

広島県立西部工業技術センター研究報告

No. 39

目

次

September 1996

抄録

一 報 文 一

1	アルミニウム合金複合材料部材の耐久性に関する研究	土取 功, 藤井敏男, 府山伸行, 田谷征雄, 藤田 誠	1
2	TiO ₂ セラミック粒子強化アルミニウム合金複合材料の開発	藤田 誠, 土取 功, 藤井敏男, 府山伸行	5
3	硬質ポリオレフィン樹脂へのフッ素樹脂の塗装	大橋俊彦, 下原伊智朗, 山縣康男	9
4	ポリマーブレンドによるポリプロピレンの機械的特性の改善	下原伊智朗, 山縣康男, 大橋俊彦, 好満芳邦	13
5	F R P ハニカム構造体の製造プロセスに関する研究 (第2報)	藤井敏男, 村河亮利, 杉島愛子, 府山伸行, 好満芳邦	17
6	海底ヘドロを原料としたゼオライトの合成	倉本恵治, 藤本宗之, 畑 徳宣, 丸下清志	21
7	海域汚染物質のモニタリング装置の開発	斯波信雄, 伊藤幸一, 倉本恵治, 丸下清志, 藤本宗之, 吉川 恵, 渡部英雄	25
8	水中翼の設計技術に関する研究	畑 徳宣, 中村秀幸, 藤本宗之, 斯波信雄	29
9	微細気泡発生装置の開発	斯波信雄, 丸下清志, 畑 徳宣, 縄雅典生, 村河亮利, 山縣康男	33
10	音・電磁波の環境アメニティに対応した多機能材料の開発	吉野信行, 宮野忠文, 関 守雄, 野地英治, 下原 武, 二羽 一, 小関隆之, 太田光雄	37
11	電子回路のノイズ対策と E M C 評価	宮野忠文, 関 守雄, 吉野信行, 野地英治, 久能浩二, 下原 武	41
12	製品設計技術の医学分野への適用に関する研究	坂元康孝, 佐々木憲吾, 長谷川浩治	45
13	コンピュータグラフィックスの基本共有化モジュールの開発	長谷川浩治 佐々木憲吾	49
14	走査プローブ顕微鏡による加工面の表面物性評価	松垣和生, 打田澄雄, 村河亮利, 中塩武之	52
15	印刷機械制御用多点デジタル入出力 L S I の開発	馬場祥宏, 水戸博満, 井谷 優, 山内 茂, 打田澄雄, 村河亮利	56
16	マルチメディア対応データベースの開発	打田澄雄, 馬場祥宏, 佐野 誠	60
17	可変遅延回路不要な PWM 信号受信回路	佐野 誠, 岩田 穂	64
18	透明導電膜の形成技術に関する研究	梶岡 秀, 杉島愛子	68
19	異種ステンレス鋼のマイクロ接合	池田哲宏, 新田 明, 山下弘之, 門 格史, 実光昭彦, 木村寛之	72
20	高圧クーラントの切削加工特性に及ぼす影響の検討	山下弘之, 池田哲宏, 門 格史	76
21	フォトファブ리케이션技術を用いた微細穴加工	縄雅典生, 村河亮利, 梶岡 秀, 蒲田政信	80
22	業形材加工のインテリジェント化に関する研究	門 格史, 原 信彦, 新田 明, 糸川信哉, 二宮征次郎	84
23	品質工学によるフッ素樹脂溶射条件の最適化	山下弘之, 原 信彦, 新田 明	88

BULLETIN
of The
WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

September 1996

Vol.39

Contents

—Originals—

- | | | |
|----|---|----|
| 1 | Durabilities of Short Fiber, Particles and High Si Alloy Reinforced Aluminum Alloys Composites or Component
TSUCHITORI Isao, FUJII Toshio, FUYAMA Nobuyuki, TADANI Isao and FUJITA Makoto | 1 |
| 2 | Development of Particulate TiO ₂ Ceramic Reinforced Aluminum Alloy Composites
FUJITA Makoto, TSUCHITORI Isao, FUJII Toshio and FUYAMA Nobuyuki | 5 |
| 3 | Coatings of Fluorine Paint onto Rigid Polyolefin Resins
OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro and YAMAGATA Yasuo | 9 |
| 4 | Mechanical Properties about Polymer Blend of Polypropylene and Polybutylene Terephthalate
SHIMOHARA Ichiro, YAMAGATA Yasuo, OHASHI Toshihiko and YOSHIMITSU Yoshikuni | 13 |
| 5 | A Study on Production Process of Honeycomb Core Using FRP (2nd Report)
FUJII Toshio, MURAKAWA Akitoshi, SUGISHIMA Aiko, FUYAMA Nobuyuki and YOSHIMITSU Yoshikuni | 17 |
| 6 | Synthesis of Zeolite from Sea Bottom Mud
KURAMOTO Yoshiharu, FUJIMOTO Muneyuki, HATA Noriyoshi and MARUSHIMA Kiyoshi | 21 |
| 7 | Determination of Trace Iron, Nitrogen and Phosphor in the Sea Water
SHIBA Nobuo, ITO Koichi, KURAMOTO Yoshiharu, MARUSHITA Kiyoshi, FUJIMOTO Muneyuki, KIKKAWA Megumi and WATANABE Hideo | 25 |
| 8 | Development of Design for Hydrofoil Using the Circulating Water Channel
HATA Noriyoshi, NAKAMURA Yoshiyuki, FUJIMOTO Muneyuki and SHIBA Nobuo | 29 |
| 9 | Development of the Device that Produces Micro-Bubbles
SHIBA Nobuo, MARUSITA Kiyoshi, HATA Noriyoshi, NAWACHI Norio, MURAKAWA Akitoshi and YAMAGATA Yasuo | 33 |
| 10 | Development of Multi-Functional Material Suitable for Environmental Amenity of Sound and Electromagnetic Wave Interference
YOSHINO Nobuyuki, MIYANO Tadafumi, SEKI Morio, NOJI Hideharu, SHIMOHARA Takeshi, NIWA Hajime, KOZEKI Takayuki and OHTA Mitsuo | 37 |
| 11 | The Experimental Consideration and EMC Evaluation for Noise Countermeasure of Electronic Circuits
MIYANO Tadafumi, SEKI Morio, YOSHINO Nobuyuki, NOJI Hideharu, KUNO Koji and SHIMOHARA Takeshi | 41 |
| 12 | Study on Mechanical Design and Simulation Technology for the Medical Field
SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo and HASEGAWA Koji | 45 |

13	Development of Generalized Computer Graphics Module by Object Oriented Programming HASEGAWA Koji and SASAKI Kengo	49
14	Evaluation about Physical Property of Processed Surface by Scanning Probe Microscopy HIGAKI Kazuo, UCHIDA Sumio, MURAKAWA Akitoshi and NAKASHIO Takeyuki	52
15	Development of Multi Ports INPUT/OUTPUT LSI for Printing Machine Controller BABA Yoshihiro, MITO Hiromitsu, IDANI Masaru, YAMAUCHI Shigeru, UCHIDA Sumio and MURAKAWA Akitoshi	56
16	Development of Multimedia Database and Tools UCHIDA Sumio, BABA Yoshihiro and SANO Makoto	60
17	A Receiver for PWM Signals without Variable Delay Circuits SANO Makoto and IWATA Atsushi	64
18	Study on Transparent Conducting Films (ITO) Prepared by rf Magnetron Sputtering KAJIOKA Hideshi and SUGISHIMA Aiko	68
19	Micro Joining of dissimilar stainless steels IKEDA Tetsuhiro, NITTA Akira, YAMASHITA Hiroyuki, KADO Tadashi, SANEMITSU Akihiko and KIMURA Hiroyuki	72
20	Study of the Effect of High Pressure Coolant Influenced on Cutting Characteristic YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi	76
21	Micro-holes by Photofabrication NAWACHI Norio, MURAKAWA Akitoshi, KAJIOKA Hideshi and KAMADA Masanobu	80
22	Study on Intelligence of Material Processing KADO Tadashi, HARA Nobuhiko, NITTA Akira, ITOKAWA Shinya and NINOMIYA Sejiro	84
23	Study of the Most Suitable Thermal Spraying Conditions of Fluorine by Applying the Method of Quality Engineering YAMASHITA Hiroyuki, HARA Nobuhiko and NITTA Akira	88

Published by
WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
2-Chome-10-1, Aga-minami, Kure-shi,
Hiroshima, 737 JAPAN

アルミニウム合金複合材料部材の耐久性に関する研究

土取 功, 藤井敏男, 府山伸行, 田谷征雄, 藤田 誠

Al 合金複合材料部材の耐久性を評価する観点から、複合材料および部分複合材料の疲労強度や繰返し熱衝撃試験と金属間化合物粒子を強化材とした複合材料の摩耗試験を行った結果はつぎのように要約される。(1)アルミナ化処理された $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3/Al$ 合金複合材料の疲労限は約 120MPa であり、その疲労限は T6 熱処理に影響されないが、高い応力振幅になると破断までのくり返し数が減少した。

(2)278-623K の熱衝撃において、 $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3/AC8A$ 複合材料は亀裂発生までの繰返し回数は母材より多かったが、亀裂の進展は遅かった。A390/AC8A 鋳造接合材の耐熱衝撃性は良好な接合界面が得られているほど大きかった。(3)TiAlNiAl 粒子を強化材とした複合材料はその Vf が 10% では焼きつきを生じ、30% の TiAl および 20%、30% NiAl の場合、複合材料は優れた耐摩耗性を示した。

P 1~4, 図 6, 写真 3, 文献 6

TiO₂ セラミック粒子強化アルミニウム合金複合材料の開発

藤田 誠, 土取 功, 藤井敏男, 府山伸行

セラミック粒子は比較的安価な強化材であるが、これまで、高圧鋳造による部分複合化が可能なプリフォーム作製が困難であった。セラミック粒子の中でもより低廉な TiO₂ を強化材に使用し、黒鉛粉や少量のウイスカを加え、吸引成形法によってプリフォームを作製し、焼結時黒鉛粉を挽き失わせることにより、TiO₂ の含有量を任意に調整可能なプリフォーム作製方法を開

発した。このプリフォームは通気性及び強度が高く、アルミニウム合金と高圧鋳造による部分複合化が容易で、プリフォーム予熱温度が室温程度でも割れや変形などを発生しない。AC8A アルミニウム合金と複合化させた場合強度、耐摩耗性が優れた複合材を得ることができた。

P 5~8, 表 3, 図 9, 写真 2

硬質ポリオレフィン樹脂へのフッ素樹脂の塗装

大橋俊彦, 下原伊智朗, 山縣康男

軟質ポリオレフィン樹脂を化学反応 (グラフト重合) によって化学修飾し、得られたグラフト重合体をプライマー的に用いることにより、ポリエチレン・ポリプロピレンなどの接着性を改善した。本報では更に接着性を向上させるとともに合成時の危険を低減するために、溶剤・ラジカル開始剤などについて検討した。また、ポリエチレン・ポリプロピレンに透明フッ素

樹脂を塗装する時の塗膜の付着性を不十分ながら改善することができた。透明フッ素樹脂塗料を塗布することにより、高密度・低密度ポリエチレン、ポリプロピレン樹脂表面に防汚性を付与することができた。しかし塗膜の密着性が不十分な場合には塗装面にフクレが発生した。

P 9~12, 表 4, 文献 4

ポリマーブレンドによるポリプロピレンの機械的特性の改善

下原伊智朗, 山縣康男, 大橋俊彦, 好満芳邦

ポリプロピレン (PP) の低温衝撃性、剛性等の物性を改善する目的で、ポリブチレンテレフタレート (PBT) とのブレンドについて検討した。PP と PBT を任意の配合で 2 軸押出機によりブレンドし、性能の評価を行った。また、相溶剤として無水マレイン酸変性 PP (MPP) を添加した場合の両ポリマーの分散性、物性に与える影響についても検討した。

PP に PBT をブレンドすることで、強度、弾性率、耐熱性の改善ができることがわかった。衝撃強さに関しては、ブレンドによる低下はほとんどなく、同程度を維持することがわかった。MPP を相溶剤として添加した結果、PP と PBT の分散性が向上し、混練押出での安定性に非常に有効であったが、物性面ではあまり影響がなかった。

P 13~16, 表 2, 図 3, 写真 1, 文献 4

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.39, 1996)

FRPハニカム構造体の製造プロセスに関する研究 (第2報)

藤井敏男, 村河亮利, 杉島愛子, 府山伸行, 好満芳邦

資源・環境保全のため、燃費規制、排気ガス排出規制が厳しくなる。このため、産業機械、特に輸送機械の軽量化が必要となる。ハニカム構造は軽くて、比強度が高く、高剛性が衝撃に強いが、航空・宇宙産業分野に使用されるハニカムコアは、非常に高価である。

本研究では、安価なハニカムコアを製造することを目的とし、ガラス繊維強化プラスチック (GFRP)

のハニカムコアを製造する新しいプロセスについて開発した。樹脂の硬化反応を成形と接着に利用し、ハニカムコアが製造される本プロセスでは、これまでの特別な接着剤による接着工程が削除できるため、ハニカムがより安価に製造可能である。本プロセスの有用性を示すため、その試作機を製作し、そのハニカムコアの機械的性質について検討した。

P17~20, 表6, 図4, 文献3

海底ヘドロを原料としたゼオライトの合成

倉本恵治, 藤本宗之, 畑 徳宣, 丸下清志

瀬戸内海などの閉鎖性海域では、海水交換が緩慢で富栄養化が進行し、海底にはヘドロが堆積し水質を悪化させる原因になっている。その対策として、海底ヘドロを波瀝して埋め立て処分されているのが現状である。ヘドロ中にはシリカ、アルミナなどの無機物が多く含まれている点に着目し、これを原料にA型ゼオライトの合成について検討した。

海底から吸い上げたヘドロの塩分を除去、乾燥後、170°Cで水酸化ナトリウムと反応させる前処理をした後、アルミン酸ナトリウム、水酸化ナトリウム、水、およびA型ゼオライトの種晶を加え、水熱処理することによりA型ゼオライトが合成できることを見いだした。A型ゼオライトの生成率は最適条件で約90%で、その陽イオン交換容量は496meq・100g⁻¹であった。

P21~24, 表2, 図5, 写真1, 文献10

海域汚染物質のモニタリング装置の開発

斯波信雄, 伊藤幸一, 倉本恵治, 丸下清志, 藤本宗之, 吉川 恵, 渡部英雄

海水中の汚染物質 (鉄, 窒素, リン) を自動的に測定することを目的に、試薬・試料供給部, 反応部, 検出部, 制御部, 通信部から構成されたFIA (フローインジェクション分析) 方式の自動分析装置を試作した。試作した装置はシーケンサーにより制御し、分析条件の変更等, 操作性をよくするために操作パネルで条件設定等が可能な構成とした。また, 測定データは

通信 (RS232C) によりパソコンへ送り, データ処理を行った。各元素毎の水溶液試料を調整し, 実験を行った結果, 次のような結果を得た。

- 1) 窒素, 鉄の分析が, 自動計測可能となった。
- 2) 1元素1回当たりの測定が数分でできるなど, 分析の省力化, 迅速化が可能となった。
- 3) 高感度な分析が実現できた。

P25~28, 図7, 写真1, 文献2

水中翼の設計技術に関する研究

畑 徳宣, 中村芳幸, 藤本宗之, 斯波信雄

流速が2m/sと比較的遅い流速の回流水槽で全没型水中翼にフラップを装備した船体模型の性能評価を行った。前翼フラップ角を可変することにより船首の浮上量が制御可能となり流速2m/sで船体の傾きは大きくなる傾向を示すものの翼走状態に達する。

後翼フラップ角を可変すると船尾の浮上量を制御す

ることが可能となるが船首が沈下するため可変量は大きくできない。

前翼仰角を10°にすると, 前翼フラップ角を可変するよりも大きな揚力が得られ, 後翼フラップ角を可変しても船首の沈下が押さえられるため安定した翼走状態を示し, 翼走寸前及び翼走中の抵抗が大幅に低下した。

P29~32, 表5, 図2, 文献1

微細気泡発生装置の開発

斯波信雄, 丸下清志, 畑徳宣, 縄雅典生, 村河亮利, 山県康男

連続的に、しかも特別な付加装置(コンプレッサー等)がなくても微細気泡を発生させることが可能な、微細気泡発生装置の開発を目標に検討を行った。微細穴を利用した気泡発生方式についても検討を行ったが、微細穴の加工ができなかったので気泡発生に到らなかった。ポンプに貯圧部を取り付けた方式で気泡発生実験を行い、次のような結果を得た。

- 1) ポンプで水と空気を吸い込み、貯圧装置を付けた状態で加圧(3~4 kg/cm²)することにより、気泡径が70μm前後の気泡が発生した。
- 2) 圧力が4 kg/cm²の場合、吸い込み空気量が少ないと、吸い込んだほとんどの空気が微細な気泡で回収された。また、吸い込み空気量を増やすと、発生する気泡の径が小さくなる傾向を示した。

P33~36, 表1, 図8, 写真1

音・電磁波の環境アメニティに適応した多機能材料の開発

吉野信行, 宮野忠文, 関守雄, 野地英治, 下原武, 二羽一, 小関孝之, 太田光雄

本報告では、音環境に関し、アスファルト材を鉄筋スラブ床衝撃の緩衝材(性能:可聴領域で約5から30dB減衰量)へ応用し、コンポーネントパネル・アスファルト・高分子吸音材・FRPのサンドイッチ構造の壁材(透過損失:可聴領域で30dBから50dBの減衰量)を試作し、従来のFRPバスユニット内の騒音(バス停への給水音)状況調査および騒音低減対

策について検討した。電磁波環境に関しては、EMC実環境で有効な簡易EMIシールド性能評価システム(カットオフ空洞ユニットの利用)を試作した。その有効性に関しては、電波暗室内で、評価システムを使用しアスファルト材に導電性処理(導電性粉末の混入、表面コーティング)を施したシールド材料により確認した。

P37~40, 図11, 写真1, 文献2

電子回路のノイズ対策とEMC評価

宮野忠文, 関守雄, 吉野信行, 野地英治, 久能浩二, 下原武

電子機器から放射される電磁波ノイズの対策には回路のノイズ対策と筐体のシールド対策が必要である。本報告では、外部機器を接続する信号ラインから放射される電磁波ノイズに注目し、信号ライン中の信号と放射ノイズの関係および信号ラインへのEMI対策部品の挿入効果について検討した。さらに、筐体のシールド効果を評価するため、簡易EMIシールド評価法

を用い各種シールド材の評価を行った。回路のノイズ対策に関しては、信号ライン中のスペクトラムと放射ノイズのスペクトラムには相関があり、市販のEMI対策部品により放射ノイズ低減ができることを確認した。電磁波シールド材に関しては、アスファルトに導電性処理(銅、ニッケル等の塗装・配合)を施した材料についてシールド性能を評価した。

P41~44, 図11, 写真3, 文献1

製品設計技術の医学分野への適用に関する研究

坂元康泰, 佐々木恵吾, 長谷川浩治

コンピュータ利用による設計・解析技術を医学、福祉・健康産業などの領域に適用し、新たな知見、製品アイデアを得ることが望まれている。当センターで開発された形状生成技術やシミュレーション技術を医療分野に適用しながら、本技術の向上と利用技術の拡大を図った。具体的には、次のとおりである。

1. 非接触形状計測センサから指形状のコンピュータモデル、解析モデルの作成を行った。これらから、強度解析を行い、指関節部の接触角度により応力

分布が違うことを明らかにした。

2. X線CTフィルムから輪郭を抽出するエディタを開発し、これにより、大腿骨、骨盤のコンピュータモデルを作成した。これから、正常、異常、術後の股関節部の応力分布の違いを明らかにした。
3. 解析用メッシュデータから光造形用のデータに変換するプログラムを開発し、これから、生体硬組織の光造形モデルを作成した。

P25~48, 図7, 文献2

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.39, 1996)

コンピュータグラフィックスの基本共有化モジュールの開発

長谷川浩治, 佐々木憲吾

コンピュータ・グラフィックスを利用したプログラム開発の開発効率の向上を目的とした、基本的な物体の形状データを描写するためのモジュールの開発を行った。このモジュールは、OPENGLグラフィックス・システムやC++言語を利用して、グラフィックスを利用する環境(コンピュータやOS)に左右されにくいモジュールとして開発を行った。モジュールの仕様

としては、物体形状の描写でよく使われる線画表示や、多角形で構成される面に対して、光源を考慮したシェーディング(フラットシェーディング, グローシェーディング)を施す表示の機能を持つ。今後の課題としては、多様のデータフォーマットの読み込みが行え、可視化できるモジュールの追加, 拡張が必要である。

P49~51, 表1, 図5, 文献1

走査プローブ顕微鏡による加工面の表面物性評価

松垣和生, 打田澄雄, 村河亮利, 中塩武之

走査プローブ顕微鏡を使用し、RCA洗浄後、フッ化アンモニウムで処理したシリコンP(111)表面について形状特性の評価を行った結果、水素終端されたシリコンウエハ表面は指数分布に近い構造を示すことが判明した。

また、電気化学AFMにより、基板表面の電気化学反応過程における電析と溶解は、基板の一部を核として島状に成長する過程がイメージとして得られ、これによりウェットエッチングにおける電気化学反応の、その観察が可能であることが確認された。

P52~55, 表3, 図4, 文献6

印刷機械制御用多点デジタル入出力LSIの開発

馬場祥宏, 水戸博満, 井谷 優, 山内 茂, 打田澄雄, 村河亮利

印刷機械の位置合わせ, テンション設定, 温度・圧力設定, モータ・ヒータ制御などのデジタル入出力を実現する印刷機械制御用LSI(PIO124)を開発した。同LSIはワンチップで124点のデジタル入出力が可能で, かつ1点毎に入出力方向指定可能な柔軟性を有し, 印刷機械制御用コントローラの部品点数の削減, 装置の小型化, 低コスト化, 高信頼性化に大きく寄与する。

量産時単価は汎用ICで構成した場合と部品単価レベルで同程度であり, プリント基板の小型化, 組立工数削減まで考慮すると, 装置レベルでは大きなコストダウンを実現し, 十分な競争力を有する。

印刷機械制御に限らず, 各種工作機械, 自動化組立ライン, 食品機械など多数のデジタル入出力インタフェースを必要とする分野にも応用可能である。

P56~59, 表1, 図5, 写真1

マルチメディア対応データベースの開発

打田澄雄, 馬場祥宏, 佐野 誠

文字, 図形, 音響, 映像等の様々な情報を一元的に扱うマルチメディア対応データベース構築の要素技術として, 文字情報, 音声, 写真, 図面等の情報をそれぞれデジタル化するための機器, ソフトの選択, 適用手法等を確立し, 作表支援ツール, 画像表示ツールなどのコンピュータ内へ効率的に保存するとともに容易に利用できるシステムを開発した。また, データの格

納形態としてはブラウザと呼ばれるインターネット上のホームページを検索・閲覧するソフトで利用できる工夫を施した。この技術を応用して西部工業技術センターの過去の研究成果報告書の全目次及び最新3年分の研究抄録のデータベース等を開発し, 手法及び性能について検討した。

P60~63, 表5, 図6, 文献3

可変遅延回路不要なPWM信号受信回路

佐野 誠, 岩田 穆

LSIの低消費電力・高速化を図るため、バイナリーデジタルのデータ伝送にPWMを応用する考えがある。従来のPWMデータ伝送方式では、アナログ設計による可変遅延回路を用い、送信・受信時の所望時間分解能を実現している。本研究ではアナログ設計の必要がない、ゲートアレイで実現可能なPWMデータ伝送方式を提案する。これは遅延回路の遅延を所望

の時間に合わせる代わりに、遅延を計測して知ることにより受信パルスの幅を検出する方式である。構造的にはリング構成にした遅延回路とカウンタを組み合わせることで、従来方式に比べ遅延回路の素子数を大幅に削減した。シミュレーションの結果、0.5 μ m CMOSで1nsの時間分解能を実現できる見通しを得た。
P64~67, 表2, 図7, 文献2

透明導電膜の形成技術に関する研究

梶岡 秀, 杉島愛子

ITO(酸化インジウムスズ)は透明導電物質のなかで最も導電性が高い。この薄膜法はスパッタリング法が主流となっている。そこでスパッタパラメータのうち、基板温度効果、酸素導入効果、膜厚効果について電気抵抗率と光透過率に対して検討した。基板温度を室温から200°Cに加熱することで、ITO薄膜の結晶化はかなり進み、シート抵抗も急減するが、300°C以上ではほぼ一定となった。ただし、酸素導入効果は認

められなかった。膜厚の増加と共にシート抵抗は減少し、この時、体積抵抗率は1.2~1, $3 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 一定であり、ほぼ文献値に近いものが得られた。膜厚1400nm, シート抵抗0.95 Ω/\square と最も光透過率の低い薄膜でも80%を超えた。シート抵抗および光透過率ともカタログ値より優れた薄膜が得られることが分かった。
P68~71, 表3, 図7, 文献8

異種ステンレス鋼のマイクロ接合

池田哲宏, 新田 明, 山下弘之, 門 格史, 実光昭彦, 木村寛之

オーステナイト系ステンレス鋼SUS405(t3)とフェライト系ステンレス鋼SUS304(t0.5)の重ねシーム溶接にパルス発振YAGレーザを適用し、パルスエネルギー、溶接速度及びシールドガス等の溶接条件が溶込み形状とポロシティ及び継手強度に及ぼす影響について実験的検討を行った。パルスエネルギーの増加に伴い、溶込み深さ及びビード幅は大きくなり、ポロシティ

の発生数は増加するが、シールドガス N_2 を用いたパルスエネルギー25Jの適正な溶接条件でポロシティのないシーム溶接が可能となった。溶接部の引張せん断応力は700N/ mm^2 以上、ビッカース硬度は300~400となった。小型機械部品に本溶接法を適用し、気密性試験を行った結果、漏れのないことを確認した。
P72~75, 表3, 図9, 写真2, 文献3

高圧クーラントの切削加工特性に及ぼす影響の検討

山下弘之, 池田哲宏, 門 格史

本研究では、旋削加工等で工具摩耗低減に効果があると報告されている高圧クーラントが、ハイス製フラットエンドミルでの加工において、工具磨耗低減や加工面の表面粗さの改善等に及ぼす効果について検討した。被削材がS55Cでは、高圧クーラントの工具摩耗低減効果はあまり見られなかったが、SUS304で僅かだが

工具摩耗低減が見られ、加工面の残留応力低減の効果も認められた。しかし、現状のクーラント供給方式では、切削ポイントへの正確な給油が困難で、今後、工具やツールリングチャックを含めた給油方式の改良が、高圧クーラントの効果を十分活用するための重要な課題である。
P76~79, 表2, 図5, 写真3, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.39, 1996)

フォトファブ리케이션技術を用いた微細穴加工

繩雅典生, 村河亮利, 梶岡 秀, 蒲田政信

小穴を精密ボール盤などを使用して、位置決めをしながらドリルで穴あけする場合、位置決めにかかる時間がかなり、バリ等ができて仕上げに問題が残るといった欠点をもつ。

これらの問題点を解決する方法として、写真製版技術(フォトリソグラフィ)とエッチングによる除去加工

を組み合わせたフォトファブ리케이션技術が有効である。

そこで本研究では、それをもとにシリコンに微細穴を作製することを試みるとともに、そのエッチングに、昨年度使用していない薬液(エッチャント)を用いて、これまでのエッチャントとの比較、検討を行った

P80~83, 表2, 図1, 写真5, 文献4

素材材加工のインテリジェント化に関する研究

門 格史, 原 信彦, 新田 明, 糸川信哉, 二宮征次郎

現在、鋳造用の模型、試作用のモデルに光造形技術を利用する方法が注目されている。

そこで光造形技術(引き上げ方式)を利用し、レーザー光の走査方法、樹脂の二次硬化法が寸法精度、形状精度におよぼす影響について検討し良好な造形条件の確立を行った。

その結果、光造形モデルを作製する際、形状及び寸法精度を良好にする手法として、輪郭部分を硬化するレーザー走査方法がよいことがわかった。

また、光造形モデルを造形ベースから取り外す前に、樹脂の未硬化部分を二次硬化させることにより、モデルの反りが軽減されることがわかった。

P84~87, 表6, 図8, 写真1

品質工学によるフッ素樹脂溶射条件の最適化

山下弘之, 原 信彦, 新田 明

本研究では、フッ素樹脂溶射技術は、従来の焼成炉などの大型装置を必要としない、安価で手軽なフッ素樹脂ライニング加工技術で、この溶射条件の最適化を、品質工学を適用して検討した。基本機能の検討、各因子(信号、制御)の設定、 L_{18} 直交表に基づく実験及びSN比、感度による溶射条件の評価、という品質工

学の一連の手順に従った評価から、安定したフッ素樹脂溶射が行える条件を選定できた。この条件で溶射を行ったところ、従来得られていた条件での溶射に比較し、安定した溶射が行え、外観、密着性も十分良好な膜が得られることがわかった。

P88~92, 表6, 図4, 写真2, 文献1

アルミニウム合金複合材料部材の耐久性に関する研究

土取 功, 藤井敏男, 府山伸行, 田谷征雄, 藤田 誠*

Processing and Engineering of Resin or Metal Matrix Composites

Durabilities of Short Fiber, Particles and High Si Alloy Reinforced Aluminum Alloys Composites or Component

TSUCHITORI Isao, FUJII Toshio, FUYAMA Nobuyuki, TADANI Isao and FUJITA Makoto

Some durabilities of short fiber or particles reinforced aluminum alloys composites has been estimated in this work. They are fatigue strength, cyclic thermal shock and wear resistance. The results are summarized as follows; (1) $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3/AC8A$ composites indicated 120MPa as fatigue limit, which is 15% higher than matrix alloy. The value of fatigue limit was not affected by T6 heat treatment, but the numbers of cycle decreased in the case of high amplitude of stress. (2) In the cycle thermal shock test of $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3/Al$ alloys composites, the numbers of cycle to initiation of crack increased than in the case of matrix alloy, but the propagation of crack was fast. The interface of cast bonding is more tight with better bonding in A390/AC8A. (3) In the wear test, particulate TiAl or NiAl/AC4C composites was seizure in the case of $V_f=10\%$, but the composites were superior to matrix alloys or cast iron in the case of 30% TiAl or 20%, 30% NiAl.

キーワード：複合材料, アルミニウム合金, アルミニウムボレートウイスカ, TiAl, NiAl, 高シリコン合金, 耐久性, 疲労強度, 熱衝撃, 摩耗, スクイズキャスト

1 結 言

アルミニウム合金（以下 Al 合金）複合材料は優れた性質を有するが、その耐久性に関する報告は比較的数量が少ない。本研究は戦略的地域技術形成事業の初年度および2年度研究で開発した Al 合金複合材料^{1), 2)}について、その耐久性を評価・検討したものである。アルミニウムボレートウイスカ（以下 $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3$ ウイスカ）を強化材とした Al 合金複合材料についてはその疲労強度に及ばずウイスカの表面改質並びに熱処理の影響について実験・検討した³⁾。また、 $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3/Al$ 合金複合材料と、高 Si 合金を強化部とした鋳造接合による部分複合材料の繰り返し熱衝撃性を試験・評価した。Al 合金複合材料は優れた耐摩耗性を有するが、複合材料自体の耐摩耗性が向上すると、相手材に対する攻撃性が強くなる場合もある。金属間化合物を強化材とした Al 合金複合材料の耐摩耗性に関する報告例は少なく⁴⁾、TiAl および NiAl 粒子を強化材とした Al 合金複合材料についてその耐摩耗性を調査した。

*客員研究員（現在熊マツダ）

2 実験方法

Al 合金複合材料の製造は $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3$ ウイスカを吸引成形法によりプリフォームを作製し、疲労試験片は AC4C で、熱衝撃試験片は AC8A をマトリックスとしてスクイズキャスト法を利用して複合化した。疲労試験では、一部のウイスカで、プリフォーム成形過程において、還元剤を適量添加した後、そのプリフォームを窒素ガス雰囲気中で焼結・焼成することにより、ウイスカ表面を α -アルミナ化させた。複合材料のウイスカの体積率は $V_f=20\%$ で、適宜、T6 熱処理も行った。疲労試験片及び熱衝撃試験片を図1-(1)、(2)に示す。疲労試験は応力比を1、繰り返し速度 20Hz で室温にて行った。熱衝撃試験は、 $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3/AC8A$ 複合材料の試験片と高 Si 合金部を鋳造接合した試験片の2種類を評価した。鋳造接合部材は強化部に A390 および AC9B を用い、母材には AC8A を使用した。この部材はリング状の強化部材を金型内に配置し、定条件下で AC8A の溶湯を注いで鋳造接合した。これを図1-(2)のように機械加工し

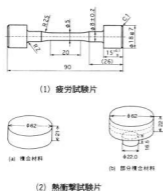


図1 各試験片寸法

て試験片とし、熱衝撃試験を行った。繰り返し熱衝撃試験は図2に示すような装置を使用し、623Kに設定した加熱炉内に30分間、静置後、278Kに保持した槽内に水冷するという熱衝撃を1000回、繰り返した。耐熱衝撃性は亀裂発生までの繰り返し熱衝撃回数で評価することとし、その亀裂の有無は、100回ごとに目視と実体顕微鏡で観察して判定した。試験終了後は試験断面組織を顕微鏡、SEMで観察した。また、金属間化合物粒子を強化材としたTiAl/AC4CおよびNiAl/AC4C複合材料についてはリングオンディスク式の摺動摩擦試験を行った。比較材としてAC4CおよびAC8AとFC25(鋳鉄)も併せて試験することとした。図3に示すように複合材料をディスク側としてリング側にはSCR420の調質材(HRC45±1)を用いて試験した。耐摩耗性は摺動距離5000m後の摩耗減量を測定して評価した。

3 実験結果及び考察

複合材料の室温におけるS-N曲線を図4に示す。母材(T6処理材)の疲労限界は約105MPaで、ウィス

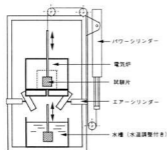


図2 繰り返し熱衝撃試験装置

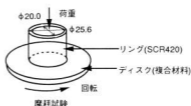


図3 リングオンディスク摩耗試験

カ強化による複合材料の疲労限界は処理方法によらず約120MPa程度であり、母材のAl合金T6処理材の疲労限界よりも15%上昇している。しかし、アルミナ化処理を施したウィスカのT6処理複合材では、高い応力振幅になるとともに、破断に至るまでの繰り返し数が減少している。SEMでの観察によると、as cast材の疲労破面はウィスカ端部に多くみられ、凸凹の大きい破断面となっていた。これに対し、T6処理材の疲労破面はウィスカと母材との界面におけるはく離とみられる痕跡が多く観察された。このことはT6熱処理により、この複合材料の疲労亀裂は弱い界面はく離により、大きく進展するものと考えられる。また、アルミナ化処理されたウィスカ強化複合材料でのT6処理材の引張強度²⁾が as cast 材よりも低下していたことから、高い応力下では、ウィスカと母材との界面の接着力が疲労亀裂進展速度に影響を及ぼしていると考えられ、逆に疲労限近くの低い応力においては界面の影響が少ないため、疲労限は as cast 材とT6処理材との間に差が現れなかったものと考えられる。複合材料をX線回折で分析すると、T6材には反応生成物と思われるスピネル(MgAl₂O₄)が検出された⁵⁾。

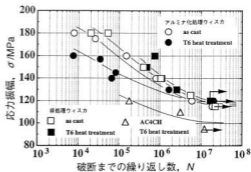


図4 9Al₂O₃·2B₂O₃/AC8A 複合材料のS-N曲線

さらに、複合材料から20%塩酸水溶液によってウィスカを抽出し、SEM観察すると、未処理のウィスカ表面に比べて、アルミナ化処理されたウィスカの方に多くの反応生成物がみられた。

つぎに熱衝撃試験の結果を図5に示す。各材料ごとに亀裂が生じるまでの熱衝撃試験の繰り返し回数を示したものである。9Al₂O₃・2B₂O₃/AC8A 複合材料は約500~600回に亀裂を生じ、1000回には大きく進展していた。この亀裂は試験片表面に大まかに発生した。これに対し、AC8A は亀裂発生はあまり定かではなく400~500の間に生じたものと思われる。その亀裂も複合材料とは異なり、細かく発生し、1000回後もあまり進展していなかった。複合材料の熱衝撃試験後(1000回)の割れの状況を図6に示す。これらは各材料の強度と伸び(靱性)が関係した結果と考えられる。複合材料の熱衝撃試験後の組織を図7に示す。これを見ると網状の組織が観察され、AC8A 母材だけの場合には、このような組織は観察されなかった。図7のEDX分析から、この網状析出物はCu-Ni-Al 金属間化合物(いわゆるY化合物)と思われる。これは繰り返し熱サイクルによって、固溶体粒界に共晶として遊離晶出したものと思われるが、しかし、複合材料の場合になぜ、Y化合物が晶出しやすくなるのか現時点では不明である。

一方、A390を強化部としてAC8Aで鋳造接合した図中の試験片(1)では判別がやや困難であったが、300~400回で接合界面に帯状に亀裂が入って1000回には強化部であるA390のリングは500~600回で破断していた。試験片(1)はカラーチェックで接合欠陥が認め

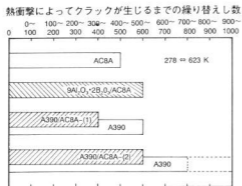


図5 9Al₂O₃・2B₂O₃/AC8A 複合材料及びA390/AC8A 鋳造接合材の耐熱衝撃性

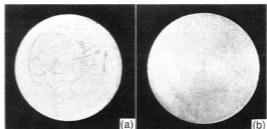


図6 複合材料の熱衝撃試験後の外観

られていた試料であり、試験片(2)は(1)より良好な接合が行われていた試料である。試験片(2)では500~600回で部分的に亀裂が入り、次第に進展した。しかし、1000回後も接合部が残っており、その断面組織を図8に示す。矢印部は接合界面であるが良好な接合組織であり、このような接合状態であれば、熱衝撃にも強いことを示している。今回の熱衝撃試験では加速試験とするため、予想される温度より設定温度を100K上げて試験したが、そのことは是非も含めて実際の再現試験に近づけるため、今後多くの試験を積み重ねて検討する必要がある。

つぎに、TiAl粒子/AC4CおよびNiAl粒子/AC4C複合材料の摩耗試験結果をそれらの比較材とともに図9に示す。TiAlおよびNiAlの場合ともそのVfが10%の複合材料の時はいずれも焼きつきを生じた。焼きついた場合を除いてみると、TiAlでは20

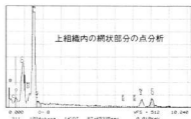
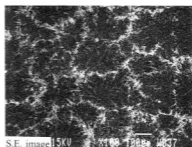


図7 熱衝撃試験後の複合材料の組織と析出物のEDXによる点分析

4 結 言

Al 合金複合材料部材の耐久性を評価する観点から、複合材料および部分複合材料の疲労強度や繰り返し熱衝撃試験と金属間化合物粒子を強化材とした複合材料の摩耗試験を行った結果はつぎようになる。

(1) アルミナ化処理された $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3/Al$ 合金複合材料の疲労限度は約 120MPa であり、その疲労限度は T6 熱処理に影響されないが、高い応力振幅になると破断に至るまでのくり返し数が減少した。

(2) 278-623K の熱衝撃において、 $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3/AC8A$ 複合材料は亀裂発生までの繰り返し回数は母材より多かったが、亀裂の進展は速かった。また A390/AC8A 鋳造接合材の耐熱衝撃性は良好な接合界面が得られているほど大きかった。

(3) TiAl, NiAl 粒子を強化材とした複合材料ではその Vf が 10% で焼きつきを生じ、30% の TiAl および 20%、30% NiAl の場合、複合材料は優れた耐摩耗性を示した。

文 献

- 1) 土取 功, 繩雅典生: 広島県西部工技研究報告, 37(1994), 34.
- 2) 土取 功, 藤田 誠, 藤井敏男, 田谷征雄: 広島県西部工技研究報告, 38(1995), 29.
- 3) 藤井敏男, 土取 功, 府山伸行, 藤田 誠, 畑 元: 第 3 回機械材料・材料加工講演会講演論文集, (1995), 13.
- 4) 大村博幸, 新井誠一, 高橋庸輔: 日本ダイカスト会議論文集, (1992), 218.
- 5) 土取 功, 繩雅典生, 畑 元, 岩崎正道: 軽金属学会第 84 回春期大会講演概要, (1993), 11.
- 6) 福本 紀, 中内一郎: 軽金属学会研究部会報告書「複合材料の界面, 強度, プロセッシングおよび構造部材への応用」, (1991), 81.

