

広島県立西部工業技術センター報告

No. 30

JUN. 1987

目 次

抄 録

一 覧 文

- | | | |
|--|-----------------------------------|----|
| 1. 多機能・多目的知能ロボットの開発 (第1報) (視覚機能とハンドリング機能を有する搬送ロボット) | 蒲田政信・松垣和生・平田敏明・永山博夫 馬場祥宏・南良久治 | 1 |
| 2. レーザ光による簡易金型の開発 | 池田哲宏・蒲田政信・南良久治 | 5 |
| 3. パソコンによる機械要素の簡易CADシステムの開発 | 吉野信行・田尾博幸・平田敏明・糸島寛典 | 9 |
| 4. コンピュータによる集中管理システムの開発 (第3報) (カラー情報高速検出技術の開発) | 永山博夫・馬場祥宏・松垣和生・今出政明 岡田二郎・住本哲宏 | 13 |
| 5. 赤外線による厚み測定装置の開発 | 田尾博幸・岡田芳雄 | 16 |
| 6. 光ファイバ・センサを利用した検査工程の自動化 | 岡田芳雄・新波信雄・池田哲宏・大下 義 | 20 |
| 7. 画像処理による液晶表示器の欠陥検査 | 馬場祥宏 | 23 |
| 8. 付着異物検出装置の開発 | 平田敏明・蒲田政信・吉野信行 | 27 |
| 9. 種研機の自動化に関する研究 | 岡田芳雄・大下 義 上根道彦志 | 31 |
| 10. 白金箔を用いたジルコニアの接合とその界面に関する研究 | 世良時夫・岩本信也・巻野勇喜雄 | 34 |
| 11. セラミックス溶射による機能材料の開発 | 野地英治・吉池信博・畑山信行・横山宏樹 | 38 |
| 12. 繊維強化金属材料 (FRM) の開発 | 土取 功・新田 明・原 信彦 | 42 |
| 13. セラミックスの原料配合及び焼成技術に関する研究 | 丸下清志・浜田英男・藤本宗之・新田 明 高崎宗利・渡辺貞四郎 | 46 |
| 14. セラミックスの薄膜の製作技術の開発 (イオンプレーティング窒化チタン被膜のEPMAによる定量分析) | 梶岡 秀・清水達野・丸下清志・尾辻康博 川下安司 | 50 |
| 15. セラミックスの研削用ダイヤモンド結合剤に関する研究 (ポリイミド樹脂砥石の成形条件と評価) | 藤本宗之 | 54 |
| 16. セラミックス用超音波穴あけ機の開発 | 新波信雄・蒲田政信・田尾博幸 | 58 |
| 17. セラミックスの組成分析技術に関する研究 | 田谷征雄・渡部英雄 | 62 |
| 18. ICP発光分析法による工場排水中の全リンの定量 | 渡部英雄・丸下清志・日色和夫 | 65 |
| 19. 発熱焼型法による一方凝固材料の製造とその高温強度 | 笛本隆博・世良時夫・原 信彦・横山宏樹 矢野哲夫 | 68 |
| 20. 炭素繊維等立体織物を応用した構造体の開発 (一方強化CFRP板の三点曲げ強さに及ぼす加圧 くさびの影響) | 笛本隆博・大橋俊彦・好漢芳邦 | 72 |
| 21. 太陽光を利用した発電に関する研究 | 関 守雄・中村和清・天島正行・吉野信行 | 76 |

BULLETIN
of the
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE,
HIROSHIMA PREFECTURE, WEST

JUN. 1987

Contents

Vol. 30

Scientific Papers

1. Systematic Approach to Intelligent Mobile Robot with Visual Sense
KAMADA Masanobu, HIGAKI Kazuo, HIRATA Toshiaki, NAGAYAMA Hiroo,
BABA Yoshihiro, NARA Ryoji 1
2. Manufacturing of Simplified Blanking Tools by Laser-Cut Steel Plates
IKEDA Tetsuhiro, KAMADA Masanobu, NARA Ryoji 5
3. Development of Simplified CAD System for Machine Elements Using by Personal Computer
YOSHINO Nobuyuki, TAO Hiroyuki, HIRATA Toshiaki and ITOSHIMA Hironori 9
4. Development of Doctor-line Inspection System
NAGAYAMA Hiroo, BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo, IMADE Masaaki, OKADA Saburo 13
5. Development of Infrared-ray Thickness Gauge
TAO Hiroyuki and OKADA Yoshio 16
6. Development of Automatic Inspection System Using Optical Fiber Sensor
OKADA Yoshio, SHIBA Nobuo, IKEDA Tetsuhiro and OSHITA Iwao 20
7. LCD Defects Inspection System Using Image Processing Method
BABA Yoshihiro and HIGAKI Kazuo 23
8. Development of the automatic selecting unit for sheets sticked oliens
HIRATA Toshiaki, KAMADA Masanobu, YOSHINO Nobuyuki 27
9. Development of an Atomatic Sowing Machine
OKADA Yoshio, OSHITA Iwao and UEKAJISAKO Syoji 31
10. Joining of Zirconia Using Platinum Film and Characterization of its Interface
SERA Tokio, IWAMOTO Nobuya,* MAKINO Yukio* 34
11. Ceramics Coatings for Anti-wear by Thermal Spraying
NOJI Hideharu, YOSHIKE Hiroyuki, KARIYAMA Nobuyuki and YOKOYAMA Hiroki 38
12. Fabrication of Fiber Reinforced Metal by the Squeeze Casting Method
TSUCHITORI Isao, NITTA Akira, HARA Nobuhiko 42
13. Study on harmony of ceramics raw materials and its Sintering technics
MARUSHITA Kiyoshi, HAMAOKA Hideo, FUJIMOTO Muneyuki, TAKASAKI Munetoshi,
NITTA Akira, and Wa WATANABE Teishiro 46
14. Quantitative EPMA Analysis of Titanium Nitrides Films by Ion Plating
KAJIOKA Hideshi, SHIMIZU Tatsuma, MARUSHITA Kiyoshi, OTSUJI Yasuhiro
and KAWASHIMO Yasushi 50
15. Effect of Pressing and Curing Conditions on the Physical Properties of PABM Resin Bonded Wheels
FUJIMOTO Muneyuki 54
16. Development of Ultrasonic boring Machine for Ceramics
SHIBA Nobuo, KAMADA Masanobu, TAO Hiroyuki 58

| | |
|--|----|
| 17. Composition Analysis of Ceramics by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission spectrometry TADANI Isao and WATANABE Hideo | 62 |
| 18. Determination of Phosphorus in Waste Water by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry WATANABE Hideo, MARUSHITA Kiyoshi and HIRO Kazuo | 65 |
| 19. Study on Unidirectional Solidification by Exothermic Method TSUTSUMOTO Takahiro, SERA Tokio, HARA Nobuhiko, YOKOYAMA Hiroki and YANO Tetsuo | 68 |
| 20. Compressive Fracture of Unidirectional CFRP Initiated by Contact of Loading Roller in Three-point Bending Test TSUTSUMOTO Takahiro, OHASHI Toshihiko and YOSHIMITSU Yoshikuni | 72 |
| 21. Study on the Use of Photovoltaic Cells SEKI Morio, NAKAMURA Kazukiyo, TENBATA Masayuki, YOSHINO Nobuyuki and | 76 |

Published by
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE, HIROSHIMA PREFECTURE, WEST
6-21, Nishichuo 3chome Kure-shi
Hiroshima 737 Japan

多機能・多目的知能ロボットの開発(第1報)

(視覚知能とハンドリング機能を有する搬送ロボット)

蒲田政信, 檜垣和生, 平田敬明, 永山博夫, 馬場祥宏, 南良治, 小川哲夫, 船場和敏, 姫宮 誠, 尾田隆康, 今村吉男, 浜本智好, 藤田靖人, 尾岩正道, 堀田宏治, 石橋一成

多品種少量生産に対応したFMSを実現するため、従来のロボットの有する機能に物件の形状を認識するための知覚機能、障害物検出センサ、座標計測用センサ等を備えた、電源を内蔵する自律走行ロボットを試作した。

ロボットの主な仕様は次のとおりである。

1. 光学式テープ読み取り方式による走行機能
 2. 直交座標系・関節系いずれにも対応できる5自由度直多関節形マニピュレータ機能
 3. CCDカメラによる視覚機能
 4. 超音波、レーザ変位計による外界認識機能
 5. 無線方式によるリモートコントロール機能
- P 1~4 表2, 図3, 写真2

レーザ光による簡易金型の開発

池田哲宏, 蒲田政信, 南良治

炭酸ガスレーザ加工機を用いて少量生産向きに型費の低減と型製作時間の短縮が図れる簡易金型を試作し加工実験を通して打抜き製品の品質評価を試みた。

この型は6mmの鋼板を雌雄一対で同時にレーザ切断した後、数枚をボルトにより締結した積層構造である。円形抜き型で1mm厚の鋼板をφ50に1000枚打ち抜いたところ、かえり、だれ、寸法等に変化はほとんど見られず、実用上問題がないことを確認した。

さらに、工具刃先の耐摩耗性を向上させるためにデフォーカス法によりレーザ表面焼入れを行なった結果レーザ照射面より1mm以上の深さにわたって、ビッカース硬度800以上が得られた。

また、薄板1mmを積層した円錐絞り型においても、肩割れの発生は認められず、実用化が可能となった。
P 5~8 表, 図7, 写真3, 文献3

パソコンによる機械要素の簡易CADシステムの開発

吉野信行, 田尾博幸, 平田敬明, 糸島寛典

近年、パソコンシステムの高機能、低価格化と相まって、パソコンベースによる一般機械および機械要素に関する簡易CADシステムが多く開発されている。これらのシステムの中で歯車に関するソフトウェアは平歯車、転位平歯車を除いて見当たらない。これらの背景から、本研究では一般機械に使用されるインボリュート歯車に留意し、先ず、平歯車、転位平歯車の形状

設計製図に関する簡易CAD化を図り、さらに平歯車はすば歯車、すぐは傘歯車、ねじ歯車、ウォーム歯車の強度設計に関する簡易CADシステムを開発した。

本簡易CADシステムの開発により、標準歯車の実用設計製図に関する時間短縮、省力化および標準化に寄与できる。

P 9~12 表6, 図5, 写真1, 文献5

コンピュータによる集中管理システムの開発(第3報)

カラー情報高速検出技術の開発

永山博夫, 馬場祥宏, 檜垣和生, 今出政明, 岡田三郎, 住本哲宏

画像処理の適用分野は、イメージセンサ、記憶素子などのハードウェアの高速・大容量・低価格化に伴い農水産物の選別、工業製品の計測・外観検査など多方面にわたっている。

本研究では、前年度に引き続きグラビア印刷のドクター線(線状印刷不良)を対象とした、高速画像処理装置と印刷模擬装置とから構成される高速画像検出シ

ステムを試作した。印刷模擬装置に取り付けられたロータリエンコーダと光電スイッチからの信号によりフィルム上の任意の位置の検査が可能である。

本システムにより、グラビア印刷において、0.1mm幅のドクター線検出が0.5秒で検出可能となり印刷における検査工程の省力・自動化が図れる。

P 13~15 表1, 図5, 写真1, 文献2

赤外線による厚み測定装置の開発

田尾博幸, 岡田芳雄

従来、フィルム等の厚きは製造完了後、人手により測定されることが多く、生産性、品質の安定度、検査コストの面など、解決すべき課題が多かった。またこの測定を、ベータ線によりオンライン上でやっている所もあるが、安全性、操作性などに問題があった。

そこで本研究では、危険性がなく、しかも取り扱いが容易である赤外線を用いて、非接触にオンライン上

での連続測定が可能なる、厚み測定装置の開発を試みた。

この結果、フィルム等の厚み測定が容易に可能となり、検査工程の自動化・省力化が図られる。また設計の追加・変更に対しても、柔軟な対応が可能である。

なおこの装置は、フィルムの厚さの他に、不織布、ガラス板、ビニール板、金属膜など、赤外線を僅かに透過するものにも適用できる。

P16~19 表1, 図4, 写真1, 文献3

光ファイバセンサを利用した検査工程の自動化

岡田芳雄, 斯波信雄, 池田哲宏, 大下 巖

近年、マイクロコンピュータの導入により生産ラインの自動化が急速に進められ製品の高精度化、生産性の向上が行われており、自動検査の要求が年々高まっている。本研究では、検査工程の省力化、自動化の一例として、従来目視検査にたっていた製品の傷、巣等の欠陥の検出を光ファイバセンサで可能とし、マイコン制御による自動化機械で試料の供給、検査、仕分

け作業の自動化を行った。検査対象物は、旋盤等で加工される被加工物で、外周の傷、巣等の外観異常を検出し、仕分けを行う。本システムは、回転テーブル上にベアリング軸受けで固定された4ステーションの検査用治具を配置し、試料の供給、固定、検査、解除、仕分け作業を互いにインタロックをとりながら独立して行い検査の効率化を計っている。

