

広島県立西部工業技術センター研究報告

No. 43

目

次

September 2000

抄録

一報一文

1 三角形パッチモデルの活用によるクイック設計技術の開発	坂元康泰, 佐々木憲吾, 松永尚徳, 安部重毅, 野地英治	1
2 金型内圧力計測による解析の検証	松永尚徳, 檜垣和生, 下原伊智朗	5
3 リサイクル部品選択支援システムの開発	佐々木憲吾, 安部重毅, 服部光郎	8
4 電気機器等の耐衝撃性評価システムの開発	田尾博幸, 長谷川浩治, 吉野信行, 村河亮利	11
5 複合ネットワークにおける効率的データ管理技術の開発	打田澄雄, 村河亮利, 石津任章, 中塩武之	15
6 イオンプレーティング TiN 薄膜の内部応力	梶岡 秀	19
7 ポリ乳酸樹脂の物性と成形性に関する研究	大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 関 守雄, 藤本宗之	23
8 グラフト重合法によるプライマーの合成とポリオレフィンの接着性改善効果	大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 藤本宗之, 羽坂昭男, 池田芳清, 岡田光広, 益 勝治, 白石浩平, 杉山一男	27
9 圧延と通電を利用した鉄とアルミニウムの連続接合	筒本隆博, 新田 明, 荻山信行	31
10 離型力による粉体離型潤滑剤の評価	藤井敏男, 府山伸行, 荻山信行, 土取 功	35
11 センシング機能を有するマイクロ構造体の試作	縄雅典生, 間山清和	39
12 マグネシウム合金複合材料のチクソ成形技術の開発	府山伸行, 藤井敏男, 土取 功	43
13 光造形モデルの射出成形金型への応用	門 格史, 下原伊智朗, 畑 徳宣, 森下勇樹	47
14 TIG 溶接したテーラードブランク材の成形性	森下勇樹, 畑 徳宣, 釜屋昭彦	51
15 実荷重インプロセスモニタリング制御によるプレス成形装置の試作開発	森下勇樹, 畑 徳宣, 山下弘之, 門 格史, 釜屋昭彦	55
16 海水の淡水化における有害物質除去技術の開発	斯波信雄, 倉本恵治, 本多正英, 丸下清志	59
17 模型船の摩擦抵抗低減に関する研究	平田敏明, 斯波信雄, 倉本恵治, 本多正英	63
18 水素化した Pd/Mg 薄膜の光透過特性	樋口浩一, 梶岡 秀, 間山清和, 本多正英	67
19 新型ごみ焼却施設から排出される熔融スラグの資源化技術開発と実用化	本多正英, 倉本恵治, 斯波信雄, 渡部英雄	71
20 ダクト内騒音のアクティブコントロールに関する基礎研究	吉野信行, 長谷川浩治, 中塩武之, 大谷 孝, 西村公伸	75
21 GMR センサ利用による磁場の磁界強度検出ユニットの開発	長谷川浩治, 馬場祥宏, 梶岡 秀, 山根秀之, 本多茂男	79
22 機械制御用 FPGA の設計技術の開発 (第3報)	馬場祥宏, 清水義信, 石津任章, 中塩武之	82
23 難燃性プラスチックの機械的特性の改善	下原伊智朗, 田平公孝, 大橋俊彦, 益 勝治	86
24 電磁波シールド特性を持つ樹脂材料の開発	下原伊智朗, 吉野信行, 酒井利文	90
25 針鍛造金型のデジタル化と精密放電加工	山下弘之, 門 格史, 高橋英和	93
26 放電加工による微細軸電極成形条件の最適化	山下弘之, 門 格史, 平野正和	97
27 コンクリート廃材から機能性材料の開発	倉本恵治, 丸下清志, 斯波信雄, 新畑貴史, 齊田宏之	101

一研究ノート

1 プレスシミュレーションの実行例	安部重毅, 釜屋昭彦, 森下勇樹	105
-------------------	------------------	-----

BULLETIN
of The
WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

September 2000

Vol. 43

Contents

-Originals-

- | | | |
|----|--|----|
| 1 | Development of Quick Design Technology by Triangular Patch Model
SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo, MATSUNAGA Hisanori, ABE Shigeki
and NOJI Hideharu | 1 |
| 2 | Verification of CAE by measurement internal pressure of mold
MATSUNAGA Hisanori, HIGAKI Kazuo and SHIMOHARA Ichiro | 5 |
| 3 | Development of recyclable parts select support system
SASAKI Kengo, ABE Shigeki and HATTORI Mitsuro | 8 |
| 4 | Development of a Visualization and Evaluation System for the Impact Resistance of Electrical Machinery
and Apparatus
TAO Hiroyuki, HASEGAWA Koji, YOSHINO Nobuyuki and MURAKAWA Akitoshi | 11 |
| 5 | Development of Efficient Data Management Technology in the Complex Network
UCHIDA Sumio, MURAKAWA Akitoshi, ISHIZU Hideaki and NAKASHIO Takeyuki | 15 |
| 6 | Internal stress of ion-plated TiN coatings
KAJIOKA Hideshi | 19 |
| 7 | Study of Characterization and Molding of Poly (L-lactic acid)
OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro, TAHIRA Kimitaka, SEKI Morio
and FUJIMOTO Muneyuki | 23 |
| 8 | Improvement of adhesion of TPO by primer synthesized by graft polymerization
OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro, TAHIRA Kimitaka, FUJIMOTO Muneyuki,
HAZAKA Akio, IKEDA Yoshizumi, OKADA Mitsuhiro, EKI Katsuji, SHIRAISHI Kohei
and SUGIYAMA Kazuo | 27 |
| 9 | Continuous Joining of Fe and Al by rolling and electric discharge heating
TSUTSUMOTO Takahiro, NITTA Akira and KARIYAMA Nobuyuki | 31 |
| 10 | The Evaluation of Powder Lubricants with the Extrusion Force of Aluminum Die Castings
FUJII Toshio, FUYAMA Nobuyuki, KARIYAMA Nobuyuki and TSUCHITORI Isao | 35 |
| 11 | Fabrication of Microstructures for Sensing
NAWACHI Norio and TOIYAMA Kiyokazu | 39 |
| 12 | Development of Magnesium Alloy Composites by Thixocast Process
FUYAMA Nobuyuki, FUJII Toshio and TSUCHITORI Isao | 43 |
| 13 | Application of Rapid Prototyping To injection mold
KADO Tadashi, SHIMOHARA Ichiro, HATA Noriyoshi and MORISHITA Yuki | 47 |
| 14 | Formability of joined Tailored-Blanks by TIG Weld Method
MORISHITA Yuki, HATA Noriyoshi and KAMAYA Akihiko | 51 |

15	Development of press forming instruments with control and monitor real load in process MORISHITA Yuki, HATA Noriyoshi, YAMASHITA Hiroyuki, KADO Tadashi and KAMAYA Akihiko	55
16	Development of Technology to Eliminate Harmful Substances in the Process of Desalination of Sea Water SHIBA Nobuo, KURAMOTO Yoshiharu, HONDA Masahide and MARUSHITA Kiyoshi	59
17	On the Reduction of the Frictional Resistance Using Model Ships HIRATA Toshiaki, SHIBA Nobuo, KURAMOTO Yoshiharu and HONDA Masahide	63
18	Transmission properties of hydrogenated Pd/Mg thin films HIGUCHI Koichi, KAJIOKA Hideshi, TOIYAMA Kiyokazu and HONDA Masahide	67
19	Development and Practicalization of Recycling Technology of Molten Slag from New-type Waste Incineration Plant HONDA Masahide, KURAMOTO Yoshiharu, SHIBA Nobuo and WATANABE Hideo	71
20	Basic Study for Active Control of Sound Noise in Duct YOSHINO Nobuyuki, HASEGAWA Koji, NAKASHIO Takeyuki, OTANI Takashi and NISHIMURA Kiminobu	75
21	Development of magnetic sensor unit using GMR sensor HASEGAWA Koji, BABA Yoshihiro, KAJIOKA Hideshi, YAMANE Hideyuki and HONDA Shigeo	79
22	FPGA Design for Machine Control Equipment Using HDL (3rd Report) BABA Yoshihiro, SHIMIZU Yoshinobu, ISHIZU Hideaki and NAKASHIO Takeyuki	82
23	Study on Performance of Flame Retardance Plastics SHIMOHARA Ichiro, TAHIRA Kimitaka, OHASHI Toshihiko and EKI Katsuji	86
24	Study on Performance of Electromagnetic Shielding Plastic SHIMOHARA Ichiro, YOSHINO Nobuyuki and SAKAI Toshihumi	90
25	Digitalization and precision machining by EDM about forging die for needle YAMASHITA Hiroyuki, KADO Tadashi and TAKAHASHI Hidekazu	93
26	Optimization for machining conditions of small electrode by WEDG (Wire Electric Discharge Grinding) YAMASHITA Hiroyuki, KADO Tadashi and HIRANO Masakazu	97
27	Development of Functional Material from Concrete Wastes KURAMOTO Yoshiharu, MARUSHITA Kiyoshi, SHIBA Nobuo, NIIHATA Takashi and SAITA Hiroyuki	101
-Note-		
1	Example of Press Simulation ABE Sigeki, KAMAYA Akihiko and MORISHITA Yuki	105

Published by

WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

E-mail Staff@seibu-kg.pref.hiroshima.jp

2-Chome-10-1, Aga-minami, Kure-shi,

Hiroshima, 737-0004 JAPAN

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.43 2000)

製品形状のコンピュータモデル作成技術の開発 (第3報) 三角形パッチモデルの活用によるクイック設計技術の開発

坂元康泰, 佐々木憲吾, 松永尚徳, 安部重毅, 野地英治

製品開発のさらなる迅速化のため, [CAD] モデルからではなく [三角形パッチモデル] から後工程が進むシステムを開発した。その主な内容は以下である。

- 1) 三角形パッチモデルからの NC 加工方法
- 2) 三角形パッチモデルからの強度解析方法

これらは, 平成9, 10年度開発した形状入力システムから作成されるコンピュータモデルを有効に活用するためのものであり, いくつかの事例から本手法が実用的であることを示した。

P 1 ~ 4, 図 9, 文献 3

樹脂流動解析による射出成形用金型開発の支援 (第1報) 金型内圧力計測による解析の検証

松永尚徳, 檜垣和生, 下原伊智朗

本研究では, 樹脂流動解析による射出成形用金型開発の支援の基盤として金型内圧力計測による解析の検証を行った。

圧力センサを内蔵する実験用金型を作製し, 解析値と実験用金型を用いて成形した測定値を比較検討した。その結果, 射出成形機に設定した条件を単純に解析条件として入力すると実際の現象とは全く異なる解析結果が計算されることが判明した。

解析精度を向上させるために射出速度と保圧設定に

ついて, 測定結果と解析値が近くなるよう最適化を行った。その結果, 射出速度の解析条件として設定値の約81%, 保圧をかけない場合の解析条件として0.2秒後に最大射出圧の約30%, 約1.0秒後に0%と設定すると, 実際の成形条件に近くなる事が認められた。

解析パラメータの設定は成形機や金型の特性により大きく影響され, 高精度な解析にはあらかじめ検証実験を行うことが必要不可欠であることが確認された。

P 5 ~ 7, 表 2, 図 8

組立・分解性を考慮した生産設計支援システムの開発 (第1報) リサイクル部品選択支援システムの開発

佐々木憲吾, 安部重毅, 服部光郎

2001年に「特定家電用機器再商品化法」(家電リサイクル法)の施行が予定されている。この法律に従えば, 今後加工組立型製品は何度も組立・分解が繰り返されることとなる。従来から多くの加工組立型製品については, 生産性やコストの面から組立性については検討されてきた。しかし, リサイクルの際の分解性等についてはあまり検討されていないのが現状である。

一般に, テレビや冷蔵庫などの加工組立型製品は多くの部品から構成されている。その部品は様々な材質

から成り, 様々な方法で締結されており, リサイクルを行う際はどの部品をリサイクルするかという計画が事前に必要である。そこで, リサイクルを行う際に再生材料の品質要求に最も適した部品選択をするため, 表計算シート上に記載された各部品の品質パラメータを基に, 再生材料が最も大量に回収できるパターンを選択するシステムを開発した。

P 8 ~ 10, 表 4, 図 2, 文献 3

コンピュータグラフィックス基本モジュールの構築と応用 (第4報) 電気機器等の耐衝撃性評価システムの開発

田尾博幸, 長谷川浩治, 吉野信行, 村河亮利

衝撃力の製品に及ぼす影響については, 衝撃パルスの波形の違いによる影響等不明な点が多く, これらを解明することが重要な課題となっている。

そこで, 電気機器等の受ける衝撃の影響を解明するため, 衝撃力を加えたときの加速度, 変位等時間軸を伴った物理量変化をアニメーション表示し, ビジュアルに再現できる可視化システムを開発した。また, 衝

撃緩和対策を行う前と対策後の比較表示等の機能を有し, 衝撃力の伝播防止技術評価支援を可能とするシステムとした。

これにより, 製品設計における衝撃緩和のための有用な情報を得ることが可能となり, 設計開発の効率化が得られ, 開発期間の短縮と低コスト化が図られる。

P 11 ~ 14, 表 2, 図 7, 文献 5

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.43 2000)

インテリジェントネットワークによる生産支援に関する研究 (第2報) 複合ネットワークにおける効率的データ管理技術の開発

打田澄雄, 村河亮利, 石津任章, 中塩武之

IEEE802.11準拠の無線通信方式によるネットワーク構成において設置場所, 端末数, ビットレート等の条件による電界強度, データ通信速度を測定し, 無線ネットワーク構築の基礎データを取得した。併せて通信の保護機能を強化するために, コンピュータに容易に装着できる認証システムを開発した。応用として過

去蓄積した映像データベース等のマルチメディアデータを通信手段に対応して再変換し, ワイヤレス配信を実現するとともに認証機能を付加して各種情報を安全に共有するシステムを構築した。

P15~18, 表3, 図10, 写真4

軽金属に適した PVD 硬質薄膜の開発 (第2報) イオンプレーティング TiN 薄膜の内部応力

梶岡 秀

アルミニウム系金属は軽量素材として多用されているが, 耐摩耗性を向上させることが望まれている。第1報でアルミニウム基材に直接 TiN コーティングすると割れが発生することを報告した。本報告では内部

応力発生原因を解明し, 割れ発生原因を検討した。なお薄膜の内部応力を簡便に測定できる治具を開発したので併せて報告した。

P19~22, 表1, 図7, 文献7

生分解性高機能材料に関する研究 (第2報) ポリ乳酸樹脂の物性と成形性に関する研究

大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 関 守雄, 藤本宗之

高分子材料は一般に高温熔融状態で賦形され冷却固化して製品となるが, この過程で温度, 圧力などの条件によって大きさ・欠陥等の微細な構造が異なる結晶が形成され, 強度などの実用的な特性に影響する。

ポリ乳酸樹脂 (PLA) について成形条件の中で重要な冷却温度 (型温度) の影響について検討したところ, (1) PLA は融解状態からの冷却・固化において

温度の違いで異なる融点を持つ結晶を生成する, (2) この原因は完全に明らかではないが, 結晶核の形成機構の違いによる可能性がある, (3) このため, PLA は成形時の冷却条件によって物性が異なると考えられる, 等のことが明らかになった。

P23~26, 表1, 図5, 文献5

グラフト重合法によるプライマーの合成とポリオレフィンの接着性改善効果

大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 藤本宗之, 羽坂昭男, 池田芳清, 岡田光広, 益勝治, 白石浩平, 杉山一男

近年ダイオキシン, 環境ホルモンの発生などに関連して環境的見地から問題視されてきているポリ塩化ビニル (軟質) と同等の機械的特性を有するポリオレフィン樹脂 (TPO) で代替することを目的として, TPO の接着性改善について検討した。

その結果, ポリオレフィン樹脂へアクリルモノマー類をグラフト重合することにより合成した樹脂を主成

分とする接着用前処理剤 (プライマー) を開発できた。開発したプライマーをポリオレフィンエラストマーに塗布することにより, ウレタン系接着剤では接着しにくかったポリオレフィンエラストマーの接着力を大幅に改善でき, コロナ放電処理以上の接着力が得ることができた。

P27~30, 表2, 図3, 写真1, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.43 2000)

圧延と通電を利用した鉄とアルミニウムの連続接合

筒本 隆博, 新田 明, 苅山 信行

ロールへの通電と圧延を用いた放電焼結圧延装置を利用して、アルミニウム板と板厚0.3mmの亜鉛メッキ鋼板の大気中での連続接合を試みた。

ロール温度が380~400℃の範囲で、単位板幅あたりの剥離強度が40N/mm以上の良好な接合が得られ、300~360℃では界面にZnが残り、剥離強度の最低値は10N/mm以下となる。

ロール温度が420℃以上では、界面でFeとAlの金属間化合物が形成され剥離強度が低下した。

表面にAl箔を配置し接合することで、熔融した亜鉛がロールに付着しなくなる。

Alの板厚は25 μ mから3mmまで、接合材の板幅は19mmから45mmまでが試作できる。

試作したFe/Alクラッド材はFeとAlのスポット溶接を行うための中間挿入材として用いることができた。

P31~34, 図6, 写真4, 文献9

粉体離型潤滑剤を用いた素形材加工エコシステムの研究開発 (第2報) 離型力による粉体離型潤滑剤の評価

藤井敏男, 府山伸行, 苅山信行, 土取 功

ダイキャストによる製造において、離型剤の使用は不可欠である。そのため、ミストや油塵が工場内に飛散し作業環境が悪い。さらに離型剤を含んだ水は油分を多く含むため、多量の排水処理が必要となっている。そこで、省エネルギー化を図り、作業環境改善するために、粉体離型潤滑システムをダイキャストマシンに組み込むことで閉じた金型に粉体離型潤滑剤を付着させるシステムの開発を進めている。

本年度は、離型潤滑剤に要求される性能の中で、重要な要素である離型性について検討した。金型より製品を取り出す力を測定し、粉体供給時の設定条件が離型性に与える影響を調べ、試験金型での最適条件を見いだした。また、新しく開発した粉体離型潤滑剤(2000-006556:特許出願中)は、水溶性離型潤滑剤に劣らない離型性を有していることがわかった。

P35~38, 表4, 図8, 文献4

マイクロセンサ開発のための加工技術の研究 (第4報) センシング機能を有するマイクロ構造体の試作

繩雅典生, 問山清和

シリコンマイクロマシニング技術を用いて、センシング機能を有するマイクロ構造体(振動型角速度センサ)の作製を試みた。

シリコンの加工には、比較的安価な設備で作製できるウェットエッチング技術を採用した。電極に使用するCr膜の形成とあわせて、シリコン構造体の台座と

なるガラス基板の加工特性を検討した後、昨年度までに確立した基礎加工技術を活用して試作を行った。

作製した構造体は、信号検出まで至らなかったものの、形状に関しては、各要素技術を駆使することで、設計寸法通りのシリコン構造体を得ることができた。

P39~42, 表2, 図6, 写真2, 文献4

マグネシウム合金複合材料のチクソ成形技術の開発

府山伸行, 藤井敏男, 土取 功

チクソモールディング(TM)法を利用した複合材料のニアネット成形を試み、成形性および強度特性を評価した。

(1) 攪拌法で作製したAl18B4O33w強化AZ91D合金基複合材料ピレットを複合材料ペレットにチップ加工して、TM法で成形した。その結果、成形性は5vol%が良好で強化材が均一分散した。しかし、10vol%ではノズル付近に強化材が滞留し、成形が困難であった。

(2) 15vol%複合材料ペレットと母材ペレットをホッパー内でブレンドした場合も、シリンダ中で強化材が母材に均一分散し、成形品中の体積率を5vol%までにコントロールできた。

(3) 複合材料ピレットに熱間押し出しを施し、強度特性、反応性を調査した。その結果、複合化によりヤング率、耐力、および高温引張強度が向上した。

P43~46, 図3, 写真9, 文献6

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.43 2000)

素形材加工のインテリジェント化に関する研究 (第5報) 光造形モデルの射出成形金型への応用

門 格史, 下原伊智朗, 畑徳宣, 森下勇樹

光造形モデルを利用した射出成形金型の作製で以下の結果を得た。

1. メタルレジン型については100ショット以上の成形が可能であり, 射出成形金型作製の1手法として利用できることを確認した。
2. 切削加工では難しい複雑形状 (三次元形状) 製品の

の金型に利用すれば, より効果が得られると考えられる。

3. メタルレジン型の精度については0.2~0.6%膨張があり, これらを設計値または光造形モデル作製の際に盛り込んでおく必要があることがわかった。

P47~50, 表6, 図3, 写真5, 文献4

テーラードブランク材の成形に関する研究 (第2報) TIG溶接したテーラードブランク材の成形性

森下勇樹, 畑 徳宣, 釜屋昭彦

一般に普及している TIG 溶接法をテーラードブランク材の作製に適用し, 最適溶接条件で接合したテーラードブランク材の溶接部の特性とプレス成形性を検討した。薄板の成形試験である引張試験, エリクセン試験, 張出成形を利用し, 素板と各種テーラードブランク材の成形性を比較するとともに成形限界を定量化した。溶接線方向の引張試験では, 溶接部の硬化によ

り強度は増加したが, 母材と比べて破断伸びは著しく減少した。張出成形によるテーラードブランク材の成形限界域は単軸引張領域から等二軸引張領域においても素板と比べ小さいが, ブランク材を厚板化すれば成形性は向上した。

P51~54, 表2, 図5, 写真1, 文献4

実荷重インプロセスモニタリング制御によるプレス成形装置の試作開発

森下勇樹, 畑 徳宣, 山下弘之, 門 格史, 釜屋昭彦

一般のプレス機では, しわ押さえ荷重は過去の加工実績や経験等に従って制御され, 加工中に作用している実荷重の変化をモニタリングすることは行われていない。板材特性, 寸法形状が各種多様に変化した場合, 最適な荷重制御を設定することは容易ではなくしわや割れ発生の一因となっている。プレス成形技術で

重要な要素であるしわ押さえに着目して, しわ押さえ荷重を4分割独立制御し, プレス成形中のしわ押さえ荷重と材料流入量をインプロセスでモニタリングできるプレス成形装置を試作開発した。

P55~58, 表1, 図5, 写真5

海水の淡水化における有害物質除去技術の開発

斯波信雄, 倉本恵治, 本多正英, 丸下清志

従来の淡水化技術では十分除去できなかった有害物質である有機ハロゲン化合物の光触媒およびオゾン酸化による除去法について検討を行った。

光触媒はハニカム基板上に酸化チタンを製膜することで得た。チタン溶液としてチタニウムテトラ-n-ブトキシドのブタノール溶液を使用した。ブタノールとの混合割合が1:5, 加熱温度550℃で光触媒効

果が期待できるアナターゼ型酸化チタンの薄膜を得ることができた。この試作触媒の性能は, 市販品に比べて, 全有機塩素 (AOX) の処理に関しては劣っていたが, 全有機炭素 (TOC) の処理に関しては優れていた。また, オゾンを併用することにより処理効率が向上した。

P59~62, 図8, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.43 2000)

船体の摩擦抵抗低減に関する研究 (第2報) 模型船の摩擦抵抗低減に関する研究

平田敏明, 斯波信雄, 倉本恵治, 本多正英

省エネルギーを目的とする船体の摩擦抵抗低減法の中でも、マイクロ気泡による方法は、低減効果が大きく、船舶へ適用しやすいため注目されている。本研究では模型船船底への微細気泡注入による抵抗低減を検討した。試験の結果、気泡を注入すると最大2.3%の抵抗低減がみられたが、フィルターの種類(通気抵抗)と抵抗低減の関連は認められず、流速1.3m/s付近での抵抗低減は加工穴、焼結金属、セラミックフィ

ルターの順に大きかった。トリッピングバーを付加すると抵抗低減が増長され、付けない時に比べ最大で3倍以上の大きな低減効果があった。また気泡の発生箇所を2箇所にすると、1箇所の気泡注入では低減がみられなかった流速域でも低減が生じ、抵抗低減が可能な流速(船速に対応)範囲の拡大が図れた。

P63~66, 表2, 図10

In-situ ナノ複合化多層薄膜作成評価装置を用いた各種複合化膜の創製と水素化特性評価 (第2報) 水素化したPd/Mg薄膜の光透過特性

樋口浩一, 梶岡秀, 問山清和, 本多正英

これまでの研究から、Pd/Mg薄膜を水素化すると薄膜は金属光沢から変化して透明化することを見いだしている。そこで、水素を利用した光スイッチへの利用の可能性を含め、水素化特性と光透過特性の関係を検討した。

膜厚を変化させたPd/Mg薄膜を作成したのち、373K, 0.1MPa・H₂, 24時間の条件で水素化させその光透過特性を紫外可視分光光度計で評価した。また、水素化したPd/Mg薄膜を、大気中で室温から段階的

に温度を上昇させたホットプレート上に保持し、光透過特性変化の様子を光学的に観察した。

水素化前の試料は光を通さないが、水素化すると波長が400~800nmの範囲では光を通し、Pd(50nm)/Mg(200nm)の試料では、温度の上昇と共に光を透過しにくくなり、453Kで5分保持すると完全に光を透さなくなった。X線回折分析の結果から、この時MgH₂は完全に脱水素化していた。

P67~70, 表1枚, 図2, 写真3, 文献6

無機系廃棄物の再利用技術の研究 (第3報) 新型ごみ焼却施設から排出される溶融スラグの資源化技術開発と実用化

本多正英, 倉本恵治, 斯波信雄, 渡部英雄

一般廃棄物溶融スラグの有効利用を行うため、重金属の溶出など環境への影響を評価した上で、再資源化のためコンクリートの細骨材の代替としての利用や、吸着剤であるゼオライトの合成について検討した。溶融スラグや結晶化スラグ、溶融スラグを細骨材として添加したコンクリートの溶出試験を行った結果、全て

土壌環境基準値以下であった。なお、溶融スラグ入りコンクリートの圧縮強度は標準コンクリートに比べて5%上昇した。また、溶融スラグから水熱合成し作成したゼオライトは、市販のものと同様の陽イオン交換容量を有していた。

P71~74, 表6枚, 図5, 写真1, 文献8

環境アメニティに関する研究 (第8報) ダクト内騒音のアクティブコントロールに関する基礎研究

吉野信行・長谷川浩治・中塩武之, 大谷 孝, 西村公伸

本研究では、アクティブコントロールユニットを用い、ダクト内騒音のアクティブコントロールに関する基礎研究を行なった。騒音源が正弦波の場合は、周波数を90Hz~900Hz領域のオールパスで0dB~40dBの低減量を得た。ストランドカッターの場合は、2kHz以内の卓越した騒音(約4スペクトラム)を対象とし、オールパスで約0dB~7dBの低減量を得た。正弦波騒音源による実験では、消音スピーカの配置、エ

ラーマイクロホンの位置などにより、良好な消音が行なえることが確認できた。ストランドカッター騒音源による実験では、1kHz以上でも卓越した騒音のスペクトラム数が少なければ(約4スペクトル)、良好な消音が行え、閉空間と見なされる機器・製品の騒音対策技術の手がかりを得ることができた。

P75~78, 図7, 文献1

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.43 2000)

環境アメニティに関する研究 (第9報) GMR センサ利用による磁場の磁界強度検出ユニットの開発

長谷川浩治, 馬場祥宏, 梶岡秀, 山根秀之, 本多茂男

近年, 希土類磁石の高性能化が進み, 磁気浮上, 磁気軸受, 磁石バネ及び磁気ダンパー等を用いた磁気制御系の研究が盛んに行われている。磁気の制御を行うためには, 磁気を検出するセンサを必要とする。そこで, 本研究では, 永久磁石の磁界強度を検出するために高磁場 (1~2 kOe) において高感度を示し, ヒステリシスの小さい巨大磁気抵抗 (GMR) 素子の薄膜

構造を採用し, 磁界強度検出センサへの応用を検討した。今回は, FeCo 膜と CoAg 膜の積層構造を用いた GMR センサの試作, および, 磁界強度の変動を読みとるためのユニットの検討を行い, 1ch における磁界検出ユニットの試作を行った。

P79~81, 図10, 文献4

機械制御用 FPGA の設計技術の開発 (第3報)

馬場祥宏, 清水義信, 石津任章, 中塩武之

中小企業が自社製品に適合したセミカスタム LSI を容易に開発できるよう, ハードウェア記述言語を用いた FPGA の設計技術を構築した。

実務においてニーズのあった液晶画面表示制御回路およびシリアルデータ転送回路に FPGA を採用し, 遊技場向け POS 端末の開発を行った。

(1) 液晶画面表示制御回路では, 従来マイコン処理能力の 1/2 と 160cm² の基板面積を要していた回路を, マイコン負担無し, 基板面積 108cm² に置き換え, 開

発期間も 4 か月から 1 か月に短縮された。

(2) シリアルデータ転送回路では, 調歩同期, 1 ストップビット, キャラクタ長 8 ビット, 512 バイト送受信バッファを有するメモリバッファ付きシリアル IO インタフェースを開発し, CPU 負荷の低減のため受信局自動判別, ブロック終了判別, ブロックパリティ機能も併せて付加した。

P82~85, 表1, 図3, 写真2, 文献4

高分子材料の複合化技術とその応用に関する研究 (第2報) 難燃性プラスチックの機械的特性の改善

下原伊智朗, 田平公孝, 大橋俊彦, 益 勝治

無機系難燃剤をポリプロピレン (PP) に配合したときの機械的特性について検討した。Mg(OH)₂ を PP に配合することで, 衝撃強さは大きくなることがわかった。引張強さ, 曲げ強さは低下した。充填材と PP の接着を上げる目的で添加した, 極性基を有する改質剤により破断伸びの改善はみられたが, 引張強さ, 曲

げ強さはあまり向上しなかった。

表面処理を施していない Al(OH)₃ では, 改質剤の添加により引張強さ, 曲げ強さが著しく向上することが明らかとなった。

P86~89, 図6, 写真3, 文献1

高分子材料の複合化技術とその応用に関する研究 (第3報) 電磁波シールド特性を持つ樹脂材料の開発

下原伊智朗, 吉野信行, 酒井利文

自動車用の電機部品を電磁波による誤動作から守る目的で筐体樹脂に電磁波遮蔽性能を持たせることを検討した。その結果ポリアミド樹脂に金属繊維を 10% 程度練り込むことで, 約 40dB の電磁波シールド特性を持たせられることがわかった。炭素繊維入りの材料では, シールド効果が約 50dB あるものがあったが, 繊維の配合量が多いため表面平滑性, 繊維の分散性に課

題がある。2層の金属メッシュ (約 25メッシュ) で, 表面を覆うことで非常に高いシールド効果があることがわかった。しかし実際の成形品にはコーナー部などがあり, 配置に工夫が必要となる。従って, 実製品では導電性繊維と金属メッシュを組み合わせる工法により, シールド性能の向上を進めていく予定である。

P90~92, 図7, 写真1

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.43 2000)

精密加工に関する研究 (第6報) 針鍛造金型のデジタル化と精密放電加工

山下弘之, 門格史, 高橋英和

技能者の勘と経験で伝承されている, 針製造用鍛造金型の製造における技能, 技術のデジタル化を目的に次の検討を行った。はじめに, 非接触3次元形状測定装置による測定データをもとに, 既存針金型形状のCAD化を行い, 数値データによる形状管理・保存の見通しを得た。次に, 3次元CADによる新規の針金

型形状の直接モデリングを検討し, ほぼその手順を確立した。最後に, 現在製造している中で, 最小の針金型(呼び径0.46mm)を対象に, 鍛造転写電極を使った放電加工を行い, ほぼ所定の形状及び面粗さを得ることができた。

P93~96, 表1, 図9, 写真3, 文献3

精密加工に関する研究 (第7報) 放電加工による微細軸電極成形条件の最適化

山下弘之, 門格史, 平野正和

微細な穴加工を行うための微細軸電極を加工する方法である“ワイヤ放電研削法(WEDG法)”において, 安定で, かつ加工速度の速い微細軸加工条件を求めることを目的に, 品質工学の手法を適用し, 荒加工条件の最適化を検討した。加工時間と加工除去体積の比例性に着目した基本機能で検討を行った結果, L₁₈

実験で第2水準との利得の再現性(特に感度)に問題があるものの, 従来の荒加工を, 1/3の加工時間で, 1行程で行える荒加工条件を見いだすことができた。また, 仕上げ工程の見直しを含め, 現状の加工時間を半減することができた。

P97~100, 表6, 図6, 写真1, 文献3

無機系廃棄物の再利用技術の研究 (第4報) コンクリート廃材から機能性材料の開発

倉本恵治, 丸下清志, 斯波信雄, 新畑貴史, 斉田宏之

コンクリート廃材等無機系の廃棄物は発生量が多く, 完全リサイクルのための有効な技術開発が強く望まれている。そこで, これらの廃棄物を用いて再生骨材としての有効利用や機能性材料の開発を行った。また, 廃石膏の細骨材としての利用についても検討した。再生粗骨材, 再生細骨材を使用したコンクリートの圧縮強度は標準と比較して40%以上低下したが, 再生粗骨材を塩酸処理することにより強度は約10%上昇

した。また, 吸水率50%として廃石膏を細骨材に用いたコンクリートの圧縮強度は, 11~12%添加までは上昇を認めしたが, それ以上の添加では大きく低下した。さらに, コンクリート廃材の微細試料を水熱処理することにより, A型とX型混合のゼオライトが合成できることを見いだした。

P101~104, 表5, 図4, 写真2, 文献4

プレスシミュレーションの実行例

安部重毅, 釜屋昭彦, 森下勇樹

本報ではH12年度以降のプレスシミュレーション(PAM-STAMP(株)ESI)を加工現場に活用するための研究の前段階として, プレスシミュレーションがどのレベルまでプレス加工における不良現象を表現できるかを検証した。

シミュレーションには, 角筒しぼり, U字曲げ, S-

RAILの各モデルで評価した。シミュレーションの結果より, しわ, 割れに関しては実用的レベルにあることを確認した。しかし, Spring Backに関しては今後精度を向上させる必要があることを確認した。

P105~108, 表11, 図14, 文献2

製品形状のコンピュータモデル作成技術の開発 (第3報) 三角形パッチモデルの活用によるクイック設計技術の開発

坂元康泰, 佐々木憲吾, 松永尚徳, 安部重毅, 野地英治

Development of Computer Model Generating Technology (3rd Report) Development of Quick Design Technology by Triangular Patch Model

SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo, MATSUNAGA Hisanori, ABE Shigeki and NOJI Hideharu

Last year, We developed Shape Input system for producing computer models from a master model by using Contact 3D or Non_contact Measuring System, that characteristic is easy to get outlines or free form surface of models. This year, we tried applied use of this computer model. On the initial stage of Product Development, Speed is more important than precision. For standing this demand, we propose CAD/CAM/CAE system based on Triangular Patch Model that expression does not need CAD model.

キーワード：リバーエンジニアリング, 3次元形状計測, CAD/CAM/CAE, コンピュータモデル,
三角形パッチモデル

1 緒 言

モノ作りのプロセスは、現在、多様化・複雑化への対応から迅速化の時代に移行している。しかし、中小企業は設計のデジタル化の入口であるコンピュータモデルを作成できる設計者が不足しており、それゆえ後工程で迅速化を支援するツールを活用しているとは言い難い。そこで我々は平成9, 10年度に「形状入力システム」^{1),2)}の開発を行ってきた。それは、実物という形状資産が存在していれば、その形状を計測しCADシステムに取り込むことによって、効率よく、そして高度な3次元CADオペレーティング能力を必要とせずコンピュータモデルとすることを支援するシステムである。そのコンピュータモデルを後工程で活用する方策としては以下が考えられる。

- 1) コンピュータモデルから複製を試作し実験を行う
- 2) コンピュータモデルを形状データとして用い、シミュレーションを活用する

これらへの展開は、CADシステム内で標準として用いられているサーフェス・ソリッドモデルデータ(以下、CADモデル)ならば従来から可能であるが、その作成工数は大きい。よって、我々はさらに迅速化を進めるため、実物の形状計測から得られた点群データを元に作成された三角形で覆われたコンピュータモデル(以下、三角形パッチモデル)からこれらを可能とするシステムを構築することを目標とした。その考え方を図1に示す。

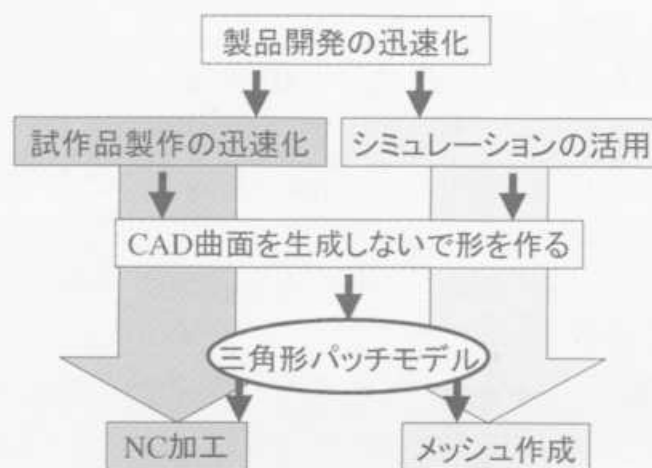


図1 開発の迅速化と三角形パッチモデル

2 三角形パッチモデルからのNCデータの作成

2.1 システム構成

近年、製品開発段階の試作法としてラピッドプロトタイプング装置が多く用いられている。しかし、試作コストが(少々)高い、実機に組み込み実験するには強度的に不足するという欠点の他、最終的には(量産段階では)切削加工(による金型制作)を望む。そこで、点群データあるいは三角形パッチモデルから切削加工用のCL(カッターライン)データを作成し加工するシステムの開発を行った。

今年度研究領域でのシステム構成を図2に示す。それは精密な三角形パッチモデルを中心として、その入出力となる装置を配置したものである。三角形パッチ

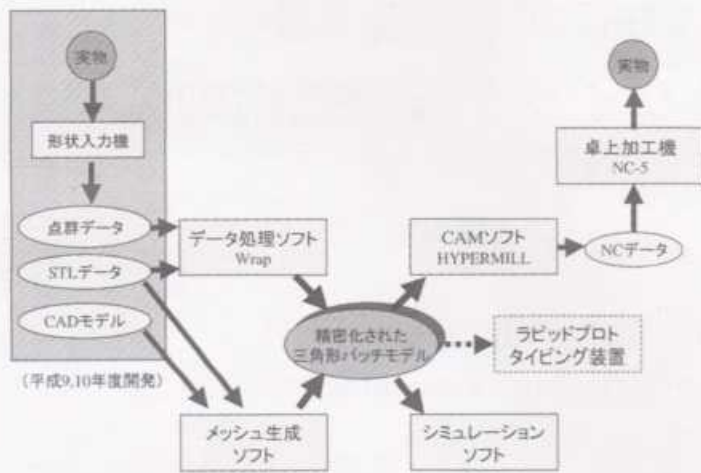


図2 システム構成

モデルを入力とする装置としてラピッドプロトタイプング装置があるが、本モデルを広範囲に利用しようとするものである。

CAD 曲面から NC 用カッターパスを生成する手法としては主に以下のものが提案されている。

- (1) オフセット法
- (2) 逆オフセット法
- (3) 多面体近似法

このうち、多面体近似法は CAD 曲面を三角形の多面体で再構成したのちに CL データを生成するものであり、近年 CAM システムで用いられるようになってきた。この方法では品質の良い多面体（三角形パッチモデル）を生成することが可能となれば CAD 曲面が必要としないことになる。しかし、実物を計測して得られた点群データを元にした場合、データ数の不足や三角形の歪みが加工面に反映するといった問題がある。よって、三角形数を多くする、あるいは形を修正するといった三角形パッチモデルを修正可能なシステム構成にすることにより、より滑らかな加工面が作成できるシステムになっている。

2.2 テストモデル1 半球形状の加工

本手法を評価するため、形状として半球を選択した。球は形状定義としてはシンプルに思えるが、勾配が0から無限大まで変化し特異点を持つため数値処理が困難な形状と言える。

図3は半球（R50）表面を多関節型座標測定装置で計測した点群データから三角形パッチモデルを生成し、これから NC パス生成後ワックスモデルを加工したものである。A は145点のデータから生成したもので三角形の形がよくわかるが、332点の三角形パッチモデルである B はそれがわからなくなっている。C は B の三角形パッチモデルを元にパッチ数を増やしたものであり、D の CAD モデルから加工したものと遜色なくなっている。少し表面の粗さが見

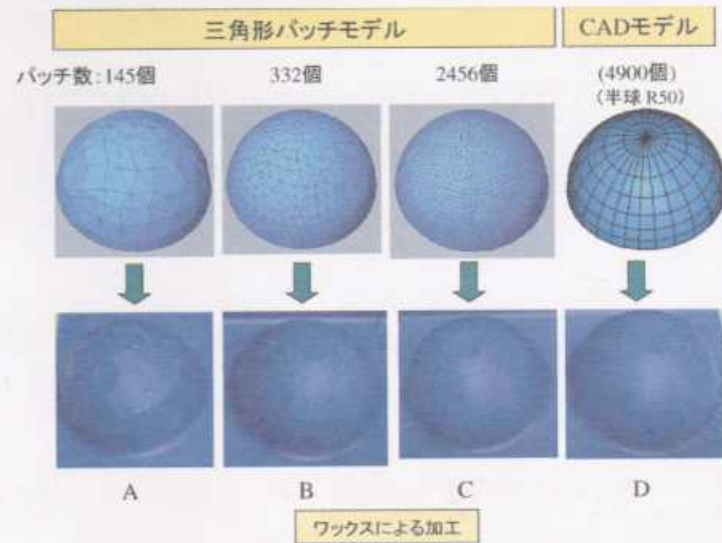


図3 加工例-1 (半球形状)

えるが、試作段階では使用可能と思われる。

CAD 面上を0.01mm の誤差内に三角形で包含するには4900個必要となるため、この程度まで数を増やすと CAD モデルと三角形パッチモデルは同程度の滑らかな加工面が生成できると推測される。

2.3 テストモデル2 フック形状の加工

次の評価モデルはフックである。これは、構造部品であるが、軽量化を求めると表面形状が滑らかな自由曲面で構成される。図4(左)はフック形状(20kN用)について CAD 曲面を元に加工したものであり、(右)が CAD 曲面から三角形パッチモデルにし、これを元に加工パスを生成したものである。加工表面はほぼ同程度と思われた。本手法の欠点は生成された NC データのサイズが大きいことである。その理由は1枚の平面もいくつかの三角形の面に分割されるため、一直線の加工ラインが分割されることであるが、実際の加工時間に大きな差は見られない。

	Surface からの加工パス	STL からの加工パス
曲面～CL との差ΔL	0.01mm	0.01mm
三角形パッチ数	—	11,800個
データ量 (仕上げ加工)	17,000行	40,000行
加工面 (全体)		
(拡大)		

図4 加工例-2 (フック形状)

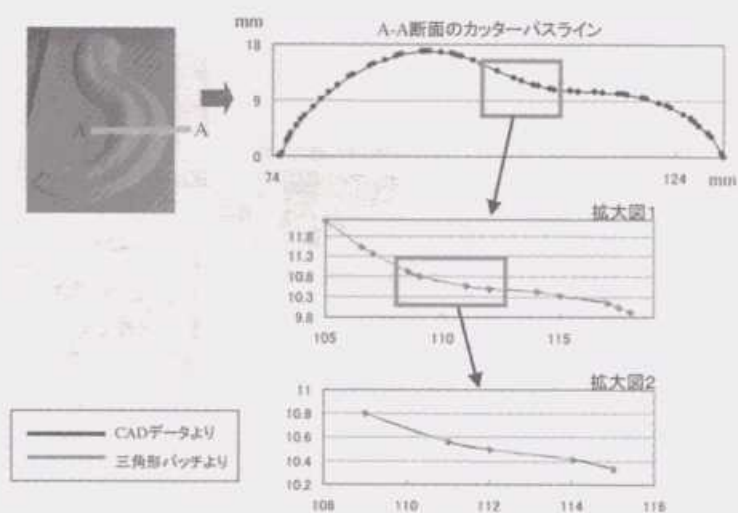


図5 CLデータの比較

加工面の誤差は、三角形パッチにするときの曲面とパッチ面（平面となる）の差と考えられる。よってその精度（パッチ面あるいはCAD面とカッターパスの差であり、本事例では0.01mm）を一致させてNCパスを生成すると加工面も同等なものが得られるはずである。図5は図4に示すフックモデル中央断面の加工パスデータを一部抜き出して比較したものであり、拡大しても同等な線分で構成されている。これは、本手法がCADモデルからの加工と同等の最大誤差内に収まることを示している。

2.4 テストモデル3

—電気湯沸かしポットのふた加工—

近年、家電製品の外形形状は自由曲面で構成されることが多くなっている。意匠性の強い製品形状に対する本手法の利用可能性について検討した。題材として、図6に示す電気湯沸かしポットのふた形状を選択した。加工手順は以下である。

- 1) 形状点群データの取得：多関節型座標測定装置で長手方向10mmピッチで既存実物モデル断面の点群データを取得し、その後曲面生成ソフトSurfacerを通して断面をIGESに変換する。
- 2) モデリング：IGESファイルのデータをCAD/CAMに読み込み、10mmピッチごとの断面形状をなめらかな面がはれるように修正し、CADモデルを作成する。
- 3) CADモデルから三角形パッチモデルを作成する。
- 4) NCデータの算出：作成した2つのモデルでNCデータを作成する。今回は、荒加工、中仕上げ加工、仕上げ加工の3段階でNC加工を行う。
- 5) NCデータの検証：作成したNCデータを加工シミュレーションソフトVERICUTで検証する。
- 6) 卓上加工機で加工する。

本手法（三角形パッチデータからのNC生成）による加工品とCADデータから直接NC作成した加工

品を比較したところ、三角形パッチサイズが大きいポット上部は元の形（三角形）が伺える。また、目視でわからない箇所も指による触覚では把握できる場所も目立った。これは、CADモデルから三角形パッチモデルを作成する際、CAD曲面との距離誤差以外に、三角形の歪み度を制御していないことによる。図7に示すように三角形パッチモデル生成方法としてシミュレーションメッシュモデルを利用可能とすることにより三角形のサイズや歪み度を制御することが可能となった。

また、加工面の滑らかさを加工シミュレーション上で事前に観察、評価できるかを検討したが、荒加工～中仕上げ加工では把握できたが、仕上げ加工（誤差0.01mm）レベルでは困難であった。



図6 加工例-3（電気湯沸かしポットのふた）

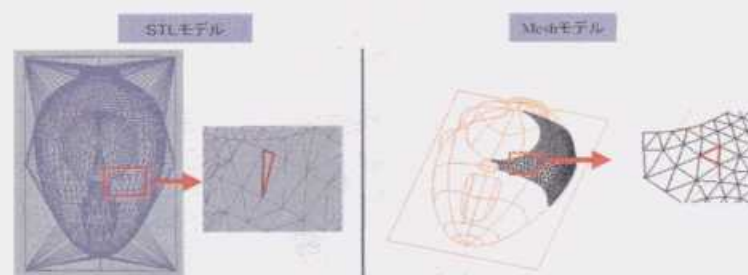


図7 三角形形状の制御例

以上、3事例により、CAD 曲面を作成しないで三角形パッチモデルからの NC 加工を行う手法は開発段階では十分有効と考える。迅速化の点から言えば、製品が多く曲面で構成される場合、曲面間の隙間や重なり処理など CAD オペレーションの多くが不要となるため、モデル化の手間が半減することもある。また、意匠性製品の仕上げ加工においては十分な三角形パッチ数とパッチ形状の制御が必要となることがわかった。

3 三角形パッチモデルからの強度解析

三角形パッチモデルのもう一つの活用方法はシミュレーション用モデルとして利用することである。例えば、従来の強度シミュレーションでは CAD モデルからメッシュ生成を実施してきたが、三角形パッチモデルからメッシュを生成して解析することも可能である。その場合、現状では 6 面体要素でモデル内部を埋め尽くす必要があるため、外表面を滑らかに表現するために相当多くの要素数が必要となる。図 8 は前年度作成したアルミホイール²⁾について強度解析を実行したものである。上段はメッシュ数 34,000 であり、外表面が凹凸であるためマクロ的評価(例えば、変形量)のみ有効であるが、下段はメッシュ数 60 万であり表面の応力評価も可能となってくる。なお、数十万要素の強度解析を一般のソルバーで実行することは困難であり、VOXELCON(要素サイズを一定にすることにより全ての要素マトリックスを同一とし、膨大な要素数でも計算可能とする)を用いて計算したものである。この考え方はイメージベース³⁾の構造解析と呼ばれ、CAD モデルがなくても三角形パッチモデルがあれば解析でき、工程の迅速化の点から今後利用が広がるも



図 9 強度解析例-2 (TV フロントパネル)

のと思われる。図 9 は、テレビのフロントパネルモデルである。曲面数が 531 と多く、リブなどの小さなパーツが多く存在し、この CAD モデルから直接解析用メッシュを生成することは困難である。そこで、CAD モデルから三角形パッチモデルにすることにより、モデル内部に 6 面体要素を生成し強度解析を実行することにより、リブを含む形状の剛性評価が可能となった。

4 結 言

製品開発のさらなる迅速化のため、CAD モデルではなく三角形パッチモデルから後工程が進むシステムを開発した。その主な内容は以下である。

- 1) 三角形パッチモデルからの NC 加工方法
- 2) 三角形パッチモデルからの強度解析方法

これらは、平成 9, 10 年度開発した形状入力システムから作成されるコンピュータモデルを有効に活用するためのものであり、いくつかの事例を通し本手法が開発段階で有効であることを示した。

設計者が取り扱う[コンピュータモデル]、[実物(製品)]、[特性]の 3 つの関係において、[実物]から[コンピュータモデル]へは形状入力システムにより可能となっている。また、[コンピュータモデル]から[実物]へ戻すこと、そして[(強度)特性]へは本研究で可能となった。そのコンピュータモデルが三角形パッチモデルであり、開発の迅速化がさらに進むことが本研究の特徴である。

なお、本研究は、地域活性化連携促進事業費補助金(技術開発研究事業)にて実施されたものである。

文 献

- 1) 坂元他: 広島県西部工技研究報告, No41 (1998), 21
- 2) 坂元他: 広島県西部工技研究報告, No42 (1999), 48
- 3) 石井他: 第 3 回計算工学講演会, (1998)

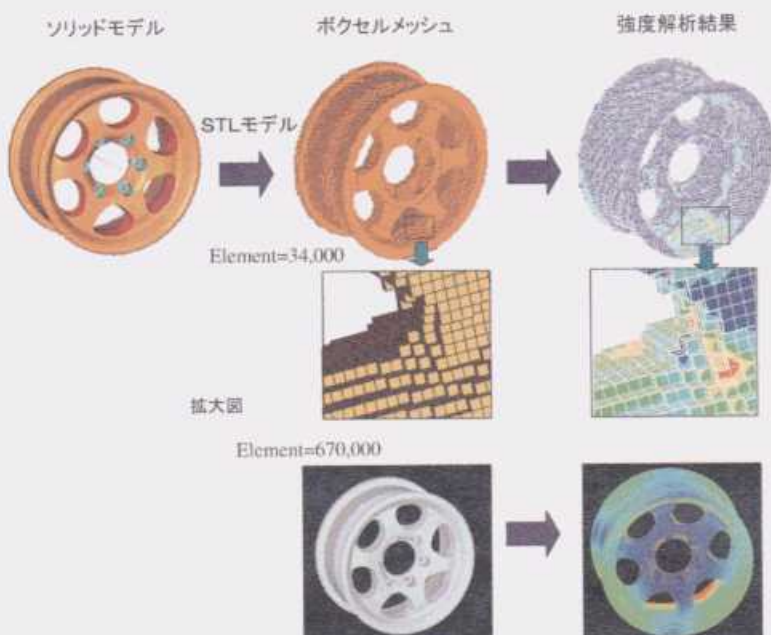


図 8 強度解析例-1 (アルミホイール)

樹脂流動解析による射出成形用金型開発の支援 (第1報)

金型内圧力計測による解析の検証

松永尚徳, 檜垣和生, 下原伊智朗

CAE for injection molding (1st Report)

Verification of CAE by measurement internal pressure of mold

MATSUNAGA Hisanori, HIGAKI Kazuo and SHIMOHARA Ichiro

We measured internal pressure of injection mold, and verified CAE for injection molding. We accepted high-precision simulations need verification of Simulation for existent products, and suggest the technique of high-precision simulation.

キーワード：射出成形, CAE, 金型内圧力, ABS

1 緒 言

近年ものづくりの業界に於いてもものづくりのデジタル化が急激に進んでおり, 系列の崩壊や世界的視野に立った受注力強化が必要な時代となっている。開発・設計においてコストや期間の短縮削減には CAE が有効とされており, 次第に普及率が高まってきているがその評価方法の難しさ故に十分に活用されている企業は少ない。本研究では金型内に圧力センサを埋設した金型による実験結果と解析結果の比較を行いより高精度に解析を行う手法を検討した。

2 実験方法

2.1 実験用金型

本研究では極力シンプルでかつ今後の展開を考慮して図1に示す箱状の成形品 (80×80×50mm 板厚1

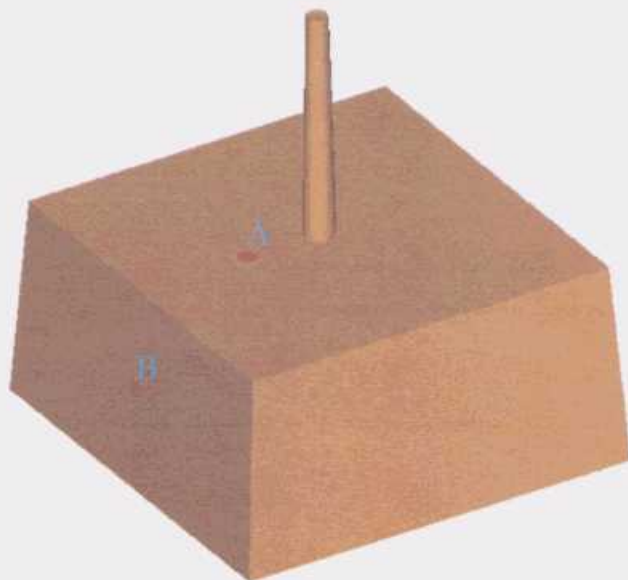


図1 作製した成形品

表1 内蔵センサの仕様

型 式	型内圧センサ 6157BA
メ ー カ ー	日本キスラー(株)
測 定 範 囲	0 ~ 200 MPa
使用樹脂温度	450℃以下
直 線 性	± 1 %FSO 以内

mm) を採用した。図の丸印の部分 (2ヶ所) に表1に示すセンサを内蔵し, スプルに近いセンサを A, 遠いセンサを B とする。

2.2 成形条件

前述の実験用金型を用いて図2に示す装置により実際に射出成形を行い内蔵の圧力センサにより熔融樹脂の金型内圧力を計測した。本実験での成形条件を表2に示す。

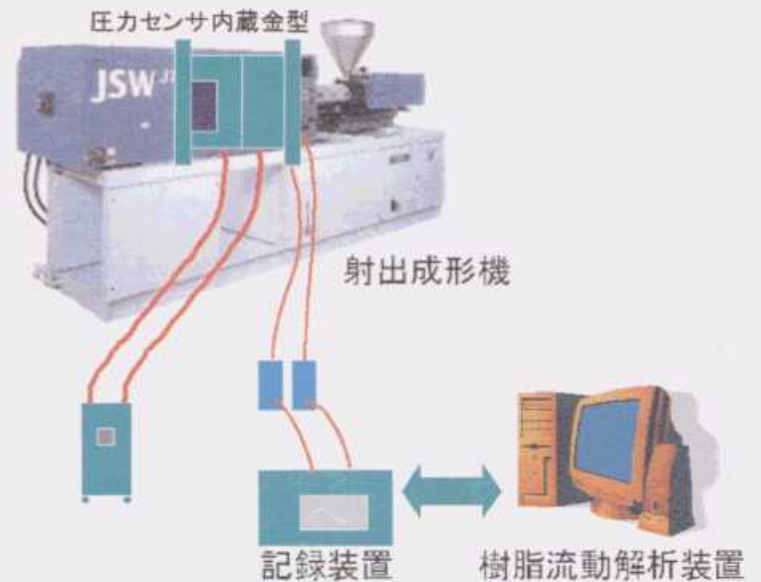


図2 実験装置

表2 成形条件

射出成形機	JSW J75E II-M
使用樹脂	ABS (ガラス繊維入り) 電気化学工業 GR2000
樹脂乾燥	80℃にて4時間
ノズル温度	220℃
射出設定	速度: 30, 40, 50, 60, 70% 圧力: 100% (制限なし)
金型温調機設定温度	60℃
保圧	0%
サンプリング周期	0.01秒

3 実験結果と考察

3.1 実験値と解析値の比較

実験値と解析値の比較の一例として射出速度を40%に設定したものを図3に示す。前述の圧力センサより採取した圧力波形を実験A及びB (○印及び×印)、表2に示した射出成形条件をそのまま解析条件に換算し計算した圧力波形をOriginal A及びB (波線)、最適化プログラム iSIGHTにより最適化した解析条件により計算した圧力波形を isight A及びB (実線)と記述した。

射出成形機で設定した成形条件をそのまま解析した場合 (Original A及びB)、図3に示すように実際の現象とは大きくかけ離れている。その理由として次のことが考えられる。

- ①射出成形機のシリンダ内で熔融樹脂の逆流現象の影響。
- ②成形機の応答性や制御に含まれる誤差の影響。
- ③3次元的な現象や樹脂が粘弾性であることを考慮できない等の解析の近似に起因する誤差の影響。
- ④モデリングに伴う誤差の影響。
- ⑤計測誤差の影響。

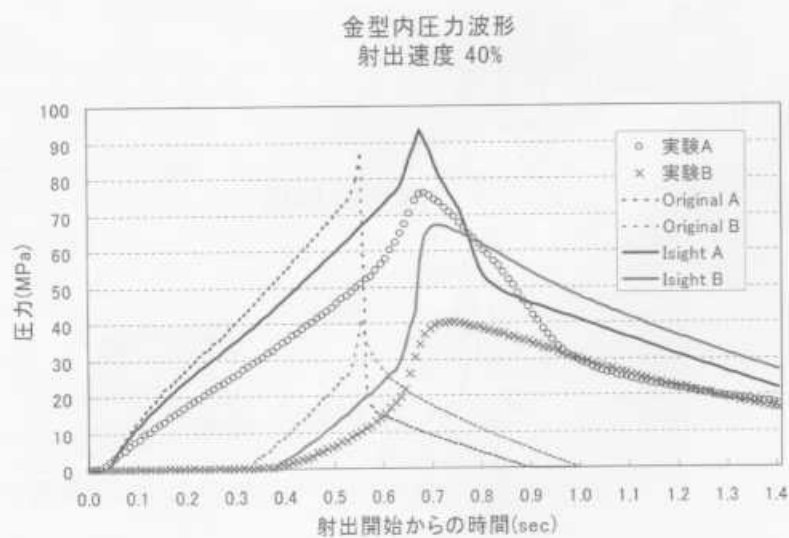


図3 実験値と解析値の比較

以上、様々な誤差が考えられるが、本研究では解析パラメータの調節という範囲内でいかに精度良く解析を行うかということについて研究を行った。

3.2 解析条件の最適化

前項に記述したように、成形条件をそのまま解析条件とした場合、実際の現象と解析結果は大きく異なる。そこで、本研究では図4に示すように最適化プログラム iSIGHT を用いて、実験による圧力波形と解析による圧力波形が同形状になるように、解析条件の射出速度と保圧のパラメータの最適化を行った。



ライト設計ツール



樹脂成型シュミレーション



図4 最適化の手法

その結果、図3に示すようにそのまま解析を行ったものに比較して、大幅に実験結果に近い形状の圧力波形が得られた。

3.3 射出速度設定について

図5に成形機の設定値から算出した理論射出速度と、前述の最適化プログラムで計算された射出速度の関係を示す。図中の実線は最小二乗法で回帰直線を求めたものである。設定値の約81%の射出速度で熔融樹脂が射出されていることを示す。また、本研究のデータは3次曲線 (図中の点線) によく一致している。こ

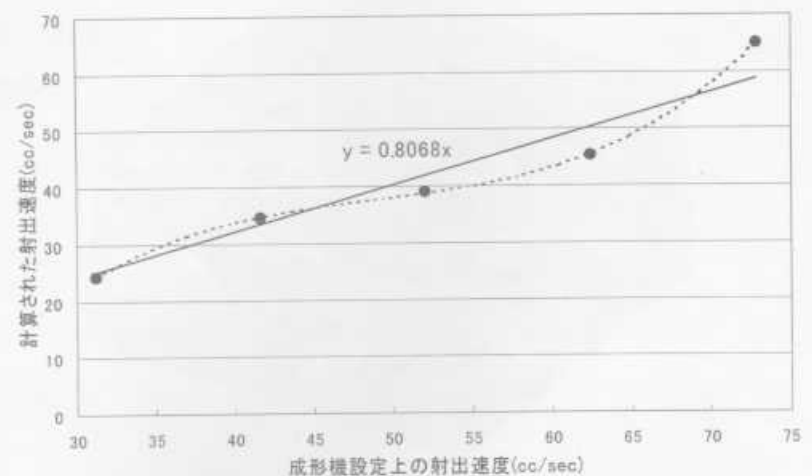


図5 射出速度の設定

これは成形機の制御システムの特性による影響ではないかと推測する。

3.4 保圧設定について

同様に保圧設定についても計算を行った。本研究の成形では保圧の設定をしておらず、解析条件として入力すると、図3の波線に示す様に充填完了と同時に急激に金型内圧力が減少する。しかし、実際には充填完了時点直後に幾分圧力が上昇し、その後緩やかに減少していくことが認められた。充填直後の圧力上昇は成形機の応答性の影響が大きいと考えられる。急激な変化を行うほど応答性の影響が大きくなり、解析値と計測値との相違が大きくなる。射出圧力が高い割には保圧が低い、或いはその逆といったケースでは、この誤差に十分注意する必要がある。

計算された保圧設定の状況を図6に示す。横軸に充填完了からの時間、縦軸に保圧を充填完了時の射出圧力との比をとった無次元化した保圧で示したものである。射出速度によって、ばらつきは生じているが、充填完了後約0.2秒後に最大射出圧力の30%、約1.0秒後に0%と設定すると、実際の成形条件に近くなる事が認められた。

実問題において、金型内部に圧力センサを内蔵して、保圧設定の傾向をつかむことは困難ではあるが、特に高い射出圧力が必要な成形品の解析には大きな効果が期待されるので、圧力センサ等の内蔵により検証を行うことが望ましい。

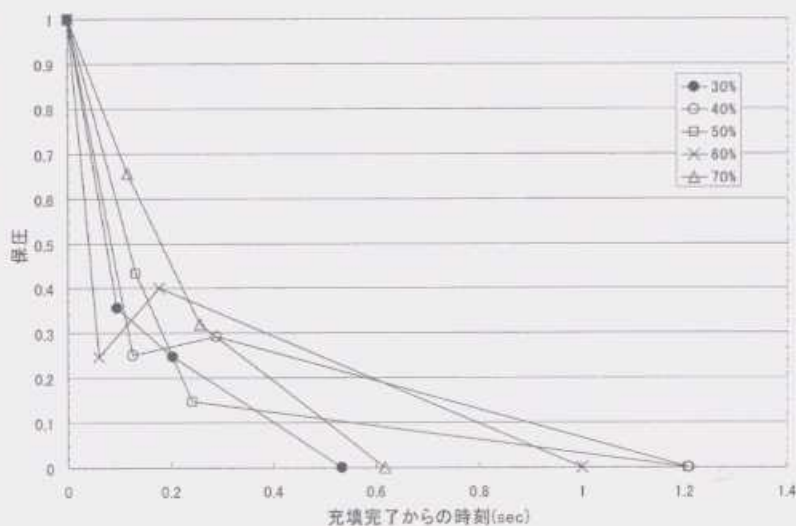


図6 計算された保圧条件

3.5 充填解析を高精度に行う効果

本手法により充填保圧冷却解析をより高精度に行うことが可能となった。図7に示すように充填保圧冷却解析は繊維配向解析やそり解析といった各種解析の基盤となる解析である。そのため、その下流の解析に与える影響は非常に大きい。

例えば、そり解析は充填保圧冷却解析で求められた

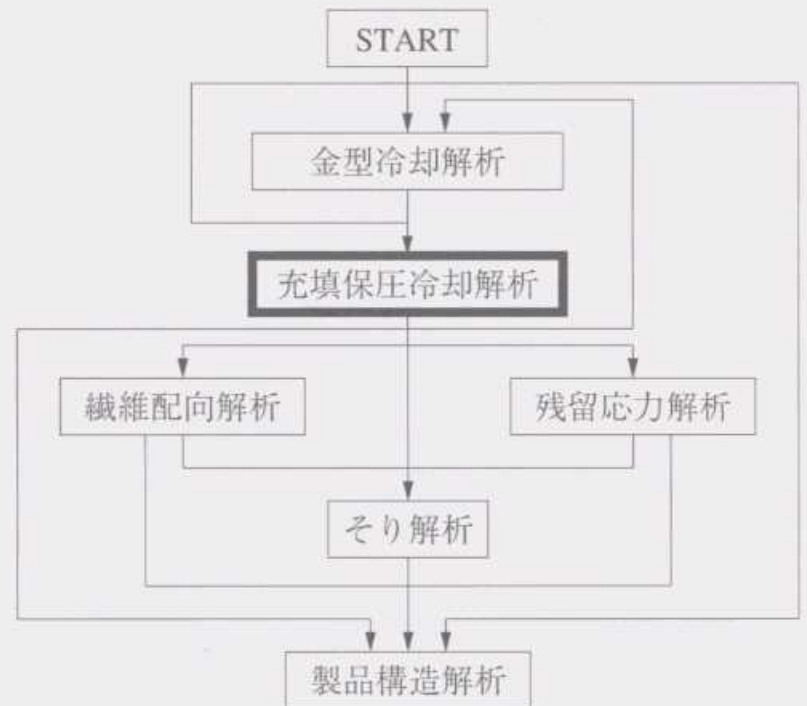


図7 解析の流れ

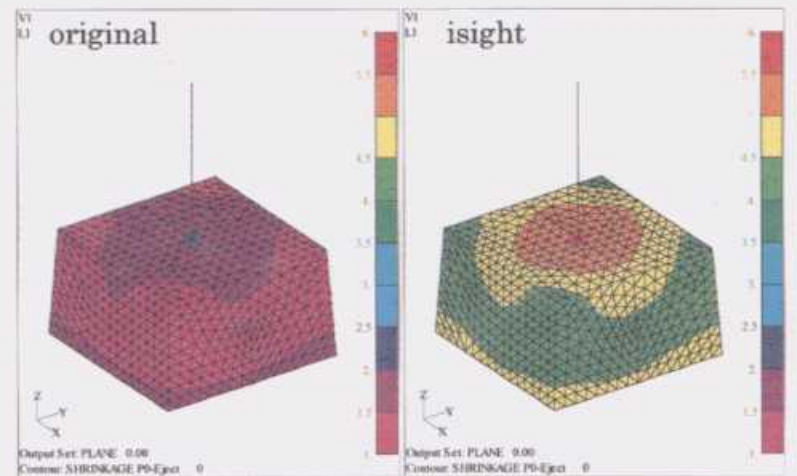


図8 収縮率の比較

収縮率に大きく左右される。図8に収縮率の比較を示す。収縮率の分布の傾向はほぼ同じであるが、その値は大きく変わる。一般的にそりの解析結果は方向はほぼ正しいが、その値はあまり合わないと言われている。その原因として、ここに示すような上流の充填保圧冷却解析での誤差が大きく関与している。本手法によりそり解析の精度向上が期待できる。

4 結 言

本研究により次のことが明らかとなった。

- (1) 成形条件から解析条件を単純に算出しただけでは大きな誤差を発生する。
- (2) 高精度に解析を行うためには、実際に射出成形機で既製品の成形・解析を行い、成形条件と解析条件の関連づけが必須となる。
- (3) 充填保圧冷却解析の精度がそり解析などの下流の解析に大きく影響をもたらす、本手法によりそれらの解析の精度向上が期待できる。

組立・分解性を考慮した生産設計支援システムの開発 (第1報) リサイクル部品選択支援システムの開発

佐々木憲吾, 安部重毅, 服部光郎*

Development of production design support system with consideration for assembly and disassembly. (1st Report)
Development of recyclable parts select support system.

SASAKI Kengo, ABE Shigeki, HATTORI Mitsuro*

To reduce waste, end of life product has to be recycled.

In material recycle case recycled material demands an essential quality level.

This system supports recyclable parts selection, considering various parameters described on spreadsheet software.

キーワード: リサイクル, マテリアルリサイクル

1 緒 言

2001年に「特定家電用機器再商品化法」(家電リサイクル法)の施行が予定されている。現在は3年間の準備期間として施行中である。当面の対象品目は大型家電4品目(テレビ, 冷蔵庫, 洗濯機, エアコン)であるが, 今後対象品目が増えることも予想される。

表1は特定家電用機器再商品化法のポイントである。

表1 特定家電用機器再商品化法のポイント

① メーカーは廃家電を引き取る義務がある。
② メーカーは廃家電を再商品化する義務がある。
③ 消費者は廃家電の引き取りコストを負担する義務がある。

表1①, ②によると, 今後加工組立型製品は何度も組立・分解が繰り返されることとなる。従来から多くの加工組立型製品については, 生産性やコストの面から組立性については検討されてきた。しかし, 分解性についてはあまり検討されていないのが現状である。

分解を行うにあたり, 各部品の耐久性や材料によりリユース性やリサイクル性を検討し, 分解を行うか否かを決定する。これらの課題に関しては, 全て設計段階で十分に考慮されていなければならない。

マテリアルリサイクルとは, 例えば鉄製の部品を溶かして新たな鉄製部品を作るということである。現状

ではマテリアルリサイクルを行う際, 再生材料が元の材料と比較して低品質であるカスケード型リサイクルであることが多い。しかし, このようなマテリアルリサイクルを繰り返していけば, やがて再利用するに耐えない低品位の材料に行き着いてしまうことになる。可能な限り同じ部品に再利用可能な高品位のマテリアルリサイクルが望まれる。

例え同じ部品に再利用することが不可能としても, 新しく作る部品を決定し, その部品が要求する品質を再利用される部品は満たす必要がある。したがって, 予めどの部品をマテリアルリサイクルに回すかの計画が必要である。このことにより, 余計な分解行程を省くことができる。さらに, 再生材料の品質が予測できるため, 品質管理等に非常に有利である。

2 マテリアルリサイクルモデル

マテリアルリサイクルを行う際のモデルとして, ある材料(目的材料)について考える。

一般に加工組立型製品は n 個の部品から構成されており, 様々な品質を持ち, 様々な方法で締結されている。部品の i の重量を W_i , 目的材料の含有率を A_i (%) とし, 再生時の最低目的材料含有率を A_0 (%) とする。

$X_i = 1$ で部品 i の選択, $X_i = 0$ で部品 i の非選択を表すとすれば, 廃製品から要求品位を満足するマテリアルリサイクルを行う過程は以下の内容を満足する X_i の決定問題としてモデル化される¹⁾。

$$\sum_{i=1}^n W_i A_i X_i \rightarrow \text{MAX} \quad (1)$$

*通産省工業技術院機械技術研究所

ただし,

$$\sum_{i=1}^n W_i A_i X_i - A_0 \sum_{i=1}^n W_i X_i \geq 0 \quad (2)$$

このモデルは X_i を変数とする 2 値整数計画問題であり, 部品の接続関係や分解性等は考慮に入れず, 再生材料品位の観点のみから部品を選択した場合の最適値を与えることとなる。

実際のマテリアルリサイクルに際しては, 再生材料品位のみならず様々な項目も考慮に入れるべきである。表 2 は再生時に考慮に入り得る項目例である。

表 2 再生時に考慮に入り得る項目例

分類	項目
成分	含有率
	不純物
寿命	材料寿命
	システム寿命
分解	分解時間
	重量
	部品点数
	運搬性
	自動化対応性
	分解エネルギー
	接続関係
	壊れやすさ
再生	再生エネルギー
	再生コスト
	汚れ
作業環境	排出物
	騒音
	臭い
	危険度
廃棄物	有害有毒性
	汚染
ニーズ	材料価格
	稀少性

表 2 以外にも様々な項目は考えられ, 実際にはそれら全てを考慮に入れた部品選択が望まれる。しかし, 項目の中には定量的に測定することができないものや, 他の項目と関連しているものが含まれる。そこ

で, 材料寿命や分解時間等, 定量化できる項目を部品選択のパラメータとして追加した。表 3 は追加した項目とモデル式である。

表 3 追加項目

パラメータ	モデル式
材料寿命	$L_i \geq L_0$
分解時間	$\sum_{i=1}^n T_i X_i \leq T_0$
分解エネルギー	$\sum_{i=1}^n E_i X_i \leq E_0$
分解コスト	$\sum_{i=1}^n C_i X_i \leq C_0$
分解騒音	$N_i \leq N_0$

L_i : 各部品の材料寿命 L_0 : 許容し得る材料寿命
 T_i : 各部品の分解時間 T_0 : 許容し得る分解時間
 E_i : 各部品の分解エネルギー E_0 : 許容し得る分解エネルギー
 C_i : 各部品の分解コスト C_0 : 許容し得る分解コスト
 N_i : 各部品の分解時騒音 N_0 : 許容し得る分解時騒音

式(1), (2)の 2 値整数計画問題に表 3 の項目を追加した場合も, 全体で整数計画問題となる。

マテリアルリサイクルを行う際には, 目的材料の含有率のみならず, 含まれる不純物にも注目する必要がある。目的材料との分離が非常に困難で, 微量の混入が材料品質に大きく影響を及ぼす場合は, 特に注意が必要である。例えば, 鉄に混入した銅, 錫, ニッケル, モリブデン等は熱力学的な理由で取り除くことが非常に困難である上, 成形加工性や強靱性に悪影響を及ぼす。このような材料を「トランプマテリアル」と呼ぶ。

そこで上記の整数計画問題に悪影響を与える不純物の混入を抑える項目を追加する必要がある。部品 i に含まれる悪影響不純物の含有率を I_i (%) とし, I_0 (%) を再生材全体で許容し得る悪影響不純物の含有率とすると,

$$\sum_{i=1}^n W_i I_i X_i - I_0 \sum_{i=1}^n W_i X_i \leq 0 \quad (3)$$

というモデル式が追加される。

実際に製品を分解する際には、部品毎の接続関係に基づいて分解してゆく必要がある。その際、分解効率を考えると、必要最小限の分解手順内で抑えるべきである。ある部品選択パターンにおける総分解手順数を P とし、許容し得る分解手順数を P_0 とすると、

$$P \leq P_0 \quad (4)$$

というモデル式が追加される。

3 部品選択最適化システム

以上のモデル式等を考慮に入れ、一般的表計算シート上に記載された各部品のパラメータに基づき、目的材料の最大回収が行える上位10パターンを選択するシステムを開発した。

鉄を最も多く回収する事を想定し、例として卓上量りに部品選択最適化システムを適用した。表4は卓上量りの部品表である。

表4 卓上量りの部品表

部品番号	部品名
1	上皿
2	ネジ
3	白ケース
4	青ケース
5	透明ケース
6	調節ダイヤル
7	小バネ
8	調節スクリュー
9	バネ
10	バネフックジョイント
11	フック
12	目盛
13	針
14	フレーム

図1は卓上量りの分解過程イメージ、図2は計算結果例である。図2のグラフの縦軸は、部品重量を表す。

この例では全14部品の内、小バネ、バネ、フック、フレームの4部品のみをマテリアルリサイクルに回せば、全てのモデル式を満足しつつ、目的材料の最大回収が図れるということとなる。



図1 卓上量りの分解過程イメージ

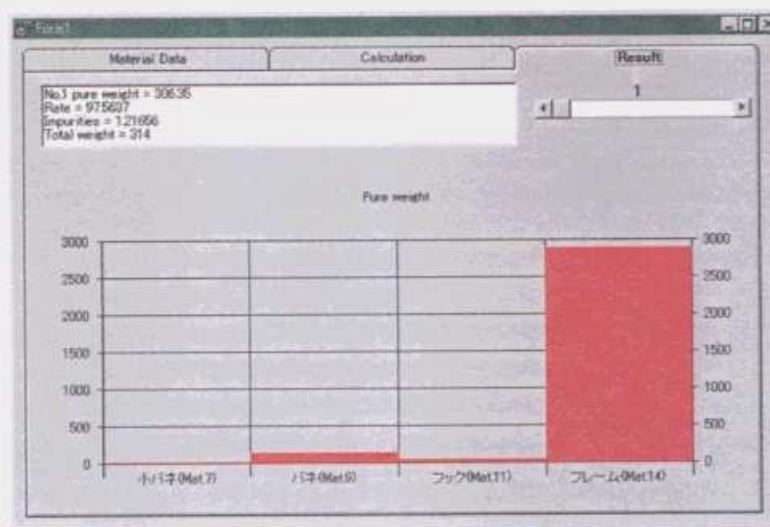


図2 卓上量り分解時の計算結果例

4 結 言

マテリアルリサイクルを行う際に、任意のパラメータを持つ部品群の中から最適な選択パターンを選出するシステムを開発した。

部品に与えられているパラメータは、現状では目的物質含有率（純度）、悪影響物質含有率、物質余寿命、分解時間、物質重量、分解に要するエネルギー、リサイクルコスト、分解騒音、接続関係の9種類であるが、パラメータの追加、削除はモジュール内の変更により容易にプログラム変更ができる。

文 献

- 1) 服部光郎他, 日本機械学会講演論文集, No987-1 (1998)

コンピュータグラフィックス基本モジュールの構築と応用 (第4報) 電気機器等の耐衝撃性評価システムの開発

田尾博幸, 長谷川浩治, 吉野信行, 村河亮利

Construction of Fundamental Modules for Computer Graphics and Its Application (4th Report)
Development of a Visualization and Evaluation System for the Impact Resistance of Electrical Machinery and Apparatus

TAO Hiroyuki, HASEGAWA Koji, YOSHINO Nobuyuki and MURAKAWA Akitoshi

On Computer Graphics, we constructed fundamental modules for development of application program by using OpenGL (3D Graphics Library), and applied to the visualization and the evaluation system for the impact resistance of electrical machinery and apparatus.

