

# 広島県立西部工業技術センター研究報告

No. 31

目

次

November 1988

抄

録

## -報文-

1. レーザ光による超精密測定法の研究 池田哲宏・吉野信行・斯波信雄・岡田芳雄 1  
水山博夫・田尾博幸
  2. 光センシング技術を応用した生産工程の自動化 田尾博幸・岡田芳雄・坂元康泰・吉野信行 5  
村外美比古
  3. エキスパートシステムの工業分野への応用 永山博夫・馬場祥宏 9
  4. レーザによる表面改質の研究 蒲田政信・平田敏明・池田哲宏 12
  5. セラミックスの超音波加工に関する研究 山崎隆志・斯波信雄 16
  6. 金属基複合材料（MMC）の開発 土取 功・新田 明・原 信彦 20  
(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粒子及びSiCワイスカーフ分散複合材の粉末冶金法による製造と熱膨張特性)
  7. 金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究（第4報） 世良時夫・新田 明・原 信彦・土取 功 24  
(焼合金を使用した窒化ケイ素セラミックスの接合に関する研究)
  8. 金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究（第5報） 新田 明・世良時夫・原 信彦・土取 功 28  
(窒化ケイ素セラミックスと金属の接合に関する研究)
  9. 金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究（第6報） 世良時夫・新田 明・原 信彦・土取 功 32  
(窒化ケイ素セラミックスと金属の接合技術における質量効率に関する研究)
  10. セラミックス薄膜の製作技術の開発（第2報） 舟岡 秀・丸下清志・尾辻康博・川下安司 36  
(イオンプレーディングTiN被膜厚の測定)
  11. ICP発光分析法によるセラミックス中の微量元素の定量 渡部英雄・田谷征雄・相原将人 40
  12. 新素材を利用した小型船用消音器の開発 吉野信行・田尾博幸・久保野茂・太田光雄 44
  13. 複合材料の高性能化へのアプローチ 好満芳邦・筒本隆博・大橋俊彦 48
  14. 多機能・多目的知能ロボットの開発（第2報） 桧垣和生・蒲田政信・平田敏明・永山博夫 53  
(複数機能とハンドリング機能を有する搬送ロボット)
  15. コンピュータの高度利用技術に関する研究 桧垣和生・永山博夫・坂元康泰 57  
(電子回路設計へのASIC応用技術に関する研究)
  16. セラミックス溶射の活用による複合化技術の開発 野地英治・吉田裕介・吉野信行・原 信彦 61  
横山宏樹
- 研究ノート-
1. 錫造用金型の耐久性に関する研究 原 信彦・世良時夫・筒本隆博 65
  2. 太陽熱利用による海水より真水の回収 関 守雄・中村和清・天島正行 69
  3. 高放射材料による遠赤外線加熱の研究 天島正行・中村和清・関 守雄・野地英治 73
  4. Cu-Zn-Al系形状記憶合金の記憶効果に及ぼす時効の影響 斎山信行・吉池啓介・鈴木 寛・横山宏樹 77
  5. 播種機用搬送位置決め装置の開発 岡田芳雄・田尾博幸・大下義・上村道省志 81
  6. バイオメカニクス技術に関する研究 斯波信雄・鈴木 誠 85  
(機能高分子による新機能機械要素について)

BULLETIN  
of the  
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE,  
HIROSHIMA PREFECTURE WEST

Vol. 31

November 1988

Contents

—Originals—

|  |    |
|--|----|
| 1 . A Study of Method of High Precise Measurement with Laser .....   | 1  |
| IKEDA Tetsuhiro, YOSHINO Nobuyuki, SHIBA Nobuo, OKADA Yoshio, NAGAYAMA Hiroo,<br>TAO Hiroyuki  |    |
| 2 . Manufacturing Automation by Using Optical Sensor Technology .....  | 5  |
| TAO Hiroyuki, OKADA Yoshio, SAKAMOTO Yasuhiro, YOSHINO Nobuyuki<br>and MURASOTO Hidehiko   |    |
| 3 . Application of Expert System in Industrial Field .....   | 9  |
| NAGAYAMA Hiroo, BABA Yoshihiro   |    |
| 4 . A Study of Laser Modification .....  | 12 |
| KAMADA Masanobu, HIRATA Toshiaki and IKEDA Tetsuhiro   |    |
| 5 . Study on Ultrasonic Machining for Ceramics .....   | 16 |
| YAMASAKI Takashi, SHIBA Nobuo  |    |
| 6 . Fabrication of $\text{Al}_2\text{O}_3$ (particle), $\text{SiC}$ (whisker) / Metals Composites by Sintering Method<br>and their Thermal Expansion ..... | 20 |
| TSUCHITORI Isao, NITTA Akira, HARA Nobuhiko  |    |
| 7 . Joining of Silicon Nitride Using Copper Alloys .....   | 24 |
| SERAF Tokio, NITTA Akira, HARA Nobuhiko, TSUCHITORI Isao,<br>YOSHINO Mitsutoshi and WATANABE Teishiro  |    |
| 8 . Joining of Silicon Nitride to Metals .....   | 28 |
| NITTA Akira, SERAF Tokio, HARA Nobuhiko, TSUCHITORI Isao,<br>YOSHINO Mitsutoshi and WATANABE Teishiro  |    |
| 9 . Study on Size Effect of Joining between Silicon Nitride and Metals .....   | 32 |
| SERAF Tokio, NITTA Akira, HARA Nobuhiko, TSUCHITORI Isao,<br>YOSHINO Mitsutoshi and WATANABE Teishiro  |    |
| 10. Measuring of Thickness of Titanium Nitrides Films by Ion Plating .....   | 36 |
| KAJIOKA Hideshi, MARUSHITA Kiyoshi, OOTSUJI Yasuhiro, KAWASHIMO Yasushi  |    |
| 11. Determination of Trace Metal in Ceramics by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry .....  | 40 |
| WATANABE Hideo, TADANI Isao, AIHARA Masato   |    |
| 12. A Development of Expansion Chamber Type Muffler for Small Ship by Using New Material .....   | 44 |
| YOSHINO Nobuyuki, TAO Hiroyuki, KUBONO Shigeru and OHTA Mitsuo   |    |
| 13. Approaching to High Quality Hybrid Composites for Industrial Products .....  | 48 |
| YOSHIMITSU Yoshikuni, TSUTSUMOTO Takahiro, OHASHI Toshihiko  |    |

|  |    |
|--|----|
| 14. Systematic Approach to Intelligent Mobile Robot with Visual Sense. (2nd)   | 53 |
| HIGAKI Kazuo, KAMADA Masanobu, HIRATA Toshiaki, NAGAYAMA Hiroo,<br>BABA Yoshihiro, SAKAMOTO Yasuhiro, NARA Ryoji, OGAWA Tetoo,<br>FUNABA Kazutoshi, HIMEMIYA Makoto, ODA Takayasu, IMAMURA Yoshio,<br>HAMAMOTO Tomoyoshi, FUZITA Yasuto, OIWA Masamichi,<br>KUSHIDA Kozi, ISHIBASHI Kazunari |    |
| 15. ASIC Application to Image Processing LS1   | 57 |
| BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo, NAGAYAMA Hiroo, SAKAMOTO Yasuhiro,<br>and NARA Ryoji   |    |
| 16. Ceramics Coatings for Anti-wear and Development of Long Wave Infrared Radiations by Thermal Spraying   | 61 |
| NOJI Hideharu, YOSHIIKE Hiroyuki, KARIYAMA Nobuyuki, HARA Nobuhiko<br>and YOKOYAMA Hiroki  |    |

**- Notes -**

|   |    |
|---|----|
| 1 . Study on Improvement of Durability of Metal Mold for Casting                | 65 |
| HARA Nobuhiko, SERA Tokio and TSUTSUMOTO Takahiro                               |    |
| 2 . The Recovery Fresh Water from Saline Water by Solar Energy                  | 69 |
| SEKI Morio, NAKAMURA Kazukiyo, TENBATA Masayuki                                 |    |
| 3 . The Study of Heating by Long Wave Infrared Radiation Using Ceramic Coatings | 73 |
| TENBATA Masayuki, NAKAMURA Kazukiyo, SEKI Morio, NOJI Hideharu                  |    |
| 4 . Effect of Aging on Shape Memory Effect of Cu-Zn-Al Alloy                    | 77 |
| KARIYAMA Nobuyuki, YOSHIIKE Hiroyuki, SUZUKI Hiroshi and YOKOYAMA Hiroki        |    |
| 5 . Development of a Positioning System for the Sewing Machine                  | 81 |
| OKADA Yoshio, TAO Hiroyuki, OSHITA Iwao and UEKAJISAKO Syoji                    |    |
| 6 . New Functional Mechanical Elements by Macropolymer                          | 85 |
| SHIBA Nobuo, SUZUKI Makoto  |    |

---

*Published by*

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE, HIROSHIMA PREFECTURE WEST

6-21, Nishichuo 3chome Kure-shi

Hirosshima 737 Japan

## 抄

## 録

### 広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.31)

#### レーザ光による超精密測定法の研究

池田哲宏, 吉野信行, 斯波信雄, 岡田芳雄, 永山博夫, 田尾博幸

レーザ応用計測の具体例として、高精度測定が可能な非接触表面形状自動測定システムを試作した。

本システムは、被測定物を移動させるXYテーブルと非接触プローブとして使用する三角測量方式の半導体レーザ位変計、超精密なHe-Neレーザ測長システムを取り付けたZステージ及びパーソナルコンピュータから構成され、物体の形状を3次元測定するものである。

基本的性能は、同一位置におけるプローブの位置検出精度が $\pm 1\mu\text{m}$ 、サインバーを使用した傾斜面の測定精度が $\pm 11\mu\text{m}$ となり、乱反射光が十分得られる面であれば表面の形状測定が可能である。

本測定システムは、極薄で、剛性のない柔らかいワーク等の表面形状の測定に有効であり、回転体の振れ等の動的測定にも適用可能である。

P 1~4, 表1, 図9, 写真1, 文献4

#### 光センシング技術を応用した生産工程の自動化

田尾博幸, 岡田芳雄, 板元康泰, 吉野信行, 村外英比古

プラスチック押出成形において、成形品の外形寸法を高精度化・安定化させるためには、ダイの近辺で形状を測定し、制御することが重要である。

本研究は、高温のため困難な状態であったダイ近辺での形状測定に光センシング技術を導入し、また制御にパソコンを利用することにより生産工程の自動化を図った。システムは、ダイ近辺での成形品の形状測定

を非接触で行う形状測定部、このデータをリアルタイムで処理する計測・制御部、外形寸法を最も左右する要因である引き抜き速度を高精度に制御する引き抜き速度制御部から構成される。

この開発により、品質の高精度化・安定化が図られる。またシステムは、計測・制御にパソコンを使用し、対象の変更に対する高い適応性を有している。

P 5~8, 表1, 図4, 写真2, 文献2

#### エキスパートシステムの工業分野への応用

永山博夫, 馬場祥宏

エキスパートシステムは、専門家の持つ知識や判断力をコンピュータ上で実現したものである。今回NEC9801上で、エキスパートシェル「創玄」を用いた画像処理装置選定支援のエキスパートシステムを試作した。その結果は次の通りである。

(1) エキスパートシェルの利用により簡単かつ迅速な対話型のエキスパートシステムの構築が可能である。

(2) 試作システムは、変数・ルールが日本語により記述されているため、可読性が高い。

(3) 効率的なエキスパートシステムの構築には、知識獲得が課題となる。

(4) 今回使用したエキスパートシェルは、グラフィクスピとのインターフェース、知識ベースエディタの点において能力不足である。

P 9~11, 表0, 図7, 写真0, 文献2

#### レーザによる表面改質の研究

瀧田政信, 平田敏明, 池田哲宏

レーザ熱源による合金化の可能性と問題点を明らかにするため、合金粉末を鋼板上に塗布し、表面合金化について検討した。

SUS304L合金粉末とタングステンカーバイト系自溶性合金粉末をSUS304, SUS430, SS41に塗布し、レーザを照射したところ溶け込みの浅い、凸形の合金層が得られ、レーザビームの走行速度を速く

することにより微密な組織の合金層が得られた。

TiC粉末のみのクラッドは難しいが、SUS304鋼板で比較的より例が得られた。TiC粉末の比重は小さいため溶融部上層にクラッドされ、粉末粒子間を溶融液が浸透し、クラッド層が凹形になることが確認された。

P 12~15, 表3, 図7, 写真4, 文献2

## 抄 錄

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.31)

### セラミックスの超音波加工に関する研究

山崎隆志、斯波信雄

加工性の悪いセラミックス材料の高能率、高精度加工をめざして、超音波加工機による穴あけ加工を試みた。加工法は加工能率を向上させるため、当所で試作した回転テーブル（最高回転数 6000 r. p. m.）を付加し、被削材を回転させながら超音波加工を行った。

超音波研削加工条件は、工具、被削材、研削加工条件を変化させて、各種加工条件の影響の掌握と工具の種類が加工精度におよぼす影響について調べた。

本研究では、セラミックスの被削材としては  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が比較的被削性がよい。工具はダイヤモンド工具の優位性が認められ、砥粒の粒度が粗い程研削性が良好であった。なお、加工能率の面から押しつけ力が増大するに比例して加工能率も増加する。また、被削材を回転させながら、穴あけ加工をすることにより、大幅な加工能率の向上が行われた。

P 16~19, 表 1, 図 6, 写真 3, 文献 2

### 金属基複合材料 (MMC) の開発

#### $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粒子及び SiC ウィスカーフ分散複合材の粉末冶金法による製造と熱膨張特性

土取 功、新田 明、原 信彦

マトリックス金属として Cu, Ni, SUS 304L の金属粉末と強化材として  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子及び SiC ウィスカーフの複合材を粉末冶金法で試作し、それらについて熱膨張、硬さ、曲げ強さ、摩耗などの試験を行った。得られた複合材で強化材の分散状態は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  では平均粒子径の大きい方 ( $8 \mu\text{m}$ ) が良好であり、小さい方 ( $1.3 \mu\text{m}$ ) では粉末同士の凝集がみられ、空洞となっている部分も観察された。また粒子径が大きくなるとわずかに熱

膨張係数は低下する傾向がみられ、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子 ( $8 \mu\text{m}$ ) の Vf の増加とともにいずれの複合材も熱膨張係数は低下した。(約  $4 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  以上) この中で  $\text{Al}_2\text{O}_3/SUS 304L$  では  $\alpha$  相が認められた。一方、SiC ウィスカーフ強化の複合材はいずれもウィスカーガマトリックス金属と反応消失し、熱膨張係数の低下は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  と同程度で織維強化の効果は認められなかった。

P 20~23, 表 0, 図 5, 写真 5, 文献 5

### 金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究 (第 4 報)

#### 銅合金を使用した窒化ケイ素セラミックスの接合に関する研究

世良時夫、新田 明、原 信彦、土取 功、芳野光利、渡辺貞四郎

基礎実験から窒化物元素 (Cr, Nb, V, Al) を含む Ni-Cu 合金を真空溶解炉で溶製し、この合金をインサート材として使用して、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 同士の接合を行った。

接合温度 1150 °C 一定で、接合時間とせん断強さの関係では、接合時間 10~15 分で最高の強度を得た。特に Al-V 系インサート材は高い強度を得た。Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> セラミックス表面に蒸着処理して接合した結果、V 系インサート材の Ti, Al 蒸着処理のみ強度向上が認められた。

た。

接合界面 (真空中、アルゴン中) がせん断強さに及ぼす影響では、真空中での接合強度が高い。Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> セラミックスの種類によって窒化物元素との反応性が異なると考えられる。接合強度の差が認められた。

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> セラミックスとインサート材の反応生成物は MN, M(M')シリサイド (M: Cr, Nb, V, M': Ni) の生成物が認められ、これが接合強度に寄与しているものと考えられる。

P 24~27, 表 7, 図 3, 写真 1, 文献 5

## 抄録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.31)

### 金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究 (第5報)

#### 窒化ケイ素セラミックスと金属の接合に関する研究

新田 明, 世良時夫, 原 信彦, 土取 功, 芳野光利, 渡辺貞四郎

$\text{Si}_3\text{N}_4$  と金属の接合用インサート材料を開発した。  
接合前の、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  表面へのメタライズ条件は、温度  
 $1150^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ , 真空度  $1 \sim 5 \times 10^{-7}$  Torr, 時間10  
~15分間である。

その結果を要約すると、

- (1)  $\text{Si}_3\text{N}_4$  と金属をメタライズ法で接合すると、 $8 \sim 12 \text{kgf/mm}^2$  のせん断強さが得られ。これらの応力緩

和材として  $\text{Cu}/\text{コバルト}, \text{Ni}$  を用いた場合が良好な  
結果をもたらした。

接合体の高温せん断強さは  $300^\circ\text{C}$  まではほとんど変  
化なく、それより高温になると低下する。

- (2)  $\text{Si}_3\text{N}_4$  と金属の同時接合法では  $\text{Ni}$  を緩和材とし、  
低 ( $\text{Al}-\text{V}$ ), 低  $\text{V}$  系インサート材を用いると  $8 \sim 12$   
 $\text{kgf/mm}^2$  のせん断強さが得られた。

P 28~31, 表 1, 図 6, 写真 1, 文献 0

### 金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究 (第6報)

#### 窒化ケイ素セラミックスと金属の接合技術における質量効果に関する研究

世良時夫, 新田 明, 原 信彦, 土取 功, 芳野光利, 渡辺貞四郎

寸法の大きいセラミックスと金属を欠陥がなく、強  
度も高い接合技術の確立を目的に次のような方法で研  
究した。

$\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスと金属の接合で数種類の緩和材  
を使用して接合し、重ゲージ法により残留応力を測定  
した。その結果、軟質材である鋼の緩和効果が大きい  
結果を得た。試作した粉末成形の緩和材では、銅系、  
 $\text{Ni}$  系粉末に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  及び  $\text{Ni}$  系粉末に  $\text{SiC}$  ウィスカを分

散させた材料を緩和材に使用した接合体の接合強度は  
高い傾向にあった。

寸法の大きいセラミックスへ均一なメタライズを行  
う方法を検討し、 $\text{Ni}$  に溝加工した緩和材や鋼の緩和材  
で完全な接合体を得た。

製品化への応用としてタペット(鉄鉄)の耐摩耗部  
への接合や  $50^\circ\text{m}$  角の  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスと S 45C の接  
合体を試作した。

P 32~35, 表 0, 図 5, 写真 3, 文献 9

### セラミックス薄膜の製作技術の開発 (第2報)

#### イオンプレーティング TiN 被膜厚の測定

梶岡 秀, 丸下清志, 尾辺康博, 川下安司

SUS 304 基板上に、イオンプレーティングで  $1\text{ }\mu\text{m}$   
 $\sim 14\text{ }\mu\text{m}$  の TiN 被膜を成膜し、Spherical drill 法およ  
び蛍光 X 線分析法による被膜厚測定を検討した。Spherical  
drill 法では  $1\text{ }\mu\text{m}$  程度の薄い被膜でも簡単に精度よく  
測定できた。尚、蛍光 X 線分析法では波長分散型の装  
置と波高分析型の微小部が測定できる 2 つの装置で測  
定した。被膜からの Ti (K $\alpha$ ) 強度を測定する励起法と、  
基板からの Fe (K $\alpha$ ) 強度を測定する吸収法の両者で検  
討した。用いた波長分散型の Geiger Flex DS 型蛍光  
X 線分析装置はよく安定しており、各元素のスペクト

ルの分離能も良いので、精度よく X 線強度を測定でき  
た。各膜厚の X 線強度と Spherical drill 法によって得  
られた膜厚とを関係づけることで、膜厚測定のための  
検量線が作成できた。波高分析型の STF-156 蛍光 X  
線微小膜厚計では元素スペクトルの分離能が低いが、  
波高レベルを選定することによって膜厚測定に利用で  
きることが分かった。以上、我々の得た結果から、基  
板が SUS304、および被膜が TiN 以外でも、Spherical  
drill 法と蛍光 X 線分析法により、容易に膜厚測定の  
ための検量線が求められると考えられる。

P 36~39, 表 7, 図 3, 写真 0, 文献 5

# 抄録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.31)

## I C P 発光分析法によるセラミックス中の微量金属の定量

渡部英雄, 田谷征雄, 相原将人

窒化ケイ素や炭化ケイ素中の微量モリブデンの定量を、溶媒抽出-I C P 発光分析法を用いて検討した。微量モリブデンがブチルキサントゲン酸錯体として、0.1~7.0 M 塩酸性溶液からキシリソで抽出されることを見出した。また実試料中に共存が予想される陽イオン、陰イオンについて検討したが、鉄イオンが1 mg以上共存すると負の干渉を示したが、それ以外の共存イオン影響は全くなかった。さらに鉄イオンの干渉の除去法についても検討した結果、EDTAを添加す

ることにより鉄イオン20 mgまでの共存は、モリブデンの抽出に影響を与えたなかった。

またモリブデンの検量線を作成したところ、相関係数は0.9999であり、この時のモリブデンの検出下限は1.8 ng/ml (n=10) であった。

本法を実試料に応用し、標準添加法と比較したが、二法とも定量値に差がなく、十分通用できるものと考えられる。

P 40~43, 表5, 図3, 写真0, 文献8

## ④ 新素材を利用した小型船用消音器の開発

吉野信行, 田尾博幸, 久保野茂, 太田光雄

近年、円高、産業構造等による不況の中で県内企業では、工業構造の高度化・多角化・業種転換を推進し、新技術・新素材の開発、またその応用による産業の活性化が緊急課題となっている。これらの背景から本研究では、新素材応用開発の一環として、耐油・耐熱・耐オゾン等耐環境性に優れた特殊ゴムを利用した小型船用消音器の開発を行った。

本消音器は、消音工学の原理である膨張・共鳴・吸音・干渉消音等を各所に取り入れ、特殊ゴムによる排気の衝撃音や振動を吸収するダンピング効果も利用した構造であり、高い消音効果を有する。実際、小型漁船に消音器を取り付け、排気管から1 mの所で測定したところ、目的の消音周波数1 KHz近傍において、約20 dB(A)の減衰量が得られ、高い消音効果を示した。

P 44~47, 表2, 図5, 写真2, 文献4

## 複合材料の高性能化へのアプローチ

好満芳郎, 簡本隆博, 大橋俊彦

F R P, C F R P, およびハイブリッドF C F R Pの高性能化の条件として今回は材料断面における繊維の分散状態と機械的特性を明示し、信頼性について考察した。高性能先進材料であるC F R Pは欠陥がなく繊維の分散も良好であるのにに対し、汎用F R Pは多くの課題を抱えている。(ボイド、分散不良等)異方性材料するために生ずる力の方向と材料特性についても例示した。F R Pの性能を向上させるため炭素繊維等

を導入する、いわゆるハイブリッド化の問題について、実用例を2つ紹介した。1つは織物組織と材料特性、他の1つはハイブリッドラミの効果的な使用例である。

最後に、今後普及すると考えられるハニカムコアサンドイッチパネルに関する基礎的(予備的)データの一部を紹介した。超軽量構造とともにC F R Pの欠点である衝撃特性を向上させる素材特性を示した。

P 48~52, 表1, 図5, 写真5, 文献9

## 抄録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.31)

### □ 多機能・多目的知能ロボットの開発 (第2報) 視覚機能とハンドリング機能を有する搬送ロボット

松垣和生・蒲田政信・平田敏明・永山博夫・馬場祥宏・坂元康泰・南良良治・小川哲夫・船場和歌  
姫宮誠・尾田隆康・今村吉男・濱本智好・藤田靖人・尾岩正道・鶴田宏治・石橋一成

多品種少量生産に対応した FMS を実現するため、(1) 独立した左右の駆動輪による自由軌道走行機能  
視覚による物体形状識別・超音波による障害物検出等の知覚機能を有する自律走行ロボットを試作した。

このロボットは第1報で報告した1号機に対し、走行機能の向上、マニピュレータの可搬重量・移動範囲の拡大をはかったもので、ロボットの主な機能は次のとおりである。

- (1) リンク機構による4自由度の円筒座標型マニピュレータ
- (2) CCDカメラを使用した視覚機能
- (3) 超音波・力覚センサ等の知覚機能
- (4) 無線方式によるリモートコントロール機能

P 53~56, 表1, 図5, 写真2, 文献5

### コンピュータの高度利用技術に関する研究 電子回路設計へのASIC応用技術に関する研究

馬場祥宏・松垣和生・永山博夫・坂元康泰・南良良治

画像処理装置のハードウェア演算回路をASIC化し、た画像処理専用LSIと同LSIを用いた小型省電力・高性能画像処理ボードを開発した。

開発した画像処理専用LSIは、標準IC (TTL)約50個分の集積度を持つ。1600ゲートCMOSゲートアレイで、ウインドウ設定、画積・重心測定、最大値・最小値検出の画像処理機能をハードウェア演算により高

速実行するものである。同LSIを用いることにより、従来 IC112個、プリント基板3枚 (260×220mm, 120×160 mm, 150×170 mm 各1枚) で構成していた画像処理装置を、IC 11個、プリント基板 (150×170 mm) に小型化することができた。消費電流は8 Aから0.5 Aに、IC間配線数は約1200から92に減少した。

P 57~60, 表2, 図6, 写真3, 文献2

### セラミックス溶射の活用による複合化技術の開発

野地英治・吉池啓介・刈山信行・原信彦・横山宏樹

セラミックス溶射皮膜について、ガス溶射とプラズマ溶射の比較を行い、耐摩耗性について評価した。

また溶射による遠赤外放射体の実用化をめざして、遠赤外放射体用溶射材料の試作とその放射特性、耐熱難性について検討した。その主な結果は、

(1) テタニアはガス溶射でもプラズマ溶射とはほぼ同じ性能を得ることが出来るが、アルミナ等はプラズマ

溶射での性能が優る。

- (2) 試作開発を含め10種類の材料について、その化学成分、遠赤外放射特性、溶射条件の放射特性に及ぼす影響、剥離を防止するための、下地溶射材と放射材の膜厚、使用温度、材料の熱膨張率等遠赤外放射体としての種々の特性を調べ実用化のメドがたった。

P 61~64, 表3, 図5, 写真0, 文献7

## 抄 錄

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.31)

### 鋳造用金型の耐久性に関する研究

原 信彦, 世良時夫, 筒本隆博

金型の耐久性向上を行なうための第一ステップとして、そのための大きな要因となる浴湯による金型の加熱を調べるために、注湯実験を行ない金型各部の温度を測定するとともに、パソコンによる熱解析を行ない測定結果と比較検討を行なった。

測定の結果、最も加熱される部分は湯道、堰の部分であった。また、上がりの部分のように湯口から離れ

ると、加熱の程度は低下してゆき、金型による浴湯の冷却の効果が顕著に現れた。中子近傍は、計算による予想どおり、中子の低熱伝導性のため、多少過熱される傾向を示した。計算結果から、型温度測定のために設けた金型裏面からの溝は、溝底部の温度を高める効果があることが予想された。

P65~68, 表1, 図7, 写真1, 文献4

### 太陽熱利用による海水より真水の回収

関 守雄, 中村和清, 天島正行

我々の生活において、真水は、生活用水の他、工業用、農業用として需要は年々増加している。

本研究は太陽エネルギー利用研究として、日射計等気象制御器を導入し、太陽熱直接利用法の片屋根式蓄留器による海水淡水化実験を行い、つぎのような結果を得た。(1) 太陽電池は日射計モニターとして使用できる。(2) 太陽電池を用い蓄留器内日射強度を測定し

た結果、ガラス>PVC>PETの順であった。(3) 蓄留水生成形態は、ガラスの水膜形成とプラスチック材の水滴形成と異なる。(4) ガラスカバーにおいては蓄留水生成は風の影響を受ける。(5) 海水淡水化において塩分は原水温度上昇を促進させると同時に水蒸気蒸発を抑制する。

P69~72, 表1, 図7, 写真0, 文献6

### 高放射材料による遠赤外線加熱の研究

天島正行, 中村和清, 関 守雄, 野地英治

近年、塗料の乾燥、プラスチックの硬化、乾燥、農水産物の加熱乾燥さらには暖房、サウナ等各分野で遠赤外線が応用されている。これら遠赤外線放射物質には、セラミック板自体のもの、セラミック粉末を金属板に塗布したものが主流である。セラミック板は加工性、塗布仕上げしたものは耐熱性等に欠点がある。

本研究では、 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ 等を鋼板にガス溶射した溶射体4種類、末処理

鋼板および市販のヒータさらには市販高温黒体塗料を塗付したものと遠赤外線放射体とし、小麦粉100部に水40部を加え練った物を被加熱物として、加熱性を検討した。

その結果、溶射体No.2, No.4および黒体塗料塗付品が優れた加熱性を示し、溶射体においては熱による剥離もなく、加工性に優れ今後期待できる。

P73~76, 表2, 図9, 写真0, 文献5

## 抄録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.31)

### Cu-Zn-Al 系形状記憶合金の記憶効果に及ぼす時効の影響

刈山信行、吉池啓介、鈴木 寛、横山宏樹

Cu-70.5% - Zn 25.2% - Al 4.3%形状記憶合金の焼入後の時効条件が記憶特性に及ぼす影響を検討した。

850°Cで焼入後、各種の条件で時効を行った結果、

- (1) 焼入後、時効するまでの時間は変態温度、硬さ、形状回復率に顕著な変化を与えないことがわかった。
- (2) 変態温度は時効温度が高いほど、また時間が長いほど低くなる。
- (3) 時効硬さは 100°Cではほとんど変わらないが 200

°Cでは 2 時間で硬化し始め、300°Cでは数分の処理で焼入れ硬さ Hv 160 の 1.6 倍になる。

- (4) 曲げ回復率は曲げ半径が 25mm と大きいときは 97% とよく、半径の小さい 7.1 mm は 70% と悪くなる。
- (5) 曲げ一加熱の繰返しで破壊した試料のき裂は粒界を離すように進行し、その破面は粒界破壊である。
- (6) 記憶を失った試料は再焼入れすれば記憶特性は回復する。

P 77~80, 表 0, 図 5, 写真 12, 文献 2

### 播種機用搬送位置決め装置の開発

岡田芳雄、田尾博幸、大下 嶽、上梶迫省二

農業は、工業に比べて一般に生産性が低い。このため、土地生産性や労働生産性を向上させる方法として施設内の高度環境制御下において作物を周年的に大量生産する方式が採用されている。その一つの方式として養液栽培があるが、本研究では、この養液栽培における播種機用の搬送装置を開発した。

播種機用搬送装置は稼動率が低いから比較的高い位

置決め精度を要し機能の割に安価でなければならぬ。ここでは、応答性に優れたステッピングモータを採用し、制御装置としてマイコンを使用した。このため、停止位置および位置決め回数が任意に設定可能である。また、播種機と組合せ、従来では困難であった育苗マットのスリットへの播種が容易になり、育苗生産性の向上および農作業の省力化が可能となった。

P 81~84, 表 0, 図 4, 写真 1, 文献 0

### バイオメカニクス技術に関する研究 機能高分子による新機能機械要素について

斯波信雄、鈴木 誠

近年、機械、装置の小型化・軽量化の要請が強く、これに伴って駆動部をも含めて駆動部の小型化・軽量化が求められている。現在主流となっている電気モータも小型化には限界があると考えられており、自己エネルギー変換機能を持った機能高分子材料を利用したアクチュエータが有望視されている。そこで高分子材料として PVA、高分子電解質として PAA、PAAm

を使ってゲル膜を作成し、ゲル膜の伸縮特性を調べるための実験を行った。ゲル膜は、それが吸っている溶媒組成を変えると伸縮するが、アセトン・水混合比を変えた場合、PH を変えた場合の実験により、全長の 20~30% の伸縮が確認された。また、ゲル膜の伸縮を電気的に制御する方法を検討した結果、EHD の手法によりゲルを制御できる可能性のあることが分かった。

P 85~88, 表 1, 図 8, 写真 0, 文献 4

# レーザ光による超精密測定法の研究

池田哲宏, 吉野信行, 斯波信雄, 岡田芳雄, 永山博夫, 田尾博幸

## A Study of Method of High Precise Measurement with Laser

IKEDA Tetsuhiro, YOSHINO Nobuyuki, SHIBA Nobuo, OKADA Yoshio, NAGAYAMA Hiroo,  
TAO Hiroyuki

As a concrete example of application to measurement, we have produced experimentally a high precise non-contact measuring instrument with a Laser Diode, which can measure automatically 3-dimensional coordinates of surface shapes. This measurement system is composed of XY-table, Z-stage which installed the Laser Diode displacement meter used for an optical non-contacting probe and He-Ne gas laser measurement system and a personal computer.

As a main performance, a detecting precision of the probe at a same position of better than  $\pm 1 \mu\text{m}$  and a measurement accuracy of better than  $\pm 11 \mu\text{m}$  between  $0^\circ$  and  $30^\circ$  using a sine-bar have been obtained.

By using the instrument, we can measure effectively surface shapes of works which is greatly thin and soft without rigidity, and also we can think that the instrument can be applied to dynamic measurements of rotated works etc.

### 1. 緒 言

触針法による測定は依然として信頼性が高いとされているが<sup>1)</sup>、近年、技術革新による軟質性製品の増大に伴い、非接触式計測法は、表面に傷を付けて、また測定圧による変形誤差を生じないなどの特徴を有するため、この計測法に対する要望は高く、現在各種の方法が検討され<sup>2)</sup>、実用化に期待がかけられている。特に、最近コンパクトで安価なレーザが市場に出回るに伴い、光学的な計測技術が相次いで計測分野に導入されつつある。

そこで本研究では、レーザ応用計測の一例として、高精度測定が可能なレーザ変位計を活用した非接触表面形状自動測定システムの開発を試みた。

### 2. システムの概要

#### 2.1 システムの構成

本システムはレーザ光を被測定面に照射するアクティブな光三角測量方式の半導体レーザ式変位計(三菱電機: MD 1211型、以下「レーザ変位計」という)を非接触プローブとして使用することにより、物体の表面形状を測定するものである。試作したシステム構成を図1、その外観を写真1に示す。レーザ変位計(表1)は  $1 \mu\text{m}$  と高分解能を有するが、測定範囲が光学系の焦点であるゼロ点位置を中心  $\pm 1.5 \text{ mm}$  と狭いため、一般の工作機械や精密機械等の精度検査に多用されている袖ゼーマン分割型二周波方式の波長安定化



写真1. 外観

He-Neガスレーザ干渉計システム(HP社: 5528A型、以下「レーザ測長システム」という)を併用することにより、測定範囲を拡大している。レーザ測長システムはレーザ光の干渉を利用したマイケルソン型干渉計を基本としているもので、He-Neガスレーザ光源と測長表示器、光学モジュール(干渉計、反射鏡)からなり。干渉計と反射鏡間の移動量を検出するシステムである。本研究では干渉計を固定して反射鏡をレーザ変位計と共にZ軸方向に移動させ、変位計のスポット径が最小となるゼロ点位置をXYテーブル(表2)上にセットされている被測定面に合わせて、形状を三次元座標の数値で直接入力する。Z軸ステージには、一对のリニアガイドの中央にパルスマータ直結のボールネジ(リード2mm)があり、その位置からY軸方向に約200mm離れた腕の先端にこのレーザ変位計と反射鏡を取り付けている。両者は、測定軸にはほぼ一致するように取り付けることにより、精密計測の原

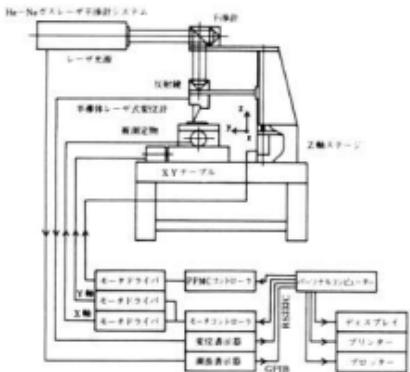


図1. システム構成

表1. 半導体レーザ定位計 (MD-1211-15)

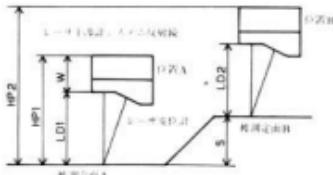
|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| 光束（真高）    | 2.0 m                     |
| 光束（スリット幅） | 0.4 m                     |
| 光束（高さ）    | 1.6 m                     |
| 光束（横幅）    | 3 m                       |
| 電源        | 電源：単相200V、50Hz            |
| 外形寸法      | 外形寸法：W1,200×D1,100×H1,600 |
| 重量        | 重量：約1,000kg               |
| 取扱い       | 取扱い：専用工具                  |
| 付属品       | 付属品：マジックテープ               |
| 仕様書       | 仕様書：B3                    |
| 取扱説明書     | 取扱説明書：B3                  |

表2. XYテーブル

点とされるアッペのエラーを極力抑えている。なお、Z軸の移動範囲は約110mmである。

本システムの測定原理を図2に示す。位置A、Bにおいて被測定面A、Bからレーザ変位計までの距離をそれぞれLD1、LD2、被測定面Aからレーザ測長S = (HP2 - LD2) - (HP1 - LD1)

$$S = (HP_2 - LD_2) - (HP_1 - LD_1)$$



實效 S = (MR 2 - 1)D 2 = (MR 1 - 1)D 1

図2 システムの測定原理

システムの反射鏡までの距離をHP1, HP2とする  
と、変位は

$$S = (HP_2 - L_D 2) = (HP_1 - L_D 1)$$

で表される。つまり、変位は、各位置における各レーザの読み取り値の差となる。

## 2.2 ソフトウェア構成

表面形状測定プログラムは、レーザ変位計データ入力部のアセンブリ言語以外はBASIC言語で作成しており、そのフローチャートを図3に示す。まず最初に、XYテーブル、Z軸ステージ、レーザ変位計、レーザ側長システム等の初期設定を行い、レーザ変位計データ入力プログラムをロードする。Z軸ステージ移動後、測定物をセットし、XYテーブルの原点復帰を行う。その後、XYテーブルを任意の測定位置に移動させ、被測定面からの反射光量が適正範囲内にあるのを確認して測定条件を設定する。この条件設定部では、

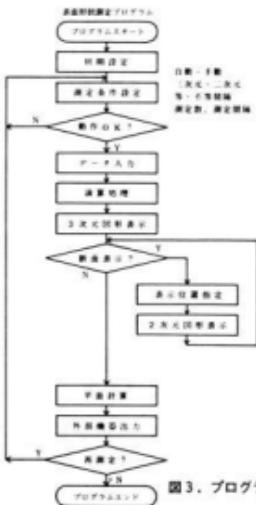


図3. プログラム構成

自動・手動測定、三次元・二次元測定、等・不等ピッチ測定、測定間隔、測定数等を各々入力し、その設定範囲内の動作を確認する。データ入力部では、レーザ変位計の位置データ、ステータスデータの値により変位計をゼロ点位置方向に移動し、その位置を検出直後、レーザ変位計データ及びレーザ測長データを入力する。そして、両データによりY軸方向の変位を算出し、結果

果が容易に視覚判断できるようディスプレイに二次元図形あるいはペイント法による隠れ線消去法を利用したワイヤーフレームモデルの三次元図形<sup>6</sup>で表示する。また、その任意の断面形状が必要であれば、その位置を指定することにより簡単に表示させることができる。

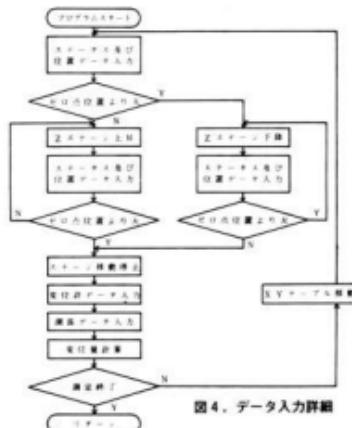


図4. データ入力詳細

さらに、全入力データより最小自乗法で仮想的な平面を算出し、その平面からの最高距離、最低距離、最大距離等を演算して、表面形状のそり、うねり等を求め、平面解析することが可能である。この結果は、外部プリンター、プロッター等に数値データ、二次元、あるいは三次元図形として出力する。図4はデータ入力部の詳細を示したものである。レーザ変位計から入力した数値データ及びステータスデータによりステッピングモータを回転させ、変位形を上下移動させる。ゼロ点より小さい場合には、被測定物が接近しているため変位形を上方に、またゼロ点より大きい場合には、離れているため下方向に移動させる。符号が反転した場合にはモータを停止させ、レーザ変位計及びレーザ測長システムのデータを読み取る。

### 3. 測定結果

#### 3.1 システムの基本性能

図5はレーザ変位計をZ軸方向にゼロ点位置を中心にして約±1mm移動させて、金属研磨面( $R_{\max} 1.5 \mu\text{m}$ )の同一測定点におけるプローブの位置検出精度を行き届りで測定したものである。移動ピッチは約0.4mmである。Z軸ステージの位置停止精度はゼロ点位置を

中心に約±0.1mmの範囲内にあるため、プローブの位置検出精度は1μm以内となり、この結果は図2で示した測定原理にはば一致している。さらに、材料の影響による同一測定点の繰り返し精度を測定したのが図

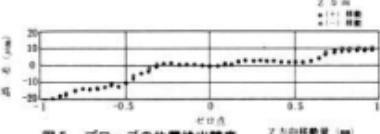


図5. プローブの位置検出精度 Z軸方向移動量 (mm)

6である。測定数34で、それぞれの精度( $\sigma$ )は白紙0.5μm、金属研磨面1μm、黒色プラスチック2.5μm、黒ゴム3μmとなっている。図7は、呼び寸法

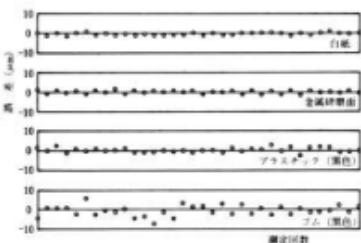


図6. 繰り返し精度

100mmのサインバー、金属研磨面及びプロックゲージを用いて傾斜面における本システムの測定精度を検査したものである。0~30°において、10°間隔で測定した結果、各角度における誤差は、11μm、8μm、10μm、7μmとなる。中心線は各データの最小自乗

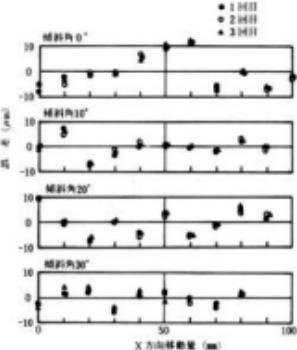


図7. 測定精度

法による計算結果であるが、 $10^\circ$ 、 $20^\circ$ においてそれぞれ  $10.001^\circ$ 、 $20.001^\circ$  と良好な結果となっている。一方、 $1\text{ mm}$ 、 $50\text{ mm}$ 、 $100\text{ mm}$  のブロックゲージで比較測定したところ、それぞれ  $6\text{ }\mu\text{m}$ 、 $8\text{ }\mu\text{m}$ 、 $12\text{ }\mu\text{m}$  の誤差が検出された。

図8はXYテーブルの上面をXY方向共に15mm間隔で移動させて、一辺30mmの同一平面上の9点における検出精度を測定したものである。1測定点当たり50点測定し、それを $\sigma$ の範囲で表示してある。ダイヤルゲージによる測定結果では、2 $\mu\text{m}$ 程度の誤差であるが、本測定システムによる結果では、15 $\mu\text{m}$ となつた。このように各位置で測定値がバラつくのは、加工面の微細形状により表面反射パターンが異なっているためと考えられる。

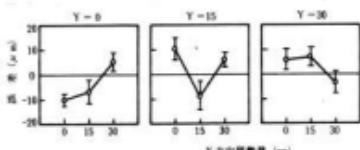


図8 平面による測定精度

### 3.2 表面形状の測定例

フィルム表面の三次元測定を行い、その結果を三次元図形で表示すると共に平面状態の計算結果もプリントしたものが図9である。測定数はX方向77点、Y方向21点で、測定ピッチは共に0.5mmである。ディスプレイへの図形表示には約5分を要した。さらに、図9-1に原点を含むXZ断面、図9-2に原点よりX軸上の8番目のYZ断面の形状を示す。このように入力データが数値のため任意の解析が容易にできる。その他三次元物体の測定も可能であるが、レーザヘッドと被測定物間の距離（作動距離）が15mmと小さいため互いに接触する場合がある。

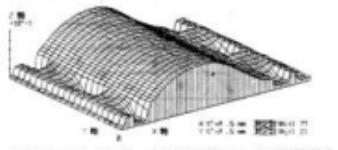


図9. フィルム表面の三次元測定結果



図9.1 XZ断面



圖9.2 YZ斷面

4 結 言

安価な半導体レーザ変位計を使用した非接触表面形状自動測定システムを試作した結果、以下のようになった。

- (1) 三次元座標を直接値で入力することによりワイヤーフレームによる三次元図形表示及びその任意断面の形状の表示が可能となるなど、各種の解析が可能である。
  - (2) 基本的性能は、金属研磨面を使用して測定した場合、プローブの位置検出精度が  $1 \mu\text{m}$  以内、呼び寸法  $100 \text{ mm}$  のサンプラーによる測定精度は  $\pm 11 \mu\text{m}$  となり、乱反射光が得られる面であれば表面形状の自動測定が可能であり、十分実用に供することができる。
  - (3) 本測定システムは極薄で、剛性のない柔らかい材料、微小な材料の形状測定に有効であり、静止物体のみならず回転体の振れ、振動物体等の動的な測定にも適用可能であると考えられる。

今後は、被測定面の性状に影響されにくい、作動距離が大きなプローブを検討し、さらに精度を向上させるとともにソフトウェアを改良して高速化を図って行きたい。

文 献

- 1) 宮本祐三：接触式と非接触式による表面形状測定  
精密機械51巻4号（1985），P12
  - 2) 下河辺明，長田秀治：光学式非接触プローブの研究  
精密機械50巻7号（1984），P56
  - 3) 5528A Laser Measurement System User's  
Guide P 6-2
  - 4) BASIC & プログラミング入門 誠文堂  
P 183～P 193

# 光センシング技術を応用した生産工程の自動化

田尾博幸、岡田芳雄、坂元康泰、吉野信行、村外英比古\*

## Manufacturing Automation by Using Optical Sensor Technology

TAO Hiroyuki, OKADA Yoshio, SAKAMOTO Yasuhiro, YOSHINO Nobuyuki and MURASOTO Hidehiko

At present, it is very difficult to measure a plastic extrusion goods directly after forming because of its high temperature and continuous production. And a good yield depends on eye measure.

