

広島県立西部工業技術センター研究報告

No.40

目

次

September 1997

抄録 一報 文一

1 走査プローブ顕微鏡による表面・界面の特性分布の評価	検塙和生, 打田澄雄, 村河亮利, 中塙武之	1
2 FA用高精度高速画像処理装置の開発	馬場祥宏, 吉山正次, 井上義治, 佐野誠, 村河亮利	5
3 マルチメディア用信号処理システムの開発	打田澄雄, 馬場祥宏, 佐野誠	8
4 マルチプラットフォームにおける構造解析可視化システムの開発	田尾博幸, 佐々木喜吾	12
5 干渉鏡による液晶/パネルの異物混入検査システムの開発	佐々木喜吾, 田尾博幸, 宮野忠文	16
6 3次元C A Dと光造形を活用した熱流体解析による製品開発研究	立石哲也, 坂元康泰, 佐々木喜吾, 原信彦, 門格史	20
7 残響室法音響データ処理プログラムの構築と高性能吸音材の開発	古野信行, 田尾博幸, 刈山信行, 野地英美, 我田茂樹, 斎藤宗奈, 下原武, 太田光雄, 西村公伸	24
8 接地電位変動により発生するノイズについての一考察	宮野忠文, 仁田周一	28
9 スパッタ法による水素吸収多層薄膜の形成	桃岡秀, 畠山清和, 桶口浩一	32
10 アルミニウム合金のマイクロ接合	池田哲宏, 新田明, 山下弘之, 水本晶宏, 増木福正	36
11 放電焼結圧延法における雰囲気制御	筒本隆博, 新田明, 高谷英明, 王雨勃, 柳沢平	40
12 マイクロセンサ開発のための基礎研究	綿程典生, 長尾勝, 江刺正喜	44
13 光造形モデルの収縮と変形	門格史, 原信彦, 新田明, 遠川英治, 吉村一彦, 保本典宏	48
14 海域汚染物質のモニタリング装置の開発(第2報)	斯波信雄, 渡部英雄, 飯本恵治, 伊藤幸一, 藤本宗之, 吉川憲	52
15 透過酸化ミニプラントの試作	斯波信雄, 飯本恵治, 丸下清志, 伊藤幸一, 藤本宗之, 渡部英雄	56
16 水中翼の設計技術に関する研究(第2報)	斯波信雄, 伊藤幸一, 畑徳宣, 和氣徹, 富永克裕, 中村芳幸	60
17 二次元断面周りの流れの数値計算	畑徳宣	64
18 講物スラグの有効利用	食本恵治, 藤本宗之, 丸下清志	68
19 ポリマーブレンドによるポリプロピレンの機械的特性の改善(第2報)	下原伊智朗, 大橋俊彦, 関守雄, 山縣康男	72
20 チクソキャストによるハイブリット複合材料部材の開発(第1報)	土取功, 藤井敏男, 府山伸行	76
21 高性能と軽量化をめざした金属基複合材料に関する研究	藤井敏男, 府山伸行, 土取功, 田中谷雄	80
22 一研究ノートー液晶を用いた自動光量調整フィルターの開発	杉島愛子, 府山伸行, 藤井敏男, 村河亮利, 伊藤幸一	84

広島県立西部工業技術センター

9.10.16

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

September 1997

Vol.40

Contents

-Originals-

1	Evaluation of surface / interface characteristic distribution by Scanning Probe Microscope HIGAKI Kazuo, UCHIDA Sumio, MURAKAWA Akitoshi and NAKASHIO Takeyuki	1
2	Development of Image Processing System IP6400 for Factory Automation BABA Yoshihiro, YOSHIYAMA Masaji, INOUE Shinji, SANO Makoto and MURAKAWA Akitoshi	5
3	Development of Speech Signal Processing System for Multimedia Data UCHIDA Sumio, BABA Yoshihiro and SANO Makoto	8
4	Development of a Visualization System for Structure Analysis in Multi-platform TAO Hiroyuki and SASAKI Kengo	12
5	Development of a Foreign Substance in a Liquid Crystal Inspection System Depending on an Interference Stripe SASAKI Kengo, TAO Hiroyuki and MIYANO Tadafumi	16
6	Product Development Research Depending on the Heat Fluid Analysis to Apply 3-D CAD and Stereolithography TATEISHI Tetsuya, SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo, HARA Nobuhiko and KADO Tadashi	20
7	Construction of Software Calculating Absorption Coefficient and Transmission Loss in Reverberation Chamber and Development of Sound Absorption Material Using Polyester Wool and Asphalt YOSHINO Nobuyuki, TAO Hiroyuki, KARIYAMA Nobuyuki, NOJI Hideharu, WAGATA Shigeki, SAITO Nami, SHIMOHARA Takeshi, OHTA Mitsuo and NISHIMURA Kiminobu	24
8	Study on Electromagnetic Noise Generated by Ground Potential Variation MIYANO Tadafumi, NITTA Shuichi	28
9	Multilayered Thin Films for Hydrogen Storage Prepared by Sputtering KAJIOKA Hideshi, TOIYAMA Kiyokazu and HIGUCHI Koichi	32
10	Micro Joining of Aluminum Alloy IKEDA Tetsuhiro, NITTA Akira, YAMASHITA Hiroyuki, MIZUMOTO Masahiro and MASUKI Hukumasa	36
11	Control of Atmosphere in the Spark-Roll-Sintering TSUTSUMOTO Takahiro, NITTA Akira, TAKATANI Hideaki, Wang Yupo and YANAGISAWA Osamu	40

12	Preliminary Study for Developing Micro Sensor NAWACHI Norio, NAGAO Masaru and ESASHI Masayoshi	44
13	Study on the Model's Warp and Contracton in StereoLithography KADO Tadashi, HARA Nobuhiko, NITTA Akira, SEGAWA Eiji, YOSHIMURA Kazuhiko and YASUMOTO Norihiro	48
14	Development of Monitoring Apparatus that Monitors of the Sea Pollution (2nd Report) SHIBA Nobuo, WATANABE Hideo, KURAMOTO Yoshiharu, ITO Koichi, FUJIMOTO Muneyuki and KIKKAWA Megumi	52
15	Development of Mini Plant Getting the Fresh Water with Permeation Evaporation SHIBA Nobuo, KURAMOTO Yoshiharu, MARUSHITA Kiyoshi, ITO Koichi, FUJIMOTO Muneyuki and WATANABE Hideo	56
16	Development of Design for Hydrofoil Using the Circulating Water Channel (2nd Report) SHIBA Nobuo, ITO Koichi, Hata Noriyoshi, Waki Toru, Tominaga Katunori and Nakamura Yoshiyuki	60
17	Simulation on Flow around Two-Dimensional Shape HATA Noriyoshi	64
18	A Study on Effective Utilization of Slag KURAMOTO Yoshiharu, FUJIMOTO Muneyuki and MARUSHITA kiyoshi	68
19	Mechanical Properties about Polymer Blend of Polypropylene SHIMOHARA Ichiro, OHASHI Toshihiko, SEKI Morio and YANAGATA Yasuo	72
20	Development of Thixotropic Magnesium Alloy Composites TSUCHITORI Isao, FUJII Toshio and FUYAMA Nobuyuki	76
21	Study on Fabrication Process of High Performance and Light Weight Metal Matrix Composites FUJII Toshio, FUYAMA Nobuyuki, TSUCHITORI Isao and TADANI Isao	80
22	-Note- A development of Automatic Light Control Filter with Liquid Crystal SUGISHIMA Aiko, FUYAMA Nobuyuki, FUJII Toshio, MURAKAWA Akitoshi and ITO Koichi	84

Pubrished 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 JAPAN

抄

録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.40 1997)

走査プローブ顕微鏡による表面・界面の特性分布の評価

松垣和生, 打田澄雄, 村河亮利, 中塩武之

成型時に静電気帯電防止剤を添加した再生ポリエチレン試料は帯電防止効果を有することが判明した。さらに、走査プローブ顕微鏡の位相イメージング情報を得ることによって、帯電防止剤の添加による効果をイメージとして得ることが可能であり、帯電防止効果を判定するうえで、位相イメージング情報是有用な情報

であることが判明した

また、スパッタやエッチングで加工された表面について、原子間力顕微鏡による表面あらさと表面あらざ計による表面あらさとは異なり、その相関は得られないことが判明した。

P 1~4, 表4, 図5, 文献5

F A用高精度高速画像処理装置の開発

馬場祥宏, 吉山正次, 井上真治, 佐野誠, 村河亮利

組立工程の自動化がかなりの程度達成されたF A分野において、検査工程自動化のために高速かつ高精度なカラー画像処理装置が求められている。この課題を解決するため、先に開発した画像処理専用L S Iを用いて工業用画像処理で有用な特微量をリアルタイムで抽出する安価で高性能な画像処理装置を開発した。

カラー画像処理機能は、NTSC方式映像信号をRGB各8ビットのDAコンバータとウインドウコンバ

レータを用いて色抽出することにより実現した。

F A現場の技術者が日常使い慣れているシーケンサを用いて、特別な通信プログラムを作成することなく使いこなすことができること、および面積、輻、重心、慣性等価積円パラメータを1/30秒と極めて高速に求めることができるのが最大の特長である。

P 5~7, 表2, 図2, 写真2, 文献4

マルチメディア用信号処理システムの開発

打田澄雄, 馬場祥宏, 佐野誠

マルチメディアの技術を使い、工場及びオフィス内の文書、図面、写真、指示、報告など様々な情報を一元的に管理するデータベース及び、誰でも容易にこれらの情報を利用するための手段として音声によるマン・マシンインターフェースについて調査、検討した。

その結果を基にマルチメディアデータベースを構築するとともに音声認識や音声合成などの音声処理機能を付加したコンピュータシステムを開発した。データ

ベースの対象として西部工業技術センターの研究報告書を用い、対話形式で情報の検索、閲覧等が可能になった。

信号処理システムのハードウェアは市販のCPUボード、サウンドボードなどを使っており、今後の拡張にも柔軟に対応できるようになっている。

P 8~11, 表4, 図7, 写真2, 文献4

マルチプラットフォームにおける構造解析可視化システムの開発

田尾博幸, 佐々木憲吾

CGにおいて、可視化等応用ソフトウェア開発に必要な基本的なモジュールを、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の開発時間と経費削減を可能とした。

また、構造解析の可視化に応用することにより、複雑な物体の形状、物体の時間的な変化等3次元空間に

時間軸を付加した上で起こる物理現象のインタラクティブな可視化が、安価なパソコン上でも可能となった。

この可視化システムは、構造解析結果はもとより、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での応用が可能である。

P 12~15, 表4, 図7, 文献6

抄 錄

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.40 1997)

干渉縞による液晶パネルの異物混入検査システムの開発

佐々木憲吾, 田尾博幸, 宮野忠文

パネルの生産工程で発生した欠陥品をいち早く発見し、生産効率の向上ならびにコストダウンを図るシステムを開発することを目指した。

干渉縞が最も画像処理に適する形で現れるよう、光源の種類や照射方法等を検討し、その結果得られる異物混入による液晶パネルの干渉縞に基づき、欠陥品を

発見するソフトウェアを開発した。

干渉縞が最も理想的な形で現れるような光源の種類を確定した。さらに、干渉縞の種類を限定することにより、液晶パネル中で欠陥と疑わしき部分を特定することができた。

P 16~19, 表4, 図9, 文献2

3次元CADと光造形を活用した熱流体解析による製品開発研究

立石哲也, 坂元康泰, 佐々木憲吾, 原信彦, 門格史

近年コンピュータの高速化により、流体解析を始めとする計算解析の自動化が進められ、解析時間の短縮の他実製品形状とより近い計算モデルの解析が可能になりつつある。また、製品開発ではコンカレントエンジニアリング導入で、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を図り、開発効率の大幅改善を図る開発が進められつつある。

そこで本研究では、自動車部品のマニホールドを対

称に、その3次元CADによる設計データを用い自動メッシュ解析によるCFD熱流体計算解析、および光造形により作成した試作品で実験解析を行なった。その結果、(1)自動解析により、実測結果とほぼ同等の熱流体解析が可能になった。(2)3次元データの共通化で解析・試作期間を大幅に短縮可能となった。

P 20~23, 表3, 図7, 写真1, 文献2

残響室法音響データ処理プログラムの構築と高性能吸音材の開発

吉野信行, 田尾博幸, 刘山信行, 野地英治, 我田茂樹, 斎藤奈巳, 下原武, 太田光雄, 西村公伸

本研究では、まず、騒音計、コンピュータ援用によりJIS規格に準拠した吸音率、透過損失等の処理プログラムの構築を試みた。次いで、新素材応用としてポリエスチル繊維の吸音特性に着目し、発泡アルミニウム・ポリエスチル繊維の組み合わせによる吸音材、パンチングメタル・ポリエスチル繊維・空気層・アス

タルト等の組み合わせによる複合型吸音パネルの試作を行なった。

試作した吸音材は、各種機器の騒音低減、吸音パネルは、高速道路の高架下・トンネル内等交通環境、工場内の作業環境の騒音低減に利用できる可能性を得た。

P 24~27, 表1, 図8, 写真1, 文献3

接地電位変動により発生するノイズについての一考察

宮野忠文, 仁田周一

近年、電子機器の発展・普及には目覚ましいものがあり、小型化、高機能化が進んでいる。これらの機器やシステムはデジタル素子を用いていること、さらにこれらの素子の低電力化、高速化によって外部からの電磁波ノイズに弱くなっているため、誤動作を起こすことがあります。ノイズ問題として最近クローズアップされている。

このノイズ問題の対策の一般的な方法の1つとして、

接地を取るといった方法がある。

本報告では、接地電位変動に強い電子機器を作成するための基礎的なデータを得るために、筐体にノイズが加わった場合、筐体上の回路に発生するノイズ電圧波形および電圧を測定した。さらに、定量的解析を行うために等価回路によるシミュレーションを行い検討した。

P 28~31, 図8, 文献1

抄

録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.40 1997)

スパッタ法による水素吸蔵多層薄膜の形成

梶岡 秀, 間山清和, 梶口浩一

水素吸蔵合金薄膜作成・評価装置を開発中であるが、完成に先だって、水素吸蔵金属のMgと水素化を促進するPdについてコンベンショナルスパッタとヘリコント型スパッタによりそれぞれ単独、2層および多層の薄膜作成について検討した。前者スパッタ法ではMgの成長速度の制御が困難であるが、後者スパッタ法ではパワーによって制御できることが分かった。さらに

後者スパッタ法で作成されたMgとPd薄膜とも前者スパッタ法と比べ緻密な薄膜が得られることが分かった。開発装置にはヘリコント型スパッタが搭載されるが、コンベンショナルスパッタ法に比べ、合金組成制御および多層薄膜形成には適していると判断された。

P 32 ~ 35, 表1, 図1, 写真2

アルミニウム合金のマイクロ接合

池田哲宏, 新田 明, 山下弘之, 水本昌宏, 増木福正

パルスYAGレーザ照射条件がアルミニウム合金の溶融形状及び欠陥の発生に及ぼす影響を明らかにし、割れ感受性の高いAl-Mg系合金A5052の欠陥発生の抑制・防止法について検討した。A2017,A5052は、A1050よりも溶込み深さが小さく、凝固割れが全試料に発生した。また、ボロシティは60~70J/Pのバルスエネルギーで発生し始め、エネルギーの増加に伴い、その発生は増加した。その改善策として、試料表面に光ファイ

バで伝送された出力200Wの連続発振YAGレーザを照射しながら、エネルギー40J/Pのバルスレーザを1ショット照射する2ビーム法で検討した。その結果、連続発振レーザ照射の後熱効果による凝固速度の低減により、割れの発生が抑制・防止され、約0.8mmの溶込み深さを有する、ボロシティの無い健全な溶融部が得られた。

P 36 ~ 39, 表2, 図8, 写真1, 文献5

放電焼結圧延法における雰囲気制御

筒本隆博, 新田 明, 高谷英明, 王 雨勃, 柳沢 平

粉末から連続的な板材を製造するプロセスとして、粉末圧延法と放電焼結法を組み合わせた放電焼結圧延法の開発を行ってきたが、成形体の表面酸化や、密度が十分に高まらない等の問題点があった。そこで、本研究では加熱時の酸化防止の効果的な手法を確立するために、Arガスによるシールドを行い、酸化防止の効果について調べた。さらに、成形体の密度を高めるために、ロール表面が加熱されやすい2重構造の特殊通電

ロールを用いて焼結実験を行った。Arガスシールドを行うことにより、成形体の加熱時の酸化は防止できた。酸化防止は加熱成形体の延性を向上させたが、密度の向上にはほとんど影響がなかった。特殊ロールを使用すると、ロールの表面と成形体の温度は容易に上昇し、成形体の相対密度は85%程度まで向上した。

P 40 ~ 43, 図5, 写真2, 文献4

マイクロセンサ開発のための基礎研究

純稚典生, 長尾 勝, 江刺正喜

シリコンマイクロマニピュレーション技術によりマイクロセンサ(振動式ジャイロ)の作製を試み、センサ開発の基礎的研究を行うとともに、そのために必要な一連のプロセスを活用することで昨年度まで行ってきたプロセス技術の見直しを行った。センサの構造は、ガラスシリコンガラスの3層構造とし、力の検出は重り(振動子)と電極の静電容量の変化を捉える方式とした。

振動子の形状はドーナツ形であるため、加工に異方性の特性を得やすい反応性イオンエッチング(RIE)を用いた。

その結果、シリコン構造体の各部(振動子、支持部、梁)とも、側壁を垂直な形状に加工することができ、シリコンの結晶方位によらないRIEの有効性が確認できた。

P 44 ~ 47, 図4, 写真2, 文献4

抄 錄

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.40 1997)

光造形モデルの収縮と変形

門 格史, 原 信彦, 新田 明, 濑川英治, 吉村一彦, 保本典宏

光造形法はランニングコストがかかるため、付加価値の高い物（1品もの）への利用が望まれている。従って、1回の試作で完成品を作ることが要求されている。

そこで、モデルの寸法の誤差要因（樹脂の収縮・変形、レーザのビーム径及び位置誤差）について検討し、

以下の結果を得た。

(1) モデルの寸法精度を出す場合、ビーム径オフセットを0.16または0.18mmに設定することが望ましい。

(2) レーザの位置誤差や樹脂の収縮等があるため、モデルサイズにより、スケーリングをかける必要がある。

P 48 ~ 51, 表3, 図7, 写真1, 文献1

海域汚染物質のモニタリング装置の開発（第2報）

斯波信雄, 渡部英雄, 倉本恵治, 伊藤幸一, 藤本宗之, 吉川 恵

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のモニタリング装置を開発することを目標に、今年度はモニタリング装置のうちの前処理部分を開発した。開発した自動前処理装置は、海水中の窒素とリンを、自動分析装置（FIA）を想定している）で分析できる形態に加熱分解するためを使用する。採水口は2か所（5m, 10m）で、分

解対象を大きさが1mm程度の夜光虫とした。したがって、配管径が大きくなり、加熱分解に15分を要したが、窒素、リンの公定法である高压蒸気滅菌装置で処理した分解と、ほぼ同程度の分解率を得た。装置の制御は、仕様の変更や拡張性を考慮して、シーケンスコントローラーで行った。

P 52 ~ 55, 表1, 図4, 写真1, 文献1

透過気化ミニプラントの試作

斯波信雄, 倉本恵治, 丸下清志, 伊藤幸一, 藤本宗之, 渡部英雄

透過気化膜を用いた透過気化ミニプラントの試作と、造水効率、造水中のホウ素や臭素についての検討、海水中の油分について検討した。ミニプラントを試作するために、淡水化実験装置を使用して、入手した膜の基本性能を実験により検討し、検討した膜の中で造水効率が良好な結果が得られたA社不織布付きPTFE膜を用いて、透過気化ミニプラントを試作した。また、

試作したミニプラントで造水された水の水質試験を実施した結果、海水中の有害物質であるホウ素や臭素も除去されており、水道法に基づく水質基準を十分クリヤーできることを確認した。海水中にA重油を溶解させて凝集剤（塩化第2鉄）の効果を検討したが、完全には除去できないことが分かった。

P 56 ~ 59, 表1, 図9, 写真1, 文献2

水中翼の設計技術に関する研究（第2報）

斯波信雄, 伊藤幸一, 畑 徳宣, 和氣 微, 富永克徳, 中村芳幸

前年度使用した全没型水中翼を装備した模型船の前翼について、流速が2m/sと比較的遅い流速の回流水槽を用いて、流れの可視化実験を行った。その結果、仰角が大きい場合、低い流速でも流れが翼から剥離している様子が観察された。また、揚力測定のための治具を試作し、仰角を3種類（7.5, 10, 15°）変えて、フラップ角と流速を変えて揚力を測定した。可視化実

験で剥離が観察された条件では揚力も低いという結果が得られたが、トリッピングワイヤーを取り付けることにより、揚力の改善に効果のあることが観察された。

また、模型船のフラップ制御装置を試作して操船実験を行い、比較的円滑に翼走状態を実現させることができた。

P 60 ~ 63, 図7, 写真3, 文献2

抄録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.40 1997)

二次元断面周りの流れの数値計算

畠 德宣

雨滴の付着による後方視界の悪化、高速走行時に発生する騒音問題を抱える自動車ドアミラーをとりあげ SOLA法で2次元断面周りの流れの数値計算を行い回流水槽での可視化結果と比較した。

形状により双子渦の持続時間、渦の成長方向に差が出ることが明らかになるとともに、ミラー近傍の渦によりボディ内部への流入、流出及び内部流線が得られ、

騒音問題を考えるとき有用に使用できると思われる。

ボディ形状に沿う流れがボディから剥離すると、剥離位置に向かう流れが生じるのは可視化試験と一致しているが、剥離の大きさは若干異なり今後、検討をする。

P 64~67, 表1, 図4, 文献2

鉄物スラグの有効利用

倉本恵治、藤本宗之、丸下清志

自動車関連産業から副生するスラグなど無機系廃棄物の一部はセメント等に有効利用されているが、発生量が多く大部分埋め立て処分されている。しかし、処分地の不足から有効利用が強く望まれている。鉄物工場から発生するスラグには、シリカ、アルミニナの他にカルシウムが多く含まれており、これを原料に結晶性アルミニケイ酸塩の合成法について検討した。塩酸で

加熱処理しカルシウムを除去した後、アルミニ酸ナトリウム、水酸化ナトリウム、水及びA型ゼオライトの種晶を加え、水熱処理することにより結晶性アルミニケイ酸塩が合成できることを見いたした。この結晶性アルミニケイ酸塩には、陽イオン交換能が認められた。

P 68~71, 表2, 図4, 写真1, 文献8

ポリマーブレンドによるポリプロピレンの機械的特性の改善 (第2報)

下原伊智朗、大橋俊彦、関 守雄、山縣康男

ポリプロピレン (PP) の剛性、寸法安定性などの短所を改善する目的で、液晶ポリマー (LCP) のブレンドについて検討した。また、相容化剤として無水マレイン酸変性PP及びエチレン/グリシルメタクリレートを添加した場合のポリマーの分散性、物性についても検討した。

その結果、PPにLCPをブレンドすることで、強

度、弾性率、衝撃性の改善ができることがわかった。熱膨張係数と成形収縮率はPPに比べ格段に低下し、成形品の寸法安定性を改善することができる。相溶化剤を添加した結果、PPとLCPの分散性はあまり変わらなかったが、押出時の安定性が改善された。

P 72~75, 表2, 図3, 写真1, 文献3

チクソキャストによるハイブリット複合材料部材の開発 (第1報)

土取 功、藤井敏男、府山伸行

溶融Mg合金を攪拌し、チクソトロビー性Mg合金複合材料の開発をした。固相率30%の半溶融Mg合金スラリーに機械攪拌を加え、初品の α 相を球状化した。チクソトロビー性を発現したそのスラリーに粒径が $10\mu m$ と $50\mu m$ のSiCおよびAl₂O₃粒子を10wt%複合化し、それらの組織および攪拌トルクについて調べた。その結果、微細な α 相にならなかつたが、チクソトロビー

性を有したMg合金複合材料ビレットの製造が可能になった。Al₂O₃粒子の分散がSiC粒子に比べ悪かった。攪拌トルクは、粒子の混入時に高くなるが、すぐに、複合化しない場合のトルクと比べ差がなかった。また、本実験では、粒子の径や種類による攪拌トルクへの影響は見られなかつた。

P 76~79, 図6, 写真3, 文献18

抄 錄

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.40 1997)

高性能と軽量化をめざした金属基複合材料に関する研究

藤井敏男, 府山伸行, 土取 功, 田谷征雄

- ① $9\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ ウィスカで強化したAl合金複合材料は、Mgを含むAl合金で複合化した場合、熱処理により強度が向上しない。そこで、プリフォームを作製時に、 γ -アルミニナを加え、焼成することによりウィスカ表面を α -アルミニナ化した。それら改質されたウィスカによるAl合金複合材料の高温での引張強度について調べた。
② TiO_2 , Al_2O_3 と溶融Mgのテルミット反応を利用

した無加圧浸透法による粒子強化Mg基複合材料の製造条件について検討した。本複合材料は反応生成物であるTi-Al系金属間化合物を主なる強化材とし、優れた耐摩耗特性が得られた。また、重力铸造法との組み合わせで部分複合化も可能であり、軽量摺動部材等への応用が期待される。

P 80 ~ 83, 図5, 写真2, 文献10

液晶を用いた自動光量調整フィルターの開発

杉島愛子, 府山伸行, 藤井敏男, 村河亮利, 伊藤幸一

LCD開発は軽薄化、携帯性のニーズに答えて、従来のガラス基板からプラスチック基板を使用した開発に重点が置かれてきた。そこで、プラスチック基板上のITO低温成膜条件について検討し、その応用例として自動光量フィルターの作製を試みた。成膜時及び冷却時の酸素導入効果によって、低基板温度(200°C)

で高導電性のITO成膜を試みたが、逆にシート抵抗は増加した。また、基板温度の上昇によってプラスチック基板の平行度が低下し、LCD基板として利用できなかった。

P 84 ~ 86, 表3, 図3, 文献9

走査プローブ顕微鏡による加工面の表面物性評価（第2報）

走査プローブ顕微鏡による表面・界面の特性分布の評価

桧垣和生、打田澄雄、村河亮利、中塩武之

Evaluation of surface / interface characteristic distribution by Scanning Probe Microscope

HIGAKI Kazuo, UCHIDA Sumio, MURAKAWA Akitoshi and NAKASHIO Takeyuki

SPM (Scanning Probe Microscope) is used to measure the flat surface roughness and physical property of functional surface. So, tried to evaluate the surface characteristic distribution of a restored polyethylene product.

As results of the electric measurement or the measurement by using SPM of the processing product that added the static electricity prevention liquid in molding process, it became clear that the phase / frequency measurement by using Phase/ Frequency Detection Extender was effective to indicate the physical property of this surface.

And by using statistical method, it became clear that there were some different points in comparison of the result by using the instruments for the measurement of surface roughness by the stylus method and by using the AFM (Atomic Force Microscope).

キーワード：走査プローブ顕微鏡、表面あらさ計、静電気、表面物性

1 緒 言

走査プローブ顕微鏡は垂直分解能が非常に高いため、鏡面加工されたシリコンウエハー等平坦な表面のマイクロラフネスの測定に使用される。また、走査プローブ顕微鏡の機能の一部である原子間力顕微鏡は表面プロファイルの測定以外にも、表面磁気分布や硬さ分布の測定等にも使用される。本研究では原子間力顕微鏡の機能の一部である位相イメージングにより、成形時に静電気帯電防止剤を添加した再生ポリエチレン製品の表面物性の評価を試みる。

位相イメージングはカンチレバーに加える振動信号と実際にカンチレバーが振動するときの信号との間で生ずる位相差を検出するもので、凝着力や粘弾性分布によっても変化するといわれている¹⁾。

薄膜表面の凹凸は光の減衰、輻射、散乱等に直接関連する重要な要因で、光散乱法やSTM (Scanning Tunneling Microscopy) 法でも光散乱強度との関連を得るために測定が試みられている²⁾。しかしながら、一般的にはその表面の凹凸は表面あらさ計で測定される場合が多く、表面あらさは中心線平均あらさ (R_a) で表示されるのが一般的であるが、最近では表面形状の評価関数により評価される場合がある³⁾⁻⁶⁾。そこで、原子間力顕微鏡による測定結果との相違点を明確にするため、前報³⁾と同様に表面形状の振幅と横相間距離を統計的に求め、表面加工と関連づけて評価する。

2 試料と実験方法

試料は再生ポリエチレンをコンプレッション成型したもので、成形時に帶電防止剤を6%添加したものと、添加しないものを同一条件で加工したものである。

帶電防止効果を電気的に評価するため、表面固有抵抗は印加電圧500V、サンプリング時間10秒で表面高抵抗計により測定する。また、摩擦帯電による表面電位は同一試料を摺り合わせて摩擦させ、そのときの表面電位を集電式電位計で測定する。さらに、帶電減衰特性測定装置を使用し、10KV、10秒間のコロナ放電を試料表面に印加し、表面電位の減衰過程を測定する。

一方、原子間力顕微鏡は250~350KHzの加振周波数でカンチレバーを加振しつつ、表面をタッピングしながら走査する測定法で、表面プロファイルと同時に位相イメージ情報を測定する。

原子間力顕微鏡と表面あらさ計との測定結果の違いを知るために、同一試料について、この両者で測定を行う。走査プローブ顕微鏡及び表面あらさ計の仕様を表1に、走査プローブ顕微鏡に使用したプローブと表面あらさ計のスタイラスの仕様を表2に示す。

また、シリコンウエハー P(111)に30mA、180秒間、金をスパッタした試料及びカバーガラスをフッ化水素酸で処理した試料についても同様に原子間力顕微鏡と表面あらさ計で測定し、その表面プロファイルを求め、表面あらさについて統計的手法により解析する。

3 実験結果

3.1 プラスチック成型試料の電気的特性および原子間力顕微鏡による測定結果

再生ポリエチレンのコンプレッション成型時に6%の帯電防止剤を添加した試料と添加しない試料について行った電気的特性の結果を表3に示す。また、図1に帯電減衰特性の測定結果を示す。

表1 SPM(走査プローブ顕微鏡)及び表面あらさ計の仕様

走査プローブ顕微鏡	デジタルインスツルメンツ社製 Nanoscope II
最大スキャナエリア	0.7(A), 12.0(B), 125.0(C) μm^2
最大スキャン高さ	0.7(A), 4.4(B), 5.0(C) μm
機械分解能(垂直)	0.01(A), 0.1(B), 0.1(C) nm
サンプリング数	512×512点
表面あらさ計	ミツトヨ製 サーフテスト500
最高収録倍率	200,000倍
最高横倍率	2,000倍
測定範囲と分解能	2 μm - 0.001 μm 20 μm - 0.01 μm 150 μm - 0.1 μm
評価長さ	0.08 - 80 mm
サンプリング数	1,000点 (80mm-80 μm , 0.08mm-0.08 μm)

表2 SPM(走査プローブ顕微鏡)用プローブ及び表面あらさ計用スタイラスの仕様

	走査プローブ顕微鏡用 プローブ	表面あらさ計用 スタイラス
材質	単結晶シリコン	ダイヤモンド
先端半径	5 ~ 10 nm	5 μm
先端形状	ハーフコーンアングル	90度円錐形
測定力	0.1 ~ 1 nN	4 mN以下

表面固有抵抗は帯電防止剤を添加した試料と添加しない試料とでは $10^6\Omega$ と $10^{10}\Omega$ で、2けた異なる抵抗値を示す。また、同一試料どうしを摩擦させ、その表面の電位を測定した結果、帯電防止剤を添加した試料か

表3 試料の電気的特性測定結果

測定項目	6% 静電気帯電防止剤 添加試料	静電気帯電防止剤 添加していない試料
表面抵抗	$(5.37 \sim 8.35) \times 10^6\Omega$	$(2.01 \sim 7.35) \times 10^{10}\Omega$
表面電位	検出されない	600 V
半減期	0.1 秒	0.3 秒

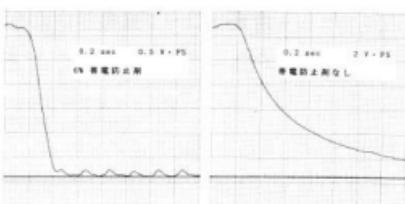
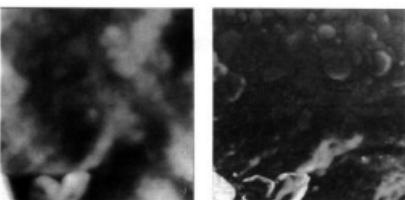


図1 試料の帯電減衰特性(10KVコロナ放電, 15秒印加)

らは計器で検出できるような帯電は認められないが、添加しない試料では600Vの表面電位が検出された。

さらに、表面に10KVのコロナ放電を15秒間印加したときの表面電位の時間的変化を測定した結果から、表面電位が電圧印加時から1/2に減衰する時間(半減期)が、帯電防止剤を添加した試料は添加しない試料に比べ約1/3であった。これらの点を考慮すると、帶



(帯電防止剤添加試料)



(帯電防止剤なし)

図2 試料の表面プロフィールと(左)と
位相イメージ(右)

電防止剤を添加した試料と添加しない試料とでは電気的に明確な差が認められる。

さらに、この両者について原子間力顕微鏡の測定法の一手法である、探針を250~350KHzで共振させながら走査するタッピングモードによる測定結果について、表面プロフィールと同時に位相イメージングを測定した結果を図2に示す。図において、左が表面プロフィ

ール、右が位相イメージである。

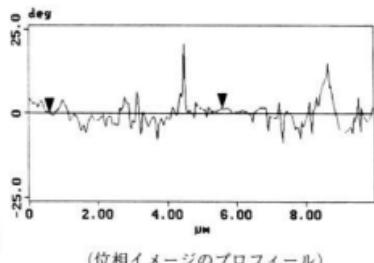
表面プロファイルでは差はほとんど認められないが、位相イメージ情報において明確な差が認められる。すなわち、帯電防止剤を添加していない試料の位相イメージは凹凸の変化が激しいが、帯電防止剤を添加した試料の位相イメージは平坦的で、界面活性剤の影響で表面の物性が均一化されていることによるものと思われる。

図3、図4は得られた位相イメージの任意断面におけるプロファイルから求めたスペクトル分析の結果を示す。

位相イメージにおいて、帯電防止剤を添加した場合と添加しない場合とで異なるスペクトル分布を示すことが判明した。このように位相イメージ情報を表面凹凸情報と同様な扱いで統計処理することにより、その特徴を明確にすることが可能である。

3.2 原子間力顕微鏡と表面あらさ計による表面プロフィール測定結果の比較

シリコンウエハーに金をスパッタした試料について、原子間力顕微鏡で得られる表面のプロファイルにおける一断面についてのあらさ曲線と、表面あらさ計で得



(位相イメージのプロファイル)

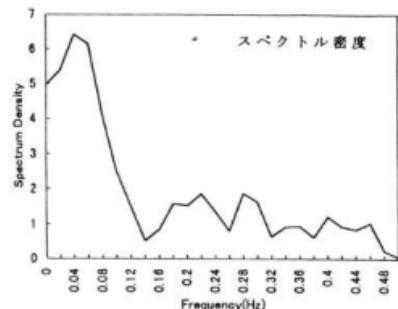
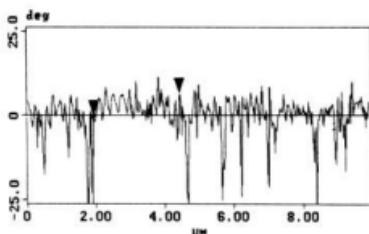


図3 帯電防止剤添加試料の位相イメージのプロファイル及びスペクトル密度



(位相イメージのプロファイル)

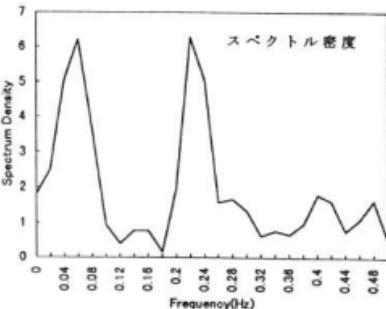


図4 帯電防止剤を添加していない試料の位相イメージのプロファイル及びスペクトル密度

られる表面あらさ曲線を図5に示す。また、表4-1に原子間力顕微鏡で測定した各種処理面のラフネスパラメータを、表4-2に表面あらさ計で測定した同様の処理面のラフネスパラメータを示す。

表面あらさ計で得られる中心線平均あらさ (R_a) と原子間力顕微鏡で得られる中心線平均あらさとはシリコンウエハーに金をスパッタした試料では約2倍、プラスチック加工試料では約35倍もの差が生ずるという結果が得られた。これは表面あらさ計に使用されているスタイルスと原子間力顕微鏡に使用されているプローブの先端径の違い及び測定力の違いによるものと考えられ。この両者の相関は見いだせない。また、シリコンウエハーに金をスパッタした試料について、原子間力顕微鏡及び表面あらさ計から得られるあらさ曲線からスペクトル密度を求めた結果からも、両者の違いが明確になる。すなわち、表面あらさ計では正弦波に近い単一スペクトルを示すのに対し、原子間力顕微鏡では金の粒子と基板のプロファイルを正確にトレースしていることによるものと思われる複数のスペクトルが見られる。

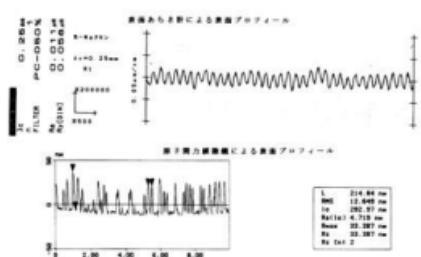


図5 Siウエーハに金をスパッタした試料の表面プロファイル

表4-1 各種処理面のラフネスパラメータ
(原子間力顕微鏡による測定)

(単位 nm)

各種処理面	R a	Δrms	L e	L g
Siウエーハ 金スパッタ面	4.7	12.6	255	160
帯電防止剤 添加試料	48.2	146	540	430
帯電防止剤 無添加試料	42.3	153	440	360
アセトン洗浄 ガラス基板	0.19	0.73	134	277
フッ酸処理 ガラス基板	0.41	0.59	103	182

R a : 中心線平均あらさ

Δrms: 表面ラフネスの二乗平方根

L e : 指数分布に当てはめたときの相関長

L g : ガウス分布に当てはめたときの相関長

表4-2 各種処理面のラフネスパラメータ
(表面あらさ計による測定)

(単位 nm)

各種処理面	R a	Δrms	L e	L g
Siウエーハ 金スパッタ面	0.01	0.01	2.7	6.3
帯電防止剤 添加試料	1.60	1.87	42.8	52.8
帯電防止剤 無添加試料	1.50	1.99	26.8	36.4

金蒸着薄膜の成長は島状に形成するが¹⁵、プローブ先端径が小さいと島状成長薄膜に対し、底部（基板）にいたるまで正確にトレースすることができるが、

先端径が大きいと底部をトレースすることができなくなり、島状成長薄膜の頂部をトレースすることになるため、これが測定結果に違いを生じさせる要因となっているのではないかと思われる。なお、金の粒子間隔は約300nmであり、表面あらさ計スタイラスの先端径は5μm、原子間力顕微鏡のプローブの先端径は10nmである。

以上の結果から、原子間力顕微鏡によるマイクロラフネスとスタイラス方式の表面あらさ計によるあらさとは区別されるべきものではないかと考えられる。

4 結 言

成型時に帯電防止剤を添加した試料と添加しない試料について、走査プローブ顕微鏡の機能の一部である位相イメージング情報を得ることによってその違いを検討した。また、原子間力顕微鏡及び表面あらさ計で得られる表面あらさの比較において、相違点が認められた。これらの結果を総括するとつぎのとおりである。

- (1) 成型時に帯電防止剤を添加した試料は電気的にも帯電防止効果が得られることが判明した。さらに、走査プローブ顕微鏡の位相イメージング情報を得ることによって、その違いをイメージとして、得ることが可能であり、この手法は帯電防止効果の評価に有効な手段であることが判明した。
- (2) スパッタ及びエッチング等で表面処理された試料について、原子間力顕微鏡で得られる表面プロファイルと表面あらさ計で得られる表面プロファイルについて統計的手法によってその違いを検討した結果、原子間力顕微鏡のプローブと表面あらさ計のスタイラスの先端径及び測定力の違いが測定結果に大きく影響し、両者の測定結果としての中心線平均あらさは大きく異なり、相間は得られないことが判明した。

なお、再生ポリエチレンの帯電防止剤添加及び無添加コンプレッション成型加工試料は（株）テクノテック、木本一也氏より提供を受けた。ここに謝意を表します。

文 献

- 1) 東陽テクニカ、アプリケーションノート 005
- 2) 福井萬寿夫、奥野雄太郎：応用物理、61(1992), 1231
- 3) S.M.Goodnick, D.K.Ferry, C.W.Wilmseu, Z.Lilienthal, D.Fathy and O.L.Krivanek : Phys. Rev. B32(1985), 8171
- 4) 丹羽正昭：応用物理、61(1992), 1171
- 5) 桧垣他：広島県立西部工業技術センター研究報告、No.39(1996), 52

F A用高精度高速画像処理装置の開発

馬場祥宏, 吉山正次*, 井上真治**, 佐野 誠, 村河亮利

Development of Image Processing System IP6400 for Factory Automation

BABA Yoshihiro, YOSHIYAMA Masaji, INOUE Shinji, SANO Makoto and MURAKAWA Akitoshi

Using electronics technology the greater part of manufacturing and assembly process are automated, but most of inspection process are not automated.

