験区は表1のとおり設定した。試験区①はブランクで通常の米麹（固体）仕込みで行い、他は全て液体麹仕込みである。

表1 焼酎仕込み表

試験区	総米(141g)		総水(175g)		その他	
	固体麹	掛米	汲水	濃縮液 ^{*1}	培養液 ^{*1}	酵素
①	39	102	175	—	—	—
②	—	141	—	175	—	0.9
③	—	141	140	35	—	0.2
④	—	141	—	—	175	—
⑤	—	141	—	—	175	0.2 1.0

(単位: g)

*1 液体麹に相当

*2 pH調整用

2.4.1 使用菌株及び原料

原料米は他用途利用米（破碎精米）、酵母は焼酎用酵母融合株KF3 (*Saccharomyces cerevisiae*)、ブランクの固体麹は冷凍麹米、補添した酵素はスミチーム3000（協和化成㈱）、試験区②③で使用した液体麹は前述により濃縮した培養液、試験区④⑤では培養液をナイロンろ布でろ過した上清をそのまま使用した。

2.4.2 焼酎仕込み法

仕込み歩合は、表1のとおり、ブランク換算で麹歩合40%、汲水歩合160%の1段仕込みで行った。試験区②～⑤の液体麹仕込みでは、雑菌汚染防止のため、クエン酸でpHを3.9に調整後、蒸米を加えた。麹汁培地で25°C、1日間前培養した酵母を0.8ml（汲水の約0.5%）植菌し、初日は30°C、2日後から25°Cで発酵させた。発酵終了後、減圧下（720~690mmHg）で蒸留して焼酎サンプルとした。

2.5 焼酎もろみ分析

蒸留前のもろみを最終もろみとして、pH、アルコール濃度、酸度を分析した。酸度の測定は国税庁所定分析法¹⁾に従つた。アルコールはガスクロマトグラフ（SHIMADZU製GC14A）にて測定した。

2.6 焼酎製品香気成分分析

焼酎サンプルをアルコール度数20度に調整し、n-アミルアルコールを内部標準物質としてガスクロマトグラフにて低中沸点香気成分を測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 パイロットプラントによる麹菌の培養

麹菌の培養液5サンプルの糖化酵素活性を測定した結果、 α -アミラーゼは150～250U/ml、グルコアミラーゼは2～8U/mlであった。同一条件下の培養液であっても活性に差があるのは、供与される蒸留廃液濃度が日によって異なり、麹菌の生育状態に差が出たためと考えられる。

通常、焼酎用米麹の糖化酵素活性は平均して、 α -アミラーゼ160U/g、グルコアミラーゼ280U/gであり²⁾、汲水当たりに換算するとそれぞれ約27U/ml、47U/mlとなる。パイロットプラントで得られた培養液をそのまま液体麹として利用するには、 α -アミラーゼは十分量であるが、グルコアミラーゼ活性が低くて不十分であった。これは、プラスコスケール試験と同様の結果であった。

そこで、培養液を濃縮して、液体麹として焼酎仕込みに利用することにした。

3.2 限外ろ過膜による培養液の濃縮試験

3種類の分画分子量の膜による糖化酵素の回収率を結果を表2に示した。分画分子量10000では、回収率は高いもののろ過流速が遅く、目詰まりを起こしやすかった。一方、分画分子量50000の膜ではグルコアミラーゼの濃縮液中の回収率が67%しか得られなかつたため、この培養液の糖化酵素の濃縮には分画分子量30000の膜を選定した。

表2 限外ろ過膜の糖化酵素回収率

分画分子量	グルコアミラーゼ			α アミラーゼ		
	原液	濃縮液	ろ過液	原液	濃縮液	ろ過液
10000	4	21 (100)	0 (0)	158	571 (80)	5 (2)
30000	18	0.1 (83)	25 (3)	361	25 (68)	25 (18)
50000	16	1 (67)	183 (21)	214 (23)	183 (70)	

上段: U/ml, (下段: %)

次に、限外ろ過システムを用いて約4Lのプラント培養液を210mlまで濃縮した結果、図3の通り、単位当たりのグルコアミラーゼ活性を96Uまで効率よく高めることができた。

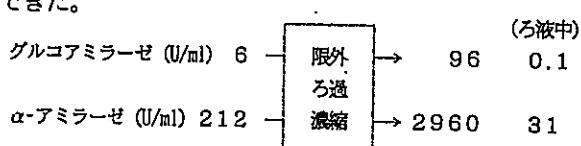


図3 ミニタンクMによる濃縮試験

3.3 固体麹及び合成培地による液体麹との酵素活性比較

固体麹は当センターで製造した米麹を使用し、国税庁所定分析法¹⁾に従って抽出、透析後、糖化酵素活性を測定した。また、合成培地はSUDOらのAP培地 (K_2HPO_4 1mg, KCl 0.5g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.01g, carbon source コーンスター 20g, nitrogen source ポリペプトン 10g/L)³⁾ を用い、前述の麹菌を35°Cで2日間培養した液中の糖化酵素活性を測定した結果を表3に示す。

表3 糖化酵素活性の比較

	α -アミラーゼ	グルコアミラーゼ
固体麹	20	35
合成液体麹	30	2.5
プラント培養液	150～250	2～8
濃縮液	2960	96

(単位: U/ml)

固体麹と比較して濃縮した培養液は非常に高い酵素活性だったため、一部希釈しても発酵は可能と考え、液体麹による仕込み試験には試験区③を設けた。また、廃液を培地としたプラントによる糖化酵素生産は、グルコアミラーゼが合成液体培地と同等で、 α -アミラーゼは約7倍量あり、蒸留廃液は麹菌培養の培地として適していると考えられた。しかし、グルコアミラーゼをさらに高生産する培養条件の検討が必要である。

3.4 液体麹による焼酎仕込み試験

試験区②は、米の液化に寄与する α -アミラーゼがプランクに比べて高濃度のため、米の溶解が非常に早かつた。

もろみ重量減少量から判断して仕込み9日目の発酵もろみを最終もろみとした。発酵中の品温経過は、プランクの初日の温度上昇が他試験区より0.5°C(30.9°C)程高かったが、他試験区間に差はほとんど見られなかった。また、全試験区とも雑菌汚染は見られなかった。

表4 発酵もろみの分析結果

試験区	pH	イタノール濃度 (%)	酸度	純アルコール量 (ml)
①	4.1	16.7	7.7	33.3
②	4.2	16.0	9.9	31.9
③	4.3	15.1	6.1	30.2
④	4.1	9.7	8.0	19.3
⑤	4.1	16.8	10.5	33.5

最終もろみの分析結果を表4に示した。pHは各試験区間にほとんど差はなかったが、酸度は添加したクエン酸量に関係して開きが見られた。

焼酎製造で重要な指標となるエタノール濃度を比較すると、濃縮培養液を用いた試験区②ではブランクの96%のアルコール量を生成した。固体麹より多量の糖化酵素を含んでいたが、ブランク以上の発酵歩合は得られなかつた。培養液をそのまま使用した試験区②では、予想通りブランクの約60%しか発酵できなかつた。これは、米は液化したもの、グルコアミラーゼが不足するためデンプンの糖化が律速となつたためと推測される。試験区④のグルコアミラーゼ活性不足を補うために市販酵素を原料米に対して0.14%使用した試験区⑤では、ブランクと同等のアルコール発酵を示した。つまり、培養液中には、添加したクエン酸をはじめ発酵を抑制阻害する物質は存在せず、酵素不足が原因となり発酵が進まなかつたと考えられる。試験区③では試験区②の1/5の酵素活性だったにもかかわらず、ブランクの約90%量を発酵した。

3.5 焼酎サンプルの香気成分分析

分析結果を表5に示す。固体麹に比べ、液体麹による焼酎は全般的にi-ブタノール、酢酸イソアミルが多く、反対にn-プロピルアルコール、イソアミルアルコールが少なかつた。特に顕著なのは、試験区②のイソアミルアルコールがブランクの約20%しかなく、また、試験区③④の酢酸イソアミルはブランクの1.5~1.7倍量であった。

表5 焼酎の香気成分

試験区	酢酸イカ	n-ブタノール 7Mコール	i-ブタノール 7Mコール	1-アミル 7Mコール	酢酸 イソアミル	カブン酸 エカル
①.	56	208	153	201	5.3	1.0
②	41	145	208	39	5.9	1.0
③	36	195	226	131	9.2	0.9
④	30	160	~ - 157	130	8.0	0.7
⑤	60	130	244	92	4.2	0.9

(単位: ppm)

官能的にも、液体麹仕込みによる焼酎はいずれも特徴があつた。つまり、味には甘みがあるが、香りには培養液由来のような匂いが存在した。

4. 終わりに

麹菌体生産を主眼に置いて設定されたパイロットプラントの麹菌培養条件においても、副次的に1バッチ(培養液1m³)当たりα-アミラーゼを平均約200×10⁶U、グルコアミラーゼを平均約5×10⁶U生成していた。これらの酵素をメタン発酵処理により分解してしまうには惜しいので、低コストで有効利用するために、ろ過した培養液をそのまま液体麹として焼酎製造に利用する方法を検討したが、この培養液はグルコアミラーゼ濃度が低く、従来法と同等の発酵歩合を得ることはできなかつた。

しかし、培養液を4~5倍濃縮、あるいは不足分の力価を市販酵素で補えば、液体麹として利用でき、焼酎を製造することができた。官能的にも特徴ある焼酎が得られ、欠点は今後改善していく必要があるが、焼酎蒸留廃液を処理することに伴つて液体麹が得られれば、この処理システムの更なる有効性が確認できる。

なお、本処理システムが米製焼酎蒸留廃液処理に有効であることがパイロットプラントの運転の結果、実証できた。焼酎廃液を培地とした麹菌の好気培養技術が確立でき、その後工程のメタン発酵処理等により最終的にBODを平均60ppmまで低減できた。生産された麹菌体の利用については、しょうゆ製造や調味料調合の一部原料として利用できることが実証されたほか、魚・家畜の飼育試験の結果、現飼料の一部代替として適していることが分かった。これら一連の研究成果については、研究成果普及事業用テキストとして別途作成した。

文 献

- 1) 国税庁所定分析法注解, 213, 230 (1993) 財団法人日本醸造協会
- 2) 本格焼酎製造技術, 90 (1991) 財団法人日本醸造協会
- 3) S. SUDO, I. ISHIKAWA, Y. SAKAMOTO, K. SATO and T. OBA ; J. Ferment. Bioeng., 76, 105 (1993)

化学エッティングによるTi(C, N)粉体の微粉碎促進効果 —スマートストラクチャーセラミックスに関する研究（第1報）—

永田正典*・本田悠紀雄*・末永知子*・上田直行**

Accelerating Effect of Chemical Etching on Comminution of Ti(C,N) Powder
-Studies on Smart Structure Ceramics (1st Report)-

Masanori NACATA*, Yukio HONDA*, Tomoko SUENAGA* and Naoyuki UEDA**

Ti(C, N)系セラミックスの低温焼結を図るため、原料Ti(C, N)粉体の微粉碎化について研究した。すなわち、粉碎前に原料粉体を表面処理し、粒子表面に微小なクラックを形成させ、更に粉碎時の溶媒効果によりクラックの進展を行うことを中心とした物理・化学的微粉碎促進効果について検討した。その結果、HF-HNO₃-CH₃COOH-H₂O₂混酸の希釈液を用い、原料粉体を15min浸せきして表面をあらかじめ化学エッティング処理した場合、処理後水を溶媒として24hボールミル微粉碎すると、微粉体の比表面積は12.71m²·g⁻¹と、未処理粉体の粉碎に比べて約2m²·g⁻¹大きくなり、微粉碎促進効果が認められた。