Consequently, the measurement results can be expressed in various ways by interactive operations: corresponding to the user's tentative demands.

By employing the system, the impact resistance of electrical machinery and apparatus can be easily evaluated, and efficient development support is possible.

キーワード: CG, 電気機器, 衝撃, 可視化, 評価支援システム

1 緒 言

コンピュータグラフィックス (CG) 技術の活用分野は, 同技術の進歩, 活用アイデアの相次ぐ登場等から急速に拡がりつつある。

このような背景のもと, 我々は CG の工学的分野への応用として, 可視化等応用ソフトウェア開発に必要な基本的なモジュールをパソコン上でも使用可能な形で構築¹⁾, 可視化への応用を図ってきた。第1報では, 多次元情報高度映像化研究で開発した構造解析可視化システム²⁾に適用し, UNIX WS およびパソコンのマルチプラットフォーム環境で, 解析結果の可視化を実現した。第2, 3報³⁾⁴⁾では, 3次元に分布する磁場を自動的に計測して可視化する空間磁場自動計測可視化システム, 磁気センサの特性評価を容易に実現する磁気センサ可視化評価システムの開発を行った。

本報告では, 基本モジュールおよび前報までに構築した機能の応用・展開を図り, 耐衝撃性評価システムに適用することによって, 電気機器等の耐衝撃性の設計開発支援を可能とするシステムの構築を図った。

2 システムの概要

電気機器等工業製品の国際化に伴い, 従来の振動試験に加え, 衝撃試験の実施が義務づけられるケースが増えてきており, JIS⁵⁾でも試験方法が規定されている。しかし, 衝撃力の製品に及ぼす影響については, 衝撃

パルスの波形の違いによる影響等不明な点が多く, これらを解明することが重要な課題となっている。

そこで, 電気機器等に及ぼす衝撃力の影響について, 観察者の意向を直ちに反映可能で, 拡張性にも配慮した可視化機能および評価支援機能を有するシステ

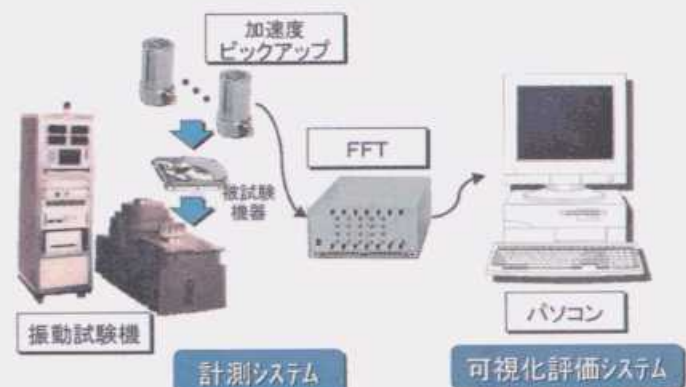


図1 システム構成

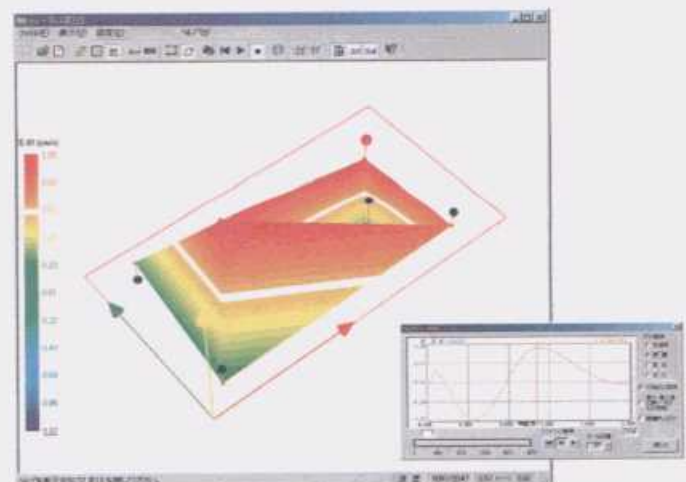


図2 可視化評価表示例

ムの開発を行った。

図1に、システムの構成を示す。

システムは、衝撃を与える振動試験機、加速度を検出するピックアップ、加速度ピックアップの信号変換を行うFFTからなる計測システムと、可視化評価システムから構成される。可視化評価システムは、FFTからの出力をインタラクティブに可視化する。

可視化評価表示例を図2に示した。

3 計測システム

表1に、計測システムを構成する振動試験機、加速度ピックアップおよびFFTの仕様を示す。

計測は、被試験機器を振動試験機に取り付けて衝撃を与え、被試験機器に取り付けた複数の加速度ピックアップからの信号をFFTにより変換して行い、このデータを基に可視化する。

表1 計測システムの仕様

振動試験機	加速度ピックアップ	FFT
 アカシ E-DES-SS2	 リオン PV-90B	 小野測器 DS-9100
最大加振力 6KN 最大加速度 744m/s ² 最大変位 26mm-p-p ショック 正弦半波、鋸歯波 波形の種類 正弦波、矩形波等 入出力 GP-IB	構造 せん断 電荷感度 0.15pC·ms ⁻² 振動数範囲 1~25,000Hz 取付共振周波数 70kHz 寸法 10×6	チャンネル数 2,4,8CH(20bit) スロット数 5スロット内蔵 時間領域 時間軸表示、振幅表示、相関表示、インパルス表示、インテグレーション表示 処理機能 2次元/3次元表示、ズーム、回転、視点制御、変形表示、分布表示、ステレオ表示、アニメーション表示、任意ポイント選択、タイムチャート表示、2分割比較表示

4 可視化評価システム

可視化評価システムは、富士通 FMV-5166T3(CPU: Pentium 166MHz, 主記憶: 96MB, OS: Windows98)上にインプリメントし、Microsoft社のVisual C++を使用して、プログラムの開発を行った。

4.1 可視化評価システムの機能

複数の加速度ピックアップからの時間軸をもつ加速度、速度、変位について、任意の箇所を任意の角度で観察者の思考を中断せずインタラクティブに観察できる。

表2に、可視化評価システムの主な機能について示す。

表中で、前報までに構築した可視化のための基本機能を以下に簡単に記すとともに、今回のシステムの開発に伴い構築した機能について、次節以降で具体的に述べる。

(1) カラースケールの切替

物理量と疑似カラーとの対応を示すもので、3組用意

表2 可視化システムの主な機能

<ul style="list-style-type: none"> ■ 3次元空間での物理量表示 <ul style="list-style-type: none"> ○分布表示(加速度, 速度, 変位) ○変形表示(変位) ■ インタラクティブ処理機能 <ul style="list-style-type: none"> — カラースケールの切替 — 視点・注視点の制御 — 指定物理量分布表示 ■ ステレオ表示 ■ アニメーション表示 ■ 任意ポイント選択 ■ タイムチャート表示 ■ 2分割比較表示
--

し、用途・対象に応じて切り替え表示できる。また、物理量値の細分化表示等への対応も可能なように最大・最小値の変更も容易に行える。

(2) 視点・注視点の制御

視点(回転, 拡大・縮小)・注視点制御(移動)として、マウスと特定キー操作、カーソルキー操作、スライダ操作あるいは数値入力、回転直交座標系による回転制御と、複数の方法を用意し、観察者・観察内容により選択可能である。

(3) 指定物理量分布表示

可視化画面から詳細な物理量を読み取るために、カラースケール上で指定した等物理量領域の白色表示が行える。

(4) ステレオ表示

3次元空間上での物理量把握を容易とするために、液晶シャッターメガネを使用する立体表示が可能である。

4.2 3次元空間での物理量表示

システムで取り扱う物理量は、加速度ピックアップで計測した時間軸をもつ加速度および加速度から求めた速度および変位である。これらの表示方法に関しては、選択された一つの分布表示(スカラー表示)と変位を表現する変形表示の組み合わせである(図2参照)。

変形表示は、変形前の加速度ピックアップ位置を黒い丸、変位量から求めた変形後の位置を赤い丸で示してその間を直線で結び、変位の観察を容易にしている。

分布表示は、変形後の形状において、物理量に対応した疑似カラーで表示(スムーズシェーディング)する。

4.3 アニメーション表示

時間軸上で連続的に起きる現象を再現するため、図3上で模式的に示したアニメーション表示が可能である。アニメーションダイアログで、実時間上での物理量の表示間隔（表示間隔）、画面上で再現するときの時間間隔（スワップ時間）の任意設定ができる。図の例は、0.0039秒間隔で物理量に変化する様子を示したものである。

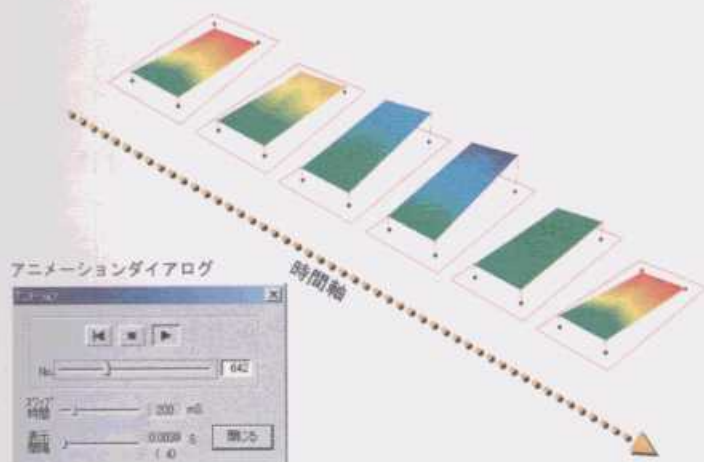


図3 アニメーション表示

4.4 任意ポイント選択

可視化画面上で、加速度ピックアップの位置を示す任意のポイントを選択可能とした。これは、特定領域内のどの部分の描画が行なわれているのか自動的に知らせるセレクション機構を利用し、図4に示すように、マウスで指定したポイントが3次元上のどの点なのかを認識、ダイアログ上にそのポイントの座標・物理量値表示を行う。

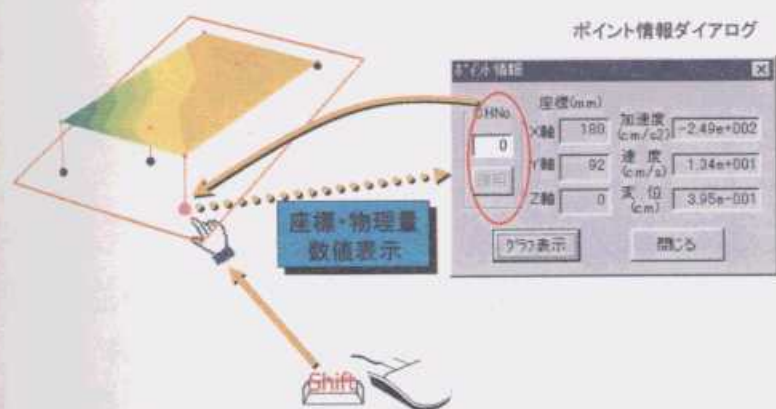
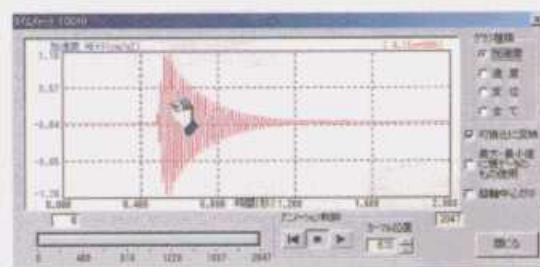


図4 任意ポイント選択

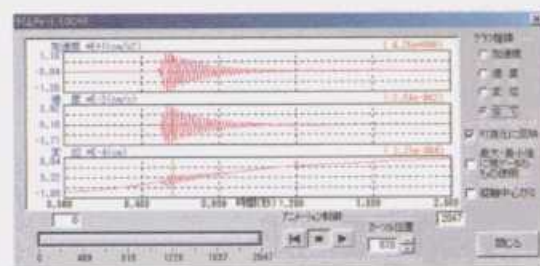
4.5 タイムチャート表示

時間とともに変化する物理量の詳細を把握するため、4.4の方法で選択した加速度ピックアップ・ポイントにおける物理量のタイムチャート表示を可能とした。

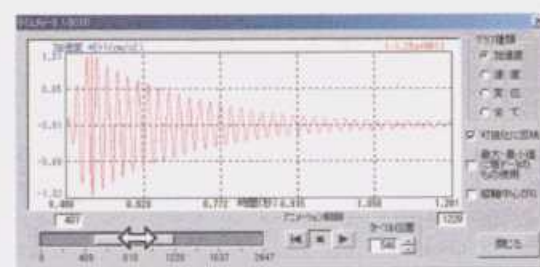
図5(a)は、表示する物理量が単一の場合、(b)は、全ての物理量（加速度、速度、変位）表示を選択



(a) 単一グラフ（加速度）表示



(b) 全グラフ表示



(c) 時間軸拡大表示

図5 タイムチャート表示

したときのタイムチャート表示である。(a)で示したように、グラフ上で現在の可視化表示位置を表す赤い縦線をマウスでつかんで移動させ、任意の時間における物理量の状態を可視化することができる。

また(c)は、ダイアログ左下のスライダを操作する（スライダ操作時、マウスカーソルは両矢印に変化）ことにより、(a)の時間軸の一部を拡大表示し、範囲を指定したものである。このとき、4.3で述べたアニメーション表示において、指定範囲での繰り返し表示が可能であり、短時間で起きた現象の詳細な把握が容易となる。

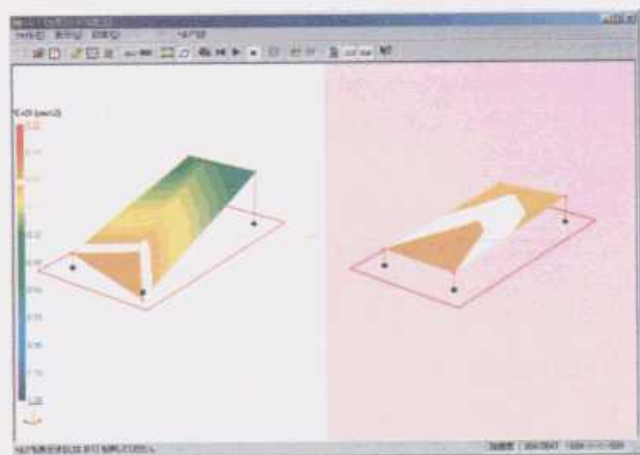
4.6 2分割比較表示

2つの条件の比較を行うため、1つの表示領域の2分割同時表示を可能とした。この2分割表示は、視点・注視点の制御、カラースケール、アニメーション表示等、全て連動して行われる。

また、タイムチャート表示は、2つの領域に表示された各々の物理量について時間軸上での比較を行うことができる。

図6(a)に2分割比較表示の可視化例、(b)にはタイムチャート表示例を示す。

この結果、衝撃緩和対策前と対策後の比較の他、与えるパルスの波形、大きさの違いによる衝撃の影響等、様々な比較・検証が容易となる。



(a) 可視化表示



(b) タイムチャート表示

図6 2分割比較表示

5 適用例

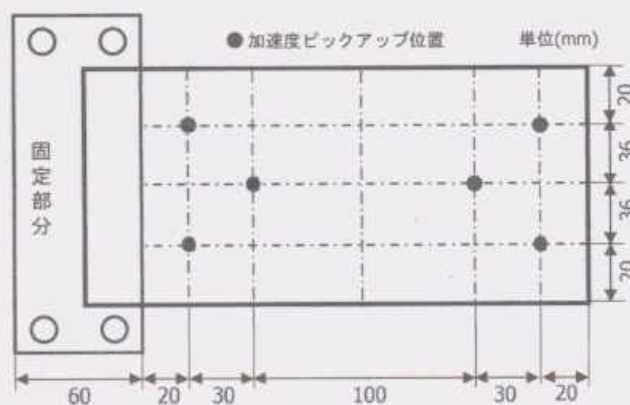
図7(a)に示す片持ちの鉄板・固定部分に、ピーク加速度 150m/s^2 、公称パルスの作用時間 11ms の正弦半波および台形波パルスを与え、このシステムを用いて可視化したものが(b)である。

可視化表示左側がパルス波形として正弦半波、右側が台形波を与えたもので、タイムチャート表示は、上側が正弦半波、下側が台形波のときの物理量の変化である。これから、同じピーク加速度のパルスであっても、波形により、物理量の大きさ・時間的变化等の違いが分かる。

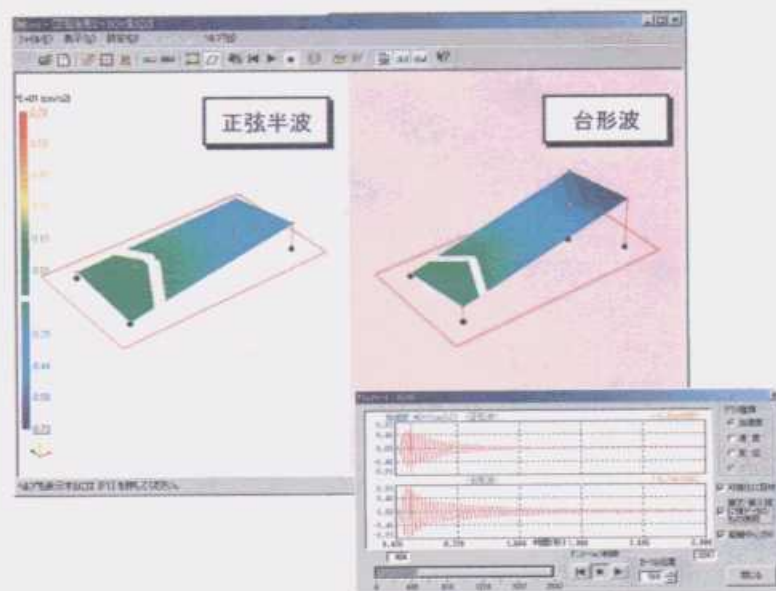
6 結 言

電気機器等の受ける衝撃の影響を解明するため、衝撃力を加えたときの加速度、変位等時間軸を伴った物理量変化をアニメーション表示し、ビジュアルに再現できる可視化システムを開発した。また、衝撃緩和対策を行う前と対策後の比較表示等の機能を有し、衝撃力の伝播防止技術評価支援を可能とするシステムとした。

この結果、観察者のニーズに合わせたインタラクティブな可視化および評価支援が可能であり、製品設計



(a) 計測条件



(b) 可視化表示

図7 適用例 (パルス波形の違いによる比較)

における衝撃緩和のための有用な情報を得ることができ、製品開発の効率化による開発期間の短縮と低コスト化が図られる。

開発した可視化システムは、用途・対象に応じたインタラクティブな可視化が実現でき、多様な分野への応用が可能である。

文 献

- 1) 田尾他：広島県立西部工技研究報告No40 (1997), 12
- 2) Hiroyuki Tao, Katsumi Tadamura, Eihachiro Nakamae: PACIFIC GRAPHICS '97 Papers (1997), 198
- 3) 田尾他：広島県立西部工技研究報告No41 (1998), 29
- 4) 田尾他：広島県立西部工技研究報告No42 (1999), 56
- 5) JIS ハンドブック電子 (試験方法/オプトエレクトロ編), 日本規格協会 (1998), 213

インテリジェントネットワークによる生産支援に関する研究 (第2報) 複合ネットワークにおける効率的データ管理技術の開発

打田澄雄, 村河亮利, 石津任章, 中塩武之

Study on Advanced Network Applications (2nd Report) Development of Efficient Data Management Technology in the Complex Network

UCHIDA Sumio, MURAKAWA Akitoshi, ISHIZU Hideaki, and NAKASHIO Takeyuki

We measured field intensity and data communication speed by conditions such as bit rate, installation site and a number of terminals, in the network architecture by wireless communication system of the IEEE802.11 conformity. We acquired basic data of the wireless network construction, based on them. And, we developed the authentication system that could easily fix the computer in order to strengthen protective role of communications. As an application, we reconverted multimedia data such as the video database accumulated in a past according to the communication means. Afterwards, we constructed the system that could share the information added belief and certification function by the wireless.

キーワード：マルチメディア, ワイヤレス通信, ネットワーク, セキュリティ

1 緒 言

ネットワーク機器の低価格化が急激に進行し、現在では、有線系で100Mbpsのネットワークカードやスイッチング機能を持つハブなど手軽に入手できるようになり、実績も蓄積されてきた。一方、無線系においても11Mbpsの製品が出てきたが、まだその利用にあたっての選定の指針は必ずしも明確ではない。そこで、1Mbps~11MbpsのIEEE802.11b準拠のネットワーク構成におけるデータ転送性能を測定、分析するとともに、通信の保護機能、低ビットレートにおける音声、映像などのデータ種別による圧縮/伸張手法等について研究する。応用として技術ノウハウの蓄積、活用を支援するための有線及び無線の複合ネットワークを利用した情報共有システムを構築する。

2 ネットワーク性能評価

2.1 概 要

これからのネットワークは動画を含めた大量のデータを自在に扱うことが要求される。しかしその保管、転送には多大なコストと通信時間が要求される。現在市販されている無線方式の製品には2.4GHz帯を使うIEEE802.11bに準拠した11Mbpsの製品が主流となつつある。無線方式の通信の性能を実利用環境で把握し、有線と混在した場合の有効利用を図るため、さまざまな条件でその性能を計測した。

2.2 構 成

通信性能評価はFTPによるファイル転送速度を利用した。インターネットやイントラネットで多用されるのは基本的にはファイル転送が主なためである。ネットワークの構成は転送元となるサーバを有線側に接続し、無線通信時の台数による性能と比較のために有線で接続した場合を実験した。構成を図1に、サーバ及び端末の性能を表1に示す。表1において「CPU」は1ミリ秒間に行った浮動小数点の四則演算、平方根計算の回数を、「書込」及び「読出」はそれぞれ1秒あたりのハードディスクへのデータ書き込み、読み出しの速度を表す。「NIC」はコンピュータに装着しているネットワークカードが、「10/100」は10BaseT及び100BaseTX自動切換えに対応、「1-11」はIEEE802.11b(11Mbps)に対応していることを意味する。

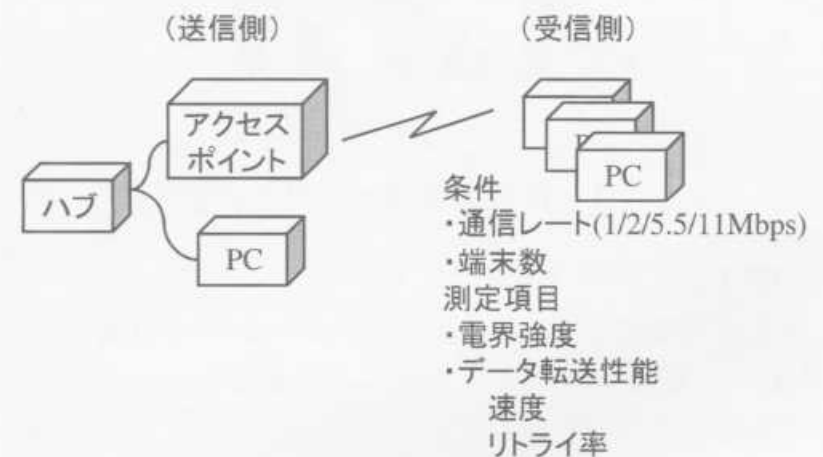


図1 ネットワーク性能測定

表1 コンピュータ性能

機種	CPU (回/ミリ秒)	書込 (MB/秒)	読出 (MB/秒)	NIC
サーバ	3234	8.9	8.3	10/100
端末1	396	1.0	1.3	1-11
端末2	387	0.9	1.1	1-11
端末3	317	0.8	1.1	1-11

2.3 実験結果及び考察

図2に無線通信の設定速度を1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 11Mbpsに設定した場合と有線通信10Mbpsの場合の結果を示す。無線通信の場合の11Mbpsは10Mbpsの有線の場合の8割程度であることがわかる。無線通信に限った場合, 設定速度に応じて転送速度は速くなるもののその比率は設定速度の比率を下回っていることがわかる。この傾向は台数が増えた場合も同様である。また, 台数が増えるにつれ, 1台あたりの転送速度も低くなる。

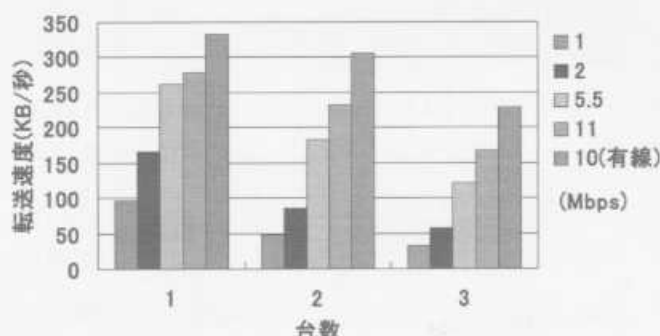


図2 1:N同時接続時の転送速度

図3に同時接続時の累計速度を示す。1Mbpsおよび2Mbpsでは1台でほぼ飽和しているが, 5.5Mbpsおよび11Mbpsでも3台程度で累計転送速度の頭打ち傾向が見られる。

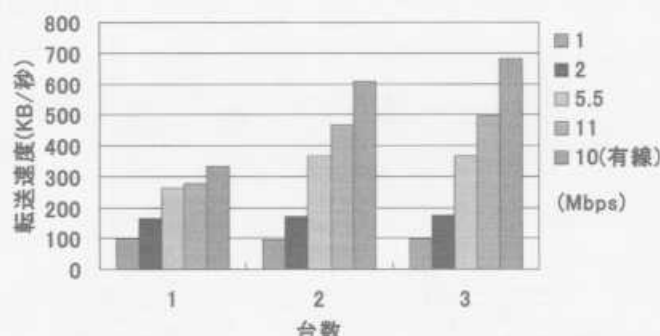


図3 1:N同時接続時の転送速度累計

図4に実際の利用環境において, さまざまな場所での電界強度の測定結果を示す。図中の数値は直近を100とした場合の相対値である。距離及び遮蔽物による影響が明らかになった。

一連の実験から無線通信における実転送速度及び利用可能場所の目安が得られた。

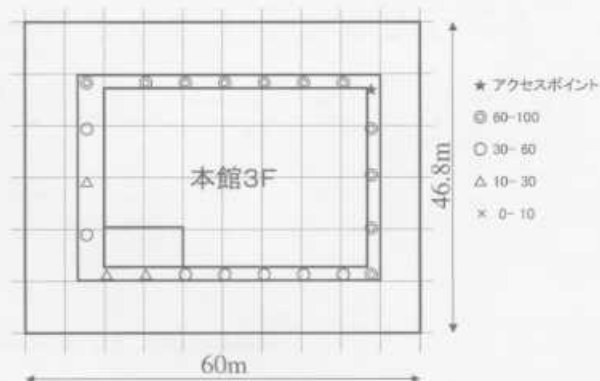


図4 電界強度分布

3 セキュリティ対応情報共有システム

3.1 概要

無線方式によるコンピュータのネットワークへの接続にはケーブルの配線にわずらわされず, 利用場所の自由度が高いという便利な反面, 電波の届く範囲において混信や盗聴, 無断接続の可能性があり対策が必要である。そのために標準で用意されているのは複数の無線チャンネル, ESS-ID (Extended Service Set ID) によるネットワークの識別, MAC (Media Access Control Address) アドレスによる接続制限である。しかし, コンピュータの仕様によっては必ずしも安全とはいえない。そこで, 安全な通信を補完するために利用者の識別手段を利用者に負担をかけない形で提供する仕組みを組み込んだデータベースシステムを構築する。

3.2 識別装置

コンピュータの利用者の特定にユーザ識別符号とパスワードを利用するのは従前からあるが, 最近是指紋や虹彩など個人の生体情報を利用した認証が広がりつつある。しかし, その利用にはユーザ情報の事前登録の必要や関連機器・システムの費用等の点で手軽に利用できるまでには至っていない。そこで, 利用者特定する鍵となる装置を開発することで, 利用者の便宜を図ると共にコンピュータ資源の利用を制御する。図5に識別装置のシステム構成を示す。

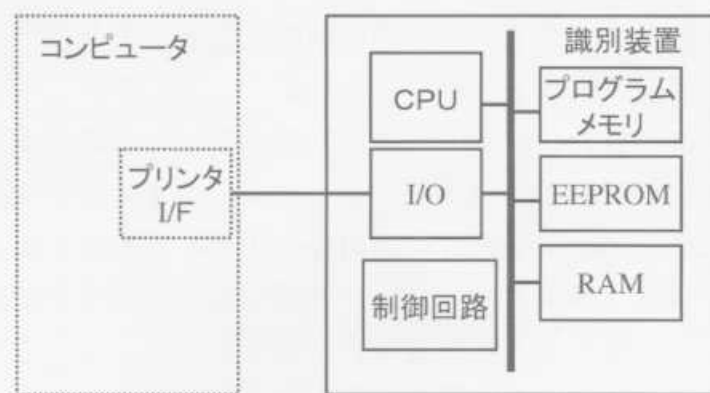


図5 識別装置システム構成

識別装置は主要部をワンチップ化しており、内部にCPU（中央演算処理装置）、プログラムメモリ、データメモリ、入出力機能を有している。コンピュータとはプリンタポートに装着することで通信を行う。

図6に識別装置のソフトウェア構成を示す。識別装置は、コンピュータ側のアプリケーションから更に別のアプリケーションからの問い合わせに応える形で求められるデータを生成するために利用する。コンピュータ側ではアプリケーションとのインタフェースを行うモジュールと実際に識別装置と通信するモジュール、通信の手順を隠蔽するためのモジュールからなる。識別装置側ではコンピュータと通信するモジュールと通信データの復号、解析をした後、コンピュータへのデータを生成するモジュール、EEPROM等のメモリアクセスのモジュールからなる。表2に識別装置の仕様を、写真1に識別装置の内部を示す。

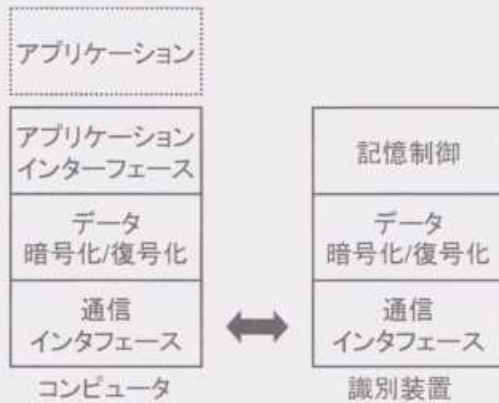


図6 識別装置ソフトウェア構成

表2 識別装置仕様

項目	仕様
CPU	14ビット, 1MHz
プログラムメモリ	1Kワード
RAM	68バイト
EEPROM	64バイト
インターフェース	パラレルインターフェース



写真1 識別装置内部

3.3 セキュリティ対応情報共有システム

無線ネットワークの活用による携帯性と識別装置によるユーザ認証に応じた情報の共有を実現するシステム

を構築した。図7にシステム構成を、表3にコンピュータシステムの仕様を示す。

システムは設備に関する仕様、操作説明書、予約状況等の各種情報をデジタル化し、データベースとして構築するとともに、利用者のアクセス権に応じて、閲覧、登録、更新が可能となっている。識別装置を利用しない端末としてデータ閲覧端末、識別装置を併用することによりデータ登録及び更新が可能なデータ登録・更新端末、アクセス権の制御及び文書、静止画情報を配信するデータサーバ、映像情報を配信するビデオサーバから構成される。

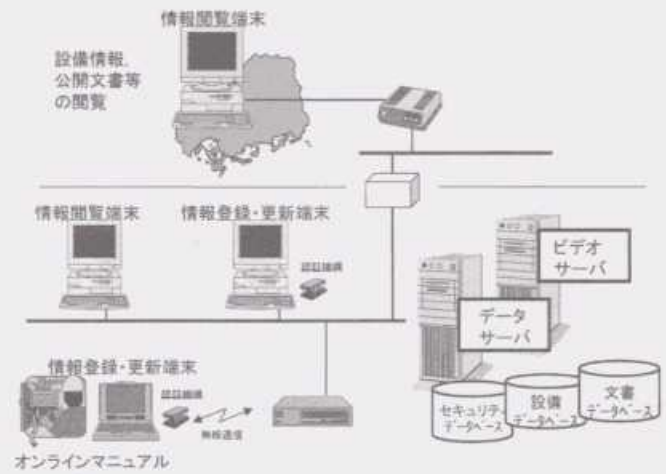


図7 セキュリティ対応情報共有システム

表3 コンピュータシステム

仕様	データ閲覧端末	データ登録・更新端末	データサーバ	ビデオサーバ
CPU (動作クロック)	Intel Pentium (100MHz)	Intel Pentium (133MHz)	Intel Pentium II (450MHz)×2	Intel Pentium II (450MHz)
主記憶	24MB	80MB	512MB	512MB
外部記憶装置	810MB	4GB+1GB	18GB×2	18GB×2
NIC	10BaseT 無線LAN(11Mbps)	10BaseT /100BaseTX	10BaseT /100BaseTX	10BaseT /100BaseTX
OS	Microsoft WindowsNT	Microsoft Windows98	Microsoft WindowsNT	Microsoft WindowsNT
特記事項				RealNetworks RealServer

データサーバにおけるプログラム構成を図8に示す。情報配信、予約管理、機器・設備管理の処理を行う。

データベースの構築は図9の手順で行う。仕様、操作手引書等から必要な情報を抜粋、整理しデジタル化するとともに、実際の操作をビデオで撮影、編集しビデオデータベースとしてビデオサーバに登録する。

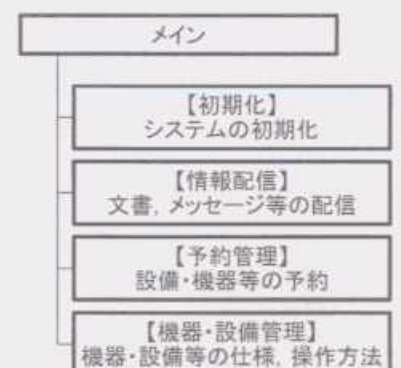


図8 プログラム構成

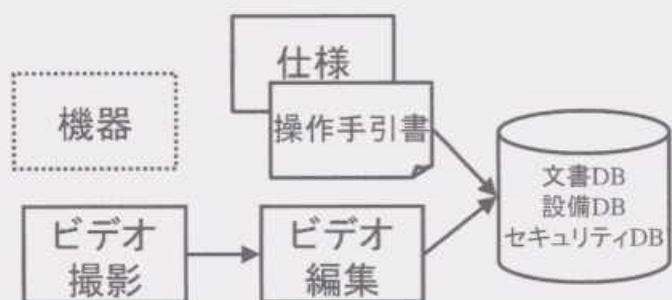


図9 機器運用支援データベース作成手順

図10に機器運用支援データベース利用時の手順を示す。端末から自身の識別情報とともにデータサーバに要求を出す(①)。データサーバはセキュリティデータベースを参照してデータアクセスリストを作成する(②)。この時点で権限があればデータベースをアクセスし(③), 端末にデータ送出する(④)。権限に確認が必要な場合には一時的な鍵を生成し, その鍵をもとにした「質問」を端末に要求する(⑤)。端末側では受け取った鍵を識別装置に転送することにより「回答」を得る(⑥)。得た「回答」をデータサーバに転送する(⑦)。有効であると確認が取れると以下⑥, ⑦とデータを端末に送出する。確認はアクセスする単位ごとに行う。写真2に利用者のアクセス権限による応答の違いの例を示す。閲覧しか許可されていないユーザは利用したい設備がいつ予約されているかしか確認できないが, 更新まで許可されている利用者は具体的にだれが利用するかまで詳細に確認できるようになっている。写真3に文書データベースの一つとしてPDF (Portable Document Format) 形式にした設備利用申請書を示す。同様に写真4に振動試験機を例にオンラインマニュアル内の設備の仕様と図面を示す。無線ネットワークカードを搭載した携帯コンピュータを使うことで機器のそばで操作手順の確認や不具合時の情報収集を本システムにより行うことができる。

4 結 言

IEEE802.11b 準拠の無線通信方式によるネットワーク構成において設置場所, 端末数, ビットレート等の

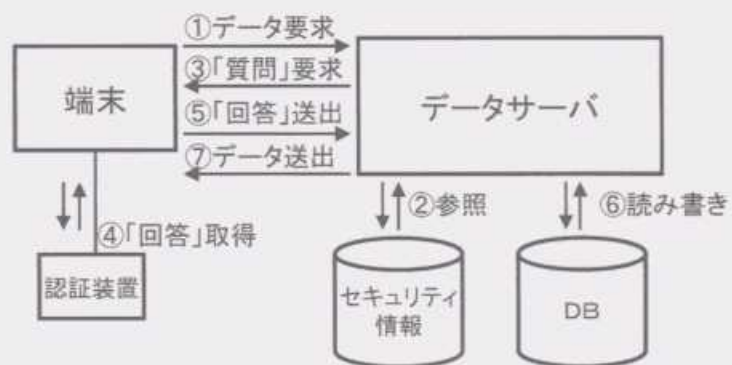
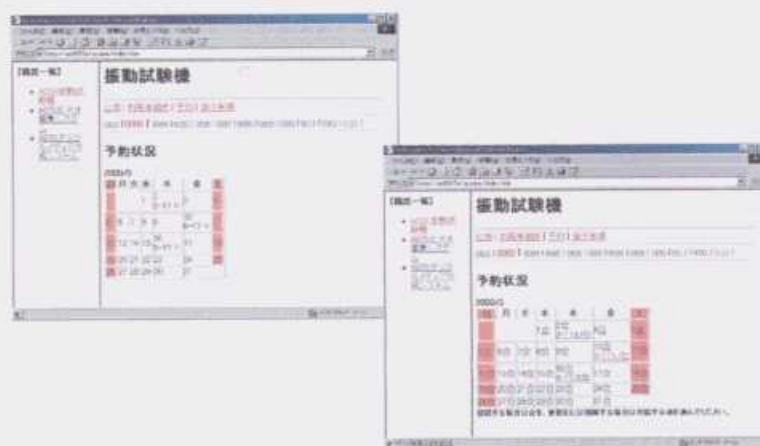


図10 機器運用支援データベース利用手順



(a)情報閲覧端末 (b)情報登録・更新端末

写真2 予約状況

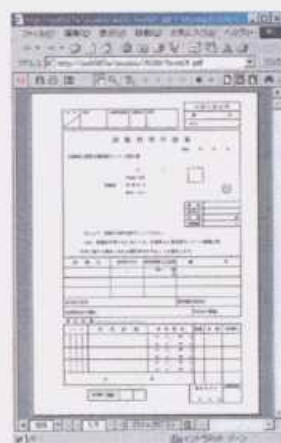
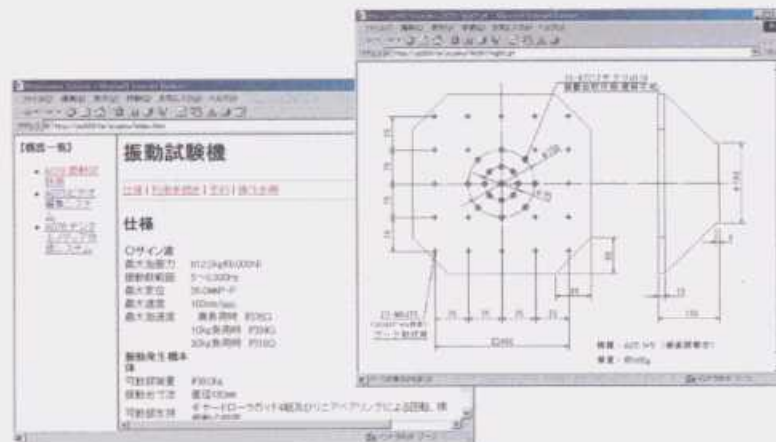


写真3 設備利用申請書



(a)仕様 (b)図面

写真4 オンラインマニュアル

条件による電界強度, データ通信速度を測定し, 無線ネットワーク構築の基礎データを取得した。併せて通信の保護機能を強化するために, コンピュータに容易に装着できる認証システムを開発した。応用として過去蓄積した映像データベース等のマルチメディアデータを通信手段に対応して再変換し, ワイヤレス配信を実現するとともに認証機能を付加して各種情報を安全に共有するシステムを構築した。今後, 設備の管理, 生産工程の記録, 分析, 教育など幅広く応用していく。

軽金属に適した PVD 硬質薄膜の開発 (第 2 報) イオンプレーティング TiN 薄膜の内部応力

梶岡 秀

PVD Hard Coatings for Light Metals (2nd Report)
Internal stress of ion-plated TiN coatings

KAJIOKA Hideshi

TiN hard coatings on light metals were cracked by strong stress of its internal stress.

In the former bulletin of the western hiroshima pref. Industrial research institute (Vol. 42), the author has reported that the cracks were seen on the TiN coatings which were directly prepared on the aluminum. These cracks were considered to be caused by internal compression stress of coatings. The author developed the holder for measuring internal stress of coating. Measured intrinsic internal stress of ion-plated coatings increased from -0.2 Gpa (Ti) to -5 Gpa (TiN) with increasing nitrogen pressure. The consideration was clarified to be right by the experimental result.

キーワード：内部応力, PVD, イオンプレーティング, TiN, Al

1 緒 言

アルミニウムとその合金硬さは、高々 HV120であり、耐摩耗性に乏しい。筆者らはイオンプレーティング法によって TiN コーティングすることで格段の耐摩耗性向上を計ることに成功した。ただし、基板のアルミニウムに直接コーティングすると薄膜の内部応力によって基板が破壊し割れが発生した。この割れを防ぐためには下地処理を余儀なくされた¹⁾。コストパフォーマンスの観点からは下地処理無しですませたい。そこで本報では TiN 成膜時の応力発生原因を検討し、低内部応力条件を検討することとした。しかしながら生産現場で利用できるような簡便な薄膜の内部応力測定法は報告されていない²⁾。筆者らはこの課題に 대응するために応力測定用治具を考案したので、まず初めにこの方法について紹介する。

2 薄膜の内部応力測定法

薄膜の内部応力の発生は、アルミニウム基板の割れに限らず、薄膜の基板からの剥離、基板の大面积化による変形増大などとも密接に関連するため、内部応力の制御について検討することは工業的にも興味を持たれている。内部応力測定法は、(1)X線回折装置を用いて薄膜の結晶格子の歪み(ミクロ歪み)を測定する方法と(2)基板の曲がり(マクロな歪み)を測定する方法に大別される³⁾。応力を算出する場合、前者の方法では薄膜のヤング率が必要であるが、薄膜のヤング率

はほとんど求められていないため、バルクのヤング率で代用している。薄膜の場合必ずしも等方であるとは限らないので物理的不確定性を含む。一方、後者の場合は薄膜のヤング率は必要なく、基板のヤング率とポアソン比を用いれば良いためバルク値がそのまま利用できる。また前者の場合、薄膜がアモルファスあるいは微結晶粒で X 線回折ピーク強度が弱い場合など測定ができなくなる場合があるが、後者ではこれらの問題は生じない。後者では基板の変位量を測定することで内部応力を求められるので、原理的には非常に簡単であるが、前者と同様に特殊な装置を用いることが多い²⁾。薄膜内部応力の測定報告例が以外と限られているのは、これらの測定法の繁雑さが足かせになっているものと考えられる。筆者らは、この点を改良するために短冊型基板の変形を測定する方法(片持ち梁たわみ法)のなかの直視法に適した治具を考案した。治具の概要を図 1 に示す。このポイントは変位量測定に当たっての基線を治具に与えたことにある(基板と治具下面は平行が保たれている)。成膜装置の外で治具に基板をセットして、成膜前に基板-治具基線間距離を読み取っておき、成膜後治具を成膜装置から取り出して読み取り、変位量を測定する。また、のぞき窓から変位量を読み取れる位置に治具を配置しておけば、成膜中の変位量変化を読み取ることもできる。さらに、複雑形状物の膜厚の均一化を図るために、回転運動を与えて成膜する場合にも対応できる。基板変位読み取りに、本報告では浮動顕微鏡(精度0.01mm)を用い

片持ち梁たわみ測定用治具

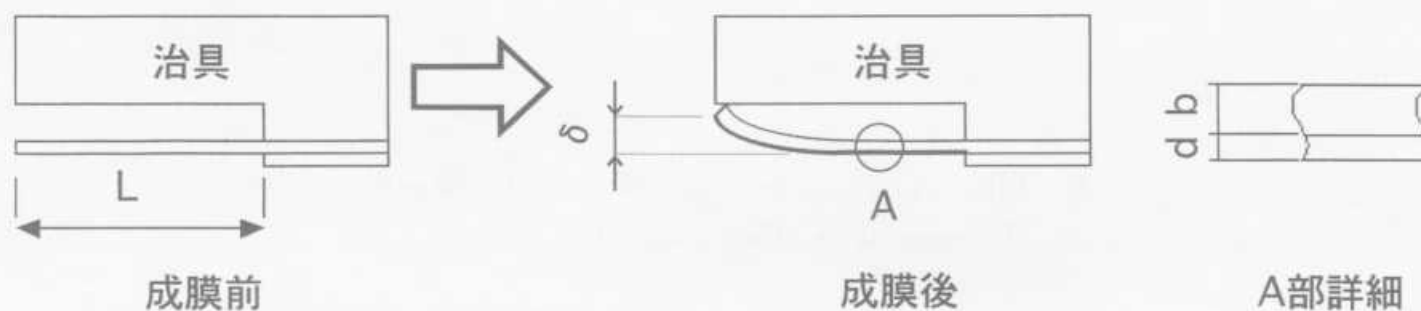


図1 片持ち梁たわみ測定治具の概念図

たが、浮動顕微鏡を用いなくても、治具を方眼紙の上において読み取っても構わない。片持ち梁たわみ法から薄膜の内部応力を求める式は Stony の式として知られているが、式(1)に示す。

$$\sigma = [Eb^2/3(1-\nu)L^2](\delta/d) \quad (1)$$

ここで σ : 薄膜の内部応力 (GPa), E : 基板のヤング率 (GPa), ν : 基板のポアソン比, b : 基板の厚さ (mm), L : 基板の長さ (mm), δ : 基板先端の変位量 (mm), d : 膜厚 (mm) である。

基板としては Mo (0.20×5×50mm), W (0.25×5×50mm) を真空中で荷重を加え, 1000℃, 1時間焼きなまし, 平坦化したものを用いた。Mo と W のヤング率とポアソン比, 基板の厚さと長さを式(1)に代入すると Mo 基板の場合は式(2)で, W 基板の場合は式(3)となり, 基板と基線間隔からの変形量とドリラー法³⁾により求めた膜厚を測定することで内部応力は求められる。

$$\text{Mo} : \sigma = 3.56(\text{GPa}) \delta(\text{mm}) / d(\mu\text{m}) \quad (2)$$

$$\text{W} : \sigma = 6.79(\text{GPa}) \delta(\text{mm}) / d(\mu\text{m}) \quad (3)$$

成膜時には基板温度が上昇するが多いが, 基板を成膜装置から取り出すと室温に低下する。基板と薄膜の線膨張係数が異なるために, この時に必然的に薄膜の内部に応力が発生する。これを熱応力と呼び, 熱応力は式(4)で表される。

$$\sigma_T = [Ef/(1-\nu_t)](\alpha_t - \alpha_s)\Delta T \quad (4)$$

Ef : ヤング率, ν_t : ポアソン比, α_t : 薄膜の線膨張係数, α_s : 基板の線膨張係数, ΔT : 温度差をそれぞれ示し, それらの値は表1に示す。

薄膜の真応力は測定応力から熱応力を差し引くことによって求められる。

$$\sigma_0 = \sigma - \sigma_T \quad (5)$$

表1 Mo, W, TiN, Ti の物性値⁴⁾

	ヤング率E (GPa)	線膨張係数 ($\times 10^{-5}$)	ポアソン比
Mo	325	5.5	0.28
W	405	4.4	0.28
TiN	600	9.4	0.25
Ti	114	9.5	

3 実験方法

成膜装置の概要図を図2に示す。基板をセットした治具と温度測定用ダミー基板を蒸発源真上370mmの位置に配置し, 真空排気後に成膜する。いずれの場合も, イオン化電極電圧は30V, イオン化電極電流は60

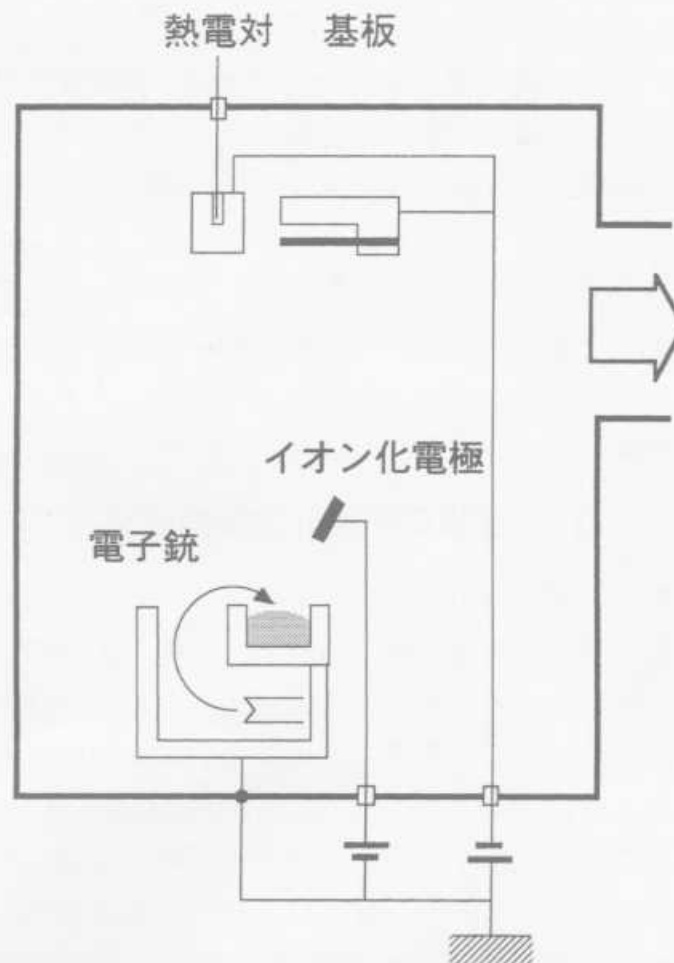


図2 イオンプレーティング装置

A, 成膜時間は10分間一定の条件下で成膜した。その他の成膜パラメーターである基板電圧を0~1000Vと変化させるときには、窒素ガス圧は 6.7×10^{-2} Pa一定とした。一方、窒素ガス分圧を $0 - 1.3 \times 10^{-1}$ Paに変化させるときは、基板電圧を100V一定とした。

4 実験結果と考察

4.1 基板電圧の影響

熱応力を求めるためには成膜時の温度を知らなければならない。基板への蒸発源からの熱輻射は一定であるが、基板電圧によってTiイオンは加速され、その影響を受けることが分かっている⁵⁾、できるだけ成膜開始時と終了時の温度差を減少させるために、シャッターを開く前(成膜開始前)に内部ヒーター加熱で300℃に加熱した。その測定結果は図3の破線(黒四角)で示す。基板温度はシャッターを開くと300℃から増加して10分間ではほぼ平衡に達するが、この時の到達温度を白四角でプロット示す。基板電圧の増加と共に上昇する。各基板電圧で治具にセットした基板に成膜した後、治具基線-基板間を読み取った。その後応力計算に必要な膜厚を上述のドリラー法で測定した。その結果を図4に示す。成膜時間10分間で約2.5 μ mの膜厚に達する。ただし、基板電圧が500Vを越えるとわずかに膜厚が低下する傾向がみられる。これはTiイオンのエッチング作用が起因したと考えられる⁶⁾。治具基線-基板間読み取り値と膜厚を式(1)に代入して求めた内部応力値を図5に示す。図3の成膜時の基板温度を用い、式(4)から求めた熱応力は破線で示す。基板電圧の増加と共に温度差が増加するので、熱応力も引張り側で増加する。実線(細線)から破線を引くと真応力(太線)が求められる。基板電圧0Vでは-6GPaであるが、基板電圧の上昇と共に減

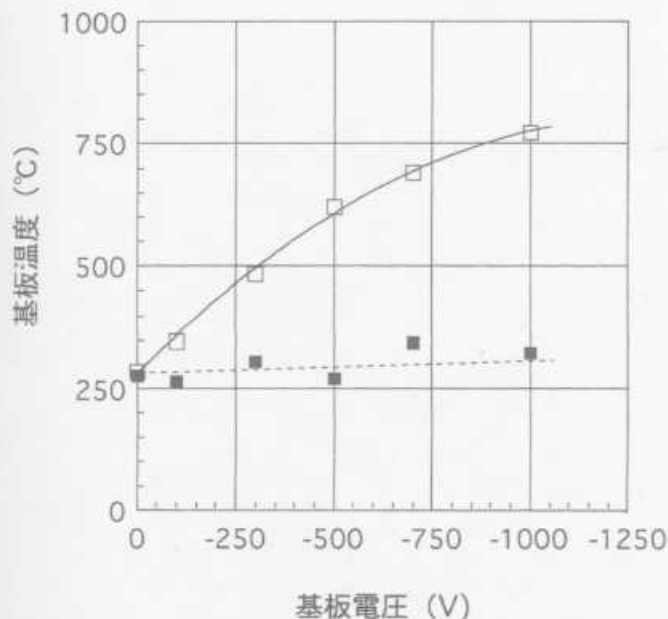


図3 基板温度と基板電圧の関係

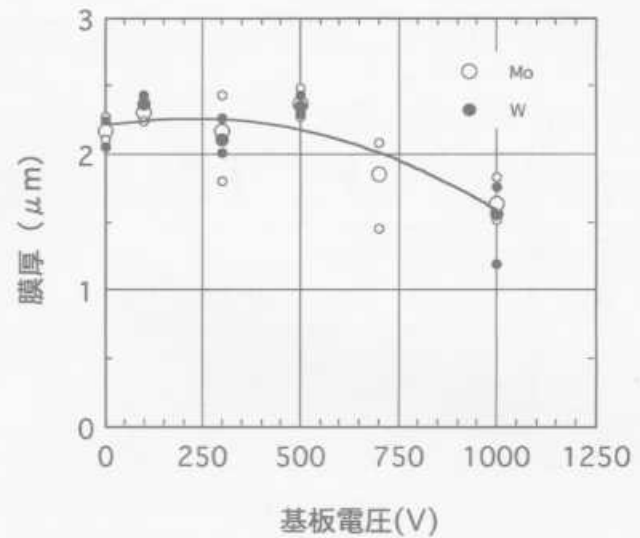


図4 膜厚と基板電圧の関係

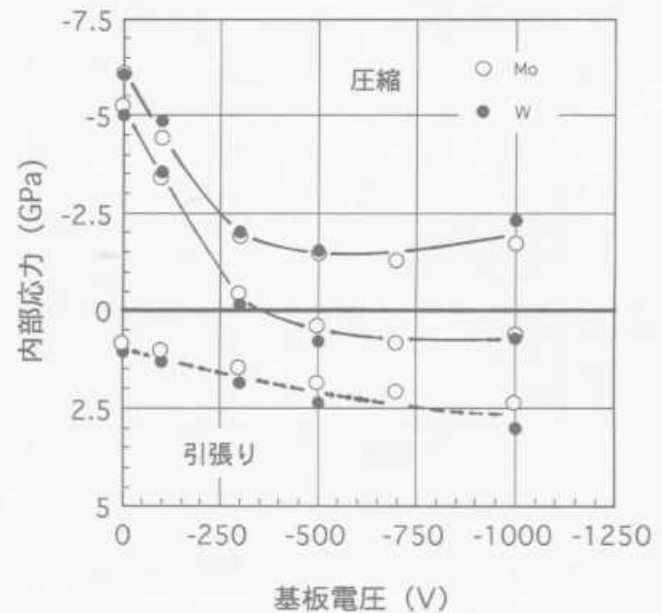


図5 内部応力と基板電圧の関係

少し、-300Vでは-2GPaまで減少する。しかし、それ以上の基板電圧ではほとんど変化しない。基板へのイオンのエネルギーが高くなると、ピーニング効果によって圧縮応力が増加することが知られている²⁾。しかし、図5の結果は逆の傾向を示している。これはTiイオンの入射エネルギーの増加により、基板温度が上昇するために、ピーニング効果が緩和されたと考えられる。即ち、イオンによる歪み発生効果とその緩和効果が競争的に作用していると考えられる。

4.2 応力と窒素ガス分圧

基板電圧-100V一定で、窒素ガス分圧を変化させて成膜した薄膜の膜厚測定結果を図6に示す。

約2.5 μ mではほぼ一定値を示す。図5の場合と同様にして求めた真応力結果を図7に示す。窒素ガスを導入しない場合、即ちTi薄膜形成時には真応力は-0.2GPaであるが、窒素ガス分圧の増加と共に増加し、 1.3×10^{-1} Paで飽和値(約-4.5GPa)に達する。このような挙動は薄膜中の窒素濃度の増加挙動と一致しており、 1.3×10^{-1} Paで化学量論組成のTiNとな

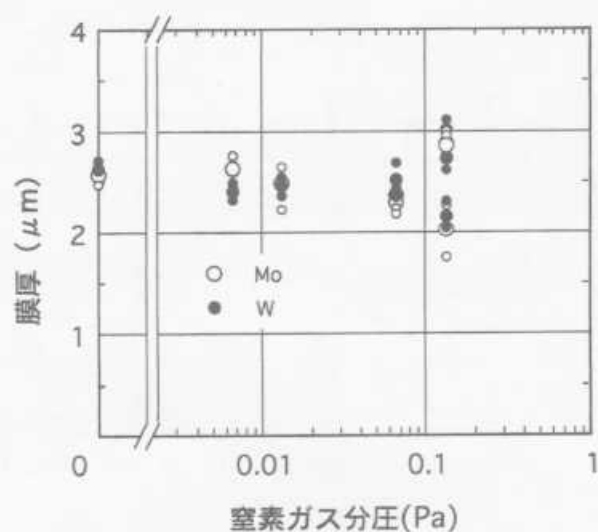


図6 膜厚と窒素ガス分圧の関係

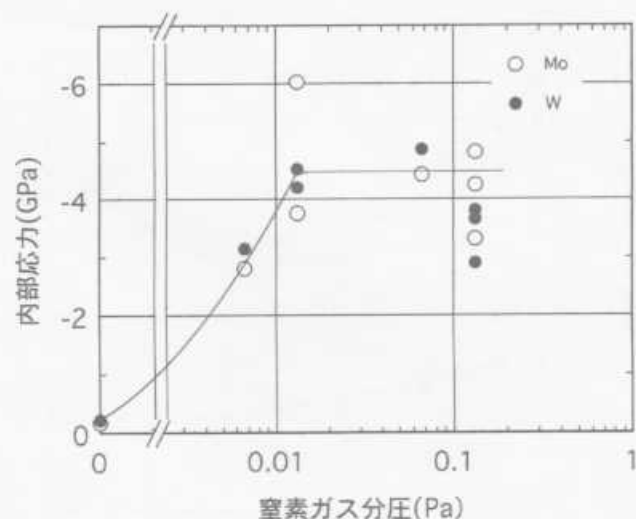


図7 内部応力と窒素ガス分圧の関係

る⁷⁾。真応力はヤング率と比例関係にあると言われて
いるが⁸⁾、これが成り立つとすれば、Ti のヤング率は
TiN の約 1/5 (表1 参照) であるから、TiN の内部
応力は、Ti の内部応力値 -0.2GPa の 5 倍の 1.0GPa
と予測される。しかし、実測値と大きく異なる。この
ことはヤング率だけでは説明できなくて、基板表面で
Ti と窒素が反応しながら膜成長する時に、体積膨張
による歪み発生を考慮すべきであろう。反応性スパッ

タ法で作成した TiN 薄膜の真応力も、筆者らと同等
な値 -5 GPa が報告されている⁹⁾、著者等の結果と一
致している。

5 結 言

- (1)片持ち梁たわみ法に適した治具を用いることで簡便な薄膜の内部応力測定が可能であることが分かった。
- (2)TiN イオンプレーティング成膜時に基板電圧の増加は圧縮内部応力を減少させた。
- (3)窒素分圧増加とともに圧縮内部応力は -0.2GPa から約 -5 GPa まで増加する。変化挙動は薄膜中の窒素濃度変化挙動と対応する。

本研究で得られた結果は上のようにまとめられるが、このままでは低融点金属の Al や Mg に適用することは困難であることが分かった。得られた結論から今後の検討課題をまとめると次の 2 点に絞られる。

- ①Ti と TiN の多層化
- ②低応力硬質薄膜の開発

文 献

- 1) 梶岡, 柳川: 防錆管理, 44 (2000) 24
- 2) 学術振興会編: 薄膜ハンドブック, オーム社 (1983) 333
- 3) 梶岡他: 広島県立西部工業技術センター報告, No 36 (1988) 36
- 4) R.O.E.Vijgen, J.H.Dautzenber: Thin Solid Film, 270 (1995) 264
- 5) H. Kajioka et al.: Mat. Sci. Eng. A163 (1993) 201
- 6) H. Kajioka et al.: J. Vac. Sci. Technol., A. 14 (1996) 3147
- 7) H.Kajioka et al.: Proc. 13th Symposium on Ion Sources and on-Assited Technologies (1990) 274

生分解性高機能材料に関する研究 (第2報) ポリ乳酸樹脂の物性と成形性に関する研究*

大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 関 守雄, 藤本宗之

Study of Biodegradable Polymers (2nd report)
Study of Characterization and Molding of Poly (L-lactic acid).

OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro, TAHIRA Kimitaka, SEKI Morio and FUJIMOTO Muneyuki

In general, polymer materials are molded with the molten state at the high-temperature and become products by cooling and solidification. The fine structures of the crystal of polymers, for instance the size and the defect, are changed variously by the temperature and pressure, etc.

The properties, eg. strength etc., are influenced by the fine structure of the crystals.

It was studied on the influence of the cooling temperature (mold temperature) which was important for the properties of poly-L- lactic acid (PLA) in some molding condition.

The following results were founded.

- (1) The crystal of PLA have some melting points with correspond to the crystallization temperature.
- (2) The cause of this property is not completely clear. But it might be caused by the difference of the generation mechanism of the crystalline germ.
- (3) Therefore, it is founded that the mechanical properties of PLA are various by the cooling condition at the molding.

キーワード：生分解性プラスチック, ポリ乳酸, 結晶化, DSC, 球晶

1 緒 言

生分解性ポリマーは環境に優しい・石油を原料としないという2点で注目され活発に研究されている。広島県内においても、いくつかの企業で材料の開発、応用製品の開発等について研究がなされており、これらを支援する必要がある。特にポリ乳酸 (PLA) 樹脂は生分解性プラスチックの中で将来的に最も安価に生産可能であると見込まれていることから、県内企業においても最も多く取り上げられており、当面この樹脂を中心に研究を進めていく。

さて、高分子材料は成形温度が金属材料よりもはるかに室温に近く、成形・保存・使用時の温度による性質への影響がきわめて大きい^{1),2),3)} ため、成型時の温度設定・管理による材料の熱履歴と物性の関係を把握することが生産技術上重要となってくる。特に PLA はポリエステル⁴⁾の1種であり、容器として一般に使用されている PET 樹脂などと同じくその熱履歴によって無定形 (無色透明) から高結晶性 (白色不透明) まで様々な状態をとり、それぞれで性質に差があるため、このようなデータは材料の成形および利用に際して大変重要である。また、最も重要な特性である生分

解性も結晶化度、結晶形態によって変化すると言われている。

前年度の研究報告では、PLA の等温結晶化の過程を熱分析法によって評価するとともに結晶化によって PLA の融点⁴⁾が変化すること、およびその時生成する結晶の形態を偏光顕微鏡によって観察した結果について報告した。

本年度は、等温結晶化の過程および結晶化した PLA の融解挙動について測定した熱分析データを理論的に解析することにより、結晶化条件による結晶核の生成機構、結晶形態の差異等について詳細に検討することを試みた。その結果、興味深い結果が得られたので報告する。

2 実験方法

2.1 試 料

PLA として島津製作所⁴⁾製ラクティーを選んだ。用いた樹脂はフレネルレンズなどの試作に用いられているものである。

2.2 測 定

示差走査熱量計 (DSC, Perkin-Elmer DSC-7) により、熔融状態から200℃/min の速度で所定温度に冷却

*第48回高分子討論会 (1999年10月, 新潟) において一部発表

した後定温で保持することによって PLA を結晶化させ、その時の結晶化速度を評価した。また、これらの異なる温度で結晶化させた PLA を昇温速度を 2~20°C/min の範囲で変えて熱分析 (DSC 測定) することにより、その融解挙動の観察と理論的解析から結晶化度、結晶構造などの樹脂の高次構造などに関する知見を得ることを試みた。

3 実験結果と考察

3.1 等温結晶化したポリ乳酸の融解挙動

図 1 に等温結晶化させた PLA を 10°C/min の速度で昇温させたときの DSC 曲線を示す。結晶化温度 105°C の試料では 176°C 付近に結晶の融解による吸熱ピークが見られるが、結晶化温度 110°C 以上になると 105°C までみられた融解ピークの直前の発熱ピークが見られなくなり、その位置、即ち融解ピークの約 10°C 低温に別の吸熱ピークが現れる。このピークは結晶化温度が高くなるにつれて大きくなり高温側へシフトし、それとともに元のピークも高温側へシフトするがその大きさは小さくなり、結晶化温度 130°C 以上では見られなくなっている。従って、この樹脂については少なくともラメラ厚さや結晶の不完全性などなんらかの高次構造が異なる結晶形態が存在する可能性があり、当然その違いによって機械的性質をはじめとする諸性質に違いがあると考えられる。

これについて検討するために、DSC 測定における

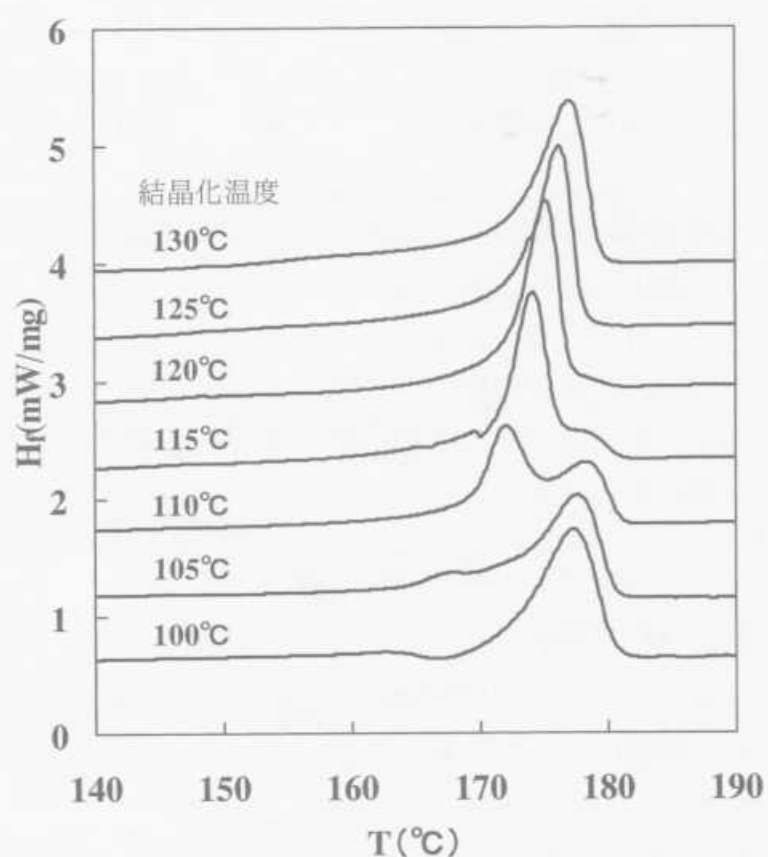


図 1 異なる温度で等温結晶化させたポリ乳酸樹脂の DSC 測定による融解ピーク

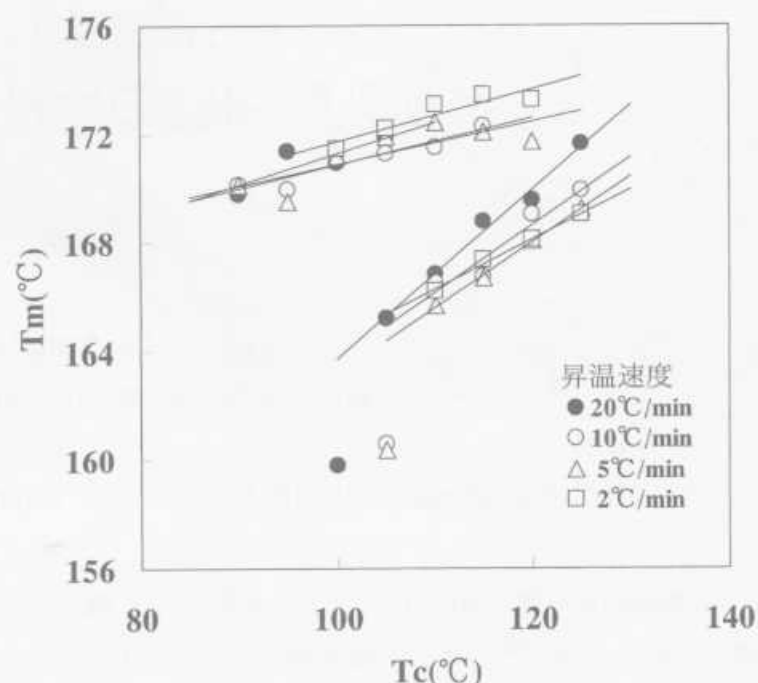


図 2 DSC 測定によるポリ乳酸樹脂の融点の結晶化温度依存性

昇温速度を変化させて、等温結晶化させた PLA の融解挙動を観察した。PLA の融点 (T_m) の結晶化温度 (T_c) 依存性を図 2 に示す。ここで、DSC 測定は JIS K7121 プラスチックの熱転移温度測定方法により、補外融解開始温度 T_m を融点 T_m とした。

図 1 において 110°C 以上で現れ始める低温側のピークは結晶化温度依存性が大きく、また昇温速度が大きくなると融点が高くなっている。これに対して、 $T_c = 105^\circ\text{C}$ から既に現れている高温側のピークは結晶化

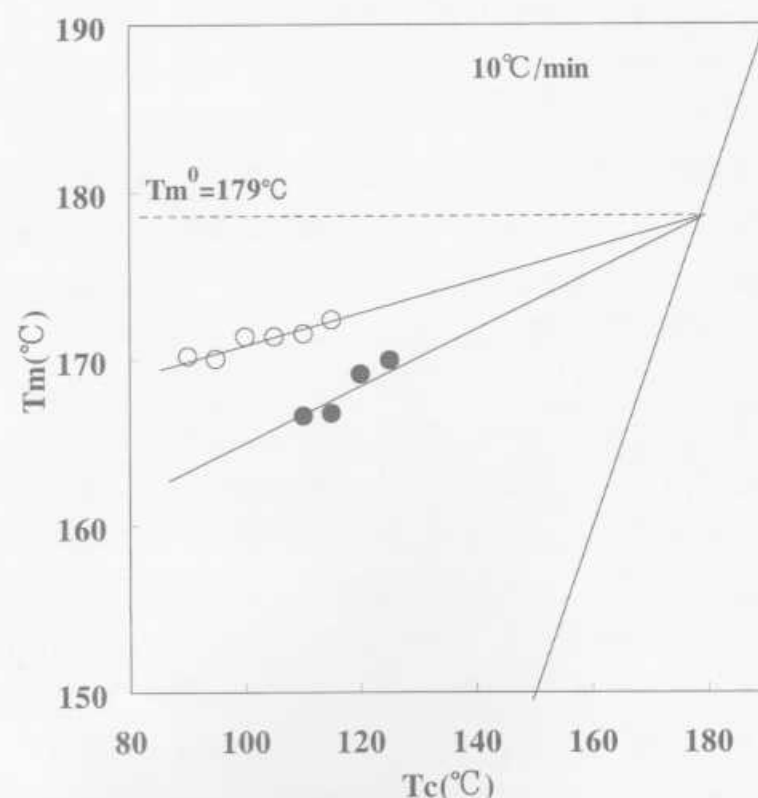


図 3 異なる温度で等温結晶化させたポリ乳酸樹脂の DSC 測定により得られた融点の Hoffman-Wicks プロット

温度依存性が小さく、昇温速度が大きくなるとわずかではあるが融点が低くなる傾向がある。このことは図1における二重ピークは異なる構造を持つ結晶の混在というような単純な原因によって出現しているのではないことを示している。

実際、平衡融点を得るための Hoffman-Wieks プロット⁹⁾を図3に示すが、図1における2つの融解ピークは同一の平衡融点 ($Tm^0=179^{\circ}\text{C}$) を与えることがわかる。即ちこれらのピークは本来同一の構造を持つ結晶の不完全さにより、ピーク位置が異なって現れてくるものと考えられる。

3.2 ポリ乳酸の等温結晶化挙動の解析

図1における2つの融解ピークの生成の機構について検討するために DSC 測定により評価したポリ乳酸樹脂の等温結晶化曲線から得られた Avrami プロットを図4に示す。これは結晶化が始まってからの経過時間 t とその時刻における結晶化分率 C の関係を表す以下の式に対応するものである。

$$\log(-\log(1-C)) = n \log t + \log Z$$

ここで、 Z は定数、 n は結晶化の起こり方で定まるパラメーターで Avrami 指数と呼ばれる。 n は図4のプロットの傾きに対応するが、105、110 $^{\circ}\text{C}$ のプロットの傾きは130、135 $^{\circ}\text{C}$ のプロットの傾きよりも小さく、115~125 $^{\circ}\text{C}$ では Avrami プロットは傾きの異なる2つの直線からなっている。

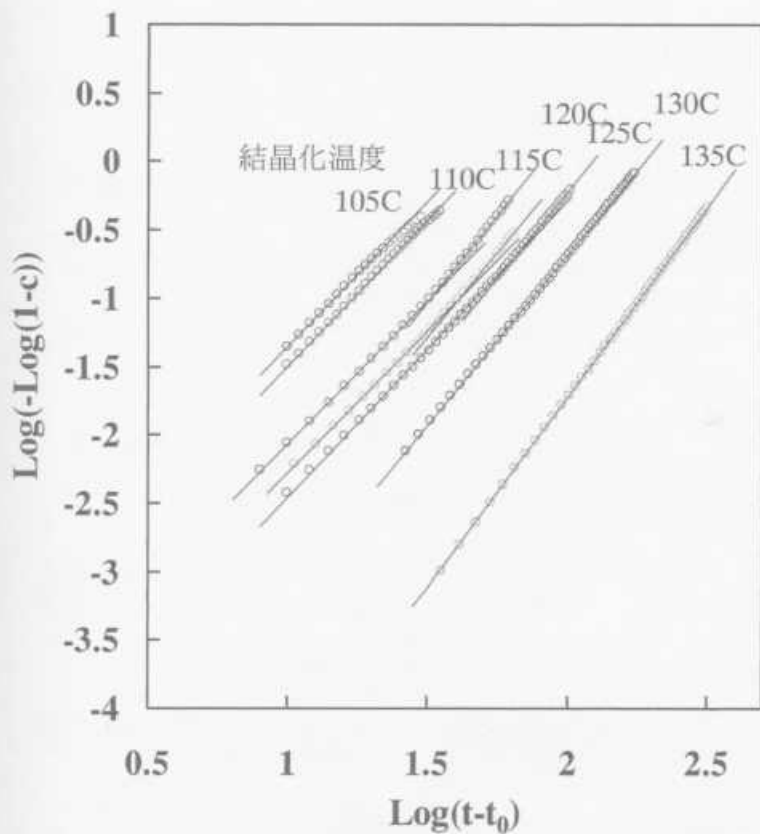


図4 DSC 測定によるポリ乳酸樹脂の等温結晶化曲線から得られた Avrami プロット

表1 ポリ乳酸の等温結晶化測定から得られた Avrami 指数と各種パラメーター

$T_c (^{\circ}\text{C})$	$t_0 (\text{sec})$	n		$t_n (\text{sec})$
100	0	2.1		
105	0	2.1		
110	2	2.1	2.6	42
115	15	2.0	2.7	68
120	38	2.1	2.5	88
125	67		2.5	
130	103		2.8	

PLA の等温結晶化測定から得られた Avrami 指数などを表1に示す。ここで t_0 は結晶化の誘導期、 t_n は傾きの異なる直線の交点に対応する時間である。Avrami 指数 n を比較すると、115~125 $^{\circ}\text{C}$ では Avrami プロットは傾きの異なる2つの直線において、その短時間側の傾きは105、110 $^{\circ}\text{C}$ のプロットの傾きと一致し、長時間側の傾きは130、135 $^{\circ}\text{C}$ プロットの傾きと一致していることがわかる。

また、図4において Avrami プロットが傾きの異なる2つの直線からなる温度と図1において2つの融解ピークが観察される温度がほぼ一致することは興味深い。

即ち、PLA の等温結晶化は、 $n=2.1$ と $n=2.5\sim 2.8$ の見かけの Avrami 指数を持つ2つの機構によって進み、それぞれの機構に対応した結晶の融解ピークが DSC で観察されていると考えられる。

DSC 測定から得られた結晶化のハーフタイム t_h の過冷却度 $\Delta T = Tm^0 - Tc$ 依存性を図5に示す。ここで Tm^0 は図3において求めた平衡融点である。球晶と呼ばれる球形の多結晶の線成長速度 G は

$$G = A \exp(-B/Tc\Delta T)$$

で表わされる (A : 定数、 $B = EaTc\Delta T$: Ea は結晶核形成のための活性化エネルギー) ことから、図5における直線の傾きは核形成の活性化エネルギーの温度依存性を表している。

図5におけるプロットは2本の傾きの異なる直線で表される領域に分けられ、領域の変化する温度は110 $^{\circ}\text{C}$ 付近である。この温度は Avrami プロットにおいて2つの指数 n が見られる温度、DSC 測定で2つの融解ピークが観察される温度域とほぼ一致している。

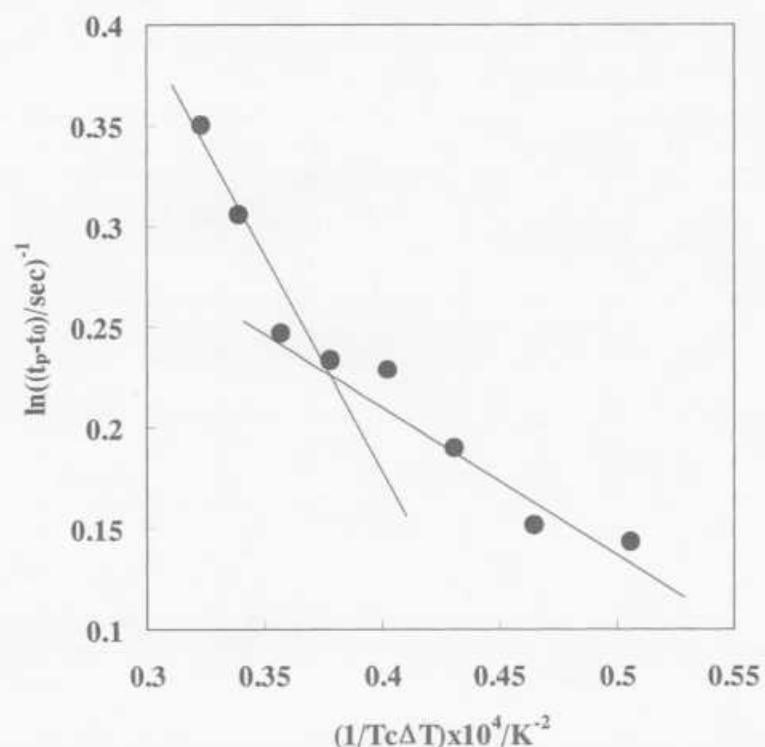


図5 ポリ乳酸の等温結晶化過程において DSC 測定により得られた結晶化のハーフタイム t_p の過冷却度 ΔT 依存性

従って、図1で観察される2つのピークの出現は、結晶核形成機構の違いによりわずかに異なる組織と融解性を持つ結晶が生成することによると考えられる。

このことから、PLAの成形においては冷却の条件によって異なる結晶組織が生成し、そのために物性が異なる可能性があることを考慮する必要がある。

4 結 言

高分子材料は一般に高温熔融状態で賦形され冷却固

化して製品となる。

この時、結晶性のプラスチックにおいては冷却固化の過程で結晶が形成されるが、温度、圧力などの条件によって大きさ・欠陥等の微細な構造が異なる結晶が形成され、それが強度などの実用的な特性に影響する。

本研究では、ポリ乳酸樹脂 (PLA) について成形条件の中で重要な冷却温度 (型温度) の影響について検討したところ、下記のような結果が得られた。

- (1) PLA は融解状態からの冷却・固化において温度の違いで異なる結晶化温度を持つ結晶を生成する。
- (2) この原因は完全に明らかではないが、結晶核の形成機構の違いによる可能性がある。
- (3) このため、PLA は成形時の冷却条件によって物性が異なると考えられる。

文 献

- 1) 大橋俊彦：第45回高分子討論会講演要旨集 (1996) 12, 3677-3678
- 2) 大橋俊彦：第46回高分子学会年次大会講演要旨集 (1997) 5, 1020
- 3) 例えば, L. B. Nielsen：高分子と複合材料の力学的性質, 化学同人 (1976) 113-117
- 4) 大橋俊彦：1999年度西部工業技術センター研究報告 (1999) 13
- 5) R. Vasanthakumari and A. J. Pennings Polymer, 24 (1983) 175

グラフト重合法によるプライマーの合成とポリオレフィンの接着性改善効果

大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 藤本宗之, 羽坂昭男*
池田芳清*, 岡田光広*, 益 勝治*, 白石浩平**, 杉山一男**

Improvement of adhesion of TPO by primer synthesized by graft polymerization

OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro, TAHIRA Kimitaka, FUJIMOTO Muneyuki, HAZAKA Akio
IKEDA Yoshizumi, OKADA Mitsuhiro, EKI Katsuji, SHIRAIISHI Kouhei and SUGIYAMA Kazuo

Polyvinyl chloride (PVC) is pointed out the source of dioxin and an environmental hormone. Therefore, in the recent, the products, which polyvinyl chloride was used, has cracked unpleasantly. It is necessary to alternate PVC by polyolefin (TPO) which the mechanical property is similar to PVC. And the improvement of adhesion of TPO was researched.