P20~22 表, 図4, 写真1, 文献1

0 画像処理による液晶表示器の欠陥検査

馬場祥宏

(財)広島県産業技術振興機構の行う異業種交流事業を技術支援し、時計・電卓等の表示器として多用されている液晶表示器の欠陥を画像処理技術を用いて自動検査するシステムを開発した。

ハードウェアとして、1/30秒で画像入力可能な256×256画素×8ビット×2面画の画像メモリを製作、ソフトウェアは、ヒストグラム・2値化・ラベリング等の

基本的画像処理機能をアセンブリ語で記述した汎用画像処理サブルーチンライブラリを開発した。この両者を組合せ、液晶表示器の欠陥検査システムを構成した結果、1CPUの場合270秒、10CPUの場合30秒の時間で21mm×49mmのサンプル上の直径0.15mm以上の欠陥を検査できることを確認した。

P23~26 表1, 図7, 写真4, 文献4

付着異物検出装置の開発

平田敏明, 蒲田政信, 吉野信行

各種シート材、自動車用パッキン等に付着した打ち抜きカス等の異物を検出し、良品・不良品を高効率に検査選別する装置を開発した。

本装置はシートの厚みに変化しても装置の調整を全く必要とせず、異物を検出することが出来、良品と不良品の数はカウンターに表示して製品の管理が容易な機構になっている。

この装置の開発により、自動車用パッキンの検査用として、各種パッキンを連続的に無調整で検査することが可能となり、従来のパッキン検査機ではパッキンの厚みが変わるたびに検出部の調整が必要であったがこの検査装置の導入により自動車部品検査工程の大幅な時間短縮による省力化が可能となった。

P27~30 表, 図11, 写真1, 文献

種蒔機の自動化に関する研究

岡田秀雄, 大下 敏, 上堀道志

一般に日本の農業は経営規模が小さく、高齢化による農業従事者の減少等で、稼働率が低い農業機械は、機能が低い割には安価であることが要求される。本研究では、農作業の省力化、自動化の一つとして、従来からある種蒔機の簡易自動化を行った。種蒔機には条蒔と撒蒔があり、播種密度の制御は繰り出しロールの回転速度を走行速度に同期させる方法が採用され

ており、走行速度によらず一定密度で蒔くことができる。しかし、農作物育成における省力化として、畑の畝を一定間隔ごとに穴を開けたビニールで覆い地面の乾燥防止と除草を行うことがあり、種蒔機の回転速度を穴の間隔に同期させる必要がある。このため地面検出機能、およびステッピングモータによる駆動装置を追加して、低コストで種蒔機の機能向上を行った。

P31~33 表, 図5, 写真1, 文献1

白金箔を用いたジルコニアの接合とその界面に関する研究

世良時夫, 岩本信也[※], 巻野勇高[※]

二種類のジルコニアを、白金箔を使用して酸素雰囲気中、1500℃、4時間加熱して接合した。ジルコニア及び白金の前処理として、トリクレン、アセトンで超音波洗浄後、さらに10%ナイトルで超音波処理して、1000℃×2時間、加熱処理した。ZR-11/Pt/ZR-11の接合強さは低かった。しかしYTZ/Pt/YTZの接合では100 MPa以上と高いせん断強さを示した。
※大阪大学溶接工学研究所

YTZジルコニアは高強度で、XPS分析の結果、接合界面にPt-Zr-Oの化合物が形成され、高いせん断強さを示した。

これに対してZR-11/Pt/ZR-11接合体ではジルコニアそのものの強度の低さと、界面にAl, Si, Caなどの不純物が偏析するために、接合体の強度が本質的に弱いものと考えられる。

P34~37 表2, 図4, 写真3, 文献7

セラミックス溶射による機能材料の開発

野地英治, 吉池啓祐, 岡山信行, 横山宏樹

セラミックス溶射は製品等に各種高機能を付加させる事が出来るが、本年度は耐摩耗性機能材料の開発をめざし、アルミナ、アルミナ・チタニア、チタニア、酸化クロム、さらにニッケル基及びコバルト基自溶性合金を、ガス溶射法により軟鋼表面に溶射し、耐摩耗性の評価を行った。その結果

野地英治, 吉池啓祐, 岡山信行, 横山宏樹
対しては硬いセラミックス被膜はあまり適さないが、引っかかり摩耗の摩耗(スガ式摩耗試験)には酸化クロムが最も良かった。

(2)セラミックス溶射被膜を、溶射後ヒットプレスで後処理を行い、気孔や被膜の改質を図ると、耐摩耗性は向上する。またアルミナやアルミナ・チタニアは高温においても比較的硬さ低下が少ない。

P38~41 表2, 図6, 写真1, 文献

(1)土砂摩耗の摩耗(プラストエローション試験)に

D 繊維強化金属(FRM)の開発

土取 功, 新田 明, 原 信彦

強化材として高弾性炭素繊維とアルミナ・シリカ短繊維を用いてアルミ合金(AC2A)との複合化を高圧樹脂鋳造法を行った。炭素繊維はアルミ合金と反応するため、できるだけ低い温度での複合化条件を求め、アルミナ・シリカ短繊維はその恐れが少ないと考えられ、一定の条件で複合化し、強度、耐摩耗性等を試験した。その結果、(1)高弾性炭素繊維/AC2Aの組合せで

では圧力1ton/cm²で繊維予熱温度が450℃、注湯温度700℃以上の条件で健全な複合材が得られることがわかった。(2)曲げ強さは高弾性炭素繊維/AC2Aで約70kg/cm²、アルミナ・シリカ短繊維/AC2Aで32kg/cm²であった。(3)アルミナ・シリカ短繊維/AC2Aはスガ式摩耗試験(ひっかけ摩耗)でAC2A素材に比べ約3倍の耐摩耗性を示した。

P42~45 表1, 図3, 写真5, 文献6

広島県立西部工業技術センター報告

セラミックスの原料配合及び焼成技術に関する研究

丸下清志 浜岡英雄, 藤本宗之, 高崎宗利, 新田 明, 渡辺貞四郎

正方晶ジルコニア (TZP) 粒子分散アルミナ焼結体について、ホットプレス条件の検討をした。

α - Al_2O_3 + 0.1% MgO に 3mol% Y_2O_3 組成の ZrO_2 を 0, 10, 20, [wt%] 配合した混合粉末を、ホットプレス条件として加圧力 (125・250・375 kg/cm²)、焼結温度 (1300・1400・1500 °C) と変化させて 1hr 保持、焼結体 (70 ϕ × 3.2 t mm) の製作を行った。焼結体は SEM 像, 組成像, X線回折パターンから、

α - Al_2O_3 と TZP のほぼ均一に分散した構成相からなることがわかった。焼結体の密度はホットプレス条件として、焼結温度 1400 °C, 加圧力 250 kg/cm² から平衡密度に到達するが、 ZrO_2 組成比率の増大は焼結性を低下させ気孔を増大させる傾向がみられた。また、TZP 粒子分散の効果により K_{1c} は $8\text{MN}\cdot\text{m}^{-3/2}$ 程度まで向上させることができた。

P46~49 表 3, 図 4, 写真 2, 文献

/630

セラミック薄膜の製作技術の開発
イオンプレーティング窒化チタン被膜の EPMA による定量分析

梶岡 秀, 清水達磨, 丸下清志, 尾辻康博, 川下安司

セラミック薄膜の化学組成を知ることは、その薄膜の特性を知る上で非常に重要である。TiN 薄膜に対してオージェ電子分光法や X線光電子分光法での定量分析の報告もみられるが、数 μm 程度の被膜の平均的分析には EPMA の方が適している。すでに窒化物薄膜の EPMA による定量分析について報告が見られるが、我々は EPM-810 (島津製作所製) を用いて、イオン

レーティング法によって作成した TiN 被膜の EPMA の定量分析を試みた。 N_2 ガス圧が大きいイオンプレーティング条件下で生成した被膜の分析値は化学量論と良く一致し、正確さを裏づけていると考えられた。また、バラツキも $\pm 4\%$ 以下であった。設定した EPMA 測定条件で TiN 薄膜の定量分析が可能と思われる。

P50~53 表 4, 図 5, 写真 1, 文献 6

ポリイミド樹脂砥石の物性に及ぼす成形条件の影響

藤本宗之

超砥粒砥石による研削におけるレジソンドの熟劣化を防ぐ方法として、耐熱性樹脂であるポリイミド樹脂を砥石結合剤に使うための成形と硬化の条件を求める実験を行った。

充填材として GC#800 を使い、原料樹脂と 60 対 40 の割合で混合し金型に入れ、プレスの温度と圧力を変化させて成形した。成形体は各種温度で硬化した後、気孔

率・曲げ強さ・硬さ等の物性を測定し、最高の物性を示す製造条件を求めた。

実験の結果、砥石の最適製造条件は、プレス温度が 130~140 °C、プレス圧は 1ton/cm² 以上、硬化温度は 200 °C が求められた。

P54~57 表, 図 6, 写真, 文献 4

セラミックス用超音波穴あけ機の開発

斯波信雄, 蒲田政信, 尾田博幸

セラミックスのような硬脆材料に有効な加工法として、超音波加工法がある。そこでセラミックスの穴あけ加工を目的とした超音波加工機を試作し、若干の加工実験を行った。

試作した超音波加工機は超音波発信器と加工機本体から構成されている。超音波加工は共振系の共振を利用する加工法であるため、超音波発信器の発振周波数

と振動系の共振周波数が一致している必要があり、発振方式としては振動解還方式を採用した。また、外部からの信号を入力して振動子を励振できるように工夫している。加工機本体は、手動により XY 方向に 15 × 10 cm, 上下方向に 8 cm の移動が可能である。

加工実験としては、加圧力及び振動波形が加工スピードに及ぼす影響を調べる 2~3 の実験を行った。

P58~61 表, 図 9, 写真 1, 文献 2

抄 録

広島県立西部工業技術センター報告

セラミックスの組成分析技術に関する研究

田谷征雄, 渡部英雄

窒化ケイ素中の鉄, マグネシウム, カルシウム, アルミニウムの4元素の定量法について検討した。

これらの4元素の最適な測定条件は高周波電力1.0 KW, 測光位置は16mmであった。共存物質の影響については, 10倍量の陽イオンを共存させて検討した結果共存による影響は認められなかった。

また鉄, マグネシウム, カルシウム, アルミニウム

の10回測定による検量線を作成したところ, 相関係数はいずれも0.999以上でありこの時の検出下限(3 σ)は0.0016mg/g, 0.013 mg/g, 0.0011mg/g, 0.0091 mg/gであった。なお, 本法による実試料を分析し, 原子吸光光度法と比較した結果両者の差は認められなかった。

P62~64

表2, 図2, 写真0, 文献3

I C P 発光分析法による工場排水中の全リンの定量

渡部英雄, 丸下清志, 日色和夫

真空紫外領域の波長を用いて, I C P 発光分析法による全リンの定量法について検討した。波長177.50 nmでは, 銅, ニッケルが10mg共存すると正の干渉を示したが, その他の陽イオン, 陰イオンは100mg共存しても影響なかった。一方178.29 nmでは, ヨウ素イオンが共存すると著しい正の干渉を示したが, その他のイオンについては, 影響なかった。

また, 10回測定における検量線を作成したところ, 相関係数は0.9999であり, この時の検出下限(3 σ)は0.008 mg/gであった。

本法を工場排水に応用し, 吸光法と比較した結果偏差は3%以内であり, 良好な結果が得られた。

P65~67

表4, 図2, 写真0, 文献5

発熱鋳型法による一方凝固材料の製造とその高温強度

筒本隆博, 世良時夫, 原 信彦, 横山宏樹, 矢野哲夫

本研究では, Fe-30wt%Cr-2.8wt%C系高クロム鋳鉄を, 発熱鋳型法により一方凝固させるための技術的検討を行なった。また, この方法により作成した材料の凝固組織と高温強度を, Bridyman法のそれと比較した。その結果, 次のようなことがわかった。発熱鋳型法で, 鋳型表面から凝固が起こらないための鋳型の最低加熱温度は, 鋳物の径が小さいほど高い。G/R

(G:温度勾配, R:凝固速度)が小さいと, 凝固組織の方向性が低下する。発熱鋳型法の凝固組織はBridyman法のそれに比べると細かいが, 凝固方向の断面でいくぶん不規則となる。発熱鋳型法は, Bridyman法に比べ高温強度は高くなるが, クリーブ強度は期待したほど高められない。これは, 組織が不規則なため, アスペクト比が低下することによるものと考えられる。

