

熊本県工業技術センター
研 究 報 告

第31号

平成 4 年度

REPORTS OF
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

No.31

1993

平成 5 年 12 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 31 号 (平成 4 年度) 平成 5 年 12 月

目 次

《研究報告》

3次元における実物モデルのCADデータ変換システム

----- 河北隆生・高橋孝誠・池崎雅宣・坂田俊一 ----- (1)

衝撃水圧の作用による球殻部品の精密成形

----- 石水泰夫・藤田昌大・伊東 繁
周 鉄硯・長野司郎・徳永健太郎 ----- (6)

新素材粉末の射出成形

----- 上村 誠 ----- (11)

TEMセルによるマイコンボードのイミュニティ試験

—— 電磁ノイズ対策技術に関する研究 ——

----- 上田直行 ----- (17)

TEMのインタフェース

—— 電磁ノイズ対策技術に関する研究 ——

----- 上田直行 ----- (24)

ニューラルネットワークによる画像認識

----- 重森清史・小山善文 ----- (31)

吟醸香生成能の高い焼酎酵母の育種

—— 細胞融合による醸造微生物機能の改良に関する研究 (第1報) ——

----- 土谷紀美・中川 優・西村賢了・木田建次
園田頼和・(熊本大学工学部) ----- (37)

無機質複合木材の耐候性

----- 永山賛平・大迫靖雄 ----- (43)

生石灰の焼成条件による性状

----- 末永知子・内野義登志・坂田一成 ----- (47)

《技術報告》

生産管理手法導入による金型生産工場の合理化

----- 坂本博宣・相澤 猛 ----- (51)

食品への高圧利用に関する研究 (平成2年度～平成4年度)

----- 林田安生・水上浩之・湯之上雅子・犬飼直紀
松田茂樹・西村賢了・林 力丸
(平成4年度 熊本県特別講師) ----- (55)

研究協力者 熊本県高圧食品研究会 (平成3年度)
共同研究者 浦島食品工業㈱ (平成4年度)
千代の園酒造㈱ (")

REPORT
OF
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

No.31 (1992.4~1993.3) Sep.1993

CONTENTS

《Report》

- 3D Conversion System of the Object for the CAD System
Takao KAWAKITA, Kosei TAKAHASHI, Masanori IKEZAKI, Shun'ichi SAKATA (1)
- Explosive Precision of Sphere Shell Parts Using Underwater Shock wave
Yasuo ISIGORI, Masahiro FUJITA, Shigeru ITO, Tie Yang ZHOU, Shiro NAGANO,
and Kentaro TOKUNAGA (6)
- Injection molding of new material powders
Makoto UEMURA (11)
- Immunity Test of Microcomputer Board by Transverse Electro Magnetic Cell
— Studies on Countermeasure Technology of Electro Magnetic Noise —
Naoyuki UEDA (17)
- Interface of Transverse Electro Magnetic Cell
— Studies on Countermeasure Technology of Electro Magnetic Noise —
Naoyuki UEDA (24)
- Image Recognition by Neural Network
Kiyoshi SHIGEMORI, Yoshifumi OYAMA (31)
- Breeding of Shochu Yeast with a Good Performance of Production of Aroma and
Flavour Components
Kimi TSUCHIYA, Masaru NAKAGAWA, Kenryo NISHIMURA, Kenji KIDA,
Yorikazu SONODA (37)
- Studies on Weatherproof of Inorganic Composite Wood
Sanpei NAGAYAMA, Yasuo OHSAKO (43)
- Properties of Quick Limes Obtained Under Different Conditions of Calcination
Tomoko SUENAGA, Yoshitosi UCHINO, Issei SAKATA (47)

《Technical Report》

- The Application of Production Control Method to the Rationarization of the
Die Manufacturing Factory
Hironobu SAKAMOTO, Takeshi AIZAWA (51)
- Application of Ultra-high Pressure to food Processing
Yasuo HAYASHIDA, Hiroyuki MIZUKAMI, Masako YUNOUE, Naoki INUKAI
Shigeki MATSUDA, Kenryo NISHIMURA, Rikimaru HAYASHI (55)

3次元における実物モデルの CADデータ変換システム

河北隆生*・高橋孝誠**・池崎雅宜**・坂田俊一***

3D Conversion System of the Object for the CAD System

Takao KAWAKITA* , Kosei TAKAHASHI** , Masanori IKEZAKI** , Shun'ichi SAKATA***

[概要]

本研究では、自由曲面を有する実物モデルからCADデータを生成するシステムを構築した。本システムは、3次元測定機で実物モデルを測定し、測定した点列データをもとに作成した面データからCADデータを生成するものである。

従来、実物モデルの加工には、倣い方式で対応していたが、本システムを使用することによりCADデータとして取り扱えるため、部分修正や変更への対応、加工効率の向上、データの再利用などが可能となった。

また、本システムを評価するため、3次元測定機から得られた実物モデルの実面とCADデータの面モデルの照合を行うシステムも構築したが、この評価システムを使用することで、CADシステムで作成したモデルをもとにしてNC加工された製品を定量的に評価することも可能となった。

1. はじめに

近年、ユーザ嗜好の多様化にともない製品形状が複雑になってきた。特に家電製品、自動車部品などは、複雑な自由曲面を持った製品が増加している。

自由曲面を有する製品では、意匠性が重要視されるため、木型などの実物モデルによる型承認を行っているのが実状である。型承認を得るには、微妙で感覚的な手修正を加える必要があるため、修正をCADデータへフィードバックすることは不可能である。そのため、加工は、倣い方式で行うのが通常である。ここで、再度モデル形状をCADデータとして再現できれば、加工精度や加工効率の向上、あるいは再利用が図られる。

そこで、本研究では、3次元測定機で自由曲面を測定し、3次元CADデータを生成することで、図

形編集とNC加工データ生成ができるシステムを構築した。

本システムの特徴は、より高品質なCADデータを生成するため、3次元測定機から得られた測定データをもとに面データを作成し、CADシステムへ転送したことである。

2. システム概要

本研究で構築したシステム構成を図1に示す。

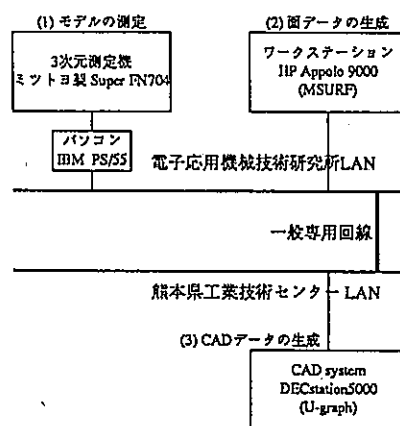


図1 システム構成

*情報デザイン部

**生産技術部

***電子応用機械技術研究所

本システムの処理手順は、次のとおりである。

- (1) 3次元測定機（ミットヨ製 Super FN704）による実物モデルの倣い測定
- (2) ワークステーション（HP Appolo9000、面作成ソフトウェア：ミットヨ製 MSURFと新規作成ソフトウェア）での測定データから面データの生成
- (3) 面データのCADシステムへの転送
- (4) CADシステム（DECstation5000、CADソフトウェアU-graph、CAD生成ソフトウェアは新規作成）での面データからCADデータの生成

本システムは、コンピュータネットワークで全ての機器とワークステーションを接続した。また、電子応用機械技術研究所と当センター間は、専用回線により接続されている。これにより、データ転送は、コンピュータネットワークを介して行われる¹⁾。

3. 実物モデルの測定

3次元測定機による実物モデルの測定は、接触式の倣いプローブを使用した。

座標点の測定は、まずX軸を固定し、Y軸方向に倣いプローブを一定間隔で移動させ、次にX軸方向に一定間隔で移動させながら、繰り返し座標点を測定することで、自由曲面全体の3次元座標点を得ることとした。

本研究で使用した3次元測定機は、倣い速度やデータサンプリング周期などを設定することで、自動測定ができる。

図2には、写真1右側のモデルから取り込んだ測定点を示す。測定は、Y軸方向に倣い測定を行ったものである。測定データは、サンプリングピッチ（Y軸方向）を1mm、各スキャンライン間隔（X軸方向）を5mmに設定した。

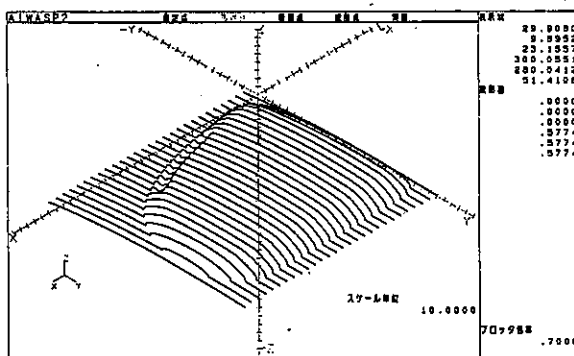


図2 測定点

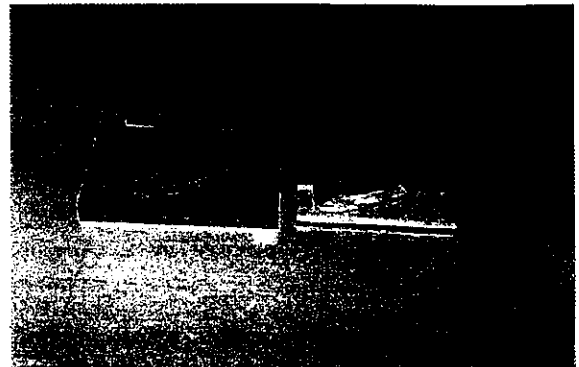


写真1 実物モデル（右側）とNC加工試作品（左側）

4. 面データ生成

CADへは、3次元測定機で得られた単なる位置ベクトルである点列データではなく、面モデルを生成し、面データとして転送することとした。この理由は、点列データはCADの面生成アルゴリズムに左右され、オリジナルな面の精度が保証されないことがあるためである。

CADデータへの変換は、IGES(Initial Graphic Exchange Specification)規格²⁾の中間ファイルを使用せず、直接変換方式とした。IGESは、異機種CAD間のデータ交換のための規格であり、あらゆる業種のCADの最大公約数で決められており、変換効率や確実性を考慮して直接変換方式を選択した。

また、CADシステムへ転送する面データは、本システムで使用したCADソフトウェアU-graphで最も実績があるCoons面（スカルプチャ面）を生成し、ネットワーク経由で転送することとした。

本システムで行う面生成手順は、次のとおりである。

- (1) 測定点から測定面の生成
- (2) 実面の生成
- (3) Bézier面³⁾生成
- (4) Coons面^{3) 4)}データ生成

なお、測定面生成、実面生成、Bézier面生成は、3次元測定機専用のソフトウェア（ミットヨ製、MSURF）の機能を用いたが、Coons面データの生成については、専用ソフトウェアを新たに作成した。

4. 1 測定面の作成

測定面は、まずスキャンライン方向に測定点列

6. 1 CADデータとの照合

照合は、CADデータ変換後の面モデル上の任意の位置に点を複数個作成し、この点を照合点として実物モデルの実面と比較を行った。

照合計算は、3次元測定機専用のソフトウェア（ミットヨ製、MSURF）の機能を用いて行った。この時に使用するCADデータの照合点は、今回作成したインターフェイスプログラムを使用し、CADデータから抽出した。

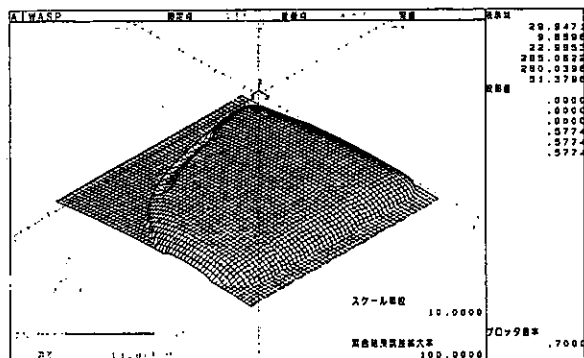


図5 実物モデルの実面とCAD面モデルとの照合結果

図5は、実物モデルの実面とCADの面モデルとの照合結果である。照合は、法線方向で、23点の比較値である。誤差は、最大0.03998mm、最小0.00069mmであった。誤差の傾向は、中央部の曲率変化が小さい部分ではゼロに近いが、端面の曲率変化が大きい部分での誤差が大きい。この原因は、面生成アルゴリズムの違いが影響していると考えられる。

6. 2 NC加工試作品との照合

ここでは、CADデータから生成したNCデータをもとにマシニングセンターで試作品を加工し、照合を行った。

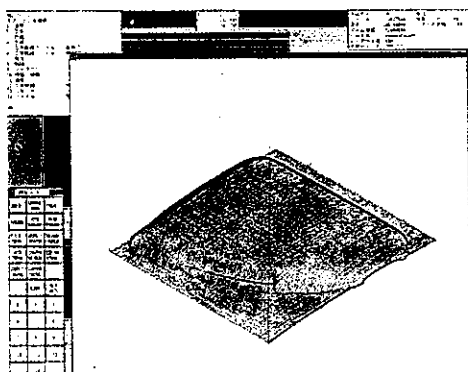


図6 NC加工試作品のカッターパス

図6は、試作品のカッターパスである。通常では、荒加工、中仕上げ、仕上げ用のデータが必要であるが、この図では仕上げ用のパスを示している。

試作材には、試加工専用樹脂を使用した。加工には、荒加工に直径8mmのボールエンドミル、仕上げ加工（仕上げ代1mm）に直径4mmのボールエンドミルを使用し、スカラップハイト0.035mm設定での往復切削を行った。仕上げの加工条件は、回転数3,000rpm、切削送り600mm/min、加工時間は、約4時間であった。写真1は、加工した試作品（左側）と木型のモデル（右側）を示す。

照合は、加工した試作品を3次元測定機による微い測定の結果から実面を生成し、その実面上に照合点を発生し、実物モデルの実面と比較を行った。図7には、照合結果を示す。

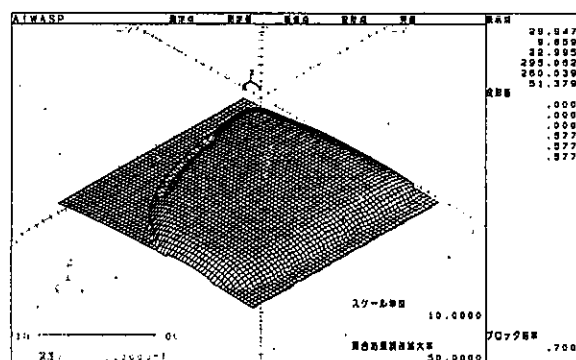


図7 実物モデルの実面とNC加工試作品との照合結果

照合は、法線方向で、118点の比較値である。図中の線は、誤差ベクトルを表している。

誤差は、最大0.36184mm、最小0.00051mmであった。誤差の傾向は、CADモデルとの照合と同様に端面の曲率変化が大きい部分で多く発生している。NCデータ生成時の誤差、加工上の誤差（試作材の取り付け、切削送りが大きいためサーボ遅れ）などが考えられるが、今後、実験を重ねて、誤差についてさらに検討を加えていきたい。

7. おわりに

本研究では、3次元測定機で自由曲面を測定し、3次元CADデータを生成することで、図形編集とNC加工データ生成ができるシステムを構築した。

また、本システムを評価するため、3次元測定機から得られた実物モデルの実面とCADデータの面モデルの照合を行うシステムも構築したが、この評価システムを使用することで、CADシステムで作成したモデルをもとにしてNC加工された製品を定量的に評価することも可能となった。

自由曲面を有する金型製作においては、意匠性の承認もあるため、実物モデルの製作は必要不可欠である。そのため、多くの工場では、実物モデルによる做いデータとCADデータが混在しているのが現状である。今後、加工効率を向上させるためには、実物モデルとCADを融合させることが重要であると考えられる。

今後の課題としては、対応可能なCADの拡大、製品への適応を含めたデータの蓄積などである。

参考文献

- 1) 河北隆生：slipによる遠隔地組織とのコンピュータネットワーク接続、P10-17、熊本県工業技術センター研究報告No.30、1992
- 2) 中村正幸：IGESファイルの概要、P109-205、日経コンピュータグラフィックス、1992.7
- 3) G. Fain著、木村文彦監修、山口泰監訳：CADのための曲線・曲面理論、P1-8、P245-252、P254-255、共立出版、1991
- 4) U-graphユーザファンクション取扱説明書、P9-16、P9-9、セイコー電子工業、1991

衝撃水圧の作用による球殻部品の精密成形

石水 泰夫*・藤田 昌大**・伊東 繁**

周 鉄硯**・長野 司郎**・徳永 健太郎***

Explosive Precision of Sphere Shell Parts Using Underwater Shock wave

Yasuo ISHIGORI* Masahiro FUJITA** Sigeru ITO**

Tie Yang ZHOU** Siro NAGANO** and Kentaro TOKUNAGA***

概要

本研究は、衝撃液圧を利用して球殻部品の精密成形を行うことを目的とした。

衝撃液圧を利用する場合は、金属板を高速で型に衝突させるため、スプリングバックが生じにくく精密な成形が可能である。実験においては、衝撃液圧を利用してまずgather forming法により半球殻部品を製作し、次にその半球殻部品から球殻部品をワイヤカットにより切り出し、これを凸型成形法により仕上げ成形を行った。

Gather forming法による半球殻の成形では、型及び試料の弾性変形のために回収された試料は型よりはみ出した形状となり、試料の板厚ひずみ分布は外周部付近で急に増大する傾向がみられた。

凸半球型を用いる仕上げ成形では、中央部は過大な曲げを生じ、外周部は圧力不足により曲げ変形が不十分となる傾向がある。しかし、試料の上にゴム板を介在させ、その上部から金属板で叩く方法によってこの傾向はかなり改善され、球殻部品の曲率半径が設計値の20mmに対し、20.34mm以内で成形を行うことができた。

1. 緒言

球殻部品のような特殊形状の高精度部品を成形する必要がしばしば生じるが、現場的に解決される例が多く、系統だった研究例はほとんど見当たらない。爆発成形は、型表面形状の転写性に優れていると言われるものの、部品全体の形状を精密に成形しようということになると、変形機構も十分に考慮しながら精度向上のための工夫を施さなければならない。本研究では、gatherforming法¹⁾を利用した半球殻成形と凸型成形法を利用した内面の球面精度向上のための仕上げ成形の2つの段階の爆発成形を取り上げ、それぞれの成形法における成形性の問題点を明らかにし、精度向上の

ためにどのような工夫を施したら良いかなどの観点から検討を行った。

2. 実験方法

2.1 製作工程

製作対象とする部品を図1に示す。先ず図2に示す装置でgather forming法によって半球殻部品を製作した。製作された半球殻部品から図1に示す形状をワイヤカットによって切り出した。このようにして作られた部品は十分な形状精度を持っていないので、それを図3に示すような凸半球型を用いた爆発成形によって仕上げ成形を行った。

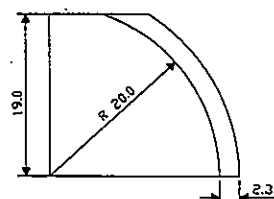


図1 球殻部品 (1/4球器)

* 工業技術センター生産技術部

** 熊本大学工学部

*** 銜アトム精機

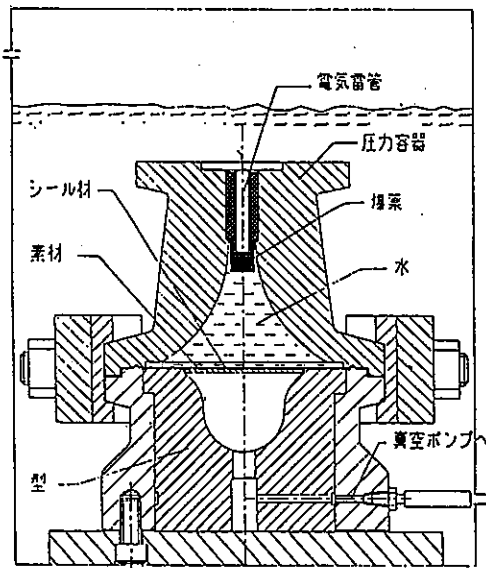


図2 Gather forming 用実験装置

図3の方法を実施する際に、型室と水圧室を分離するためにビニールシート（0.2mm厚さ）を用いたが、ビニールシートは型室を真空にする際、試料に密着するまで膨らむので、結果的には試料は水中衝撃波の作用を直接受けることになった。この仕上げ成形の段階では成形を良好に行うためのゴム板を試料の上におき、型室と水圧室の分離のために0.5mm板厚のアルミニウム板を用いることも試みた。

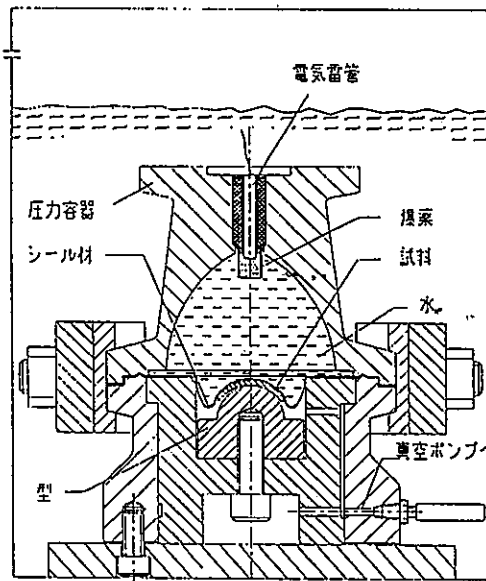


図3 仕上げ成形用実験装置

2. 2 使用した水圧容器

衝撃水圧の発生のために、図2に示している双曲線断面形状を有する水圧容器（以下容器Aと呼ぶ）と図3に示している放物線断面形状を有する水圧容

器（以下容器Bと呼ぶ）の2通りの容器を用いた。いずれの容器でも爆薬は図2、3に示すように容器の上部に配置し6号電気雷管で起爆した。

使用した爆薬はPETNとパラフィンを混合したもので、パラフィンの可塑性により適当な形状に成形して使用できる。1回の実験で使用した薬量は約3グラムである。

これら2通りの水圧容器を用いた場合、板面に到達する水中衝撃波の圧力分布に典型的な相違が生じる。容器Aを用いた場合、板の中央部で高い圧力を生じ、外周へ向かうに従って直線的に低下する。一方、容器Bを用いた場合には、板面の全面にわたってほぼ均等な圧力分布となる。このような衝撃圧分布の相違は、板の変形機構に典型的な相違をもたらす。

実験では、これら2つの容器を2段階の爆発成形に適用し、変形機構の相違が2つの爆発成形についてどのような効果をもたらすかを検討した。

2. 3 試料及び型

実験に用いた試料はSPC1で、板厚は2.3mmである。gather forming用の型はS55Cで製作したが、球面部の曲率半径は25mmである。

開口部の半径は、球面部の表面積が成形前の開口部の円形平板の面積と等しいと考える（変形前後で板厚の変化が小さい）と球面の曲率半径の2倍である。実際にはそれより若干大きくし開口部直径を74mmとした。型半球部の底部には直径10mmの孔を設けている。これは後の切断工程を精度良く行うためのものである。仕上げ成形用の凸半球型はSKD11で作製、焼き入れ、焼きもどし処理を行っている。この型の曲率半径は20.0mmである。Gather forming用の型で作られる試料とこの凸半球型の関係を示すと図4のようになる。

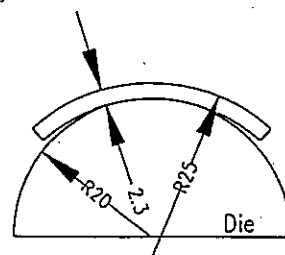
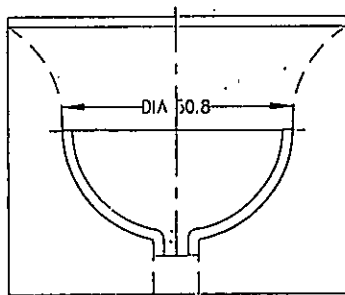


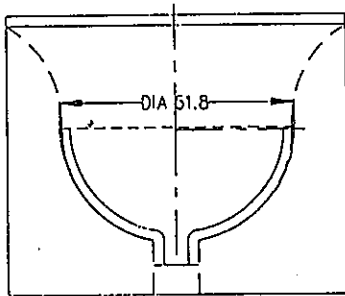
図4 Gather forming 法で得られた試料と凸半球型

このように第1段階の成形で作られた試料は仕上げ形状に対してかなり浅い曲げ形状となっているが、これは第2段階の仕上げ成形の効果をより明らかにするためである。

各成形段階で製作された試料は形状測定器 (Kosaka Laboratory Ltd, EF-10) によって測定し、型の形状と比較した。第1段階では試料の中央を通る1つの子午線において外面の形状を測定したが、第2段階では成形の前後において1つは試料の中央を通る子午線に沿い、他の1つは半球の赤道面の極近傍の円周方向に沿って、内面の形状を測定した。



(A) 容器Aで得られた結果



(B) 容器Bで得られた結果

図5 Gather forming法で得られた半球殻の形状

3 実験結果及び考察

3.1 Gather forming法による半球殻成形

図6はgather forming後の板厚ひずみ分布を示している。図中(A)は容器Aを用いた場合の結果であり、(B)は容器Bを用いた場合の結果である。いずれの場合にも回収された試料は型の形状より外側に若干はみ出した形状を有している。これは試料の底部に貫通した孔が見られるように、最下部まで達し密着成形されたものの、型から取り除いたときのスプリングバックによるものである。

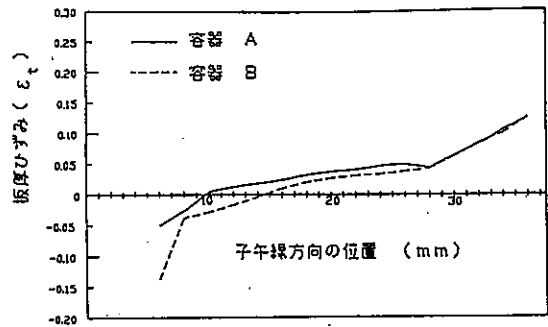


図6 Gather forming後の板厚ひずみ分布

爆発成形の場合、起爆の瞬間高い圧力値を持ち継続時間の極めて短い水中衝撃波が誘起され、それが先ず板面に達して板は高速で下方へ変位し始め変形が開始する。この高速の変形によって板面状にキャビテーションが発生し、それと爆ごうガスの持つ膨張エネルギーが呼応するような形で水が板面状に高速で流入し、その水撃作用により変形が促進されると一般に言われている。

このgather formingの過程では成形量が深いために、第2段階の爆ごうガスの膨張エネルギーによる変形がかなり大きく関与していると推測される。その段階の圧力作用は極めて緩やかであり、静的な液圧バルジ成形と類似の変形形態であると見なされる。さて、半球殻部へずれ込むのはこの段階であると判断されるが、その時外周部はずれ落ちるに従って円周長さが縮まなければならないので、試料は型壁面から内方へ強い圧縮力を受ける。その反作用として、試料の外周部は型を外側に押し広げようとする内部応力が発生する。したがって、取り出された試料は型の拘束がなくなるため、型の元の輪郭より大きめの開口部直径に成形されることになる。

ところで(A)と(B)の結果の相違は、初期段階の衝撃圧分布の相違に基づく変形機構によってもたらされたと判断される。また、図6に示す成形後の試料の板厚ひずみ分布は各容器とも同様な傾向が認められるが、容器(B)の板厚ひずみが若干低い傾向がある。これらの変形機構については今後数値解析などの方法で詳細な検討を進めていきたいと考えている。