また、エッティングを行った後微粉碎する方が、得られる微粉体の結晶性は悪くなり、更に、溶媒効果も認められた。これらのことから、エッティング処理後微粉碎を行えば、成形体は従来(1700°C)より低温焼結が可能となると考えられる。

1. 緒 言

TiNにTiCが固溶したTi(C, N)系セラミックスは、鉄鋼材料に比べ高硬度・高強度といった優れた機械的特性と耐摩耗性を有しているが、単味焼結体は粒成長が著しく強度が低下するので、焼結時粒成長を防止するため、焼結助剤としてTiB₂を添加後、1700°C下、ホットプレス焼成が行われている¹⁾。そこで、筆者らは、Ti(C, N)原料粉体を微粉碎化することによって、従来より低温で焼結させる方法について研究している。

一般的に粒子の粉碎過程を微視的に見ると、①外部応力により粒子内部にクラックが形成され、②そのクラックが進展することによって粉碎は進む。そこで、今回はTi(C, N)原料粒子表面に「きず」を化学エッティングによってあらかじめ発生させ、微粉碎されやすくするための化学的クラック形成促進と微粉碎時クラックの進展を図るために溶媒効果について検討したので報告する。

2. 実験方法

Ti(C, N)原料粉体として、新日本金属(株)社製Ti(C_{0.5}N_{0.5})固溶粉末試料(平均粒子径 1.22μm)を用いた。また、エッティング液は、HF 2.0、HNO₃ 4.5、CH₃COOH 4.3、H₂O₂ 3.3mol·dm⁻³(合計 14.1mol·dm⁻³)の混酸を所定濃

度に純水で希釈した。

まず、Ti(C, N)原料粉体約30gをエッティング液100mlに入れ、ときどき攪拌しながら所定時間浸せきした。エッティング後は、処理物をろ過・水洗・風乾した。次に、粉碎媒体としてジルコニアボール(3φ)150ml、溶媒150ml、エッティング処理粉体20gをアルミナポット(400ml)に入れ、回転速度90rpmで所定時間粉碎した。使用した溶媒の物性を表1に示す。表1のアルコール類は全て和光純薬工業社製の試薬特級品を用いた。原料と微粉碎物の比表面積は、液体チッ素温度下における3点N₂ガス吸着量から BET法で求め、また、微粉体の結晶性の変化は、粉末X線回折法(理学電機 RAD2A型、20kV·30mA、1#-0.15mm⁻¹#)により、Ti(C, N)粉体の(200)面におけるX線回折強度を求め、粉碎前に対する相対強度として表した。

表1 溶媒の物性値

溶媒	分子容(V)	双極子モーメント(μ)	μV(x10 ⁻²)
水	40.45	1.7	4.20
イソプロパノール	76.36	1.7	2.22
1-ブタノール	91.48	1.8	1.97
1-オクタノール	157.63	2.0	1.27
エタノール	58.42	1.7	2.91

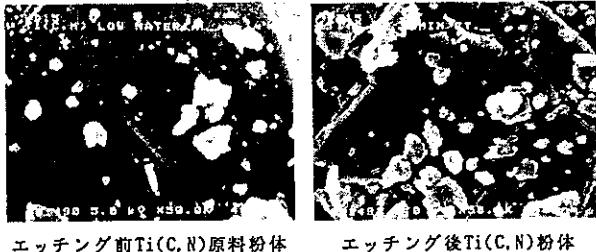
次に、微粉体表面の化学結合状態を調べるため、粉体を5φ×1mmにプレス成形(試料0.3g、成形圧1トン)した後、XPS分析を行った。XPS装置は日本電子(株)製JPK-90Xを使用し、X線源MgKα線·12kV·15mA、ES値30eV(本装置における光電子のエネルギー分解能を表す)の条件下で試料表面のO_{1s}、Ti_{2p}、N_{1s}、C_{1s}準位の光電子スペクトルを測定した。

* 材料開発部
**電子部

3. 実験結果と考察

3.1 微粉碎促進効果

化学エッティング前後の粉体表面の微構造変化をSEMで調べた結果、図1に示すとおりエッティング後の粒子表面



エッティング前Ti(C,N)原料粉体 エッティング後Ti(C,N)粉体

図1 エッティング前後のTi(C,N)粉体の微構造

には幅50nm以下のクラックが表れており、いわゆるエッティングによるきずが形成されることが分かった。粉体粒子にクラックが存在する場合の破壊強度 σ はGriffithのせい性破壊理論によると(1)式で表され、粉体へのクラック形成が粉碎時作用する衝撃等機械的応力以外で可能ならば、粉体の破壊強度を低下させることができるので、原料の粉碎性は向上するといわれている²⁾。このことは、図1に示したとおり、Ti(C,N)原料粉体を希釈した混酸に浸せきすると、粒子表面が粗化され微細なクラックが形成されるため、微粉碎が促進されることを示唆している。

$$\sigma = (2\gamma Y / \pi C)^{1/2} \quad (1)$$

σ : 破壊強度、 γ : 表面エネルギー、 Y : ヤング率

C : Griffithクラックの長さの1/2に相当

そこで、0.705mol·dm⁻³に希釈した混酸に15min浸せきエッティング処理した粉体(以降エッティング粉体と略する)と未処理の原料について、粉碎時間と微粉体の比表面積との関係を求めた結果を図2に示す。

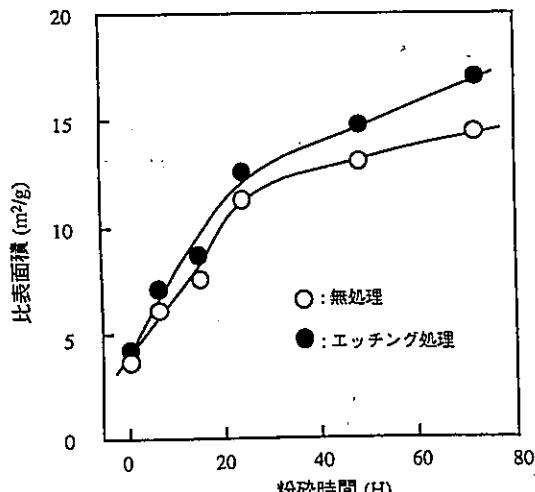


図2 Ti(C,N)粉碎時間と比表面積の関係
エッティング液濃度 0.705 mol·dm⁻³
エッティング時間 15 min

粉碎前の原料とエッティング粉体の比表面積はそれぞれ3.45、4.05m²·g⁻¹であり、エッティングを行うことによりTi(C,N)粒子表面が酸溶解(図1の左図に示すような粒子表面のじょう痕も含まれる)され粒子自体が小さくなつた結果、比表面積が若干増加したと考えられる。また、15H粉碎までは比表面積の差は小さいが、24H経過するとエッティング粉体の場合12.71m²·g⁻¹となり、未処理(10.71m²·g⁻¹)に比べ2m²·g⁻¹大きく、更に粉碎を続けると、両方とも比表面積は増加するものの、その差が大きくなっていく傾向を示している。すなわち、72Hではそれぞれ17.01、14.37m²·g⁻¹となり、2.64m²·g⁻¹大きくなることが分かった。

次に、エッティング効果に関して、粉碎時間とともにTi(C,N)微粉体の結晶性の変化を調べた。Ti(C,N)結晶の(200)面におけるX線回折強度(粉碎前の強度に対する相対値)と粉碎時間の関係を図3に示す。

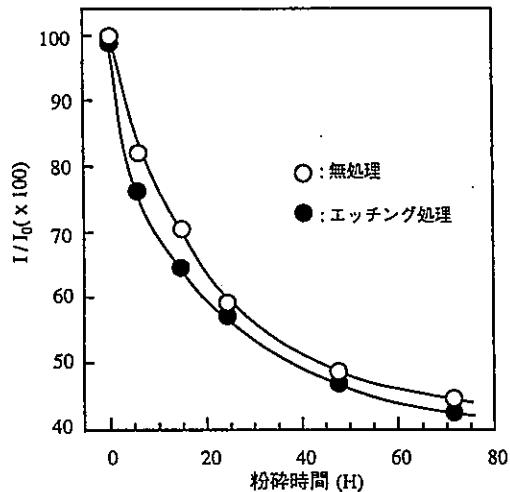


図3 Ti(C,N)粉体の結晶化度の経時変化
エッティング液濃度 0.705 mol·dm⁻³
エッティング時間 15 min
 I_0 : 粉碎前の(200)面における回折X線強度
 I : 粉碎後の強度

粉碎時間が長くなるに従っていずれも結晶性は低下するが、エッティング処理を行った方が結晶性の低下はより大きくなり非晶質化が進行していく様子が分かる。したがって、粒子表面の結晶性が低下すること、及び比表面積が増加し粒子が更に小さくなることが相まって、微粉体の成形体を焼成する場合、焼結温度が低下すると考えられる。

3.2 微粉碎に及ぼす溶媒効果

粉体粒子に、形成されたクラックを進展させることを目的とした溶媒効果を調べるために、伊川崎³⁾等が極性表面を有している原料を微粉碎する場合の溶媒効果を示す指標として用いている溶媒の双極子モーメント(μ)と溶媒の分子容(V)の比、 μ/V と微粉碎物の比表面積との関係を調べた。各種溶媒を用いて24H微粉碎したTi(C,N)粉体の比表面積と μ/V の関係を図4に示す。

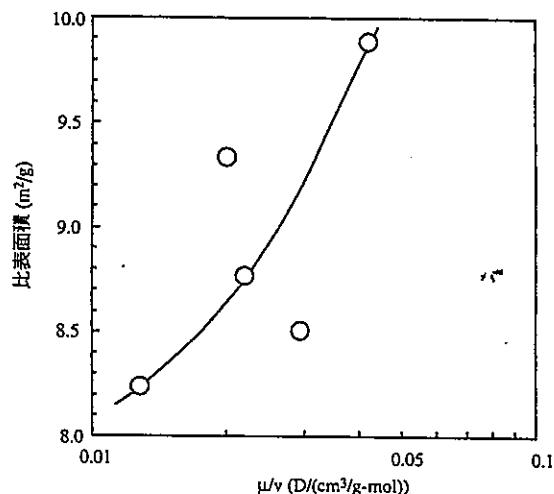


図4 Ti(C,N)粉碎に及ぼす溶媒効果

μ : 溶媒の双極子モーメント (D)
 V : 溶媒の分子容 ($cm^3/g\cdot mol$)

μ/V が大きくなるに従って比表面積も増加する傾向を示しており、溶媒効果が表れていると考えられる。

しかし、今回は各種溶媒下でのTi(C,N)粒子表面のゼータ電位を測定していないため、Ti(C,N)粒子表面の極性等については明確でない。そこで、表1の溶媒で μ/V が大きい水と中間的なイソプロピルアルコールを用い、エッティング処理したTi(C,N)粉体を微粉碎した後XPS分析を行い、粒子表面の化学結合状態を調べることによって溶媒効果を検討した。