As the results, polyolefine-acrylate graft copolymers were synthesized and the primers which included these copolymers as a principal ingredient were developed. The adhesion of TPO was improved by coating of the developed primer. Especially, when the urethane adhesive was used, the adhesion of polyolefine elastomer prepared by using the developed primer was excellent more than that prepared by the corona discharge processing.

キーワード：ポリオレフィン樹脂, 塩ビ代替, 接着, プライマー, グラフト重合

1 緒 言

ポリ塩化ビニル樹脂 (PVC) は、電気絶縁性が高く、耐溶剤性、機械的特性等にも優れる、可塑剤などの添加物により硬質から軟質まで幅広く制御できる上、接着性、高周波溶着能を利用した二次加工性も良好であるなどの多くの優れた特性を有することから汎用樹脂として大量に生産され、フィルムや電線被覆を始め多くの工業材料・日用品に用いられている。しかし、近年 PVC 製品を焼却した際に人体に有害なダイオキシンが発生すること、軟質材の可塑剤として多量に含まれるフタル酸エステル類が環境ホルモンとして生体に悪影響を及ぼすことなど、環境的見地から問題視されてきている。このためその代替となる材料の高分子材料の研究がおこなわれ、機械的特性がよく似た様々なポリオレフィン樹脂 (TPO) が開発されている。

PVC は非常に安価な樹脂であることから PVC を他の材料で代替する場合の第1の問題はコスト、第2が接着を含めた2次加工性であったが、現在では樹脂メーカーの努力によって TPO のコストは大きく下がり製品化が可能な段階に来ている。

本報告では TPO を PVC 代替材料として使用することを可能にするために、TPO の接着性改善技術の開発を目標とし、グラフトの各共重合反応によって合成したポリマーによるプライマー処理に関する研究を

行った成果について報告する。

2 実験方法

2.1 用いた材料

プライマーの原料となるポリオレフィン樹脂として三井化学(株)製タフマー S-4030を用いた。グラフトするアクリルモノマーとしては図1に示す構造式を持つ7種類のものを用いた。MMA, BMA, MA (片山化学工業(株)製, 試薬1級)は減圧蒸留して精製して用いた。HEMA, HPMA (関東化学(株)製, 試薬1級)はそのまま用いた。また DMAAm と DEAAm は興人(株)から供与されたものをそのまま用いた。グラフト重合反応の触媒としては、過酸化ベンゾイルと過酸化ジクミルをクロロホルムに溶解し、メタノールから再結晶して用いた。

接着剤は市販品であるポリネート955L (ウレタン系)をそのまま用いた。接着性を改善するオレフィン系エラストマーとしてはミラストマー7030N (三井化学(株))を選び、幅25mmに押出成形して用いた。

有機溶剤類は常法にしたがって精製して用いた¹⁾。

2.2 プライマーの合成

プライマーとなる樹脂はグラフト重合反応によって合成した²⁾。四つ口フラスコ中にポリオレフィン樹脂を計り取り、トルエン200mlを加えて窒素ガスを200ml/min流しながら80~90℃に加熱して溶解する。ポリオレフィン樹脂が完全に溶解したら所定の反応温度

*東プレ株式会社, **近畿大学工学部

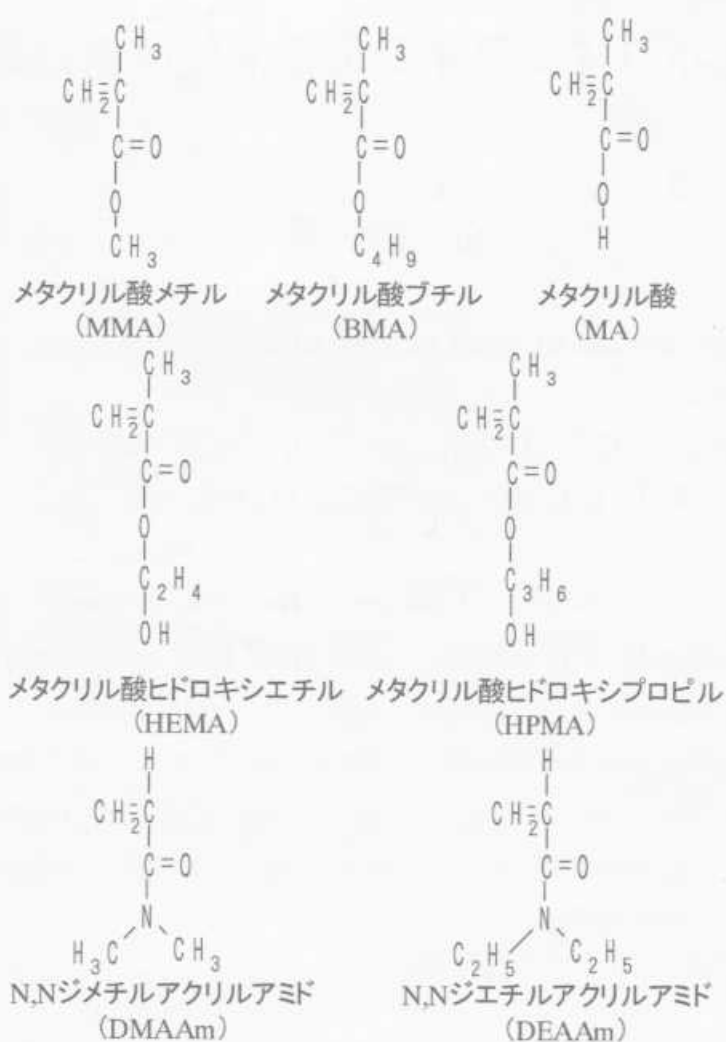


図1 プライマー合成に用いたアクリルモノマー

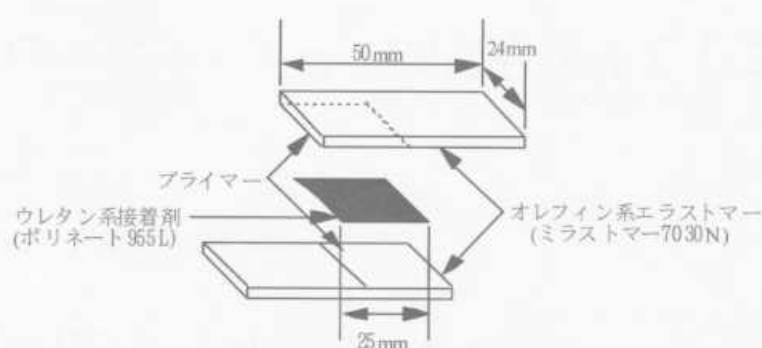


図2 接着力評価用試験片の作成

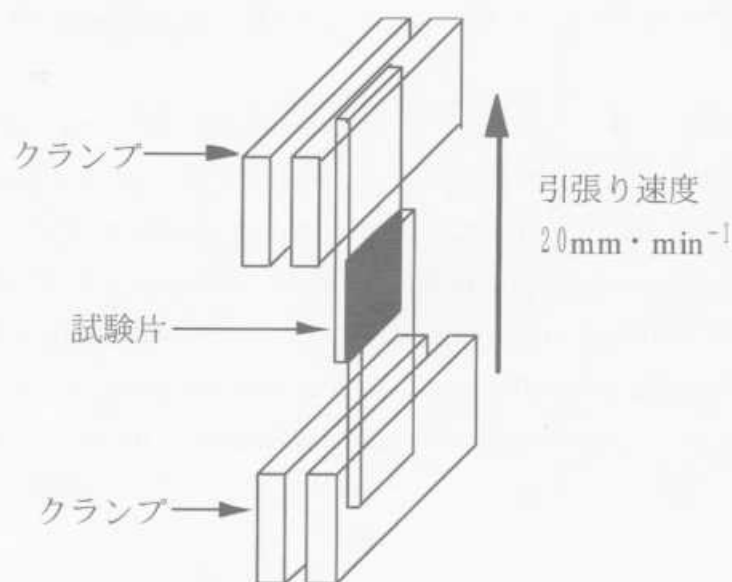


図3 引張り剪断試験

に設定し、あらかじめ過酸化触媒（過酸化ベンゾイル）を溶解したアクリルモノマーを1時間30分間かけて滴下する。滴下完了後4～20時間その温度で保持しグラフト反応を継続する。所定の時間経過後、反応を終了させるためにマントルヒーターをはずしてフラスコを水冷し、50℃以下に冷えたらメタノール200mlを加えて反応を完全に停止させる。室温まで冷却後、反応物を20倍量のメタノール中に投入してグラフト重合体を沈殿させ濾過して回収する。

アクリルモノマーがMMA, BMAの場合はホモポリマーが同時に沈殿するので（これを以下でホモポリマーを含む粗回収物と呼ぶ）、アセトンで48～72時間ソックスレー抽出することによりグラフト重合体とアクリルのホモポリマーを分離する。それ以外の5種類のアクリルモノマーはホモポリマーがメタノールに溶解するので回収した沈澱物をそのまま用いた。

得られたグラフト重合体は、40℃で7日間以上真空乾燥した後、各種評価およびプライマーの調整に用いた。合成したグラフト重合体またはホモポリマーを含む粗回収物をトルエンに2.5～5w/v%濃度に加熱溶解してプライマーとした。

2.3 接着性評価

プライマーによる接着性改善効果は引張せん断試験

法によって評価した。オレフィン系被着体（ミラストマー7030N）は図2のように押出成形を行ったベルト状の成形物を試料とし、トルエン20mlにコポリマー0.5gを溶解した溶液（プライマー溶液）を均一に塗布し、常温で1h間放置後、80℃で10min乾燥した。次にプライマー塗布面に接着剤（ポリネート955L）を塗布して常温、100kgf・cm⁻²、24h加圧し、圧解放したのちさらに最高の接着強度を得るため常温で4日間放置して接着剤を硬化させ試験片とした³⁾。

引張りせん断試験はSHIMADZU AG-10kTを用いて試験片を図3のようにクランプし、20mm/minの速度でおこない、最大荷重から接着強度を評価した。

3 実験結果と考察

3.1 合成した各種プライマー樹脂の組成

各種アクリルモノマーをグラフト鎖とするプライマー樹脂を合成した。反応条件によって様々な組成の樹脂が合成されるが、プライマーとして試験に供したのは表1の11種類であった。Primer名Xnで表される6種類およびBは全て同一の条件で合成したものであるが、ヒドロキシアルキル系のアクリルモノマーは非常にグラフト率が高くなっていることがわかる。

表1 合成したプライマー樹脂の組成と溶剤に対する溶解性

モノマー	グラフト率 (%)	溶解性	Primer
MMA	9.5	○	A
MMA	4.7	○	B
BMA	5.2	○	C
MMA	4.7(+homopolymer)	○	D
BMA	5.2(+homopolymer)	○	E
MA	4.4	×	X1
HEMA	39.6	×	X2
HPMA	15.5	×	X3
DMAAm	4.1	○	X4
DEAAm	5.3	○	X5
PHPMA -co- DEAAm	9.8	○	X6

3.2 プライマーの作成

合成したグラフト重合体は揮発性の有機溶剤に溶解することによりプライマーとなる。そこで適当な溶媒の選定を行った。このとき PVC 代替化を考慮して塩素系の溶剤は除外し、コスト面を考慮して汎用的な溶剤類のみについて検討したが、ポリオレフィン樹脂はトルエン、キシレンなどの芳香族系の炭化水素以外に溶解せず、使用できる溶剤は少なかった。ここでは、キシレンと比べて揮発性が比較的高く、共同研究企業が使い慣れていると言うことも考慮して、プライマー溶剤としてはトルエンを使用することとした。しかし、グラフト鎖が PMA, PHEMA, PHPMA である場合、得られたグラフト重合体は表1に示すようにトルエンに溶解しにくい。ここで、○は完全にトルエンに溶解したもの（濃度 5w/v%）、×は濃度 1w/v% で溶解しなかったものを表す。キシレンについては調べていないが化学構造と性質の類似性から溶解力はこれらのトルエンと大差ないと考えられる。これらの樹脂をトルエンに 2.5w/v% 濃度（X1, X2, X3 は 1.5w/v% 以下）に溶解して作成したプライマーを用いて接着性改善効果を測定した。

また、耐水、耐冷熱繰り返し性に優れるウレタン系接着剤による TPO の接着性改善のために、ウレタンに対して高い接着性改善効果が期待される MA, HEMA, HPMA をグラフト鎖として用いるプライマーについて検討し、トルエンに対して溶解性のある MMA, BMA, DMAAm, DEAAm との共重合体をグラフト鎖として形成させることにより完全にトルエン

に溶解するものを得ることが出来た。表1にその1例として HPMA と DEAAm の共重合鎖を含む樹脂について示す。

3.3 プライマー層の厚み

プライマーは現場での作業を考慮して刷毛塗りで塗布した。接着した試験片の断面を SEM で観察することによりプライマーの厚みを検討したところ、濃度 2.5w/v% ではプライマーの層の厚みは写真1に示すように約 5 μm 程度であった。

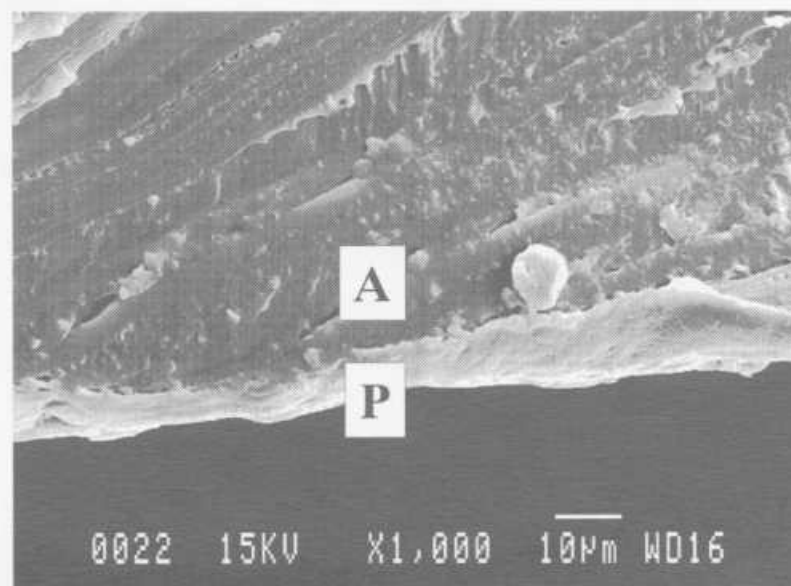


写真1 TPO に接着後剥離したものの
プライマー濃度 2.5w/v%
P: プライマー A: 接着剤

3.4 プライマーによる接着性改善効果

プライマー処理したポリオレフィン（ミラストマー 7030N）のウレタン系接着剤による接着強度を表2にまとめた。比較のために未処理の場合、およびコロナ放電処理により接着性を改善した試料についても同様に評価した。ここで、コロナ放電処理は大阪市立工業研究所所有の春日電機(株)製 TR-1100で行い、放電電流は 5A と 6A の 2 条件で、コロナが試料表面に照射される時間 2 から 3 秒であった。

プライマー A, B, C, D, E の比較から同じモノマーのグラフト鎖ではグラフト率が高いものが接着強度が大きく、ホモポリマーが混ざっていてもアクリル成分の多い方が接着力が強いことがわかった。また、MMA と BMA では MMA の方が改善効果大きい。これらのことは極性基の量が多いほど接着性改善効果が大きいことを表している。

しかし、十分な接着力が得られなかったため、ウレタンに対して高い接着性改善効果が期待される X1 ~ X6 のプライマーについて接着強度を評価した。表1に示すようにグラフト率が大きく異なる上 X1, X2, X3 はトルエンに完全に溶解しなかったため、グ

表2 各種プライマーによる接着性改善効果
被着体：ミラストマー7030N、接着剤：ウレタン系 (955L)

	前 処 理						
	ロ ナ 放 電 5A	ロ ナ 放 電 6A	プ ラ イ マ ー A	プ ラ イ マ ー B	プ ラ イ マ ー C	プ ラ イ マ ー D	プ ラ イ マ ー E
接 着 強 さ (N/cm ²)	14.4	17.8	13.1	8.6	10.3	15.4	8.8
破 壊 形 態	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離

	前 処 理						
	未 処 理	プ ラ イ マ ー X1	プ ラ イ マ ー X2	プ ラ イ マ ー X3	プ ラ イ マ ー X4	プ ラ イ マ ー X5	プ ラ イ マ ー X6
接 着 強 さ (N/cm ²)	4.8	11.0	17.3	22.5	19.7	20.5	22.0
破 壊 形 態	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離	層 間 剥 離

ラフト鎖の構造（アクリルモノマーの種類）による影響については明確にすることが出来なかったが、期待したとおり MMA, BMA よりも高い接着力を得ることが出来た。

材料破壊するものは無かったが、いくつかのプライマーではコロナ放電処理を上回る接着力が得られ、特にアクリルモノマーとして HPMA（メタクリル酸ヒドロキシプロピル）を用いたプライマー X3 が最も接着力が高かった。現在でもコロナ放電処理程度の接着力で実用になる製品も多く、本研究で開発したプライマーにより塩ビ代替製品の実用化が可能である。

X3 は完全 (2.5w/v%) にトルエンに溶解していないことから HPMA をベースにグラフト鎖を共重合体化して完全にトルエンに溶解する樹脂を合成すれば、更に高い接着性改善効果を有するプライマーを作成することが期待できる。

4 結 言

近年環境的見地から問題視されてきているポリ塩化ビニルを機械的特性がよく似たポリオレフィン樹脂

(TPO) で代替することを目的として、TPO の接着性改善について検討した。

その結果、ポリオレフィン樹脂へアクリルモノマー類のグラフト重合することにより合成した樹脂をもとに接着用前処理剤（プライマー）を開発できた。開発したプライマーをポリオレフィンエラストマーに塗布することにより、ウレタン系接着剤では接着しにくかったポリオレフィンエラストマーの接着力を大幅に改善でき、コロナ放電処理以上の接着力が得ることができた。

文 献

- 1) 大津, 木下: 高分子合成の実験法 (化学同人)
- 2) 奥村, 山口: 高分子論文集, 47 (1990), 4, 261
- 3) 大橋: 平成10年度地域コンソーシアム研究開発事業成果報告書 (2000)

付 記

本研究は NEDO 受託事業（地域コンソーシアム研究開発事業）の1部として実施されたものである。

圧延と通電を利用した鉄とアルミニウムの連続接合

筒本隆博, 新田 明, 菊山信行

Continuous Joining of Fe and Al by Rolling and Electric Discharge Heating

TSUTSUMOTO Takahiro, NITTA Akira and KARIYAMA Nobuyuki

Continuous joining of Aluminum (Al) sheet and Zn coated steel (Fe) sheet were performed by the combination of rolling with a pair of graphite rolls and electric discharge heating under the air atmosphere. Excellent joining of Al and Fe was obtained at the roll temperature range of 380 to 400°C, where the peeling strength per was over 40N/mm. The roll temperature over 420°C caused the formation of intermetallic compound of Al and Fe at the interface, and degraded the peeling strength. Various thickness of Al between 25μm and 2mm and various width of sheet between 19 and 45mm could be joined with this method. Besides applications to structural materials, joined sheet could be applicable to the insert material for spot welding of Al and Fe sheets.

キーワード：放電焼結, 圧延, Fe, Al, 連続接合

1 緒 言

炭酸ガスによる地球温暖化がクローズアップされ、環境負荷の少ないモノづくりは今日重要な課題である¹⁾。例えば自動車産業においては、より燃費の良い車づくりのため、アルミニウム (Al) 等の軽量材料の使用が検討されている。しかしながら、Al 合金だけでは強度や剛性が低く強度、剛性の高い鉄鋼 (Fe) 材料と併用して使用する方が、より効果的である。その一つに Fe と Al の板材を接合したクラッド材料として使用する方法がある。我々は、粉末から板材を連続的に焼結するためのプロセスとして開発した、放電焼結圧延法^{2,3)}を使い、昨年度 Fe 板と Al 板の連続接合の検討を行い、Zn を Fe 側にメッキした板材と Al 板が本手法により連続的に接合できることを見いだした⁴⁾。

Fe と Al の連続接合については、熱間圧延⁵⁾、スパッタリング⁶⁾を併用した圧延などの方法があるが、いずれも不活性雰囲気が必要である。また、冷間圧延⁷⁾による方法では接合強度が低い。それに比べて、本手法は大気中で直接接合できるという利点がある。本研究では、昨年度よりさらに高い密着性をめざし、接合条件を検討した。

2 実験方法

連続接合装置の模式図を図1に、接合条件を表1に示す。接合には黒鉛製の2重構造のロールを用い、通電によりロール自体も加熱する。接合実験はすべて大

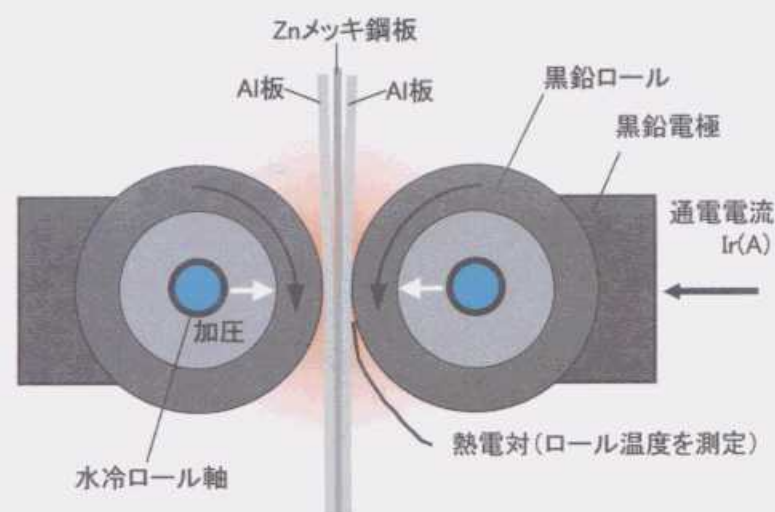


図1 連続通電接合実験の模式図

表1 通電圧延による接合実験の条件

圧延速度, v (mm/sec)	0.6
ロール温度, T_r (°C)	300~420
加圧力 (kgf)	約150
予熱時間 (分)	1~3 所定温度に通電加熱後圧延開始
接合材料	Al: 純 Al 板, 板厚 1, 3 mm 箔(家庭用アルミホイル)約15mm 厚 Fe: 溶接亜鉛メッキ鋼板, 板厚0.3mm メッキ膜厚25μm 板幅: 19, 45mm 配置: Al/Fe/Al, Al/Fe/Al(3t)/Fe/Al

気中で行った。前回の実験⁴⁾では、Fe/Al の2層での接合実験を行ったが、圧延時に Al 側が大きく伸びて、接合した板材が Fe 側に湾曲するという問題が生じた。そこで、今回の実験では、Al/Fe/Al という対

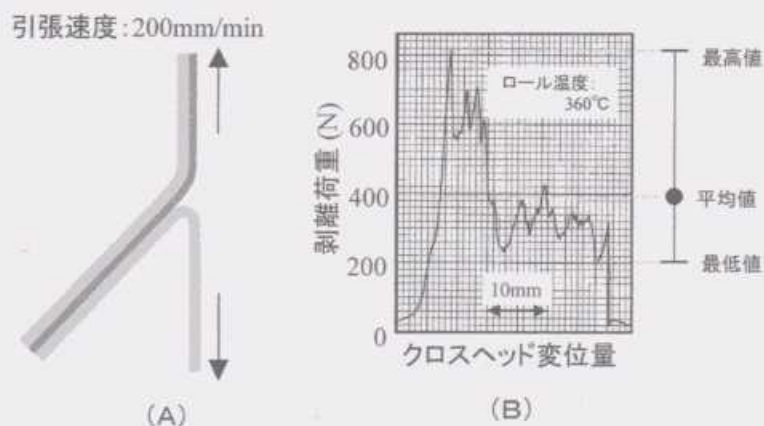


図2 剥離試験の様子とそのときの剥離荷重—クロスヘッド変位量の関係

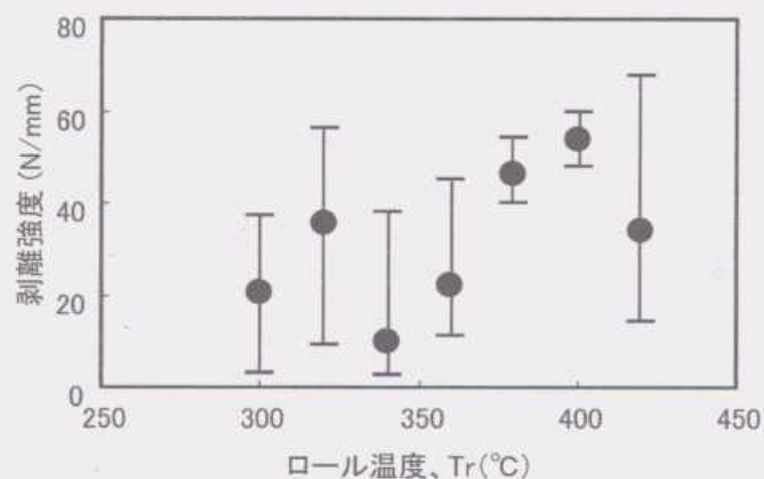


図3 ロール温度と剥離強度の関係

称な板の配置で接合条件を決めるための実験を行った。こうすることで、圧延時接合材が湾曲することはなくなった。

用いた板材は、板幅が19mm、板厚は Al 材 (純 Al) が1.0mm、Fe 材 (溶融亜鉛メッキ鋼板) が0.3mm のものを用いた。Fe 側の亜鉛メッキ層を除去した場合、すなわち中間層を入れない場合は、本実験条件下では、試料は接合しなかった。

ロール間の温度を図1のように下側からシース熱電対を差し込んで測定し、この温度 (ロール温度とする) が所定の温度になるようにロール間に通電する電流値を手動で制御した。また、Fe 板と Al 板の間に熱電対を挿入して連続的に測定した Fe/Al 界面の温度は、ロール間の通電区間で最高となり、その最高温度はロール下側から熱電対を差し込んで測定したロール温度より約110K (°C) 高かった。

このようにして接合した試料は、図2 (A) に示すような剥離試験を行い、図2 (B) のように得られた荷重—変位曲線から、剥離荷重の最高値、平均値、最低値を求め、その値を板幅19mm で除した単位板幅あたりの値で整理した。

Fe と Al 材は、融点が大幅に違うことから、通常直接スポット溶接が困難であるが、Fe/Al クラッド材を中間材として同種の材料に接するように挿入してスポット溶接する方法が開発されている^{8),9)}。そこで、本実験で作成した Fe/Al クラッド材を中間材として使って試験的にスポット溶接を行った。さらに、Al の板厚が3mm、25 μ m (アルミ箔) の材料や板幅を45mm と大きくしたものの接合実験も行った。

3 実験結果と考察

3.1 接合条件の検討

図3に接合材の剥離強度とロール温度の関係を示す。中間層の Zn メッキが溶融し始めるロール温度、

Tr が300°C (573K) で、それ以上のロール温度で、接合が可能であった。Fe/Al の界面温度がロール温度より110K 高いので、ロール温度が300°Cの時、Al/Fe 界面の温度はほぼ Zn の融点である420°Cに達することになる。ロール温度が300~360°Cの比較的低温の領域では最高値で35~55N/mm の比較的高い剥離強度を示すが、剥離強度の最低値は10N/mm 以下と低い。

ロール温度が380~400°Cで、剥離強度は最高値、平均値、最低値のいずれも40N/mm 以上と高くなり、良好な接合を示した。この値は吉村ら⁵⁾の窒素雰囲気中で加熱圧延接合したものの剥離強度、22.5N/mm のほぼ2倍以上となった。ロール温度が420°Cになると、最高剥離強度は高いものの、平均値、最低値が低下する傾向にある。

これらの接合の状況は、接合材の側面にしみ出た Zn の状況から判断できる。図4に接合材側面の Zn のしみ出しの様子を示す。しみ出した Zn は剥離強度の低い300~360°Cまでは母材表面で濡れることなく、玉状に凝固するが、接合が良好な380~400°Cでは母材表面に濡れ Zn が Al 側に流れるようになる。さらに温度が高くなり、剥離強度の低下する420°C以上になると、ほとんど Zn がしみ出しが悪くなり、Al 側で欠損が生じるようになる。これらの状況を観察することで、接合の良否がある程度判別できる。

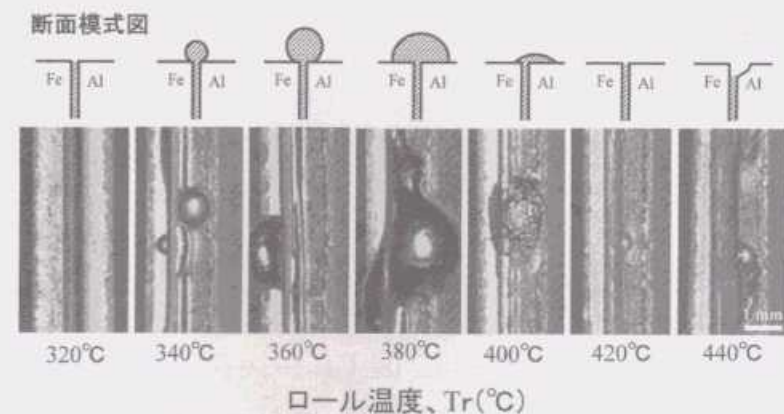


図4 接合材の側面での亜鉛の染み出しの様子

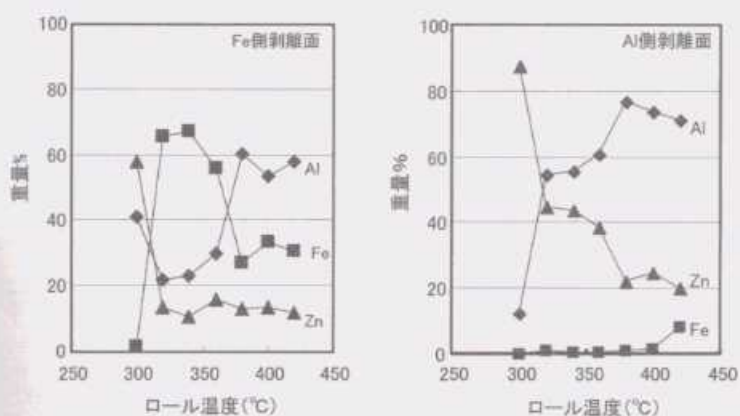


図5 剥離試験後の剥離面の分析結果

図5に剥離試験後の剥離面でのAl, Zn, Feの3元素における元素分析の結果を示す。接合の開始する300°Cでは、Znが大量に剥離面に現われており、剥離強度が比較的低い360°Cまで、Al側のZn量は30wt%以上であるのに対し、良好な接合を示した380~400°CではZn量が30%以下に低下する。またこの範囲では剥離面の凹凸が大きくなる。それは界面のAlが多量にFe側に剥ぎ取られて付着したため、Fe側のAl%も高くなっている。

図6に同剥離面のX線回折スペクトルを示す。これより、Al/Fe界面のZnは、400°CまではほぼZnそのままの状態が残っていることがわかる。420°Cになると、FeとAlの反応が進行し、FeAl₂やFeAl₃などの金属間化合物が生じる。このことが剥離強度低下の原因であると考えられる。

これらのことより、良好な接着を得るためには、中間層であるZnを加熱圧延時に十分に搾り出し、なおかつ、FeとAlの反応が起こり過ぎない最高の温度まで加熱することが重要である。

3.2 各種寸法の接合体の試作と応用例

写真1に試作したFe/Alクラッド材を中間材としてスポット溶接を行った例を示す。接合条件を選択することで、Al母材から破断する良好な接合が得られた。

写真2~4に各種寸法のクラッド材の試作品を示す。板幅19mmから45mmまでのクラッド材を試作した。また、Alの板厚は薄いものでは25μmのアルミ箔から、3mmのものまで接合できた。

前回のAlとZnメッキ鋼板の2層の

接合実験では、溶融したZnがロールに付着して、電極を傷つけ、クラッド材表面にZnの盛り上がりが生じるなどの問題があった。しかし、クラッド材の最表

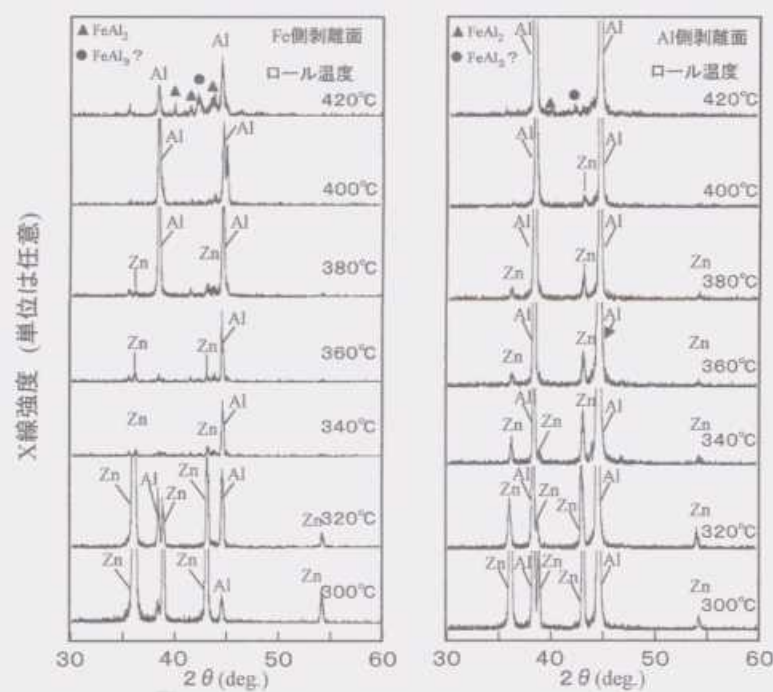


図6 剥離面のX線回折スペクトル

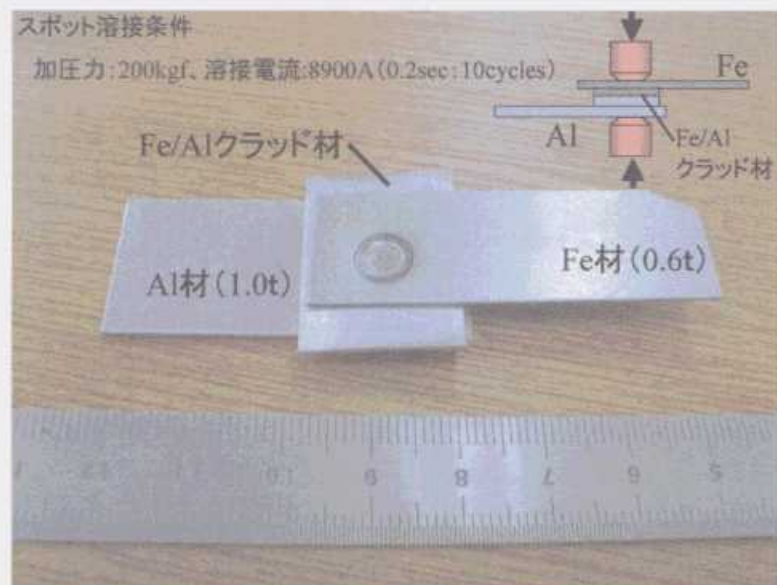


写真1 Fe/Al材をインサートしたFeとAl板のスポット溶接例



写真2 幅広材(45mm幅、下)、厚板(板厚3mm、中央)材の接合例



写真3 最表面にアルミ箔を接合した例



写真4 厚板(厚さ3mm) Al材の接合例

面に Al を配置することで、ロール表面への Zn 付着は全くなくなった。

4 結 言

ロールへの通電と圧延を用いた放電焼結圧延装置を利用して、アルミニウム板と板厚0.3mmの亜鉛メッキ鋼板の大気中での連続接合を試み、以下の結論を得た。

- (1) ロール温度が380~400°Cの範囲で、単位板幅あたりの剥離強度が40N/mm以上の良好な接合が得られる。
- (2) Znが溶融する300°C以上のロール温度で接合が可能であったが、300~360°Cでは界面にZnが残り、剥離荷重の最高値は35N/mm以上と高いものの、最低値は10N/mm以下と低い。
- (3) 溶融した亜鉛は接合板側面にしみ出し、その状態で、接合の良否を推定できる。
- (4) ロール温度が420°C以上では、界面でFeとAlの金属間化合物が形成され剥離強度が低下した。
- (5) 表面にAl箔を配置し接合することで、溶融した亜鉛がロールに付着しなくなる。
- (6) Alの板厚は25μmから3mmまで、接合材の板幅は19mmから45mmまでが試作できる。
- (7) 今回試作したFe/Alクラッド材はFeとAlのスポット溶接を行うための中間挿入材として用いることができた。

なお、本研究は中小企業庁の補助金を受けた地域活性化連携促進事業の一環として行われた。

文 献

- 1) 中西栄三郎：日本金属学会講演概要(2000.3), P.113
- 2) 筒本隆博, 高谷英明, 新田 明, 柳沢 平：焼結プロセス制御による高機能新素材の開発, 研究成果報告書, (助)広島県産業技術振興機構, (1996), 61
- 3) 筒本隆博, 新田 明, 高谷英明, 王 雨勃, 柳沢平：広島県立西部工業技術センター研究報告, 40 (1997), 40
- 4) 筒本隆博, 新田 明, 荻山信行, 蒲田政信：広島県立西部工業技術センター研究報告, 41 (1998), 40
- 5) 吉村 尚, 上野伸二, 辻 勇一, 長瀬隆夫, 切山忠夫, 四本松雅彦：材料とプロセス, 5 (1992), 1774.
- 6) 磯部剛彦, 西條譲二, 吉田一雄, 吉本信：溶接学会誌, 66 (1997), 571
- 7) 中村雅彦, 牧 清二郎, 松田忠明, 永井直記：塑性加工学会講演要旨集(1983.5), 431
- 8) 高 隆夫, 小川和博, 泰山正則：溶接技術, (1993.3), 84
- 9) 泰山正則, 小川和博, 高 隆夫, 溶接学会論文集, 14 (1996), 316

粉体離型潤滑剤を用いた素形材加工エコシステムの研究開発 (第2報)

離型力による粉体離型潤滑剤の評価

藤井敏男, 府山伸行, 菊山信行, 土取 功

Development of Low-energy Consumption and Clean Die-casting System with Use of Powder Lubricant (2nd Report)

The Evaluation of Powder Lubricants with the Extrusion Force of Aluminum Die Castings

FUJII Toshio, FUYAMA Nobuyuki, KARIYAMA Nobuyuki and TSUCHITORI Isao

In the factory of die casting system, the large amount of water-soluble lubricant is sprayed on the opened hot die. Therefore the system consumes high-energy and pollutes environments. But the new die-casting system, which is spray a powder lubricant in the closed die, makes possible not only to improve manufacturing environment but also to produce high quality parts. The force of extruding a work from die cavity is measured with a load cell installed between an ejector pin and a ejector plate. Consequently, it has been found when the quantity of spraying powder lubricant GW-23 increased, the extrusion force decreased, and the extrusion force at spraying powder lubricant 0.5g/shot is the same as using water-soluble lubricant. Pressure in the die cavity, purging time, and evacuation time has influenced extrusion force because they change quantity of attracting powder lubricant on a die.

キーワード：粉体離型潤滑剤, ダイキャスト, 離型性, 潤滑性, 省エネ

1 緒 言

ダイキャストによる製造において、離型剤の使用は不可欠である。工場では、水溶性離型剤を水で適当な濃度に薄めて、開いた金型にスプレーで勢いよく吹き付けている。そのため、ミストや油塵が工場内に飛散するとともに、金型に残った水分をエアで吹き飛ばすために大きな音が発生して作業環境が悪い。また、離型剤を含んだ水は油分を多く含むため、多量の排水処理が必要となっている。そこで、省エネルギー化を図り、作業環境改善するために、粉体離型潤滑システムをダイキャストマシンに組み込むことで閉じた金型に粉体離型潤滑剤を付着させるシステムの開発を進めている。

前報¹⁾では、粉体離型潤滑剤を用いた場合の溶湯の保温性について実験・検討した。製品を变形や損傷することなく金型から取り出だせなければ量産することができないため、離型潤滑剤に要求される性能の中で、離型性が重要な要素²⁾となる。そこで、本年度は広島大学工学部に設置された実験用粉体離型潤滑・真空ダイキャストシステムを使用し、粉体離型潤滑システムを用いた場合と従来の水溶性離型剤を用いた場合の離型性能について実験した。粉体離型潤滑システムを使用したダイキャストシステムの最適化を行う基礎的なデータを収集・解析を行うとともに、新たに開発

した粉体離型潤滑剤の離型性能を調べ、より優れた離型性能を有する粉体離型潤滑剤を開発することを目的としている。

2 実験方法

実験に使用したダイキャストマシンは、KDK製の型締力834kNの横型機を用い、図1に示す粉体潤滑システムを組み込んだ。長さ120mm、幅70mm、板厚が3mm、2mm、1mmと変化する試験金型を取付け、表1の条件で鑄造実験を行った。この可動金型には製品を取り出すのに14本の押出ピンがあるが、今回の実験では、板厚2mm部分にある2つの押出ピンに

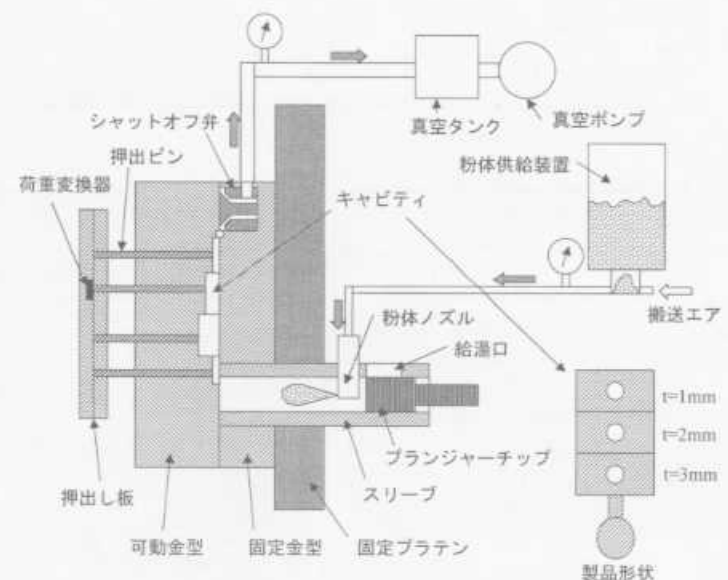


図1 粉体離型潤滑システム概念図

作用する力^{3),4)}を、押出ピンとそれを固定する押出し板との間に定格荷重19.62KNの共和製小型荷重変換器LM-2TSを設置し、その出力波形を1ms間隔で収集した。

粉体供給装置では、粉体離型潤滑剤の吐出量は吐出時間で設定できる。その吐出時間(Ts)と一回あたりの吐出量との関係を表2に示す。

表1 鑄造条件

注湯重量 (kg)	0.2
保持炉温度 (℃)	680
射出低速速度 (m/s)	0.25
射出高速速度 (m/s)	0.9
高速区間 (mm)	55
鑄造圧力 (MPa)	51.0
チルタイム (sec)	10

表2 粉体離型潤滑剤の吐出時間と吐出量との関係

吐出時間 (Ts, sec)	吐出量 (g/1 shot)
0.01	0.001
0.05	0.3
0.1	0.79
0.2	1.79
0.3	2.69

本粉体供給装置は、図2に示したタイムチャートにしたがって動作する。金型キャビティの圧力変化をその一番下に示した。閉じた金型へ粉体離型潤滑剤を金型キャビティ内へ効率よく供給するため、設定値のうち粉体供給装置における真空圧力(Pc)、搬送エア時間(Tp)、カットオフ時間(Tc) [搬送エア終了後も引き続き真空に引き続ける時間]を表3のようにそれぞれ変化させ、粉体離型潤滑剤GW-23を用いて、吐出量0.79g/shot(吐出時間0.1sec)における離型力を測定し、この試験金型における粉体供給装置の最適な条件設定を行った。

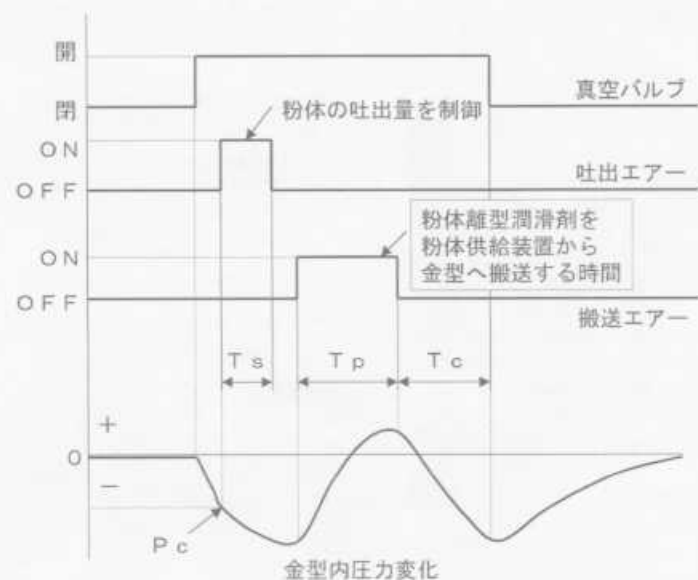


図2 粉体供給装置の動作概要

表3 粉体供給装置の条件

真空圧力 (Pc, mmHg)	-100, -200, -300, -400
搬送エア時間 (Tp, sec)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
カットオフ時間 (Tc, sec)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0

新しく開発した表4に示す成分の粉体離型潤滑剤の性能を離型力で評価するために、真空圧力-300mmHg、搬送エア圧力0.2kPa、搬送エア時間1sec、カットオフ時間2secと固定し、吐出時間を0.01sec, 0.05sec, 0.1sec, 0.2sec, 0.3secとして、粉体の吐出量を変化させ、各種粉体離型潤滑剤の離型力の測定を行った。

表4 粉体離型潤滑剤の成分

試料名	成分 (mass%)						
	水酸化カルシウム	黒鉛	タルク	ワックス	Li石鹼	高温タイプWAX	Zn石鹼
GW-23	0	25	50	25			
OK-4	60	40	0	0			
OK-5	54	36	0	10			
OK-6	57	38	0	5			
OK-7	59	39	0	2			
C		25	50		25		
D		25	50			25	
E		25	50				25
G		75	0				25

3 実験結果と考察

3.1 粉体供給装置の設定値の影響

図3は、粉体離型潤滑剤GW-23を用いて、吐出量を0.79g/shot、搬送圧力0.2kPa、搬送時間1.0sec、カットオフ時間2.0sec、固定し、真空圧力による離型力の変化を示したものである。真空圧力が約-300mmHgで離型力が最小になった。この真空圧力は、粉体離型潤滑剤を金型キャビティに導く流れを引き起こすものであり、圧力が低くなればより多くの粉体離型潤滑剤が金型へ流れ、金型表面に付着する量も増えると考えられる。しかし、減圧度は金型形状、特に流路断面積に大きく依存し、本試験金型では-400mmHgが限界であった。図2に示したように、設定真空圧力に達したのち粉体離型潤滑剤の吐出がはじまるため、限界値-400mmHgでは、金型内の実際の真空圧力は-300mmHgとほとんど変わらないと考えられ、そのため、離型力が低下しなかった。また、設定真空圧力に達するのにも時間がかかるので、真空圧力-300mmHgが最適であると同時に安定して鑄造でき

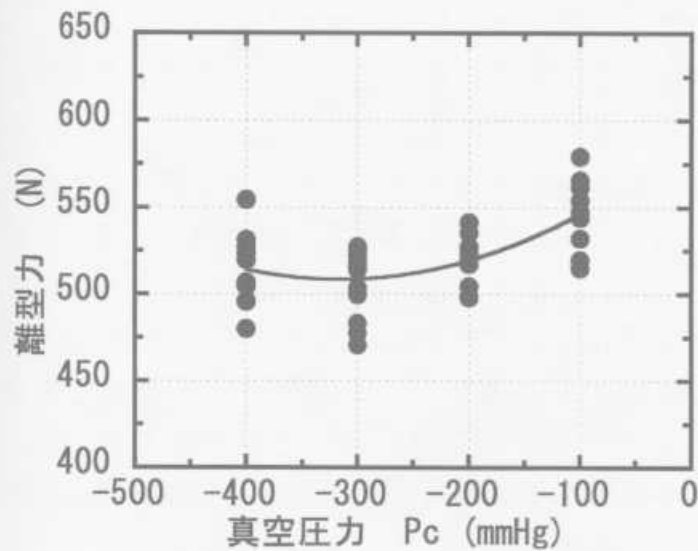


図3 真空圧力と離型力との関係

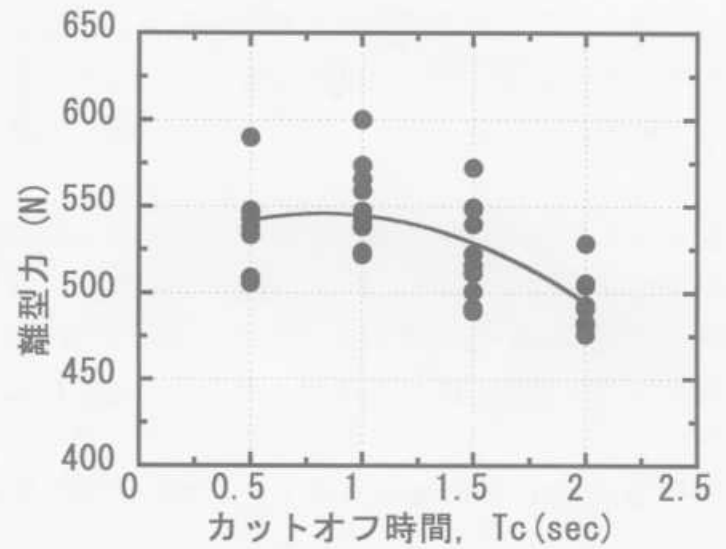


図5 カットオフ時間と離型力との関係

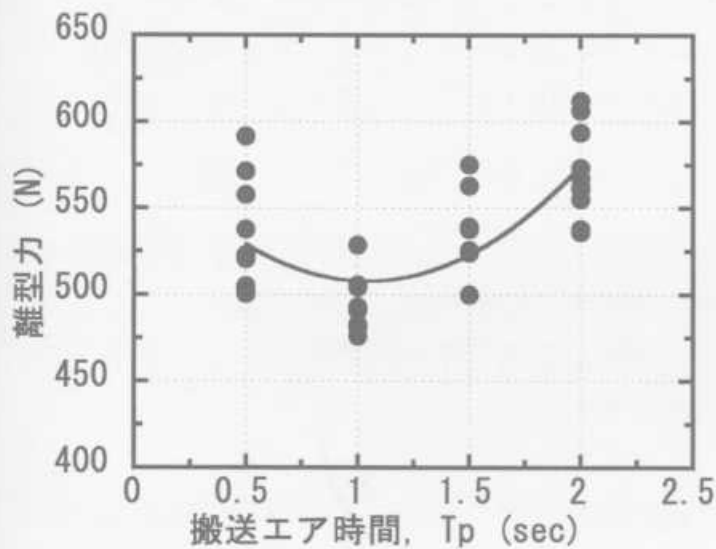


図4 搬送エア時間と離型力との関係

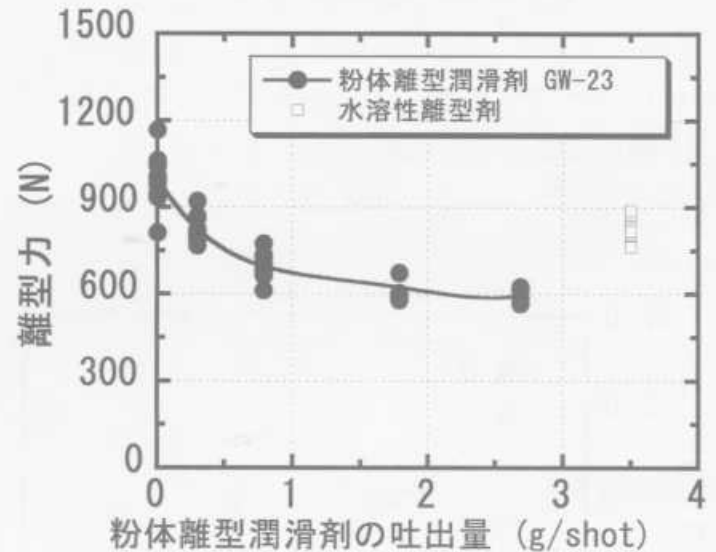


図6 吐出量と離型力との関係

る設定値である。

図4は、搬送エア時間と離型力の関係を示している。その他の設定は、吐出量を0.79g/shot、真空圧力-300mmHg、搬送エア圧力0.2kPa、カットオフ時間2.0secと固定した。搬送エア時間が約1.0secのときの離型力は最低値を示した。搬送エアは、粉体供給装置から粉体ノズルまで粉体離型潤滑剤を搬送に要する時間である。この時間が短いと、経路の途中で粉体離型潤滑剤が留まり、粉体ノズルから勢いよく粉体離型潤滑剤が吐出されないことになる。逆にその時間が長くなると、キャビティー内の減圧度が落ちすぎて、粉体離型潤滑剤が減圧経路から吸い込まれなくなる。そのため、離型力に影響を与えたと考えられる。

図5は、カットオフ時間のみを変化させたときの離型力測定の結果である。カットオフ時間が長いと、離型力も減少する。カットオフ時間中、搬送エア停止後も引き続き真空バルブを開けて減圧を続けている時間であり、この時間を長くすることによりスリーブ内で漂っていた粉体離型潤滑剤を金型キャビティーに送り込むことが可能となる。この時間が短すぎると、金型キャビティー内は搬送エアにより正圧になる。そのた

め、金型キャビティー内への流れが起きにくく、粉体離型潤滑剤の付着量が減少し離型力が高くなると考えられる。以上の結果より本実験で使用した金型形状に適した粉体供給装置の設定は、真空圧力-300mmHg、搬送エア時間1.0sec、カットオフ時間2.0secと設定した。

上記粉体供給装置の条件で、粉体離型潤滑剤の吐出量と離型力の関係を図6示す。●印は、粉体離型潤滑剤GW-23を用いた時の離型力の変化である。比較として水溶性離型剤を□印として示した。粉体離型潤滑剤の吐出量が増加するにしたがい、離型力も低下し、水溶性離型剤と同等の離型力得るには粉体離型潤滑剤を約0.5g/shotが必要であった。また、粉体離型潤滑剤の吐出量を1.8g/shot以上増やしても、離型力はあまり小さくならない。粉体離型潤滑剤の吐出量が多くなると余分な粉体離型潤滑剤の堆積により、製品の外觀が悪くなった。

3.2 新しく開発された粉体離型潤滑剤の離型性能

図7は水酸化カルシウムを主成分とする粉体離型潤滑剤を吐出量0.79g/shotとした離型力の測定結果である。ワックス成分割合の減少とともに離型力が大きく

なっている。離型力の増加により取り出された製品は変形が大きくなり、ワックス成分を全く含まないものでは、離型性が非常に悪く、製品がさらに激しく変形した。

図8は水酸化カルシウムを主成分とする粉体離型潤滑剤 OK タイプのもの、また、GW-23に含まれるワックス成分 (GW-23はポリエチレン) の種類を変え、C はリチウム石鹸、D は高融点ポリエチレン、E は亜鉛石鹸とした粉体離型潤滑剤の離型力を従来品の粉体離型潤滑剤 GW-23の離型力を1として吐出量0.79g/shot における離型力の平均値を比較している。また、G は、E の成分中のタルクを固体潤滑性能が高い黒鉛にすべて置き換えた粉体離型潤滑剤である。OK-5, C, E が従来の粉体離型潤滑剤よりも低い離型力を示した。ワックスの種類による影響はあまり見られなかった。固体潤滑性能が高い黒鉛の量を増やしてもワックスが少なくなると離型力が高くなった。したがって

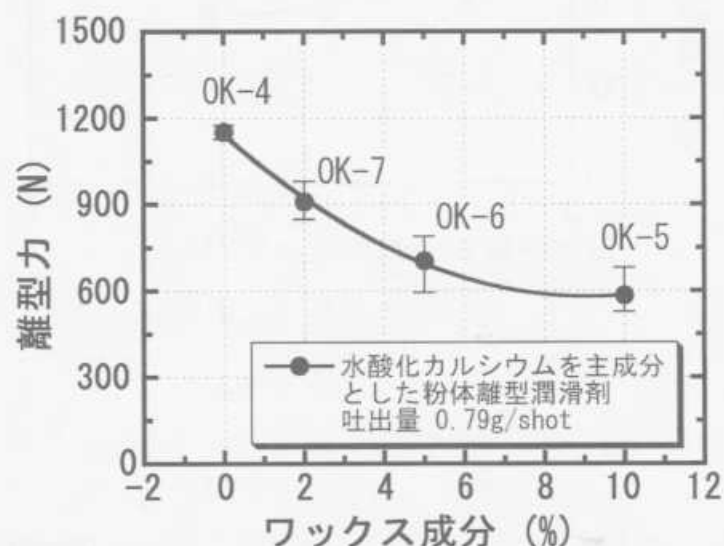


図7 水酸化カルシウムを主成分とした粉体離型潤滑剤のワックス量と離型力との関係

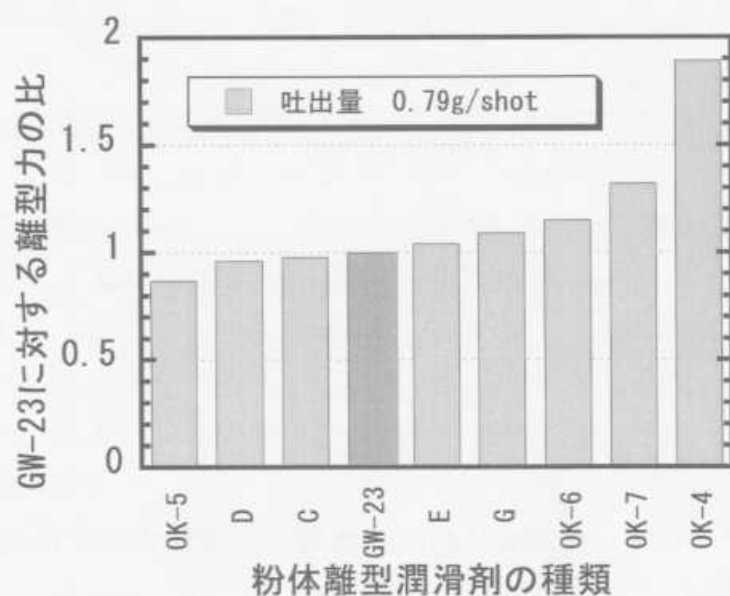


図8 開発された粉体離型潤滑剤の離型力と従来の粉体離型潤滑剤との比較

離型性にはワックス量が影響すると考えられる。OK-5では、従来品よりもワックスの量を減少させたにもかかわらず、離型性が良くなった。

離型性能評価の課題として離型力を絶対値として正確に表せない。同じ粉体離型潤滑剤 GW-23の離型力でも実験日によって絶対値が異なる。したがって、図8のようにそれぞれ実験において参照値としてGW-23の離型力を計測し、GW-23に対する離型力の比として評価し、離型性能の評価とした。この原因として、押出プレートの中に設置された荷重変換器と押出ピンとの接触の具合、特に金型交換などによるねじの締め直しにより、その接触具合が若干変化していると考えられる。また、押出ピンを介して離型力を計測しているため、金型の温度変化により金型と押出ピンとの摩擦力が変化する影響も考えられる。

4 結 言

ダイキャストマシンに粉体供給装置を組み込み、粉体供給装置の設定値による影響を調べるとともに、開発した粉体離型潤滑剤の離型力について評価をし、つぎの結果を得た。

- (1) 粉体供給装置の設定値として真空圧力、搬送エア時間、カットオフ時間の3つが粉体離型潤滑剤の付着量すなわち離型力に影響を与え、金型形状により粉体供給装置の最適な設定値がある。
- (2) 離型力を計測することによって、金型形状に最適な設定値を見つけだすことができる。
- (3) 粉体離型潤滑剤 GW-23の場合、吐出量が0.5g/shot のとき水溶性離型剤と同じ離型力となった。
- (4) 粉体離型潤滑剤の吐出量を変化させ、開発した粉体離型潤滑剤の離型性能について評価し、OK-5は従来品であるGW23よりも良好な離型性能を示すことがわかった。

この研究は、NEDO 地域コンソーシアム研究開発事業の中で行ったものである。

終わりに、実験にご協力いただいた(財)中国技術振興センター 潘博士、岡山県工業技術センター 吉松博士、花野商事 五本上氏に深く感謝します。

文 献

- 1) 藤井, 府山, 田谷, 藤本: 広島県立西部工技センター報告, 42 (1999), 25
- 2) ダイキャストの離型に関する調査研究: 素形材センター, 研究調査報告531 (1999-2)
- 3) 西, 佐々木, 平原, 高橋: 鋳物, 60 (1988), 777
- 4) 西, 神: 鋳造工学, 70 (1998), 648

マイクロセンサ開発のための加工技術の研究 (第4報) センシング機能を有するマイクロ構造体の試作

繩雅典生, 問山清和

Study on Micromachining for Developing Micro Sensor (4th Report) Fabrication of Microstructures for Sensing

NAWACHI Norio and TOIYAMA Kiyokazu

Fabrication technique of microstructures for the purpose of sensing is presented. The microstructure is a silicon micromachined gyroscope (angular rate sensor). The gyroscope is driven by electromagnetic forces and detects the Coriolis force by electromotive voltage. Anisotropic etching of silicon has been used in the main fabrication. The etching characteristic of glass and sputtered conditions of Chromium using the electrode are investigated. As main results, by means of applying the technique, the microstructure that was equal to the design was obtained.