一方強化CFRP板の三点曲げ強さに及ぼす加圧くさびの影響

筒本隆博, 大橋俊彦, 好調芳邦

一方強度CFRP積層板の曲げ強度に及ぼす加圧くさびの接触の影響を調べるため, 加圧くさび先端の半径rを変えたり, 試験片と加圧くさびの間にシートを挿入して, 三点曲げ試験を行なった結果, 次のようなことがわかった。金属性の加圧くさびで直接, 三点曲げ試験を行なうと, 加圧くさび直下近傍で剪断的な圧縮破壊がひき起こされ, 曲げ強度を大きく低下させ

た。この圧縮破壊の開始する応力 σ_{com}^I は, 加圧によって試験片に加わる加圧力 $P/\omega b$ が小さいほど, また加圧くさび半径rが大きいほど, 高くなり, $\sqrt{r/P/\omega}$ のパラメータで整理できた。加圧くさびと試験片の間に, 軟質シートを挿入すると, この圧縮破壊の開始は大きく抑制され, 約0.2mm以上のシートで十分な抑制効果が得られた。

P72~75

表1, 図8, 写真1, 文献10

抄 録

広島県立西部工業技術センター報告

太陽光を利用した発電に関する研究

関 守雄, 中村和清, 天島正行, 吉野信行

多結晶シリコン太陽電池を用い、太陽電池の発電特性の検討および太陽電池応用製品、応用システムの開発を行い次のような結果が得られた。

(1)太陽電池の発電出力に及ぼす因子として、太陽光強度(A)＞太陽光受光角度(B)＞温度(C)＞太陽電池汚れ(D)の順に主効果が寄写し、A×C、B×Cの交互作用が有ることが分った。

(2)太陽電池の発電出力は、太陽追尾に比べ、真南30°固定で73%、水平固定で39%であった。

(3)Mn乾電池6V、300mAの小型コンプレッサーを太陽電池を応用し、小型空気揚水筒を試作した。

(4)家庭用養魚用水循環装置を太陽電池メカトロ技術を組合せたシステムの開発を行なった。

P76～79

表6、図9、写真、文献9

多機能・多目的知能ロボットの開発(第1報)

視覚機能とハンドリング機能を有する搬送ロボット

蒲田政信, 檜垣和生, 平田敏明, 永山博夫, 馬場祥宏, 南良良治
 小川哲夫³, 船場和敏⁴, 姫宮 誠⁵, 尾田隆康⁶, 今村吉男⁷
 濱本智好⁸, 藤田靖人⁹, 尾岩正道⁸, 藤田宏治⁸, 石橋一成¹⁰

Systematic Approach to Intelligent Mobile Robot with Visual Sense.

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

In the present paper, we shall try to manufacture intelligent autonomous robot with visual information processing function, external measuring function, acting position measuring function, for actualization of FMS (Flexible Manufacturing System).

This intelligent mobile robot has wide application, so to summarize our interpretation of the specification or function of this intelligent robot, we can explain as follows.

1. Locomotive function, controlled by photoelectric sensor.
2. Visual sense function, by digital image processing with CCD camera.
3. External measuring function, by ultra-sonic sensor and lazer displacement meter.
4. Remote controlled communicate function, by wireless, modem.

【研究の概要】

多品種少量生産に対応したFMSを実現するため、従来のロボットの有する機能に物体の形状を認識するための知覚機能、障害物検出センサ、座標計測用センサ等を有する、電源を内蔵した自律走行ロボットを試作・開発する。

研究は(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社から派遣された研究者と広島県西部工業技術センターとの共同研究として次の5項目についてグループ毎に開発目標・開発テーマを定め研究を進めた。

- A: 機能ハンド開発グループ
- B: ロボット用センサ応用技術グループ
- C: 走行機構等DCモータ制御技術グループ
- D: マニピュレータ制御技術グループ
- E: 形状認識等視覚機能処理技術グループ

Aのグループは形状の複雑なワークの把持にも柔軟に対応できる高機能ハンドの開発、Bグループは走行経路における障害物検出及びロボットと作業ステーション

間の相対座標の測定用センサ等ロボット用センサの応用、Cグループは自由度の高い走行機構を実現するためにドライブ及びステッピング用DCモータ制御技術、Dグループはマニピュレータ制御技術、Eグループは工具・ワーク等を認識・識別するための画像処理ソフトウェアの開発を担当した。

1. 結 言

ロボットの定義は自動機械から知能ロボットまで広い範囲に及ぶ解釈があり明確に定義されていない。しかしながら、ロボットの進化の究極は限りなく人間に近づくことであり、この目的に向かってたまたま高度知能化および複雑な動作を達成すべきメカニズムの研究がなされている。

ロボットの機構・機能は人間と対比してみれば、足に相当するものに車輪・キャタピラー・2~6足歩行等の移動走行機構、腕に相当するものはマニピュレータがあり、直交座標・極座標・円筒座標・多関節を基本として様々なパリエーションのものが開発されている。更に、指に相当するハンドは吸着・はさみ・つま

¹ 三業工業㈱, ² ㈱日本製鋼所, ³ ㈱能平製作所, ⁴ 広島ハウジングサービス㈱, ⁵ 万国製針㈱

⁶ インターフェース㈱, ⁷ ㈱東洋シート広島工場, ⁸ 日機工業㈱, ⁹ テンペール工業㈱, ¹⁰ ㈱三豊製作所

み・にぎり等非常に多くの把持機構が開発されており、これらはすべてコンピュータで制御される。

今回試作した知能ロボットは光電センサによる軌道走行機構に、5自由度多関節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。

知覚機能としてCCD固体撮像素子による視覚機能超音波による軌道上障害物検出センサ、ロボットと作業ステーションとの相対位置測定のためのレーザ度位計、作業ステーション検出のための光電センサ等をもつものである。

2. 知能ロボットの構成及び仕様

ロボットの構成を図1に、仕様を表1に示す。

ロボットの制御はパーソナルコンピュータ（FDD 1MB×2台内蔵）を使用し、パーソナルコンピュータのマザーバスに制御の対象となる機器が接続される。マニピュレータはセントロニクス・RS232Cのいずれにも接続が可能で、直交座標系・関節系のどちらでも移動位置指定ができる。

視覚機能はCCD固体撮像素子カメラを使用し、RS232C（9600BPS）でコンピュータとのデータ送受信を行う。

ロボットへの指令はワイヤレスモデムにより無線リモートコントロールできる。また、走行装置は三輪車で、前二輪で駆動とステアリング機能を兼ねている。

超音波センサはロボットの走行経路における障害物の検出を、光電センサは作業ステーションの検出に使用する。

レーザ度位計は作業ステーションとロボット自身との相対座標を測定する。

表2に制御機器とコンピュータとのインターフェース仕様及びI/Oアドレスの設定状況を示す。汎用PP1は16ビットの上位アドレスをデコードして使用している。

2.1 走行機構の制御

走行装置はDCモータをバッテリー12Vで駆動し光電センサによる光反射テープ読み取り方式で制御している。走行速度は一定でStart, Stopをコンピュータで制御する。

ロボットは障害物の検出を超音波センサで、作業ステーションの検出を光電センサでおこなっている。

レーザ度位計は75mm離れた点を中心として±25

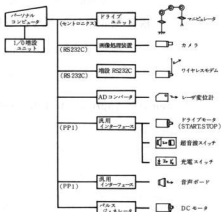


図1 知能ロボットの構成

表1 知能ロボットの仕様

| 項目 | 仕様 | 仕様 |
|------------------------|-------------------------------------|---|
| 制御装置 (DEC PC9010) | CPU メモリー フロッピーディスク 言語 | 8086 640Kバイト 5インチ 1Mバイト×2台 BASIC (MS-DOS) |
| マニピュレータ (三菱 RM-501) | 自由度 駆動 可搬重量 運動速度 位置決め精度 | 5自由度多関節型 DCモータ MAX 1.2kg ±0.5mm |
| 走行機構 | 運動制御の方式 駆動 | 光電センサ 三輪、うち一輪走行・ステアリング機能 |
| 知覚機能 | 分類 機能 カメラ | 256×240画素 連結性解析等56項目の特徴検出 CCD固体撮像素子(オートアイリスレンズ) |
| センサ | レーザ度位計 光電スイッチ 超音波スイッチ | 基準距離・測定範囲 検出距離 検出距離 |
| 通信機能 (ワイヤレスモデム) | 通信距離 伝送速度 無線送受信距離 | 約100m DC-9600BPS VHF |
| 音声機能 | 音声ボード | 8ch |

mmの区間を測定することが可能で、これによって高さ(Z)を測定する。

2.2 視覚機能およびセンサ

CCD固体撮像素子カメラは自動露出機能付きレンズを装着し、マニピュレータのリスト部に取り付け、作業ステーションワークテーブルは透過照明とした。

視覚機能の作業は物体の認識、すなわち形状を予め登録したワーク(工具、ボルト等)の識別および識別

表2 知能ロボットのインターフェース仕様
及びI/Oアドレスの設定

| 制御対象 | インターフェース仕様 | I/Oアドレス |
|----------|------------|-------------------------|
| マニピュレータ | セントロニクス | 40H-42H-44H-46H |
| 画像処理装置 | RS232C(1) | 30H-32H |
| ワイヤレスモデム | RS232C(2) | 80H-81H-83H |
| RESERVED | RS232C(3) | 82H-89H-85H |
| レーザ変位計 | A/D変換器 | D2H-D3H |
| ドライブモータ | 汎用PP1(1) | 80DEH-81DEH |
| 超音波センサ | | 82DEH-83DEH |
| 光電センサ | | |
| RESERVED | 汎用PP1(1) | 84DEH-85DEH-86DEH-87DEH |
| 音声ポート | 汎用PP1(1) | 80DEH-81DEH-82DEH-83DEH |
| D/Cモータ | パルスジェネレータ | 40DEH-41DEH |

したワークの觸み点（ワークの重心のX, Y座標, および外接長方形の長軸の傾き θ ）を計算し, これをマニピュレータに觸み点データとして渡す。

さらにワークを置く位置の認識および作業ステーション番号の認識等を行う。

また, 高さ(Z)の測定はレーザ変位計を使用した。カメラの視野は固定標準16mm, F1.4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。

写真1にマニピュレータへカメラを取り付けた状態を示す。

2.3 マニピュレータ

マニピュレータは5自由度垂直多関節ロボットで最大可搬重量が1.2kgと軽作業用であるため, 作業内容に制約を受ける。

マニピュレータの移動座標は(X, Y, Z, Lp, L1)の直交座標, ($W\theta$, $S\theta$, $E\theta$, Lp, L1)の関節系いずれでも指定できる。ただし, Lpはリストピッチ, L1はリストールの各角度を示す。また $W\theta$ はウエスト, $S\theta$ はショルダー, $E\theta$ はエルボの各回転角度を示す。

コンピュータとのインターフェースはセントロニクス, RS232Cいずれにも対応できる。

2.4 機能ハンド

ハンドは複雑形状部品の把持にも柔軟に対応できる

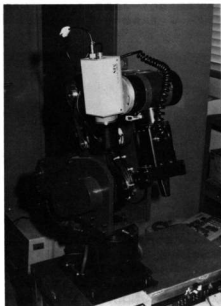


写真1 マニピュレータへのカメラの取り付け

ようマグネットを利用し, ステッピングモータで駆動される2本のスピンドルで位置決めができるようになっている。

写真2にマグネットハンドの外観を示す。

視覚機能から得られるワークの2つの穴の座標値に対し, スピンドルがびったりはまる間隔に, 自動的に調整できる機構になっている。

2.5 音声合成

音声の登録はマイクروفोनから入力された音声データを8ビットのA/Dコンバータでデジタル信号に変換し処理する。また, 再生はDA変換し, スピーカに出力する。話す内容は任意で, それぞれファイル名を変えてフロッピーディスクに登録できる。

3. ロボットの動作およびフローチャート

今回試作したロボットの概念図を図2に, ロボットの有する諸機能を網羅した動作フローチャートを図3に示す。

この動作はワイヤレスモデム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Aから作業ステーションBに移動させるものである。

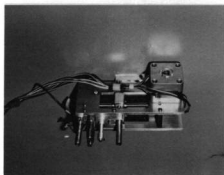


写真2 マグネットヘッドの外観

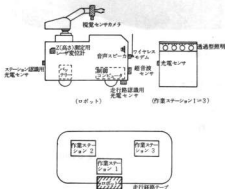


図2 指定したワークを作業ステーションAから作業ステーションBへ移動させる動作の概念図

4. ま と め

本研究は2年継続研究の初年度で各種センシング技術、コンピュータ制御技術の開発・試作を主体に視覚機能を有する知能ロボットを開発した。

ロボットの仕様を総括すると次のとおりである。

1. 光学テープ方式による走行機能

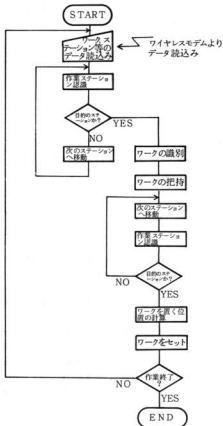


図3 指定したワークを作業ステーションAから作業ステーションBへ移動させる動作のフローチャート

2. 画像処理技術による物体認識機能
3. 各種センサによる外界認識機能
4. 無線方式によるリモートコントロール機能

今回試作したロボットは走行経路が予め決められたテープ上を動くもので、フレキシビリティに乏しいこと、およびマニピュレータの最大可搬重量が1.2kgと小さいため作業内容に制約があること等が欠点で今後これらの点を改良することを目的として研究を進めていきたい。

本研究を遂行するにあたり広島工業大学工学部玉野和保氏より多大の助言を頂いた。感謝致します。

電子部品の高精度加工技術に関する研究(第3報)

レーザー光による簡易金型の開発

池田哲宏, 蒲田政信, 南良良治

Manufacturing of Simplified Blanking Tools by Laser-Cut Steel Plates

IKEDA Tetsuhiro, KAMADA Masanobu, NARA Ryoji

Low cost laminated blanking tools were manufactured in a short period with CO₂ laser. Through 50mm dia. blanking test of 1000 steel plates (1mm thickness), this tool was confirmed to realize sufficient quality of blanked products, and further, a compound tool was also manufactured.