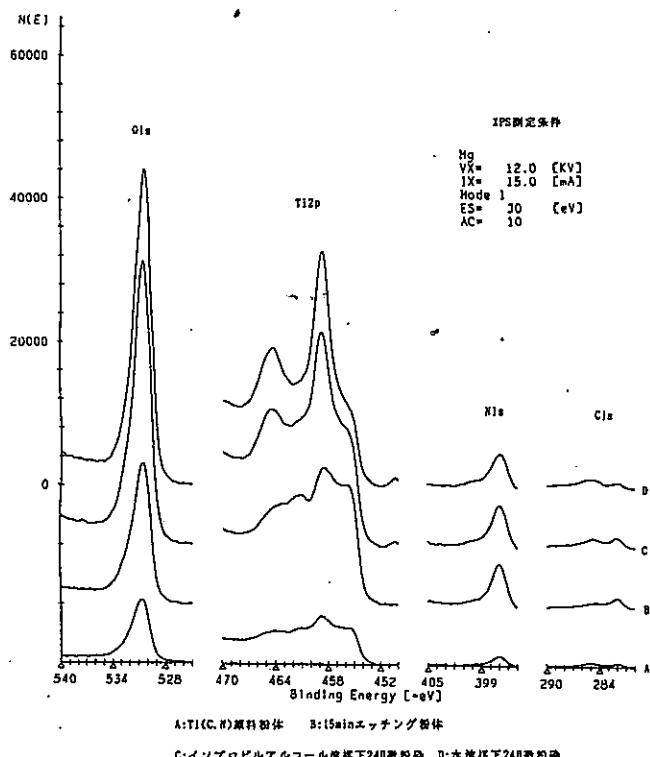


図5 XPS分析結果

図5にXPS分析結果を示す。溶媒に水(D)を使用した方がイソプロピルアルコール(C)の場合より、O_{1s}準位の光電子強度が大きく、かつTi_{2p}準位の強度も大きく、全スピニスビン量子数の違いに基づくTi_{2p1/2}, Ti_{2p3/2}のピーク分裂が明瞭となっている。なお、原料粒子表面(A)に比べエッティング処理した粒子表面(B)もO_{1s}準位の光電子強度が大きいので、粉碎前にすでに酸化されていると考えられる。そのため、表1に示したアルコールより極性の強い水を使用すると、粉碎時粒子表面上では酸化とともに水和が進行し、表面は相当極性をおびることが推定される。したがって、図4に示したとおり溶媒効果が表れたものと考えられる。

4 結 論

Ti(C,N)原料粉体の微粉碎化を行うため、物理・化学的微粉碎促進効果について研究した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) HF-HNO₃-CH₃COOH-H₂O₂混酸の希釈液(0.705mol·dm⁻³)に原料粉体を15min浸せきして表面を化学エッティング処理すると、未処理物に対し粉碎時間とともに比表面積が大きくなり、微粉碎促進効果が認められた。
- (2) 微粉碎に及ぼす溶媒効果について調べた結果、溶媒効果を現す指標としての μ/V 値が大きくなるに従って、比表面積も増加することがわかった。このことについて、粉体のXPS分析結果より、粒子表面のO_{1s}強度が大きく、酸化・水和等により表面が極性をおびるため溶媒効果が発現したと考えられる。

謝 辞

本研究は平成5年度から実施している技術開発(広域)研究「スマートストラクチャーセラミックスに関する研究」(中小企業庁)の一環として行った。御指導・助言をいただいた九州工業技術研究所 無機複合材料部の渡辺忠彦部長に謝意を表します。

文 献

- 1) 渡辺忠彦, 菖蒲一久, 道津毅; 国立機関技術開発研究事業成果普及発表会テキスト, 鉄鋼用高性能切削工具の開発に関する研究, 2, (1990), 中小企業庁
- 2) 伊崎文和, 粉体工学会誌, 29(10)772, (1992)
- 3) 伊崎文和, 内田邦夫, 河村光隆; 化学工学, 55(1)61 (1991),

塗布熱分解法による圧電性薄膜の作製

—応力検知能力を有する構造用セラミックス材料に関する研究（第2報）—

末永知子*・永田正典*・本田悠紀雄*・上田直行**

Preparation of Piezoelectric Thin-Films by Spin-Coating followed by Pyrosis Process

Study on Stress-responsive Ceramics for Application to Frame Material (2nd Report)-

Tomoko SUENAGA*, Masanori NAGATA*, Yukio HONDA* and Naoyuki UEDA**

塗布熱分解法による圧電性薄膜の作製法について検討した。対象とした膜は $Pb(Zr, Ti)O_3$ で通常PZTと呼ばれる物質で、原料としては2-エチルヘキサン酸鉛、2-エチルヘキサン酸化ジルコニウム、n-チタンブトキシドを用いた。上記三種類の混合溶液をスピンドルで製膜後乾燥し550°Cで焼成するとパイロクロアとペロブスカイトの混合層となるが650°Cではペロブスカイトの単一層となった。

基板を石英ガラス、白金、MgO(100)、SrTiO₃(100)を使って比較した。その結果、白金基板ではロゼット核と呼ばれる巨大核生成が見られた。MgO(100)、SrTiO₃(100)基板では表面が平滑な膜が得られた。更に、MgO(100)基板を用いて基板と膜界面にTiをバッファー層として挿入し焼成温度を高めた膜についてPZT(100)面のピークが強く出る膜が得られ、配向性膜作製の可能性を示唆した。

1. 緒 言

近年、セラミックスは電磁気的性質、化学的性質、機械的性質、光学的性質等多機能性を利用して構造材、工具、電子材料等広い分野で用いられている。一方、セラミックスの決定的欠点としての「もうさ」を克服する研究も行われている¹⁾。すなわち、セラミックス材料に機能性繊維材料、導電相を複合化する方法、及び機能性膜等をセラミックス、金属材料等にセンシング機能として付加し破壊の予知が検知できるシステムを構築する研究がされている²⁾⁻⁴⁾。

そこで、本研究ではこのような目的を達成するため、圧電性機能を持つ薄膜をセラミックス上にコーティングした。すなわち、構造材等の応力、振動等によるひずみを電気信号として取り出しセンシング機能を持たせることにより、破壊予知の可能性があると考えられる。

ところで、圧電性薄膜作成の方法として気相法による種々の方法が検討されている⁵⁾が、本研究では中小企業などで容易に対応できる塗布熱分解法により行った。本方法の特徴は①高真空・大型装置を必要としない。②大面积、複雑形状であっても薄膜化が可能である。③溶液プロセスであるため多成分系の均一組成が容易である。④混合溶液が長期に安定である等が上げられる。対象材料として、圧電性が変わるキュリー温度は370°Cと低いが、圧電特性が優れている $Pb(Zr, Ti)O_3$ （以下PZTと表

す）を取り上げ、センシング機能を構造材と一体化するための第一歩として、PZT薄膜作成において单一のペロブスカイト構造を有する薄膜を作成することができたので報告する。

2. 実験方法

2.1 原材料及び評価法

用いた原料は2-エチルヘキサン酸鉛、2-エチルヘキサン酸化ジルコニウム、n-チタンブトキシドで、これらを $Pb:Zr:Ti=1:0.5:0.5$ の組成比に混合し濃度は0.1モル～1モルまでブタノールで希釈を行った。各々の原料、及び混合液の加熱分解過程を調べるために示差熱分析（マックサイエンス製 TG-DTA 2000）を行った。

基板は石英ガラス、白金、及び単結晶MgO(100)、SrTiO₃(100)を用いた。石英ガラス、白金基板は製膜前処理として、界面活性剤で超音波洗浄後蒸留水で水洗、乾燥した。次に、混合した有機金属溶液をスピンドルで回転数1000～5000rpmで製膜し110°Cで10分間乾燥後、仮焼(300°C～600°C)を行った。この過程を目的の膜厚になるまで繰り返し、本焼成(500～800°C)を行った。得られた膜は微細観察をフィールドエミッション走査型電子顕微鏡（日立製S-4000型）、膜組成の均一性をXPS、（日本電子製 JPS-90SX）膜の構造を薄膜型X線回折装置、（理学電機製 RINT2000）更に膜厚をナノスコープ（日電アネルバ製 911-9150）で調べた。図1に薄膜作成過程のフローチャートを示す。

* 材料開発部
** 電子部

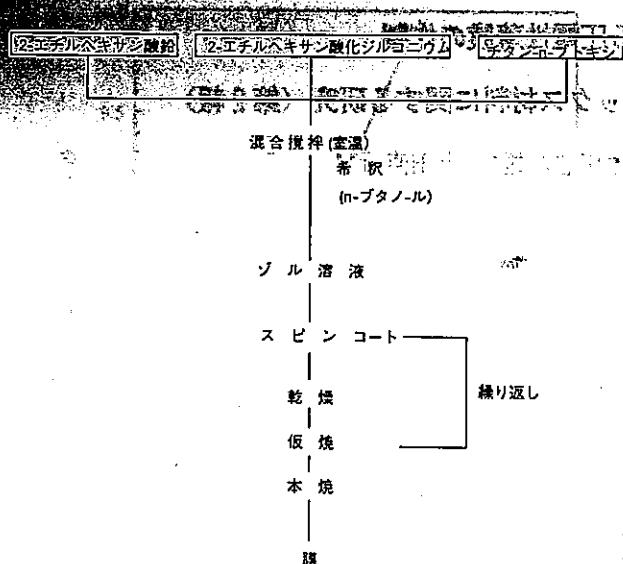


図1 PZT薄膜作製フローシート

3. 実験結果及び考察

3.1 示差熱分析

原料の熱分解過程における挙動を調べるために示差熱分析を行った。その結果を図2～図5に示す。複合組成の熱分解法で問題なのは、各元素が有機物の加熱分解終了後非晶質酸化物として存在し、固相反応として進行するため結晶化に時間を要する。本研究で行った原料では図2に見られるように、Tiは300°C付近で有機物の分解が終了し非晶質アナターゼから520°C付近で結晶質ルチルに結晶化している。通常アナターゼからルチルの転移温度は約915°Cで起こるので、熱分解法は非常に低温で転移が起こっていっていることがわかる。その原因是熱分解過程で生じる結晶粒が非常に微細なため結晶温度が低下したと考えられる。図3から2-エチルヘキサン酸鉛は380°C付近で有機物の分解が終了する。福島ら¹⁰はナフテン酸鉛の熱分解過程を詳しく報告しており、その結果から、図3の約200°Cにおける発熱ピークは有機物存在下での非晶質PbOと考えられ、約500°Cから始まる緩やかな発熱ピークはPbOの正方晶から斜方晶への相転位によるものと考えられる。さらに800°C以上ではPbOの蒸発によると見られる試料の減量が観察された。Pb系酸化物の焼成で問題となるのはPbOの蒸発である。そこで本研究ではPbの組成比を若干多くすることで蒸発の対応を図った。図4に示す通り、2-エチルヘキサン酸化ジルコニウムの場合には有機物が約380°Cで分解が終了した。また約700°Cからの緩やかな発熱ピークは、松下ら¹¹の報告から正方晶ZrO₂から単斜晶ZrO₂転移したものと考えられる。上記三元素を混合した塗布液の熱分析の結果を図5に示す。180°Cから分解が始まり370°Cで有機物の熱分解は終了し、

Pb, Zr, Tiは複合酸化物として存在していると考えられる。さらに470°Cにおける発熱ピークは複合酸化物の結晶化に伴うものと考えられる。岡村ら¹²も同様な報告をナフテン酸塩で行っているが、ナフテン酸塩の分解は200°Cから始まり490°Cで終了している。これは有機物塩の違いによるものと考えられる。以上の実験結果から基板への塗布乾燥後の焼成温度を450～750°Cとし、目的の厚さになるまで繰り返した。