キーワード：微細加工, フォトリソグラフィ, エッチング, マイクロマシン

1 緒 言

シリコンマイクロマシニング技術は、材料がシリコンであるため集積化がしやすい、大量生産が可能といった利点を有し、センサやアクチュエータの小型化に適した技術として、最近注目されている¹⁾。これまでにシリコン微細加工に必要な基礎加工技術（フォトリソグラフィ技術、エッチング技術）の確立²⁾をはじめとして、昨年度は、一連のプロセスを通して、構造体を作製した際、生じる問題点等の抽出を図った³⁾。

そこで本研究では、センシング機能を有するマイクロ構造体を設計、電極形成、ガラスのエッチングといった新たな要素技術の適正条件を見いだすとともに構造体作製を試みた。

2 センサの構造

試作する構造体を図1に示す。図1は、コリオリ力を利用して物体の角速度を検出する振動型角速度センサである。振動子がある特定の周波数（共振周波数）で振動させ（駆動振動）、その状態で角速度が印加されると、コリオリ力により駆動方向と直角方向に振動子が振動する（検出振動）。その振動を電気信号に変換することで、角速度センサとして機能させるものである。ここで、振動子の駆動には電磁力を、検出には誘導起電力を利用している。振動子のサイズは、 3×3 mm, 振動子と支持部をつなぐ梁の幅は、 $30 \mu\text{m}$ である。電極・配線は、駆動用をシリコン構造体の表側に、検出用を裏側に形成してある。シリコン構造体の

下部には、台座となるガラス基板、そのさらに下には、磁石を接着し、シリコン-ガラス-磁石の3層構造になっている。このセンサの特徴は、①凹凸のないシンプルな形状、②ウェットエッチング技術のみで作製可能、さらに SOI (Silicon on Insulator) 基板のような特殊（高価）な基板を必要とせず、通常のシリコン基板を使用していることから、低コストで作製できることも利点といえる。

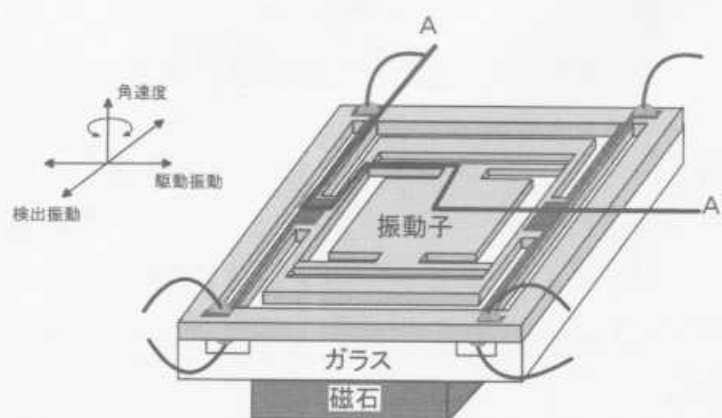


図1 振動型角速度センサの構造

3 センサプロセス

センサプロセスは、シリコンプロセス（振動子、梁、電極・配線等を形成）とガラスプロセス（シリコン構造体の台座となるガラスの加工）に分類される。シリコンの基本的な加工（フォトリソグラフィ技術、エッチング技術）の条件については、これまで報告してきている。したがって、ここでは電極・配線に利用

したCr膜の形成およびガラスエッチングに関して述べる。

3.1 Cr膜の形成

Cr膜は、シリコン構造体から信号を取り出す電極・配線の役割を果たす。そこで、Cr膜の成膜条件およびパターニングの検討を行った。成膜には、スパッタ法を用いた。成膜条件を表1に、プロセス圧力をパラメータとした時のRF出力と成膜速度の関係を図2に示す。

表1 Cr膜の成膜条件

到達真空度 (Pa)	5.3×10^{-4} 以下
Ar 流量 (sccm)	10
Ar 圧力 (Pa)	2.7, 2.7×10^{-1}
RF 出力 (W)	100, 200, 300
プレスパッタ	5分以上

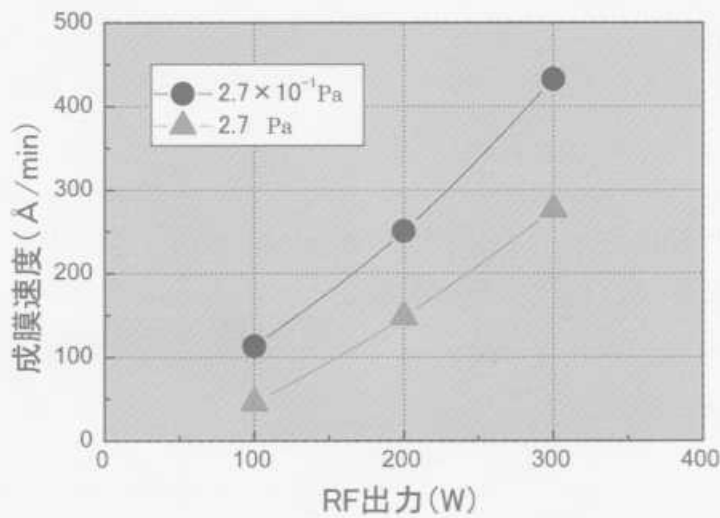


図2 RF出力と成膜速度の関係

図2からRF出力が高いほど成膜速度は速く、プロセス圧力が低いほど成膜速度が速くなるという結果が得られた。以上の結果から、Cr成膜には、Ar圧力： 2.7×10^{-1} Pa, RF出力：200W, Ar流量：10sccmの条件を採用した。

前述の条件で成膜したCr膜を試料として、パターニングを行った。エッチング液には、硝酸第2セリウムアンモニウム+過塩素酸+水の混合液を用いた。その結果、サイドエッチング量も少なく、原図にほぼ忠実なパターンを形成することができ、Cr膜のパターニング条件を見いだすことができた。

3.2 ガラスエッチング

シリコン構造体を支えるガラス基板には、シリコン振動子を動作させるためギャップ(約50 μ m)形成が必要となる。その加工にはウェットエッチング技術を適用する。その際使用するマスク材の適正について検討

した。ガラス基板には、厚さ約1mmのバイレックスガラス(コーニング#7740)を、エッチング液には、バッファードフッ酸を使用した。ガラスエッチング工程の概略を図3に示す。

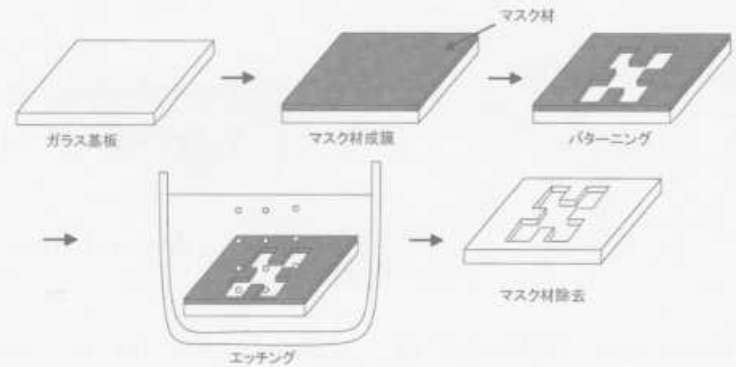
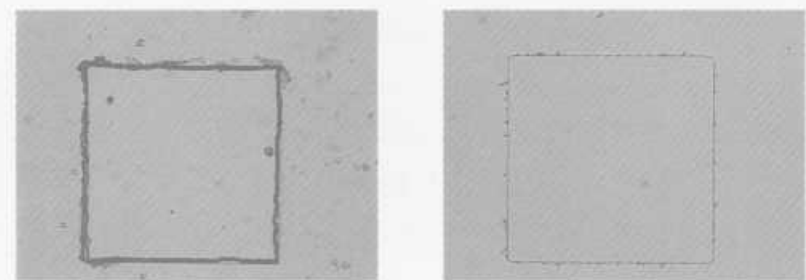


図3 ガラスエッチングの処理工程

エッチングのマスク材には、Ni, Ag/Ni, Au/Ni, Cr膜の4種類を適用した。Ni, Cr膜はスパッタ法で、その他の材料は蒸着により成膜した。各々のマスク材を用いて、エッチングした後、性能を評価した結果を表2に、またAu/Ni, Cr膜については、エッチング形状を写真1に示す。

表2 マスク材の性能評価

マスク材	パターンの切れ	保護性能	備考
Ni	×	×	マスク材が溶けてなくなる
Ag/Ni	△	×	マスク面にエッチピットが目立つ
Au/Ni	△	○	サイドエッチングが目立つ パターン切れが良くない
Cr	○	○	パターン切れ, マスクの耐性とも良好



(a)マスク材：Au/Ni (b)マスク材：Cr

写真1 ガラスエッチング後の顕微鏡写真

Niをベースにしたマスク材は、いずれもエッチピット、サイドエッチングが認められた。これは、Ni

がフッ酸に対し、耐性が低いことが原因と考えられる。一方、Cr膜は、ガラスとの密着性が良好¹⁾なこともあり、4種類の中でサイドエッチング量は最も少なかった。またフッ酸に対しても強い耐食性を示した。このことから、ガラスとの密着性が良く、かつフッ酸に対する耐食性に優れているCr膜は、ガラスエッチングのマスク材として適しているといえる。

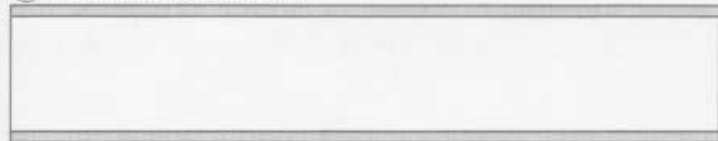
3.3 試 作

試料は、厚さ約200 μm 、面方位(100)のシリコン基板を20mm角にカットして使用した。図4にシリコンプロセスの概略(図1A-A'断面)を示す。プロ

①Si Wafer (100) $t \approx 200 \mu\text{m}$



②Thermal Oxidation



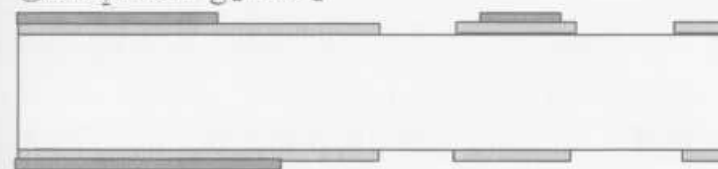
③. Cr Sputtering [2000 Å] × Double Side



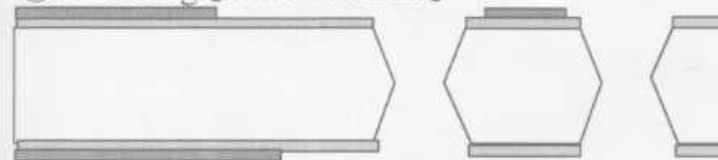
④Cr Etching [Ce(NH4)2(NO3)6+HClO4+H2O]



⑤SiO2 Etching [BHF]



⑥Si Etching [25wt%TMAH]



□ Si ■ Cr
■ SiO2

図4 シリコンプロセスの概略

セスは、まず電極・配線用途としたCr膜を形成(③、④)する。次いで、シリコンエッチングの際、マスク材となるシリコン酸化膜(SiO₂膜)をパターニングし(⑤)、最後にアルカリ水溶液(25wt%

TMAH:水酸化テトラメチルアンモニウム)により、表裏からシリコンを同時にエッチングして形状を完成させる(⑥)。シリコンの形状加工には、ウェットエッチング技術の適用、あわせて厚さ約200 μm のシリコンを両面から同時にエッチングする方法を取り入れている。これにより、作製コストの低減、プロセスの単純化を実現することができた。

一連のプロセスを通して試作した結果を写真2に示す。写真2から振動子の四隅に、コーナの型くずれを防ぐための補償パターン²⁾が若干残っているものの、梁などその他の構造体については損傷なく形成することができた。また、配線材料のCr膜に関して、一部剥離が認められた。これは、Cr膜内の残留応力が原因と考えられる。この点については、今後密着性等を含めた検討・評価が必要といえる。

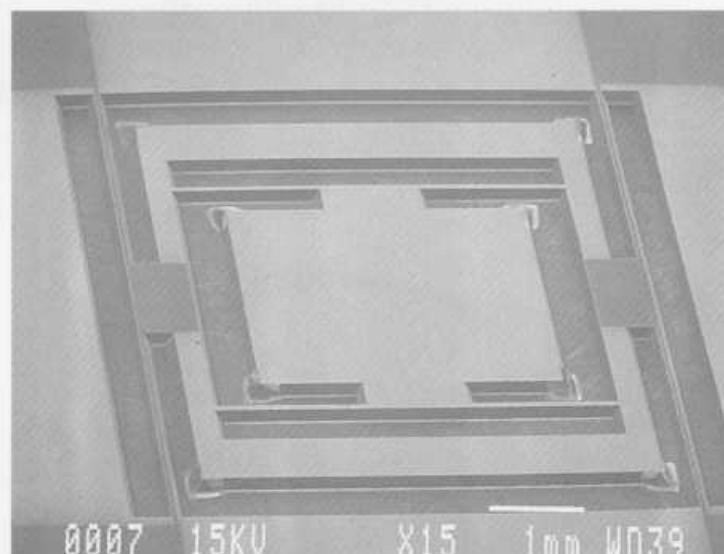


写真2 シリコン構造体の SEM 写真

3.4 電気的特性評価

作製した構造体の電気的特性評価を試みた。図5に評価回路図を示す。駆動電極に周波数5Hz~500MHzの信号を入力し、もう一方の電極に発生する誘導起電力を測定した。この時の振幅、位相の変化から、構造体の共振周波数を求めた。測定には、ネットワークアナライザを使用した。その結果、測定範囲内では、明

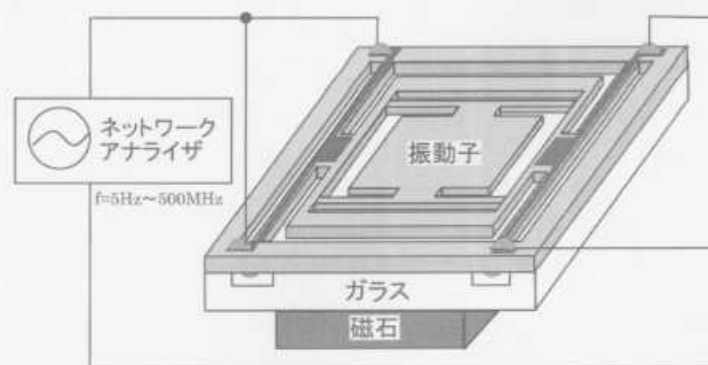


図5 振動特性評価回路

確な振幅を確認することができず共振周波数を特定することはできなかった。

4 考 察

今回作製した構造体では、振動特性を評価することができなかった。このことについて、共振周波数を算出する式を用いて考察する。ここで、梁は振動に対し単純にたわむと仮定する。梁に力 F が加わると、梁の支持部から距離 x のモーメント M は、

$$M = \frac{F}{2} \left(\frac{L}{4} - x \right) \dots\dots\dots(1)$$

たわみ量を δ 、梁の長さを L とすると、

$$\delta = \frac{FL^3}{192EI} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 E はヤング率、 I は断面二次モーメントである。断面二次モーメントは、梁の断面形状で決まり、図5に示すような長方形断面の場合、梁の幅 w 、高さ h から、

$$I = \frac{hw^3}{12} \dots\dots\dots(3)$$

バネ定数 k は、式(2)、(3)より、

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{16Ehw^3}{L^3} \dots\dots\dots(4)$$

したがって、共振周波数 f は、構造体の質量を m とすると、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{16Ehw^3}{mL^3}} \dots\dots\dots(5)$$

と表される。式(5)から共振周波数は梁の形状に大きく左右されることがわかる。梁の長さが長いほど、また梁の幅が狭いほど共振周波数値は低くなる。このことから、今回共振振幅が確認できなかった原因は、梁の形状設計が不適切だったと説明できる。したがって、構造体を振動させるためには、振動解析を取り入れた梁形状の最適化が必要といえる。

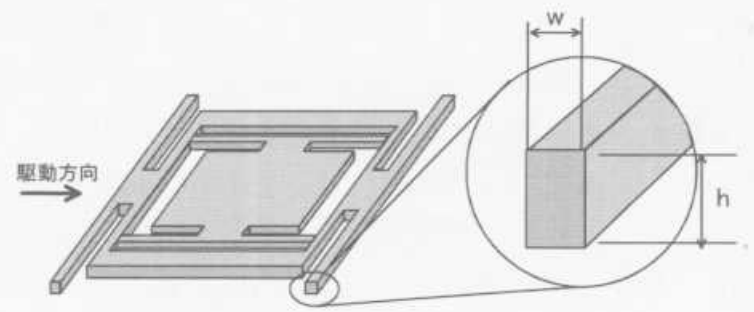


図6 梁の断面形状

5 結 言

フォトリソグラフィ技術、エッチング技術、薄膜形成技術といった諸技術を駆使し、センシング機能を有するマイクロ構造体の作製を試みた。その結果、以下の諸点が得られた。

- (1) 簡単なプロセスで作製できる振動型角速度センサを考案した。
- (2) スパッタによる Cr の成膜では、RF 出力が高く、圧力が低いほど、成膜速度が速くなることがわかった。
- (3) ガラスエッチングのマスク材には、ガラスとの密着性、フッ酸への耐食性に優れている Cr 膜が適していることがわかった。

今回の研究で得られた知見を生かし、今後は、センサやアクチュエータといったデバイス開発に取り組んでいく予定である。

なお、本研究は中小企業庁地域活性化連携促進事業費補助金技術開発研究事業により実施した。

文 献

- 1) 崔 在溶, 南 和幸, 江刺正喜: 電気学会論文誌 E, 118 (1998) 12, 641
- 2) 繩稚典生, 問山清和: 広島県西部工技研究報告, No41 (1998), 9
- 3) 繩稚典生, 問山清和: 広島県西部工技研究報告, No42 (1999), 44
- 4) Y. Nemirovsky, I. A. Blech, and J. Yahalom: J. Electrochem. Soc, 125 (1978) 7, 1177

マグネシウム合金複合材料のチクソ成形技術の開発

府山伸行, 藤井敏男, 土取 功

Development of Magnesium Alloy Composites by Thixocast Process

FUYAMA Nobuyuki, FUJII Toshio, and TSUCHITORI Isao

In the paper, the fabrication processes of magnesium alloy composites reinforced with aluminum borate whiskers using thixomolding method were investigated. The pellets were made from chipping the billets that mixed the whisker into a stirred melting magnesium alloy. In case of pellets that were including whiskers of 5% volume fraction, it is possible to form by thixomolding method and the whiskers disperse well in the matrix. But it is impossible to mold because viscosity of molten metal including whiskers of 10% volume fraction is very high. Then, the billets were extruded at 390°C, extrusion rate 25, extrusion speed 15mm/min for the purpose of investigating the mechanical properties and interfacial reactions. The proof strength, elastic modulus and tensile strength at elevated temperature are grown with increasing the reinforcements. The reaction between the whiskers and Mg was saturated after the reaction layer reached a constant thickness.

キーワード: $Al_{18}B_4O_{33}$ ウィスカ, マグネシウム合金, 複合材料, コンポキャスト, 半熔融成形

1 緒 言

マグネシウム (以下, Mg) 基複合材料は, 最も低比重の実用合金をベースとするため, 高比強度が期待される材料である。しかし, 複合材料は開発・生産コスト, 信頼性等の問題点から, その利用が進んでおらず, 中でも Mg は熔融状態で非常に活性なため, その特性を踏まえた製造プロセスが必要である^{1),2)}。

Mg 基複合材料の製造プロセスは, 高圧鋳造法, 攪拌法などがあるが, 近年樹脂とほぼ同様な手法で Mg 合金を射出成形するチクソモールディング (以下, TM) 法³⁾ を利用したプロセス^{4),5)} が提案された。TM 法では強化材の複合化方法が問題となるが, ニアネット複合材料部品を生産する成形方法として非常に有望である。

その複合化方法としては, ①強化材を原料ペレットと一緒にホッパーへ投入する方法, ②予め強化材を複合化したビレットを作製してチップ加工し, 原料となる複合材料ペレットを使用する方法が考えられる。しかし, これまでに分散性, 反応性, コスト等の観点から最適な方法が検証されているとは言い難い。本研究では②の方法を利用し, 溶湯攪拌法で複合材料ビレットを作製後, チップ加工して得られた複合材料ペレットを用いて TM 法で複合材料部品を試作し, その分散性・成形性を検討した。また, 複合材料ビレットの一部は, 攪拌法で複合化後に熱間押し

を施し, 常温および高温強度特性を把握すると共に, 透過型電子顕微鏡により界面反応特性を評価し, 最適な製造条件を検討した。

2 実験方法

2.1 溶湯攪拌法による複合材料ビレットの製造

図1に実験のフローチャートを示す。Mg 合金は ASTM 規格の AZ91D, 強化材には四国化成(株)製ホウ酸アルミニウムウィスカ M20 (以下, $Al_{18}B_4O_{33}w$) を用いた。

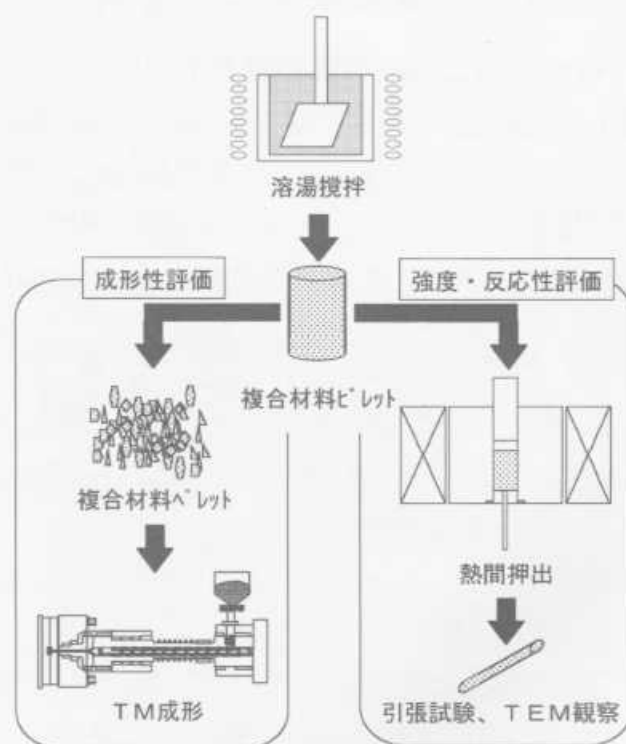


図1 実験のフローチャート

複合材料ペレットは、溶湯攪拌法により作製した。まず、鉄製のつぼ中に予め強化材（5, 10vol%）を下部に、AZ91D インゴットを上部に配置し、Ar ガス雰囲気中で溶湯温度630℃、攪拌速度500rpm、攪拌時間10min の条件下で複合化した後、つぼごと水冷して複合材料ペレットを得た。なお、5 vol%では攪拌時間を10, 60min に変化させ、強化材の反応性を評価した。

2.2 複合材料ペレットを用いた TM 成形

複合材料ペレットをチップング加工し、TM 法の原料となる複合材料ペレットを作製した。なお、複合材料ペレットの粒径は平均2.2mm に仕上げた。

次に、TM マシン（株日本製鋼所製、型締め力75ton）で小型ピストン形状の部品（約20g）を試作し、この複合材料ペレットの成形性、分散性を評価した。射出条件は、金型温度200℃、保圧力10MPa、シリンダ温度600℃、射出速度0.5m/sec である。

2.3 複合材料の熱間押し出しと強度特性評価

複合材料ペレットの材料特性を調査するため、溶湯攪拌法で複合化したペレットを押し出し比25（φ40→φ8）、コンテナ温度390℃、ダイス温度300℃、押し出し速度15mm/sec の条件で熱間押し出しを施し、空孔の減少および消失を図った。

この押し出し材から引張試験片（平行部直径4mm、平行部長さ10mm）を加工し、試験速度0.5mm/sec で室温から350℃までの強度特性を評価した。また、透過型電子顕微鏡（以下、TEM）およびエネルギー分散型 X 線分析装置（以下、EDS）を用いて、各種攪拌条件下における強化材の界面反応特性を検討した。

3 実験結果および考察

3.1 複合材料ペレットの組織とチップング特性

写真1に攪拌法により作製した10vol%複合材料ペレットの組織を示す。5 vol%および10vol%の複合材料とも強化材はマトリックス中にほぼ均一分散しているが、部分的にウイスカの凝集体や、小さな空孔が観

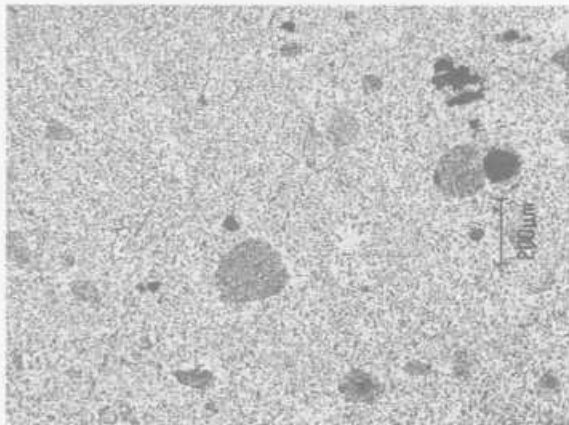


写真1 10vol%複合材料ペレットの組織

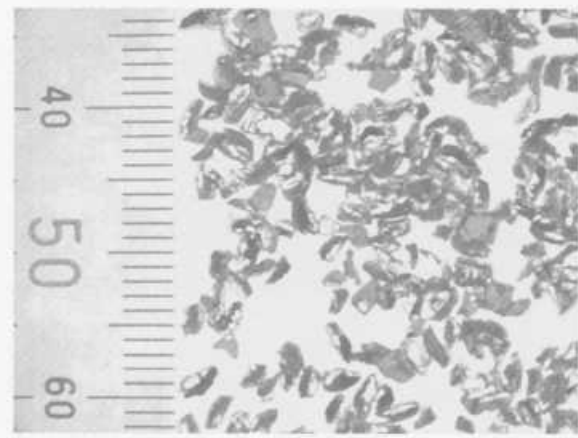


写真2 5.0vol%複合材料ペレットの外観

察された。また、これらウイスカの凝集は攪拌時間を長くしても組織の変化は少なかった。

次に、このペレットを写真2に示す TM マシン用複合材料ペレットにチップング加工した。使用するペレットの粒径は平均2.2mm で、1.0mm 以下、3.0mm 以上を規定外としたところ歩留まりは約50%であった。なお、バイトの損傷度合いは、母材と比べ非常に高かった。

3.2 複合材料ペレットの TM 成形

加工した複合材料ペレットを用いて、TM 法での成形性を評価した。5 vol%複合材料ペレットを使用した場合は、写真3に示すように強化材が均一分散した組織が得られた。ペレット時と同様に小さな空孔がみられるが、これは金型のゲート方案、鑄造条件の調整により解消できると思われる。

一方、10vol%複合材料ペレットを原料として成形

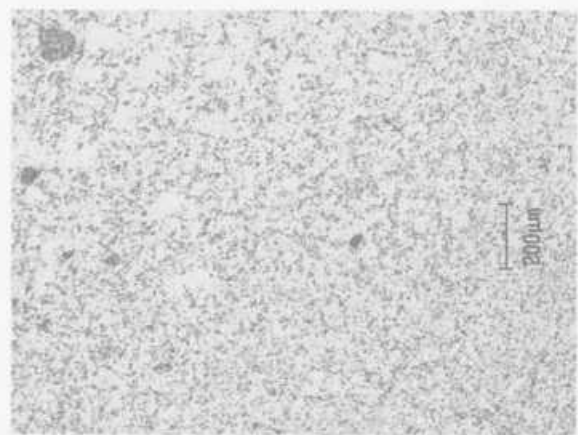


写真3 TM 成形品の組織（5 vol%複合材料）

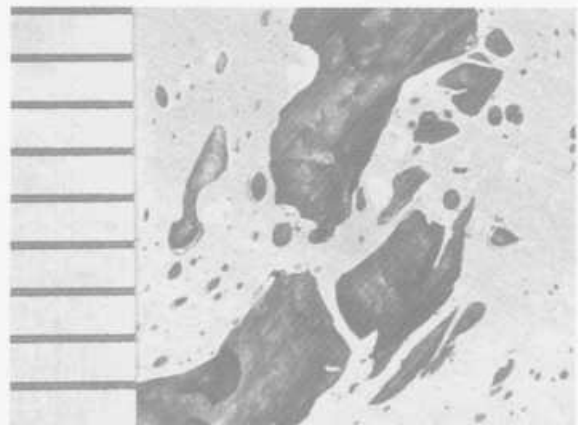


写真4 TM 成形品の断面（10vol%複合材料）

した場合は、スクリーによる鑄込み重量の計量が不安定になり、成形品断面に**写真4**に示すような充填不良による大きな鑄造欠陥がみられた。

これは、シリンダ内の複合材料スラリー流動性が、母材のみの場合と比較して低下したことが原因の一つと考えられる。そこで、射出シリンダのノズル先端から複合材料スラリーの排出状態を確認した。通常Mgスラリーは水のように流動性が良いが、複合材料の場合、**写真5**に示したように非常に粘性が高い排出物がノズル先端から吐出していた。

また、10vol%複合材料ペレットを使用した試験終了後のシリンダを分解すると、内部に固着物が残留していた。その固着物の組織は**写真6**に示すように強化材が堆積したもので、ビッカース硬度もHV300と硬い。

このように高体積率の複合材料スラリーでは、流動性の低下や、シリンダ内のクリアランスの小さい部分に強化材が残留するために、計量不良による充填不良や、保圧不足による鑄造欠陥が発生すると考えられる。よって、現状のマシン構造・能力では、強化材の配合率は5 vol%程度が限界と思われる。

そこで、複合材料スラリーは5 vol%が最適であることから、高体積率の複合材料ペレットと母材ペレットをホッパー内でブレンドし、シリンダ内で所定の強化材体積率に低下させて成形可能であるか検討した。15vol%複合材料ペレットを用い、希釈後の強化材体



写真5 10vol%複合材料スラリー排出物の外観

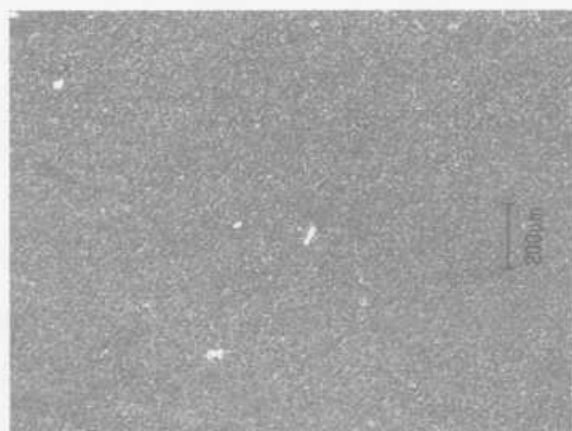


写真6 シリンダ固着物の組織（10vol%複合材料）

積率が5 vol%を目標に母材ペレットを配合して成形を行った。複合材料、母材の両ペレットは加熱状態が不均一なため、**写真7**に示すような複合材料ペレット形状を残したウイスカの凝集体が一部にみられた。しかし、大半はシリンダ内部で母材ペレットとよく混合し、所望の強化材体積率に均一分散していた。なお、シリンダ内での滞留時間が長ければ、両ペレットは均一に加熱され、この問題が解決すると思われる。このように、予め高体積率の複合材料ペレットを作製し、成形時に母材ペレットで希釈して成形することが可能である。

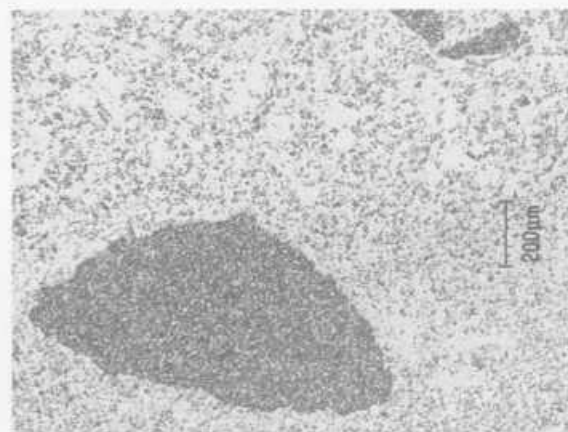


写真7 5 vol%複合材料希釈スラリー成形品の組織

3.3 熱間押しを施した複合材料の特性評価

写真8に5 vol%複合材料ペレットに押し出しを施した丸棒縦断面の組織を示す。複合材料ペレットでは**写真1**のようにウイスカがランダムに分散した組織であるが、押し出し加工を施すと、ウイスカは押し出し方向に配列して組織的異方性が見られるようになる。また、空孔が減少する一方で、強化材凝集体が押し出し方向に伸びて配列した部分もみられた。いずれにしても空孔が減少するなど、複合材料の強度向上に対する押し出し効果の寄与はかなり大きいと思われる。

図2に押し出し材の室温引張特性を示す。母材（0 vol%）も強化材を配合せずに同条件の攪拌を行い、材料履歴を一定とした。複合材料は母材と比較して伸びは低下したが、複合材料のヤング率、耐力は強化材

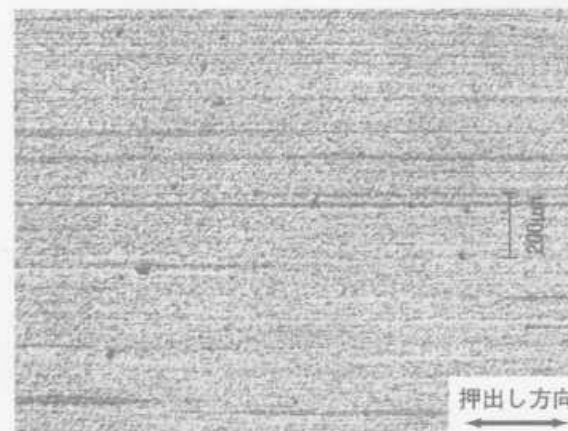


写真8 押し出し材の組織（5 vol%複合材料）

配合率に従って向上した。一方、引張強度はほとんど向上しなかった。これは、写真8にみられた強化材凝集体などの材料欠陥が破壊の原因と考えられる。このように、TM法での成形可能であった体積率5 vol%の配合率でも一定の複合効果が得られた。

図3に押し出し材の高温引張特性を示す。引張強度は

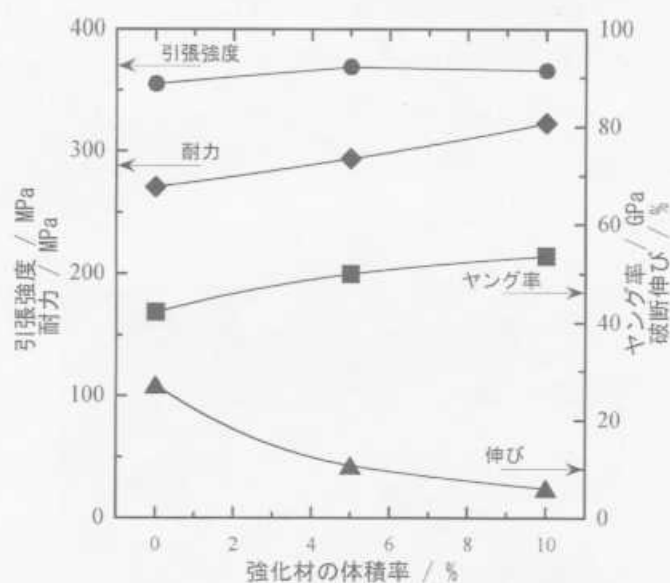


図2 押し出し材の室温引張特性

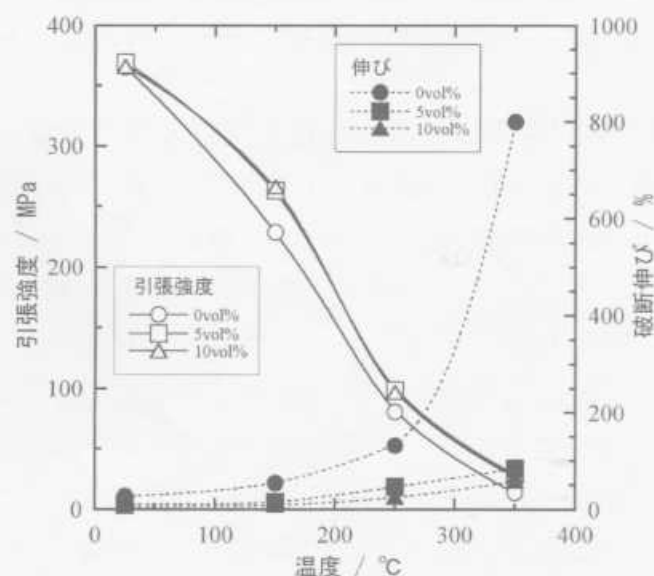


図3 押し出し材の高温引張特性

室温でほとんど差はなかったが、高温では複合化の効果が現れた。また、伸びは母材と比べ著しく低下しており、高温クリープを改善すると考える。

次に、攪拌時間の異なる(10, 60min) 5 vol%複合材料を用いて強化材とマトリックスの界面反応特性をTEMにより評価した。写真9に示すように10min攪拌した時には数十nm程度の界面反応層が形成されており、EDSの分析結果から、スピネル(MgAl₂O₄)であることが分かった。この反応生成物は主にウイスカの分解によって生じたAl₂O₃とマトリックス中のMgが作用して生成されることが考えられる。また、攪拌時間を60minに変化させても反応層の厚さに大きな変化はなかった。なお、本研究で用いた攪拌法以外の作製方

法でも同様な反応層形成の報告⁶⁾がされている。このように、Mg合金中の強化材の反応(ウイスカの劣化)はある程度進行すれば抑えられることから、攪拌条件は主に強化材の凝集、分散性を考慮して最適化することが重要である。

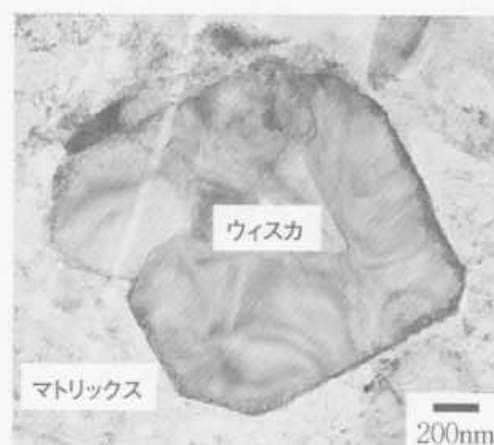


写真9 5 vol%複合材料のTEM写真(攪拌時間10min)

4 結 言

Mg合金部品の製造方法の一つであるTM法を利用した、ニアネット複合材料部品の成形プロセスを提案し、成形性、強度特性を評価した結果、以下の結論を得た。

- (1) Al₁₈B₄O₃₅wで強化したAZ91D合金基複合材料ビレットを複合材料ペレットに加工して、TM法で成形した。その結果、5 vol%の強化材は均一に分散し成形性も良かったが、10vol%ではノズル付近に強化材が滞留し、安定した成形が困難であった。
- (2) 複合材料ペレットと母材ペレットをホッパー内でブレンドした場合も、シリンダ内で強化材が均一に分散させることができる。
- (3) 複合材料ビレットを熱間押し出した場合、引張強度は大きく向上しなかったが、ヤング率、耐力、および高温引張強度は向上した。
- (4) ウイスカとMgとの反応層は、数十nm程度で攪拌時間により増加しない。

終わりに、ご協力いただいた広島大学、アルミトレイ開発協同組合、(株)日本製鋼所および広島県産業科学技術研究所他関係者に深く感謝します。

文 献

- 1) 菅沼：マテリアルインテグレーション, vol.12 (1999), 23
- 2) 金武：Journal of the JSTP, vol. 40 (1999-9), 837
- 3) 北村他：日本製鋼所技報, No.51 (1995.4), 1
- 4) 山口他：軽金属学会講演概要集, (1996), 5
- 5) 山口他：軽金属学会講演概要集, (1999), 127
- 6) 佐々木他：日本金属学会春季大会概要, (1998), 20

素形材加工のインテリジェント化に関する研究 (第5報) 光造形モデルの射出成形金型への応用

門 格史, 下原伊智朗, 畑 徳宣, 森下勇樹

Study on Intellectualization of Material Processing (5th Report) Application of Rapid Prototyping to Injection Molding

KADO Tadashi, SHIMOHARA Ichiro, HATA Noriyoshi and MORISHITA Yuki

It is currently noted RP's application (RP; Rapid Prototyping). RP is effective to fabricate various molding dies. ① Development period is short. ② It is easy to use of making 3D model. The resin molding die made of RP's model is applied to injection mold. The following results were obtain.

- (1) The resin mold die was able to use more than one hundred shots.
- (2) It is effective to use of making 3D model.
- (3) The resin mold die expands between 0.2 and 0.6 percent, making by using RP's model. It is necessary to use scaling in order to make a precious model.

キーワード：光造形，射出成形金型，メタルレジン複合材

1 緒 言

現在，RP（ラピッドプロトタイプング）を利用した型作りが注目されている。RPを利用した型作りの利点は①開発期間の短縮②3次元形状の作成が容易などがあげられる。

一般に報告されているものとしては，精密鑄造，鑄造砂型，射出成形用金型，真空注型などがある¹⁾。

平成8年1月に導入して以来，当センターでは光造形を利用した型技術について研究を行ってきた^{2,3)}。それについて図1に示す。

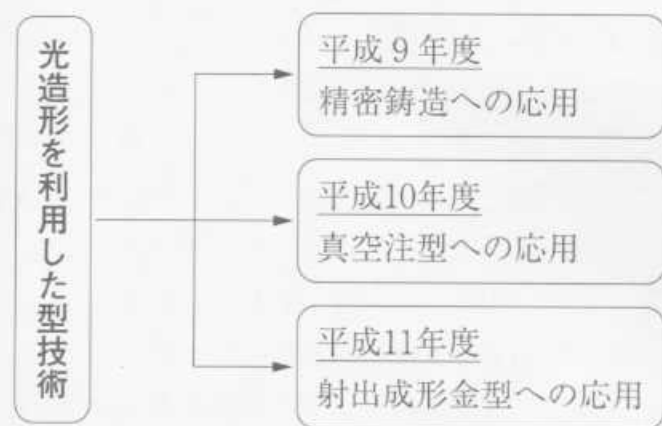


図1 光造形を利用した型技術への取組

現在，RPを利用した射出成形金型の作製に関しては，光造形直接法（ウレタン樹脂），光造形直接法（ガラスフィラ入り），金属粉末焼結法等で行われており，これらの方法で作成した，RPモデルは直接，

射出成形金型に組み込んで利用している。

しかし，その方法を用いると，①金型専用の機器となってしまう，他への応用がしにくい②作成可能な装置が限定される。③光造形に関しては，樹脂が高価であるため，金型専用樹脂に交換することが難しいといった問題が生じる。

また，現在使用している樹脂は耐熱温度が低いいため，熱のかかる部品には使用できない等の問題も抱えている。

これらの問題を解決するため，光造形モデルを金型用樹脂などに置き換えて，より光造形の利用した型作りの応用範囲を広げていくことが必要である。

そこで本年度は光造形モデルを金型用樹脂（メタルレジン複合材料）に置き換えることによって射出成形金型への応用に関する研究を行う。

2 実験方法

2.1 メタルレジン複合材

メタルレジン複合材には以下のような利点があげられる⁴⁾。

- ①ラピッドプロトタイプング装置と同様であるが，切削加工でしにくい複雑形状（三次元形状）についても，マスターモデルがあれば簡単に作製できる。
- ②注型の際に加熱の必要がない。
- ③ZAS，低融点合金を利用するための型作製に時間がかかる。

表1 メタルレジジン複合材の特性

品名	クインネート MEZ200 (チバ・スペシャルティ・ケミカルズ製)
混合比 (主剤/硬化剤)	100/6.8
硬化時間	1次硬化 25℃×12H+60℃×3H 2次硬化 150℃×6H
圧縮強さ(kgf/cm ²)	2600
曲げ強さ(kgf/cm ²)	1200
引張強さ(kgf/cm ²)	670

④アルミ粉末の粒子が小さいため、転写性がよい。光造形モデルの表面は表面粗さ(平面に限る)約 Ra=0.2~0.3μm 程度であるため、製品形状にもこの面を使用することはメリットがある。

これらの理由によりメタルレジジン複合材を用いた。

メタルレジジン複合材の特性については表1の通りである。

2.2 実験条件

この研究を実施するに当たり光造形モデルを利用した射出成形型の作成方法(実験工程)を図2に示す。



図2 実験行程

①, ②については昨年まで行った研究と同じ方法である。射出成形金型に必要なスプールブシュ, エジェクトピン穴については設計にて付加している。

③, ④については, 光造形で製品(マスターモデル)を作製して型を取る方法もあったが, 光造形特有の段差などの影響によりメタルレジジン複合材で作製した型(以後メタルレジジン型と呼ぶ)から光造形モデルの脱型が容易でないことと, 昨年まで研究を行ってきた型技術を応用するという観点も含めて反転型(シリコンゴム型)を用いて行った。

シリコンゴムを用いる利点は軟質材であるので光造形, メタルレジジン複合材の脱型が容易である。(しかし, この方法を用いると, 一工程増加するため作製時間がかかる。)

表2 実験装置, 材料

光造形装置名	SLA500/30 3D システムズ製
光硬化樹脂	SL5180 チバガイギー製
真空注型装置名	8032-24型 蛇の目電機製
シリコンゴム	TPA55 東レ製

また, 光造形モデル作製, 反転型作製についての実験装置, 材料については表2によるものを用いて実験を行った。

また, 射出成形用金型については, 前述のとおりメタルレジジン複合材を用いた。

3 実験結果と考察

3.1 メタルレジジン型作製時における注意事項

メタルレジジン複合材は主剤と硬化剤100:6.8の割合で混合し, よく混合した後, 真空脱泡を行う。そして型に注型を行う。しかし, 注型する際にも, 気泡が樹脂にかんでしまう。そのため, メタルレジジン型にピンホールが出来て, 製品形状部分にピンホールができるとその部分がバリとなってしまふ。そのため, 注型後, 真空脱泡が必要であることがわかった。

また, 他の注型用樹脂でも同様であるが, 冬時期(気温が低い)においては, 樹脂の流動性が悪いため主剤と硬化剤の混合, 樹脂の注型が難しく, 注型に関しては型全体に樹脂が充填できない等の問題が発生した。そのため主剤を30℃程度で加熱した方が流動性が良くなることがわかり, これらの問題解決となった。

3.2 メタルレジジン型の作製時間

前述の方法を用いてメタルレジジン型の作製を行った。射出成形金型製作時間を表3に示す。

この方法では, 表3に示すように設計後から56時間を要した。(なお, ポケット加工等の金型加工は作製時間にはいっていない。)

反転型作製部分が増えただけ表3にもあるように13時間が増加しているが比較的短時間で作製できたと考えられる。また, メタルレジジン型を写真1に示す。

表3 射出成形金型作製時間

光造形作製	10 h
反転型	13 h
射出成形金型作製	33 h
計	56 h

今回のような、単純形状製品ではあまり効果がないと考えられるが、RP、メタルレジン型の利点を生かして、複雑形状の金型に利用すればより効果があると考えられる。

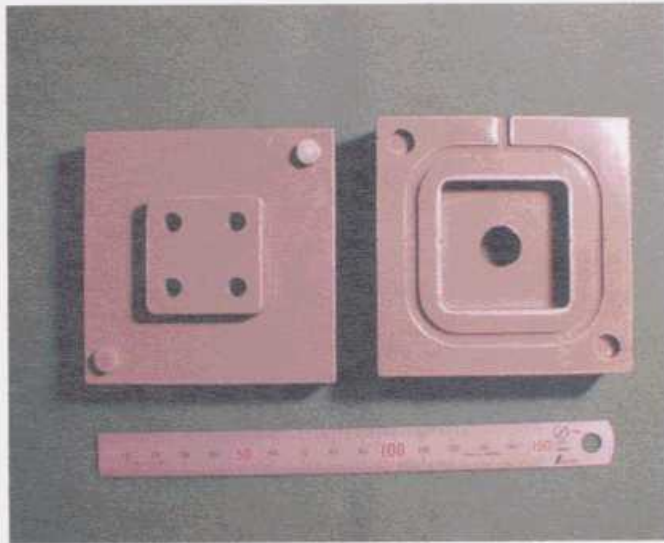


写真1 メタルレジン型

3.3 光造形、メタルレジン型の測定結果

光造形、メタルレジン複合材共に、硬化の際に収縮、膨張があることが判っている。

型、製品精度を上げるため、メタルレジン型の収縮、膨張特性をつかんでおくことが必要である。また今回の実験においてはメタルレジン型を作る際に、反転型を利用しているためその転写性についても評価を行う。そのため光造形、メタルレジン型について、三次元測定機（ミットヨ製 H503）を使用して寸法比較を行った。メタルレジン型の測定箇所については図3に示す。なお型寸法①②③④についてはすべて80mmである。

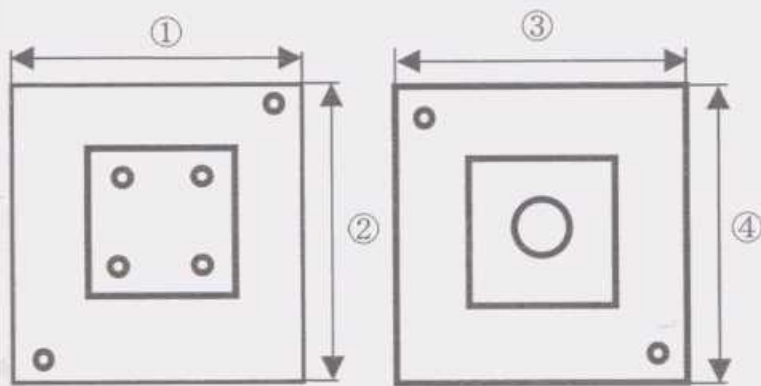


図3 メタルレジン型の寸法測定箇所

また、測定結果を表4に示す。表4からも分かるように、光造形からメタルレジン型に反転させた場合、約0.2~0.6%程度大きくなることがわかった。

また、設計値とメタルレジン型の値を比較した場合、良好な結果が得られた。このことは、射出成形金型に取付加工の必要がなくなり、製作時間短縮に結び

表4 測定結果

測定箇所	メタルレジン型 (mm)	光造形 (mm)	収縮率 (%)
①	79.94	79.92	0.03
②	80.01	79.98	0.04
③	80.05	80.00	0.06
④	80.02	79.97	0.02

ついた。

また光造形、メタルレジン型の表面粗さについて、PL（パーティングライン）面の表面粗さも測定した。表面粗さ測定機は（ミットヨ製サーフテスト512）を使用した。

この結果、表面粗さについては、光造形 $Ra=0.2\sim 0.3\mu m$ メタルレジン型 $Ra=0.2\sim 0.3\mu m$ 表面粗さに関しては、反転型を利用による変化はあまりなく、PL面も良好な光沢面であった。

3.4 成形実験

光造形、メタルレジン複合材を利用して作製したメタルレジン型を射出成形金型にセットし、その後、射出成形金型を成形機に取付、射出成形を行った。また、キャビコア部分の取付は、取り替え、取付が簡単に行える構造となっている。その構造については、写真2、3に示す。

先程も述べたように、ほぼ設計値どおり作製されたためメタルレジン型のほぼ後加工なしで、射出成形金型に取り付けることが可能であった。

これによって、メタルレジン型による成形性、成形個数などについて実用的使用の是非について確認を行った。実験条件については表5、成形条件については表6に示す。その写真4に示すように成型実験を行った結果、メタルレジン型に用いて、100ショット程度成形を行った。

表5 実験条件（実験装置、射出成形金型）

射出成形機名	J75E II (株日本製鋼所製)
金型サイズ (mm)	250×250×240
キャビティサイズ (mm)	80×80×24.5
コアサイズ (mm)	80×80×27.5

表6 成形条件

樹脂名	ポリエチレン	ポリカーボネート
型締め力 (T)	45	45
成形圧力 (kgf/cm ²)	30	50
冷却時間 (s)	30	25

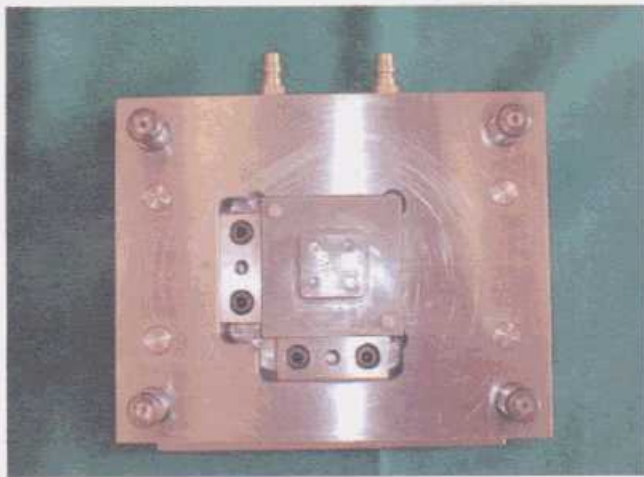


写真2 実験用金型 (コア)

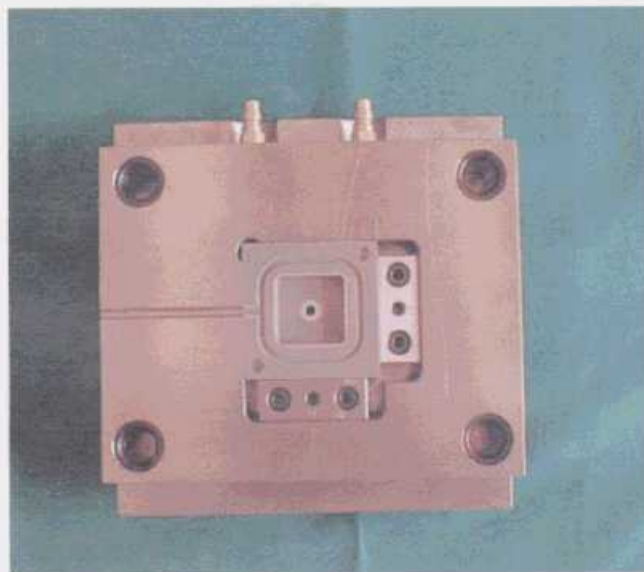


写真3 実験用金型 (キャビティ)



写真4 実験風景

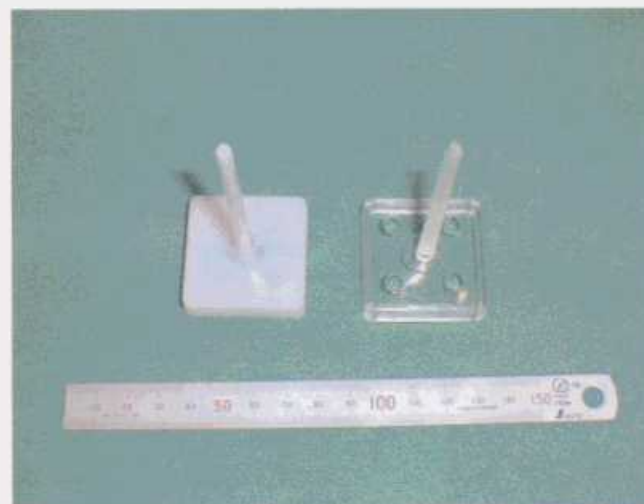


写真5 成型品

(左：ポリエチレン 右：ポリカーボネート)

しかし、メタルレジジン型に損傷、割れ等はなく、これ以上の成形が可能であることがわかった。

また、ポリエチレン、ポリカーボネートで成形した製品を写真5に示す。

結 言

光造形、メタルレジジン型を用いて射出成形金型の作製、射出材料はポリエチレン、ポリカーボネートを利用してその型を利用した成形実験を行った。その結果より以下のことがわかった。

1. メタルレジジン型については100ショット以上の成形が可能であった。光造形、メタルレジジン型について射出成形金型作製の一手法として、射出成形金型へ利用できることを確認した。
2. 射出成形金型の作製については、反転型作製について一工程増やすことにより、作製時間は増加するが、光造形、メタルレジジン型の利点を生かして切削加工では難しい複雑形状（三次元形状）の製品の金型に利用すればより効果が得られると考えられる。
3. メタルレジジン型の精度については寸法精度0.2～0.6%膨張、大きな変化がないことがわかった。しかし精密な金型の場合にはこれらを設計値または光造形モデル作製の際に盛り込んでおく必要がある。表面粗さについては $Ra=0.2\sim0.3\mu m$ であり良好な光沢面が得られた。

文 献

- 1) 中川他、積層造形システム—三次元コピー技術の新展開—工業調査会 (1996), 109～138
- 2) 門, 原, 吉村, 中下: 広島県西部工技研究報告, No41, (1998), 65～68
- 3) 門, 村重, 吉村, 中下: 広島県西部工技研究報告, No42, (1999), 72～74
- 4) プラスチックス エージ 9, (1996), 103～106

テーラードブランク材の成形に関する研究 (第2報) TIG 溶接したテーラードブランク材の成形性

森下勇樹, 畑 徳宣, 釜屋昭彦

Study of forming for Tailored-Blanks (2nd Report) Formability of joined Tailored-Blanks by TIG Weld Method

MORISHITA Yuki, HATA Noriyoshi and KAMAYA Akihiko

Formability of joined tailored blanks by TIG weld method are discussed in the study. Specimens of tailored blanks were prepared various sheets for examining properties of sheet thickness and material. To quantify the formability at blank's condition, estimation method used basic sheet metal testing such as tension test, Erichsen test, and stretching. As a result, welding strength was satisfied, but total elongation was lower than base metal. Provided tailored blanks with plastic deformation, fractures occur at weak point that expect low material strength. Compared formability of tailored blanks with formability of one sheet, forming limit in tailored blanks decreased from uniaxial strain to equi-biaxial strain in Forming Limit Diagram (FLD). Joined tailored blanks by TIG weld method has similar formability to Laser and Mush-seam welding.

キーワード：テーラードブランク材, TIG 溶接, エリクセン試験, FLD

1 緒 言

テーラードブランク技術は、自動車ボディの製造において材料費削減、軽量化、高強度高剛性化できる技術で、その大きな効果は、

- (1) 大物プレス部品から生じた残材を利用し小物プレス部品への適用による材料歩留まりの向上
- (2) 板厚や材料強度が異なるといった鋼板を接合・複合することによる部材の高機能化
- (3) 部品の一体化成形による金型数削減・工程短縮が、可能と考えられ近年注目を集めているプレス成形技術である。

しかし、テーラードブランク材の作製には溶接を伴うことから、溶接部が板材の成形性に悪影響を及ぼすことが懸念されている。

本研究では、レーザーやマッシュシーム溶接機といった多大な設備費を必要としない薄鋼板の溶接法として、一般に普及している TIG 溶接法をテーラードブランク材の作製に適用し、昨年度までに求めた最適溶接条件¹⁾で接合したテーラードブランク材の溶接部の特性とプレス成形性を検討する。特にテーラードブランク材の強化方法としては、ブランク材の厚板化による方法と高張力化による方法が考えられる。そこで、薄板の基礎的成形試験²⁾を利用し、素板と各種テーラードブランク材の成形性を比較、評価するとともに成

形限界の定量化を試みたので報告する。

2 実験方法

2.1 テーラードブランク材に使用した薄板鋼板の機械的性質

本実験では、自動車プレス材料に使用される冷間圧延鋼板 (SPCC) と自動車用加工性冷間圧延高張力鋼板 (SPFC390) を使用し、テーラードブランク材を作製した。鋼板の板厚は0.8, 1.0, 及び1.2mm を準備した。表1に各種鋼板の材料特性値を示す。なお、引張試験は材料試験機 (島津製作所(株)AG-100kNE) を使用し、JIS 5号試験片形状を作製して行った。

表1 各種鋼板の材料特性値

材料	板厚 (mm)	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	n 値	r 値
SPCC	0.8	220	330	0.187	2.00
SPFC	0.8	243	397	0.215	1.34
SPCC	1.0	156	296	0.240	1.76
SPCC	1.2	235	370	0.196	1.05

2.2 溶接装置と溶接条件

図1にブランク材の溶接に使用した溶接装置を、表2に平成11年度までに求めた最適溶接条件を示す。溶接機はトランジスタ式直流溶接電源で最大出力500Aに TIG 溶接制御装置を接続し、走行装置にトーチを

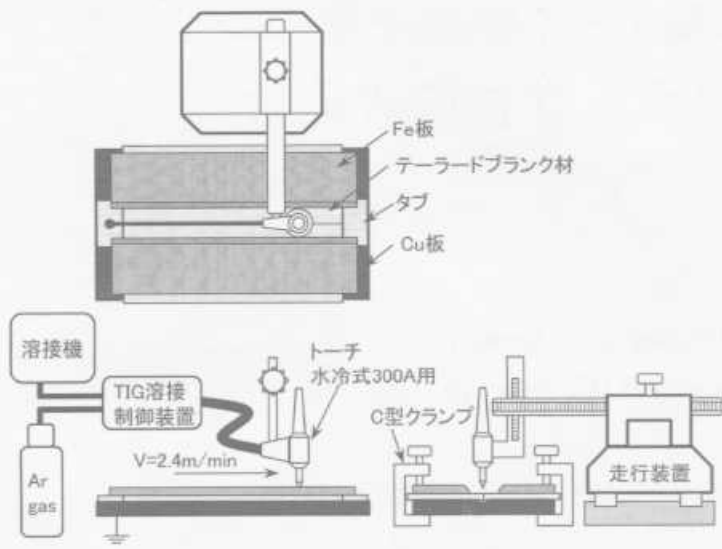


図1 溶接装置

表2 TIG 溶接最適条件

板厚 (mm)	溶接速度 (m/min)	溶接電流 (A)	その他
0.8 (SPCC) - 0.8 (SPCC)	2.4	200	電極直径 $\phi 4$
0.8 (SPCC) - 0.8 (SPFC)	2.4	200	先端形状 円錐型
0.8 (SPCC) - 1.0 (SPCC)	2.4	230	
0.8 (SPCC) - 1.2 (SPCC)	2.4	250	当金 Fe-Cu

取り付けて移動する方法で行った¹⁾。

2.3 エリクセン試験

JIS Z2247エリクセン試験 B 法でテーラードブランク材のエリクセン値を求めた。なお、異厚材のテーラードブランク材については、しわ押さえ面にしわ押さえ荷重10kN が均等に負荷するように、板厚0.2mm と 0.4mm の銅箔を薄板側に重ねて行った。

2.4 張出成形試験

テーラードブランク材の成形限界線図 (FLD) を作成し張出成形性を検討するため、万能塑性加工機 (アミノ株UTM-A1) と球頭パンチ (球 R50mm) を使用し、張出成形を行った。球頭パンチ、ダイ、およびブランクホルダの金型形状の概略を図2に示す。ダイはテーラードブランク材のビード部がダイ R 部での破断を防止するため溝を設けてある分割金型を使用し、板厚が異なるテーラードブランク材を成形する際にはベースとなるダイプレートと分割金型ダイの間にシムをはめ込んで板厚差分を調整し成形した。張出成形用の試験片形状は溶接ビード方向に最大主ひずみ ϵ_x を与えられるように、溶接ビード方向を長手方向にして長さ250mm、幅30, 40, 50, 60, 80, 250mm を準備

した。成形試験前に各試験片毎にスクライブドサークル ($\phi 10\text{mm}$) をスタンプし、成形終了後サークル形状の変化を読み取り公称ひずみ ϵ_x , ϵ_y を(1), (2)式で求めた。

$$\epsilon_x = (L_x - 10) / 10 \quad (1)$$

$$\epsilon_y = (L_y - 10) / 10 \quad (2)$$

ϵ_x : 最大主ひずみ

ϵ_y : ϵ_x に直交するひずみ

L_x : 成形終了後の最大主ひずみ方向のサークル径

L_y : L_x に直交するサークル径

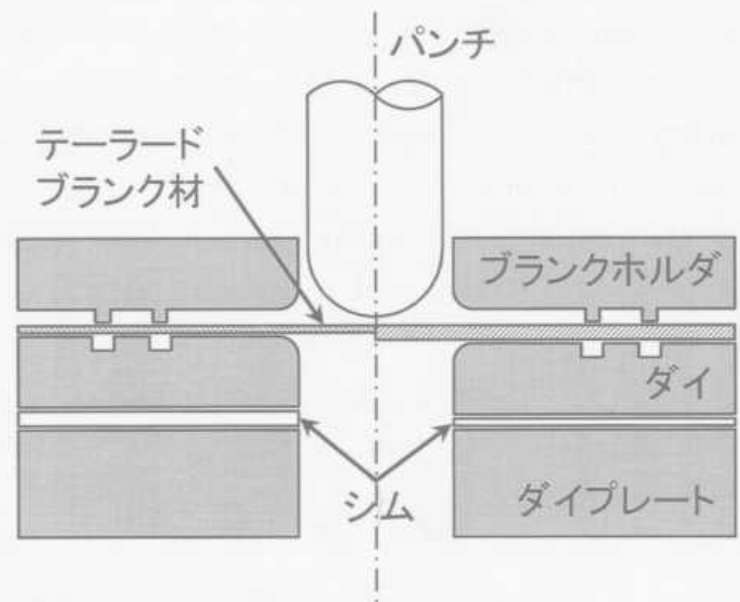


図2 張出成形試験用金型形状概略図

3 実験結果と考察

3.1 引張試験による溶接ビードの影響

一般に溶接ビードは母材と比べて硬く、延性も低いことからテーラードブランク材の溶接部には大きな歪を与えるような成形は期待できない。図3はテーラードブランク材をビード方向に引張試験した引張強度と全伸びの関係を示す。なお、破断検出は溶接ビード部の破断が生じた時を引張試験の破断点とした。テーラードブランク材の引張特性は板厚0.8mmSPCC 鋼板と比べ、引張強度は大きい値となったが、全伸びはいずれも25%程度で素板の伸び量の約55%程度となった。

3.2 エリクセン試験

図4は各種テーラードブランク材と素板のエリクセン試験 B 法による結果である。板厚0.8mm の素板のエリクセン値は8.2であり、同強度同厚材は6.5で、テーラードブランク材の溶接ビードがエリクセン値に及ぼす絞り高さは、素板の絞り高さの約80%である。また一方のブランク材を1.0, 1.2mm と板厚が大きくなると、エリクセン値は増加する。

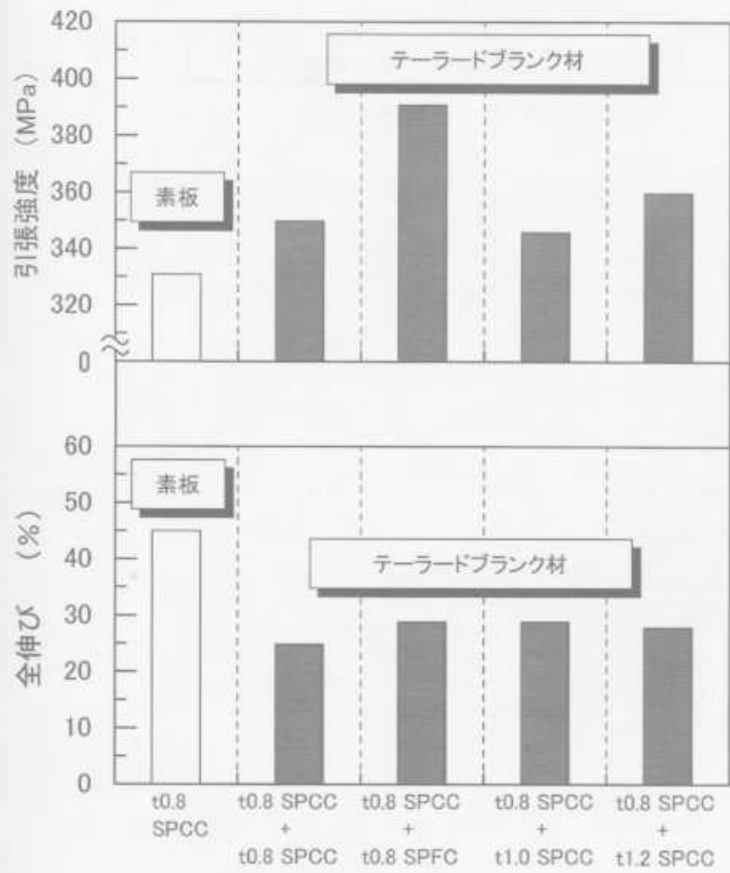


図3 テーラードblank材の引張特性

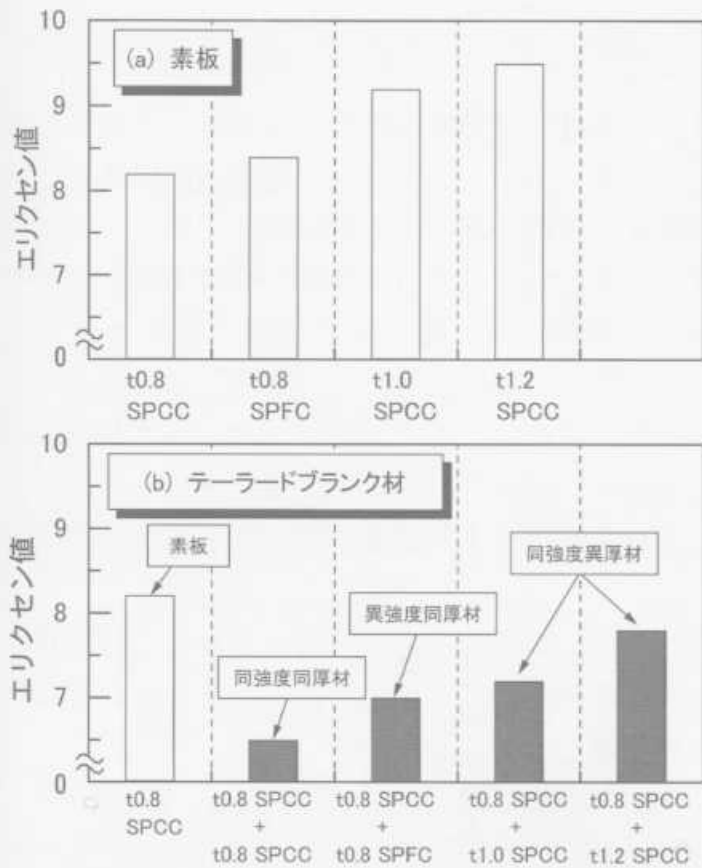
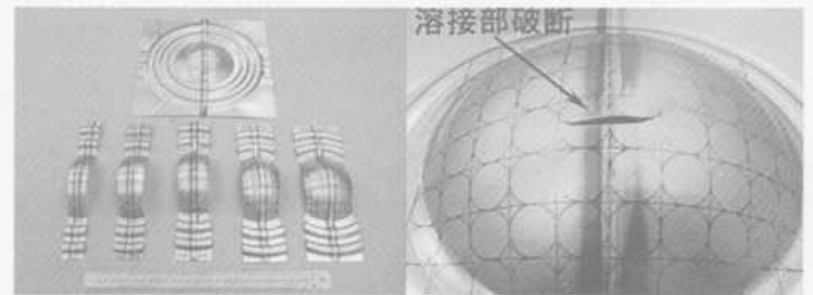


図4 エリクセン試験による成形性

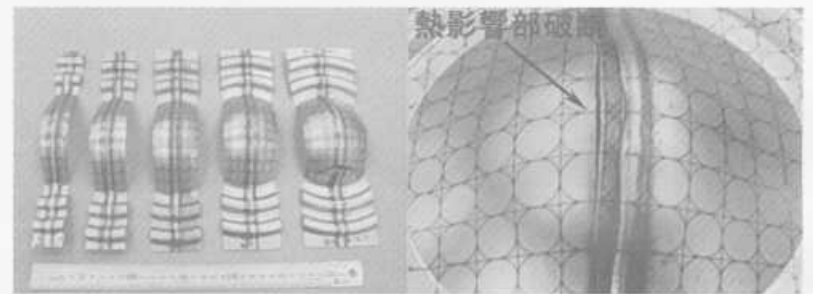
3.3 テーラードblank材の破断様式

写真1はテーラードblank材の張出成形と破断様式を示す。(a)はt0.8のSPCC鋼板による同強度同厚材試験片で、溶接ビードと平行方向に最大主歪みを与えた結果であり、いずれの試験片も母材がくびれてきているが、破断は溶接部に生じている。このことはテーラードblank材の引張特性からも理解できる。また液圧バルジ成形を利用し、溶接部に等二軸引張応力

を与えた。母材周辺も大きな変形を受けているが、破断は溶接部で生じ、亀裂の方向は溶接線に対して垂直な方向であった。(b)はt0.8とt1.2のSPCC鋼板を溶接した同強度異厚材試験片である。等二軸引張応力下における破断位置は、溶接部近傍のt0.8側の熱影響部で生じ、亀裂の方向は溶接線と平行方向である。この他にもt0.8SPCCとt0.8SPFCを接合した異強度同厚材の試験片においても亀裂の方向は溶接線と平行方向に生じた。最適溶接条件を行うことを前提とし、blank材の引張強度が一定で厚板化による強化、あるいは、blank材の板厚が一定で高張力化による強化したテーラードblank材の破断様式は、成形による塑性歪みは、薄板側あるいは低強度材料側に集中し、破断は熱影響部で発生することが分かった。



(a)同強度同厚材 t0.8 SPCC+t0.8 SPCC



(b)同強度異厚材 t0.8 SPCC+t1.2 SPCC

写真1 テーラードblank材の破断様式

3.4 テーラードblank材の張出成形性

図5はテーラードblank材の溶接部のFLDを示す。○は破断に達していない健全部の、▲は破断初期のネック部の、そして×は破断部のひずみ状態を示し、実線は板材として変形可能な成形限界域を示す。なお、TIG溶接したテーラードblank材のFLDでの評価については、(a)に示すt0.8mmSPCC鋼板の素板を基準に評価した。各テーラードblank材は(a)の素板と比較して、単軸引張領域から、平面歪み領域、そして等二軸引張領域 ($-1/2 \leq \epsilon_y/\epsilon_x \leq 1$) の範囲において成形限界は著しく低下した。平面歪み領域から等二軸引張領域 ($0 \leq \epsilon_y/\epsilon_x \leq 1$) においては、(b)同強度同厚材と(c)異強度同厚材の成形限界は素板の約30%、また(d)同強度異厚材は素板の約50%であった。単軸引張領域付近については、各テーラードblank

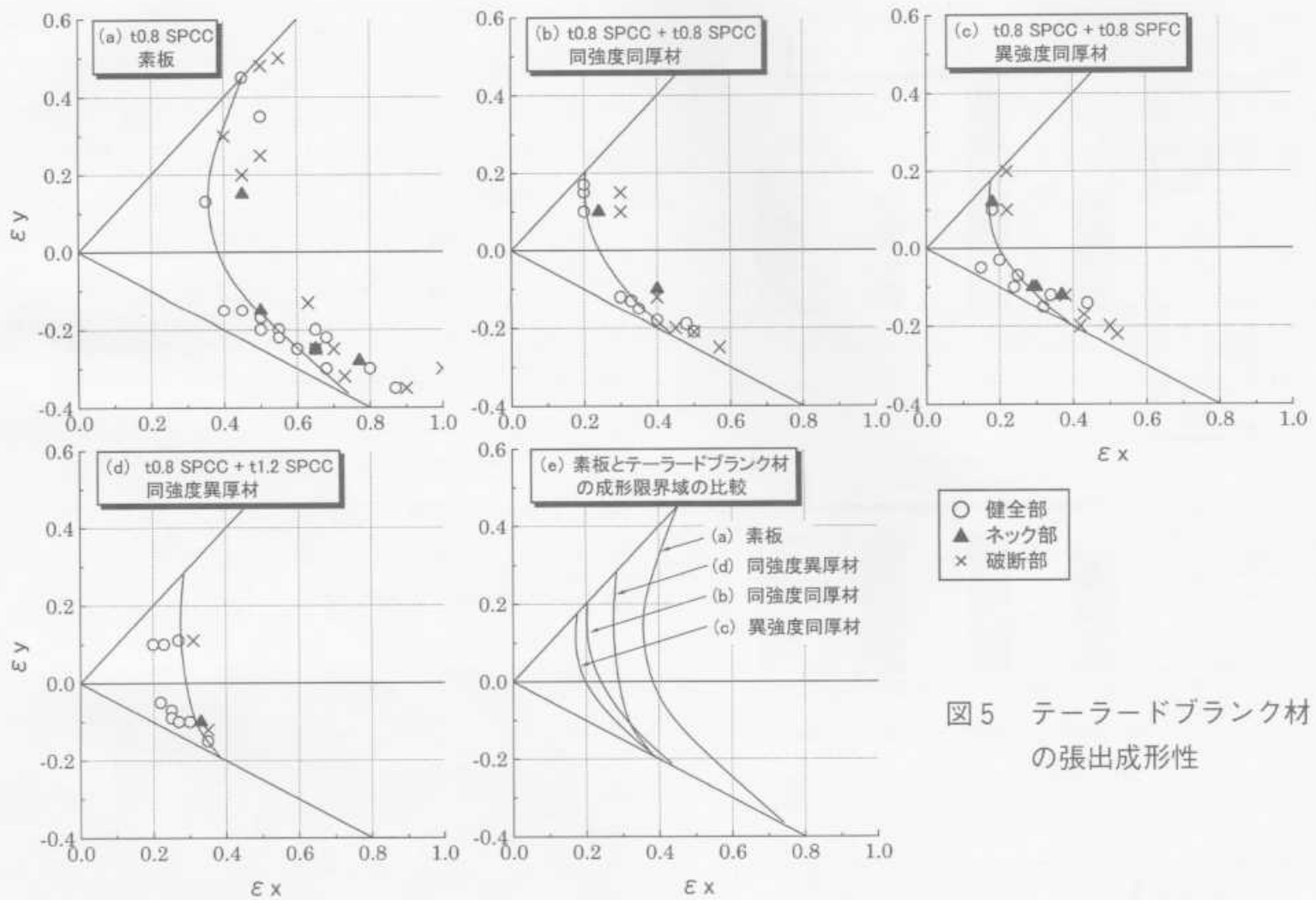


図5 テーラードブランク材の張出成形性

材とも $\epsilon_x=0.4$, $\epsilon_y=-0.2$ に収束する傾向にある。一般にテーラードブランク材の接合方法は、生産性の観点からレーザー溶接やマッシュシーム溶接が代表的である。これらの溶接法で接合したテーラードブランク材の張出成形性は、TIG 溶接と同様に素板と比較して成形限界域は大きく減少すると報告されている^{3),4)}。また、レーザー、マッシュシーム溶接と TIG 溶接による成形性は、溶接ビード幅の違いはあるものの FLD による比較からは同等の結果となり、汎用の溶接機である TIG 溶接でも自動車プレス材料のテーラードブランク化は可能と考えられる。

4 結 言

TIG 溶接法によりテーラードブランク材を作製しその成形性を検討した結果、素板と同等の成形性は望めないが、レーザー、マッシュシーム溶接と同様な成形性から TIG 溶接のテーラードブランク材への適用は十分可能と考えられる。本研究では、以下の結果が得られた。

(1) テーラードブランク材を溶接線方向に引張試験すると溶接部の硬化により強度は増加したが、破断伸

びは均一性材料である母材と比べて著しく低下した。

(2) 各種テーラードブランク材の破断様式は、同強度同厚材では溶接線と垂直方向で溶接部に、同強度異厚材と異強度同厚材では溶接線と平行方向で低強度材料側の熱影響部に、亀裂が発生することが確認できた。

(3) 張出成形によるテーラードブランク材の成形限界域は各成形領域においても素板と比べ小さいが、ブランク材を厚板化すれば成形性は向上した。

終わりに、本研究を進めるにあたり、ご指導頂いたマツダ(株)車体技術部車体先行技術グループの皆様に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 畑 徳宣, 森下勇樹: 広島県西部工技研究報告, No42 (1999), 9
- 2) 山口克彦: 塑性と加工, 38 (1997) 432, 64.
- 3) 夏見文章, 小原昌弘: 塑性と加工, 38 (1997) 432, 45.
- 4) 定村一洋: 塑性と加工, 34 (1993) 391, 917.

