

広島県立西部工業技術センター研究報告

No.37

目

次

August 1994

抄 録

一 報 一

- | | | | |
|----|--|--|-----|
| 1 | 海底クリーンシステムの開発に関する研究
1-1 海底ロボットの性能試験 | 平田敏明, 畑徳宜, 倉本忠治, 藤本宗之, 世良時夫,
岡本五十生, 伊藤信夫, 鈴木貞男 | 1 |
| | 1-2 カキ養殖海域の浚渫汚泥スラリーに対する遠心分離機の
処理性能試験 | 倉本忠治, 世良時夫, 岡本五十生, 藤本宗之, 畑 徳宜,
平田敏明, 伊藤信夫, 鈴木貞男 | 5 |
| | 1-3 海底ヘドローの図形化利用技術に関する研究 | 藤本宗之, 倉本忠治, 畑 徳宜, 平田敏明, 世良時夫,
岡本五十生, 伊藤信夫, 鈴木貞男 | 8 |
| 2 | 小型船の船型開発に関する研究 | 畑 徳宜, 平田敏明, 岡本五十生, 今村友昭, 立花秀雄,
早本明彦 | 12 |
| 3 | 廃炭池プラスチックの再生利用技術に関する研究 | 好満芳邦, 岡本五十生, 岩竹民哉, 下原伊智朗, 山縣康男,
丸下清志, 平田敏明, 田平公孝 | 16 |
| 4 | F R P 廃棄物の有効利用に関する研究 | 山縣康男, 丸下清志, 倉本忠治, 世良時夫, 好満芳邦,
下原伊智朗 | 20 |
| 5 | 希少金属の回収およびその測定技術 | 渡部英雄, 田谷征雄, 浜岡英男, 相摩将人 | 23 |
| 6 | 非シアン系排水からのシアン検出に関する研究 | 樋口浩一, 梶岡 秀, 丸下清志, 渡部英雄 | 26 |
| 7 | 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, 岡本五十生, 畑 徳宜, 瀧田政信,
池田哲宏, 倉本忠治, 渡部英雄, 梶岡 秀, 平田敏明 | 30 |
| 8 | 高分子系・金属系複合材料新素材の成形加工技術の形成
8-1 複合材料のアルミニウム合金部材への部分一体複合化技術
の開発 | 土取 功, 縄根典生, 大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝,
渡部英雄, 田谷征雄, 浜岡英男, 好満芳邦 | 34 |
| | 8-2 スタンプシートの自動車部品への適用に関する研究 | 下原伊智朗, 好満芳邦, 大橋俊彦, 田平公孝, 土取 功 | 38 |
| 9 | グラフト重合反応を用いたポリオレフィン樹脂の接合性改善 | 大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 好満芳邦 | 42 |
| 10 | フッ素樹脂溶射技術の確立と応用 | 原 信彦, 新田 明, 筒本隆博 | 46 |
| 11 | イオンブレーティングで成膜したTiN薄膜の密着性評価 | 梶岡 秀, 樋口浩一, 高井 修, 浅本謙治, 川上準一, 南原真治 | 49 |
| 12 | ダイヤモンド薄膜の木材切削工具への応用とその評価 | 筒本隆博, 川光 実, 盛田貴雄, 香匠谷 薫 | 53 |
| 13 | 精密加工に関する研究 | 山下弘之, 池田哲宏, 門 裕史 | 56 |
| 14 | マイクロ機械部品のマイクロ研削加工技術 | 山下弘之, 岡野啓作, 和井田 徹 | 60 |
| 15 | Y A G レーザによる精密加工法の研究 | 池田哲宏, 山下弘之, 門 裕史 | 64 |
| 16 | C A E 解析によるロボットアームの軽量化 | 中ノ直重幸, 佐々木惠吾, 坂元康泰, 中塩武之, 長谷川浩治 | 68 |
| 17 | 強度解析用アニメーションシステムの開発 | 長谷川浩治, 坂元康泰, 佐々木惠吾, 中塩武之 | 72 |
| 18 | 境界要素法を用いた解析技術の開発 | 坂元康泰, 佐々木惠吾, 長谷川浩治, 金安俊哉 | 75 |
| 19 | レーザによる三次元形状計測センサーの開発 | 中ノ直重幸, 坂元康泰, 宮野志文 | 79 |
| 20 | 電磁波遮蔽技術に関する研究 | 日寺 巖, 縄根典生, 佐々木惠吾, 中塩武之, 奥田康孝,
藤田敏成 | 83 |
| 21 | ハイビジョン対応画像処理専用LSIの開発(第2報) | 馬場祥宏, 榎田和生, 宮野志文, 打田登雄, 佐野 誠 | 88 |
| 22 | F A 用ボードコンピュータの開発 | 打田登雄, 馬場祥宏, 武田幹雄, 南良良治 | 92 |
| 23 | クイオラジオメータ方式による微弱レーザパワーの校正
システムの開発 | 武田幹雄, 井上武海, 山村恭平 | 97 |
| 24 | 一研究ノートー 新音響計測施設試験室の仕様について | 吉野信行, 中塩武之, 日寺 巖, 武田雄二 | 100 |

BULLETIN
of the
WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

August 1994

Vol.37

Contents

-Originals-

1	Development on Cleaning System of the Polluted Sediment under the Oyster Farm	
1-1	An Efficiency Test of the Robbot which Travel on the Bottom of the Sea HIRATA Tosiaki, HATA Noriyoshi, KURAMOTO Yoshiharu, FUJIMOTO Muneyuki, SERA Tokio, OKAMOTO Isoo, ITOH Nobuo and SUZUKI Sadao	1
1-2	Management and Performance Test of Decanter for the Slurry KURAMOTO Yoshiharu, SERA Tokio, OKAMOTO Isoo, FUJIMOTO Muneyuki, HATA Noriyoshi, HIRATA Toshiaki, ITOH Nobuo and SUZUKI Sadao	5
1-3	Solidification of the Eutrophic Sediment Which was Removed and Dehydrated from the Sea Bottom FUJIMOTO Muneyuki, KURAMOTO Yoshiharu, HATA Noriyoshi, HIRATA Toshiaki, SERA Tokio, OKAMOTO Isoo, ITOH Nobuo and SUZUKI Sadao	8
2	Hull Form Development Using the Circulating Water Channel for Small Ships HATA Noriyoshi, HIRATA Toshiaki, OKAMOTO isoo, TACHIBANA Hideo, IMAMURA Tomoaki and HAYAMOTO Akihiko	12
3	Studies on Recycling Technologies of Waste Foamed Plastics (1st Report) YOSHIMITU Yoshikuni, OKAMOTO Isoo, IWATAKE Tamiya, SHIMOHARA Ichiro, YAMAGATA Yasuo, MARUSHITA Kiyoshi, HIRATA Toshiaki and TAHIRA Kimitaka	16
4	Study on Effective Use of Waste FRP (Pyrolysis of Waste SMC) YAMAGATA Yasuo, MARUSHITA Kiyosi, KURAMOTO Yoshiharu, SERA Tokio, YOSIMITU Yosikuni, SHIMOHARA Ichiro and TAHIRA Kimitaka	20
5	Study on Recovery and Measurement Technology of Rare Metal in the Solution WATANABE Hideo, TADANI Isao, HAMAOKA Hideo and AIHARA Masato	23
6	Study on Detection of Cyanide from Non-Cyanide's Wastewater HIGUCHI Koichi, KAJIOKA Hideshi, MARUSHITA Kiyoshi and WATANABE Hideo	26
7	Development of New Cleaning Process Substituting for the Process with Ozone-Layer Destroying Materials NITTA Akira, MARUSHITA Kiyoshi, OKAMOTO Isoo, HATA Noriyoshi, KAMATA Masanobu, IKEDA Tetsuhiro, KURAMOTO Yoshiharu, WATANABE Hideo, KAJIOKA Hideshi and HIRATA Toshiaki	30
8	Development of Processing Technologies on New Materials Consisted of Polymer or Metal Matrix	
8-1	Insert-cast Bonding of Aluminum Alloys Matrix Composites in Aluminum Alloys Components TSUCHITORI Isao, NAWACHI Norio, OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro, TAHIRA Kimitaka, WATANABE Hideo, TADANI Masao, HAMAOKA Hideo and YOSHIMITSU Yoshikuni	34
8-2	Study on Surface Flatness of Stampable-Sheets SHIMOHARA Ichiro, YOSHIMITSU Yoshikuni, OHASHI Toshihiko, TAHIRA Kimitaka and TSUTITORI Isoo	38

9	Study of Surface Modification of Macromolecules Improvement of Adhesion of Polyolefin by Graft Reaction OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro, TAHIRA Kimitaka and YOSHIMITSU Yoshikuni	42
10	A Study on Thermal Spraying of Fluorine-Contained Resin HARA Nobuhiko, NITTA Akira and TSUTSUMOTO Takahiro	46
11	Adhesion of TiN Film Deposited on Stainless Steel by Ion Plating KAJIOKA Hideshi, HIGUCHI Koichi, TAKAI Osamu, ASAMOTO Kenji, KAWAKAMI Junichi and NANBARA Shinji	49
12	Diamond Coating of Cutting Tool for Woods and Evaluation of its Performance TSUTSUMOTO Takahiro, KAWAMITU Minoru, MORITA Takao and BANSHOYA Kaoru	53
13	Study of Precision Machining YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi	56
14	Micro-Grinding Technology for Micro-Mechanical Parts YAMASHITA Hiroyuki, OKANO Keisaku and WAIDA Toru	60
15	Study on Welding by YAG Laser (1st Report) IKEDA Tetsuhiro, YAMASHITA Hiroyuki and KADO Tadashi	64
16	Lightening a Robot Arm with the Aid of CAE Analysis NAKANODO Naoyuki, SASAKI Kengo, SAKAMOTO Yasuhiro, NAKASIO Takeyuki and HASEGAWA Koji	68
17	Development of the Animation System for Strength Analysis HASEGAWA Kouji, SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo and NAKASHIO Takeyuki	72
18	Development of Analysis Technology by B.E.M SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo, HASEGAWA Koji and KANEYASU Toshiya	75
19	Development of a 3-D profile Sensor by Laser NAKANODO Naoyuki, SAKAMOTO Yasuhiro and MIYANO Tadafumi	79
20	Studies on the Shield Technique for Electromagnetic HIDERA Iwao, NAWACHI Norio, SASAKI Kengo, NAKASHIO Takeyuki, OKUDA Yasutaka and FUJITA Toshinari	83
21	Development of Hi-Vision Image Processing LSI IP 12000 (2nd Report) BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo, MIYANO Tadafumi, UCHIDA Sumio and SANO Makoto	88
22	Development of a Compact and High Performance Computer for Factory Automation UCHIDA Sumio, BABA Yoshihiro, TAKEDA Mikio and NARA Ryoji	92
23	A Cryogenic Radiometer for Precise Measurement of Weak Laser Power TAKEDA Mikio, INOUE Takemi and YAMAMURA Kyohei	97
24	-Note- Specifications of a New Acoustical Measurement Laboratory YOSHINO Nobuyuki, NAKASHIO Takeyuki, HIDERA Iwao and SIKIDA Yuji	100

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.37)

海底ロボットの性能試験

平田敏明, 畑 徳宣, 倉本恵治, 藤本宗之, 世良時夫, 岡本五十生, 伊藤信夫, 鈴木貞男

広島県沿岸部の瀬戸内海海域においては、カキの養殖が広く行われているが、海域の閉鎖性が強いいため、赤潮の発生やヘドロの堆積が進行し、養殖漁場の障害となっている。このような海域の底質改善、浄化をはかるため、海底のヘドロを除去、処理を可能とする海底クリーンシステムを開発する。この中で海底ロボットは、海底を走行しヘドロを吸引する役目をするが、今回は吸込口の付かない状態での性能試験を行った。

- 1) 走行試験の結果、海底でスリップはほとんど発生せず走行に支障はなかった。
- 2) 推進力試験の結果、水中重量および海底が硬いほど推進力は強かった。
- 3) 操縦試験の結果、直線の走行距離は5%以内の誤差だが、旋回速度は3.11~3.83度/秒の違いが生じた。
- 4) 耐圧試験の結果、水深20mでも特に問題はなかった。

P 1~4, 表3, 図8

カキ養殖海域の浚渫汚泥スラリーに対する遠心分離機の処理性能試験

倉本恵治, 世良時夫, 岡本五十生, 藤本宗之, 畑 徳宣, 平田敏明, 伊藤信夫, 鈴木貞男

県西部の沿岸海域では、長年のカキ養殖で海底底質の悪化が進んでいる。この海底の浄化を目的にカキ筏周辺に堆積しているヘドロを除去し、海域環境を改善するための実験を行った。

このトータルシステムのうち、遠心分離機の浚渫汚泥スラリーに対する処理性能について検討した。

条件(1)遠心効果(G)(2)差速(r.p.m.)(3)凝集剤添加率(DS%)を設定し、脱水性含水率、分離濃度とコスト的な点を加味した結果、遠心効果1000G、差速10rpm、供給量100ℓ/hr、凝集剤添加率0.11DS%の条件で最適な処理が行えることを確認した。

P 5~7, 表4, 図5, 文献2

海底ヘドロの固化体利用技術に関する研究

藤本宗之, 倉本恵治, 畑 徳宣, 平田敏明, 世良時夫, 岡本五十生, 伊藤信夫, 鈴木貞男

かき養殖海域の海底に堆積した有機汚泥を除去し、清浄な海底を取り戻す海底クリーンシステムの開発を研究している。この研究で海底から除去したヘドロを固化し有効利用するための実験を行った。

ヘドロを固化する方法として、固化材を添加する方法と焼結により固化する方法の2種類を実験した。固化材は、普通ポルトランドセメント及び地盤改良等で使用されるセメント系固化材を使用した。

実験の結果次のことがわかった。

- 1) 固化材による固化ではセメント量300kg/m³の時モルタルの圧縮強度は最大(4週4.8MPa)となった。
- 2) ヘドロを脱塩後電気が焼成した場合、1100°C 1時間の焼成で、吸水率は4.3%に低下した。
- 3) ヘドロを脱水するため添加した高分子凝集剤は固化体強度を増進する効果を示した。

P 8~11, 表1, 図6, 写真2, 文献6

小型船の船型開発に関する研究

畑 徳宣, 平田敏明, 岡本五十生, 今村友昭, 立花秀雄, 早本明彦

抵抗の少ない小型船の船型開発を効率的に進めるうえで必要となる、模型船の作製、抵抗試験、波の発生状況の観察等について総合的に実施し、併せて比較試験を行うために必要となる標準船型の開発を行った。

- 1) 1.5m模型による回流水槽試験結果はビルジキール等の付加物を考慮すると曳航水槽における試験結果

と比較的によく一致している。

- 2) 4.5m模型の船型改良手法を応用して1.5m模型の船型を改良したところ、約6%有効馬力が減少した。
- 3) 2m模型についても船型の改良を行ったところ、満載時で約3%、バラスト時に約2%の有効馬力が減少した。

P 12~15, 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.37)

廃発泡プラスチックの再生利用技術に関する研究

好満芳邦, 岡本五十生, 岩竹民哉, 下原伊智朗, 山縣康男, 丸下清志, 平田敏明, 田平公孝

地球環境保護の一貫として廃プラスチックリサイクル, 特に処理コストの高い廃発泡プラスチック(ポリスチロール:PS)をとり上げ低コストで効率的なリサイクル技術の開発を行った。すなわち, 原料ペレットに再生する高価な手法にかえて, 廃棄現場で比重0.1に減容化したチップを直接成形する手法について検討した。発泡性を利用した焼結成形では, その軽

量性と製造コストの低減を確保できた。

また, 減容化チップを直接射出成形する技術も確立し, 併せて, 排水の生物的処理用の接触回転円板, コンクリート型枠, カキ種付け用プレートをそれぞれ製作し, 一部は実用試験を行った。いずれも有用で, 今後の実用化への展望を拓く結果を得た。

P16-19, 表2, 写真9, 文献4

FRP廃棄物の有効利用に関する研究

山縣康男, 丸下清志, 倉本恵治, 世良時夫, 好満芳邦, 下原伊智朗

FRP廃棄物の有効利用の一つとして, 熱分解による油やガス等熱エネルギーの回収を目的に, 自動車用SMC廃材による分解生成物やその回収効率を調べた。SMCの熱分解は300℃付近から始まり400℃ではほぼ終了する。SMC中にはガラス繊維や炭酸カルシウムフィラー等無機物が多いため, 油分の回収率は15%程度であった。回収油は極めて酸性が強く, 引火

点はガソリンに近く, 引火性が強い。また, 比重や動粘度から可燃性が悪いと推定される。

熱分解によって生成するガスは廃材の約6%で, その主な成分は二酸化炭素と一酸化炭素であり, 炭化水素分は比較的少ない。分解ガスの発熱量は低いため, 燃料として使用するには二酸化炭素を除去が必要である。

P20-22, 表3, 図5, 写真1, 文献3

希少金属の回収およびその測定技術

渡部英雄, 田谷征雄, 浜岡英男, 相原将人

シリカゲル表面を化学修飾したシリカゲルを合成し, これをカラムに詰めて溶液中からの希少金属である金やパラジウムの回収法について検討した。回収における最適な流量は $3.0\text{cm}^3/\text{min}$ であった。また試料溶液のpHは, 金については4.0~5.0であり, パラジウムについては3.0~4.0であった。この時の化学修飾したシリカゲルの最大捕集量は, 金については 0.145mmol/g , パラジウムについては 0.180mmol/g であった。カラムに捕集された金やパラジウムの溶離剤に

ついて検討した結果, 金については0.1Mチオ尿素0.1N塩酸溶液で97.3%金が溶離できた。パラジウムについては, 0.1NHCl溶液や0.1NHNO₃溶液でほとんど100%溶離できた。

本法の応用例として河川中の微量金やパラジウムを一定量添加し, 定量を行った結果, 定量値は添加量に良く一致しており, 河川水ではほぼ満足できる結果が得られた。

P23-26, 表4, 図3, 文献4

非シアン系排水からのシアン検出に関する研究

樋口浩一, 梶岡 秀, 丸下清志, 渡部英雄

シアン化合物を全く使用していない工場排水(例えばクロム排水処理工程を持つ工場排水)からシアンが検出される事例が近年広島県内に於いて発生し事業活動への影響が懸念されている。

本研究では, シアンを使用していない事業所の排水からシアンを検出するとして問題となっている事例について調査したところ, 次のことがわかった。

1) 調査した事業所には亜硝酸ナトリウムを使用している工程がある。このため亜硝酸イオンを分解して分

析を行ったが, シアンは検出された。このため, シアンの合成は亜硝酸イオンとシアン分析の前処理に用いるキレート剤による反応ではない。

2) 酸, アルカリ系排水からシアンが検出される原因は, シアン蒸留時に排水に含まれる物質とEDTAが反応していること。

3) ソーベイスを含むクロム系排水からシアンが検出される原因は, シアン蒸留時に複数の排水に含まれる物質が反応し生成したものである。

P26-29, 表4, 図3, 文献8

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.37)

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, 岡本五十生, 畑 徳宣, 蒲田政信, 池田哲宏, 倉本恵治, 渡部英雄, 梶岡 秀, 平田敏明

金属製品製造業(熱処理, 塗装, 鍍金)で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。そこで, これらの企業では代替洗浄方式の解決が急務であるが代替方法によっては新たな問題点, 例えば, 洗浄後の排水処理も含めた対応が迫られている。10年以上の長期的観点から判断すると, 排水規制,

消防法規制遵守を達成する技術的対策として水系アルカリ洗浄が理想と考えられる。

本研究では, 熱処理用高粘度油の水系アルカリ洗浄剤の脱脂力, 排水で問題となるリンス液の評価, 洗浄剤の濃度管理の方法を見いだすことにより実用化の目途をたてることが可能となった。

P30-33, 表4, 図3, 文献6

複合材料のアルミニウム合金部材への部分一体複合化技術の開発

土取 功, 縄雅典生, 大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 渡部英雄, 田谷征雄, 浜岡英男, 好満芳邦

アルミニウム合金複合材料をAC8Aアルミニウム合金部材の一部に金属結合を伴った一体複合化を重力鋳造法で可能かどうかを実験し, さらにその結果からより具体的なモデルを設定し, 良好な接合が得られるための諸条件を検討した。

1) アルミニウム合金複合材料をアルミニウム合金溶湯で従来製造法(重力鋳造法)で一体複合化(鋳造接

合)することは本実験条件では可能であることが分かった。

2) その一体複合化のためには注湯後, 約5秒間で接合面温度を均一に560℃以上にすることが必要であった。

3) 一体複合化には表面状態も影響することが分かった。

P34-37, 図5, 写真4, 文献7

スタンパブルシートの自動車部品への適用に関する研究

下原伊智朗, 好満芳邦, 大橋俊彦, 田平公孝, 土取 功

自動車部品に主に利用されている軽量, 高機能なスタンパブルシートは, 成型品の表面がSMC成型品に比べ, 平滑性に劣るため使用される場所が目に見えない所に限られる。自動車内装および外装部品に適用を広げるため, 表面性の良いスタンパブルシートの試作検討を行った。その結果, 次の手法で表面性の改善が認められた。

1) 樹脂(PP)に相溶化剤を添加し, あわせてこの相溶化剤と化学的に反応すると考えられる表面処理をガラス繊維に行くことで表面性が良くなる傾向が見られた。

2) 樹脂に炭酸カルシウムを添加し成形収縮を小さくすることで表面性が改善された。

P38-41, 表2, 図3, 写真3, 文献3

グラフト重合反応を用いたポリオレフィン樹脂の接着性改善

大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 好満芳邦

県内企業から寄せられる相談の中で高分子材料の表面に関係する内容のものが非常に多い。そこで高分子表面を評価しコントロールする技術の蓄積をはかる必要があると考えられる。本年度は汎用的に使われている樹脂の中で極めて接着性の悪いポリオレフィン樹脂の接着性改善について検討した。

ポリオレフィン樹脂とアクリルモノマーのグラフト

重合反応により合成した物質をポリオレフィン樹脂の表面に塗布, 熱処理することにより接着性を改善できた。またグラフト重合反応の条件(温度, 触媒量など)と生成物の構造・特性の関係についての知見も得ることが出来た。更に改質した表面に塗装などの後処理を施すことにより耐候性, 耐汚染性を向上させることができると期待される。

P42-45, 表2, 図3, 文献8

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.37)

フッ素樹脂溶射技術の確立と応用

原 信彦, 新田 明, 筒本隆博

一般に、フッ素樹脂は焼き付けによってライニングされている、そのため焼成炉などの大形の装置が必要になる。フッ素樹脂の溶射が可能になれば大形の装置が必要なく、手軽に、安価にライニングできるようになる。そこで、フッ素樹脂溶射技術を確立し、フッ素樹脂皮膜の評価を行った。

- 1) 溶射に適したフッ素樹脂は PFA, ETFE の二種類であった。
- 2) 溶射条件 (プロピレンと酸素の量) はプロピレン 100N ℓ/h に対し酸素 350N ℓ/h 前後が良かった。
- 3) 予熱温度は PFA 400℃, ETFE 300℃ 前後が最も良い皮膜が得られた。

P46-48, 表2, 図1, 写真3, 文献2

イオンブレイティングで成膜した TiN 薄膜の密着性評価

梶岡 秀, 樋口浩一, 高井 修, 浅本謙治, 川上準一, 南原真治

硬質薄膜を商品として利用する場合、薄膜特性だけでなく、薄膜の密着性を制御することが必要となる。密着性評価法として引掻き試験法が良く用いられているが、特別な装置が必要なこと、ダイヤモンド圧子の寿命が短いことなどから、簡便な評価法が求められている。そこで 180° 折り曲げ法での密着性の評価を試みた。

イオンブレイティングで窒化チタン成膜する場合、基板へのイオンの入射量が多くて、イオンのエネルギーが大きくなると薄膜の剝離がみられなくなり、またチタン層をはきむこと、基板の予備加熱も密着性向上に寄与する。これは予想された結果と一致し、折り曲げ試験による密着評価法は有用であることが示唆された。

P49-52, 表1, 図1, 写真3, 文献7

ダイヤモンド薄膜の木材切削工具への応用とその評価

筒本隆博, 川光 実, 盛田貴雄, 番匠谷薫

工具の寿命延長を目的として、超硬合金 (K10種) 製の木材切削工具へ熱フィラメント CVD 法により 5~20μm の膜厚のダイヤモンド薄膜のコーティングを行った。そして、パーティクルボードを被削材として切削試験を行い、この時の刃先摩耗量を測定した。刃先の膜が脱落しない部分は摩耗が極めて少ない。しかし、膜厚が薄い場合 (例えば 5μm) では、切削試験

初期に容易に膜が脱落して、コーティングの効果は低い。膜の脱落は膜厚が厚いほど遅くなる。しかし、切削抵抗は膜厚が厚いほど大きくなるという問題点を生じた。そこで、20μm の膜厚のコーティング工具の刃先を研摩して鋭利にした。これにより、切削抵抗は大幅に低下した。

P53-55, 表1, 図3, 写真1, 文献5

精密加工に関する研究

山下弘之, 池田哲宏, 門 格史

金型の主要部材料は、高硬度の難削材が多く、高精度の加工方法や条件設定には、頭を悩ますところである。また、近年めざましく進歩する、市販の各種超硬工具やコーティング工具などを、いかに有効に利用するか、一つの技術課題である。これら加工条件、ワーク材料、工具種類等が、加工品位に及ぼす影響を求める目的で、マシニングセンタを使い、エンドミル切削試験を行った。

- 1) 耐摩耗性に優れたコーティング工具は、超硬工具に比べ、加工後の形状精度が良好で、ワーク硬度が高くなる程差が顕著であった。これに対し表面粗さは工具の違いによる差はあまり見られなかった。
- 2) 切削速度の形状精度への影響は、コーティング工具で今回の試験範囲内ではほとんど差がなかったのに対し、超硬工具で顕著に見られた。

P56-59, 表1, 図9, 写真2

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.37)

マイクロ機械部品のマイクロ研削加工技術

山下弘之, 岡野啓作, 和井田徹

近年マイクロマシンに関する活発な研究開発が行われており、工業技術における設備メンテナンス手法や生産形態、医療分野などに革新をもたらし、今後の機械・電子技術に、大きな波及効果を及ぼすものと期待されている。在来機械システムに比べ格段に小さく、高精度・高機能なマイクロマシン開発には、微小なシステム部品やマイクロ機械部品を製作する技術が必要

で、これら加工技術の早急な確立が求められている。本研究では、従来の研削加工の優れた特徴を生かし、微細加工性を極限まで追求したマイクロ研削法の開発を目指し、その微細加工性を検討した。その結果、各種材料に対する微細溝加工性、研削抵抗、電解ドレッシングの効果などに関する知見を得た。

P60-63, 図8, 写真2, 文献3

YAGレーザによる精密加工法の研究

池田哲夫, 山下弘之, 門 格史

極短時間の局所的な加熱が可能なパルスYAGレーザ溶接における加工パラメータ (パルスエネルギー、パルス幅、集光レンズ、焦点位置等) がステンレス鋼 (SUS304) の溶融形状および重ね合わせ溶接のせん断強度に及ぼす影響について検討した。

適正な加工領域においては集光レンズの焦点距離およびパルス幅が大きくなり、焦点位置ずれが小さいほど溶

け込み深さは大きくなる。また、パルスエネルギーおよび焦点位置ずれが小さいほどビード幅は小さくなる。

せん断強度では板厚0.3mmと1mmの板間の各ギャップにおいて最大値を示すパルスエネルギーが存在し、パルスエネルギー 20 J/P 、ギャップ 0.1 mm 近傍で最大せん断力 1.2 kN を示した。

P64-67, 表1, 図10, 写真3, 文献2

CAE解析によるロボットアームの軽量化

中ノ堂直幸, 佐々木憲吾, 坂元康泰, 中塩武之, 長谷川浩治

従来手法によって設計されたロボットアームをCAE解析することにより軽量化を図り、その有用性を確認する。

ロボットアームをCAE解析した結果、アームに加わる応力は十分小さいという結論を得た。さらに、本解析と並行して、ロボットアームに使用されている「リブ」のねじれに対する効果をCAE解析した。以上、2

例のCAE解析に基づいてロボットアームを軽量化した結果、アーム全体の33.7%に上る145kgの軽量化ができた。

この結果を実際のロボットアームに適用して得られた軽量化により、材料費、駆動モータ容量の低減ができた。

P68-71, 表1, 図6, 写真1

強度解析用アニメーションシステムの開発

長谷川浩治, 坂元康泰, 佐々木憲吾, 中塩武之

製品開発期間の短縮をはかるための支援技術として、CAEが導入される傾向にある。強度解析においては、今後、静的な解析から解析条件が時間的に変化するような動的な解析も行われるようになるという予想から、これらの結果を表示するための安価なアニメーションシステムの開発を行った。

強度解析結果の表示プログラムの作成、設計者に理

解し易いように解析結果の補完を行い表示を行った。

補完後の応力分布は、市販のソフトの表示と、さほど遜色のないものとなった。その表示結果を原画像としたアニメーションの作成を行った。そして、これらの動作はパソコン上で行えるものとし、最後に事例として、クレーンガタをモデルとした強度解析のアニメーションを示した。

P72-74, 図4, 表1, 写真3, 文献1

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.37)

境界要素法を用いた解析技術の開発

坂元康泰, 佐々木憲吾, 長谷川浩治, 金安俊哉

強度・熱解析等のコンピュータシミュレーションの解法としての境界要素法は有限要素法と比較して形状内部の要素分割が不要であることから, 下記の利点を持つすぐれた解法である。

- 1) 複雑な形状の解析が可能となる。
 - 2) 解析用モデルの作成時間が短縮される。
- よって, 境界要素法(ソルバー)と形状作成, 解析結

果表示ソフト(プリ・ポスト)とを結合し, 一連の解析作業を可能とするシステムを開発した。

さらに, 実験モデルによる歪測定等との比較により解析結果の正当性を示し, 微小なオイル穴を含む自動車用ピストンの強度解析に適用し, 本システムの有効性を示した。

P75~78, 表2, 図8, 写真1, 文献3

レーザによる三次元形状計測センサの開発

中ノ堂直幸, 坂元康泰, 宮野忠文

同軸線形変位法という測定原理に基づき, レーザ光源, レンズ, CCDラインセンサからなる光学系による計測装置を試作した。また, この計測装置およびXYテーブル, XYテーブル用ドライバ, パーソナルコンピュータからなる自動形状計測システムの開発も行った。

このセンサの特徴としては, 測定範囲が広く, 比較

的大型の三次元形状モデルや機械部品の測定が可能, また, 測定対象面の傾斜による影響を受けにくいといった点がある。

これによりセンサの位置や姿勢をあまり気にする必要がないため, 制御が容易になり安価な計測システムを構築することができる。

P79~82, 図7, 写真1, 文献2

電磁波遮蔽技術に関する研究

日寺 巖, 縄雅典生, 佐々木憲吾, 中塩武之, 奥田康孝, 藤田敏成

電磁波遮蔽効果を有する次の2種類の筐体を作成し, その性能を評価した。

- 1) 炭素系粉末材料を混入したプラスチック筐体
 - 2) 表面に亜鉛膜を溶射したプラスチック筐体
- この中に電子式防犯カメラを入れ, 漏洩する放射ノイズを測定した結果, それぞれ次のようなことが確認された。1)の筐体では, 400MHz以上で比較的高い遮

蔽効果を示した。2)の筐体については, 270MHz~300MHzおよび650MHz~1000MHzで高い効果を示したが, 他の周波数においては, いずれの筐体においても十分な効果が得られなかった。

なお, KEC法による遮蔽性能の評価値と比較した場合, 両者が一致しない部分も認められた。

P83~87, 図16, 文献3

ハイビジョン対応画像処理専用LSIの開発(第2報)

馬場祥宏, 楢垣和生, 宮野忠文, 打田澄雄, 佐野 誠

ハイビジョン方式に対応して, 1920×1125画素構成の画像に対し工業用画像処理で有用な面積, 重心, 幅, 慣性等価楕円傾き角の特徴量を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, 遅延シミュレーション, テストパターン設計, 電力設

計などの詳細設計を行い, 12,000ゲートのゲートアレイとして同LSIを実現した。

IP12000の特徴量抽出機能のうち面積, 重心, 幅は最大4096×4096画素の画像について, また傾き角は最大2048×2048画素の画像について有効であり, ハイビジョン方式よりもさらに高精細な画像処理にも応用できる。

P88~91, 表2, 図3, 写真1, 文献5

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.37)

F A用ボードコンピュータの開発

打田澄雄, 馬場祥宏, 武田幹雄, 南良久治

高機能CPUの採用と制御回路のASIC化により小型、低消費電力のボードコンピュータを開発した。市販の拡張ボードが使用できるよう標準バスを採用し、パソコンOSの基本的なシステムコールをサポートすることにより、パソコンによる開発が可能なため多目的に安価な利用が可能になった。

主な仕様としてはCPUに μ PD70216 (10MHz), RS

232C準拠のシリアルインタフェース, プリンタインタフェース, 汎用入力スイッチ, 汎用出力LEDを有し, これらのデバイスの基本入出力をROMでサポートしている。

応用例としてネットワークに接続した複数のコンピュータ間で, 画像処理による製品検査への適用を図り, その有用性を確認した。

P92~96, 表3, 図10, 写真2, 文献5

クライオラジオメータ方式による微弱レーザーパワーの校正システムの開発

武田幹雄, 井上武海, 山村恭平

光通信をはじめとして微弱レーザーパワーの利用増大に伴い, 光測定器も一層高感度化, 高精度化してきており, より微弱な光パワー測定が要求されている。本研究では, μ Wレベルのレーザーパワー測定を実現するため, 液体ヘリウム温度で動作するレーザーパワー精密測定・校正装置を開発した。

今回, 温度センサとしては最も感度が高いGaAlAs

クライオダイオードセンサを採用し, 受光部構造として周囲温度からの影響を受けにくい差動型構造として製作した。

結果として, 受光器の感度は4400V/Wが得られ, 従来の1.5倍の感度が得られた。測定のばらつきとしても5回の測定で, 0.5~2nWと校正システムとして問題のない範囲であった。

P97~99, 表2, 図4, 文献4

新音響計測開放試験室の仕様について

吉野信行, 中塩武之, 日寺 巖, 式田雄二

新音響計測開放試験室の設置は, 家電, 自動車部品, 一般機械部品等従来の騒音・振動対策に加え, 質的な音環境全般のアメニティ化を目的として設置したものである。音響試験の内容としては, 各種製品の音源対策, 測定機器の校正 (無響室), パネルその他各種構造体からの音響放射試験, 遮音試験 (無響室-第1残響室), 音響材料の透過損失 (第1残響室-第2残響

室: 垂直, 斜め入射, ランダム入射), 吸音率 (第1, 2残響室) および床衝撃音 (第2残響室) 等があり, 音響基礎特性に関する殆どの試験に対応できる。本施設施工後, 無響室の暗騒音, 吸音特性 (逆2乗特性), 第1, 第2の残響時間特性, 音圧分布の偏差等を測定した結果, 事前設計の推定値より良好な音響特性が得られた。ここに本施設の仕様を紹介する。

P100~103, 表6, 図3, 文献2

海底クリーンシステムの開発 (第3報)

海底ロボットの性能試験

平田敏明, 畑 徳直, 倉本恵治, 藤本宗之, 世良時夫, 岡本五十生, 伊藤信夫*, 鈴木貞男*

An Efficiency Test of the Robot which Travel on the Bottom of the Sea

HIRATA Tosiaki, HATA Noriyoshi, KURAMOTO Yoshiharu, FUJIMOTO Muneyuki,
SERA Tokio, OKAMOTO Isao, ITOH Nobuo, and SUZUKI Sadao

In the sea area of Hiroshima Prefecture, oyster farming is largely done. But the sea area is closing, so red water is occurred sometimes, and sludge is piled up. For this reason, oyster output is decrease gradually.

So, we develop the robot which travel on the bottom of the sea and can remove the sludge with suction and make treatment. This time, we made an efficiency test without suction.

The contents are as follows, travel test, drawing force test, operation test, and resisting test. The result of the test, we had no trouble.