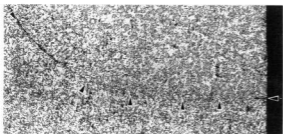


図 8 A390/AC8A の鋳造接合材の熱衝撃試験後の組織

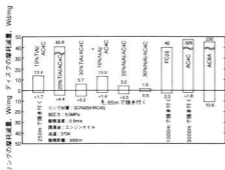


図 9 TiAl, NiAl 粒子/AC4C 複合材料の耐摩耗性

%の場合 83.6mg と AC4C に比べれば減量は少ないものの 30% の場合に比べれば比較的多い。NiAl 粒子では 20%, 30% の場合、その耐摩耗性は優れている。しかし、この金属間化合物粒子の場合、今までのセラミックス強化材と比較すると摩耗減量はやや多い⁵⁾。また、今回はリング個がほとんどの場合わずかな増量となっており、複合材料中の強化材の相手材に対する攻撃性が低いことを示しているものと思われる。すなわち、これらの結果は一義的には複合材料の強化材の硬さに影響されていると考えられる。

TiO₂ セラミック粒子強化アルミニウム合金複合材料の開発

藤田 誠*, 土取 功, 藤井敏男, 府山伸行

Development of Particulate TiO₂ Ceramic Reinforced Aluminum Alloy Composites

FUJITA Makoto, TSUCHITORI Isao, FUJII Toshio and FUYAMA Nobuyuki

Ceramic particles are used for reinforcement of MMC (Metal Matrix Composites) because of low cost. But it is difficult to make a particle preform which has low particle volume fraction. Therefore, the particle reinforced composites are usually fabricated by complicated method such as powder metallurgy or melt stirring casting. By using particulate TiO₂ ceramic for reinforcement, and adding graphite and small amount of aluminum-borate whisker to the particle, it's possible to produce a preform which has arbitrary TiO₂ volume fraction. As the result, using the preform the particle reinforced composites are able to be fabricated by squeeze casting. The strength and wear resistance of particulate TiO₂/AC8A alloy composites are superior to those of AC8A matrix.

キーワード: セラミック粒子, ウィスカ, アルミニウム合金複合材料

1 緒 言

セラミック粒子は短繊維やウィスカ等に比較し、安価で耐摩耗性も優れているため、複合材料の強化材として大いに期待できる。しかしながら粒子であるため、圧粉焼結によってプリフォームを作製した場合、ち密になり易く、粒子含有量のコントロールが難しい。また、粒子プリフォームは通気性が悪く、高圧鋳造によって複合化した場合、プリフォームに割れや変形を生じやすく部分複合化は困難である。このため、粒子複合材料は一般的には、溶湯複抄法や粉末冶金法等の複雑なプロセスによって作製されており、得られた複合材料は必ずしも安価であるとは言い難い。本研究では、セラミック粒子に TiO₂ を使用し、これに黒鉛粉と少量のほう酸アルミニウムウィスカを添加し、吸引・脱水成形法によりプリフォームを作製する方法を検討してきた。本法によれば、焼結時黒鉛粉が焼失するため、強化材の体積率の制御が可能となり、また、添加したほう酸アルミニウムウィスカによりプリフォームの強度並びに通気性を向上させることができた。今回、このプリフォームを使用し、高圧鋳造による複合化及び得られた複合材の材料特性の検討を行った。

2 実験方法

2-1 プリフォーム作製

強化材として使用した TiO₂ は、和光純薬工業製の平均粒径 0.3 μ m の微粉である。ほう酸アルミニウムウィ

*客員研究員 (現在マツダ製鉄研究所)

スカは四国化成工業製のアルボレックス M12 で TiO₂ に対し体積比で 25% 添加した。黒鉛粉は西村黒鉛製の平均粒径 45 μ m を使用した。図 1 にプリフォーム作製方法を示す。添加した黒鉛粉は 913K で焼失し始める。焼結後、プリフォームは TiO₂ とほう酸アルミニウムウィスカの強化材だけとなる。

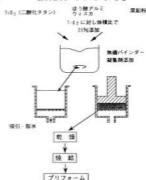


図1 プリフォーム作製プロセス

2-2 供試プリフォーム

実験に供試した 3 種類の強化材体積率 8%, 13%, 24% のプリフォームを表 1 に示す。ウィスカの添加量は 3 種類とも TiO₂ の体積率に対し 25% である。なお、表 1 は焼結後の値であり、黒鉛は焼失して存在しない。

2-3 高圧鋳造による複合化

図 2 に複合化方法を示す。プリフォームを金型にセットし、アルミニウム合金溶湯を注いだ後、直ちに加圧

することにより複合化を行った。表2に複合条件を示す。母材はAC8Aアルミニウム合金を使用した。加圧力は100MPaである。得られた複合材に783Kで14.4Ksの加熱後、水冷による溶体化と443Kで36Ksの時効硬化によるT6熱処理を行った。

2-4 特性試験

複合材料の特性については硬さ、引張強度、耐摩耗性について調査した。図3に引張試験片形状を示す。引張試験はクロスヘッド速度0.017mm/sで行った。耐摩耗性については、湿式のリング-ディスク摩耗試験により評価した。表3はその試験条件である。

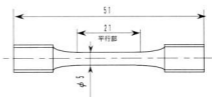


図3 引張試験片形状

表1 供試プリフォーム

体積率	記号	A	B	C
TiO ₂ (%)		6.4	10.4	19.2
ウイスカ (%)		1.6	2.6	4.8
強化材 (%)		8.0	13.0	24.0

表3 湿式摩耗試験条件

オイル種類	モーターオイル	リング材質	SCr420(HRc45)
	10W-10	面圧	10 MPa
オイル量	800cc	摺動速度	0.5m/s
油温	373K	摺動距離	5000m

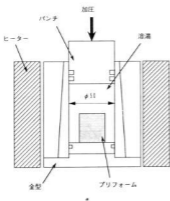


図2 複合方法

表2 複合条件化

母材	AC8A
溶湯温度	1033K
金型温度	533K
加圧力	100Mpa
プリフォームサイズ	62×36×15
プリフォーム予熱温度	室温~573K
プリフォーム体積率	8~24%

3 実験結果

3-1 高圧鍛造による複合性

図4にプリフォームの予熱温度及び強化材体積率 (TiO₂ とウイスカをあわせた値) と複合性の関係を示す。強化材体積率が低い場合、プリフォーム予熱温度が室温付近でも複合可能である。また、複合部には割れや剝離、変形はなく健全であった。

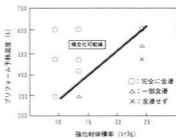


図4 プリフォーム予熱温度と複合性の関係

3-2 プリフォーム内部の状態

焼結後のプリフォーム内部の状態を写真1に示す。(A)は開発したTiO₂に黒鉛粉及びウイスカを添加する方法で作製したプリフォーム、(B)は同じ方法であるがTiO₂に黒鉛粉だけを添加し、作製したものである。開発した方法では、ウイスカが骨材となり、その表面にTiO₂が付着し焼結されておりプリフォームの強度が向上するとともに、焼結時の収縮もおさえられる。また、通気性も高い。

3-3 複合材の硬さ

図5は室温における複合材の硬さと強化材体積率の関係である。F材の硬さは強化材の体積率の増加とと

もほぼ直線的に高くなる。T6 熱処理により複合材の硬さはさらに向上し、この増加量は強化材の体積率の増加とともに大きくなる傾向にある。しかしながら、強化材体積率が低い場合、複合材の T6 熱処理後の硬さは、母材 AC8A のそれを下回った。

図 6 は T6 熱処理した複合材の 533K における高温硬さである。母材 AC8A を上回っており、強化材体積率の増加とともに高くなっている。

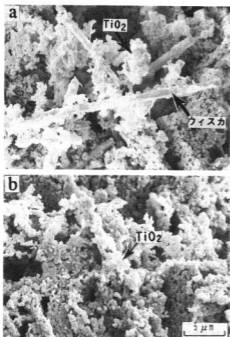


写真 1 プリフォーム内部の状態
(a) 開発材 強化材体積率13%
(TiO₂ Vt10.4%, ウィスカ Vf2.6%)
(b) 比較材 (TiO₂ のみ体積率13%)

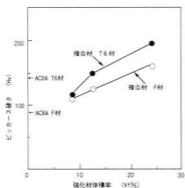


図 5 室温での複合材の硬さ

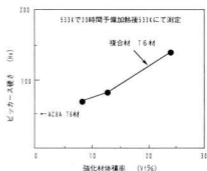


図 6 高温 (533K) での複合材 (T6) の硬さ

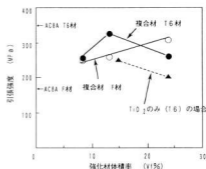


図 7 室温での複合材引張強度

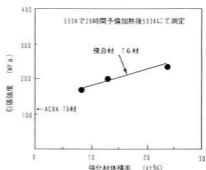


図 8 高温 (533K) での複合材 (T6) 引張強度

3-4 複合材の引張強度

図 7 は複合材の引張強度と強化材体積率の関係である。F 材では、強化材体積率の増加とともに強度も増加しており、母材よりも高い。T6 熱処理を行うと強化材の量が少ない場合には、F 材よりも強度は向上するが、強化材の多い体積率 24% のものでは F 材の強度を下回る。しかしながら、強化材が TiO₂ のみの複合材より強度は高い。

図8はT6熱処理した複合材の533Kにおける高強度である。母材AC8Aを上回っており、強化材体積率の増加とともに直線的に高くなっている。

3-5 耐摩耗性

図9にT6熱処理した複合材の摩耗試験の結果を示す。複合材の耐摩耗性は母材AC8Aアルミニウム合金より優れており、強化材の体積率の高いもの程耐摩耗性は良好な傾向にある。

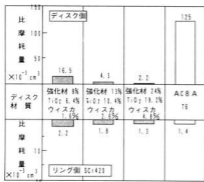


図9 摩耗試験結果

3-6 複合材組織

写真2は複合材のT6熱処理後の組織である。光学顕微鏡下ではF材のものと組織に差はない。しかしながら、溶体化時TiO₂がAlとSiと反応して硬くて脆いTi-Al-Si化合物を形成していることがX線回折で確認された。この化合物はF材のものでは認められない。強化材が少ない場合、T6熱処理後の複合材室温硬さが母材のそれより低下するのは、本来T6熱処理時に析出硬化に寄与するはずの母材中のMgが、プリフォーム作製時に添加したウイスカや無機バインダとの反応で消費されるためと考えられる。一方、強化材が多い場合、T6熱処理時に生成されるTi-Al-

Si化合物の量が多くなり、このMg消費による硬さ低下分を上回るため硬化効果を得ることができる。また、本法で作製した複合材では化合物内部にほう酸アルミニウムウイスカが比較的均一に分散しており、ウイスカが化合物を補強している。本複合材の強度がTiO₂のみの複合材より高いのはこのためと考える。

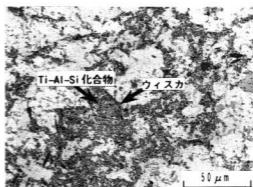


写真2 T6熱処理後の複合材組織
強化材体積率13%

4 結 言

- (1) TiO₂ 粒子にほう酸アルミニウムウイスカを添加することにより、これら強化材の体積率の制御及び高圧鋳造による部分複合化が可能なプリフォームを作製できた。
- (2) AC8Aアルミニウム合金と複合化させT6熱処理すると、TiO₂とAl、Siが反応し脆いTi-Al-Si化合物が生成されるが、本法で作製した複合材では、化合物中にウイスカが分散している。このため、硬さや耐摩耗性のみならず、強度も優れた複合材を得ることができた。

硬質ポリオレフィン樹脂へのフッ素樹脂の塗装*

大橋俊彦, 下原伊智朗, 山縣康男

Study of Surface Modification of Macromolecules (3rd Report)

Coatings of Fluorine Paint onto Rigid Polyolefin Resins

OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro and YAMAGATA Yasuo

Graftpolymerization of methylmethacrylate(MMA) and butylmethacrylate(BMA) onto amorphous polyolefin elastmer was carried out. At this time, the influence of solvent, amount of radical initiator and polymerization temperature to graft efficiency was researched. Because of reducing the danger at experiment, it was used xylene as the solvent and dicumylperoxide as the radical initiator.

A clear fluorine paint was coated onto polyethylene and polypropylene. Adhesion of them were improved by using graft copolymers as a primer. And it was appeared that the change of color of the surface of polypropylene resin plates was prevented by coating this transparent fluorine resin paint.

キーワード: グラフト重合, 軟質ポリオレフィン, ポリエチレン, ポリプロピレン, メタクリル酸メチル, メタクリル酸ブチル, 塗料, 密着性, 防汚性

1 緒 言

ポリエチレン, ポリプロピレンなどのポリオレフィン系樹脂は, 優れた機械的特性を持ちながら価格も安く, プラスチック成形品, フィルムなどとして広く使われている。その一方, 耐候性に難があり, 自動車などの外装部品として使う場合には塗装を施す必要があることが多い。しかし, 表面が不活性であるため接着性, 塗装性が良くない。そのため, 一般にプラズマ処理, グロー放電処理¹⁾などの物理的な処理方法によって表面を改質し接着性, 塗装性を改善しているが, これらはいずれも特殊な設備が必要である。

これに対して既報^{2), 3)}のように軟質ポリオレフィン樹脂を化学反応(グラフト重合法)によって化学修飾することにより得られるグラフト重合体をプライマー的に用いることにより, ポリエチレン, ポリプロピレンなどの接着性を向上させることが出来ることがわかった。

本報では更に接着性を向上させるとともに合成時の危険を低減するために, 溶剤, ラジカル開始剤などについて検討した結果を報告する。

また, ポリエチレン, ポリプロピレンに透明フッ素樹脂を塗装する時の塗膜の付着性の改善, およびそれによる防汚性の付与についても検討した。

2 実験方法

2.1 グラフト重合反応

表面処理剤を合成するグラフト重合反応は既報^{2), 3)}と同様な方法によって行った。幹ポリマーとなるポリオレフィン樹脂は前報と同じものを用いたが, グラフトのモノマーはメタクリル酸メチル(MMA)のみでなく, より緻密な膜を作りより優れた接着性が期待されるメタクリル酸ブチル(BMA)も用いた。

企業に技術移転する場合を考慮して, 工場における危険, 毒性のより少ないものとして, 反応の溶剤としてはキシレンを, ラジカル開始剤としては過酸化ジクミル(DCP)を選び, グラフト重合反応の条件について検討した。また工場におけるバッチ型のプラントでは半日程度で反応が終了することが望ましいことから, 8時間程度で十分な重合が行われる条件を選定した。

重合反応後のグラフト率, グラフト鎖の分子量, グラフト鎖の数などの評価は既報^{2), 3)}と同様にして行った。

MMA, BMAは減圧蒸留により, その他の試薬は常法によって精製して実験に用いた。

2.2 塗装密着性の評価

試験片としては, 前報³⁾と同じ市販の樹脂板(HDPE, LDPE, PP)を6×6cmに切り出して作成

*第45回高分子学会年次大会(1996年5月, 名古屋)にて一部発表

した。この試験片に合成したグラフト重合物の3%トルエン溶液を塗布、乾燥させることにより表面の改質処理をした。このようにして表面改質した試験片に市販の透明フッ素樹脂塗料(旭硝子製, Cytop CTX-109A)の7%溶液を塗装した。グラフト重合物および透明フッ素樹脂塗料の塗装はスピナーを用いて、それぞれ500rpm, 60秒, および1000rpm, 60秒の条件で行った。塗装した試験片は80°Cで4時間乾燥、後硬化処理を行った。

密着性の評価は JIS K 5400 に規定された碁盤目テープ試験法により、碁盤目のすきまは1mm, ますめの数は100で行った。評価は剥離せずに残ったますめの数, および JIS に規定された評価点数によって行った。

2.3 防汚性試験

防汚性の評価は今回は食物系に由来するものについて行なうこととし, そのモデル試験液として植物油とケチャップを混合した80°Cの水を用いた。このモデル試験液に透明フッ素樹脂塗料を塗布した樹脂板と塗布しない樹脂板を浸せきした後, 流水で十分洗浄して表面の色の変化を調べた。用いた樹脂板は全て白色または半透明のものである。

3 実験結果と考察

3.1 グラフト重合反応

MMAのグラフト反応の条件を検討した結果を表1に示す。溶剤と開始剤をキシレン, DCPに変えてもMMA反応率, グラフト効率(Dg), グラフト率(Cg)はそれぞれトルエン, 過酸化ベンゾイル(BPO)の場合²⁾と同様な開始剤濃度, MMA濃度依存性を示した。また重合温度110°Cでは最大のMMA反応率を示すが, グラフト率はむしろ良くない傾向がある。

重合温度を120~130°Cにすれば, 溶剤としてトルエン, 開始剤として過酸化ベンゾイル(BPO)を用い

た場合と同程度のMMA反応率(10~30%程度), グラフト率(5~10%程度)を得ることが出来ることがわかった。

BMAのグラフト反応の条件を検討した結果を表2に示す。BMA反応率, グラフト効率, グラフト率の重合温度, 開始剤濃度, BMA濃度依存性はMMAとほぼ同様である。特に重合温度については110°Cでは最大のBMA反応率を示すのに対してグラフト率は最低となっており, 高いグラフト率を得るためには温度条件のコントロールが重要であることがわかる。BMAについても重合条件によってMMAと同程度のグラフト率の共重合体を得ることができた。

グラフト鎖の分子量については, MMA, BMAともに約10,000~20,000程度のものが得られ, 幹ポリマー分子当たりのグラフト鎖の数はおおむね1以下(0.2~0.7)であった。これらの値も既報に報告した溶媒トルエン, 開始剤BPOの場合とほぼ同程度の値である。

3.2 透明フッ素樹脂塗料の密着性

透明フッ素樹脂塗料の密着性試験の結果を表3に示す。

ここで使用した透明フッ素樹脂塗料は, アクリル樹脂とは専用のプライマーで前処理することにより十分な密着性が得られるが, ポリエチレン, ポリプロピレンなどのポリオレフィン樹脂には全く付着しないことがわっている⁴⁾。

実際に, 全く前処理なしにこの塗料を塗布した場合(c)は全く密着しておらず, 碁盤目テープ試験の碁盤目の線を引くときにカッターの刃にくっついてはがれてしまった。

これに対してグラフト重合体を表面に塗布したのみ(b)でも付着性はかなり改善されている。試験後にはがれずに残ったますめの数は少ないが, 少なくとも碁盤目の線を引くことができるほどの付着力があった。

表1 MMAのポリ- α -オレフィン樹脂へのグラフト重合

No.	[MMA] kmol.m ⁻³	[DCP] 10 ⁻³ kmol.m ⁻³	T °C	t hr	MMA 変換率 (%)	PMMA/PO (%)	Dg (%)	Cg (%)	Mw ×10 ⁻⁴	n
1	0.20	18.49	80	8	0.0	0.0	****	****	****	****
2	0.20	18.49	120	8	12.7	27.5	1.6	3.0	0.31	1.16
3	0.20	18.49	130	8	6.1	10.9	4.1	9.4	0.07	16.10
4	0.20	3.70	130	8	6.9	12.2	4.7	10.8	0.37	3.50
5	0.20	3.70	120	8	11.8	21.0	4.2	9.8	1.77	0.66
6	0.20	3.70	110	8	17.3	30.7	3.3	7.5	1.94	0.46
7	0.20	3.70	100	8	11.1	19.8	3.8	8.8	2.23	0.47
8	0.20	18.49	110	8	24.8	44.2	0.0	0.0	****	****

表2 BMAのポリ- α -オレフィン樹脂へのグラフト重合

No.	[MMA] kmol.m ⁻³	[DCP] 10 ⁻³ kmol.m ⁻³	T °C	t hr	MMA 変換率 (%)	PBMA/PO (%)	Dg (%)	Cg (%)	Mw ×10 ⁻⁴	n
1	0.14	3.70	120	8	30.8	54.9	1.5	2.8	0.74	0.45
2	0.14	3.70	110	8	46.2	82.6	1.9	1.5	1.27	0.14
3	0.14	3.70	100	8	45.7	81.6	7.1	5.8	2.01	0.34
4	0.14	3.70	130	8	6.2	11.0	11.0	8.0	1.64	0.58
5	0.14	18.49	110	8	46.4	85.7	5.2	4.3	0.81	0.64
6	0.14	18.49	100	8	71.1	127.0	12.8	16.2	1.12	1.73
7	0.14	18.49	120	8	55.4	62.1	2.7	4.9	1.46	0.40
8	0.21	3.70	120	8	57.0	151.5	0.7	1.7	1.06	0.19
9	0.28	3.70	120	8	71.7	254.6	1.6	4.3	1.31	0.39
10	0.21	3.70	120	8	4.8	4.3	3.0	2.7		

この上に専用プライマーで表面処理を施すと (a) 更に付着性は改善された。特にポリプロピレン (PP) 樹脂に対しては非常に良好な付着性が得られた。

透明フッ素樹脂は専用プライマーの助けを借りて表面に露出したアクリル樹脂の構造の部分と接着すると考えられる。表面のアクリル樹脂構造の濃度は被着体の樹脂によってほとんど異ならぬと考えられるので、PP, LDPE, HDPE による付着性の違いはグラフト重合体と被着体の樹脂の接着性の違いによると考えられる。この点の具体的な検討と付着性のさらなる改善については今後の課題である。

3.3 防汚性試験

モデル着色液 (植物油とケチャップの混合水溶液) による防汚性の評価試験の結果を表4に示す。

PP, LDPE, HDPE の樹脂板は80°Cで4時間程度浸せきすることにより、表面がわずかに赤変し水洗してもこの赤い色は落ちない。これに対して透明フッ素樹脂塗料を表面に塗装したPP, LDPE, HDPE の樹脂板は同様の試験により変色しないかごくわずかに赤くなくても水洗すると色が落ちた。しかし、LDPE, HDPE の樹脂板では塗膜の付着性が十分で

ないためかフクレを生じた。

4 結 言

軟質ポリオレフィン樹脂にメタクリル酸メチル, メタクリル酸ブチルのグラフト重合について検討した。また得られたグラフト重合体をプライマー的に用いることにより硬質ポリオレフィン樹脂 (高密度, 低密度ポリエチレン, ポリプロピレン樹脂) の表面に透明フッ素樹脂塗料を塗装し, これらの樹脂の防汚性の改善について検討した。その結果, 以下のような結果が得られた。

(1) MMA, BMA を溶剤をキシレン, 開始剤をDCPとして軟質ポリオレフィン樹脂にグラフト重合したところ重合温度120~130°Cで, 溶剤としてトルエン, 開始剤としてBPOを用いた場合と同程度のグラフト率が得られ, またグラフト鎖の分子量と数もほぼ同程度になることがわかった。

(2) グラフト重合体を塗布することにより, 高密度, 低密度ポリエチレン, ポリプロピレン樹脂の表面の透明フッ素樹脂塗料に対する密着性は, 不十分ではあるが大きく改善された。

表3 透明フッ素樹脂塗料のPP, LDPE, HDPEに対する付着性 (基盤目テープ試験法 (JIS K 5400) による)

	(a)		(b)		(c)	
	A	S	A	S	A	S
PP	100	10	23	0	0	0
LDPE	48	0	0	0	0	0
HDPE	17	0	32	0	0	0

A: 基盤目テープ試験ではがれずに残ったすまの数の数

S: JIS K 5400 による評価点数

(a) グラフト重合体および専用プライマーで前処理

(b) グラフト重合体のみで前処理 (c) 前処理なし

表4 防汚性試験結果

	表 面	試験結果
PP	塗装あり	変色無し
	塗装無し	赤変
LDPE	塗装あり	変色無し、フクレ発生
	塗装無し	赤変
HDPE	塗装あり	変色無し、フクレ発生
	塗装無し	赤変

塗装は透明フッ素樹脂塗料による

(3) 透明フッ素樹脂塗料を塗布することにより、高密度、低密度ポリエチレン、ポリプロピレン樹脂の表面に防汚性を付与することができた。しかし塗膜の密着性が不十分な場合には塗装面にフクレが発生した。

文 献

- 1) 岩田順範：高分子表面研究会講演要旨集(1994)3, 25
- 2) 大橋俊彦：広島県西部工技研究報告, 37(1994), 42
- 3) 大橋俊彦：広島県西部工技研究報告, 38(1995), 33
- 4) A G C：アモルファスフッ素樹脂技術資料

ポリマーブレンドによるポリプロピレンの機械的的特性の改善

下原伊智朗, 山縣康男, 大橋俊彦, 好満芳邦

Mechanical Properties about Polymer Blend of Polypropylene and Polybutylene Terephthalate

SHIMOHARA Ichiro, YAMAGATA Yasuo, OHASHI Toshihiko and YOSHIMITSU Yoshikuni

In this work, the improvement of mechanical properties (especially elastic modulus and thermal stability) of polypropylene (PP) by polymer blend with polybutylene terephthalate (PBT) were investigated.

As the result, it was found that tensile properties and bending properties of PP/PBT blend were increased in proportion to PBT contents. Deflection temperature under load of PP/PBT blend were increased with composition of PBT. On the other hand, Izod impact strength were approximately constant into PBT ratio 70%.

The dispersibility of PP/PBT blend were improved in the presence of maleic anhydride-grafted PP (MPP). For that reason the stability of extrusion were improved, but their mechanical properties were very little changed.

キーワード：ポリマーブレンド, PP, PBT, 無水マレイン酸変性PP

1 結 言

PPは物性バランスのとれた材料であるが、低温での耐衝撃性が低い、剛性がやや不十分である、塗装が難しいなどの短所¹⁾がある。そこで、エンジニアリングプラスチックであるポリブチレンテレフタレート (PBT) とのブレンドによるPPの強度、剛性、耐熱性、耐衝撃性の改良について検討した。

一般的に異種のポリマー同士が完全に混合することはほとんどなく、加熱溶融し混練しても相分離状態と呼ばれる2相のエマルジョンに近い状態にある。ブレンドして性能を発揮させるには、両成分をできるだけ微細に分散させることが必要である²⁾とされている。そこで、両ポリマーの界面張力を下げるために、ブレンドするポリマーの両成分を含んだ共重合体を添加したり、相溶化剤とよばれる水と油を混ぜるときの界面活性剤にあたるものを加えたりすることが行われている。

本研究では、無水マレイン酸をグラフトしたPP (MPP) 及びメチルメタクリル酸をグラフトしたポリオレフィン (PO) を添加したときの相溶化効果の検討を行った。

2 実験方法

2.1 使用材料

実験には、市販の樹脂である PP J400 (三井石油化学工業㈱), PBT 1401-X06 (東レ㈱), MPP

AD89G (㈱トクヤマ) を用いた。

POはS-4030 (三井石油化学工業㈱) にメチルメタクリル酸をグラフト重合したものを作成して³⁾用いた。

2.2 試料の作成

あらかじめ乾燥し、所定の配合でドライブレンドした樹脂ペレットを、二軸押出機 (㈱日本製鋼所 TEX-30) によって溶融混練し、φ4mm×3穴のストランドダイで押し出し、ブレンド物のペレットを作成した。このペレットを再び乾燥後、射出成形機 (㈱日本製鋼所 J75E II) により成形し、引張、曲げ、衝撃試験等の試験片を作成した。混練及び射出時のシリンダー温度は、いずれも240~250°Cとした。ブレンドする樹脂の溶融粘度がPBTのそれと近くなるようにPPは、J400(MFR 3.0g/10min) を用いた。

2.3 測定

試験はJISに規定される方法により、引張試験は1号形試験片 (幅10mm, 厚さ4mm) を用いて、10mm/minの引張速度で行った。曲げ試験、衝撃試験、熱変形温度は、幅12.5mm, 厚さ4mmの短冊形試験片を用いた。測定は室温23°C, 50%RHの雰囲気で行った。

3 実験結果と考察

3.1 PP/PBT

PP/PBTブレンドの機械的的特性を図1~図3に示す。

PP/PBTブレンドでの引張強さは、PBTの配

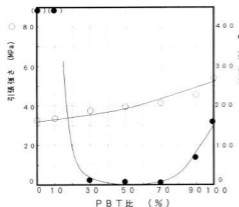


図1 PP/PBTブレンドの引張特性

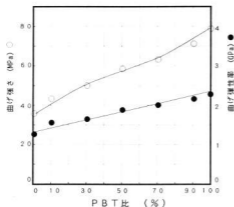


図2 PP/PBTブレンドの曲げ特性

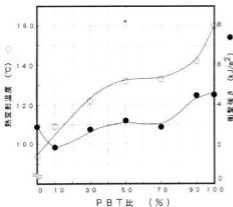


図3 PP/PBTブレンドの機械的特性

含量に応じて上昇した(図1)。しかし、破断伸びはPBT30から急激に低下し、PBT70まで10%程度となった。曲げ強さ、曲げ弾性率については、PBTの比率に応じてほぼ直線的に、上昇する結果となった(図2)。熱変形温度は逆S字カーブで上がっており、PBT比率の低い領域でのブレンド効果が大きくみられた。衝撃強さ(アイゾットノッチ付き)に関しては、全体的には、下に凸の曲線となったが、その低下の程度は引張破断伸びの低下から予想されるよりも少なく、PP自体とほぼ同じ値であった(図3)。

以上のように、PP/PBTブレンドでは、衝撃強さの向上はみられなかったが、強度、弾性率、耐熱性においては、かなりの改善が認められた。

3.2 PP/PBT/MPP

異種ポリマーのブレンドでは、両ポリマーの界面張力を下げ、分散粒子を細かく安定化するために、相溶化剤を添加することが行われる。そこで、無水マレイン酸変性PP(MPP)を相溶化剤として用い、その添加効果について検討した。MPPは、PPとポリアミド(PA)とのブレンドに使われており⁴⁾、アミド基との反応によってPAと化学的に結合したPPが生成し、相溶効果を生じている。ここでは、PBTとMPPが同じエステル構造を有すること、及びPBT末端の水酸基との反応も可能性があることから相溶効果が期待される。

PBT30ブレンド物及びPBT70ブレンド物へMPPを添加した場合の機械的特性を表1に示す。

引張強さはPBT30、PBT70の両配合比においても、MPPを8phrまで添加したが、変化がみられなかった。しかし、伸びにおいては若干であるが向上が認められた。PBT30では、M2において、PBT70ではM8において最も伸びが大きくなった。PBTの比率によって、相溶化剤の最適な添加率があることが考えられる。曲げ特性については、引張強さと同様に、ほとんど変化がみられなかった。熱変形温度についても、あまり大きな変化はみられなかった。

衝撃強さにおいては、アイゾットノッチ付き衝撃では、両配合比において低くなった。

写真1に示すように、SEMによるアイゾット破断面をみると、MPPを加えることにより未添加の場合よりも、分散粒子径が小さくなっていることから、分散性自体は良くなっていると考えられる。

3.3 PP/PBT/MPP/PO

PP/PBTブレンド物は、強度、弾性率等の機械的性質は向上しているが、衝撃強さの向上がみられなかった。そこで、韧性を上げる目的でPO系のエラス

表1 PP/PBT/MPPの機械的的特性

項目	単位	PBT30	PBT30M2	PBT30M4	PBT30M6	PBT30M8
MPP添加量	(phr)	0	2	4	6	8
引張強さ	(MPa)	36.8	35.5	35.7	35.4	34.9
伸び	(%)	12	16	15	13	12
曲げ強さ	(MPa)	54.4	54.4	54.2	54.1	54.2
曲げ弾性率	(MPa)	1860	1910	1900	1840	1880
衝撃強さ(アイゾットノッチ付 23°C)	(kJ/m ²)	2.8	1.8	1.8	1.9	1.8
衝撃強さ(アイゾットノッチ付-20°C)	(kJ/m ²)	2.2	1.9	2	2	2
熱変形温度(45N/cm ²)	(°C)	122	120	109	115	119
成形収縮率	(%)	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8
熱膨張係数(20~100°C)	($\times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	8.5	9	8.6	9	8.6
加熱収縮率(100°C×5hr)	(%)	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5
押出安定性	—	×	△	○	○	○
項目	単位	PBT70	PBT70M2	PBT70M4	PBT70M6	PBT70M8
MPP添加量	(phr)	0	2	4	6	8
引張強さ	(MPa)	41.6	42.3	42.4	42.4	42
伸び	(%)	6	6	7	9	11
曲げ強さ	(MPa)	67.6	68.3	67.7	67.7	66.9
曲げ弾性率	(MPa)	2220	2240	2230	2190	2200
衝撃強さ(アイゾットノッチ付 23°C)	(kJ/m ²)	2.9	2	2.1	2.1	2.1
衝撃強さ(アイゾットノッチ付-20°C)	(kJ/m ²)	2.2	1.9	2	2	2
熱変形温度(45N/cm ²)	(°C)	133	131	140	136	137
成形収縮率	(%)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
熱膨張係数(20~100°C)	($\times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	8.2	7.7	8	7.9	8.2
加熱収縮率(100°C×5hr)	(%)	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4
押出安定性	—	×	×	×	△	○

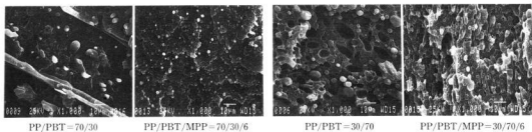


写真1 PP/PBT, PP/PBT/MPPブレンドのアイゾット破断面(×1000)

トマーを添加した。POにはPBTとの親和性を持たせるために、MMAをグラフト重合したものを用了。いくつかの異なるグラフト率のMMAグラフトPO(POI, POIII, POV, POVI)を重合し、実験に用いた。その配合と機械的性質を表2に示す。

POを加えると、未添加のものと比較してかなり伸びが大きくなり、明らかに衝撃強さが向上している。グラフト率による違いは、大きな差がみられなかった。

添加料が多いほど衝撃強さは大きくなったが、強度、弾性率の低下が大きくなった。したがって、POの配合比は8phr程度までが適当と考えられる。

4 結 言

雑貨から自動車部品まで広範囲で使用されるPPに、PBTをブレンドして、特性を改善する検討を行った。その結果PBTをブレンドすることで、強度、弾性率、

表2 PP/PBT/MPP/POの機械的特性
(PP/PBT/MPP=70/30/6)

項目	単位	PBT30M6	PO I	PO III	PO V	PO VI
MPP添加量	(phr)	6	6	6	6	6
MMAグラフトPO添加量	(phr)	0	4	4	4	8
引張強さ	(MPa)	33.8	31	31.6	31.3	28.7
伸び	(%)	13	50	60	60	110
曲げ強さ	(MPa)	53.1	47.8	48.6	48.6	44.4
曲げ弾性率	(MPa)	1870	1720	1750	1740	1590
衝撃強さ(アイゾットノッチ付 23°C)	(kJ/m ²)	1.9	2.6	2.3	1.8	3.2
衝撃強さ(アイゾットノッチ付-20°C)	(kJ/m ²)	2	2	1.8	2	1.9
熱変形温度(45N/cm ²)	(°C)	110	104	100	112	99

耐熱性の改善ができることがわかった。衝撃強さに関しては、ブレンドによる低下はほとんどなく、同程度を維持していた。相溶化剤としてMPPを添加したものは、機械的特性に対しては、あまり影響していないが、分散性を向上させることで、混練押出での安定性に非常に寄与していた。

PP/PBTブレンド物の衝撃特性を向上させるために、POを添加した系についても検討したが、PO

の添加によって、衝撃強さは良くなることがわかった。

文 献

- 1) 藤井, 角五: プラスチックエージ, Mar., (1991), 175
- 2) 井上, 市原: ポリマーアロイ, 共立出版, (1988), 3
- 3) 大橋: 広島県西部工技研究報告, 37, (1994), 42
- 4) 井出他: 高分子化学, 29, (1972)324, 259

FRPハニカム構造体の製造プロセスに関する研究（第2報）

藤井敏男, 村河亮利, 杉島愛子, 府山伸行, 好満芳邦

A Study on Production Process of Honeycomb Core Using FRP (2nd Report)

FUJII Toshio, MURAKAWA Akitoshi, SUGISHIMA Aiko, FUYAMA Nobuyuki and YOSHIMITSU Yoshikuni

Honeycomb core sandwich panels have been used as high performance structural elements due to its super light weight and high rigidity in advanced composites fields such as aerospace and sporting fields. However, the high cost of producing the honeycomb core prevents its distribution into a wide range of general industries. In order to supply low cost honeycomb core material, the GFRP honeycomb core was made of two kinds of GF/UP prepreg sheets with 0.2mm thickness, respectively and was fabricated by a new special molding machine which was developed in this work.

In this report, the GFRP honeycomb cores with 10mm cell length and 20mm cell height are continuously produced by the machine and the properties as the material for structural element are evaluated. As a result, the sandwich panels which were composed of these cores and two surface panels with 1mm thickness, and which were fabricated from the same prepreg sheet, indicated high rigidity, high strength, and compression resistance.