From the above viewpoints, we have developed the system which measures an outward form near to die without contacting by applying optical sensor technology and controls drawing velocity that influence it very much.

This system consists of a 1-dimensional CCD camera to measure an outward form, an inverter to control an induction motor and a personal computer to process information.

With this system, the stability, precision and a yield of goods will be improved.

### 1. 結 言

生産工程における自動検査および自動制御の要求が年々高まっている中で、特にオプトエレクトロニクスを応用したセンシング技術が注目されている。一次元撮像素子を利用したイメージセンサは長さや形状情報処理が可能であり、寸法検査の用途に適している。今回、このイメージセンサを使用し、プラスチック押出成形工程の自動化に応用了した。

プラスチックの押出成形において、ダイから引き抜かれる成形品の外形寸法を安定化させる条件としては、温度・圧力・引き抜き速度などがあるが、この精度を向上し安定化させるには、ダイの近辺で形状を測定し、制御することが必要である。しかし、ダイ近辺での成形品は高温であるため、形状測定が困難な状態であった。現状では作業員が目視により形状を測定し、引き抜き速度の調整を行っているので、不良品の発生率が高く、しかも作業には経験と勘を要していた。

そこで本研究では、形状測定に光センシング技術を導入し、また制御にパソコンを用いることにより、生産工程の自動化を図ることを目的とした。

### 2. システムのハードウェア

#### 2.1 ハードウェアの概要

図1にプラスチック押出成形工程の概要を示す。

押出機から押出された原料は、ダイ及び補助ダイを通して成形され、水槽内で冷却。引き抜き機により引き抜かれる。この成形品の寸法精度の安定化を図る

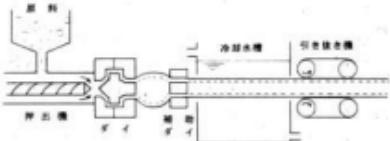


図1. プラスチック押出成形工程の概要

には、2つのダイ間の形状を適切に制御することが重要で、引き抜き機の引き抜き速度を形状変動に応じて調整しなければならない。

今回製作したシステムの外観を写真1に、また構成を図2に示す。



写真1. システムの外観

システムは、ダイ近辺での成形品の形状測定を非接触で行う形状測定部、このデータをリアルタイムで処理する計測・制御部、外形寸法を最も左右する要因で

\* テイヨー㈱

ある引き抜き速度を高精度に制御する引き抜き速度制御部から構成されている。

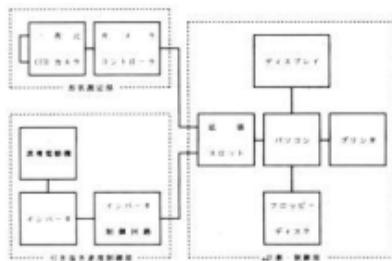


図2. システム構成図

## 2.2 形状測定部

形状測定には、一次元CCDカメラシステム（NEC製）を採用した。これは、一次元CCDカメラ（SC-4096B）とカメラコントローラ（SC-4NS-B）から構成されており、一次元CCDカメラからの信号をカメラコントローラで処理する。

一次元CCDカメラは、受光部に4096ビットの高画像CCDイメージエンサを使用しており、被測定物を4096ビットに分解できる。また走査周期も可変であり、被測定物の広範な移動速度に追従できる。このため製品の検査管理、画像データ読み取り等FA用画像処理システムに幅広く応用が可能である。

カメラコントローラは、一次元CCDカメラからのビデオデータをデジタル化し、2値または8ビットA/D変換値としてパソコンに出力する。また変換の際、シェーディング補正、2値ランゲングスデータ化、ノッチ除去などの前処理をハードウェアにより高速で行うことが選択可能である。その結果、高分解能・高速画像データ入力・処理が可能であり、パソコン側主記憶へのデータ転送速度は、バス切替時間（約1μs）のみである。

## 2.3 計測・制御部

計測・制御部は、パソコン（NEC製PC-9801VM）を中心として、ディスプレイ、フロッピーディスク、プリンタから構成されている。

計測・制御部では、測定のサンプリング指令を形状測定部に出力することにより、ビデオデータを入力する。入力したデータはリアルタイムで処理され、結果がディスプレイ上に表示されると共に、必要に応じて

フロッピーディスクに格納。あるいはプリンタで印字される。また外形寸法を高精度に測定するための引き抜き速度の制御量がこの結果を基に計算、引き抜き速度制御部に対して出力される。

## 2.4 引き抜き速度制御部

引き抜き速度の制御は、引き抜きを行っている誘導電動機の制御にインバータを使用し、周波数を変化させることにより行うこととした。

誘導電動機の回転速度は、次式<sup>1)</sup>で表される。

$$N = 120 f / p \quad ①$$

ただし、N：回転速度 [rpm]

f：周波数 [Hz]

p：極数

s：すべり

回転速度Nを変化させるためには、f、p、sのいずれかを調整すればよいが、インバータはこのうち周波数を変化させるもので、誘導電動機を効率良く、無段階で可変速運転を行うことができる。

インバータは、以前高価格であったためごく限られた分野しか採用されていなかったが、主回路素子や制御素子の発展に伴い、経済性、制御性、効率、スペース等の面で大幅に性能が向上し、交流可変速の主流となってきた。

今回使用したインバータは三菱電機製の汎用インバータFREQROL-Z200で、200V交流モータ1.5KWのものまで制御できる。制御方式は正弦波PWM方式（パルス幅変調：Pulse Width Modulation）であり、出力周波数、モータ電流、出力電圧、異常内容などのモニタ機能も備えている。

図3に計測・制御部とインバータを接続するためのインバータ制御回路を示す。

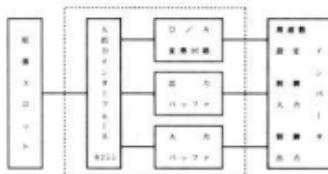


図3. インバータ制御回路

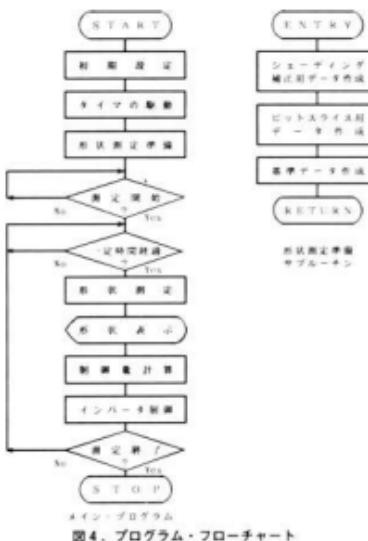
インバータ制御回路は、インバータの正逆転運転・停止、周波数設定、リセット機能を有し、インバータ

印字  
引き  
き速  
誘導  
化さ  
のい  
ち周  
無  
られ  
や制  
ペー  
流と  
ンバ  
タL  
PW  
on)  
室内  
めの

の運転状態のモニタリングが可能な構成とした。周波数の設定はアナログ信号で行うため、計測・制御部からのデジタル信号をD/A変換器によりアナログ信号に変換する。このD/A変換器としては8ビットのものを採用したため、最大設定周波数を256段階に分解でき、多段階の速度制御が可能である。

### 3. システムのソフトウェア

プログラムのフローチャートを図4に示す。



プログラムでは最初に、引き抜き速度制御部におけるインバータ制御回路の初期設定を行う。またインターバル・タイマを駆動し、一定時間毎に割り込みを発生させる。

次に形状測定部における測定の準備1)~3)を行う。

#### (1) シューディング補正データの作成

レンズ、照明の照度、CCDイメージセンサの感度等の不均一によって生じる画像のむらを補正するためのデータ。カメラコントローラは、一次元CCDカメラからのアナログビデオデータを8ビットA/D変換後（オリジナルビデオデータ）、補正データを乗じて、シューディング補正を行う。この補正

データは、オリジナルビデオデータの各画素の値が一定値A vとなるように決定する。

#### (2) ピットスライスデータの作成

シューディング補正後のビデオデータを、2値化するためのデータ。カメラコントローラは、各画素毎にビデオデータと、スライスデータを比較して2値化を行う。このピットスライスデータを、一定値A v等を考慮して作成する。

#### (3) 基準データの作成

基準となる試料によって、ビデオデータを長さの単位に変換するためのデータ作成を行う。

以上で測定準備が完了する。

測定は、一定時間毎にインターバル・タイマによる割り込みが発生した時点で行われ、形状測定部に対してデータの入力を要求する。形状測定部では、一次元CCDカメラからのデータに対して、カメラコントローラ内部でシューディング補正を行い、設定したスライスレベルで2値化したビデオデータをパソコンに出力する。プログラムは、このデータを長さの単位に変換し画面上に表示、また対象試料の形状も画面上に表示する。

次に入力されたデータから、引き抜き速度制御のためのインバータ制御量の算出を行うが、この制御方式としては、デジタルPID制御<sup>2)</sup>を採用した。これはP動作により制御を安定させ、I動作によりオフセットの打ち消し、D動作で速い修正動作を行いオーバーシュートを抑える特徴を持つ制御方式で、現在多くの分野で用いられている。計算された制御量は、引き抜き速度制御部に対して、制御信号として出力される。

プログラムは、以上の測定・制御を一定時間毎に繰り返す。測定・制御が完了すると、プログラムは終了

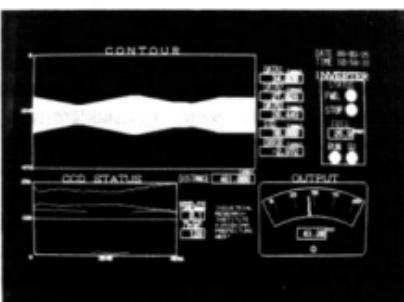


写真2. ディスプレイ上への表示例

する。

写真2に形状測定および制御量のディスプレイ上への表示例を示した。

なおプログラムは、BASIC言語およびアセンブリ言語で記述され、ステップ数は各々約1,000行、1,200行であった。

## 4. 考察

### 4.1 測定精度について

形状測定に関する分解能・精度は、次に示すとおりである。

#### 4.1.1 測定分解能

分解能Rは、一次元CCDカメラの視野をL<sub>z</sub>とすると、画素数は4096ビットであるから、

$$R = L_z / 4096 \quad (2)$$

で表される。

分解能を確保するためには、被測定物とレンズの間を一定距離内に保つ必要がある。分解能と被測定物-レンズ間距離a [mm]の関係は、画素ピッチが7μmであり、焦点距離52mmのレンズを使用すると、

$$R = 7 \cdot (a - 52) / 52 \text{ } (\mu\text{m}) \quad (3)$$

となる。ゆえに、分解能が33μm以上必要である場合、被測定物-レンズ間距離は、300mm以内でなければならぬ。

#### 4.1.2 繰り返し誤差

被測定物の外形寸法を繰り返し誤差の実験条件で繰り返し測定し、再現性について調べてみた。(表1)

表1. 測定精度実験条件

| 実験条件        | 繰り返し回数      | 測定誤差                        |
|-------------|-------------|-----------------------------|
| サンプル回数      | 42回         | 被測定物に対して各条件                 |
| 直角定位        | 直角20mmのアルミ棒 | 直角15, 20, 25, 30, 40mmのアルミ棒 |
| 被測定物-レンズ間距離 | 300mm       | 300mm                       |
| レンズ焦点距離     | 52mm        | 52mm                        |
| 分 解 能       | 33μm        | 33μm                        |

この結果4096ビットの画素に対して、アルミ棒の直径に対応した画素数は、605ビットの出現回数が24回、605ビットが18回であり、画素1ビットに相当する長さは0.033mm。分散sは0.0157μmとなった。これから誤差の推定を行うと、信頼係数0.90のとき、

$$t_{\alpha/2} \cdot s / \sqrt{(n-1)} = 1.684 \times 0.0157 / \sqrt{(42-1)} = \pm 0.0041 \text{ mm} = \pm 4.1 \text{ } \mu\text{m} \quad (4)$$

となる。また信頼係数0.99の場合でも±6.6μmであり、繰り返し測定における高い再現性を有していることが分かる。

### 4.1.3 測定誤差

前項と同様に、表1の測定誤差の実験条件で誤差の推定を行ったところ、信頼係数が0.90で±18.0μm、0.99の場合においても±33.2μmと良好な値であることが分かった。

### 4.2 制御精度について

システムのソフトウェアで述べたように、制御方式としてデジタルPID制御を採用した。この結果、きめの細かい制御が可能である。実際、今回のプラスチック押出成形加工における必要精度±0.5mmを十分満足するものとなっている。

システムの系自体の性能としては、PID定数の設定を正しく行えば、引き抜き速度の制御で可能な範囲において、外形寸法の目標値との偏差を、測定精度に近い値とすることができる。

## 5. 結論

従来、人手により行われていたプラスチック押出成形品の外形形状制御を自動化することにより、次のようないくつかの成果を得ることができた。

- (1) 光センシング技術を応用し、またパソコンによる高精度な制御を行うので、品質の高精度化・安定化を図ることができる。
- (2) 作業員が目視により形状を測定し、引き抜き速度の調整を行っていたものを自動化することにより、作業改善が図られる。また省力化の効果も大きい。
- (3) 人間にとて一定の測定基準を保つことは困難であるが、システムの導入により定量的な基準を基に測定・制御するので、信頼性の向上につながる。また歩留まりが良くなり、経済性にも大いに寄与する。
- (4) 計測・制御にパソコンを使用しているため、対象の変更に対する適応性が高い。

このシステムは、プラスチック成形業はもちろんのこと、銅や鉄の連続鍛造などにも効果が期待できる。

また非接触である光センシング技術を用いるため、各種工程ラインにおける検査の自動化、部品の自動選別作業など、製造工程のFA化に用途・目的に合わせた技術移転が可能である。

## 文献

- 1) 丸岡巧美：インバータ電源の産業機械への活用、省力と自動化、No.12, 1987
- 2) 田尾他：プラスチック成形湯槽における温度制御システムの開発、広西工技報告、No.28, 1985

# エキスパートシステムの工業分野への応用

永山博夫, 馬場祥宏

## Application of Expert System in Industrial Field

NAGAYAMA Hiroo, BABA Yoshihiro

An expert system for selecting image processing systems is described. The expert system running on a personal computer has been built with an expert-system development tool, SOGEN. The tool supports rule-based reasoning mechanisms and backward chaining.

The expert system has 58 rules and advises the end user on configuring the image processing systems. The expert system asks the user the specifications of the desired image processing systems such as functions, price, cameras, and images, then presents the catalog of the desired image processing systems as a conclusion.

### 1. 緒 言

近年の半導体技術の急速な発展によりコンピュータが社会のあらゆる分野へ浸透している。このため従来コンピュータは、データ処理、計算、制御等の分野で利用されてきたが、さらに人間の知識を処理する知識情報処理へとその応用分野が広がっている。

知識情報処理の中では、特にその実用性の点から注目されているものとして、エキスパートシステムが挙げられる。これは、専門家の持つ知識や判断力をコンピュータ上で実現したもので、専門家の知識を知識ベース化し、その上での推論により問題に対する解答を与える。

従来、エキスパートシステムはミニコン上で稼働するものが多かったが、パーソナルコンピュータの性能向上に伴い、パーソナルコンピュータ上でのエキスパートシステムの開発が可能となった。今回、NEC 9801でエキスパートシェル「創玄」を用いた画像処理装置選定支援のエキスパートシステムの試作を行ったので、以下にその概要を報告する。

### 2. エキスパートシステム<sup>1)</sup>

エキスパートシステムとしては、1965年米国で開発された化学構造式の推定を行うDENDRALが最初のもので、その後このシステムの成功に刺激されて、感染症の診断支援システムMYCNをはじめとして、多くのシステムが開発された。80年代になると、これらの研究に基づく多くの商用エキスパートシェルを用いた各種のエキスパートシステムが開発されている。

エキスパートシステムの基本構成を図1に示す。知

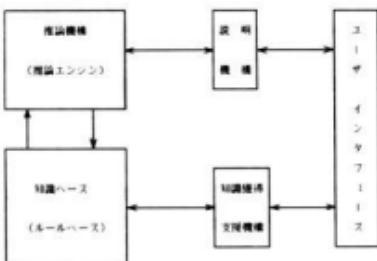


図1. エキスパートシステムの構成

識ベースは、専門領域における知識を蓄えており、事実、事実間の関係、手続き、判断に関する知識を含んでいる。知識表現形式としては、プロダクションルール、フレーム、オブジェクト、述語論理等がある。推論機構は、知識ベースの知識から推論により結論を得る部分で推論方法として前向き推論と後向き推論がある。知識獲得支援機構は専門知識の抽出分析、知識表現形式への変換を支援する。説明機能は、ユーザの要求に応じて結論や中間仮説を得るために用いられた知識や根拠あるいは推論の過程を説明するための機能をもっている。ユーザインターフェースを介しユーザはエキスパートシステムを利用する。

図1において知識ベースをのぞいたものがエキスパートシェル（エキスパート開発ツール）と呼ばれている。エキスパートシェルを核としたエキスパートシ

テムの構築においては、知識ベース部のみを作成すればよいため、LISP、Prolog 等の知識表現言語でエキスパートシステム全体を作成するのと比べ、格段に迅速かつ容易なシステム開発が可能となる。

### 3. エキスパートシステムによる画像処理装置の選定支援システム

近年、市販画像処理装置<sup>2)</sup>の飛躍的な増加により、その選定は困難なものとなっている。本エキスパートシステムでは、市販の63種類の汎用画像処理装置の中から、ユーザの希望する機能、対象画像、システム形態、画像入力装置、価格を対象として選定を支援する機能を持っており、これにより画像処理装置の選定におけるユーザの利便をはかっている。

本システム知識ベースは、プロダクションルールとして蓄えられており、プロダクションルールの条件部、結論部に含まれる事実データは、事象変数により、表現している。

事象変数は、事象の集合であり、テキストと選択肢により表現される。事象変数の構成を図2に示す。この例では事象変数は4つの事象を有している。事象の曖昧性は-1から+1の値をもつ確信度により表現可能である。-1は100%の偽、+1は100%の真である。本システムにおいては、事象変数の数は7、事象数は98であり、事象の確信度は使用していない。

本システムは、前述のように、知識表現としてプロダクションルールを採用する。プロダクションルールは、IF 条件部、THEN 結論部で表現される。これは、人間にとって直感的に理解し易いためルールが作りやすい利点がある。また知識が断片的で独立性が高いので知識の変更や追加が容易である。条件部、結論部には事象変数、数式を入れることができる。さらに結論部では、外部プログラムの呼び出し機能によりMS-DOSコマンドの実行、外部ファイルの読み書きなどが行える。本システムのルール数は55である。

画像処理装置の価格は「選択子」である。

- 選択子 1. 99万以下
- 2. 100~299万
- 3. 300~999万
- 4. 1000万以上

図2. 事象変数の構成

1. 必要とする機能は「選択肢」である。
2. 対象とする画像は「選択肢」である。
3. 処理システムの形態は「選択肢」である。
4. 必要とするカメラセンサーは「選択肢」である。
5. 求める画像処理システムの価格は「選択肢」である。
6. 求める画像処理装置のメーカー・型式・価格は「選択肢」である。

図3. 事象変数の例

もし

- 1) 必要とする機能は形状・寸法の計測(幅、高さ、重心、角度、傾斜等)である。
- かつ 6) 求める画像処理システムの価格は99万以下である。
- かつ 2) 必要とする機能は位置決め(特定領域の位置検出)
- かつ 3) 対象とする画像は二値画像である。
- かつ 4) 处理システムの形態は本体自身により画像処理ソフト開発が可能な専用システムである。
- かつ 5) 必要とするカメラセンサーは標準素子(マニラセンサカメラ)より数枚、2000万である。

ならば

- 7) 求める画像処理装置のメーカー・型式・価格は富士電機  
EX-2C-Z 価格約90万である。
- 8) 外部プログラム (B:COMMAND/C DISPLAY B:CAT191)

図4. ルールの例

ルールの一例を図4に示す。結論部の8)の外部プログラムでは、画像処理装置の特徴、外観を表示する。

本システムでは、仮説検証は事象変数毎に実行されるため、ある事象変数の検証する場合、これを構成するすべての事象の検証が行われることになる。また、推論方法としては、後向き推論を採用している。

後向き推論は、仮説を支持する事象の探索作業と考えられ、次の手順で、実行される。

- (1) 仮説を結論部に含むまだ採用されていないルールを一つ選ぶ。もし、そのようなルールが存在しないならは3)へ行く。
- (2) ルールの条件部を検証する。
  - ・成立した場合、その仮説は成立する。
  - ・棄却の場合、(1)へ戻る。
- (3) 仮説を含む事象変数の型がユーザ入力可である場合は、ユーザに各事象の成立・棄却を問い合わせせる。

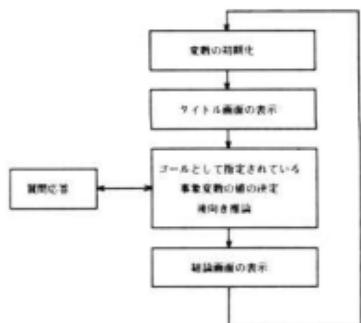


図5. エキスパートシステムの実行手順

ただし、(2)のルールの条件部の検証においても条件部を構成する各事象変数について(1)～(3)の手順で仮説・検証を再局的に実行する。

図5に示す様に、エキスパートシステムの実行手順において、まず、エキスパートシステムで使用されている変数の初期化が行なわれる。次にシステムの内容、使用法を記述したタイトル画面が表示され、ユーザはこのシステムの概要を知ることができる。

次に、後向き推論によりゴール（仮説）の検証が行なわれる。ゴールの事象変数としては“求める画像処理装置のメーカー・型式・価格は「選択肢」である”が指定されている。検証途中において、必要とする機能を満たす画像処理装置の価格範囲を、中間結論として、出力している。

後向き推論の過程では、前述のように、ユーザに対して各事象変数についての質問がなされ、ゴールが検証される。ゴールの検証が終了すると、結論として求める画像処理装置の仕様、機種名、特徴および外観がCRT上に表示される。画像処理装置の特徴、外観はイメージスキャナーから取り込まれた画像データとして、フロッピーディスク上に格納されている。図6に仕様・機種名を表示した結論画面を示す。

## 5. 結 言

パーソナルコンピュータ上で画像処理装置の選定支援エキスパートシステム試作した。その結果をまとめると次の通りである。

### 画像処理システムの選定

求める画像処理装置は次の通りです。これを参考にして必要とする画像処理装置を選んで下さい。

#### 仕様

- (1) 必要とする機能は
  - (1.01) 形状識別（特定パターン識別、分類）、外観検査
- (2) 対象とする画像は
  - (2.01) 二値化画像
- (3) 処理装置の形態は
  - (3.01) 単体により画像処理ソフト開発・実行が可能な装置
- (4) 必要とするカメラセンサーは
  - (4.01) 個体素子のエリアセンサー・カメラ  
画素数500×500
- (5) 求める画像処理装置の価格は
  - (5.01) 100万～299万

#### 結論

求める画像処理装置のメーカー・型式・価格は

- (6.01) ブラムシステムエンジニア アビダス・マルチポインター 価格 200万
- (6.02) ブラクリエイティブシステム F BLOB - II m - II s 価格 160～240万
- (6.03) 日越エンジニアリング AKITU-60 価格 200万以下
- (6.04) 鈴鹿産業 CM-500 A 価格 75～138万
- (6.05) ダイキン工業 ROBOTEC-V 100 A 価格 100万
- (6.06) 日立エンジニアリング MIP-30 価格 283万
- (6.07) サンクス VC-20M 価格 288万

#### 図6. 仕様・機種名を表示した結論画面の例

- (1) エキスパートシェルの利用により簡単かつ迅速な対話型のエキスパートシステムの構築が可能である。
- (2) 試作システムは複数、ルールが日本語により記述されているため可読性が高い。
- (3) 効率的なエキスパートシステムの構築には知識獲得が課題となる。
- (4) 今回使用したエキスパートシェルは、グラフィックスとのインターフェイス、知識ベースエディタの点において能力不足である。
- (5) 知識の矛盾検出やデバッカが困難で、推論に柔軟性が乏しい。

## 文 献

- 1) 田中幸吉他訳：人工知能ハンドブック I・II、共立出版
- 2) 日本映像処理研究会編：87映像処理機器総覧、新技術コミュニケーションズ

# レーザによる表面改質の研究

蒲田政信、平田敏明、池田哲宏

## A Study of Laser Modification

KAMADA Masanobu, HIRATA Toshiaki and IKEDA Tetsuhiro

For clearing up the possibilities and problems of alloying by laser heating, we have investigated alloy surface conditions after the laser irradiation on some steel plates which were applied a coat of powders.

Mixed powder of SUS304L and Tungsten Carbide self fluxing one was applied on the SUS304, SUS430 and SS41 plates, (and laser was beamed on those plates) then thin and convex alloy layer were obtained.

The speedier movement of laser beam spot made fine grain structure.

We couldn't get clad layers easily by the powder of only TiC, but have got comparatively good layers on the SUS304 substrate.

It is affirmative that because of small density of TiC powder, this powder was claded to upper layer and the liquid metal infiltrated between powders, then clad layer was concave.

### 1. 緒 言

金属材料表面に溶射や肉盛などを行ない、耐摩耗性、耐食性、耐酸化性などの機能を向上させることはよく知られていることである。近年レーザ技術の発展とともに、レーザ熱源による材料表面の改質が注目されるようになってきた。<sup>1) 2)</sup> 溶射や肉盛は広い面積の表面被覆としては優れた方法であるが、局所的な被覆に対してはあまり優れていない。一方レーザは広い面積を被覆するためには照射を何回も繰り返すことになり生産能率も悪く、経済的に引き合わなくなる。しかしながら、レーザはビームをレンズで絞っているため局部のみを被覆させることができ、NC制御と組み合わせることにより複雑な形状にも対応できる可能性を持っている。このような特長からレーザの局所的な加熱集中性の良さと熱源の制御性の良さを生かすことによって表面改質技術の発展が望まれる。本研究はレーザ熱源による合金化の可能性と問題点を明かにするため、合金粉末を鋼板上に塗布し、レーザ照射を行い、表面合金化について検討したものである。

### 2. 実験方法

表面の合金化の方法として様々な方法が試みられているが本研究では合金粉末を基板に塗布しレーザ光を照射し合金化する方法により実験を行った。

合金化用の粉末はSUS304L合金粉末(粒度44~10μ), タングステンカーバイト(WC)系自溶性

合金粉末(粒度125~44μ), チタンカーバイト(TiC)粉末(粒度44~10μ)を用いた。

基板は板厚10mmのSUS304, SUS430, SS41である。粉末の塗布方法は試験片を幅16mmの溝を必要とする膜厚の深さまで切削し、その溝をサンドベーパー研磨などの表面処理後アクリル系塗料を吹き付け、その上に粉末を散布し、溝よりはみでた余分な粉末を除去し、所定の膜厚に仕上げた。

実験に使用したレーザ発振器は最大出力5kw・3軸直交型、マルチモードの炭酸ガスレーザー発振器である。レーザ光学系は図1に示すようにセグメントミラーで矩形にした後ZnSeレンズによりビームサイズを変えて基板に照射した。レーザ光の照射面積の大きさは6mm×6mmである。レーザ光の走行は試料を走行装置に載せ走行装置を移動させることにより行った。実験試料のレーザ光の照射される部分にはレーザ光と同軸にアルゴンガスを流して合金化する部分をシールドした。レーザ光を材料に照射して表面を溶融させるとき、その表面を保護するシールドガスの流量は溶け込み深さに影響をあたえる。三種類の材質の基板にカーボンをコーティングして、シールドガスの流量を15ℓ/min, 30ℓ/min, 50ℓ/minに変化させレーザ光を照射して、溶け込み深さを観察した結果、シールドガス流量が多くなるにつれて溶け込み深さは減少することがわかった。表面改質には溶け込み深さは浅い方がよいので、本研究では50ℓ/minのガス流量で実験を行うことにした。図2は試験片の寸法とレーザ光

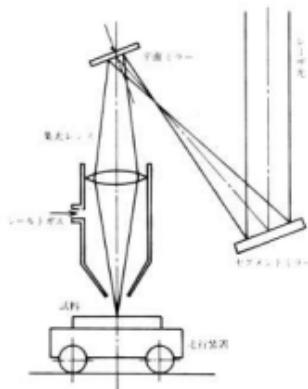


図1. 実験装置とレーザ光学系

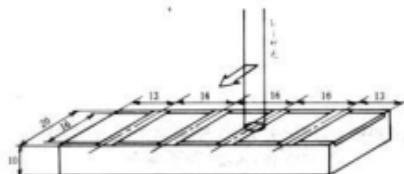


図2. 試験片形状とレーザ照射方法

の熱射方法である。レーザ出力は3kwの一定として、粉末の種類、膜厚、基板の材質、粉末を塗布する前の下地処理、粉末塗布後の表面処理（カーボンのコーティング）、シールドガス流量、照射ビームの走行速度を変え、同一試験片で4条件の実験を行ない、合金層の生成状況や各因子の効果について検討を行なった。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 SUS304L合金粉末による表面合金化

写真1はSUS304L合金粉末をSS41の鋼板上に0.2mm塗布し、40cm/minの走行速度でレーザを照射したときの断面のマクロ組織である。図3はレーザビームの走行速度を変えたときの溶け込み深さの変化である。30cm/min以上での速度で非常に溶け込み

浅い溶融層が得られる。

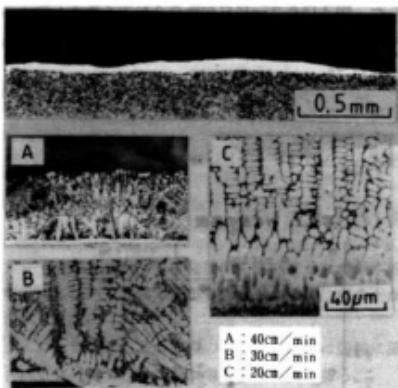


写真1. SUS304L合金粉末にレーザ、照射をしたときの合金層の断面形状とマクロ組織

また、写真1の下方はそれぞれの速度での溶融層のマクロ組織である。通常の溶接における速度に近い20cm/minの走行速度ではデンドライトがみられ、ごく普通の溶接金属組織に近いがレーザビームの走行速度が早いと非常に細かい結晶のマクロ組織が得られることがわかった。このことからレーザビームによる表面合金化は溶接による肉盛などより基板への溶け込みがほとんどない薄層の合金層が得られることを示している。

#### 3.2 自溶性合金粉末による表面合金化

WC系自溶性合金粉末は優れた耐摩耗性能を有する材料として、各種の機械部品等の表面被覆に使用されている。その施工方法には、ガス溶射、プラズマ溶射がよく用いられているが、レーザによる表面合金化はまだあまりなされていない。

写真2は自溶性合金粉末を基板上に塗布しレーザを照射したときの断面の1例である。SUS304L合金のときと同様に溶接ビードに似た形状のコーティング層が得られた。この例はビームの走行速度が80cm/minのかなり早い速度で照射している。そのため、未溶解の粒子やポロシティがみられる。また、溶融部の下部に搅拌の充分でないところもみられた。未溶解の粒子が残存するのはレーザビームの強度分布が一様でなく、走行速度が早い事によると思われる。ポロシティの発生は粉末の塗布をアクリル樹脂をバインダーとして用いたためレーザ照射時にガスを発生しポロシテ

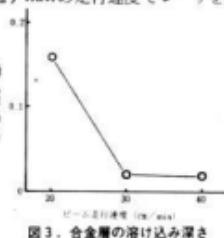


図3. 合金層の溶け込み深さ

イとなったものと思われるコーティング方法に問題を残した。図4は0.2mmに自溶性合金粉末を塗布し種々の走行速度で照射したときの溶け込み深さと合金層の高さである。

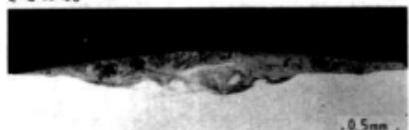
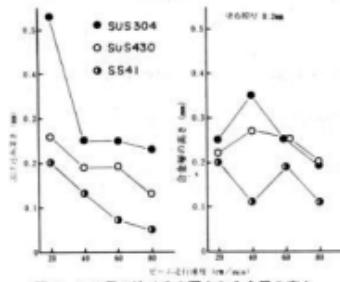


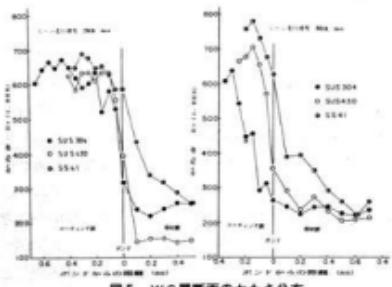
写真2. WC層の断面



レーザービームの走行速度が早くなると溶け込み深さは減少する傾向にある。基板の材質がSUS304, SUS430, SS41の順に溶け込み深さが大きい。

図5はレーザービームの走行速度が20cm/minと80cm/min時のコーティング層のかたさ分布である。

20cm/minの時はコーティング層のかたさ分布に材質の差はみられないが、80cm/minでは差が生じSS41, SUS430, SUS304の順にかたさが高いことが認められた。レーザービームの収束を良くするために、粉末塗布皮膜の下地と表面にカーボン被覆を施してみたが、その効果は顕著でなかった。



### 3.3 TiCの表面コーティング

TiC粉末を表面に塗布してレーザ照射をした場合、コーティング層は前述のSUS304と合金粉末や自溶性合金粉末とは異なり安定したコーティング層の形成は難しくなってくる。図6はTiC粉末を0.2mm表面に塗布し表面処理、下地処理、走行速度を変えてレーザを照射した時のクラッド層の厚みである。

クラッド層ができるには適切な走行速度があるよう、走行速度が速くても遅くともうまく形成されない。0.2mmの膜厚では20cm/minから30cm/minの範囲でよい結果が得られた。基板の材質はクラッド層の形成に大きく影響を与える。SS41が最も悪く、SUS304がきれいなクラッド層が形成されることが多い。

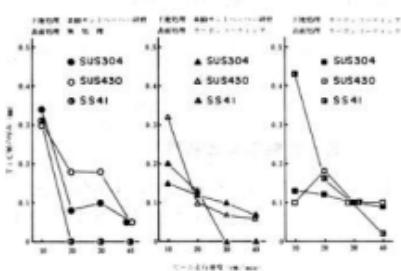
SUS430は両者の中間であった。写真4はSUS304の一例である。TiC粉末が表面に塗布されたようにクラッド層が形成されているのが認められる。

これはTiCの比重が基板材料の比重に比べて小さいために起こる現象と考えられる。

すなわちレーザが照射され基板材料が溶けて溶融プールが形成されても表面に塗布されていたTiCは融



写真3. TiC層の断面



点が高く比重が小さいため溶融プール内であり搅拌もされず、粉末の粒子間に溶融液が毛細管現象により浸透していくまま凝固されクラッド層が形成されたものと思われる。また溶融液は溶融ビードの幅よりも外側まで浸透して行くためクラッド層は中央部が込み、基板の表面よりも低くなる現象も見られることもある。

レーザ光の吸収をよくするために粉末を塗布する前にカーボンの被覆処理を施す効果はSS41に認められた程度であった。

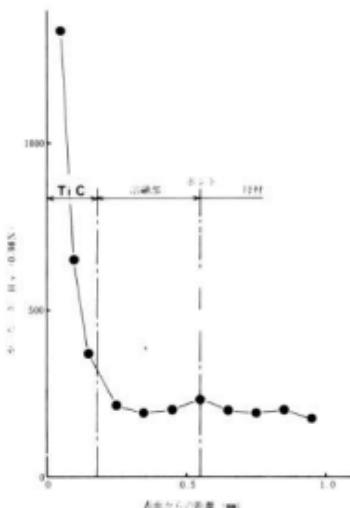


図7. TiCクラッド層のかたさ分布

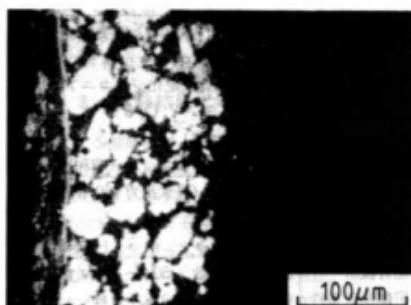


写真4. TiC層のTiの分布状況

図7はSUS304にTiC粉末をクラッドした時の断面のかたさ分布で、写真4はEPMAで面分析したときのTiの分布である。硬いTiCが表層に分布している様子がよく分かる。このクラッド層の密着度は非常に良好で、クラッド層を外側にして板厚の1.5倍の曲げ半径で180度曲げても剥離は認められなかつた。

TiC粉末の実用的なコーティング法の試みとして、レーザのスポット径より小さい幅にTiC粉末コーティングをした試料やスポット径より小さい構造を切削によりつくり、溝の中にTiC粉末をコーティングした試料のレーザ照射を行なったが、TiC粉末の分散が安定しないことが多く、溝へのコーティングはTiC極端の密度が低いため表面に凹みを生じ、密度の高い粉末の固定方法が実用化へのポイントになることがわかった。

#### 4. 結 言

レーザによる表面合金化技術を確立するため基本的な要因について実験で確認した結果次のようなことがわかった。

- (1) レーザ照射による基板の溶け込み深さは同軸に流されるシルドガス流量が増加すると浅くなる。
- (2) 基板にSUS304L合金粉末、WC系自溶性合金粉末を置きレーザを照射して溶け込みの浅いコーティング層を得ることができ、凸形のビードが形成された。
- (3) TiC粒子は比重が基板材料の比重に比べ小さいため溶融部上層にクラッドされ、粒子の間を溶融液が浸透して行くため表面に凹みを生じる。
- (4) 実用化には能率的で確実な粉末の固定法がポイントになる。

#### 付 記

本研究は大阪大学接合工学研究所において実施したものであり、ご指導頂いた井上勝敬教授、大村俊二助手に厚くお礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 森: 鉄と鋼, 72 (1986) 1507
- 2) 宮木: 機械技術, 35 (1987) 14, 36

# セラミックスの超音波加工に関する研究

山崎隆志・斯波信雄

## Study on Ultrasonic Machining for Ceramics

YAMASAKI Takashi, SHIBA Nobuo

This paper introduces the results of combined machining, aim to high efficient, with Ultrasonic Grinding Diamond tool on the Ceramics which is Brittle Material.

The obtained results are as follows.

- (1) The combined machining with Ultrasonic Grinding and Diamond tool is high efficiency compared with Diamond Grinding or Ultrasonic Grinding with  $B_4C$  Graine.
- (2) The removal amount of ceramics increase linearly with pressing load rise.
- (3) The Machining Efficiency increases with amplitude of Ultrasonic rise.
- (4)  $ZrO_2$  are machining difficultly compare with  $Al_2O_3$ ,  $SiC$ ,  $Si_3N_4$ . It seems it's toughness compare with the others.