As a result, burr height, penetration and accuracy of blanked products were obtained less than 0.03mm, 0.15mm and ± 0.06 mm. Vickers hardness 800 could be achieved by laser hardening, and the laser cutting and hardening could be effected in less than 2 hours.

1. 緒 言

昨今の技術革新と多様化時代においては自動車, 家電等にみられる新製品の開発が従来のテンポを遙かに速く進んで繰り返されている。多種の製品をいかに速く開発し, 安く供給するかという多品種少量生産時代の技術的課題は今後ますます強まることが予想される。

この様な背景を踏まえて本研究では, 炭酸ガスレーザー加工機を金型製作に適用することにより型費の低減と型製作時間の短縮を図り, 省エネルギー時代の要求に答え得る有効な手段となる簡易積層金型を試作し, 加工製品の品質評価¹⁾を試みた。

2. 積層構造打抜き型

2.1 円形打抜き型

炭酸ガスレーザー加工機(東芝製LAC553P, 定格出力1kw)により厚板6mmの炭素工具鋼(SK5)を数枚切断し, 積層構造の円形抜き型($\phi 50$)を製作した。積層金型を組み付ける場合, 積層部分の締結法が重要な問題となるが, 本研究では最も簡単で確実なボルトによる締結法を採用した。

その製作手順は, ①金型設計後, ②クリアランス調整のためレーザービーム幅補正を考慮して輪郭切断形状加工条件等を紙テープにを入力する。③パンチ, ダイ等各部品のレーザー切断を行う。この厚板の加工条件はパンチ, ダイの刃先部, ノックピン等の精密加工を要する部分はパルス出力330w, デューティ比30%, 150mm/minの低速度, 外周部の切断精度を要しない部分は連続出力800w, 1200mm/minの高速度である。ここで, レーザ照射面(表面)側の切断面粗さは30 μ m Rmax程度, 裏面側で80 μ m Rmax程度

となるため, 切断面性状の優れた表面側を工具刃先として使用した。また厚板であるため切断幅は表面側が約0.05mm拡大するテーパ状となるためハンドグラインダで裏面側の刃先の逃げを研削した。④切断加工と同時に切断部に薄い硬化層が形成されるが, その深さ及び硬度が不十分であれば刃先に当たる部分をレーザー焼入れする。ここではレーザー切断のみでレーザー焼入れは行っていない。なお, 本実験では切断, 焼入れ加工共にシングルモード, 5インチの集光レンズを使用した。⑤その後, 各部品をノックピンで位置決めし, ボルトで締結して積層パンチ, ダイを組み付ける。⑥下側ダイセットに積層パンチを固定して, 積層ダイと芯合わせを行ないながら上側ダイセットにダイを取り付ける。⑦最後に可動ストリップを取り付ける。なお, ダイセットはブレンガイド付センターポストを使用

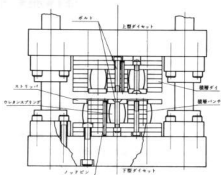


図1 積層構造打抜き金型

し、その積層金型の構造を図1に示す。この円形打抜き型を万能試験機（島津製作所製RH-100）に取り付け、板厚1mmの冷延鋼板（SPCC）を無潤滑で1000枚打ち抜いて耐久試験を行い、打抜き製品の品質をかえり高さ、だれ、寸法等で評価した。

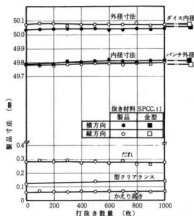


図2 円形抜き型による製品の品質

図2はその実験結果を示したもので、金型クリアランス0.12~0.14mmに対して製品のかえり高さ、だれは、ほとんど変化していない。また、径寸法変化においてもレーザー切断した金型工具に縦横直角2方向の加工誤差はあるが、打抜き製品の外径寸法はダイス内径寸法に、製品内径寸法はパンチ外径寸法に倣って、ほとんど変化していないことが認められる。この工具の直角2方向の加工誤差については、XYテーブルの位置決め精度、ビームモード形状による異方性等の原因が考えられる。

2.2 レーザ焼入れ

レーザー切断面の硬度をマイクロピッカース硬度計で測定すると、一般に切断面から離れるに従って硬度は低下する。また、表面側から板厚方向に0.05mm、1mm、4mmの位置でマイクロピッカース硬度700以上となる切断面からの深さはそれぞれ0.03mm、0.05mm、0.08mmとなり、硬化層は表面側から裏面側へと厚くなっていることが認められる。これは、ドロスの付着による熱の影響が大きいと考えられる。

この様にレーザー切断のみによる刃先部の硬化層は非常に薄く、耐摩耗性を向上させるためにレーザー焼入れ

を行った。本研究で使用した方法は、ビームをレンズの焦点位置からずらし、必要なエネルギー密度にして焼入れ表面にレーザー照射するデフォーカス法である。このビームのエネルギー分布は元のビームと同じシングルモードであるため、均一なエネルギー分布を得ることは困難であるが、装置への部品の取り付け、取り外しが全く不要で、切断から焼入れへの段取り時間は2~3分で簡単にセットできるという大きな特徴がある。

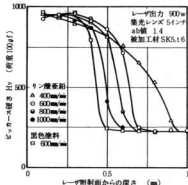


図3 レーザ焼入れによる硬度分布

レーザー焼入れ実験は、板厚6mm（SK5）の表面にリン酸亜鉛（日本パーカライジング㈱、バルボンドL15C）、一般黒色塗料を被覆したもの及び未処理の3種類で行った。加工条件は、レーザー出力900w、被加工物とレンズとの距離を集光レンズの焦点距離で割った値（a b値）を1.4として焼入れ後、硬度分布を測定したものが図3である。未処理の試料においては、1000mm/minの低速度でも表面が茶褐色に変色するだけで母材とはほぼ同じ230程度の硬度で焼きは入りにくい。リン酸亜鉛被覆処理したものは、低速度ほど硬化層は深くなるが、400mm/min以下では表面に熔融が認められる。一方、加工速度600mm/minにおいて、硬度約700以上が得られる深さ及び幅は、リン酸亜鉛で約0.6mm、4mm、黒色塗料で0.4mm、2.4mm程度となり、リン酸亜鉛被覆処理による能率的な焼入れ加工が可能となる。

図4はレーザー加工工程順の違いによる影響を示したもので型材料にリン酸亜鉛被覆処理後、レーザー切断して焼入れ加工したものは、表面より1mm以上の深さにわたって800以上の硬度が得られ、切断加工のみの

ものより遙かに厚く、高い硬化層が認められる。しかし、焼入れ後切断したものは、焼戻し状態になって硬度が低下している。

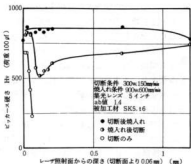


図4 硬度分布の相違

2.3 コンパウンド型

(1) コンパウンド型の製作及び抜き製品の特性

以上の実験結果を利用してコンパウンド型を製作し、板厚1mmのSPCCを打抜いた。ダイセットに取り付けたその型の外観及び打抜き製品を写真1に示す。打抜き型のクリアランスは、設定値0.1mmに対して0.06~0.14mmとなり、製品のかえり高さは、図5に示すように0.05~0.18mm程度の大きな値であるが、工具刃先部のレーザー切断によるだれ面を0.3mm研削することにより0.02mm程度に減少する。一方、刃先部の粗さが約30 μ m Rmaxに対して、抜き製品せん断面の粗さは約32 μ m Rmaxとなり、工具刃面の粗さが製品粗さにほぼ一致するが、さらに面粗き精度を必要とする場合には仕上げ加工が必要となる。総合的な製品のせん断寸法精度は、 ± 0.06 mm、同心度0.02

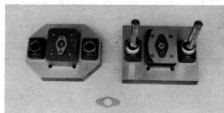


写真1 コンパウンド型

mm、平面度0.03mm以内である。この型のレーザー加工時間は約100分、打抜き荷重は約9000kgfである。

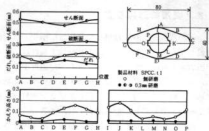


図5 コンパウンド型による製品の品質

(2) ボタンダイ組込み型の製作及び抜き製品の特性

板厚6mm (SK5)の表面にリン酸亜鉛被覆処理後、パンチ、ダイ間のクリアランスを0.3mmに設定して切断し、レーザー出力900W、速度600mm/minのデフォーカス法によるレーザー焼入れを行った。その後、市販の抜きメツバ付ボタンダイ、パンチ (SKD-11) を打込んだコンパウンド型を製作した。その型及び板厚3.2mmの抜き製品を写真2に示す。また、図6にその製品の寸法測定結果を示す。輪郭せん断寸法精度が ± 0.09 mmに対し、市販の工具による穴加工精度は0.02mm以内でかなり良い結果が得られており、かえり高さ0.05mm、平面度0.1mm以下である。この型のレーザーによる切断及び焼入れ加工時間は約90分、打抜き荷重は約37000kgfである。



写真2 ボタンダイ組込み金型

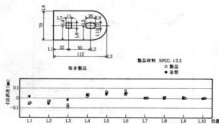


図6 組込み式コンパウンド型による製品の寸法誤差

3. 積層構造絞り型

1mmの薄板を16枚積層して写真3に示すような円錐絞り型を製作した。この板の切断加工条件は、レーザー出力500w、デューティ比50%、速度1000mm/min、加工時間は板厚6mm等のスパーサの切断を含めて、約110分である。絞り用プラント材は、板厚1mm(S.P.C.C)、形状はφ70、φ80、φ90の3種類とした。切断後の状態で積層したものは外表面に板厚分の段差が生じるが、機械油を使用してこの型で絞り加工したところ全てのプラントに型割れが発生した。そこでこの段差をハンドグラインダで研削して取り除き、ポンチラヂアス2.5mm、ダイラヂアス3.5mmに加工して絞ったところ、φ90の絞り製品においてはポンチ型部に割れが発生したが、φ70、φ80については、斜面の一部の仕上げ面不足のために傷がついた程度で加工できた。その製品の板厚をポイントマイクロメータで測定したものが図7である。どの製品においても肩部が薄くなっており、φ70で板厚の約81%となり、φ90で破断に至っている。

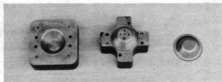


写真3 積層絞り型

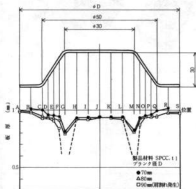


図7 円錐絞りによる製品の板厚

4. 結 言

炭酸ガスレーザー加工機による積層構造の簡易金型を製作し、プレス加工実験を通して以下の結論を得た。

1) レーザ切断のみによる円形抜き型で板厚1mm(S.P.C.C)を1000回打ち抜いた結果、かえり、だれ及び寸法精度においてはほとんど変化が認められず、実用上問題がないことを確認した。

2) 金型工具の刃先をレーザー焼入れすることにより、ビッカース硬度800以上の硬化層がレーザー照射面より1mm以上にわたって形成されることを確認した。

3) コンパウンド型による板厚1mmの打抜き加工では、かえり高さ約0.02mm、だれ0.15mm、平面度0.03mm、寸法精度±0.06mm、市販の工具打込み型による板厚3.2mmの打抜き加工では、寸法精度±0.09mmとなった。

4) コンパウンド型の切断及び焼入れ加工時間は、2時間以内で迅速かつ安価な抜き型の製作が可能となった。

5) 絞り型においてもレーザー切断による積層構造の適用が可能である。

本研究のレーザー切断による簡易金型は、積層構造による誤差の累積及び切断面性状等の問題がまだ残されているが、レーザー加工機の精度は年々向上しており徐々に改善されるものと考えられる。

終わりに表面被覆材をご提供くださった日本パーカライジング㈱に謝意を表します。

文 献

- 1) 和田和夫 他：薄板材料のせん断加工精度、塑性と加工 Vol.13 no.134
- 2) 天野和男：CO₂レーザーによる炭素鋼の焼き入れ、愛知県工業技術センター報告、第21号(1985)
- 3) プレス加工データブック編集委員会編：プレス加工データブック

パソコンによる機械要素の簡易CADシステムの開発

吉野信行, 田尾博幸, 平田敏明, 糸島寛典*

Development of Simplified CAD System for Machine Elements Using by Personal Computer

YOSHINO Nobuyuki, TAO Hiroyuki, HIRATA Toshiaki, and ITOSHIMA Hironori

In recent years, owing to higher functional operation and lower costdown of personal computer system, a lot of simplified CAD systems for the industrial machines and various kinds of machine elements have been developed. However, the software programs for the gear except for the spur gear and profile shifted gear can not be seen in the previous papers.

