

広島県立西部工業技術センター研究報告

No. 41

目

次

September 1998

抄 録

一 報 文 一

1	in situ 水素吸蔵合金薄膜作成評価装置による Mg および Pd 薄膜の作成	梶岡 秀, 樋口浩一, 間山清和	1
2	放電加工によるマイクロマシニング技術の開発	山下弘之, 池田哲宏, 門 裕史	5
3	反応性イオンエッチング (RIE) による加工技術の検討	織裡典生, 間山清和	9
4	品質工学によるシリコン酸化膜製造条件の最適化	間山清和, 山下弘之, 織裡典生	13
5	音響・振動情報を用いた音環境計測システムの開発	吉野信行, 田尾博幸, 丸山信行, 野地英治, 長谷川浩治	17
6	製品形状入力システムの開発	坂元康泰, 佐々木憲吾, 平田敏明, 立石哲也, 門 裕史, 野地英治	21
7	光造形透明樹脂モデルを活用した流れの可視化による製品開発	立石哲也, 坂元康泰, 佐々木憲吾, 門 裕史	25
8	空間磁場自動計測可視化システムの開発	田尾博幸, 佐々木憲吾, 中平 宏	29
9	マルチメディアを活用した仮想現実感システムの開発	打田直雄, 楡沼和生, 村河亮利, 中塩武之	33
10	インテリジェントネットワークを用いた多者通話接続の検討	村河亮利, 大槻英樹, 吉村一成	37
11	マグネシウム合金複合材料のテコソキャスト成形技術の開発	藤井敏男, 府山伸行, 森下勇樹, 藤本宗之	41
12	ポリプロピレン/ポリオレフィン樹脂ブレンドの相溶性と物性	大槻俊彦, 下原伊智朗, 関 守雄, 藤本宗之	45
13	ポリスチレン/ポリエチレンテフタレートブレンドの機械的性質	下原伊智朗, 大槻俊彦, 関 守雄, 藤本宗之	49
14	海域汚染物質のモニタリング装置の開発 (第3報)	新波信雄, 渡部英雄, 丸下清志, 倉本恵治, 吉川 恵, 田中裕一郎, 水江安次郎, 山岡和則, 高田昭民	53
15	高効率淡水化技術の開発	本多正英, 新波信雄, 倉本恵治, 丸下清志, 畑 徳宣, 渡部英雄	57
16	機械制御用 FPG A の設計技術の開発	馬場祥宏, 松永尚徳, 高橋伸男, 川上 聡, 中塩武之	61
17	光造形技術の精密鑄造品・金型への応用	門 裕史, 原 信彦, 吉村一成, 中下和俊	65
18	放電焼結法による材料開発	筒本隆博, 新田 明, 砂本健市, 菊池 光	69

BULLETIN
of The
**WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE**

September 1998

Vol. 41

Contents

-Originals-

- | | | |
|----|---|----|
| 1 | Mg and Pd Films prepared by Magnetron Sputtering Enhanced with an Inductively Coupled RF Plasma
KAJIOKA Hideshi, HIGUCHI Koichi and TOIYAMA Kiyokazu | 1 |
| 2 | Development of 3D Micro-machining Technology by Electric Discharge Machining (EDM)
YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi | 5 |
| 3 | Study on Micromachining by Reactive Ion Etching
NAWACHI Norio and TOIYAMA Kiyokazu | 9 |
| 4 | Optimization for Thermal Oxidation of Silicon by Applying the Method of Quality Engineering
TOIYAMA Kiyokazu, YAMASHITA Hiroyuki and NAWACHI Norio | 13 |
| 5 | Development of Sound Environmental Measurement System Using Sound · Vibration Intensity
YOSHINO Nobuyuki, TAO Hiroyuki, KARIYAMA Nobuyuki, NOJI Hideharu
and HASEGAWA Koji | 17 |
| 6 | Development of Shape Input System from a Master Model to CAD Models
SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo, HIRATA Toshiaki, TATEISHI Tetsuya,
KADO Tadashi and NOJI Hideharu | 21 |
| 7 | Product Development Research Depending on the Fluid Visualization to Apply Stereolithography Model and
3-D CAD
TATEISHI Tetsuya, SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo and KADO Tadashi | 25 |
| 8 | Development of an Automatic Measurement and Visualization System for Magnetic Field
TAO Hiroyuki, SASAKI Kengo and NAKAHIRA Hiroshi | 29 |
| 9 | Development of Virtual Reality System for Remote Control
UCHIDA Sumio, HIGAKI Kazuo, MURAKAWA Akitoshi and NAKASHIO Takeyuki | 33 |
| 10 | Study of Teleconference over Intelligent Network
MURAKAWA Akitoshi, OTUKI Hideki and YOSHIMURA Kazunari | 37 |
| 11 | Microstructure and Properties of Semi-Solid Magnesium Alloy Composites Formed by Squeeze Cast Process
FUJII Toshio, FUYAMA Nobuyuki, MORISHITA Yuki and FUJIMOTO Muneyuki | 41 |
| 12 | Mechanical Properties and Compatibility of Polypropylene/Polyolefin Blends
OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro, SEKI Morio and FUJIMOTO Muneyuki | 45 |
| 13 | Mechanical Properties on Polymer Blends of Polystyrene and Polyethylene Terephthalate
SHIMOHARA Ichiro, OHASHI Toshihiko, SEKI Morio and FUJIMOTO Muneyuki | 49 |

14	Development of Monitoring Apparatus that Monitors of the Sea Pollution (3rd Report)	53
	SHIBA Nobuo, WATANABE Hideo, MARUSHITA Kiyoshi, KURAMOTO Yoshiharu, KIKKAWA Megumi, TANAKA Yuitiro, MIZUE Yasujiro, YAMAOKA Kazunori and TAKATA Norimi	
15	Development of High Efficient Seawater Desalination Technology	57
	HONDA Masahide, SHIBA Nobuo, KURAMOTO Yoshiharu, MARUSHITA Kiyoshi, HATA Noriyoshi and WATANABE Hideo	
16	FPGA Design for Machine Control Equipment using Verilog-HDL	61
	BABA Yoshihiro, MATSUNAGA Hisanori, TAKAHASHI Nobuo, KAWAKAMI Satoshi and NAKASHIO Takeyuki	
17	Application of Rapid Prototyping to Precision Casting	65
	KADO Tadashi, HARA Nobuhiko, YOSHIMURA Kazuhiko and NAKASHITA Kazutoshi	
18	Development of High-Performance-Functional Materials and Process using Spark Sintering	69
	TSUTSUMOTO Takahiro, NITTA Akira, SUNAMOTO Kenichi and KIKUCHI Hikari	

Published by

WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

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

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

Hiroshima, 737-0004 JAPAN

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.41 1998)

環境アメニティに関する研究 (第4報) 音響・振動情報を用いた音環境計測システムの開発

吉野信行, 田尾博幸, 菊山信行, 野地英治, 長谷川浩治

本研究では、音響・振動インテンシティ計測に関する基礎研究として、オーディオスピーカ、円形平板の騒音源として正弦波、白色雑音を加えた場合の距離特性、周波数特性に関する音響インテンシティベクトル分布の形状変容に関する実験検討を行った。これらの実験結果、純音を有する機器の騒音・振動源については、音源インテンシティベクトルの方向等(エネルギーの発生・吸収)に留意の必要があることを確認し

た。一般に機器の騒音対策環境としては、無響室を必要とするが、本実験は、突発的騒音の発生しない通常の実験室で行った結果であり、インテンシティ計測に関しては、定常的騒音を有する環境でも計測が十分可能であることを確認した。今後、円形平板の距離減衰、周波数による分割モード等のシミュレーション解析を行っていく予定である。

P17~20, 図6, 写真2, 文献1

製品形状のコンピュータモデル作成技術の開発 (第1報) 製品形状入力システムの開発

坂元康泰, 佐々木憲吾, 平田敏明, 立石哲也, 門 格史, 野地英治

アイデア形状や既存・新製品形状を迅速にコンピュータモデルにするための形状入力システムを開発した。本システムは多関節型の形状計測装置により実物形状を計測すると、3次元CAD上にコンピュータモデルが作成され、形状計測装置と3次元CADが一体となっていることが特徴である。本システムは形状を構成するアウトラインの取得を得意とし、基本的な形

状モデルの構築が容易である。また、近年多く存在する自由曲面の生成も、ニューラルネットワーク技術により少数かつランダムな計測点で可能となった。

作成されたコンピュータモデルは強度解析などのシミュレーションや光造形装置による試作が可能となり、製品開発期間の短縮が図れる。

P21~24, 表2, 図7, 文献3

CFDによる製品開発への適用研究 (第2報) 光造形透明樹脂モデルを活用した流れの可視化による製品開発

立石哲也, 坂元康泰, 佐々木憲吾, 門 格史

3次元CADを用いて、設計から解析・試作までのデータの共通化による製品開発が、企業で進められつつある。

本研究では、昨年に引き続き自動車部品のマニホールドを対象に、その3次元CADによる設計データを用いて、CFD熱流体計算解析、および光造形による試作品で実験解析を行なった。今回特に、製品内部の流れ状態を把握するため、光造形より作成した樹脂型透

明モデルに、油点法を用いて流れの可視化の検討を行ない、CFDによる計算解析結果と比較検証した。

その結果、(1)油点法を用いた可視化法では、光造形モデルに最適な油膜材料を検討することで、内部流れを把握することが可能になった。(2)CFD計算解析と可視化による実測結果を比較すると、良く対応することがわかった。

P25~28, 表2, 図9, 文献3

コンピュータグラフィックス基本モジュールの構築と応用 (第2報) 空間磁場自動計測可視化システムの開発

田尾博幸, 佐々木憲吾, 中平 宏

CGを利用したアプリケーション開発時間の短縮と経費削減を行うために、3次元グラフィックスライブラリOpenGLを使用して構築した基本モジュールを、空間磁場自動計測可視化システムに応用した。システムは、3次元データを自動計測し、計測結果を任意の箇所を任意の角度で、内部の面についても観察者の思考を中断せずにインタラクティブに観察可能である。この

結果、磁気のシールド効果を的確に評価でき、磁気を利用した製品の効率良い開発への支援が可能となった。

開発した可視化システムは、用途・対象に応じたインタラクティブな可視化を実現することができ、科学技術分野にとどまらず多様な分野への応用が可能である。

P29~32, 表2, 図9, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.41 1998)

環境アメニティに関する研究 (第4報) 音響・振動情報を用いた音環境計測システムの開発

吉野信行, 田尾博幸, 菊山信行, 野地英治, 長谷川浩治

本研究では、音響・振動インテンシティ計測に関する基礎研究として、オーディオスピーカ、円形平板の騒音源として正弦波、白色雑音を加えた場合の距離特性、周波数特性に関する音響インテンシティベクトル分布の形状変容に関する実験検討を行った。これらの実験結果、純音を有する機器の騒音・振動源については、音源インテンシティベクトルの方向等(エネルギーの発生・吸収)に留意の必要があることを確認し

た。一般に機器の騒音対策環境としては、無響室を必要とするが、本実験は、突発的騒音の発生しない通常の実験室で行った結果であり、インテンシティ計測に関しては、定常的騒音を有する環境でも計測が十分可能であることを確認した。今後、円形平板の距離減衰、周波数による分割モード等のシミュレーション解析を行っていく予定である。

P17~20, 図6, 写真2, 文献1

製品形状のコンピュータモデル作成技術の開発 (第1報) 製品形状入力システムの開発

坂元康泰, 佐々木憲吾, 平田敏明, 立石哲也, 門 格史, 野地英治

アイデア形状や既存・新製品形状を迅速にコンピュータモデルにするための形状入力システムを開発した。本システムは多関節型の形状計測装置により実物形状を計測すると、3次元CAD上にコンピュータモデルが作成され、形状計測装置と3次元CADが一体となっていることが特徴である。本システムは形状を構成するアウトラインの取得を得意とし、基本的な形

状モデルの構築が容易である。また、近年多く存在する自由曲面の生成も、ニューラルネットワーク技術により少数かつランダムな計測点で可能となった。

作成されたコンピュータモデルは強度解析などのシミュレーションや光造形装置による試作が可能となり、製品開発期間の短縮が図れる。

P21~24, 表2, 図7, 文献3

CFDによる製品開発への適用研究 (第2報) 光造形透明樹脂モデルを活用した流れの可視化による製品開発

立石哲也, 坂元康泰, 佐々木憲吾, 門 格史

3次元CADを用いて、設計から解析・試作までのデータの共通化による製品開発が、企業で進められつつある。

本研究では、昨年に引き続き自動車部品のマニホールを対象に、その3次元CADによる設計データを用いて、CFD熱流体計算解析、および光造形による試作品で実験解析を行なった。今回特に、製品内部の流れ状態を把握するため、光造形より作成した樹脂型透

明モデルに、油点法を用いて流れの可視化の検討を行ない、CFDによる計算解析結果と比較検証した。

その結果、(1)油点法を用いた可視化法では、光造形モデルに最適な油膜材料を検討することで、内部流れを把握することが可能になった。(2)CFD計算解析と可視化による実測結果を比較すると、良く対応することがわかった。

P25~28, 表2, 図9, 文献3

コンピュータグラフィックス基本モジュールの構築と応用 (第2報) 空間磁場自動計測可視化システムの開発

田尾博幸, 佐々木憲吾, 中平 宏

CGを利用したアプリケーション開発時間の短縮と経費削減を行うために、3次元グラフィックスライブラリOpenGLを使用して構築した基本モジュールを、空間磁場自動計測可視化システムに応用した。システムは、3次元データを自動計測し、計測結果を任意の箇所を任意の角度で、内部の面についても観察者の思考を中断せずインタラクティブに観察可能である。この

結果、磁気シールド効果を的確に評価でき、磁気を利用した製品の効率良い開発への支援が可能となった。

開発した可視化システムは、用途・対象に応じたインタラクティブな可視化を実現することができ、科学技術分野にとどまらず多様な分野への応用が可能である。

P29~32, 表2, 図9, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.41 1998)

マルチメディア対応データベース及び信号処理システムの開発 (第3報) マルチメディアを活用した仮想現実感システムの開発

打田澄雄, 楡垣和生, 村河亮利, 中塩武之

生産コスト削減及び短納期化など生産性の向上を図るため、生産に関わるさまざまな情報をマルチメディア技術を使って効率的に管理する手法を開発した。分散配置したコンピュータ及び機械装置等の機器をマルチメディアネットワークにより結合し、一か所で各機器の状態監視、制御を行う。各機器は動作モデルなどを定義して標準化し、制御ソフトは各種開発環境で再

利用できるようにライブラリ化した。静的な情報だけでなく最新の情報をエンドユーザが能動的に取得できるなど様々な応用が可能となった。応用事例として、WWWブラウザを使ってロボットの遠隔制御及び監視を行うシステムを構築した。

P33~36, 表7, 図10, 写真1, 文献5

インテリジェントネットワークを用いた多者通話接続の検討

村河亮利, 大槻英樹, 吉村一成

インテリジェントネットワーク (IN) を用いて新しいサービスが生み出されている。今回そのサービスの1つとして多者通話について提案を行った。

現在通信事業者が行っている多者通話は音声合成リソースを多者通話の数に応じて用意する必要がある。又、あらかじめ多者通話の設定を交換機に行なわなければならない。今回それぞれの端末に音声を合成する

簡単なデバイスを乗せて多者通話を実現する方法の提案を行った。

その結果、N-ISDN上でINを用いて従来の音声合成装置を用いることなく多者通話の検証を行った。また、多者通話実現のための能力セッター1 (CS-1) に必要なメッセージの抽出を行った。

P37~40, 図12, 文献5

チクソキャストによるハイブリッド複合材料部材の開発 (第2報) マグネシウム合金複合材料のチクソキャスト成形技術の開発

藤井敏男, 府山伸行, 森下勇樹, 藤本宗之

マグネシウム合金を半溶融状態において攪拌し、粒径 $13\mu\text{m}$ のSiC粒子を体積率約5%加えて複合化した。半溶融攪拌時の固相率の違いによるSiC粒子の分散について検討した。その結果、半溶融温度858Kで攪拌・複合化した時SiC粒子がよく分散した。そのマグネシウム合金複合材料の半溶融状態での成形性を調べるため、半溶融温度に再加熱されたマグネシウ

ム複合材料ビレットをスクイズキャストマシンにより半溶融成形を行った。板厚が薄くなるにしたがい、固相の占める割合が減ることがわかった。また、SiC粒子は液相と共によく流動し、板厚の薄い2mmの部分にも流動していた。

P41~44, 図4, 写真4, 文献6

ポリプロピレン/ポリオレフィン樹脂ブレンドの相溶性と物性

大橋俊彦, 下原伊智朗, 関 守雄, 藤本宗之

ポリプロピレン樹脂 (PP) の特性を改善するためにプロピレン- α -オレフィン共重合樹脂 (PO) をブレンドし、相溶性の程度と低温における強度・伸び・衝撃吸収エネルギー等の機械的性質を評価した。

PPの耐衝撃性についてはノッチ効果が大きく部品設計上注意が必要とされること、低温で脆くなるため材料の改質が必要であることが示された。POのブレンドによりPPの低温での耐衝撃性を向上させること

ができたが、強度・弾性率は低下する。ブレンド率10~20%程度で実用上バランスの取れた良好な特性の材料を得ることができた。

また球晶と破断面の観察から、用いたPOはPPと良好な相溶性を持つことが示され、ブレンド物の特性の信頼性も高いと思われる。

P45~48, 図3, 写真2, 文献5

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.41 1998)

ポリスチレン/ポリエチレンテレフタレートブレンドの機械的性質

下原伊智朗, 大橋俊彦, 関 守雄, 藤本宗之

日用品に多く使用される PS と、ペットボトルへの需要が拡大している PET をブレンドした場合の、機械的性質について検討した。その結果、PS と PET のみの単純ブレンドでは、混練性、分散性が非常に悪く、強度は低下しないが、耐衝撃性は低く、成形品もはく離を生じるなどの不良が目立った。

相溶剤をブレンドすることで、混練性を改善することができ、安定したストランドの引き取りをすることができた。強度、弾性率は相溶剤の性質の影響で、若干低下したが、耐衝撃性は良くなり、靱性の高いブレンド品とすることができた。

P49-52, 図3, 写真3

海底クリーンシステムの開発 (第11報) 海域汚染物質のモニタリング装置の開発 (第3報)

斯波信雄, 渡部英雄, 丸下清志, 倉本恵治, 吉川 恵,
田中裕一郎, 水江安次郎, 山岡和則, 高田詔民

富栄養化の指標である、海水中の窒素、リンを長期間無人で監視できる海域環境モニタリング装置を開発することを目標に、今年度は FIA (フローインジェクション分析法) を利用した自動分析装置の開発を行った。分析対象が海水であることから、海域の規制基準値 (全窒素0.2mg/l 以下, 全リン0.02mg/l 以下) の分析ができる装置を目標にした。開発した装置はサンプルの吸引から分析終了までに15分で分析が可能であ

る。広島県安芸郡倉橋島において前年度開発した自動前処理装置と本装置を連結してモニタリング装置として海域実験を実施した。海水の汲み上げから前処理、分析の全行程を30分で行うことができた。本装置での分析値は JIS 法での分析値と良く一致しており、十分実用分析に利用できることを確認した。

P53-56, 表1, 図4, 写真1, 文献1

透過気化法による海水淡水化 (第2報) 高効率淡水化技術の開発

本多正英, 斯波信雄, 倉本恵治, 丸下清志, 畑 徳宣, 渡部英雄

今年度は昨年度に試作した透過気化ミニプラントでの実験を引き続いて行い、造水量や効率の改良を目標に、様々な条件の下で検討を行った。

造水量は基本的に海水温度が高く、供給流量が多いほど、また真空圧力が低いほど増加した。従来の透過気化淡水化技術では、膜面積1m²当たりで一定時間内に採取される淡水の量は $2.8 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ [10

$\ell / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$] ぐらいであったが、本装置では現在における最高の条件において約 $7.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ [26 $\ell / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$] になった。また、原海水の塩分濃度の影響については、海水の2.5倍程度までの模擬海水を使用しても、得られる造水には質、量ともにほとんど影響がなかった。

P57-60, 表1, 図8, 文献5

機械制御用 FPGA の設計技術の開発

馬場祥宏, 松永尚徳, 高橋伸男, 川上 聡, 中塩武之

中小企業が自社製品に適合したセミカスタム LSI を容易に開発できるよう、ハードウェア記述言語を用いた FPGA の設計技術を開発した。LSI の機能検証のためのシミュレーション手法を確立するとともに、Verilog-HDL 設計により、機械制御用および検査装置用セミカスタム LSI を開発した。

(1) タイヤバランス測定装置に使用されるカウンタ・タイマ用 LSI を HDL 設計し、FPGA で実現し

た。開発した LSI は Z80CTC と完全互換であり、そのまま回路資産として再利用可能である。

(2) グラビア印刷機械の印刷品質検査に使用される画像処理装置のタイミング生成回路を FPGA で実現し、装置の小型化、低消費電力化、回路ノウハウのブラックボックス化が達成できた。

P61-64, 表2, 図6, 写真2, 文献11

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.41 1998)

素形材加工のインテリジェント化に関する研究 (第3報) 光造形技術の精密鑄造品・金型への応用

門 格史, 原 信彦, 吉村一彦, 中下和俊

光造形モデルを利用した精密鑄造品の作製を行い、以下の最適条件を求めた。また光造形モデルと精密鑄造品の寸法比較を行った。

(1) モデル焼失の際に鋳型の割れを防ぐためには、コーティングを10層し、スラリーの粘度を下げることで(ザーンカップ#5で6~10%)が望ましい。

(2) モデル焼失の際の灰は800℃で焼き、その後1000℃程度で再度焼けば残らないことがわかった。

(3) 精密鑄造を行う際には、取縮があるため、光造形モデルにスケールをかける必要がある。

P 65~68, 表3, 図6, 写真2, 文献2

放電焼結を利用した高機能材料およびプロセスの開発 (第1報) 放電焼結法による材料開発

筒本隆博, 新田 明, 砂本健市, 菊池 光

放電焼結法を利用して、2種類の合金の機械的性質の改善を行った。一つはCoの高温特性を向上させるために、Ti粉末を0~22mass%まで添加し、通常の放電焼結法を改良した横方向型通電による加圧焼結法により焼結を行い、焼結材の高温硬さ、金属組織等に及ぼす影響について調べた。Ti添加で、600℃の硬さは無添加のものに比べて、16mass%添加で2倍以上、22mass%添加で5倍以上となった。

もう一つは超硬合金の性能改善のために、WCのバインダとして、CoにAlを添加した粉末10mass%を用いた。Al添加により硬さが向上し、Co-50at.%Alバインダのものは2000HV以上の最高値が得られた。抗折力はCo-20at.%Alバインダのものが最高の1500MPaを示した。

P 69~72, 表2, 図6, 写真1, 文献5

In situ 水素吸蔵合金薄膜作成評価装置による Mg および Pd 薄膜の作成

梶岡 秀, 樋口浩一*, 間山清和

Mg and Pd Films prepared by Magnetron Sputtering Enhanced with an Inductively Coupled RF Plasma

KAJIOKA Hideshi, HIGUCHI Koichi and TOIYAMA Kiyokazu

Mg and Pd films were prepared at Mg target current 0.05 and 0.1A, and at Ar pressure 7.0×10^{-2} Pa and 7.0×10^{-1} Pa, respectively, with increasing RF power. Mg(002) peak and Pd(111) peak were only seen in the XRD patterns for all Mg and all Pd films, respectively. Mg peak intensity decreased with increasing RF power, but Pd peak intensity was kept at constant.

キーワード: 水素吸蔵, 薄膜, Mg, Pd, スパッタ

1 緒 言

Mg の成膜に関する報告は非常に限られているが, 著者らは通常のマグネトロンスパッタ法では nm オーダーの膜厚制御は困難であるが, ヘリコンスパッタ法では容易に制御できることを既に報告した¹⁾。この時に用いたヘリコンスパッタ法はターゲットに RF 電力を印加するタイプのもので, 開発装置に搭載されたスパッタターゲットには DC 電力を印加する方式でタイプが異なる。そこで, この節では Mg および Pd ターゲットを用いて, 成膜速度の制御性の高さ, RF 電力印加によるプラズマ密度向上の効果, 低圧スパッタの可能性などヘリコンスパッタ法の特徴を確認しながら, 今後の水素吸蔵実験に用いられる薄膜試料作成条件を検討する。今回は, 主に成膜速度と薄膜の結晶配向性について検討する。

2 実験方法

スパッタ成膜条件を表1に示す。膜厚測定は触針式表面あらざ計を, 結晶配向性は X 線回折装置を用いて測定した。

表1 ヘリコンスパッタ成膜条件

ターゲット	ターゲット電流 (A)	PF 電力 (W)	Ar ガス圧 (Pa)
Mg	0, 0.5	0~100	7.0×10^{-2}
		0~200	7.0×10^{-1}
Pd	0, 1.0	0~200	7.0×10^{-2}
		0~200	7.0×10^{-1}

3 実験結果と考察

3.1 Mg 薄膜

Mg ターゲット電流0.05A 一定で, Ar ガス圧は 7.0×10^{-2} Pa (白抜き)と 7.0×10^{-1} Pa (黒抜き)で, RF 電力を変化させた時に測定した DC 電圧を図1にプロットした。DC 電圧は, Ar ガス圧が低い場合 (白抜き)の方が, Ar ガス圧が高い場合 (黒抜き)よりも高い。また, 両曲線とも DC 電圧は, RF 電力の増加と共に減少する。DC 電力に換算すると, 曲線 (白抜き)では20.5W から17W へ減少し, 曲線 (黒抜き)では12W から6W へ減少する。Ar ガス圧に関する結果は, Ar ガス密度が低いとイオン生成速度は低くなるので²⁾, 同一ターゲット電流を得ようとすれば, イオン生成速度を高めるために DC 電圧を増加しなければならない, RF 電力に関する結果は, RF 電力を増加するとイオン生成量が増加するので, 同一ターゲット電流を得るためには, イオン生成速度を減少させるために DC 電圧を低下させねばならないという推定によって説明できる。

*前広島県先端技術共同研究センター, 現在西部工業技術センター

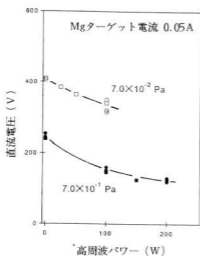


図1 RF電力とDC電圧の関係

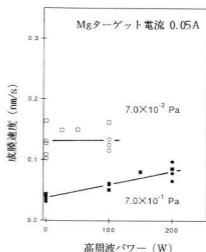


図3 RF電力とDC電圧の関係

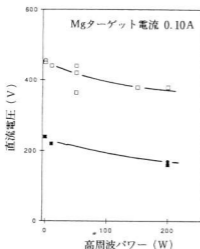


図2 RF電力と成膜速度の関係

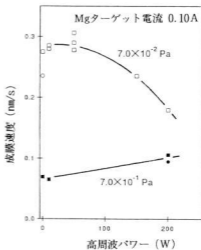


図4 RF電力と成膜速度の関係

基板に堆積した膜厚を測定して成膜速度を求めた結果を図2に示す。Arガス圧の高い場合の平均成膜速度(黒抜き)は、RF電力が増加するに従い0.04nm/sから0.08nm/sへと増加する。しかし、Arガス圧の低い場合(白抜き)は、DC電力の増加に対応して0.10~0.16nm/sと成膜速度は高い値を示すが、バラツキも大きくなる。RF電力増加による顕著な変化は見られない。

図1と図2と同様な関係を、Mgターゲット電流

0.1A一定でも求めた。その結果を図3と図4に示す。図3のRF電力0W(DCスパッタ)でのDC電圧は図1の場合と比べこわずかに高い程度である。この結果は、DCスパッタではヘリコンスパッタよりもDC電圧のわずかな変化によりターゲット電流が大きく変化するという特性に起因する。図1と比較すると、RF電力の増加によるDC電圧低下の割合は小さい。Arガス圧が低い場合(白抜き)では45Wから38Wへ、Arガス圧が高い場合(黒抜き)では24Wか

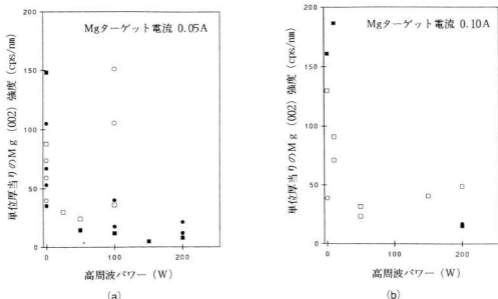


図5 RF電力とMg(002)ピーク強度の関係

ら16Wへと減少する。

図4のRF電力0Wでは、DC電力が図2の場合よりも高いので、成膜速度も大きくなっている。RF電力の増加に対して、Arガス圧が低い場合(白抜き)では成膜速度の減少が見られるが、Arガス圧が高い場合(黒抜き)では、図2と同様に増加傾向が見られる。

これらのMg薄膜のX線回折図形には、全ての試料でMg(002)ピークのみしか観察されなかった。いずれのピークともそのピーク半幅は、約 0.23° (2θ)とほとんど変わらない。しかし、ピーク強度は著しく異なった。X線回折ピーク強度を膜厚で割って、単位膜厚当りの強度に規格化して図5に示した。図5(a)および図5(b)でも、ピーク強度のバラツキは大きいですが、RF電力を印加するとピーク強度は低下する傾向がみられる。さらにArガス圧と比較すると、Arガス圧の高い方がピーク強度は低い傾向を示す。

3.2 Pd薄膜

Pdターゲット電流0.1A一定で、DC電圧がRF電力の増加で低下する挙動は、図3の結果と同様である。しかし、成膜速度とRF電力の関係を示す図6では図4の場合と異なり、RF電力の増加に対して成膜速度はほとんど変化しない。

これらのPd薄膜のX線回折図形には、全ての試料において、非常に強いPd(111)ピークのみしか観

察されない。いずれの場合でも、ピーク半幅は約 0.30° (2θ)である。この場合もMgの場合と同様に、X線回折ピーク強度を膜厚で割って規格化して図7に示す。

図5のMgターゲットの場合と比較すると、RF電力によってPd(111)ピーク強度は低下しない点と、Arガス圧の違いによって、ピーク強度に明らかに差が認められる点が異なる。

結晶の優先配向は最密充填面[Pd(111)とMg(002)]のみで見られ、他の結晶面は全く見られなかった。非常に高いPd(111)ピーク強度は、Pdターゲット電流の増加やRF電力によっても大きく変化はしなかった。しかし、Mg(002)ピーク強度は、Mgターゲット電流の増加で増加し、RF電力の増加で減少する傾向を示し、ピーク強度のバラツキはPd(111)ピーク強度では小さく、Mg(002)ピーク強度では大きい。Arガス圧の高低に対しても、Pd(111)ピーク強度の違いは明瞭に認められるが、Mg(002)ピーク強度ではそれほど明瞭ではない。いずれの場合でもPd(111)ピーク強度は60cps/nmと高いが、Mg(002)ピーク強度ではRF電力を印加すると、10cps/nm以下に低下し、結晶配向性・結晶化度の低下が推測された。

RF電力が増加すると、基板に入射するArイオン量とスパッタ金属イオン量は両者とも増加し、両者のイオンエネルギーとも10eV程度の高エネルギー側に

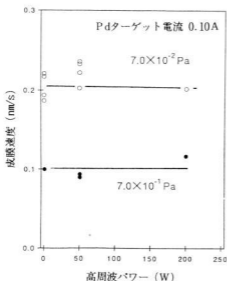


図6 RF電力と成膜速度の関係

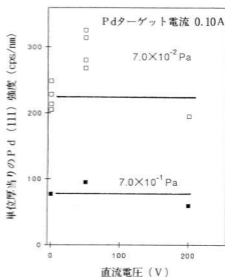


図7 RF電力とPd(111)ピーク強度の関係

シフトするので、薄膜成長時のイオンボンバード効果は強まると推測される。結晶配向性は薄膜成長と密接に関連し、表面エネルギーの大きい最密充填面が優先配向しやすい³⁾。それ故に、Pdはイオンボンバードの影響を受けにくい³⁾が、Mgは影響を受けやすいと考えられる。

4 結 言

- (1) MgおよびPdともターゲット電流、RF電力を選ぶことで、安定した成膜速度が得られ、nmオーダーでの膜厚制御が可能となる。
- (2) ターゲット電流一定条件下で、RF電力の増加に対する、MgとPdの成膜速度の変化挙動は異なる。
- (3) Mg薄膜はMg(002)に、Pd薄膜はPd(111)に優先配向する。
- (4) ターゲット電流の増加でMg(002)ピーク強度は増加するが、Pd(111)ピーク強度はそれ程変化

しない。

- (5) RF電力の増加で、Mg(002)ピーク強度は低下するが、Pd(111)ピーク強度は変化しない。
- (6) Arスパッタ圧により、Pd(111)ピーク強度は影響を明らかに受けるが、Mg(002)ピーク強度はそれほど顕著には受けない。
- (7) Pd(111)ピーク強度のバラツキは小さいが、Mg(002)ピーク強度のバラツキは大きい。

文 献

- 1) 梶岡 秀：平成8年度藤井プロジェクト研究成果報告書(財広島県産振構、先端研)、(1997)、62
- 2) 森田 正(日本真空株)：私信
- 3) J. E. Greene, S. A. Barnett, J. E. Sundgren and A. Rockett, Ion Beam Assisted Film Growth, edited by T. Itoh (Elsevier, Amsterdam, (1989), 119.