So we have developed a color and high-speed image processing system IP6400 for factory automation.

Color image processing function has been realized using RGB 8 bits DA converters and window comparators. High-speed image processing function has been realized using our original LSI=IP12000 that can extract image characteristics (area, center of gravity, width and major length, minor length, angle of inertia equivalent ellipse) from 640 x 480 pixel image in 33 msec.

キーワード：カラー画像処理, ASIC, FA

1 緒 言

マイクロコンピュータを中心とする電子技術の応用により、加工組立工程の自動化がかなりの程度達成された現在、検査工程の自動化が大きな課題として残っている。また、最近のFA用途の画像処理では高速性とともに、検査対象の多様性からカラー画像処理機能に対する要求が高まっている。

そこで本研究では、NTSC方式映像信号からRGB各8ビットのDAコンバータとウインドウコンパレータを用いて色抽出した640×480画素の2値化画像を、先に開発した画像処理専用LSI, IP12000⁽¹⁾⁻⁽³⁾を用いてハードウェア演算することにより、工業用画像処理で有用な特徴量をリアルタイムで抽出するFA用高精度高速画像処理装置を開発した。また、FA現場で多用されているプログラマブル・コントローラ(シーケンサ)とのインターフェースを液晶タッチディスプレイで実現した。

2 システム構成

写真1に開発した画像処理装置の外観を、図1に構成図を示す。

(1) CPUボード V25C-98 日本システムデザイン(株)製 CPU: V25 (7.4MHz)
RAM: 256KB ROM: 1024KB

(2) カラーCCDカメラ XC-711 ソニー(株)
製 2/3インチ, 768×493画素, インターライン方式CCD 水平解像度330本, 垂直解像度485本 RGB分離出力

*鶴大工所, **日本システムデザイン(株)

(3) カラーモニタ PVM-1440 ソニー(株)
製 NTSC方式 RGB分離入力, 14インチ, カラー



写真1 FA用高精度高速画像処理装置の外観

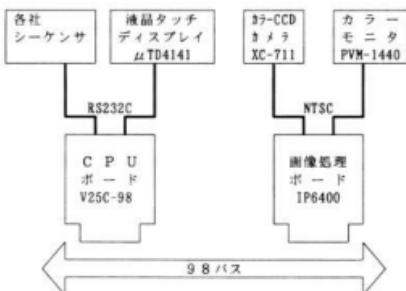


図1 FA用高精度高速画像処理装置の構成

- (4) 液晶タッチディスプレイ μ TD 4 1 4 1
㈱ユニタック製 320×240ドット, 10×6
キーマトリックス, RS 232C インタフェース
- (5) 接続可能シーケンサ
三菱電機株 MELSEC-Aシリーズ
オムロン株 SYSMAC-Cシリーズ
シャープ株 サテライト JWシリーズ
- (6) 画像処理ボード IP 6 4 0 0
西部工業技術センター製

本システムの画像処理装置としての機能の大半は後述する画像処理ボードIP 6 4 0 0で実現されており、CPUボードはシステム全体のコントローラである。

カラーCCDカメラからのRGB分離映像信号を画像処理ボード上の高速アナログ回路により色抽出し2値化画像とした後、画像処理専用LSIで特微量を計測する。カラーモニタは撮像視野確認、照度確認、2値化レベル確認に使用する。

本画像処理装置はウインドウ単位で計測用データおよび計測結果を管理しており、最大で1000個のウインドウを設定できる。ティーチング操作時には液晶タッチディスプレイでその設定および表示を行う。図2に液晶タッチディスプレイのティーチング操作時画面を示す。

計測用データはウインドウ番号WD、カメラ番号CM、ウインドウ始点(XS, YS)、ウインドウ終点(XE, YE)、赤しきい値(RH, RL)、緑しきい値(GH, GL)、青しきい値(BH, BL)で構成されており、重心(XG, YG)、面積S、幅(XW, YW)、位置(XL, YL, XH, YH)、慣性等価梢円パラメータ(MJ, MI, KM)が計測結果として得られる。

液晶タッチディスプレイで設定した計測用データはCPUボード上のバッテリーバックアップされたメモリに記憶されるとともに、必要に応じてRS 232Cインターフェースを通してシーケンサに転送し、シーケンサ付属の記憶装置に保存する。

ティーチング操作が終了すると、シーケンサをマスターとする自動運転モードに移り、シーケンサが表1の処理コードをデータレジスタに設定することにより、画像処理装置が該当する処理を行い、計測結果をシーケンサに自動的に転送する。

このためFA現場の技術者が日常業務で使い慣れているシーケンサを使って、特別な通信プログラムを作成することなく本画像処理装置を使いこなすことが可能である。

ティーチング		WD	WD	HELP
WD=[0]	CM=[4]	↑ ↓ HELP
重心	面積	幅	位置	
XG= 0	S= 2673	XW=256	XL=255	XH= 0
YG= 0		YW=256	YL=255	YH= 0
XS XE	YS YE	RL RH	GL GH	BL BH
60 190	60 180	127 254	127 254	127 254
XS XE	YS YE	RL RH	GL GH	BL BH
→ ←	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓
← →	↓ ↑	↓ ↑	↓ ↑	↓ ↑
前面面	モニタ面	書込可書込不可	ビデオ2値化	NON-STOP STOP

図2 液晶タッチディスプレイのティーチング操作時画面

表1 シーケンサ/画像処理装置間処理コード

処理コード	処理内容
0: 計測結果送信終了	シーケンサからの処理コードに対する処理実行後、0を書き込む。
1: 計測用データリード	ウインドウ番号で指定されたウインドウの計測用データをシーケンサへ書き込む。
2: 計測結果リード	ウインドウ番号で指定された計測済みの計測結果のデータを、シーケンサへ書き込む。
3: 計測結果データライト	ウインドウ番号で指定されたシーケンサの計測用データを、計測用データテーブルへ書き込む。
4: ビデオモードシングルスタート	画像表示をビデオモードまたは2値化モードにして、指定されたウインドウ番号で計測を実行し、計測結果をシーケンサへ書き込む。
5: 2値化モードシングルスタート	画像表示をビデオモードまたは2値化モードにして、開始ウインドウ番号から終了ウインドウ番号まで計測を実行し、順次計測結果をシーケンサへ書き込む。
6: ビデオモードオートスタート	画像表示をビデオモードまたは2値化モードにして、開始ウインドウ番号から終了ウインドウ番号まで計測を実行し、順次計測結果をシーケンサへ書き込む。
7: 2値化モードオートスタート	先頭ウインドウ番号からウインドウ個数分までの計測用データを、格納先頭レジスタ番号から順にシーケンサレジスタへ書き込む。
8: 計測用データブロックリード	先頭ウインドウ番号からウインドウ個数分までの計測用データを、格納先頭レジスタ番号から順に計測用データテーブルへ書き込む。
9: 計測用データブロックライト	先頭ウインドウ番号からウインドウ個数分までの計測用データを、格納先頭レジスタ番号から順にシーケンサレジスタへ書き込む。
10以上	エラーが発生した場合、シーケンサレジスタへエラーコードを書き込む。

3 画像処理ボード I P 6 4 0 0

画像処理ボード I P 6 4 0 0 の外観を写真2に示す。本画像処理ボードは西部工業技術センターが開発したもので、高速アナログ回路によるカラー画像処理機能と、画像処理専用 L S I , I P 1 2 0 0 0 を用いたハードウエア演算により工業用画像処理で最も多く用いられるウインドウ設定、面積、幅、重心、慣性等価値

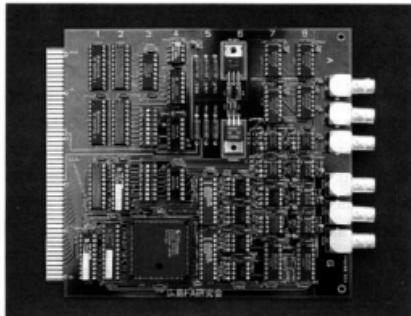


写真2 画像処理ボード I P 6 4 0 0 の外観

表2 画像処理ボード I P 6 4 0 0 の仕様・機能

用 途	F A 用 画 像 処 理
画像処理機能	ハードウエアによる色抽出および特微量抽出
画像構成	6 4 0 × 4 8 0 画素
カメラ入力信号	RGB分離NTSC濃淡映像信号
モニタ出力信号	RGB分離NTSC濃淡映像信号 RGB分離NTSC 2 値化映像信号
色抽出	R G B 各 8 ビット D A コンバータ 2 値化方式 ウインドウコンバーラ
サンプリングクロック	1 2 M H z
アスペクト比	1 : 1 (正方形画素)
計測項目	面積、幅、重心、 慣性等価値円パラメータ (長軸長、短軸長、傾き角)
計測速度	ビデオレート (1 / 3 0 秒)
インターフェース	P C 9 8 拡張バス
ボードサイズ	1 6 9 × 1 4 9 mm
ドライバ	C 言語

円パラメータの計測を 1 / 30 秒と高速に実行する機能を併せ持つ F A 用画像処理ボードである。

カラー画像処理機能は R G B 各 8 ビットの D A コンバータ 6 ch を上限値、下限値とするウインドウコンバーラ 3 ch を用いて、N T S C 方式 R G B 分離映像信号から対象物の特定の色を抽出することにより実現している。

今回は、F A 現場での利用を考慮して、液晶タッチディスプレイと C P U ボードによる構成を採用しているが、使用した C P U ボードは日本電気㈱ P C 9 8 シリーズパソコンとバス互換性があり、本画像処理ボードをパソコンの拡張スロットに装着し、カラー C C D カメラ、カラー モニタを接続することによりコストパフォーマンスに優れた画像処理システムを構築することも可能である。

本ボードの仕様、機能を表2に示す。

4 結 言

高速アナログ回路による色抽出機能と、画像処理専用 L S I による特微量抽出機能を併せ持つ安価で高性能な F A 用高精度高速画像処理装置を開発した。

F A 現場の技術者が日常使い慣れているシーケンサを用いて、特別な通信プログラムを作成することなく使いこなすことができること、および工業用画像処理で有用な面積、幅、重心、慣性等価値円パラメータ(長軸長、短軸長、傾き角)の特微量を 1 / 30 秒と極めて高速に求めることができるのが最大の特長である。

本画像処理装置を使用することにより、自動車関連製造業を中心とした F A 現場における検査工程を自動化することが可能となった。

文 献

- 1) 馬場、桧垣、宮野、打田、武田、佐野、村河：
広島県西部工技研究報告、No.38(1995), 71
- 2) 馬場、桧垣、宮野、打田、武田：
広島県西部工技研究報告、No.37(1994), 88
- 3) 馬場、桧垣、宮野、打田、武田：
広島県西部工技研究報告、No.36(1993), 6
- 4) 馬場、桧垣、打田、武田：
広島県西部工技研究報告、No.35(1992), 6

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2報）

マルチメディア用信号処理システムの開発

打田澄雄, 馬場祥宏, 佐野 誠

Study on Multimedia Applications (2nd Report) Development of Speech Signal Processing System for Multimedia Data

UCHIDA Sumio, BABA Yoshihiro and SANO Makoto

We have developed a speech signal processing system. It manipulates multiple data with the sound processing technology to assist the human-computer communication. During the process, we studied various methods for the speech recognition and the text-to-speech synthesis. This system is based on the high performance computer added the sound card. And it adopts the recognition and synthesis libraries for Japanese language. We have applied this system to the recent published bulletins database of the Western Hiroshima Prefecture Industrial Research Institute. Everyone can easily access this voice-interactive database with the speech.

キーワード：マルチメディア、音声合成、音声認識、マン・マシンインタフェース

1 緒 言

今日、高機能・低価格化、ネットワークやマルチメディア技術の進展などコンピュータがより身近なものになりつつある。しかし、相変わらず、工場及びオフィス内では文書、図面、写真、指示、報告など様々な情報が紙やフロッピー、音声などの媒体で伝達されており、その効率化のためには、統一的な管理が要求されている。また、誰でも容易にこれらの情報を利用するための手段としてマン・マシンインタフェースへの期待が高まっており、音声によるインタフェースもその一つとして注目されている。

そこで、これら様々な形態の情報を管理するマルチメディアデータベースを構築するとともに、音声認識や音声合成などの機能を使った操作性の優れたマン・マシンインタフェースについて検討し、音声処理機能を付加したコンピュータシステムを開発した。データベースの対象として西部工業技術センターの研究報告書を用い、対話形式で情報の検索、閲覧等が可能になった。

2 信号処理システム

2.1 概要

本システムは高性能CPU及び音声入出力ボード等を使い、音声分析はもとより、音声によるコンピュータ操作、テキスト等の朗読など、様々な用途に利用できる汎用システムである。本システムのブロック図を図1に、仕様を表1に示す。構成はCPU、メモリ、グラ



図1 信号処理システムブロック図

表1 信号処理システム仕様

項目	仕様
CPU	Intel Pentium 300MHz
メモリ	64MB
モニター	800×600ドット、65536色
フロッピーディスク	3.5インチ、1.44MB/720KB
ハードディスク	2 GB
CD-ROM	8倍速
オーディオ機能	8/16ビットステレオ サンプリング周波数11~44.1kHz
ビデオ入出力機能	320×200ドット、30fps
ネットワーク	10BaseT/100BaseTX
ソフトウェア	データベース操作 音声合成 音声認識

フィック、サウンド、ビデオキャプチャ、LAN等からなる。

CPUはIntel社のPentiumプロセッサ(200MHz)を、メモリは64MB (60ns EDO DRAM)を、グラフィックボードにはメロコ社のWGP-S4を、サウンドボードにはCreative Labs社のSB32IP/Vを、ビデオキャプチャボードにはカノーブス社のPower Capture/Vを採用した。

本システムの外観を写真1に示す。



写真1 信号処理システムの外観

2.2 音声信号処理

音声によるコンピュータとのコミュニケーションを行うためには人の話す声をコンピュータが理解し（音声認識）、また、逆にコンピュータの内部情報を音声として生成（音声合成）しなければならない。ただし、現時点では人並みの性能は実現されていないが、用途、対象を限定すればそれらの技術の利用が可能になってきた。

「あ」(/a/)、「か」(/ka/)などの音声は、人間の唇から空気の振動として放射されるが、その音声波形は生成過程により図2に示すように振幅値が時間とともに複雑に変化する。しかし、よく観察すると振幅値がランダムに変化する部分とほぼ一定の周期で繰り返す部分がある。この周期によって声の高低（ピッチ）が、その周期の時間的な変化によってアクセントなどが与えられる。

音声合成はこれら音声波形を文字列などから生成するもので、PCM(Pulse Code Modulation)符号化等によって録音した単語や文節音声を、適当な順序でつなぎ合わせる方式（録音編集方式／波形編集方式）とその

発声のメカニズムを音声生成モデルで模擬し、合成する方法（分析合成方式）等がある。本システムでは比較的高品質の合成音が得られる波形編集方式を採用している。図3に音声合成のフローを示す。

一方、音声認識は、音声波形を分析してその中に含まれる母音、子音といった音声の基本要素（音素）を抽出し、登録されている単語辞書及び構文要素を参照して最終的に文字列に変換する処理である。音声認識のフローを図4に示す。

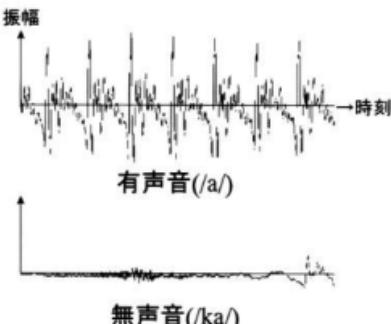


図2 音声波形



図3 音声合成



図4 音声認識

3 研究報告データベース

3.1 概要

文字、写真等の情報からなる当センターの研究報告をインターネット技術によって様々に利用できるように、データベース化するとともに音声による対話処理が可能な機能を付加する仕組みを開発した。

3.2 データベースの構造

研究報告データベースの場合、主に本文及び目次の2種類の文書が最終的に必要になる。まず、本文であるが次のような構成になっている。

(本文)

　　タイトル

　　著者名

　　タイトル（英文）

　　著者名（英文）

　　概要（英文）

：

また、目次の場合は次のようにになっている。

(目次)

番号　タイトル　著者　ページ

：

これらを記述するために表2のようにデータベースのレコードを定義した。ORDERフィールドは研究報告の巻番号及び文書内の順序の管理を兼ねさせている。TYPEフィールドはデータの内容を区別するため用いる。CONTENTフィールドはTYPEフィールドで指定された実際の情報を格納する。表3にTYPEフィールドの一例を示す。

表2 研究報告データベースのレコード定義

フィールド名	データ型	例
ORDER	テキスト型	0916030
TYPE	テキスト型	和文
CONTENT	メモ型	マルチメディア対応データベースの開発

表3 データ種別 (TYPEフィールドの例)

TYPE	説明	例
直	開始ページ	86
サブ	サブタイトル	マルチメディア対応データベース及び...
和文	タイトル	マルチメディア対応データベースの開発
和文	著者	打田道雄, 高橋洋宏, 佐野 勝
英	キーワード	データベース, マルチメディア, インタースコット
英	部	1
本文	土地及びオフィス内では大書, 図面, 写真, 描示...	

3.3 プログラム構成

研究報告データベースを操作するためのプログラム構成を図5に示す。プログラムはデータベース管理、データ編集、データ変換から構成されている。データベース管理ではデータベースの新規作成、複製及び削除、データベース名の変更を行う。データ編集では新規データの追加、修正及び削除を行う。データ変換ではデータベースから目次及び本文をHTML(Hyper Text Markup Language)形式に変換してファイル出力する。表4に出力したファイルの例を示す。なお、イメージ情報などはあらかじめ所定のディレクトリに保存しておく必要がある。これらの容量等は表4からは省いている。ベースとなるソフトにはMicrosoft社のACCESSを採用した。

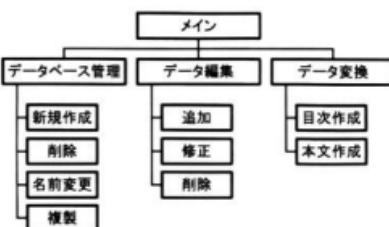


図5 データベース操作プログラムの構成

表4 研究報告データベース

巻(年)	文書数	サイズ(バイト)
33(1990)	22	203,742
34(1991)	30	255,827
35(1992)	24	217,532
36(1993)	18	171,794
37(1994)	28	241,471
38(1995)	27	243,820
39(1996)	24	216,743
合計	173	1,550,929

(画像データは除く)

4 音声応答システム

4.1 概要

研究報告データベース等の操作をより柔軟に行うため、キーボード及びマウスに加え、音声による操作を可能にするとともに、データ内容をコンピュータに音声で出力することにより、人へ画面表示(視覚)だけでなく音(聴覚)を使った提示手段を実現した。

4.2 プログラム構成

音声応答システムのプログラム構成を図6に、処理のフローを図7に示す。プログラムは初期化、音声認識、データ処理、音声合成から構成されている。初期化ではサウンドボード等のハードウェアの初期化及び音声入力サブプログラムの起動、システム変数などの設定などを実行する。音声認識では常時実行している音声入力に従い、一定レベル以上の大きさの音声が入力されると、音声分析を開始し、辞書内に登録されているパターンと比較することにより該当する文字をデータ処理のコマンド入力に転送する。データ処理ではキーボード、音声などにより入力された文字列から、新規データの取得、検索等の処理を行う。音声でデータベ

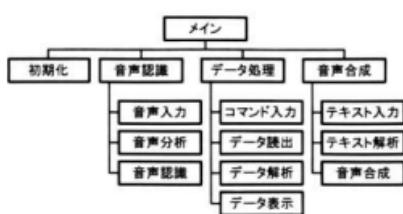


図6 音声応答システムのプログラム構成

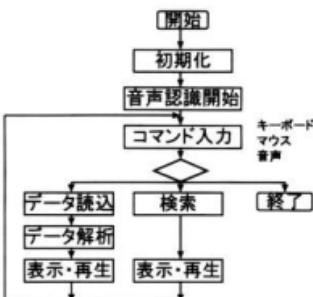


図7 処理フロー

URL	KeyWord	Status
http://3mekuj.htm		音声検索
		Document/localhost/3mekuj.htm
[LINKS] [HOME] [NOMIS SHO] [MAIL] [TOP]		
2006/10/10 HTML から HTML 合成音楽制作の実験に着手		
研究報告目次 (No. 39)		
1. アルミニウム合金属材料設計の活性化 2. ハイカラミック粒子強化アルミニウム合 3. 研究ボリオレフィン樹脂へのフェノール樹 4. ポリマー・ブレン Nによるポリプロピレン の物理的性質の改善 5. EPR/ニカルム混合系の製造プロセスに 関する研究 6. 水蒸気によるセオライトの分 7. 液体汚染物質のモニタリング装置の開発 8. 木工質の射出技術に関する研究 9. 電離気泡生成装置の開発 10. 電子書籍の構築アスペクトに適したた 11. 電子書籍のノイズ対策とEMC評価 12. 製品設計分析の実学的観への適用に関する 13. コンピュータグラフィックスの基本教育		
土井敏郎, 田中伸行, 田谷征路, 須田誠	1	
土井敏郎, 土取功, 田中伸行, 田谷征路	5	
大橋徳也, 下原伊輔郎, 山崎達男	9	
下原伊輔郎, 山崎達男, 大橋徳也, 好境芳郎	13	
須井英輔, 村河亮利, 杉島愛子, 府山伸行, 好境芳郎	17	
須井英輔, 村河亮利, 杉島愛子, 府山伸行, 丸下准志	21	
須井英輔, 伊藤吉之, 倉本邦之, 丸下准志, 須本京之	25	
須井英輔, 中村芳嗣, 須本京之, 伊藤吉之	29	
須井英輔, 丸下准志, 関根義, 鶴雅典生, 山崎亮利, 山	33	
吉野行, 古野博文, 関根義, 野地英治, 下原, 武,	37	
吉野行, 小野博之, 大田光雄	41	
吉野行, 古野博文, 吉野行, 野地英治, 久能信二, 下	45	
長谷川浩治, 佐々木泰吾, 長谷川浩治	49	

写真2 本文及びリンク一覧

ースを操作する場合特に、文書のリンクの取り扱いが問題になる。今回は文書内のリンク状況を一覧表示する子画面を別途、生成することにより音声による参照を可能にした。写真2にその画面を示す。音声合成では人への指示を音声で行ったり、タグの拡張機能を使ってコンピュータに発声させたい箇所を本文中に埋め込んでおき、文章を読ませる等の処理を行う。なお、プログラムは主にMicrosoft社のVisualBASICで作成した。

5 結 言

音声認識、音声合成などの各手法について調査、検討し、音声処理機能を付加した信号処理システムを開発した。応用として西部工業技術センターの研究報告をデータベース化し、対話形式で情報の閲覧、検索が

可能な音声応答システムを構築し、その有効性を検証した。

信号処理システムのハードウェアは市販のCPUボード、サウンドボードなどを使っており、今後の拡張にも柔軟に対応できるようになっている。

文 献

- 斎藤収三、中田和男：音声情報処理の基礎、オーム社、(1992)
- 打田澄雄、馬場祥宏、佐野誠：広島県西部工技研究報告、No. 39 (1996), 60
- VoiceType Dictation3.0 for Windows95 ユーザーズガイド、日本アイ・ビー・エム㈱、1997
- ドキュメントトーカ95 オンラインマニュアル、クリエートシステム開発㈱、1996

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1報） マルチプラットフォームにおける構造解析可視化システムの開発

田尾博幸, 佐々木憲吾

Construction of Fundamental Modules for Computer Graphics and Its Application (1st Report)
Development of a Visualization System for Structure Analysis in Multi-platform

TAO Hiroyuki and SASAKI Kengo

Computer Graphics, We constructed fundamental modules for development of application program by using OpenGL(3D Graphics Library), and applied to structure analysis visualization.

Therefore, the analysis results can be expressed in various ways by interactive operations: corresponding to the user's tentative demands, plural physical quantities are displayed on the same screen simultaneously, for transient phenomena an animation is available. More intuitive comprehension of the inter-object and intra-object relationships, complicated deformations, and changes of physical quantities through time in the objects, can be obtained in multi-platform(UNIX Workstation and Personal Computer running Microsoft Windows NT).

キーワード : CG, OpenGL, 構造解析, 可視化, Windows NT

1 緒 言

コンピュータグラフィックス(CG)は、景観等の各種シミュレーション、目に見えない現象等のビジュアリゼーション(可視化)、プレゼンテーション、インターネットに代表される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きており、その利用ニーズが高まっている。しかし現状では、CGの作成に比較的高価な設備と高度な技術、また多くの時間を要している。

一方、マイクロソフト社のOSであるWindows NTは、高性能なCPU(インテルのCPUの他、DECのAlphaチップ、MIPS、PowerPCなどのRISCチップ)上で利用可能であるとともに、3次元グラフィックス・ライブラリとして業界標準となりつつあるOpenGLを標準で装備している。また、Windows NT用OpenGL対応ウインドウアクセラレータの出現で、CPUの能力だけでは困難であったシェーディングした3次元モデルのリアルタイム表示が可能となることから、CADやCGの標準プラットフォームとして注目を浴びている。

そこで、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となる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¹⁾に適用し、UNIXワークステーション(WS)および、Windows

NTの稼働するパソコンでのマルチプラットフォーム環境において、3次元空間に時間軸を付加した上で起こる物理現象のインタラクティブな可視化を実現した。

2 基本モジュールの構築

2.1 OpenGLの概要^{2), 3)}

3次元グラフィックス・ライブラリとして使用したOpenGLは、SGI(Silicon Graphics Inc.)社のWS上で広く使われていたIRIS GLをベースとして、多種の異なるハードウェア・プラットフォーム上で実行可能なハードウェア非依存型のインターフェースとして設計されている。

機能としては、表1に挙げるようなものがあり、グラフィックス・ハードウェアに対するソフトウェア・インターフェースとして約100種類以上のコマンドから構成され、オブジェクトやインタラクティブな3次元アプリケーションの構築を可能とする。

表1 OpenGLの主な機能

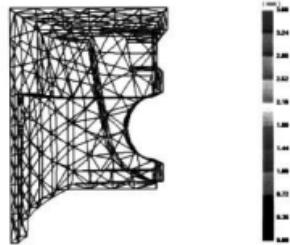
- 3次元、2次元のサポート
- 縦面消去(Zバッファ)
- ビューリング変換、モデリング変換
- 光源処理とシェーディング機能
- 烟、霧などの大気効果
- ディスプレイリスト
- アンチエイリアシング
- アキュムレーションバッファ
- ステンシルブレーン
- テクスチャマッピング
- アルファ合成

2.2 基本モジュール

構造解析結果を可視化するために、OpenGLを使用して構築した基本モジュールの例を表2に、また表示例を図1に示す。

表2 構造解析可視化のための基本モジュール例

- 要素表示(ワイヤーフレーム)
- 物理量表示
 - 一等高面表示(グローブシェーディング)
 - ベクトル表示
- アニメーション表示
- カラースケール表示
- 座標軸表示



(a)ワイヤーフレーム表示 (b)カラースケール表示
図1 構造解析可視化のための基本モジュール表示例

3 マルチプラットフォームにおける構造解析可視化システムへの応用

製品機能の評価技術であるCAEシステムの解析結果については、各観察段階における観察者の意向が直ちに反映でき、拡張性にも配慮したシステムが求められている。

本報告では、構築した基本モジュールを、上述の要求をできるだけ満足するGUI(Graphical User Interface)を中心とした構造解析可視化システムへの応用を図った。

3.1 システムの構成

構造解析可視化システムのシステム構成と処理の流れの概要を図2に示す。

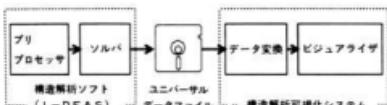


図2 構造解析作業におけるシステムの位置づけ

システムは、構造解析機能で定評のあるI-DEAS(SDR C社製)システムにより解析計算されたデータ(ユニバーサル・データファイル)を利用する。解析結果は、ユーザの観察を支援するため、解析データを表示データに変換した後、ビュアライザにおいてインタラクティブに可視化する。解析は、富士通S-4/10で行う。

3.2 システムのプラットフォーム

図2に示した構造解析可視化システムのプラットフォームは、図3のとおりである。

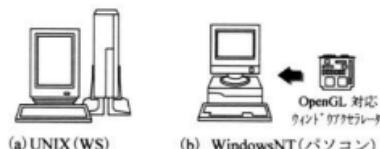


図3 可視化システム・プラットフォーム

3.2.1 UNIX環境でのシステム^{4), 5)}

図3(a)のUNIX環境での可視化システムは、SGI IRIS Indigo2 Extreme(CPU:R4400 150MHz, 主記憶:128MB)上にインストールし、プログラムは、汎用性および拡張性を考慮してC++言語で記述している。

ウインドウシステムとしては、UNIXで標準となっているX Window Systemを使用し、このプログラミング開発には、OSF/Motifを用いた。OSF/Motifは、X Window Systemにおいて、アプリケーションプログラムのユーザ・インターフェース構築のための業界標準となっており、各種ボタン、メニュー、テキスト出力、スクロールバー等、多くのウィジェット(ユーザ・インターフェース部品)が用意されている。

可視化システムは、ポップアップメニューやダイアログボックス、スライダ等、ユーザとのインターフェースを構築する2次元の対象については、OSF/Motifを使用し、3次元オブジェクトのレンダリングには、Open



図4 OSF/Motifによるダイアログボックス表示例

GLをフルに活用することにより、効率の良いアプリケーション開発を図った。

図4に、OSF/Motifを使用して作成した、視点を制御するためのダイアログボックスの例、また図5にUNIX環境での可視化システムの表示例を示す。

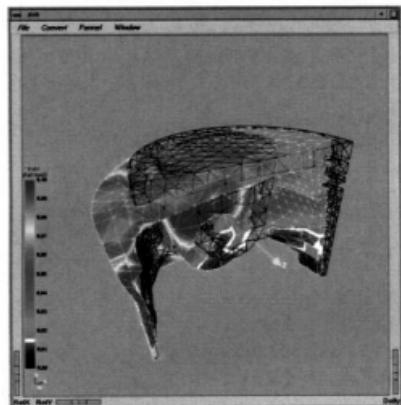


図5 UNIX環境でのシステム表示例

3.2.2 Windows NT環境でのシステム

図3(b)に示したWindows NT環境での可視化システムは、OpenGL対応ウィンドウアクセラレータとしてメロコ製WGP-SX8(ビデオメモリ:8MB,DRAM:8MB)を搭載した富士通 FMV-5166T3(CPU: Pentium166MHz, 主記憶:64MB)上にインプリメントし、プログラム開発言語としては、MicrosoftのVisual C++を使用した。

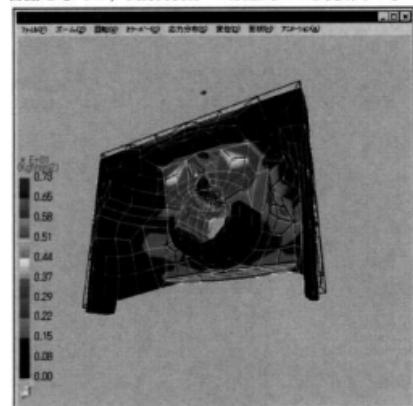


図6 Windows NT環境でのシステム表示例

Windows NTには、OSの機能の一つとしてウィンドウシステムが組み込まれている。このため、ウィンドウのオープンやイベント処理等は、OSでサポートされているAPI(Application Programming Interface)のWin32APIにより、また開いたウィンドウ内3次元オブジェクトの描画等に関しては、OpenGLを使用して可視化システムを開発した。

Windows NT環境での可視化システムの表示例を図6に示す。

3.3 システムの機能

システムで対応できる要素タイプは、図7に示す四面体、二次四面体(頂点の節点以外に二次節点を持つ)、六面体、四辺形要素の4種類である。なお、簡単な手続きで新たな要素タイプの追加が可能である。

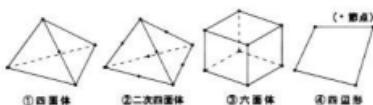


図7 要素タイプ

表3にシステムの主な機能の一覧を示す。

システムは、CAEのポストプロセッサとして、構造解析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。また、解析結果の時間的変化に対応するため、インタラクティブにアニメーション表示が可能なこと。

表3 システムの機能

- 3次元形状での物理量表示
解析結果(変位・応力)の多彩な表示方法(11種類)
- インタラクティブ処理機能
 - カラースケールの切替
 - 指定物理量の分布表示
 - 視点の制御(回転、拡大・縮小)
 - 注視点の設定
- グルーピング表示
- 時系列変化事象のアニメーション表示

3.4 物理量表示

システムで取り扱う表示物理量は、3次元分布スカラー量(応力: Von Mises相当応力など)、3次元分布ベクトル量(変位)である。これらを観察するための表示に関して、変形図と応力分布(色塗り)図の重ね合わせ表示、原形図と変形図の同時表示、あるいは隠線処理なしの表示が考えられるが、適用対象および観察者の欲求に応じて最適な表示手法を随時選択できる

ことが望ましい。

システムでは、ビジュアライザに、表4に示す11通りの表示方法を用意し、用途・対象に応じてインタラクティブに選択できる。

表4 応力・変位の表示方法

応力	変位	表示方法		No.
		変形前形状	変形後形状	
表示 (変形前 形状*)	非表示	応力分布		①
	(要素外形)	ワイヤーフレーム(黒)		
	表示 (隠線非表示)	応力分布	ワイヤーフレーム(白)	②
	(要素外形)	ワイヤーフレーム(黒)		
	表示 (隠線表示)	応力分布	ワイヤーフレーム(白) [隠線部分(赤)]	③
	(要素外形)	ワイヤーフレーム(黒)		
表示 (変形後 形状*)	非表示	応力分布		④
	(要素外形)	ワイヤーフレーム(白)		
	表示 (隠線非表示)	ワイヤーフレーム(黒)	応力分布	⑤
	(要素外形)	ワイヤーフレーム(白)		
	表示 (隠線表示)	ワイヤーフレーム(黒) [隠線部分(赤)]	応力分布	⑥
	(要素外形)	ワイヤーフレーム(白)		
非表示 (ワイヤー フレーム)	非表示 (変形前)	ワイヤーフレーム(黒)		⑦
	非表示 (変形後)		ワイヤーフレーム(白)	⑧
	変位量色表示 (ワイヤーフレーム)	ワイヤーフレーム(黒)	ワイヤーフレーム [変位量に応じた色]	⑨
	変位量色表示 (接続線分)	ワイヤーフレーム(黒)	ワイヤーフレーム(白) [変位量に応じた色で接続線の端点を着色する箇所を接続]	⑩
	変位量色表示 (ベクトル)	ワイヤーフレーム(黒)	変位量に応じた 大きさ/色ベクトル	⑪

* 変形前(後)形状で応力分布表示

5 結 言

可視化等の応用ソフトウェア開発に必要となる基本的なモジュールを、3次元グラフィックスでは、業界標準であるOpenGLを使用して構築することにより、UNIX WSを始めとしてパソコンでの利用も可能となり、CGを利用した各種アプリケーションの開発期間の短縮と低コスト化を図ることが可能となった。

また、構造解析の可視化に応用することにより、物体内部および物体間の相関関係、複雑な物体の形状、物体の時間的な変化等の把握、および3次元空間に時間軸を付加した上で起こる物理現象のインタラクティブな可視化が、安価なパソコン上でも可能となった。

この可視化システムは、構造解析結果はもとより、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での応用が可能である。

なお、平成9年度は、このシステムを磁場の可視化に展開・応用していく予定である。

文 献

- 1) 田尾他：情報処理学会研究報告, 96-CG-82 (1996), 9
- 2) OpenGL Architecture Review Board : OpenGL Programming Guide, 星雲社 (1993)
- 3) OpenGL Architecture Review Board : OpenGL Reference Manual, 星雲社 (1993)
- 4) 三浦：OpenGL 3Dグラフィックス入門, 朝倉書店 (1995)
- 5) D. A. ヤング：X ToolkitプログラミングOSF/Motif 版第2版, ツッパン (1995)
- 6) C. ウォルナム：Win32 OpenGLプログラミング, ツッパン (1996)

干渉縞による液晶パネルの異物混入検査システムの開発

佐々木憲吾, 田尾博幸, 宮野忠文

Development of a Foreign Substance in a Liquid Crystal Inspection System Depending on an Interference Stripe.

SASAKI Kengo, TAO Hiroyuki and MIYANO Tadafumi

To discover the defective product in a production process early is very important for the improvement of a production efficiency. As a result, it will be related to the curtailment of the cost. The LCD (Liquid Crystal Display) panel is required getting large-size. So, it is tend to more important.

This system is developed to inspect the defective product early in the LCD production process, and does not need high resolution equipment. This report describes the inspection method and some points at issue.