キーワード: 海底クリーンシステム, 海底ロボット, 推進力, 操縦性能, 耐圧試験

1 緒 言

広島県沿岸部の瀬戸内海海域においては、カキの養殖が広く行われているが、海域の閉鎖性が強いいため、沿岸都市や河川から流入する栄養塩等の拡散が十分に行われず、赤潮の発生やヘドロの堆積が進行し、養殖漁場の障害となっている。このような環境の悪化が危惧されている海域の底質改善・浄化をはかるため、現行の養殖漁場に悪影響を与えないで、海底のヘドロを除去・処理を可能とする海底クリーンシステムを開発する。この中で海底ロボットは、海底を走行しヘドロを吸引する役目をするが、今回は吸込口の付かない状態で性能試験を行った結果を報告する。

2 試 験 方 法

2.1 概要

クレーンバジに、ロボットの他、発電機、実験用諸装置、計測機器等を搭載し、試験海域までタグボートで曳航して係留する。試験海域では電動リモコン操縦のキャタピラー式ロボットを海底に降ろし、2~3の性能試験を行う。試験終了後は、錨及びブイ等を試験海域より撤去しバジを港に曳航する。図1に試験海域及び表1に各場所での試験項目、図2にロボットの外観、表2に仕様を示す。

2.2 走行試験

ロボットの水中重量を変えて、前進・後進時における海底でのスリップ量および沈下量を計測する。

試験海域はPt.1で、水深は7.9mである。このときの試験の状態を図3に示す。



図1 試験海域

表1 各試験海域における試験項目

試験海域	位置(GPSによる)	試験項目
Pt.1	北緯 34° 09' 16.2" 東経132° 32' 44.2"	走行試験 推進試験(軟) 操縦性能試験
Pt.2	北緯 34° 09' 10.4" 東経132° 34' 41.5"	推進試験(中)
Pt.3	北緯 34° 09' 28.8" 東経132° 34' 54.8"	推進試験(硬)
Pt.4	北緯 34° 09' 09.0" 東経132° 33' 38.8"	耐圧試験

*海洋科学技術センター

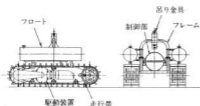


図2 ロボットの外観

表2 ロボットの仕様

本体	外寸	1854(L)×1200(W)×1120(H)
	重量	大気中：305kg 水中：0～100kg
駆動装置	形式	チェーンドライブ型
	電動機	A Cサーボモータ
走行帯	形式	クローラ型
	有効長	1404mm
フロート	有効幅	300mm×2列
	外寸	φ267×1200(L)×2基
フレーム	形式	パイプ型

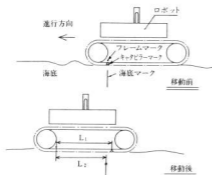


図3 走行試験

まずロボットのフロートに海水を注入して水中重量を40kgとし、海底に降ろす。そしてフレーム、キャピラに合いマークを入れ、同じ位置の海底に目印板を立てる。海底の表層5cmのヘドロ3リットルを採取し、せん断強度測定のための試料とする。

準備ができたから停止の状態からフルスピード(2.5m/min)で30秒間前進した後、停止させ合いマーク間の長さ L_1 (フレーム～キャピラ間)、 L_2 (フレーム～海底の目印板間)、およびロボットの沈下量を計測する。前進を3回行った後、後進を同様に行う。次に、

ロボットに約20kgのウェイトを縛り付け水中重量を60kgとして、同様に試験を行う。

2.3 推進力試験

ロボットを錨で海底に固定して推進力を測定し、推進力と水中重量及び海底の土質(せん断強度による評価)との関係を調べる。

試験海域はPt.1(水深8.2m)、Pt.2(水深10.8m)、Pt.3(5.2m)の三カ所である。このときの試験の状態を図4に示す。

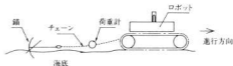


図4 推進力試験

指定海域に到着したら、ロボットの水中重量を調節して海底に降ろす。そしてロボット後端のフレームにチェーンを掛けて荷重計と接続し、荷重計のもう一端は海底に埋まった錨と接続する。ここでも海底表層5cmのヘドロ3リットルを採取しせん断強度測定のための試料とする。

試験はロボットをフルスピードで前進させ、荷重計に掛かる最大荷重を船上で記録する。水中重量40kg、60kg、80kgの三種類の試験が終了したら、次の海域に移動し同様に試験を行う。

2.4 操縦性能試験

海底で直進および旋回を繰り返して行い、指示どおりに動作が行われるかどうか試験する。試験海域はPt.1で、水深は10.2mである。まずロボットの水中重量を40kgに調節して海底に降ろし、本体の向きを北(マグネットコンパスの指針による)に向ける。準備が整ったらフルスピードで2分間前進させた後一旦停止し、今度は90度右旋回を行う。旋回はロボットに取り付けたマグネットコンパスを、船上のテレビカメラでモニタしながら、本体を東に向け90度の旋回を終了する。ロボットが出発点に戻るまで、この動作を繰り返して行い、描かれた軌跡の内側の長さをメジャーで計測し軌跡を求める。

2.5 耐圧試験

ロボットを海中に入れて、耐圧性を確認する。試験海域はPt.4で、水深は42mである。

ロボットの水中重量を40kgに調節した後、クレーンで海中に降ろし、水深20mの位置で停止させる。この状態で無負荷運転を30分間行い、外観および電気系統の異常の有無を検査する。

3 試験結果と考察

3.1 走行試験

計測の結果を表3に示す。ここで L_1 と L_2 の評価であるが、キャタピラーを駆動したときに、海底が柔軟でクローラのくい込みが十分でないとしりっしてキャタピラーマークが海底の目印板よりも後方に移動するので $L_1 > L_2$ となる。従って L_1 と L_2 を比較すれば、しりっを見知することができる。

水中重量を40kgとした場合は、電流値は1.36~1.40 Aで前進、後進共に $L_1 > L_2$ となりキャタピラーはしりっしていない。

水中重量を60kgとした場合は、電流値は1.45~1.50 Aを示し、前進時はしりっしないが、後進時にややしりっの傾向が現れた。これは、水中重量が大きい方が、モータの駆動電流が多くなって駆動力が強くなるにもかかわらず、後進時は沈下量が少なくてくい込みが十分でないためと考えられる。

表3 走行試験結果

項目	進行方向	L_1 (cm)	L_2 (cm)	沈下量 (cm)	電流値 (A)
40kg	前進	129	129.3	3.7	1.36~1.40
	後進	129	130	1.7	1.40
60kg	前進	127	127	9.5	1.45
	後進	131.3	130.7	3.1	1.45~1.50

※但し数値は3回の平均値

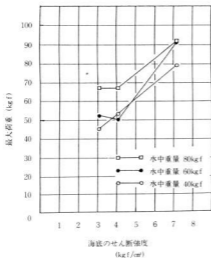


図5 推進力試験結果

3.2 推進力試験

計測の結果を図5に表す。図は横軸に海底のせん断強度、縦軸に最大荷重をとり、3本のグラフは各々の水中重量での値を示したものである。

これによると、海底のせん断強度が高く(硬い)なるほど、最大荷重が大きく従って推進力が強くなることを示している。水中重量が60kgと80kgの場合では、せん断強度が4 kgf/cm²付近で最大荷重は最低値を示し、せん断強度がそれ以下の所では最低値を維持している。水中重量が40kgの場合は、このグラフの範囲では最低値は現れていない。

また、水中重量も大きい方がキャタピラーが海底に深くくい込むので、最大荷重が大きく従って推進力が強くなる。水中重量が80kgの場合だと、40kgの場合より約15kg大きくなっている。

3.3 操縦性能試験

ロボットの軌跡を図6に示す。直進、90度旋回の繰り返しが正確であれば、軌跡は正方形になるはずであるが、実際は各トランジションでの旋回角が90度以上になった為、ロボットは出発点に戻る事が出来なかった。旋回角が、各トランジションで異なったのは、マグネットコンパスの示す方位が磁方位のためであると思われる。よってマグネットコンパスが周囲から受ける磁差の影響を修正して、方位を磁方位で表す必要がある。

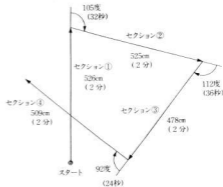


図6 ロボットの軌跡

各セクションでの走行距離を图7に示す。走行時間2分間の予想走行距離5mに対し、実際の走行距離は前後5%程度の範囲に入っており、海底の地形や測定誤差を考慮して一応評価できる。

次に、旋回角度と時間の関係を図8に示す。横軸に

旋回角、軸軸に旋回時間をとると旋回角とそれに要する時間は比例関係にあることがわかる。しかし、各トランジションにおける旋回速度は、棒グラフのようになり、最高で3.83度/秒、最低で3.11度/秒である。図に示した範囲はこの旋回速度の差によって生じる旋回時間の範囲を示したものである。これによると、遅い速度で旋回した時と早い速度で旋回した時の時間差は、92度の角度を旋回する場合で5.6秒(29.6秒-24秒)となる。

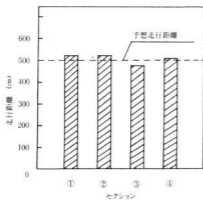


図7 各セクションでの走行距離

3.4 耐圧試験

30分間の無負荷運転中、外観および電気系統に特に異常は見あたらなかった。陸揚げ後、左右の浮力タンクを調べたところ、6室すべてに漏水が見つかった。それでタンクの栓を溶接し密閉することにした。

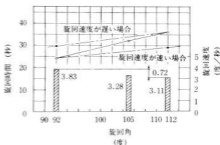


図8 旋回角度と時間の関係

4 結 言

以上の結果を要約すると下記のとおりである。

- (1)海底走行試験の結果、水中重量を60kgにして後進させた時にややスリップの傾向が現われた程度で、海底の走行に支障はなかった。
- (2)推進力試験の結果、推進力はロボットの水中重量が大きいほど、また海底のせん断強度が高いほど強かった。しかし、せん断強度がある値以下になると一定値を示した。
- (3)操縦性能試験の結果、直線の走行距離は理論値の5%以内で良好だが、旋回速度は速い(3.83度/秒)時と遅い(3.11度/秒)時の差が0.72度/秒あり、計算上92度の旋回に対して5.6秒の差が生じる。
- (4)耐圧試験の結果、水深20mの海中でも耐えることが判明した。
- (5)マグネットコンパスはそのまま取付けただけではロボットの方位を正確に示さないで、マグネットコンパスの磁差を修正するか、磁差表を用意する必要がある。

カキ養殖海域の浚渫汚泥スラリーに対する遠心分離機の処理性能試験

倉本恵治, 世良時夫, 岡本五十生, 藤本宗之, 畑 徳宣, 平田敏明, 伊藤信夫*, 鈴木貞真*

Management and Performance Test of Decanter for the Slurry

KURAMOTO Yoshiharu, SERA Tokio, OKAMOTO Isoo, FUJIMOTO Muneyuki,
HATA Noriyoshi, HIRATA Toshiaki, ITOH Nobuo* and SUZUKI Sadao*

The polluted sediment is deteriorating on the coastal sea in the prefecture in recent years. For the purpose of purifying that bottom of the sea, we performed the research to remove the sludge and maintain the submarine environment into the effect. Concerning the decanter among the total system, the sludge was dehydrated.

The optimum conditions were as follows :

- ・ The centrifugal effect : 1000 G
- ・ The quantity of supply : 100 ℓ /hr
- ・ The difference of speed : 10 rpm
- ・ The addition rate of flocculant : 0.11 DS%

キーワード: 海洋環境, 海底堆積物, 遠心分離機, 凝集処理, 汚泥脱水

1 結 言

閉鎖性水域である瀬戸内海において、例年春から夏にかけて海域により、赤潮の発生、底層における貧酸素水塊の発生が見られる。また、蓄積性の汚濁物質や栄養塩類等に起因する富栄養化現象が顕在化している。これにより、沿岸漁業、海面養殖業、採藻等の漁獲、生産に被害をもたらしており¹⁾、県内沿岸海域で養殖されるカキも被害を被っている。

漁業保安上、閉鎖性水域の水質の改善は強く要請されるものであり、必要となってきた。そのため、底質の悪化が進んでいるカキ養殖海域の海底の浄化を目的に、ヘドロを除去し海域環境を改善する研究を実施している。

前年度まで、カキ養殖海域の環境調査、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し、報告した²⁾。今回はトータルシステムのうち、バイオデカンター型遠心分離機の浚渫汚泥スラリーに対する処理性能を確認した結果を報告する。

2 試験海域と試験方法

2.1 試験海域

試験は、前報²⁾の安芸都音戸町波多見地先「奥の内湾」St-3付近(北緯34°09'25.0", 東経134°32'50.7")

*海洋科学技術センター

の海域で実施した。

2.2 試験方法

クレーンバージュ上に、発電機、実験用諸装置、計測用具等を搭載し、保留した上で諸装置の運転性能試験を行った。海底ロボットから供給される有機汚泥水を直接バージュ上のタンクに貯め、しばらく静置した後、沈殿した有機汚泥を遠心分離機に投入して分離試験を行った。試験機は、バイオデカンター型遠心分離機 VSS-150型(コトブキ技研工業株式会社製)を使用した。

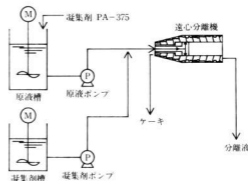


図1 遠心脱水試験フロー

凝集剤は、クリフロック PA-375, クリフィックス CP-939 (栗田工業株式会社製) の2液を使用した。

試験フローを図1に示した。原液槽中のスラリーを供給ポンプにより遠心分離機内に投入し、固形物を沈降させるボウルと連続的に排出するスクリュウコンベアとに回転速度差(差速)を与え遠心沈降処理する。

条件(1)遠心効果(G), (2)差速(rpm), (3)供給量(ℓ /hr), (4)凝集剤添加量(DS%)を設定し、分離されて排出される分離液、脱水ケーキの性状変化より装置の性能を確認した。

2.3 水質分析

ロボットの作動している近辺の海水とデカンターで脱水処理後の水について、表1の項目について分析を行った。

表1 水質分析方法

試験項目	計量方法
pH(-)	環告第59号 (H.5改正)
COD(mg/ ℓ)	"
SS(mg/ ℓ)	"
NH ₄ -N(mg/ ℓ)	JIS-K-0102-42
NO ₂ -N(mg/ ℓ)	JIS-K-0102-43
NO ₃ -N(mg/ ℓ)	JIS-K-0102-43
PO ₄ -P(mg/ ℓ)	JIS-K-0102-46

3 試験結果と考察

3.1 遠心分離機供給液性状

海底ロボットから吸い上げた泥水をタンクに貯め、上澄み水を除去した試料の性状及び粒度分布は表2および図2の通りである。また、ロボットが吸い上げた水の平均SSは68,000 (mg/ ℓ)であった。

表2 分離機供給液性状

試験項目	分離機供給試料
pH(-)	7.5
濃度(%)	13~15
中央粒子径	14
d ₅₀ (μ m)	

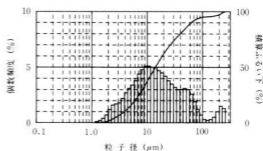


図2 粒度分布

3.2 遠心分離機設定条件と処理性能

3.2.1 遠心脱水試験結果

遠心分離機設定条件と脱水処理のデータを表3に示

表3 遠心脱水試験結果

No.	遠心効果		供給液		分離液		脱水ケーキ		回収率		凝集剤		
	G	rpmf	供給量 ℓ /hr	濃度 %	濃度 %	含水率 %	%	%	種類	量 ℓ /hr	添加率 DS%		
1	700	10	100	14.6	46	63.8	99.97	CP-939	8	0.22			
2	1000	10	100	14.6	78	62.2	99.97	CP-939	8	0.22			
3	500	10	100	14.6	68	64.5	99.97	CP-939	8	0.22			
4	1000	15	100	14.6	706	62.1	99.74	CP-939	8	0.22			
5	1000	5	50	13.8	84	59.4	99.96	CP-939	8	0.46			
6	1000	10	100	14.0	32	59.5	99.96	CP-939	8	0.11			
7	1000	15	200	15.4	100	60.4	99.96	CP-939	30	0.19			
8	1000	10	200	15.4	94	59.5	99.96	CP-939	30	0.19			

した。各々の設定条件と処理性能の関係について以下の通りである。

3.2.2 処理性能におよぼす遠心効果、差速、凝集剤添加率の影響

遠心効果と処理性能の関係を図3に示した。遠心効果を上昇させることによりケーキ含水率は低下傾向を示していることから、遠心効果1000Gが最適条件と思われる。

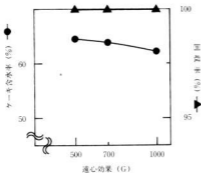


図3 遠心効果の影響

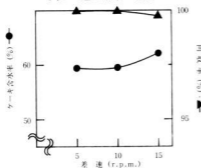


図4 差速の影響

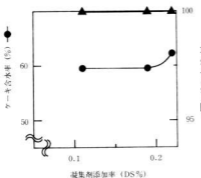


図5 凝集剤添加率の影響

差速と処理性能の関係を図4に示した。差速5rpmと10rpmのケーキ含水率、分離液濃度はほぼ同じであるが、供給量を比較した場合、差速10rpmが最適条件と思われる。

凝集剤添加率と処理性能の関係を図5に示した。凝集剤添加率0.11DS%と0.19DS%のケーキ含水率、分離液濃度はほぼ同じであるが、コスト的に考えると凝集剤添加率0.11DS%が最適凝集剤添加率と思われる。

3.3 脱水処理後の水質分析結果

ロボットが作動している近辺の海水とデカンターで脱水処理後の水の分析結果を表4に示す。

表4 水質分析結果

試験項目	吸い上げ水	脱水処理水
pH(-)	8.2	7.8
COD(mg/ℓ)	1.7	22.5
SS(mg/ℓ)	3.5	23.0
NH ₃ -N(mg/ℓ)	0.01	0.65
NO ₂ -N(mg/ℓ)	<0.01	0.05
NO ₃ -N(mg/ℓ)	<0.01	0.03
PO ₄ -P(mg/ℓ)	<0.01	0.17

COD, SSの結果から、処理水を海域に放出するには、活性炭吸着又は濾過材による濾過を行うなど、もう1段階処理が必要と思われる。

4 結 言

上記の試験結果より、次の運転条件(遠心効果1000G、差速10rpm、供給量100ℓ/hr、凝集剤添加率0.11DS%)で、ケーキ含水率約60%、分離液濃度約30ppmという処理性能が得られた。他の条件においても同等のケーキ含水率、分離液濃度が得られているが、コスト的な面で思わしくない。凝集剤添加率はさらに低下させようと思われる。

文 献

- 1) 水環境学会誌, 16(1993)8, 29
- 2) 倉本他: 広島県西部工技研究報告, No.36(1993), 39

海底ヘドロの固形化利用技術に関する研究

藤本宗之, 倉本恵治, 畑 徳宣, 平田敏明, 世良時夫, 岡本五十生, 伊藤信夫*, 鈴木貞男*

Solidification of the Eutrophic Sediment Which was Removed and Dehydrated from the Sea Bottom

FUJIMOTO Muneyuki, KURAMOTO Yoshiharu, HATA Noriyoshi, HIRATA Toshiaki,
SERA Tokio, OKAMOTO Isoo, ITOH Nobuo* and SUZUKI Sadao*

Development of the system to remove the eutrophic sediment which was heaped up on the sea bottom under the oyster farm and to restore the clean sea area was investigated.

Two experiments to make effective use for the sludge which was dredged up from the sea bottom and spin dried were tried for solidification. One was the solidification by cement or solidifying additives and the other was firing the desalted sludge.

The results of the experiments were as follows.

- (1) Compressed strength of solidified sediment by the portland cement was 4.8 MPa, and its value was equal to 1/5 of the popular concrete strength.
- (2) High polymer coagulation agent which was added to dehydrate the sediment and remained in the dehydrated sludge gave the strengthening effect to the solidified body.
- (3) Firing body which was fired of dehydrated and desalted sludge showed 4.3% of water absorption after 1100 °C firing and its color was "chocolate" or "excess-burn" because of iron content.

キーワード: 浅海堆積物, スラッジ, 凝固, セメント, 焼結

1 緒 言

海域環境浄化の一手法として浚渫は国内で広く行われ、この分野において日本は技術的に世界をリードしていると言われる^{1,2)}。海底を浚渫した際に得られるヘドロは海岸の埋め立てに利用されるのが普通で、さらに高度な利用には、塩分や有機物を含む、粒子が細かいなどの理由で、実現しないことが多い。

カキいかだの下のような養殖海域内に堆積したヘドロは重金類などの致命的に有害な物質を含んでおらず、水深も浚渫するのに不可能なほど深くないので、適当な有効利用の方法さえ見つければ、その除去は比較的容易である。

筆者らは現在県内のカキ養殖場を対象に海底浄化の研究を進めているが³⁻⁶⁾、その際に除去される有機性のヘドロを固形化し有効利用する方法についても検討中である。今回は普通ポルトランドセメント及びセメント系固形化材を利用して固形化する方法と、ヘドロを脱塩後焼結する方法について実験を行ったので次に報告する。

2 実験方法

2.1 試料

2.1.1 海底ヘドロ: 安芸郡音戸町波多見地先のカキ養殖海域海底から吸引して海上に取り上げ、高分子凝集剤を添加後遠心脱水を行って得た脱水スラッジ⁷⁾を試料とした。なお、脱水スラッジは60%以下の低水分に加えて高分子凝集剤を含んでいるため粘性が高く、混練等の取り扱いが困難なので、セメントで固形化する実験については、試料に水を添加し、1mm目のふるいを通して押し出し、貝殻等の夾雑物を取り除いた後、水分量を62%に調整して使用した。

同じ海域から採取し、高分子凝集剤を添加せず脱水等の処理も行わない泥については、静置して上澄みを除くことによって、水分を62%に調整したヘドロも対比試料とした。

焼成により固形化する実験については、脱水スラッジを1mm目のふるいを通した後、洗浄水が1%硝酸銀溶液を滴下しても白濁しなくなるまで水洗し乾燥して試料とした。

2.1.2 固形化材: 普通ポルトランドセメント及び埋

*海洋科学技術センター

表1 脱水ヘドロ固化のための配合設計

固化材量300kg/m ³		水固化材比=1.20	
固化材(g)	ヘドロ(湿重(g))	標準砂(g)	水(g)
300	831(100)	0(0)	265
300	827(80)	116(20)	225
300	729(60)	272(40)	240
固化材量200kg/m ³		水固化材比=1.20	
固化材(g)	ヘドロ(湿重(g))	標準砂(g)	水(g)
200	957(100)	0(0)	200
200	1057(80)	148(20)	67
200	931(60)	347(40)	88
固化材量100kg/m ³		水固化材比=1.60	
固化材(g)	ヘドロ(湿重(g))	標準砂(g)	水(g)
100	1063(100)	0(0)	150
100	997(80)	140(20)	148
100	899(60)	335(40)	149

()内の数値はヘドロ(乾泥)と標準砂の体積比を示す。

め立て地の路盤改良等の目的で使用されているセメント系固化材(小野田セメント製:商品名=ケミコC213)をいずれも100~300kg/m³の範囲で使用した。

2.1.3 骨材:予備実験において、平均粒子径10 μ mという微粒子から成る海底ヘドロを固化材だけで固形化したところ、水中養生が終わった後空气中に放置すると1週間くらいで供試体に大きなひび割れが発生したので、強度増強とひび割れ防止のために、セメントの物理試験で使用される標準砂を骨材として使用した。

2.2 実験方法

2.2.1 固化材による固形化

高分子凝集剤を加え速く脱水したヘドロと何も加えていないヘドロのそれぞれについてポルトランドセメントとセメント系固化材の両方を使い表1に示す配合で固形化を行った。配合に当たっては水固化材比をできるかぎり低く一定にするように心がけたが、混練が困難なためやむなく練り水を増やすケースも生じた。またヘドロが微粒子から成るため、普通コンクリートととられる0.5~0.6程度の水固化材比では全く混練ができず、考え方として正しいか否か問題は残るが、(練り水+ヘドロ水分)/(セメント+乾泥)が一定となるように配合設計を行った。試験方法はJIS R 5201(セメントの物理試験方法)の強さ試験方法に従い4 \times 4 \times 16cmの供試体を作成し20 $^{\circ}$ Cの水槽に入れ標準養生する手順に従ったが、混練についてはモルタルの粘性が非常に高く、ミキサーで混練できない場合が生じたので、すべて手練りに統一した。

2.2.2 焼結による固形化

脱塩後乾燥したヘドロ10gを加圧成型用金型に充填し、500kgf/cm²の圧力で50 \times 20 \times 約5mmに成型後電気炉に入れ焼成した。温度条件は室温から100 $^{\circ}$ C/時で昇温し、1050 $^{\circ}$ Cから1150 $^{\circ}$ Cの一定温度で1時間保持後室

海底ヘドロ凝固試験

セメントの種類:セメント系固化材(ケミコC213)
 混入量:300kg/m³
 骨材の種類:標準砂
 混入量:20(VOL)%
 材令:28日



写真1 固化材で固形化したヘドロ

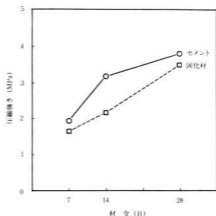


図1 固化材の種類と圧縮強さ
(固化材量300kg/m³, 骨材0%)

温まで放冷して供試体を取り出し焼成色の観察と吸水率及び取縮率の測定を行った。

3 実験結果と考察

3.1 固化材による固形化

海底から取り上げたヘドロの脱水に使った高分子凝集剤は界面活性剤の一種で、これを含む泥はセメントやセメント系固化材で固形化する際の障害となることが予想されたが、後述するように充分固形化が可能であった。固形化した供試体を写真1に示す。

3.1.1 固化材の種類が固形体の強度に及ぼす影響

図1は固化材にポルトランドセメントとセメント系固化材を使用した場合の圧縮強さの違いを示す。ポルトランドセメントでは通常のコンクリート配合の場合と同様に4週後には圧縮強さの上昇が鈍ったのに対して、セメント系固化材では初期強度がポルトランドセ

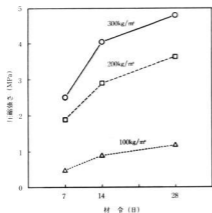


図2 セメント配合量と圧縮強さ
(骨材量40%)

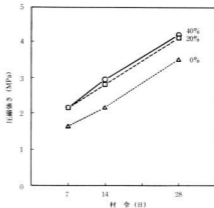


図4 骨材配合量と圧縮強さ
(固化材300kg/m³)

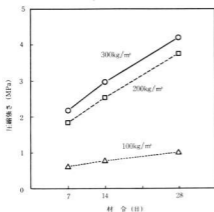


図3 固化材配合量と圧縮強さ
(骨材量40%)

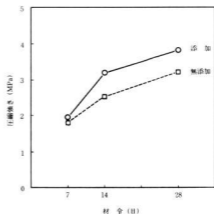


図5 凝集剤の添加と圧縮強さ
(セメント量300kg/m³, 骨材量0%)

メントと比較して劣るものの、4週後もなお上昇が予想され、長期強度はポルトランドセメントより優れることをうかがわせるカーブを示している。

3.1.2 セメント配合量が固化体の強度に及ぼす影響

セメント量を100kg/m³から300kg/m³まで変化させて作成した供試体は、図2に示す強さを示した。この図から今後セメント量を増加させてもその量に比例した強さの上昇は期待薄と推定される。セメント量300kg/m³の場合、4週強度は4.8MPaであるが、今後材令に対する強さが放物線的に上昇すると仮定すれば、最終強度は5MPa以上になると推定される。

3.1.3 セメント系固化材の配合量が固化体の強度に及ぼす影響

セメントの時と同様配合量を100kg/m³から300kg/m³まで変化させた結果を図3に示す。図2と比較して4

週強度の最大値は4.2MPaで、同じ配合量ではセメントに比較してやや低いのが、4週後もなお強度の上昇が予想され、固化材量をセメントの場合より幾分か増加すれば、セメントと同等の初期強度とセメントより優れた最終強度にすることが可能と思われる。

3.1.4 細骨材量が固化体の強度に及ぼす影響

細骨材の配合量を体積で0%から40%まで変化させた場合、固化体の強さは図4に示すように骨材配合による強度の上昇は見込めるが、比較的少ない配合量で頭打ちとなることが明らかになった。この傾向は固化材にポルトランドセメントを使用した場合とセメント系固化材を使用した場合いずれの場合でも同様の傾向を示した。

3.1.5 凝集剤の添加が固化体の強度に及ぼす影響

コンクリートの中に有機物が混入することは一般に嫌われる。そこで高分子凝集剤がコンクリートの固形

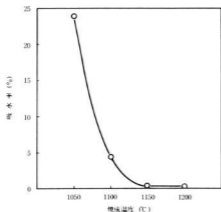


図6 焼成温度と吸水率



写真2 焼結で固化したヘドロ

化にどのように影響するか調べるため、比較を行った。セメント量300kg/m³、骨材量0%の場合図5に示すように、凝集剤が添加された方が強度が高い結果が得られた。強度が高く出た理由については、凝集剤の添加量が0.14%(対乾泥推定値)と少なく、固化材の凝結を妨害するほどの量でなく、むしろ固化材に対して混和剤的な働きをしたためではないかと思われる。

3.2 焼結による固化

瀬戸内海の海底ヘドロは大きく二つに分けて陸上の土砂に由来する微粒子とプランクトンの死骸とから構成されているものと思われる³⁾。しかし化学分析やX線回折結果からそれらを明確に区別することは困難であった。化学成分は通常の土砂と大差なくまた粘土鉱物も認められなかったことから⁶⁾、焼結によって固化するためには1100~1200°Cに加熱する必要があると推定され、この温度範囲で焼結した供試体を写真2に示す。

焼成温度の上昇と共に焼成体の吸水率は図6に示すように小さくなり、1050°Cでは20%以上で焼結不十分を示しているが、1100°Cで4.3%、1150°Cでは0.3%に低下し十分に焼結が進んでいることを示している。また焼成収縮率は焼成温度とともに高くなり、1100°Cで最高に達しているが、それ以後低下していることから、過焼による発泡が起こることが考えられ、建築用セラミック材料として使用するにしても、他の焼成温度幅の広い原料と混ぜて使用することが望ましい。やむなく単味で焼成するためには温度をかなりシビアにコントロールすることが必要と思われる。脱塩乾燥した試料には鉄分が約5%(Fe₂O₃として)含まれているため、焼成体の色調は1100°Cのとき過焼又はチョコレート系の色となった。

4 結 言

カキ養殖海域の海底から吸引して取り上げ、高分子凝集剤を添加後遠心脱水処理した海底ヘドロを固化し有効利用する目的で、ボルトランドセメントやセメント系固化材を配合するか、あるいは焼結によって固化する実験を行い、次の結果を得た。

- (1)セメント量300kg/m³、細骨材量40%のとき、標準養生4週後の圧縮強さが4.8MPaで最大強度となった。
- (2)セメント系固化材(小野田セメント製:ケミコC213)を使用した場合は4週強さが4.2MPaでセメントに比較してやや劣るが、長期強度はセメントより優れることを予想させる結果が得られた。
- (3)高分子凝集剤を添加した脱水ヘドロは、添加しない場合より固化体の強度が高くなった。高分子凝集剤が混和剤的な働きをしたためと思われる。
- (4)細骨材の添加は体積で20%までは固化体の強度上昇がみられたが、それ以上は添加率に比例した上昇はみられなかった。
- (5)脱水ヘドロを水洗し脱塩後電気炉で焼成した場合、1100°C1時間焼成で吸水率は4.3%となり色調はチョコレート又は過焼色となった。

文 献

- 1)日本水産資源保護協会:底質改良事業実施指針(1985.3)
- 2)運輸省港湾局:港湾技術要報No31(1982)
- 3)倉本他:広島県西部工技研究報告, No35(1992),78
- 4)倉本他:広島県西部工技研究報告, No36(1993),39
- 5)平田他:広島県西部工技研究報告, No37(1994),1
- 6)倉本他:広島県西部工技研究報告, No37(1994),5

小型船の船型開発に関する研究

畑 徳宣, 平田敏明, 岡本五十生, 立花秀雄*, 今村友昭*, 早本明彦**

Hull Form Development Using the Circulating Water Channel for Small Ships

HATA Noriyoshi, HIRATA Toshiaki, OKAMOTO Isoo, TACHIBANA Hideo*,
IMAMURA Tomoaki* and HAYAMOTO Akihiko**

The hull form development using the circulating water channel has been carried out the resistance test and following results were obtained.

- (1) In the case of one and a half meter model, the horse power prediction in resistance test was similar to the towing tank test result, and the improvement hull form reduced horse power by about six percent.
- (2) In the case of two meter model, the horse power in full load condition was reduced about three percent and ballast condition was reduced by about two percent.
- (3) Also the hull form development was able to carry out the flow observation around a body during the resistance test.

キーワード: 抵抗試験, 回流水槽, 有効馬力

1 緒 言

移転にともなって新設された回流水槽の利活用技術の確立を図るため, 抵抗の少ない小型船の船型開発を効率的に進めるうえで必要となる。模型船の作製, 抵抗試験, 波の発生状況の観察等について総合的に実施し, 併せて比較試験を行うために必要となる標準船型の開発を行ったので報告する。

なお, この研究は地域技術者養成事業及び客員研究員派遣事業の一環として行ったものである。

2 実験方法

2.1 装置及び計測機器

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で形式はV2-30Bである。特徴として風洞装置を設置しているので水流及び風の影響を同時あるいは, それぞれ単独で試験可能である。また, 水槽の材質はメンテナンス等を考慮して接水部はステンレスチールを使用している。

計測器として抵抗試験・自航試験で使用する3分力計(日章電機㈱製)・動歪計(日本電気三栄㈱製), 流速分布・風速分布・定在波・サージング計測等を行う流速計(ヒトー管(柳岡野製作所製), プロベラ式(篠塚製作所)), 風速計(日本科学工業㈱製), 波高計(柳ヶネック製), 自航要素計測装置(西日本流体技術研製)を使用した。表1に風洞付垂直循環型の回流水槽, 計測機器の性能・測定範囲及び寸法等の仕様

*今村友昭造船所, **佐々木造船㈱

表1 垂直循環型回流水槽(風洞付)の主な仕様

項目	性能及び測定範囲	
本 体 仕 様	流 速	0~2 m/s インベラ回転数により連続可変
	流速分布	±2%以内(流速1 m/sにおいて)
	定在波	±2 mm以内(流速1 m/sにおいて)
	サージング	±2 mm以内(流速1 m/sにおいて)
	水面傾斜	1/4000(流速1 m/sにおいて)
	観測部寸法	幅1.5m長さ4.0m深さ1.5m(水深0.8m)
	風 速	0~10 m/s
	風速分布	±5%以内(吹出しより2m下風速5 m/sにおいて)
	水 量	約30トン
	材 質	接水部 SUS304
機 器	抵抗試験及び斜航試験用	
	流速及び風速分布計測用	
	波高分布計測用	
計 測 器 仕 様	3分力計	X,Y軸 ±2 Kg モーメント±0.8Kg-m
	流速計	ヒトー管式
	風速計	プロベラ式(φ3mm) 10cm~2 m
	波高計	サーボ式水位計 ±50mm
	風速計	アナモスタター 0~10m, 0~50m
自航動力計	トルク±1 Kg, スラスト±1 Kg/cm	

を示す。抵抗試験等の計測データはパソコンで処理して出力できるようになっている。

2.2 模 型

回流水槽における試験データは, 曳航水槽で試験された大型模型のデータと比較検討することで, 実船への推定精度を高めることができる。そこで, 日本造船技術センター等で研究されたデータが豊富な船型¹⁾を参考に本回流水槽に適した大きさである1.5m長さの模型を製作し試験を行った。

さらに, 企業が持つ2m模型で船型がやや異なる既存のオイルタンカー2隻についても比較試験を実施し, 船型の改良を行った。主な要目を表2に示す。

表2 実験に用いた船型の主要目

	データ比較用1.5m模型		船型試験用2m模型(オイルタンカー)			
	模型	実船	A模型	A実船	B模型	B実船
垂線間長さ Lpp(m)	1.5000	150.000	2.0000	84.000	2.0000	85.000
計画満載喫水線長さ Lwl(m)	1.5600	156.000	2.0714	87.000	2.0637	87.707
幅 B(m)	0.2857	28.570	0.3143	13.200	0.2965	12.600
深さ D(m)	0.1300	13.000	0.1900	6.600	0.1553	6.600
喫水(満載) d(m)	0.0840	8.400	0.1398	5.872	0.1224	5.675
(バラスト)	0.0591	5.910	0.0872	3.664	0.0803	3.413
排水容積(満載) ∇ (m^3)	0.19887	19.887	0.06046	4476.7	0.05440	4176.1
(バラスト)	0.12926	12.926	0.03421	2534.3	0.02989	2294.3
浸水面積(満載) S(m^2)	0.4656	4.656	0.9719	1714.5	0.8910	1609.4
(バラスト)	0.3636	3.633	0.7257	1280.2	0.6484	1171.2
トリム(満載) (m)	0	0	0.0239	1.004	0.0224	0.950
(バラスト)	0.0150	1.500	0.0488	2.048	0.0772	3.281

2.3 抵抗試験¹⁾

抵抗試験は満載状態及びバラスト状態で実施し、それぞれの排水量に応じた重りを模型にのせ、所定のトリムになるよう模型の姿勢を調整したのち治具に取り付け試験を行った。流速は模型と実船の相似則を満足させるため、実船の最高速度でのフルード数を基に最高流速を決めて試験を行った。

フルード数(Fn)は、自由表面の存在に起因する造波現象が主に関連する数値で船の速力・重力加速度・船の長さから次式により求められる。Fn = V/\sqrt{gL} 抵抗試験を行うにあたって模型の乱流を促進するためステーション91/2に10mmピッチで、高さ2mm、船首バルブ突出部中央に10mmピッチで高さ1.5mmのスタッドを取り付けた。

実船の有効馬力計算には、模型試験における流速と抵抗値(Rt)から各抵抗成分に分離し、各抵抗係数を求め、各抵抗係数より実船のRtを推定する三次元解析法を用いて行った。

模型のRtを水の密度 ρ 、速度V、浸水表面積Sを用いて無次元化するると全抵抗係数(Ct)は次式によって表される。

$$Ct = 2Rt / \rho S V^2 \quad (1)$$

また、全抵抗を粘性抵抗と造波抵抗に分離して三次元形状の影響を考慮した式は次のように表せる。

$$Ct = (1+K) Cf + Cw \quad (2)$$

Cf: 摩擦抵抗係数, K: 形状影響係数, Cw: 造波抵抗係数 ここで、形状影響係数及び造波抵抗係数を模型と実船で同じと仮定すると実船の全抵抗が計算できる。

3 実験結果と考察

3.1 1.5m模型による回流水槽の性能把握

図1に回流水槽の性能把握及び船型の改良手法を見出すために行った1.5m模型試験による実船の有効馬力と速力の関係について示す。図1には、参考のため曳

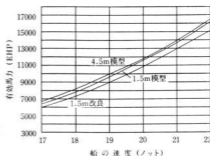


図1 船の速度と有効馬力の関係

航水槽における4.5m模型の試験結果¹⁾も併せて示す。

図1から4.5m模型に対して1.5m模型では必要有効馬力が全体的に少ないのは、1.5m模型にはバジキールを付けていないためと思われる。また、必要有効馬力の差は低速側で4%前後、高速側で2%以下となっており低速で差が大きいのは、試験時の水温が低いとき乱流を促進するためスタッドを増す必要があるとの報告²⁾もあり、船首部の乱流促進が少ないためと思われる。

さらに、船首及び船尾の揺れを防止するため取り付けた治具との摩擦も影響しているものと思われる。

4.5m模型の船首のフレームラインをV型からU型に変更すると有効馬力が減少したという結果¹⁾を参考に船首尾のフレームライン及び船首バルブの形状を改良した船型を開発し試験した結果、図1に示すように1.5m模型の船型に対して6%程度有効馬力が減少した。

3.2 2m模型による抵抗試験

図2に満載時におけるオイルタンカーの2m模型試験による実船の有効馬力と速力の関係について示す。A船型はB船型に比較してやや長さが短く、幅は広く、喫水は深く、船首バルブの形状も違っているので有効馬力はB船型に較べて高くなっている。一方1.5m模型の

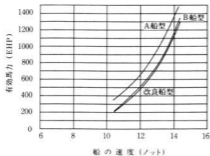


図2 船速と有効馬力の関係

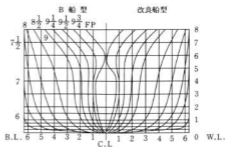


図3 B船型及び改良船型，船体前半部の船図

B船型

改良船型



流速0.9 m/s (実船速度11.4ノット)



流速1.0 m/s (実船速度12.6ノット)



流速1.1 m/s (実船速度13.9ノット)



流速1.2 m/s (実船速度15.1ノット)

写真1 B船型と改良船型の船首波発生状況

改良
バラ
図
の船
水線
は先
平に
いて
の関
効馬
船型
今
われ
が1.
て水
制限
われ
船型
らな
正が
基準

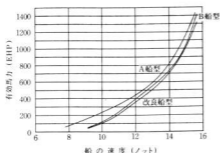


図4 船速と有効馬力の関係(バラスト)

改良手法を適用したB船型の改良型では速度によってバラツキはあるが約3%程度有効馬力が減少した。

図3にB船型及びそれを改良した船型の船体前半部の船図を示す。改良点は水線より下をやや膨らませて水線より上をやや痩せさせた。船首バルブはB船型では先端に向かってした下がりになっていたのをほぼ水平に、下端はベースラインのF P点付近より曲率がついていたのを9/4点付近から曲率を付けた。

図4にバラスト時における実船の有効馬力と速度の関係を示す。満載時と同様A船型はB船型に較べ有効馬力は高くなっているのは先ほどの理由による。B船型の改良型は約2%程度有効馬力が減少した。

今回試験したA船型及びB船型のデータを他社で行われたものと比較すると、実船の必要とする有効馬力が1.5m模型と違って高くなっていた。この理由として水槽の設定流速に対して模型が大きくなると流路の制限を受けるため模型回りの流速が変化したためと思われる。今回のように同種の船型で比較試験を行って船型の良否を判断する場合は絶対値がさほど問題とならないのでよいが、単独で試験をした場合、数値の補正が問題となるので今後、他の種類の船型についても基準となる船型を充実する必要がある。

写真1に試験中の模型が発生する船首波の状況を流速毎に示す。B船型・改良船型とも流速が速くなるにつれて、船首で発生する波は大きくなっていくが改良した船型ではいずれの流速においても波の発生は低くなっている。回流水槽における試験では、曳航水槽と違って定常状態の状況を観察できるため、船型の改良等において有効に活用できると思われる。

4 結 言

1.5m及び2m模型を使用して回流水槽で試験を行った結果、次のような結論を得た。

- (1) 1.5m模型による回流水槽試験結果はヒルジキールの等の付加物を考慮すると曳航水槽における試験結果と比較的よく一致している。低速時の試験方法については今後検討が必要である。
- (2) 4.5m模型の船型改良手法を応用して1.5m模型の船型を改良したところ、約6%有効馬力が減少した。
- (3) 2m模型の試験データは他社のデータと比較すると高めになる傾向にあり、今後船体回りの流速変化を測定することが必要である。
- (4) 2m模型についても船型の改良を行ったところ、満載時で約3%、バラスト時に約2%の有効馬力の減少が図られた。

謝辞

本研究の中で、回流水槽試験技術・船舶設計等の全般的な技術について、客員研究員としてご指導いただいた広島大学名誉教授の仲渡先生に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 寺井芳男：日本造船技術センター技法, 7 (1979), 31
- 2) 仲渡道夫：講義資料
- 3) 浅野誠一他：関西造船協会誌, 175 (1979), 1

廃発泡プラスチックの再生利用技術に関する研究(第1報)

好満芳邦, 岡本五十生*, 岩竹民哉*, 下原伊智朗, 山縣康男, 丸下清志, 平田敏明, 田平公孝

Studies on Recycling Technologies of Waste Foamed Plastics (1st Report)

YOSHIMITU Yoshikuni, OKAMOTO Isoo*, IWATAKE Tamiya*, SHIMOHARA Ichiro,
YAMAGATA Yasuo, MARUSHITA Kiyoshi, HIRATA Toshiaki, and TAHIRA Kimitaka

Economical processing of waste plastics for recycling have been studied on the account of protecting global environment. In this study, foamed plastic products from polystyrene was selected and sinter forming and direct injection molding method were adopted for economical processing technologies for recycling.

As the results, light weight material like wood from sinter forming and plates for farming of oyster from direct injection molding were molded and practical experiments have been continued.