### 1. 緒 言

セラミックスは新素材の中でも他の材料に比較して優れた特性を有し、構造材料や機能材料としても注目されているが、硬くて脆いため加工性が悪く、加工法も高能率化をめざして、レーザ加工、電子ビーム加工などが考えられている。これらの一端は実際に加工が行なわれているが、加工コスト面などに問題があり、現状はダイヤモンド砥石による研削が主流であり、加工精度は良いが加工能率が悪く、いかにして加工能率を上げて精度を高めるかが、今後セラミックスが機械部品や機能材料として使用され、需要を高めるための重要な技術課題となっている。

本研究はすでにガラス、宝石など硬せい材料の加工に適用されている超音波加工と、ダイヤモンド工具による研削加工とを組合せた複合加工により、セラミックスの高精度高能率加工技術向上をはかる目的で研究を行い、一応の研究成果を得たので報告する。

### 2. 実験方法

実験に使用したダイヤモンド工具、セラミックス材料、研削条件を表1に示す。

超音波加工機は加工能率を向上させるため、当所で試作した回転テーブル（最高回転数6000 rpm、回転精度、端面のフレキシブル0.02 mm、外周のフレキシブル0.03 mm）を取りつけ実験を進めた。

表1. ダイヤモンド工具および超音波研削加工条件

| 項目            | 条件  |
|---------------|---|
| ダイヤモンド<br>工具  | φ2-5 T<br>SD-100-100 (M)<br>SD-170-100 (MD)<br>SD-320-100 (M)<br>(大阪ダイヤモンド工業製)  |
| 被研削材          | SSA-S ( $Al_2O_3$ ) 純度99.5%<br>密度3.9 g/cm <sup>3</sup><br>PSZ (部分安定化ジルコニア)<br>$ZrO_2$ 95% $Y_2O_3$ 5%<br>$SiC$ ( $\alpha$ 型)<br>$Si_3N_4$ (昭和電工製) |
| 超音波加工機        | VM150 C (最大出力150 W共振周波数16kHz)<br>(日本電子製)  |
| 超音波<br>研削加工条件 | 被削材回転数 500-3000 rpm<br>押し付け力 0.5-5 kg<br>ホーン振幅 20-50 μm<br>研削材 水 (2ℓ/min)<br>$B_4C$ 砥粒 #220<br>(2ℓ/min)   |

実験上、押付け力は既存の油圧機構を使用し、重錠を乗せてホーンに押付け力を与える機構となつておる。この場合、回転ベルトの張力により押付け力も減少する傾向が見受けられたため、回転装置のベルトを加工状態にして、ホーンにゲージを貼り、実際の押付け力の測定と校正も合せて行なつた。

ダイヤモンド工具は動付砥石とし、仕様は表1の範囲で3種類の砥石を選定した。

加工方法は、回転テーブル上に予め被研削物を取りつけ、所定の重錠を油圧台に乗せて押付け力を与えた後、テーブルを回転させ、所定の回転速度にコントロールし、超音波を付与して湿式研削加工を行つた。

加工速度の測定は重錠の上に変位計のピックアップを取り付け、重錠の位置の変化を記録することにより行った。加工性能の評価については、加工深さをポイントマイクロメータにより、ホーンの振幅は読取り顕微鏡により計測し、加工面の状態はSEM像、あらさによって考察を行なつた。

次にダイヤモンド工具と超音波加工との複合加工の有効性を検討するため、ワークを回転させないで超音波加工を行う従来の加工でセラミックスを加工し、複合加工との比較検討を行つた。

超音波加工はS50C(Φ2)の工具を使用し、砥粒として水10ℓに対して1kgのB<sub>4</sub>C砥粒を混合した研磨材2ℓ/minを被削材と工具の間に供給した。被削材は昭和電工製のA<sub>6</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>、SiC、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の4種類である。

### 3. 実験結果と考察

A<sub>6</sub>O<sub>3</sub>を被削材としてワーク回転数を500～3000rpmの間で4種類変えた場合、押付け力と加工速度の関係を図1に示す。

まず被加工性に対する回転数の影響を見ると回転数が高くなるにしたがって加工速度は上昇するが2000rpm、3000rpmはそれほど差はなかった。押付け力については荷重の増加とともに加工速度は直線的に上昇した。また超音波を付加した場合と付加しない場合との差を比較すると、超音波を付加した場合の方が加工速度が非常に高いことが認められた。

図2はホーン振幅と加工速度の関係を示したものである。ホーン振幅については超音波研削時には工具に負荷がかかるため、無負荷時より振幅の減少が考えられたが、加工時の振幅を測定することが不可能であったため無負荷時の振幅を示した。実験はホーン振幅20

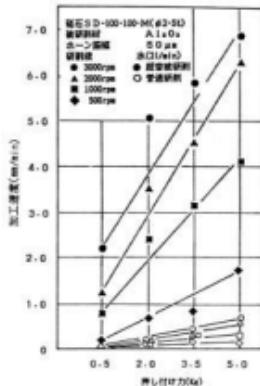


図1. 押し付け力の影響

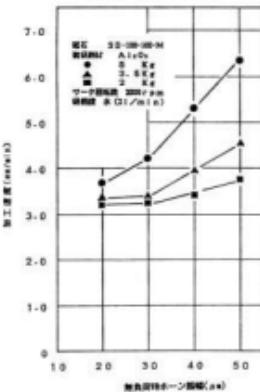


図2. ホーン振幅の影響

μmから開始したが、ホーン振幅が小さい場合、押付け力の違いによってほとんど差はなかった。しかし無負荷時ホーン振幅が大きくなると加工速度は直線的に上昇する傾向を示した。また押付け力の大きいほど加工速度が高くなる傾向も見られた。

次にダイヤモンド砥石についてであるが、集中度100で一定とし、粒度を変えた場合の加工速度と押付け力の関係を図3に示す。

粒度の低い砥石ほど押付け力の増加によって加工速度は直線的に増加する。粒度の細かい砥石の場合には

チップポケットが小さいため、切くずの排出が悪くなり、その結果加工速度が落ちるものと思われる。

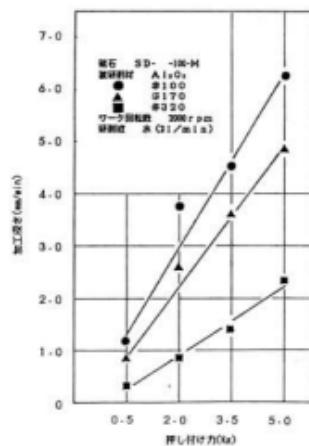


図3. ダイヤモンド砥石性度の影響

図4に $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ の4種類のセラミックスを超音波研削した加工例を示す。

セラミックスの違いについて $\text{Al}_2\text{O}_3$ が非常に高い加工速度を示し、他の3つのセラミックスの5~10倍の加工能率であった。 $\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ については加工速度はほとんど差はなかった。 $\text{ZrO}_2$ については、加工速度は最も低かったが、超音波研削中でも砥石と被削材が引っかかったような音がしたり、共振周波数がばらついたりして正常な加工状態ではなかった。これは $\text{ZrO}_2$ が他のセラミックスよりじん性が高いことと、ダイヤモンド砥石、ホーンなどの剛性が低いことによると思われる。次に加工時間と加工深さの関係では $\text{Al}_2\text{O}_3$ は時間とともにほとんど直線的に加工深さが上昇するのに対して、他の3種類のセラミックスは加工時間1分までは加工速度は遅く、それを過ぎると加工速度が早くなる傾向を示した。これは $\text{Al}_2\text{O}_3$ に比べて他のセラミックスの硬さが高いため、ダイヤモンド砥石が被削材に食い込むのに多少時間を要するためと思われる。

図5に同じ4種類のセラミックスを従来より行なわれている $\text{B}_4\text{C}$ 砥粒により超音波加工した結果を示す。

この場合も $\text{Al}_2\text{O}_3$ が他のセラミックと比較して加工深さは深かったがダイヤモンド工具と比べてその能力は約4倍と低かった。他のセラミックスについても

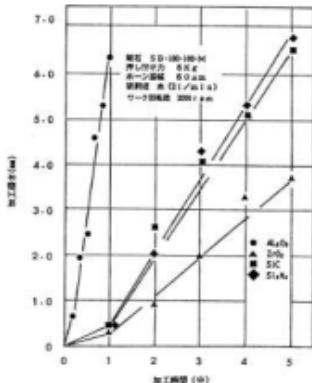


図4. 各種セラミックスの加工能率  
(ダイヤモンド工具)

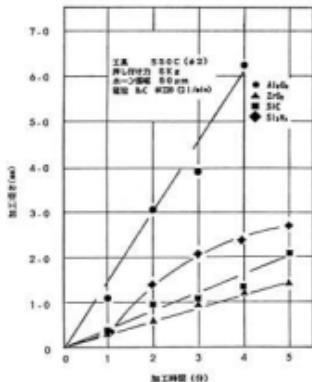


図5. 各種セラミックスの加工能率  
( $\text{B}_4\text{C}$ 砥粒)

ダイヤモンド工具と比較すると切削速度は非常に低かったが、時間をかけければある程度加工出来た。この中で $\text{Si}_3\text{N}_4$ は他のセラミックスとは違った傾向を示した。 $\text{B}_4\text{C}$ 砥粒による超音波加工でも $\text{ZrO}_2$ が最も低い切削速度であったがダイヤモンド工具と同じように切削中に異常音が発生したり、共振周波数の変動が見

られた。またダイヤモンド工具と違って、工具の摩耗がはげしく実験途中で新しい工具に取り替えねばならない状態であった。

写真1にダイヤモンド工具による超音波研削とS50C工具( $B_4C$ 砥粒)による超音波加工の穴の表面形状と写真2にその断面形状を示す。

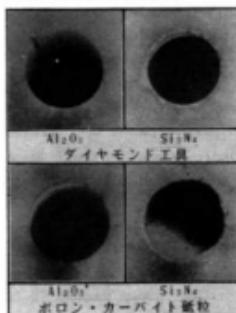


写真1. 加工穴の形状 ( $Al_2O_3$ )

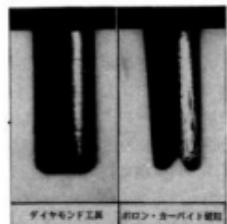


写真2. 加工穴の断面形状 ( $Al_2O_3$ )

$Al_2O_3$  はダイヤモンド工具、S50C工具とも比較的表面形状は良かったが、断面形状を見ると、S50C工具で加工した断面は穴の底部が二方向に加工されており、また穴が曲っていた。それに比べてダイヤモンド工具は直線的な穴に加工されており精度の良いことをうかがわせた。これは当然複合加工の結果と思われる。 $Si_3N_4$  の場合はこれが顕著に表われた。

写真3は写真1、写真2の  $Al_2O_3$  の加工面のSEM像であり、図6は同じ加工面のあらさ曲線である。両方のSEM像について比較してみるとS50C工具の方が粒子が先端化しているのが分かる。まだダイヤモンド工具の場合は加工面の粒子がすりつぶされたようになっている。あらさ曲線を見るとダイヤモンド工具は丸みをおびており、S50C工具の場合はかどにダレが生じていることでも分かる。

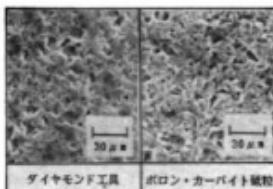


写真3. 加工面のSEM写真 ( $Al_2O_3$ )

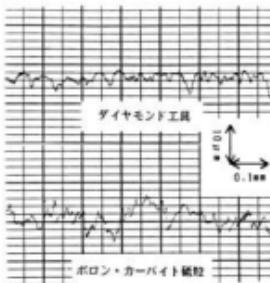


図6. 加工面のあらさ ( $Al_2O_3$ )

#### 4. 結 言

硬せい材料であるセラミックスの高精度、高能率加工技術の向上をめざして超音波加工とダイヤモンド工具による複合加工を行なった結果、次の事が分かった。(1) 通常の研削、および従来行なわれている  $B_4C$  砥粒による超音波加工に比較して、ダイヤモンド工具を用いた超音波複合加工はセラミックスの高能率化に有効である。

(2) 加工速度は負荷荷重の増大とともに直線的に上昇する。

(3) ダイヤモンド砥粒はある程度粒度のあらいほど加工速度は増加する。

(4)  $Al_2O_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $SiC$ 、 $Si_3N_4$  の中で  $ZrO_2$  は超音波複合加工、砥粒による超音波加工のどちらの加工法においても加工性が悪かった。これは  $ZrO_2$  のじん性の高さに起因すると思われる。

#### 文 献

- 1) 海野邦昭他、精密工学会誌 Vol.52, No.1 P 107 ~
- 2) 久保田護他、精密機械 Vol.42, No.3 P 197 ~

## 金属基複合材料（MMC）の開発

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粒子及びSiCウイスカーフィンガーフィルムによる製造と熱膨張特性

土取 功、新田 明、原 信彦

### Fabrication of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(particle), SiC(whisker)/Metals Composites by Sintering Method and their Thermal Expansion

TSUCHITORI Isao, NITTA Akira, HARA Nobuhiko

Particulate Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or SiC whisker reinforced metal (Cu, Ni, SUS304L) matrix composites were fabricated by sintering method, and thermal expansion, hardness, bending strength and abrasive wear of these composites were measured. The composite of large particulate Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> size (8 μm) showed better dispersion of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle than smaller sizes (1,3 μm), while the composites using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> of smaller particle sizes (1,3 μm) showed aggregation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> where micro voids was observed.

The coefficient of thermal expansion of these Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> strengthened composites were slightly decreased by using particle size (8 μm) as against 1 μm particle size, and were decreased remarkably with increasing Vf of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (up to 20 vol%). α phase (α') was detected in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SUS304L composites by X-ray analysis. On the other hand, in the case of SiC whisker reinforced metal (Cu, Ni, SUS304L) matrix composites, SiC whisker reacted with these metal matrix and most of SiC whisker had disappeared.

#### 1. 緒 言

金属基複合材料（MMC : Metal Matrix Composite）の中の繊維強化金属（FRM : Fiber Reinforced Metal）は従来材料にない優れた特性を持ちながら、その製造コストの高さから一般機械等の部品材料としてFRPに比較すると応用が進んでいないのが現状である。そのせいもあってか、研究の動向も短纖維強化及び粒子強化に関するものが多くなってきた。主な理由は長纖維強化の方が特定方向での強度では有利なもの、製造技術面での困難性やあるいは短纖維、粒子強化材の方が吸収押出しや接合などの二次加工が行い易いなどの点があり、実用化が近いと考えられているためであろう。一方最近、金属とセラミックスの接合に際し、金属基複合材料の応力緩衝材としての使用が注目され、主に粒子強化複合材での研究<sup>1)</sup>が行なわれている。また低熱膨張材料が各方面から注目され、各種工作機械や精密加工機械、光学機器等の部品材料としてのニーズが高く、新たなインバー系の材料も開発されている。

ここでは金属基複合材料の低熱膨張性に着目し、粒子強化及びウイスカーハード化の金属基複合材料を試作し、その製造上の問題点ならびに得られた複合材の熱膨張性を中心とした二、三の特性について検討した。

マトリックス金属材料として、以前の研究<sup>2)</sup>との比較

やセラミックスと金属との応力緩衝材としての効果を考慮して銅（99.9%，-100 mesh）、ニッケル（99.9%，50 μm以下）と実用材として多用されているステンレス鋼（SUS 304 L, 10 μm以下）の三種類の金属粉末を用いた。一方、強化材としてα-アルミニナ（メラー社製）の平均粒度 1, 3, 8 μmの粉末と炭化珪素ウイスカ（繊維長：10~30 μm, アスペクト比：5, 東海カーボン社製）を用いた。（写真1）これらのうちアルミニナ（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）粉末は容量で5, 10, 20%を、炭化珪素（SiC）ウイスカは重量で10%を各マトリックス金属粉末に加えV型混合機で2000



写真1. 強化材料の電子顕微鏡写真

回転混合後、黒鉛型（70 φ × 7 t mm）に充填し、真空ホットプレスにより、加圧焼結（真空中度：2~5 × 10 Torr, Cu, Ni : 1000 °C, SUS304L : 1100 °C

$\times 120 \text{ min} \times 250 \text{ kgf/cm}^2$ ）を行った。

これらの複合材についてその熱膨張を示差熱膨張計で測定するとともに、硬さ、曲げ強さ、耐摩耗性（スガ式摩擦試験機）について試験検討した。

### 3. 実験結果

写真2、3に複合化後の組織の代表例として  $3 \mu\text{m}$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  が10%入った場合と  $8 \mu\text{m}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$  の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子の分布状況を示す。粒子径が  $1$ 、  $3 \mu\text{m}$  の場合、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  同士の凝集がみられ、Ni および SUS 304 L マトリックスではそれが空洞となっている部分がみられるが、Cu マトリックスではそのような空洞はみられなかった。写真3では  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子径が  $8 \mu\text{m}$  の場合で良好な分散状態の複合材が得られており、これは、Cu、SUS 304 L マトリックスの場合も同様で、このことはマトリックス金属と強化材の粒子径の組合せに依存している。

これらの複合材の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子径に対する熱膨張を図1に、粒子径が  $8 \mu\text{m}$  の場合の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  体積率に対する熱膨張係数を図2に示す。一定の体積率のもとで粒子径によって熱膨張係数が変化することは複合材の上からは考えにくいが、図1のように粒子径が大きくなるとわずかであるが低下する傾向がみられる。この原因は強化材である  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子の分散状態とわずかに

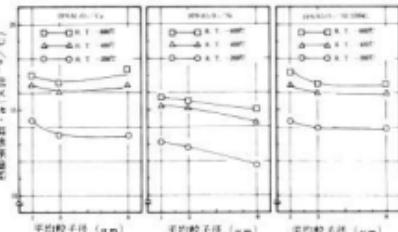


図1. 複合材の熱膨張に及ぼすアルミナ粒子径の影響

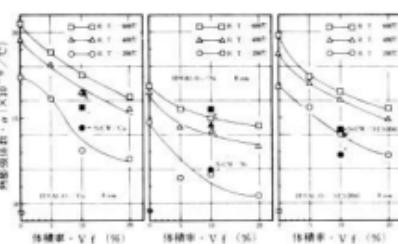


図2. 各種複合材の熱膨張に及ぼすアルミニナ粒子体積率の影響

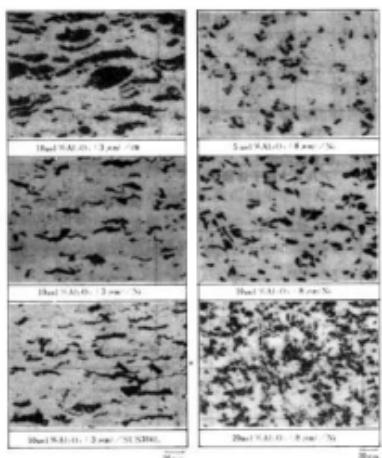


写真2. 各複合材における  
 $3 \mu\text{m}$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  の分布状態

写真3.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $8 \mu\text{m}$ ) / Ni  
複合材の顯微鏡写真

存在する気孔の分散状態に帰因するものと考えられる。<sup>3</sup> 図2では各マトリックス金属の場合とも  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子の体積率の増加に従って熱膨張係数は低下しており、各温度範囲にわたって、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  強化材を含まない素材と20%含有の複合材では約4以上の低下がみられる。これは大きな低下とは言えないが、しかしこの範囲内では  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子の Vf によって熱膨張係数のコントロールが可能であることを示すものである。三種類のマトリックス金属の中で20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / Ni が最も低い熱膨張係数となっている。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  / SUS 304 L では熱膨張測定時に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を含まない素材を除くいずれの Vf においても、570 °C付近から異常収縮を示した。これは  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / SUS 304 L 複合材についてX線回折を行ってみると  $\alpha$  相を生じており、これが熱膨張測定時の加热中に  $\alpha \rightarrow \tau$  の交換を起こすため収縮したものと考えられる。しかしこの  $\alpha$  相はわずかな量と思われる。 $\alpha$  相が生じる原因については現在のところは明かでないが、SUS 304 L 成分中のオースナイト生成元素である Ni と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の間で反応を生じていることが考えられる。しかしX線回折ではこれらの化合物の同定はできなかった。また  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / Ni でも反応生成物らしきものは検出できなかったが、Arsentye

va<sup>4</sup> らによれば Ni - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 間で 1150 °Cにおいて Ni<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を生じたことを指摘しており、本実験の場合 1000 °C であるがマトリックス金属の Ni や SUS 304 L と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子界面では非常に少量ながら薄い層で反応していることも十分考えられる。そして Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Cu においても酸化物を介しての反応<sup>9</sup> はよく知られており、その可能性も高いものと思われる。一方、SiC ウィスカーレ复合材では素材に比べれば熱膨張係数は全般には低下しているものの一定の傾向は見い出しがない。また顕微鏡組織からは明かに SiC ウィスカーレと三種類のマトリックス金属との間に反応を生じ、特に SiC / Ni, SiCw / SUS 304L では SiC ウィスカーレは殆ど消失している。ここに見られる熱膨張係数の低下は繊維拡大によるものではなく、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子と同様に反応生成物等による複合化による結果と考えられる。

写真 3 に 10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 复合材のマトリックス組織を示す。3種類の複合材とも素材に比べ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子の存在により、結晶粒の成長が著しく抑制されているのがわかる。特に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / SUS 304 L の基地組織は著しく微細な晶粒となっており、その粒界には一見 微細な折出物（α相？）のようなものも観察される。また Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Ni では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子の多くは粒界に位置し、粒内には非常に少いのが分かる。

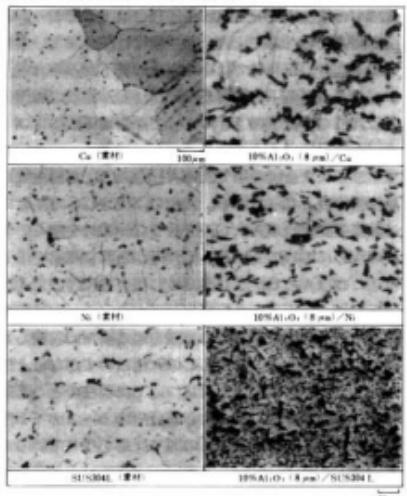


写真 4. マトリックス金属素材と 10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 复合材の基地組織

図 3, 4 に硬さ及び曲げ試験結果を示す。硬さは三種類の複合材とも、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の Vf の増加とともに高くなっているが、特に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / SUS 304 L ではその上昇の度合いは大きくなっている。この原因は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の Vf の増加のみならず、反応による α 相（α 相からしない。）の折出、反応生成物、組織の微細化等の複合効果を考えられる。また曲げ強さは硬さ値を反映するのが一般的であるが、図 4 では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Cu は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の Vf の増加とともにその曲げ強さも微増しているが Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Ni では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の Vf が 20% で曲げ強さは 10% の時よりも低下しており、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / SUS 304 L では 10% の Vf から低下し始めている。これは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子の凝集や表面欠陥も考えられるが、一般的には複合材では第 2 相の強化材の Vf の上昇とともに脆性が強くあらわれてくる。この曲げ強さの低下は分散強化相とマトリックス界面の接合強度が高くないことも帰因しているかもしれない。また SiC ウィスカーレの複合材も前述の反応による粒子強化の作用があらわれているものと思われる。

図 5 はスガ式摩耗試験による結果でいずれの複合材も Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子の存在により耐摩耗性は改善されている。

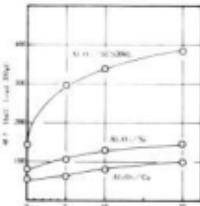


図 3. 複合材の硬さと  
アルミニウム粒子体積率

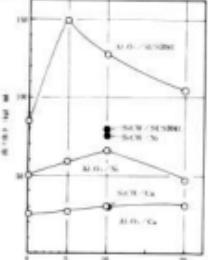


図 4. 複合材の曲げ強さと  
強化材の体積率



図 5. 複合材の耐摩耗性

そして  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子の Vf の増加により摩耗減量も減少してくるが、 $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SUS}304\text{L}$  では  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の Vf の影響は殆どみられない。これは SUS 304 L と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  との反応により  $\alpha$  相 ( $\alpha'$  相?)、反応生成物、結晶粒微細化等による硬さ値そのものが大きく上昇し、相対的に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子による強度上昇の寄与率が低下したことが原因と考えられる。

金属基複合材料の低熱膨張性を利用してセラミックスと金属の応力緩衝材に使うことが考えられ、写真 6 は  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスと 10%  $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Ni}$  複合材を銅合金で口一材に使って接合した事例である。セラミックスと金属の接合においては熱応力をいかに緩和するかが重要なポイントであるが、このような金属基複合材料の応用は特に繰り返しの熱サイクル疲労に有効であることが明かにされつつある。

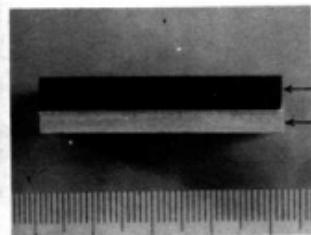


写真5. セラミックスと金属基複合材の接合例

り小さい粒子径では凝集がみられた。

- (2) 热膨張係数に及ぼす  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子径の影響は小さいが、しかし殆どの場合、粒子径が大きくなると热膨張係数は低くなる傾向を示した。
- (3)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子の体積含有率に対しては熱膨張係数は漸減の傾向を示した。また  $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SUS}304\text{L}$  複合材では  $\alpha$  相の折出がみられた。
- (4) SiC ウィスカーや銅、ニッケル、SUS 304 L の各複合材ではいずれも反応し、特に後二者ではウィスカーアーは大部分が消失していた。
- (5)  $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Ni}$  複合材を  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスと銅合金で接合したところ、亀裂のない良好な接合が得られた。

## 文 献

- 1) 例えは白兼他：日本金属学会講演概要、1986、10. P 420
- 2) 土取他：本報告、29 (1986)，62
- 3) 白兼他：日本金属学会講演概要、1988、4. P 346
- 4) I. P. Arsentjeva and M. M. Ristic, Sintered Metal - Ceramic Composite, 1984, 181
- 5) 速水：素形材、11 (1985), 27
- 6) 白兼他：日本金属学会講演概要、1987、10. P 436

## 5. 結 言

$\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子および SiC ウィスカーアーを強化材として、銅、ニッケル、ステンレス鋼 (SUS 304 L) をマトリックスとする複合材料を粉末冶金的方法により試作しその生質を調査したところ次の結果を得た。

- (1)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子を分散した銅、ニッケル複合材において良好な分散状態は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の  $8 \mu\text{m}$  の場合でそれよ

## 金属材料とセラミックの複合化技術（第4報）

### 銅合金を使用した窒化ケイ素セラミックスの接合に関する研究\*

世良時夫, 新田 明, 原 信彦, 土取 功, 芳野光利, 渡辺直四郎

#### Joining of Silicon Nitride Using Copper Alloys

SERA Tokio, NITTA Akira, HARA Nobuhiko, TSUCHITORI Isao, YOSHINO Mitsutoshi  
and WATANABE Teishiro

Joining between silicon nitrides was investigated in a vacuum using Ni-Cu alloys with some nitride-forming elements (Cr, Nb, V and Al) as insert metals. In the fracture shear strength test at room temperature, the high strength over 28 kgf/mm<sup>2</sup> was obtained from the joint produced using Al-V-Ni-Cu alloy at 1150°C for 15 min., while those with other alloys, which were produced at 1150°C for 10 min., lay between 13 to 18 kgf/mm<sup>2</sup>. The strengths of joints produced using V-Ni-Cu alloy increased when Al and Ti metals were deposited onto Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> before joining. Argon atmosphere during joining decreased the strength except the case of using Al-V-Ni-Cu alloy as the insert metal. Fracture shear strength was strongly depending on the combination between the origin of ceramics and the kind of nitriding elements. From X-ray diffraction analysis, it was found that both M-nitride and -silicide (M: Cr, Nb or V) were formed in the interlayer. These compounds seem to contribute to high joining strength.

#### 1. 緒 言

最近、ファインセラミックスの性能は向上し大きな関心がもたらされ、構造用材料としてますます使用される傾向にある。しかし、セラミックスを構造用材料として用いる場合、耐熱性、耐摩耗性はすぐれているが、脆性に乏しく、機械加工が困難であるという特有の欠点をもっている。そこで金属の持つ強靭性とセラミックスの持つ機能特性の両方を生かす。接合技術により複合化し、構造用材料としての性能向上を図ることが期待されている。

上記複合化において、一般に金属とセラミックスとの間に中間物質をインサートし、高温接合することが試みられ、種々のインサート材並びに接合法が発表されている。しかし、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスの様に非酸化物系セラミックスは一般に他物質との濡れ性が悪いため接合強度も低く、接合技術は確立したものがない。

著者らはSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスに対して反応するインサート材を開発することを目的として実施した予備試験の結果から、接合機構として現在報告されている、ナイトライド、シリサイド、オキサイド接合のうちナイトライド接合が最も効果あるものと推定し、ナイトライド生成元素含有合金による濡れ性改善効果を接合強度の面から検討した。

\*日本金属学会第102回大会で発表

#### 2. 供試材及び実験方法

##### 2.1 供 試 材

使用したセラミックスは、主に瀬戸芝製のSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスである。又比較のために他の2社のセラミックスを使用した。それぞれのセラミックスの特性は表1に示すとおりである。試験片寸法は12×12×6で、表面仕上げ2 μm以下のものを供試材とした。

接合用インサート材料は真空溶解炉で、母合金、純金属を所定量配合して溶融した。その銅合金組成は表2に示すとおりである。そのインゴットを約1 mmの厚さに切断して、ロールで約140 μmに圧延し、研磨紙で仕上げた。

##### 2.2 実験方法

各供試材はトリクレン及びアセトンでそれぞれ約10分間、超音波洗浄を行い接合した。図1に示すように

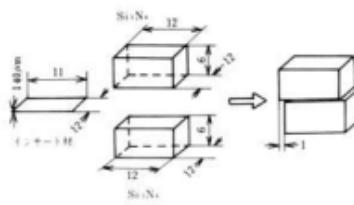


図1. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックス同士の接合法

表1. セラミックス供試体の特性(カタログデータ)

|   | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (東芝) | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (住友) | ダイアロン(自立) |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| 密度(g/cm <sup>3</sup> )                      | 3.20                                | 3.23                                | 3.26      |
| 熱伝導率(kcal/h·m·°C)                           | 13.33                               | 7.2                                 | 14.4      |
| 曲げ強度(kgf/mm <sup>2</sup> )                  | 80                                  | 65                                  | 90        |
| 圧縮強度(kgf/mm <sup>2</sup> )                  | 400                                 | -                                   | >350      |
| 熱膨張率(×10 <sup>-6</sup> /°C)                 | 3.4                                 | 3.1                                 | 3.0       |
| ヤング率(×10 <sup>6</sup> kgf/mm <sup>2</sup> ) | 2.8                                 | 2.8                                 | 3.0       |
| 硬度(Hv)                                      | 1,550                               | 1,300                               | 1,580     |

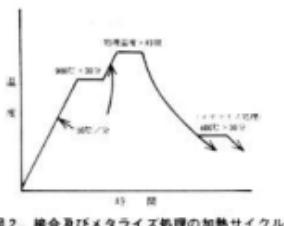


図2. 接合及びメタライズ処理の加熱サイクル

表2. 接合用インサート材の化学組成(Weight %)

| 合<br>金 | Cr   | Nb   | V    | Al   | Ni   | Cu   |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| Cr系    | 0.86 | —    | —    | —    | 9.71 | bal. |
| Nb系    | —    | 1.33 | —    | —    | 9.90 | bal. |
| V系     | —    | —    | 0.88 | —    | 9.71 | bal. |
| Al-V系  | —    | —    | 0.94 | 1.28 | 9.13 | bal. |

セッティング、真空ホットプレス(真空度 $1 \sim 5 \times 10^{-4}$  Torr)接合荷重 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ を使用して、黒鉛製接合治具で接合した。加熱サイクルは図2に示すとおりである。

接合強度の評価は万能材料試験機を使用せん断試験で行った。

せん断試験後の試験片やメタライズ面を研磨し、X線回折やX線マイクロアナライザによる分析等を実施した。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 接合時間がせん断強さに及ぼす影響

接合温度は合金の液相線温度を少し越える1150°Cで一定とし、接合時間を1~30分に変えて接合した。各合金とせん断強さの関係は図3に示すとおりである。各合金ともある時間で最大値を示し、Al-V系では15分で $28\text{kgf}/\text{mm}^2$ と最高値を示した。その他の合金系では10分で最高値を示し13~18 $\text{kgf}/\text{mm}^2$ の範囲であった。この傾向は奈留ら<sup>11</sup>の報告と同

じ傾向を示し、接合条件には最適時間のあることが判った。

又、CuやNi-Cu合金をインサート材として接合した場合は0.7 $\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以下と強度は低く、窒化物生成元素の効果がいかに大きいかが明らかとなつた。

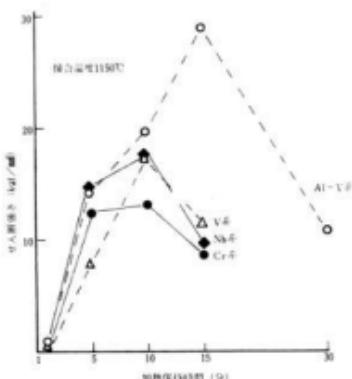


図3. 接合時間とせん断強さの関係

#### 3.2 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスへの前処理条件がせん断強さに及ぼす影響

真空蒸着装置を使用してC、Ti、Alを蒸着処理して接合した。その接合体のせん断強さの関係は表3に示すとおりである。Cr系、Nb系、Al-V系ではほとんどせん断強さに変化がないか逆に低下する傾向を示した。しかし、V系のTi、Alの蒸着においてせん断強さは前処理なしに比べて140%の強度向上が見られた。

表3. 各種インサート材における前処理条件とせん断強さの関係

(1150°C × 10分)

| インサート材 | 前処理(蒸着) |      |      |      |
|--------|---------|------|------|------|
|        | なし      | C    | Ti   | Al   |
| Cr系    | 13.0    | 9.7  | 6.6  | 7.1  |
| Nb系    | 17.4    | 0.6  | 12.1 | 12.9 |
| V系     | 17.2    | 17.9 | 25.2 | 25.6 |
| Al-V系  | 19.6    | 20.3 | 21.3 | 20.5 |

表4. 比較材  $\text{Si}_3\text{N}_4$  によるインサート材、前処理条件とせん断強さの関係 (1150°C × 10分)

| インサート材 | 前処理 (蒸着) |      |     |      |
|--------|----------|------|-----|------|
|        | なし       | C    | Ti  | Al   |
| Nb系    | 0.2      | —    | 0   | 1.2  |
| V系     | 3.9      | 6.4  | 3.8 | 10.4 |
| Al-V系  | 18.3     | 16.4 | 7.7 | 3.4  |

表5. サイアロンによるインサート材、前処理条件とせん断強さの関係 (1150°C × 10分)

| インサート材 | 前処理 (蒸着) |      |      |      |
|--------|----------|------|------|------|
|        | なし       | C    | Ti   | Al   |
| Nb系    | 21.2     | 13.9 | 10.4 | 18.7 |
| V系     | 8.0      | —    | 19.0 | 10.1 |
| Al-V系  | 12.5     | —    | 11.4 | 7.2  |

### 3.3 $\text{Si}_3\text{N}_4$ セラミックスの種類による前処理条件とせん断強さの関係

比較材の  $\text{Si}_3\text{N}_4$  及びサイアロンでの接合条件とせん断強さの関係は表4、表5に示すとおりである。

表4は比較材  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスを使用した前処理条件とせん断強さをまとめたものである。Al-V系では前処理なしで高いせん断強さを得られたが他の系のインサート材では低いせん断強さであった。蒸着処理を行うと、前述と同様V系以外には変化がないか逆に低下する。V系のAl蒸着では強度向上が認められ、Al元素の効果は大きいものと考えられる。又、セラミックスの粉末の製造法や助剤の違い、グレードが違うことも影響していると考えられる。この  $\text{Si}_3\text{N}_4$  はCを含まないとのことであるが、前表(東芝製)はCを含んでいる。

表5はサイアロンを使用した前処理条件とせん断強さの関係をまとめたものである。前処理なしでみるとNb系のインサート材で高いせん断強さが得られた。Al-V系は程々の強さが得られた。前処理の影響については、今迄と同様にV系インサート材においての

み、Ti、Al、蒸着処理で強度の向上が認められ、他のインサート材は低下する傾向にあった。

以上の結果、セラミックスの種類によって、添加元素と強度の関係があることや、前処理によりV系の強度の向上等が確認されたが、考察は十分に出来なかった。しかし、V系ではインサート材にAl(Ti)を先に含むか、蒸着等で処理しても同様の効果があるものと考えられる。

### 3.4 接合雰囲気がせん断強さに及ぼす影響

$\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスとサイアロンについてアルゴン雰囲気中 (500 Torr) と真空中で接合し、せん断強

さで比較した結果は表6に示すとおりである。一般にアルゴン雰囲気で接合した場合はせん断強さは低下する傾向にある。しかし、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスでのAl-V系、サイアロンでのV系などで大きな変化が認められないものもあった。アルゴン雰囲気中の  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスの分解は真空中に比べて遅くなることが報告<sup>2</sup>されており、反応物の生成も少なく強度は低下すると考えられる。又アルゴン雰囲気中では  $\text{O}_2$  量も真空中に比べて多くなり、この影響も考えられる。

雰囲気の影響について横井<sup>3</sup>らの報告によると、サイアロン同士の接合において、アルゴン雰囲気での曲げ強度が高いと報告されており、我々の結果と逆である。しかし、この結果は  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスとインサート材の反応生成物の違いによるためではないかと考ええる。

### 3.5 $\text{Si}_3\text{N}_4$ セラミックス同士の接合断面のEPMMAによる面分析

Al-V系インサート材で1150°C × 5分で接合したせん断試験後の試料をEPMMAで面分析した。その結果は写真1に示すとおりである。この結果からV、Niは  $\text{Si}_3\text{N}_4$  面に濃化していることが認められる。ライン分析の結果からVのピーク値とNの変化しあじめる位置がほぼ等しく、セラミックス内にVの拡散が起きているものと考えられる。NiのピークはVよりインサートが側にあり、これらの反応物があり、その生成物については次の

表6. 接合雰囲気がせん断強さに及ぼす影響 (1150°C × 10分)

| インサート材 | $\text{Si}_3\text{N}_4$ (東芝製) |       | サイアロン (日立金属) |       |
|--------|-------------------------------|-------|--------------|-------|
|        | 真空中                           | アルゴン中 | 真空中          | アルゴン中 |
| Nb系    | 17.4                          | 0.5   | 21.2         | 4.0   |
| V系     | 17.2                          | 4.7   | 8.0          | 7.3   |
| Al-V系  | 19.6                          | 17.8  | 12.5         | 7.8   |

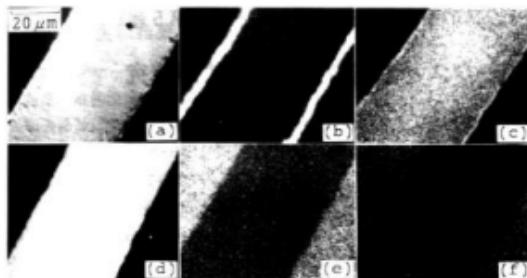


写真1. Al-V系インサート材によるSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>同上の接合断面のEPMA分析  
 (a) 二次電子像 (b) V (c) Ni (d) Cu (e) Al (f) Si

図7. Al-V系メタライズ面のX線回析

| メタライズ層厚さ(μm) | 組成  |
|--------------|---|
| 約 17-111     | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> - Ca                       |
| + 6-7        | + > V-Ni-Si   |
| + 4-5        | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Ca>V-Ni-Cu>V-Ni           |
| + 2-3        | V-Ni-Si>Ni-Cu>V-Ni>Unknown                                |
|              | V-Ni-Si>V-Ni-Cu>V-Ni>Unknown                              |
|              | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> <V-Ni-Si>V-Ni>V-Ni>Unknown |
|              | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> >V-Ni-Si>V-Ni>V-Ni         |
|              | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> >V-Ni-Si>V-Ni>V-Ni         |

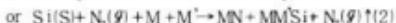
項で述べる。

### 3.6 X線回析による組成分析

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミック界面にAl-V系インサート材をメタライズ処理を行いそのメタライズ層の研磨をくり返し組成分析を行った。その結果は表7に示すとおりである。

メタライズ層の厚さ17 μmまではNi-Cu合金であるが、メタライズ層の厚さ6-7 μmになるとNi-Cu合金と少量のV-Ni-Si (V<sub>x</sub>Ni<sub>y</sub>Si<sub>z</sub>とされる)が認められた。さらに層厚さが薄くなるにつれてNi-Cu合金は認められなくなり、V<sub>x</sub>NiからVNへと変化している。途中、Unknown組成もあり複雑な変化をしているものと考えられる。しかし、EPMA分析や、カールソン<sup>4</sup>のV-Nシステムから考えて、主成物の判定は正しいと思う。

以上の結果から次の反応機構を考えられる。



(1)の分解反応とM又はM'が反応して各種の反応物が

生成し、高い接合強度が得られているものと考えている。Niの添加はバーザ<sup>2</sup>、大森<sup>5</sup>らの報告にあるようにこの反応を促進しているものと考えている。他のインサート材についても同様の反応があることを確認した。

## 4. 結論

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスの接合において接合強度の向上を目的にインサート材の開発を行った。その結果をまとめると次のとおりである。

(1) 接合用インサート材としてCr系、Nb系、V系、Al-V系のNi-Cu合金が開発された。この合金で1150°C、40~15分の接合時間で最高の強度が得られた。とくにAl-V系で最高28.7kgf/mm<sup>2</sup>のせん断強さであった。

(2) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスの表面に蒸着処理した場合、V系インサート材のみAl又はTi蒸着で強度向上が認められた。

(3) 接合雰囲気について真空中とアルゴン雰囲気で比較した結果はほぼ真空中が高いせん断強さを示した。

(4) セラミックスの種類によても、インサート材の種類(添加元素)の影響が認められた。

(5) インサート材とSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスの反応物はMN、MSi又はMM'Si (M: Cr, Nb, V, Al, M': Ni)等の生成物が認められた。

なお本研究は昭和61年度技術開発研究費補助事業の一環で、関係各位の懇切なご指導を賜わったことを付記しあげます。

## 文獻

- 1) 余賀、田中、岡本：溶接学会論文集、Vol 4, 3 (1986) 597
- 2) H. D. Batha and E. D. Whitney : J. Am. Ceram. Soc., 56 (1973) 365
- 3) 横井、山田、河野、岡本：日本金属学会講演概要 4 (1987) 278
- 4) O. N. Carlson, J. F. Smith and R. H. Nafziger : Metall. Trans., 17A, (1986) 1647
- 5) 大森：溶接技術、Vol 34, (1986) 44

# 金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究（第5報）

## 窒化ケイ素セラミックスと金属の接合に関する研究

新田 明、世良時夫、原 信彦、土取 功、芳野光利、渡辺貞四郎

### Joining of Silicon Nitride to Metals

NITTA Akira, SERA Tokio, HARA Nobuhiko, TSUCHITORI Iiso, YOSHINO Mitsutoshi  
and WATANABE Teishiro

We developed the new insert metal which is used to joint silicon nitride to steels.

Before jointing, surface of silicon nitride was metallized by the above metal used in the temperature ranges 1423 K to 1473 K and in vacuum atmosphere about  $1.33 \sim 6.65 \times 10^{-3}$  Pa for 10 ~ 15 min.

The results are summarized as follows :

(1) Shearing strength values between silicon nitride and the inserted metal were 78.4 ~ 117.6 MPa, when an copper/kovar or nikel was used as stress reduction materials.

According to the shearing tests at high temperatures, the strengths up to 573 K were as high as that at room temperature.

(2) The direct joining of silicon nitride-insert metal-copper-steel system were tested, too. And its strengths at room temperature were 78.4 ~ 117.6 MPa. In this system, copper was used as a stress reduction material.