キーワード：液晶パネル，干渉縞，画像処理，検査システム

1 緒 言

製造業において、生産工程で欠陥品をいち早く発見することは生産効率の向上に欠かすことができない。それは結果として、検査工程の短縮、歩留まりの改善を図ることとなり、製造コストの低減へと繋がる。

以上の効果は、付加価値が高く、歩留まりの向上が特に問題視される業種で顕著に現れる。製造工程のどこで検査を行うかにもよるが、概略として、欠陥検査によるコスト低減は液晶モジュール価格の2/3に不良選別の率を掛けた数字となると言われている。

液晶パネルは従来から腕時計や各種表示板に数多く用いられてきたが、特に近年、生産量が大幅に増加している。その要因はノート型パソコン等の普及によるものであり、これらの製品の普及に伴いパネルサイズの大型化も要求されている。

超精密機器である液晶パネルは、製造工程での異物の混入を防ぐためクリーンルーム内で製造される。しかし、完璧なクリーンルームが存在しない現状では異物の混入を避けることができない。製造工程ではまず大きなパネルを作成し、それを必要な大きさに区分けてゆくが、上記のようにパネルの大型化が要求される場合、異物の混入による影響は大きい。**表1**は混入し得ると考えられる異物の種類である。

現状では、製造工程のいくつかの段階で作業員の目視による欠陥検査が行われている。しかし、目視検査は人間の集中力に頼ることから、重大欠陥の見落としの危険性を常に含んでいる。検査の内容にも依存するが、経験的に0.5~1%台の確率で見落としは発生す

る」と言っている。

本研究では、この工程を自動化する目的と共に、クリーンルーム内への作業員の立ち入りを極力抑制する効果も期待できる。

表1 异物の種類

- ① 皮膚剥離物
- ② 埃塵
- ③ 繊維
- ④ ガレット（ガラス片溶着物）
- ⑤ スペックス（錆付着物）
- ⑥ その他

2 検査手法

2.1 従来の検査手法

従来から液晶パネルの自動検査は試みられており、実際に市販されている検査装置も幾つか存在する。しかし、いずれもモジュール化後の点灯段階での検査や、高解像度のカメラ等を利用し直接異物を発見する手法のものであり、それぞれメリット、デメリットを持っている。前者の場合、欠陥を総合的に検査できるが最終段階まで欠陥を見出せず、欠陥品についてはそれまでの工程が無駄となる。後者の場合、早期に異物の位置を特定することはできるが、高解像度の機器を使用するため、コスト面と処理速度に問題が残る。

2.2 本システムの検査手法

液晶注入以前のパネルに低圧ナトリウムランプの光を照射すると、パネル表面に干渉縞が現れる。この干渉縞はパネル内の非常に僅かな凹凸を表しており、異物の混入があった場合、その部分に特徴的な干渉縞が現れる。図1はパネル表面に現れる干渉縞の例である。



図1 干渉縞の例1

液晶注入以前の工程は、全体の工程の中でも比較的初期の工程であり、この時点での欠陥を見つける工程を省くことは、歩留まりやコストの面で非常に有用である。また、異物を直接カメラで捉える手法の様に、高額な高解像度の光学機器は必要としない。

3 システム構成とアルゴリズム

3.1 システム構成

表2は本システムのハードウェア構成、表3はソフトウェア開発環境である。なお、プログラムは画像処理ボードに搭載された専用DSPで処理されるため、高速なコンピュータを利用する必要はない。

3.2 照射光源

本システムでは、照射光源に低圧ナトリウムランプを用いた。低圧ナトリウムランプはNaD線(589 nm)を強く発光し、ほぼ単色光に近く干渉性も良い。干渉性の良い光源としてはレーザ光がよく用いられるが、低圧ナトリウムランプの場合光路を拡大する必要がなく、利用しやすい。その他の光源の利用も試みたが、低圧ナトリウムランプより干渉縞が明瞭に現れる光源を得ることはできなかった。

さらに、低圧ナトリウムランプは安価である。

表2 ハードウェアシステム構成

光源	金門電気 NX55(低圧Naランプ)
安定器	金門電気 NX55D2BS
コンピュータ	DEC CelebrisGLST5133
画像処理ボード	BarGold(イスラエル) VIP03/BW-RGB/C50/3
カメラ	SONY XC-75(512×512)
レンズ	COSMICAR 16mm 1:1.4
カメラアダプタ (カメラ電源)	DAITORON DCA-06B
モニタ	OMRON F300-M09

表3 ソフトウェア開発環境

プログラミング言語	Borland C++ ver 4.5
ライブラリ	BarGold社製ボード対応
動作環境	MS-DOS

3.3 検査方針

本システムでは高解像度の機器を使用していないため、干渉縞が密集した領域では明暗のコントラストが悪く、グレイスケール(白黒256階調)のままでの検査は困難であると考えられる。そこで、二値化(白黒2階調)を行い各領域毎の特徴を検討することで、求める領域か否かの判定を行う。その際ノイズ除去は重要な課題であり、特にパネルと背景の境界付近に細かなノイズが集中する。本システムではパネルの境界を自動認識し、その付近にかかる領域は予め除去することとした。

3.4 干渉縞の密集した領域の頂点の抽出

図2はその他のパネルに現れる干渉縞の例である。

図1、図2を比較して分かるように、パネル表面に現れる干渉縞はパネル毎に特徴があり、全く規則性がない。したがって、従来画像処理で多く用いられてきたパターンマッチングのような手法は適用できない。



図2 干渉縞の例2

本来干渉縞は等高線を表す。そのため、等高線の頂点にあたる点が最もギャップの大きな点であり、実際その点に異物が混入している確率が高い。したがって、各縞を抽出しその相關関係（内側の縞は外側の縞に含まれる等の関係）をとることによって、等高線の頂点は抽出できる。ところが、前出のように、解像度の関係上干渉縞が特に密集した領域では縞のコントラストが悪くなり、等高線を明確に分離することは困難である。

縞が密集している点でも、その頂点は比較的良く確認できる。そこで、縞が密集し分離困難な場所は逆に縞を潰し、その中で頂点を明確に浮き上がらせる手法を試みた。図3は縞を潰した後二値化した結果である。

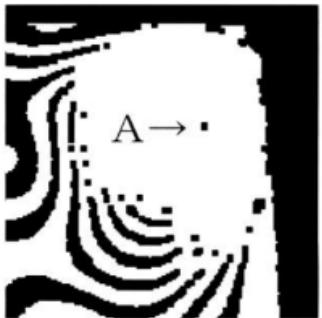


図3 干渉縞の密集した頂点の抽出

二値化後の画像には、ここで浮き上がらせた点に類似した形、サイズの領域は他にも多く存在する。しかし、この手法で浮き上がらせた領域の周辺には、縞の潰れた範囲で同様な領域が存在しない（図3点A）。この特徴を基に他の類似した領域との区別を図る。

3.5 等高線が確認できる領域の頂点の抽出

干渉縞が密集してなく等高線が明確に区別できる領域の頂点に当たる部分にも、異物が混入している可能性は高い。この領域では各縞毎の相関関係をとることは可能であるが、頂点に当たる領域の形状はほぼ楕円に近いという特徴を利用して抽出する方が、アルゴリズムも簡単で、処理時間も短いと考えられる。

表4は求める楕円形状の抽出に用いた特徴である。

図4、図5、図6の形状は、それぞれ表4の①、②、③の条件に当てはまらない。図7はすべての条件に当てはまる、求める楕円形状である。

表4 求める楕円形状の特徴

- ① 楕円形状の面積はその形状に外接する長方形の面積に占める割合が大きい。
- ② 求める楕円形状は、縦、横の長さに大きな違いはない。
- ③ 求める楕円形状は、周辺と同じ領域で囲まれている。（孤立していない）

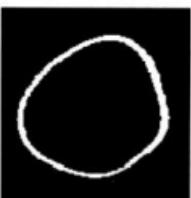


図4 面積が少ない



図5 長細い



図6 孤立している(領域A)



図7 条件を満たす(B)

3.6 検出結果

図8、図9は、以上の検出手法等を適用して得られた検出結果である。それぞれ十字印は検出の結果疑わしいと判定された場所、▲印は実際に異物の混入が確認された場所である。



図8 検出結果1



図9 検出結果2

等高線の頂点に当たる部分には異物が混入している可能性が高いが、必ず混入しているとは限らない。例えば、図8の領域Aには異物は混入していないが、図9の領域Bには異物が混入している。この判定を干渉縞のみで行なうことは極めて困難であり、本システムでは条件を満たす領域の重心を、疑わしい点として全て抽出することとした。

4 問題点と課題

光の照射が変化すると最初に取り込む画像が微妙に変化するため、二値化処理を行う際に安定した画像を得ることができない。これは検出結果に非常に大きな影響を与える。そこで、今後は光の照射方法を安定させることが重要である。あるいは、二値化を行う際のしきい値を、取り込んだ画像の状態に依存して変化させることも有用である。

さらに、カラー液晶パネルのように、色の着いたパネルに対応することも必要である。

5 結 言

ナトリウムランプを照射することによって液晶パネル上に現れる干渉縞を基に、パネル内に含まれる異物の位置を検査するシステムを開発した。本システムは液晶パネル生産工程の初期の段階において欠陥を発見するため、欠陥品が後工程に流れることがなく、歩留まりの改善とコストダウンに効果的である。また、特別高解像度な光学機器を使用していないため、安価に開発できる。

本システムで利用した干渉縞から異物の位置を検索する手法を以下にまとめる。

- (1)干渉縞の密集した部分は、縞を潰す手法で頂点を抽出した。
- (2)干渉縞が明瞭な部分は、頂点が梢円に近く、同じ領域に囲まれているという特徴を利用して抽出した。

文 献

- 1) 月間Semiconductor World増刊号(1993),161
- 2) 第9回産業における画像センシング技術シンポジウム講演論文集(1994),128

CFDによる製品開発への適用研究（第1報）

3次元CADと光造形を活用した熱流体解析による製品開発研究

立石哲也*, 坂元康泰, 佐々木恵吾, 原 信彦, 門 格史

Product Development Research Depending on the Heat Fluid Analysis to Apply 3-D CAD and Stereolithography

TATEISHI Tetsuya, SAKAMOTO Yasuhiro, SASAKI Kengo, HARA Nobuhiko 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：CE(コンカレント エンジニアリング), 3-DCAD, 热流体解析, 自动メッシュ, 光造形

1 緒 言

最近、コンカレントエンジニアリング(CE)を導入し、製品開発を効率化する開発システムの研究が進められつつある。この開発プロセスでは、従来、設計・試作および解析で独自に作成していた設計・モデルデータを、3次元CADデータで共通化することにより、設計およびモデル作成期間を削減し、大幅な開発期間の短縮が可能と言われている。(図1)

また、CFD熱流体解析を中心とするCAEによる製品開発の環境では、近年、コンピュータの処理能力の高速化に加え、その低価格化が急速に進められ、多数の企業が開発にCAEを導入している。

また、ソフト面でも解析用のメッシュ作成の自動化が進み、従来1つの解析に数か月以上の期間を費やしていたモデルの作成が、3次元CADモデルがあれば、数分で自動的にメッシュ作成可能になり、CAEの解析期間も大幅に改善しつつある。

そこで、本研究では、自動車部品の1つであるマニホールドを対称にし、その3次元CADモデルを共通データとする開発を行った。この共通データで、解析では自動メッシュによるCFD熱流体解析、試作ではラピッドプロトタイピング手法である光造形により試作モデルを作成し、実験解析に適用した。これにより、本システムの製品開発に与える効果を調査した。

2 3次元CADによるモデル作成

本研究では、まず、マニホールド(4気筒エンジン)の3次元モデルを作成し、それより解析用メッシュモデル、光造形用試作モデルの作成を行った。それらを図2に示した。

マニホールドのソリッド(固体)モデルの作成は、管外側の中実モデルと管内側モデルを作成し、外側モデルを内側モデルでカットする方法で、管状モデルを作成した。この場合、内側ソリッドモデルは、そのまま流体解析用モデルに使用できる。

ソリッドの作成に使用したモーラーは、I-deas (Master series 3) を用いた。

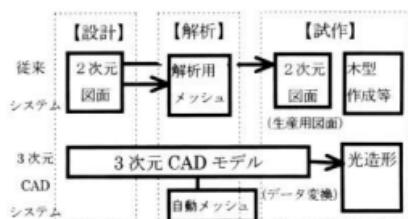


図1 3次元CADによる製品開発システム

*客員研究員 (マツダ株式会社)

表1 自動メッシュによる開発への効果の例



図2 3次元モデルから試作・解析モデルの作成

熱流体解析用モデルの作成は、このソリッドモデルからI-deasと市販ツールの自動メッシュ作成機能を用いて行った。

図3に、同じ形状のマニホールドで、自動メッシュ作成によるモデルと、従来のメッシュ作成によるモデルの違いを示す。

従来までのメッシュ作成は、設計図面を基に、各部分で作成したメッシュを繋ぎあわせて作成する。この場合、①メッシュの作成時間が長い。②簡易的な形状(円筒、直方体等)を組み合わせた形状になる。従って自由曲面等の作成は困難になる。③角の部分のR曲面が作成困難である等の欠点がある。



図3 作成方法によるメッシュ形状の差

作成方法	解析期間	主な作業
従来作成方法	8~10週間	キー入力によるモデル作成
自動メッシュ	3週間	自動メッシュ、データ変換 (計算に2週間要する場合)

その反面、3次元ソリッドモデルベースに作成したモデルは、実製品形状どおりのモデルが作成可能である。開発への効果を表1に示す。メッシュ作成の自動化により、モデル作成期間が大幅に改善できる。

また、3次元ソリッドモデルから、試作モデルの作成は、1度I-deas上でSTLデータ(3角形パッチ)に変換し、当センターの光造形のシステム上で、試作データを作成した。

3 CFD熱流体解析

作成した解析メッシュを用いて、熱流体解析を行った。熱流体解析は、市販解析ツールStar-cd(Ver2.3)を用いた。表2にStar-cd(Ver2.3)の主な仕様を示す。

表2 Star-cd(熱流体解析)の仕様¹⁾

流动計算	圧縮性・ニュートン流体
解析メッシュ	6面体、4面体 非構造格子
ソルバー	圧力方程式 S i m p l e 法 運動方程式 " " " " エネルギー方程式 トータルエネルギー保存式 移液項 風上1次差分
乱流モデル	$k - \epsilon$ 方程式
入力条件	液体物理量(密度、粘性係数、比熱、熱伝導率) 境界条件(速度規定、圧力規定、温度規定) 壁条件(No Slip、Slip条件、断熱、温度固定、熱伝達、輻射)
出力項目	速度ベクトル、速度、圧力、温度、乱流エネルギー分布図、物体面の圧力、せん断力、熱伝達etc

解析条件を図4に示す。入力条件はガスの実測の流速値と温度を与え、出口は大気圧で規定した。壁面条件は流速 = 0 とし、壁の温度を指定することにより、ガスとの温度の差で、熱伝達量を求めた。

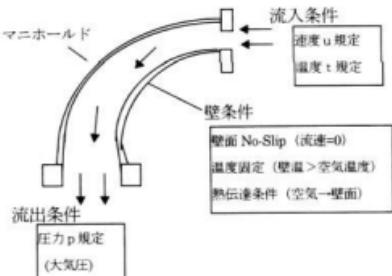


図4 热流体解析の境界条件

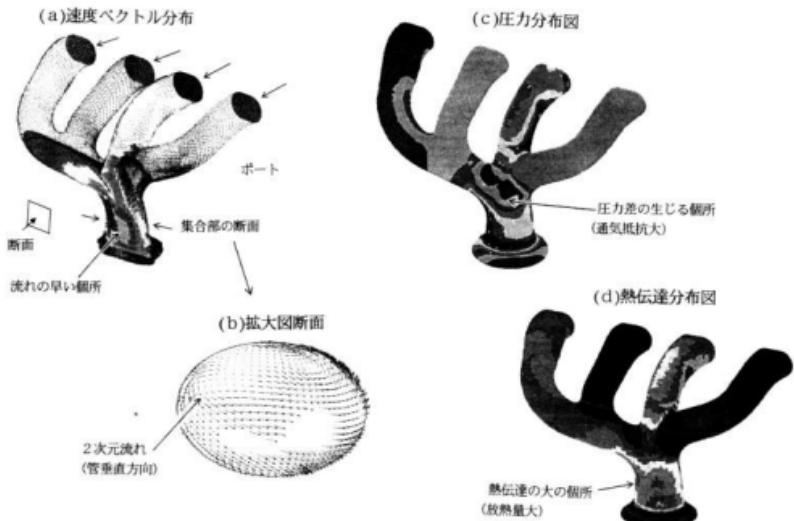


図5 热流体解析によるマニホールドの計算結果

図5に、自動メッシュのモデルによる計算結果を示す。マニホールドの場合、複数の管から流入したガスが集合部で大きな圧力差を生じていることがわかる。これは流入したガスが集合部で流れが合流することと、集合部の屈曲部分で壁面に衝突し、図5-(b)のような2次元流れが発生し、複雑な流れ場となって圧力損失が高くなるためである。

熱流体解析を適用することによって、流れ場を形成する（速度、圧力、乱れ）の量の分布が視覚的に見え、マニホールドの流れの悪化・抵抗となる部分が明確になる。

図5-(d)には、ガスからマニホールド壁面への熱伝達の分布を示す。流れの乱れが大きく、圧力損失の高い集合部分での熱伝達が高くなっている。

4 光造形による試作品の作成

熱流体解析で得た結果と、実験との結果を比較検証するために、3次元ソリッドモデルから、当センターの光造形機²⁾を用いて、マニホールド（樹脂型）の作成を行った。

試作したマニホールド光造形品（樹脂型）を写真1に示す。表3には、光造形による試作と従来法による試作を比較して示す。

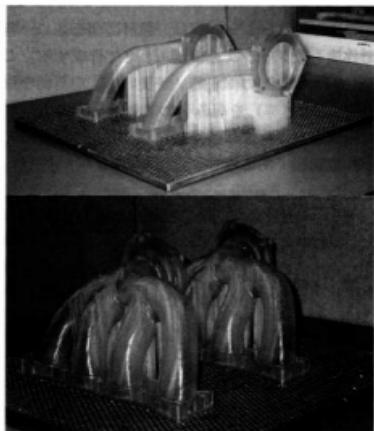


写真1 光造形で試作したマニホールド（樹脂型）

表3 光造形試作による開発への効果の例

試作手法	試作期間	主な作業
従来方法	7～8週間	生産図面作成、木型作成、中子作成。
光造形法	3～4週間	データ変換、光造形、後処理

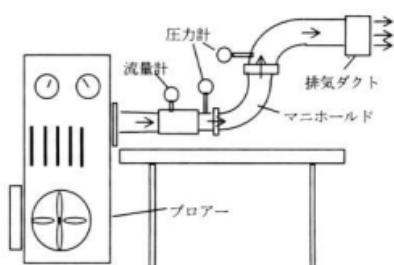


図6 リグテスト装置

5 リグテストによる検証

試作したマニホールド（樹脂型）を用いて、流れの検証実験を行った。

図6に検証に用いたリグテスト装置を示す。マニホールドに、プロアーから圧送されたガス（空気）を流した時の通気抵抗を、入口部と出口部の圧力差で計測した。実験でのガスの流速範囲は、 $0.2\sim 5.0 \text{ m/s}$ とした。また、試作品の管内部をサンドベーパーで $80\sim 100 \mu\text{m}$ に調整し、表面粗さを鋳造品と同条件になるよう合わせた。

図7の●に測定結果を、自動メッシュ解析による結果を▲（四面体）と△（六面体）で示す。自動メッシュを用いた熱流体解析を行った計算結果は、バラツキがあるものの、実測結果とほぼ一致することがわかった。

図7には、従来手法のメッシュを用いた場合（図3参照）についても○(a)円柱、●(b)直方体で示す。従来のメッシュの場合、曲部のエッジ状の部分で圧力損失が生じ、実測よりも高い値となる。

6 結 言

3次元CADモデルを共通ベースにし、自動メッシュ解析、および光造形による試作と実機検証をおこなった結果、本開発システムを活用することにより、以下のことが確認された。

(1) CFD熱流体解析について

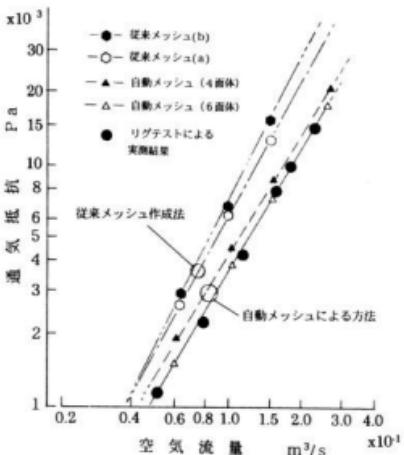


図7 マニホールドの通気抵抗・実験結果

- ・自動メッシュ解析で、実形状に近い解析モデルを作成可能となり、熱流体解析で実機とほぼ同等の流れの予測が可能になる。

- ・熱流体解析の活用で、製品開発での流れ・熱の問題となる点が視覚的に確認できる結果を得た。

- (2) 3次元CADによる開発について
- 3次元CADモデルで、製品開発でのデータ共通化を図ることで、解析・試作までの開発期間が大幅に改善された。

3次元CADデータを用いることにより開発システムへの大きなメリットがあることがわかった。しかし、本システムの開発では、品質に関わる問題やモデルの作成等に今後取組む課題が残されていることを付け加えたい。

文 献

- 1) Star-cd (Ver.2.3) Theory Manual Computational Dynamics社, (1995).
- 2) 門, 原他 : 広島県西部工技研究報告, No. 39 (1996), 84

残響室法音響データ処理プログラムの構築と高性能吸音材の開発

吉野信行, 田尾博幸, 莊山信行, 野地英治, 我田茂樹*, 斎藤奈巳*, 下原 武**, 太田光雄***, 西村公伸***

Study for Environmental Amenity (3rd Report)

Construction of Software Calculating Absorption Coefficient and Transmission Loss in Reverberation Chamber and Development of Sound Absorption Material Using Polyester Wool and Asphalt

YOSHINO Nobuyuki, TAO Hiroyuki, KARIYAMA Nobuyuki, NOJI Hideharu, WAGATA Shigeki*
SAITO Nami*, SHIMOHARA Takeshi**, OHTA Mitsu*** and NISHIMURA Kiminobu***

In previous study, a impact sound insulation material using asphalt board was developed, the usefulness of asphalt board was experimentally confirmed in actual sound environment such as a ferro-concrete building. In this study, first, a software calculating absorption coefficient and transmission loss in reverberation chamber have been constructed. Furthermore, a sound absorption material combining a polyester wool and the asphalt board developed in previous study have been developed. The usefulness of sound absorption materials can be experimentally confirmed in reverberation chamber.

キーワード：残響室、吸音率、透過損失、ポリエスチル繊維、発泡アルミニウム、吸音パネル

1 緒 言

既発表¹⁾では、ホテル・マンション等の床材の衝撃音とその透過損失の評価法に関し、上室・下室の相互関連性に関する理論を検証し、その正当性について残響室法によりフローリング・アスファルト・鉄筋コンクリートの床材の衝撃試験により検証している。また、実住環境でアスファルト材が床衝撃緩衝材、遮音ボードに適用できることを確認した。これらの遮音ボードは製品化され、当センターの音響開放試験室（無響室、残響室・残響室）が県内外の企業に有効に利用されつつある。しかしながら当残響室でJIS規格に準拠した吸音率、透過損失を算出するための統計的処理プログラムが未開発であったため、データ処理にかなりの時間を要する等の課題があった。

これらの背景から、本研究では、まず、騒音計、コンピュータ援用によりJIS規格に準拠した吸音率、透過損失等の処理プログラムの構築を試みた。次いで新素材応用としてポリエスチル繊維の吸音特性に着目し、発泡アルミニウム・ポリエスチル繊維の組み合わせによる吸音材、パンチングメタル・ポリエスチル繊維・空気層・アスファルト等の組み合わせによる複合型吸音パネルの試作および評価を行った。試作した吸音材は、各種機器の騒音低減、吸音パネルは、高速道路の高架下・トンネル内等交通環境、工場内の作業環境の騒音低減に利用できる可能性を得た。

*デルタワーリング㈱, **アオイ化成工業㈱,

***近畿大学

2 システム構成

図1に残響時間、吸音率を処理するための音響計測システムの構成を示す。

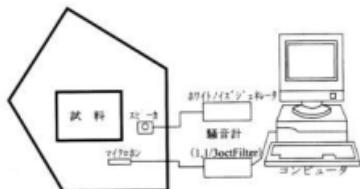


図1 音響測定システム構成

一般に、残響室法による吸音率、透過損失の計算処理に関しては、1/3オクターブあるいは1オクターブにおいて125Hzから4kHzの各周波数で残響時間の処理がなされ、吸音率、透過損失はJIS A 1409, JIS A 1416に準拠して処理される。市販されている専用ソフトもJIS規格に準拠し、騒音計、実時間1/3オクターブ分析器とコンピュータ等を併用して処理されているため処理時間が非常に短い利点がある。

本研究で開発したソフトウェアの概要は、図1に示すシステムで、1/3オクターブフィルタを有する騒音計により125Hzから4kHzの各周波数毎に残響時間測定データをコンピュータのメモリに格納する。その各周波数毎の測定データをコンピュータ内で最小自乗法

により処理し、残響時間を求め、吸音率、透過損失を算出する方法を探用している。なお、データの格納は、BASIC、残響時間、吸音率、透過損失の演算は、ロータス表計算を使用した。

開発したソフトウェアは、まだ初期開発段階にあり本ソフトウェアによる計算処理時間は、市販品と比較し長い。またそのプログラムについては、残響時間の演算処理、測定環境の設定法改善等の課題が残されている。

これらの課題については、当残響室で得られた吸音率と汎用グラスウールの吸音率²¹の比較により現在、検討中である。

3 実験結果および考察

3.1 ポリエステル繊維・グラスウールの吸音特性について

吸音材の設計に当たっては、文献²¹に示されているように、対象とする騒音対策の周波数領域により、多孔質材料・剛壁（系統1）、多孔質材料・空気層・剛壁（系統2）、穴あき板・膜状材料を用いた共鳴構造体（系統3）、穴あき板・多孔質材料・空気層・剛壁（系統4）の構造が使用される。

本研究では、まず、吸音性能を有するポリエステル繊維に注目し、系統1から系統4の吸音機構を効率的に利用し、吸音材の試作を試みた。具体的には、ポリエステル繊維の吸音率を求め、ついで汎用されているグラスウールとポリエステル繊維の吸音率の比較について検討した。

図2は、厚さ40mm、試料面積3m²のポリエステル繊維について、密度を変化し、1オクターブにより簡易測定を行った吸音率である。図中●は密度28kg/m³、■は密度49kg/m³、▲は密度73kg/m³である。図3は、厚さ80mm、試料面積3m²のポリエステル繊維について密度を変化し、1オクターブで簡易測定した吸音率である。図中●はポリエステル繊維の、密度28kg/m³、■は密度49kg/m³、▲は73kg/m³の結果であり、厚さ80mm、密度28kg/m³の条件の場合が良好であることを示している。

これらの結果を元にして、グラスウールとの比較を行った。実験はJIS規格に準拠し、グラスウール、ポリエステル繊維とも10m²の試料を対象とした。

図4は、代表的なグラスウール、本研究で使用するポリエステル繊維の吸音率を比較したものである。図中■はグラスウール密度32kg/m³、厚さ50mmの吸音率、●はポリエステル繊維密度28kg/m³、厚さ40mmの吸音率、▲はポリエステル繊維密度28kg/m³、厚さ

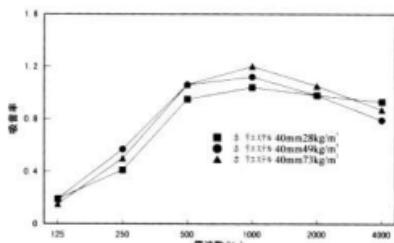


図2 ポリエステル繊維の密度変化による吸音特性

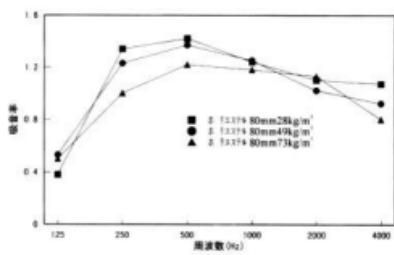


図3 ポリエステル繊維の密度変化による吸音特性

80mmの吸音率である。但し各資料面積は、10m²この図から、ポリエステル繊維の密度32kg/m³、厚さ50mmに変更すれば、グラスウールの吸音率も同等な値が得られることが推測される。また、ポリエステル繊維の厚さを増加することにより、低周波数領域で吸音率が上昇の傾向にあり、ポリエステル繊維の吸音効率が良好であることがうかがえる。これらの結果から、ポリエステル繊維の加工の容易性、無公害性、リサイクル性等から判断し、今後ポリエステル繊維がグラスウールに変わる吸音材として注目されるであろう。

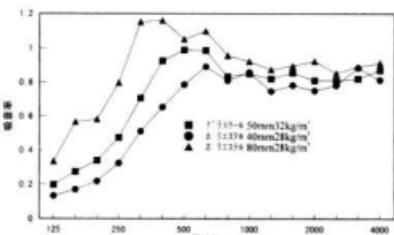


図4 グラスウールとポリエステル繊維の吸音率比較

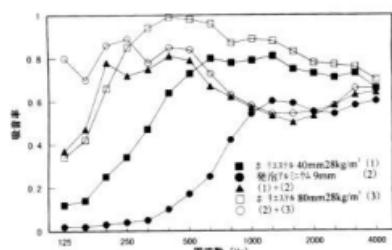


図5 発泡アルミニウムとポリエスチル繊維の組み合わせによる吸音特性

3.2 ポリエスチル繊維と発泡アルミニウムを用いた吸音材の試作

本節では、各種機器の騒音対策に応用するための基礎試料として、ポリエスチル繊維と他の材料（発泡アルミニューム）の複合吸音材の吸音率評価を行った。ポリエスチル繊維と発泡アルミニウム材との組み合わせによる吸音特性を図5に示す。

図5において、■は厚さ40mmのポリエスチル繊維、●は厚さ9mmの発泡アルミニウム、▲は厚さ40mmのポリエスチル繊維と厚さ9mmの発泡アルミニウムの組み合わせによる吸音率、□は厚さ80mmのポリエスチル繊維、○は厚さ80mmのポリエスチル繊維と厚さ9mmの発泡アルミニウムの組み合わせによる吸音率を示す。これらの図から、ポリエスチル繊維の厚さを増加することによって、低周波域の吸音率の改善が見られる。このような特性を生かすことにより、各種機器の騒音対策に利用できる。さらに、電磁波シールド性能を有する発泡アルミニウムを有効に利用することによって、電磁波環境および音環境両面で多機能材料として使用できることも推測される。

3.3 ポリエスチル繊維とアスファルト材を用いた吸音パネルの試作

本節では、ポリエスチル繊維とアスファルト遮音ボード¹¹を使用し、高架道路、トンネル内等の交通騒音を対象として、吸音パネルの試作を試みた。一般に交通騒音の特徴としては、500Hzから4kHzの周波数領域で騒音レベルが問題となる。特に低域周波数500Hzから高域周波数4kHzに渡って高吸音率を図るために、系統5の孔あき板、多孔質材料、空気層および剛壁の組み合わせによる吸音機構が利用される。本吸音パネルの試作も、この吸音機構を適用した。試作する事前準備として、吸音パネルの固有周波数を500Hz近傍に設定し、次式で示される固有周波数を適用し、開孔率、

表1 吸音パネルの材料

番号	名 称	材 質
1	正面板	パンチングメタル 0.5t φ10
2	側面板	パンチングメタル 0.5t φ4
3	吸音材	ポリエスチル繊維 80t 28kg/m ³
4	穴あき板	パンチングメタル 0.5t φ25
5	遮音ボード	アスファルト 8t
6	エキスバンドメタル	XS-31
7	空気層	300mm

t : 厚さ (mm), φ : 直径 (mm)

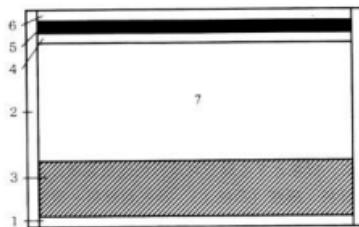


図6 吸音パネルの構成

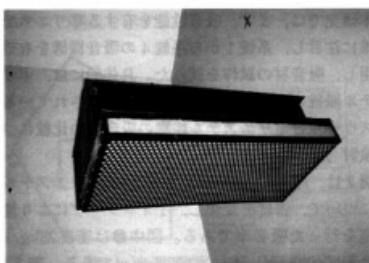


写真1 吸音パネルの外観

孔あき板の厚み、孔の直径、空気層の厚さ等を次のように算出した。

$$f = c \cdot (P/(t+0.8\phi)L)^{1/2} / 2\pi \quad (1)$$

周 波 数 f : 511 (Hz)

開 孔 率 P : 22.7 (%)

孔あき板の厚み t : 0.5 (mm)

孔の直径 φ : 10 (mm)

空気層の厚さ L : 300 (mm)

(但し、吸音材 (80mm) の厚さも含む)

音 速 c : 340 (m/s)

試作した吸音パネルの構造を図6に示す。その構成を表1に示す。写真1は、吸音パネルの概観である。

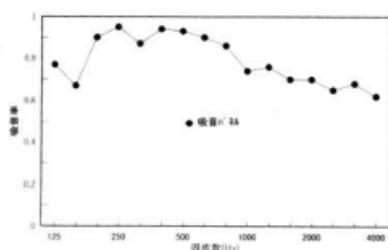


図7 吸音パネルの吸音特性

高域周波数では一般に吸音対策が容易であるのに対して低域周波数では共鳴型吸音メカニズムを組み合わせる必要がある。これらの組み合わせを考慮に入れて開発した吸音パネルの吸音率を図7の●で示す。対象とする低周波領域においては、315Hz近傍まで良好な吸音効果が得られ、十分成功したと思われる。

上記3.1から3.2の実験で得られた各種吸音材の吸音率グラフの総合評価として、1kHz以上の周波数領域で、他文献の各種吸音材と比較し、吸音率が下降の傾向がある。これらの原因としては、残響室の測定環境の整備（吸音材端面の吸音遮断、残響室内的スピーカ、マイクロホンの位置等）、残響時間測定で得られたデータ

を基準にし、汎用のグラスウールの吸音率データ³⁾と比較しながら、現在最適な測定環境条件の設定、残響時間推定プログラムの改良中である。図8は、その吸音率データの一部である。●は文献3の吸音率、■は当残響室の実験で得られた吸音率ではほぼ同等な値が得られていることが確認できる。

4 結 言

本研究では、まず残響室法でポリエステル繊維の吸音率を測定することにより、ポリエステル繊維が従来のグラスウールと同等またはそれ以上の吸音率を有することを確認した。次いで、ポリエステル繊維、空気層、発泡アルミニウム材の組み合わせによる吸音率の測定を行い、これらの吸音材は、各種機器の騒音対策に有効であることを確認した。

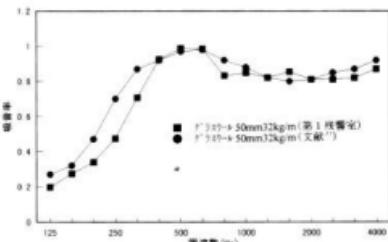
更に、交通環境、工場内環境等の騒音低減対策に対応するため、パンチングメタル、ポリエステル繊維、空気層、アスファルト材の組み合わせによる吸音パネルを試作した。これらの吸音材、吸音パネルについては、まだ初期試作段階であるが、将来、各種機器の騒音低減、工場内の作業環境、高速道路の高架橋裏面、トンネル内等の騒音低減に利用できるように改良していく予定である。構築した残響室法吸音データ処理プログラムについては、実験から得られた、残響時間の推定法、スピーカ、マイクロホンの位置等最適な環境条件の設定等を行い、市販されているプログラム（リオン株）と比較しながら、信頼性ある吸音率が得られる様検討中である。

本研究で、特に留意すべき点としては、ポリエステル繊維を音環境に利用したことにある。これらの吸音材は、高吸音率を有し、リサイクル化可能、無公害、取り扱いが容易等の特徴を有し、将来グラスウールの代替品として使用されると推測される。

終わりに、本研究を推進するにあたり、当残響室の測定環境の設定について様々なご助言を頂いた日本建築総合試験所森本三男研究員、岡山県工業技術センター 研究員に深謝の意を表します。

文 献

- 吉野信行他：日本騒音制御工学会講演論文集，(1998), 9, 259
- 通産省環境立地局監修：公害防止の技術と法規 騒音編，(1996), 111
- 前川純一：建築・環境音響学，(1994), 82

図8 グラスウールの吸音特性
(文献3との比較)

タ処理（残響時間推定における：最小自乗法のあてはめ）等に課題があり、最適条件を探求する必要がある。これらの原因究明にあたっては、汎用されているグラスウール（密度32kg/m³、厚さ50mm、資料面積10m²）

接地電位変動により発生するノイズについての一考察

宮野忠文*, 仁田周一**

Study for Environmental Amenity (4th Report)
Study on Electromagnetic Noise Generated by Ground Potential Variation

MIYANO Tadafumi and NITTA Shuichi

In this paper, we measured electromagnetic noise which generated to the circuit put on metal plate, when pulse noise add to metal plate, in order to fabricate the electrical equipments with the strength to electromagnetic susceptibility. And the equivalent circuit for this measurement is simulated in order to analyze quantitatively.