キーワード: 廃プラスチック, ポリスチロール, 減容化処理, 焼結成形, 射出成形

1 緒 言

地球環境問題が深刻化する中で、廃棄物問題は貴重な資源の合理的な活用問題と重ねて重要な課題である。鉱さい、汚泥、建設廃材などの大量に廃棄される廃棄物と肩を並べて、量的には全廃棄物の1% (重量比) に満たない廃プラスチックが大きな問題となっている。平成2年度における広島県の廃棄物総量は1413万tで、そのうち廃プラスチックは8万t (0.7%) と報告されている¹⁾。全国的な統計では、プラスチックの年間生産量1200万tに対し約600万tが廃棄されている^{2,3)}。かさばり、軽く、くさらないこれらの廃プラスチック (以下廃プラとする) は、燃焼熱が高く焼却炉の炉壁をいため、またポリ塩化ビニルなどの塩素含有物が混在した場合にはダイオキシンの発生など処理・処分の困難な廃棄物である。しかし、そのすぐれたエネルギーや材料 (素材) としての再利用価値は高く、いわゆるリサイクル法の制定などに伴ってリサイクル手法の研究開発や実証化が進められている。

本研究では、分別が容易でありながら再生利用が進んでいない廃発泡プラスチック (以下廃発泡プラとする) と、とくに廃発泡スチロールの経済的なリサイクル手法について、原料ペレットにもどすことなく、減容化から直接製品を成形する直接成形技術を開発したので、それらの概要について報告する。

2 実験方法

2.1 試 料

廃発泡プラとしてポリスチロール製魚類運搬用トロ箱を対象とした。同トロ箱は、主要漁港で魚類運搬後大量に廃棄されている。そこで積水化成工業㈱製発泡スチロール減容機 FM-25を魚市場に設置し、市場関係者に解放することで減容化チップ (比重0.1) を得た (TRD社担当)。得られた減容化チップを写真1に示す。



写真1 発泡PS製品の減容化チップ

また、補強用としてガラス繊維織クロスFERC 2521および耐溶剤性改善のため50 μ m厚さのポリエチレンフィルム (LDPE) も用いた。

2.2.1 焼 結 成 形

雄型からなる成形型を100℃に予熱し、所定量の減容化チップを雄型内に充填し、雄型をセットしたのち160~180℃の範囲の型温度まで昇温し、雄型が降下するのを確かめるか、あるいは所定温度で10~20分間保持したのち、強制的に雄型を閉じる。直ちに冷却工程に移り50℃前後の型温度まで冷却して脱型し製品を得る。この時、減容化チップを160~180℃の範囲内で

*陶ツネイシリサーチアンドデベロップメント(TRD)

予熱したものを100℃予熱の型内に充填して型閉じし、冷却後脱型する方法も検討した。

また、弾性率・強度あるいは耐薬品性などを補強する目的で製品の上下にガラス繊維布やプラスチックフィルムを配置した成形実験も行った。

(1)排水の生物処理用接触回転円板の試作

写真2に示す金型を用いて前述の方法で成形した。

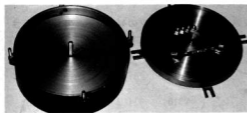


写真2 接触回転円板成形用型装置

表面積を大きくすることで排水処理の効率を高める目的で、減容化チップを180℃に予熱し、100℃の型内に充填してボルト締めにより型閉じし、冷却後脱型した。

(2)組立式コンクリート型枠の試作

写真3に示す成形型（ネジ締め機構付き）を用いて幅500mm×長さ1000mm×厚さ50mm、長辺の両端と中央に金具を計6点装着し、鉄筋を介して連結され、上下両面にガラス繊維布を各1層配置した成形体を同様に試作した。



写真3 コンクリート型枠成形用型装置

2.2.2 廃発泡プラ減容化チップの直接射出成形

㈨日本製鋼所広島製作所のご協力をいただいて、前述した減容化チップの直接射出成形技術について検討した。用いた成形機はベント式射出成形機J150EJ

—C3で、比較として、一般グレードのポリスチロール（以下PSとする）（デンカスチロールGP-1）および耐衝撃グレードのハイインパクトポリスチロール（以下HI-PSとする）（エスチレンHT-8273）も成形し機械的特性の対比を行った。さらに減容化チップにHI-PSを混合して耐衝撃性の改善も検討した。紙面の都合により成形条件などは割愛する。

3 実験結果と考察

3.1 焼結成形

3.1.1 減容化チップを用いた成形体の力学的特性

各種成形条件あるいは各種試料構成で成形した成形体の力学的特性を表1にまとめる。

表1 減容化チップ無圧焼結成形体の力学的特性

成型条件	比重	曲げ弾性率 Mpa	曲げ強度 Mpa
150℃×5h	0.55	510	5
160℃×1.5h	0.65	1100	11
180℃×1.5h	0.67	1200	16
180℃×1.5h (表面LDPE)	0.67	1200	14
180℃×1.5h (表面ナイロンクロス)	0.70	1300	17
180℃×1.5h (表面ガラスクロス)	0.70	1500	19

表1から廃発泡プラ減容化チップの焼結成形における成形温度は160℃以上必要であることがわかった。

160℃より低温側で成形する場合加圧力によってせん断圧縮率を利用すれば可能となる。力学的特性は減容化チップ単身では顕著なものは得られないが、ガラス繊維布を用いることで向上する。しかし、構造材料として利用するためにサンドイッチ構造とする場合はガラス繊維層の厚みを1mm以上とする必要がある。それには別途減容チップとの接着力の向上などの工夫が必要であり、当面構造材料でない軽量素材としての利用を図るのがよいことがわかる。

3.1.2 減容化チップを用いた接触回転円板の試作と排水処理装置の試作

焼結成形によって接触回転円板を多数試作し、別途作成した排水処理装置の回転軸に装着し装置として完成させた。写真4に装置の全景を示す。

本装置による排水処理実験は平成6年度に実施する。廃発泡プラから試作した接触回転円板のメリットは、(1)従来の円板に付着した生物スラッジをスクレー

パーでかき落として汚泥として廃棄することなく、そのまま乾燥させて廃熱ボイラーなどで熱エネルギーとして回収できること、(2)安価に量産できること、(3)軽量などで運転コストが安価であること、などである。

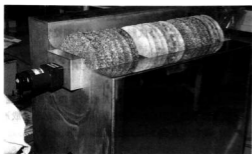


写真4 接触回転円板を用いる排水処理装置（試作）

3.1.3 減容化チップを用いた組立式コンクリート型枠の試作

金属製コネクタをインサートし、かつ鉄筋補強したコンクリート型枠試作品を写真5に示す。



写真5 試作した組立式コンクリート型枠

表1に示したように高い強度を望めないため、全体の剛性や強度は鉄筋で持たせた。局部の強度・剛性は上下面に挿入したガラス繊維布によって補強した。性能試験は平成6年度実施の予定であるが、1枚（1m×0.5m×5cm厚さ）あたりの重量が大きい（17kgw）ことが今後の検討課題となる。基本的な事項として、大型製品の成形の可能性を確認した。

3.2 減容化チップの直接射出成形

ベント式射出成形機による減容化チップの直接射出成形を行った。廃発泡PSの一般的リサイクル手法は、熱溶融して原料ペレットに再生して、それから射出成形によってリサイクル製品を得るものであるが、その場合原料ペレットまでにかかる経費がかさみ原料

ペレット1kgwあたり450円とされる⁴⁾。バージン材の120～150円の3倍強となって、再生しても採算がとれないため、それがリサイクル促進を大きく阻んでいる。本手法のメリットは、試作段階での処理コストが運搬費を含めて1kgwあたり150円と低いため、廃棄のために負担するコストを差し引くとバージン材相等、あるいは安価になることにある。各種射出成形品の性能比較を表2に示す。

表2 P S減容化チップの射出成形品の力学的特性

試料	引張弾性率	引張強さ	曲げ弾性率	曲げ強さ
	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
a) 減容化PS	2310	17.8	3280	77
b) 市販GP-PS	2310	11.2	3260	98
c) 市販HI-PS	2000	19.4	2980	82
d)a):c)=85:15	2340	13.8	3270	96
e)a):c)=70:30	2270	15.1	3220	97

表2から、廃発泡PSは若干乾燥しているが、HI-PSを混合することでバランスのとれた成形品が得られることがわかった。これらの結果から直接射出成形の可能性を確認した。

3.3 カキ殻粉をブレンドした減容化チップ射出成形品のカキ養殖種付板としての適性

PSは比重が1.0と海水中で浮くこと、表面にカキ幼生が着床しにくいことなどからカキ殻微粉末と減容化チップをブレンドして15cm角、2mm厚さのプレート各種配合から試作し、4頂点を切り落として八角形としてカキの種付実験から養殖実験を行った。カキ種付後2週間経過の各種プレートを写真6に示す。プレートどうしが接触して幼生が欠落した部分を除いて幼生の着床は容易であることがわかった。

写真7は廃プラプレート上に幼生着床後8ヶ月経過したカキの群生を示す。

また、写真8に廃プラプレートから引きはがしたカキの付着部の拡大写真（×5）を示す。

写真9に示すホチキスの殻を用いて養殖した2年もののカキの付着部（×5）より面積が数倍大きく、かつ付着点数が多くプレート表面の付着性が低いことによる生物学的現象と考えられる。

以上の結果から、カキ幼生（種）の着床には問題がないが廃プラプレートの表面へのカキの付着力が小さく海流や波によって、カキが脱落する確率が高いことがわかった。これらの課題は平成6年度の研究で解決

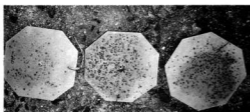


写真 6 減容化チップから成形したPS板へのカキ幼生の付着状況



写真 7 PS板上のカキの生育状況(8ヶ月)

をはかりたい。

4 結 言

廃発泡PSの経済的かつ効率的なリサイクル技術を開発する目的で、減容化チップ(比重0.1)を直接成形する技術について、焼結成形と射出成形の適用の可能性を検討した。その結果、いづれも成形可能であることを見い出した。

これらの成形技術を用いて、

- (1)排水の生物的処理に用いられる接触回転円板の試作と併せて処理装置も試作し、(2)金属部品やロッドを挿入した組立式コンクリート型枠についても応用技術として試作を行った。また、(3)直接射出成形ではプレートを試作し、カキ殻粉末をブレンドして生物親和性を高めて、カキ養殖種付け板として海洋実験を行った。

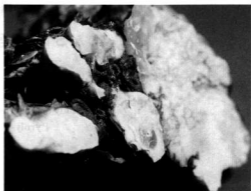


写真 8 PS板とカキの付着部(×5)

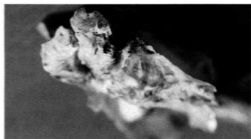


写真 9 ホタテ貝殻とカキの付着状況(×5)

これらの応用実験から本リサイクル手法の有用性と今後の実用的展開への可能性を確認した。

最後に、本実験の遂行にあたり多大なご援助とご協力をいただいた㈱TRD、㈱日本製鋼所広島製作所、ならびに音戸海産物の関係者の方々に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 広島県廃棄物処理計画(平成4年12月24日), 5(1992)
- 2) 飯島林蔵: 高分子素材センターニュース, No21, (1992), 3
- 3) プラスチックス, 44(1993) 6, 20
- 4) 日経ニューマテリアル, 1992年10月5日号, (1992) 24

FRP廃棄物の有効利用に関する研究

SMC廃材の熱分解

山縣康男, 丸下清志, 倉本恵治, 世良時夫, 好満芳邦, 下原伊智朗, 田平公孝

Study on Effective Use of Waste FRP Pyrolysis of Waste SMC

YAMAGATA Yasuo, MARUSHITA Kiyosi, KURAMOTO Yoshiharu, SERA Tokio,
YOSHIMITU Yosikuni, SHIMOHARA Ichiro and TAHIRA Kimitaka

Waste sheet molding compound(SMC) for the parts of mortar vehicle in the temperature range from -300°C to 600°C with in the pyrolysis fulasco.

As the result, the cracking oil was collected about 15% of SMC, which was consisted of organic acid and highly inflammable compound. Then it might be hard to use for fuel for the reason of high specific gravity and high kinetic viscosity of it. The gas was generated about 5% of SMC. Its principal components were CO_2 , CO and few hydrocarbon. fic value was low.

キーワード: FRP, 熱分解, 油回収

1 緒 言

FRP(繊維強化プラスチック)は軽量で比強度が大きく、耐食性に優れているなどの特徴から大型容器やバスユニットあるいは小型船舶・自動車部品等の構造材料に使用されている。それらが廃棄される場合、逆にその特性が禍となって処理が困難な廃棄物となる。これは、FRP製品が大型で衝撃に強いため、解体が困難なためと考える。通常、建設機械等である大きさに破砕した後そのまま埋立てるか、焼却後処理め立てられる。

FRP廃棄物の再利用法としては、粉砕後樹脂の充填材やセメントの骨材への利用などのマテリアルリサイクルが提案され、一部では商品化されている¹⁾。

FRP廃棄物の総合的な処理技術を確立するために、マテリアルの再利用ができない場合を想定して、ここでは化学的な処理方法として熱分解によってガスやオイル等熱エネルギーとして回収^{2,3)}する方法を試みた。

2 実験方法

2.1 試料

熱分解の試料は自動車用SMC(シートモールドコンパンド)で、製造過程で排出される成形不良品・切断層やトリミングカス等の廃材を使用した。

SMCは不飽和ポリエステル樹脂をマトリックスとして、ガラス繊維を補強材、炭酸カルシウムフィラー

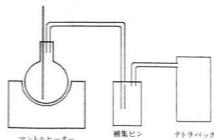


図1 熱分解装置

としてシート状にしたもので、その所定量を金型に挿入して加熱、加圧成形したものである。

2.2 熱分解実験

熱分解実験装置を図1に示す。小さく粉砕した試料を容量1ℓの枝付きガラスフラスコに入れ、マントルヒーターで加熱する密閉系熱分解を行った。分解温度を $300\sim 600^{\circ}\text{C}$ に変えて、分解した蒸気を冷却し、油分は捕集ビンに、ガスはテトラバックに分離回収した。回収した油やガスの成分、性状をJISによる燃料試験やガスクロマトグラフ等で分析した。

3 実験結果

3.1 SMCの熱分解

SMCを熱天秤で分解したときの減量曲線を図2に示す。SMCは 290°C 付近から減量が始まり、 350°C で最も分解が著しく、 500°C でほぼ終了する。その後は樹

脂の分解で生成したタールなどの高沸点物の低分子化によるものと見られる減量が600℃まで続く。SMCの600℃での熱減量は28.1%であった。なお、減量曲線から、炭酸カルシウムの分解と考えられる減量が700℃付近に見られる。

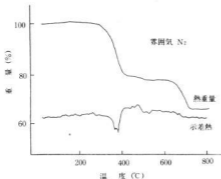


図2 SMCの熱減量曲線

SMCは、漁船やタンク等に用いられるFRPより樹脂含有率が低く、有機分が約28%で、残りはガラス繊維や炭酸カルシウム等の無機物であるため、熱分解による燃料回収率はきわめて低い。

3.2 熱分解温度と分解生成物

図3にフラスコ内温度とガス発生割合を示す。フラスコを外部から加熱すると、温度が100℃を越えるとともに、ガスの発生は増加し、炉内温度が310℃付近でピークになり、以後温度は上昇するが、発生量は減少する。

一方、液状物(油分)は、125℃から留出し始め、その留出状況はガスと同様の傾向を示した。

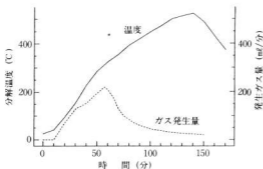


図3 分解温度とガス発生量

分解温度を変えた時のガスや油の回収や残査量の割合を図4に示す。400℃以上の分解温度では温度を高めてもガス、油分の回収量に大きな違いがなかった。

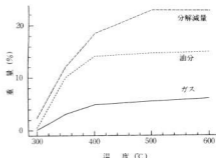


図4 分解温度による生成物割合

表1から試料1000g当たりの温度500℃におけるガス発生量は20.3ℓ(試料重量の5.5%)、油分は145g(試料重量の14.5%)回収した。また、残査は80%であった。残査の成分はガラス繊維やファイラーが大部分であるが、この残査中のカーボンやタールなどの高沸点炭素分は約5%であった。さらに、不飽和ポリエステル樹脂を分解すると、昇華性のフタル酸が配管途中の低温部で凝縮し、管内閉塞することが多いが、本実験ではそのような状態は見られなかった。

表1 熱分解回収物質

1 試料 1000g 当たり			
成分	ガス分(ℓ)	油分(g)	残査(g)
含有量	20.3	145	795

残査中の炭素分 5%

3.3 回収ガス

回収したガスの成分分析を表2に示す。分解ガスには二酸化炭素が約4割以上も占め、可燃性ガスとして利用するのは困難であることが分かった。熱分解ガスの組成は分解条件(温度、圧力)によって、大きく変動すると言われており、この場合での回収ガスを燃料として有効利用を図るためには、二酸化炭素を分離除去する必要がある。

表2 ガス成分分析値(%)

成分	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂
含有量	10.3	8.3	17.6	43.0

3.4 回収油分

熱分解によって得られた油分は黒褐色で臭気の強い刺激臭があり、極めて酸性が強いため、再蒸留して精製した。表3に分解油および蒸留油の性状を、図5に分解油の蒸留曲線を示す。

熱分解油は粘性で重ナフサに相当し、引火点はガソリンに近いものであった。

表3 分解油及び蒸留油の性状

	比重	引火点 (°C)	動粘度 (cst)	発熱量 (cal/g)
熱分解油	0.9460	2.5	1.26	8620
蒸留油	0.9360	15.5	0.84	9160

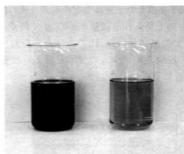


写真1 分解油と蒸留油

写真1 分解油と蒸留油

3.5 回収残査

FRPを熱分解して分解油や分解ガスを回収した後の残査は樹脂の炭化による炭素や高沸点物のタール等で、試料重量の約5%が未留出であった。分解後の残査は当初の形状を保ったままで、かなりの力を加えないと形が崩れないものであった。

4 結 言

SMC廃材の熱分解による燃料としての分解油や分解ガスの回収を検討し、次のことがわかった。

- (1) SMC中の樹脂等有機物の含有量は約25%程度であり、熱分解によって、14.5%の油分、5.5%のガスが回収できた。
- (2) 分解油は蒸留しても強い酸性を呈し、低引火点で強い。逆に、沸点範囲が広いため、直接燃料として利用するには分留して用いる必要がある。
- (3) 分解ガスの成分は二酸化炭素が約4割を占め、可燃ガス成分は少ない。燃料としての価値が低いことがわかった。

文 献

- 1) 柴田：第36回FRP総合講演会要旨集(1991)
- 2) 林：廃棄物処理対策全国協議会第39回全国大会講演集、1988
- 3) 複合材料の再利用システム技術報告書：工業技術院四国工業技術試験所(1993)

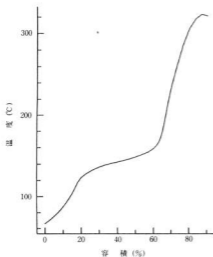


図5 分解油の蒸留曲線

蒸留油はやや薄い褐色で写真1に示すように透明感はあるが、なお強い酸性である。分留試験の結果から温度が130～160°Cで40%留出するが、全体では広範囲の分留温度を示すことから分子量が様々であることが分かった。

また、炭素が多いことが考えられるので燃料として使用する際は注意が必要と予想される。

いずれにしても分解油を燃料として使用するには分留するのが望ましい。

希少金属の回収およびその測定技術

渡部英雄, 田谷征雄, 浜岡英男, 相原将人*

Study on Recovery and Measurement Technology of Rare Metal in the Solution

WATANABE Hideo, TADANI Isao, HAMAOKA Hideo and AIHARA Masato*

The recoveries of palladium and gold were investigated with xanthate or oxine immobilized silica gels(C₁₈, C₈) as the chelating functional groups. Recovery procedures were made for small glass columns packed with from of the immobilized silica gels. The sample solutions after adjusting the optimum pH flow through the small glass columns with the aid of a peristaltic pump to maintain a constant flow rate. After washing with pure water, the recovered noble metal ions were eluted from the columns with some eluents. The determination of noble metal ions in a elute carried out by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry or atomic absorption spectrometry.

キーワード: 回収, 金, バラジウム, AAS 分析, ICP-AES 分析

1 緒 言

廃棄物の中にはプリント基板や接点中の有価金属が含まれた廃棄物がある。これらの廃棄物に含まれる有価金属である銀, 鉛およびマンガン¹⁾の回収については報告した。今回は貴金属である金やパラジウムの回収について検討した。回収法としては, シリカゲルの表面シラノール基をキサントゲン酸塩類やキノリノールで化学修飾したシリカゲルを合成し, これをカラムに詰めて貴金属イオンの捕集を行った。さらに捕集された金属イオンを溶離剤で溶解し, この溶液を一定量として誘導結合プラズマ発光分析法(以下ICP-AESと略記)や原子吸光分析法(以下AASと略記)により測定することにより極微量の金やパラジウム定量法について検討した結果を報告する。

2 実験方法

2.1 試薬

金(III), バラジウム(II)標準溶液:市販の原子吸光用標準溶液を目的の濃度に純水で希釈して使用した。

化学修飾シリカゲル:銀やマンガンの回収のために使用したシリルゼンセイトはパラジウムの回収には回収量が少ないため, 従来のシリルゼンセイトにメチレン基導入したものを合成した。メチレン基を導入したシリルゼンセイトの合成法は, シリカゲルを10g, 水酸化カルシウム5g, エチレンプロモヒドリン50mlをフラスコにとり, 70℃に保ちながら6時間攪拌した。

反応後, 別した後蒸留水で十分に洗浄し, 風乾して中間生成物を製造した。この中間生成物を10gとり, これに二硫化炭素6.7ml, 2-プロパノール6.7ml, ベンゼン34ml, 水酸化テトラメチルアンモニウムの10%メタノール溶液1.7mlを加えて15分間攪拌し, 別した保ちのち2-プロパノールで洗浄して風乾(以下C2と略記)した。金の回収には, キノリノールを化学修飾したものを合成⁴⁾(以下C3と略記)した。

その他の試薬:市販試薬特級をそのまま用いた。

2.2 装置

誘導結合プラズマ発光分析装置: 鶴島製作用所製ICPS-100V型を用いた。

原子吸光分析装置: 鶴島製作用所製AA-613-12型を用いた。

その他: 東亜電液製HM-5BS型pHメーター, 東京理化学機製MP-3型マイクロチューブポンプを使用した。

2.3 実験操作

目的金属イオンを含む試料溶液を塩酸または水酸化カリウムを用いてパラジウムについてはpH3.5付近, 金についてはpH4.5に調整後, その一定量をペリスタポンプを用いてC2やC3またはシリカゲルを1.00g詰めたカラム(内径5mm)に一定の流量を通じて金属イオンを捕集する。純水20mlを通じてカラムを洗浄した後, 溶離液を用いて捕集した金属イオンを溶離する。流出液をメスフラスコにとり, 純水で定量としたものをICP-AESやAAS用試料とした。金についてはAASでは感度が不十分のためICP-AESで測

*近畿大学工学部

定した。塩酸濃度を同じにしたものを対照として金属濃度を求めた。なお、C2やC3カラムを用いた場合の値からシリカゲルカラムによる値を差し引いたものを金属の捕集量とした。

3 実験結果と考察

3.1 ICP-AES での測定条件の検討

2.3 の実験操作で分離後の溶液中の金の最適な測定条件を求めたため、高周波電力と測光位置の影響について検討した結果を図1に示した。図1から分かるように、測光位置が高くなるとスペクトル線/バックグラウンド強度比(以下S/B比と略記する)は高くなり、19nmの位置が最も高く、それ以上になるとS/B比は低下した。この現象はどの高周波電力でも同様の傾向を示し、特に1.0kWの時最もS/B比が高い。またアルゴンガス流量の影響についても検討したが、キャリアガス流量1.0ℓ/minの場合最もS/B比は高く、プラズマガス流量は1.0ℓ/minとし、クーラントガス流量は16.0ℓ/minとした。以上の結果、金の最適な測定条件をまとめて表1に示した。またパラジウムについてAASでの測定条件を表2に示す。

3.2 流量の影響

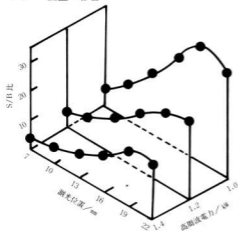


図1 高周波電力と測光位置の影響

表1 金の測定条件

高周波周波数	27.12 MHz
高周波電力	1.0 kW
アルゴンガス流量	
クーラントガス	16.0 ℓ/min
プラズマガス	1.0 ℓ/min
キャリアガス	1.0 ℓ/min
測光位置	コイルの上部19nm
測定波長	242.795 nm

表2 パラジウムの測定条件

測定波長	244.79 nm
ランプ電流値	10 mA
空気流量	13.0 ℓ/min
アセチレン流量	2.0 ℓ/min

カラムに通じる試料溶液の流量の影響を検討した結果を図2に示した。この図はパラジウムについて検討したものであるが、試料溶液の流量が3.0cm³/minまで100%の回収率を示し、それ以上の流量になると回収率は低下した。金についても検討したが、パラジウムと同様3.0cm³/minまでは100%の回収率を示したがそれ以上になると低下した。この時のパラジウムや金の最大捕集量は0.180mmol/g¹、0.145mmol/g¹であった。ただし、この条件はC2やC3を1.00g詰めたカラムを用いた場合の結果であり、充填量やカラムの長さが変われば最適流量が異なることは予想できる。

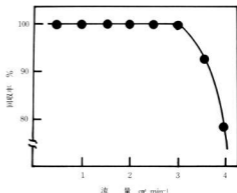


図2 パラジウムの回収における流量の影響

3.3 pHの影響

パラジウムイオンの捕集におよぼすpHの影響について検討した結果を図3に示した。pHが高くなると回収率は増大し、pH3.0~4.0で最大の回収率を示すが、それ以上のpHにおいては回収率は低下した。金についても検討したが、pH4.0~5.0で最大の回収率を示したが、それ以上のpHでは回収率は低下した。

3.4 共存イオンの影響

金の回収に及ぼす共存イオンの影響について検討した結果を表3に示した。金の共存量を200μgとし、10倍量まで共存させて検討した。各種共存イオンが100μg以上共存すると、金の回収率は低下した。パラジウムについても検討したが、金とほとんど同様の傾向を示した。この原因については、金やパラジウムはこれらの共存する金属イオンより、錯体を生成しにくい

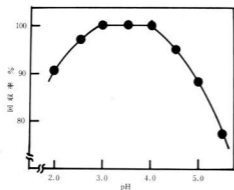


図3 パラジウム回収におけるpHの影響

表3 共存イオンの影響

共存イオン	共存量 $\mu\text{g}/100\text{ml}$	Au 回収率, %
None	—	100
Ag (I)	100	94.5
"	200	92.1
"	2000	87.9
Co (II)	100	96.2
"	200	94.3
"	2000	89.2
Ni (II)	100	96.4
"	200	95.1
"	2000	94.8
Cu (II)	100	95.7
"	200	92.1
"	2000	54.9
Fe (III)	100	95.3
"	200	92.5
"	2000	53.7
Pt (IV)	100	89.2
"	200	78.4

Au 添加量: 200 μg

ためと考えられる。

3.5 溶離剤の影響

捕集した金やパラジウムを溶離させるための溶離剤について検討した結果を表4に示した。この表は各種溶離剤の溶液を20mlを用いたものであるが、パラジウムについては0.1N塩酸溶液で溶離率が99.9%であり、最適であった。0.1N硝酸溶液についても98.8%であり、硝酸を用いても十分溶離は可能である。しかし硫酸溶液については、0.8Nの高濃度の酸性溶液でないと溶離は不十分であった。金については、0.1N塩酸溶液では、溶離率が45.3%、0.1N硝酸溶液では2.3%であり、溶離剤としては不適当であった。しかし、0.1Mチオ尿素0.1N塩酸溶液では、溶離率が97.3%であり、

この溶液を用いて溶離することにより、金の溶離は可能であった。

表4 溶離剤の影響

溶離剤	溶離率, %	
	Au	Pa
0.1 N HCl 溶液	45.3	99.9
0.4 NHNO ₃ 溶液	2.3	98.8
0.8 NH ₂ SO ₄ 溶液	—	99.5
0.1 M チオ尿素	97.3	—
0.1 N HCl 溶液	—	—

3.6 微量金属の定量

本法を用いて微量の貴金属の定量法について検討した。河川水に一定量の金やパラジウムを添加し、2.3の方法で定量した結果、定量値は添加量と良く一致した。金濃度0.05, 1.0, 2.5 $\mu\text{g cm}^{-3}$ について10回測定における検量線を作成したところ相関係数は0.9999であり、バックグラウンドの標準偏差の3倍の強度を示す濃度として算出した検出限界は、2.2 ng cm^{-3} ($n=10$) であった。検出限界の5倍の濃度で計算した、定量下限は11 ng cm^{-3} であった。パラジウムについては、1%吸収が300 ng cm^{-3} であった。

4 結 言

以上、微量金属捕集剤としてシリカゲル表面を化学修飾したC2およびC3を合成し、これをカラムに結めて微量の貴金属の捕集を行った結果、次のことが分かった。

- (1) パラジウムや金の捕集量が得られる最適pHは3.0~4.0, 4.0~5.0であり、パラジウムや金の化学修飾シリカゲルの最大捕集量は、0.180 mmol g^{-1} , 0.145 mmol g^{-1} であった。
- (2) 天然水中に金やパラジウムを一定量添加し、本法で定量した結果、河川水中ppbレベルの金やパラジウムの定量が可能であった。

文 献

- 1) 渡部, 田谷, 相原: 広島県西部工技研究報告, No34 (1991), 22
- 2) 渡部, 田谷, 相原: 広島県西部工技研究報告, No35 (1992), 70.
- 3) 渡部, 田谷, 浜岡, 相原: 広島県西部工技研究報告, No36 (1993), 24.
- 4) J.M.Hill: J.Chromatography, 76 (1973), 455.

非シアン系排水からのシアン検出に関する研究

樋口浩一, 梶岡 秀, 丸下清志, 渡部英雄

Study on Detection of Cyanide from Non-Cyanide's Wastewater

HIGUCHI Kouichi, KAJIOKA Hideshi, MARUSHITA Kiyoshi and WATANABE Hideo

The cases of detection of cyanide ion from the factory which does not use cyanide were happened. Cyanide were very dangerous for human, then its concentration is regulated.

We investigated formation of cyanide ion at pre-treatment of cyanide ion analysis and why cyanide were synthesized from non-cyanide wastewater.

At the result, cyanide were detected in existence of nitrite ion, but when added ammonium sulfamate, nitrite were broken down, then cyanide ion were not detect. At the case of detection of cyanide ion from wastewater, cyanide were not synthesized with nitrite ion and chelate, then another mechanism of cyanide formation were estimated.

キーワード: シアン, 亜硝酸, 亜硫酸水素塩, 排水処理

1 結 言

シアン化合物を全く使用していない工場排水(例えばクロム排水処理工程を持つ工場排水)からシアンが検出される事例が近年広島県内において発生し事業活動への影響が懸念されている。県外では、プリント基板のメッキ工場、金属熱処理工場、写真現像工場等の例¹⁾²⁾がある。

シアンは、よく知られているように金属と結合し錯体を形成する。このためごく微量で呼吸系の酵素であるヘム蛋白中の鉄と結合し、その活性を著しく低下させ死に至らせる(致死量:シアン化水素として 0.06 g³⁾)ので、水質汚濁防止法においては1 mg/ℓ以下、水道法においては検出されないことと、厳しい規制が敷かれている。

本研究では、シアン分析の前処理である蒸留を中心にしてシアンを使用していない工場排水からシアンを検出する原因について検討することを目的とした。

2 実験方法

2.1 装置および試薬

全シアンを分離するための蒸留装置はJIS⁴⁾に定められたものを用いた。

吸光度の測定には島津製作所製紫外可視分光光度計UV-160Aを用い、10mmの石英セルを用いた。

試薬はJIS⁵⁾に基づいて調整した。

2.2 分析方法

全シアンの分析は、図1に示すように前処理としてJIS⁶⁾または米国の水および排水試験の標準法⁷⁾(以下Standard Methodsと表記)で行った後、4-ピリジンカルボン酸・ピラゾロン吸光度法またはイオン電極法(JIS⁸⁾)により行った。ただし、亜硝酸イオンの影響を調べる場合にはスルファミン酸アンモニウムを含まないで前処理を行い分析した。

また、亜硝酸イオンはナフチルエチレンジアミン吸光度法(JIS⁹⁾)で分析した。



図1 全シアン分析のための前処理方法 (JIS⁶⁾) (*は Standard Methods の場合)

3 実験結果と考察

3.1 シアン生成の可能性

シアンを使用していない工場の排水からシアンを検出する可能性としては次の3点が考えられる。

- (1) 事業所の製造工程、排水処理工程でシアン生成反応が起こっている場合
- (2) 排水中に互いに反応してシアン化合物を作る物質があり強酸性下の蒸留でシアン生成が起こる場合
- (3) 排水中に含まれる物質とシアン分析に用いる試薬が蒸留中に反応してシアン生成する場合

このうち今回の事例では(2)および(3)の可能性が高いのでこれを中心にして検討した。

3.2 亜硝酸塩とアミン類によるシアンの生成

亜硝酸塩とアミン類によるシアンの生成事例についての報告⁷⁾は多い。このため、初めに排水中に含まれていると考えられる亜硝酸塩とシアン分析の前処理の試薬であるキレート剤による蒸留時のシアンの生成の可能性を調べた。その結果を図2に示す。亜硝酸イオンが増えるに従いシアンが多く生成するが、1g/ℓ以上でもわずかにシアン生成量は増加する。なお、図2中に示すように亜硝酸イオン1g/ℓのときこれを分解するに等しい当量のスルファミン酸アンモニウムを入れるとシアンは生成しないことがわかる。

亜硝酸イオンとキレート剤が反応してシアンが生成することがわかったので、キレート剤の影響を調べるためエチレンジアミン四酢酸二ナトリウム(EDTA)の他に、1,2ジアミノシクロヘキサノ四酢酸(CyDTA)、ニトリロ三酢酸三ナトリウム(NTA)、ベンチルキサントゲン酸カリウム(KPeX)について検討した。このうちKPeXは前処理の時に酸で分解

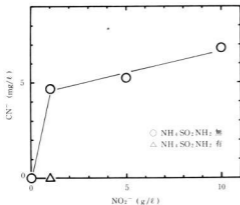


図2 亜硝酸イオンとシアン生成量の関係

され二硫化炭素が蒸留されるためこの黄色が定量を妨害し分析できなかった。その他のキレート剤の結果を表1に示す。いずれの試薬を用いても量の多少は有るもののシアンが生成することがわかった。すなわち、JISの通り、亜硝酸イオンはスルファミン酸アンモニウムにより分解後測定する必要がある。

表1 キレート剤によるシアン生成量の変化

キレート剤 (10%10mℓ)	CN ⁻ (mg/ℓ)
EDTA	4.67
CyDTA	0.46
NTA	0.98

3.3 実試料分析

3.3.1 A社の排水処理工程

実際にはシアンを使用していないのに、工場排水からシアンが検出されるとして問題となっているA社の排水処理のフロー図を図3に示す(一部、省略部分有り)。この工場では、クロム、ニッケル、黒染等の表面処理を行っており、クロム系排水については亜硫酸水素ナトリウム(以下ソービスと表記)で還元(硫酸酸性、pH2.2、ORP220mV)後、中和、水酸化物として沈殿処理を行っている。図3中の枠の下の丸印の数字は以下の試料Noを示す。

なお、黒染工程においては、亜硝酸ナトリウムを用いている。これは先に述べたようにキレート剤と反応しシアンを生成する。このため以下の分析においては亜硝酸イオンを定量しそれに見合う量のスルファミン酸アンモニウムで分解を行った後定量した。

3.3.2 経時変化

工場排水はその操業状態により日々変動している。このためこの影響を調べるためA社において4日間連続して各槽をサンプリングし、JISに従い蒸留を行った後分析した結果を表2に示す。酸・アルカリ系受槽ではシアンが検出される日とされない日があるが、還元槽、中和槽、pH調整槽ではいずれの日も検出された。なお蒸留を行わずに直接これらの試料をイオン電極法で測定した場合、シアンイオンは検出されなかった。このことから、シアンが検出された原因として、(1)排水中でシアンの錯体となっている(2)蒸留中にシアンが合成されている、の2つが考えられた。

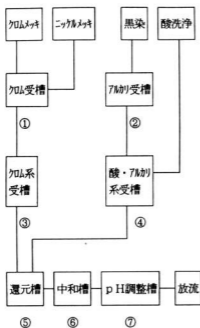


図3 A社の排水処理フロー図

3.3.3 キレート剤の影響

シアン分析の前処理の際、JISではEDTA(キレート剤)を入れることになっているが、キレート剤がなくても錯体の分解には影響がないことが報告されている¹⁾。また、アメリカにおいてはキレート剤を用いない方法が規格として定められている。そこでJISの方

表2 JISによるシアンの定量

試料 No	CN ⁻ (mg/ℓ)			
	1日目	2日目	3日目	4日目
1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	N.D.	0.78	0.33	N.D.
5	0.26	0.44	0.46	0.54
6	0.68	0.82	1.02	0.91
7	1.01	0.49	0.57	1.12

(定量は4-ピリジナルカルボン酸・ピラゾロン吸光度法)

法でEDTAを入れないで蒸留した場合と、アメリカの規格(Standard Methods)により蒸留した場合の2つについて比較した結果を表3に示す。

表3 シアン分析における各種前処理の影響

前処理	CN ⁻ (mg/ℓ)			
	2日目の試料 No			
	4	5	6	7
JIS (EDTA有り)	0.78	0.44	0.82	0.49
JIS (EDTA無し)	N.D.	0.33	0.10	0.07
Standard Methods	N.D.	0.05	N.D.	0.05

(定量は4-ピリジナルカルボン酸・ピラゾロン吸光度法)

EDTAを入れない場合、酸・アルカリ系受槽からは検出されなかったが、還元槽以降の槽からはシアンの量は少なくなっているが検出される。このことから、酸・アルカリ系受槽では排水中に含まれる物質とEDTAが蒸留中に反応しシアンができていたものと考えられる。一方、還元槽以降ではキレート剤を入れなくてもシアンが検出されることから、クロム系排水、酸・アルカリ系排水、およびクロム還元剤であるソービスの複合的な反応であることが考えられる。なお、Standard Methodsではいずれの槽からも検出されないかされてもごく僅かであった。

3.3.4 還元剤の影響

そこで、酸・アルカリ系排水の影響を除くため酸・アルカリ系排水のうちシアンを検出していない1日目の排水とクロム系排水について、還元剤の影響によるシアン合成の可能性を検討した結果が表4である。

この結果から、単にクロム系排水と酸・アルカリ系排水を混合したものからはシアンは検出されず、クロム系排水を還元したものからシアンが検出され、特にクロム系排水と酸・アルカリ系排水を混合し還元するとさらに多くのシアンが検出されることがわかった。すなわち、ソービスがシアン生成に何らかの影響を与えていることがわかる。

4 結 言

シアンを使用していない事業所の排水からシアンを検出するとして問題となっている事例について調査したところ、以下のことがわかった。

- (1)亜硝酸イオンは分析の前処理である蒸留時にキレート剤(アミン)と反応しシアンを合成する。ただし、亜硝酸イオン分解剤としてスルファミン酸アンモニ

表4 還元槽におけるシアン合成の可能性
(JISによる前処理)

1日目の試料名	CN (mg/ℓ)
クロム系排水③ +酸・アルカリ系排水④ (1:1)	N.D.
クロム系排水③ +酸・アルカリ系排水④ (1:1) →ソービスによる還元 (pH2.2, ORP 220 mV)	0.97
クロム系排水③ →ソービスによる還元 (pH2.2, ORP 220 mV)	0.39
酸・アルカリ系排水④ →ソービスによる還元 (pH2.2, ORP 220 mV)	N.D.

ウムを加えることにより生成しない。

(2)調査した事業所には亜硝酸ナトリウムを使用している工程がある。このため亜硝酸イオンを分解して分析を行ったがシアンは検出された。このため、シアンの合成は亜硝酸イオンとシアン分析の前処理に用い

るキレート剤による反応ではないことがわかった。

(3)酸・アルカリ系排水からシアンが検出される原因は、シアン蒸留時に排水中に含まれる物質と EDTA が反応していると考えられた。

(4)ソービスを含むクロム系排水からシアンが検出される原因は、シアン蒸留時に複数の排水中に含まれる物質が反応し生成したものと考えられた。

なお、シアン生成に関与している物質については現在検討中である。

文 献

- 1)野々村：実務表面技術, 32 (1985) 1,11
- 2)三好, 鴨津, 木村：東京都環境科学研究所年報, (1990) 126
- 3)山本, 松崎：千葉県水質保全研究所年報, (1985), 37-41
- 4)今堀, 山川：生化学辞典, 東京化学同人 (1985), 541
- 5)工場排水試験方法, JIS-K-0102 (1993)
- 6)野々村：工業用水, (1987) 349,41
- 7)野々村：環境と測定技術, 17 (1990) 3,36
- 8)小倉：全国公害研究会誌, 17 (1992) 1,7

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, 岡本五十生*, 畑 徳宣, 蒲田政信, 池田哲宏,
倉本恵治, 渡部英雄, 梶岡 秀, 平田敏明

Development of New Cleaning Process Substituting for the Process with Ozone-Layer-Destroying Materials

NITTA Akira, MARUSHITA Kiyoshi, OKAMOTO Isoo*, HATA Noriyoshi, KAMATA Masanobu,
IKEDA Tetsuhiro, KURAMOTO Yoshiharu, WATANABE Hideo, KAJIJOA Hideshi
and HIRATA Toshiaki

Production of 1,1,1-trichloroethanes will be stopped at the end of 1995 because it is one of the materials responsible for destruction of ozone layer. While 1,1,1-trichloroethanes has been massively used at cleaning processes of metal products manufacturing such as heat treatment coating and plating. In these industries establishment of a new cleaning process without using 1,1,1-trichloroethanes is one of the problems to be resolved hastily and the new process may cause new problems such as a treatment of drainage.

For example it is considered to use trichloroethylene or other hydrocarbonate materials as a short-term-resolution but these method will encounter new obstacles such as drainage regulation and fire regulation. From the long-term point of view using the water based alkaline solution will be one of best way. However even in this method the problems of cleaning ability, life time of alkaline solution and treatment of rinsed solution for passing the drainage regulation should be pointed out.

