

広島県立西部工業技術センター研究報告

No.38

目

次

September 1995

抄 録

一 報 文

- | | | | |
|----|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | スパッタリング装置を用いた透明薄電導膜の性能向上研究 | 梶岡 秀, 樋口浩一, 柳川竜男 | 1 |
| 2 | 硬質薄膜の密着性評価装置の開発 | 門 格史, 新田明, 筒本隆博, 池田哲宏 | 5 |
| 3 | 光ファイバー光学系を用いたYAGレーザによる溶接加工法の研究 | 池田哲宏, 山下弘之, 門 格史, 片岡弘行 | 9 |
| 4 | 品質工学による切削加工条件の最適化の研究 | 山下弘之, 池田哲宏, 門 格史 | 13 |
| 5 | 耐熱合金(インコネル713C)のレーザ切断加工試験 | 山下弘之, 池田哲宏, 門 格史 | 17 |
| 6 | シリコンカンチレバー作製におけるフォトファブリケーション条件の最適化 | 轟雅典生, 村河亮利, 梶岡 秀, 蒲田政信 | 21 |
| 7 | 溶射技術を利用した電磁誘導加熱材料の開発 | 原 信彦, 新田 明, 蒲田政信, 藤村秀樹, 河本守人 | 25 |
| 8 | 金属間化合物を強化材としたアルミニウム合金複合材料の開発 | 土取 功, 藤田 誠, 藤井敏男, 田谷征雄 | 29 |
| 9 | 硬質ポリオレフィン樹脂の塗装密着性の改善 | 大橋俊彦 | 33 |
| 10 | ハイブリッドスタンプバルブシートの開発とその機械的特性 | 下原伊智朗, 好満芳邦, 大橋俊彦, 田平公孝, 土取 功 | 37 |
| 11 | FRPハニカム構造体の製造プロセスに関する研究 | 藤井敏男, 村河亮利, 本山浩司, 好満芳邦 | 41 |
| 12 | 廃発泡プラスチック再生材から試作した接触回転円板による生物的排水処理 | 本山浩司, 斯波信雄, 丸下清志, 好満芳邦, 田平公孝, 渡部英雄 | 45 |
| 13 | 廃発泡プラスチックを原料とする機能製品の開発 | 好満芳邦, 下原伊智朗, 丸下清志, 田平公孝 | 48 |
| 14 | プラスチックの熱分解用触媒に関する研究 | 斯波信雄, 本山浩司, 丸下清志, 山縣康男, 好満芳邦 | 50 |
| 15 | オゾン層を破壊する洗浄物質の代替技術の開発 | 新田 明, 丸下清志, 大橋俊彦, 蒲田政信, 岡本五十生 | 54 |
| 16 | カキ養殖海域における海底浄化システムの性能試験 | 倉本恵治, 藤本宗之, 斯波信雄, 畑 徳寛, 本山浩司, 渡部英雄, 伊藤信夫, 鈴木貞男 | 58 |
| 17 | 海底ヘドロを固形化したブロックの試作と海中浸漬試験 | 藤本宗之, 倉本恵治, 畑 徳寛, 渡部英雄, 斯波信雄, 本山浩司, 伊藤信夫, 鈴木貞男, 岡本五十生 | 63 |
| 18 | 回流水槽における全没型水中翼模型の抵抗試験 | 畑 徳寛, 木曾文彦, 藤本宗之, 倉本恵治, 本山浩司 | 67 |
| 19 | ハイビジョン対応画像処理専用LSIの開発(第3報) | 馬場祥宏, 松垣和生, 宮野忠文, 打田澄雄, 武田幹雄, 佐野 誠, 村河亮利 | 71 |
| 20 | 高速データ処理装置の開発 | 打田澄雄, 馬場祥宏, 武田幹雄, 世良時夫 | 75 |
| 21 | 画像処理による無人検査システムの開発 | 武田幹雄, 佐野 誠, 村河亮利 | 79 |
| 22 | ハイブリッドCAEシステムの開発 | 坂元康幸, 佐々木憲吾, 金安俊哉 | 83 |
| 23 | オブジェクト再利用による可視化ツールの開発 | 長谷川浩治, 山下英生, 金田和文 | 87 |
| 24 | 音・振動の環境アメニシティに応じた多機能材料の開発 | 吉野信行, 宮野忠文, 日寺 巖, 中塩武之, 下原 武, 二羽一, 太田光雄 | 91 |
| 25 | データ処理装置のEMI評価に関する研究 | 日寺 巖, 宮野忠文, 吉野信行, 中塩武之, 辻本敬幸 | 95 |
| 26 | 遮隔装置による潜水ロボットの開発 | 佐野 誠, 山下弘之, 田平公孝, 武田幹雄, 倉本恵治, 長谷川浩治, 宮野忠文, 轟雅典生, 日寺 巖, 佐々木憲吾, 門 格史, 藤井敏男, 村河亮利, 本山浩司, 中塩武之 | 99 |

BULLETIN
of The
WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

September 1995

Vol.38

Contents

—Originals—

- | | | |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Study on Transparent Conducting Films (ITO) Prepared by Magnetron Sputtering
KAJIOKA Hideshi, HIGUCHI Koichi and YANAGAWA Tatsuo | 1 |
| 2 | Development of Convenient Testing Machine to Evaluate of Hard Film
KADO Tadashi, NITTA Akira, TUTUMOTO Takahiro and IKEDA Tetsuhiro | 5 |
| 3 | Study on YAG Laser Welding Technique with Optical Fibers
IKEDA Tetsuhiro, YAMASHITA Hiroyuki, KADO Tadashi and KATAOKA Hiroyuki | 9 |
| 4 | Study on the Most Suitable Endmilling Conditions by Applying the Method of Quality Engineering
YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi | 13 |
| 5 | Laser Cutting Test for Super Heat Resisting Metal (Inconel 713C)
YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi | 17 |
| 6 | Optimization of Photofabrication Conditions on Producing Silicon Cantilevers
NAWACHI Norio, MURAKAWA Akitoshi, KAJIOKA Hideshi and KAMATA Masanobu | 21 |
| 7 | Development of Electro Magnetic Heating Material by Thermal Spraying
HARA Nobuhiko, NITTA Akira, KAMATA Masanobu, FUJIMURA Hideki and KOMOTO Morito | 25 |
| 8 | Development of Particulate Intermetallics Strengthened Aluminum Alloys Composites
TSUCHITORI Isao, FUJITA Makoto, FUJII Toshio and TADANI Isao | 29 |
| 9 | Improvement of Adhesion of Coatings of Rigid Polyolefin Resins
OHASHI Toshihiko | 33 |
| 10 | Development of Hybrid Stampable Sheets
SHIMOHARA Ichiro, YOSHIMITSU Yoshikuni, OHASHI Toshihiko, TAHIRA Kimitaka and TSUTITORI Isao | 37 |
| 11 | A Study on Production Process of Honeycomb Core Using FRP
FUJII Toshio, MURAKAWA Akitoshi, MOTOYAMA Koji and YOSHIMITSU Yoshikuni | 41 |
| 12 | Biological Waste Water Treatment by Trial Rotating Biological Contactor from Waste Foamed
Plastics
MOTOYAMA Koji, SHIBA Nobuo, MARUSHITA Kiyoshi, YOSHIMITSU Yoshikuni, TAHIRA Kimitaka and WATANABE Hideo | 45 |
| 13 | Development of Functional Products from Waste Foamed Plastics
YOSHIMITSU Yoshikuni, SHIMOHARA Ichiro, MARUSHITA Kiyoshi and TAHIRA Kimitaka | 48 |
| 14 | 26 Effect of Catalysts on Pyrolysis of Plastics
SHIBA Nobuo, MOTOYAMA Koji, MARUSHITA Kiyosi, YAMAGATA Yasuo and YOSHIMITSU Yoshikuni | 50 |

15	Development of New Cleaning Process Substituting for the Process with Ozone Layer Destroying Materials.	54
	NITTA Akira, MARUSHITA Kiyoshi, OHASHI Toshihiko, KAMATA Masanobu and OKAMOTO Isoo	
16	Efficiency of the Clarifying System for the Sea Bottom under the Oyster Farm	58
	KURAMOTO Yoshiharu, FUJIMOTO Muneyuki, SHIBA Nobuo, HATA Noriyoshi, MOTOYAMA Koji, WATANABE Hideo, ITOH Nobuo and SUZUKI Sadao	
17	An Experimental Produce of Concrete Blocks by Eutrophic Sea Bottom Mud and it's Suitability Test for the Fish Reef	63
	FUJIMOTO Muneyuki, KURAMOTO Yoshiharu, HATA Noriyoshi, WATANABE Hideo, SIBA Nobuo, MOTOYAMA Koji, ITOH Nobuo, SUZUKI Sadao and OKAMOTO Isoo.	
18	Resistance Test of a Fully Submerged Hydrofoil Model in CWC	67
	HATA Noriyoshi, KISO Katuhiko, FUJIMOTO Muneyuki, KURAMOTO Yoshiharu and MOTOYAMA Koji	
19	Development of Hi-Vision Image Processing LSI IP12000 (3rd Report)	71
	BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo, MIYANO Tadafumi, UCHIDA Sumio, TAKEDA Mikio, SANO Makoto and MURAKAWA Akitoshi	
20	Development of a Digital Signal Processing Board for Factory Automation	75
	UCHIDA Sumio, BABA Yoshihiro, TAKEDA Mikio and SERA Tokio	
21	Development of Leak Test System by Image Processing	79
	TAKEDA Mikio, SANO Makoto and MURAKAWA Akitoshi	
22	Development of Hybrid CAE System	83
	SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo and KANEYASU Toshiya	
23	Development of Visual Tool by Object Oriented Programming.	87
	HASEGAWA Koji, YAMASITA Hideo and KANEDA Kazufumi	
24	Development of Multi-Functional Material Suitable for Environmental Amenity of Sound and Vibration	91
	YOSHINO Nobuyuki, MIYANO Tadafumi, HIDERA Iwao, NAKASHIO Takeyuki, SHIMOHARA Takeshi, NIWA Hajime and OHTA Mitsuo	
25	Study on EMI Estimation for Data Processing Equipment	95
	HIDERA Iwao, MIYANO Tadafumi, YOSHINO Nobuyuki, NAKASHIO Takeyuki and TSUJIMOTO Atsuyuki	
26	Development of Submarine Vehicle with Remote Control System	99
	SANO Makoto, YAMASHITA Hiroyuki, TAHIRA Kimitaka, TAKEDA Mikio, KURAMOTO Yoshiharu, HASEGAWA Koji, MIYANO Tadafumi, NAWACHI Norio, HIDERA Iwao, SASAKI Kengo, KADO Tadashi, FUJII Toshio, MURAKAWA Akitoshi, MOTOYAMA Koji and NAKASHIO Takeyuki	

Published by

WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

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

Hiroshima, 737 JAPAN

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.38, 1995)

スパッタリング装置を用いた透明導電薄膜の性能向上研究

梶岡 秀, 樋口浩一, 柳川竜男

透明導電薄膜 (ITO) はオプトエレクトロニクス素子, 太陽電池などに用いられ, 今後これらの産業が伸びてくるものと予想される。成膜法はスパッタリング (DC か RF) が主流となってきた。しかしながら DC および RF 放電の両者を同一ターゲットを用いて比較したものは報告されていない。そこで両者の電気抵抗率と光透過率に及ぼす影響について検討した。

ITO ターゲットは異常放電が発生しやすく, 両者とも安定放電域では成膜速度は 20nm/min, 膜厚 150nm での室温成膜時の体積電気抵抗率は, 成膜条件を選べば $5.4 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ (文献の最高値 $4.9 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$), 400°C では $1.7 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ が得られた。可視光透過率も 80% 以上であり, DC と RF の放電による大きな差異は認められなかった。酸素ガスの導入は抵抗率を高めた。

P 1~4, 表 1, 図 8, 写真 1, 文献 8

硬質薄膜の密着性評価装置の開発

門 格史, 新田 明, 筒本隆博, 池田哲宏

従来, 薄膜の密着性の評価として, 引っかき針を利用した引っかき試験を用いることが多かった。しかしながら, 近年, ダイヤモンド薄膜の出現により, 従来の方法では, 引っかき針がすぐ摩耗し, 使用できなくなるという問題が生じている。そこで, 圧縮試験機に付加的な装置を取り付けることにより, ダイヤモンド薄膜の密着性を迅速かつ定量的に評価できる装置を開

発した。2種類 (超硬, Si_3N_4) の基板にダイヤモンド薄膜をコーティングし, 密着性評価装置を用いて圧縮引き出し試験を行い, 超硬, Si_3N_4 の密着性は, ほぼ同程度であることが分かった。また, ラマン分光分析, X線応力測定の結果より, 膜の残留応力は, 超硬基板は, 強い圧縮がはたらいっていること, また, Si_3N_4 基板は, わずかに引張が生じていることが確認された。

P 5~8, 表 4, 図 5, 写真 1, 文献 4

光ファイバー光学系を用いた YAG レーザによる溶接加工法の研究

池田哲宏, 山下弘之, 門 格史, 片岡弘行

光ファイバー光学系を用いた YAG レーザによる加工条件がステンレス丸棒 (SUS304, φ3) の突合せ溶接における溶込み形状および加工変形に及ぼす影響について検討した。

グレーデッドインデックス (GI) 形ファイバーを用いて加工した溶込み形状はステップインデックス (SI) 形のものよりアスペクト比の大きい, 深い溶込みが得ら

れた。焦点位置 0mm において SI 形ファイバーを用いた 1 点照射による角変形は溶込み面積にほぼ比例して増加し, パルスエネルギー 18J で約 5 mrad となるが, 3 分岐された光ファイバーによる円周 3 等分点の 3 点同時照射においては溶込み面積にほとんど影響されず, ほぼ一定の角変形 2 mrad を示した。

P 9~12, 表 1, 図 7, 写真 2, 文献 2

品質工学による切削加工条件の最適化の研究

山下弘之, 池田哲宏, 門 格史

本研究では, 品質工学 (田口メソッド) により, マシニングセンターでの切削加工条件の最適化を試みた。この中で, マシニングセンターによる切削加工の理想機能設定, テストピース形状及び各種因子 (信号, 制御, 誤差) の設定, 直交表への割付けなどの, 品質工学の実験計画法に基づく手順に従い, 切削加工実験を

行った。加工後の形状測定結果から, SN 比, 感度の算出, 各因子の水準別平均, 効果要因図等を求める解析を通して, 加工後の形状精度に影響を及ぼす切削時の加工条件 (切削速度, 送り速度, 加工ピッチ), 工具の種類, 加工方式等に関する最適条件を選定でき, その効果についても推定ができることを示した。

P 13~16, 表 6, 図 4, 写真 1, 文献 3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.38, 1995)

耐熱合金 (インコネル713C) のレーザ切断加工試験

山下弘之, 池田哲宏, 門 格史

タービンエンジンなどで用いられる耐熱合金の一つであるインコネル713Cのレーザ切断加工特性を検討した。その結果、(1)5mmまでの板厚は出力Max1kWのCO₂レーザで十分切断可能で、アシストガスによる切断性は酸素、空気、Arの順で高くなった。(2)アシストガスが酸素の場合、インコネル718に対し切断限界が全ての板厚で悪くなっているのに対し、空気、Ar

では逆に良くなった。(3)板厚が大きい場合、酸素で最も大きなドロスの発生が見られ、切断面も凹凸の激しい状態となった。次いで空気、Arは不活性ガスのため発生は少なく、黒く変色した溶融物の付着もほとんど見られなかった。(4)切断幅は板厚が小さい1mmの場合、表面で大きくなるのに対し、板厚が3mm、5mmと大きくなると逆に裏面で大きくなった。

P17~20, 図7, 写真2, 文献2

シリコンカンチレバー作製におけるフォトファブリケーション条件の最適化

縄雅典生, 村河亮利, 梶岡 秀, 蒲田政信

マイクロマシン製作に代表されるフォトファブリケーション技術の各プロセスにおける最適な条件を見出すための基礎的実験を行った。酸化膜を1μm成膜したシリコンウェハー上に、フォトリソグラフィとシリコンの異方性エッチングを利用して、カンチレバー (片持ち梁) の作製を試み、フォトファブリケーションの各工程における条件出しを行った。

その結果、フォトリソグラフィにおいて、レジストの密着性また露光方式や露光時間がパターンに及ぼす影響や、カンチレバー作製のためには、エッチング時に加工寸法が関係することなど、シリコン基板上に微細な形状を作製するための基礎データを得ることができた。

P21~24, 表2, 図4, 写真1, 文献7

溶射技術を利用した電磁誘導加熱材料の開発

原 信彦, 新田 明, 蒲田政信, 藤村秀樹, 河本守人

近年、安全で清潔な調理器が求められるようになり火を使わない調理器として電磁調理器 (IH調理器) が注目されている。電磁調理器用なべは、誘導加熱され易い鉄やステンレスが使用されているため重く、又、鉄の場合は錆の問題がある。

そのため、軽くて錆びにくいアルミニウムの使用が

考えられるがアルミニウムは誘導加熱されにくい材料で発熱しないため、アルミニウムの表面に発熱し易い鉄を溶射して、軽くて錆びにくい電磁調理器用なべを作製するための溶射条件を確立し、溶射皮膜の密着強度試験、熱衝撃試験、発熱試験等を行い、十分使用できる溶射皮膜を得ることができた。

P25~28, 図7, 写真2, 文献1

金属間化合物を強化材としたアルミニウム合金複合材料の開発

土取 功, 藤田 誠, 藤井敏男, 田谷征雄

軽量耐摩耗性材料の開発を目的に金属間化合物 (SiC, TiAl, NiAl) を強化材とした粒子強化アルミニウム合金複合材料を高圧凝固造法によって製造した。本研究では複合材料の製造方法に関して、粒子強化材の体積率制御および分散性、プリフォームの強度、複合材料のT6熱処理性などを検討し、その結果次のことが分かった。

(1)粒子強化材の体積率制御はAl粉末の添加が可能となり、粒子の分散性はプリフォーム作製時に凝集剤を添加することで確保された。(2)アルミナゾル結晶剤の使用は焼成温度をその結晶化温度以上にする必要があった。(3)複合化温度条件は添加アルミニウム粉末に融解潜熱を奪われるため、高く設定する必要があった。(4)NiAl, TiAlの複合材では、Alリッチな金属間化合物に変化した。

P29~32, 図5, 写真3, 文献6

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.38, 1995)

硬質ポリオレフィン樹脂の塗装密着性の改善

大橋俊彦

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、表面が不活性であるため接着性・塗装性が悪い。しかし接着・塗装などをして使用したいという需要も多く、そのためには何等かの処理を行って表面を改質し、接着性を向上させる必要がある。ポリエチレン・ポリプロピレンなどと相溶性があるとされる

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これらの樹脂の表面処理剤として用い、塗料との密着性の改善について検討した。その結果、密着性にかなりの改善がみられ、特にポリプロピレンでは実用レベルに近い密着力を示すデータが得られた。

P33~36, 図1, 表2, 写真1, 文献5

ハイブリッドスタンパブルシートの開発とその機械的特性

下原伊智朗, 好満芳邦, 大橋俊彦, 田平公孝, 土取 功

熱可塑性樹脂とガラス繊維を用いた強化プラスチックであるスタンパブルシートは、軽量化、一体化、耐食性などの要求から自動車部品に多く使われつつある。しかし、マトリックスのPPが低弾性率であることなどから剛性に限界があり、また、より強度があれば使用可能となる部材もある。本研究では構造用部材への適用を図るため、長繊維織物を強化材に用いた強度・剛性に優れる高性能なスタンパブルシートの作成を検

討した。その結果、炭素繊維及びガラス繊維織物を強化材に用いた強化熱可塑性プラスチック(RTP)シートを開発し、市販のスタンパブルシートの表面にこのRTPシートをラミネートしてハイブリッド化することによって強度、弾性率を向上させることができ、これによって製品の薄肉化、穴加工時の強度保持等の特性の改善が図れることがわかった。

P37~40, 表1, 図5, 写真1, 文献4

FRP ハニカム構造体の製造プロセスに関する研究

藤井敏男, 村河亮利, 本山浩司, 好満芳邦

航空機の機体には、比強度が高く、高剛性で衝撃に強い構造をもつハニカムコアを用いたサンドイッチパネルが使用される。しかし、航空機用のハニカムコアは、非常に高価であるため、一般構造用機械材料として利用されがたい。そこで、ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)を素材にしたハニカムコアを低コストで製

造できる新しいプロセスについて検討した。

本報では、従来の製造方法とは異なり、接着剤を使用しないハニカムコアの製造方法について提案した。さらに、試作機の設計・製作を行い、ハニカムコアの試作品を複製し、本製造プロセスが有用であり、ハニカムコア製造の自動化ができることを明らかにした。

P41~44, 図3, 表2, 写真4, 文献2

廃発泡プラスチック再生材から試作した接触回転円板による生物的排水処理

本山浩司, 斯波信雄, 丸下清志, 好満芳邦, 田平公孝, 渡部英雄

排水処理における回転円板法は、円板に付着する微生物スラッジの処理などの問題がある。そこで、廃発泡スチロール製円板を使い捨て品として、微生物スラッジを円板ごと焼却処理するマテリアルおよびサーマルリサイクル手法について検討した。

回転円板は、前年度に開発した技術を用いて試作し、軽量かつ表面積の大きいものを得ることができた。塩ビ製円板を比較対象として、次のことがわかった。

(1)排水処理では前者と比較して、試作円板は微生物付着開始時期が早く、さらに、充填剤として炭酸カルシウムを充填した円板では、微生物の付着量が5割ほど多かった。

(2)試作円板の発熱量は40kJ/gと高いが、充填剤の量により、使用焼却炉に適した発熱量をもつ円板が製造可能である。

P45~47, 表2, 図4, 写真1, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.38, 1995)

鹿発泡プラスチックを原料とする機能製品の開発

好満芳邦, 下原伊智朗, 丸下清志, 田平公孝

平成5年度に、鹿発泡プラスチックの安価なりサイクル技術、すなわち、発生現場で減容化した鹿発泡製品減容化チップから直接成形する加工技術を開発した。

平成6年度は、その用途開発として、第2報で報告した生物的排水処理における接触回転円板のほかに、繊維強化リサイクルパネルおよび射出成形によるカキ養殖用タネ付け板の改良実験を行い、問題点を改善しうる製品の試作を完了した。繊維強化リサイクルパネ

ルでは、前年度試作品の強度を2.5倍上回る高強度品が得られ、高性能化の用途に応じる対応が可能となった。また、カキ種付け板は、カキ養殖作業の合理化と省力化をめざす試作品を成形し、海洋実験に投入したが、天候不順のため、カキ幼生の発生が少なく、種付けができなかった。この養殖実験は平成7年度に継続して行いたい。

P48~49, 図2, 写真1, 文献1

プラスチックの熱分解用触媒に関する研究

斯波信雄, 本山浩司, 丸下清志, 山縣康男, 好満芳邦

プラスチックを熱分解して油やガスを回収する際に、熱分解温度の低温化やガスの発生量増大に効率的に寄与する触媒を探索する目的で、触媒と熱分解温度および発生ガス量との関係について検討した。熱分解用試料としてはポリエチレンとFRP (HMC, SMC) で、触媒としてはゼオライトを用いた。

(1)ポリエチレンの場合、イオン交換したY型触媒

を用いることにより、熱分解温度の低温化に効果のあることが確認できた。

(2)FRPの場合、触媒の種類によっては発生ガス量が増加することが確認できたが、実験の範囲内では、熱分解温度の低温化に効果がある触媒は得られなかった。このことは、ポリエチレンとFRPとでは、熱分解挙動が異なるためと考えられる。

P50~53, 表1, 図9, 文献1

オゾン層を破壊する洗浄物質の代替技術の開発

新田 明, 丸下清志, 大橋俊彦, 蒲田政信, 岡本五十生

脱エタン対策として、水系アルカリ洗浄がほぼ理想的な代替洗浄方法と考え、金属熱処理に使用される代表的な高粘度の熱処理油に対する6社11種類の洗浄剤の性能評価、すすぎ工程で発生するリンス液の分析を行った。

本研究では、各種洗浄剤の灼熱減量を求め、無機成

分の含有量から熱処理特性(窒化, 浸炭, 真空なまし等のムラ)への影響を推定できた。すすぎ工程で発生するリンス液の処理方法として、各種凝集剤の添加、酸処理試験を行った結果、CODを低下させるには適正な凝集条件を選定する必要がある、油分の低下には酸処理が有効であることが分かった。

P54~57, 図1, 表5, 文献1

カキ養殖海域における海底浄化システムの性能試験

倉本恵治, 藤本宗之, 斯波信雄, 畑 徳宣, 本山浩司, 渡部英雄, 伊藤信夫, 鈴木貞男

県内のカキ養殖海域は閉鎖性が強く、海底に堆積した汚泥により環境が悪化傾向にある。この対策として、現行の養殖を続けながら、海底表層に堆積した有機泥を除去する小型で簡便なシステムの開発研究を実施した。昨年までの結果をもとに装置の改良を行った上で、実海域での総合評価を行い、次のことが分かった。

(1)軟泥の上でもロボットの水中重量を40~50kgに調整

することにより走行可能であった。

(2)一次濃縮装置の効果はわずかであった。

(3)遠心脱水した泥の水分は約60%で、分離液のSSは約20ppmであった。

(4)分離液を濾過した結果、最終的に海域に放流される処理水のSSは1ppm以下となった。

P58~62, 表10, 図7, 写真5, 文献4

海底ヘドロを固形化したブロックの試作と海中浸漬試験

藤本宗之, 倉本恵治, 畑 徳宜, 渡部英雄, 斯波信 雄, 本山浩司, 伊藤信夫, 鈴木貞男, 岡本五十生

長年にわたり同一海域で養殖が続けられたために、老化が進んだ漁場の若返りを図る目的で、海底から取り除かれた有機性の底質（ヘドロ）の有効利用について研究を行った。

底質をセメントで固形化して外径318mm長さ600mmの円筒を作り、この円筒5本を鉄製の枠に収めたブロックを海底に沈め、その後の円筒の強度変化やブロック

に付着する海藻及び集まる魚の観察を行った。

底質をセメントで固形化した円筒の強度は通常のコンクリートと比較して当初約1/5の強度であったが、海中浸漬3か月後は強度の増加が認められた。ブロック周辺で観察された生物は魚、ウニ、貝、ヒトデ、海藻各1種づつで、有機性底質をセメントで固形化したブロックは藻魚礁として適していることがわかった。

P63-66, 表3, 図3, 写真6, 文献4

回流水槽における全没型水中翼模型の抵抗試験

畑 徳宜, 木曾克彦, 藤本宗之, 倉本恵治, 本山浩司

自己安定性が低いとされる全没型水中翼を有する船体模型を試作し、流速2 m/s程度の比較的流速が遅い回流水槽で試験を実施するとどのような現象が生じるかについて検討した。翼はNACA0016型を用いた。

前翼・後翼の仰角を喫水線に対して0°では船尾の揚力が大きくなるため、船首が沈下して抵抗は非常に高くなる。後翼は0°で前翼を10°にすると船首の揚

力が大きくなるため船首は低速域から浮上を始め、流速1.5m/sで船首部分が翼走を始める。さらに流速が遅くなると船尾も翼走を始めるが、トリムが大きく船体は傾いた状態になる。前翼10°で後翼を3°・6°にすると流速1.8m/sで完全翼走状態になる。また、流速1.9m/s以上の流速では船体のみの抵抗値より翼走状態の抵抗が低下し、流速が速くなるほど顕著であった。

P67-70, 図7, 写真1, 文献2

ハイビジョン対応画像処理専用LSIの開発(第3報)

馬場祥宏, 松垣和生, 宮野忠文, 打田澄雄, 武田幹雄, 佐野 誠, 村河亮利

ハイビジョン映像信号を並列ハードウェア演算することにより、工業用画像処理で有用な面積、重心、幅(フィル径)、慣性等価楕円パラメータ(長軸長、短軸長、傾き角)等の特徴量を1/30秒で高速抽出するハイビジョン対応画像処理専用LSI = IP12000を開発した。

平成4年度に行った機能設計・論理設計に基づき、

平成5年度に遅延シミュレーション、テストパターン設計、電力解析等の詳細設計を行い、12000ゲートのゲートアレイとして同LSIを実現させた。

平成6年度にはIP12000の効果的な成果普及・技術移転のため、同LSIを用いてパーソナルコンピュータ上でハイビジョン画像処理を実現する画像処理ボードを開発した。

P71-74, 表1, 図2, 写真2, 文献5

高速データ処理装置の開発

打田澄雄, 馬場祥宏, 武田幹雄, 世良時夫

工場内にあるNC加工データや検査情報などの大量の情報を、効率的に管理、処理するため、大容量のデータを高速に処理する機能と、周波数分析等の信号処理を迅速に行う演算機能を持つ高速データ処理装置を開発した。演算処理にはTI社のDSPを採用し、33MFLOPSの浮動小数点演算処理速度、512KWの大容量メモリ機能を1枚のボードに実装した。既存の

パソコンやボードコンピュータに装着することにより、FFT、デジタルフィルタなどの実時間信号処理、シミュレーション等の科学技術計算、画像変換等の画像処理やグラフィックス等の処理というように従来ワークステーション等で行われていた分野への応用が安価なパソコンや組み込み機器でも可能となった。

P75-78, 表8, 図5, 写真1, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.38, 1995)

画像処理による無人検査システムの開発

武田幹雄, 佐野 誠, 村河亮利

自動車エンジンの吸気・排気系及び燃料系等の気密性を要する機械部品は、空圧をかけた状態で水槽に浸け、漏出する気泡を目視により検出する方法のリークテストが行われている。しかし、この方法は長時間に及ぶと苦痛を伴い人的ミスを起こしやすい。そこで、目視に替わって CCD カメラからの取り込み画像をコンピュータ処理することにより気泡を検出するシステ

ムを開発した。

システムの構成は CCD カメラで取り込んだ画像を当センターで開発した画像処理ボード、コンピュータボードを使用して、リアルタイム検出を可能とし必要な機能を有し、安価でコンパクトな検査システムとすることができた。

P79~82, 表1, 図3, 写真1, 文献3

ハイブリッド CAE システムの開発

坂元康泰, 佐々木憲吾, 金安俊哉

めまぐるしく変化する商品形状に迅速に対応できることが今後の CAE システムの要件となる。よって、商品形状に応じふさわしい解法(有限要素法, 境界要素法)を選択あるいは混合して利用できるハイブリッド CAE システムを開発した。本システムにより、複雑部品など従来の単独解法では計算が困難であった問題が可能となり、種々の商品形状に対応できるようになった。

さらに、煩雑で専門知識を要する解析工程を自動化することを行った。これは、専用メニュー、マクロ機能や外部プログラムなどにより構成され、形状の作成から結果の観察まで一連の解析工程を自動的に処理するものである。本自動化により、作業時間の大幅な短縮と人為的ミスをなくすことができた。

P83~86, 表1, 図7, 文献3

オブジェクト再利用による可視化ツールの開発

長谷川浩治, 山下英生, 金田和文

レンダリング作業の軽減を目的とした、物体の形状データを可視化するツールの開発を行った。このツールは、レンダリングを行う場合に必要視点を、注視点等のパラメータをインタラクティブに操作可能にし、そのパラメータにしたがって物体形状をリアルタイムにディスプレイに表示できる。物体の表示方法として

は線画、面画、シェーディングを施した表示機能を持つ。プログラム開発においては、オブジェクト指向的なアプローチを行い、再利用性、拡張性に富んだツールを開発した。しかし、オブジェクト間でのデータのやり取りが多くなり、処理速度の低下を招く欠点がある。処理速度の改善が今後の課題である。

P87~90, 表2, 図1, 写真3, 文献2

音・振動の環境アメニティに適應した多機能材料の開発

吉野信行, 宮野忠文, 日寺 巖, 中塩武之, 下原 武, 二羽 一, 太田光雄

本報告では、実環境に近い一般の木造住宅の床構造を対象にタッピングマシンとタイヤ床衝撃試験を実施し、既発表で提案した評価理論の実践的有効性を確認した。その結果、第一近似とはいえ、加振源・実験室・実験者にかかわらず、一般理論は様々な側面での主要な部分をかなり説明していることが分かった。

実験については、先ず床の緩衝材としての床衝撃音低減に留意して床の素性を見いだすため、残響室法で

試作した緩衝材(アスファルト系重量質マッシュボード:アスファルト材に鉄, 珪砂, ゴム等を配合したもの)にタッピングマシン, タイヤ床衝撃試験を行い、前者の試験に対し、63Hz~4kHzで5~15dB, 後者の試験では、同周波数で10~15dBの減衰量を得、鉄筋コンクリート建築の床は勿論のこと一般木造住宅にも十分使用でき、製品化の可能性を確認した。

P91~94, 図10, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.38, 1995)

データ処理装置の EMI 評価に関する研究

日寺 巖, 宮野忠文, 吉野信行, 中塩武之, 辻本敦幸

電子機器から発生する電磁波による他の電子機器の誤動作を防止するため EMC 規制 (電磁環境適合性) があり, これらを把握した製品開発が必須である。

本研究では EMC 規制の対象実機として電磁環境下で汎用される FA ボードコンピュータ, 画像処理ボード, AD 変換ボードを含むデータ処理システムの開発を試み, EMI (電磁波障害) に関するノイズ評価に

ついて検討した。雑音電界強度測定に関してはデータ処理システムに対して筐体 (亜鉛溶射によるコーティングしたケース) を使用した場合, 使用しない場合について, 雑音端子電圧に関しては, 電源ラインにフィルタを挿入した場合, しない場合についてノイズ評価を試み, VCCI 規制を満足することを確認した。

P95~98, 図5, 写真5, 文献1

遠隔装置による潜水ロボットの開発

佐野 誠, 山下弘之, 田平公孝, 武田幹雄, 倉本恵治, 長谷川浩治, 宮野忠文, 縄雅典生
日寺 巖, 佐々木恵吾, 門 格史, 藤井敏男, 村河亮利, 本山浩司, 中塩武之

ブイを中継点として無線操縦できる潜水ロボットを試作した。

潜水ロボット本体は, バッテリー, CCD ビデオカメラを搭載し, 映像はマイクロ波で陸上に送信する。運転制御は無線操縦コントローラで行い, 水深, 方位の検出は, 各種センサおよび搭載したマイクロコンピュータで行った。また, 潜水ロボットとブイ間のケーブル

長が最低限になるように配慮した。なお潜水ロボットの本体は軽量化と高強度化を図るため, CFRP (炭素繊維積層材料構造) とした。

潜水試験を実海域で行った結果, 運転性能については十分に実用に供することを確認した。今後, 養殖魚の成育状況監視, 海中実験や魚介類の観察, 海底探査, 海中構造物の検査などへの応用が期待される。

P99~103, 表4, 図4, 写真4, 文献3

スパッタリング装置を用いた透明導電薄膜の性能向上研究*

梶岡 秀, 樋口浩一, 柳川竜男**

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

KAJIOKA Hideshi, HIGUCHI Koichi and YANAGAWA Tatsuo

Transparent conducting thin films of indium tin oxide (ITO) have been prepared by DC or RF planar magnetron sputtering by using ITO target (SnO₂ 10 mass%). The maximum deposition rate is approximately 20 nm/m for each stable discharge. The prepared film (film thickness: about 150nm) on unheated substrate achieved electrical resistivity of about $5.4 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ and that on heated substrate (400°C), did $1.7 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ for the optimized condition of both DC and RF sputtering. Visible transmission of the films is over 80% for wavelengths from 400 to 700 nm.

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性質の薄膜が求められ、このような薄膜の応用例を表1に示す¹⁾。特にオプトエレクトロニクス素子に欠かすことのできない透明電極としての応用が広がり、注目を集めるようになった。透明導電材料としては金属薄膜、酸化物半導体薄膜、導電性酸化物薄膜などが知られているが、ディスプレイ関係では酸化物半導体に分類されるITO薄膜が用いられている。一方、薄膜作成方法は化学的方法(スプレー、塗布、CVD)と物理的方法(真空蒸着、イオンプレーティング、スパッタリング)とに分類され、この中でもフラットパネルディスプレイ用のITO薄膜作成にはスパッタリング法が主流になっている。このスパッタリングでは、DCプラズマかRFプラズマが用いられることが多い。DCスパッタリング、RFスパッタ

リングともそれぞれについてはすでに研究報告がなされている²⁾。しかしながら、同一ターゲットでの成膜に関する両スパッタ方式の比較・検討はほとんど試みられていない。そこで本研究では新分野開放試験室設備のスパッタリング装置を用いて、DCおよびRFスパッタによるITO成膜速度、電気抵抗率、光透過率などを比較し、両スパッタの優劣を検討する。

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(10mass% 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。真空チャンバー圧 $6.7 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 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た。特に断らないかぎり、

表1 透明導電膜の応用¹⁾

① 電気的応用			② 光学的応用	
透明電極膜	面発熱膜	帯電防止静電遮へい膜	熱線遮断省エネルギー膜	選択透過膜
表示板 成品, EL, エレクトロクロミック, プラズマディスプレイ 太陽電池 単結晶, アモルファスSi 光スイッチ, 撮像素子	防曇防霜用 航空機, 電卓窓 ショーケース窓 カメラレンズ スキー眼鏡 暖房用パネルヒータ 調理用加熱板	メータ指示窓 計測器窓 電子顕微鏡窓 ブラウン管表示面 半導体素子包装袋	建物窓 鉄, オープンのぞき窓 照明灯外管 低圧ナトリウムランプ 白熱球	太陽集熱器用 平板形カバーガラス 集光形外管

* 表面技術協会第91回講演大会で発表, ** 株式会社 日本パーカーライジング広島工場

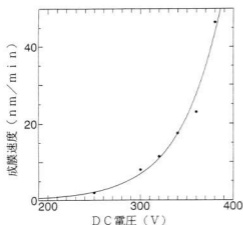


図1 成膜速度とDC電圧の関係

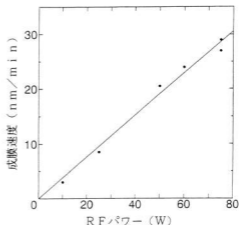


図2 成膜速度とRFパワーの関係

6.7×10^{-1} Pa一定とした。その後、DCマグネトロンかRFマグネトロンで成膜した。なお、基板加熱しない場合、基板温度の放電による上昇は400Wで44°Cに過ぎないので³⁾、100W以下では無視できる。成膜直後、基板を取り出すときも、基板温度の上昇は感知されなかった。

膜厚測定は表面荒さ計およびエリブソメーターを用いた。表面抵抗率 (Ω/\square) は4探針測定装置で測定した。体積抵抗率 (Ωcm) は次式

体積抵抗率 = 表面抵抗率 \times 膜厚 (nm) $\times 10^{-7}$ で求められる。光透過率は紫外・可視分光光度計を用いて測定した。薄膜表面は滑らかで走査型電子顕微鏡ではクリヤーに観察できなかったので、原子間力顕微鏡で表面を観察した。

3 実験結果および考察

3.1 成膜速度

図1にDCマグネトロンスパッタでの成膜速度とDC電圧の関係を示す。成膜速度は直流電圧の増加により、指数関数的に増加する。これは電圧とターゲット電流の積、すなわち投入直流電力の増加挙動に対応している。360V以上では異常放電が発生しやすくなった。図2はRFマグネトロンスパッタでの成膜速度とRFパワーとの関係を示す。成膜速度はRFパワーに比例して増加する。この場合も60W以上では異常放電が発生しやすくなった。安定した放電状態での成膜速度の上限は、DC、RFマグネトロンスパッタ両者とも約20nm/minである。

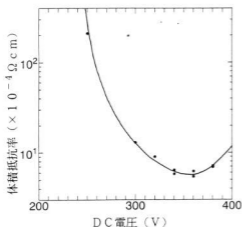


図3 体積抵抗率とDC電圧の関係

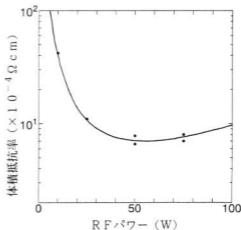


図4 体積抵抗率とRFパワーの関係

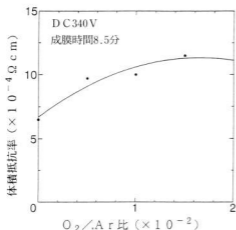


図5 体積抵抗率に及ぼす O₂ 添加量の影響

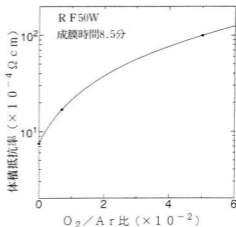


図6 体積抵抗率に及ぼす O₂ 添加量の影響

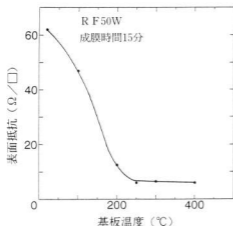


図7 表面抵抗に及ぼす基板加熱の影響

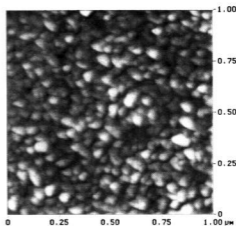


写真1 原子間力顕微鏡で観察したITO薄膜の表面形態

ITOは導電材料であるが、金属材料に比べれば導電率は小さく、さらに局部的に非伝導性酸化物が生成し、そのためチャージアップして異常放電発生原因になると言われている。RFマグネトロンスパッタでは絶縁物ターゲットでも安定した放電が得られることから、ITOターゲットに対しても、DC放電より放電が安定すると予想される。しかし、結果は両者の放電で上限の成膜速度はほぼ同等で、大きな違いはみられなかった。異常放電は、ターゲット表面に小さなゴミが付着したり、また長時間スパッタするとターゲット表面に黒色物が生成すると発生し易くなるので、適切なクリーニングが必要である。

3.2 電気抵抗率

体積抵抗率とDCマグネトロンスパッタの直流電圧の関係を図3に示す。この時のITO薄膜の膜厚は約150nmである。体積抵抗率は直流電圧の増加と共に減少し340~360Vで極小値を示し、さらに電圧増加で体積抵抗率もわずかに増加する傾向を示す。極小値は $5.4 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ である。文献に見られる低温成膜時の体積抵抗率の最も低いものは、Rayらによって報告された、基板温度50°Cでの $4.9 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ である⁴⁾。我々の値もRayらのデータにほぼ近いものが得られていることが分った。種口らによりDCマグネトロンスパッタでは直流電圧が低いほうが、低抵抗のITO薄膜が作成できると報告されている⁵⁾。その

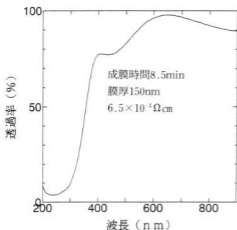


図8 ITO薄膜の光透過率 (DC 340V)

理由はプラズマ中で酸素が電子を捕獲して酸素負イオンが生成し、この負イオンが高いエネルギーを得て基板に入射するため薄膜にダメージを与えるためと説明されている。そこで低電圧 DC スパッタを提案している。我々の結果は樋口らの結果と矛盾するが、今のところ、その理由を説明することができない。

一方、RF マグネトロンスパッタでの体積抵抗率と投入 RF パワーの関係は図 4 に示す。この場合も RF パワー増加とともに体積抵抗率は減少し、50W で極小値を示し、それ以上ではわずかに増加する傾向がみられる。この極小値は DC マグネトロンの場合よりわずかに高い。酸素ガスを導入した場合の体積抵抗率の変化を図 5、図 6 に示す。両者とも酸素を導入すると体積抵抗率は増加する。文献では酸素を導入すると体積抵抗率が減少するという報告がみられるが^{6), 7)}、我々の結果と矛盾する。基板温度が低いので、このような違いが生じたと考えられる⁸⁾。

表面抵抗に及ぼす成膜時の基板加熱の影響を図 7 に示す。この時、RF パワー=50W、成膜時間15分間であるので、膜厚は約300nm である。表面抵抗は200°Cまでは急激に減少し、250°C以上でほぼ一定となる。こ

の表面抵抗を体積抵抗率に換算すると $1.7 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ となる。

3.3 光透過率

走査型電子顕微鏡では表面が滑らかで粒界を観察できなかったが、写真 1 で示す原子間力顕微鏡観察によると、粒径約50nm、表面荒さ $Ra0.67\text{nm}$ と緻密で滑らかな薄膜が形成されていることが分かる。光透過率の測定結果は図 8 に示す。膜厚が150nm 程度では波長400~700nm の可視光では透過率は図 8 に示すように80%以上を示した。

4 結 言

DC マグネトロンスパッタと RF マグネトロンスパッタとも ITO ターゲットでは異常放電が発生しやすく、最高成膜速度は20nm/min 程度であった。DC マグネトロンスパッタと RF マグネトロンスパッタとは ITO 薄膜の電気抵抗率および光透過率とも大きな差異はみられなかった。体積抵抗率は基板温度が室温で $5.4 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 、400°C で $1.7 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ が得られた。

酸素ガスの添加は電気抵抗率を高めた。光透過率は膜厚150nm では可視光で80%以上であった。

終わりにあたり、原子間力顕微鏡測定に対して、元広島県先端技術共同研究センター松垣和生次長研究員(現当センター主任研究員)に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 日本学術振興会薄膜第131委員会編: 薄膜ハンドブック, オーム社 (1983), 495
- 2) 高井治: 表面技術, 43 (1992), 2
- 3) 松本: 私信
- 4) S. Ray et al.: J. Appl. Phys., 54 (1983), 3497
- 5) 樋口靖: 表面技術, 43 (1992), 103
- 6) 大江原茂樹: 表面技術, 43 (1992), 82
- 7) S. B. Lee et al.: J. Vac. Sci. Technol., A 11 (1993), 2742
- 8) 木村ら: 真空, 30 (1987), 546

硬質薄膜の密着性評価装置の開発

門 格史, 新田 明, 筒本隆博*, 池田哲宏

Development of Convenient Testing Machine to Evaluate of Hard Film

KADO Tadashi, NITTA Akira, TUTUMOTO Takahiro and IKEDA Tetsuhiko

A convenient testing machine of compression topple test was developed for evaluation of hard-film-adhesion.