キーワード：筐体，ノイズシミュレーター，浮遊容量，容量結合，等価回路

1 緒 言

近年、電子機器の発展・普及には目覚ましいものがあり、小型化、高機能化が進んでいる。これらの機器やシステムはデジタル素子を用いていること、さらにこれらの素子の低電力化、高速化によって外部からの電磁波ノイズに弱くなっている。誤動作を起こすことがある。

このような機器やシステムが社会の中核部を占めるようになってきた現在、これらの機器やシステムの誤動作は社会的に大きな問題となっており、ノイズ問題として最近クローズアップされている。

このノイズ問題の対策の一般的な方法の1つとして、接地（グランド、あるいはアースとも呼ばれる）を取るといった方法がある。接地には一般的な用途として以下の2つがあげられる¹⁾。

- ① 保安のための接地
- ② 回路の基準を与えるための接地

① 保安のための接地は感電防止のためのもので、それぞれの目的に応じて第一種接地線から第三種接地線まで4種類に分類されている。②については、グランドにノイズが入ることによって電位変動が生じ、電子機器の誤動作を起こす原因となっている。

本報告では、接地電位変動に強い電子機器を製作するための基礎的なデータを得るために、筐体にノイズが加わった場合、筐体上の回路に発生するノイズ電圧波形および電圧を測定した。さらに、定量的解析を行うために等価回路によるシミュレーションを行い検討した。

*現株式会社テクノプラザ, **東京農工大学工学部

2 実験方法

2.1 実験モデル

本報告では電子機器のフレームグランドにノイズ電圧が加わり筐体に電位変動が生じた場合について、筐体上の回路に生じるノイズ電圧を測定するために図1の測定モデルについて測定を行う。図1においてグランドは寸法600mm×1000mmのアルミ板である。

ノイズシミュレーター（㈱ノイズ研究所製INS-310）からパルス幅1μsec、電圧200Vのパルス状のノイズ電圧を発生させ、筐体に加えるノイズとする。

使用した筐体は現象の把握を容易にするため1枚の長方形のアルミ板とする。

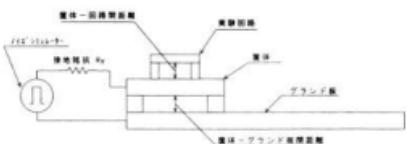


図1 測定モデル図

筐体上に設置した回路を図2に示す。実験に使用した回路は同じ値の抵抗をループ状に配線したモデルを用いる。

筐体にノイズを加えた場合、回路に生じるノイズ電圧について測定を行う。

2.2 回路に誘起されるノイズ電圧

筐体-グランド間における電位変動によって回路に誘起されるノイズ電圧について測定を行う。ノイズ電圧として回路抵抗の両端の電圧を測定する。

回路に誘起されるノイズ電圧に影響を与える要素として、接地抵抗、および回路抵抗などを考慮に入れ、測定を行う。

接地抵抗は 0Ω , 10Ω , 100Ω , $1k\Omega$, $10k\Omega$ 、回路抵抗は 10Ω , 100Ω , $1k\Omega$, $10k\Omega$, $100k\Omega$, $1M\Omega$ とそれぞれ変化させた場合について、デジタルオシロスコープで波形観測およびノイズ電圧を測定する。

他の条件は、筐体寸法 $320mm \times 250mm$ 、筐体ーグランド間隔 $10mm$ 、回路寸法 $290mm \times 50mm$ として測定を行う。

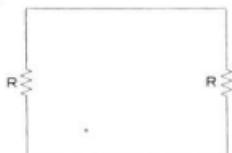


図2 測定回路図

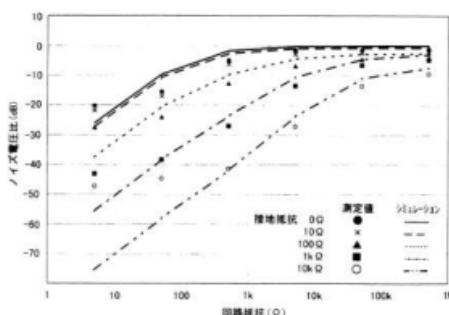
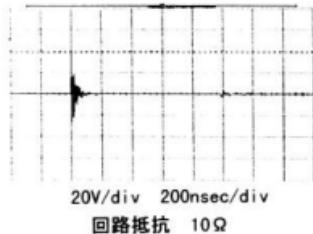
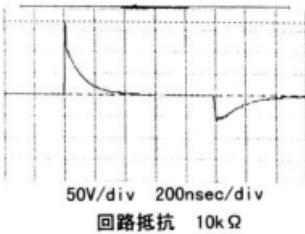
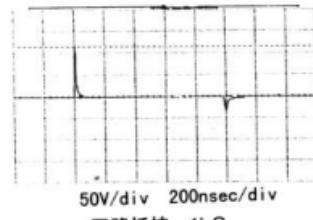
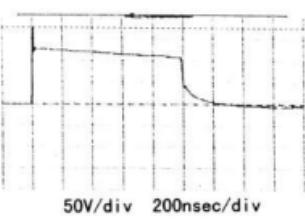


図3 ノイズ電圧測定値およびシミュレーション結果

回路抵抗 10Ω 回路抵抗 $10k\Omega$ 回路抵抗 $1k\Omega$ 回路抵抗 $1M\Omega$ 図4 回路上のノイズ波形測定例（接地抵抗 0Ω ）

3 実験結果と考察

ピーク電圧の測定結果を図3、回路上のノイズ波形測定例を図4、図5に示す。

今回の測定モデルの定量的解析を行うために、回路シミュレーターによるシミュレーションを行った。

この測定モデルに対する等価回路を図6に示す。

図6において、 R_1 は接地抵抗 ($1,10,100,1k,10k\Omega$)、

C_1 はグランドー筐体間容量（インピーダンスアナライザによる測定から $100pF$ ）、 C_2 は回路ー筐体間容量（インピーダンスアナライザによる測定から $20pF$ ）、 C_3 はデジタルオシロのプローブ容量 ($6.5pF$)、 R_2 は回路抵抗 ($5,50,5k,50k,500k$)、 L_1 は回路上のインダクタ成分 ($0.1\mu H$) としてシミュレーションを行った。

この等価回路について回路シミュレーターSPICE Ver5.0でシミュレーションした結果をノイズ電圧波形

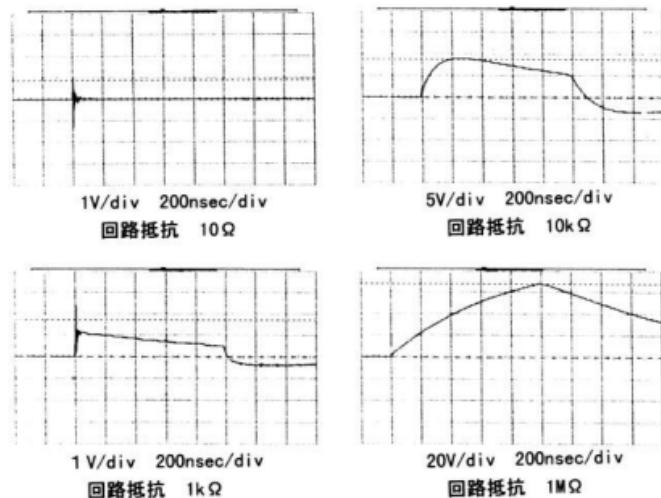


図5 回路上のノイズ波形測定例（接地抵抗10kΩ）

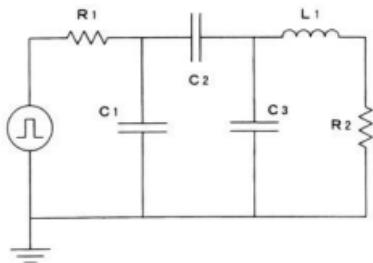


図6 等価回路

については図7、図8に、ピーク電圧については図3に示す。

ノイズ電圧波形について、測定結果である図4、図5とシミュレーション結果である図7、図8を比較すると、傾向として一致している。しかしながら、接地抵抗10kΩ、回路抵抗5Ωなどについては測定結果とシミュレーション結果は異なる。

ピーク電圧について、図3を見ると回路抵抗が大きい部分(500Ω以上)についてはシミュレーション結果と測定値の差が2~3dBであるが、回路抵抗が小さい部分(50Ω以下)については、測定結果とシミュレ

ーション結果の差が大きくなっている。特に、接地抵抗10kΩ、回路抵抗5、50Ωについては差が大きくなっている。これは、接地抵抗10kΩ、回路抵抗5Ωのシミュレーション波形と測定した波形とでは明らかに異なっており、容量結合のみを考慮した等価回路ではシミュレートできていないのではないかと考えられる。また、このときのノイズ電圧がかなり小さいことも考えるとノイズシミュレーターからの放射ノイズも考えられ、今後検討が必要ではないかと考えられる。

4 結 言

本報告では、接地電位変動に強い電子機器を製作するための基礎的なデータを得るために、筐体にノイズが加わった場合、筐体上の回路に発生するノイズ電圧波形および電圧を測定し検討を行った。

測定モデルとして、接地線にのったノイズは筐体と回路間の容量結合によって回路上にノイズが誘導されると考え、その等価回路としてシミュレーションした結果、回路抵抗が大きい場合については一致しているが、回路抵抗が小さい場合については一致せず、今後の検討課題となった。

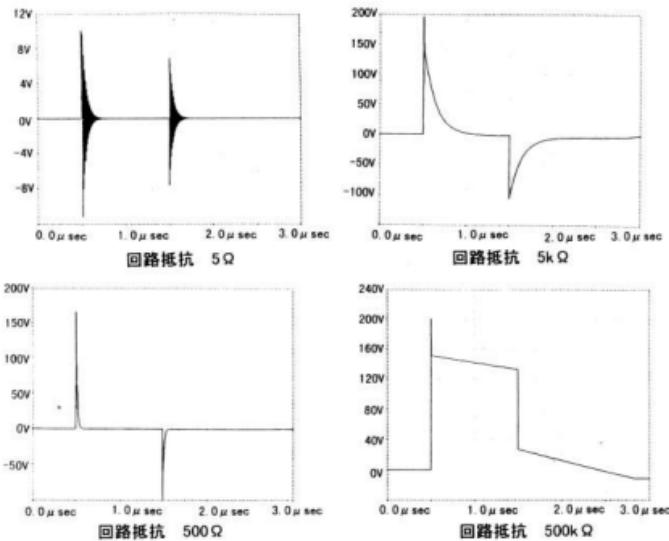


図7 シミュレーション結果（接地抵抗1Ω）

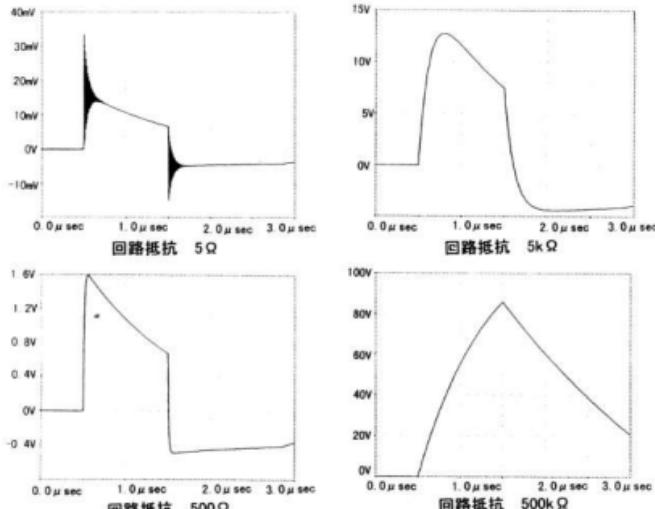


図8 シミュレーション結果（接地抵抗10kΩ）

文 献

- 岡村道夫：解析ノイズ・メカニズム、CQ出版社、(1987)、107-115

水素吸蔵薄膜に関する研究（第1報） スパッタ法による水素吸蔵多層薄膜の形成

梶岡 秀，間山清和，橋口浩一*

Multilayered Thin Films for Hydrogen Storage Prepared by Sputtering

KAJIOKA Hideshi, TOIYAMA Kiyokazu and HIGUCHI Koichi*

Mg, Pd and Pd/Mg (double layer and multilayer) thin films were prepared on the glass by a conventional magnetron sputtering or magnetron sputtering enhanced with an inductively coupled rf plasma. It is difficult to prepare a smooth and compact Mg film and to control the deposition rate by the former sputtering. On the other hand, it is easy to prepare the smooth and compact Mg film and to control the deposition rate by the latter sputtering. Furthermore, the finer grains were seen on the top surface of Pd film prepared by the latter sputtering than by the former sputtering. Therefore, the latter sputtering is suitable for the control of the Mg alloy composition and the thickness of the layers. However, in both processes, Mg (002) peak was only seen in the x-ray diffraction pattern for Mg film, but no MgO peaks were seen. Pd (111) peak was only seen for the Pd film.

キーワード：Mg 薄膜，Pd 薄膜，スパッタリング

1 緒 言

水素吸蔵複合化物質の創製法には化学修飾法、溶解・反応拡散法、メカニカル・アロイング法、成膜法があるが、その中で成膜法は他の方法に比べて、酸素を含まない真空環境下で、合金組成、界面・薄膜構造（2層・多層薄膜）および結晶構造（結晶／アモルファス）の制御がしやすい。即ち、設計に基づいた材料創製が容易であると言われている。そこで、筆者らはこの利点を生かし、水素放出過程で起こるといわれている協力現象の解明や新複合化物質を探索するために、成膜（スパッター）・水素吸蔵・水素放出（TDS）過程を *in situ* で実験できる装置、「水素吸蔵合金薄膜作成・評価装置」の開発を検討し、広島県先端技術共同研究センター・日本真空㈱と共同で開発中である。しかしながら、まだ実験できる状況ではないため、完成に先だってコンベンショナルタイプのrfマグネットロンスパッタとヘリコンスパッタ（開発装置に搭載）を用いての比較実験を行った。ターゲットには水素吸蔵物質としては、軽量、資源の豊富さから有望視されているMgを選んだ。さらに水素化を促進するPdも検討すると共にPd/Mg 2層・多層薄膜形成も試みた。これらの物質のスパッタ成膜に関する論文はほとんど見当たらず、今後の研究に備えてスパッタ成膜法を確立することが重要である。

*広島県先端技術共同研究センター

2 実験方法

装置に搭載されるヘリコンスパッタ（誘導結合rfプラズマ支援マグネットロンスパッタ）は、コンベンショナルタイプのrfマグネットロンスパッタ源にコイルを配置し、これにrfパワーを印加することでプラズマ密度を高めるように工夫されている。表1にはコンベンショナルタイプとヘリコンスパッタ法によるMgおよびPdの成膜条件を示す。上で述べたスパッタ法以外の大きな違いは、Arスパッタ圧（後者のスパッタ圧は特に断らないかぎりは、前者の1/10）とターゲット基板間距離（後者は前者の2、3倍）である。基板には主にガラス基板（コーニング#7059; 25×25×1mm³）を用いた。多層薄膜はコンベンショナルタイプのみで、MgとPdターゲットを同時にスパッタしながら基板を回転することで作成した。なお、膜厚は段差計で測定し、成膜速度を求めた。薄膜の表面形態は走査型電子顕微鏡を用いて観察し、結晶構造・配向性は通常のX線回折装置と薄膜X線装置で評価した。

3 実験結果と考察

成膜条件、スパッタ成膜速度、およびPd/Mg多層薄膜の1層当たりの厚さ（計算値）を表1に示す。

コンベンショナルスパッタではrfパワーによって成膜速度が大きく変化する。20W以下では1時間スパッタしても全く成膜されない。しかし、50Wでは逆

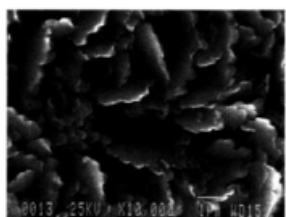
表1 成膜条件と成膜速度

	コンベンショナル	ヘリコン		
	成膜条件	成膜速度 (nm/s)	成膜条件	成膜速度 (nm/s)
Mg	50W-20min	8.75	25W/25W	0.15
	30W- 5min	4	100W/25W	0.36
	30W-10min	1.9	100W/75W	0.36
	30W-15min	1.6	100W/25W	0.21
Pd	100W-15min	1.3	100W/25W	0.24
Pd/Mg	100W/35W- -1 -2	5.3nm/layer 25min 25nm/layer	100W/75W	0.25

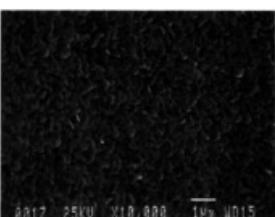
に8.8nm/sと速過ぎて、ナノオーダーの多層薄膜を形成することが困難となる。この成膜速度はrfプラズマの発光色と関係があり、20Wの場合はAr発光色のみであるが、後者の場合は緑発光色が強くなる。また一定rfパワーでも、スパッタ開始時はAr発光色のみであるが、スパッタ時間と共に緑色が強まってくる。このようなプラズマ発光色の顕著な変化は、Mgターゲット表面でのMgOカバー率の変化に起因するものと考えられる。

そこで、rfパワー-100Wで強い緑発光色が得られた後、パワーを30Wに下げ、プラズマ色を安定させて成膜速度の一定化を図った。一方、ヘリコンスパッタではターゲットパワーが25Wから100Wまで、またコイルrfパワーを変化させても、さらにArスパッタ圧を高くしても、発光色の経時変化はみられなかった。成膜速度はターゲットパワーに依存し、コイルへのrfパワーには依存しない。またArスパッタ圧が高くなると、スパッタ粒子がArによってより多く散乱されるため成膜速度は低下する。しかし、Pdターゲットでは、コンベンショナルスパッタでも上で述べたような発光色の経時変化は見られず、両者のスパッタとも成膜速度は安定していた。Pd/Mg 2層薄膜形成時には、まずMgを約1μm成膜後、その上にPdを約25nmを成膜した。一方、Pd/Mg多層薄膜作成時、すなわち、基板回転速度が6rpmの時はPd/Mg 1層当たり5.3nmで0.8rpmの時には25nmと見積ることができた。

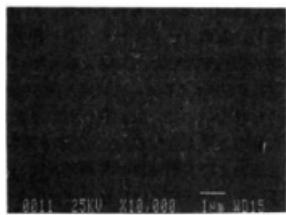
コンベンショナルスパッタで作成したMg薄膜表面のSEM写真を写真1に示す。表面形態は、rfパワーによって大きく異なる。成膜速度が遅いほど、凹凸や粒子サイズは減少し、それゆえに、薄膜の緻密性も高く、ポロシティも減少すると推測される。また、多



(a) 50 W



(b) 30 W



(c) 30 W



(d) 30 W (6 rpm)

写真1 コンベンショナルスパッタで作成したMg薄膜表面

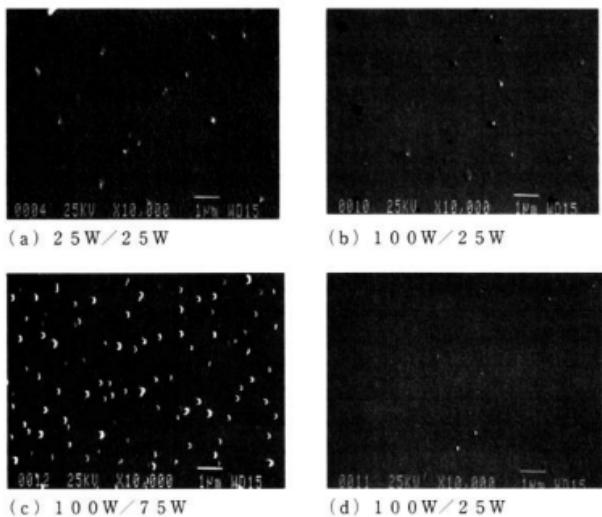


写真2 ヘリコンスパッタで作成したMg薄膜表面

層膜作成時と同様に基板を6rpmで回転させたときは、表面の凹凸が増加する傾向がみられる。これは基板に到達するスパッタ粒子の斜め入射成分が多くなることに起因すると考えられる。

一方、ヘリコンスパッタで作成したMg薄膜表面のSEM写真を写真2に示す。コイルに印加するrfパワーが増加すると(写真2(a)から(c)へ)、ノジュールの発生が顕著となる。ただし、Arスパッタ圧を他の場合の10倍(6.7×10^{-1} Pa)に高めると、写真2(d)に見られるようにノジュールの発生は押さえられる。この結果は、基板へ入射する粒子のエネルギーが大きいほど、ノジュールが発生しやすいことを示唆している。いずれの薄膜においてもノジュール以外の部分をみると、粒子サイズはコンベンショナルスパッタのものよりもかなり小さい。それゆえに、薄膜はより緻密化していると考えられる。このような結果は、Pd薄膜においてより顕著に見られた(ここにはSEM写真は示していない)。以上のMgおよびPd成膜実験結果から、コンベンショナルスパッタよりヘリコンスパッタの方が、目的とする成膜(合金組成制御、ナノオーダーの膜厚制御と緻密な薄膜形成)には適していることが理解される。

上記のMg薄膜をスパッタ室から取り出してX線回

折測定した結果の一例を、図1に示す。これらは薄膜用X線回折用アタッチメントを用い、入射X線角度を変化させて測定した時の回折图形である。入射X線角度 0.1° ではアタッチメントを使用しない場合とほぼ同様の回折图形が得られ、Mg(002)とMg(004)のピークのみが見られる。これらピーク位置はJCPDカードの値とよく一致した。Mgは酸素との反応性が高いので、残存ガス中の酸素や水分がMg成膜中に取り込まれ、MgO生成が危惧されていたが、X線回折結果からは全く認められなかった。即ち、X線回折結果は、純Mg薄膜が得られていることを示した。このような結果は、表1および写真1と写真2で示した、全てのMg薄膜に対しても得られた。Mg結晶構造はhcpであり、表面エネルギーの小さい面(001)、即ち、c-軸方向に優先配向した。入射X線角度 0.1° ではX線侵入深さは約60nmとなる。この時でもMgOピークは全く認められないで、表面酸化層は生成したとしても非常に薄いと考えられる。一方、Pd薄膜およびPd/Mg2層および多層薄膜のX線回折图形はここに示していないが、Pd薄膜はPd(111)に完全に配向した。fccの場合(111)面が表面エネルギー最小となり、この場合も予想と完全に一致した。Pd/Mg2層薄膜の場合、Pd(111)ピークとMg(002)ピークのみが見られた。基

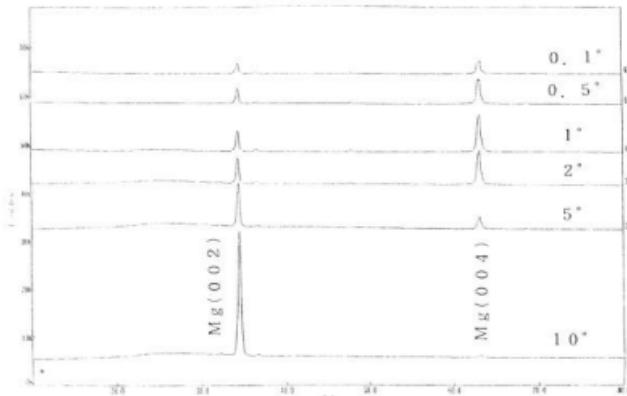


図1 Mg薄膜のX線回折図形

板回転速度6rpmと0.8rpmとで作成した多層薄膜の場合はPdピークのみでMgピークは認められなかった。Mgが認められない理由は回折強度が低いこと、多層薄膜Mg層の配向性・結晶性的低下が考えられる。しかししながら、両者とも低角度に、単層薄膜では見られなかったピークが現れる。このピークの角度からブラック式を用いて、層間距離を計算したところ、5.3nmと25nm（およびこれらの倍角）には対応しなかった。それゆえに超格子反射ピークと同定できないが、何らかの長周期構造が形成されていると考えられる。

4 結 言

- (1)コンベンショナルスパッターおよびヘリコンスパッターの両方で、MgOを含まないMg薄膜が作成できるが、コンベンショナルスパッターでは成膜速度制御が困難である。
- (2)合金組成制御、ナノオーダーの膜厚制御、および作成した薄膜の緻密性の点に関してはヘリコンスパッタの方が適している。
- (3)コンベンショナルスパッターでも、条件さえ整えば、ナノオーダー多層薄膜作成は可能である。

なお本研究は、科学技術振興事業団および（財）広島県産業技術振興機構発行の研究成果報告書「水素吸蔵複合物質の創成と評価に関する研究」（平成9年1月）p62-72をまとめたものである。

レーザによる精密加工に関する研究（第5報） アルミニウム合金のマイクロ接合

池田哲宏、新田 明、山下弘之、水本昌宏*、増木福正**

Study on Precision Processing by Laser (5th Report) Micro Joining of Aluminum Alloy

IKEDA Tetsuhiro, NITTA Akira, YAMASHITA Hiroyuki, MIZUMOTO Masahiro and MASUKI Hukumasa

The purpose of this report is to investigate for alternative methods to obtain high-quality spot welding of aluminum alloy. In bead-on-plate welding of 3 mm thickness aluminum alloy (A1050, A2017, A5052) using lower average power pulsed YAG laser, the influences of welding conditions on the penetration shape and the defects of welded metal were experimentally investigated. The following results have been obtained. (1) The penetration depth of A2027 and A5052 are smaller than that of A1050, and cracks in molten areas of A2017 and A5052 were observed in all cases by the pulsed YAG laser alone. Porosities in the welded metal were formed at over 70J of pulsed energy. (2) As the results of dual-beam laser irradiation at 40J of pulsed energy and at 200W of CW power with optical fiber on Al-Mg alloy A5052 of 1 mm thickness, the crack-free welding with penetration depth of about 0.8 mm was obtained.

キーワード：YAGレーザ、アルミニウム合金、溶接割れ、溶融形状

1 緒 言

アルミニウム合金（アルミ合金）は、軽量、高強度及び輸送コストの省エネルギー化等の観点から最近多くの工業分野で注目されている材料で、その精密接合技術としてレーザ溶接に大きな期待が寄せられている。

しかし、アルミ合金は光エネルギーの反射率が高く、熱伝導率が大きいなどの物理的特性によりレーザ溶接が困難で、高エネルギービーム溶接に特有な欠陥が発生しやすいなど、多くの問題を抱えている¹⁾。

スポット溶接などの局部的な接合が可能なパルスYAGレーザは、容易に数kWオーダーの高いピークパワーが得られ、自由度の高い光ファイバによるエネルギー伝送が可能なため、製造ラインの加工技術として関心が高いが、アルミ合金に溶接割れなどの欠陥が発生しやすい。その抑制・防止法として、昨今、パルス波形制御など^{2), 3)}の無欠陥溶接に関する研究が盛んに試みられている。

本研究では、パルスYAGレーザ照射による各種アルミニウムのレーザ溶接特性を明らかにし、割れ感受性の高い、実用的なAl-Mg系合金A5052の欠陥発生の抑制・防止を図ることを目的に、パルスレーザと低出力の連続発振(CW)レーザを併用した2ビーム照射法の有効性について検討した。

*㈱芝岡産業、**㈱レイテック

2 実験方法

本実験で使用したYAGレーザ実験装置の光学系の配置概要を図1に示す。パルスYAGレーザ（最大パルスエネルギー150J/P、マルチモード）による溶接実験では、1ショットのパルス照射によるビードオンプレート溶接とした。試料形状は100×20×t3mm（表面粗さ：1.3μmRy）で、その化学成分を表1に、実験条件を表2に示す。2ビームによる溶接実験では、CWレーザ（最大連続出力200W、マルチモード）を併用したビードオンプレート溶接とし、コア径0.8mmのS1形光ファイバ（結像比5/6）を用いて、試料表面に焦点

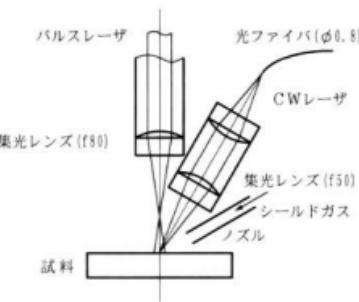


図1 レーザ実験装置

位置を一致させたジャストフォーカスとした。ここで、試料表面から反射されたCWレーザビームが直接集光光学系に影響を及ぼさないよう、またビームスポット径を極力小さくして、高パワー密度が得られるように、試料への入射角を約30°として光ファイバ光学系を配置した。なお、シールドガスは、毎分10ℓの流量でサイドからレーザ照射部に吹き付けた。

レーザ照射後の溶融形状は、溶融部中央を切断・研磨後、2%のフッ酸で約7分間エッチングし、溶込み深さ及びビード幅を万能投影機で測定した。溶接欠陥は、放射線透過試験によりボロシティの発生状況を、光学顕微鏡によりレーザ照射面及び断面の割れの発生状況を観察・評価した。

また、試料表面温度は赤外放射温度計で測定し、溶融部の主要な化学成分はエネルギー分散型X線分析装置を用いて評価した。

表1 アルミ合金の化学成分 (%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
A1050	0.07	0.31	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	REM
A2017	0.57	0.33	4.26	0.65	0.52	0.04	0.09	0.04
A5052	0.07	0.29	0.01	0.00	2.59	0.18	0.01	REM

	パルスエネルギー (J/P) : Ep	40 ~ 110
パルス幅 (ns) : τ	10, 20	
繰返し数 (pps) : n	1	
集光レンズの焦点距離 (mm) : f	80	
焦点位置 (mm) : Df	+4	
シールドガス : G	Ar, N ₂ , He	

表2 パルスYAGレーザ溶接条件

パルスエネルギー (J/P) : Ep	40 ~ 110
パルス幅 (ns) : τ	10, 20
繰返し数 (pps) : n	1
集光レンズの焦点距離 (mm) : f	80
焦点位置 (mm) : Df	+4
シールドガス : G	Ar, N ₂ , He

3 実験結果及び考察

3.1 パルス照射による溶接特性

アルミ合金のパルスレーザ照射による溶込み深さ及びビード幅を図2に示す。パルスエネルギーの増加に伴い溶込み深さは増加するが、パルスエネルギー80J/Pを越えるとスプラッシュが発生し、試料表面においてアンダーフィル等の形状欠陥が現れる。この図よりアルミ合金がステンレス鋼(SUS304)⁴⁾と同一の溶込み深さを得るためにには、50%以上のエネルギーの増加が必要であることがわかる。これは、アルミ合金の高反射率、高熱伝導率等によるものと考えられる。図3は、その結果をアスペクト比で示したものである。一般的にエネルギーの増加に伴い、アスペクト比は増加するが、アルミ合金A2017, A5052は、A1050に比べて溶込み深さが若干小さく、ビード幅が大きい溶込み形状を呈するためアスペクト比は小さくなる。

図4は、各種シールドガスによるA5052の溶込み深さを示したものである。Arガスを用いた結果が若干深い溶込みを示しており、ビード幅においてもほぼ同様な傾向が見られた。

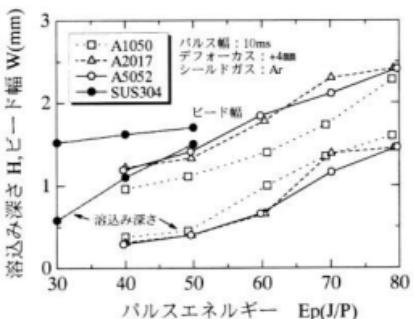


図2 溶込み形状

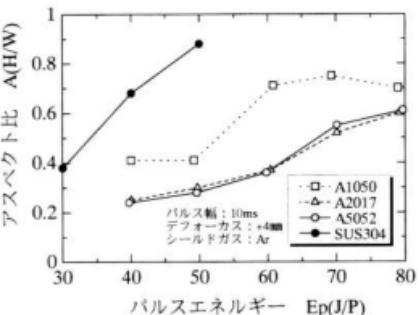


図3 アスペクト比

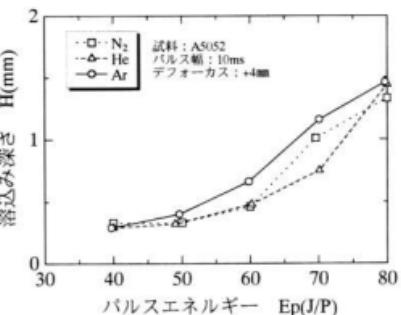


図4 シールドガスの影響

次に、パルス幅の溶込み深さへの影響を示した結果が図5となる。同一のパルスエネルギーでもパルス幅の小さい方が溶込み深さが大きくなっている。その結果をレーザパワーに対して示したのが図6となる。ここで、パルス形状は単純な方形波と仮定し、パルスエネルギーをパルス幅で割った値をレーザパワーとした。溶込み深さは、レーザパワーには依存していることがわかる。

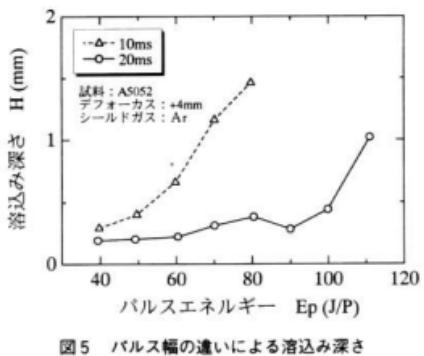


図5 パルス幅の違いによる溶込み深さ

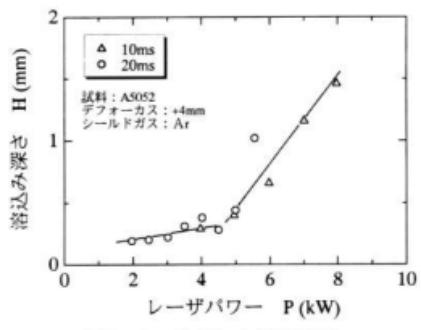


図6 レーザパワーと溶込み深さ

本実験ではA1050において割れは観察されなかったが、アルミ合金A2017及びA5052の全試料において、どの溶接条件においても溶融部表面の中心から周辺部に放射状に伸びた割れが数本確認された。これは溶融直後の急冷による凝固割れであると考えられる。

図7は、各種試料のArガスシールドによるボロシティ発生状況を示したものである。低パルスエネルギーでは、ボロシティは発生しないが、A2017では60J/P、A1050及びA5052では70J/Pを超えたパルスエネルギー

で直径0.2mm未満の微小なボロシティが発生する。ここで、パルスエネルギー80J/Pにおいて、A2017で発生したボロシティの平均粒子径はArガスシールドが0.1mmに対して、N₂あるいはHeガスが0.07~0.08mmとなり、Arガスシールドによる粒子径が大きくなっている。この様な溶融金属中の微小なボロシティは、分布がまばらであるため、継手の機械的特性に影響を与えることは少ないと考えられる。なお、シールドガスの種類の違いによるボロシティ数への影響はほとんど見られなかった。

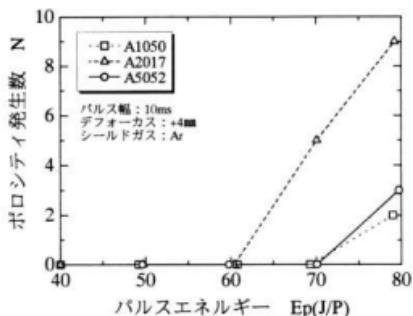


図7 ボロシティ発生状況

3.2 CWレーザを併用した2ビーム照射特性

A5052の1ショットによるパルスレーザ照射では、溶接割れが発生するため、その改善策としてパルスレーザ及びCWレーザの2ビーム照射によるビードオンプレート溶接を検討した。本実験では、溶融金属のスラッシュによりアンダーフィル等の欠陥が発生しないよう、パルスエネルギーは40J/Pとした。

図8は、パルスレーザ照射前後におけるCWレーザ照射の有無によるA5052の表面温度を測定したものである。赤外放射温度計からの表面温度データをAD変換し、サンプリングタイムは1秒とした。CWレーザ照射により90秒程度試料表面を予熱後、パルスレーザを1ショット照射すると同時に、CWレーザ照射を停止させ、後熱を急激に断つたものはビード中央部に微小な割れが観察されたが、レーザパワーを3W/sの速度で降下させながら徐々に冷却したものは、割れは観察されなかった。これは、CWレーザ照射の後熱効果による凝固速度の低減により、割れの発生が抑制・防止されたものと考えられる。パルスレーザ照射のみ、CWレーザ併用照射による試料表面及びマクロ断面を写真1に示す。パルス照射のみによる溶込み深さ、ビ

ここ
生し
0.1mm
なり、
この様
がらで
は少
いに
った。

ード幅は、それぞれ0.3mm, 1.2mmに対して、CWレーザを併用したものでは、0.8mm, 1.7mmとなり、溶込み形状は大きく、表面及び断面に溶接割れは見られなかった。

この溶融部の化学成分を分析した結果、母材のMg成分为2.75%に対して、パルス照射による溶融部では2.63%，CWレーザを併用した2ビーム照射による溶融部では2.81%となった。CO₂レーザによる溶接結果では、Alより蒸気圧の高いMg元素が全体的に20%以上低下していることが確認されているが³⁾、パルスYAGレーザによる1ショット照射実験ではレーザ照射

前後において成分の顕著な差は見られなかった。これにより機械的性質に及ぼす影響はほとんどないと推察される。

4 結 言

アルミニウムA1050,A2017,A5052のビードオンプレート溶接にパルスYAGレーザを適用し、溶込み形状及び欠陥の発生状況を検討し、さらにAl-Mg系実用合金であるA5052に低出力CW-YAGレーザを併用した2ビーム照射法で欠陥発生の抑制・防止を検討した結果、以下のようにになった。

- (1) パルスレーザ照射において、A2017及びA5052は、A1050より溶込み深さが小さく、ビード幅が大きい溶込み形状を示し、全試料に凝固割れが発生した。
- (2) シールドガスArを用いることによりHe, N₂より若干深い溶込み形状を示した。
- (3) ポロシティ発生のしきい値は、A2017で60~70J/P、A1050並びにA5052で70~80J/Pのパルスエネルギーであることを確認した。
- (4) A5052の2ビーム照射では、CWレーザ照射の後熱効果による凝固速度の低減により、割れの発生が抑制・防止され、0.8mm程度の溶込み深さを有する、ポロシティのない健全な溶融部が得られた。

今後、微小な凝固割れの発生についてさらに詳細な検討が必要であると考えられる。

本研究は日本自転車振興会補助金の設備を利用して実施したものである。

文 献

- 1) 吉川, 黒沢, 中田他: 軽金属溶接, 32(1994)9, 16
- 2) 中村, 細野, 石田他: レーザ学会研究報告, 34(1995)12, 7
- 3) 翁: レーザ協会誌, 20(1995)2, 56
- 4) 池田, 山下, 門: 広島県西部工技研究報告, No.37(1994), 66
- 5) 齋名, 額: 溶接学会全国大会講演概要, 57(1995), 452

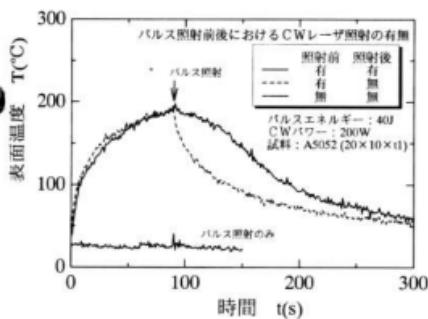
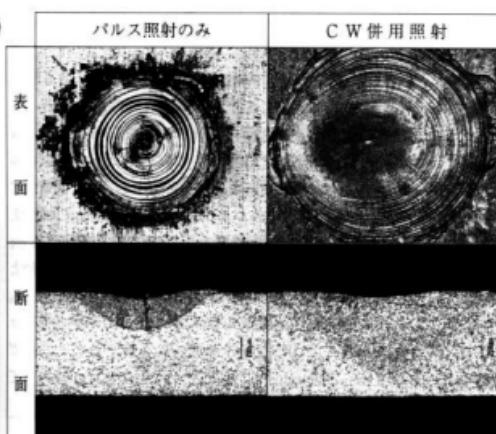


図 8 2ビーム照射による温度変化

写真1 レーザ照射面及び断面マクロ



連続放電焼結に関する研究（第1報）

放電焼結圧延法における雰囲気制御

筒本隆博, 新田 明, 高谷英明*, 王 雨勃**, 柳沢 平***

Control of Atmosphere in the Spark-Roll-Sintering

TSUTSUMOTO Takahiro, NITTA Akira, TAKATANI Hideaki*, Wang Yupo** and YANAGISAWA Osamu***

A new equipment was developed for producing continuous sheet from powder by combination of powder rolling and electric discharge sintering process. The equipment consists of three roll units where first unit is for compacting by rolling, and second and third units are for sintering and rolling by electric discharge. In this study Ar gas shield for preventing oxidation during sintering process and rolling by special graphite roll for promoting sintering were investigated using Cu-8%Sn powder mixture. Prevention of oxidation improved the ductility of sintered sheet, but had no effect on improvement of densification.