3. 2 凸半球型を用いる仕上げのための爆発成形の結果

図7は仕上げ成形前の試料の形状を示し、図8は仕上げ成形後の試料の変形形状を示している。

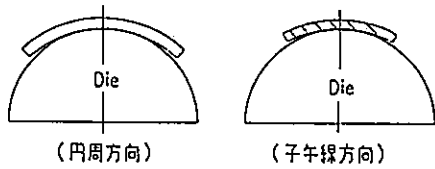


図7 仕上げ前の試料の形状 (板厚2.3mm)

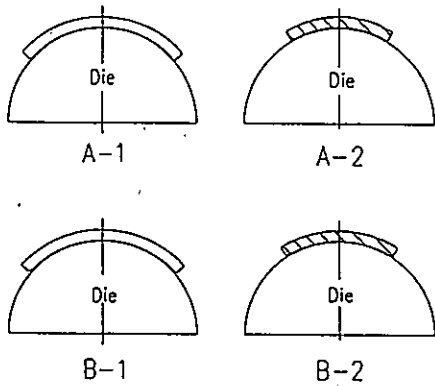


図8 仕上げ成形後の試料の形状

仕上げ成形の実験では型室と水圧室を分離するシール材に0.2mm厚さのビニールシートを用いているので、水中衝撃波の圧力はあらかじめ変形している試料面に直接作用している。図8のうち(A-1)、(A-2)は容器Aを用いた場合の子午線に沿った方向と円周方向の内面形状であり、(B-1)、(B-2)は容器Bを用いた場合の結果である。図7と図8を比べると分かるように、この仕上げ成形によって型にかなり密着した変形がなされており、うまく工夫すれば全面を密着させることも可能ではないかと考えられる。しかし変形形状を詳細に検討すると、容器Aを用いた場合円周方向についてはほぼ型に密着した形状が得られているのに対して、子午線方向には型の曲率よりも大きい曲げを生じ、中央部が浮き上がった形となっている。また、容器Bを用いた場合には、子午線方向では型にほぼ密着した形状に曲げられているが、円周方向の曲げは若干不足気味で外周部は型に密着できていない。このように、中央部ではspring goと言えるような過大な曲げを生じる傾向があり、外周部では圧力作用が不足気味で型

に密着できない傾向がある。また、円周方向と子午線方法では長さが異なるために、曲面の曲げ曲率が異なる。これは水中衝撃波が試料の全面に同時に作用するのではなく、先ず中央凸頂上部に達し次第に外方へ移動すること、そして試料は、あらかじめ上に凸の曲率を持っているために水中衝撃波の入射角が次第に変化し、外周部では圧力作用が低下することなどに起因していると推察される。

これらの変形の不具合を是正するためには、外方が曲げ作用を生じているとき、中央部の圧力作用が十分に残っていて押さえ力が働いていることが必要であり、外周部においても十分な変形がなされるようエネルギー(圧力)を分配する工夫が必要である。その1つの工夫として厚さ5mmのゴム板を試料上に置き、これを0.5mm板厚のアルミニウム板で押さえるようにして試料の変形を促進する方法を考案した。図9にその実験装置を示す。

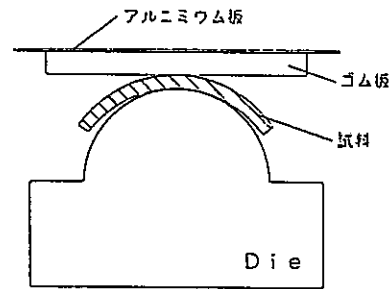


図9 ゴム板を使用した仕上げ成形法

この方法で実験した結果、型にほぼ密着した部品が得られた。ゴム板の介在によって圧力分布の平均化と継続時間の延長及び外周部における圧力作用が増大する効果もたらされたと推察される。しかし、正確に言えば、子午線方向と円周方向の曲率半径がそれぞれ20.34mmと20.00mmとなっていて若干の相違があり、まだ全面が完全に密着している訳ではない。今後ゴム板の働きも含めて変形経過の数値解析などを行いながら形状精度向上へのアプローチを図っていきたいと考えている。

4 結 論

本研究ではgather forming法による半球殻の成形及び凸半球殻を用いた内面を球面に仕上げるための爆発成形を行った結果、次の点が明らかになった。

(1) Gather forming法による半球殻の成形では、型及び試料の弾性変形のために回収された試料は型よりはみ出した形状となる。また、試料の板厚ひずみ分布は赤道部外周部付近で急に増大する傾向がある。

(2) 凸半球型を用いる仕上げ成形では中央部は過大な曲げを生じ、外周部は圧力不足により不十分な曲げ変形に終わる傾向がある。

(3) 試料の上にゴム板を介在させ、その上部から金属板で叩く方法によって(2)の不具合な傾向はかなり改善される。

最後に、実験に当たっては爆薬の使用について御指導頂いた熊本大学衝撃エネルギー実験所の石谷幸保助手に謝意を表します。

(文献)

- 1) J. Norris and A. Cossa: Proc. 2nd Int. Conf. of the Center for High-Energy Forming, pp9.2. 1~9.2.28 (1969)

新素材粉末の射出成形

上村 誠*

Injection molding of new material powders

Makoto UEMURA

【概要】

粉末射出成形の基本プロセスである混練、成形、脱脂、焼結の各工程について、その基礎技術を確認するため、金属及びセラミックスの微粉末を原料とし、それに結合剤（バインダー）としてワックスとアクリル樹脂の混合物を加え、真空中で加熱混練することにより、射出成形原料を作製し実験を行った。

その結果、射出原料の作製には、粉末冶金的な手法がかなり有効であること。原料が金属粉末の場合、真空脱脂（脱バインダー）が効果の大きいことが分かった。

1 はじめに

我が国の新素材微粉末の開発・製造技術は世界的水準にあるが、その用途や製品化のための成形技術は一部材種を除いてまだ開発途上にある。

粉末原料を用いた射出成形法はニアネットシェイプ成形ができることから、精密鑄造法に次ぐ次世代の成形法として、近年益々注目されている。

現在、この方法で実用化されている材料は、ステンレス合金や一部のセラミックスだけであり¹⁾、その市場規模はまだ小さい。しかし、この技術は原料のほぼ100%を利用でき廃棄物が出ないこと、製造過程で騒音や振動が発生しないことから、素材産業にありがちな3Kを克服できるプロセス技術として注目されており、今後この技術の利用がより盛んになることは確実である²⁾。

最近民間の研究開発によって、粉末射出成形に関する周辺技術の進歩が著しく、粉末専用の射出成形機が登場してきた³⁾。また、粉末の進歩も著しく、焼結体の密度向上や焼結温度低下などの成果が生まれている。しかし、まだ応用範囲が狭く

今後の研究開発に期待されるところが大きい。

そこで、本研究では、成形の基本プロセスである粉末原料の混練、脱脂、焼結における特性把握と新素材開発への粉末冶金的手法の応用を目的として検討を行った。

図1に粉末射出成形の全体フローを示す。

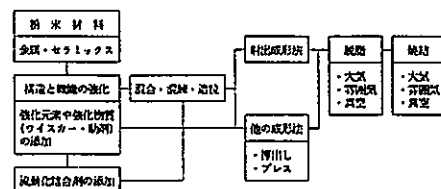


図1 粉末射出成形の全体フロー

2 実験方法

2.1 供試材料

供試材として用いたセラミックス粉末、金属粉末の種類とその組成・粒度・用途を表1に、また、使用した金属粉末の粒度分布を図2～図6に示す。

* 生産技術部

表1 供試材料の組成と粒度 (分布)

材料	組成	粒度・粒度分布	性質・用途
ZrO ₂	5.11% Y ₂ O ₃	粒度 ≦ 0.2 μm	1000 級程度の高温に耐え十分な強度をもつ。高価耐熱材料
SiC	-	-	研削砥石、耐火物、抵抗熱体として使用。高価耐熱材料
Al ₂ O ₃	≧ 99.99%	平均粒度 0.1 μm	耐熱、耐摩耗、耐薬品、機械的性質に優れ、電子材料、耐火材料、光学材料、耐熱材料、生体材料、人工宝石として使用
SiC 94%	-	-	耐熱性、耐薬品性高い。酸化性雰囲気でも使用可。金属との反応性低く、脆性、比重大
Si ₃ N ₄	Fe=0.11% Al=0.12% Ca=0.006% Mg=0.004% O=1.7% C=0.05%	#1 3.07 0.9% #5 3.07 6.9% #2 3.07 23.9% #1 3.07 37.9% #0.5 3.07 59.9%	高弾性率、低熱膨張率、耐摩耗性、高強靱材料。高価耐熱性化の克服が課題
純Ti	≧ 99.9%	平均粒度 21.4 μm 粒度分布: 図6	粉末原料による製品実用例少
Cu	電解	≧ 99.9%	粒度分布: 図3
	水 777A	≧ 99.9%	粒度分布: 図2
	Arガス 777A	≧ 99.9%	粒度分布: 図4
SUS 316L	Cr=17.0% Ni=12.0% Mo=2.5%	平均粒度 8.5 μm 粒度分布: 図5	耐食性優、精密機械部品、特殊品

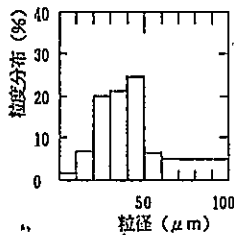


図2 水アトマイズ Cu 粉の粒度分布

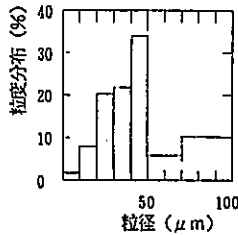


図3 電解 Cu 粉の粒度分布

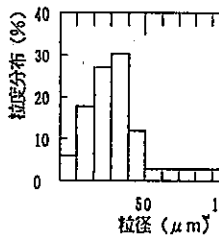


図4 Arガスアトマイズ Cu 粉の粒度分布

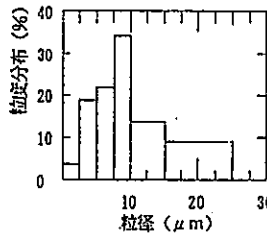


図5 SUS316L 粉の粒度分布

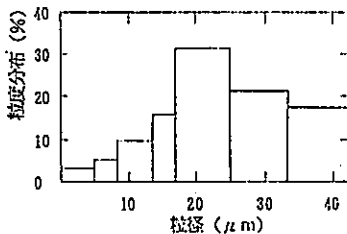


図6 純 Ti 粉の粒度分布

2. 2 結合剤 (バインダー)

市販のワックスと熱可塑性樹脂を1:1に混合し結合剤とした。ワックスは、中京油脂(株)製のNE-119を、樹脂は、三菱レーヨン(株)製のアクリル系樹脂BR105を使用した。

2. 3 成形体の寸法形状

成形体の寸法形状を図7に示す。これは(財)素形材センターにおける金属粉末射出成形に関する標準化試験法研究会で定めた材料評価のための引張試験片形状である⁴⁾。

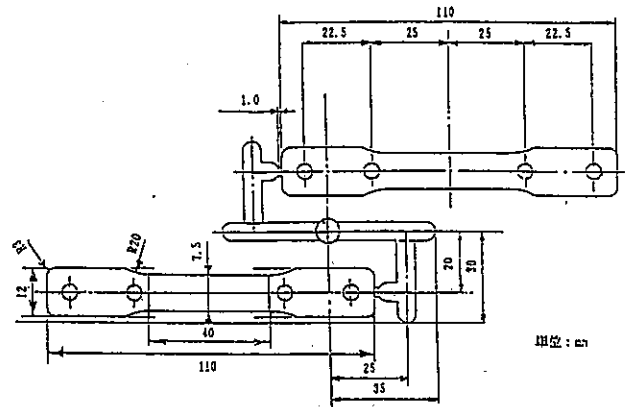


図7 成形体の寸法形状

2. 4 混練方法

実験に使用した混練機は、ウイスキーなど特に均一混合が困難な原料には、オムニミキサー(TIYODA & GAR-BRO製 OM-5)を、その他の原料については、万能混合攪拌機(三英製作所製 5MV-r)を使用した。混合機と混練機の模式図を図8に示す。単一粉体で射出成形原料を製造する際の一般的な工程図を図9に示す。なお、異種粉体、強化元素、繊維(ウイスキー)などを添加する場合は、混練法や前処理に工夫が必要となる。



図8 使用混合機と混練機の攪拌

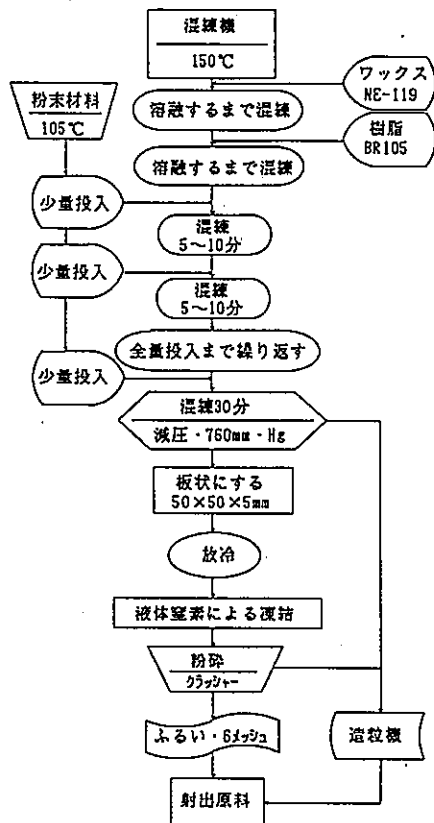
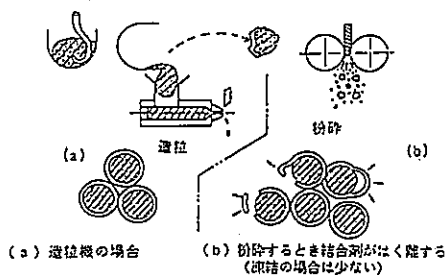


図9 射出成形原料製造工程図

まず、必要な組成に調合した粉末原料の除湿と溶融結合剤に投入した際に複数粒子のブリッジ形成、凝集などによる空隙発生を防ぐため、105～120℃で十分に(12時間)予熱を行った。

次に、真空にした湿練機内で完全に溶融させたワックスに、ハンドリング強度をもたせるために熱可塑性のアクリル系樹脂を投入、十分に混合調製した後、予熱した粉末材料を少量ずつ投入した。湿練を終了した原料は、冷却粉碎後ふるいに掛けペレットサイズを合わせた。混合物の造粒と粉碎の模式図を図10に示す。



(a) 造粒機の場合 (b) 粉碎するとき結合剤がく離する(取捨の場合は少ない)

図10 混合物の造粒と粉碎

最初に異種材粉末の均一分散を目的として、物理的性質の異なるSUS粉末とAl₂O₃粉末の湿練を、次にZrO₂粉末とSiC粉末、ZrO₂粉

末とSiCウイスキー(短・長繊維)、Si₃N₄粉末とSiCウイスキー、金属の異種材料としてCu粉末と純Ti粉末について湿練実験を行った。

異種材料を湿練する場合は、投入順序によって造粒したときのペレット性状が異なることも考えられるので、投入順序とペレット性状の関係についても検討した。

2.5 脱脂・焼結

温度と昇温速度、保持時間の外に、蒸気圧や炉内雰囲気と同時に制御したときの脱脂効果について検討した。これらの因子は粉末の種類や粒形、粒度分布によって異なると思われるので、前述の引張試験片の形をしたサンプルを用いて、各種条件下で脱脂を行った。

図11はZrO₂の脱脂・焼成パターンであり、通商産業省・工業技術院・名古屋工業技術試験所で行われている方法である。

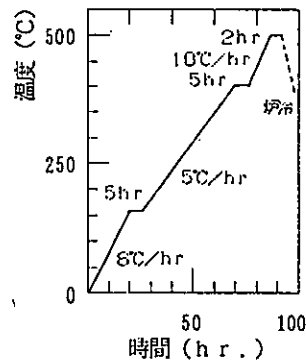


図11 ZrO₂粉の脱脂・焼成パターン

図12は結合剤(バインダーX1)を単体で加熱脱脂したときのTG-DTA曲線であり、これから大気中での熱反応を読み取ることができる。

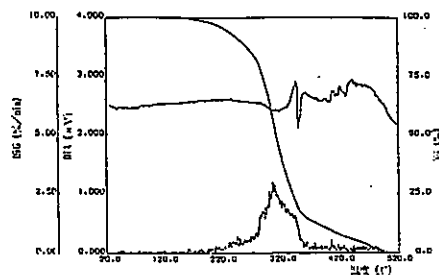


図12 バインダーX1のTG-DTA曲線図

効率の良い脱脂条件を確立するために、まず様々な粒形と粒度分布を持った粉末の脱脂挙動を検討することとし、Cu粉末を用いて示差熱分析を行った。

次に、脱脂がどのような因子に最も影響を受け

るのか把握するために、N₂ガス、H₂ガス、真空（減圧）の各雰囲気について検討を行った。

3 結果及び考察

3.1 混練実験

異種粉末が均一に分散しているかどうか確認する手段は現在のところない。

そこで、今回の実験では、射出原料の混練の良否の評価は、簡易的には、透明なガラス板の間に溶融したペレットを薄く挟み込み、不均一部分の有無を観察することによって、詳しくは、金属顕微鏡やSEMを用いて観察し、外観上の不均一、引け、ふくれなどの欠陥の有無で行った。混練実験の結果を表2に示す。

表2 混練実験結果

材料の組み合わせ	観察結果	成形状態
SUS+Al ₂ O ₃	均一分散可 投入順序不問	成形可
ZrO ₂ +SiC	均一分散可 配合率少のものから 投入した方が良い。	同上
ZrO ₂ +SiC(9対1)	均一分散の判定不可 ウイスキーは後に投入 した方が繊維の破断少 と思われる。	9対1のため流動性悪く、射出圧力高くなるも成形可
Si ₃ N ₄ +SiC(9対1)	同上	同上
Cu+Ti	ポットミル混合では均一分散不可、通常の混練法で均一分散可	バインダー量の加減で成形可能

このように、粉体同士の混練であれば、粉末の種類、投入順序に関係なく、任意の混合割合で均一な射出原料を作製できることが分かった。

しかし、粉体とウイスキーの組み合わせによる混練は、粉体同士に比べ均一になるのに時間を要する。また、3次元での分散状態確認が困難なので、流動性の変化などから簡易的に混練状態を判定する方法を考案する必要がある。後述するように、繊維と粒子の複合材料開発に当たっては、両者の界面に何らかの処理を行わないと焼結時に強固な界面を形成することができない。これに関しては、現在、(財)JFCCなどの機関で研究開発が盛んに行われている。

今回、FRC（繊維強化セラミックス）としてSiCウイスキーを複合したSi₃N₄を試作したところ、十分混合できることが分かった。焼結方

法を工夫すれば、焼結助剤である添加金属元素やAl₂O₃やY₂O₃も少量であれば容易に均一分散させることができる⁵⁾ため、FRCの製造プロセスとして、これらの方法が有効であることが分かった。

FRCについては、今後医療用はもとより、耐食性、耐摩耗性、耐熱性を必要とする構造用として、多様なニーズに対応できる材料として期待されている⁶⁾。

3.2 脱脂（脱バインダー）実験

各種Cu粉末の脱脂実験の結果を表3に示す。

表3 各種Cu粉末の脱脂実験結果

測定項目	ATW350 水アトマイズ粉	ATW350 水アトマイズ粉	SFC20 水アトマイズ粉	SFC20 水アトマイズ粉	CE-115 電粉粉	バインダー x-1
バインダー量 (wt.%)	12	12	6	6	22	-
異種バインダー (cc./min)	0.133 0.083 0.144	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
最大脱脂温度 (°C)	250.3	240	220	160	240	-
DTAのピーク (°C)	230近	236.61	205.1 225.6	-	284.4	299.5 324.5
DTGの最大ピーク (°C)	230近	301.4	302.4	-	232.5	309.2
材料脱脂 (%)	(ag)	7.24	3.3	-	10.39	44.34 (500°C まで)
	(5g)	-	4.39	4.23	-	14.34
備考	165°C 保持時点 から脱脂 開始	174.1°C から脱脂 開始		103°Cか ら脱脂、 180°Cか ら脱脂開始	160-180 °Cで脱脂 開始	195.7°C から脱脂 開始

これから分かるように、Cuのように酸化しやすい金属粉末を大気中で脱脂する場合、金属粉末周辺にバインダーが存在しない温度になると酸化を始める。今回の実験では、酸化は100°C付近から始まったが、純Cu粉は室温でも酸化することから、成形体からバインダーが抜ける温度域で表面から酸化していると思われる。

金属を原料粉末とした成形体の脱脂・焼結は、SUSを除き酸化を克服することが第一の問題である。また、酸化が起きる前の脱脂初期においても、成形体の脱脂はそれぞれ異なった状況を示す。これは同種の粉末でも製造法が異なれば、粉体形状、粒度分布が違うことになり、バインダーの難脱速度に大きな影響を及ぼす。また、粉末の比表面積の違いがTG-DTA曲線を複雑なものにしていると考えられる。

図13はZrO₂の炉内雰囲気の違いによる加熱温度と脱脂率の比較である。

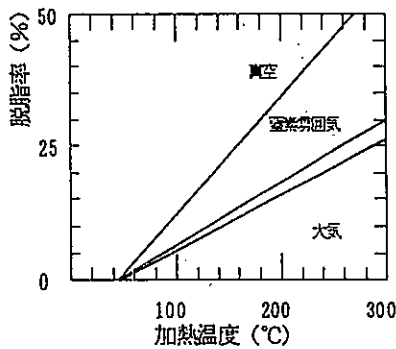


図13 ZrO₂の脱脂率直線

図から分かるように、真空中での脱脂率は他の雰囲気でのそれを上回っている。このことから、金属粉末を原料として焼結体を得るには、真空脱脂が有効であることが分かった。しかし、昇温速度や減圧度を調整しないと、試験片表面で樹脂がバブリング等を起こし形状を維持できなくなるので注意を要した。

次に、異種材料の組合わせで混練した成形体の脱脂について実験を行った。酸化を問題としないSUSとAl₂O₃、ZrO₂とSiC粉末については500°Cまででほぼ目標値に近い形状を有する完全な脱脂体を得られた。また、粉末と繊維の混合体であるZrO₂とSiC繊維、Si₃N₄とSiC繊維については、脱脂の困難さが予想されたが、昇温速度を比較的小さく(3°C/hr)することにより、500°Cまでの通常の脱脂で完全な脱脂体を得ることができた。

3.3 焼結実験

本研究においては、焼結の基本的現象について把握した。

ZrO₂とSiC粉末の混合体では、混練により均一分散した形状も完全な脱脂体を得ることができたが、焼結工程でサンプル表面に凹凸を生じた。これは、当初脱脂体中にごく少量のバインダーが残留し、焼結によりバブリングを起こしたためと考えられた。しかし、このサンプルをバインダーが完全に消滅するとされる温度域(600°C)まで焼成しても同じ現象が起きた。焼結は1100°C~1400°Cの温度域で50°Cごとに行ったが結果は同じであった。凹凸が均一に分布していること、一般のバブリングに比べて小さいことから、ZrO₂とSiC粉末を組み合わせることにより気

体の発生を伴う何らかの反応が起きたものと思われる。しかし、この温度域でのZrO₂とSiCの反応は考えられず、各粉末中にある助剤や製造時に使われた薬品の残留物と各粉末原料との反応、もしくは、それら同士の反応であると考えられる。

Si₃N₄とSiC繊維の混合体でも、ZrO₂とSiC粉末の混合体の場合と同様に完全な脱脂体を得ることはできたが、通常加圧焼結により製造されている材料なので、加圧しない今回の実験では高密度の焼結体を得ることはできなかった。しかし、現在繊維への各種材料のコーティング技術が開発されつつあることから、この技術を用いれば、現在より低コストで製造できる可能性がある。

Cu合金については、Tiとの液相焼結について検討した。そのX線回折結果を図14に示す。

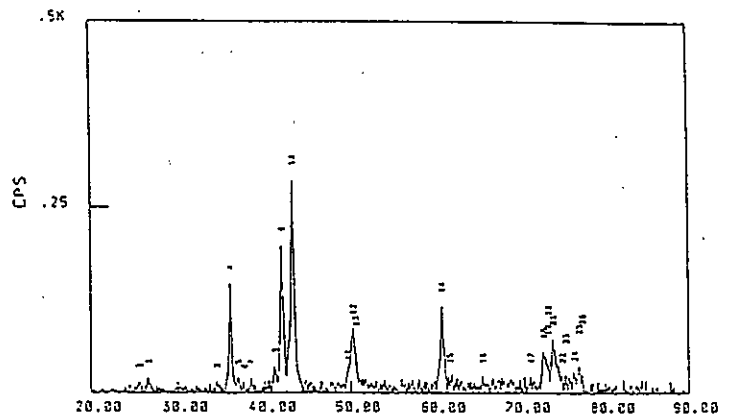


図14 熱処理後のCu-Ti混合粉末のx線回折図

Cu粉末とTi粉末を重量比1:1で混合したものを、真空(減圧)中で1200°C焼結したものであり、敷粉には黒鉛粉を用いた。図14では明らかにCu₂O、CuO、Cu、TiO₂のピークが存在しているが、CuTiのピークを明確に同定することはできない。つまり、酸化Cuのピークが大きすぎ、S/N比が比較的小さいCuTiのピークの出現を阻んでいると考えられる。

図15は物質の酸素親和性を示すものであり⁷⁾、下部に位置するものほどその温度での酸素親和力は強い。したがって、今後焼結時の真空度を上げるとともに、焼結温度範囲においてCuよりも酸素親和力の大きい敷粉を用いるなどして、Cuの酸化量を軽減させ、CuTiの存在を確認することが先決であると思われる。

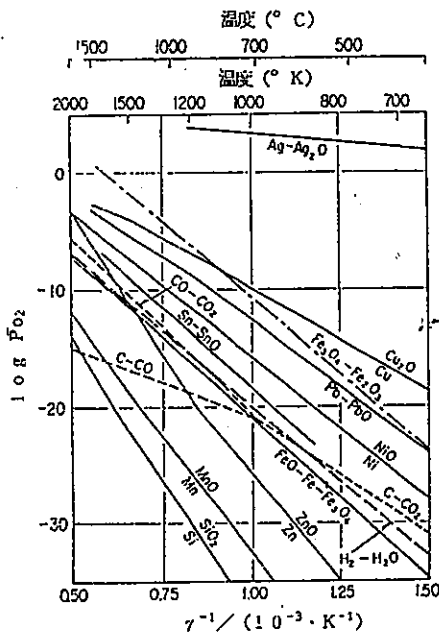


図15 各酸化物に対する $\log p_{O_2} - 1/T$ 図

橋本らの報告⁸⁾によると、Cu-Ti-B合金の反応焼結においてCu粉・B粉・Cu-Ti組合せによりCuマトリックス中にTiB₂針状晶を持つ組織を得ている。この材料は高い熱伝導率と高温強度が高いことから、スポット溶接用チップ材料として期待されているが、この材料開発には、異種材料を均一分散できる本研究で用いた手法が有効であると考えられる。