Thickness of diamond film, deposited on the substrate of cemented carbide and Si_3N_4 by the Hot-filament CVD method, was measured by the machine, and Raman spectrum, residual stress, and adhesion property of the diamond film were also measured.

Following result were obtained

- (1) Hard film could be tested conveniently by the machine developed.
- (2) Film-peel-out-strain of the substrate, ϵ_c which was obtained by this method, is decreasing with increasing the film thickness t_f .
- (3) Residual stress of the film on cemented carbide substrate indicated strong compression, and that on Si_3N_4 indicated slightly tensile in both Raman spectrum and X-ray stress measuring.
- (4) From the slope of $\epsilon_c - (t_f)^{1/2}$ plot, adhesion strength of films for both Si_3N_4 and cemented carbide substrate were considered to be nearly equivalent, while the possibility of film-peel-out by residual stress was much higher for cemented carbide substrate than for Si_3N_4 one.

キーワード: 硬質薄膜, 密着性, ダイヤモンド薄膜, ラマン分光分析, X線応力

1 緒 言

近年, ダイヤモンド薄膜技術の出現により, ダイヤモンド薄膜の密着性を測定する必要が高まった。従来, 硬質薄膜の密着性の評価には, 引っかかり試験が多く用いられてきたが, 高価な引っかかり針がすぐ摩耗するという問題があった。

そこで, 引っかかり針を使用しない方法で, 圧縮引き倒し法を開発し, 前報で報告した^{1,2)}。本報では, 圧縮装置に付加的な装置を取り付けることにより, 膜の剝離における圧縮荷重を効果的に測定し, 硬質薄膜(ダイヤモンド薄膜)の密着性を迅速かつ定量的に評価できる装置の開発を行った。そして代表的な硬質基板材料である超硬合金と窒化ケイ素(Si_3N_4)基板上にコーティングしたダイヤモンド薄膜を用いて本試験装置により圧縮引き倒し試験を行い, 測定値に及ぼす膜厚の影響を調べた。

2 実験方法

2.1 密着性評価装置

硬質薄膜の密着性評価装置の概要を示す。試料は, 超硬, 窒化ケイ素等でできた直方体(6×6×5mm)の

試料の一面に(6×6mm)に硬質薄膜でコーティングしたものを試料とした。装置の構造を図1に示す。装置は, 最大100kNの荷重に耐えうる構造とし, 試料を装着する試料ホルダー, 試料にその圧縮荷重をかけるための最大荷重100kNの油圧シリンダー, 油圧ポンプ, その圧縮荷重を測定するためのロードセル及び計測用アンプを装備している。膜の剝離を確認するために膜表面に接着したプラスチック棒と, その棒の先にわずかな曲げ荷重を加えるためのおもり, その棒が引き倒される現象を感知する装置(光電センサー)をこの装置の特徴としている。また圧縮荷重及び剝離を記録するためのX-Yレコーダー, A/D変換ボードを利用してデータ保存用としてのパソコンにより構成される。主な装置の仕様を表1に示す。

2.2 ダイヤモンド合成

圧縮引き倒し試験の基板として, 超硬, Si_3N_4 を用い, ダイヤモンド薄膜をコーティングした。合成条件は表2のとおりである。ただし, 超硬基板の場合, プラスト処理を施し, 表面に適度な凹凸を形成させた後, 王水(硝酸:塩酸=1:3)に3分間つけ, ダイヤモンド薄膜合成の際に膜の密着性低下の原因と考えられるコバルトを表面から溶出する処理を行った。

*広島県先端技術共同研究センター

表1 主な装置の様

装置名	仕様
油圧シリンダー	大阪ジャッキ製 T10S1 100kN 用
油圧ポンプ	理研精機 FHP-5P 手動微量ポンプ
ロードセル	共和電業製 LC-10TV 100kN 用
計測用アンプ	共和電業製 WGA-710A (アナログ出力)
X-Yレコーダー	グラフテック製 WX4422
パソコン	立石電機製 3G8F3-CPU03

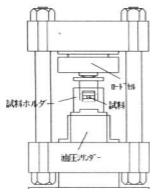


図1 硬質薄膜評価試験機の構造

表2 ダイヤモンド薄膜のコーティング条件

基板材料	超硬, Si ₃ N ₄
フィラメント温度	2400~2600°C
基板温度	900~1000°C
反応ガス	H ₂ -3% CH ₄
合成時間	30, 60, 90, 120
基板-フィラメント距離	5mm

2.3 圧縮引き倒し試験

実験方法は、図2に示す。

コーティング面にプラスチック棒（直径4mm、長さ110mm）を、瞬間接着剤により接着する。プラスチック棒の端部には重さ約10gのおもりをとりつける。これを、密着性評価装置の試料ホルダーに装着し、図2に示すように、試料の膜に圧縮荷重をかけ、膜が剝離するまで圧縮荷重を上げていく。膜の剝離により、コー

ティング面に接着された棒が引き倒され、その現象を光電センサーが感知する。膜が剝離したときの圧縮荷重から、圧縮応力 σ_c を基板の弾性率 E_{sub} で割った値である圧縮ひずみ ϵ_c (σ_c/E_{sub})を求めた。

2.4 ラマン分光分析

合成したダイヤモンド薄膜は、ラマン分光分析を行い、ダイヤモンド薄膜のラマンピークを確認するとともに、上記基板上の膜及び基板から剝離させた膜のダイヤモンドのラマンピーク位置を測定した。なお波数の基準値として、蛍光灯の546.03nmの波長の光(1123 cm⁻¹のところにピークがでる)を試料表面に照射しながら測定した結果、時間によるピークのずれはほとんど



図2 圧縮引き倒し試験詳細図



写真1 圧縮引き倒し試験詳細

表3 ラマンスペクトルの測定条件

使用装置	SPEX社 Triplemate-21system
回折格子	1800gr/mm
使用レーザー	Arレーザー、波長:514.5nm
測定方法	顕微測定
測定スポットサイズ	約1μm

ど認められなかった。ラマンスペクトルの測定条件は表3のとおりである。

2.5 X線応力測定

両者の基板上的膜の残留応力をX線回折法 ($\sin^2\psi$ 法) により測定した。測定条件を表4に示す。

表4 X線応力測定条件

使用装置	朝マックサイエンス MXP-ひずみ測定アタッチメント	
測定方法	$\sin^2\psi$ 法	
基板の種類	超硬 (K-10)	Si_3N_4
回折ピーク	diamond (220) ピーク	diamond (220) ピーク
使用X線	$\text{CrK}\alpha$ ($\lambda=2.291$)	$\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.542$)

3 実験結果

今回開発した密着性評価装置を用いて、圧縮引き倒し試験を行った。

T.Sumomogiri³⁾によると、 σ_c を(膜厚)^{1/2}に対してプロットすると直線関係が得られる。この試験では、膜が剝離するときの基板の圧縮応力 σ_c が得られるが、材質の異なる超硬と Si_3N_4 基板において同等

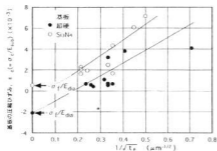


図3 圧縮引き倒し試験における膜剝離時の基板の圧縮ひずみ ϵ_c に及ぼす膜厚 t_s の影響

に評価できるように、 σ_c を基板の弾性率 E_{sub} で割った値 (σ_c/E_{sub}) すなわち、基板の圧縮ひずみ ϵ_c と比較した。 E_{sub} は超硬及び Si_3N_4 でそれぞれ 3.038×10^5 MPa, 6.147×10^5 MPaを使用した。

図3に圧縮引き倒し試験の結果を示す。データにばらつきはあるものの超硬、 Si_3N_4 基板において2つの直線関係を得た。両者はほぼ同じ傾きを持つ。この直

線の傾きが、それぞれの膜の密着力に比例し、Y切片が膜の残留応力に比例する。超硬、 Si_3N_4 もほぼ同じ傾きであり、密着力も同等であると考えられる³⁾。

図4にラマン分光分析によりコーティング膜のダイヤモンドピークの測定結果を示す。比較のため剝離した膜の測定結果も示す。これより、剝離した膜に対して、超硬基板上的膜は高波数側へ、 Si_3N_4 基板では低波数側にずれていることがわかる。このずれは膜の残留応力によるものと考えられ、超硬基板上的膜では圧

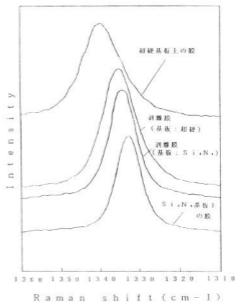


図4 基板上的膜及び剝離した膜のダイヤモンドのラマンピーク

縮応力が、 Si_3N_4 では引張応力が生じていることが推測される³⁾。膜厚が変化してもピーク位置はほぼ同じであった。

図5にダイヤモンド薄膜のX線応力測定結果を示す。超硬基板では $2\theta \cdot \sin^2\psi$ 線図のデータが正の傾きを持つ直線上に乗ることから、圧縮応力が膜に生じている。これは、ラマン分光による測定結果と一致する。しかしながら Si_3N_4 基板上的膜のデータのプロットは、全体として負の傾きをもつものの、直線とはならず、上に凸の曲線になった。この理由は不明であるが、全体の傾きから $d(2\theta)/d(\sin^2\psi)$ を求め、次式により膜の残留応力 σ_f を計算した。

$$\sigma_f = [E_f \cdot \cot^2\theta_0 / 2(1-\nu_f)] \cdot (\pi/180) \cdot d(2\theta_0) / d(\sin^2\psi)$$

4 結 言

硬質薄膜の密着性評価のための圧縮引き倒し法による実用試験装置を開発し、超硬、 Si_3N_4 基板上に、膜厚を変えてコーティングしたダイヤモンド薄膜の試験を行った。あわせて、ラマン分光分析、X線応力測定を行い、以下の結果を得た。

- (1) 硬質薄膜の密着性評価装置の開発により、硬質薄膜（ダイヤモンド薄膜）の評価試験が簡単に行われることが分かった。
- (2) 試験により得られた膜の剝離する基板の圧縮ひずみ ϵ_c は膜厚 t_f の増加とともに低下する。
- (3) 膜の残留応力は、超硬基板では、強い圧縮が、 Si_3N_4 基板ではわずかに引張が生じていることが、ラマン分光分析及びX線応力測定から確認された。
- (4) $\epsilon_c - (t_f)^{1/2}$ プロットの結果から、超硬基板及び Si_3N_4 基板に対する膜の密着性は両者ともほぼ同程度であるが、残留応力による膜の剝離の危険性は Si_3N_4 基板より超硬基板の方が高い。

謝辞 X線回折法によるダイヤモンド薄膜の残留応力測定では、鶴マックスサイエンスの岩井氏、またラマン分光分析では、西進商事㈱の矢田貝氏に、ご指導、ご協力をいただきました。両氏に心から感謝いたします。

文 献

- 1) 筒本隆博, 松原秀明: トライボロジスト, 38 (1993), 483
- 2) 筒本隆博, 新田明他: 広島県西部工技研究報告, 35 (1992), 50
- 3) T. Sumomogi and K. Kuwahara: Thin Solid Films, 79 (1981), 91
- 4) 吉川正信: 表面技術, 42 (1991), 1221

ここで、 E_f, ν_f はそれぞれ膜の弾性率とポアソン比で、それぞれ1054GPa, 0.00277を用いた。また、 θ_0 はブラグの反射角で、超硬の場合 $2\theta_0 = 140.8^\circ$ Si_3N_4 では、 $2\theta_0 = 130.4^\circ$ を用いた。計算値は、図3中に示す。これより、超硬基板の膜では、約2200MPaの圧縮応力が、 Si_3N_4 基板では約500MPaの引張応力が計算される。その傾向は、ダイヤモンドのラマンピークの位置のずれとほぼ一致した。

X線応力測定で求めた膜の残留応力 σ_f から、残留ひずみ $\epsilon_f (= \sigma_f / E_{\text{dia}})$ を図3中のY軸上にプロットした。ここで、 E_{dia} は、ダイヤモンドの弾性率で 10.54×10^5 MPaを使用した。これより超硬基板のデータはほぼ直線上に乗り、本プロットから推定される膜の残留ひずみは、X線応力測定値とほぼ一致した。しかし、 Si_3N_4 では、 ϵ_f のプロットは直線の上側にずれた。この原因として膜厚の応力の不均一や、膜厚（合成時間）にともなう密着力の低下などが考えられる。今後さらに検討を進めたい。

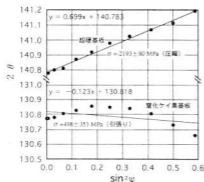


図5 ダイヤモンド薄膜のX線応力測定結果 ($2\theta - \sin^2\psi$ 線図)

光ファイバ光学系を用いた YAG レーザによる溶接加工法の研究

池田哲宏, 山下弘之, 門 格史, 片岡弘行*

Precision Processing Methods with Laser (3rd Report)

Study on YAG Laser Welding Technique with Optical Fibers

IKEDA Tetsuhiro, YAMASHITA Hiroyuki, KADO Tadashi and KATAOKA Hiroyuki

Butt welding of 3mm diameter stainless steel bar SUS304 using a pulsed YAG laser with step index (SI) type optical fibers and graded index (GI) type optical fibers was carried out to examine effects of beam irradiating condition on penetration profile and angular distortion.

The results are summarized as follows;

- (1) Splash is not observed at pulse energy of 18 J/P using the fiber optic beam delivery systems.
- (2) Penetration depth of 1.4 mm and aspect ratio of 1.4 are obtained using GI type optical fiber. Those values are greater than that of SI type optical fiber.
- (3) On 1 shot irradiation, the angular distortion of about 5 mrad is obtained at pulse energy of 18 J/P, and on 3 points simultaneous irradiation, about 2 mrad can be obtained with SI type optical fiber.
- (4) The angular distortion is little influenced by the irradiation method with GI type optical fiber. The angular distortion of about 2 mrad can be obtained.

キーワード：YAG レーザ, 光ファイバ, ステンレス, 突合せ溶接, 角変形, 溶融形状

1 緒 言

YAG レーザは光ファイバによるパワー伝送が可能で、局所的な部分に制御されたビームエネルギーを自由な方向から比較的容易に投入できるため、生産ライン等における小型部品の精密接合技術として極めて省スペースで、フレキシブルな加工システムが構築でき、レーザー加工の用途拡大に大きな役割を果たすものと考えられる。

しかし、光ファイバを用いたレーザー溶接技術は高精度な加工が可能とされながらも開発歴史が浅いため具体的な加工精度について公表されたデータは少ない¹⁾。

前報²⁾では固定された集光光学系による溶込み特性を中心に基礎的検討を行ったが、本研究では YAG レーザ加工の特徴の一つである光ファイバ光学系を用いたパルス励起 YAG レーザによるステンレス丸棒の突合せ溶接加工条件が溶込み形状および加工変形に及ぼす影響について検討を行い、小型精密機械部品等の溶接精度の向上を図る。

2 実験方法

使用した光ファイバ光学系による YAG レーザ加工システムを図 1 に示す。パルス励起 YAG レーザ発振器から出射したレーザービームはビームエキスパンダでコリメートされた後、部分透過鏡で約 33% が透過され、集光レンズを介して 1 本目の光ファイバに入射される。また部分透過鏡で反射されたビームはさらに 50% づつ分岐され、他の 2 本の光ファイバに入射される。この様にレーザービームは均等に同時 3 分岐されて 3 本の光ファイバに入射される。

ここで、使用した光ファイバはコア径 600 μ m のステップインデックス (SI) 形とグレーデッドインデックス (GI) 形の 2 種類である。

光ファイバ出射端において結像比 5/6 の集光レンズで集光されたビームは、治具に取り付けられたステンレス丸棒 (SUS304, ϕ 3) の試料 1 および試料 2 の接触部に 1 点当たり 1 ショット照射される。

加工実験は光ファイバ No 1 による 1 点照射および No 1 ~ 3 の 3 本を用いた円周 3 等分点上の 3 点同時照射により行い、その加工条件を表 1 に示す。

*松本重工業株

YAGレーザー発振器

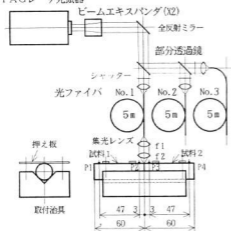


図1 YAGレーザー加工システム

試料は精密切断機で全長60mmに切断し、その切断面に対する軸方向全長の直角からの誤差を1mm以内とした。

溶接後の加工変形は図1に示す測定位置P1～P4における押え板で治具に締め付けられたレーザー照射前の固定状態と押え板を緩めてフリーにされた照射後の状態の試料の変位をレーザー走査方式の測定機(株式会社ミツトヨ製 LSM1610)で読み取り、角変形として求めた。

溶接部の機械的強度を引張試験機で試験後、その破断部の溶込み深さおよび幅を万能投影機で測定し、溶込み面積を1mm²単位の升目で読み取った。

なお、本実験で使用したパルスエネルギー値はレーザー発振器の表示値を1/3とし、光ファイバ1本当たりの出力値とした。また、実験結果は同一加工条件で3回繰り返して行い、その平均値を用いた。

表1 加工条件

パルスエネルギー: E_p (J/P)	4, 11, 18
パルス幅: τ (ms)	10
レンズ焦点距離: f_1 (mm)	60
レンズ焦点距離: f_2 (mm)	50
焦点位置: D_f (mm)	-3 ~ 3
光ファイバ開口数	SI 0.2
	GI 0.25

3 実験結果と考察

3.1 溶融形状

SI形およびGI形ファイバを用いて一点照射で突合せ溶接を行った場合の各パルスエネルギーにおける溶込み深さと焦点位置の関係を図2に示す。パルスエネルギーの増加および焦点位置0mm近傍でエネルギー密度が高くなるため溶込み深さは増加する。また、同一加工条件においてはGI形ファイバを用いて加工したものがSI形より深い溶込みが得られる。これは光ファイバのコア部に一律な屈折率分布をもつSI形ファイバに対して、GI形では放射線状に緩やかに増加し、コア中心部で最高の屈折率となっているために、照射されたスポット中央部で最大のエネルギー密度となり、キーホールの発生でビーム照射方向の溶込み深さが増加したものと考えられる。

ここで、最大溶込み深さを示すパルスエネルギー18Jにおいて均一なビームが試料に照射されていると仮定すれば、パワー密度は約2kW/cm²となり、スプラッシュ発生限界パワー密度近傍にあることになる²⁾。焦点位置0mm付近において、直接集光光学系ではスプラッ

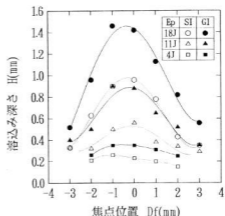


図2 焦点位置に対する溶込み深さ

シュが発生したが、本実験の光ファイバ光学系においてはこの現象は観察されなかった。

各パルスエネルギーの焦点位置に対するビード幅を示した結果が図3となる。パルスエネルギーの増加に伴いビード幅は大きくなる。光ファイバの種類の違いがビード幅に与える影響について顕著な差は見られないが、一般的にSI形ファイバによるものがGI形よりわずかに大きい傾向にある。これもエネルギー密度分布の相違によるものと考えられる。焦点位置のビー

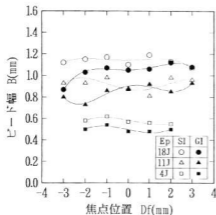


図3 焦点位置に対するビート幅

ド幅への影響はほとんど見られないようである。

以上の結果に基づいてアスペクト比を求めると図4になる。G I形ファイバにおいてはパルスエネルギー18 Jでアスペクト比約1.4となり、ビード幅に対して溶込み深さの大きい、シャープな溶込み形状となるが、

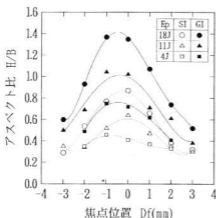


図4 焦点位置に対するアスペクト比

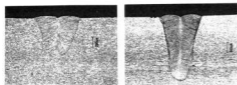


写真1 溶込み形状 (左: S I形, 右: G I形)

S I形においてはアスペクト比約0.9と溶込み深さよりビード幅が大きい溶込み形状となる。その加工条件におけるビードオンプレートによる溶込み形状の比較結果を写真1に示す。ここで、G I形ファイバによる溶込み形状は固定された集光光学系で得られた結果²⁾にほぼ一致しており、パワー密度分布もほぼ同様なものと推測される。

一方、レーザ照射条件が溶込み面積に及ぼす影響についてまとめると図5となる。焦点位置0 mm近傍において溶込み面積は溶込み深さと同様に増加する傾向にあり、G I形ファイバによる結果がS I形より大きい。

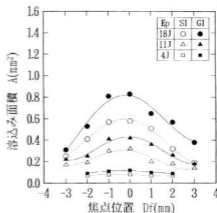


図5 焦点位置に対する溶込み深さ

3.2 溶接変形

一般的に溶接面積が増加すれば破壊荷重は増加するが溶接部付近に複雑な内部応力が発生し、その応力の残留により溶接変形が増加する。そこで小型精密部品の溶接においては必要最低限の耐荷重で、溶接変形を極力抑える加工条件が必要となる。

本実験では突合せ溶接部の引張破壊荷重は溶込み面積にほぼ比例し、母材の引張強度850 N/mm²に対して溶接部の引張強度は約750 N/mm²となる。

図6は1点照射による光ファイバ光学系の各焦点位置における角変形と溶込み面積の関係を示したものである。S I形ファイバにおいては一般的にパルスエネルギーの増加および焦点位置ずれの減少に伴って溶込み面積が増加し、角変形は大きくなる。G I形ファイバにおいてもほぼ同様の傾向は見られるが、パルスエネルギー18 Jでは溶込み面積が増加しているにも関わらず角変形は減少し、特に焦点位置0 mm近傍においては約2 mradを示している。これはアスペクト比約1.4の比較的深い溶込み形状に起因していると考えられる。

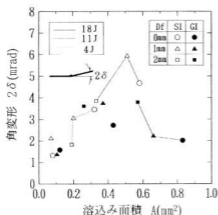


図6 溶込み面積に対する角変形

さらに焦点位置0mmにおける各光ファイバによる1点照射(1P)と円周3点同時照射(3P)の角変形への影響を比較すると図7となる。S I形ファイバによる1点照射では、パルスエネルギーの増加に伴い溶込み面積が増加し、角変形がそれに伴って増加するが、3点同時照射では溶込み面積が増加しているにも関わらず角変形は2~3mrad程度の低い一定値を示している。特にパルスエネルギー18Jにおいては1点照射で角変形4.7mradであるが、3点同時照射では1.4mrad程度と小さくなっている。この様なS I形ファイバによる多点同時照射加工では、各溶接点における材料の溶融・凝固時に発生する機械的応力が試料の中心に対して対称方向に作用するため角変形は減少すると考えられる。

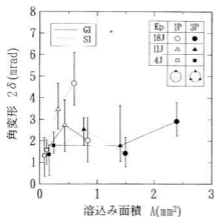


図7 溶込み面積に対する角変形

一方、G I形ファイバにおいては1点、3点同時照射ともに溶込み面積が角変形に及ぼす影響はほとんど見られず、2~3mrad程度となる。

3.3 サンプル加工

自動車部品にパルス YAG レーザによるシーム溶接を適用した一例が写真2である。加工条件はパルスエネルギー6 J, パルス幅5ms, パルス繰り返し数30pps, 焦点位置0mm, 加工速度約11mm/sで、ビード幅0.9mm, オーバラップ比59%となる。

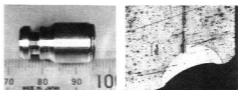


写真2 適用例(左:外観, 右:断面マクロ)

4 結 言

パルス YAG レーザを用いてパルスエネルギー、焦点位置および光ファイバ形を加工パラメータとしてステンレス丸棒の突合せ溶接を行い、溶込み形状および加工変形について検討した結果、次のことがわかった。

- 1) 光ファイバ光学系ではパルスエネルギー18J, 焦点位置0mmにおいてスプラッシュは観察されない。
- 2) パルスエネルギーの増加により溶込み深さおよびビード幅は増加し、焦点位置ずれの減少により溶込み深さは増加するが、焦点位置のビード幅への影響はほとんど見られない。
- 3) G I形ファイバによる溶込み形状はS I形ファイバに比べて溶込み深さが大きく、ビード幅は小さくなる。
- 4) 1点照射による突合せ溶接では、G I形ファイバによる角変形はS I形ファイバより小さく、溶込み面積は大きくなる。
- 5) S I形ファイバの3点同時照射による溶接では、1点照射より角変形は小さくなるが、G I形ファイバでは照射方法によらずほぼ一定の小さな角変形を示す。本研究の遂行にあたりご協力頂いた広島工業大学、梅崎修治氏、小笠原隆司氏に感謝いたします。

最後に、本研究は日本自転車振興会補助による設備を利用して実施したものである。

文 献

- 1) N.Takahashi & Y.Hiraguchi: Small Engine Technol Conf Proc (1991), 637等
- 2) 池田他: 広島県西部工技研究報告, 37 (1994), 64

精密加工に関する研究 (第2報)

品質工学による切削加工条件の最適化の研究

山下弘之, 池田哲宏, 門 格史

Study of The Most Suitable Endmilling Conditions by Applying The Method of Quality Engineering

YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi

In this study, selection of the most suitable conditions of endmilling metal mold on machining center were carried out to get the most high shape accuracy by applying the method of quality engineering (TAGUCHI METHOD). First, the fundamental function of endmilling and shape of model metal mold (test pierce) were selected. Next, the several factors (signal, control, error) were selected and layouted these factors on the L_{18} table. The endmilling tests were done according to the L_{18} table.

The evaluation of endmilling processing with changing the following conditions, (1)cutting direction, (2)cutting speed, (3)feed rate, (4)tools, (5)cutting pitch, (6)tool overhung length, and (7)cutting method. After endmilling, Shape accuracy of endmilling surface were measured. Using these data, SN ratio and Sensitivity were calculated. And, it was found optimized endmilling process conditions for the accurate fabrication of metal mold on machining center.

- (1)The most suitable conditions for metal mold shape accuracy were selected by applying the method of quality engineering (TAGUCHI METHOD) and could get the effect of suitable conditions.
- (2)Factors which affect to bend the tool (endmill) remarkably effected to shape accuracy.

キーワード：品質工学，SN比，マシニングセンタ，切削加工，エンドミル

1 緒 言

金型加工に代表される3次元形状部品の加工は、マシニングセンタを使ったボールエンドミルによる加工が一般的に行われている。しかしその際の加工条件は経験に基づく設定が一般的で、各条件が加工性に及ぼす影響は必ずしも明らかでない。形状加工はNC制御された工具(エンドミル等)でワーク材料を除去し、その工具軌跡を製品形状として転写させる除去(絶対)加工である。工具軌跡、すなわちNCデータは製品の理想形状値を示すもので、その金型形状への転写性が製品品質に重要な関連を持つことになる。本研究では、この金型の形状加工におけるNCデータの加工後の製品形状への転写性に着目し、加工時の各条件、工具材種、加工方法等が、その転写性に及ぼす影響を品質工学^{1), 2), 3)}(田口メソッド)に基づく実験計画法により検討し、その最適化を図ることを目的とした。

2 実験方法

マシニングセンタでボールエンドミルによる切削加工を行う。その際、各加工条件(切削速度、送り

速度)、工具材種、ワーク材種等を変化させて加工を行い、加工後の形状を測定し、加工特性(主に形状精度)に及ぼす各条件の影響を品質工学に基づく実験計画法で評価し、最適な加工条件を求めた。

2.1 使用機器

切削試験は縦型マシニングセンタ(大阪機工PCV-40II)を使用した。写真1に示すように、ワークをマシニングセンタのテーブル上に治具で固定し加工を行った。加工後、CNC3次元測定機(ミットヨ製マイクロコードH503)を使用して形状測定を行った。

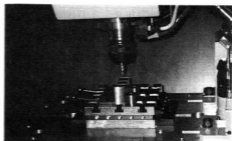


写真1 切削加工状況

2.2 実験計画

(1) マシニングセンタによる加工技術 (理想機能)

マシニングセンタによる形状加工は、製品の理想形状値を示すNCデータにより制御された工具 (エンドミル等) がワーク材料を除去する加工であることから、品質工学の動特性解析を適用し、加工の理想機能は工具軌跡の転写性と考え次のように設定した (図1)。

(NCデータ:M) → 変換(転写): β → 製品形状: Y

$$Y = \beta \cdot M$$

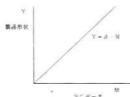


図1 切削加工の理想機能

(2) テストピース (モデル金型) の形状

テストピースは、図2のように4種類の凹部 (深さ2mm, 4mm, 6mm, 8mm) を含む直方体形状とした。加工は所定の形状を一度に仕上げる加工とした。

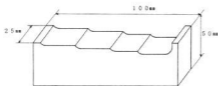


図2 テストピース形状

(3) 信号因子

NCデータ (工具軌跡) を信号因子として取り上げる。すなわち工具とワークが接触し加工された製品の形状値とし、加工原点から次のように (図3)、ある

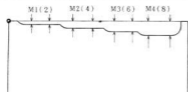


図3 信号因子

一定の距離(X)での凹面部の深さ値(Z)を信号因子とした。一つのZ値につき切削方向に2か所測定した。

(4) 制御因子の選定とその水準

エンドミルによる形状切削の加工パラメータとして、切削速度、送り速度、加工ピッチ量、工具種類 (材種, etc)、オーバーハング量等が考えられる。今回は以下の条件を制御因子 (表1) として取り上げた。ただ、

C社はハイス工具を製造していないため、実験は超硬工具で行い、逐次近似法によるデータ修正を行った。

表1 制御因子

因子	水準	1	2	3
(A) 切削方向		X-Z	Y-Z	
(B) 切削速度 (m/min)		30	40	50
(C) 送り速度 (mm/分)		0.03	0.04	0.05
工具		ボールエンドミル		
(D) 材種		ハイス	超硬	コーティング
(E) メーカー		A社	B社	C社
(F) 加工ピッチ (mm)		1.0	1.5	2.0
(G) オーバーハング量 (mm)		30	35	40
(H) 切削方式		アップ	ダウン	往復

(5) 誤差因子とその水準

ワーク材料の違い及び硬度の違いを取り上げ、これら (表2) を誤差因子として考慮した。

表2 誤差因子

誤差因子	N ₁	N ₂
ワーク材料	小	大
硬度	S55C HRC30	プリハードン鋼 (G040F)HRC40

(6) L₁₈ 直交表への割付

各制御因子を次の L₁₈ 直交表 (表3) に割付けた。

表3 L₁₈直交表

	制 御 因 子							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	1	3	2	1	3	2	3
8	1	2	3	2	3	1	3	1
9	1	3	3	②	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	②	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

注) : C社でハイス工具を製造していないため水準②で実験を実施 (通常は水準①)

表4 テストピース形状測定結果

実験 No	誤差 因子	測定 位置	信 号 因 子			
			M1 : 2.000	M2 : 4.000	M3 : 6.000	M4 : 8.000
1	N1	前後	2.001	3.999	5.997	7.994
		前後	2.000	3.997	5.996	7.993
	N2	前後	1.991	3.991	5.993	7.993
		前後	1.992	3.992	5.993	7.992
2	N1	前後	1.998	3.998	5.997	7.999
		前後	1.997	3.998	5.997	7.998
	N2	前後	1.993	3.991	5.998	7.986
		前後	1.993	3.989	5.987	7.986
3	N1	前後	1.997	3.995	5.996	7.999
		前後	1.995	3.995	5.995	7.998
	N2	前後	1.999	3.999	5.999	8.000
		前後	2.000	3.998	5.998	8.001

3 実験結果と考察

3.1 測定結果

L₁₈ 直交表に基づき各加工条件で切削試験を実施した。加工後の形状測定結果の一部を表4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SN比、感度を求め、各制御因子の水準別平均値から効果要因図を作成した。今回の実験では、実験No9及びNo17の制御因子の水準が、通常のL₁₈直交表と違うことを考慮して、逐次近似によるデータ修正を行った。まず形状の測定結果を基にSN比、感度S及び各因子の水準別平均を求めた（表5、表6）。以下にSN比、感度Sの計算例を示す。

実験No1の場合

- 全2乗和 $S_T = 2.001^2 + 2.000^2 + \dots + 7.992^2$
= 479.068446
- 有効除数 $r = 2 \times 2 \times (2.00^2 + 4.00^2 + 6.00^2 + 8.00^2)$
= 480
- 信号因子の回帰項の変動
 $S\beta = ((2.001 + 2.000) \times 2.00 + \dots + (7.994 + 7.993) \times 8.00) + ((1.997 + 1.992) \times 2.00 + \dots + (7.993 + 7.992) \times 8.00))^2 / r = 479.068452$

誤差変動 $S_e = S_T - S\beta = 0.000169592$

誤差分散 $V_e = S_e / (n-1) = 0.0000113061$

これよりSN比 η は、

$$\eta = (1/r) \times (S\beta - V_e) / V_e = 88276.0874$$

$$SN(dB) = 10 \times \log(\eta) = 49.4584$$

感度Sは、

$$S = (S\beta - V_e) / V_e = 0.99805925$$

$$S(dB) = 10 \times \log(S) = -0.0084367$$

次にその水準別平均を基に逐次近似計算により実験No9及びNo17のSN比、感度Sを推定し直した。更にそれを基に再度各因子の水準別平均を求め直し効果要因

表5 SN比及び感度

実験No	SN比	感度
1	49.4584	-0.0084367
2	45.9888	-0.0102846
3	52.2160	-0.0028596
4	47.2886	-0.0089802
5	54.1898	-0.0130024
6	52.5156	-0.0042717
7	46.7038	-0.0066257
8	47.9079	-0.0090164
9	48.3755	-0.0099766
10	56.0835	0.0036545
11	40.7388	-0.0391755
12	58.7725	0.0055355
13	48.3847	-0.0051046
14	56.1505	-0.0034027
15	53.6024	-0.0093424
16	61.8543	0.0019903
17	55.0582	-0.0009105
18	56.8437	-0.0047424

表6 各因子の水準別平均

(上段：SN比，下段：感度)

制御 因子	水準別平均		
	水準1	水準2	水準3
A	49.60393	54.50889	-
	-0.0066993	-0.0051344	-
B	50.54299	52.02194	53.60430
	-0.0085944	-0.0073507	-0.0018053
C	51.62891	50.52088	54.01944
	-0.0039171	-0.0117506	-0.0020827
D	49.90071	51.81387	54.45464
	-0.0097288	-0.0057040	-0.0023176
E	50.40180	52.56909	53.19834
	-0.0111091	-0.0050163	-0.0016250
F	52.53145	52.08692	51.55086
	-0.0028193	-0.0034285	-0.0115026
G	55.09865	52.17394	48.89663
	-0.0023553	-0.0037486	-0.0116464
H	53.01430	49.94142	53.21350
	-0.0068143	-0.0089437	-0.0019925

図(図4)を求めるという手順で進めた。

実験No.9, No.17のSN比の逐次近似計算

実験No.9, No.17の実験条件(各因子の水準: 13313212, 23213123)の中で, SN比の水準別平均の結果から効果が大きいと考えられる(平均値からの差の大きい)4つの因子水準条件を選定し, SN比, 感度を求めた。

- ・実験No.9 $A_1 + D_1 + G_1 + H_2 - 3 \times T$ (平均値)
SN比: 48.3755 感度: -0.0099766
- ・実験No.17 $A_2 + B_3 + D_1 + H_3 - 3 \times T$ (平均値)
SN比: 55.0582 感度: -0.000911

上記のSN比, 感度の推定結果を基に, 各因子の水準別平均を再計算した結果を図4に示す。

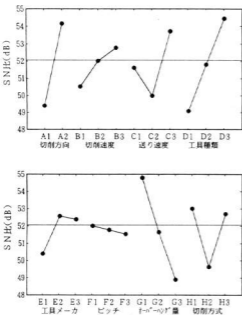


図4 効果要因図 (SN比)

3.3 評価

図4のSN比, 感度の比較から, 今回の切削加工での最適条件は, $A_2, B_3, C_3, D_3, E_3, F_1, G_1, H_1$ となる。これから効果が大きいと考えられる5条件を選定して最適条件でのSN比は次のように推定できる。

$$SN比 = A_2 + B_3 + C_3 + D_3 + G_1 - 4 \times T \\ = 62.79104 \text{ (dB)}$$

逆に最も悪い条件は, $A_1, B_1, C_2, D_1, E_1, F_3, G_3, H_2$ で, 同様にしてSN比は次のように推定できる。

$$SN比 = A_1 + D_1 + E_1 + G_3 + H_2 - 4 \times T \\ = 40.29258 \text{ (dB)}$$

両者の差は約20dBとなり, 条件設定の違いによりかなりの形状誤差が生じることがわかる。

SN比の水準別平均の比較から, 加工後の形状精度に影響を及ぼす条件として次の点が挙げられる。工具, マシニングセンタ等の剛性に関する条件の影響が大きいためと考えられ, 工具オーバーハング量(突き出し量)は小さく工具剛性を高める条件が良く, また切削方向による差も見られ, マシニングセンタ自体の剛性の差による影響も無視できないことがわかった。加工条件ではピッチを小さくし, 比較的高速回転で切削することが良いとの結果が得られた。切削方式はダウンカットが悪くなったが, 切削抵抗による工具の曲がりの影響が強くなり形状誤差が大きくなったと考えられる。工具に関してはコーティング工具が良好で, 耐摩耗, 耐熱性に優れた高速切削が可能といわれる各種のコーティング工具の優位性が出た結果となった。ただ, 工具メーカーによる差がかなり見られた。

4 結 言

本研究では, 品質工学(田口メソッド)に基づく実験計画法により, マシニングセンタでの切削加工条件の最適化を試みた。この中でマシニングセンタによる切削加工の機能設定, テストピースの切削加工実験などを通して, 加工後の形状精度に影響を及ぼす切削時の加工条件(切削速度, 送り速度, 加工ピッチ), 工具の種類, 加工方式等に関する最適条件を, SN比, 感度の評価から選定でき, その効果についても推定ができることを示した。今回の研究では, テストピースのフラット部の段差を形状値(信号因子)としたが, 形状のズレは曲面部の傾斜した面で大きいと考えられるので, その点も考慮した実験が今後必要である。

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博造氏にご指導を頂いたことを感謝します。

本研究は日本自転車振興会の補助によるマシニングセンターを利用して行った。

文 献

- 1) 田口玄一他, 品質工学応用講座「転写性の技術開発」, 日本規格協会 (1992)
- 2) 田口玄一他, 品質工学講座「品質評価のためのSN比」, 日本規格協会 (1994)
- 3) 矢野宏編著, 加工品質工学—生産技術の最適化—, 工業調査会 (1994)

耐熱合金（インコネル713C）のレーザ切断加工試験

山下弘之，池田哲宏，門 格史

Laser Cutting Test for Super Heat Resisting Metal (Inconel 713C)

YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi

Inconel 713C as known super heat resisting metal is used for structural metal of several machine like gas turbine. But Inconel 713C is difficult-to-cut metal and its characteristics is not clear, such as cutting, grinding, drilling and another method of machining. In this study, inconel 713C plate was cut by using CO₂ laser and the characteristics of laser cutting of it was clarified.

- (1) Ranking of cutting ability of CO₂ laser based on used assistant gas is ① O₂, ② Air, ③ Ar.
- (2) Inconel 713C with assistant gas (Air, Ar) could be cut on wide conditions of cutting speed, and laser power compared with inconel 718. On the other hand, the limit of laser cutting of Inconel 713C with O₂ was small in comparison with Inconel 718.
- (3) In the case of using O₂ as assistant gas, the production of dross from cutting section was remarkably increased.
- (4) In the case of using thick test pieces (5mm, 3mm), width of back cutting section was wider than front section. On the other hand, in the case of thin test pieces (1mm), width of front was wider than back.