キーワード：放電焼結，焼結，圧延，銅合金，粉末

1 緒 言

我々は粉末から連続的な板材を製造するプロセスとして、粉末圧延法¹⁾と放電焼結法²⁾を組み合わせた「放電焼結圧延法」という焼結プロセスを開発した³⁾。この方法により、Cu-Sn混合粉末を用いて連続板材の焼結実験を行っている。しかしながら、通電加熱が大気中で行われるため、成形体の表面が酸化する、成形体の密度が十分に高まらない等の問題点があった。そこで、本研究では加熱時の酸化防止の有効な手法を確立するために、ガスシールドボックスを試作した。またそれを用いてArガスによるシールドを行い、大気中の焼結との酸化の違い、酸化防止の効果について調べた。さらに、成形体の密度を高めるために、通電ロールの構造を工夫して、焼結実験を行った。

2 実験方 法

2.1 シールドボックスの試作と加熱実験

図1に実験に使用した装置を示す。装置は粉末を圧延成形する第1段ロールユニット、圧延成形板に通電して加熱焼結する第2段および第3段ロールユニットの3つのロールユニットから成る。シールドボックスは第2、第3段目のロールユニット間に設置した。

使用した粉末は平均粒径45μmと100μmの電解銅粉末を1:1で混合したものに、平均粒径20μmのアトマイズSn粉末を8mass%添加した混合粉末を用いた。

最初に大気中での酸化の様子を調べるために、シールドボックスをはずして、第1段目のロールで圧延し

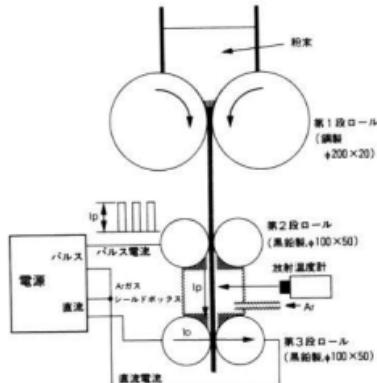


図1 実験装置の原理図

た成形板を第2、3ロールユニット間に挟み、ロールの回転を静止させた状態で、ロールユニット間にパルス電流（パルス幅30msec, On/Off=1/1）を通電して加熱した。この時のパルス電流の高さ（ I_p ）は200, 400, 600, 800Aの4種類を用いた。通電時間は第2、第3ロールユニット間の通過時間を考慮して3分間とした。通電中の成形体の温度は放射温度計で測定した。

次に酸化防止の効果を調べるために、シールドボックスを取り付けて同様の通電加熱実験を行った。Arガス（10~20 l/min）は通電3分前から通電が終わって試料が冷却されるまで流した。

*三菱重工業㈱広島研究所, **広島大学工学部大学院, ***広島大学工学部教授

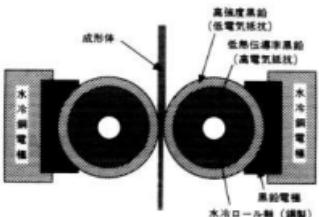


図2 第3段目に設置した新型通電ロールの構造図

大気中、Ar中で加熱された成形体は、外観、断面の金剛組織の観察、表面のX線回折、3点曲げ試験による機械的性質を調べた。

2.2 新型通電ロールによる焼結圧延実験

通電焼結後の成形体密度が低い原因として加熱された成形体を圧延する第3段目の通電ロールの温度が低いことが考えられた。最初に使用した通電ロールは高強度黒鉛で製作し、ロール温度を高めるために通電電流を増加させた。しかし、この場合、局部加熱による熱応力のためにロールが割れた。そこでロール材として低熱伝導率、高抵抗の黒鉛を使用して、加熱された成形体がロールで冷却され難くした。この場合成形体の温度は上がるが、黒鉛材が多孔質であるため、軟化した成形体が孔に入り込み、ロール表面にくっつくという問題が生じた。

以上の経験をもとに、図2のように2重構造の通電ロールを試作して焼結圧延実験を行った。このロールは、水冷のロール軸に接する部分に低熱伝導率、高電気抵抗の黒鉛を、外側の部分に高強度の黒鉛を使用した。これにより、ロール軸によりロールが冷却され難くなるとともに、電流はロール表面部分に優先的に流れ、表面温度の上昇が期待できる。さらに水冷鋼電極のロール接触部を黒鉛化し、黒鉛ロールの冷却防止につとめた。上記改良により、黒鉛ロール表面は加熱されやすくなり、表面の温度ムラも低下した。本ロールを用いて通電圧延実験を行った。圧延速度は1.5mm/sec、ロール荷重は第1ロールが約20KN(2ton)、第2が約1KN(100kgf)、第3が2KN(200kgf)であった。また、通電は第2、第3ロールユニット間にパルス電流(I_p)を、第3ロール対間に直流電流(I_d)を流した。

3 実験結果および考察

3.1 大気およびシールドボックス中の通電加熱実験の結果

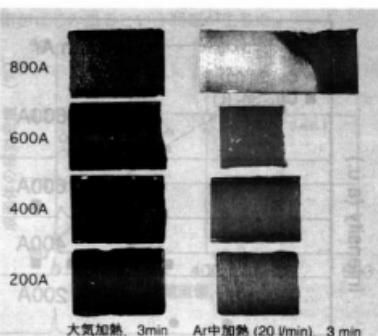


写真1 加熱雰囲気による成形体外観の違い

シールドボックスを取り付けた場合、窓ガラスのために放射温度計による温度測定は困難であったので、成形体の温度測定は大気中でのみおこなった。これによると通電開始後、成形体の温度は急激に上昇し、最高となった後に徐々に低下して一定の値に近づく。通電終了直前の成形体の温度は $I_p=200, 400, 600, 800A$ でそれぞれ約200, 400, 600, 800°C (473, 673, 873, 1073K)と通電電流の値にはほぼ比例した。通電初期に高い温度を示したのは、成形体の酸化による発熱の影響であると考えられる。

写真1に大気中およびAr中の加熱による試料の外観写真を示す。このように大気中では成形体表面が酸化して黒く変色した。しかし、Arガスでシールドすることにより、 $I_p=200A$ では表面が若干変色するものの、著しい黒変を起こすことなく無酸化に近い焼結体を得ることができた。 $I_p=400A$ および $600A$ では銅の粉末の色がみられ、 $I_p=800A$ では通電21秒後に成形体が溶け落ちた。このため、写真的金属光沢の見える部分は液相が出現した部分であると考えられる。

図3に通電加熱した成形体の表面のX線回折の結果を示す。これより、圧延したままの状態では現れていたSnのピークが、 $I_p=200A$ の加熱ですでに消失している。また、大気中での加熱では通電電流(I_p)の上昇とともに銅の酸化物ピークが強くなり、ほとんどはCu₂Oであることがわかる。これに対して、金属Cuのピークは I_p の増加とともに次第に低くなる。また、そのピーク位置は圧延したままの金属Cuのピーク位置とほとんど一致しており、Snと固溶体を形成することなく、そのままの状態で残っているCuが存在することがわかる。

一方Ar中で加熱した成形体表面のX線回折パターンにはCuの酸化物のピークは全くみられず、ほとんど無

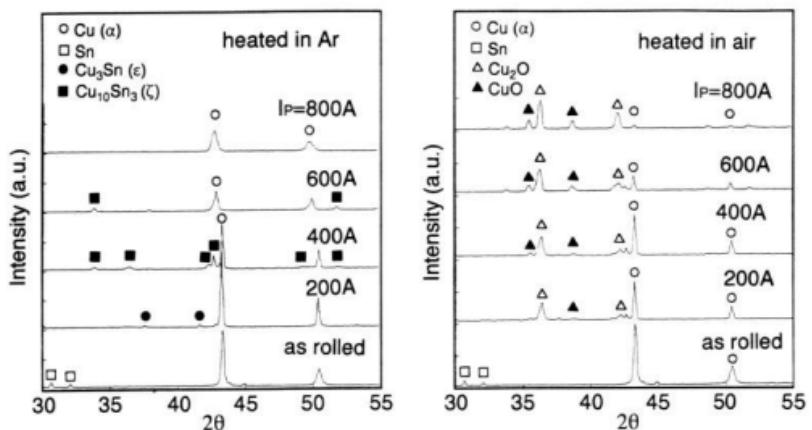


図3 通電加熱した成形体の表面のX線回折

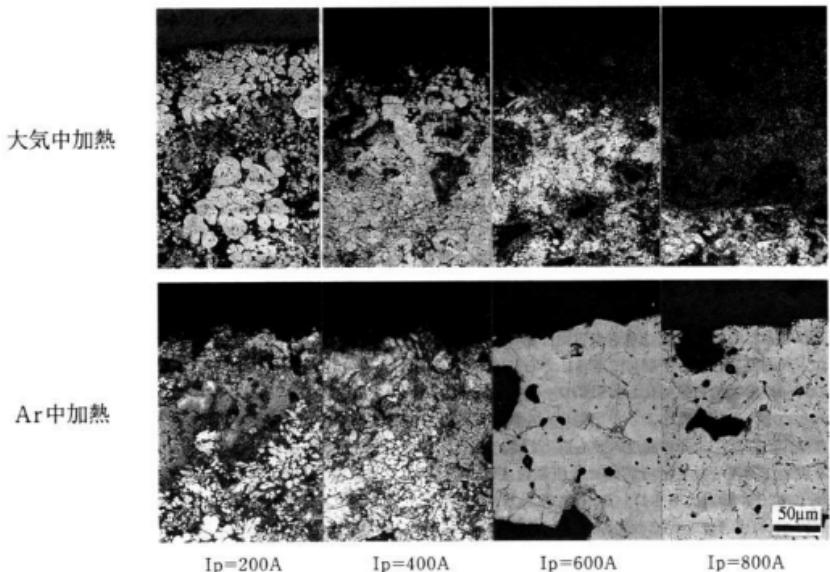


写真2 通電加熱した成形体の表面近くの顕微鏡組織

酸化の状態で加熱が行われたことがわかる。また、Cu のピークも、 $I_p=600\text{A}$ 以上で顕著な位置のずれを示す。

Cu 中への Sn の固溶化が進んだことがうかがえる。

写真2に通電加熱した成形体の表面近くの顕微鏡組

織写真
のは酸
厚みが
化物層
以下で
の電解
消失し
わかる
むしろ
を測定
まで増
度の向
たとこ

図4
(I_p) の
結晶の
たわみ
大気中
み量と
強度が
かった

3.2
本口
は容易
体も赤
成形体
に直流

電流 (I)
も85%
第2段
電の電
かしな

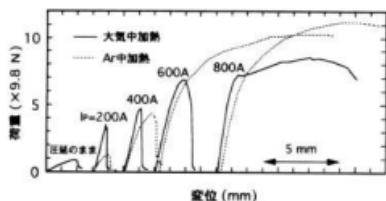


図4 通電加熱した成形体の三点曲げ試験における荷重一たわみ線図

織写真を示す。大気中での加熱で、表面に黒く見えるのは酸化物層で、通電電流(I_p)の増加とともに層の厚みが増大している。一方、Ar中の加熱では黒色の酸化物層は全くみられない。また、電流値(I_p)が400A以下ではSnは溶解しているものの、いずれの組織もCuの電解粉の樹枝状晶が見られる。元のCu粉末の形状が消失し、再結晶が進むのは I_p が600A以上であることがわかる。しかしながらその場合でも気孔は消失せず、むしろ大きな気孔が存在することがわかる。相対密度を測定した結果、Ar中、大気中のいずれも、 I_p を800Aまで増加させても、相対密度は70%以下で、顯著な密度の向上は認められなかった。これはSnの存在しているところが穴として残ったためであると考えられる¹⁾。

図4に成形体の曲げ試験の結果を示す。通電電流(I_p)の増加とともに強度(最大荷重)は増加し、再結晶の起こる $I_p=600A$ 以上の電流値では、破断までのたわみ量も大きくなる。また、Ar中で加熱したものは大気中の加熱試料に比べて最高荷重、その時のたわみ量とも大きな値を示し、酸化を防止することにより強度が向上し、かつ延性に富む材料ができることがわかった。

3.2 新型ロールを使用した圧延焼結実験結果

本ロールを使用することにより、ロール表面の温度は容易に上昇し、赤熱した。同時にロール出口の成形体も赤熱された。このように赤熱の状態までロールと成形体を加熱するためには、第3段目のロール対の間に直流(I_b)600Aを流す必要があった。

図5に成形体の密度と第3段目のロール対への通電電流(I_b)の関係を示す。 I_b の上昇とともに相対密度も85%近くまで上昇していることがわかる。ここで、第2段目、第3段目のロールユニット間でのパルス通電の電流値(I_p)には大きな影響を受けていない。しかしながら、 I_b を600Aまで高めると成形体の表面には

液相がにじみ出るという問題が生じた。

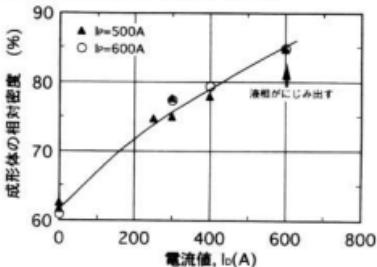


図5 成形体の相対密度と第三段目のロール対への通電電流(I_b)との関係

4 結 言

Cu-8 mass%Sn混合粉末を圧延成形、ロールユニット間でパルス通電加熱を行い、大気中の酸化状況を調べるとともに、Arガスによる酸化防止の効果を調べた。さらに第3段目に2重構造の特殊ロールを設置し、そのロール対間での通電、加圧成形により密度の上昇の効果を調べた。結果は以下の通りである。

- (1) 大気中の通電加熱実験では、成形体の表面が酸化し黒く変色した。
- (2) 酸化した表面には Cu_2O が多く認められた。
- (3) Arを流すことにより、通電加熱時に成形体の表面はほとんど酸化しなかった。
- (4) 酸化を防止することにより、CuとSnの合金化(固溶体化)は促進され、材料の延性が向上する。
- (5) 最終段(第3段)のロール対間での通電加圧成形では、ロールおよび成形体は赤熱し、成形体の相対密度は容易に85%近くまで向上した。

文 献

- 1) R.K.Dube : International Mat. Rev., 35 (1990), 253
- 2) 柳沢平、畠山東明、松木一弘：までりあ、33 (1994), 1489
- 3) 简本隆博、高谷英明、新田明、柳沢平：焼結制御による高機能新素材の開発、研究成果報告書、(財)広島県産業技術振興機構、(1996), 61
- 4) 渡辺：粉末冶金、技術書院、(1976), 69

微細加工に関する研究（第3報） マイクロセンサ開発のための基礎研究

繩稚典生、長尾 勝*、江刺正喜**

Preliminary Study for Developing Micro Sensor

NAWACHI Norio, NAGAO Masaru and ESASHI Masayoshi

A method of developing micro sensor was investigated. The sensor is a gyroscope, which has glass-silicon-glass structure made by bulk silicon micromachining and detects output signals from a capacitance change between the resonator and the electrode on the glass. The silicon structure is etched through by SF6 reactive ion etching(RIE).

The microstructure with perpendicular etching profiles were obtained. Therefore effects of RIE which is independent of orientation were recognized.

キーワード：微細加工、フォトリソグラフィ、エッティング、ジャイロ、マイクロマシン

1 緒 言

最近、シリコンマイクロマシニング技術を用いたセンサの開発が、多く見られるようになった。マイクロマシニング技術に代表される手法として、フォトファブリケーション技術が上げられる。この技術は大きく分けて、写真製版技術によるフォトリソグラフィ技術と不要部分の除去を行うエッティング技術から構成されている。この技術を用いることにより、従来製品の一層の小型化が実現できるほか、大量生産が可能であること、材料がシリコンであるため、集積化がしやすいなどのメリットも有する¹⁾。

そこで、一昨年度からマイクロマシニング技術に関する研究を始めている^{2), 3)}が、本報では、この技術を用いて、実際にセンサの作製を試み、センサを開発する上で必要な要素技術の研究を行うとともに、これまで行ってきたプロセス技術の見直しを行う。

2 作製したセンサの設計と構造

試作するセンサには、最近注目されているナビゲーションシステムや物体の姿勢を制御する目的で自動車に搭載されるなど、その応用が盛んな角速度センサ（ジャイロセンサ）を選定した。

ジャイロの動作原理には、「振動している物体に角速度が加わると運動方向と垂直にコリオリの力を生ずる。」という力学現象⁴⁾を利用している。

図1に示すように、いま、X軸方向に速度Vで振動する質量mの物体にZ軸を中心とする回転角速度Ωが作用すると、Y軸方向にコリオリ力Fcが生じる。

*トヨタ自動車株式会社 **東北大學 機械電子工学科

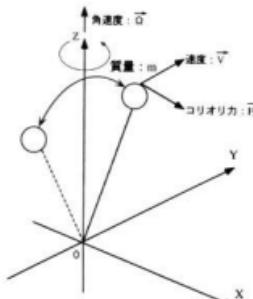


図1 ジャイロの原理

$$Fc = 2mV \times \Omega$$

この式より、m, Vが一定であれば、コリオリ力Fcを測定することにより、角速度Ωが求まることがわかる。

試作ジャイロの平面図及び断面図を図2に示す。構造体の外形寸法は、7×8mm、信号を取り出すための柱は、1mm角で、ゲッタ（活性ガスなどを化学的に吸着する材料）を入れるための空間が、1.2×2.4mm設けてある。また、構造体の最小寸法は、中心の支持部とおもり（振動子）をつなぐビーム部で、幅50μmである。

試作ジャイロは、中心の支持部でドーナツ形の振動子を支える構造になっている。この構造体に外部から回転振動を与えることにより、速度Vを生じさせ、この状態に角速度Ωが加わると、コリオリ力Fcが発生す

る仕組みである。

る仕組みである。この力は、駆動振動回転軸と角速度軸の各々に直角な軸周りの振動として励起される。この振動を静電容量変化として捉え、電圧に変換して出力することで、印加された角速度を検出する。

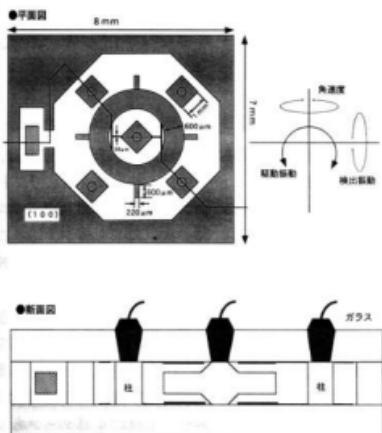


図2 容量検出型振動式ジャイロ

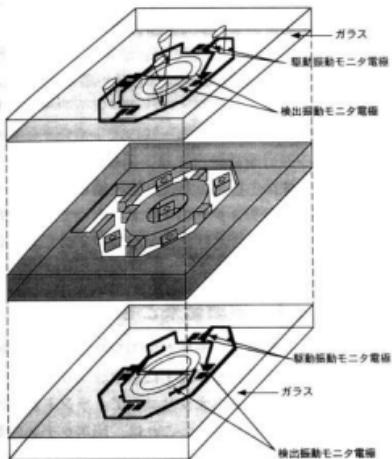


図3 振動式ジャイロの構造

図3に試作ジャイロの構造を示す。シリコンの構造体は、上、下ガラスで挟み、陽極接合により真空封止する。ガラスには、配線と電極が成膜してある。電極は、駆動振動をモニタする電極とコリオリ力を検出する電極に分かれしており、上部ガラスの穴あき部から各電極の信号を取り出す。

3 実験方法

3.1 試料

基板は、p形の面方位(100)、厚み190~200μmで両面研磨されたウェハを20×20mm角にカットしたものを使用した。試作ジャイロの寸法は、7×8mmであるため、カットした基板1枚に4パターン作製することとした。

3.2 プロセス

プロセスは、シリコン構造体を作製するプロセス(シリコンプロセス)とガラスに電極と配線を成膜するプロセス(ガラスプロセス)、そしてガラスとシリコンを接合し、センサを組み立てるプロセス(組立プロセス)に分かれる。

3.2.1 シリコンプロセス

シリコンプロセス図を図4に示す。プロセスは、Siエッチャリングを主体に考えると、(1)ギャップ作製(工程1~6)、(2)犠牲梁(ガラスとの接合まで取り出し部を振動子と一時的につなげておく梁)作製(工程7~11)、(3)Si貫通(工程12~16)の3つの部分に分けることができる。ギャップは、振動子を稼働させるために必要な隙間のことである。Siのエッチャリングには、(1)、(2)に、液薬(エッチャント)を用いたウェットエッチャリングを、(3)の打ち抜きに、誘導結合型プラズマ(IEC)による反応性イオンエッチャリング(RIE)を用いた。

以下、簡単にプロセスを説明する。

(1)ギャップ作製(工程1~6)

- ・Siエッチャリングのマスク材として、 SiO_2 膜を5000Å程度成膜する。

- ・ネガ型のレジストを用い、ギャップ作製のためのバーニングを行う。

- ・バッファードフッ酸($\text{HF} : \text{NH}_4\text{F} = 9 : 100\text{cc}$)により、 SiO_2 膜を除去する。

- ・25wt%水酸化テトラメチルアンモニウム(TMAH)を用いて、表裏からSiを5μmエッチャリングする。

- ・両面に成膜された SiO_2 膜を除去する。

(2)犠牲梁作製(工程7~11)

- ・前工程同様、 SiO_2 膜を5000Å程度成膜する。

- ・犠牲梁作製のためのバーニングを行う。

- ・バッファードフッ酸により、 SiO_2 膜を除去する。

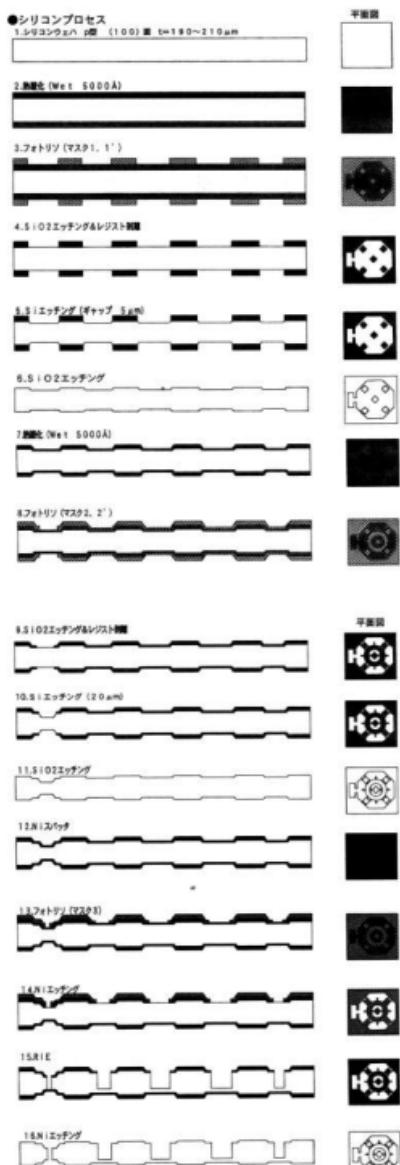


図4 プロセスチャート

・シリコンプロセス
1シリコンエレメント (100 nm) d=180~210 μm

平面図

5wt% TMAH水溶液を用いて、表裏からSiを20 μmエッチングする。

・両面に成膜されたSiO₂膜を除去する。

(3) Si貫通 (工程12~16)

・RIEのマスク材として、スパッタでNiを1 μm成膜する。

・Si貫通部の窓あけを行う。

・ICPRIEにより、Siを貫通エッチング (140~150 μm) する。

・両面に成膜されたNiを除去する。

3.2.2 ガラスプロセス

ガラスは、バイレックスを使用し、配線と電極は、上部、下部ともリフトオフ法により形成する。リフトオフ法とは、まず基板にレジストを塗布し、バーニングして金属を蒸着した後、レジストを剥がすことにより、直接基板と蒸着された部分だけを残す方法である。

上部は、成膜前に信号を取り出す穴をあけておく必要がある。そのための穴あけは、細かい砂粒をガラスに衝突させ、その衝撃でガラスに穴加工を行う装置(サンダblast)を使用する。1つのパターンには、5か所の穴あけが必要であり、1枚に4パターンあるため、ガラスには計20個の穴あけを行った。加工した穴は、上径約900 μm、下径約200 μmのテバ形状をしている。

配線材料には、できるだけ低抵抗な材料が適している。そのため、配線にはPtを使用する。しかし、Ptは、ガラスとの密着性が悪いことから、ガラスとPtの間にTiを挟んでいる。実際の工程では、まずTiを700 Å、その上にPtを300 Å、電子ビーム(EB)蒸着で成膜した。

3.2.3 組立プロセス

ガラスとシリコンの接合には、陽極接合を用いる。まず、下部ガラスを接合した後、犠性枠をYAGレーザによる支援エッチングで切り離す。そして、上部ガラスを接合した後、穴あけ部にAlをスパッタし、ワイヤを取り出して完成する。

4 実験結果と考察

RIEによる貫通エッチング後のシリコン構造体をSEMで観察した写真を写真1に示す。

写真から配線を取り出すシリコンアーランドが1か所欠落しているのがわかる。これは、Niエッチング後の洗浄で試料を引き上げる際に、表面張力により取れたものである。

このことから、微細な試料を取り扱う際には十分な



写真1 シリコン構造体のSEM写真

注意が必要であることがわかる。

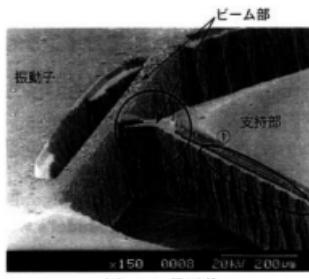
また、対策として、犠牲層を強固にするなどの工夫が考えられる。

観察では、部分的に、本来保護膜の役割をするNiを通り越して、必要なSiまでエッチングされている所が確認できた。また、同一基板上にある4パターンの内、貫通したパターンとそうでないものが存在した。この原因としては、通常、装置の性能（エッチング分布）が予測される。しかし、今回の場合、直前の工程でSiエッチングマスク材として使用したNiの成膜法に問題があり、そのため膜厚が不均一になったことにより、結果としてエッチングムラが生じたものと考えられる。

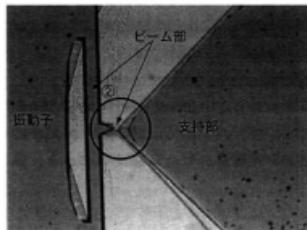
写真2(a)は、ビーム部（幅50 μm）のSEM写真である。RIEの異方性エッチングにより、振動子やビーム部の側壁が垂直であるのが確認できる。支持部の端面である、①の部分を見ると、波を打っているような形状をしている。これはSiをウェットエッチングした際の影響が残ったためと思われる。また、支持部と振動子をつなぐ②のビーム上に、一部欠けているところが見受けられる。これは、犠牲層製作のためのバーニング時にパターン欠落が生じた結果である。Siを20 μmエッチングした後に顕微鏡観察した写真を写真2(b)に示す。

5 結 言

マイクロマシニング技術を用いて、振動式ジャイロの作製を試み、マイクロセンサ開発のための基礎研究



(a) Si貫通後



(b) Siエッチング(20 μm)後

写真2 ビーム部の顕微鏡写真

を行った。その結果、時間的制約により一部プロセスが残り、センサの評価まではできなかったが、垂直な壁や円形をしたシリコン構造体を作製できたことから、Siの結晶方位によらないRIEの有効性が確認でき、また、センサー連のプロセスを経験することで、各工程のノウハウを学ぶことができた。

文 献

- 1) 前中：シリコンジャイロの現状、電気学会論文誌E, 116,(1996), 4
- 2) 繩雅、村河他：広島県西部工技研究報告、No.38,(1995), 21
- 3) 繩雅、村河他：広島県西部工技研究報告、No.39,(1996), 80
- 4) 佐藤：振動ジャイロ技術とその応用及び今後の動向、(1986)

光造形モデルの収縮と変形

門 格史, 原 信彦, 新田 明, 濑川英治*, 吉村一彦**, 保本典宏***

Study on Intelligence of Material Processing(2nd Report)
Study on the Model's Warp and Contracton in Stereolithography

KADO Tadashi, HARA Nobuhiko, NITTA Akira, SEGAWA Eiji, YOSHIMURA Kazuhiko and YASUMOTO Norihiro

Made a precious model in Stereo Lithography, as a result of seeing resin's contraction and warp and offset and the position error of laserbeam

The following results were obtained

- (1) It is impossible to offset laserbeam 0.16 or 0.18mm in order to make a precious model.
- (2) It is necessary to used scaling by model size in order to make a precious model.

キーワード：光造形、ビーム径オフセット、スケーリング

1 緒 言

現在、光造形技術は、製品開発等において利用され始めている。

しかし、光造形技術はランニングコストが高いため、量産製品には向きでない、付加価値の高いもの（1品もの）への利用が望まれる。従って、1回の試作で完成できるものが必要とされている。

しかしながら、光造形に使用する紫外線硬化樹脂の収縮や変形等を皆無にすることは不可能である。

また、紫外線硬化樹脂を固める方法においては、レーザのビーム径オフセット及び位置誤差等の問題も生じてくる。

そこで、本実験は、紫外線硬化樹脂の収縮・変形及びレーザのビーム径オフセット及び位置誤差を予測し、モデルの試作回数を極力減らす手法を構築する。

2 実 験 方 法

2.1 光造形技術の基本的原理

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

2.2 光造形の工程

光造形の工程は、まず2.1に示したことを行なう（3次元データの作成、スライスデータの作成、光造形）、そ

の後光造形モデルの支えているサポートの除去を行い、モデルの洗浄を行う。

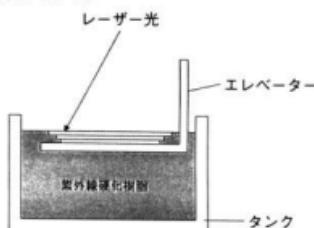


図1 光造形技術の基本的原理

そして、レーザでの成形では光造形モデルの全ての樹脂が固まらないので、モデルの樹脂を全て固めるため、ポストキュア（2次硬化）を行う。

その工程を図2に示す。

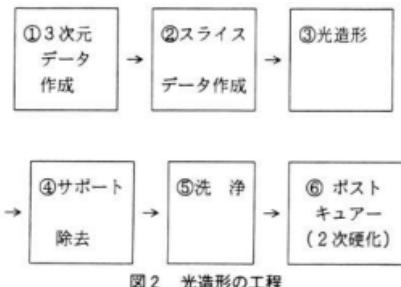


図2 光造形の工程

*広島県立宮島工業高等学校, **(株)渋谷製作所, *** (株)モルテン美土里

2.3 光造形装置

今回実験で使用した光造形装置は、表1、写真1のとおりである。

表1 光造形装置の仕様

装置名	SLA-500/30
メーカー名	3Dsystems
レーザ径	0.26mm
レーザー光源	Arレーザー 波長351nm
レーザ走査方式	ガルバノミラー
最大ワークサイズ	500(X) x 500(Y) x 580(Z)
樹脂の種類	エポキシ

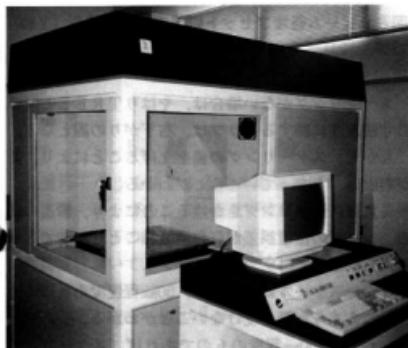


写真1 光造形装置の外観

3 実験条件

3.1 光造形モデルの誤差要因について

光造形モデルを造形する際には、様々な誤差の要因がある¹⁾。

その誤差要因を以下に示す

- ① CADデータ (STLデータの近似誤差、スライス誤差)
- ② レーザ走査 (ビーム径オフセット、位置誤差)

③ 光硬化 (反り、収縮)

④ 後処理、ポストキュア

これら様々な要因が、光造形モデルの寸法精度に関係してくる。

そこで本研究は、光造形モデルの寸法精度に影響している、紫外線樹脂の硬化時の収縮・変形及びレーザのビーム径オフセット、レーザの位置誤差について検討する。

3.2 実験モデル

光造形モデルの誤差の要因である硬化時の紫外線硬化樹脂の収縮・変形、レーザのビーム径オフセット、位置誤差について検討を行うため、モデル1 (TREE), モデル2 (リング) を用いて、実験を行った。

モデル1 (TREE), を図3に、モデル2 (リング) を図4に示す

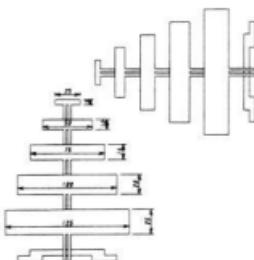


図3 モデル1 (TREE)

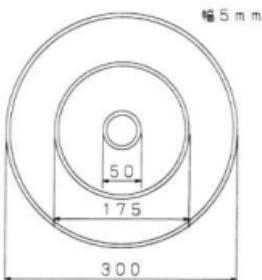


図4 モデル2 (リング)

3.3 実験条件

3.3.1 モデル1 (TREE) について

この実験において、ビーム径オフセットの最適条件とモデルサイズによる誤差について検討を行った。

実験条件を表2に示す。

表2 モデル1の実験条件

ビーム径オフセット	なし, 0.14, 0.16, 0.18, 0.19, 0.20 mm
-----------	-------------------------------------

3.3.2 モデル2 (リング) について

この実験において、主にモデルサイズによる誤差について実験を行う。

レーザの位置誤差及び樹脂の収縮による誤差をスケーリングをかけることにより打ち消し、より高精度モデルを造形する方法についての検討を行った。

実験条件を表3に示す。

表3 モデル2の実験条件

ビーム径オフセット	0.16, 0.18 mm
スケーリング	スケールなし, 1.0005 1.0010, 1.0015

4 実験結果と考察

4.1 モデル1 (TREE) について

TREEをX軸及びY軸に関して測定した結果を図5, 図6に示す。

まず、ビーム径オフセットをかけない場合、多少の誤差はあるが、ビーム径が大きくなることがわかる。

また、グラフ全体に注目してみると、当然の結果であるが、ビーム径オフセット値が、大きくなる毎に測定値が小さくなることがわかる。

この結果、ビーム径オフセット0.16, 0.18mmが設計値に近いことがわかる。

また、X軸及びY軸に関して、寸法誤差に関するグラフは少し右下がりの線になっている。

これは、モデルサイズによって樹脂の収縮の違い、もしくは、レーザの位置誤差が原因と考えられる。

これらのことにより、モデル2で検討を行う。

4.2 モデル2 (リング) について

リングを測定した結果を図7に示す。

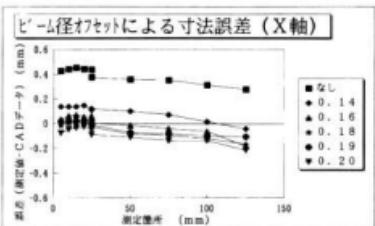


図5 ビーム径オフセットに関する寸法誤差 (X軸)

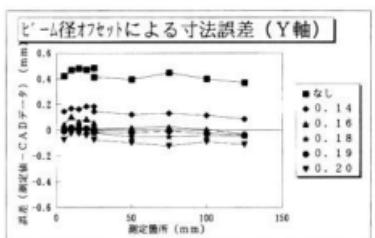


図6 ビーム径オフセットに関する寸法誤差 (Y軸)

スケーリングがない場合は、やはりTREEと同様に寸法誤差に関するグラフは、右下がりの線となる。

しかし、スケーリングの値を上げることにより、表が右上がりとなっていくことがわかる。

これはスケーリングをかけることにより、樹脂の収縮、レーザの位置誤差が打ち消されることを意味すると考えられる。

また、スケールに関しては、50mm程度であればスケールにあまり影響を受けないことがわかる。

しかし、300mm程度のものであれば、スケーリングがかなり影響を及ぼすことがわかる。

この結果より、50mm程度のものは、ビーム径オフセット0.16, 0.18mmのスケーリングなし、300mm程度のものであれば0.16, 0.18mmのスケーリングなししか、もしくは、0.18mmの1.0005程度のスケーリングをかけることが良いと考えられる。

これらより、モデルのサイズにより変形量が多少違うことが分かる。

のことより高精度なモデルを造形しようとする場合、モデルサイズによりビーム径オフセット及びスケーリングを変える必要性があることが分かった。

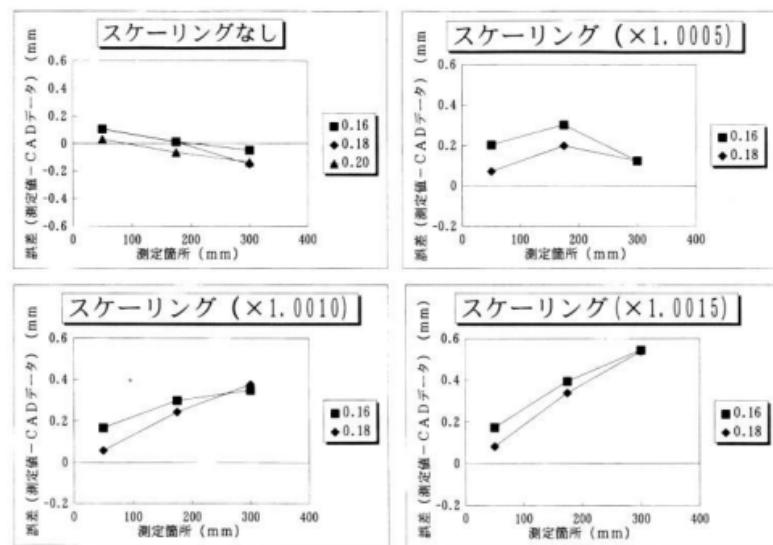


表7 リングのスケーリングにおける誤差
(スケーリングなし, 1.0005, 1.0010, 1.0015)

5 結 論

光造形モデルを造形する際の紫外線硬化樹脂の収縮・変形、レーザのビーム径及び位置誤差に関する実験を行い、以下の結果を得た。

(1)本装置において、モデルの精度を出す場合は、レーザのビーム径オフセットを0.16または0.18mmに設定することが望ましい。

(2)高精度モデルを造形する場合、レーザの位置誤差、樹脂の収縮等があるため、モデルサイズにより、スケーリングが必要である。

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一、工業調査会 (1996), 45~64

海底クリーンシステムの開発（第10報）

海域汚染物質のモニタリング装置の開発（第2報）

斯波信雄、渡部英雄、倉本恵治、伊藤幸一、藤本宗之、吉川 恵*

Development of Monitoring Apparatus that Monitors of the Sea Pollution (2nd Report)

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

The automatic pre-treatment apparatus was developed to decompose the seawater. That apparatus decomposed nitrogen and phosphorus in seawater and it is used by an automatic analysis apparatus of FIA method.

The automatic pre-treatment apparatus was composed of pump up division, heating decomposition division, filtration division and control division.

The apparatus have two water suction opening (5m, 10m) and filter which is established before the decomposition apparatus, its filter could remove a larger object than the noctiluca from seawater.

Heating decomposition needed 15 minutes for decompose the nitrogen and phosphorus in seawater and the decomposition rate of it was equal used to autoclave which is JIS standard method.