放電加工によるマイクロマシニング技術の開発

山下弘之, 池田哲宏, 門 格史

Development of 3D Micro-machining Technology by Electric Discharge Machining (EDM)

YAMASHITA Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro and KADO Tadashi

In this study, Two special technology (electric discharge scanning (EDS), wire electric discharge grinding (WEDG)) were examined in order to develop 3D Micro-machining technology. As a first step, optimum condition of EDS with pipe electrode were obtained by machining test with changing Ip, GAP, GAIN, coefficient of electrode wear compensation, etc. As a next step, tapered cavity for example of the 3D micro machining was machined successfully by applying NC data based on cross section along z-axis. As a last step, micro electrode (diameter $\phi 30\mu\text{m}$, length 0.9mm) was machined successfully by using WEDG system. And using this micro electrode, micro gear (addendum circle diameter $\phi 300\mu\text{m}$, depth 15 μm) was machined successfully.

キーワード: 創成放電加工, WEDG 法, パイプ電極, マイクロマシニング

1 緒 言

情報・通信機器や光関連機器など今日を代表する製品は高機能化・小型化する傾向にあり, それに伴いそれらを構成する精密機械部品や樹脂製品用の成形金型などの小型化が要求されている。このためこれらを精密に加工する技術を確認する事が必要となるが, 様々な加工法の中で放電加工は一般の機械加工と異なり非接触加工であるため加工反力による工作物の変形がなく, 微細加工に適した加工法と言える。そこで本研究ではこの微細加工性に優れた放電加工を取り上げ, 精密な金型や機械部品等を対象とした加工技術の検討を行った。

2 実 験 方 法

2.1 放電加工技術について

放電加工による形状加工技術として単純形状電極で輪郭加工を行うことのできる創成放電加工技術¹⁾と, 微細電極作製技術として東大増沢教授が考案したワイヤ放電研削法 (WEDG 法)²⁾の2つを取り上げた。創成放電加工は図1に示すようにパイプ電極等の単純形状電極を用いこれを所定の形状に沿って送りながら電極端面のみの放電により加工を行うもので, この際加工に伴う電極の消耗分をある勾配 (Z 勾配) で突き出すことで補正しつつ層状に深さ方向に加工を進めることで輪郭加工を実現させる加工方法である。ワイヤ放電研削法 (WEDG 法) は図2に示すようにワイヤ電

極による放電で棒状電極自体を加工する方法で直径10 μm 以下の微小電極の作成が報告されている。

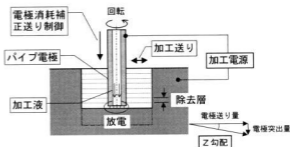


図1 創成放電加工法の原理

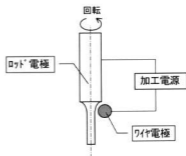


図2 ワイヤ放電研削法 (WEDG 法) の概要

2.2 微細放電加工機

放電加工機は三菱電機(株)製創成放電加工機 EDSCANSE を使用した。同機にはワイヤ放電研削用の付属装置が本体機に設置されている。加工後の形状測定には輪郭形状測定器と表面粗さ計を使用した。

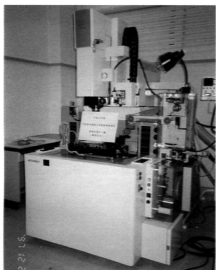


写真1 微細放電加工機

2.3 創成放電加工条件の検討

創成放電加工では電極消耗補正量と加工送り量、放電加工条件を適正にし、1層当たりの加工を均一(加工深さ、表面粗さが均一)に行う必要がある。そこでまず加工特性に及ぼす各加工条件の影響を見るため表1に示す条件で図3に示す加工パス(長方形形状(6×3mm)を0.5mmピッチ)で10回繰り返し加工を行った後、加工深さ、形状うねり、表面粗さ等々を評価した。ワーク材種はSKD11とした。

表1 特性評価時の加工条件

使用電極	銅パイプ電極φ1.0(内径0.5)
電源回路	TP, RC回路φ
ピーク電流値	1, 2.5, 10, 15A
極間電圧	80, 220, 320V
Z勾配	~0.1

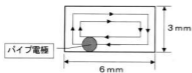


図3 加工経路

2.4 3次元形状加工の検討

創成放電加工で3次元形状を加工する場合、深さ方向に1層毎のスライス形状に沿った加工パスを与え徐々に加工を進める。このため1層毎の形状全面を均一な深さで仕上げることが必要で様々な加工パスが検討されている。しかし加工後の形状及び粗さは各層毎の輪郭パス(最外郭パス)の加工精度で決まり、それより内側の加工パスは精度的には影響がない。そこで3次元形状の最外郭パスより内側を大加工条件で大きな階段状に加工し、残った階段部分を仕上げ条件(小電流条件で微細ピッチ)で加工する方式(2段階加工法:図4)を提案しその有効性を検討した。今回は基礎実験としてワークのコーナ部にテーパ加工を試みた。

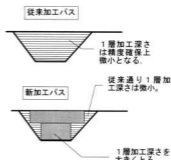


図4 2段階加工法

2.5 微細電極加工及び輪郭加工の検討

ワイヤ放電研削法(WEDG法)を用いて微細軸加工及び加工した微細軸を電極とした輪郭形状加工を試みた。軸加工では100μm以下の微細な加工を行うため、放電回路はコンデンサ容量を極力小さくし微小エネルギー放電が可能としたRC回路を用いた。

3 実験結果と考察

3.1 創成放電加工特性に及ぼす各電気条件の評価

図5にTP(トランジスタパルス)回路でのZ勾配と加工深さ、加工時間の関係を示す。Z勾配に比例して加工深さが大きくなる事がわかる。反面加工時間は長くなる。またピーク電流値(Ip)が大きいか程同じZ勾配で加工深さは小さくなる。これを創成放電加工での加工深さのモデル式³⁾

$$S1 = \pi \cdot A / \rho \times (R_o - r_i)$$

A: Z勾配, ρ: 電極消耗率

R_o: 電極外径, r_i: 電極内径

から見ると、I_pの増加により電極消耗率が大きくなったため放電加工条件が同じの場合消耗率はほぼ変化しないためZ勾配が大きいか程(比例して)加工深

さが大きくなる。しかし放電加工条件が同じであるため加工能力自体は同じなのでその分加工時間は長くなることになる。I_p (=10A)での電極移動方向の加工後の表面形状を図6に示す。表面粗さは16 μ mRmax程度でうねりの無い面が加工されているのがわかる。その他、極間電圧、サーボゲイン等の各加工条件の影響をまとめると図7のように整理できる。

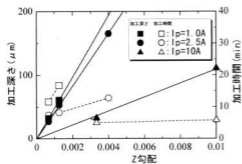


図5 TP回路の加工特性

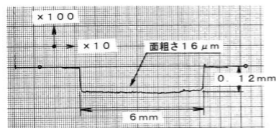


図6 創成放電による加工面形状

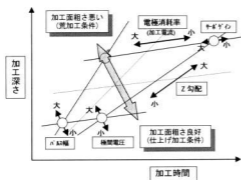


図7 各条件の加工特性に及ぼす影響

図8に仕上げ用RC(コンデンサ)回路でのZ勾配と加工深さ、加工時間の関係を示す。トランジスタ回路と同様にZ勾配に加工深さが比例することがわか

る。またコンデンサ容量が大きい程加工深さが小さくなる。これも電極消耗率の変化によると考えられる。加工面粗さは最小で3 μ mRmax程度でうねりのない良好な形状が加工された。

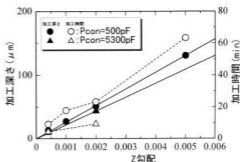


図8 RC回路の加工特性

3.2 テーバ形状加工の状況

写真2に加工したテーバ形状を、図9に設定形状と加工後の輪郭形状の比較を示す。表2に示す加工条件で予備加工により1パス当たりの加工深さ(0.0115mm)を予め設定し、その値から設計形状(深さ1.5mm)を加工するため深さ方向に131回加工を実施した。破線が設計形状で実線が加工形状を示す。加工深さはほぼ設計値通り(1.506mm)で設定した1パス当たりの加工量が適正で、131回の加工中での変動も

表2 テーバ加工時の加工条件

使用電極	銅パイプ電極 ϕ 1.0
使用回路	TP回路
Z勾配	1/100
電流ピーク値	10A
加工ピッチ	0.5mm
加工回数	131回
1パス当たり加工量	0.0115mm

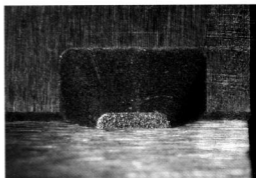


写真2 加工されたテーバ形状

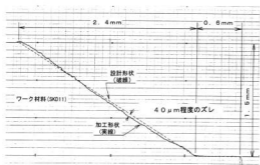


図9 設計形状と加工形状の比較

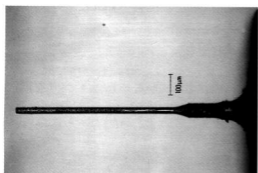


写真3 微細電極

材料：タングステン、
直径： $\phi 30\mu\text{m}$ 、長さ：0.9mm (L/D=30)



写真4 微細ギア

材料：プリハードン鋼 (HRC40)、
歯先円直径：300 μm 、深さ：15 μm

ほとんどないことがわかった。ただテーパ面は40 μm 程度のうねりが見られ、

表面粗さも底面加工時は10 μm 程度の加工条件であったが、20~25 $\mu\text{m}R_{\text{max}}$ と大きくなった。加工条件の微小化でうねりの低減、表面粗さ改善の検討が必要と考える。

3.3 微細電極加工及び輪郭加工の状況

写真3、写真4に加工した微細軸（電極）及びギアを対象とした輪郭加工例を示す。両者ともに十分加工が可能なることがわかる。ただギアは加工開始時に電極が降下した部分に丸い痕が見られた。微細軸はパイプ電極と異なり中実丸棒形状であるため創成放電加工の加工深さモデル式が変わってくる。これが加工形状に及ぼす影響や加工時の電極経路の最適化を含め加工条件の検討が今後の課題である。

4 結 言

微細な3次元形状加工を行う方法として、創成放電加工技術と微細電極作製技術の2つを取り上げその基礎的検討及び加工法の検討を行った。その結果、次のことを確認した。

- (1) 創成放電加工では電極消耗補正のためのZ勾配に加工深さが比例する。
- (2) 加工条件により電極消耗率が変化し加工深さや加工時間が変化する。
- (3) 加工面はうねりがなく仕上げ条件では3 $\mu\text{m}R_{\text{max}}$ 程度の面粗さまで加工できる。
- (4) 3次元形状加工の例としたテーパ加工では1層当たりの加工深さを適正に設定することで十分加工が可能であることがわかった。
- (5) WEDG法による微細軸加工及び微細軸を用いた輪郭加工が十分行える。

今後は微細電極による創成加工実験及びパイプ電極によるさらに複雑な3次元形状加工の検討を進めていく。

最後に、本研究は平成9年度日本自転車振興会の補助金により購入した微細放電加工機を使用した。

文 献

- 1) 湯沢, 真柄, 電気加工技術, 19(1985)63, 1~6
- 2) 増沢, 他, 昭和60年精機学会秋季大会学術講演文集, (1985), 379
- 3) 佐藤, 真柄, 電気加工技術, 20(1985)66, 1~10

マイクロセンサ開発のための加工技術の研究 (第1報) 反応性イオンエッチング (RIE) による加工技術の検討

繩雅典生, 間山清和

Study on Micromachining by Reactive Ion Etching

NAWACHI Norio and TOIYAMA Kiyokazu

Reactive ion etching (RIE) of silicon, which was applied to the fabrication to the microstructure, has been studied to develop the microsensor by photofabrication. The suitability of silicon dioxide and photoresist as the mask material was investigated. Etch rate and selectivity have been examined as a function of pressure by SF₆ plasma using silicon dioxide as the mask material. Etch profiles in SF₆/O₂ gas mixtures were observed.

In result, silicon dioxide was suitable for the mask material of the etching in fluorine based plasma. SF₆/O₂ gas mixtures were effective to anisotropically etch silicon.

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

1 緒 言

シリコンマイクロマシニング技術によるセンサ開発には, 設計技術, 組立技術といった種々の要素技術が必要となる。中でも形状を加工するエッチング技術は, センサ構造を製作する上で, 重要な技術の一つである。

この技術は, 薬液を用いるウェットエッチング技術と反応性のガスを利用するドライエッチング技術の2種類にわけられる。後者は前者に比べ, 微細加工性に優れていることから, 現在 LSI, IC 製造において, 欠かせない技術となっており^{1,2}, シリコンマイクロマシニング技術においても, 微細な形状が作製できることに加え, ウェットエッチング技術と異なり, 結晶の面方位に依存しない加工が可能という特徴は, 大変有用である。

そこで, 本研究ではドライエッチング技術の中でも, 励起活性種による化学的反応に加え, エネルギーをもったイオンによる物理的なエッチングも兼ね備えた反応性イオンエッチング (RIE) について, その加工特性を検討したので報告する。

2 実験方法

2.1 エッチング試料の作製

エッチングの試料 (被加工材) には, 面方位 (100) のシリコンウェハを20mm 角にカットしたものを使用した。この試料に, 被加工部とそうでない部分を作るため, フォトリソグラフィ技術によるパターンニングを

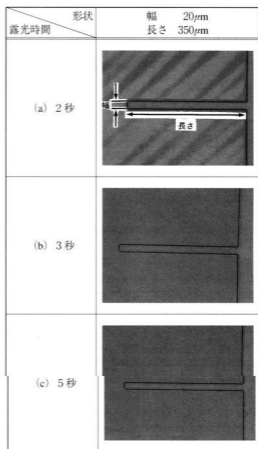


写真1 レジストパターン

行った。転写パターンには、幅と長さを数種類変えた片持ち梁の形状を用い、主に洗浄条件と露光時間に留意し、パターンの最適化を図った。写真1に、露光時間2、3、5秒の各々のレジストパターンを示す。

露光時間2秒では、片持ち梁周辺に縞模様が見られる。これは露光不足により下地のSiO₂膜が露出せず、レジストが残っているためである。一方、露光時間3、5秒ともSiO₂膜露出に関しては十分であった。しかし、露光時間5秒のパターンは、端部に若干欠落が見え、露光過多が伺える。

以上の結果から、今回露光時間については、3秒を最適とし、エッチング試料を製作した。その他のフォトリソ条件を表1に示す。

表1 フォトリソ条件

工 程	条 件
洗 浄	純水 超音波洗浄 5分
	半導体洗浄液 超音波洗浄 5分
	純水 超音波洗浄 2分
表面改質剤塗布	ヘキサメチルジシラザン 本速 4000rpm×20秒 (スピニングコート使用)
	レジスト塗布 ボジ型 (OPPR-800) 粘度 30cp 本速 4000rpm×20秒 (スピニングコート使用)
プリベーク	90°C×30分
露 光 時 間	3秒
現 像	現 像 65秒
	リ ン 60秒

2.2 エッチング

エッチングには、RIEの中では標準的な平行平板型の装置を使用した。装置の模式図を図1に示す。

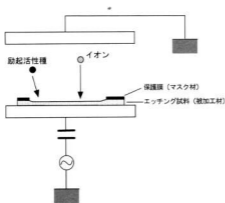


図1 平行平板型 RIE 装置

実験は、

- (1)エッチングに適したマスク材の検討
..... (エッチング条件①)
- (2)プロセス圧力とシリコンエッチング速度及び選択比 (被加工材のエッチング速度/マスク材のエッチング速度) の関係
..... (エッチング条件②)
- (3)エッチングガス種と加工形状の関係
..... (エッチング条件③, ④)

の順で行った。

シリコンのエッチングには、種々のガスが報告されているが⁶⁻⁸⁾、実験では六フッ化硫黄 (SF₆) をベースに用いた。各実験のエッチング条件を表2に示す。装

表2 エッチング条件

制御因子	No.			
	①	②	③	④
SF ₆ (sccm)	45	45	36	36
O ₂ (sccm)	0	0	20	30
圧力(Torr)	0.2	0.1~0.3	0.1	0.1
RF 出力(W)	70	70	50	50

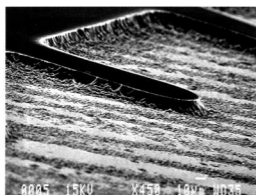
置の設計上、基板の冷却は不可能なため、エッチングは全て室温で行った。マスク材として使用した感光剤 (レジスト) とシリコン酸化膜 (SiO₂膜) の成膜については、レジストはスピニングコート法により膜厚を1.5μm程度、SiO₂膜は熱酸化により約1μm形成した。加工形状は走査電子顕微鏡 (SEM) で観察し、エッチング速度、選択比はエッチング量を測定 (シリコンは触針式表面粗さ計、マスク材はエリプソメータを使用) し、その値をもとに算出した。

3 実験結果と考察

3.1 マスク材の検討

レジストとSiO₂膜をマスク材として、エッチングした結果を写真2に示す。写真2から両者ともエッチングが縦 (深さ) 方向だけでなく、横方向にも進行しており、等方性エッチングであることが確認された。シリコンの表面を観察すると、マスク材にレジストを使用した場合、表面あれの状態が認められた。これは、エッチング時プラズマによって剥離したレジストが、シリコン表面に付着し、その結果均一なエッチングが妨げられたためと推測される。一方、SiO₂膜の場合は、プラズマの影響を受けることなく、起伏のないほぼ平坦な面を得ることができた。

また、シリコンのエッチング速度を見ると、マスク



(a) レジストマスク

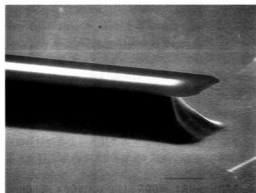
(b) SiO₂マスク

写真2 シリコンエッチング後の SEM 像

材にレジストを用いた場合、4300 Å/min、SiO₂膜の方は6770 Å/minとほとんど差は見られなかった。しかし、マスク材自体のエッチング速度を比較すると、レジストの147 Å/minに対し、SiO₂膜は20 Å/minとエッチングされにくく、SiO₂膜は高選択比であった。

これらの結果から判断すると、SiO₂膜は耐エッチング性が高くRIE時のマスク材に適しているといえる。

3.2 プロセス圧力とエッチング速度、 選択比の関係

前節の結果をもとにマスク材にSiO₂膜を適用し、プロセス圧力とシリコンエッチング速度、選択比の関係について検討した。その結果を図2及び図3に示す。シリコンエッチング速度は、圧力が減少するにしたがい増加する傾向が見られる。通常、圧力の減少は反応に寄与する物質(励起活性種)の減少を引き起こし、これが原因でエッチング速度は低下する⁶⁾。しか

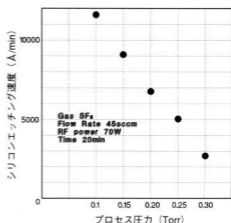


図2 プロセス圧力とシリコンエッチング速度の関係

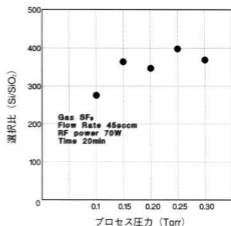
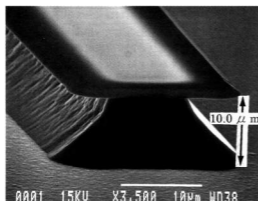


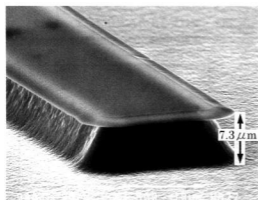
図3 プロセス圧力と選択比の関係

し、実験した圧力条件(0.1~0.3 Torr)下では、励起活性種の化学的エッチングよりも、イオンの入射によるスパッタ効果と併せてサンプル表面に付着した励起活性種の反応を支援するイオンアシスト反応の影響の方が大きく、そのため、このような結果が得られたと推察される。

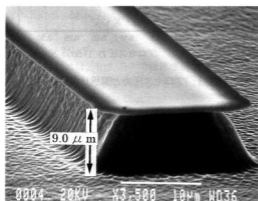
また、選択比については圧力に関係なく高い値を示している。これは圧力が低下するにつれ、シリコンのエッチング速度が増加(2700→11600 Å/min)するのに対し、マスク材にあたるSiO₂膜のエッチング速度の増加(7.3→42 Å/min)はわずかで、マスク材としてはほぼ安定した機能を保っていることによるものである。したがって、この結果からもSiO₂膜がマスク材



(a) O₂含有量=0%



(b) O₂含有量=55%



(c) O₂含有量=83%

写真3 エッチングガスと加工形状の関係

として有効であることが認められる。

3.3 エッチングガス種と加工形状の関係

エッチングガスに SF₆ のみと SF₆ に O₂ を含有させた場合の加工形状について、写真3に示す。

写真3(a) から SF₆ 単体でエッチングした場合、等方性エッチングの状況が強く認められた。一方、写真3(b) の SF₆ に O₂ (20sccm) を含有した混合ガスを使用した場合、SF₆ 単体と比べ、横方向のエッチングが抑制されていることがわかる。これは、シリコンの表面が SiO₂ 化することで、励起活性種による化学的エッチングが抑えられたためと考えられる。

次に、形状により異方性を持たせる目的で、SF₆ に対する O₂ の含有量を83% (O₂:30sccm) まで増やしてエッチングした(写真3(c))。その結果、加工形状は含有量55%(写真3(b))と比較して、わずかながら異方性エッチングが向上したが、反面、エッチング速度は2430 Å/min から1503 Å/min まで低下し、また選択比も同様に低下する結果となった。

4 結 言

シリコンマイクロマシニング技術によるセンサの構造体作製に有用な RIE について、その加工特性を検討した。その結果

- (1) SiO₂ 膜は RIE 時のマスク材として適している。
- (2) 異方性エッチングを得るためには、SF₆ 単体より O₂ を含有した混合ガスの方が有効である。

などが得られた。これにより、これまでウェットエッチング技術では困難であった構造体(円形など)も作製でき、今後の研究に役立つと期待される。

文 献

- 1) 服藤 他：応用物理, **62** (1993) 11, 1111
- 2) 野崎：NIKKEI MICRODEVICES, (1992) 9, 72
- 3) R. Kassing, I. W. Rangelow: *Microsystem Technologies*, **3** (1996), 20
- 4) Rob Legtenberg, Henri Jansen, Meint de Boer, and Miko Elwenspoek: *Journal of the Electrochemical Society*, **142** (1995) 6, 2020
- 5) T. Wells, M. M. EL-Gomati, and J. Wood: *Journal of Vacuum Science & Technology*, **15** (1997) 2, 434
- 6) 麻蒔：超微細加工の基礎, (1993), 69

マイクロセンサ開発のための加工技術の研究 (第2報) 品質工学によるシリコン酸化膜製造条件の最適化

岡山清和, 山下弘之, 縄雅典生

Optimization for Thermal Oxidation of Silicon by Applying the Method of Quality Engineering

TOIYAMA Kiyokazu, YAMASHITA Hiroyuki and NAWACHI Norio

In this study, optimization of silicon-thermal oxidation condition were carried out by applying the Method of Quality Engineering (TAGUCHI METHOD).

First, the generic function of thermal oxidation process were decided.

Next, several factor (signal, control, error) were selected and layouted on the L_{25} table. Thermal oxidation experiment were done according to the L_{25} table. After oxidation, the thickness of SiO_2 layer were measured and SN ratio and Sensitivity were calculated by using these data.

Finally, the most suitable conditions of thermal oxidation of silicon could be selected by using SN ratio and Sensitivity.