キーワード：ハニカム, FRP, コア材, ガラス繊維, プリプレグシート, プロセッシング

1 緒 言

ハニカムコア¹⁾ (中空の六角柱が蜂の巣状に多数集まった構造体)は, 全容積のうち95~99%を空間が占めるため, 非常に軽い。構造用途では, アルミ合金箔およびアラミドペーパーなどのハニカムコアを表面材(アルミ板, FRP板など)で接着したサンドイッチパネルとして利用される。理想的な応力分布が得られるため, 鉄板と比較すると, 数十分の1の重量で同じ剛性が得られる。したがって, 航空・宇宙産業など高剛性・軽量化が必要な分野において, ハニカムコアが使用されているが, 非常に高価である。一方, 一般産業用途に目を向けると, 資源・環境保全のため一般産業機械, 特に燃費規制が厳しくなる輸送機械の軽量化が必要となる。それを達成するためには, ハニカム構造の適用は大変に有効であるが, 現状では, ペーパーハニカムを除いて比較にならないほど高価である。本研究では, 比較的安価なガラス繊維強化プラスチックを用いて, 比強度(単位重量当たりの強度)の高いFRPハニカムコアの安価な製造プロセスについて開発を試みた。

昨年度は, 作業性を向上させるためガラス繊維にあらかじめ樹脂を含浸させたプリプレグシートをコア材に選択し, 高価な接着剤の使用および接着工程を省くため, プリプレグの硬化反応と同時にセル同士の接着を行う新しいFRPハニカムの製造方法を提案し, そ

の試作機を製作した。また, 同装置によりハニカムコアを試作し, この製造方法の有効性を示した。

本研究では, 剛性の異なる樹脂をそれぞれ用いた2種類のプリプレグで, ハニカムコアおよびFRPハニカムサンドイッチパネルの製作を行い, 圧縮特性および曲げ特性について検討した。

2 実験方法

2.1 ハニカムコアの材料

ハニカムコア材料は, 強化材に安価なガラス繊維クロス(富士ファイバガラス製)を, また, 母材にウレタン変性不飽和ポリエステル樹脂(ユビカ製)を用いたGFRPである。これらGFRPプリプレグは, 当センターで開発されたプリプレグ製造装置²⁾(ガラス繊維クロスに樹脂を含浸させた後, その両面をポリプロピレン(PP)で包み, 連続的にロールとして巻き取られる)によって調整された。シートの公称厚さは, 0.2mmである。樹脂の種類により, プリプレグシート

表1 積層板の成形条件

プリプレグシート	Type-1	Type-2
樹脂	AGU-2000	AGU-2100
成形圧力	3.0MPa	3.0MPa
成形温度	120°C	140°C
加圧保持時間	300sec	300sec

を Type-1(AGU-2000) および Type-2(AGU-2100) として表した。

これらのプリブレグシートを所定の枚数を積層し、既設の熱プレスを用いて、板厚 4mm の平板を表 1 に示す条件で成形し、JIS-K1131 に準じた引張試験片に加工後、引張試験を行い、積層板の引張強度ならびに引張弾性率を調べた。

2.2 ハニカムコアの製造プロセス

FRP ハニカムコアは、一般には、方形波のような形状をした薄肉の FRP 板をあらかじめ成形しておき、別の工程において、接着剤を使用して接着され、ハニカムコアが作られる。我々は、コスト高につながるエポキシ系接着剤などによる接着工程を省略することを考え、昨年度、母材の不飽和ポリエステル樹脂の硬化反応をプリブレグ同士の接着剤として作用させ、成形と同時に接着を兼ねさせた製造方法を考案した。

今年度は、金型形状の簡素化ならびに金型から製品が脱型しやすくなるように、下部金型の六角棒を角棒に変える改良を行ったが、製造方法については前報³⁾と同様である。

2.3 ハニカムコアの圧縮試験

FRP ハニカム製造装置を用いて、表 2 に示す条件でハニカムコアを成形した。

表 2 ハニカムコアの成形条件

ハニカムコア	Core-1	Core-2
プリブレグシート	Type-1	Type-2
成形圧力	1.0MPa	1.0MPa
金型温度	120℃	150℃
加圧保持時間	30sec	50sec

成形されたハニカムコアから、図 1 に示すように長さ 70mm、幅 50mm、厚さ 25mm、セル厚 0.2mm、セル長 10mm、セル数 32 のハニカムコアを切り出し、試験片に供した。圧縮試験は、上下 2 枚の平板の間にハニカムコアを挟み、負荷速度 1mm/min で圧縮した。圧縮強度は、次式で算出した。

$$\sigma_c = P_c / A$$

ここで、 P_c : 最大荷重 A : 試験片面積

2.4 ハニカムサンドイッチパネルの製作および曲げ強度試験

ハニカムコア製造装置を用いて成形したハニカムコアと表面材とを接着し、ハニカムサンドイッチパネルを作製した。表面材には、ハニカムコア材と同じプリブレグシート (Type-1 または Type-2) を用い、表 1 の条件で熱プレスにより作製された厚さ 1mm の板

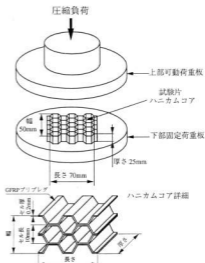


図 1 圧縮試験片と圧縮試験方法

を使用した。サンドイッチパネルの作製においても、表面材とハニカムコアとの接着にもエポキシ系のフィルム接着剤を使うのではなく、プリブレグシートをフィルム状接着剤の代わりに用い、ハニカムコアと表面材の間に挟み接着を試みた。なお、ハニカムコアと表面材とは線接触するため、接着面積が非常に小さい。また、プリブレグシート中の樹脂の割合が小さく、接着力が小さい。そこで、接着力を大きくするため、プリブレグシートを不飽和ポリエステル樹脂 (日立化成工業製, 5595APT-S) によく浸し、接着部分にできるだけ多くの樹脂が存在するよう工夫をした。また、強度を比較するため、表面材とハニカムコアとの接着によく使われているエポキシ系接着剤フィルムを使ったハニカムパネルも作製した。

表 3 に示すように 3 種類のハニカムサンドイッチパネルの曲げ強度特性を調べるため、図 2 に示した長さ 200mm、幅 50mm、厚さ 22mm のサンドイッチパネルを試験片に用い、スパン間隔 140mm とする 3 点曲げ試験をした。

表 3 3 点曲げ試験に用いた試験片

パネル	Panel-1	Panel-2	Panel-3
使用プリブレグコア材	Type-1	Type-2	Type-1
表面材	Type-1	Type-2	Type-1
コア材と表面材の接着剤	Type-1 5595ATP-S	Type-2 5595ATP-S	エポキシ系接着剤

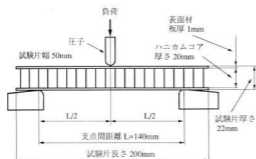


図2 3点曲げ試験片および試験方法

行った。4点曲げ試験の方が望ましいが、試験片の寸法および試験治具などの制約から、ここでは、3点曲げとした。なお、ハニカムコアには方向性があるため、コアの長さ方向を試験片長さとする(L方向)とコアの幅を試験片長さとする(W方向)の試料をそれぞれ準備した。

3 実験結果と考察

3.1 ハニカムコアの特性

表4にプリプレグシート積層板(4mm厚)の引張特性を示す。これらの値は、それぞれのハニカムコアの材料特性を示すものである。また、積層板の比重を測定し、樹脂の比重1.22およびガラス繊維の比重2.55を用いて、これら積層板の繊維体積含有率はどちらもとも約45%であった。

2種類のプリプレグシートから成形されたハニカムコアの密度および圧縮強度の平均値を表5に示す。

Core-1の圧縮強度は、Core-2に比べ、約2倍高く、比強度にすると、759N/gとなった。

また、図3には、これら剛性の違いを示すため、圧縮荷重-変位曲線の一例を示した。弾性率の高い

表4 プリプレグシート積層板の機械的性質

プリプレグシート	Type-1	Type-2
引張強度	326MPa	350MPa
引張弾性率	20.1GPa	16.6GPa

表5 ハニカムコアの圧縮強度

	Core-1	Core-2
プリプレグシート	Type-1	Type-2
コア密度	83.5kg/m ³	87.0kg/m ³
圧縮強度	1.58MPa	0.75MPa

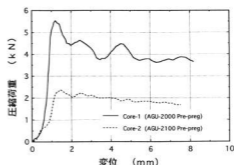


図3 ハニカムコアの圧縮特性

Type-1プリプレグシートを用いたCore-1の方が剛性が高く、最大圧縮荷重に達するまでの傾きが大きいが、一般に、座屈荷重は、弾性率に比例するため、2倍以上の圧縮強度に達したのは、これ以外の影響が考えられる。この製造法でも、ハニカムコアには、プリプレグシートが互いに接着した2層部と接着していない1層部が生じる。負荷の増加に伴い、この1層部がまず座屈強度に達し、その後、2層部が座屈強度に達すると考えられる。不飽和ポリエステル樹脂を母材したGFRPは、一般にじん性に乏しく破断ひずみが小さい。剛性の小さいType-2のプリプレグシートを用いたCore-2では、ハニカムコア自体の剛性も小さく、圧縮による変形量が大い。破断ひずみに達すると、ハニカムコアの1層部が白化(繊維の切断および繊維と樹脂との間のはく離)し始め、その損傷は、圧縮荷重を主に支える2層部にまで影響を与え、座屈強度を低下させると考えられる。

最大荷重値を超えると、ハニカムコアは、負荷を加えている上下の荷重板の接触部からつぶれはじめ、それが中央へ広がっていく。この変形による圧縮荷重もCore-1は約4.0kNでCore-2よりも2倍以上高いことがわかった。Core-1の方が、変形により消費されるエネルギー、すなわち、衝撃エネルギーを吸収する能力が大きいたことがわかった。この圧縮試験では、8mm程度の変形量までしか圧縮しなかったが、試験後、まだつぶれていない接着部分を観察すると、接着は良好であり、割れている様子はなかった。したがって、本製造方法の特徴である硬化成形と同時に接着した面の接着力はかなり高く、接着力不足による強度の低下はほとんどないと考えられる。

3.2 ハニカムサンドイッチパネルの特性

ハニカムコアパネルの3点曲げ試験を行い、各パネルの最大曲げモーメントの平均値を表6に示す。また、図4には、各試料におけるパネルの曲げモーメント

変位曲線の一つずつ示した。

同じ材質のプリプレグを接着フィルム代わりに用い、ハニカムコアと表面材とを接着した Panel-1 および Panel-2 では、コアと表面材の接着力が弱く、この接着部分が割れ、図のような靭型の曲線を示す。ハニカムコアおよび表面材は、破壊まで至らず、パネルの強度を正確に示していない。エポキシ系接着剤に

きくできなかったことと、エポキシ系接着剤より性能が劣るため、十分な接着力が得られず、コアや表面材の破壊より先に接着部の剥離が起こった。より強度の高いパネルを作るには、これらの点についてさらに検討する必要がある。

4 結 言

ガラス繊維強化プラスチックのプリプレグシートを素材とし、新しいハニカムコアの製造プロセスを提案し、試作機を設計、製作した。この試作機を用い、ハニカムコアを作製し、ハニカムコアの圧縮特性、また、接着剤を使用しないハニカムサンドイッチパネルを試作し、その曲げ特性について調べた。

(1) 従来のハニカムコアの製造プロセスにおいては、成形工程とは別に接着工程を必要としてきた。しかし、樹脂の硬化反応を成形および接着に利用し、成形、接着を一工程で行う本製造プロセスでは、高価な接着剤の使用がなくなり、インラインプロセスでの製造が可能であると思われる。

(2) 高剛性の樹脂を母材にしたハニカムコアは、低剛性なものより、圧縮強度が高く、平均値 1.58MPa の圧縮強度があり、比強度は 759N/g であった。

(3) 接着剤を用いないハニカムサンドイッチパネルでは、接着力の不足から、負荷によりコアと表面材とが剥離し、十分な強度が得られなかった。今後、接着力を高めるための工夫が課題であろう。

表 6 曲げ強度特性

パネル		Panel-1	Panel-2	Panel-3
最大曲げ	L	35.4Nm	20.0Nm	50.1Nm
モーメント	W	39.5Nm	14.8Nm	-----

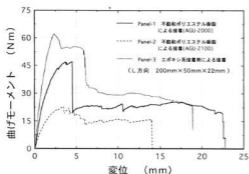


図 4 ハニカムサンドイッチパネルの曲げ特性

よる接着でもコアと表面材との剥離による強度のばらつきがあったものの、図 4 の Panel-3 では、曲げモーメントが最大値に達した時、コアが座屈し始め、その後、コアと表面材との接着面の剥離が起り破壊した。

試作したサンドイッチパネルには、以下の問題点がある。ハニカムコアと表面材との接着面積は非常に小さいうえに、この接着面（ハニカムコアの厚さ）を平行に仕上げるのが難しく、接着に関与する面積を大

文 献

- 1) ハイベックスアルミコア (材料編) 横浜ゴム(株)航空事業部技術資料
- 2) 下原, 好満, 大橋, 田平: 38th FRP CON-EX (1993), 204
- 3) 藤井, 村河, 本山, 好満: 広島県西部工業技術研究報告, 38 (1995), 41

海底ヘドロを原料としたゼオライトの合成

倉本恵治, 藤本宗之, 畑 徳宜, 丸下清志

Synthesis of Zeolite from Sea Bottom Mud

KURAMOTO Yoshiharu, FUJIMOTO Muneyuki, HATA Noriyoshi and MARUSHIMA Kiyoshi

The procedure of A type zeolite synthesis from sea bottom mud was studied.

A type zeolite was not obtained by direct hydrothermal synthesis of sea bottom mud without alkali pretreatment. For the purpose of increasing reactivity of sea bottom mud, it was heating with sodium hydroxide at 170 °C for 12hr. A type zeolite was synthesized from hydrothermal reaction of pretreated sea bottom mud and admixture of sodium hydroxide, sodium aluminate, water and seed of A type zeolite at 90 °C for 1hr (The mole ratio was $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2=2.5$ and $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=50$).

The yield of A type zeolite was about 90% at the optimum condition. Cation Exchange Capacity(CEC) of A type zeolite synthesized from sea bottom mud was $496\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$.

キーワード: 海底堆積物, ゼオライト, 水熱反応, イオン交換

1 緒 言

瀬戸内海などの閉鎖性海域では、海水交換が緩慢で、海域自体の自浄能力を越えて富栄養化が進みやすい。また、海底には海域内で生産される有機物を含んだヘドロが堆積し水質環境をさらに悪化させる原因になっている。その対策として海底ヘドロを浚渫して埋め立て処分されているのが現状である。しかし、年々その処分地の確保が困難になってきている。海底のヘドロと同様に、主に埋立処分されている下水処理場から発生する汚泥もその量が増大しており、有効利用として化粧コンクリートブロックなどの建材、軽量骨材など技術開発が進められている。著者らも海底ヘドロの有効利用として、昨年度ブロックを試作して海中浸漬試験を行った¹⁾。

また、我が国の石炭火力発電所から大量に発生される石炭灰もセメント混和剤などとしてごく少量のみが有効利用されているだけで、大部分は埋立て用に廃棄処分されている。この石炭灰などの廃棄物を原料としたゼオライトの合成についてはいくつか報告されている^{2)~8)}。

海底ヘドロ中にはシリカ、アルミナなどの無機物が多く含まれており、石炭灰に似た組成である点に着目して、A型ゼオライトの合成について検討した。ここでは、ヘドロの前処理反応、前処理ヘドロの水熱反応、および生成物の陽イオン交換容量(CEC)などについて検討した結果を報告する。

2 実験方法

2.1 試料

広島県安芸郡音戸町波多見地先のカキ養殖海域において、カキ筏近くの海底表層から泥を採取し、0.1mm目の篩で貝殻等の混入物を取り除いた後、水洗いで脱塩し105°Cで乾燥したものを試料として用いた。化学組成は蛍光X線分析装置 RIX2000 (理学電機工業㈱製)で測定し、その結果を表1に示した。 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比は6.89であった。粒径は既に報告したとおり平均10 μm 程度で非常に微細である⁹⁾。

2.2 水酸化ナトリウムによる前処理

ヘドロの前処理は、300mlのテフロンピーカーにヘドロ2.5gと水酸化ナトリウムと水を加え熱風循環乾燥機を用いて各温度で加熱処理した。加熱処理後、混

表1 海底ヘドロの化学分析結果

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	lg・loss
63.83	15.73	5.27	0.93	2.31	0.83	1.39	1.76	0.07	0.13	7.46

合物を容器から取り出して乳鉢で粉砕し、前処理試料とした。

前処理反応による海底ヘドロの反応率は、近藤ら¹⁰⁾と同様の方法で測定した。正確に秤量した前処理ヘドロに2N塩酸を加えて60°Cで30分間処理した後、ろ過洗浄し、次に3%炭酸ナトリウム溶液を加えて90°Cで30分間加熱保持した後、ろ過洗浄し、ろ過残さの重量より反応率を求めた。なお、未処理の海底ヘドロについても同一条件での溶解量を測定して反応率の補正を行った。

溶解率および反応率は以下の式によって求めた。

$$\text{溶解率} = (m_0 - m_1) / m_0$$

$$\text{反応率} = 1 - \{(1 - \text{溶解率}) / (1 - S_0)\}$$

ここで、 m_0 : はじめの試料重さ (g)

m_1 : 塩酸および炭酸ナトリウム溶液で処理した後の残さの重さ (g)

S_0 : 未処理の海底ヘドロを塩酸および炭酸ナトリウム溶液で処理したときの溶解率

2.3 水熱処理

実験に用いたヘドロの $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比は6.89であるため、A型ゼオライト (Si/Al 比=1) を合成するには、アルミニウム成分が不足しており、A型ゼオライトが生成しやすいバッチ組成である $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2 = 2.5$ および $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 50$ のモル比になるように、前処理後の海底ヘドロ、水酸化ナトリウム、アルミン酸ナトリウム、水およびA型ゼオライトの種品を入れ、ボールミルで1時間混合後、1晩静置した。内容物を水で洗い、全量500mlのポリエチレン三角フラスコに移し、恒温水槽を用いて90°Cで所定時間、水熱反応させた。反応後、過剰に残っている水酸化ナトリウムを遠心分離機を用いてpH9になるまで水で洗浄除去した。

生成率はアルミナを内部標準試料にして、X線回折装置 MXP[®]VA (株式会社・サイエンス) を用いてX線回折法より求めた。

2.4 陽イオン交換容量 (CEC)

反応生成物の CEC の測定は、SCHOLLENBERG ER の酢酸アンモニウム浸透法を用いた。浸出装置の浸透管に試料を入れ、酢酸アンモニウム液で陽イオンを交換浸出した後、エタノールで過剰の試薬を洗浄し、次いで、アンモニウムイオン (NH_4^+) で飽和されている分析試料を塩化カリウム液で浸出し、カリウムで交換されたアンモニウムイオンをイオンクロマトグラフ DX-AQ (日本ダイオネクス株式会社) を用いてイオンクロマトグラフ法で定量し、CEC ($\text{meq} \cdot 100\text{g}^{-1}$) を算出した。

3 実験結果および考察

3.1 未処理試料の水熱処理

水酸化ナトリウム未処理の海底ヘドロを水熱処理して得られた生成物のX線回折結果を図1に示した。反応時間2時間まで、得られた生成物にはA型ゼオライトと推定されるピークは見られず、反応がほとんど起こらないことがわかる。それは海底ヘドロ中のシリカが結晶性で反応性が低いためであり、反応性を高めるためには無定形のシリカに変えることが必要と思われる。従って、水酸化ナトリウムによる前処理を行わず、直接水熱合成することでA型ゼオライトを得ることは困難と考えられる。

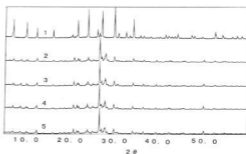


図1 未処理ヘドロの水熱処理における生成物のX線回折結果

- 1.ゼオライトA-4粉末(和光純薬工業)
- 2.水熱処理時間 2時間
- 3.水熱処理時間 1時間
- 4.水熱処理時間 0.5時間
- 5.水熱処理時間 0時間

3.2 試料の前処理条件の検討

ヘドロの前処理における水酸化ナトリウムの添加量及び処理温度と反応率について図2に示した。処理時間は12時間で一定とした。処理温度が高くなると反応率は高くなり、水酸化ナトリウムの量がヘドロと同量以上になると反応率はほぼ一定であった。このことより、反応率をほぼ100%にするためには加熱温度170°C、水酸化ナトリウムをヘドロの1.2倍添加する必要があることがわかった。処理温度170°Cにおける反応処理時間と反応率の関係を図3に示した。処理時間が6時間以上で反応率がほぼ一定になった。以上の結果より、水酸化ナトリウムをヘドロの1.2倍に加え、170°Cで12時間加熱することでほぼ95%以上の反応率を得ることができると考えられる。

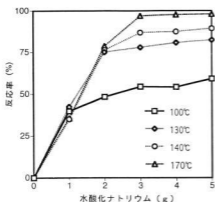


図2 水酸化ナトリウムの添加量と処理温度の影響

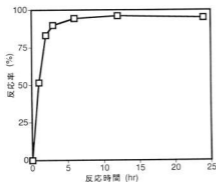


図3 処理時間の影響 (処理温度170°C)

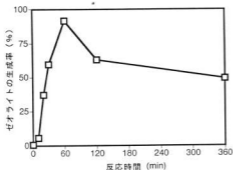


図4 水熱処理における処理時間の影響 (前処理: 170°C, 12hr)

3.3 前処理試料の水熱処理時間の影響

170°Cで12時間前処理したヘドロを原料として、A型ゼオライトの合成における水熱処理時間とA型ゼオライトの生成率の関係を図4に示した。水熱処理時間が1時間の場合がA型ゼオライトの生成率が最も高く約90%であった。ヘドロ、前処理したヘドロおよび水熱合成したA型ゼオライトの粉末X線回折結果を図5に示した。前処理後の試料に未反応のシリカのピークが認められることから、原料のシリカを完全に反応性の高い無定形の状態にすることは難しく、試料の前処理で100%の反応率を得られなかったことがわかる。したがって、水熱処理後の生成物にもA型ゼオライトのピーク以外にシリカのピークが見られる。海底ヘドロ、生成したA型ゼオライト、市販のA型ゼオライトの走査型電子顕微鏡写真を写真1に示した。市販のゼオライト4Aに比べ、粒径は小さいが1辺が0.6~1.0 μm程度の立方体結晶のA型ゼオライトが大量に生成していることが認められた。

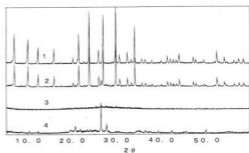
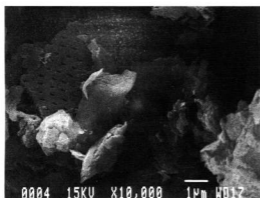


図5 前処理ヘドロの水熱処理における生成物のX線回折結果

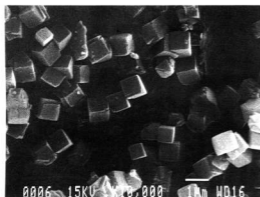
- 1.ゼオライトA-4粉末 (和光純薬特製)
- 2.海底ヘドロから合成したA型ゼオライト
- 3.前処理後の海底ヘドロ
- 4.海底ヘドロ

3.4 A型ゼオライトのCEC測定

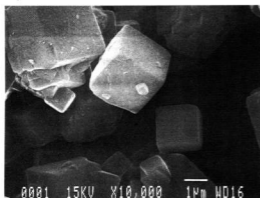
水熱合成により得られた生成物のCECの測定結果を表2に示す。海底ヘドロから合成したゼオライトは $496 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ であった。原料のヘドロは $69 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ であり、水熱合成により増大したことがわかる。市販のゼオライト4AのCECの約90%の交換容量があり、ゼオライトの生成率と比例関係にあると考えられる。海底ヘドロから合成したA型ゼオライトは市販のゼオライト4Aのイオン交換容量には劣るものの比較的高い吸着能のゼオライトといえる。



a)



b)



c)

写真1 走査型電子顕微鏡写真

- a) 海底ヘドロ
- b) 海底ヘドロから合成したA型ゼオライト
- c) ゼオライトA-4粉末 (和光純薬精製)

表2 海底ヘドロとゼオライトの性能評価

試料	CEC(meq・100g ⁻¹)
ゼオライトA-4*	544
海底ヘドロ	69
合成したゼオライト	496

*合成ゼオライトA-4粉末(和光純薬精製)

4 結 言

海底ヘドロを原料としたA型ゼオライトの合成法について検討を行った。海底ヘドロを直接アルカリ水熱合成する方法ではA型ゼオライトを合成するのは困難であった。ヘドロの反応性を高めるために170°Cで水酸化ナトリウムと反応させる前処理をした後、アルミン酸ナトリウム、水酸化ナトリウム、水およびA型ゼオライトの種品を加え、水熱処理することによりA型ゼオライトを合成することができた。海底ヘドロから合成したA型ゼオライトの生成率は、最適条件で約90%であり、その陽イオン交換容量は496meq・100g⁻¹であった。

文 献

- 1) 藤本他：広島県西部工技研究報告, 38(1995), 63
- 2) 井上耕三, 吉田 章, 日化, No5(1986), 658
- 3) 加藤安彦, 柿本幸司, 尾川博昭, 泊 正雄, 坂本栄司, 浅原照三, 工業用水, No331(1986), 27
- 4) 加藤安彦, 柿本幸司, 尾川博昭, 泊 正雄, 坂本栄司, 浅原照三, 工業用水, No338(1986), 37
- 5) 逸見彰男, 日本土壤肥料科学雑誌, 58(1987), 378
- 6) 岡田 豊, 日本土壤肥料科学雑誌, 62(1991), 1
- 7) 井上耕三, 恒松修二, 山田英夫, Inorganic Material, Vol. 2 (1995), 108
- 8) N. Shigemoto and H. Hayashi, K. Miyaura, J. Mater. Sci., 28(1993), 4781
- 9) 倉本他：広島県西部工技研究報告, 35(1992), 78
- 10) 近藤連一, 李 卿喜, 大門正機, 窯協誌, 84(1976), 573

海域汚染物質のモニタリング装置の開発

斯波信雄, 伊藤幸一, 倉本恵治, 丸下清志, 藤本宗之, 吉川 恵*, 渡部英雄

Determination of Trace Iron, Nitrogen and Phosphor in the Sea Water

SHIBA Nobuo, ITO Koichi, KURAMOTO Yoshiharu, MARUSHITA Kiyoshi, FUJIMOTO Muneyuki, KIKKAWA Megumi and WATANABE Hideo

The automatic analysis device was developed to determine a very small quantity iron, total nitrogen and total phosphor in the sea water. This analysis device was determined by flow injection analysis.

This analysis device is controlled with a sequence controller with a touch panel and control condition was input with a touch key. The analyzer was offered to manual operation mode, automatic mode, condition input mode and communication mode. A communication mode was used to send analysis data to the personal computer.

The characteristic of this analysis device is as follows.

1. It was possible in several minutes to analyze iron and nitrogen once.
2. This analysis device was very high sensitivity.

キーワード: F I A, モニター, 海, 海域, 汚染

1 緒 言

沿岸海域では、赤潮発生の原因である窒素、リン、鉄などは低濃度であるため、高感度な分析法の開発が求められている。また、海域を継続的に監視するためには、長時間無人で測定できる装置の開発が必要である。こうしたモニタリング装置を海域の所要所に設置し、海水中の窒素、リン、鉄を長期間、無人で測定することにより赤潮発生予測に貢献できれば、赤潮発生地点からの養殖いけすの移動等、漁業被害の防止に役立つと考えられる。また、この技術は工場排水の監視装置としても応用が可能である。モニタリング装置には種々の方法が研究されているが、フローインジェクション法 (F I A) を利用した自動分析装置を開発したので報告する。

2 試作装置の構成と仕様

今年度開発した装置は、窒素、全鉄、全リンを逐次自動分析できる F I A 方式の自動分析装置であり、装置の外観を写真 1 に示す。

システムは、試薬・試料供給部、反応部、検出部、制御部、データ処理部の 5 部から構成されている。

以下に各部の構成内容とその仕様を示す。

2.1 試薬・試料供給部

試薬供給ビンと、ダイヤフラム式エアポンプ、ブラ



写真 1 自動分析装置

ンジャーポンプ、試料注入装置及び電磁弁から構成されている。試料注入装置は共通して使用する方式としたため、1台だけ設置した。プランジャーポンプは各分析元素毎に1台ずつ、純水供給用に1台、計4台を使用している。本プランジャーポンプは、試料を自

*ラボテック株式会社

力で吸い上げる力はない。そこで今回は、本体最下部に設置した試薬をエアポンプによりポンプより高い位置まで吸い上げて、そこからプランジャーポンプへ供給する方式とした。

2.2 反応部

試料と試薬の混合器、反応コイル、恒温槽から構成されている。反応部は試料と試薬の混合、温度の制御、還元操作等の機能を持つ。反応部で使用した恒温槽は150°Cまでコントロールできる。

2.3 検出部

分析波長が変更可能な吸光光度計1台で構成されている。また、使用した吸光光度計は、外部信号によりオートゼロを行う機能を持っている。

2.4 制御部

タッチパネルとシーケンサー、A/D変換器から構成されている。シーケンサーの制御内容は、試料のサンプリングから、検出値をパソコンに送るまでをまかっているため、多岐にわたる。制御フローを図1に示す。主な制御項目は、自動運転時の条件設定、手動・自動運転の実行、RS232Cによるパソコンへの検出データの転送である。

2.5 主要部品

開発した装置で使用した主な構成部品を以下に示す。

- ・ポンプ : サスキ工業製 DMX-2000 4台
 - ・試料注入装置 : // SVA-6U7H 1台
 - ・吸光光度計 : 相馬光学製 S-3250 1台
- 吸光光度計の波長変更は、吸光光度計内部にパルスモーターを組み込み行った。

試作装置は、試料として海水を想定しており、不純物が多く含まれると想像される。そこで、通常より太

めの、外径が2mm内径1mmおよび外形3.2mm内径1.6mmのテフロンチューブを使用した。

3 実験結果と考察

3.1 全鉄の分析

試料中の鉄には、2価と3価の鉄が混在していると予想される。このため鉄の分析では、3価の鉄を2価の鉄に還元し、全鉄として定量する。測定方法には、アスコルビン酸を用いてO-フェナントロリンを発色試薬として用いる方法や、Jones還元カラムを用いる方法があるが、ここでは再現性が良いといわれている2-ニトロソ-5-ジメチルアミノフェノール(ニトロソ-DMAPと略記する)を発色試薬として用いる方法を採用した。還元は、塩酸ヒドロキシルアミンにより行った。

2価の鉄イオンはpH6.5~9.5で、ニトロソ-DMAPと反応して、緑色錯体を形成する。この錯体は水に可溶で、波長750nmのモル吸光係数は $4 \times 10^4 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ であった。図2に鉄分析用のフロー図を示す。また、図3に、鉄標準液の測定チャートを示す。

試料は全鉄が0.2mg/lと0.4mg/lの場合で、再現性良く測定できた。

3.2 窒素の分析

試料中の窒素には、硝酸性窒素と亜硝酸性窒素が混在していると予想される。硝酸性窒素はそのままで測定できないため、硝酸性イオンを還元して亜硝酸イオンとして測定する。

硝酸イオンの還元方法にはカドミウム・銅還元カラムを利用する方法が一般的¹⁾であるが、使用により劣化するため、必要に応じて活性化処理が必要になる。

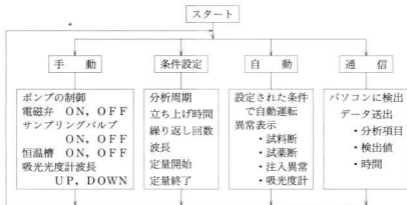


図1 制御フロー図

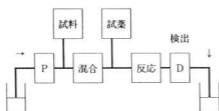


図2 鉄分析用FIA



図3 鉄標準液の測定チャート

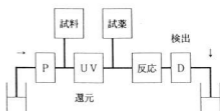


図4 窒素分析用FIA

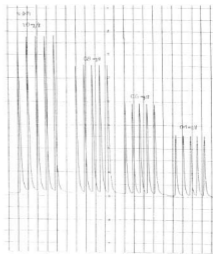


図5 窒素の分析結果

また、再生操作等で系外に有害物質であるカドミウムが溶け出す恐れもあり、環境に配慮して紫外線照射による還元方法を採用した。紫外線照射法は有害物質であるカドミウムが溶出しなため、環境に優しい方法といえる。分析は硝酸イオンを還元して亜硝酸イオンとし、ナフチルエチレンジアミン吸光度法により生じる赤色アゾ化合物の吸光度(500nmまたは540nm)を測定することにより分析する。

図4に窒素分析用フロー図を示す。図5に硝酸態窒素の測定チャートを示す。試料溶液が硝酸態窒素0.4, 0.6, 0.8, 1.0mg/lの場合で、ほぼ直線上に乗っており、再現性についても良好な結果が得られた。

3.3 全リンの分析

リンの吸光度法による定量は、酸性溶液中でオルトリン酸イオンとモリブデン酸が反応して生成する化合物を還元剤を用いて還元し、生成したモリブデン青の吸光度を測定する。また、マラカイトグリーンとモリブデン酸の反応の方が高感度¹⁾であることから、マラカイトグリーンの反応が利用されることもある。マラカイトグリーンの場合は650nm、モリブデン青の場合は880nmの吸光度を測定することになる。しかし、試料中には有機体リンや縮合リン化合物等が含まれていると予想され、上記反応をおこしてリンを分析するためには、これらをオルトリン酸に分解する必要がある。リンを分解する方法としては、環境庁告示の高圧蒸気滅菌器を用いれば完全に処理できるが、バッチ処



図6 リン分析用FIA

理になるため、本装置ではこの方法が取りにくい。無機体及び有機体リン化合物の分解には、酸性のペルオキソ二硫酸カリウムをキャリア溶液に用い、試料を注入した後、酸化分解コイルを入れた恒温槽を150°Cに加熱することにより、ほぼ100%分解されることが確認されている²⁾。今回試作した自動分析装置でもこの方法に準じ、試料とペルオキソ二硫酸カリウムを混合した後、恒温槽で加熱し分解させた。

図6にリン分析用フロー図を示す。試料を何種類か用意して実験を行ったが、分析結果が少し不安定であった。分析結果の安定を図るため、分析条件の変更や、

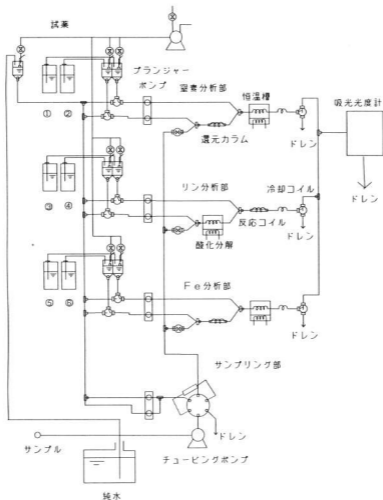


図7 自動分析装置フロー図

装置の改良も含め、対策を検討中である。

図7に装置全体のフロー図を示す。

4 結 言

試薬・試料供給部、反応部、検出部から構成されたFIA（フローインジェクション分析）方式の自動分析装置を試作した。試作した装置はシーケンサーとパソコンにより制御するが、分析条件の変更等、操作性をよくするために操作パネルで条件設定等が可能な構成とした。

リンの分析については分析結果が不安定であり、引き続き検討する。

本装置の開発により

1)窒素、全鉄の自動分析操作が可能となった。

2)手操作で数時間を要していた分析操作が、1元素1回当たり数分でできるなど、分析の省力化、迅速化が可能となった。

なお、本研究は、平成6年度中国技術振興センター産学R&Dグループ研究の一つである、岡山大学理学部 本水教授を担当教授とする委託研究「廃水、海中の窒素、リンの自動計測技術及び装置の開発」での研究成果をもとに、R&Dグループの一員であるラボテック㈱と共同研究を行ったものである。

文 献

- 1)本水昌二：環境技術，15(1986)，525
- 2)本水昌二他：平成6年度産学R&D推進委託研究報告書，123

小型船の船型開発に関する研究 (第3報) 水中翼の設計技術に関する研究

畑 徳宣, 中村芳幸*, 藤本宗之, 斯波信雄

Development of Design for Hydrofoil Using the Circulating Water Channel

HATA Noriyoshi, NAKAMURA Yoshiyuki, FUJIMOTO Muneyuki and SHIBA Nobuo

The performance tests of fully submerged hydrofoil with flaps had been carried out using slow circulating water channel and following results were obtained.

- (1) The bow elevating as the fore foil flap angles were increased and its was shown foil borne condition.
- (2) The bow sinking as the main foil flap angles were increased and its measured resistance were increased.
- (3) The bow motion were more elevated as the fore foil angle was fixed at ten degree than as the fore foil flap were increased and its measured resistance were decreased.