キーワード：耐熱合金，インコネル713C，CO₂レーザ，アシストガス

1 緒 言

タービンエンジンなどで用いられる耐熱合金は難削材が多く，加工特性が未だ解明されていない点が多い。工業技術院中国工業技術試験所との共同加工試験では，過去インコネル718，チタン合金等の耐熱合金を対象とした加工試験を実施してきた。引き続き平成6年度は超耐熱合金インコネル713C^{1),2)}を対象とした各種加工法の比較試験を行った。当センターではCO₂レーザ加工技術について試験を行い，その加工特性を検討した。

2 実験方法

2.1 試験装置の概要

①炭酸ガス (CO₂)レーザ加工機 (東芝 LAC-553P)

- ・定格出力 : 1.0 kW
- ・出力モード : シングルモード
- ・発振波長 : 10.6 μm
- ・2軸直交型
- ・CW/パルス
- ・アシストガス: O₂, 空気, Ar
- ・集光レンズ 焦点距離 : 5 インチ

②万能投影機 (ニコン Shadow Graph Model 7)

③倒立型金属顕微鏡

(オリンパス 713C 光学工業 PMG 3)

2.2 試験方法

丸棒インコネル713Cを放電加工機で所定の厚さに切断し表面を研磨した後，長方形に切断し試験片とした。これをCO₂レーザにより加工条件（出力，送り速度，アシストガス種類等）を変化させて切断加工し，インコネル材の加工特性を評価した。切断は試験片に約20mm程の長さで，他の切断部について切断面の様子，ドロスの発生状況，レーザ光の入出部での切断幅の変化等の観察を行った。

2.3 評価項目及び条件

(1)評価項目

CO₂レーザによるインコネル材の加工特性として，まず各板厚について加工条件（出力，送り速度，アシストガス，板厚）による切断性能（切断の可否）の変化を調べ，切断限界線（切断可能な出力-送り速度の関係）を求めた。次に切断部について切断面の様子，ドロスの発生状況，レーザ光の入出部での切断幅の変化等の観察を行った。

(2) 試験条件

試験条件を以下に示す。

- ① レーザ出力 : 100~700W
- ② 送り速度 : 100~1000 mm/min
- ③ 切断幅 : 20 mm
- ④ ワーク板厚 : 1, 3, 5 mm
- ⑤ アシストガス種類 : 酸素 O₂, 空気, アルゴン Ar
- ⑥ アシストガス圧力 : 0.3 MPa
- ⑦ 焦点距離, 位置 : 127 mm, ワーク表面,

3 試験結果

3.1 切断特性

出力, 送り速度, アシストガスを変化させた場合の切断性能について試験し, 図1, 図2, 図3に各板厚を切断加工した場合の加工限界を示した。各板厚ともに切断性はアシストガスが酸素の場合で最も高く板厚5mmの板材の切断も十分可能であった。次いで空気, Arの順となった。各図中に平成3年度に実施したインコネル718の切断限界線を破線で示すが, これと比較した場合, 酸素での切断性が全ての板厚で悪くなっており, 板厚が厚くなるにつれその差が大きくなっていることがわかった。これに対して Ar は, 切断性が逆に全ての板厚で良くなっており, 空気も, 板厚1mm, 5mmではほぼ同程度の切断性を示すが, 板厚の厚い5mmの場合, 切断性が良くなっていることがわかった。今回対象としてインコネル718Cは鋳造合金で, その特徴として, 鋳造合金の中では, 鋳造性が良く, 耐酸化性が良好¹⁾との記述があり, インコネル718に比べこれらの特性の違いが, 酸素での切断性の変化に関係していると考えられる。

3.2 熱影響部の検討

(1) 切断部の外観

切断部の例として, 板厚5mmの切断部の裏面の状況を写真1に, また切断面の状況を写真2に示す。アシストガスが酸素の場合, 各板厚ともにドロスの発生が見られ, 特に板厚の大きい5mmでは写真2に示すように切断面の凹凸が激しく, 切断面の中央付近から裏面にかけて黒く変色した溶融物の付着が多く見られた。この傾向は板厚が小さくなるにつれ少なくなっている。また同じ板厚でも出力が小さく, 送り速度が大きくなるにつれドロスの発生が少なくなっている。これに対しアシストガスが空気, Arの場合, ドロスの発生はある程度見られるものの酸素に比べ少なく, 板厚が小さい場合は, 球状のドロスが付着しているのが見られた。切断面の状態は凹凸も少なく, 空気では若干黒く変色した溶融物が見られたが, Arでは殆ど見られなかった。

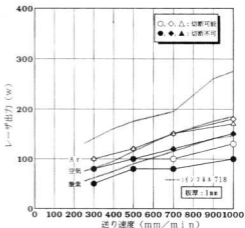


図1 レーザ出力と送り速度の関係 (板厚:1mm)

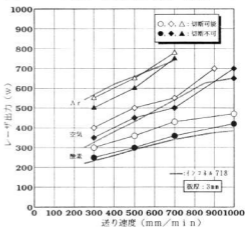


図2 レーザ出力と送り速度の関係 (板厚:3mm)

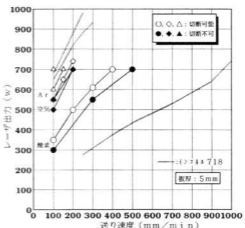
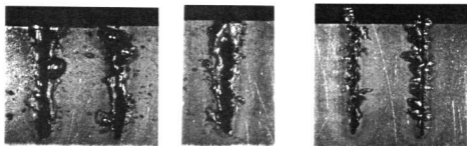
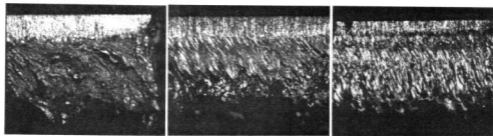


図3 レーザ出力と送り速度の関係 (板厚:5mm)



① 700V, 150mm/min, O₂ ② 500V, 150mm/min, O₂ ③ 700V, 400mm/min, O₂
 ④ 700V, 150mm/min, 空気 ⑤ 700V, 150mm/min, 70°γ

写真1 切断部（裏面）の状況（板厚：5mm）



① 700V, 150mm/min, O₂

② 700V, 150mm/min, 空気

③ 700V, 150mm/min, 70°γ

写真2 切断面の状況（板厚：5mm）

(2) 切断幅

図4、図5、図6、図7に、各切断条件での切断幅を示す。切断幅は万能投影機を使い切断部の数カ所で測定し、その平均値とした。各板厚ともに送り速度を一定とした場合はレーザー出力が大きい程、出力を一定とした場合は送り速度が遅い程、切断幅が大きくなる傾向が見られた。(1)での結果と併せるとレーザー出力が小さく送り速度が大きい方が切断幅が小さく、ドロスの発生も少ない切断面が得られることがわかる。またレーザー光の入射する表面とレーザー光が出る裏面での切断幅を比較すると、板厚が1mmの場合、各アシストガスともに表面での切断幅が大きくなるのに対し、板厚が3mmの場合、酸素で逆に裏面での切断幅が大きくなり、さらに板厚5mmでは、全てのアシストガスで裏面の切断幅が大きくなった。特に酸素の場合、裏面での切断幅が大幅に大きくなった。

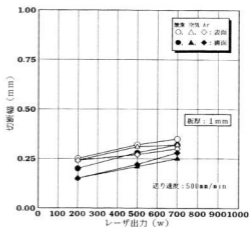


図4 レーザ出力による切断幅の変化（板厚：1mm）

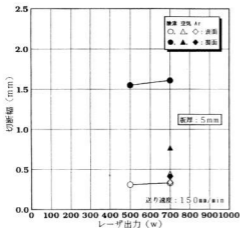


図5 レーザ出力による切断幅の変化 (板厚: 5 mm)

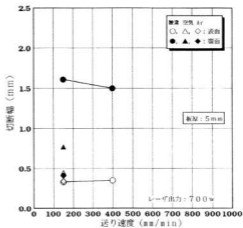


図7 送り速度による切断幅の変化 (板厚: 5 mm)

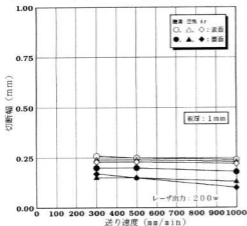


図6 送り速度による切断幅の変化 (板厚: 1 mm)

4 考 察

以上の結果からインコネル713Cのレーザー切断加工特性をまとめると次のようになる。

・切断能力について

- ① 5 mmまでの板厚は最大出力1kWのCO₂レーザーで十分切断可能で、アシストガスによる切断性は酸素、空気、Arの順で高くなった。
- ② アシストガスが酸素の場合、インコネル718に対し切断限界が全ての板厚で悪くなった(切断可能範囲が狭くなった)のに対し、空気、Arでは逆に良く

なった(切断可能範囲が広がった)。

・切断部について

- ① 板厚が大きい場合、酸素で最も大きなドロスの発生が見られ、切断面も凹凸の激しい状態となった。次いで空気、Arは不活性ガスのため発生は少なく、黒く変色した溶融物の付着もほとんど見られなかった。
- ② 切断幅は板厚が小さい1mmの場合、表面で大きくなるのに対し、板厚が3.5mmと大きくなると逆に裏面で大きくなった。

5 結 言

超耐熱合金であるインコネル713CのCO₂レーザーによる切断試験を実施し、板厚5mm、3mm、1mmの3種類について出力、送り速度及びアシストガスを変化させた時の切断特性を求めた。また切断部の観察、切断幅の測定を行い、ドロス発生状況、切断幅等を評価した。これにより本試験結果を含め、前述の共同研究成果を基にインコネル713Cの各種加工を行う場合の参考となるデータが得られた。

本研究は、日本自転車振興会の補助による炭酸ガスレーザー加工装置を利用して行った。

文 献

- 1) 昭和61年度精密工学会秋季大会シンポジウム資料: ②精密工学会
- 2) 金属系新素材: 日刊工業新聞編

微細加工に関する研究 (第1報)

シリコンカンチレバー作製におけるフォトファブ리케이션条件の最適化

繩雅典生, 村河亮利, 梶岡 秀, 蒲田政信

Study on Micromachining (1st Report)

Optimization of Photofabrication Conditions on Producing Silicon Cantilevers

NAWACHI Norio, MURAKAWA Akitoshi, KAJIOKA Hideshi and KAMATA Masanobu

Fundamental experiments were carried out to find the best suited condition in each process of photofabrication. Cantilevers were fabricated by means of photolithography and anisotropic etching of silicon. Their surfaces and shapes were investigated with SEM observation.

As a result, fundamental data to fabricate the micromachine on a silicon wafer were obtained.

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

機械部品分野で, 最近注目をあつめているものにマイクロマシンがある。これは, 微小であることを生かし, 狭所で作業できるという点で, 特に医療, バイオの方面で活躍が期待されている^{1), 2)}。また, 小型かつ高性能な部品開発が可能なることから, 既にセンサやアクチュエータ等の開発も試みられている^{3), 4)}。この微細加工技術として, もっとも代表的なのが半導体製造技術を利用したフォトファブ리케이션である。

このフォトファブ리케이션は, 主に基板に感光剤(レジスト)を塗り, これにパターンを転写するという, いわゆる写真製版技術を応用したフォトリソグラフィ技術と, パターンを転写後, 実際に加工を行うエッチング技術の2つの技術からなる⁵⁾。特に材料にシリコンを用いる場合, 結晶の面方位を利用する異方性エッチングは, マイクロマシンを作製するための重要な技術である⁶⁾。

本研究では, 立体的微細加工に必要なこの2つの技術の習得と部品開発の基盤技術を確立することを目的とし, 今年度は, 各プロセスにおける加工の最適条件を見出すための基礎的実験を行ったので報告する。

2 実験方法

2.1 フォトマスクの作製

加工形状は, センサに比較的活動しやすいカンチレバー(片持ち梁)を選択し, 原図を作製した。マスクには, ガラスに乳剤を塗布してあるコニカ糊製のハイ

レゾリューションプレートを使用し, 前述した原因を1/20に縮小撮影して, フォトマスクを作製した。マスクに形成されたカンチレバーの寸法は, 幅が最小で20 μm , 最大で150 μm , 長さは最小で50 μm , 最長で350 μm である。パターンを図1に示す。

2.2 実験試料

基板は, n型シリコンウェハ上に酸化膜(SiO_2)を1 μm 成膜してあるものを用いた。その特性を表1に示す。実験試料には, 薬品使用量等の作業性を考慮し,

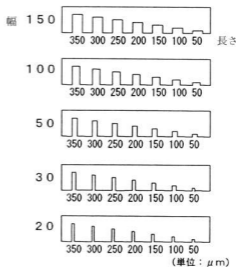


図1 マスクパターン図

表1 シリコン基板

項目	特性
タイプ	n型
直径	76 ± 0.5 mm
厚さ	400 ± 20 μm
抵抗率	1 Ω · cm up
結晶方位	(100) ± 1°
格子間隔フラット	(110) ± 1°
SiO ₂ 膜	1 μm ± 10%

表2 実験条件

工程	条件
レジスト塗布	ボジ型 OFPR-800 粘度30cp (東京応化工業) 本速4000rpm×20sec
プリベーク	120°C×120sec (ホットプレート方式)
露光	露光時間①1.8s②2s③4s④8s 露光方式①密着露光 ②N ₂ 吹き上げ密着露光
現像	NMD-3 (東京応化工業) 65sec
ポストベーク	130°C×5min (ホットプレート方式)
SiO ₂ エッチング	HF: NH ₄ F = 1:6 室温×10min
レジスト除去	剥離液-710 (東京応化工業) 120°C×2min ストリッパリス-4 (東京応化工業) 室温×1min
Siエッチング	①9.5wt% NH ₄ OH 90°C×190min ②9.5wt% NH ₄ OH 80°C×300min ③4.9wt% KOH 85°C×30min ④2.0wt% KOH 85°C×40min

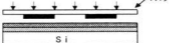
●ウエハ



●レジスト塗布



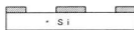
●露光



●現像

●SiO₂エッチング

●レジスト除去



●Siエッチング

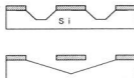


図2 半導体製造技術を利用した微細加工の処理工程

このウエハを20×20mm角にカットしたものをを用いた。

2.3 フォトファブリケーション

図2にフォトファブリケーション技術の基本的プロセスを示す。条件出しの項目には、レジストの厚み、

プリベーク温度、露光及び現像時間、エッチング時の温度、時間、液の種類など多数考えられる。また、中には互いに関係を持っている項目もある。今回は、カンチレバー作製の全体の工程を通して、各工程で、そのつど適正な条件を見出すようにした。使用した薬品及び実験条件を表2に示す。

2.3.1 フォトリソグラフィ

レジストは、基板全体を覆うように滴下し、スピナー(テーブルにウエハを真空吸着させた状態で、テーブルが回転する装置)により均一にコートした。このとき、レジストと基板の密着性が悪いと後の工程に影響を及ぼすため、注意を要する⁷⁾。この密着不良の原因は、主に水分、チリ、ホコリといったゴミであり、特に水分は、前工程のウエハ洗浄時に残る可能性が高いため、これを防ぐ手段としてHMDS(ヘキサメチルジシラザン)が効果があるといわれている。そのことについても検討した。

露光工程では、露光光源に、250Wの超高圧水銀灯を用い、現像時間は一定として、露光時間と露光方式を調整し、パターン再現性を検討した。

2.3.2 エッチング

SiO₂膜のエッチング液に必要な特性として、被加工層のエッチング速度と下地基板のエッチング速度の比が高いことが上げられる。エッチング液は、50wt

%フッ化水素酸と40wt%フッ化アンモニウムを重量比1:6の割合で配合したバフファードフ酸を用いた。この液は、Siを一切エッチングしないという特性を持つ。

Siのエッチングには、比較的毒性が低いといわれるNH₄OHとKOH水溶液を用いた。溶液濃度は、NH₄OHが9.5wt%、KOHが49wt%と20wt%の3種類を用いた。

3 実験結果および考察

3.1 フォトリソグラフィ

レジスト塗布工程で、レジスト塗布前に、HMDSを塗布しない試料について、露光、現像工程を行ったところ、現像中、いくつかの試料で部分的にパターンが消滅があり、くり返し性の悪さが目立った。ここで最も心配されるのが、基板とレジストの密着不良である。そこで、レジスト塗布前にHMDSを塗布する工程を加えて、同様の実験を行った。その結果、前述の問題点は解消され、このことから、HMDS使用による密着性の向上が確認でき、同時にこの薬品の有用性が実証された。

露光時間については、まず4secで行ったところ、現像時にパターンの約半分が消滅する結果となった。次に8secでは、パターンは全て消滅したことから、逆に露光時間を2secに短縮したところ、ほぼパターン全体を転写することができた。1.8secも行ったが、大きな差異は認められなかった。

次に、時間を一定にして、露光方式を密着露光とN₂吹き上げ密着露光の2種類について行った。N₂吹き上げ露光とは、密着露光方式の試料をステージに真空吸着する代わりに、試料の下側からN₂を吹き上げてマスクとの密着性をより高める方式をいう。後者の方が微小なパターンが得られるといわれているが、今回のような最小線幅20μm程度では、その効果は得られなかった。

3.2 エッチング

Siのエッチングを行った後、試料表面をSEMで観察し、各エッチング液について比較、検討を行った。その結果を写真1に示す。

NH₄OHでエッチングされた(110)面は、かなりザラついて見え、面が粗くなっている。また、3~5時間の比較的長いエッチング時間にもかかわらず、カンチレバーが形成されているのは、先端のわずかに数μm程度である。

一方、KOHの方は、(100)面がきれいで、NH₄OHと比べて、明確な違いが認められる。

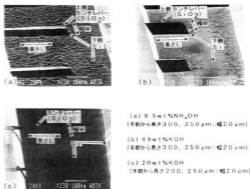


写真1 作製したカンチレバーのSEM像

写真1(b)は、濃度49wt%を用いて作製した、幅20μm、長さ350μm、300μmのカンチレバーである。この写真から、Siだけでなく、SiO₂膜もエッチングされていることが確認される。また、ここに示した以外の短いカンチレバーは、完全にその形を失っていた。しかし、濃度を20wt%に薄くしたところ、長さ350μm、300μmの支持部あたりに、Siが若干残ったことを除いて、ほぼ完璧なカンチレバーを作製することができた。このことから、KOHを用いる場合、エッチングマスクとなるSiO₂膜がエッチングされることのないよう、加工形状を考慮に入れた濃度、時間の設定が必要であることがわかった。

次に、このエッチング液で作製されたカンチレバーの長さ方向の寸法をSEM写真からはかり、原因のそれと比較し、形状の考察を行った結果を図3及び図4に示す。

図3は縦軸に寸法差を示しており、その値が大きいほど不完全なカンチレバーを表している。形状が短くなった原因は、通常、エッチングされるべきでないSiO₂膜がエッチングされたことや、洗浄時の水圧等、衝撃による破壊などが考えられる。また、マイナスの値は、支持部つまりカンチレバーの根元のSiO₂膜の部分で、工程中に何らかの原因で欠けたことにより、見かけ上伸びたように見えたためと思われる。

図3から、長さ50μmを除いて、幅が太くなるにつれ、不完全なカンチレバーが多くなっており、幅50μmまでは、長さに関係なく、カンチレバーが作製できた。また、幅100μm以上かつ長さ200μm以上になるとカンチレバーができにくいこともわかる。

図4は、図3の寸法差を設計時の長さで割って比を求め、長さとの関係を調べたものである。幅150μmのデータに多少のバラツキはあるものの、この図からは、

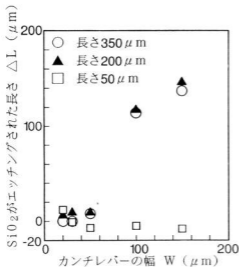


図3 カンチレバーの幅と SiO_2 がエッチングされた長さの関係

長さとの関係はないと判断できる。しかし、長さが増せば、形状的に壊れやすくなり、物理的要因が強まるのが考えられる。したがって、幅に対する適切な長さのパターン設計が必要になる。

4 結 言

シリコン基板上にカンチレバーの作製を試みて、フォトリソグラフィの各工程における条件だしを行った。その結果、以下のことがわかった。

- (1) フォトリソグラフィについては、レジスト塗布前に HMDS 処理を行って、レジストと基板の密着性を図り、密着露光方式を用いて露光時間 2 sec とすることにより、理想的なパターンを得ることができた。
- (2) カンチレバー作製のためには、幅 50 μm 以下で、強度低下の要因にならない程度の長さ設計すればよいことがわかった。

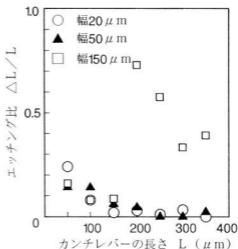


図4 カンチレバーの幅とエッチング比の関係

今後の課題として、Si のエッチングについては、今回使用した以外のエッチング液も含めて、適正条件の検討が必要である。

なお、本研究は、日本自転車振興会の補助による設備を利用して行った。

文 献

- 1) 藤田：マイクロマシンの世界，工業調査会（1992）
- 2) 平野：溶接学会誌，63（1994）6，445
- 3) 宝谷，江刺：マイクロマシン，読売新聞社（1991）
- 4) 江刺：電気学会論文誌A，114（1994）718，499
- 5) 古川，浅野：超微細加工入門，オーム社（1989）
- 6) 佐藤：機械設計，34（1990）15，43
- 7) 中野：センシング技術応用研究会 実習マイクロマシニングとマイクロセンサ基礎講座テキスト，（1994），53

溶射技術を利用した電磁誘導加熱材料の開発

原 信彦, 新田 明, 蒲田政信, 藤村秀樹*, 河本守人**

Development of Electromagnetic Heating Material by Thermal Spraying

HARA Nobuhiko, NITTA Akira, KAMATA Masanobu, FUJIMURA Hideki and KOMOTO Morito

Electromagnetic cooking machine has been attracted as a clean and safe cooking machine due to flameless. In order to develop a light and rust resisting element for the cooker with electromagnetic heater, The iron layer was coated on an aluminum plate, and measured adhesion strength, thermal shock resistance and heating property of the element were measured. The results are summarized as follows.

(1) Good adhesion of the layer was obtained for the substrate blasted by #70 steel grit.

(2) Results of thermal shock test showed that the thicker layer caused more exfoliation.

Therefore, the thickness of layer should be reduced as possible as the heating property maintains an enough efficiency.

(3) Heating efficiency was enough for more than 0.6mm in thickness of the layer.

キーワード: 溶射, 電磁誘導

1 緒 言

電磁誘導加熱は、金属の溶解や熱処理に以前から利用されていたが、昭和48年頃その技術が調理器具に応用され電磁調理器が登場している。

近年、安全で清潔な調理器が求められるようになり、火を使わない調理器として電磁調理器 (IH 調理器) が注目されている。

電磁誘導加熱は、磁力線により発生するうず電流で、なべ等の被加熱物自体が発熱する物で加熱物の材質によっては加熱効率が悪かったり加熱しない場合もあり、一般には、加熱され易い鉄やステンレスが使用されているため重く、また、鉄の場合は錆の問題がある。

そのため、錆にくくて軽いアルミニウムを使用することが考えられるが、アルミニウムは誘導加熱されにくい材料で発熱しないため、アルミの表面に発熱し易い金属を溶射して誘導加熱が行われるようにすることにより軽くて錆びにくい電磁調理器用なべを製作することができる。

本研究では、アルミニウム板に鉄を溶射してその溶射皮膜の密着強度、熱衝撃性、発熱効率等を測定し電磁調理器用なべとして十分使用できる溶射皮膜を得ることができたので報告する。

2 実験方法

2.1 溶射装置

*広島アルミニウム工業㈱, **中国メタリコン工業㈱

実験には主にアーク溶射装置を使用し、電圧 30V、電流 80A、アトマイジングエア-50PSI で行った。

また、比較のためにプラズマ溶射装置も使用した。

2.2 密着強度試験

密着強度試験は、溶射距離、溶射角度、プラスト方法、予熱温度、結合材などが密着強度に及ぼす諸条件の影響について次の方法により行った。

溶射距離: 試験片は40×40×3mmのアルミ板を使用し、ホワイトアルミナ#24でプラスト後、裏面に熱電対を溶接し溶射距離を150, 200, 250mmと変化させ溶射角度90°で溶射し溶射中の試験片の温度変化を測定した。

溶射角度: 試験片、プラストは前者と同様にし、溶射距離は200mmで溶射角度を45, 60, 75, 90°と変化させて溶射し、密着強度を JIS H8664 附着性試験法に準じて測定した。

プラスト: 試験片は前者と同様の物を使用し溶射距離200mm溶射角度75°とし、プラスト材にホワイトアルミナ (WA) #12, #24, スチールグリット (SG) #70, #100, #120を使用して直圧式プラスト機でプラスト圧 4 kg/cm²でプラストし、プラスト後直ちに溶射して密着強度を測定した。

また、プラスト後の放置時間が密着強度に及ぼす影響を調べるため SG70 でプラスト後1, 4, 24時間放置後溶射距離200mm溶射角度75°で溶射を行って密着強度を測定した。

予熱温度：試験片は前者と同様のものを使用しSG #70でプラスト後試験片の温度を10, 30, 50°Cと変え溶射距離200mm溶射角度75°で溶射して密着強度を測定した。

結合材：結合材はタフア 75B を使用し2パス溶射後鉄を4パス溶射した。

2.3 熱衝撃試験

試験片は150×150×3mmのアルミニウム板を使用し、プラスト材にSG #70, #120, WA #24を用いてプラスト後、溶射距離200mm, 溶射角度75°で溶射膜厚が0.3, 0.6, 0.9mmになるように溶射を行い、熱衝撃試験片とした。

熱衝撃試験は、ガスコンロを使用して試験片を350°Cに加熱後20~25°Cの水に入れて急冷し、これを30回繰り返した後の溶射皮膜の剥離を観察した。

2.4 発熱試験

試験片は、熱衝撃試験と同様のものを使用し溶射膜厚を0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.9mmと変化させた。

発熱の測定は試験片の裏面中央部と外部から10mm入った点に熱電対を溶接し5 kWの加熱インバータにセットしフルパワーをかけたときの温度上昇速度とインバータの出力を測定した。

3 実験結果および考察

溶射距離と試験片の温度変化の関係を調べ、溶射距離200mmの場合の試験片の温度変化を図1に示す。溶射開始後、試験片の温度は急速に上昇するが50秒前後から温度の上昇は緩やかになり、最高温度は溶射距離150mmでは170°C、200mmでは146°C、250mmでは140°Cを示し、試験片の温度が170°Cのものには試験片の角部に皮膜のめくれが発生した。そのため、溶射距離150mmでは近すぎて密着強度の低下につながるものと思われる。溶射距離と顕微鏡組織の関係を写真1に示す。

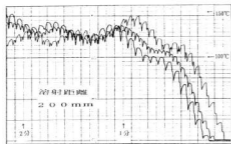


図1 試験片の温度変化

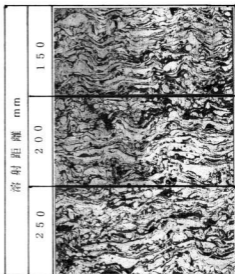


写真1 溶射距離と顕微鏡組織の関係

顕微鏡組織は溶射距離が長くなるにしたがって粗大化した。そのため、溶射距離は近いほうがよいが試験片の温度が上がりすぎると、めくれが発生する。これらの結果を総合して、溶射距離は200mmがよいことがわかった。

溶射角度と密着強度の関係を図2に示す。溶射角度45°から90°までほとんど差が見られず、角度の影響は認められなかった。穴や溝に溶射する場合は角度が影響すると言われているが¹⁾、平板の場合は角度の影響は小さいことが分かった。

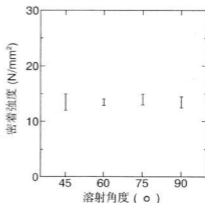


図2 溶射角度と密着強度の関係

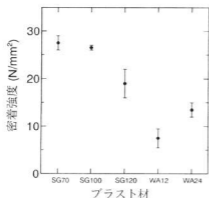


図3 プラスト材の種類と密着強度の関係

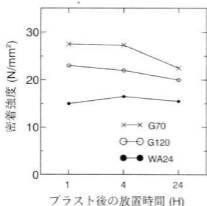


図4 プラスト後の放置時間と密着強度の関係

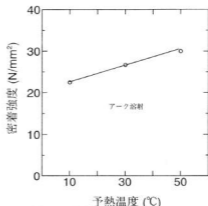


図5 予熱温度と密着強度の関係

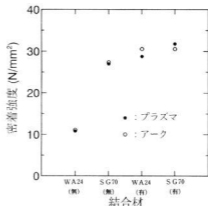


図6 結合材の有無と密着強度の関係

プラスト材の種類と密着強度の関係を図3に示す。プラスト材が密着強度に及ぼす影響は大きくWAよりSGの方がよく、また、細粒より粗粒がよい値を示し、SG #70、#100は28N/mm²前後と高い値を示した。プラスト後、溶射するまでの放置時間と密着強度の関係を図4に示す。プラスト4時間までは強度の差は殆どみられないが、24時間では、SG70、SG120の強度は低下し、放置時間1時間の強度が低いWA24は変化しなかった。

予熱温度と密着強度の関係を図5に示す。試験片の予熱温度が上がるに従って強度は上昇し、50℃では30N/mm²を示した。このことから冷材への溶射は、強度の低下につながるため、50℃前後の予熱が必要であることがわかった。

結合材の有無と密着強度の関係を図6に示す。結合材のないWA #24は10N/mm²と低い値を示しているが、結合材を溶射することにより30N/mm²と高い値になり、

また、スチールグリット#70は結合材なしでも強度は高く、結合材を使用すると更に高い値を示し、結合材の効果は大きい。

また、アーク溶射とプラズマ溶射の差はほとんど認められなかった。

熱衝撃試験の結果を写真2に示す。WA #24とSG #70ではWAの方が皮膜の剝離は大きく密着強度と一致している。また、いずれも膜厚が厚くなるほど剝離は大きくなっている。

溶射皮膜の厚さと加熱時間、出力の関係を図7に示す。溶射皮膜が厚くなるに従って250℃に達する時間は短くなり、インバータの出力は上昇し、溶射膜厚0.6から0.9mmの変化は小さくなる。

このことから、皮膜の厚さは0.6以上あればよいと思われるが、熱衝撃試験の結果より、厚くすると剝離し易くなるため、0.7mm前後がよいと思われる。

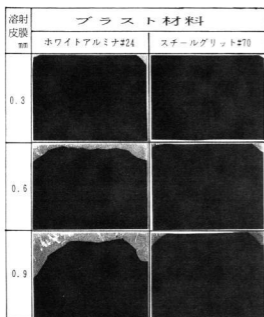


写真2 熱衝撃試験結果

4 結 言

電磁調理器用加熱材として、アルミニウム板に鉄を溶射し、その密着強度、熱衝撃、発熱性等の試験を行った結果は次のとおりである。

- (1)密着強度は、プラスト材にホワイトアルミナとスチールグリットを使用した場合は、スチールグリットが高い値を示し、#70は密着強度 $27\text{N}/\text{mm}^2$ と大きな値を示した。

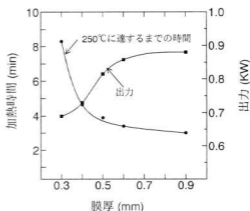


図7 溶射膜の厚さと加熱時間、出力の関係

また、基材の予熱温度の影響は大きく冷材への溶射は密着強度の低下につながるため、 50°C 前後の予熱が必要である。

- (2)熱衝撃試験の結果は、スチールグリット#70でプラストしたものが良好で、膜厚が厚くなるに従って剥離しやすくなる傾向にある。そのため、膜厚は発熱効率を下げない範囲で薄くする必要がある。
- (3)発熱試験の結果は、溶射膜厚が 0.6mm 以上になると試験片の温度測定点が 250°C に達する時間とインバータの出力の変化はそれぞれ小さくなり、発熱も良好となる。そのため熱衝撃試験の結果からも、皮膜の厚さは 0.7mm 前後が適当と思われる。

文 献

- 1)原他：広島県西部工技研究報告，33 (1990)，57

高分子系・金属系複合材料新素材の成形加工技術の形成（戦略的地域技術形成事業） 金属間化合物を強化材としたアルミニウム合金複合材料の開発

土取 功, 藤田 誠, 藤井敏男, 田谷征雄

Processing and Engineering of Resin or Metal Matrix Composites

Development of Particulate Intermetallics Strengthened Aluminum Alloys Composites

TSUCHITORI Isao, FUJITA Makoto, FUJII Toshio and TADANI Isao

Particulate intermetallics (TiAl, NiAl, SiC) reinforced aluminum alloys composites were fabricated by squeeze casting to develop light and anti-abrasive materials. In the experiment, the controlling of volume fraction and the dispersion of particulate reinforcements in the preform, the strength of the preform and the hardenability of the composites by T6 heat treatment were examined and investigated refer to the fabricating procedure in the composites.

The results are summarized as follows; (1) The controlling of Vf of particulate reinforcements was achieved by adding aluminum powder, and it was found that the dispersion of reinforcements could ensure by adding the flocculant at fabricating the preform. (2) Since alumina sol as binder for fixing of reinforcement affected the hardenability of the composites by T6 heat treatment, it appeared the temperature of firing had to be set over the temperature of crystallizing of alumina sol. (3) The temperature conditions for fabricating of composites were need to be higher than ones of conventional impregnation, because the melt front was absorbed heat by latent heat of aluminum. (4) In the case of the composites of NiAl and TiAl, their intermetallics changed to the aluminum rich compounds.

キーワード：粒子強化複合材料, SiC, NiAl, TiAl, 金属間化合物, AC8A, AC4C, スクイズキャスト, プリフォーム,

1 緒 言

アルミニウム合金は資源・環境問題にも適合し得る材料の一つとして注目され、自動車部品等への適用が進んでいる¹⁾。しかし、鉄鋼材料に比べて本質的に強度特性が低い欠点を有している。これを最近、開発されたセラミックス短繊維、粒子等と複合化することにより、軽量高性能部材としての用途が期待されている²⁾。中でも粒子強化アルミニウム合金複合材料は耐磨耗部材としての応用が考えられる。強化粒子は一般にセラミックス粒子が用いられる場合が多く、金属間化合物を用いての研究例はほとんどみられない³⁾。本研究では最近注目している金属間化合物を用いた粒子強化複合材料の開発を試みた。金属間化合物を強化材として用いる利点として、金属の性質を有することから熱伝導率を阻害しないことや界面の接合性、複合成形性（濡れ性）等が良好と考えられる。さらに、機械加工性においてはセラミック粒子を用いた場合ほど悪

くならないことや⁴⁾、耐摩耗性では被摩耗材に対する攻撃性が少ないこと等が挙げられる。

高圧凝固造法による複合材料の製造においては強化材の予備成形体（プリフォーム）の作製が重要な技術要点である。粒子の場合、かさ密度が低いため、体積率（Vf）が小さいプリフォームを作製することが困難である。本研究では比較的低価格な粒子を用いて、その体積率が10～30%でコントロールできる複合材料の製造技術を開発することを目的に各種実験を行った。

2 実験方法

本研究においては複合化時に変形や割れを生じないで、かつ強化材粒子の体積率が低くコントロールされた強度のある予備成形体（プリフォーム）をいかにして作製するかが重要な技術の要点である。強化材には炭化珪素粒子 SiC、チタン-アルミ金属間化合物の1種の TiAl、さらにニッケル-アルミ金属間化合物の

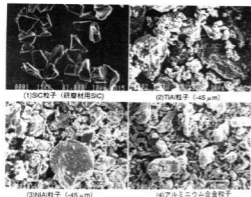


写真1 強化材料粒子とアルミニウム粉末の形状

1種のNiAlの3種類を用いた。これらの金属間化合物はいずれも耐熱材料として注目されているものである。SiC粒子は研摩材用（昭和電工㈱製）として比較的価格で供給されており、TiAlおよびNiAlはそれぞれ1:1の金属間化合物（福田金属箔粉工業㈱製）でアトマイズ法で作製された市販材である。そしてこれらの強化粒子のプリフォーム作製時にアルミニウム粉末を添加することで体積率(Vf)を調整する方法を実験した。用いた各粉末の外観を写真1に示す。

一方、マトリックスとなるアルミニウム合金は一般機械用鋳造合金のAC4Cおよび耐熱耐摩耗合金のAC8Aを用いた。

図1に示すように強化粒子を水中に攪拌・分散させ、これにVf調整用のアルミニウム粉末を加え、さらに分散剤、凝集剤、無機系粘結剤を添加後、所定の型内で吸引成形した。この成形体を取り出して乾燥後、次に焼成するのであるが、予備実験の結果、焼成温度はVf調整のために加えたアルミニウム粉末の溶け出しやT6熱処理による硬さの上昇、プリフォーム強度、また、NiAl、TiAlでは焼結収縮等に影響をおよぼすことが分かった。そこで、焼成温度を決定するため、550~850°Cの間で上記項目への影響を調べ、相反する条件をバランスさせて、SiCの場合には800°C、NiAl、TiAlの場合には740°Cで焼成することとした。

このようにしてVfが10~30%の各プリフォームを作製し、高圧凝固鋳造法で複合材料を製造した。その際の複合化手順はこれらのプリフォームを約500°Cに予熱し、それを予め300~350°Cに予熱された所定の金型に配置した後、すばやく800°Cのアルミニウム合金溶湯を注いで加圧パンチを挿入して約100MPaの圧力を加えた。そしてその状態で約3分間、加圧保持後、徐荷して分割型ごと空冷し、金型から複合材料を取り

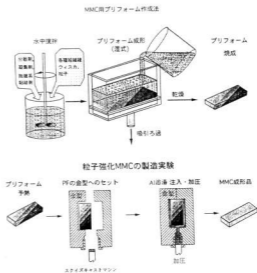


図1 プリフォーム作製方法及び高圧凝固鋳造法を利用した複合材料の製造

出した。このようにして製造された複合材料は、さらに強度を上昇させることを目的に、電気炉でT6熱処理を行った。

3 実験結果

今回の粒子強化材のプリフォーム作製では、用いた強化材とVf調整のために添加したアルミニウム粉末の間に比重差があるため、吸引成形時に強化材粒子の沈降が早く、そのVfに勾配を生じる結果となった。このため、種々検討した結果、凝集剤を用いることでアルミニウム粉末との間の分散性を確保できることが分かった。この様子を模式的に図2に示す。分散浮遊している間に両者を凝集させることで比重差にもとづく沈降時の分離を防ぐもので、この方法は大きな効果が認められた。

添加したアルミナゾルについてはその種類も多いが、本実験で使用したものは結晶化温度が620°Cのものである。この温度以上でプリフォームを焼成することにより、T6熱処理も可能であることが分かった。その原因はバインダーが非晶質状態のアルミナで存在すると、Al合金中のMgとの反応性が結晶質の場合に比べて高いことが考えられる⁵⁾。このような過程を経て製造された複合材料の代表例の顕微鏡組織を写真2に示す。この組織はVfが約15%程度の場合であるが、比較的分散性も良好であることが分かる。この分散性はミクロ的にはVf調整に用いたアルミニウム粒子の

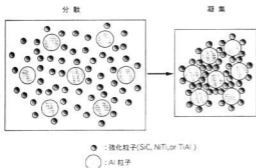


図2 強化材粒子とアルミニウム粉末の分散方法

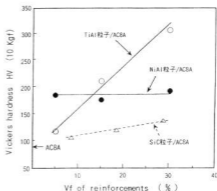


図3 金属間化合物複合材料の強化材の Vf と硬さ

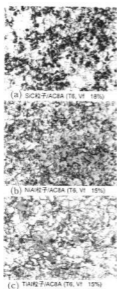


写真2 金属間化合物粒子/AC8A 複合材の顕微鏡組織

大きさに影響されるものと思われる。(a)では尖った粒子状がSiCであり、それに比べて(b),(c)では強化材の分布があまり明確ではないが、灰色のやや大きい粒状がそれぞれの金属間化合物である。これらの複合材料の強化材の Vf と硬さの関係を図3に示す。

Ti/Al粒子/AC8Aは Vfが高くなると硬さもHV120程度からHV300まで大きく上昇している。SiC粒子/AC8Aはこれに比べて非常に緩やかな上昇でHV100からHV130程度となっている。NiAl粒子/AC8Aでは Vfによる硬さの上昇が殆どみられず、HV160からHV180と硬さレベル自体は高かった。通常、粒子強化複合材料では Vf=30%まではHV200を越えることは

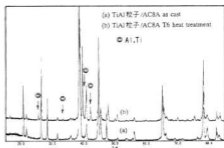


図4 TiAl粒子/AC8A 複合材料のX線回折

少なく、SiC粒子/AC8Aの直線が最も一般的である。

図4にTiAl粒子/AC8Aの as cast 材とT6熱処理後のX線回折結果を示す。

これらの回折プロフィールにはAl, TiAl, Si, Mg₂Siの各回折ピークを含んでいる。この両者の相違点は as cast 材ではTiAlが支配的であるのに対し、T6熱処理後は図中の矢印で示すようにAl₃Tiのピークが鋭く現れているのが認められる。Ti-Al金属間化合物はTiAlが約HV180程度、Al₃TiがHV680程度が報告されている⁶⁾。これから、T6熱処理の溶体化時にTiが拡散していき、TiAlからAl濃度が増加したAl₃Tiに変化したことは明らかである。このようにTiAl/AC8A複合材で、その Vfの増加とともに硬さが急勾配に上昇するのはTiAlより硬さの高いAl₃Tiが生成されたことによるものである。

NiAl粒子/AC8AのX線回折結果を図5に示す。

ピークが多く詳細は省くが、注目されるのは、as cast材でも、強化材であるNiAlのピークが非常に低く、NiAl₃が支配的である。さらにT6熱処理後はNi₂Al₃のピークが観察されるようになる。これらの

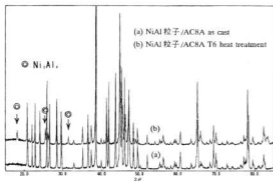
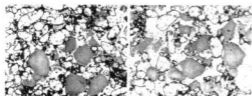


図5 NiAl粒子/AC8A複合材料のX線回折

硬さに関してはNiAlがHv950, NiAl₃がHv770, Ni₂Al₃がHv720との報告がある⁶⁾。このようにAlリッチな金属間化合物がNiAlに比べて、やや軟質なことがNiAl粒子/AC8AがそのVfに対して、硬さの変化が少ないことの原因かもしれない。いずれにしてもTiAlの場合と同様に金属間化合物の形態の変化に起因した結果と考えられる。

このような粒子強化複合材料は耐摩耗性を目的に製造され、強度面ではあまり期待できないことが多い。これらの複合材料の引張強度はそのVfが30%の場合でSiC粒子/AC8Aで350MPa, NiAl粒子/AC4Cで285MPa, TiAl粒子/AC4Cで174MPa程度の引張強さが得られた。この中でTiAl粒子/AC4Cが高い硬さを示すのに引張強度が低いことが注目される。写真3にその顕微鏡組織写真を示す。



(1)TiAl粒子/AC4C複合材料 (Vf=10%) (2)TiAl粒子/AC4C複合材料 (Vf=30%)

写真3 TiAl粒子/AC4C複合材料に現れた製造欠陥

灰色が強化材であるが周辺に粒状の輪郭をもった粒状物が観察される。これはVf調整に添加したアルミニウム粉末である。本来はマトリックスを構成して、このように識別されることは望ましくないことである。このように観察されるのはプリフォーム作製時の焼成により、粉末表面が酸化されて複合化後もその酸化物

が残ったもので、これが強度が低い原因であると考えられる。なぜ、このTiAlの場合顕著に現れるのかは現在のところ不明である。これらの現象が今後、改善できれば、引張強度は向上するものと思われる。

このように金属間化合物粒子を強化材としたアルミニウム合金複合材料は強化材構成元素がAl中への拡散を生じ、そのことは界面接合性の良さを示すと同時に、化合物の形態が変化することが分かった。これを活用することによって、より強度の優れた複合材料を得る可能性がある。

4 結 言

以上の実験結果を要約すると次のようになる。

- (1)いずれの強化粒子の場合でも、プリフォーム作製のための吸引成形時における、凝集剤の添加は粒子の分散性とも関係し、重要である。
- (2)プリフォームの粘結剤にアルミナゾルを用いたが、複合材料をT6熱処理で強度向上させるには焼成温度を結晶化温度以上にすることが必要だが、高すぎるとVf調整に用いたアルミニウム粉末の溶けだしを招き、その焼成温度は粒子によって制約を受ける。
- (3)Vf調整を目的にアルミニウム粉末を添加したが、複合化温度条件は融解潜熱を奪われるため、高めに設定する必要があることが分かった。
- (4)NiAl, TiAl粒子の複合材料の場合、Alリッチな金属間化合物に変化した。
- (5)本実験で得られた粒子強化複合材料はVf=30%, as cast時にSiC粒子/AC8Aで305MPa, TiAl粒子/AC4Cで174MPa, NiAl粒子/AC4Cで258MPaの引張強さであった。

なお、これらの金属間化合物粒子強化複合材料については、その耐摩耗性を試験評価していく予定である。

文 献

- 1)軽金属学会自動車委員会編：自動車のアルミ化技術，軽金属学会，(1993)
- 2)複合材料委員会編：複合材料の界面，強度，プロセスおよび構造部材への適用，軽金属学会，(1991)
- 3)大村博幸，三好隆雄，高橋庸輔：日本ダイカスト会議論文集，(1988)，21
- 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)，218-228
- 5)D.L.Baty, B.G.Coleman and J.P.Price : SME, EM 87-573 (1987)
- 6)ゲ・ヴェ・サムソノフ，イ・エム・ヴィニツキ：高融点化合物便覧，日・ソ通信社，(1977)，300, 305

高分子の表面改質技術に関する研究 (第2報) 硬質ポリオレフィン樹脂の塗装密着性の改善*

大橋俊彦

Study of Surface Modification of Macromolecules (2nd Report) Improvement of Adhesion of Coatings of Rigid Polyolefin Resins

OHASHI Toshihiko

Adhesion of polyethylene and polypropylene, whose surface are inert, were low. However, it was sometimes required that those plastics were adhered or coated by other materials. Therefore adhesion of them must be improved by modification of their surface.