実荷重インプロセスモニタリング制御によるプレス成形装置の試作開発

森下勇樹, 畑 徳宣, 山下弘之, 門 格史, 釜屋昭彦

Development of press forming instruments with control and monitor real load in process

MORISHITA Yuki, HATA Noriyoshi, YAMASHITA Hiroyuki, KADO Tadashi, KAMAYA Akihiko

Commercially sheet forming is one of the most important production technologies. It is necessary for sheet forming to control blank holder force (BHF), which contributes greatly to dimensional accuracy represented wrinkles, elastic recovery, and camber. BHF of press machine is controlled by inputting values in the past, and monitoring is not performed about real load between sheet and dies. In this work, to realize further productivity improvement on sheet forming, new press forming instruments have developed, which is possible to control and monitor BHF in process.

キーワード：板材成形，プレス加工，しわ押さえ

1 緒 言

板材成形は自動車業界を中心にもものづくりには欠かせない最も重要な加工技術の一つである。特にプレス加工は低コストで、製品に自由な形状を付与できる加工法である。板材のプレス成形性に影響を与える要素にブランクホルダー（しわ押さえ）がある。ブランクホルダーを制御することは、プレス加工中に生じる板材のしわ発生の抑制、金型内部に流れ込む材料の流入量、また、スプリングバック、そりといったプレス成形における形状凍結性の寸法精度に大きく影響する。しかし、従来のプレス加工機のしわ押さえ荷重は、プレス機の制御系だけの設定にとどまり、板材と金型間の実測定はなされていないのが現状である。更なるプレス加工の生産性の向上と高品位製品の加工を実現させるためには、実測定による加工中の金型面内の荷重変動をオンタイムに観察、測定、解析し、成形加工時の実荷重インプロセスモニタリング制御によるプレス成形技術の開発が必要である。

2 設 計

本開発事業では、4つの機械装置を用いて実荷重インプロセスモニタリング制御できるプレス成形装置の試作開発を行った。

- (1) しわ押さえ荷重を制御して薄板材料を精度良く成形する成形部本体
- (2) 成形部本体に油圧を供給し各スライドテーブルの駆動源となる油圧発生装置
- (3) プレス成形の加工条件の設定と最適なしわ押さえ荷重の制御を行う制御・操作装置

(4) 成形中のしわ押さえ力と材料流入量をモニタリングする金型表面埋込型荷重センサ

成形部本体にはアウターシリンダを4本準備し、それぞれ独立した加圧制御可能な構造として、材料外周部において分布を持たせたしわ押さえ荷重を与えることができる設計仕様とした。プレス成形装置の基本仕様は表1に示す。各領域における差圧しわ押さえ制御機能を使えば高強度鋼板、アルミニウム材、テーラードブランク材などをプレス成形する上で有効と考えられ、新しい成形技術の可能性をも有するものである。図1に各機械装置の構成を示す。

表1 インナ・4軸アウトプレスの主仕様

	インナプレス	4軸 アウトプレス
加 圧 出 力	784kN	20~123kN/1軸 最大公差60kN
使 用 圧 力	25MPa	24.4MPa
ス ト ロ ーク	350mm	350mm
デ ー ラ イ ト	600mm	550mm
テ ー ブ ル 寸 法	φ195	400×500mm
ボ ル ス タ 寸 法	400×500mm	

3 開 発 内 容

3.1 成形部本体の開発

写真1に成形部本体の主要構成となる上フレームユニット、下フレームユニット、アウタースライドテーブル、本体ロッド、コモンベースを示す。開発目標の

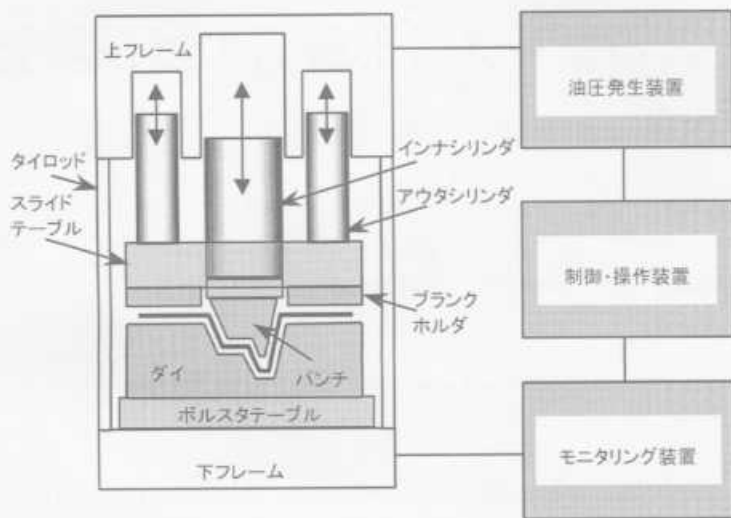
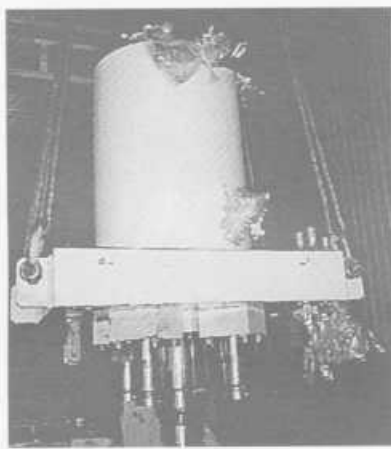
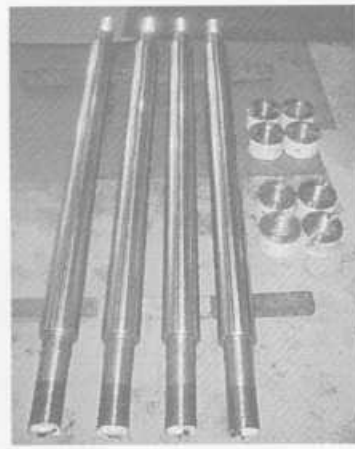


図1 各機械装置の構成



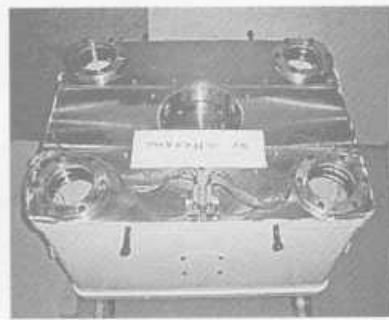
上フレームユニット



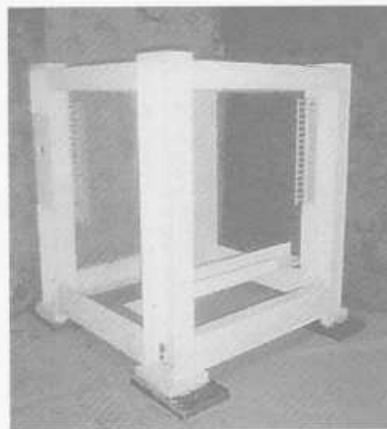
本体ロッド



下フレームユニット



アウトスライド



コモンベース

写真1 成形部本体の主要構成部材

一つでもあるアウトシリンダの最適しわ押さえの分割制御を実現させるためアウトシリンダとピストンは4組設置した。アウトスライドテーブルには、テーブルの中央部に貫通穴を作製することでインナースライドテーブルの駆動とアウトスライドテーブルの駆動による複動機構となるようにした。また、成形部本体の作動時には高精度駆動させるため台座となるコモンベースを設け、高い剛性を付与するため本体ロッドを4本組み込んだ。

3.2 油圧発生装置の開発

写真2は油圧発生装置を示す。成形部本体がインナースライド、アウトスライドが順次個別に作動し、複動機構となるよう油圧ポンプ、マニホールド、電磁弁切替弁、電磁比例リリーフ弁、チェック弁等を配備した。アウトシリンダによるしわ押さえ荷重の4軸制御を行うために、4軸制御用油圧コントロール装置を成形部本体の上フレーム中の各シリンダ対応させて、最適しわ押さえ荷重に必要な油圧配管を行った。アウト4軸制御における各軸の出力差は、油圧発生装置での高い圧力と低い圧力の高低差は大きくできるが、成形部本体の機械損傷を防止するため、しわ押さえ荷重での最大出力公差は60kNとなるようにした。60kNという値は本開発事業で開発するしわ押さえ荷重制御できるプレス成形装置の規模では十分な出力差と考えられる。

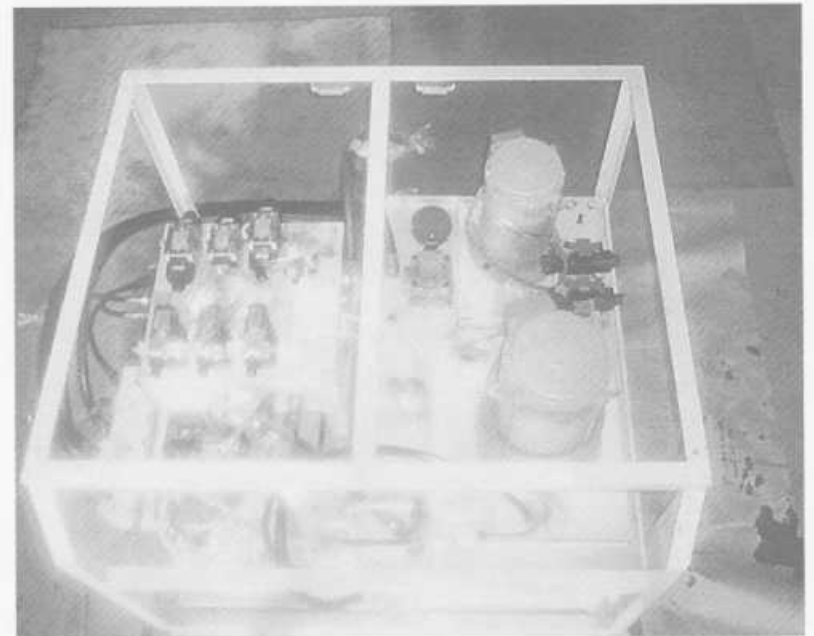


写真2 油圧発生装置開発部

3.3 制御・操作装置の開発

写真3は成形部本体と油圧発生装置をコントロールし、金型表面埋込型荷重センサからの情報を処理できる制御・操作盤である。

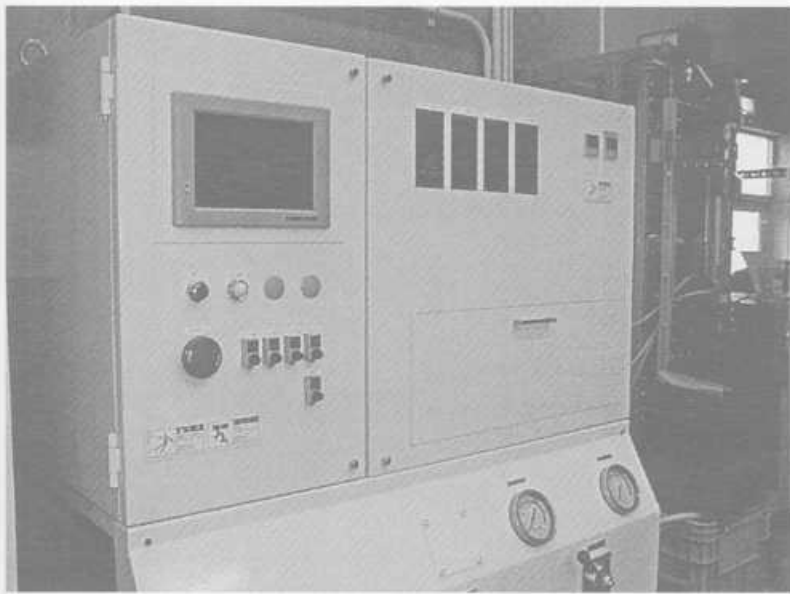


写真3 制御・操作装置開発部

3.4 金型表面埋め込み型荷重センサの開発

金型表面埋め込み型荷重センサは、プレスルーム内に取り付ける金型内部に組み込ませるため、できるだけ小型・薄型を採用した。センサの形状は、センサの検出部が金型表面に突出するように凸型形状のものを作製した。

4 結 果

4.1 アウター4軸制御による出力荷重の検証

操作・制御盤に4軸それぞれに設定したしわ押さえ荷重が、プレス成形装置の成形部本体で精度良く発生しているか、加圧負荷時の出力荷重を測定し検証する必要がある。図2はアウター4軸に等分布な荷重を負荷した時の設定値と出力値を比較した。

加圧面全面に等分布荷重を負荷させた場合、出力荷重は設定荷重とほぼ近い値となり精度良く出力してい

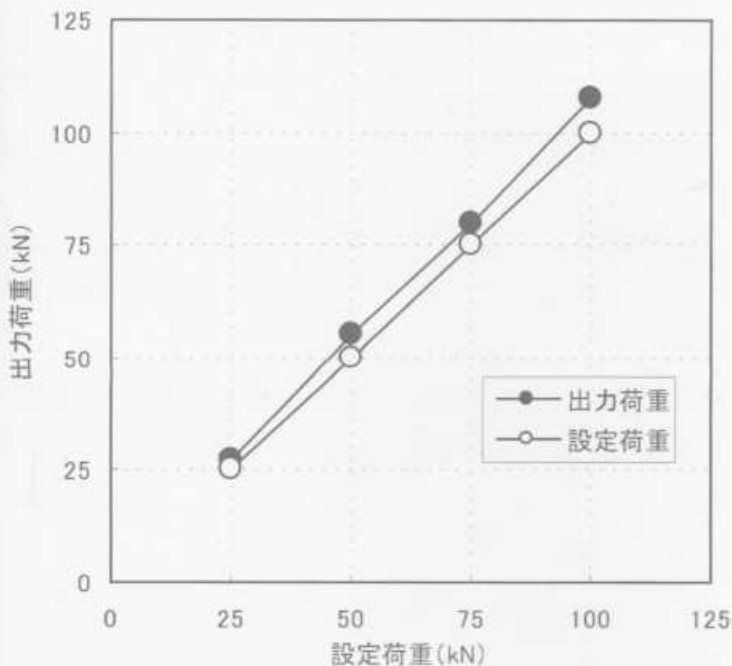


図2 等分布荷重の出力状況

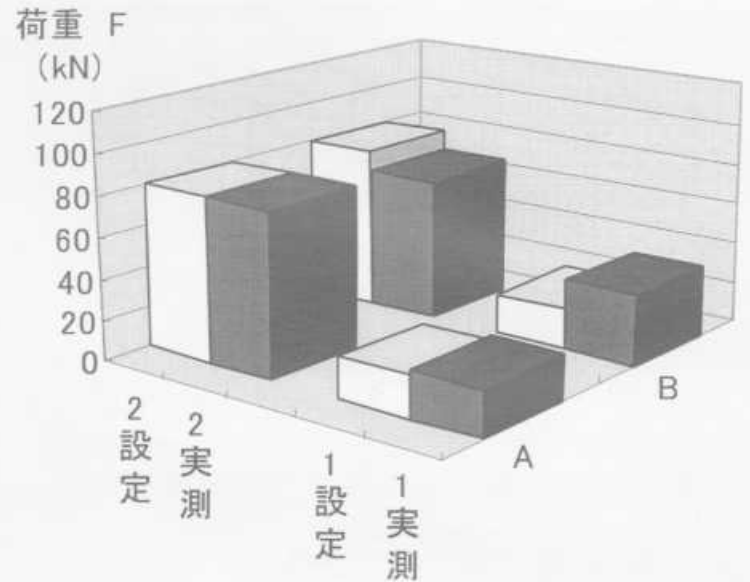


図3 左右対称荷重80kN-20kNでの出力状況

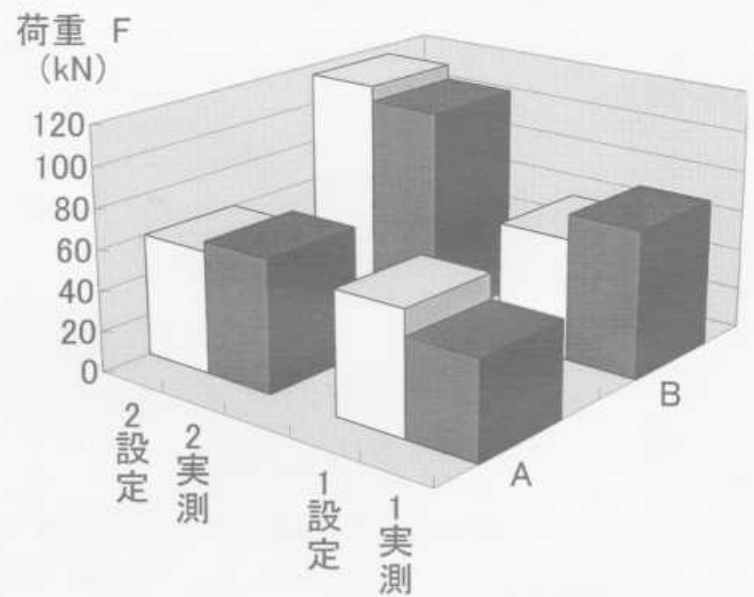


図4 1軸115kN-3軸60kNでの出力状況

る。設定荷重はトータル荷重100~400kN、各軸25~100kNで行ったが各軸とも設定値通りの荷重が検出され、小さい出力でも大きい出力でも各軸同士の誤差はほとんど生じない結果となった。

次に4軸のアウターシリンダに圧力の異なる油圧を発生させ差圧制御を試みた。図3, 4はそれぞれ左右対称荷重, 1軸高出力-3軸低出力荷重を負荷させたときの結果である。いずれの負荷パターンとも出力状況は設定荷重に非常に近い値を示しており、確実にプレス成形時の薄板材料に差圧荷重を負荷できると考えられる。

4.2 アウタ4軸制御による成形性の向上

写真4, 5は、同厚(板厚1.0mm)異強度材(270MPaと390MPa)のテーラードブランク材を総しわ押さえ力200kN一定という条件で等分布荷重(50kN/軸×4軸)と左右対称荷重(80kN/軸×2軸+20kN/軸×2軸)で成形したパネル形状である。テーラードブランク材に使用した材料強度を考慮して、しわ押さえ荷重を対称荷重で制御して成形した結果、成形高さは

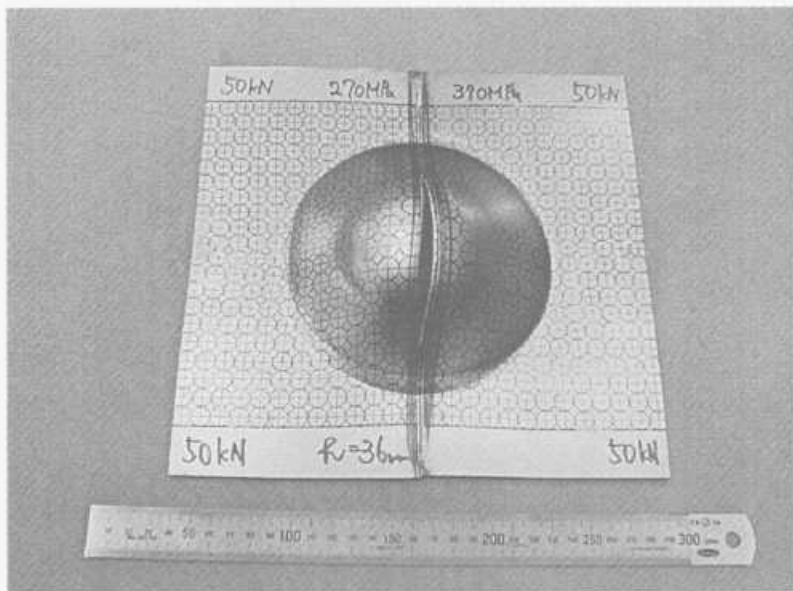


写真4 等分布荷重によるパネル成形

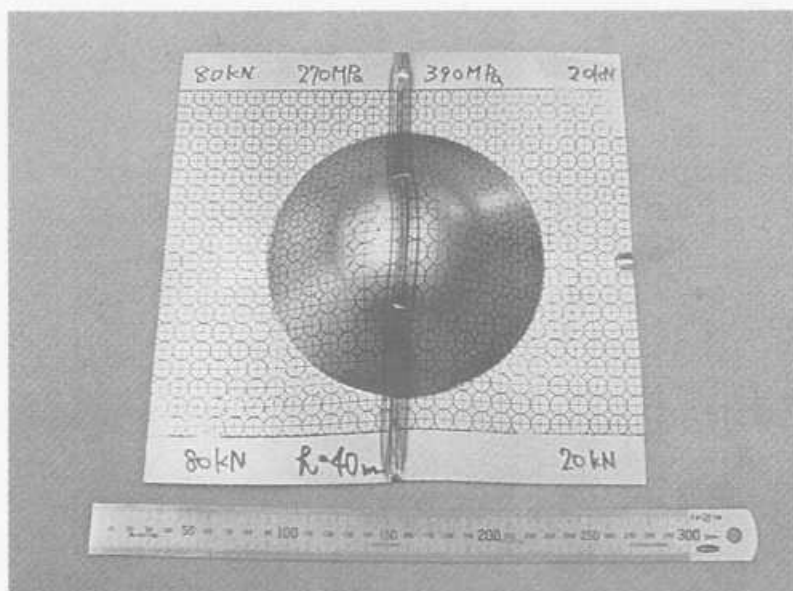


写真5 しわ押さえ荷重制御によるパネル成形

4 mm向上した。この場合、しわ押さえ荷重制御の有無では、薄板材料の破断様式が異なっている。つまり、従来の等分布荷重で成形した場合、薄板材料の成形限界での破断は、材料強度の低い側で生じている。しかし、しわ押さえ制御した場合の破断箇所は溶接部で、母材の熱影響部破断ではない。溶接部の機械的性質が改善できれば、板材の母材で破断していないことから、さらに成形限界の向上が期待できると考えられる。

4.3 金型表面埋め込み型荷重センサによるモニタリング

図5に金型表面埋込型荷重センサによるモニタリング状況を示す。各成形条件でも板材変形時のしわ押さ

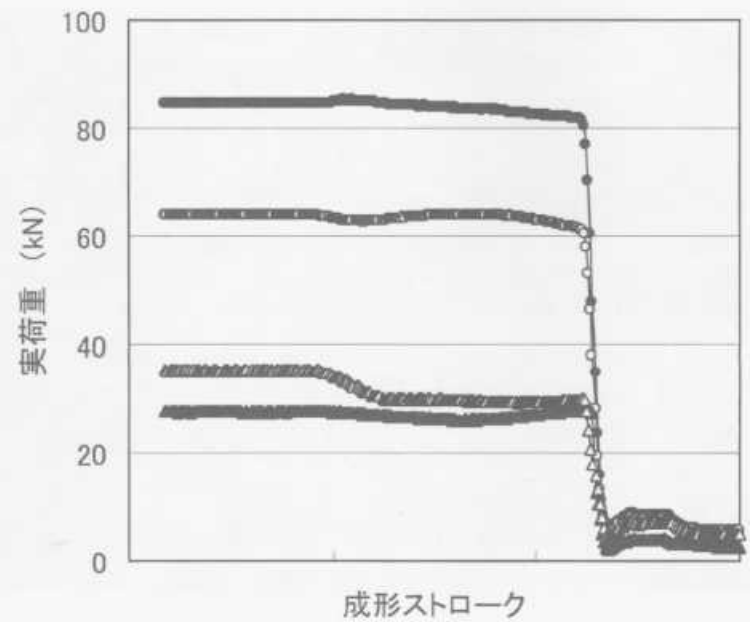


図5 実荷重モニタリングデータ

え荷重と材料流入状態の変化がモニタリングにより伺えるが、顕著な波形形状は得られなかった。しかし、しわ押さえ荷重が大ききところでは、パンチによる成形時の荷重は増加する現象が確認でき、一方、しわ押さえ荷重が小さいところでは、パンチによる成形時の荷重は減少する結果が得られた。

5 結 言

本開発事業で試作開発した実荷重インプロセスモニタリング制御によるプレス成形装置は、従来のプレス装置あるいはプレス技術では困難であった、難加工性薄板材料の高精度成形や成形性の向上を実現できる点で実用化できると考えられる。従来のプレス機のしわ押さえ荷重は、等分布荷重で制御され、高品位プレス製品の生産については、主に金型育成技術で補償されてきた。そのため、プレス製品のトライアルと呼ばれる試作段階では、多大な人的パワーと長期間リードタイムを必要としてきた。しかし、試作開発したプレス成形装置を実際のプレス現場に導入することができれば、薄板材料の成形性をインプロセスモニタリング機能でデジタル的な情報を取り込むことにより制御できる。各種新材料を初めて成形するときにも成形状態を数値化、具現化できることから新製品の開発期間短縮に期待できると考えられる。

なお、本研究は特定中小企業集積支援技術開発事業により実施した。

海水の淡水化における有害物質除去技術の開発

斯波信雄, 倉本恵治, 本多正英, 丸下清志

Development of Technology to Eliminate Harmful Substances in the Process of Desalination of Sea Water

SHIBA Nobuo, KURAMOTO Yoshiharu, HONDA Masahide and MARUSHITA Kiyoshi

In this study, it was investigated methods to remove organic halogen compounds, which are harmful substances that can not be sufficiently eliminated by the conventional desalination technology. The titanium dioxide film was prepared for the sol-gel method. The titanium dioxide film photocatalyst was immersed in solution containing 2, 4-di-chlorophenol and was illuminated by UV lamp. In this experimentation, it was used the titanium dioxide film photocatalyst which was prepared on the surface of ceramic honeycomb.

キーワード：酸化チタン, 塩素化合物, ゼルゲル法, 海水淡水化

1 緒 言

瀬戸内海周辺地域などは毎年のように断水, 濁水などが起こっているが新たなダムの開発などは用地買収や自然保護などの観点から難しい。そこで, 瀬戸内海の離島など淡水資源の制約条件が難しい地域における安全かつ信頼性の高い生活用水供給システムの開発が望まれている。

現在, 海水から淡水を得る淡水化技術は, 蒸発法, 逆浸透法などが行われている。しかし, 海水中には有害物質であるホウ素, 臭素や油濁由来の揮発性有機炭素などが含まれており, これらを除去する必要がある。これまでの透過気化法による海水淡水化の研究において, ホウ素, 臭素などの有害物質を含まない安全な水が, 逆浸透法や従来の透過気化法による淡水化技術と比べて2倍以上の量が得られた¹⁾。しかし, 本手法では有機ハロゲン化合物は十分除去できなかったため, 光触媒, オゾンを用い分解除去する手法について検討した結果を報告する。

2 実験方法

2.1 光触媒薄膜の作製

有機ハロゲン化合物の光触媒を用いた分解除去実験は, 光触媒をセラミックハニカムに担持して行ったが, 光触媒を担持させるための製膜条件を調べるため, まずガラス板上で行った。

光触媒をガラス板上に製膜する方法として, 図1のゾルゲル法を用い, 二酸化チタンコーティング液の調整方法, コーティング方法等について検討した。

光触媒の担持方法 (ゾルゲル法)

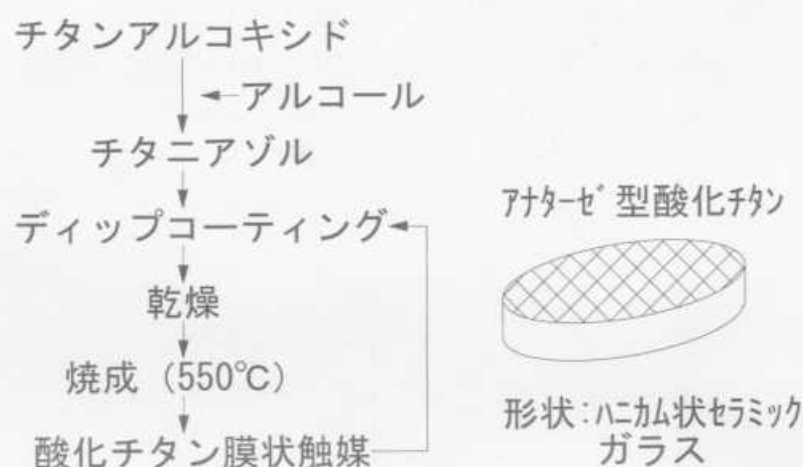


図1 酸化チタン薄膜の作製

使用したガラスおよび試薬類を以下に示す。

ガラス板: 石英スライドガラス (76×26×1 mm)

チタンアルコキシド: チタニウムテトライソプロ

ポキシド, チタニウムテトラ-n-ブトキシド

アルコール: エタノール, ブタノール

なお, 作製した薄膜は X 線回折装置 RINT2500VHF (株)リガク) を用いて測定した。

2.2 光触媒による有機塩素化合物の分解

セラミックハニカムに二酸化チタンをコーティングし, 試作光触媒として実験に供した。また, 同じセラミックハニカムに, 既に光触媒がコーティングしてある市販品 (以下市販品と呼ぶ) についても同様に検討した。使用した光触媒の形状, 処理液等は以下のとおりである。

光触媒の形状: ハニカム状

60×60×10mm

穴は上下方向に貫通

光触媒の種類：4種類（市販品，試作品3種類）

紫外線ランプ：電子磁気工業 SA-125

波長 360nm

散気板：セラミックフィルター

平均孔径 10 μ m

処理液：2,4-ジクロロフェノール

100mg/l 水溶液

処理液量：処理能力実験-100ml

経時変化実験-200ml

ガス供給量：50ml/min (O₂, O₃)

実験は、図2に示すような装置を組み立てて行った。紫外線は水中では強度が減少するため、紫外線が直接光触媒に当たるように、光触媒は処理液表面と一致するようにセットした。また、酸素を供給するために、処理液下方から散気板を用いて微細なO₂ガスの気泡を吹き込みながら実験を行った。

なお、処理効果の評価は全有機ハロゲンと全有機炭素で行った。測定に使用した装置を以下に示す。

全有機ハロゲン分析装置：TOX-100（三菱化学株）

全有機炭素計：TOC-5000（株島津製作所）

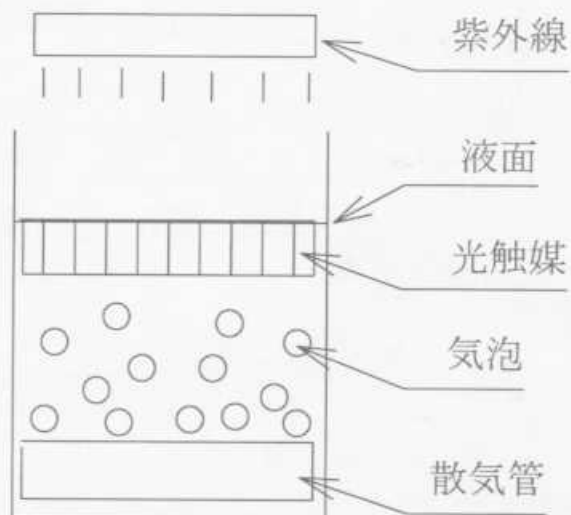


図2 光触媒実験装置

3 実験結果と考察

3.1 光触媒薄膜作製予備実験

3.1.1 二酸化チタンコーティング液の調製

ゾルゲル法でガラス板に二酸化チタン薄膜を形成させるには、ゾル化している二酸化チタンコーティング液中にガラス板を浸漬し、浸漬したガラス板を一定速度で引き上げてガラス板に薄いチタンコーティング液の膜を形成させ、このガラス板を乾燥、焼成させるという手順をとるため、最初にコーティング液を調整する必要がある。

そのため、チタンアルコキシドとアルコールとの混

合液を加水分解させて、チタニアゾルを作製し、これをコーティング液として用いた。しかし、加水分解を急激に行うとチタニアゾルにならずに、酸化チタンが析出して液が白濁してしまうため²⁾、混合液を空气中で1時間から1時間半程度攪拌し、空气中の水分で加水分解を徐々に進行させてコーティング液を調製した。

コーティング液がうまくゾル化していない場合、ディップコーティングしたガラス板を乾燥、焼成しても二酸化チタン薄膜が形成されないこともあり、注意を要した。

3.1.2 引き上げ装置の試作

ゾルゲル法では、コーティング液中に浸漬したガラス板は、ガラス板に付着するコーティング液の厚さを薄くかつ均一にするために、粘着力や慣性力等³⁾を考慮して非常に遅いスピードで引き上げるが、引き上げ中にコーティング液が蒸発し、液濃度が変化する恐れがある。また、光触媒の効果は付着している酸化チタンの量、いかにすれば膜の厚さに影響されるため、厚い膜を得ることが望ましいが、1回の操作で製膜される膜の厚さは非常に薄いため、何回も膜を重ねて厚くする操作を行った。そのため、製膜条件を一定に保てるように、図3に示すような引き上げ装置を試作した。コーティング液を入れた容器はプラスチック台の中に埋め込んだ構成としており、コーティング液が蒸発しないようにプラスチックビーカーを蓋としてかぶせた。さらにプラスチックビーカーの底（上部）に小さな穴をあけ、その穴から糸を通してチャート式記録装置により一定速度（15mm/min）で引き上げた。

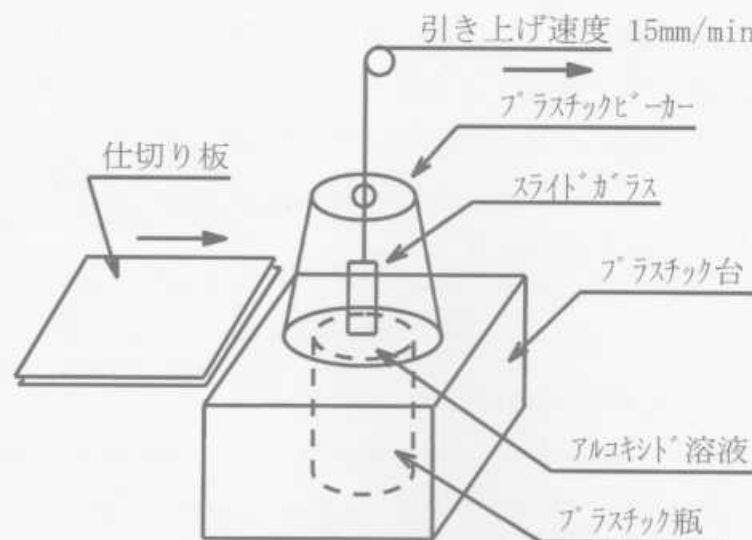


図3 引き上げ装置

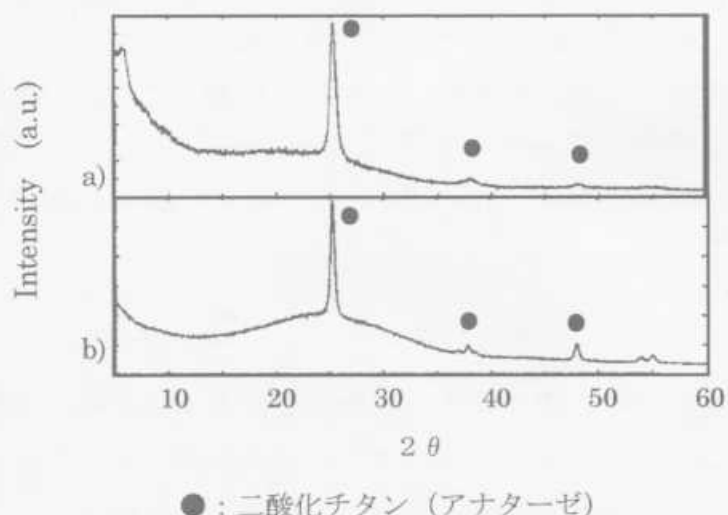
3.1.3 膜の分析

ディップコーティングしたガラス板は、熱風乾燥機中で120℃、30分間乾燥した後に、加熱炉中で550℃、

10分間焼成したが、チタンアルコキシドにチタニウムテトライソプロポキシドを使用した場合、エタノールとの混合割合を変えて製膜実験を行った結果、混合割合が1:7 (以下1:7エタノールと呼ぶ) でガラス板上に透明で良好な膜が得られた。また、チタニウムテトラ-n-ブトキシドを使用した場合、ブタノールとの混合割合が1:5 (以下1:5ブタノールと呼ぶ) で良好な薄膜が得られた。

なお、1回の製膜操作では膜厚が薄いので、膜厚を厚くするために製膜操作を10回繰り返した。作製した薄膜の X 線回折結果を図4に示す。

図4 (a) は1:5ブタノールの場合で、(b) は1:7エタノールの場合であるが、ともにアナターゼ型二酸化チタンの回折ピークが見られた。二酸化チタンの結晶構造には、主としてルチル型とアナターゼ型があり、光触媒効果はルチル型よりアナターゼ型の方が高いと言われているが、本実験で用いた製膜条件により、アナターゼ型二酸化チタン薄膜を得ることができた。



●: 二酸化チタン (アナターゼ)

図4 薄膜の X 線回折結果

3.2 光触媒による有機塩素化合物の分解

3.2.1 光触媒の処理能力

まず、光触媒の違いによる処理能力を比較した。試作光触媒1, 2はそれぞれ、1:7エタノール, 1:5ブタノールと同じ製膜条件でセラミックハニカムに二酸化チタンをコーティングしたもので、製膜回数は5回である。試作光触媒3は、セラミックハニカムにスプレー式の光触媒を1回コーティングしたもの (以下スプレーと呼ぶ) で、抗菌、消臭に効果があり、主用途は気体用と思われるが、乾燥後の皮膜は水に溶けないため同時に検討した。

各光触媒の単位時間当たりの処理量を調べるため、処理液として濃度100mg/lの2,4-ジクロロフェノール水溶液100mlを用いて1時間光触媒で処理を行

い、処理前後の全有機ハロゲン濃度 (AOX) と全有機炭素 (TOC) を測定してそれぞれその差を求め、初期量で除した値を AOX 処理量, TOC 処理量とした。各光触媒について処理液を取り変えながら5回実験を行った時の AOX 処理量を図5に、TOC 処理量を図6に示す。

図5から、AOX 処理量は市販品の光触媒が最も多く、1時間当たり30%程度処理されおり、実験の範囲内では処理能力はあまり変化しないように見える。次に処理量が多かったのは1:5ブタノールで約20%、次は1:7エタノールで約13%、一番処理できなかったのはスプレーで約6%であった。スプレーと光触媒を付けていないセラミックハニカム (以下ブランクと呼ぶ) との処理量はほぼ同じ値を示しており、スプレーでは AOX をほとんど処理できなかったといえる。

なお、ブランクで2%程度減少したということは、酸素ガスや紫外線による分解、容器やハニカムへの吸

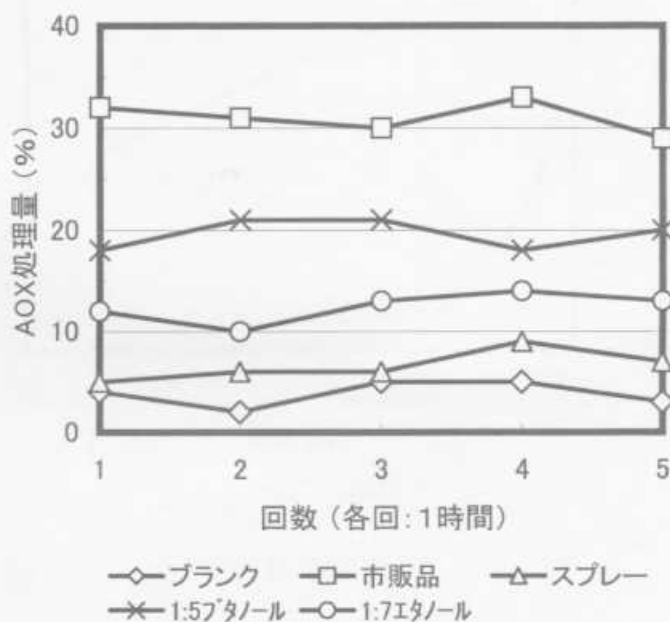


図5 光触媒による AOX 処理量

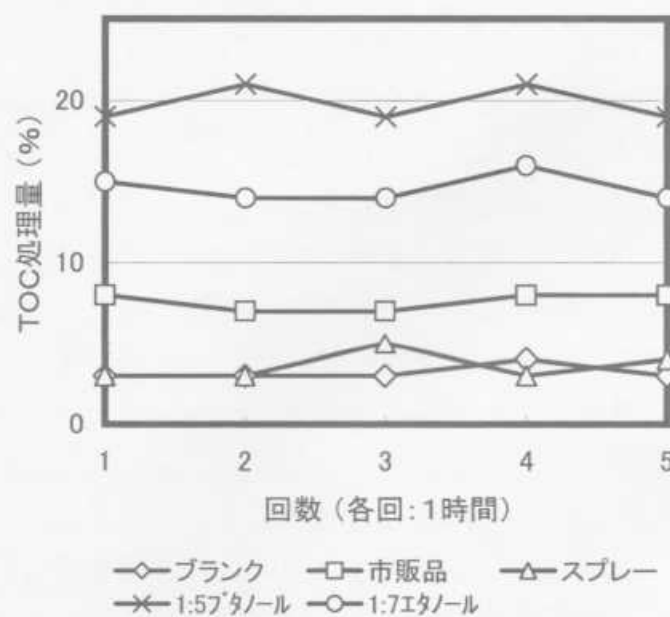


図6 光触媒による TOC 処理量

着の可能性もあるが、その原因は今のところ確認できていない。

また、図6にTOC処理量を示しているが、AOXの場合は市販品の処理量の方が1:5ブタノールより多かったが、TOCでは1:5ブタノールの処理量の方が市販品より多く、試作光触媒は有機物の無機化に効果的であるという結果が得られた。

なお、光触媒で処理することにより、2,4-ジクロロフェノールが単純に二酸化炭素と塩素イオンに分解されるのではなく、何らかの中間生成物に変化しているものと考えられる。

次に、光触媒とオゾンの処理能力を比較するため、それぞれ100mg/lの2,4-ジクロロフェノール200mlを処理したときのAOX濃度の経時変化を図7に示す。

オゾンは光触媒に比べて、初期に多量の有機塩素を

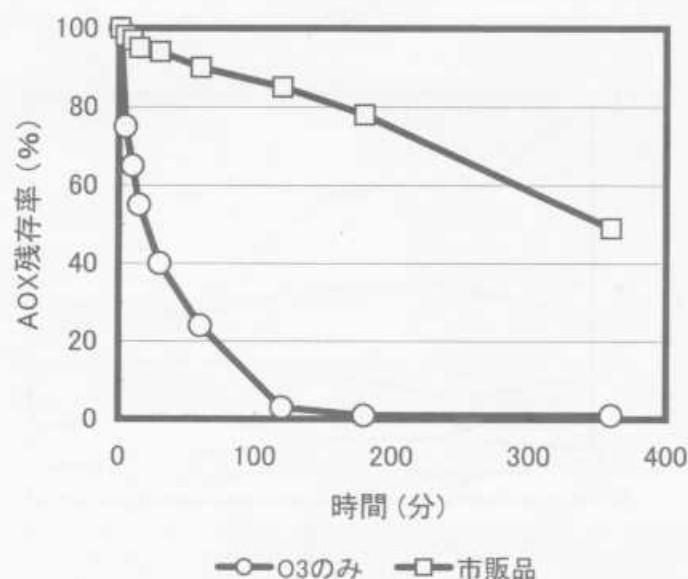


図7 処理量の経時変化

処理しているが、時間が経って濃度が薄くなると処理量が急激に減少し、180分後でもAOX濃度で0.6mg/lの有機塩素が、360分後でも0.4mg/lの有機塩素が残存している。一方、光触媒は、処理量はオゾンに比べて少ないが、一定の割合で処理している。今回はかなり高濃度の試料について行ったため、このような結果になったが、有機塩素化合物は一般に、環境中では低濃度で存在しており、オゾンでは完全に分解することができない低濃度のものが問題になると考えられる。そのため、今後は低濃度の試料について実験を行い、特に低濃度での光触媒の処理効率について検討する必要があると思われる。

3.2.2 オゾン併用による処理

オゾンは単独でも酸化力が強いいため、光触媒と併用すると光触媒単独での処理より大幅な処理量の増大が期待できる。そこで光触媒実験装置において酸素の代

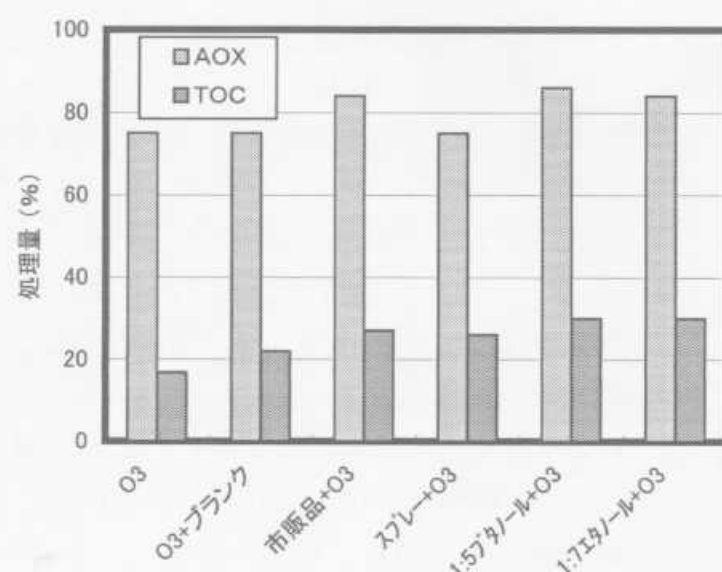


図8 オゾンとの併用

わりにオゾンを吹き込んで実験した結果を図8に示す。

なお、処理液の濃度は100mg/l、液量は100mlとした。

図8からわかるように、AOXはオゾンだけでも1時間に70%以上が処理されているが、光触媒を併用すると、処理量は10~15%増加した。また、TOCはオゾンだけでは1時間に約18%処理されているが、光触媒を併用すると、処理量は10~15%増加した。この増加分は光触媒単独での処理量よりやや少なめであったが、AOX、TOCともオゾン併用による効果が確認できた。

4 結 言

淡水中の有機ハロゲン化合物を除去するため、光触媒とオゾンを併用した処理を行い、次の結果を得た。

- 1) 光触媒の製膜条件については、チタン溶液にチタニウムテトラ-n-ブトキシドを使用してブタノールとの混合割合が1:5、加熱温度550℃で光触媒効果が期待できるアナターゼ型酸化チタンの薄膜を得ることができた。
- 2) 試作した光触媒(1:5ブタノール)は、市販品のものと比較するとAOXの処理に関しては劣っていたが、TOCの処理に関しては優れていた。また、オゾンを併用することにより光触媒の処理効率が向上した。

文 献

- 1) 本多正英他：広島県西部工技研究報告, No42 (1999), 9
- 2) 東邦彦他：東京都立産業技術研究所研究報告1 (1998), 105
- 3) Marcel Mulder：膜技術第2版, (1997), 73

船体の摩擦抵抗低減に関する研究 (第2報) 模型船の摩擦抵抗低減に関する研究

平田敏明, 斯波信雄, 倉本恵治, 本多正英

Study on the Reduction of the Frictional Resistance of Ships (2nd Report) On the Reduction of the Frictional Resistance Using Model Ships

HIRATA Toshiaki, SHIBA Nobuo, KURAMOTO Yoshiharu and HONDA Masahide

It is said that one of the effective methods reducing the frictional resistance of ships is injecting micro bubbles into the boundary layers of their bottoms. So, we examined a few about it. The results were as follows:

We could reduce the frictional resistance of model ships by injecting micro bubbles. When the tripping-bar was added, the greater reduction in resistance was achieved. When two streaks of air-bubbles were used, the reduction was achieved over the wide range of the flow speed.

キーワード：船舶, 抵抗低減法, マイクロバブル, 空気膜

1 緒 言

地球温暖化をもたらす大気中の二酸化炭素増加への対応策として船舶にも排気ガスの削減が求められている。そのためには省エネルギーが必要で、大型船舶の抵抗の大部分を占める摩擦抵抗の低減は重要な課題となっている。そこで船舶に比較的適用しやすく低減効果が大きいとされるマイクロ気泡を用いる方法で、昨年度の平板の摩擦抵抗低減の研究に引き続き、今年度は模型船の摩擦抵抗の低減について検討したのでその結果を報告する。

2 実験方法

2.1 模型船の製作

模型船は発泡ウレタンを積層した構造で、船体外面は船底塗料で仕上げを行った。サイズは甲板面の長さが510mmと970mmの2種類で、船底に気泡を発生する気泡発生装置を取付けた。気泡発生装置は510mm

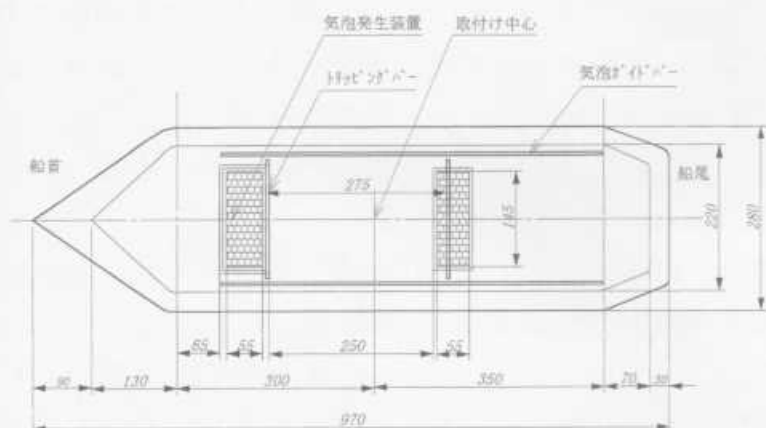


図1 970mm 模型の形状

模型では固定式, 970mm 模型ではカートリッジ式とし交換が容易に行える構造にした。また船底側部には気泡が周囲に逃げないようにガイドバーを取付けた。970mm 模型の形状を図1に示す。

2.2 フィルターの特性

気泡の発生に用いたフィルターの種類を表1に示す。

表1 フィルターの種類

種類	仕様
積層金網	通気抵抗 0.12~1.52l/min/cm ²
焼結金属-60	通気孔 60μm
焼結金属-20	通気孔 20μm
加工穴	穴径 0.2mm 3mm 間隔 44個
セラミック	平均孔径 10μm

2.3 トリッピングバーの断面形状

トリッピングバーの材質は木材, 長さは155mmで, その断面形状を図2に示す。

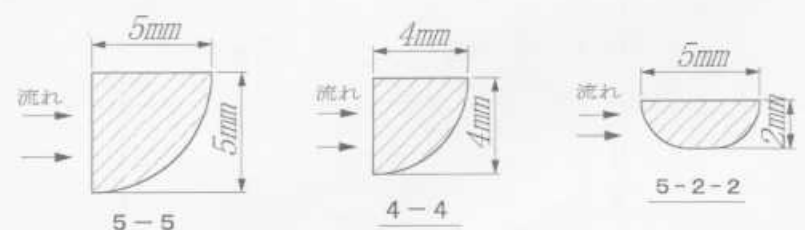


図2 バーの断面形状

2.4 試験方法

水槽は西日本流体技研製の垂直循環型回流水槽を用いた。水槽の仕様および計測方法は前報で報告した内

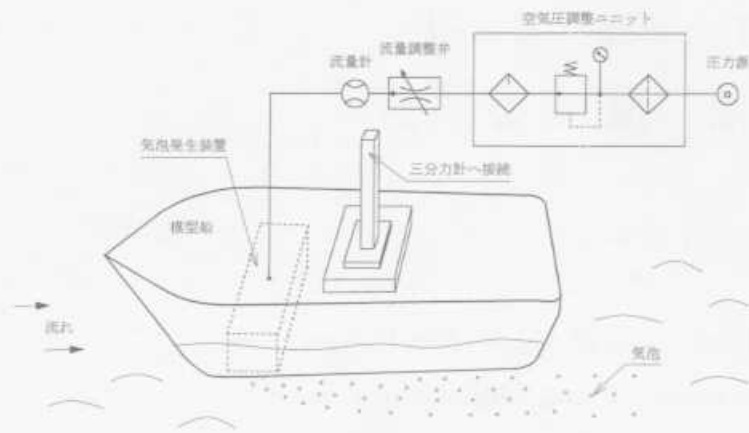


図3 試験の概観

表2 試験条件

項目	試験条件
空気量	0~10.5l/min.
空気圧	0.1MPa
流速	0.5~1.4m/s
喫水	60mm

容と同様である。試験の概観を図3に示す。

図3のように、三分力計に510mmと970mmの模型船を交互に取り付けて、

微細な気泡を模型船の船底から水中に放出し、摩擦抵抗の低減を検討した。試験条件を表2に示す。

次に気泡を発生するフィルターの種類を変えて抵抗低減に効果的なフィルターを検討した。フィルターの面積は55×145mm²である。

フィルターの効果を調べた後、船底にトリッピングバーを取付けた。510mm 模型では気泡発生装置の後端に1本、970mm 模型では気泡発生装置の後端に1本つけたもの、および後端とそこから275mm 後の計2本付けたもので試験を行った。

最後に970mm 模型船の気泡発生装置の後方250mm にも気泡発生装置を追加して取付け、2箇所からの気泡の注入による効果を検討した。

3 実験結果と考察

3.1 空気量と差圧の関係

表1にフィルターの種類を示したが、空気量と差圧の関係を明確にするため実際に測定して空気量-差圧

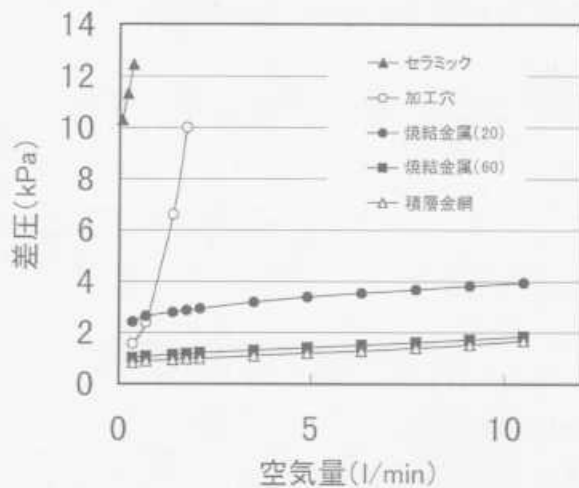


図4 空気量-差圧曲線

曲線を求めた。その結果を図4に示す。

図4で横軸は空気量、縦軸は差圧である。積層金網、焼結金属(60)と焼結金属(20)のフィルターは通気抵抗が小さく、セラミックと加工穴のフィルターは通気抵抗が大きいことがわかる。

3.2 船の長さとの抵抗低減

抵抗低減試験において一定の流速で供給する空気量を増していくと、模型船にかかる抵抗はある空気量で最小となるので、この時の値をこの流速における抵抗値とする。長さの異なる2種類の模型船の水槽試験での結果を図5に示す。

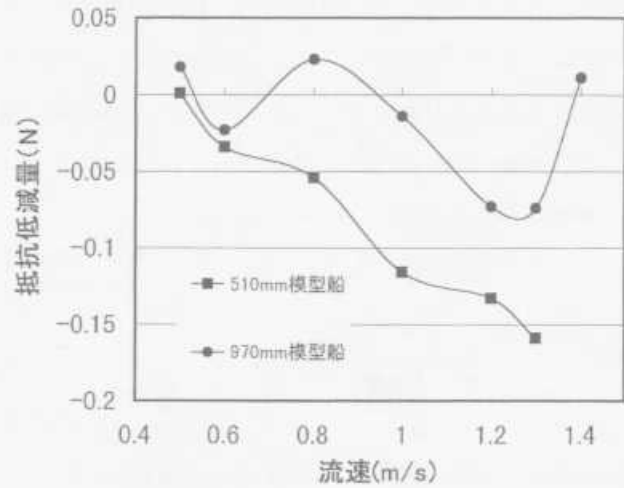


図5 模型船の長さとの抵抗低減量

図5で横軸は流速、縦軸は模型船の抵抗低減量である。510mm 模型では、流速が増すと抵抗低減量もこれにほぼ比例して増加し、低減量は流速1.3m/sの時約0.16N (2.3%)である。なお流速1.4m/sの時は船が波をかぶるため試験を実施していない。970mm 模型では流速0.5m/s および0.8m/s では抵抗低減はみられず、流速0.6m/s で一時的に抵抗低減が生じる。流速が1.0m/s を越えると気泡による抵抗低減が生じ1.2~1.3m/s で約0.074N (1.5%)である。流速がさらに速く1.4m/s になると抵抗低減は生じなくなる。このように両者では大きく異なる現象がみられた。これは510mm の模型では気泡が抵抗低減に有効に作用したと思われる。それに対して970mm の模型では、流速0.5m/s および0.8m/s では気泡による抵抗低減より気泡の成長による抵抗の増分の方が大きく抵抗低減が生じない。0.6m/s で一時的にみられる抵抗低減は薄い空気膜によるもので、これが船底全体を覆ったためである。また流速が1.0m/s 以上になると、抵抗低減量が船底後方に生じる抵抗よりも大きくなり抵抗は低減するが、低減量は510mm 模型に及ばない。流速1.4m/s では、大きく成長した気泡が船底に激しく打ち付けるため抵抗が一段と大きくなり抵抗低減が全くみられない。流速がこれ以上になると、気泡がより激

しく船底に打ち付けられるため抵抗がさらに大きくなるものと思われる。

3.3 フィルターと抵抗低減

510mm 模型でフィルターの種類を変えた抵抗低減の結果を図6に示す。

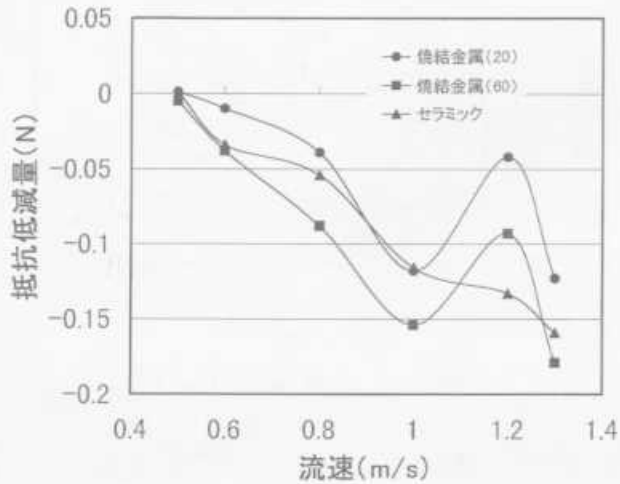


図6 フィルターの種類による抵抗低減

図6は、3.1で計測した空気量-差圧曲線の中から通気抵抗の差が大きい焼結金属(60)、焼結金属(20)、セラミックの3種類のフィルターで試験した結果である。セラミックの場合は、3.2で述べたとおり抵抗低減は流速0.5m/s以上で生じ、流速が速くなるに従って抵抗低減量もほぼ一様に増加する。焼結金属の場合特徴的なのは流速1.2m/sのところ抵抗低減量が急激に減少している。この原因については不明であるが、気泡と船体のマッチングに不具合が生じたことによるものと思われる。流速1.2m/sのところを除けば、低減量は大きい順に焼結金属(60)、セラミック、焼結金属(20)である。最大値は焼結金属(60)の流速1.3m/sの時で、約0.18N(2.4%)である。

同様に、970mm 模型では5種類のフィルターを用いて抵抗低減を検討した。その結果を図7に示す。

図7で各フィルター試験の全体的な傾向は、3.2で示したセラミックフィルターの抵抗低減のグラフと同様である。流速0.6m/sの時空気膜の生成による抵抗

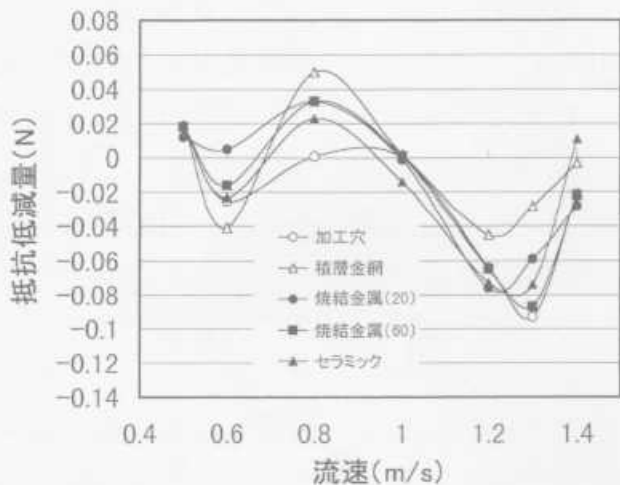


図7 フィルターの種類による抵抗低減

低減が少しみられ、0.8m/sでは抵抗が増加するが、ここをピークとして抵抗は減少し流速1.2~1.3m/sで低減量は最大となる。抵抗低減量は最大で0.10Nならず、また減少している流速は1.2~1.3m/sと狭い範囲に限られる。

次に各々のフィルターについてみると、積層金網は0.6m/sでは低減量が大きいですが、他の流速では低減量は少なく5種類の中では最も低減効果が良くない。他のフィルターでの抵抗の増減は概ね類似した傾向を示し、数値的には流速1.3m/sの時加工穴の低減量が0.093N(1.5%)で最も大きく、焼結金属(60)、セラミック、焼結金属(20)の順になり、これは510mm 模型試験の低減量の順序と同様であった。

これらの結果より、積層金網と焼結金属(60)は図4の空気量-差圧曲線では近似しているが抵抗低減では焼結金属(60)の方が優れている。セラミックと焼結金属(60)は空気量-差圧曲線ではかなりの差があるにもかかわらず抵抗低減量については大きな違いはない。従ってフィルターの種類と抵抗低減の間には関連が認められないと思われる。

3.4 トリップングバーの付加による試験

トリッピングバーは流れに直角になるように模型船の船底に取付けた。バーをつけるとこれを通過する気泡が船底に密着し抵抗低減に効果的であるが、バーそのものが抵抗源になり抵抗を増大させるというデメリットもある。そこでバーの形状を変えて抵抗低減に効果的なバーの選択を行った。なおここではバーの取付けによる抵抗の増分を差し引いた修正値を抵抗値とする。510mm 模型で試験した結果を図8に示す。

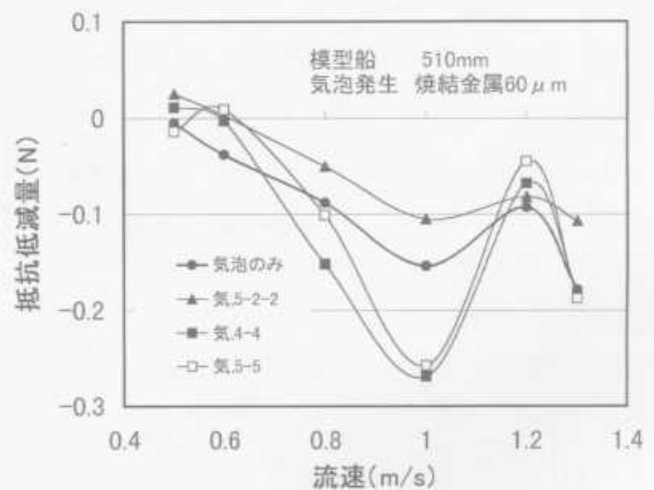


図8 抵抗低減に及ぼすトリッピングバーの効果

図8は、図6の試験で抵抗低減量が大きかった焼結金属(60)のフィルターを用いて検討した結果である。5-2-2のバーを取付けた時は、バーによる低減効果より抵抗増分の方が大きくなるため、バーの取付けが逆効果となった。4-4と5-5のバーを取付

けた時は0.8~1.0m/s でバーの効果が表れた。4-4のバーは1.0m/s で抵抗減少量が最大で約0.26N (9.9%) となり大幅に抵抗が減少した。抵抗減少量の実際の数値は4-4バーより5-5バーが大きい抵抗増分も大きくなるので、修正値では4-4バーのほうが良好な結果を示した。

同様に970mm 模型で試験した結果を図9に示す。

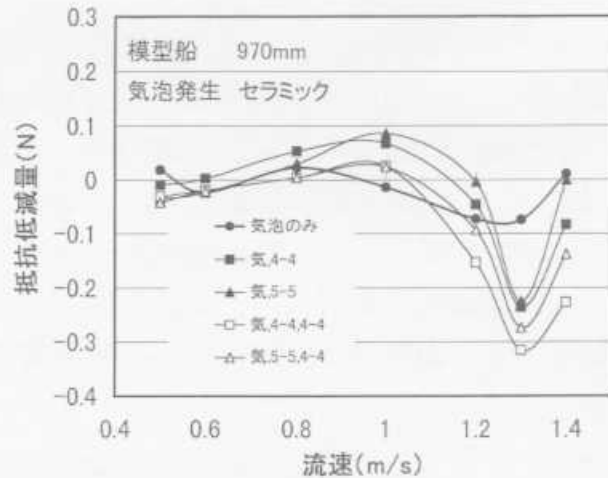


図9 抵抗低減に及ぼすトリッピングバーの効果

図9は、図7の試験で平均的な低減量を示したセラミックフィルターを用いて検討した結果である。トリッピングバーを1本取付けたものは図中■, ▲で示し、2本取付けたものはマークを白抜きし5-5, 4-4と表示しているが、これは前側に5-5バー、後側に4-4バーを取り付けたものである。

バーを1本取付けた場合、バーによる低減効果は流速1.3m/s でしかみられない。低減量が大きいのは4-4のバーで流速1.3m/s の時に最大で約0.24N (3.7%) である。流速が1.4m/s になると抵抗減少量は少なくなりバーの効果が低減する。

次にバーを2本取付けた場合は、1本の場合と比べて抵抗低減量が増大し、また効果的に作用する流速の範囲も1.2~1.4m/s と広がっている。抵抗低減量は4-4, 4-4バーが大きく、流速1.3m/s 時に約0.31N (4.9%) である。流速が1.4m/s ではバーの作用による抵抗低減が生じているが1本の場合と同様、効果は次第に低減する傾向にある。

このようにバーは、船底から剥離しようとする気泡をすべて船底に引きつける働きをする。すなわち抵抗を低減する微細な気泡も、抵抗源となる成長した大きな気泡も船底に強く接触させるため、抵抗曲線が増長するように見える。従って気泡のみの抵抗低減が存在しない時はバーの効果も存在しない。またバーを2本取付けると抵抗低減が増えているが、これは後方のバーにより引きつけの効果がより高められる結果と思われる。

3.5 二連気泡発生装置による試験

二連気泡発生装置により、2箇所から気泡を注入した時の結果を図10に示す。

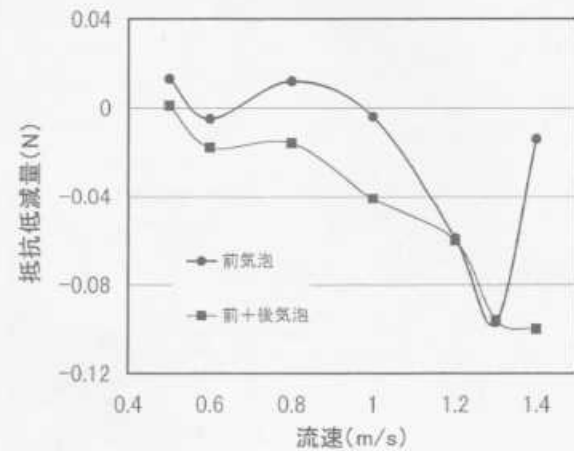


図10 二連フィルターによる抵抗低減

図10の中で、●印は気泡発生装置の前側からのみ気泡を放出した時の抵抗低減量である。■印は前側と後側の2連で気泡を放出した時の結果である。2連の放出の場合は、流速0.5~1.0m/s の時0.02~0.04N の低減がみられるが、流速1.2~1.3m/s では低減はなく、流速1.4m/s では0.10N (1.4%) の低減で気泡の効果が復活する。この抵抗低減は、追加注入した気泡により新たな抵抗低減を生じさせることができたためであるが、1.2~1.3m/s では前側から放出した気泡で既に抵抗低減が生じており、低減量を増やすことはできなかったものと思われる。このように気泡を後側より追加注入することにより、1ヶ所の気泡注入では低減がみられなかった流速域でも低減を生じさせ、抵抗低減が可能な流速範囲の拡大が図れた。

4 結 言

- (1) 気泡による抵抗低減は、510mm 模型では流速に比例して大きくなるが、970mm 模型では低減効果のある流速域が狭くかつ低減量も少なかった。
- (2) フィルターの種類と抵抗低減の間に関連は認められない。抵抗低減量は流速1.3m/s 付近では加工穴、焼結金属、セラミックの順に大きかった。
- (3) トリッピングバーを付加すると抵抗低減の曲線が増長され低減量が大きくなる。1本では4-4, 2本では4-4, 4-4バーが良好であった。
- (4) 気泡の発生を二連にすると、抵抗低減可能な流速範囲が拡大された。

謝 辞

この研究の遂行に際し、貴重な提言と焼結金属フィルターの提供をして頂いた広島センターの河迫社長様に感謝の意を表します。

水素化した Pd/Mg 薄膜の光透過特性

樋口浩一, 梶岡 秀, 問山清和, 本多正英

Formation and analysis of hydriding-dehydriding properties in some composite films using an in situ system with the functions of thin film formation and analysis. (2nd Report)

Transmission properties of hydrogenated Pd/Mg thin films

HIGUCHI Koichi, KAJIOKA Hideshi, TOIYAMA Kiyokazu and HONDA Masahide

We have been investigated Pd/Mg films for hydrogen absorbed material. Until now we found that hydrogenated Pd/Mg films showed the optical transmission. These films can be used for the optical switch or hydrogen sensor. Then, we were examined about the relations between the hydrogenation properties of the films and the optical transmission properties. The hydrogenated Pd (10nm)/Mg (200nm) film showed the neutral transparent state, and the transmission was nearly 20% in the range of 400–800nm wavelengths in atmosphere. The hydrogenated Pd (50nm)/Mg (200nm) film was dehydrogenated in atmosphere at the condition of 453K and 5 minutes.