キーワード：全没型水中翼，フラップ，抵抗試験，回流水槽

1 緒 言

近年、多様な重力支持方式と新たな船体形状により、速力と乗り心地の向上を同時に満たす新形式船舶の実用化が図られ、高速旅客船等の高性能化が進められている。新形式船舶の大部分では、船の高速化・姿勢の安定等を目的に水中翼あるいは水中フィンが積極的に利用されている。これら、新形式船舶の開発には高速な曳航水槽、実海域における模型による性能試験が欠かせない。

そこで、本研究は流速が2 m/sと比較的遅い流速の回流水槽で全没型水中翼を有する船型の性能試験がどこまで可能か検討するために行った。前年度の実験で翼角度を変えることにより翼走状態に達することが判明したので、今年度はフラップを装備した翼を製作し、フラップの角度を変えた場合の性能について検討した結果を報告する。

2 実験方法

2.1 装置及び計測機器

実験に使用した装置は西日本流体技術研製、垂直循環型回流水槽(V2-30B)、最大流速は2m/sである。船首及び船尾の上下変位量測定は西日本流体技術研製、トリム計付き模型船ガイド装置で行った。抵抗計測は日章電機研製、歪ゲージ式3分力計SR30を用い、ゲージアンプは㈱共和電業製、動歪計DPM220を使用した。流速の測定は㈱岡野製作所製、ピトー管で行った。

2.2 船体模型及び翼

*中谷造船

図1に使用した模型船の翼取り付け位置、翼平面形状を示す。船体模型の主要目は、前報¹⁾と同じである。前翼は弦長70mm、幅200mmで、後翼は弦長80mm、幅300mmの矩形翼を使用した。翼面荷重は前翼で37%、後翼で63%になる。

図2に翼断面形状を示す。翼はNACA0016型で翼厚比0.16の対称翼を翼弦線で上下に分割した形を使用した。よって、翼厚比は0.8となる。最大翼厚は弦長に対して前縁より30%の位置にある。フラップは弦長長さの25%とし単純フラップである。

2.3 船首尾変位量計測及び抵抗計測

前翼のフラップは、0°、5°、10°、15°、20°、25°、後翼のフラップは0°、3°、6°、9°の組み合わせで流速を0.1m/sづつ増加させたときの船首尾変位量と抵抗を計測した。翼角度は静止喫水線と平行な方向で固定した。模型船の曳航方法、位置等は前報と同じである¹⁾。

また、前報で効果の認められた前翼の仰角を10°とし後翼のフラップ角を変えた実験も併せて実施した。

3 実験結果及び考察

3.1 船体みの場合の船首尾変位

船体の船首尾変位量は、前報と同じ船体を使用したため流速1.4m/sまで船首尾とも沈下し、船首が最大に沈下したのち浮上に転じ、流速1.7m/sで最大の浮上を示す。さらに、流速が増すと再び沈下を始める。逆に船尾では流速1.4m/s以上で船首が浮上するため、急激な沈下を始める。流速1.5m/sまでは船首が船尾

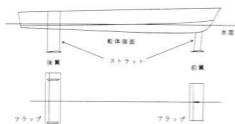


図1 翼配置及び平面形状

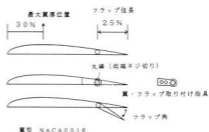


図2 翼断面形状

表1 前翼フラップ角と船首尾変位量 (後翼フラップ 0°固定)

流速 (m/s)	船首尾変位量 (mm)												
	0°		5°		10°		15°		20°		25°		
	船首	船尾	船首	船尾	船首	船尾	船首	船尾	船首	船尾	船首	船尾	
0.1	-0.2	-0.1	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
0.2	-0.7	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1
0.3	-1.2	-0.1	-0.3	-0.1	0.0	0.0	-0.4	-0.3	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.5
0.4	-2.4	0.1	-1.1	-0.4	-0.6	-0.4	-0.8	-0.7	-0.1	-0.3	-0.1	-0.8	-0.1
0.5	-4.1	-0.2	-1.9	-0.5	-1.3	-0.7	-1.2	-1.1	-0.3	-1.0	-0.4	-1.3	-0.3
0.6	-6.0	0.0	-2.8	-0.5	-2.0	-0.9	-1.9	-1.7	-1.0	-1.6	-0.7	-1.9	-0.7
0.7	-8.4	0.2	-4.1	-0.7	-3.1	-1.1	-2.7	-2.0	-2.0	-2.1	-1.6	-2.6	-1.1
0.8	-12.1	0.5	-6.1	-0.8	-4.8	-1.7	-3.9	-2.2	-3.0	-2.4	-2.0	-3.4	-1.9
0.9	-19.4	0.0	-9.1	-0.9	-6.3	-1.8	-5.6	-3.0	-4.0	-3.2	-2.8	-4.1	-3.1
1.0	-23.4	2.1	-9.8	-2.1	-7.2	-3.3	-4.6	-4.7	-3.2	-5.2	-1.7	-6.4	-4.1
1.1	-27.1	3.4	-17.8	-0.3	-13.8	-1.6	-10.1	-3.9	-9.2	-4.2	-7.1	-5.6	-6.4
1.2	-23.4	1.2	-19.1	-0.4	-12.4	-3.9	-9.7	-4.6	-7.4	-5.8	-3.2	-7.9	-7.9
1.3	-46.1	8.1	-12.1	-5.1	-5.2	-8.2	1.8	-11.7	4.8	-13.4	9.1	-15.7	-7.9
1.4	-55.0	7.2	-34.1	3.8	-29.4	1.1	-21.2	-2.5	-14.6	-5.8	-11.1	-8.1	-8.1
1.5	-61.8	8.9	-42.0	2.4	-38.1	0.8	-31.7	-2.2	-13.8	-14.0	-19.4	-8.5	-8.5
1.6	-	-	-20.4	-10.8	-11.1	-13.0	0.9	-19.1	7.0	-21.4	15.1	-25.4	-8.5
1.7	-	-	12.1	-21.9	25.2	27.0	33.8	-28.4	39.6	-31.2	47.8	-33.4	-33.4
1.8	-	-	22.3	-19.9	38.1	-24.2	69.6	-23.8	77.0	-23.5	105.0	-13.0	-13.0
1.9	-	-	19.2	-16.4	43.0	-20.1	99.8	-3.8	104.0	1.0	131.0	11.3	11.3
2.0	-	-	13.8	-15.8	42.1	-19.1	116.6	18.2	118.0	27.0	125.0	35.1	35.1

より大きく沈下するため負のトリム（船体の傾き）を示すが、それ以上では船首の浮上量が急激に増すため正のトリムとなる。

翼を取り付けた場合においても、船体だけの船首尾変位量が以後の実験結果に大きく影響した。

3.2 前翼フラップの効果

表1に後翼のフラップを0°として前翼のフラップ角を変えた場合の船首尾変位量を示す。表を図にしたほうが理解しやすいが、同一の図に複数を表示すると線が錯綜して判別できなくなるのと紙数の制限により結果は表で示した。

前後翼フラップを0°とした場合の船首尾の変位量は流速の増加とともに船首は急激な沈下を示し、流速1.5m/s以上で試験不可能となった。この理由としては、流速の増加にともない船首が沈下すると前翼は負の仰角となり、ますます沈下するためである。船尾は船首が沈下するため低流速では殆ど変化がなく流速1m/s前後から浮上する。

これに対して、前翼のフラップを5°にすると流速1.5m/sまでの船首の沈下が少なくなり流速1.6m/sから船首は浮上するようになる。

フラップ角を大きくするほど効果は顕著となり、船首はますます浮上し、流速の増加とともに翼走状態に達する。これは、船首が浮上することで、必然的に前翼に仰角が付くため発生する揚力が助長されていることによる。

船尾では逆に船首が浮上するとともに沈下を始め、フラップ角が大きくなるほど沈下量は増す。しかし、船首が翼走を始めると浮上量が100mm前後に達すると船尾の沈下が押さえられ、それ以降の流速で船尾も翼走状態になる。船尾の浮上は、船首が浮上するとともに正のトリムとなり、後翼の仰角が正になり揚力が発生するようになるためである。

3.3 後翼フラップの効果

表2に前翼フラップ20°と25°で後翼のフラップ角を変えた場合の船首尾変位量を示す。後翼フラップに角度をつけること、船尾側にも揚力が発生するようになるため、流速が増すほど船首の浮上が押さえられ、逆に船尾の浮上量は増すようになる。

後翼のフラップが0°に対して3°では船首の浮上が押さえられ、船尾の浮上量がやや大きくなるためトリムの少ない翼走状態を呈する。

表2 後翼フラップ角と船首尾変位量

流速 (m/s)	船首尾変位量 (mm)											
	前翼フラップ角 20°						前翼フラップ角 25°					
	後翼フラップ角						後翼フラップ角					
	3°	6°	9°	12°	15°	18°	3°	6°	9°	12°	15°	18°
0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.3	0.3	
0.2	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.2	0.0	0.2	
0.3	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5	-0.4	0.0	0.0	0.0	
0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.5	-0.4	-0.9	-0.9	-0.6	-0.7	-0.1	-0.1	
0.5	-0.9	-0.9	-1.2	-0.7	-0.7	-1.2	-1.3	-0.9	-0.9	-0.1	-0.1	
0.6	-1.4	-1.2	-1.8	-1.1	-0.9	-1.5	-2.0	-1.3	-1.8	-0.3	-0.3	
0.7	-2.2	-1.8	-2.9	-1.4	-1.9	-2.2	-2.8	-1.6	-2.7	-0.4	-0.4	
0.8	-3.6	-2.0	-4.0	-1.8	-2.7	-2.8	-3.8	-1.9	-4.0	-0.9	-0.9	
0.9	-5.0	-2.8	-5.4	-2.0	-3.8	-3.7	-5.4	-2.1	-6.0	-1.0	-1.0	
1.0	-4.5	-4.1	-5.2	-3.6	-2.8	-5.6	-4.4	-3.9	-5.2	-2.1	-2.1	
1.1	-13.1	-2.4	-11.4	-1.6	-9.2	-3.8	-11.6	-1.6	-12.2	-0.1	-0.1	
1.2	-9.4	-3.8	-11.0	-2.6	-5.8	-5.7	-10.1	-2.1	-14.0	-0.7	-0.7	
1.3	1.1	-10.1	-2.1	-8.2	6.4	-13.1	1.1	-8.1	-2.1	-5.8	-5.8	
1.4	-21.2	-0.9	-26.4	-2.0	-15.4	-3.3	-27.7	5.1	-31.4	7.2	7.2	
1.5	-32.1	3.1	-38.9	7.1	-29.5	-0.9	-43.1	10.2	-45.6	11.6	11.6	
1.6	-4.2	-14.1	-12.2	-8.8	5.2	-19.2	-17.2	4.4	-21.6	-0.2	-0.2	
1.7	29.0	-25.6	23.8	-20.9	37.4	-27.2	21.2	-17.2	21.1	-12.0	-12.0	
1.8	49.9	-21.1	37.9	-17.9	83.5	-15.9	34.6	-13.9	27.1	-11.1	-11.1	
1.9	87.0	-3.9	46.0	-11.4	119.2	13.8	40.8	6.1	25.9	-5.6	-5.6	
2.0	98.0	31.8	87.2	21.0	90.2	36.2	39.1	0.9	15.1	-1.1	-1.1	

表3 前翼仰角10°のときの後翼フラップ角と船首尾変位量

流速 (m/s)	船首尾変位量 (mm)					
	0°		3°		6°	
	船首	船尾	船首	船尾	船首	船尾
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	-0.1
0.3	0.0	-0.6	0.0	-0.6	-0.1	-0.4
0.4	0.0	-1.1	0.0	-0.8	-0.2	-1.0
0.5	0.0	-1.8	0.0	-1.4	-0.4	-1.4
0.6	-0.6	-2.8	-0.6	-2.2	-0.8	-1.8
0.7	-1.0	-3.6	-1.0	-3.0	-1.4	-2.4
0.8	-0.8	-4.6	-1.2	-4.0	-1.6	-3.0
0.9	-2.0	-5.6	-2.6	-4.8	-3.0	-3.8
1.0	0.4	-8.0	-1.0	-6.6	-2.2	-5.2
1.1	-3.2	-8.2	-5.2	-6.2	-6.8	-4.0
1.2	14.8	-17.4	12.2	-15.0	9.4	-12.4
1.3	8.8	-15.4	4.0	-11.6	-1.0	-8.0
1.4	-8.8	-10.4	14.0	-5.6	-21.4	-0.6
1.5	12.4	-24.0	8.4	-19.2	-3.2	-10.5
1.6	45.6	-32.4	39.2	-27.6	29.0	21.2
1.7	92.0	-20.2	86.0	-17.2	54.0	-15.6
1.8	117.6	3.6	108.0	3.6	75.0	4.4
1.9	121.6	23.2	109.0	27.2	88.0	26.0
2.0	116.0	41.0	101.2	41.6	68.6	34.8

後翼のフラップを6°以上にするると船尾の揚力が増すため船首の浮上量はさらに低くなるるとともに船尾の沈下量も少なくなる。従って、船体のトリムが小さくなり翼仰角が少なくなるることによって揚力が減少するため流速2m/sでも翼走状態に達しなくなる。

さらに、前翼のフラップが25°では流速の増加にともなう生じる抗力の影響と思われるが、船首の浮上量が極端に低下する。

3.4 翼仰角の効果

表3に前翼仰角を10°にして後翼のフラップ角を変えた場合の船首尾変位量を示す。前翼の仰角を10°にすると船首の沈下は殆ど押さえられ、翼走状態に達するまでは、いずれの流速においてもフラップ角を可変するより船首の浮上量に対する効果が非常に大きい。従って、船尾の沈下量は逆に多くなるが、それによ

表4 前翼及び後翼フラップ角と抵抗の関係

流速 (m/s)	長 抗 (N)											
	後翼フラップ角 20°						前翼フラップ角 25°					
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	3°	6°	9°	12°	15°	18°
0.1	0.044	0.042	0.039	0.025	0.037	0.033	0.035	0.043	0.043	0.055	0.046	
0.2	0.127	0.127	0.131	0.122	0.131	0.121	0.136	0.143	0.146	0.154	0.150	
0.3	0.238	0.243	0.253	0.251	0.278	0.273	0.277	0.286	0.296	0.302	0.314	
0.4	0.384	0.397	0.406	0.422	0.447	0.476	0.465	0.496	0.487	0.529	0.510	
0.5	0.614	0.639	0.668	0.694	0.732	0.767	0.748	0.766	0.800	0.841	0.838	
0.6	0.890	0.919	0.966	1.007	1.058	1.105	1.071	1.102	1.138	1.191	1.223	
0.7	1.213	1.266	1.325	1.397	1.461	1.529	1.480	1.496	1.556	1.648	1.671	
0.8	1.618	1.665	1.727	1.820	1.904	1.995	1.961	1.981	2.042	2.122	2.183	
0.9	2.174	2.257	2.299	2.437	2.524	2.635	2.592	2.633	2.693	2.821	2.911	
1.0	3.047	3.075	3.135	3.254	3.334	3.474	3.408	3.502	3.559	3.736	3.795	
1.1	3.949	3.848	3.913	4.032	4.091	4.315	4.235	4.272	4.355	4.491	4.675	
1.2	5.317	5.239	5.192	5.248	5.306	5.411	5.420	5.537	5.557	5.848	5.900	
1.3	5.662	5.268	5.233	5.330	5.534	5.808	5.580	5.653	5.823	6.009	6.134	
1.4	7.467	6.843	6.643	6.466	6.429	6.583	6.681	6.898	6.765	7.184	7.644	
1.5	10.281	9.294	9.109	8.957	8.445	8.751	8.953	9.215	9.187	9.683	10.187	
1.6	-	10.079	9.562	9.193	9.043	9.188	9.572	10.130	9.479	10.841	11.255	
1.7	-	8.890	8.850	9.212	9.668	10.271	9.533	9.694	10.084	10.282	10.538	
1.8	-	8.661	9.058	9.922	10.404	10.681	10.232	10.257	10.764	10.776	10.889	
1.9	-	8.940	9.404	9.861	10.306	9.604	10.255	10.669	9.807	11.235	11.554	
2.0	-	9.640	9.900	8.533	8.626	8.865	8.943	9.746	9.060	11.645	12.295	

て船体のトリムが大きくなるため後翼にも早くから翼仰角が生じ、より速やかに翼走状態に達するようになる。後翼のフラップを 3° 、 6° にすると船首の浮上量は減少し、船尾の沈下量は増加するが前翼のフラップ角を変えより影響が少ない。フラップ角が 6° でも流速 2m/s においてトリムが小さく安定した翼走状態を呈した。

3.5 抵抗測定

表4に前翼フラップ及び後翼フラップ角を変えた場合の抵抗変化を示す。後翼のフラップを 0° として前翼のフラップ角を変えた場合、流速 1m/s 程度までの低流速範囲ではフラップの発生する揚力に比べ抗力のほうが高いためフラップ角を大きくするほど抵抗が高くなる傾向にある。流速が 1m/s を超えるとフラップ角による効果が現れるため、その後の抵抗変化は複雑となるが、船首尾の変位量と密接な関係がある。

表5 後翼フラップ角と抵抗の関係

流速 (m/s)	抵抗 (N)		
	0°	3°	6°
0.1	0.044	0.036	0.038
0.2	0.128	0.141	0.144
0.3	0.275	0.287	0.277
0.4	0.489	0.491	0.534
0.5	0.793	0.802	0.842
0.6	1.136	1.141	1.203
0.7	1.530	1.573	1.642
0.8	2.095	2.151	2.228
0.9	2.694	2.790	2.918
1.0	3.175	3.241	3.361
1.1	4.414	4.564	4.732
1.2	5.091	5.136	5.278
1.3	5.265	5.252	5.365
1.4	6.317	6.641	7.035
1.5	7.703	7.877	8.436
1.6	9.244	9.121	9.006
1.7	10.028	9.829	9.698
1.8	9.237	9.362	9.538
1.9	7.579	7.673	7.735
2.0	7.066	7.440	7.917

前翼仰角 10° 後翼フラップ 0° 固定

フラップが 0° の場合、船首の沈下によって揚力が全く働かないため抵抗は急激に増加する。

フラップが 5° 、 10° の場合、船首が急激に浮上を始める寸前で最大の抵抗を示し、その後船首の浮上に伴って抵抗は一旦低下するが、船首に働く揚力が少ないため再び抵抗が増す。

フラップが 15° 以上では流速が速くなるに従い揚力が増すため船首は連続的に浮上し翼走状態に達し、翼

走寸前で抵抗は最大となり翼走を始めると抵抗は大幅に低下する。

前翼フラップを 20° ないし 25° に固定して後翼フラップ角を変えた場合の抵抗変化も、前翼のフラップ角を変えたときと同様な傾向を示し、フラップ角を大きくするほど抵抗が増す。後翼のフラップ角を大きくし過ぎると船首の沈下によって抵抗が非常に高くなる。

表5に前翼仰角を 10° にして後翼フラップ角を変えた場合の抵抗変化を示す。前翼のフラップは 0° で固定している。船首が十分に浮上するまでの抵抗は後翼のフラップ角を大きくするほど高くなるが、翼走寸前の抵抗は低くなる。翼走後の抵抗はフラップ角が少ないほうが抵抗は低くなるが、トリムが大きい状態で航走しているため船体姿勢が問題となる。

翼仰角を 10° にすると翼走寸前の抵抗がフラップ角を可変するより低くなるとともに、翼走後の抵抗も大幅に低下する。

4 結 言

流速 2m/s 程度の回流水槽で、全設型水中翼のフラップについて模型試験を行った結果をまとめると次のようになる。

- (1) 前翼のフラップ角を可変することにより船首の浮上量が制御可能となり、フラップ角を 15° 以上にすると流速 1.8m/s で船首が翼走状態になり、流速 2m/s で船尾も翼走状態になるが船体の傾きは大きいままであった。
- (2) 後翼のフラップ角を可変することにより船尾の浮上量が制御可能となるが、船首側が沈下するため可変量は大きくできない。
- (3) 前翼の仰角を 10° にすると、前翼フラップ角を可変するよりも大きな揚力が得られ、後翼フラップ角を可変しても船首の沈下が押さえられるため安定した翼走状態を示し、翼走寸前及び翼走中の抵抗が大幅に低下した。
- (4) 今後は、船体の姿勢安定並びに滑らかな翼走状態を得るため、流速に応じて翼仰角、フラップ角等の自動制御を検討する必要がある

文 献

- 1) 畑他：広島県西部工技研究報告，38(1995)，67

微細気泡発生装置の開発

斯波信雄, 丸下清志, 畑 徳宣, 縄雅典生, 村河亮利, 山縣康男

Development of the Device that Produces Micro-Bubbles

SHIBA Nobuo, MARUSITA Kiyoshi, HATA Noriyoshi, NAWACHI Norio,
MURAKAWA Akitoshi and YAMAGATA Yasuo

This device was able to produce micro-bubbles continuously, without using a supplementary device (ex. compressor). This device was composed of such device that produces micro-bubbles that was experimentally produced with a pump.

The optimum conditions of the development device were as follows:

- (1) The pressure of a pump was 0.4MPa, flux of air was 1 ℓ /min.
- (2) A diameter of bubble that occurred was about 70 μ m.
- (3) A volume of the bubble that occurred was about 15ml to a water 1ℓ.

キーワード：微細気泡, 気泡径, ポンプ

1 緒 言

森林の伐採による住宅地や道路の開発により, 水源適地が減少して, 水道用水に生活排水が混入する等の障害が生じ, 水源環境の保護が求められている。また, 閉鎖性水域である瀬戸内海海域や湖沼等は, 汚濁物質が滞留する傾向があり, これを改善するために COD の総量規制が実施されているが, 期待した効果が現れてこないことから規制の強化が検討されている。したがって, これら COD 等にかかわる水処理の高度化が必要とされ, 効率的な水処理装置の開発が求められている。

一方, 生活排水の汚濁物質はほとんどが有機物であるため, その水処理には微生物処理が採用されるが, 微生物処理では, 排水中の溶存酸素濃度が処理効率に影響するため, 溶存酸素濃度を効率よく高めるためには, 微細気泡を水中に導入する必要がある。また, 微細気泡を発生することができれば, 間接的に水処理の高度化に寄与することとなり, さらに, 最近注目されているオゾン水の効率的な製造をも可能となる。そこで連続的な微細気泡の発生を目的とした装置開発を行い, 2~3 の知見を得たので報告する。

2 実験方法

実験は微細穴による方法と, ポンプを利用する方法の 2 種類の方法で行った。

2.1 微細穴による方法

10~100 μ m 程度の微細な穴から, 水中に空気を押し込む, 又は空気を吸い込むことにより, 微細な気泡を発生させることを計画し, 当センターに平成 5 年度に導入された, 半導体加工装置により, 微細穴の穴開け加工実験を行った。試料に用いたシリコン基板は, (100) に面方位を持った ϕ 3 インチ, 厚さ 380 μ m の n 形タイプのシリコン基板である。この基板には, シリコン酸化薄膜 (SiO_2) が両面に, 1 μ m 成膜してある。加工工程を図 1 に示す。

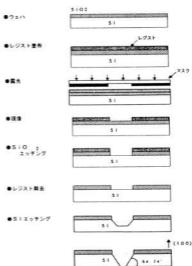


図 1 微細穴加工の処理工程

加工はフォトファブ리케이션と呼ばれる、エッチング技術を利用する。シリコンは面方位により、エッチングスピードが異なるため、加工面を選んで、入り口側は大きな穴でも、出口側では所定の穴があくよう条件設定を行い、穴開け実験を行った。

シリコンのエッチングには、エッチング面の平坦性に優れているといわれる水酸化テトラメチルアンモニウム (TMAH) を使い、1, 20, 30, 50, 100 μ mの貫通 \square 穴加工実験を行った。(100), (111)面とも非常に滑らかな面が得られたが、寸法的にはいずれの \square 穴とも、設計寸法より大きくなってしまった。設計寸法通りの穴を加工するためには、エッチング条件の絞り込み等、再検討が必要であり、今後検討する。

2.2 気泡実験装置

気泡実験は、ポンプを利用した場合のみを行い、気泡実験装置は図2のような構成とした。

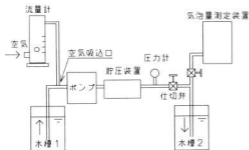


図2 気泡実験装置

ポンプは水槽1 (容量: 100 ℓ) から水を吸い込み、ポンプ入り口の少し手前に取り付けてある空気吸引口から、流量計を介して空気を吸い込む。空気と混合した水は、ポンプから出て、貯圧装置、仕切り弁の順に流れて、水槽2に蓄えられる。気泡量を測定する場合には、吐出水の一部を、気泡量測定装置に分岐させる。気泡量測定装置については後述した。

空気吸引込み量は、流量計に付いているニードルバルブで調整が可能である。また、仕切り弁で流量を絞った場合の圧力は、仕切り弁手前の圧力計で観察した。

2.3 気泡量の測定

気泡量の測定は、気泡量測定装置により行った。気泡量測定装置は、ガラス製の筒からできており、所定量の気泡水を導入し、静置した後、筒の上部に貯まった空気量を測定する。

気泡には微細な気泡と大きな気泡が存在する。そこで、採水を終えて10秒間に溜まった気泡は大きな気泡

として扱うこととし、特に泡と呼ぶことにする。小さな気泡はそのまま気泡と呼び、泡と区別した。回収した空気の全体を示す場合には、全気泡量とした。

2.4 気泡径の測定

気泡径の測定は、CCDカメラ付きズーム顕微鏡で取り込んだ画像データを、パソコンで画像処理を行い、測定した。気泡径測定に使用した気泡観察装置を図3に示す。

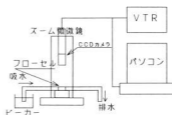


図3 気泡観察装置

図の左端にあるピーカーに、気泡の混ざった水を採水してセットし、サイフンの要領でフローセルに気泡の混ざった水をフローセルに流す。水の流れを止めるとフローセルの上面に気泡が浮き、気泡を観察することができる。気泡の観察に用いた装置を表1に示す。

表1 気泡観察装置

装置名	メーカー・型式
顕微鏡装置	ユニオン光学製 DIA2-SL
C C D カメラ	東京電子工業製 CS8310
画像処理ソフト	プラネトロン製 ImagePro Plus

3 実験結果と考察

3.1 吐出水量測定実験

ポンプで水を吸い込む場合、空気が混入すると吐出水量や揚程が低下し、通常は吸い込まれる水の中に空気が混入ないように配慮される。しかしポンプを利用して気泡を発生させようとすると、吸い込まれる水の中に空気を混入させたり、ポンプの後方で流量を絞り、背圧を上げる必要があることから、吸い込み空気量と背圧を変化させ、吐出水量を測定するための実験を行った。

図4にポンプ単体で、圧力と吸い込み空気量を変化させた場合の、吐出水量を測定した結果を示す。圧力0.2MPaでは吸い込み空気量を1, 2, 3 ℓ /分と変

えた場合、1, 2 ℓ/分では空気を吸い込まない場合と同程度の吐出水量が得られた、3 ℓ/分で吐出水量が低下した。

圧力0.3MPaの場合は、0.2MPaと同様の傾向を示した。

圧力を0.4MPaに上げると、吸い込み空気量が1 ℓ/分では、空気を吸い込まない場合と大差ない吐出水量が得られた。しかし、吸い込み空気量を2 ℓ/分を増すと吐出水量は僅かに下がり、それ以上上げようとしても、空気を吸い込む力が弱く、吸い込み空気量が3 ℓ/分迄上がらなかった。

圧力0.5MPaの場合は、空気を吸い込む力が弱く、吸い込み空気量が1 ℓ/分に到らなかった。

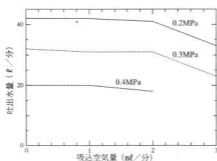


図4 吐出水量

次に、吐出水の状態を観察した結果を示す。

圧力0.2MPaの場合、吸い込み空気量を変えても、空気の塊が混ざった状態の水が排出された。

圧力0.3MPaの場合、空気の塊といっしょに泡を含んでいる状態が観察され、吸い込み空気量を増すと、泡の量が増えたが、白濁はしなかった。

圧力0.4MPaの場合吐出水はわずかに白濁した。

圧力を変えると、吸い込み空気量が一定でも、吐出水量が変化した。したがって吸い込み空気量が一定でも、水1 ℓ当たりに混入した空気量は異なることになる。そこで、気泡測定実験では、水1 ℓ当たりに含まれている空気の量 (ml) に換算して検討した。

3.2 気泡測定実験

以上の結果から、吸い込み空気量が多いほど、圧力が高いほど泡の発生量が多いため、これらの条件で詳細に実験を行った。

3.2.1 気泡量測定

吸い込み空気量と圧力を変えて気泡量測定実験を行った。貯圧装置を付けない場合は大きな空気の塊がほとんどで、気泡量測定装置に導く配管中に空気の泡が詰

まり、気泡量の測定ができなかった。したがって、貯圧装置を付けた場合の、吸い込み空気量と圧力を変えて気泡量を測定した。結果を図5、図6に示す。

図5は圧力0.3MPaで、吸い込み空気量を1, 2, 3 ℓ/分と、変化させた場合の、供給空気量 (= 吸い込み空気量 / 吐出水量) と全空気量 ((気泡量 + 泡 + 非回収分) / 吐出水量) の関係をプロットしたものである。非回収分とは、供給した空気量から気泡量測定装置で測定した空気量との差で、貯圧装置の中に残っているものと考えられる。

供給空気量が増えるに従って、泡と非回収分が増える。気泡部分は2 ℓ/分が一番多く、吸い込み空気量を増やすと減って減少する。少し大きな泡でも多量にほしい場合は吸い込み空気量は3 ℓ/分が適当であり、小さな気泡が沢山ほしい場合には、吸い込み空気量は2 ℓ/分が適当である。

図6は圧力0.4MPaの場合であるが、泡の部分がない。すなわち、どの実験条件でも、小さな気泡だけが発生した。ただ、吸い込み空気量を増やしても回収した気泡量は変わらず、非回収分が増えるという結果になった。

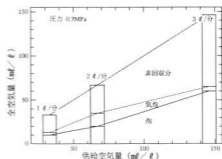


図5 回収した気泡の量

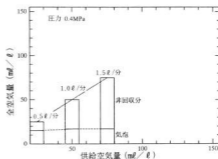
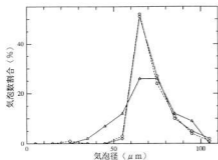


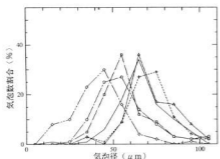
図6 回収した気泡の量



A) 貯圧装置のない場合

- 圧力0.3MPa 吸込空気量 3 ℓ/分
- 圧力0.4MPa 吸込空気量 1 ℓ/分
- △— 圧力0.4MPa 吸込空気量 2 ℓ/分

図7 回収した気泡の径



B) 貯圧装置を付けた場合

- 圧力0.3MPa 吸込空気量 1 ℓ/分
- 圧力0.3MPa 吸込空気量 2 ℓ/分
- △— 圧力0.3MPa 吸込空気量 3 ℓ/分
- 圧力0.4MPa 吸込空気量 0.5 ℓ/分
- ◇— 圧力0.4MPa 吸込空気量 1 ℓ/分
- ×— 圧力0.4MPa 吸込空気量 1.5 ℓ/分

図8 回収した気泡の径

3.2.2 気泡径測定

図7, 図8に気泡径を測定した結果を示す。図7は、貯圧装置の無い場合の測定結果である。貯圧装置のない場合、気泡の数が非常に少ないため、1回の測定操作で顕微鏡の視野に気泡が1つも無い場合があった。何回か測定操作を繰り返し最低10個の気泡径を測定した。測定した気泡径データは0~100μmの間を10等分にし、100μm以上のデータはひとまとめにした。これらのデータを全測定個数で割って気泡割合(%)の形でまとめ、結果をグラフにした。データの数はいくつか少ないが、70μm程度の気泡が測定された。

図8は貯圧装置を付けた場合の、気泡径を測定した結果である。測定した気泡の数は、どの実験条件でも100個以上であった。

圧力が0.3MPaの場合、吸い込み空気量が1 ℓ/分

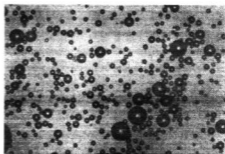


写真1 気泡観察例(圧力0.4MPa, 1 ℓ/分)

と3 ℓ/分の場合は、中心が70μm程度のほぼ同じ分布状態を示している。吸い込み空気量が2 ℓ/分の場合には、気泡径の大きい方にずれている。気泡量についても、吸い込み空気量が1 ℓ/分や3 ℓ/分と比べて量的に多くの気泡がえられた。

圧力0.3MPaの場合の、気泡発生条件は、吸い込み空気量が2 ℓ/分が最適であるといえる。

圧力が0.4MPaの場合、吸い込み空気量を増やすと発生する気泡径が小さくなる傾向がみられる。

ただし図6に見られるように、吸い込み空気量を増やすと非回収分が増えるため、長い時間気泡の発生を続けていると、吐出水の中に、空気塊が含まれるようになる。吸い込み空気量を変えても、発生する気泡量はほぼ同じであることから、気泡径はそこそこでよいが、長時間続けて使いたい場合は、吸い込み空気量を少なくして使う。短時間だけでも、または、空気塊を除くための装置を付加しても、できるだけ小さな気泡がほしい場合には、吸い込み空気量を多くして使うといった、目的に合わせた使い分けが必要になる。

4 結 言

連続的に、しかも特別な付加装置(コンプレッサー等)がなくても微細気泡を発生させることが可能な、微細気泡発生装置の開発を目標に検討を行った。微細穴を利用した気泡発生方式についても検討を行ったが、微細穴の加工ができなかったので気泡発生に到らなかった。ポンプに貯圧部を取り付けた方式で気泡発生実験を行い、次のような結果を得た。

- 1) ポンプで水と空気を吸い込み、貯圧装置を付けた状態で加圧(0.3~0.4MPa)することにより、気泡径が70μm前後の気泡が発生した。
- 2) 圧力が0.4MPaの場合、吸い込み空気量が少ないと、吸い込んだほとんどの空気が微細な気泡で回収された。また、吸い込み空気量を増やすと、発生する気泡の径が小さくなる傾向を示した。

音・電磁波の環境アメニティに適応した多機能材料の開発

吉野信行, 宮野忠文, 関 守雄, 野地英治, 下原 武*, 二羽 一*, 小関孝之**, 太田光雄***

Study for Environmental Amenity (2nd report)

Development of Multi-Functional Material Suitable for Environmental Amenity of Sound and Electromagnetic Wave Interference

YOSHINO Nobuyuki, MIYANO Tadafumi, SEKI Morio, NOJI Hideharu, SHIMOHARA Takeshi, NIWA Hajime, KOZEKI Takayuki and OHTA Mitsuo

Accompanied with improvement of human living environments, the demand for the development of home electronics product with voiceless sound and countermeasure of neighborhood sound noise in environments have rapidly increased. On the other hand, for coming of information society, various kinds of digital machine such as hot water machine giving life water and auto rock door have increased, therefore, it is very important theme to come to grips with the countermeasure both sound acoustical environmental pollution and electromagnetic wave interference emitted from digital machine. From these points of view, in this paper, asphalt and Fiber Reinforce Plastic (FRP) board have been utilized wall materials (to have sandwich structure of component panel, absorption material and FRP) in wooden house and a simplified method of shield performance evaluation using Cut-off cavity have developed and shield materials for electromagnetic wave interference.

キーワード：近隣騒音, 環境アメニティ, サンドイッチ構造

1 結 言

生活環境の向上に伴い、音環境では、静音な家電製品の開発、近隣騒音の解消等の要求が益々高まってきた。一方、情報化時代の到来に伴い、バス、トイレユニット、生活給水等に使用する給湯器、ドアのオートロックユニット、電話、ファクス等様々なデジタル機器の導入が増加し、居住環境の利便性は向上したが、家電製品ユニット間の電磁波干渉、人体電磁波傷害に関する対策も必須となり、居住環境で音・電磁波両面での環境アメニティ化が重要な課題になってきた。既発表¹⁾では、音環境のアメニティ化に留意し、アスファルトを木造住宅の床衝撃緩衝材として商品化の見通しを得た。

本報告では、音環境に関し、アスファルトを鉄筋スラブの床材、木造住宅への利用としてコンポーネントパネル・アスファルト・吸音材・FRP材のサンドイッチ構造を持つ壁材 (FRPバス・トイレユニットの壁に使用) に利用し、製品化の見通しを得た。さらに、将来、FRPバスユニットの高静音化を図るため、現状でのFRPバスユニットの音源対策に関し、給水音

の改良について検討した。電磁環境に関しては、EMI規格に準拠した簡易シールド評価システム (カットオフ空洞²⁾の利用) を試作し、アスファルト材にシールド (導電性材料の混入、導電性塗料のコーティング等) 性を持たせ、そのシールド性能評価を行った。

2 アスファルトの床、壁材への実用化について

2.1 アスファルトの床衝撃試験

既発表では、アスファルトを木造住宅の床衝撃緩衝材への利用に関し、模擬実験を残響室法を用いて行った。本報告では、その成果を踏まえ、残響室法で鉄筋スラブ (2000×2000×150 (mm)) 上に、フローリング (15 mm厚)、アスファルト (9 mm厚) を設置した場合、軽量床衝撃試験を行った。図1にその結果を示す。●はスラブのみの場合、+はフローリング、アスファルトの場合、■はその減衰量が5dBから30dBの効果を示す。

次にアスファルトを実際の木造住宅の床衝撃緩衝材として使用した。写真1に木造住宅2階での重量床衝撃試験の現場を示す。

図2にその結果を示す。●はフローリング・床、+はフローリング・アスファルト・床の測定値、■はそ

*アイ化学工業㈱, **大協㈱, ***近畿大学工学部

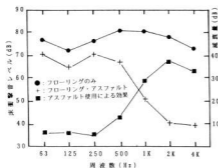


図1 鉄筋スラブ上でのアスファルトの軽量床衝撃試験 (残響室法)

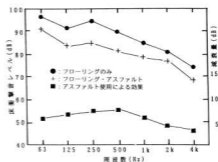


図3 木造住宅における重量床衝撃試験結果

次に、アスファルトを壁材に応用し、残響室法で透過損失を測定した。図4は、その測定結果である。●は、コンポネントパネル・アスファルト・吸音材（ポリエステル繊維）・FRPのサンドイッチ構造の壁材の透過損失を示す。■は吸音材を空気層に変えた測定結果である。その透過損失は250Hzから4kHzで30dBから50dBの値を得ている。吸音材挿入による透過損失が空気層の場合と比較し良好な結果を得ていることが確認できる。

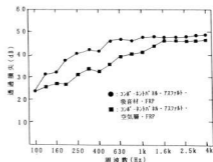


図4 アスファルト、FRP等サンドイッチ壁材の透過損失測定結果

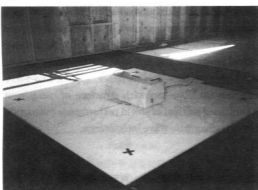


写真1 木造住宅における床衝撃試験現場

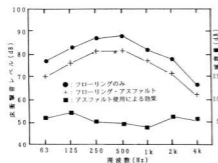


図2 木造住宅における軽量床衝撃試験結果

の減衰量を示し、約アスファルトの効果は5dBである。図3は重量床衝撃試験の場合で、軽量床衝撃試験と同様、アスファルトの効果は約5dBである。

2.2 FRPバスユニットの騒音低減について

近年、FRPバス・トイレユニットは、ホテル、マンションだけでなく、一般の木造住宅でも施工の利便性から普及が多くなってきた。これらの使用にあたっては、近隣騒音が原因となり、バスユニットの騒音対策が重要な課題である。特に、2世帯木造住宅は、上、下室にバス・トイレユニットが使用され給排水音の騒音対策が必要である。これらの背景から、本節では、バス・トイレユニットの給排水音、隣室との騒音低減を目的に、現状でのビジネスホテルのバスユニット給

水音の騒音測定を調査し、騒音対策について検討した。

図5は、トイレ、バスユニット付きビジネスホテルの一室である。バスユニットの主騒音源は、給排水音である。従って、バスタブへの給水法に留意し、①水道蛇口をバスタブの底にむけ給水する場合、②水道蛇口をバスタブの壁面に沿って給水する場合、③水道の蛇口にホースを取付、バスタブの底面で給水する場合について騒音測定した。図6にその結果を示す。

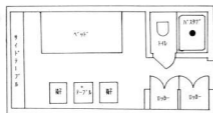


図5 ビジネスホテルの構成

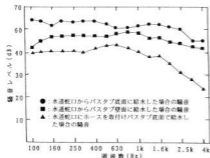


図6 バスタブへの給水音測定

図中●は、①の測定結果、■は、②の測定結果、▲は、③の測定結果、これらの測定から、●よりも■、▲の騒音が低いことが確認でき、給水方法の改善によりバスユニットの騒音対策が可能である。バスユニットと個室との騒音対策については、図4に示すサンドイッチ壁材を使用すれば、かなり騒音低減が図れる。これらの騒音対策法を利用し今後、バスユニットメーカーと共同研究により静音バスユニットの試作を予定している。

3 カットオフ空洞を利用した簡易 EMI シールド性能評価システムについて

3.1 評価システムの理論的背景

一般に、シールド性能評価には、KEC法のように

シールドボックス内に小形の試料を装着し、受信、送信アンテナを対局させ透過電磁波を測定する。これらは電磁波の近傍界を利用するものであり、基材(例えばFRP)にシールド性能を持つ原料(銅、ニッケル炭素等)の配合率の変化、コーティング膜厚変化等の相対評価に有効であり、良く使用されている。

本報告では、EMI規格に準拠した(電波暗室3m, 10m法)簡易EMIシールド評価システム(カットオフ空洞を利用したシールド評価ユニット)を提案し、そのシステムの有効性について検討した。

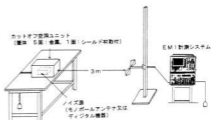


図7 簡易EMIシールド評価システムの概観

図7にシステムの概観を示す。これらの理論的背景を以下に示す。一般に、シールド材として使用される筐体には、筐体寸法によって制約される共振周波数を有し、真空中の波数を k_0 とし、筐体全面の幅を a とすれば、その伝搬定数 β は次式で表示される。

$$\beta = (k_0^2 - (\pi/a)^2)^{1/2} \quad (1)$$

ただし、 $k_0 = 2\pi f/c$ である。

筐体の共振を避けるためには、(1)式の $\beta \leq 0$ の条件を満たす必要がある。従って、カットオフ周波数 f_c は、次式で表示される。

$$f_c = c/2a \quad (2)$$

ここで、 c は光の速度である。(2)式でカットオフ周波数 f_c を400MHzとすると筐体幅 a は、0.375mである。

本システムで使用した筐体幅は、0.24mであり、 f_c は400MHz以下であれば、 $\beta \leq 0$ の条件を満たす。従って筐体内部でモノポールアンテナから発生する電磁波は、カットオフ周波数内で指数関数的に歪なく減少していく。このシステムは、電波暗室内で雑音源を挿入した筐体(18リットル缶)、受信アンテナで構成され、通常のEMI規格に準拠した測定環境でシールド性能評価ができる。シールド性能測定に関しては、筐体内に雑音源(モノポールアンテナまたはデジタル制御装置)を挿入し、30MHzから400MHzの周波数領域で雑音を発生させ、筐体前面パネルを開放し電界強

度を測定する。次に前面パネルに各種シールド材を取付、電界強度を測定し、前者との電界強度差でシールド性能を測定する。

3.2 評価システムを用いたシールド性能測定結果

図8～11に測定結果の一例を示す。図8は、筐体前面パネルを開放にした場合、30MHzから300MHzの周波数領域でモノポールアンテナから発生する電界強度は、ほぼ一定である。これらの値をノイズ源とし、筐体前面パネルに各種シールド材を取付け、シールド性能を比較する。

図9は、アスファルト材に酸化銅粉末を混入した場合のシールド材、その電界強度値、30MHzから300MHzであまりシールド性能が向上していない。

図10は、アスファルト材に炭素粉末を混入した場合のシールド材、200MHz近傍でシールド性能が低下している。図11は、アスファルト材に銅の導電性塗料をコーティングした場合のシールド材、その電界強度値は、電波暗室内のバックグラウンドノイズに等しい。これらの測定結果から、本評価システムを使用することによりシールド性能の評価ができることが分かる。

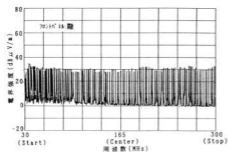


図8 評価システムを用いた各種シールド材の電界強度値

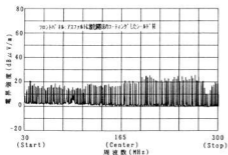


図9 評価システムを用いた各種シールド材の電界強度値

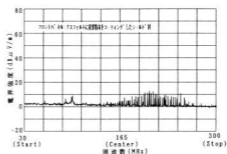


図10 評価システムを用いた各種シールド材の電界強度値

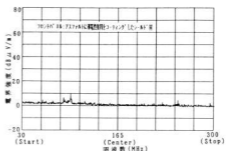


図11 評価システムを用いた各種シールド材の電界強度値

3 結 言

本報告では、音環境で、アスファルト材を鉄筋スラブ床の軽量床衝撃緩衝材に使用し、250Hzから4kHzで5dBから30dBの減衰量、木造住宅床では軽量、重量床衝撃緩衝材に使用し、両方とも5dBの減衰量、コンポーネントパネル・アスファルト・吸音材・FRPのサンドイッチ構造の壁材で100Hzから4kHzで30dBから50dBの透過損失を得た。また、FRPバスユニットの騒音低減の提案について検討した。

電磁波環境では、EMC実環境で有効な簡易EMIシールド性能評価システムの提案とその有効性を各種シールド材サンプルで性能評価の有効性を確認した。

今後の課題として、FRPバスユニットの静音化、シールド評価システムの信頼性向上に取り組み、筐体の開発事前段階で使用したい。

文 献

- 1) 吉野他, 広島県西部工技研究報告, 38(1996), 91
- 2) 藤沢, 電子通信学会編, マイクロ波回路, コロナ社, 1976

電子回路のノイズ対策とEMC評価

宮野忠文, 関 守雄, 吉野信行, 野地英治, 久能浩二*, 下原 武**

Study on Shield Technique of Electromagnetic Interference (3rd Report)

The Experimental Consideration and EMC Evaluation for Noise Countermeasure of Electronic Circuits

MIYANO Tadafumi, SEKI Morio, YOSHINO Nobuyuki, NOJI Hideharu, KUNO Koji and SHIMOHARA Takeshi

In this paper, concerning electromagnetic noise emitted from electronic circuit such as signal line and power line, a relational between noise in signal line and radiated emission from signal line and effect using EMI suppression parts in signal line is firstly considered.