4 結言

- 1) 成形法の種類に関わらず、粉末冶金的手法を用い複合材料を得ようとする場合、異種材料の均一分散体が必要である。今回の混練法を用いると汚染の少ない均一分散複合体を得ることができる。
- 2) 脱脂機構はまだ解明していないが、バインダー自体が複数物質の混合体なので、気化現象と酸化がさまざまな温度域で起こっていることが推察される。
- 3) 真空(減圧)脱脂において、今回の実験条件下では脱脂率が温度により直線的に増加した。これは、雰囲気中の酸素欠乏によりバインダーの燃焼現象(酸化)が少ないためであると考えられる。
- 4) 混練に当たっては、結合剤(バインダー)内の原料粉末の均一分散と異物混入による汚染(コンタミネーション)防止がきわめて重

要である。

- 5) 金属の粉末射出成形については、今後各工程内からいかにして活性酸素を駆逐するか。つまり、真空または雰囲気完全なガス置換による脱脂・焼結技術をいかにして確立するかが最も重要な鍵を握っている。

謝辞

本研究に関し、研究手法から今後の研究開発動向に至るまで懇切に御指導いただいた通産省・工業技術院・名古屋工業技術試験所の野崎佳彦・加藤清隆両主任研究官、松本章宏技官、また、御助言をいただいた豊田鉄工㈱の植田晋也研究員に謝意を表します。

文献

- 1) 中村; 鉄と鋼, 76(1990), 660
- 2) METAL POWDER REPORT: Overview of MIM in North America; World Market Size and Forecast, 345, May-1990
- 3) 荒木田豊; 開発されたセラミックス射出成形機, 工業材料, 31, No. 3(1993), p. 85
- 4) (財)大阪科学技術センター附属ニューマテリアルセンター, (財)素形材センター編; 粉末冶金に関する調査研究-金属粉末射出成形技術, p. 98
- 5) 猪股吉三; セラミックスを知る事典, p. 95(1985), アグネ
- 6) 樋端保夫; 金属基複合材料を知る事典, p. 163(1989), アグネ
- 7) 矢沢彬; 非鉄金属精錬, p. 8(1985) 日本金属学会編, 丸善
- 8) 橋本雅彦ら; Cu-Ti-B合金の反応焼結, 粉体および粉末冶金, 33, No. 6

TEMセルによるマイコン ボードのイミュニティ試験

- 電磁ノイズ対策技術に関する研究 -

上田 直行*

Immunity Test of Microcomputer Board by Transverse Electro Magnetic Cell

-Studies on Countermeasure Technology of Electro Magnetic Noise-

Naoyuki UEDA*

【概要】

電磁波ノイズによる試作マイコンボードの耐性試験を行った。計測条件は、TEMセルを中核にして、正弦波電磁界（最大1GHz、56V/m）を照射させ、ボードの信号を波形観測・スペクトル解析・ロジック解析した。その結果、電磁波は信号に重畳し、電圧と時間に影響を及ぼし、不動作やプログラム破壊そして最後にはCPUの破壊を起こすことがわかった。正常から異常に至る過程は、まず信号電圧へノイズ電圧が重畳する。ここで、ノイズ電圧が大きい程かつ周波数が高いほど、異常が発生しやすくなる。すなわち、ノイズ電圧が高いほど、信号電圧とノイズ電圧の和は、タイミングや極性にもよるが、正の規定値5Vよりも過電圧だったり、逆に規定値0Vよりも負の電圧になる。また、周波数が高くなるほど、同様の現象が発生する。さらにその中間値を左右するスレシホールドが規定値以上または以下となる。すなわち、ノイズの電圧・周波数・スレシホールドが輻輳した条件で信号電圧に重畳した結果、CPUがストップすると思われる。ハードの破壊は、CPUとRAMのみで、他のROMやPIOなどは正常であった。

1. 緒言

1991年頃から、放射性電磁ノイズによる電子機器のイミュニティ（電磁ノイズ耐性）が急速にクローズアップされてきた。これは、背景に安全性・信頼性が特に求められる自動車や産業用ロボット等の電子機器の誤動作が、外来の電磁ノイズによるものではないかと懸念されているからである。現在、電子機器に関する新しい計測法の規格化が進められ、国際的にはIEC（国際電気標準会議）やC

ISPR（国際無線障害特別委員会）で検討されており、国内でもこれに準拠したものが各種工業会等で検討されている。

現在放射イミュニティ試験は、自動車や航空機など一部では実施されているが、汎用の電子機器類では、これから導入を予定しているところがほとんどである。

そこで当センターでは、来るべき放射イミュニティ試験とその対策法の確立に先駆けて、CISPR案のひとつに入っているTEMセルを導入し、試作マイコンボードの放射電磁界試験を行ったので報告する。

*電子部

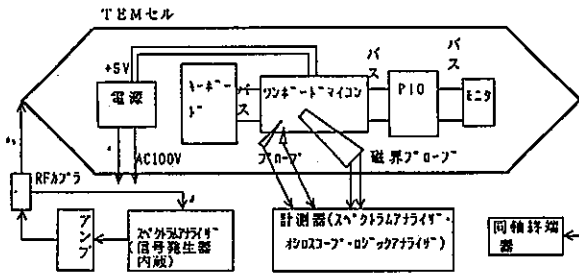
2. 試験条件

2.1 計測制御システム

信号発生器より出た信号をRFカプラーで電力増幅する。この出力信号をRFカプラーを介してTEMセルへ入力し、このセルの空間で電磁界を発生させる。計測はRFカプラーの出力をスペクトラムアナライザへ入力し、入力信号の周波数解析を行う。また、マイコンボードの評価は、1/0インタフェースを介して計測器(スペクトラムアナライザ・オシロスコープ・ロジックアナライザ)へ入力して行う。



1) TEMセル内のマイコンボードのセット状態



2) 全体構成

図1 ワンボードマイコンの計測制御システム

2.2 ワンボードマイコンの構成

試作マイコンのボードは以下の構成とした。

- ・ワンボードマイコン部
 - CPU: Z80
 - クロック: 2.45 MHz
 - ROM: 16 kB
 - RAM: 16 kB
 - PIO: Z80 PIO
- ・キーボード部
 - キーボード: Hex用キー
 - エンコーダ: 16キー用
 - デコーダ: 7セグメント用
 - 7セグメントLED: 7ドット4個、データ2個
- ・PIO部
 - Z80 PIO: 2ポート
- ・モニタ部

モニタ: LED 8個の表示等

・電源部

シリーズレギュレータ: 三端子レギュレータ等

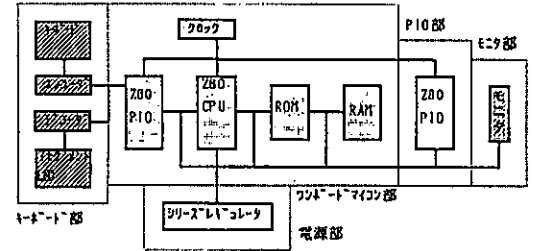


図2 試作ワンボードマイコンのシステム構成

2.3 計測パラメータ

電磁界発生時の信号源、マイコンの状態、計測条件は以下とした。

- ・信号源出力: 最大 0 dBm (TEMセル内最大電界 55.9 V/m)
- ・周波数: 最大 1 GHz
- ・スライftime: 30 ms ~ 10 s
- ・波形: 正弦波
- ・シールドボックス: A1製で有り無し
- ・マイコン: 常時プログラム動作
- ・マイコンのコモン: 接地/非接地

2.4 評価方法

まずマイコンを動作させ、次に電磁波を放射させ、計測器でマイコン内部回路をモニタする。また、マイコンの動作状態をLEDの点灯状態をモニタする。LEDが消灯ないしは順次点灯停止になったかどうかを監視し、各パラメータ値の読み取りや波形観測を行う。なお、プログラムはアセンブラで作成し、LEDが1個ずつ順次シフトしながら無限ループを繰り返すものとした。また、計測時間は10分以上4時間以内とした。

3. 計測結果と考察

3.1 電磁波の重畳現象

電磁波が、マイコンの電気信号にどのように影響を及ぼすかについて、波形観測を行った。電気信号は、主としてクロックに着目して行った。一例として、電磁波の信号源 = TG = 0 dBm、周波数 = $f = 0 \sim 150$ MHz、スライftime = SWP = 30 ms 出力時の波形を観測した。この信号源は、RFカプラーの出力のスペクトル解析をみる限

り、最大約 5 dB のディップがあった。しかし、TEMセル内の電磁界は、例えば磁界のスペクトル解析をみると変動が更に大きく、最大約 20 dB のディップがでていた。これらは、TEMセルの構造からくるインピーダンス不整合による反射・吸収・透過並びに電磁界の場所によるアブソーブションの違いに起因していると考えられる。

この電磁界放射に対するマイコンの信号波形は、第一に時間軸に対して左右に振動するということである。第二に電圧軸に対して上下に振動ということである。第一の点は、正常なクロック周波数 2.45 MHz が + または - 方向に偏移することを意味しており、従って動作の基準となるクロックと他の信号とのタイミングのズレの原因となる。第二の点は、+5 V の基準電圧に対し、+ または - の変動を伴うことにより、過電圧またはスリットレベル以下になる可能性があるということである。そして、一般にはタイミングとスリットレベルの2つの原因によりマイコンがストップに至る。

前記の信号波形の中で、例えばクロックの周波数解析を行うと、電磁波の無い場合と比べて次の点が明かになった。

- 1) 第 2、3 高調波のレベル低下が著しい。
- 2) 偶数高調波と奇数高調波の差が大きい。
- 3) 高調波の比率が多い。
- 4) 高調波の不規則性が目だってくる。

オシロスコープでの観測は、時間軸及び電圧軸の波形変動がリアルタイムで目視できるので便利であるが、時間軸でのタイミングが不鮮明である。そこで、デジタルタイマーを使い時間軸での解析を行った。その結果、ノイズはグリッチとして検出できるので、例えばグリッチとクロックの時間差の計測や、グリッチ・クロック・メモリアドレス間の位相差及び正常動作との比較も可能となった。

次に、これらの現象から数式で表現するとどうなるかを試みた。

クロックの矩形波は、フーリエ級数の理論によれば偶数調波のみであるが、本試験によれば奇数波も入っている。

従って、時間 t [S] における電圧を $v(t)$ [V] とすると、

$$v(t) = \sum_{n=0}^{\infty} E_n \sin(2\pi f t + \alpha_n) \quad (1)$$

のように表現できる。

ここに、 E_n = 電圧値 [V]

f = 周波数 [Hz]

α_n = 位相角 [rad]

一方、電磁波から進入するノイズ $N(t)$ [V] は、周波数 F [Hz] がスイフトタイム m [s] の関数となっているから、

$$F = F(m)$$

の形に書ける。故に、

$$N(t) = \sum_{m=0}^p k_m \sin(2\pi F(m)t + \beta_m) \quad (3)$$

と表現できる。

ここに、 k_m = 電圧値 [V]

$F(m)$ = 周波数 [Hz] で、0 から漸近的に増加し、また 0 から繰り返す

β_m = 位相角 [rad]

よって、ノイズの重畳したクロック電圧 $V_n(t)$ [V] は、次の式となる。

$$V_n(t) = V(t) + N(t) \quad (4)$$

重畳現象のより具体的例として、クロック周波数 $f = 2.45$ [MHz] なる矩形波のマイコンへ、周波数 $F(m) = 24.6$ [MHz] (信号発生器出力時点で一定) なる正弦波の電磁波を放射した結果について述べる。

時間領域での波形をみると、明らかに 2.45 [MHz] の矩形波に 24.6 [MHz] の正弦波が重畳していた。

周波数領域での波形をみると、これも明らかに基本波 2.45 [MHz] + 高調波の矩形波のスペクトルに混在して、24.6 [MHz] の正弦波のスペクトルが得られた。

なお、本試験では電磁界が高調波を含むため、前記の結果は、高調波の波形およびスペクトルが現れている。

3.2 放射電界のレベル

今回試作のマイコンボードでは、各種条件によって異なるが、周波数 = 150 M [Hz] 位までは信号出力 0 [dBm] が正常動作の限界値であった。

電界に換算すると 55.9 [V/m] である。しかし、周波数が 1 G [Hz] までになると -9 [dBm] (= 19.8 [V/m]) 以下で、誤

動作を発生することがわかった。電界の影響だけで検討すると、例えばクロックの矩形波にノイズである正弦波が重畳すれば、+側は過電圧またはスリット¹の限界にかかる可能性が出てきて、デバイスの発熱や0を1と誤認識する恐れがある。また、-側は低電圧となりデバイスのスリット¹が確保でなくなったり、-のバイアスがかかることになる。なお、ここで言う電界は次の式で求めた値である。

$$10 \log_{10} v = (P - 13.010299) / 20 \quad (5)$$

ここに、 v = TEMセル内垂直方向電圧[V]

P = 信号発生器出力[dBm]

3.3 周波数の範囲

TEMセルの仕様は、150k~150M [Hz]であるが、参考データとして1G [Hz]まで試験を行った。その結果、周波数が高くなるほどプログラムの停止や破壊、そしてデバイスの破壊の度合いが大きくなった。これは、周波数が高くなるほど、電圧のスリット¹の規格値を誤認識する回数が増加するために、クロックに同期していた各種の信号、とりわけCRU・RAM・ROM関係の信号が追従できず、ダウンするものと思われる。

3.4 スイッチタイムの長短

スイッチタイムが短いほど、時間軸に対する波形の振動は激しくなる。しかし、マイコンの誤動作は、スイッチタイムの長短とは関係無いように思われた。ちなみに、IECの規格ではスイッチタイムは 1.5×10^{-3} [decades/s] (= 1 decade/666S)と定義されているので、今回のスイッチタイム設定は非常に速かったことになる。しかし、実際の電磁波ノイズとして考えた場合、本試験の設定も必要であると考えられる。

3.5 シールド材の効果

ここで使用したのは、約1mm厚の市販A1箱であり、ワット¹マイコン部のみを上下の箱で簡単に遮蔽した。その効果は、0dBmの出力で誤動作していたものが、正常となり、波形の変動も小さく

なっていることがわかった。本シールド材は、シールド率の最大は50dBと思われるが、市販シールド材では最大80dB程度のももあるので、これを使用すれば、さらにノイズ¹は高まることは明かである。また、隙間からの電磁波の洩れをより少なくなるようにすれば、更に良くなることが予想できる。

3.6 マイコンのアース

マイコンの電源のアース(コモン)は、原則として室内の第三種接地とは独立とした。また、比較のために第三種接地と共用した場合と比較した。

結果的には、有意な差は認められなかった。しかし、この第三種接地は、他の電子機器類がつながっており、接地電位や接地電流が存在するのは明かなため、独立のアースが望ましい。逆にマイコンから接地にクロックによるノイズを伝搬させることにもなり、独立アースが望ましい。

また、これに関して、計測器の接地も第三種接地の有り無しで比較試験を行ったが、有意な差は認められなかった。さらに、計測器類から外部機器(この場合小型ラジオを使用)へのノイズ防止のために、ノイズ¹カッター¹を使用した¹が、効果は無かった。しかし、微視的にみると、例えば波形が異なるなどの現象が認められるため、試験形態としては、トランスで絶縁することが望ましいと思われた。

3.7 マイコンの破壊

マイコンの正常動作から誤動作そして破壊に到る過程は、つぎのように考えられる。まずソフトすなわちプログラムの不具合は、試験の結果①リスタートで復帰する②1命令のみ破壊されている③ほとんど全ての命令が破壊されているの3つのタイプで発生することがわかった。後の2つは、破壊されたプログラムを手直しすれば、また正常に動作する。次に、いくらプログラムを入れ直しても動作しない場合がある。すなわち、ハード上の破壊であり、物性的には放射電磁界及び伝導ノイズによりSi基板上に形成されている各種の材料が絶縁不良や破壊または短絡を起こしたものである。分子レベルで言えば、格子欠陥による

電子と正孔の不具合等が考えられる。一方、デバイスからみた破壊は、CPUとRAMに集中しており、他のデバイスに異常はなかった。これは、CPUとRAMが最も活動しており、そのために外部からのノイズが矩形波の立ち上がり立ち下がりて進入しやすく、破壊に到ったのではないかとと思われる。他のデバイスの場合、比較的5[V]または0[V]に固定の場合が多く、被害が少なかったのではないかと。製造プロセスの観点からは、例えばCPUもPIOも同じNMOSであるが、CPUのみ破壊されている。また、TTLも複数個使用しているが、MOSとの差は出なかった。

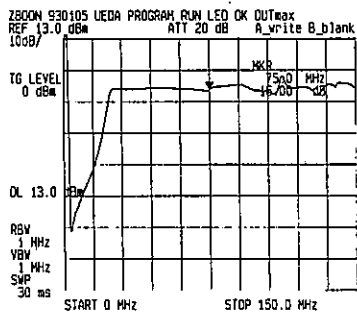


図3 電磁波信号源特性例

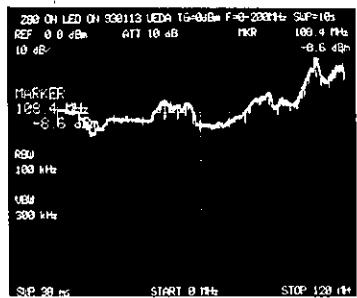
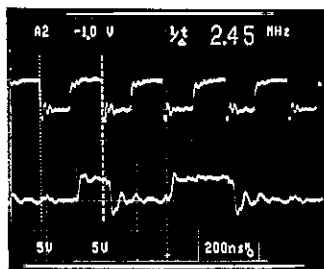
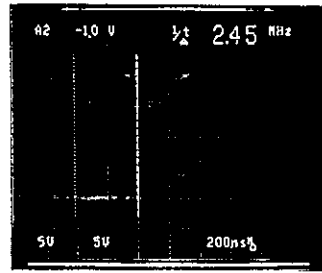


図4 TEMセル内磁界特性例



1) 正常動作 (電磁波=0)

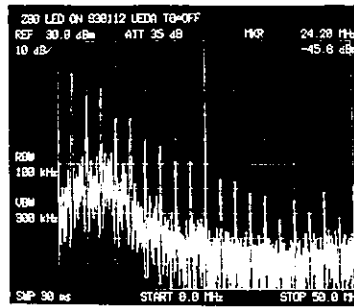
共に上=クロック (CLK)



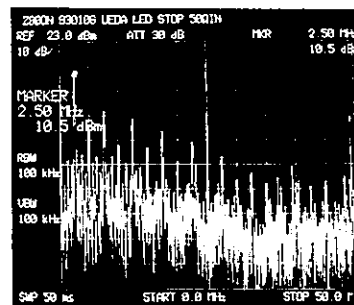
2) プログラム破壊

下=メモリリクエスト (MEMREQ)

図5 電磁波に対するマイコン内部信号波形の変化

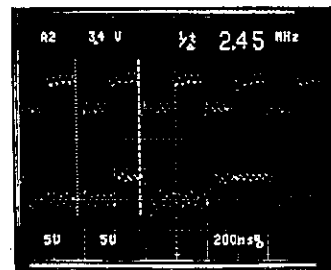


1) 正常動作 (電磁波=0)

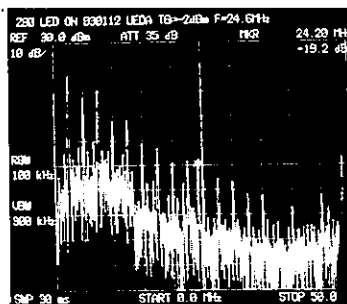


2) プログラム破壊

図6 電磁波に対するクロックのスペクトル解析

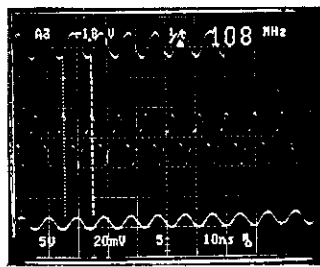


1) 上=クロック 下=メモリリクエスト

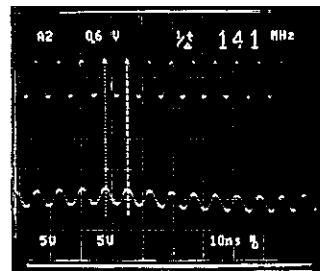


2) クロックの周波数解析

図7 クロックに重畳する放射ノイズ (2.45MHz) (24.6MHz)

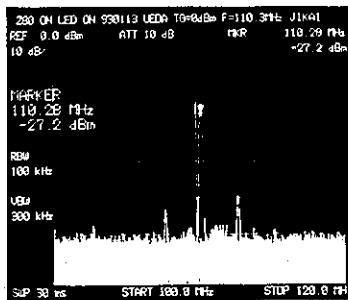


1) 上=クロック 中=磁界 下=メモリリクエスト



Z80 正常動作中)

図10 重畳電圧変化の大きい波形例 (-2dBm, 139, 1MHz 電磁波出力)



2) 磁界の周波数解析

図8 TEMセル内磁界特性 (信号発生器 OdBm, 1103MHz 出力)



1) 正常動作 (電磁波=0 上=クロック 下=メモリリクエスト)

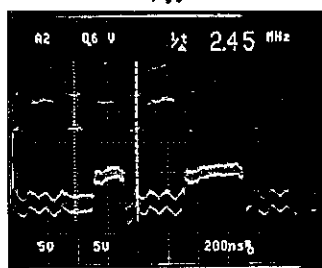


2) クロックのブリッチ (-2dBm 出力, 0-150MHz)



3) メモリリクエストのブリッチ (-2dBm 出力, 0-150MHz)

図9 電磁波に対するのマイコンのタイミング解析



(各波形とも 上=クロック 下=メモリリクエスト)

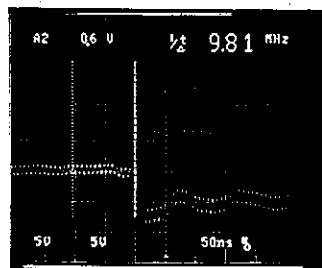


表1 Z80の放射イミュニティ試験結果(1)

試験No	出力 [dBm]	電界 [V/m]	周波数 [Hz]	スイッチ-オフ時間 [s]	Z80動作	備考	
1	0	55.9	0-1G	50m	無	×	0-1Gに376でキレ
2	0	55.9	150H-1G	50m	無	○	○=正常動作(他も同)
3	0	55.9	139.1M	50m	無	○	
4	0	55.9	150H	50m	無	○	
5	0	55.9	0-150H	50m	無	○	上下11割でキレ
6	0	55.9	0-150H	50m	無	○	上のみ1割でキレ(他も同)
7	0	55.9	0-150H	50m	無	×	×=異常発生
8	0	55.9	0-150H	50m	無	×	
9	0	55.9	0-150H	50m	無	×	
10	0	55.9	0-150H	50m	無	×	7割の376のリキレOK
11	0	55.9	0-150H	50m	無	○	1分間OK
12	0	55.9	0-150H	50m	無	○	
13	0	55.9	0-200H	10	無	○	1時間11分間確認
14	0	55.9	0-200H	30m	無	○	31分間確認
15	-1	49.8	0-150H	50m	無	○	50mから30mへ変更(他も同)
16	-1	49.8	0-150H	50m	無	○	
17	-1	49.8	0-150H	→30m	無	○	
18	-1	49.8	100H-1G	50m	無	×	
19	-1	49.8	100H-150H	50m	無	○	100H-150Hに376でキレ
20	-1	49.8	0-150H	50m	無	○	
21	-1	49.8	0-150H	50m	無	○	
22	-1	49.8	100H-1G	50m	無	×	7割の376又は破損
23	-1	49.8	100H-150H	70m	無	○	
24	-1	49.8	100H-150H	10	無	○	
25	-1	49.8	100H	10	無	○	周波数は100Hでキレ
26	-1	49.8	200H	10	無	×	7割の376破損
27	-1	49.8	300H	10	無	×	
28	-1	49.8	100H-200H	10	無	○	2.6分間確認
29	-1	49.8	100H-200H	30m	無	○	1時間5分間確認
30	-1	49.8	100H-300H	10	無	○	2.6分間確認

表2 Z80の放射イミュニティ試験結果(2)

試験No	出力 [dBm]	電界 [V/m]	周波数 [Hz]	スイッチ-オフ時間 [s]	Z80動作	備考
31	-2	44.4	150H	50m	無	○
32	-2	44.4	0-150H	50m	無	○
33	-2	44.4	100H-1G	1	無	×
34	-2	44.4	100H-1G	1	無	×
35	-2	44.4	100H-1G	1	無	×
36	-2	44.4	100H-1G	10	無	×
37	-2	44.4	0-150H	50m	無	○
38	-2	44.4	0-1G	50m	無	○
39	-2	44.4	100H-1G	50m	無	×
40	-3	39.8	0-150H	10	無	○
41	-3	39.8	0-300H	10	無	○
42	-3	39.8	0-500H	10	無	○
43	-3	39.8	0-1G	10	無	○
44	-4	31.4	0-150H	1	無	○
45	-4	31.4	0-1G	1	無	○
46	-5	25.3	0-150H	1	無	○
47	-5	25.3	0-200H	1	無	○
48	-5	25.3	0-300H	1	無	○
49	-5	25.3	0-500H	1	無	○
50	-5	25.3	0-800H	1	無	×
51	-5	25.3	0-500H	1	無	×
52	-8	22.3	0-1G	1	無	×
53	-9	19.8	0-1G	1	無	×
54	-9	19.8	0-1G	1	無	○
55	-10	17.7	0-1G	1	無	○
56	-10	17.7	0-1G	1	無	○
57	-10	17.7	0-1G	30m	無	○

4. 総括

今回は、信号源として正弦波を用いたが、IECの放射性イミュニティ規格案によれば、AM波で行うようになっている。今後はこのAM波の他に、実際の電磁波を想定したFM波やPCM波に対する試験を検討する。また、周波数については、上限10GHz帯及びその高調波について検討する。更に、電波暗室とTEMセルとの比較についても検討する。

参 考 文 献

- 1) “電波障害イミュニティと最新試験法”, (1991), 日刊工業新聞社
- 2) 白土義男: “マイコン回路の手ほどき”, (平成元年), 日本放送出版協会
- 3) 山田直平: “交流回路計算法”, (昭和42), コロナ社
- 4) 寺澤寛一: “自然科学者のための数学概論”, (昭和42), 岩波書店
- 5) “EMI/EMC計測システムガイドブック”, (1989), アドバンテスト
- 6) 上田直行: “接地電位および接地電流の波形観測と周波数解析”, 本誌, No. 29, PP49-59(1991)
- 7) “Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment Part3:Radiated electromagnetic field requirements(IEC 801-3)”, 1992, International Electrotechnical Commission
- 8) “Electromagnetic compatibility for electrical and electronic equipment Part3:Immunity to radiated, radio frequency, electromagnetic fields(IEC 801-3 Draft6-Second Edition, TC65, SC65A, WG4)”, International Electrotechnical Commission
- 9) 飯島健一: “電気通信工学概論”, (昭和45), コロナ社
- 10) 電子情報通信学会: “電子情報通信ハンドブック”, (昭和63), オーム社

TEMセルのインタフェース

- 電磁ノイズ対策技術に関する研究 -

上田 直行*

Interface of Transverse Electro Magnetic Cell

-Studies on Countermeasure Technology of Electro Magnetic Noise-

Naoyuki UEDA*

【概要】

電磁波ノイズ試験に使用されるTEMセルの計測制御システムについて検討した。特に、セル内の被試験体と外部の計測器とのインタフェースを中心に検討した。具体的には、複数のコネクタや同軸ケーブルを実装することで、被試験体の各所の信号の波形観測やロジック解析、スペクトル解析が可能なものとした。そして、実際に試作マイコンで計測した結果、最大出力44V/m、周波数150MHzまで測定できることを確認した。