キーワード：光透過, 水素化, マグネシウム, パラジウム

1 緒 言

これまでに水素化したレアアースが, その水素量に応じて金属光沢から光を透過することが, J.N. Huiberts らの研究¹⁾から知られている。また, レアアースを含むマグネシウムにおいても同様な現象²⁾が観察されている。この様な光透過特性を持つ薄膜は, 水素を利用した光スイッチや電気抵抗の変化を用いての水素センサーへの適用が考えられている。

我々は, これまでの実験からレアアースを含まないマグネシウムのみでも水素化すると光透過特性を示すことを見いだした。本研究では, パラジウムを被覆したマグネシウム薄膜の水素化特性と光透過特性の関係について検討した結果を報告する。

2 実験方法

既報³⁾で示した In-situ ナノ複合化多層薄膜作成評価装置を用いて実験を行った。基板は, ガラス (コーニング#7059, 20×20×0.5mm) を用いた。成膜は, RF 支援マグネトロンスパッタリング法にて室温で行い, マグネシウムはアルゴンガス圧 7.0×10^{-1} Pa, R. F. パワー200W, D. C. 電圧0.05V の条件で, パラジウムはアルゴンガス圧 7.0×10^{-3} Pa, R. F. パワー50W, D. C. 電圧0.1V の条件で, 目的の膜厚になるようにそれぞれ時間制御して作成した。表1に作成した試料について示す。なお, Pd/Mg はマグネシウムに

表1 Pd/Mg 薄膜の作成条件

試料名	作成条件
Pd(a)	Pd10nm
Pd(b)	Pd50nm
Pd/Mg(c)	Pd10nm/Mg200nm
Pd/Mg(d)	Pd25nm/Mg200nm
Pd/Mg(e)	Pd50nm/Mg200nm

パラジウムをコーティングした試料である。作成した薄膜の水素化は, 373K, 0.1MPa · H₂, 24時間の条件で行った。得られた薄膜の光透過特性は紫外可視分光光度計 (島津製作所 UV-160A) で, 結晶構造は X 線回折装置 (マックサイエンス MXP18VA CuK α 45 kV, 200mA) で, 水素吸蔵量は熱的昇温脱離 (TDS) 分析装置 (日本真空) で, それぞれ評価を行った。大気中での水素放出挙動は, 室温から段階的に一定温度にしたホットプレート上に一定時間試料を保持したのち室温に戻し, 試料を 5 mm 角のメッシュを描いた紙に載せ, 試料の背後から蛍光灯にて光照射してその光学的変化を観察した。

3 実験結果と考察

3.1 光透過観察

写真1に水素化前の Pd 薄膜と Pd/Mg 薄膜, および373K, 0.1MPa · H₂, 24時間水素化した Pd/Mg 薄膜を, 試料の後ろから蛍光灯にて光照射した時の光透過

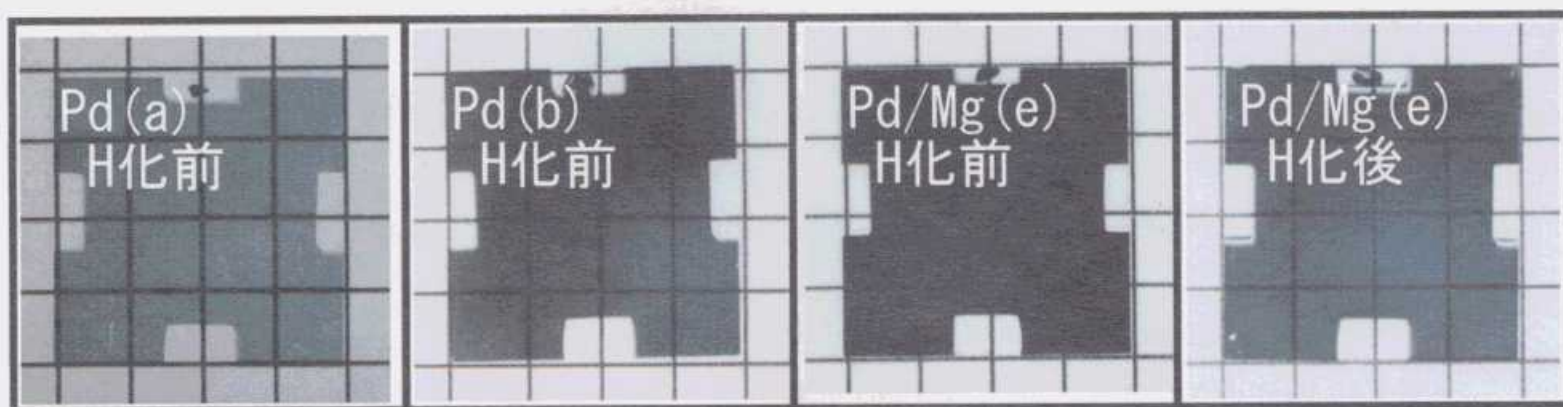


写真1 水素化前後の各種薄膜の光透過特性

10mm

の様子を示す。水素化前の Pd 薄膜は薄い灰色を呈して光透過し、膜厚が50nm の Pd (b) より10nm の Pd (a) がより光を透過する。水素化前の Pd/Mg (e) 薄膜は光を通さず完全に金属光沢を示すが、水素化すると光を透過するようになる。ここに示していない Pd/Mg (c), (d) も水素化前後で Pd/Mg (e) 薄膜と同様な挙動を示した。

3.2 波長と光透過特性の関係

図1には、ガラス基板を対照にした Pd および水素化した Pd/Mg 薄膜における光の波長と透過率の関係を示す。ガラス基板の光透過率を100%とすると水素化していない Pd (a) 薄膜は、波長400~800nm の光の30~40%、Pd (b) 薄膜は1~2%の光を透過する。水素化した Pd/Mg 薄膜はいずれも光を透過し、Pd/Mg (c) 薄膜は約20%、Pd/Mg (d) 薄膜は約10%、

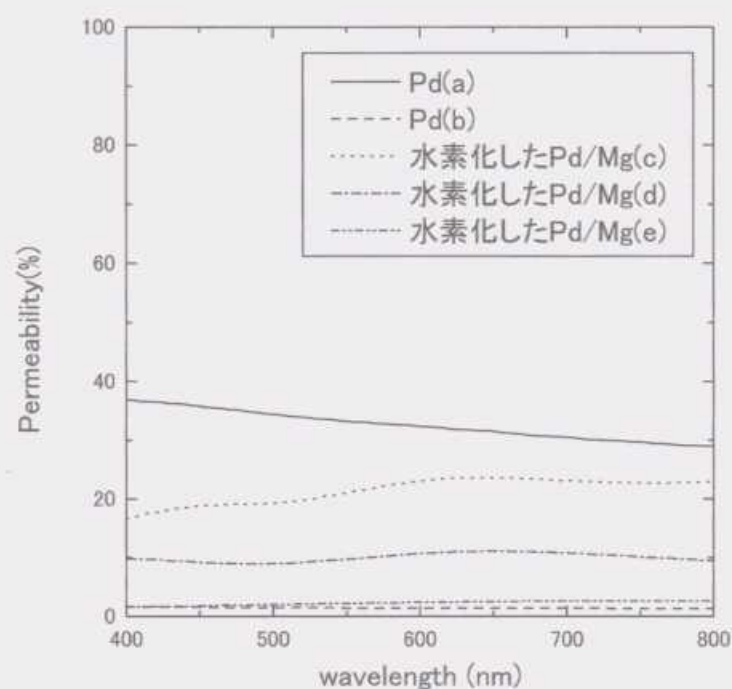


図1 各種薄膜の光透過特性

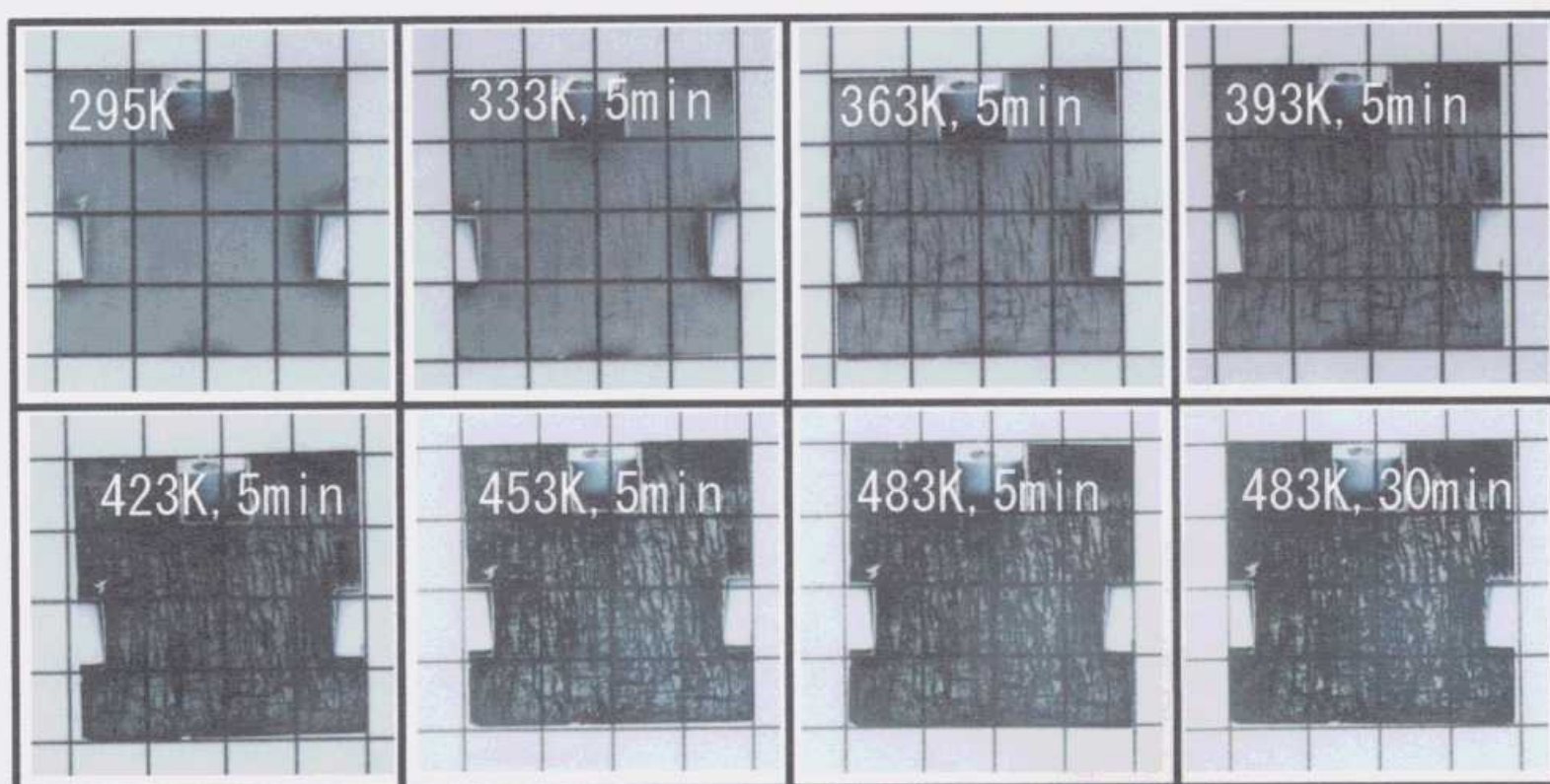


写真2 水素化した Pd/Mg(c) 薄膜の脱水素化過程

10mm

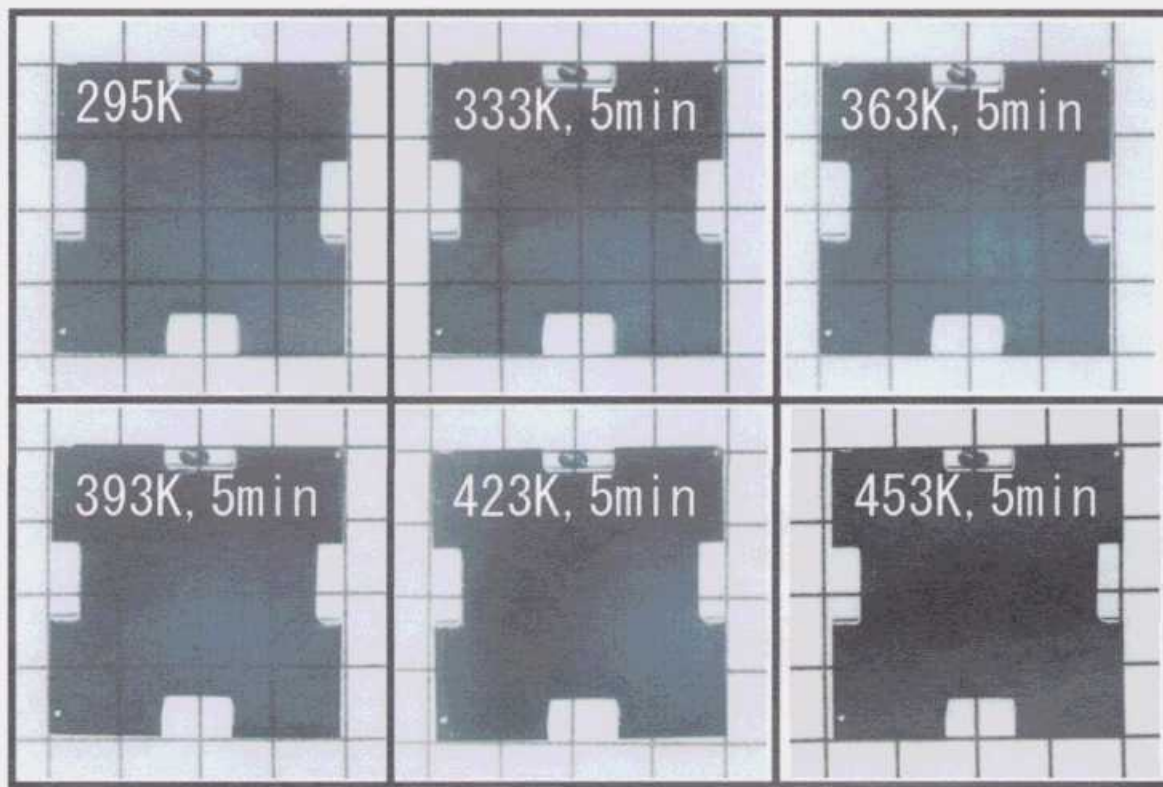


写真3 水素化した Pd/Mg(e) 薄膜の脱水素化過程

10mm

Pd/Mg (e) 薄膜は約 1~2% の透過率であり、Pd の膜厚の増加と共に透過率は低下する。ここには示していないが、水素化していない Pd/Mg 薄膜は光を透過しない。

なお、Pd のみでも水素化するとより光を透過するようになることが知られているが、後ほど述べる X 線回折結果からわかるように水素化した Pd/Mg 薄膜の Pd は水素化しておらず、Pd の水素化物については考慮する必要はない。今回測定した光透過特性は Pd と MgH_2 を含めて測定していることになる。

また本実験では基板にガラスを用いたため、ガラスが光を吸収する紫外線領域の波長の光透過特性を測定できなかった。

3.3 脱水素化と光透過特性の変化

写真 2 には、水素化した Pd/Mg (c) 薄膜を大気中で一定温度のホットプレート上にてそれぞれ一定時間保持した後、試料の後ろから蛍光灯にて光照射して観察した光透過の変化の様子を示す。水素化直後の 295 K においては薄い灰色を示し全体的に均一に光を通していている。これを温度 333K で 5 分保持すると一部筋状の黒色部が認められるようになり、423K では黒色部と透明部がはっきりとして、その後 483K で 30 分保持してもその形態には大きな変化は認められなく一部透明部分が残った。黒色部は、後ほど説明する X 線回折結果から MgH_2 から Mg へ脱水素化が起こったものと考えられる。ここには示さないが Pd/Mg (d) 薄膜も同様な脱水素化挙動をした。

写真 3 には、水素化した Pd/Mg (e) 薄膜を同様に熱処理した時の光透過の変化の様子を示す。水素化直後の試料は、全体が均一に光を透過しているが Pd/Mg (c) 薄膜に比べやや濃い灰色を示している。これは Pd 膜厚が Pd (c) に比べ厚く、Pd による光吸収が生じたためである。試料温度の上昇と共に光を通しにくくなり、423K で 5 分保持するとほぼ全体的に光を通さなくなり、さらに 453K で 5 分保持すると完全に金属光沢を示し光を通さなくなった。すなわちこの試料では、Pd 膜厚が薄い Pd/Mg (c) 薄膜とは脱水素化の過程が異なり、全体的にほぼ均一に脱水素化が起こっている様子がわかる。これらの結果は、被覆した Pd 膜厚の違いにより MgH_2 の脱水素化の過程が異なることを示していると考えられる。

3.4 結晶構造と光透過

図 2 に水素化前の Pd/Mg 薄膜、水素化後の Pd/Mg 薄膜およびその脱水素化後の X 線回折図形を示す。いずれの試料にも認められる 20~30 (degree) 付近の非常に弱くかつブロードなピークはガラス基板からのものである。Pd/Mg (c) 薄膜では、水素化前は Mg (002) ピークのみ認められ、Pd の X 線ピークは認められない。これは Pd の膜厚が薄いためである。水素化すると MgH_2 (110) が認められ、Mg が水素化物を作っている。水素化前と同様に Pd やその水素化物は認められない。483K で 30 分保持して脱水素化すると MgPd, MgH_2 (110), Mg (002) および Mg (101) が認められた。すなわち、写真 2 中の 483K で 30min

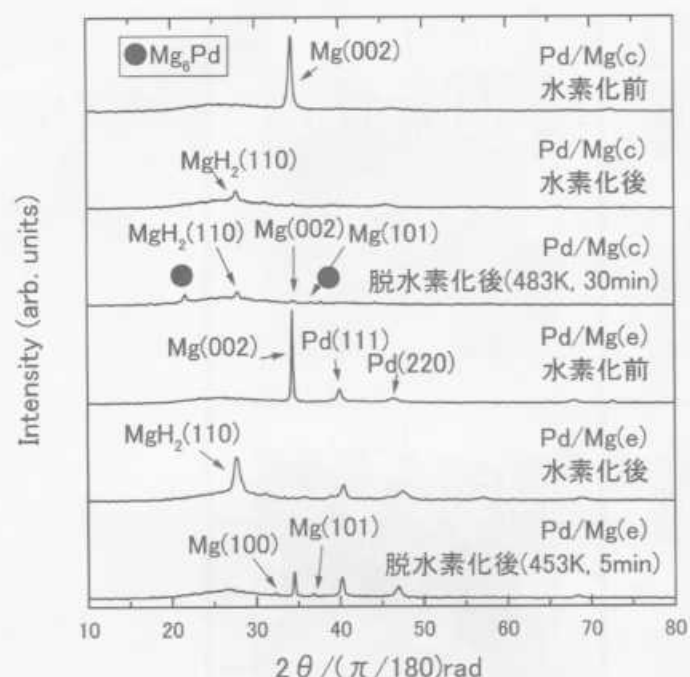


図2 Pd/Mg 薄膜のX線回折図形

保持した写真で示された脱水素化されていない MgH₂ 相 (透明部) の存在が確認され、また水素化-脱水素化過程を経ることによって、水素化前に配向していた Mg の配向性が弱まっていること、本脱水素化条件で Pd と Mg の化合物が生成することもわかる。

一方、Pd 膜厚が厚い水素化前の Pd/Mg (e) 薄膜では Pd (111), Pd (220) および Mg (002) が認められる。水素化すると Pd (111), Pd (220) および MgH₂ (110) が認められ、Mg が水素化していることがわかる。水素化後、試料を真空にしかつ大気中に置いたことにより、Pd は脱水素化しているものと考えられる。453K, 5分保持して脱水素化すると Pd (111), Pd (220), Mg (002), Mg (100) および Mg (101) が認められ、Mg₆Pd は認められなかった。これらの結果から、Mg の水素化物の形成により光透過特性が現れ、脱水素化すると光透過しないことが確かめられた。また、Mg と Pd の化合物である Mg₆Pd は 453から483K の温度で形成されることもわかった。

これらの作成した Pd/Mg 薄膜の水素吸蔵量は、光透過特性を評価した同一試料で測定できなかったが、これまでの研究結果^{3),5),6)} からいずれの試料も Mg に対し 4 ~ 6 mass% の水素を含んでいるものと考えられる。

3.5 水素センサー等への応用の可能性の検討

パラジウムを被覆したレアアース¹⁾ やこれを含むマグネシウム薄膜²⁾ は、今回得られたような光透過特性を示し、水素に対する応答性や脱水素化特性が良い (室温で秒単位で速やかに吸放出する) ことが知られ

ている。今回作成したパラジウムを被覆したマグネシウム薄膜の脱水素化特性は、脱水素化に高温が必要であることから、これらの薄膜に比較して良くない。すなわちこの薄膜を直ちに光スイッチや水素センサーへの適用することは困難であり、このためには水素に対する応答性の向上を図る必要があることがわかった。

なお、金属を水素化すると光透過する理由としては、金属の状態から半導体になることによることよって起こることが、イットリウムの場合報告²⁾ されている。今後、水素化前後の Pd/Mg 薄膜の電気抵抗を測定することにより、このことを確かめる予定である。

4 結 言

パラジウムを被覆したマグネシウム薄膜は、373 K, 0.1MPa · H₂, 24時間の条件で水素化し、400 ~ 800nm の波長の光を透過をすることがわかった。また、Pd 膜厚により脱水素化過程は異なるが、Pd (50 nm)/Mg (200nm) 薄膜は、453K で 5 min 保持すると MgH₂ の水素は完全に脱水素化し金属光沢を示し、光を透過しなくなった。

本研究は、新エネルギー・産業総合技術開発機構の平成11年度新規産業創造型提案公募事業により実施された。

文 献

- 1) J.N. Huiberts, R. Griessen, J.H. Rector, R.J. Wijngaarden, J.P. Dekker, D.G. de Groot and N.J. Koeman, Nature **380** (1996) 231
- 2) P. van der Sluis, M. Ouwerkerk and A. Duine, Appl. Phys. Lett. **70** (1997) 3356
- 3) 樋口; 水素吸蔵複合化合物の高機能化メカニズムの解明と創製に関する研究, 平成9年度研究成果報告書, (財)広島県産業技術振興機構・先端技術共同研究センター, (1998), 68
- 4) A. Mandelis, J.A. Garica, Sensor and Actuator B **49** (1998) 258
- 5) 平成10年度新規産業創造型提案公募事業報告書「水素の示す協力現象」広島県立西部工業技術センター (1999)
- 6) 平成11年度新規産業創造型提案公募事業報告書「水素の示す協力現象」広島県立西部工業技術センター (2000)

無機系廃棄物の再利用技術の研究 (第3報)

新型ごみ焼却施設から排出される溶融スラグの資源化技術開発と実用化

本多正英, 倉本恵治, 斯波信雄, 渡部英雄

A Study on Reutilization of Inorganic Wastes (3rd Report)

Development and Practicalization of Recycling Technology of Molten Slag from New-type Waste Incineration Plant

HONDA Masahide, KURAMOTO Yoshiharu, SHIBA Nobuo, and WATANABE Hideo

In order to make effective utilization of molten slag resulting from the incineration of general waste, the effect of it on environment and recycling it were investigated. The leaching tests have revealed that molten slag leached little heavy metals.

As for recycling it, the concrete in molten slag aggregate and the zeolite made from such slag through hydrothermal synthesis were investigated. As a result, the concrete became stronger than the standard concrete. And, the zeolite had as much cation exchange capacity as the commercial zeolite.

キーワード：溶融スラグ, 溶出試験, コンクリート細骨材代替, ゼオライト, 再資源化

1 緒 言

都市ゴミ焼却にともなうダイオキシン類の発生を防止するため、高温操業が不可欠と言われており、ガス化溶融技術が注目を浴びている。

一方、そこから排出される溶融スラグは、現状では廃棄物として埋立処分されているが、1998年3月に厚生省より、「一般廃棄物の溶融固形物の再利用の実施と促進について」が通知され、各方面で再利用について検討され始めている。¹⁻⁴⁾

そこで本研究では、溶融スラグの有効利用を行うため、重金属の溶出など環境への影響を評価した上で、再資源化のためコンクリートの細骨材の代替としての利用や、吸着剤であるゼオライトの合成について検討したので、その結果を報告する。

2 実験方法

2.1 使用材料

溶融スラグは Y 市から提供していただいたものを使用した。セメントは普通ポルトランドセメント (株トクヤマ)、標準の粗骨材として碎石、細骨材として川砂を使用した。

2.2 溶出試験および分析試験

溶融スラグの溶出試験は環境庁告示46号により (アベイラビリティ試験はオランダ NEN7341)、成分分析は鉄鉱石の分析法に準じて測定した。

2.3 コンクリート圧縮試験

溶融スラグの比重、吸水率試験は JIS A1109, 1110 に従って求め、粒度分布は JIS A1102により求めた。

細骨材の代替として使用するため、溶融スラグをボールミルで粉碎して粒度調整を行った。コンクリートの配合は、粗骨材の最大寸法を15mmとし、水セメント比50%、細骨材率46%、空気量2%とした。混和材料は用いていないので単位骨材容積は全ての配合で一定とした。圧縮強度は $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ の円柱供試体成形後、28日間 $20 \pm 2^\circ \text{C}$ の水中養生を行い JIS A1129に準じ試験を行った。

2.4 溶融スラグの結晶化

磁製るつぼ (容量30ml) に溶融スラグを25g取り、ふたをして電気炉中で所定の温度に再加熱した。また、塩基度 (CaO/SiO₂比) 調整には市販の酸化カルシウム試薬 (関東化学株) を粉状にして使用した。なお、コンクリート添加用として大量に作製する時は、大型の磁製るつぼ (容量280ml) とふたを使用した。

2.5 ゼオライトの合成

ゼオライトの合成方法は倉本ら⁵⁾の方法に従った。なお、生成したA型ゼオライトはX線回折装置 MXPVA (株マック・サイエンス) を用いて分析した。ここでの標準物質は、ゼオライト A-4 (東ソー株) を用いた。

2.6 陽イオン交換容量

陽イオン交換容量の測定方法は野田ら⁶⁾の方法に従った。

3 実験結果と考察

3.1 熔融スラグの環境への影響評価

2.2により測定した熔融スラグの主な化学成分値を表1に示す。また熔融スラグの環境への影響を評価するために行った溶出試験(環境庁告示46号試験)の結果を表2に示す。さらにより過酷な環境においても、安全かどうか確認するために行ったアベイラビリティ試験の結果を表3に示す。表1からわかるように、熔融スラグの主成分はSiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃でいずれも天然に存在するものがほとんどであるが、それ以外に微量に含有されている有害重金属の溶出は、いずれの溶出試験においても土壤環境基準値以下であった。

次に、非晶質のスラグ(熔融スラグ)と結晶化スラグでの重金属溶出量に変化があるか否かを確認するため、スラグを1300℃2時間加熱後及び1100℃24時間加

表1 熔融スラグの化学成分

記号	化 学 成 分 %					
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
-	38.66	12.87	17.10	17.96	3.30	3.19
記号	化 学 成 分 %					
	K ₂ O	MnO	TiO ₂	CuO	ZnO	P ₂ O ₅
-	1.03	0.33	1.81	0.50	0.53	2.01

表2 熔融スラグの溶出試験結果
(環境庁告示46号試験)

記号	化 学 成 分 mg/l					
	Cd	Pb	Cr	As	Se	T-Hg
-	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	<0.001	<0.0001
土壤環境基準値	0.01以下	0.01以下	0.05以下	0.01以下	0.01以下	0.0005以下

表3 熔融スラグの溶出試験結果
(アベイラビリティ試験)

記号	化 学 成 分 mg/l					
	Cd	Pb	Cr	As	Se	T-Hg
平均値	<0.001	0.008	0.004	<0.001	<0.001	<0.0001
pH7	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.0001
pH4	<0.001	0.016	0.006	<0.001	<0.001	<0.0001

表4 再加熱した熔融スラグ(結晶化スラグ)の溶出試験結果(環境庁告示46号試験)

記号	化 学 成 分 mg/l					
	Cd	Pb	Cr	As	Se	T-Hg
1100℃ 24h	<0.001	<0.001	0.015	<0.001	<0.001	<0.0001
1300℃ 2h	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	<0.001	<0.0001

熱後冷却して(冷却速度は-100℃/h)結晶化させたスラグの溶出試験結果を表4に示す。一般的にスラグが非晶質の時は、重金属がガラス状の構造の中に強く閉じ込められ溶出してこないと言われているが⁷⁾、スラグを結晶化させた時においても、溶出試験値は土壤環境基準値以下であり、環境には負荷を与えないことを確認した。

3.2 熔融スラグのコンクリート細骨材代替としての利用

熔融スラグの再資源化として、コンクリートの細骨材の代替について検討した。コンクリートでの細骨材の規格は、粒度分布、比重及び吸水率が規定されており、これらを調べた結果を表5及び図1に示す。比重及び吸水率については表5に示すように基準を満足していた。しかし、粒度分布については図1からわかるように、熔融スラグの粒径は全体的に大きく、2.5mm以下の小さいものが規格値以下であったため、熔融スラグを粉砕して粒度調整を行い、規格に適合する状態にして使用した。

表5 比重及び吸水率試験結果

試験項目	熔融スラグ	標準粗骨材	規格値
絶乾比重	2.84	2.61	2.5以上
吸水率(%)	0.14	1.26	3.0以下

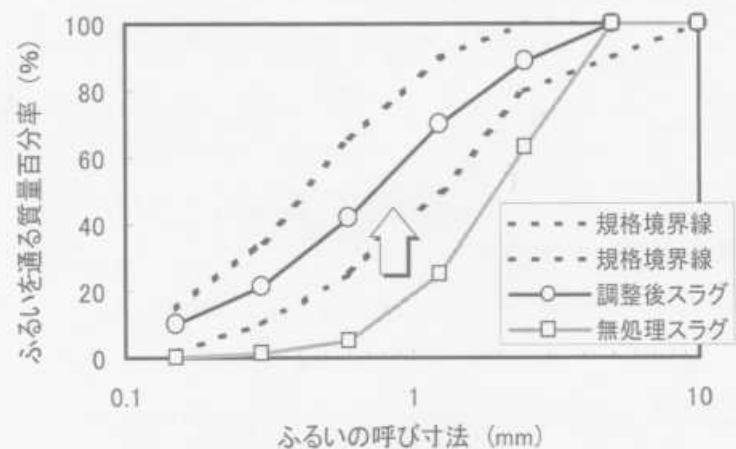


図1 熔融スラグの粒度曲線

細骨材の代替として、熔融スラグを種々の配合割合でコンクリートに添加し、圧縮強度について検討した結果を図2に示す。熔融スラグの添加量が多くなるほど圧縮強度は上昇し、熔融スラグ100%代替の時、最も強度は高くなり、標準コンクリートに比べて5%上昇した。

また、100%代替コンクリートの溶出試験結果を表6に示すが、これも土壤環境基準値以下であった。これらの結果より、熔融スラグを粒度調整することにより、コンクリートの細骨材として再資源化することは可能であり、環境にも負荷を与えないことを確認した。

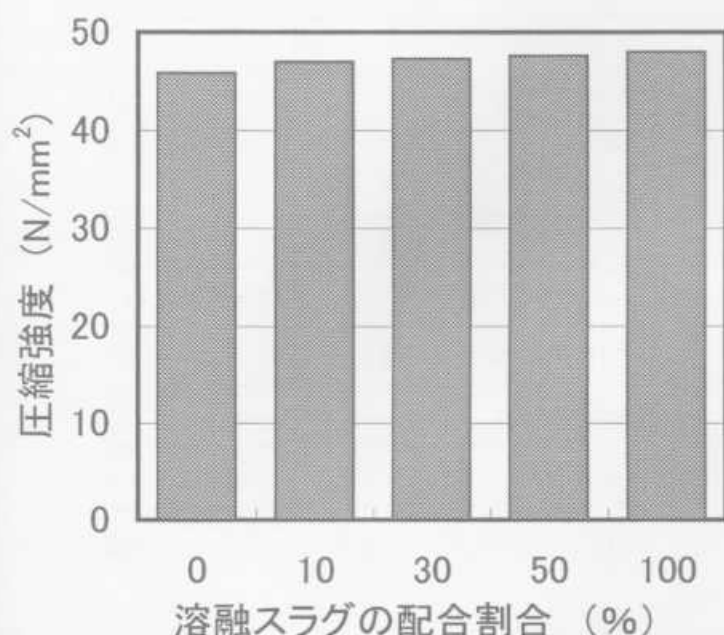


図2 コンクリート圧縮強度試験結果

表6 熔融スラグ細骨材含有コンクリートの溶出試験結果 (環境庁告示46号試験)

記号	化学成分 mg/l					
	Cd	Pb	Cr	As	Se	T-Hg
-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0001

3.3 熔融スラグの結晶化

次に、再骨材の代替として非晶質スラグと結晶化スラグでの圧縮強度を比較するため、熔融スラグの結晶化について検討した。ここには示さないが、再加熱温度と保持時間、及び再加熱後の冷却速度について検討した結果、表面や断面の外観、X線回折結果などから、再加熱温度は1300℃、保持時間は2h、冷却速度は-100℃/hが適当であることがわかった。なお、この条件下ではオーサイトとアノーサイトの結晶構造

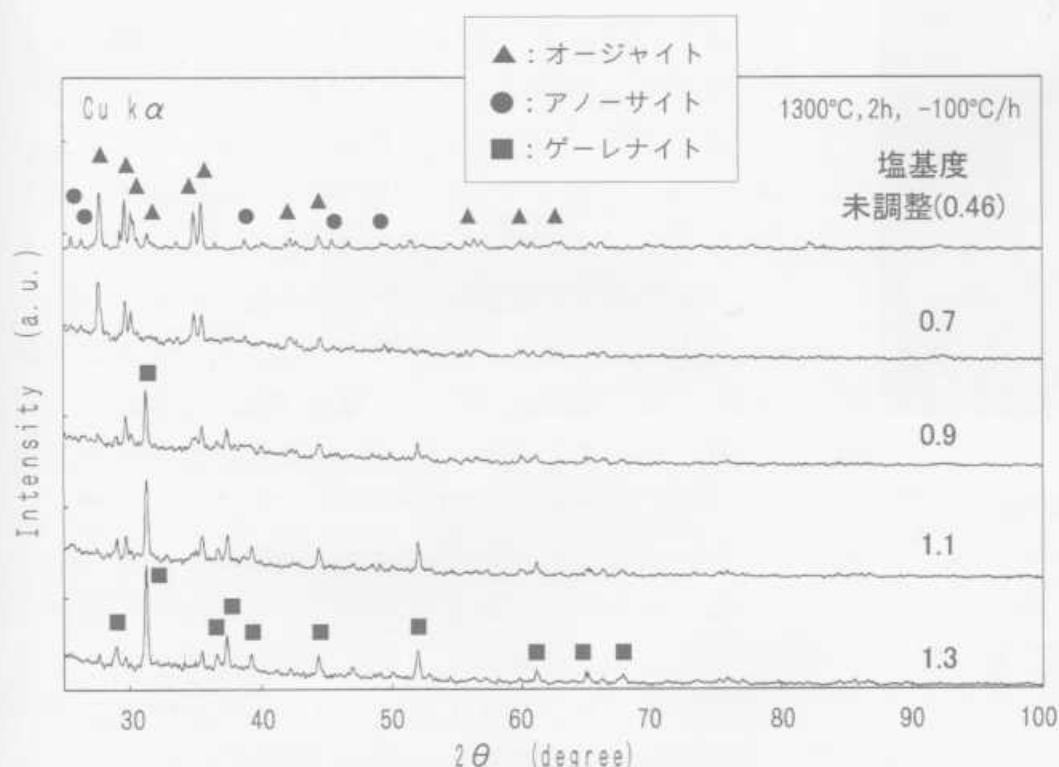


図3 塩基度調整後に再加熱した熔融スラグのX線回折結果

が認められた。

さらに、より強度を上げるため、熔融スラグからゲーレンイトの作製について検討した。熔融スラグの化学成分は表1に示したが、この化学成分ではゲーレンイトを作製できないため、成分調整を行った後に加熱処理を行った。加熱温度等は前述のとおりとし、塩基度(CaO/SiO₂比)を種々に変えて検討した結果を図3に示す。塩基度が0.9以上になると、オーサイトとアノーサイトの他にゲーレンイトの結晶が見られはじめ、塩基度が1.3以上ではゲーレンイトだけになった。

これらの結果より、塩基度を1.3にして作製した結晶化スラグを細骨材としてコンクリートに添加してみたが(100%代替)、圧縮強度は標準のものとはほとんど変わらなかった。しかしながら、小林らの報告⁸⁾によるとゲーレンイトを析出させることにより、すりへり減量が非晶質スラグに比べて半分以下になるなど強度が大幅に改善されており、路盤材への適用も可能と考えられる。

3.4 機能性材料の開発

熔融スラグからの機能性材料の開発について検討した。2.5に示す方法で作製した生成物のX線回折結果を図4に示す。塩酸処理・苛性ソーダ処理後合成した試料dは、市販のA-4型ゼオライトのX線回折結果eと良く一致している。また、合成したゼオライトと市販のゼオライトの電子顕微鏡写真を写真1に示すが、市販品に比べ粒径のやや小さいものが得られた。さらに、合成したゼオライトの性能を比較するため、陽イオン交換容量について検討した結果を図5に示す。陽イオン交換容量については、塩酸処理後水熱処理、及び塩酸処理・苛性ソーダ処理後水熱処理して合成したゼオライトと市販のゼオライトはほぼ同等であり、吸着剤として十分利用できることがわかった。

4 結 言

(1) 熔融スラグや結晶化スラグ、熔融スラグを細骨材として添加したコンクリートの溶出試験を行ったが、全て土壤環境基準値以下であった。

(2) 前述の熔融スラグ入りコンクリートの圧縮強度は標準コンクリートに比べて5%上昇した。

(3) 熔融スラグから水熱合成し作成したゼオライトは、市販のものとはほぼ同等の陽イオン交換容量を有してい

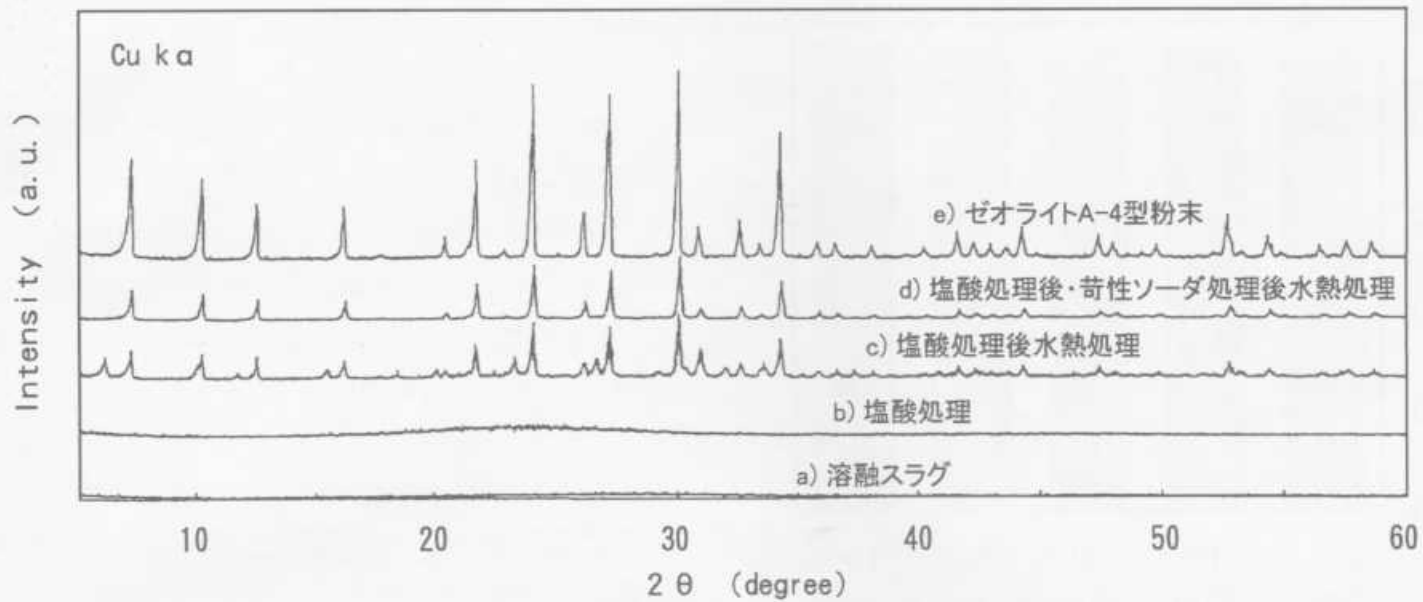
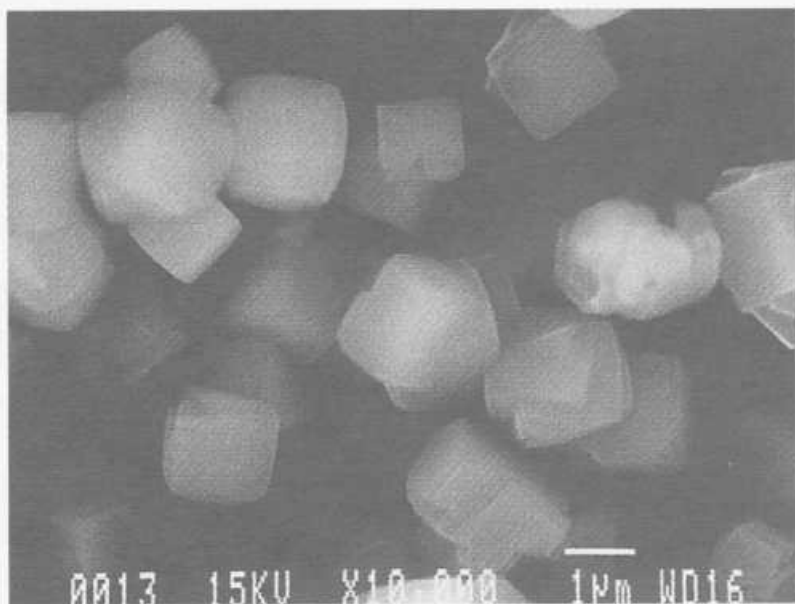
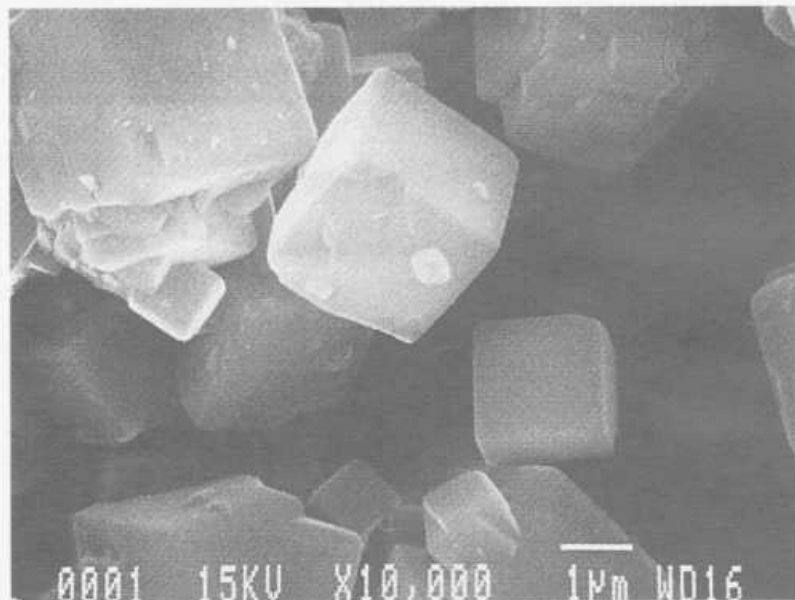


図4 生成物のX線回折結果



(d)塩酸処理・苛性ソーダ処理後水熱処理



(e)市販のゼオライト

写真1 生成物の走査電子顕微鏡写真

た。

なお、本研究は平成10年度ベンチャー企業育成型地域コンソーシアム事業として実施したものである。

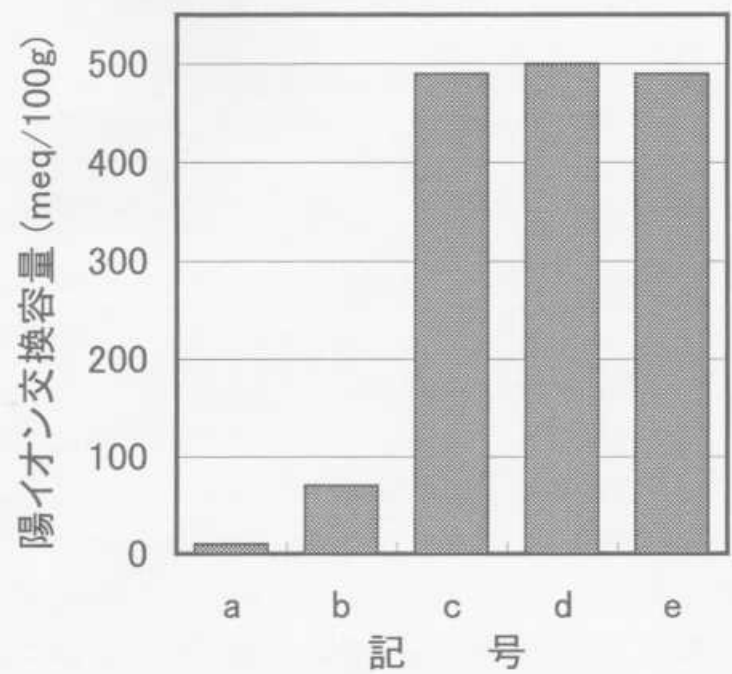


図5 生成物の陽イオン交換容量

文 献

- 1) 東京都清掃局：焼却灰溶融スラグの有効利用マニュアル (1997)
- 2) 西田克範, 望月 淳: 燃料及燃焼, 66 (1999), 323
- 3) 磯 文夫, 松本泰治, 佐伯和彦 小峰新平: 栃木県南工技研究報告, No11 (1997), 67
- 4) 千葉県: 千葉県溶融スラグ利用促進指針 (1996)
- 5) 倉本恵治, 藤本宗之, 畑 徳宣, 丸下清志: 広島県西部工技研究報告, No39 (1996), 21
- 6) 野田修司: 天然ゼオライトの簡易塩基交換容量測定法, 粘土科学, 20 (1980), 78
- 7) 財団法人 廃棄物研究財団: 焼却灰の適正な処理及び有効利用に関する研究 平成7年度報告書
- 8) 小林和樹, 藤原直機, 谷口幸久, 山本 学, 石井修平: ごみ焼却飛灰溶融スラグの高度化技術, 第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集, I, 427 (1998)

ダクト内騒音のアクティブコントロールに関する基礎研究

吉野信行・長谷川浩治・中塩武之, 大谷 孝*, 西村公伸**

Study for Environmental Amenity (8th report)
Basic Study for Active Control of Sound Noise in Duct

YOSHINO Nobuyuki, HASEGAWA Koji, NAKASHIO Takeyuki, OTANI Takashi* and NISHIMURA Kiminobu**

Recently, by advancing of digital data processing technique, there have been developed household electronic equipments of voiceless sound such as an electric vacuum cleaner, an electric washing machine and an electric refrigerator using both the active noise and passive noise control method (using basic principle such as interference, absorption, resonance for sound noise and vibration). In this paper, from these points of view, for understanding of principle and function of active noise control, a sound noise control in duct has been carried out using active noise control unit. Sound noise sources in active control unit were used sine wave and strand cutter.

From these experimental results, as the principle and function of active noise control have been able to understood, in future problems, the control of sound noise and vibration for industrial, medical and scientific facilities using this active control unit are able to considered in the real sound noise and vibration environment

キーワード：アクティブノイズコントロール, アダプティブコントロール, ダクト内騒音,
ストランドカッター

1 緒 言

近年、デジタル信号処理技術の発展及び情報革命と相まって、人間の実生活環境に関する機能的快適性は、あらゆる分野で進展している。一方、公知の如くEC関連の機器・製品では、カタログ等の仕様に音響パワーレベルの表示が義務付けられている。従って、輸出関連企業に関しては、低騒音・振動機器・製品の開発が重要な課題となってきた。近年のデジタル信号処理技術の進歩（パーソナルコンピュータ、DSP等）に伴い、家電製品である洗濯機、掃除機、冷蔵庫等は、従来の基本的消音原理（共鳴、干渉、吸音、遮音、制振等）とアクティブコントロールを併用させた騒音・振動の対策が採用され、かなりの低減効果が得られている。

本研究では、このような背景を踏まえ、企業で開発される各種機器・製品に関し、従来法とアクティブノイズコントロールの併用に関する基礎的研究として、アダプティブコントロールユニットを利用し、閉空間と見なされるダクト内騒音の低減により産業機械の騒音対策技術の手がかりを得ることを試みた。騒音低減対象とする音源には、正弦波およびストランドカッター騒音をダクトの擬似音源として採用し、アクティブ

コントロールの効果について実験を行った。音源が正弦波の場合は、周波数を90Hz~900Hzとし、ストランドカッターの場合は、1kHz以内の卓越した騒音を対象として消音を行い良好な結果を得ることが出来た。

2 理論的背景

一般に、ダクト内騒音のアクティブコントロールには適応制御の最小2乗法に基づくアルゴリズムが使用されている。図1はダクト内騒音のシステム構成を示す。本アクティブコントロールユニットにおいては、

以下のような勾配降下アルゴリズムを使用している。すなわち、時刻kにおける騒音源の信号をx(k)、誤差信号をe(k)、制御システムで発生する信号をy(k)とすれば、逐次フィルタ重み係数ベクトルG(k+1)¹⁾は、次式で表示される。

$$G(k+1) = G(k) \cdot (1 - \mu\alpha) - \mu\Delta G(k) \quad (1)$$

ここで、 μ は収束係数、 α はリーケッジ係数、 $\Delta G(k)$ は現在のフィルタ重み係数で与えられる誤差の勾配である。実際の本システムの稼働に関しては、稼働に必要な各種パラメータをプログラムに入力することにより(1)式をもとに制御が行われる。

*日鋼設計(株), **近畿大学工学部

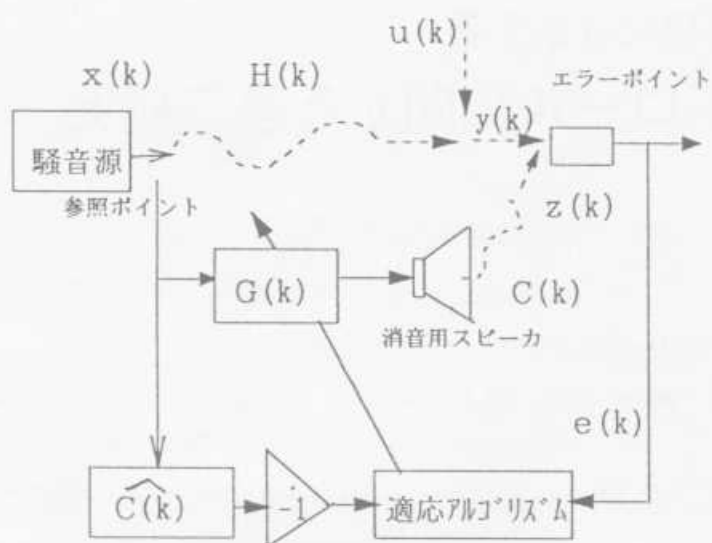


図1 ダクト騒音制御のシステム構成

これらのパラメータとしては、制御フィルタの種類 (FIR, IIR), 参照信号のフィルタタップ数, 誤差信号のフィルタタップ数, 制御と誤差信号の組み合わせ, 入力ゲイン, 信号のサンプルレート, 適応アルゴリズムの収束係数 (同定も含む), フィルタタップ数, 制御と誤差信号の組み合わせ, 信号のサンプルレートおよびリーケッジ係数 (同定も含む) 等を入力することにより自動的に制御するシステムとなっている。これらの係数の選択は、騒音源の種類により内部のソフトウェアで自動的に推定設定される。

3 実験およびその考察

本研究の目的は、閉空間と見なされるダクト内騒音の低減を目的とし、アクティブコントロールユニット利用による各種騒音源の制御に対し、どのような性能が得られるかを調べる。具体的には、正弦波およびストランドカッターの騒音を音源としてアクティブコントロールユニットの制御効果について検討を行う。

3.1 正弦波騒音源のアクティブコントロール

図2は、塩化ビニールパイプによるダクトの実験装

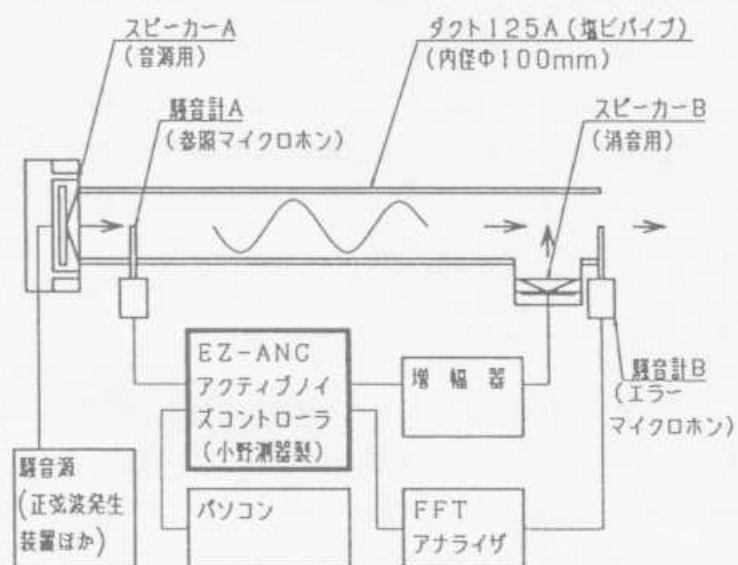
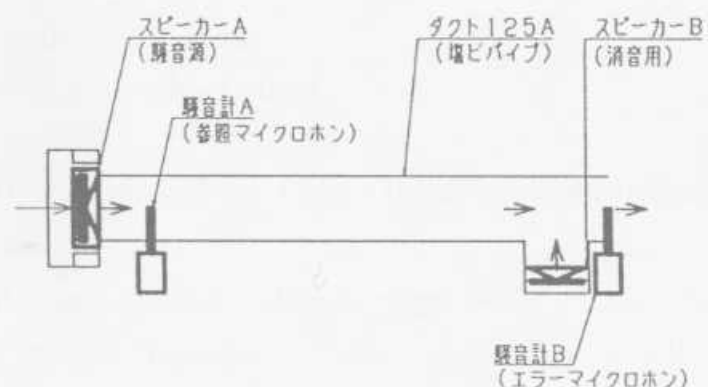
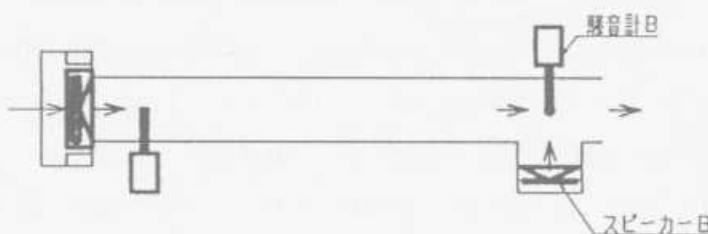


図2 実験装置の構成図

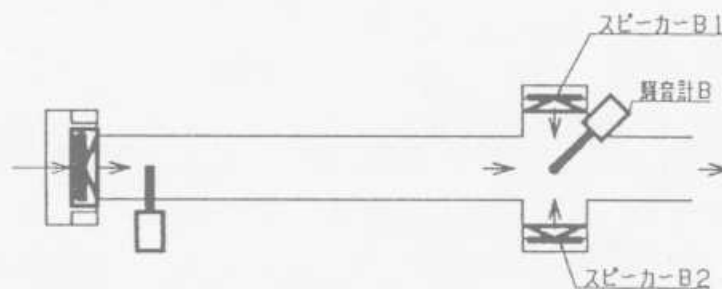
置の構成を示す。実際のダクト内の騒音制御に関しては、騒音源の音圧を一定とし、消音スピーカの位置、スピーカの個数およびエラーマイクロホンの位置等を変え、図3の(A)から(D)の各条件で消音性能を測定した。



(A) 消音スピーカ1個、エラーマイクは出口の位置に設置



(B) 消音スピーカ1個、エラーマイクは消音スピーカ前面の位置に設置



(C) 消音スピーカ2個、エラーマイクは消音スピーカ前面の位置に設置、出口パイプ長さ450mm



(D) 消音スピーカ2個、エラーマイクは消音スピーカ前面の位置に設置、出口パイプ長さ110mm

図3 消音スピーカおよびエラーマイクの配置図

本実験では、周波数範囲90Hz~900Hzの正弦波 (周波数90Hz刻み) を用いて、ダクトの消音性能を測定した。図4は、図3の条件AからDによる実験結果を示す。図中、◆はAの消音性能、●は、Bの消音性能、▲はCの消音性能、×は、Dの消音性能

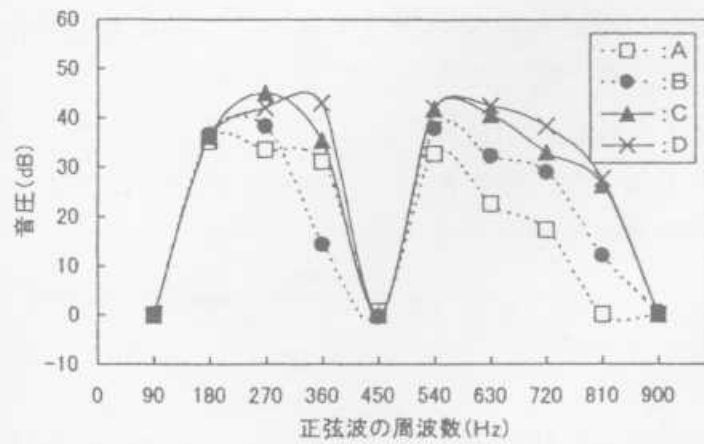


図4 条件 A, B, C および D の消音効果の比較

を示す。これらの実験結果から、エラーマイクロホンはダクトの出口より消音スピーカ前面の位置に置いたほうが高い消音効果があり、消音スピーカは1つより2つの方が広範囲の周波数で高い効果があることが把握できる。また、出口パイプ長は、450mmより110mmの方が、高域周波数で性能が良いことが把握できる。図中90Hz、450Hzおよび900Hzで制御性能が低いのは、消音スピーカの位置で音圧レベルが低い状態に成っていると推測される。一方、実験に使用したダクトで出口開口部から制御スピーカまでの距離が110mmの場合、720Hzで制御スピーカの位置で理論的に音圧が最大（出口開口部から制御スピーカまでの距離が450mmの場合は、180Hzで制御スピーカの音圧が最大）となるはずであるが実際には、ダクト内で音波の反射や制御スピーカから参照マイクロホンへのフィードバック機能などの影響により理論に従わないと推測される。

図5に正弦波音源を使用した場合のFFTアナライザ結果の一例を示す。この図で被制御周波数は、540Hzである。上図が制御前、下図が制御後のスペクトルを示す。

この図から、消音対象とする540Hzの騒音のスペクトラムが低減されていることが確認される。

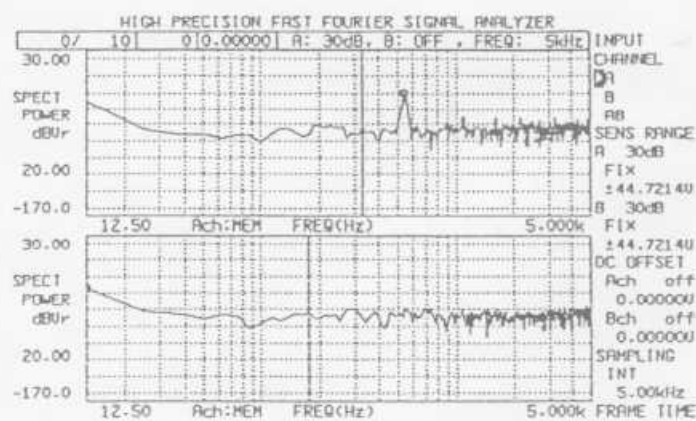
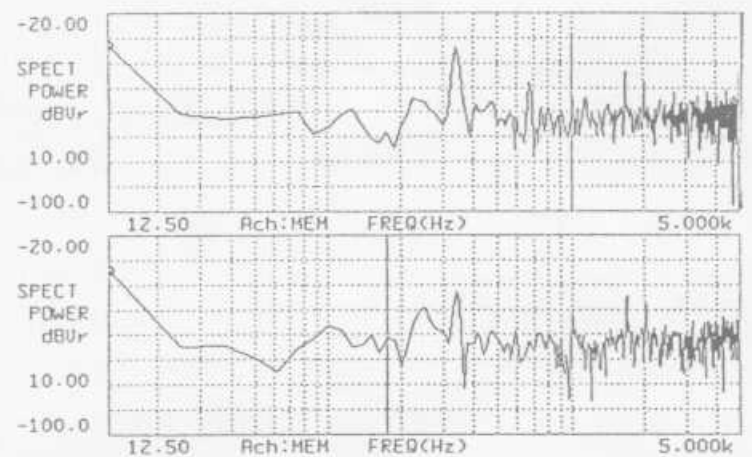


図5 正弦波音源によるFFT分析結果
(低減周波数: 540Hz, 上図: 制御前,
下図: 制御後)

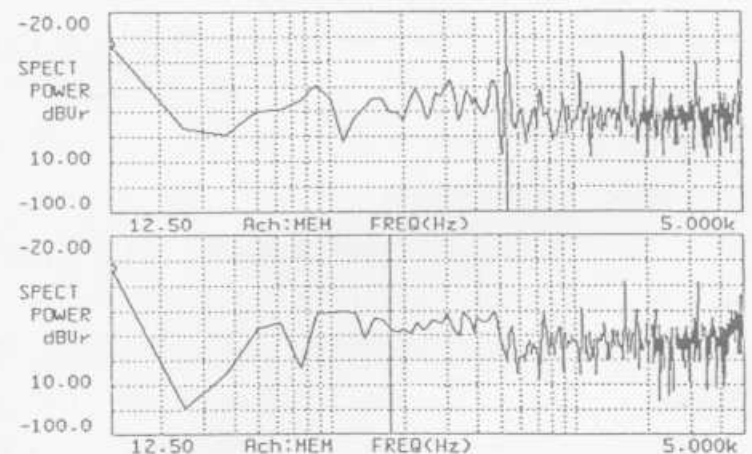
3.2 ストランドカッター騒音源のアクティブコントロール

騒音源としては、デジタルオーディオテープデッキ(DAT)により録音したストランドカッター騒音を用いた。実験条件としては、前章の正弦波騒音源による実験結果によって得られた消音効果の高い図3でBの条件およびDの条件のシステム構成について実験を行った。ストランドカッターの稼働状態では、回転刃の回転数が1,100rpmの場合と、最高回転である1,800rpmの場合について2種の実験を行った。最高回転数でのカッターの固有周波数は540Hzである。Bの条件での実験結果を図6に示す(FFTアナライザ周波数分析)。(a)は、回転数1,100rpmの場合、(b)は回転数1,800rpmの場合である。上図が制御前、下図が制御後のスペクトラムを示す。

Dの条件での実験結果を図7に示す(FFTアナライザ周波数分析)。(a)は回転数1,100rpmの場合、(b)は回転数1,800rpmの場合である。上図が制御前、下図が制御後のスペクトラムを示す。図6および図7の結果により、ストランドカッターの場合は、1kHz以内の卓越した騒音を対象として、かなりの消音を行っており、良好な結果が得られていることが確認される。カッター回転数が約1,100rpmの場合は約330

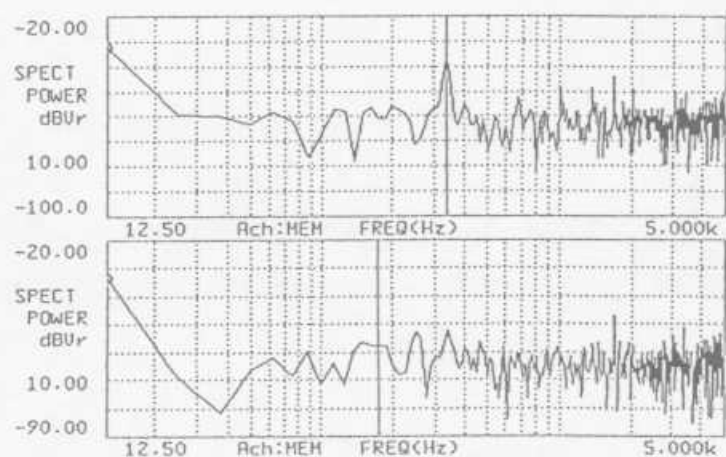


(a) 回転数1,100rpm

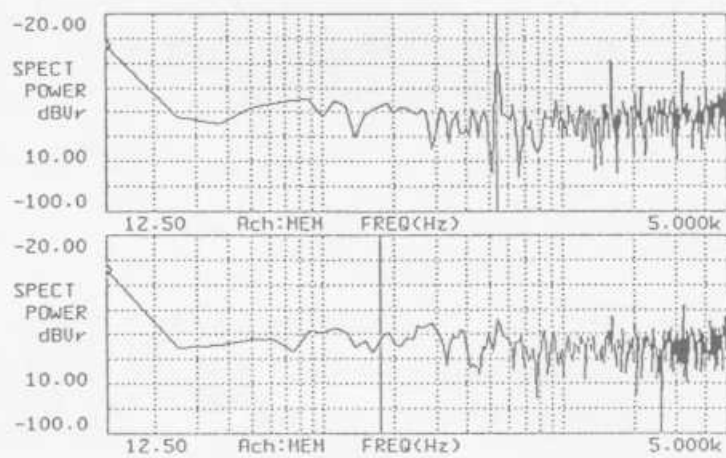


(b) 回転数1,800rpm

図6 ストランドカッター音源による実験結果



(a) 回転数1,100rpm



(b) 回転数1,800rpm

図7 スtrandカッター音源による実験結果
(実験条件：D, 上図：制御前,
下図：制御後)

Hzの卓越した騒音を、1,800rpmの場合は、約540Hzの卓越した騒音を対象に、かなりの消音が得られている。全体的には、正弦波騒音源による実験と同様に、Dの条件の場合が消音効果は高いことが確認される。使用したアクティブコントロールユニットは、約1kHzまでの低域周波数の消音を目標にして開発されたものであり、卓越した1つの周波数に対して4~10のフィルタタップ数を選び自動的に制御するシステムとなっている。しかしながら、特に、図6を詳細に見ると、卓越した周波数の数が多くなければ、1kHz以上の周波数についても、かなりの消音効果が得られている。

本研究では、アクティブコントロールユニットを利用してダクト内騒音の低減を対象に実験を行い、アクティブコントロールによる騒音低減は、1kHz以内の卓越した低域周波数でのスペクトラムを消音できることが把握できた。人間の聴感としては、音源が正弦波の場合は、エラーマイクロホンの位置ではかなり騒音の低減が感じられたが、ダクト周辺では部屋の形状等

にかかわる定在波の影響で総合的には騒音低減が得られないことが把握できた。しかしながら、strandカッター騒音の場合は1kHz以内で数スペクトラムの低減がなされ部屋の形状に係わらず聴感としてかなり低減効果が感じられた。

4 結 言

本研究では、アクティブコントロールユニットを用い、ダクト内騒音のアクティブコントロールに関する基礎研究を行なった。騒音源が正弦波の場合は、周波数を90Hz~900Hz領域のオールパスで0dB~40dBの低減量を得た。strandカッターの場合は、2kHz以内の卓越した騒音(約4スペクトラム)を対象とし、オールパスで約0dB~7dBの低減量が得られた。正弦波騒音源による実験では、消音スピーカの配置、エラーマイクロホンの位置などにより、良好な消音が行なえることが確認できた。strandカッター騒音源による実験では、1kHz以上でも卓越した騒音のスペクトラム数が少なければ(約4スペクトル)、良好な消音を行え、これらの実験から閉空間と見なされる機器・製品の騒音対策技術の手がかりを得ることができた。

今後の課題としては、ダクト内騒音を対象とし、本アクティブコントロールユニットと従来法(ダクト内に吸音材を入れる等)を併用し、人間の可聴領域(50Hzから4kHz)を対象として騒音低減量の向上を図りたい。また、企業内で開発される閉空間と見なされる各種機器・製品にアクティブコントロール法を適用していきたい。具体的には、strandカッター本体を対象として、従来法とアクティブノイズコントロールの併用を考慮しながら、実用化に向けて各種機器・製品の静音化技術を確立していく。将来的には、安価なA/Dコンバータ、DSPユニット等を導入し、ハードウェア的なアクティブコントロールユニットを構築し、コスト低減も図りたい。

なお、本研究は、広島県地域研究者養成事業に基づき、民間企業から中堅技術者の参加を得て実施した。

終わりに、本研究を進めるにあたり、終始ご指導頂いた広島大学太田光雄名誉教授および広島県立女子大学生田頭教授・肖業貴助教授に深謝の意を表します。

文 献

- 1) オンテック R&D(株): EZ-ANC マニュアル, 1996

GMR センサ利用による磁場の磁界強度検出ユニットの開発

長谷川浩治, 馬場祥宏, 梶岡 秀, 山根秀之*, 本多茂男**

Study for Environmental Amenity (9th report)
Development of magnetic sensor unit using GMR sensor

HASEGAWA Koji, BABA Yoshihiro, KAJIOKA Hideshi, YAMANE Hideyuki* and HONDA Shigeo**

Recently, by progressing for a performance enhancement of rare earth magnet, magnetic control systems such as magnetic levitation, magnetic bearing and magnetic dampers have been developed. In order to carry out the research on these magnetic controls, supersensitive magnetic sensor are necessary. We have developed the GMR (Giant Magneto Resistance) sensor of high sensitivity in high magnetic field (1-2kOe).

キーワード: GMR, 磁界強度, 磁気制御

1 緒 言

近年, 希土類磁石の高性能化が進み, 磁気浮上, 磁気軸受, 磁石バネ及び磁気ダンパー等を用いた磁気制御系の研究が盛んに行われている^{1,2)}。

磁気制御を行うためには, 磁気を検出するセンサを必要とする。磁性金属と非磁性金属との組合せからなる金属人工格子(積層構造膜)やグラニュー膜(非磁性層内に磁性粒子を散在させた膜)は, 外部磁場の印加により抵抗が大きく変化する磁気抵抗(Magneto Resistance)効果を示す。この磁気抵抗(MR)比が数十%と大きいことから巨大磁気抵抗効果³⁾と呼ばれている。この効果が発見されて以来, 数多くの研究が行われている⁴⁾。この巨大磁気抵抗(GMR: Giant Magneto Resistance)素子は, 磁場の向きに影響されず等方性を示し, 補正も必要としないセンサの開発が可能となる。そこで, 本研究では, 永久磁石の磁界強度を検出するために高磁場(1~2kOe)において高感度を示し, ヒステリシスの小さいGMR薄膜構造を研究し, 磁界強度検出センサへの応用を検討した。今回は, FeCo膜とCoAg膜の積層構造を用いた。

2 実験方法

2.1 試料

GMR薄膜は, スパッタリング装置を用いて, 25mm×25mm×t1mmのガラス基板上に作製した。Coターゲット(φ80mm)上にFeチップ(10mm×10mm), Agターゲット(φ80mm)上にCoチップ(10

*株デルタツーリング, **鳥根大学

mm×10mm)を配置して, それぞれFeCo膜及びCoAg膜を作製した。

薄膜の構造は, ヒステリシスを小さくするため, 軟磁性層にFeCo層を, MR比を大きくするためにCoAg層を用い, さらに感度向上のために積層構造とした。

製作したGMRセンサを図1に示す。センサは, スパッタ成膜後, 14mm×5mm×t1mmに切り出し, 端子を2本, 10mmの間隔に導電性ペーストで膜表面に取り付け, 酸化防止用の保護膜を取り付けた。

2.2 測定方法

試料の膜構造解析には, X線回折法及び組成分析装置を用い, 磁気特性は, 振動試料型磁力計(VSM)により測定した。磁気抵抗は, 直流四端子法を用いて磁場を面内で電流に垂直方向(横効果: Trans.), 平行方向(縦効果: Longi.), 膜面に対して垂直方向(Perpen.)に印加し測定した(図2)。最大印加磁場は15kOeで, 測定はすべて室温で行った。

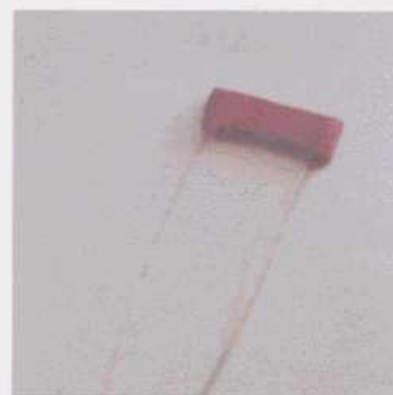


図1 GMRセンサ

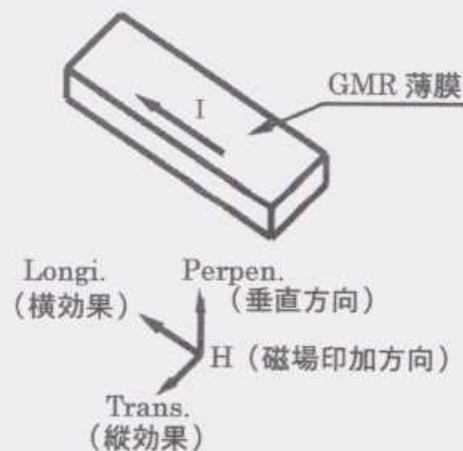


図2 磁気抵抗測定時の磁場印加方向

3 実験結果と考察

3.1 GMR 薄膜特性評価

図3に、 $[\text{FeCo}(10\text{\AA})/\text{CoAg}(300\text{\AA})]$ 10回積層膜の Trans., Longi. 及び Perpen. 方向に磁場を印加した時の MR 曲線を示す。Trans., Longi. 方向では、ほぼ同様の磁気抵抗変化を示すが、Perpen. 方向では、4 kOe 程度まで緩やかな曲線となっている。しかし、MR 比は、同等の値を示している。サンプル数12ヶを測定した結果、MR 比は13%±1%の範囲内であった。MR 比にほとんど差はないが、端子の取り付け位置や導電性ペーストの量等により、抵抗値に若干バラツキがあり、センサの加工方法の検討が必要である。

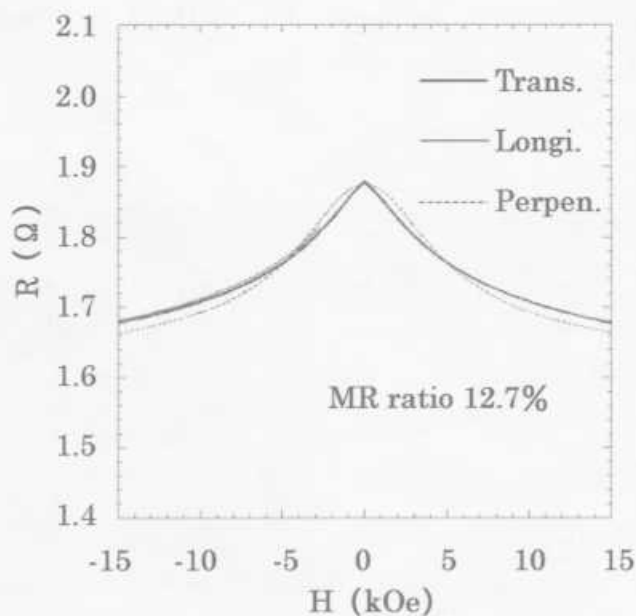


図3 $[\text{FeCo}(10\text{\AA})/\text{CoAg}(300\text{\AA})]$ 10回積層膜の MR 曲線

センサに入ってくる磁場の角度により、若干 MR 曲線が異なっている。よって、磁場の角度を変化させて磁気抵抗を測定した。図4に詳細を示す。(a) は、磁場に対して試料が垂直で、電流を縦方向にし、(b) は、電流を横方向に流し、(c) は、磁場に対して試料が面内で電流を平行に流すようそれぞれセットし回転させた。回転は、(a)~(c) ともに0~90°まで測定を行った。

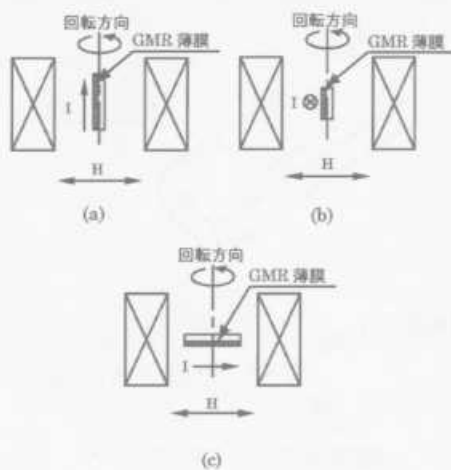


図4 印加磁場に対する磁気抵抗測定条件

図5~図7にそれぞれ図4(a), (b) 及び(c)の配置で0, 30, 60及び90°の時の MR 曲線を示す。(a), (b) では、磁場が膜面に対して垂直に交わる0°の時、ゆるやかな変化を示し、角度が90°に近付

く(膜面と磁場方向が平行になる)につれ、徐々に変化が急となる。一方、(c)の場合、0~90°の間で変化は見られない。よって、面内方向での回転では、等方性であるが、膜面に対してななめに磁場が入ってくると磁気抵抗変化が若干異なってくる。

以上のことから、全ての磁場の角度に等方性の特性

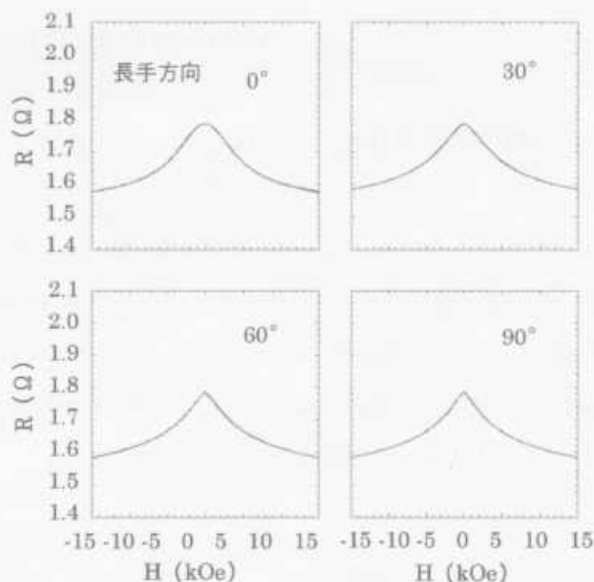


図5 測定条件(図4(a))における MR 曲線

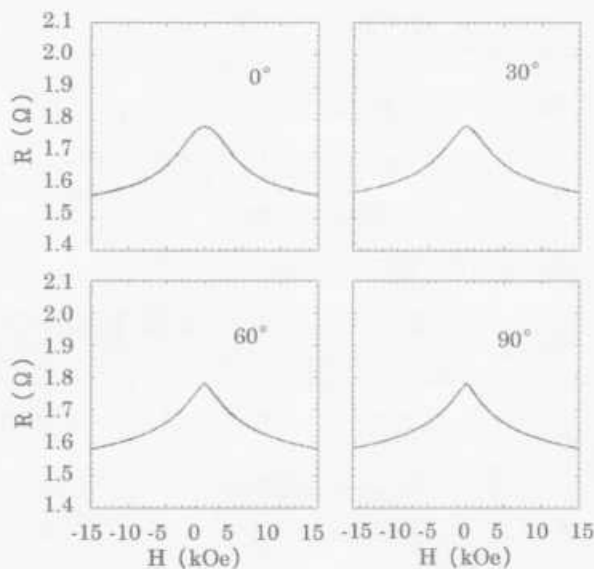


図6 測定条件(図4(b))における MR 曲線

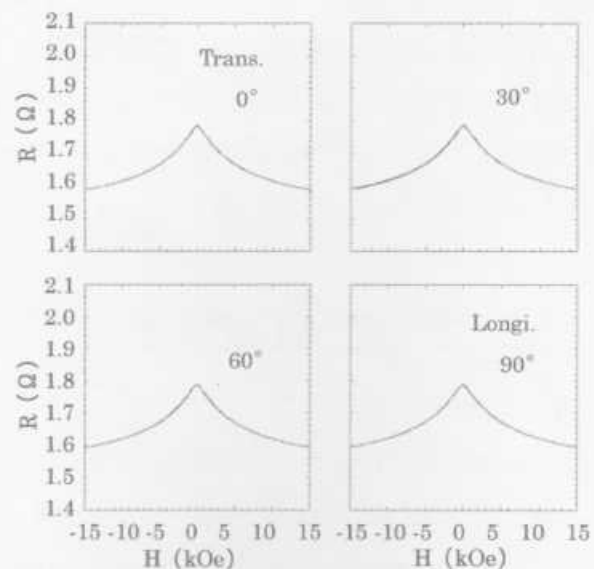


図7 測定条件(図4(c))における MR 曲線

を示す膜構造やある面に対して異方性を示す膜構造を開発するには、更なる検討が必要であり、今回は、1方向の磁場に対する磁界検出ユニット製作を目標とする。

3.2 センサユニット開発評価

センサユニット開発にあたりセンサからの出力電圧を読みとるために、センサへ流す電流は大きい方が好ましい。磁気抵抗の測定時にセンサ内を流れる電流は、約10mA程度である。そこで、センサに流す電流値を0.1~100mAに変化させて磁気抵抗を測定した。図8にセンサに流れる電流値をそれぞれ0.1, 1, 10, 100mAとした時のMR曲線を示す。0.1及び1mAでは、出力電圧が小さいために正確な測定値が得られなかった。10mA以上になると100mAまでは、ほとんどノイズもなく、同等のMR曲線が得られた。このことから、10~100mAの範囲では、使用可能と判断する。

図9にユニットのブロック図を示す。センサに40

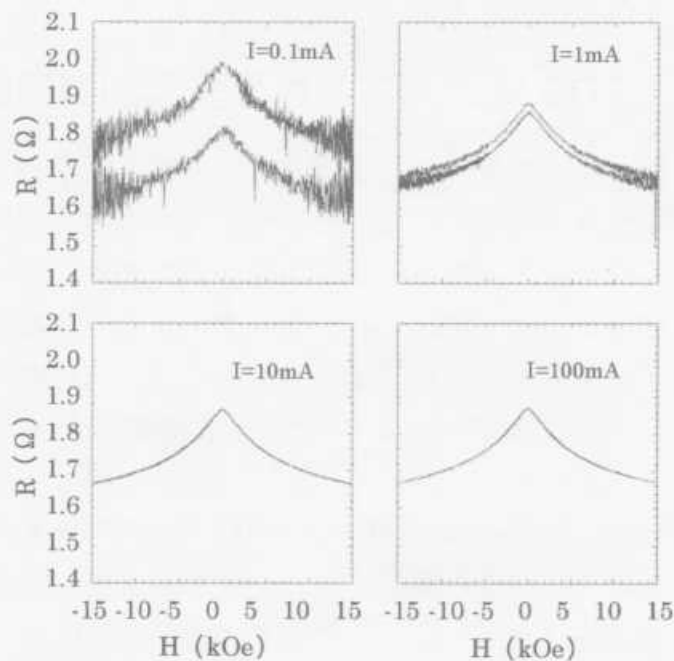


図8 [FeCo(10Å)/CoAg(300Å)] 10回積層膜に対して、各電流を流した時のMR曲線

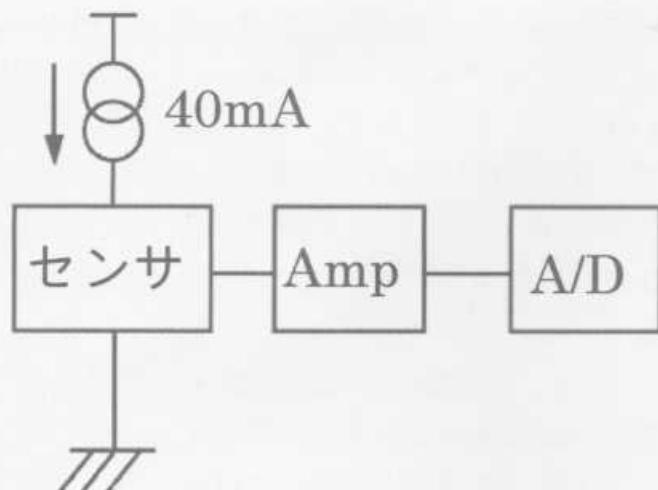


図9 ブロック図

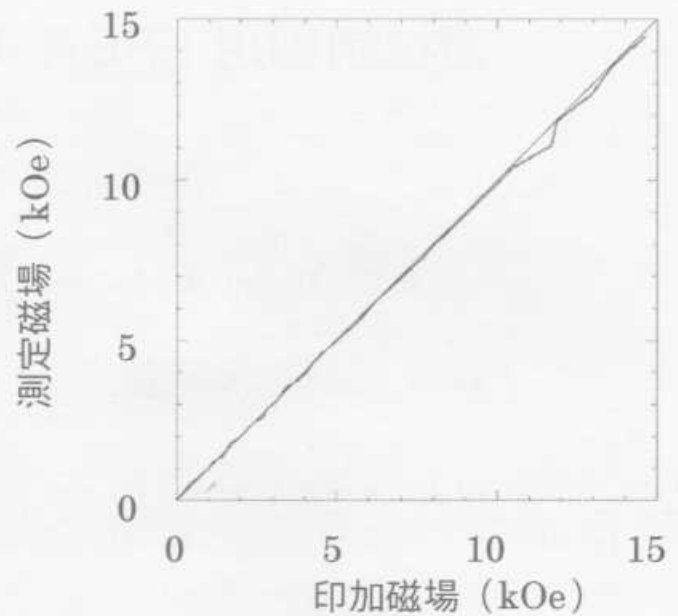


図10 試作回路による磁気抵抗測定 (印加磁場-測定磁場曲線)

mAの電流を流し、出力電圧が1V/1Ω示すよう設計されている。この回路を用いて磁気抵抗測定を行った。図10に印加磁場と測定磁場との関係曲線を示す。10kOe程度まで印加磁場に対して測定磁場の値は、ほぼ等しい値をとった。永久磁石の磁場が5kOe程度であるため、十分使用範囲内である。1方向の磁場に対応し1チャンネルでの回路のため、今後広範囲での使用を考え、多チャンネル化及びどの方向の磁場にも対応する磁界検出ユニットの開発が必要と考える。

4 結 言

- (1) 1チャンネルでの外部磁場の1軸方向に対する磁界強度検出が可能な回路を製作することができた。
- (2) 広範囲の磁場を検出するための検出センサの多チャンネル化を今後検討する。
- (3) 漏れ磁場検出用に対しては、あらゆる方向からの磁場を検知する等方性を持った膜特性、また、磁場の方向を調べる必要がある場合には、3軸方向からの磁場を検知する異方性を持った膜特性がそれぞれ必要となり、今後検討していく。

なお、本研究は広島県地域研究者養成事業に基づき、民間企業から中堅技術者の参加を得て実施した。

文 献

- 1) 水野・ほか2名, 機講論, 97-31 (平9), 235.
- 2) 酒井・ほか2名, 機講論, 98-8 (平10), 325.
- 3) M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fret, F. Nguyen van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederichand J. Chazelas: Phys. Rev. Lett, 61 (1988), 2473
- 4) J. Q. Xiao, J. S. Jangand C. L. Chien, Phys. Rev. Lett. 68 (1992), 3749.