キーワード: 酸化拡散炉, シリコン酸化膜, 品質工学, SN 比

1 緒 言

酸化拡散炉は、加熱炉内でシリコン基板を1000℃近くに熱し、その中にドライあるいはウェット（水蒸気と一緒に流す）の酸素を導入し、基板表面に酸化膜を形成するものである。作製された酸化膜は、マイクロマシン技術で微細な構造体を製造する工程におけるエッチング時のマスク材として使用されるため、基板全体にわたり膜厚分布が均一なこと、数千～1万Åの中の任意の値に膜厚が制御できることが求められる。

本研究ではフッ素樹脂溶射条件の最適化にも適用された品質工学（田口メソッド）の手法を用いて、酸化膜製造条件の最適化を行った。図1に今回使用した装置の概要を示す。

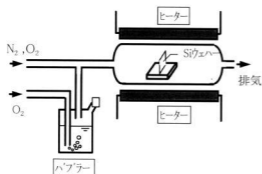


図1 実験装置の概要図

2 高温酸化の物理

酸化膜の成長速度を決める要素は2つある。

(1) Si/SiO_2 界面における酸化反応速度 V_a

(2) 酸化膜中の酸化種の拡散速度 V_d である。

ここで酸化種とは H_2O , O_2 分子のことである。

酸化初期においては、酸化膜は薄く界面への酸化種の拡散は十分行われるので、膜成長速度は界面における酸化反応速度 V_a によって決まる。 V_a は温度一定ならばある決まった値をとるので、膜厚は時間に対して直線的に成長する。(図2; 領域1)

しばらくして膜が成長すると、酸化膜中の酸化種の拡散速度が遅くなり、界面に供給される酸化種の量が不足気味になる。よって膜成長速度は酸化膜中の酸化種の拡散速度によって決められる。

拡散の物理によると

(酸化種の膜中流速) = (拡散定数) × (濃度勾配)
の関係式が成り立つ。拡散した酸化種は膜中を定常的に流れて、界面にたどり着くと全てが酸化反応に使われるとすれば、酸化種の膜中流速は膜成長速度 dz/dt に比例する (膜厚を z とした)。また酸化膜中の濃度勾配は直線的に変化し、濃度勾配 = $\Delta N/z$ となる (酸化膜の表面と界面との酸化種の濃度差を ΔN とした)。

よって上の関係式は

$$dz/dt = D \cdot (\Delta N/z) \dots\dots\dots(1)$$

$$z (dz/dt) = D \cdot \Delta N$$

積分して $z/2 = (D \cdot \Delta N) t + c'$ (2)

(c' は積分定数)

$z = [(2D \cdot \Delta N) t + 2c']^{1/2}$(3)

酸化膜は上式のようなルート則に従って成長する。

(図2；領域2)

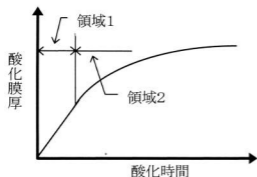


図2 膜厚と酸化時間の関係

図2に示すように、時間に対する膜成長の様子は、直線の特性を示す領域1と、放物線の特性を示す領域2とが混在している。

3 品質工学に基づく実験計画

3-1 基本機能の検討

図3に(膜厚)²と酸化時間との関係を示す。前節(2)式の通り領域2は直線関係になる。Yを(膜厚)²、Mを酸化時間、 β を定数とする。実際に欲しい膜厚は領域2になって充分時間がたったところにあるので、領域2を優先的に安定化させる方が重要だと思われる。

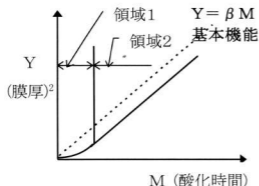


図3 (膜厚)²と酸化時間の関係

また膜厚を制御するという視点で見ると、領域1をなるべく短くして、YとMの直線は原点を通った方が制御しやすく、技術的には理想的な事である。つま

り与えた熱エネルギー、水蒸気などが効率よく作用して酸化反応を進めていけばY-Mの特性は図3の原点を通る破線の様になると考えられ、こうなった時できた膜の質は良くなると考えられる。よって良質の膜をつくるため、基本機能としてY= β Mのゼロ点比例式を設定し、できるだけこの関係が安定に得られるような条件を求めていく。

3-2 信号因子・制御因子

信号因子として酸化時間=20, 40, 60, 80分の4水準をとった。その際の酸化膜厚の測定値の2乗を特性値とした。制御因子としては表1に示す酸化条件が考えられる。予備実験で得られた基礎データを基に、各因子の水準を以下のように設定した。

表1 制御因子とその水準

	第1水準	第2水準	第3水準
A. パプラーふたシール	有り	無し	
B. N.流量(L/min)	0	0.5	1.0
C. WetO.流量(L/min)	0.1	0.5	1.0
D. DryO.流量(L/min)	0	1.0	2.0
E. 酸化温度(℃)	900	1000	1100
F. ポート位置	手前	中央	奥
G. 蒸気導入時刻	挿入後	10分前	20分前
H. 洗浄レベル	純水	純水 +7%コーレ	純水 +7%コーレ +アセトン

3-3 L₁₈直交表への割付

各制御因子を表2のL₁₈直交表により均等に配分されるように割り付け、18通りの実験条件を設定した。

表2 L₁₈直交表

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

3-4 誤差条件

炉内温度やガス流量には場所による揺らぎがあり、それらが基板面内の膜厚分布のばらつきを引き起こすと考えられる。今回の実験ではこの様な誤差の要因がすでに含まれていると考えられる。1つの基板に対し9点の膜厚を測定し、全てのデータを用いてSN比等の計算をすることにより基板面内の膜厚のばらつきを解析に反映させた。

4 実験結果と考察

4-1 酸化実験の結果

L₉直交表に基づき各条件において酸化実験を実施した。実験で得られた各試料に対し9点の膜厚を測定した。測定にはエリブソメーターを用いた。その一例として実験No.1の膜厚測定結果を表3に示す。

表3 実験No.1の膜厚測定結果 (単位: Å)

位置	M ₁ :20min	M ₂ :40min	M ₃ :60min	M ₄ :80min
1	420.1	623.7	1063.0	1224.5
2	418.6	624.0	1063.6	1220.2
3	419.6	625.0	1068.3	1221.2
4	416.6	625.5	1064.8	1213.2
5	417.2	625.9	1066.4	1210.2
6	418.4	626.9	1068.3	1208.8
7	417.2	629.9	1074.0	1209.7
8	416.1	630.2	1071.6	1206.9
9	419.0	632.5	1077.1	1206.2

4-2 測定結果の解析

品質工学の動特性(ゼロ点比例式)の解析方法に従い、測定結果から各実験に対するSN比、感度を求めた。以下に計算例を示す。

実験No.1の場合
有効除数

$$r = r_0 [M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 + M_4^2] \\ = 9 \times [20^2 + 40^2 + 60^2 + 80^2] = 108000$$

全2乗和

$$S_T = \sum y_i^2 \\ = (420.1)^2 + (418.6)^2 + \dots + (1206.2)^2 \\ = 3.29175567 \times 10^9 \quad (f=36)$$

回帰項の変動

$$S_B = [\sum M_i y_i]^2 / r \\ = 3.168289 \times 10^9 \quad (f=1)$$

誤差変動

$$S_e = S_T - S_B \\ = 1.234670 \times 10^9 \quad (f=35)$$

誤差分散

$$V_e = S_e / 35 \\ = 3.527630 \times 10^7$$

よって

$$\text{SN比 } \eta = 10 \times \log(S_T / V_e) / r = -20.81 \text{ (dB)}$$

$$\text{感度 } S = 10 \times \log(S_T / V_e) / r = 84.67 \text{ (dB)}$$

実験番号毎に計算したSN比、感度を表4に示す。

表4 実験番号毎に求めたSN比、感度 (単位: dB)

#	SN比	感度	10	-17.85	87.51
			1	-20.81	84.67
2	-16.35	106.04	12	-22.46	62.60
3	-4.35	113.14	13	-24.06	81.38
4	-14.48	104.09	14	-11.09	55.46
5	-8.37	113.39	15	-30.38	53.64
6	-27.97	86.89	16	-13.96	69.01
7	-22.52	77.56	17	-22.97	102.55
8	-16.96	101.70	18	-19.97	50.82
9	-5.14	113.76	平均	-18.70	85.69

次に制御因子の各水準におけるSN比と感度の平均値を求める。

例えば制御因子Bについて、B=1である実験番号はNo.1, 2, 3, 10, 11, 12の6つであるので、これらの6つの実験番号のSN比、感度から平均値をとる。

$$\eta_{B1} = (-20.81 - 16.35 - 4.35 - 17.85 - 37.01 - 22.46) / 6 \\ = -19.81$$

$$S_{B1} = (84.67 + 106.04 + 113.14 + 87.51 + 78.23 + 62.60) / 6 \\ = 88.70$$

同様にB₂では実験番号4~6, 13~15, B₃では7~9, 16~18について平均をとる。各水準について平均のSN比と感度を計算し、図4に結果をグラフとして示す。

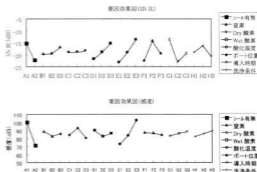


図4 要因効果図

この結果から、E (酸化温度)、D (Dry 酸素の流量)、A (パプラーふたのシールの有無) などが SN 比の向上に大きく寄与している。特に酸化温度に関しては温度を高くするほど SN 比のみでなく感度も良くなっている。F₁: ポート位置については温度の最も安定している F₂ (中央) で SN 比が最も高く、温度分布の不安定な F₁ (手前)、F₃ (奥) では SN 比が悪くなっている。

この SN 比・感度の結果から推定される最適条件は、A₁, B₁, C₁, D₁, E₁, F₁, G₁, H₁ となる。

4-3 確認実験と利得の推定

最適条件と従来条件において確認実験を行い、SN 比と感度の利得について推定値との比較を行った。

最適条件: A₁, B₁, C₁, D₁, E₁, F₁, G₁, H₁

従来条件: A₂, B₂, C₂, D₂, E₂, F₂, G₂, H₂

(因子 D について前節で推定した最適条件と異なる) それぞれの条件における SN 比と感度を推定する。

1) 最適条件

$$\begin{aligned} \text{SN 比, 感度} &= A_1 + B_1 + C_1 + D_1 + E_1 + F_1 + G_1 + H_1 \\ &\quad - 7 \times T \text{ (平均)} \\ &= 3.17\text{db, } 118.34\text{db} \end{aligned}$$

2) 従来条件

$$\begin{aligned} \text{SN 比, 感度} &= A_2 + B_2 + C_2 + D_2 + E_2 + F_2 + G_2 + H_2 \\ &\quad - 7 \times T \text{ (平均)} \\ &= -17.73\text{db, } 111.73\text{db} \end{aligned}$$

これから SN 比で 20.90db, 感度で 6.61db の利得が推定された。

最適条件及び従来条件について確認実験を行い、SN 比と感度を求めた。推定結果と併せて表 5 に示す。

表 5 SN 比と感度の利得の比較 (単位: dB)

	SN 比		感度	
	実験	推定値	実験	推定値
最適条件	-3.39	3.17	112.97	118.34
従来条件	-16.91	-17.73	106.31	111.73
利得	13.52	20.90	6.66	6.61

感度についてはほぼ推定値通りの利得が得られた。SN 比についても、完全ではないが推定値の 6 割ほどの利得が得られ、酸化条件の最適化がなされたことをほぼ確認できた。

4-4 膜厚分布の評価

前節で行った最適条件と従来条件による確認実験で得られた試料の膜厚分布について評価する。1 つの試

料につき 9 点の膜厚を測定し、その分布の平均値と標準偏差を計算した。一般に膜厚分布のばらつきは、その平均膜厚と相関があるので、図 5 のように平均膜厚と標準偏差の関係から膜厚均一性の評価を行った。

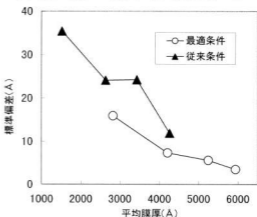


図 5 試料の平均膜厚と標準偏差

最適条件、従来条件のどちらも膜厚が厚くなるに依り標準偏差が小さくなるという傾向を示すが、約 3000 ~ 4000 Å の共通の膜厚領域において、従来条件に比べ最適条件の方が標準偏差が小さくなっており、実験条件の最適化により実際にできた膜の均一性も向上したことが示された。

5 結 言

品質工学 (タグチメソッド) の手法を適用して酸化膜製造条件の最適化を試みた。SN 比、感度の解析により、膜成長過程および、膜厚分布の安定化への寄与が大きい条件は、酸化温度、Dry 酸素流量、パプラーふたのシールなどであることがわかった。

確認実験の結果、最適条件と従来条件の間で、SN 比、感度の利得がある程度再現され酸化条件の最適化がなされたことをほぼ確認できた。

また、最適条件で作製された試料の膜厚分布の標準偏差は、従来条件のそれよりも小さく、いずれも 20 Å 以下であった。これは、マイクロマシン製造プロセスで充分使用に耐え得るだけの水準である。

最後に本研究遂行にあたり、多数のご指導ご助言を頂きました日本規格協会の矢野 宏博士をはじめ、広島地区品質工学研究会の会員の皆様に深く感謝いたします。

環境アメニティに関する研究 (第4報)

音響・振動情報を用いた音環境計測システムの開発

吉野信行, 田尾博幸, 菊山信行, 野地英治, 長谷川浩治

Study on Environmental Amenities (4th Report) Development of Sound Environmental Measurement System Using Sound and Vibration Intensity

YOSHINO Nobuyuki, TAO Hiroyuki, KARIYAMA Nobuyuki, NOJI Hideharu and HASEGAWA Koji

In recent years, the general machines exporting to European countries have to express a sound power level in a catalog and manual of machines. Therefore, it is necessary for exporting enterprises to develop these machines with lower noise and vibration.

From these points of view, this study has experimentally considered distance and frequency characteristics for diaphragm of an audio speaker and an iron plate with circle form based on the basic study for sound intensity measurement of structures.

As a result, the method of sound intensity measurement of noise control for various kinds of the general machines can be experimentally mastered using an audio speaker and an iron plate with circle in actual sound environmental room with steady state noise.

キーワード: 音響パワーレベル, 音源探査, 音響可視化, インテンシティ

1 緒 言

近年, EU 諸国に輸出される一般機械は, 音響パワーレベルをカタログおよびマニュアルに記載することが義務付けられ(国内では, 家庭電化製品等業界の自主規制), 電磁波規制(EMC 関連)と同様, 機器騒音も規制の対象となり, 輸出関連企業は, 機器の静穏化技術の取り組みが重要な課題となってきた。

このような背景を踏まえ, 本研究では, 各種機器の音響・振動対策および評価技術の確立を図るため, 音源探査, 音響可視化の基礎研究として, オーディオスピーカおよび円形平板に, 正弦波(狭帯域雑音)および白色雑音(広帯域雑音)を加えた場合の周波数特性および距離特性に関するインテンシティベクトル計測法について実験検討を行った。

これらの実験から, 音源の種類(狭帯域性, 広帯域性), インテンシティベクトルの測定距離の影響および定期的騒音の内在する測定環境等インテンシティベクトル分布変容に関わる要因について検討したので以下に述べる。

2 システム構成

写真1に, 音響インテンシティ計測システムを示す。システム構成としては, 4チャンネルFFTアナ

ライザー, 3次元インテンシティプロープ(振動の場合は, 加速度ピックアップ), 4チャンネルマイクロホンアンプ, 計測データ処理システム, カラープリンタからなる。写真2に, 円形平板加振の実験背景を示す。

なお, 本インテンシティプロープは, 3次元同時計測(振動の場合は, 2次元)が可能であり, 100Hz~5kHzの周波数特性(プロープ間距離20mm)を有する。ソフトウェアについては, 音響の可視化として, メッシュ表示, コンター表示, ベクトルマップ表示, 3D(3次元)バーグラフ表示, 3Dコンターマップ表示およびカラーマップ表示等のソフトウェアを有する。



写真1 音響インテンシティ計測システム



写真2 円形平板加振に関するインテンシティ計測の実験的背景

3 実験結果と考察

実験では、まず、騒音源として、オーディオスピーカーと円形平板に正弦波を加え、周波数を変化した場合、インテンシティプローブ距離を変化した場合、次に白色雑音を加え、インテンシティプローブ距離を変化した場合について、振動板のインテンシティベクトルがどのように変化するかを調べた。

3.1 正弦波加振による周波数特性

図1は、スピーカーボックス前面とインテンシティプローブの距離を30mmとして、オーディオスピーカーに正弦波を加えた場合の音響インテンシティ3Dバー

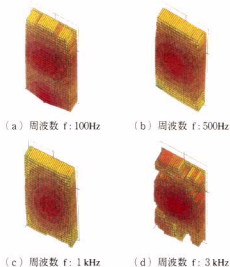


図1 正弦波加振によるオーディオスピーカーの周波数特性 (音源距離 d : 30mm)

グラフを示す。(a)は、周波数100Hzの場合で、インテンシティベクトルの方向は、スピーカーボックス前面(正のインテンシティベクトル)に発生しスピーカーボックスの中心部にレベルの高い音源があることが確認できる。(b)は、周波数500Hz、(c)は、周波数1kHzの場合の3Dバーグラフを示す。

(b)、(c)とも(a)と同様な傾向が確認される。(d)は、周波数3kHzの場合で、ボックス周辺で3Dバーグラフに後ろ向きのベクトル(負のインテンシティベクトル)が生じているが、これらは、高域周波数によって発生するスピーカーの振動板上で多数の分割モードが発生し、これらがボックス周辺部に影響を与えたものと推測される。

3.2 正弦波加振による円形平板の周波数特性

図2は、円形平板(鉄板 直径:200mm, 厚さ:2mm)に正弦波を加えた場合の3Dバーグラフを示す。

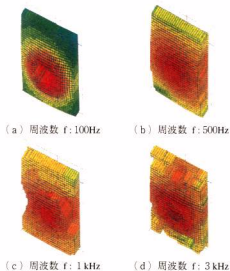


図2 正弦波加振による円形平板の周波数特性 (音源距離 d : 30mm)

(a)は、周波数100Hzの場合で、円形平板中心付近で3Dバーグラフに負のインテンシティベクトルを生じている。この原因としては、低域周波数で円形平板の同心円上で2つの分割モードが生じ、中心部は負のインテンシティベクトル、周辺部は、正のインテンシティベクトルが発生したものと推測される。

(b)は、周波数500Hzの場合で、3Dバーグラフは、正のインテンシティベクトルを示している。周波数500Hzでは、分割モードはなく、インテンシティベクトルは、正方向に発生している。

(c) は周波数 1 kHz, (d) は, 3 kHz の場合の 3D バーグラフを示す。両者とも, ボックス周辺部に 3D バーグラフに負のインテンシティブекトルが生じている。これらは, 円形平板上に高域周波数によって発生する多数の分割モードがボックス前面に影響しているものと推測される。

3.3 正弦波加振によるオーディオスピーカの距離特性

図 3 は, オーディオスピーカを正弦波周波数 1 kHz で加振し, ボックス前面からインテンシティブロブ距離を変えた場合の 3D バーグラフを示す。

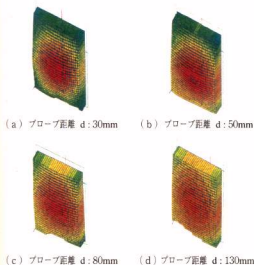


図 3 正弦波加振によるオーディオスピーカの距離特性 (周波数 $f: 1\text{kHz}$)

(a) は, スピーカボックス前面からインテンシティブロブまでの距離 30mm, (b) は, 50mm, (c) は, 80mm, (d) は, 130mm のときの音響インテンシティブロブ 3D バーグラフを示す。(a) から (d) とともに正のインテンシティブекトルを示し, 距離変化に伴う負のインテンシティブекトルは発生していない。

3.4 正弦波加振による円形平板の距離特性

図 4 は, 円形平板を正弦波周波数 500Hz で加振し, ボックス前面からインテンシティブロブ距離を変えた場合の 3D バーグラフを示す。

(a) は, スピーカボックス前面からインテンシティブロブまでの距離 30mm, (b) は, 50mm, (c) は, 80mm, (d) は, 130mm のときの音響インテンシティブロブ 3D バーグラフを示す。

図 3 と同様, (a) から (d) とともに正のインテンシ

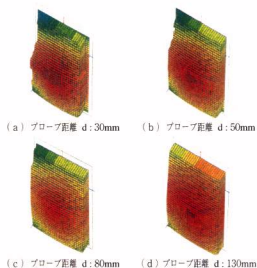


図 4 正弦波加振による円形平板の距離特性 (周波数 $f: 500\text{Hz}$)

ティブекトルを示している。

3.5 白色雑音加振によるオーディオスピーカの距離特性

図 5 は, オーディオスピーカを白色雑音 (周波数帯域: 100Hz ~ 5 kHz) で加振し, ボックス前面からインテンシティブロブ距離を変えた場合の 3D バーグラフを示す。(a) は, スピーカボックス全面からインテンシティブロブまでの距離 30mm, (b) は,

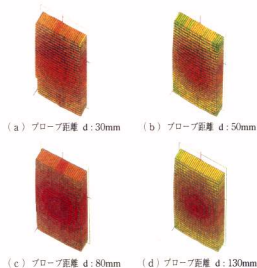


図 5 白色雑音加振によるオーディオスピーカの距離特性 (周波数 $f: 100\text{Hz} \sim 5\text{kHz}$)

50mm, (c) は80mm, (d) は, 130mm のときの音響インテンシティ3Dバークラフを示す。

(a) から (d) とほぼ正のインテンシティベクトルを示している。

これらの図から, 音源が白色雑音の場合は, 振動板へ加えられる周波数は広帯域性であるため, 多種の周波数によるモードが重なり合い, インテンシティベクトルは平均的に正方向になることが推測される。

3.6 白色雑音加振による円形平板の距離特性

図6は, 円形平板を白色雑音(周波数帯域: 100Hz ~ 5kHz)で加振し, ボックス前面からインテンシティプローブ距離を変えた場合の3Dバークラフを示す。(a)は, スピーカボックス全面からインテンシティプローブまでの距離30mm, (b)は, 50mm, (c)は, 80mm, (d)は, 130mmのときの音響インテンシティ3Dバークラフを示す。

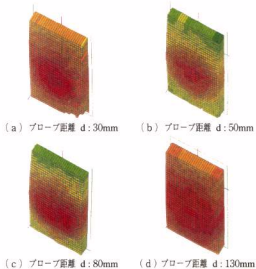


図6 白色雑音加振による円形平板の距離特性(周波数 f: 100Hz~5kHz)

上記図1から図4で音源が正弦波の場合, 機器の主要音源位置を探索する場合, インテンシティベクトルの方向に発生, 吸収等生ずるので留意する必要がある。

図5, 図6のように, 音源が白色雑音の場合, インテンシティベクトルは, 正方向に発生するので, イン

テンシティ計測を用いた音源探索等から容易に音源位置が把握できる。インテンシティプローブの距離変更に関して図では, 30mm から130mm について示したが, 突発的な外乱騒音がなければ, 遠方約200mm の距離でもインテンシティベクトルの測定が可能であった。以上の実験から判断し, 一般の各種機器から発生する騒音は, 広帯域性雑音が多く, 機器の音源位置探索に関し, インテンシティ計測の利用は十分可能と考えられる。尚, 本実験は, 定常的騒音が内在する, 通常の研究室で実験したものである。

4 結 言

本研究でインテンシティ計測に関し, 以下の留意事項を把握した。

- (1) 音源が狭帯域性の騒音である場合, 低域周波数では, 音源中心部に負のベクトルが生じる。高域周波数では, 音源周辺部に負のベクトルが生じ, 多数の騒音源を有する場合, 音源探索に留意の必要がある。音源が広帯域性の騒音では, ほぼ正のインテンシティベクトルが生じ音源探索には問題ない。
- (2) 一般にインテンシティ計測では, 音源探索をする場合, インテンシティプローブの位置は, 出来るだけ近接音場でなされるが, 距離変化によるインテンシティベクトル分布に影響は与えないので, 距離は, 遠方200mm で測定は可能である。
- (3) 測定環境としては, 無響室が最適であるが, 定常的騒音が内在する環境(突発的騒音では不可)でもインテンシティ計測は可能である。

本研究は, まだ初期的段階にあり, 実際の機器騒音対策に関するインテンシティ計測への適用は勿論, 円形平板の振動インテンシティと音響インテンシティの相関関係の解明, 実験と理論シミュレーションの対比による騒音対策技術の開発等多くの課題が残されており, 順次究明していく予定である。終わりに, 本研究を推進するにあたり, ご指導頂いた, 近畿大学工学部, 西村助教に深謝の意を表します。

文 献

- 1) 太田他, 基礎物理音響工学, 朝倉書房, (1990), 101~106

製品形状のコンピュータモデル作成技術の開発 (第1報)

製品形状入力システムの開発

坂元康泰, 佐々木憲吾, 平田敏明, 立石哲也*, 門 格史, 野地英治

Development of Shape Input System from a Master Model to CAD Models

SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo, HIRATA Toshiaki, TATEISHI Tetsuya, KADO Tadashi and NOJI Hideharu

We have developed Shape Input system for producing CAD models from a master model. That is important not only in style design but also in production system. The characteristics of this system are as follows.

- (1) 3-d coordinate measuring machine and 3-d CAD are combined closely.
- (2) Free form surface is generated from irregular and a few 3-d coordinate data, by Neural Network technology.

キーワード: リバースエンジニアリング, 形状計測, CAD, ニューラルネットワーク

1 緒 言

モノ作りのプロセスは、図1に示すように設計目標が変化し、現在は多様化・複雑化の時代と言える。我々は、特に設計工程においてシミュレーション技術を用いることにより製品開発の迅速化を図るシステムを構築してきた¹⁾。しかし、中小企業はそのシステムの入口である3次元コンピュータモデルを作成できる設計者が不足しており、後工程のCAEのツールを活用しているとは言いがたい。今日、図2に示すリバースエンジニアリング (従来のCAD/CAMとは逆のプロセスのため、こう呼ばれる) 技術の必要性が高まっている。

開発工程では、既存製品中の一部品の変更、あるいは形状の部分修正が多く見られる。また、新製品形状の具現化としてクレイモデルを作成することもある。この場合、実物という形状資産が存在しており、これを活用できれば、効率よく、また、高度な3次元CADオペレーティング能力を必要とせず、3次元モデルを作成することが可能となる。また、製品の元形状 (CADモデル) と製造工程を経て得られる (量産) 製品形状の不一致形状 (製造誤差等) を取り込むことが可能となれば製造工程でのデジタル化にも繋がる。そのため、3次元形状の計測技術、曲面生成・修正技術を用いることにより形状入力システムを開発した。

2 システム構成

我々は、ソリッドモデルを作成するためのデータを、キーボードからではなく、計測装置から行うことを考えた。3次元モデルは、①フィーチャー (意味を持つ部分的形状) と、②それを構成するアウトライン (基本となる輪郭線) からなる。現実には①を自動認識させることは困難であり、モデル作成者が計測する過程で認識する。②のアウトラインを取り込む上で最も好ましい計測方法は、指で指すイメージと考えられる。それを具現化するのには、人間の腕の構造を持つ多関節型の接触式座標計測装置である。本システムで採用した3次元空間座標計測装置の基本仕様を表1に示す。

形状入力システムの構成を図3に示す。システム全体の制御は、ソリッドモデルツールキットをベースとしてカスタマイズすることにより実現した。つまり、ソリッドモデラーのメニューの一部として形状入力部

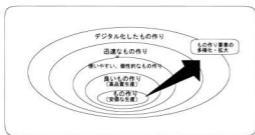


図1 モノ作り目標の変遷



図2 リバースエンジニアリングの領域

*客員研究員 (現在 マツダ㈱)

表1 多関節型接触式座標計測装置の基本仕様

構造	ロボットアーム型
自由度	6
測定アーム長	950mm
測定範囲	プローブ最大移動範囲 X 1900mm Y 1900mm Z 1800mm
精度	繰り返し精度±0.1mm 測定精度 0.15mm/400mm

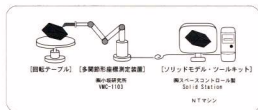


図3 形状入力システムの構成

がある。基本的なソリッドモデル作成方法は、例えば、ブロック形状を取り込むとき、「ブロック」メニューをマウスでピックし、ブロック形状の4端点をプローブで当てると、CRT画面上にブロックが生成される。基本形状の計測データからソリッドモデル作成の様子を図4に示す。ソリッドモデルツールキットとしては、機スペースコントロールのSolid Stationを採用した。これは、ソリッドモデリングカーネルとしてリコー株のDesignBaseを採用しており、3次元モデルをVisual Basic言語を用いてカスタマイズすることが可能である。

本システムの特徴は次のとおりである。

- (1) 形状計測装置と3次元CADが一体となっている
- (2) 従来の多点による座標測定ではなく、数点のデータから形状(トポロジー)を生成する

製品の開発段階では精密な形状モデルを必要としないことから、精度よりもモデル作成効率を優先したシステムになっている。

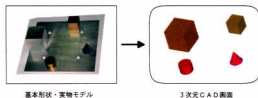


図4 基本形状の計測・生成の様子

なお、測定ポイントデータをソリッドモデラーI-DEASに取り込むマクロプログラムも作成しており、CADの操作コマンドとの併用により、様々な形状を作成することが可能となっている。

3 自由曲面の生成

座標計測データからの自由曲面生成については、近年、光を利用した非接触方式による大量の計測データとそれらを曲面に当てはめる形状生成アルゴリズムを用いた研究が見られる³⁾。しかし、我々はマスターとなるCAD曲面形状も比較的少数の通過点(あるいは制御点)から生成されたものであること、その形状の特徴としてのアウトラインが存在すること、設計・開発工程では「簡便性」が重要な要素であることから、アウトライン形状データとランダムな内部座標データから曲面を生成する手法を開発した。

本システムに用いた接触式の計測装置は形状のアウトラインを取得するには向いているが、自由曲面の計測は困難と言われている。近年、製品形状に多く見られる自由曲面の取得・生成が簡単に(数少ない計測点数で)可能となれば、基本形状から自由曲面の計測まで用途は広がる。その手法としてニューラルネット技術を適用した。(人工)ニューラルネットは、生物の神経回路網を模した構造を持ち、入力と出力の(任意)写像関係を実現することを目的として利用されている。階層型ニューラルネットでは、学習データ(ここでは計測された座標データ)をもとに、正しい入力~出力の写像関係を構築するように、誤差逆伝播アルゴリズムにより、ニューラルネット内のウエイトを変化させていく。ニューラルネットの出力と学習データとの差がある値以内に収まると学習したとみなす。学習後は任意の入力を与えると相応の出力を得ることが可能となる。ニューラルネットを曲面生成に用いることのメリットを以下に示す。

- (1) いくつかの(数少ない)計測点、データで曲面生成が可能
- (2) 計測データ位置はランダムでよい(整列させる必要がない)
- (3) データが増えるごとに精度がよくなる(データ数はいくつでもよい)
- (4) 計測データの補間(領域内部)以外に領域外部の写像能力もある

ランダムデータでよいことは接触式の座標計測装置に向いている。また、領域外部の写像能力があることはCADオペレーティングでは曲面生成後にそれをトリムする方法がよく用いられることから好ましい。こ

表2 曲線・曲面の要件とニューラルネットの課題

	曲線・曲面の要件	ニューラルネットの課題
1	同じ曲線を生成できること	保証がない(パラメータ、構造に影響される)
2	全体で滑らかであること	滑らかであるが、設計者が望んでいるか不明
3	向きを変えても同じ曲線が得られること	データ順に影響しない方法にすることが可能
4	データ間で振動が生じないこと	基本的に滑らか。振動が発生することもある

これらのメリットはニューラルネットがもつ柔軟性からきている。一方、CADでの曲線・曲面生成法の要件とニューラルネットを用いる上での課題を表2に示す。

これらの課題も、ニューラルネットの柔軟性からくるものであり、標準的なニューラルネットに新たな仕組みを加える必要がある。特に、滑らかな曲線・曲面を生成するため、以下に示す技術を形状入力システムに取り込んだ。

(1) 補間関数

少数のデータから曲線・曲面の生成をするには、データの間を補う補間関数が形状に合っている必要がある。そこで、補間関数として、ニューラルネットで一般的に使用されるシグモイド関数以外に、曲線生成に用いられるBスプラインの基底関数に近い関数であるRBF(Radial Basis Function)の利用を可能とした。このRBF関数は円弧などの急勾配形状に効果的である。

(2) データ構造

ニューラルネットが一箇関数の写像を実現することから、円筒、球形などは直交座標のままでは写像構築が困難である。そこで、円筒あるいは球形の場合は、座標データを円筒・極座標系に変換することにより、ニューラルネットにとって学習を容易にすることが可能となった。