しかし、ケーブルの使い方によっては、空間電磁波ノイズや線間クロストークが信号に重畳して、マイコンの誤動作の可能性があったり、またノイズフィルタの挿入は、信号波形の鈍りが発生するので、クロックには使えないこと等がわかった。

1. 緒言

電磁波ノイズによる電子機器のミニテリ(耐性)試験は、環境試験設備として電波暗室・GTEMセル・TEMセルが使用される。これらは、使用周波数・試験体(EUT)の容量等が異なるので、試験仕様により使い分けが必要である。当センターでは、この中で比較的低周波領域で小型電子機器の簡易な放射ノイズ試験ができ、経費も少ないTEMセルを導入した。

一般のTEMセルは、EUTが正常か異常かしか判断できない。しかし、これではEUTがブラックボックス化されて、真のEUTの故障解析やノイズ対策は不可能である。そこで、本研究では、EUTの各信号の波形・タイミング・周波数解析ができるインタ

フェースの搭載を試みたので、インタフェースを中心に、TEMセルの計測制御システムや、計測結果例を報告する。

2. TEMセル計測制御システムの構築

TEMセルの入出力(I/O)を決める外部の計測器類は、制御用と計測用に分かれる。

制御用計測器類は、次の構成とした。

信号発生器から出力された正弦波信号は、ATT(減衰器)を介して電力増幅器へ入力される。

ここで40dBに増幅された信号は、RFカプラを通してTEMセルへ入力される。RFカプラの他の出力信号は、TEMセルへ入力される信号のレベル(dB)と周波数(Hz)との関係を計測するために、アナライザ及びスペクトラムアナライザへ入力される。計測は、リアルタイムで行い、記録が必要な場合は、XYプロッタで描く。*なお、ノイズ対策用材料の特性評価は、シ

*電子部

ールド材評価器で行うことができる。さらに、TEMセルの終端は、特性インピーダンス50Ωの同軸終端器を取り付けた。

計測用計測器類は、次の構成とした。

すなわち、I/Oインターフェースは、EUTとしてのメーカーの製品がマイコン搭載の電子機器が多いことを考慮し、①複数の信号の波形観測ができること②周波数解析ができること③タイミング解析ができることにした。具体的には、①はオシロスコープ、②はスペクトラムアナライザ、③はロッキングアンプの接続で計測ができるようにした。

この他に、TEMセル内の電磁界が計測できることも考慮した。

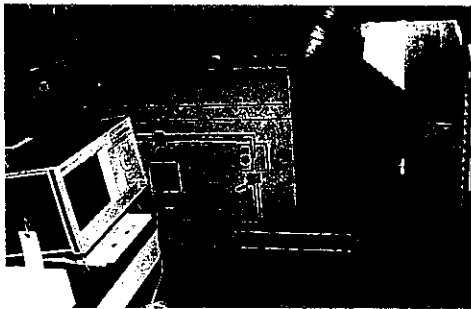


写真1 TEMセル本体と計測器の一部

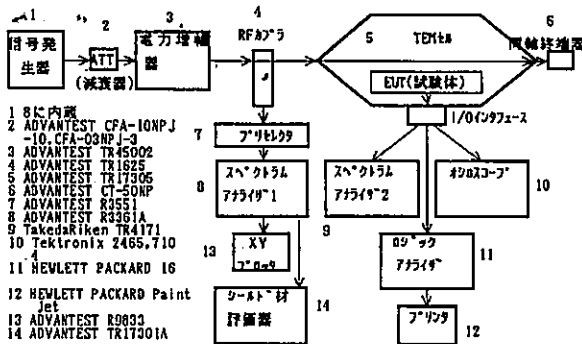


図1 TEMセルによるイミューニティ計測制御システム

3. TEMセルのI/Oインターフェース

前記の考え方に基づき、以下のインターフェースを搭載した。

- ・クロック専用線 クロックは、全ての電子回路の心臓部にあたり、またコモンは全ての電子回路の基準電位となるものであるから、その計測には、特別なノイズ性能が要求される。そこで、ここでは、クロック専用高周波同軸ケーブル1本、コモン専用高周波同軸ケーブル1本とした。
- ・多芯ケーブル 複数の信号を検出するために、シールド層付きで25対線のI/Oインターフェース用ケーブルとした。
- ・多ピンコネクタ フィルタ付きのコネクタを用意した。

但し、これを使用するときには、後述するが、インピーダンスによる電圧低下や波形の鈍りに注意する必要がある。

- ・BNCコネクタ TEMセル内の磁界を計測するために取り付けた。磁界プローブで検出することにより、真の磁界の波形と強度が計測できる。

- ・電源コンセント 接地付き3Pタイプとした。

TEMセル内部用と、外部用とに分岐した。

- ・リミットスイッチ TEMセルのドアの開閉と、電源のON/OFFに同期したものとした。これは、電磁波の人体に対する安全性を考慮したものである。

- ・観測窓 CRT (陰極線管) 等の表示装置やLED (発光ダイオード) 等のデバイスが正常であるかどうか、すなわちこれらのものを実装したEUTの状態をマクロに診断するものである。

- ・N型コネクタ 信号発生器・終端器・その他の計測器とTEMセルとを同軸ケーブルで接続するものである。

- ・予備I/O 以上の他に、将来の増設や、計測上不具合が出た場合の改造のために、予備のI/Oを用意した。



写真2 TEMセルの前面下部インタフェース

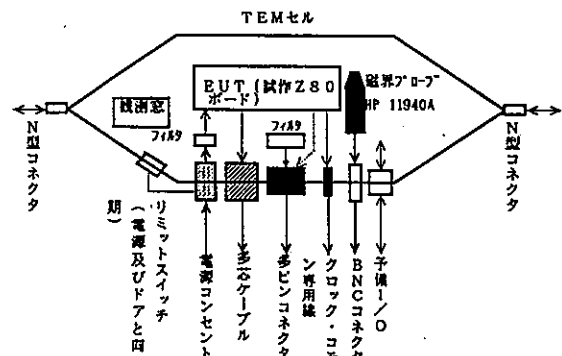


図2 TEMセルのI/Oインタフェース

4. 計測結果と考察

4.1 信号発生

スペクトラムアナライザに内蔵されているトラックコジェネレータに

より、正弦波信号を出力させた。一例として出力レベル-2 dBmを周波数0から150 MHzまでスイ-フタイム50 msecの周期で繰り返し発生させた。

TEMセル入力部のレベル対周波数特性は、最大偏差約5 dBmであった。この偏差は、TEMセル内のEUTが大きく影響したもので、TEMセル内を空にした時は、約2 dBm内であった。-2 dBm出力は、増幅器40 dBm通過後、TEMセル内の電界に換算すると44.4 V/mとなる。

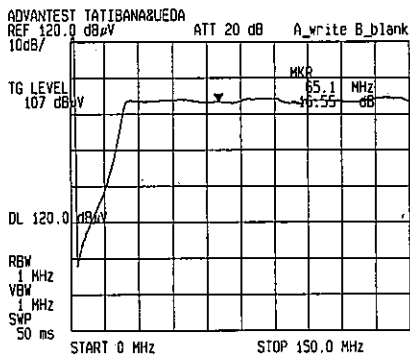


図3 信号入力特性 (TEMセル内空)

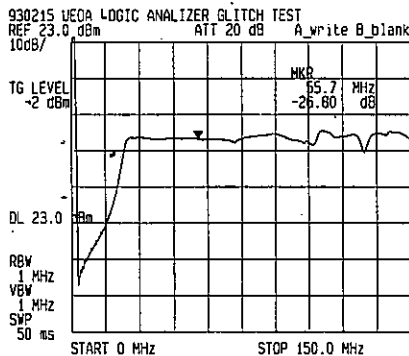
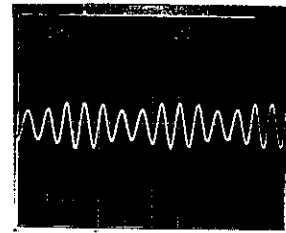


図4 信号入力特性 (TEMセル内マイコンボード挿入)

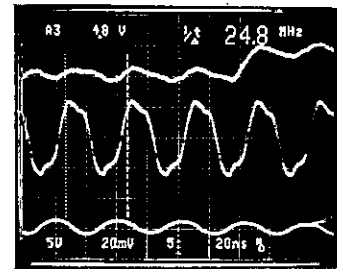
4.2 TEMセル内電磁波^{1)・2)}

前記の信号発生器により、TEMセル内は、TEM (Transverse Electro Magnetic) モードの電磁波が放射される。一例として、TEMセル内が空の場合と、試作マイコンボード挿入の場合の磁界波形を記録した。空の場合はほぼ正弦波であるがAM変調ぎみの波形である。ボード挿入の場合は、正弦波が歪んでいる。

これはボード・磁界支持台等が電磁波を受けて、吸収・反射・透過をすることにより、セル内の電磁波が歪んだものと思われる。また、他の要因として、信号発生器やパワーアンプの波形歪並びにセルの構造の欠陥も考えられた。



1) TEMセル内空



2) TEMセル内マイコンボード挿入

図5 TEMセル内の磁界波形

電界は、電界と磁界の関係を結び付ける「マクスウェルの電磁方程式」より導かれる次の式で求まる。

$$E = H / \sqrt{\epsilon / \mu} \quad (1)$$

ここに、E : 電界 [V/m] H : 磁界 [A/m]

ε : 誘電率 [F/m] μ : 透磁率 [H/m]

すなわち、磁界が歪めば、電界も歪むことになる。

4.3 ボードへの電磁波放射

前記の信号に対する試作マイコンボードの電磁波放射特性を、マイクロプロセッサ・システムアナライザ・ロジックアナライザで計測した。計測はクロック (CLK)、及びメモリリクエスト (/MREQ) の信号とした。また、ボードはZ80マイクロプロセッサであり、アセンブリ言語で8個のLED (発光ダイオード) を繰り返し表示させるプログラムとした。

1) 波形観測

ボードが電磁波を受けない場合は、通常の波形を示しているが、電磁波を受けた場合は、明らかに時間及び電圧共に振動する不安定な波形が観測された。これは時間に対しては、スイ-フタイムが関係し、電圧に対しては、ボードの信号に重畳する電磁波強度が関係していることがわかった。

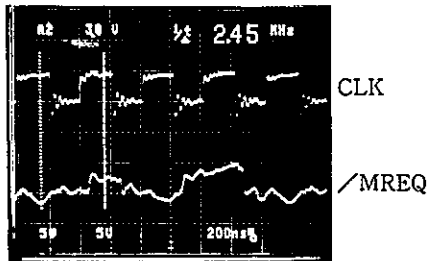
2) 周波数解析

前記の波形をスペクトル解析した。その結果、ボードが電磁波を受けない場合は、基本波を中心に高

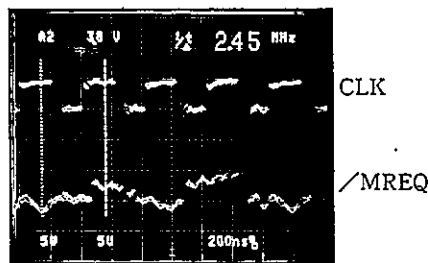
調波が規則正しくあらわれるが、電磁波を受けた場合は、高調波に特定の周波数が重畳したり特に高周波領域では不規則な高周波が数多く現れることがわかった。

3) タイミング解析

前記と同じ条件で、CLKと/MREQ間のタイミング解析を行った。ボードが電磁波を受けない場合は、ともに周期や両者のタイミングも規則正しく動作しているが、電磁波を受けた場合は、グリッチの発生・周期の乱れ・タイミングのズレが検出された。

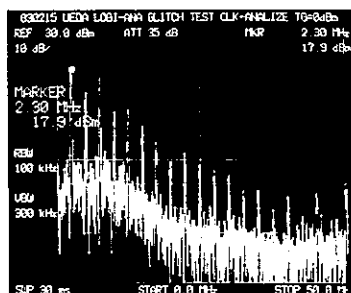


1) 信号発生器出力 = 0

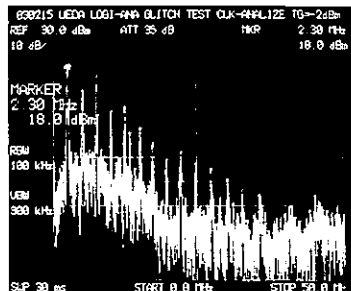


2) 信号発生器出力 = -2dBm

図6 波形観測



1) 信号発生器出力 = 0



2) 信号発生器出力 = -2dBm

図7 周波数解析 (CLKのみ)



1) 信号発生器出力 = 0

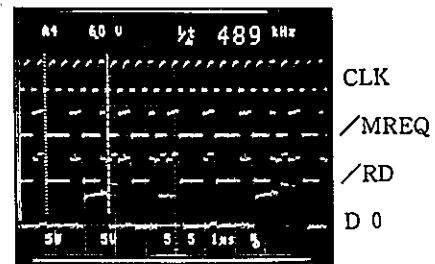


2) 信号発生器出力 = -2dBm

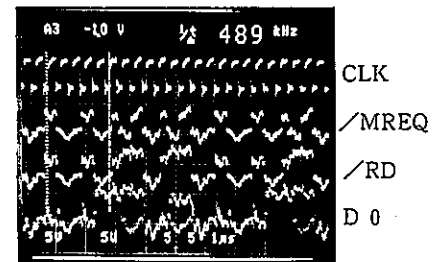
図8 タイミング解析

4.4 ケーブルの影響

EUTと計測器間の信号ケーブルの長さについて、直結の場合と3mの25対線ケーブル層付きケーブル(直流抵抗1Ω)+シールド付き高周波ケーブル80cm(同0.3Ω)との場合を比較した。

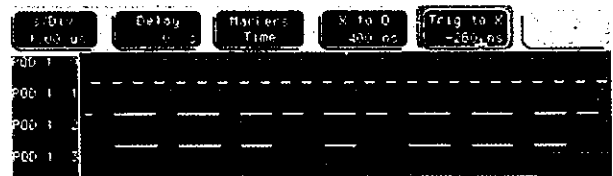


1) EUTと計測器を直結した場合



2) EUTと計測器間を3.8mのケーブルで接続した場合

図9 ケーブルの影響からみた波形観測



1) EUTと計測器を直結した場合



2) EUTと計測器間を3.8mのケーブルで接続した場合

図10 ケーブルの影響からみたタイミング解析

ケーブルが長くなると、クロックの波形から波形歪・電圧低下・不用な信号の重畳が観察された。

これは、隣接する線間の電磁ノイズやインダクタンスの影響と考えられる。また、ロウカブリでみると不用な信号を検出していた。従って、ケーブルは①可能な限り短くする②独立の線を使い線間を隔離する③線間が隣接する場合または同一ケーブル内の場合絶縁性の高いものにする必要がある。

一案としてEUTの電気信号をすぐに光に変換して光ファイバケーブルで伝送することが考えられるが、電磁ノイズの無い電気信号にいかにするかが課題である。

4.5 ノイズフィルタの影響

信号用ノイズフィルタは、遮断周波数50~1000MHz減衰量40dB、周波数20kHzでのインダクタンス約3μH・抵抗約0.4Ω（共に実測値）を使用した。

このフィルタを通して計測した場合の結果は、以下の通りであった。

1)CLK=フィルタ付き、コモン=フィルタ無しで計測した場合ボードは正常動作した。しかし回路上一種の積分回路と等価と考えられるので、波形の鈍りは顕著になる。周波数解析結果からも明らかのように、高周波領域は小さい値となっている。回路方程式を解いて得られる出力電圧、すなわちクロックの入力電圧 v_i [V]は、ボードの出力電圧を v_o [V]とすると^{21) 22)}

$$v_o = R / L \int_0^t v_i dt \quad (2)$$

ここに、R : クロックの入力抵抗 [Ω]

L : フィルタのインダクタンス [H]

t : 時間 [sec]

2)CLK、コモン=共にフィルタ付きの場合の計測ボードは動作しなかった。波形を観察すると+3[V]、-2[V]なる正弦波に近いものとなった。回路方程式を解くと次のようになる。

$$v_o = R / 2L \int_0^t v_i dt \quad (3)$$

すなわち、前記と比較すると出力電圧 v_o が1/2に減少している。 $v_o = +5$ [V]とすると+2.5 [V]が理論的には得られる。また-2 [V]は高周波ケーブル・多ピンコネクタを含めた、フィルタ間のクロ

ックによる、静電容量が関係していると考えられる。

すなわち、EUTの出力、及び計測器の入力に並列にコンデンサが等価的につながっており、これの充放電で+がでると思われる。EUTが動作しないのは、-の電圧が生じるのが原因と考えられる。

次に、クロックについて考察する。^{21) 22)}

CLKとコモンに接続されるこれら2本の高周波ケーブル・フィルタ・多ピンコネクタは、平行円筒形導体と等価と考えられるので、電気磁気学の理論より静電容量C [F/m]は、次式で与えられる。

$$C = \pi \epsilon_0 \div \ln \{ (d-a) / a \} \quad (4)$$

ここに、 ϵ_0 : 真空誘電率 [F/m]

d : 導体間距離 [m]

a : 導体半径 [m]

d = 10 mm、a = 4 mm、ケーブル長 = 0.8 mと仮定して計算すると、C = 50 [pF]が得られる。このCがEUTの出力に25 [pF]及び計測器の入力に25 [pF]並列に等価的につながっていると考えられる。

つぎにこのCのインダクタンスZ [Ω]は、以下の式で得られる。

$$Z = 1 / \omega C = 1 / 2 \pi f C \quad (5)$$

ここに、 ω : 角速度 [rad/sec]

f : 周波数 [Hz]

Z80のクロック、すなわち $\omega = 2.45$ M [Hz]を上式に代入するとZ = 1 k [Ω]が得られる。一方フィルタのインダクタンスL [H]のインダクタンスZL [Ω]は、次式で求まる。

$$ZL = \omega L = 2 \pi f L \quad (6)$$

L = 3 μ [H]を代入すると、ZL = 50 μ [Ω]となる。

$$\text{すると、} Z \gg ZL \quad (7)$$

であるから、実質はこのZとクロックの入力抵抗Rとの並列抵抗とみなせる。Z = 1 k [Ω]、R = 10 M [Ω]であるから、合成抵抗 = 0.9 k [Ω]となり、クロックでの観測は、フィルタ2個を介することにより、小さい電圧値となることがわかる。

3)その他の例

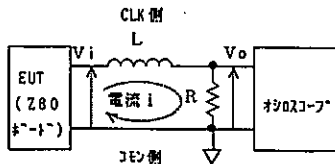
以下の場合にも、Z80は不動作であった。これも、前記のクロックによる電圧低下が原因と考えられる。

・CLK、MREQ=フィルタ付き、コモン=フ

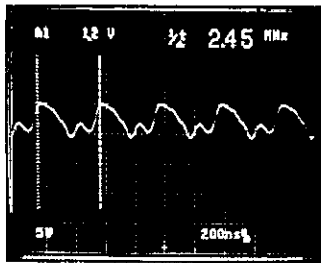
フィルタ無し

・CLK、/MREQ=フィルタ付き(但し/MREQは計測器に接続せず)、コモン=フィルタ無し
すなわち、EUTとCLKを含む2つ以上のフィルタを接続すると、Z80は動作しないことがわかった。但し、CLKを含まなければ、2つ以上でも問題なく動作することがわかった。これはCLK以外の信号は、周期が速くないために、ノイズの影響が大きくなり、電圧低下を起ささないものと思われる。

以上のことから、CLKとコモンは、フィルタを通さずに独立に計測器へ入力すべきであると結論づけられる。



1) 等価回路



2) CLK-コモン間波形

図11 フィルタを通しての計測 (CLKのみ)

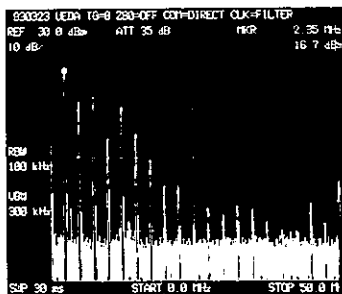
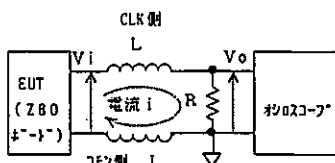
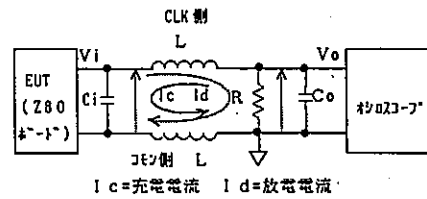


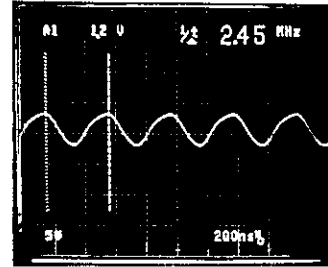
図12 フィルタ通過後のCLKの周波数解析



1) 等価回路1



2) 等価回路2



3) CLK-コモン間波形

図13 フィルタを通しての計測 (CLK-コモンとも)

4.6 計測器の影響 (1, 7), (8), (9), (10), (11), (12)

前記のオシロスコープで計測が可能だったものが、スワッチトランジスタへ接続すると、Z80が不動作となった。これは計測器の入力インダクタンスの影響と思われる。すなわち、Z80ボードの等価回路は鳳・テブナンの定理を考慮すると、電源電圧E [V]と直列に内部インダクタンスZ1 [Ω]と計測点のインダクタンスZ2 [Ω]で表すことが出来る。このZ2に並列に計測器の入力インダクタンスZ0 [Ω]が挿入される。このZ0にかかる電圧E0 [V]は、回路方程式を解いて、次の式で求められる。

$$E_0 = \frac{1/Z_1}{1/Z_0 + 1/Z_1 + 1/Z_2} \cdot E \quad (8)$$

ここで、Z0のみ変化すると仮定する。すなわちZ0が小さくなると、E0も小さくなる。実際、オシロスコープは10M [Ω]、10.8 [pF]に対し、スワッチトランジスタは1M [Ω]、25 [pF]であるため、スワッチトランジスタではZ80が動作するだけの電圧が得られなかったと考えることができる。

高周波用計測器は、一般に入力インダクタンスが50 [Ω]であるため、EUTによっては電圧低下を生じないような変換器が必要となる。一例として、FETの高入力インダクタンスを利用したFETプローブがあげられる。

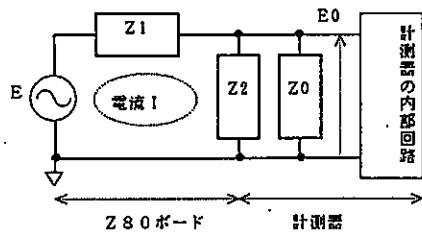


図14 EUTの計測等価回路

5. 総括

電磁波ノイズに対する評価試験の一手法としてのTEMセルについて、計測インターフェースを中心に述べた。すなわち、複数のコネクタやケーブルを搭載することで、従来の正常か異常かのみでの判定だけでなく、被試験体の信号がきめ細かく解析できることを、試作マイコンで確認した。しかし、MHz帯からGHz帯の高周波領域になるほど、侵入ノイズが問題になってくることも明かになった。

今後は本報告で不都合な点の改良と、より正確な計測方法について検討する。

参考文献

- 1) 雨宮好文：“現代電磁波工学”，(1990)，オーム社
- 2) 山田直平：“改訂版電気磁気学”，(昭和43)，電気学会
- 3) 当麻喜弘：“パルス技術入門”，(昭和43)，丸善
- 4) 畔津明仁：“インターフェース”，(1992)，CQ出版社
- 5) 大越孝敬“基礎電子回路”，(昭和42)，オーム社
- 6) “スペクトラム・アナライザ取扱説明書TR4171”，(1983)，Takeda Riken
- 7) “p6131 10x PASSIVE PROBE INSTRUCTION MANUAL”，(1983)，Tektronix
- 8) “2465 OSCILLOSCOPE SERVICE INSTRUCTION MANUAL”，(1983)，Tektronix
- 9) “プローブ測定技術と活用”，(1990)，ニセキエレクトロニクス
- 10) 宮本義博：“マイクロプロセッサの取扱い方”，(1990) 啓学出版

11) 高橋徹：“新・マイクロプロセッサ測定技術のすべて”

，(1991)，CQ出版社

12) “ニセキエレクトロニクス'90総合カタログ”，(1992)，ニセキエレクトロニクス(株)

ニューラルネットワークによる画像認識

重森清史* 小山善文**

Image Recognition by Neural Network

Kiyoshi SHIGEMORI* Yoshifumi OYAMA**

概要

画像処理における物体抽出は、ロボットビジョン及び外観検査にとって重要な課題である。しかし、照明状態が一様でない等の条件によっては、画像から得られる情報だけでは不十分な場合があり、そのような場合には2値化やエッジ強調等の従来の方法では効果的な結果は得られない。そこで近年、画像処理を最適化問題として捉える方法が試みられている¹⁾。この方法は、不十分な情報の中から一番もっともらしい答を探し出すものであり、人の思考に近い方法とすることができる。本研究では、不十分な画像情報の中から最適解を得ることを目的として、最適化問題によるアプローチの一つである相互結合型ニューラルネットワークを用いた画像の物体抽出を試みた。まず、ネットワークのエネルギーを徐々に下げることにより最適化を行うホップフィールド型ニューラルネットワークモデルを適用し、実験によりその効果を確認した。しかし、対象物近辺にノイズがあった場合、いわゆるローカルミニマムに捉えられ、満足できる答が得られないことがあったので、確率的な要素を入れ最適化しやすくしたボルツマンマシンモデルによる解法についても提案し、実験によりその効果を確認した。

1. 緒言

画像処理における物体抽出は、認識やその後の処理を行う上で重要であるが、画像情報が不足していたり、画像の明るさ等の諸条件が対象画像毎に異なっていたりするため、エッジ強調や2値化等の従来からの画像処理方法ではうまくいかない場合が多い。そこで近年物体抽出に関する問題を最適化問題として解くアプローチが試みられており、Active Contour Model (SNAKES)²⁾ または、Active Net³⁾のような方法が提唱されている。一方、物体抽出は後処理を考えた場合実時間で行うことが望ましく、そのためにはハードウェア化を行うことが望ましいが、これらの解法は大型計算機を

念頭に置いたものということができ、ハードウェア化を意識したものではない。そこで、本研究では、近年ハードウェア化が進んでいるニューラルネットワークを用いた画像の物体抽出方法を検討した。

2. 相互結合型ニューラルネットワークによる物体抽出モデル

2.1 物体抽出モデルの構成

今回提案する相互結合型ニューラルネットワークによる物体抽出モデルの構成について説明する(図1参照)。まず、N個のニューロンを一列に並べたニューロンからなるタワー(以後、これをニューロンタワーと呼ぶ)を考える。そして、そのニューロンタワーをT本放射状に並べ対象物体を覆うようにして画像上に配置する。得られた放射状のニューロンタワーに対し、各ニューロンが

* 電子部

** 熊本テクノリス財団電子応用機械技術研究所

結合加重 ω で相互結合されているとすると、 $N \times T$ 個のニューロンで構成される相互結合型ニューラルネットワークが得られる。ここで、各ニューロンは、その下方にある画像部分に対応するものとする。次に各タワーで膜電位の最も高いニューロンを一つ選んで、隣接するタワーの膜電位の最も高いニューロンどうしを線で結ぶとニューロンの輪ができる。(以下、この輪をニューロンリングと呼ぶ。)このようにして得られた相互結合型ニューラルネットワークに対し、対象物体の輪郭部分が最もエネルギーが小さくなるようなエネルギー関数を設定すると、ニューラルネットワークによる物体抽出モデルが得られる。以下にエネルギー関数について説明する。