It was reported about graft polymerization of methylmethacrylate onto a flexible polyolefin and improvement of adhesion of flexible polyolefin by using those graft copolymer (PO-g-PMMA) as a modifier in the previous paper.

The flexible polyolefin were miscible with polyethylene and polypropylene. So it was applied to modifier for improvement of adhesion of those plastics. Then it was found that excellent adhesion to acrylic coating was given to polypropylene by under coating with PO-g-PMMA.

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，塗料

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用されている。また表面が不活性であるため接着性・塗装性が悪いという特性があり、これらを生かした製品としての適用例も多い。しかし逆に接着・塗装などをして使用したいという需要も少なくなく、そのためには何等かの処理を行って表面を改質し、接着性を向上させる必要がある。現在、一般に実用に供されている方法としてプラズマ処理、グロー放電処理¹⁾などの物理的な処理方法があるが、これらはいずれも特殊な設備が必要である。

前報²⁾で軟質ポリオレフィン樹脂の化学反応(グラフト重合法)による化学修飾、および得られたグラフト重合体を改質剤とする軟質ポリオレフィン樹脂の接着性の改善について報告した。

この時ベースとした軟質ポリオレフィン樹脂がポリエチレン・ポリプロピレンなどと相溶性があるとされることから、前報と同様のグラフト重合体をこれらの樹脂の表面処理剤として用い、塗料との密着性の改善について検討した。本報ではその結果について報告する。

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前報²⁾と同様な方法によって行った。この方法はラジカル重合開始剤の幹ポリマーからの水素引き抜き作用を利用した連鎖移動反応によるグラフト化反応である³⁾。幹ポリマーとなるポリオレフィン樹脂は前報²⁾と同じものを用い、グラフトのモノマーも同様にメタクリル酸メチル(MMA)を用い、合成条件を更に広範囲に変化させ、様々なグラフト率(幹ポリマーに対するグラフトしたモノマー量の比)を持つ表面処理剤を合成した^{4), 5)}。

2.2 塗装密着性の評価

市販の高密度及び低密度ポリエチレン樹脂(結晶化度69%, 46%), ポリプロピレン樹脂(結晶化度52%)の板(厚さ3mm)を50×80mmの大きさに切断したものを試験片とした(結晶化度はX線回折法により評価した)。この試験片に合成したグラフト重合物の5%トルエン溶液を塗布し、室温または60~80°Cで1時間乾燥させることにより表面の改質処理をした。この時、場合によってはグラフト重合物の塗布前に試験片をあらかじめ60~80°Cで1時間予熱し、予熱しないものと

*第44回高分子学会年次大会(1995年5月、横浜)にて発表

の塗膜密着性への影響を比較した。このようにして表面改質した試験片に市販の油性アクリル塗料を塗装し、室温で乾燥させた。グラフト重合物の5%トルエン溶液およびアクリル塗料の塗装はそれぞれハケ塗りで行った。

密着性の評価はJIS K 5400に規定された基盤目テープ試験法により、基盤目のすきまは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。

3 結果と考察

3.1 塗装条件の影響

ポリエチレン (PE) やポリプロピレン (PP) とグラフト重合体との密着性はポリオレフィン (PO) の化学構造の部分によっており、おそらくPOの分子鎖がPE・PPの表面の無定形相に浸入して絡み合いを形成することによって強固になると想像される。絡み合いの形成の程度は温度条件に依存すると考えられる。これらの無定形相は温度が高いほど表面における分率が多く、また活発に運動することから、グラフト率7.8%のグラフト重合物を前処理剤として用い、グラフト率一定で予熱温度・乾燥(熱処理)温度の影響について検討した。

図1に各樹脂について塗装後の経過日数と基盤目テープ試験による結果(剥離せずに残ったますめの数)の関係の代表的なものを示す。

塗膜は1週間程度では十分に硬化せず、それに対応して基盤目テープ試験による結果も経時変化を示した。

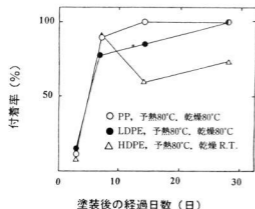


図1 基盤目テープ試験法で評価された塗膜の密着性と塗装後の経過日数との関係

このように塗膜の密着性は塗装後の時間の経過について向上している。しかし十分な密着力に達するまでの時間はPP, LDPE, HDPEの順に短くなっている。

表1には十分な密着性が得られたと考えられる約1か月後の試験結果を示した。また写真1に基盤目テープ試験後の試験片の状態を、それぞれの樹脂について最も密着性の良かったものと悪かったもの(未処理のもの)について示す。

どの樹脂板についても未処理のものは全く密着しておらず、基盤目の外まで広い面積にわたって剥離している。それに比べてグラフト重合体を塗布したものは

表1 基盤目テープ試験法によって評価した付着性とグラフト重合体塗布時の予熱・乾燥温度との関係

	予熱温度 (°C)	乾燥温度 (°C)	結果		
			付着率	評価点数	
PP	R.T.	R.T.	53	0	
	R.T.	60	100	8	
	60	R.T.	100	10	
	60	60	100	10	
	R.T.	R.T.	100	10	
	80	R.T.	94	6	
	80	80	100	10	
	(未処理)		21	0	
	LPE	R.T.	R.T.	0	0
		R.T.	60	11	0
60		R.T.	10	0	
60		60	2	0	
R.T.		80	23	0	
80		R.T.	100	10	
80		80	100	10	
(未処理)		10	0		
HPE		R.T.	R.T.	14	0
		R.T.	60	2	0
	60	R.T.	9	0	
	60	60	7	0	
	R.T.	80	9	0	
	80	R.T.	74	4	
	80	80	26	0	
	(未処理)		1	0	

付着率: 試験後のはがれずに残ったますめの数

評価点数: JIS K 5400 によって評価した点数

予熱・乾燥時間………1時間

(R.T. は予熱・乾燥を行わなかったことを示す)

いずれも多少とも密着性が向上しており、ここには示さないが、比較的密着の悪いものでも剥離領域は甚盤目の外のわずかな面積に限られている。また PP と LDPE については実用レベルに近い密着性が得られているものもあることがわかる。

PP については 60°C 以上で予熱または乾燥を行えば十分な密着力が得られている。LDPE では 60°C での予熱・乾燥ではすべて密着力は不十分であるが、80°C では十分な密着性を示したのものがある。また HDPE ではすべて十分な密着性は得られていないが、80°C 予熱・乾燥を行ったほうが比較的高い密着力を示している。

このことからグラフト重合物を塗布する時、高い温度で予熱・乾燥を行うほうが密着性が向上すると考えられる。また乾燥よりも予熱の方が密着力への寄与が

大きいように思われる。

3.2 グラフト率の影響

塗料とグラフト重合体との密着性はポリメタクリル酸メチル (PMMA) の構造の部分 (グラフト鎖) に由来することから、密着力の大きさはその量 (グラフト率) に影響されると考えられる。そこでグラフト率 0 (幹ポリマー)、3.0、11.5、40.6% のグラフト重合物を前処理剤として用い、塗装密着性に及ぼす前処理剤のグラフト率の影響について検討した。この時、80°C で 1 時間予熱したものとし、試験片を作成し、乾燥は 80°C で 1 時間行った。

塗装後 21 日目の結果を表 2 に示した。

予熱を行ったもののほうが密着性が良い傾向があり、グラフト重合体塗布時の温度が重要であると思われる。未処理のものは全く密着していないが、グラフト重合

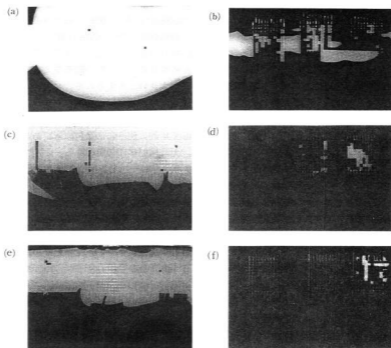


写真1 基盤目テープ試験後の試料の状態

- (a) HDPE, 未処理 (b) HDPE, 表面処理 (予熱80°C, 1時間, 乾燥室温)
 (c) LDPE, 未処理 (d) LDPE, 表面処理 (予熱80°C, 1時間, 乾燥80°C, 1時間)
 (e) PP, 未処理 (f) PP, 表面処理 (予熱80°C, 1時間, 乾燥80°C, 1時間)
 表面処理剤: PO-g-PMMA (7.8) の5%トルエン溶液

表2 基板目テープ試験法によって評価した付着性と前処理剤 (PO-g-PMMA) のグラフト率との関係

試験片	未処理		グラフト率(%)								
			0.0		3.0		11.5		40.6		
予熱	付着率	評価点数	付着率	評価点数	付着率	評価点数	付着率	評価点数	付着率	評価点数	
PP	○	0	0	98	6	100	10	100	10	97	6
	×	0	0	45	0	69	2	85	2	12	0
LDPE	○	0	0	63	0	73	2	11	0	28	0
	×	1	0	13	0	15	0	11	0	16	0
HDPE	○	1	0	23	0	20	0	24	0	33	0
	×	0	0	14	0	19	0	21	0	5	0

付着率：試験後はがれずに残ったすめの数 評価点数：JIS K 5400 によって評価した点数
 予熱・乾燥時間………1時間 (×は予熱・乾燥を行わなかったことを示す)

体を塗布したものは、PP>LDPE>HDPE の順で密着性が高い。またグラフト率が高いものを使うほど、密着性が高いとは必ずしもいえない。ハケ塗りであるためバラツキが大きく、はっきりしたことはわからないが、樹脂板とグラフト重合体、グラフト重合体と塗料の2種類の組み合わせの接着力が関係することから、密着に最適のグラフト率が存在する可能性がある。

塗装用のプライマーとして実用的に使うには、今後塗料の選定あるいは開発も含めて、グラフト鎖の材質(グラフトのモノマー)やコストなどを更に検討する必要がある。

4 結 言

軟質ポリオレフィン樹脂にメタクリル酸メチルをグラフト重合した。得られたグラフト重合体を高密度・低密度ポリエチレン、ポリプロピレン樹脂の表面に塗布し、それらの樹脂の塗料に対する密着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)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塗料に対する密着性は、大きく改善された。
- (2)ポリプロピレン樹脂については、グラフト重合体の塗布時に60または80°Cで予熱または乾燥を行うこと

により、実用的なレベルに近い付着力が得られた。

低密度ポリエチレンについては80°Cで予熱または乾燥を行うことにより、実用的なレベルに近い付着力が得られた。

高密度ポリエチレンについては、付着性の改善は見られるものの、実用的なレベルには達していない。

- (3)塗料の密着力には、グラフト重合体塗布時の予熱・乾燥などの熱処理の影響が大きく、特に予熱の影響が大きいと考えられる。
- (4)塗料の密着には、必ずしもグラフト率が高い方がよいとは限らないと考えられる。
- (5)実用的に使うには塗料の選定あるいは開発も含めて更に検討する必要がある。

文 献

- 1)岩田顕範：高分子表面研究会講座講演要旨集，(1994) 3, 25
- 2)大橋俊彦：広島県西部工技研究報告，37 (1994)，42
- 3)井手文雄：グラフト重合とその応用，高分子刊行会(1977)
- 4)奥村，山口：高分子論文集，47 (1990)，4, 261
- 5)奥村，山口：日本接着学会誌，27 (1991)，3, 93

ハイブリッドスタンパブルシートの開発とその機械的特性

下原伊智朗, 好満芳邦, 大橋俊彦, 田平公孝, 土取 功

Development of Hybrid Stampable Sheets

SHIMOHARA Ichiro, YOSHIMITSU Yoshikuni, OHASHI Toshihiko,
TAHIRA Kimitaka and TSUTITORI Isao

Stampable sheets which consist of glass fiber (GF) and matrix polypropylene (PP) have been applied for the parts of automobile. However, their mechanical properties are not enough yet. In this work, the reinforced thermoplastic (RTP) sheets used GF or carbon fiber (CF) clothes as a continuous reinforcement were developed and combined them with commercial stampable sheets to improve their mechanical properties. These sheets are named hybrid stampable sheets. Furthermore, we have investigated the effect of modification of matrix PP with modifier in order to increase adhesion force between matrix and fiber.

As the result, it was found that tensile properties and bending properties of hybrid stampable sheets were showed 1.5 to 2 times value of the properties of commercialized stampable sheets and modification with maleic anhydride modified PP was effective to improve mechanical properties of RTP sheet laminates and hybrid stampable sheets.

キーワード：複合材料, FRTP, スタンパブルシート, ハイブリッド

1 緒 言

熱可塑性樹脂とガラス繊維を用いた強化プラスチックであるスタンパブルシートは、機械的特性、成形性、リサイクル性等に優れており、軽量化、一体化、耐食性などの要求から自動車部品に多く使われつつある¹⁾。

しかしマトリックスのポリプロピレンが低弾性率であることなどから、剛性等に限界があり、またより強度があれば使用可能となる部材もあり、一方向に引きそらえたガラス繊維を加えたスタンパブルシートも開発されている²⁾。そこで、本研究では、構造用部材への適用を図るため、長繊維織物を強化材に用いた強度・剛性に優れた高性能なスタンパブルシートの作成を検討した。

まず強化繊維としてガラス繊維織物 (GF) 及びより強度・弾性率の高い炭素繊維織物 (CF) を使用し、ポリプロピレン (PP) をマトリックスとした強化熱可塑性プラスチック (RTP) シートの製造を行った。このシートは、積層して予熱し、型によって賦型する成形や引抜成形などによる連続成形のための高性能材料として使用できる。

複合材料に関して強化繊維の性能を十分発揮させるには、樹脂と繊維界面の接着性が重要であるが、PP

は接着性が悪く複合化されにくい。添加工等による接着性の改善について検討が行われている^{3,4)}。ここではマレイン酸変性した PP を改質剤としてその効果について検討した。

次にこれらの RTP シートとマット状のガラス繊維を強化材とする市販のスタンパブルシートを組み合わせてハイブリッド化することで、市販スタンパブルシートの性能を向上させることを検討した。また簡易な高性能化の手法として、CF クロスと市販スタンパブルシートを直接ハイブリッド化するための成形条件についても検討した。

2 実験方法

2.1 使用材料

使用した材料を表1に示す。

2.2 RTP シートの作成

RTP シートは二軸押出機及び加熱含浸ロール (横日本製鋼所) を用い、次のように作成した。約250°C で溶融させた PP を押出機によって、150×2mm のダイから流出させながら、直下にある、テープ状の GF クロス (160mm幅) または、CF クロス (100mm幅) を別途連続挿入している2個の加熱ロール (120°C) によって含浸させ、次のロールで冷却し厚さ約0.5mmのシ-

表1 使用材料

材 料	品 番	メーカ一
樹脂 (P P)	HIPOL J900 (MFR40g/10min)	三井石油化学工業㈱
改質剤 (マレイン化P P)	AD89G	㈱トクヤマ
スタンパブルシート	X-sheet P4038	出光N S G ㈱
ガラス繊維	YCTM13160 (110g/m ²)	日本板硝子㈱
炭素繊維	W3106 (122g/m ²)	東邦レーヨン㈱
〃	WTS101 (220g/m ²)	〃

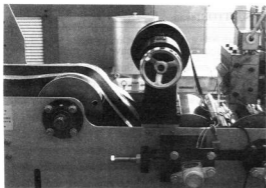


写真1 樹脂含浸の状況

トを作成した。

この時クロスを常温のまま樹脂含浸しようとする
と、繊維の温度が低いためにP Pが繊維に接触した時
点で冷却され含浸しにくい。そこで、加熱ロール直前
でクロスを棒状のヒーターで予備加熱することで、
PPの冷却を防ぎ含浸シートを作成することができた。
作成の状況を写真1に示す。

また、樹脂改質の効果を見るために、マレイン化P
P (以下MPPとする)を5%及び10% (対PP重量)
添加したものにについてもRTPシートを作成した。
MPPはPPと他の樹脂を混合する場合の相溶化剤とし
て使用されているが、ここでは強化繊維の表面処理
剤の官能基と反応して接着性を向上させることを想定
して使用した。

2.3 RTPシートの成形

作成したRTPシートを、所定の寸法に切断して
GFクロス7プライ、CFクロス7プライ、GFクロス
とCFクロスそれぞれ3プライ及び4プライを交互
積層したハイブリッドの3構成で積層し、型温200°C、
圧力 0.5 MPa で5min熱プレスした後、冷却し厚さ
約3mmの試験板を成形し、評価試験に用いた。

2.4 市販スタンパブルシートとのハイブリッド化

市販スタンパブルシートとのハイブリッド化は、オ
ープンで220°C、10min予熱したシートブランクに、所

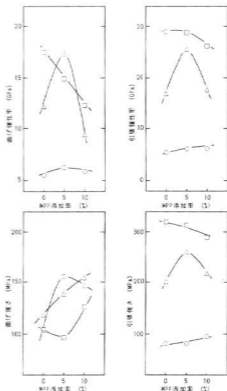


図1 RPTシート積層板の機械的特性の及ぼす改質剤の効果

- : GF 7plies
- △: Hybrid CF+(GF+CF)3
- : CF 7plies

定寸法に切断したRTPシートを上下に配して200°C
に予熱した型にチャージし、5MPaの圧力で5min加
圧した後、冷却して作成した。

CFクロスとの直接ハイブリッド化では、所定の温
度に保った金型に、余分のエポキシサイジングをアセ
トンで洗浄したCFクロスを配し、前述のように予熱
したシートブランクをサンドイッチして10MPaでプ
レス成形して作成した。

3 実験結果と考察

3.1 試作 RTP シートをを用いた複合材料

含浸ロールにより作成した RTP シートを積層成形した、GF シート、CF シート及び両者を交互積層したハイブリッドシートの機械的強さ特性を図 1 に示す。

GF シートでは、曲げ強さ 100~150MPa、引張強さ 90~100MPa が得られ、良好な特性の成形品が得られた。CF シートでは、引張強さが約 300MPa と、スタンパブルシートに比べかなり高いが、曲げ強さは 100MPa 前後となり、不十分な結果となった。その理由として、CF の場合、織物の目付け量が 220g/m² で GF の 2 倍あるため PP の含浸がよくなかったこと、CF と PP の親和性が予想以上に低く、接着状態が不十分だったことなどによるものと考えられる。ハイブリッドシートについても、引張特性は GF シートと CF シートの中間で理想的であるが、曲げ特性は GF シートと同程度であり向上しておらず CF 層の接着性の低さの影響がみられる。

PP を加えた場合の効果については、GF シートでは引張、曲げ特性全体に効果がみられている。特に曲げ強さに大きく現れており、添加しない場合に比べ 1.5 倍の向上が認められた。曲げ試験の荷重-たわみ線図からも、MPP を添加した場合、弾性限界が高くなっており、繊維との接着性が向上していることが推察される。

CF シートについては逆に MPP を添加すると特性が低下する傾向がみられ、CF の表面処理および改質剤の検討が必要であると考えられる。

弾性率についても、GF の場合、強度と同様に特性の向上が認められたが、CF については MPP の添加によって低下した。

3.2 市販スタンパブルシートと RTP シートからのハイブリッド複合材料

市販のスタンパブルシートの表面に RTP シートを配置するハイブリッド化によって、特性の向上を試みた結果を図 2 に示す。表層に機械的の特性の高いクロスがあるため、曲げ特性において向上がみられる。特に CF の場合、曲げ強さは 1.5 倍、弾性率は 2 倍となった。引張特性においてはコアのスタンパブルシートの強化材がほとんどの荷重を受け持つので、GF においては強度の上昇がみられないが、強度が GF に比べかなり高い CF の場合は特性の向上がみられる。

衝撃試験の結果を図 3 に示す。CF においては、衝撃強さの向上がみられた。GF においては、効果が現れていないが、これは、GF クロスの繊維含有率が低

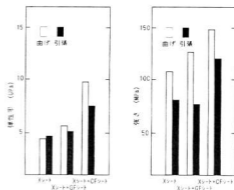


図 2 Xシートをコアとしたハイブリッド複合材料の機械的特性

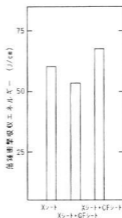


図 3 Xシートをコアとしたハイブリッド複合材料の機械的特性

いためと考えられる。スタンパブルシートと同程度以上の繊維含有率のクロスを使用すれば、かなりの向上がみられるものと思われる。

3.3 市販スタンパブルシートと CF 平織りクロスからのハイブリッド複合材料

簡便な方法として、高強度の CF を市販スタンパブルシートの表面に配置するだけで、直接ハイブリッド化する場合の成形温度条件について検討した。CF には目抜き平織りクロス (W3106) と平織りクロス (WT3101) を用いた。目付け量の低い目抜きクロスのほうが、エア-残りが少なく、含浸性が良好であった。成形温度と機械的の特性の関係を図 4 に示す。

目抜きクロスの場合、成形温度 100°C ではクロスがそのまま貼り付いただけの状態で、スタンパブルシ-

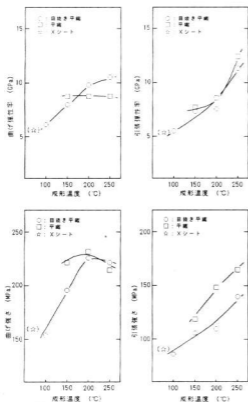


図4 平織CFを表面に配置したをハイブリッド複合材料の機械的特性

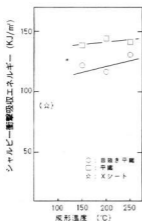


図5 平織CFを表面に配置したをハイブリッド複合材料の機械的特性

トと同程度の特性しか得られていないが、成形温度を順次上げていくと、引張、曲げ特性共に向上していき、250°Cの成形温度の場合、1.5倍の強度、2倍の弾性率となった。一方平織りクロスにおいても、150~250°Cの温度で成形した結果、スタンパブルシートに比べ高い機械的特性が得られた。成形温度に関しては、引張特性は温度と共に向上するが、曲げ特性はあまり向上せず、効果がみられなかった。破断後の試験片を観察すると、圧縮側のCF層の座屈がみられることから、樹脂と繊維の接着性に問題があるものと思われる。

図5にシャルピー衝撃試験の結果を示す。衝撃強さに関してもスタンパブルシートに比べ向上しており、目抜きクロスより平織りクロスのほうが効果が大きいことがわかる。

これらの結果から、高強度のCFクロスを表面層に配置することで、衝撃強さを上げることが可能であることがわかった。

4 結 言

二軸押出機及び加熱含浸ロールによって、長繊維のGFクロス、CFクロスを用いたRTPシートを作成し、高性能スタンパブルシートの試作を行った結果、次のことがわかった。

- (1)強化繊維にPPをロールで含浸させる際、ロールの直前で繊維を予備加熱することで良好なPP含浸シートを製造することができる。
- (2)上記RTPシートを熱プレス成形した積層板は、良好な機械的特性を得た。このとき、マレイン化PPの添加が強度特性を向上させることがわかった。ただし、炭素繊維を用いた場合は接着性が充分でなく、曲げ強度に関しては向上が認められなかった。
- (3)市販のスタンパブルシートの表面にRTPシートをラミネートした結果、強度、弾性率の向上が見られ、これによって製品の薄肉化、穴加工時の強度保持等特性の改善が可能であることが認められた。
- (4)炭素繊維織物を直接スタンパブルシートの表面にラミネートするハイブリッド手法についても検討した結果、150°C以上の成形温度で機械的特性が向上することがわかった。

文 献

- 1) 野村：日本複合材料学会誌，18，(1992) 6，219
- 2) 木村：日本複合材料学会誌，14，(1988) 3，101
- 3) Rijdsdijk 他：I CCM9，VOL II，(1993)，251
- 4) 友永他：FRPシンポジウム講演論文集II-26A (1994)

FRP ハニカム構造体の製造プロセスに関する研究

藤井敏男, 村河亮利, 本山浩司, 好満芳邦

A Study on Production Process of Honeycomb Core Using FRP

FUJII Toshio, MURAKAWA Akitoshi,
MOTOYAMA Koji and YOSHIMITSU Yoshikuni

The sandwich structure is superior in specific modulus and strength. This structure that consisted of a honeycomb core having high rigidity and impact strength is utilized in super light weight structures such as airframe. But the honeycomb core used for aircraft is very expensive. So it is hard to use it for general machine structural materials. The aim of this work suggests a new production method of FRP honeycomb core and is to design and build trial equipment that can produce FRP honeycomb core. This production process differs from other methods in the processes that no adhesives are used and will be possible to manufacture FRP honeycomb core with in-line process.

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

1 緒 言

航空機をはじめ，高剛性で耐衝撃性に優れ，さらに軽量化をめざす構造物にはハニカムコア（空洞の六角柱が蜂の巣状に多数集まった構造体）が使用されている。航空機ではアルミニウム合金製のものやアラミドペーパー強化プラスチック（KFRP）製のハニカムコア¹⁾を用い，それらの表面にアルミニウム合金板およびFRP板を張り合わせた構造物（サンドイッチパネル）として利用されている。しかし，これらハニカムコアは非常に高価であり，一般工業用機械材料に利用するにはコストの面で困難である。

そこで，一般構造用機械材料として利用が期待されるためには，曲面加工性に優れたガラス繊維強化プラスチック（GFRP）ハニカムコアを材質および製造コストの両面で低価格で製造できるプロセスの開発が望まれる。当センターでは，これまでに低価格で高強度なプリプレグシート²⁾（織物強化材にあらかじめ樹脂を含浸させて成形作業性を向上させたもの）を研究・開発しており，これをハニカムコアの素材に用い，低コスト化を図った新しい製造工程を提案し，その案に基づき試作機を設計・製作した。また，この装置を用いて試作したハニカムコアの圧縮特性について報告する。

2 実験方法

2.1 ハニカムコアの種類

図1には，ハニカムサンドイッチパネルの構造を示

す。ハニカムコア¹⁾は，容積比95～99%を空気が占める非常に軽い構造材で，高弾性で高強度の表面材と接着させることで比強度（単位重量あたりの強度）が非常に高いハニカムサンドイッチパネルになる。ハニカムコアは材料，大きさおよび形状の3種類に分類され，材料として，アルミニウム箔などの金属コアとFRPおよび紙などの非金属コアに分類される。大きさは，セルサイズ（六角形の大きさ）とセルの厚さで表される。形状は一般的には断面形状が正六角形であるが，中には四角形などのものもある。本研究では，材質をGFRPとし，断面形状を六角形とするセル長10mmのハニカムコアの試作について検討した。

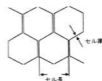
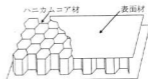


図1 サンドイッチ構造

2.2 ハニカムコアの材料

本実験では，FRP ハニカムコアを製造するにあ

り比較的安価で高強度が得られ、作業性にすぐれた素材として、ガラス繊維クロス (FECE-2520-44E) を強化材に用い、ウレタン変性不飽和ポリエステル樹脂 (AGU-2100) に増粘剤および硬化剤を適量添加・配合し、当センターで開発された製造装置²⁾でガラス繊維に含浸させたプリブレグシートをハニカムコア材料として選択した。シートの厚さは0.2mmである。そのプリブレグシートを写真1に示す。

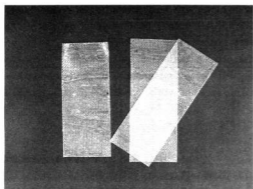


写真1 プリブレグシート

2.3 製造プロセス

図2にハニカムコアの製造工程の概略図を示した。上部金型と六角棒および角棒からなる下部金型で構成された熱プレス成形工程により成形を行う。

第1工程では、保護フィルムが剥がされたプリブレグシートを金型内に挿入し、ハニカム形状の半分にあたる部分がリボン状に成形される。

第2工程では、第1工程で得られた成形品を下部金型の六角棒の下側に挿入し、次のプリブレグシートが金型内に送り込まれる。

第3工程においては、第1工程と同様、送り込まれたプリブレグシートがリボン状の部品に成形される。このとき、プリブレグシートの硬化成形とともに第1工程で成形されたりボン状の部品(第2工程で、下部金型の六角棒部分に装着された部品)との接着を兼ねているので、図に示すような一段目のハニカムコアが成形される。

第4工程からは、前工程でできたハニカムコアの空洞部分が角棒の中に挿入されたのち、送り込まれたプリブレグシートが成形されることにより次の段のハニカムコアが製造される。このような工程を繰り返すことにより、ハニカムコアは下方へ向かって成長しつづ製造される。

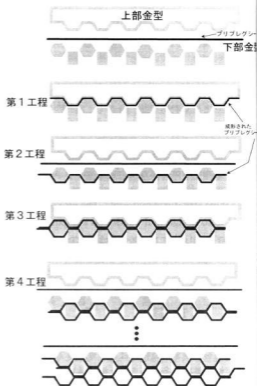


図2 ハニカムコアの製造方法

3 結果および考察

3.1 試作機の設計・製作

表1に試作機の仕様を示す。本試作機で製造可能なハニカムコアの寸法は、その機械的特性を評価するために最小限必要な大きさに設定された。また、製造条件を調べるため、金型温度、成形圧力、加圧保持時間が制御できるようにした。

写真2および写真3に試作機の外観、下部金型部分を示した。

3.2 ハニカムコアの性能

ハニカムコアの素材であるプリブレグシートを積層し、既設の熱プレスで、成形圧力3.0MPa、金型温度140°C、保持時間300secにて板厚4mmの平板を成形した。この板をJIS-K1131に準じた試験片に加工し、引張試験を行った。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を用いて繊維体積含有率を求めた。その結果を表2に示す。

積層板の強度および弾性率は、一般的なガラス強化不飽和ポリエステル樹脂と同じであった。

表1 試作機の仕様

FRPハニカムコア 下部金型	
形状	六角形断面
セルサイズ	10mm
セル厚さ	0.5mm以下
寸法	長さ200mm, 幅1000mm, 厚さ50mmの試作品が製造可能
成形温度	最高300°C
成形圧力	最高1.6MPa

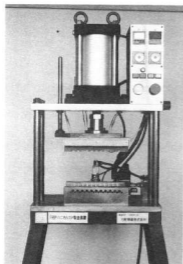


写真2 FRPハニカムコア製造装置



写真3 下部金型部分

表2 プリレグシート積層板の機械的性質

引張強度	350 MPa
引張弾性率	16.6 GPa
繊維体積率	45.9 %

つぎに、試作されたFRPハニカム製造装置を用いて、金型温度160°C、成形圧力1.0MPa、成形保持時間120~180secでハニカムコアを成形した。写真4には、FRPハニカムコア製造装置を用いて試作されたハニカムコアを示した。

また、長さ70mm、幅50mm、厚さ25mm、セル数32のハニカムコアに加工し圧縮試験を行い、その圧縮特性を図3に示す。

本製造装置で試作されたハニカムコアの最大圧縮荷重は、2.36kNであった。マトリックス樹脂が柔らかいため、コアが変形しやすく、部分的に座屈を生じ強

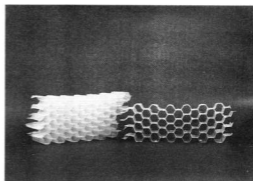


写真4 試作されたハニカムコア

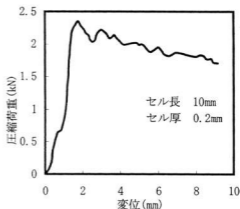


図3 ハニカムコアの圧縮特性

度が余り高くならなかった。この実験では変形量が10 mm程度まで圧縮試験を行ったが、変形したハニカムコアを観察したところ、硬化成形と同時に接着した面の接着力は高く、この部分が剥がれることはなかった。しかし、非接着面では、繊維の切断および繊維と樹脂との離れが多く見られた。接着面はセルの厚さが厚いので、非接着面より変形しにくく、この面でほとんどの荷重が支持される。非接着面での損傷が接着面に影響し、接着面の繊維が白化・切断しはじめると強度が徐々に低下するものと思われる。

4 結 言

ガラス繊維強化プラスチックを素材とする新しいハニカムコア製造プロセスを提案し、その案に基づき試作機を設計・製作した。この試作機を用い、ハニカム

コアの試作品を製作することができた。

従来の製造プロセスにおいては、ハニカムコアの半分にあたるリボン状の部品を成形しておき、別工程でこれらリボン状の部品を接着剤で接着してきた。しかし、本製造プロセスでは、成形と接着を同じ工程でハニカムコアを製造するため、インラインプロセスでの製造が可能であると思われる。ハニカムコアの変形が少なくなるように、樹脂や成形条件について今後、検討する必要がある。

文 献

- 1) ハイベックスアルミコア (材料編), 横浜ゴム㈱航空事業部技術資料
- 2) 下原伊智朗, 好満芳邦, 大橋俊彦, 田平公孝: 38th FRP CON-EX, (1993), 204

廃発泡プラスチックの再生利用技術に関する研究（第2報）

廃発泡プラスチック再生材から試作した接触回転円板による生物的排水処理

本山浩司, 斯波信雄, 丸下清志, 好満芳邦, 田平公孝, 渡部英雄

Biological Waste Water Treatment by Trial Rotating Biological Contactor from Waste Foamed Plastics

MOTOYAMA Koji, SHIBA Nobuo, MARUSHITA Kiyoshi, YOSHIMITSU Yoshikuni,
TAHIRA Kimitaka and WATANABE Hideo

In the previous study, the rotating biological contactor, which has lightweight and large surface area, from waste polystyrene foam was developed. In this study, efficiency of waste water treatment by the contactor and propriety of thermal recycling of it after using for water treatment are discussed. The results are as follows.

- (1) The waste water treatment efficiency by the contactor was higher than flat contactor made of polyvinyl chloride.
- (2) Calorific values of the contactor were variable from 20 to 40 kJ/g by changing content of CaCO_3 as filler, so the contactor is useful for thermal recycling.

キーワード：廃プラスチック, 再利用, 回転円板, 廃水処理

1 緒 言

昨年度の研究¹⁾では廃発泡スチロール（以下、WFPとする）の減容化チップの直接成形技術を開発した。本研究では、この応用として、成形した接触回転円板を排水処理における微生物固定化法の1つである回転円板法への適用を検討した。回転円板法は、円板を排水に半分浸漬させた状態で低速で回転させ、円板表面に付着する微生物によって有機物を生物分解して除去する方法である。この方法は、混合液浮遊物質（MLSS）や溶存酸素（DO）の調整が不要となるなど運転管理が容易であり、また、動力費も安価なことから、小規模の排水処理に向いている。しかし、円板に付着する微生物スラッジの処理などの問題も抱えている。そこで、廃発泡スチロール製円板を使い捨て品とし、微生物スラッジを円板ごと焼却処理することによるマテリアルおよびサーマルリサイクル手法について検討した。

2 実験方法

2.1 円板の試作

本研究では、微生物付着後の円板を、直接焼却処理するため、従来問題となっている、付着微生物をスクレーパーでかき落として汚泥として廃棄する工程を不要とする利点がある。その反面、生物の付着している円板の代わりに真新しい円板を使うため、円板への微生

物の早期付着性が要求される。そこで、円板の表面積を大きくするため、昨年度の研究で得た成形方法（WFP減容化チップの予熱後冷間プレス）により、表面に凹凸を有する円板を成形した（以下、PS板とする）。減容化チップと試作円板を写真1に示す。また、サーマルリサイクルを容易にするため、焼却時に発生する、すすの低減効果²⁾のある炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）を混ぜた円板も試作した（以下、炭カル板とする）。これは、円板焼却時の燃焼熱を抑えて焼却炉の炉壁の傷みを防止させる効果およびかき殻（主成分 CaCO_3 ）を混ぜた円板の排水処理実験から微生物の付着量が増えることが報告³⁾されており、その効果も期待できる。



写真1 減容化チップ、試作円板

得られた円板について強度や発熱量，付着水量などの特性を調べた。

2.2 排水処理試験

回転円板排水処理試験の装置の概要を図1に示し，試験条件を表1に示す。

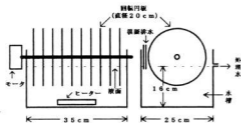


図1 排水処理試験装置

表1 実験条件

		原液成分 (単位は g/ℓ)				
模 擬 排 水	ペプトン	グルコース	K ₂ HPO ₄	FeSO ₄	MgSO ₄	CaCl ₂
	10	10	2	0.04	0.8	0.04
水	COD濃度	120mg/ℓ (期間1) 240mg/ℓ (期間2)				
	COD面積負荷	3.9g/m ² ・day (期間1) 7.7g/m ² ・day (期間2)				
	送水条件	10~18時送水, 42ml/min				
水槽条件	容量14リッター 水温25°C一定					
円板条件	全10枚 23時間連続回転/日, 10rpm					

表2 各円板の特性

	試作円板			塩ビ板
	PS板A	PS板B	炭カル板	
直径(cm)	20	20	20	20
厚さ(mm)	6.8	8.2	6.8	3.5
重量(g)	150	200	250	130
密度(g/cm ³)	0.70	0.78	1.17	1.18
発熱量(kJ/g)	38	40	24	22
曲げ強さ(MPa)	4.7	15.8	6.1	87.3
弾性率(MPa)	500	1400	800	2400
付着水量(g/枚)	12.0	15.7	15.7	3.5
CaCO ₃ 含有量(%)	0	0	32	0
表面形状	凹凸	凹凸	凹凸	平面

模擬排水は，表1に示した原液を薄めたものを用いた。実験開始時，水槽内は，化学的酸素要求量(COD) 120mg/ℓの模擬排水中に，種汚泥(下水処理場の返送汚泥)を50mg/ℓの割合で添加して用いた。

なお，実験開始から微生物が付着し増殖が始まる14日目までを期間1とし，14日目から微生物の付着が飽和する21日目までを期間2とした。

実験期間中は円板への微生物付着量，模擬排水の処理率，性状を知るために，各円板の重量，処理水のCOD，浮遊物質(SS)を測定した。

3 実験結果と考察

3.1 接触回転円板の特性

得られた試作円板の概要を，現行の塩ビ板と比較して表2に示した。試作円板は，軽く，大きな表面積をもち，付着水量が多いことがわかる。また，焼却可能で，PS板の発熱量は40kJ/gと高い。炭カル板は24kJ/gと廃木材焼却廃熱ボイラーなどの一般の焼却炉にも適した発熱量を示している。さらに，使い捨て品として排水処理に充分耐えうる機械的強度を有していることがわかった。

3.2 排水処理試験

図2～図4に，円板への微生物付着量，処理水のCODおよびSSの経日変化を示す。

図2より，いずれの試作円板も塩ビ板にくらべ，微生物の付着が早いことが認められる。また期間1では，PS板と炭カル板の付着量に差は見られない。このことから，本実験では，微生物付着の早さは板表面の凹凸によるもので，材質による影響が少ないことがわかった。

また，図2中，期間2での総付着量は，塩ビ板とPS板にあまり差がないが，炭カル板はそれらより約50%多い。このことから，WFPへのCaCO₃の充填が排水処理効率を高めることがわかる。

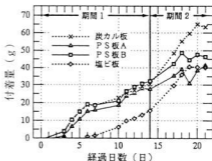


図2 円板の微生物付着量の経日変化

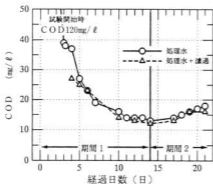


図3 処理水 COD の経日変化

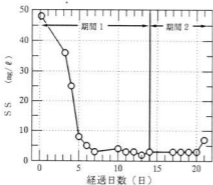


図4 処理水 SS の経日変化

図3および図4から、期間2ではCOD除去率は、滞留17時間で90%以上、SSは5mg/ℓ程度の処理効率を保ち得た。

4 結 言

試作円板の成形では、材料チップを予熱後冷間プレスすることにより、軽量で表面積の大きい円板を得ることができた。

試作円板の発熱量は20~40kJ/gが得られ、充填剤の充填量により低カロリー化が可能となり、サーマルリサイクルに有効である。

排水処理試験では、微生物付着開始時期は試作円板(凹凸板)の方が塩ビ板(平板)より早かった。また、微生物総付着量では、塩ビ板とWFP成形円板は同程度であったが、WFPに炭酸カルシウムを混ぜて成形した円板は前2者より約5割多かった。

これらの結果から、WFPリサイクル円板を生物的排水処理に用いることによって、大きなメリットが得られ、発泡プラスチックの有効利用が充分可能であることを実証できた。

文 献

- 1) 好満芳邦他：広島県西部工技研究報告，37 (1994)，16-19
- 2) 西沢仁：ポリマーの難燃化，大成社，(1979)，132
- 3) 丸下清志他：広島県西部工技研究報告，30 (1990)，17-20

廃発泡プラスチックの再生利用技術に関する研究 (第3報) 廃発泡プラスチックを原料とする機能製品の開発

好満芳邦, 下原伊智朗, 丸下清志, 田平公孝

Development of Functional Products from Waste Foamed Plastics

YOSHIMITSU Yoshikuni, SHIMOHARA Ichiro, MARUSHITA Kiyoshi and TAHIRA Kimitaka

Sintering process and direct injection molding process from volume reduction pellets of waste foamed plastics (WFP) were developed in the previous study. In this work, improvement of adhesion property between glass fiber (GF) cloth and WFP in GF reinforced sandwich structured WFP and application of WFP to the shell for farming oyster from direct injection molding are studied.