From these points of view, we have developed the simplified CAD system for drawing of the spur gear and profile shifted gear and designing of spur gear, helical spur gear, crossed helical gear and worm gear. This paper describes the summary of this CAD system.

1. 緒 言

一般に、産業機械に使用されるさまざまな機械要素の設計・製図に関しては、機械工学便覧・機械設計便覧等に準拠しコンピュータの援用に基づく設計・製図のソフトウェア化および各種設計・製図アプリケーションのデータベース化が将来、機械設計分野のエキスパートシステムの構築において重要と考えられる。従来の産業機械は、概念設計から詳細設計に至るまで大型計算機用に構築された階層構造をもつ設計ソフトウェアが援用されるのが常であった。特に概念設計における機械要素の設計段階では、操作性の簡便さや経費の節約に関しては、機械要素専用開発されたパソコンソフトウェアを援用する方が有利と考えられる。近年パソコンシステムの高機能・高性能、低価格化と相まってパソコンをベースにした各種機械設計・機械要素設計に関する簡易CADシステム^{1),2)}が多く開発されている。しかしながら、これらのCADシステムの中で歯車設計に関するソフトウェアは、平歯車および転位平歯車を除いて見当たらない。

これらの背景から、本研究では、一般機械に使用されるインポリュート歯車に留意し、先ず平歯車、転位平歯車の形状設計・製図に関する簡易CAD化を図り、さらに平歯車、はすば歯車、すぐば歯車、ウォーム歯車、ねじ歯車の強度設計に関する簡易CADシステ

* CADIMソフトウェア研究所所長

ムを開発した。これらの簡易CADシステムの開発により、歯車設計・製図に関する省力化、設計期間の短縮、設計製図の標準化等に貢献できる。

2. システムの概要

2.1 ハードウェア構成

本CADシステムは、会話型および図形処理に関するレスポンスタイムの向上に留意したことおよび機械要素の概念設計に援用することからプロッタの使用は考慮していない。システムの外観を写真1に示す。



写真1 システム構成

2.2 ソフトウェア構成

ソフトウェア言語は他機種への移植も考え、汎用的なBASIC言語を採用し、手軽に使用できる会話型にした。また、グラフィック機能を使用し設計者に計算過程の把握が容易にできるよう配慮している。開発したソフトウェアは、歯車の形状設計製図に関しては、インポリュート平歯車8種類、転位平歯車7種類およ

び歯車強度設計に関しては、5種類のソフトウェアを開発した。従って、他の文献で公開されていない各種歯車の製図（インボリュート歯形、平歯車、転位平歯車の創成法等）および強度設計が可能となった。表1に開発した歯車簡易CADシステムのメニューを表す。

表1 歯車簡易CADシステムのメニュー

| 歯車形状設計ソフトウェア | |
|------------------------|---------------------------------|
| インボリュート歯車 | |
| インボリュート歯車の設計 | |
| 1 類のかみ合歯車 ($Z > 17$) | |
| 1 類のかみ合歯車 ($Z < 17$) | |
| 大歯車のかみ合 | |
| 歯車のかみ合率と滑り率 | |
| 歯車の歯の寸法 (歯厚) | |
| 歯車の創成法 (切下げ) | $\dots \alpha < 22^\circ \dots$ |
| 歯車の創成法 (切下げ) | $27^\circ > \alpha > 22^\circ$ |
| 転位歯車 | |
| 転位歯車の創成法 | |
| 転位歯車の創成法 | ($Z = 4$) |
| 転位歯車のかみ合 | $Z_1 \geq 10$ の場合 |
| 転位歯車のかみ合 | $6 \leq Z_2 < 10$ の場合 |
| 転位歯車のかみ合 | $Z_1 = Z_2 < 10$ の場合 |
| 転位歯車の寸法 (歯厚) | |
| 転位歯車のかみ合率と滑り率 | |
| 歯車強度設計ソフトウェア | |
| 1. 平歯車 | 4. ねじ歯車 |
| 2. はすば歯車 | 5. ウォーム歯車 |
| 3. すぐば傘歯車 | 6. 転移平歯車 |

3. 歯車設計アルゴリズムおよび計算結果

本研究で開発した簡易CADシステムに関する各種設計アルゴリズムについては、著者等の一人が発表した機構学³⁾および機械設計⁴⁾の文献を引用した。これらのアルゴリズムは機械工学便覧等の内容と同等な強度設計計算がされているのでこれらを用いた。

上記メニューの各歯車の設計アルゴリズムの確立は既に多くの文献で紹介されており、また本報告の紙面の制約上これらの設計製図アルゴリズムおよび計算結果の一部については割愛した。従って、本報告では歯車の強度設計（平歯車、はすば歯車、すぐば傘歯、ウォーム歯車、ねじ歯車）の計算式および強度計算結果について述べる。

3.1 平歯車の強度設計および計算結果

一般に、歯車の設計手順としては、歯車の種類の選択、歯車の速比、中心距離等を求める形状設計製図、モジュール、歯幅、材質、寿命、潤滑等を考慮する伝達動力および歯元、歯面の強度計算、さらに組み合わせ歯車のすべり率、かみ合率条件等が検討される。

表2に平歯車の形状計算式を示す。歯車強度計算において基準となるものは、曲げによって生じる歯元の破損と歯面の接触による破壊である。平歯車の強度設計は、歯の曲げ強度にルイスの計算式およびバックンガムの計算式を適用し、面圧強度にはバックンガムの計算式を適用している。図1に平歯車の強度計算結果の一例を示す。

表2 標準平歯車の記号と計算式

| 計算項目 | 記号 | 小 歯 車 | 大 歯 車 |
|--------|----------|--|--|
| 中心距離 | a | $a = (Z_1 + Z_2) \frac{m}{2} = r_{a1} + r_{a2}$ | |
| 円ピッチ | t_a | $t_a = d_{a1} \frac{\pi}{Z_1}$ | $t_a = d_{a2} \frac{\pi}{Z_2}$ |
| 歯厚ピッチ | t | $t = \cos \alpha \cdot t_a$ | |
| 添削ピッチ | t_s | $t_s = d_{s1} \frac{\pi}{Z_1} = t_a \cos \alpha$ | $t_s = d_{s2} \frac{\pi}{Z_2} = t_a \cos \alpha$ |
| 歯元の寸法 | h_1 | $h_1 = m$ | |
| 歯心の寸法 | h_2 | $h_2 = m$ | |
| 全歯高 | h | $h = h_1 + h_2$ | |
| 有効歯高 | h_e | $h_e = h_1 + h_2 = 2m$ | |
| 節 径 | d | $d_1 = h_1 = h_2$ | $d_2 = h_2 = h_1$ |
| ピッチ円直径 | d_1 | $d_1 = m Z_1$ | $d_2 = m Z_2$ |
| 歯元円直径 | d_a | $d_a = d_1 + 2h_1$ | $d_a = d_2 + 2h_2$ |
| 歯底円直径 | d_f | $d_f = d_1 - 2h_f$ | $d_f = d_2 - 2h_f$ |
| 歯厚円直径 | d_g | $d_g = d_1 \cos \alpha$ | $d_g = d_2 \cos \alpha$ |
| 円歯厚 | s | $s = \frac{t}{2}$ | |
| 歯厚比 | σ | $\sigma = \frac{s}{2t}$ | |



図1 平歯車の強度計算結果

3.2 はすば歯車の強度設計および計算結果

はすば歯車の形状計算は軸直角および歯直角による計算があるが、一般に歯直角の計算式（相等平歯車）により平歯車として形状および強度計算がされる。表3にははすば歯車の形状計算式を示す。強度計算については、平歯車と同等な計算式を適用する。図2に、はすば歯車の強度計算結果の一例を示す。

表3 はすば歯車の記号と計算式

| 計算項目 | 記号 | 歯直角方式 | 軸直角方式 |
|--------|----------|--|--|
| モジュール | m | 歯直角モジュール m_h | 正歯直角 $m_n = \frac{m_h}{\cos \beta}$ |
| 圧力角 | α | 歯直角圧力角 α_h | 正歯直角 $\alpha_n (\tan \alpha_n = \frac{\tan \alpha_h}{\cos \beta})$ |
| 円ピッチ | t | $t_h = \pi m_h$ | $t_n = \pi m_n = \frac{t_h}{\cos \beta}$ |
| ピッチ円直径 | d | $d_h = \frac{t_h}{\cos \beta}$ | d_n |
| 全歯高 | h | 2.25 m_h 以上 | 2.25 m_n 以上 |
| 歯元円直径 | d_1 | $(\frac{Z_1}{\cos \beta} - 2) m_h$ | $Z_{n1} + 2 m_n$ |
| 中心距離 | a | $(\frac{Z_1 + Z_2}{2 \cos \beta}) m_h$ | $(\frac{Z_{n1} + Z_{n2}}{2}) m_n$ |

図2の歯車の強度計算結果

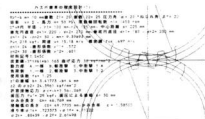


図2 はすば歯車の強度計算結果

3.3 すくば傘歯車の強度設計および計算結果

すくば傘歯車の形状計算は、歯形の外端部で表わし、これと同等な歯形をもちピッチ円半径が背円すい母線に等しい平衡車（相当平衡車）として計算される。強度計算については、歯元の曲げ強度にルイスの計算式およびダイドレの計算式を適用し、歯の面圧強度にアメリカ歯車製造協会の計算式を適用した。また許容伝達馬力にグリーンソン社の計算式を適用した。表4にすくば傘歯車の形状計算式を示し、図3に強度計算結果の一例を示す。

表4 すくば傘歯車の記号および計算式

| 計算項目 | 記号 | 小 傘 車 | 大 傘 車 |
|---------|-----------|--|--|
| ピッチ円すい角 | β | $\tan \beta_1 = \frac{\sin \Sigma}{Z_1 + \cos \Sigma}$ | $\tan \beta_2 = \frac{\sin \Sigma}{Z_2 + \cos \Sigma}$ |
| 背円すい角 | α | $\alpha_1 = 90 - \beta_1$ | $\alpha_2 = 90 - \beta_2$ |
| 軸 角 | Σ | $\Sigma = \beta_1 + \beta_2$ | |
| ピッチ円直径 | d | $d_1 = m Z_1$ | $d_2 = m Z_2$ |
| 外歯面内直径 | d_o | $d_{o1} = d_1 + 2h_a \cos \beta_1$ | $d_{o2} = d_2 + 2h_a \cos \beta_2$ |
| 歯 高 | h_a | $h_a = m$ | |
| 歯元のたけ | b_r | $b_r \geq 2.25 m$ | |
| 全 高 | h | $h = h_a + b_r \geq 2.25 m$ | |
| 外歯面円すい角 | β_o | $\tan \beta_o = \frac{d_1 - d_o}{2 \sin \beta_1}$ | $\tan \beta_o = \frac{d_2 - d_o}{2 \sin \beta_2}$ |
| 歯 元 角 | β_r | $\tan \beta_r = \frac{h_a}{h_r}$ | |
| 歯 元 角 | β_f | $\tan \beta_f = \frac{b_r}{h_a}$ | |
| 歯元円すい角 | β_a | $\beta_{a1} = \beta_1 + \beta_r$ | $\beta_{a2} = \beta_2 + \beta_r$ |
| 歯底円すい角 | β_b | $\beta_{b1} = \beta_1 - \beta_f$ | $\beta_{b2} = \beta_2 - \beta_f$ |

図3の歯車の強度計算結果

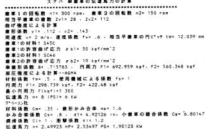


図3 すくば傘歯車の強度計算結果

3.4 わじ歯車の強度計算および計算結果

わじ歯車は、わじれ角の大きいはすば歯車を組み合せたものと同等で、2軸がくい違った場合に使用される。強度計算については、パッキングガムの計算式およびトーマスの計算式を適用した。表5にわじ歯車の形状計算式を示し、図4に強度計算結果の一例を示す。