### 1. 緒 言

金属の持つ強非性とセラミックスの持つ機能特性の両方を活かすための複合化技術による性能向上への期待は大きい。

しかしセラミックスと金属を複合化する場合、金属との熱膨張係数の差が大きいために、接合温度から冷却中に大きな熱応力が発生し、それがセラミックス表面の亀裂を誘起するなど、技術的に難しい問題を含んでいる。<sup>1) ~ 2)</sup> 本研究は前報で開発したインサート材を使用し、窒化ケイ素セラミックスと金属の接合に関しての研究を行った。

### 2. 実験方法

供試材として、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ は西東芝製とし、接合相手の金属は構造用炭素鋼（S 45 C）又は銅とした。インサート材は、低 Nb 系、低 V 系、低 (Al-V) 系の鋼合金を使用した。

セラミックス表面へのメタライズ処理は、真空ホットプレス内（真空中  $1 \sim 5 \times 10^{-4}$  Torr）にインサート材を  $\text{Si}_3\text{N}_4$  表

面に置き  $900^\circ\text{C} \times 30$  分間予熱を行い毎分  $10^\circ\text{C}$  で昇温  $1,150 \sim 1,200^\circ\text{C} \times 10 \sim 15$  分間加熱処理し、冷却時に  $600^\circ\text{C} \times 60$  分保持後冷却した。

接合体のろう付けは、銀ろう（BAF-8, 50 μm 厚さ）箇で  $700^\circ\text{C} \times 30$  分間予熱を行い毎分  $10^\circ\text{C}$  で昇温し  $850^\circ\text{C} \times 10$  分間加熱処理し、冷却時に  $400^\circ\text{C} \times 60$  分保持後冷却した。

強度評価も前報と同様な条件でせん断試験を行った。なお高温せん断試験は、各所定温度に達して20分間保持後試験した。

表1. インサート材、緩和材の熱分析結果

| 材 料        | 熱膨張係数 ( $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ) | 差・液相線温度 ( $^\circ\text{C}$ ) | 差・液相線温度 ( $^\circ\text{C}$ ) |
|------------|---|------------------------------|------------------------------|
| 低 Nb 系     | 20 ~ 800                                  | 19.6                         | 1,107 1,137                  |
| 低 V 系      | ~   | 19.8                         | 1,107 1,137                  |
| 低 (Al-V) 系 | ~   | 19.9                         | 1,110 1,142                  |
| 低 Cr 系     | ~   | 20.7                         | —                            |
| Cu         | 20 ~ 820                                  | 21.4                         | —                            |
| コバルト       | 20 ~ 450                                  | 4.5                          | —                            |
| ~          | 20 ~ 800                                  | 10.8                         | —                            |
| Ni         | 0 ~ 100                                   | ※ 13.3                       | —                            |
| Mo         | ~   | ※ 4.9                        | —                            |

※ 文献値

### 3. 実験結果と考察

表1にインサート材及び応力緩和材の熱膨張係数、固相温度、液相温度の測定結果を示す。インサート材の熱膨張係数は銅よりわずかに小さいが大差はなかった。応力緩和材のコパールは450°C位までは低膨張係数を示し $\text{Si}_3\text{N}_4$ セラミックスに最も近く、低温では優れた材料の一つである。インサート材の液相温度の測定結果は1,140°C前後であり、状態図で推定した温度より約10°C低い結果となった。

インサート材及び応力緩和材等の高温硬さの測定結果を図1に示す。インサート材のうち低(A $\ell$ -V)系を除いては常温硬さHv 90~100位で温度の上昇と共に硬さは低下しその変化の傾向も同様である。それに対して低(A $\ell$ -V)系インサート材は常温硬さHv 180と前者に比べて約2倍近く硬く、昇温による硬さの低下は同様な傾向であり、全般に硬いことが分かる。応力緩和材に使用した銅は400°C位から急激な硬さの低下がみられ硬さは最も低くなつた。Niは常温でHv 180位から昇温と共に急激な硬さ低下がみられるがこれは加工硬化しているためであり1000°Cで加熱すると常温では銅とはほぼ同じ程度まで硬さが低下するので応力緩和材として有効な材料と考えられる。

$\text{Si}_3\text{N}_4$ をメタライズした状況を写真1に示す。

低Nb系インサート材は不均一なメタライズ面となり結果はあまり良好でなかった。それに対して低V系、低(A $\ell$ -V)系インサート材は優れたメタライズ層が得られることが分かった。良好的メタライズ層が得られれば、出来るだけ低い温度、例えば1,150°C位の温度での処理するのが強度上からも理想的である。低(A $\ell$ -V)系はこのような処理が可能である結果を得た。

写真1に示したメタライズ面を研磨し、銀ろうを用いて銅(厚さ5mm)と接合した。その結果を図2に示す。

低Nb、低V、低(A $\ell$ -V)系インサート材によるメタライズ法で銅と接合した結果、8~11kgf/mm<sup>2</sup>のせん断強さを示し、セラミックス又はろう付面で破壊していた。それ故、銅の熱応力緩和の

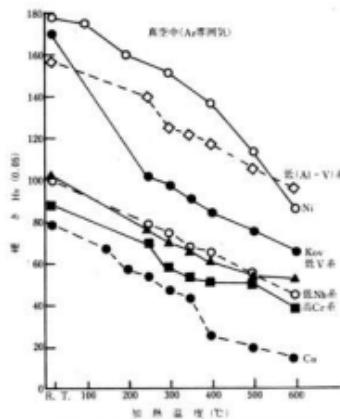


図1. インサート材及び緩和材の高温硬さ

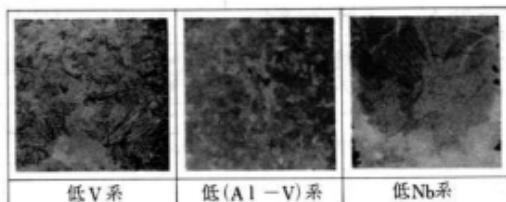


写真1. 各インサート材によるメタライズ処理表面

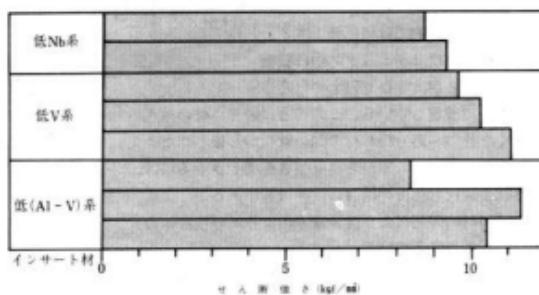


図2. メタライズ法によるCuとの接合体のせん断強さ

効果は期待できる。

応力緩和材としてMo(厚さ0.4mm)を用いろう付けした結果の一例を図3に示す。この結果では、同じ

インサート材でもせん断強さはかなり幅を持っている。破断はセラミックス又はろう付部で生じており、Mo板が薄いことや、ろう材の種類や、試験法に原因があったものと考えられる。コバール（Kov）を応力緩和材とした接合体のせん断強さにもバラツキがあることが分かった。

更に接合強度の信頼性を確立するために、低（Al-V）系インサート材を用いてメタライズ処理を行い、応力緩和材の種類の影響について検討し、その結果を図4に示す。

Cu-Niとも厚さ1mmのとき高いせん断強さが得られた。複合緩和材では、Cu/Kovの組合せの場合比較的のバラツキの少ない結果を得た。この組合せは、ソフトメタルと低膨張材の組合せとなるので、応力緩和の効果があると考えられる。この場合のせん断強さで9kgf/mm<sup>2</sup>程度である。

低（Al-V）系インサート材を用いて、加熱温度1,150°Cで15分間メタライズ処理し、応力緩和材としてCuとKovの組合せでろう付けした接合体の高温せん断強さを図5に示す。

常温から300°C迄はせん断強さは、ほぼ一定で、それより高温になるとせん断強さは低下し500°Cでは常温時の強さの1/2、600°Cでは1/4に低下する。又、300°C迄はセラミックス中に破壊が生じているが、400°C以上ではろう付け界面で破壊している。このことは銀ろう材の融点が低く、且つ、応力緩和材の銅の軟化が影響したためと考えられる。この事から高温強さを向上させるには、ろう材の選択も今後の検討の検討課題であるが、更に応力緩和材の開発により接合強さのより高い接合体の実現が可能と考えている。

メタライズ法による接合について検討してきたが、工数低減を目的にセラミックスと金属の同時接合が必要であり以下に試みた。応力緩和材としてNi(1mm、2mm厚さ)を使用し、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスとS45Cを接合した。（Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/インサート材/Ni/Niろう/S45C）その結果を図6に示す。なお、ろう材は日本

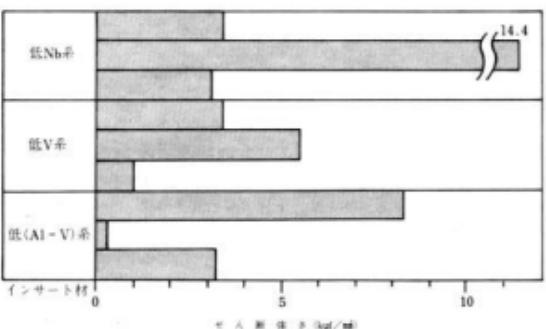


図3. メタライズ法によるMo板和材を使用した接合体のせん断強さ  
(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Mo(0.4)/S45C)

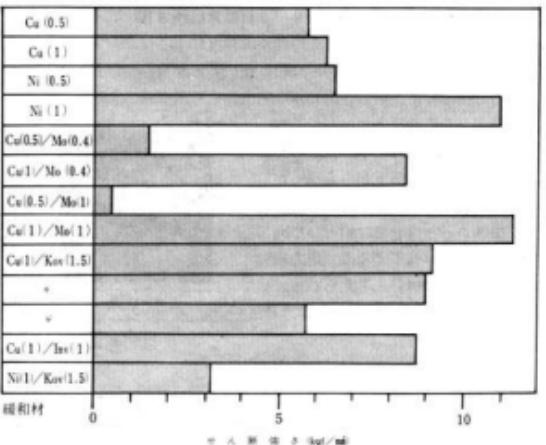


図4. メタライズ法による各種緩和材を使用した接合体のせん断強さ (低(Al-V)系)

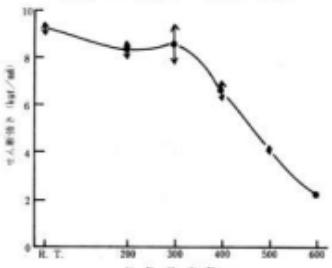


図5. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Cu/Kov/S45C接合体の高強度

品質の材料で力緩和するとなる傾向では、体の強度が低(A)は前記マックスしてい

比較的低(A)の結果の添加している

サイド合は4.5%低く、るので以上でセラミック熱応力

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>にインサート評価しる。

(1) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>するところが得られ、Niを(2)メタルは300°Cと低下する。(3) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を緩和材を用いたメタライズ法。

最後に業でのわかった大阪大

非晶質金属焼成のアモルファスろう材料MBF-20を使用した。応力緩和材の厚さ1mmと2mmを比較すると厚い方がせん断強さが低くなる傾向を示した。Niの厚さ1mmでは、低V系インサート材の接合体の強さが少し高い傾向となった。低(A<sub>6</sub>-V)系インサート材では前記したように接合体のセラミックス界面に微小クラックが発生している可能性がある。

比較材Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスでは低(A<sub>6</sub>-V)系インサート材での結果であり、アンドイの差は元素の添加量の違いがこの結果となっている。

サイアロンセラミックスとの接合は4.0~4.3kgf/mm<sup>2</sup>と全般に低く、セラミックスが破壊しているので更に検討する必要がある。

以上の結果、セラミックス同士のせん断強さに比べてセラミックスと金属のせん断強さは低い。このため、熱応力緩和材の開発を更に行う必要がある。

#### 4. 結 言

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスと金属との接合法の確立を目的にインサート材を開発し、接合体のせん断強さにより評価した。これらの結果をまとめると次のとおりである。

- (1) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスと金属をメタライズ法で接合すると、比較的安定して8~12kgf/mm<sup>2</sup>のせん断強さが得られた。これらの応力緩和材として、Cu/Kov, Niを用いた場合が良好な結果をもたらした。
- (2) メタライズ法で接合した接合体の高温せん断強さは300°Cまではほとんど変化なく、それより高温になると低下する。
- (3) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスと金属の同時接合法ではNiを緩和材とし、低(A<sub>6</sub>-V), 低V系インサート材を用いると8~12kgf/mm<sup>2</sup>のせん断強さが得られ、メタライズ法と同程度の接合強さとなった。

最後に、本研究は昭和61年度技術開発研究費補助事業で一部であり、遂行にあたり、懇切な御指導を賜わった工業技術院名古屋工業技術試験所、今井恒道氏、大阪大学溶接工学研究所、岩本信也氏はじめ研究室

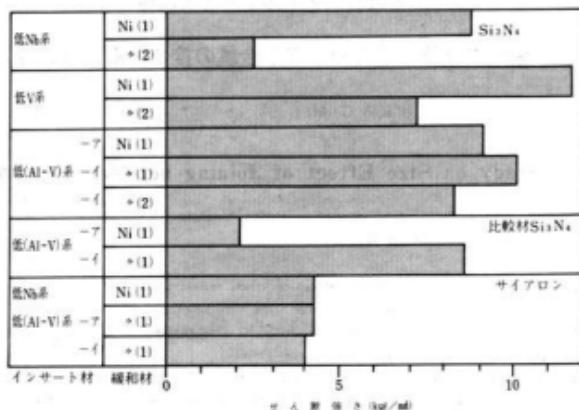


図6. セラミックスと金属の同時接合法による接合体のせん断強さ

の皆さん方に深く感謝いたします。

更に真空溶解にあたり、広島市工業技術センター、石谷科長、山田主任の多大な御協力に対し厚くお礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 田中：エンジニアのための材料技術、昭和59年度
- 2) 岩本：材料科学、Vol 22 (1986) No 4, P15
- 3) 菅沼：エンジニアのための材料技術、昭和60年度

## 窒化ケイ素セラミックスと金属の接合技術における質量効果に関する研究

世良時夫 新田 明 原 信彦 土取 功 芳野光利 渡辺貞四郎

## Study on Size Effect of Joining between Silicon Nitride and Metals

SERA Tokio, NITTA Akira, HARA Nobuhiko, TSUCHITORI Isao, YOSHINO Mitsutoshi  
and WATANABE Teishiro

Aiming at practical applications, effect of stress relieving materials on residual stress and/or fracture shear strength and joining of metalized ceramics in large sizes were investigated. The results are summarized as follows.

- (1) It was found that the residual stress in  $\text{Si}_3\text{N}_4$  side was tensile and that in carbon steel (S 45 C) side was compressive. Copper had the highest effect to the stress relief.
- (2) Good joining strengths were obtained using  $\text{Cu}-\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ni}-\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Ni}-\text{SiC}$  whisker as the stress relaxing materials.
- (3) Uniform metallizing on the surface of ceramics of large sizes could be established by making a lattice-like cut on the nickel plate which was used for the stress relieving material. Good joints to a cast iron and a carbon steel (S 45 C) were obtained using this technique.

## 1. 緒 言

$\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスと金属の接合体をつくる上で多くの問題点がある。一つは  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスと良く反応する接合用インサート材を開発することである。この点は前報で述べたとおり有効なインサート材が開発出来た。さらにセラミックスと金属の接合において接合温度から、常温までの冷却中に両者の熱膨張差により接合体に残留応力(熱応力)が発生し、接合強度に影響を及ぼす。この解決策<sup>1), 2)</sup>には熱膨張係数が両者の中間にある物質を使用したり、ソフトメタルとしてアルミニウム、銅、ニッケル等を使用する方法、又両者の組合せで検討されている。又、複合材料として両者の熱膨張差を数層の材料を重ねて除々に変える考え方<sup>3)</sup>も発表されている。実験に使用した  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスはセラミックスの中では低膨胀材に属するため熱応力は大きくなる傾向にある。その上、製品化を考えると50mm位の角又は丸のセラミックスを接合することが必要で非常に大きな応力の発生が予想される。これら  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスと金属の組合せでは  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックス側に引張、金属側に圧縮の応力が発生し、セラミックスの欠点である引張強度が低いため、割れを発生する。これらのことから、セラミックス側に生じる応力をいかに低下させるかが大きな課題である。

本実験では、試験片で各種緩和材を使用した接合体

の残留応力をひずみゲージ法で測定した。接合体を作製する方法として、インサート材を  $\text{Si}_3\text{N}_4$  表面にメタライズ後、金属とのろう付けする方法と、セラミックスと金属を同時に接合する方法で試みた。これらの結果から、 $\phi 35 \times 3, 50 \times 50 \times 6$  の  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスと鉄やS45Cに接合し、セラミックスに割れの発生しない、接合技術を検討した。

## 2. 供試材及び実験方法

## 2.1 供 試 材

使用した  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスは前報<sup>4)</sup>と同じ東芝製である。残留応力の測定には  $12 \times 12 \times 6$  の試験片で実験した。製品化への適応を考えて  $\phi 35 \times 3, 50 \times 50 \times 6$  の  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスを使用した。

接合用インサート材は前報の 1% V-10% Ni-Cu 合金を使用して、メタライズ法と同時接合法について実験した。前者は BaG-8 ロウ材、後者は日本非晶質金属㈱ Ni ロウ (MBF20) を使用した。緩和材については Cu, Ni, Kov をはじめ粉末成形した複合材(本報告の金属基複合材料の開発)について実験した。

## 2.2 実験方法

## 2.2.1 接合方法

メタライズ法や同時接合法についての詳細は前報で述べているので省略する。

## 2.2.2 残留応力の測定

応力の測定はひずみゲージ法<sup>5,6)</sup>を採用して測定した。ひずみゲージは共和製(KFC-03-C1-11-L30)を使用し、静ひずみ測定器を使用して接合体のひずみと接合部を切断して応力解放後のひずみから残留応力を求めた。ひずみゲージの取り付け位置は図1に示すとおりである。

### 2.2.3 その他の試験及び製品化への接合

残留応力と同一条件で接合した試験片のせん断試験による強度評価を行った。又試作緩和材の評価をせん断強さで比較した。さらに製品化への適応について均一なメタライズ法と接合技術について実験をした。

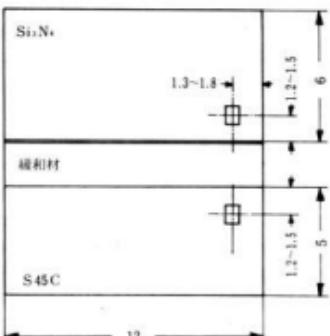


図1. 接合体へのひずみゲージ取り付け位置

### 3 実験結果と考察

#### 3.1 メタライズ法で接合した接合体の残留応力及びせん断強さの関係

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスにメタライズ後、研磨してろう付け法で接合した時の残留応力、せん断強さは図2、図3に示すとおりである。ひずみゲージの取り付け位置で応力が異なることが原本<sup>5)</sup>の報告にあり出来るだけ織部が大きいことからその位置を選んだ。その測定結果は図2で、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックス側に引張、S45C側に圧縮の残留応力が発生していた。測定値は無重切断を採用していないので相対比較をするのが適当と考え

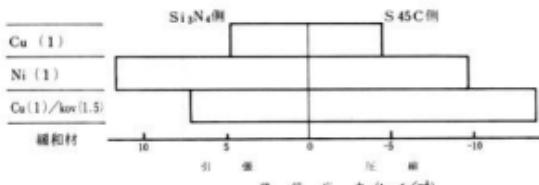


図2. 各種の熱応力緩和材を使用した接合体の残留応力(メタライズ法)

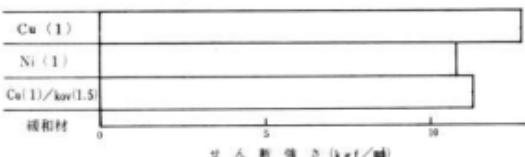


図3. 各種の熱応力緩和材を使用した接合体のせん断強さ(メタライズ法)

ている。この結果、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>側の引張応力はNiに比べてCuの緩和効果が大きくCu/Kovの複合緩和材はその中間であった。S45C側の圧縮応力は低膨張材のKovの影響が大きく高い結果となった。音沼らの結果でソフトメタルと低膨張材料の組合せでコバルトよりもインバー合金が残留応力が小さいとの報告<sup>7)</sup>があり、材料の選択や、材料の厚さ等でも影響することを考慮する必要がある。

図3はせん断強さの測定結果であるが、緩和材の違いによる強度の差は小さい結果であった。残留応力10 kgf/mm<sup>2</sup>程度までの応力ではせん断強さに大きく影響しない結果を得た。しかしその傾向は残留応力が小さいものがせん断強さは高い傾向にあると云える。

#### 3.2 同時接合法による接合体の残留応力及びせん断強さの関係

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスと金属の接合を中间に緩和材を使用して同時に接合する方法も出来る。この場合はインサート材の接合温度が1150°Cであるために緩和材はNiが使用可能である。そこで、Niの厚さを0.5、1、2 mmに変えて緩和材の厚さの影響について実験した。その結果は図4に示すとおりである。

メタライズ法と同様にSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックス側に引張、S45C側に圧縮の応力が発生している。Niの厚さが厚くなると残留応力は小さくなり、その効果は低下する傾向を示した。Ni 2 mmの厚さの応力は0.5 mmに比べて約5%低下している。図2及び

図4のNi 1 mmと比較してみると残留応力では大差が

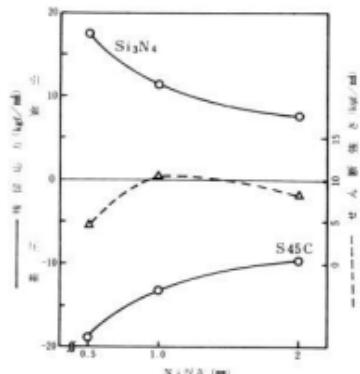


図4. Ni の厚さを変えた接合体の残留応力及びせん断強さの関係(同時接合)

ないことから、両者の接合温度の違いは高温でNiの硬さが低下することから大きく影響しないものと考えられる。

次にせん断強さの関係をみるとNi 1 mmの厚さで最高となりこれより厚くてもせん断強さは低下する。とくにNi 2 mmでは残留応力も小さいのにせん断強さが下るのはNiの材料特性による影響が出ているためと考えられる。この様な傾向はCuの厚さと接合強さの関係で0.8 mmにピークがある報告がある。これらから緩和材の厚さの影響を十分考えておく必要がある。

### 3.3 各種の複合材を緩和材として使用した接合体のせん断強さについて

Cu及びNi粉末にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiCウイスカ等を分散させた緩和材(厚さ2.5~3 mm)を使用してメタライズ法による接合を行った。その接合体をせん断試験

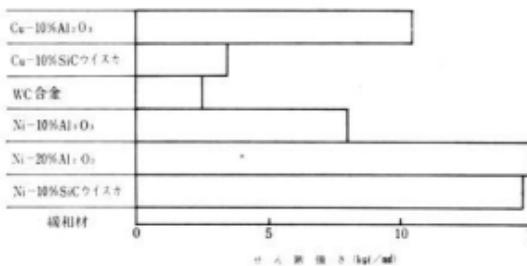


図5. 各種の試作熱応力緩和材を使用した接合体のせん断強さ(メタライズ法)

した結果は図5に示すとおりである。

Cu系, Ni系粉末にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を分散させた緩和材は高いせん断強さが得られた。さらにNi系のSiCウイスカを分散させた緩和材も良い効果を得た。これらの緩和材は熱膨張係数も低いことからうなずける。

超硬合金や本図では記載していないW, Moなどの低膨張材を板材とした場合の結果、せん断強さが低いか、セラミックスに割れの発生がみられ、その効果は不十分であった。

以上のことから本実験では緩和材としてソフトメタルの効果が大きいことがわかり、質量効果の影響を小さくするためににはCu材を使用することにした。しかし一部ではNiの緩和材についても使用した。

### 3.4 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>表面への均一なメタライズ法の研究

試験片寸法程度のSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスの表面にメタライズを行っても上に凸の形状になる。少し研磨した程度では平面は得られない。そのうえ、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスの寸法が大きくなるとさらに困難になる。

均一なメタライズ法の考え方としては緩和材を接合することで解決するのが適当と考えられる。この考え方のもとにNi-Cu(1 mm), Mo(50 μm), Ni(50 μm), Ni(0.5 mm), Ni(1 mm)等について実験をくり返した。これらの結果、インサート材が突出して固まつたところにクラックが発生したり、反りが発生したり、接合強度が弱い等々、問題点があった。しかしNi(1 mm)に溝を入れた緩和材は良い結果を得る場合があることがわかった。この1例を写真1に示す。右側がNiに溝を入れた緩和材である。左側はこのNi板と接合した状態を示し、割れもなく良い接合が得られた。これに反して写真2は接合界面から割れの発生した状況を示したもので円周の一ヶ所に割れが発生する場合も起きた。これらのことから、接合温度、接合時間、接合荷重、Niへの溝加工等々の条件が影響しているものと考えられる。

### 3.5 寸法の大きいセラミックスへの適用について

前述の方法でNiの緩和材を接合した後にろう付けで鉄製のタペットの頭部に接合した状況を写真3に示す。写真下側かタペットで約35×3 mmのSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスを接合し、断面もきれいに接合されていることが確認された。

写真上側はSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックス50×50×6 mmにメタライズを一部変えてCu

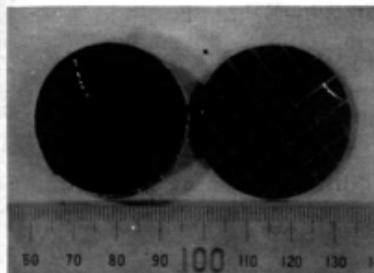


写真1. Ni緩和材とその接合状況

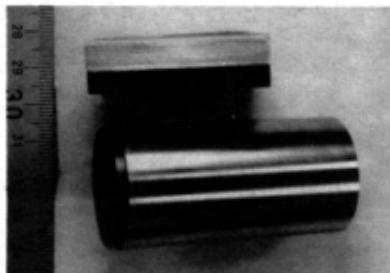


写真3. 製品化へ応用した例

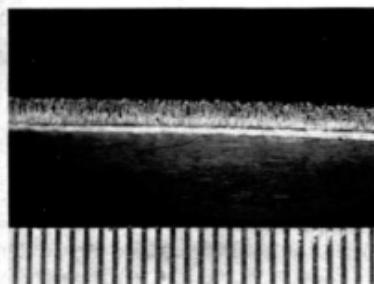


写真2. Ni板とSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(Φ35×3)  
の接合での割れ発生状況

の緩和材を使用してS45Cに接合した接合体を示す。この結果、セラミックスの割れもなく接合部も良好の結果が得られた。以上のことから、製品化への適用は可能となり、接合技術の確立が出来たと思っている。しかし、実際に実用化する上ではいろいろの試験がさらに必要であることは、これから課題である。

#### 4. 結 言

製品化への適用を考えて、緩和材の効果を残留応力、せん断強さで評価し、試作緩和材の検討、大きいセラミックスへの均一なメタライズに関する研究、接合した結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 残留応力を測定した結果、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>側に引張、S45C側に圧縮応力が発生していた。又緩和材は銅を使用した場合の効果が大きいことが判った。
- (2) 粉末成形で試作した緩和材ではCu系、Ni系にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、又はNi系にSiC ウイスカを分散させた材料を使用した接合体のせん断強度が高かった。

- (3) 均一なメタライズ法としてNi(1)C溝加工した緩和材を使用して接合する方法で可能となった。
- (4) 均一なメタライズ法によりΦ35×3、50×50×6のSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>セラミックスと鉄鋼やS45Cとの接合が出来割れも認められなかった。

#### 文 献

- 1) 菅沼、岡本：金属 Vol 56 5 (1986) 45
- 2) 山田、岡口、岡本、北村、東：日本金属学会報 Vol 25 5 (1986) 435
- 3) 川崎、渡辺：日本金属学会誌 Vol 51, 6 (1987) 525
- 4) 世良、新田、原、土取、芳野：広西工技報告 No 31 (1988) 24
- 5) 岡本、菅沼：日本複合材料学会誌 Vol 12, 4 (1986) 177
- 6) 松尾、真木：応力・ひずみ測定シンポジウム論文集 (1987) 29
- 7) 菅沼、岡本、小泉、蒲地、小森、丹羽：日本金属学会講演概要、4 (1986) 124
- 8) 山田、河野：日本金属学会会報 Vol 25, 5 (1986) 424
- 9) 白兼、竹田、中橋：日本金属学会講演概要、10 (1985) 200

## イオンプレーティング TiN 被膜厚の測定

梶岡 秀、丸下清志、尾辻康博\* 川下安司\*\*

## Measuring of Thickness of Titanium Nitrides Films by Ion Plating

KAJIOKA Hidetsu, MARUSHITA Kiyoshi, OSTUJI Yasuhiro, KAWASHIMO Yasushi

The thickness of TiN films by Arc Discharge High Vacuum Type Ion Plating on SUS304 plates were measured by spherical drill method and X-ray fluorescence analysers of wavelength dispersive type and pulse height analyser type. Methods of X-ray intensities measuring were (1)excited method: counting X-ray intensities from atoms of films and (2)absorption method: counting X-ray intensities from atoms of substrates. As X-ray fluorescence analyser of wavelength dispersive type was very good stabilization and was good resolution of spectrums, reproducibility of X-ray intensities from Ti (K<sub>α</sub>) in films and Fe (K<sub>α</sub>) in substrate were good. It was easy to get the calibration curves of the relation between thickness of films and X-ray intensities. Pulse height analyser type was poor resolution of spectrums but by choosing pulse height level we got calibration curves for measuring of thickness.

## 1. 緒 言

セラミックス薄膜の膜厚を簡単にしかも精度よく測定することが、生産現場から要求されている。被膜に対して直角に切断し、顕微鏡観察より膜厚を測定する方法は、形状膜厚測定の機械的方法の触針法と共に用いられている。しかし、膜厚が薄くなると測定誤差が大きくなってくる。Spherical drill法は角度研磨法と同様に研磨され、かつ安定的に研磨できるので薄い被膜に対しても原理的に精度よく測定できることが知られている。<sup>1)</sup> また Spherical driller は安価で、操作法も簡単であるので、現場での膜厚測定に適していると考えられる。そこで、Spherical driller を用いて TiN 被膜の膜厚測定を試みた。一方、質量膜厚測定法の原子数測定法に分類され、<sup>2)</sup> 非破壊的に測定できる波長分散型と波高分析型の2種類の蛍光X線分析装置を用いて TiN 被膜の Ti の X 線強度測定(励起法)と基板の SUS304 の Fe の X 線強度測定(吸収法)し、被膜厚測定への適用を検討した。波高分析型の微小部蛍光 X 線膜厚計は面積が 2 mm<sup>2</sup> 以下で測定可能で、曲率のある TiN 薄膜をコートした製品を破壊せずに簡単に測定できるため、現場での膜厚管理に有用であると考えられる。

\* セーラー万年筆㈱

\*\* 神池精機㈱

## 2.1 Spherical drill 法

TiN 被膜試料は市販の鏡面 SUS 304 板に、N<sub>2</sub>ガス圧 5 × 10<sup>-4</sup> Torr 以上で時間を変化させてイオンプレーティング成膜した。得られた TiN 被膜は全て化学量論組成に近い被膜であった。<sup>3)</sup>

共和研製の膜厚測定ドリラー K-66 J を用い、直径 12 mm のスチールボールにダイヤモンドペーストを塗布してドリルした。

## 2.2 蛍光 X 線分析法

蛍光 X 線分析装置は理学電機㈱の Geiger Flex DS 型(波長分散型)およびセイコー電子工業㈱の SET-156 萤光 X 線微小部膜厚計(波高分析型)を用いた。

## 3. 実験結果と考察

## 3.1 Spherical drill 法

図 1 にドリルした試料の写真と測定方向及び読み取り方も示した。被膜厚さ d は、次の近似式

$$d = x \cdot y / D \quad D : \text{スチールボール直径}$$

で求められる。測定方向は研磨方向の a 方向と、これと 45° の b 方向の 2 方向で (X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>) (X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>) と各 2 回測定した。ドリル位置は基板の端部の対角位置 A と B の 2ヶ所とした。その結果を表 1 に示した。

金属顕微鏡を用いての断面観察からは、膜厚 1 μm では倍率 1,000 倍で読み取り値は 1 mm となり、読み

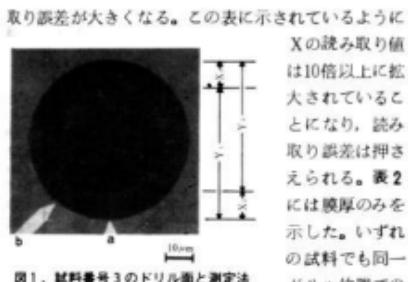


図1. 試料番号3のドリル面と測定法

表1. Spherical drill 法による被膜厚さ測定値

| 試料<br>番号 | 測定<br>位置 | x (mm/倍率) | y (mm/倍率) | 被膜厚さ(μm) |       |
|----------|----------|-----------|-----------|----------|-------|
|          |          |           |           | a        | v.    |
| 1        | a        | 7.9/400   | 70.9/100  | 1.17     |       |
|          | A        | 8.0/400   | 70.9/100  | 1.18     | ±0.04 |
|          | b        | 7.0/400   | 85.3/100  | 1.24     |       |
|          |          | 7.0/400   | 85.2/100  | 1.24     |       |
| 2        | a        | 7.5/400   | 70.4/100  | 1.10     |       |
|          | B        | 7.5/400   | 70.6/100  | 1.10     | 1.29  |
|          | b        | 7.2/400   | 85.5/100  | 1.28     | ±0.13 |
|          |          | 8.0/400   | 84.4/100  | 1.42     |       |
| 3        | a        | 40.0/400  | 91.5/200  | 3.81     |       |
|          | A        | 40.0/400  | 91.8/200  | 3.83     | 3.80  |
|          | b        | 32.5/400  | 59.6/100  | 4.03     | ±0.08 |
|          |          | 32.5/400  | 59.5/100  | 4.03     |       |

表2. Spherical drill 法による被膜厚さ測定値

| 試料<br>番号 | 測定<br>位置 | 被膜厚さ(μm)   |            |
|----------|----------|------------|------------|
|          |          | A          | B          |
| 2        |          | 2.30 ±0.06 | 2.30 ±0.04 |
| 4        |          | 7.92 ±0.06 | 8.00 ±0.36 |
| 5        |          | 7.76 ±0.14 | 8.48 ±0.04 |
| 6        |          | 13.8 ±0.0  | 12.9 ±0.4  |
| 7        |          | 14.0 ±0.2  | 12.9 ±0.1  |

取り誤差が大きくなる。この表に示されているようにXの読み取り値は10倍以上に拡大されてしまつて、読み取り誤差は押さえられる。表2には膜厚のみを示した。いずれの試料でも同一ドリル位置での

### 3.2 蛍光X線分析

#### 3.2.1 測定原理 3.4)

蛍光X線分析法による被膜厚さの測定には、励起法、吸収法の2つの方法が知られている。これらはそれぞれ次の式で表される。

$$Id = I_{\infty} (1 - \exp(-ad)) \quad (1)$$

$$I'd = I_{\infty} \exp(-ad) \quad (2)$$

ただし  $a = \mu_1 \operatorname{cosec} \theta_1 + \mu_2 \operatorname{cosec} \theta_2$

$Id$ : 被膜厚さ  $d$  の Ti ( $K_{\alpha}$ ) の X線強度

$I_{\infty}$ : 臨界厚さ以上の被膜の Ti ( $K_{\alpha}$ ) の X線強度

$I'd$ : 被膜厚さ  $d$  での基板 SUS304 からの Fe ( $K_{\alpha}$ ) の X線強度

$I_{\infty}$ : 被膜厚さ 0 の Fe ( $K_{\alpha}$ ) の X線強度

$d$ : 被膜厚さ

$\rho$ : TiN被膜の密度

$\mu_1$ : 一次X線に対する被膜の質量吸収係数

$\mu_2$ : 蛍光X線に対する被膜の質量吸収係数

$\theta_1$ : 一次X線の入射角度

$\theta_2$ : 蛍光X線の取り出し角度

(1)式および(2)式は

$$-2.303 \log (1 - Id/I_{\infty}) = a \rho d \quad (1')$$

$$-2.303 \log (-I'd/I_{\infty}) = a \rho d \quad (2')$$

と変形でき、 $a$  は測定条件一定では一定値であるので、X線強度比の対数と被膜厚さとは直線関係で表わされる。

#### 3.3.2 蛍光X線分析の測定条件

波長分散型の測定条件は表3に示した。試料の測定面積はφ25mm一定とした。Pulse Height Analyser は下限選別回路だけを作動させてノイズをカットし、積分方式を採用した。なお、管電流は計数管の不感時間を考慮し、数え落としを1%以下にするために、X線強度はできるだけ1万cps以下となるように設定した。計数方式は定時法で、統計誤差(%)が1%以下になるようにカウント数を約1万counts以上になるようして測定時間を設定した。測定波長は最大強度となる、Tiの2θは86.170°、Feの2θは57.550°に設定した。

波高分析型の蛍光X線微小部膜厚計の測定条件は表4に示した。波長分散型では各元素のスペクトルは完全に分離できたが、波高分析型はスペクトルの分解能が悪く、Tiと基板からのFe、Cr、Niのスペクトルを完全に分離できないので、測定強度が小さくなり過ぎない範囲で、重なりができるだけ少なくなるようにスペ

表3. Geiger Flex型蛍光X線(波長分散型)測定条件

|      |                      |                      |     |      |
|------|----------------------|----------------------|-----|------|
| X線管球 | W                    | i:                   | 管電圧 | 30kV |
| 管電流  | Ti(K) <sub>2mA</sub> | Fe(K) <sub>2mA</sub> |     |      |
| 分光結晶 | L i F                | 計数管                  | S C |      |

表4. STF-156 蛍光X線微小膜厚計(波高分析型)測定条件

|               |                 |                 |     |      |
|---------------|-----------------|-----------------|-----|------|
| X線管球          | W               | i:              | 管電圧 | 45kV |
| intensity     | 8 (基準サンプル 1)    |                 |     |      |
| spectrum data | Ti LL=14; UL=22 | Fe LL=30; UL=42 |     |      |
| count time    | 30 sec          |                 |     |      |

クトルの上限値を設定した。一方、基板からのスペクトル(Fe(K<sub>α</sub>)として表す)の強度は大きいので下限値を大きくし、Tiスペクトルとの重なりを除去した。

### 3.3.3 測定結果と考察

波長分散型の蛍光X線を用い、日時を変えて各試料のTi(K<sub>α</sub>)、Fe(K<sub>α</sub>)のX線強度を測定した結果を表5に示した。Ti(K<sub>α</sub>)は99.7%、Ti、Fe(K<sub>α</sub>)は基板と同様のSUS 304板で測定し、装置のドリフトをチェックした。変動はいずれも1%以下であったので、ドリフトによる影響は無視している。測定時間10秒間で3回測定したバラツキと、全測定値の平均値および日時を替えての測定のバラツキが示されているが、同一時間でのバラツキはほとんどが1%以下であり、40秒間3回測定では当然であるが10秒間測定よりバラツキはさらに小さくなつた。日時を替えて測定した平均値のバラツキも1%以下であった。ただし、試料番号

表6. 蛍光X線微小膜厚計によるTi(K<sub>α</sub>): Fe(K<sub>α</sub>) X線強度測定値

| 試料番号 | Ti : (K <sub>α</sub> ) X線強度 |       |       | Fe : (K <sub>α</sub> ) X線強度 |       |       |
|------|-----------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|
|      | A                           | B     | C     | A                           | B     | C     |
| 1    | 859                         | 863   | 862   | 7,290                       | 7,182 | 7,239 |
| 2    | 988                         | 976   | 985   | 5,866                       | 5,889 | 5,876 |
| 3    | 1,151                       | 1,139 | 1,154 | 4,304                       | 4,257 | 4,244 |
| 4    | 1,470                       | 1,444 | 1,479 | 2,265                       | 2,099 | 2,147 |
| 5    | 1,452                       | 1,524 | 1,517 | 2,179                       | 1,850 | 1,978 |
| 6    | 1,525                       | 1,798 | 1,832 | 935                         | 916   | 886   |
| 7    | 1,822                       | 1,800 | 1,821 | 861                         | 850   | 830   |
| SUS  |                             | 725   |       |                             | 8,237 |       |
| TiB  |                             | 2,490 |       |                             | 629   |       |

6, 7のように被膜が厚くなるとX線強度が非常に小さくなるためにバラツキは大きくなる傾向を示した。いずれにせよX線強度は安定した条件で測定できることが分かった。

なお、Fe(K<sub>α</sub>)強度はSUS 304中のFeの含有率に依存するが、その変動はJISで定められている範囲から推定されるより、市販品はかなり小さく±2%以内と考えられる。測定試料の裏面のFe(K<sub>α</sub>)強度のバラツキはいずれの試料でも無視できる範囲であった。

波高分析型での測定結果を表6に示した。波長分散型に比べX線照射面積が2mm<sup>2</sup>と小さいので、ドリルした位置A、Bの近傍と被膜の中央部をそれぞれ測定できた。表1、表2のSpherical drill法により得られた結果とX線強度とを対応させると、同一試料の膜厚変化にX線強度が対応していることが分かる。被膜の中央部のX線強度はほぼ測定位AとBの間にあり、

表5. Ti(K<sub>α</sub>): Fe(K<sub>α</sub>) X線強度のバラツキと平均強度

| 試料番号 | Ti : (K <sub>α</sub> ) |      |      |      |       | Fe : (K <sub>α</sub> ) |      |      |      |      |              |
|------|------------------------|------|------|------|-------|------------------------|------|------|------|------|--------------|
|      | バラツキ (%)               | X線強度 |      |      |       | バラツキ (%)               | X線強度 |      |      |      |              |
| 1st  | 2nd                    | 3rd  | 4th  | 5th* | av.   | 1st                    | 2nd  | 3rd  | 4th  | av.  |              |
| 1    | ±0.3                   | ±1.0 | ±0.2 | ±0.5 | ±0.6  | 18.77±0.7              | ±0.4 | ±0.4 | ±0.2 | ±0.2 | 92.539±0.4   |
| 2    | ±1.0                   | ±1.6 | ±0.9 | ±0.7 | ±0.2  | 32.87±0.9              | ±0.3 | ±0.5 | ±0.3 | ±0.3 | 65.189±0.4   |
| 3    | ±0.2                   | ±0.3 | ±0.3 | ±0.6 | ±0.4  | 49.181±0.6             | ±0.6 | ±0.7 | ±0.6 | ±0.2 | 36.158±0.4   |
| 4    | ±0.3                   | ±0.4 | ±0.3 | ±0.3 | ±0.1  | 69.031±0.5             | ±0.8 | ±1.3 | ±1.6 | ±1.1 | 10.494±1.1   |
| 5    | ±0.3                   | ±0.5 | ±0.4 | ±0.5 | ±0.2  | 70.078±0.8             | ±0.5 | ±0.7 | ±1.0 | ±0.7 | 9.164±0.9    |
| 6    | ±0.4                   | ±0.3 | ±0.6 | ±0.1 | ±0.1  | 81.108±0.5             | ±0.2 | ±1.0 | —    | —    | 17.093±1.3** |
| 7    | ±0.2                   | ±1.0 | ±0.5 | ±0.5 | ±0.06 | 82.116±0.8             | ±0.7 | ±0.6 | ±0.4 | ±0.9 | 15.044±1.4** |
| SUS  |                        |      |      |      | 58    | ±0.4                   | ±0.2 | ±0.2 | ±0.3 | ±0.3 | 130.528±1.0  |
| TiB  | ±0.5                   | ±0.5 | ±1.0 | ±0.2 | ±0.2  | 91.647±1.0             |      |      |      | 273  |              |

\* counts/40sec; \*\* counts/100sec

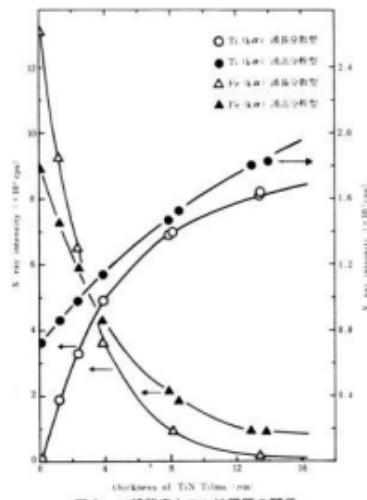


図2 X線強度とTiN被膜厚の関係

膜厚分布も比較的良好なことが分かった。測定条件のところで触れたが、スペクトルの分解能が悪いため、 $Ti(K\alpha)$ 強度はSUS 304のバックグラウンドが大きくなつた。

表5、表6に示した励起法による $Ti(K\alpha)$ 強度および吸収法による $Fe(K\alpha)$ 強度と、Spherical drill法による膜厚と関係付けて図2に示した。波長分散型では $Ti(K\alpha)$ 強度と膜厚が薄い領域での曲線の傾きは大きく、厚くなると飽和傾向を示した。波高分析型ではバックグラウンドが非常に大きく、曲線の傾きは小さいが、膜厚が14 μmと厚くなても飽和の傾向を示さなかつた。また、 $Fe(K\alpha)$ 強度でも波長分散型のはうが傾きは大きかつた。基板にSUS304を用いれば励起法、吸収法とともに、X線強度を測定することで、この図からTiN被膜の厚さを読み取ることができる。

X線強度比と被膜厚さの関係は(1')式及び(2')式で表されるが、表5と表6の測定値からそれぞれのバックグラウンドを引き、計算した結果を図3に示した。なお、波長分散型では膜厚が14 μmではなく飽和に達しており、 $TiN$ との違いは小さいと考えられるので、 $I_{\alpha}$ に99.7% Tiの測定値を用いた。いずれも比例関係がみられ、特に波長分散型の $Fe(K\alpha)$ と波高分析型の $Ti(K\alpha)$ は良い直線性を示した。これらの直線の傾きから $\rho$ を5.44 g cm<sup>-3</sup>を代入し $a$ を求め、既知の $\mu_1$ 、 $cosec \theta_1$ 、 $cosec \theta_2$ の値を代入して $\mu_2$ を求めて表7に示した。管球Wからのスペクトル強度と波長の吸収

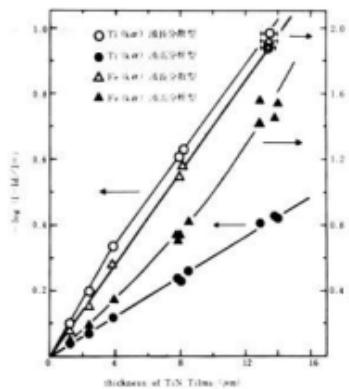


図3 X線強度比とTiN被膜の関係

|     | 波長分散型 | 波高分析型 |
|-----|-------|-------|
| 励起法 | 105   | 7     |
| 吸収法 | 203   | 3     |

係数から見掛けた $\mu_1$ は約88であるので、波長分散型の吸収法の値が最も近い値を示した。波高分析型ではいずれも非常に小さい値となつた。励起効果などについても考慮する必要があるが、これらの違いについては今後の検討課題である。いずれの場合も被膜の薄い領域ではよい直線関係が得られているので、1 μm以下の薄い被膜に対しても、被膜厚の測定の検量線として用いることができると思われる。

#### 4. 結 言

- (1) Spherical drill法は操作も簡単で精度よく被膜厚さを測定できた。
- (2) 波長分散型蛍光X線分析装置でもTiN被膜を精度よく被膜厚測定できることが分かった。
- (3) 波高分析型蛍光X線微小被膜厚計はスペクトル分解能が悪いが、条件を選べば被膜厚測定に利用できる。

#### 文 献

- 1) 木下 他: 應用物理, 39, 8, 788 (1970)
- 2) 金原 集: 薄膜の基本技術, P 75, 東大出版会 (1986)
- 3) 楠岡 他: 企画第76回講演大会要旨集 P 80 (1987)
- 4) 茂田 他: 分析化学, 12, 1100, (1965)
- 5) 茂田 他: X線分析, P 164, 共立出版局, (1968)

# ICP発光分析法によるセラミックス中の微量金属の定量\*

渡部英雄、田谷征雄、相原将人\*\*

## Determination of Trace Metal in Ceramics by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry

WATANABE Hideo, TADANI Isao, AIHARA Masato

Determination of trace molybdenum in silicon carbides and silicon nitrides were investigated by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). Mo(VI) reacts with potassium xanthate [KRX; R = alkyl groups, viz ethyl (Et), propyl (Pr), butyl (Bu), and pentyl (Pe)] to form complexes extractable into organic solvents. The application of thioc extraction method with xylene in ICP-AES determination of Mo was investigated. The optimum conditions of ICP-AES were as follows: incident power, observation height of measurement, coolant gas flow rate, plasma gas flow rate, carrier gas flow rate and wavelength were 1.0 kW, 13 mm above the coil, 16.0 l/min, 16.0 l/min, 0.6 l/min and 202.03 nm, respectively.