As the results, GF/WFP composites with good adhesion property was developed by means of using WFP impregnated GF cloth during the same sintering process. And experiment of farming oyster in the inland sea could not be done due to abnormal climate in summer, 1994. So experiment of farming oyster is continued.

キーワード：廃プラスチック、発泡プラスチック、圧縮成形、射出成形、繊維強化

1 結 言

昨年度廃発泡プラスチック (WFP) の減容化チップから直接製品化する直接成形技術を確立した。第2報では排水の生物処理への適用化研究を報告した。

本報では、焼結成形における繊維強化機能の向上手法およびカキ養殖の合理化・省力化用に試作した金型を用いて直接射出成形したカキ養殖用種付け板による海洋実験について報告する。繊維強化機能の向上については、ガラス繊維 (GF) クロスに WFP を予備含浸する、プリブレグ法により格段に向上させることができた。また、射出成形法から得たカキ種付け板の海洋実験は、天候不順のため、実験海域でカキ幼生が発生せず不調に終わった。次年度に継続する予定である。

2 実験方法

2.1 GF/WFPの高性能化

WFPとして、前報同様ポリスチレン (PS) 製トロ箱から得た、減容化チップ¹⁾を用い、GFクロスも同様のもの¹⁾を用いた。GFクロスを所定寸法 (17×35 cm) に裁断し、WFPを30%溶解したトルエン溶液を塗布・含浸させ、風乾させてGF/WFPプリブレグを調整する。このとき、押出機を用いて乾式で同プリブレグを調整することもできる。このGF/WFPを用いて、前報同様に低圧圧縮成形してGFクロス/WFPサンドイッチパネルを得た。このパネルの曲げ特性から高性能化の可否を評価した。

2.2 カキ種付け板の試作と評価

平成5年度から海洋実験を担当していただいている

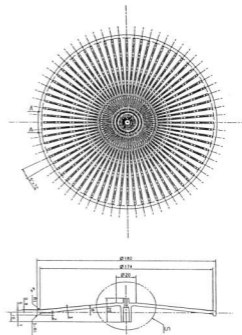


図1 カキ種付け板試作品 (図面)

佃戸海産と協議して、図1に示したWFP製種付板を設計し、金型を試作した。金型から成形したWFP製種付板及び比較のためエンジニアリングプラスチック製種付板のショットプラスト処理/未処理品を海洋実験に供した。海洋実験は、特定海域での種付け作業とカキいかだでの育成実験であるが、天候不順のため種付けできず、平成7年度に継続することとした。

3 実験結果と考察

3.1 GF/WFP複合材料の高性能化

前報で得られたGF/WFPサンドイッチパネルと本手法から得られた同パネルの曲げ特性を図2に示す。GFクロスとWFPの接着性が大幅に改善された結果、パネルの力学的特性が大きく向上することがわかる。観察でも、GFクロス中のWFP母材からはく離は一例も見られず、良好な結果を得た。GFクロス中GFの表面処理の選択によりさらに高性能化を期待できる。

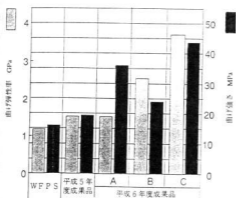


図2 GF/WFPSサンドイッチパネルの曲げ特性

3.2 カキ養殖海洋実験

前述したとおり、種付けに失敗したため、ここでは平成5年度、海洋実験に投入したWFPプレートによるカキの育成実験の結果の概要を述べる。平成5年8月にWFP製プレートとカキ殻混入(10~30%)WFP製プレートについて、成形のままサンドペーパーで表面を粗くした、各種プレートにカキ幼生を種付けし、平成6年12月まで育成実験を行った。多くのプレートが、つり下げられている鋼線の切断により海底に落下した。残ったプレートには、写真1に示すように、現在まで使用されているホタテ貝殻同様に成長したカキを確認した。プレートの表面状態やカキ殻粉

の混入の有無に関係なく、カキとともに海中生物がびっしり付着あるいは生棲していた。ただし、波や海流によって隣接したプレート同士が接触する場合、カキが欠落しやすいことがわかった。以下にWFPを種付板に適用する場合の問題点を列記する。

- 1) 種付板を保持する鋼線が、波によって板と繰り返し接触し、接触部分の鋼線の防食亜鉛メッキがはげ落ち、激しく腐食して切断される。
- 2) 海中を漂う浮遊物質の量はかなりあり、種付板にはそれらの土砂を含めた堆積物が海中へ滑り落ちる構造が必要である。
- 3) 種付板は、海中で漂わない重さが必要である。種付後海流や波で大きく揺らされると、たがいに衝突したり、からみあったりし、カキが育成中に欠落する。また、種付板装着作業にも支障がある。これらの課題を考慮した実験を平成7年度に実施する予定である。



写真1 WFP平板によるカキの育成(1年4か月)

4 結 言

WFPのリサイクルは、そのコストと再リサイクルが課題であり、本研究では低コストリサイクル技術を完成させることができた。問題として、用途開発と再リサイクル技術が残る。第2報で述べたように、再リサイクルはサーマルリサイクルが望ましい。今後興味ある企業があれば、他方面に用途展開をしながら、さらに企業などのリサイクル意欲を高めていきたい。

最後に、ご協力いただいた佃日本製鋼所と佃戸海産の関係者の方々には深甚なる謝意を表します。

文 献

- 1) 好満芳那他：広島県西部工技研究報告, 37 (1994), 16

FRP 廃棄物の有効利用に関する研究 (第4報) プラスチックの熱分解用触媒に関する研究

斯波信雄, 本山浩司, 丸下清志, 山縣康男, 好満芳邦

Effect of Catalysts on Pyrolysis of Plastics

SHIBA Nobuo, MOTOYAMA Koji, MARUSHITA Kiyosi,
YAMAGATA Yasuo and YOSHIMITSU Yoshikuni

The pyrolysis of plastics was carried out by using zeolite catalysts. The specimens that was used in this work are polyethylen, SMC and HMC. The pyrolysis of plastics was carried out under nitrogen gas atmosphere. The results are the following.

- (1) It was found that heat decomposition of PE was markedly accelerated by adding modified zeolite catalysts and low temperature decomposition was to be possible.
- (2) In the case of SMC and HMC, efficiency of heat decomposition was not increased by adding the catalysts. It indicates that heat decomposition behavior of SMC and HMC as FRP was different from one of PE.

キーワード: 熱分解, 触媒, FRP, プラスチック

1 緒 言

プラスチック廃棄物は事業所や家庭等から廃棄されるものを合わせると、年間600万トン強に達するといわれている。そのうち、ゴミ発電や再生利用等で有効利用されているのは3割程度で、その他は埋め立てや焼却処分されているのが現状である。資源の有効利用や環境保護の面からも、廃プラスチックの有効利用技術の確立が急がれている。

廃プラスチックの有効利用の方法として、プラスチックを熱分解して油として回収し、この油を再利用しようという試みが自治体や廃棄物回収業者等により試みられているが、営業的に成り立ちにくいといわれている。その原因としては、プラスチックの種類毎に仕分けをする分別回収の実施が困難なこと、大量のプラスチックを扱わないと効率的な処理が出来ないこと、できた油の継続的な利用の問題等が考えられる。

しかし熱分解にかかる費用を低く抑制できれば廃プラスチックの有効利用に弾みがつくことが期待される。そこで、廃プラスチックを熱分解する際の触媒の効果を検討し、良好な結果が得られたので報告する。

2 試料と実験方法

2.1 試料

熱分解に用いた試料は前報¹⁾で使用した SMC の他、高強度 SMC としてガラス繊維含有量が高く自動車の

構造材料に用いられる HMC (High-Strength Sheet Molding Compound)、さらに汎用プラスチックとして大量に生産されているポリエチレン (PE) を用いた。

2.2 触媒

触媒としては酸化鉄粉末 (Fe_2O_3)、酸化亜鉛粉末 (ZnO)、ゼオライトを使用し、予備試験を行ったが、酸化鉄粉末、酸化亜鉛粉末は効果が認められなかったため本実験ではゼオライトを用いた。使用したゼオライトの組成を表1に示す。市販のゼオライトをそのまま用いると効果がない場合があり、ゼオライトは、ゼオライト中の Na イオンを2価または3価のイオンに置換することにより活性が高まるといわれているため、Na イオンを Ca イオンに置換し、活性化処理を行ったものも使用した。すなわち、モルデナイト12g を塩化カルシウムの10%水溶液100g 中に入れて1昼夜浸漬した後水洗し、100°Cで乾燥した。同様に Y 型ゼオライト4g を同濃度の塩化カルシウム水溶液中に約

表1 ゼオライトの組成

種類	化学組成	細孔径	比表面積 BET(m ² /g)	嵩密度 km ³ /ℓ
NaY*	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·5.5SiO ₂	~8	700	0.4
NaM**	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·20SiO ₂	7	360	0.3

*市販の Y 型ゼオライト、**市販のモルデナイト

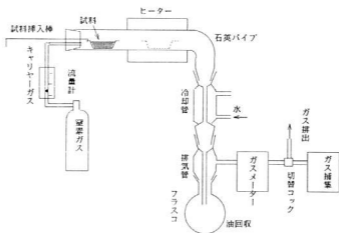


図1 熱分解実験装置

1時間浸漬した後、同様の方法で処理した。市販のゼオライトと処理したゼオライトを区別するために、Ca置換したゼオライトをCaY、CaMと略記する。

また、ゼオライトは空気中の水分を吸着するため、水分の影響を除く目的で、500°Cで10分以上加熱し、デシケーター中で放冷したものを使用した。

2.3 熱分解実験

熱分解実験に用いた装置を図1に示した。プラスチックの熱分解実験は、管状炉を用いて行った。

- (1) PEは3～4mmの市販のペレットを、SMCとHMCは5mm程度に切断した板状の試料を用いた。樹脂量として2g程度になるように燃焼ポートに入れ、管状炉の左端についているゴム栓をはずし、管状炉中のヒーターの低温部に挿入し、ゴム栓をする。
- (2) 窒素ガスを流して管状炉内を窒素雰囲気置換する。
- (3) 所定温度（熱分解温度として400°C、450°C、500°C）に加熱された位置に試料挿入棒を用いて試料を載せた燃焼ポートをすばやく挿入する。
- (4) 熱分解の分解挙動の追跡は、ガスメーターによる分解ガスの発生状況の計測によって行った。その際、ガス発生量10ml毎の経過時間を記録する。
- (5) 熱分解油はフラスコで回収し、ガスはテドラーバッグに回収する。

3 実験結果

3.1 ガスの発生状態

図2、図3に、PEの熱分解温度450°C、500°Cにおけるガスの発生状態を示す。図のガス流量は次式により算出した。

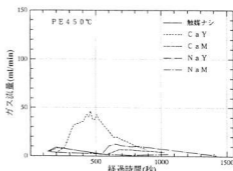


図2 PEの熱分解ガス発生状態(450°C)

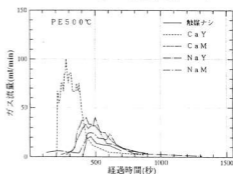


図3 PEの熱分解ガス発生状態(500°C)

ガス流量 = $10\text{ml} \times 60 / \text{所要時間}$

ここで、所要時間はガスが10ml発生するのに要した時間(sec)

触媒を添加していない場合の、ガスの発生状態を図

中の実線で示した。熱分解温度が450°Cの場合、ガス発生量が樹脂量1g当たり2mℓ弱と非常に僅かであり、ガス流量のプロットができなかった。触媒を添加しても活性化処理を行ったCaYゼオライト触媒以外では、少しずつガスの発生が観察されたが大きく熱分解が促進されたようすは観察されなかった。CaY触媒を添加した場合は、他の触媒とは異なり、試料を挿入して4分前後から多量のガスの発生が観察され、15分前後までガスの発生が続いた。熱分解温度が500°Cの場合は、触媒なしで熱分解を行った場合、試料を挿入して7分前後からガスの発生がみられ、4~5分間続く様子が観察された。一方、触媒を添加すると450°Cの場合以上にガスの発生量が増大し、特に活性化処理を施したCaY触媒の場合が著しく、試料を挿入して3分程度で急激に多量のガス発生が観察され、3~5分続いて、その後は発生量が少なくなった。すなわち、CaY触媒を用いることにより、ガス発生量の増大や分解時間の短縮が期待される。

ただ、ガス発生状態を検討する場合、注意すべき点がある。それは、燃焼ポートの挿入により管状炉の温度が一旦低下する。燃焼ポートの挿入位置近くの温度をモニターすると、設定温度になるまでに3分程度を要した。したがって管状炉の熱容量や、燃焼ポートの温度、熱容量等によって、ガスが発生しはじめる時期が若干ずれることが予想される。

図4、図5にHMCの450°C、500°Cにおけるガス発生状態を示した。HMCの場合、触媒を添加してもガスの発生状態や、試料を挿入してからガスの発生が開始されるまでの時間はあまり変化しなかった。SMCについても検討したが、HMCと同様の傾向を示した。SMCおよびHMCを構成する樹脂成分である、不飽和ポリエステル樹脂は、PEと異なる熱分解挙動を示すことが考えられる。

3.2 熱分解温度の影響

触媒の効果を見るために、熱分解温度と発生ガス量、重量減少率について検討を行った。ここに、重量減少率とは、燃焼ポート中に試料と触媒を入れて熱分解を行った際、熱分解前後の重量差を樹脂重量で割った値である。また、PEは500°Cで、触媒添加なしでも、時間をかければほぼ完全に熱分解する。また、400°Cではいくら時間をかけてもほとんど熱分解されない。したがって、熱分解の時間を区切って、減少重量率の検討を行うのが適当である。そこで、熱分解を行わせる時間を、PEが500°Cで完全に熱分解を終了し、更に時間的に余裕をもたせた20分とした。したがって以下の重量減少率や発生ガス量のプロット図は、熱分解

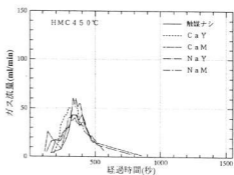


図4 HMCの発生ガス状態 (450°C)

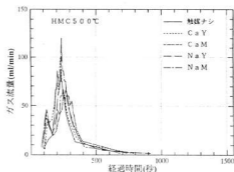


図5 HMCの発生ガス状態 (500°C)

を20分間行ったときのデータである。

PEの熱分解温度とガスの発生量や試料の減少重量率について検討した結果を図6、図7に示す。

触媒を添加しない場合、400°Cではガスの発生量も重量減少率の増加もほとんど起こらず、450°C以上になるとガスの発生や重量減少率の増加が観察された。触媒を添加すると、ガス発生量の増加や減少重量率が増加し、特にCaY触媒で顕著であった。たとえば、400°Cで約80mlのガスの発生が観察され、450°Cでは500°Cとほぼ同量の130ml強（触媒を添加しない場合は2mℓ弱）が観察された。また熱分解による重量減少率も、450°Cで1割弱だったものが、CaYを添加することにより8割にも達した。

同様にHMCについて検討した結果を図8、図9に示す。HMCの場合触媒を入れることにより、ガスの発生量は増加するが、減少重量は触媒を添加しない場合より低い結果が得られた。SMCの場合も同様であった。これらのことから、前述のように、PEとSMC、HMCの熱分解挙動が異なることがわかった。つまり、PEは熱によって溶解し、液状化するため、触媒と充分に接触して触媒の効果が発揮されるが、

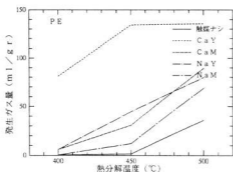


図6 PEの発生ガス量

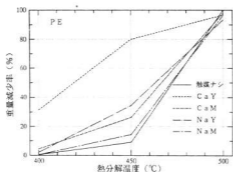


図7 PEの重量減少率

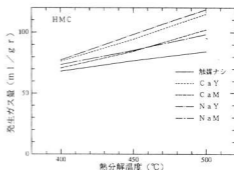


図8 HMCの発生ガス量

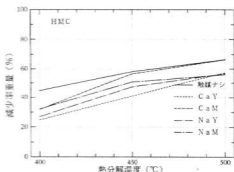


図9 HMCの重量減少率

SMCとHMCは熱硬化性樹脂であるため、熱によって溶融されず、固体のまま熱分解し、気化することが考えられる。このような試料については、高温の分解蒸気が触媒と接触するコンバーター方式を採用することが考えられる。また、重量減少率が触媒添加により低下したのは、熱分解蒸気やガス化の際に発生したカーボン等が、ゼオライトに吸着されて残ったためと考えられる。

4 結 言

ゼオライト触媒が、プラスチックの熱分解に及ぼす影響を、発生ガスと減少重量について検討した。結果は下記のとおりである。

- (1)ポリエチレンを熱分解する場合、市販のNa型ゼオライト触媒をそのまま用いたのでは、熱分解効率の改善等に大きな効果はみられなかったが、活性化処理したゼオライト触媒は、発生ガス量の増加や熱分解温度の低温化に有効である事が確認できた。特に効果の大きかった触媒はCaY型で、熱分解温度450

°Cで、触媒を用いない場合1割程度しか重量が減少しなかったものが8割程度にまで増加した。また発生ガス量も、樹脂重量1g当たり2ml弱が、130ml強に増加した。

- (2)FRPについてはHMCとSMCについて検討を行ったが、触媒を入れる事によりガス発生量は僅かに増加した。しかし熱分解による重量減少は、触媒を入れない場合の方が大きく、逆効果であった。このことは、熱で溶融液状化するPEと異なり、固体から分解する熱硬化性樹脂を用いた、FRPの分解挙動の違いを反映したものと考えられる。

以上発生ガス量と減少重量率について検討を行ったが、時間の関係で発生ガスや熱分解油の組成についての検討が出来なかった。機会があれば今後検討を行っていききたい。

文 献

- 1)山縣他：広島県西部工技研究報告，37（1994），20

オゾン層を破壊する洗浄物質の代替技術の開発 (第2報)

新田 明, 丸下清志, 大橋俊彦, 蒲田政信, 岡本五十生*

Development of New Cleaning Process Substituting for the Process with Ozone Layer Destroying Materials.(2nd Report)

NITTA Akira, MARUSHITA Kiyoshi, OHASHI Toshihiko, KAMATA Masanobu and OKAMOTO Isao

Many companies with metal heat treatment process and so on, has been cleaning metal products using 1,1,1-trichloroethanes, production of which will prohibit in 1995 as a ozone-layer-destroying material. Therefore, water base cleaning material has been expected to be a substitute material for it, but problem of drainage treatment should be occurred.

In this paper 11 commercial water base cleaning materials were examined on detergency of oily matter and the effect of them on the property of heat treatment(Nitriding, carburizing and vacuum annealing) was estimated from the analysis of non organic components of them, and whether it is rinsed or not could be predicted. Water pollution by rinsed solution (COD=100) after cleaning process could be reduced to the regulation value (COD=20,oil component below 5mg/ℓ) of water pollution protection law.

キーワード: 熱処理, トリクロロエタン, オゾン層, アルカリ, 洗浄剤,

1 緒 言

現在, 金属製品製造業(熱処理, 塗装, 鍍金)の洗浄工程で大量に使用されている1・1・1-トリクロロエタンは, オゾン層破壊物質として1995年末に製造が中止される。そのため, これらの企業では代替洗浄方式の解決が急務である。

代替洗浄物質としては, 塩化メチレン, トリクロロエチレンあるいは石油系炭化水素類が考えられるが, 人間の健康への影響, あるいは地球温暖化に結びつく代替物質の使用は望ましくない。従って長期的視点では, 水系アルカリ洗浄がほぼ理想的な代替洗浄方法と考えられるが, 代替洗浄技術は, 単なる洗浄剤の選定ではなく, 洗浄装置, 油水分離器, 排水処理装置などを最適条件で洗浄を行うためのシステムの構築である。多方面の技術を必要とする総合技術であるため, 中小企業では対応が困難な課題をかかえており, これらの技術的支援の研究を行った。

前報¹⁾において, 水系アルカリ洗浄剤の洗浄力, リンス液の性状を調査した。本報告では, 洗浄剤の熱処理特性への影響, リンス液の有機物質, 油分を除外する方法の検討を行ったので報告する。

2 実験方法

2.1 試料

*常石造船株式会社

水系アルカリ洗浄剤は, 熱処理関連企業の依頼により浸漬型1種類を追加し6社11種類の(浸漬型7種, スプレー型3種, 汎用型1種)を実験に使用した。

水処理用薬剤は, 無機凝集剤としてセントラル硝子のポリ塩化アルミニウム(10% PAC), 有機凝集剤としてアニオン性凝集剤は東亜化成化学工業のアンブロック A101, カチオン性凝集剤はオルガノのセビア B100を, また, 凝集補助剤には溶存物質の吸着除去作用を期待して, 荏原の粉末活性炭50LPを使用した。

熱処理油は, 県内のガス浸炭入れに多用される日本グリース製の光輝マルテンパー油No99である。

洗浄液の調整は, 前報と同様, 各洗浄剤をカタログに記載された最適濃度に調整した。

2.2 油分乳化実験

洗浄液500mlをビーカーに取り, 80°Cに加熱後熱処理油5mlを添加して10分間攪拌, 所定温度に保持した恒温槽で30分間静置し, 熱処理油を浮上油として液面浮上させ, 中間層液に溶解(乳化)する油分をヘキサ抽出物質として測定した。

2.3 酸処理実験

洗浄液300mlをボトルに取り硫酸2%添加後, 遠心分離装置により遠心効果13400G(9000rpm)で30分間分離処理を行い, 中間層液に残留する油分とCODを測定した。

2.4 水処理実験

リンス液(濯ぎ水)は各洗浄液をCOD値100程度

表1 洗浄剤の性状

試料	濃度 (%)	蒸発残留物 (mg/ℓ)	無機物 (mg/ℓ)	有機物 (mg/ℓ)	pH (20℃)	COD (mg/ℓ)	全P (mg/ℓ)	全Si (mg/ℓ)	ヘキサン	界面活性剤 (mg/ℓ)	
										陰イオン	非イオン
A1	4	5400	3000	2300	10.3	1300	340	260	410	0.84	930
A2	4	6800	3500	3300	11.5	1500	330	240	70	1.2	530
B1	5	9200	2900	6300	12.9	2300	ND	430	550	ND	1700
B2	3	3900	1500	2400	11.2	800	260	10	400	ND	970
B3	5	20000	ND	20000	8.4	8100	ND	2	2900	ND	6200
C1	2	20000	17000	2900	12.5	2000	3600	12	100	ND	270
C2	3	22000	17000	4600	13.1	1200	1300	790	520	ND	2400
D1	10	16000	8900	7200	14.0	1400	52	170	82	ND	68
E1	20	18000	650	17000	7.7	7900	0.5	98	7000	ND	6600
E2	20	20000	2900	17000	12.5	8800	4	280	4000	4.1	14000
F1	20	60000	43000	17000	12.2	23000	20000	1700	1500	2.8	6900

に希釈して、pH6.5～7.5に中和した。

凝集剤は、イワキの6連ジャーテスターを使用、リン溶液中中和処理水250mlをビーカーに取り、粉末活性炭を添加して攪拌(120rpm:60min)後、PACを添加して急速攪拌(150rpm:5min)さらにポリマーを添加して緩速攪拌(50rpm:5min)を行い、フロックを形成させた。

加圧浮上装置は宮本製のフローテーションテスターを使用、凝集処理水250mlを浮上測定管に取り、加圧水(5atm)で500mlとした。

活性炭処理は、凝集処理時に活性炭無添加の加圧処理水250mlをビーカーに取り、粉末活性炭を添加して攪拌(120rpm:60min)後、遠心分離により粉末活性炭を取り除いた。

3 実験結果と考察

3.1 洗浄液の性状

洗浄液の組成分析の結果を表1に示す。

表1より、洗浄液中の蒸発残留物は、有機物である非イオン界面活性剤と、無機物である硫酸塩や磷酸塩を主成分とすることが分かる。

洗浄液中の非イオン界面活性剤は、蒸発残留物からアルコール可溶分のイオン交換法により、尿素・アルカリ・アミン系物質・陰イオン界面活性剤を分離するとE1のみ粉末状であるが、他は全て液状あるいはペースト状となった。分離した非イオン界面活性剤の赤外吸収スペクトルを図1に示す。A1のスペクトルは、ポリエチレンオキシサイド(POE)アルキルフェニエーテル系界面活性剤のスペクトルと一致し、これに相当する洗浄剤B1, C1, E2がある。B3のスペクトルは、POEアルキルエーテル系界面活性剤のスペクトルと一致し、これに相当する洗浄液はA2, B2, C2, E1, F1がある。なお、D1については、手持ちの標準試料と一致するスペクトルが得られなかった。これ

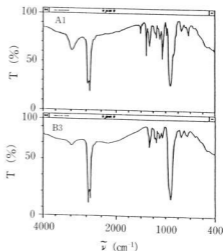


図1 イオン交換法によって分離された非イオン界面活性剤の赤外吸収スペクトル

らの結果から、本研究に供した洗浄液の非イオン界面活性剤は、ポリエーテル系とPOEアルキルエーテル系に大別され、洗浄液の特性は主としてHLB(疎水性の程度を示すパラメータ、アルキル基の長さ即ち分子量に依存する)数値によるものと推定される。

3.2 洗浄液の熱処理特性

表1より、洗浄液の無機物含量はF1・C2・C1が多くB3・E1・B2が少ない。

熱処理工程では加工品のアルカリ洗浄を行うと、洗浄液の有機成分は浸炭焼入れ・窒化・真空なまし等の作業で加熱され焼失するが、無機成分は残渣となり金属表面に沈着し熱処理ムラの原因となる。従って、洗浄の経済性からリンスを省略する場合は、無機物含量の少ない洗浄剤を選択すべきであり、無機成分を多量含有する場合は十分なリンスを行う必要がある。

表2 油分溶解試験結果

試料	D1	B2	B1	A2	E1	C1	F1	A1	C2	E2	B3
新液油分(mg/ℓ)	82	300	500	70	7000	100	1500	410	520	4000	2900
古液油分(mg/ℓ)	430	670	1000	110	9500	130	1800	420	310	1100	760
増減率(%)	420	120	82	57	36	30	20	2	-40	-70	-74

表3 洗浄液の酸処理試験結果

試料	酸処理前 のCOD	酸処理後 のCOD	酸処理前 の油分値	酸処理後 の油分値
A1	1300	1300	410	410
A2	1500	1300	70	70
B1	2300	1800	550	66
B2	800	730	400	39
B3	8100	6500	2900	1500
C1	2000	600	170	100
C2	1200	520	520	150
D1	1400	1100	82	34
E1	12000	5800	17000	210
E2	12000	11000	4000	2300
F1	26000	24000	1500	57

3.3 油分乳化実験

表2は、洗浄液の新液(調製直後)と古液(熱処理油添加後)の油分を増減率の順に並べたものである。乳化による油分量はD1・B2・B1・A2がわずかに増加し、C2・E2・B3はわずかに減少したが、E1・C1・F1・A2の変化は少なかった。

新液の油分は洗浄液の主成分である界面活性剤が、ヘキサン抽出物質(油分)として測定されたものであり、新液と古液の油分には顕著な差を認めなかった。このことは、全ての洗浄液には清浄度を保つため、被洗浄物付着油の乳化を抑制して浮上させ、スキミングにより除去する工夫(非イオン界面活性剤のHLB数値を高める)が払われたと推定される。

3.4 酸処理実験

表3は、洗浄液を模擬廃液とした酸処理による実験結果を示す。

A1・A2を除いた洗浄液は、酸処理による界面活性剤の不溶化により油状物や白色膠状物の発生沈殿が認められ、E1・F1・B2・B1の油分変化が大きく、CODは油分に比べて変化の少ないことが明らかとなり、凝集処理による平行実験でも類似の傾向を示した。

3.5 水処理実験

表4に模擬リンス液の性状を示す。表5は、リンス液の水処理実験結果を示す。

リンス液は硬水軟化用のキレート剤である重合燐酸塩やEDTA等を含有し、無機凝集剤添加によるフロ

ク(金属水酸化物)の形成を妨げるため、通常の凝集処理に比べ一桁高い添加量(固形物換算300mg/ℓ)で水処理実験を行った。

3.5.1 凝集によるフロクの形成

リンス液の凝集ではPAC添加後に形成するフロクが微細であり、有機凝集剤であるアニオン性凝集剤の併用がフロク粗大化に有効である。なお、高濃度の洗浄剤を含有する洗浄液の平行実験では、PACだけではコロイドの負電荷を中和しえないことから、カチオン性凝集剤の併用が有効であった。

3.5.2 加圧浮上処理によるフロスの形成

リンス液の加圧浮上処理では、アニオン性凝集剤でフロクを粗大化させると、フロス容積が少なく処理水の外観も良好となり、フロスの形成はフロクの状態に影響されることが分かる。また、E1を除くすると、リンス液は活性炭を添加した重いフロクも、気泡と安定的に付着して浮上分離が良好となる。

凝集処理では濁りの増加につれて凝集剤を増す必要があり、E1は粉末活性炭(濁り)添加の影響が顕著に現れ、凝集剤の増加を必要としたものである。

3.5.3 水処理による水質

リンス液の水処理は、非イオン界面活性剤の無機凝集剤による凝集(不溶化)分離効果と、粉末活性炭による水中残存部の吸着効果を評価した物であり、リンス液の種類により多少の相違は認められるが、凝集分離効果に比較して、活性炭吸着効果の大きいことが処理水のCOD値から分かる。なお、活性炭応用では、浮上凝集剤として凝集層への粉末活性炭投入と、凝集処理水を粒状活性炭の充填塔に通水させる場合を想定したが、リンス処理水のCOD除去率に大差は無く、前者がリンス液の濃度変化に対応する点では有利と考えられる。

4 結 言

県内、非用水型の熱処理関連企業は、排水の絶対量が少ないことから、廃液の希釈が殆ど期待できない状況にある。従って、水系アルカリ洗浄排水は、水質汚濁防止法の上乗せ基準値(COD20, 油分5mg/ℓ)を目標とする必要があり、水処理として吸着・凝集・浮上処理等を種々基礎的に検討し、次のことが分かった。

表4 リンス液の性状

試料	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	D1	E1	E2	F1
COD(mg O/ℓ)	101	101	102	101	98	102	103	98	102	101	98
ヘキサソ(mℓ/ℓ)	32	4.8	24	51	35	5.1	45	5.7	90	46	6.4
希釈率(%)	7.8	6.9	4.4	13	1.2	5.1	8.6	7.0	1.3	1.1	0.4

表5 水処理実験結果

試料	薬品注入量 (mg/ℓ)			凝集処理			加圧浮上処理			活性炭処理			
	活性炭	PAC	カチオンアニオン	フロコック剤	フロコック剤	分離状態	フロコック剤	液外観	pH	SS	COD	COD	油分
A1	1000	300	40	-	重い	90 mℓ	不良	57 mℓ	透明	7.1	24.4	21.9	ND
	1000	300	-	10	重い	100 mℓ	不良	57 mℓ	透明	7.4	0.4	18.3	ND
	-	300	40	-	重い	100 mℓ	最良	48 mℓ	透明	6.9	ND	51.8	-
A2	1000	300	40	-	重い	100 mℓ	最良	45 mℓ	透明	7.2	ND	43.2	-
	1000	300	-	10	最良	100 mℓ	最良	51 mℓ	透明	7.2	0.4	21.6	ND
	-	300	40	-	重い	100 mℓ	最良	48 mℓ	透明	7.1	ND	64.5	-
B1	1000	300	40	-	最良	90 mℓ	不良	54 mℓ	透明	7.6	21.2	15.1	ND
	1000	300	-	10	重い	100 mℓ	最良	48 mℓ	透明	7.8	0.8	13.6	ND
	-	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	45 mℓ	透明	7.4	ND	44.9	-
B2	1000	300	40	-	最良	90 mℓ	最良	42 mℓ	透明	7.3	ND	44.1	-
	1000	300	-	10	重い	100 mℓ	最良	71 mℓ	透明	7.7	7.6	24.7	ND
	-	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	43 mℓ	透明	7.9	0.6	22.7	ND
B3	1000	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	51 mℓ	透明	7.3	ND	69.2	-
	1000	300	-	10	重い	100 mℓ	最良	42 mℓ	透明	7.4	ND	53.5	-
	-	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	42 mℓ	透明	7.3	ND	53.5	-
C1	1000	300	40	-	良	60 mℓ	不全	-	-	-	-	-	-
	1000	300	-	10	重い	100 mℓ	最良	48 mℓ	透明	7.1	ND	23.5	ND
	-	300	40	-	良	100 mℓ	最良	42 mℓ	透明	7.3	ND	54.6	-
C2	1000	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	45 mℓ	透明	7.4	ND	43.2	-
	1000	300	-	10	重い	100 mℓ	最良	45 mℓ	透明	7.4	ND	43.2	-
	-	300	40	-	最良	110 mℓ	最良	45 mℓ	透明	7.4	ND	43.2	-
D1	1000	300	40	-	最良	100 mℓ	良	45 mℓ	透明	7.3	15.2	27.2	ND
	1000	300	-	10	重い	75 mℓ	良	68 mℓ	透明	7.6	1.6	30.1	ND
	-	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	59 mℓ	透明	7.4	ND	38.3	-
E1	1000	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	41 mℓ	透明	7.5	ND	39.3	-
	1000	300	-	10	重い	100 mℓ	最良	62 mℓ	透明	7.7	8.8	3.9	ND
	-	300	40	-	最良	75 mℓ	良	57 mℓ	透明	7.8	6.4	3.3	ND
E2	1000	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	37 mℓ	透明	7.7	ND	42.9	-
	1000	300	-	10	重い	100 mℓ	最良	28 mℓ	透明	7.7	ND	50.7	-
	-	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	28 mℓ	透明	7.7	ND	50.7	-
F1	1000	300	40	-	良	75 mℓ	良	57 mℓ	透明	7.4	8.8	20.3	ND
	1000	300	-	10	重い	75 mℓ	良	42 mℓ	透明	7.4	4.4	18.5	ND
	-	300	40	-	最良	95 mℓ	最良	57 mℓ	透明	7.5	ND	22.3	-
E1	1000	300	40	-	良	75 mℓ	不全	-	-	-	-	-	-
	1000	300	-	10	不良	-	不全	-	-	-	-	-	ND
	-	300	40	-	良	80 mℓ	最良	45 mℓ	透明	7.1	ND	38.2	-
E2	1000	300	40	-	良	70 mℓ	不全	-	-	-	-	-	-
	1000	300	-	10	重	100 mℓ	最良	40 mℓ	透明	7.1	3.2	11.0	ND
	-	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	59 mℓ	透明	7.2	ND	50.4	-
F1	1000	300	40	-	最良	100 mℓ	最良	54 mℓ	透明	7.2	ND	45.1	-
	1000	300	-	10	重い	75 mℓ	不全	-	-	-	-	-	-
	-	300	40	-	最良	90 mℓ	最良	57 mℓ	透明	7.2	0.8	14.8	ND
F1	1000	300	40	-	最良	110 mℓ	最良	57 mℓ	透明	7.3	ND	38.0	-
	1000	300	-	10	重い	110 mℓ	最良	42 mℓ	透明	7.3	ND	33.7	-
	-	300	40	-	重い	110 mℓ	最良	42 mℓ	透明	7.3	ND	33.7	-

- (1)水系アルカリ洗浄剤(11種類)は、無機物含有量に差があり、水処理対策上、リンスを抑制する場合には無機物質の少ない洗浄剤を選択する必要がある。
- (2)アルカリ洗浄液は、高濃度の溶解性有機物を含有しており、水処理では水質汚濁防止法の上乗せ基準値の達成は困難であり、更新廃液の処理は外部業者の委託焼却が望まれる。
- (3)リンス液(COD濃度100mg/ℓ、汲みだし洗浄液による)について、吸着・凝集・浮上処理により水処

理の検討を行ったが、水質汚濁防止法の上乗せ基準値をほぼ満足するものである。

- (4)吸着・凝集・浮上処理では、油分よりCODの除去が困難であり、CODの除去は凝集処理に比較して活性炭の吸着処理が有効である。

文 献

- 1)新田他：広島県西部工技研究報告, 37 (1994), 30

カキ養殖海域における海底浄化システムの性能試験

倉本恵治, 藤本宗之, 斯波信雄, 畑 徳宣, 本山浩司, 渡部英雄, 伊藤信夫*, 鈴木貞男*

Efficiency of the Clarifying System for the Sea Bottom under the Oyster Farm

KURAMOTO Yoshiharu, FUJIMOTO Muneyuki, SHIBA Nobuo, HATA Noriyoshi, MOTOYAMA Koji, WATANABE Hideo, ITOH Nobuo* and SUZUKI Sadao*

The oyster farm in the Hiroshima prefecture tends to be polluted by the submarine sediment. As the countermeasure, the research, that develops the compact and simple system which removes the surface layer of the sea bottom, is taken effect. In this work, the total examination on clarifying of sea bottom was given about the robot vehicle, the concentrator, the centrifugal separator and the filter on the sea area. The results were as follows;

- 1) It is possible for the robot to travel on the soft mud of the sea bottom, on account of the weight in the water was adjusted 40~50 kg.
- 2) Control of driving direction by magnetic current meter of dredging robot was easy and inexpensive but unstable.
- 3) After the centrifugation, the moisture content of the mud was about 60%, and the SS content of the separation water was about 20 ppm.
- 4) According to filtrate the separation water, the SS in filtrate was 1ppm or less.