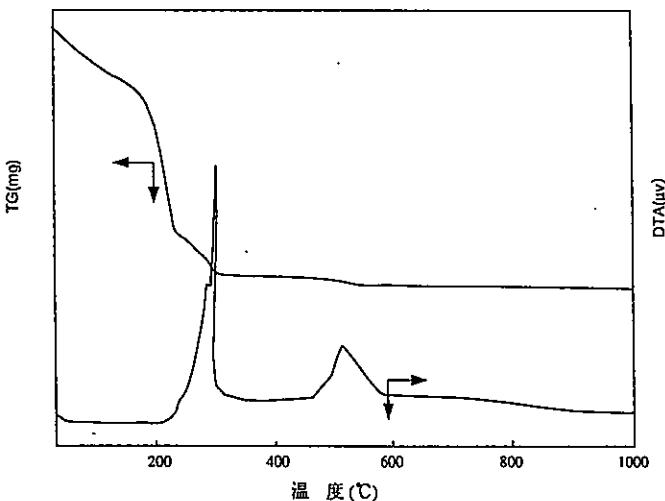


図2 チタン-n-ブトキシドのTG-DTA曲線

昇温速度：200°Cまで5°C/m
1000°Cまで10°C/m

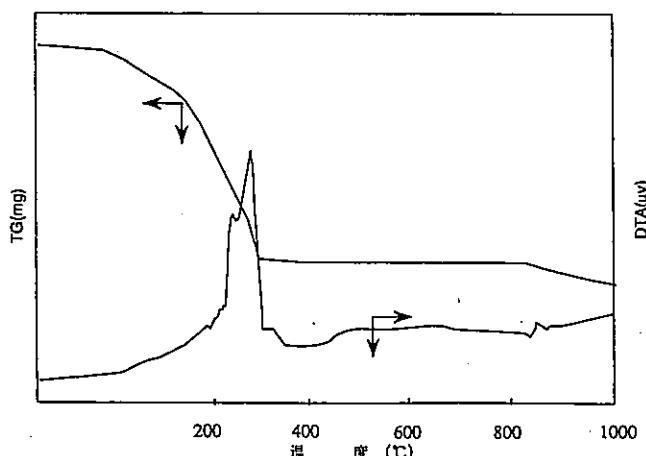


図3 2-エチルヘキサン酸鉛のTG-DTA曲線

昇温速度：200°Cまで5°C/m
1000°Cまで10°C/m

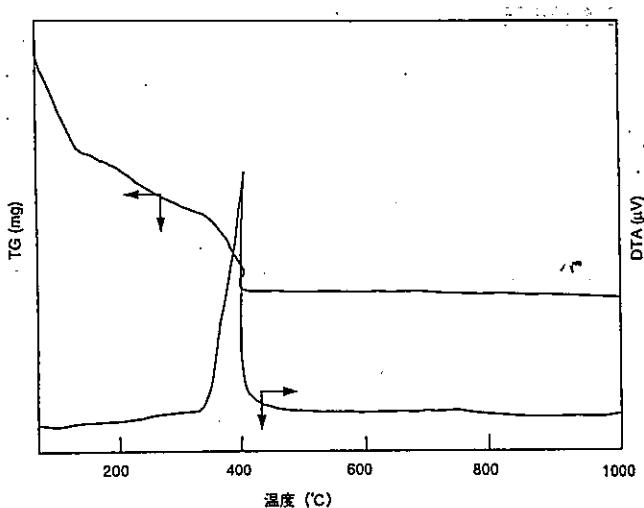


図4 2-エチルヘキサン酸酸化ジルコニウムのTG-DTA曲線

昇温速度；200°Cまで5°C/m
1000°Cまで10°C/m

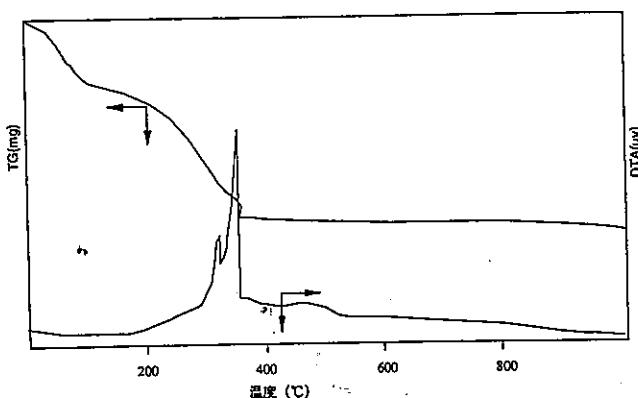


図5 PZT溶液のTG-DTA曲線

昇温速度；10°C/m

3.2 焼成条件及びSEM観察

焼成温度を450°C～750°Cまで変化させ焼成した膜のX線回折パターンを図6に示す。450°Cでは 2θ が30°付近にPb, Zr, Tiの非晶質酸化物が生成している。550°Cにおいて30°付近のピークはPZTのパイロクロア相の生成物、さらに21°、31°付近のピークはペロブスカイト相の(100)、(110)と考えられる。650°Cでは単一のペロブスカイト相となりピークもシャープで結晶化が進んでいる。750°Cでは単一ペロブスカイト相ではあるが650°Cのピークより半価値が大きくなり結晶が崩れている。これはPbの蒸発によるものではないかと考えられる。作成した膜の微細観察を図7に示す。450°Cでは粒子はほとんど観察されず、550°C、650°Cでは粒子成長は見られなかった。750°Cでは数10nmの均一な粒子が観察された。

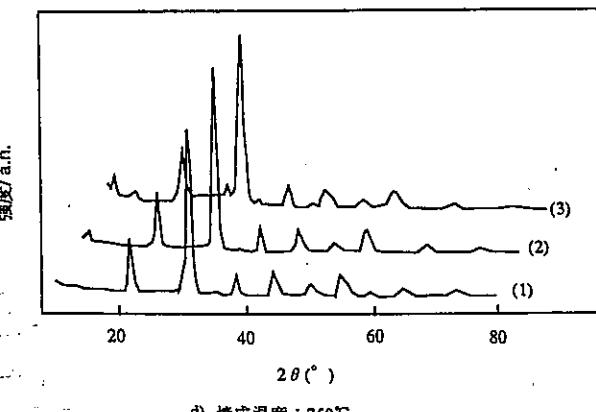
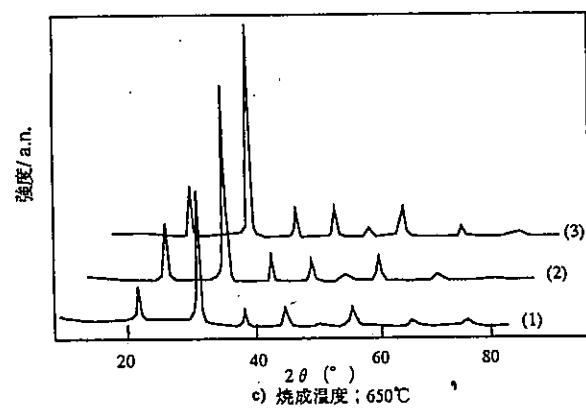
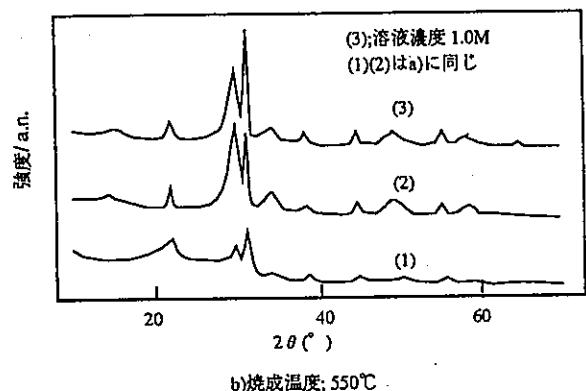
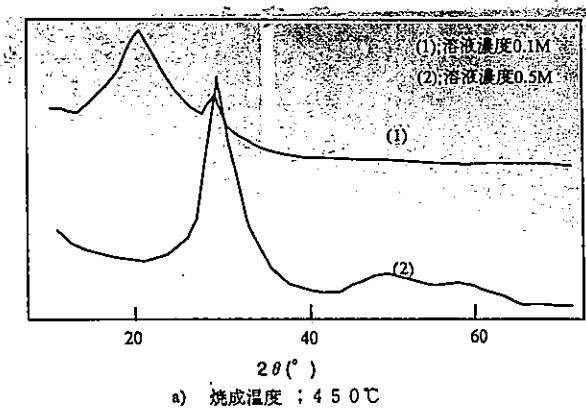


図6 PZTの焼成温度とX線回折パターン

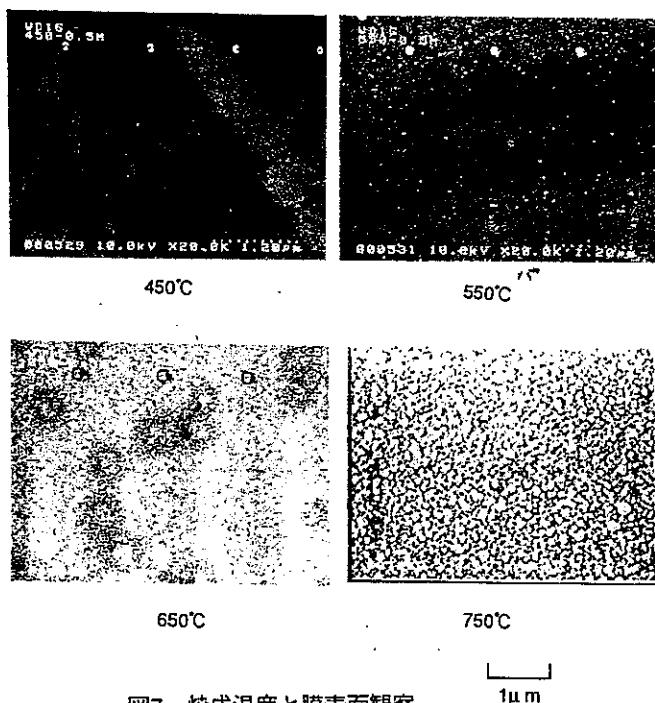


図7 焼成温度と膜表面観察
基板：石英ガラス

3.3 膜のXPS分析

有機物を分解して作成するため膜中のCの有無を調べる必要があるのでXPSによる膜の深さ方向の分析を行った。基板は石英ガラスを用いた。その結果を図8に示す。表面のCは大気中のCO₂によるもので、10秒間アルゴンで表面をエッティングした後はCの強度は大きく低下している。90秒間のエッティングでCはほとんど検出されなかった。これは膜表面、及び膜表面に近い部分ではCが存在していると考えられる。これはこの膜の焼成温度が500°Cであるため、有機物の未分解によるものと考えられる。また、Pbは膜内部まで均一に存在していることが分かった。