For quantitative extraction of Mo-RX complex into xylene, among the KRX examined, butyl derivative (KBuX) was found to be the most suitable complexing agent. The optimum acidity is 0.1 M to 7.0 M and the minimum concentration of KBuX is 0.01 mol dm<sup>-3</sup> in aqueous phase.

A hundred-fold amount of Fe(II) interfered negatively with the determination of Mo, whereas 50-fold amount of Na(I), K(I), Ca(II), Cu(II), Mg(II), Ni(II), Al(III) and Ti(IV) were tolerable.

The relative standard deviation for 10 measurements in the method ranges from 1.2 to 1.9% in the determination of 25, 50 and 100 µg of Mo. With this method, the detection limit (3σ) was 18 ng cm<sup>-3</sup> and the results of Mo determination in silicon carbides and silicon nitrides were in excellent agreement with standard addition method.

### 1. 緒 言

炭化ケイ素や窒化ケイ素は高温特性を生かし、セラミックスエンジンやターピン部分に用いられている。これらの高性能な焼結体を得るためにには、原料粉末の管理が必要である。前報で、窒化ケイ素粉末中の鉄、アルミニウムなどの定量法について報告<sup>1)</sup>したが、今回微量のモリブデンの定量法について検討した。

各種試料中の微量のモリブデンの定量には、チオアン酸塩<sup>2)</sup>やジオキソール<sup>3)</sup>を用いる吸光光度法が広く用いられているが、実試料の分析では、共存物質の影響などを考慮する必要がある。又、原子吸光光度法では、酸化二窒素ーアセチレンフレームを用いても0.4 µg/ml/1%吸収<sup>4)</sup>と言われており、十分な定量感度は得られない。その点、ICP発光分析法は比較的感度も良く、鉄鋼<sup>5)</sup>、土壤<sup>6)</sup>などの分析に利用されている。この方法でのモリブデンの検出下限は7.9 ng/m<sup>3</sup><sup>7)</sup>と言われているが、より微量のモリブデンを定量する場合は、濃縮操作が必要である。

\* 「分析化学」 Vol.37 (1988) に一部掲載

\*\* 近畿大学工学部

著者らは、キサントゲン酸塩を用いる微量金属の溶媒抽出－ICP発光分析法について報告<sup>8)</sup>してきた。モリブデンも同じように錯体を生成して有機溶媒中に抽出されるため、溶媒抽出－ICP発光分析法について基礎的な諸条件を調べ、セラミックス中の微量モリブデンの定量に応用了した結果を報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 試 料

モリブデン標準溶液：市販のAAS用標準溶液を用い、使用に際しては純水で目的の濃度に希釈した。

キサントゲン酸塩類：市販特級品のエタノール、1-ブロバノール、1-ブタノール及び1-ペンタノールと水酸化カリウム、二硫化炭素を用い、Priceらの方法に従い合成し、精製はDewittらの方法に従った。

酢酸アンモニウム溶液：10W/V%酢酸アンモニウム溶液を作り、塩酸を添加して0.5M(pH0.3)になるように調整した。

その他：市販試薬特級をそのまま用いた。

#### 2.2 装 置

ICP発光分析装置は島津製作所製 ICPS-100V

型を用い、振り混ぜ器はイワキ製V-D型を用いた。PHは東亜電波工業製HM-20B型を用いて測定した。

### 2.3 抽出操作

100 mlのスキープ型分液漏斗に10 μgまでのモリブデンを含む試料溶液を振り、希塩酸を用いて酸濃度を0.5 M (pH 0.3)に調整した。これに10 W/V%亜酢酸アンモニウム溶液を10 ml加え、更に2 W/V%多ブチルキシントゲン酸カリウム(以下KBUXと略記)溶液10 mlを加えた。純水を加えて水相容量を一定量(40 ml)とし、生成したモリブデンーザンセート錯体をキシリレン10.0 mlで5分間振り混ぜて抽出した。水相と分離したキシリレン相を直接ICP発光分析装置に噴霧して発光強度を測定した。又、から試験溶液についても同様に操作し、それらの差をモリブデンの発光強度とした。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 測定条件の検討

2.3で抽出した有機相中のモリブデンの最適測定条件を求めるため、高周波電力と測光位置の影響について検討した結果を図1に示す。図1から分かるように、測光位置が高くなるとスペクトル線/バックグラウンド強度比(以下S/B比と略記)は高くなり、13 mmの位置が最も高く、それ以上になるとS/B比は低下する。この現象はどの高周波電力でも同様の傾向を示し、特に高周波電力1.0 kWの場合最もS/B比が高い。又、アルゴンガス流量

ガス流量の影響についても検討したが、キャリアガス流量0.6 ℓ/minの場合最もS/B比は高く、プラズマガス流量は、トーチにすが付着しないようにするため16 ℓ/minとし、クーラントガス流量は16.0 ℓ/minとした。以上の結果、モリブデンの最適測定条件をまとめ表1に示した。

表1. モリブデンの測定条件

|          |              |
|----------|--------------|
| 高周波周波数   | 27.12 MHz    |
| 高周波電力    | 1.0 kW       |
| アルゴンガス流量 |              |
| クーラントガス  | 16.0 ℓ/min   |
| プラズマガス   | 1.6 ℓ/min    |
| キャリアガス   | 0.6 ℓ/min    |
| 測光位置     | コイルの上部 13 mm |
| 積分時間     | 5秒           |
| 測定波長     | 202.03 nm    |

#### 3.2 抽出溶媒の影響

モリブデンーザンセート錯体は、種々の有機溶媒中に抽出されるが、ICP発光分析法では抽出溶媒を直接ICP中に噴霧するため、燃焼性の良い溶媒が必要である。このため原子吸光法で良く用いられているMIBKや、著者らが報告<sup>8)</sup>したキシリレンを用いて検討した。MIBKでは、抽出化学種は30分程度は安定であるが、それ以上では発光強度は低下した。一方キシリレンについては、抽出化学種は少くとも10分以上は安定であるため、抽出溶媒はキシリレンを用いた。

#### 3.3 酸濃度の影響

モリブデンの抽出における酸濃度の影響について検討した結果を図2に示す。モリブデンーザンセート錯

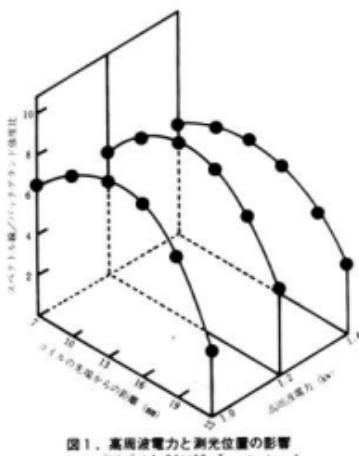


図1. 高周波電力と測光位置の影響  
[Mo]:  $1.04 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$

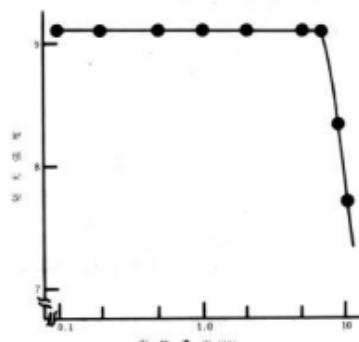


図2. 塩酸濃度の影響  
[Mo]:  $1.04 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$

体は、0.1～3.0Mの塩酸濃度では赤紫色を発し、それ以上の酸濃度では黄色に変化することから、酸濃度により抽出化学種が異なることが十分推察できるが、本法による結果では、図2から分かるように0.1～7.0Mまで最大かつ一定の発光強度を示し、その影響は見られない。又、キサントゲン酸塩が存在しない強塩酸性溶液(2.0～10M塩酸)中からは、モリブデンは抽出されない。以上の結果、モリブデンの抽出における酸濃度は、実試料の酸濃度の調整も考慮して0.5M～塩酸溶液が最適と考える。

### 3.4 キサントゲン酸塩類の添加濃度の影響

モリブデン量10 $\mu\text{g}$ に対してエチルキサントゲン酸カリウム、プロピルキサントゲン酸カリウム、ベンチルキサントゲン酸カリウム(以下KEtX、KP<sub>r</sub>X、KPeXと略記)及びKBuXの水相への添加濃度の影響について検討した結果を図3に示す。KPeXは0.005モル(水溶液濃度で0.1%)以上で最大の発光強度を示し、0.05モル(水溶液濃度で1%)以上で発光強度は低下した。KBuXは0.01モル(水溶液濃度で約0.2%)以上0.1モル(水溶液濃度で1.9%)まで最大かつ一定の発光強度が得られた。KP<sub>r</sub>Xは0.05モル(水溶液濃度で約0.9%)以上で、KEtXは0.1モル(水溶液濃度で1.6%)以上で最大の発光強度を示した。以上の結果、低濃度から高濃度まで同一の発光強度が得られるKBuXが本法での抽出試薬として最適と考え、抽出系への添加量は2W/V%10mlとした。

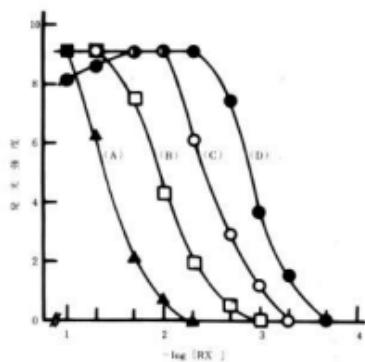


図3. キサントゲン酸塩類の添加濃度の影響  
[Mo]:  $1.04 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ , (A): KEtX,  
(B): KP<sub>r</sub>X, (C): KBuX, (D): KPeX

### 3.5 陽イオンの影響

本法を実試料である窒化ケイ素や炭化ケイ素中の微量モリブデンの定量に応用する場合、共存が予想される陽イオンについて、その影響を検討した結果を表2に示す。表2はモリブデン量10 $\mu\text{g}/40\text{ml}$ とし、各種陽イオンを50倍量の0.5mg共存させて検討したものであるが、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシ

表2. 陽イオンの影響

| 陽イオン    | Moの検出量<br>( $\mu\text{g}$ ) | 回収率<br>(%) |
|---------|-----------------------------|------------|
| Na(I)   | 10.07                       | 100.7      |
| K(I)    | 10.04                       | 100.4      |
| Mg(II)  | 10.02                       | 100.2      |
| Ca(II)  | 9.98                        | 99.8       |
| Mn(II)  | 10.05                       | 100.5      |
| Ni(II)  | 10.21                       | 102.1      |
| Cu(II)  | 9.85                        | 98.5       |
| Zn(II)  | 9.91                        | 99.1       |
| Fe(III) | 10.10                       | 101.0      |
| Al(III) | 10.05                       | 100.5      |
| Zr(IV)  | 9.89                        | 98.9       |
| V(V)    | 9.92                        | 99.2       |
| Cr(VI)  | 9.87                        | 98.7       |

ウム、マンガン、ニッケル、銅、亜鉛、鉄、アルミニウム、ジルコニウム、バナジウム及びクロムイオンの共存は、多少のバラツキはあるがモリブデンの回収率はほぼ100%であり、共存による影響は認められなかった。しかし鉄イオンの共存量が1mgになると、モリブデンの回収率は96%、5mg共存すると86.7%、50mg共存すると25.0%と著しい負の干渉を示した。

実試料である炭化ケイ素の分解に炭酸ナトリウムを使用するため、ナトリウムイオンを250mgまで共存させてその影響を検討したが、硝酸イオン、過塩素酸イオン及び硫酸イオンは、モリブデンの回収率に全く影響を与えたなかった。

また同様に、各種陰イオンを1000mgまで共存させてその影響を検討したが、硝酸イオン、過塩素酸イオン及び硫酸イオンは、モリブデンの回収率に全く影響を与えたなかった。

### 3.6 EDTAによる鉄のマスキング効果

3.5で鉄イオンの著しい負の干渉を除去する目的で、EDTAを用いるマスキング効果について検討した。モリブデン量を10 $\mu\text{g}$ の一定量とし、酸濃度を0.5M塩酸に調整して、鉄イオンを10～50mgまで共存させ、酢

表3. EDTAによる鉄イオンのマスキング

| 鉄イオンの共存量(mg) | モリブデンの回収率(%) |      |       |
|--------------|--------------|------|-------|
| 2.0          | 2.0*         | 6.0* | 10.0* |
| 10           | 85.4         | 100  | 100   |
| 20           | 78.8         | 87.0 | 100   |
| 50           | 40.6         | 77.4 | 86.0  |

\* 0.2M EDTA添加量(mL)

酸アノニウム溶液10mL添加し、0.2M EDTA溶液の添加量を変えてその影響を検討した結果を表3に示す。EDTAの添加量が多くなると、モリブデンの回収率は増し、共存量20mg以下ではEDTA溶液10mLで100%の回収率を示した。しかし50mgの共存量では86.0%で、完全にマスキングできなかった。以上の結果から、実試料の分析を行う場合、鉄イオンの共存量は20mg以下になるように試料溶液を採取した。

### 3.7 モリブデンの定量精度

本法における定量精度について検討した結果を表4に示した。モリブデン量を任意の3段階の一定量とと、それぞれ10回の繰り返し定量を行い、定量結果から母平均、標準偏差、相対標準偏差を計算した。相対標準偏差はいずれも2%以内であり、比較的精度良く定量できることが判明した。

表4. モリブデンの定量精度

| モリブデン採取量(μg) | 平均値(μg) | 標準偏差(μg) | 相対標準偏差(%) |
|--------------|---------|----------|-----------|
| 2.5          | 2.48    | 0.047    | 1.90      |
| 5.0          | 5.05    | 0.060    | 1.19      |
| 10.0         | 10.04   | 0.160    | 1.59      |

### 3.8 セラミックス中の微量モリブデンの定量

窒化ケイ素を0.5gテフロン製加圧容器に精粹し、フッ化水素酸10mL、硝酸2mLを加え、170°Cに調節した乾燥器に16時間入れて分解する。放冷後溶液をテフロンビーカーに入れ、過塩素酸10mLを加えてよく振りませたのち、加熱して蒸発乾固する。

炭化ケイ素を0.5g白金ルツボに精粹し、炭酸ナトリウム2.5gを加え、1000°Cの電気炉中30分間で融解する。冷却後テフロンビーカーに白金ルツボを入れ、純水及び硝酸10mLを加えて塩類を溶解する。さらにフッ化水素酸20mL、過塩素酸10mLを添加してよく振りませたのち、加熱して蒸発乾固する。

これらのテフロンビーカーを放冷後塩酸5mLと純水を加えて加熱溶解し、100mLとする。この試料溶液を一定量スキーピング分液漏斗に採り、酢酸アノニウム溶

液10mLを加えてよく振り混ぜる。更に0.2M EDTA溶液10mLを加えて鉄をマスキングし、純水を加えて一定量とした後2.3に従ってモリブデンを抽出後、ICPに噴霧して発光強度を測定し、あらかじめ作成した検量線よりモリブデン量を求めた結果を表5に示す。本

表5. セラミックス中のモリブデンの定量結果

| 試料 | 本法(μg/g) | 標準添加法(μg/g)* |
|----|----------|--------------|
| A  | 8.3      | 28.5         |
| B  | 7.8      | 27.4         |
| C  | 7.5      | 27.2         |
| D  | 2.3      | 22.5         |

\* モリブデン添加量: 20 μg

法と標準添加法を併記したが、二法での定量値には差がなく、十分実試料の分析に適用できるものと考えられる。なおモリブデン濃度0, 0.1, 0.5, 1.0 μg/mLについて検量線を作成したところ、相関係数は0.9999であり、この時のモリブデンの検出下限(3σ)は1.8 ng/mL(n=10)であった。

## 4. 結 言

以上キサントゲン酸塩を用いるモリブデンの溶媒抽出-ICP発光分析法について検討した結果、下記のことが判明した。

- (1) モリブデシーザンセート錯体は0.1~7.0M塩酸中で、定量的に抽出される。
- (2) この時の抽出試薬は、低濃度から高濃度まで一定の発光強度が得られるブチルキサントゲン酸カリウムが最適であった。
- (3) 本法をセラミックス中の微量モリブデンの定量に応用了した結果、十分適用できることが判明した。

## 文 献

- 1) 田谷征雄他: 広西工技報告 №30 62 (1987)
- 2) E.B.Sandell: "Colorimetric Determination of Trace Metals", 3rd Ed. P644 (1959) (Interscience Publishers)
- 3) S.H.Allen他: Anal. Chim. Acta. 7, 488 (1952)
- 4) M.D.Arns他: Spectrochim. Acta. 22, 1325 (1966)
- 5) C.C.Butler他: Anal. Chem. 47, 825 (1975)
- 6) R.H.Scott他: Anal. Chim. Acta. 75, 257 (1975)
- 7) R.K.Winge他: "Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy", P287 (1985)(Elsevier)
- 8) 渡部英雄他: 第48回分析化学討論会講演要集 P 141 (1987)

# 新素材を利用した小型船用消音器の開発

吉野信行、田尾博幸、久保野茂\* 太田光雄 \*\*

## A Development of Expansion Chamber Type Muffler for Small Ship by Using New Material

YOSHINO Nobuyuki, TAO Hiroyuki, KUBONO Shigeru and OHTA Mitsuo

Generally speaking, the noises generated by road traffic, airplane, special express train and industry are representative of the environmental noise pollutions. For these noise pollutions, the studies for their pollution problems have been drastically considered among academic societies and empirical researchers and the environmental conservations have been strongly pushed forward.

However, the environmental conservations for ship noise pollution have been late on, because of the speciality and complexity of sound propagation characteristics on the coast part.

On one side, in recent years, the industries must promote to introduce higher technology of industrial construction and changing of job, owing to the appreciation of the Yen on trade imbalance with a lot of countries and constructive depression based on iron, steel industries and ship yard in Hiroshima prefecture.

From these points of view, in this paper, we have developed an expansion chamber type muffler for small ship by using chloroprene rubber. Its effectiveness is experimentally confirmed by means of application to actual fishing boat in Onomichi harbor.

### 1. 緒 言

騒音公害としては、道路交通・航空機・新幹線・工場等に起因するものが代表的である。これらの騒音に関する研究は、苦情はなかなか減少しないものの、種々の研究の成果のもと、様々な対策が施されてきている。しかしながら沿岸部での船舶騒音に関しては、その特殊性から取り組みが遅れている。

一方、近年、円高、産業構造等による不況は一服したもの、県内中小企業では依然厳しい状態が続いている。工業構造の高度化・多角化・業種転換を推進し、新製品・新技術・新素材の開発、またその応用による産業の活性化が緊急課題となっている。

これらの背景から本研究では、新素材応用開発の一環として、特殊ゴムを利用した小型船用消音器を開発した。

### 2. 消音器の設計

#### 2.1 消音器の素材

消音器の設計に当たっては、排気抵抗が最小になるように留意し、目的の消音倍数、排気の通気量とその速度、使用目的と形状、加工性、耐環境性等様々な条件を考慮する必要があり、一般には、それらの条件を満たす金属やプラスチックが素材としてよく使用されている。しかし船用消音器については、さらに冷却

排水機構、また海水逆流により引き起こされる消音器内部の急激な排泄への対処が必要であり、消音器内部の構造がますます複雑化するため、加工の柔軟性が特に要求される。

従って、本消音器の素材としては、一般にゴムの欠点であるとされている耐熱・耐油・耐オゾン等、耐環境性に優れたゴム（特殊クロロブレンゴム）を採用し、これらの要求に対してフレキシブルに対応できるよう構成とした。

表1に、使用したゴムの耐環境特性についての調査

表1. ゴムの耐環境特性試験結果表

| ゴム特性  | ●材質      | 耐熱自己消火性クロロブレンゴム |
|-------|----------|-----------------|
| ●硬 度  | JIS 72°  |                 |
| ●引張強さ | 115kg/cm |                 |
| ●伸 長  | 42%      |                 |
| ●回 弹  | 1.60%    |                 |

#### 試験結果

##### 1) 耐熱テスト (JIS - K 4301: 準拠)

100°C、70時間後の物性

引張強さ 18.6%

伸 長 15.3%

硬 度 + 3°

##### 2) 耐油テスト (JIS - K 7201: 準拠)

繰り返数 35.1

A) 試験片の区分、形状及び寸法

A-1号 奥行き: 120mm

幅: 6.5mm

厚さ: 2.5mm

B) 点火器の熱源: C: LPGガス

C) 繰り返数の決定: 燃焼長さが燃焼して50mm以上の時

##### 3) 耐オゾンテスト (JIS 3号25ppm)

ダンベルを25%伸長して、70時間後に

クラックの発生が認められない。

\* ニッコー機材㈱ \*\* 広島大学工学部

結果（化学品検査協会関西事務所で試験）を示す。

## 2.2 消音器の原理

消音器の構造については、膨張型を基本とし、吸音・共鳴・干渉型を各所に取り入れ、消音性能の向上を図った。

これらの理論的背景については、文献①、②等で紹介されているが、原理は以下のとおりである。

### (1) 膨張型消音

膨張型は、断面の不連続部における音のエネルギーの反射を利用して、その伝播を防ぐもので、周波数の低・中音部成分の減衰に有効である。また内部に吸音材料を併用する事により高音部の減衰も得られる。

減衰周波数は膨張筒部の長さによって決まり、目的の消音周波数 $f_0$ を有効に減衰させるためには、音速が $c$ のとき、膨張筒部の長さを $\lambda/4$  ( $\lambda$ : 波長 =  $c/f$ ) とする。この最大減衰量は、ほぼ膨張筒部と尾管部の直徑比 × 4 [dB] に等しい。

また放射音の減衰量 $A_{tt}$  [dB] については、次式で近似的に表され、この式の適用は、膨張型消音器の事前設計に対し有効である。

$$A_{tt} = 20 \log | \cos k_1 l_1 | \cos k_2 l_2 - (c_1 S_2 / c_2 S_1) \sin k_1 l_1 \sin k_2 l_2 | \quad (1)$$

ただし、

$$l_1 = \text{尾管長さ} \quad [\text{m}]$$

$$S_1 = \text{尾管断面積} \quad [\text{m}^2]$$

$$c_1 = \text{尾管、膨張筒各部の音速} \quad [\text{m/sec}]$$

$$k_n = 2\pi f / c_n$$

### (2) 共鳴型消音

共鳴型は、小さい孔とその背後の空洞とが共鳴器を形成し、その共鳴により音のエネルギーを吸収するもので、周波数の低・中音部の卓越した成分の減衰に有効である。消音周波数は空気層の容積、孔の数、面積等によって決まる。

### (3) 干渉型消音

干渉型は、音の通路を2つに分け、一方の通路の長さ $L_1$ を他方の通路の長さ $L_2$ より音の波長の $1/2$ だけ長くし、2つの音の干渉を利用することにより音のエネルギーを減衰させる。消音周波数は $L_1 - L_2$ で決まり、目的の消音周波数を有効に減衰させるためには、 $L_1 - L_2 = \lambda/2$  とする。この方法は、周波数の低・中音部成分の消音に有効である。

## 2.3 消音器の構成

写真1に開発した消音器の外観（排気管の口径により6種類ある）を、また図1に消音器の構成を示す。

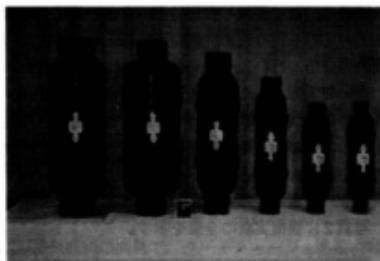


写真1. 消音器の外観

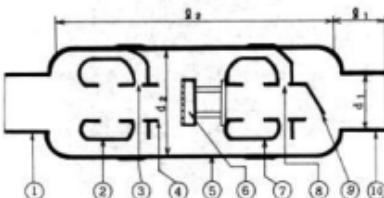


図1. 消音器の構成

図中、①は入力管部、②共鳴部、③干渉部、④膨張部、⑤膨張筒部、⑥吸音部、⑦共鳴部、⑧干渉部、⑨ノンプレスバルブ、⑩尾管部である。

膨張筒部内の②～④の部分は、目的の消音周波数により柔軟に取り付け・変更することが可能である。

消音器の構成は、入力管部、膨張筒部、尾管部を基本としており、膨張筒部内に吸音・共鳴・干渉等の構造を柔軟に付置することが可能となっている。各部の寸法に関しては、小型渔船の騒音が周波数1kHzを中心にして卓越していることが確認されているので、1kHz (波長 $\lambda = 0.34$  m) 近傍での騒音消音に留意し設計した。

## 3. 実験的考察

消音器の消音特性<sup>③</sup>を表す方法としては、次のようなものがある。

・挿入損失：消音器の有無による音圧レベル差

・透過損失：消音器の入口及び出口でのエネルギー割合をdBで表し符号を変えたもの

・騒音減衰量：消音器前後ダクトの音圧レベル差

本研究では、消音器装着の効果を測定するのに、より実際的な方法である挿入損失の測定法を用いて実験を行った。

実験は、まず開発した膨張型消音器の特性と近似式(1)との比較を行ったため、測定結果をC特性にして周波数分析を行い、その有効性について確認した。

次いで実験、小型漁船に排気管口径2インチ及び5インチの消音器を取り付けて周波数分析を行った。なおこのときの測定結果は、人間サイドでの評価を行うため、A特性とした。

### 3.1 消音器の模擬実験

写真2に模擬実験の全景を示す。



写真2. 模擬実験の全景

実験は、無響室において、内部にスピーカーを設置した $60 \times 60 \times 60\text{cm}$ の無響箱を使用し、これにダクトを接続して行った。音源としては、白色雑音を使用し無響箱内の音圧を一定とした。測定は、排気閉口端より前方20cm、上部10cmの所に騒音計を置き、1/3、1オクターブ実時間周波数分析器により行った。

図2に、排気管口径2インチタイプの膨張型消音器（膨張筒部に仕切り板を付置した場合としない場合）についての実測値と、近似式(1)より導出した計算値を示す。

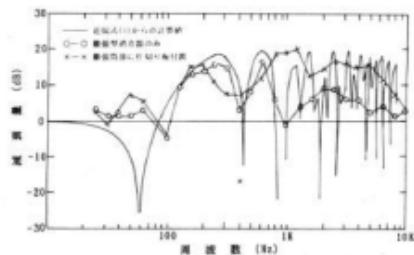


図2. 膨張型消音器の周波数特性

この図から実測値は、計算値と高域周波数成分を除いてよく対応しており、近似式の適用が膨張型消音器

の設計に有効であることが分かる。また仕切り板を挿入した場合は、膨張型のみの場合に比較し、高帯域周波数成分における減衰性能が良いことが分かる。

図3に、排気管口径5インチタイプの消音器の膨張筒部内に吸音・共鳴・干渉型の構造を付置し、この消音器を取り付けた場合と、取り付けない場合について前記と同様の実験環境での試験結果を示す。

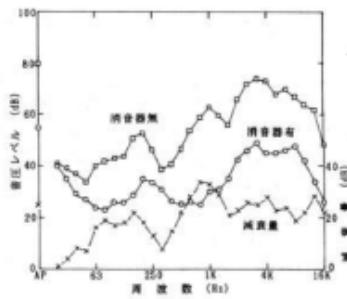


図3. 模擬実験における消音器の周波数特性

膨張筒部内の構成は、自由に取り替えが可能であるが、ここでは図1に示した構成で実験を行った。

これから、目的の消音周波数1kHz近傍で30dB以上の減衰量が得られていることが確認できる。また2kHz以上でも、20dB以上の減衰量が得られ、吸音・共鳴・干渉の構造が消音のために効果的に働いていることが確認できた。

### 3.2 消音器の実用化実験

前節の模擬実験により得られた実験データを基に実際、小型漁船に消音器を取り付け、エンジンを定格回転数にして、排気管から1mの所で騒音測定を行った。

表2に、実験を行った漁船のエンジン仕様を示す。

表2. 実験漁船のエンジン仕様

| 消音器タイプ<br>仕様 | 排気管口径2インチ | 排気管口径5インチ  |
|--------------|-----------|------------|
| エンジン機種名      | ヤンマー3L15  | ヤンマー6GH-50 |
| 定格出力 [ps]    | 15        | 165        |
| 定格回転数 [rpm]  | 3000      | 1600       |
| 気筒数          | 3         | 6          |
| 氣筒直径 [mm]    | 91.5      | 119        |
| 行程 [mm]      | 125       | 140        |

エンジン出力15PSの漁船に排気管口径2インチタイプ消音器を使用し、実験した場合の結果を図4に示す。

この図から、実験漁船の排気騒音（消音器がない場合）は、1kHz近傍の周波数を中心で卓越していること

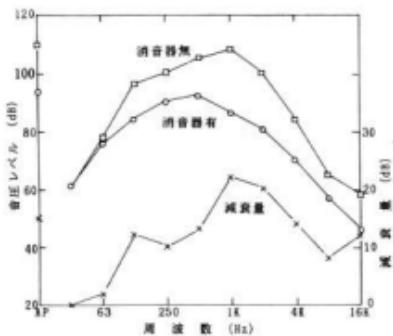


図4. 消音器の周波数特性(排気管口径2インチ)

が分かる。この漁船に消音器を取り付けた場合、周波数1kHzで20dB(A)以上の減衰量が得られ、また騒音低減の効果をかなり実感でき、高い消音効果を示していることが分かった。

同様に、出力165PSの漁船に排気管口径5インチタイプの消音器を使用した場合の結果を図5に示す。

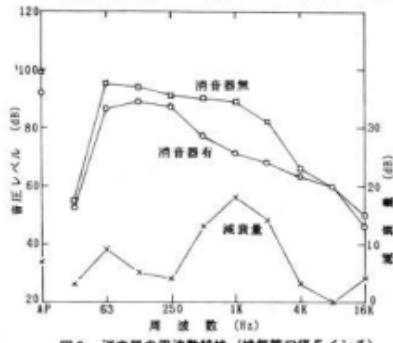


図5. 消音器の周波数特性(排気管口径5インチ)

図より、漁船の排気騒音は、63Hzから2kHzの周波数を中心で卓越していることが分かる。またこの漁船に消音器を取り付けた場合、周波数1kHzでは約20dB(A)の減衰量を得ることができているが、低周波部分ではあまり効果がないことが分かる。これは消音器の設計に際し、1Hzを中心で考慮したためである。しかし体感的には、騒音がかなり低減され、しかも振動が低く抑えられており、立ち会った漁業従事者の間では好評であった。

今後の課題としては、低周波部での騒音も同時に消

音するため、種々の小型船舶についてエンジン排気騒音の周波数分析を調査した上で検討して行きたい。

#### 4. 結 言

今回の消音器の開発により、次のような成果を得ることができた。

- (1) 消音器の設計に当たって、排気抵抗が最小になるようノンレジスタンス構造を持たせたので、エンジンのパワーロスが少ない。このため、従来の消音器が排気抵抗の関係で、ターボチャージャあるいはスーパーチャージャエンジンの船舶への取り付けが困難であったものが、本消音器では可能である。
- (2) 本消音器は、膨張・吸音・共鳴・干渉型消音等、消音工学の原理を各所に取り入れておらず、消音効果が高い。
- (3) 特殊ゴムを利用しているので排気の衝撃音や振動を吸収するダンピング効果を有する。またコスト・加工性においても、従来の金属やプラスチックを使った物に比して優れている。
- (4) 本消音器内部では、吸音・共鳴・干渉等の構造をフレキシブルに変更でき、対象騒音に応じた設計が自由に行える。
- (5) 排気管への海水逆流に対しても、ノンプレスバルブの働きで、急激な排圧がかかるない。また別途開発のミキシングチャンバーとの併用により、ウォーターハンマ現象が起ららない。
- (6) 実際、小型漁船に消音器を取り付け、排気管から1mの所で測定した結果、目的の消音周波数1kHz近傍において、約20dB(A)の減衰量が得られ、高い消音効果を示した。

本消音器は、ニッコーカーボン株式会社、広島大学工学部第2類電気系太田研究室、広島県立西部工業技術センターの共同研究により開発したものであり、既に現在小型船用の消音器として約600隻の実績があり、今後プレジャーボート・産業用ダクト等への実用化も期待できる。

#### 文 献

- 1) 福田基一：内燃機械の排気消音器に関する基礎的研究、日本機械学会論文集、Vol.26, 168 (1960), P1167
- 2) 藤本茂夫：排気消音器の音響特性、機械試験所報告、Vol. 64 (1967), P 27
- 3) 古川宣一：消音器の性能測定、騒音制御学会、Vol.2, No. 6 (1978), P 27



写真1. ハンドレイアップ法ハイブリッドCFRP断面  
( $\times 25$ )



写真2. 热プレス成形SMC断面 ( $\times 25$ )

ヨン(引抜成形—写真3)は、どちらかと言えば、高性能化のための製造技術である。一方に向特化された用途、たとえば釣竿の穂、ケーブルレインフォースメントロッド等はこの方法でなければ製造できない。繊維の体積含有率(Vf)が非常に高い。むしろ低含有率とする方が困難である。写真3の例はVf66% (81重量%)

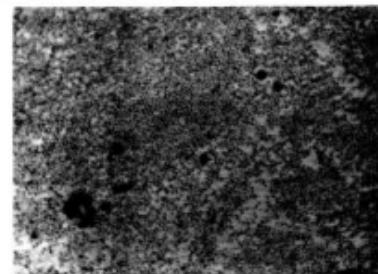


写真3. プルトルージョンFRP(バー)断面 ( $\times 25$ )

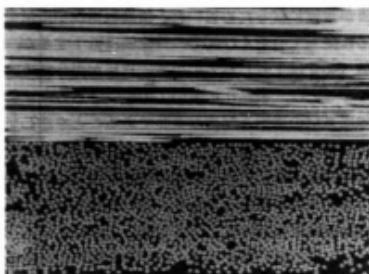


写真4. オートクレーブ法高性能CFRP断面 ( $\times 100$ )

表1. 各種FRPの機械的特性(平均値)

| 積層板特性                           | ハンドレイアップ<br>OMC+4HM | SMC   | プルトルージョン<br>(一方向) | 高性能CFRP*(直交) |
|---------------------------------|---------------------|-------|-------------------|--------------|
| 繊維含有率<br>(体積%)                  | CF 19<br>GF 12      | 16    | 66                | 60           |
| 引張弾性率<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 2,490               | 1,180 | 4,600             | 6,500        |
| 引張強さ<br>(kgf/mm <sup>2</sup> )  | 29                  | 11    | 46                | 76           |
| 曲げ弾性率<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 1,730               | 1,070 | 4,100             | 5,800        |
| 曲げ強さ<br>(kgf/mm <sup>2</sup> )  | 35                  | 23    | 61                | 99           |

\*トレカタログ値

のものであるが、ボイドおよび樹脂部の偏在が認められる。これは製造条件のうち特に引抜き時の不均一な張力分布により生じたものと考えられる。プルトルージョンにおける最大のポイントはテンションの均一化である。写真4はほぼ完全な高性能材料の例である。ここでは、プリプレグ積層時に真空吸引により樹脂ボイドを除き、オートクレーブ内で静水圧加压と加熱流動のタイミングがきちんと行われていることを実証している。

参考として4種類の複合材料の特性を表1に示す。

## 2.2 応力軸に対する纖維配向角と特性

高性能複合材料の多くは異方性であり、方向と特性の問題は古くから解明されており計算式も確立されている。しかし直交繊物と類似等方性のチャップドストランドマット(OM)を組合せた場合は単に0°, 90°, 45°方向の特性だけから計算式で求めた値と実測値はかなりずれてしまう。図1に1例として各種積層板と引張強さの方向依存性を示す。図中○印は完全直交異方性板の計算値のプロットである。相当レベル実測値と一致しているが、他の異方性板については余り一致がな



写真1. ハンドレイアップ法ハイブリッドCFRP断面( $\times 25$ )

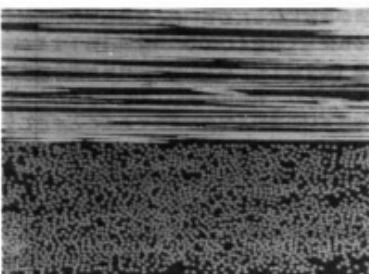


写真4. オートクレーブ法高性能CFRP断面( $\times 100$ )



写真2. 熱プレス成形SMC断面( $\times 25$ )

ヨン(引抜成形—写真3)は、どちらかと言えば、高性能化のための製造技術である。一方向に特化された用途。たとえば釣竿の他、ケーブルレンジフォースメン・トロッド等はこの方法でなければ製造できない。繊維の体積含有率(Vf)が非常に高い。むしろ低含有率とする方が困難である。写真3の例はVf66% (81重量%)

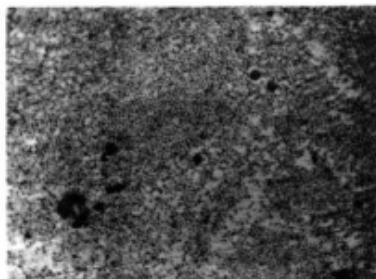


写真3. プルトルージョンFRP(バー)断面( $\times 25$ )

表1. 各種FRPの機械的特性(平均値)

| 積層板特性                           | ハンドレイアップ<br>MC×4HM | SMC   | プルトルージョン<br>(一方向) | 高性能<br>CFRP*(直交) |
|---------------------------------|--------------------|-------|-------------------|------------------|
| 繊維含有率<br>(体積含有率)                | CF 19<br>GF 12     | 16    | 66                | 60               |
| 引張弾性率<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 2,490              | 1,180 | 4,600             | 6,500            |
| 引張強さ<br>(kgf/mm <sup>2</sup> )  | 29                 | 11    | 46                | 76               |
| 曲げ弾性率<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 1,730              | 1,070 | 4,100             | 5,800            |
| 曲げ強さ<br>(kgf/mm <sup>2</sup> )  | 35                 | 23    | 61                | 99               |

\*トレカタログ値

のものであるが、ボイドおよび樹脂部の偏在が認められる。これは製造条件のうち特に引抜き時の不均一な強力分布により生じたものと考えられる。プルトルージョンにおける最大のポイントはテンションの均一化である。写真4は $\times$ 完全な高性能材料の例である。ここでは、プリプレグ積層時に真空吸引により樹脂ボイドを除き、オートクレーブ内で静水圧加圧と加熱流動のタイミングがきちんと行われていることを実証している。

参考として4種類の複合材料の特性を表1に示す。

## 2.2 応力軸に対する繊維配向角と特性

高性能複合材料の多くは異方性であり、方向と特性の問題は古くから解明されており計算式も確立されている。しかし直交繊維と疑似等方性のショップドストランドマット(M)を組合せた場合は単に0°, 90°, 45°方向の特性だけから計算式で求めた値と実測値はかなりずれてしまう。図1に1例として各種積層板と引張強さの方向依存性を示す。図中○印は完全直交異方性板の計算値のプロットである。相当レベル実測値と一致しているが、他の異方性板については余り一致がな

く図が複雑になるため省いた。積層板構成中にMを加えるに従って $0^\circ$ および $90^\circ$ での特性値は低下するが、最小値( $45^\circ$ )は上昇し落差の小さい材料が得られる。

このことは、製品化において力を受ける方向に応じた繊維基材の選択と配置が重要であることを示している。また⑥のような $0^\circ$ および $90^\circ$ の特性が異なる材料は一方強化の直交方向に若干の特性を付与した材料として用いるのが妥当と言える。強いと言われている直交繊維積層板も方向によっては弱いとされているマット(M)より低い値を示す。バランス面での高性能材料は、航空機材料に用いられている一方向繊物を用いた( $0^\circ \pm 45^\circ \pm 90^\circ$ といった構成)<sup>3)</sup>が今後一般用途にも適用されてくると考えられる。早く導入・完成させた者が将来大変有利な企業活動を展開できるであろう。

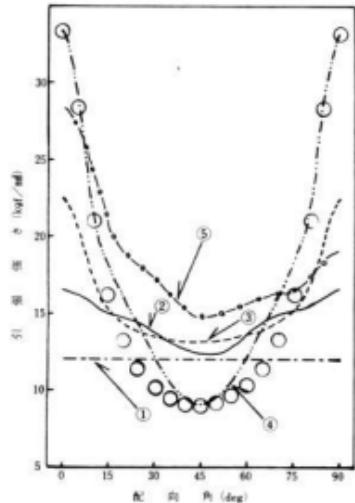


図1. 基材構成別FRPの繊維配向による強度変化  
①M : #450M×15ブレイド ②MR : (#450M+ #570R+ #450M)×5  
③NR : (#450M+ #570R)×9+ #450M ④R : #570R×25ブレイド  
⑤MC(MC/M) : (#450M+ R#15CF+ #450M)×2  
(○: 計算値)

### 3. FRPへの炭素繊維の適用例

#### 3.1 繊物組織と複合材料特性

炭素繊維を製品に適用する場合、ユーザーとしてはコストの安い繊物を優先しがちである。実は、同コストでも繊物組織によって性能/コスト比が異なるため、

この繊物組織は大変重要である。また、同等の組織であっても、3Kあるいは6K、さらに9Kといったローピング(例えば、3Kとは1本のローピング(繊維束)が3,000本のフィラメントからできていることをさす。)のどれを用いるかによってもコストは変わる。(本数が増す程安価となる。)図2にタテ、ヨコ同一密度で織り方の異なる布を使った積層板と標準的な布

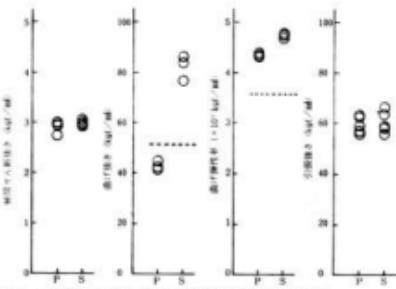


図2. 平織および朱子織クロス積層板の特性値比較  
(樹脂: ビニルエスチル)  
(P: 平織, S: 朱子織、いずれもタテ6K×12本、ヨコ6K×6本/インチ)  
-----平織3K タテ12本、ヨコ12本/インチ