機械制御用 FPGA の設計技術の開発 (第3報)

馬場祥宏, 清水義信*, 石津任章, 中塩武之

FPGA Design for Machine Control Equipment Using HDL (3rd Report)

BABA Yoshihiro, SHIMIZU Yoshinobu*, ISHIZU Hideaki and NAKASHIO Takeyuki

FPGAs (Field Programmable Gate arrays) are worthy of notice as low cost semi-custom LSI devices for a small quantity production. In FPGAs design, not only schematic design method but also Hardware Description Language method such as Verilog-HDL or VHDL text-based design method are used.

Using Verilog-HDL design method, we have developed

(1) NTSC based RGB liquid crystal display controller

(2) Asynchronous serial data tranceiver with 512 byte buffer memory and block parity function

Using FPGAs and Verilog-HDL design method, we can get small, low cost, low power and high performance equipment that is strongly protected from reverse engineering analysis.

キーワード: 機械制御, FPGA, ハードウェア記述言語, Verilog-HDL, VHDL

1 緒 言

広島県の産業構造は, 自動車, 船舶, 工作機械等の加工組立産業と製鉄等の基礎産業に特化している。このような現状において, 最近の企業を取り巻く環境は大変厳しく, これからの中小企業が企業生命を維持発展していくためには高機能, 高付加価値製品やユーザーズに対応した新製品の開発が必要となる。

これらの新製品開発において, 機械装置に付属する電子回路制御部は製品の機能, 付加価値を決定する極めて重要なコンポーネントであり, この部分を高機能化, 小型化, 低消費電力化し, 回路ノウハウの秘匿性を向上させる為に, 自社製品に適合したセミカスタム LSI を開発することが強く求められている。

FPGA (フィールド・プログラマブル・ゲートアレイ) は低コストのセミカスタム LSI 開発用デバイスであるが, 近年その集積度と動作速度が飛躍的に向上し, 多品種少量生産品を中心に利用が増加している。

しかしながら, FPGA 設計では, 従来の回路図ベース設計とは異なり, Verilog-HDL または VHDL というハードウェア記述言語を用いて設計するため, 中小企業レベルでは使用経験が少なく, 設計手法の習得, 設計結果の検証技術, 設計ノウハウに対するニーズが高まっている。^{1)~4)}

そこで本稿では, 実務においてニーズのあった液晶画面表示制御回路およびシリアルデータ転送回路を FPGA 化し, 遊技場向け POS 端末の開発を行った結

果について報告する。

2 POS 端末用液晶画面表示制御回路

対象とするカラー液晶表示器は, NTSC 同期信号に準拠したもの (図1) で, 表示タイミング発生回路はその同期信号を発生させるものが必要である。

また, 表示データはフレーミング・メモリと呼ばれる画像記憶用メモリに記憶させておいて, NTSC 同期信号に対応するタイミングで液晶表示器に転送される。

さらに, フレーミング・メモリのデータ読み出しは, そのウィンドウ機能によって画面左上を指定して読み出しを開始すると, 次行の先頭アドレスには RLRS 改行信号によって自動的に移行する。(図2)

以前は, RLRS 改行信号を10MHz クロックのマイコンによるソフトウェアで行っており, 水平同期サイクル (63.6 μ s) 中に水平同期の計数をし, RLRS 改行信号を発生するのに約25 μ s 掛かっていたが, 今回は FPGA のハードウェア処理で行い, マイコンのソフトウェアに負担を掛けずに実行させる。

同等の回路を, 以前は汎用ロジックで設計したが, 20個程度の IC とプリント基板は100mm \times 160mm の面積を必要とし, マイコン処理能力の約1/2がさらに求められていた。さらに回路設計には第一次試作, 第二次試作とおよそ4か月を要していた。

それが FPGA を採用すると, FPGA 1個とプリント基板90mm \times 120mm, マイコン負担はなし, しかも回

*ヒロタック(株)

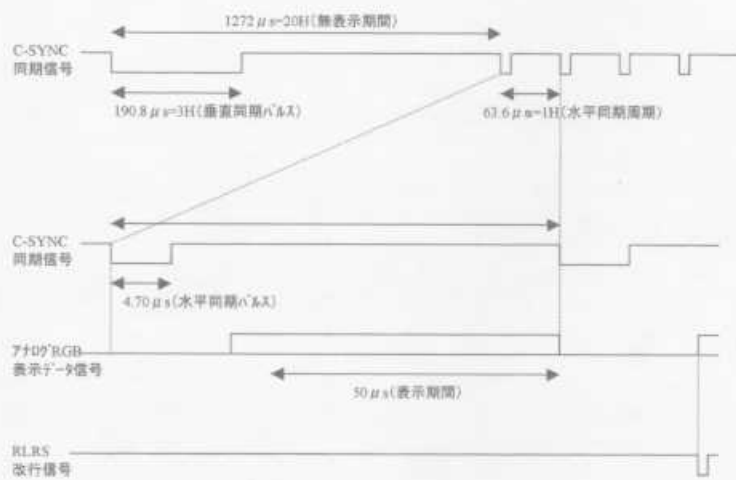


図1 カラー液晶用 NTSC 準拠タイミング

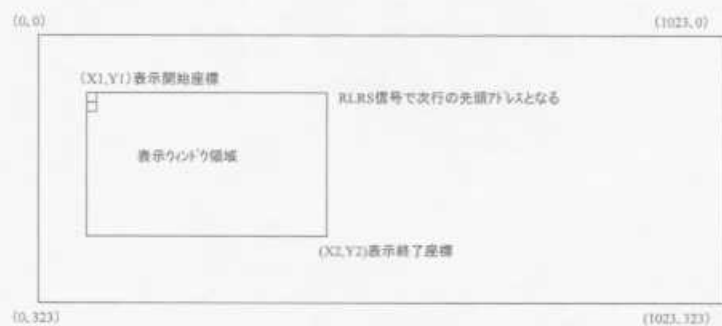


図2 フレーミング・メモリのウィンドウ機能

路設計は1か月と短縮できた。

この結果、FPGA の採用は小型・軽量・高機能といった目的だけでなく、部品コストの低減、開発コストの低減（開発ツールの充実により、パソコン上で回路設計からシミュレーションができるため、無駄な時間とハードウェア試作が不要であり、さらに FPGA 能力の範囲で機能改良にも対応できる柔軟性）にも大きな効果が認められた。

カラー液晶の画面構成は、横320ドット×縦240ドットのため、256色カラーの場合、一画面分の総データ数は76,800バイトである。

従来は、画面表示データのフレーミング・メモリへの転送を10MHz クロックのマイコンによるソフトウェアで行っており、一画面当たり約200ms を要していた。

今回 FPGA を採用し、表示データ転送を全てハードウェア化することにより、70ms に高速化することができた。

以上の基本的仕様・機能は昨年度の報告においてプロトタイプとして実現していたが、本年度は画面仕様と同期信号極性の変更ならびに商品化を前提とした詳細な遅延シミュレーションを実施し、CPU とのタイミングにおいて最悪時に発生する可能性のある不具合を修正した。

3 POS 端末用シリアルデータ転送回路

遊技場 POS 端末の場合、ホストコンピュータとのデータのやり取りのためにシリアルデータ転送回路が不可欠である。従来は、インテル8251等の汎用シリアルデータ転送用 IC を用いて、1バイトのデータ転送毎に CPU に割り込みをかけて、データの送受信を行っていたが、要求仕様の高速化に伴い、CPU 使用効率の低下が問題となっていた。

そこで今回、FPGA の内蔵メモリを送受信バッファとして活用し、ブロック転送機能を有するシリアルデータ転送回路を FPGA で実現した。基本的仕様は調歩同期、1ストップビット、キャラクタ長8ビット、512バイト送受信バッファを有するメモリバッファ付きシリアル IO インタフェースであり、CPU 負荷の低減のため受信局自動判別、ブロック終了判別、ブロックパリティ機能も併せて付加した。

図3に今回開発したシリアルデータ転送回路のブロック図を、表1にレジスタ・アドレスとビットアサインを示す。以下、使用手順を中心に述べる。

表1 レジスタ・アドレスとビットアサイン

アドレス	ラ イ ト	リ ー ド
0 0	送信データ	受信データ
0 1	コマンドレジスタ	ステータスレジスタ
1 0	汎用出力	受信バイト数
1 1		受信局番

ビット	コマンドレジスタ	ステータスレジスタ
0	送信開始	送信中
1	受信機リセット	パケットエンド
2	送信機リセット	受信メモリフル
3		フレーミングエラー

(1) 初期化手順

コマンドレジスタ（アドレス=01）のビット1とビット2に1を書き込むことにより、送信/受信機制御回路が初期化される。初期化状態では送信/受信ともレディ状態になる。

(2) 送信手順

(2)-1 送信レディの確認

ステータスレジスタ（アドレス=01）のビット0が0であることを確認する。

(2)-2 送信データの書き込み

送信データレジスタ（アドレス=00）へ送信データを連続して書き込む。最初の3バイトは STX, 発信局番, 受信局番, 最後の3バイトは ETX, BCC, 0D とする。パケット長は最後の3バイトを

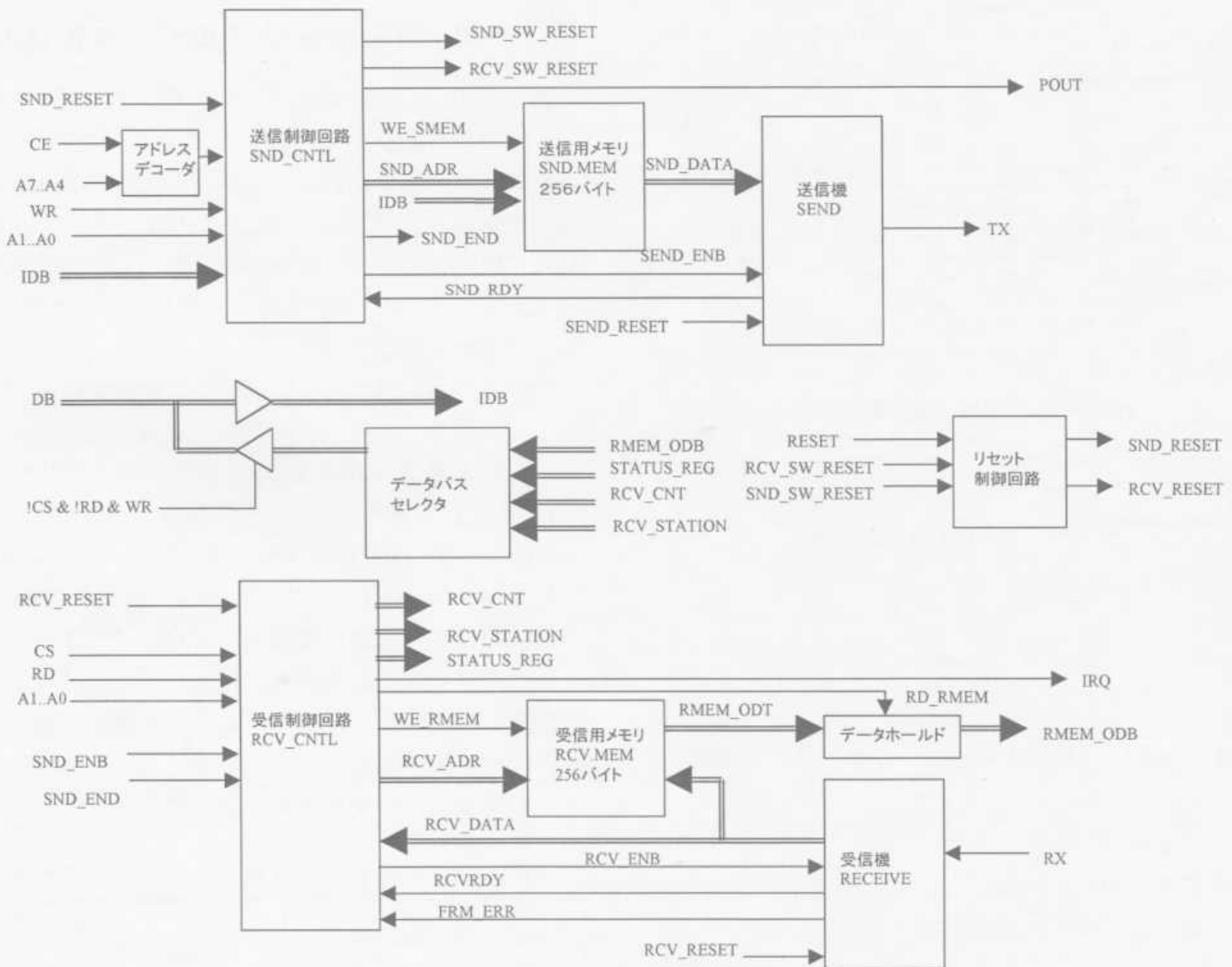


図3 シリアルデータ転送回路のブロック図

含めて最大256バイトまでの任意長が可能であり、BCC (ブロック・チェック・コード) は ETX までの加算結果を書き込む。

(2)-3 送信トリガ

コマンドレジスタ (アドレス=01) のビット0に1を書き込むことにより、送信が開始される。

(2)-4 送信終了確認および割り込み

送信中はステータスレジスタ (アドレス=01) のビット0が1になり、送信が終わると同ビットが0になると同時に、IRQ が1クロックの間Lになる。

(3) 受信手順

(3)-1 受信割り込み

受信バッファに有効なパケットが届くか、受信エラーが発生すると、IRQ が1クロックの間Lになり、以後、受信レディになるまで受信データは無視される。

(3)-2 正常パケット/受信エラーの判定

ステータスレジスタ (アドレス=01) のビット1=1なら正常パケットであるが、ビット2=1なら受信メモリフル、ビット3=1ならフレーミングのエラ

ーである。

(3)-3 受信エラー処理

受信機の初期化により、エラーフラグがリセットされ、受信レディ状態に戻る。

(3)-4 受信局番の確認

受信局番レジスタ (アドレス=11) を確認する。自局あてでなければ、受信データを読み出す必要はなく、受信機の初期化を行う。

(3)-5 パケット長の取得

正常パケットであれば、受信バイト数レジスタ (アドレス=10) に ETX, BCC, 0D を含めたパケット長が格納されている。

(3)-6 受信データの読み出し

受信データレジスタ (アドレス=00) から、パケット長の回数だけ受信データを読み出す。パケット長の回数だけ読み出しを実行すると、自動的に受信レディの状態に戻るため、受信機の初期化は不要。

(3)-7 BCC の注意点

ETX, BCC, 0D の3つがそろった場合のみ、正常パケットと判定されるので、ソフトウェア側で BCC

チェックをする必要はない。

BCC の一致しない 0 3, XX, 0D の場合、通常の受信データと判断され、受信が継続される。この方式は 0 3, XX, 0D もデータとして送れるというメリットがある反面、送信中にフレーミングエラー検出に掛からないビット誤りが発生し、かつ 0D 以降の受信データが少なく、メモリフルエラーも生じない場合には、いつまで待っても IRQ が発生しないので、ソフトウェア側での対策が必要となるデメリットがある。

FPGA へのインプリメントにはアルテラ社 FLEX10 K シリーズの EPF10K10LC84-4 (ロジックセル数 576, 内蔵メモリ 6144 ビット) を用い、ロジックセル使用率 46%, メモリ使用率 67% であった。動作周波数はクロック周波数 32MHz, ボーレート 2 Mbps, バイト転送速度 200Kbyte/s であった。

今後さらに機器の高速化・高機能化・小型化が要求

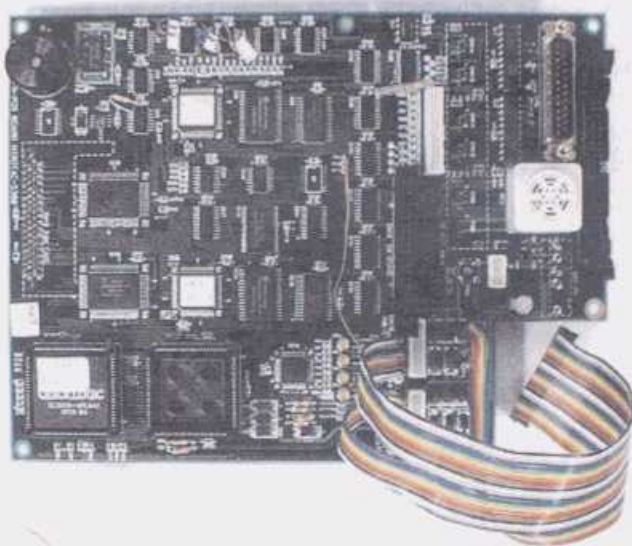


写真1 液晶表示制御、データ転送機能回路基板



写真2 遊技場向け POS 製品

されていく状況で、産業用機器のような多品種少量生産機器の開発・製造において FPGA を採用することは必須であり、それらの要求に答える技術であることが今回の開発によって明らかにされた。

写真1に今回の開発対象である液晶表示制御回路、シリアルデータ転送回路機能を含む基板を、写真2に最終製品としての遊技場向け POS 製品の写真を示す。

4 結 言

中小企業が自社製品に適合したセミカスタム LSI を容易に開発できるよう、ハードウェア記述言語を用いた FPGA の設計技術を構築した。

実務においてニーズのあった液晶画面表示制御回路およびシリアルデータ転送回路に FPGA を採用し、遊技場向け POS 機器の開発を行った。

(1) 液晶画面表示制御回路では、従来マイコン処理能力の 1/2 と 160cm² の基板面積を要していた回路を、マイコン負担無し、基板面積 108cm² に置き換えることができ、開発期間も 4 か月から 1 か月に短縮することができた。

(2) シリアルデータ転送回路では、調歩同期、1 ストップビット、キャラクタ長 8 ビット、512 バイト送受信バッファを有するメモリバッファ付きシリアル IO インタフェースを開発し、CPU 負荷の低減のため受信局自動判別、ブロック終了判別、ブロックパリティ機能も併せて付加した。

FPGA を採用することにより、装置の小型化、高速化と回路ノウハウの秘匿性向上を実現するとともに、部品コスト、開発コストの低減にも大きな効果が認められた。

ハードウェア記述言語を用いた FPGA の設計技術は、競争力に優れた製品を短期間に開発するためのキーテクノロジーであり、電気機械器具製造業を中心とした県内関連企業への普及を図る。

なお、本研究は広島県地域研究者養成事業に基づき、民間企業から中堅技術者の参加を得て実施したものである。

文 献

- 1) 小林 優「入門 Verilog-HDL 記述」CQ 出版 (1996)
- 2) トーマス, モアビー著, 飯塚哲哉訳「設計言語 Verilog-HDL 入門」培風館 (1995)
- 3) クイックロジック社, PASIC データブックインターニックス (1995)
- 4) 桜井 至「HDL 設計入門 (改訂版)」テクノプレス (1996)

高分子材料の複合化技術とその応用に関する研究 (第2報)

難燃性プラスチックの機械的特性の改善

下原伊智朗, 田平公孝, 大橋俊彦, 益 勝治*

Research on Technology of Making to Compound of Plastics (2nd Report)

Study on Performance of Flame Retardance Plastics

SHIMOHARA Ichiro, TAHIRA Kimitaka, OHASHI Toshihiko, EKI Katsuji*

It was studied that the improvement of mechanical properties on polypropylene(PP) compounds containing flame retardant filler like $Mg(OH)_2$ and $Al(OH)_3$.

Izod impact strength of PP compound with 60wt% $Mg(OH)_2$ that treated surface with stearic acid was much increased.

Tensile strength and bending strength were increased when PP compounds were made with untreated 61-65wt% $Al(OH)_3$ in the presence of the compatibilizer (methacrylate-propylene block copolymer provided by Kuraray Co., Ltd.).

キーワード: 難燃性プラスチック, 水酸化マグネシウム, 水酸化アルミニウム

1 緒 言

住宅用プラスチック製品は火災に対する対策として、難燃性が要求される場合がある。ところが、ポリ塩化ビニル樹脂やハロゲン系難燃剤は廃棄焼却時に発生する有害ガスの環境への影響が懸念され、最近水酸化マグネシウム ($Mg(OH)_2$) や水酸化アルミニウム ($Al(OH)_3$) などの無機系の充填材がプラスチックの難燃性充填材として注目されてきた。

$Mg(OH)_2$ または $Al(OH)_3$ を、ポリプロピレン (PP) に60~70wt%配合することでUL-94のV-0級の難燃性が得られることを既報で報告した。¹⁾しかし、無機系充填材の配合比が高いため、機械的特性の低下がある。そこで、改質剤を添加してPPと充填材の界面接着性を改善し、特性を向上させることを検討した。

2 実験方法

2.1 試料

実験には、市販のPPペレット (RB110 MFR0.5g/10min (株)トクヤマ, F106 MFR 6.5g/10min (株)グラントポリマー) を用いた。

難燃性充填材はステアリン酸を表面処理した $Mg(OH)_2$ を用いた。 $Al(OH)_3$ については未処理品とステアリン酸 (St) 処理品の二種類を用いた。

改質剤は、ポリオレフィンに極性官能基を共重合したものの二種類 (アドマー QF551 三井化学株, CB-OMポリマー OM11X (株)クラレ), 及びエラストマ

*東プレ

ー (DYNARON 1320P 日本合成ゴム株) を用いた。以下それぞれ Ad, CB, Dy と表す。

2.2 試料作成

PPペレットと、充填材、改質剤を80~100℃で乾燥後、所定の割合でドライブレンドし、二軸混練押出機 (株)日本製鋼所 TEX-30) によって熔融混練しペレットとした。 $Mg(OH)_2$ の場合は、MFR0.5g/minのPP, $Al(OH)_3$ の場合は、MFR6.5g/minのPPを用い、シリンダー温度は、それぞれ230℃, 180℃とした。次に、射出成形機 (株)日本製鋼所 J75EII) により、機械的特性の試験片を作成した。

2.3 測定

機械的特性は、材料試験機 (島津製作所株) AG-100kN), アイゾット衝撃試験機 (株)安田精機製作所 No258), ヒートディストーションテスター (株)安田精機製作所 No148) により、JIS規格に準じて行った。

3 実験結果と考察

3.1 PPの機械的特性に対する充填材配合の影響

PPに $Mg(OH)_2$ あるいは $Al(OH)_3$ を配合したときの機械的特性を図1~図3に示す。

曲げ弾性率と荷重たわみ温度は、充填材を配合することにより向上し、変形しにくくなることがわかる。ところが、引張強さ、曲げ強さについては、徐々に低下する。特に引張強さに関して低下が大きい。充填材とPPの界面強度に問題があると考えられる。

引張破断伸びとアイゾット衝撃強さは、 $Mg(OH)_2$ と $Al(OH)_3$ で影響が異なる。 $Mg(OH)_2$ では、配合比

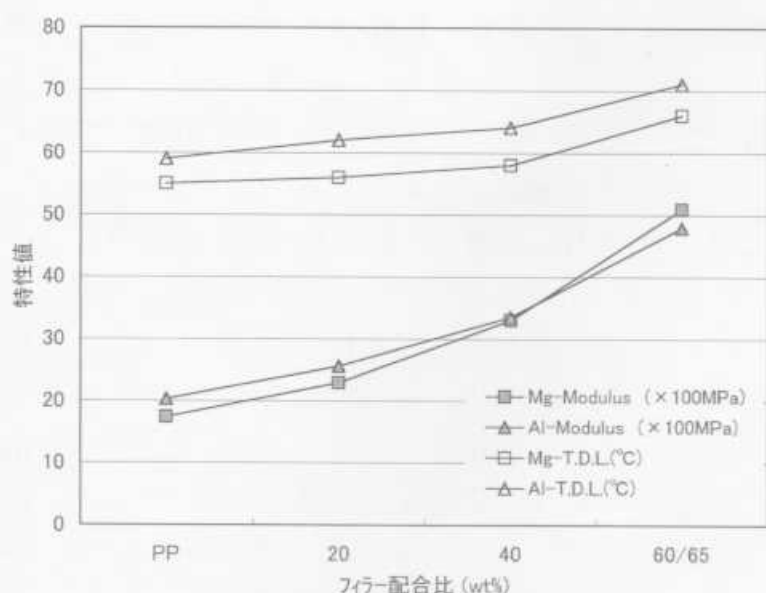


図1 フィラー配合 PP の弾性率、荷重たわみ温度

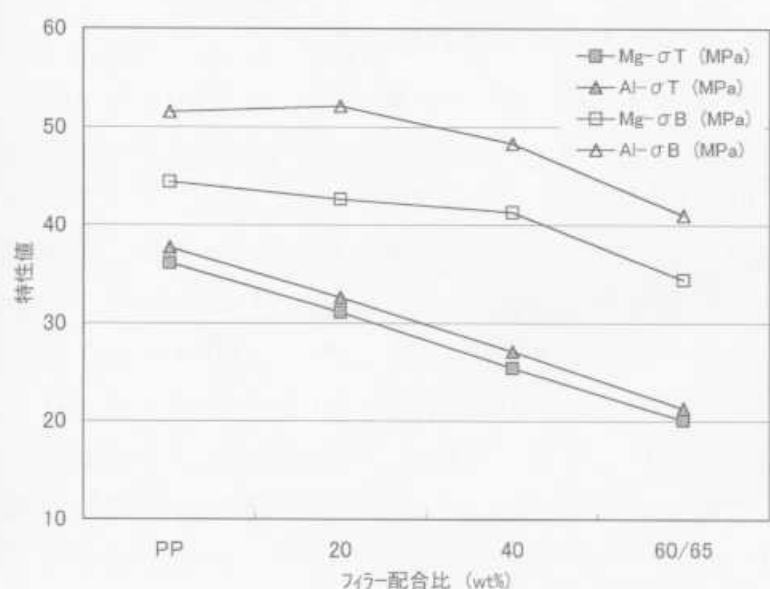


図2 フィラー配合 PP の引張強さ、曲げ強さ

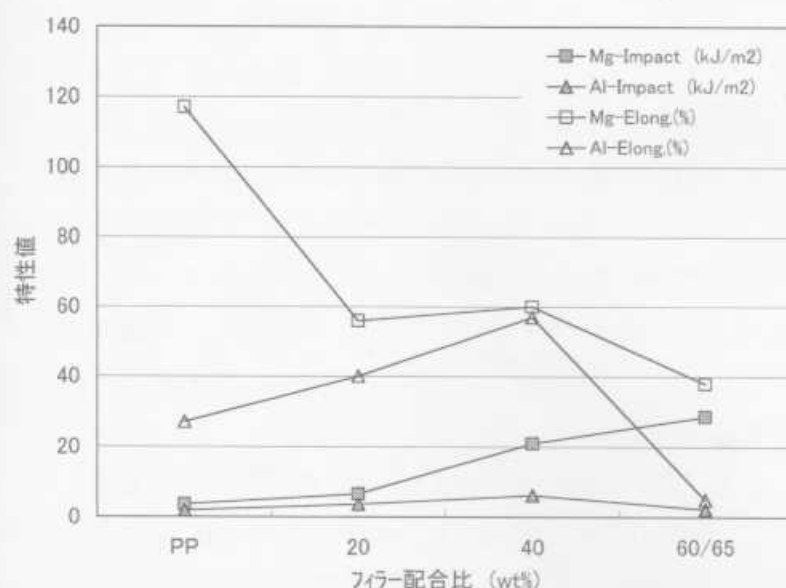


図3 フィラー配合 PP の破断伸び、衝撃強さ

が多くなるにつれ伸びは低下していくが、衝撃強さは著しく増大する。Mg(OH)₂-60wt%では、約30kJ/m²となり優れた衝撃特性を持つ材料となった。

一方、Al(OH)₃では40wt%までは配合比に応じて、伸び、衝撃強さともに大きくなったが、65wt%では逆

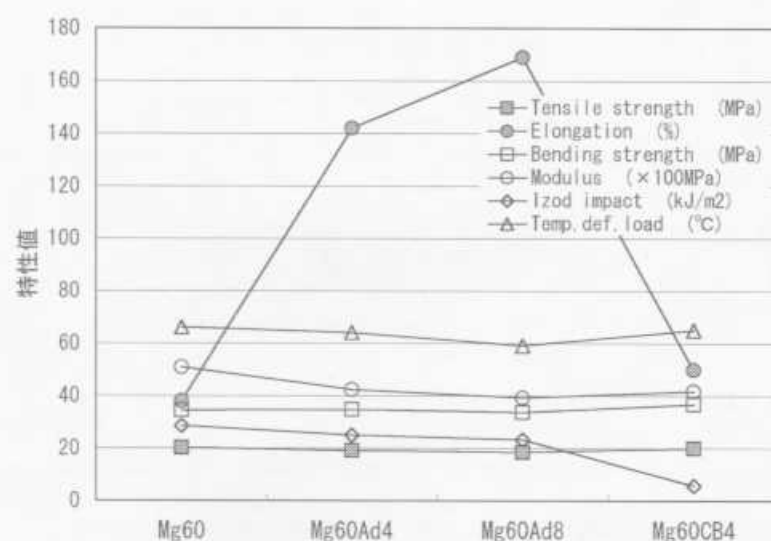


図4 改質剤を添加した Mg(OH)₂ 配合 PP の特性値

に大きく低下した。また、衝撃強さは、40wt%の場合で最も高かったが、6kJ/m²と Mg(OH)₂の場合と比べるとかなり低くなり、この影響としては、充填材の粒径・形状の違い、PP 自身の衝撃特性の差による影響が考えられる。伸びの変化の傾向が、一般的に予想される変化とは反対に、Al(OH)₃が0wt%から40wt%までは大きくなっており、成形条件の影響も考えられる。Al(OH)₃配合 PP の場合、Al(OH)₃の分解温度が180~200℃であり、この温度以下で成形を行わなければならない、成形温度が低すぎたためかもしれない。

3.2 Mg(OH)₂ 配合 PP に対する改質剤の効果

Mg(OH)₂の添加により、剛性が向上し変形に対して強くなるが、強度面では、引張強さで比較するとPPの約6割に低下してしまう。そこで、改質剤による改善について検討した。

ポリオレフィン鎖に極性の官能基を結合させてあり、PPと充填材との接着性を上げると考えられる改質剤 AdあるいはCBを、Mg(OH)₂を60wt%配合したPPに添加した結果を図4に示す。

Adを4wt%及び8wt%添加したが、引張強さ、曲げ強さにはほとんど影響が見られなかった。しかし、破断伸びが大きく向上し、やや強靱化したと云える。反面、曲げ弾性率は低下した。

CB4wt%については、強度、弾性率においては、Adの場合と同じ傾向にあったが、伸びも向上せず、衝撃強さも低下し、改善効果がみられなかった。

Mg(OH)₂については、既にステアリン酸による表面処理が施されており、改質剤の極性基の効果が発揮されにくかったものと考えられる。

3.3 Al(OH)₃ 配合 PP に対する改質剤の効果

Al(OH)₃では、改質剤極性基と充填材の結合が生じるように未処理品を用いて検討した。結果を図5に示す。

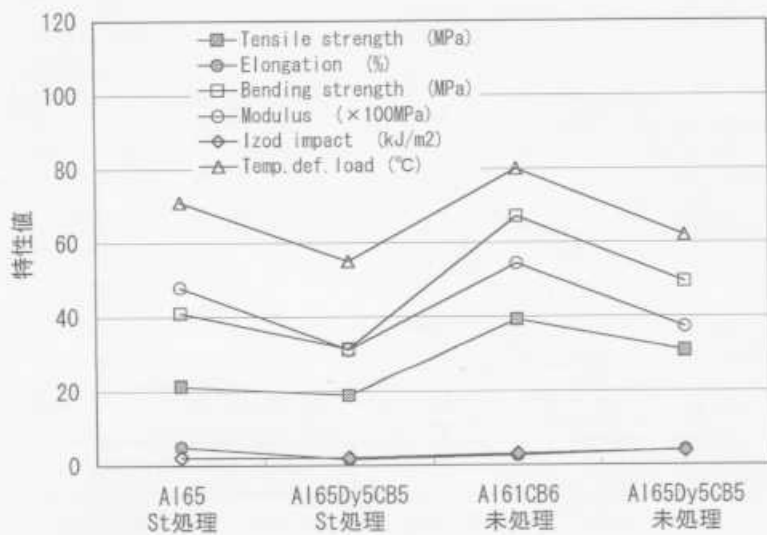


図5 改質剤を添加した Al(OH)₃ 配合 PP の特性値

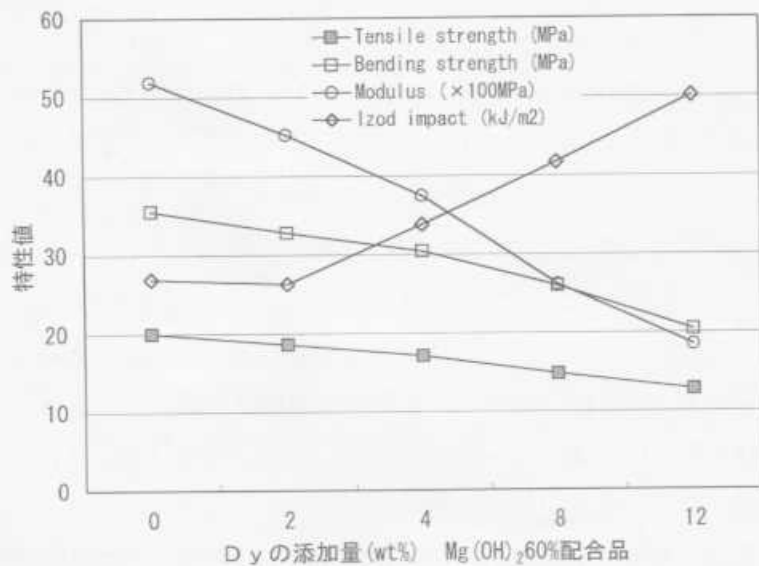


図6 Dy を添加した Mg(OH)₂ 配合 PP の特性値

未処理 Al(OH)₃ に CB を 6 wt% 添加したものは、ステアリン酸処理品に比べ、引張強さ、曲げ強さともに大きく向上した。曲げ弾性率、伸びも向上しており、PP と充填材の結合の強さが示唆される。特に、引張強さ、曲げ強さは PP 自体のそれよりも高くなり強化されている。また、同じ配合比の Al65Dy5CB5 でステアリン酸処理品と未処理品を比較すると、すべての特性において後者のほうが優れており、未処理 Al(OH)₃ に対する改質剤 CB の効果が明らかである。Mg(OH)₂ の場合と同様ステアリン酸処理された充填材に対しては、改質剤の効果はあまりないと考えられる。

Al(OH)₃ 配合の場合は、Mg(OH)₂ と異なり、衝撃強さの向上があまりみられない。そこでエラストマーの添加効果について検討した。Dy を添加すると強度、弾性率の低下が予想されるため、CB も同時に添加した。

ステアリン酸処理品、未処理品でそれぞれにおいて Dy を添加したものは、予想どおり強度、弾性率の低下がみられた。しかしながら、期待したほどの韌性の

向上はみられず、伸び、衝撃強さは少し増加しただけであった。ゴム成分の配合による衝撃強さの向上は、配合比、分散粒子径、粒子間距離などと複雑に関係しており、さらに検討が必要である。

3.4 Mg(OH)₂ 配合 PP に対する Dy の効果

PP に対する Mg(OH)₂ の分散性をあげることによる強度特性の向上を期待して、Dy を配合することを検討した結果を図 6 に示す。Dy を配合しても引張強さ、曲げ強さの改善はみられなかった。充填材の分散性にはあまり寄与しないものと思われる。むしろ、曲げ弾性率の低下が著しい結果となった。しかし、Dy の配合割合に伴って、耐衝撃性は増加し、50kJ/m² のアイゾット衝撃強さが得られ、韌性の向上に有効であることがわかった。

3.5 PP と充填材の界面結合

写真 1 ~ 2 に Mg(OH)₂ 配合 PP 及び Al(OH)₃ 配合 PP のアイゾット衝撃破断面の SEM 像を示す。

PP の破断面は、平坦で脆性的である。これに Mg(OH)₂ を添加していくと、20wt%、40wt% までは充填材の影響で凹凸が激しくなるものの、PP 自体の様子には、さほど差がない。ところが、60wt% になると PP が降伏し、延性的に伸びた状態が観察され、破断面は非常に入り組んだ様子となっている。また試験片の白化もかなり生じている。充填材の粒子間距離が PP のミクロなせん断降伏変形に適した距離になったためと考えられ、その結果衝撃強さが著しく向上したものと考えられる。

しかし、20wt%、40wt% でも段階的に衝撃強さは増加しており、この場合はボイド生成などの異なる機構による影響が大きいものと思われる。

Al(OH)₃ の場合は、65wt% の配合においても、粒子の凹凸が多くなるだけで、PP の伸び変形は観察されず、衝撃強さも 40wt% に比べ低下している。Mg(OH)₂ より粒子径が小さいこと、ステアリン酸処理法の違い、マトリックスの PP の違いなどが原因として考えられる。

改質剤を添加したときの衝撃破断面を写真 3 に示す。Mg(OH)₂ においては、Ad または CB を添加したが、引張強さ、曲げ強さには影響があまりないことから、ステアリン酸処理 Mg(OH)₂ との結合の向上には、効果が少ないと思われた。しかし破断面を観察すると、Ad 添加では PP のミクロな伸び変形は非常に小さくなり、また CB ではほとんどみられなくなり、破断面の様子はかなり変化する (写真 3-a)。ある程度の充填材との結合、あるいは樹脂の改質など、何らかの作用があるものと考えられ、その結果 CB では

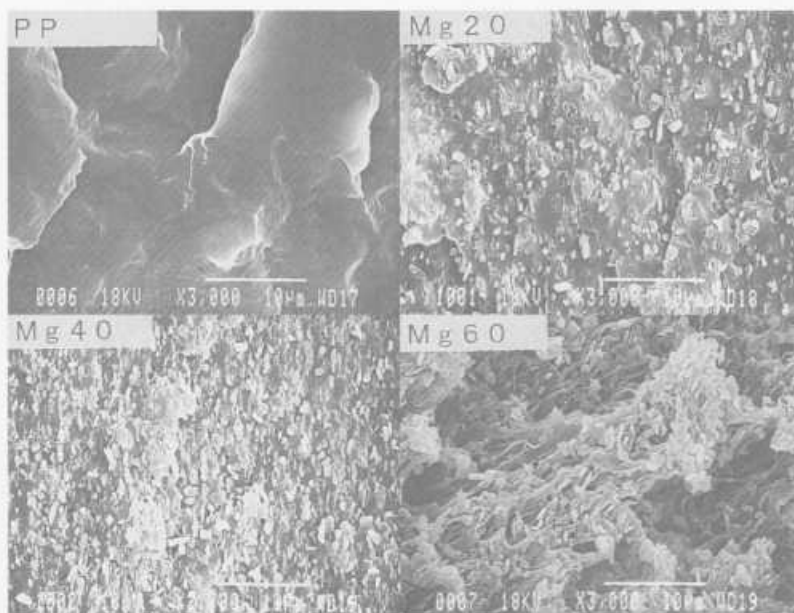


写真1 Mg(OH)₂ 配合 PP の衝撃破断面

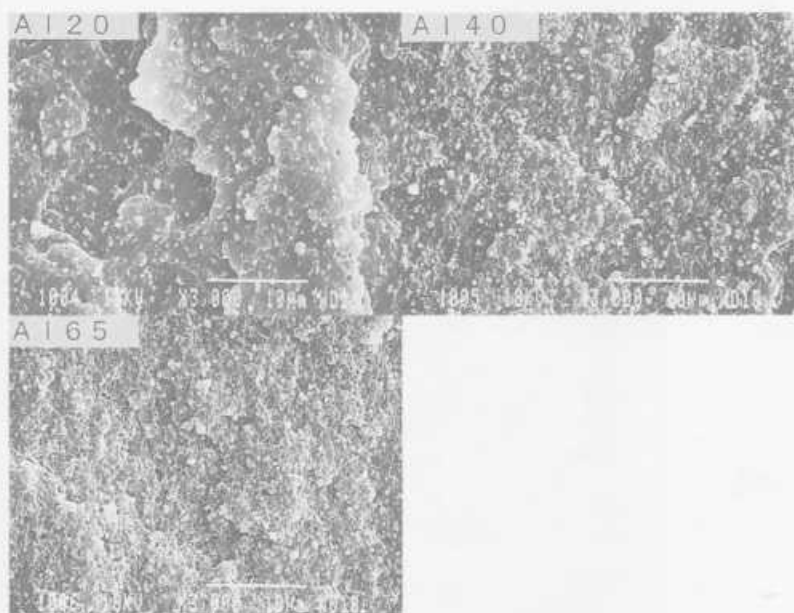


写真2 Al(OH)₃ 配合 PP の衝撃破断面

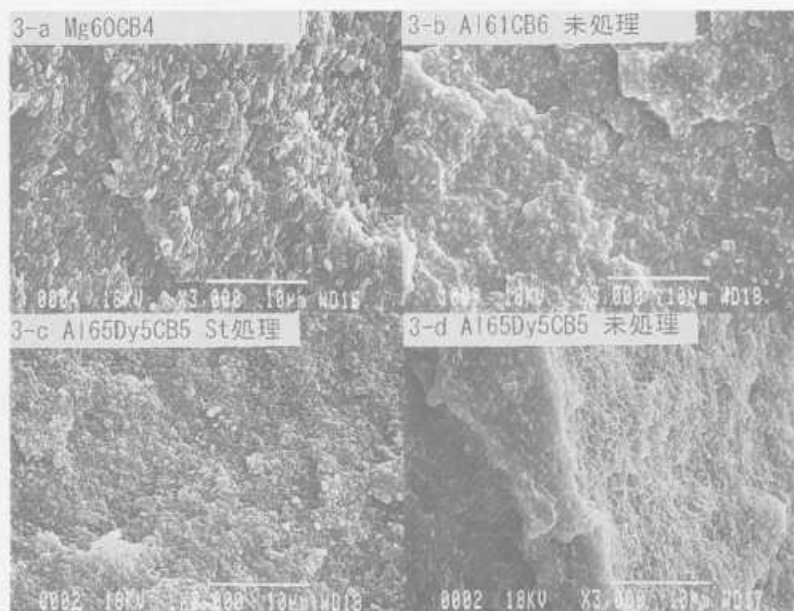


写真3 改質剤を添加したときの衝撃破断面

衝撃強さが低下した。

Al(OH)₃では、CBを添加すると強度が大幅に上がったが、破断面も劇的に変化する(写真3-b)。Al(OH)₃の粒子は破断面に露出しておらず、PPにおおわれており、破断はマトリックスで起こっていることがわかる。Al(OH)₃とPPの界面結合が強くなった結果である。しかし、ステアリン酸処理したAl(OH)₃では、CBを添加しても、添加していないAl(OH)₃-65wt%の破断面とあまり違いはみられず、Mg(OH)₂の場合と同じように、ステアリン酸処理したものへの効果は少ないようである(写真3-c)。

衝撃強さ改善の目的で、Al(OH)₃配合PPにさらにDyを添加したものでも、CBのみを添加したものと同じ様な破断面であった。しかし部分的には、マトリックスのPPの延性的な変形が観察される(写真3-d)。それに併せて、衝撃強さも若干ではあるが向上した。さらにDyの添加量を増せば、衝撃強さが改善される可能性があるが、弾性率の低下が大きくなるため限界がある。

4 結 言

難燃性充填材を高濃度配合したPPの機械的特性の改善を検討した結果、次のことがわかった。

- (1) Mg(OH)₂をPPに配合することで、衝撃強さは大きくなることがわかった。改質剤を添加しても破断伸びの改善はみられたが、引張強さ、曲げ強さはあまり向上しなかった。
- (2) 表面処理済みAl(OH)₃を配合したPPでは、改質剤はあまり効果がなかったが、未処理Al(OH)₃では、改質剤の添加により引張強さ、曲げ強さが著しく向上することが明らかとなった。
- (3) Mg(OH)₂と未処理Al(OH)₃を組み合わせることで、機械的特性の優れた難燃性PPが得られる可能性がある。

なお、本研究は広島県地域研究者養成事業に基づき企業の技術者の参加により実施した。

最後に、改質剤をご提供いただいた(株)クラレに感謝の意を表します。

文 献

- 1) 下原他：広島県立西部工技研究報告，No42 (1999)，67

高分子材料の複合化技術とその応用に関する研究 (第3報) 電磁波シールド特性を持つ樹脂材料の開発

下原伊智朗, 吉野信行, 酒井利文*

Research on Technology of Making to Compound of Plastics (3rd Report) Study on Performance of Electromagnetic Shielding Plastic

SHIMOHARA Ichiro, YOSHINO Nobuyuki, SAKAI Toshihumi*

In this work, the characteristic of electro-magnetic shielding of polymer composite with electric conductive fiber or wire netting were investigated. The shielding effectiveness using carbon-fiber composite has been obtained levels roughly from 50dB to 60dB in frequency band from 30MHz to 1000MHz.

The shielding effectiveness using 2 plys of wire netting has been obtained levels roughly from 80dB to 90dB in frequency band from 30MHz to 1000MHz.

キーワード：電磁波遮蔽, 導電性複合材料

1 緒 言

近年, 通信機器, 医療機器において, 電磁波による誤動作のための事故が取り上げられている。自動車においても, 電子機器が多く使用されるようになり, この問題に対し, 電磁波シールド機能を持った部品が要求されるようになってきた。

電磁波シールドには, 一般に, メッキ, 金属箔, 導電性塗料などが使われているが, 本研究では製品形状の自由度の高いプラスチック材料の特性を生かした電磁波シールドの方法について検討した。

2 実験方法

2.1 試料

(1) 金属繊維配合材料

金属繊維含有マスターバッチ (東洋インキ製造株) をポリアミド6 (PA6) (CM1026 東レ株) に所定量配合して測定に供した。

(2) 炭素繊維含有材料

市販の炭素繊維入り PA6 (TLP1061CF20%, TLP1046CF30% 東レ株), PA66 (T-665C30CF30% 東洋紡株) 及び, PPE (EV20CF20% 三菱エンブラ株) を用いた。

(3) 金属メッシュのインサート

PA6に銅, ニッケル, アルミニウム製のメッシュ (EXMET 太陽金網株) を貼り付けて, 測定した。試料の一例を写真1に示す。



写真1 金属メッシュ貼付サンプル (Ni 2/0)

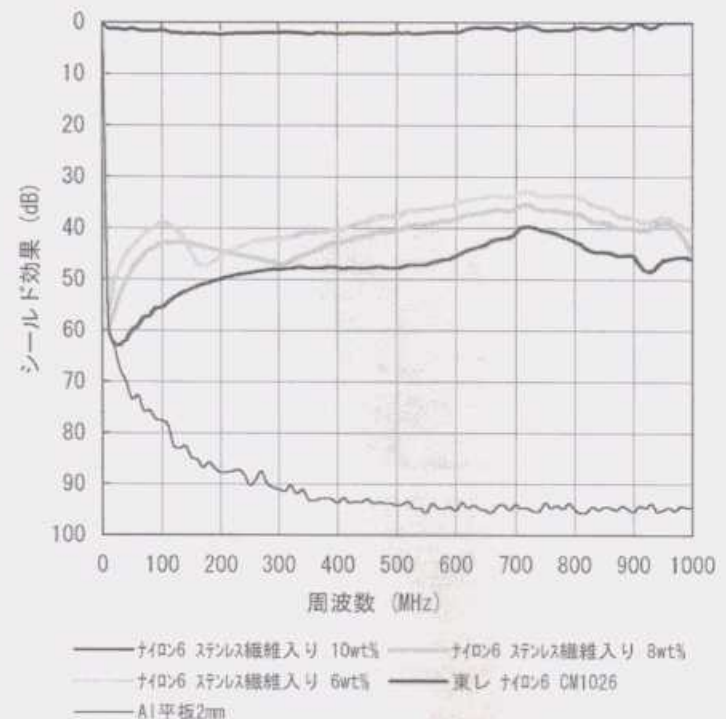


図1 金属繊維入り材料の電磁波シールド特性

*大協株

2.2 電磁波シールド特性の測定

寸法120×120×3 mm の繊維配合成形板または、同寸法の樹脂成形板に金属メッシュを貼り付けた試料を、アンリツ株のプローブを用い、KEC 法で測定した。

3.1 金属繊維配合材料

PA 6 に金属繊維マスターバッチを6, 8, 10wt% 配合した場合の電磁波シールド特性を図1に示す。いずれも、PA 6 に比べるとシールド効果が向上するが、アルミニウムの板と比較すると効果は低い。

自動車用電子機器の遮蔽には、50dB 以上のシールド効果が必要と考えられるため10wt% までの配合率では不十分である。

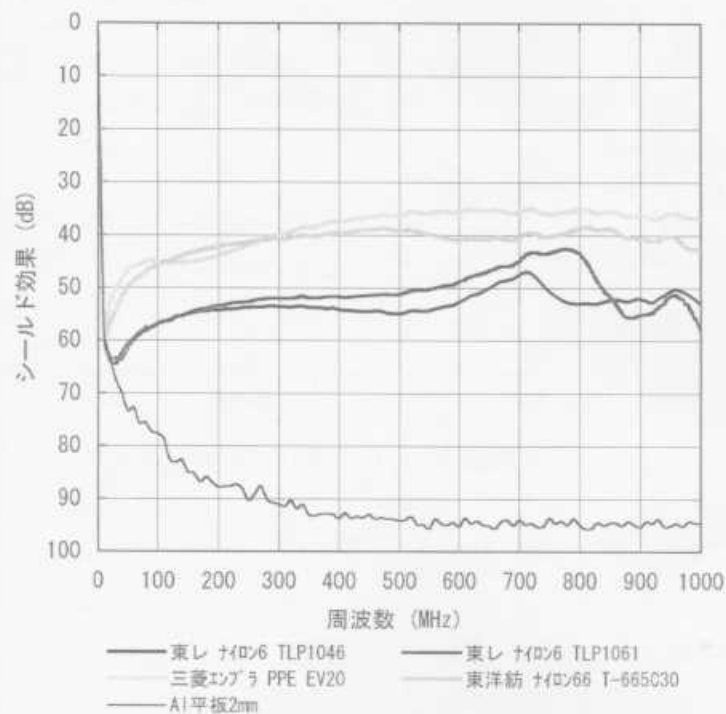


図2 炭素繊維入り材料の電磁波シールド特性

3.2 炭素繊維含有材料

市販の炭素繊維ペレット成形板のシールド効果を図2に示す。

金属繊維の場合よりも配合量が多く、シールド効果は高い。炭素繊維30%のものでは50dB 以上の効果が得られた。

3.3 金属メッシュのインサート

金属メッシュにおいて、金属の種類、メッシュの大きさを変えた場合について検討した結果を図3, 4に示す。Al メッシュ-4/0 (約25メッシュ), Ni メッシュ-4/0 では、低い周波数においては、50dB 以上のシールド効果が得られたが、高周波数においては効果が低かった。メッシュの大きさが異なるため、金属の違いによるものかはっきりはしないが、Cu メッシュ-6/0 (約50メッシュ) では測定周波数の全域において55dB 以上の効果が得られた。

メッシュの大きさによる違いでは、やはり開口面積

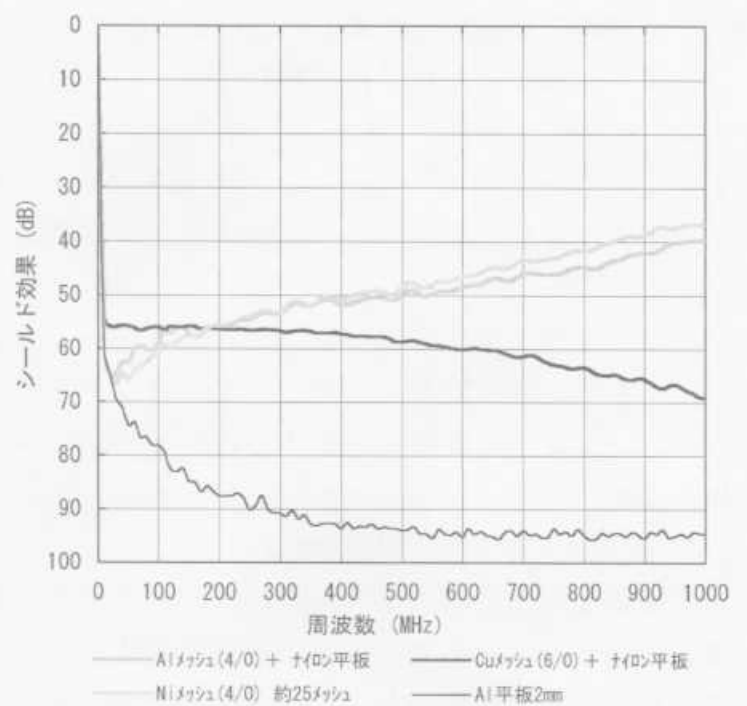


図3 各種メッシュの電磁波シールド特性

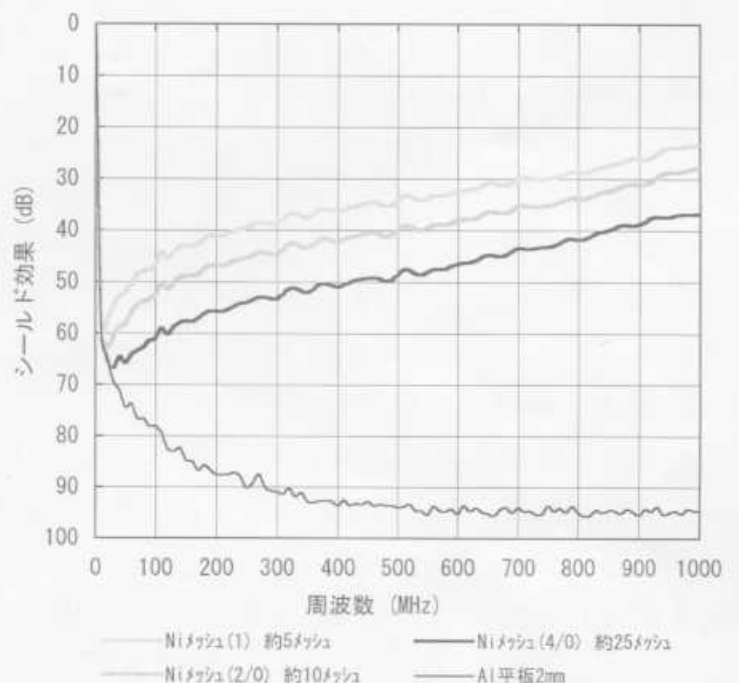


図4 異なるメッシュ径での電磁波シールド特性

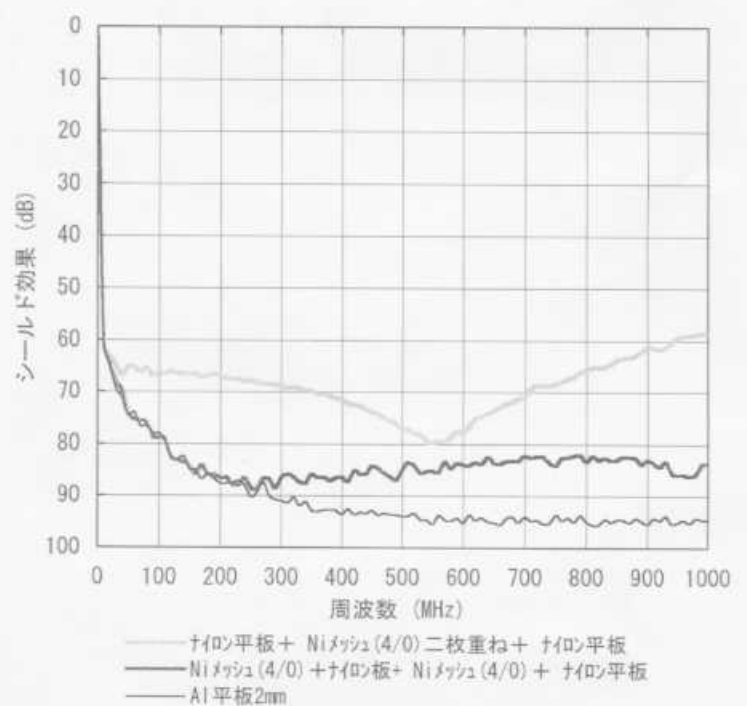


図5 メッシュ2枚重ねでの電磁波シールド特性

の少ないものほど良好な結果を得ている。

金属メッシュを重ねた場合の効果について、図5に示す。

1枚では効果の低かったNiメッシュ4/0を用いても、2枚重ねることにより大幅にシールド効果が向上する。

単純にメッシュを2枚重ねるよりも、メッシュ間にスペースを持たせ、離れた位置に配するほうが効果が大きく、アルミニウム板に匹敵するほどの、効果が得られることがわかった。

3.4 繊維入り材料の機械的性質

金属繊維または炭素繊維入りの材料の引張強さ、曲げ強さを図6、7に示す。金属繊維を配合すると曲げ強さはあまり変化しないが、引張強さは低下する傾向にあった。

炭素繊維配合材料では、炭素繊維は強化材としてもはたらき、一種類を除きPA6に比べ、引張強さで2倍、曲げ強さでは3倍の強度が得られた。

4 結 言

金属繊維を樹脂に練り込むことで、電磁波シールド特性を持たせられることがわかった。さらに配合比を上げれば、よりシールド効果が上がると思われるが、機械的特性の低下が予想されるため検討が必要である。またガラス繊維入りのPA6と混練する場合は、両繊維同志の分散、粘性が上がることによる成形性の低下が問題である。

炭素繊維入り材料は、シールド効果が約50dBあるものがあり、強度も高かったが、繊維の配合量が多いため表面平滑性、繊維の分散が懸念される。

金属メッシュインサートでは、2重にメッシュを配することで非常に高いシールド効果があることがわか

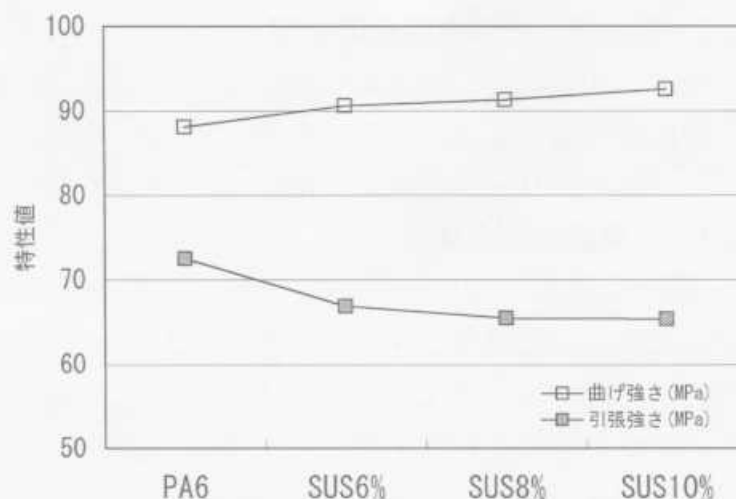


図6 金属繊維入り材料の機械的特性

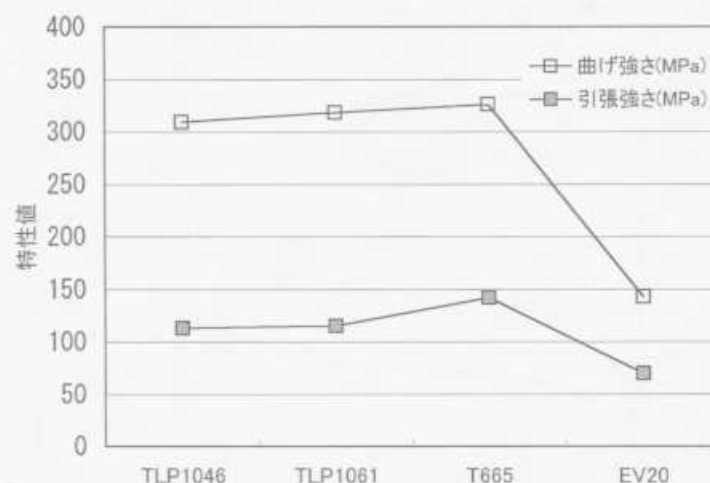


図7 炭素繊維入り材料の機械的特性

った。しかし実際の成形品では、コーナー部などがあり、配置に工夫が必要となる。従って、実製品では導電性繊維と金属メッシュを組み合わせる材料で、シールド性能の向上を進めていく予定である。

なお、本研究は広島県地域研究者養成事業に基づき企業の技術者の参加により実施した。

終わりに、ご指導いただいた近畿大学工学部の後藤昌生教授に深謝の意を表します。

精密加工に関する研究 (第6報) 針鍛造金型のデジタル化と精密放電加工

山下弘之, 門 格史, 高橋英和*

Study of Precision Machining (6th Report) Digitalization and precision machining by EDM about forging die for needle

Yamashita Hiroyuki, Kado Tadashi and Takahashi Hidekazu*

In the study, manufacturing process (measuring, design and machining) was examined in order to automation and digitalization of traditional, technical skill about forging die for needle. First, 3D shape of forging die was measured by using non-contact 3D measuring system to establish CAD database of forging die. Next, 3D shape of forging die were designed on 3D CAD system. It is successfully to establish the design process of new forging die for needle. Last, forging die for needle (OMO GATA) for which was most small needle were machined by using EDM (electric discharge machining) with optimum condition which obtained on previous research and electrode which of shape was copied from master die by forging.