(3) ゆがみの制御

一般に設計者はなめらかな曲面を望む。そこで、生成曲線・曲面の滑らかさとして全体の曲率変化量を算出し、ニューラルネットの学習課程で、計測データの誤差の極小化と同時に、曲線の歪み量の極小化を図ることにより、なめらかな曲線を生成することが可能となった。

4 適用事例

4.1 木型、プラスチック製品への適用

デザイナーの形状具現化として、クレイモデルや木型の実物モデルが存在する場合がある。これを製造工程へ繋げるためのコンピュータモデルが必要となる。この場合、形状としての特徴は曲線・曲面の多用である。図5に示す2.5次元形状のモデル化においては次に示す過程によりCADモデルが作成可能である。まず、アウトラインを構成する複数の点を計測し、その座標データを3次元CADに取り込みスプライン曲線を生成する。その後はCAD上の形状操作機能による押し出し、フィレットなどを施す。ソリッドモデル作成後は局所形状変更あるいはラピッドプロトタイプング装置での3次元コピーが可能となるというメリットが生じる。

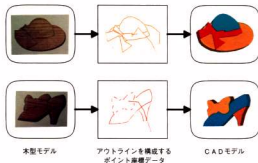


図5 木型への適用事例

4.2 金属加工面

自由曲面を含む形状の計測・生成の例を図6に示す。マスターモデルとしての金属加工面はCAD上で断面形状のロフト機能により作成し、NC加工、仕上げ磨きを施すことにより作成されたものである。この曲面の計測は加工面上をランダムに36点計測した。これを学習データとし、ニューラルネット上で、入力座標値(X, Y)、出力座標値(Z)の写像関係の構築を行う。その後、ニューラルネットは断面となるX軸(あるいはY軸)一定の整列された点群を生成できることになる。これをCADに取り込みスプライン曲線の生成、ロフト操作を実行することにより、計測データに基づいた曲面がCAD上に出来上がる。

本プロセスで生成された曲面と元の曲面の差は、ランダムな5箇所において0.4~1.0mmであった。元の曲面を構成する5断面を4断面に変更して作成された

CAD 曲面と元の CAD 曲面の差として、ランダムな 6 箇所を測定したところ 0.5~3.7mm であった。自由曲面は CAD 上においても通過点の移動により容易に変わることとを考慮すると、本プロセスの誤差は許容範囲と考える。

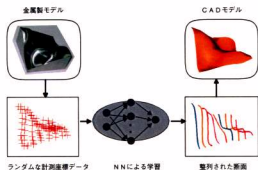


図6 金属加工面への適用事例

4.3 自然石

自然に存在する形状を取り込み、製品に特徴付けを図ることへの要望がある。自然に存在する物体形状の特徴は不規則性であり、この形状取得の可能性を検討するため、小石のモデル化を行った。本事例は精度よりも、不規則性をうまく写像しているかが重要となる。そこで、コンピュータモデルを光造形装置で実体として、その不規則性を観察したところ、図7に示すように、ほぼ一致した形状が作成可能となった。

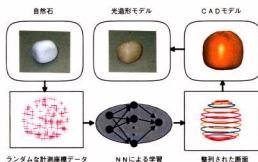


図7 自然石への適用事例

5 課 題

形状モデリングのリバースエンジニアリング技術に対して、一般的に以下の適用分野が挙げられる。³⁾

- 1) 意匠形状設計（アーティスト、デザイナーが作成した形状の CAD 化）
- 2) 部品再製造、摩耗・破損部品製造（図面が存在しない、入手できない場合の部品製造）
- 3) 検査（加工部品と CAD モデルの差の取得による量産精度評価）
- 4) 複製（歴史的遺産等の複製部品製造）

このように、目的、形状特性は多岐にわたり、要求精度も違う。本形状入力システムはさらに多くの適用事例の経験と適用限界を知る必要がある。

また、実際の製品形状には、元形状からフィレットなどの局所形状操作をほどこされて作成されていることがある。CAD モデルを履歴ベースで構築するとき、元形状が存在しないため計測できないことがある。存在しない形状を既存形状から推定する方法が必要となり、今後の技術課題である。

6 結 言

設計工程の入り口である形状入力システムを開発した。これは、実物という形状を取り込み、CAD モデルを作成することを支援するものである。製品形状は様々であることから、任意の写像関係を構築するニューラルネットを形状処理技術として本システムに組み込んだ。これにより、比較的少数かつランダムな座標データから自由曲面を生成することが可能となった。

今後は、本入力システムの他に、非接触式形状入力機、三次元測定機、輪郭形状測定機等から得られる形状データの統合化を図ることにより、曲面性、形状サイズ、要求精度など様々な形状特性に応じられるシステムに拡張する計画である。

文 献

- 1) 坂元他：広島県西部工技研究報告, No38(1995), 83
- 2) 型技術協会：平成7年度金型加工形状の非接触式計測評価技術の開発研究報告書
- 3) 青山：日本設計工学会誌, 10(1997), 32

光造形透明樹脂モデルを活用した流れの可視化による製品開発

立石哲也*, 坂元康泰, 佐々木憲吾, 門 格史

Product Development Research Depending on the Fluid Visualization
to Apply Stereolithography Model and 3-D CAD

TATEISHI Tetsuya, SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo and KADO Tadashi

By getting a high speed of near age computer, automatic calculation of fluid analysis as the beginning advances, and an other of shortening of analytic time, analysis of an actual product shaped calculation model is getting possible. By a product development, with introduction of the Concurrent Engineering (CE) to use 3 dimension (3-D) CAD, as including an analysis, plan common getting of data to trial production from a design, a development system to plan a development efficient big reform in being advanced.

There, with this research, for manifold of an automobile part dealing, the 3-D CAD design data use for, heat fluid analysis depending on an automatic mesh analysis, and experimented with the trial production model making by Stereolithography

キーワード: コンカレントエンジニアリング, 3-D CAD, 流れ可視化, 流体解析, 光造形

1 緒 言

コンカレントエンジニアリング(CE)を導入し、設計・試作・解析の開発プロセスにおいて、3次元CADによるデータ共通化で、製品開発期間を大幅に効率化できることを昨年報告した¹⁾。

最近では、流体解析(CFD)を始めとする計算解析のソフトの分野でも3次元CADによるモデルをそのまま解析に活用でき、また計算のプリ・ポスト処理もマウス入力等で簡易的になり、もはや計算解析を専門としない設計者でも充分活用可能になりつつある。

また、試作では光造形の樹脂型モデルの他に、鋳造用の砂型や金型を直接成形できる選択的レーザー成形法等の新しいラピッドプロトタイプング試作手法も活用されつつある。

一方、光造形では試作品の透明性を活かし、樹脂型透明モデルを作成することで、その製品内部の流れ状態、内部の機構挙動などの解析に活用する可能性がある。

そこで本報告は、3次元CADを活用した製品開発の研究事例として、同一モデルから光造形モデルと解析モデルを作成し、光造形樹脂モデルを可視化による製品内部の流れの解析に適用することを試みたので報告する。

2 光造形透明樹脂型モデルの作成

まず、光造形で可視化用の透明樹脂モデルの作成を行った。モデルには流れによる抵抗、熱伝達性能への影響の大きい自動車部品のマニホールドを取り上げた。

光造形で使用する樹脂は、表1に示すように、比較的透明性に優れているエポキシ樹脂を使用している。

表1 光造形用樹脂

樹 脂	ヤング率	強 度	変形温度
低粘度エポキシ	2500MPa	60 MPa	42℃

(チバツール SL5180)

そこで、その透明性を損なわないよう、以下のよう可視化用モデルを作成した。

ソリッドモデラー(1-deas Master series 3)を用いて、マニホールドの3次元モデルを作成した。図1のように、フランジ部等の必要箇所以外は、均一の肉圧になるよう設定し、本マニホールド(寸法300mm)の場合は、成形品の剛性と透明性を考えて2.0mmとした。

当センター光造形機²⁾で樹脂型モデルを成形し、さらに透明性を出すために以下のように仕上げた。

①表面研削(#400~#800研磨材)

*客員研究員(現在マツダ株式会社)

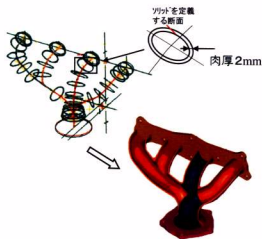


図1 1-deas 可視化用ソリッドモデルの作成

- ②ごみ, 油分, 水分を充分とり乾燥
 ③透明塗料を塗布, ④乾燥。
 光造形成品と仕上げ品を図2に示す。

3 流れの可視化手法の検討

3.1 可視化手法の検討

試作した透明マニホールドを用いて内部流れの可視化を行う前に, 可視化手法の検討を行った。

一般に, 企業の開発で流れの性能を評価する事例として, 翼, ファン等の物体に作用する力学的な浮力, 抵抗力や振動, および熱移動現象に関することが主である。

そこで本研究では, これらの現象に大きく関与する流体と物体との境界面近傍の流れに着目し, その境界層流れを精度よく可視化できる手法を検討した。

流れの代表的な可視化手法としては図3のような例が上げられる²⁾。これらの中で, 境界層流れの様相を定量的に解析できる手法として, 油点法について注目した。

- | | | |
|---------|-----------------|---|
| 壁面トレース法 | 油膜法, 油点法 | 他 |
| タフト法 | 表面タフト法, デブスタフト法 | 他 |
| トレーサ法 | 流脈法, 流跡法 | 他 |
| 電気制御法 | 火花追跡法, 水素気泡法 | 他 |
| 光学的手法 | モアレ法, 放電法 | 他 |

図3 実験による流れの可視化手法

3.2 油点法について

油点法は, 物体表面に一樣な大きさの油点を置き,

光造形試作モデル



透明樹脂型モデル



図2 可視化用透明樹脂モデル

流れにさらしたときに, その油点から流出した筋の描くパターンを観察することによって, 境界流れの様相を正しく把握できる。

流出した筋は, 図4に示すように, その点の流れの方向, 筋の長さは境界流れによる壁とのせん断応力の大きさとほぼ比例する²⁾。

油点法による流れの可視化パターン



図4 油点法による流れの可視化パターン

3.3 油膜材料選定

油点法に用いる油膜材料は, 油と顔料の混合で作られる。油膜材料に必要な性質は,

- (1) 流れのせん断応力に応じて表面を流れる。
- (2) 規定の流速範囲外で, 流れ出さない。
- (3) 流れによって表面から剝離し持ち去られないことが必要である。

そのため, 油の粘度, 顔料の密度, 両者の混合比を適量にし, 流れに対して油膜の粘性と壁面材料との表面張力の適切な組合せを見つける必要がある。

そこで, 粘度の異なる油 (椿油, タービン油, マシ

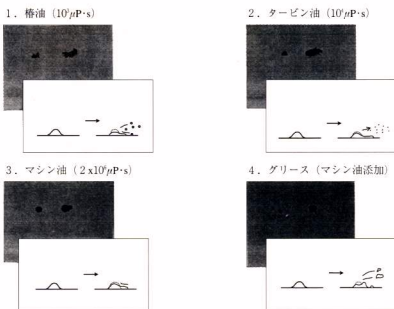


図6 油膜材料選定実験結果

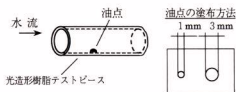


図5 油膜材料選定リグテスト

ン油、グリース等)を使用し、顔料に四三酸化鉛を用いて、光造形樹脂型モデルに最適な油膜材料の選定を行った。油膜材料の選定実験は、図5のような光造形で作成した樹脂型テストピースに油点を塗布し、1～2 m/s の水流を圧送して、油膜の流れ状態を観察した。油膜材料は、油と顔料を混合した後、充分なじませた後使用した。図6にその結果を示す。

粘性の低い椿油(粘性 $\eta=103\mu\text{P}\cdot\text{s}$)では、流れ方向に移動するが、油膜の結合力が弱いため、油点が細かく分離し、大部分を水流に持たれる。(図6-1) また、粘性が高い場合(グリース+マシン油)は、油点内部で大きく剥離し、流れ方向に伸びていかないことがわかる。

これらの結果から、タービン油と四三酸化鉛を組合わせた油膜材料が、流れに対して分離せず、かつ流れ方向に良く伸びることがわかった。そして、光造形樹脂型モデルへの最適な油膜材料の例として、表2の組成の油膜を用いれば良いことがわかった。

表2 光造形用油膜の組成

油	顔料	組成比	適用
タービン油	四三酸化鉛	1 : 3.8	水流 1 m/s

(重量比)

4 可視化実験

選定した油膜材料を用いて、マニホールド内の可視化テストを行った。図7に油点を塗布したマニホールドを示す。

可視化実験は、図7で水流を一定時間、圧送した後、内部境界流れを観察した。

図8にマニホールド内部の代表的な境界層流れのフローパターンを示す。



図7 可視化実験方法

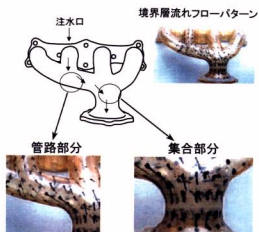


図8 可視化実験結果

マニホールド内部流れについて流体計算を用いてシミュレートし、可視化実験結果と比較検証を行った。

流体計算は市販解析コード Star-cd を使用し、乱流モデルは標準型 $k-\epsilon$ 方程式を用いた。計算解析の詳細設定は昨年報告と同仕様で行った¹⁾。

図9に、同じ Re 数の流れ状態の境界流れを、可視化結果と比較して示す。

乱流モデルを用いた結果と油点法を用いた結果とも、境界層流れの様相は良く対応している。

5 結 言

光造形による試作モデルを製品内部の流れの可視化に活用した結果以下のことが明らかになった。

- (1) 光造形試作モデルから透明樹脂型モデルを作成し活用することにより、製品内部のフローパターンを可視化し解明する製品開発研究ができることがわかった。



図9 可視化実験と計算解析との比較検証

- (2) 油点法を用いた可視化方法について、透明樹脂モデルに最適な油膜材料を検討し、内部流れ壁面流を計測することが可能になった。
- (3) 油点法による可視化実験結果と計算結果を比較した結果、両者の境界層流れの様相はよく対応した。この結果、光造形と油点法を用いた可視化手法は計算解析の検証にも有効であることがわかった。

文 献

- 1) 立石, 坂元他: 広島県西部工技研究報告, No40 (1997), 20
- 2) 門, 原他: 広島県西部工技研究報告, No40 (1997), 48
- 3) 浅沼他: 新版流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店, (1987), 112

コンピュータグラフィックス基本モジュールの構築と応用 (第2報) 空間磁場自動計測可視化システムの開発

田尾博幸, 佐々木憲吾, 中平 宏*

Construction of Fundamental Modules for Computer Graphics and Its Application (2nd Report) Development of an Automatic Measurement and Visualization System for Magnetic Field

TAO Hiroyuki, SASAKI Kengo and NAKAHIRA Hiroshi

On Computer Graphics, we constructed fundamental modules for development of application program by using OpenGL (3D Graphics Library), and applied to magnetic field visualization.

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

By employing this system, as exactly being able to evaluate a magnetic shield effect, a support of efficient development of the product to make use of magnetism is possible.

キーワード: CG, OpenGL, 磁場, 可視化, GUI

1 緒 言

コンピュータグラフィックス (CG) は, シミュレーション, 可視化, プレゼンテーション, マルチメディアコンテンツ等, 幅広く利用される技術となっているが, 現状では, まだ CG の作成に比較的高価な設備と高度な技術, 多くの時間を必要としている。

このため, 前報告¹⁾では, 3次元グラフィックス・ライブラリとして OpenGL を使用し, 可視化等応用ソフトウェア開発に必要な基本的なモジュールをパソコン上でも使用可能な形で構築した。またこれを, 多次元情報高度映像化研究で開発した構造解析可視化システム²⁾に適用し, UNIX WS およびパソコンのマルチプラットフォーム環境において, 構造解析結果のインタラクティブな可視化を実現した。

本報告でも, 構築した基本モジュールを応用して, 空間磁場を自動計測し, 可視化するシステムを開発, 磁気を利用した製品開発の支援を可能とした。

2 システムの概要

磁力の機器・生体に及ぼす長短両面の影響が目目されておられ, 磁力を使用する製品開発のためには, 3次元空間におけるシールド効果を的確に評価できるシステムが求められている。

そこで, 3次元空間に分布する物理量 (磁束密度) を自動的に計測, 観察者の意向を直ちに反映可能で, 拡張性にも配慮した GUI (Graphical User Interface)

*株デルタツーリング

を中心とした可視化機能を有するシステムの開発を行った。

システムの構成と処理の流れを図1に示す。

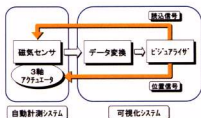


図1 システムの構成と処理の流れ

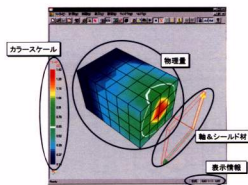


図2 ビジュアライザによる可視化表示例

システムは, 磁気センサと3軸アクチュエータからなる自動計測システムと, 可視化システム (ビジュア

ライザ)から構成されている。ビジュアルライザは、3軸アクチュエータの位置制御を行い、その上に取り付けた磁気センサからの出力データを、ユーザの観察を支援するために表示データに変換した後、インタラクティブに可視化する。

ビジュアルライザによる可視化表示例を図2に示した。

3 自動計測システム

3.1 システムの仕様

表1に磁気センサと3軸アクチュエータの仕様を示したが、パソコンとの接続は、RS-232C インタフェース経由で行う。

表1 自動計測システムの仕様

	
METROLAB THM7025	THK ST-42+Z軸
測定軸 3軸(x,y,z軸)	制御軸 3軸(x,y,z軸)
レンジ DC20-2,000mT	ストローク x,y軸 600mm z軸 400mm
精度 2%	位置決精度 ±0.08mm
更新レート 0.4sec	速度 1,250mm/sec
入出力 RS-232C	入出力 RS-232C

磁気センサ(米 METROLAB 社:THM7025)は、3次元ホール効果素子を利用した3軸セラメータで、2T(テスラ)の静磁場まで対応できる。

3軸アクチュエータ(THK社:ST-42+Z軸)は、x,y軸600mm,z軸400mmのストロークを有しており、3次元空間の広い範囲にわたる計測を可能としている。

3.2 システムの流れ

図3に自動計測を中心とした空間磁場自動計測可視化の流れを示す。

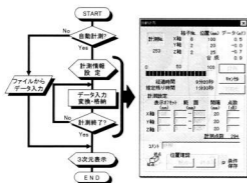


図3 空間磁場自動計測可視化の流れ

自動計測であれば、図3右に示した自動計測ダイアログ内で、計測開始・終了位置、計測点数等格子点計測情報に関する設定を行い、ダイアログの計測ボタンにより自動計測を開始する。計測は、3軸アクチュエータを制御して、磁気センサを格子点上の計測位置に移動させ、データ入力および表示用データへの変換、ファイルへの格納を行う。進捗状況は、逐次ダイアログに表示され、全ての格子点の計測が終了すれば、可視化ボタンにより、計測した空間磁場の3次元表示が行われる。

4 可視化システム

可視化システムは、OpenGL対応ウィンドウアクセラレータとしてメルコ製 WGP-SX 8 (ビデオメモリ: 8 MB, DRAM: 8 MB)を搭載した富士通FMV-5166T3 (CPU: Pentium166MHz, 主記憶: 96MB, OS: Windows NT)上にインプリメントし、プログラム開発言語としては、Microsoft社の Visual C++を使用した。

4.1 可視化システムの機能

システムは、自動計測システムで取り込んだ格子点上のデータを、任意の箇所を任意の角度で、内部の面についても観察者の思考を中断せずインタラクティブに観察可能としている。

表2にシステムの主な機能を示し、次節以降で具体的な内容について述べる。

表2 可視化システムの主な機能

- 3次元空間での物理量表示
 - 分布表示
 - ベクトル表示
- インタラクティブ処理機能
 - 一カラースケールの切替
 - 一視点の制御(回転、拡大・縮小)
 - 一注視点の設定
- 指定物理量表示
- 断面表示
 - 断面アニメーション表示
 - 複数断面表示

4.2 3次元空間での物理量表示

システムで取り扱う物理量は、自動計測システムで計測した格子点上の3軸成分を持つ磁束密度である。この表示方法に関しては、図4に示した分布(スカラー)表示、ベクトル表示がある。

(a) 分布表示

3次元空間に分布する物理量に対応した疑似カラーで濃淡処理(スムースシェーディング)。各軸成分あるいは合成値の分布、また各軸成分は、負の値もとるので、絶対値での分布表示も可能。

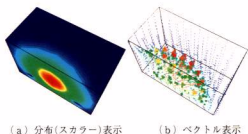


図4 3次元空間での物理量表示

(b) ベクトル表示

ベクトルの大きさに比例した長さによる方法（観察者が大きさを直感的に把握できる）と、大きさに対応した疑似カラー表示（大きさの絶対値を読みとるのに適している）との併用方法。

4.3 インタラクティブ処理機能

4.3.1 カラースケールの切替

物理量の大きさを認識するために、一般に寒色から暖色に向けて順序づけられた疑似カラー表示が行われる。このカラー配置は人間の感性にマッチしていることが必要で、心理学の立場からも種々研究されているが、まだ標準化されるまでには至っていない。

システムでは、物理量とカラー配置の関係を表すカラースケールとして、次の2つを用意した。

(a) 連続値

寒色系から暖色系に連続的に変化し、人間の感覚にマッチしており、分布物理量の全体的な様子の理解が容易。

(b) 離散値

10色と各色の5段階の輝度変化による50レベルのスケールを持ち、各部分の物理量の大きさを読み取ることが可能。

これらは、用途・対象に応じて自在に切り替えて使用できる。また、最大値、最小値の変更が可能であり、分布の偏ったデータあるいは物理量値を細分化した表示等に有効である。

4.3.2 視点の制御・視点の設定

視点の制御（回転、拡大・縮小）、視点の設定（移動）の操作としては、表示領域において、マウスボタンあるいは特定キーとの組み合わせで操作種別を選択した後、マウス移動で行うのが一般的である。この方法は、観察対象に注目したまま操作ができる利点を持つ反面、細かい指示を与えるためには、慣れが必要であり、観察者にストレスを与えることがある。

システムでは、この操作法に加え、カーソルキー入力ごとに一定量ずつ操作する方法および、ダイアログ

上でスライドあるいは数値入力で操作する方法を用意し、観察者および観察内容に応じて、操作法の選択ができるようにした。

4.4 指定物理量の表示

物理現象の観察に際しては、物理量の大きさを詳しく読みとる機能が当然必要であり、指定した物理量と等しい値を持つ等物理量領域の表示が望まれる。

そこで、図5に示すように、カラースケールの任意の位置をマウスで指示することにより、その点と同じ値を持つ等物理量領域を白色に変更して表示し、物理量分布状況の詳細な読みとりを可能とした。

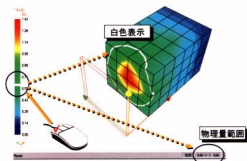


図5 指定物理量表示（分布表示の場合）

4.5 断面表示

任意に設定した3次元表示空間内の物理量の分布状況を観察する方法として、以下に示す2つの方法を用意した。

4.5.1 断面アニメーション表示

断面を連続的に変化させれば、表示空間全体の物理量分布状況を究明に観察することができる。

そこで、一定時間ごとに、断面位置（格子点間を任意数に分割）を順に移動させ、連続的に分布表示を可能とした。断面位置における物理量は、断面位置前後格子点から線形補間で求めた。

また、特定キーの押下とマウス移動により、あるい

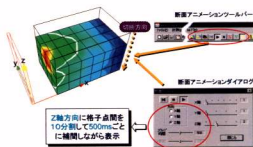


図6 断面アニメーション表示

は特定キーとカーソルキーとの組み合わせで、任意位置の断面表示も行える。

図6に断面アニメーションの方向、画面の切替時間、格子点間分割数等の設定を行うダイアログとアニメーションの制御が可能なツールバー、およびz軸に垂直方向の断面表示例を示した。

4.5.2 複数断面表示

前項で示した断面アニメーション表示では、複数断面上の物理量分布を観察したい場合、順次これらを表示する必要があるため、思考の中断が起こりやすい。

この問題点を解決する一つの方法として、複数の断面上の物理量分布を表示可能とし、物理量分布全体像の把握を容易とした。

図7に複数断面(y軸に垂直な面)の表示例を示したが、表示する面の方向、面の間隔は、随時選択可能である。また、断面位置を移動させるアニメーションとの併用表示もでき、観察者の様々な要求に対する選択肢を用意した。

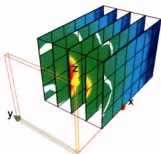


図7 複数断面表示例

5 適用例

システムにより計測・可視化表示した空間磁場を、測定対象と対応させた例を図8に示す。右にある複雑な形状の測定対象から空間磁場への影響を直感的に把

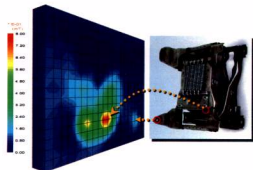
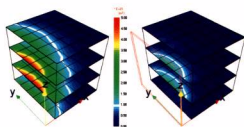


図8 空間磁場表示例

握できることが分かる。

図9は、磁場を発生させる機器と計測する磁場の間に、(a)シールド材がない場合と、(b)x-y軸上(図中枠線部分)にシールド材として鉄板を使用した場合を比較するため、z軸に垂直な断面に磁束密度分布を表示したものである。システムでは、またこのような2つの計測データ間の差分表示もでき、シールド材による効果の比較等が容易に実現可能である。



(a) シールド材なし (b) シールド材(鉄板)あり

図9 シールド効果表示例

6 結 言

前報告では、可視化等の応用ソフトウェア開発に必要な基本的なモジュールを、3次元グラフィックスライブラリ OpenGL を使用して構築することにより、パソコンでも利用可能とし、CGを利用したアプリケーション開発時間の短縮と経費削減を可能とした。また、構造解析の可視化に应用することにより、複雑な物体の形状、物体の時間的な変化等、構造解析結果の可視化を、安価なパソコンでも可能とした。

本報告では、この基本モジュールを空間磁場自動計測可視化システムに応用し、3次元データを自動計測、計測結果を任意の箇所を任意の角度で、内部の面についても観察者の思考を中断せずインタラクティブに観察可能なシステムを開発した。この結果、磁気のシールド効果を的確に評価でき、磁気を利用した製品の効率良い開発への支援を可能とした。

開発した可視化システムは、用途・対象に応じたインタラクティブな可視化を実現することができ、科学技術分野にとどまらず多様な分野への応用が可能である。

文 献

- 1) 田尾博幸, 佐々木憲吾: 広島県立西部工業技術報告, No40(1997), 12
- 2) Hiroyuki Tao, Katsumi Tadamura, Eihachiro Nakamae: PACIFIC GRAPHICS '97 Papers (1997), 198
- 3) 山下英生: 機械の研究, 49(1997) 11, 1137

マルチメディア対応データベース及び信号処理システムの開発 (第3報) マルチメディアを活用した仮想現実感システムの開発

打田澄雄, 檜垣和生, 村河亮利, 中塩武之

Study on Multimedia Applications (3rd Report) Development of Virtual Reality System for Remote Control

UCHIDA Sumio, HIGAKI Kazuo, MURAKAWA Akitoshi and NAKASHIO Takeyuki

We have developed a virtual reality system for the remote control. It consists of multimedia personal computers, a remote control camera and a micro robot. Among distributed computers various informations transfer using a network. This system applies the client/server model as an images server and the clients, a computer simulation model database server and the clients, a robot controller and the clients. Almost operations are executed from a client's Web browser easily. A typical application is a remote control robot and watching the status of operations. We intend to distribute images dynamically with this technology.