の積層板の特性を比較した例を示す。力の方向が明確な製品の場合には、タテ密度をヨコ密度より高くとり、なおかつ一方向性を強める朱子織を採用することが望ましい。図中Pの曲げ強さがSの1/2を示しているのは破壊モードのちがいによるものである。この現象については文献[3, 4]に詳細に述べているので、ここでは省略するが、要するに低い値はマイクロバックリングと呼ばれる現象である。平織および朱子織積層板の断面の拡大像を写真5に示す、波うち(クリンプと呼ぶ)の状態の差がはっきりとでている。ここでは、

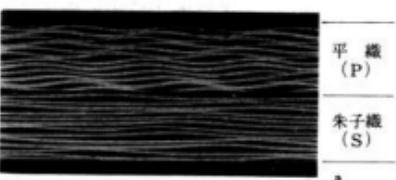


写真5. 平織および朱子織積層板の断面  
(拡大)

用途・目的に応じて最適な織物組織を選ぶことの重要性を理解していただければありがたい。

なお、これらの検討データをもとに、超高速クルーザー「ラ・ガルサⅢ」号(62年10月進水)の材料設計が行われている。同艇の設計はブルーズ・ナーバル・デザイン、製造はマリンクラフト・風の子である。炭素繊維の織物供給は三菱レイヨン㈱および㈱中国紡織で、当所を含め4社1機関の共同作業によるものである。

### 3.2 ハイブリッドラミの効率的な使用例

ハイブリッドドミを含め市販の基材についてはすでに紹介している<sup>5)</sup>この織物の特徴は扱いにくい一方向材の成形作業性をガラスマット並に改善した点である。仲々おもしろい素材であるが、未だ試験生産中のため幅が30cmを限度としていることもあって、現在余り普及していない。筆者らは、効率的な利用用途として格子状に用いて剛性を高めることを提案してきた<sup>6)</sup>

一方、瀬戸内沿岸漁業には、カキ船、漁労船、および運搬船等さまざまな作業船があるが、一般にこれらの小型FRP船は船底に4本以上の縦ロジンを設けている。縦ロジンとは船首から船尾に向けて設けるハットガーダー補強をさす。船体の薄肉化と安全性を高めているが、船の用途によってはこれを嫌う場合がある。そこで、ハイブリッドラミを適用して縦ロジンの無い船体建造のための検討を行った。試験板等は実際にFRP船を建造している企業で、ロジンレス船建造に関して相談を受けたエヌ・ケイ・クラフトで通常の作業によって作成したものを用いた。図3に船体材とラップ材の曲げ剛性Dの比較を示す。船殻にCF<sub>G</sub>Fハイブリッド材を用いることについては、現段階ではっきりした規制がなく、筆者らの過去の試験データ（実船試料）からは余り推奨できるものではないが、実船テストでOKということで同社が建造に踏み切ったものである。従って、ここではその問題は棚上げして話を進めたい。

船体材料に限らないが、異方性材料の場合中心軸に対して左右対称な材料構成が最も望ましい。この場合は片側への追加積層であるため、対称性の実現が困難な点があったが、結果としては、トップボトムに大きな差がなく比較的バランスのとれた値が得られた。剛性アップも約9倍増が認められた。従って、船殻断面中に任意の場所(複数)補強層を加えた場合における船体剛性を計算によって求めれば良いことになる<sup>12)</sup>。計算剛性と実測剛性は比較的一致するのでこの等価簡

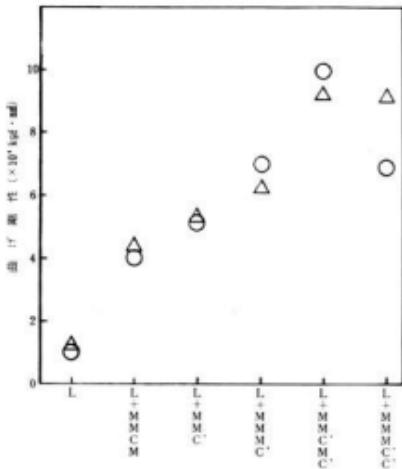


図3. ハイブリッドFCFRP船体材料へのハイブリット  
エラストomerの接着効果(剛性)

L: MCMR/MCM, M: ≈450ガラス織維マット, C: レーザ S5642(CF)  
 C: ハイブリッドマトリクス(LHC 328MBiO36),  
 R: ≈570ガラスローピングケロス  
 ▲一輪脚用トップ □一輪脚用ボトム

題は易しく解決され、その結果をもとにロンジレス魚連搬船「勇誠丸」を建造するに至った。また、筆者らの1人は剛性計算プログラムを作成し同社に提供している。

#### 4. ハニカムサンドイッチバナル

ハニカムコアおよびそれを用いたサンディッシュバルの特性について、市販のアルミコアおよび試作したFRPコア（たゞし試作コアは6cm角）を用いて評価した。市販アルミコアの詳細については文献別に譲る。

本報ではイントロ的発表に止め次の機会に詳細に報告する。CFRPの弱点の1つは衝撃に弱いことである。<sup>9)</sup>この弱点の解決策の一つがハニカムコアを用いるサンディッチャである。超軽量高性能複合材料として伸びを期待される大きな理由である。コアの圧縮特性はアルミおよびFRPを問わず大変興味深い挙動を示す。つまり脆性材料の仲間に属するFRPコアも塑性材料であるアルミコアと見掛け上同一の挙動を示す。つまり降伏後も荷重に耐え続ける。アルミが塑性変形によりセル壁が折りたたみによって縮むとの等価にマイクロ座屈をしながら縮んでゆく。これが衝撃を吸収する機構にもなる訳である。図4に各種サンディッチャパネルの計

算則性と実測剛性を示す。スキン層層板、接着層、およびコアの種類を変えたものである。コアはいずれも高さを約10mmとした。アルミコアはセルサイズを大きくすると実測剛性が計算剛性（ここではコア材特性を無視した計算値を用いている。）からはずれてくる。FRP1Pもはずれているが、これは製作上の問題で異常な曲がり（極部変形）のためで、計算値に近いと考えられる。柔いコア（アラミド、ナイロン等）を用いたパネルはたわみが大きく、計算剛性から大きくずれるおもしろい挙動を示した。これらの剛性値および強度等から約5mm厚スチール相当の材料特性を有することが認められた。図5はパネルを高速衝撃試験機（島津HTM-1）にかけたデータの一例である。荷重一変位パターンは2ヶの山が連続衝撃吸収エネルギーが非常に大きい。上下のスキン層を合せた形のCFクロス6プライ品の吸収エネルギーが約1100kgf·mmであることが認められた。

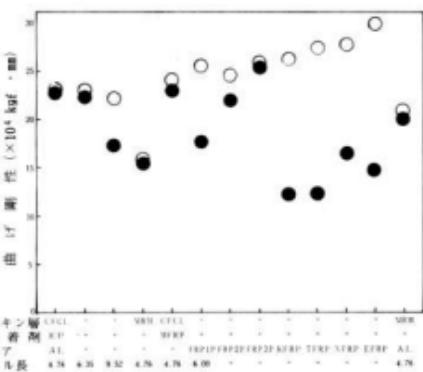


図4. 各種ハニカムコア(高さ10mm)を用いた

サンディングパネルの剛性比較

○: 計算値, ●: 実測値, CFCL: バイロフィルクロス#3110 3プライ, MFRP: #300ガラス繊維マット, R: #570ガラスローピングクロス, MFRP: #300M/ビニルエスチル, KFRP: ゲブラークロス, TFRP: テクトルクロス, NFRP: カイロングロス, EFRP: ガリエステルクロス

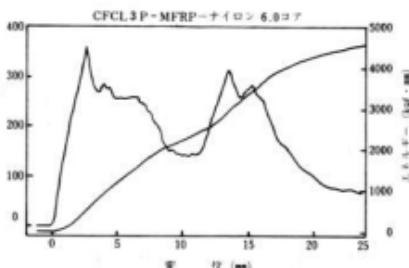


図5. 各種ハニカムコアサンディングパネルの  
打撃衝撃特性  
コア厚810mm, ポンチ頭1/2インチ, 支持径1インチ,  
衝撃速度5m/s, 1, スキン層: いずれもバイロフィル#3110  
3プライ(CFCL3P), 傷層: コポキシシート  
(EP)またはガラスマット(#300)/ビニルエスチル(MFRP)

## 5. 結 言

多くの実験・研究を圧縮して発表したことをお詫びしたい。別の機会にそれぞれの詳細な発表を行うとともに企業の方々の相談・指導の機会をお作りいただければデータの全てをご提供いたします。素材から製品化の課程における基本実験の重要性を訴えたい。

## 文 献

- 1) (社) 強化プラスチックス協会: FRP設計便覧 P 57~59, 1979
- 2) J. G. William and M. D. Rhodes: ASTM STP 787, P 450~451, 1982
- 3) 简本隆博, 好満芳邦, 大橋俊彦: 第16回FRPシンポジウム前刷 P 66~69, 1987
- 4) TSUTSUMOTO Takahiro, YOSHIMITSU Yoshikuni, OHASHI Toshihiko : Proc. Inter. Symp. FRP/CM, SECTION 9-A, April 15~18, Naujing, China, 1988
- 5) 好満芳邦, 丸下清志, 田谷征雄, 関守雄: 西部工芸技術センター報告 No.29, P 69~72, 1986
- 6) 好満芳邦, 简本隆博, 大橋俊彦, 鶴本好計: 第15回FRPシンポジウム前刷 P 97~100, 1986
- 7) 简本隆博, 好満芳邦, 大橋俊彦, 山縣康男: 第15回FRPシンポジウム前刷 P 93~96, 1986
- 8) 横浜ゴム㈱技術資料「ハイベック・アルミコア」
- 9) 大谷杉郎, 奥田謙介, 前田滋: 炭素繊維 P 291, 1983

## 視覚機能とハンドリング機能を有する搬送ロボット

松垣和生、蒲田政信、平田敏明、永山博夫、馬場祥宏、坂元康泰、南良良治  
小川哲夫<sup>1)</sup>、船場和敏<sup>2)</sup>、姫宮誠<sup>3)</sup>、尾田隆康<sup>4)</sup>、今村吉男<sup>5)</sup>、濱本智好<sup>6)</sup>、藤田靖人<sup>7)</sup>  
尾岩正道<sup>8)</sup>、柳田宏治<sup>9)</sup>、石橋一成<sup>10)</sup>

### Systematic Approach to Intelligent Mobile Robot with Visual Sense (2nd)

HIGAKI Kazuo, KAMADA Masanobu, HIRATA Toshiaki, NAGAYAMA Hiroo, BABA Yoshihiro,  
SAKAMOTO Yasuhiro, NARA Ryoji  
OGAWA Tetsuo, FUNABA Kazutoshi, HIMEMIYA Makoto, ODA Takayasu, IMAMURA Yoshio,  
HAMAMOTO Tomoyoshi, FUZITA Yasuto, OIWA Masamichi, KUSHIDA Kozi, ISHIBASHI Kazunari

In the present paper, we shall try to develop the intelligent autonomous robot with visual information processing function and measuring function of external environment. To summarize our interpretation of the specification and function of this intelligent robot, we can explain as follows.

1. Locomotive function, with gyro-scope.
2. Visual sensing function by using digital image processing with CCD camera.
3. Measuring function of external environment by using ultra-sonic sensor and laser displacement meter.
4. Remote controlled communication by using wireless modem.

#### 1. 緒 言

工業用ロボットの高機能化は走行機能<sup>1) 2)</sup>、制御方  
法<sup>3)</sup>、視覚機能を付与した知能化<sup>4)</sup>、力覚あるいは数種類  
の感覚を備えた触覚センサ<sup>5)</sup>と、広範囲な技術分野に  
おいて研究が行われている。特に、走行機構を備えた  
ロボットは外界認識の機能が要求される。

ロボットの知能化をはかるには知覚機能を充実させ  
る必要があり、種々の知覚機能のなかでも視覚機能は  
もっと多くの情報量を含んでおり、この機能を有效に  
利用することがロボットの高機能化をはかる上で重  
要な点である。

今回試作したロボットは前回報告した1号機に対し  
走行機能の向上、およびマニピュレータの可搬重量の  
拡大・移動範囲の拡大を目的として改良をはかった。  
すなわち、自由軌道走行が可能な走行装置に、リンク  
機構を採用した4自由度の円筒座標型マニピュレータ  
を組み合わせたもので、動力源としてバッテリーを内  
蔵した自律走行ロボットである。

#### 2. ロボットの構成および仕様

ロボットの構成を図1に、仕様を表1に示す。

- 1)三菱工業㈱、2)㈱日本製鋼所、3)㈱熊本製作所、4)広島ハウジングサービス㈱、5)萬国製針㈱  
6)インタフェース㈱、7)㈱東洋シート広島工場、8)日機工業㈱、9)テンパール工業㈱、10)㈱ミツトヨ

ロボットは走行機構・マニピュレータ・ハンド・外  
界認識センサで構成され、マイクロコンピュータで制  
御される。

#### 2.1 走 行 機 構

走行装置は図2に示すように、左右にそれぞれ独立  
した駆動輪と4つのキャスター・ホイールを持つ。2つ  
の駆動輪の回転方向およびスピードを変えることによ  
り前进・後退・回転ができる。この走行装置はバッテ  
リーを2個直列に接続し、24Vで2つのDCモーターを  
独立して駆動している。

走行車の基本仕様はつぎのとおりである。

- ・ 工場内のレイアウトを予め入力しておけば、目的  
地までの経路を探し出し、自動走行する。
- ・ 走行時の軌道修正および停止時の位置補正是ジャ  
イロからのデータに基づいて行う。
- ・ 超音波センサにより、障害物を検知すれば自動停  
止し、障害物除去後自動的に再スタートする。
- ・ 走行車が障害物に衝突すれば、タッチセンサによ  
り検知し停止する。ただし、この場合は自動的に再  
スタートはできない。
- ・ ワイヤレスモードにより、無線で走行の制御がで  
きる。

卷一百一十五

図1. 製作したロボットの性能

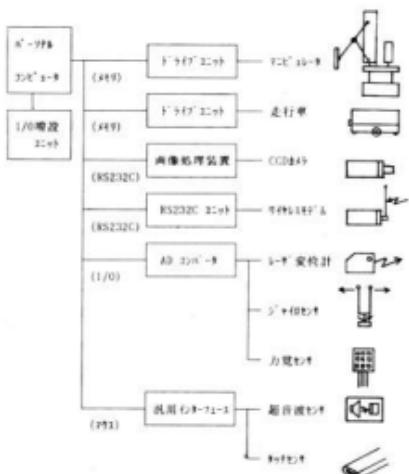


図1. 試作したロボットの構成

## 2.2 マニビ・レータの機構

リンク機構による円筒座標型に直線移動をプラスした4自由度のロボットで、ハンド部に回転用のステッ



図2. 驅動およびステアリング方式

ピングモータと開閉用のDCモータを使用している。最大可搬重量は設計上5kgである。

マニピュレータの座標は $(X, Y, Z, \theta)$ の内筒座標系で指定する。ただし、 $X$ は直線移動、 $Y$ は腕（リンク部）の曲線、 $Z$ は上・下軸、 $\theta$ は回転である。

ミニビューフータの可動範囲を図3に示す。

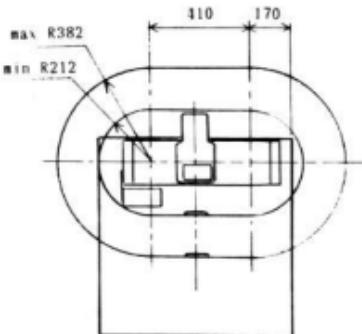


図3. マニピュレータ可動範囲

### 2.3 ハンドの操作

自動車部品のうち、板金小物部品をハンドリングすることを前提とし、様々な形状の部品に柔軟に対応できるハンドの開発を試みた。

ガイドピンの移動によって、ワークの位置ぎめをおこない、磁気を利用してワークを保持する磁気吸着ハンド。円筒形状のワークを対象とし、3本指で挟み込みワークを把持する機構を有するつかみ型ハンド、指間に力覚センサを設け、柔らかいワークの把持が可能な機能を持つはさみ型ハンド等である。

写真1に力覚センサを備えたはさみ型ハンドをマニピュレータに取り付けた状態を示す。

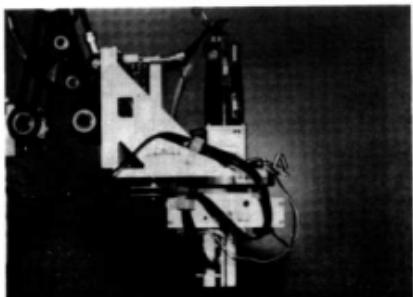


写真1. 力覚センサを備えたはさみ型ハンド

#### 2.4 知覚機能センサ

ワークの識別および走行車の移動による位置の誤差補正にCCD固体素子撮像カメラを使用した。カメラの視野は固定標準16mm, F 1.4のレンズを使用した場合、テーブルからレンズ面の距離が550mmのとき250×230mmで、分解能は約1mmとなる。

超音波センサは0.7～1m程度離れた進行方向前方の障害物を検知する。障害物を検出した場合、その場で非常停止し、センサが障害物を検知している間は停止状態を続ける。障害物がなくなれば再び指定された地点に向かって走行する。なお、作業ステーションの1m手前ではソフトウェアによって超音波センサを不感状態にし、ステーションに進入する。遠ざかった場合再び検知可能状態に戻す。

一方、タッチセンサは走行車の周囲に取り付け、走行車と障害物との接触を検知する。タッチセンサが動作した場合、走行車は絶対停止し“救援信号”をセンター側に送り、復旧操作を待つことになる。

力覚センサは感圧デバイス9個を3×3のマトリックス配置したものである。このデバイス個々の出力は2.5Vのオフセット電圧を基準に0～100mVの変化をする。そこで、差動増幅器によりオフセットをキャプセルし、変化分だけを100倍に増幅した後AD変換を行いコンピュータに取り込み、9つの値の合計を力覚センサからの出力として使用する。図4に力覚センサの荷重と出力との関係を測定した結果を示す。この図において縦軸は各々のデバイスの変化分を100倍し加算したものである。この結果から、このセンサの最大測定荷重は6.5kg、分解能は0.2kg程度である。

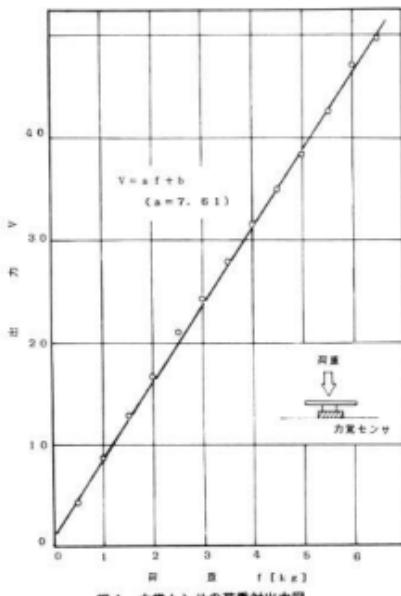


図4. 力覚センサの荷重対出力図

走行車の方向の検知に使用したジャイロは音又型振動ジャイロで、感度は50mV/（°/S）である。

ロボットのリモートコントロールはセンターからの指令に基づき、ワイヤレスによるRS232Cで行う。

#### 3. ロボットの制御およびソフトウェア

走行車は出発ステーションと到着ステーションのみを指定すれば、予め入力された地図に基づいて自動的に軌道を決定し、無軌道で走行する。図5に軌道の自動選択のシミュレーション結果を示す。

視覚機能によるワーク識別は、予めワークの特微量をデータとして登録しておき、このデータと特微量が一致するワークを選び出すことによって行う。ワークの特微量のデータ登録はCCDカメラから形状を読み込む。

ロボットの基本的な動作はワイヤレスモードからリモートコントロールで指定されたワークを作業ステーションXから作業ステーションYへ移動搬送することである。ただしX, Yは任意に指定できる。

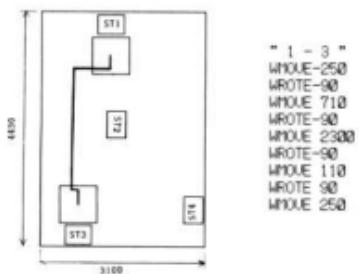


図5. 経路の自動選択出力データ

ロボットは受け取ったデータとともに、ステーションへの移動を開始する。ただし、移動経路中に障害物が進入した場合、障害物を検知してその場所に停止し、障害物がなくなると自動的に再起動する。目的の作業ステーションに到着すると、識別したワークの属性点すなわち、ワークの重心の座標および外接長方形の長軸の傾き(X, Y, θ)を計算し、これから得られるデータを基にマニピュレータが動作する。

写真2に試作したロボットの概観を示す。

#### 4. 結 言

今回試作したロボット2号機は走行経路が予め決められたテープ上を動く1号機に比べ、走行経路のフレキシビリティおよびマニピュレータの最大可搬重量・移動範囲が飛躍的に増大している。

今後、さらにロボットの機能向上をかるため人工知能の導入、移動位置精度の向上、制御ソフトウェアの改良を検討したい。

おわりに、この研究に対しころよく技術者を派遣された企業、および研究推進に助言をいただいた広島工業大学玉野和保助教授に感謝致します。

#### [付 記]

本研究は昭和61年度、62年度の2年間にわたり、(財)広島県産業技術振興機構からの受託研究として、広島県内の企業10社と共に共同研究を行ったものである。

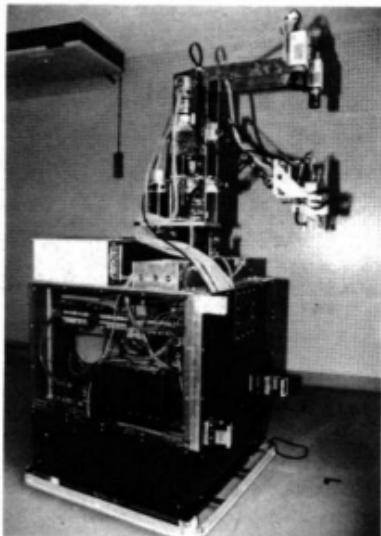


写真2. 試作したロボットの概観

#### 文 献

- 1) G. Kumar, J. Yoo: Intelligent Mobile Robot System, Wayne State Univ., Proc Rob Intell Prod Conf 149/152 (1983)
- 2) P Siy: Mobile Robots in Productivity, Wayne State Univ. Proc Rob Intell Prod Conf 128/134 (1983)
- 3) K. Arbter, F. Lange: New Techniques for Teach-in Acceleration And Learning Sensor-controlled Robots, 9th Triennial World Congress 2293 (1984)
- 4) T O.Binford: Key Issues in Robot Vision, Artificial Intelligence Laboratory Stanfurd Univ. Rob Res. 493 (1985)
- 5) 下条、石川、佐藤：数種類の感覚を備えた触覚センサ、第26回自動制御連合講演集、419 (1985)

## コンピュータの高度利用技術に関する研究

# 電子回路設計へのASIC応用技術に関する研究\*

馬場祥宏、桧垣和生、永山博夫、坂元康泰、南良良治

## ASIC Application to Image Processing LSI

BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo, NAGAYAMA Hiroo, SAKAMOTO Yasuhiro and NARA Ryoji

User own designed IC for users application, called ASICs (Application specific Integrated Circuits) are watched with keenest interest because of their advantages. Using ASICs, it is able to develop small, light, high speed, high quality, high reliability products, and able to protect users circuit know-how.

Therefore, we have converted hardware operation circuits of a image processing system into ASIC, and have got Image processing LSI.

Special features of this Image processing LSI are as follows.

- (1) This Image processing LSI is CMOS 1600 gate array integrated about 50 standard TTL ICs.
- (2) Image processing functions (window operation, area and center of gravity measurement, maximum and minimum detection) are executed in 1/30 sec.
- (3) Using this Image processing LSI, we could reduce the size of Image processing system from 112 ICs and 3 printed circuit boards (260×220 mm, 120×160 mm, 150×170 mm) to 11 ICs and 1 printed circuit board (150×170 mm). Supply current is reduced from 8 A to 0.5 A, number of net list from about 1200 to 92.

## 1. 緒 言

昨今の安定成長下で、他社に先駆けて高付加価値製品を開発し、その優位性を保つ切札として、ユーザ自身の手でICの設計を行うASIC（エーシック：特定用途向け集積回路）が注目されている。自社製品に自らが設計したIC、ASICを採用することにより、機器の小型軽量化、高速低電力高機能化、信頼性の向上、回路ノウハウの秘密保持など数多くのメリットが得られ、競争力に優れた製品を開発することが可能となる。

反面、その開発にはLSI設計・製造に関する知識が必要、費用・時間がかかる。設計変更はLSIの作り直しになる等の短所もあり、従来の標準ICを用いた回路設計技術では対応できない。テスト仕様の設計やCADを使ったICの設計など、実際の開発過程で蓄積されるノウハウが重要であり、県内企業においてもその普及を望む声が強い。そのため、画像処理装置、ロボット制御装置、海水淡水化装置の電子回路設計の研究に取り組んだ。

本報告では成果の一例として、先に報告した画像処理装置<sup>1)</sup>に重心測定機能を追加したハードウェア演算回路をASIC化の対象に選び、画像処理専用LSI

\*昭和62年度加速的技術開発支援事業・中小企業事業  
国委託分共通基盤研究

と同LSIを用いた小型省電力・高機能画像処理ボードを開発したので、その結果を報告する。

## 2. 画像処理専用LSI

現状の画像処理装置は、複雑な処理を高速で行う装置の場合、非常に高価であり、逆に安価なものは処理速度が遅く簡単な機能しか実現できていない。そこで筆者らは処理をハードウェアで高速に行い、市販のパソコンに柔軟に対応できる画像処理装置を既に開発した。<sup>1)</sup>今回、その画像処理装置のハードウェア演算回路をASIC化し、ウインドウ設定、面積・重心測定、最大値・最小値検出の機能を1/30秒で高速実行する画像処理専用LSIを開発した。

写真1にその外観を、表1に諸元を示す。

本画像処理専用LSIは、標準IC(TTL)約50個分の集積度を持つ、1600ゲートCMOSゲートアレイであり、3で述べる画像処理ボードの1輪分(水平

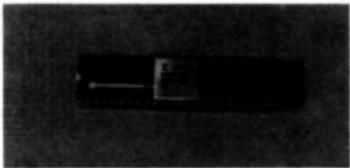


写真1. 画像処理専用LSI

軸Xまたは垂直軸Y)の機能を有し、2個を1組として使用する。

水平軸担当用LSIのクロック信号ZCLKには画面同期信号PXL, CLKを、クリア信号ZCLRには水平同期信号HSYNCを接続する。座標値Zは水平座標値Xを意味する。

垂直軸担当用LSIのクロック信号ZCLKには水平同期信号H SYNCを、クリア信号ZCLRには垂直同期信号V SYNCを接続する。座標値Zは垂直座

櫻仙Yを意味する。

両LSIとも、クロック信号SCLKには画素同期信号PXL(CLKを、クリア信号SCLRにはVSYNCを、イネーブル入力信号SEBLには画素データPXL(DTとイネーブル出力信号ZEBLとのANDを取ったものを入力する。

## 2.1 痘痘生成部(图1参照)

座標生成部は最小値、最大値、重心処理のもととなる座標Zを生成するとともに、ウインドウ処理に使用

表1. 頭脳処理高周L-S-Lの階元

|                            |          |                              |                     |
|----------------------------|----------|------------------------------|---------------------|
| 外                          | 形        | DIP48 ピン                     | ICパッケージ             |
| 集                          | 積        | 度                            | 1600 ゲート CMOSゲートアレイ |
| 動作周波数                      | 最大 10MHz |                              |                     |
| 機能                         |          | ウインドウ設定・面積・重心測定<br>最大値・最小値検出 |                     |
| 内<br>部<br>レ<br>ジ<br>ス<br>タ | 入力       | パックポーチ                       | ZBP                 |
|                            |          | ウインドウ始点                      | ZS                  |
|                            |          | ウインドウ終点                      | ZE                  |
|                            |          | 汎用入力                         | INP                 |
| 内<br>部<br>レ<br>ジ<br>ス<br>タ | 出力       | 最小値                          | ZMIN                |
|                            |          | 最大値                          | ZMAX                |
|                            |          | 面積                           | SL, SH              |
|                            |          | 重心                           | ZGL, ZGM, ZGH       |
|                            |          | 汎用出力                         | OUT                 |

|                             |        |                |            |
|-----------------------------|--------|----------------|------------|
| 外<br>部<br>ビ<br>ン            | CPU IF | チップセレクト        | C50        |
|                             |        | リード            | RD0        |
|                             |        | ライト            | WR0        |
|                             |        | アドレスバス         | A2～A0      |
|                             |        | データバス          | D7～D0      |
| シ<br>グ<br>ナル<br>ス<br>テ<br>ム | 座標 IF  | クロック           | ZCLK, SCLK |
|                             |        | クリア            | ZCLR, SCLR |
|                             |        | リクリア           | ZRC0       |
|                             |        | カーソル           | ZCSR       |
|                             |        | イネーブル          | ZEBL, SEBL |
| シ<br>グ<br>ナル<br>ス<br>テ<br>ム | 汎用出力   | POT7～POT0, PS0 |            |
|                             | 汎用入力   | PIN7～PIN0      |            |
| 電<br>源                      | 電源     | VDD, VSS       |            |
|                             | テスト端子  | TESC, RES0     |            |

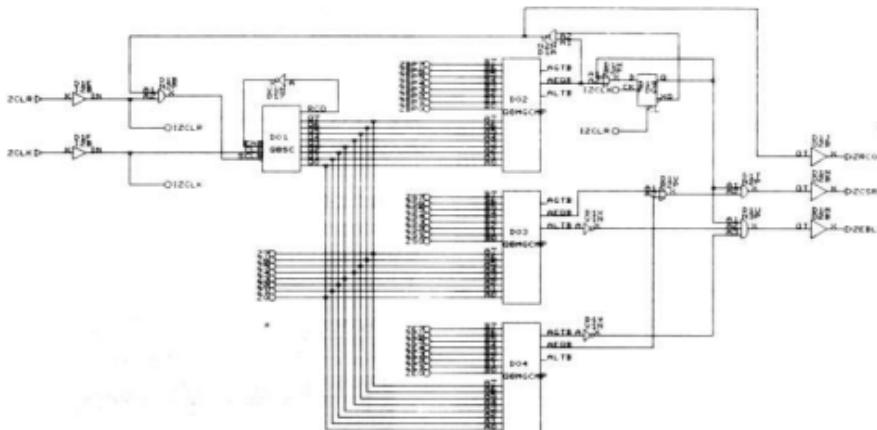


图1-瘤胃生成酶

するZRC0, ZCSR, ZEBL信号を発生する。

まず、クリア信号Z CLRの入力により、座標値Zは0に初期化される。クロック信号Z CLKの入力毎にZはカウントアップされるが、Z=Z BPに至ると再びZは0に初期化される。このとき、再クリアであることを示すリクリア信号Z RC0 がアクティブ(1)となる。

この後は再クリアされることなく、Zはカウントアップして行きFFで停止する。この期間内で、Zがウインドウ始点ZSおよびウインドウ終点ZEに等しい時点でカーソル信号ZCSRがアクティブ(H)になる。また、ZS≤Z≤ZEの区間、ウインドウ内識別信号ZEBLがアクティブ(H)となる。

## 2.2 最大值檢出部（圖 2 看照）

現在座標値Zと、前回までの最大値ZMAXを比較し $Z > ZMAX$ であれば、ZMAXをZに書き換える。

初期化信号S CLRによりZ MAXは00に初期化された後、画素同期信号S CLKの立ち上がり毎にS E B L=Hかつ $Z > Z \text{ MAX}$ なる条件が成立するか否かを検出し、条件が成立すればZ MAXの値を更新する。

### 2.3 最小值檢出部 (圖 3 參照)

現在座標値Zと、前回までの最小値ZMINを比較し $Z < ZMIN$ であれば、ZMINをZに書き換える。

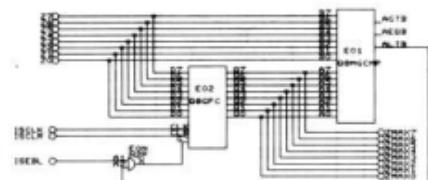


圖 2. 優太德神山頭

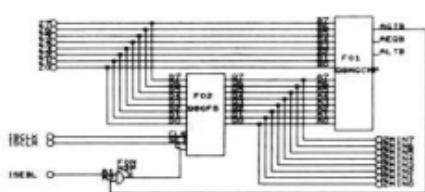


图3. 骨小体缺牙感

された後、画素同期信号 SCLK の立ち上り毎に S E B L = Hかつ Z < ZMINなる条件が成立するか否かを検出し、条件が成立すれば ZMINの値を更新する。

### 2.4 雨量測定部（図4参照）

面積カウンタ S (上位 8 ビット S H, 下位 8 ビット S L) をカウントアップし, ウィンドウ内の面積を求める。

初期化信号 SCLR により S は 0000 に初期化された後、画素同期信号 SCLK の立ち上り毎に SEBL が高ならば、S をカウントアップする。

### 2.5 胎心測定表(圖 5 參照)

現在座標値 Z と前回までの座標累積和算値 ZG (上位 8 ビット ZGH, 中位 8 ビット ZGM, 下位 8 ビット ZGL) の加算を求め, ZG に代入する。ZG の初期値は 0 0 0 0 0 0 0 0 である。8 ビット値 Z と 24 ビット値 ZG の加算時桁上りが最大でも最下位から 9 ビット目までであることを利用して、上位 16 ビットは加算器の代わりに 16 ビットカウンタを用いた。

### 3. 画像処理法一覧

画像処理専用LSIを使用し、小型・省電力化した  
画像処理ボードを開発した。写真2にその外観を示す。  
同様の機能を個別LICで実現したもののが写真3である。

表2に前者の比較を示す。従来LC112個、プリン

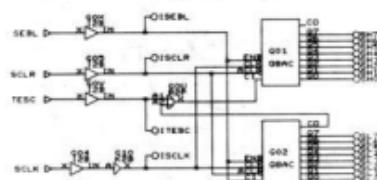


图 4. 变换测定量

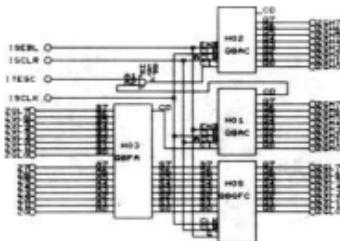


图5. 胸心胸左部

基板3枚(260×220mm, 120×160mm, 150×170mm各1枚)で構成していた画像処理装置を、1C11個、プリント基板1枚(150×170mm)に小型化することができた。消費電流は8Aから0.5Aに、1C間配線数は約1200から92に減少した。

図6に画像処理ボードの動作フローチャートを示す。図では、時間直列的に表現されているが、実際の処理はすべてハードウェアで並列実行され、1画素につき167nSで行う。スタート信号入力後、最初の垂直同期信号を検出するまでの待ち時間を含めて、1画面あたり1/30秒で高速処理する。

表2. 個別IC使用と専用LSI使用の比較

| 項目       | 個別IC使用                 | 専用LSI使用                   |
|----------|------------------------|---------------------------|
| 主たる使用チップ | TTL                    | CROSS-TALK                |
| 使用チップ数   | 112                    | 11                        |
| 基板寸法     | 260×220mm <sup>2</sup> | (150×170mm <sup>2</sup> ) |
| 重 量      | 340g                   | 160g                      |
| 消 費 電 流  | 8A                     | 0.5A                      |
| IC間配線数   | 約1200                  | 92                        |

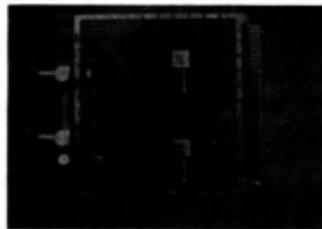


写真2. 画像処理ボード（専用LSI使用）

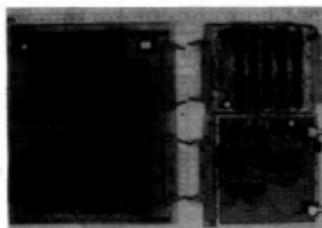


写真3. 画像処理ボード（個別IC使用）

## 4. 結 果

画像処理機能をハードウェア化し、ウインドウ機能・面積・重心測定・最大値・最小値検出の処理を高速実行する画像処理専用LSIを開発した。同LSIを用いることにより、画像処理ボードの部品数、占有面積、配線数、電力を大幅に低減することができた。

## 文 献

- 1) 打田外: ウィンドウ機能付簡易画像処理システム、広西工技セ報告 No.29, P.19-P.22 (1986)
- 2) ゲートアレイデザインマニュアル、富士通 (1986)

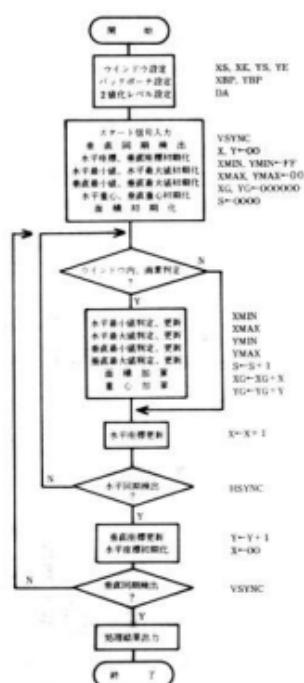


図6. 画像処理ボード動作フローチャート

# セラミックス溶射の活用による複合化技術の開発\*

野地英治, 吉池啓祐, 菊山信行, 原 信彦, 横山宏樹

## Ceramics Coatings for Anti-wear and Development of Long Wave Infrared Radiations by Thermal Spraying

NOJI Hideharu, YOSHIIKE Hiroyuki, KARUYAMA Nobuyuki, HARA Nobuhiko and YOKOYAMA Hiroki

Ceramics coatings by thermal spraying are very useful to make many functional products. And to make anti-wear materials, oxide ceramics ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ) were sprayed on mild steels by flame spraying and plasma spraying. And tested anti-erosion wear, anti-abrasion wear. Furthermore 10 kinds of thermal spraying materials for long wave infrared radiation were developed. The results are followed.

- 1)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  coatings by plasma spraying are good for anti-erosion wear and anti-abrasion, but these flame spraying coatings are not good.
- 2)  $\text{TiO}_2$  coating by flame spraying is as good as plasma coating.
- 3) 10 kinds of thermal spraying materials which were developed by present work for long wave infrared radiation are useful for industrial products.
- 4) To protect exfoliation of top coat by thermal shock, under-coating is available.