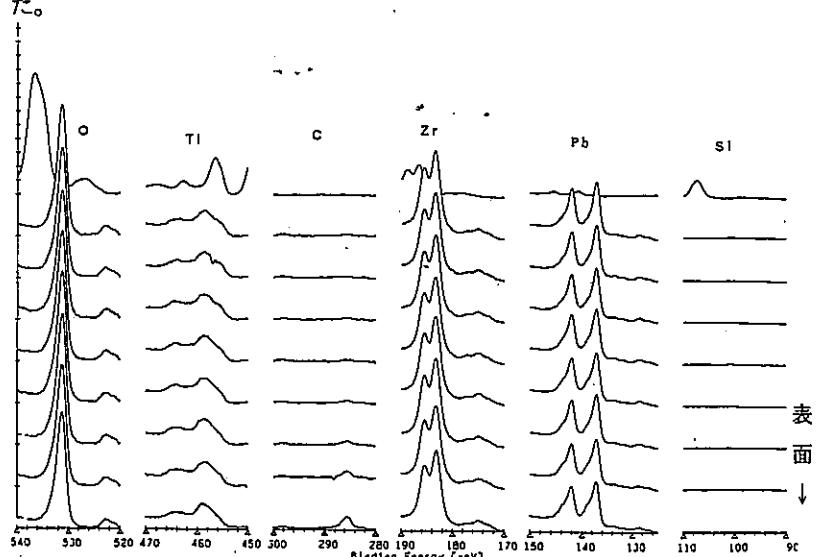


図8 XPSによる薄膜の深さ方向分析

焼成温度：500°C 基板：石英ガラス

3.4 膜の配向性

膜の圧電特性を得るために膜がある一定方向に配向する必要がある。そこで基板を白金、SrTiO₃(100)、MgO(100)を用いて薄膜を作成した。その結果、焼成温度750°Cまではどの基板を用いても配向する膜は得ることはできなかった。そこで1)焼成温度を高くする方法、2)基板と膜との間にバッファー層を挿入する等を検討した。焼成温度780°Cで15分間焼成した場合のX線回折パターンを図9に示す。石英基板を用いて750°Cで焼成した膜のPZT(100)面の(110)面に対するX線強度比は0.25～0.30あるが、780°Cと温度を高めた場合(100)が強くなる傾向があり、MgO(100)を基板として用いた場合、(110)面に対し0.45となった。これは基板と膜界面に液層が一部生成したためと考えられる。一般に融液による結晶成長は希薄溶液での結晶成長と異なり律速となる要因が明かとなっていない⁹⁾。また、構成元素であるTiをバッファ

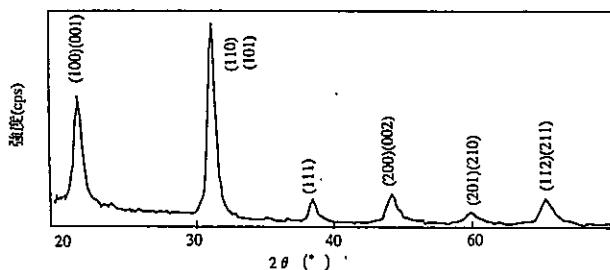


図9 PZTのX線回折パターン
焼成温度:780°C Tiバッファー層有り 基板:MgO(100)

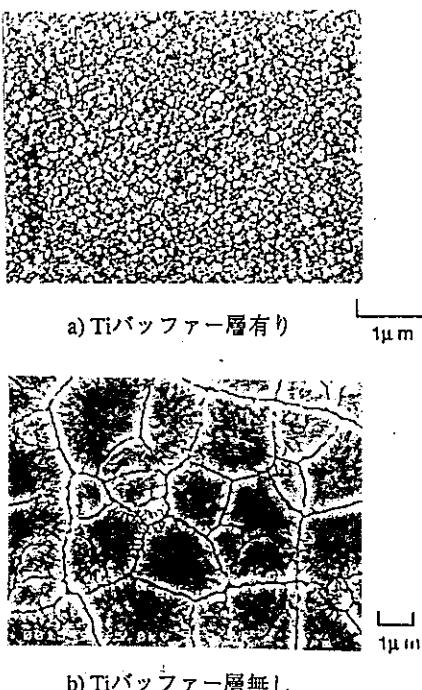


図10 Tiバッファー層の膜への効果

基板：MgO(100) 焼成温度：820°C

一層として挿入した薄膜のX線パターンを図9に示す。更に焼成温度とPZT(100)面の(110)面に対するピーグ強度比を表1に示す。スパッタリングなど気相法などでは基板温度が高くなるとクラスターの凝集が起こり連続構造が取りにくいと言われている¹⁰⁾。しかし、Tiをバッファー層として作製した膜は図10に示すように、Tiをバッファー層として挿入しなかった膜と比べて、粒成長が抑えられていることが分かる。これらの結果から、Tiは膜と基板との接触角を低下させる効果、すなわち核の生成に必要な表面エネルギーを小さくしたと考えられる。

表1 焼成温度とPZT(110)面に対するPZT(100)面のX線強度(MgO基板)

温 度 (°C)	Ti無し	Ti有り
780	0.44	0.65
800	0.36	0.70
820	0.38	0.92
840	---	1.04

4. 結 論

- 1) 2-エチルヘキサン酸塩、及びチタンブトキシドを用いて塗布熱分解法によってPZT薄膜を作製した。有機金属混合物の熱分解過程は190°Cから分解が始まり360°Cで終了し、Pb, Zr, Tiの複合酸化物が470°Cで非晶質から結晶化への転移したと考えられる。
- 2) 110°Cで乾燥後焼成温度550°Cでペロブスカイトとパイロクロアの混合相となつたが、650°Cではペロブスカイト単一相となつた。
- 3) MgO(100)基板を用いて基板と膜界面にTiをバッファー層として挿入し焼成温度を高くした膜はTiをバッファー層として挿入しなかつた場合よりC軸に配向する傾向を示し、更に粒成長を抑える効果を示した。

4. 5参考文献
- 1) スマートストラクチャ研究会、環境応答・内部診断自適型材料の創設に関する調査研究報告書(1993)
 - 2) 松原秀彰、石田積、"セラミックスにおける自己診断"、機能材料、Vol. 15, No. 1(1995)
 - 3) 江草茂則、岩沢直純、"圧電性薄膜の形成に関する研究"、インテリジェント材料、Vol. 2, No. 3, (1992)
 - 4) 江川幸一、"超先進構造・材料としての知的材料"、機械の研究、Vol. 44, No. 7(1992)
 - 5) 例えは船窪浩、今下勝博、木枝暢夫、水谷惟恭、"CVDによるPb(Zr, Ti)O₃のエピタキシャル薄膜の合成"、日本セラミックス学術論文、Vol. 99, No. 3, (1991)
 - 6) 福島純、小平絢平、網島群、松下徹、"ナフテン酸鉛の分解によるPbO薄膜の生成過程"、窯業協会誌、Vol. 83, No. 4(1975)
 - 7) 松下徹、"新材料と新技術"、近代編集社
 - 8) 岡村聰一郎、垣見篤志、塙本垣世、"ナフテン酸金属塩の塗布熱分解による強誘電体Pb(Zr, Ti)O₃薄膜の作製と電気的性質"、日本セラミックス協会論文誌、Vol. 103, No. 2, (1995)
 - 9) 大川章哉、"結晶成長"、裳華房
 - 10) 金原、藤原"薄膜"、裳華房

多糖類精製用アルコール水溶液のリサイクル化の検討

納寄克也*・永田正典*・中根 勇**・柳下 宏**

Study on Recycling of Alcohol Solution Used for Purification of Polysaccharides

Katsuya NOUZAKI*, Masanori NAGATA*, Takashi NAKANE**, and Hiroshi YANAGISHITA**

本研究は、こんにゃく製造工程において、原料であるマンナンの精製に用いられるアルコール水溶液を再度、工程内でリサイクルすることを目的とし、溶質分離用の限外ろ過法、低圧逆浸透法等の膜分離技術を用いて、耐アルコール性に優れた膜性能に安定性のある分離膜を探査すると同時に、試作した分離膜についても性能評価を行った。評価法については、ポリエチレングリコール（以下、PEGと略す）を標準試料として用いる当センターで確立された方法¹⁾により行い、その最適条件を見い出した。更に、実廃液による溶質分の分離試験を行った結果、ボリアミド系低圧逆浸透膜（日東電工社製 759HR）と酢酸セルロース系逆浸透膜（試作膜）を用いた低圧逆浸透法によって、再利用が可能な程度まで十分溶質を分離・除去できることがわかった。

1. はじめに

多糖類の精製あるいは電子部品のめっき後の最終洗浄工程等においては、アルコールあるいはアルコール水溶液が使用されることが多いが、それらの廃液は現在ほとんどの場合、産業廃棄物として処理されている。しかし、最近の地球環境意識の高まりによりリサイクル法等が制定され、今後はこれらの有機溶剤廃液もできるだけリサイクルすることが必要である。

そこで、最近急速に発展した膜分離技術を用いて、これらのアルコール廃液を処理し、そのリサイクルを図ることを検討した。その一環として、こんにゃくの原料を使用している多糖類のマンナンを精製する工程で発生するアルコール水溶液を限外ろ過法及び低圧逆浸透法で処理した結果について報告する。

2. こんにゃく製造工程

こんにゃくの製造時におけるアルコールの使用法について図1に示す。通常、こんにゃくを製造する場合には、原料であるマンナンに加水し、混練、熟成、アルカリ添加、熱処理の工程を経て製品化されるが、付加価値の高い高級化されたこんにゃくを製造する場合には、マンナンを精製する工程が加わる。この精製の主な目的は、臭気分と夾雑物の除去である。マンナンをゲル化させることなく、粉の状態に維持させたまま精製するには、適度

な濃度に調整されたアルコール水溶液を用いることが適当である。

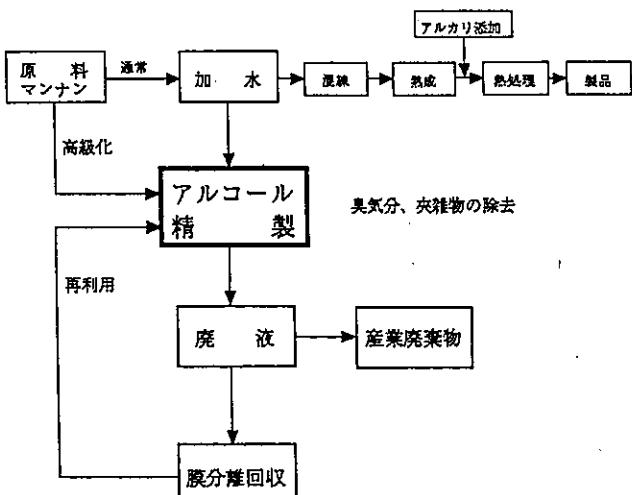


図1 こんにゃく製造工程

3. 実験方法

分離膜を用いた不要物質を分離するための実験は、限外ろ過法及び低圧逆浸透法で行い、その処理効果は膜透過液量から求めた膜透過流束と溶質に対する阻止率で評価し^{2, 3)}、分離膜の性能は、当センターで確立した方法により評価した¹⁾。

本研究で用いた分離膜を、表1に示す。市販膜として

*材料開発部

**工業技術院物質工学工業技術研究所

ポリサッカライド系の限外ろ過膜及び芳香族ポリアミド系の低圧逆浸透膜を用い、また、試作膜として当センターで製膜した酢酸セルロース系の逆浸透膜を用いた。

実験には、バッチ式膜試験装置（有効膜面積：19.7 cm²）を用いた。操作圧力は、3kgf/cm²および15kgf/cm²とし、濃度分極を緩和するために膜面近傍に設置したスターラーで攪拌（原則として800rpm）した。

液濃度の測定は、GPC液体クロマトグラフィ（カラム：東ソー社製、TSK-gel G3000 PWXL）で行い、原液濃度と透過液濃度の比較から得られた見かけの阻止率で評価した。

また、膜性能の評価及び溶質の分子量分布を求めるための標準試料には、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（株）社製のPEG（分子量200, 600, 2000, 6000）及び、Fluka（株）社製のPEG（分子量20000）を用いた。

表1 実験に使用した分離膜の一覧表

膜	材質	分画	メーカー
YM-2	ポリサッカライド系	2000	アミコン
YC-05	ポリサッカライド系	500	アミコン
759HR	芳香族ポリアミド系	<500	日東電工
CA-LRO	酢酸セルロース系	<500	当センター製