Furthermore, in connection with EMI shielding, the validity of EMI shielding estimation system proposed reference 1 has been confirmed using EMI shielding samples of Asphalt.

キーワード: EMI, 電磁波放射, 雑音低減

1 緒 言

公知のごとく, ヨーロッパでは, 1996年1月から, ヨーロッパ統一規格 (EN規格) による工業, 科学, 医療分野の機器に関する電磁波妨害規格 (EMIおよびイミュニティ) が施行され, 各種制御機器の輸出企業にとって, 電磁波妨害規制を満足した機器開発が必須となった。国内においても情報処理機器関連では, VCCI等自主規制のEMI規格に加えて, イミュニティ規制も対象となってくる, 従って, 企業の技術者に取っては, これらの規制を把握した上で各種制御機器の開発が望まれる。一般にデジタル素子を用いた制御機器の開発は, 設計から製品開発に至る段階での回路のノイズ対策および筐体の電磁波吸収, シールド対策両面で行われる。

このような背景を踏まえ, 本報告では, 回路のノイズ対策に関しては, 信号ラインのEMI対策に留意し回路にEMI対策部品を使用した場合, 信号ラインから放射ノイズがどのように低減されるか, また信号ライン中の信号と放射ノイズの関連について考察した。結果として信号ラインの信号に含まれるスペクトラムと信号ラインから放射されるノイズのスペクトラムはほぼ一致していると考えられ, 信号ラインの信号に含まれるスペクトラムをEMI対策部品などにより抑制することによって放射ノイズの低減も図られることを確認した。筐体のシールド対策に関しては, 文献¹⁾で試作した簡易EMIシールド評価システム (カットオ

フ空洞ユニット) を用い, 電波暗室内で, アスファルトに導電性塗料のコーティング等の処理を施したサンプルについて, シールド効果の測定を試み, 実電磁環境で筐体開発過程における事前シールド評価ができることを確認した。

2 回路のEMIノイズ対策について

2.1 EMI対策部品の性能評価

まず, EMI対策部品の性能評価を以下の2つの項目について行った。使用したEMI対策部品は, ①フェライトビーズ, ②分布定数型フィルタである。

2.1.1 挿入損失特性の測定

図1のような測定システムを用いて, 市販のEMI対策部品の挿入損失について測定を行った。発信器とスペクトラムアナライザを同軸ケーブルで接続し, 発信器の出力端にEMI対策部品を挿入し測定を行った。測定周波数範囲は, 30MHzから1000MHzとした。

2.1.2 放射ノイズの減衰特性の測定

図2のような測定システムを用いて, EMI対策部品による放射ノイズの減衰特性について測定を行った。発信器からの出力を同軸ケーブル, BNCコネクタを介して長さ1mの信号ラインに接続しその終端を50Ω抵抗とした。信号ラインの詳細図を図3に示す。EMI対策部品の挿入箇所としては発信器の出力端とした。発信器からの信号によって放射される電磁波を横浜島テクノプラザの大型電波暗室で測定した。測定周波数範囲は30MHzから1000MHzまでとした。

*バブ日立工業㈱, **アオイ化学工業㈱

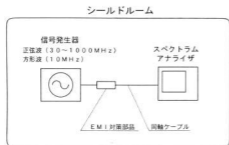


図1 挿入損失測定図

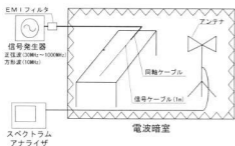


図2 放射ノイズの減衰特性測定

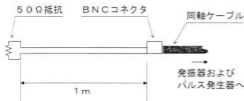


図3 信号ラインの詳細図

2.2 パルス信号に対するEMI対策部品の効果

ここでは、パルス信号に対するEMI対策部品の効果を検討した。パルス信号の発信周波数は10MHzとし、EMI対策部品として測定2.1と同様に①フェライトビーズ、②分布定数型フィルタを使用した。

2.2.1 挿入損失測定

図1のような測定システムを用いて、EMI対策部品のパルス信号に対する挿入損失について測定を行い、パルス発生器の出力端にEMI対策部品を挿入して測定した。

2.2.2 放射ノイズ減衰量測定

図2のような測定システムを用いて、パルス信号印加時におけるEMI対策部品による放射ノイズ減衰量の測定を行った。ケーブルは測定2.1.2で用いたもの

を使用した。EMI対策部品の挿入箇所としては、測定2.1.2と同様にパルス発生器の出力端とした。

2.3 測定結果および考察

測定2.1、2.2について、①フェライトビーズでの測定結果を図4、②分布定数型フィルタの測定結果を図5に示す。測定結果はEMI対策部品を挿入しない場合を0とした場合のEMI対策部品挿入時の減衰量を周波数ごとにプロットしたものである。これらの結果を見ると挿入損失特性(▲)と放射ノイズの減衰特性(●)は、ほぼ一致していることが分かる。図6は、10MHzのパルス信号のスペクトラムとその時の信号ラインからの放射ノイズのスペクトラムを示したものである。図7はパルス信号印加時の分布定数型フィルタを挿入した場合における信号スペクトラムと放射ノイズのスペクトラムを示したものである。

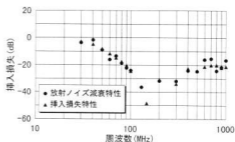


図4 フェライトビーズによる減衰特性

これらの結果から信号ライン中の信号スペクトラムと信号ラインから発生する放射ノイズのスペクトラムは一致していること、およびEMI対策部品の挿入することによって信号ラインを流れる放射ノイズを低減できることが確認できる。しかしながら、EMI対策部品を使用することによって放射ノイズを抑制できる反面、信号であるパルス波形への影響が考えられる。ここでは、それについて検討を行う。写真1、写真2はEMI対策部品①、②を用いた場合の波形を観測したものである。写真1、写真2において上段の波形は対策部品の入力前、下段波形は出力後の波形である。部品①、②のどちらも入力波形に対して出力波形のなまりが観測される。このようにEMI対策部品を使用する場合は元の信号の波形を崩さないようなEMI対策部品の選択が必要である。これらの基礎的実験は、回路のノイズ対策に関する一部であるが、制御装置の各種インターフェースケーブルのノイズ対策に有効である。

特に、信号ラインから発生するノイズの周波数帯域、

スペクトラムの電界強度が分かる場合、メーカーのEMI対策部品のデータシートを事前に調査することにより、信号ラインから放射されるノイズ低減の推定ができること、またEMI規制を遵守すべきノイズスペクトラムの電界強度に対応した対策部品の選択が可能であり、ノイズ対策のコスト低減にも有効である。

3 簡易EMIシールド性能評価システムの実験結果

本節では、試作した簡易EMIシールド性能評価システム¹⁾についての実験結果について述べる。

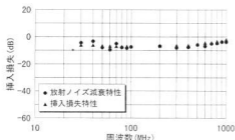


図5 分布定数型フィルタにおける減衰特性

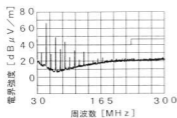


図6 信号ラインからの放射ノイズ
(10MHzパルス印加対策部品未挿入)

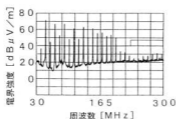


図7 信号ラインからの放射ノイズ
(10MHzパルス印加：分布定数型フィルタ挿入)

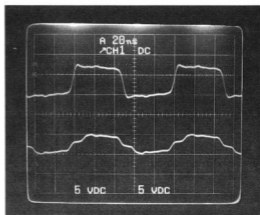


写真1 フェライトビーズ使用時の波形変化
上段：入力前 下段：出力後

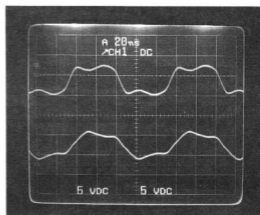


写真2 分布定数型フィルタ使用時の波形変化
上段：入力前 下段：出力後

写真3は、簡易EMIシールド評価システムの概観を示す。シールド性能評価に関しては、筐体内のノイズ源として、デジタル制御装置を用い、筐体前面にシールド材を取付け、EMI規制3m法によって電界強度を測定しシールド性能を評価する。図8～図11は、広島テクノプラザの電波暗室で測定した結果である。図8は、システムの前面パネルを開放した場合、図中●のピーク値をデジタル制御機器から発生するノイズ源として、図9、図10、図11のシールド材の性能を比較する。図9は、鉄製のシールド材(缶の蓋)を前面パネルに使用した場合(完全シールド)、その電界強度測定値は、バックグラウンドノイズに等しい。図10は、アスファルトに酸化銅粉末を混入したシールド材を前面パネルに取付けた場合、その電界強度測定値は、200MHz近傍でシールド性能が低下している。図11

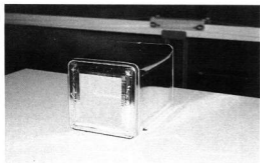
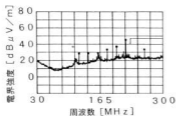
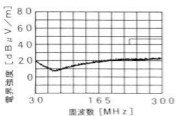


写真3 簡易EMIシールド評価システムの概観



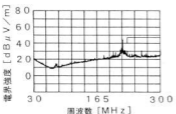
フロントパネル：開放

図8 簡易EMIシールド評価システムを用いた電界強度測定結果



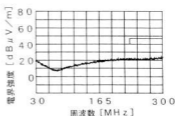
フロントパネル：鉄板シールド材

図9 簡易EMIシールド評価システムを用いた電界強度測定結果



フロントパネル：酸化銅粉末を混入したシールド材

図10 簡易EMIシールド評価システムを用いた電界強度測定結果



フロントパネル：酸化銅粉末をコーティングしたシールド材

図11 簡易EMIシールド評価システムを用いた電界強度測定結果

は、アスファルトの表面に導電性塗料(銅)をコーティングしたシールド材を筐体前面パネルに取り付けた場合、電界強度値は、図8の場合と同様、バックグラウンドノイズに等しい。これらの結果、本システムを用いることにより、実EMI環境で、シールド材の評価が可能であることが確認できる。

4 結 言

本報告では、まず、回路のノイズ対策に関して、信号ラインにEMI対策部品(フェライトビーズ、分布定数型フィルタ)を挿入した場合の挿入損失と信号ラインにEMI対策部品を挿入し、先端に50Ωで終端した場合の放射ノイズとの関連、同信号ラインにパルス信号を加えて場合のEMI対策部品の効果について検討した。その結果、信号ライン中に含まれるスペクトラムとそこから放射されるノイズのスペクトラムには、相関がありEMI対策部品の挿入により信号ラインから放射されるノイズの対策が可能であることを確認した。次いで、シールド材性能評価に関しては、文献¹⁾で開発した簡易EMIシールド評価システムを使用し、アスファルトに導電性を持たせたサンプルにより、シールド性能を測定し、筐体のシールド材開発に寄与できることを確認した。

終わりに、本研究を推進するにあたり実験に協力頂いた(株)広島テクノプラザ日寺研究員、矢野次長研究員に深謝します。

文 献

1) 吉野他：広島県西部工技研究報告，39(1996)，37

製品設計技術の医学分野への適用に関する研究

坂元康泰, 佐々木憲吾, 長谷川浩治

Study on Mechanical Design and Simulation Technology for the Medical Field.

SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo and HASEGAWA Koji

Mechanical design and simulation technology has been applied to medical field, especially to the analysis of interphalangeal joint and hip joint.

- 1) The 3-D computer models from X-CT film or data from non-contact measurement sensor have been made.
- 2) Stress simulation of these models has been made. The difficulty of that is the joint have a contact with complex surfaces.
- 3) Reproduction model of bone by rapid prototyping and manufacturing equipment have been made.

These technologies are very useful in mechanical field, too.

キーワード: CAE, バイオメカニクス, 生体硬組織, 光造形

1 緒 言

コンピュータ利用による設計・解析技術は、様々な製品に適用され、高度化が進んでいる。この技術を異分野、例えば、医学、福祉、スポーツ、健康産業へ適用することにより、新たな知見、商品アイデアが生まれることへの期待が高まっている。今後、日本が急激な高齢化社会を迎えることから、本技術がこれらの分野に役立つ意義は大きいと思われる。

当センターでは、形状生成技術やシミュレーション技術など、いわゆるCAEに関する研究を進めてきた。これらの技術を医学問題、特に生体硬組織の力学問題に適用したので報告する。

2 研究組織

本研究は医学データの提供と解析結果の評価を岡山大学医学部整形外科学教室が行った。医学的見地からの報告は論文^{1), 2)}にまとめられている。当センターでは、提供された形状測定データ等から解析結果を出力するまでの過程を受け持った。使用した基本解析ツールはSDRC社製I-DEASおよび自作ソフトである。

3 指骨折の成因に関する検討

3.1 目的

指の骨折状況を図1に示す。これは、中節骨が保持され、基節骨から力が加わり、中節骨関節近傍が破損した例である。中節骨の中立軸線と基節骨の中立軸線が交わる角度 α により、破損状況はいくつかに分類さ

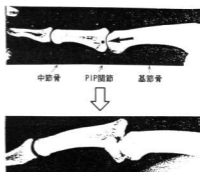


図1 指の骨折状況の例

れている。この角度の違いにより骨折状況が違う原因を骨の力学的視点から明らかにする。

3.2 解析モデルの作成方法

図2に解析モデルの作成手順を示す。まず、骨の形状測定には翰林オピス社製の非接触3次元デジタイザを用いた。測定されたデータは約300点のランダムなポイントデータ(X, Y, Z座標値)であり、これから解析を行う上で必要となる曲面を生成することは困難である。そこで、専用エディタによるポイントデータの整列、断面形状の作成を行い、これらのスキン処理(3次元CAD)により指の骨単体のコンピュータモデルを作成した。そして、基節骨と中節骨が接触した状態の解析を行うため、両者の相対関係(接触点)を見つける必要がある。よって、各骨の接触面のNC加工データの作成と実物形状の10倍のモデル加工を行い、

実測（感触による最もフィットした相対位置の計測）により求めた。この方法は、指関節角度の変化による接触点移動の把握に有効であった。

接触部分の節点間には解析上ギャップ要素を設ける必要があるが、3次元空間上で対応する節点を選択することは困難である。よって、接触した自由曲面の最短節点間にギャップ要素を自動生成するプログラムを作成し、これを利用した。

構成体の物性値は、等方性の骨皮質のみとし、材料係数はヤング率 15000MPa、ポアソン比0.3とし、厚みは一定とした。

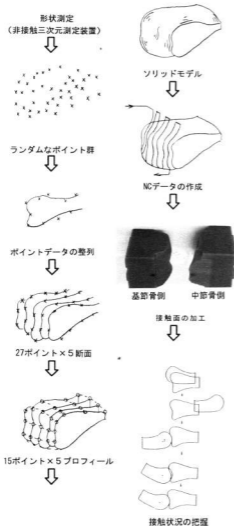
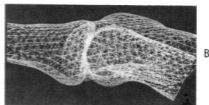
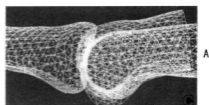


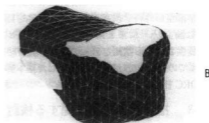
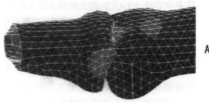
図2 指解析モデルの作成手順

3.3 解析結果

図3に、線形強度解析による結果を示す。相当応力分布から中節骨は基節骨からの力を受け、接触点が2カ所生じていること、また、角度や荷重方向により接触点が移動することがわかった。また、最大主応力分布から、正面から荷重を受けるときは接触部全体で荷重を受けていること、しかし、角度をもつと中節骨接触部の片側で荷重を受け、部分的に応力が高くなり、破損が生じやすいことが推定された。



変形図



応力分布図

関節角度 A=0, B=-17°

図3 指関節部の解析結果

4 股関節の手術法に関する検討

4.1 目的と解析の現状

股関節の応力解析は白蓋形成不全に伴う変形性股関節症の発症、進展の要因のみならず、治療法の選択において重要と言われている。しかし、股関節は骨盤側、大腿骨側とも複雑な形状をしており、解析モデルの作成が非常に困難である。よって、簡易モデルによる解析事例はあるが、実際の形状に近いモデルでの解析事例はなされていないのが現状である。

4.2 解析対象

今回、対象としたのは3股であり、正常股を呈する40歳男性の左股（以下、モデルAと記す）、白蓋形成不全を伴う初期股関節症の女性（以下、モデルB）と、その寛骨回転骨切り術後の右股（以下、モデルC）である。

4.3 コンピュータモデルの作成法

東芝製 TCT-900S を用いて2mm間隔で撮像されたX線CTフィルムをスキャナーでパソコンに取り込み、この画像をもとに外郭形状を構成するポイントデータ（X, Y, Z 座標値）および、これによるBスプライン曲線を得た。この作業は、図4に示す専用の処理プログラムにより、手作業の低減を図っている。得られた曲線群から3次元CADのスキニング処理により、曲面を



図4 X線CTからの外郭抽出用エディタ（画面）

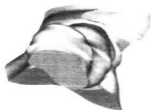


図5 股関節のコンピュータモデル（モデルA）

作成した。モデルAの曲面を図5に示す。本形状は単一方向への断面の集合ではなく、分岐や空洞が存在する。これは市販3次元CADの能力では容易にモデル化できなかった。

4.4 解析手順および結果

コンピュータモデルからメッシュ生成を行い、指関節の解析と同様の方法で接触面にギャップ要素を作成し、これを解析モデルとした。構成体の物性値は指関節と同様に設定した。境界条件は、大腿骨側モデル下面を固定し、白蓋側上面から294Nの力を垂直に下方に加えた。

解析結果を図6に示す。正常股関節（モデルA）において、相当応力は最大で6.3MPaを示した。一方、白蓋形成不全股（モデルB）においては相当応力、接触力ともに一部分に限局し、正常股の約2倍となった。手術後の股関節（モデルC）では、応力分布は正常股に近似した。

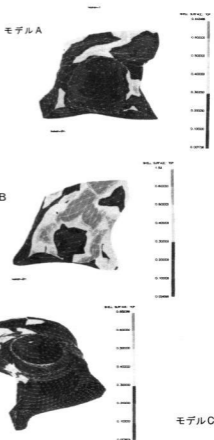
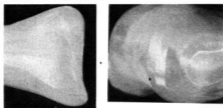


図6 股関節部の解析結果（相当応力）

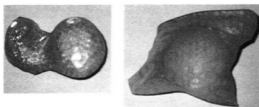
5 光造形装置による複製モデルの作成

生体硬組織の観察は、X線による全体像あるいはX線CTによる断面形状などに限られていた。そして、コンピュータモデルとして生成が可能となれば、ディスプレイ上での形状全体の観察は可能となるが、細部までの把握は不可能である。医学的視点から、生体硬組織を実際に手に取り、自由な方向から眺めたいという要望は高い。

A：指，PIP関節（中節骨，基節骨）



B：股関節（大腿骨，骨盤）



C：上腕骨



図7 光造形装置で作成した複製モデル

よって、X線CTデータから光造形装置による実物形状の複製を作成することを可能とした。

図7に作成したモデルを示す。図7-Aは指（実物の10倍のスケール）で外部委託により作成したもの、図7-Bは大腿骨および骨盤、図7-Cは上腕骨で、当センター光造形装置（3Dシステムズ社製SLA500）で作成した。

BおよびCは形状の複雑性により、CADデータから直接光造形用データに変換することが困難であった。よって、解析用メッシュデータから光造形装置用データに変換するプログラムを開発し、これをもとに作成した。これは、従来、光造形用コンピュータモデルはソリッドモデルでなければならなかったが、サーフェスマデラーあるいは解析ソフトから光造形データの作成を可能とするものである。

6 結 言

当センターで蓄積された形状生成技術やシミュレーション技術を医学の生体硬組織の解析に適用した。これにより、以下が可能となった。

- (1) X線CT，非接触形状計測センサなどのデータ（実物形状データ）から、コンピュータモデルを作成すること
- (2) 生体硬組織の強度シミュレーション
- (3) 光造形装置による実物形状の複製の制作

今回、対象とした部位は指関節と股関節である。この特徴は、生体硬組織がもつ「自由曲面」性であり、コンピュータモデル作成の困難性と、曲面間の接触を考慮した解析を行うことの煩雑性である。そして、この過程で開発されたツールや得られた技術は機械設計分野においても有効であり、現在、利用されている。

文 献

- 1) 橋詰，坂元他：日本臨床バイオメカニクス学会誌，15(1994)，275-278
- 2) 小林，坂元他：日本股関節学会誌，21(1995)，462-465

コンピュータグラフィックスの基本共有化モジュールの開発

長谷川浩治, 佐々木恵吾

Development of Generalized Computer Graphics Module by Object Oriented Programming.

HASEGAWA Koji and SASAKI Kengo

We made a computer program to visualize the object on display. This program that is hard effected by the environment of computer system. The methods of displaying the object are line, surface, flat shading and smooth shading. We made this program by using OPEN-GL (Graphics Library) on GWS (Graphics Work Station) of Silicon Graphics Corporation and the object oriented programming.

キーワード: CG, OPENGL, オブジェクト指向

1 緒 言

グラフィックスワークステーションの低価格化, 高機能化に伴いコンピュータグラフィックス (CG) は今日では特別な技術ではなく, 景観評価や商品開発の際のプロトタイプの評価, 屋内の照明設計等を行う際に必要不可欠な技術となってきた。グラフィックスを利用したプログラム開発の問題点としては, グラフィックスを利用する環境 (コンピュータ, OS, ライブラリ等) の変化によって, 今まで作成したプログラムの再利用が困難となり, 開発効率の低下を招く問題が挙げられる。そこで, コンピュータの環境に左右されにくいグラフィックスのモジュールを構築することで, 今後のプログラム開発期間の短縮を図る。

プログラム開発においては, システムの肥大化に伴い, 新たな機能をシステムに追加する場合に, ソースコードの解説が必要となる場合が多々見受けられ, そのことにより開発効率の低下を招いている。更にシステムを構築する上で, プログラムの細分化や独立性が考慮されていないために, プログラムの再利用が容易に行えないことも開発効率の低下の原因となっている。このような問題に対する解決策として, オブジェクト指向技術が注目されている¹⁾。

そこで, 本研究は OPENGL グラフィックス・システムを使用し, 開発言語として C++ 言語を使用しオブジェクト指向的なアプローチにより設計, 開発を行うことで以上の問題点を考慮した, 物体を描画するための基本的なモジュールを開発した。

2 モジュールの仕様

開発を行うモジュールの仕様としては, コンピュー

タの環境に左右されにくいことが挙げられる。そこで, OPENGL グラフィックス・システムを利用して開発を行った。この OPENGL グラフィックス・システムは, グラフィックスライブラリとしてワークステーション上で標準でサポートされつつあり, パソコン上でも動作することが可能となってきたライブラリである。開発言語としては, オブジェクト指向的なアプローチに基づいたプログラム開発が行いやすい C++ 言語を使用した。これらの使用により, 拡張性, 再利用性に富み, コンピュータの環境に左右されにくい物体の描画モジュールの作成が行える。

2.1 仕様

コンピュータグラフィックスを利用した物体形状の表示方法として, 物体を多角形で表現する方法がよく使われる。曲面を含んだ場合にも, 物体形状を多角形で近似して光源を考慮したシェーディングを施すことにより曲面に見せる方法をよく使用する。このような方法によって表現することで, ある程度, 実用的な曲面の高速表示を行うことができる。

本モジュールは, 上記のように光源を考慮したシェーディングを利用して, 多角形で表現される物体形状の表示を行う。シェーディングの種類を表 1 に示す。表 1 に示すシェーディング方法は, 多角形パッチの各頂点に法線ベクトルを割り当て, 光源を考慮した多角形表示を行う方法と, 多角形自体に法線ベクトルを割り当て光源を考慮した多角形表示を行う方法となっている。

表 1 物体の表示方法の種類

両 面	フラットシェーディングを行ったもの
	グローシェーディングを行ったもの
	線 面

2.2 モジュールの構成と処理

本モジュールの構成としては、大きく分けて物体データ保持部分、可視化処理部分、パラメータ保持部分で構成されている。それぞれの処理部分を以下に説明する。

物体の形状データの保持部分—物体を構成する面や面を構成する頂点データ（面番号、頂点番号、面を構成する頂点の座標値、頂点や面の法線ベクトル等）を保持しデータの入出力を行う部分である。

可視化処理部分—保持している物体の形状データを可視化（線画、面画）する部分。表示を行うためのウィ

ンドウの処理はOPENGLではサポートされていないため開発機器上でサポートしている補助ライブラリーを使用して作成している。

パラメータの保持部分—物体の可視化を行う時に必要なパラメータ（視点位置、視野の角度等）を保持しそのデータの入出力を行う部分である。

以上の3つの部分からモジュールを構成し各クラス設計を行った。そして、これらの各クラスによって行った各表示例を図1～図3に示す。

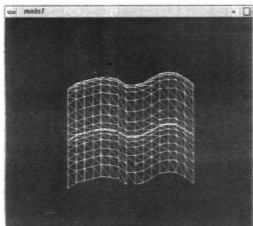


図1 三角形パッチで構成される曲面のライン表示

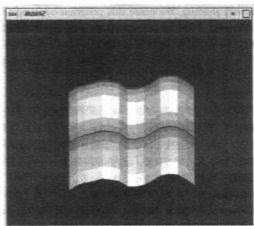


図2 三角形パッチ（エレメント）に対して光源処理を施しフラットシェーディングを行った場合の表示例

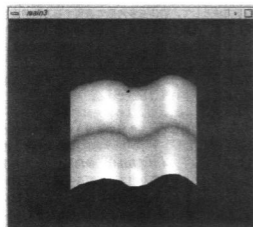


図3 三角形パッチ（ノード）に対して光源処理を施しグローシェーディングを行った場合の表示例

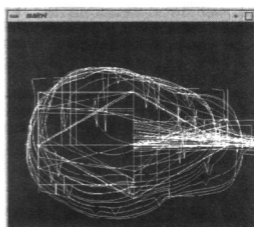


図4 ライン表示を利用して工具軌跡を表示した例

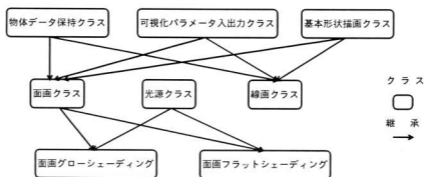


図5 モジュールのクラス構成

なお、表示を行った物体については、三角形パッチにより曲面を構成したデータであり、線画及び光源を考慮したフラットシェーディング、グローシェーディングを施した表示例である。図4については、NCマシンでよく使われるGコードデータ（切削工具の軌跡等が記述してあるデータ）を本モジュールの線画クラスを利用して表示した例である。

3 モジュールのクラス構成

緒言で述べたプログラム開発上での問題点を極力防ぐ意味で独立性や再利用性を考え、プログラムを細分化し継承を用いてモジュールのクラス設計を行った。モジュールのクラス構成を図5に示す。

図5はモジュールのクラス構成であるが、可視化をするために必要なパラメータ（視点等）のデータを保持するクラス、物体の形状データを保持するクラス、更には基本形状である多角形パッチを描くクラス等、物体形状をディスプレイ上に表示するために最低限必要なものを用途ごとに分割し、基底クラスとしている。そして、そのクラスを継承する形で最終的に光源を考慮した物体表示を行う派生クラスを作成している。

クラス構成としては、各処理の共通部分を抜き出す形で基底クラスを設計し、継承を用いて機能追加を行った派生クラスを作成する階層的なクラス構成としている。このように、クラスを細分化してプログラムを作成していくことで独立性が増し、各クラスの再利用が容易となり拡張性が増すと考えられる。例えば、新しい表示機能を追加する場合、図5における面画クラスや線画クラスに対して、継承を用いる形でのクラス作

成を行うことにより、コンパクトな形で機能追加が容易となる。その他、異種データフォーマットの読み込み部分を新たに追加作成する場合等には、ポリモーフィズムの利用や、クラスの細分化を行うことが、開発期間の短縮を図る場合の有効な手段になると考えられる。

4 開発環境

開発環境としては、シリコングラフィックス社のグラフィックスワークステーション（Indy）上で開発を行い、OPENGLグラフィックス・システムとC++言語を利用して開発した。

5 結 言

OPENGLを利用し、グラフィックスの基本的な描画に利用できるモジュールの開発を行った。OPENGLを利用することでコンピュータの環境の変化に左右されにくいモジュールの開発が行えた。更にC++言語を使用しオブジェクト指向的なアプローチをとることで保守性、拡張性の富んだモジュールの開発が行えた。細分化、独立性を考慮することで、各クラス間でのオーバーヘッドが多くなる問題が挙げられ高速な描画が必要な場面での対処方法が問題として挙げられる。今後、更にモジュールの拡張を行う必要がある。

文 献

- 1) 島田：広島大学大学院工学研究科，平成5年度修士論文

走査プローブ顕微鏡による加工面の表面物性評価

松垣和生, 打田澄雄, 村河亮利, 中塩武之

Evaluation about Physical Property of Processed Surface by Scanning Probe Microscopy

HIGAKI Kazuo, UCHIDA Sumio, MURAKAWA Akitoshi and NAKASHIO Takeyuki

SPM (Scanning Probe Microscopy) is used to measure the very flat surface for that high vertical resolution ability. So, tried to evaluate about surface unevenness by using SPM. And identified that hydrogen-terminated silicon surfaces show near by index distribution structure.

And more, got the image at the grown processes of thin metal film in wet etching by using EC-AFM (Electro-Chemical Atomic Force Microscopy), and identified that the thin metal film grew as like to form island.

キーワード: 走査プローブ顕微鏡, 表面あらし, エッチング, 薄膜

1 結 言

光導波路, 半導体集積回路等各种デバイスに利用される薄膜表面の凹凸は, その性能を評価するうえで重要な要因である。光デバイスの作成において薄膜表面の平坦性は光の伝搬, 反射等に大きく影響を及ぼす。

このため, 例えば, H F 処理によるシリコンウエハへ変性表面の平坦化の試み^{1), 2)}等, 電子材料に形成された薄膜の平坦化の研究は積極的に行われている。

薄膜表面の凹凸評価には光散乱法, S T M (走査トンネル顕微鏡) 法, 干渉計法等が試みられている^{3), 4)}。すなわち, 表面凹凸の振幅と横相間距離か

ら光散乱強度を推定する方法について検討⁵⁾がなされている。

このように薄膜表面の凹凸を統計的に評価することにより, 薄膜表面での光の減衰, 輻射, 薄膜欠陥等の重要な情報を得ることが可能となっている。そこで, AFM (Atomic Force Microscopy: 原子間力顕微鏡) を使用して物理的, 化学的に処理された試料表面の凹凸を直接測定することによって, 薄膜表面の凹凸を評価する方法について検討する。

2 実験方法

走査プローブ顕微鏡はデジタルインストルメンツ社製 NanoScope III を使用した。主な仕様は表 1 に示す。また, 電気化学 A F M で使用した液体セルおよび液体中での A F M 観察装置の外観を図 1 に示す。

表 1 A F M (原子間力顕微鏡) の仕様

スキャナ	最大スキャンエリア	0.7 μm^2	(A スキャナ)
		12.0 μm^2	(D スキャナ)
		125.0 μm^2	(J スキャナ)
	最大スキャン高さ	0.7 μm	(A スキャナ)
		4.4 μm	(D スキャナ)
		5.0 μm	(J スキャナ)
機械分解能 (水平, 垂直)	0.01 nm	(A スキャナ)	
	0.1 nm	(D スキャナ)	
	0.1 nm	(J スキャナ)	
カンチレバー 材 質	Si 単結晶		
	Si_3N_4		
	バネ定数	0.2 N/m	(Si 単結晶)
		0.58 N/m	(Si_3N_4)
	先端形状	テトラヘッドラル	(Si 単結晶)
		ピラミダル	(Si_3N_4)
	先端径	10 nm	(Si 単結晶)
		35 ~ 40 nm	(Si_3N_4)

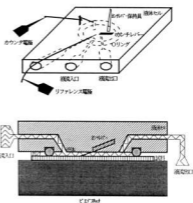


図 1 液体セルおよび流体中での A F M 観察

表2 電解水生成器の仕様

定格電流	0.6A
給水	純水、精製水、水道水
性能	酸化水 : pH 2.46 ~ 2.75(実測値)
	アルカリ還元水 : pH 11.69 ~ 11.90(実測値)

表3 電気化学AFMの仕様

記憶容量	6,000 Data Points
	サンプルレート 10Hz で 100minutes
供給電圧	-4,500 ~ 4,500mV
測定電流	-450 ~ 450 μ A
最大視野	130 μ m 角
液量	50 μ L

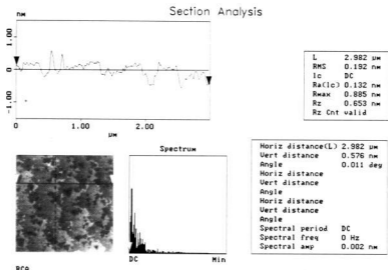


図2 RCA洗浄後、フッ化アンモニウムで処理したシリコンP(111)の断面プロフィール

試料はシリコンウエハP(111)をRCA洗浄および電解法で得られる酸化水、アルカリ還元水による洗浄を行った後、フッ化アンモニウム(40%)で処理した。電解水生成器の仕様を表2に示す。

電気化学AFMによるウェットエッチングにおける電気化学反応の、その場観察には基板をHOPG(Highly Oriented Pyrolytic Graphite)を使用し、これをワーキング電極として、白金をカウンター電極、鉛をリファレンス電極として、PbO溶液中でPbがHOPG表面に電析、溶解を繰り返す過程を観察する。

溶液は0.1モルの過塩素酸(HClO₄)に0.05モルの酸化鉛(PbO)を溶解した液で、過塩素酸は無関係電解質としてイオン強度を一定に保つために使用する。

電気化学AFMの仕様を表3に示す。

3 実験結果

3.1 化学処理したシリコンウエハ表面のマイクロラフネス

RCA洗浄および電解法で得られる酸化水およびアル

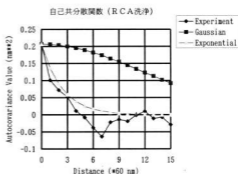


図3 シリコンP(111)水素終端面の断面プロフィール(図2)から求めた自己共分散関数

カリ還元水の組み合わせによる洗浄後、フッ化アンモニウム(40%)で処理した試料について、AFMで測定した試料の断面プロフィールを図2に示す。

この断面について共分散関数を導入し、表面凹凸について解析する。

自己共分散関数 (Autocovariance Function) は次式で定義される。

$$Cg(x) = d^2 \exp\left(-\frac{X^2}{L}\right) \quad (4)$$

(指数分布)

$$Pe(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left(-\frac{1}{\alpha} x\right) \quad (5)$$

$$Ce(x) = d^2 \exp\left(-\frac{\sqrt{2}}{L} X\right) \quad (6)$$

$$C_{xx}(P) = \lim \frac{1}{T} \int (x(t) - \mu_X)(x(t+p) - \mu_X) dt \quad (1)$$

ただし,

$$\mu_X = \lim \frac{1}{T} \int x(t) dt \quad (2)$$

で, μ_X は $x(t)$ の平均値である。

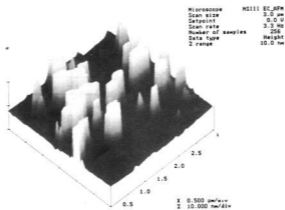
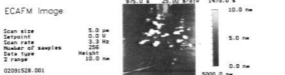
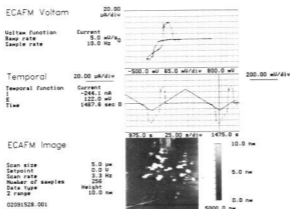
また, 分布がガウス分布となる場合と指数分布となる場合について, 分布密度 $Pg(x), Pe(x)$ および共分散関数 $Cg(x), Ce(x)$ は次式で示される⁶⁾。

(ガウス分布)

$$Pg(x) = \frac{1}{\sqrt{4n\sigma}} \exp\left(-\frac{X^2}{4\sigma^2}\right) \quad (3)$$

ここで, 各式で使用する記号は,

- σ^2, α^2 : ガウス分布, 指数分布の分散
- d : 表面ラフネスの2乗平方根で, 自己共分散のゼロ番目の係数 $C(0)$ に相当
- L : 横相関長
- x : 時系列データの場合のタイムラグに相当である。



02091528.001

図4 PbがHOPG上に析出した状態のボルタモグラムおよび立体イメージ

図2に示す断面プロフィールから得られる自己共分散関数は図3となる。

この結果から、RCA洗浄後、フッ化アンモニウムで処理することにより水素終端されたシリコンP(111)は指数分布に近い表面構造を示すことが確認される。

3.2 電気化学AFMによるウエットエッチングにおける電気化学反応のその場観察

電気化学AFMによる電気化学反応過程の測定において、Pbが電析した状態のイメージを図4に示す。

図はいずれも3 μ mのエリアを観察したもので、掃引電圧の可変速度(Ramp Rate: 5mV/s)、掃引電圧(-500~800 mV)である。なお、図4は一定時間間隔で連続的にイメージを取り込んだ一部を示すもので、連続観察の結果から、Pbが電析した状態と溶解が掃引電圧によって交互に進行しており、電析は基板の部分的な核を中心として島状に成長することが確認される。この場合、反応はポテンシャルが負の状態で行き、電析と溶解が可逆的に進行している。

また、得られるボルタモグラムからPbが析出および溶解するときの酸化および還元電流のピーク値は約60 μ Aである。

この結果から、電気化学AFMを使用することによって、ウエットエッチングにおけるボルタモグラムと関連づけられるイメージが得られ、電気化学反応の、その場観察が可能であることが確認された。

4 結 言

走査プローブ顕微鏡により、化学的に処理されたシ

リコンウエハー表面の測定および電気化学AFMによるウエットエッチングの電気化学反応過程における表面形状測定から得られた結果を総括するとつぎのとおりである。

- (1) RCA洗浄および電解法で得られる酸化水、アルカリ還元水による洗浄後、フッ化アンモニウムで処理したシリコンウエハP(111)について、AFMで得られる表面形状について、共分散関数を求め評価を行った結果、指数分布に近い表面構造を示すことが判明した。
- (2) 基板表面の電気化学反応過程における電析と溶解は基板の一部を核として、島状に成長する過程が電気化学AFMの使用によって、イメージとして得られ、ウエットエッチングにおける電気化学反応の、その場観察が可能であることが確認された。

文 献

- 1) 徳本洋志, 森田行則: 固体物理, 404(1993), 28
- 2) 廣瀬全孝: 応用物理, 61(1992), 1125
- 3) 福井萬寿夫, 奥野雄太郎: 応用物理, 61(1992), 1231
- 4) D.Papas, P.D.Sparks, H.Hopster and J.E.Rutledge: J.Vac.Sci.Technol, A6(1988), 415
- 5) Y.Hirano, Y.Naoi, Y.Nagano and M.Fukui: J.P.hys.Soc.Jpn, 60(1991), 4366
- 6) S.M.Goodnick, D.K.Ferry, C.W.Wilmseu, Z.Liliental, D.Fathy and O.L.Krivanek: Phys. Rev, B32(1985), 8171

印刷機械制御用多点デジタル入出力 L S I の開発

馬場祥宏, 水戸博満*, 井谷 優**, 山内 茂***, 打田澄雄, 村河亮利

Development of Multi Ports INPUT/OUTPUT LSI for Printing Machine Controller

BABA Yoshihiro, MITO Hiromitsu, IDANI Masaru, YAMAUCHI Shigeru,
UCHIDA Sumio and MURAKAWA Akitoshi

Printing machine controller operates many actuators such as motors and heaters according to external information got from many sensors such as position, tension, temperature, pressure setting.