### 1. 緒 言

溶射は表面処理技術の一つであり、従来から耐摩耗、耐食、耐熱等保護皮膜を中心に広く活用されている。又溶射技術は金属、樹脂、セラミックスをはじめ、最近ではガラスの溶射も可能となっている。又被溶射物は、金属、樹脂、ガラス、磁器、木材や紙にまで基本的に可能であるという特長をおのの組み合わせると、従来ない高機能複合材料や、安価な新製品開発の可能性が大きいにある。その様な特長を生かし、近年保護皮膜としてのみではなく、溶射技術を利用した金型製作、遠赤外放射体、面発熱体、異種金属の接合等多くの機能皮膜としての利用が開発、普及しつつある。

一方広島県内の中小企業においては、溶射技術の利用に関する情報、ノウハウの蓄積等溶射のボテンシャルは必ずしも高くなく、製品の高付加価値化をめざす上で、これから課題の一つと思われる。そこで県内企業の溶射技術の普及拡大と溶射を利用した新製品開発を目的に、セラミックス溶射の耐摩耗性の評価及び遠赤外放射材料の開発をめざし研究を行った。その結果、各種セラミックスの溶射方法と、遠赤外放射体の実用化に関する二、三の知見が得られたので以下報告する。

\* 昭和62年度加速的技術開発支援事業・県支援分共通基盤研究

### 2. 実験方法

#### 2.1 耐摩耗性に関する実験方法

耐摩耗用セラミックス材料は市販のアルミナ、アルミニナチタニア、チタニアの3種類とし、溶射方法はガス溶射（S NM 1社製トップジェット2、材料はフレキシブルコード状）とプラズマ溶射装置（プラズマ

表1. セラミックス溶射条件

#### ガス溶射

| 溶射材料   | 溶射条件                                    |  |                         |              |              |
|--|---|--|-------------------------|--------------|--------------|
|  | O <sub>2</sub> ガス<br>流 量<br>(ボルト<br>高さ) | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub><br>ガス流量<br>(ボルト<br>高さ) | ワイヤー<br>速 度<br>(cm/min) | 溶射距離<br>(cm) | エア圧<br>(bar) |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                       | 70                                      | 65   | 25                      | 7            | 4.5          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>+ TiO <sub>2</sub> | 70                                      | 65   | 30                      | 7            | 4.5          |
| TiO <sub>2</sub>                                     | 65                                      | 65   | 35                      | 7            | 4.5          |

#### プラズマ溶射

| 溶射条件      |           |         |         |          | 溶射粉末       |            |            |
|-----------|-----------|---------|---------|----------|------------|------------|------------|
| Ar<br>psi | He<br>psi | 電流<br>A | 電圧<br>V | 距離<br>mm | 速度<br>mm/s | ガス圧<br>psi | 回転数<br>N/m |
| 60        | 60        | 800     | 35      | 100      | 70         | 80         | 3          |

ダイヤー 3600 型) を用いた。溶射条件を表 1 に示す。母材は板厚 3 mm の軟鋼板とし、ガス式溶射法ではモリブデンを約 50 μm 下地溶射しセラミックス皮膜の厚さは約 0.5 mm とした。又プラズマ溶射は下地溶射は行わず、膜厚は約 0.4 mm とした。

摩耗試験は J I S H 8615 に準ずる平面摩耗試験機(スガ式摩耗試験機)及びプラストエロージョン型の A C T - J P 試験機 1), 2) を用いた。平面摩耗試験は荷重 3 kgf, 研磨紙: SiC # 320 とした。

## 2.2 連赤外放射体に関する実験方法

本研究において表 2 に示すような 10 種類の連赤外放射用溶射材料を試作・研究を行った。溶射による連赤外放射体の製作においては、溶射条件によって放射体特性が異なる可能性があり、予備実験により溶射条件の検討を行い、耐摩耗性も考慮してはば適正な条件を見いたした。又溶射膜厚や下地溶射の有無によっても放射体としての使用特性も異なると考えられるので、一部の材料について膜厚の放射特性に及ぼす影響と、耐摩耗性の評価も行った。

表 2. 連赤外放射用溶射材料

| No | 材 料 成 分   |
|----|---|
| ①  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · TiO <sub>2</sub> 41% etc   |
| ②  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> 24% etc   |
| ③  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · ZnO <sub>2</sub> 38% · SiO <sub>2</sub> 16% etc                            |
| ④  | ZrO <sub>2</sub> 67% · SiO <sub>2</sub> 33% etc   |
| ⑤  | NiO 98% etc   |
| ⑥  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · CoO · MnO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                 |
| ⑦  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 35% · MgO · SiO <sub>2</sub> 51.3% etc                                       |
| ⑧  | Zr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · CoO · MnO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| ⑨  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 72% · SiO <sub>2</sub> 28% etc   |
| ⑩  | FeO 59% · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 39% etc  |

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 耐 摩 耗 性

平面摩耗試験及びプラストエロージョン試験結果を図 1, 図 2 に示す。この結果チタニアはガス溶射でもプラズマ溶射でも耐摩耗性はほとんど変わらず手軽なガス溶射でも十分な性能を示すことが判明した。

一方アルミニヤやアルミニーチタニアは溶射方法によって耐摩耗性や皮膜の結合力は非常に異なり、ガス溶射ではこれら材料の特性を十分生かしきることが出来ず、プラズマで溶射する方が望ましい。その理由とし

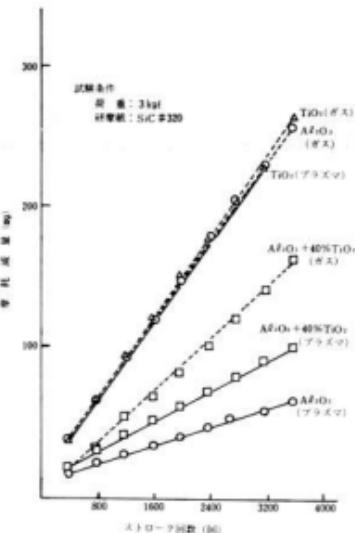


図 1. 溶射法の違いによる摩耗摩耗試験結果

て溶射はパウダーを瞬間にいかに十分溶かし切るかという点と、そのパウダーをいかに高速で母材にぶちあてるかが生命である。チタニアは融点が低く<sup>3)</sup>又硬さもセラミックスの中では比較的軟らかいため<sup>3), 4)</sup>ガス溶射でも十分溶け、かつ結合力も満足出来るものと思われる。しかし、アルミニヤはガス溶射でも可能であるが、融点も比較的高く<sup>3)</sup>硬さも硬い<sup>3), 4)</sup>

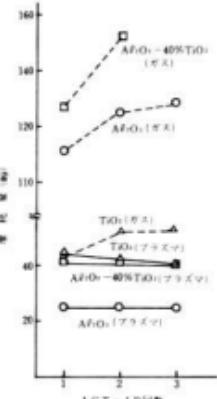


図 2. プラストエロージョン試験結果  
(A C T - J P)

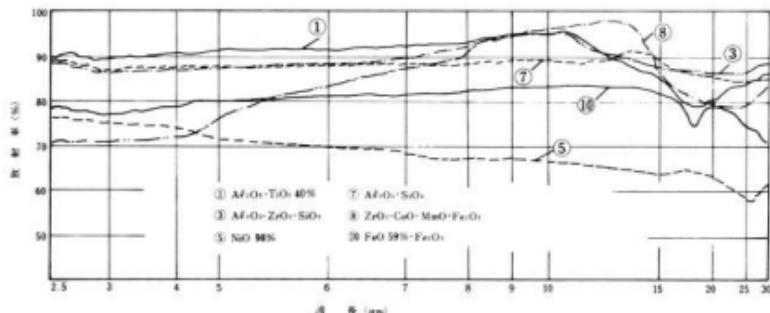


図3. 溶射皮膜の遠赤外放射特性

従って、ガス溶射では十分溶かすことが出来ず、粉末の飛行速度も遅いため、結果として皮膜の結合力も低下し、耐摩耗性も悪くなつたと考えられる。

またプラズマで溶射したアルミニウムは、耐摩耗性及び耐プラスチエロージョン性も非常に良く、チタニアは耐プラスチエロージョン性は比較的良好であるが、耐摩耗性はあまり良くない。アルミニウムチタニアは両者の中間的な性能を示す。

### 3.2 遠赤外放射体

遠赤外放射体用セラミック材料を開発するに当っては、(1) 短波長域の放射率は低いが、長波長域で黒体に近い放射特性を示す。(2) 全波長域で黒体に近いものの2つの方向が考えられる。<sup>5), 6)</sup> 又皮膜の放射特性及び剥離の問題は溶射条件や膜厚によっても変わる事を考慮に入れたソフトの蓄積も大切である。

図3に今回の研究に使用した溶射材料の放射特性の測定例を示す。アルミニウムチタニア系やジルコニア-アルミニウムシリカ系は前者の放射特性を示し、酸化鉄、

酸化コバルト、酸化マンガン等を添加すると、色が黒くなり、放射特性も後者に近くなる。<sup>7)</sup> 図3は一部データを割愛させていただいたが、試作開発材料を含め、本研究の10種類の材料とも遠赤外放射体としての放射特性を示した。なお、⑨のニッケルオキサイドについては欧米では有害物質とされているので、食品加工用等には用いない方が良いと思われる。

次に溶射膜厚の影響例を図4に示す。膜厚の影響も材料の種類によって異なるが、10 μm位だと十分な放射特性を示さないが25 μm以上ではほぼ安定した放射特性を得ることが出来る。

溶射による遠赤外放射体を作成するに当っては、くり返し使用による皮膜の剥離も重要な課題である。この剥離の問題は単に基盤との熱膨張、収縮差のみでなく、図5の熱膨張率の例に示すように、材料の複雑な組成変化に伴う膨張・収縮の変化も考察しなければならない。すなわち組成変化、剥離を考慮すると、材料によって使用される温度はほぼ決められる。例えばアルミニウムシリカ・マグネシア系は400°C以下の使

用、マグネシア安定化ジルコニアやアルミニウム系は700～800°Cでの使用も可能である。

膜厚の剥離に及ぼす例を図3に示す。基本的に基盤にまず下地溶射を行い、その上に遠赤外放射材料を必要最小限の膜厚で仕上げる事が非常に重要である。

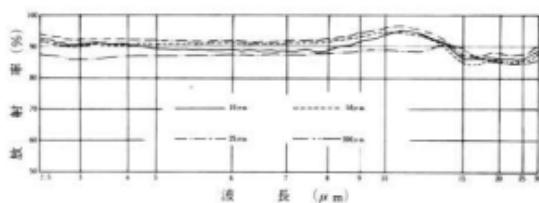


図4. 放射率に及ぼす溶射膜厚の影響

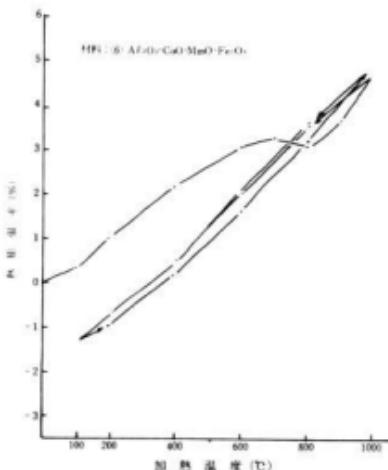


図5. 放射体の加熱温度と熱膨張率(例)

実製品に適用する際は、基盤の材質も含めてそれらの溶射技術のソフトの蓄積が必要とされる。

また遠赤外放射体製品を作るに当って最も重要な事は、加熱される対象物(人・物)に最も合った放射材料を開発、選定することであり、試作開発を含め、本研究に使用した10種類の溶射用遠赤材料はすべて実用化の可能性がある。これら材料の具体的な実用化研究は、食品加工用として、広島県立食品工業技術センター及び当西部工業技術センターで行い、別途報告される予定である。

#### 4. 結 言

県内企業への溶射技術の普及とポテンシャルの向上を目的として、耐摩耗用セラミックスー金属複合体の評価、ならびに溶射による遠赤外放射体の試作開発を行い、主に次の様な結果が得られた。

- (1) アルミニナ及びアルミニナ・チタニアはガス溶射法ではまだ十分な皮膜特性を得ることは出来ないが、プラズマ溶射を用いると非常に良い皮膜特性となる。一方チタニアは、ガス溶射でもプラズマ溶射とはほぼ同じ耐摩耗性を得ることが出来る。
- (2) アルミニナ、アルミニナ・チタニア、チタニアの中ではアルミニナが耐摩耗性及び耐エロージョン性とも最も優れている。又チタニアは耐摩耗性は良く

表3. ヒートサイクルテスト結果(800°C+水冷)

| 材料<br>No. | フッゲ<br>ルート<br>厚さ<br>μ | トープ<br>コート<br>厚さ<br>μ | 繰返し回数 |   |   |   |    |    | 判定<br>(20回) |   |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-------|---|---|---|----|----|-------------|---|
|           |                       |                       | 2     | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14          |   |
| (6)       | 25                    | 50                    | ×     | — | — | — | —  | —  | —           | × |
|           | 25                    | 25                    | —     | — | — | — | —  | —  | —           | ○ |
|           | 25                    | 10                    | —     | — | — | — | —  | —  | —           | ○ |
| (7)       | 25                    | 50                    | —     | — | — | — | —  | —  | —           | × |
|           | 25                    | 25                    | —     | — | — | — | —  | —  | —           | ○ |
|           | 25                    | 10                    | —     | — | — | — | —  | —  | —           | △ |
| (9)       | 25                    | 50                    | —     | — | — | — | —  | —  | —           | × |
|           | 25                    | 25                    | —     | — | — | — | —  | —  | —           | ○ |
|           | 25                    | 10                    | —     | — | — | — | —  | —  | —           | ○ |

ないが、耐エロージョン性は比較的良好である。

- (3) 遠赤外放射体用溶射材料を試作開発を含め、10種類検討し、実用化的メドがたった。
- (4) 遠赤外放射体を溶射で製作するに当って基盤との耐剥離性は非常に重要であり、耐剥離性を向上させるためには、下地溶射を行い、放射体の膜厚は必要最小限とすること、および放射体の種類によって、ほぼ決まる加熱温度上限を守ることが大切である。紙面の都合により一部データを割愛させていただいた。

最後に、本研究を行うにあたり、共同研究員として参加させていただいた大阪大学船接工学研究所の荒田前所属、大森教授を始め多くの先生方に多くご指導を賜わったこと。又遠赤外放射体について昭和電工㈱塗装工場の芳野課長補佐に材料の提供や有益なアドバイスをいただいた事に対し、深く感謝申し上げます。

#### 文 献

- 1) 荒田吉明 他: JWR I, vol 15 No. 2 (1987) P 167 ~
- 2) 大森 明: 日本造船学会誌, vol. 693 (1987年3月) P 118 ~
- 3) 日本溶射協会編: 溶射ハンドブック P 226 ~
- 4) 野地英治 他: 広西工技報告 No.30(1987) P 38 ~
- 5) 白井勝之: 溶射技術別冊 vol.35 (1987) P 48 ~
- 6) 木村嘉孝: 日本電熱協会誌「電熱」 No.20 (1980)
- 7) 野地英治: 熱源センターだより No. 4 (1988) P 18 ~

# 鋳造用金型の耐久性に関する研究

原 信彦、世良時夫、筒本隆博

## Study on Improvement of Durability of Metal Mold for Casting.

HARA Nobuhiko, SERA Tokio and TSUTSUMOTO Takahiro

In order to obtain basic data for improvement of durability of metal mold for casting, temperatures at some positions in metal mold were measured during casting, and these data were compared with the results of calculations by finite difference method using a personal computer.

The highest temperature by heating from the melt, was obtained at the runner, and degree of heating decreased as the distance from sprue increased. Owing to the low thermal conductivity of a sand core, small over-heating was occurred near the core, which was also predicted by the calculation. From the comparison of the measured data with the result of calculation using the model having a ditch, it was found that the ditch from the back of metal mold for setting thermo-couples were supposed to have an effect of elevating temperature of the metal mold near the melt.

### 1. 緒 言

ここ数年続いている円高による輸出不振やNIESの追い上げによる価格競争のため、現在鋳造業界は、苦しい立場に追いやられている。<sup>1)</sup>これにともない、業界内では生き残るために、より一層の合理化や、生産性を上げるための新技术の導入や付加価値を高めるための努力が必要となってきた。

金型鋳造法は、被削性、耐摩耗性、強度の向上による製品の高付加価値化が期待できるばかりでなく、工場環境の改善や省エネルギー、省力化等の利点も持つため、ここ数年注目されつつある、しかし、金型費が高くつくことや、本鋳造法の管理技術に未知の部分が多いことなどのために、一部の企業でコンプレッサー部品、マンホールなどの限られた製品に導入されているにすぎない。そのため、金型コストの低減が中小企業に普及するうえで重要な課題となり、金型の寿命を長くする試みも行われるようになった。<sup>2)</sup>

金型の寿命は注湯時の金型温度変化によって左右される。このため、本研究では実際に銅鉄の溶湯を用いて鋳込み実験を行ない、金型各部の温度変化を測定した。また、パソコンで熱解析を行ない、測定結果と比較検討し、熱的な面から見た金型設計について検討を行なった。

### 2. 実験方法

使用した金型は、銅鉄製で、マンホール(Φ300 mm)

製作用のもので、二つ割の垂直見切り方式で押し上げ方案のものである。

金型は基礎塩型に塗型の影響が少ないとと思われるサントモを、作業塩型にアセチレン煤を使用し、金型温度は約150℃とした。溶解は高周波溶解炉で行ない、FC20相当のものを1380～1400℃で鋳込んだ。

金型温度の測定は、金型の裏面に溝を設け、測定位に穴を開け、K種熱電対を挿入し、バーカッショングウェルダーで溶接して、溶湯接触面(金型表面)で6点と金型表面から10、20、40、60mm入った点で行なった。その温度測定位置を図1に示す。

また金型から製品を取出した後、赤外線熱画像装置

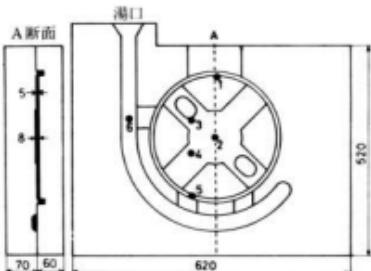


図1. 金型の温度測定位置(点2では溶湯接触面から深さ0, 10, 20, 40, 60mmの位置でも測定した)

を使用して金型の表面の温度分布を観察した。

さらに16ビットパソコンにより有限差分法<sup>3)</sup>を用いた熱解析用のソフトウェアを開発し、実際に使用した金型形状を二次元に簡便化したモデルで熱解析を行ない、測定結果と比較を行なった。凝固処理は温度回復法<sup>3)</sup>により行なった。使用したパソコンは東芝のパシピア16で、本研究に用いたモデル（要素数226）で、凝固伴う2分間のシミュレーションをするのに、一回の計算時間は約90分であった。

### 3. 実験結果

金型表面の温度測定結果を図2に示す。各部の温度変化は、加熱冷却の単純な曲線とはならず、いくつかの変曲点を持っており、特に温度の低かった点1と2では、非常に複雑な温度変化を示した。

金型に注湯した場合、最も加熱される部分は浴湯の流れの激しい湯道、塙前で、最高温度は650～750°Cにも達した。製品となる部分では、400～460°Cであったが、浴湯が最後に到達する上がり部付近では最高温度は320°Cと、塙付近及び製品付近と比較して、かなり低い値を示した。図3では、金型の最高温度を、湯口からの距離に対してプロットしたが、金型による浴湯の冷却の様子がはっきりと現れている。

注湯直後からの温度の立上がりまでの時間を、金型底部からの距離に対して示したもののが図4である。この図から、温度の立上がりは金型底部から順番に起り、浴湯はほぼ水平に上昇し、7～8秒で上がり部に達していることがわかる。

深さ方向の温度測定結果を図5に示す。深さ方向の測定では、金属表面から10mm入った点と金型表面の温

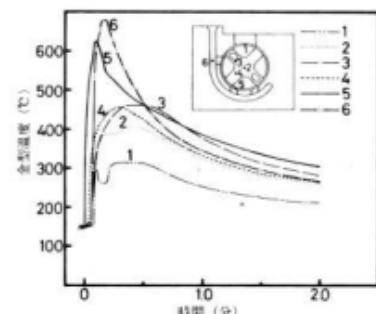


図2. 注湯後の金型の温度変化

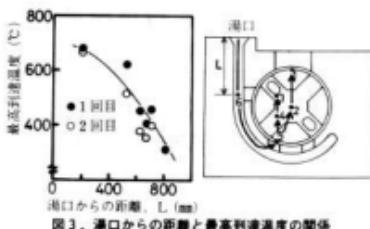


図3. 湯口からの距離と最高到達温度の関係

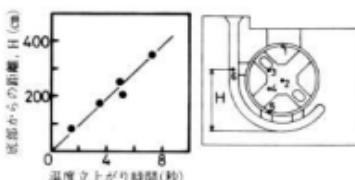


図4. 温度の立上がり時間と鍛物底部からの距離の関係

度差は少ないが、20mm以上入った点では、最高温度は大きく低下し、その時間も長時間側へ大きくなる。また、金型の裏面からの水冷は、この温度測定の結果から、あまり効果がないことが予想される。

### 4. 計算結果との比較と考察

図6に、本実験で使用した金型の熱解析に用いたモデル（上）と、実際の測定点に相当すると考えられる位置の要素の温度変化（下）を示す。モデルは、下部と上部で割り型となるように、その境界は、ある熱伝導率を持つような界面とした。また、実際の鍛物が円形であるため、計算は左辺を断熱界面とし、かつ回転軸となるような回転体と仮定して行なった。計算に用いた材料物性値を表1に示す。

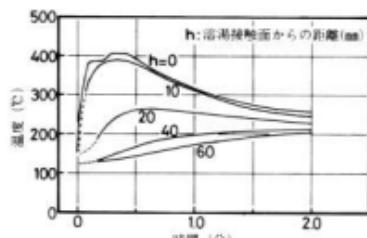


図5. 点2における深さ方向で測定した点の温度変化

■中子 ■溶湯 □金型

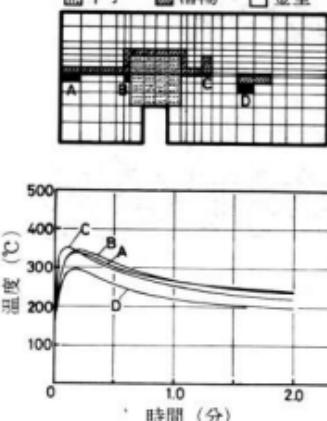


図6. コンピューターによる熱解析結果の一例

図2の実際の温度測定結果と比較すると、概ね低い値を示し、定量的には良い一致は得られなかった。これは、計算のために分割した要素が有限の大きさを持つため、計算で得られた温度が溶湯と接した面の温度ではなく、溶湯と接した要素の温度、すなわち接触面から若干離れた部分の温度となることや、計算に用いた比熱等の材料物性定数を温度に対して一定と見積もったためであると考えられる。さらに図3で指摘した

表1. 热解析計算に用いたデーター

|  | 溶湯   | 金型   | 中子    |
|--|------|--|-------|
| 比重 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )                                    | 7.0  | 7.0  | 1.4   |
| 比熱 ( $\text{cal}/(\text{g} \cdot \text{°C})$ )                   | 0.15 | 0.135  | 0.23  |
| 熱伝導率 ( $\text{cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{°C})$ ) | 0.1  | 0.13   | 0.005 |
| 初期温度 (°C)  | 1300 | 150  | 100   |
| 凝固温度 1150°C  |      | 凝固の潜熱 50cal/g  |       |
| 異種要素間の熱伝達係数  | 0.1  | ( $\text{cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{deg})$ ) |       |

様な、金型による溶湯の冷却が考慮されていないことも考えられる。しかしながら、中子に近接した部分（図2では点3、図6では点B）では、製品となる他の部分より多少温度が上がり、冷却も遅く、中子の保温効果が計算結果にも現れている。また、一般的に言われている、凸部やコーナー部のホットスポットも計算により容易に予測できた。

熱解析の計算では、図3や4で示した様な、金型による溶湯の冷却の効果や、場所による溶湯の到着時間の違いは考慮していないが、金型铸造をうまく近似するためには、こういった現象を計算に反映させなければならないことがわかった。

本実験では、金型の温度測定のために、幅約2cm、深さ6cmの溝を掘っている。これが熱の流れを変化させ、表面温度に影響を及ぼすことが予想されるので、金型に溝がある場合を想定し熱解析を行なった（回転体で計算しているため、実際の計算は円柱状の溝となっている）。計算結果を図7に示す。

図7の左は溝周辺の温度変化を、右は溝から離れた

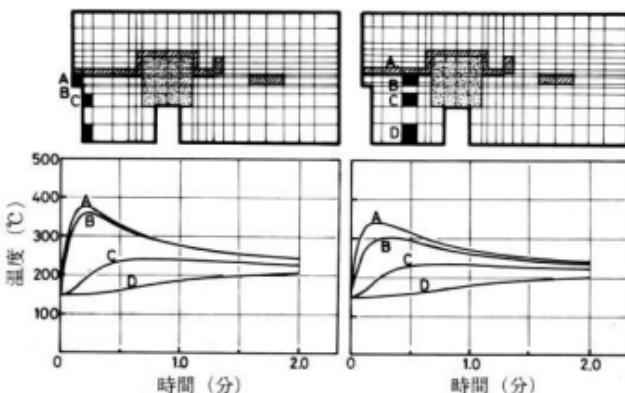


図7. 金型に溝を付けた場合の熱解析結果の一例



写真1. 注湯前の金型の様子

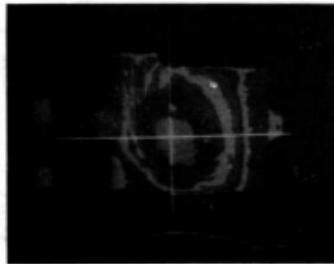


写真1. 注湯前の金型の様子と注湯後8分経過した時の熱画像装置による表面の温度分布

部分の温度変化を表しているが、両者を比較し、顕著に違うのは、溝底部、すなわち要素A、Bの温度変化である。明らかに溝が存在することによって、溝底部は過熱され、溝のない場合より30~50°Cほど高くなっている。またそればかりでなく、A、Bの要素の間の温度差が小さくなっている。これは、溝を作ることによってヒートシンクとしての金型部分が除去され、溶湯に近い要素A、Bの金型による冷却が小さくなつたためと考えられる。

また、測定温度が計算結果よりも高い値を示した理由として、温度測定のための溝を作ったことによる効果も考えられる。こういった効果は、温度測定を行なう際には注意を要することがわかったが、逆に、金型の厚みを変化させることによって、局部的に鋳物の冷却力を変えることが出来るため、これを積極的に利用し、鋳物の局部的な凝固制御を行なう事も可能である。<sup>4)</sup> その場合、本研究で開発した熱解析プログラムは、その効果を予測するための一つの助けとなるであろう。

写真1に、赤外線熱画像装置を用いて測定した注湯後の金型の温度分布の様子を示す。金型を開いて測定しなければならないため、特にホットスポットの予測で問題となる。注湯直後から凝固するまでの初期の温度測定が出来ないという難点もあるが、溶湯に触れた部分は、明らかに高い温度を示しており、加熱された部分を容易に識別できることから、冷却すべき部分の予測には非常に有効であることがわかる。

## 5. 結 言

金型の注湯実験で、各部の温度を測定するとともに、

パソコンによる熱解析を行なった結果、熱的な観点から、金型の耐久性を向上させるためには、次のことを考慮しなければならないことがわかった。

(1) 金型に注湯した場合、最も加熱される部分は湯道で、最高温度は700°C近くにも達した。また、この最高加熱温度は、湯口から離れるにつれ、堰の部分では650°C、製品の部分では400~450°C、上がりの部分ではさらにも320°Cと低下してゆき、熱応力の主要因である温度むらは、このことに強く影響されるものと考えられる。

(2) 中子に近い溶湯接触部分は、他の部分よりも多少過熱され、冷却も遅れる傾向を示した。これは金型部分よりも低熱伝導率であることからくる中子の保溫効果であることが、熱解析によって予測出来た。

(3) 热解析の結果から型温度測定のために加工した溝のため、測定温度が上昇することが予想され、測定温度が計算結果よりも高めになったのは、こういった溝の効果も影響しているものと考えられる。

最後に、本研究で用いた鋳造用金型を快く提供していただいた友鉄工業㈱に対して感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 鋳物協会編集委員会：鋳物 vol. 59, No. 9, P 516, 1987
- 2) 中小企業事業団：鉄系合金金型鋳造システム技術開発公開普及説明会資料、昭和62年度
- 3) 大中逸雄：コンピュータ伝熱・凝固解析入門（丸善株式会社）、P 202, 1985
- 4) 狩野邦彦、水澤繁：鋳物 vol. 59, No. 8, P 460, 1987

# 太陽熱利用による海水より真水の回収

関 守雄、中村和清、天畠正行

## The Recovery Fresh Water from Saline Water by Solar Energy

SEKI Morio, NAKAMURA Kazukiyo, TENBATA Masayuki

This study was examined by the single roofed basin type solar still and carried out the outdoor. As the clear cover of the still, PET film, PVC plate and glass plate were used.

The results were as follows.

- (1) The output of solar cell is correlated by sun energy, therefore solar cell is able to apply the actinometer.
- (2) Sun energy into the glass cover still was different from that into the plastic ones.

The glass cover has formed the water film, the other hand the plastic covers have formed the reflective water drop.

- (3) The glass cover still tends to be affected by the wind.

- (4) Salt concentration of the saline water is richer and richer, the temperature of that goes up and the volatility of water is hindered.

### 1. 緒 言

人間の活動において真水は生活用水、工業用水、農業用水として必須資源で、その需要は文化的バロメータとしてますます増大している。

海水の淡水化<sup>1)</sup>については、石油エネルギーを利用した蒸発法の他、太陽電池利用による電気透析法<sup>2)</sup>や逆浸透法<sup>3)</sup>まで各種の方式が開発されている。

我々は昭和62年度、加速的支援事業として太陽エネルギー利用開放試験室を設置し、日射計、日照計等の気象解析装置を導入し、太陽エネルギー直接利用による海水淡水化<sup>4)</sup>、<sup>5)</sup>、<sup>6)</sup>法として片屋根式Basin型蒸留器による蒸留実験を行い、若干の知見を得たので報告する。

### 2. 実 験

#### 2.1. 装置および機器

##### 2.1.1 片屋根式Basin型蒸留器

太陽エネルギー直接利用法による海水淡水化法として、原理、構造の最も簡単な片屋根式Basin型蒸留器を作製した。構造は上下分割方式とし、上部は蒸留器受光部、下部は蒸留用原水受器からなり各種センサーの取付け等が容易で、蒸留性能等特性を把握する事を目的とした。上部受光部は10mm厚ベニヤ板で図1の如く水平断面90×90cmとし、内面は不飽和ポリエチル樹脂黒色ゲルコートを塗布し、外側には25mm発泡ポリ

スチロール板で保溫した。

下部受器はガラスマット3プライのFRP製で、表面は黒色ゲルコート樹脂加工した。

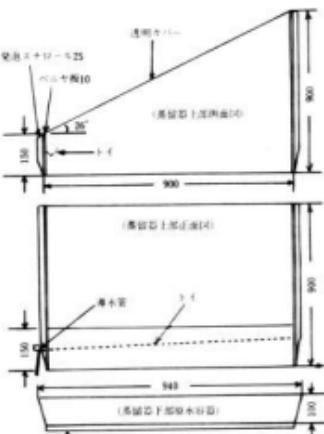


図1. 片屋根式蒸留器の構造 (単位mm)

##### 2.1.2 日射計モニター用太陽電池

蒸留器および蒸留器内への日射量を測定するため太

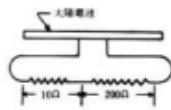


図2. 太陽電池回路図

し、 $10\Omega$ 両端より回路電流を読み取り、日射計日射強度と対応させ、モニターとして使用した。

### 2.1.3 気象解析装置

気象解析用および各種データ集録には、英弘精機株式会社製、精密全天日射計、波長別全天分光日射計、放射収支計、回転式日照計、プロペラ式微風向風速計、通風式ポリマー温湿度計および転倒マス型指示雨量計さらに蒸留器各所に取付けた熱電対温度計、太陽電池出力、株式会社ナーナ製温湿度計等の測定値をSOLAC 2を介し、PC 9801に集録、解析した。

### 2.1.4 透明カバー

蒸留器内に太陽光を取り入れる透明カバーとしては、ポリエチレンテレフタレートフィルム $80\mu\text{m}$ （以下PETという。）、塩化ビニル板 $5.0\text{mm}$ （以下PVCという。）および並板ガラス $3.0\text{mm}$ 厚さの3種類を用いた。

## 2.2 実験方法

2.1.1 蒸留器は同一のものを2台作成し、当センター3階西側屋上に、屋上床面より $50\text{cm}$ 高く、真南に向かって東西方向に約 $2\text{m}$ 離し設置した。

蒸留器中央に原水への日射モニター用SCおよび各所の温度測定用に熱電対温度計を取り付いた。

原水受器には、深さ $25\text{mm}$ 、 $20\ell$ の蒸留用原水を入れる。原水としては、大部分は真水を、一部実験で17%食塩水を使用した。

原水量の調節は、受器側面に約 $10\text{mm}$ の穴を開け、蒸留器上部と下部を重ねて出来る隙間より導入した原水が所定の深さ以上になるとオーバーフローするようにし、朝毎に蒸留により生成した水量以上の補給をした。

蒸留は蒸留器透明カバーを通して太陽光により原水および黒色塗装した受器底が加熱され、原水表面より蒸発した水蒸気は透明カバー裏面で、外気等により冷却・凝縮し、透明カバー裏面を流下し、トイに集まり、さらに塩ビ製導水管を通じて、蒸留器外に置いた雨量計あるいはメスシリンドーに捕集計測される。

尚日射計等の気象測定機は蒸留器設置位置より南東側の4階に設置され、水平方向で $25\text{m}$ 、垂直方向で日

陽電池を使用した。太陽電池（以下SCという。）は京セラ株式会社の多結晶小型PV $16.2(\text{V}) \times 82(\text{mA}) = 1.3\text{W}$ 最適値品3台を用い、

図2の如く抵抗を結線

射計で $5\text{m}$ 、風向風速計は $11\text{m}$ の位置関係にあり、本実験期間は3月初旬より6月6日までの約100日間である。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 日射強度と太陽電池出力

モニターとして使用する3台のSCを水平に設置し各々のSCの出力電流をA<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>とすると、出力電流と日射強度の関係はつきの如くであった。

$$A_1 : A_2 : A_3 = 102 : 100 : 102 \quad (1)$$

日射計と対応させたSC No.2の出力電流をA<sub>2</sub>（A）日射強度（ $\text{kW}/\text{m}^2$ ）をSとするとき、その関係は

$$S = 1.22 A_2 \quad (2)$$

図3の如く日射強度とSC出力電流はよく相関し、SCを日射計のモニターとして使用できる。

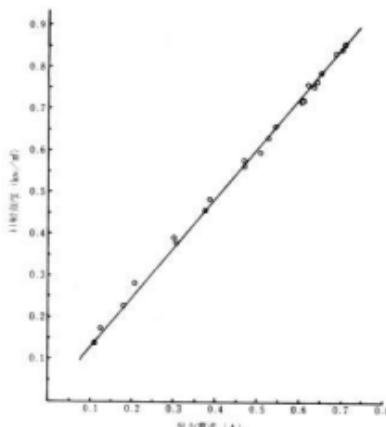


図3. モニタ太陽電池出力と日射強度の関係

なお、気温 $25^\circ\text{C}$ 以上、素子温度 $50^\circ\text{C}$ 以上とSC環境温度が高くなると図3の関係は逆S字に歪む。

### 3.2 各種透明カバーの入射特性

蒸留器透明カバー材として考えられる表1の4種類の材料について、太陽光透過率をモニタSC No.1、3、2台のSCを用いて測定した。

表1. 各種材料の太陽光透過率

| 材 料 | 厚さ<br>(mm) | 透過率<br>(%) | 材 料     | 厚さ<br>(mm) | 透過率<br>(%) |
|-----|------------|------------|---------|------------|------------|
| ガラス | 1.7        | 94         | PVC板    | 5.0        | 91         |
|     | 3.0        | 91         | PETフィルム | 0.08       | 93         |
|     | 5.0        | 89         | アクリル板   | 5.0        | 95         |

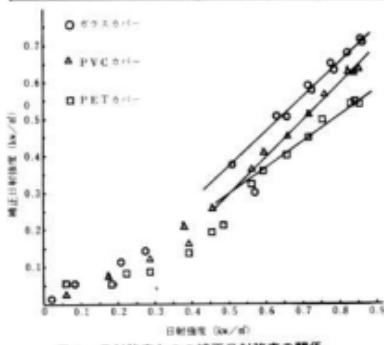


図4. 日射強度とSC補正日射強度の関係

材料単独での太陽光透過率は、アクリルが最も高く実験に用いた材料では、PETフィルム>PVC=ガラスの関係にある。しかし実際にこれら材料を透明カバーとして蓄留に使用すると、蓄留原水より蒸発した水蒸気が透明カバー裏面で凝縮し、水滴あるいは水膜を形成し、蓄留器内への太陽光入射状況は図4の如くである。単独では透過率のよいPETフィルムは、フィルム裏面に1mm以下の微小水滴が全面に付着し、鏡面状態となり、見掛け上は水滴の成長なく頂部より水滴が集合して落とし流下する。PVC板においては、1mm以下から5mm程度まで水滴は成長し流下する。このようにプラスチック材は水との親水性により、水滴による一種の鏡面状態となり太陽光を反射する。これに対し、ガラスにおいては水滴形成はなく、水蒸気は凝縮し水膜を形成し、蓄留器内を透過でき、モニタ-SCによる日射強度は図4の如く、ガラス>PVC>PETの順であった。図4において日射強度0.5kw/m²以下において直線がないのは、太陽高度の低い午前9時以前および午後3時以後において、透明カバーと太陽高度の関係が臨界角以下となり、太陽直達光の入射がない事による。

式(1)(2)より補正した各カバー材の蓄留器内への補正日射強度S'を日射強度Sと日射強度の関係は次の如くである。

|     |          |         |
|-----|----------|---------|
| ガラス | S'=0.960 | S=0.104 |
| PVC | S'=1.006 | S=0.208 |
| PET | S'=0.709 | S=0.055 |

### 3.3 蓄留性能

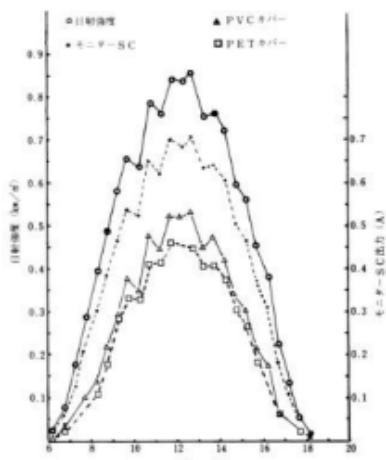


図5. 4月5日 日射強度とSC出力電流の経時変化

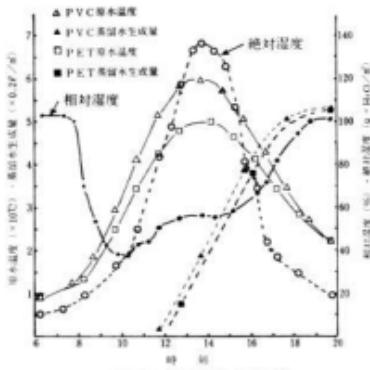


図6. 4月6日 蓄留性能の経時変化

4月6日、日射量6.03kw/m²におけるPVC、PETカバーの蓄留性能は図5、6の如くである。図5は日射強度、モニタ-SCの出力変化を示し、PVC、PETカバーの蓄留器内への日射率は各々67%、58%

で、同様にガラスカバーの場合74%が平均であった。

図6は、PVC, PETカバーでの、蒸留原水として真水を使用しての、原水温度変化および蒸留水生成量さらにPVCカバー蒸留器頂部での相対湿度、それより求めた絶対湿度変化を示す。絶対湿度は、原水温度変化とよく対応し、原水が最高値において天井部温度、絶対湿度もほぼ最高値を示し、単位時間当たりの蒸留水生成量も最大である。

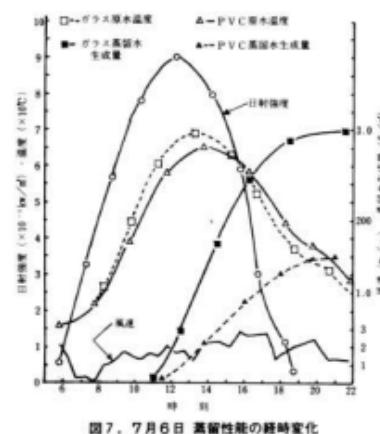


図7. 7月6日 蒸留性能の経時変化

図7は6月6日日射量7.28 kWh<sub>ref</sub> d, PVC, ガラスカバー、蒸留原水真水における蒸留性能を示す。

図の如く光透過性のよいガラスにおいて、原水は早く温度上昇するが、冷却も早く、雲によるスパイク現象が多い場合、ガラスカバーにおいては原水の熱放射による熱損失が大となり、理想通り原水の昇温が得にくいきらいがある、これに対し、PVC, PETではカバー裏面の水滴が太陽光入射を遮るが、原水の熱放射も抑制し、一種の保溫効果を發揮する。

蒸留原水として海水での蒸留性能は、海水塩分濃度が高くなる程太陽光の吸収性は良い。しかし塩分濃度が高くなる程水蒸気蒸発は抑制され、従って蒸留用原水の塩分濃度は薄い程蒸留に有利で、図4直達光が蒸留器に入射するまでに全量交換するのが得といえる。

実験期間3月初旬より6月初旬約100日間の蒸留水生成量は、日射量5 kWh<sub>ref</sub> dの晴天日において、PETでは0.7~1.4 ℓ/m<sup>2</sup> d, PVCでは1~1.7 ℓ/m<sup>2</sup> dガラスでは0.3~2.8 ℓ/m<sup>2</sup> dとPVC, PETでは比

較的狭い範囲で蒸留水生成傾向もやう似ていた。ガラスカバーにおいてバラツキが大きいのは、3mm厚ガラス板の外気による冷却効果が、図7の如く、2 m/s以上の風が平均的にしかも、ガラス正面、真南を中心とした風の場合のみ、効率よく蒸留水が得られ、風向風速の条件が悪い場合、ガラス板自身が熱を持ち冷却作用が期待できない事による。また各透明カバー材毎に、蒸留水生成量の各種気象データ等を重回帰分析したが、明かに有意な回帰式は得られなかった。

#### 4. 結 言

片屋根式 Basin型蒸留器による海水淡水化実験を行いつぎのような結果を得た。

- (1) 太陽電池出力は日射強度とよく相関し、日射計モニターとして使用できる。
- (2) 蒸留器内への太陽光入射は、透明カバー材自身の光透過性と異なり、水との親水性による水滴形成により影響される。
- (3) 太陽熱蒸留器における蒸留水生成形態は、水膜形成のガラス板と、水滴形成のプラスチック材では異なる。
- (4) 太陽熱蒸留器透明カバー、ガラスにおいては、蒸留水生成は、風の影響を強く受ける。
- (5) 海水淡水化において、塩分は原水温度上昇を促進する反面、水蒸気蒸発を抑制する。

#### 文 献

- 1) 中村秀樹 MoI 昭和60年8月号 47~52
- 2) 田中耕太郎、渡部康一 太陽エネルギー (1983) 9, 5, 38~47
- 3) 田中耕太郎、梅原規司、渡部康一、日本太陽エネルギー学会第8回研究発表会講演論文集 (1984-12) 221~224
- 4) 岡村秀昭、渡部康一、日本太陽エネルギー学会第13回研究発表会講演論文集 (1987-12) 101~104
- 5) 相馬伸義 太陽光発電システムシンポジウム (昭和62年3月) 講演集 23/6~30/6
- 6) 安部 俊 ローカルエネルギー地域シンポジウム講演集 (広島) (昭和62年11月) 95~100

# 高放射材料による遠赤外線加熱の研究

天畠正行、中村和清、関 守雄、野地英治

## The Study of Heating by Long Wave Infrared Radiation Using Ceramic Coatings

TENBATA Masayuki, NAKAMURA Kankiyo, SEKI Morio, NOJI Hideharu

The heating of food by long wave infrared radiation was investigated.

Some long wave infrared radiation, such as  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  were coated on the steel plates by thermal spraying, and were used for long wave infrared radiation panels.

The emissivities of infrared ray of the coated plates were higher than that of non-coated one, and by no means inferior to the coating with black body paint on the market.

Therefore, thermal spraying of ceramics is available for the heating of foods and expected to save the energy of this process.