表5 わじ歯車の計算式

| 計算項目 | 記号 | 小 傘 車 | 大 傘 車 |
|-------|----------|---|-------|
| わじれ角 | α | $\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2)$ | |
| 歯 元 角 | β | $\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ | |
| わじれ角 | β | $\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ | |
| わじれ角 | β | $\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ | |
| わじれ角 | β | $\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ | |
| わじれ角 | β | $\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ | |
| わじれ角 | β | $\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ | |
| わじれ角 | β | $\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ | |
| わじれ角 | β | $\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ | |
| わじれ角 | β | $\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ | |

図4の歯車の強度計算結果

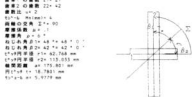


図4 わじ歯車の強度計算結果

3.5 ウォーム歯車の強度計算および計算結果

ウォーム歯車は、1組のねじ歯車において小歯車の歯のねじれ角 β を 6° 以上にし、ピッチ円の半径を小さくすれば、ねじと同等な歯車となる。ウォームホイールの歯面は複雑な曲面であるが、ウォームの軸断面を考えると、その断面においてはラックとピニオンのかみ合となる。ウォーム歯車は減速が大きいため歯面に大荷重がかかるが歯のたわみは比較的小で、むしろウォーム軸と軸受の変位が大きいため、一般に回転数が小さい場合に歯元や歯面の強度が問題になる。このような背景を考慮して歯車の強度計算をする。強度計算については、歯面、歯元の強度にはバッキンガムの計算式およびメリットの計算式を適用した。表6に

表6 ウォームギヤの記号および計算式

| ウォーム(歯数 Z_1) | ウォームホイール(歯数 Z_2) |
|-----------------|---------------------|
| 軸角 α [度] | $\alpha = 20^\circ$ |
| ピッチ円直径 | $d_1 = m Z_1$ |
| ピッチ円半径 | $r_1 = d_1 / 2$ |
| 歯幅 | b |
| 歯元厚 | $s_1 = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_2 = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_3 = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_4 = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_5 = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_6 = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_7 = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_8 = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_9 = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{10} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{11} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{12} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{13} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{14} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{15} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{16} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{17} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{18} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{19} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{20} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{21} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{22} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{23} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{24} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{25} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{26} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{27} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{28} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{29} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{30} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{31} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{32} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{33} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{34} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{35} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{36} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{37} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{38} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{39} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{40} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{41} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{42} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{43} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{44} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{45} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{46} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{47} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{48} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{49} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{50} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{51} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{52} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{53} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{54} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{55} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{56} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{57} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{58} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{59} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{60} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{61} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{62} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{63} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{64} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{65} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{66} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{67} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{68} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{69} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{70} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{71} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{72} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{73} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{74} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{75} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{76} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{77} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{78} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{79} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{80} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{81} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{82} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{83} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{84} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{85} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{86} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{87} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{88} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{89} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{90} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{91} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{92} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{93} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{94} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{95} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{96} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{97} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{98} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{99} = 2m$ |
| 歯元厚 | $s_{100} = 2m$ |

ウォーム歯車の形状計算式を示し、図5に強度計算結果の一例を示す。上記各ソフトウェアの有効性については文献3の例題を実行させ確認した。

転位平歯車の強度設計については、文献5を引用し、本簡易CADシステムの中に付加した。この強度計算のアルゴリズムは、電動動力、ピニオン、ギヤの回転数、軸間距離、歯車の等級、1日の運転時間、歯輪係数を与えてピニオン、ギヤの歯数、モジュール、ピッチ円直径および歯元の曲げ強度、面圧の強度等を求める方法をとっている。従って、決められた寸法の中で歯車の大きさ、モジュール等を求める場合に非常に有効なソフトウェアである。

上記形状設計プログラムの他、特殊な歯車(楕円歯車、ゼネバ歯車等)を製作するときの歯形を求める形状設計(ピニオンの歯形を与え、ギヤの歯形を求めるプログラム4種類)のソフトウェアも開発している。

本簡易CADシステムは、会話型に留意していることから、各プログラムの呼出しは、メニュー形式とし、歯車の歯数、モジュール、圧力角等の入力データの変更が繰り返してできるよう配慮し、カラーグラフィックス表示で計算過程が一目でわかるように構成している。

4. 結 言

本簡易CADシステムの特徴としては、機械工学便覧にほぼ準拠した歯車設計CADであるため、歯車設計の標準化が可能であり、将来歯車設計に関するアルゴリズムのデータ・ベース化および歯車設計のエキスパートシステム化が図られた場合に対応できる。また、今後ますますF化(自動化、無人化)を進める産業機械の動力伝達機構の一部で重要な歯車要素の強度設計業務の効率化、時間短縮、省力化等に寄与できる。現在さらに、歯車測定の計測CADシステムも開発中であり、歯車設計に関する総合的な簡易CADシステムを構築して行きたい。なお、本システムは、機械要素の設計製図教育にも十分貢献できるので、各種専門学校への普及も考えている。

文 献

- 1) 機械設計: パソコンを活用した機械装置の設計法 Vol. 29, No. 7 (1985)
- 2) 杉田稔他: パソコンによる機械設計計算法 日刊工業新聞社 (1984)
- 3) 糸島寛典: 機構学 パワー社 (1960)
- 4) 糸島寛典: 機械設計, 広島印刷 (1955)
- 5) 榎井恵三他: 転位平歯車の設計システム, 機械設計 Vol. 29, No. 7 (1985)

図5. ウォーム歯車の強度計算結果



コンピュータによる集中管理システムの開発(第3報) カラー情報高速検出技術の開発

永山博夫, 馬場祥宏, 松垣和生, 今出政明*, 岡田三郎*, 住本哲夫*

Development of Doctor-line Inspection System

NAGAYAMA Hiroo, BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo, IMADE Masaaki,
OKADA Saburo, SUMIMOTO Tetsuhiro

The High-Speed Vision System for detecting the doctor-line which is one of the most significant defects on gravure printing is described.

The interface unit is added to the previously reported High-Speed Vision System to count the total of pulses of the rotary encoder of a printing machine model from the reference mark in a printed film. So the system can inspect any horizontal line of a printed film.

The program for detecting both the positions and widths of doctor-lines and plotting them on CRT is proposed.

This system can detect more than 0.1mm width doctor-line within 0.3 second.

1. 結 言

画像処理の適用分野は、イメージセンサ、記憶素子などのハードウェアの高速・大容量・低価格化に伴い果実・魚などの農水産物の選別、工業製品の製造・検査工程における製品の計測・外観検査等多方面にわたっている。画像処理の適用分野は、AI(人工知能)研究の進展と相まって、今後一層の拡大が予想される。

前報では、ドクター線(線状印刷不良)検出用のハードウェア演算機構を有する高速画像処理装置を試作し、その有効性を確認した。本報では、前報に引き続きドクター線検出用高速画像処理システムの開発を行い、その中で印刷模倣装置との結合のための高速画像処理装置のインターフェース機能の拡張、さらにドクター線検出・作図プログラムの作成を行ったので報告する。

2. 印刷模倣装置からの画像入力

ドクター線検出に用いた印刷模倣装置、高速画像処理装置及びパーソナルコンピュータの外観を写真1に、その構成を図1に示す。印刷模倣装置において、ループ状の印刷フィルムをローラに巻き付け、回転させ、実際の印刷工程のシミュレーションを行う。

連続的に回転するフィルムの任意位置を一次元イメージセンサで検査するため、光電スイッチと送りローラ軸に取り付けられたロータリエンコーダ(1000パルス/回転、1パルスは約0.3mmに相当)を用いる。図2に示すように、光電スイッチにより基準マークを検出し、ロータリエンコーダにより基準マークから検査開

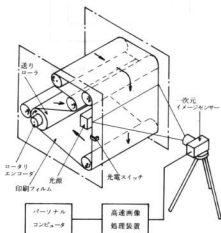


図1 高速画像処理システムの構成

* 工業技術院中国工業技術試験所

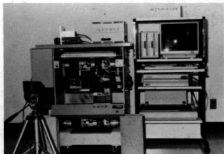


写真1 高速画像処理システムの外観

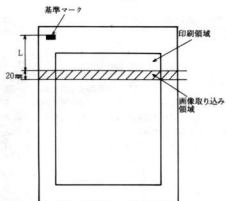


図2 印刷フィルムの検査位置

始位置までの距離(L)を計測するため、高速画像処理装置に、光電スイッチからの信号により制御されるロータリエンコーダパルス計数回路を付加した。一次元イメージセンサの露光時間は5 m sec.であるため、フィルムの印刷速度が200m/minの場合、図2に示すように約20mm幅の領域の画像が入力される。このため、ドクター線検出能力の向上には、画像入力位置として図柄の濃淡の変化の小さい場所を選択する必要がある。

3. ドクター線検出用プログラム

作成したドクター線検出プログラムの構成を図3に示す。本プログラムでは、高速性が必要な画像データ取り込み、ドクター線検出・作図は、アセンブリ言語で作成し、その他パラメータ設定などの応応性が重要でない部分については、BASICで作成した。プログラムの大きさは、BASIC部で約700行、アセンブリ言語部で約300行であった。メニュー駆動型の機能選択により、システムの良好な操作性を実現して

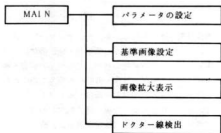


図3 ソフトウェアの構成

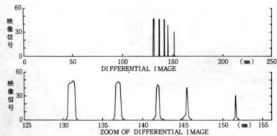


図4 画像の拡大表示例

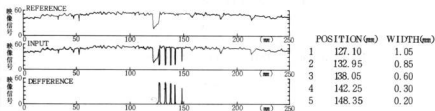


図5 ドクター線検出例

いる。

パラメータ設定部では、画像データ書き込み最終番地、検出ドクター線幅、画像取り込み位置(L)などの設定およびパラメータファイル処理を行う。画像拡大表示部では、入力画像、基準画像、差分画像(入力画像と基準画像との差)の中の一つをCRT上に表示し図4に示すように、上部に全体像を下部に特定場所の拡大画像を表示している。CRT横軸の分解能は640ドットであるため、5000画素の全体像を8画素置きに表示している。基準画像処理部では、ドクター線検出時に入力画像と比較される印刷不良のない基準画像の取り込みを行う。図4、図5の縦軸の映像信号はA/D変換された値(フルスケール:64)で示してある。

ドクター線検出処理部では、基準画像処理部において入力された基準画像と入力画像との差を、画像処理装置内のハードウェア演算により高速に求める。差分画像において、その差分値が3より大きく、かつ2画素以上連続する場合をドクター線と判定する。ドクター線検出例を図5に示す。上から基準画像、入力画像、差分画像である。ドクター線検出スピード向上のため縦軸、横軸の目盛は、パーソナルコンピュータのグラフィックメモリのG面にあらかじめ書き込んでおき、ドクター線検出ごとに、B面に基準画像と入力画像、R面に差分画像を表示している。

ドクター線測定結果を表1に示す。ドクター線検出時間は約0.3秒と高速であり、又測定精度も実用上十分と言える。

4. 結 言

試作したドクター線検出用高速画像処理装置により25cmの視野において、0.1mm以上の幅のドクター線を約0.3秒以内に検出することが可能となった。又検

表1 性能試験結果

| 番号 | 測定値(mm) | 真 値(mm) | 誤 差(mm) |
|----|---------|---------|---------|
| 1 | 1.05 | 1.01 | +0.04 |
| 2 | 0.85 | 0.76 | +0.09 |
| 3 | 0.06 | 0.49 | +0.11 |
| 4 | 0.30 | 0.24 | +0.06 |
| 5 | 0.20 | 0.12 | +0.08 |

出結果のCRT上への高速表示が実現した。これをグラフィック印刷などの検査工程へ応用することにより、その省力自動化が促進される。

今後、検出速度の高速化、入力画像の安定化、フィルム横ずれへの対応などを進める必要がある。

- 1) マルチ・チップ 1985, 日本電気株
- 2) PC-9801m2, ユーザーズマニュアル, 日本電気株

赤外線による厚み測定装置の開発

田尾博幸, 岡田芳雄

Development of Infrared-ray Thickness Gauge

TAO Hiroyuki and OKADA Yoshio

Thickness of films or the like is almost manually measured, so there are many problems to be studied, such as the productivity, stability of quality, inspection cost.

While it is measured in succession by a radiation (β -ray) thickness gauge, but the problems of safety and handling remain.

From the above viewpoints, in this study, we tried to develop a thickness gauge by infrared-ray which is no danger of radiation sickness and easy to operate so that it can successively measure the thickness without contact in a manufacturing process.