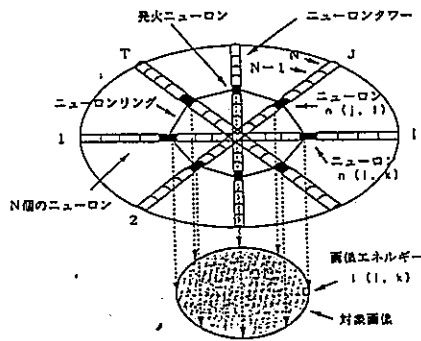


図1 物体抽出モデルの構成

2.2 エネルギー関数の設定

2.1で物体抽出のためのモデルを設定したが、これに物体抽出を行わせるためには適当なエネルギー関数を設定する必要がある。以下に設定したエネルギー関数について述べるが、その前にここで使用する記号の説明を行う。設定したニューラルネットワークの*i*番目のタワーの*k*番目のニューロンを $n(i, k)$ 、*j*番目のタワーの*l*番目のニューロンを $n(j, l)$ と表すものとする。ここで、 $i, j = 1 \dots T$ であり、 $k, l = 1 \dots N$ である。ニューロン $n(j, l)$ の出力を v_{jl} 、ニューロン $n(i, k)$ と $n(j, l)$ 間の結合加重を ω_{ikjl} 、ニューロン $n(i, k)$ のしきい値を θ_{ik} 、膜電位を u_{ik} とすると、 u_{ik} と v_{jl} の関係は、

$$u_{ik} = \sum_{j=1}^T \sum_{l=1}^N \omega_{ikjl} v_{jl} + \theta_{ik} \dots (1)$$

で表される。

次に、このネットワークのエネルギー関数を(2)式のように定義する。

$$E = \frac{1}{2} (A E_{nr1} + B E_{nr2} + C E_{nr3}) \dots (2)$$

ここで、*A*、*B*、*C*は常数であり、 E_{nr1} 、 E_{nr2} 、 E_{nr3} は次の(3)、(4)、(5)式で表される。

$$E_{nr1} = \sum_{i=1}^T \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^T \sum_{l=1}^N v_{ik} v_{jl} d_{ikjl} \times (\delta_{(i-1)j} + \delta_{(i+1)j}) \dots (3)$$

$$E_{nr2} = I(i, k) v_{ik} \dots (4)$$

$$E_{nr3} = \sum_i^T \left(\sum_k^N v_{ik} - 1 \right)^2 \dots (5)$$

$\delta_{(i-1)j}$ 及び $\delta_{(i+1)j}$ は、クローネッカーのデルタであり、(6)式で表される。

$$\delta_{pq} = \begin{cases} 1 & \text{if } p = q \\ 0 & \text{else} \end{cases} \dots (6)$$

以下に(2)式で示されたエネルギー関数によるニューロンリングの収束過程について説明する(図2参照)。まず、第一項 E_{nr1} は、発火ニューロンの位置エネルギーを示しており(3)式で表される。(3)式において、 d_{ikjl} はニューロン $n(i, k)$ と $n(j, l)$ 間の距離を表しており、 $\delta_{(i-1)j}$ と $\delta_{(i+1)j}$ により隣のニューロンタワーとの距離だけを見ることになる。このように定義された E_{nr1} により、隣のニューロンタワーの発火ニューロンとの距離を短くしようとする力が生じ、結果的にニューロンリングは中心方向へ引っ張られる。第2項 E_{nr2} は、各ニューロンに対応する画像のエネルギーを示している。(4)式において、 $I(i, k)$ はニューロン $n(i, k)$ に対応する画像部分の特徴量を示しており、抽出したい物体内の画像エネルギーを背景よりも高い

状態となるよう設定する。その結果、対象物体内にあるニューロンは発火しにくくなり、外へ向かうエネルギーが発生する。第3項 E_{arr} は、発火状態に制約を与えるエネルギーであり（(5)式）、各ニューロンタワーに1個のニューロンしか発火しないような制約を与える。これにより、各ニューロンタワーから対象物抽出のために最適なニューロンがひとつだけ選択される。

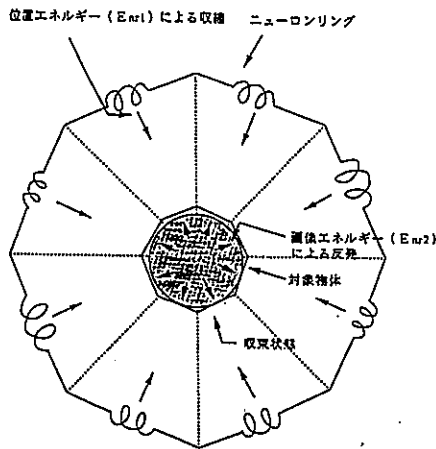


図2 ニューロンリングの収束過程

このように設定した(2)式を一般的なネットワークの式((7)式)に同定すると、今回設定した $N \times T$ 個のニューロンからなる相互結合型ニューラルネットワークに関する ω_{ikj} と θ_{ik} を得る。

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_k \sum_j \omega_{ikj} v_{ik} v_{ij} + \sum_{i,k} \theta_{ik} v_{ik} \dots (7)$$

3. ホップフィールドモデルによる物体抽出

3.1 ホップフィールドモデル

ホップフィールドモデルは、相互結合型ニューラルネットワークの代表的なモデルであり、Hopfieldらによって提案され(1982, 1984)、エネルギー最小化問題に用いられている。今回構成した物体抽出モデルにこれを適応すると、図1のニューロン $n(i, j)$ の膜電位は(1)式によって示され、その出力は(8)式で求められる。

$$v_{ik} = f(u_{ik}) = \frac{1}{1 + \exp(-u_{ik})} \dots (8)$$

ここで、 $f(u)$ は図3に示されるシグモイド関数である。

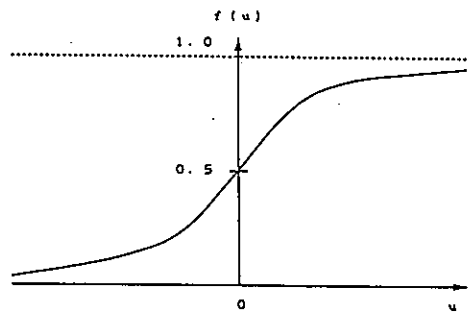


図3 シグモイド関数

ホップフィールドモデルでは、状態変化が起こるたびにネットワークの持つエネルギーは減少するので、各ニューロンに対し膜電位を調べその出力を求める操作を繰り返し行くと、最終的にエネルギーは極小状態に収束する⁴⁾。図4にその動作アルゴリズムを示す。

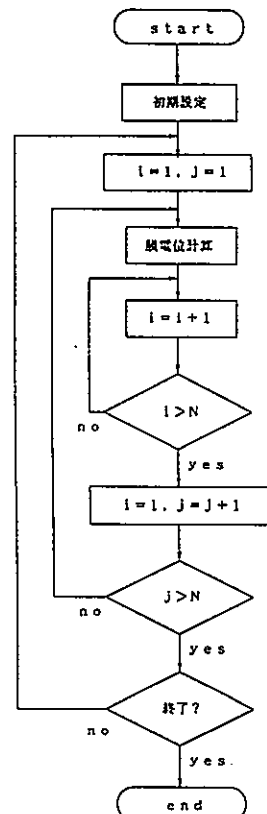
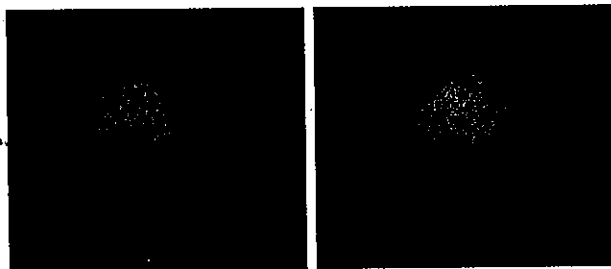


図4 ホップフィールドモデルの動作アルゴリズム

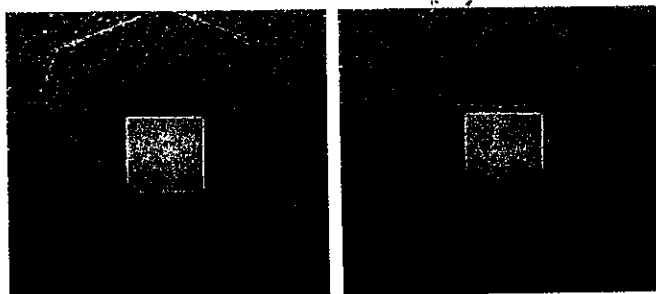
3.2 ホップフィールドモデルによる物体抽出実験

ホップフィールドモデルによる物体抽出実験を行い、その結果を図5及び図6に示す。図5では黒い板の上に白い碁石を置いた画像について、図6では四角いセラミックスをコピースタンドの上に置いた画像について物体抽出実験を行った。なお、本実験において画像処理装置としてnex-us(併製nex-us 6800及びニューラルネットワーク計算用ホストコンピュータとしてNEC製PC9801VXを用いた。

図5の実験では、ニューロンタワー10本及び10ヶ/ニューロンタワーの条件で行っており、図6の実験では、ニューロンタワー8本及び8ヶ/ニューロンタワーで行っている。両者とも一番外側のニューロンを初期値としており、最終的にほぼ対象物体を抽出している。



(a) 初期状態 (b) 収束状態
図5 ホップフィールドモデルによる物体抽出実験 (I)



(a) 初期状態 (b) 収束状態
図6 ホップフィールドモデルによる物体抽出実験 (II)

4. ボルツマンマシンモデルによる物体抽出

4.1 ホップフィールド型ネットワークによる問題点

2項に示したホップフィールド型ニューラルネットワークは3.2項のシミュレーションで示したように、通常の画像ではうまくいくことが確認できたが、画像によっては満足いく結果を得られないことがある。例えば、図7に示すように対象物体の周辺に黒いものがあった場合、この部分の画像エネルギーが低くなり、そこにいわゆるローカルミニマムが発生してニューロンリングが捉えられてしまうことがある。

そこで、このようなローカルミニマムを回避できることが示されているボルツマンマシンによる物体抽出モデルについても検討を行った。

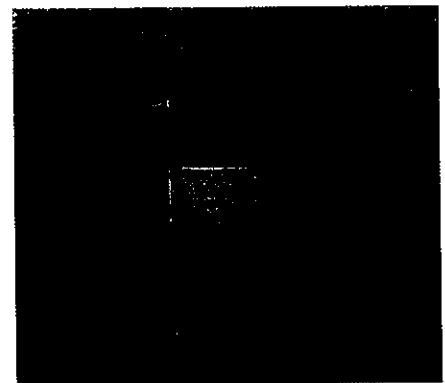


図7 ホップフィールドモデルによる不具合例

4.2 ボルツマンマシンモデル

ボルツマンマシンは、ホップフィールドモデルと並ぶ相互結合型ニューラルネットワークモデルの代表であり、Hintonらによって提案された(1983)。ボルツマンマシンでは、ニューロンの出力を決める際に確率的に1 or 0の離散値で決定しており、また、アニーリング(焼きなまし)という方法をとっているところに特徴がある。そのため、ホップフィールドモデルのようにネットワークのエネルギーが状態変化のたびに下がるのではなく、ネットワークのエネルギーを増やすような方向の状態変化も生じる。そのためボルツマンマシンでは、ホップフィールドモデルがおちいったローカルミニマムを回避できるという特徴がある。

ボルツマンマシンでは、ニューロンの膜電位はホップフィールドモデルと同じ値（（１）式参照）をとるが、ニューロンの出力値の決定は（９）、（１０）式により確率的に行う。

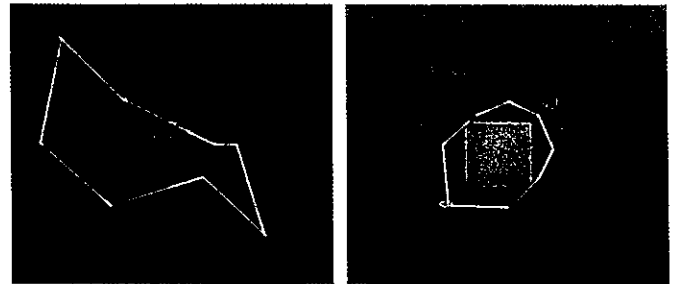
$$P(v_{ij} = 1) = \frac{1}{1 + \exp(-u_{ij}/T)} \dots (9)$$

$$P(v_{ij} = 0) = 1 - P(v_{ij} = 1) = \frac{\exp(-u_{ij}/T)}{1 + \exp(-u_{ij}/T)} \dots (10)$$

更に（９）、（１０）式のTは計算回数に従い変化させている。これが先に述べたアニーリング（焼きなまし）である。即ち、状態遷移の初期においては温度Tを高い状態にし、徐々に低い方へ変化させる。これにより発火確率を変化させることができ、その結果初期の状態ではネットワークのエネルギーは激しく上下し、状態遷移が進むにつれてエネルギーの上下は小さくなり最終的に最小解に近い値に到達することができる。アニーリングにおける温度Tと発火確率の関係を図8に、また、ボルツマンマシンの動作アルゴリズムを図9に示す。

4.3 ボルツマンマシンによる物体抽出実験

ボルツマンマシンによる物体抽出実験の結果を図10に示す。なお、実験装置の構成はホップフィールドモデルの実験と同じである。



(a) 初期状態 (b) 収束状態
図10 ボルツマンマシンによる物体抽出実験

ボルツマンマシンの場合、初期値はランダムに選ばれた状態からスタートする（図10（a））。そして、最終的には、周辺の黒い部分に捉えられずに物体付近のニューロンに収束している（図10（b））。このときのエネルギーの遷移状態を示したものが、図11である。

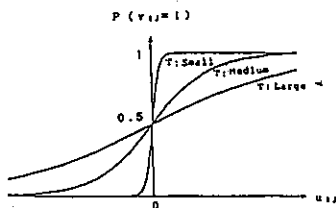


図8 ボルツマンマシンにおける温度Tと発火確率の関係

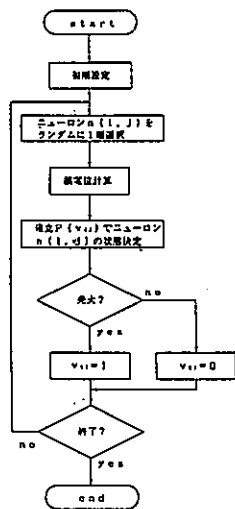


図9 ボルツマンマシンの動作アルゴリズム

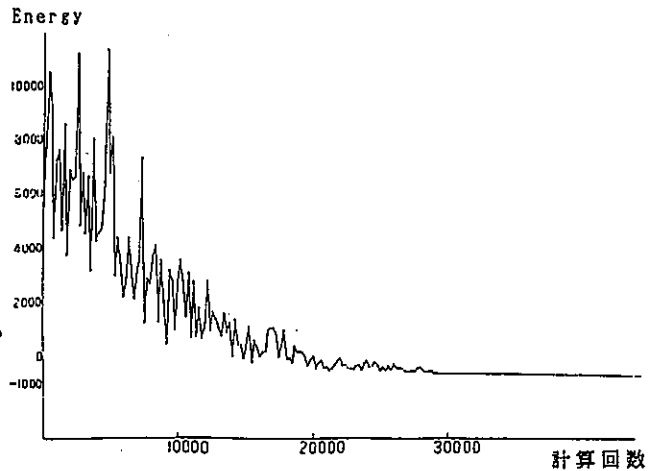


図11 ボルツマンマシンによるエネルギーの遷移

計算回数が小さいうちは温度Tが高いため、エネルギーは激しく上下するが、計算回数が進むにつれて温度Tが低くなり、それに従い、エネルギーの上下もしだいに減少して最終的に収束状態に

落ちついている。この結果により、対象物体の近傍にノイズがあった場合の画像については、ボルツマンマシンを用いた方が効果的であるといえる。図10(b)において収束状態が正確に物体の輪郭を表していないが、これはアニーリングの方法に原因があると考えられるので、今後検討する必要がある。

5. まとめ

今回は、相互結合型ニューラルネットワークによる物体抽出を試みた。ニューラルネットワークを用いた物体抽出は、エネルギー最小化原理に基づいており、エッジ強調や2値化等の従来の方法と異なり、画像濃度等の個別条件に影響されにくいという特徴を持っている。また、ニューラルネットワークを用いたことにより、将来ハードウェアの実現が期待できる。

本研究では、ホップフィールドモデルによる物体抽出実験を行い、その効果を確認した。しかし、一部の画像に対しローカルミニマムに捉えられうまく物体抽出が出来ない場合があったので、ボルツマンマシンによる物体抽出モデルの検討を行った。そして、ボルツマンマシンモデルによる物体抽出実験を行い、その効果を確認した。その結果、画像にノイズが含まれたものに関しては、ボルツマンマシンは効果があることが分かった。ただし、ボルツマンマシンモデルの場合はアニーリングスケジュールが重要であるので、今後スケジューリング方法等を検討する必要がある。

今後は、物体抽出モデルの改良及び画像エネルギーの設定方法の検討を行い、ロボットビジョンや外観検査への応用を行う予定である。

参考文献

- 1) 坂上勝彦, 横矢直和: "弛緩法と正則化", 情報処理, Vol.30, No.9, pp.1047-1057(1989)
- 2) M.Kass, A.Witkin and D.Terzopoulos., "SN-AKES:Active Contour Models", International Journal of Computer Vision, Vol.1, No.4, pp.321-331(1988).
- 3) Y.Tsumiyama, K.Sakaue, K.Yamamoto., "Active Net:Active Net Model for Region Extraction", Report of IPSJ, CV63-2, (1989).
- 4) 麻生英樹: "ニューラルネットワーク情報処理-コネクショニズム入門,あるいは柔らかな記号に向けて-", 産業図書(1990).

吟醸香生成能の高い焼酎酵母の育種

——細胞融合による醸造微生物機能の改良に関する研究(第1報)——

土谷紀美・中川 優・西村賢了・木田建次*・園田頼和* (*熊本大学工学部)

Breeding of Shochu Yeast with a Good Performance of Production of Aroma and Flavour Components

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

概要

本研究では、焼酎醸造条件下(多酸や高温)においても、吟醸香成分の生成能が高い焼酎酵母を育種することを目的として、焼酎酵母と清酒酵母の細胞融合を試みた。焼酎酵母には、熊本県内の醸造場から分離した酵母の中から高温発酵性の優れた酵母として選抜したS-4株を用い、一方、清酒酵母には吟醸酒用酵母として知られる協会9号酵母を使用した。PEG法による融合によって開発された酵母は、吟醸香の主成分である酢酸イソアミルの生産能の高さと焼酎製造条件に適した性質を兼ね備えていた。

1. はじめに

焼酎の酒質を支配する因子には、原料、微生物(麹菌・酵母)、発酵条件、蒸留条件といった製造条件が挙げられるが、中でも焼酎の香味には酵母が深く関与している。

香氣豊かな焼酎を製造するために、吟醸酒用酵母として知られる協会9号酵母を使用する醸造場もあるが、本来清酒用酵母であることから、焼酎製造条件に適さないためか酵母の高香氣生成能が生かされていない。

また、熊本県の特産品である球磨焼酎はこれまで、いも焼酎用に開発された鹿児島酵母により醸造されており、米製焼酎に適した独自の酵母の開発とそれによる焼酎の品質向上が望まれていた。

そこで、香りの良い、米製焼酎に適した酵母の育種を目的として、焼酎酵母と清酒酵母の細胞融合による新しい酵母の取得を試みた。

2. 実験方法

2.1 使用菌株

協会9号酵母(*Saccharomyces cerevisiae* Kyokai No.9, 以下K-9)ならびに球磨地方の醸造

場より分離した焼酎用酵母S-4(*S. cerevisiae*, 以下S-4)を使用した。米麹製造には焼酎麹菌(*Aspergillus awamori* var. *kawachi*, 河内源一郎商店)を用いた。

2.2 使用培地

細胞融合による育種には、YPD培地(酵母エキス1%, ポリペプトン2%, グルコース2%), 最小培地(グルコース2%, Difco yeast nitrogen base w/o amino acids 0.67%, 寒天2%), 及び選択培地(最小培地にKClを0.6M添加)を用いた。

糖資化性試験には、TTC染色法による酵母の群別に使用された培地¹⁾、炭水化物2%, ポリペプトン0.2%, 酵母エキス0.1%, KH_2PO_4 0.1%, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.04%, 寒天2%からなる平板培地(糖資化性平板培地とする)を用いた。なお、炭水化物としてはグルコース、ガラクトース、マルトースを用いた。また、 α -メチルD-グルコシド(α -MG)資化性試験には、炭水化物として α -MGを加えた寒天削除の糖資化性液体培地を用いた。

2.3 糖質化性試験

10ml YPD培地で培養した酵母を2回洗浄後、5ml無菌水に懸濁し、 10^4 倍希釈した後、糖質化性平板培地に塗布し、 30°C で6日間培養して出現するコロニーの大きさを観察した。また、 α -MG質化性については、糖質化性液体培地に初発菌数が 10^4 cells/mlになるように植菌し、 25°C で振盪培養を行い、660nmでODを測定した。対照株として焼酎実用株である協会2号酵母、焼酎用鹿児島酵母及び焼酎用宮崎酵母を用いた。

2.4 小仕込試験

変異株、融合株及び耐性株の選択には、300ml三角フラスコを用いた小仕込試験(2段仕込)を行った。すなわち、焼酎米麹25g、汲み水30ml及び前培養酵母液0.5mlを三角フラスコに加え1次仕込を行い、5日後に掛米60g、汲み水110mlを添加し2次仕込を行い、 25°C で3日間発酵させた。

また、融合株及び耐性株の最終評価は、2L三角フラスコを用いた小仕込試験(2段仕込)により行った。焼酎米麹165g、汲み水200ml及び前培養酵母液3mlを三角フラスコに加え1次仕込を行い、5日後に掛米400g、汲み水750mlを添加し2次仕込を行い、 25°C で4日間発酵させた。

2.5 融合用マーカーの付与

K-9のリジン要求性変異株の取得は、北本の方法²⁾に従って変異誘起剤としてエチルメタンスルホネート(EMS)を用いて行った。また、S-4の栄養要求性変異株及び呼吸欠損株は、それぞれ大内らの方法³⁾及び大嶋の方法⁴⁾により行った。

2.6 プロトプラスト融合

有馬らの方法⁵⁾に従って行った。すなわち、YPD培地で5時間振盪培養した菌体を集菌、洗浄した後、0.6M KClおよび0.2% 2-メルカプトエタノールを含む0.25mg/mlのZymolyase-20T溶液(0.1Mリン酸緩衝液、pH7.5に溶解)に懸濁し、 30°C で20分もしくは30分間処理してプロトプラストを調製した。両プロトプラストを0.6M KCl溶液で洗浄後、等量ずつ混合し、0.6M KCl及び50mM CaCl_2 を含む30% PEG 4000溶液で 30°C 、15分間処理した。処理菌体を0.6M KCl溶液で洗浄した後、選択培地に塗布し、さらに寒天濃度を3%とした同培地を重層した。

これを、 30°C で5~7日間培養し、生じたコロニーを融合株とした。

2.7 DNA含量

Schneider法⁶⁾により核酸を抽出し、Burtonの方法⁷⁾でDNAを定量した。一倍体標準株として大嶋教授(大阪大学工学部応用生物工学科)から分与されたS1株を使用した。また、検量線作成のため、BMY社から購入したDNA標品(high molecular weight from calf thymus)を用いた。

2.8 パルスフィールド電気泳動

YPD培地で 30°C 、36時間振盪培養し、集菌洗浄した細胞 5×10^8 個の染色体DNAをCarleらのベッド法⁸⁾によりゲル中に抽出した。この調製したゲルを1%アガロース(ナカライテスク)ゲルのサンプル孔に挿入した後、TAE緩衝液(20×TAE: 0.2M Tris-HCl, 10mM EDTA, 87mM 酢酸ナトリウム)を用いて、170mA、パルス間隔30秒で30分間、その後140mA、パルス間隔60秒で20時間の泳動を行った。DNAのサイズスタンダードとして、DNA Size Standards Yeast Chromosomal (Strain YNN 295, BIO RAD社)を用いた。泳動後、ゲルを1mg/LのEB溶液中で1時間染色し、紫外線照射下で発光する蛍光を観察した。

2.9 イソamilアルコールアセチルトランスフェラーゼ(AATase)活性測定

吉岡らの方法⁹⁾を一部改変した方法により測定した。すなわち、実験方法6に記す方法で調製したプロトプラスト懸濁液0.5ml、pH 7.5の0.1Mリン酸緩衝液に溶解した2.4mM アセチル-CoA溶液0.5ml及び135mM イソamilアルコール0.5mlをバイアル瓶に入れ、シリコン栓を付け、 30°C 、60分間振盪し反応させた。その後、NaCl 1gを加えて反応を停止させ、ヘッドスペースガスクロマトグラフィーにより酢酸イソamilを測定した。

AATase活性は、生成した酢酸イソamil濃度(mg/L $\cdot 10^8$ yeast cells)で表示した。

2.10 分析方法

もろみ中のエタノール濃度及び低沸点香り成分、中沸点香味成分は、木田ら¹⁰⁾の方法に準じてガスクロマトグラフィー(GC)により定量した。

もろみ中の酸度の測定は、国税庁所定分析法¹¹⁾に従った。

もろみ中のグルコース濃度はF-キット グルコ

ース法（ベーリンガー・マンハイム社）により定量した

3. 実験結果及び考察

3.1 焼酎酵母のスクリーニング

清酒酵母K-9との細胞融合を行うために焼酎酵母のスクリーニングを行った。熊本県内の焼酎醸造場28場の醪中から計42株の酵母を分離し、これらの株について糖質化性試験を行った。全ての株は、試験した中で α -MG以外の全ての糖を資化した。 α -MGについては図1に示したようにS-4株だけが α -MGを含む資化性液体培地に生育した。コロニーの大きさ、もろみの香りからS-1、S-4、S-8、S-10、S-28の5株を選択した。

この5株を用いて、35℃の高温下で300mlスケールの小仕込試験を行った。35℃における発酵速度には大差なかったが、S-1、S-4及びS-10の3株は生成エタノール濃度及び酢酸イソアミル濃度において若干優れていた（表1）。

表1 35℃における発酵結果

Strains	エタノール (%)	酢酸イソアミル (ppm)
S-1	7.9	1.39
S-4	8.0	1.50
S-8	7.8	1.46
S-10	7.8	1.74
S-28	7.5	1.29

現在の焼酎用実用株である鹿児島酵母、宮崎酵母及び焼酎用協会2号酵母は、 α -MG資化性液体培地にほとんど生育しなかった（図1参照）。

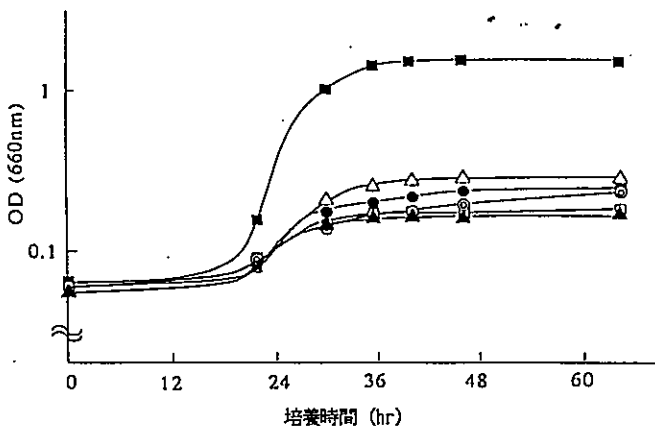


図1 α -MG資化性培地における増殖曲線
 (▲, S-1; ■, S-4; ●, S-10; ○, 鹿児島酵母; △, 宮崎酵母; □, 焼酎用協会2号酵母)