### 1. 緒 言

我が国において、本格的に遠赤外線を利用し始めたのは昭和40年代に入ってからである。

この時期に比較的低温（200～600°C）で赤外放射体と称する物質から長波長の赤外線が放射されることが知られ、一方多くの有機物、化合物等は比較的長波長の赤外吸収帯をもっていることが明らかになつた。そこで、これらの物質の加熱乾燥に長波長の赤外線を照射することが有効であることが知られ、各産業界への適用化が進み、代表的なものとして、塗料の乾燥、農水産物の加熱等に利用されている。このように利用されている遠赤外線放射物質には、セラミック板自体を用いたもの、金属板に塗布したものがあるが、それぞれ大きな弱点がある。そこで本実験では、セラミック板の加工性、塗布したものの耐熱性等の弱点を出来るだけ補うとともに、現在当センターで技術開発が行なわれている溶射技術によって、溶射に適した各種高放射物質を溶射し、その物質の特性を検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 加熱装置及び被加熱物

加熱装置には被加熱物を移動させた方法と、固定したまま加熱するバッテ方式がある。本実験ではバッテ方式を用いた。加熱装置を図1に示す。

加熱ヒーターは400 mm × 300 mm × 70 mmのパネル型で、発熱体に2000 Wのニクロム線を用いた。この加熱ヒーターの昇温速度及び温度分布を図2に示す。

加熱板には高放射材を溶射あるいは塗布したものを使い、いずれも自由に取替えができるものである。

加熱炉は箱型で、内部に棚を付け、照射距離を自由に変えることが出来るものである。

今後、遠赤外線による加熱乾燥が有望視されるのは食品業界である。我が国の乾燥食品の内、小麦粉を使用したものが多いことと、随时入手でき、調製が自由に出きることから、被加熱物として小麦粉を選んだ。配合比及び形状を表1に示す。

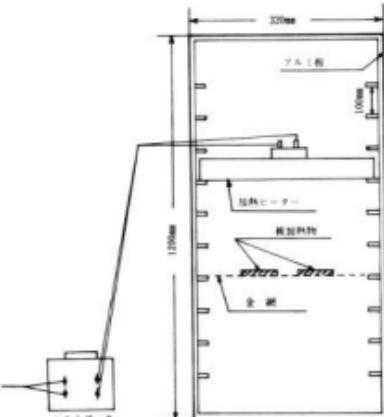


図1. 加熱炉

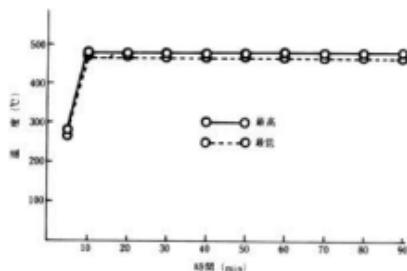


図2. パネル型ヒーターの昇温特性

表1. 被加熱物の配合比及び形状

| 実験の種類    | 配合比(g)                        | 形状(mm)      |
|----------|-------------------------------|-------------|
| 昇温及び水分変化 | 小麦粉1,000+水400                 | 径60<br>厚さ10 |
| 物理的変化    | 小麦粉1,000+水400+<br>ベーキングパウダー30 | "           |

## 2.2 高放射材の種類及び成分

高放射材には各種あるが、本実験に用いた種類、成分を表2に示す。No.1はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、No.2はFeO、No.3はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、No.4はSiO<sub>2</sub>を主成分にした4種類を溶射し、黒体塗料は塗布した。

表2. 高放射材の種類及び成分

| 種類   | 成 分   | 備考 |
|------|---|----|
| No.1 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>   | 溶射 |
| No.2 | FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MnO                       | "  |
| No.3 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | "  |
| No.4 | SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO   | "  |
| 黒体塗料 | ——  | 塗布 |
| 鉄板   | ——  | —  |
| 市販品  | ——  | 塗布 |

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 被加熱物の表面昇温特性

照射距離と被加熱物の温度関係は照射距離が短くなるほど被加熱物の温度は高くなる。しかし急激な加熱による被加熱物に対する影響を考えると、あまり照射距離を短くすることは出来ない。予備実験の結果と文献から本実験は300 mmで行った。

加熱炉の中心部に被加熱物を置き、絶対的に温度測定をした結果を図3に示す。図3の様に対照品の鉄板

に比べ溶射あるいは塗布したものが、加熱時間の経過とともに温度差が大きくなり、60分加熱時で最大23°C (18.3%)、最小10°C (7.9%)となった。溶射した4種類間での差は最大で10°C (7.4%)であった。なお、参考品の市販品は、いずれのものより高い温度を示した。

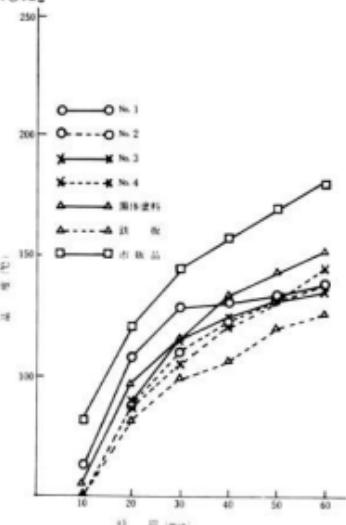


図3. 被加熱物の表面昇温特性

### 3.2 被加熱物の中心昇温特性

表面温度と同様に、加熱炉の中心部に置き、被加熱物の中心部に熱電対を入れ、絶対的に温度測定した結果を図4に示す。表面温度と同様、対照品の鉄板に比べ、溶射あるいは塗布したものが、加熱時間の経過とともに温度差が大きくなり、最大で17°C (21%)、最小で5°C (1.2%)となった。溶射した4種類間での表面温度差の最大は10°C (7.4%)で中心温度差の最大は12°C (14%)で、パーセントで約2倍の差を生じたことは、各高放射材の特性を表わしたものと考えられる。

表面温度、中心温度の実験結果から、認められるることは、対照品の鉄板に比べ高放射材を溶射あるいは黒体塗料を塗布したものが高い温度を示したことは、高放射材の効果を表わしたものと考えられる。溶射した4種類間での表面温度差の最大は10°C (7.4%)で中心温度差の最大は12°C (14%)で、パーセントで約2倍の差を生じたことは、各高放射材の特性を表わしたものと考えられる。

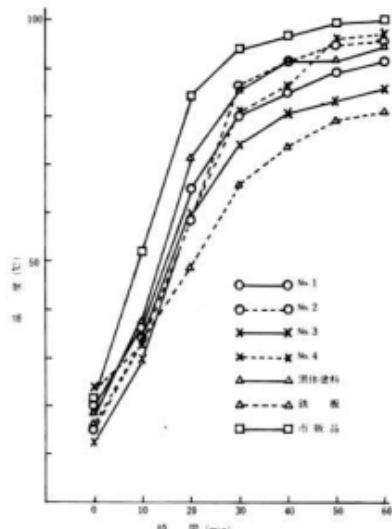


図4. 被加熱物の中心昇温特性

が出たことは、高放射材の特性を表わしたものである。

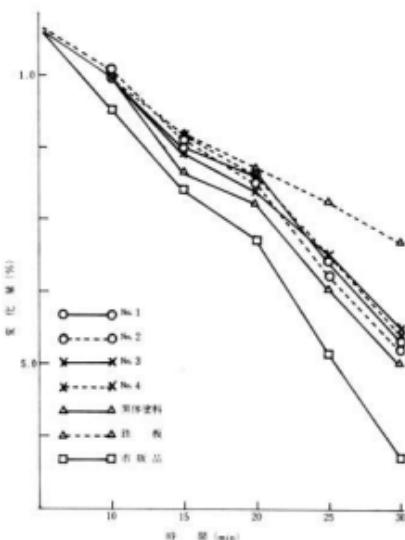


図5. 被加熱物の水分変化

### 3.3 被加熱物の水分変化

被加熱物6個を加熱炉の中心部に置き、絶時的(5分毎)に重量測定し、加熱前の重量との差から減量パーセントを算出した結果を図5に示す。対照品の鉄板に比べ、溶射あるいは塗布したものが、加熱時間の経過とともに、減量差が大きくなり、30分加熱時での差は、最大で1.7%、最小で1.2%であった。溶射した4種類間での差は最大で0.33%であった。

### 3.4 被加熱物の物理的変化

被加熱物の熱吸収性を検討する方法の一つとして、熱吸収に比例して、ガスを発生するベーキングパウダーを用い、物理的変化を測定することにより、各高放射材の特性を検索する一助とした結果を図6に示す。

対照品の鉄板に比べ、溶射あるいは塗布したものが、表面温度、中心温度、水分減量と同様に加熱時間の経過とともに差が大きくなり、30分加熱時で最大7.3mm、最小5.0mmであった。

水分減量、物理的変化の実験結果から認められるることは、対照品の鉄板に比べ、高放射材を溶射あるいは塗布したものが、被加熱物に対し良好な熱を伝え、高放射材の効果を表わしている。溶射した4種類間に差

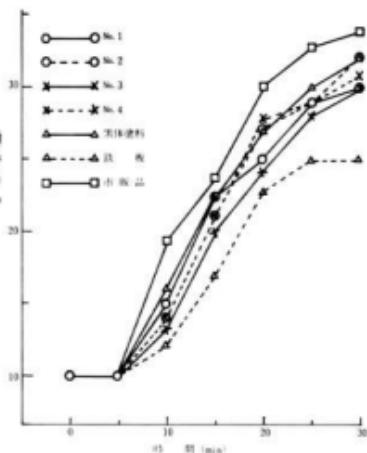


図6. 被加熱物の物理的変化

### 3.5 各高放射材の波長測定

赤外線を最も有効に使うには、高放射材の赤外線放射特性及び被加熱物の赤外線吸収特性ならびに形状など数多くの条件を満たして始めて最高の効率が得られる。

本実験では、黒体炉の放射率を100とし、各放射材（No.1～No.4、黒体塗料、鉄板）との放射率比が何になるかを測定した結果、次のNo.2、黒体塗料、鉄板の3種類を図7、8、9に示す。

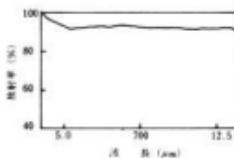


図7. No.2 の波長測定結果

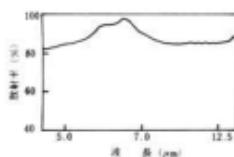


図8. 黒体塗料の波長測定結果

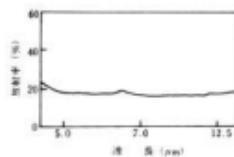


図9. 鉄板の波長測定結果

### 4. 結 言

各種の高放射材を金属板（鉄板、厚さ1.0mm）に溶射あるいは塗布した加熱板を用い、照射距離300mmで、小麦粉を主原料にした被加熱物の表面温度、中心温度、水分減量、物理的変化の4項目について実験し、各高放射材の特性を検討した結果、次のことがわかった。

- (1) 実験した4項目すべて、対照品の鉄板に比べ溶射あるいは塗布したものが良い結果となったことは、高放射材の効果と認められる。
- (2) 表面温度、中心温度について溶射した4種類間で比較すると、 $\text{SiO}_2$ を主成分にしたNo.4が、最低温度を示した $\text{Al}_2\text{O}_3$ を主成分にしたNo.3より $10^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{C}$ 高い温度を示した。この温度差は加熱時間の短縮が計られるとともに、省エネルギーに大きく貢献できる。
- (3) 水分減量、物理的変化について溶射した4種類間で比較すると、 $\text{FeO}$ を主成分にした、No.2が良い結果となった。しかし次に良い結果を示したNo.4との差は、わずかである。のことから、今回実験に用いた4種類の内で、No.4とNo.2の2種類が加熱に適していると考えられる。
- (4) 黒体塗料を塗布したものは、溶射した4種類よりわずかではあるが良い結果となった。
- (5) 加熱による、加熱板の変形が認められたが、使用可能な範囲であった。しかし今後商品化する場合は、材質、厚さ等を検討する必要がある。
- (6) 溶射した加熱板は、熱による剥離もなく、加工性にすぐれていることから、今後期待できる。

### 文 献

- 1) 芳賀幸明他：遠赤外線利用の現状と今後の可能性  
流通システム研究レポートNo.26
- 2) 芳賀幸明他：特集 遠赤外線加熱の理論と実際  
電熱 No.22 (1985)
- 3) 堀 克彦：工業用電気加熱 (財)省エネルギーセンター (1986)
- 4) 高嶋廣夫他：食品と遠赤外線、ビジネスセンター社 (1986)
- 5) 大森豊明：工業材料 Vol.34, No.6 (1986)

# Cu-Zn-Al系形状記憶合金の記憶効果に及ぼす時効の影響

苅山信行, 吉池啓佑, 鈴木 寛, 横山宏樹

## Effect of Aging on Shape Memory Effect of Cu-Zn-Al Alloy

KARIYAMA Nobuyuki, YOSHIIKE Hiroyuki, SUZUKI Hiroshi and YOKOYAMA Hiroki

The effect of aging after quenching of Cu-Zn-Al alloy on shape memory effect was studied in this paper. The results are summarized as follows.

- Transformation temperature, hardness and shape recoverability of this alloy is not affected by the time from quenching to annealing.
- As the annealing temperature rises or annealing time become longer, the transformation temperature becomes higher.
- The annealing at 100°C did not affect to the hardness. At 200°C, hardening started at about 2 hours. At 300°C, only a few minutes required to rise the hardness up to 160% of untreated.
- Shape recoverability after bending was 97% at the larger radius of bending curvature, 25 mm, while it decreased to 70% at the smaller radius, 7.1 mm.
- Crack runs along the grain boundary during repetition of bending and recovering by heating, and fracture surface was intergranular.
- Shape memory effect is recoverable by reheat treatment even in the specimen which lost the memory.

### 1. 緒 言

特異な機能を示す合金の一つとして、形状記憶合金が開発され注目を集めている。使用例としては女性用下着、人工歯板、コーヒーポット、防火用シャター、マドラーなど多岐にわたっている。このように使用されている形状記憶合金は、Ni-Ti系とCu系の二系統である。

Ni-Ti系は素材原料が高価なことと、活性な金属性であるTiを大量に含有するため、製造・加工には高度な技術が要求される。そのため1グラム数百円と高価格となり、経済性に不利となる。

一方Cu系は原料費は廉価で、熱間加工性はすぐれ、深絞りや複雑な形状も加工でき、価格もNi-Ti系の $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{10}$ と安く、今後の伸びが期待できる。しかし、Cu系は結晶粒が粗大化し易いことと焼入後の時効条件による変態温度の変化、形状回復率の劣化、繰返し使用による早期の破壊など検討すべき問題的も多い。

今回、Cu-Zn-Al系形状記憶合金を使用して、焼入後の時効条件が記憶特性にどのように影響するかについて検討を行ったので報告する。

### 2. 試料と実験方法

試料としてはCu-Zn-Al合金の1mm線材を用いた。化学成分(wt%)はZn 25.2%, Al 4.3%, Cu 70.5%である。素材硬さはHv 250である。組織は

写真1に示す白いα相と灰色のβ相の二相である。

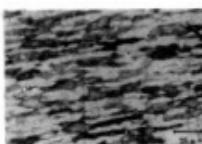


写真1. 素材組織

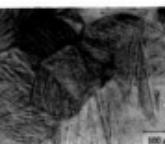


写真2. 焼入れ組織

試料の形状記憶熱処理は直線状態とし、850°Cで10分間加熱後、18°Cの水中へ急冷した。急冷後の組織は写真2に示すマルテンサイドである。

時効処理は100~300°Cの温度で30分、1時間、24時間の3水準を行ったが、時効時間で記憶特性に顕著な変化が観察されたため、100°Cで24時間以上、300°Cで1時間未満の追加試験も加えた。焼入れは電気マツフル炉で行い、時効処理は熱風乾燥炉で処理し、30分未満はソルトバスで行った。

変態点の測定は示差走査熱量計を用い、吸熱反応の開始点をAs点、終了点をAf点とし、発熱反応の開始点をMs点、終了点をMf点とした。

曲げによる回復率は図1に示すように求めた。記憶処理をした試料(a)を室温で曲げ加工(b)を行う。こ



図1. 形状記憶結果の測定方法



写真3. 治具による曲げ加工  
次の角度を  $\theta$  とする。  
次に A f 点以上の 80°C  
に加熱すると (C) のよ  
うに  $\theta$  まで回復する。  
回復率は  $\theta - \theta' / \theta$  と  
した。曲げ加工は半径  
25 mm, 12.5 mm, 7.1  
mm の 3 種類の治具を押しあてて変形させた。7.1 mm の  
曲げ加工の状態を写真3に示す。

### 3. 実験結果

焼入れ(記憶熱処理)後すぐに時効した場合と、焼入れ24時間室温に放置させた後に時効した場合の変態温度の関係を図2に示す。加熱して作動が終了する温度

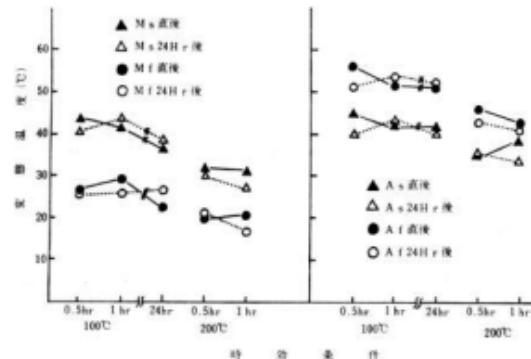


図2. 時効条件と変態温度の関係

A f 点は 100°C の時効では 50~58°C となり、200°C では 40~46°C と低くなる。時効温度が高くなると変態する温度は下がる傾向になるが、24時間放置の影響は直後に比べ傾向に著しい違いは認められない。200°C で 24時間、300°C で 0.5, 1, 24 時間時効した試料は放置時間に関係なく、変態点は現われない。変態点の現われない理由としては、 $\alpha$  相の析出などが考えられる。

図3に 100°C と 200°C に時効した時の硬さの変化を示す。焼入れ直後の硬さ Hv 160 は 100°C で 96 時間時効しても Hv 163~170 とほとんど変わらない。200°C では 2 時間で急に硬化し、24 時間では Hv 260 と最も

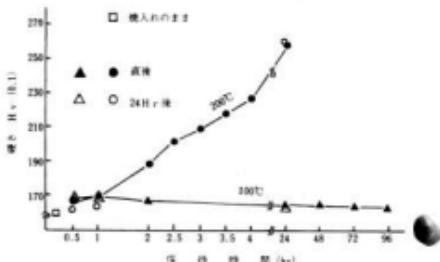


図3. 時効条件と硬さの関係

硬くなる。硬化の原因は  $\alpha$  相の析出ともいわれているが、確認はしていない。300°C で時効した時の硬さの変化を図4に示す。30 分までは Hv 250~260 と変わらないが、それ以上 1440 分(24 時間)では Hv 210 と低くなる。これは時効が進み写真4にみられるように  $\alpha$  相が多量に析出したためと考えられる。因みに 300°C で 1 分~30 分までの硬さと 200°C で 24 時間の硬さはほぼ同じで Hv 250~260 の範囲にある。

曲げ加工後、加熱によって記憶した形状に回復する割合を図5に示す。100°C で時効した試料は曲げ半径 25 mm と曲げ加工度の小さい時は時効時間の影響ではなく、回復率は 97% と非常によい。しかし、曲げ加工度が大きくなると回復率は悪くなり、曲げ半径 7.1 mm では 70~75% までしか回復しない。

200°C の時効では 0.5, 1 時間の処理で 100°C の時効と同じ傾向である。12.5 mm の曲げ加工で



写真4. 300°C × 24hr 時効組織

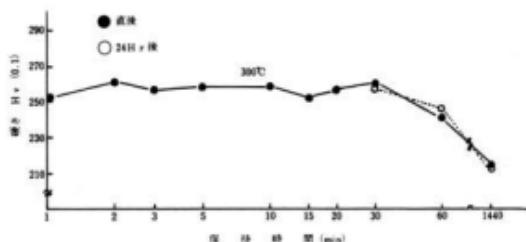


図4. 時効条件と硬さの関係

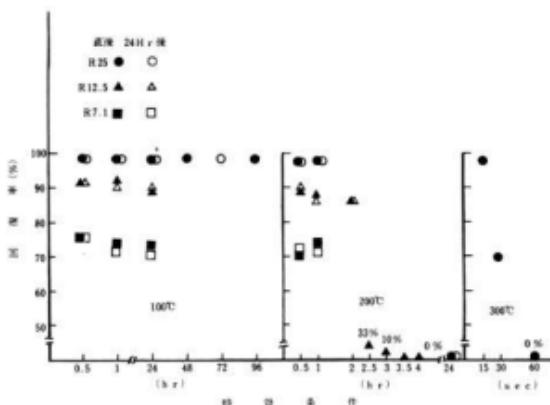


図5. 時効条件と回復率の関係

は2.5時間で回復率は33%と急に悪くなり、3.5時間で0%とまったく回復しない。この時の時効硬さはHv 218である。時効時間が24時間と長くなると、加工度の小さい25mmの曲げでも回復しない。12.5mm, 7.1mm

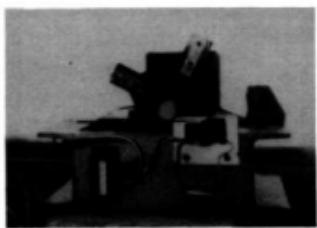


写真5. 曲げ-加熱繰返し試験装置

の曲げは加工時に折損した。焼入直後と24時間放置した試料の回復率の差はほとんどない。時効温度が300°Cでは15, 30, 60秒と長くなるにつれて、回復率は97%, 70%, 0%となり、秒の単位で悪くなる。

このような時効による変態温度、硬さ、回復特性の変化は次の理由が考えられている。焼入時に完了しなかった規則化が時効中に徐々に進行する。<sup>1)</sup>あるいは $\alpha$ 相と $T_1$ 相の析出によるともいわれている。<sup>2)</sup>

焼入れ直後に100°Cで60分時効した試料を12.5mmの曲げ治具で、曲げ-加熱を写真5に示す装置で繰返し試験を行ったところ、1,800回で写真6に示すき裂が入った。き裂に沿って折った破面の走査電子顕微鏡(SEM)写真を7に、試料破断面の組織を写真8に示す。割れは粒界を縫うように進行し、破面は疲労による割れにもかかわらず粒界破壊である。写真8からも粒界割れの特徴がよくわかる。

参考に引張り荷重載荷の破面写真を9~11に示す。写真9, 10は焼入れ直後に100°Cで30分時効した試料のSEM像である。

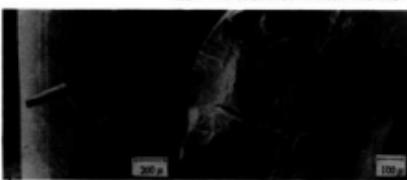


写真6. き裂状態

写真7. 疲労破面

写真9から一部せい性破面は見られるものの、大部分の延性破面が見られることで十分塑性加工を伴った破壊であることがわかる。写真10は延性破面のディンプルである。この試料の硬さはHv 165である。写真11は焼入れ直後に300°Cで30分時効した試料(Hv 260, 記憶特性はない)の破面写真である。写真7に似た粒界破壊であるが、部分的にディンプルが見られる。



写真8. 疲労破壊の断面組織

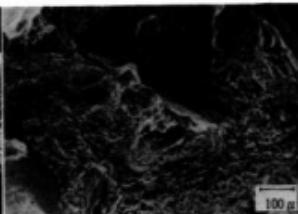


写真9. 100°C × 30分 時効の引張破面

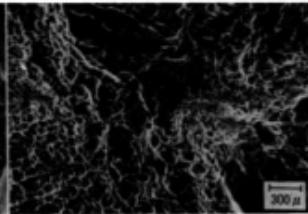


写真10. ディンプル組織

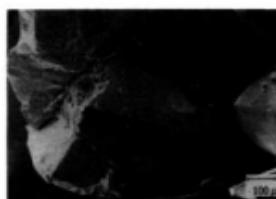


写真11. 300°C × 30分時効の引張破面

形状記憶合金は高価な材料なので、記憶効果を失なった試料の再利用を考え次の処理を行った。200°Cで24時間時効(焼入れ直後)した試

料(Hv 260, 記憶保持して記憶特性はない)を800°Cで10分加熱後、18°Cの水中へ急冷した。800°Cで焼入れたのは、結晶粒の粗大化による脆さを防ぐためであるが、写真12に示す

ように写真2比べ結晶粒の粗大化は著しい。この再処理した試料を100°Cで60分時効した後、硬さ及び回復率の測定を行った結果は、次のとおりである。硬さはHv 165、回復率は25mmの曲げ加工で96%であり、記憶特性は回復している。

#### 4. 結 言

Cu-Zn-Al系形状記憶合金の焼入れ後の時効条件が記憶特性に及ぼす影響を調査した結果、次の事がわかった。

- (1) 焼入後、時効するまでの時間は変態温度、硬さ、形状回復率に顕著な変化を与えない。
- (2) 変態温度は時効温度が高いほど、また時間が長いほど低くなる傾向を示す。
- (3) 時効硬さは100°Cではほとんど変わらないが、200°Cでは2時間で硬化し始め、300°Cでは数分の処理で焼入れ硬さ Hv 160 の1.6倍になる。

(4) 曲げ回復率は曲げ半径が25mmと大きいときは97%とよく、半径の小さい7.1mmは70%と悪くなる。

(5) 曲げ加熱の繰返しで破壊した試料のき裂は粒界を経るよう進行し、その破面は粒界破壊である。

(6) 記憶を失った試料は再焼入れすれば記憶特性を回復する。

#### 文 献

- 1) 鈴木雄一: 実用形状記憶合金, 工業調査会 (1987)
- 2) N.F.Kennen, D.P.Dunn and L.Middleton : Metal Trans A・Vol. 13A (1982), P.551



写真12. 再焼入れ組織

# 播種機用搬送位置決め装置の開発

岡田芳雄、田尾博幸、大下巖、上野道省志\*

## Development of a Positioning System for the Sowing Machine

OKADA Yoshiro, TAO Hiroaki, OSHITA Iwao and UEKAJISAKO Syozi

The environment of agriculture in Japan is not so well, because of small cultivated land, decreasing of farming population and so on. Owing to progressing productivity of land and reduction of labor for sowing. We have developed the controlling system for automatic sowing machine which should locate sowing points accurately and be comparatively cheap considering function.

This system is composed of stepping-motor that has high responsibility and micro processor as a controller, and has the function to set up stop points and repetition times at will.

This system has satisfy the above two conditions and will help the automation of farming.

### 1. 緒 言

農業は、工業に比べて一般に生産性が低い。このため、土地生産性や労働生産性を向上させる方法として、施設内の高度環境制御下において作物を周年的に大量生産する方式が採用されている。その1つの方式として養液栽培があるが、本研究では、この養液栽培における播種機用の搬送装置を開発した。

播種機用搬送装置は稼働率が低いが、比較的高い位置決め精度を要し機能の割に安価でなければならぬ。ここでは、応答性および位置決め精度に優れたステッピングモータを採用し、制御装置として汎用性に富んだマイコンを使用した。この結果、停止位置および位置決め回数が任意に設定可能である。また、播種機と組合せ農作業の省力化と自動化を低成本で実現した。

### 2. システムの構成

図1に本装置制御部の構成を示す、マイコンにはZ-80 CPUを中心として、RAM 2KB, ROM 8KB, 8255を2個搭載したワンボードマイコンを使用した。

マイコンと周辺とのインターフェースは、操作スイッチ、センサおよびリレーとの入出力・表示回路、ディジタルスイッチとロータリスイッチの入力回路、ステッピングモータドライブ回路、電源回路で構成されている。ロータリスイッチの読み込みはポート数が不足するため、バスバッファ74LS244を用いて、時

分割入力方式とした。

種蒔の位置決めは、ロータリスイッチで0.1~99.9mm、また回数は1~40回の範囲で設定可能である。

位置決め制御用モータには、ステッピングモータを使用した。このため、マイコンと接続が容易であり、高精度で応答性に優れた位置決めが可能である。

モータの運転方式は、フィードバック制御に比較してシステム構成が簡単であり、低コストで実現できるオープンループ位置決め制御方式を採用した。この方式は、ステッピングモータの回転角度と、入力信号パルス数が比例するのを利用し、そのパルス数を制御することで位置決め制御を実現するものである。

モータの励磁のタイミングをとる分配信号は、ハードウェアの簡素化及び低成本化を図るためにマイコンで発生させていている。

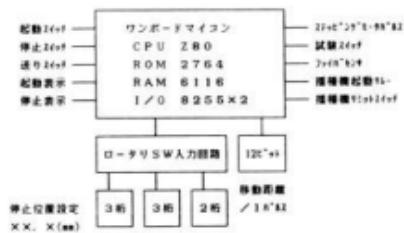


図1. 位置決め制御装置構成図

\* 植物文社製作所

励磁方式は、位置決め精度を向上させるため2相モータを1-2相励磁で駆動する。モータは、このとき1ステップ当り $0.9^{\circ}$ の回転角となり、高分解能な制御が可能である。

### 3. 播種機構の概要

養液栽培では、発芽ストロールの育苗箱の中に養液で浸したスポンジマットを敷き、発芽・育苗を行う。

育苗箱の大きさは $298 \times 600\text{ mm}$ でスポンジマットは、横方向12列、縦方向25列の300ブロックに区切られている。この1区画は $23\text{ mm}^2$ で、中央に種を入れる12行程の十字形の鋭利なスリットが切り込まれている。

最初の播種位置は箱の先端から $22.5\text{ mm}$ の所にあり、2回目以後は $23\text{ mm}$ 間隔となっている。本装置は、これに種を蒔く機械で種蒔部と搬送部から構成されている。その外観を写真1に示す。



写真1. 播種機の外観

播種部は、マット播種位置の開口装置、種子吸着ノズル、種子ボット、真空ポンプ、真空ロータ等で構成されており、カム、クラランク等を使用することにより機械的に同期をとっている。この駆動には、単相誘導電動機を使用した。1行程の終了はリミットスイッチで電気的に検出し、搬送部との同期をとる。

本装置は、12列同時に種蒔を行い、25回で1箱の種蒔が終了する。

図2における種蒔の工程は次のとおりである。

- (1) ファイバセンサで育苗箱の先端を検出する。
- (2) 1回目の播種位置で停止する。
- (3) 種子トレイを1から2へ移動する。
- (4) ノズルをAからBに移動し、真空ポンプで種子を吸着する。

- (5) ノズルをBからAに移動する。
- (6) 種子トレイを2から1へ移動する。
- (7) 開口リングを下げる sponge の播種位置を開く。
- (8) ノズルをAからCへ下げるノズルの圧力を正にして種子を落す。
- (9) 開口リングノズルを上昇させる。
- (10) 2回目の播種位置に箱を搬送する。

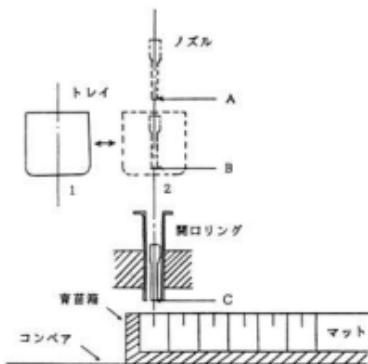


図2. 播種機構の概略図

### 4. ソフトウェアの概要

位置決めプログラムのフローチャートを図3に示す。プログラムでは、まずインターフェース回路における入出力の初期設定を行う。

次に、送り・起動あるいは試験スイッチの入力待ちになる。

送りスイッチが押されると、搬送を行う。これは、1度押すと搬送を開始し、再度押すと停止するよう設定している。

起動スイッチが押されると、位置決め距離、回数、1パルス当りのコンベアの移動量をロータリスイッチから読み取る。次に、これらのデータを基に各停止位置における育苗箱先端からの距離、パルス数および1区間のパルス数を計算してメモリに格納する。続いて、ROMに予め書かれた速度パターンで加速し、定速走行を行う。ファイバセンサで育苗箱の先端を検出すると、メモリから1回目のパルス数を読み出し、定速走行のパルス数と減速走行のパルス数を計算して初回の播種位置で停止する。ここで、播種機を起動する。

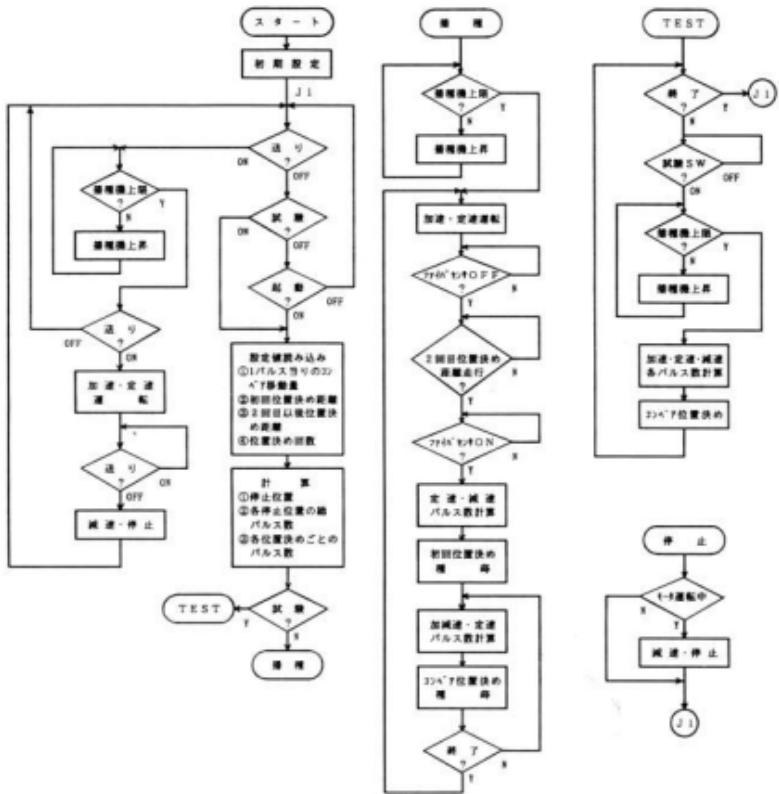


図3. 播種機制御プログラムフローチャート

種蒔の完了をリミットスイッチで検出すると、2回目の位置決めに対する加速・定速・減速の各パルス数を計算し、同様の動作をする。所定回数の播種が完了するとコンペアは次の育苗箱を検出するまで定速走行を続ける。

試験スイッチは、押す毎に設定した距離の位置決めを行う。また設定回数を終了あるいは停止スイッチを押すと運転表示ランプの点灯が変化して試験の終了を知らせる。これは、コンペアあるいはモータのブーリを変更した時の調整用として追加している。

## 5. 位置決め精度

位置決めの誤差は、ロータリスイッチによる設定距離からモータのパルス数への変換の演算誤差、光ファイバセンサによる検出位置のずれ、ステッピングモータの脱調、伝達機構のバックラッシュ、コンペアと育苗箱のすべり等が考えられる。

図4は、光ファイバセンサの感度を一定にして育苗箱とセンサの高さ方向の距離と水平方向の距離に対する検出位置を表したものである。センサの感度、高さ方向の距離あるいは箱の表面状態により検出位置はずれるが、図4ではセンサの高さが3.5mm~10mmの範囲

の変化では0.2mmの変動に収まっている。

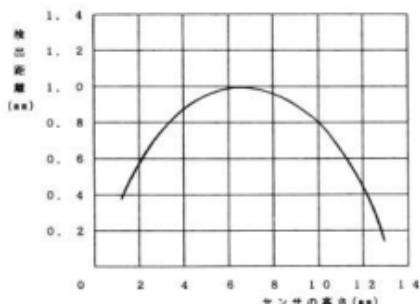


図4. 光ファイバセンサの高さと検出位置の関係

距離設定値からステップ数の変換はマイコンにより2バイトあるいは3バイトの加減乗除を行う。このとき四捨五入によるステップ数の誤差の累積をさけるため、各停止位置ごとに箱の先端からのステップ数を計算して1つ前の位置との差をとり、位置決めパルス数を得ている。

モータ1パルスあたりのコンペア移動量の設定はモータとコンペアのブーリーの比で決まり、マイコンへ

の設定は停止位置設定用のロータリースイッチの数値と実際の移動距離が合うように、デジタルスイッチで0.001～4.096(mm/ステップ)の範囲で予め設定する。位置決めの分解能はこの設定値で制限されることになる。現在は、0.222(mm/ステップ)に設定している。

## 6. 結 言

マイコン制御により汎用性に富んだ播種機用搬送装置を開発した。この結果、従来では困難であったスポンジマットのスリットへの播種が容易となり、育苗生産性の向上および農作業の省力化が可能となった。

- (1) 任意の位置、回数の位置決めがロータリースイッチの設定で可能である。このため、任意の育苗箱の播種に対応できる。
- (2) マイコン制御にすることにより加速、減速をスマーズに行うことができ慣性負荷に対応できる。また、同時に播種機構の制御も可能である。
- (3) 低電圧動作(22V)のため、水を多く使用する播種作業の安全性が高い。
- (4) 現状において、播種機として十分な位置決め精度が得られているが、フィードバック回路を追加すると位置の修正が可能となり信頼性が向上できる。

## 文 献

新村佳久他：ステッピングモータの基礎と応用

## バイオメカニクス技術に関する研究

### 機能高分子による新機能機械素子について

斯波信雄, 鈴木 誠\*

### New Functional Mecanical Elements by Macropolymer

SHIBA Nobuo, SUZUKI Makoto

Recently, desired appearance Small and High power Actuator based on New method, for light and miniaturization needs. Electric motor says that the limit of miniaturization volume is about 1 cm<sup>3</sup>, and so mechanochemical PVA hydrogel is considered hopeful new actuator, that's self energy converting function.

This paper report several experiment results for mechanochemical PVA hydrogel.

1. Gel was expanded or contracted 20~30% its max length by solution exchanging.
2. Gel possibility electric control of PVA hydrogel by electrohydrodynamic control technique.
3. Artificial muscle model was developed force 0.1kg/cm<sup>2</sup>, response time about 5 sec.

#### 1. 緒 言

機械技術研究所において行ったものである。

最近、機械・装置等の小型化・軽量化の要請が強く、これに伴って駆動源をも含めて、駆動部の小型化・軽量化が求められている。アクチュエータとしては表1に示すように種々のものがあるが、小型でしかも大きな出力を出すことが重要である。メカノケミカル伸縮性高分子はそれ自身が自己エネルギー変換機能を持っており、超小型機能アクチュエータとして有望視されている。そこでメカノケミカル伸縮性高分子であるPVAハイドロゲルについて、ゲルの製作、特性把握実験を行った。

表1. 各種のアクチュエータ

| エキスパート              | アクチュエータ   |
|---------------------|---|
| 電気<br>(エレクトロメカニカル系) | 電動モーター<br>圧電素子応用<br>微小変位駆動モーター<br>超音波モーター<br>振動片形超音波モーター<br>表面導電性モーター |
| 熱<br>(メカノサーマル系)     | 形状記憶合金  |
| 化学<br>(メカノケミカル系)    | メカノケミカル伸縮性高分子   |
| 光<br>(フォトケミカル系)     | 光感応形伸縮性高分子  |

この研究は中小企業大学校が主催する中小企業指導員養成課程6ヶ月コースの後半3ヶ月の実習期間中に

\* 工業技術完機械技術研究所

#### 2. 実験方法及び結果

使用したPVAハイドロゲルは、高分子材料PVA(ポリビニルアルコール)、弱塩基性高分子電解質PAAM(ポリアリルアミン)、弱酸性高分子電解質PAA(ポリアクリル酸)の水溶液を適当量混合し、良く攪拌して混合液を作り、これを冷凍解凍を繰り返すことによりフィルム状に架橋したものである。ゲルを作成する場合、通常は架橋材を添加して架橋させるが、冷凍解凍を繰り返すことにより物理的に架橋させる方が均一に架橋できるという特徴がある。

実験に使用したゲルフィルムは、上記の調製液(含水率87%)を、25 μm、50 μmのスペーサを介して2枚の平坦なガラス板で挟み-50°Cで冷凍、常温で解凍

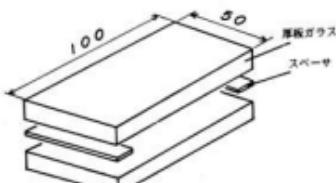


図1. ゲルフィルム作成セット

を10回繰り返すことにより得た。ゲルフィルム作成

用セットの一例を図1に示す。また実験に使用したゲルフィルムの大きさは幅×長さ $10 \times 70$ ,  $50 \times 100$ mm, 厚さ $25$ ,  $50$ μmである。

## 2.1 溶媒交換によるゲルの伸縮実験

ゲルは、それが浸っている溶媒の組成により体積が変化する（したがってゲルの長さが変化する）ことが知られている。溶媒の組成としてPHおよびアセトン濃度を変化させた場合の伸縮実験を行なった。

### 2.1.1 PHを変化させた場合

実験は、NaOH, HCl水溶液の濃度によりPH値を調製した溶媒をあらかじめ用意しておき、PH0からPH1, ..., PH14, PH14からPH13, ..., PH0のようにPHを1づつ増減させてゲルフィルムの長さを測定した。実験結果を図2に示す。この場合使用したゲルフィルムの大きさは、PH7で約10mm角であった。ゲルの体積変化が短時間で完了するように、ゲルフィルムを大量の溶媒の中にいれてスターで十分(10分間)攪拌した後、メガスによりゲルフィルムの大きさを測定した。

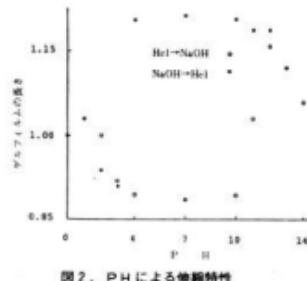


図2. PHによる伸縮特性

図からゲルの長さはPH値を0から14迄変化させた場合では、PH7付近で最も短くなり、PH値を14から0に変化させた場合にはPH7付近で最も長くなっている様子がみられる。またPH1とPH12にピークが見られるが、これはPVAに加えた高分子電解質(PAAm, PAA)の影響と考えられる。長さの変化量は、PH0のときの長さを1として、その約30%であった。

### 2.1.2 アセトン濃度を変化させた場合

アセトン濃度は、アセトンに純水を加えることにより調整した(W/W%)。この実験もPHの場合と同じく、アセトン濃度が10%づつ異なる溶媒をあらかじめ用意しておき、アセトン濃度0%から10%づつ100

%まで増やし、また100%から0%まで10%づつアセトン濃度を変化させてゲルの長さを測定した。この時のゲルの長さの測定は、図3の伸縮実験装置を使用し

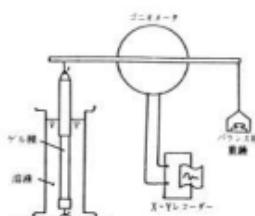


図3. 伸縮測定装置

た。ゲルの長さを測定する場合、ゲルに外部からの力が作用しないように、ゴニオメータの反対側にパラフィンシングウェイトを付けている。実験結果を図4に示す。溶媒がアセトンの場合、アセトン濃度が0、即ち純水の時がゲルは最も長く、アセトン100%の場合が最も短いことがわかる。長さの変化量は、純水中の長さを1として、その約30%であった。

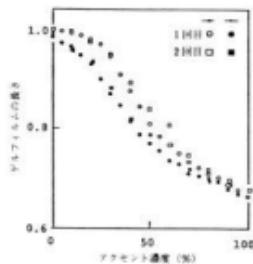


図4. アセトン濃度による伸縮特性

PHを変化させた場合でも、アセトン濃度を変化させた場合でも伸び縮み量はその最大長の約30%程度であった。ゲルの体積変化は、変化量が数百倍、千倍といったオーダーで言われることが多い中で、PVAハイドロゲルでは数倍といつたオーダーであり、ゲルとしてみると変化量は少ない。しかしこれまでに発表された報告の中では、PVAハイドロゲルが10秒前後で応答しているのに対し、今回の実験と同程度の膜厚のゲルの応答が数分を要しており、PVAハイドロゲル

が腐透性に優れた材料であるといえる。

ゲルの体積は、ゲルの浸透圧と呼ばれるゴム弾性、高分子セグメントと溶媒の相互作用、対イオンの圧力といった3種類の力の平衡により決まるといわれている。各種高分子に対するこれら基礎データの充実が望まれている。

### 2.2 ゲルのEHD特性に関する事例

最近、高分子電解質を含んだゲルに、電界等の電気刺激を加えた際の挙動についての研究が行なわれるようになっている。例えば、

- ・電気刺激によるゲルの収縮
  - ・重揚によるゲルの屈曲

これらの現象は、電気流体力学(EHD)的な効果と考えられ。メカノケミカル材料の電気的な制御の一つの方向として注目されている。

メカノケミカル反応(mechanochemical reaction)とは、化学エネルギーを供給すること(すなわち化学反応をおこすこと)によって電気、熱など他のエネルギー形態を経ることなく、直接力学エネルギーに変換される反応を指す。化学エネルギーの力学エネルギーへの変換は、生体内においては、筋収縮の問題として以前から取り上げられているが、ここではメカノケミカル材料であるPVAハイドロゲルの電気浸透圧的な見地から、ゲル制御の可能性を検討するために、以下のような実験を行った。実験装置を図5に示す。

容器は4つのセルからなり、両端のセルには銀市橋



图 5. EHD 实验装置

が固定されている。中の2つのセルには0.1mNから100mNのNaOH水溶液、またはHCl水溶液で満たされており、溶液が移動した場合に各セルの水位を検出できるように、2つのセルにはそれぞれガラス管

が取り付けてある。検査するPVAハイドロゲルフィルムはセルとセルとの間にはさんであり、φ 5の穴で両液に接触している。また、内側のセルと外側のセルとは強塩基性、強酸性の純水製造用のイオン交換膜で隔ててある。外側のセルに固定されている銀電極に直流電圧を印加すると、中の2つのセルに入っている溶液を通して電流が流れまる。このとき、電子の流れに引きずられて、ゲル膜で隔てられた溶液が移動しないか確認することがこの実験の目的である。ゲル膜の左右に生じた電位差と、流れた電流、およびそのとき生じた水位差の時間変化を図8に示す。間から分かるよう

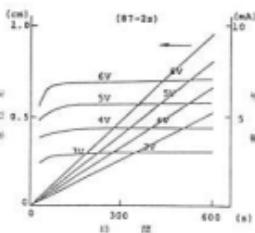


図6. ゲルのEHD特性

に、水位差は時間とともにほぼ直線的に増加しており、イオンの流れにより溶液が引きずられてゲル膜を通り、隣のセルに移動したものと考えられる。即ち、イオンの移動によって共輸送現象が引き起こされることが確認できた。このことは将来電気によるゲル制御への手がかりになるものと期待される。

### 2.3 人工筋モデルの製作

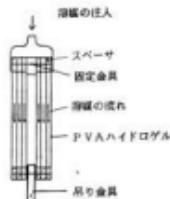
対象として人工筋を考える場合には、性能の目標としては筋肉の発生力、応答スピードということになる。

そこで、筋肉が持つ特性を紹介すると、筋肉の発生し得る強力は強縮時でヒトの場合  $6\sim10 \text{ kg/cm}^2$ 、カエルで  $2 \text{ kg/cm}^2$  と言われている。脳から発せられた信号は  $10 \text{ ms}$  のオーダーで筋小胞体に伝えられる。カエルの骨格筋では筋小胞体は数  $ms$  の遅れで  $\text{Ca}^{2+}$  イオンを放出し筋繊維は  $20\sim30 \text{ ms}$  で活動状態に入る。即ち、発生力を數  $\text{kg/cm}^2$ 、応答時間で數  $10 \text{ ms}$  である。

ゲルの応答時間は、その厚さが薄いほど速いと考えられ。充分な量の溶媒と接触する必要がある。また、ある程度の力を発生するためには、それなりの断面積が必要であり、これらを考慮して集積化をしなければ

ならない。集積度を上げるために、ゲルで細い繊維を作つて使用することも考えられるが、繊維どうしが絡み合わずに集積度を上げることが困難であり、今回試作した人工筋モデルには大型のゲルフィルムを使用した。人工筋モデルに使用したゲルは、厚さ25 μm、幅×長さ50×100 mmの大きさであり、これを数枚重ね合わせて人工筋モデルを製作した。

図7に人工筋モデルの構造を示す。また、図8にその特性を示す。30gr負荷の場合は、収縮量、収縮スピ



昭和 63 年 11 月 15 日 印刷  
昭和 63 年 11 月 25 日 発行

編集兼  
発行 広島県立西部工業技術センター  
〒737 貝市西中央 3 丁目 6-21  
TEL 共局(0823) 643844

印刷所 楽 リ プ ロ  
〒737 貝市昭和町 2 番 1 号  
TEL (0823) 633344