キーワード: マルチメディア, コンピュータグラフィックス, 遠隔制御, 画像処理

1 緒 言

コンピュータの普及, ネットワークやマルチメディア技術の進展によりイントラネットに代表されるインターネットの技術を企業内の情報システムへ適用する事例が増えつつある中, 製造分野への活用もさまざまな試みがなされている。そこで生産コスト削減及び短納期化など生産性の向上を支援するため, 生産に関わるさまざまな情報をマルチメディア技術を使って効率的に管理する手法を研究する。まず, 分散配置したコンピュータ及び機械装置等の機器をマルチメディアネットワークにより結合し, 一カ所で各機器の状態監視, 制御を行うシステムを開発する。そのために, ロボットやカメラ等の機器について動作モデルなどを定義, 標準化し, コンピュータグラフィックスの技術により形状及び動作を可視化する。状態監視は可動式のカメラを使って行い, 諸設定, 映像取り込み, 画像処理, 配信などは分散環境で利用できるようにする。制御ソフトは各種開発環境で再利用できるようにライブラリ化する。

2 コンピュータグラフィックス

2.1 概要

物体のさまざまな形状や動作等を可視化して提示するためのコンピュータグラフィックスはコンピュータの利用分野で重要な位置を占めている。描画も従来の二次元図形から三次元図形の要求が強まっている。そのような中, コンピュータの高性能化と低価格化によ

りさまざまなグラフィックライブラリが利用可能になってきた。シリコングラフィックス社の OpenGL もそのひとつである。モデリング, 変換, カラー, ライティング, シューディングなどの二次元/三次元グラフィックス描画機能などがあり, オペレーティングシステムとウィンドウシステムに依存しないため, さまざまなクラスのコンピュータ上で動作する。

本システムでもロボットやカメラ, ワークなどの形状及び動作を描画するため OpenGL を利用した。

2.2 モデリング

形状の把握や動作の確認などのために描画対象をモデル化しなければならない。データ構造は形状定義部と動作定義部からなる。動作定義部はさらに初期値部, 可動範囲部からなる。データ構造を図1に示す。

形状の基本要素は平面でその頂点を表裏を特定する

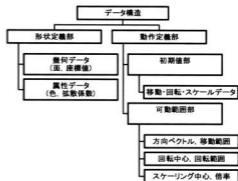


図1 データ構造

ために決めた順序で定義することによって行う。現実世界は立体であるが描画のためには平面情報だけで十分なためこのようにした。平面の付加属性として色、拡散係数、鏡面係数などがある。

動作は回転と移動があるがそれぞれ回転中心と移動方向を1自由度に固定して定義する。多自由度については複数記述することによって実現する。また、動作については可動範囲の制約もあるため回転角度、移動量についてそれぞれ最小値、最大値を定義する。

2.3 表示

表示までのフローを図2に示す。モデリング変換で物体の形状データ(座標値)に対して順次、動作定義に従った行列を作用させて最終の形状を決めた後に、それぞれの物体を同一空間内に位置づける。光源や視点、投影方法などの諸設定に従って視野変換、透視変換等を施して最終的に表示画面への出力になる。

なお、動作シミュレーションなどのためにはどのような動作をどのようなタイミングで行うかを指定しなければならないが、必要に応じて定義部の対応部分を変更し、再描画することで実現している。

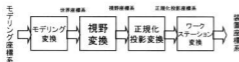


図2 表示フロー

モデルの全体管理はサーバープログラムで行い、モデルの登録、削除、変更、移動や回転などの指示及び描画はクライアントプログラムで行う。プロセス間通信にはソケットを用いた。構成を図3に示す。

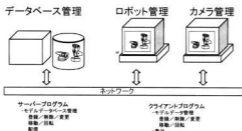


図3 シミュレーション表示

3 カメラ制御及び画像処理

3.1 概要

加工状況の監視など映像の利用は古くから行われており、構成としては図4に示すようにカメラからの映像信号及び制御信号はそれぞれ専用の線を使って行

れていたが、その延長のためには画質劣化防止などの対応が必要であった。しかし、今日のコンピュータ技術の進展によりネットワークを使って図5のように映像情報を伝送することが可能になった。もちろん制御信号も同様に伝送できる。いったんデジタル化された画像は劣化することなく複数の遠方に伝送できるなどより有効に利用できる。ただ、現状ではネットワーク帯域の制約などによりすべての映像を配信できないため、さまざまな工夫が必要である。

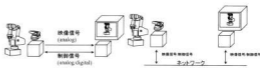


図4 専用線型遠隔制御 図5 ネットワーク型遠隔制御

3.2 画像入力

ネットワークを使って画像情報を伝送するためにはコンピュータに画像を取り込まなければならない。カメラの仕様を表1に、画像入力ボードの仕様を表2に示す。

表1 カメラ仕様

項目	内容
型 式	キヤノン機 VC-C3
映 像 信 号	NTSC 方式標準。解像度: 水平450TV 本、垂直350TV 本相当
パ ン ン 鏡	回転機構: 回転角度 45°、45°、45° 回転速度1~20°/秒
駆 動 機 構	カメラ機構: 回転角度 125°、20°、20° 回転速度1~20°/秒
レ ン ズ	レンズ: f=1.2~42mm F1.8~2.9 電動10倍ズーム
組 装 部 品	通信規格 RS-232C 準拠
サイズ、重量	82.2mm (h) × 101.5mm (w) × 125.0mm (d) 約520g

表2 画像入力ボード仕様

製 品 名	Q-MOTION PCI250 (Quadram International, Inc.)	POWER CAPTURE/V (1.5チップ2枚)
ビ デ オ 入 力	YUV1:2:2, NSC, 10H VC, 10H	YUV1:2:2, NSC, 2CH VC, 10H
キャプチャ機能(静止画)	○ (DIB, JPEG)	○ (DIB, JPEG)
キャプチャ機能(動 画)	○ (最大640×480, 30fps)	○ (320×240, 30fps)

映像信号は毎秒30フレームの画像が更新されるが実時間で取り込むためには高速バス、高速大容量記憶装置などが必要になるので、画像圧縮を併用する場合が多い。画像を保存した場合のサイズを表3に示す。

フルカラー画像は圧縮した場合、数分の1に小さくなる。圧縮にも時間はかかるが10Mbpsなどのネットワークの制約の方がより影響するためデータサイズが重要になってくる。表3は静止画での比較であるが一

表3 ファイル種別サイズ

種類	RMS01, BMP 60H × 48V × 24	SEIBU, BMP 60H × 48V × 24	換 考
BMP	921,654バイト	921,654バイト	Microsoft Windows (画内画)
JPG	125,411バイト	147,917バイト	JPEG
TIF	598,186バイト	628,223バイト	Tagged Image File Format (LZW 圧縮)
GIF	168,472バイト (256色に減色)	177,615バイト (256色に減色)	CompuServe Version 89a (LZW 圧縮)

般に映像は時系列的にも画像間の相関があるため、その性質を利用した画像圧縮の方法もある。今回は複数の端末から監視できるように画像1枚単位で圧縮してファイル保存して、端末に提供する形態にした。

3.3 画像処理

生画像をデジタル化し、それを人間が監視するという利用法もあるが、コンピュータに認識などの処理をさせ、結果を伝送するという方法もある。画像処理の機能としては濃度変換、フィルタリング、面積計測などがあり、表4に機能一覧を示す。

表4 画像処理機能

種 類	機 能
初 期 化	入力チャンネル設定、画像サイズ設定
検 査 処 理	ヒストグラム
フィルタリング	平滑化、差分、輝度化
特 徴 抽 出	二値化、曲線、重心、ラベリング
画像間演算	加算、減算
画像入出力	ファイル保存、画像転送

3.4 カメラ制御

カメラは表1に示すようにシリアル通信で制御できる。カメラの初期化、姿勢制御などコンピュータから行える制御を表5に示す。

表5 カメラ制御機能

種 類	機 能
初 期 化	通信条件設定、原点復帰、スピード設定
レンズ設定	焦点設定、ズーム設定
姿勢制御	姿勢情報設定
状態通知	姿勢情報

3.5 画像通信

画像の伝送は直接サーバー及び端末間で接続を確立した後、直接転送する方式といった画像をファイルとして保存し、そのファイルを端末から閲覧する方式がある。直接転送する場合は処理がメモリベースで動作するため高速の画像転送が可能だが、セッションの確立の制約から送信1対受信1の通信に限られる。ただし、ブロードキャストにより送信1対受信N(1以上)の通信も可能だが、そのためにはネットワークを利用する他の端末にも影響が及ぶ。図6に直接転送方式のイメージを示す。一方、ファイル配布方式の場合はサーバー側でサンプリング間隔など画像入力条件を設定すると、定期的にカメラからの画像をファイルとして保存し、端末から必要な都度、画像ファイルを読み出す。図7にファイル配布方式のイメージを示す。

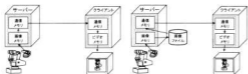


図6 直接転送方式

図7 ファイル配布方式

3.6 カメラシミュレーション

カメラを一つの機器としてコンピュータ上でシミュレーションするため形状及び動作のモデルを定義した。カメラは動作としてパン及びチルドの回転があるが、ズーム機能はレンズ部の形状を拡大・縮小することによって表現することにした。

4 ロボット制御

4.1 概要

溶接、組立など多関節型ロボットはさまざまな場所で利用されている。ここでは一つのモデルとして表6に示すロボットについてモデリングとその制御を行う。コンピュータからはシリアル回線を介して、ロボットの初期化、位置及び軸の移動量などの指示、状態の取得を行う。表7にロボット制御機能を示す。

表6 ロボット仕様

項 目	仕 様
型 式	三菱電機RMELFA RM-501形
構 造	5自由度 垂直多関節型
駆 動 機 構	ウェスト回転: 300°、ショルダ回転: 130° エルボ回転: 90°、リストピッチ: ±90° リストロール: ±180°
インターフェース	パルス(セントロ車輪)、シリアル(RS-232C)

表7 ロボット制御機能

種 類	機 能
初 期 化	通信条件設定、原点復帰、スピード設定
姿勢制御	姿勢情報設定
状態通知	リセット
状態通知	姿勢情報

4.2 ロボットシミュレーション

ロボットを一つの機器としてコンピュータ上でシミュレーションするため形状及び動作のモデルを定義した。動作としては回転軸はウェスト、ショルダ、エルボ、リストピッチ、リストロールの5軸、ハンド部の開閉がある。

5 仮想現実感システム

5.1 概要

遠隔操作でロボットを制御しながら映像で監視するシステムを構築した。図8にシステム構成を図9にソフトウェア構成を示す。サーバーはカメラの制御、映像の入力配信、ロボットの制御などを行う。端末はカメラ、ロボットの遠隔操作及び映像を表示する主端末とシミュレーション及び映像を表示する補助端末からなる。

5.2 サーバー及び端末

サーバー上で動作しているプログラムは、WWWサーバープログラム、画像処理プログラム、カメラ制御プログラム、ロボット制御プログラム、モデルデータベース管理プログラムである。WWWサーバープ

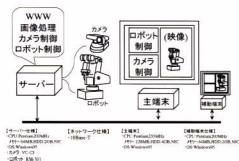


図8 仮想現実システム構成図

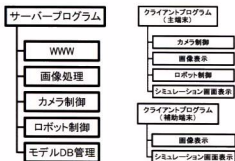


図9 ソフトウェア構成

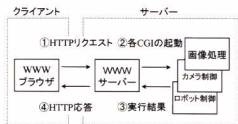


図10 処理フロー

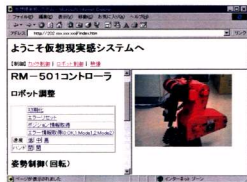


写真1 主端末操作画面

プログラムは図10に示すように CGI (Common Gateway Interface) 機能を使って、端末から要求を受け、サーバー上の対象プログラムを起動、実行しその結果を端末に通知する。画像処理プログラムはカメラからの映像をコンピュータに取り込みファイルとして保存し、端末からの要求に応じて配布する。カメラ制御プログラムは端末からの指示に従ってカメラの姿勢を制御したり位置情報などを端末に通知する。ロボット制御プログラムは端末からの指示に従ってロボットの姿勢を制御したり各種情報を端末に通知する。モデルデータベース管理プログラムは主端末からのモデルの登録など各種指示に対してモデルのデータベースを更新するとともに、端末側においてシミュレーション画面を更新する。

主端末で動作しているプログラムは Web ブラウザでサーバー上に格納されている端末用のファイルを読み出し、CGI 機能を使って制御したい対象を操作する。カメラの映像は画像表示機能を使って表示する。写真1に主端末の操作画面を示す。同様に、補助端末で動作しているプログラムも Web ブラウザでサーバー上に閲覧用のファイルを用いて状況を画面表示する。

6 結 言

コンピュータグラフィックス、遠隔制御、バーチャルリアリティなどについて調査、検討し、コンピュータ、ロボット、カメラなどをネットワークで結合し遠隔監視・制御を行う仮想現実システムを開発した。マルチメディア対応データベースの構築及び操作環境の開発により、工場及びオフィス内の文書、図面等のさまざまな情報の一元管理及効果的な利用が可能になった。さらに静的な情報だけでなく最新の情報をエンドユーザが能動的に取得できるなど様々な応用が可能となった。今後、市販の CAD/CAM システムとのデータ連携やライブラリの充実を図っていく。

文 献

- 1) 打田澄雄, 馬場祥宏, 佐野誠: 広島県西部工技研究報告, No40 (1997), 8
- 2) 打田澄雄, 馬場祥宏, 佐野誠: 広島県西部工技研究報告, No39 (1996), 60
- 3) 三浦憲二郎著: OpenGL 3D グラフィックス入門, 朝倉書店, 1995
- 4) ムーブマスター II MELFA RM-501形 取扱説明書, 三菱電機株, 1983
- 5) VC-3 使用説明書, キヤノン株, 1997

インテリジェントネットワークを用いた多者通話接続の検討

村河亮利, 大槻英樹*, 吉村一成**

Study of teleconference over intelligent network

MURAKAWA Akitoshi, OTUKI Hideki and YOSHIMURA Kazunori

When new service is installed to the switch, much time and cost are needed. In this study, a conference system using the intelligent network (IN) is proposed without using voice mixing resources.

Simultaneously to talk using the IN has not serviced and not studied now. So in this report, we propose how to do it using the IN. Each terminal is built in a simple the A/D, D/A and data adding device. And the IN data base function is expanded to set up conference system.

As results, needed messages of the CS-1 to chat many people using the ISDN are picked up. Furthermore limits of the CS-1 and are checked up.

キーワード: インテリジェントネットワーク, ISDN, 交換機

1 緒 言

現在広く用いられているデジタル交換機は、新しいサービス(キャッチホンサービス***, フリーダイヤルサービス***等)¹⁾を始めようとする時、交換機に新たにハードウェアを組み込まなければならない。そのサービス毎にハードウェアを作成し、それを交換機に導入する作業に膨大な費用と時間がかかる。また、そのサービスを全ての交換機に導入するまで新しいサービスは使用することは困難である。これらを解消するためにインテリジェントネットワーク(IN)が導入され、新たなサービスが生み出されている。

ところで、多者通話は遠隔教育現場から要望されており、TCP/IP上ではループ接続に関する研究が行われている^{2,3)}。一方現在通信事業者がサービスを行っている多者通話は、音声合成リソースを多通話の数に応じて用意する必要がある。又、あらかじめ多者通話の設定を交換機に行なわなければならない。

そこで、それぞれの電話端末に音声合成する簡単なデバイスに乗せて、INのサービスの1つとして多者通話を実現する方法を提案を行った。

この報告は、N-ISDN上でINを用いて従来のリソースを用いることなく多者通話の実現について検討を行った。同時に能力セット-1(CS-1)に必要なメッセージの抽出を行った。

2 システム構成

2.1.1 システム全体

今回用いたシステムを図1に示す。



図1 システム構成図

サービス交換機能(SSF)、サービス制御機能(SCF)は汎用コンピュータを用いた。呼制御機能(CCF)については、HITACHI CX5200を用いた。呼制御エージェント機能(CCAF)、CCF間はQ.931⁴⁾、SSF、SCF間とSCF、サービスデータ機能(SDF)間はQ.1200⁵⁾に準拠している。

2.1.2 個々の端末について

個々の端末に図2に示す機能を設定する。

個々の端末から入力された音声はA/D変換によってPCMコードに変換される。音声は重ね合わせの原理により線形性のコードであれば加算することが出来る。このデバイスの機能は、入力データに自分の音声

*郵政省 通信総合研究所, **ソフトウェア興業株, ***NTTの登録商標

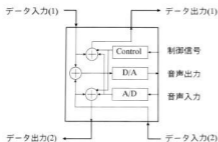


図2 端末機能

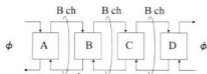


図3 Bチャンネル接続状態

データの加算を行い出力するものである。図2のControlは端末からの音声合成の有無を制御する。

図3に多者通話接続のBチャンネル接続の状態概念図を示す。

2.2 多者通話接続の提案

2.2.1 CS-1のみを用いた場合

図4にシーケンスを示す。まず多者通話を始める場合、特番+相手番号をダイヤルを行う。その後SLPはSDFに相手先の番号が登録されているか確認する。登録されていない場合はそのまま特番を除いた相手方の番号をSSFに返す。もし相手方の電話番号がSDFに存在すればSDFの最後の人の番号を探し出し、その番号をSSFに返す。相手方にダイヤルした後で相手が出るとSDFに発信者側と着信者側の電話番号を登録する。Disconnectした場合は、SDFから発信者

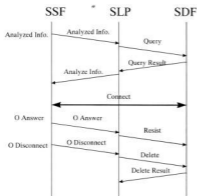


図4 多者通話シーケンス

の電話番号を削除する。SDFについては後で詳しく述べる。

すなわち図5の1の状態に示す様に、Bが特番+Aの番号をダイヤルすると、BはAに接続される。ここにCが特番+(A or B)の番号をダイヤルするとSLPによってBに接続される。同様にDが特番+(A or B or C)をダイヤルするとCに接続される。



図5 途中の話し者が抜けた場合

切断時は、Dが切断すると、SDFからCD間の発信者の電話番号を削除する。

この方法は簡便であり、両端の人(A or D)が抜けた場合は問題はない。しかし途中の人が抜けた場合、例えばABCDが会議中にB or Cが切断したい場合(図5の状態3)、多者通話が2つに分断されてしまう欠点がある。

CS-1のみを用いた場合のグローバルサービスロジック(GSL)を図6から図8に示す。なお、O Numberは発信者番号、T Numberは着信者番号、D Numberはダイヤル番号である。

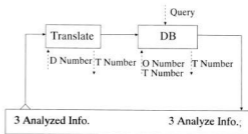


図6 Analyzed Info. GSL

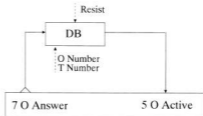


図7 O Answer GSL

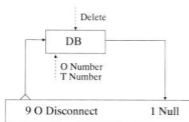


図8 O Disconnect GSL

2.2.2 SDFについて

CS-1ではSDFについてレコード番号を指定してレコード内容を登録と削除の単純な機能しか持ち合わせていない。そこで、SDFがレコード番号以外にもデータベースの検索、更新、削除出来るように拡張を行った。これはサービスに依存しない基本的な拡張である。これを基にして今回用いたデータベースのフォーマットを図9に示す。

図9においてデータを登録する場合は、多者通話に最後に加わった人の電話番号を登録する。その後現在の会議人数の登録を行い、O Numberに発番番号、T Numberに着番番号を登録する。useフラグはそのレコードのO NumberとT Numberが有効データであることを示している。データを削除する場合は会議人数を更新し、useフラグをNoに更新する。

最終接続番号		
接続呼数		
O Number	T Number	use Yes / No
O Number	T Number	use Yes / No
O Number	T Number	use Yes / No
⋮	⋮	⋮

図9 電話会議データベース(例)

2.2.3 2.2.1の問題点を回避する解決案

2.2.1では、回線途中の人が抜ける場合、会議が中断されてしまう。この方法を回避するために、Disconnectした後に自動的に回線を復旧する方法を提案する。

Disconnectした場合、発信者側が最初に切断したか、着信者側が最初に切断したかを情報をSCPに

送る。その情報から、誰が多者通話から抜けようとしているかという状態をSCPが知ることが出来る。そのため、SLPで、切れた回線をどの端末に接続すべきかSSPに伝えることが出来る。

シーケンスを図10に示す。またグローバルサービスロジック(GSL)を図11に示す。



図10 解決シーケンス

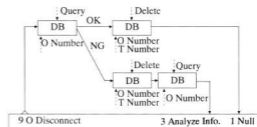


図11 自動再接続を考慮したGSL

3 考 察

多者通話において、複数のコールモデルを同時に管理する必要がある。その場合にCS-1で必要な機能について検討を行う。

3.1 多者通話サービスを導入するに当たっての問題点

CS-1では2者間の通信を基本として作られたコールモデルである。3者以上の多者通話を行う場合、SCFがSSFを制御できるようにコールモデルを拡張する必要がある。CS-1ではSSFからの要求がない限りSCFはコールモデルを操作することが出来なためである。この制御が必要となるときは2.2.3で述べた他に、図12に示す様にABCが別々の交換機に収容されていて多者接続の接続状態を変更するときである。この場合の接続状態として3種類が考えられる。この接続状態をSCFは最適な接続状態に制御することが(ネットワークパスが最小)不可能である。例えば図12の状態1から状態3へSCFから接続変更ができない。



図12 ネットワーク接続状態

3.2 CS-1のデータベース

今回のサービスを作成する上で、レコード番号のみを検索キーとしないようにCS-1のデータベースの仕様の拡張を行った。今回の拡張はデータベースの基本操作なので他のサービスを作成する際に必要になる機能と考えられる。

3.3 遅延時間

会議参加者(N人)が話をしたとすると、最大音声遅延(Dmax)は次のようになる。

$$D_{max} = (N-1)(x+z) + (y1+y2)$$

x : デジタル加算時間
y1, y2 : A/D, D/A 変換時間
z : 伝送遅延

Dmax が300ms 以下であれば、人間に違和感があるほど遅延なく会議が出来ると考えられる。この式から、人数が増えるにつれてデジタル加算時間と伝送遅延がボトルネックになると推測される。

4 結 言

今回2.2.1に示した方法の検証を実際に行った。そこでCS-1のデータベース機能を拡張することによって用途を限れば実現可能であることを示し、多者通話を行う場合のCS-1に必要な要素が示された。また、会議参加者が途中抜ける場合の自動再接続対処方法について提案を行った。同時に、CS-1での最速ネットワークバス制御の限界について示した。

会議の遅延時間については、会議人数が増加するにつれて音声合成デバイスの合成時間及び伝送遅延時間がボトルネックになることが抽出できた。

本件研究にあたり、御指導、御助言をいただいた通信総合研究所通信システム部統合網研究室の久保田室長、非常時研究室の鈴木室長、プログラムで助言をいただいたソフトウェア興業(株)の新井氏に感謝いたします。

文 献

- 1) 小山, 清水: やさしいインテリジェントネットワーク 電気通信協会 (1996), 5
- 2) 鈴木, 大槻: マルチポイント CSCW における音声伝送系の検討—TCP/IP ループ接続— 信学会通信ソサイエティ大会 (1997), B-11-1
- 3) 松本, 鈴木, 大槻, 福地: CSCW における音声伝送系の検討 —多地点接続における伝送特性の評価— 信学技報 (1997), SSE97-136
- 4) ITU-T Q.930シリーズ IN 勧告
- 5) ITU-T Q.1200シリーズ

チクソキャストによるハイブリッド複合材料部材の開発 (第2報) マグネシウム合金複合材料のチクソキャスト成形技術の開発

藤井敏男, 府山伸行, 森下勇樹, 藤本宗之

Processing and Engineering of Light Metal Alloy Composites Having High Performance by Thixocast Process (2nd Report)

Microstructure and Properties of Semi-solid Magnesium Alloy Composites Formed by Squeeze Cast Process

FUJII Toshio, FUYAMA Nobuyuki, MORISHITA Yuki and FUJIMOTO Muneyuki

SiC particulate reinforced magnesium alloy composites were fabricated by semi-solid stirring method. The effect of the dispersion SiC particles in size of 13 μm into the magnesium alloy slurry which was heated at the semi-solid temperature (843K-867K) was investigated. The magnesium composites billets which were reheated at semi-solid state (833K-863K) were formed by a squeeze casting machine. The microstructures and tensile properties of the composites which was formed specimens is investigated. When SiC particles were added to the magnesium alloy slurry which was stirred at 853 K, the composites gave the good dispersion of SiC particles. The semi-solid composites which was heated to have a solid fraction of 0.3 was able to fill the cavity of 2mm thickness by squeeze casting. The microstructure of the composites have primary α phase grain diameter of about 150 μm and fine eutectic in which SiC particles disperse. The fraction of α phase decreases with decreasing the thickness and α phase can be hardly observed in the specimens of 2mm thickness.

キーワード: マグネシウム合金, コンポキャスト, 半溶融成形, 複合材料, 金属組織

1 緒 言

マグネシウム合金は、実用合金の中で最も軽い材料として最近注目を浴びている。特に半溶融射出成形法により携帯機器の筐体などの薄肉部品に実用化されてきている¹⁾。半溶融成形加工は、

- (1) 微細な粒状組織が得られ、機械的性質が向上
- (2) 成形温度が低いので、金型寿命が向上
- (3) 凝固収縮率や変形抵抗が小さいので、寸法精度が向上
- (4) 複合材料の強化材が均一に分散可能

などの効果が期待されている。しかし、マグネシウム合金は剛性、耐磨耗性および耐熱強度がアルミニウム合金より劣るため、その応用範囲はまだ限られたものになっている。当センターでは、自動車など重要保安部品としての応用を目指すため、セラミックス粒子や繊維などによる複合強化を図り、軽量かつ高性能なマグネシウム合金複合材料の開発を進めている。

本報告では、濡れ性の悪いセラミックス強化粒子を容易に分散させるため、半溶融攪拌によるコンポキャストプロセス^{2,3)}を用い、SiC粒子強化マグネシウム合金の製造条件について検討した。また、SiC粒子分散強化マグネシウム合金複合材料ビレットを再加熱

し、スクイズキャストマシンによる半溶融成形加工⁴⁾を行い、そのビレットの成形性ならびに機械的特性についても検討した。

2 実験方法

半溶融加工により球状の微細な α 相を得る⁵⁾ため、市販のAZ91Dマグネシウム合金インゴットを溶解、精錬したのち、893Kの溶湯を水冷された金型へ鑄込み、組織調整された直径60mmのビレットを製した。図1に複合化プロセスを示す。組織調整したマグネシウム合金ビレットを半溶融攪拌制御装置⁶⁾を用

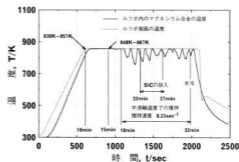


図1 半溶融攪拌による複合化プロセス

い、アルゴンガス雰囲気中で半溶融温度(843K~867K)に加熱保持し、機械的攪拌(500rpm)を与えながらホッパに入れておいた粒径 $13\mu\text{m}$ のSiC粒子(体積率5%に相当する量)を約5分間で徐々に加え複合化し、さらに約5分間攪拌したのちルツボを取り出してルツボごと水冷した。なお、攪拌子を上下させ、粒子の分散を向上させたことにより、熱電対の先端が接触したりしなかったりするので、ルツボ内の温度が上下している。

半溶融攪拌制御装置で得られた複合材料ピレットは図2に示したピレット再加熱装置の赤外線イメージ炉により約15分で半溶融温度(833Kから853K)に再加熱され、その半溶融ピレットを既設のスライズキャストマシンのスリーブへ投入し、金型温度473K、プランジャー速度200mm/s、金属圧98MPaで図3に示す形状に半溶融成形を行った。

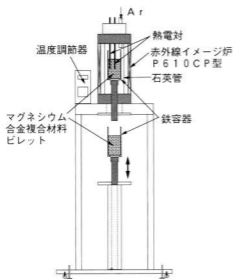


図2 マグネシウム合金複合材料ピレット再加熱装置

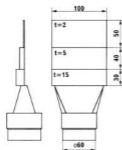


図3 スライズキャストによる半溶融成形品の形状

3 実験結果と考察

3.1 マグネシウム合金複合材料の製造条件

写真1(a)には、半溶融攪拌に用いたピレットの組織を示す。結晶粒径が約 $100\mu\text{m}$ 程度の微細な組織になっていることがわかる。このピレットを再加熱し、半溶融温度858Kに保持すると写真1(b)のように固相が球状化している。10分間攪拌した後、水冷すると写真1(c)の組織を示し、機械的攪拌により固相の α 相は、約 $150\mu\text{m}$ の大きさで球状化し、攪拌開始直後0.13Nmであった攪拌トルクも5分後には0.08Nmに徐々に減少し、流動性が増加した。

半溶融温度848K、858Kおよび867Kに保持し、粒径 $13\mu\text{m}$ のSiCを複合化後、水冷凝固させた組織を写真2(a)から(c)に示す。固相率が低い867KではSiC粒子が液相部分に凝集しているが、固相率を高めた858Kでは液相部にほぼ均一に分散している。さらに固相率を高めた848Kでは、攪拌トルクが大きくなり、本装置では十分に攪拌ができなかったため、液相部分にSiC粒子が均一に分散できていなかった。しかし、球状化した固相の合体する傾向は他の半溶融温度よりも少ない。また、液相線より30K高い溶湯温度903Kに保持し、同様にSiC粒子を複合化させたがほとんど混ざらなかった。あらかじめ大気中1273Kで空焼したSiC粒子を用いると、複合化は可能であった。その組織を写真2(d)に示す。体積率5%のSiC粒子強化マグネシウム複合材料の計算比重は、1.87である。得られた複合材料の比重を測定すると、半溶融温度858Kで攪拌した複合材料では1.84、溶湯攪拌では、1.77であったことから、溶融攪拌に比べ、半溶融攪拌のほうがSiC粒子を複合化しやすいと思われる。

3.2 スライズキャストマシンによる半溶融成形

写真3は、半溶融攪拌制御装置により $13\mu\text{m}$ のSiC粒子を858Kで複合化させたマグネシウム合金複合材料ピレットを再加熱装置の赤外線加熱炉で半溶融温度、833Kから853Kまでにそれぞれ再加熱し、スライズキャストマシンにより半溶融成形したものである。金型温度が473Kと低いため、厚さ2mmの部分まで完全に充填できる試料は少なかった。成形温度が高くなるに従い、薄い部分への充填が可能になり、成形温度が853Kになると板厚2mmの部分にはほぼ充填されることがわかった。

写真4は、半溶融成形温度853Kに再加熱された複合材料ピレットをスライズキャストマシンにより半溶融成形したミクロ組織である。(a)、(b)および(c)

は、それぞれ厚さ $t=15\text{mm}$, 5mm , 2mm の部分である。(a) および (b) で観察される固相の結晶粒径が $200\mu\text{m}$ 程度とかなり大きくなっている。搅拌によ

る複合化の過程で半溶融温度での保持時間が長くなり、固相が合体してしまったことが原因と考えられる。また、厚さが小さくなるにしたがって固相が少な

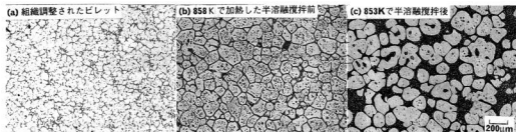


写真1 半溶融搅拌に用いたマグネシウム合金ビレットの組織と搅拌後の組織

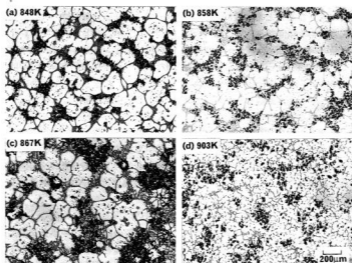


写真2 半溶融搅拌による SiC 粒子強化マグネシウム合金複合材料ビレットの組織

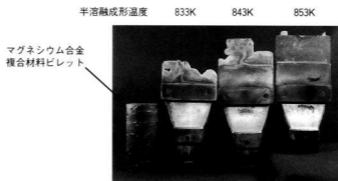


写真3 マグネシウム合金複合材料の半溶融状態での成形性

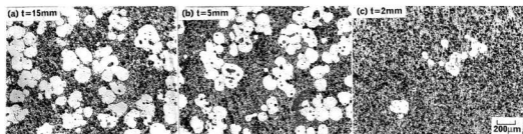


写真4 スクイズキャストマシンにより半溶融成形した組織 (成形温度853K)

っている。液相 (共晶) 組織の中は SiC 粒子が分散した組織になっているが、13µm の SiC 粒子は比較的液相とともに流動しやすく、厚さ 2mm の部分まで液相と一緒に流動し分散していた。しかし、SiC 粒子の分布を見ると、厚さが大きくなるとともに、SiC 粒子が液相部分に不均一に分散する傾向がみられた。

半溶融成形された製品の厚さ 15mm の部分から切り出した試験片を用いて引張試験を行った結果を図 4 に示す。13µm の SiC を体積率 5% で複合化したマグネシウム合金複合材料ビレットを半溶融成形した時の強度は 175.2MPa、破断伸びは 3.2% であった。また、マグネシウム合金ビレットを半溶融成形した場合の強度は 179.3MPa、破断伸びは 4.4% であった。この結果から、5% 程度の体積率では SiC による複合強化は期待できないと考えられ、破断伸びも低下することがわかった。

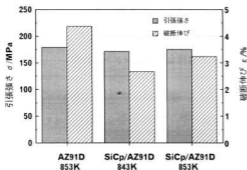


図4 マグネシウム合金複合材料の半溶融成形品の機械的性質

4 結 言

半溶融搅拌による SiC 粒子強化マグネシウム合金複合材料を製作し、以下の結果を得た。

- (1) 半溶融搅拌による SiC 粒子の複合化において、液相率が高くなると SiC 粒子が凝集しやすく、均一に分散させることができなかった。本装置では、858 K において半溶融搅拌した場合、粒径 13µm の SiC 粒子では良好な分散が得られた。
- (2) SiC 粒子強化マグネシウム合金複合材料ビレットを再加熱し、スクイズキャストマシンで半溶融成形した場合、粒径 13µm の SiC 粒子は、液相と一緒に流動しやすく、板厚 2mm の部分にもよく分散している。しかし、板厚が薄くなるに従って固相の割合が減り、板厚 2mm の部分には固相はほとんどなく、SiC 粒子が分散した液相の組織であった。
- (3) スクイズキャストマシンによる半溶融成形した体積率 5% の SiC 粒子による複合強化マグネシウム合金の引張強度は 175MPa であり破断伸びは 3.2% であった。

謝辞 この研究は、中小企業創造基盤技術研究事業に基づき実施したものであり、この機会を与えていただいた中小企業事業団ならびに関係者に深く感謝する。

文 献

- 1) 附田, 斉藤: 軽金属, 47(1997) 5, 304
- 2) 人見, 由浅, 鎌土, 小島: 軽金属, 42(1992) 9, 504
- 3) 西尾, 小林, 三輪, 尾崎, 浅野: 名古屋工業技術研究所報告, 44(1995) 2, 75
- 4) Hiroto SASAKI, Mitsuru ADACHI, Tatsuo SAKAMOTO and Akio TAKIMOTO: Magnesium a material advancing to the 21st century (June 2-4 1996), 86
- 5) 特許公開番号, 平 7-76740
- 6) 土取, 藤井, 府山: 広島県西部工技研究報告, No 40(1997), 76

ポリプロピレン/ポリオレフィン樹脂ブレンドの相溶性と物性

大橋俊彦, 下原伊智朗, 関 守雄, 藤本宗之

Mechanical Properties and Compatibility of Polypropylene / Polyolefin Blends

OHASHI Toshihiko, SHIMOHARA Ichiro, SEKI Morio and FUJIMOTO Muneyuki

It was studied on the improvement of mechanical properties of Polypropylene (PP), especially toughness below zero degrees, by blending with propylene- α -olefin block copolymer (PO). Therefore the compatibility and temperature dependence of some mechanical properties (yield stress, elongation to fracture, Izod impact strength,) of PP/PO blends were estimated.