キーワード：海洋環境, 海底堆積物, 海底ロボット, 汚泥脱水, 濾過処理

1 緒 言

内海, 内湾等の閉鎖性海域の環境は, 特有の海水交換性の悪さから, 窒素, リン等の流入増加による富栄養化が起り, 植物プランクトンの増殖に伴う水質の悪化が進行している¹⁾。さらに, 海中有機物の増加により底層に貧酸素や無酸素水塊の発生を引き起こしており, 漁場環境に悪影響を及ぼしている。これらの海域環境を改善し漁場生産力の向上を図ることは, 水質保全分野での重要な課題の一つである。

海域環境の改善対策として, 著者らは現行の養殖を続けながら, 水質環境等に悪影響を与えずに海底の表層に堆積する有機泥を除去し, 分離処理できる小型・簡便なシステムの開発を行っている。

平成4年度にカキ養殖海域の環境調査及び底質除去装置の走行の際に必要な潮流や海底強度の測定を行った。平成5年度には海底ロボットの実海域での行動確認試験及び各装置の個別性能試験を実施し, それぞれ報告した^{2), 3), 4)}。平成6年度においては, 前年度までの実験を基に揚泥装置, 一次濃縮装置, 遠心脱水装置の各々に改良を行ったので, それらの点を中心

* 海洋科学技術センター

に海域総合試験を行った結果を報告する。

2 試験海域と試験方法

2.1 試験海域

試験は, 図1に示すA地点(北緯 34° 09' 20.6", 東経 132° 32' 50.2")及び有機性底質の堆積の多いB地点



図1 試験海域と試験地点

点（北緯 34° 09' 44.9″，東経 132° 33' 01.7″）を設定し，2 地点で実験を実施した。

2.2 試験方法

実験用諸装置，計測用具，発電機等をクレーンバージ上に搭載し試験海域に係留して諸装置の運転性能試験を行った。トータルシステムの構成を図 2 に示す。

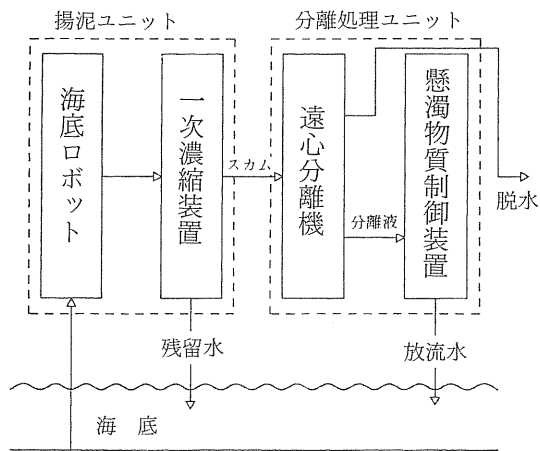


図 2 システムの構成

2.2.1 海底ロボットの走行試験

ロボットを海底に降ろし，海底の有機性底質上で，低速・中速・高速と速度を変えた直進走行試験及び定速での矩形走行試験ならびに旋回試験を行った。矩形走行試験は昨年度も実施したが，今回は方位計に流向計を用い，ロボットから1.5m 離して取り付けることにより金属の影響を受けないように配慮した。旋回性能試験は，ロボットの軌跡を知る必要があることから行った。直線走行後，180° 旋回し再度直線走行した時の走行距離と旋回時間を測定した。矩形走行試験と同様に流向計で方位を決定した。試験を行うため，海中へ投入されるロボットを写真 1 に示す。

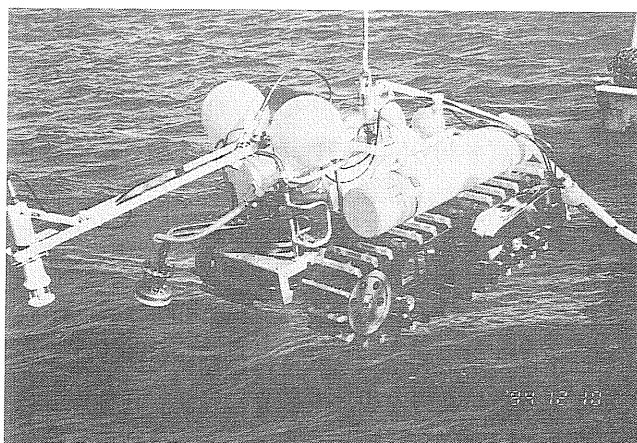


写真 1 海中へ投入されるロボット

2.2.2 一次濃縮装置の性能試験

一次濃縮装置では，電解気泡浮上式分離法を採用していたが，処理水中に海洋生物に有害なクロラミンの発生する恐れがあることから，一部改良し，気液攪拌式気泡発生機による浮上法で試験を行った。システムを一定時間運転し，濃縮汚泥槽に溜まった汚泥の量を計測した。また，カゼインを添加した時と添加しない時の水質分析を行った。槽内に残留した有機物の少ない処理水は海底に返した。

2.2.3 遠心分離機の性能試験

昨年度の実験ではロボットが吸い上げた泥水をいったん水槽に溜めて静置し，上澄みを捨てることによって濃縮した後100 l/hr で処理したが，今年度は泥水全量を処理の対象とし，処理量を200 l/hr に上げた。高分子凝集剤は昨年度と同じアニオン系の PA-375 とカチオン系の CP-939 を使用した。双方とも FDA 規格に合格したポリアクリル酸系の凝集剤ではあるが，全ての海洋生物に対する安全性が保証されたわけではないので，使用量を極力抑える方向で試験を進めた。遠心分離機，ポンプ，流量計などの設置状況を写真 2 に示す。

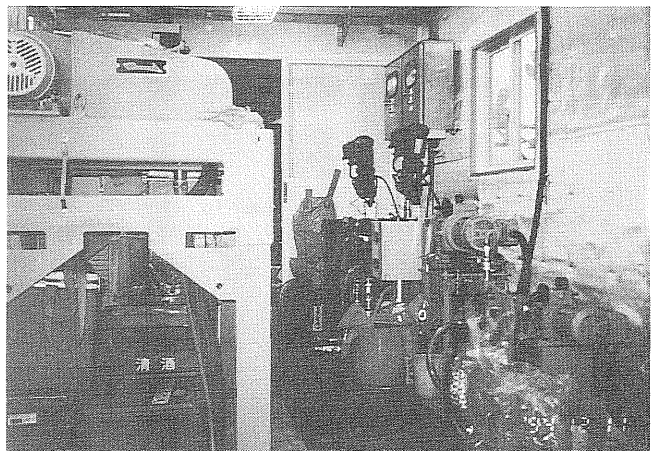


写真 2 遠心分離機周辺装置の設置状況

2.2.4 懸濁物質制御装置の性能試験

遠心分離した後の処理水を海域に放流可能な水質とするため，今年度新たに設置した装置である。装置の全様を写真 3 に示した。なお，処理液は200 l/hr で供給した。

3 試験結果と考察

3.1 海底ロボットの走行試験

3.1.1 直進走行試験

ロボットを各設定速度で直進走行させたときの走行時間と実測走行距離を表 1 に示した。速度は設計値を満足するものであった。しかし，ロボットの操縦を行

表1 直道走行試験結果

速度 (レンジ)	速度 (m/min)	走行距離及び時間 (m, min)
低速	0.43	1.3 m, 3 min
中速	1.75	5.25m, 3 min
高速	3.55	7.1 m, 2 min

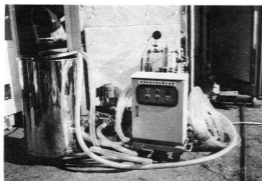


写真3 懸濁物質制御装置



写真4 海底を走行中のロボット

コントローラーに取り付けたメーターの電流表示と走行速度には多少のズレが生じる場合があった。原因はロボットが海底走行時にかなり底質に埋没することが写真4からも確認されるように、海底が特に軟弱な所ではスリップが起こっているものと思われる。

3.1.2 矩形走行試験

海底ロボットに取り付けた流向計の方向指示を海上で確認しながら、一辺が4 mの正方形を描くようにロボットを操縦した。ロボットの走行軌跡をダイバーにより実測した結果を図3に示す。流向計の方位は磁

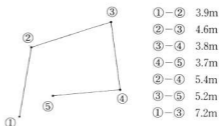


図3 海底ロボットの矩形走行軌跡

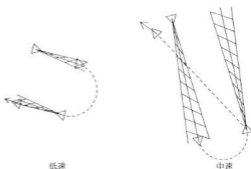


図4 海底ロボットの旋回走行軌跡

石式のもが使われているため精度が低く、正確な方位を把握するためには他の方法を検討する必要がある。

3.1.3 旋回性能試験

海底ロボットで定められた区域内の表層底質を吸引するためにはロボットの直進と旋回が必要である。走行軌跡を図4に点線示す。矩形走行試験と同様に流向計が示す角度からロボットの方位を決めて旋回しており、かなりの誤差が出た。

3.2 一次濃縮装置の性能試験

3.2.1 濃縮汚泥量の測定

海底ロボットが吸引した泥水を汚泥槽に満たした後、一次濃縮装置を30分間運転し、濃縮汚泥槽に溜まった汚泥量を測定した。試験の様子を写真5に示し、結果を表2に示す。カゼインを添加しない方が濃縮汚泥量がやや多い結果となった。

3.2.2 一次濃縮処理水の分析結果

気液攪拌式気泡発生機を使った微細空気吹き込みによる浮上分離の結果を表3～表6に示す。A地点では浮上分離による有機成分(COD, 強熱減量)の濃縮が行われたことをうかがわせる結果が得られた。

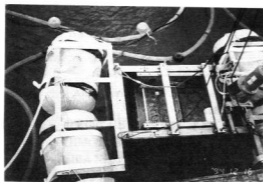


写真5 一次濃縮泥量の測定結果

表2 濃縮汚泥量の測定結果

地点	カゼイン添加	濃縮汚泥量(ℓ)
A	無	5.7
A	有	5.4
B	無	4.8
B	有	4.0

表3 一次濃縮試験結果 (A地点, カゼイン無添加)

分析項目	原水	濃縮汚泥	処理水
pH (-)	7.6	7.7	7.8
COD (mg/ℓ)	929	1050	907
SS (mg/ℓ)	49000	39000	42100
強熱減量 (%)	14.6	18.4	

表4 一次濃縮試験結果 (A地点, カゼイン添加)

分析項目	原水	濃縮汚泥	処理水
pH (-)	7.7	7.4	7.9
COD (mg/ℓ)	395	1030	798
SS (mg/ℓ)	28100	36400	34600
強熱減量 (%)	15.7	17.4	

表5 一次濃縮試験結果 (B地点, カゼイン無添加)

分析項目	原水	濃縮汚泥	処理水
pH (-)	7.9	7.9	7.9
COD (mg/ℓ)	700	517	762
SS (mg/ℓ)	28000	24700	34800
強熱減量 (%)	17.9	18.0	

表6 一次濃縮試験結果 (B地点, カゼイン添加)

分析項目	原水	濃縮汚泥	処理水
pH (-)	7.7	7.7	8.0
COD (mg/ℓ)	577	724	168
SS (mg/ℓ)	28200	23400	71600
強熱減量 (%)	17.2	22.9	

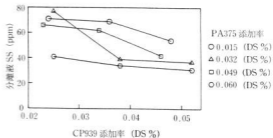


図5 凝集剤添加率が分離液SSにおよぼす影響 (A地点)

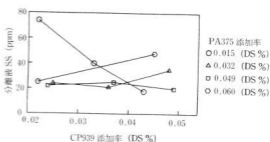


図6 凝集剤添加率が分離液SSにおよぼす影響 (B地点)

3.3 遠心分離機の性能試験

試験は100メッシュの篩を通して粗大な夾雑物を除いた濁泥水全量を対象に行った。原水濃度(SS)は8~9%であった。今年度は遠心効果1000G、差速10rpm、供給量200ℓ/hrの条件設定で、凝集剤添加量を極力少なくする方向で試験を進めた。凝集剤添加率と分離液濃度の関係を図5、図6に示す。昨年度の結果では処理量が100ℓ/hrで分離液濃度は30ppmであったが、処理量を200ℓ/hrに増加させたにもかかわらず20ppm以下とすることが可能となった。また、凝集剤を1種類使用しての分離処理を試みたが、結果は思わしくなかった。

3.4 懸濁物質制御装置の性能試験

遠心分離液を懸濁物質制御装置で処理した際の処理前後の水質及び濾過圧力の変化を測定した。結果は表

表7 水質分析結果 (A地点, 0.4 μ m)

分析項目	分離液	濾過液
pH (-)	7.7	7.7
COD (mg/ℓ)	5.5	4.7
SS (mg/ℓ)	45	<1

表8 水質分析結果 (A地点, 0.9 μ m)

分析項目	分離液	濾過液
pH (-)	7.8	7.8
COD (mg/ℓ)	6.0	4.4
SS (mg/ℓ)	41	1

表9 水質分析結果 (B地点, 0.4 μ m)

分析項目	分離液	濾過液
pH (-)	7.6	7.8
COD (mg/ℓ)	8.3	7.5
SS (mg/ℓ)	27	<1

表10 水質分析結果 (B地点, 0.9 μ m)

分析項目	分離液	濾過液
pH (-)	7.8	7.8
COD (mg/ℓ)	6.2	4.4
SS (mg/ℓ)	28	1

7～表10および図7に示す。フィルターのポアサイズは0.4 μ mと0.9 μ mの2種類を使用した。フィルターの総面積1㎡に対して、限界圧力に達するまでの積算濾液量は最大約200ℓであった。また放流水のSSは1ppm以下であり、清澄性も高く良好な処理ができたと思われる。

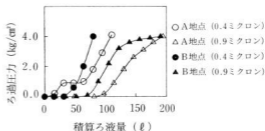


図7 精算濾液量と圧力の変化

4 結 言

カキ養殖海域の海底に堆積した軟泥の上を水中重量40～50kgに調整したロボットで、ほぼ設計通りの速度で走行することが確認された。しかし、正確な方向制御については現状の方位計では誤差が大きく、今後の検討が必要である。

海底から吸い上げた泥水から有機物を濃縮する一次濃縮装置の効果はわずかで、処理能力も十分ではなかった。

遠心分離機は、前述の運転条件で凝集剤添加率を下げた結果、脱水ケーキの水分は約60%で流動性がなくなり、トラック等による陸上輸送に充分耐えられるものとなった。分離液濃度は約20ppmであった。

遠心分離機による処理後の分離液を懸濁物質制御装置で濾過した結果、最終的に海域に放流される処理水のSSは1ppm以下となり周囲海水環境への悪影響は許容される範囲内であった。

文 献

- 1) 富永他：資源と環境，3 (1994) 3, 11
- 2) 倉本他：広島県西部工技研究報告，36 (1993), 39
- 3) 平田他：広島県西部工技研究報告，37 (1994), 1
- 4) 倉本他：広島県西部工技研究報告，37 (1994), 5

海底へドロを固化化したブロックの試作と海中浸漬試験

藤本宗之, 倉本恵治, 畑 徳宣, 渡部英雄, 斯波信雄, 本山浩司, 伊藤信夫*, 鈴木貞男*, 岡本五十生**

An Experimental Produce of Concrete Blocks by Eutrophic Sea Bottom Mud and its Suitability Test for the Fish Reef

FUJIMOTO Muneyuki, KURAMOTO Yoshiharu, HATA Noriyoshi, WATANABE Hideo, SIBA Nobuo, MOTOYAMA Koji, ITOH Nobuo, SUZUKI Sadao and OKAMOTO Isao

Hollow concrete blocks were made from the organically enriched sediment which was removed from the sea bottom under the oyster farm. The blocks were returned to the sea bottom and strength of them were measured after 3 months dipping and suitability to fish reef was also investigated.

There are over 10,000 rafts for oyster culture around the Hiroshima Bay because of mild marine conditions. The culture method by raft hanging brought high productivity per unit sea area but the same time feces of oysters are easy to accumulate and the sea bottom is polluted by organically enriched sediment.

A dredging method which don't interrupt the farming and reusable methods of the dredged mud were investigated. the results of experiments are as follows:

- 1) The strength of concrete blocks were low but enough value for fish reef.
- 2) The concrete blocks which were dipped in the sea bottom for 3 months had same strength as standard.
- 3) The animals and plants which gathered or held on the blocks were fish (*Hexagrammos otakii*), shellfish (*Crassostrea gigas*), sea urchin (*Temnopleurus torenomaticus*), starfish (*Asterina pectinifera*), seaweed (*Ulva pertusa*), etc..

キーワード: 環境保全, 浅海堆積物, セメント, 魚礁

1 緒 言

広島県の沿岸域では広島湾を中心にカキの養殖が広く行われており, 年間の生産量は全国の7割に達する。昭和30年代以降筏垂下式養殖法が普及した結果, 海を立体的に利用することができるようになり, 自然状態の生産力と比較して, 単位海面当たりの収穫量を飛躍的に増加させることが可能となった。しかし反面で長年の養殖により海底にカキの排泄物が堆積して, 夏季には海底が貧酸素状態となりやすい環境に変わっている。このような老化した養殖漁場の環境を改善するため, 著者らは海底に堆積した有機性底質を吸引除去する「海底クリーンシステムの開発」を研究しているが¹⁾, このシステムが稼働すると, 除去した底質の処分が, 次の問題として発生する。

そこで, この除去した底質を有効利用する方向で各種検討を行い, 昨年度固化する方法について実験を行った²⁾。今回はその結果を基に有機性底質の固化化を行い, 海中に設置して強度の変化や藻魚礁としての

効果について実験を行ったので報告する。

2 試料と実験方法

2.1 試料

(1) 海底底質: 「海底クリーンシステムの開発」研究においては海底から取り上げた底質に高分子凝集剤を添加して脱水しているが³⁾, この際使用する高分子凝集剤の海洋生物に対する影響が現在のところ明らかになっておらず, 固化化した後海中に設置した場合の再溶出に関するデータも不備であることから, 環境生物に対する影響を考慮して, この実験では凝集剤を含まない底質を使用した。底質の化学成分は表1に示すとおりで, 鉄分がやや多めである他は陸上の土と大差ないが, これは陸上から運搬された土砂とプランクトンの死骸等が混在するためと思われる。結晶相は α -石英のみが確認された。粒径は既に報告⁴⁾したとおり平均10 μ m程度で非常に微細である。

(2) 固化材: 市販の普通ポルトランドセメントを使用した。

*海洋科学技術センター, **常石造船株式会社

表1 海底底質の化学成分 (%)

Ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	合計
10.6	56.8	17.8	5.38	0.69	1.73	2.36	1.53	2.49	99.38

(3) 骨材：前報では標準砂を骨材という表現で使用したが、この実験では5~10mmの碎石を使用した。

2.2 実験方法

2.2.1 円筒形固化体の作成

表2にこの実験で採用した配合を示す。練り水がかなり多めになっているが、これは、海底底質が微粒子であるため、練り水を多くしないとミキサーの内側に配合物が付着してしまい、混練できなくなるので、やむなく水を多くしたもので、この点当初の設計と異なる配合を採らざるを得なくなっている。

混練した配合物は、予め直径3mmの鋼線で75mm間隔の基盤目に配筋した型枠の中に流し込み図1に示す円

表2 試作円筒形固化体の配合表

材 料 名	配合比率 (%)	重 量 配 分
底 質	30	0.6
セメント	30	0.6
骨 材	20	0.4
砂	20	0.4
水		1.35

(水には、底質水分を含む)

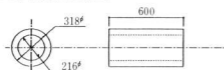


図1 試作円筒形固化体の形状

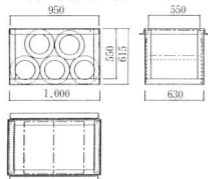


図2 海中に浸漬したブロックの構成

筒形の固化体を作成した。脱型した固化体は海中に浸漬して4週間養生を行った。

2.2.2 ブロックの海中浸漬

養生の終わった固化体は海中から引き揚げ、図2に示す山型鋼で作成した型枠 (1000W × 630D × 615H mm) に5本ずつ取め、実験海域まで運搬した。

実験海域ではダイバーにより海底に障害物がないことを確認した上で、ブロックを写真1に示すようにクレーンで吊り下げ、水深約10mの海底に設置した。ブロックを設置した海底の底質は砂泥であった。

2.2.3 ブロックの海中浸漬後の経過観察

ブロックを海底に設置した3か月後にダイバーを使って海底のブロックの損傷の有無或いは魚礁としての効果等について観察を行った。またブロックの設置と同時に海底に静置した強度測定用のテストピースの回収を行い、圧縮強度の測定を行った。

3 実験結果および考察

3.1 固化体の強度変化

通常の土木建築用コンクリートでは、有機物や微粉は強度低下の原因となるため、コンクリート中に混入



写真1 ブロックの海底設置作業

することが嫌われる。有機性の海底底質は有機物含有量が多く、また平均粒径約10 μ mの微細粒子から成るが、セメントの配合量を増加することにより充分とまでは言えないまでも、かなりの強度を出すことが可能であることを前に報告している²⁾。

円筒形固化体を作成する際に、同じ配合で直径10×高さ20cmの圧縮試験用テストピースを作成し、標準養生した後強度を測定した。結果は図3に示すとおりで、ヘドロを加えない通常のコンクリートの強度と比較すると1/5以下であった。

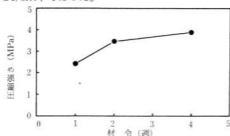


図3 標準養生した固化体の強度

また、ブロックを海底に設置する際にも、写真2の手前側に見られるような形でテストピースをブロックと一緒に静置し、3か月後に経過観察を実施したときに海底から取り上げ、実験室に持ち帰って圧縮強度の測定を行った。結果は表3に示すとおりで、ブロックを海底に設置してから以後の海水温度は平均15°C以下であったが、20°Cで標準養生したテストピースと比較して、約5%程度しか強度に差がなく、海底設置後の強度の発現がほぼ理想的に行われたことが判明した。

3.2 ブロック周辺の生物観察結果

海底に設置したブロック周辺で観察された生物は、魚(アイナメ)、ウニ(サンショウウニ)、ヒトデ(イトマキヒトデ)、貝(マガキ)、海藻(アナアオサ)であった。

観察の結果を写真2～写真6に示す。ブロックの設置時期が多くの海藻の繁殖時期から外れていたため、付着した海藻は一種類が確認されただけであったが、設置時期を海藻の繁殖時期に合わせれば、さらに多くの海藻の付着が期待される。

表3 海中浸漬後の固化体強度

供試体種別	材令	圧縮強さ (MPa) {kgf/cm ² }
海中浸漬	24週	5.66 {57.7}
標準養生	〃	5.91 {60.3}

(圧縮強さはいずれも供試体3本の平均値である)



写真2 ウニ(サンショウウニ)

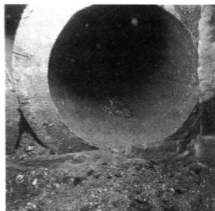


写真3 魚(アイナメ)



写真4 ヒトデ(イトマキヒトデ)

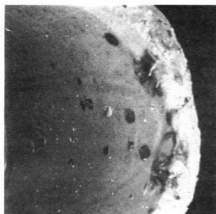


写真5 貝（マガキ）

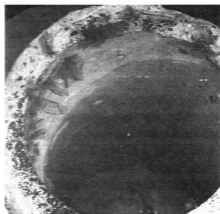


写真6 海藻（アナアオサ）

4 結 言

老化したカキ養殖漁場の環境改善を目的に、海底から取り除いた有機性の底質をセメントで固化して、外径318mm長さ600mmの円筒を作成した。この円筒5本を1組として1000×630×615mmの鉄製型枠にセットした後海中に浸漬して、固化体の強度変化及び藻魚礁としての効果について試験を行い次の結果を得た。

(1)有機性底質をセメントで固化した円筒は、セメント配合量から通常のコングリートと比較すると、約1/5の強度しか得られなかったが、鉄製の枠に収めることにより、運搬時の破損等を避けることができ、また海中に設置した後の崩壊等もなく、藻魚礁とし

て十分な強度が達せられた。

(2)海中に浸漬したブロックの強度は陸上で標準養生したものと比較して、差はわずか5%程度と小さく、強度の発現が理想的に行われたことがわかった。

(3)海中に浸漬したブロックには、海藻や貝の付着及び魚類等の蛸集が認められ、藻魚礁としての効果があることが確認された。

文 献

- 1) 倉本他：広島県西部工技研究報告，38（1995），58
- 2) 藤本他：広島県西部工技研究報告，37（1994），8
- 3) 倉本他：広島県西部工技研究報告，37（1994），5
- 4) 倉本他：広島県西部工技研究報告，35（1992），78

回流水槽における全没型水中翼模型の抵抗試験

畑 徳宣, 木曾克彦*, 藤本宗之, 倉本恵治, 本山浩司

Hull Form Development Using the Circulating Water Channel for Small Ships (2nd Report)

Resistance Test of a Fully Submerged Hydrofoil Model in CWC

HATA Noriyoshi, KISO Katuhiko, FUJIMOTO Muneyuki, KURAMOTO Yoshiharu and MOTOYAMA Koji

The resistance test of 1.0 m fully submerged hydrofoil model has been carried out using slow circulating water channel and following results were obtained.

- (1) The bow sinking as the fore and main foil angle were fixed at zero degree and its measured resistance were increased by only hull resistance
- (2) The bow motion were elevated as the fore foil angle was fixed at ten degree and its was shown semi foil borne condition.
- (3) The bow and stern motion were fully elevated as the main foil angle was fixed at three degree and the measured resistance were decreasing by only hull resistance.

キーワード: 全没型水中翼, 抵抗試験, 回流水槽

1 緒 言

高速化した船の大型化を図るため、浮力と揚力或いは浮力と空気圧力を組み合わせた複合支持による船型の開発が行われている。また、高速化と同時に耐航性・快適性も求められている。これらの船型では高速化のための水中翼、船体の姿勢制御のための水中フィンが使用されている。これらの技術を開発するには、高速な曳航水槽あるいは回流水槽で試験が行われている。

本研究では、自己安定性が低いとされる全没型の水中翼船の模型を試作し、流速 2 m/s 程度の比較的流速が遅い回流水槽で試験を実施するとどのような現象が生じるかについて検討を行った。

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) で公称流速は 2 m/s であるが、インペラー回転数を能力限度まで回して最高流速 2.2m で行った。船首及び船尾上下変位量測定は、西日本流体技術研製トリム計付模型船ガイド装置で行った。トリム測定範囲は±50mm であるが検定することにより±75mm の範囲まで使用した。抵抗計測は日章電機製歪ゲージ式 3 分力計 SR30 を用い、ゲージアンプ

* 畑木曾造船

として興和電業製動歪計 DPM220 を使用した。また、流速の測定は興野製作所製のピトー管で行った。

2.2 模型

図 1 に委託加工を行った模型船の翼取り付け位置、翼平面及び翼断面形状を示す。模型の大きさは、垂線間長さ 1 m ・幅 23.774 cm ・深さ 10 cm ・喫水 4.39 cm で排水量は 3222.36 g である。

前翼はキールライン上のストラットにより支持されベースラインからの深さは 100 mm で、オーディネイト 5 からの距離は 437 mm である。

後翼は船体側面からの 2 本のストラットに支持されベースラインからの深さは 112 mm で、オーディネイト 5 からの距離は 319 mm である。翼の角度はストラットの角度を変えることにより行っている。また、ストラットは船体から取り外すことも可能である。

前翼・後翼とも翼断面形状は NACA0016 型で、翼厚比 0.16 である。前翼の幅は 250 mm、翼端の弦長 20 mm、最大弦長 61 mm である。後翼は幅 395 mm 翼端の弦長 33 mm、最大弦長 65.8 mm である。

2.3 トリム計測及び抵抗試験

トリム計測及び抵抗計測は比較のため、翼を取り外した状態及び翼を取り付けた状態で流速を 0.1 m づつ増加させを行い、前翼・後翼の角度をそれぞれ 0°・5°・10°、0°・3°・6° で行った。翼角度は静止喫水線を

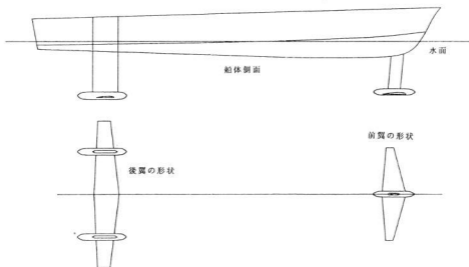


図1 船体側面・翼形状および翼取り付け位置

基準に喫水線と平行な方向を角度 0° としてそれぞれ翼角度を可変した。

高速艇の試験において船体の曳航方法・位置等が結果に与える影響が大きいため種々の試験方法^{1), 2)}が提案されているが、治具の関係で自由曳航試験法に準じて上下揺れ及び縦揺れのみを自由にして船体を治具に固定した。固定位置は船体前後方向の浮心位置で、高さは甲板上である。

3 実験結果と考察

3.1 船首・船尾の上下変位

図2には、船体のみ及び翼を取り付けた状態で翼角度 0° にした場合の船首尾変位量を示す。高速艇の場合、船体に働く揚力は低速・中速において船体を沈める方向に働き、さらに高速になると沈下力が急増する。一方、トリム角が大きくなると浮上に転じようとする傾向にあるとされており¹⁾、流速 $0 \sim 1.4$ m/sまで流速が増すにしたがって船首・船尾ともに沈み、沈下量は船首が大きい。トリム角が大きくなる流速 1.4 m/s以上で船首は浮上し、船尾はさらに沈むようになる。

一方、前翼・後翼とも翼角度 0° で取り付けた場合は、船体の揚力と翼による揚力が働くため船体のみのときは若干異なった様子を示す。流速 1.2 m/s程度まで船尾はほとんど沈下せず、船首のみ沈下する。それ以上で船尾はやや浮上し、船首はさらに沈下したのち船首が浮上すると船尾がやや沈下するようになる。この理由は、船体のみの航走姿勢が大きく影響してお

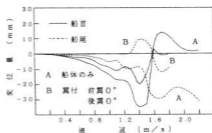


図2 船首尾変位量と流速の関係 (船体のみ・翼付)

り、流速の増大にともなって船首が沈下すると、翼の仰角が負となり揚力が働かなくなること、及び後翼による揚力が船尾に働き船首はさらに大きく沈下することによる。流速 1.4 m/s以上で船首は浮上に転ずるが、船尾の沈下はそれほど大きくならない。

図3に後翼を 0° で固定し前翼の角度を変えたときの船首尾変位量を示す。前翼の角度を 5° にすると船首に揚力が働き始めるためか、船首の沈下量が減るとともに船尾も同時に沈下するようになり、流速 1.4 m/s以上では船首は浮上を始め船尾は沈下する。前翼の角度を 10° にすると、揚力がさらに増し船首は始めの位置より沈下することなく流速の増加に伴って浮上量が大きくなり、船尾はそれとともに沈下する。流速 1.4 m/s以上で船首は急激に浮上量を増し、流速 1.5 m/sでは船首が水面から浮上し前翼は翼走している状態になる。さらに流速が増すと船首は完全に翼走

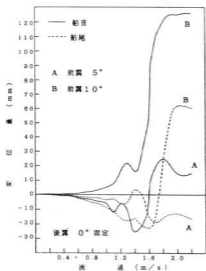


図3 船首尾変位量と流速の関係（前翼角度変化）

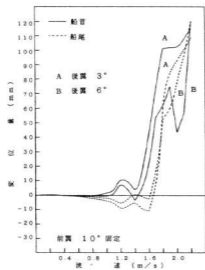


図4 船首尾変位量と流速の関係（後翼角度変化）

状態になり、それにつれて船尾も浮上し翼走を始める。船尾の浮上量は、さほど大きくなく船体が斜めになった状態で翼走している。図4に前翼を 10° で固定し後翼の角度を変えたときの船首尾変位量を示す。前後翼の揚力がバランスするためか流速 1 m/s 程度まで船首尾の浮上・沈下は少なく、流速 1.4 m/s 以上で船首が急激に浮上を始め、流速 1.6 m/s 以上で船尾が急激に浮上を始め、流速 1.8 m/s で完全に翼走状態になり船首尾の浮上量はほぼバランスしている。さらに流速が増すと船体全体が浮き上がる。

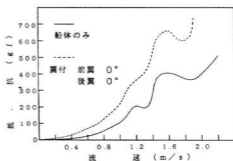


図5 抵抗と流速の関係（船体のみ・翼付）

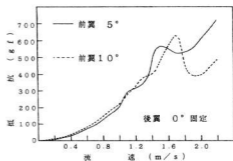


図6 抵抗と流速の関係（前翼角度変化）

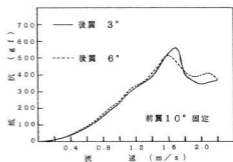


図7 抵抗と流速の関係（後翼角度変化）

3.2 抵抗変化

図5に船体のみ及び前後とも翼を 0° の状態を取り付けて抵抗測定を行った結果を示す。船体だけの抵抗変化に対して、翼を取り付けると浸水面積が増すので当然抵抗は大きくなるが、それ以上に、船首尾の変位が大きく影響している。翼角度 0° では船首が大きく沈下するため抵抗が非常に大きくなり流速 1.9 m/s 以上で測定不能となった。

図6に後翼の角度を 0° で固定し前翼の角度を変えた場合の抵抗変化を示す。前翼の角度を 5° にすると流速 1.4 m/s 以上で抵抗の増加割合は 0° に比較してか

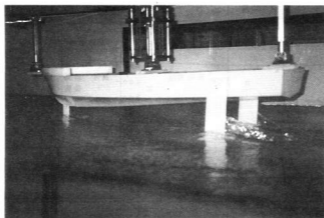


写真1 流速1.8m/sで翼走中の船体

なり少なくなる。前翼の角度を 10° にすると低速域では 5° に比しやや抵抗が高くなるが、流速 $1.4\sim 1.5\text{m/s}$ で一旦抵抗が減少し、流速 $1.6\sim 1.7\text{m/s}$ で高くなる。それ以降は急激に抵抗が減少し 1.9m/s でピークになり、その後流速が速くなるに従い抵抗が増す。抵抗がピークを示すのは翼走寸前が高く翼走を始めると抵抗は急激に低下する。低下した抵抗は流速が増すに従い、また増加を示し、このときの増加割合は船体みの抵抗増加とほぼ同程度であった。

図7に前翼の角度を 10° で固定し後翼の角度を変えた場合の抵抗変化を示す。前翼の角度を変えたときと同様後翼の角度を変えることにより低速域で抵抗はやや高くなり、翼角度が 3° から 6° になるとさらに高くなる。流速 1.5m/s 以上で翼走寸前の抵抗値は後翼角度 6° が最小となった。翼走以降の抵抗に差が見られるのは船首の浮上量が少なかったためで流速 2.2m/s で完全な翼走状態になると後翼の角度 3° 、 6° とも抵抗値はほとんど一緒であった。翼走状態に達して流速 1.9m/s で、船体みの抵抗と前翼 10° 後翼 3° にしたときの抵抗がほぼ同じになり、流速 2.2m/s では船体みの抵抗は 500gf に対し、翼走状態では 300gf と抵抗は低減した。船体みと翼走状態を比較すると流速 1.9m/s 以降の抵抗増加割合に差が見られるので、さ

らに流速が増すと差が大きくなると思われる。

写真1に流速 1.8m/s で翼走中の船体を示す。

4 結 言

流速 2.2m/s 程度の回流水槽で、全没型水中翼を有する模型の試験を行った結果をまとめると次のようになる。

- (1)全没型水中翼を有する船体において、船首尾の浮上・沈下は元の船型の影響を受け、前後の翼角度 0° では船首が沈下し抵抗が非常に大きくなる。
- (2)前翼の角度を 10° にし、船首の揚力を増すとトリムは大きいが翼走状態になり、抵抗も船体みと同程度になる。
- (3)さらに、後翼の角度を 3° ないし 6° にすることにより完全に翼走状態になり抵抗が大幅に減少する。
- (4)今後は、船首尾の浮上・沈下を調節するため、流速に応じた翼角度の制御又はフラップ等の効果について検討する必要がある。

文 献

- 1)鳥野慶一他：関西造船協会誌，218（1992），83
- 2)池田良徳他：関西造船協会誌，218（1992），111

ハイビジョン対応画像処理専用 LSI の開発 (第3報)

馬場祥宏, 松垣和生, 宮野忠文, 打田澄雄, 武田幹雄, 佐野 誠, 村河亮利

Development of Hi-Vision Image Processing LSI IP12000 (3rd Report)

BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo, MIYANO Tadafumi, UCHIDA Sumio,
TAKEDA Mikio, SANO Makoto and MURAKAWA Akitoshi

Hi-Vision TV system is expected as a key technology to realize a high speed and high precision image processing system because it can distrates a preciser picture than the conventional TV system.

A Hi-Vision image processing LSI IP1200 has been developed in order to obtain various image characteristics such as area, width, length, angle, and center of gravity of inertia equivalent ellipse from 1740 x 1024 pixel image in 33 msec.

In addition to it, Hi-Vision image processing board for personal computer has been also developed to be obtained high performance image processing system with low cost.

キーワード: ハイビジョン, 画像処理, ASIC

1 緒 言

ハイビジョンは現行TV方式と比較して精細度に優れた画像が得られることから, ロボット等による生産工程, 検査工程の高度化に不可欠な画像処理装置の高速化, 高精細化を実現する技術として注目されている。しかしながら, ハイビジョン方式に対応した画像処理装置は, 現行TV方式の5倍以上の情報量を極めて高速に処理しなければならない, その実現には専用LSI化が不可欠である。

そこで, ハイビジョン映像信号を並列ハードウェア演算することにより, 工業用画像処理で有用な面積, 重心, 幅 (フォレ径), 慣性等価楕円パラメータ (長軸長, 短軸長, 傾き角) 等の特徴量を 1/30秒で高速抽出するハイビジョン対応画像処理専用 LSI = IP12000 を開発した。

また, 開発した画像処理専用 LSI の成果普及, 技術移転を効果的に行うため, IP12000 を用いてパーソナルコンピュータ上でハイビジョン画像処理を実現する画像処理ボードの開発も併せて行った。

2 IP12000 の概要とハードウェア演算機能

IP12000 は, ハイビジョンをロボットの目として利用する工業用画像処理を実現するための特徴量抽出プロセッサである。対象物体をハイビジョンカメラで撮像し, 2値化されたハイビジョン画像信号から物体の

面積, 重心, 幅, 慣性等価楕円パラメータ (長軸長, 短軸長, 傾き角) 等の特徴量を高速に抽出する機能を有する。

写真1にIP12000の外観を示す。IP12000はCMOS 0.8 μ mシリコンゲート, メタル2層配線のプロセスで製作された12,000ゲートのゲートアレイであり, 24,000ゲートのシーオプゲートのマスタスライスを下地として, 論理設計データによりメタル配線工程を追加してユーザカスタマイズしたASIC (Application Specific Integrated Circuit) である。

パッケージの仕様はPLCC84ピン, 電源電圧DC 5V, 動作周波数36MHz, 消費電力484mW, 使用温度範囲0~60°Cである。

最大の特長は, CPUを介することなくハイビジョ

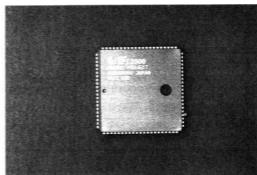


写真1 画像処理専用 LSI, IP12000 の外観

ン映像信号を並列ハードウェア演算し、カメラから1フレームの映像信号が出力される間に、全ての特微量を抽出する機能にある。処理速度は1/30秒であり、ハイビジョン画像のリアルタイム処理を実現している。

なお、ハイビジョンのMUSE方式におけるサンプリング周波数は74MHzとされているが、工業用画像処理に必要な正方形画素実現のためには72MHzサンプリングが必要であり、かつIP12000では2画素並列処理を行っているため、動作周波数はその半分の36MHzである。この場合、ハイビジョン画像1画面の画素構成は1740×1024画素となる。

次にIP12000の慣性主軸角検出の原理と乗算器を用いない自乗値、相乗値の生成手段について述べる。

対象物の0次モーメントすなわち面積をS、X軸に関する1次モーメントをM_X、Y軸に関する1次モーメントをM_Yとすると、対象物の重心GのX座標X_G、Y座標Y_Gは

$$X_G = M_X / S \quad Y_G = M_Y / S$$

で与えられ、また、対象物のX軸に関する自乗モーメントをM_{XX}、Y軸に関する自乗モーメントをM_{YY}、X軸、Y軸に関する相乗モーメントをM_{XY}とすると、対象物の慣性主軸がX軸となす角(慣性主軸角)θは

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2(M_{XY} - X_G Y_G S)}{(M_{XX} - X_G^2 S) - (M_{YY} - Y_G^2 S)}$$

で与えられる。

したがって、対象物画像から各種モーメントを演算し、これにもとづいて上式の演算を行うことにより、慣性主軸角θを求めることができる。

M_{XX}、M_{YY}、M_{XY}を演算するには自乗値X²、Y²、相乗値XYを生成する手段が必要であり、従来技術では、これを生成する手段は乗算器もしくは乗算器に等価なROMで構成されていた。

しかしながら、自乗値、相乗値を生成する手段として乗算器等を用いる方法は、多くのハードウェアを必要とし、また高速動作も不可能であり、リアルタイムで主軸角を検出する装置としては、ビデオ信号が標準解像度のNTSC信号またはPAL信号で、X軸座標、Y軸座標の最大値が255(8ビット)程度のものでしか実現されていなかった。

そこでIP12000では乗算器等を用いない自乗値、相乗値生成手段を新たに開発、採用した。

図1にIP12000の機能ブロック図を示す。

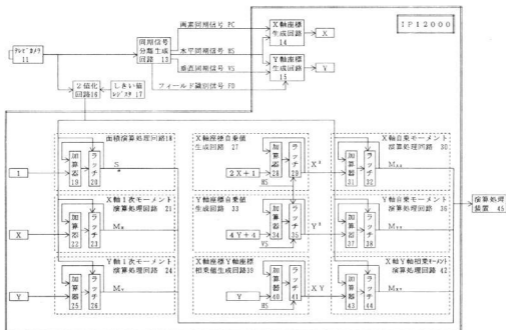


図1 ハイビジョン対応画像処理専用LSI, IP12000の機能ブロック図

X軸座標自乗値生成手段は、加算器とラッチ回路とを備え、加算器の一端にX軸座標値を2倍したものと定数「1」との加算値を入力するとともに、加算器の出力端をラッチ回路に接続し、かつラッチ回路の出力端を加算器の他端に接続した累積加算回路であり、

$$(X+1)^2 = X^2 + 2X + 1$$

であることを利用して、水平同期信号がハイレベルのとき値0に初期化された後、画素同期信号に同期して加算器の出力をラッチ回路にラッチし、X軸座標自乗値を生成する。

X軸座標値を2倍する機能は、加算器への接続を1ビット上位側へずらすことにより実現されている。

同様に、Y軸座標自乗値生成手段は、加算器の一端にY軸座標値を4倍したものと定数「4」との加算値を入力した累積加算回路であり、

$$(Y+2)^2 = Y^2 + 4Y + 4$$

であることを利用して、垂直同期信号がハイレベルのとき、フィールド識別信号（第1フィールドのとき値0、第2フィールドのとき値1）に初期化された後、水平同期信号に同期して加算器の出力をラッチ回路にラッチし、Y軸座標自乗値を生成する。

Y軸座標値を4倍する機能は加算器への接続を2ビット上位側へずらすことにより実現される。

また、X軸座標とY軸座標の相乗値生成手段は、加算器の一端にY軸座標値を入力した累積加算回路であり、

$$(X+1)Y = XY + Y$$

であることを利用して、水平同期信号がハイレベルのとき値0に初期化された後、画素同期信号に同期して加算器の出力をラッチ回路にラッチし、X軸座標とY軸座標の相乗値を生成する。

上記生成手段はいづれも累積加算のみで自乗値、相乗値の生成を実現するものであり、乗算器等を用いる構成に比して格段に少ないハードウェアで実現でき、

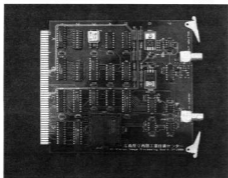


写真2 ハイビジョン画像処理ボードの外観

しかも高速動作可能である。

この方法によれば、NTSC信号、PAL信号など標準解像度のビデオ信号を対象として主軸角をリアルタイムで検出する装置を、少ないハードウェアで実現できるのみならず、ハイビジョン信号など、より高解像度のビデオ信号を対象として主軸角をリアルタイムで検出する装置を実現することが、はじめて可能となる。

3 ハイビジョン画像処理ボード

平成5年度にLSIとしての開発を完了したハイビジョン対応画像処理専用LSI=IP12000の成果普及、技術移転を効果的に行うため、IP12000を用いてパーソナルコンピュータ上でハイビジョン画像処理を実現する画像処理ボードを平成6年度に開発した。

写真2にハイビジョン画像処理ボードの外観を、表1に仕様・機能を示す。本ボードをパソコンの拡張スロットに挿入し、ハイビジョンカメラ、モニタを接続することにより、ユスチバフォーミングに優れた画像処理システムを構築することができる。

本ボードの主要機能であるハイビジョン画像からの面積、幅、重心、傾き角等の特徴量のリアルタイム抽出は、専用LSI=IP12000が実現しており、専用LSI以外の部分は、ハイビジョン映像信号からの水平同期、垂直同期、画素同期、フィールド識別等の同期

表1 ハイビジョン画像処理ボードの仕様・機能

用途	ハイビジョン画像処理
画像処理機能	ハードウェア演算による特徴量抽出
画像構成	1740×1024画素
カメラ入力信号	ハイビジョン濃淡映像信号
モニタ出力信号	ハイビジョン濃淡映像信号 ハイビジョン2値化映像信号
2値化レベル	256段階（8ビット）
サンプリングクロック	72 MHz
アスペクト比	1：1（正方形画素）
計測項目	面積、幅、重心、慣性等価楕円パラメータ（長軸長、短軸長、傾き角）
計測速度	ビデオレート（1/30秒）
インタフェース	PC98 拡張バス
ボードサイズ	169×149mm
ドライバ	C言語

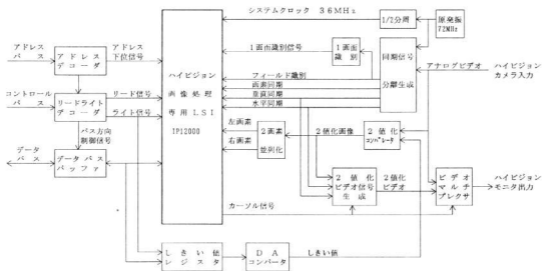


図2 ハイビジョン画像処理ボード機能ブロック図

信号の分離生成、しきい値レジスタ、DAコンバータ、2値化コンパレータによるハイビジョン画像の2値化、ビデオマルチプレクサによる2値化/濃淡映像信号のハイビジョンモニターへの表示切替及びアドレスデコーダ、データバス・バッファ等のパソコン拡張バスとのインタフェース部分で構成されている。

図2に画像処理ボードの機能ブロック図を示す。

同期信号分離回路には、ハイビジョン映像信号の水平同期信号が33.75kHzであることから390kΩと0.1μFからなる垂直同期信号分離用低域フィルタを使用したLM1881を採用した。本同期分離回路により、インタレース走査の偶数フィールドと奇数フィールドの識別も同時に行う。

2値化コンパレータにはハイビジョン映像信号の周波数帯域を考慮して、変換遅延時間10nsの高速コンパレータMAX903を、2値化ビデオ信号生成には周波数帯域80MHzのビデオアンプMAX404を、ハイビジョンモニターへの濃淡映像信号と2値化映像信号の表示切替には周波数帯域50MHzのビデオマルチプレクサMAX454を採用した。

4 結 言

ハイビジョン方式に対応して、1740×1024画素構成の画像から対象物体の面積、重心、幅、慣性等価楕円パラメータ(長軸長、短軸長、傾き角)等の特徴量を

1/30秒で高速に抽出するハイビジョン対応画像処理専用LSI=IP12000を開発した。

平成4年度に行った機能設計・論理設計に基づき、平成5年度に遅延シミュレーション、テストパターン設計、電力解析等の詳細設計を行い、12,000ゲートのゲートアレイとして同LSIを完成させた。

平成6年度にはIP12000の効果的な成果普及・技術移転のため、同LSIを用いてパーソナルコンピュータ上でハイビジョン画像処理を実現する画像処理ボードを開発した。

なお、本研究は科学技術庁、生活地域流動研究「光配線を有する知能LSIの研究とその高速並列処理システムへの応用」の関連研究として実施したものである。

文 献

- 1) 馬場, 松垣, 宮野, 打田, 佐野, 科学技術庁委託調査研究報告, (1994), 125-140
- 2) 馬場, 松垣, 宮野, 打田, 武田, 科学技術庁委託調査研究報告, (1993), 139-155
- 3) 馬場, 松垣, 宮野, 打田, 武田 広島県西部工技研究報告, 37 (1994), 88-91
- 4) 馬場, 松垣, 宮野, 打田, 武田, 広島県西部工技研究報告, 36 (1993), 6-10
- 5) 馬場, 松垣, 打田, 武田, 広島県西部工技研究報告, 35 (1992), 6-9

高速データ処理装置の開発

打田澄雄, 馬場祥宏, 武田幹雄, 世良時夫

Study on ASIC Applications

Development of a Digital Signal Processing Board for Factory Automation

UCHIDA Sumio, BABA Yoshihiro, TAKEDA Mikio and SERA Tokio

A high performance digital signal processing board for a factory automation has been developed. This board shows useful functions such as high speed calculator and storage of a great deal of data to a personal computer. The examination of the data processing using this board has been carried out and it was found to be able to apply to the image processing and the signal processing such as FFT. The details of it are as follows.