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

金属製品製造業(熱処理, 塗装, 鍍金)で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。そこで, これらの企業では, 代替洗浄方式の解決が急務であるが, 代替方法によっては, 新たな問題点, 例えば洗浄後の排水処理も含めた対応が迫られている。10年以上の長期的観点から判断すると, 排水規制, 消防法規制をクリアーする抜本的対策として, 水系アルカリ洗浄が理想と考えられる。洗浄および洗浄剤について各種の文献がある^{1)~4)}が, 今回筆者らは図1に示す脱トリクロロエタン構想に基づいて, 県内熱処理関連企業(熱処理技術交流)の依頼による各種(5社10種類)アルカリ洗浄剤について, ガス浸炭焼入れ品の洗浄試験を行い, 洗浄力や公害性の比較検討を行ったので報告する。

2 実験方法

2.1 試料

洗浄用試料は酸洗, 脱脂を行った鋼板(20×50×2.8mm)とホルト(M5×首下20mm)の2種類について, ガス

従来方法

バーンオフ→ガス浸炭焼入れ→洗浄(トリクロロエタン)
→焼きもどし

代替方法

バーンオフ→ガス浸炭焼入れ→洗浄→焼きもどし

アルカリ洗浄工程→リンス工程→リンス工程→乾燥工程

排水処理(加圧浮上装置)

図1 熱処理工場の脱トリクロロエタン対策

浸炭焼入れを行ったものを使用した。熱処理油は引火点が高く粘度の低いものが望まれるが, 引火点と粘度は相反する性質があり, 難燃性を優先して高粘度であることが特徴である。洗浄用試料に付着させた熱処理油は, JIS K2244 2種2号に相当する日本グリース製の光輝マルテンパー油No.99であって, 広島県内ではガス浸炭炉に使用されている代表的な熱処理油であり, 表1にその性状を示す。

新油を更新して約半年経過した使用油の外観は, 熱

*ツネイシリサーチアンドディベロップメント

表1 熱処理油の性状

種類	引火点 ℃	燃焼点 ℃	動粘度 cSt 100℃	水分 (%)	残炭 (%)	全酸化 (KOHmg/l)
新油	284 引火せず	264 引火せず	17.7	0.05 以下	0.13	0.18
使用油	266 引火せず	266 引火せず	17.5	0.05 以下	0.22	0.27
JIS2-2 の規格	250 以上	280 以上	35 以下	0.1 以下	2.0 以下	...

履歴により残炭が増加して黒変しているが、引火点、動粘度、水分、残炭等は規格に該当し問題はない。

2.2 洗浄力の評価

熱処理工場から相談を受けた水系アルカリ洗浄剤、5社10種類(浸漬型6種、スプレー型3種、汎用型1種)の洗浄力評価は、500mlビーカーに、各洗浄剤のカatalogのトップデータ(濃度・温度・洗浄時間)をもとに500mlの洗浄剤を調整し、鋼板は1枚、ボルトは5本を8メッシュの網カゴに入れて浸漬させ、スターラーで毎分200~300回転で攪拌して洗浄を行ない、網カゴを引き上げ、蒸留水500mlによるリンス(水洗)を

液温80℃以上で10分間行い、鋼板及びボルトに残留する油分を測定して比較した。残留油分はソックスレー法によりヘキサン抽出を行い、JIS K0102に準じてヘキサン抽出物質を測定、ヘキサン抽出物質が5mg以下の場合にはクロロフォルカーボン50mlに再溶解させ、油分濃度計(堀場製作所製 OCMA-300)を使用して、赤外吸収法により OCB 混合標準物質との対応量を 0.01mgまで測定した。水質項目は JIS K0102により測定したが、ヘキサン抽出物質 5mg 以下の場合には油分濃度計を使用、屈折率は手持屈折計(アタゴ製)により測定した。

3 実験結果と考察

通常、熱処理工場の排水量は50トン/日未満であるため、COD上乗せ排水基準の適用を除外されるが、地域との公害防止協定により、遵守を必要とする場合があり、pH5.8~8.6、COD20(30)mg/l、油分(ヘキサン抽出物質)5mg/l以下の水質を必要とする場合がある。表2は、洗浄液、リンス液の性状を示したものである。アルファベットは洗浄剤の種類を示し、新とは洗浄液の調整直後であり、古とは洗浄液500ml中に5mlの熱処理油を添加して強制的に劣化させたものである。

表2 洗浄液、リンス液の性状

洗浄剤 種類	洗浄液					リンス液					
	濃度 (%)	温度 (℃)	時間 (min)	pH	導電率 ms/cm	油分 mg/l	COD mg/l	pH	導電率 μs/cm	油分 mg/l	COD mg/l
A1新	4	65	15	10.3	4.46		1300	6.5	16.2	11	12
A1古	4	65	15			420	1300	6.5	16.4	42	27
A2新	4	65	15	11.5	5.13		1500	6.7	20.6	1.0	7.7
A2古	4	65	15			110	1500	6.7	20.7	1.1	5.5
B3新	5	95	30	8.4	0.60		8100	7.1	21.5	140	130
B3古	5	95	30			760	7400	6.8	21.5	39	73
B1新	5	70	10	12.9	5.73		2300	9.1	31.5	3.0	8.8
B1古	5	70	10			1000	1700	9.4	29.3	2.8	6.9
B2新	3	80	3	11.2	2.19		800	9.3	21.6	2.2	3.9
B2古	3	80	3			670	840	9.1	18.3	2.6	3.5
C2新	3	65	3	13.1	25.1		1200	8.0	51.7	15	16
C2古	3	65	3			310	490	7.9	43.8	23	18
C1新	2	65	15	12.5	17.7		2000	7.8	55.0	1.9	5.0
C1古	2	65	15			130	1700	7.7	51.8	1.1	5.0
D1新	10	60	10	14.0	47.5		1400	7.6	36.2	14	26
D1古	10	60	10			430	1300	7.6	31.8	2.9	6.6
E1新	20	80	10	7.7	3.12		790	5.5	27.7	140	45
E1古	20	80	10			9500	630	5.6	26.2	140	46
E2新	20	80	10	12.9	6.50		880	7.8	26.3	58	65
E2古	20	80	10			1100	750	7.7	23.5	47	54

表3 残留油分の測定結果

メーカー	洗浄剤種類	鋼板残留油分 (10 ⁻² X _{mg/cm²})	ボルト残留油分 (10 ⁻² X _{mg/cm²})	備考
A	A1	96(110)	160(560)	浸漬型・リンス不要
	A2	110(200)	180(320)	スプレー型・リンス不要
B	B1	14(26)	74(74)	浸漬型・リンス必要
	B2	*34(44)	300(540)	スプレー型・リンス必要
	B3	380(630)	650(1900)	汎用型・リンス必要
C	C1	79(110)	*430(460)	浸漬型・リンス必要
	C2	*83(86)	*360(410)	スプレー型・リンス必要
D	D1	29(42)	89(110)	浸漬型・リンス必要
E	E1	400(410)	*820(940)	浸漬型・リンス不要
	E2	*420(450)	*740(810)	浸漬型・リンス不要

*印の付したものは、再試験データを示す。

各アルカリ洗浄剤による洗浄力を洗浄試料の残留油分量で比較すると、蒸気洗浄と同水準の洗浄力を示したのは、B1, B2, D1の鋼板とB1によるボルトの場合がある。しかし、アルカリ洗浄剤では蒸気洗浄と異なり、ボルトへの油分除去率が鋼板に比して低い値を示し、形状相違の差が認められるため、嵌合部や平面の密着した部材等への浸透洗浄力に懸念が残る。なお、同一メーカーではスプレー型に比べ浸漬型の洗浄力が優れ、リンス不要型ではE社に比べA社洗浄剤の洗浄力が優れている。アルカリ洗浄剤として鋼板、ボルト両者への油分除去率を総合すると、B1とD1の洗浄剤が好成绩を示している。リンス不要型ではA1, A2の洗浄力が高いと思われるが、発錆するなど別の問題がある。以上をまとめた結果を表4に示した。

図2は、A1とE1の洗浄液について、ボルトの洗浄時間と残留油分の関係を調べた結果である。両者の洗浄力が優れる時間とともに向上するが、ほぼ20分で一定となり、最適洗浄時間の存在が示唆された。

図3は、A1とE1の洗浄液に熱処理油を添加し、劣化によるボルト洗浄力の変化を調べた結果である。A1はE1に比べ熱処理油添加による洗浄力の低下が少ないことがわかる。A1はE1に比べ熱処理油の乳化解傾向が少なく、洗浄試料から分離した熱処理油は静置により液表面へ浮上油として移行する、強い排除作用が認められた。

その他、洗浄剤濃度を変化させ屈折率を調べた結果、洗浄剤の濃度と屈折率には相関が認められ、洗浄

また、新洗浄液と新リンス液は、調整直後の性状と洗浄後の性状を示し、古洗浄液と古リンス液は、強制的に劣化後30分間放置した中間層の性状と洗浄後の性状を示すものである。新古の洗浄液はpH、COD、油分の除害を、B3およびE1のpH値を除いて必要とするが、リンス液は洗浄液が希釈されCOD、油分の排水規制を、A2, B1, B2, C1が満足する水質となっている。しかし、実際の洗浄作業では、リンス液への洗浄液の汲み出しが増加する可能性があり、油分の除去が課題になるものと考えられる。

また新古の洗浄液CODを比較すると、A1, A2, B2を除き古液が新液より減少しているが、これは加温による洗浄成分の劣化と考えられ、洗浄液の安定性はA1, A2, B2が優れている。

また、COD値と油分より洗浄液とリンス液の希釈割合を比較すると、CODではC1, B1, B2, A2が、油分ではB1, B2, D1, C1が大きく、洗浄液の液切性はこれらが優れている。

また、リンス液のCOD値と油分を比較すると、CODはB2, C1, A2, B1が満足する水質になっている。しかし、実際の洗浄作業では、リンス液への洗浄液のくみ出しが増加する可能性があり、油分の除去が課題になるものと考えられる。

また新古の洗浄液のCODを比較すると、A1, A2, B2を除き古液が新液より減少しているが、これは加温による洗浄成分の劣化と考えられ、洗浄液の安定性はA1, A2, B2が優れている。

また、COD値と油分より洗浄液とリンス液の希釈割合を比較すると、CODではC1, B1, B2, A2が、油分ではB1, B2, D1, C1が大きく、洗浄液の液切性はこれらが優れている。

また、リンス液のCOD値と油分を比較すると、CODはB2, C1, A2, B1が、油分はA2, C1, B2, B1の値が小さく、洗浄液の公害性はこれらが優れていることが分かる。

予め、洗浄試料に付着した熱処理油の残留油分を測定したところ、鋼板及びボルトに付着した油分量は4.1と4.6mg/cm²であり、熱処理工場の蒸気洗浄(トリクロエタン)施設で30分間洗浄を行った残留油分量は0.074と0.088mg/cm²であった。鋼板及びボルトを比較すると、付着油分量と洗浄後の残留油分量はボルトが大きく形状相違の差が認められるが、蒸気洗浄による油分除去率では共に98%となりその差が認められなかった。

表3は、洗浄剤による鋼板とボルトの洗浄試験結果を示す。

表4 洗浄剤の評価表

評価試験	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	方法
安定性	B2 +5%	A1 0%	A2 0%	D1 -7.1%	B3 -8.6%	E2 -14.8%	C1 -15.0%	E1 -20.3%	B1 -26.1%	C2 -59.2%	新古洗浄液のCOD増減率
液切性 (COD)	C1 400 340	B1 260 246	B2 205 240	A2 194 272	A1 108 48	C2 75 75	B3 62 101	D1 54 197	E1 18 14	E2 14 14	新洗浄液のCOD/新リン スのCOD、古洗浄液の COD/古リンスのCOD
液切性 (油分)	B1 357	B2 258	D1 148	C1 118	A2 100	E1 67.9	E2 23.4	B3 19.5	C2 13.5	A1 10.0	古洗浄液の油分/古リン スの油分
公毒性 (COD)	B2 3.9 3.5	C1 5.0 5.0	A2 7.7 5.5	B1 8.8 6.9	A1 12 27	C2 16 18	D1 26 6.6	E1 45 46	E2 65 73	B3 130 73	新リンスのCOD値 古リンスのCOD値
公毒性 (油分)	A2 1.0 1.1	C1 1.9 1.1	B2 2.2 2.6	B1 3.0 2.8	A1 11 42	D1 14 2.9	C2 15 23	E2 58 47	B3 140 39	E1 140 140	新リンスの油分値 古リンスの油分値
洗浄力 (鋼板)	B1 14 26	D1 29 42	B2 *34 44	C1 79 110	C2 *83 86	A1 96 100	A2 110 200	B3 380 630	E1 400 410	E2 *420 450	新洗浄液の残留油分値 古洗浄液の残留油分値
洗浄力 (ボルト)	B1 74 74	D1 89 110	A1 160 560	A2 180 320	B2 300 540	C2 300 410	C1 *360 460	B3 *430 1900	E2 650 810	E1 *820 940	新洗浄液の残留油分値 古洗浄液の残留油分値

*印の付したものは、再試験データを示す。

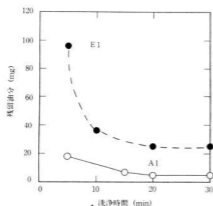


図2 洗浄時間と残留油分

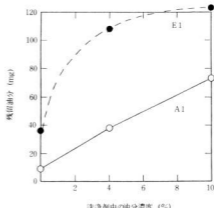


図3 油分量と残留油分

浴の濃度管理は屈折率の測定も有効と推察される。

の指導を行うことが可能となった。

4 結 言

文 献

熱処理用高粘度油の水系アルカリ洗浄剤の脱脂力、排水で問題となるリンス液の評価を行い実用化のメドをたてることが可能となった。

各水系アルカリ洗浄剤の洗浄力、安定性、液切性、公毒性あるいは濃度管理についての管理手法が確立できたので、これらのデータにより県内熱処理関連企業

- 1) 鮎谷：熱処理, 34 (1994) 2, 64
- 2) 新美：熱処理, 34 (1994) 2, 53
- 3) 小池：熱処理, 30 (1990) 4, 197
- 4) 加瀬：最新めっき技術 (1983), 65
- 5) 田島：表面処理ハンドブック (1974), 126
- 6) 丸山：めっき実務読本 (1983), 63

高分子系・金属系複合材料の成形加工技術の形成（戦略的地域技術形成事業） 複合材料のアルミニウム合金部材への一体複合化技術の開発

土取 功, 繩稚典生, 大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 渡部英雄, 田谷征雄, 浜岡英男, 好満芳邦

Insert-Cast Bonding of Aluminum Alloys Matrix Composites in Aluminum Alloys Components

TSUCHITORI Isao, NAWACHI Norio, OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro,
TAHIRA Kimitaka, WATANABE Hideo, TADANI Masao, HAMAOKA Hideo,
and YOSHIMITSU Yoshikuni

The possibility of insert casting of the aluminum alloy matrix composites into aluminum alloys components with metallurgical bonding has been tried by conventional gravity casting. From the results of the experiment, it was confirmed that the aluminum alloy matrix composites could be bonded to the aluminum alloy metallurgically under the specified conditions. Subsequently, the fabrication conditions for metallurgical bonding were investigated to use the practical model. On the fabrication conditions, it was significant that the temperature of the composites near interface ascended over 933K within 5 seconds after melt pouring, by means of arranging the temperatures of the melt, the die and the composites by preheating.

Then, The condition of the composites surface affected the bonding between the composites and the aluminum alloy.

キーワード：アルミニウム合金, 複合材料, FRM, MMC, 鋳込み, 鋳造接合, 部分複合化

1 緒 言

現在、自動車産業を中心とした軽量化の技術傾向は他産業にも広く波及しつつある。鉄鋼材料に比べて各種の特徴を持つアルミニウム合金を始めとした軽金属材料が注目されている。その長所は、軽量、高熱伝導率、高減衰能等やまたそのリサイクル性であるが、短所は弾性率の低さと鉄鋼材料のようなマルテンサイト変態を利用した著しい強化や表面改質ができないことである。この強度面の対策として、高強度なセラミックス繊維や粒子で強化したアルミニウム合金複合材料はアルミニウムの特性を生かしつつ、従来の強度レベルを越えた材料を実現することにある。しかし、それは強化材料と製造プロセスとを加えたコストの上昇を招き、その普及は一部を除いては期待されるほど進んでいないのが現状である¹⁾。

最近、強化材料の方は比較的、低コストなウイスキーや短繊維が開発、市販されるようになってきた²⁾。また一方で、様々な自動車、機械部品等において部材全体に高強度や耐摩耗性が必要であることは少なく、必要な部分だけを強化した複合材料にすることが考えられてきた。アルミニウム合金複合材料は従来アルミニウム合金を越える性質を付与するだけでなく、軽量で

あることや熱伝導の良さ等のアルミニウムの性質を生かすことに意義があり、単なる鋳込みではなく、金属結合を伴った一体化が必要である。このような技術が可能になれば、複合材料を強化部の形状に高能率、低コストにあらかじめ製造しておき、これを従来の工程で部分複合化するか、複合材料を製造する技術を持たなくても、他から購入し、部分複合化した部品を製造することも可能になる。本研究は複合材料部品の製造コストの低減を目的に、従来製造技術(重力鋳造法)の中で予め製造されたアルミニウム合金複合材料をアルミニウム合金部品の一部に部分複合化するための技術を開発しようとするものである。

2 実験方法

2.1 強化部に用いたアルミニウム合金複合材料

一体複合化を行う複合材料として比較的強度が高く、粉末冶金法で製造された鉄-ニッケル-アルミニウム金属間化合物を含む複合材料のスマルタフ(住友電工製)を用いた。その後、A390の急冷凝固粉末の焼結材料および鋳造用アルミニウム合金であるAC9Bの3種類を用いた。一方、一体化する側のアルミニウム合金には鋳造用アルミニウム合金で低熱膨張のAC8A合金を用いた。また、強化部の形状・寸法は各段

層で適宜、変えて実験を行った。

2.2 一体複合化実験

一体複合化実験は、強化部となる複合材料部形状を図1に示すような単純形状試料($\phi 25 \times 20\text{mm}$)とし、図に示すような金型内に配置して接合表面部をアルミニウム合金溶湯で洗い流す構造とした。実験では複合材料は金型とともに電気炉で各温度に予熱し、所定温度に達した後、金型および複合材料を所定位置に設置して、金型の側面部と注湯部、複合材料試料の3カ所に配置された熱電対を記録計に接続した。その後、所定温度に達したAC8A合金を注湯して一体複合化を行い、その時の各部位の温度変化を測定した。実験は試料、金型、溶湯の各温度と洗い湯量の条件を変えて行われた。この時、強化部材料としてスミアルタフおよびA390を用いた。

以上の実験で一体複合化は可能であることが分かり、種々の実験条件に対する結果を踏まえて、次に、一体複合化する部材および強化部複合材料の形状・寸法をより具体的モデルを設定して一体複合化実験を行うことにした。新たに図2に示すような金型を作製し、同様な手順、方法で実験を行った。強化部の複合材料部形状は図に示すようにいくつかの形状について検討した。この場合、強化部複合材料としてA390およびAC9Bを用いた。また、一体複合化時に振動を加えたり、高周波加熱で金型や複合材料試料を予熱するなどの工夫や改良を行った。さらに、一体複合化部界面の接合の評価を光学顕微鏡、SEM-EDXで観察するとともに一部については引張試験による接合強度の評価も行った。

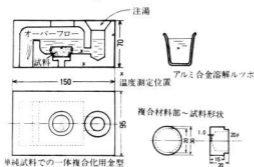


図1 単純形状試料での接合実験に用いた金型と複合材料部寸法

3 実験結果

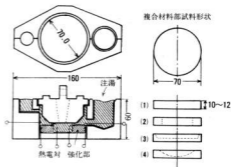


図2 具体的モデルを設定しての一体複合化実験と複合材料部形状

3.1 単純形状複合材料による接合実験

アルミニウム合金複合材料をアルミニウム合金溶湯で鉗ぐり、接合界面を金属的に一体複合化しようとする際、強化部である複合材料表面の酸化皮膜を還元することが必要である。そのため、AC8A合金の溶湯で複合材料表面を洗い流すことを考えた。そのようにして行った一体複合化時の複合材料接合界面付近の温度変化を測定した代表的な結果を図3に示す。複合材料の各部の温度は予熱時の280°C付近からアルミニウム合金溶湯が接触すると急激に温度上昇し、12秒間で最高550°Cに達するのが分かる。接合にはこの界面の到達温度が重要と考え、毎回温度測定を行った。

写真1に光学顕微鏡による一体複合化した接合界面の金属組織を示す。写真上半分がスミアルタフで下半分がAC8Aの組織である。ある特定の条件下では写真1に示すような良好な接合界面が得られることがわかった。しかし、このような実験を繰り返すうちに複

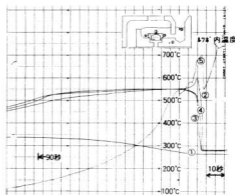


図3 一体複合化時の複合材料各部の温度測定例

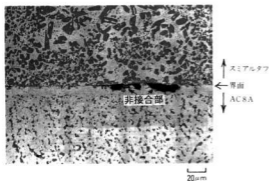


写真1 スミアルタフ/AC8A接合界面の顕微鏡組織

合材料の表面を洗い流さなくても接合できることが分かってきた。これより以後、洗い流す溶湯の量はゼロあるいは押し湯部分だけとして実験した。

アルミニウム合金注湯時の温度と複合材料試料の予熱温度を変えて実験し、この接合界面の接合状態を調べた結果を図4に示す。図4から良好な接合界面を得るためには740℃以上の注湯温度と270℃以上の試料予熱温度が必要であることが分かる。しかし、温度が高すぎる場合には完全に両者が溶けあって部分強化にならなくなる。また、アルミニウム合金溶湯温度を高くすることはガス吸収量が増大し、製品不良の原因になる。したがって、溶湯の温度は800℃以下であることが望ましく、また、試料予熱温度も金型温度には耐久性から400℃以下が好ましい。このように一体複合化技術の工業化を考慮した場合、自ずとそれぞれの温度条件に制限を受けることになる。

3.2 一体複合化部材および強化部複合材料に具体的形状を設定しての一体複合化実験

あるエンジン部品形状に近い図2の金型で、一体複合化実験を繰り返した。その接合が良好な場合の

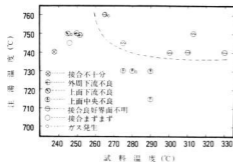


図4 一体複合化温度条件と接合結果

接合界面付近を温度測定した例を図5に示す。温度測定と接合状況の結果から、複合材料界面の温度が注湯後、約5秒間で555℃以上の温度に達した時、ほぼ全面で良好に接合していることが分かってきた。写真2にその接合界面付近の金属組織を示す。界面付近に層状組織が観察されるが、EDXによる面分析を行ったところ、これはアルミニウム合金のα相が層状を構成していることが推察される。現在のところ、このような層状組織を形成する理由は不明であるが、複合材料として急冷凝固粉末焼結材のA390を用い、かつ良好な接合が得られた場合に現れる現象である。写真3は強化部としてAC9Bを用いた場合の良好な接合の時の接合界面付近の組織である。界面には微細なシリコンと思われる析出物が線状になっているのが観察される。この部分を拡大してEDXで分析したが、Siが認められた他は、接合機構に関係した特定元素の偏析等は認められなかった。

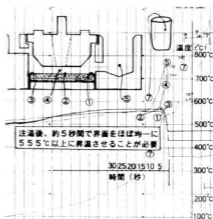


図5 具体的モデルでの一体複合化時の界面温度測定

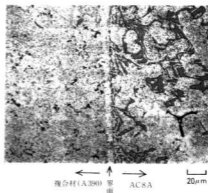


写真2 A390/AC8Aモデル試料での接合界面組織

また、強化部に用いた複合材料はアルミニウム合金部材の表面部に配置されることがほとんどで、この実験の場合も外周部は機械加工面となるため接合する必要はなく、内側および底面はが接合されていれば良い。この強化部の形状はその後、改良され、現在は図2の(4)に示されている皿状にした方が欠陥部が少なく、より良好に接合できることが分かった。また、接合状態を引張試験で評価した結果、AC9B/AC8Aの組み合わせでは良好なもので100~150MPaの引張強さが得られた。そのときの破断箇所は母材部であった。

このように、一体複合化ではその接合機構が明確でないが、核心の技術は複合化の過程で酸化皮膜の分解・解離の可否に依存している。

アルミニウム合金の拡散接合ではアルミニウム合金中のMgが酸化皮膜を解離・分解することが報告されている⁹⁾。また本実験に用いたAC8A合金も約1%のMgを含有しており、このことから拡散接合同様な機構により酸化皮膜が解離して⁹⁾、界面での接合が可能になったものと考えられる。

良好に一体複合化された試料の外観を写真4に示す。試料底面に当たる部分が複合材料であり、中央部が本体、そして注湯口、押し湯部がAC8A合金である。

この鑄造接合技術はアルミニウム合金複合材料から異種アルミニウム合金までの幅広い材料に対して適用

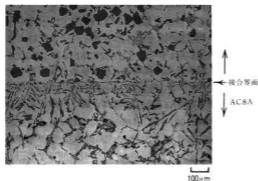


写真3 AC9B/AC8A接合部界面組織

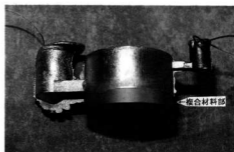


写真4 一体複合化した実験試料の外観

が可能と考えられるため、アルミニウム合金材質の多成形技術に繋がり、その技術的波及効果は広いものが期待される。

4 結 言

アルミニウム合金部材への一体複合化に関する実験をまとめてみると次のようになる。

- (1)アルミニウム合金複合材料をアルミニウム合金溶湯で重力鑄造法により一体複合化(鑄造接合)することは特定の条件下で可能になることが分かった。
- (2)その一体複合化のためには注湯後、約5秒間で接合面温度を均一に555~560°Cにすることが必要であった。
- (3)一体複合化にはアルミニウム合金複合材料表面表面の酸化皮膜など表面状態も影響することが分かった。

おわりに、この研究を行うに当たり、マツダ精密株式会社(現マイクロテクノ株式会社)の萩原多津美氏に多大の御協力頂いたことに謝意を表します。

文 献

- 1)日本金属学会:日本金属学会報,30(1991)276
- 2)菅沼克明:日本複合材料学会誌,17(1991)97
- 3)Toshio Enjo, etc.: Trans. JWRI, 14(1985)115
- 4)G.M.Scamans, etc.: Metall. Trans., 8A(1975)2055

スタンパブルシートの表面平滑性付与に関する研究

下原伊智朗, 好満芳邦, 大橋俊彦, 田平公孝, 土取 功

Study on Surface Flatness of Stampable-Sheets

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

Stampable-sheet which consist of glass fiber(GF) and matrix polypropylene(PP) has been applied for the parts of motor vehicle. However, this stampable-sheet has considerable disadvantage of roughness of the surface. So improvement of this surface property was studied by chemical and physical methods in this study.

As the result, it was found that modification of matrix PP with modifier having terminated carboxyl group, surface finishing of GF with amino-silane, and blending CaCO₃ powder into matrix PP were considerably effective to improve the disadvantage of the stampable-sheet.

キーワード：複合材料, F R T P, スタンパブルシート

1 緒 言

自動車に使われるプラスチックは年々増加しているが、現在使用されているプラスチック系の複合材料にはSMCに代表される熱硬化性樹脂のもの以外に熱可塑性樹脂を使ったものがあり、熱可塑性樹脂にガラス短繊維等を練り込んだ複合材料はFRTPと呼ばれ、射出成形ができることから広く普及している。一方ガラス長繊維を強化繊維に用いた熱可塑性複合材料として開発されたスタンパブルシートは、その高弾性率、高強度から普及しつつある。このスタンパブルシートは板金プレスの改造で容易に成形できる。すなわちシート原反の裁断、予熱、金型へのセット、加圧成形、冷却、取り出しといった手順で簡単に成形が行われる。

また、スタンパブルシートは金属より軽い、SMCより成形サイクルが短い（約1min）、射出成形に比べて衝撃強さが他の物性に優れている、低圧で成形ができるため、射出成形より小さい設備で大型部品の成形が可能であり、さらに熱可塑性樹脂であるためSMCに比べリサイクルがしやすい等の特徴を有している。用途は主に自動車部品で、バンパービーム、バッテリートレイ、エンジンカバー類、シートフレーム、フロアデッキ等がある。しかし問題点もいくつかあり、なかでも寸法安定性が低く、成形品の表面平滑性が悪いことが問題である。つまり、この悪い表面性を改善すれば内外装の構造部材として幅広い適用が期待できるため、その改質手法について検討を行った。

2 実験方法

2.1 相溶化剤の添加とガラス繊維表面処理

従来、樹脂の強化のためのガラス繊維（GF）はシランカップリング剤や集束剤等の表面処理が行われている。しかし、スタンパブルシートで使用されるポリプロピレン（PP）は接着性の悪い樹脂であるためGFとの接合性が低い。この接合力を上げることで表面性が向上することを期待して、ポリマーアロイで用いられる相溶化剤を添加したスタンパブルシートを試作し、評価した。

ガラス繊維表面処理剤は、用途に応じてビニルシラン、エポキシシラン、アミノシラン等のカップリング剤が使用されている。ここでは、図1に示すような相

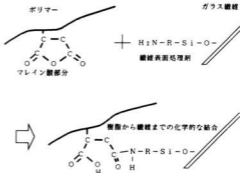


図1 相溶化剤と繊維表面処理剤の効果

溶剤との反応が期待される官能基を持つアミノシラン処理GFを用いた。

相溶剤は、無水マレイン酸(MAH)を含んだポリオレフィンの共重合体(モディパーA8200;日本油脂㈱)²⁾を使用した。MAHは、ナイロンとPPのアロイにおいて、無水マレイン酸変性のPPとアミノ基が反応して、相溶化の効果を持っていると考えられていることから³⁾、同様に繊維のアミノシランカップリング剤と反応し、PPとの接着性が向上することを考慮した。

2.2 フィラーの効果

自動車外板に使用されているSMCは、無機質フィラーを多く用い、かつ低収縮剤などにより硬化収縮率を下げクラスAと呼ばれる表面性を実現している。そこで、スタンパブルシートでも炭酸カルシウムの添加によって成形収縮を下げ、表面性を良くすることができると考え、表面性に与える影響について検討した。

2.3 使用材料

使用した材料を表1に示す。

表1 使用材料

樹脂 (PP)	HIPOL F601 (MFR6.5 g/10min) HIPOL J940 (MFR55 g/10min)	三井石油化学工業㈱ 同上
相溶剤	モディパー A8200	日本油脂㈱
炭酸カルシウム	カルベット M (CaCO ₃ /PP=80/20)	日東粉化商事㈱
ガラス繊維	チョブドストランド アミノシラン A1100処理品	日東紡績㈱
スタンパブルシート	Xシート P4038	出光NSG㈱

2.4 スタンパブルシートの作成

スタンパブルシートは次のように作成した。予め表2に示す所定量の相溶剤または炭酸カルシウムを二軸混練押出機 (TEX-30日本製鋼所㈱) によってPPに練り込み、幅70~80mm、厚さ1~2mmの押出シート原反を作成した。これを所定の寸法に切断し熱プレスによって270×270×1mmのPPシートを成形した。次にこのシート2枚の間にガラス繊維を均一に撒きサンドイッチにして再び熱プレスにより樹脂を含ませ、スタンパブルシートを作成した。成形温度は、F601系で220℃、J940系で200℃とし、それぞれ圧力0.5MPaでプレスした後、空冷した。

2.5 スタンパブルシートの成形

スタンパブルシートの成形は220℃のオープンで7~15mmシートブランクを予熱し、40~120℃の各種温度に設定した金型に投入し、プレス圧力15MPa、3min以上保圧冷却し80×180×4mmの平板を得た。

2.6 成形収縮率の測定

二軸混練機による押出シートを220℃のオープンで15min加熱し、樹脂が流動できる状態にして、40℃の金型に投入しプレス圧力15MPa、5min以上保圧冷却し80×180×3mmの平板を成形し、金型寸法との差を成形収縮率として測定した。

2.7 試験装置

試作スタンパブルシートの曲げ強さはJIS K 7055に規定された3点曲げ試験で求めた。試験装置は柳島津製作所AG-100kNEを用いた。また衝撃試験は柳島津製作所HTM-1により測定した。さらに表面粗さ

は株式会社SURFTEST-500を用いた。

3 実験結果と考察

3.1 添加剤の効果

試作スタンパブルシート成形体の物性を表2に示す。

曲げ特性、衝撃特性については、ガラスチョップドストランドを直接手で振りまいて作成したため、繊維の分散不良から、特性が低下したものと考えられる。

成形性に関してはシートの子熱時において、GFのスプリングバックがなく、シートがべた付いてハンドリングが悪かった。スタンパブルシートを作成する際のガラス繊維の間隔状態、配置方法、含浸方法の検討が必要である。

試作したスタンパブルシートの表面性に関しては、相溶剤(S0~S30)の効果を図2に、炭酸カルシウム(C0~C30)の効果を図3に示す。

図2および図3は成形品表面を200倍拡大したものである。40,60,80,100℃の各種金型温度で成形した相溶剤を添加したF601系では、低い成形温度で下側への鋭いくぼみが多く、高い温度で緩やかな大きな山が目立つ。くぼみは、成形品表面に繊維に沿って空気が残って生じたもので、山は繊維の浮きだしによるものと考えられる。高い金型温度では、型から取り出した後の冷却収縮が大きいため、大きな凹凸が生じた。相溶剤の表面性改善の効果は、金型温度が80℃,100℃の場合比較的大きく、表面の凹凸が減少し、比較的平滑になっていることがわかる。

表2 試作スタンパブルシートの物性

試料名	S0	S10	S20	S30	C0	C10	C20	C30
樹脂 (PP)	F601	F601	F601	F601	J940	J940	J940	J940
添加剤								
モディナー %	0	10	20	30	—	—	—	—
カルベット %	—	—	—	—	0	10	20	30
ガラス繊維 %	30	30	30	30	30	30	30	30
曲げ強さ								
MPa	64	64	60	44	54	55	39	41
(min-max)	(61-66)	(59-69)	(57-66)	(41-47)	(51-58)	(47-61)	(35-45)	(34-49)
曲げ弾性率								
MPa×10 ²	32	38	36	34	32	35	35	33
(min-max)	(28-35)	(36-41)	(31-39)	(30-36)	(28-35)	(29-41)	(33-39)	(29-36)
衝撃強さ								
kJ/m ²	56	44	45	52	70	72	47	54
(min-max)	(42-64)	(38-56)	(36-57)	(41-62)	(53-81)	(64-87)	(35-58)	(45-66)
[アイゾットノッチ付]								
MFR230℃								
g/10min	6.9	8.7	9.0	8.5	60	67	70	74
樹脂成型収縮率 %	1.20	1.22	1.24	1.19	1.25	1.21	1.17	1.06

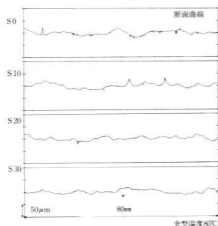


図2 試作スタンパブルシートの表面粗さ

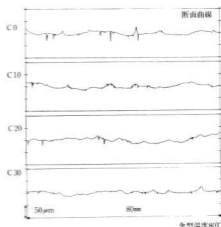


図3 試作スタンパブルシートの表面粗さ

炭酸カルシウムを添加したJ940系では、金型温度80,100,120℃で成形したが、80℃では表面のこまかいへこみが多く、120℃になると繊維の浮きだしによる凸部が目立つ。120℃では取り出し後の収縮が大きいものと考えられる。しかし炭酸カルシウムを添加していくと図3中 C30の結果と同様に凹凸が減り平滑性が良くなることわかる。

写真1に相溶化剤を添加した場合の表2に示したS0とS30の、写真2に炭酸カルシウムでの表2に示

したC0とC30の100℃での成形品表面状態を示す。S0に対しS30、C0に対しC30は表面の平滑性が向上しており、添加剤の効果が認められる。

3.2 金型温度の影響

成形時の金型温度の成形品表面への影響について検討した。写真3に金型温度40℃と120℃で成形したときの表面状態を示す。金型温度40~80℃では表面に残った空気の痕と思われる鋭いへこみが見られた。100℃,120℃ではそれがなくなり繊維の浮きだしによ

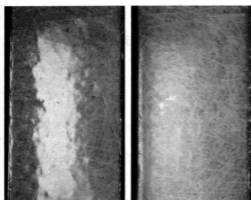


写真1 スタンパブルシートの表面状態

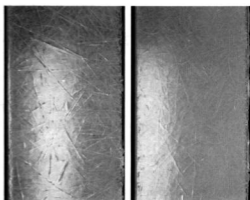
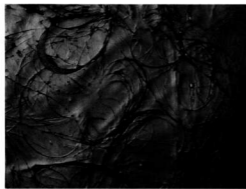


写真2 スタンパブルシートの表面状態



金型40℃



金型120℃

写真3 スタンパブルシートの表面状態 (Xシート)

る凹凸が多くみられた。実際の生産現場では、成形サイクルをできるだけ短くするため金型温度は相当低いと考えられるが、品質上は、高めの金型温度が成形品表面を大きく改善すると考えられる。

4 結 言

スタンパブルシートの成形後の表面の平滑性を向上させる手法として、

- (1) ガラス繊維と樹脂の密着性を上げる、
- (2) 樹脂にフィラーを練り込み、成形収縮を押さえる、
- (3) 金型温度を高めにすることが有効であることがわかった。炭酸カルシウムの添加率の増加、相溶化剤と

の併用によって、平滑性が向上すると考えられる。金型温度を高くした場合表面性は改善されるが、成形サイクルや脱型後の歪等の問題が残ること、相溶化剤、炭酸カルシウム等の添加剤を増したときの樹脂の含浸性、機械的特性などの改善が今後の課題である。

文 献

- 1) Rijdsdijk 他: ICCM 9, VOL. II (1993), 251
- 2) 杉浦: 工業材料, **39** (1991), 40
- 3) 井手他: 高分子化学, **29** (1972), 259

グラフト重合反応を用いたポリオレフィン樹脂の接着性改善

大橋俊彦, 下原伊智朗, 田平公孝, 好満芳邦

Study of Surface Modification of Macromolecules Improvement of Adhesion of Polyolefin by Graft Polymerization

OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro, TAHIRA Kimitaka and YOSHIMITSU Yoshikuni

Many consultation about polymer surface are brought from companies in Hiroshima prefecture. Thereupon, it is important that we are proficient in the technology that control and estimate polymer surface. At the outset it was studied in improvement of adhesion of polyolefin that was generally used and hard to adhere.

Graft polymerization of methylmethacrylate onto polyolefin was carried out with radical initiator. Then the adhesion of polyolefin were enriched by spraying and aging the graft polymer.

And, it was also seen that the number of graft chains increased and the molecular weight of graft chains decreased with increase in polymerization temperature, polymerization time and initiator concentration.

Furthermore, it will be possible that polyolefin are invested with variety of function, for example, excellent wetherability and so on, by performing coating and other post-processing on the modified surface.