On the average one printing machine has 200~300 INPUT/OUTPUT interfaces for connecting sensors and actuators. So that, Printing machine needs many electric parts, many printed circuit boards, much parts cost and much assembly cost.

Therefore we have developed Multi Ports INPUT/OUTPUT LSI PIO124 for Printing Machine Controller. PIO124 has 124 interface bits for Parallel INPUT/OUTPUT and each bit can be set to INPUT mode also OUTPUT mode one by one.

Using PIO124 we can get a high performance Printing Machine Controller with low cost.

キーワード：機械制御, デジタル信号, LSI

1 結 言

印刷機械は、位置合わせ、張力、温度、圧力などの複数のセンサと、モータ、ヒータなど数多くのアクチュエータから構成されており、印刷機械制御コントローラ内の CPU が、メモリ上に格納された制御プログラムに従って、センサから得られた外界情報をもとに、アクチュエータを制御している。

センサ、アクチュエータを接続するための入出力インタフェースは、平均的な印刷機械で200~300点必要であり、現状の印刷機械制御コントローラでは、低集積度の汎用 IC 10~40個を用いて入出力インタフェースを構成している。

このため、部品点数が多く、複数のプリント基板を使用せざるを得ず、装置の大型化、組立調整コスト、部品コストの上昇、半田付け点数の増加による長期使用時の信頼性低下を招いている。

そこで、これらの欠点を解決すべく、1ビット毎に入出力方向指定可能で、かつワンチップで124点のデジタル入出力を実現する専用 LSI(PIO124)を開発した。

2 印刷機械制御用 L S I (PIO124)の概要

開発した印刷機械制御用多点デジタル入出力 LSI(PIO124)の外観を写真1に、全体構成を図1に、

仕様を表1に示す。

印刷機械制御用 LSI(PIO124)は印刷機械の位置合わせ、テンション設定、温度・圧力設定、モータ制御、ヒータ制御等のデジタル入出力を実現する専用 LSI である。この種の LSI としては8点毎に入出力方向指定のできる24点デジタル入出力用 LSI は開発されているが、PIO124は1点毎に入出力方向指定可能で、かつワンチップで124点のデジタル入出力が可能であり、大規模かつ柔軟性に富んでいる。PIO124を用いることで印刷機械制御用コントローラの部品点数の削減、装置の小型化、低コスト化、高信頼性化を実現することが出来る。



写真1 印刷機械制御用 LSI, PIO124の外観

* ㈱メタソフトフジ ** 日本システムデザイン㈱ *** ㈱海陸電波

表1 印刷機械制御用LSI, PIO124仕様

品名	CMOSゲートアレイ		
用途	印刷機械制御用 多点デジタル入出力		
マスタスライス	全面素子形成型14,000ゲート		
プロセス	CMOS 0.8 μ m シリコンゲート メタル2層配線		
使用ゲート数	5943ゲート		
パッケージ	QFP 160ピン		
動作周波数	2MHz		
電源電圧	DC+5.0V \pm 5%		
使用温度範囲	0 ~ 70 $^{\circ}$ C		
CPUインタフェース	A0, CS, RD, WR RES, D0~D7		
通常ロジック駆動用 入出力ポート I _{OL} = 3.2mA	P00~P07, P10~P17, P20~P27 P30~P37, P40~P47, P50~P57 P60~P67, P70~P77, P80~P87 P90~P93 計 76ビット		
ホトカブラ駆動可能 入出力ポート I _{OL} = 1.2mA	PA0~PA7, PB0~PB7, PC0~PC7 PD0~PD7, PE0~PE7, PF0~PF7 計 48ビット		
占有IOアドレス	アドレスレジスタ方式 による2アドレス		
	A0	レジスタ名	
	H	アドレスレジスタ	
	L	データ/コマンドレジスタ	
入出力方向 指定方式	コマンドレジスタによる 1ビット単位指定 コマンドレジスタの対応ビットが 1の場合 データレジスタは入力 0の場合 データレジスタは出力		
レジスタ 番号	データ レジスタ名	レジスタ 番号	コマンド レジスタ
00	P0データ	10	P0コマンド
01	P1データ	11	P1コマンド
02	P2データ	12	P2コマンド
03	P3データ	13	P3コマンド
04	P4データ	14	P4コマンド
05	P5データ	15	P5コマンド
06	P6データ	16	P6コマンド
07	P7データ	17	P7コマンド
08	P8データ	18	P8コマンド
09	P9データ	19	P9コマンド
0A	PAデータ	1A	PAコマンド
0B	PBデータ	1B	PBコマンド
0C	PCデータ	1C	PCコマンド
0D	PDデータ	1D	PDコマンド
0E	PEデータ	1E	PEコマンド
0F	PFデータ	1F	PFコマンド

2.1 入出力ポート

PIO124は、通常ロジックを駆動可能な3.2mAタイプの入出力ポートをP0~P9までの10ポート、ホトカブラを直接駆動可能な12mAタイプの入出力ポートをPA~PFまでの6ポート有する。P9を除く各ポートは8ビット構成、P9のみ4ビット構成であり、通常ロジック駆動用ポートが8ビット \times 9ポート+4ビット=76ビット、ホトカブラ駆動可能ポートが8ビット \times 6ポート=48ビット、合計124ビットの入出力ポートを有している。また、入出力ポートは全て10K Ω プルアップ抵抗が付加されており、入力指定時に外部プルアップ抵抗の追加を不要とした。

2.2 入出力指定方式

入出力方向の指定には、入出力レジスタと同数のコマンドレジスタを内蔵し、コマンドレジスタに書き込む値により、データレジスタの入出力方向を1ビット単位で指定する方式を採用した。

コマンドレジスタの対応ビットが1の時、データレジスタは入力指定、コマンドレジスタの対応ビットが0の時、データレジスタは出力指定である。この設定はソフトウェアにより随時変更可能であり、124ビット全て入力指定から、124ビット全て出力指定まであ

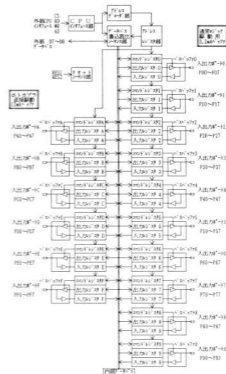


図1 印刷機械制御用LSI, PIO124の全体構成

ららゆる組み合わせでの設定が可能である。

また、リセット時には全ポートとも入力方向になるハードウェア構成をとって出力衝突を回避している。

2.3 アドレスレジスタ方式

PIO124は16個の入出力レジスタと16個のコマンドレジスタを内蔵しており、通常のリニアアドレス方式を採用すると、CPUとの接続に32アドレスを占有し、IOアドレス空間を圧迫する。そこでPIO124では、CPUに接続する場合に必要なIOアドレス空間を最小限に押さえるために、アドレスレジスタに書き込むアドレスにより次にアクセスするデータレジスタを選択する方式(アドレスレジスタ方式)を採用した。アドレスレジスタ方式の採用により、IOアドレス空間の2アドレスのみで、入出力レジスタ、コマンドレジスタ合わせて32レジスタへのアクセスを可能としている。

2.4 CPU インタフェース

CPU インタフェースのうちデータバスは8ビット構成を採用し、組み込み用8ビットマイクロコントローラ、パソコン用16～32ビットCPU、ワークステーション用64ビットCPUにも接続可能とした。

リセット入力は負論理とし、バスのフローティング、ノイズによる誤動作に強い構成を採用した。

これら以外のCPUインタフェースもリードRD、ライトWR、チップセレクトCS、アドレスA0による一般的な構成として汎用性を持たせた。

3 PIO124の動作

3.1 リセットシーケンス

図2にリセットシーケンスのタイミングチャートを示す。リセット入力RESETは最小パルス幅250ns以上の負論理入力により、リセットシーケンスを開始



図2 リセットシーケンスのタイミングチャート

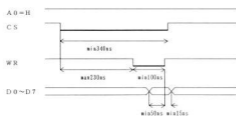


図3 アドレスレジスタ・ライトシーケンス

する。RESET 入力の立ち下がりがエッジから最大100ns以内にリセットシーケンスは完了し、RESET入力以前の状態にかかわらず、データレジスタは全ビット0、コマンドレジスタは全ビット1に初期化される。従ってP0～PFは全て入力状態に遷移する。

3.2 アドレスレジスタ・ライトシーケンス

図3にアドレスレジスタ・ライトシーケンスのタイミングチャートを示す。アドレス入力A0=H、チップセレクト入力CS=L、ライト入力WR=Lでアドレスレジスタ・ライトシーケンスが実行される。

チップセレクト入力CSの最小パルス幅は340nsであり、ライト入力WRはチップセレクト入力CSの立ち上がりから最大230ns以内に立ち下がり、最小100nsの間Lを保持しなければならない。ライト入力WRの立ち上がりエッジで、データバスD0～D7の値がアドレスレジスタに書き込まれるが、書込データを保証するためにはデータバスD0～D7はライト入力WRの立ち上がりエッジの前で最小50ns、立ち上がりエッジの後ろで最小15nsの間データが変化しないことが必要である。

このアドレスレジスタ・ライトシーケンスでアドレスレジスタに書き込まれるアドレスが00h～Fhであれば、次に実行されるコマンドレジスタ/データレジスタ・ライトシーケンスはデータレジスタ・アクセスとなり、10h～1Fhであればコマンドレジスタ・アクセスとなる。

3.3 コマンドレジスタ/データレジスタライトシーケンス

図4にコマンドレジスタおよびデータレジスタ・ライトシーケンスのタイミングチャートを示す。アドレス入力A0=L、チップセレクト入力CS=L、ライト入力WR=Lでコマンドレジスタ/データレジスタレジスタ・ライトシーケンスが実行される。

CS、WR、D0～D7のタイミング関係は、アドレスレジスタ・ライトシーケンスと同一であり、ライ

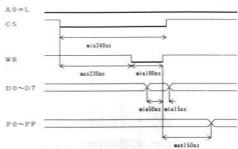


図4 コマンドレジスタ/アドレスレジスタライトシーケンス

ト入力WRの立ち上がりエッジから最大150ns以内にライトデータが入出力ポートP0～PFに反映される。すなわち、本シーケンスがコマンドレジスタ・アクセスであれば出力方向の切り替えが、データレジスタ・アクセスであれば出力指定ビットのHからLまたはLからHの状態変化が完了する。

3.4 コマンドレジスタ/データレジスタリードシーケンス

図5にコマンドレジスタおよびデータレジスタ・リードシーケンスのタイミングチャートを示す。アドレス入力A0=L、チップセレクト入力CS=L、リード入力RD=Lでコマンドレジスタ/データレジスタレジスタ・リードシーケンスが実行される。

チップセレクト入力CSの最小パルス幅は330nsであり、リード入力RDはチップセレクト入力CSの立ち下がりから最大180ns以内に立ち下がり、最小150nsの間Lを保持しなければならない。リード入力RDの立ち下がりエッジから最大100ns以内にコマンドレジスタ・アクセスの場合はコマンドレジスタの値が、データレジスタ・アクセスの場合には入出力ポ

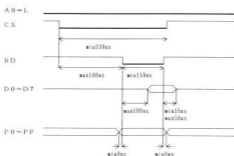


図5 コマンドレジスタ/アドレスレジスタリードシーケンス

トP0～PFの値がデータバスD0～D7に出力される。この値はRD=Lの期間およびRDの立ち上がりエッジから最小10nsの間保持されるとともに、最大50ns後にはハイインピーダンス状態に遷移する。

データレジスタ・アクセスの場合、入出力ポートからの読出データを保証するためには、P0～PFはRD=Lの間変化してはならない。

4 結 言

印刷機械の位置合わせ、テンション設定、温度・圧力設定、モータ制御、ヒータ制御等のデジタル入出力を実現する印刷機械制御専用LSI(PIO124)を開発した。PIO124はワンチップで124点のデジタル入出力が可能であり、かつ1点毎に入出力方向指定可能な柔軟性を有し、印刷機械制御用コントローラの部品点数の削減、装置の小型化、高信頼性が可能となった。

量産時単価は、汎用LSIで構成した場合と部品単価レベルで同程度であり、プリント基板の小型化、組立工数削減を考慮すると、装置レベルでは大きなコストダウンを実現し、十分な競争力と採算性を有する。

現在、PIO124を搭載した印刷機械制御用コントローラ的设计を既に開始しており、平成8年度中には完成の予定である。

また、PIO124は印刷機械制御に限らず、各種工作機械、加工機械、食品機械など多数のデジタル入出力を必要とする分野にも応用可能であり、広い市場が望める。

なお、本研究は、中小企業事業団平成7年度高度化集積等技術開発事業の一部として実施したものである。

マルチメディア対応データベースの開発

打田澄雄, 馬場祥宏, 佐野 誠

Study on Multimedia Applications (1st Report)

Development of Multimedia Database and Tools

UCHIDA Sumio, BABA Yoshihiro and SANO Makoto

We have developed a multimedia database system that treats text, images, sound, videos and the combination of these sources. During the process, we studied the characteristic of various data and have gotten that many kinds of data are necessary to deal with each method. This database system is based on some simple text control files and source data files. Therefore it is very easy to modify the database and keep up with new technologies. We have applied these technique to the published bulletins database of the Western Hiroshima Prefecture Industrial Research Institute and our recent studies. Everyone can use this database through World Wide Web browser.

キーワード: データベース, マルチメディア, インターネット

1 結 言

工場及びオフィス内では文書, 図画, 写真, 指示, 報告など様々な情報が紙やフロッピー, 音声などの媒体で伝達されている。しかし, ますます多様化, 複雑化する状況ではそれらの管理が困難となっており, 統一的な管理が要求されている。また, 分散環境での情報の有効活用を図るため, インターネット等の技術を用いた情報のネットワーク化も課題となっている。

そこで, 文字, 図形, 音響, 映像等の様々な情報を一元的に扱うマルチメディア対応データベース構築の要素技術として, 文字情報, 音声, 写真, 図画等の情報をそれぞれデジタル化するための機器, ソフトの選択, 適用手法等を確立し, 作表支援ツール, 画像表示ツールなどのコンピュータ内へ効率的に保存するとともに容易に利用できるシステムを開発した。また, データの格納形態としてはブラウザと呼ばれるインターネット上のホームページを検索・閲覧するソフトで利用できる工夫を施した。この技術を応用して西部工業技術センターの過去の研究成果報告書の全目次及び最新3年分の研究抄録のデータベース等を開発し, 手法及び性能について検討した。

2 情報の特質

一般に, データベースは特定のデータベース管理ソフトが, JISコードなどで定義される文字情報を主体として, キーワード, インデックス等の情報を付加して管理している。しかし, その利用にあたっては特定

のアプリケーションに依存し, 別種のアプリケーションとの連携のためにはさまざまな制約があった。一方, 昨今のコンピュータの性能向上と低価格化, コンピュータ自身のマルチメディア対応により従来の文字ベースを超えたデータベースの構築が可能となってきた。ここで, 情報の形態として, 文字, イメージ, 音声と大別すると文字, イメージは人間の視覚から認識され, 書類, 写真, 画面等の媒体で表現される。一方, 音は人間の聴覚で認識されるもので音声再生装置等の媒体で表現される。これらのデータはコンピュータ内ではそれぞれの特質に応じてデジタル化し格納されている。

2.1 文字情報

文字情報は通常1文字種あたり8ビットもしくは16ビットで格納され, 8ビットで256文字種, 16ビットで65,536文字種の対応が可能である。ただし, 特定の文字を拡張用を使用することでより多くの文字種への対応付けを行っている。国内で主に利用されているコード体系としてはJISコードがあるが, パソコンやワークステーションではシフトJISやEUC等も使われており, 利用にあたっては配慮が必要である。表1に各コード体系における文字コードを示す。

表1 コード比較表

(16進数表記)

漢字	半角	1	A	1	A	あ	進
JIS	31	41	2331	2341	2422	3021	
EUC	31	41	8250	8260	82A0	869F	
シフトJIS	31	41	A3B1	A3C1	AA42	B0A1	

2.2 イメージ情報

イメージ情報はベクトル形式とビットマップ形式に大別される。ベクトル形式はCAD等を使って幾何要素の組み合わせでイメージ情報を生成する。ビットマップ形式はイメージ情報を格子状に細分した画素単位でイメージ情報を生成する。情報の記憶量は一般にベクトル形式が少ないが、きめ細かい表現という点ではビットマップ形式が単純に表現できる。図1にそれぞれの記述例を示す。



図1 イメージデータの表現例

設計図面などはCAD化されていればベクトル形式で格納されているが、図面のみのような場合にはスキャナなどの画像読取装置を使ってベクトル化もしくはビットマップ形式でデジタル化が必要となる。また、文書、写真、イラストなどの場合にも同様にスキャナなどを使ってデジタル化しなければならない。

容量は画素数及び一画素あたりの色数に比例して多くなるため、データ圧縮が併用される。表2に代表的なイメージにおけるデータ量を示す。

2.3 音声情報

音声等はマイクなどから入力した信号をA/D変換してコンピュータに取り込む。用途と記憶容量に応じて分解能(8ビット~16ビット)、サンプリング間隔(11k~44kHz)を適宜設定する必要がある。実際には記録・再生に際して圧縮・伸張等の処理を施すが、記憶容量を多く必要とする。表3に各条件におけるデータ量を示す。

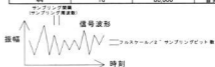
表2 イメージデータの比較

	写真	CG	文書	備考
種類	multi1.bmp 756x504x1670万色 デジタルカメラ	puppy.bmp 640x480x256色	1995m01.bmp 1219x1680x2色 A4,120dpi	
BMP	1,143,127	308,278	262,142	Microsoft Windows
GIF	258,540	158,214	56,309	CompuServe Version89a LZW圧縮
JPG	288,799 256色へ減色	420,046 1670万色へ増色	783,559 256色へ増色	JPEG
TIF	1,035,640	167,926	63,364	Tagged Image File Format

一方、音声合成や音楽演奏などは音素、音源としてあらかじめ用意しておかなければならないが、元はプログラムに近い形態で記述できるため個別に必要な容量は少なく済む。

表3 オーディオデータ

サンプリング周波数 (KHz)	サンプリングビット数 (ビット)	データ量 (1秒あたりのバイト数)	音質の程度
11	8	11,000	電話
22	16	44,000	A Mラジオ
44	16	88,000	音楽用C D



以上その他、よく利用されるデータの特徴をまとめる表4のようになる。

表4 データの特徴

種類	特徴
テキスト(文字)	・データ量が少ない ・書式化して見やすく表示可能 ・検索処理が容易
イメージデータ(写真や絵、図形)	・多様な表示が可能 ・データ量が多い
サウンド(音声、音楽)	・録音、再生は容易 ・データ量が多い
MIDIデータ(音楽の演奏)	・楽器の演奏が可能 ・データ量が少ない
動画(ビデオ等)	・さまざまな表示が可能 ・データ量が多い

3 研究成果データベース

3.1 概要

データベースの構築を通し、既存情報の形態によるデジタル化手法の検討と留意事項を把握するため、当センターの過去の研究報告(38巻,約3,800頁)をデジタル化し、データベースを構築した。

3.2 システム構成

データベース化に用いた機器を図2に示す。コン

(単位:バイト)

ビュータ、スキャナ、カラープリンタ、CD-Rライターから構成される。入力として、テキストデータはキーボードなどから、音声などはマイクから、静止画などはスキャナから入力する。出力としては画面への表示のほか、カラープリンタでの印刷、CD-Rへの記録などを行う。一連の処理はパソコンを使って行う。また、構築したデータベースはLAN(Local Area Network)を介し、WWW(World Wide Web)サーバから利用できるようにした。



図2 システム構成図

3.3 データベース構成

開発したデータベースは図3に示すように管理ファイル、目次ファイル、データファイル及び管理プログラムから構成されている。

データ構造は個々のデータファイルの種類、キーワード等の情報をレコード形式で保有する形態とした。ファイルの種類は管理ファイルとして「xxx.ctl (xxxは8文字以内の英数字、1データベースに1ファイル)」、個別データファイルとして「*.inf (*は8文字以内の英数字)」及び「*.gif, *.txt, *.wav, . . .」がある。

*.ctl ファイルはデータベースの管理情報及び個々のレコードの順序、処理方法などを記録している。
*.inf ファイルは個々のデータの種類の、キーワード、登録日時、利用開始日時、廃棄日時、利用可能者を記

管理プログラム

エントリーブロック 【 追加、編集、削除】 【 目次ファイル生成】
データ変換ブロック 【 HTML変換】

管理ファイル(*.ctl) 【 管理情報、レコード順序、処理方法】
目次ファイル(*.htm) 管理ファイル及びデータファイルから自動生成
データファイル(*.inf*.gif等) 【 種類、キーワード、登録日時・ . . .】
データファイル
データファイル

図3 データベース構成図

録している。*.gif等はイメージファイルやテキスト、音声などの属性に応じたデータファイルである。このようにファイル単位で管理することにより処理の簡素化を図った。

3.4 データベース管理プログラム

プログラムの構成はデータの追加、編集、削除等を行うエントリーブロックとデータベースをHTML(Hyper Text Markup Language)形式に変換するデータ変換ブロックからなる。

エントリーブロックはデータ追加・編集時に、グラフィック描画、イメージ入力、サウンド入力などに応じて相当のサブプログラムを起動し、結果をファイルに保存するとともにキーワードなどの管理情報を*.infファイル及びxxx.ctlにも保存する。削除及びレコード順序の変更などは*.ctlの編集及び場合によっては*.inf*.gif等の削除を行う。

データ変換ブロックは*.inf*.gif等の管理ファイル、データファイルを*.ctlファイルに従ってHTML形式のデータファイルに変換する。データファイルにHTML形式のデータをあらかじめ同様の手順で作成しておくことにより階層的なデータベース表示が可能になる。

なお、これらのプログラムはVisual BASIC (マイクロソフト社)を使って開発した。

3.5 データ入力

データファイルの作成にあたり、市販のOCRソフトによるテキストへの変換も試みたが、今回の場合、平均85% (71~95%)程度と認識率が低く、また図、写真等の情報も入力するため、スキャナから入力することにした。今回対象とした研究報告書の一部を例に、各条件でのファイルサイズを表5に示す。元となったテキストファイルと比較すると、ビットマップ形式のファイルサイズは10倍以上必要である。このようにイメージ情報の記憶は面積に比例するため分解能を上げると極端に多くなる。

表5 データサイズの比較

条 件	容量(KB)
(研究報告 目次 No.38 (1995))	
テキスト(元データ)	5
スキャン入力	262
A4, 120dpi	
モノクロ2階調, BMP形式	
スキャン入力	55
A4, 120dpi	
モノクロ2階調, GIF形式	
テキスト(HTML形式)	5

3.6 データベース利用プログラム

HTMLに変換したデータをネットワーク上で利用することでデータベースを検索するC/S(クライアント/サーバ)システムを構築した(図4)。サーバにはパソコンUNIXで定評のあるLINUX及びCERN(ヨーロッパ粒子物理学研究所)のHTTP(Hyper Text Transfer Protocol)ソフトを用い、クライアントはパソコン用のWWWブラウザを用いた。CGI(Common Gateway Interface)でクライアントからの問い合わせを処理する機能をサーバに付加することで対話型のデータベース検索が可能となった。



図4 データベース検索

図5及び図6にブラウザによるデータベースのアクセス例を示す。図5はマルチメディアデータベースを構築する際に利用したシステムの紹介で、ハードウェア構成やソフトウェア構成を詳しく知ることができる。図6は研究報告の詳細を紹介するもので研究成果報告書及び開発された仕様書やプログラムなどを知ることができる。

3.7 CD-ROM化

大量のデータを安価に広く普及する媒体としてCD-ROMが利用されている。特に、最近のパソコンにはほとんど搭載されている。そこで、今回、CD-Rライターを使ってCD-ROM化を試みた。容量は1枚あたり約540MBもあるので、データ量としては問題無く記録できた。また、ISO9660準拠のフォーマットで記録しているので、対応していればワークステーション、パソコンでの利用も可能である。



図5 システム紹介例

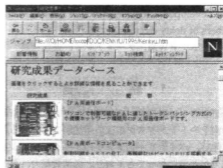


図6 研究成果データベース表示例

4 結 言

インターネットやCD-ROMなどを活用したマルチメディアビジネスが期待される中、その要素技術としてイメージ、文章等のさまざまな形態の情報を融合したマルチメディア対応データベースを開発した。本研究により次の成果が得られた。

- (1) 情報のデジタル化手法
- (2) マルチメディアデータベース管理
- (3) CD-ROM化
- (4) C/Sデータベースシステム

文 献

- 1) 通商産業省機械情報産業局監修、(財)マルチメディアソフト振興協会編：マルチメディア白書1995、(財)マルチメディアソフト振興協会、(1995)
- 2) 藪暁彦、田辺茂也共著：HTML早わかり、オーム社、(1995)
- 3) アスキー書籍編集部編：Microsoft Multimedia Viewer[Ver.2.0]ブック、(株)アスキー(1995)

可変遅延回路不要なPWM信号受信回路

佐野 誠, 岩田 穆*

A Receiver for PWM Signals without Variable Delay Circuits

SANO Makoto and IWATA Atsushi

Power consumption and speed at binary digital data transfer for LSI are problems. One of the approaches to solve this problem is to apply PWM (pulse width modulation) to data transfer. When PWM signal is applied to data transfer, we generally use a receive module with variable delay circuit. But variable delay circuit is not suitable for gate array design, because it is designed by means of analog design.

We developed a receive principle for PWM signals without variable delay circuit. This principle decreases numbers of delay circuits.

キーワード: PWM, ゲートアレイ, 遅延回路

1 緒 言

今日LSIは微細化, 高集積化しており, 動作周波数の向上やトランジスタ規模の増加が進んでいる。これに伴い, バイナリーデジタルのデータ転送による消費電力が問題になってきており, 低消費電力, 高速化が要求されている。これを解決するために様々な方法が検討されているがPWM(Pulse-Width-Modulation: パルス幅変調)を通信に応用するという考えがある¹⁾。しかし従来方式では, 変・復調に必要な多相クロックを生成するためにアナログ的な可変遅延回路が必要となり, ゲートアレイには不向きであった。そこで, 遅延回路をデジタル回路のみで構成でき, 遅延回路の素子数を削減した高分解能のPWM受信回路方式を検討した。そして, 回路設計を行い, 遅延シミュレーションにより動作の確認を行った。

2 PWM受信の概要と本研究の目的

図1に一般的なPWM受信の原理を示す。

PWMはパルス幅に情報を持つ。パルス幅(W)は遅延ゲートの1段当たりの遅延(Tpd)と段数(j)の積で求まる。

ゲートの遅延は製造工程, 温度, 電源電圧等で変動する。最小時間が標準遅延時間の約0.5倍, 最大時間が約2倍程度と変動の幅が広い。そこで, 一般的には遅延ゲートに可変遅延ゲートを用い, Tpdを送信側, 受信側それぞれで所望の値(ΔT)に一致させることにより遅延の変動を吸収する。この様にすることで例えば送信側で10段の遅延ゲートを通して変調したPWM

信号のパルス幅は受信側でも10段で復調される。しかし, 可変遅延ゲートはアナログ設計によって作れる場合がほとんどで設計が困難である(デジタル回路によって可変遅延ゲートを設計する方法もいくつか発表されているが²⁾, アナログ可変遅延ゲートの原理をデジタル回路で模倣するものであり, アナログ設計の知識が必要になる。またアナログ設計に比べ一般に回路規模が大きくなる)。そこでアナログ設計が不要なデジタル回路のみで構成できるPWM受信回路方式が望まれる。さらに, 変調bit数を大きくすれば遅延ゲートの段数も指数関数的に増加するので, 回路規模の点から遅延ゲート段数を削減する工夫が望まれる。

以上の点から, 以下に本研究の目的をまとめる。

- ・ゲートアレイで実現できる可変遅延回路不要なPWM受信方式を考案する
- ・遅延ゲートの段数を削減して回路規模を小さくする
- ・0.5 μ m CMOSで変調bit数6bit(パルス幅ステップが64ステップ), 時間分解能1[ns]の受信回路を設計する

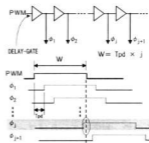


図1 一般的なPWM受信の原理

*広島大学工学部

3 ゲートアレイ向き PWM 受信回路(復調回路)

本方式の特徴を示す。

- Tpd を可変させて所望の時間分解能 ΔT に一致させるのではなく、Tpd を計測して知るにより、 $W = Tpd(\text{既知}) \times j$ でパルス幅を求める
- 遅延ゲートをリング構成にしてカウンタと組み合わせることにより、遅延ゲートを削減する

図2に本方式のPWM受信回路のブロック図を示す。

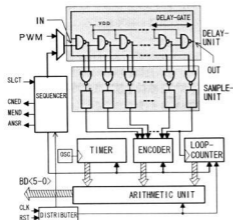


図2 本方式のPWM受信回路ブロック図

本方式には遅延計測フェーズとPWM通信フェーズの2つのフェーズがある。遅延計測フェーズは、遅延ゲートの1段当たりの遅延を予め計測しておくフェーズである。一度遅延を計測すれば、それをレジスタに蓄えておくことで以降のPWM受信に使うことができる。PWM通信フェーズは受信したPWMのパルス幅に相当する遅延ゲート段数を求めるフェーズである。まず遅延計測フェーズについて説明する。

・遅延計測フェーズ

図2に示すように、受信回路には遅延回路ブロック(DELAY-UNIT)がある。遅延回路は奇数個(Ngt)のNANDゲートでリングを構成する。NAND 2個が1段の遅延ゲート(DELAY-GATE)に相当する。以下に遅延計測のアルゴリズムを示す。

①入力INに予め“L”を与えておく。1個目のNAND出力は“H”、2個目は“L”、…、Ngt個目の出力は“H”となり、その出力は1個目のNANDに入力される。

②入力INを“H”にすると同時に、タイマーをスタートさせる。1個目のNANDの出力は“L”に変化する。2個目のNANDは“H”、…、と出力が順に変

化していく。Ngt個目の出力は“L”に変化する。

③ Ngt 個目の出力“L”が1個目のNANDに入力されその出力は“H”に変化する。2個目以降出力が順に変化していく。Ngt 個目の出力が“H”に変化するのをループカウンタがカウントする。これを繰り返す。

④ループカウンタはNgt 個目の出力が“H”に変化する度にカウントアップする。カウント値が予め定められた値(Nc)になるとタイマーをストップさせる。

タイマーの基準クロック周期をTtm[ns]、カウント終了後のタイマーのカウント値をNtmとすれば遅延ゲート(NAND 2個分)の遅延時間(Tpd)は以下のように近似できる。

$$Tpd(\text{近似値}) = \frac{Ttm \times Ntm}{Ngt \times Nc} \quad (1)$$

ここで近似値の精度について考える。タイマーの基準クロック周期がTtmであるからタイマーで計りきれなかった端数の時間を Δt [ns]($\Delta t < Ttm$)とおくと、

$$Tpd(\text{真値}) = \frac{Ttm \times Ntm + \Delta t}{Ngt \times Nc} \quad (2)$$

遅延ゲート(NAND2個分)の遅延誤差 ΔTer [ns]は

$$\begin{aligned} \Delta Ter &= Tpd(\text{真値}) - Tpd(\text{近似値}) \\ &= \frac{Ttm \times Ntm + \Delta t}{Ngt \times Nc} - \frac{Ttm \times Ntm}{Ngt \times Nc} \\ &= \frac{\Delta t}{Ngt \times Nc} \\ &< \frac{Ttm}{Ngt \times Nc} \quad (3) \end{aligned}$$

(3)式から、遅延誤差 ΔTer を小さくするにはNcを大きな値に設定すればよいことがわかる。今回の設計ではTtm = 17[ns]、Ngt = 17個、Nc = 1024回に設定したので

$$\begin{aligned} \Delta Ter &< \frac{1}{1024} \\ &< 1 \quad [\text{ps}] \quad (4) \end{aligned}$$

となる。

・PWM通信フェーズ

このフェーズでは入力INにPWM信号を入力する。サンプリング回路には図2のブロック図に示すように遅延回路に入力される前のPWM信号と、PWM信号が遅延ゲートで遅延された信号(サンプリングクロック)がそれぞれ入力される。PWM信号が“H”の期間で出力OUTはパルスになる。そのパルス数(Np)をループカウンタで数える。1ループ以下の残りのパルス幅に相当する遅延ゲートの段数(lp)をサンプリング回路で認識する。パルス幅Wは

$$W = Tpd \times j$$

$$\approx \frac{Ttm \times Ntm}{Ngt \times Nc} (Ngt \times Np + Ip)$$

$$\approx \frac{Ntm}{Nc} \times (Ngt \times Np + Ip) \quad (5)$$

と表される。

また、Ncを2のべき乗に選べば除算回路を使わない回路構成にできる。これにより演算回路の規模を大幅に削減することができる。

表1に外部I/Oインターフェース、表2に内部のブロック間インターフェースを示す。また、図3にタイミングチャートを示す。

表1 外部I/Oインターフェース

信号名	出力先・入力先	属性	信号の機能
PRST	外部→全ブロック	L	パワーオンリセット。LS1起動時にリセットする。
SCLK	外部→全ブロック	-	システムクロック。タイマーで使用する基準クロックをそのままシステムのクロックに使用する。
VDD	外部→全ブロック	-	電源電圧。3.3V。
GND	外部→全ブロック	-	アース。
SLCT	外部→SEQ	H/L	遅延計測/PWM通信フェーズのセレクト信号。SLCTの"1"トリガで遅延計測を始める。MENDの"1"になったことを確認してからSLCTを"1"にする。"1":遅延計測フェーズ、"L":PWM通信フェーズ。
PWMS	外部→DLY	H	PWM信号。SLCTを"1"にした以降に入力する。
BD<14>	OPR→外部	-	PWM信号を復調したバイナリデータ。
MEND	SEQ→外部	H	遅延計測フェーズが終了したことを示す信号。
ANSR	SEQ→外部	H	復調したバイナリデータのビットカウント値を示す信号。

表2 内部ブロック間インターフェース

信号名	出力先・入力先	属性	信号の機能
PDAT	SEQ-DLY, SAM	H	遅延計測フェーズの開始信号およびPWM信号。
ANSW	SEQ-OPR	H	復調したバイナリデータの復調回路内で確認するタイミングを示す信号。
LOAD	SEQ-OPR	H	ループカウンタ値を取り込むためのロード信号。
SHFT	SEQ-OPR	H	乗算のタイミング信号。
CRST	SEQ-CNT	L	ループカウンタのリセット信号。
ACTO	SEQ-TIM	H	タイマーのクロックをアクティブにする信号。
FIRST	SEQ-SAM	L	PWMサンプリングクロックのリセット信号。
SC<14>	DLY-SAM	H	PWM信号のサンプリングクロック。遅延ゲートを構成する1個のNANDゲートからの出力信号。
CO<14>	XNT-SEQ, OPR	-	ループカウンタ値。
TM<14>	TIM-OPR	-	タイマーのカウント値。遅延ゲート1段の[P S]オーダーの遅延時間に相当する。
CB<14>	ENC-SEQ, OPR	-	1ループ未満の遅延ゲートのゲート段数をエンコードした信号。
CRSR	SAM-SEQ	L	CRSTをアクティブにするためのタイミング信号。
LCLK	SAM-CNT	H	ループクロック。遅延回路を構成するNANDのうち117番目のNANDの出力。
SOUT	SAM-ENC	H	サンプリングクロック信号。PWM信号をSC<14>でサンプリングしたことを示す信号。

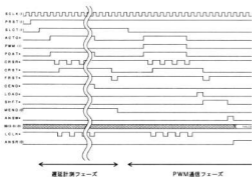


図3 タイミングチャート

4 シミュレーション結果と受信精度の検討

今回設計したPWM受信回路をVerilog-HDLで記述して論理シミュレーションを行った。シミュレータはCadence-Design-Systems社のVerilog-XLおよびFront-Design-Automation社のパソコン版シミュレータのPure-Speedを使った。ビヘイビアレベルの記述でできるだけ動作がわかりやすく、かつステップ数が少なくなるように記述した。ソースプログラムの一部を図4に、シミュレーション結果の一部を図5に示す。

```

module operator (r, sum, mans, b, out, bd, ans, code, cont, load, prst, shift, time);
input  [R2:0]  time;
input  [4:0]  code;
input  [3:0]  cont;
input  [0:0]  prst, shift, load, ans;
output [R3:0]  bd;
output [R1:0]  out;
output [2:0]  r;
output [R4:0]  sum;
output [2:0]  b;
output [R1:0]  mans;

reg  [R1:0]  out;
reg  [R3:0]  bd;
reg  [7:0]  r;
wire [R4:0]  sum;
wire [2:0]  b;
wire [R1:0]  mans;

assign b= {cont, cont}+code;

always begin
#(cont/2) prst or posedge shift;
if (prst=0) begin
r=0;
out=0;
bd=0;
end
else if (load)
r=0;
else if (shift) begin
sum={5:0}sum+{2:2};
out[{R1:0}sum;
r[{5:0}r+{2:2}];
end
else if (ans) begin
bd={mans;
out=0;
r=0;
end
end

assign sum=({r}[0] + time) + (r[0] * time) + out[{R1:0}];
assign mans=({out}[0] >> 10) - 5;
endmodule
    
```

図4 ソースプログラム(一部)

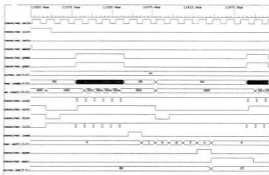


図5 シミュレーション結果(一部)

受信精度は遅延回路を構成している NAND ゲートの遅延時間によって決まる。受信精度を検討する上で次の前提条件を考えた。

- 1) 遅延時間の変動(偏り)の分布は、標準時間から最小時間(標準時間に MIN 乗率を掛けた遅延時間)までが $3\sigma_1$ 、標準時間から最大時間(標準時間に MAX 乗率を掛けた遅延時間)までが $3\sigma_2$ となるような、標準時間に対して片側ずつの正規分布を考える。
- 2) 入力される PWM 信号は時間方向(パルス幅)に歪みがない。
- 3) 遅延ゲートの遅延はゲート毎にバラツキがなく皆等しい。

上の前提条件を満たし、更に次のそれぞれの条件を満たす2つの場合について検討した。

ケース1) 標準時間から最小時間までの分布密度の積分(グラフで表した場合の面積)と標準時間から最大時間までの分布密度の積分は等しい。

ケース2) 標準時間から最小時間までの分布密度の積分(グラフで表した場合の面積)と標準時間から最大時間までの分布密度の積分との比はそれぞれの標準偏差の比 σ_1 / σ_2 に等しい。

受信精度の求め方の詳細な説明は省略するが基本的な考え方は、所望の時間分解能(1[ns])に対して遅延ゲートの遅延が1[ns]以上であったりそれに近い遅延であったりすると、誤った復調をする可能性が出てくる。例えば、遅延ゲートの遅延が0.3[ns]のように1[ns]に比べて十分小さければ、誤受信は起こらない。

このような考えに基づいて上記の2つのケースについてシミュレーションした結果を図6、図7に示す。

正常受信精度はケース1では96.4%、ケース2では94.7%であった。

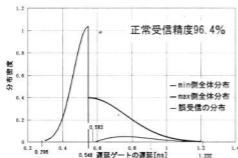


図6 ケース1での正常受信精度

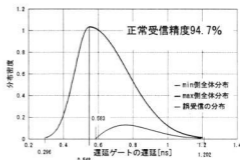


図7 ケース2での正常受信精度

5 結 言

可変遅延回路が不要なデジタル回路のみで構成できるゲートアレイ向けのPWM信号受信方式を考案し、回路設計を行った。この方式はアナログ回路の知識が不要で、論理回路のみで設計可能である。さらに遅延回路をリング構成にし、カウンタと組み合わせることで、遅延回路並びにサンプリング回路の素子数を大幅に削減できた。変調 bit 数 6bit の場合、従来の可変遅延回路方式であれば NAND を 128 個以上、サンプリング回路を 64 個以上配置しなければならないが、本方式では共に 17 個で動作する。実際には NAND およびサンプリング回路の個数はさらに下げることが可能である。今回の設計では 0.5 μ m CMOS で 1[ns] の時間分解能(PWM データの時刻刻み)の PWM 受信が正常受信精度 94% 以上で実現できることがわかった。

文 献

- 1) 岩田 穆他: ニューラルネットワーク L S I (電子通信情報学会), (1995), 28-30
- 2) Jim Dung: An All Digital Phase-Locked Loop with 50-Cycle Lock Time Suitable for High-Performance Microprocessors, IEICE TRANS. ELECTRON, E78-C (1995) 6, 660

透明導電膜の形成技術に関する研究

梶岡 秀, 杉島愛子

Study on Transparent Conducting Films (ITO) Prepared by rf Magnetron Sputtering

KAJIOKA Hideshi and SUGISHIMA Aiko

Transparent conducting thin films of indium tin oxide (ITO) have been prepared by r.f. planar magnetron sputtering by using ITO target (10wt%SnO₂). The sheet resistance of ITO films decreases with increasing of substrate temperature up to 300 °C but no decrease for the further increasing of substrate temperature. The sheet resistance decreases with increasing of film thickness. The electrical resistivity for these films is $1.2 \sim 1.3 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$. Visible transmission of these films is over 80% for wavelength from 400 to 700nm.