キーワード：モニター、前処理、海、海域、汚染、加熱分解、窒素、リン

1 緒 言

瀬戸内海は、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くなる。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死をもたらすこととなる。このため、海域の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のモニタリングシステムを開発する。この研究は平成7年からの継続研究である。

今年度は、海域環境の富栄養化の指標元素である窒素及びリンを加熱分解して、自動分析器で直に分析試料として使えるサンプルを提供できる自動前処理装置を開発したので報告する。

2 装 置 の 概 要

自動前処理装置として、次のような機能を持たせることとして各部の設計を行った。

- 1) 硝素とリンの前処理(加熱分解)を行う。
- 2) 分解対象物は1mm以下の大きさの浮遊物質とする。
- 3) 海水の汲み上げは自動で行う。
- 4) 海域の深い部分と浅い部分の海水を取水する。
- 5) フィルターの目詰まりを自動で回復する。

*ラボテック株式会社

6) 前処理スケジュールを簡単にセットできる。

7) 単独で動作できるとともに自動分析装置と連動で動作できる。

8) 連続して5日以上無人で動作できる。

9) 装置はできる限り小型軽量とする。

以上のような機能および仕様を満足させるためには、海水の汲み上げ用のポンプおよび汲み上げた海水を加熱分解するための加熱器を持ち、全体をコンピューター等で制御する必要がある。そこで、開発する装置の基本的なフロー図を図1に示す。

2.1 各部の設計

図1に示すように装置としては揚水部、送液部、加熱分解部、ろ過部、中継部、制御部に分けられるが、自動分析装置との関係から各部で使用する部品の能力や仕様がある程度制限されるため、そのあたりの仕様から設計を進めた。

2.2 バッファ容量について

この自動前処理装置の加熱分解試料は、FIA方式の自動分析装置で分析することを想定しており、分解試料の量もFIA方式の自動分析装置が必要な程度の試料があればよいことになる。FIA装置は、内径1mm前後のテフロンチューブで試料を吸い込み、チューブの中を試料が流れている途中で反応試薬や発色試薬を混入させて加熱し、反応を促進させて、反応が進んだ段階で吸光光度計等の検出器で測定対象元素の濃度

を定期的に測定する。

また、この装置についての詳細な説明は、別途報告する。

物質の性質や、海水の状況など、実際の運用における問題点についても、別途報告する。

動植物の生態、夜間の活動など、生態系に関する調査結果についても、別途報告する。

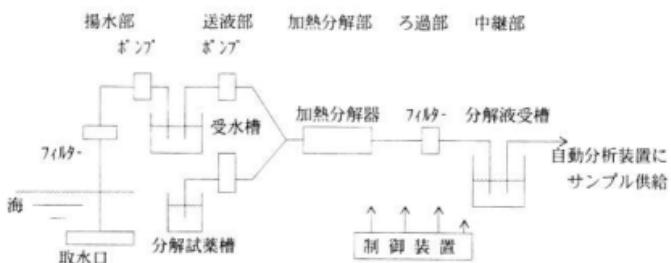


図1 自動前処理装置基本フロー

を定量する方法である。従って、測定に必要な試料は少量で十分であり、また、試料が少量で済むことがFIA法の特徴でもある。FIA方式で測定する場合、測定時間は、測定対象元素にもよるが、3分間前後と見積もっておけば大きな違いはない。また、テフロンチューブの中を流す液の流量は、だいたい $1\text{mL}/\text{分}$ で、液を送るためのポンプはブランジャーポンプやチューピングポンプが一般的に使われている。送液流量を $0.4\text{mL}/\text{分}$ と仮定すると、1試料を分析するのに必要な試料は、約 1.2mL になる。

$$0.4(\text{mL}/\text{分}) \times 3\text{分} = 1.2\text{mL}$$

また、図1の分解液受槽の容量をどの程度にするかについては、1~2回の分析に必要な程度の容量があれば十分と考えられる。一方、受槽に用いる市販の容器としては、 5mL 、 10mL があり、前処理装置とモニタリング装置の間に設置するバッファである分解液受槽の容量は 5mL とした。

2.3 加熱分解について

2.3.1 加熱分解対象について

海水中の窒素やリンを測定する場合、海水中の浮遊物質の取り扱いをどのように考えるかが問題となる。海水中の浮遊物質としては、プランクトンや海草の切れ端、藻類等が考えられる。これらの小さな浮遊物質にも測定対象元素である窒素やリンが含まれており、

これらを含めた状態で加熱分解をする必要がある。そのためには、加熱分解器までの配管、ろ過装置のフィルターの孔径をこれら浮遊物質が通過できる大きさにする必要がある。そこで、海水の取水口の孔経を 5mm 、サンプリングポンプの前に設けるフィルターの孔径を 2mm とし、加熱分解器までの配管は、FIA装置としては太めの、内径 3mm のテフロンチューブを用いることとした。

2.3.2 加熱分解器について

加熱分解器は、前処理装置のなかの中心になる装置で、加熱分解がうまくできるか否かが、測定値の精度や再現性に影響を及ぼすことになる。

測定対象元素である窒素及びリンは、JISに定められた公定法によると、海水と分解試薬を混合した状態でオートクレーブ（高圧蒸気滅菌器）中に入れ、 120°C 、30分間加熱分解することになっている。

オートクレーブを使用する場合は、バッチ式となるため、FIAでは加熱分解器の中にテフロンチューブをコイル状に巻き、その中を海水と分解試薬を混合した状態で通し、連続的に加熱分解を行う方法が用いられている。その場合、分解がどこまで進むかは、使用する分解試薬の種類や濃度、加熱温度、コイルの長さ等が影響する。

本水ら¹¹によると、チューブ径 0.5mm 、長さ 5m 、流量 $0.4\text{mL}/\text{分}$ で、温度を変えて全リンの分解率を調べた報告¹¹があるが、それによると分解温度 150°C では 100% 分解している。これらの条件で加熱分解器内に滞留している時間を試算してみると、約3分間程度になり、その間に分解が行われることになる。今回の加熱分解器内にセットするテフロンチューブの内径は、浮遊物質が詰まらない程度の大きさであることが必要であり、配管の内径が 3mm のテフロンチューブを用いることとしたため、管径が大きい分、熱の伝達が悪

表1 海水中のプランクトンの例

種類	直 径
動物プランクトン	$0.01\text{mm} = 0.1\text{mm}$
植物プランクトン	$0.01\text{mm} = 0.1\text{mm}$
夜光虫	約 1mm

なることから、加熱分解器内の通過時間は前述の報告の3分間より長くする必要があり、便宜的に5分とし、反応コイルの長さは4mとした。

2.3.3 送液ポンプについて

加熱分解時間を5分間として、送液ポンプの流量を選ぶこととした。送液ポンプは、高圧で送液できる、流量の微調整が可能でしかも流量も長時間安定している等の理由からプランジャーポンプが良く用いられているのが高価である。従来しごきポンプは安価であるが流量の変更が難しいとか長時間の安定性が不安である等の理由から敬遠されてきたが、最近ではこれらの点も特に心配する必要がなくなったとも言われており、ここでは安価なことから送液ポンプにギヤBOXタイプのしごきポンプを使用することとした。ポンプの流量は加熱分解器の通過時間と、加熱コイル内の容量から決まるが、市販の標準品の中から選ぶこととして、送液ポンプとしては4.8ml/min、分解試薬の送液ポンプとしては1.3ml/minのポンプを使用することとした。

2.4 取水深さと揚水部ポンプ

揚水部は、海水を所定の深さから汲み上げて、受水槽に貯めるまでの部分である。海域環境をモニタリングする際、どの深さの海水を取水すればよいかはいろいろと意見が分かれると考えられる。赤潮は海面に発生し、青潮は海底に貧酸素水塊ができるにより生じることはよく知られている。しかし、海域環境の異常をどちらの深さの海水が早く知らてくれるかの検討は、モニタリング装置を用いて今後検討することとし、とりあえず海底付近と中間層付近の海水をサンプリングするという意味で、10mと5mの2か所から取水できるようにした。

2.5 受水槽の容量とポンプ能力

取水口とポンプの間には大きなゴミや浮遊物質を取り除くためのフィルターが必要である。このフィルターは使用条件にもよるが、使用中に目詰まりを起こすと予想され、その対策が必要である。そこで、目詰まり対策として、受水槽にある海水を用いて逆洗することとした。また、揚水部に使用するチューブの径は、液送部のチューブ径の2倍にすることとし、受水槽に2Lのポリタンクを使用することとした。揚水に用いるポンプは、揚水にかかる時間を節約する意味でも能力に余裕のあるものが望ましいが、他のポンプと同じ仕様のポンプの中から流量の大きなものを選び、380ml/minのポンプを使用することとした。

・分解試薬槽について

分解試薬槽の容量は、どの程度の時間無人で運転するかによるが、送液流量から計算して5日間連続運転

するのに約10㍑の分解試薬が必要となる。

・ろ過部とろ過部のバッファについて

加熱分解器を出た直後の試料の状態を調べたり、ろ過部でトラブルが発生したときに対処しやすいように、加熱分解器とろ過部との間に緩衝部を設けた方が良いと考えられるが、加熱分解器の温度を100℃以上で使用しようとすると、反応コイル内に気泡が発生することになり、不都合が発生することが予想される。最初の計画ではバッファを設ける計画であったが、最終的にはバッファは設けず、加熱分解器からろ過部に直結させ、ろ過部の前に背圧調整弁を設けた。この背圧調整弁は、混合液を100℃以上に加熱しても沸騰しないように、反応コイル内の圧力を上げるために使用する。

ろ過部のフィルター径は0.45μmとし、フィルターでろ過された分解液は試料受槽に蓄えられ、分析装置に引き継がれることになる。

2.6 制御部

自動前処理装置の機能としては、窒素とリンの加熱分解を行なうための制御ばかりでなく、無人で長期間稼働するために必要な機能が要求される。たとえば、取水深さの選択、窒素、リンの選択、揚水部及びろ過部の逆洗のタイミングの指定等である。制御フローを図2に示す。

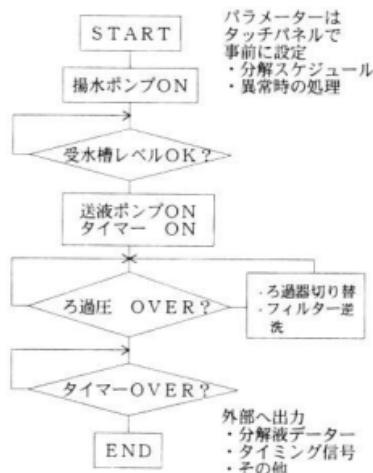


図2 制御フロー

自動分解装置を使用する場合、これらのパラメーターの変更や登録を操作しやすい形で実現する必要があるため、データーの入力や表示にタッチパネルを使用することとした。

3 実験結果と考察

装置を試作し、加熱分解実験を実施した。試作した装置を写真1に示す。



写真1 自動分析装置

加熱分解部の温度を70℃から150℃まで変えてリンの加熱分解を行った結果を図3に示す。

試料はアデノシン-5'-リン酸の5 ppm溶液を調整して、背圧1.3kg/cm²で、加熱分解した結果である。オートクレーブで試料を分解したときの分解率を100%とし、各温度の分解率を示した。温度が110℃以上で、ほぼ100%の分解率が得られた。

窒素の加熱分解を行った結果を図4に示す。窒素の試料は、チオ尿素の窒素分が30ppmになるように試料を調整して、リンの場合と同様背圧1.3kg/cm²で加熱分解した結果である。リンの場合より分解が進まず、100℃以下では分解率が0という結果となった。110℃から、分解が確認でき、140℃以上ではほぼ分解が完了した。

加熱分解器の温度を100℃以上に上げるために、分

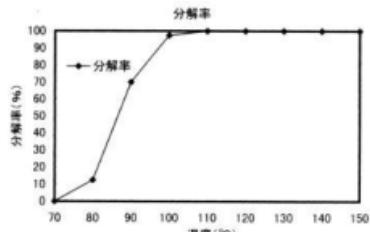


図3 リンの加熱分解

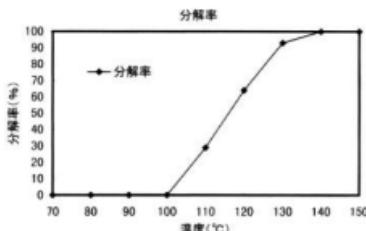


図4 窒素の加熱分解

解液受槽の前に背圧弁を設けて加熱分解器内の圧力を上げることができる構造としたため、100℃以上でも反応コイル内の液が沸騰することなく加熱分解を行うことができた。

海水の汲み上げから、分解試料ができるまで、大ざっぱに見積もって20~30分かかることになるが、JISで規定されているオートクレーブと同程度の分解能力を持つことを確認した。

4 結 言

海水中の窒素、リンを長期間無人で測定できる自動前処理装置を開発した。自動前処理装置は、海水の汲み上げから、試料中の浮遊物質のろ過、試料と分解試薬を混合した状態での加熱分解、フィルターの逆洗までを自動で処理ができる。この加熱分解器は150℃までの加熱が可能で、窒素は140℃、リンは100℃以上で、JISで規定されているオートクレーブ使用と同程度の分解処理が可能である。ただ、試料採取から分解試料が試料供給用受槽にセットされるまでに20~30分程度の時間を要した。

以上をまとめると次のようになる。

- 1) 150℃までの加熱分解が可能な、窒素とリンの自動前処理装置を開発した。
- 2) 加熱分解器のリンは100℃、窒素は140℃ではほぼ100%分解した。

なお、本研究は、平成6年度中国技術振興センター産学R&Dグループ研究の一つである、岡山大学理学部 木水教授を担当教授とする委託研究「廃水、海水中の窒素、リンの自動計測技術及び装置の開発」での研究成果¹⁾をもとに、研究会のメンバーと共同研究を行ったものである。

文 献

- 1) 木水昌二、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の淡水化（第1報）

透過気化ミニプラントの試作

斯波信雄、倉本恵治、丸下清志、伊藤幸一、藤本宗之、渡部英雄

Development of Mini Plant getting the fresh water with Permeation Evaporation.

SHIBA Nobuo, KURAMOTO Yoshiharu, MARUSHITA Kiyoshi,
ITO Kochi, FUJIMOTO Muneyuki and WATANABE Hideo

Membrane performance of fresh water was measured by an experimental permeation evaporation apparatus. The result, an permeation evaporation membrane of A company was selected, and mini-Plant was made by its membrane. The membrane was made by looseness PTFE membranes and struck a non-woven membrane efficiency and stability of getting fresh water was good and also its handling performance was good.

Fresh water was collected by a mini-plant, and boron and bromine that is a harmful material were removed from the water.

Dissolved A heavy oil into seawater, and crude oil could not be removed completely with flocculant(FeCl_3).
キーワード：海水、淡水化、透過気化、多孔質PTFE膜

1 緒 言

都市用水を始め水使用量の増加にともない、水資源の制約条件が厳しくなっている。特に瀬戸内沿岸海域のように降雨量の少ない地域では、気候の変動に伴う降雨量の減少は直ちに制限給水につながるなど、その影響は深刻である。水資源の制約条件に対応する技術としては海水の淡水化が採用されつつあるが、赤潮による有機汚濁や、油汚染等によって悪化した海水を使用しなければならず、また人体に有害な臭素酸塩やホウ素についての処理効率が低いことが明らかになり、海水淡水化技術の限界が指摘されている。そこで、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指し、従来の淡水化技術では十分に除去できなかった油濁による揮発性有機炭素の除去および有害物質であるホウ素、臭素の除去について、透過気化法を用いた海水淡水化の研究を行う。

今回は透過気化ミニプラントを試作し、ミニプラントでのホウ素、臭素の除去について検討した。また一部油濁海水中の油分の除去についても検討したのでその結果を報告する。

2 実験方法

透過気化法には拡散ギャップ式¹⁾がよく知られているが、本研究では造水条件の検討に適した冷却部分離方式を採用した。実験としては、透過気化実験装置を

用いた造水実験、ミニプラントの試作と造水実験および次年度の研究テーマである油濁海水からの油分除去実験の一環である。

2.1 透過気化実験装置

透過気化実験装置の概要を図1に示す。この装置は平膜を用いた透過気化実験を行うための装置で、試料の加熱温度、透過蒸気の冷却温度および2次側圧力を可変することができる。実験は、試料容器内に入れた試料を加熱して実験するため、バッチ式の実験を行うことになる。

以下に装置の主な仕様を示す。

セル形式：バッチ攪拌型セル

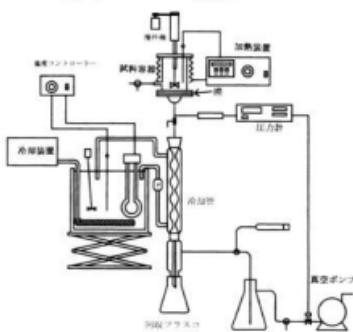


図1 淡水化実験装置

セル容器 : 400mL
 使用膜 : 平膜 28.26 cm²
 運転温度 : 常温~110°C
 運転圧力 : フィード側 max.0.5MPa
 二次真空度 max.66.7Pa
 二次側冷却温度 : 常温~-40°C.

2.2 透過気化ミニプラント

2.1に示した透過気化膜を用いて、透過気化ミニプラントを試作した。試作したミニプラントは、小型化するため平膜を何枚も重ねた膜モジュールの形に成形して使用した。また、造水方式は連続式とした。

試作したミニプラントのフロー図を図2に、外観を写真1に示す。

海水は図2の原水タンクに蓄えられており、ポンプで熱交換機により所定温度に加熱されて真空容器内に送られる。真空容器内には膜モジュールがセットされており、透過気化膜を通して蒸気はコンデンサー部で冷却されて淡水が回収される。一方、透過気化膜を透過しなかった海水は原水タンクに戻されるが、加熱されて温められているため、海水の予熱にも使用して熱の有効利用が図られている。膜を通して淡水として回収される量は、膜モジュールに供給された海水の1%未満と予想され、戻りの海水を原水タンクに戻しても長時間の実験を行わない限り海水の塩分濃度の影響は考えにくいが、必要な場合は別のタンクに入れることも可能である。

ミニプラントの主な機器仕様を以下に示す。

フィードポンプ : 400mL/min., 0.5MPa
 ヒーティングユニット : 1 kW, 200°C
 真空ポンプ : 排気速度 60 ℓ/min.
 到達真空度 6.67Pa
 予熱器 : 伝熱面積 0.283m²
 コンデンサー : 伝熱面積 0.18m²
 真空容器 : φ 450 x 270mm H
 膜モジュール : 0.5m²

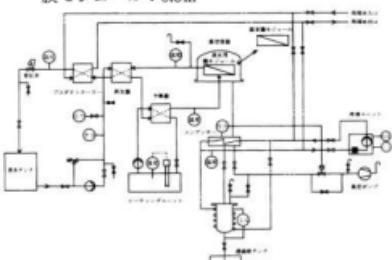


図2 ミニプラントフロー図



写真1 透過気化ミニプラント

2.3 模擬油濁海水

模擬油濁海水として、海水中に油を分散させた海水を作成した。海水をあらかじめ0.4μmのガラス纖維ろ紙でろ過し、A重油、原油、A重油残存分（ウエザリング海水上部に残存する油層分）を10ppm程度になるように添加した。その後、マグネチックスターラーで10分間攪拌した後、超音波60Wで約5分間分散させた。これらの操作を行うことにより、ほぼ均一に分散した模擬油濁海水が得られた。また油濁海水中の油分濃度は、海水より四塩化炭素で油分を抽出後、油分濃度計を用い分析した。なおこの装置の標準液はJIS-K0101に示されているO C B標準液を用いた。

海水中の油分の除去として、模擬油濁海水中に塩化鉄を凝集剤として加え、ジャーテスター（pH 7に調整）でフロックを形成させ、その後全量をろ過し、海水中の油分を測定した。油分の測定は上記油分濃度計を用いた。

3 実験結果と考察

3.1 透過気化実験装置の場合

実験は、入手できた4種類の透過気化膜について実験条件を変えながら実験を行った。透過気化膜と実験条件を以下に示す。

透過気化膜の種類

- (1) A社多孔質PTFE膜
- (2)(1)に不織布を裏打ちした膜
- (3)(2)に耐久性を付けるためのコーティングを施した膜
- (4) B社不織布を裏打ちした多孔質PTFE膜

実験条件

温度 : 60, 70, 80°C
2次側圧力 : 40.80kPa

実験結果を図3, 図4に示す。

実験結果は、造水量を膜面積1m²当たり1時間に回収された量に換算して比較することとした。実験装置の有効膜面積は28.26cm²である。

図3は真空度が80kPaの場合の結果である（膜の2次側圧力を真空度と呼ぶこととし、図中にも真空度と記した）。A社のコーティングタイプ膜（不織布付き多孔質PTFE膜）のことを不織布タイプ膜、不織布タイプにコーティング処理してあるものをコーティングタイプ膜と呼ぶことにする。以下同じ）については、検討した範囲内では造水がほとんど得られなかつた。その他の3枚の膜については、温度が60°C, 70°Cでは造水量が少なく、80°Cになると急激に増加した。ただB社不織布タイプ膜では増加の程度が少ない結果となった。造水効率は膜厚に影響されると予想される。A社の膜は膜厚は同じだが、B社の膜の膜厚は不明であり、膜厚の影響ではないかと考えられる。

図4は、真空度40kPaの場合の結果で、コーティング膜も僅かの造水が回収できた。他の3枚の膜の造水量はほぼ同じで差がなかったため、便宜上図にはA社不織布タイプ膜の結果のみ表示した。

海水の加熱温度が同じでも、真空度が低い（80kPa）と回収水量も少ない結果となった。この結果は蒸気圧の影響と考えられる。温度が60°Cの場合の水の蒸気圧は約20kPaで、80°Cでは約47kPaであり、温度が高いとあまり真空にしなくても造水量が多かったものと考えられる。図からみると、加熱温度をもって上げれば造水量が上がると考えられるが、ミニプラントで使う膜の選定が目的であり、また多孔質PTFE膜と不織布の接着に使用している接着剤の関係から、80°C以上に温度を上げることが困難であり、温度の上限は80°Cとしている。いずれにしても海水の加熱温度を80°C程度に上げることにより1時間、1m²当たり15ℓ程度の造水が期待できる。

実験結果から、造水量が大きく、回収水量が安定し、しかも操作性の良いA社の不織布膜を用いて透過気化ミニプラントの膜モジュールを試作した。

3.2 ミニプラントの場合

ミニプラントは、2.2でも述べたように連続式である。従って造水量は膜面積や試料の加熱温度、真空度以外に、加熱された海水の膜モジュールへの供給流量にも影響される。そこで供給水量を一定にして温度や真空度を変えて造水実験を行った。実験条件は以下の通り。

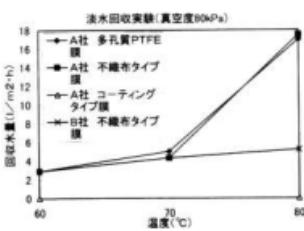


図3 淡水回収実験（真空度80kPa）

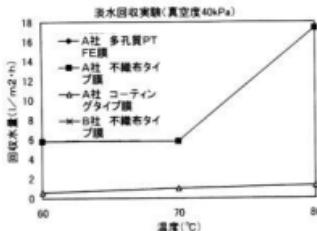


図4 淡水回収実験（真空度40kPa）

温度 : 60, 70, 80°C

2次側圧力 : 2.67, 26.7, 53.3kPa

供給流量 : 10, 15, 20 ℓ/h

実験結果を図5、図6に示す。図5は透過気化膜モジュールに供給する海水の流量を10ℓ/h、図6は15ℓ/hに設定し、温度、真空度を変えて実験した結果である。

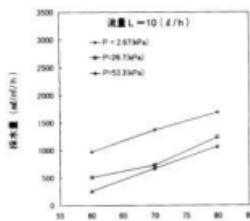


図5 ミニプラントの回収水量（流量10ℓ/h）

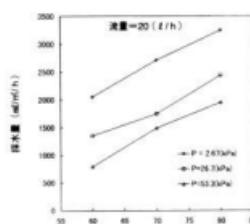


図6 ミニプラントの回収水量（流量20ℓ/h）

流量が一定の場合、温度が高い程、真空度が高い程造水量が上昇する。また、造水量を増やそうとすると、温度を上げても良いが、膜モジュールへの海水の供給量を上げても、造水量を増すことが可能であることがわかる。ただ、透過気化実験装置の回収水量や他の報告と²⁾比較すると回収水量が少なく、効率向上のための改良が必要である。

回収した造水の水質試験を行った結果を表1に示す。表に示すように、電気伝導度も非常に低く、ホウ素や臭素も良く除去されており、水道法に基づく水質基準を十分達成できる造水を得ることが確認できた。

表1 造水の水質試験

分析項目	測定値
pH	6.3
電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1.8
B r (mg/l)	0.04
B (mg/l)	< 0.01

3.3 油濁海水の処理

油濁海水の前処理技術については次回に行なうが、今回は予備実験を行なった。実験条件は以下の通りである。

海水：広島県安浦港から採水した天然海水

油：A重油、原油、A重油残存分

凝集剤（塩化第二鉄）：0, 6, 12, 30ppm
(鉄換算)

ろ紙： $0.4\mu\text{m}$ ガラス繊維濾紙

実験結果を図7～図9に示す。

図7はA重油分散海水の場合で、最初12ppm程度の油分濃度の海水が、塩化第二鉄を凝集剤として使いフロックを形成させた後、ろ過して除去することにより、

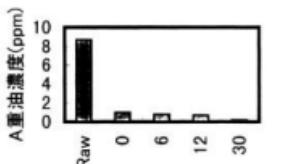


図7 凝集+0.4 μmろ過後の油分濃度
サンプル：A重油分散海水

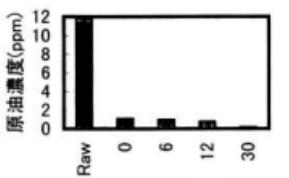


図8 凝集+0.4 μmろ過後の油分濃度
サンプル：原油分散海水

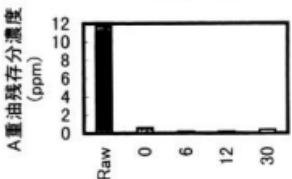


図9 凝集+0.4 μmろ過後の油分濃度
サンプル：A重油残存分分散海水

2ppm以下に減少した。ただ、凝集剤を入れなくても同様の処理をすることにより油分が減少している。

原油の場合もA重油残存分の場合も、凝集剤を入れた場合と入れない場合を比較すると、図8、図9に示すようにあまり大きな効果が認められない。ある程度の除去効果が認められるものの、完全には除去されず極微量成分が残存することがわかった。

4 結 言

淡水化実験装置を使用して、膜の造水性能を実験により検討し、造水効率が良好な結果が得られたA社不織布タイプ膜を用いて透過気化ミニプラントを試作した。実験装置と比較して造水効率が低く、効率改善が必要である。

試作したミニプラントで造水された水の水質試験を実施した結果、海水中の有害物質であるホウ素や臭素も除去されており、水道法に基づく水質基準を十分達成できることを確認した。

模擬的に油濁海水を調整して、凝集剤（塩化第二鉄）による除去を試みたが、完全には除去されなかった。

文 献

- 仲川勤：分離膜、産業図書
- 財団法人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）

小型船の船型開発に関する研究（第4報）

水中翼の設計技術に関する研究（第2報）

斯波信雄，伊藤幸一，畠 徳宣，和氣 健，富永克徳**，中村芳幸***

Development of Design for Hydrofoil Using the Circulating Water Channel (2nd Report).

SHIBA Nobuo, ITO Koichi, Hata Noriyoshi, Waki Toru*, Tominaga Katunori** and Nakamura Yoshiyuki***

The experiment of the model ship's flaps with fully submerged hydrofoil was carried out to observe the flow of water and to measure the lift power with circulating water channel (flow rate was 2m/s).

On condition that the separation was observed on the flow of water, the lift power of the flaps was low. But, when the tripping wire was fixed to back end of strut that fixed flaps to the model ships in order to restrain disturbance flow, the separation was controlled, and the lift power was improved.

キーワード：全没型水中翼船、回流水槽、揚力、フラップ、制御

1 緒 言

近年、多様な重力支持方式と新たな船体形状により、速力と乗り心地の向上を同時に満たす新形式船舶の実用化が図られ、高速旅客船等の高性能化が進められている。新形式船舶の大部分では、船の高速化・姿勢の安定等を目的に水中翼あるいは水中フィンが積極的に利用されている。これら新形式船舶の開発には高速な曳航水槽、実験海域における模型による性能試験が欠かせない。そこで、本研究は流速が2 m/sと比較的遅い流速の回流水槽で全没型水中翼を有する船形の性能試験がどこまで可能か検討するために行った。

本年度は、水中翼単独の特性を調べるために流れの可視化実験および揚力測定実験を行った。また、前報までの実験^{1), 2)}で、翼の角度を変えることにより翼走状態に達することが確認されていることから、操船中にフラップの角度を変えるためのフラップ駆動装置を試作し、船の傾きを計測しながら模型船で操船テスト実施したので報告する。

2 実験方法

実験は当センターの回流水槽を使用し、模型船や測定装置類は前年度使用したものとはほぼ同様であるが、使用した主な装置を以下に示す。

回流水槽

西日本流体技研株製

垂直循環型回流水槽 (V 2 - 3 0 B)

最大流速 2 m/s

船首および船尾の上下変位量測定

西日本流体技研㈱

トリム計付き模型船ガイド装置

変位測定範囲 ±50mm

抵抗測定

日章電機㈱

歪ゲージ式3分力計 (S R 3 0)

ゲージアンプ

㈱共和電業

動歪計 D P M 2 2 0

流速の測定

㈱岡野製作所

ピトーパン

2.1 水中翼および模型船

実際に使用した模型船の翼配置及び平面形状、翼断面形状を図1、図2に示す。模型船および水中翼は前年度と同じ翼を使用した。また、実験を行うに当たって必要となった測定治具や制御装置は、その都度試作して使用した。

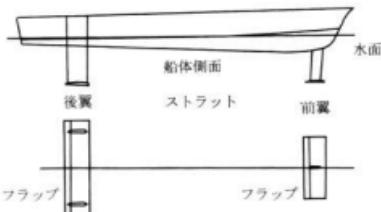


図1 翼配置および平面形状

*㈱石崎、**㈲エヌケイ・クラフト、***中谷造船㈱

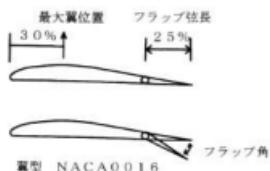


図2 翼断面形状

3 実験結果と考察

実験は水中翼単独の流れの可視化実験、揚力測定実験および模型船によるフラップ制御実験を行った。

3.1 流れの可視化実験

流れの可視化実験に使用した水中翼は、図2に示すような断面形状をしており、弦長は70mm・翼の幅は200mmの矩形翼である。また、フラップは、弦長の25%の単純フラップである。

流れを可視化する方法としては、染料を流して、染料がどのように流れるかを観察したり、観察したい表面に糸などを貼り付けて、表面の流れを観察する方法(表面タフト法と呼ばれる)がある。染料を流す実験も実施したが、流速が遅い場合には良く観察できるが、流速が早くなると翼から剥離しているのかそうでないのかが判断しにくいため、糸を用いた可視化実験の結果を紹介する。

翼上面に糸を貼り付けて仰角を 0° , 10° , 15° の3段階に変え、流速は $0\sim2\text{m/s}$ 、 0.2m/s 間隔で変化させて翼上面の糸の動きを観察した。そのときの写真を写真1、写真2に示す。

写真1は仰角 0° 、流速 0.4m/s の場合の写真で、可視化のために翼上に貼られた糸は、翼形状に沿っており、流れが翼に沿って流れている様子が観察される。

写真2は仰角 15° 、流速 1.4m/s のときの写真で、翼

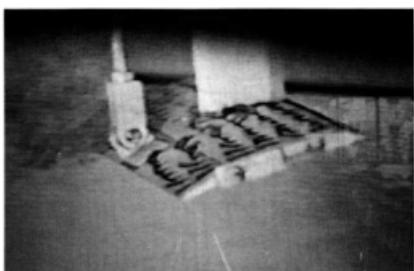


写真2 流れの可視化

仰角 15° 、流速 1.4m/s

に貼られた糸が、翼から立ったような状態になっていることから、流れが翼から剥離しているものと推察される。

3.2 揚力の測定

流速を上げた場合、翼走するか否かは、翼が発生する揚力の大きさに左右されると考えられる。前報^[1, 2]では、フラップの角度を変えて船体抵抗を測定し、フラップ角によって船体抵抗が変化した結果を得ている。揚力についても同様の傾向が得られるものと考えられる。そこで、流速とフラップ角を変えながら揚力を測定することとし、揚力測定のための治具やフラップをパソコンからの指示で制御するための機構を試作した。試作したフラップ制御機構と揚力測定治具の概念図を図3に示す。

揚力測定用治具としては、翼を支えているストラット上に、歪みゲージを貼った軸を取り付ける構成とした。歪みゲージは流れの方向と同一平面上に、図3に示したように配置し、軸の中立軸上に貼るよう注意した。こうすることにより、流れの抵抗で発生した力の影響を小さく抑えることが可能と考えられ、歪みゲージからの出力は揚力を反映した値になることが期待される。ただ、曲げやその他の力による影響を受けることが予想されるが、ここでは便宜上歪みゲージからの出力を揚力と呼ぶこととした。揚力測定用治具の校正是、重さのわかった重錠を治具にぶら下げるこにより行った。

フラップの駆動は、図3に示したネジ軸を上下させることにより間接的に行った。ネジ軸の上下運動は、DCモーターによりウォームギヤを回転させ、次に歯車を回転させて適当な回転数に落とし、歯車の軸孔にネジを加工して回転運動をネジ軸の上下運動に変えて行った。したがってネジ軸の上下はDCモーターの回転方向を反対にする事により行う事が出来る。また、

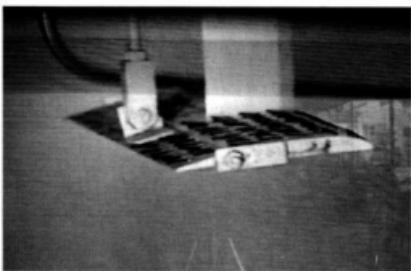


写真1 流れの可視化

仰角 0° 、流速 0.4m/s

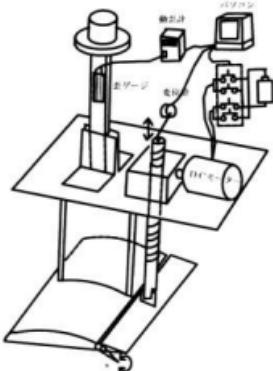
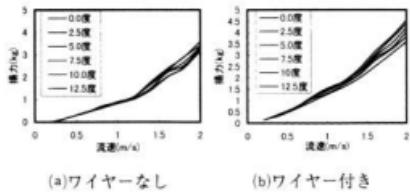


図3 フラップの制御と揚力測定

上下のスピードは、DCモーターの電源電圧を変えることで可能であるが、ここではDCモーターの電源のON, OFFの時間間隔をパソコンで制御する方法で行った。モーターを回転させた時間でフラップの角度が決定できればよいが、モーターの受ける抵抗が変化すると同じ時間モーターを回転させても移動した角度が一定でないため、ねじ軸の変位量を他の方法で測定して、間接的にフラップの角度を求めるとした。ねじ軸の上下変化は、揚力測定ジグ上に固定点を持つ変位計を使用するのが望ましいが、特に適当な測定装置がなかったこともある、ねじ軸にガイドを取り付けて、回流水層に備え付けてあるボテンショーメータ式の変位計を利用した。

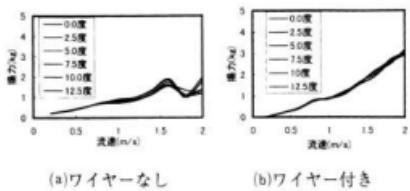
仰角を一定にして、流速とフラップ角を制御しながら揚力を測定した結果を図4～図6に示す。図4は前翼の仰角が7.5°の場合で、トリッピングワイヤーとしてストラットのすぐ後ろ側にΦ1.8のビニール線を設置した時の影響を示してある。図4(a)はワイヤーを設置していない場合で、図4(b)は設置した場合である。トリッピングワイヤーは、翼から流れが剥離する場合、剥離点近くに流れを乱すワイヤーを設置することにより、流れを翼に沿って流す様改善するために用いられる。

図5には仰角10°、図6には仰角15°の揚力測定結果を示す。仰角7.5°、10°の場合、トリッピングワイヤーを取付けると、ワイヤーがない場合より揚力が上昇しており、揚力改善に有効に働いているように見える。ただ、流れを制御するためにトリッピングワイヤー



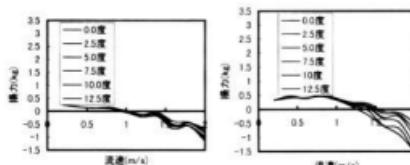
(a)ワイヤーなし (b)ワイヤー付き

図4 揚力(仰角7.5°)



(a)ワイヤーなし (b)ワイヤー付き

図5 揚力(仰角10°)



(a)ワイヤーなし (b)ワイヤー付き

図6 揚力(仰角15°)

を使用する場合、トリッピングワイヤーは翼の先端付近に取り付けるほうが効果的であると考えられるが、翼先端付近に取り付けた場合は流れの剥離が逆に激しくなり、トリッピングワイヤーをストラットの後ろに取り付けると流れの剥離が抑制された。このことは、流れの剥離が、翼の仰角ばかりではなく、ストラットの影響が大きいためではないかと考えられる。

3.3 模型船での実験

3.2で試作したフラップ制御装置を模型船に取り付けて、パソコンから制御できるように改造して模型船によるフラップ制御実験を行った。その場合、フラップ角を求めるためのねじ軸の変位量(3.2でトリム計を用いて測定した)をどうするかが問題で、船体に支持点を持つ変位計を取り付けるか、他の方法で代用するか、フラップ角を制御に用いないような制御方法にするか

を決める
後翼と
も決める
翼のみ
傾きを
た。

船体
に取り
リンク
は±1
出力さ

制御
て船体
するよ
御した
の範囲
をあ
斜角す。

実
取り
トリ
ラフ
想さ
フラ
ワイ
走状
い場
制

を決める必要がある。また、フラップの制御を前翼、後翼どちらも制御するのか、前翼か後翼のみ行うのかも決める必要があるが、とりあえずフラップの制御は前翼のみとし、フラップ角は成り行きに任せて、船体の傾きをできるだけ水平に保つように制御することとした。

船体の傾きを測定するために、傾斜角計を模型船上に取り付けた。使用した傾斜角計はパシコエンジニアリング株製のアクスターⅡを用いた。この傾斜角計は $\pm 10^\circ$ までは水平からの角度に比例した直流電圧が出力される。

制御は、船首が 3° 以上浮上するとフラップを下げて船体が水平になるように、また船首が 3° 以上沈下するとフラップを上げるようにフラップ駆動装置を制御した。実際の制御動作としては船体の傾きが $\pm 3^\circ$ の範囲内になるまで数百ミリ秒のパルスを適当な間隔をあけて出力するだけの単純な方法である。図7に傾斜角計を利用した模型船のフラップ制御の模式図を示す。

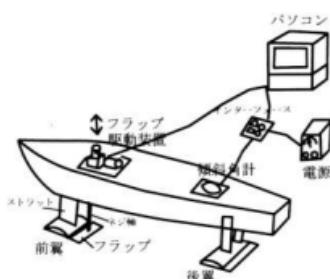


図7 模型船のフラップ制御

実験は、トリッピングワイヤーを取り付けた場合と、取り付けない場合の2通りで行った。3.2の結果から、トリッピングワイヤーを取り付けた場合は、あまりフラップの制御をしなくとも翼走状態が実現できると予想されたが、予想外に船首の沈み込みが大きくなり、フラップの制御で制御しきれなかった。トリッピングワイヤーを取り付けない場合は、フラップの制御で翼走状態を実現できた。トリッピングワイヤーを付けない場合の例を写真3に示す。

制御装置の動作としては1.2m/s前後では船首が下がり始めたのでフラップを下降さるための制御が始まり

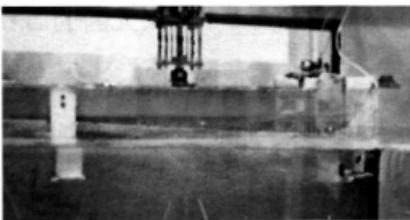


写真3 翼走状態の写真

り、1.6m/sでは、トリムが 3° 以上になったためフラップを上昇させた。そのため船首が上向き加減になって翼走しかけたり、着水したりと、船体の挙動が少し不安定な箇所も見られたが、2m/sでは滑走状態に達し、2.2m/sで船体が完全に浮上した。

トリム計からの出力によりフラップを制御する方法で、初期の目標であった、船首があまり沈み込むこともなく、翼走状態を実現することできた。しかし翼走状態に至るまでに、翼走しかけたり着水したりと不安定な部分があり、制御方法に工夫が必要である。

翼単独ではトリッピングワイヤーを取り付けることにより、揚力の改善効果がみられたのに、模型船では逆効果となってしまった。この原因として、模型船の場合、船体の影響、ストラットの影響、船体の上下運動による影響等が考えられ、翼単体ではなかった現象が現れているものと考えられる。流れの剥離とストラットとの関係、模型船でのトリッピングワイヤーの効果について再検討する必要があると思われる。

4 結 言

流れの可視化や、揚力の測定を試み、最終的にはトリム角を計りながらフラップを制御することで、船首の沈み込みもあまりなく、比較的スムーズに翼走状態に移行できることが確認でき、次のことがわかった。

- (1) 翼単独ではトリッピングワイヤーが揚力の改善に役立つ。
- (2) ストラットが流れの剥離に大きな影響を及ぼしている。
- (3) フラップを制御することにより、比較的スムーズに翼走状態に移行させることができる。

文 献

- 1) 畑他：広島県立西部工技研究報告、No.38(1995), 65
- 2) 畑他：広島県立西部工技研究報告、No.39(1996), 29

二次元断面周りの流れの数値計算

畠 徳宣

Simulation on Flow around Two-Dimensional Shape

HATA Noriyoshi

Characteristics of vortical flows around the door mirror (two-dimensional shape) are studied by a numerical simulation using SOLA method.