キーワード: グラフト重合, ポリオレフィン樹脂, メタクリル酸メチル, 接着性

1 緒 言

材料の用途展開のためにはバルクの特性ばかりでなく表面性も重要である。また表面の性質を機能として利用するような用途も多くなってきている。例えば高分子材料では自動車の外板・電気機械器具のケースなどとしての利用には接着性・塗装性が、摺動部材としての利用には耐摩耗性・潤滑性が、更に分離膜・生体適合材料などとしての応用には表面吸着性・抗血栓性などが要求される。

そのため県内企業からの商品開発、製品の改善、クレーン対策などの相談の中で高分子材料の表面特性が関係するものが非常に多い。

こうした課題に対応するためには表面をコントロールし、評価する技術の蓄積が必要である。高分子材料の表面改質技術としては、 γ 線、X線、プラズマ、グロー放電などを用いた物理的(乾式)処理を利用する方法が多く研究されているが^{1,2)}、これらはどれも高価な設備が必要である。そこで我々は、特殊な装置を必要としない化学反応(グラフト重合法)によって合成した改質剤を用いた高分子材料の接着性改善について検討した。

2 実験方法

2.1 原料および試薬

幹ポリマーとなるポリオレフィン樹脂(以下POとする)としては、溶剤に可溶性長い鎖を持つ樹脂(Mn=120000)を用いた。グラフトのモノマーはメタクリル酸メチル(MMA)を選び、減圧蒸留して用いた。ラジカル重合開始剤である過酸化ベンゾイル(BPO)、および溶媒のトルエンは常法によって精製して用いた。

2.2 グラフト重合反応

グラフト重合反応は山口らと類似の方法で行った^{3,4)}。即ち図1に示すような500ml四つ口フラスコ中にPO10gをトルエン200mlに溶解後、所定温度に設定し、MMAとBPOを加えて窒素気流中で4~8時間反応させた。所定時間反応させた後、冷却しトルエンと同量のメタノールをフラスコ中に投入して、反応を完全に終了させた。その後、グラフト重合溶液を大量のメタノール中に投入して、重合物を沈澱させた。本研究で試みた反応条件を表1にまとめた。

回収した重合物をアセトンで48時間ソックスレー抽出し、MMAの単独重合物(PMMA)を除去し、グラフト重合物のみを回収した。見掛けのグラフト率と

グラフト効率を次式によって算出した。

$$\text{グラフト率(\%)} = \frac{\text{グラフトしたモノマー量}}{\text{幹ポリマー量}} \times 100$$

$$\text{グラフト効率(\%)} = \frac{\text{グラフトしたモノマー量}}{\text{重合したモノマー量}} \times 100$$

2.3 グラフト重合体の評価

グラフト重合物の生成は赤外分光分析によって確認した。

アセトン抽出した PMMA の分子量を GPC 法で測定し、これをグラフト鎖の分子量と同一であるとして、PO 1 分子あたりのグラフト鎖数を算出した。

2.4 接着強度試験

PO 樹脂板とアクリル樹脂板の接着強度を、180度引き裂き試験法 (JIS K 6854) によって接着強度を評価した。

PO 樹脂板はグラフト重合反応に用いたのと同じ原料ペレットを熱プレス成形して作成し、アクリル樹脂板は市販品を用いた。これらの樹脂板の接着面は、接着前にメチルエチルケトンで清浄にして用いた。

接着条件を表 2 に示す。無処理のポリオレフィン樹脂板への熱接着、塩化ビニル樹脂用接着剤による常温及び熱接着、グラフト重合ポリマー (Run No.2) の 5%トルエン溶液を塗布し熱処理したものに対して、塩化ビニル樹脂用接着剤で室温接着したものについて比較した。またグラフト重合ポリマーの 5%トルエン溶液を接着剤として直接接着したものについても接着強度を測定した。

3 実験結果と考察

3.1 ポリオレフィン樹脂への MMA のグラフト重合

図 2 に幹ポリマーである PO, PMMA ホモポリマー、重合生成物 (Run No.2, アセトン抽出したもの)

の赤外吸収のスペクトルを示す。重合生成物のスペクトルにはポリオレフィンの吸収に加えて、PMMA に由来するカルボニル基の吸収などが表れており、グラフト共重合体が生成しているものと思われる。このことはどの反応条件による重合物についても同様であるが、PMMA 由来のピークの大きさはグラフト率によってそれぞれ異なった。

表 1 に各重合反応条件による MMA の反応率、重合生成物における PO と PMMA の比、グラフト率、グラフト効率をまとめた。MMA の反応率、PMMA/PO 比は反応温度・BPO 濃度が高く反応時間が長くなるほど大きくなる。グラフト率も同様の傾向が見ら

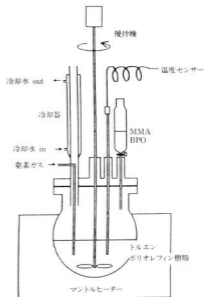


図 1 重合反応装置

表 1 グラフト重合の条件および反応率等

Run No.	MMA 濃度 g/100cc	BPO 濃度 g/100cc	重合温度 °C	重合時間 hr	重合率 (%)	PMMA/PO (%)	グラフト率 (%)	グラフト効率 (%)
1	2	0.1	70	4	16.6	6.7	2.79	46.00
2	10	0.1	70	8	29.5	59.6	8.26	13.87
3	10	0.1	80	4	32.5	65.9	5.46	8.29
4	10	0.1	80	8	45.1	91.4	10.25	11.22
5	10	0.5	70	8	40.9	82.9	10.17	12.28
6	10	0.5	80	4	38.7	78.3	7.79	9.96

れるが、また MMA 濃度が低いとグラフト率は小さく
なっている。グラフト効率は反応温度が高くなると
減少し、反応時間が長く BPO 濃度が高くなると増大
している。また MMA 量が少ない場合グラフト効率
が非常に大きくなった。

3.2 グラフト鎖の数と分子量

グラフト重合物におけるグラフト鎖の分子量と数は
接着性などに大きく影響すると考えられる。図 3 にグ
ラフト鎖の分子量 (M_n) と幹ポリマー 1 分子あたり
のグラフト鎖数 (n) と重合反応条件の関係を示す。
 M_n は反応温度・BPO 濃度が高くなり反応時間が長
くなるほど小さくになっている。これに対して n は逆に
反応温度・BPO 濃度が高くなり反応時間が長くなる
ほど大きくなる傾向がある。

一般的なラジカル重合においては反応開始剤 (本研
究においては BPO) 濃度が高く反応の温度が高いと
分子量が低くなり、またモノマー濃度が高いほど平均
の分子量は高くなるとされている⁶。今回のグラフト
重合における結果もそれと一致している。またグラフ

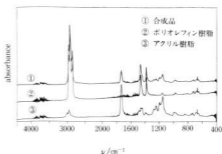


図 2 各ポリマーの赤外吸収スペクトル

ト化は BPO による幹ポリマーからの水素引き抜き反
応によって開始されると考えられる⁷が、その速度は
開始剤ラジカルの濃度が高いほど速く、また反応時間
が長いほど多くの水素引き抜き反応が起こるため、 n
が多くなると考えられる。本研究の結果はその予想と
一致している。同様の結果は井手⁸、箕浦⁹、奥村¹⁰ら
によっても得られている。

3.3 接着性の改善

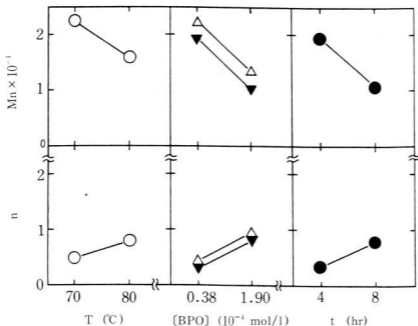


図 3 グラフト鎖の分子量と数に与える重合温度、BPO 濃度、重合時間の影響

○: [MMA] = 0.9 mol/l, [BPO] = 3.8×10^{-3} mol/l, $t = 8$ hr

▽: [MMA] = 0.9 mol/l, $T = 80^\circ\text{C}$, $t = 4$ hr

●: [MMA] = 0.9 mol/l, [BPO] = 3.8×10^{-3} mol/l, $T = 80^\circ\text{C}$

表2 ポリオレフィン樹脂とアクリル樹脂の接着性

接着方法	引裂強さ kN/m	破壊の種類
接着剤なし 100℃	<0.01	A
PVC用接着剤による接着, 室温	<0.01	A
PVC用接着剤による接着, 100℃	0.08	A
PVC用接着剤による接着, 表面改質	>1.70	B
改質剤を接着剤として使用	>1.70	B

破壊の種類 A: 表面からの剥離

B: 試験片材料の破壊

得られた PMMA/PO グラフト共重合体による接着性の改善の効果を表2に示す。POとPMMAを熱接着した場合およびPVC用接着剤で接着した場合は、引裂き強さは非常に小さく、手で簡単に剥ぐことができ、ほとんど接着していないことがわかった。PMMAはPVC用接着剤で良好な接着性を示すので、このことはPOの接着性が悪いことによる。これに対して、グラフト重合ポリマーを表面に塗布したPOとPMMAとをPVC用接着剤で接着した場合の接着強度は大きく改善され、すべての試験片についてPOが破壊した。またPMMA/POをトルエンに溶解したものを接着剤としてPOとPMMAを接着した場合も、同様に未処理の場合と比べて高い接着力を示した。

nとMnは接着強度に影響すると考えられるが、今回の研究では、成形したPO板の強度が低かったために十分評価することが出来なかった。PMMA/POの化学構造の影響についても、今後検討する予定である。

4 結 言

POに対してMMAを溶液中でグラフト重合する合成技術について検討し、いくつかの知見を得ることができた。また、こうして得たグラフト共重合体(PMMA/PO)を用いて、ポリオレフィン系高分子材料の接着性を改善した。

- (1)POに対するPMMAのグラフト率はMMA濃度、反応温度、開始剤濃度が高く、反応時間が長いほど

大きい。

- (2)反応条件によって合成品の構造(nとMn)に差があり、目的とする用途によって反応条件を選ぶ必要がある。
- (3)PMMA/POを表面改質剤または接着剤として用いることにより、接着性が悪いとされるポリオレフィン系高分子材料についても接着性を付与することが出来る。
- (4)改質した表面に別の物質を接着することによって更にいろいろな機能を表面に持たせることが可能になる。例えばフッ素樹脂塗装による対汚染性の付与などが期待できる。

文 献

- 1) 井手: 高分子表面改質 近代編集社 (1987)
- 2) 井手: グラフト重合とその応用 高分子刊行会 (1977)
- 3) 山口, 奥村: 日本ゴム協会誌, **54** (1981), 7, 456
- 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
- 6) P.J.Flory: 高分子化学 (上) 丸善 (1955)
- 7) 井手: 高分子化学, **23** (1966), 1, 45
- 8) 箕浦: 工業化学雑誌, **61** (1958), 263

フッ素樹脂溶射技術の確立と応用

原 信彦, 新田 明, 筒本隆博

A Study on Thermal Spraying of Fluorine-Contained Resin

HARA Nobuhiko, NITTA Akira and TSUTSUMOTO Takahiro

Thermal spraying of fluorine-contained resin is studied and the coated films are evaluated.

Results are followings.

- (1) Resins suitable for the thermal spraying are PFT and ETFE.
- (2) Films forms at the gas flow rates around 100 N ℓ/h of propylene and 350 N ℓ/h of O₂.
- (3) Best pre-heating temperatures of the substrate are 400°C for PFA and 300°C for ETFE where the coated film became flat, hard enough, well adhesive and repellent to water.

キーワード: フッ素, 溶射, 樹脂

1 緒 言

フッ素樹脂は耐熱性, 耐化学薬品性, 非粘着性, 低摩擦特性, 耐候性, 電気的特性など優れた性質を有した樹脂であるため, 樹脂ライニングの中でもフッ素樹脂が注目され, 食品工業をはじめ化学工業, 電気工業など各種の工業製品に使用されている。

一般に, フッ素樹脂は焼き付けによってライニングされている, そのため焼成炉などの大形の装置が必要である。フッ素樹脂の溶射が可能になれば大形の装置は不要で手軽にライニング出来るようになり, 小ロットの物でも安価にフッ素加工が出来るようになる。また炉に入らない様な大形の物への部分的なライニングも可能になる。そこで, 良好なフッ素樹脂の皮膜を得るための溶射条件(ガスと酸素の量)や基板の温度管理, 溶射に適したフッ素樹脂の選択等を行い, 良好な皮膜が得られたので報告する。

2 実験方法

2.1 溶射装置

使用した溶射装置は酸素とプロピレンを熱源とし, 溶射ガンは樹脂用に設計され, 樹脂が炎に直接ふれるように炎と樹脂の間に空気の膜をつくるようになっている。又, バウダの供給は酸素で行っている。

2.2 溶射材料及び溶射条件

本実験に用いた溶射材料は市販のフッ素樹脂粉末で比較的融点の高いPFA(四ふっ化エチレン・パーフロロアルコキシエチレン共重合樹脂)と融点の低いETFE(四ふっ化エチレン・エチレン共重合樹脂)の

二種類を使用した。

溶射条件は, プロピレン圧を0.5kg f/cm², 酸素圧を5 kg f/cm²の一定に保ち, 流量をプロピレン100, 150, 200N ℓ/hとして, 酸素を200~800N ℓ/hまで100N ℓ/hおきに変化させた。

試験片は50×50mmで厚さ3mmのSS材を使用し, アセトンで脱脂後アルミナ#54のプラスト材でプラスト処理を行った。予熱温度及び溶射中の温度変化の測定は試験片の裏面中心部に熱電対を溶接し記録計を用いて測定した。又予熱は溶射ガンで試験設定温度より約50℃高くして, 試験温度まで下がった所で溶射を開始し, 予熱温度は150~500℃まで50℃おきに変化させた。

2.3 皮膜の評価

- (1) 予熱温度のちがいがいによる表面の状態を顕微鏡で4倍に拡大して観察した。
- (2) 皮膜の硬さは鉛筆硬度値で測定し, 日産検, 検査済みの鉛筆引かき値試験用を用い手かき法で行った。
- (3) 付着力は描画試験機を使用し荷重500gで, 描画試験検査基準材料にもとづいて行った。
- (4) 撥水性試験はベベルプロトラクターに試験片を取付, 試験片を水平にした状態で注射器を使用して2滴(約0.037cc)水を落とし, ゆるやかに角度を増して行き, 水が流れ落ちる角度を読みとった。

3 実験結果と考察

フッ素樹脂の溶射に適した溶射条件を求めめるため, プロピレンと酸素の量を変化させた結果, プロピレン150, 200N ℓ/hは皮膜の乗りが悪く100N ℓ/hが良かったため, プロピレン100N ℓ/hに対して酸素の量

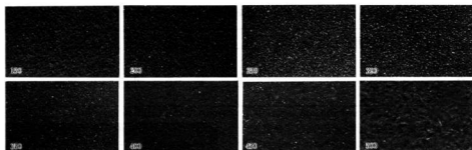


写真1 予熱温度の違いによる表面状態 (PFA) × 4

を変化させた結果、酸素200N ℓ/hでは不足気味ですが発生し、500N ℓ/hでは多すぎ、300~400N ℓ/hが皮膜の形成が良かった。

この結果よりプロピレン100N ℓ/hで酸素350N ℓ/h前後が最適な溶解条件であることがわかった。

予熱温度のちがいによる表面の状態を写真1、写真2に示す。写真1はPFAで予熱温度150, 200℃は皮膜にならず試験片の上に樹脂の粉が付きわずかに溶けている状態であった。

250℃からは皮膜は形成されるが、300℃までは表面はかなり粗く、350℃から450℃は滑らかな表面になり中でも400℃は最も良かった。しかし、450℃には小さな亀裂が発生し、500℃では皮膜の色が変わり一部は見られなくなった。

写真2はETFEで予熱温度150℃はPFAと同様、皮膜にはなっていないが200℃から、皮膜は形成されるが250℃までは表面がかなり粗く、300℃で非常に滑

らかになり、350℃では表面に小さな泡が見られ、400℃で皮膜は熱分解して完全になくなった。

このことから、フッ素樹脂の濃厚な熱分解生成物を吸い込んだ場合、インフルエンザに似た症状が出るとの報告があり¹⁾、熱分解温度まで上げないように十分注意する必要がある。

予熱温度の違いによる皮膜の硬さの変化を表1に示す。PFAは予熱温度150℃、200℃では5B以下で皮膜になっていないことを示し、250℃から温度が上がるにしたがって硬さは上がり、400℃で3~4Hを示した。

ETFEは150℃ではPFAと同様5B以下であるが200℃から5H~6Hを示し、300℃でやや硬くなるが350℃ではPFAとは異なり低くなっている。一般によく使用されるETFEのフッ素樹脂脂ライニングの硬さはHB~Hとの報告があり²⁾、これと比較し両者ともかなり硬い値を示している。

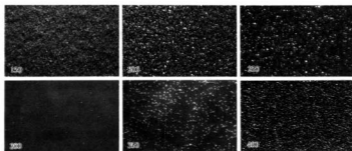


写真2 予熱温度の違いによる表面状態 (ETFE) × 4

表1 皮膜の硬さ試験結果

試料	予熱温度 (℃)						
	150	200	250	300	350	400	450
PFA	B以下	5B以上	HB~F	F~H	H~2H	3H~4H	3H~4H
ETFE	B以下	5H~6H	5H~6H	6H~7H	2B~B		

表2 付着力試験結果

試料	予熱温度(℃)						
	150	200	250	300	350	400	450
PFA	1	1	3	4	5	5	5
ETFE	1	4	5	5	5	—	—

付着力試験の結果を表2に示す。PFAは予熱温度150℃、200℃では描画試験検査標準試料の1で、付着力がほとんどないことを示したが、250℃で3、300℃で4と、予熱温度が上がるにしたがって付着力は上がり、350℃からは5を示した。ETFEの150℃はPFAと同様であるが、200℃で4を示し、250℃は付着力の最も良い5になっている。描画試験結果の一部(PFA)を写真3に示した。150℃では剥離してしまい、皮膜として付着していないことを示し、250℃は皮膜の一部に剥離が見られるが、350℃、400℃は剥離の全くない5を示している。

撥水性試験の結果を図1に示す。撥水性は皮膜の形成される予熱温度PFAは250℃、ETFEは200℃から測定した。

両者とも低い温度では表面が粗いため撥水性は悪く、大きい角度にならないと水は流れ落ちないが、温度が上がるにしたがって小さい角度で流れる様になり、ETFEは300℃、PFAは400℃で最小の角度で流れ落ちた。しかし、それより高い温度になると流れは悪くなり、ETFEの400℃、PFAの500℃の角度が大きいのは皮膜がなくなったためである。

この結果は写真1、写真2の表面の状態と良く一致している。

これらの結果から、ETFEは300℃、PFAは400℃

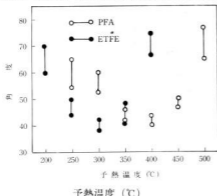


図1 撥水性試験

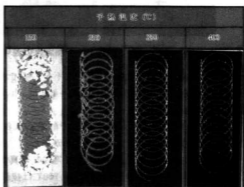


写真3 描画試験結果

前後の予熱が最も良いことがわかった。

4 結 言

フッ素樹脂溶射技術を開発しフッ素樹脂皮膜の評価を行った結果は次のとおりである。

- (1)溶射に適したフッ素樹脂はPFA、ETFEの二種類であった。
- (2)溶射条件、プロピレンと酸素の量はプロピレン100 N ℓ/hに対して酸素350 N ℓ/h前後が皮膜の形成が良かった。
- (3)予熱温度はPFA400℃、ETFEは300℃前後が、表面状態、皮膜硬さ、付着力、撥水性等が良い値を示すことから、最も良い皮膜が形成されることがわかった。

文 献

- 1)日本フッ素樹脂工業会編：フッ素樹脂取扱い手引き書、(1985)、2
- 2)奥田聡：防食技術ハンドブック、化学工業社、(1979)、381

イオンアシストPVD法を利用した超硬質および透明導電薄膜の製品開発 イオンプレーティングで成膜したTiN薄膜の密着性評価

梶岡 秀, 樋口浩一, 高井 修*, 浅本謙治**, 川上準一***, 南原真治****

Adhesion of TiN Film Deposited on Stainless Steel by Ion Plating

KAJIOKA Hideshi, HIGUCHI Koichi, TAKAI Osamu*, ASAMOTO Kenji**,
KAWAKAMI Junichi*** and NANBARA Shinji****

TiN films were deposited on stainless steel plate by ion plating and these adhesion were evaluated by bend test. When substrate voltage and discharge current increase (ion energy and ion flux to the substrate increase), the film have not become detached from the surface of a substrate. Also adhesion of film tends to increase when the substrate is heated by preparatory heating and titanium is deposited for intermediate layer.

キーワード: 密着性, 折り曲げ試験, イオンプレーティング, 窒化チタン

1 緒 言

我々はすでに窒化チタン薄膜の表面形態と成膜条件については報告したが¹⁾, 薄膜を工業的に利用する場合, 薄膜と基板の密着性良否を検討しておくことは非常に重要である。イオンプレーティング法による成膜では, 基板へのイオンの入射フラックスおよびイオンのエネルギーの制御範囲が広いので, 薄膜の密着性も制御できると言われている²⁾。限られた成膜条件下で作成された薄膜の密着性はすでに報告されているが^{3)~5)}, 幅広い範囲にわたり成膜した場合の密着性に関する研究は限られている。そこで, 本研究では密着性について報告する。密着性の評価はエリクセン試験方法と180°折り曲げ試験を採用した。密着強度が接着剤の接着強度より大きい場合, 引き剥がし法や引っ張り法を用いることができなため, よく引っ掻き法が用いられている。しかし, この方法では高価な装置が必要となり, またダイヤモンド圧子の寿命が短いために, より簡便な密着測定法が求められている。我々の採用した方法は, 剥離を物理的に意味のある量に結び付けることは困難であるが⁶⁾, 試験が簡便であり, 密着性の相対評価が可能である。密着性モニター用基板を被コート品と同時に成膜して, 折り曲げ試験により密着性を判断すれば, 生産現場でのコーティング条件の管理に利用できると考えられる。折り曲げ試験に関する具体的な報告例は少ないので, 特に詳しく検討した。

2 実験方法

イオンプレーティング装置は神港精機㈱製イオンプレーティングAF-850型を用いた。基板には市販の鏡面仕上げした18-8ステンレス鋼板(エリクセン試験用には50×50×1mm, 折り曲げ試験用には30×30×1mm)を用いた。基板の前処理は, アセトン溶液中で5分間の超音波洗浄を2回繰り返した。その直後, 装置にセット(折り曲げ用基板のみのときは3枚)して真空引きした後, アルゴンガスを0.02Torrに達するまで導入し, 基板に500V印加して, グロー放電を開始させ10分間アルゴンボンバードした。その他の成膜条件はまとめて表1に示す。特に触れないかぎりはシャッターを開いて5分間は窒素ガスを真空槽に導入しないで, チタン中間層を成膜し, その後窒素ガスを導入して25分間成膜した。

エリクセン試験はボンチを0.1mm/sぐらいの速さで, 基板裏面から10mm押し込んだ。その後, 薄膜の剥離の有無を目視で観察した。一方, 折りまげ試験は, 基板の裏から中心線位置に丸棒で押しつけておわずかに折り目をつけた。その後, 小型プレス機で自由曲げして, 最後に荷重10tonまで押しつけた。折り曲げ後の厚さは2.2~2.3mmであった。密着性の悪いものは折り曲げ途中で薄膜が剥離して粉状に飛散したり, あるいはこのような剥離は見られないが, 180°曲げ後にプレス機のステージに微細な脱落物が見られた。密着性の良いものはまったく剥離現象は見られなかった。さらに電子顕微鏡(SEM)で観察する場合は, 折り曲げ部をセロファンテープで引き剥がした後に両端部を除いて剥離の有無を確認した。

*㈱パーカーライジング広島工場, **日精電機工業㈱広島工場, ***中外テクノス㈱, ****呉金属熱錬工業㈱

表1 イオンブレーティング条件

パラメーター	成膜条件
イオン化電極電流 (A)	10~60
基板電圧 (V)	0~500
窒素ガス圧 (Torr)	5×10^{-4}

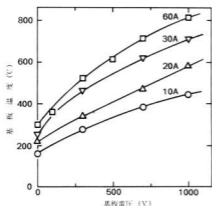


図1 基板温度と成膜条件の関係

3 実験結果

3.1 基板温度

薄膜と基板の密着性に成膜時の基板温度の影響は大きいことは一般的に知られている。また、基板によっては成膜温度に制約があるため、まず基板温度について検討した。基板温度は、イオンブレーティング成膜時に上昇するが、成膜開始15分までは急激に上昇し、その後はゆっくりと上昇し飽和傾向を示した。これら飽和温度とイオンブレーティング条件（イオン化電極電流と基板電圧）との関係を図1に示す。基板温度は基板電圧が増加するにしたがって上昇し、また、イオ

ン化電極電流が増加するにしたがって上昇した。これは、イオン化電極電流が増加すると基板へ入射するイオン量が増加し、基板電圧が増加するとイオンエネルギーが増加することに対応している。一方、ヒーターで基板を成膜前に予備加熱する場合、時間と共に上昇し、30分後には約220℃に達するが、その直後に成膜を開始した。

3.2 密着性評価法

エリクセン試験結果の一例を図2に示す。基板電圧が低いときは薄膜は剥離するが、基板電圧が500Vでは剥離がみられない。前者のような密着性の悪いものは、折り曲げ試験では、180°曲げ途中で、粉吹き現象がみられることから剥離の有無を簡単に判定することができる。一方後者のように剥離の見られない場合には、180°折り曲げても、粉吹き現象は見られなかった。他の条件で成膜した場合も、エリクセン試験の結果と折り曲げ試験の結果はほぼ対応した。

成膜していない基板の180°折り曲げ後のSEM観察結果を図3(a-1)と(a-2)に示す。前者は基板の折り曲げ部の真上から、後者は横方向から観察したものである。折り曲げ前には全く見られなかった結晶粒界が観察され、しかもそれらは曲げ方向にかなり伸び、粒内にはスリップラインが形成されている。また、その表面にはかなり著しい凹凸の発生が見られる。

窒化チタンをイオン化電極電流60Aで成膜した基板の折り曲げ試験結果は図3(b-1)と(b-2)に示す。基板電圧0Vでは折り曲げ途中で粉吹き現象がみられ、薄膜は全く残っておらず、密着性が悪いことが分かった。一方、基板電圧50Vでは、折り曲げ中および折り曲げ後にも剥離現象は認められず、さらにテープで引き剥がしても、テープに薄膜の付着は認められなかった。このことから、基板下地が見えているところは薄膜が剥離したためではなく、薄膜の割れの発生により見えるようになったためと推定される。割れの方

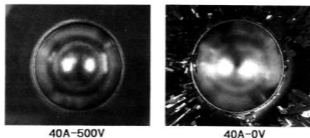


図2 エリクセン試験結果の外観 (直径22mm)

向は曲げ方向に垂直な方向に生じている。

基板の18-8ステンレス鋼は40%以上も伸びることが知られているが、セラミックスである窒化チタンの伸びは非常に小さい。それゆえに基板の伸びに対して、窒化チタン薄膜は追従できないので、せん断応力がそれらの界面（チタン層も含む）に生じる。この応力は薄膜の剥離や、あるいは窒化チタン薄膜の破壊強度以上になると薄膜に割れが発生することにより解放されるであろう。前に紹介したが、基板表面の凹凸の発生も薄膜の剥離を促進するであろう。このように折り曲げにより、密着性の悪いものは剥がれることは容易に推測される。この方法では密着性を物理的に意味のある量に結び付けることは難しいといわれているが、相対的な密着性の比較をする場合は、有用で、薄膜の剥離の程度から、密着性の定量的な評価も可能であると考えられる。

3.3 密着性と成膜条件

上に述べた結果からイオン化電極電流60Aの時は基板電圧をわずか50V印加するだけで密着性は大きく向上することが分かった。イオン化電極電流が40Aと10Aで基板電圧を変えて成膜した場合の折り曲げ試験のSEM観察結果を図4に示す。イオン化電極電流40A、基板電圧50Vでは剥離が見られ、100Vでは見られない。イオン化電極電流10Aでは基板電圧300Vでも剥離がみられ、500Vでごく一部を除き見られなくな

る。剥離が見られる場合には折り曲げ途中で粉吹き現象が観察されたが、剥離が見られない場合は認められなかった。ここに示していないが、イオン化電極電流20Aでは基板電圧100Vで剥離がみられ、300Vで見られなかった。このようにイオン化電極電流の増加で、基板電圧が低くても密着性が向上し、剥離が見られなくなった。即ち、基板へイオンの入射量が多くなるほど、イオンエネルギーは小さくても高密着薄膜が得られることが分かった。基板を成膜前に220℃に予備加熱すると、イオン化電極電流20A、基板電圧0Vでも剥離は少なくなった。基板の予備加熱は密着性を向上させることが分かった。また、図4(a-2)ではチタン中間層をのせているが、チタン中間層をのせない場合剥離がみられた。チタン中間層は基板と硬質薄膜との間に応力集中の発生を防ぐと考えられるが、その効果があることが分かった。

4 結 言

イオンプレーティングによる窒化チタン成膜条件とエリクセンおよび折り曲げ試験結果から、密着性向上には次の点を考慮することが必要である。

- (1) 基板電圧を高くして、イオンの入射エネルギーを高くする。
- (2) イオン化電極電流を増加させ、イオンの入射量を増やす。

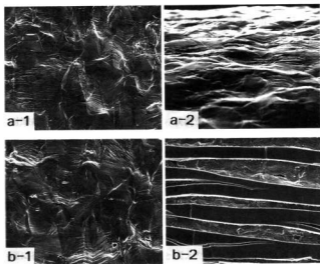


図3 折り曲げ試験後のSEM写真

a-1:SUS304, a-2:SUS304

b-1:60A-0V, b-2:60A-50V

50 μm

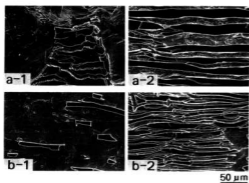


図4 折り曲げ試験後のSEM写真

a-1:40A-50V, a-2:40A-100V

b-1:10A-300V, b-2:10A-500V

(3)基板の予備加熱をする。

(4)チタン中間層を基板と硬質薄膜の間に成膜させる。

文 献

- 1) H. Kajioaka, K. Higuchi: Materials Science and Engineering, **A163** (1993), 201
- 2) 日本学術振興会編: 電子・イオンビームハンドブック, 日刊工業新聞社 (1983), 517
- 3) E. Hummer and A. J. Perry: Thin Solid Films, **101** (1983), 243
- 4) 大中, 広橋: 表面技術, **45** (1994), 223
- 5) 中沢ら: 表面技術, **44** (1993), 928
- 6) 日本学術振興会編: 薄膜ハンドブック, 朝オーム社, (1993), 330
- 7) R. Buhl, H. K. Pulker and E. Moll: Thin Solid Films, **80** (1981), 265

ダイヤモンド薄膜の木材切削工具への応用とその評価

筒本隆博, 川光 実*, 盛田貴雄**, 番匠谷 薫***

Diamond Coating of Cutting Tool for Woods and Evaluation of its Performance

TSUTSUMOTO Takahiro, KAWAMITSU Minoru*, MORITA Takao** and BANSHOYA Kaoru***

In this study, diamond film is coated on K-10 cemented carbide inserts for woods by the Hot-filament CVD method with varying film thickness of 5~20 μm and the cutting tests of a particleboard are performed. While the film remains at the tip of tool edge, tool wear is extremely small. But once the film peels off, it rapidly increases. Finally, total tool life seems to be decided by the film-peel-off-time, and the thinner film of 5 μm easily peels off at the first step of cutting, and the peel-off-time increases with increasing the thickness of film. However, the power consumption of cutting machine also increase with increasing the thickness of film, because the sharpness of tool edge degrades. Sharpening of the coated tool tip decreases the power consumption of cutting machine, that is, decreases the cutting force.

キーワード: CVDダイヤモンド, コーティング, 木工工具, 超硬合金, 工具寿命, 切削試験

1 緒 言

近年, 木材切削工具の分野においても, 工具の耐摩耗性の向上を目的に, TiCやTiNなどの硬質膜をコーティングした工具¹⁾や, 焼結ダイヤモンド工具²⁾を使った研究が行われている。中でも焼結ダイヤモンド工具は, 工具の寿命を飛躍的に向上させることが報告されているが, 単位面積当たりの単価が高く, 特に様々な形状の比較的大きな面積を必要とする木工工具へ適用するには, 非常に高価となる。一方, 気相合成ダイヤモンドはすでに金属切削用の工具にコーティングすることにより, 耐摩耗性の飛躍的な向上が期待できることが報告されている^{3), 4)}。そこで, 本研究では工具寿命向上の観点から, 木工用超硬切削チップにダイヤモンドコーティングを行い, 耐摩耗性などの切削性能の評価を行った。

2 実験方法

2.1 ダイヤモンドコーティング

コーティングを行った切削チップは, 市販の溝加工用フライスチップ (K10超硬合金製) で, 図1(a)にその形状を示す。コーティングは四つの切刃の内の1つの切刃の逃げ面とすくい面に行い, その部分にはプラスト処理 (#150SiC粉末を3 kgf/cm²の圧力で吹き付ける) を施した。これにより, 基板表面に凹凸が形成され膜の密着性の向上を期待出来るからである。また, 切削試験による刃先先端の摩耗量 (刃先後退量)

を測定するための目印として, 刃先先端近くに2mm間隔でピッカース硬さ計による圧痕を5点打った。さらに, ダイヤモンド合成時の核形成を促進させるために, 30分間3 μm のダイヤモンド粉末による超音波傷つけ処理を行った。

コーティングは図1(b)に示すようなTaCフィラメントを使用した熱フィラメントCVD法により行った⁵⁾。この際, ダイヤモンドの合成条件, 特に合成時の基板温度が膜の密着性に大きな影響を及ぼすと考えられるが, 実際の刃先先端の温度測定は困難である。それで, 基板温度を変化させるために, フィラメントの消費電力を2.2kWから2.5kWまで変化させて合成を行った。そして, コーティングした刃先にプラスト (条件は上記プラストと処理と同じ) して, その時の膜剝離の状況から大まかな膜の密着性を評価した。その結果を, 写真1に示す。これより, フィラメントの消費電力が2.2kWでは膜が剝離して, 密着性が悪く, 消費電力2.5kWにするとダイヤモンドの結晶粒が粗大化するため, 両消費電力はコーティング条件としては不適切であることがわかる。そこで, 実際の切削試験に用いるチップの合成は2.3kWの消費電力で行った。合成条件を表1に示す。この合成条件で膜厚を5, 10, 15, 20 μm と変えたチップの切削試験を行い, 耐摩耗性の評価を行った。なお20 μm の膜厚のものは#2000のダイヤモンド砥石で刃先先端を軽く研磨して, 鋭利にしたものも用意した。

2.2 切削評価試験

*柳ツボ万, **広島大学学校教育学部

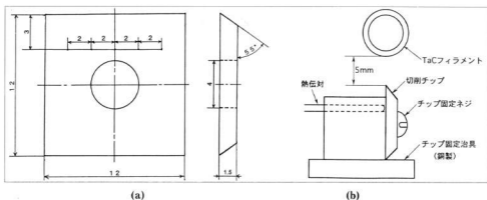


図1 切削チップの形状(a)と、ダイヤモンド薄膜の合成方法(b)

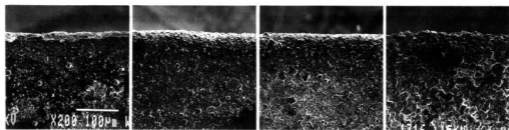


写真1 コーティング後ブラスト試験を行った後の刃先の皮膜の様子

(ブラスト試験：#150SiC 粉末を 3kgf/cm²の圧力で吹きつける)

被削材には、長さ900mm、幅300mm、厚さ12mmの三層構造パーティクルボード（気乾比重0.66）を用いた。切削試験は、昇降式丸のこ盤の主軸に取り付けた替刃式の溝加工用フライスカッター（切削円直径175mm、刃数6枚）に上記の寿命試験用チップ1枚と5枚のバランス用チップ（これは刃先を研削したものであり、切削中に木材に接触しないようになっている）をセットして回転させ、自動送り装置で送材される被削材を上向き切削することによって工具寿命試験を実施した。そして、所定の切削材長ごとに工具顕微鏡を用いて刃先摩耗量（すくい面摩耗量）を、デジタル三相電力計を用いて切削消費電力をそれぞれ測定した。切削条件は、主軸回転数 2620rpm、切削速度24m/s、送り速度56.8mm/s、1回転当たり送り量1.3mm/rev、切削深2mmである。

3 実験結果

図2に切削試験の刃先摩耗量の測定結果を示す。このデータは5点の測定値の内、ダイヤモンド薄膜の剥離を生ずるのが最も遅かった測定点の結果である。これより、コーティングを行わなかったもの（Non）がもっとも摩耗量が多く、コーティングにより耐摩耗

性の向上が期待できることがわかる。また、コーティングしたものの刃先摩耗量の増加は、ある切削長さまでほとんど認められないが、その点を越えると急激に増加している。これはダイヤモンド薄膜が刃先から脱落したためである。言い換えると、刃先にダイヤモンド薄膜が残っていれば、摩耗は極めて少ないということになる。一方、刃先摩耗量の急激な増加を示す時間は、膜厚が厚いほど遅くなる。20 μ mの膜厚のもので、最後まで刃先のダイヤモンドが残っている部分と、コーティングを行わなかったものを比較すると、同じ刃先摩耗量の切削長さは前者が後者の43倍にもなることがわかる。

図3に各チップの切削抵抗を比較するために、切削試験初期の消費電力の値を示した。これより、コーティングを行わなかったものももっとも低く、工具の切れ味が良いことを示している。また、コーティングの膜厚が厚いほど消費電力の増加が著しく、これにともない切削音も大きくなることを確認した。これは、膜厚の増加で刃先が鈍くなり、刃物の切れ味が低下したためであると考えらる。

なお、刃先を研削したものは、しないものと比べ大幅に切削消費電力が低下しており、刃物の切れ味が向

表1 ダイヤモンド薄膜の合成条件

反応ガス	H ₂ -5%CH ₄
圧力	30Torr
フィラメント温度	約2500℃
合成時間(分)	25, 50, 75, 100
膜厚(μm)	5, 10, 15, 20

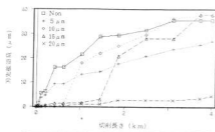


図2 刃先後退量に及ぼす膜厚の影響

上していることがわかる。

4 結 言

超硬製の木工用切削チップへ、熱フィラメントCVD法によりダイヤモンドコーティングを行い、切削性能試験を実施し、以下の結果を得た。

- (1)コーティングを行うことにより、刃先の摩耗量が減少し、耐摩耗性の向上が認められる。
- (2)刃先の膜が脱落しない部分では、刃先摩耗量は極めて少ない。
- (3)刃先の膜が脱落すると、刃先摩耗量は急激に増加する。

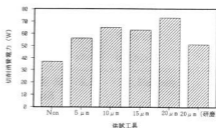


図3 各種チップの切削試験初期の切削消費電力

- (4)膜厚が厚いほど、刃先の膜の脱落が遅くなる。
- (5)膜厚が厚いほど、刃先が鈍くなり、切削抵抗が増加する。
- (6)刃先を研磨して鋭利にすると、切削抵抗は低下する。

文 献

- 1)村瀬安英, 吹野信, 曾我勝明, 番匠谷薫: 日本木材学会大会研究発表要旨集 (1992), 182
- 2)W. Stuhmeister: Frasen von kunststoffbeschichteten Spanplatten mit hochharten schneidstoffen I II, **10** (Holz Kurier, 1989), 1124
- 3)ibid. **11** (Holz Kurier, 1989), 1320
- 4)T.Ito and N. Hayashi: NEW DIAMOND, (1990), 83
- 5)J. A. Herb and F. Cerio: Proc. 2nd Int. Conf. Application of Diamond Film and Related Materials, MYU, (1993), 181-188
- 6)H. Matsubara and T. Sakuma: J. Mater. Sci., **25** (1990), 4475

精密加工に関する研究

山下弘之, 池田哲宏, 門 格史

Study of Precision Machining

YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi

In this research, we investigated the effect of cutting conditions for surface roughness and shape accuracy of metal mold which endmilled by machining center. We cut the test pieces by endmilling on machining center with changing the following cutting conditions, (1)feed rate, (2) cutting speed, (3) infeed, (4)work material, (5)tools, and (6)cutting method.

After endmilling, we measured surface roughness and shape accuracy of cutting surface. In this research, we got the following results.

- (1)Endmilling with coated tool make profile accuracy good compared with solid carbide tool. this tendency is remarkable with increasing the work hardness. But difference of tool type concerning surface roughness is little.
- (2)Effect of cutting speed for profile is remarkable at endmilling by solid carbide tool.
- (3)Tool bending has strong effect on profile accuracy.
- (4)Up cutting is better than Down cutting on profile accuracy.