- (1)DSP : TMS320C31 (33MHz)
- (2)MEMORY : RAM...512KW (2MB)
- (3)I/O : all resources that a host computer supports
- (4)Others : maximum 8 processors

キーワード: DSP, コンピュータ, MS-DOS, 画像処理, 信号処理

1 緒 言

現在, 通信機器, ゲーム機器をはじめとしてNC工作機械・ロボットのコントローラなどに幅広くDSP (デジタル・シグナル・プロセッサ) が利用されている。多くの製品がアナログからデジタルに変わりつつある中, DSPはその中核を担う重要なデバイスとして注目されている。しかし, DSPの応用機器の開発には高度の技術が必要とされ, 中小企業においては負担となっており, 技術蓄積が望まれている。そこで, 市販の拡張ボードを利用できるようにバスは標準バス仕様に準拠させ, 音声信号処理や画像処理に対応可能な高性能DSP及び高速・大容量メモリを搭載した高速データ処理ボードを開発するとともに, ホストとなるパソコンやボードコンピュータ用のライブラリソフトを開発した。また, 応用例として画像処理における画像変換等への適用を図り, その有用性を確認した。

2 概 要

本ボードは高性能DSPやプログラマブルデバイスを使い, プログラムの実行, ホストコンピュータとの通信機能等をボードサイズ (169.4×148.7mm) にまとめた高性能DSPボードである。図1に本ボードのブロック図を示す。構成はDSP, メモリ, ホストイン

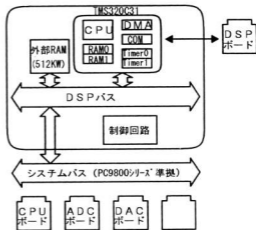
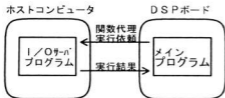


図1 ブロック図

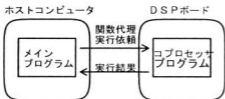
タフェース, 制御回路からなる。

DSPは32ビット浮動小数点DSP, TMS320C31(33MHz)を, メモリには512KW(2MB, 55ns)の高速・大容量SRAMを, ホストコンピュータとのインタフェースは32ビットの通信ポートを実装した。

ソフトウェアの構成を図2に示す。本ボードの利用



(b) DSPホストモード



(a) コプロセッサモード

図2 ソフトウェア構成

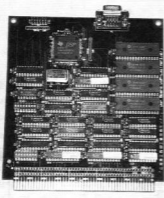


写真1 DSPボード

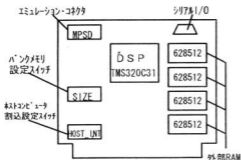


図3 DSPボード

方法は2通りある。ひとつはホストコンピュータの計算機能等の補助としての利用法(コプロセッサモード)、もう一つはホストコンピュータをI/OサーバとしてDSPボードをメインとする利用方法(DSPホ

表1 DSPボードの仕様

項目	仕様
DSP	TMS320C31 (33MHz) 33.3MFLOPS 16.7MIPS
RAM	2KW (DSP内蔵) 512KW (HM628512×4)
割り込み	4チャンネル
タイマ	2チャンネル
DMA	1チャンネル
シリアル	1チャンネル
外部インターフェース	32ビット通信ポート 共有メモリ (16KB~64KB/バンク)
基板サイズ	148.7×169.4mm
拡張バス	PC9801拡張仕様
電源	+5V 1A
その他	C言語用ライブラリ I/Oサーバソフト

ストモード)である。

写真1にDSPボードの外観を、図3にボード各部分の名称を、表1に仕様を示す。

3 ハードウェア

3.1 DSP

本ボードには命令キャッシュ、大容量メモリ、浮動小数点乗算器/ALU、DMAコントローラ、シリアルポート及びタイマを内蔵した高性能かつ多機能な32ビット浮動小数点DSPであるTMS320C31(テキサス・インスツルメンツ社)を採用した。このDSPは他のプロセッサがソフトウェアやマイクロコードで実現していた機能をハードウェアで実現することにより、サイクルタイム60nsで最大33MFLOPS(Million Floating-Point Operation Per Second)の性能を有する上、ビット・リバース・アドレッシングなどFFTアルゴリズムに有効なアドレッシング機能や積和演算機能等のデジタル信号処理に適した命令群をサポートしている。

3.2 メモリ及びI/O(DSP)

DSPのメモリマップにはマイクロプロセッサモードとマイクロコンピュータモードの2種類があるが今回はマイクロプロセッサモードを用いた。メモリはDSP内蔵のRAM(2K×32ビット)に加え、外部メモリとしてHM628512(512K×8ビット)×4個を使い、画像などの大容量データを処理可能とした。この外部メモリはホストコンピュータからメモリ空間の一部を介してアクセスでき、DSPのプログラム及びデータの書き込み、計算結果等の読み出しを行う。メモリアクセスのための空間は0C0000h~0DFFFFh中の16KBまたは32KB、64KBのいずれかに設定できる。また、タイマ、DMA等の内蔵ペリフェラル及びホストコンピュータとのインタフェースレジスタ等も

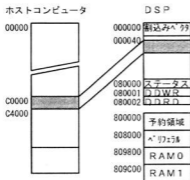


図4 メモリマップ

メモリ上に割り付けられている。図4にDSP上のメモリマップ及びホストコンピュータ上のメモリマップを示す。表2にステータスレジスタの各ビットの説明を示す。

表2 ステータスレジスタ (DSP)

ビット	信号名	機能
31~2		予約
1	DDSET	80001h番地(DDWR)へのデータ書き込み許可 '1':書き込み不可 '0':書き込み可
0	HDSET	80002h番地(DDR0)へのデータ書き込み許可 '1':有効 '0':無効

3.3 I/Oポート (ホストコンピュータ)

表3に本ボードのホストコンピュータにおけるI/Oポートアドレスマップを示す。レジスタにはコントロールレジスタ、ステータスレジスタ、データ受信レジスタ(2)、データ送信レジスタ(2)、バンクメモリアドレスレジスタの7つがある。

表3 I/Oポート (ホストコンピュータ)

アドレス	入出	レジスタ名	機能	DSPアドレス
xxx0h	出力	HCLWR	コントロールレジスタ	
xxx2h	入力	HCLRD	ステータスレジスタ	
xxx4h	入力	HDLRD	データ受信(下位16ビット)	DDWR(80001h)
xxx6h	入力	HDHRD	データ受信(上位16ビット)	
xxx8h	出力	HDLWR	データ送信(下位16ビット)	DDR0(80002h)
xxxAh	出力	HDHWR	データ送信(上位16ビット)	
xxxCh	出力	PGWR	バンクアドレスレジスタ	

xxx2000~FFFの任意 (但し他のボードで使用されていない値)

表4及び表5にコントロールレジスタ、ステータスレジスタの各ビットの説明を示す。

ホストコンピュータがDSPと通信する場合、ホストコンピュータは16ビットデータバス、一方、DSPは32ビットデータバスのため、ホストコンピュータ側

表4 コントロールレジスタ

ビット	信号名	機能
7	HDRST	DSPのリセット '1':通常時 '0':リセット
6	MCMP	DSPの動作モードの設定 '1':マスタモード '0':スレーブモード
5	HOLD	DSPのHOLD
4	HIMSK	DDSETのセット時(1)の割込み許可
3	INT3	DSPのINT3割込み
2	INT2	DSPのINT2割込み
1	INT1	DSPのINT1割込み
0	DIMSK	HDSETのセット時(1)の割込み許可

表5 ステータスレジスタ (ホストコンピュータ)

ビット	信号名	機能
7	XF1	TMS320C31のXF1
6	XF0	TMS320C31のXF0
5	TCLK1	TMS320C31のTCLK1
4	TCLK0	TMS320C31のTCLK2
3	IACK	TMS320C31のIACK
2	HOLDA	TMS320C31のHOLDA
1	DDSET	80001h番地(DDWR)へのデータ書き込み許可 '1':書き込み不可 '0':書き込み可
0	HDSET	80002h番地(DDR0)へのデータ書き込み許可 '1':有効 '0':無効

から通信用レジスタにアクセスするためには下位16ビット、上位16ビットの順にアクセスする。ホストコンピュータがDSP側からデータを受信する場合、データ受信レジスタ(xxx4h, xxx6h)を読み出し、逆にホストコンピュータからDSPへデータ送信の場合、データ送信レジスタ(xxx8h, xxxAh)へ書き込む。以上のデータの読み書きに伴いステータスレジスタ中のデータのセット、リセットの状態が更新される。また、書き込みによるホストコンピュータ、またはDSPへの割り込みを起動することもできる。

DSPの外部メモリはホストコンピュータから、16KB(32KB, 64KB)のメモリ空間に割り付けられたバンクメモリになっている。ホストコンピュータからDSPのメモリをアクセスする場合、DSPをホールド状態にした後、メモリの上位アドレスをバンクレジスタ(xxxCh)に設定する。

3.4 シリアルインタフェース

DSPに内蔵されたシリアルインタフェースは8、16、24または32ビットのデータを逐次、あるいは連続転送することができる。また、ハンドシェイクモードを使用することによりDSP間を直接インタフェースすることが容易にできる。シリアルポートの各端子は汎用のI/Oピンとして利用することもできる。コネクタ及び信号を図5に示す。

9bit Subコネクタ (オス)

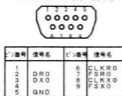


図5 シリアルインタフェースコネクタ

4 ソフトウェア

4.1 割込みベクタ

表6に示すようにDSPの割込みベクタは0hから3Fhでリセット、INT0~INT3の外部割込み、シリアルポート、タイマ等の内部割込み及びTRAP命令割込みに対応している。

表6 DSP 割り込みベクタ

アドレス	割込み	機能
0h	RESET	外部リセット信号
1h	INT0	外部ユーザ割込み0
2h	INT1	外部ユーザ割込み1
3h	INT2	外部ユーザ割込み2
4h	INT3	外部ユーザ割込み3
5h	XINT0	シリアルポート送信割込み
6h	RINT0	シリアルポート受信割込み
7h	予約	
8h	予約	
9h	TINT0	タイマ0割込み
Ah	TINT1	タイマ1割込み
Bh	DINT	DMAコントローラ割込み
Ch~3Fh	TRAP0-27	TRAP命令割込み

4.2 コプロセッサモード

コプロセッサモードはホストコンピュータの持つ計算機能、メモリ機能を補助する用途でDSPボードを使用する。C言語から関数呼び出しで使用し、四則演算、三角関数等の算術演算、行列間の四則演算等をサポートする。関数一覧を表7に示す。

表7 コプロセッサモード用関数

関数種別	機能
四則演算	4バイト整数及び浮動小数点の加減乗除
算術関数	三角関数
行列演算	3×3, 4×4, M×N行列の四則演算, 他
信号処理	FFT他
メモリ操作	DSPボードのメモリの確保及び解放, 他

ホストコンピュータからはヘッダファイルをインクルードし、DSP用ライブラリとリンクすることにより利用できる。なお、DSPボードにおいてはコプロセッサプログラムをあらかじめ起動しておく。

コプロセッサ関数の実行は関数内において関数のタイプとパラメータをDSPボードに転送して演算を

DSPに代行させる。演算が終了すると結果をホストコンピュータに転送したのちに関数から復帰する仕組みにしている。

4.3 DSP ホストモード

DSP ホストモードはDSPボードの持つ高速、大容量の機能を活用するモードでホストコンピュータを、I/Oサーバとして利用し、メインプログラムはDSP上で実行する。DSPボード上にはA/D変換、D/A変換等の一般のI/Oデバイスは搭載していないが、ホストコンピュータに組み込んだ同様のデバイスに対し、DSPボードからホストコンピュータに入力、あるいは出力を代行させることにより、各種信号処理を可能としている。また、ホストコンピュータの管理するファイル等に対しても同様に代理実行させることによりデータの読み出し、記録にファイルを利用することができる。留意した関数を表8に示す。これらの関数の実行はDSPボードから関数のタイプ、パラメータをホストコンピュータに転送し、代理実行、結果の読み出しによって行っている。なお、本モードの利用にはホストコンピュータにおいてI/Oサーバプログラムを実行させておく。

表8 DSP ホストモード用関数

関数種別	機能
ファイル操作	ファイルのオープン、クローズ、他
I/O	キーボード入力、画面表示、ボードの入出力、他
アプリケーション	DOSプログラム及びコマンドの実行
時間	時刻の取得

5 結 言

高性能DSPの採用により小型、低消費電力の高速データ処理ボードを開発した。標準バスの採用やパソコンあるいはボードコンピュータと組み合わせることにより大容量データ演算、リアルタイム信号処理が可能になった。

また、本ボードを使ってFFT等の信号処理及びフィルタリング等の画像処理へ適用した結果、プログラムの開発、実行性能等その有効性が確認された。

文 献

- 1) 日本テキサス：インスツルメンツ：TMS320C3x ユーザーズ・マニュアルディジタル・シグナルプロセッサ(1994)
- 2) TI：TMS320 Floating-Point DSP Assembly Language Tools(1991)
- 3) TI：TMS320 Floating-Point DSP Optimizing C Compiler(1991)

画像処理による無人検査システムの開発

武田幹雄, 佐野 誠, 村河亮利

Development of Leak Test System by Image Processing

TAKEDA Mikio, SANO Makoto and MURAKAWA Akitoshi

The bubble detection automatic system by image processing has been developed.

The leak tests of airtight parts such as inhale or exhaust pipes and fuel pipes as the parts of automobile engine have been generally carried out by means of bubble detection in water by human eyes.

In this work, the same leak test using a new detection system with the image processing system contained CCD camera have been tried. As the results, sensitive detection performance of minor bubble was obtained.

キーワード: 気密性, 画像処理, 自動化

1 緒 言

自動車エンジンの吸気・排気系及び燃料系等の気密性を要する機械部品等のリークテストは、部品内部に空圧をかけた状態で水槽に浸け、漏出する気泡を目視で観察する方法が一般的である。しかし、この方法は長時間に及ぶと苦痛を伴い人的ミスが発生し易く、省人化対策面からみても効率が悪い。そこで目視に代わって、CCDカメラからの取り込み画像をコンピュータ処理することにより、気泡を認識する簡便な自動検査システムを開発した。

2 画像の取り込み

気密性を要する検査部品(ワーク)のリーク検査は一般的に以下の手順で行われる。

- ①空圧をかけるための装置にワークを取り付け空圧をかける。
- ②一定の空圧をかけた状態でワークを水槽に浸ける。
- ③水槽に浸けた際の水面の揺れや気泡が消えるのを待つ意味で10秒程度そのままにしておく。
- ④その後約10~20秒間、水面に浮上してくる気泡の有無を目視で調べる。
- ⑤水面上に気泡を確認した場合は、更に水中のワークを注視し、気泡の発生箇所を調べる。

実際にワークから漏出する気泡の形態には、①直径が約0.3~1mmの微小な泡がワークから即漏出する、②漏出する微小な泡がワークに付着し、直径が約1mm以上の泡に成長して浮上する、③直径が約1mm以上の泡が即時漏出する、の三形態が主に観察された。漏出する時間間隔はまちまちであった。

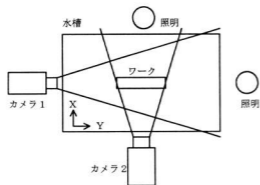
気泡に対する画像の取り込み箇所として、ワークから漏出した直後、あるいは付着しているもの、浮上途中のもの、水面に到達しているものの3つが考えられるが、ワーク周りや水面は気泡以外にワーク自体や水面の波による乱反射等がノイズとなり問題となるため、これらがなるべくカメラ視野に入らないよう浮上途中の気泡を検査対象とした。この際、照明の光源自体もカメラの視野に入らないようにする必要がある。気泡は最小のもので直径が約0.3mmと微小なため、気泡の陰影による輪郭等の像はピントや露出を正確に合わせなければ容易には取り込めない。しかし、この検査システムでは気泡の発生の有無が確認可能であればよいので、気泡の詳細な形状の認識は必要なく気泡による透過光及び屈折光の検出で十分である。

カメラと照明の位置関係を図1に示す。

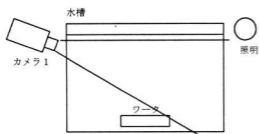
気泡に照射された照明光の進み方について考える。

照明と気泡間の距離に対して、気泡の半径は十分小さい。従って気泡に照射された照明光は平行光と見なすことができる。気泡を真球と考えると、気泡に照射された照明光の進み方について簡単なシミュレーションプログラムを作り計算したところ、気泡を中心として照明方向へ戻る反射光は1割にも満たず、9割以上が透過光および気泡上端・下端での全反射光で、照明とは反対側に、気泡を通過して進む方向の光であった。

このことから照明が透過照明となるように照明とワーク、カメラの位置を設定して、気泡による屈折した透過光および気泡上端・下端での反射光の検出を行った。また、気泡によって屈折した光は、気泡が丁度レンズのような役目になるので、ある程度の立体角を持った光束となって拡がり、カメラ位置では数倍の大きさの



(a) 平面図



(b) 側面図

図1 カメラと照明の位置関係

像となって受光される。従って、極微小な気泡でも検出されやすくなる。以上のことから、背景に対して十分高いパワーの照明を使用し、気泡の輝度を背景に対して相対的に高めてやることによって、検査環境（光による背景条件）の影響を受けにくい検出が可能となり、また、水槽の奥行きに対するカメラのピント合わせの問題も克服できた。

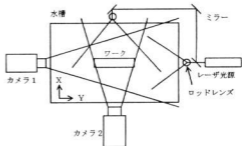
通常の照明を使用した場合、前出の図1のように水面およびワークが視野に入らないよう水面とワークの間にカメラ視野分の距離が必要であり、また水槽自体の内部での反射光や浮遊物等の汚れがノイズとして問題となるため、画像処理ウインドウを最適に設定しておく必要がある。そこで、照明としてレーザーによるスリット光を使用し、撮像実験を行った。図2にカメラとレーザー光源の位置関係を示す。レーザー光を使用することにより、背景およびワークや水槽内のガラス面の明るさに対して、検出される気泡の相対的な明るさをより高めることができ、ワーク等がカメラ視野内にあっても、2値化レベル及びカメラの絞りにより簡単に気泡とそれ以外の画像の識別をすることができた。しかも、レーザーのスリット光を使用しているので照射範囲

が限定されるため、カメラワーク及びワーク等の設定にも自由度が増した。浮遊物による画像ノイズもレーザー光のスリット面では出現するものの大幅に減少することができた。

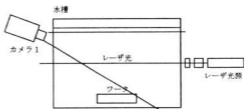
3 システムの構成

システム構成を図3に、外観を写真1に示す。

4 スロットのボードラックに画像処理ボード、コンピュータボード、シリアルインターフェースボード、LAN ボードの4枚のボードが収納されている。まず、工業用 CCD カメラで画像を取り込み、画像処理ボード (IP1600) でハードウェア演算により画像処理を行う。この画像処理ボードは、西部工業技術センターで開発された画像処理専用のカスタム L S I を搭載した専用ボードであり、ウインドウ設定・面積・重心・幅測定を 1/30秒で実行できる。これらの検出パラメータを西部工業技術センターで開発された 16ビット CPU 搭載の F A 用ボードコンピュータ (CPU-V50) に送り、検査プログラムソフトにより合否判定を行う。実際に検査判定が“NG”の場合、目視による確認が必要となるが、直径が約 0.3mm 程の微小な気泡を目視により確認するのは容易ではない。よってこの検査システムでは、検出物の幅測定に使用する最大値（最小



(a) 平面図



(b) 側面図

図2 カメラとレーザー光源の位置関係

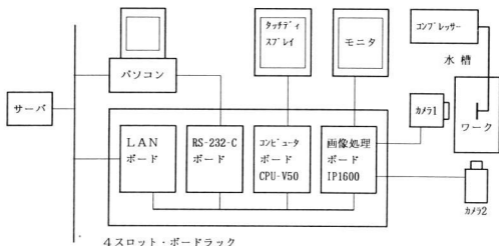


図3 リークテスト検査装置システム構成図



写真1 検査装置の外観

値)のみ計測し、計測が行われれば“NG”とするが、更にカメラを先の図1のように2台使用し、カメラ1で検出された場合のみカメラ2に切り換えて再度検出することにより水槽上方向から見たXY座標のどいたいの位置が検出できる仕様とした。

検査システムの合否判定表示、気泡の検出座標表示、および処理ウィンドウ設定、2値化レベル設定、カメラ切換え等は、CPU-V50ボードのRS-232-Cのシリアルインターフェースを介して640×480ドットのタッチディスプレイにより表示及び入力を行える仕様とした。

開発環境としては、LANボードを使用し検査システムと汎用パソコンをネットワークで連結することにより、容易に検査プログラムおよびシステムの設定・変更を行うことができる。また、CPU-V50ボード

の入出力に開発用の汎用パソコンのキーボード、モニタが使用できるよう、シリアルインターフェースのRS-232-C通信ボードを増設した。

4 実験結果

表1は最終的なシステム構成により、3種類の光源で3条件の環境を比較した実験結果を示す。

実験には直径が約1mmの気泡を漏出させて行った。蛍光灯と白熱球で特に違いは見られなかったが、蛍光灯の場合は高周波点灯装置を使用しなければならない。直径が約0.3mmの気泡で実験を行ったところ60Wの白熱球以外は著しく検出率が低下した。

レーザー光に関しては、もう少し高いレベルの光源を使用すれば問題は解決すると思われ、簡易に画像取り込みの設定ができ、ノイズの少ない安定した画像が得られる点が利点として挙げられるが、多少設定に制約を伴うもののコスト、安全性から白熱球が適していると思われる。

蛍光灯・白熱球においては、照射範囲に幅があるため気泡以外の画像によるノイズが問題であったが、問題となる反射面を黒塗りすることで解決できた。このことから実際に検査ラインでは、ワークを設置し水没させるハンドリング装置を黒塗りにする等対策が必要である。更に水槽内の水の循環清浄も不可欠である。

5 結 言

自動車部品等の気密性を要する機械部品のリークテストで、漏出する気泡を画像処理により自動で検出す

表1 光源および試験環境と検出率の関係

	室外光+室内灯 (1200lux)	室内灯 (650lux)	暗室 (0lux)
レーザー光 (5mW)	100%	100%	98%
白熱球 (20W)	97%	88%	85%
白熱球 (60W)	100%	100%	99%

る検査システムを開発した。光源にはコスト、安全性から見て白熱球で十分であり、カメラワークにより高い検出率が実現できた。更に画像処理部、システム制御部に当センターで開発したボードを使用することにより必要十分な機能を有し、安価でコンパクトな検査システムが開発できた。

文 献

- 1) 馬場, 檜垣, 打田, 武田: 広島県西部工技研究報告, 35 (1992), 6-9
- 2) 打田, 馬場, 武田, 南良: 広島県西部工技研究報告, 37 (1994), 92-96
- 3) 稲場: オプトエレクトロニクス入門, オーム社, (1981), 51

設計変更に対応した CAE システムの開発 ハイブリッド CAE システムの開発

坂元康泰, 佐々木憲吾, 金安俊哉*

Development of Hybrid CAE System

SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo and KANEYASU Toshiya

New CAE system with flexibility for changing design has been developed. This system is constructed of 3 solvers, BEM, FEM and Hybrid of these, covering many products shape.

Besides, this system has special menu for "Piston Modeling & Analysis", that makes analysis process easy and speedy.

キーワード：設計、強度解析、BEM、FEM、ハイブリッド、ピストン

1 結 言

商品開発においては、開発生産性の向上を目標として長期間を要する試作・実験から解析技術を用いたコンピュータ・シミュレーション (CAE) への移行が望まれている。近年、中小企業の中にも単発的に本技術を利用し成功を取った事例が増加している。しかし、今後の解析システムの要件は、顧客の要求に応じ、めまぐるしく変化する商品形状や機能の開発に迅速に対応できる「シミュレーション・サイクル」を生み出すシステムであると考えらる。

表1は種々の商品形状の特徴とそれに対する計算手法の適用性を示したものである。形状により適用効果の高い解法が存在し、ふさわしい解法を選択あるいは混合して利用することにより真に効率的なシステムとなる。当センターでは広島大学葛研究室で開発されたプログラム¹⁾を核として図1に示す解析システムを構築した。次章以降、本システムによる適用事例を中心に示す。

2章では、有限要素法 (以下 FEM) を適用し、ピストン往復運動中でクランク角が変化していくときの1サイクルにおける変形、応力などの挙動が捉えられたことを示す。3章では、複雑形状であるクローリングチャンネルを持つピストンの解析が境界要素法 (以下 BEM) を用いることにより可能となったことを示す。4章では、表1に示す特徴にふさわしい二解法を混合して全体解を求めるハイブリッド解析が可能となったことを示す。5章では、ピストン専用メニューとマクロ機能などにより解析工程の自動化が可能となったことを示す。

*マイクロテクノ(株)

表1 商品形状と計算手法の関係

分類	商品形状の特徴	効果的な計算手法	
		FEM	BEM
A	塊 体		○
	薄 肉	○	
B	複 雑		○
	単 純	○	
C	設計対象(変更)		○
	既 存	○	

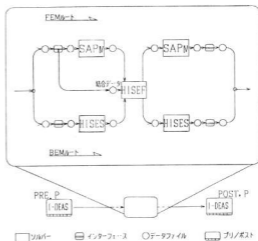


図1 ハイブリッドシステムのデータの流れ

2 FEMによる解析

構造設計の技術レベルをA、静的強度設計B、安全寿命設計C、フェイルセーフ設計の3段階に分類すると、自動車機能部品の設計は安全寿命設計の段階である。

ると言える。これは応力振幅と寿命の関係（S-N線図）に基づいており、変動荷重を伴う部品では、平均応力、応力振幅、繰り返し回数のパラメータが必要となる。

自動車用ピストンは吸入→圧縮→膨張→排気の工程を繰り返す。上部には燃焼圧、ピストン全体には往復運動に伴う慣性力が生じる。さらに、ピストンはピン、コンロッド及び廻りのシリンダとの接触を伴う。これらはクランク角の変化により変動する。このピストン挙動に伴う応力変動をFEMで解析することにより安全寿命設計のパラメータを得ることが可能となった。

図2、図3はその解析結果を示す。ピン中心がクランク中心軸よりオフセットしていることによる非対称性による“首振り”現象が捉えられている。解析上の特徴はクランク角の変化に伴う解析形状変更が1節点の移動のみであること、ピストン〜シリンダ間の微妙なすき間（数〜十数 μm ）の変化も解析形状に反映されていることなどである。

本解析により、ピストン全体の变形挙動や応力値変動の把握が可能となり、より詳細な安全寿命設計に近づいたと言える。なお、図3に示す刻々変化する応力コンター図はグラフィックス・ワークステーション上で観察が可能となっている²⁾。

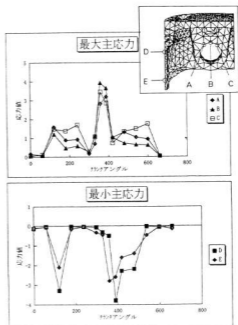


図2 燃焼サイクルにおける応力値の変動

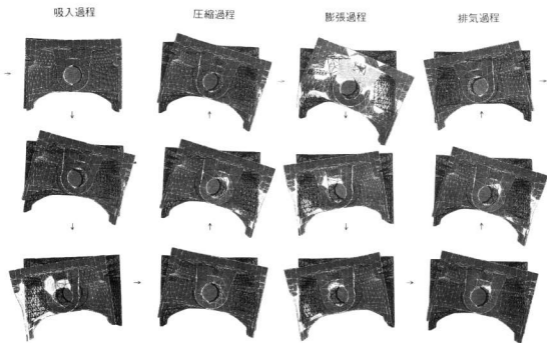


図3 ピストン燃焼サイクルの挙動/応力解析結果

3 BEMによる解析

商品開発過程で多く用いられているFEMによる解析は形状内部まで要素分割を行う必要性から、自由曲面を持つ複雑な商品形状の解析を行うには対応のプリ・ポストプログラムと作業期間を要しており、これが解析工程の効率を妨げている原因である。それに対し、BEMは形状表面のみ要素分割をすれば良く、複雑な形状や微小形状を含む部品に適用すると短時間に解析が可能となる³⁾。FEMでは困難であったピストン・クーリングチャンネルの解析にBEMを適用した事例を図4に示す。

クーリングチャンネルとはエンジンの高出力化に伴い、リング部の冷却を目的として設けられたオイルが通るドーナツ型の空洞である。解析形状として空洞の存在は要素分割と解析結果の観察の困難性を引き起こすが、BEMは両者を解決する手法である。

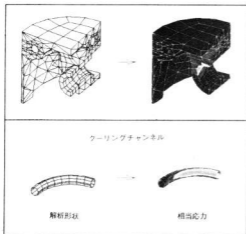


図4 クーリングチャンネルの解析

3.1 BEMの問題点

BEMは形状作成作業の大幅な低減をもたらす、その効果は複雑部品であるほど顕著となる。しかし、いくつかのBEM特有の問題が存在することがわかった。一つは計算時間の増大である。計算時間の多くは係数マトリックスの作成と消去法による逆行列の求解であり、当センターではネットワークで結合されているワークステーションによる並列計算に取り組んでいる。後者については計算粒度が小さく並列化は実現していないが、前者については短縮が可能であり、2台のワークステーションの並列計算によりほぼ1/2の計算時間となっている。

もう一つの問題は要素のゆがみが計算精度に影響を強く与えることである。局所的要素のゆがみが解析結果全体に影響を及ぼすため、分割パターンに注意を要する。よって、要素形状の悪化を防止しながら全体の節点数を削減することが実務上必要となる。本システムではプリソフトで作成した要素形状のゆがみ度を計算しポストソフトで表示できるようにしており、これを観察し分割パターンの修正を行っている。ポストソフトは解析結果の表示だけでなく、汎用可視化ソフトとしてプリ段階でも利用できる。これらにより、BEM解析工程の効率化が図られている。

4 ハイブリッド解析

ハイブリッド解析とは一つの解析形状を二分割し各分割形状をFEM型とBEM型で要素分割を行い、二解法で計算し結合して全体解を求める解法である。この目的は各解法の優れた点を利用し、単一解法では解析できない問題を解決することである。本解法をピストンスカート剛性問題へ適用した事例を示す。

スカート剛性問題とはライナー面との焼き付き及び冷間時の打音問題を考慮し、最適な剛性を求める問題である。ピストン形状を見るとピンボス部は塊体で多くの曲面で構成されており、スカート部は薄肉で比較的単純な曲面で構成されている。よって、図5に示すようにそれぞれの領域を表面要素分割と内部要素分割を行い、FEMとBEMで解く。これにより、BEM特有の問題である「表面と裏面の要素が近いことによる精度悪化」も回避できる。本解析精度は実験結果と比較され、満足できるものであった。

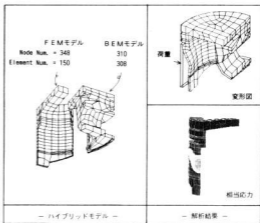


図5 スカートの剛性解析

5 解析工程の自動化

解析作業は手順が複雑で熟練を要するため、一般設計者が容易に解析ツールを利用する環境ではない。そこで自動化が望まれているが、問題に応じて解析手順が異なるため困難であった。しかし、ピストン解析という特定用途に限定し、作業手順を整理することによりピストン解析手順の自動化が可能であることが分かった。図6、図7に自動化された解析作業の流れを示す。これはポップアップメニューに応じて基本形状の寸法や希望する分割要素の大きさなどのパラメータ値を入力することにより一連の工程が自動的に進んでいく。これは、解析プリポストI-DEASにおいて、複数のコマンドを実行するマクロ機能を利用し、マクロ機能でも対応できない複雑な作業（例えばピストン～ビン間接触要素の自動生成）に対しては外部プログラムにより実現した。

さらに、設計変更においては例えば穴径の変更など局所的形状変更が多い。この場合、図6(1)の形状まで作業工程を戻らず、(4)の既存メッシュパターンの中の局所の変更が可能ならば解析作業は効率的となる。BEMでは表面しか要素がなく全て形状データ上に存在することにより、容易に変更が可能となる。そこで、穴径を指定すると節点位置が自動的に移動・分散するプログラムを開発した。

本自動化により作業時間を大幅に短縮できたことに加え、人為的ミスをなくすことができた。

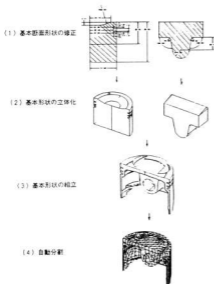


図6 ピストン解析工程の自動化

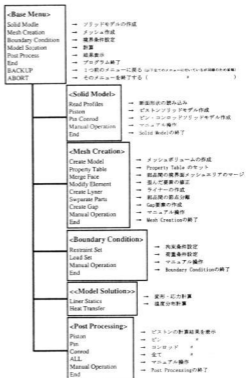


図7 ピストン専用メニュー

6 結 言

設計変更に対応したシミュレーション・サイクルを生み出す解析システムを構築した。本システムにより次の成果が得られた。

- (1) FEMにより、ピストン往復運動での応力・変形挙動を捉えることが可能となった。
- (2) BEMにより、複雑形状の解析が可能となった。
- (3) ハイブリッド解析により、形状の特徴に合わせた解析が可能となった。
- (4) ピストン解析工程の自動化、専用メニューなどによりパラメトリック解析が可能となった。

文 献

- 1) 葛，柳：機械学会中国四国支部31期総会講演会論文集，935-1 (1993)，106
- 2) 田尾：多次元情報高度映像化システム研究プロジェクト研究成果報告，(1995)，24-29
- 3) 坂元，金安：機械学会 材料力学講演会論文集，No 940-37 (1994)，322

オブジェクト再利用による可視化ツールの開発

長谷川浩治, 山下英生*, 金田和夫*

Development of Visual Tool by Object Oriented Programming.

HASEGAWA Koji, YAMASITA Hideo and KANEDA Kazufumi

A computer program to visualize the object on display has been developed. This program put to reuse and to expansion on pronunciation. The methods of displaying the object are line, depthcueing, surface, flat shading and smooth shading. It can operate the parameters such as view point, reference point and clipping plane. This program was made by using Graphics Library(GL) on Graphics Work Station (GWS) of Silicon Graphics Corporation and the object oriented programming.

キーワード: CG, レンダリング, 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いる。そして, これらのCG技術を用いた画像を作成するために物体の素材の色や性質を考慮して正確に陰影づけし, 画像の生成を行うことをレンダリングと言う。このレンダリング作業で重要なこととして, 以下のことが言える。

- (1)物理現象を正確に考慮した写実的な画像の生成
- (2)あらゆる視点からの画像の生成
- (3)必要に応じてアニメーション化が容易に行える。

しかし, これらを考慮したレンダリングを行う場合, 画像生成に時間を要する。この時間とは, 計算によって画像を生成する時間や, その生成を行う前段階の作業, つまり視点等のレンダリングに必要なパラメータの設定を行う時間にも含まれる。時間短縮, 作業軽減を図るためには, レンダリングに用いるそれぞれパラメータの設定を適切に行う必要があり, これらを支援するツールの開発が有効となる。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目まされてい

*広島大学工学部

る^{1),2)}。

そこで, 本研究は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可視化ツールの開発を行った。

2 可視化ツールの仕様

2.1 仕様

開発を行う可視化ツールの仕様としては, レンダリングに必要な各パラメータがインタラクティブに操作可能であり, パラメータの変更によりどのような画像を得ることができるのかが, リアルタイムにディスプレイ上に表示できることが望ましい。そこで, 今回開発した可視化ツールは, 簡易的な表示方法を用いて物

表1 対象とするパラメータ

パラメータ	パラメータの定義
視点	XYZ座標系 物体データに基づいたXYZ座標系
	RTP座標系 (視点原点) Rは視点からの距離 Tは物体データのXY平面上でのX軸からの角度 Pは物体データXY平面上でのZ軸方向への角度
注視点	XYZ座標系 物体データに基づいたXYZ座標系
	RTP座標系 (注視点原点) Rは視点からの距離 Tは物体データのXY平面上でのX軸からの角度 Pは物体データXY平面上でのZ軸方向への角度
NEARクリッピング	視点からの距離
FARクリッピング	視点からの距離

表2 簡易表示方法の種類

線画	処理を施さないもの
	デプスキューイングを行ったもの
画面	隠面消去を行ったもの
	フラットシェーディングを行ったもの
	グロシェーディングを行ったもの

体の可視化を行うことで以上の条件を満たすものとした。作成したツールで設定の変更が行えるパラメータを表1に、簡易的な表示方法の種類を表2に示す。

表1に示したパラメータを、GUI (グラフィカルユーザーインターフェース) によって、インタラクティブに変更し、簡易表示を行えるものとした。

2.2 可視化ツールの構成と処理

可視化ツールの構成としては、大きく分けて物体データ読み込み部分、可視化処理部分、パラメータ制御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。

物体の形状データ読み込み部分—開発期間の短縮を図るために既存のプログラムのオブジェクトを再利用した。読み込み部分のオブジェクト及び物体の形状データは広島大学の電気機器工学研究室で使用されているオブジェクトとデータを使用しておりデータフォーマットも固有のものである。

可視化処理部分—指定したパラメータ及び表示方法に従って読み込んだ物体の形状データの可視化の処理を行う。

各パラメータの制御部分—作成したGUIにより表示方法や各パラメータの変更を行う。

以上の3つの部分から可視化ツールを構成し各クラ

ス設計を行った。

3 可視化ツールのクラス構成

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可視化処理部分のクラス設計を行った。可視化処理部分のクラス構成を図1に示す。

図1は物体の可視化処理部分のクラス構成であるが、可視化に必要なパラメータの処理を行うクラスを基底クラスとし、そのクラスを継承し物体を面画、線画で表示する派生クラスを作成している。更に面画、線画の表示を行うクラスに光源や隠面消去などの処理を施した表示を行えるクラスの作成を行っている。

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作成し、継承を用いて派生クラスを作る形と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、各クラスの再利用性が容易となる。

そして、これらの各クラスによって行った各簡易表示を写真1に示す。なお、表示を行った物体については、室内に机及び台を設置したものとなっている。

次に作成したGUIの表示を写真2に示す。写真2はGUIでは基本的によく使われるボタンやスライダー、キーボード入力である。

4 全体の表示例

可視化クラス、読み込み部クラスを組み合わせた可視化ツールの表示例を写真3に示す。表示方法は、線画を選択しており、物体形状は写真1で表示したのと同じである。パラメータ及び表示方法の変更は写真

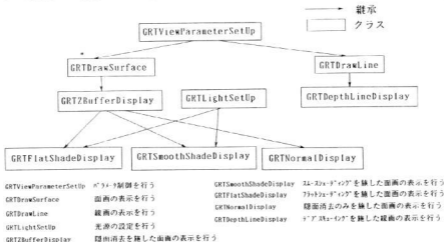
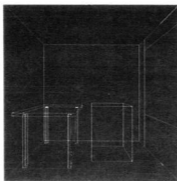
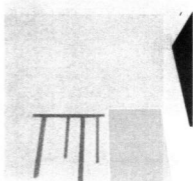


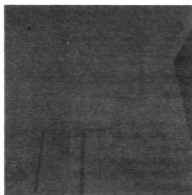
図1 可視化クラスの構成図



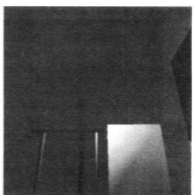
通常の線画表示



シェーディングなし



フラットシェーディング



スムーズシェーディング

写真1 可視化ツールで行える簡易表示

house	parameterdisp
subparameter	?????
viewparameter	\$\$\$\$\$
display	quit

メインメニュー

ViewPoint

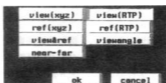
RTP 4.9000 152.95 0.0000
 XYZ 4.7264 1.2925 0.0000

ReferencePoint

RTP 4.9000 1952.9 3600.0
 XYZ 0.0000 0.0000 0.0000

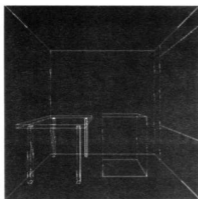
NearFarClippingPoint

near 0.1000 for 999.00



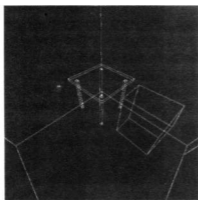
パラメータ表示

写真2 作成したGUIを使用したメニュー及びパラメータ表示例



mouse	parameterdisp
subparameter	?????
viewparameter	\$\$\$\$\$
display	quit
ViewPoint	
RTP	4.9000 0.0000 0.0000
KVZ	4.9000 0.0000 0.0000
ReferencePoint	
RTP	4.9000 1800.0 3600.0
KVZ	0.0000 0.0000 0.0000
NearFarClippingPoint	
near	0.1000
far	999.00

初期設定 (視点: R=4.9, T=0度: 注視点: X=0, Y=0, Z=0,)



mouse	parameterdisp
subparameter	?????
viewparameter	\$\$\$\$\$
display	quit
ViewPoint	
RTP	4.9000 450.00 450.00
KVZ	2.4500 2.4500 3.4648
ReferencePoint	
RTP	4.9000 2250.0 3150.0
KVZ	0.0000 0.0000 0.0000
NearFarClippingPoint	
near	0.1000
far	999.00

注視点を中心に視点の移動を行った図 (視点: R=4.9, T=45度, P=45度: 注視点: X=0, Y=0, Z=0,)

写真3 可視化ツールを使った物体の表示例

2に示したGUIにより変更可能であり、パラメータについては、ディスプレイ上のマウスの移動量による変更も可能である。

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、GL (グラフィックスライブラリー) を用いてC++言語で作成した。

5 結 言

既存のオブジェクトを再利用し、可視化ツールの開発を行った。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、再利用性に富んだツールの開発を行うことができた。更に、オブジェクトの再利用を行うことで開発期間の短縮を図った。

問題点として、細分化してクラス設計を行うことで再利用性、拡張性等に富んだプログラム開発が行えるが、その反面各オブジェクト間でのメッセージのやりとりが多くなり処理時間が遅くなることを考慮に入れる必要がある。

本研究は、平成6年度国内留学研修により広島大学工学部電気機器工学研究室で実施した。

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
- 2) 金谷: 広島大学大学院工学研究科, 平成5年度修士論文

音・振動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, 日寺 巖, 中塩武之, 下原 武*, ニ羽 一*, 太田光雄**

Study on Environmental Amenity (1st Report)

Development of Multi Functional Material Suitable for Environmental Amenity of Sound and Vibration

YOSHINO Nobuyuki, MIYANO Tadafumi, HIDERA Iwao, NAKASHIO Takeyuki,
SHIMOHARA Takeshi, NIWA Hajime and OHTA Mitsuou

In recent years, the improvement demands for acoustical environments of the quarters such as apartment house and hotel have rapidly increased, it is very important theme to come to grips with human's living improvements by means of sound amenity, that is to say, quality sound and vibration control for noise pollution. In the previous study, some theoretical expressions were derived concerning the response of lower floor and the frequency characteristics which are found in a form of difference between the normalized impact sound level of the upper floor and that of the lower floor. From these points of view, first, the impact sound insulation material (Asphalt Mastic Board) have been improved by employing the previous theoretical expression. Furthermore, the usefulness of Asphalt Mastic Board developed in this study have been experimentally confirmed.