1. 結 言

赤外線は可視光と異なり、肉眼により直接観測できない、低い温度の物体からも放射される、波長が長い、物質に対しての吸収係数が大きいなど、数多くの特徴を持っている。このため赤外線の応用範囲は多方面にわたっているが、今回は厚み測定に応用した例について述べる。

最近のFA化の波は、当然のことながら検査工程における自動化に対しても、強いニーズとなって現れている。これはビニール・プラスチック業界においても例外ではない。

従来、フィルム等の厚さは製造完了後、人手により測定されることが多く、生産性、品質の安定度、検査コストの面で解決すべき課題が多く発生していた。

またオンライン上での連続測定を行っている所もあるが、これはその性格上、非接触測定でなければならず、ベータ線による計測が主流を占め、安定性、操作性などに問題があった。

そこで本研究では、危険性がなく、しかも取り扱いが容易である赤外線を用いて、この光としての性質を利用することにより、非接触でオンライン上での連続測定が可能な厚み測定装置の開発を試みた。

2. 測定原理

赤外線は電磁放射であって、温度が絶対零度(0(K)または-273(C))以上であればどのような物質でも、その内部の原子、分子、イオンなどの熱

振動によって赤外線エネルギー(熱放射エネルギー)を放出している。

また、これは光のように光源から出て直進し、真空中はもとより気体・液体または固体のような物理的な媒質中を透過したり、反射しながら伝搬して行く。

赤外線による厚み測定は、この様な光としての性質を用い、被測定物に赤外線を透過させ、このとき物質に赤外線が吸収される量により厚みを測定する。

赤外線が物質に吸収される量は、ランバート・ベール(Lambert-Beer)の法則によって次式で表現される。

$$\rho c d = \log(I_0 / I) \quad (1)$$

ここで、 ρ : 物質の吸収係数

c : 物質の濃度

d : 物質の厚み

I_0 : 入射光の強さ

I : 透過光の強さ

ρc は物質によって決まる定数なのでこれを α (吸収係数)とすると、物質の厚み d は、

$$d = \log(I_0 / I) / \alpha \quad (2)$$

で表される。

(2)式より、吸収係数が既知である物質に対して赤外線を透過させ、その入射光及び透過光の強さを測定すれば、被測定物の厚みを求めることができる。

3. 測定装置のハードウェア

試作した測定装置の外観を写真1に、またシステム構成を図1に示す。



写真1 測定装置の外観

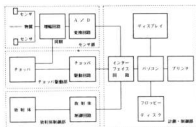


図1 システム構成図

装置は、赤外線を透過させる被測定物の片側に、安定した赤外線を供給する放射体、放射体から放出された赤外線を周期的に断続するチョッパ、放射体の制御量を検出するための赤外線センサを置く構成となっている。またもう一方には、被測定物を透過させた赤外線を検出するための赤外線センサが置かれる。

装置全体の構成は、計測・制御部、センサ部、放射体制御部、チョッパ駆動部に大別できる。

3.1 計測・制御部

計測・制御部は、パソコン(NEC製 PC-9801)を中心として、他の各部とデータの入出力・制御をするためのインターフェイス回路、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、測定のスAMPLING指令をセンサ部に出力することにより、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。またこの結果をもとに、放射体制御部、チョッパ駆動部に対する制御が行われる。

3.2 センサ部

センサ部は赤外線センサと、増幅回路、A/D変換回路から構成されている。

赤外線センサには、赤外線をいったん熱に変換し、抵抗変化や起電力などにして出力を取り出す熱型と、半導体の遷移間エネルギー差吸収を利用した光伝導効果、あるいはPN接合による光起電力効果を利用した量子型がある。

今回、採用したのは熱型に属する焦電型赤外線センサ(村田製作所製 IRA-E001S)で、素子としてセラミック強誘電体であるPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)を使用している。これは量子型のものと比較して、特に冷却を必要とせず常温で動作可能であり、広い波長にわたって感度があるという特徴を持っている。しかも種々の波長透過特性を持つウィンド材と組み合わせることにより使用目的に合ったセンサを作れ、操作も簡単で、回路設計が容易である。

表1に、熱型センサと量子型センサを比較したものを示す。

表1 赤外線センサの比較

| 種類 | 応用 | 特徴 | 動作モード | 種類 |
|-----|---------------------|----------|--------------|------------------------------|
| 熱型 | 赤外線の吸収による素子の温度変化を利用 | ①感度低 | 導電型 | サーミスタ、ゲルマニウム |
| | | ②感度応答遅 | 配電型 | サーモパイル |
| | | ③応答時間不変 | 熱電型 | TGS, PZT, LiTaO ₃ |
| 量子型 | 半導体の光電効果を利用 | ④高感度 | 導電型 | PbS, PbSe, HgCdTe |
| | | ⑤感度応答遅 | PbSeTe, GeAs | |
| | | ⑥感度応答範囲狭 | 配電型 | 1-6x, 1-8x, PbSeTe, HgCdTe |
| | | ⑦冷却必要 | 電阻型 | 1-8x |

増幅回路は、チョッパに取り付けている位置検出センサからの信号と、赤外線センサからの入力信号の同期を取り、その出力をA/D変換可能な電圧にまで増幅する。その際、チョッピングされた熱放射入力信号のみ増幅され、それ以外の信号は、フィルタにより取り除かれる。

増幅回路からの信号は、パソコンに入力するため、A/D変換回路によりアナログ量からデジタル量に変換される。このA/D変換器には、分解能を確保するため12ビット(インテラシル社製 ICL7109)のものを採用した。

3.3 放射体制御部

放射体制御部は、放射体及びその制御回路から成る。放射体は赤外線の発光源として、これを安定して供給できなければ、測定の精度を保つことが難しい。

放射体から放出される赤外線エネルギーは、全波長域で積分して、

$$P = \epsilon \sigma T^4 \quad (3)$$

ここで、P：全放射エネルギー ($W \cdot m^{-2}$)

ϵ ：放射率

σ ：ステファン・ボルツマン定数
($5.68 \times 10^{-8} (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4})$)

T：絶対温度 (K)

で表される。この式から赤外線的全放射エネルギーは、絶対温度の4乗に比例し、放射体の温度を一定に制御することが重要であることが分かる。

装置では、温度を一定にするため、チョップと物質の間に赤外線センサを置き、この検出量に応じて放射体の制御を行う。

3.4 チョップ駆動部

熱電型赤外線センサは、微分型のセンサで、変化する入力に対してのみ応答が得られる。このため変動しない入力のレベルを検出する場合は、放射体から放出された赤外線をチョップ等で周期的に断続しなければならない。

しかしこのことにより、放射体以外からの熱放射入力を、増幅回路のフィルタで取り除くことができるという利点もある。

チョップ駆動部はチョップと駆動回路から構成される。チョップの外観を図2に示した。チョッピング周波数は、チョップが1回転する間に赤外線が2回断続され、毎秒10回転するので、20Hzである。



図2 チョップの外観

4. 測定装置のソフトウェア

厚み測定のパログラム・フローチャートを図3に示す。

プログラムでは、まずインターフェイス回路における入出力の初期設定を行い、データ入力を行う割り込みプログラムの許可を与える。

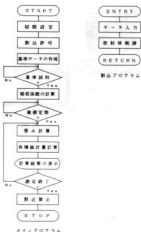


図3 プログラム・フローチャート

次に、放射体から安定した赤外線が放出可能になれば、放射体を制御するためのデータを作成し、以後これにより放射体の制御を行う。また物質を置かない(透過させない)場合の基準データの作成も行う。

基準データの作成が終了すると、厚みが既知である基準試料に対して赤外線を透過させ、このときのデータにより、吸収係数の計算を行う。以上で、厚み測定の手前が完了する。

測定は、被測定物に赤外線を透過させることにより行われ、このデータをもとに被測定物の厚みが計算、ディスプレイ上に表示される。また必要に応じて各種統計量の計算が行われ、生産工程における品質管理のためのデータとして使用することができる。

被測定物の測定が完了すれば、割り込みを禁止し、プログラムを終了する。

割り込みプログラムでは、一定時間毎に赤外線センサからのデータをサンプリング入力する。同時にこのデータをもとに、放射体の制御を行う。

厚み測定結果のディスプレイ上への表示例を図4に示す。

なお、メイン・プログラムはBASIC言語、割り込みプログラムはアセンブリ言語で記述され、ステップ数は各々約500行、200行であった。

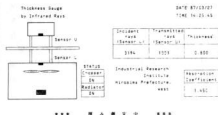


図4 測定結果表示例

5. 結 言

赤外線による厚み測定装置の開発により、次の様な成果を得ることができた。

- 1) 人手を要し、しかも個人差の生じやすかったフィルム等の厚み測定が容易に可能となり、検査工程における自動化・省力化が図られる。
- 2) 赤外線を使用することにより、厚さが長さの単位でなく密度で測定され、ばたつくシート等の測定も可能である。
- 3) 非接触で測定するので、測定圧力を考慮する必要がなく、また被測定物に加熱、変質などの変化を与えない。
- 4) 測定・制御をパソコンで行うことにより、以下の様な利点を有する。

①各種統計計算等をリアルタイムで行うことにより実績の把握ができ、生産工程の改善等総合的な品質管理に役立てることができる。

②設計の変更・追加に対し、幅広い柔軟な対応が可能である。

③測定結果に応じて、フィードバック制御のための出力を得ることが可能である。

この装置は、先に掲げたフィルムの厚さの他に、不織布、ガラス板、ビニール板、金属膜など、赤外線を僅かに透過するものにも適用できる。

測定分解能は基準試料の厚みの0.5%であり、精度は±1%であった。しかしこれは放射体の制御に、例えばPID制御など、より高精度な手法を導入することにより改善が可能である。

今回開発した装置は、高速ライン上でのリアルタイムな測定への応用という面では、赤外線センサの応答速度による制約のため、検討の余地が残る。しかし、これは高速ライン以外、あるいは高速ライン上であってもサンプリング検査等であれば対応が可能である。

文 献

- 1) 伊藤、曾我部；センサ回路設計ノート、トランジスタ技術、1986.9
- 2) センサ・インターフェーシングNo.3
- 3) 照明工学、電気学会

光ファイバセンサを利用した検査工程の自動化

岡田芳雄, 斯波信雄, 池田哲宏, 大下 巖

Development of Automatic Inspection System Using Optical Fiber Sensor

OKADA Yoshio, SHIBA Nobuo, IKEDA Tetsuhiro, and OSHITA Iwao

Recently there has been development of the production facilities, like industrial robots and numerical control. Furthermore there are many needs of development on automatic inspection systems for machine parts. Owing to reduction of labor for inspection, we developed an automatic inspection system to check the surface of machine parts processed by a lathe. This system consists of an optical-fiber sensor as the detector, a machine unit for detection and a controller using a microcomputer. The machine unit has four sections of parts feeder, fixer, detection and carrying out unit. These are controlled at the same time with interlocked condition one another in order to work efficiently.

1. 緒 言

近年、マイコンコンピュータの導入により生産ラインの自動化が急速に進められ製品の高精度化、生産性の向上が行われており自動検査の要求が年々高まっている。本研究では、検査工程の省力化、自動化の一例として、従来目視検査にたよっていた製品の傷、巣等の欠陥の検出を光ファイバセンサで可能とし、マイコン制御による試料の供給、検査、仕分け作業の自動化が可能な自動検査機の開発を行った。

2. システムの概要

検査対象物は旋盤等で加工される被加工物で、外周

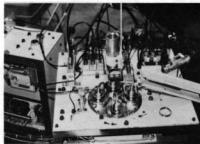


写真1 システムの全景

の傷、巣等の外観異常を検出し、仕分けを行う。写真1にシステムの全景、図1にその構成図を示す。

本システムは、回転テーブル上にベアリング軸受けで固定された4個の検査用器具を配置し、試料の供給、固定、解除、仕分け作業を互いにインタロックをとりながら独立して行い、検査の効率化を計っている。

回転テーブルの駆動には、電磁ブレーキと変速比1/50の減速機つき3相誘導電動機を使用し、位置決

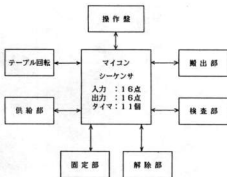


図1 欠陥検査装置の構成図

めを確実にするためエア駆動のストップで停止させる。その衝撃を和らげるためフレキシブルカップリングを介してテーブルに連結した。

試料の供給は、エアシリンダでストックの試料を1個ずつ押し出し検査用治具に装着する。この治具には弾性があり、テーパ状になった試料固定用レバーを電磁ソレノイドで引くと治具が広がり試料を固定させる。

試料検査位置では、治具の下部にあるホールが回転用ベルトに接触して検査が可能となる。検査は、試料を回転させながら光ファイバセンサを上下に走査させると側面の欠陥検査が完了し、結果をセンサの信号処理装置に表示するとともにマイコンにデータを送る。