また、分離株S-4及び実用株のパルスフィールド電気泳動を行った結果、図2のとおり、S-4株はいずれの実用株とも異なるDNAパターンを示した。これら既存の実用焼酎酵母とは異なる性質を持つS-4株を、以下の融合試験に使用した。

5 4 3 2 1



図2 分離株及び実用株の染色体DNAパターン
 (1; S-4, 2; マーカー, 3; 鹿児島酵母, 4; 宮崎酵母, 5; 協会2号酵母)

3.2 プロトプラスト融合による酢酸イソアミル高生産株の取得

分離した焼酎酵母S-4からEMS処理により栄養要求性変異株として11株を、またEB処理により呼吸欠損株として5株を取得した。一方、清酒酵母K-9からリジン要求株として7株を取得した。これら変異株の300mlスケールでの小仕込試験を行い、発酵能及び香気生成能の優れた株としてS-4の呼吸欠損株S4 ρ 5 (ρ^-)、S-4及びK-9の栄養要求性変異株S4M11 (Arg^-)、K9L4 (Lys^-)を選択し、融合試験に供した。

S4 ρ 5とK9L4のプロトプラスト融合を行い、融合株17株を取得した。この時の融合頻度は 1.2×10^{-5} であった。選択培地に生育したコロニーをさらに数回最小培地にレプリカし、安定に生育するKF3を含む5株を選択した。

また同様にしてS4M11とK9L4のプロトプラスト融合を行い、融合株としてKF5を含む6株を取得した。この時の融合頻度は 3.0×10^{-5} であった。

これら11株の小仕込試験を300mlスケールで行い、表2に示した発酵終了もろみ中のアルコール濃度及び酢酸イソアミル濃度から融合株として株

19 (KF3) 及び株56 (KF5) を選択した。

表2 融合株の発酵もろみ分析結果

Strains	エタノール (%)	酸度	残糖 (g/l)	酢酸イソアミル (ppm)	イソアミルアルコール (ppm)
S-4	16.7	3.2	0.1	3.9	322
K-9	15.4	3.7	11.4	2.3	241
3	16.7	3.4	0.2	4.7	320
10	16.8	3.4	0.3	4.8	318
11	17.1	3.6	0.4	4.5	290
19	17.0	3.4	1.4	6.5	375
24	16.5	3.1	0.4	5.9	337
30	15.5	3.8	15.3	1.8	260
33	14.9	3.7	20.0	2.5	239
35	14.9	3.6	17.4	2.4	251
37	16.5	3.4	0.4	5.1	318
42	16.5	3.3	0.4	5.1	339
56	16.3	3.2	0.3	5.8	361

Strains3~24の5株はS4p5とK9L4の細胞融合株
Strains30~56の6株はS4M11とK9L4の細胞融合株

3.3 融合酵母の諸性質及び融合の確認

融合酵母KF3、KF5の α -MGを含む糖資化性及び胞子形成能について両親株との比較を行い、その結果を表3に示した。

表3 融合株及び親株の糖資化性、胞子形成能、DNA含量

Strains	資化性				胞子形成能	DNA含量 ($10^{-8}\mu\text{g}/\text{cells}$)
	グルコース	ガラクトース	マルトース	α -MG		
S-4	+	+	+	+	+	5.4
K-9	+	S	S	S	W	4.5
KF3	+	S	+	S	+	6.7
KF5	+	+	+	+	+	6.5

出現するコロニーの大きさから判断すると、マルトースに関しては、K-9株のみが資化能が低く、ガラクトースに関してはK-9株及び融合株KF3が資化能が低かった。S-4株を特徴付けた α -MG資化能は、 α -MG含有糖資化性液体培地で培養した結果、融合株KF5が有していることが分かった。K-9株の胞子形成率は低かったが、両融合株はS-4株と同様に容易に胞子を形成した。

表3に各酵母のDNA含量も示したが、1倍体標準株S1のDNA含量は $2.3\mu\text{g}/10^8\text{cells}$ であることから、親株であるS-4株はK-9株と同様に2倍体であると考えられた。融合株は親株の約1.3倍のDNA含量しか有していなかったが、これは融合後一部の染色体が脱落したためと考えられ

た。

そこで、パルスフィールド電気泳動法により、DNAの挙動を調べた。図3に示したように融合株KF5は親株のS-4に類似した分離パターンを示しており、さらに α -MG、ガラクトース及びマルトース資化能の結果と一致していることから、基本的にS-4株の性質を有するものと考えられた。KF3もS-4に近い分離パターンを示しているが、S-4で780kbp付近に見られるバンドが低分子側にシフトしていること、及び500kbp以下のバンドパターンが両親株と異なることから、一部欠失や組換えが起きていることが推定された。また、 α -MG及びガラクトース資化能を有していないことからKF3は中間型と考えられた。

5 4 3 2 1



図3 融合株の染色体DNAパターン
(1; マーカー, 2; KF3, 3; KF5, 4; K-9, 5; S-4)

3.4 融合酵母の評価

融合株の発酵特性を調べるために、焼酎米麹を用いた2Lスケールの小仕込試験を2段仕込で行った。また、比較試験として親株であるS-4及びK-9についても同様にして小仕込試験を行った。図4は2次仕込以降の炭酸ガス発生量を示しているが、K-9株の発酵は若干遅れる傾向にあり、発酵温度や麹の産生する酸により影響を受けたと考えられた。しかし、融合株はいずれもS-4株と同等の発酵速度を示すだけでなく、表4に示すように最終もろみ減少量(ガス発生量)もほとんど変わらなかった。

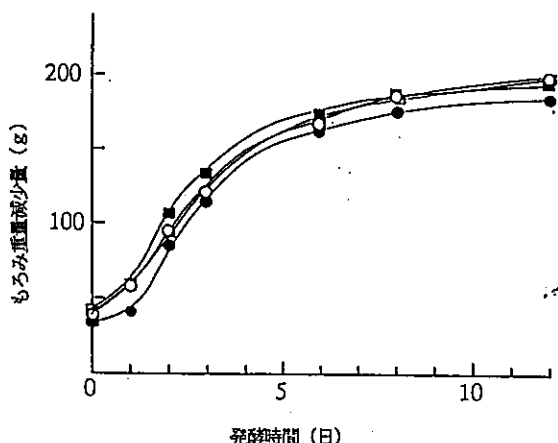


図4 融合株及び親株の発酵経過
(□:KF3, ○:KF5, ■:S-4, ●:K-9)
麴歩合40%, 汲水歩合150%, 発酵温度25°C

発酵終了もろみのアルコール濃度及び低沸点香気成分の分析を行い、表4及び5に示した。

表4 2Lスケール発酵試験結果

Strains	もろみ重量減少量 (g)	酸度	残糖 (g/l)	エタノール (%)
S-4	200	4.25	0.46	18.9
K-9	179	4.40	5.40	17.8
KF3	191	4.12	0.56	18.4
KF5	201	4.20	0.61	18.5

表5 2Lスケール発酵試験における香気生成の比較

Strains	酢酸エチル (ppm)	n-プロピルアルコール (ppm)	i-ブチルアルコール (ppm)	i-アミルアルコール (ppm)	酢酸イソアミル (ppm)	カプロン酸エチル (ppm)	E/A
S-4	49	152	169	343	3.2	1.4	0.93
K-9	57	121	161	279	2.5	1.7	0.90
KF3	58	143	217	396	4.9	1.5	1.24
KF5	54	172	252	419	4.6	1.3	1.10

(E/A; 酢酸イソアミル/イソアミルアルコール×100)

融合株はS-4株と同等のアルコールを生成しており、残糖もわずかであった。また、表5に示したように、吟醸香の指標となる酢酸イソアミル濃度については融合株は親株S-4の1.5倍生成しており、官能的にもエステル香の増加が認められた。イソブチルアルコール、イソアミルアルコール等の高級アルコールについても融合株の生成能が優

れていることから、今回得られた両融合株は、香りに関する有用形質を獲得した株であることが示唆された。しかし、カプロン酸エチルについては親株、融合株間に差異は見られなかった。一方、比較試験として用いた吟醸酒用酵母であるK-9株は、焼酎仕込条件である多酸、高温下では香気成分生成能が低下することが明らかとなった。

もろみ中の酢酸イソアミルは、イソアミルアルコールがAATaseによってエステル化されて生成されることが知られている¹²⁾。表6に示したように融合株のAATase活性は、相対値でS-4株の約4倍であった。融合株の酢酸イソアミル生成能の向上は、AATase活性とイソアミルアルコール濃度の両者に依存しているものと推察された。

表6 親株及び融合株のAATase活性

Strains	酢酸イソアミル (ppm / 10 ⁸ cells)
S-4	1.0
K-9	2.9
KF3	4.4
KF5	3.9

育種株の実用化を図るために行った中間プラント試験醸造及び工場規模試験については次報で報告する。

4. 要約

1) 米製焼酎の醸造場から比較的高温での発酵能に優れたS-4株を分離した。この酵母は優れた α -MG資化能を有する点及び染色体DNAの電気泳動パターンから既存の焼酎用実用酵母とは異なり、家付き酵母と考えられた。

2) 分離酵母S-4に高香気成分生成能を付与するため、協会9号酵母とプロトプラスト融合を行い、融合酵母KF3, KF5を取得した。この融合酵母の小仕込試験を行ったところ、親株であるS-4株の約1.5倍の酢酸イソアミルが生成された。酢酸イソアミル生成能の向上は、イソアミルアルコール量及びAATase活性の増大によるものであった。

文 献

- 1) 村上英也, 吉田 清, 野呂二三, 稻橋正明,
服部裕子: 醸協, 77,(3)181 (1982)
- 2) 北本勝ひこ: 醸協, 84,(1)34 (1989)
- 3) 大内弘造, 下田雅彦, 中村行善, 小嶋弥之
祐, 西谷尚道: 醗酵工学, 61, 349 (1983)
- 4) 大嶋泰治: 微生物遺伝子実験法(石川辰夫 編)
p.179, 共立出版 (1982)
- 5) K.ARIMA, I.TAKANO: Genetics, 93, 1(1979)
- 6) W.C.SCHNEIDER: J.Biol.Chem,164,747(1946)
- 7) K.BURTON: Biochem.J.,62, 315 (1956)
- 8) G.F.CARLE, M.V.OLSON:Proc.Natl.Acad.Sci.
USA 82, 3756 (1985)
- 9) K.YOSHIOKA, N.HASHIMOTO: Agric.Biol.Chem.,
45, 2183 (1981)
- 10) 木田建次, 西村賢了, 中川 優, 園田頼和:
醸協, 86,(12)962 (1991)
- 11) 国税庁所定分析法注解: p17, 注解編集委員会
編 (1974)
- 12) T.Ishikawa, K.Yoshizawa: Agric.Biol.Chem.,
43, 45-(1979)

無機質複合木材の耐候性

永山賛平^{*}・大迫靖雄^{**}

Studies on Weatherproof of Inorganic Composite Wood

Sanpei NAGAYAMA^{*}, Yasuo OHSAKO^{**}

無機質複合木材の耐候性を調べるために、屋外暴露試験を行った。その結果、目視による観察では処理材は経過日数とともに白色度が増え、無処理材は黒色度が増える傾向を示した。表面形状測定において早材部と晩材部の凹凸の差がスギ、ヒノキとも処理材の方が小さく、平滑度でも同様の傾向を示した。L*a*b*表色系の測定においても目視による結果と同様の傾向を示したが、処理材には耐変色効果がみられ、その効果はスギよりもヒノキにおいて顕著であった。ただ暴露試験中に試料内部の無機物が流出する傾向がみられ、屋外で使用するためには、さらに処理方法などの検討が必要であることが明かとなった。

1. はじめに

最近、公共用をはじめとする大規模建築物に木質材料が多く使用されるようになった。これらに使用するための木質材料を難燃化、防腐化する試みとして開発された無機質複合化木材¹⁾を屋外で使用する際には、その耐候性が問題となり、その対策が検討されている。

一般に木質材料は屋外での使用において、光、温度、湿度、降雨、結露、ガスなどの因子によって劣化する。それらの劣化は、単一因子のみで生じるのはまれで、ほとんどは各因子の組み合わせ及びこれの繰り返しによって生じる。劣化に関する試験方法としては、自然環境下に放置して老劣化を生じさせて耐久性を調べる屋外暴露試験と屋内で自然環境の諸因子と条件を人工的に再現し、シュミレートとして老劣化を速めて評価する促進試験²⁾がある。このうち今回は屋外暴露試験を行い、若干の知見を得たので、その結果について報告する。

2. 実験方法

2. 1 屋外暴露試験

本試験には、スギ、ヒノキの無処理材及び二重拡散法により製造した無機質複合化木材(処理材: 12×55×210mm)それぞれ2枚ずつを試料として用いた。

この試料を当センター屋上で、屋外暴露台を南向きに傾斜角30度で固定し、10ヶ月間屋外暴露試験を行った。また、試験開始後一定期間毎に表面のL*a*b*表色系について、カラーテスターH-C T型(スガ試験機製)を用いて、一つの試料について3箇所ずつ、測定箇所が同一となるような型枠を用いて測色した。また目視により外観の変化を観察した。

2. 2 表面形状及び粗さ測定

屋外暴露した試料について、輪郭形状測定器サーフコム7.20B型(株)東京精密製)を用いて、表面形状及び中心線平均粗さを測定した。

2. 3 SEM像の観察

屋外暴露試験前後において、試料の内部で無機物がどのような状態を保っているかを、走査型電子顕微鏡S-4000型(日立製)を用いて観察した。

* 材料開発部

** 熊本大学教育学部

3. 実験結果及び考察

3. 1 目視による外観の変化

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

3. 2 表面形状及び中心線平均粗さ

暴露試験後の早材部と晩材部の凹凸の差及び中心線平均粗さの測定結果を表1に示す。

表1 表面形状測定結果

材料区分	凹凸の差 (mm)	中心線平均粗さ* Ra (μm)
スギ(処理)	0.19	2.6
スギ(無処理)	0.32	7.1
ヒノキ(処理)	0.04	1.1
ヒノキ(無処理)	0.12	2.5

*カット(λc)値 2.5mm 測定長さ 12.5mm

表面形状測定によると、スギ、ヒノキともに幅ぞりの量は処理材、無処理材でほとんど差がみられなかったが、早材部と晩材部の凹凸の差は無処理材がスギで約1.5倍、ヒノキで約3倍高い値を示した。これは処理材では、無機物が柔らかい早材部に多く存在するために暴露による影響を受けにくかったことを示していると言える。

中心線平均粗さについても同じ傾向がみられ、処理材より無処理材の粗さが顕著であった。

3. 3 屋外暴露におけるL*a*b*表色系及びΔE*の変化

図1に屋外暴露試験によるL*値(明度)の変化を示す。本図からスギ、ヒノキともに無処理材はL*が低下することを示している。本結果は、無処理材は表面が黒化していくこと、つまり屋外暴露により表面が汚染される傾向を示している。一方、

処理材は、測定毎に多少のバラツキはあるものの、スギのL*値の低下はわずかであり、ヒノキでは逆にわずかに増加し、白色度が進む傾向を示している。すなわち処理材はスギ、ヒノキともに屋外暴露によって表面の汚染が少ない傾向を示している。また、処理材は暴露日数約200日を経過すると、L*値はほぼ一定となり、変化が少なくなる傾向を示した。

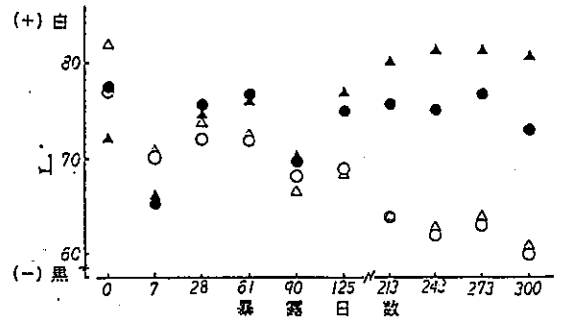


図1 屋外暴露によるL*値の変化

●:スギ処理材 ○:スギ無処理材 ▲:ヒノキ処理材 △:ヒノキ無処理材

次にa*値、b*値の変化を図2、3に示す。

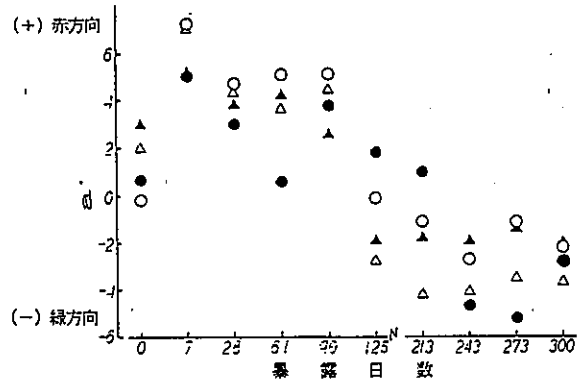


図2 屋外暴露によるa*の変化

記号は図1参照

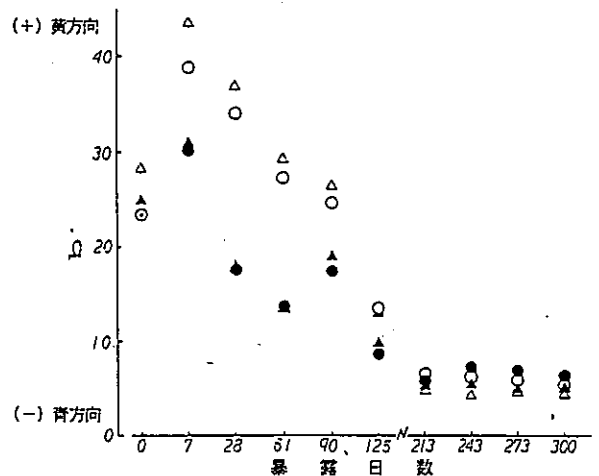


図3 屋外暴露によるb*の変化

記号は図1参照

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

図4にL*a*b*による色差(ΔE^*)の変化を示す。

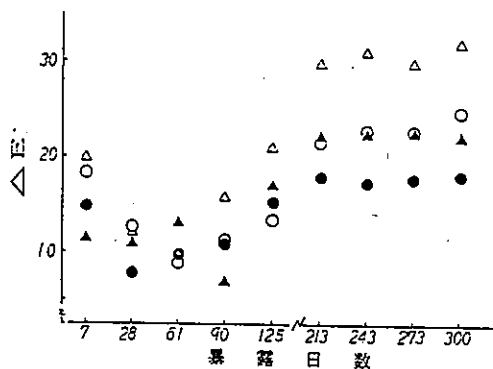
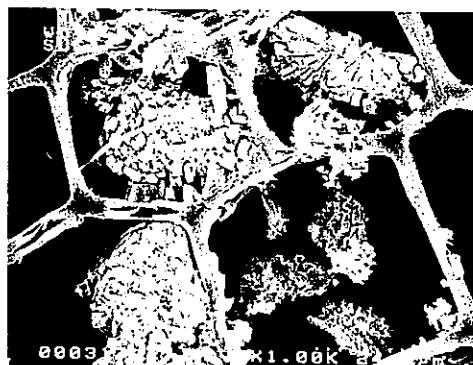


図4 屋外暴露による ΔE^* の変化
記号は図1参照

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

3. 4 SEM像の観察

図5に屋外暴露前後のSEM像を示す。暴露試験前の試料では、少なくとも表層部に形状の類似した結晶の成長がみられたが、暴露後の試料においてはその形状が変化し残存量も減少していた。また、暴露後の試料の重量も暴露前に比べてかなり減少していた。これらの結果から、試験中の雨露の影響を受けて結晶の形が変化し、さらに無機物は水不溶ではあるが細胞組織とは結合していないため、試験中試料内部に侵入した水分により細胞腔等をつうじて外部に流出したものと考えられる。



試験前



試験後

図5 暴露試験前後の試料のSEM像

4. まとめ

本試験において以下の点が明らかとなった。

- ① 目視による観察では処理材は経過日数とともに白色度が増え、無処理材は黒色度が増える傾向を示す。木口面での割れは処理、無処理の別無く発生する。
- ② 表面形状測定において早材部と晩材部の凹凸の差がスギ、ヒノキとも処理材の方が小さく、平滑度でも同様の傾向を示す。暴露による目やせは処理材が少ない。
- ③ L*の変化から、暴露日数とともに処理材は白色化し無処理材は黒色化する傾向がみられた。a*、b*値の変化から、処理、無処理材ともに緑色化、青色化の傾向がみられた。
- ④ 色の変化の度合いを示す ΔE^* 値の変化から処理、無処理材ともに変色するが処理材には耐変色効果がみられ、その効果はスギよりヒノキ材で顕著であった。
- ⑤ 暴露試験において試料内部の無機物が流出する傾向がみられた。

以上の結果から無機質複合化木材を屋外で使用するためには、さらに処理方法などの検討が必要と思われた。

5. 参考文献

- 1) 西本孝一：セラミックウッドに関する研究，
第1～3報，（財）建築研究協会，（1988～
1990）
- 2) 森礼於他：色彩関連JIS解説書，（財）ス
ガウェザリング技術振興財団，（1988）
- 3) 中村哲男，大迫靖雄：屋外暴露したヒノキ床
材の表面処理効果について，熊本県工業技術セン
ター研究報告，No. 27，（1989）

生石灰の焼成条件による性状

末永 知子*・内野 義登志*・坂田 一成*

Properties of Quick Limes Obtained Under Different Conditions of Calcination

Tomoko SUENAGA*, Yoshitoshi UCHINO*, Issei SAKATA*

概要

本県産出の石灰石を原料として、現在使われている「とっくり窯」における生石灰の焼成条件による影響を調べるため、塩焼きと素焼きを対比させ生石灰のSEMによる表面観察像、水和反応、比表面積等を測定し、更に焼成した生石灰を用いて軽質炭酸カルシウムを合成した。その結果、酸化素焼きによる生石灰の結晶粒子は焼成温度、焼成時間の影響を大きく受け焼成温度が100℃温度が上昇するとおおよそ2倍近くになり、温度が高くなると結晶粒子が融着した。塩焼きの結晶粒子は粗大で温度の影響を余りうけず1000℃で7~10μmであり粒子表面に亀裂が見られた。水和反応は酸化素焼きの場合瞬時に起こるが、塩焼きの場合緩やかである。また、水和による残渣は素焼きの場合多く残ったが、塩焼きの場合未焼成石灰が残った900℃以外は80メッシュのふるいでふるった結果、全通であった。これは粒子が粗大であること、さらに粒子表面に亀裂があるためと考えられる。これらの生石灰を用いて軽質炭酸カルシウムを合成した結果、素焼き、塩焼きともにカルサイト系炭酸カルシウムのみ生成し、平均粒径は塩焼きが大きく4.8μmであった。今後は、塩添加、及び生石灰の消化方法による影響を検討する予定である。

1. はじめに

本県においては、石灰は従来から農業用肥料、道路舗装用等が主な製品であり、工業用としては微粉にしてプラスチックや製紙のフィルターまたは、焼成後生石灰として出荷されている。このため付加価値の高い製品開発が望まれている。製紙用フィルターとして現在石灰石を微粉にした重質炭酸カルシウムが一部使われているが、抄紙工程において現在プラスチックワイヤーが使用されているため、ワイヤーの摩耗が問題になっている。¹⁾そこで一度焼成して二酸化炭素を吹き込んで作成した軽質炭酸カルシウムの製紙用フィルターとしての最適な条件を見いだすために、炭酸カルシウムの焼成条件から検討した。すなわち本県においては石灰石は「とっくり窯」といわれる縦型炉で塩を添加した塩焼き法で焼成されおき、燃料としてはコークス等を使用しているため温度管理が難しい。

また石灰石を焼成した時の生石灰の性状が軽質炭酸カルシウムの粒径、結晶系等に影響を及ぼすと言われている。²⁾そこで、焼成条件の違いによる生石灰の性状および軽質炭酸カルシウム合成時の影響について調べたので報告する。

2. 実験方法

石灰石は本県南部産を試料とした。原料の組成を表1に示す。また、原料のX線回折パターンを、図1に示す。

表1 化学分析結果

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	H ₂ O	Loss
0.3%	0.2%	0.1%	52.3%	0.4%	43.3%

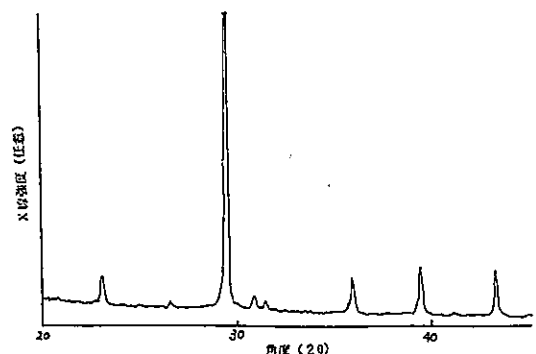


図1 石灰石のX線パターン

* 材料開発部

図よりカルサイトピーク以外にドロマイトのピークが 30.9° に検出された。石灰石をジョークラッシャーで粉碎しフルイで $5\text{mm}\sim 15\text{mm}$ にふるった。粉碎した石灰石をアルミナるつぼに入れ電気炉で焼成した。昇温速度は $10^\circ\text{C}/\text{分}$ 、焼成雰囲気は塩焼き（対原料に3%添加、塩効果を見るため多く添加した）、塩を添加しない場合（以降素焼きと呼ぶ）の二種類、温度は $900\sim 1300^\circ\text{C}$ の5種類、焼成時間は1時間、4時間の2種類とした。生石灰の表面観察は走査型電子顕微鏡で、また、生石灰の水和速度は図2に示す方法で測定した。さらに、水和時の残渣は、生石灰を 30°C の水溶液に1時間水和させた後80メシユのフルイでふるい乾燥させて測定した。また、 1100°C で焼成した生石灰を 35°C 、 800ml の水溶液に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ として10%となるように生石灰を投入し1時間水和させ、二酸化炭素を $500\text{ml}/\text{分}$ で吹き込み軽質炭酸カルシウムを合成した。

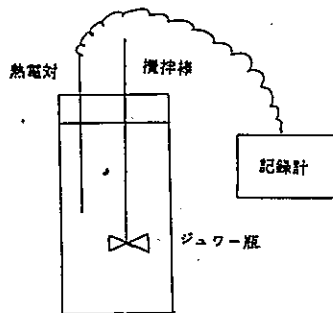


図2 水和反応速度測定器

3. 結果及び考察

(1) 生石灰の表面観察

図3に素焼きで1時間、及び4時間で焼成した生石灰表面のSEM像を示す。また図4に1時間塩焼きした場合のSEM像を示す。素焼きの生石灰は焼成温度、焼成時間とともに結晶粒が大きくなり、1時間焼成では 1100°C で $1\mu\text{m}$ 程の結晶粒が、 1200°C 以上では $2\sim 3\mu\text{m}$ 、 1300°C では $5\sim 6\mu\text{m}$ となり粒子の融着も起こっている。また、焼成時間が4時間（SEM像省略）になると 1000°C で $1\mu\text{m}$ 程の粒子が 1100°C では $3\sim 4\mu\text{m}$ 、 1200°C では $5\sim 6\mu\text{m}$ 、 1300°C では $10\mu\text{m}$ 程に粒成長し、温度が 100°C 上昇すると結晶粒はほぼ2倍化となった。