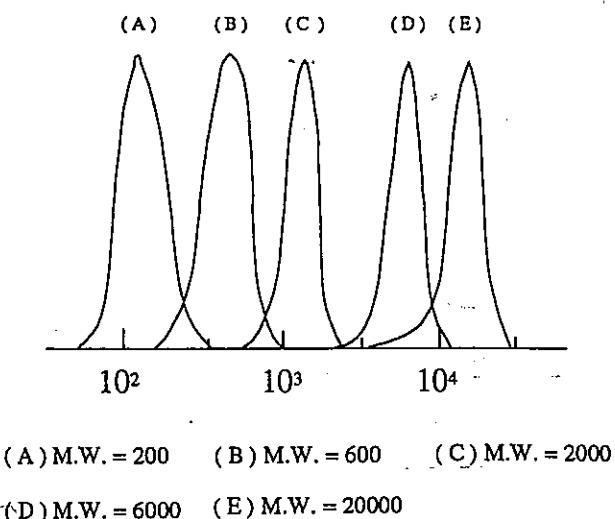


図2 PEGの分子量分布

4. 結果及び考察

4.1 廃液中の溶質の分子量分布

GPC液体クロマトグラフィを用いて廃液中に含まれる溶質の分子量分布について調べた結果を図3に示す。この図から廃液中の溶質分は、分子量300～40000の範囲に渡って幅広く分布し、そのほとんどは分子量400～4,000程度の比較的低分子量のものであることが分かった。したがって、限外ろ過膜を用いた限外ろ過法ではその溶質すべてを阻止することが困難であると考えられ、少なくとも低圧逆浸透膜を用いる低圧逆浸透法で処理する必要があることが推察された。

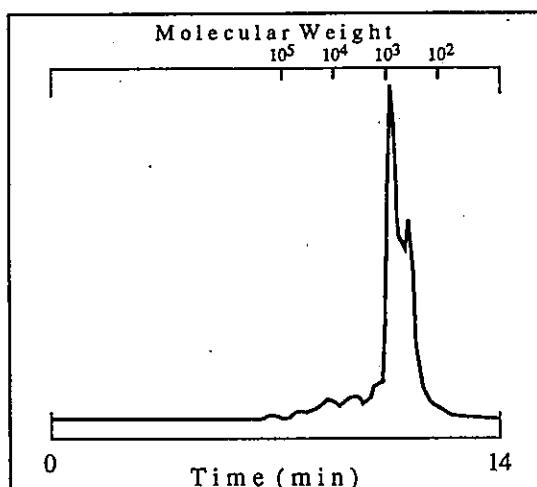


図3 廃液中の溶質の分子量分布

4.2 PEG阻止率に及ぼすアルコール濃度の影響

まず、エタノール濃度を実廃液と同濃度に調製した溶液に分布が单分散でシャープな分子量200～20000のPEGをそれぞれ0.3wt%加えた溶液を用い、その阻止率を測定したところ、図4に示すような結果が得られた。YM-2及びYC-05膜は分子量600及び2000のPEGに対しては高い阻止率を示すが、低分子量のPEG200に対しては阻止率がかなり低くなることが分かった。また、CA-LRO膜も低分子量のPEG200に対しては低い阻止率を示した。しかし、759HR膜はすべてのPEGに対して高い阻止率を示しており、実廃液の処理に適する膜ではないかと考えられた。

そこで、759HR膜を用い、純水中と25wt%エタノール水溶液中でPEGの阻止率がどのように変わるかについて調べた結果を図5に示す。このことから分かるように、純水中では分子量200のPEGに対して99%以上の高い阻止率を示すが、25%エタノール水溶液中では約20%程度の阻止率しか得られず、分子量が4000以上ないと99%以上の阻止率が得られないことが分かった。すなわち、エタノール水溶液中では純水中の場合より膜性能が著しく低下することが認められた。

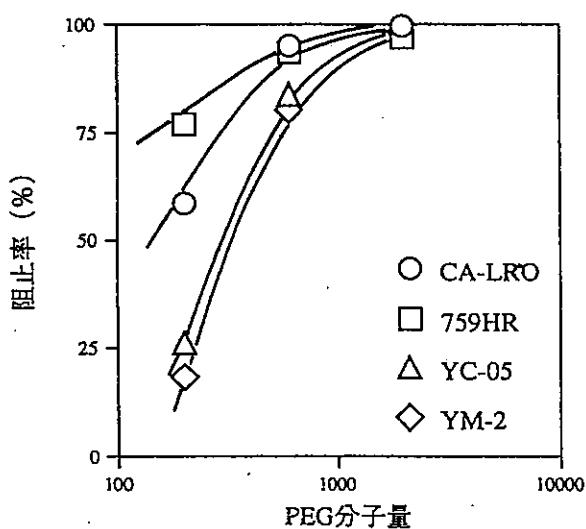


図4 25%エタノール水溶液中における
PEGの阻止率
操作圧力 CA-LRO, 759HR:15kgf/cm²
YC-05, YM-2:3kgf/cm²

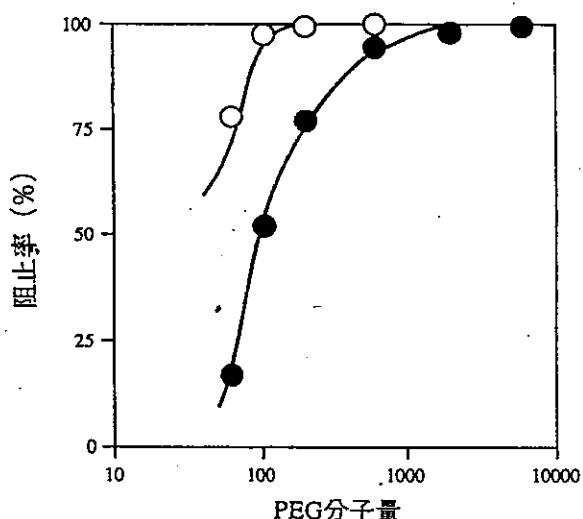


図5 純水及びエタノール系におけるPEG阻止率
○：純水 ●：25wt%エタノール水溶液
操作圧力：15kgf/cm²

更に、エタノールの濃度を5%ずつ変化させて実験を行った結果について図6に示す。エタノールの濃度が高くなるに従ってPEGの阻止率が徐々に低下していくが、その差はPEGの分子量が小さい程大きく、分子量が大きい程縮まる傾向を示した。その原因としては、エタノールの影響による膜の膨潤とエタノール溶液中のPEGの溶存状態の変化が考えられるが、現在のところ、そのいずれであるかは明らかではない。

4.3 実廃液の膜分離試験

前処理として、遠心分離器を用い回転速度10000rpm、操作時間10minで廃液を処理し、SS分を除去した後、バッチ式膜試験装置を用いて実廃液による膜分離試験を行った。図7に原液と透過液のクロマトグラムを、表2に

得られた膜透過流束とクロマトグラムのピークから求められた阻止率を示す。

膜透過流束は、いずれの場合も比較的低い値しか得られなかった。阻止率に関しては、YM-2膜は、PEGに対する場合と異なり廃液中の溶質をほとんど阻止することができなかった。また、YC-05膜はPEGに対しても低分子側の溶質を阻止できなかったため、実廃液でも50%程度の低い阻止率しか得られなかった。しかし、759HR膜の場合には、廃液中の溶質をほぼ完全に阻止することが分かった。

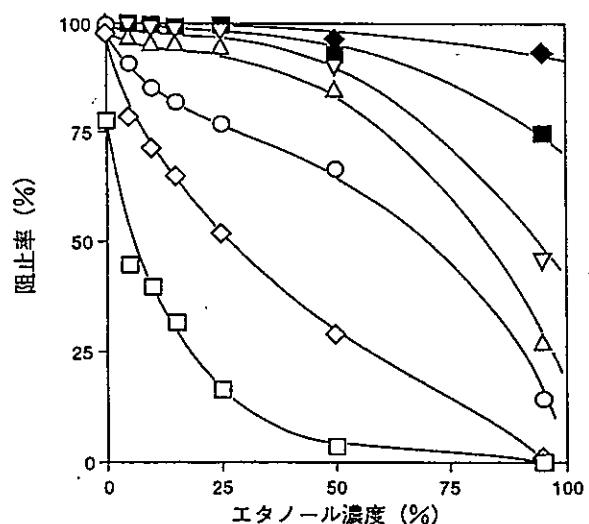


図6 PEG阻止率におよぼすエタノール濃度の影響
□ : 62 ◇ : 106 ○ : 200 △ : 600
▽ : 2000 ■ : 6000 ◆ : 20000

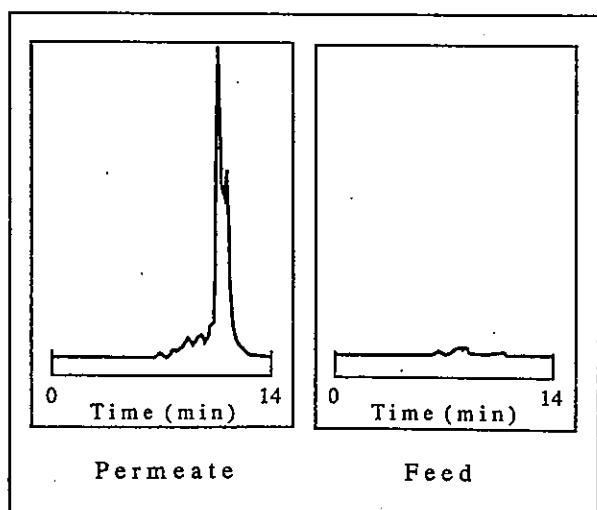


図7 759HR膜透過前後のクロマトグラムピーク

表2 実廃液の膜分離試験

操作圧力 CA-LR0, 759HR:15kgf/cm²
YC-05, YM-2:3kgf/cm²

膜	阻止率(%)	透過流束(t/m ² ·d)
CA-LR0	85.7	0.2
759HR	98.3	0.1
YC-05	53.0	0.1
YM-2	7.0	0.1

したがってこれらの事実から、どちらかといえばエタノールによる膜の膨潤よりも、エタノール中でのPEG自体の溶存状態の方が大きい影響を与えるのではないかと推察された。

4.4 廃液浄化の評価

上記膜分離試験の結果、低圧逆浸透膜の759HR膜を用いれば少なくとも化学分析的には再生可能な程度まで浄化できることが分かった。最終的には、こんにゃくを製造した場合品質に異常がないか確認する必要がある。

そこで、こんにゃく製造メーカーの技術者立会いのもとに、比較的阻止率の高かったCA-LR0膜及び759HR膜の透過液を用いてマンナンを精製し、実際にこんにゃくを試作する確認試験を行った。その結果、色調・香り・味覚については新しいアルコール水溶液で精製したマンナンから作製したこんにゃくとほぼ同等の品質のものが得られ、少なくともこれら官能試験の結果では特に異常は認められなかった。こんにゃくの品質に関しては、現在のところ機器分析的にその品質を評価する適当な方法がないため、今回はこれ以外の評価試験は特に行わなかった。

しかし、本研究の方法を実用化するためには、この問題を含め、低圧逆浸透膜処理液をどの程度まで繰り返し使用することが可能かなど、今後さらに詳しく検討する必要があると思われる。

限外ろ過法及び低圧逆浸透法を用いて、こんにゃく原料のマンナンを精製する際に発生するエタノール水溶液の廃液についてその回収・再利用を検討し、以下のような結果を得た。