The simulation shows that stream lines are under the influence of body shape and B type body kept on twin vortex a little longtime and inner flow are in evidence in influence of outer vortex flow.

The stream lines are simillar partially between using circulating water channel flow visualization.A and using computer aided flow visualization.

When flows separate on the body invers flows occur toward separate point.

キーワード：SOLA法，ドアミラー，数値計算，可視化

1 緒 言

気体・液体等の流体から影響を受ける物体に対して、風洞や水槽を利用し物体周りの流れを可視化することで様々な情報を得、抵抗の低減や、騒音発生の低減等が図られている。これらの試験では数多くの試験体が必要であるとともに時間・経費等が多くかかるのが問題である。近年コンピュータの発達はめざましく、C P Uの高性能化による計算速度の向上、メモリ容量の増大、ハードディスクの高容量化によりパソコンレベルでも大規模な数値計算が短時間で行えるようになっており、物体周りの流れを数値計算により解析する手法が確立されつつある。

そこで、本研究は雨滴の付着による後方視界の悪化、高速走行時に発生する騒音問題等を抱える自動車のドアミラーをとりあげ、アルゴリズムが簡単で計算速度も速いS O L A法により2次元断面周りの流れの数値計算を行い、水槽試験で可視化された流れと数値計算による流れを比較することで計算結果の妥当性を検討したので報告する。

2 S O L Aを用いた計算法

2.1 S O L A法の概要

流れが物体をよぎるとき、その下流にカルマン渦列と呼ばれるふた筋の渦からなる伴流が生成される。この渦列を、数値計算によって求めるためのプログラムがS O L A¹⁾である。S O L Aは大規模なプログラムを要しないで流れを解く目的で開発されたためフォートランリストで400行程度となっている。S O L Aを

基礎として、開発された他の流れを解くプログラムも数多く存在する。このプログラムをC言語に変換されたソースリストは、約1000行程度となりコンパイルして使用した。

2.2 計算スキーム

2次元のx-y平面流れについての連続の式と運動方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + gx + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right]$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + gy + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right]$$

ここで ρ は密度、 u , v はそれぞれ x , y 方向の速度成分、 gx , gy はそれぞれ x , y 方向の加速度、 ν は動粘性係数を表す。この基礎方程式を離散化して表す系は解析領域を直交格子で分割し周囲すべてにひとつの境界セルを層状に設けている。求める流れの変数 u , v はセルエッジで定義し、圧力の変数 p はセルの中心で定義されている。

これらの基礎方程式を時刻の点で差分化し連立方程式を解くことで求める変数 u , v , p の値を得る。対流項の差分化において中心差分では、正確度は高くなるが不安定性が増す、一方風上差分ではクーラント条件に従えば安定性が確保されることから数値解の安定性を得るために重み係数 α を導入して中心差分と風上差分それぞれの特徴が生かされるようになっている。また、各タイムステップごとの流速が連続の式を満たすように発散 D を速く零にするよう加速度係数 ω も取り入れら

れている。

2.3 計算パラメータおよび境界条件

計算は水槽での実験を想定して行ったので水深80cm長さ方向80cmの領域でドアミラーは水深40cm長さ方向に20cmの位置で行っている。計算パラメータを表1に示す。動粘性係数はドアミラーの代表長さ10cmとし、流速50cm/sおよびレイノルズ数 1×10^5 から逆算した値を用いた。

表1 計算パラメータ

項目	パラメータ
X, Y方向メッシュ数	401
X, Y方向メッシュ間隔	2mm
タイムステップ	0.02S
動粘性係数	0.005cm ² /S
X, Y方向重力加速度	0
X方向速度	50cm/S, 100cm/S
Y方向速度	0
対流項差分重み係数	0.5
加速係数	1.7

境界条件については、水槽では上面は自由表面であるが計算は上下面ともすべり壁とし、流入側は一様流速を与え、流出側は連続流出として行った。

図1に元の形状及び計算上の形状のドアミラー断面を示す。計算領域のメッシュ間隔を2mmとしたので断面形状も2mm間隔の階段状になっている。ここで、ドアミラーの本体をボディ、ボディのうち、段差あるいは凹部より右側をバイザーと呼ぶ。

3 計 算 結 果

3.1 流線

図2に計算した形状A及びBの流速50cm/sのときの流線の時間経過を示す。縦軸、横軸はそれぞれ計算領域での距離を表している。

形状Aでは双子型の渦は見られず1秒後から上下交互に渦の発生、成長、消失といった変化をしている。渦がミラー近傍で発生する段階では、ボディ形状に沿う流れは渦に引き込まれ、成長する過程では徐々に離れていく。ボディ形状に沿う流れがボディから離れる剥離点はバイザー付け根付近に存在している。ボディに沿う流れが剥離すると、ミラー側からバイザー上を逆流する流線が見られた。また、実際のボディ内部は複雑な構造となっているが、今回計算した空間の場合、内部流線はミラー近傍に渦があるほうに吸い出される

流線とその周りに生じる渦が見られ、複雑な様相を呈し時間とともに変化する。

形状Bでは双子型の渦が見られ時間の経過とともに主流との相互作用により片方が徐々に消失し片方が成長するといった変化を示し、約2秒後まで影響しているが、それ以後は形状Aが示す様子とはほぼ同様である。形状AとBで渦の形状が若干異なっており、Aではやや継長、Bではやや横長の渦が生成している。

流速を100cm/sにして計算したが流線の形状は全く同じになり時間周期が半分になっていた。

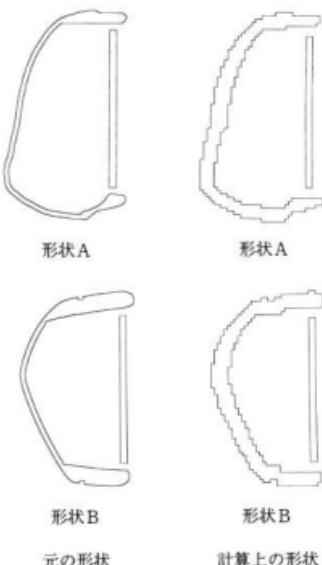


図1 ドアミラー中央断面形状

3.2 圧力分布

図3に形状A経過時間1.1秒後、形状B経過時間2.3秒後の圧力分布を示す。縦軸、横軸は計算領域の距離を表している。

形状A、Bとも流れが当たる前面中央部の圧力が高く、上下剥離点近傍及び渦のある位置の圧力が低くなっている。上下剥離点は時間が経過しても常に同じ位置にあった。圧力刻みが粗いこともありボディ内部での圧力分布は、ほぼ同一刻み範囲内であった。ボディ内部の圧力分布から見ると、内部の流れは比較的緩やかと思われる。

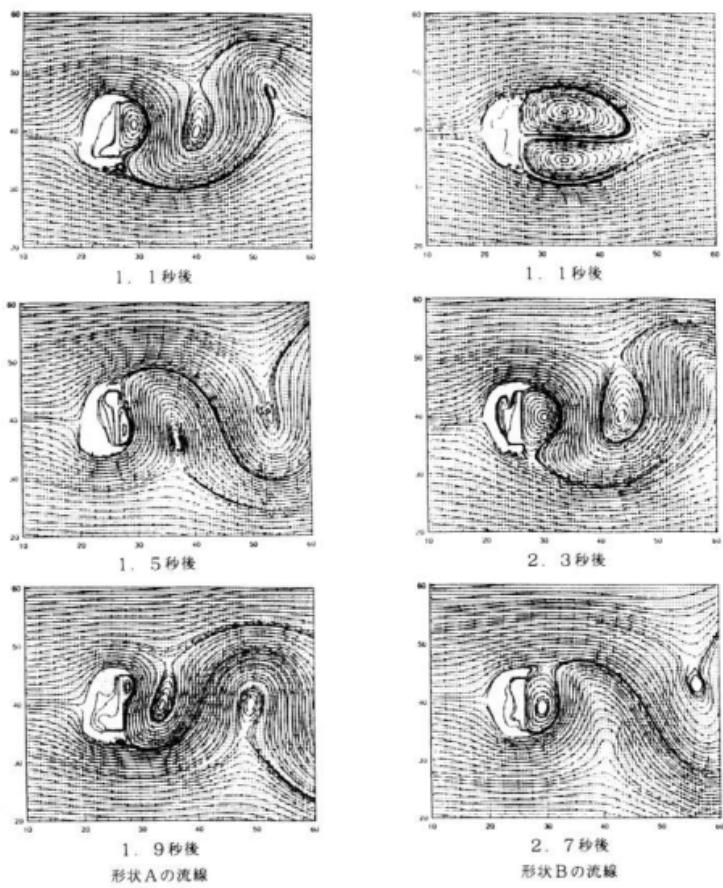


図2 A, Bの特定時刻の流線

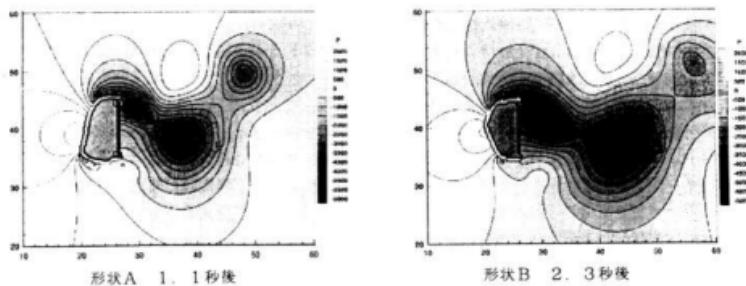


図3 形状A, Bの特定時刻の圧力分布

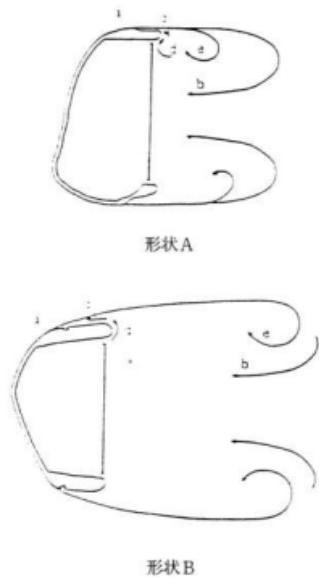


図4 水槽での可視化流線模式図

3.3 水槽実験との比較

図4に水槽で行った可視化実験で得られた流線の模式図²⁾を示す。変動する流れを時間平均した形で表している。可視化にはフェノールフタレンインをアルカリ水溶液に溶かしたものと金属細管でボディ表面或いは近傍に流したものとを観察した。

形状Aではボディからの剥離が殆どなく、ボディ形状に沿うような流れとなっている。ミラー近傍でb, eのように巻き込むような流れと、dからcに向かう弱い流れが観察された。形状Bではa付近で剥離した流れがミラー前方でb, eのように巻き込まれる流れとdからcに向かう流れが観察された。

計算ではミラー近傍の渦が成長、離れて行くに従い

図4 a点付近で剥離する流れが形状A, Bで見られた。剥離の大きさは形状BよりもAのはうがやや大きく、渦の生成方向が影響していると思われるが、このあたりが水槽試験と一致していない。流れが剥離するとdからcに向かう流れが見られるのは水槽試験結果と一致する。

今回の計算ではメッシュ間隔が2mmと大きいこともあり剥離に関して、形状Bでは凹部近傍からバイザーにかけてややいびつな断面形状で計算した結果と思われる。形状データを精确に与えるにはメッシュ間隔を小さくすればよいが計算時間を要するようになる。今回の計算時間はペンティアム166MHzのパソコンでUNIX上で約1日程度要した。メッシュ間隔を1mmにすると計算領域は4倍となり、計算時間間隔もそれに応じて小さくなるため約20日程度要するようになる。

4 結 言

SOLA法により2次元断面でドアミラー周りの流れの数値計算結果及び、回流水槽での可視化結果と比較するところとなる。

- 1) 形状により双子渦の持続時間、渦の成長方向に差が出ることが明らかとなった。
- 2) ミラー近傍の渦によりボディ内部への流入、流出及び内部流線が得られることから騒音問題を考えると有用である。
- 3) ボディ形状に沿う流れがボディから剥離すると、剥離位置に向かう流れが生じるのは可視化試験と一致しているが、剥離の大きさは若干異なる。

謝 辞

この研究は広島大学工学部で受託研究員として行ったもので、受託研究員として10か月の間、ゼミや実験を通して終始惜しみない御指導、助言を頂いた茂里一紘教授、土井康明、徐両助教授、二宮伸治助手に感謝します。また、ドアミラー形状データの提供を頂いた株石崎本店和氣徹氏に感謝します。

文 献

- 1) 高橋：コンピュータによる流体力学、(1982), 214
- 2) 和気他：自動車技術会、前刷集964、(1996), 9

鑄物スラグの有効利用

倉本恵治, 藤本宗之, 丸下清志

A Study on Effective Utilization of Slag

KURAMOTO Yoshiharu, FUJIMOTO Muneyuki and MARUSHITA kiyoshi

The procedure of crystalline aluminosilicate synthesized from slag of foundry was studied.

Crystalline aluminosilicate was not obtained by direct hydrothermal synthesis of slag. For the purpose of removing calcium oxide of slag, it was treated with hydrochloric acid on the sand bath. Crystalline aluminosilicate was synthesized by hydrothermal reaction of pretreated slag and admixture of sodium hydroxide, sodium aluminate, water and seed of A type zeolite at 90°C for 1hr (The mole ratio was $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2=2.5$ and $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=50$). The yield of crystalline aluminosilicate was about 40% at the optimum condition. Cation Exchange Capacity (CEC) of crystalline aluminosilicate synthesized from slag was about 350meq/100g.

キーワード：スラグ, アルミノケイ酸塩, 水熱反応, イオン交換

1 緒 言

本県において自動車関連産業から副生するスラグは現在セメント原料などとして利用されているが、多くが廃棄物として処分されている。しかし、処分地の不足、遠方化から有効利用が強く望まれている。

また、我が国の石炭火力発電所から大量に発生される石炭灰もセメント混和剤などとしてごく少量のみが有効利用されているだけで、大部分は埋立て用に廃棄処分されている。この石炭灰などの廃棄物を原料としたゼオライトの合成についてはいくつか報告されている^{[1]-[7]}。

無機系廃棄物である鑄物スラグにはシリカ、アルミニウムが含まれており、石炭灰に似た組成である点に着目して、結晶性アルミノケイ酸塩の合成について検討した。ここでは、スラグの前処理反応、前処理スラグの水熱反応、および生成物の陽イオン交換容量（CEC）などについて検討した結果を報告する。

2 試料と実験方法

2.1 試料

県内の鑄物工場のうち県の主要産業である自動車関

連産業から1社を設定し、実験用試料を入手した。まず、鉄製乳鉢で粗碎きして粉砕混合機P-5型（フリッチャ製）で微粉砕し原料として用いた。

化学組成は蛍光X線分析装置R I X 2000（理学電機工業株式会社）で測定し、その結果を表1に示した。 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比は4.14であった。

2.2 塩酸による前処理

300mlビーカーに10gのスラグと0.5, 1, 2, 3, 4および5規定（N）に濃度調製した塩酸50mlを入れ、砂浴上で加熱処理し濾過洗浄した。処理後のスラグを蛍光X線で分析し、 CaO , SiO_2 , Al_2O_3 の減少量などから最適な前処理条件を決定した。

2.3 水熱処理

原料として実験に用いた前処理スラグの $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比は13.2であるため、結晶性アルミノケイ酸塩を合成するには、アルミニウム成分が不足している。A型ゼオライトが生成しやすい原料組成である $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2=2.5$ および $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=50$ のモル比になるように、前処理後のスラグ、水酸化ナトリウム、アルミニ酸ナトリウム、水およびA型ゼオライトの種品を入れ、ポールミルで約1時間混合後、1晩静置した。内容物を水で洗い、全量500mlのポリエチレン製

表1 鑄物スラグの化学分析結果 (wt%)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	CaO	MgO	MnO	P_2O_5	C
42	13	5.2	0.3	0.25	0.71	30	0.78	3.4	0.01	3.0

三角フラスコに移し、恒温水槽を用いて90°Cで所定時間、水熱反応させた。反応後、過剰に残っている水酸化ナトリウムを遠心分離機を用いてpH 9になるまで水で洗浄除去した。

結晶性アルミニケイ酸塩の生成率は、X線回折装置 MX P¹⁸VA ((株)マック・サイエンス)を用いてX線回折法より標準物質に対するX線強度から相対的に求めた。ここでの標準物質は、アルミニケイ酸塩の組成をもつゼオライトA-4 ($\text{Na}_{12}(\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$)を用いた。

2.4 陽イオン交換容量 (C E C)

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

3 実験結果および考察

3.1 未処理試料の水熱処理

塩酸未処理のスラグを水熱処理して得られた生成物のX線回折結果を図1に示した。反応時間5時間まで、得られた生成物には結晶性アルミニケイ酸塩と推定されるビーグは見られず、反応がほとんど起こらないことがわかる。その後10時間まで反応を続けたが、結晶

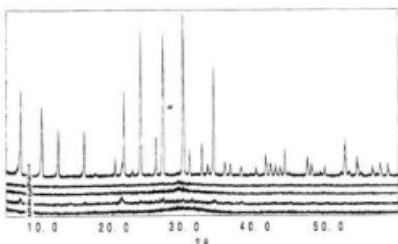


図1 未処理スラグの水熱処理における生成物のX線回折結果

1:ゼオライトA-4粉末(和光純薬(株))

2:水熱処理時間 5時間

3:水熱処理時間 5時間

4:水熱処理時間 1時間

5:水熱処理時間 0時間

性アルミニケイ酸塩と推定されるビーグは見られなかった。前報⁴⁾ではヘドロ中の結晶性シリカを非品質に変えるため、水酸化ナトリウムによる前処理を行った。図1のX線回折の結果から原料のスラグは、非品質のシリカであり、反応が進まなかったのがシリカの形態によるものではないと思われる。キュボラ操業では、造漿剤として石灰石が主として使われる。表1の化学成分の結果から、スラグ中には酸化カルシウムが多量に含まれており、これが反応を妨げる原因ではないかと思われる。従って、酸化カルシウムを除去する前処理を行わず、直接水熱合成することでA型ゼオライトを得ることは困難ではないかと考えられる。

3.2 前処理条件の検討

スラグの前処理における塩酸の濃度と CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 の除去率について検討した結果を図2に示した。塩酸濃度が高くなるにつれて、除去率が高くなっていることがわかる。水熱処理の際、不足している Al_2O_3 分を加えるため Al_2O_3 の除去率が低く、また SiO_2 の除去率も低く、 CaO の除去率の高い塩酸濃度が望ましい。塩酸濃度が5 Nの時、 SiO_2 の除去率が低下しており、この原因については明らかではないが、2 N塩酸での処理が最適な条件と考えられる。

3.3 前処理試料の水熱処理

スラグ、塩酸処理したスラグ、塩酸処理後、水熱処理したスラグ、市販のゼオライトA-4のX線回折結果を図3に示し、さらに走査型電子顕微鏡写真を写真1に示した。図3に見られるビーグから水熱処理により結晶性アルミニケイ酸塩が生成していることがわかる。写真1c)より市販のゼオライトA-4に比べ、結晶粒径は小さいが1辺が0.5~1.0 μm程度の立方体結晶の生成が認められた。しかし、合成した結晶性ア

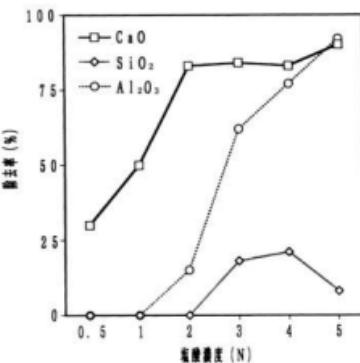


図2 スラグの前処理

ルミノケイ酸塩には、ゼオライトA-4に比べて完全な立方体結晶が形成されていない部分が多く残っている。

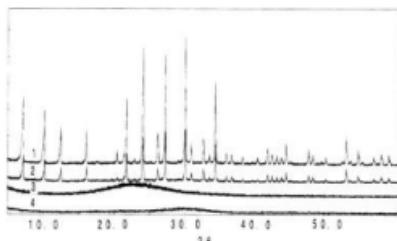
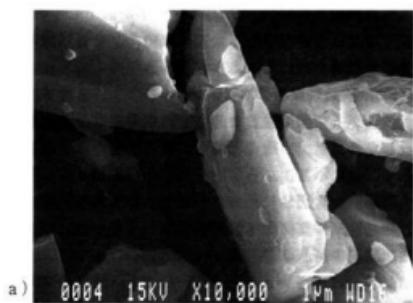
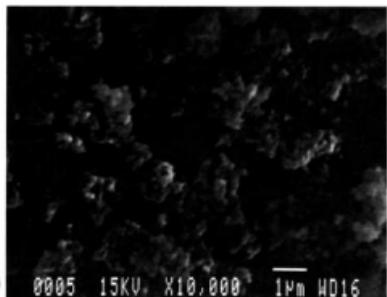


図3 前処理スラグの水熱処理における生成物の
X線回折結果

- 1 : ゼオライトA-4粉末（和光純薬株）
- 2 : 塩酸処理後、水熱処理したスラグ
(処理時間: 1 hr)
- 3 : 塩酸処理したスラグ
- 4 : スラグ



a) 0004 15KV X10,000 1μm WD16



b) 0005 15KV X10,000 1μm WD16

る。これは、前処理後のスラグ中にまだ不純物が含まれているため結晶が形成され難いためと考えられ、生成率が低い原因にもなっていると思われる。

3.4 水熱処理における時間の影響

結晶性アルミノケイ酸塩の合成における水熱処理時間と結晶性アルミノケイ酸塩の生成率の関係を図4に

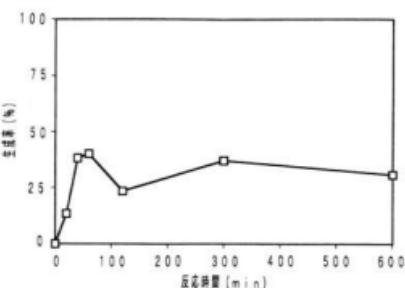
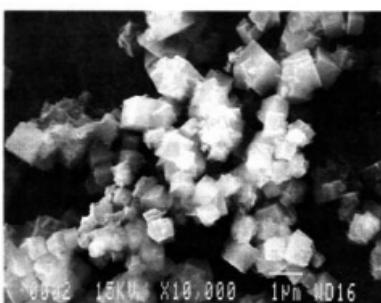
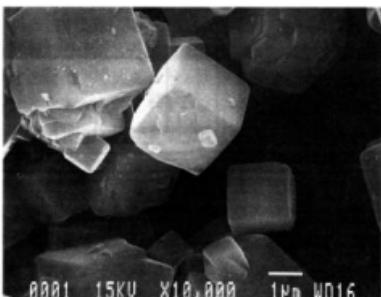


図4 水熱処理における処理時間の影響



c) 0002 15KV X10,000 1μm WD16



d) 0001 15KV X10,000 1μm WD16

写真1 走査電子顕微鏡写真

- a) スラグ
- b) 塩酸処理したスラグ
- c) 塩酸処理後、水熱処理した
スラグ (処理時間: 1 hr)
- d) ゼオライトA-4粉末（和光純薬株）

表2 原料と合成品のCEC結果

試 料	CEC (meq/100g)
ゼオライト A-4*	520
鉄物スラグ	10
合成した結晶性アルミニケイ酸塩	350

*合成ゼオライトA-4粉末(和光純薬株)

示した。検討した範囲内では、X線回折法から水熱処理時間1時間の場合が結晶性アルミニケイ酸塩の生成率が最も高く約40%であった。

3.5 合成した結晶性アルミニケイ酸塩のCEC測定

スラグ、前処理スラグから合成した結晶性アルミニケイ酸塩およびゼオライトA-4のCEC測定結果を表2に示した。スラグから合成した結晶性アルミニケイ酸塩のCECは350meq/100gであった。原料のスラグは10meq/100gであり、水熱合成により吸着能が増大したことがわかる。市販のゼオライトA-4のCECは520meq/100gであり、合成した結晶性アルミニケイ酸塩は、この約60%の吸着能が認められた。合成した結晶性アルミニケイ酸塩の生成率が約40%であるにもかかわらず、CECは約60%と高い吸着能を示している。これは、市販のA型ゼオライトに比べ、粒径が小さく表面積が大きいためと考えられる。

4 結 言

鉄物スラグを原料とした結晶性アルミニケイ酸塩の

合成法について検討を行った。スラグを直接水熱処理する方法では結晶性アルミニケイ酸塩を合成するのは困難であった。スラグ中に含まれている酸化カルシウムを除去する前処理をした後、アルミニ酸ナトリウム、水酸化ナトリウム、水およびA型ゼオライトの種品を加え、水熱処理することにより結晶性アルミニケイ酸塩を合成することができた。スラグから合成した結晶性アルミニケイ酸塩の生成率は、最適条件で約40%であり、その陽イオン交換容量は約350meq/100gであった。

今回の実験では結晶性アルミニケイ酸塩の生成率が40%と低く、今後合成率を上げるべく処理条件を検討する。また、この合成品の商品化のための成型品を試作し、その効果を把握するための実証試験についても検討する必要がある。

文 献

- 1) 井上耕三、吉田 章: 日本化学会誌, (1986) 5, 658
- 2) 加藤安彦、柿本幸司、尾川博昭、泊 正雄、坂本栄司、浅原照三: 工業用水, (1986) 331, 27
- 3) 加藤安彦、柿本幸司、尾川博昭、泊 正雄、坂本栄司、浅原照三: 工業用水, (1986) 338, 37
- 4) 逸見彰男: 日本土壤肥料科学雑誌, 58 (1987), 378
- 5) 岡田 豊: 日本土壤肥料科学雑誌, 62 (1991), 1
- 6) 井上耕三、恒松修二、山田英夫: Inorganic Material, 2 (1995), 108
- 7) N.Shigemoto and H.Hayashi, K.Miyaura : J.Mater. Sci., 28 (1993), 4781
- 8) 倉本他: 広島県西部工技研究報告, No.39 (1996), 21

ポリマーブレンドによるポリプロピレンの機械的特性の改善（第2報）

下原伊智朗，大橋俊彦，関守雄，山縣康男

Mechanical Properties about Polymer Blend of Polypropylene and Liquid Crystalline Polymer (2nd Report)

SHIMOHARA Ichiro, OHASHI Toshihiko, SEKI Morio and YAMAGATA Yasuo

In this work, the improvement of mechanical properties of polypropylene (PP) by polymer blends with liquid crystalline polymer (LCP) were investigated.

As the result, it was found that tensile properties, bending properties and izod impact strength of PP/LCP blends were increased. Thermal expansion and mould shrinkage were decreased. And deflection temperature under load of PP/LCP blends were equal to that of PP. So dimensional atability of moulding products will be increased.

The dispersibility of PP/LCP blends were not improved even in the presence of maleic anhydride-grafted PP (MPP) and/or ethylene/glycidyl-methacrylate (GMA) for compatibilizer. But impact properties of PP/LCP/GMA blend were improved.

キーワード：ポリマーブレンド，PP，LCP，無水マレイン酸変性PP

1 緒 言

ポリプロピレン（PP）は、汎用樹脂の中では比較的耐熱性があり、成形加工性にも優れることから、広範囲の分野で使われている。

最近はプラスチック廃棄物問題に関する限り、自動車用プラスチックのリサイクル性を考慮し、オールオレフィン化の動きがあり、ABSや塩化ビニル樹脂の利用が減り、PP系材料の自動車部品への移行がさらに増加していくものと考えられる¹⁾。

そこで、PPの強度、剛性、耐熱性、耐衝撃性などの改善の目的で、液晶ポリマー（LCP）とのブレンドについて検討した。LCPのブレンドはガラス繊維などによる強化と異なり、粉碎して再溶融、再成形しても再びLCPが強化材として働き、物性の低下があまりなく、リサイクルの面で有利であると言われている²⁾。

PPとLCPの分散をよくする目的で、本研究では無水マレイン酸をグラフトしたPP（MPP）及びエチレン／グリシジルメタクリレート共重合体（GMA）を相溶化剤³⁾として添加し、その効果を検討した。

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PP J800（三井石油化学工業株）、LCP LC-3000（ユニチカ株）、MPP

AD89G（㈱トクヤマ）、GMA ボンドファースト2C（住友化学工業株）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（㈱日本製鋼所 TEX-30）によって溶融混練し、Φ4mm×3穴のストランドダイで押し出し、ブレンド物のペレットを作成した。このペレットを再び乾燥後、射出成形機（㈱日本製鋼所 J75E II）により成形し、引張、曲げ、衝撃試験等の試験片を作成した。混練時のシリンダー温度は、230～250°C、スクリュー回転数 180rpm、射出成形温度は、190～230°C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）を用いて、5mm/minの引張速度で行った。曲げ試験、衝撃試験、熱変形温度は、幅12.5mm、厚さ4mmの短冊形試験片を用いた。引張せん断接着試験は、サンダベーパー処理を行って、エポキシ系接着剤（チバ・ガイギー）を用いて接着し、引張試験を行った。測定は、室温23°C、50%RHの雰囲気で行った。

3 実験結果と考察

3.1 PP/LCP

PP/LCPブレンドの機械的特性を表1に示す。PPに、LCPを30%ブレンドすることで、引張強度

さ、曲げ強さで約2割、曲げ弾性率で、約6割の上昇がみられ、補強効果が認められた。引張破断伸びは、LCP自体の低い伸びを反映し、PPに比べ極端に小さい値となった。衝撃強さは、常温では変化がないが、-30°Cの低温では低下し脆くなつた。

ブレンド物の熱変形温度は、LCPの熱変形温度が、71°Cと低いにも関わらず、PPと同程度の110°C付近の温度となり、ブレンドによる相乗効果が認められる。

寸法安定性に関しては、PPに対して、成形収縮率は7割、熱膨張係数は3割の値となり、LCPの寸法安定性の影響によって、大きな効果があつた。

接着強さは、LCP自体もあまり接着は良いほうではないが、PPへのブレンドにより引張接着せん断強さは、約2倍の強さとなり、かなり改善された。

3.2 相溶化剤の効果

PPとLCPの分散性を向上させるために、一般的な反応性相溶化剤である無水マレイン酸をグラフトしたPP(MPP)及びエチレン/グリシルメタクリレート共重合体(GMA)の二種類を用い、表1に示したブレンド比で配合し、その効果について検討した。

まず射出成形のシリンドー温度について検討した。シリンドー温度を190°Cで成形した場合の、引張試験、

曲げ試験、衝撃試験の結果を表2に示す。230°Cで成形した表1の場合と比較すると、190°Cで成形した場合のほうが、特性が低くなつた。従つて230°Cのほうが適切な成形温度であることがわかつた。また、GMAを添加したものよりMPPを添加したもののが、その差は大きく、MPP添加のものが温度による溶融粘度差が大きいものと考えられる。相溶化剤の影響については、MPPを10phr添加したMPP10は、添加していないLCP30に比べ、引張・曲げ強さ、曲げ弾性率、熱変形温度ともにはほとんど変化がなかつた。GMA10では、GMA自体が柔軟な樹脂であるため、引張・曲げ強さ、曲げ弾性率、熱変形温度は低い値となつた。しかし、MPP10、GMA10いずれも、伸びと衝撃強さにおいて向上がみられた。

2種類の相溶化剤を併用したM5G5、M10G10では、強度・耐熱性においては特に著しい向上はみられず、単純平均的な値となつたが、伸びと衝撃強さにおいては、単独で添加したものより、向上が認められた。伸びと引張荷重の関係を図1に示す。また、寸法安定性の指標となる成形収縮率と熱膨張係数は、M5G5で最小となつた。

表1 PP/LCPブレンドの機械的特性(230°C成形)

項目 / 試料名	単位	PP	LCP30	MPP10	GMA10	M5G5	M10G10	LCP
配合								
PP	(phr)	100	70	70	70	70	70	0
LCP		0	30	30	30	30	30	100
MPP		0	0	10	0	5	10	0
GMA		0	0	0	10	5	10	0
引張強さ	(MPa)	32.3	37.1	36.2	30.3	34.6	31.2	95.3
伸び	(%)	>500	3.5	4	4	4	6	2.5
曲げ強さ	(MPa)	45.0	55.6	54.5	44.6	49.8	45.2	103
曲げ弾性率	(MPa)	1560	2510	2410	1970	2290	1960	8450
衝撃強さ(アイソット ノッチ付 23°C)	(kJ/m ²)	1.9	1.9	2.0	2.1	2.0	2.9	8.6
衝撃強さ(アイソット ノッチ付-30°C)	(kJ/m ²)	1.7	1.3	1.8	1.9	2.3	1.9	7.8
熱変形温度 (45N/cm ²)	(°C)	107	110	105	85	93	89	71
成形収縮率	(%)	1.6	1.2	1.2	1.2	1.1	1.3	0.1
熱膨張係数 (23~80°C)	($\times 10^{-5}$ °C ⁻¹)	9.5	2.7	3.8	4.4	2.7	4.2	1.9
引張せん断接着強さ	(MPa)	0.62	1.16	1.13	1.37	1.16	1.22	1.31
外観	-	○	△	△	○	○	○	△

表2 PP/LCPブレンドの機械的特性 (190°C成形)

項目 / 試料名	単位	MPP10	GMA10	M5G5	M10G10
引張強さ	(MPa)	28.9	28.2	29.4	28.8
伸び	(%)	4	4	4	7
曲げ強さ	(MPa)	48.7	44.7	45.8	43.7
曲げ弾性率	(MPa)	2290	1970	2180	1880
衝撃強さ(アイゾット ノッチ付23°C)	(kJ/m ²)	1.9	2.3	2.2	2.6

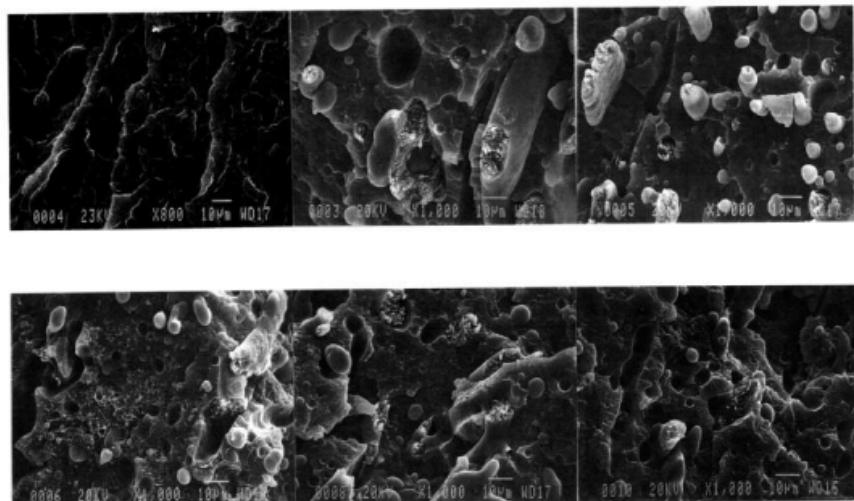


写真1 PP/LCPブレンドのアイゾット破断面

着強さにおいては、相溶化剤を添加してもほとんど変化はなかったが、GMAの添加によって若干向上が認められ、PPの約2倍の接着強さとなった。

成形品の表面を観察すると、LCP30とMPP10では、若干の色むらがあるが、GMAを加えたものは、均一となり、相溶化の効果が認められる。

図2、図3にPPと比較したLCP30とM5G5の特性を示す。

3.3 形態観察

ブレンド物の衝撃破断面をSEM観察し、LCPの分散状態を検討した。破断面を写真1に示す。

LCP30では、PPのマトリックス中にLCPが

分散しているのが観察される。分散粒子の大きさは、10~50 μmで、あまり良好でない。MPP10の場合も、あまり分散状態に変化はみられなかった。

GMAを加えた系では、PPの部分に変化がみられ、引張による変形が生じており、延性的な破面が観察された。その結果、破断伸びが向上し、衝撃強さの向上につながったものと考えられる。しかし、LCPとPPのはく離が多くみられ、樹脂界面の接着力はあまり上がってないものと思われる。LCP部分をより微細な繊維状に分散させること、界面での接着が、強度の向上には必要であり、ブレンドの順序、温度条件等の検討が必要である。

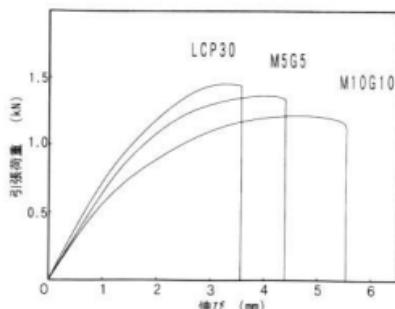


図1 伸びに対する相溶化剤の効果

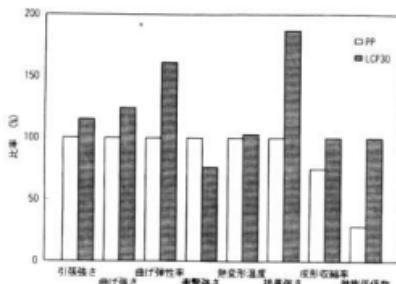


図2 PP/LCPブレンドの特性比

4 結 言

自動車部品に多く使用されるPPに、LCPをブレンドして、特性を改善する検討を行った。その結果LCPをブレンドすることで、衝撃強さを下げることなく、強度、弾性率の向上、また寸法安定性の改善がで

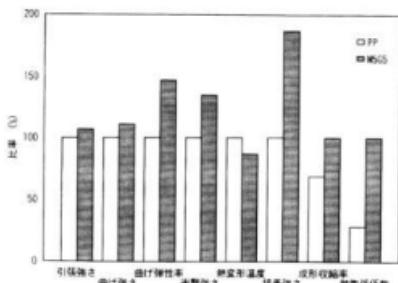


図3 PP/LCPブレンドの特性比

きることがわかった。インバネ等の大型成形部品を鋼製の部分と組み付ける場合、温度による寸法変化ができるだけ小さい必要があり、LCPをブレンドすることは、成形品の寸法変化の低減に効果的である。

本研究で用いたLCPは、耐熱性よりも成形性・流動性が良いところが特徴であり、200°C前後の温度でも成形可能で、ブレンド品はPP自体よりも流動性は向上し、かつパリの発生も少なくなる。

PPマトリックス中のLCPの分散状態は、相溶化剤を加えてもあまり変化が認められなかった。しかし、衝撃強さは、相溶化剤の添加により向上することが、認められた。

文 献

- 1) 野村学: 工業材料, 45(1997), 1
- 2) 佐々木圭太他: 高分子論文集, 50(1993), 11
- 3) 下原伊智朗他: 広島県西部工技研究報告, No.39(1996), 13

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1報） チクソトロピー性マグネシウム合金複合材料の開発

土取 功, 藤井敏男, 府山伸行

Processing and Engineering of Light Metal Alloy Composites Having High Performance by Thixocast Process(1st Report) Development of Thixotropic Magnesium Alloy Composites

TSUCHITORI Isao, FUJII Toshio and FUYAMA Nobuyuki

SiC and Al_2O_3 particles reinforced AZ91D magnesium alloy composites were fabricated by the semi-solid stir-casting process. It was found that a variety of ceramic particulates could be added to the semi-solid slurry, the slurry being a more suitable wetting and dispersion than liquid metal. This report investigated microstructures of the magnesium alloy composites after the semi-solid stirring at the solid fraction of 30%; and changes of stirring torque during isothermal stirring.