キーワード：手縫い針，鍛造金型，鍛造転写

1 緒 言

広島市を中心に製造される手縫い針は、全国シェア100%をしめる本県の伝統的な特産品である。この中で、糸を通す穴周辺部の加工で使用される鍛造金型（写真1：量産型）は、手縫い針用ということから、形状・寸法は微細で、現状は技能者の手作業により、マスター形状を持った種型（凹型）から母型（中間型，凸型）へ、そして量産型（凹型）へと、3段階にわたり形状を写し取ることで作られている。その方法は独特で、母型から量産型の場合、凸形状の母型をプレス装置で、量産型の加工面に押しつけ、凹形状を徐々に写し取っていき、途中顕微鏡下でのヤスリ等を使った形状の調整を行いつつ、最終的な金型形状に仕上げていく。



写真1 針製造用金型
(量産用スタンプ型)

このように、金型製作及びその詳細な3次元形状・寸法は、技能者の勘と経験で伝承されており、現在、技能者の高齢化や、後継者不足等の問題に直面している。

2 目 的

本研究では、前記の問題解決のため、針製造用鍛造金型の現状の製造工程における、技能、技術のデジタル化の観点から、既存の金型形状の数値化、3次元CADを用いた金型モデリング及び放電加工による金型加工の自動化を目的に検討を行った。以下にその内容を示す。

3 検討内容・結果と考察

3.1 既存金型形状の数値化

3.1.1 検討内容

現在製造されている手縫い針の種類は、数百種類に上る。これらを製造するための金型は、形状が同じで長さのみが違うものを除いても、約100種類程度ある。その形状の管理は、現在は種型と呼ばれるマスター形状を持った型を、保管することで行われている。また図面はあるものの、細部に渡る詳細な形状は正確には把握されておらず、種型が使用中に損傷した場合、その針金型形状を正確に再現することは非常に困難となる。そこで、既存の針金型の形状を測定し、3次元形状データ（X, Y, Zの3次元点群座標データ）を求め、さらにそれをもとにCAD上で扱える面データに変換することを試みた。これにより、形状管理を現状の現物の保管から、数値データ保管に変更できることになり、損傷等の影響を受けない形状保管が可能とな

*万国製針株式会社

る。

3.1.2 使用した装置

既存の針金型形状の測定には、三鷹光器(株)非接触3次元形状測定装置「NH-3」を使用した。また、測定した点群データの処理には、東京貿易テクノシステム(株)「サーフェイサー」を使用した。

3.1.3 測定データ及び面生成の結果

図1, 3に今回測定した主な針金型の測定データを示す。図1は母型から測定したもので、凸形状となっている。これに対し、図3は種型から測定したもので凹形状となっている。また、針穴が2つ連続した特異な形状を持った針である。両者ともに針穴周辺の形状や軸部分が良好に測定できている。これらの3次元点群データから、「サーフェイサー」を使い、面データを生成した。ともに全ての点群データから一括して面生成を行った。点群データと生成した面データとのズレの大きさを、図2, 4に示す。図2では、針穴周辺付近で、最大で0.025mm程度のズレが生じているが、他の部分のズレは0.010mm以下と、ほぼ測定形状通りの面が、生成されていることがわかる。これに対し、図4では針穴が2個並んだ特異な形状であり、穴周辺部で複数面が混じり合った面となっているため、一括で1面として面を生成した場合、ズレが大きくなり最大で0.040mm近いズレが生じ、穴周辺のエッジ部もダレた形状となった。このように、複雑な面が組み合わされた部分やエッジを再現したい部分は、一括した面張りではなく複数面に分けて面生成を行う必要があることがわかった。

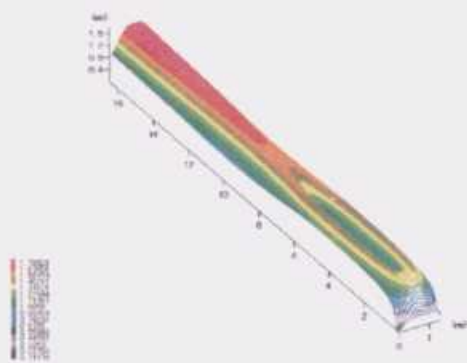


図1 針金型形状 (母型から測定)

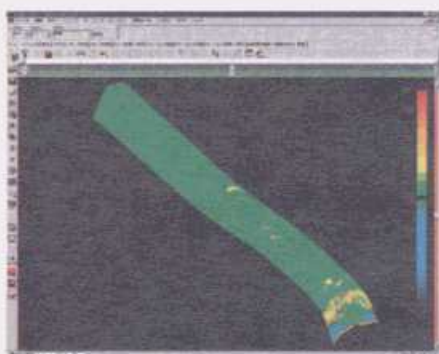


図2 針金型形状 (生成した面の誤差解析)

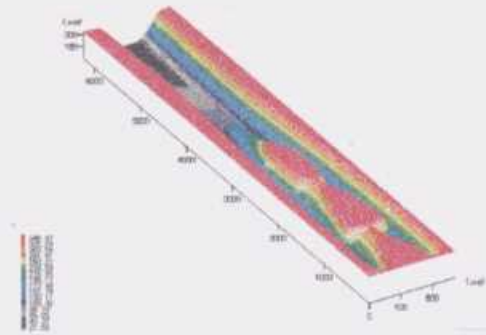


図3 針金型形状 (種型から測定)

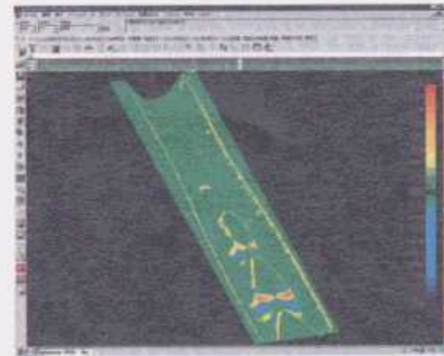


図4 針金型形状 (生成した面の誤差解析)

3.2 3次元 CAD による直接モデリング

3.2.1 検討内容

現状、新規の針金型を製作する場合、型師と呼ばれる技能者に既存の型をもとに、それからの大まかな変更点や特徴的な仕様を伝えるのみで、後は型師の経験と感覚で金型形状を設定し、手作業で加工を行っている。このため、現在は実際に型ができあがるまで、その形状を確認できない。そこで、3次元 CAD を使い、新規針金型の形状を直接モデリングすることを試みた。これにより、形状を CAD 上で確認した上で実際の製作を行うことができ、製造時の形状指示等も正確なものとなる。また、CAD データに基づく加工の自動化への展開も可能となる。

3.2.2 使用した装置

直接モデリングには、Autodesk 社製3次元 CAD 「メカニカルデスクトップ」を使用した。同 CAD は、ミッドレンジクラスの機種で、ハイエンド CAD に比べ、比較的容易に導入できる。

3.2.3 モデリングの結果

直接モデリングを行った結果を図5に示す。また、写真2に、実際の針金型(母型)の様子を示す。

実際の母型は、写真2に示すように、テーパ形状を持った材料の先端部に、2つの針穴部分が向かいあって並んだ形をしている。これは、針製造用の金型が2個取り用という特徴からである。図5の形状は、実際の母型の先端部にある針形状部をモデリングしたものである。軸部の R 面処理や傾斜部の形状、針先端部の R 面の処理等に、まだ工夫が必要であるが、ほぼ

現状の金型形状（母型）に近い，モデリングが行えた。今回モデリングを行った手順を踏めば，ほとんどの金型形状に対応できる。また，相似形状で大きさが違う針金型については，スケール変更で対応できることになる。

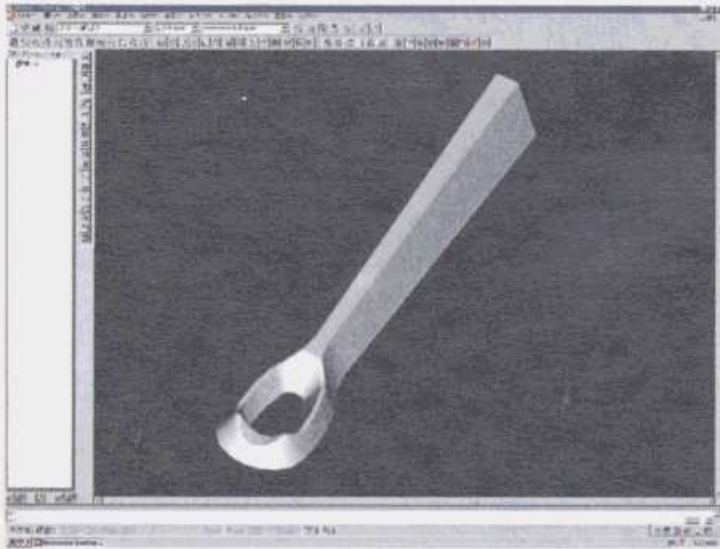


図5 3次元 CAD による針金型形状（凸型）のモデリング状況

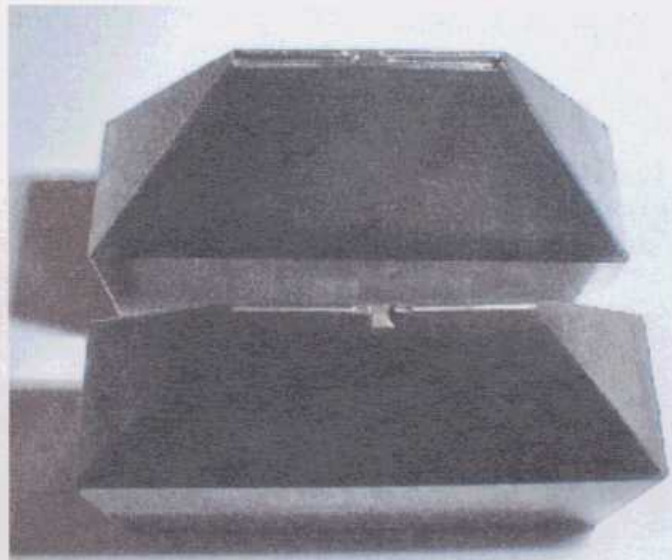


写真2 母型

3.3 鍛造転写電極による金型加工

3.3.1 検討内容

現状の金型製造法である鍛造転写により，既存の母型を，放電加工用銅材料に圧力を加えて押しつけ，形状を転写した鍛造転写電極¹⁾を作製し，それを使った放電加工による母型の加工（コピー品の量産）を検討した。母型の放電加工化を行うことで，種型の使用頻度を低減でき，形状のマスターである種型の損傷を回避できるメリットがある。

3.3.2 使用した装置

放電加工機は，三菱電機(株)製「EDSCAN 8E」を使用した。また，加工前後の電極及び金型の形状測定には，非接触3次元形状測定装置「NH-3」と，表面粗さ計を使用した。

3.3.3 検討対象金型

検討対象とする鍛造金型は，呼び径0.46mmの手縫い針用の母型とした。これは現在製造されている中で，最も小さな針の金型である。

3.3.4 鍛造転写電極による放電加工の検討

比較的大きな金型は，3.1，3.2項で検討した，形状数値化，直接モデリングで得られた CAD データをもとに，CAM による加工パスを生成し，高速加工機等の最新の切削加工機と微細工具（市販工具で最小は，0.1R ボールエンドミル）を用いた，直彫り加工を行える可能性がある。しかし，0.46mm クラスの金型は微細であるため，市販工具での直彫り加工はかなり難しく，現状，放電加工が最も有効な方法と考えられる。

鍛造転写電極による放電加工の手順を図6に示す。現在使用されている母型を使い，従来の針金型を作る要領で，銅のブロック材に母型（凸形状）を押しつけ，銅に針の凹形状を写し取る。銅は金型材料の SK 材に比べ軟質であることから，比較的容易に形状を転写できる。形状転写を行う位置には，V 溝を入れており，母型の針形状部だけでなく，テーパ形状も銅電極に転写できるように工夫した。

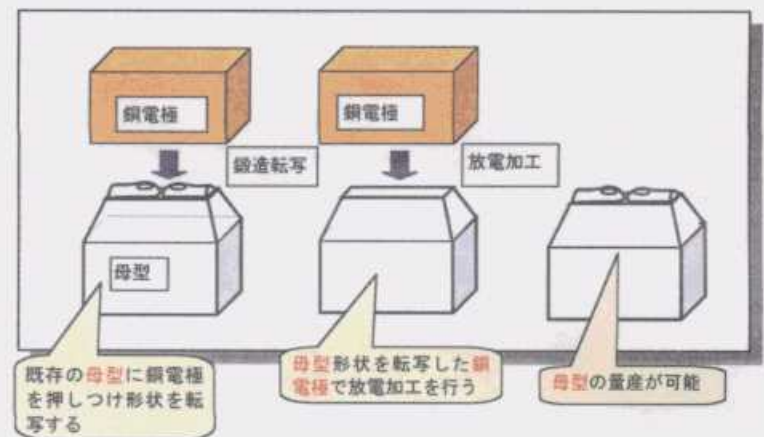


図6 鍛造転写電極による放電加工の手順

加工は表1に示す放電条件で行った。写真3に加工された針金型と，加工前後の鍛造転写電極の様子を示す。また，図7，8，9に加工後の針金型断面形状（穴の中央部：針後端から1600 μ mの位置）と，加工前後の電極断面形状の比較を示す。

加工された金型の表面粗さは， $Ra=0.4\mu m$ ， $Ry=2.4\mu m$ で，ほぼ光沢面が得られた。形状を比較すると，加工後の電極で，針穴となる凸部分の形状が，段付きのような形状になっており，加工された金型にもその形状が転写された。加工前の電極の観察から，今回の針形状が，0.46mmと最小のもので，電極に転写された針穴部分は，凸形状部（幅が0.3mm程度）に

微小なクラックが見られ、鍛造転写時に生じたものと思われる。これが放電加工の際に、剥離・脱落し、形

表1 放電加工条件

使用電極	鍛造転写電極, 銅	
電源回路	SC 回路	SC, GM 回路
ピーク電流値	5.5A~2.0A	6.0A~1.0A
放電パルス幅	64~2 μsec	96~0.1μ
DF	67~33%	67~33%
極間電圧	80~220V	

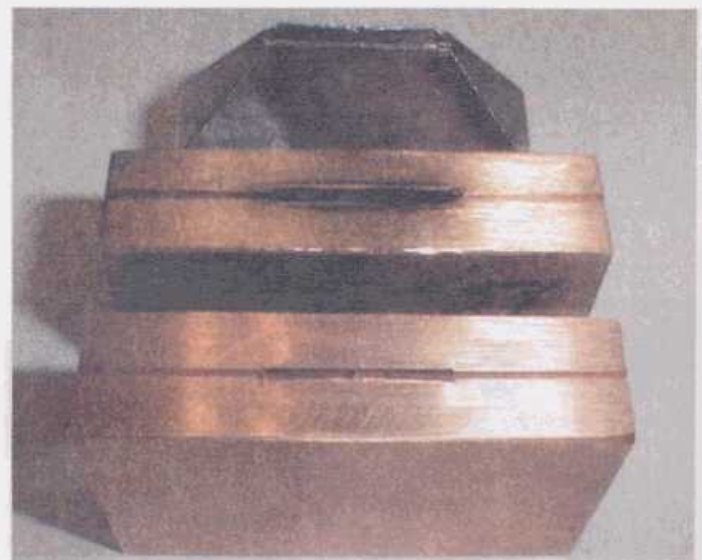


写真3 加工前後の電極及び加工された母型

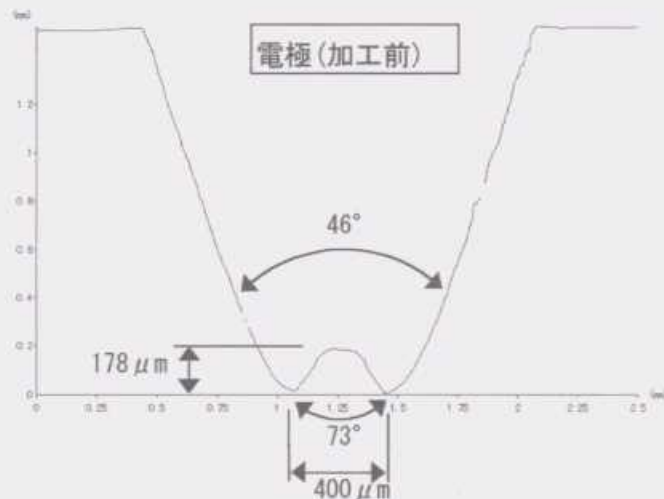


図7 断面形状の比較 (加工前の電極)

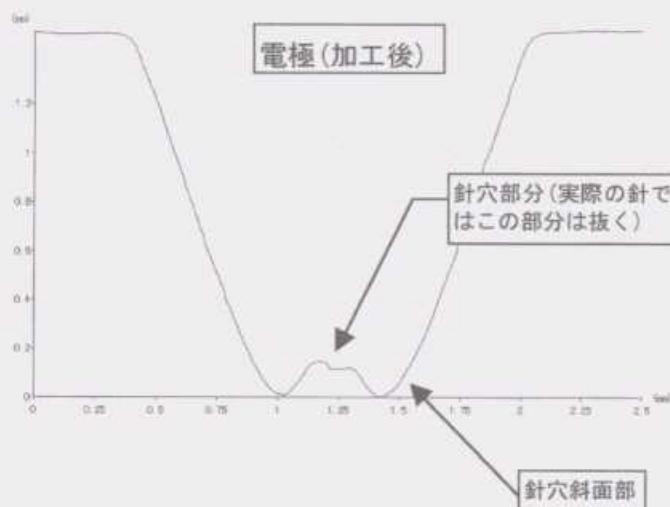


図8 断面形状の比較 (加工後の電極)

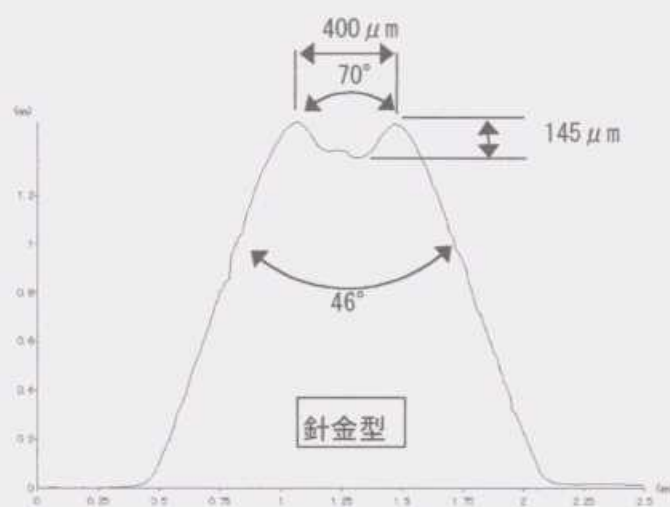


図9 断面形状の比較 (加工後の金型)

状の変化が生じたものと考えられる。針形状の微細な凹凸部での、鍛造転写時のクラックの発生を注意しなければならないことがわかった。寸法は加工前電極で178μmが、金型では145μmと、30μm程のズレが生じた。ただ、この部分は最終的には針穴として抜き取るため、実用上問題にはならない。形状として重要な針穴外周部の斜面形状を比較すると、加工前電極と金型で、先端凸部分にダレが見られものの、頂点間距離は同じで、斜面傾きもほぼ同じで、形状は問題ないと思われる。現在、量産型への展開を検討中である。

4 結 言

脱技能化、技術のデジタル化の観点から、既存金型形状の数値化、3次元CADによる針金型形状の直接モデリング、及び鍛造転写電極による放電加工を検討した。その結果、

- ①非接触3次元形状測定装置による測定データをもとに、既存針金型の形状のCADを行い、形状の数値データによる管理・保存の見通しを得た。ただ、複雑な面形状に関しては、一括での面生成に問題があった。
- ②3次元CADによる、針金型形状のモデリングの手順をほぼ確立した。今後、さらに形状の完成度を高めていく。
- ③鍛造転写電極を使い、鏡面仕上げ加工まで行うことでほぼ所定の形状及び面粗さを得ることができた。

なお、本研究は広島県地域技術者養成事業に基づき、企業から中堅技術者の参加を得て実施した。

文 献

- 1) 山下, 門, 池田, 広島県立西部工技研究報告, 42, (1999), 40~41

放電加工による微細軸電極成形条件の最適化

山下弘之, 門 格史, 平野正和*

Study of Precision Machining (7th Report)

Optimization for machining conditions of rodlike micro electrode by WEDG (Wire Electric Discharge Grinding)

Yamashita Hiroyuki, Kado Tadashi and Hirano Masakazu*

Micro hole about a few ten micrometers diameter has required in electric and semiconductor industry. It is difficult to drill the micro hole because of tool. One of methods which produce micro hole is EDM (electric discharge machining). In EDM process, Small electrode is necessary to machine the small. WEDG (Wire Electric Discharge Grinding) is the best method in order to produce the small electrode. However its machining needs long time because of small energy condition on EDM. In order to eliminate the manufacturing cost and time of micro hole, it is necessary to optimize the conditions of WEDG. In this study, quality engineering approach was utilized to find the optimum conditions of using WEDG to produce the rodlike and high aspect micro electrode which was used to produce the small hole with EDM.

キーワード：ワイヤ放電研削法, 品質工学, 微細軸, 微細穴

1 緒 言

半導体関連装置や電子機器の分野において、 $\phi 30\mu\text{m}$ 程度の微小な穴加工の需要が多い。加工材料も金属以外に超硬材料等があるため、この分野では現状放電加工以外に加工する方法が無い。このような穴加工には、放電ギャップや加工時の電極消耗を考慮して、さらに細く、できるだけ長い軸状の電極を成形する必要がある。微細な軸状の電極を成形する方法として、“ワイヤ放電研削法 (WEDG 法)”¹⁾がある。当センターにあるワイヤ放電研削装置の概略を図1に示す。放電加工機 (三菱電機(株)製 EDSCAN 8 E) 横に配置された供給装置から、テーブル上の加工部へワイヤ電極 (黄銅, $\phi 0.2\text{mm}$) が供給される。主軸に微細軸の材料のタンゲステン (W 材) 丸棒 ($\phi 1\text{mm}$) を付け、回転させながらワイヤ電極との間で放電させ、軸加工を行う。電極消耗が無視でき比較的容易に長く細い電極を加工できるが、加工時の放電面積が小さく微小な電気条件での加工であり、加工速度が遅い欠点がある。本装置で $\phi 1\text{mm}$ W 材から、 $\phi 30\mu\text{m}$, 長さ 0.7mm ($D/L=20$) の微細軸を加工するのに、現状1時間10分程度要している (荒加工: トランジスタ回路で30分, 仕上げ加工: コンデンサ (RC) 回路で40分)。使用する加工条件・プログラムは、装置付属の標準的なもので、各条件が加工特性に及ぼす影響が把握されていないため、加工時間の短縮や加工途中の折損等への

* (株) 橋川製作所

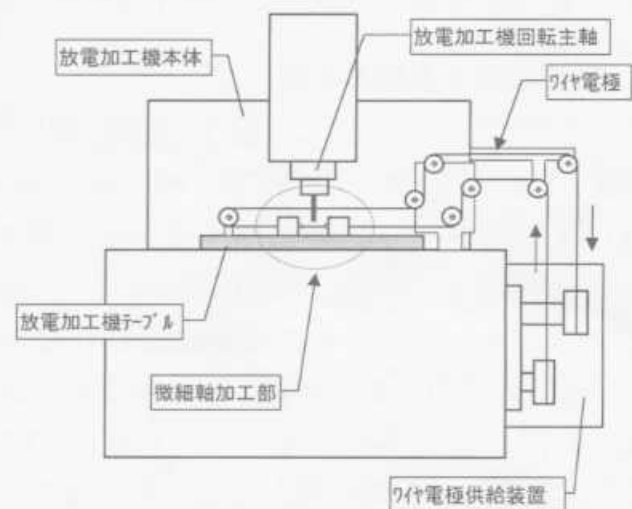


図1 ワイヤ放電研削装置の概略

対処方法がわからない状態である。多数個の微細穴加工を行う際に、電極成形に時間がかかれば穴加工全体の時間を長くし、加工コストを引き上げることになる。このためできるだけ短時間で、かつ安定した電極成形加工を行う必要がある。

そこで、本研究は“ワイヤ放電研削法 (WEDG 法)”において、安定でかつ加工速度の速い微細軸加工条件を求めることを目的とした。

2 実験方法 (品質工学による実験計画)

2.1 放電加工による微細軸加工技術

放電加工は、加工液中で電極と工作物間に生じるきわめて短い時間 ($\sim 10^{-8}$ 秒) の放電により、工作物を加熱・溶融し (数千度以上)、まわりの加工液の蒸発・

膨張による爆発的な高圧により、吹き飛ばすことで工作物を徐々に加工する方法である²⁾。放電エネルギーは放電電流・電圧の積の時間積分で表され、工作物の加工量は放電エネルギーに比例すると考えられる。しかし、 $\sim 10^{-6}$ 秒で変化する電流・電圧を測定し、加工時間にわたり記録するには膨大なメモリを必要とし現状での測定は困難であった。そこで、放電加工においても加工が安定して進めば、時間に比例し加工量が増えるとの考えで、基本機能を設定した。加工量が微小で重量測定が困難なため、材料の除去体積が変化するとした。エネルギーの代替との考えから平方根をとり、次式とした。(図2参照)

$$\sqrt{Y} \text{ (加工除去体積)} = \beta \cdot \sqrt{M} \text{ (加工時間)}$$

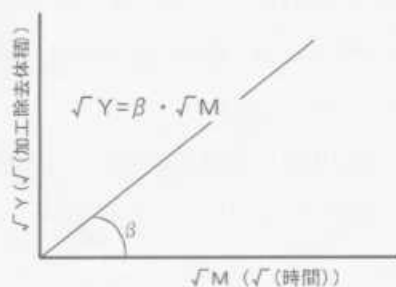


図2 微細軸放電加工の基本機能

2.2 微細軸加工実験の手順

実際の微細軸加工の要領で、図3に示す形状に、W材丸棒 ($\phi 1 \text{ mm}$) を加工した。加工機主軸にW材丸棒を付け、回転させながら走行するワイヤ電極 ($\phi 0.2 \text{ mm}$) の上方から、加工径が $100 \mu\text{m}$ となる位置 (ワイヤ中心軸より径方向に $150 \mu\text{m}$ 移動した位置) で、主軸を下げていき加工を行う。3分間加工が進んだところで、 $100 \mu\text{m}$ 移動させ、再び主軸を下げて加工を行う。さらに3分間加工が進んだところで、再び $100 \mu\text{m}$ 移動させ加工を行う。これにより、W材丸棒先端に、 $100, 300, 500 \mu\text{m}$ の直径を持った段付き状の微細軸が加工される。

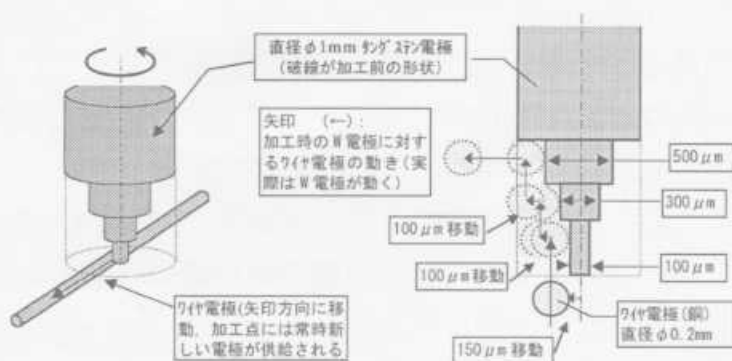


図3 加工実験における微細軸加工の手順

2.3 信号因子及び計測特性

各直径での加工時間 (3.0分) の、30秒毎の累積時間を信号因子とし、次の6水準とした。

(0.5分, 1.0分, 1.5分, 2.0分, 2.5分, 3.0分)

加工後に、投影機で30秒毎に加工された区間の軸径を測定する。そこで、最大と最小の2つの軸径を求め、加工前の軸体積との差から加工された最大体積と最小体積を求めた。30秒毎の加工区間 (長さ) は、加工中の加工機主軸の移動量から求めた。

2.4 制御因子

加工時の各種放電条件を、表1のように制御因子として割り付けた。この際ワイヤ断線が生じない平均電流値に抑えるため、放電電流値 (ピーク電流) とパルス幅 (ON 時間) に対して、休止時間を設定した。

表1 制御因子

	第1水準	第2水準	第3水準	
A. 軸回転数	800	1000		
B. 放電電流値	5 A	15A	31A	
C. パルス幅	2 μsec	4 μsec	6 μsec	
	0.08A	0.4A	0.8A	
D. 平均電流値 (平均電流値が0.08, 0.4, 0.8Aの3種類になるよう設定)	5 A の場合			
	(2 μsec)	61.0 μsec	11.5 μsec	5.0 μsec
	(4 μsec)	122.0 μsec	22.5 μsec	9.5 μsec
	(6 μsec)	179.0 μsec	32.0 μsec	14.5 μsec
	15A の場合			
	(2 μsec)	282.0 μsec	35.0 μsec	27.0 μsec
	(4 μsec)	563.0 μsec	70.5 μsec	54.5 μsec
	(6 μsec)	819.0 μsec	109.0 μsec	80.5 μsec
	31A の場合			
(2 μsec)	512.0 μsec	77.0 μsec	38.5 μsec	
(4 μsec)	1024.0 μsec	153.5 μsec	77.0 μsec	
(6 μsec)	1536.0 μsec	230.5 μsec	115.0 μsec	
E. 極間電圧	80V	150V	220V	
F. サーボゲイン	20%	50%	80%	
G. ワイヤ送り速度	小	中	大	
H. サーボ電圧	-4.0	0	4.0	

2.5 誤差因子

放電加工面は、放電痕が集積した凹凸面を持っており、放電状態によりその凹凸は変化する。そこで、加工された軸径のばらつきを考え、軸径の測定値の最大・最小から求めた体積の違いとした。また、加工した軸径の大小の違い ($100, 300, 500 \mu\text{m}$) も、誤差として考慮した。

3 加工実験の結果及び解析

3.1 加工除去体積の測定結果

L_{18} 直行表に基づき加工実験を行った。実験結果の一部 (実験No 1 の除去体積計算結果) を、表2に示す。

表2 実験結果 (加工除去体積の計算例: 実験No. 1)

		M1	M2	M3	M4	M5	M6
		0.5	1	1.5	2	2.5	3
N1'	N1 (max)	13974632.89	30391301.39	43594494.34	58544141.4	73417439.63	87255265.23
	N2 (min)	13952972.25	30347714.64	43536286.67	58444790.12	73297813.43	87077978.05
N2'	N1 (max)	13083789.62	28147669.97	42660839.21	59911141.25	74042989.33	89331187.04
	N2 (min)	13044711.82	28052462.8	42490299.19	59612047.91	73679585.09	88737071.04
N3'	N1 (max)	15155457.71	31300077.96	46570626.41	62739686.84	78267215.24	93514694.63
	N2 (min)	14996471.35	31043237.64	46197974.3	62244740.59	77678254.67	92879456
		$\sqrt{M1}$	$\sqrt{M2}$	$\sqrt{M3}$	$\sqrt{M4}$	$\sqrt{M5}$	$\sqrt{M6}$
		0.707106781	1	1.224744871	1.414213562	1.58113883	1.732050808
N1'	N1 (max)	3738.266028	5512.830615	6602.612691	7651.41434	8568.397728	9341.052083
	N2 (min)	3735.367753	5508.875987	6598.303291	7644.919236	8561.414219	9331.558179
N2'	N1 (max)	3617.153525	5305.437773	6531.52656	7740.228759	8604.823608	9451.517711
	N2 (min)	3611.746367	5296.457571	6518.458345	7720.883881	8583.681325	9420.035618
N3'	N1 (max)	3893.001119	5584.64726	6824.267463	7920.832459	8846.876016	9670.259614
	N2 (min)	3872.527772	5571.645864	6796.909173	7889.533611	8813.526801	9637.398819

3.2 測定結果の解析

動特性（ゼロ点比例式）の解析³⁾により、測定結果から各実験のSN比、感度を求めた。実験の中で、ワイヤ断線により、データが一部欠測したので、逐次近似を行い、表3の通り求めた。計算例（実験No1）を以下に示す。

全自乗和 $S_T = y1^2 + y2^2 + \dots + y36^2 = 13974632.89 + 30740592.2 + \dots + 92879456 = 1879216428$
 有効除数 $r = M1^2 + M2^2 + \dots + M6^2 = 0.5 + 1.0 + \dots + 0.3 = 10.5$
 $L1 = y11 + M1 + y12 + M2 + \dots + y16 + M6 = 3738.2660 + 0.70710678 + \dots + 9341.0526 + 1.732050808 = 56790.43804$
 $L2 = 56742.36131$ $L3 = 56784.87132$ $L4 = 56640.74719$
 $L5 = 58644.73947$ $L6 = 58419.77546$
 比例項の変動 $S_p = ((L1+L2+L3+L4+L5+L6)^2 / (6 \cdot r)) = 1878599655$
 比例項の差の変動 $S_{p,n} = ((L1+L3+L5)^2 + (L2+L4+L6)^2) / (3 \cdot r) - S_p = 2762.32583$
 比例項の差の変動 $S_{p,n} = ((L1+L2)^2 + (L3+L4)^2 + (L5+L6)^2) / (2 \cdot r) - S_p = 408350.3138$
 誤差変動 $S_e = S_T - S_p - S_{p,n} - S_{p,n} = 205659.8113$
 誤差分散 $V_e = S_e / (36 - 3) = 6232.11550$
 プールした誤差分散 $V_N = (S_e + S_{p,n} + S_{p,n}) / (33 + 2) = 17622.07003$
 SN比 $= 10 \cdot \text{LOG}((S_p - V_e) / 6rV_N) = 32.28$
 感度 $= 10 \cdot \text{LOG}((S_p - V_e) / 6r) = 74.74$

これから、要因効果図（図4、5）を求めた。

3.3 効果の推定及び考察

SN比と感度を考慮し、最適条件として、

表3 L18実験結果 (SN比, 感度)

	SN比	感度		SN比	感度
L1	32.28	74.74	L10	9.81	66.17
L2	29.73	77.36	L11	25.69	71.52
L3	7.57	72.69	L12	31.05	73.01
L4	25.89	75.15	L13	30.70	80.04
L5	10.18	68.83	L14	26.00	76.38
L6	20.26	79.62	L15	24.29	74.09
L7	24.28	73.38	L16	33.32	79.44
L8	23.21	82.09	L17	15.31	66.63
L9	19.61	69.96	L18	26.08	79.66
平均	23.07	74.49			

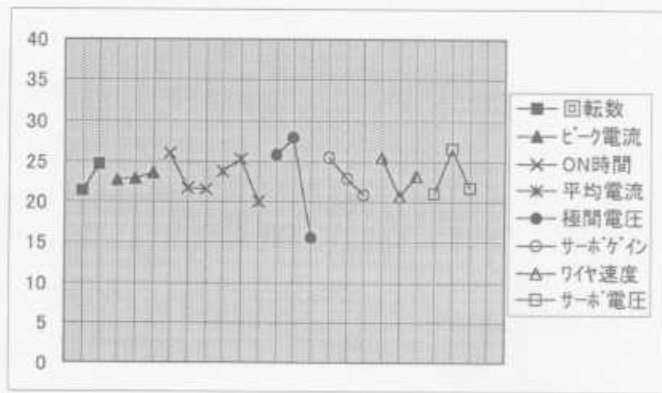


図4 要因効果図 (SN比)

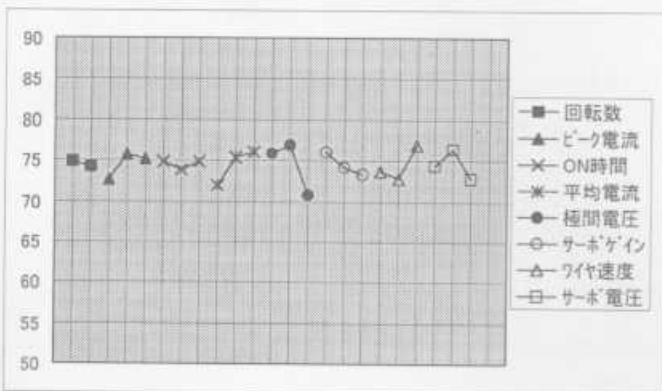


図5 要因効果図 (感度)

A2, B2, C1, D2, E2, F1, G1, H2

を選択した。現状の装置付属の荒加工条件の水準が、制御因子にないことから、第2水準を比較条件として、確認実験を行った。表4に推定値と確認実験での結果を示す。SN比の利得の再現性は約70%であったが、感度は推定と差のある結果となった。この中でワイヤ送り速度、サーボ電圧に大きな凸凹が見られたが、ワイヤ送り速度は実験の際に設定ミスがあり、水準が適正でなかった影響のためと思われる。また、サーボ電圧は水準幅が広すぎ、放電としてかなり厳しい条件のため、第1, 3水準で不安定になったと考えられる。平均電流や極間電圧にも少し凸が見られ、加工速度向上の点から、感度の再現性に問題が残った。

実験全般の加工状況を見ると、ほぼ全ての条件で、0.1mm径の加工より0.5mm径の方が加工速度が遅く、不安定になる傾向が見られた。これは0.5mm径の方が放電面積が小さくなるため、放電がより不安定になりやすいためと考えられる。つまり、少しずつ軸径を細くするより、一度に大きく加工した方が逆に安定することがわかった。

表4 確認実験の結果 (推定と利得の比較)

		最適条件	第2水準	利得
SN比	推定値	42.82	31.05	11.77
	確認実験	34.27	26.79	7.48
感度	推定値	81.51	77.73	3.78
	確認実験	79.84	79.68	0.17

第2水準に対する、感度への効果は見られなかったが、現状の装置付属の荒加工条件に対する効果を見た(表5)。

表5 L18最適条件と現状条件の比較

	最適条件	現状条件	利得
SN比	34.27	33.65	0.62
感度	79.84	77.65	2.19

ともに改善効果があり、実際の効果に換算すると、

$$\begin{aligned} \text{利得の真値 } \eta' &= (S_p - V_e) / 6r / V_N = 10^{(SN比の利得) / 10} \\ &= 10^{(0.62/10)} = 1.153 \end{aligned}$$

から、ばらつきは、1/1.153に、すなわち約15%低減される。また、加工速度に関連した感度は、

$$\begin{aligned} \text{利得の真値 } S' &= (S_p - V_e) / 6r = 10^{(感度の利得) / 10} \\ &= 10^{(2.19/10)} = 1.656 \end{aligned}$$

から、加工速度は約66%向上した。

そこで、この最適条件を使い、実際の微細軸加工における荒加工(φ1mmW材をφ100μmまで加工。加工長さ1mm)を、1工程で行って見た。その結果、良好に加工が行え、現状の加工プログラムで30分程度

要している荒加工が、約8分で終了し、1/3程度に短縮できた。

3.4 微細軸加工 NC プログラムの最適化

前項までの検討で、 $\phi 100\mu\text{m}$ の軸径までの荒加工が1工程で行えることが確認されたことから、既存のNCプログラムの荒加工部を1工程に改めた。次に仕上げ部分について、以下の項目の見直しを行った。

①各工程間の移動速度・距離の最適化：軸の引き上げ速度や移動時の回避高さ等を最適化する。

②工程の削減：仕上げ加工はトランジスタ回路より放電エネルギーの微小な、コンデンサ(RC)回路が使用されるが、3.3項の検討で明らかのように、加工量を少なく複数の工程にするより、ある程度大きな加工量で一度に加工した方が、安定した加工ができるということから、仕上げ加工も現状8工程を4工程に削減した。図6に見直し内容を示す。本加工プログラムで実際に微細軸加工を行った。加工した微細軸(30 μm , 長さ0.7mm)の写真1を示す。問題なく加工ができ、加工時間は31分で、見直し前の加工時間に比べほぼ半分に削減することができた。

3.5 微細穴加工への効果

今回得られた荒加工時間の短縮により、実際の微細穴加工(板厚0.2mmの超硬材料へ $\phi 30\sim 40\mu\text{m}$ の穴加工を行う)への展開を考えた場合、次の効果が期待される。

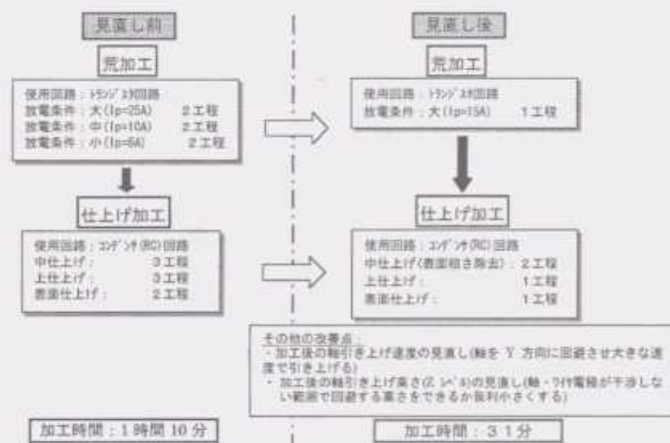


図6 微細軸加工プログラムの改善内容

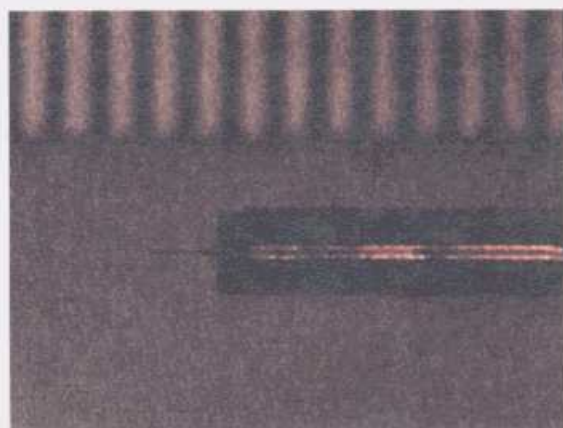


写真1 微細軸加工状況(直径：30 μm , 長さ0.7mm)

現状：加工穴数6個に対して、加工時間は2時間10分。その内訳は、穴加工時間50分(1個当たり約8分)、電極成形時間1時間10分、その他、段取り等10分。

最適条件による加工プログラムの見直し後：荒加工時間の短縮により、加工時間は1時間31分に短縮される。これから表6に示すとおり加工個数の増加が見込まれ、生産性向上効果が見込まれる。

表6 加工時間短縮による効果

	現 状	最 適 化	効 果
加工時間(穴個数：6個)	130.0	91.0	30%削減
1個当たりの加工時間(min)	21.7	15.2	30%削減
8時間での加工可能個数	22.1	31.6	43%増加
加工個数の増加分			9

4 結 言

微細な穴加工を行うための、微細軸電極を加工する条件について、荒加工条件の最適化を目的に、加工時間と加工除去体積の比例性に着目した基本機能で、検討を行った。その結果、

(1) L_{18} 実験で第2水準との利得の再現性(特に感度)に問題があるものの、従来の荒加工を1/3の加工時間で、1行程で行える荒加工条件を見いだすことができた。

(2) 仕上げ工程の見直しを含め、現状の加工時間を半減することができた。

(3) サーボ電圧、サーボゲインや平均電流、極間電圧等の関係をもう一度整理し、相互作用の有無を再検討する必要がある。

なお、本研究は広島県地域技術者養成事業に基づき、企業から中堅技術者の参加を得て実施した。

終わりに、本実験の実施にあたり、(財)日本規格協会 参与矢野宏氏には、適切にご指導と多くの有用なご助言を頂きました。また、広島地区品質工学研究会の皆様にも有用なご助言を頂きました。紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) T. Masuzawa, M. Fujino, Wire Electro-Discharge Grinding for Micro-machining annas of the CIRP, (1985), vol. 34, 1
- 2) 向山芳世, 形彫・ワイヤ放電加工マニュアル, 大河出版, 10
- 3) 矢野宏, 品質工学計算法入門, 日本規格協会, 95-96

無機系廃棄物の再利用技術の研究 (第4報) コンクリート廃材から機能性材料の開発

倉本恵治, 丸下清志, 斯波信雄, 新畑貴史*, 斉田宏之**

A Study on Reutilization of Inorganic Wastes (4th Report)
Development of Functional Material from Concrete Wastes

KURAMOTO Yoshiharu, MARUSHITA Kiyoshi, SHIBA Nobuo, NIIHATA Takashi* and SAITA Hiroyuki**

We studied the strength test of concrete in order to consider effective uses of concrete masses generated as demolition wastes. We conducted compressive strength tests on various types of recycled aggregate and studied the processing method to improve the quality of recycled aggregate. In addition, we also studied the possible use of gypsum board scraps as fine aggregate. By performing hydrothermal treatment on ultra-fine samples of 150 μ m or smaller, which are generated at the time of crushing, we could synthesize zeolite consisting of mixture of A-type and Z-type.

キーワード：廃棄物, コンクリート廃材, 有効利用, 再生骨材, 機能性材料

1 緒 言

近年, コンクリート製造に使用する骨材採取によって生じる環境破壊が重要視されるようになり, 特に広島県では海砂採取の全面的禁止に踏み切るなど, 良質な骨材を確保することが年々困難になっている。

また, 平成7年度における建築系廃棄物のうちコンクリート廃材の発生量は約3600万トン¹⁾に達しており, 大きな社会問題になっている。一方, コンクリート塊の再利用率は, 1990年で48%, 1995年で65%であり²⁾, 年々上昇しているが, 国が策定したリサイクルプラン21における2000年の目標値は90%でより一層の再利用を推進する必要がある, コンクリート廃材の完全リサイクルのための有効な技術開発が強く望まれている。

本研究では, 再生骨材(粗骨材・細骨材)を使用したコンクリートの圧縮強度, 再生骨材の品質改善のための処理方法とその方法の違いによる標準骨材との強度比較を行った。また, 廃石膏の細骨材としての利用についても検討した。さらに, コンクリート廃材の微細試料を原料として機能性材料の開発を行った結果を報告する。

2 試料と実験方法

2.1 使用材料

再生骨材(粗骨材・細骨材)と廃石膏はS社から入手したものを使用した。セメントは普通ポルトランドセメント(株)トクヤマ, 標準の粗骨材として砕石,

細骨材として川砂を使用した。また, ゼオライトの合成には再生細骨材のうち150 μ m以下の微細試料を用いた。

2.2 品質改善のための処理方法

再生骨材の品質改善のために, 湿式, 乾式による処理を行った。湿式処理は, 水と濃度調製した塩酸を24時間で溶液を交換しながら72時間浸漬を行い, 乾式処理はボールミルを用いて, 所定時間処理した後, 比重および吸水率を測定した。

2.3 コンクリート圧縮試験方法

細骨材, 粗骨材の比重, 吸水率試験はJIS A 1109, 1110に従って求め, 粒度分布はJIS A 1102により求めた。コンクリートの配合は, 粗骨材の最大寸法を15mmとし水セメント比50%, 細骨材率46%, 空気量2%とした。混和材料は用いていないので単位骨材容積は全ての配合で一定となっている。圧縮強度は ϕ 10 \times 20cmの円柱供試体成形後, 28日間20 \pm 2 $^{\circ}$ Cの水中養生を行いJIS A 1129に準じ試験を行った。

2.4 ゼオライトの合成

1000ml ビーカーに100gの微細試料と2Nに濃度調製した塩酸500mlを入れ, 砂浴上で加熱処理, 濾過, 洗浄後, 110 $^{\circ}$ Cで乾燥し原料として用いた。前処理前後の化学組成は蛍光X線分析装置RIX2000(株)リガク製)で測定した。ゼオライトの合成方法は, 筆者らの方法に従った³⁾。生成したゼオライトは, X線回折装置MXP¹⁸VA(株)マック・サイエンス)を用いて分析した。

*山陽工営(株), **株)濱田製作所

2.5 陽イオン交換容量 (CEC) の測定

反応生成物の CEC 測定は、野田の方法⁴⁾を用いた。アンモニウムイオンについては、イオンクロマトグラフ DX-AQ (日本ダイオネクス株) を用いて測定し、CEC を求めた。

3 実験結果および考察

3.1 再生細骨材, 再生粗骨材の品質

細骨材と粗骨材の比重および吸水率の測定結果を表 1 に示す。再生細骨材, 再生粗骨材とも標準には劣る結果となった。再生骨材は、コンクリート建材を破碎したものであり、セメント, 不純物といった砂以外のものが残っていると考えられる。これら再生品をそのまま骨材として使用し、表 2 に示す配合により混練した場合の圧縮強度試験結果を図 1 に示す。再生細骨材は 100% 代替として用いた場合でも圧縮強度の低下は 10% 以下である。現在、海砂に変わる代替材の要求が高まっており、強度的には再利用可能と考えられる。

表 1 細骨材, 粗骨材の比重および吸水率

試料	絶乾比重	吸水率 (%)
再生細骨材	2.28	9.08
川砂	2.48	3.20
再生粗骨材	2.27	10.6
砕石	2.65	1.22

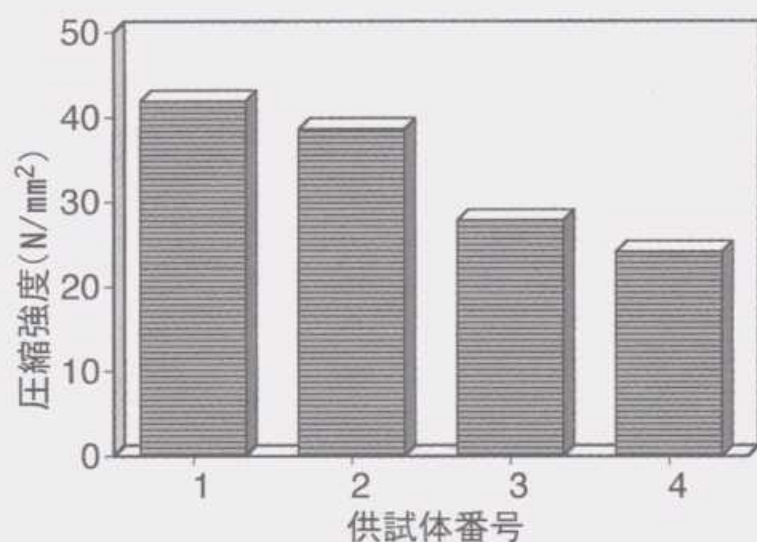


図 1 骨材の配合と圧縮強度の関係

再生粗骨材を 100% 使用した場合、圧縮強度が約 35% 低下し、細骨材, 粗骨材とも再生骨材を用いた場合は 40% 以上低下した。骨材の品質から予想できる結果ではあるが、再生細骨材, 再生粗骨材とでは、再生粗骨材を使用したときの方が強度に与える影響が大きいことが分かった。

3.2 湿式処理した再生細骨材の品質

再生細骨材に付着しているモルタル分を溶解し、砂だけを残す目的で塩酸処理したが、比重, 吸水率に顕著な結果は得られなかった。また、再生細骨材を用いたときの圧縮強度の低下率は 10% 以下であり、圧縮強度への影響もほとんど見られなかった。

3.3 湿式処理した再生粗骨材の品質

塩酸処理した再生粗骨材を写真 1 に示す。高濃度の塩酸で処理した試料はモルタル分が除去されており、比重, 吸水率の改善が見られた。塩酸 (1:10) で処理した再生粗骨材を使用した場合の圧縮強度は 30.3N/mm² であり、再生骨材 (粗骨材・細骨材) を使用した場合と比較して約 10% 上昇した。

3.4 乾式処理した再生細骨材の品質

再生細骨材をボールミルで処理した粒度分布結果を図 2 に示す。10 分間処理することにより、標準粒度範囲の試料を得ることができた。0.15mm 以下の試料を約 5% に粒度調整し、比重, 吸水率を測定したが、顕



写真 1 塩酸処理した再生粗骨材

1. 原料 2. H₂O 3. HCl(1:100)
4. HCl(1:50) 5. HCl(1:20) 6. HCl(1:10)

表 2 コンクリートの配合

単位 (kg/m³)

供試体番号	水	セメント	川砂	再生細骨材	砕石	再生粗骨材
1	182	364	778	—	976	—
2	182	364	—	715	976	—
3	182	364	778	—	—	836
4	182	364	—	715	—	836

水セメント比 W/C=50, 細骨材率 s/a=46, 粗骨材の最大寸法 15mm

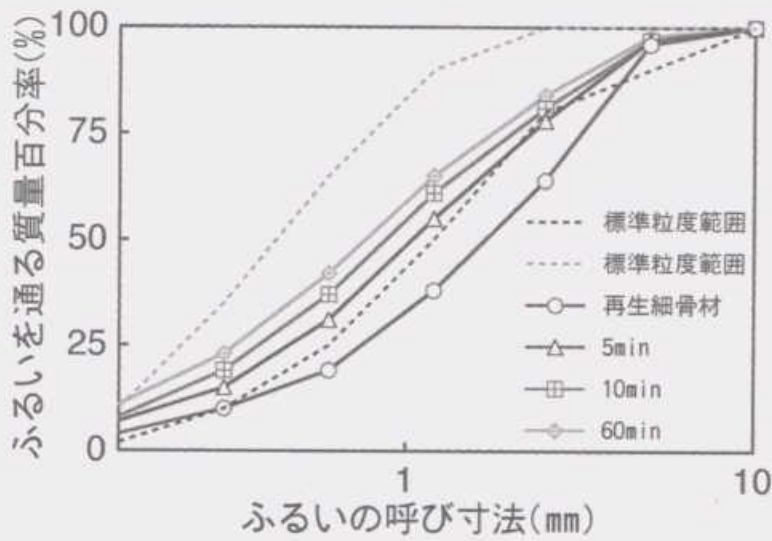


図2 ボールミル処理した再生細骨材の粒度分布

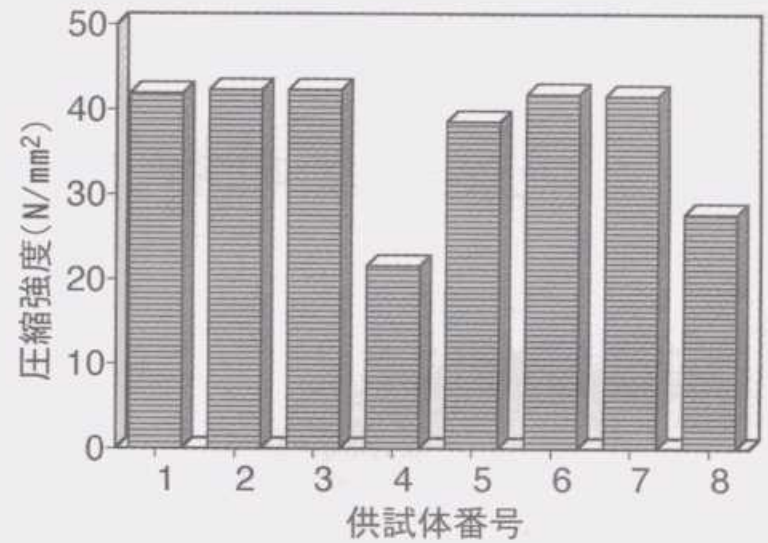


図3 廃石膏の配合と圧縮強度の関係

著な結果は得られなかった。さらに120分間処理したが、変化はわずかであり、湿式処理の場合と同様に圧縮強度への影響も見られなかった。

3.5 乾式処理した再生粗骨材の品質

再生粗骨材をボールミルで処理し、比重、吸水率を測定した。再生細骨材と同様に120分まで処理したが、比重、吸水率ともほとんど変化なく、圧縮強度への影響も見られなかった。

3.6 廃石膏の細骨材としての品質

廃石膏の比重、吸水率、粒度分布の測定を骨材試験に基づいて行ったが、細かい繊維状の紙が含まれているため測定できなかった。比重については比重瓶で測定し、1.03であった。吸水率は約50%として表3に示す配合により混練した場合の圧縮強度試験結果を図3に示す。廃石膏を11~12%添加した場合までは一時的に強度は上昇したが、約20%添加した場合、強度は大

きく低下した。これは廃石膏の吸水率を50%として配合したため、水セメント比の変化による影響とも考えられるが、詳細については今後検討する。

3.7 ゼオライトの合成

合成に用いた微細試料の化学組成を表4に示す。微細試料を直接水熱処理したが、ゼオライトと推定されるピークは見られず、反応はほとんど起こらなかった。反応が進まなかったのはモルタル分である酸化カルシウムが多量に含まれているのが原因ではないかと思われる。したがって、2Nの塩酸で前処理し、成分調整後水熱処理した。コンクリート廃材微細試料、水熱合成したゼオライト、モレキュラーシーブ13X、市販のゼオライトA-4のX線回折結果を図4に示し、さらに走査型電子顕微鏡写真を写真2に示す。図4に見られるピークから水熱処理によりA型とX型混合のゼオライトが生成しているが、原料の結晶構造

表3 コンクリートの配合

単位 (kg/m³)

供試体番号	水	セメント	川砂	再生細骨材	廃石膏	標準粗骨材
1	182	364	778	—	—	976
2	182	364	759	—	8	976
3	182	364	686	—	38	976
4	182	364	602	—	73	976
5	182	364	—	715	—	976
6	182	364	—	700	7	976
7	182	364	—	640	34	976
8	182	364	—	571	65	976

水セメント比 W/C=50, 細骨材率 s/a=46, 粗骨材の最大寸法 15mm

表4 コンクリート廃材 (150µm 以下) の化学組成 (wt%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	C
39	14	5.0	1.3	2.3	0.60	23	1.2	0.16	0.16	12

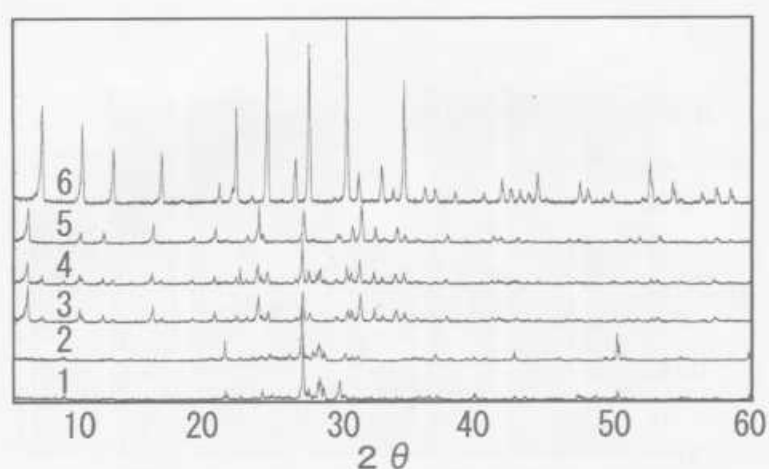


図4 水熱処理における生成物のX線回折結果

1. コンクリート廃材 2. 塩酸処理コンクリート廃材
 3. 水熱処理1hr 4. 水熱処理6hr
 5. モレキュラーシーブ13X 6. ゼオライト A-4

表5 ゼオライトの CEC

試料	CEC (meq/100g)
ゼオライト A-4*	500
モレキュラーシーブ13X**	420
コンクリート廃材微細試料	40
合成したゼオライト(1hr 処理)	390
合成したゼオライト(6hr 処理)	460

*東ソー(株) (粉末)

**ユニオン昭和(株) (粒状)

物と思われるピークがあることがわかる。写真2より結晶粒径の小さい立方体結晶の生成が認められるが、完全な立方体結晶が形成されていない部分が多く残っている。これは、原料中に不純物が含まれているため結晶が形成され難いためと考えられる。さらに処理時間の影響について検討するため、30分から6時間まで処理した。6時間処理することにより、わずかながらX線強度の上昇が認められた。

3.8 合成したゼオライトの CEC 測定

水熱合成により得られた生成物の CEC 測定結果を表5に示す。コンクリート廃材微細試料の CEC は、40meq/100g、1時間および6時間処理して合成したゼオライトは、390meq/100g、460meq/100gであり、水熱合成により吸着能が増大したことがわかる。X線回折結果より原料の結晶構造物があるため生成率としては低いですが、比較的高い吸着能を持った A型と X型混合のゼオライトを得ることができた。

4 結 言

コンクリート塊から発生する再生骨材 (粗骨材・細

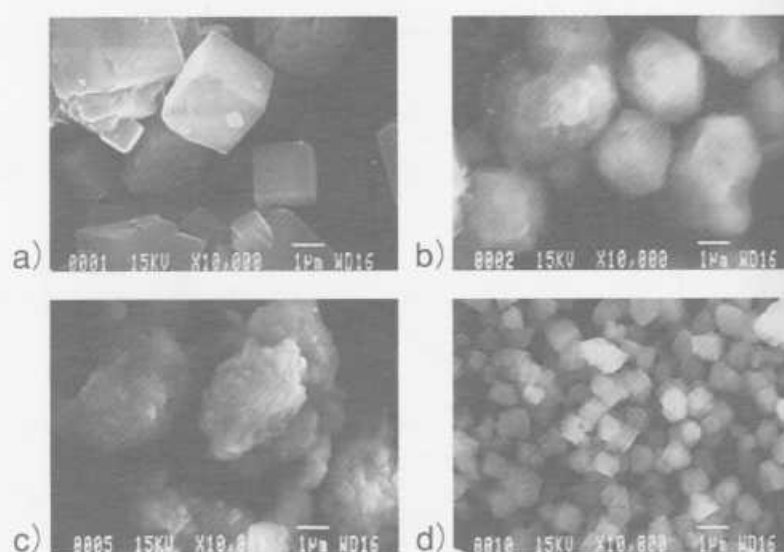


写真2 走査電子顕微鏡写真

- a) ゼオライト A-4 b) モレキュラーシーブ13X
 c) コンクリート廃材微細試料 d) 水熱処理6hr

骨材) および廃石膏の有効利用について検討し、次の結果を得た。

- 1) 再生粗骨材を利用したコンクリートの圧縮強度は、標準と比較して約35%低下したが、再生細骨材利用の場合は10%以下であった。粗骨材、細骨材とも再生骨材を使った場合は40%以上強度が低下した。
- 2) 再生粗骨材を塩酸(1:10)で処理することにより、再生骨材(粗骨材・細骨材)を使用した場合と比較して圧縮強度が約10%上昇した。
- 3) 吸水率50%として廃石膏を細骨材に利用したコンクリートの圧縮強度は11~12%添加した場合までは一時的に強度は上昇したが、約20%添加した場合、強度は大きく低下した。
- 4) コンクリート廃材の微細試料を水熱処理することにより、A型とX型混合のゼオライトを合成できることを見いだした。

終わりに、本研究を遂行するにあたりご助言いただきました呉工業高等専門学校竹村和夫教授、加藤省二技官に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 第277回 コンクリートセミナーテキスト：(社)セメント協会, (1998), 13
- 2) 建設省建設経済局調整課資料, (1997)
- 3) 倉本恵治他：広島県西部工技研究報告, No39 (1996), 21
- 4) 野田修司：天然ゼオライトの簡易塩基交換容量測定法, 粘土科学, 20 (1980), 78

プレスシミュレーションの実行例

安部重毅, 釜屋昭彦, 森下勇樹

Example of Press Simulation

ABE Shigeki, KAMAYA Akihiko, MORISHITA Yuki

In the current state of the stamping, a lot of labors are necessary for correcting the stamping tools on the field. To reduce the correction part of the stamping mold, the corporations, which use the stamping simulation has increased.

In this report, we evaluated which level the stamping simulation PAM-STAMP can simulate using execution examples. As a result, PAM-STAMP can simulate poor dimensional accuracy, fracture and wrinkle correctly without spring back.

キーワード：プレス加工, CAE

1 緒 言

製作された金型によるプレス加工の成否に関しては、経験をつんだ技術者のノウハウに頼ることが多い。そのため、現場における試し打ちと、金型修正（肉盛り溶接／切削）を繰り返す作業（トライアンドエラー）を頻繁に行なうことが不可欠となっている。

このトライアンドエラーの回数を削減するために、プレスシミュレーションを導入する企業が増えている。プレスシミュレーションとは金型形状、加工条件、材料特性を境界条件として入力し、成形時の板材の応力、ひずみ、板厚分布、形状変化をもとに、成形の状態を予測するものである。しかし、実務レベルのシミュレーション技術を習得するには時間がかかる。

本報では H12年度以降のプレスシミュレーション（PAM-STAMP (株)ESI）を加工現場に活用するための研究の前段階として、プレスシミュレーションがどのレベルまでプレス加工における不良現象を表現できるかを報告する。

2 プレスシミュレーション PAM-STAMP

プレスシミュレーションの全体の流れを図1に示す。各計算を行なうことにより、計算精度は向上するが、計算時間も長くなる。通常は重力計算と Spring back 計算は省略する場合が多い。

3 シミュレーションの比較検討課題

3.1 プレス加工の不良現象

プレス加工の不良現象として、割れ／しわ／精度不良（そり, Spring back)／肌荒れ／金型焼き付きなどが上げられる。現在の段階では割れ／しわ／精度不良をシミュレーションで表現することを目標とする。

3.2 シミュレーション結果の比較対象

当センターが保有する金型は簡易のプレス用金型に限定される。そこで、本報では実証試験結果・試験条件を詳細に記載している NUMISHEET^{1),2)}の結果を流用する。NUMISHEET 記載の実証試験結果と、実証試験の加工条件を入力したシミュレーション結果を比較することにより、シミュレーションの正誤性を判断する。

NUMISHEET 記載の主な実証試験課題を表1に記載する。

表1 シミュレーションのモデル

	プレス形状	材 料	設定条件
1	角筒しぼり	Mild Steel Aluminum	—
2	U字曲げ+ Spring Back	Mild Steel Aluminum Higher Strength Steel	1) Adaptive-Meshの有無 2) Mesh サイズ
3	S-RAIL+ Spring Back	Higher Strength Steel	—

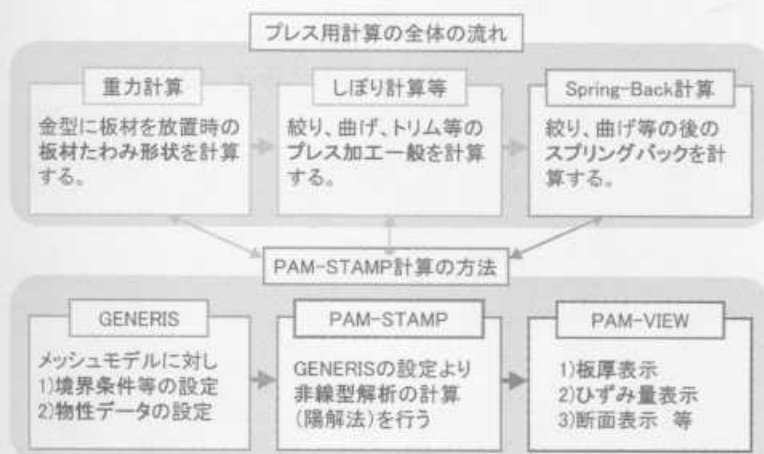


図1 プレスシミュレーションの計算

3.3 シミュレーション結果の評価

各 NUMISHEET の実証試験結果には、ひずみ量、板材の形状測定データが各々複数記載されている。シミュレーションの結果が、記載されている実証試験値のパラッキ内に含まれ、かつ分布等の様子が類似していればシミュレーション結果は正しいと判断する。

4 角筒しぼり

4.1 シミュレーションの設定条件

表2に、角筒しぼりにおいて設定したシミュレーション条件を表記する。図2にツール形状を、表3に各筒しぼりシミュレーションで使用した Mild Steel と Aluminum の物性値を示す。

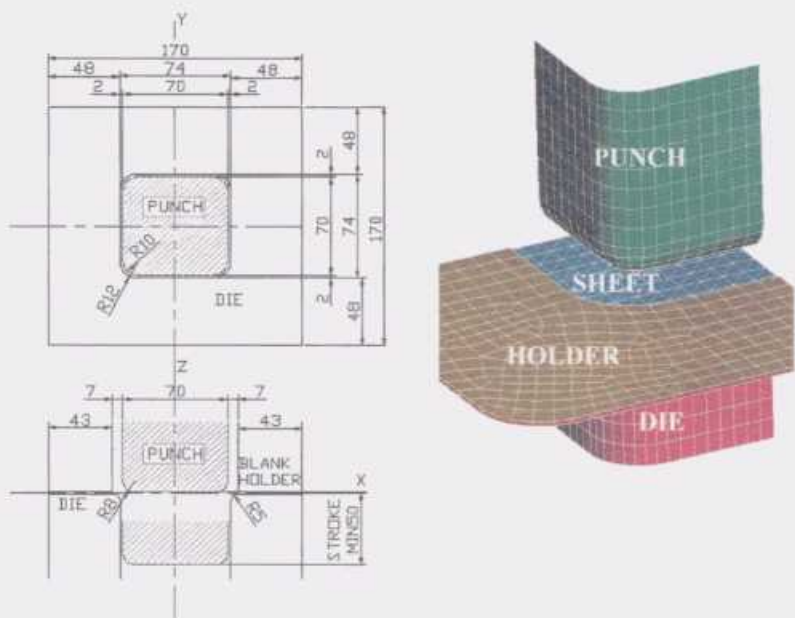


図2 ツール形状

表2 角筒しぼりのシミュレーション条件

条件	内容
ブランク材形状	□150, t=0.78(Mild Steel), t=0.81(Aluminum)
成形深さ	15mm
メッシュサイズ	MAX 5mm で Adaptive Mesh を1回
しわ押さえ力(BHF)	19.6kN(シミュレーション時には1/4モデルを使用, BHFを1/4に縮尺4.9kNに設定)

表3 材料物性値

材質	Mild Steel	Aluminum
厚み	0.78mm	0.81mm
比重	0.00078kg/mm ³	0.00025kg/mm ³
ヤング率	206GPa	71GPa
ポアソン比	0.3	0.33
摩擦係数	0.144	0.162
r値	0°	1.79
	45°	1.51
	90°	2.27
スイフトの式	$\sigma(N/mm^2) = K(\epsilon_0 + \epsilon)^n$	
	K	565.32
	ϵ_0	0.007117
	n	0.2589

4.2 角筒しぼり結果

図3に成形状態を示す。各方向への1) 流入量と2) ひずみ量の項目に関してシミュレーション結果と実証試験結果の比較を行なう。

シミュレーションと実証試験値の各方向(図3参照)の流入量の結果を表4に示す。ひずみ量の結果を図4, 図5に示す。

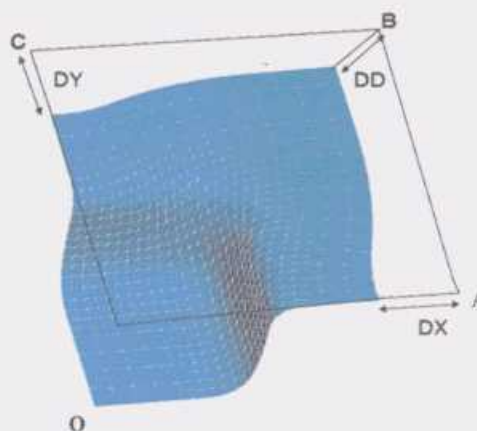


図3 流入方向

表4 流入量結果(単位 mm)

	Mild Steel			Aluminum		
	DX	DD	DY	DX	DD	DY
シミュレーション結果	5.23	3.38	5.14	4.95	2.87	4.97
実証試験 平均値	6.17	3.24	6.12	5.35	3.02	5.47
実証試験 バラツキ	約5.4 ~7.0	約2.4 ~3.9	約5.3 ~7.1	約3.7 ~6.3	約2.2 ~4.8	約3.9 ~6.5

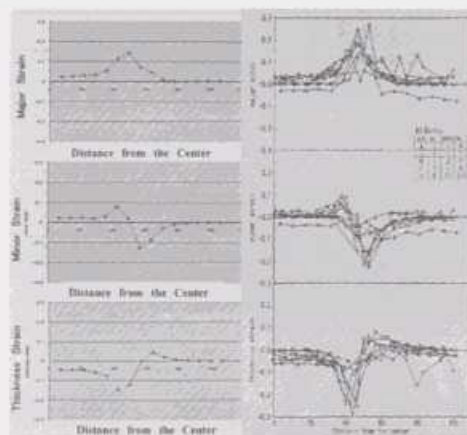


図4 Mild Steel の DD 方向距離とひずみ量
(左:シミュレーション, 右:実証試験結果)

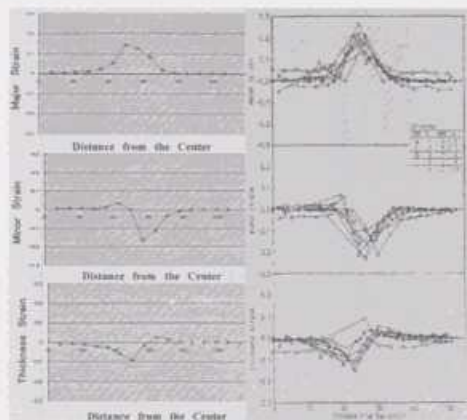


図5 Aluminum の DD 方向距離とひずみ量
(左:シミュレーション, 右:実証試験結果)

4.3 考察

Mild Steel, Aluminum とも角筒しぼりのような簡易モデルでは十分実用に耐え得る結果を得られた。

5 U字曲げ

しぼり加工における形状不良の1つにスプリングバックという現象がある。この現象をプレスシミュレーションにて表現できるかを確認する。

5.1 シミュレーションの設定条件

スプリングバックの影響を大きく受けるU字曲げモデル(図6)にてシミュレーションを行なう。まず、陽解法のソルバーにてしぼり計算を行ない、その結果を用いて陰解法にてスプリングバック計算を行なう。

U字曲げにて設定したシミュレーション条件を表5に、U字曲げモデルで使用した材料物性値を表6に示す。

スプリングバックの現象は図7の θ_1 , θ_2 , 局率半径 ρ の値で評価する。

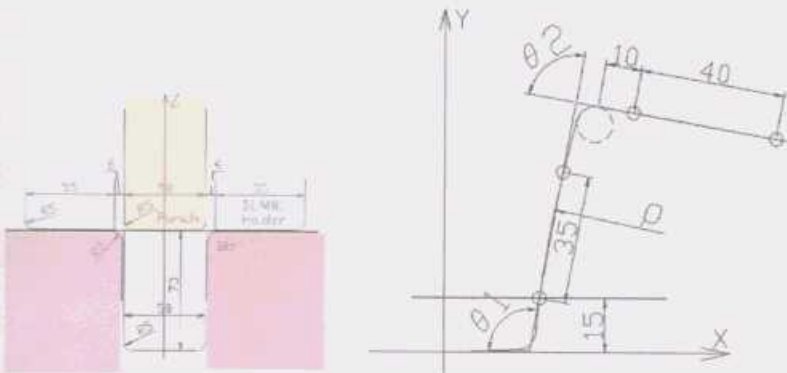


図6 U字曲げモデル寸法

図7 スプリングバック評価

表5 U字曲げシミュレーション条件

条 件	内 容
blanks 形状	350×35mm,
ツール	図8の形状を参考のこと
成形 深 さ	70mm
しわ押え力 (BHF)	2.45kN (シミュレーション時には1/2モデルを使用, BHFを1/2に縮尺)

表6 各材料物性値

材 質	Mild Steel	Aluminum	High Strength
厚 み	0.78mm	0.81mm	0.74mm
比 重	0.00078 kg/mm ³	0.00025 kg/mm ³	0.00078 kg/mm ³
ヤング率	206GPa	71GPa	206GPa
ポアソン比	0.3	0.33	0.3
摩擦係数	0.144	0.162	0.129
r 値	0°	1.79	0.71
	45°	1.51	0.58
	90°	2.27	0.70
スィフトの式	$\sigma(N/mm^2) = K(\epsilon_0 + \epsilon)^n$		
K	567.29	570.40	677.16
ϵ_0	0.007127	0.001502	0.01129
n	0.2637	0.3469	0.2186

今回は板材のメッシュ形状, サイズで条件付けを行なった。メッシュに関する条件を表7, 図8に示す。

表7 メッシュ条件

条 件	1	2	3
幅 寸 法	35mm	1.6mm	35mm
一辺メッシュサイズ	5mm → 1.25mm	1.6mm	1.6mm
アダプティブ	2回	無し	無し



図8 曲げ成形後のU字メッシュモデル

5.2 シミュレーション結果

表8~表10に各条件下での θ_1 , θ_2 , ρ を示す。

表8 Mild Steel の結果

		θ_1 (deg)	θ_2 (deg)	ρ (mm)
実証値平均		99.2	82.1	241.2
シミュレーション結果	条件1	90.5	88.9	1240.8
	条件2	102.0	75.7	163.5
	条件3	94.9	83.6	342.9

表9 Aluminum の結果

		θ_1 (deg)	θ_2 (deg)	ρ (mm)
実証値平均		112.4	72.8	106.0
シミュレーション結果	条件1	102.2	78.0	293.0
	条件2	117.8	69.4	169.9
	条件3	101.9	79.2	211.3

表10 High Strength の結果

		θ_1 (deg)	θ_2 (deg)	ρ (mm)
実証値平均		105.7	77.7	140.0
シミュレーション結果	条件1	92.1	87.9	1369.0
	条件2	107.4	75.3	243.0
	条件3	94.9	83.6	342.9

5.3 考 察

本報告書に掲載していないが、実証試験値は大きくばらついている。しかし、5.2の結果はそのバラツキ内にも入っていないデータが多々ある。唯一条件2のモデルが誤差範囲内の適当な値を取る。しかし、幅を持たせたモデルで精度が出なくなるとは、実モデルに対応できない。

この結果に関する限り、スプリングバックの現象の表現にはまだ課題があると言わざるを得ない。

6 S-RAIL

6.1 シミュレーション条件

図9のS-RAILモデルに対して、しほり計算、スプリングバック計算を行なった。シミュレーション条件として、成形深さを38mm、しわ押え力を10kNとした。S-RAILで使用した材料物性値を表11に示す。

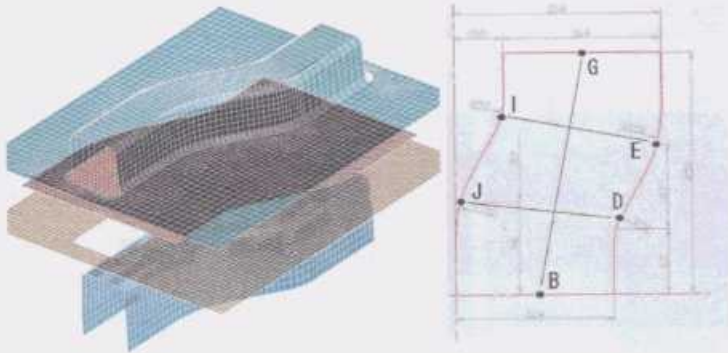


図9 モデル

表11 材料物性値

材質: High Strength	ヤング率: 206GPa		
板厚: 0.92mm	ポアソン比: 0.3		
比重: 0.00078kg/mm ³	摩擦係数: 0.11		
r 値0°: 0.72, r 値45°: 1.21, r 値90°: 1.03			
降伏応力		$\sigma = 0.379$	
応力-ひずみ線図 左: 応力 右: 応力とひずみの傾き)	$\epsilon = 0.025$	=0.3845	=0.376
	$\epsilon = 0.05$	=0.4638	=2.38
	$\epsilon = 0.075$	=0.4966	=1.31
	$\epsilon = 0.1$	=0.5224	=1.04
	$\epsilon = 0.125$	=0.5379	=0.621
	$\epsilon = 0.15$	=0.5552	=0.689
$\epsilon = 0.2$	=0.5655	=0.414	

6.2 結果

シミュレーション結果を図10～図14に示す。

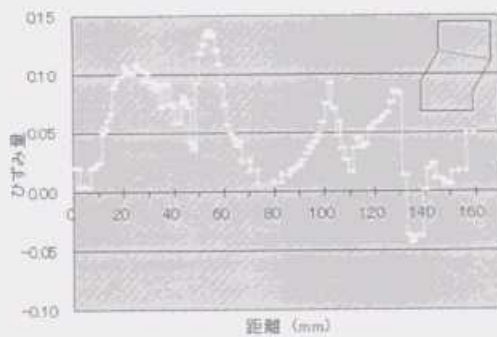


図10 EI方向のひずみ (シミュレーション結果)

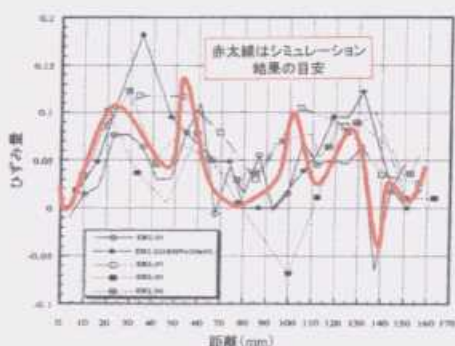


図11 EI方向のひずみ (実証試験結果)

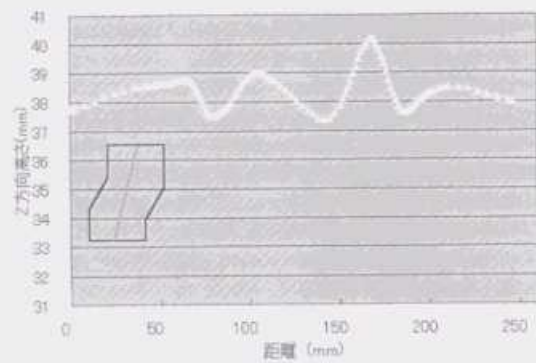


図12 BG方向のZ座標値 (シミュレーション結果)

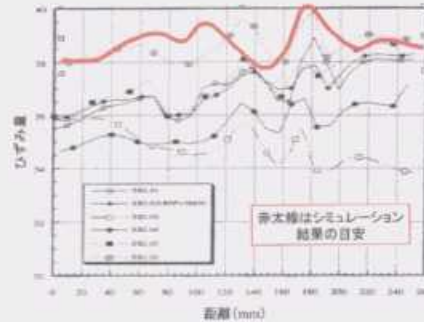


図13 BG方向のZ座標値 (実証試験結果)

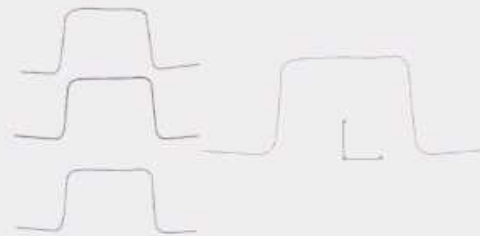


図14 断面 (左: 実証試験結果, 右: シミュレーション結果)

7 結 言

今回の報告では、シミュレーションを道具として使用した場合の信頼度を評価したに留まった。割れ、しわ、ひずみ分布に関しては有効であるが、スプリングバックの計算に関しては、精度を向上させる必要がある。Spring Back に関しては H12年6月のバージョンアップで改善されることを期待する。

8 今後の課題

今後のプレス業界の課題として、1) 金型製作費のコストダウン、2) 材料の低グレード化、3) アルミ、ハイテン等のプレス加工、4) テーラードブランク材のプレス加工。5) 板材のスクラップ部分の削減等が上げられる。これらの技術に関しても将来的にシミュレーションにて設計の上流にて確認できることを目標とする。

H12年度は複雑な金型形状のモデルにてシミュレーションを行ない、実務レベルでのシミュレーションのあり方を検討する。

文 献

- 1) NUMISHEET '93, 271 (1993)
- 2) NUMISHEET '96, 427 (1996)