- (1)当該廃液をGPCクロマトグラフィーで分析したところ、溶質としては分子量400~4000程度の比較的低分子量のものが主成分となっていたため、その浄化には少なくとも低圧逆浸透膜等のいわゆるナノフィルトレーショングレードの膜が必要である。
- (2)市販低圧逆浸透膜（日東電工社製-759HR膜）と当センターで試作した逆浸透膜を用いて、水溶液とエタノール水溶液中のPEGに対する分離試験を行ったところ、試験液中のエタノール濃度が高くなるほど阻止率が低くなる現象を見い出した。その原因としては、液中のPEGの溶存状態が影響しているのではないかと推定されたが、その詳細は現在のところ不明である。
- (3)市販低圧逆浸透膜と試作逆浸透膜を用いて、低圧逆浸透法による実廃液の処理を行ったところ、再利用が可能な程度まで十分溶質（不要物質）を分離・除去できることが分かった。
- (4)これらの膜処理液を用いて精製したマンナンを使用して実際にこんにゃくを試作したところ、新液を用いて精製したマンナンより作製したこんにゃくとほぼ同品質のものが得られた。

参考文献

- 1) 納奇克也, 中根堯, 永田正典, 柳下宏, 坂下大地, 五十嵐千秋; 日本膜学会第15年会・講演要旨集, p30 (13A08), (東京、1993.5)
- 2) 国賀孝雄, 川崎順二郎; 高度膜分離技術ハンドブック, 19(1987)(株)サイエンスフォーラム
- 3) 柳下宏, 中根堯, 高津普, 若林勝彦, 吉留浩; 膜, 15(2), 65(1990)

調合みそ製造における米、麦麹の影響

－高品質醸造食品の開発（第2報）－

松田茂樹*

Effects of Rice and Barley Koji on Brewing of Mixed Miso

－Development of High Quality Fermented Seasoning (2nd Report)－

Shigeki MATSUDA*

米麹と麦麹を混合した合わせみその製造において、色調やみその品質に及ぼす要因を明らかにするために、みその試験醸造を行った。2カ月間熟成したみそはいずれも良好な風味を有し、特に麹歩合10歩の試験区で甘みや旨味が強く香りも高い傾向を示した。みその着色の要因として、麦に対する米の割合が多いほどみその色は白く、また大豆の使用量が多くなると着色しやすくなることが確認された。みその熟成に及ぼす原料組成の影響としては麹の多少が関連し、更に米と麦の使用割合によってもでんぶんやたん白質の分解率が異なる結果が得られた。

1. はじめに

本県におけるみその製造量は約7,000トンで全国における製造量の低下と同様に数年来の減少傾向を示している¹⁾。このような減少傾向の抑止策の一つとして、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重要であると考えられる。本研究では発酵原料の組成や発酵工程の変更により商品性の高い醸造調味食品の開発を行うものである²⁾。

九州地方のみそは麦みそが多く、嗜好としても色が白く甘みの強いものが好まれている³⁾。また、近年では米と麦の特徴を併せ持ついわゆる「合わせみそ」と称される調合みその需要が多くなりつつある。この米・麦合せみその製造法には種々の方法があり、製麹の段階で米と麦を混合して麹とするものや別々に製麹して仕込みの工程で合わせる方法などがある。また、米と麦の配合割合も種々のものがあり、どのような配合割合が最も合わせみそとしての品質特性を有するものであるか不明な点が多い。そこで、麹歩合や原料配合割合の異なるみその製造試験を行い、これらの条件が成分組成や熟成に及ぼす影響を調べた。

2. 実験方法

合わせみそのタイプとしてそれぞれ単独で製麹した米麹と麦麹とを用いて配合比率を3段階に設定し、更にそ

れぞれの配合率において麹と大豆の配合割合である麹歩合を3段階にして合計9試験区のみそ製造試験を行った。米及び麦は国内産を使用し、大豆は同じく国内産のフクユタカを用いた。これらの試験区を表1に示す。各試験区の仕込み総量は約10kgとした。

表1. 仕込みみその試験区

麹歩合	米・麦配合比率		
	米:麦(4:6)	米:麦(6:4)	米:麦(8:2)
6	A	B	C
10	D	E	F
15	G	H	I

各試験区の仕込みみそは塩分10.5%、水分48%となるよう種水で調整し、28°Cで2カ月間熟成させた。

みその成分分析は基準味噌分析法⁴⁾に準じて行った。色調は色差計（スガ試験器（株）製SCR）を用いて測定し、XYZ表色系で示した。

3. 実験結果及び考察

仕込み直後の各試験区のみその水分は平均48.0%、塩分は9.8%で試験区においてやや差がみられるものの概ね目標値に近い値となった。みその色調のY%は32.7~37.5の範囲にあり、米麹の配合割合が多くなるほどY%は高く色が明るくなる傾向を示した⁵⁾。

熟成2カ月後のみその成分分析結果を表2に示す。

* 微生物応用部

表2 熟成みその成分分析結果

試験区	水分(%)	塩分(%)	TS*1(%)	DS*2(%)	DS/TS*3(%)	TN*4(%)	WSN*5(%)	WSN/TN*6(%)	測色値		
									Y%	X	Y
A	44.2	10.4	14.2	8.4	59.2	2.15	1.22	56.7	17.4	0.428	0.401
B	43.9	11.0	16.9	9.9	58.6	2.23	1.26	56.5	16.8	0.429	0.402
C	43.6	10.6	15.5	11.2	72.3	2.14	1.26	58.9	17.0	0.433	0.403
D	44.6	10.4	15.5	12.1	78.1	1.96	1.14	58.2	17.1	0.427	0.403
E	43.7	10.7	18.3	12.4	67.8	1.90	1.13	59.5	18.0	0.429	0.404
F	43.0	10.6	18.4	12.8	69.6	1.90	1.12	58.9	17.7	0.431	0.405
G	44.2	10.6	22.5	13.7	60.7	1.55	0.94	60.6	18.4	0.423	0.403
H	43.9	10.6	22.6	13.2	58.4	1.60	0.94	58.8	21.2	0.427	0.407
I	44.2	10.5	20.9	14.4	68.9	1.62	0.93	57.4	20.2	0.425	0.405

*1 全糖 *2 直接還元糖 *3 糖分解率 *4 全窒素 *5 水溶性窒素 *6 窒素溶解率

みその水分は42.2~44.6%、塩分は10.4~11.0%であり水分は仕込み時より低くなったが塩分は高めとなった。全窒素は大豆の配合割合の増加に対応し、麹歩合の少ない試験区では2.14~2.23%と高く、逆に麹歩合の多い区では1.55~1.62%と低い値を示した。

みその明るさを表すY%は仕込み直後の平均35.3から16~21まで低下した。熟成みそのY%は麹歩合が多いほど高く、同じ麹歩合でも麦より米の使用比率が多いほど高い値を示し、色調が淡色であった。このことから、麦に対して米の使用割合が多いほどみその色は白く、また麹に対して大豆の使用量が多くなると着色しやすくなることが確認された¹⁾。醸造物の着色にはペントースなどの五單糖あるいは麹に由来するヘミセルラーゼ活性の強弱等が関係することが知られている。今回の結果は大豆に存在する糖類が影響したものと考えられた。

熟成後のみそはいずれも良好な風味を有し、特に麹歩

合10歩の試験区で旨味や甘みが強く、香も優良であった。

熟成みその各麹歩合におけるでんぶんとたん白質の分解度（それぞれDS/TS×100、WSN/TN×100）について米と麦の配合比率ごとの結果を図1に示した。

麦の割合が多い試験区では糖成分、窒素成分とともに麹歩合が多い程分解率は高く、麹の多少による差が認められた。また、米の割合が多くなると窒素溶解率はほとんど差がないものの糖の分解率は高くなる傾向がみられた。このように米、麦麹の配合比率や麹歩合によって分解率に差が見られることは興味ある現象である。この原因としては米、麦のでんぶんの性質の違いによること、あるいは米麹、麦麹それぞれの麹の酵素活性の違いによるものなどが考えられる。今後、この点での解析を進めることにより合わせみその品質特性をより明確なものにすることができると思われる。

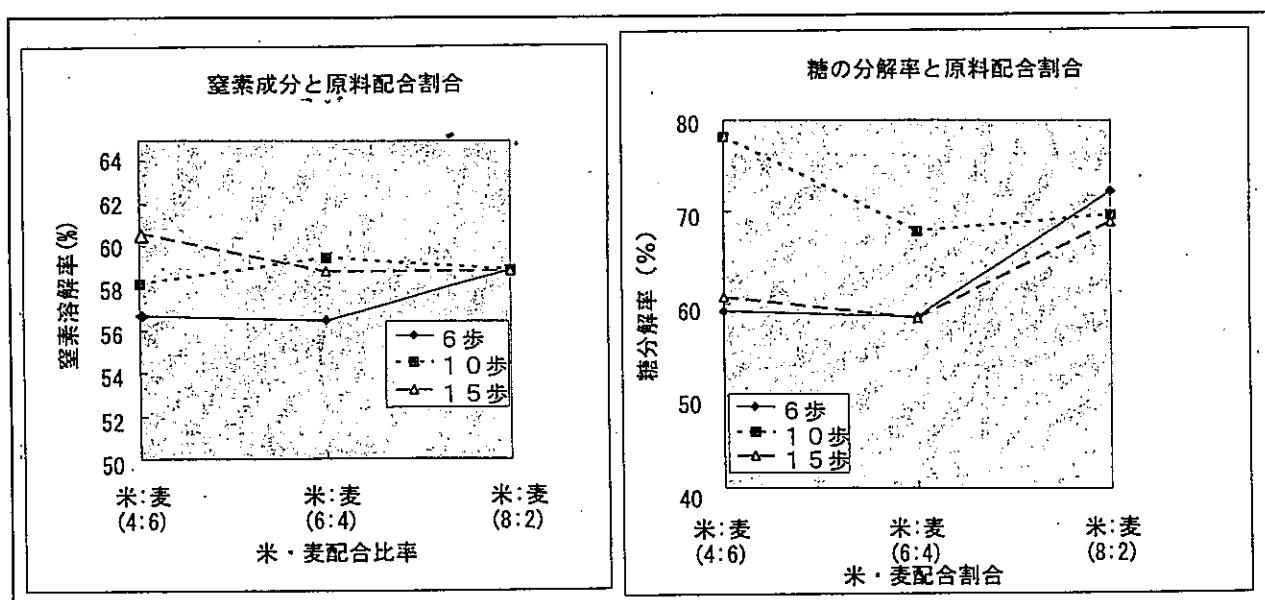


図1 原料配合割合と各成分の分解率

謝 辞

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御協力をいただきました。

特に、富永宏、池田郁夫（昭和商事（株））、下柿元篤（ホシサン（株））、山川俊助（山内本店（株））、坂本幸二（フンドーダイ（株））及び松永正秀（東肥醸造（株））の皆様には仕込み試験や分析などの御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, 2, 14(1992)
- 2) 松田茂樹、石田清和; 本誌, 32, 46(1994)
- 3) 松田茂樹、湯之上雅子、石田清和、浅野さとみ; 本誌, 19, 63(1981)
- 4) 全国味噌技術会; 基準味噌分析法, 10(1968)
- 5) 綾部浩太郎、島崎寿賀子、藤波博子、毛利光之、海老根英雄; 味噌の科学と技術, 37, 210(1989)
- 6) 栄倉辰六郎; 醤油の科学と技術, 311(1987)

省力型昇降座椅子の開発

石冰泰夫*・井戸泰男*・原口隆一**・藤田昌大***・高浜逸郎****・河崎功三*****

Development of Up-and-down Legless Chair of Labor-saving Type Using Air of Low Pressure.