キーワード: 透明導電膜, スパッタリング

1 緒 言

透明導電薄膜としては, 可視領域の光透過性が高く, かつ電気伝導性の高い薄膜が求められている。液晶ディスプレイの大画面化, 電極配線の微細化などのため, 要求性能がシビアになってきている。現時点での要求特性と今後予想される特性については, 表1¹⁾のようにまとめられている。また現時点では透明導電薄膜の特性で最も良いものはITO薄膜であり, 成膜方法はスパッタ法が主流となってきている。ITO薄膜の報告例を, スパッタ法に限って文献から抜粋して表2²⁾にまとめた。S. Ray らによって報告された体積抵抗率 $6.8 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^{31)}$ 以外は $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 台である。我々も室温でスパッタ法によってITO成膜した結果を報告したが⁴⁾, 表2に示されているほどの結果は得られなかった。本研究では, 電気伝導性と可視領域の光透過性の向上を図るために, 基板温度効果, 酸素導入効果, 膜厚効果について検討した。

2 実験方法

成膜に用いたスパッタリング装置 (ULVAC 製 SH-250H 型) は平行平板型で, ITO (10wt%SnO₂) ターゲット径は80mmで, 基板とターゲット間は65mmである。基板はコーニング #7059 ガラス板 (25×25×1.1mm) を用いた。基板は熱電対が設定温度に達してから1時間後に熱的平衡となるので, 保持時間は1時間以上とした。真空チャンバー圧 $1.3 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 以下に真空引きした後, アルゴンおよび酸素ガス流入速度をマスフローコントローラーで制御し, スパッタ圧はメインバルブで調整し, $6.7 \times 10^{-1} \text{Pa}$ 一定とした。RFパワーは30W一定で成膜した。試料は真空中で基板温度が100°C以下に冷却してから取り出した。膜厚測定は表面粗さ計を用いた。表面抵抗率 (Ω/\square) は4探針測定装置の探針ピン間は1.5mmで測定した。体積抵抗率 ($\Omega \cdot \text{cm}$) は次式

体積抵抗率 = 表面抵抗率 × 膜厚 (nm) × 10^{-7} で求

表1 ITOスパッタ膜への用途別要項目¹⁾

使用する電極と用途 (膜厚)	抵抗値 (成膜温度)	膜質要項目	今後要求される項目
TFT基板側 (画素電極および蓄積容量電極 (~700Å))	特になし RT~200°C	エッチング特性 透過率	エッチング段差形状の制御 表面の平滑性 ステップカバレッジ 屈折率制御
カラーフィルター上全面電極 (TFT基板用対向電極) (~700Å)	$2 \sim 3 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ~200°C	退色防止 低ダメージ 透過率	屈折率制御 エッチング性 密着性
カラーフィルター上パターン電極 (単純マトリックス, MIMなど (~1500Å))	$2 \sim 3 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ~200°C	退色防止 エッチング特性 低ダメージ 透過率	低抵抗化 密着性
ガラス基板用パターン電極 (単純マトリックス, MIMなど (~1500Å))	$1 \sim 2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ~400°C	透過率 エッチング特性	低抵抗化 < $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$

表2 スパッタ法によるITO薄膜の報告例²⁾

成膜方法	成膜温度 (°C)	体積抵抗率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
RF	450	3×10^{-4}
RF	500 (アニール)	1.36×10^{-4}
RF	370	6.8×10^{-5}
RF	加熱なし	2×10^{-4}
DC	170	1.8×10^{-4}
DC	400	1×10^{-4}
DC	400	1.4×10^{-4}
DC	460	1.15×10^{-4}
DC	80以下	2×10^{-4}

めた。光透過率は紫外・可視ダブルビーム吸光度計を用い、リファレンス側には基板ガラスを配置して測定した。薄膜の結晶構造は、18kW 回折極鋼ターゲットX線源の回折装置を用いて測定した。

3 実験結果と考察

3.1 成膜速度

一般的にITOターゲットは異常放電を発生しやすいことは良く知られている。昨年度の研究ではRFパワー50Wまでは安定放電が得られることを報告したが⁴⁾、本研究では50Wでは放電が維持できなかった。ターゲットの表面状態が変化したことが、この原因と考えられる。そこで全てRFパワー30W一定下で成膜した。膜厚と成膜時間の関係を図1に示す。膜厚は成膜時間に対して直線的に増加する。このことは放電が安定していることを示唆している。平均成膜速度は11nm/分である。

3.2 基板加熱効果

RFパワー30W一定で、基板温度を変化させ、15

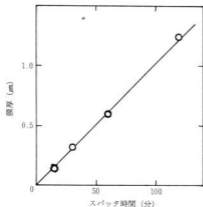


図1 膜厚とスパッタ時間の関係

分間一定で成膜した時のシート抵抗値を図2に示す。シート抵抗は基板温度が室温から200°Cまでは急激に低下し、200°Cから300°Cまでは漸減し、これ以上では低下は見られずほぼ一定となる。体積抵抗率の変化も、膜厚がほぼ一定であるので図2の挙動と同様に変化する。基板温度上昇によってシート抵抗が減少することは、中西らによっても同様な結果が報告されており、キャリアー密度の増加とキャリアー移動度の増加の両者に依存していることが明らかにされている⁵⁾。図2に示した試料のX線回折図形を図3に示す。室温では回折ピークはみられず、非結晶薄膜であるが、基板温度が200°Cに上昇すると、回折ピークが見られるようになり、ITOの結晶化が顕著に進行したことを示している。このような結晶化はTEM観察によっても確認されている⁶⁾。基板温度をさらに上昇させると、(111)ピーク強度は低下するが、逆に(211)、(440)、(622)ピーク強度は増加し、結晶性が高まっているように見える。結晶性が悪いと、酸素欠陥とSnによるドナーのバンドが崩れ、伝導バンドへの食い込みが減少する、即ち、キャリアー密度が減少するといわれている⁵⁾。図2と図3の結果もこの考えと一致している。シート抵抗を下げる、即ち、キャリアー密度を増加させるためには結晶性を高める必要がある。基板温度効果も結晶性との関係で理解される。

3.3 酸素導入効果

シート抵抗と酸素導入量の関係を図4に示す。酸素導入量が0.2 SCCMまではシート抵抗値はわずかに増加し、それ以上では急激に増加する(0.2 SCCMは、(O₂+Ar)15 SCCMに対して1.3%に相当する)。室温で成膜した場合にも、同様な傾向が見られることは筆者らによってすでに報告されている⁴⁾。

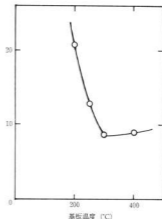


図2 シート抵抗と基板温度の関係

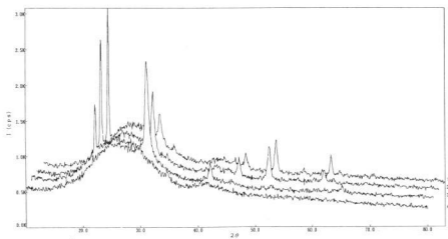


図3 ITO 薄膜のX線回折図形 (上から400°C, 300°C, 200°C, 室温)

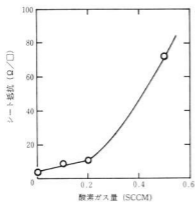


図4 シート抵抗に及ぼす酸素の影響

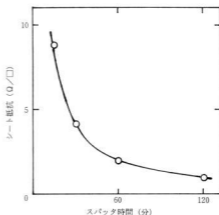


図5 シート抵抗とスパッタ時間の関係

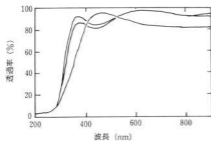


図6 光透過率に及ぼす成膜温度の影響

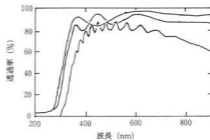


図7 光透過率に及ぼす膜厚の影響

表3 ITO 薄膜の特性値

成膜 時間 (min)	膜厚 (nm)	シート 抵抗 (Ω/\square)	体積 抵抗 ($\times 10^{-4}\Omega\cdot\text{cm}$)	光透過率 540nm-560nm (%)
15	140	8.73	1.2	94.3-96.1
30	320	4.22	1.3	88.2-91.6
60	600	1.98	1.2	86.3-84.3
120	1,400	0.95	1.3	79.7-87.3

中西によっても酸素導入効果が検討され、1%程度の酸素混入時に、シート抵抗は半減するが、この混入量以上では増加することが報告されている。この時、キャリア密度は1%酸素混入以上では混入量増と共に減少するが、キャリア移動度は1.5%までは増加し、それ以上で飽和する⁵⁾。後者の酸素導入量が多い場合、シート抵抗の増加は我々の結果と一致するが、前者の場合は我々の結果と一致しない。入手した焼結ITOターゲットの製造法は明らかでないが、ターゲット中の酸素欠陥の有無は分からないが、いずれにしろ、酸素の選択スパッターなどにより酸素欠乏状態で成膜されるものと考えられる。酸素導入しなくてもシート抵抗が低いITO薄膜が得られるのは、このことを示唆している。ただし、前述のように、1%程度の酸素混入時に、シート抵抗の低下がみられる領域があるといわれているが、本報告の結果との違いを説明することができない。

3.3 シート抵抗と膜厚の関係

基板温度300°C一定でのスパッタ時間と膜厚、シート抵抗値、体積抵抗率、光透過率を表3にまとめた。シート抵抗値とスパッタ時間の関係は図5に示す。スパッタ時間の増加でシート抵抗は減少し、その関係は双曲線で表される。シート抵抗はスパッタ時間で制御できることがわかる。体積抵抗は膜厚とシート抵抗から求められ、 $1.2\sim 1.3 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}$ とほぼ一定である。これらの値は表2の文献値にほぼ近い値となっている。各膜厚に対するシート抵抗値はメーカーカタログ値⁷⁾値より劣るものはみられない。

3.4 光透過率

紫外・可視領域の光透過率の基板温度による変化を図6に示す。基板温度上昇による紫外域での吸収端の短波長へのシフトは、Burstein-Moss効果として知られている⁸⁾。これは導電電子密度の増加に関係しており、図2のシート抵抗の減少に対応している。一方、膜厚との関係は図7に示す。膜厚が厚くなると、紫外域の吸収端は長波長側にシフトし、可視部の透過率も低下する傾向がみられる。膜厚が厚くなると、薄膜による光干渉のため波状の吸収が現れてくる。光透過率は波長550nmでの透過率と比較される場合が多い。表3には540nmと560nmでの測定値がまとめられている。光透過率もいずれの条件でもメーカーカタログ値⁷⁾よりかなり良いことがわかった。

4 結 言

基板温度を室温から200°Cに加熱することで、ITO薄膜の結晶化はかなり進み、シート抵抗も急減し300°C以上ではほぼ一定となった。ただし、酸素導入効果は認められなかった。

膜厚の増加と共にシート抵抗は減少し、カタログ値をうわまわる薄膜が作成できた。この時、体積抵抗率は $1.2\sim 1.3 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}$ 一定であり、ほぼ文献値に近いものが得られることが分かった。

膜厚1400nm、シート抵抗0.95 Ω/\square と最も光透過率の低い薄膜でも80%を越えるものが得られた。

文 献

- 堀口：表面技術，43(1992)，87
- 高井：表面技術，43(1992)，2
- S.Ray et al.：J. Appl. Phys., 54 (1983)，3497
- 梶岡他：広島県西部工技研究報告，38 (1995)，1
- 中西：表面技術，43(1992)，98
- 森川他：第43回応用物理学関係連合講演会予稿集，No2(1996)，381
- 広島県機能性薄膜応用研究会編：機能性薄膜に関する調査研究報告書 (1995)，35-41
- 原納他：表面技術，4(1989)，666

レーザーによる精密加工に関する研究 (第4報) 異種ステンレス鋼のマイクロ接合

池田哲宏, 新田 明, 山下弘之, 門 格史, 実光昭彦*, 木村寛之**

Study on Precision Processing by Laser (4th Report) Micro Joining of Dissimilar Stainless Steels

IKEDA Tetsuhiro, NITTA Akira, YAMASHITA Hiroyuki, KADO Tadashi,
SANEMITSU Akihiko and KIMURA Hiroyuki

In lap seam welding of austenitic stainless steel sheet (SUS304 of 0.5 mm thick) to ferritic stainless one (SUS405 of 3 mm thick) using pulsed YAG laser, the influences of welding conditions on the penetration shape, porosities and strength of weld metal were experimentally investigated. The following results have been obtained. (1) Reduction of the penetration depth and the porosity numbers in the weld metal were caused by reduction of the pulse energy. By using optimum welding condition with N₂ shielding gas, the lap seam weld without porosities and cracks could be produced. (2) Tension shear stress of more than 700N/mm² and micro-vickers hardness of more than 350 were obtained. (3) As the results of airtightness test of small-sized mechanical parts welded at 25J of pulsed energy, no gas-leaking was confirmed.

キーワード: YAGレーザー, 溶接欠陥, シーム溶接, 異種ステンレス

1 緒 言

レーザー溶接は, 低入熱, すなわち溶融幅の狭い深溶込みが得られる特徴を有する精密な溶接法である。特にパルス発振によるレーザー溶接では, エネルギーコントロールが容易なため局所的, 瞬間的な部品の精密固定が可能となり, 加工部周辺への熱影響の少ない, 均一な溶込み深さが得られる。

しかし, 高エネルギー密度の熱源のため溶融現象に起因して発生するキーホールにより溶融部に微小な気泡が形成され, 気密性が要求されるシーム溶接においては, 信頼性の低下につながる可能性がある。

本研究では, パルス発振YAGレーザーを用いた薄板の異種ステンレス鋼の重ねシーム溶接におけるレーザー照射エネルギー, 溶接速度, シールドガス等の施工条件が溶込み形状と気泡(ポロシティ)に及ぼす影響を明らかにし, その発生防止・低減可能な溶接条件について実験的検討を行った。また, その継手の機械的特性について検討し, 本溶接施工法の小型機械部品への適用を試み, 気密性を確認したので報告する。

2 実験方法

本実験で使用した装置は, 最大平均出力400WのパルスYAGレーザー(発振波長1.06μm)である。溶接*



図1 試験片の溶接形状

方法は, 図1に示すように板厚3mmのフェライト系ステンレス鋼 SUS405 に板厚0.5mmのオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 を重ね合わせ, 接合部が密着可能な治具に固定後, 試験片を18mm移動させて溶接した。その試験片の化学成分を表1, 溶接条件を表2に示す。加工後, 溶融部に発生したポロシティを放射線透過試験, 継手強度を引張試験機で評価した。また, 溶融部の中央断面を10%のシュウ酸で約2分間エッチング後, 溶込み形状を万能投影機, 硬度分布をマイクロビッカース硬度計, 化学成分をエネルギー分散型X線分析装置で測定した。なお, シールドガスは同軸ノズルを用いて毎分20ℓの流量で溶接部に吹き付けた。

表1 試験片の化学成分 (%)

材質	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Aℓ
SUS304	0.06	0.36	1.16	0.03	0.004	8.19	18.20	—
SUS405	0.06	0.39	0.32	0.02	0.001	—	13.14	0.18

*神戸工務所, **松本重工業㈱

表2 YAGレーザ溶接条件

パルスエネルギー (J/P) : Ep	<40
パルス幅 (ms) : τ	10
繰返し数 (pps) : n	2, 10
集光レンズの焦点距離 (mm) : f	80
焦点位置 (mm) : D _f	+4
シールドガス : G	Ar, N ₂
溶接速度 (mm/s) : S	1~10

3 実験結果と考察

3.1 溶込み形状とポロシティ

一般的にレーザ照射による深溶込みを得るためには、大きなパワー密度が必要となる。しかし、パワー密度に依存して溶融物が飛散するスプラッシュが発生し¹⁾、アンダーフィル等の欠陥により継手の機械的特性が低下するため、適正な溶接条件の選定が重要である。

図2は、ビードオンプレートによるポロシティ発生状況をパルスエネルギー及びシールドガスに対して示したものである。この結果はパルス数10ショットのレーザ照射で発生した直径0.2mm以上のポロシティをカウントした。スポット径は、照射ピッチ1.5mmにほぼ等しく、ビームのオーバーラップは無い。

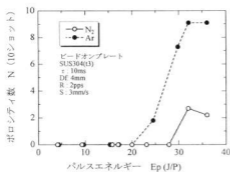


図2 ポロシティ発生状況

低エネルギーのパルス照射域において、溶融部は熱伝導型となりポロシティは発生しないが、エネルギーの増加に伴いポロシティ数は増加する。ポロシティ発生しきい値は、シールドガスArにおいてパルスエネルギー約20J、N₂では約28Jであることがわかる。そのポロシティ径、発生深さ及び溶込み深さを図3に示す。パルスエネルギーの増加に伴い溶込み深さは増加し、ポロシティは、溶融部の比較的深い位置に発生していることがわかる。これは、パルスレーザ照射終了時のエネルギーの急峻な低下により照射時に形成された深いキーホール形状が維持できず、溶融部上方か

ら融液がキーホール内に急激に流れ込み、下方のキーホール部では急速な凝固により浮上できず、取り残されて形成されたものと考えられる。

以下の実験では、ポロシティ数の少ないシーム溶接が可能と考えられる20J及び25Jの比較的低いパルスエネルギーで重ね溶接を行った。

図4は、溶接速度に対する溶込み形状を各パルスエネルギーで示したものである。

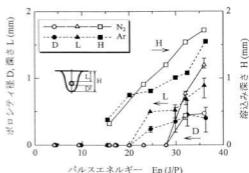


図3 ポロシティと溶込み深さ

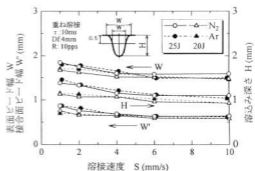


図4 溶込み形状

溶接速度の増加により単位長さ当たりの入熱量が減少し、表面・接合面ビード幅及び溶込み深さはわずかに減少している。総体的に試料表面より0.5mm材料内部に入った接合面ビード幅は、表面ビード幅より1mm程度減少している。

気密性が要求されるパルスレーザのシーム溶接では、ビームのオーバーラップが必要となり、ビード幅、パルス繰返し数及び溶接速度によりオーバーラップ比が決定される。図5は、ビード幅の測定結果よりオーバーラップ比を溶接速度に対して示したものである。表面ビードのオーバーラップ比O(=(W-S/R)/W)は、速度の影

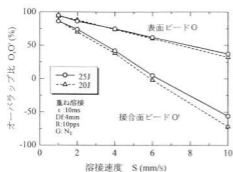


図5 オーラップ比

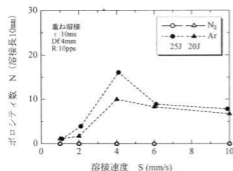


図6 重ね溶接のポロシティ発生状況

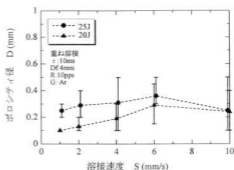


図7 Arガスにより発生したポロシティ

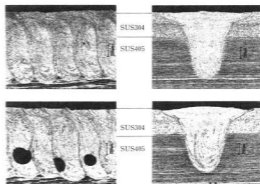


写真1 溶接部の断面マクロ (上: N₂, 下: Ar)

響をほとんど受けないが、接合面においてはビード幅が小さくなるためオーラップ比 $O' (= (W-S/R)/W)$ への影響は比較的大きくなる。この結果より接合面におけるオーラップ比 O' が0%を越える溶接速度、すなわち6mm/s以下がシーム溶接に必要な施工条件となる。図6は、溶接速度に対するポロシティ発生状況を各シールドガスで示したものである。ここで、ポロシティ数は溶接長10mmでカウントした結果である。シールドガスN₂においては、パルスエネルギー及び溶接速度に依存せずポロシティは全く発生していない。一方、シールドガスArを用いた重ね溶接では、各パルスエネルギーでポロシティは発生する。Arガスによるその発生数は、低速度で低減され、溶接速度の増加に伴い漸次増加し、4mm/sでポロシティ数はピークに達するが、さらに速度の増加により若干減少する。これは低速度では、オーラップ比が大きく、入熱量が増加することにより溶融金属の攪拌、流動性の向上等によりポロシティが浮上し、大気中に排出されたものと推定される。また、速度の増加によるポロシティ

の減少については、単位溶接長さにおけるパルス照射数の減少によるものと考えられる。なお、シールドガスN₂によりポロシティの発生が防止される理由は、溶融金属の流動性の安定化が一因と考えられている²⁾。図7は、シールドガスArによって発生したポロシティ径を示したものである。ポロシティ径はパルスエネルギー及び溶接速度の低下により小さくなっている。写真1は、シールドガスN₂及びArによる溶接部の縦及び横断面マクロを示したものである。Arガスによる溶接断面においては直径0.2mm程度のポロシティが溶融部の比較的深い位置に発生している。溶接断面からは、割れ等の欠陥は観察されなかった。

3.2 機械的特性

図8は、継手強度を示したものである。パルスエネルギーの増加により接合面ビード幅が増加し、引張せん断破壊荷重は増加する。せん断応力はパルスエネルギーの影響をほとんど受けず700N/mm²以上となり、母材の引張強度520N/mm²より高い数値を示している。その溶接部のピッカース硬度分布を図9に示す。母材

の硬度が200以下に対して溶融部では300~400に硬化しており、シールドガスの種類による硬度分布への大きな差異は認められない。溶融金属において位置による部分的な硬度差が認められるが、これはパルスレーザの間欠・瞬間的な照射による溶融金属の攪拌むらによるものと考えられる。その溶融部の化学成分を点分析した結果を表3に示す。ここで上部は表面から約0.2mm、下部は約0.8mmの位置における測定結果である。シェフラーの組織図¹³⁾に基づいたCr及びNi当量の算出による組織の推定及びピクリン酸塩酸アルコールでエッチングした顕微鏡組織の観察結果より溶融部はマルテンサイト組織であることが明らかになった。

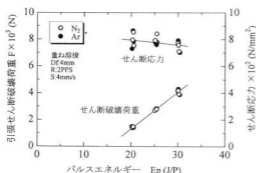


図8 継手強度

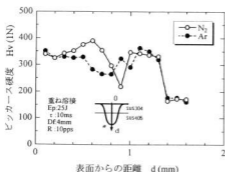


図9 溶接部の硬度分布

表3 溶融部の化学成分 (%)

位置	Si	Mn	Ni	Cr
上部	0.32	0.80	6.45	17.14
下部	0.35	0.60	3.72	14.67

このような金属組織の硬化現象は脆化に伴う衝撃特性の低下が懸念されるため、高温焼もどし等により組

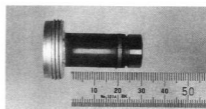


写真2 小型機械部品への適用例

織の回復を図るとともに用途には留意する必要がある。

3.3 重ねシーム溶接の小型機械部品への適用

ポロシティーのない適正な溶接施工条件により小型機械部品への適用を試みた結果を写真2に示す。パルスエネルギー25J、溶接速度4mm/s、パルス繰返し数10ppsで溶接し、5気圧の気密性試験を行った結果、漏れのないことを確認した。

4 結 言

SUS304とSUS405の異種ステンレス鋼の重ねシーム溶接にパルスYAGレーザを適用し、溶接施工条件が溶込み形状とポロシティー及び継手強度に及ぼす影響について検討した結果、次のようになった。

- 1) パルスエネルギーの低下に伴い溶込み形状は小さくなり、ポロシティーは減少する。
- 2) シールドガスN₂を用いたパルスエネルギー25J、溶接速度4mm/sの適正な溶接条件でポロシティーのない重ねシーム溶接が可能となった。また、Arガスでは低速度溶接でポロシティーの発生を低減できることが明らかになった。
- 3) 溶融部は、ピッカース硬度350以上のマルテンサイト組織で、その溶接部の引張せん断応力は700N/mm²以上となり、母材の強度以上を有することを確認した。
- 4) 適正な施工条件で小型機械部品を溶接し、気密性試験を行った結果、漏れのないことを確認した。今後は、さらに溶接部の耐衝撃及び耐腐食性等、用途に応じた耐久性試験を検討していく必要がある。

最後に、本研究は日本自転車振興協会補助金の設備を利用して実施したものである。

文 献

- 1) 池田他：広島県西部工技研究報告，37(1994)，64
- 2) 大前，吉田，広実：三菱重工技報，20(1983)，4
- 3) 渡辺，向井：ステンレス鋼の溶接 日刊工業新聞社(1971)，69

高圧クーラントの切削加工特性に及ぼす影響

山下弘之, 池田哲宏, 門 格史

Study of the Effect of High Pressure Coolant Influenced on Cutting Characteristic

YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi

High pressure coolant is useful for reduction of tool friction erosion at turning. But the other hand, there are few reports that high pressure coolant increase tool erosion because of heat impact stress at interrupted cutting like endmilling and frise cutting. In this study, the effect of high pressure coolant influenced on cutting characteristic (tool friction erosion, surface roughness, cutting force, residual stress on cutting surface) were evaluated on endmilling at machining center. Used machining materials were S55C and SUS304. Used tool material was high tool steel.

Following results were obtained.

- (1) A few effect of high pressure coolant(reduction of tool erosion and residual stress) was confirmed at SUS304. But its effect was not clear at S55C.
- (2) Accurate lubrication on cutting point is important to use the effect of high pressure coolant effectively.

キーワード：マシニングセンタ、切削加工、エンドミル、高圧クーラント、工具寿命

1 緒 言

高圧クーラントの利用が、工具摩耗低減に効果があることが旋削加工等で報告¹⁾されている。また、近年マシニングセンタでは、高速切削に伴う高圧クーラントを利用した装置が主流となってきている。しかし、連続切削の旋削加工とは異なり、マシニングセンタにおける、回転工具(エンドミルやフライス)による加工に代表される断続切削加工では、加工時に切削ポイントに的確にクーラントをあてることは難しく、逆に切削液が不均一にあたるため、切削過程での工具切刃に加熱、急冷のサイクルが生じ、その熱衝撃疲労で工具摩耗が進展するとの報告²⁾もあり、高圧クーラントの有効性が確かでない。

そこで、平成7年度中国四国公設試験研究機関共同研究(機械加工分野)の本県参加研究として、マシニングセンタでのエンドミル加工を対象とした、切削加工特性に及ぼす高圧クーラントの影響の検討を取り上げ、被削材はS55C及びSUS304の2種類、工具はハイス工具として、高圧クーラントを使用した場合の、工具摩耗低減効果等の加工特性に及ぼす影響について検討した。

2 実験方法

マシニングセンタを使用し、写真1に示すようにフラットエンドミルによる側面切削加工を行った。クー

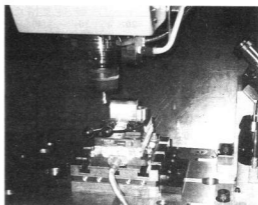


写真1 切削加工の様子

ラント条件の違いによる①工具磨耗進行状況の変化、②加工面の表面粗さの違い、③切削動力の変化、④加工面の残留応力の変化等の切削特性について比較、検討した。

2.1 使用機器

試験には、縦型マシニングセンタ(大阪機工PCV-40II)を使用し、被削材は、テーブル上のバイスでチャッキングした。切削抵抗の測定は、キスラー社製動力計(9257B)を使用した。

2.2 実験条件

クーラント条件は、乾式、湿式(通常給油)、高圧クーラントの3種類で、その他の加工条件は表1に示す。切削速度は、メーカ推奨値とその倍の2種類につ

表1 加工条件

条件No	①	②
工具材種	ハイス, $\phi 10$	ステンレス用 粉末ハイス, $\phi 8$
ワーク材種	S55C	SUS304
切削方式	側面切削, ダウンカット	
切削速度	20, 40m/min	25, 50m/min
送り速度	0.06mm/刃	0.05mm/刃
切込み量	1mm	0.8mm
切削幅	10mm	8mm
切削油剤	エマルジョンタイプ水溶性切削液	

いて実験を行った。

高压クーラント供給方式は、数種類³⁾が提案されているが、エンドミルのような回転切削工具では、切削ポイントは常に変化し、また給油されたクーラントは、遠心力で飛散するため、刃先への的確な給油は不十分と言われている。本研究では、比較的切削ポイントにクーラントを供給できると思われる、写真2に示すような、主軸を通り、ツールホルダのコレット割れ目から供給するコレットスルー方式を採用した。

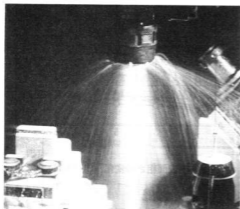


写真2 クーラント供給方法（コレットスルー方式）

3 実験結果と考察

3.1 工具摩耗の評価

切削距離に伴う工具摩耗の進行状況を、図1、図2に示す。工具摩耗は表1の加工条件で、所定の距離を切削した後、エンドミル先端部の切刃外周逃げ面の摩耗幅を、工具顕微鏡により観察した。

被削材がS55Cの条件No1では、メーカ推奨切削速度20m/minで乾式で切削距離が6mに達すると、摩耗幅が200 μ mを越えるのに対し、湿式、高压クーラントともに切削距離7mでも摩耗幅は200 μ m以下で、工具摩耗が抑えられた。切削初期には、湿式に比べ高压ク

ラントが若干摩耗幅が小さいが、切削距離が4~5mでほぼ同じとなり、それ以降は逆に高压クーラントで、摩耗幅が大きくなる傾向が見られた。切削速度が倍の40m/minでは、高压クーラントの方が工具摩耗が早く進行した。切削状況を見ると、高い遠心力でクーラントが飛散し、刃先に十分供給されない様子が観察され、高い切削速度の影響もあり、報告²⁾されているような、不均一なクーラント供給の影響で、工具損傷が進行したのと考えられる。写真3に工具切刃の磨耗状況を示す。乾式では、切刃が全体に剥れ落ちたような摩耗なのに対し、高压クーラントでは筋状の摩耗痕が観察された。

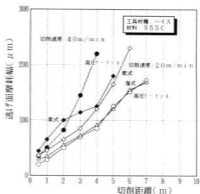


図1 切削距離による工具外周逃げ面摩耗幅

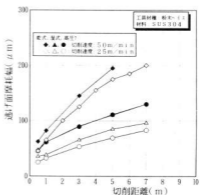
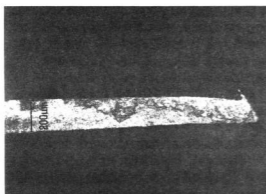
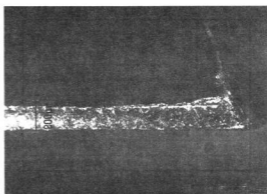


図2 切削距離による工具外周逃げ面摩耗幅

被削材がSUS304の条件No①の場合、メーカ推奨切削速度25m/minで、高压クーラントでの工具摩耗が湿式に比べ低減した。高靱性で凝着し易く、熱伝導性が低い等の難削性を持つSUS材に対し、高压クーラントの冷却及び潤滑等の効果が出たものと考えられる。



(乾式：S55C)



(高圧クーラント：S55C)

写真3 工具摩耗状況(逃げ面摩耗)

しかし、切削速度50m/minでは顕著な効果が見られなかった。これはS55Cの場合と同様に、高い遠心力によるクーラントの飛散のため、刃先への十分なクーラント供給が行われなかったため、湿式との差がなくなったと思われる。

3.2 加工面粗さの変化

図3、図4にS55CとSUS304の場合の、側面加工面の表面粗さの変化を示す。S55Cでは、切削距離が短い時は高圧クーラントで粗さが小さいが、切削距離の増加につれ乾式の方が小さく、逆に高圧クーラントで粗さが増加した。SUS304では、乾式で粗さが切削距離の増加につれ大きくなるが、湿式、高圧クーラントでは、ほぼRy5μm以下の一定な粗さとなった。切削速度が高くても、傾向は同じでその差はあまりなかった。

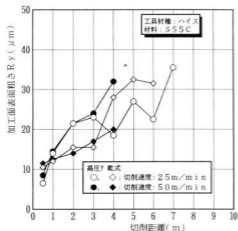


図3 表面粗さの変化(S55C)

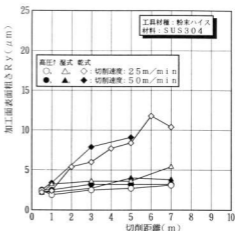


図4 表面粗さの変化(SUS304)

3.3 切削動力の変化

条件No①で乾式、湿式、高圧クーラントについて、切削動力を測定した。新しい工具では各抵抗値はほぼ同じ値を示し、切削、半径方向ともに110N程度の値を示した。摩耗した(乾式で3m切削後)工具の場合も、乾式、湿式、高圧クーラントで切削方向約140N、半径方向約200Nとほぼ同じ値を示し、切削抵抗値からは、潤滑作用等のクーラントの効果を見ることはできなかった。

3.4 加工面残留応力の変化

図5に条件No①でクーラント条件の違いによる加工面残留応力値の変化を示す。測定条件は表2の通りである。加工面の残留応力は、加工時のせん断変形に起因した引張応力、工具逃げ面でのパニッシングによる圧縮応力、加工で生じた熱応力が、複合された形で発

表2 残留応力の測定条件

使用機器: 細マックスサイエンス製X線回折装置 (応力測定用アタッチメント付)MXP18A-SRA	
使用管球: C α	フィルタ: V
X線条件: 40kV, 50mA	ソーラスリット: 0.5
測定方法: 差傾法, ψ -一定法	
回折面: Fe(211)	回折角: 156.413°
ヤング率: 205800Mpa	ボアソン比: 0.3
ステップ幅: 0.05°	測角範囲: 150° ~ 162°
ψ 角: 0°, 8°, 16°, 24°, 32°, 40°, 48°	

生ずる。測定は加工後数日のちに行ったが、測定された残留応力は、いずれも引張応力を示し、乾式、湿式、高压クーラントの順に、僅かだが減少した。乾式ではせん断変形の影響が大きく、切削熱の発生も大きい等の原因で、引張応力が大きくなり、湿式、高压クーラントでは、クーラントによる冷却及び潤滑作用により、引張の残留応力が僅かながら減少するものと考えられる。また、摩耗させた工具の方が応力値が小さくなったが、これは逃げ面摩耗の進行により、バニッシング効果による圧縮応力が強くてため、引張応力が小さくなったと考えられる。同図に他機種(香川県工業技術センター所有)で、加工から2か月程度後に測定した結果をあわせて示す。両者にはかなり差が見られた。測定条件の違いもあるが、主に残留応力値の経年変化による影響と考えられる。いずれの場合も、高压クーラントでの応力値が若干ではあるが、最も低い値を示し、残留応力の低減効果のあることがわかった。

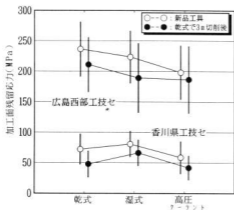


図5 加工面残留応力値の変化

4 結 言

今回、フラットエンドミルに、高压クーラントを使用した切削特性を検討した。S55C材では、高压クーラントの効果はあまり見られず、不均一な給油による、工具損傷の進行と思われる状況が見られた。これに対し、SUSU材で僅かだが工具摩耗低減が見られ、加工面の残留応力低減の効果も認められた。このように、被削材の種類により、高压クーラントの効果に違いのあることがわかった。しかし、その効果は僅かで、原因として、現状のクーラント供給方式では、切削ポイントへの正確な給油が困難で、その効果を十分生かす切れないことが考えられる。工具メーカーの見解を聞くと、今回の実験のような側面切削ではなく、溝加工のような場合、高压クーラントによる冷却効果に、切り屑排出効果も加わり、工具摩耗の低減に効果有りと説明があったが、今回の実験から見ると、冷却効果による工具摩耗低減効果は、僅かなものであると考えられる。切削方法にもよるが、既存のマシニングセンタに、高压クーラント装置を単純に付加するだけでは、十分な効果を得ることは難しく、クーラントの飛散防止のためのカバーの敷設等の処理対策も必要となるなどの不利な面も生じる。今後、工具やツーリングチャックを含めた給油方式の改良が、高压クーラントの効果を生かすための、重要な課題であると考えられる。

残留応力測定にあたり、ご協力、ご助言頂いたマックスサイエンス御岩井氏、香川県工業技術センター機械金属の佃氏に深謝します。

本研究は、日本自転車振興会の補助金によるマシニングセンタを利用して行った。

文 献

- 1) 広崎憲一他、高压クーラントの利用による切削加工、密工学会春期大会(1995)、854
- 2) 鶴英明他、フライス加工におけるクーラント供給の影響、精密工学会春期大会(1995)、859
- 3) 藤井康蔵、高速度・高効率加工とツーリングシステム、機械技術(1995年6月号)、39

フォトファブ리케이션技術を用いた微細穴加工

繩雅典生, 村河亮利, 梶岡 秀, 蒲田政信

Micro-holes by Photofabrication

NAWACHI Norio, MURAKAWA Akitoshi, KAJIOKA Hideshi and KAMADA Masanobu

We make micro-holes on silicon wafer to use photo fabrication that is based on the technology of micromachine. The way of photolithography is based on last year study, and we use TMAH to etch Si. The results are as follows;

1. TMAH is more effect than KOH and NH_3OH to get smooth surface.
2. Circle mask pattern is better than square one to get accurate structure.