キーワード: タッピングマシン・タイヤ床衝撃音, サウンドアメニティ, サウンドスクープ

1 緒 言

近年, 感性への時代とともに, 地球に優しい環境の創成, 豊かな環境の創造等地球を取り巻く環境アメニティのアピールがあらゆる分野で叫ばれている。音環境においても¹⁾ サウンドアメニティ・サウンドスクープ²⁾, に代表されるように, 我々が生活の場で遭遇する住宅内やオフィス内環境等に関する質的な生活環境改善への取り組みが重要な課題となっている。取り分け住宅の建築物は勿論, 高層化に伴う壁の防音・床衝撃音対策は早急に解決すべき様々な問題を引き起こしている。これらの実際の背景のもと, 既発表²⁾では, 床材の衝撃音とその透過損失の評価法について, 上下室を不可分の関係で考察し(Heckl³⁾等は, 上室から下室のみの応答を研究対象としている, 上室, 下室個々における(規準化床衝撃音レベル)+(透過損失)の特性や両室間の相互連関特性を, 特に統一的見地からタッピングマシンおよびタイヤ床衝撃音について一般理論を導出してきている。その結果, 加振源, 実験室, 実験者のいかに拘わらず, 一般理論は, その様々な側面において実測値の主要な部分をかなり説明していることを確認した。

*アオイ化学工業㈱, **近畿大学工学部

本報告では, 残響室法により上述の理論を床材の開発問題に適応し, その有効性を実証して見た。実験対象としては, 道路舗装材, ホテル, マンション等鉄筋コンクリートの防水用目地材として広範囲で安価に利用されているアスファルトに注目し, そのアスファルトに, 鉄, 砂, ゴム, 発泡被覆材等を配合(アスファルトマチックボード)したものを用いた。本文では, 既発表の理論の要約を行った後, アスファルト材のタッピングマシン, タイヤ床衝撃音について理論と実験の比較検討を行い, 実環境に近い床構造システムについてアスファルトと鉄・砂・ゴム等の配合による床材の特性について述べた。

2 理論的背景

既発表の論文で記述した上下室の床衝撃音と透過損失との関連に関する理論的背景の要約を以下に述べる。

図1において, 上室に床衝撃加振力を F_T を加えたとき, 上下床面から放射する音響パワーを W_1, W_2 , その時の係数を a_1, a_2 , 音圧を P_1, P_2 , 室定数を R_1, R_2 , 透過損失を τ とする場合, 上室における加振力と透過損失の関係は, 次式となる。

$$L_{v1} + TL = 10 \log(k^2 F_T^2 / 4\pi P_0^2 R_0) \quad (1)$$

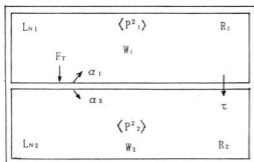


図1 建物の構造

下室において(1)式に対応する関係は次式で与えられる。

$$L_{s2} + TL = 10 \log(k^2 F_T^2 / 4\pi P_0^2 R_0) (a_2/a_1) + (16\pi \rho c a_1 S) / (k^2 R_1) \quad (2)$$

上室、下室の床衝撃音レベル差は、次式で与えられる。

$$L_{s1} - L_{s2} = -10 \log(a_2/a_1) + (16\pi \rho c a_1 S) / (k^2 R_1) \quad (3)$$

$$= -10 \log(a_2/a_1) \quad (4)$$

(3)式右辺の対数関数内において、第2項は低周波域でのみ意味を持ち、第1項の a_1/a_2 に比し十分小さいので上室、下室の衝撃音レベル差は(4)式で与えられる。従って、(4)式で与えられる周波数スペクトラム形状が(4)式の近似スペクトラム形状から最も大きく変わる(3dB変化)いわゆる折点周波数 f_k は

$$f_k = ((4\rho c^2/\pi)(a_2/a_1)(S/R_1))^{1/2} \quad (5)$$

で与えられ、 F_T の値のいかに拘らず一定で床固有のものである。

2.1 a_1/a_2 が周波数依存性を示さない場合

先には、衝撃力 F_T が同一の場合、上室、下室の床衝撃音レベル差(3)式から折点周波数 f_k を生じ、 $f > f_k$ において、タッピングマシンの場合、上式は、衝撃力 F_T の大きさと周波数に無関係な床固有の定数値を示し、(4)式は、次式となる。

$$L_{s1} - L_{s2} = -10 \log(a_1/a_2) = K \quad (6)$$

従って、下室の床衝撃音(2)式は次式で表示される。

$$L_{s2} + TL = 10 \log(k^2 F_T^2 / 4\pi P_0^2 R_0) (a_2/a_1) = (L_{s1} + TL) - K \quad (7)$$

実験にあたっては、標準タッピングマシンの衝撃力 F_T とオクターブバンド中心周波数 f_m の関係：

$$F_T^2 = 2\sqrt{2} f_m \quad (8)$$

を(1)、(7)に代入して床衝撃音レベルと透過損失の和に関する法則的關係式は次式で表示される。

$$L_{s1} + TL = 43 + 30 \log f_m \quad (9)$$

$$L_{s2} + TL \approx 43 + 30 \log f_m - K \quad (10)$$

2.2 a_1/a_2 が周波数依存性を示す場合

タイヤ衝撃音の場合、その衝撃力を F_{TR} とすれば、

タッピングマシンの F_T を F_{TR} に置き換えるのみで2.1節で導出した法則性が再び成立する。すなわち、このタイヤ衝撃音に対応する物理量に'を付け次の式が成立する。

$$L'_{s1} + TL = 10 \log(k^2 F_{TR}^2 / 4\pi P_0^2 R_0) \quad (11)$$

下室において(1)式に対応する関係は、良く似た次式で与えられる。

$$L'_{s2} + TL = 10 \log(k^2 F_{TR}^2 / 4\pi P_0^2 R_0) (a_2'/a_1') + (16\pi \rho c a_1' S) / (k^2 R_1) \quad (12)$$

$$L'_{s1} - L'_{s2} = -10 \log(a_2'/a_1') + (16\pi \rho c a_1' S) / (k^2 R_1) \quad (13)$$

$$= -10 \log(a_2'/a_1') \quad (14)$$

タイヤ衝撃音に関しては、 a_2'/a_1' は、周波数依存性を持ち通常の周波数帯でも上室、下室の基準化床衝撃音レベル差は一定値を示さない。一般に(11)、(12)式を適用する場合タイヤによる衝撃力を予め知る必要がある。既発表において実験を加味した推定式を導出しているので以下に結果のみ示す。

$$L'_{s1} + TL = 0.02 \log f_m + 106.5 \quad (15)$$

$$L'_{s2} + TL \approx 0.02 \log f_m + 106.5 - K(f_m) \quad (16)$$

理論と実験をとおして得られた(15)、(16)の推定式は、法則性を積極的に利用することにより、床材のタッピングマシン、タイヤ床衝撃試験において床材の規準化床衝撃音と透過損失のどちらか一方が既知であれば他方が実験的手段を援用することなく、推定できることに留意の必要がある(即ち実験の省力化に寄与する)。

3 実験結果と考察

本節では、まず上記理論の正当性を確認するため、床構造物が鉄筋コンクリートについて、タッピングマシン床衝撃試験およびタイヤ床衝撃試験による下室の(規準化床衝撃音レベル) + (透過損失)の特性につ

3.1 鉄筋コンクリート構造のタッピングマシン・タイヤ床衝撃試験と下室における(規準化床衝撃音レベル) + (透過損失)の関係

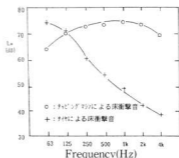


図2 規準化床衝撃音の実験結果

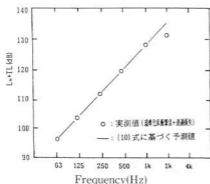


図3 タッピングマシンによる規準化床衝撃と透過損失の総和

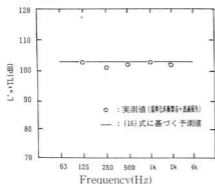


図4 タイヤによる規準化床衝撃音と透過損失の総和

いて検討する。次いで、木造建築の床を模擬したフローリング材について汎用されるアスファルトマスチックボードの有効性について検討する。

図2に160mmのコンクリート床の実験結果を示す。図3はタッピングマシンによる規準化床衝撃音と透過損失との和を示したものである。材料としてはR.C.120mm厚+モルタル40mm厚であり、下室においては、(10)式の理論にそいほほぼ直線を示している。図4の材料としては図3と同じものであり、タッピングマシンとは異なった傾向を示すが、(16)式の理論にそいほほぼ直線を示している。床材の開発にあたって材料の組成(質量、弾性率等)を事前に調査しておけば、これらの理論的關係式を利用することにより、材料開発の大局的方向性を見いだすことができる。

3.2 アスファルトマスチックボードの床材への適用に関する考察

ここでは、本研究で開発したアスファルトマスチックボードを床材に適用する場合、内部構成を様々変えその評価について検討する。図5に床衝撃実験に用い

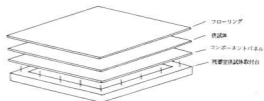


図5 床衝撃試験に関する床構造

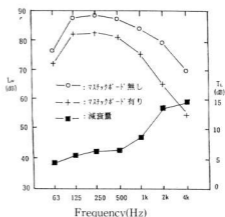


図6 タッピングマシンによるアスファルト系質量マスチックボードの床衝撃音レベル実測値

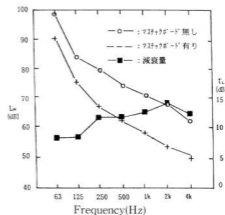


図7 タイヤによるアスファルト系質量マスチックボードの床衝撃音レベル実測値

た床材の構成を示す。

図5中、使用したフローリング材は、ジュウケンのコピットロイヤルボード(13mm厚)、コンポーネントパネル(24mm厚)で、供試体についてアスファルトマスチックボード(面密度:19.8kg/m²)を使用した。

図6はタッピングマシンの試験結果を示す。

図7はタイヤの床衝撃試験結果を示す。

タッピングマシンによる床衝撃試験では、供試体マスチックボードの効果による減衰量が63Hz~4kHzで5~15dBが得られている。タイヤによる床衝撃試験においても、供試体マスチックボードの効果による減衰量が63Hz~4kHzで10~15dB得られ、タッピングマシン、タイヤ両面の床衝撃音低減が可能であり、周波数域も考え十分実用に供すると推測される。

3.3 木造建築床構造のアスファルトマスチックボードの床衝撃試験

本節では、一般の木造建築に関する床を模擬し、アスファルトマスチックボードの性能評価を行った。図8は床衝撃試験に使用した一般木造建築の床の構成を示す。

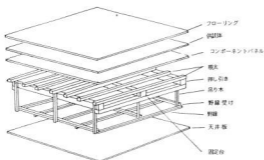


図8 床衝撃試験に関する実験に用いた木造住宅床構造

図8中、使用したフローリング材には、ジュウケンコンピットロイヤルボード(13mm厚)、コンポーネントパネル(24mm厚)、供試体については、アスファルトマスチックボード(合成面密度:19.8kg/m²)を使用した。図9はタッピングマシンの試験結果を示す。

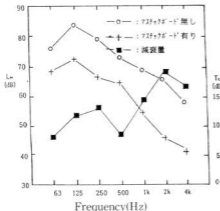


図9 タッピングマシンによる木造床の床衝撃音レベル実測値

図10はタイヤの床衝撃試験結果を示す。タッピングマシンによる床衝撃試験では、供試体アスファルトマスチックボードの効果による減衰量が63Hz~4kHzで10~15dB得られ、タイヤによる床衝撃試験では、供試体アスファルトマスチックボードの効果による減衰量が63Hz~4kHzで2dBしか得られず、タイヤ床衝撃音低減が殆ど無かった。従って、一般の木造住宅で使用されている床の構成ではタッピングマシン床衝撃に対して、かなりの低減効果が期待できるものの、タイヤ床衝撃については、床構造の複雑性からゴム、発泡被覆材による低減効果は期待できないことが分かった。

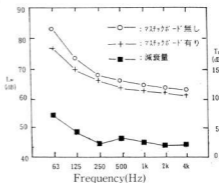


図10 タイヤを用いた木造床の床衝撃音レベル実測値

4 結 言

本報告では、先ず、鉄筋コンクリート床を対象にタッピングマシンとタイヤ衝撃試験の両者を実施し、既発表で提案した評価理論の実際の有効性(鉄筋コンクリート160mmの場合、タッピングマシン床衝撃音+透過損失およびタイヤ床衝撃音+透過損失に関する理論値と実測値が一次近似でほぼ一致)を確認した。次いで、実環境に近い一般の木造住宅の床構造を対象に床の緩衝材(アスファルトマスチックボード)の衝撃音低減に留意して、床材の素性を見いだすため、残響室法で、タッピングマシン、タイヤ床衝撃試験を行った。これらの結果、考察対象とした床の緩衝材は、鉄筋コンクリート建築の床は勿論のこと、一般木造住宅にも十分使用でき製品化の可能性を得ることが確認できた。

文 献

- 1) 日本騒音制御工学会編：音とアメニティ，1997。
- 2) 岩重，太田：广大工研究報告，(1978)，63-71。
- 3) M.Heckl and E.J. Rathe：J.Acoust.Soc.America，35，(1963) 1825-1830。

電磁波遮蔽技術に関する研究 (第2報)

データ処理装置の EMI 評価に関する研究

日寺 巖, 宮野忠文, 吉野信行, 中塩武之, 辻本敦幸*

Study on Shield Technique for Electromagnetic Interference (2nd Report)

Study on EMI Estimation for Data Processing Equipment

HIDERA Iwao, MIYANO Tadafumi, YOSHINO Nobuyuki, NAKASHIO Takeyuki and TSUJIMOTO Atsuyuki

In recent years, personal accidents and error behaviors of machine units have been caused by the electromagnetic wave radiation from electric and electronics equipments as increasing to use microprocessor, analog-digital elements. Therefore, the observance of the electromagnetic compatibility (EMC) rule for industrial, scientific and medical equipments is very important in order to protect electromagnetic environment.

From these points of view, in this paper, the data processing units using FA computer board, A/D converter, and image processing board, was estimated in Electromagnetic Interference (EMI). The plastic case coated with zinc by flame spraying was fabricated as countermeasure of radiated emission. Source filter was used as a countermeasure of conducted emission.

As the results, it was found this data processing unit had satisfied VCCI rule as EMC rule.

キーワード: 筐体, 放射ノイズ, 電磁波, 電磁波遮蔽, 溶射

1 緒 言

近年, 高度な電子機器が普及し, コンピュータなどの情報処理機器から家電製品まで幅広く用いられている。これに伴い, このような電子機器から発生する電磁波が他の電子機器を誤動作させるといったような問題が生じている。このような電磁環境下で工業・科学・医療機器等に関して EMC 規制 (電磁環境適合性) があり企業サイドでは製品製造に関し現在よりも更に強力な品質管理が要求され EMC 関連規制を把握した上での製品開発が必須である。

このような背景を踏まえ, 本研究では, 電磁環境下で汎用される FA ボードコンピュータ (平成5年度センターで開発), AD 変換ボード, 画像処理ボードを持つ, アナログ・デジタル回路を含む画像データ処理装置に関し EMC 関連のノイズ評価について検討した。具体的には, 既発表の研究結果¹⁾を踏まえ, 雑音電界強度測定は, 画像データ処理装置に筐体 (亜鉛溶射によるコーティングしたプラスチックケース) を使用しない場合・した場合についてノイズ評価を試みた。さらに雑音端子電圧測定は, 電源ラインフィルタを挿入しない場合・した場合についてノイズ評価を試みた。

*シグマ株式会社

この評価に関する計測施設としては, 柳広島テクノプラザの施設 (電波暗室, EMI 自動計測システム) を利用し, EMI についての評価を行い, VCCI 規制 (第1種: 工業用製品の規制) を満足することを確認した。以下, 本文では, 国際 EMC 規制の動向 (規格, 測定法等), 実機に関する EMC 評価について述べる。

2 EMC 関連, 国際規制の動向

EMC の国際規格が整備され, 多くの国々で電磁波妨害に関する規制基準が施行され, 規則がますます強化されてきた。以下, 国外・国内の EMC に関する規制の動向を述べる。国際最高規格運用機関として ISO (国際標準化機構) があり, その傘下に電気関係では IEC (国際電気標準委員会), その下部機関として電磁波障害に関する許容基準, 測定法及び測定器などの規格を国際的に統一することを目的として CISPR (国際無線障害特別委員会) がある。CISPR は, IEC の特別委員会であり, 電磁波妨害を防ぐために国際規格を統一し, それを勧告することを目的とした機関であり 1985年9月に勧告された Publication22 が現在の電磁波障害規定の基幹になっている。ただし, 勧告は目標値であって, それぞれの国の法令で採用されたとき初

めて法的拘束力を持つものである。各国は、それぞれ CISPR の勧告に従い規制の強化をおこなってきた。国内の VCCI (情報処理装置等電波障害自主規制協議会) は、工業界 (情報処理・電子機器・家電製品等の製造業) を対象とした自主規制であり、法的拘束力もたない。これは事象に柔軟に対応しようとするものである。国外規格の代表としては、アメリカ FCC 規格、ドイツでは VDE 規格があるが、1996年、ヨーロッパ統合 (EC : 欧州共同体) により、ドイツ規格は EN 統一規格で運用される予定である。

なお、国外・国内規制は、改訂がしばしばなされるのが常であり、技術者は改訂の情報をすばやく入手し、それに従った処理を心がけることが特に必要である。

3 データ処理装置に対する EMI 評価方法

従来、アナログ・デジタル回路を含むシステムの開発にあたっては、目的とする制御対象に関し、システムの機能が正常動作するようソフト面・ハード面についてのノイズ対策がなされるのみで、EMI 評価を踏まえたノイズ対策はなされていないのが常であり、システムをユニット化した最終段階で EMC 評価がなされている。従って、市販されているボードコンピュータ、AD / DA 変換ボード、各種インターフェースボード等は、EMC のノイズ対策はなされておらず、これらを利用してシステムを構築する場合、システムの機能面でのノイズ対策および EMC に関するノイズ対策両面からシステムを開発することが重要である。

これらの背景を踏まえ、本研究では、FA ボードコンピュータ (平成 5 年度当センターで開発) を基盤とし、AD 変換ボード・画像処理ボード (これら各々のボードは EMC に関するノイズ対策はなされていない市販品) を有するデータ処理装置を製作し、EMI 評価を試みた。本装置は、外部からのアナログ信号を AD 変換ボードによりデジタル信号としてコンピュータに入力し、そのアナログ信号データを画像処理ボードを用いて、カメラからの映像とともにスーパーインポーズ表示するための、汎用アナログ・デジタル回路を含むシステムである。EMI 評価については、測定システムとして、鶴岡島テクノプラザの EMI 自動計測システム (ローディシユルツ製) により雑音電界強度 (画像データ処理装置を筐体内に挿入しない場合と挿入した場合)、雑音端子電圧 (電源ラインにフィルタを挿入しない場合と挿入した場合) について VCCI 規制に準拠して評価した。以下対象としたシステムのブロック図を図 1 に示す。

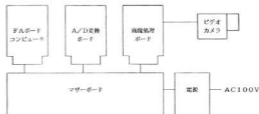


図1 EMI 評価の対象としたデータ処理装置のブロック図

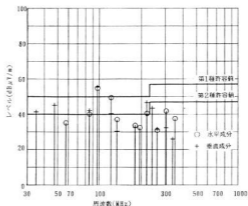


図2 電界強度計による雑音電界強度の測定結果 (筐体なしの場合)

4 EMI 評価結果

4.1 雑音電界強度測定結果の評価

この測定に関しては、データ処理装置を筐体内に挿入しない場合と挿入した場合について測定を行った。スペクトラムアナライザによる予備測定を行った後、電界強度計による精密測定を行った。筐体に装置を挿入しない場合の電界強度計による測定結果を図 2 に示す。次に、筐体に装置を挿入した場合の測定結果を図 3 に示す。

図 2 では、30MHz から 200MHz の周波数帯域で規制基準を超過していることが確認される。図 3 では、140MHz の周波数で規制値を超過している。しかし、この測定の評価は、VCCI の第 2 種に準じて行ったものである。本測定対象 (画像データ処理装置) は、工業用として設計開発したもので第 1 種規制で評価した場合約 8 dB μ V/m のノイズマージンを有し、ノイズ対策の有効性が確認できる。

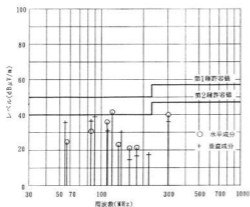


図3 電界強度計による雑音電界強度の測定結果（筐体ありの場合）

4.2 雑音端子電圧測定および評価

この測定に関しては、データ処理装置の電源ラインにフィルタを挿入しない場合と挿入した場合について測定を行った。雑音電界強度測定と同様に、スペクトラムアナライザによる予備測定を行った後、電界強度計による精密測定を行った。挿入しない場合の電界強度計による測定結果を図4に示す。図4において、160kHzで基準値（平均値）を超過しているがVCCIの規定では150kHzから526.5kHzの周波数帯域の超過レベルは設計目標値とみなし超過を許可している。図5は、データ処理装置の電源ラインに、フィルタを挿入した場合の測定結果である。図4と比較し、周波数帯域150kHzから30MHzにわたってかなりレベルの低減が確認できる。これらの測定結果から判断して、この画像データ処理装置の電源ラインにフィルタを挿入しなくてもVCCIの第2種の規制（第1種基準値も満足）を満足することを確認した。

4.3 総合評価

総合評価として本装置は、VCCI規制（第1種規制）に基づく雑音電界強度・雑音端子電圧および電気用品取締法に基づく雑音電力の規制を満足（本研究では、規格を満足するための安全サイドを考慮して、筐体（亜鉛溶射コーティングによるシールドリング）の処理、電源ラインへのフィルタの挿入）することを確認したが、企業サイドでの製品開発に関しては、システムを開発する場合、コストダウンが重要な課題である。これらのノウハウについては、EMCに関する既発表の文献を調査し蓄積する必要がある。

なお雑音電界強度測定風景を写真1に、雑音端子電圧測定風景を写真2に示す。

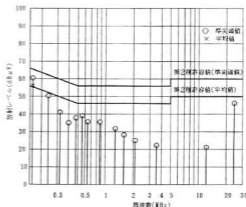


図4 電界強度計による雑音端子電圧の測定結果（フィルタなしの場合）

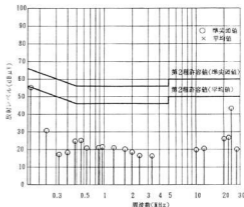


図5 電界強度計による雑音端子電圧の測定結果（フィルタありの場合）

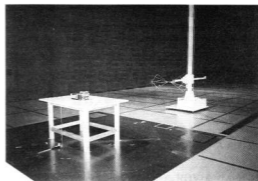


写真1 雑音電界強度測定



写真2 雑音端子電圧測定

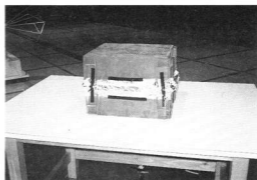


写真5 筐体外観

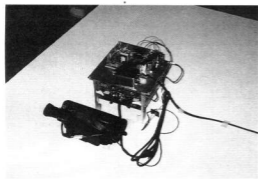


写真3 供試装置

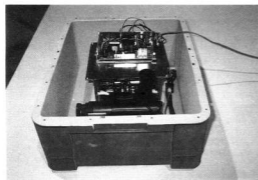


写真4 筐体内挿入状態

また、写真3では供試装置、写真4では筐体内に供試装置を入れた状態、写真5では筐体外観を示した。

5 結 言

本研究では、まず、特に企業で開発される各種電子応用機器について、EMC関連の国際動向及び国内の電気用品取締法、VCCI、電波法等規格、測定法等を詳細に把握した。次いで、実機に関するEMC評価については、平成5年度当センターで開発されたFAボードコンピュータを基盤とした、AD変換、画像処理ボード等を含む、画像データ処理装置を対象としたEMIの評価を試み、本データ処理装置がEMI規制(VCCIの第1種)を満足し、その装置の機能面・EMI規制の評価が有効であることを確認した。

本研究では、筐体のシールドングおよび電源ラインにフィルタを挿入することによりEMI評価の有効性を試みたが、今後の課題として、静電気放電、放射電磁界、伝導性雑音、サージノイズ等のイミュニティ評価にも留意して、企業サイドでのノイズ対策に関するコストダウンを考慮に入れた各種電子・電気機器の開発を試みたい。

本研究を遂行するにあたり、EMI測定で御指導頂いた広島テクノプラザ矢野隆志次長研究員に深謝の意を表します。

文 献

- 1)日寺他：広島県西部工技研究報告，37（1994），83

遠隔装置による潜水ロボットの開発

佐野 誠, 山下弘之, 田平公孝, 武田幹雄, 倉本恵治, 長谷川浩治, 宮野忠文, 羅維典生,
日寺 薫, 佐々木憲吾, 門 裕史, 藤井敏男, 村河亮利, 本山浩司, 中塩武之

Development of Submarine Vehicle with Remote Control System

SANO Makoto, YAMASHITA Hiroyuki, TAHIRA Kimitaka, TAKEDA Mikio, KURAMOTO Yoshiharu,
HASEGAWA Koji, MIYANO Tadafumi, NAWACHI Norio, HIDERA Iwao, SASAKI Kengo, KADO Tadashi,
FUJII Toshio, MURAKAWA Akitoshi, MOTOYAMA Koji and NAKASHIO Takeyuki

Remotely Operated Vehicle (ROV) using in a shallow sea such as the inland sea has been developed. ROV is generally used for a detection of fishes or shellfishes (for example oysters), and observation of environment in sea and so on. Most of the ROVs have the cable to control steering ROVs remotely, and various trouble such as resist or power loss due to the cable have been occurred. A new ROV with non cable system have been developed in order to solve these problems. Particularly it is suitable for observation of aquaculture.

キーワード：潜水ロボット, ROV, 浅堆性海域, CFRP

1 緒 言

瀬戸内海のような浅堆性海域で、養殖や漁業等において海中・海底の観察を必要とするような場合には、20m程度の潜水能力を有する潜水ロボットで十分である。しかし、市販されている民生用小型潜水ロボットは、少なくとも50~60m程度の潜水が可能な仕様になっており、浅堆性海域の海中観察では機動性などの面でかえって適さない。

本研究では、浅堆性海域潜水用に用途を特定して、操作性を追求した潜水ロボットを試作した。そして走行試験を行って、試作した潜水ロボットの実用性、有効性を検討した。

2 試作ROVの特徴

潜水ロボット(無人潜水機)の分類を図1に示す。無人潜水用に使用するシステムを一般にROV(Remotely Operated Vehicle : 遠隔操作水中ロボット)と呼ぶ。狭義では有索(ケーブルを使用したリモートコントロール方式)自航式の潜水ロボットをROVと呼ぶこともあるが、本稿では、有索・無索を問わず潜水ロボットを指すことにし、以降ROVと記す。

民生用ROVのほとんどが有索自航式で、最大潜航深度を50~500m程度に設定しているため、実用上次のような問題がある。

(1)ケーブルが水中抵抗を受け、ROVの機動性が低下したり、目標位置にROVを操縦できない場合がある。



図1 潜水ロボットの分類

- (2)ケーブルが絡まることがあるので、ケーブルの送り出し/引き上げをして海中に浸るケーブル長を調整する人員が必要になる。
- (3)陸上からROVを使って海中観察をする場合、観察海域がケーブル長の制限を受ける。
- (4)ケーブルが長すぎると電力ロスが問題になる。

これらの問題点を解決するために、次のような基本仕様を設定した。

- (1)使用目的を浅堆性海域観察用に特定して、ケーブル長を可能な限り短くする。
- (2)陸上から観察する場合でも、ある程度の観察海域を確保できるようにする。
- (3)電力ロスの軽減を図る。

以上の仕様から、次のような操作方式のシステムを検討した。

海上にブイを浮かべ、そのブイからROVまでをケーブルで接続し、操縦者は陸上または船上からブイまで

表1 民生用 ROV と試作 ROV の仕様比較

	従来の民生用ROV	試作ROV
操縦方式	有索自航式が一般的	半無索自航式
最大使用深度	50m以上がほとんど	15m(最大20m)
最大耐水圧	5気圧以上	2気圧
ROVの回収	操縦不能となった場合、ケーブルによりROVの回収が可能	操縦不能となった場合、ブイを目標として回収が可能
軽量化・小型化	無索式と比較して軽量化・小型化が可能	バッテリー内蔵のため軽量化・小型化が難しい
ケーブル長	(最低でも)50m以上	20m
観察海域	陸上から観察する場合観察海域がケーブル長の制限を受ける	無線送受信可能な範囲まで観察海域が広がる
機動性	ケーブルの水中抵抗が大きいためROVの機動性が低下する	ケーブルが比較的短いので水中抵抗をあまり受けない
操縦・取り扱い	ケーブルが長く操縦や取り扱いが不便になるのでケーブル担当の人員が必要	有索式と比較して取り扱い簡単で1人で操縦が可能

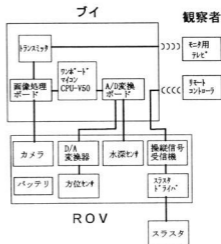


図2 全体のシステム構成図

無線通信をする。この操作方式を「半無索自航式」と称することにする。

従来の民生用 ROV と試作 ROV の仕様を表1に示す。

3 システム構成

3.1 全体システムの概要

全体のシステム構成図を図2に、イメージ図を図3に示す。

陸上または船上の観測者側には、モニターテレビ、映像信号受信アンテナ、リモートコントローラを配置する。海上のブイには映像送信アンテナおよび操縦信号受信アンテナを取り付け、このブイを中継点として、ROVは水中ケーブルによって接続されている。

ROVはビデオカメラを内蔵し、このカメラで写した海中映像は水中ケーブルを介してブイまで送られ、映像送信アンテナから送信される。観測者(操縦者)は陸上または船上において映像受信アンテナによりこの映像信号を受信して、モニターテレビ(一般的なNTSC方式のテレビ)で海中映像を見ることができる。操縦はリモートコントローラで行う。リモートコントローラから送信された操縦信号は、ブイ上の操縦信号受信アンテナで受信され、水中ケーブルを介してROVまで送られる。

3.2 本体構造

試作 ROV の前部からの外観を写真1、後部からの外観を写真2に示す。

ROVの胴体部分はCFRP(炭素繊維強化プラスチック材料)を用い、直交積層して円筒形に成形することで、耐食性の強化、軽量化、高強度化、成形容易化を図った。

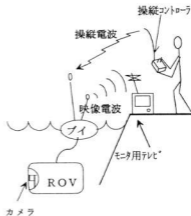


図3 全体のイメージ図

胴体部の前後に、アルミ製の鏡板をエポキシ系接着剤で接合して本体を構成している。前部鏡板にはビデオカメラによる撮影用のアクリル製観察窓を設けており、鏡板への取り付けはボルトで行い、ゴムパッキンとシール剤によりシールしている。後部鏡板は胴体に接合されたフランジ部と取り外し可能なふた部の二部からなり、両者はボルトで固定し、Oリングでシールを行う構造としている。内部機器はこのふた部を取り外して出し入れを行い、固定は内部に設けた機器固定用ガイドにより行う。また本体とブイ、スラスターの各外部機器とを結ぶケーブルのためのコネクタ及び水深



写真1 前部からの外観



写真2 後部からの外観



図4 半球付き円柱

有効馬力, 制動馬力は, 抵抗から求められる。

有効馬力 E.H.P (Effective Horse Power)

$$E.H.P. = D \times V / 75 \quad (2)$$

制動馬力 B.H.P (Breaking Horse Power)

$$B.H.P. = E.H.P. / \eta \quad (3)$$

η : スラスタの効率 (0.6~0.7)

kW に換算すると

$$P = B.H.P. \times 0.735 \quad (4)$$

試作 ROV の外形寸法から求めた投影面積, 所要速度, その他パラメータを表2にまとめた。所要速度は前進方向, 浮上方向とも0.8m/sとした。浅堆性海域では潮流があまり速くなく, 瀬戸内海の養殖海域では天候が良好な場合, 潮流は0.1m/s程度なので, 十分な所要速度と言える。

表2 各パラメータ値

S1: 前進方向の投影面積 (m ²)	0.115
S2: 潜水方向の投影面積 (m ²)	0.258
S3: 水中ケーブルの前進方向の投影面積 (m ²)	0.283
S4: 水中ケーブルの潜水方向の投影面積 (m ²)	0.283
V: 流速(所要速度) (m/s)	0.8
ρ : 流体の密度 (海水20°C) (kg·s ⁻² /m ³)	104.49
C _D : 抵抗係数	0.61
η : スラスタの効率	0.6

センサは, ふた部に集中して配置し, 各接続部はOリング, シール剤によりシールしている。

一方, 胴体側面にはリブが設けられており, 本体の補強と併せてサイドスラスタの取り付け材を兼ねている。バンパー及び吊り下げ用金具はステンレス製ベルトにより本体に固定しており, 照明用ライト及び浮力調整用の重りは共にバンパーに取り付けている。

3.3 水中抵抗と所要推進力

流れの中に置かれた物体は, 一般に流体の粘性によって抵抗を受ける。これは摩擦抵抗と圧力抵抗に分けられる。特に, 流れに平行に置かれた平板のように厚さが非常に薄い場合には, 摩擦抵抗だけを考えればよいが, 物体が肥大している場合には圧力抵抗が大部分を占める。抵抗Dは次の(1)式で導かれる。

$$D = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_D \quad (1)$$

S : 流れに垂直な平面への物体の投影面積 (m²)

V : 流速 (m/sec)

ρ : 流体の密度 (kg × sec² / m³)

C_D: 抵抗係数

C_Dは実験的に求められており, 図4のような半球付き円柱の場合では, 約0.61である。

(1)~(4)式と表2の値から試作 ROV の所要推進力を算出した。算出結果を表3に示す。ケーブルが受ける水中抵抗は, ケーブル全長と同じ長さ(20m)の棒が流れの方向に対して45°傾いた状態で受ける水中抵抗に置き換えて計算した。ケーブル長が50mのものも比較のために併せて示す。

表3の結果から試作 ROV のスラスタは60W出力のものを前進方向用に2個, 潜水方向用に2個をROVの左右に1個ずつ取り付けることにした。

3.4 計測装置

ROVの潜水位置を把握するために方位計と水深計

表3 所要推進力の算出

	ROV	ケーブル	合計
前進方向の所要推進力[W]	31	20m: 75	106
		50m: 188	219
潜水方向の所要推進力[W]	69	20m: 75	144
		50m: 188	257

を取り付けた。方位計にはフラックスゲート方式による地磁気センサを用いた。水深計には、防水式の圧力センサを用いた。

水深と方位は、スーパーインポーズでテレビ画面上に表示した。これは、当センターで開発したワンボードマイコンCPU-V50、市販されている画像処理ボード及びA/D変換ボードを用いた。

水深センサ及び方位センサから出力されるアナログ信号は水中ケーブルを通じてA/D変換ボードに入力される。水深センサからのアナログ信号は、ノイズ除去のために、ソフトウェア上でデータ処理が行われ、方位データと共に画像処理ボードを用いてテレビ画面上に表示される。(図2参照)

3.5 画像通信システム

水中映像を見ながら操縦ができるように、ROV内蔵ビデオカメラの映像を、水中ケーブルを介して海面上のブイに送り、ブイ内のトランスミッタ(画像送信機)から無線送信してモニターテレビで受信する。

映像信号はAM変調を行っており、一般の家庭用テレビVHF12chで受信できるように映像搬送波周波数を217.25MHzに設定した。トランスミッタの発振回路はLC発振回路で、コイル内にフェライトコアを挿入する加減で発信周波数の微調整が可能である。音声は送信しない。

操縦のための映像通信と並行して、ROV内蔵のビデオカメラで海中映像を録画できる。無線映像の画質が電波の障害で劣化しても、ROV引き上げ後にビデオテープを回収して録画した鮮明な海中映像を見ることができる。

3.6 スラスタ制御

スラスタはブラシレスの24V直流モータを使用した。スラスタドライバは速度制御用と非速度制御用の二つのドライブ回路がROVに内蔵されており、ハードウェア的なスイッチ切替でどちらか一方が作動するような機構になっている。速度制御用ドライバは、MOSトランジスタのゲート電圧をパルス幅で制御するPWM制御を行ってドレイン電流(電機子電流)を制御している。MOSトランジスタのON抵抗がモータの

電機子抵抗と比較して相対的に高いため、MOSトランジスタによるドロップが生じて出力が低下する。

非速度制御用のドライバはMOSトランジスタの代わりにリレーを使用し、モータのON/OFF制御のみを行う。リレーの場合は電圧降下がほとんど無いので最大の出力が取り出せる。

4 走行試験

走行試験の様子を写真3、写真4に示す。試験は、近海の枝橋で行った。



写真3 海中での走行試験

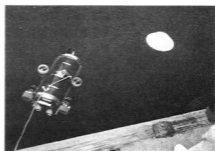


写真4 走行試験中のROVとブイ

水深が10m程度の海底まで潜水させた結果、水深計、方位計ともほぼ正確な値を示し、水圧によるリークや低水温による結露もなかった。スラスタドライバが非速度制御用の場合、前進速度は0.4m/sであったが、後進速度はスクリュウの極性が前進用になっているので効率が悪くなり、0.25m/s程度に低下した。

潜水用スラスタは、スクリュウの極性が浮上用になっており、浮上時で0.2m/s、潜水時で0.15m/s程度であった。速度制御用では、非速度制御用ドライバ作動時と比較して推進速度が全般的に6割程度に低下した。

画像通信システムは送信、受信アンテナ間に障害物が存在したり、アンテナ間の距離が離れすぎているとき、あるいは海上のブイが波で極端に揺れるときに受信映像が乱れる傾向があった。

表4 試作 ROV の仕様

ROV本体	使用潜水深度	10m(最大20mまで潜水可能)
	全長	900mm(スラスター、センサーを含む)
	全幅	520mm(＃)
	全高	400mm(＃)
	空中重量	60kg
	水中重量	0kg(浮力調整用重りで0kgに調整)
	ケーブル長	20m
	最大耐水圧	2気圧
	推進機能	前進/後進、潜水/浮上、旋回
	前進速度	最大0.4m/s
	潜水速度	最大0.2m/s
	動力源	D C 12 V バッテリー 2個
	ブイ	空中重量
全幅		380mm
全高		240mm
水深計	計測範囲	0~15m
	表示形式	スーパーインボースによるデジタル表示
方位計	計測分解能	1度
	表示方式	スーパーインボースによる8方位表示
モニタ方式	映像方式	NTSC方式
	画像	リアルタイムカラー画像

ROV 内蔵バッテリーは12VのDCバッテリーを2個使用しており、持続時間は約50分である。表4に試作ROVの仕様をまとめた。

5 結 言

機動性・操作性に優れたROV操作の一方法として「半無索操作方式」を提案し、ROVの試作を行った。そして浅堆性海域で海中観察の試験を行い、その機能の確認を行った。その結果、目標位置に到達するだけの機動性、推進力を有し、海中観察に十分対応できる鮮明な画像をROV内蔵カメラで撮影できることを確認した。また、水深計/方位計は、海中でも支障無く動作し、スーパーインボースによる表示の有用性も確認できた。本体は、CFRP構造にしたが、リークもなく、10m程度の水深には十分適用可能であることがわかった。

バッテリー内蔵であるため、バッテリーの持続時間の問題や、小型化/軽量化に向かない問題があるが、養殖魚の成育状況監視や魚介類の観察、海底探査等に应用が期待できる見通しを得た。

文 献

- 1) 浦 環他：潜水ロボット総覧，成山堂（1994）
- 2) 大串雅信：理論船舶工学，海文堂（1958）
- 3) 金田英彦：潜水技術(IV)，関西造船協会らん第17号（1992）

平成7年9月28日 印刷

平成7年9月28日 発行

編集兼
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#0

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