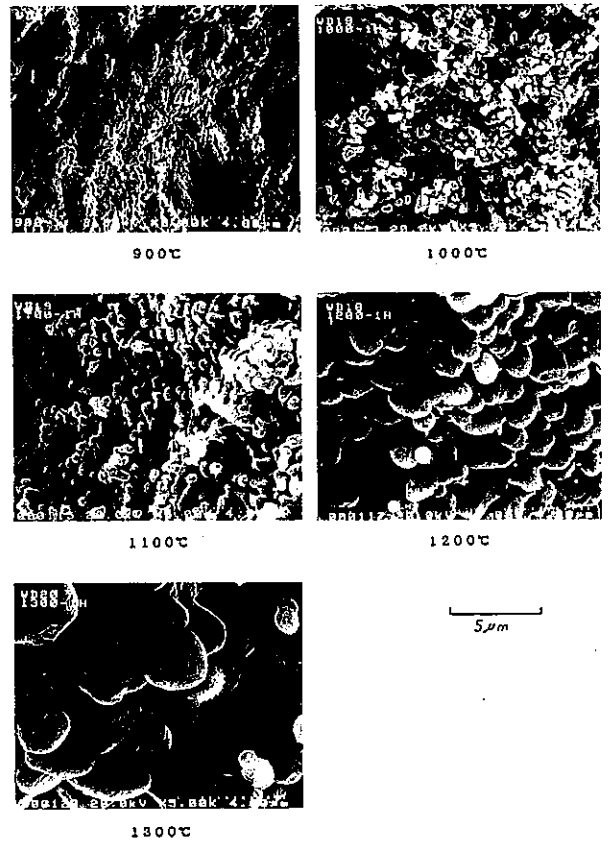


図3 a) 素焼き：1時間

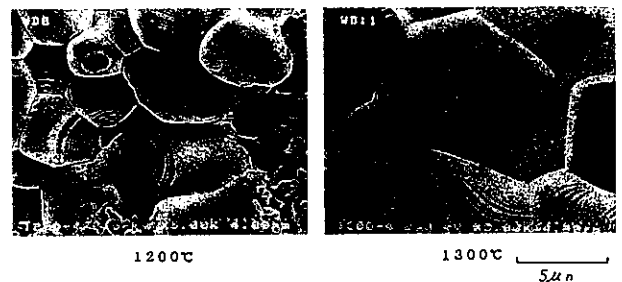


図3 b) 素焼き：4時間 焼成速度： $10^\circ\text{C}/\text{分}$

さらに、粒子の融着が 1100°C ですでに生じていることが認められた。しかし、塩焼きした場合、粒子の温度による影響は少なく 1000°C ですでに $7\sim 10\mu\text{m}$ の結晶粒子となり、粗大化して粒子の融着も起こっている。さらに結晶粒子の表面に亀裂が観察された。

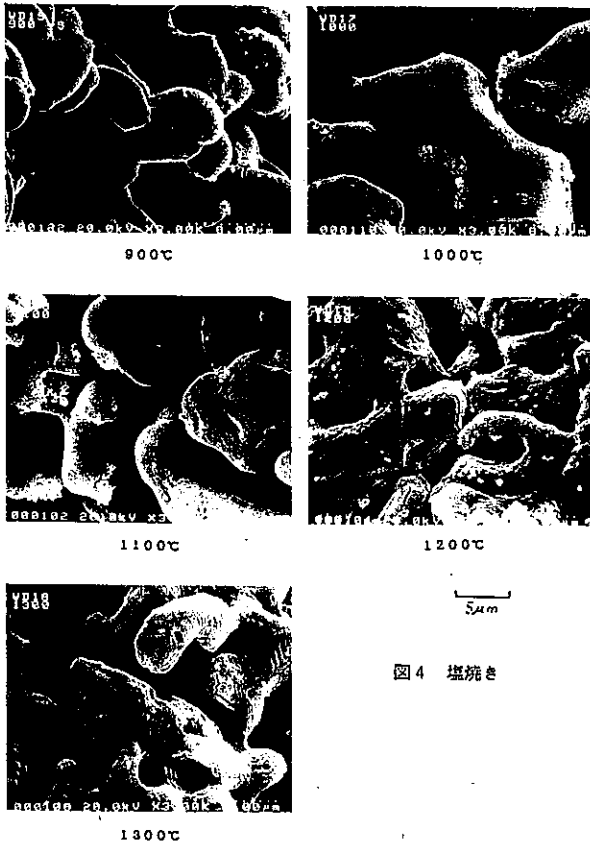


図4 塩焼き

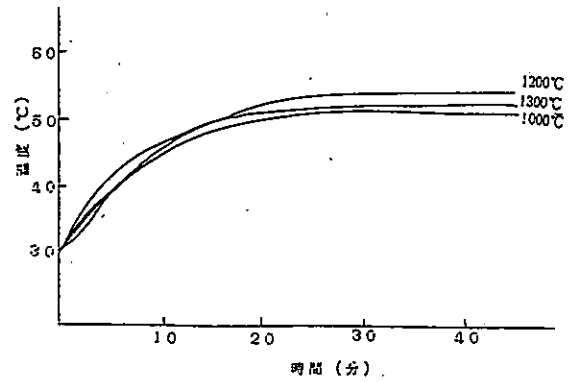


図6 焼成温度の異なる生石灰の水和反応性
塩焼：1時間

素焼きの場合、反応は瞬時に起こり、焼成時間1時間、1100℃では水温が50℃まで上昇し非常に活性であることがわかる。しかし、1300℃では水温が余り上がらず反応が遅い。これはSEM観察からもわかるように結晶粒子が融着していることに起因していると考えられる。焼成時間が4時間においては結晶粒子の融着がさらに進むため、最も活性な焼成温度が1000℃に低下した。一方、塩焼きの場合、反応速度は焼成温度に余り影響されず、緩やかで反応終了までに約15分かかった。更に生石灰をスラリー濃度5%で1時間水和させた試料を80メッシュのフルイでふるった。その結果、表2に示す通り通過率は、素焼きの試料においては1100℃で焼成した生石灰が94.2%と最も高い値を示した。

(2) 水和反応実験

各々の条件で焼成した生石灰を図2の装置に入れ水温30℃で実験を行った。反応速度は水温の上昇で測られるため容器はジュワー瓶を用いて測定した³⁾。その結果を図5、6に示す。

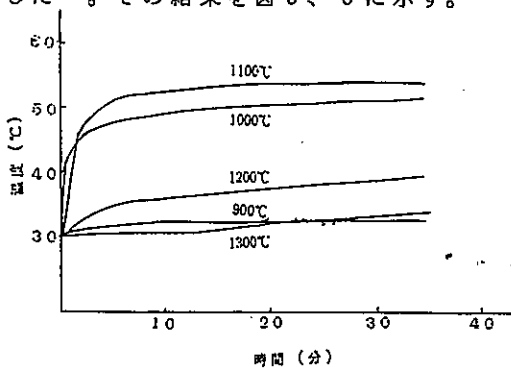


図5 a) 焼成温度の異なる生石灰の水和反応性
素焼：1時間

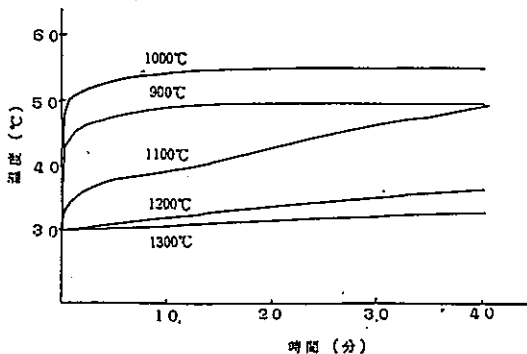


図5 b) 焼成温度の異なる生石灰の水和反応性
素焼：4時間

表2 焼成温度とスラリーの通過率との関係

焼成温度(°C)	酸化成成(1時間)	塩焼(1時間)
900	33.6%	23.4%
1000	90.4%	全通
1100	94.2%	全通
1200	81.0%	全通
1300	66.4%	全通

水和条件：水温30℃ スラリー濃度：5%
水和時間：酸化成成 2時間
塩焼 1時間

フルイ上の試料をX線回折で測定したところ、未消化の生石灰が多く残っていた。しかし、塩焼きの場合未焼成石灰が残った900℃以外は80メッシュ以下であった。これは素焼きの場合、焼成温度が高くなる程結晶粒子が融着し、水との接

触面積が減少し(図7)未水和物が残ったためと考えられる。しかし、塩焼は結晶粒が粗大であり、粒子表面に亀裂があるため粒子内部まで水が浸透し、水和反応が完全に起こってしまったためと考えられる。

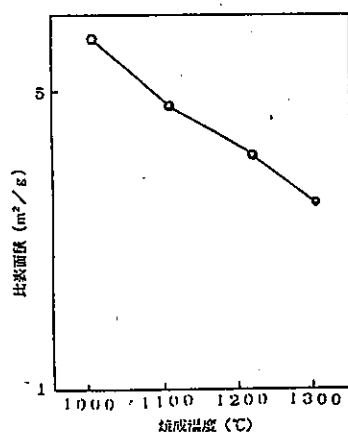


図7 焼成温度の比表面積の関係
素焼: 1時間 測定方法: B・E・T法

(3) 軽質炭酸カルシウムの合成

スラリーの通過率が最も高かった1100°C 1時間の素焼き試料、及び塩焼き1100°Cの試料を対象に軽質炭酸カルシウムを合成した。合成条件は内野らによるアラゴナイト系炭酸カルシウムが多く生成される条件を参考にした。スラリー濃度をCa(OH)₂として15%となるように生石灰を800ml水溶液に投入した。その結果、素焼きの生石灰のスラリーは粘度が非常に高く攪拌ができなかった。しかし、塩焼き生石灰のスラリーは攪拌ができた。そこでCa(OH)₂として10%となるようにスラリー濃度を調整し合成した。その結果、素焼き、塩焼きともにカルサイト系炭酸カルシウムが生成し、平均粒径は塩焼きで4.8μm、素焼きで2.24μmであった。しかし、対原料に対し0.3%塩を添加した生石灰を消石灰にした試料を出発原料とした内野らは、同様の条件でアラゴナイト系炭酸カルシウムを生成した。本実験では塩添加の効果を見るため塩濃度を多くし、また水和反応では多量の水に投入しているため消石灰の結晶が大きくなっていると考えられる。従って、アラゴナイト系炭酸カルシウム生成に塩濃度の影響、生石灰の消化方法による影響があるのではないかと考えられる。

4. 結語

本研究では次のようなことが明らかとなった。

(1) 焼成温度900°Cまでは塩を添加しない場合、塩焼きとともに未焼成石灰が残るが1000°C以上では完全に生石灰になった。

(2) 生石灰の結晶粒子は塩を添加しない場合では焼成温度、焼成時間とともに大きくなり1200°C以上では顕著であった。また焼成温度が1000°C上昇すると結晶粒はほぼ2倍近くになった。

しかし、塩焼きの場合は焼成温度に余り影響を受けず、1000°C 1時間ですでに7~10μm程に成長し粒子が粗大である。また、粒子表面に小さな亀裂が見られた。

(3) 反応速度は塩を添加しなかった場合は瞬時に反応する。しかし、温度が高くなると結晶粒子が融着しているため反応はほとんど見られなくなる。しかし、塩焼きでは温度の影響を余り受けず反応速度も緩やかである。

(4) 各々の温度で焼成した生石灰の水和時のスラリーの残査は素焼きの場合が多く残り、塩焼きの場合は900°C以外は80メッシュのふるいでふるった結果全通であった。

(5) 1000°C、1時間の塩焼き、及び素焼きの生石灰をCa(OH)₂10%となるように調整したスラリーをし1時間水和後水温35°C、炭酸ガス500ml/分で軽質炭酸カルシウムを合成した。その結果、素焼き、塩焼き、両者ともカルサイト系炭酸カルシウムが生成し、平均粒径では塩焼きが大きく4.8μmあった。

今後軽質炭酸カルシウム生成に及ぼす塩、及び生石灰の水和反応における影響を検討する予定である。

参考文献

- 1) 田中宏一他3名「製紙用填料及び顔料としての炭酸カルシウムの諸性質」石灰工業技術No362(1986)
- 2) 柴枝長男、藤枝正道「製造条件の異なる消石灰の性状と炭酸化について」石膏と石灰No113(1971)
- 3) 日本石灰協会技術委員会 石灰ハンドブック1992
- 4) 内野義登志他2名「軽質炭酸カルシウムの合成」本誌No29(1991)

生産管理手法導入による金型生産工場の合理化

坂本博宣*・相澤猛**

The Application of Production Control Method to the
Rationarization of the Die Manufacturing Factory

Hironobu SAKANOTO*、Takeshi AIZAWA**

〔概要〕

県内の中小企業では、工場の生産ラインの合理化が設備の近代化によって行われているようである。しかし、設備の近代化による合理化だけでは、どのような不況が来てもそれを乗り越えられる強い体質の企業作りは不可能とされている。そこで本研究では、そのような事情を考慮して、いつの時代でも確実に利益を出せる企業へと体質強化を図るため、小規模の投資でかつ安全にどのような企業でも実施できる手法を適用した。このため、小規模の金型メーカーの協力を得て、当金型製造工場の生産性向上を目的とし、I E（インダストリアル エンジニアリング）や生産管理手法を用い、すぐにでもできるところから改善を行った。その結果、比較的短期間で以下に述べるような改善効果が得られた。

- (1) 工場全体が非常に明るく、きれいになり、社員にとって働きやすい職場となった。
- (2) 不要品をできるだけ排除したため、工場空間が有効利用ができるようになった。
- (3) 製品の納期管理や品質管理が容易にできるようになった。
- (4) 短納期、低価格の受注にも確実に対応できる強い企業体質ができた。
- (5) 残業時間、休日出勤回数が減少した。

1.はじめに

近年、若年労働者の製造業離れ、熟練技能者の高齢化、人件費の高騰などから、多くの製造業で自動化、省力化が推進されてきた。このため、県内のほとんどの中小企業において高性能のNC工作機械が導入されたものと推察される。このような最新鋭の工作機械は高精度・高能率加工という面ではメリットを有するものの、高額な設備投資を行った割には利益が少ないとの声が聞かれる。

また、バブル経済が崩壊した今日、景気が低迷しているため消費が予想したほど伸びず、生産が停滞し、設備の減価償却も進まないとの報告もある。この主な原因の一つは、経営者が自社の経営に対し長期展望を立てず、また現状を明確に把握することなしに、安易に設備投資を行ったため

と考えられる。このように、設備投資のみによる生産工場の合理化は、市場の動向と自社の経営内容を十分に分析しないで行うと、会社の経営を圧迫し、ひいては会社倒産にいたることもある。これに対し、会社の従業員の立場を重視し、作業方法の見直しや現有設備の有効利用をはかることに注目した改善方法は、小規模の投資でいかなる不況時にも確実に利益を出せる体質の企業へ転換できる安全な方法である。我が国の経済が今日他国の追随を許さないほど高度化したのは、まさにこの方法を生産現場に導入し改善を重ねることにより、日本の企業に合った日本独自のものに育て上げたからである。ほかの一部の県では、大企業のみならず中小企業でも、本生産方式がすでに導入され定着していると言われているが、本県では一部の大企業を除いて本格的な取り組みはなされていない。

*生産技術部、**九州東海大学工学部

そこで本研究では、本方式を金型製造工場に適用し生産ラインの改善を行った結果、比較的短期間に所期の効果を得ることができた。

2. トヨタの生産方式

本研究を行うに当たり、売上高及び経常利益面で日本一の企業といわれる(株)トヨタ自動車は約30年の歳月をかけて開発したトヨタ生産方式を適用した。工場の合理化には、一般に次の二つの手法が考えられる。

- (1) 最近はやりのロボット、NC工作機械、コンピュータによる自動倉庫などに代表されるメカトロ機器を対象とした生産設備導入による方法。
- (2) IE(インダストリアル エンジニアリング)手法による方法。これは工場に存在するあらゆる種類のムダを徹底的に省き、付加価値を生まない原因を取り除くことにより生産性を高める方法である。設備や資材の配置、運搬経路、生産工程、スペースの有効利用、人員配置、治工具の改良などを中心とした作業方法による改善。

前述した第一の方法は一般的に多大な設備投資を伴い、設備導入に当たり状況を良く判断しなければ企業経営を圧迫する。これに対し、第二の方法は人員配置や作業改善を主体とするためわずかな出費で済み、社員の創意工夫による自主的(TQC)な改善であり、社員にやる気さえあればいつでも行える安全な方法である。

本手法(トヨタのかんばん方式)開発の草分けである(株)トヨタ自動車は生産現場には次の7つのムダがあると言う。

- (1) 作りすぎのムダ
- (2) 在庫のムダ
- (3) 不良品を作ることのムダ
- (4) 動作のムダ
- (5) 運搬のムダ
- (6) 手待ちのムダ
- (7) 加工そのもののムダ

以上述べた7つのムダの中で、最も有害なものは作りすぎのムダである。これはすべてのムダの根元であり、他のムダを覆い隠して改善を阻害するため、最も先に排除しなければならないものである。

ここで、改善に当たり一番注目しなければならないことは、これらのムダは何の付加価値も生みず、ただ生産原価を引き上げているにすぎないことを認識することである。本生産方式による合理化を推進するためには、上記のムダを徹底的に省くことなしに成功することは不可能である。本生産方式の最大の特徴は作業改善をやり尽くした後、設備改善を行うことである。もし、作業改善の余地があるにもかかわらず改善を充分に行わないで設備を導入した場合、不要な投資を行ったのであるからお金を無駄にしたことになる。したがって、このような合理化はトヨタ生産方式では失敗である。トヨタでは、この考え方が全社を通して貫かれている。生産ラインへの資材投入、機械加工、熱処理、化学処理、組立、検査、試運転工程のどの工程においても、以上述べた思想が従業員の間で共通認識されており、厳重な品質管理体制のもとで製品が作られ工場出荷されている。生産ラインの各工程では生産が計画通りに行われているかどうか絶えず調べられており、もし計画と違っていたらすぐに修正が行われる。トヨタではこの工程管理に「かんばん」を使用している。「かんばん」が現場における生産管理のツールである。このため、「かんばん」は生産調整の手段であり、生産方式そのものではない。

3. 生産ライン合理化の具体的実施方法

3.1 5S運動の展開

まず、工場全体を明るく、きれいで、気持ちのいい雰囲気にし、従業員が楽しく、安全に働ける職場へ改善することにした。当社は金型製造と部品加工の2つのグループから組織されており、それぞれのグループにおいて5S(整理、整頓、清掃、清潔、躰)運動を展開した。このため、5S運動月間を設定し、以下のキャンペーンを行った。

- (1) 標語募集。
- (2) 赤札作戦を行い不要品を処分した(実績:3トトラック2台分)。
- (3) 毎日、機械についた油、汚れを落とし、床、通路を掃き清めた。
- (4) 治工具、ウエス、材料、切りくず、切削油、

- 計測器、図面などの置き場を設定し、決められた場所以外には置かないようにした。
- (5) 通路と作業場とを区画しペンキで色を塗り白線を入れ、決められた場所では決められた仕事しかしないようにした。
- (6) 運搬経路ができるだけ短くなるよう運搬方法の改善を行った。
- (7) ストアを設け資材と製品を別々に置くようにした。工具、計測器、図面などは作業者が探したり、離れた所へ取りに行かなくてもよいように機械のできるだけ近くに配置した。

3.2 生産管理手法の適用

これまでムダの排除を中心に現場の合理化を進めたので、次に多少技術面から改革を行った。

(1) 生産管理板の製作

毎月、毎週、毎日の生産の進捗状況を誰が見ても一目でわかるようにした。これで、どの製品がどの程度できているのか、納期に間に合うかどうか、どの設備がいつ空くのか容易に把握できる。

(2) 品質保証の指導

不良品を出さないよう品質管理の標語を生産ラインに掲示した。もし不良品が出たときには、その原因を全員で徹底的に究明した後記録させ、二度と同じ間違いを繰り返さないよう、自覚を促した。

(3) 設備が故障し生産ラインが停止しないようPM(故障を未然に防ぐため機械の点検を毎日始業時に行い状況を記録する、油をさす、汚れを落とすなど)運動を実施した。

(4) 製品品質のばらつきをなくすため、作業順序、作業方法、搬送方法、検査方法などの標準化を行った。

3.3 具体的な進め方

本生産方式を適用し、効果をあげるためには次の事項に留意をしなければならない。

- (1) 経営者が改善の主旨を良く理解し、何が何でもやり抜くのだという強い意志を持っていること。
- (2) 経営者が合理化に非常に意欲的で、社員がその目的・手法を理解できようになるまで教え、その結果社員から信頼される経営者になろうと

いう気概を持っていること。

(3) 本手法による改善は社員の自発的な姿勢によってなされるものであり、経営者の押しつけてあってはならない。

そこで、社内に合理化の推進体制を敷き、社員に役割(リーダー、サブリーダーなど)を分担させ、自らの創意工夫で改善できるようにした。したがって、自分の行った改善がうまくいかないときには、人の責任にせず自分で直す。週一回必ず30分程度の会議を開き、問題点をみんなで出し合い、その解決策を練らせた。

これに対し、筆者らは経営者と共に定期的に現場をパトロールし、言いにくい事でも問題点は遠慮なく指摘した。毎回17箇所程度を指摘し、次回の指導日まで解決しておくよう経営者に約束させた。そして次回指導に訪れたときに前回約束したことがどの程度実行されたかを現場にて確認した。その結果、若干の懸案事項が残されてはいたが、内容はほぼ満足のいくものであった。

図1~6に本生産方式による生産ラインの改善を行った事例を示す。図1(a)~(b)は改善前の金型生産ラインの一例である。図2(a)~(d)は5S運動実施後の生産ラインの一例である。図3(a)~(b)の標語のもとに5S運動を展開した。図4は探す動作のムダを省くため、工具を機械の近くに整理して配置した改善事例である。図5は検査項目を掲示し、品質管理の合理化を行った事例である。現在、当工場における全生産工程は図6の生産管理板によって管理されている。

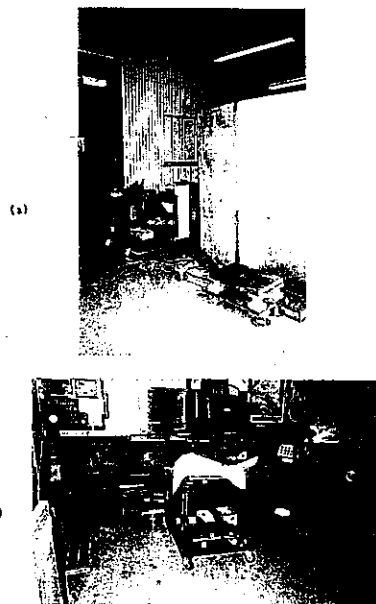
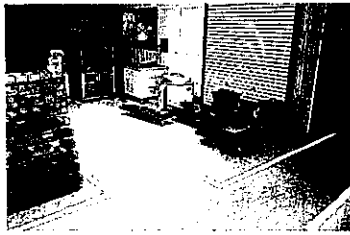
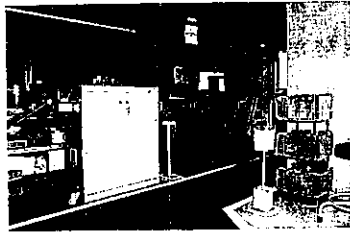


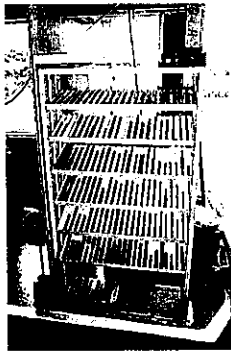
図1 改善前の生産現在



(a)



(b)



(c)

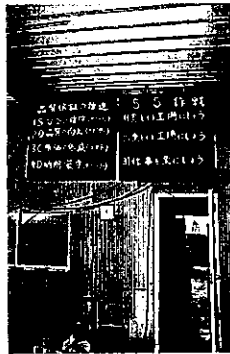


(d)

図2 5S実施後の生産現場



(a)



(b)

図3 5S運動の展開法

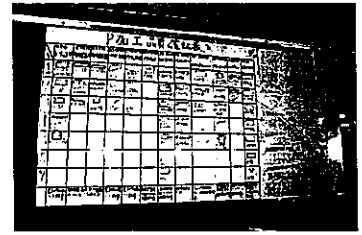


図5 品質管理板

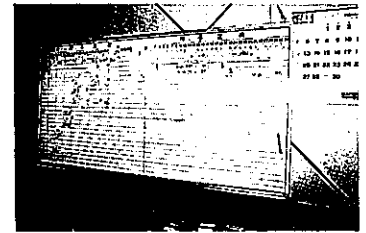


図6 生産管理板



図4 工具の手元配置実施例

4. 結言

トヨタ生産方式を中心にした生産管理手法を金型生産の合理化のために適用した結果、以下の成果が得られた。

- (1) 工場全体が非常に明るくきれいになり、社員にとって働きやすい職場となった。
- (2) ムダをできるだけ排除したため工場空間の有効利用ができるようになった。
- (3) 製品の納期管理や品質管理がより容易にできるようになった。

- (4) ペンキ、はけ、紙などの購入費と廃品処理代程度のわずかな投資で生産ラインの改善ができ、3K職場のイメージが無くなった。
- (5) 低価格で短納期の注文にも確実に利益の出せる体制づくりができた。
- (6) 残業時間、休日出勤回数が減少した。
- (7) より生産性を向上させるために必要な次のステップ(設備のレイアウト変更、生産管理・品質管理システムの構築、自動化への整備)への基礎づくりができた。

食品への高圧利用に関する研究 (平成2年度～平成4年度)

林田安生・水上浩之・湯之上雅子・犬飼直紀

松田茂樹・西村賢了・林 力丸*

(*平成4年度 熊本県特別講師)

Application of Ultra-high Pressure to food Processing

Yasuo HAYASIDA, Hiroyuki MIZUKAMI, Masako YUNOUE, Naoki INUKAI

Shigeki MATUDA, Kenryo NISINURA and Rikimaru HAYASHI*

研究協力者 熊本県高圧食品研究会(平成3年度)

共同研究者 浦島食品工業㈱(平成4年度)

千代の園酒造㈱(")

要旨

近年、食品に数千気圧の圧力を加えるて加工する加圧処理技術が注目を集めている。この方法を用いると、加熱せずに食品の殺菌・調理することができ、食品素材の風味を生かした加工食品を製造することができる。従来の加工法とその原理が異なるこの加工法について国内で多くの研究が進められていた。しかし、この技術には、インシヤルコストが比較的大きい、技術手法を修得した技術者が少ない等の問題があり、熊本県内で、この技術に取り組む食品製造業者は皆無であった。そこで、本研究では、この加圧処理技術の熊本県産品への応用を検討することを目的とし、加圧処理についての技術を修得した人材の育成を図った。

研究は、工業技術センターでの技術蓄積、熊本県高圧食品研究会の開催、共同研究の順に進められた。研究会は、熊本県内の食品製造業者12団体から構成され、醸造食品、果実加工品、海産物等幅広い範囲で県産品への応用が検討された。共同研究では、熱処理しない生酒タイプの濁り酒の開発に成功し、酒類では世界で初めて加圧食品の実用化を果たした。