キーワード: 微細加工, フォトリソグラフィ, エッチング, センサ, マイクロマシン, シリコン

1 結 言

小穴を精密ボール盤などを使用して, 位置決めをしながらドリルで穴あけをする場合, 位置決めにかかる時間がかかる, バリなどが発生して仕上げに問題が残るといった欠点をもつ。とりわけ, ミクロンオーダの微細な形状を加工する場合, こういった機械加工は困難であり, また大量生産にも不向きである¹⁾。

そこで, これらの問題点を解決する方法として, 写真製版技術 (フォトリソグラフィ) とエッチングによる除去加工を組み合わせたフォトファブ리케이션技術が有効である。特に, 多数の微細穴を加工する場合には, 有効であり, 実用例としては, カラーテレビのブラウン管に用いられるシャドウマスクの製作が挙げられる。また, シリコンを材料に選択した場合, その異方性を利用することにより, インクジェットプリンタヘッドのノズルも製作されている²⁾。

昨年度我々は, シリコン基板上にカンチレバー (片持ち梁) を作製することを通して, フォトファブ리케이션条件の最適化を行った³⁾。そこで本研究では, それをもとにシリコンに微細穴を作製することを試みるとともに, そのエッチングに, 昨年度使用していない薬液 (エッチャント) を用いて, これまでのエッチャントとの比較, 検討を行ったので報告する。

2 実験方法

2.1 微細穴パターンの設計

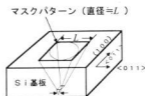
シリコンの面方位を利用して, 微細な穴をあける場合, 転写するパターンの寸法は, 実際に加工したい穴

の寸法と異なる。これは, シリコンのエッチング速度が面方位によって違うためで, パターンを設計する場合, 基板の結晶方位, 厚さを考慮する必要がある。

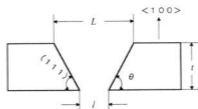
今, 基板の結晶面方位を (100) とすると, その面に比べて, エッチング速度の違い (111) 面が, 図1のように傾斜になって現れる。その傾斜角度を θ , 基板厚さを t , 加工寸法 l とした場合, 表面へのパターン転写寸法 L は, 図1より

$$L = l + (2t/\tan\theta)$$

と求められる。



(a) 穴の構造



(b) 断面図

図1 微細穴加工図

例えば、基板の厚さ t を380 μm 、加工寸法を1-20 μm とした場合、(100)と(111)面のなす角度 θ は、54.74°であるから、設計寸法 L は、557 μm となる。

パターンの形としては、正方形よりも円形パターンの方が良いとされている。これは、正方形だと、その辺が結晶の $\langle 011 \rangle$ 軸方向からずれた場合、実効的な L の長さが変化してしまうからである²⁾。

2.2 フォトマスクの作製

マスクパターンは、CAD用のソフトウェアを用いて2種類作成した。

1つは、20×20mm \square の基板に、1,20,30,50,100 μm \square の穴を加工するパターンである。パターンの形は、円形だけでなく、結晶軸方向からパターン転写がズレた場合の影響を調べるために、正方形も設計した。

もう1種類は、 ϕ 3インチの基板への転写用として、20mm \square の穴を約1000個加工する円形パターンである。

この設計データをもとに、透明紙に赤色膜が貼ってあるフィルムをカットイングプロッタでカットする。次に、不要な部分を剥がして、マスクの原因を作製し、最後に、この原因を、乳剤付のガラス乾板(2.5×2.5インチ)に縮小撮影し、現像する。このようにして、フォトマスクを作製した。

2.3 実験条件

エッチングには、昨年度用いた水酸化カリウムに加えて、エッチング面の平坦性に優れているといわれる水酸化テトラメチルアンモニウム(TMAH)を新たに用いた。各々の試料の基板特性、またフォトリソグラフィ、エッチング工程の実験条件を表1、表2に示す。

表1 使用基板

試料	大きさ	厚さ (μm)	SiO ₂ (μm)
A	20×20mm角	400±25	1 (片面)
B	20×20mm角	400±25	1 (片面)
C	20×20mm角	400±25	1 (片面)
D	20×20mm角	380±25	1 (両面)
E	ϕ 3インチ	380±25	1 (両面)

タイプ:n形
結晶方位:(100)

表2 プロセス条件

試料	ブリバード			露光 (sec)	Siエッチング	
	温度 (°C)	時間 (min)	方式		エッチャント	温度 (°C)
A	49	30	オープン	2	20wt% KOH	85
B	120	30	オープン	2.2	20wt% KOH	85
C	90	30	オープン	1.8	20wt% TMAH	85
D	90	30	オープン	2.2	20wt% TMAH	85
E	110	1.5	ネットプレート	2.2	20wt% TMAH	85

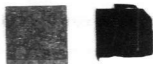
●共通条件

- ・レジスト塗布:本連4000rpm×20sec(OPPR-800)
- ・現像:65sec(NMD-3)
- ・ポストバーク:なし
- ・SiO₂:HF:NH₄F=1:6
- エッチング 室温×10min
- ・レジスト除去:アセトン 超音波洗浄

3 実験結果と考察

3.1 エッチング

試料A及びDのシリコンエッチング後の外観を写真1に示す。



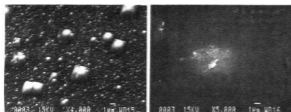
(a)試料A (b)試料B
写真1 シリコンエッチング後の試料外観

設計では、一方向からのエッチングを想定しているため、表面しかシリコン酸化膜(SiO₂)を成膜していない試料に対しては、裏面の浸食を防ぐ必要がある。試料Aでは、裏面にレジストを塗布して90°C×30minバークするという対策を講じた。結果、水酸化カリウム水溶液に浸漬直後、レジストは剝離し、保護膜の効果は得られなかった。そのまま継続してエッチングを行ったところ、5時間経過後、試料全体に穴があいた。レジスト剝離を抑制する目的で、バークの温度を120°Cに昇温して行った試料Bも同様の結果となった。試料A、Bとも、パターン面に余分な穴があいてしまった

ことから、エッチャントに対して、 SiO_2 は保護の役割をしていないことがわかる。そこで、 SiO_2 のエッチングを現状から抑える目的で、水酸化カリウム水溶液よりも、 SiO_2 エッチレートの低い TMAH 水溶液を用いることにした。

試料 C を TMAH 水溶液でエッチングした結果、裏面からの浸食対策をしていないため、試料そのものは脆くなったが、必要な SiO_2 は残り、数個の穴を貫通させることに成功した。エッチング時間は、14 時間であった。シリコンのエッチレートは、水酸化カリウム水溶液に比べて、文献値⁴⁾よりも、遅い結果となったが、 SiO_2 への影響は小さいため、パターン面は、満足する結果を得られた。

ここで、2 種類のエッチャントについて、シリコンの結晶面に与える影響を検討した。各々のシリコンエッチング後の (100) 面の状態を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した結果を写真 2 に示す。



(a) 20wt% KOH (85°C) (b) 25wt% TMAH (85°C)

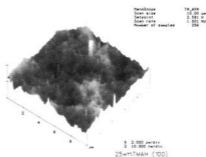
写真 2 シリコンエッチング後の(100)面

写真 2 (a) は、全体的に凹凸がみられ、部分的に大きな突起も見受けられる。一方、写真 2 (b) では、起伏はほとんどなく平坦な面である。この試料を原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて、より詳細に観察した。その結果を写真 3 に示す。

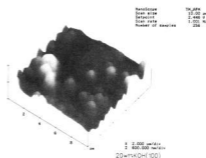
写真 3 (a) の、粗さを示す縦軸の 1 目盛は、600nm である。表面は、大きく変化しているのがわかる。中心面 (この面と表面形状がつくる体積は、この面の上下で等しくなる) に対する 3 次元平均粗さ⁵⁾は、約 92 nm であった。

一方、写真 3 (b) の粗さは、10nm の範囲内であり、3 次元平均粗さも約 1.2nm であった。このことから、SEM で観察した通り、(100) 面は、非常に滑らかであることが確認できた。

したがって、TMAH は、エッチング比 (Si/SiO_2) が高い、エッチング面の平坦性に優れるなどの特性から、シリコンエッチャントとして有用であるといえる。



(a) 20wt % KOH (85°C)



(b) 25wt % TMAH (85°C)

写真 3 原子間力顕微鏡による(100)エッチング面

3.2 加工精度

設計通りの穴を加工するためには、裏面からの防食は、必要不可欠である。そこで、試料 D は、両面に SiO_2 を 1 μm 成膜し、実験を行った。加工した穴の SEM 観察像を写真 4 に示す。

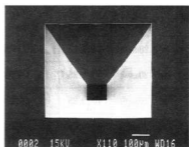
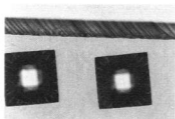


写真 4 走査型電子顕微鏡で観察した加工穴

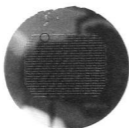
シリコンエッチングに要した時間は、約 10 時間である。写真は、設計寸法 1 μm 穴であるが、実際に加工後の寸法は約 100 μm であった。誤差の要因として、シリコン基板特性の厚みの許容誤差等、いくつか考えられる。この加工法は、設計後のマスクへの転写、その後

のフォトリソグラフィ、エッチング工程といった多岐にわたるプロセス、特にエッチングでは、傾斜加工であることなどを考慮すると、精度良く加工することは非常に困難であるといえる。

次に、 ϕ 3インチ基板(試料E)に同一サイズの穴を基板全体に加工することを試みた。その写真を写真5(a)、(b)に示す。



(a) (b)の拡大写真



(b) ϕ 3インチ基板全体
写真5 シリコンエッチング後の試料E

写真5(a)を見ると、転写した基準線と加工物の四角形の辺が、平行でないのがわかる。これは、 $\langle 011 \rangle$ 軸方向に対して、パターンがずれて転写されたため、異方向性エッチングの特性が、現れた結果でもある。正

方形パターンの場合、転写時のズレは、加工精度に大きく反映される。実際の工程では、この点を考慮に入れて、作業に注意したが、微妙なズレを防ぐことは、不可能であった。円形パターンでは、方向性に左右されないため、実行寸法への影響も少なくてすむ。したがって、微細穴を加工する場合、円形パターンの選択が、適性であるといえる。

4 結 言

シリコン基板上に、フォトファブ리케이션技術を用いて、微細穴加工を試みた。その結果、以下のことがわかった。

- (1) TMAH 水溶液は、エッチング比(Si/SiO₂)が高い、エッチング面の平坦性に優れているなどの特性から、ウェットエッチングによる微細形状の作製において、有用である。
- (2) 微細穴加工を行う場合、転写パターンには、円形パターンが適している。
- (3) ウェットエッチングによる微細穴加工は、精度面で難しい加工法である。

最後に、本研究に使用した機器は、日本自転車振興会の補助により設置されたものである。

文 献

- 1) 樽岡、二瓶：フォトエッチングと微細加工、総合電子出版社、(1977)。
- 2) 古川、浅野：超微細加工入門、オーム社(1989)。
- 3) 縄根、村河他：広島県西部工技研究報告、38(1995)、21
- 4) 田畑他：電気学会センサ技術研究会資料、91(1991)、67

素形材加工のインテリジェント化に関する研究

門 格史, 原 信彦, 新田 明, 糸川信哉*, 二宮征次郎**

Study on Intelligence of Material Processing

KADO Tadashi, HARA Nobuhiko, NITTA Akira, ITOKAWA Shinya and NINOMIYA Seijiro

Making model in Stereo Lithography is expected to use a trial manufacture and mold's model. We made a cylinder head of mold part and models to measure warp in Stereo Lithography. The following results were obtained.

- (1) Doing postcure is reduced model's warp before a model cut on the base.
- (2) Method of laser scanning Vector(cross) is made a precision model, and No Vector (single) is made a model in a short time.

キーワード：光造形，形状，精度

1 緒 言

現在，型職人の不足から鋳造用の模型などの型作成技術の継承が困難視されてきた。

また，モノづくりにおいて評価用モデルの作成，組立モデルの作成は重要な工程である。このモデルの作成は専門の職人が木を使って作ることが多い。

専門の職人によるモデルづくりは職人のセンス，技に頼ることが多い。しかしながら，職人の高齢化，新人の採用難からくる後継者不足は深刻になってきている。

製品の開発において，CAD図面では，理解しにくい製品，部品の干渉，取まり具合を確認したいという要望や，新製品開発のための，製品試作を手早く実際に行いたいという要望がある。

また，現在の製品開発方法では，開発時間が長く，開発期間を短縮することが望まれている。

それらの問題解決の方法として光造形技術が注目されている。

そこで本実験は，光造形装置を利用し，実際のモデルを造形し，装置の最適条件（モデルの反り，寸法精度，形状精度）を求めた。

2 実験方法

2.1 光造形技術の基本原理

光造形技術の基本原理は図1に示すように，3次元CADデータから得られた3次元モデルを水平にスライスした断面形状に沿って紫外線レーザーで光硬化樹脂を1層ずつ硬化させ，1層分の断面を硬化し終わったら，テーブルを1層分下げる。この工程を繰り返し，

立体模型を作成するものである。

2.2 光造形装置

今回実験で使用した光造形装置は，表1のとおりである。

この装置は，2.1で説明した一般的な装置とは少し造形方法が違っている。

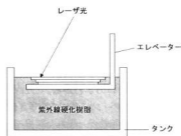


図1 光造形技術の基本原理

表1 実験に利用した光造形装置の仕様

装置	SLP-4000 デンケンエンジニアリング製
外形寸法	550(w)x600(D)x590(H) mm
レーザー光源	He-Cd レーザ 波長325nm
造形方式	引き上げ方式
X-Y移動方式	X-Yブロック方式
最大造形寸法	200(X)x150(Y)x150(Z)

*森今西製作所 **情システムクラフト

今回使用したモデルを引き上げる方式では、図2のとおり、レーザー光を下から照射し、造形ベースを上げて造形を行うものである。

今回の実験に利用した引き上げ方式の特徴を、表2に示す。

2.3 実験条件

2.3.1 反り評価用モデルの作成

光造形装置を用いて、反りの評価用モデルの造形を行った。

図3に造形モデル、図4に測定箇所を示す。

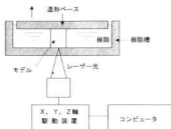


図2 引き上げ方式の原理図

表2 引き上げ方式の特徴

利 点	樹脂量が少なくすみ、コストが安価である
欠 点	造形ベースを引き上げるという原理ゆえ、造形ベースに造形物がしっかりと接着していないと、造形物が剝離し、落下してしまう。

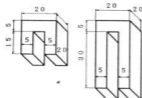


図3 造形モデル図(柱15mmと柱30mm)



*この際、内側に反れたものを“-”、外側に反れたものを“+”とする。

図4 測定箇所

2.3.2 反り評価用モデルの実験条件

光造形装置を用いて、反りの評価用モデルの造形を行った。実験条件を表3に示す

表3 実験条件

レーザー径	0.17mm (積層面の測定を行う)
樹脂の種類	紫外線硬化樹脂 URR-HP4820 ウシオ電機製
レーザー操作ピッチ	0.1mm, 0.2mm
走査速度	30mm/s
積層幅	0.1mm, 0.2mm
レーザー走査方法	ベクター有り, シングル
ポストキュア	造形ベースから取り外す前

2.3.3 シリンダーヘッド金型部品の作成

光造形装置を用いて、エンジンのシリンダーヘッドの造形を行った。

シリンダーヘッドの詳細は図5のとおりである。

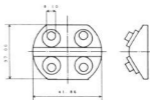


図5 シリンダーヘッド詳細図

2.3.4 シリンダーヘッドの金型部品の実験条件

光造形装置を用いて、シリンダーヘッドの金型部品の造形を行った。

実験条件を表4に示す。(レーザー径、樹脂の種類は、表3と同じである)

表4 実験条件

レーザー操作ピッチ	0.2mm
走査速度	30mm/s
積層幅	0.1mm
レーザー操作方法	ベクター有り (シングル, クロス) ベクター無し (シングル, クロス)

3 実験結果と考察

3.1 評価用モデルの反り

反りの評価用モデルの測定を行い、柱の高さ15mm及び30mmの結果は図6、図7に示す。

柱15mmの反りが、-0.02~0.04mmの間にあり、また、柱30mmの反りは、-0.02~0.06mm内に収まっている。

一般的に、造形モデルをポストキュアを行う前に造形ベースから取り外し、その後ポストキュアを行う方法が一般的な方法とされているが、今回の造形モデルのように、開口である場合は、造形モデルが造形ベースに拘束されている間に、樹脂の未硬化部分をポストキュア（二次硬化）を行って硬化させることにより、反りは軽減されることが分かった。

3.2.1 シリンダーヘッド金型部品の寸法精度

表5より造形のレーザー走査方法として、ベクター無しよりベクター有りの方が、寸法精度が高いことが分かる。

また、表6に示すとおり、造形時間は、ベクター無し（シングル）<ベクター無し（クロス）<ベクター有り（シングル）<ベクター有り（クロス）の順番で造形時間が増加していることがわかる。

表5 シリンダーヘッドの形状寸法

単位：mm

走査方式	ベクター有り		ベクター無し	
	シングル	クロス	シングル	クロス
縦	37.24	37.22	37.57	37.36
横	41.83	41.83	41.93	42.05
円弧	φ8.10	φ8.03	φ8.04	φ8.15

表6 シリンダーヘッドの造形時間

走査方式	ベクター有り		ベクター無し	
	シングル	クロス	シングル	クロス
時間	14h57m	25h10m	10h19m	22h49m

3.2.2 シリンダーヘッド金型部品の形状精度

段差及びスライス形状を、写真撮影及び輪郭形状測定器により測定した結果を写真1、図8に示す。

写真1、図8よりベクター有りは、段差形状がきつちりした線となっていることがわかる。

しかし、ベクター無しは、輪郭にダレが発生している。原因として考えられるのは、レーザーの走査方法の違いにより、ベクター有りは、ダレの部分を、塗りつぶしているものと考えられる。

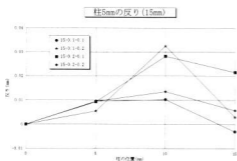


図6 モデルの柱15mmの反り

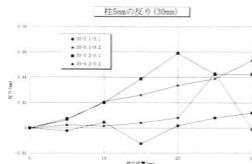
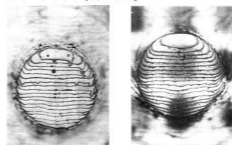
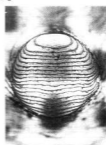


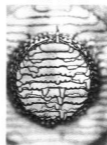
図7 モデルの柱30mmの反り



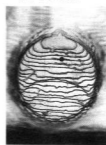
ベクター有り (10°)



ベクター無し (10°)



ベクター有り (20°)



ベクター無し (20°)

写真1 シリンダーヘッドの円弧の形状 (×10)

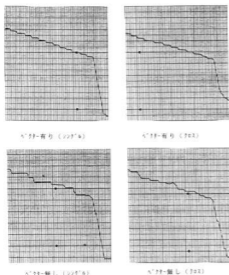


図8 シリンダーヘッドの円弧の形状 (縦: $\times 20$)

これらのことにより、精度を出す場合は、ベクター有り(クロス)で造形するのが望ましい。

また、時間を短縮する場合(製品の試作等)、ベクター無し(シングル)で造形すればよいことがわかった。

4 結 論

光造形装置を用い、反り評価用のモデル及びシリンダーヘッド金型部品の造形を行った。

(1)引き上げ方式において、造形モデルが開口の場合造形ベースに拘束されている間(造形ベースから取り外す前)に、樹脂の未硬化部分をポストキュア(二次硬化)を行って硬化させることにより、モデルの反りは、軽減されることが分かった。

(2)寸法、形状精度は、ベクター有り(クロス)がよく、造形時間は、ベクター無し(シングル)が短いこのことにより、精度を出す場合は、ベクター有り(クロス)で造形するのが望ましい。

また、時間を短縮したい場合(製品の試作等)、ベクター無し(シングル)で造形すればよいことがわかった。

謝 辞

本研究遂行にあたり ご指導頂いた中国工業技術研究所 知能制御室 岡田三郎室長、今出政明研究員に感謝の意を表します。

フッ素樹脂溶射技術の確立と応用 (第2報)

品質工学によるフッ素樹脂溶射条件の最適化

山下弘之, 原 信彦, 新田 明

Study of the Most Suitable Thermal Spraying Conditions of Fluorine by Applying the Method of Quality Engineering

YAMASHITA Hiroyuki, HARA Nobuhiko and NITTA Akira

In this study, Selection of the most suitable conditions of thermal spraying of fluorine were carried out by applying the method of Quality Engineering (TAGUCHI METHOD). First, the fundamental function of thermal spraying of fluorine, test method and test piece were decided. Next, several factors (signal, control, error) were selected and layouted on the L_{18} table. Thermal spraying tests were done according to the L_{18} table with changing the following conditions, (1) fluorine, (2) propylene flow rate, (3) O_2 flow rate, (4) O_2 pressure, (5) gun speed, (6) gun-base plate distance and (7) Preheating temperature. After test, load-extension relation of fluorine film were measured and SN ratio and Sensitivity were calculated by using these data. Finally, The most suitable conditions of thermal spraying of fluorine could be selected by using SN ratio and Sensitivity.

キーワード: 品質工学, フッ素樹脂, 溶射, SN比

1 結 言

フッ素樹脂は耐熱性, 耐化学薬品性, 非粘性, 低摩擦特性, 耐候性, 電気的特性などの優れた性質を有しライニング材料として食品工業をはじめ化学工業, 電気工業など各種工業製品に使用されている。

一般にフッ素樹脂のライニングは焼き付けにより行われ, そのため焼成炉などの大型機器が必要となる。

このフッ素樹脂を溶射によりライニングすることが可能となれば, 大型装置が不要で小ロットの物でも安価にフッ素樹脂ライニング加工ができるようになる。

この観点から, ガス溶射により良好なフッ素樹脂皮膜を得るための基礎研究を実施し, 溶射条件や基板温度等の基礎データを得た¹⁾。更にフッ素溶射条件の最適化を図る目的で, 品質工学 (田口メソッド) による手法を適用して, 溶射条件最適化の検討を行った。

2 実験方法

溶射皮膜は基板への密着度が高く, 表面が滑らかで撥水性の高いものが求められる。このような皮膜が得られる最適な溶射条件 (ガス条件 (プロピレン流量, 酸素流量), 溶射ガン移動速度, 溶射ガン・基板間距離, 基板予熱温度等) を求めるため, 溶射の基本機能の設定, 各因子の設定・割付, 直交表による溶射実験の実施という品質工学の手法を通して最適な溶射条件

の検討を行った。

2.1 溶射装置

実験で使用した溶射装置, 溶射ガン及びロボットを写真1に示す。熱源にプロピレンと酸素を使い, 溶射ガンは樹脂溶射用に設計され樹脂が炎に直接接しないよう炎と樹脂間に空気の膜を作るようになっている。また, フッ素樹脂粉末の供給は酸素で行う。



写真1 溶射装置, ガン及びロボット

2.2 品質工学に基づく実験計画

2.2.1 溶射加工技術 (基本機能の設定)

フッ素樹脂溶射のメカニズムを考えると, 溶射ガンから噴射・加速されたフッ素樹脂粉末粒子が, 酸素とプロピレンの燃焼炎による熱源で, 基板へ到達する飛翔中に溶融状態の粒子となり, 基板上に衝突, 集積し混じり合うことで, 1枚の溶射皮膜として基板上に形

成される。その際の密着度は、溶けた樹脂が基板表面上の凹凸にかみ合うアンカー効果で生じるので、適度に溶け混じり合った溶射皮膜であれば、基板にかみ合う効果も大きくなるので、密着度も高くなることが予想される。同様に撥水性も、良好な皮膜表面は、樹脂粒子が十分に溶けて混じり合った凹凸のない膜であり、溶け方が不十分だと、樹脂粒子の形が残ったり空隙が発生し、凹凸の表面となり撥水性が低下するし、溶け過ぎ(温度が上がり過ぎ)では、気泡やひび割れの発生、燃焼による変質により撥水性が低下する。つまり良好な溶射では、樹脂粉末粒子が適度に熱溶解し、均一に集積し混じり合うことで、全体に均一な一枚の溶射皮膜が形成され、その結果として、滑らかな表面を持ち、密着度も高い膜が形成されると考えられる。この場合、溶射面積が変化しても、均一な溶射皮膜が得られるはずで、また溶射回数が多くなっても、均一で回数に比例して厚い膜が得られるはずである。このような一枚の均質な溶射皮膜であれば、皮膜を連続的に荷重を変化させて引張った場合、金属と同様に比例的に伸びると予想される。また溶射長さが大きい程、また溶射回数が多い(膜厚が厚い)程、同じ荷重に対する伸びは、小さくなくなると考えられる。そこで、今回溶射の基本機能を次のように考えた。

溶射長さ、溶射回数に対して溶射皮膜の伸びと引張荷重が比例関係にある。

$$Y(\text{伸び}) = \beta \cdot M(\text{荷重}) / M^* (\text{溶射長さ}) \cdot M^{**} (\text{溶射回数})$$

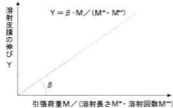


図1 溶射の理想機能

すなわち、図1に示すように溶射長さ、回数に反比例し、安定した荷重-伸びの関係有するフッ素樹脂の溶射皮膜が最適な膜で、かつこのような膜ならば密着度が高く、表面が滑らかで撥水性が高いと考え、これを安定して得られる条件を求めた。

2.2.2 テストピースの形状

図2に示すように、膜の引張試験を行うため、2つの平板をあわせた形状で、中央で分離できる構造とし、溶射長さが異なるよう、幅20, 30, 40mm、長さ60mmの3種類を用意した。これに溶射を行った後引張試験を行い、その際の溶射皮膜の伸びと荷重の関係を求めた。



図2 テストピース形状

2.2.3 信号因子

引張試験時の次の値を信号因子とし、その際の皮膜の伸びを特性値として測定した。

- ・引張荷重(M) : 25,50,75Nの3水準
- ・溶射長さ(M*) : 20,30,40mmの3水準
- ・溶射回数(M**) : 所定のピッチで4,8,12回の3水準

2.2.4 制御因子の選定とその水準

制御因子として表1に示す各溶射条件が考えられる。平成5年度の基礎研究から得た溶射条件を基に、各因子の水準を次のように設定した。またプロピレン、酸素の各ガス圧は、装置上の制約から一定値で実験した。

表1 制御因子

因子	水準	1	2	3
(a)樹脂種類		アフロン ET-30		
(b)プロピレン流量	Nl/hr	80	100	120
(c)酸素流量	Nl/hr	400	450	500
(d)酸素圧力	Kpa	98	108	118
(f)ガン移動速度	cm/min	800	1000	1200
(f)ガン基板間距離	cm	12	13	14
(g)予熱温度	°C	200	250	300

2.2.5 誤差因子

実際の溶射では、ワークの大きさの違い、温度条件の変動等が考えられるが、今回はテストピース自体の大きさが違い、温度条件等のばらつきも含んだ実験となり、誤差の影響が含まれた実験となると考えられるので、特に誤差要因は設定しないこととした。

2.2.6 L₁₈直交表への割付

各制御因子を表2に示すL₁₈直交表に割付けた。

表2 L₁₈直交表

	制御因子						
	樹脂種類	プロピレン流量	酸素流量	酸素圧力	ガン移動速度	ガン基板間距離	予熱温度
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3
16	2	3	1	3	2	3	1
17	2	3	2	1	3	1	2
18	2	3	3	2	1	2	3

表3 テストピースの伸び測定結果 (単位: mm)

		信号因子								
		M ₁ :12.5N			M ₂ :25.0N			M ₃ :37.5N		
		M ₁ [*] (20mm)	M ₂ [*] (30mm)	M ₃ [*] (40mm)	M ₁ [*] (20mm)	M ₂ [*] (30mm)	M ₃ [*] (40mm)	M ₁ [*] (20mm)	M ₂ [*] (30mm)	M ₃ [*] (40mm)
1	M ₁ ^{**} (4回)	0.039	0.070	0.056	0.055	0.105	0.079	0.069	0.132	0.092
	M ₂ ^{**} (8回)	0.043	0.066	0.052	0.063	0.103	0.072	0.077	0.120	0.086
	M ₃ ^{**} (12回)	0.076	0.040	0.070	0.103	0.060	0.105	0.120	0.073	0.128
2	M ₁ ^{**} (4回)	0.034	0.052	0.029	0.053	0.078	0.045	0.072	0.093	0.063
	M ₂ ^{**} (8回)	0.038	0.028	0.033	0.062	0.044	0.049	0.078	0.050	0.062
	M ₃ ^{**} (12回)	0.028	0.039	0.037	0.045	0.063	0.067	0.053	0.080	0.082

3 実験結果及び考察

3.1 引張試験結果

L₁₀直交表に基づき、各条件で溶射実験を実施した。溶射後のテストピースをオートグラフで引張試験し、荷重と樹脂皮膜の伸びの関係を得た。測定結果の一部を表3に示す。

3.2 測定結果の解析

品質工学の動特性(ゼロ点比例式)の解析方法に従い、測定結果から各実験に対するS/N比、感度を求めた。(表4)解析は3因子の信号因子(M, M*, M**)を、次の手順で27(=3×3×3)個の信号因子に変換して計算を行った。

$$M_1 = M_1 / (M_1^* \times M_1^{**}) = 12.5 / (20 \times 4) = 0.15625$$

$$M_1 = M_1 / (M_1^* \times M_2^{**}) = 12.5 / (20 \times 8) = 0.07813$$

$$M_2 = M_2 / (M_2^* \times M_2^{**}) = 37.5 / (40 \times 12) = 0.07813$$

次に各制御因子の水準別平均値(表5)から、要因効果図(図4)を作成した。以下にS/N比、感度Sの計算例を示す。

実験No.1の場合

• 全2乗和 $S_T = 0.039^2 + 0.043^2 + 0.076^2 + \dots + 0.128^2 = 0.1905160$

• 有効除数 $r = (0.15625^2 + 0.07813^2 + \dots + 0.07813^2) = 0.788288292$

• 信号因子の回帰項の変動

$$S\beta = (0.039 \times 0.15625 + 0.043 \times 0.07813 + \dots + 0.11719 \times 0.086 + 0.128 \times 0.07813)^2 / r = 0.1219970$$

• 誤差変動 $Se = S_T - S\beta = 0.0685190$

• 誤差分散 $Ve = Se / (n-1) = 0.002635345$

これよりS/N比ηは、

$$\eta = (1/r) \times (S\beta - Ve) / Ve = 57.4569398$$

$$SN(dB) = 10 \times \log(\eta) = 17.5934247$$

感度Sは、

$$S = (S\beta - Ve) / Ve = 0.15141884$$

$$S(dB) = 10 \times \log(s) = -8.19820084$$

各因子の水準別平均より図3、図4に示す要因効果図を求めた。

3.3 利得の推定

S/N比、感度の比較から、溶射の最適条件は、A₁、B₂、C₁、D₁、E₂、F₂、G₂と推定できる。BはS/N比は第3水準が大きいが、感度も考慮して第2水準を選定した。これから、効果が大きいと考えられる4条件を選定して、最適条件でのS/N比、感度を推定した。

表4 S/N比及び感度

No	S/N比	感度
1	17.5934247	-8.19820084
2	19.8626458	-10.79463004
3	17.2831917	-8.63677241
4	18.6174478	-11.54510646
5	11.2515248	-8.15247653
6	22.7197781	-10.84918749
7	20.4304079	-10.43553971
8	12.9231090	-17.50356261
9	20.9851790	-9.95042740
10	12.2004278	-12.49152145
11	16.0885011	-9.02994573
12	6.2219080	-14.79938573
13	20.2907910	-10.47439835
14	3.4446754	-12.71842927
15	17.9072126	-13.03022835
16	14.7765680	-12.82249350
17	14.6603813	-16.80965147
18	11.8818306	-17.62610248
平均	15.507722	-11.99266999

表5 各因子の水準別平均
(上段:SN比, 下段:感度)

因子	第1水準	第2水準	第3水準
A	17.9629676	13.0524773	——
	-10.673989	-13.311350	——
B	14.8750165	15.7052383	15.9429126
	-10.658409	-11.128304	-14.191296
C	17.3181779	13.0384729	16.1665167
	-10.994543	-12.501449	-12.482017
D	17.6420244	14.9898514	13.8912917
	-11.427260	-12.047088	-12.503661
E	15.3597696	15.0514819	16.1119159
	-11.476234	-13.415901	-11.085874
F	15.7348987	14.4987011	16.2895677
	-13.105731	-12.521036	-10.351242
G	12.3788800	17.9634756	16.1808119
	-11.106902	-12.401793	-12.469314

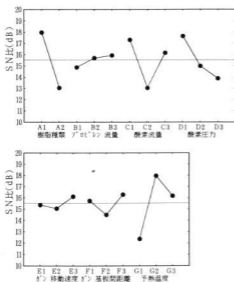


図3 要因効果図 (SN比)

$$\text{SN比, 感度} = A_1 + C_1 + D_1 + G_2 - 3 \times T \text{ (-平均)}$$

$$= 24.3636(\text{dB}) \quad -9.5195(\text{dB})$$

現状の条件は、樹脂を第1水準とし、残りは第2水準で、同様にしてSN比、感度を推定した。

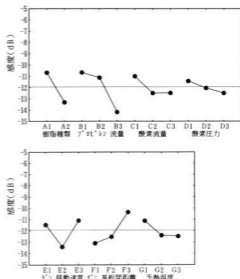


図4 要因効果図 (感度)

$$\text{SN比, 感度} = A_1 + C_2 + D_1 + G_2 - 3 \times T \text{ (-平均)}$$

$$= 17.4316(\text{dB}) \quad -11.6463(\text{dB})$$

これから、SN比で6.9(dB)、感度で2.1(dB)の利得が推定された。

3.4 確認実験及び評価

最適条件及び現状の条件について確認実験を行い、SN比、感度を求めた。推定結果とあわせて表6に示す。また溶射皮膜の様子を写真2に示す。

表6 確認実験結果

	SN比		感度	
	推定値	確認実験	推定値	確認実験
最適	24.3636	20.2995	-9.5195	-9.3047
現状	17.4316	14.5262	-11.6463	-12.7302
利得	6.9320	5.7733	2.1268	3.4255

表6に示すように、絶対値で見ると、SN比で確認実験と推定値に、4dB程度の差が見られたが、利得はSN比で推定値より1dB程小さく、感度は推定値より1dB程大きく再現された。実際の溶射の様子を観察すると、熱源である溶射ガンからの炎(酸素とプロピレンの燃焼による炎)が安定し、かつその長さが基板に僅かに届かない程度であれば、比較的良好な溶射ができる。プロピレン流量 100, 120NI/hr, 酸素流量 400NI/hrの条件が、安定した燃焼ができ、炎が安定すると考えられる。プロピレン流量が多くなると、炎が長くなり基板に近づくため、溶射皮膜が焼ける危

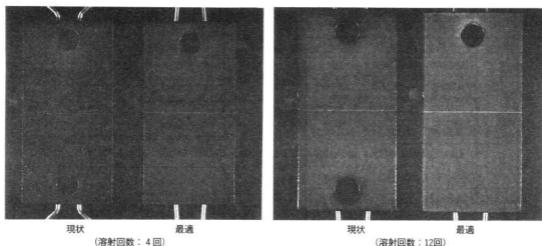


写真2 現状条件と最適条件との溶射皮膜の比較

険性が多くなる。今回の実験から見ると、樹脂皮膜が焼け傾向になる程伸びが小さく、逆に樹脂の溶融が少なめの場合では、伸びが大きくなる傾向が見られたことから、プロピレン流量の100NI/hrと120NI/hrで、感度に3dbの差が生じたと考えられる。

多くの実験で、溶射回数が多くなると、溶射皮膜の温度が上昇し、皮膜中に小さな気泡が多数発生したり、ひび割れが生じることが観察された。また樹脂量が多いと、この傾向が顕著であった。そこで1回当たりの樹脂量を少なく、かつ溶射ガンを速く動かすことで、溶射皮膜の温度上昇が抑えられると考えられる。

以上、今回の条件を見ると、フッ素樹脂溶射は適度な熱量で、炎と基板間の距離を適正に保ちつつ、樹脂量も少なめで速く溶射ガンを動かし、1回当たりの溶射皮膜を少なくし、かつ溶射中の皮膜の温度上昇をおさえるような条件で行うことが、最適であるとの結果が得られたと考える。

写真2を見ると、現状条件で溶射回数が増えると、溶射皮膜に小さなひび割れが多数見られるのに対し、最適条件ではその発生がほとんど見られず、最適条件で比較的良好な溶射が行われた。密着度や表面性状(撥水性)に関しては、現状、最適で基本機能で考え

た程の、顕著な差は見られなかったが、密着度、撥水性が樹脂の溶融状態に影響されると考えられるので、感度の調整により、さらに最適な樹脂の溶融状態を求めることで、密着度、撥水性をさらに高める条件が得られると考えられる。

4 結 言

品質工学(田口メソッド)の手法を適用して、フッ素樹脂溶射条件の最適化を試みた。溶射の基本機能の設定、溶射皮膜の引張試験を通して、最終的に確認実験で利得が再現される結果となり、安定した溶射皮膜が得られた。ただ、SN比の絶対値が小さいことや、SN比の水準比較で、凹凸がいくつか見られることから、今回選定した制御因子間での、交互作用の影響も考えられる。水準ずらし等の適用による実験も、今後の検討課題であろう。

最後に、本実験遂行にあたり電気通信大学教授矢野宏氏、広島市工業技術センター市後、浅野、桑原の各氏にご指導、ご助言を頂いたことを深く感謝致します。

文 献

- 1) 原他：広島県立西部工業技術センター研究報告, 37(1994), 46

平成8年9月30日 印刷
平成8年9月30日 発行

編集
発行 広島県立西部工業技術センター
〒737 呉市阿賀南2丁目10-1
TEL (0823) 74-0050
FAX (0823) 74-1131

印刷所 株式会社ニシキプリント
〒733 広島市西区商工センター7丁目5-33
TEL (082) 277-6954