Impact strength of PP was decline due to notch or cooling. Besides, impact strength of PP/PO blends was increased on the fraction of PO, but yield stress and young modulus were decreased. Then it was seemed that in practical use PP/PO blends contained 10~20% PO were useful.

And it was appeared by the morphology of spherulite (which observed by polarized microscope) and fracture surface (which observed by scanning electron microscope) that the compatibility of PP and PO was excellent.

キーワード: ポリプロピレン, ポリオレフィン樹脂, 機械的特性, 耐衝撃性, 温度依存性, 相溶性

1 緒 言

ポリプロピレン樹脂は機械的特性に優れている上に安価であるため広く使用されている。特に自動車部品材料としては、材質の統一化の流れの中でプラスチックの中心的な素材となっている。

しかし、ポリプロピレン樹脂にはノッチの効果が大きい、低温で脆くなるなどの欠点もあり、実際の組立現場では取り扱いに注意が必要である。例えば工程中で材料が大きな力と急速な変形を受ける場合、0℃前後の低温では材料がその変形・力を吸収しきれず破壊し、不良発生の原因となることがある。

一方、より側鎖の長いオレフィンの重合体には結晶化しにくく、プラスチックではなく軟質の樹脂となるものがある。これらの長側鎖のオレフィンとプロピレン、エチレンとのブロック共重合体はそれぞれポリプロピレン、ポリエチレンとの相溶性が良く、ブレンドによる特性の改質が可能と考えられる¹⁾²⁾。

本研究ではポリプロピレンの機械的特性の温度・歪速度依存性を評価して組立現場での不良発生を低減するための注意点について検討し、またプロピレンと側鎖の長いオレフィンのブロック共重合体である軟質ポリオレフィン樹脂とのアロイ化によるポリプロピレンの機械的特性、特に低温における耐衝撃性の改善を試みた。

2 実験方法

2.1 試料の作成

ポリプロピレン樹脂 (三井石油化学株 ハイホール J-400, 以下 PP と書く) とプロピレン- α -オレフィン共重合樹脂 (以下 PO と書く) のペレットを所定の比率でドライブレンドしたものを2軸混練押し出し機 (株日本製鋼所 TEX-30) で溶融混練し、押出されたストランドをチョッパーで切断して PP と PO のブレンド樹脂 (以下 PP/PO と書く) のペレットを得た。

引張り試験片、衝撃試験片は射出成形 (株日本製鋼所 J75E II) によって JIS K 7113, JIS K 7110 にそれぞれ規定された試験片を作成した。

2.2 測定

降伏応力、降伏歪、弾性率、破断伸びは万能材料試験機 (島津製作所株 AG-10T)、衝撃強さはアイゾット衝撃試験機 (東洋精機製作所株 Izod Impact Tester) で3種類の温度で測定した。

ポリマーブレンドの相溶性を評価するために液体窒素温度に冷却して破断した樹脂の破面を走査型電子顕微鏡 (JEOL JSM-820) で観察した。また温度調節ステージ (Linkom TH-600) 付偏光顕微鏡 (Nikon Optiphot-2-POL) で溶融状態から冷却して生成させた樹脂の球晶を観察した。

3 実験結果と考察

3.1 耐衝撃性

図1にPPのアイゾット衝撃強度 (Eizod) に対するPOのブレンドの効果を示す。

PPはノッチが入ると衝撃強度が著しく低下している。これはノッチが応力集中体として働くこと、ノッチ先端ではノッチの無い試験片と比べて極端に高い見かけの変形速度を受けることによる。またノッチ付きの場合の強度は亀裂の伝播に要するエネルギーを、ノッチ無しの場合の強度はそれに加えて亀裂の発生に要するエネルギーを表すと考えられる。図2に示すように変形速度が大きくなると材料の破断伸びは極度に小さくなるなど、変形速度が機械的特性に及ぼす影響は大きく、実際にノッチ部先端の曲率が大きいほど衝撃強度が大きくなるということが報告されている⁶⁾。

従ってPP部品の形状としてはノッチに対応するような部分が無いことが望ましいが、構造設計上それが困難である場合も多い。その場合でもノッチ先端の半径をできるだけ大きくするなどの工夫をするべきであるが、それに加えて材料の改質を試みることも必要となってくる。

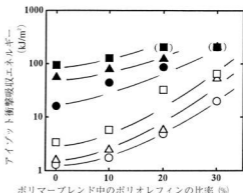


図1 ポリプロピレン樹脂のアイゾット衝撃強度に及ぼすポリオレフィン樹脂のブレンドの効果

- 20℃, ノッチ有り
- △ 0℃, ノッチ有り
- 25℃, ノッチ有り
- 20℃, ノッチ無し
- ▲ 0℃, ノッチ無し
- 25℃, ノッチ無し
- () は破断せず

図1によると、POのブレンドにより衝撃強度は増大しており、PO15%程度のブレンドで0℃以下の温度でも室温でのPPと同程度の強度を保つことが示されている。

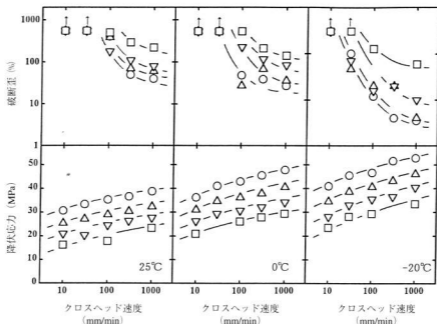


図2 ポリプロピレン樹脂 (PP) とポリプロピレン/プロピレン- α -オレフィン共重合樹脂ブレンド (PP/PO) の機械的性質の歪速度依存性

- PP
- △ PP:PO = 9 : 1
- ▽ PP:PO = 8 : 2
- PP:PO = 7 : 3

3.2 強度・弾性率と伸び

PPの耐衝撃性はPOとのブレンドによって向上することが分かったが、POは軟質の樹脂であるためその添加によって強度、弾性率が低下することは避けられない。従ってPOとのブレンドによって強度、弾性率がどのように変化するかつかねることが重要である。また、強度、弾性率、伸びなどは機械的性質として最も基本的なものであり、耐衝撃性などの他の特性を理解する上でも重要である。そこで歪速度と温度を変えて引張り試験を行った。

図2にPPおよびPP/POの降伏強度(σ_y)、破断歪(e) (破断歪は装置の関係で500%以上は測定できな

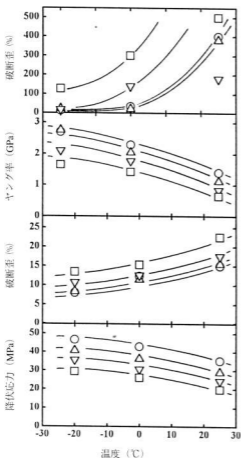


図3 ポリプロピレン樹脂(PP)とポリプロピレン/プロピレン- α -オレフィン共重合樹脂ブレンド(PP/PO)の機械的性質の温度依存性

○ PP △ PP:PO=9:1
▽ PP:PO=8:2 □ PP:PO=7:3

かった)の3種類の温度における歪速度依存性を示す。横軸には歪速度の対応する量として材料試験機のクロスヘッド移動速度(CRHS)をとっている。歪速度が大きくなるにつれて降伏強度と弾性率は大きく、降伏伸びと破断伸びは小さくなる。特に破断伸びに対する歪速度の影響は大きい。JIS等に規定された通常の試験条件(eg.引張り速度100mm/min, 室温)ではPP, PP/POは降伏後冷延伸を起こし、局部的にネックキングして、そこから引張り荷重の増加無しに伸びていくが、引張り速度が速い時には降伏後冷延伸することなく破断するようになる。また、降伏強度(σ_y)・弾性率(E)・降伏伸び(ϵ_y)・破断伸び(ϵ_b)などは温度の影響も受け、低温では小さな歪速度でも冷延伸することなく破断する。このことは低温ではPP, PP/POは脆くなり衝撃のような高速な変形でなくても壊れやすくなっていることを意味する。

図3に一定歪速度で比較したPPおよびPP/POの降伏、降伏歪、弾性率、破断歪の温度依存性を示す。0℃から25℃での機械的性質の変化が大きいが、これはPPのガラス転移点が室温付近に有るためと思われる。0℃での強度・弾性率はPO10~20%程度で室温のPPと同程度であり、図1に示した衝撃試験の結果とあわせて考えると、低温ではPO15%程度のブレンドで十分な改質効果が得られるものと考えられる。

しかし、室温での強度・弾性率はPOのブレンドによって低下し、特にPO30%ではPPの6割程度になる。実際の使用条件では更に高温となる可能性もあることを、製品への応用に際しては考慮する必要がある。

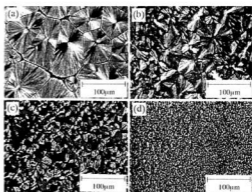


写真1 ポリプロピレン樹脂(PP)とポリプロピレン/プロピレン- α -オレフィン共重合樹脂ブレンド(PP/PO)の球晶構造(冷却速度0.3℃/min)

(a) PP (b) PP:PO=9:1
(c) PP:PO=8:2 (d) PP:PO=7:3

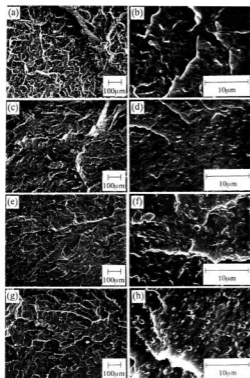


写真2 ポリプロピレン樹脂 (PP) とポリプロピレン / プロピレン- α -オレフィン共重合樹脂ブレンド (PP/PO) の液体窒素温度で破壊した破断面

(a), (b) PP (c), (d) PP:PO=9:1
(e), (f) PP:PO=8:2 (g), (h) PP:PO=7:3

3.3 偏光顕微鏡による観察

PP と PO の相溶状態についての知見を得るために偏光顕微鏡による観察を試みた。射出成形直後の樹脂では結晶が小さすぎて観察が困難であるため、200℃から小さな冷却速度 (0.3℃/min) で徐冷して大きな結晶を成長させ、観察・比較した。

写真1に示すように観察された PP/PO の全てに球晶が観察された。球晶の大きさは PO のブレンド割合が高くなると小さくなり、また球晶を形成しない部分が現れてくる。冷却時に球晶が観察され始める温度は PO のブレンド割合が高くなると低下することが観察されているので PO は核剤として働いているのではないと考えられる。これらのことから PO のプロピレン鎖のブロックが PP 鎖とともに配列して結晶を形成するが、PO の長側鎖のオレフィン鎖のために球晶の成長が阻害されるために、PO のブレンドによって球晶が小さくなると推定される。このことは PP と PO の

相溶性が良好であることを意味する。

3.4 走査電子顕微鏡による観察

PP および PP/PO を液体窒素で冷却した状態で破断させた破断面を写真2に示す。

低倍率で観察した破断面を比較すると PO の率が増加するにつれてより平坦で脆性的な感じになるように思われるが、全体的にはどれも良く似ている。

高倍率で観察した破断面も全体的な感じはどれも良く似ているが、PO のブレンドによって球状の分散粒子が現れ、その量が PO の割合とともに多くなっている。分散粒子は相溶性の悪いブレンドの場合 (例えば PP/PBT 系⁹⁾) と比べてその大きさ・量ともに少なく、また周囲の樹脂と剥離せずしっかりと埋まり込んでいるように見られる。

これらのことから、PP と PO の相溶性は非常に良く、長側鎖のオレフィン鎖のドメインが PP の構造の中に比較的微細に分散しているものと考えられる。

4 結 言

ポリプロピレン樹脂製品の不良低減を目的として、低温における耐衝撃性を改善するためにプロピレン- α -オレフィン共重合樹脂とのブレンドによる改質について検討した結果、下記のような結果が得られた。

- (1) ポリプロピレンはノッチ効果による耐衝撃性の低下が著しく、部品の設計時に注意が必要である。
- (2) ポリプロピレンは低温での耐衝撃性が小さく、組立工程・使用環境中での破損を防ぐためには材料特性の改質が必要かつ有効な場合がある。
- (3) ポリプロピレンはプロピレン- α -オレフィン共重合樹脂とのブレンドにより耐衝撃性の改善が可能であった。
- (4) しかしブレンドによって強度・弾性率が低下するため、使用環境条件を考慮する必要がある。
10~20%程度のブレンドでバランスの良い良好な特性の樹脂が得られた。
- (5) ポリプロピレンとプロピレン- α -オレフィン共重合樹脂の相溶性は非常に良いことがわかった。

文 献

- 1) 大橋：第45回高分子討論会講演要旨集 (1996)
- 2) 下原他：戦略的地域技術形成事業報告書 (1996)
- 3) R.A.Horsley: Appl. Polymer Sympos., 17(1971)
- 4) P.I.Vincent: "Impact Test and Service Performance of Thermoplastics," (1971)
- 5) 下原他：広島県西部工技研究報告, No39(1996)

ポリスチレン/ポリエチレンテレフタレートブレンドの機械的性質

下原伊智朗, 大橋俊彦, 関 守雄, 藤本宗之

Mechanical Properties on Polymer Blends of Polystyrene and Polyethyleneterephthalate

SHIMOHARA Ichiro, OHASHI Toshihiko, SEKI Morio and FUJIMOTO Muneyuki

In this work, the improvement of mechanical properties on polymer blends of Polystyrene (PS) and Polyethylene terephthalate (PET) in the presence of ethylene/glycyl methacrylate-graft-PS or ethylene/glycyl methacrylate-graft-PMMA for compatibilizer were investigated.

As the result, it was found that tensile strength and bending strength were highest value when PS/PET ratio was 20/80. Izod impact strength of blends with compatibilizer were much increased when PS/PET ratio were 100/0 and 20/80.

The dispersibility of PS/PET blends were improved in the presence of compatibilizer.

キーワード: ポリマーブレンド, PS, PET

1 緒 言

ポリスチレン (PS) は、良成形性、低価格という点から、汎用樹脂として利用が高い。特に発泡ポリスチレンは、断熱材として多く使われている。しかし使い捨て容器の用途が多く、また発泡製品であるが故にかさばり、プラスチック廃棄物の代表として取り上げられている。一方、ポリエチレンテレフタレート (PET) は、ペットボトル容器として、その使用量は年々増加してきて、近年、容器・包装リサイクル法の規制対象となった。

プラスチックは異なる種類のものを混合して再溶解しても、うまく混ざらず、強度不足やはく離などの不良を生じるため、それぞれ個別に収集・選別して再成形すべきである。しかし、分離しにくいものや、単独の再生材のみでは、量の確保が難しいといった場合がある。本研究では、これからリサイクルを進めて行くべき発泡 PS と PET をブレンドして、成形材料として用いる場合の機械的性質について検討した。ブレンドに際して、グリシジル基を官能基に有する反応型相溶剤 2 種類を添加し、その効果についても検討をおこなった。

2 試料と実験方法

2.1 使用材料

実験には、市販の樹脂である PS 525-51 (三井東圧化学株)、PET J025 (三井ペット樹脂株)、相溶剤としてモディパー A4100及びA4200 (日本油脂株)を用いた。

2.2 試料の作成

あらかじめ乾燥し、所定の配合でドライブレンドした樹脂ペレットを、二軸押出機 (株日本製鋼所 TEX-30) によって熔融混練し、 $\phi 4\text{ mm} \times 3\text{ 穴}$ のストランドダイでペレットを作成した。このペレットを再び乾燥後、射出成形機 (株日本製鋼所 J75E II) により成形し、試験片を作成した。混練時のシリンダー温度は、280℃、スクリー回転数30rpm、射出成形温度は、PET を含まないものは240℃、そのほかは280℃とした。

2.3 測定

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

3 実験結果と考察

3.1 PS と PET の熔融粘度

PS/PET ブレンドの混練条件を決めるために温度に対する両者の熔融粘度をメルトフローテスター (株安

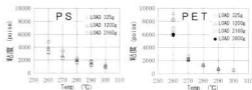


図1 PS と PET の熔融粘度



PS/PET=5/5 (280°C)
写真1 PS/PETの押出ストランド



写真2 PS/PETの衝撃試験片

田精機製作所 model 7053) によって測定した。

図1にPSとPETの温度と粘度の関係を示す。PSは、260~300°Cの温度範囲で徐々に粘度が低下した。PETの場合は、260°Cではせん断応力の依存性が大きく、粘度も8000ポイズと高いことから、充分な流動状態にないと考えられる。270°C付近から粘度が下がり、PSの粘度と一致する。PSとPETの溶解粘度がほぼ等しく、PETが完全に溶解している280°Cを、混練温度とした。

3.2 PSとPETの単純ブレンド

最初にPSとPETを押出機によってブレンドすることを試みた。しかし、写真1に示すように、ダイスウェルが非常に激しく、引き取りができなかった。そこで、射出成形機によって直接ブレンドを行い、試験片を作成した。ブレンド比は、PS/PET 100/0, 80/20, 50/50, 20/80, 0/100 (以下10, 82, 55, 28, 01と略す)の5段階とした。成形品は、82, 55, 28のブレンド品では半透明となったが、細かい銀条の流れ模様が多くみられた。

図2にブレンド物の機械的性質を示す。引張強さは、82で低下したものの、28では、01 (PET) とほぼ同じ強さとなった。曲げ強さにおいては、82, 55は低下したが、28ではPETより高くなり、相乗効果が観察される。しかし、引張破断伸びは28でも、せいぜい2%でPETのブレンド効果が小さく脆性的である。曲げ弾性率、荷重たわみ温度は、PSとPETの比率にはほぼ比例した関係となった。

アイゾット衝撃強さ(ノッチ付)は、PETの比率

に応じて上昇したが、55で特異的に大きくなった。写真2に示した55の試験片は、破断に際して層間はく離が激しく生じており、破壊領域が広いために衝撃値としては大きくなったと思われる。ノッチなしの場合は、PETの量に応じて衝撃強さは上昇した。

3.3 相溶化ブレンド

PSとPETの分散を微細化するために相溶化剤を添加した。A4100は、エチレン/グリシジルメタクリレート (EGMA) 共重合体に、PSをグラフトしたもので、A4200は、PMMAをグラフトしたものである。ブレンド品は、前述の10, 82, 55, 28, 01に対して、A4100を10%添加したもの(以下1041, 8241, 5541, 2841, 0141と略す)及びA4200を10%添加したもの(以下1042, 8242, 5542, 2842, 0142と略す)を二軸押出機にて混練し作成した。ストランドの押し出し状態は良く、良好な引き取りができた。相溶化の効果が大きい。成形品は白色となり、表面光沢は向上した。

相溶化ブレンドの機械的性質に関しては、引張強さ、曲げ強さは、PETの量に従い高くなるが、単純ブレンドと同様、2841, 2842で最大となった。ここで特徴的なのは、PSリッチの側ではA4100を添加したブレンドの強度が、A4200を添加したものより高く、反対にPETリッチ側では逆に減っており、相溶化剤のグラフト部分の化学構造を反映したかたちになっている。

破断伸びでも、1041, 1042はともに、PSに比べ、大きくなっており、靱性の向上がうかがえるが、両者の間では、1041のほうが伸びが大きく、グラフトされたPSの効果が認められる。

PETをブレンドした82, 55系の場合は、伸びでは差が小さいが、図3に示すように、曲げ荷重-たわみ線図で比較すると、8241, 5541のほうが、8242, 5542に比べたわみ量が大きく向上し、延性的である。PSがグラフトしてあるA4100のほうがPSに対して親和性が高いと考えられ、PSとPETとの相溶性が上がった効果と思われる。

PETリッチの2841, 2842においても、単純ブレンドの28に比べると、破断伸びが、飛躍的に大きくなった。しかしここでは、2841よりも2842のほうが伸びが大きくなった。PETとの相溶性は、PMMAのグラフトのほうが良いものと考えられる。この破断伸びの大小の傾向は、そのまま衝撃強さの関係に、反映しており、PSリッチでは、A4100ブレンドが、PETリッチでは、A4200ブレンドが、優れた値となる傾向がみられた。

曲げ弾性率は、単純ブレンドと同様、PSとPETの

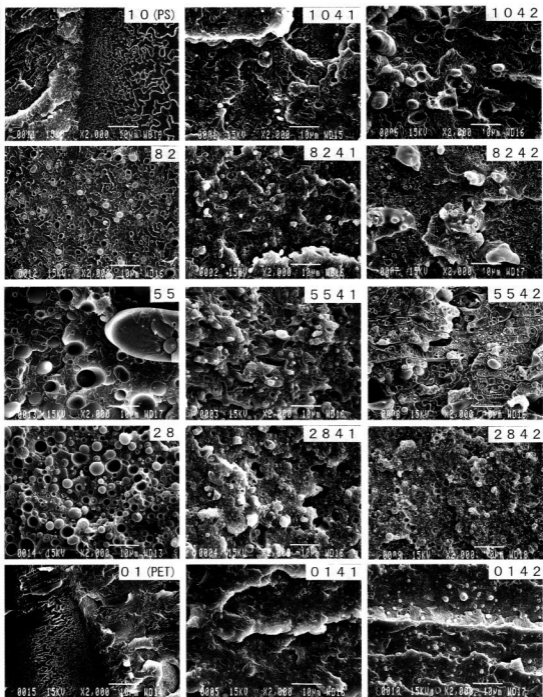


写真3 PS/PETブレンドのアイゾット破断面

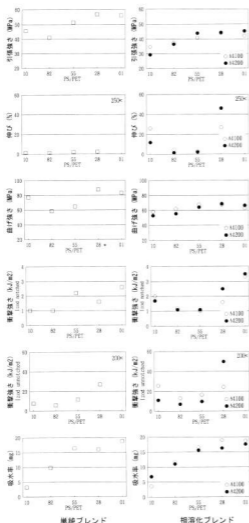


図2 PS/PET ブレンドの機械的性質

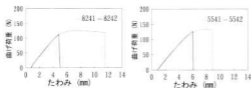


図3 PS/PET の曲げ荷重—たわみ線図

割合に比例していたが、相溶化剤をブレンドしているため単純ブレンドに比べ、全体に低い値となった。荷重たわみ温度も、PS と PET の割合に比例している。しかし、単純ブレンドに比べ、A4200ブレンドで

は、約3度下がっているのに対し、A4100ブレンドでは低下がほとんどない。これも、グラフトされているポリマーの違いによるものと考えられる。

吸水率は、引張試験片を、温度23℃、湿度60%の恒温槽中に72時間放置した後の重量増加で測定した。

単純ブレンドも相溶化ブレンドも、同じ傾向を示し、PS50%でPET100%の吸水率とほぼ等しくなった。PET がブレンドされることで、成形前の予備乾燥に注意が必要となる。

3.4 破断面の形態観察

アイゾット破断面の走査電子顕微鏡写真を写真3に示す。単純ブレンドの82, 55, 28では、粒子部分の表面が平滑で、マトリクスとの接着力が弱いと考えられる。相溶化剤を添加したものは、粒子が細かくなるとともに、破断面も、粒子とマトリクス界面ではなく、粒子そのものが破壊されるようになってくる。28と2842を比べるとその差が顕著である。

10, 82系では、PS をグラフトした A4100を添加したもののほうが、A4200よりも粒子が細かく均一で、分散性が良い。55系では、PS/PETともに連続相となり構造が複雑であるが、A4100添加のほうが、一つの連続相も小さく、界面のすき間が不明確であることから、相溶性が良いものと思われる。PET リッチの28系では、逆に PMMA をグラフトした A4200添加のほうが、分散性が優れている。しかし、01系では A4100のほうが、ほとんど粒子が認められなくなり、相溶性が良くなった。PET に対しては、PMMA グラフトのほうが親和性が高いと考えられるが、破断面では PS をグラフトしたものが、相溶性が良いように観察され、更なる検討が必要である。

4 結 言

日用品に多く使用される PS と、ペットボトルへの需要が拡大している PET をブレンドした場合の、機械的性質について検討した。その結果、PS と PET のみの単純ブレンドでは、混練性、分散性が悪く、強度はあまり低下しないものの、耐衝撃性は低く、成形品もはく離を生じるなどの不良が目立った。

相溶化剤をブレンドすることで、混練性を大幅に改善することができ、安定したストランドの引き取りをすることができた。強度、弾性率は相溶化剤の性質の影響で、若干低下したが、耐衝撃性は良くなり、靱性の高いブレンド品とすることができた。このようなブレンドにより、品質の低い再生 PET に廃 PS を配合して、コストを下げ、雑貨品などの成形をすることも可能となる。

海底クリーンシステムの開発 (第11報)

海域汚染物質のモニタリング装置の開発 (第3報)

斯波信雄, 渡部英雄, 丸下清志, 倉本恵治, 吉川 恵*, 田中裕一郎*
水江安次郎**, 山岡和則***, 高田詔民****

Development of Monitoring Apparatus that Monitors of the Sea Pollution (3rd Report)

SHIBA Nobuo, WATANABE Hideo, MARUSITA Kiyoshi, KURAMOTO Yoshiharu, KIKKAWA Megumi*,
TANAKA Yuichiro*, MIZUE Yasujiro**, YAMAOKA Kazunori*** and TAKATA Norimi****

As part of our efforts to develop an unmanned seawater environmental monitoring device for long-term observation of nitrogen and phosphates, which serve as indices for eutrophication, this fiscal year we worked on the development of an automatic analyzer based on a process called FIA (Flow Injection Analysis). As the target of our analysis was seawater, we aimed at the development of equipment that can perform analysis at the standard level designated by regulations for seawater (in other words, total nitrogen of 0.2mg/liter or less and total phosphates of 0.02mg/liter or less). The newly developed device capable of completing the process from sampling to analysis in 15 minutes. In field testing conducted in the area offshore Kurahashi-jima Island, which is located in Aki-gun, Hiroshima Prefecture, we coupled the device to an automatic pre-treatment machine we developed last year. The entire process, including the pumping, pre-treating and analyzing of the seawater, took a total of 30 minutes. The analysis results obtained with our device are in agreement with those from analysis based on JIS methods, proving that the device can be satisfactorily utilized in actual analysis.