The results showed the microstructure of the composites consist of primary α phase like a rosette of which the grain size is about $200\ \mu\text{m}$ and fine eutectic in which SiC or Al_2O_3 particles, about $10\ \mu\text{m}$ and $50\ \mu\text{m}$, disperse. Though the stirring torque increases temporarily when the particles are added in the semi-solid slurry, the torque decreases slowly during isothermal stirring and reaches about 0.04Nm after an hour.

キーワード：マグネシウム合金，半溶融，機械攪拌，複合材料，金属組織

1 緒 言

近年、軽合金の半溶融加工技術を利用した研究が数多く報告^{[1]-[9]}されている。半溶融金属は、固相（金属結晶）と液相（融液）とが共存する状態の金属である。半溶融状態においてせん断力を加えることにより、デンドライト（樹状）組織が微細で球状化した固相組織になる。このような状態になると、チクソトロピー性（流動性）が現れ、次のような特徴^{[2], [3]}を示す。

(1)粘性流体状の挙動を示し、攪拌を加えることでセラミックスの纖維や粒子などの強化材料を複合化することが容易になる。

(2)セラミックス纖維や粒子などを含んだ材料でも、半溶融状態にすることで、小さい加工力で成形加工す

ることができる。

(3)被加工材の変形抵抗が小さいので、小さな加工力で成形できるため加工プロセスの省エネルギー化が図れる。

(4)プロセス温度も低く、凝固収縮が小さい上、流動性・変形性が高いのでニアネットシェイプ成形が可能であり、工程の合理化が達成できる。

実用合金の中では最も軽く、部材の軽量化を図る材料としてマグネシウム合金^{[10]-[18]}が注目される。マグネシウム合金は、アルミニウム合金よりも軽いが、剛性や強度が低い。そこで、半溶融金属の特徴を利用し、組織制御されたチクソトロピー性を有する高性能マグネシウム合金複合材料の開発を行い、材料の高強度、高剛性化を図る。

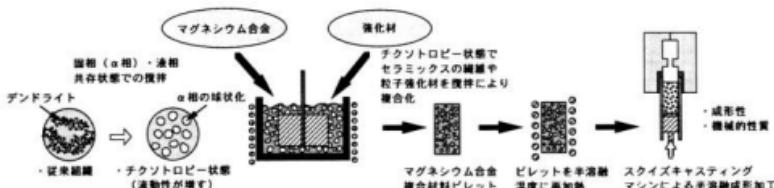


図1 高性能マグネシウム合金複合材料の開発

研究の概略図を図1に示し、3年間の研究内容は、(1)固液共存状態で攪拌により半溶融金属にせん断力を加え、初晶のデンドリックな α 相を球状化し、チクソトロビー性を発現させる。流動性が増したところへセラミックの纖維や粒子を複合化し、チクソトロビー性を有したマグネシウム合金複合材料ビレットの製造を行う。(2)組織制御されたチクソトロビー性を有したマグネシウム合金複合材料ビレットを半溶融状態に再加熱し、スクイズキャストマシンによる半溶融成形加工を行い、成形性や材料の機械的性質について検討する。(3)開発されたマグネシウム合金複合材料を用いて、各種部材の試作を行う。

2 実験方法

2.1 供試材

実験に用いたマグネシウム合金は、市販のASTM規格AZ91Dである。強化材は、研磨材に使われる炭化珪素(SiC)およびアルミニウム(Al₂O₃)の微粉末で、それらの平均粒径が約10, 13および50 μmのものを用いた。

2.2 半溶融攪拌制御装置の試作と半溶融攪拌によるマグネシウム合金複合材料の製造方法

写真1は、試作した半溶融攪拌加工制御装置を示す。写真左側が、高周波発生装置(周波数9kHz、最大出力18kW)で、右側が半溶融で攪拌を行い、チクソトロビー性を有するマグネシウム合金複合材料ビレットを製造する装置である。その組立断面図を図2に示す。

AZ91Dインゴット約330gをφ60×200のSS410製ルツボに入れ、アルゴンガス雰囲気中で加熱をした。温度はルツボ側面の中央部に設置された熱電対により制御し、図3に示すプロセスで温度制御を行った。予備実験で、ルツボの中のマグネシウム合金スラリーの温度は、ルツボ側面の温度に対して約10K高いことを確

認している。そこで、ルツボを913Kに加熱しマグネシウム合金インゴットを923Kで完全に溶解し、その後、攪拌翼をルツボ内に挿入した。加熱を開始して40分後、冷却速度0.06K/sで液相線温度869Kまで溶湯温度を低下させ、それから、冷却速度0.02K/sで半溶融温度858K(固相率約30%)へ冷却後、等温保持した。次に、攪拌速度8.33s⁻¹で攪拌を開始し、30分間攪拌した後、ホッパの中にあらかじめ入れておいた強化材を投入した。投入後、さらに30分間攪拌を加えた後、すばやく、ルツボを取り外し、ルツボごと水冷した。

また、半溶融金属の粘性を調べるため、攪拌トルクをトルク変換器で測定し、攪拌トルクの変化を記録した。

製造されたマグネシウム合金複合材料を、エメリーペーパーで研磨し、バフ研磨で仕上げた後、Acetic Glycol腐食液でエッチング処理を施し、ミクロ組織観察を行った。

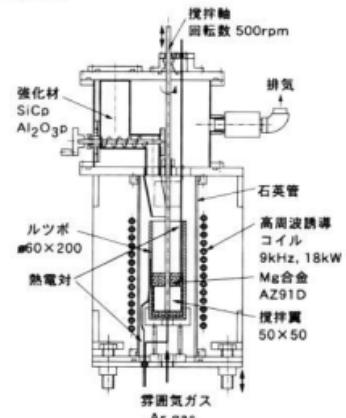


図2 半溶融攪拌制御装置の組立断面図

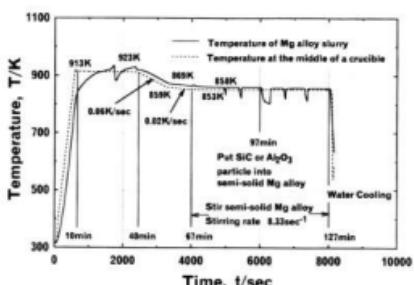


図3 温度制御プロセス

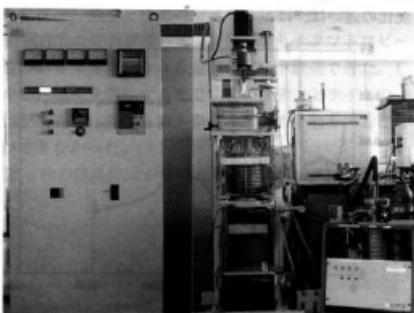


写真1 試作した半溶融攪拌加工制御装置

3 実験結果と考察

3.1 半溶融攪拌によるマグネシウム合金複合材料の組織変化

写真2 (a) は、マグネシウム合金を完全に溶解し、半溶融温度858Kまで冷却後、攪拌を行わないまま水冷した組織を示す。白い部分がデンドライト成長した α 相であり、通常の鋳造凝固組織を示している。半溶融温度で攪拌を加えると、そのせん断力によりデンドライトアームが分断され、初晶の α 相が球状化する。**写真2** (b) および (c) は、半溶融状態で攪拌を加えた組織を示す。(b) は30分間、(c) は60分間攪拌を加えた組織である。本実験では、攪拌により球状化した初晶 α 相の結晶粒径が微細にならなかった。これは、(a) に示したように、攪拌前に生成したデンドライトが大きいためではないかと思われる。また、攪拌時間が長く、 α 相が合体したこととも考えられる。さらに、組織写真的固相率は、設定した温度すなわち固相率30%より高い。これは、組織の凍結を図るために、攪拌終了後、るつぼごと水冷したが、るつぼを本体より取りはずすのに時間がかかり、その時の冷却過程中で結晶が成長したためではないかと考えられる。

半溶融状態で30分間攪拌した後、すなわち、**写真2** (b) の組織状態へSiC粒子および Al_2O_3 粒子を約30g (10wt%) 徐々に投入し、さらに30分間攪拌し、水冷で凝固させた組織を**写真3**に示す。(a), (b) はSiC粒子/Mg合金複合材料でそれぞれ粒子径13μmおよび50μmのものである。また、(c), (d) は Al_2O_3 粒子/Mg合金複合材料でそれぞれ粒子径10μmおよび50μmのものである。半溶融状態の液相部にSiC粒子および Al_2O_3 粒子(黒い部分)が複合化している。しかし、どの粒子も液相部に均一に粒子が分散していないことが分かった。特に、 Al_2O_3 粒子を複合化したものは、粒子同士が固まりとなって存在し、マグネシウム合金と十分に混れていないことがわかった。

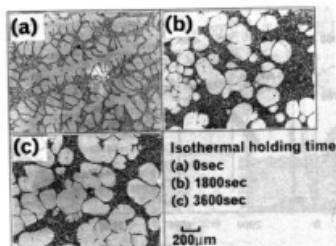


写真2 マグネシウム合金の半溶融攪拌による組織変化

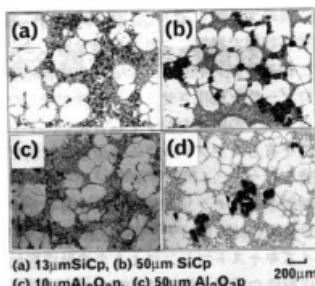


写真3 チクソトロピー性を有したマグネシウム合金複合材料の組織

3.2 半溶融攪拌中の攪拌トルク変化

図4, **図5**, **図6**は、トルク変換器で攪拌中のトルクを計測し、半溶融金属の見かけの粘性について調べた。横軸は、攪拌が開始された時刻を0secとしてある。攪拌トルクの大きな変動は、るつぼ内の半溶融金属が均等に攪拌するように、約10分おきに攪拌翼を上下させたためである。

図4は、マグネシウム合金を30および60分間攪拌したときの攪拌トルクの変化を示す。攪拌を加えることにより、攪拌トルクは、攪拌開始直後、約0.05Nmからゆっくり低下し、1時間の攪拌により約0.03Nmとなった。**図5**, **図6**は、SiC粒子および Al_2O_3 粒子を複合化したときのトルク変化を示す。攪拌開始して30分後、攪拌トルクが約0.04Nm程度に低下したところへ強化材を投入した。したがって、攪拌トルクが保持時間が2000sec近傍で増加している。強化材を投入し終わると、攪拌トルクは減少し始め、攪拌を開始して60分後の攪拌トルクは、約0.035Nmであり、強化材を加えたことにより、わずかではあるが、攪拌トルクが大きくなつた。今回の実験では、強化材の粒径によるトルク変化の違いは、はっきりと現れなかった。

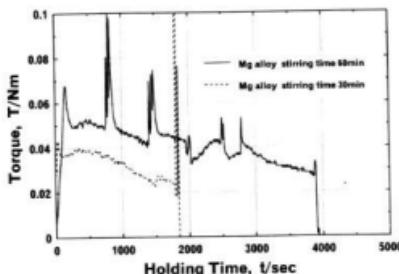


図4 半溶融マグネシウム合金の攪拌トルク変化

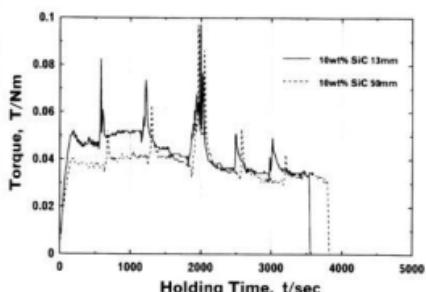
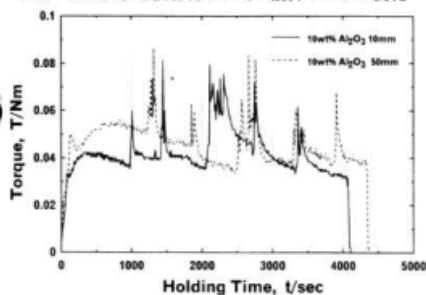


図5 SIC粒子を複合化した時の攪拌トルクの変化

図6 Al₂O₃粒子を複合化した時の攪拌トルクの変化

4 結 言

チクソトロビー性を有した半溶融マグネシウム合金複合材料のビレットを開発するため、半溶融状態で攪拌を行い、そのせん断力によりデンドライトアームを分断し、初品の α 相を球状化させ、チクソトロビー性を発現させた。この流動性のある半溶融マグネシウム合金に強化材としてSiCおよびAl₂O₃粒子を加え、複合化を試みた結果、以下の結論を得た。

(1) 試作した半溶融攪拌制御装置によりチクソトロビー性のあるマグネシウム合金複合材料が製造できた。しかし、攪拌を開始するまでに大きなデンドライトの α 相が生成し、攪拌しても微細な球状の α 相を得ることができなかった。

(2) α 相の結晶粒はかなり大きいがほぼ球状になり、攪

拌トルクが約0.05Nmから攪拌を開始して60分後には約0.03Nmへ低下し、チクソトロビー性のあるマグネシウム合金が得られた。

(3) このチクソトロビー性のある半溶融マグネシウム合金へSiCおよびAl₂O₃粒子を投入し、複合化を行った。均一に強化材が分散した組織は得られなかつたが、10wt%の投入量では、投入直後、攪拌トルクが上昇するものの、すぐに減少し始め、強化材投入後30分で0.035Nmの攪拌トルクで攪拌できた。強化材を投入したことによる攪拌トルクへの影響は少なかつた。

(4) Al₂O₃粒子とマグネシウム合金の反応は見られなかつたが、液相中にAl₂O₃粒子は固まりとなって存在し、複合化が完全に行われていなかつた。

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) Flemings, M. C.: Metall. Trans., 22A (1991), 957
- 2) 木内 学:日本金属学会会報, 21 (1982) 9, 687
- 3) 木内 学:第165回塑性加工シンポジウム,(1995), 1
- 4) 江見俊彦:第165回塑性加工シンポジウム,(1995),23
- 6) 佐藤 彰:第165回塑性加工シンポジウム,(1995),23
- 7) 市川 伸:第165回塑性加工シンポジウム,(1995),45
- 8) 杉山澄雄:第165回塑性加工シンポジウム,(1995),67
- 9) 三輪謙治:第165回塑性加工シンポジウム,(1995),81
- 10) 小島 陽他:軽金属, 42 (1992) 9, 504
- 11) 小島 陽他:軽金属, 42 (1992) 12, 734
- 12) 小島 陽他:軽金属, 45 (1995) 1, 151
- 13) 小島 陽他:軽金属, 45 (1995) 9, 516
- 14) 小島 陽他:軽金属, 45 (1995) 10, 560
- 15) 小島 陽:素形材センター調査報告,(1993), 433
- 16) 神尾彰彦他:軽金属学会第88回春期大会講演会予稿集,(1995), 135
- 17) 神尾彰彦他:軽金属学会第88回春期大会講演会予稿集,(1995), 137
- 18) 神尾彰彦他:軽金属学会第89回秋期大会講演会予稿集,(1995), 17

高性能と軽量化を目指した金属基複合材料に関する研究

藤井敏男, 府山伸行, 土取 功, 田谷征雄

Study on Fabrication Process of High Performance and Light Weight Metal Matrix Composites

FUJII Toshio, FUYAMA Nobuyuki, TSUCHITORI Isao and TADANI Isao

This report consists of two themes, one is the strength of alumina coated aluminum borate whisker reinforced aluminum alloy composites and the other is the development of particle reinforced Magnesium composites by the pressureless casting method.

A quantity of α -alumina fabricated on the surface of the aluminum borate whisker was controlled by changing sintering temperature of the preforms containing γ -alumina. The tensile strength of the whisker reinforced AC4C alloy composites fabricated by squeeze casting was investigated from room temperature to 673K. The results indicated that, the strength of alumina coated whisker sintered at 1473K reinforced composites has 360MPa in room temperature and increases about 45MPa compared with that of the normal whisker.

The pressureless casting method makes use of thermit reaction. In this study, fundamental experiments were carried out to find out the conditions when molten Mg infiltrates into preform ($TiO_2 + Al_2O_3$) spontaneously. This composites has MgO and Ti-Al intermetallic compound that were produced as new reinforcements after infiltration, and can possess high wear resistance. If this method is combined with the gravity casting method, it is possible to reinforce partially.

キーワード：複合材料, ホウ酸アルミニウムウイスカ、アルミナ化、マグネシウム、テルミット反応, TiO_2 , Al_2O_3

はじめに

金属基複合材料の研究は、これまで、アルミニウム合金を中心とし、製造方法等が報告されてきた。近年強化材の表面処理等による高性能化や、マグネシウム合金等を中心とし、軽量化を目指した研究動向が注目されている。本報告は、2種類の金属基複合材料のさらなる高性能と軽量化をめざし、2つの研究について2章に分けて報告する。

第1章 アルミナ処理されたホウ酸アルミニウムウイスカ強化アルミニウム合金複合材料の高温強度

1 緒 言

アルミニウム合金複合材料は、軽量で高強度な材料として大変期待され、最近では、自動車の部品として適用されつつある。強化材としていくつかの纖維や粒子が検討される中で、ホウ酸アルミニウムウイスカ($9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3$)は比較的低価格であるため、アルミニウム合金複合材料の強化材として有望視されている。これまで、マグネシウムを含むアルミニウム合金をホウ酸アルミニウムウイスカで強化した複合材料では、

T6熱処理するとas cast材よりも強度が低下することを報告¹⁾した。菅沼らは、マグネシウムとホウ酸アルミニウムウイスカが反応し、スピネル($MgAl_2O_4$)を形成することを報告²⁾している。そこで、前報³⁾では、このウイスカ表面にアルミナ被覆を施し、複合材料の強度特性について調べた。しかし、これまでのアルミナ化処理方法では、ホウ酸アルミニウムウイスカの純度が増すとともにアルミナが生成しないことがわかった。そこで、新たな方法でアルミナ化処理をし、ホウ酸アルミニウムウイスカで強化したアルミニウム合金複合材料の高温強度について調べたので報告する。

2 実験方法

2.1 プリフォーム作製

実験に用いた強化材は、四国化成工業株製のホウ酸アルミニウムウイスカ、アルボレックスM12である。このウイスカを水中で攪拌・分散させ、所望の形状に吸引成形した。乾燥後、焼成を行い、体積率20%の予備成形体(プリフォーム)^{1)~3)}を得た。複合材料の強度特性を向上させるため、ウイスカの表面を α -アルミナ化した。これまで、還元剤を入れて α -アルミナ化処理³⁾を行ってきたが、ウイスカの純度が増すと、この処理方法では安定したもののが得られな

い。そこで、ウィスカの製造工程で不定形の γ -アルミニナを残し、焼成することによりウィスカの表面を α -アルミニナ化した。本実験では、焼成温度を1473K, 1573K, 1673Kとする3種類のプリフォームを準備した。

2.2 高圧铸造法による複合化

宇部興産株式会社製スクイズキャスティングマシンを用いて、973Kに予熱されたプリフォームを金型表面温度約523Kの金型内に入れ、1033KのAC4Cアルミニウム合金浴湯を注ぎ、加圧力83.4MPa、プランジャー速度50mm/sで複合化し、アルミニウム合金複合材料を作製した。3種類の異なるプリフォームを強化材とする複合材料から、それぞれ一部をT6熱処理した。

2.3 高温強度試験

引張試験片は前報²¹と同様、直径6mm、平行部長さ25mmである。室温、473K、および673Kでの高温引張試験を行った。高温での引張試験では、設定温度に達したのち30分間保持後試験を行った。試験速度は1mm/minである。

3 実験結果と考察

3.1 プリフォームの状態

写真1は、作製したプリフォームより一部を削り取り、電子顕微鏡でその表面を観察したものである。(a), (b)はそれぞれ焼成温度が1473Kおよび1673Kのものである。焼成温度が1673Kになると板状の固まりが多く観察された。焼結が始まりつつあるのか纖維同士のネットキシングも見られる。しかし、1573K以下ではそのような様子は観察されなかった。

図1は、X線回折装置によるディフラクションパターンを示している。(a), (b), (c)は、それぞれ焼成温度が1473K, 1573Kおよび1673Kのものである。●印は、 α -アルミニナの回折ピークである。焼成温度の増加とともに、アルミニナ回折強度が高くなっている。定性的であるが、焼成温度とともに α -アルミニナ化が進んでいるものと考えられる。

3.2 複合材料の高温強度

図2は、複合材料の引張強度と試験温度との関係で

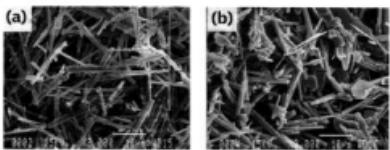


写真1 ウィスカ表面の電子顕微鏡写真

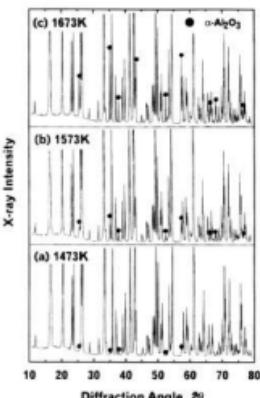


図1 焼成温度によるX線回折パターンへの影響

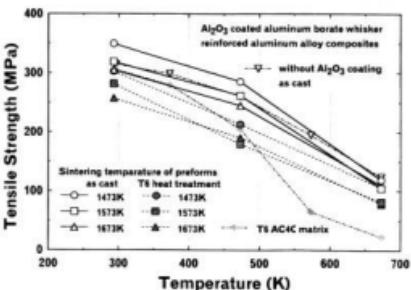


図2 焼成温度による高温引張強度との関係

ある。プリフォームの焼成温度は、○、●が1473K, □、■が1573K, △、▲が1673Kである。それぞれ白印がas cast材で、黒印がT6熱処理材である。参考値として△は、アルミニナ処理していない場合のas cast材のものである。また、◆は、AC4C母材をT6熱処理した場合のものである。

as cast材でもT6熱処理材でも焼成温度が高くなるにしたがって、引張強度が低くなることがわかる。また、T6熱処理によってas cast材の強度より低下することがわかった。1473Kで焼成したプリフォームを用いた複合材料は、室温で約360MPaと高く、アルミニナ被覆処理しない315MPaより約45MPaも強度が向上した。前方法²¹でアルミニナ被覆処理した複合材料と比べ、わずかではあるが強度が向上している。しかし、焼成温度が1573Kのプリフォームを用いた複合材料の強度は、アルミニナ被覆処理をしないものとはほぼ同じ値を示し、1673Kになると逆に強度が低下している。焼成温度と

ともにアルミナの量が増加したが、焼成温度が高すぎ、ウイスカ同士の焼結のため逆に強度を低下させたのではないかと考えられる。また、アルミナ被覆処理を施しても、T6熱処理によって強度低下を押さえることはこれまで³⁾と同様にできていないことがわかった。しかし、母材AC4CのT6熱処理材と比較して、ほう酸アルミニウムウイスカ強化により高温での耐熱強度低下が少ない。

4 結 言

アルミナ被覆処理を施したほう酸アルミニウムウイスカプリフォームを強化材にしたアルミニウム合金複合材料の高温での引張強度を検討し、以下の結論を得た。

(1) 焼成温度1473Kのプリフォームを用いた複合材料でas cast材の室温での強度は約360MPaであり、アルミナ被覆処理をしていないものに比べ、約45MPaの強度向上が見られた。また、本方法によるアルミナ被覆処理でも、以前と同等の強度を得ることができた。

(2) しかし、焼成温度が高くなるにしたがい、 α -アルミナの生成量は増加するものの、引張強度は、逆に低下した。

本研究で用いたプリフォームは四国化成工業株で作製していただいたものであり、関係者に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 土取 他: 広島県立西部工技研究報告, No.34(1991), 48
- 2) 菅沼 他: 軽金属, 41(1991), 5, 297
- 3) 繩稚 他: 広島県立西部工技研究報告, No.36(1993), 48

2章 無加圧浸透法によるマグネシウム基複合材料の開発

1 緒 言

マグネシウム(以下、Mg)基複合材料は、実用構造用合金で最も低比重のMgをマトリックスとするため、低比重・高比強度が期待される材料である¹⁾。しかし、様々な複合化方法により検討されてきたが、コスト、溶融状態の反応性等の問題点から、実用化はアルミニウム(以下、Al)基に比べて進んでいない²⁾。

一方で反応を利用し、予備成形した強化材中にマトリックスとなる合金を加圧することなく浸透させる複合化方法(以下、無加圧浸透法)が、Al基を中心に盛んに

研究されている³⁾⁻⁶⁾。本方法は雰囲気や酸化物等の巻き込みが少なく、比較的簡便に健全な複合材料が得られるが、Mg基に関してその研究例が少ない。しかし、Mg基にこそ欠点とされる反応性を積極的に利用できる無加圧浸透法は非常に有望であると考える。

本研究は、粒子強化Mg基複合材料の製造方法において、無加圧浸透法の適用に関する検討を行い、浸透条件と得られた複合材料の評価を行った。

2 実 験 方 法

2.1 基本概念

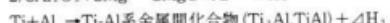
無加圧浸透は、次式の酸化物/Mgのテルミット反応の進行と反応熱による濡れ性改善で可能となる⁵⁾⁻⁷⁾。



また、酸化物から解離した金属元素がMgと化合物をin-situ(その場)生成すれば、MgOと共に新たな強化材となることが期待されるが、高強度(高硬度)なMg化合物は少なく、この生成物を主なる強化材として利用した研究例は見当たらない。

2.2 反応系および複合化条件

本実験では各種酸化物の中からTiO₂とAl₂O₃を選定し、反応時に解離した金属元素でTi-Al系金属間化合物を生成させ、新たな粒子強化材としての分散を目指した。これらの過程は以下の反応により進行する。



各酸化物には、共に粒径0.3μmのルチル型TiO₂粒子と α -Al₂O₃粒子を用いた。その配合は、強化材として反応合成を目指す各Ti-Al系金属間化合物(Ti, Al, TiAl)となるようにモル比で配合し、合計体積率が約15%の予備成形体(以下、プリフォーム)を作製した。また、マトリックスは純Mg(99.9%)を使用した。

図1に試料配置の模式図を示す。このように、鉄るつぼの中で純Mgブロック上部にプリフォームを配置させた。複合化条件はArガス雰囲気中で雰囲気温度1123K、1.8ksec保持とした。得られた複合材料は組織観察、組成分析を行い、一部の特性について評価した。

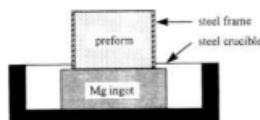


図1 試料配置の模式図

3 実験結果と考察

3.1 複合化組織と反応生成物

写真1にTi₃AlとMgOを強化材として反応合成するように、各酸化物を配合したプリフォームで複合化した複合材料(以下、Ti₃Al+MgO/Mg複合材料)の組織写真を示す。(a)の白色部がマトリックス、灰色部が強化材である。(b)より、2種類の強化材が存在することが分かる。このように未浸透部がない、スponジに水が吸収されるように、無加圧状態でプリフォーム中にMg溶湯が浸透したと考えられる。

図2にTi₃Al+MgO/Mg複合材料及びTiAl+MgO/Mg複合材料のX線回折結果を示す。複合化組織は、Mg,Ti-Al系金属間化合物及びMgOで構成されていた。このように、各酸化物をモル比で調整すれば、任意のTi-Al系金属間化合物(Ti₃Al, TiAl)の反応合成できるため、各Ti-Al系金属間化合物の特性を生かし、用途に応じた特性を持つ複合材料の作製も可能である。また、X線回折結果とSEM-EDXの面分析結果から、写真1(b)の数μm程度の灰色の析出物はTi-Al系金属間化合物(Ti₃Al)、周辺の1μm以下の粒子はMgOであった。一般

に、in-situ生成される反応生成物/マトリックスの界面整合性は良好であり^{31, 43}、溶湯搅拌法等のいわば強制的な複合化と比較して高強度であると考えられる。

3.2 機械的性質

図3にTi₃Al+MgO/Mg複合材料及びTiAl+MgO/Mg複合材料の摩耗試験結果を示す。複合材料の摩耗減量は、比較材料のマトリックス材より少なく、鉄(FC25)と同等であり、焼付き現象も示さない。また、相手材に対する攻撃性もマトリックス材と同等であった。これらの特性の要因は、炭化物や酸化物が一般的な強化材であるのに対し、本複合材料は金属間化合物が主なる強化材であるためと考えられる。

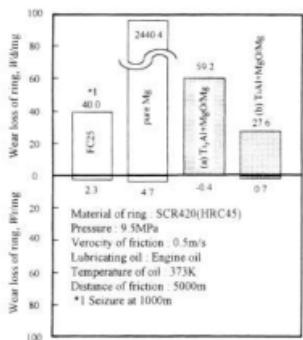


図3 複合材料の耐摩耗特性

4 結 言

TiO₂, Al₂O₃と溶融Mgのテルミット反応を利用した無加圧浸透法による粒子強化Mg基複合材料の製造条件について検討した。比較的簡便に得られる本複合材料は反応生成物であるTi-Al系金属間化合物を主なる強化材とし、耐摩耗特性に優れた。また、本方法は重力铸造法との組み合わせで部分複合化も可能であり、軽量摺動部材等への応用が期待される。

文 献

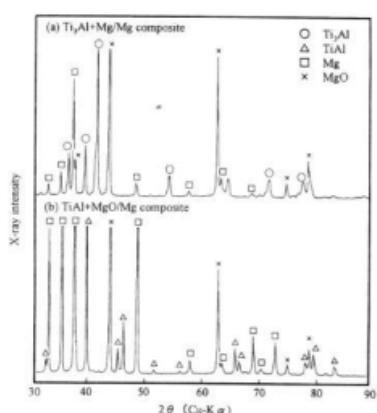


図2 複合材料のX線回折結果

- 1) M.O.Pekguleryuz: MAGNESIUM COMPOSITES, ITM 資料, Institute of Magnesium Technology, Canada
- 2) John F.King etc: Proceedings IMA 53 (1996), 77
- 3) 普沼克昭: 軽金属, 40 (1990), 936
- 4) 長 隆郎: 金属(特集 複合材料), 66 (1996)
- 5) 金田裕光, 長 隆郎: 軽金属, 45 (1995), 321
- 6) 金田裕光, 長 隆郎: 軽金属, 45 (1995), 537
- 7) 金田裕光, 長 隆郎: 軽金属, 46 (1996), 321

液晶を用いた自動光量調整フィルターの開発

杉島愛子, 府山伸行, 藤井敏男, 村河亮利, 伊藤幸一

A development of Automatic Light Control Filter with Liquid Crystal

SUGISHIMA Aiko, FUYAMA Nobuyuki, FUJII Toshio, MURAKAWA Akitoshi and ITO Koichi

Recently, more light and portable LCD panel have been demanded. So far glass sheet has been used to produce LCD panel, but it is heavy and frangible. Instead of glass sheet, plastic sheet has been studied to use for a part of LCD panel by many researchers. In this work, we change elements (substrate temperature, chamber pressure, the flow of Ar and O₂, and sputtering time) to make ITO film on plastic sheet in less than 573K. In addition, we make an application of light control circuit and try to develop Automatic Light Control Filter with Liquid Crystal. As results, the effect of O₂ installation to produce ITO film on glass sheet is risen the sheet resistance. As the plane of plastic sheet does not keep the degree of parallel, the sheet could not use for a part of LCD panel.

キーワード：液晶，プラスチック，スパッタリング，ITO

1 緒 言

低消費電力、低電圧動作、軽量、薄型、カラー表示などを特徴とする液晶ディスプレイ(LCD)はパソコン用コンピューターやビデオ機器等へ急速にその用途を拡大している。当センターでもITO膜のガラス基板上成膜技術に関して、スパッタリング法で検討を行ってきた^{1), 2)}。

しかし、将来のLCD開発は軽薄化のニーズに答えるため、携帯性強化を狙ったLCD開発に重点が置かれると考えられる。これはITO膜を積層した光学的等方性の良いプラスチックフィルムの基板を使用するLCD開発であり、表1に示す特徴を有している³⁾。このように、プラスチック基板LCDの長所は多いが、ガラス基板LCDの5倍前後コスト高となるため、低コスト化を目指した成膜技術に関する研究が盛んに行われている⁴⁾。

本研究は、プラスチックフィルム基板上にスパッタリング法でITO成膜する場合の課題である低温成膜条件

について検討を行い、透明導電プラスチックフィルムを作製して、電気抵抗率等の評価を行った。また、この透明導電プラスチックフィルムを使用したLCDを作製すると同時に、応用例として周囲の光量変化に対応して一定量の光透過率を制御する回路の設計を行い、これらを組み合わせた自動光量調節フィルターの開発を試みた。

2 実験方法

2.1 ITO成膜

成膜には平行平板型スパッタリング装置(ULVAC製SH-250H型)を用いた。ITO(10wt%SnO₂)ターゲット径は80mm、基板ターゲット間は65mmとした。低温成膜条件の検討するために、石英ガラス基板(25×25×1.1mm)を用いた。最適な低温成膜条件でポリイミド(PIm)、ポリエチレンテレフタート(PET)、ポリメタメチルアクリレート(PMMA)、ポリビニルクロライド(PVC)、ポリカーボネート(PC)の5種類のプラスチック

表1 プラスチック液晶パネルの特徴³⁾

	ガラス基板のLCD	フィルム基板のLCD
薄型化	基板厚さ: 1.1mm, 0.7mm, 0.5mm, 0.3mm セル厚さ: 1.7mm(基板厚0.7mm)	基板厚さ: 0.1mm セル厚さ: 0.5mm
軽量化	セル・サイズ60×40mm(基板厚0.7mm): 9.2g	セル・サイズ60×40mm(基板厚0.7mm): 1.9g
耐衝撃性	落下、外部押圧で割れやすい	割れない
曲面表示	物理的に不可能	曲率35mm程度まで可能
加工の自由さ	直線加工のみ、曲面加工は難しい	円、だ円、中抜き、穴開け、異形加工可能
生産方式	300mm角、400mm角、500mm角の枚葉加工	ロール・ツー・ロールでの連続加工
コスト比[同仕様]	1	約5~6

基盤(25×25mm)を用いて透明導電プラスチックフィルムの作製を試みた。試料配置後、真空チャンバー圧 1.3×10^{-3} Pa以下に真空引きし、アルゴンガスで置換して雰囲気制御を行った。一部試料は成膜時および基板冷却時の酸素導入効果を検討した。成膜条件はスパッタ圧5.0× 10^{-3} Pa、RFパワー30W一定とした。ITO膜の表面抵抗率(以下、シート抵抗(Ω/\square)は4端子測定法(探針ピッチ間隔1.5mm)で評価した。

2.2 自動光量調節回路

LCDの自動透過光量調整を行うため、図1に示すブロック図からなる回路を設計した。まず、プリッジ回路でCdSの抵抗値と透過光量調整抵抗値を比較し、透過光量の大小の判定を行った制御結果を出力成形回路に送る。次に出力成形回路からLCDに調整した電圧波形を出力することで透過光量を変化させる。これらの過程を一定サンプリング時間ごとに繰り返し、CdSの抵抗値と透過光量調整抵抗値を一致させることで、任意の透過光量を得ることができるLCD自動透過光量調節回路の作製を行った。

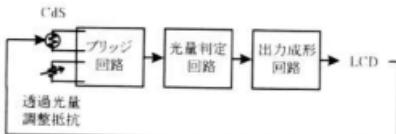


図1 LCD自動透過光量調整回路のブロック図

3 実験結果と考察

3.1 ITO膜の低温成膜

3.1.1 基板加熱効果

図2にRFパワー30W、成膜時間30分一定でガラス基板温度を変化させたシート抵抗値を示す。シート抵抗は基板温度が室温から473Kまでは急激に低下し、573K以上になると徐々に増加する。この基板温度の上昇によるシート抵抗の低下は、キャリヤー密度の増加とキャリヤー移動量の増加の両者に依存していることが明らかにされている^{5), 6)}。このように、ITO膜の抵抗率は成膜中の基板温度に依存しており、基板温度が高い程抵抗率は低下する。しかし、図2から573K前後での成膜が適当と考えられるが、プラスチック基板の場合、下地の耐熱性からITO膜の作製温度が制限されるため、ITO膜の低抵抗率化とあわせて、成膜温度の低温化の要請が高い。これは、プラスチック基板の耐熱性にも依存するが、473K前後の低温プロセスが推奨されている¹⁾。

このような低温プロセスでシート抵抗を下げる、即ちキャリヤー密度を上昇させるためには結晶性を高める必要がある⁷⁾。一般にITO膜には非晶質膜と結晶質膜とがあるが、結晶質膜の方が基本特性は優れている⁸⁾。以前、当センターで成膜温度の変化によるITO膜結晶化の進行をX線回折により明らかにした²⁾。これによると、結晶性が悪ければ酸素欠陥とSnによるドーバンドが伝導バンドへの食い込みを減少する。つまり、キャリヤー密度が減少するといわれている⁹⁾。そこで、ITO膜の化学量論組成の最適化を図るために、本研究では成膜時および基板冷却時の酸素導入効果によって低温成膜プロセスの検討を行った。

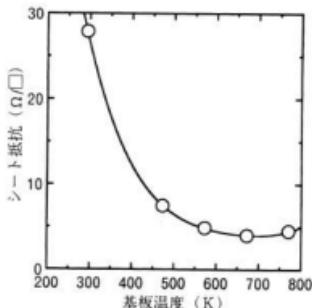


図2 シート抵抗と基板温度の関係

3.1.2 酸素導入効果

図3にガラス基板上で最適な基板温度である573Kにおいて、RFパワー30W、成膜時間30分一定で成膜時の雰囲気酸素ガス量を変化させたシート抵抗値を示す。シート抵抗は酸素導入量の増加にしたがって、逆に上昇した。以前、当センターにおいて、室温で成膜した場合にも同様な傾向が見られることが確認されている¹⁰⁾。また、酸素導入を成膜後の基板冷却時にを行い、その効果を検討したが、同じようにシート抵抗の低下はみられなかった。

酸素導入量の効果については数多くの研究報告があり、雰囲気酸素分圧を制御したときのITO膜は、定性的に表2のように変化するとされている¹¹⁾。この報告によると、透明でかつ高導電性のITO膜は、化学量論組成から少しの酸素不足の膜であり、自由電子密度が $3 \sim 4 \times 10^{20} \text{ cm}^3$ 程度とされている。ITOの化学量論組成では、酸素原子が約 $4.5 \times 10^{20} \text{ 個}/\text{cm}^3$ 存在するので、そのうち、 $\sim 10^{20} \text{ 個}/\text{cm}^3$ 程度の酸素が欠乏した状態が最適ITO膜ということになる。また、別の酸素導入効果の報告では、1%程度の酸素導入時にシート抵抗は

平成9年9月30日 印刷
平成9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 児市阿賀南2丁目10-1
E-mail Staff@seibu-kg.pref.hiroshima.jp
TEL (0823) 74-0050㈹
FAX (0823) 74-1131

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