1. 緒言

従来、食品の調理や殺菌に使用されるエネルギーは熱であった。乾燥等現在食品加工に使用される技術は、この加熱技術から発展している。近年、多く研究されている2軸エクストルーダー加工技術やレトルト殺菌技術も、圧力を使用するものの、その主体となるエネルギーはやはり熱である。

しかし、過度の熱処理は食品本来の風味を変化させ、栄養分を破壊するという欠点をもつ。現在の食品業界では食品素材本来の風味・栄養成分をなるべく残して付加価値を高める傾向があり、多くの無加熱加工法が検討されてきた。

近年、林(京都大学教授・平成4年度熊本県特別講師)が食品への圧力利用を提唱してから、食

品分野での加圧加工に関する研究が始まった。数千気圧の圧力を食品に加えて加工する方法では、温度の上昇がほとんどなく香気成分の気散や熱に弱いビタミン等の破壊が生じにくい状態で、微生物の殺菌やタンパク質の変性等を行うことが可能である。これらの特徴を生かし、加圧処理を利用したジャムやジュース・シャーベット等が、提唱から数年で実用化された。まったく新しい技術が実用化されるまでの期間に関して言えば、異例の速さである。そして、これまでの加熱型食品加工技術とは根本的に異なる方法が注目され多くの研究が国内で行われている。^{1)~3)} また、1989年には農林水産省の補助により食品産業超高圧利用技術研究組合が発足する等の産官の共同研究体

制も見られるようになった。

一方、熊本県内の食品業界ではこの技術に関して興味は持っているものの、取り組んでいる企業は皆無であった。また、取り組もうにもこの技術を修得した技術者の育成が進んでおらず、加圧装置等必要な機器の導入が比較的高コストのこの技術に1企業が取り組むにはリスクが大きかった。そこで、熊本県産品への高圧処理の利用についての検討を目的として本研究を行い、更に、高圧処理に関する知見を持った人材の育成を図った。

2. 高圧処理による食品の変化

ある物体を水を入れた円筒形の容器に入れ、上からピストンの様なもので押すと、その圧力は水を介して物体に伝わる。パスカルの原理により、物体は圧力を四方八方から受け、均質な物質でできていれば均等に縮むことになる。(図1)物体に上下からのみ圧力が加わり、横方向に圧力が逃げてしまえば物体は潰れ原型をとどめない。また、気体に圧力を加えれば液体になるまで1万倍以上も体積が減少するが、液体のそれは少なく、数千

気圧をかけたときの水の体積減少は10数%にすぎない。よって急速な減・昇圧を行わないかぎり、圧縮による発熱はあまり問題にならない。

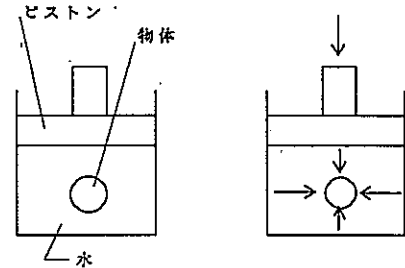


図1 静水圧を加える

物体を水等の媒体の中に浸し、ピストンで圧力を加えると圧力は物体に均等に伝わる。均等に圧力が加わるので、空隙のない物体は潰れない。

高圧処理の原理からは、水分を多く含んだ生の食品素材を加圧すれば、加熱されないで生の風味を保ったまま処理できることが予想されたが、実際にはどうなるのかを調査するため、いくつかの食品について加圧試験を行った。加圧処理装置はセラミクス用加圧成形機Dr.CIP(神戸製鋼㈱)を使用した。試験した食品には既に報告されているものも多い^{1)~3)}が、我々の所感を表1に示す。

表1 加圧処理と食材の変化

試料	加圧条件	色・形状	風味・香り
野菜・穀類			
人参	400MPa;10min; 室温	変化なし	生の風味
大根	"	変化なし	生の風味
さつまい	"	変化なし	生の風味
うるち米	"	変化なし	生の風味
大麦	"	変化なし	生の風味
畜肉・魚肉・卵等			
牛肉	"	白変	生臭強くなる。加熱すると無処理試料との差は認められない
馬肉	"	白変	生臭強くなる
鶏肉	"	白変	生の風味
ささみ	"	変化少ない	生の風味
砂ずり	"	卵黄硬化	生の風味
卵	"	固まるが	牛乳の風味強く感じる。加熱品と比べてなめらかな食感
プリン	700MPa;10min; 室温	硬度小さい	感を呈する。
(卵・牛乳・砂糖 混合後加圧)			
カカオラすりみ	400MPa;10min; 室温	白変 固まる	生の風味。
果実類			
温州みかんセグメント	"	変化なし	生の風味
果汁	"	変化なし	生の風味
グレープフルーツセグメント	"	変化なし	生の風味
果汁	"	変化なし	生の風味
甘夏みかんセグメント	"	変化なし	生の風味
果汁	"	変化なし	生の風味
八朔 セグメント	"	変化なし	生の風味
すいか	"	透明度増す	青臭強くなる。軟質化
メロン(プリンズ)	"	透明度増す	青臭強くなる。軟質化
キウイ1	"	変化少ない	変化あり。軟質化。
2	"	変化少ない	生の風味。1より風味の点で良好。軟質化。
いちご 青果	"	透明度増す	生の風味。軟質化
ペースト	"	変化なし	生の風味。
林檎 果実	"	透明度増す	生の風味。食感良い。
醸造食品			
味噌(生味噌)	"	変化なし	生の風味残るが、少し風味変化を生じる。
醤油(生揚)	"	変化なし	生の風味残るが、少し風味変化を生じる。

加圧された食品はいずれも生の風味を残していたが、食品によっては、軟質化等テクスチャや風味が変化するものがあった。また、同じものでも試料により生臭味が強くなるものとそれほど強くないものがあり、試料の状態が加圧食品製造に大きく影響することが示唆された。

加圧処理による微生物の殺菌を試験するため、加熱殺菌していない果実ゼリーを4000気圧で20分間処理して保存試験を行った。保存条件は30℃で、期間は1ヶ月とした。その結果、無処理のものは1週間程度で野生酵母が繁殖したが、処理品は微生物繁殖等の異常が見られなかった。これらのことから酵母等微生物の殺菌に加圧処理が有効であることが確認できた。(図2)

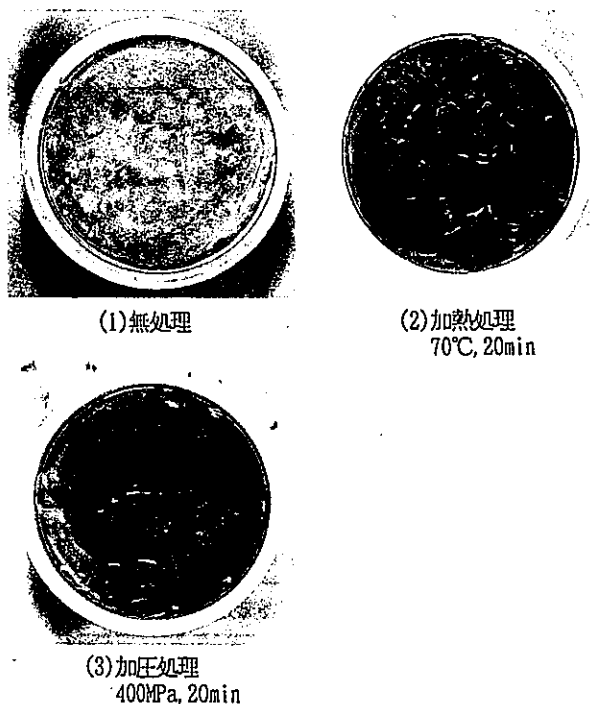


図2 甘夏みかんゼリーの保存試験

加熱処理していない標記ゼリーに(1)~(3)の処理を施して、30℃で1ヶ月保存した。無処理(1)には微生物が繁殖して白く濁っているが、加圧(3)は加熱(2)と同様に異常がない。

3. 熊本県高圧食品研究会

研究をスタートした初年度は、情報収集を行う他、前記の予備試験を行った。また、初年度並びに2年度にこの技術に係る技術普及講習会を2回開催して県内食品産業に対し、この技術の普及に務めた。更に、2年度に食品用加圧処理機を導入した。この装置は、5Lの圧力容器を持ち、加圧食品の試作に十分な能力を有していた(平成3年当時)。こうして、工業技術センターでの技術蓄積と県内食品業界への普及、加圧食品が試作でき

るだけの能力を持った装置の導入の3条件が達成できたとして、熊本県高圧食品研究会を開催した。

研究会は、県内食品製造業12団体で構成され(1団体はオブザーバ)、平成3年11月から平成4年3月まで開催した。研究会の概要を表2に示す。参加団体はそれぞれ独自のテーマをもち、事務局の定めた日時(スケジュール表による)に、工業技術センターの指導を受けながら、各自試作研究を行った。また、参加団体相互の情報交換を図るため、2度の検討会を開催した。テーマは醸造食品や果汁・海産物等と幅広い範囲に渡っており多くの成果が得られた。殺菌・保存性の改善面では、石坂らが、無添加味噌への可能性について検討し、4000気圧30分間程度の加圧で味噌のふくれが防止できると報告している。⁴⁾また、製造工程改善面では、宮崎が、大豆食品の製造工程への圧力利用について検討し、大豆の浸漬時間の短縮の点で加圧の効果が期待できると報告している⁵⁾。

表2 熊本県高圧食品研究会

会長	石田清和 (熊本県味噌醤油協同組合技術顧問)
参加者 (研究テーマ)	<ul style="list-style-type: none"> ・浦島食品工業(株) (生のりの食材への応用) ・熊本県果実連 (柑橘果汁の高圧処理による成分性状等の把握) ・九州大豆食品協業組合 (大豆加工食品製造前処理としての浸漬大豆への利用) ・コープ食品(株)九州工場 (超高圧とデンプンのα化等について) ・千代の園酒造(株) (酒類の高圧処理に関する研究) ・(株)福田農場ワイナリー (食肉・果実への高圧処理技術の応用) ・フンドーダイ(株) (無添加味噌への高圧の利用) ・ホシサン(株) (高圧処理によるみそ・しょうゆの殺菌) ・森川健康堂(株) (高圧処理技術を利用した食品原料の変化) ・熊本製粉(株) (高圧の小麦粉製品への応用)
他1社	
助言者	林力丸 (京都大学助教授) 堀恵一 (三菱重工(株)主任)
事務局担当	工業技術センター 微生物応用部

内容	<ul style="list-style-type: none"> ○発足式及び機器使用講習会開催 (平成3年11月18日) ○参加各企業の試作研究とそれに係る工業技術センターの技術指導 ○先進企業見学会開催 (平成4年1月13日から1月14日まで) ○中間検討会 (平成4年2月8日) ○結果検討会 (平成4年3月13日)
----	--

4. 共同研究

前記の研究会では多くの成果を得られたが、3年度は、その結果を踏まえ更に研究を進めたいと希望した企業と共同研究を実施した。表3に共同研究者及びテーマを示す。

表3 平成4年度 共同研究テーマ

共同研究者	共同研究テーマ
浦島食品工業(株)	生海苔への高圧利用に関する研究
千代の園酒造(株)	酒類への高圧利用に関する研究

4. 1 酒類への高圧利用に関する研究

4. 1. 1 目的

平成4年度に清酒の級別制度が廃止され、清酒業界は新しい環境に対応を求められているが、この対応手段の一つとして高品質な新製品開発が挙げられる。清酒のしぼりたてがイメージできるオリ酒は、濾布から漏出する清酒モロミ中の固形分を含んだ清酒である。固形分を含んでいるため加熱による風味変化が生じやすく、フィルター処理もできないため、高品質の製品を製造することが難しかった。

そこで、本研究では、高圧処理を利用して生酒タイプで保存性の高いオリ酒を開発することを目的とし、温度・圧力・時間を変えて加圧処理をオリ酒に施し、その酵素活性並びに生菌数等を測定した。

4. 1. 2 方法

(1) 酵素活性測定

a) クルコアミラーゼ

酵素液0.1mlを、あらかじめ40℃に調整した1%デンプン溶液2mlと5M酢酸緩衝液0.5mlを混合したものに加え、40℃で40分間反応させた。そして、1N水酸化ナトリウムを1ml加えて反応を終了させて30分間放置後1N塩酸で中和して糖液とした。この糖液に含まれるグルコース量を測定してクルコアミラーゼ活性とした。なお、グルコース測定にはFキット-グルコース(ペーリンガー山之内)を使用した。

b) 総アミラーゼ

a)で調整した糖液を試料に用い、ソモギーネルソン法で還元糖を測定して総アミラーゼとした。

c) 酸性プロティナーゼ

酵素液0.5mlを、あらかじめ40℃に調整した2%カゼイン溶液1.5mlとマッキルベイン緩衝液(pH3)1.0mlを混合したものに加え、40℃で60分間反応させた。そして、そのとき遊離したアミノ酸をフェノール試薬で発色させて測定し、酸性プロティナーゼ活性とした。

d) 酵素液調整法

試料オリ酒を濾過して、その濾液を0.01N酢酸緩衝液でセルロース透析膜にて1昼夜処理して酵素液とした。

(2) 生菌数測定培地

ポテトデキストロース培地を121℃20min殺菌後乳酸でpH3.5に調整して試験に用いた。

(3) 高圧処理

三菱重工製食品用高圧処理装置MCT150F(最高圧力400MPa、処理量5L)を用いた。

4. 1. 3 結果及び考察

グルコアミラーゼの測定結果を図3に示す。

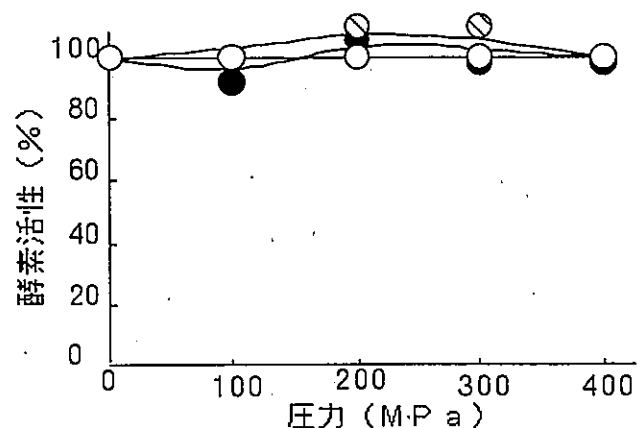


図3 加圧処理によるグルコアミラーゼ活性の変化
処理条件 温度 (○) 2℃ (○) 10℃ (●) 20℃
時間 30min

400MPa程度の圧力では、グルコアミラーゼの活性はほぼ100%保持されていた。結果を他の酵素活性と併せて表4に示す。いずれも高い活性を示し、オリ酒中の酵素活性は保持されていた。

表4 オリ酒の酵素活性

酵素	活性 (%VS無処理試料の活性)
総アミラーゼ	95
グルコアミラーゼ	≒100
酸性プロティナーゼ	≒100

生菌数の測定結果を図4と図5に示す。生菌数は圧力の上昇と共に減少して300MPaで殺菌が達成できた。また低温(2℃)で殺菌効率が上昇するようであった。

以上より、オリ酒を高圧処理すると、酵素活性を残したまま殺菌することができた。また、このオリ酒を官能評価(5名)したところ全員が生酒に近い風味を持つと回答した。しかし、風味の点で若干の変化を生じるという意見があった。

加圧処理による清酒の調熟作用が報告されている⁶⁾が、このことはその意見を支持している。圧

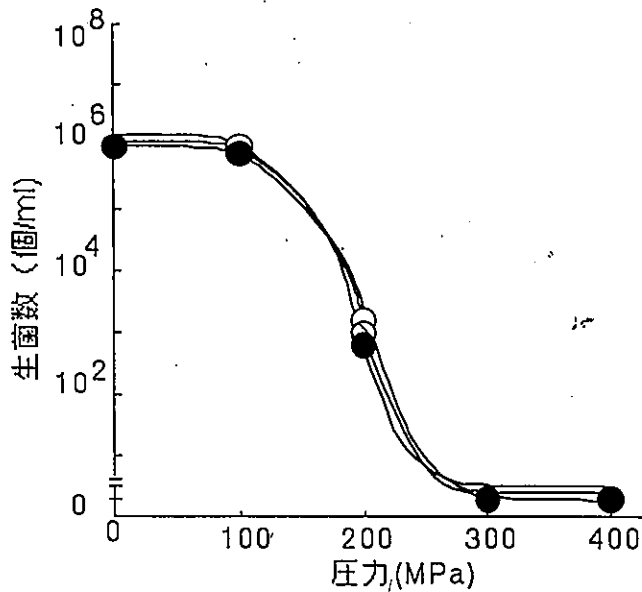


図4 加圧処理による酒オリ中の生菌数変化
処理条件 温度 20°C
時間 (○) 10分 (□) 20分 (●) 30分

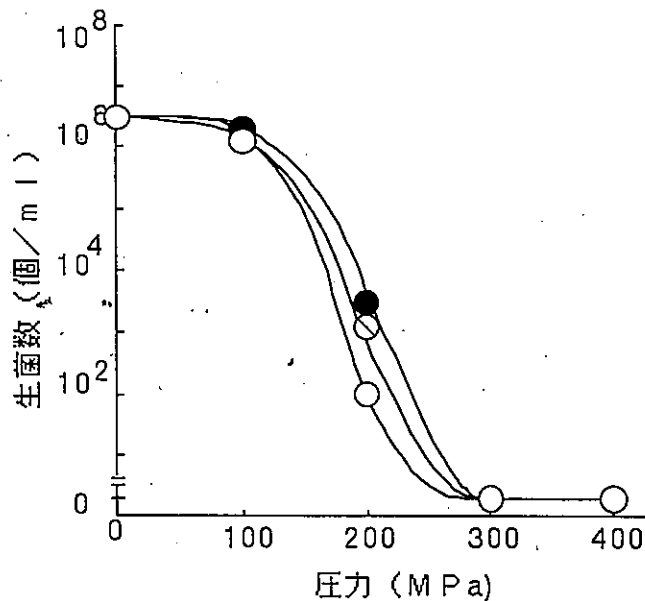


図5 加圧処理による酒オリ中の生菌数変化
処理条件 温度 (○) 2°C (□) 10°C (●) 20°C
時間 30min

力 (100MPa~400MPa)・温度 (2°C~室温)・処理時間 (10min~30min) を変えて高圧処理した試料の官能試験を行ったが、いずれも若干の風味変化を防ぐことはできなかった。

そこで、処理条件を変えるのではなく工程を変えることで対応できないかと考え、次のとおり実施した。すなわち、清酒諸味を絞った直後のオリ酒をオリと清酒に分離して清酒に精密濾過処理、オリに高圧処理を施し、再混合してオリ酒を製造した(図6)。

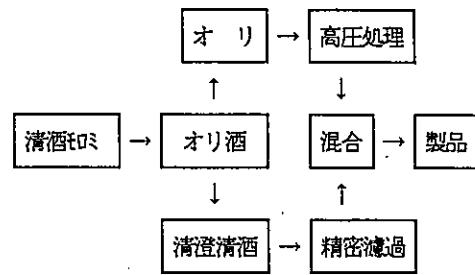


図6 濁り生酒の製造工程

この方法で製造したのオリ酒について官能試験並びに保存試験を行った。比較のため、無処理のオリ酒、65°Cで10分間加熱処理をしたもの、オリ酒全体に高圧処理をほどこしたのものについて同様の試験を行った。その結果、試作品は無処理のものと比較して保存性が高く、風味も優れていた。

(表5)

表5 試作したオリ酒の風味
・保存試験 (30°C) の結果

試験区	風味	1週間後の保存状態
加圧処理したオリ (400MPa, 30min) と濾過処理した清酒の混合	生酒の風味がある	異常なし
無処理	生酒の風味がある	ガスの発生により保存容器の膨れが生じた
加熱処理 (65°C, 10min)	加熱により風味変化が生じた	異常なし
加圧処理 (400MPa, 30min)	生酒の風味は残ったが風味変化が生じた	異常なし

本法は結果的に、加圧処理を部分的に使用したため、加圧食品製造効率を上げることができた。

4. 2 生海苔への高圧利用に関する研究

4. 2. 1 目的

有明海は日本有数の海苔の産地であり、大量の海苔が採取できるが、その加工製品は味海苔・ふりかけ海苔等の乾燥品がほとんどである。一方、消費者嗜好の多様化は年々大きくなっており、海苔製造業界は製品種の少なさ故、その対応に迫られている。そこで海苔を使用した新製品開発を目的に、高圧処理を利用して生海苔の食材としての可能性を検討する。

4. 2. 2 方法

(1) 生菌数測定培地

生菌数測定には一般生菌数培地並びに乳酸でPH3.5に調整したポテトデキストロース培地を用いた。また、大腸菌群の測定にはデゾシコレート培地を用いた。

(2) 高圧処理

4. 1. 2 (3) に同じ。

4. 2. 3 結果及び考察

生海苔に加熱・加圧処理を施した結果を図7に示す。

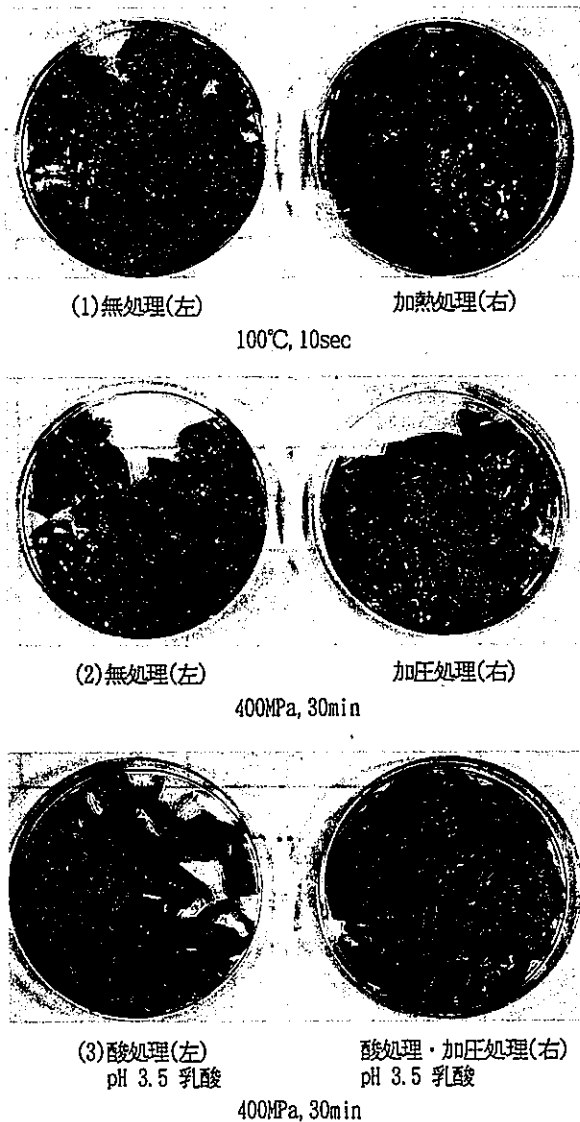


図7 生海苔の高圧処理試験

加熱試験区では、短時間に緑色に変化し、風味も煮えたようなものになってしまうが、加圧したものはいずれも赤黒色を呈しており、生の風味を残していた。しかし、色的には乳酸で酸性に調整したものが良好であったので、この試験区について生菌数測定を行った。酸処理した生海苔に100M

Paから400MPaの圧力を30分間加えた時の一般生菌数を図8に示す。

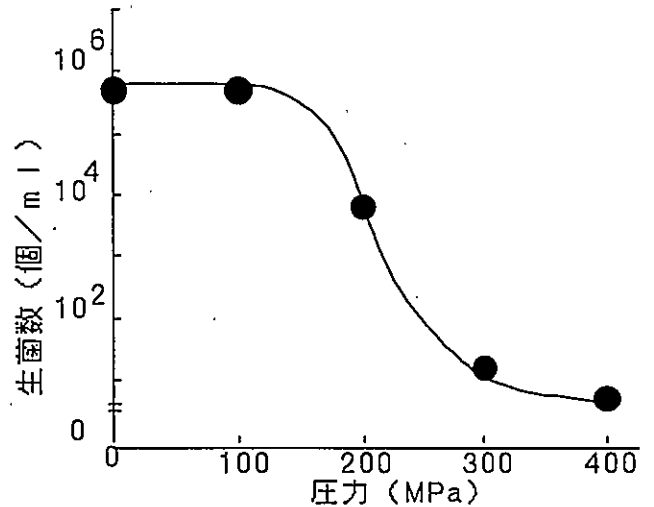


図8 加圧による生海苔中の生菌数変化
処理条件 温度20°C 時間30min

菌数は200MPa以上の圧力で減少を始め、400MPaでは30個未満となることが分かった。更に、400MPa試験区で大腸菌群及び微・酵母類の試験も行った。結果を表6に示す。

表6 生海苔殺菌試験

試験区	無 処 理	酸処理 (pH 3.5 乳酸) 高圧処理 (400MPa, 30min)
一般生菌 (g)	2.2×10^4	$30 \geq$
微・酵母類 (g)	6.8×10^1	$30 \geq$
大腸菌群	(+)	(-)

いずれの微生物試験も加圧処理品では30個未満及び陰性の結果となり、生海苔をその風味を損なわずに食材として利用できる可能性を見いだした。しかし、加熱を行わない全ての試験区で海苔色素のドリップが見られ、今後の課題となった。

5. まとめ

本研究は、工業技術センターでの技術蓄積から熊本県高圧食品研究会、それに続く共同研究を実施して、一連の研究を終了した。その結果、研究会を通して、食品分野での加圧加工に精通した技術者の育成が達成され、また、研究会並びに共同研究を通して、熊本県産品への高圧利用についての検討についても多くの成果を得ることができた。なお、生酒タイプのオリ酒については、平成5年6月に共同研究企業の千代の園酒造備から試験販売された。酒類における加圧食品の実用化としては世界で初めてのことであることを付け加えておく。

6. 謝辞

京都大学 林 力丸 先生には、平成2・3年度の講習会講師・熊本県高圧食品研究会助言者・平成4年度熊本県特別講師として、親身になって御指導していただきましたことを感謝いたします。

三菱重工 堀 恵一 氏には、熊本県高圧食品研究会助言者として、また、装置の使用法やメンテナンス面で御指導いただきましたことを感謝いたします。また、熊本県高圧食品研究会参加団体並びに共同研究者の皆様方には、本研究の推進にあたり、多大な御支援をいただきましたこと感謝いたします。誠にありがとうございます。

7. 参考文献

- 1)食品への高圧利用,林力丸編,さんえい出版,
(1989)
- 2)加圧食品－研究と開発－,林力丸編,
さんえい出版(1990)
- 3)生物と食品の高圧科学,林力丸編,
さんえい出版(1993)
- 4)石坂 眞,第7回熊本県産学官技術交流会資料集
p145(1993)
- 5)宮崎 督,第7回熊本県産学官技術交流会資料集
p141(1993)
- 6)原 昭弘,公開特許公報,平1-257472

編集委員

森 繁之

原口 隆一 中川 優

坂本 博宣 末永 知子

重森 清史

熊本県工業技術センター研究報告 第31号

編集 熊本県工業技術センター編集委員会

発行所 熊本県工業技術センター

〒862 熊本市東町3-11-38

TEL096-368-2101

印刷所 (資)下田印刷熊本支店

〒860 熊本市南熊本3丁目1-3

TEL096-362-7171