キーワード: モニター, 前処理, 海, 海域, 汚染, FIA, 窒素, リン

1 緒 言

瀬戸内海には、河川から大量の栄養塩(窒素・リン)が流入するが、閉鎖性が強いいため海水の交換が緩慢で、海域自体の自浄能力を超えて富栄養化が進行しやすい。富栄養化が進行すると植物プランクトンが大量に増殖し、これが瀬戸内海の一部地域に赤潮が発生する原因となり、この赤潮の発生により魚介類のへい死をもたらすこととなる。このため長期間無人で海水の採水から定量までを行える装置の開発を目標に海域環境モニタリングシステムの開発を計画した。

この研究は平成8年度に窒素及びリンの自動前処理装置を開発し、平成9年度に自動分析装置を開発して、平成8年度開発済みの自動前処理装置と連結して海域環境モニタリング装置を完成させるという計画である。本年度は2年間の計画の最終年度であり、FIA(フローインジェクション分析)方式の自動分析装置を開発するとともに平成8年度開発した自動前処理装置と連携させてモニタリング装置を構成し広島県安芸郡首戸町において海域実験を行ったのでその結果を報告する。

2 実験方法

2.1 装置の設計と試作

自動分析装置を設計する上で次の目標を設定した。

- (1) 分析手法はFIA法とし、分析対象元素は窒素とリンの2元素とする。
- (2) 分析試料は前年度開発した自動前処理装置から供給されるものとする。
- (3) 自動分析装置として単独でも動作し、前処理装置と連動してモニタリング装置としても機能すること。
- (4) できる限り分析回路の重複を避けて分析回路の簡略化を図る。
- (5) 分析時間は1元素の測定に15分を目標とする。

分析装置の基本フローを図1に示す。

基本的な動作としては、自動前処理装置で調整された試料をポンプで吸引し、分析する元素に対応した試薬と混合して恒温槽内で反応させる。反応して発色したサンプルの色の濃さを吸光度計で測定し、元素の濃度に換算する。分析して得られた値が異常であれば警報を出力し、異常がなければ測定値を印刷して次の測定ルーチンに移ることになる。

*株式会社ラボテック, **株式会社東和科学, ***株式会社菱研研機, ****株式会社日本総合科学

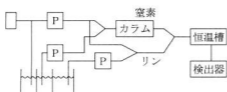


図1 自動分析装置基本フロー

2.2 ポンプについて

FIA 法では細いテフロンプバイブを用いて管路を構成しているため、ある程度の送液圧力が必要とされることと、反応時間を再現性良く行うことが測定精度に影響する。そこで一般的に FIA 装置に用いられるポンプは、流量の制御が精密にでき、高い圧力で送液することのできるプランジャーポンプと呼ばれるピストン式のポンプが用いられている。しかしプランジャーポンプは吸い込み力が弱いことと高額であるため、他の安価なポンプで置き換えられれば FIA 法での分析装置がさらに普及すると期待される。

本装置ではペリスタポンプを用いて自動分析装置を試作することを検討した。ペリスタポンプはしごきポンプとも呼ばれ、送液圧力もある程度可能で、吸い込み力もプランジャーポンプより大きいため海水の汲み上げにも利用できること、しかも安価で利用しやすい等の利点がある。

2.3 分析について

海水中の窒素やリンの規制基準値は水域の種類毎に異なっているが、規制基準値の一番厳しい類型 I で全窒素が 0.2mg/l 以下、全リンが 0.02mg/l 以下となっている。

全窒素の分析はナフチルエチレンジアミン吸光光度法により生じる赤色アゾ化合物の吸光度 (500nm または 540nm) を測定することにより分析する。ナフチルエチレンジアミン吸光光度法を利用して窒素の分析を行う場合、試料中の窒素は亜硝酸態窒素と反応するため、自動前処理装置で加熱分解された試料中の硝酸態窒素を亜硝酸態窒素に還元する必要がある。硝酸態窒素を還元する方法として通常は銅・カドミウム還元カラムが利用されるが、銅・カドミウム還元カラムを使用すると銅やカドミウムが溶出するおそれがあるため環境への配慮から紫外線照射還元カラムを使用した。感度的には海域中の窒素を定量するのに十分な感度を有しており、感度が問題になるようなことは特になく考えられる。

全リンの吸光光度法による定量は、酸性溶液中でオ

ルトリン酸イオンとモリブデン酸が反応して生成する化合物を還元剤を用いて還元し、生成したモリブデン青の吸光度 (880nm) を測定する。全窒素の測定に比べて全リンの方が規制基準値が低いと高い測定感度が要求されるが、FIA 法の場合窒素よりリンの測定感度の方が低く、基準値の測定ができるようにするためには測定感度を上げるための対策が必要である。

2.4 気泡の除去について

FIA 法では配管に 1mm 程度の細い管を使っており、配管内に気泡が入り込むと流量が変動したり検出器である吸光度が異常値を示すなどトラブルの原因になる。しかし配管継手から空気が入り込んだり、加熱分解や反応を促進するために液を加熱することにより気泡が発生する等、避けられない面もあり、気泡の除去をいかにするかが装置の信頼性にも影響してくる。したがって気泡抜きのために試薬や試料の供給部にデガッサと呼ばれる気泡除去装置を取り付けて対応することとした。

また、試料供給部は自動前処理装置から供給されてくるため特に予定していなかったが、自動前処理装置の試料受け容器内の液を排出する際に配管内に気泡が紛れ込むようで、気泡抜きが必要となり、試料吸い込み時間の短縮と気泡抜きを兼ねたポンプを増設し、対応することとした。

2.5 装置の制御について

装置の制御としては、測定するための切り替えバルブの制御、送液ポンプの制御、恒温槽の制御、吸光光度計からの信号の入力、計測データのプリントアウトその他条件入力や測定値表示用のタッチパネルの制御等がある。前年度開発した自動前処理装置との連携が必要なため機能性の高い光通信ユニットを搭載したシーケンスコントローラを使用することとした。光通信ユニットを使用することにより自動前処理装置に使用しているシーケンスコントローラを、自動分析装置の一部として利用できる機能を付加させることができる。

吸光光度計は色の濃度を測ることができるが窒素とリンでは発色する色が異なるため、吸光度を測る波長を変える必要があり、吸光光度計の測定波長をステップモーターで制御できるように改造して使用した。

2.6 分析回路について

市販の FIA 自動分析装置は、窒素分析専用装置、リン分析専用装置と、1 元素を分析するための専用機的使用者がされる。そのため送液流量や反応温度の制御もそれぞれ最適値が利用されるが今回のモニタ

リング装置では1台の検出器で窒素とリン両方の元素を定量すること、可搬式な装置を目指したため、軽量化の必要性から出来るだけ回路の重複を避けることを検討し、サンプリングポンプの省略、及び図1に示すように1台の恒温槽で窒素・リンの共用化等を図った。

3 実験結果および考察

図1の基本フロー図にもとづいてブロック毎に装置を組み立てて動作確認を行った。

3.1 分析法の検討

リンの定量については感度不足が懸念されるため、分析法について検討を行った。

リン濃度を調整して自動分析装置で定量した場合の吸光光度計からの出力波形を図2に示す。

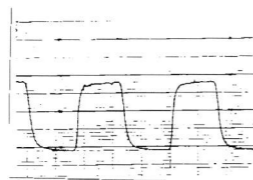


図2 淡水中のリンの分析

図2は0.1mg/lのリン酸溶液に対してサンプル流量：試薬流量（モリブデン酸アンモニウム溶液+アスコルビン酸溶液）= 4：1の割合で供給した場合に得られた結果である。次いでにNaCl水溶液中に0.1mg/lのリン酸を含有するように溶液を調整して同様の定量操作を行ったが、バックグラウンドレベルが上昇しリンの信号が埋もれてしまった。このためブランクに3%NaClを流し吸光光度計の感度を10に上げ、さらにサンプル流量1.4ml/min、試料流量0.45ml/minとすると図3のピークを得た。このデータをもとにモル吸光係数を計算すると、 $4640 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ となった。水溶液の場合のモル吸光係数は $2 \times 10^4 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ であり、NaClが共存すると感度が約1/4程度に低下したことになる。ただし、3%NaClを共存させたかたちでブランクを調整することにより海水中のリンも測定可能であることが確認でき海水中のリンの規制値の1/10である0.002mg/lの定量も可

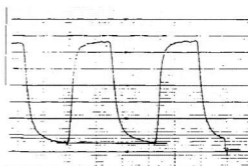


図3 海水中のリンの分析

能であることが確認できた。

3.2 装置の改良

3.1分析法の検討および分析回路の簡略化を検討した結果、分析回路を図4に示すように改良した。

主な改良点はバックグラウンド用に3%NaCl水溶液のタンクおよび供給回路を追加したこと、試料供給用バルブを取り除いたこと、気泡抜きの強化、回路の簡略化である。

3.3 モニタリング装置による海域実験

今年度開発した自動分析装置と、昨年度開発した自動前処理装置を連結し、モニタリング装置としての性能を確かめるための実証試験を平成10年3月17、18日に広島県安芸郡音戸町で行った。実験中の写真を写真1に示す。自動前処理装置、自動分析装置はステンレスのBOX内に組み付けて、可搬式な装置として完成させているが、装置の搬入を考慮して、実海域での実験はBOXから出した状態で実施した。写真左のラックにあるのが自動前処理装置で、右側が自動分析装置である。海水の取水は装置のすぐそばの海水中約2m位置から汲み上げている。自動前処理装置、自動分析装置単独での動作確認の結果どちらの装置も正常に動作した。また、2台を連結してモニタリング装置としての動作確認も実施したが、海水の汲み上げから定量まで正常に動作した。

海域実験の結果を表1に示す。表1にはモニタリング装置で分析した結果と同じ海域で採取した海水をJISに定められた方法で分析した結果を示した。表1に示すように全窒素も全リンも、本法による分析値はJIS法と良く一致した結果が得られた。

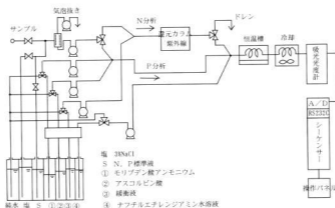


図4 窒素、リン自動分析装置フロー図

表1 モニタリング装置による実海域での分析

記号	本 法 (mg/l)		JIS法 (mg/l)	
	全窒素	全リン	全窒素	全リン
1 日目	0.16	0.020	0.15	0.022
2 日目	0.15	0.021	0.16	0.023



写真1 海域実験

4 結 言

海水中の窒素、リンを長期間無人で、連続的に測定できる装置を目標に海域環境モニタリング装置の開発を行い、海域における実証試験を実施した。結果、以下のことが分かった。

- (1) 窒素とリンの自動分析装置を開発し、リンの規制基準値も十分に定量できた。

- (2) 昨年度開発した自動前処理装置と今年度開発した自動分析装置とを連携させてモニタリング装置としての機能確認を行った結果、JIS法で得られた値と良く一致し、海域環境のモニタリング装置として十分適用できた。

- (3) 前処理を含めて1元素あたり30分間で測定可能であった。
- (4) 瀬戸内海のように干満の差がある場所では、吸い上げポンプの揚程に注意する必要がある。
- (5) 河川や工場排水のように3%のNaCl溶液を含まない水中の窒素やリンを測定する場合は、バックグラウンド上昇の影響が無いことから現在の4倍程度の感度が得られ、さらに高感度の測定が可能である。

なお、本研究は財団法人広島県産業技術振興機構からの委託研究(地域研究開発促進拠点支援事業)として、自動計測技術研究会のメンバーとの共同研究で実施したものである。

文 献

- (1) 本水昌二、大島光子:平成6年度産学 R&D 推進委託研究報告書、(1994)、123。

透過気化法による海水淡水化 (第2報) 高効率淡水化技術の開発

本多正英, 斯波信雄, 倉本恵治, 丸下清志, 畑 徳宣, 渡部英雄

Seawater Desalination on Pervaporation Process (2nd Report) Development of High Efficient Seawater Desalination Technology

HONDA Masahide, SHIBA Nobuo, KURAMOTO Yoshiharu, MARUSHITA Kiyoshi, HATA Noriyoshi and WATANABE Hideo

The desalination experiment was carried on with the pervaporation mini plant, which we had made in previous year, to improve productivity and efficiency. Basically, the quantity of desalinated water was increased as the seawater temperature was higher, the flow rate was faster and the pressure was lower. Under the best condition, the mini plant could produce $7.2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ [$26 \ell/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] of desalinated water per an area of membrane. The salt concentration (from 0.5 to 2.5 times on natural seawater) of artificial seawater gave little effect on quality and quantity of desalinated water.

キーワード：海水淡水化, 透過気化法, 造水量, 塩分濃度

1 緒 言

本研究は科学技術庁の「清浄で安心な生活環境の創造：環境低負荷型浄化技術の開発と応用」という研究課題の一環として行った。

経済の発展と国民生活の向上にともない、我が国の水需要は増加の一途をたどっているが、新たなダムの開発などは自然破壊につながるため難しいのが現状である。そのため、海水から淡水を得る海水淡水化技術が必要となり、現在、蒸発法¹⁾、逆浸透法²⁾などによって淡水化が行われている。しかし海水中には発ガン性物質であるトリハロメタンを生成する臭素や、さらにヒトの精子数を減少させるホウ素が含まれており、これらを完全に除去する必要がある。そこで本研究では、安全かつ信頼性の高い生活用水供給システムの開発を目標に、透過気化法による海水淡水化の研究を行った。平成9年度は昨年度に試作した透過気化ミニプラントでの実験³⁾を引き続いて行い、造水量や効率の改良を目標に検討した結果を以下に示す。

2 実験方法

平成9年度に試作した透過気化ミニプラントで、引き続き海水の淡水化実験を行った。ミニプラントでの造水量や淡水化率などが最適になる条件を調べるため、透過気化膜モジュール入口の海水温度や海水の供給流量及び真空圧力を変化させて淡水化実験を行った。また、海水の塩分濃度の影響を調べるため、様々な濃度の人工海水で淡水化実験を行った。さらに、淡

水化で得られた水の水質試験を行い臭素やホウ素の除去などについて検討した。

3 実験結果と考察

3.1 ミニプラントの運転

ミニプラントにおいて総膜面積が 0.5 m^2 の膜モジュールを用い、海水の供給流量を $4.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ [$15 \ell/\text{h}$]と一定にし、膜モジュール入口の海水温度と真空圧力を変化させた時における造水量への影響を図1に示す。

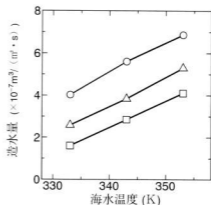


図1 海水温度及び真空圧力における造水量への影響

膜面積 0.5 m^2 供給流量 $F = 4.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ($15 \ell/\text{h}$)
—○— $P = 2.67 \times 10^4 \text{ Pa}$ (20 Torr)
—△— $P = 2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$ (200 Torr)
—□— $P = 5.33 \times 10^6 \text{ Pa}$ (400 Torr)

造水量は膜面積 1 m^2 当たりで一定時間内に採取された淡水の量で表示した。図 1 より海水温度が上がるほど造水量は増加した。また、真空圧力はミニプラントの性能の問題から $2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$ [20Torr] までとしたが、真空圧力が低いほど造水量は増加した。

次に真空圧力を最も造水量の多かった $2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$ [20Torr] と一定にし、供給流量と海水温度を変化させた時の造水量への影響を図 2 に示す。どの温度においても、供給流量が増えるほど造水量も増加した。なお、供給流量を $5.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ [20 ℓ/h] までとしたのは、このミニプラントの予熱器に使用しているヒーター容量の問題から、海水温度を 353K [80℃] に保って、供給流量をそれ以上に上げることが出来なかったためである。

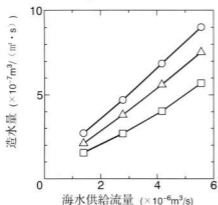


図2 海水供給流量及び海水温度における造水量への影響

真空圧力 $P=2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$ (20Torr)
 膜面積 0.5m^2
 ○ T=353K (80℃)
 △ T=343K (70℃)
 □ T=333K (60℃)

3.2 海水の塩分濃度の影響について

海水の塩分濃度を变化させた時の造水量への影響を検討した結果を図 3 に示す。この実験は実海水の塩分濃度を 1 とし、その 0.5~2.5 倍の濃度である模擬海水を作成して行った。図 3 より塩分濃度が変化しても造水量における顕著な差は見られないことが分かる。一般に、水に塩化ナトリウム等の不純物が溶解すると、水分子と不純物のイオンとの間に分子間力が働いて蒸発が起こりにくくなり沸点上昇が起こる。そのため、塩分濃度が高くなると沸点上昇が起こり造水量が減少すると予想されるが、海水の沸点上昇温度は大気圧のもとでは 0.6K 程度で、塩分濃度が 2.5 倍になっても

1.5K 程度の上昇である。その上、膜モジュールは減圧されており、沸点上昇温度はもっと低くなるので、塩分濃度が変化しても造水量にはあまり影響しなかったものと考えられる。

さらに、得られる造水の電気伝導度における海水の塩分濃度差の影響について検討した結果を図 4 に示す。ここでは一例として、真空圧力が最も造水量の多い $2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$ [20Torr] の時の結果を示す。塩分濃度が変化しても造水の電気伝導度は約 $1 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-4} \text{ S/m}$ とはほぼ一定であった。これらの結果から、原水には汽水や岩塩地下水のような塩分濃度が低いものを使用しても、得られる造水は質、量ともにほとんど変化がないと考えられる。また、モジュールから原水タンクに戻っていく温海水は少し塩分が濃縮されているが、エネルギー的に有利にするためそれを再利用しても、得られる造水に影響はないと思われる。

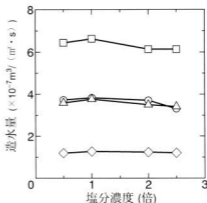


図3 塩分濃度の変化による造水量への影響

供給流量 $F=4.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (15 ℓ/h) 膜面積 0.5m^2
 □ $2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$, 353K (20Torr, 80℃)
 ○ $2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$, 333K (20Torr, 60℃)
 △ $5.33 \times 10^5 \text{ Pa}$, 353K (40Torr, 80℃)
 ◇ $5.33 \times 10^5 \text{ Pa}$, 333K (40Torr, 60℃)

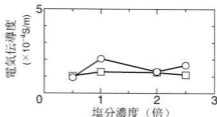


図4 塩分濃度の変化による造水の電気伝導度への影響

供給流量 $F=4.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (15 ℓ/h) 膜面積 0.5m^2
 ○ $2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$, 333K (20Torr, 60℃)
 □ $2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$, 353K (20Torr, 80℃)

3.3 造水量の向上について

総面積が 0.5m^2 の膜モジュールでは、ヒーター容量の問題から造水量は最高でも $9.0 \times 10^{-7}\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ [$3.2 \ell/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] ほどであった。しかしながら、このミニプラントを試作するにあたって行った予備実験の装置では膜面積当たりの造水量は $5.0 \times 10^{-7}\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ [$18 \ell/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] であり、膜の限界値はさらに高いと考えられたため、このミニプラントのヒーターでも十分に加熱ができるよう膜面積がさらに小さいモジュールを作製し実験を行った。 0.086m^2 の膜モジュールを用い、海水の供給流量を $4.2 \times 10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$ [$15 \ell/\text{h}$] と一定にし、膜モジュール入口の海水温度と真空圧力を変化させた時における造水量への影響を検討した結果を図5に示す。海水温度、真空圧力による造水量への影響は 0.5m^2 のものと同様の傾向を示した。しかし、同条件で実験を行ったときの膜面積当たりの造水量を比較すると約4~5倍に増加した。

次に 0.086m^2 の膜モジュールで、真空圧力、海水温度をも造水量の多い $2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$ [20Torr]、 353K [80°C] と一定にし、供給流量を変化させた時の造水量への影響を図6に示す。供給流量が上がるにつれて造水量は増加し、 $5.6 \times 10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$ [$20 \ell/\text{h}$] では約 $4.2 \times 10^{-7}\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ [$15 \ell/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] になった。また、原水タンクにもヒーターを取り付け、原海水自体を加熱することによって、供給流量をさらに上げることができるようになり、 $1.1 \times 10^{-5}\text{m}^3/\text{s}$ [$40 \ell/\text{h}$] では約 $7.2 \times 10^{-7}\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ [$26 \ell/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] になった。なお、蒸気を凝縮させる冷却ユニットの設定温度を 288K

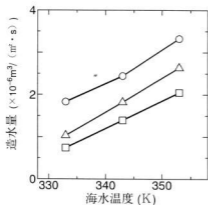


図5 海水温度及び真空圧力における造水量への影響

膜面積 0.086m^2 供給流量 $F = 4.2 \times 10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$ ($15 \ell/\text{h}$)

- $P = 2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$ (20Torr)
- △ $P = 2.67 \times 10^4 \text{ Pa}$ (200Torr)
- $P = 5.33 \times 10^4 \text{ Pa}$ (400Torr)

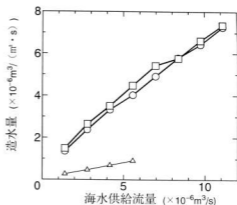


図6 海水供給流量及び冷却温度における造水量への影響

真空圧力 $P = 2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$ (20Torr)膜面積 0.086m^2 海水温度 $T = 353\text{K}$ (80°C)

○ 設定冷却温度 288K (15°C)

□ * 278K (5°C)

—△— 0.5m², * 288K (15°C)

[15°C] から 278K [5°C] に下げると造水量は若干増加した。これは、冷却液の温度が低い方が効率よく蒸気を凝縮できるためだと考えられる。

3.4 淡水化率について

供給流量における淡水化率への影響を検討した結果を図7に示す。淡水化率とは供給した海水量に対して

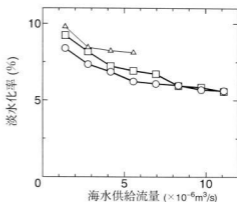


図7 海水供給流量及び冷却温度における淡水化率への影響

真空圧力 $P = 2.67 \times 10^5 \text{ Pa}$ (20Torr)膜面積 0.086m^2 海水温度 $T = 353\text{K}$ (80°C)

○ 設定冷却温度 288K (15°C)

□ * 278K (5°C)

—△— 0.5m², * 288K (15°C)

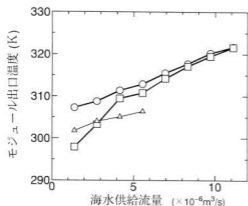


図8 海水供給流量及び冷却温度におけるモジュール出口温度への影響

真空圧力 $P=2.67 \times 10^3 \text{ Pa}$ (20Torr)
 膜面積 0.086 m^2 海水温度 $T=353 \text{ K}$ (80°C)
 ○ 設定冷却温度 288K (15°C)
 □ * 278K (5°C)
 △ 0.5 m^2 , * 288K (15°C)

どれだけの淡水が得られたかという割合を示したものである。供給流量が上がるにつれて淡水化率は9%前後から6%前後に低下した。このことに関連して、蒸発せずにモジュールから出る海水の温度が、供給流量によってどのような影響を受けるか検討した結果を図8に示す。供給流量が上がるにつれて海水のモジュール出口温度は少しづつ上昇する。これらの原因としては、供給流量が上がると流速が速くなり、モジュールでの滞留時間が短くなるため、十分に蒸発できずにモジュールを出ていく温海水の量が増加し、その結果、淡水化率が低下し、気化熱が奪われることによる海水温度の低下も少なくなるのではないかと考えられる。すなわち、本装置に使用している平膜タイプのモジュールは、厚さ $1 \times 10^{-3} \text{ m}$ 以下の受け皿のような容器に膜を張ったものを積み重ねた構造であるが、膜面積が 0.086 m^2 のモジュールでの滞留時間は、供給流量を $2.8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ [$10 \ell/\text{h}$] にしたときでは約30sで、 $1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ [$40 \ell/\text{h}$] にしたときでは約7sしかない。そのため膜に近い部分では蒸発に伴い気化熱が奪われて海水温度が低くなっているが、膜から遠い部分ではモジュールでの滞留時間が数秒しかないため、熱の対流が十分に行われず、海水温度が高いままでモジュールを出ていってしまうということが考えられる。

しかし、現在では不明な点が多く、詳細は今後検討する。

表1 造水の水質試験

分析項目	測定値(mg/l)	分析項目	測定値(mg/l)
Cl	0.63	Fe	<0.001
Na	0.21	Co	<0.001
B	<0.01	Ni	<0.001
Br	<0.01	Cu	<0.01
Mg	0.03	Zn	<0.001
Al	<0.001	As	<0.001
Si	0.01	Rb	<0.001
S	<0.001	Sr	<0.01
K	0.02	Mo	<0.001
Ca	<0.001	Cd	<0.001
Ti	<0.001	Ba	<0.001
V	<0.001	Hg	<0.0001
Mn	<0.001	Pb	<0.001

3.5 水質について

得られた造水の水質試験結果の一例を表1に示す。これらはICP-MS法や原子吸光法により測定した。ホウ素、臭素はともに良く除去されている。また、その他の有害物質も良く除去されており、安全な水であることが確認できた。なお、pHは6.3、電気伝導度は $1.3 \times 10^{-5} \text{ S/m}$ と良好であった。

4 結 言

- 造水量は基本的には供給海水温度が高く、供給流量が多いほど、また真空圧力が低いほど増加した。従来の透過気化淡水化技術⁶⁾では、膜面積 1 m^2 当たりで1時間に採取される淡水の量は、 $2.8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ [$10 \ell/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] ぐらいであったが、本装置では現在における最高の条件において、約 $7.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ [$26 \ell/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] になった。
- 原海水の塩分濃度の影響については、海水の2.5倍程度までの模擬海水を使用しても、得られる造水には質、量ともにほとんど影響がなかった。
- 淡水化で得られた水は安全な水であることを確認した。

文 献

- 宮武修：日本海水学会誌，50(1986)4，220
- 木村尚史：日本海水学会誌，50(1986)4，216
- 斯波：広島県西部工業技術報告，No40(1997)，56
- 財団法人造水促進センター：平成6年度造水先端技術講習会講演要旨，(1994)
- 守谷安治，竹原彦彦，豊部忠篤：岡山県工技研究報告，No23(1997)，85

機械制御用 FPGA の設計技術の開発

馬場祥宏, 松永尚徳, 高橋伸男*, 川上 聡**, 中塩武之

FPGA Design for Machine Control Equipment using Verilog-HDL.

BABA Yoshihiro, MATSUNAGA Hisanori, TAKAHASHI Nobuo, KAWAKAMI Satoshi and NAKASHIO Takeyuki

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

Using Verilog-HDL design method we have developed

- (1) Counter timer LSI that is compatible to Z80CTC for a tire balance measurement equipment
- (2) Timing generation circuit of a printing quality inspection equipment for a gravure printer.