Yasuo ISHIGORI*, Yasuo IDO*, Ryuichi HARAGUCHI**,
Masahiro FUJIA***, Ituro TAKAHAMA****
and Kouzou KAWASAKI*****

高齢者等の介護補助器具として使用する昇降座椅子を開発した。

開発した昇降座椅子は、座椅子の座面の下に2個のエアマットを配置し、コンプレッサーからの低圧のエアを電磁バルブで切り替えることにより、座椅子の座面の昇降と移動が可能となることが特徴である。

このようにエアを利用することにより高齢者等に適したソフトな動きを実現するとともに、座椅子のコンパクト化を図っている。また移動用のキャスターの出し入れができるため置等を痛めず、食事等の台を使用する作業がやり易くなる。

1. はじめに

高齢化社会の進行により、図1に示すように2020年に日本人の4人に1人が65歳以上となり、75歳以上の老人の人口も1500万人を越えると予測されている¹⁾。

このような状況の中で、歩行はできるが立った状態から座ったり、あるいは床に座った状態から歩行できる状態に立ち上がる事が困難な高齢者等が増加しており、介助者に大きな負担がかかっている。

現在、このような高齢者等を対象として各種の昇降座椅子が開発されているが、価格や機能性の面で問題があり、十分に普及するに至っていない。

そこで、当センターでは、空気圧を利用した簡単な機構で座椅子の昇降と移動を行うことができる昇降座椅子を開発したので報告する。

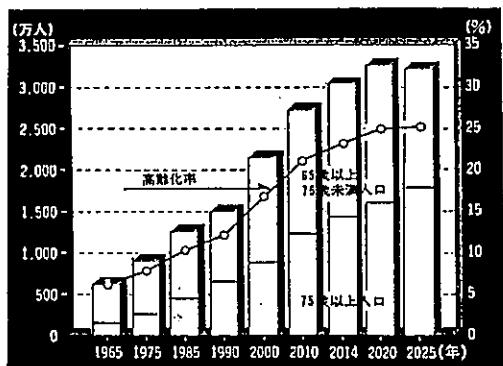


図1 高齢者の人口と高齢化率

2. 従来の昇降座椅子

昇降座椅子は従来各種開発されており、モータなどを使った駆動機構により座椅子を昇降する機構が多くみられるが、このような方式は定速昇降であるため、昇降の最初と最後で加速度が大きく、高齢者に適した機構とは必ずしもいえない。また、この方式では動力を伝達する機構が複雑となり価格が高くなる。更に、従来の昇降座椅子は座椅子の昇降のみを考慮して製作されたものが多く、座った状態で移動することが不可能であり、台の近くまでスムーズに移動ができず、食事をしたりものを書いたりするのに不便である。

3. 開発した昇降座椅子

今回開発した昇降座椅子（以下、「本座椅子」と称す）は、低圧の空気を座椅子の下の多段のエアマットに注入・排出することでエアマットを膨張・収縮させて座椅子を昇降する機構を有している。本座椅子は、エアマットによる昇降であるため、従来の昇降座椅子とは異なり、人体にソフトな昇降となり高齢者等に適している。また、制御用の空気は低圧であるため、安全性が高い。

本座椅子は安全上固定して使用するが、空気経路を切り替えることにより、いつもは座椅子の下に収納している走行用キャスターを出して、使用者が座った状態のままで移動できるようにしている。

図2に本座椅子の概略図を示し、動作仕様は以下のとおりである。

本座椅子は、座椅子1の下面にエアマット2及びエアマット3を配置して、コンプレッサー4からエア排出用電

* 生産技術部
** 情報デザイン部
*** 熊本大学工学部
**** 熊本工業大学
***** 八代工業高等専門学校

磁バルブ6、エア経路切り替え用電磁バルブ8を通じてエアマット2に空気を送り込むことによってエアマット2を膨らまし、その圧力で座椅子が上昇するようにしたものである。ただし、エアマットは座椅子を押し上げることはできても、支持することはできないため、座椅子の後ろにガイドポスト5を設けてそれに沿って昇降するようしている。

このエアマットは細い穴で通じた多層のエア層からなる(図3)。これはエアマットの中の空気の圧力は上下面だけでなく、側面にも圧力を及ぼすが、多層にすることにより側面強度を向上させるとともに、エアマットの伸縮時に形状が崩れないようにするためでもある。

座椅子の制御に関しては、上昇の場合座椅子に取り付けた昇降スイッチ7の上昇ボタンを押すことによりコンプレッサー4が作動し、座椅子が上昇する。上昇ボタンを離すことによりコンプレッサーが停止し、座椅子は停止する。再び上昇ボタンを押せばさらに上昇するが、ガイドポストに設けたリミットスイッチにより既定の高さに達すれば停止する。

下降の場合は、昇降スイッチ7の下降ボタンを押すことにより、電磁バルブ6が開き、エアマット2の空気が排出され、座椅子はゆっくりと下降する。途中下降ボタンを離せばそこで排出用バルブが閉じて座椅子は停止する。さらに下降ボタンを押し続けると座椅子は最後まで下降する。

一方、昇降スイッチ7の切り替えスイッチにより、電磁バルブ8でエアの流れをエアマット2からエアマット3に切り替えることができる。これによって、昇降スイッチの上昇ボタンを押すと、座椅子の下部に設置したキャスターが出て座椅子が移動できる状態にな

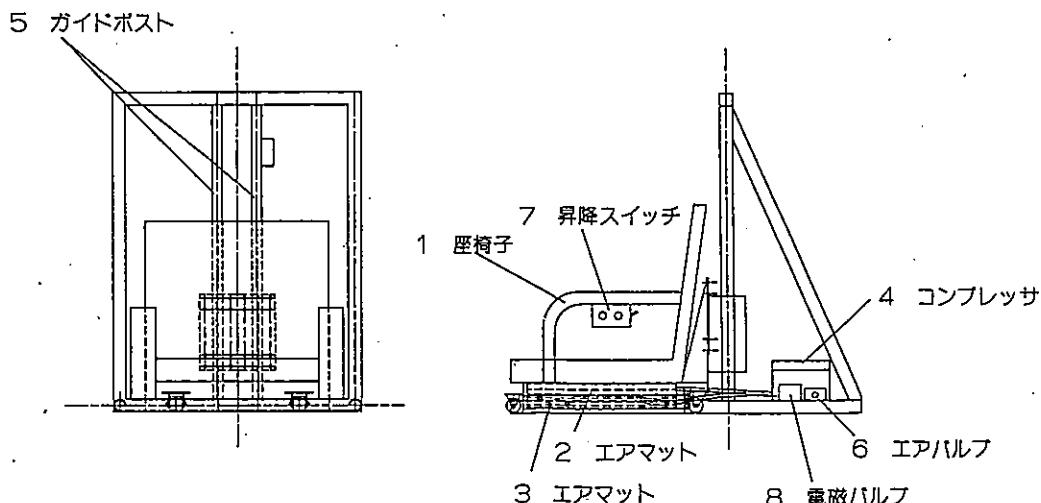


図2 開発した昇降座椅子の概略図

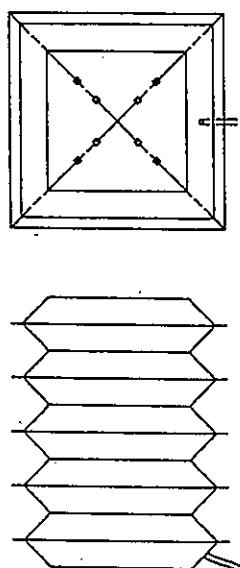


図3 多層エアマット

る。ここにもリミットスイッチを設けているので、キャスターが出ればコンプレッサー4が停止する。また、下降ボタンを押すことによりキャスターを保持しているエアマットは収縮しキャスターが収納され、座椅子は固定される。

なお、切り替えスイッチを切り替えた場合、切り替えられた側のエアマットは空気が排出されるようになっている。これは、座椅子が上昇したときは自動的にキャスターが収納され座椅子が固定されることにより、座椅子への乗り降り時の安全性を確保するためである。

図4は座椅子に座った状態を示し、図5は座椅子が上昇した場合の状態である。高齢者等はこの状態で椅子への乗降を行う。また、図6は座椅子全体が持ち上がり移動用のキャスターが出たところである。このキャスターにより椅子の移動を行うことができる。従来の昇降座椅子では座椅子の昇降のみを考慮しており、座ったままでの移動が不可能であるため、食事等において低い台を使用する場合には座椅子から離れて台に近づく必要があり、

不便であったが、本座椅子ではこのような作業がやりやすくなる。この場合、キャスターは座椅子の昇降時にはフレームの中へ収納され、転倒などの危険防止を講じるとともに畳等の床面の損傷を防ぐ等の特徴を持っている。



図4 昇降座椅子に座った状態

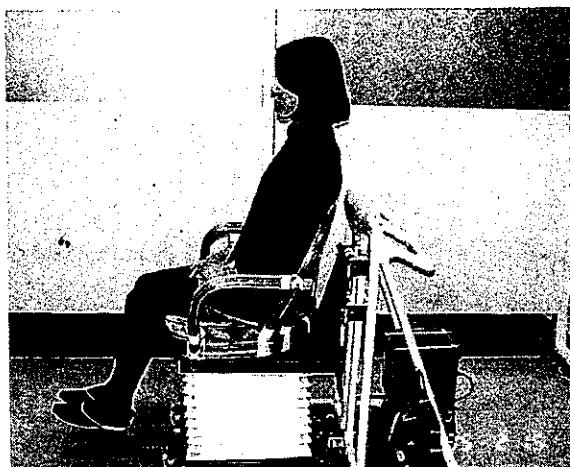


図5 昇降座椅子が上昇した状態

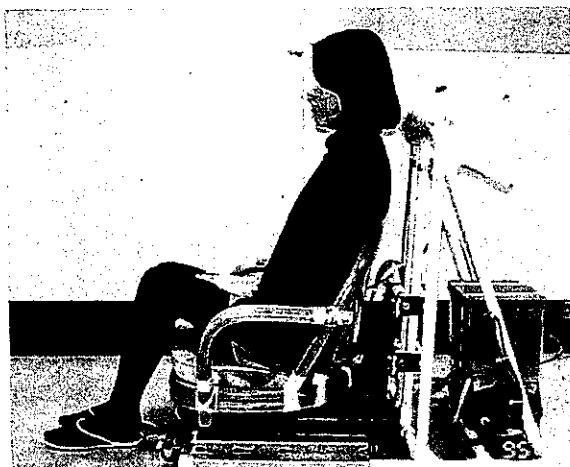


図6 移動用のキャスターが出た状態

4. おわりに

急速に進行する高齢化社会を迎える、福祉機器の開発要望は今後更に高まることが予想される。

福祉機器は量産化にはなじまず、多品種少量生産への対応が速い中小企業に適した製品である。中小企業がオリジナル製品を持ち、下請けからの脱皮を図ることは、県内中小企業の活性化を促す意味で重要なことである。

今回開発した昇降座椅子は、高齢者にやさしくしかも安全性を重視して設計されている。また、機構が簡単であるため製造コストが低く、県内企業での製品化ができるものと期待される。

今後は、今回開発した昇降座椅子にデザイン面を考慮し、更に使い勝手の良いものへと改良を加えることが検討課題である。

なお、本開発は平成7年3月29日に特許出願(特許平7-97750)を行っている。

最後に、本装置の製作に当たり協力いただいた中川電設(株)、(有)岡村鉄工所、(有)中川製作所、日の出テクノ工業各社に謝意を表します。

文 献

- 1) 通商産業省工業技術院外、ケルフェアテクノハウス技術研究組合医療福祉機器研究所1995, P. 2

編集委員

出納正道
河北隆生 土谷紀美
井戸泰男 納嶋克也
石松賢治

熊本県工業技術センター研究報告 第33号, 1995

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 (代表)
FAX 096-369-1938

印 刷 所 (有)米田印刷
〒862 熊本市坪井6丁目594
TEL 096-345-0150
FAX 096-345-2628