キーワード：マシニングセンタ、金型、切削加工、エンドミル、難削材

1 緒 言

金型主要部に使用される焼入れしたダイス鋼に代表される材料は、高硬度で、難削材として知られている。これら金型は、加工後の形状精度や表面粗さが、直接製品の品質に関係してくるため、加工時の各条件の設定には頭を悩ますところである。また、現在切削工具の進歩は目ざましく、さまざまな工具が市販されており、これらをかき有効に活用するかも一つの技術課題となっている。

本研究は、金型の形状加工で一般的に行われている、マシニングセンタによるエンドミル加工について、各加工条件が加工品位に及ぼす影響について検討した。

2 実験方法

2.1 目的

金型材料として、一般的に使われているダイス鋼 (SKD11: 硬度 HRC60) とプリハードン鋼 (硬度 HRC40) という、硬度の違う2つの材料を対象にして、エンドミルによる側面切削加工を行い、その時の切削条件 (切削速度, 送り速度, 切り込み量, 加工方式 (アップ, ダウン), 切削幅など) やエンドミル材種,

ワーク材料の硬度などが、加工品位 (表面粗さ, 形状精度) に及ぼす影響について評価することを目的とした。今後、切削試験による加工特性の評価を、品質工学の実験計画法に基づき行う予定で、今年度は各因子 (信号, 制御, 誤差) を設定するため、各条件の設定範囲や重み付けのための基礎データを得ることとした。

2.2 使用機器

縦型マシニングセンター (大阪機工製 PCV-40 MS) を使用した。本機は、テーパ40番, 4軸同時制御,

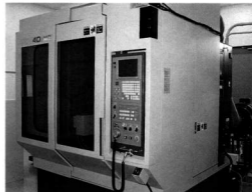


写真1 マシニングセンタ外観

GC (グライディングセンター) 機能付きの特徴を持った、小型・軽切削用マシニングセンターである。主軸最大回転数は10,000rpmである。

2.3 実験方法

図1に、エンドミルによる試験片の側面切削の様子を示す。直方体形状の試験片を、マシニングセンターのテーブル上に設置したバイスで固定し、その側面を、エンドミルにより切削加工した。切削は湿式で行った。

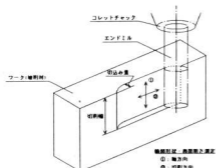


図1 側面切削の様子



写真2 M/Cによる切削の様子

2.4 実験条件

実験は、切削速度、送り速度、切込み量などの加工パラメータを変化させて行った。実験条件は表1に示す通りである。

3 実験結果

3.1 形状精度

形状精度について主に、軸方向の形状で検討した。

3.1.1 工具及び切込み量による変化

超硬、2種類のコーティング工具を使用した時の、切削後の軸方向形状の形状計測結果を図2a、図2bに示す。ワークはSKD11、切込み量は0.5mmと0.2mm、切削速度955rpm、送り速度0.04mm/刃とした。この結果、

表1 実験条件

切削速度	15	30(m/min)
	478	955(rpm)
送り速度	76.5	152.8(mm/min)
		0.04(mm/刃)
切り込み量	0.2	0.5(mm)
切削幅	10(mm)	
加工方式	アップカット ダウンカット	
工具	エンドミル (φ10,4枚刃)	
及び材種	超硬 コーティング	
工具長さ	30(mm)	
ワーク材料	SKD11	プリハードン鋼
及び硬度	HRC60	HRC40
切削液	水溶性切削液(ジュラロン)	

耐摩耗性に優れたN社製コーティングで形状が最もよく、アップカット面で理論的形状からのズレがほとんどなく、ダウンカット面では約40μmのズレが生じた。次いで、K社製コーティングで、ダウンカット面では約60μm程度のズレが生じた。これに対し、超硬ではかなりの形状の悪化が見られた。これらの傾向は切り込み量が小さい0.2mmでも同様に見られた。

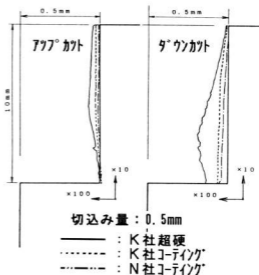


図2a 軸方向の切削面輪郭形状

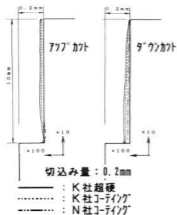


図2b 軸方向の切削面輪郭形状

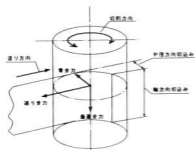


図3 エンドミルにかかる切削抵抗

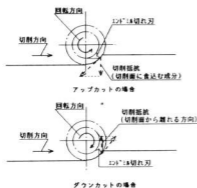


図4 切削抵抗と加工面の倒れ

今回は切削抵抗を計測していないが、一般的にエンドミルによる側面切削では、図3に示す切削抵抗が生じ、これが工具の曲げ抵抗となる。超硬は、加工途中で、工具切れ刃に大きなチッピングが生じ、表面形状が凹凸となり、切削抵抗も増加したため、工具曲がりが大きくなり、形状が大きく悪化したと考えられる。

また、形状のズレを見ると、各工具ともに、ダウンカット面で大きく、刃先がワークから逃げる方向に曲がった形状に、アップカット面では逆に刃先がワークに食い込む方向に曲がる形状となった。これは図4の切削時の抵抗の作用方向の影響で、これからも切削後の形状には、工具の曲がりの影響が大きいと考えられる。

3.1.2 切削速度の影響

次に、切削速度の影響を、SKD11をワーク材として検討した。切削後の軸方向形状の計測結果を、図5に示す。工具は超硬とN社製コーティング工具、切込み量は0.5mm、送り速度0.04mm/刃として、切削速度を478、955rpm (15,30m/min)の2条件とした。

N社製コーティング工具の場合、切削速度の増加に伴う形状の変化を見ると、わずかな形状のズレはあるものの、あまり変化がなく、10 μ m程度の差であった。

これに対し、超硬では、加工途中で、工具切れ刃に大きなチッピングが発生したため、かなり大きな形状の悪化が見られ、100 μ m以上の差が生じた。

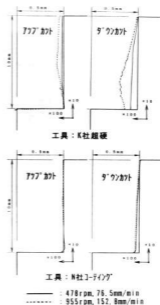


図5 切削面輪郭形状 (切削速度の影響)

3.1.3 ワーク硬度の影響

SKD11 (HRC60) とブリハードン鋼 (HRC40) の2種類の材料について、切削後の軸方向形状の変化を図6に示す。工具は、超硬とN社製コーティング工具、切込み量は0.5mm、切削速度955rpm、送り速度0.04mm/刃とした。

N社製コーティング工具では、ワーク硬度の違いに

よる形状の変化はあまりなく、 $10\mu\text{m}$ 程度の差であった。これに対し、超硬では、硬度の違いによる変化がかなり大きく、加工途中のチッピングの影響による切削抵抗の増加が、工具の曲がり、形状の悪化に影響したと考えられる。また、ワーク硬度が低い場合、工具による形状の差は少なく、硬度が高くなるにつれその差が顕著になっている。加工方式では、両ワークともにアップカットがダウンカットより、形状は良好であった。



図6 切削面の輪郭形状(ワーク硬度の影響)

3.2 表面粗さ

切削速度及びワーク硬度の影響について検討した。図7, 図8に切削後の軸方向の表面粗さを示す。ワークはSKD11とプリハードン鋼、切込み量は 0.5mm 、切削速度は、 $478, 955\text{rpm}$ 、送り速度は $0.04\text{mm}/\text{刃}$ とした。各工具ともに、表面粗さは R_{max} で、 $3\sim 7\mu\text{m}$ を示し、切削速度による違いはほとんど見られなかった。また、ワーク硬度による違いは、硬度が高いSKD11で、全体的に粗さが大きい傾向があるが、あまり大きな違いは見られなかった。ただ、K社超硬で、切削速

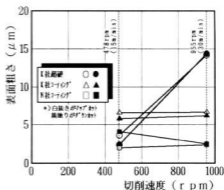


図7 切削面の軸方向表面粗さ(SKD11)

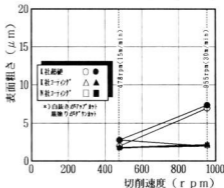


図8 切削面の軸方向表面粗さ(プリハードン鋼)

度が大きい場合、両ワークともに、粗さが大きくなった。これは加工途中の工具切れ刃にチッピングが生じたためと考えられる。

4 結 言

- エンドミルによる切削試験を通し、加工条件が加工品位に及ぼす影響について、次のことが明らかとなった。
- (1) 耐摩耗性に優れたコーティング工具は、超硬工具に比べ、形状精度が良好な結果を示し、その差はワーク硬度が高くなる程顕著であった。これに対し表面粗さは工具の違いによる差はあまり見られなかった。
 - (2) 切削速度の形状精度への影響は、コーティング工具で今回の試験範囲内ではほとんどなかったのに対し、超硬工具では、切削速度が大きい場合、工具切れ刃にチッピングが生じ、切刃面の形状精度の悪化が顕著であった。
 - (3) 切削後の形状精度は、切削時の抵抗による工具の曲がりの影響が大きいと考えられる。
 - (4) 切削方式は、アップカットがダウンカットより、比較的良好な形状を示したが、表面粗さには顕著な違いは見られなかった。

マイクロ機械部品のマイクロ研削加工技術

山下弘之, 岡野啓作*, 和井田徹*

Micro-Grinding Technology for Micro-Mechanical Parts

YAMASHITA Hiroyuki, OKANO Keisaku* and WAIDA Toru*

Micro-machine technology is worthy to note recently. It is necessary to develop the micro-machining technology for making the micro-parts. In this research, we evaluated the applicability of grinding for machining the micro-parts of micro-machine. And we aimed to establish the micro-grinding technology. We made the micro-groove grinding for several materials with several grinding conditions by using cutting-machine of silicon wafer and evaluated the applicability of grinding for machining the micro-parts of micro-machine. We evaluated the adaptability of electrolytic dressing for micro-groove grinding additionally.

We got the following results.

- (1) We could make micro-groove grinding (aspect ratio : ~20) for cemented carbide.
- (2) Electrolytic dressing is available for decrease of grinding resistance force.

キーワード: マイクロマシン, 研削, 電解ドレッシング

1 緒 言

工業技術の進歩とともに、機器類の小型化技術が進み、近年マイクロマシン(図1)として、活発な研究開発が行われており、工業技術における設備のメンテナンス手法や生産形態、医療分野での検査や治療手段等に革新をもたらし、さらに今後の機械・電子技術に、大きな波及効果を及ぼすものと期待されている。在来機械システムに比べて格段に小さく、高精度で高機能なマイクロマシンの開発には、幾つもの微小なシステム部品や、それらを構成する更に微小なマイクロ機械部品を製作する技術が必要で、これら加工技術の早急な確立が求められている。

2 マイクロ部品加工の手法

2.1 従来加工技術とマイクロマシニング技術

マイクロ部品の製法として、主にシリコンプロセスを応用したマイクロマシニング技術が良く知られている。これはMEMS(micro-electro-mechanical systems)と呼ばれている領域のもので、集積回路製造における薄膜形成フォトリソグラフィエッチングの利用により、バッチ方式で大量に積層部品を作る方法で、微細加工性の点で非常に優れている。構造が平面的で3次元構造部品を得にくいという弱点があるが、LIGAプロセスや犠牲層エッチング技術などにより、3次元構造を可能にする技術開発も進みつつある。また、その他の微細加工法として、マイクロ放電加工法がある。これは微小エネルギー放電技術と、微小工具電極の加工技術(マイクロ放電研削加工法(WEDG))により、数 μm オーダーで円筒形状や、異形状などの成形が可能な加工法で、在来技術である放電加工法の微細加工性を、極限まで追求したものとして注目されている微細加工技術である。

この例からわかるように、シリコンプロセス応用技術のような超微細加工法の他に、従来加工法の微細加工性を、極限まで追求することにより、微細加工の新手法の開発も十分に可能である。

2.2 研削による微細加工への期待

図2にマイクロ部品と種々の加工法について示す。プラント検査補修ロボット、医療用ハンドシステム等

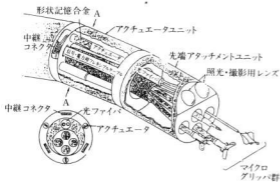


図1 医療用能動カテーテル¹⁾

*機械技術研究所

グマシンを使用した。

4.1.1 薄肉リブ形状 (図4)

材料に何本かの溝加工を行い、溝深さ h が大きく壁厚 t が最も薄くなるリブ形状を求め、この時のアスペクト比 (h/t) から溝加工性を評価した。

4.1.2 研削抵抗及び研削比

種々の加工条件下、材料の微細溝加工を行った際の3方向の研削抵抗(図5)を測定する。また、研削量と砥石の減少量から各種材料について研削比を求めた。

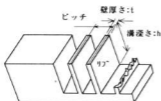


図4 薄肉リブ形状

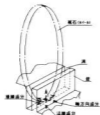


図5 研削時の加工抵抗

4.2 実験結果と考察

4.2.1 各種材料に対する微細溝加工

4.2.1.1 微細溝加工時の研削抵抗の測定

図6に各種材料を溝加工した場合の送り速度によるZ方向の研削抵抗の変化の様子を示す。抵抗は窒化珪素系セラミックスが最も大きく、次いでSiCウィスカー強化アルミナ系セラミックス、他の材料は小さく同程度であった。各材料ともにはばらつきはあるが、送り速度の減少につれ小さくなる傾向を示した。ある程度

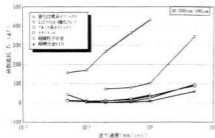


図6 送り速度による研削抵抗の変化

小さくなるとほとんど変化がなくなり、逆に加工効率の面(加工時間が長くなる)での欠点もでてくると考えられる。

4.2.1.2 溝加工性の検討

図7に各種材料について、加工できた溝深さ/壁厚さの比(アスペクト比 (h/t))の比較を、写真1、写真2に溝加工例を示す。超微粒子合金、超硬合金K10が最もアスペクト比が大きく、比較的良好な溝加工ができ、抵抗値も小さく良好な溝加工を持つことがわかる。これに対し窒化珪素系セラミックスは抵抗値が大きく、壁が薄いと加工時の大きな研削抵抗に壁がたわみ、砥石が曲がって進むため溝が歪む不具合が生じ、壁を厚くしないと溝加工できず、アスペクト比が小さくなった。またガラス、シリコンは、抵抗値は小さいが、材料の破損(チッピング)が生じ易いため、十分なアスペクト比が得られなかった。材料特性とアスペクト比 (h/t) の関係を見ると、はっきりとした傾向は見られなかったが、硬度より破壊靱性、ヤング率、抗折力が高い材料ほどアスペクト比が大きくなる傾向が見られた。

4.2.1.3 材料による研削比の変化

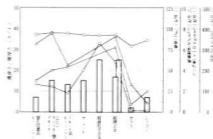


図7 材料特性と溝深さ/壁厚さの関係

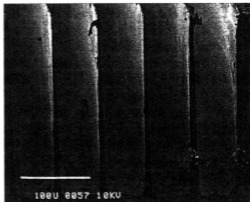


写真1 超硬合金K10

(30,000rpm, 0.5mm/sec, $h=250\mu\text{m}$, $t=15\mu\text{m}$)

抵抗が大きく溝加工が困難な、窒化珪素系セラミックスなどの材料で研削比が小さく、抵抗の小さな材料で比較的大きな研削比となった。また、セラミックス系材料等と比べ工具鋼材料の研削比が小さな値を示した。

4.2.2 電解ドレッシングによる微細溝加工性の改善効果

電解ドレッシング法を適用した微細溝加工を行った。加工は研削抵抗が大きかった窒化珪素系セラミックス、SiC ウイスカー強化アルミナと、溝加工性の優れた超硬合金K10の3材料を対象として行い、その効果を比較、検討した。

4.2.2.1 研削抵抗の変化

電解ドレッシングの有無による研削抵抗の変化を、送り速度、切込み量を変えて調べた。図8に送り速度による研削抵抗の変化を示す。窒化珪素系セラミックスのような、溝加工が困難で研削抵抗が大きい材料(条件)では、加工の進行による砥石切刃の摩耗が大きくなり、砥石の性能低下が早いので、電解ドレッシングによる改善効果と比較的顕著に現れ、抵抗低減効果が大きいのに対し、加工し易い材料(条件)では、もともと砥石性能の低下が起こりにくく、あるいはほとんど生じないため、電解ドレッシングの効果が見られず、抵抗低減効果はほとんど見られない結果となった。

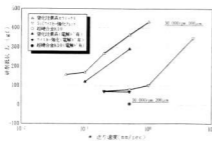


図8 電解ドレッシングの有無による研削抵抗の変化

4.2.2.2 溝加工性の変化

写真2に、窒化珪素系セラミックスの電解ドレッシングを行った場合の、溝加工状況を示す。電解ドレッシング無しと比べ、溝の底部が丸みを帯び壁も薄くなった。これは電解ドレッシングにより、本来砥石の外周面をドレッシングするのが望ましいが、外周面だけでなく側面からもボンドが溶出し、また、電流密度は平板面よりも、複雑形状部で高くなる傾向がある(エッジ効果)ため、砥石の角縁部がより多く電解され、砥石外周部の断面形状が、丸みを帯びた形状になった

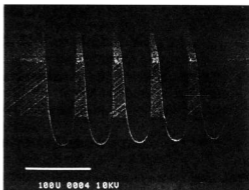


写真2 溝加工後の窒化珪素セラミックス(電解ドレッシング有り)

30,000rpm, 0.5mm/sec, h = 150μm, t = 20μm

ためと考えられる。今回は抵抗値の変化を目安にして電解ドレッシングの効果を判定したため、結果的に電圧、電流値が大きめとなったが、研削比及び加工状況から見るとかなりのボンド溶出があり、ドレッシングとそれにとまう溝加工性への影響は、低い電圧、電流条件でも現れると思われる。

5 結 言

各種材料につき、微細溝加工時の研削抵抗と送り速度、切り込み量の関係を得、これから送り速度、切り込み量を小さくすることで、研削抵抗の低減がある程度可能である見込みを得た。また研削抵抗、研削比に及ぼす材料特性の影響について整理し、破壊靱性、抗折力、ヤング率の影響が見られることがわかった。溝加工性では、超微粒子合金、超硬合金など比較的破壊靱性、抗折力、ヤング率が大きい材料で良好な溝加工ができた。

電解ドレッシングによる溝加工性の改善は、研削抵抗に若干の低減効果が見られたものの、電解ドレッシング時の電圧、電流値を大きめにした影響もあり、リブ形状は溝底部が丸みを帯び壁が若干薄くなるなど、かえって悪くなる傾向が見られた。今後はさらに電解ドレッシングの条件を検討し、最も改善効果が得られる条件を定めることが必要である。

文 献

- 1) 稲垣：マイクロマシンの研究開発施策，機械設計
- 2) K.Okano, etc: Micro-grinding of Micro-machine Parts, Proceeding of 1st Int'l ABTEC Conf. (Seoul, Nov, 1993) 100-15
- 3) 田島：電解研削と化学研削，産業図書(1963), 158

YAGレーザーによる精密加工法の研究

池田哲宏, 山下弘之, 門 格史

Study on Welding by YAG Laser (1st Report)

IKEDA Tetsuhiro, YAMASHITA Hiroyuki and KADO Tadashi

YAG laser welding of stainless steel (SUS 304) was carried out to examine effects of beam irradiating condition on penetration profile and shearing force of 3 points lap welding.

The results obtained are summarized as follows;

- (1) Bead-on-plate experiment shows that splashed critical welding condition can be obtained using 50, 80 and 120 mm focal length of lens.
- (2) In most cases, penetration depth increases with increasing focal length of lens and pulse width, and increases with decreasing defocused distance. Maximum penetration depth can be obtained about 1.5 mm using 120 mm focal length of lens which is focused at 4 mm under plate surface.
- (3) Bead width decreases with decreasing pulse energy and defocused distance. Fineness depth and bead width can be about 0.6 mm at 3 J/P.
- (4) Shearing force has the maximum value determined by each gap length in the sample plates and pulse energy. Maximum shearing force can be obtained at about 20 J/P and gap length 0.1 mm.

キーワード: YAGレーザー, 溶接, ステンレス, 溶融形状, せん断強度

1 緒 言

近年, 科学技術の進展とともに優れた材料が開発され, 加工技術もそれに伴ってますます高精度化, 微細化の方向へ進みつつある。

小型精密部品の接合において, 機械的接合法は加工コストの増加および設計上の寸法的制約があり, また接着法は簡便な方法として利用されているが, 経年の機械的強度が低下するなどの問題がある¹⁾。

一般的に溶接加工においては材料本来の物理的性質を損ねることなく, 少ない加工工程で加工歪や残留応力を極力少なくすることが望まれ, この様な加工方法として高エネルギー密度法が目ざされている。

本研究は極短時間の局所的な加熱が可能なパルスYAGレーザー溶接における加工条件がステンレス鋼の溶融形状および溶接強度に及ぼす影響について検討したので報告する。

2 実験方法

本実験で使用したYAGレーザー加工装置 (圏東芝, LAY806B) を図1に示す。システム制御装置によりノーマルパルスの発光ができるパルスレーザー発振装置

およびXYテーブルがコントロールされ, CCDカメラ, TVモニターで加工部の観察が可能である。加工光学系はレーザー発振装置から射出したビームを2倍のビームエキスパンダでコリメートし, 光軸調整ミラー, 集光レンズを介してXYテーブル上の試料に照射できるビーム固定, 試料移動方式の基本的なものである。なお, パルスエネルギーの測定はレーザー発振装置に付属しているPINフォトダイオードのパワーモニターディテクタを使用した。



図1 加工装置ブロック図

板厚5mmのオーステナイト系ステンレス鋼(SUS 304)に表1の加工条件でレーザー照射し, 溶融形状として溶け込み深さおよびビード幅を測定した。ここで

試料加工部はパルスビームにより間欠照射されているため、その溶融形状面は溶融中心部を通る試料表面に直角な断面で観察する必要がある。従って研磨加工中にその位置および角度の確認が可能なスリットを施した簡易治具を作製し、慎重に観察面の加工を行った。その後、10%のシュウ酸液で約2分間電解腐食し、万能投影機で溶融形状、金属顕微鏡でマクロ組織、微小硬度計で硬度分布を測定した。

表1 加工条件 (ビードオンプレート)

レ ー ザ	エネルギー: E (J/P)	最大120
	パルス幅: τ (ms)	1, 3, 10
繰返し数: R (P/s)	2	
集光レンズ	焦点距離: f (mm)	50, 80, 120
	焦点位置: Df (mm)	-10~10

3 実験結果と考察

3.1 溶融形状に与える影響

試料にレーザを照射すると表面が溶融する。一般的に溶接ではその加工面はレーザ照射前の母材と同じ表面形状が理想的であるが、その照射エネルギーがある限度を越えると試料表面の一部の蒸発・飛散により材料除去が行われ、薄板の溶接としてふさわしくない形状となる。試料を0.3mmの薄板と想定し、この様なスブラッシュにより発生したくぼみの深さ0.2mmを加工限界として、集光レンズ80mmの各パルス幅で加工した

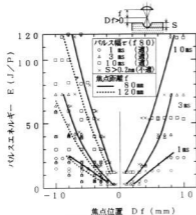


図2 加工限界

ものをまとめると図2になる。本加工条件における最大パルスエネルギーは、パルス幅1.3, 10msにおいてそれぞれ約20, 70, 120 J/Pであり、限界曲線より低バ

ルスエネルギー側が溶接に適用できる領域である。ここで焦点位置0は試料表面に焦点を一致させたもので、プラス側が試料をレンズから遠ざけた状態を示す。

加工限界曲線は焦点位置0を中心にプラス、マイナス側ではほぼ対称な曲線となっている。他の集光レンズにおいてもほぼ同様な結果となり、焦点距離120mmの結果においてはマイナス側の焦点位置の限界曲線を示してある。

同一の焦点位置において長焦点レンズが短焦点レンズの結果より限界パルスエネルギーは小さい。これは長焦点レンズのビーム広がり角が小さいため、照射面積が小さくなり、エネルギー密度が高くなるためと考えられる。この限界曲線上において1.3, 10msの各パルス幅におけるパルスエネルギーをビーム照射面積で除した値を限界パワー密度として算出すると、それぞれ約5.3, 18W/cm²となる。つまり、同一のエネルギーでもパルス幅が小さいほど限界パワー密度は小さくなること分かる。

加工限界内で求めた溶け込み深さを図3に示す。一般的に各パルス幅において焦点位置0を中心にプラス、マイナス側ではほぼ同様な溶け込み深さを示している。パルス幅の増加に伴い、パルスエネルギーが増加し、溶け込み深さが大きくなっている。また、パルスエネルギー一定の条件において焦点位置0に接近すると深

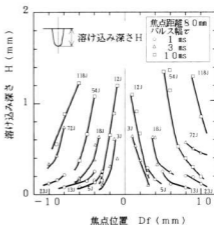


図3 焦点位置に対する溶け込み深さ

さは増加するが、ある焦点位置でエネルギー密度は限度に達し、スブラッシュを伴うため曲線は途切れる。このスブラッシュ発生限界付近が最大溶け込み深さの得られる最適な溶接条件である²⁾。

なお、シールドガス (Ar, He, N₂) の溶け込み深さへの影響について検討したがほとんど差はみられな

ったため本実験では N_2 を使用した。

各集光レンズのパルスエネルギーに対する溶け込み深さは図4となる。同一の焦点位置においては長焦点レンズほど溶け込み深さは増加しており、120mmの集光レンズで1.5mm以上が得られている。

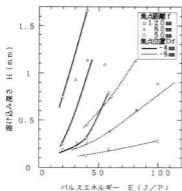


図4 各集光レンズによる溶け込み深さ

一方、ビード幅は図5となる。パルスエネルギーおよび焦点位置ずれの増加とともにビード幅は増加する。焦点位置0を中心にはほぼ対称な曲線となるが、プラス側の試料表面においてビードに若干の乱れがみられる。

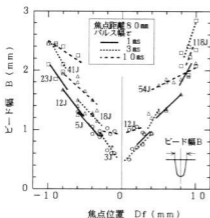


図5 ビード幅

図6にアスペクト比を示す。焦点位置0近傍の低エネルギーにおいて1以上の値が得られ、その溶融形状を写真1に示す。

以上の加工条件をもとに検討し、板厚0.3mmの突き合わせ溶接を行った結果、写真2となった。

3.2 セン断強度に与える影響

板厚0.3mmと1mmのステンレス鋼板を図7に示すよ

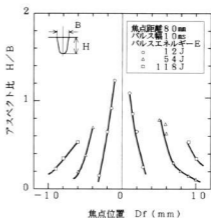


図6 アスペクト比

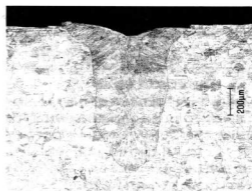


写真1 溶融形状 (f80, r10, E12, Df1)



写真2 突き合わせ溶接断面 (f80, r3, E2.3, Df-2)

うに重ね合わせ、板間のギャップをパラメータとして3点のスポット溶接を行った。そして、試料長手方向に引っ張り、溶接部のせん断強度を評価したのが図8、図9である。なお、測定結果は3回の平均値を示す。

各ギャップにおいてせん断力のピークを示すパルスエネルギーが存在し、ギャップ0.1mm近傍において最

大せん断力を示す。さらにギャップが増加するとせん断力は低下し、ギャップ0.6mmにおいては0.3mmの薄板に穴が開いた。

溶接破断部の硬度分布は図10となり、せん断強度が増加した一因と考えられる。溶接部の断面を写真3に示す。

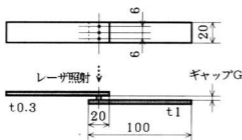


図7 スポット溶接試験

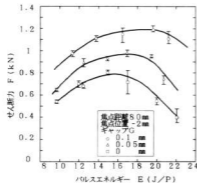


図8 エネルギーに対するせん断強度

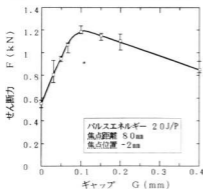


図9 ギャップに対するせん断強度

4 結 言

YAGレーザー照射によるステンレス鋼の溶融形状および0.3mmと1mmの薄板の重ね合わせ溶接のせん断強

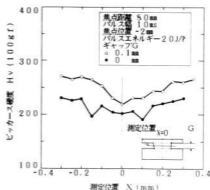


図10 硬度分布

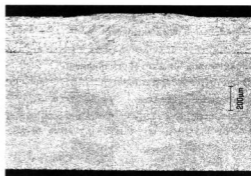


写真3 重ね合わせ溶接断面 (E12, G0)

- 度について検討した結果、以下のことが分かった。
- (1)パルス幅1ms, 3msおよび10msにおけるスプラッシュ発生限界により、最適加工条件を求めた。
 - (2)溶け込み深さは集光レンズの焦点距離およびパルス幅の増加により大きくなる。
 - (3)ビード幅はパルスエネルギーおよび焦点位置ずれの増加に伴い大きくなる。
 - (4)アスペクト比はパルスエネルギー、焦点位置ずれの減少により1以上が得られる。
 - (5)重ね合わせによる3点スポット溶接では適正なパルスエネルギー、ギャップで最大せん断力が得られる。

本研究の遂行にあたりご協力頂いた広島工業大学、池田雅博氏、黒瀬圭一氏に感謝いたします。

文 献

- 1)末澤：先端溶接工学 共立出版、(1990)
- 2)精機学会エネルギービーム分科会編：エネルギービーム加工 朝日ライズ社、(1985),128

CAE解析を用いたロボットアームの軽量化

中ノ堂直幸*, 佐々木憲吾, 坂元康泰, 中塩武之, 長谷川浩治

Lightening a Robot Arm with the Aid of CAE Analysis

NAKANODO Naoyuki, SASAKI Kengo, SAKAMOTO Yasuhiro, NAKASIO Takeyuki
and HASEGAWA Koji

Up to now, in the manufacturing industry, the style of development had been a repeat of experimentation and analysis. That is called "Trial & Error". But this style can not correspond to manufacturing needs, what will change kaleidoscopically in future. So the CAE (Computer Aided Engineering) analysis is attracted engineer's attention. An age ago, the CAE analysis had been used only by specialists of numerical analysis. However, the CAE analysis tends to be used by general engineers, as the high-powered of the personal computers and workstations.

The principal effects of the CAE analysis are as follows:

- (1) Shortening the term of development.
- (2) Improvement of the quality.
- (3) Reduction of the cost.

This paper presents some effects and problems of the CAE analysis.

キーワード: CAE, ロボットアーム, リブ, 軽量化

1 緒 言

近年、各種部品製造メーカーを取り巻く環境は、従来の因面による受注体制から仕様による受注体制へと移行しつつある。これに対応するためには、部品製造メーカー自身が製品製造能力のみならず製品開発能力も併せ持つことが不可欠である。

従来の設計開発のアプローチは、細かい性能評価は後回しにして、とにかく試作品を作り実験、評価を続ける、いわゆる「Trial & Error」の繰り返しであった。しかし、このようなアプローチでは、今後めまぐるしく変化する製品ニーズに迅速に対応することが不可能となる。そこで脚光を浴びることになったのが、CAE(Computer Aided Engineering)である。CAE解析を適用することにより、前もって製品の性能評価をすることが可能になった。表1は、CAEを使用することにより得られる三つの主な効果である。

表1 CAEの三つの効果

- | |
|-------------|
| ① 製品開発期間の短縮 |
| ② 品質の向上 |
| ③ 原価の低減 |

試作、実験の前に検討および確認ができるため、無駄な実験回数が減り、開発期間とコストが削減される。実際、開発コストが50%増加することによる利益損失はわずか3.5%であるのに対し、マーケットへの出荷が半年遅れることによる利益損失は、34%にも上るという結果が報告されている。さらに、従来は実験による試行錯誤でしか確認できなかった問題も、その原因を理論的に解明することが可能になる。このことが品質向上に果たす役割は非常に大きい。

一昔前には、数値解析の専門家だけが利用していたCAEだが、最近のパソコン、ワークステーションの高性能化と、CAEソフトの一般化に伴い、技術者が日常業務の中での開発支援ツールとしてCAEを使う方向に進みつつある。この流れは、今後拡大する一方であり、各種メーカーにとってCAEは欠かせないものとなると考えられる。

このような背景を基に、本研究では従来の手法によって製作されたロボットアームをCAE解析することにより軽量化を図り、その有用性を確認した。

2 解析手法と考察

2.1 初期設計の解析

写真1は、完成したロボットの全容である。写真1のように、第1アーム(基盤の方)には第2アームと

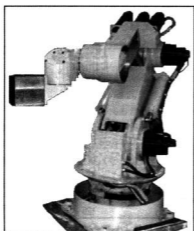


写真1 ロボット全容

ガンが装着される（総重量200kg以上）。

初期設計の段階では、CAEによる構造解析は適用されていなかった。そのため、第1アームの鋼板圧は経験的に60mmに設定されていた。この鋼板圧の適切性を確認するため、CAEによる構造解析を行った。図1はその応力分布図である。

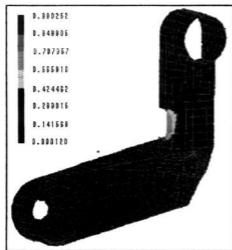


図1 応力分布図 (鋼板圧60mm)

図1の構造解析では、第2アーム(直立している方)の先端の円形状のジョイント部分に、全体で100kgの荷重が鉛直下方向に一様に加えられている。

図1の結果によると、第2アームのくびれた部分に一部応力の高い所が存在するが、強度に支障をきたす

程度のものではない。したがって、さらに鋼板厚を薄くし軽量化することが可能であると考えられる。

なお、本解析に使用したCAEソフトウェアは、SDRC社I-DEAS V、ハードウェアは、FUJITSU S-4/1である。

2.2 リブの役割

第1アームには、補強のために左右の鋼板の間にリブが渡してある。アームの軽量化に先立って、リブの形状とアーム強度の関係についての解析を行った。今回の解析では制作したロボットアームの動作内容に沿い、アームの偏った位置への荷重、つまりアームのねじれに対する強度解析を行った。評価方法は、簡単なモデルをCAE解析し、リブの各形状におけるA点のy変位を比較することで行った。図2、図3はその結果の主要部分である。

各モデルの細かい説明は省略し、解析による結果だけを述べる。図3によると、アームの形状には四方を全て囲った形が最も適しており、特に円柱状のアーム

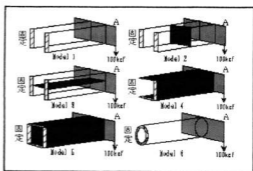


図2 リブの解析モデル

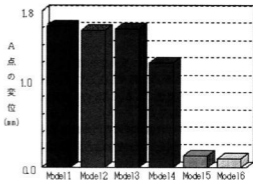


図3 各モデルにおけるA点の変位

が最も変位が少ないという結果を得た。一般的にはリブを渡すと強度が増し、変位も少なくなると考えられる。しかし、図2のモデル1と、モデル2、3の結果を比較する限り、少なくともおねじれに関しては、リブの効果は一般的に考えられているよりも小さいという結果を得た。したがって、第1アームに渡してあるリブの効果も、期待しているよりも小さいものと考えられる。

2.3 軽量化

最後に、実際に図3で用いたモデルの鋼板厚を変化させ、CAE解析することにより、第1アームの軽量化をシミュレーションした。評価方法は、各モデルにおけるポイント1のy変位を比較することで行った。実際のロボットのアームに加わる荷重は動的荷重であるが、これを忠実に設定することは非常に難しい。そこである程度の誤差を加味した上で、経験的に静的荷重に置き換えて解析を行った。図4～図6はその結果の主要部分である。

図4では、第2アームのガンが装着される部分に直接200kgの加重が加えられている。一方、図5、図6では実際にガンが装着された状態に、より近似させるため、図のようにリジッドバーを設定し、合計200kgの加重を分散させて加えている。そのため、図4と図5、図6を直接比較することはできないが、ここで評価している内容に大きな影響は与えないものと考えられる。

第1アームの鋼板厚を図6に示すように20mm、25mmに変更しても、ポイント1のy変位は0.118mmとわずかである。この程度の変位なら、実用に充分耐え得るものと考えられる。また、この鋼板厚の変更による軽量化は125kgにおよび、リブも除去することによって、全体で145kgの軽量化を行うことが可能である。なお、これはロボット総重量の33.7%にも及ぶ。もちろん、それに伴い材料費、並びに駆動モーターの容量も低く抑えることが可能となる。

2.4 問題点

このように、製品開発に多大な有用性を持つCAEではあるが、いくつかの問題点も抱えている。例えば、工学的センスの必要性である。CAEの一般化に伴い、技術者がCAEを開発支援ツールとして使用する場合には、以前のように数値解析の専門知識は必要なくなった。しかし、今回行った解析のように動的荷重を静的荷重に置き換えるような場合や、どのような条件で解析すれば信頼できる結果を得られるかという問題は、経験を積んで体得した工学的センスが必要となる。具体的には、ボルト締結やスポット溶接等を物理

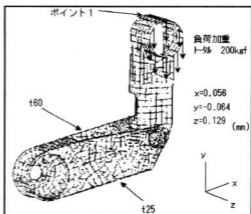


図4 CAE解析によるアーム軽量化(60mm,25mm)

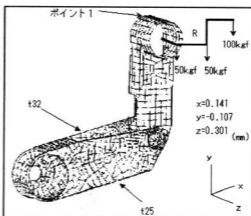


図5 CAE解析によるアーム軽量化(32mm,25mm)

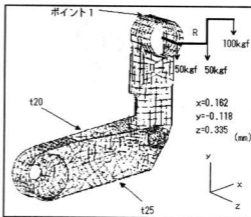


図6 CAE解析によるアーム軽量化(20mm,25mm)

的意味合いを損なわずに、いかに忠実、簡易にモデリングするか。さらに、穴をピンで結合する場合のギャップ要素や、すべり摩擦等の係数をどのように取り扱うか等である。これらは解析、実験の膨大な繰り返しの中から設定していかなければならない。同様に材料特性値の決定も問題である。解析モデル作成の際には、境界条件の他に、材料特性も決定しなくてはならない。その際に用いる境界条件の値は、多くの技術者が便覧等に掲載されている数値をそのまま用いているが、実際に製品となる材料は塑性変形を伴う加工を施すため、材料特性が変化する。特に精度の高い解析に必要なのはこの材料特性値である。

3 結 言

製品開発に CAE を用いることによって以上のような結果を得た。この結果はその後、製品に直接フィードバックされ、品質の向上、経費の低減に貢献した。さらに、CAE を製品開発の初期の段階から活用すれば、製品開発期間の短縮も実現することができる。すなわち、表 1 に挙げた CAE の三つの効果を達成することができるのである。このように、CAE は今や製品開発には欠かせないものとなりつつある。

2.4 に挙げた問題点を、ことある毎に解決していたのでは、莫大な労力と時間を要することになる。それを防ぐためには、実際に CAE を開発支援ツールとして使用している一般技術者間の情報交換が必要である。CAE を使用している技術者は飛躍的に増大した

にもかかわらず、情報交換のエリアは非常に小さいと言える。

これまで議論した内容は、製品開発に CAE を導入することにより得られる効果の一部にすぎない。しかし、CAE の有用性を確認するには十分であると考ええる。

ここで、留意すべき点の一つ挙げておく。それは、CAE というものは導入すれば簡単に効果を得られるものと誤解しないことである。CAE を有効利用し、より高度な利用を図り、生産性を高めていくには、CAE についての本質的な理解が必要である。それには、技術者が日常業務の中で CAE を使用し、経験を重ねてゆく必要がある。ところが、CAE を導入して即、効果を期待する企業も少なくはない。この問題への対策は、技術者のみならず、企業のトップも含めた CAE に対する人材育成が鍵となるであろう。

CAE を役立つものにするか、役立つものにするかは、使用者である技術者の手に委ねられている。そのため、CAE を導入した効果を定量的に判断することは非常に困難である。しかし、CAE の有用性は、実際に CAE を使用している技術者の 8割以上が「効果があった」と回答している¹⁾ことから裏づけることができる。

文 献

- 1) Nikkei Business Publications, Inc.
NIKKEI MECHANICAL 1993.7.26

コンピュータグラフィックス応用技術に関する研究 強度解析用アニメーションシステムの開発

長谷川浩治, 坂元康泰, 佐々木憲吾, 中塩武之

Development of the Animation System for Strength Analysis

HASEGAWA Koji, SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo and NAKASHIO Takeyuki

Recently, CAE have been popularized in order to decrease the time of development for a product.

Nowadays the strength analysis of machine products in pre-design is usually a static analysis. But the actual product is loaded the dynamic stress, it does not carry out dynamic analysis because of taking time. It is expected to analyze such as stated in future due to the handling of computer speedis improving. The animation technique will become necessary for the indication of the results. When we make the animation, usually we use Graphics-Work-Station but it is expensive.

Therefore, we have developed an inexpensive animation system for indication of the results of a strength analysis.

キーワード: アニメーション, 解析, コンピュータグラフィックス

1 緒 言

近年, 製品開発期間の短縮化を図るための支援技術として, CAEが導入されつつある。

強度解析においては, 静解析が主流である。しかし, 実際に解析を行う対象は, 時間と共に解析条件が変化することが多く, 動的な解析が必要となるが, あまり行われていない。これは, 解析にかなりの時間を要することが原因である。

処理速度の向上によりこの問題が解決すると, 動的な解析が行われ, 解析結果の表示法としてアニメーションが有効な手段となり, その表示技術が必要となってくる。

解析結果の表示やアニメーション等を行う際, グラフィックス機能の充実したグラフィックスワークステーションがよく使用されるが, これらの設備は非常に高価なものである。これらの理由から, 安価な強度解析結果のアニメーションシステムの開発を試みた。

2 静止画像の作成

2.1 解析結果の表示

アニメーション作成の前段階として個々の原画像が必要となる。この原画像を作成するために解析結果の表示を行う。

入力データは, エレメント, ノードなどの形状データと解析結果であるノードの変形量, エレメント上の

応力で構成されている。これらのデータを使い一般的に利用されるフォンミーゼス, x方向, y方向の応力をコンター図で表示するものとした。解析結果を基に応力分布を表示させたものが写真1である。この形状作成にはワークステーション上の市販ソフト(I-deas)で行い解析計算は, 当センターで開発したプログラムを用いパソコンとトランスピュータで行い, その結果をパソコン上で表示させたものである。

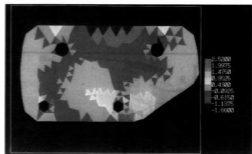


写真1 応力分布の表示結果

2.2 応力データの交換と補間

写真1の表示結果ではエレメント単位でコンター図が描かれるため, 設計者にとって分かりにくい。そこで, エレメント上にある応力データをノード上のデータに変換しエレメント内部を補完した。

(1)ノード上への応力データの交換方法

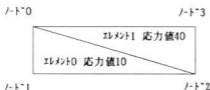


図1 エレメント，ノードの構成図

表1 ノード上の応力データ

	ノード0	ノード1	ノード2	ノード3
ノードを含むエレメントの応力	10,40	10	10,40	40
ノードの応力(応力の平均値)	25	10	25	40

ノード上の応力データは、図1,表1に示すように、そのノードを含むエレメントの応力データを平均することにより算出する。

(2)エレメント内部の補完

エレメントは三角形で構成されており、図2に示すようにエレメントを構成する3点のノード間を応力によって直線補完した。

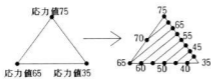


図2 エレメントの直線補完

(1)の方法で算出したノード上の応力データを基にエレメント内部の補完を行い、解析結果を表示させたものを写真2に、また市販の解析ソフト(I-DEAS)による表示を写真3に示す。市販の解析ソフトではノード上の応力まで計算により求め表示させたものである。写真2,写真3を比較してみると応力の分布に対して、さほど遜色がないものとなった。

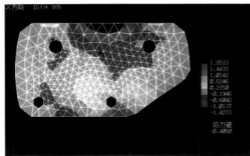


写真2 補完後の応力分布の表示結果

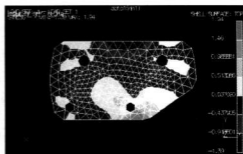


写真3 市販ソフトによる応力分布の表示結果

形状データ等の構成及び、要素内部の補完方法は汎用的であり他のアプリケーションソフト開発にも利用可能である。例えばカッターパス等のNCデータ作成や地形の等高線の表示方法にも利用できるとと思われる。

3 動画の作成

3.1 アニメーションの手法

解析結果をアニメーションするため、解析結果ファイルを順次読み込み、これに基づいて応力分布の表示を行うと、ノードやエレメントの数により表示速度が変化するため、表示結果を画像のみのデータ(ドット単位のRGBデータ)として記録し、このデータを使用しアニメーションを行うものとした。画像データを使う利点として、表示速度は可視化を行う物体の形状データに関係なく、画像データの大きさにのみ依存することや他のアニメーションソフト(Quicktime等)とのデータ互換性が良いことにある。

3.2 アニメーションの作成

時間的変化に対する解析の事例としてクレーンガーダをモデルとして取り上げ、アニメーションを行った。クレーンガーダは、ホイストの移動に伴い荷重の加わる位置が変化していく。この解析条件及び形状を図3に示す。

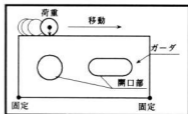


図3 クレーンガーダの強度解析モデル

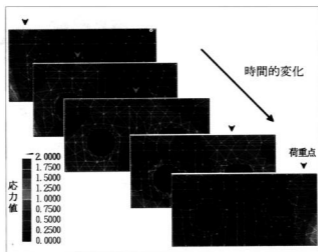


図4 荷重移動に伴う応力分布のアニメーション

図3に示すように、固定条件の位置を一定とし、荷重条件を移動させた状態での、応力分布についてアニメーションを行った。その様子を図4に示す。これにより、荷重の移動と共に応力分布が変化していく様子が表示可能となった。特に開口部では応力集中の効果により高い応力となるが、その最大値の位置が少しずつ変化していくことが観察できる。

4 結 言

高価なグラフィックワークステーションを使わな

くても荷重点の変動に伴う強度解析等のアニメーション表示をパソコンレベルで行うことが可能となった。

今後は個々の原画を作るための高速な解析計算方法とアニメーション結果を広く観察できるメディアへの出力としてビデオへの出力方法などについて検討していく予定である。

文 献

日本図学会 編者：CGハンドブック，森北出版

境界要素法を用いた解析技術の開発

坂元康泰, 佐々木憲吾, 長谷川浩治, 金安俊哉*

Development of Analysis Technology by B.E.M.

SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo, HASEGAWA Koji and KANEYASU Toshiya

We have got Analysis technology making use of Boundary Element Method or B.E.M. B.E.M can calculate if only Surface of the model can mesh. For this reason, B.E.M is good for the analysis of complicated solid model.

We applied this method to the stress analysis of motor piston having minute hole and got good result, that was very difficult by F.E.M.

キーワード：強度解析, BEM, ピストン

1 緒 言

当センターでは商品の軽量化, 高品質化などの要求に応える商品設計技術としてCAE (コンピュータによる強度・熱解析等)が今後とも重要な技術であると考え, 主に3次元ソリッド部品の解析技術の開発・蓄積を行ってきた¹⁾²⁾。そして, 自動車用ピストンの解析事例を通して図1に示すように, 相応の技術レベルまでは到達したと思われる。解析技術の向上とともに商品開発においてCAEで解決が望まれる課題も複雑・高度になり, 我々が現在利用している解法である有限要素

法では解決困難な問題も抱えるようになってきた。本研究の目的は, 新たな解決策として「ハイブリッドシステム」を当センター内に構築し, CAEを広範な商品設計に活用できる体制にすることである。

2 ハイブリッドシステム

ハイブリッドシステムとは, 図2に示すように, 一解析形状を分割し, 各分割形状を有限要素法と境界要素法の二解法で計算し, 結果を結合して最終解を求めるシステムであり, 広島大学工学部葛紀夫教授への委託研究「境界要素法と有限要素法を用いたCAEシス

解析モデル

節点数 8197 要素数 4924

ピストン/ピン/コンロッドによる接触モデル

ピストンにはリング溝, 肉抜き, リブ形状までモデル化されている



図1 ピストン1/2モデルの有限要素法による解析結果事例

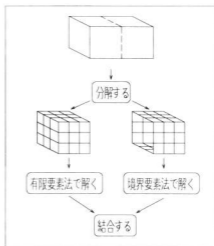


図2 ハイブリッドシステム

*マイクロテクノロジー

テムの高度化に関する研究」³⁾に基づいている。従来の有限要素法の良い点と新しく解析手法として実用化されつつある境界要素法の良い点の双方を利用することにより、単一の解法では計算できなかった問題を解決可能とするもので、今年度に境界要素法を用いた解析システムの実用化を図り、次年度に有限要素法と結合しハイブリッドシステムを完成させる計画である。

3 境界要素法

3.1 境界要素法とは

境界要素法(Boundary Element Method or BEM)は、領域内部を有限要素に分割して取扱う代わりに、Bettiの相反定理(または重みつき残差法)と点荷重に対する影響関数を利用して、周辺境界に沿って積分の問題を取扱う。これにより次元を一つ下げた取扱いが可能となる。これを利用者の立場から見ると、形状内部の分割が不要であることから解析作業の効率が大幅に上昇する。

この解法は研究から実用領域に徐々に移行している段階であるが、利用状況はトヨタ自動車㈱などの事例⁴⁾が数例発表されている程度であり、利用技術の発展は今後の課題である。

3.2 境界要素法の利点(1)

有限要素法と比較し、境界要素法の利点を示したのが図3である。図3(左)は円柱内部にコイル状の穴があった形状の要素分割であり、図3(右)は上部に面圧がかかったときの境界要素法による計算結果(相当応力表示)である。有限要素法ではこの形状を内部まで要素分割する必要がある、相当の時間と技術を要して

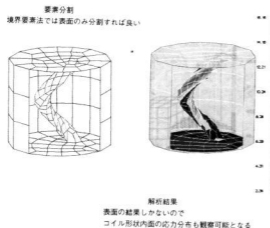


図3 コイル形状を含む円柱の境界要素法による解析事例

いた。しかし、境界要素法では表面のみ要素分割をすれば良いため、容易に分割が可能となる。そして、計算結果の表示においても、円柱部分(前面のシェル要素)を削除して表示することによりコイル形状内部の応力分布も観察することが可能となる。

このように、境界要素法は有限要素法では困難であった複雑な三次元部品や微小形状を持つ部品の解析に非常に強力である。

3.3 境界要素法の利点(II)

解析作業は基本的には、形状を要素分割することによって作成される要素と節点に対して条件を付加していく工程である。取扱う要素数と節点数が一桁近く少ないことは解析作業全般にわたって大きな利点である。

図4はブロック形状の有限要素法と境界要素法の要素分割パターンの違いを示したものである。取扱う要素数、節点数が減少すると、解析作業効率は二乗の割合で良くなる。

一般に、曲面を持つ三次元塊体部品に自動要素分割を実行するには、四面体要素以外は困難である。この要素タイプは解析精度が悪く、中間節点を持つパラボリック要素を用いるの必要があり、節点数の増加は避けられなかった。表面のみの分割では四辺形・リニア要素で可能となる。同程度の要素サイズでは数値計算精度は有限要素法に比べて良いと考えられ、さらに削減が可能である。

物体内部を要素分割しないことから形状内部の解析結果が得られないことの欠点は、亀裂が物体表面から発生することを前提にするとあまり重要ではない。そして、物体内部でも特定場所の変形量・応力値等を知りたい場合、計算実行前に指定することにより可能となる。

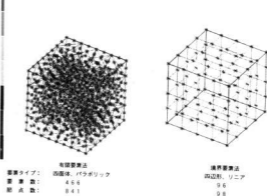


図4 ブロックの要素分割パターン

4 境界要素法の利用事例

境界要素法を実際の部品に適用した事例として、「オイル穴を含むピストン」の強度解析を示す。オイル穴はピン接触部との潤滑（焼き付き防止）を目的として設けられた小さな穴であり、この微小部分は一般に応力集中が生じ、設計者にとって最も応力状態を知りたい箇所である。しかし、垂ゲージを用いた実験による応力測定は非常に困難であり、また解析においてこの微小形状を含む三次元形状内部を「ゆがみ」の少ない要素でかつ妥当な数で（自動）分割することも困難であり、有限要素法による解析はできない状態であった。

このオイル穴を含むピストン形状に表面のみ要素分割したものが図5である。局所要素サイズの制御と境界領域の分割順序の制御により、オイル穴及び近傍もあまり「ゆがみ」のない要素で分割することが可能となった。そして、燃焼圧によって生じる応力を解析した結果が図6である。最大主応力の最大値はオイル穴上端部の前面（コンロッド側）に発生し、その値は予想以上に高いことが窺える。また、表1に示すように、オイル穴径や固定条件に敏感である。このように、微小なオイル穴近傍の応力分布状態を観察することが可能となり、ピストン設計に有用な知見が得られることになった。

これらの作業は、解析プリ・ポストであるI-DEASで実行され、インターフェースプログラムを介して境界要素法プログラムHISESに渡される。計算後はI-DEASにて結果を表示でき、一連の解析作業が効率良く可能となった。

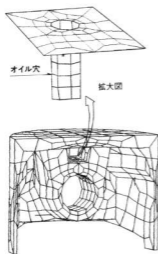


図5 要素分割パターン

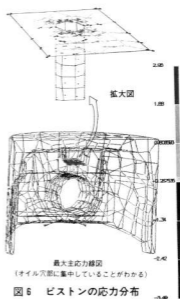


図6 ピストンの応力分布

表1 オイル穴径/固定条件と応力の関係

オイル穴径D (mm)	ピン部固定範囲	最大主応力 (N/mm ²)	相当応力 (N/mm ²)
3.2	ピン接触部上半面(1/面)	28.4	26.5
3.2	ピン接触部上部1/4面	46.1	41.2
2.0	ピン接触部上部1/4面	50.0	44.1

5 歪測定

実際のピストンオイル穴内部及び近傍の応力測定は困難である。そこで、解析結果の妥当性を確かめるため、写真1に示す「ブロック・ピン接触モデル」を作成し歪測定を行った。このモデルの全体形状及びオイル穴径が実際のピストンよりかなり大きい理由は、歪測定を可能にするためである。測定結果を図7に示す。最大主応力値はオイル穴上端前面部A点で大きく、D,B,Cの順に小さくなる。また、オイル穴内部の応力は小さい。この傾向は本モデル及びピストンの解析結果とよく一致している。

ハイブリッドシステムは「有限/境界要素法」の結合という解法のハイブリッド化と、「解析/実験」データの結合によるハイブリッド化があると考えられる。今後、本実験モデルは、ピストン~ピン接触面の油膜の影響や非線形変形の測定などの「実験モデル」として利用する計画である。

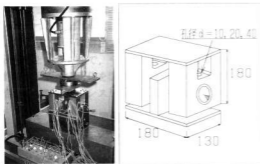


写真1 実験モデル

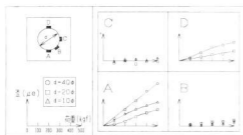


図7 穴まわりの歪測定結果

6 境界要素法の計算時間

境界要素法は、有限要素法と比較すると、解析分野全般に優位性を発揮するものではない。その理由の一つは、計算時間と必要なメモリ容量である(表2参照)。

有限要素法の係数マトリックスがバンド状であるのに対し、境界要素法は非対称フルマトリックスとなり、計算時間の大部分は係数行列の作成と逆行列の求解に費やされる。そのため、解く未知数が少なくなることよりもフルマトリックスの影響が大きければ計算時間は長くなり、この影響は大規模解析で顕著となる。図8は、当センター保有のワークステーションS4/10(110Mips)による節点数と計算時間の関係を示したものである。節点数の増加とともに計算時間は指数関数的に増加し、この勾配は急である。

この結果からも分かるように、一般に境界要素法は計算負荷が高いと判断されているが、魂体部品ではその劣位性は少なく、また解析工程全体のうち形状作成(特に要素分割作業)に多くの時間を要している状況を重視すべきである。

計算時間の短縮方法の一つに、マトリックスサイズを小さくする領域分割の考えがあり、形状を二分割するハイブリッドシステムはこの点でも期待が持てる。

表2 解法の評価マップ

	有限要素法	境界要素法
要素分割時間	△	⊙
計算時間	⊙	△
解析作業全体時間	△	⊙

ハイブリッドシステム

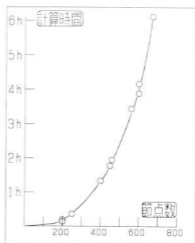


図8 境界要素法の計算時間

7 結 言

境界要素法は内部要素分割が困難な三次元魂体部品の解析に有用である。その事例として、小さなオイル穴を含むピストンの強度解析を示した。本解法は、今後コンピュータ処理能力の向上とともに、設計現場に取り入れられると思われるので、積極的な利用展開を図っていく予定である。次年度は、表2の斜線部に示す有限要素法の良い点と境界要素法の良い点を利用したハイブリッドシステムの実用化に取り組む予定である。

文 献

- 1) 坂元他: 広島県西部工技研究報告, No35(1992), 1
- 2) 坂元他: 広島県西部工技研究報告, No36(1993), 11
- 3) 葛紀夫: 平成3, 4年度委託研究報告書
- 4) 堀田他: トヨタテクニカルレビュー, 41(1991), 109

レーザによる三次元形状計測センサの開発

中ノ堂直幸*,坂元康泰,宮野忠文

Development of a 3-D Profile Sensor by Laser

NAKANODO Naoyuki, SAKAMOTO Yasuhiro and MIYANO Tadafumi

We developed the optical 3-D profile sensor with laser source, lenses, and CCD linear sensor. Furthermore we constructed the automatic measuring system consisting of the 3-D profile sensor, personal computer, X-Y table, and X-Y table drive unit.

As this sensor can measure the displacement of a steep inclined target surface in a wide range, a complicated shape with free-form surface is able to be measured without a servo mechanism to move the sensor.

キーワード: 非接触測定, 三次元形状, 自動計測

1 緒 言

近年, CAD/CAM システムの普及により, CAD データから直接 NC データを生成し NC 加工ができるようになったため, NC 加工機以上の精度が必要でない限り, 加工後の金型を三次元測定機で検査測定することは減少する傾向にある。しかしながら, 自動車部品, OA 機器, 家電製品などの外装の多くは三次元曲面で構成されており, これらの微妙な形状を設計図面や CRT ディスプレイ上だけで把握するのは困難である。また, 金型を製作する場合でも, NC データ作成の煩雑さや, 改造修正の容易さから, 石膏モデルを作り, それをデジタイズすることも少なくない。

従来, これらモデルの測定は, 接触式プローブを用いたデジタイザーで行っているが, 高価なうえ, 時間がかかったり傷がつくなどの問題がある。最近では光を利用した非接触式プローブが数多く開発され, 大量の測定データを高速に求めることができ, 光を細い触針と見なすことから, 接触式のようなプローブ径補正の必要がなく, 高密度な測定が可能となってきた。

これらの測定原理は光触針と格子投影によるものと2つに大別できるが, 光触針法の代表例としては, 三角測量法, 焦点位置合わせ法, ステレオ画像法などがあり, 格子投影法では, モアレトポグラフィ法, 変調格子縞位相法などがある。

しかし, 三角測量法では, 斜め方向から測定点をみるため, 45度以上の急斜面では死角が生じたり, 光点の中心位置が傾斜面の影響を受けるなどの問題がある。また焦点位置合わせ法は, 結像点を追従する微い

サーボ機構が必要となり, 短時間での測定が難しい。ステレオ画像法は測定可能領域が狭く, 一般に分解能は1~5mmと低いことが問題となる。格子投影法では, 縞の幅と間隔, そしてその鮮明度が直接精度に影響を与え, 複雑な形状物体の測定は困難である。

図1に, 各種センサの一般的な測定範囲と精度の関係¹⁾を示すが, 一般工業部品で使用可能と思われる中間レベルのセンサはあまりない。そこで, 本研究では同軸線形変位法という測定原理に基づき, 三角測量法で見られる死角や傾斜角の影響を受けることなく, 比較的大型のモデルや部品を対象とした測定範囲の広い非接触三次元形状計測センサを試作し, 安価な非接触自動形状計測システムを構築したので報告する。

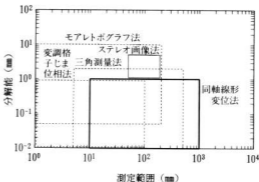


図1 センサマップ

*堀ヒロテック

2 計測理論

2.1 理論解析

三好が提案した同軸線形変位法²⁾の測定原理を図2に示す。レーザビームがミラーを介して、トンネルレンズ1の穴を通り被測定面に照射されたとする。被測定面が拡散反射面であれば、反射光は散乱しレンズ1とレンズ2によって集光され、P点で結像する。レンズ1とレンズ2の距離が2つのレンズの焦点距離の和(f_1+f_2)であれば、被測定面の変位 Z_1 と結像点の変位 Z_2 の間には、次のような関係が成り立つ。

$$Z_2 = (f_1/f_2)Z_1 \quad (1)$$

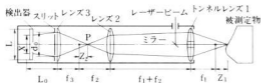


図2 非接触形状計測センサの原理図

図2において、結像点Pはレンズ2より後方にあること、また被測定面上の照射点は必ずレンズ1より前方にあることから、(2)式となる。

$$-f_1 < Z_1 < (f_1/f_2) \quad (2)$$

P点で一度結像した光は、さらにレンズ3によって集光され、レンズ3の後方に設置された間隔 d_0 の2つのスリットを通して、2本の光線に分けられる。この2本の光線は、レンズ3から L_0 の位置にある検出器(CCDラインセンサ)に入射する。このとき、図2のレンズ3についてニュートンの結像公式を用い、また簡単な幾何学から検出器上の2光点の間隔 X は変位 Z_2 と(3)式の関係にある。

$$X = \frac{d_0(f_3 Z_2 + f_3 - L_0 Z_2)}{f_3(Z_2 + f_3)} \quad (3)$$

(1)式と(3)式から、被測定面の変位 Z_1 と検出器上の2光点間隔 X の関係は(4)式で表される。

$$X = \frac{d_0 [(f_1 f_3 / f_2)^2 + (f_3 - L_0) Z_1]}{f_2 Z_1 + (f_1 f_3 / f_2)^2} \quad (4)$$

各レンズの焦点距離 f_1, f_2, f_3 、スリット間隔 d_0 、レンズ3と検出器の距離 L_0 は定数であるから、2光点間隔 X を測定することによって、変位 Z_1 を求めることができる。

変位 Z_1 の分解能 ΔZ_1 は、検出器の解像度を ΔX と

すると、(5)式によって求められる。

$$\Delta Z_1 = \Delta X \left| \frac{dZ_1}{dX} \right| \quad (5)$$

なお、測定範囲は結像条件の式(2)と検出器の長さ L 、すなわち(6)式によって決まる。

$$0 < X < L \quad (6)$$

2.2 解析結果

今回開発するセンサはセンサを固定したままで比較的大型のモデルや部品を高分解能で測定することを目標としている。そこで測定範囲を200 μm 以上、分解能を0.1 μm 程度の目標値を設定してセンサの設計を行った。測定範囲には上述の(2),(4),(6)式、分解能には(5)式を用いて数値計算を行った。

その結果、実現可能な設計値として、 $f_1=151\text{mm}$ 、 $f_2=50\text{mm}$ 、 $f_3=42\text{mm}$ 、 $d_0=24.5\text{mm}$ 、 $L_0=68.5\text{mm}$ のレンズ光学系を選んだ。

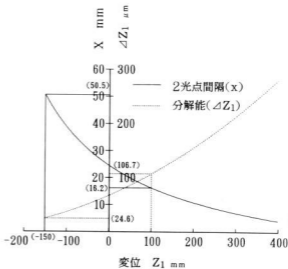


図3 測定範囲と分解能における理論曲線

これらの設計値を用いたときの2光点間隔 X および分解能 ΔZ_1 と変位 Z_1 の関係を図3に示す。図3は、先の設計値を(4),(5)式に代入しグラフ化したものである。なお、検出器の解像度 ΔX は使用したラインセンサの画素サイズ7 μm である。

分解能0.1 μm 程度を満足する測定範囲は、図3より

$$-150 < Z_1 < 100 \quad (7)$$

このとき、2光点間隔 X は、図3より

$$16.2 < X < 50.5 \quad (8)$$

となり、今回使用しているラインセンサ1個では、検出器の長さ $L=7\mu\text{m}\times 4096$ ピクセル $=28.672\text{mm}$ となり、2光点間隔を全測定範囲にわたって検出することができない。そこで、ラインセンサを2個にすることによって $L=28.672\times 2=57.344\text{mm}$ となり、2光点間隔の検出が可能となる。それにより、測定範囲は(7)式より 250mm と求まり、大きな物体の形状計測が可能となる。このとき分解能は、図3より、 $24.6\mu\text{m}$ から $106.7\mu\text{m}$ となり、全測定範囲にわたって、 0.1mm 程度以下の分解能で測定可能であると考えられる。

3 精 度

前述した測定原理に基づいた三次元形状計測センサを試作し、平面における測定精度と曲面における測定精度について測定を行った。

3.1 測定精度

図4は、センサからの距離を精度 $1\mu\text{m}$ のマグネスケールで測定した値と今回開発したセンサの測定値との誤差を表したものである。図4において、実線は測定対象面の傾斜角 0° 、点線は 45° である。また、測定対象面は白紙である。

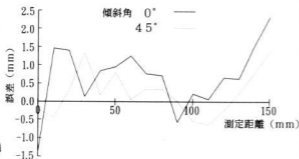


図4 測定精度

図4では、測定精度は前述した分解能と一致していない。これは、測定対象面の表面状態によりラインセンサ上に生じるピークの形状が大きく変わり、正確なピーク値を求めることができないためであると考えられる。また、変位が焦点距離から大きくなると、レンズの周辺を光線が通ることによって、球面取差の影響が大きくなり、誤差を生じる原因となっている。

しかし、図4では、傾斜角による誤差の大きな違いは見られない。このことから、測定誤差には測定対象物における斜面の影響は少ないと考えられる。

3.2 曲面における測定精度

図5は白球(半径 38.1mm)を測定した結果である。なお、測定ピッチは 2mm ピッチで測定を行った。また、

図5における実線は理想曲線(半径 38.1mm の半円)を示している。

図5では測定対象面の傾斜角による誤差の変化は小さく、3.1で述べたように斜面の影響は小さいと考えられる。

なお、傾斜角が -80° から $+75^\circ$ の範囲では、理想曲線からの法線方向の偏差の標準偏差は 0.49mm である。

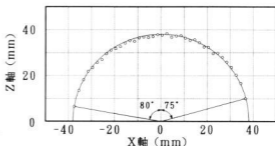


図5 白球の測定

4 自動形状計測システム

今回試作した三次元形状計測センサを用いて大型のモデルの形状を自動測定することができる三次元形状計測システムの開発を行った。

図6は、測定システムのシステム構成図である。ハードウェアは大別すると、三次元形状計測センサ、ラインセンサユニット、XYテーブル、パーソナルコンピュータから構成されている。

5 適用事例

前述の測定システムを用いて、半径 38.1mm の白球を測定し、結果を図7に示す。図7(a)は測定対象物、図7(b)は測定結果を示す。

センサに近い部分で、測定誤差と思われる凹凸が見られる。これは、斜面に比較して反射光が強く、CCDラインセンサの出力が飽和しており、そのため、ソフト的に求めたピークの値が誤差を含んでいるものと考えられる。

6 結 言

比較的大型のモデルや部品を対象とした非接触三次元形状計測センサを試作し、このセンサを用いた自動形状計測システムを構築した。このセンサおよびシステムには以下のような特徴がある。

- (1)センサは、測定範囲が広く、センサ部を稼働させることなく固定したまま測定することができる。
- (2)センサとパーソナルコンピュータ、XYテーブルな

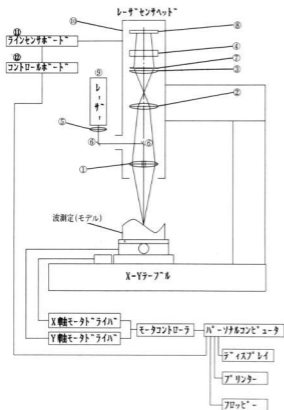


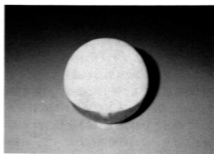
図6 測定システム構成図

どをシステム化すれば容易に自動計測システムが構築できる。

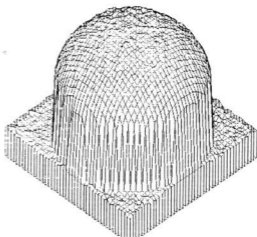
今後の課題としては、測定精度の向上、および測定精度の安定性、測定時間の短縮があげられる。

文 献

- 1) 三好：精密工学会誌，59(1993)7, 1082-1084
- 2) 三好，中村，近藤，斎藤：精密工学会誌，55(1989) 2, 393-399



(a) 測定物



(b) 測定結果表示

図7 自動計測例

電磁波遮蔽技術に関する研究

日寺 巖, 綱雅典生, 佐々木憲吾, 中塩武之, 奥田康孝*, 藤田敏成**

Studies on the Shield Technique for Electromagnetic

HIDERA Iwao, NAWACHI Norio, SASAKI Kengo, NAKASHIO Takeyuki, OKUDA Yasutaka* and FUJITA Toshinari**

In this study, we have tried to make the shielding case from mixed resin and carbon powder. A burglar camera of our own making was used as a source of noise by way of an object of measurement. This case was able to shield considerably radiating noises between 400 MHz and 1000 MHz. But it was not almost able to shield them between 30 MHz and 400 MHz.

On the other hand, we also have tried to make the shielding case from coated on the plastic case by the flame spraying with zinc. This case was able to shield considerably radiating noises both between 270 MHz and 300 MHz and between 650 MHz and 1000 MHz. But it was able to shield then too much both between 30 MHz and 270 MHz and between 300 MHz and 650 MHz. We have recognized that the origin of them is effected by the thickness of zinc coating.

キーワード：筐体, 放射ノイズ, 遮蔽効果

1 炭素系粉末筐体の放射ノイズ測定評価

1.1 緒言

電子機器の筐体に使用される高分子材料を導電化するの方法の一つに、導電性材料を高分子材料に複合化することが知られている。そこで本研究では、導電性材料に炭素系粉末材料を用いて筐体を製作し、より実際

的に電磁波（以下ノイズと称する）の遮蔽効果を評価し、併せて前報まで実施してきたKEC（財団法人電子工業振興センター）法による同評価方法及び比較検討を行った。

1.2 試料の作成および試験方法

筐体の製作にあたっては、ポリエステル樹脂（日立化成 PT-L）に炭素系粉末材料及び炭素繊維等の導電

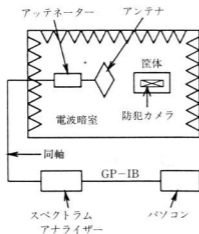


図1 放射ノイズ測定システム

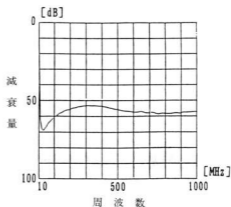


図2 炭素系粉末材料を混入したプラスチック板のノイズの遮蔽効果 (KEC法による)

*シグマ株式会社, **広島ガス株式会社

性材料を混練し、触媒（火薬アクツ カヤエステル 0-50）を加えガラスクロスにハンドレイアップで含浸後、金型へ入れ、熱プレスで加熱・加圧成形により試料を作成し、加熱温度は80℃、加圧力は1.6MPa(0.16 kgf/mm²)で90分間保持し、厚さが3mm、大きき250(W)×250(D)×100(H)mmの筐体を成形した。その中に入れるノイズ源としては、現在本県の企業が開発を進めている、電子技術を駆使した防犯カメラを採用した。このカメラはストロボ機構を有するため、著しいスパイク状ノイズを発生するものである。

電磁波遮蔽効果の測定はVCCI（情報処理装置等電波障害自主規制協議会）規格第二種情報処理規格に基づき、図1に示すシステムで測定した。

1.3 試験結果と考察

炭素系粉末材料を高分子材料に複合化した試料（板状のもの）を先ずKEC法により遮蔽効果について測定した結果を図2に示す。なお、この材料の樹脂と導電性材料の割合は重量比で1:1である。

次に、この試料と同じ材料で作成した筐体のVCCI規格に基づく測定結果を示すが、図3、図4は雑音源より発生する水平成分の放射ノイズ、図5、図6は垂

直成分の放射ノイズを示している。一方、図7、図8は前述の材料より作成した筐体の中に雑音源を入れたときの水平成分のノイズであり、図9、図10は同じ条件での垂直成分の放射ノイズを示すものである。

図3～図6と図7～図10をそれぞれ比較すると、低周波数域（30～300MHz）では、水平成分、垂直成分の放射ノイズの低減は殆ど認められない。これは図2の板状のテストピースの結果と矛盾しているため、この点疑問である。

一方、高周波数域（300～1000MHz）では、概ね400MHz以上でかなりの遮蔽効果が認められ、これは図2と同じ傾向を示している。また水平と垂直の放射ノイズを比較すると、400MHz付近で若干水平成分が高くなっているが、これは筐体の接合部が水平方向になっているためにその部分からの漏洩ノイズの影響と推測される。

1.4 結 言

炭素系粉末筐体について要約すると次の通りである。

- 1) 400～1000MHzの間では、板状のテストピースによるKEC法による結果と、筐体を用いたVCCI規格に

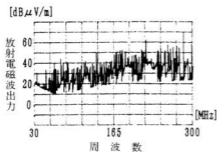


図3 防犯カメラの（水平成分の）放射ノイズ
（周波数 30～300MHz）

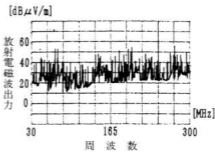


図5 防犯カメラの（垂直成分の）放射ノイズ
（周波数 30～300MHz）

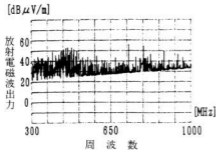


図4 防犯カメラの（水平成分の）放射ノイズ
（周波数 300～1000MHz）

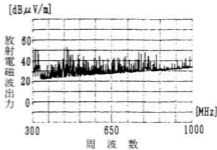


図6 防犯カメラの（垂直成分の）放射ノイズ
（周波数 300～1000MHz）

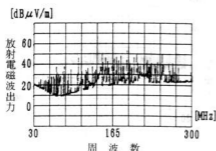


図7 防犯カメラを炭素系粉末筐体内部にいた場合の(水平成分の)放射ノイズ
(周波数 30~300MHz)

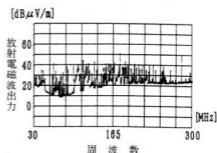


図9 防犯カメラを炭素系粉末筐体内部にいた場合の(垂直成分の)放射ノイズ
(周波数 30~300MHz)

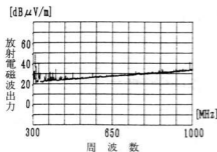


図8 防犯カメラを炭素系粉末筐体内部にいた場合の(水平成分の)放射ノイズ
(周波数300~1000MHz)

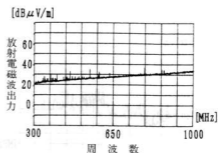


図10 防犯カメラを炭素系粉末筐体内部にいた場合の(垂直成分の)放射ノイズ
(周波数300~1000MHz)

沿った測定結果の傾向がほぼ一致し、いずれも高い遮蔽効果を示した。

2) 30~400MHzの間を対象にした、上述と同様の評価においては、KEC法による場合には比較的高い遮蔽効果が認められたが、VCCI規格に沿った測定では殆ど効果がない結果になった。この評価方法による差は疑問であり、今後更にこの点を究明していく予定である。

2 金属溶射膜筐体の放射ノイズ測定評価

2.1 緒言

ここでは高分子材料を導電化する方法として、前述の方法と異なり、成形された高分子材料の表面に金属の溶射、膜を形成する方法を試み、遮蔽効果および筐体の放射ノイズの測定を行った。

2.2 試料の作成および試験方法

一般に販売されているポリプロピレン容器(厚さ: 3mm, 大きさ: 296(W)×218(D)×105(H)mm)の表面に亜鉛をアーク溶射し、導電性の膜を形成した。この際、溶射膜の温度は50℃を超えることなく、懸念した容器の熱による形状変化は起こらなかった。なお、亜鉛の溶射膜の厚さは、目視観察でむらなく一様になるような十分な厚さとした。一方、この筐体の中に入れるノイズ源は、前述と同様の防犯カメラを使用し、測定システムも図1と同様な方法で行った。

2.3 試験結果と考察

炭素系粉末筐体の場合と同様に、この亜鉛の溶射膜を板状のポリプロピレンに形成したものを、KEC法で測定した結果を図11に示す。

次に、作成した筐体の中に、防犯カメラを入れたと

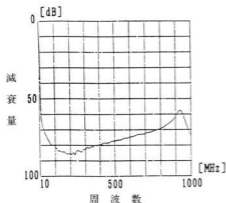


図11 亜鉛溶解膜を施したプラスチック板のノイズ遮蔽効果
(KEC法による)

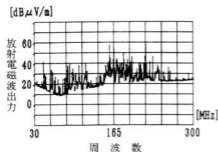


図12 防犯カメラを亜鉛溶解膜筐体内部にいた場合の(水平成分)放射ノイズ
(周波数 30~300MHz)

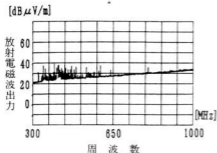


図13 防犯カメラを亜鉛溶解膜筐体内部にいた場合の(水平成分)放射ノイズ
(周波数300~1000MHz)

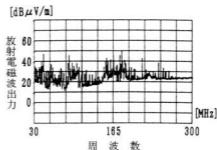


図14 防犯カメラを亜鉛溶解膜筐体内部にいた場合の(垂直成分)放射ノイズ
(周波数 30~300MHz)

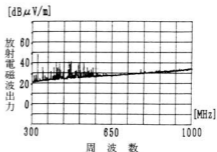


図15 防犯カメラを亜鉛溶解膜筐体内部にいた場合の(垂直成分)放射ノイズ
(周波数300~1000MHz)

きの水平成分、垂直成分の放射ノイズを測定した結果を図12~図15に示す。

防犯カメラの放射ノイズを示す図3~図6と、図12~図15をそれぞれ比較すると、低周波数域(30~300MHz)では、水平成分、垂直成分の放射ノイズとも270MHz付近において筐体の遮蔽効果が大きく現れている。しかしそれより低い周波数では、双方とも殆ど遮蔽効果がなく、この点、図11のKEC法による評価と結果が異なっている。ここでも前述の炭素系粉末を混入した筐体と同様に、評価方法による差が認められた。一方、高周波数域(300~1000MHz)では、300~650MHzの間で双方の放射ノイズとも減少しているが、図11におけるこの周波数の範囲の減衰量には達していない。650MHz以上では、かなりの放射ノイズの遮蔽効果が現れており、この点、図11と同じ傾向を示している。

このように、周波数によって遮蔽効果のむらが生じたのは、亜鉛膜の膜厚が薄いために起こった現象ではないかと思われる。

図16に板状材料を用いた、KEC法による亜鉛膜の厚さを変えた場合の遮蔽効果を示している。この図によれば膜厚を大きくすれば当然に遮蔽効果も向上していくが、同時に周波数に対する遮蔽レベルが安定する傾向を示している。これらの点を踏まえると、筐体の場合も膜厚を大きくすれば、周波数に対して安定した遮蔽効果が得られるものと推測される。

2.4 結 言

金属溶射膜筐体における一連の測定結果について要約すると次の通りである。

- 1) VCCI規格に沿った筐体の評価では、270~300MHz、および650~1000MHzではかなり高い遮蔽効果を示し、この傾向はKEC法による評価と一致した。
- 2) KEC法による評価では30~270MHz、および300~650MHzで大きい遮蔽効果が認められたが、VCCI規格に沿った筐体の評価では300~650MHzで若干評価が認められながらも、その他の周波数帯域では、殆ど効果がなかった。これら評価方法によって差が生じる点については、今後の研究で検討していきたい。
- 3) 周波数によって筐体の遮蔽効果にむらが生じたのは、溶射膜を現状よりも厚くしていれば安定した遮蔽効果が得られるものと推測される。

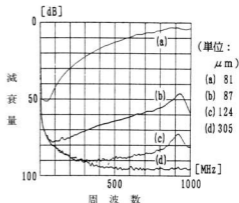


図16 亜鉛溶射膜の厚さの違いによる放射ノイズの遮蔽効果 (KEC法による)

文 献

- 1) 中塩, 日寺, 田尾, 池田, 山下, 藤田, 木峰: 広島県西部工技研究報告, No36(1993), 59-64
- 2) 仁田周一著: 電子機器のノイズ対策法オーム社
- 3) 中山結一, 久木元豊他: EMI対策はどこまで進んだか, 工業材料, 32(1984), 9

ハイビジョン対応画像処理専用 LSI の開発 (第 2 報)

馬場祥宏, 楡垣和生*, 宮野忠文, 打田澄雄, 佐野 誠

Development of Hi-Vision Image Processing LSI IP12000 (2nd Report)

BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo*, MIYANO Tadafumi, UCHIDA Sumio and SANO Makoto

Hi-vision is expected as a key technology to realize a high-speed and high-precision image processing system because Hi-vision can get a preciser picture than the current TV method.

We have developed Hi-vision image-processing LSI = IP12000 that extract image characteristics (area, center of gravity, width and angle of inertia equivalent ellipse) from 1920 x 1125 pixel image in 33 msec.

In IP12000 image characteristics extract functions, area, center of gravity and width are enable to max 4096 x 4096 pixel image and angle of inertia equivalent ellipse is enable to max 2048 x 2048 pixel image. So, IP12000 can be applied to a preciser image processing than Hi-vision method.