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

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

1 緒 言

広島県の産業構造は、輸送用機械器具製造業（自動車、船舶）、一般機械器具製造業（産業用機械、工作機械）の加工組立産業と鉄鋼業（製鉄）等の基礎産業に特化している。このような現状において、最近の企業を取り巻く環境は大変厳しく、これからの中小企業が企業生命を維持発展していくためには高機能、高付加価値製品やユーザーズに対応した新製品の開発が必要となる。

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

FPGA（フィールド・プログラマブル・ゲートアレイ）は多品種少量生産に向けた低コストのセミカスタム LSI 開発用デバイスであるが、従来の回路図ベース設計とは異なり、Verilog-HDL¹⁾ または VHDL²⁾ というハードウェア記述言語を用いて設計するため、中小企業レベルでは使用経験がほとんど無く、設計手法の習得、設計結果の検証技術、設計ノウハウに対するニーズが高まっている。

そこで、中小企業が自社製品に適合したセミカスタム LSI を容易に開発できるよう、ハードウェア記述

言語を用いた FPGA の設計技術を開発した。

LSI の機能検証のためのシミュレーション手法を確立するとともに、Verilog-HDL 設計により、タイヤバランス測定装置で使用されるカウンタ・タイマ用 LSI およびグラビア印刷機械の印刷品質検査に使用される画像処理装置のタイミング生成回路を FPGA で開発した。

2 カウンタ・タイマ用 LSI の開発

タイヤバランス測定装置では、測定対象であるタイヤの回転数、速度検出のために数多くのカウンタ・タイマ用 LSI が必要であり、従来は 8 ビット CPU の周辺 LSI³⁾ が使用されていた。しかしながら、8 ビットから 16 ビット、32 ビットと CPU の多ビット化が進み、制御用に多く用いられていた 8 ビット CPU 及びその周辺 LSI は各メーカー共に製造中止になりつつある。

このため、今まで使っていた LSI が入手できない場合、電子回路を大きく設計変更したり、プログラムを変更する必要がある。しかし、FPGA を用いて同機能な LSI を作る事によりプログラムを変更することなく少しの回路変更で同じ物を作る事ができる。そこで、Z80 の周辺 LSI である Z80CTC と同機能な LSI を Verilog-HDL で設計し、FPGA で開発した。

*広島振動工業株, **株メタソフツジ

図1にタイヤバランス測定装置の制御基板のシステム構成を、図2にFPGA化したカウンタ・タイマ用LSI回路部分の内部構成を、図3に各チャンネルの内部構成を、写真1にカウンタ・タイマLSI部分をFPGA化した制御基板の外観を示す。

開発したカウンタ・タイマ用LSIの特長は、下記の通りである。

- (1) 4チャンネルの独立した8ビットのカウンタ。
- (2) 各チャンネルにおいて、カウンタモードとタイマモードの選択可能。
- (3) ダウンカウンタがゼロのとき、時間定数は自動的に再設定され、チャンネルは動作を続行。
- (4) 各チャンネルのダウンカウンタの内容は読取可能。
- (5) プログラム割り込み可能。
- (6) +5Vの単一電源、および単相クロック。

FPGAの設計ではパソコン上でシミュレーションを行い動作を確認出来ること、またLSI内部の回路変更が容易に行えるため、開発期間の短縮が可能となった。

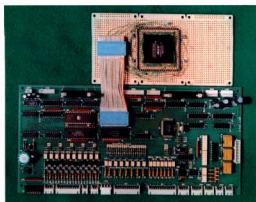


写真1 カウンタ・タイマLSI部分をFPGA化した制御基板の外観

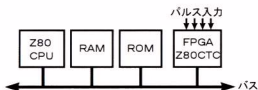


図1 タイヤバランス測定装置制御基板のシステム構成

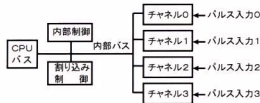


図2 カウンタ・タイマ用LSI回路部分の内部構成

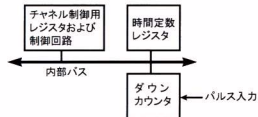


図3 各チャンネルの内部構成

た。

カウンタ・タイマ用LSI (Z80CTC) と同機能なLSIをFPGAで開発したことにより、今後そのLSIが製造中止等により入手出来なくなっても、影響を受けなくて済む。またLSIの変更による基板の変更も最小限で行うことができる。

ただし、専用LSI単体と比較するとFPGAの価格が割高になるため、周辺回路を含めた、より多くの回路をFPGAの中に入れることにより、コストを下げ必要がある。

3 画像処理装置タイミング生成回路の開発

グラフィカ印刷機は毎分200mと印刷速度が高速であるため、その印刷品質を目視検査することは非常に困難である。従来からストロボに同期してCCDカメラで印刷面を撮像し、NTSC方式モニターに表示する画像処理装置が商品化されていたが、NTSC方式はフレーム速度が30Hzであるため画面にちらつきがあり、長時間の検査では眼の疲労が避けられなかった。

そこで、モニターをNTSCインターレース方式から画面ちらつきの無いVGAノンインターレース方式に変更し、併せてコストダウンを図るため、画像処理装置のタイミング生成回路をFPGAで開発した。

図4に画像処理装置の構成図を示す。今回の変更は、フレーム基板に対し行われる。図5に旧フレーム基板の構成を、図6に新基板の構成を、写真2に新基板の外観を示す。

新旧2つの基板は内容的には、倍速スキャンコンバータ部分が異なるだけで、ほぼ同等のものである。この2枚の基板を比較検討することで、FPGAの導入によるコスト変化を検証する。

新基板では、旧基板のフレームメモリや入力バッファへのチップセレクト信号やフレームメモリへのジャンプアドレスの生成、そのシリアル送信、各種コマンド等を作成する部分が1つのFPGAに納められている。したがって、FPGAとそれに納めることのできた部品とを比較することで、コスト変化を検証でき

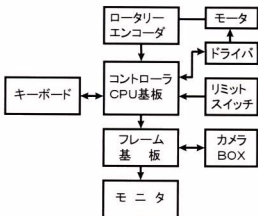


図4 画像処理装置の構成図

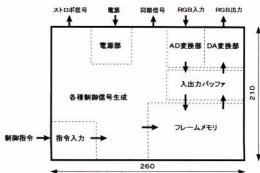


図5 旧基板概要図

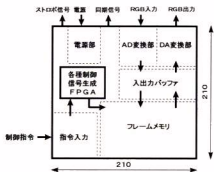


図6 新基板概要図

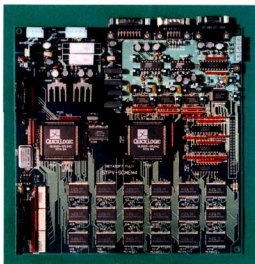


写真2 新基板の外観

る。その部品の内訳を表1に示す。また、この場合のコスト変化を表2に示す。

表1を見ると、部品はその数も種類も大幅に減少しているのがわかる。このことから、部品購入費は使用部品に影響されるので一概に削減されるとは言えないが、購入時の工数、実装時の工数、アートワーク費、基板代等、さまざまな面でコストの減少が予測される。

実際、表2を見ると、部品代は約33%の減少、アートワーク費（ピン数にほぼ比例）も約86%減少、実装費も約95%減少しているのがわかる。（FPGA部のみの比較）また、基板面積も減少しているものの今回は、基板代の削減には至らなかった。ROMやPALなど高価な部品が不要となり、部品代も減少している。部品代については、より複雑な機能を持つ多段の回路を置き換えるようにした方が効果大きい。

また、FPGAの構造上、中身が複雑で入出力ゲートの総数が少ない機能を置き換えた方が効率が良い。全体としてかなりのコスト削減に役立っているのがわかる。

FPGAの導入により、基板単価は減少する。この際、FPGAに置き換える部分は、機能の複雑なもの、部品点数の多いものほどコストの削減につながる³⁾。また、回路図作成の段階でも入出力さえ決めればよく、FPGAのプログラムを並列して組むことができ、時間短縮につながる。また、内部の回路は、バージョンアップに伴い組み替えることも可能であり融通の利くものとなっている。

表1 部品比較表

旧基板		新基板	
部品名	数量	部品名	数量
74HC14AP	2	QL2005-XPL84C	1
74HC32AP	1	PLCC ソケット84P	1
74HC74AP	8	クリスタルオシレータ	1
74HC125AP	1	セラミックコンデンサ104	4
74HC165AP	4		
74HC273AP	2		
74HC393AP	1		
74HC161AP	5		
74HC164AP	2		
74HC541AP	2		
27C256	3		
PAL16L 8 BCN	6		
IC ソケット20P	6		
IC ソケット28P	3		
セラミックコンデンサ104	37		

表2 変更部分のコスト比較

比較対象	旧基板	新基板	減少率
部品コスト(相対値)	100	67	33%
ピン数	702	96	86%
実装面積 (cm ²)	150	25	83%
実装時間 (相対値)	100	5	95%

4 結 言

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

LSI の機能検証のためのシミュレーション手法を確立するとともに、Verilog-HDL 設計により、機械制御用および検査装置用 FPGA を開発した。

- (1) タイヤバランス測定装置に使用されるカウンタ・タイマ用 LSI を HDL 設計し、FPGA で実現した。開発した LSI は Z80CTC と完全互換であり、その

まま回路資産として再利用できるだけでなく、用途に応じて必要チャンネル数と周辺回路をワンチップに集積可能である。

- (2) グラビア印刷機械の印刷品質検査に使用される画像処理装置のタイミング生成回路を FPGA で実現した。従来37個の IC で実現されていた回路を1個の FPGA で置き換えることができ、装置の小型化、低消費電力化、回路ノウハウのブラックボックス化が達成できた。

ハードウェア記述言語を用いた FPGA の設計技術は、競争力に優れた製品を短期間に開発するためのキーテクノロジーであり、電気機械器具製造業を中心とした県内関連企業への普及を図る。

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

文 献

- 小林 優「入門Verilog-HDL記述」CQ出版(1996)
- トーマス、モアビー著、飯塚哲哉訳「設計言語 Verilog-HDL 入門」培風館(1995)
- 桜井 至「HDL 設計入門(改訂版)」テクノプレス(1996)
- ステンハイム著、井上博史、鈴木隆 訳「Verilog-HDL によるトップダウン設計」CQ出版(1994)
- 並木秀明、宮尾正大、前田智美「実用入門デジタル回路と Verilog-HDL」技術評論社(1996)
- 長谷川裕恭「VHDL によるハードウェア設計入門」CQ出版(1995)
- バスケル著、デザインウェア企画室 訳「VHDL 言語入門」CQ出版(1995)
- ナバビ著、佐藤一幸 訳「VHDL の基礎」日経 BP 出版センター(1994)
- アームストロング著、白石繁、山本靖 訳「VHDL デザイン・テクニック」電波新聞社(1990)
- 額田忠之「Z80ファミリハンドブック」CQ出版(1985)
- クイックロジック社データブック インターニックス(1995)

素形材加工のインテリジェント化に関する研究 (第3報) 光造形技術の精密鋳造品・金型への応用

門 格史, 原 信彦, 吉村一彦*, 中下和俊**

Study on Intelligence of Material Processing (3rd Report) Application of Rapid Prototyping to Precision Casting

KADO Tadashi, HARA Nobuhiko, YOSHIMURA Kazuhiko and NAKASHITA Kazutoshi

Rapid Prototyping applied to Precision Casting. The following results were obtained

- (1) It is necessary that Rapid Prototyping Model is coated by ten times of dipping into the slurry with low viscosity to prevent cracking in the mold
- (2) Two step burning of Rapid Prototyping Model in the mold (firstly at 800°C, and secondly at 1000°C.) result little ash in the mold
- (3) It is necessary to use scaling factor by model size in order to make a precious model.

キーワード: 光造形, 精密鋳造法

1 緒 言

製品開発の工程において, 光造形モデルを意匠, 機能チェックに利用することは有効な方法であると言われている。

しかし, 機能チェックを行う際, 光硬化樹脂と実際に使用する材料とは強度, 硬度等で違いがあり, 機能を完全に把握することは難しい。また, 光造形モデルが, 水分, 熱により変形するという性質もある。

このことを解消するため, 光造形で精密鋳造用モデルを作製し, 金属製品(精密鋳造品)に置き換えることが望まれている。

そこで本研究は, 光造形技術の精密鋳造品・金型への応用について研究を行う。

2 実験方法

2.1 光造形技術の基本原理

光造形技術の基本原理は, 図1に示すように, 3次元CADデータを水平方向にスライスした断面形状

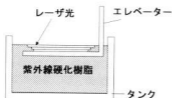


図1 光造形の基本原理

に沿って紫外線レーザーで光硬化樹脂を1層ずつ硬化させ, 1層分の断面を硬化し終わったら, テーブルを1層分下げる。この工程を繰り返す, 立体模型を作製するものである。

2.2 光造形装置の概要

実験で使用した光造形装置の外観, 仕様は写真1および表1に示す。



写真1 光造形装置の外観

表1 光造形装置の仕様

装置名	SLA-500/30
メーカー名	3D systems
レーザー光線	Ar レーザ
最大ワークサイズ	500(X)×500(Y)×580(Z)
樹脂の種類	エポキシ

*麻波谷製作所, **機モルテン安佐

2.3 光造形の精密鋳造用モデル

一般的に意匠確認などに利用されている光造形モデルは、中実モデルであるが、精密鋳造用モデルは、図2に示すように、モデル表面（図のハッチング部分）を0.5mm程度程度の皮でおおい、内部部分は、格子状（ハニカム）に柱が立っているような構造をしている。このため、モデル造形の際にハニカムの空間部分に樹脂が溜まるため、皮を作る際に、モデルの上下に樹脂を抜くための穴を作っている。

この構造により、モデル焼失の際に樹脂の膨張による応力を緩和することができる。

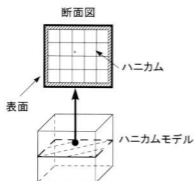


図2 精密鋳造用モデル

2.4 光造形モデルを利用した精密鋳造法の概要

光造形モデルを利用した精密鋳造法の工程を図3に示す。

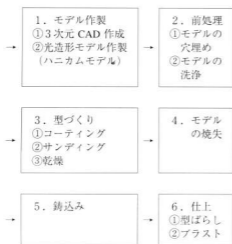


図3 光造形モデルを利用した精密鋳造法

3 実験条件

3.1 実験モデル

精密鋳造を行うモデルとして以下を用いた。射出成形金型の上型、下型をそれぞれ図4、図5にシロッコファンを図6に示す。

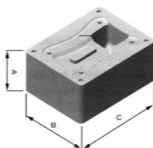


図4 射出成形金型の上型

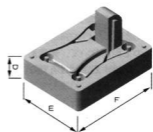


図5 射出成型用金型の下型

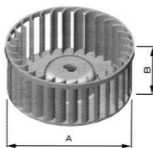


図6 シロッコファン

3.2 精密鋳造の実験条件

2.4に従い、射出成形用金型、及びシロッコファンの精密鋳造品の作製を行った。

実験条件を（光造形モデル、鋳型作成、鋳造材料）表2に示す。また、鋳込み方法に関しては、射出成型

表2 精密鋳造の実験条件

光造形モデル	ハニカムモデル
鋳型作成	1, 2層目 スラリー：ジルコンフラワー サンディング：ジルコンサンド
	3層以降 スラリー：溶融シリカ サンディング：ハイアルミナサンド
鋳造材料	アルミニウム鋳物 (AC4C)
鋳込み方法	大気 または 減圧鋳造

用金型は大気、シロッコファンについては減圧鋳造を行った。

4 実験結果と考察

光造形モデルを利用した精密鋳造品の作製を行い、以下の最適条件を求めた。また光造形モデルと精密鋳造品の寸法比較を行った。

4.1 モデル焼失の際の鋳型割れ対策

4.1.1 層数

当初、ロストワックスで行う程度の層数（5層）で行ったが、焼失の際、樹脂の膨張により鋳型が破壊するか、またはかなり大きな割れが発生していた。

その後、鋳型強度を上げるため、コーティングを10層程度（鋳型厚さ7~10mm）行った。このことにより鋳型の割れがなくなった。

10層程度コーティングすることにより樹脂の膨張に耐えうる強度が出ると考えられる。

4.1.2 スラリー

当初、スラリーの粘度を高くして（ザンカップ#5で50~60s）鋳型を作っていたがモデル焼失の際に割れが発生していた。

その後、スラリーの粘度を下げる（ザンカップ#5で6~10s）ことにより割れなくなった。

これは、鋳型の各層が均一な層になり、強度が増したと考えられる。

これらのことよりコーティングを10層、スラリーの粘度は、ザンカップ#5で6~10sにすることがよいと思われる。

4.2 モデル焼失の際に鋳型内の灰対策

モデル焼失の際、焼成炉の温度を800℃にて焼成をしていたが、鋳型内に灰が少し残っていた。

この残った灰を焼失するため、1000℃にてもう一度焼成を行った。この方法によって鋳型内の灰はなくなることが確認された。

4.3 光造形モデルと精密鋳造品の寸法比較

光造形モデルと精密鋳造品の寸法測定結果を射出成型用金型（上型、下型）については表3、シロッコファンについては表4に示す。

いずれも射出成型用金型（上型、下型）及びシロッコファンの測定値が光造形モデルの測定値よりも小さくなっていることわかる。

これは、アルミニウム鋳物が凝固から常温に冷却するまでの際に収縮することにより生じている²⁾。

このことより、精度の良い精密鋳造品を作製するため、光造形モデルを作製する際に収縮を見込んだスケールをかける必要がある。

表3 射出成型金型の測定結果

単位：mm

	測定箇所	光造形モデル	精密鋳造品
上型	A	47.11	46.42
	B	112.49	111.38
	C	85.80	84.68
下型	D	25.02	24.39
	E	112.47	111.41
	F	85.60	84.49

表4 シロッコファンの測定結果

単位：mm

	測定箇所	光造形モデル	精密鋳造品
	A	76.00	75.52
	B	30.90	30.41

6 結 言

光造形モデルを利用した精密鋳造を行い、射出成型用金型、シロッコファンを作製し、以下の結果を得た。

- (1) モデル焼失の際に鋳型の割れを防ぐためには、鋳型強度を上げるため、10層コーティングし、スラリ

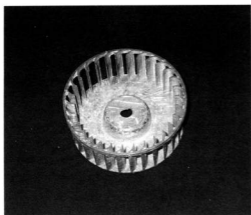


写真2 シロココファンの精密鋳造品

- 一の粘度を下げること（ザーンカップ#5で6～10s）が望ましい。
- (2) モデル焼失の際の灰は800℃で焼き、その後更に1000℃程度で焼けば残らないことがわかった。
- (3) 精密鋳造を行う際には、収縮があるため、光造形モデルにスケールをかける必要がある。

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

文 献

- 1) 中川他, 積層造形システム—三次元コピー技術の新展開—工業調査会 (1996), 133～138
- 2) 千々岩健児 鋳物の現場技術, 日刊工業新聞社, (1980), 55

放電焼結を利用した高機能材料およびプロセスの開発 (第1報)

放電焼結法による材料開発

筒本隆博, 新田 明, 砂本健市*, 菊池 光**

Development of High-Performance-Functional Materials and Process using Spark-Sintering

TSUTSUMOTO Takahiro, NITTA Akira, SUNAMOTO Ken-ichi* and KIKUCHI Hikari**

Recently spark-sintering process has been frequently used for development of new materials. This report consists of two studies using the spark sintering.

In the first study the improvement of high-temperature hardness of Co by alloying of Ti were carried out in the range of 0~22 mass% of Ti. Hardness of the samples improved with increasing Ti addition, and that for Co-22mass% Ti alloy was 250 HV at 600°C that was 5 times for pure Co, 50 HV. These alloys contained Co₂Ti, the amount of which increased with increasing Ti addition. The melted sample during sintering contained TiC that showed the highest hardness.

In the second study, properties of WC-Co were improved by alloying of Al. The hardness, bending strength and corrosion resistance against 10% HCl water solution, 10% NaOH water solution, 10% H₂O₂ water solution and 5% NaCl solution of WC-10mass% (Co+Al) alloys were examined where atomic ratios, Co/(Co+Al), were 0.2, 0.5, 0.8 and 0.95. The highest hardness, around 2000 HV, was obtained at Co/(Co+Al) = 0.5, and the highest bending strength, about 1500 MPa, at Co/(Co+Al) = 0.2. No significant improvement of corrosion resistance was observed by alloying of Al.

キーワード: 放電焼結法, 超硬合金, コバルト, 耐食性, 硬さ, 抗折力, 高温硬さ

はじめに

近年放電焼結技術が注目され多くの研究が盛んに行われるようになってきている¹⁾。それは本手法を用いると、粉末等の原料から簡便かつ迅速に固化した材料を得ることができるからである。本報告ではこの放電焼結法を利用して、2種類の合金の機械的性質の改善を目指し、それぞれについて2章に分けて報告する。

第1章 Ti合金化によるCoの高温特性の改善

1 緒言

Coは硬質材料の焼結バインダーとして広く使用されている。Coを使用した硬質材料は室温では高硬度であるが、高温になると金属相のCoの特性に支配される。それゆえ、硬質材料の高温での機械的性質を向上させるためには、Co自体を合金化して改善させる必要がある。そこでCoの高温での性質を向上させるために、これにTiを添加元素として加えた。Tiを添加したのはTiとCoの間に金属間化合物を形成し、これが高温特性に何らかの影響を及ぼすと考えられたからである²⁾。本研究ではこれらの材料を放電焼結を³⁾採用(第1章担当)、**中国精工(第2章担当)

改良した手法³⁾により焼結し、その高温硬さ、金属組織等に及ぼす影響について調べた。

2 実験方法

使用した粉末は粒度が1~2 μ mのCo粉末と100 μ m(平均35 μ m)のTi粉末で、Coに対してTiを0, 8, 16, 22mass%添加した混合粉末を焼結に用いた。これを内径20mm ϕ の黒鉛型に装填して、黒鉛型に横方向から接触している電極を通して直接通電加熱

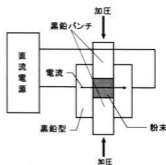


図1 焼結方法の原理図

表1 各資料の試料名と焼結時の加熱保持条件

組成	試料名	加熱保持温度(°C)
Co-0mass%Ti	0Ti	920°C
Co-8mass%Ti	8Ti	965°C
Co-16mass%Ti	16Ti	1024°C
Co-22mass%Ti	22Ti	960°C
	22Ti-H	1150°C*

*変位停止後、試料を無加圧の状態ですらに試料が溶融するまで昇温した

を行った³⁾。この焼結方法の原理図を図1に示す。通常の放電焼結では電流は上下のパンチを通して流すが、本手法は黒鉛型に接触させた電極より直接黒鉛型を通电加熱する。このため通常の放電焼結法では問題となる試料の不均一加熱を抑えることが可能となる。焼結は約0.8Torrの真空中で行った。黒鉛型への通电加熱により、約10分間で黒鉛パンチの変位が停止するまで、すなわち圧粉体の焼結による取縮が終了するまで、加熱昇温を行った後、約3分間その温度に保持した。

加熱温度は型表面の穴に挿入した熱電対により測定した。焼結中の粉末への加圧力は363kgf/cm²である。各組成の試料の試料名及び加熱保持温度を表1に示す。

焼結を完了した試料は、型から取り出して、表面を研磨した後、X線回折測定を行った。測定に使用したX線はCuK α ($\lambda=1.5405\text{\AA}$)である。その後試料を切断して、断面の顕微鏡組織を調べた。腐食液は5%硝酸アルコール溶液を用いた。その後高温ピッカース硬さ試験機により真空中(2 $\times 10^{-4}$ Torr以下)で試料の高温硬さを測定した。この時の試験荷重は300gfである。

3 実験結果

表1に示すようにTiの添加量により保持温度が異なるのは、各試料の焼結性の違いが原因である。すなわちTiの添加量が増加するに従って、焼結しにくくなる傾向があり、変位が停止する温度が高くなる傾向にあることがわかる。

図2に各試料の室温から800°Cまでの温度の硬さを示す。Tiを含まない試料(0Ti)では、500°C以上でピッカース硬さが100以下となるが、Tiを添加するとともに、高温での硬さが向上し、600°CではCoのみの試料に対して、Co-8mass%Ti(8Ti)では約2倍の100HV以上、Co-16mass%Ti(16Ti)およびCo-22mass%Ti(22Ti)では約5倍の250HV以上の高温硬

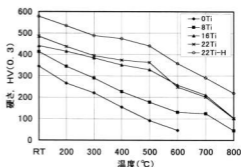


図2 焼結した試料の高温硬さ

さとなっていることがわかる。さらに、このCo-22mass%Tiの組成で、溶融するまで加熱した試料(22Ti-H)では、硬さがHV値で100程度向上していることがわかる。

図3に各試料の顕微鏡写真を示す。Coのみの試料(0Ti)では、ここには示していないが、Coの単相の組織となった。Tiの添加量が増加するに従って、白い硬質の相が増加していることがわかる。さらに22Ti-Hの試料では、一方方向にのびた組織が見られるが、これは溶融した後の凝固時に形成したものと考えられる。

また、同試料では試料内部におおきなボイドが発生した。これは無加圧の状態ですらに溶融するまで加熱したた

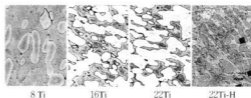
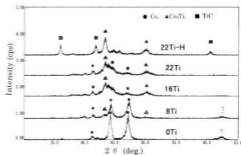

 図3 各資料の焼結後の顕微鏡組織
腐食液: 5%硝酸アルコール溶液


図4 各資料の焼結後のX線回折パターン

め、試料内部に閉じこめられていた空気が膨張したために発生したものと考えられる。

図4に各試料のX線回折パターンを示す。Coのみの試料(0Ti)では、Coの明瞭なピークが観察される。Tiの添加量が増加するに従ってCo-Ti相のピークがだいに強くなっており、顕微鏡組織で見られた白色の硬質相はCo-Tiの相であることがわかる。さらに、22Ti-Hの試料では、TiCのピークが現れている。これは試料が熔融したときに、型の黒鉛と試料内部のTiが反応して生成したものと考えられる。加熱熔融による更なる硬度の上昇は、このTiC相の生成が寄与しているものと思われる。

4 結 言

Coの高温特性を向上させるために、CoにTiを添加した粉末を、黒鉛型通電加熱式の焼結法により加熱焼結し、高温硬さの測定、顕微鏡観察、X線回折を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) Tiを添加すると焼結性は低下する傾向があった。
- (2) Ti添加により高温硬さは向上し、無添加のもの硬さ、50HVに比べて16mass%の添加では、600℃において2倍以上の100HV以上、22mass%の添加では5倍以上の250HV以上の高温硬さとなった。
- (3) Tiを22mass%添加した試料で、熔融させたものは、させないものに比べ、HV値で100程度硬さが高くなった。
- (4) Ti添加量が増加するに従って、Co-Tiが増加し、熔融させることによってTiCの生成した。

第2章 超硬合金の特性向上に関する研究

1 緒 言

超硬合金はWCにCoをバインダとして焼結した合金で、高硬度でありながら靱性と強度を備えている優れた材料である。しかし、金属相であるCoが超硬合金の耐食性を低下させ、腐食下での耐摩耗性を低下させている。そこで本研究ではバインダとしてCoと金属間化合物を形成するAlを添加して、放電焼結装置を用いて焼結し、機械的性質、耐食性等への影響について調べた。

2 実験方法

2.1 試料の作成

表2に実験に使用した粉末の粒度と組成を示す。WC粉末に、バインダとしてCoとAlをあわせて10mass%加え、遊星型ボールミル(フリッチェ社製 P-

表2 使用した粉末の粒度と組成

粉末の種類	粒度(μm)	組成, mass% (バインダ中のatomic ratio)			
		試料1	試料2	試料3	試料4
WC	~1	90			
Co	1~2	3.5(0.2)	6.9(0.5)	9.0(0.8)	9.8(0.95)
Al	39	6.5(0.8)	3.1(0.5)	1.0(0.2)	0.2(0.05)

5型)を使用して1時間乾式で混合した。この時のスピード目盛は8とした。

このようにして混合した粉末を、放電焼結装置(ソディック社製 PAS-V-H型)を用いて焼結した。粉末は内径φ30mmの黒鉛型に充填した後、焼結装置にセットして、まず、0.5トンの加圧下でパルス通電(300A, 30msecパルス幅, 30sec)を行った後、2~3.5tonの加圧下で直流通電を行い、1000~1300℃まで10~20分で昇温加熱して焼結を行った。この時、黒鉛型の表面温度を放射温度計で測定した。本焼結により、ほぼ100%の相対密度の焼結体を得ることができた。

2.2 試料の評価

焼結した試料は、表面を#5000のダイヤモンドシートで鏡面研磨した後に、ピッカース硬度計(アカシ社製, AVK-C1)で硬さを測定した。この時の試験荷重は10kgfで、1試料につき3箇所測定した。さらに、試料を幅(b)8mm、厚さ(t)4mm、長さ30mmに加工した後に、曲げスパン(L)を20mmとして3点曲げ試験を行った。このときの最大加圧力(P)から、次式で曲げ強度、 σ_b を求めた。

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bt^2} \dots\dots\dots [1]$$

耐食性を調べるため、50℃の腐食液中に試料を24時間浸漬し、試験前後の重量減少を測定した。腐食液は10%HCl水溶液、10%NaOH水溶液、10%H₂O₂水溶液、5%NaCl水溶液を用いた。ただし、5%NaCl水溶液では、ステンレス板との電位腐食を引き起こすために、各試料をSUS304板にのせ腐食液中に浸漬した。

3 実験結果

焼結中のパンチ変位の観察により、Alの多い試料1以外は1000℃付近で急激に収縮しており、通常のCoバインダの超硬合金とはほぼ同程度の焼結性をもつことがわかった。また、通常の超硬は1300℃約1時間保持して焼結を行っているが、本手法を用いると、型表面温度が約1200℃、焼結時間が10分程度と非常に短時間

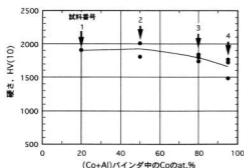


図5 各試料の硬さ

で焼結を完了できた。

図5に試料の硬さを示す。硬さはAlを加えないWC-10mass%Co超硬合金では1300~1400HVであるが、Alを添加することによる上昇し、バインダ中のCoの濃度が50at.%、すなわちCoとAlの原子割合が1:1で最高値2000HVの硬さが得られた。

図6に抗折力を示す。通常のWC-10mass%Coの場合、2000MPa以上であるので、Alを添加することで抗折力は低下することがわかるが、この中ではAl添加量が20at.%(Co量が80at.%)のものが約1500MPaと最も高い値を示し、硬質セラミックスとしては十分使用できるものであることがわかった。

図7に各腐食液に対する1日の腐食減量を示す。試料番号0はWC-6mass%Coで、比較のために示した。最も腐食が激しかったのは、腐食液が10% H_2O_2 水溶液の場合で、Al添加量の多い1, 2は完全に試料が消失し、形が残った3, 4もかなり激しい腐食を受けていた。次に腐食が激しかったものは、10%HCl水溶液で、Al添加により、耐食性は低下している。10%NaOH水溶液、5%NaCl水溶液では全体的に腐食量は低かったが、顕著な耐食性の向上は認められなかった。

4 結 言

WC-Co超硬合金の特性を向上させるために、WCのバインダとしてCoにAlを添加した粉末を、放電焼結装置を用いて焼結し、硬度、抗折力、耐食性を評価して、以下の結論を得た。

(1) Coに対してAlを50at.%添加することにより、

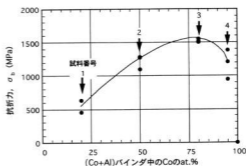


図6 各試料の抗折力

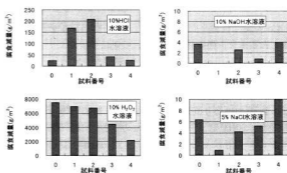


図7 腐食液別の各試料の1日の腐食減量

最高硬さ2000HVを得た。

- (2) Coに対してAlを20at.%添加したものが、最高の抗折力1500MPaを示した。
- (3) Al添加による顕著な耐食性の向上は認められなかった。

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

文 献

- 1) 柳沢 平, 如山 東明, 松本一弘: まてりあ, 33 (1994), 1489
- 2) 山口正治, 馬越佑吉: 金属間化合物, 日刊工業新聞社, (1986), 33
- 3) 特開平9-53103
- 4) 鈴木 壽 編著: 超硬合金と焼結硬質材料, 丸善(株), (1986), 119
- 5) 同上, 160

平成10年9月30日 印刷
平成10年9月30日 発行

編集および発行 広島県立西部工業技術センター
〒737-0004 呉市阿賀南2丁目10-1
E-mail Staff@seibu-kg.pref.hiroshima.jp
TEL (0823) 74-0050代
FAX (0823) 74-1131

印刷所 呉正印刷株式会社
〒737-0051 呉市中央3丁目2番28号
TEL (0823) 21-3496
FAX (0823) 20-0213