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ず, その実現には専用 LSI 化が不可欠である。

このような背景から, 昨年度, 筆者らはハイビジョン対応画像処理専用 LSI の機能設計・論理設計を行った^{1) 2)}。同 LSI は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, 慣性等価楕円傾き角の特徴量を 1/30 秒で抽出する特徴量抽出プロセッサである。

本年度はこれをうけて, 遅延シミュレーション, テストパターン設計, 電力設計などの詳細設計を行い, 12,000ゲートのゲートアレイとしてハイビジョン対応画像処理専用 LSI=IP12000 を開発した。

2 IP12000の概要とハードウェア演算機能

IP12000は, ハイビジョンモニタを構成するためのチップセットとは本質的に異なり, 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ものである。すなわち, 2値化されたハイビジョン信号を入力とし, 撮像された物体の面積, 重心, 幅, 慣性

等価楕円傾き角の特徴量を高速に抽出する特徴量抽出プロセッサである。

写真 1 に IP12000 の外観を, 表 1 に IP12000 の概要を示す。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。

最大の特長は, CPU を介することなくハイビジョ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, 全ての特徴量を抽出する機能にある。処理速度は 1/30 秒であり, ハ

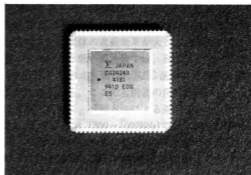


写真 1 画像処理専用 LSI, IP12000 の外観

*広島県先端技術共同研究センター

表1 IP12000の概要

プロセス	CMOS0.8 μ mシリコンゲート メタル2層配線
ゲート数	12,000ゲート
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 面積、幅、重心、傾き角の抽出
処理速度	1/30秒
パッケージ	PLCC 84ピン
外部端子	入力端子20ピン、出力端子24ピン 双方向端子12ピン、電源端子10ピン
電源電圧	DC+5.0V \pm 10%
動作周波数	30MHz
消費電力	484mW
使用温度範囲	0~60 $^{\circ}$ C
テストパターン	30,000パターン
故障検出率	95%

イビジョン画像のリアルタイム処理を実現している。

IP12000の特徴量抽出機能のうち、面積、重心、幅は12ビット座標値をサポートしており、最大で4096 \times 4096画素の画像について有効である。また、傾き角は11ビット座標サポートであり、最大で2048 \times 2048画素の画像について有効である。したがって、IP12000はハイビジョン方式(1920 \times 1125画素)よりもさらに高精度な画像処理にも応用可能である。

3 IP12000の端子機能

図1にIP12000の端子接続図を示す。

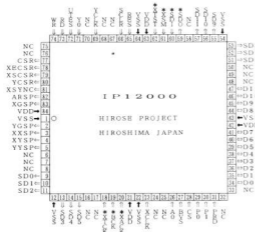


図1 IP12000の端子接続図

4 IP12000の内部レジスタの種類と機能

IP12000はCPUに接続する場合のIOアドレス空間を少なくするため、アドレスレジスタに書き込むアドレスにより、次にアクセスするデータレジスタを選択する方式を採用している。

内部データレジスタには表2に示す38種類があり、リード/ライト可のレジスタとリードオンリーのレジスタとに大別される。

表2 IP12000の内部レジスタの種類と機能

アドレス	機能	レジスタ名	用途	BITR/W
00	水平軸座標値	X	モニタ	12 RO
01	垂直軸座標値	Y	モニタ	12 RO
02	水平軸最小値	XMIN	結果	12 RO
03	水平軸最大値	XMAX	結果	12 RO
04	垂直軸最小値	YMIN	結果	12 RO
05	垂直軸最大値	YMAX	結果	24 RO
06,07	面積	ARL, ARH	結果	24 RO
08,09	水平軸重心	XGL, XGM	結果	36 RO
0A		XGH	結果	
0B,0C	垂直軸重心	YGL, YGM	結果	36 RO
0D		YGH	結果	
0E,0F	水平軸自乗	SXXB, SXXL	結果	44 RO
10,11	傾き角パラメータ	SXXH, SXXT	結果	
12,13	垂直軸自乗	SYXB, SYYL	結果	44 RO
14,15	傾き角パラメータ	SYXH, SYYT	結果	
16,17	水平軸 \times 垂直軸	SXYB, SXYL	結果	44 RO
18,19	傾き角パラメータ	SXYH, SXYT	結果	
1A,1B	水平軸自乗	XXL, XXH	モニタ	22 RO
1C,1D	垂直軸自乗	YYL, YYH	モニタ	22 RO
1E,1F	水平軸 \times 垂直軸	XYL, XYH	モニタ	22 RO
20	水平軸始点	XS	設定	12 R/W
21	水平軸終点	XE	設定	12 R/W
22	垂直軸始点	YS	設定	12 R/W
23	垂直軸終点	YE	設定	12 R/W
24	バックポーチ	BP	設定	12 R/W
25	外部同期トリガ	XT	設定	12 R/W

リード/ライト可のレジスタ(アドレス20h~25h)はIP12000の動作モードを指定するためのレジスタであり、計測範囲指定ウィンドウの始点XS、YS、終点XE、YE、バックポーチBPおよび外部同期トリガXTの6種類がある。動作モード指定のためのレジスタであるから、本来はライトオンリーが良いが、故障検出率向上と設定値のCPUからの読み出しを可

能とするためにリード/ライト可としている。

リードオンリーのレジスタは、計測結果出力用レジスタ（アドレス02h～19h）と水平軸、垂直軸座標値モニタ用レジスタ（アドレス00h～01h, 1Ah～1Fh）の2種類がある。

計測結果出力用レジスタは面積・重心・幅・傾き角の計測結果をCPUがIP12000から読み出すためのレジスタである。

モニタ用レジスタは故障検出率向上のため、リード機能を付加したものであり、通常の使い方で読み出すことはしない。

上記のレジスタ値から面積、重心を求めるためにCPU側で次の演算を行う。

$$AR=ARH*4096+ARL$$

$$XG=(XGH*4096*4096+XGM*4096+XGL)/AR$$

$$YG=(YGH*4096*4096+YGM*4096+YGL)/AR$$

また、慣性等価楕円の傾き角 θ を求めるには

$$SXX=SXXT*4096*4096*4096+SXXH*4096*4096+3SXXL*4096+SXXB$$

$$SYY=SYYT*4096*4096*4096+SYYH*4096*4096+3SYYL*4096+SYYB$$

$$SXY=SXYT*4096*4096*4096+SXYH*4096*4096+3SXYL*4096+SXYB$$

をあらかじめ計算し、

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2*SXY}{(SXX-SYY)}$$

の演算を行うことにより、傾き角 θ が得られる。

5 テストパターン設計と故障検出率

ゲートアレイ等のセミカスタムLSIの設計・開発においては、テストパターン設計が極めて重要である。テストパターン設計では、LSIの論理動作を確かめるだけでなく、全ての内部ゲートに故障を仮定し、その故障が存在した場合にこれをLSIの出力端子から検出可能であることが必要である。故障検出率は、故障検出という観点からテストパターンの品質を評価するための指標であり

$$\text{故障検出率} = \frac{\text{テストパターンで検出可能な故障数}}{\text{LSI内部に発生しうる全故障数}}$$

で計算される。この故障検出率が低い場合には、出荷時テストにおいて故障が検出されない可能性が大きくなり、不良品を除外することができなくなる。

LSIが使用される段階では、連続して何百時間も使用されることがあり得るので、テストパターンも長いほど実際に起こり得る使用状況に近いテストが可能になる。しかし、テストパターンが長いと出荷テスト時に使用する高価なLSIテストの占有時間が長くなりコストの上昇にはわかれる。従って、テストパターン設計では、限られた長さのテストパターンでLSI内部に発生し得る全故障をなるべく100%に近く検出することが求められる。

このためには、論理設計の段階からテストパターン設計を考慮した論理設計が不可欠となる。具体的には図2に示す多段カウンタの例のように、段間のキャリ

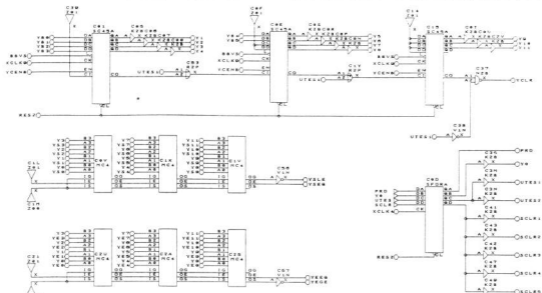


図2 テスタビリティを考慮した論理設計の例

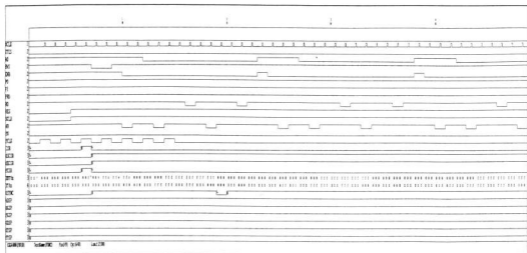


図3 IP12000のテストパターンの一部(50パターン)

伝搬経路にORゲートを挿入し、テストモード時には少ないクロック数でカウンタの全ビットが動作し得る構成にしたり、カウンタのクリア時に単純にゼロクリアするのではなく、フルカウントに近い値をロードし、数クロックでフルカウントからゼロへの変化を確認し得る回路構成とすることが必要である。また、故障検出の観点から重要な内部端子を使用段階では不要ではあっても、外部出力端子に接続しておくことも有効である。これらを総称してテストバリエーションを考慮した設計と呼ぶ。

図3にIP12000のテストパターンの一部(50パターン)を示す。IP12000では合計30,000パターンのテストパターンを用いて、故障検出率95%を達成している。

6 結 言

ハイビジョン方式に対応して、1920×1125画素構成の画像に対し面積、重心、幅、慣性等価楕円傾き角の特徴量を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年度行った機能設計・論理設計に基づき、遅延シミュレーション、テストパターン設計、電力設計などの詳細設計を行い、12,000ゲートのゲートアレイとして同LSIを実現した。

IP12000の特徴量抽出機能のうち面積、重心、幅は

最大4096×4096画素の画像について、また傾き角は最大2048×2048画素の画像について有効であり、ハイビジョン方式よりもさらに高精細度な画像処理にも応用できる。

平成6年度には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設計・開発を行い、成果普及を図る。

なお、本研究は平成5年度科学技術庁、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、楢垣、宮野、打田、武田
科学技術庁委託調査研究報告、(1993)、139-155
- 2) 馬場、楢垣、宮野、打田、武田
広島県西部工技研究報告、No.36(1993)、6-10
- 3) 馬場、楢垣、打田、武田
広島県西部工技研究報告、No.35(1992)、6-9
- 4) 馬場、楢垣、永山、坂元、南良
広島県西部工技研究報告、No.31(1988)、57-60
- 5) 打田、馬場、楢垣、永山
広島県西部工技研究報告、No.29(1986)、19-22

FA用ボードコンピュータの開発

打田澄雄, 馬場祥宏, 武田幹雄, 南良良治

Study on ASIC applications (2nd Report)

Development of a Compact and High Performance Computer for Factory Automation

UCHIDA Sumio, BABA Yoshihiro, TAKEDA Mikio and NARA Ryoji

We have developed a high performance computer for a factory automation with an ASIC (Application Specific Integrated Circuit) and an integrated micro-processor. This board is the same as a personal computer using 16bit CPU.

Therefore, most programs that are independent of the computer architecture run normally.

- (1) CPU : μ PD70216(10MHz)
- (2) MEMORY : RAM...1MB(Work and RAM DISK), ROM...256KB(BIOS and MS-DOS emulator)
- (3) I/O : Interrupt controllers, counter/timer, DMA controllers, a real time clock, LEDs, and switches
- (4) Interface : a printer interface and a serial interface

キーワード: ASIC, コンピュータ, MS-DOS, ネットワーク, FA

1 緒 言

工場内にはNC工作機械, 産業用ロボット, プログラマブルコントローラなど様々の工作機械やデータ処理装置が散在している。これらの機器には多くのコンピュータが使われている。しかし, コンピュータ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で標準化させ, 制御回路をASIC化し, 高性能な16ビットCPUを搭載したFA用ボードコンピュータを開発するとともに, ソフトの開発をパソコン上で行えるよう, パソコンOSの基本的なシステムコールをサポートした。また, 応用例として画像処理による製品検査への適用を図り, その有用性を確認した。

2 概 要

本ボードは高性能マイクロプロセッサ及びプログラマブルデバイスを使い, プログラムの実行, ファイルの入出力, 外部端末との通信機能等をボードサイズ(169.4×148.7mm)にまとめた高性能コンピュータである。図1に本ボードのブロック図を示す。

構成はマイクロプロセッサ部, メモリ部, リアルタイムクロック部(カレンダー・時計), シリアル通信部(RS232Cドライバ), プリントインタフェース部, 汎

用入出力部からなる。

マイクロプロセッサ部は, 高性能かつ高機能なCMOS16ビットマイクロプロセッサ μ PD70216(10MHz)を, リアルタイムクロック部には, バッテリバックアップしたMSM62X42を, メモリ部には, 1MBの疑似SRAMと256KBの高速PROMを, シリアル通信部には, RS232Cドライバ, プリントインタフェース部および汎用入出力部には, プログラマブルデバイスであるXC3042を用いた。

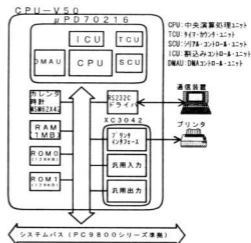


図1 ブロックダイアグラム

ソフトウェアの構成を図2に示す。プログラムの開発を容易かつ安価に行えるように、パソコンの開発および実行環境を利用できるシステム構成にした。

パソコンと本ボードとのハードウェア上の差異は基本入出力ソフト(BIOS)により隠蔽し、パソコンの標準OSともいえるMS-DOSの基本的なシステムコールをサポートすることにより、ハードウェアに依存するプログラムを除き、ほとんどのプログラムの実行が可能になっている。

写真1にボードコンピュータの外観を、図3にボード各部の名称を、表1に仕様を示す。

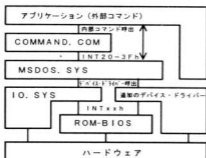


図2 ソフトウェア構成

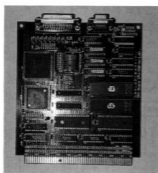


写真1 ボードコンピュータ

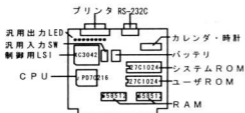


図3 ボードコンピュータの各部の名称

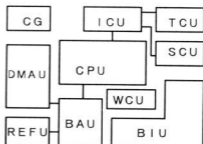
3 ハードウェア

3.1 CPU

本ボードにはビット処理、多倍長バククトBCD演算、高速乗除算などの命令セットを持つCPUに加え、従来、別LSIとして実現されていた数種の周辺機能を内蔵する高性能かつ多機能な16ビットマイクロプロセッサである μ PD70216(日本電気㈱)を採用した。内蔵している機能には、クロックジェネレータ、リフレッシュ・コントロール・ユニット、プログラマブル・ウェイト・コントロール・ユニット、タイマ/

表1 CPU-V50の仕様

項目	仕様
CPU	μ PD70216L10 (10MHz)
RAM	1MB (HM658512×2)
ROM	256KB (HN27C1024×2)
割り込み	8チャンネル(μ PD71059サブセット)
タイマ	3チャンネル(μ PD71054サブセット)
DMA	4チャンネル(μ PD71071サブセット)
プリンタ	セントロニクス準拠
シリアル	RS232C 1チャンネル
カレンダー・タイマ	MSM62X42BRS
マイクロコントローラ	LCA XC3042
標示器	LED×8
スイッチ	8点
基板サイズ	148.7×169.4mm
拡張バス	P C9801拡張仕様
電源	+5V 1.5A
OS	MS-DOS互換



CPU	: Central Processing Unit
BIU	: Bus Interface Unit
BAU	: Bus arbitration Unit
CG	: Clock Generator
REFU	: Refresh Control Unit
WCU	: Programmable Wait Control Unit
TCU	: Timer/Counter Unit
SCU	: Serial Control Unit
ICU	: Interrupt Control Unit
DMAU	: DMA Control Unit

図4 μ PD70216ブロック図

カウンタ・ユニット、シリアル・コントロール・ユニット、割込みコントロール・ユニット、DMA コントロール・ユニットがある。図4にCPUのブロック図を示す。

また、ソフトウェアはi8086（インテル）と互換性があり、既存の開発資源や、プログラムの流用が可能である。

3.2 メモリ及びI/O

メモリにはRAMに疑似SRAMであるHM658512(512K×8ビット)×2個を使い、640KBをワーク用に384KBをRAMディスクとし、ROMには高速タイプのPROM,HN27C1024(64K×16ビット)×2個を使い、ブートプログラム及びBIOS、その他プログラム・データを格納するROMディスクとした。

本CPUのメモリ空間は1MBであるが、番地00000H～003FFHは割り込みベクタ用、FFFF0H～はリセット時のプログラム開始番地等とあらかじめ用途が決まっている。また、パソコン等で開発したプログラムを実行させることを考慮し、図5に示すメモリ構成とした。

またI/OはμPD70216の内蔵ペリフェラル、リアルタイムクロック、シリアルインタフェース、プリンタインタフェース、スイッチ、LED、バンクレジスタがあり、図6にI/Oマップを示す。

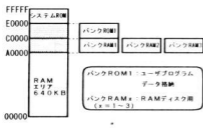


図5 メモリマップ

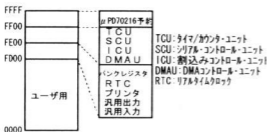


図6 I/Oマップ

3.3 リアルタイムクロック

リアルタイムクロックにはカレンダー・タイマ回路と32.768KHzの水晶発振子が内蔵されたMSM62X42(沖電気)をバッテリーバックアップして組み込んだ。

3.4 シリアルインタフェース

CPUに内蔵されたシリアル・コントロール・ユニットへ、RS232C電圧レベルの信号変換回路を付加してシリアルインタフェースとした。ボーレートはタイマ/カウンタ・ユニットの設定で、キャラクタ長等はシリアル・コントロール・ユニットの設定で行う。また受信時のデータ欠落を防ぐため、割り込み処理を行っている。コネクタ及び信号を図7に示す。

9ピンのSubコネクタ (オス)



ピン番号	信号名	ピン番号	信号名
1	CD	6	DSR
3	RD	7	RTS
3	TD	8	CTS
4	DR	9	CR1
5	GND		

図7 シリアルインタフェースコネクタ

3.5 プリンタインタフェース

プリンタ等の外部機器にデータを送り出すインタフェースとしてプログラマブルゲートアレイ(XC3042)中に組み込んだ。図8にコネクタ及び信号を示す。

25ピンのSubコネクタ (メス)



ピン番号	信号名	ピン番号	信号名
1	ストロープ	14	オート・フィード
2	D0	15	エラー
3	D1	16	INIT
4	D2	17	セレクト・イン
5	D3	18	GND
6	D4	19	GND
7	D5	20	GND
8	D6	21	GND
9	D7	22	GND
10	ACK	23	GND
11	BUSY	24	GND
12	断なし検出	25	GND
13	セレクト		

図8 パラレルインタフェースコネクタ

3.6 その他のI/O

本ボードの動作条件の設定用にディップスイッチを、動作確認等のためにLEDを実装し、XC3042中に組み込んだ。

4 ソフトウェア

4.1 割込みベクタ

表2に示すように86系マイクロプロセッサシステム

では通常のハードウェア割り込みの他に、サブルーチンコールのためにソフトウェア割り込みを用いている。ベクタ番号00H~07Hは、主としてCPU関連のハードウェア割り込み、08H~0FHはプリンタやRS 232Cなど、周辺入出力デバイスのハードウェア割り込み、10H~1FHはBIOSコールのためのソフトウェア割り込み、20H~3FHはDOS用のソフトウェア割り込みとなっている。

BIOSコールはソフトウェア割り込み(INT命令)によって行い、パラメータの受け渡しはすべてレジスタを介して行う。表3にDOS用のシステムコールの一部を示す。システムコールを実行するには

- (1) AHレジスタに表3の機能番号を、
- (2) そのほかのレジスタに必要なパラメータを設定した後、
- (3) ソフトウェア割り込み

INT 21H

を実行する。

4.2 基本入出力プログラム

基本入出力プログラム(ROM BIOS)は次の4つのブロックから構成されている。

- (1) 初期化ルーチン
- (2) マイクロプロセッサのトラップ処理ルーチン

表2 割り込みベクタの一覧表

割り込みベクタ	機 能	種 類
00H	除算エラー	CPU関連 割り込み
01H	シングル・ステップ	
02H	NMI	
03H		
04H	オーバー・フロー	
05H		
06H		
07H		
08H	システム・タイマ割り込み(#0)	CPU内蔵 割り込みコ ントローラ 用割り込み
09H	シリアル入出力割り込み	
0AH	タイマ割り込み(#1)/INTP2	
0BH	INTP3	
0CH	INTP4	
0DH	INTP5	
0EH	INTP6	
0FH	INTP7	
10H	ビデオ(シリアル出力)	
11H	機器構成情報	
12H	メモリ・サイズ	BIOS コール用 割り込み
13H		
14H		
15H		
16H	キーボード(シリアル入力)	
17H	プリンタ	
18H	ブートストラップ・ローダ	
19H	ブートストラップ・ローダ	
1AH	システム・タイマ/リアルタイム・クロック	
1BH	キーボード・ブ레이크	
1CH		
1DH		
1EH		
1FH		
20~3FH	DOSファンクション	ソフトウエ ア割り込み
40~7FH	ユーザ用	
80H	システム予約	
81~FFH	ユーザ用	

- (3) ハードウェア割り込み処理ルーチン
- (4) パソコンのROM BIOSに対応するソフトウェア割り込みルーチン

初期化ルーチンは電源投入時にシステムの初期化を行うプログラムで、CPU及び周辺I/O装置の初期化、メモリのテスト、割り込みベクタの設定などを行う。マイクロプロセッサのトラップ処理ルーチンはベクタ割り込み00H~04Hに対応する除算エラーやNMI割り込みなどCPUのハードウェア割り込みを設定する。ハードウェア割り込み処理ルーチンはベクタ割り込み08H~0FHに対応するタイマやシリアル入出力、外部からのハードウェア割り込み等の設定を行う。最後のROM BIOS対応ソフトウェア割り込みはベクタ割り込み10H~1FHに対応する画面、キーボード、プリンタ等の設定を行う。

4.3 処理フロー

電源投入時からの処理のフローを図9に示す。電源が投入されると命令の実行はFFFF0H番地から実行される。まず、レジスタ設定ではスタックやCPUのレジスタを初期化する。続くμPD70216初期化では内蔵ペリフェラルのコントロールレジスタを初期化した後、割り込みコントロール・ユニット、DMAコントロール・ユニット、タイマ/カウンタ・ユニット、シリアル・コントロール・ユニット等の初期化を行う。周辺I/Oの初期化ではカレンダー・タイマ等の周辺機器の初期化を行う。メモリ初期化ではメモリの実装状況、メモリのテストを行う。ベクタ初期化ではハードウェア割り込み、ソフトウェア割り込みで使われるベクタ領域に処理ルーチンのアドレスを設定する。一連の設定が終了するとユーザのプログラムを実行する。

表3 DOSのシステムコール一覧(一部)

番号	機 能
00H	プログラムの終了
01H	エコー付きキーボード入力
02H	文字の画面出力
03H	補助入力
04H	補助出力
05H	文字のプリンタ出力
06H	直接コンソール入出力
07H	直接コンソール入力
08H	エコーなしのキーボード入力
09H	文字列の出力
0AH	バッファ付きキーボード入力
0BH	キーボード・ステータスの検査
0CH	バッファを空にしてキーボード入力
0DH	ディスクのリセット
0EH	ディスクの選択
0FH	ファイルのオープン
10H	ファイルのクローズ

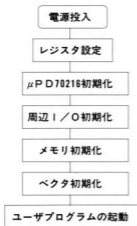


図9 処理フロー

5 開発環境

本ボードの開発に際し、LCAの設計にはザイリックス社のXDM(Xilinx Design Manager)を、電子回路の設計はOrCAD L.P.社のOrCADを使用した。またPLD(Programable Logic Device)のプログラムには(株)アバールデータのPECKER30を使用した。ソフトウェアはデバイスドライバー作成時には主にMASMを、アプリケーション作成時にはMS-C(いずれもMicrosoft社)を用いた。

6 ボードコンピュータの応用

本ボードを用い、複数のノード間で情報を授受し、分散制御を行うシステムを開発した。構成を図10に、外観を写真2に示す。カメラから画像を入力した後、物体を識別する画像処理システム、その情報を管理する管理システムをネットワークを介して連結、運転する。

6.1 画像処理システム

画像を入力するカメラ、画像を記録するフレームメモリ、画像処理を行うパソコンから構成される。

管理システムからの指示に従い、カメラから入力した画像をいったんフレームメモリに保存した後に、雑音除去、画像強調、2値化などの前処理を施す。次にラベリング、特徴抽出などにより物体認識を行う。結果は管理システムに報告する。

6.2 管理システム

管理システムは画像処理システムへ作業指示を行い、その結果を受け取り画面に表示する。

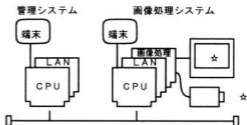


図10 分散制御システム構成図



写真2 分散制御システムの外観

7 結 言

高機能CPUの採用と制御回路のASIC化により小型、低消費電力のボードコンピュータを開発した。標準バスの採用やパソコンによる開発が可能のため多目的に安価な利用が可能になった。

また、本ボードを使って画像処理検査へ適用した結果、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) NEC: V40, V50 16/8, 16ビット・マイクロプロセッサハードウェア編 (1993)
- 2) NEC: μPD70216 16ビット・マイクロプロセッサデータ・シート (1991)
- 3) Thom Hogan: The Programmer's PC Source book, 翔泳社, (1990)
- 4) アスキー出版局テックライト編: PC9801シリーズテクニカルデータブック, アスキー, (1990)
- 5) NEC: MS-DOS 3.3C プログラマーズリファレンスマニュアル (1990)

クライオラジオメータ方式による 微弱レーザパワーの校正システムの開発*

武田幹雄, 井上武海**, 山村恭平**

A Cryogenic Radiometer for Precise Measurement of Weak Laser Power

TAKEDA Mikio, INOUE Takemi and YAMAMURA Kyohei

Today, even weaker laser power measurement is increasingly required, especially for fiber optics and sensing technologies, and sensitive measurement techniques are desirable. Here, we have fabricated and tested a cryogenic calorimeter working near liquid helium temperature.

As a result, the scatter of the measured values become $\pm 0.5 \sim 2\text{ nW}$ for measurement repeated five times.

キーワード: クライオシュタット, レーザパワー, 校正

1 緒 言

近年, 光通信をはじめ微弱レーザ技術利用の増大に伴い, 光測定器も一層高感度化, 高精度化してきたが, 光ファイバ技術やセンシング技術等の進展により, より微弱な光測定が要求されるようになった。今日では, 最も高精度のもので mW レベルで $\pm 0.005\%$ の不確かさを得たとされているが^{1), 2)}, μW レベルのレーザパワー精密測定を実現するため, 測定原理を液体ヘリウム温度におけるラジオメトリに基づいたものとし, 測定装置を開発した。受光部に高感度の GaAlAs クライオダイオードを温度センサとするツイン構造を有したラジオメータと, 校正用真空キャビティからなるレーザパワー校正システムを製作し, 実験, 検討を行ったので報告する。

2 システム構成

2.1 クライオシュタット

極低温ラジオメトリをレーザパワー測定に応用するメリットとしては, ①液体ヘリウム温度 (4.2 K) に近い極低温では, 熱型検出器の温度ノイズ, ジョンソンノイズ (熱雑音) が非常に小さい。②金属の熱拡散度 (熱伝導度/比熱) が常温と比べ数千倍になることでレーザパワー受光器上の光パワーと既知の置換パワーとの等価性が優れ, また応答速度が早い。③校正用の置換パワーを供給, 測定するリード線の大部分を超伝導とすることができ, 測定誤差を減少できる等である。この極低温環境を実現するためのクライオシュタットを図 1 に示す。これは直径 20 cm , 高さ 79 cm のステンレス

製の円柱容器で, 内部は同心円状に 2 つの槽があり, 容器全体を $4 \times 10^{-4}\text{ Pa}$ の真空度で, 外側槽に液体窒素 10 リットル , 内側槽に液体ヘリウム 5 リットル を充填することにより, 液体ヘリウム槽底部の受光部を絶対温度で 4.2 K (-268.95°C) にすることができる。

レーザビームは, 容器上部の入射窓より液体ヘリウム槽の中心を貫通する, 内径 8 mm のステンレスパイプを通して, 測定部の受光器まで導入される。

2.2 レーザ光受光部

これまで, Ge 抵抗素子, Si クライオダイオード等を温度センサとする, DC 置換方式のクライオラジオメータを製作しているが, その結果, 温度センサの S/N 及び周囲温度変動等が高分解能化において重要

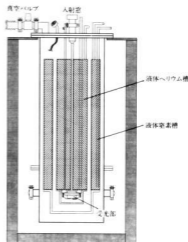


図 1 クライオシュタット

*平成 6 年電気学会全国大会で発表

**電子技術総合研究所

であることが分かった^{20,21}。センサのノイズが同等であれば、感度は高い方が高分解能が得られる。そこで、温度センサとして最も感度が高い GaAlAs クライオダイオード(GaAlAs CD)を採用し、受光部構造として周囲温度変動補償のため、2個の受光器を対照的に配置した差動型のツイン構造として製作した。

受光部の構造を図2に示す。厚さ0.1mmの真鍮板の片面が受光面になっており、受光面は直径5mmの低反射率の Ni-P 吸収面(全反射率0.2%以下)になっている。この反対側に、温度制御用チップヒータを取り付け、更に GaAlAs ダイオードセンサを内蔵したアルミカバーを直径1.2mmのネジで4カ所固定してある。

全く同じ構造の受光器 2個を黒化部が外となるようにして、周囲から熱シールドすると共に、温度安定化の機能を持つ温度安定化ジャケットから保持されたアルミリングにφ20μmのステンレス線 4本で固定した。GaAlAs CDの感度は、10K以下で130mV/K以上である。

2.3 測定系

測定系ブロック図を図3に示す。受光器用センサ出力はナノボルトアンプ(N5)で増幅し、メインアンプ(CCA-3)に入力した。メインアンプゲインは1/10とし、メインアンプは加算器動作とし、制御量をオフセットとして印加しフィードバック制御量を減少して制御特性(偏差, 安定性, 応答性)の改善を図っている。制御される DVM, 精密定電流源, 光源用シャッター, 出力安定化装置等は全て GP-IB でコンピュータにつながれ、プログラムにより自動制御・計測を行う。

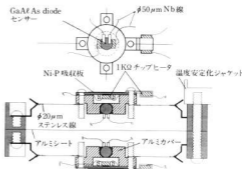


図2 受光器構造

制御プログラムは予備測定と本測定とがあり、本測定に使う置換パワーを予備測定により得る。センサ出力が微小なため、クライオシャットと測定機器のコネクタ部は熱起電力により周囲の影響を大きく受ける。そのため、コネクタ部を熱シールドし、センサ用電源も精密定電流源を製作した。その他、ノイズ対策として、ジャケット温度制御およびナノボルトアンプも電池駆動とした。

2.4 校正用キャビティ

校正用キャビティを図4に示す。校正用の真空キャビティは、校正時の入射による反射と損失の影響を原理的に取り除くために用いる。すなわち、入射窓を通過したレーザーパワーの測定は真空中で行い、キャビティとクライオスタートをバルブで遮断した後、空気を導入しキャビティ内で被校正パワーメータを挿入

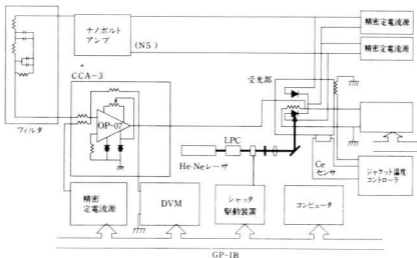


図3 測定系ブロック図

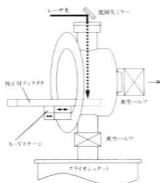


図4 校正用キャビティ

し、同一レーザービームに対して測定する。

キャビティの窓は、熔融石英の2mm厚の平ガラスを使用した。

3 測 定

光源に He-Ne レーザを用いて測定した。出力を±0.01%/10分に安定化し、ND フィルタ及びレンズによりほぼ1 μW、直径0.5mmのビームとした。測定部のジャケット温度はジャケット温度コントローラにより、 $6 \pm 2 \times 10^{-4}$ %に安定化した。

2個の受光器の GaAlAs CD に別々の精密電流源から一定の電流を流し、これらの出力を逆極性でプリアンプに印加し、測定用受光器のヒータに一定の電力を加え、応答から DC パワーに対する感度を測定した。

センサへの印加電圧は、4.2V、電流は5 μAである。これから、受光器の感度として4400V/Wが得られた。これは、以前の Ge 抵抗センサの90倍、Si ダイオードセンサの1.5倍に相当する⁴⁾。

あらかじめ、この出力をモニタしてビームのアライメントを行った。その後、プリアンプ出力を増幅器に通じてヒータへフィードバックすることにより、受光器温度を一定に保つように制御して、1 μWレベルのレーザーパワーの測定を行った。

5回の測定の繰り返し測定の平均から1データを得、これを多数回繰り返し続ければ、0.5~2nWであった。

次に、キャビティ部の真空を破り、被校正パワーメータの Si フォトダイオードセンサを挿入し、値付けを行った。その結果を表1に示す。ここで、Si センサ自体の感度の位置による偏差が、±0.3%程度(±1mmの範囲)であるが、その範囲で一致していることが分かる。

表1 校正值

置換測定パワー (μW)	パワーメータ読値 (μW)	比
0.97579	0.9794	0.9975
0.97684		
0.97809		
平均値 0.9769		

表2 時定数

DC 入力時の γdc	レーザー入力時の γl	γdc/γl
31.90sec	31.94sec	0.9987

レーザーパワーと置換 DC パワーの等価性を調べるため、測定用受光器の吸収側面に付けた微小ヒータに一定のパワー Ph2 をレーザー入力に代えて印加し、繰り返し測定を行ったが、等温制御に必要な測定用受光器のパワー Ph1 との比は、Ph2/Ph1 = 1.018となり、制御用ヒータの方が効率が低いことが分かった。

一方、受光器が一对の熱容量と熱抵抗からなり、熱容量が一定とすればレーザーと DC に対する感度は、その熱抵抗に比例すると考えられる。それゆえ、両者の時定数の違いから等価性が評価できると考えられる。

そこで、DC パワーとレーザーパワーを印加して時定数の精密測定を行った。その立ち上がり時の特性から、ドリフトなどを補正して、5回の測定データに最小乗法を適用して表2の時定数を求めた。これら、等価性に基づく誤差は、0.2%程度と考えられる。

4 結 言

高感度の GaAlAs CD を温度センサとしてツイン構造の受光器を持つクライオラジオメータと真空キャビティを付加した微弱レーザーパワー校正システムを開発し、測定実験を行った。この結果、測定のばらつきとして、±0.5~2nWが得られた。レーザーパワーと DC の等価性に基づく誤差は、0.2%程度と推定できた。

本研究は、平成5年度研究員国内留学研修において、電子技術総合研究所で行ったものである。

文 献

- 1) J.E.Martin et al. : Metrologia, **21** (1985) 147-155
- 2) P.V.Foukal et al. : Applied Optics, **29** (1990) 7, 988-993
- 3) T.Inoue, K.Yamamura : Sensors and Materials, **4** (1993) 4, 218-228
- 4) 井上武海, 山村恭平 : 電気学会電子・情報・システム部門大会要旨集, B-2-5, (1993)

新音響計測開放試験室の仕様について

吉野信行, 中塩武之, 日寺 巖, 式田雄二*

Specifications of a New Acoustical Measurement Laboratory

YOSHINO Nobuyuki, NAKASHIO Takeyuki, HIDERA Iwao and SIKIDA Yuji

In recent years, the social demands for an environmental amenity such as a tender and affluent environmental creation on the face of the earth have rapidly increased, because of the warmth phenomena in nature, pollutions of air, water and industrial abolition materials.

For acoustical environments such as the quarters in the resident, office and industry, it is very important theme to come to grips with the human's living improvement by means of sound-amenity or sound-scape, that is to say, quality sound control for noise pollution.

From these points of view, a new acoustical measurement laboratory which have an anechoic room and two reverberation rooms was constructed for the purpose of acoustical improvements in actual human's living environments such as the quarters in the resident, office and industry.

This paper describes the experimental results such as characteristics of absorption in the anechoic room, reverberation times, deviations of sound pressure level distribution in the reverberent rooms, back ground noise in each rooms and noise reduction among each rooms and so on.

The experimental results obtained are in good agreement with pre-design values for each rooms.

キーワード: サウンドアメニティ, サウンドスケープ, 無響室, 残響室

1 緒 言

1970年以来国際的に始まったアースデイに代表されるように、民族・国籍・思想等を越えて、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化のアピールが、近年、ますます強くなってきた。音環境においても、我々が生活の場で遭遇する住宅内、自動車内、オフィス内、工場の作業所、交通環境等に関する従来の騒音・振動対策に加え質的な生活環境改善への取り組み“サウンドアメニティ化、サウンドスケープ化”が重要な課題である。

音響計測開放試験室の設置は、このような背景を踏まえ、家電、自動車、一般機械部品の音源対策、居住等に関する音環境のアメニティ化を目的として設置したものである。音響試験の内容としては、各種製品の音源対策・測定機器の校正（無響室）、パネルその他各種構造体からの音響放射試験・遮音試験（無響室-第1残響室）、音響材料の透過損失（第1残響室-第2残響室：垂直・斜め入射・ランダム入射）・吸音率（第1,2残響室）および床衝撃音（第2残響室）等があり、音響基礎特性に関する殆どの試験に対応できる。本施設施工後無響室の暗騒音、吸音特性（逆2乗特性）、

第1・第2の残響時間特性、音圧分布の偏差等を測定した結果、事前設計の推定値より良好な音響特性が得られたので、ここに本施設の仕様を紹介する。

2 施設の規模

本施設は、平成5年4月竣工、無響室1、残響室2、測定室1、機械室1を備えた鉄筋コンクリート(RC)造平屋建て、建築面積約110m²の規模である。図1(a)、図1(b)に音響計測開放試験室の平面図、断面図を示し、各試験室の規模を表1に示す。

3 施設の仕様

本施設は、4つの構造体により構成されている。これら4つの構造体間は100mm厚の空気層により振動的に隔離されており、その空気層端部はいずれも100mm角の防振ゴムパッドでエアークラップされている。4つの構造体とは、無響室、第1残響室、第2残響室、測定室・機械室のことをいう。施設の壁は全て300mm厚のコンクリートで造られており、外部騒音を十分遮断し得る構造である。以下無響室および残響室の仕様、音響特性の詳細について述べる。

3.1 無響室

*物理研

表1 音響計測開放試験室の規模

	無響室	第1残響室	第2残響室
床面積(m ²)	24.4	25.9(内のみ)	25.8(内のみ)
室表面積(m ²)		192.5	199.5
容積(m ³)	3.5m×1.0m×4.5m	180.3	182.9
形態	直方体	不整形7面体	不整形7面体
内装	450mm吸音機	プラスチック塗り	プラスチック塗り

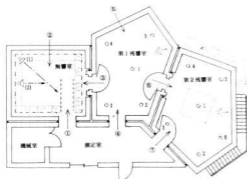
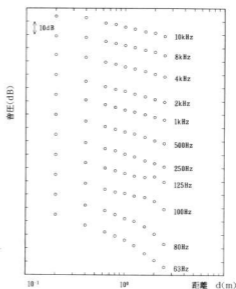


図2 音響試験レイアウト

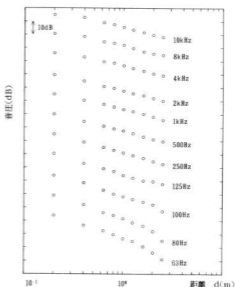
無響室内部は、450mm長の吸音機により内装され、内部構造は外部コンクリート構造から防振ゴム基礎により十分振動絶縁されている。無響室内部は、定温・定湿に保ちながら試験が行えるよう、天井部分吸音機間スリットにより空調エアーを吹き出し、床部分吸音機間スリットにより空調リターンを行っている。第1残響室との間には、1m×2mの試験材料取り付け開口部(防音屏併設)があり、吸音機は1.8m×2.5mにわたり取り外し可能となっている。無響室内進音性能として暗騒音は、22dB(A)以下、吸音性能として逆2乗特性は、図2に示すように無響室の(a)長辺方向および(b)対角線方向で距離0.2mから2.6mの範囲および周波数63Hzから10kHzで測定、図3にその特性を示す。高域周波数10kHzから4kHzでは、0.2mでかなり誤差がある。これらの理由としては、近距離において波長に関し音源が面音源とみなされるための誤差と推定される。低域周波数160Hz以下においては、音源距離1m以上でかなりの誤差が見られるが、これらの理由としては、吸音機の長さ(450mm、カットオフ周波数188Hz)の影響によるものと推定される。

3.2 第1残響室

室容積は、180.3m³を有し、ISO国際規格(180m³以上)を満足している。無響室および第1残響室の間には、1m×2mの防音屏が設置されており、これらの防音屏により、本残響室は単独で使用も可能、もちろん隣室との結合による使用法は本来的姿である。1壁面



(a)長辺方向



(b)対角線方向

図3 無響室の吸音特性

には吸音材料取り付け用インサートを多数用意、天井面には拡散板用フックが設置されている。室内の暗騒音は24dB(A)、残響時間に関しては、図2に示すように5点(壁面より内側1m、床面より高さ1.2m)で測定、表2に示すとおり Sabineの理論式²⁾で示される値よりかなり良い特性を示している。

表2 第1残響室の残響時間(Sabineによる理論値と実測値の比較)

中心周波数(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
実測値(sec)	25.8	23.9	15.8	11.8	9.1	5.6
理論値(sec)	14.78	14.78	7.38	7.38	7.38	4.92

音圧分布偏差については、オクターブバンド周波数250Hzから4kHzで ± 1.0 (dB)以内、具体的には、図2に示すように残響時間測定と同じ位置で各壁面内の5点、高さは床面から1.2m, 3m, 4.95mの合計15点について測定した。結果を表3に示す。

表3 第1残響室の音圧分布偏差

中心周波数(Hz)	250	500	1000	2000	4000	
偏差(dB)	最小	-0.7	-0.5	-0.4	-0.8	-0.8
	最大	+0.8	+1.0	+0.6	+0.2	+0.7

3.3 第2残響室

室容積は、182.9 m^3 を有し、第1残響室との間には、1m \times 2mの遮音材料取り付け用開口部が設けられている。1壁面に吸音材料取り付け用インサートを用意、天井面には、拡散板用フックを多数設置している。本残響室の特徴として、天井面には床衝撃音の試験をするための1.8m \times 1.8mの開口部を設けており、通常は300mm厚のコンクリート板と鉄板からなる天井蓋により外部騒音対策が十分なされている。室内の暗騒音は25dB(A)、残響時間に関しては、図2に示すように6点(壁面より内側1m、床面より1.2mの高さ)で測定、表2に示すとおりSabineの理論式⁷⁾で示される値よりかなり良い特性を示している。

表4 第2残響室の残響時間(Sabineによる理論値と実測値の比較)

中心周波数(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
実測値(ses)	15.9	17.2	12.3	10.4	8.2	5.0
理論値(ses)	14.76	14.76	7.38	7.38	7.38	4.92

音圧分布偏差については、オクターブバンド周波数250Hzから4kHzで ± 1.0 (dB)以内、具体的には、図2に示すように残響時間測定と同じ位置で各壁面内6点、高さは床面から1.2m, 3m, 4.95mの合計18点に

ついて測定した。結果を表5に示すが、かなり等音圧

表5 第2残響室の音圧分布偏差

中心周波数(Hz)	250	500	1000	2000	4000	
偏差(dB)	最小	-0.5	-0.5	-0.7	-0.5	-0.5
	最大	+0.5	+0.5	+0.3	+0.5	+0.5

になっていることが確認できる。

3.4 各試験室間の遮音性能特性

各試験室間の遮音性能に関しては図2に示すように、①測定室—無響室、②屋外—無響室、③第1残響室—無響室、④測定室—第1残響室、⑤屋外—第1残響室、⑥第1残響室—第2残響室、⑦測定室—第2残響室間(前者は音源側、後者は受音側)の遮音性能について測定した。表6にその結果(具体的には、1オクターブバンド中心周波数250Hzから4kHzで測定しているが、ここではオールパスの値を表示)を示す。

表6 各試験室間の遮音性能特性

場所	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
遮音電dB(A)	75	—	73	33	37	47	39

※—:測定不能

4 結 言

本音響計測開放試験室は、汎用的な音響基礎試験は殆ど可能であり、残響室の容積、形状、残響時間等はJIS規格はもちろんISO規格を満足しているが、試料取り付け開口の寸法(10 m^2)については、2 m^2 であり規格を満足していない。この理由としては、県内の工場で製作され得る吸音材、遮音材等の試料は、2 m^2 が限度であることを確認した上で試料取り付け開口を2 m^2 にしたことに留意の必要がある。今後は、本施設の有効利用として産・学・官連携のもと住居・オフィス・工場環境等の音響アメンティに関する研究を推進したい。

終わりに、本音響計測開放試験室の設計から竣工に至るまで終始ご指導頂いた近畿大学工学部太田光雄教授および富山一達教授に深謝の意を表します。

文 献

- 1) 日本騒音制御工学会編、音とアメンティ(序)、1992
- 2) 前川純一、建築音響、共立出版、1968、P33

平成6年8月31日 印刷

平成6年8月31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 内線

FAX (0823) 74-1131

印刷所 株式会社中本本店

〒730 広島市中区東白島町13-15

TEL (082) 221-9181