試料の解除装置は、固定用レバーをエアシリンダ駆動の解除レバーで押し上げて試料の取り出しを可能にする。

搬出装置は、エア駆動のハンドで試料を取り出し、良否の判定に応じて排出トレイを押しだし製品の仕分けを行う。

運転制御は、ワンボードマイコンを用い、きわめて低コストで、シーケンス制御を実現した。

3. 欠陥検出用センサ

図2にファイバセンサのブロック図を示す。本装置は、表面の傷、巣等の欠陥を光の反射を用いて検出するものである。光源には、発光ダイオードを使用し外光の影響、応答性を考慮して50 (kHz) のパルス駆動とした。受光素子には、応答性にすぐれたシリコンPINフォトダイオードを使用した。光の伝送路として開口指数の小さなガラスファイバを使用し、傷検出の感度を向上させた。ファイバセンサヘッドは、中心部に投光用ファイバを一本、その周囲に受光用ファイバを6本配置した同心円形とした。

光ファイバセンサは、スポット検査であり、試料全面を検査するため試料を回転し、センサヘッドを光学ビームを保ちながら走査する。このため、計測データが連続した1本のラインとなり、通常の検査では困難なエッジにおける傷も容易に検出できる。このセンサからの信号は、傷検出回路とエッジ検出回路に入る。傷検出回路では、ある一定以上の大きさの傷を検出して黄色のランプで表示する。エッジ検出回路では、試料の両エッジを検出して検査を終了させる。この場合、傷がなければ緑のランプ、傷があれば赤のランプが点灯して表示をするとともにマイコンに検出データを送る。

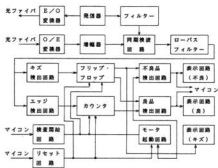


図2 光ファイバセンサブロック図

4. 制御部

各種機械の論理制御方式には、走査方式（一般的なラダーシーケンス）と論理フロー方式（条件付ジャンプ命令による制御）がある。ここでは、制御工程、ソフトウェアの論理演算フローの追跡、および互いにインターロックをとりながら並行動作させることが可能な前者の走査方式を採用した。

制御の中心となるマイクロコンピュータには、CPUがZ80のワンボードマイコンを使用した。入出力素子としては、汎用のパラレルI/O素子8255を使用し、入出力は16点とした。入力インターフェイスには、ノイズに強いフォトカプラ、出力にはリレーを使用した。



図3 シーケンスモニタフローチャート

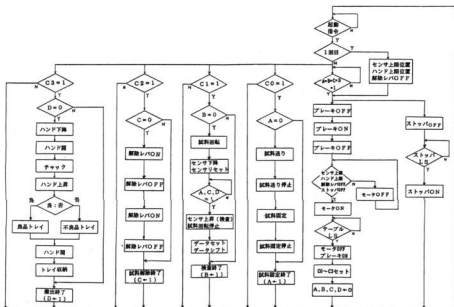


図4 シーケンス制御フローチャート

図3にシーケンスモニタプログラムのフローチャートを示す。このプログラムには、マイコンの初期設定入出力処理およびタイマ処理を行う、モニタ部(000H~374H)、シーケンス制御の論理演算を行うラダー部(375H~7F1H)、および外部機器の状態、論理演算された結果が書き込まれる、ワーキングエリア(800H~89BH)があり、約2KBから構成されている。

制御工程のラダー命令は、シーケンス制御を基にし転送、論理積、論理和、および反転命令の組合せで構成されており、訂正、変更が容易なように分岐命令は使用していない。また、モニタプログラムの内部にある11個のタイマの処理は、水晶発振器のクロックを入力部から読み込みソフトでパルスの立ち上がりを検出して基準時間を得ており、0.5(秒)~128(秒)の時間をそれぞれ独立して設定することができる。

5. 結 言

1. センサに開口指数の小さな石英ファイバを用いることにより傷に対する検出感度が向上した。
2. 光ファイバセンサは、低コストでスピーディーな検査が可能である。特に高速で移動している物体の検査に適している。
3. 本研究では、試料を高速で回転させて検査の速度、コスト、信頼性等の性能は向上したが、試料の供給、検査、搬出等のメカニズムが多少複雑になった。

文 献

赤川 通: トランジスタ技術 6月号 P408(1983)

画像処理による液晶表示器の欠陥検査

馬場祥去, 松垣和生

LCD Defects Inspection System Using Image Processing Method.

BABA Yoshihiro, and HIGAKI Kazuo

A number of Liquid Crystal Devices(LCD) have been used as displays for watches, calculators and so on. We have developed an automatic inspection system using Image Processing Method for LCD defects.

Our inspection system is composed of

- 1) 256 × 256 pixel × 8bit × 2plane hardware frame memories which are able to store one picture in 1/30 sec..
- 2) Image processing software library for general use which contents basic image processing functions that is histogram, binary conversion, labeling, expansion, construction etc.

It takes 270sec. to recognize all defects on a 21mm×49mm LCD sample which are larger than 0.15mm with 1CPU, and takes 30sec. with 10CPU.

1. 結 言

時計・電卓・自動車等の表示器として多用されている液晶表示器に製造工程で発生する欠陥を、画像処理技術を用いて自動検査するシステムを開発した。

(財)広島県産業技術振興機構の行う異業種交流事業、広島イノベーション画像処理システムチーム(画像処理HIT)を技術支援し、具体的テーマの共同研究を通して、参加企業間の技術交流と画像処理技術力の向上を図ることを目的としたものである。

液晶検査に必要なハードウェアとソフトウェアの設計・製作は画像処理HIT参加企業の技術担当者からなるワーキンググループ(HIT, WG)が行った。

2. 液晶表示器

検査の対象とした液晶表示器の概形を図1に示す。

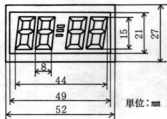


図1 液晶表示器概形

写真1 に文字欠落の例を示す。

表1に示す検査項目のうち、aとdは4.で述べる照明系を用いて安定した画像を得ることができる。

aとdはほぼ同じ手法で検出できるので、この二つの欠陥に絞ってシステムを構成した。

なお、bとcについては、鮮明な画像入力を行う有効な手段を見つけないに至っていない。a, dとは著しく性質の異なる欠陥のため、全く別の照明装置を備えた検査工程が必要である。

表1 液晶表示器の検査項目

| 検査項目 | 寸法 |
|--------------|----------|
| a. 文字欠落 | 0.1mm 以上 |
| b. 偏光膜位置ずれ | 0.1mm 以上 |
| c. ガラス基板のかけ | 0.2mm 以上 |
| d. 異物による黒点発生 | 0.1mm 以上 |



写真1 液晶表示器の欠陥例(リングファイバ照明)

3. システム構成

液晶表示器欠陥検出システムの構成を写真2に、ブロック図を図3に示す。

- ・パソコン PC 9801 m2 (NEC)
システム全体のコントローラ。画像入力、画像演算、電動Xテーブルの制御を行う。CPU: 8086 (8 MHz)。
- ・カラーCRT
画像処理結果の表示用。
- ・画像メモリ
HIT.WGで製作した256×256画素×8ビット×2画面のフレームメモリ。1/30秒で画像入力を行う。
- ・CCDカメラ TI-22A (NEC)
画像入力用カメラ。384×490画素。
- ・白黒CRT
カメラからの入力画像のモニタ用。
- ・実体顕微鏡 SMZ-10 (ニコン)
液晶観察用。カメラ撮像面での倍率を合わせる。
- ・リングファイバ照明 (ニコン)
液晶に影を出さずに、光を均一に与えるのに使用。
- ・手動XYテーブル
液晶の初期位置調整と縦方向移動に用いる。

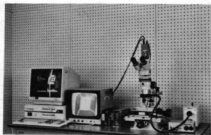


写真2 システムの構成

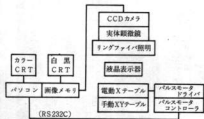


図2 システムブロック図

- ・電動Xテーブル STP-100C, パルスモータドライバ PDS-N514A, パルスモータコントローラ 1051A (テクニー)

RS232Cインターフェースにより、パソコンから動作を制御できる一軸のテーブル。1パルス0.01mm。液晶の横方向移動に使用する。

4. 照明系

画像処理において照明系は極めて重要であるが、今回、検査対象とした液晶表示器は、通常の照明で良好な画像を撮ることができなかったため、リングファイバ照明を採用した。

通常の白熱球照明による画像を写真3に示す。影が欠陥部分を隠してしまい、画像入力の段階で既に欠陥部分が検出不能になっている。

前掲の写真1は、リングファイバ照明による画像である。リングファイバの場合、360°全角度からほぼ均一に光があたるため、欠陥部分の検出を妨げるような影が発生することがない。

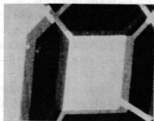


写真3 通常の白熱球照明による画像

5. 画像メモリ

液晶欠陥を検出するために必要なハードウェアとして、HIT.WGで画像メモリボードを設計・製作した。その外観を写真4に、ブロック図を図3に示す。

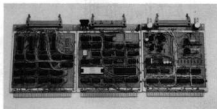


写真4 画像メモリボードの外観

画像取込時は、カメラからの信号を5メガサンプル/秒で8ビットデータにA/D変換し、シリアルアクセスバスを通して画像メモリに書き込む。画像表示時には、画像メモリのデータをA/D変換し、CRTに出力する。CPUバスとシリアルアクセスバスを分離しており、画像表示と画像演算を並行して行うことができる。

シリアルアクセスバスのアドレス生成回路と制御回路は、グラフィックディスプレイコントローラ(GDC)7220の発生する水平同期信号HSYNCと垂直同期信号VSYNCをもとに、十数個のTTLと汎用IO 8255で構成した。

本画像メモリボードは、パソコンPC9801m2の拡張スロットバスに挿入して使用する。

6. 欠陥検出アルゴリズム

液晶表示器の文字欠落と黒点発生に類似した欠陥の

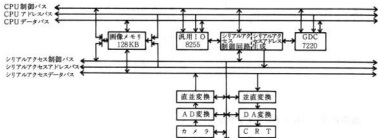


図3 画像メモリブロック図



図4 プリント基板欠陥検出原理



図5 膨張・収縮による液晶表示器の欠陥検出

検出法として、良く知られているものに膨張・収縮によるプリント基板欠陥検出原理がある。(文献1)

この方法は、図4に示すように微小な傷を含む入力パターン(a)自身から、膨張・収縮を用いて、傷が含まれていないとしたらこうなるであろうという準正常パターン(e)を作り、これと入力パターンとの比較を行って、一致しない部分(f)を傷と判定するものである。

この手法をそのまま液晶表示器の文字欠落に適用することはできない。図5のように、本来の傷だけでなく、液晶セグメント間の隙間も傷の検出として検出してしまうためである。

そこで図6のように、まずラベリングを行って、連結成分を抽出し、個別の連結成分ごとに膨張・収縮の手法を適用して、準正常パターンを作る方法を採用した。この方法によれば、液晶セグメント間の隙間は傷の検出とならない。

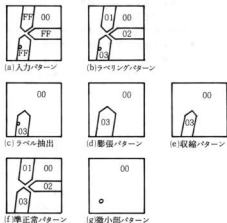


図6 連結成分ごとの膨張・収縮による欠陥検出

図7に、液晶表示器欠陥検出に使用したソフトウェアのフローチャートを示す。

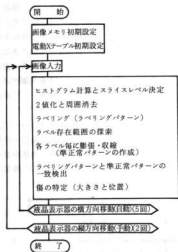


図7 液晶表示器欠陥検出ソフトウェアのフローチャート

7. 画像処理サブルーチンライブラリ

6. で述べた検出アルゴリズムを全てソフトウェアで実現したが、その際、液晶表示器検査の用途以外にも汎用的に使用できるように、画像処理サブルーチンライブラリの形にまとめた。

一般に画像処理では、ヒストグラム・2値化・ラベリング等の基本的機能を多重に組み合わせて、傷の検出・良否判別等のマクロな機能を実現する手法がとられている。これは画像処理の対象が広範囲にわたるため、柔軟な処理を行うには避けられない方法である。したがって、マクロ機能の構成要素である基本機能は可能な限り高速であるとともに、その組み合わせが容易に変更できることが望まれる。

本画像処理サブルーチンライブラリにおきめられたサブルーチンは、上記の基本的画像処理機能をアセンブリ言語で記述し、高速性を追求するとともに、プログラム修正の容易なBASIC言語から簡単に呼び出し可能な構成をとっており、マクロ機能作成のための優れた開発環境を実現している。詳しくは、文献2を参照されたい。

8. 結 言

(財)広島県産業技術振興機構の行う異業種交流事業を技術支援し、画像処理による液晶表示器の欠陥検査システムを開発した。

4. で述べた照明系と6. で述べた欠陥検出アルゴリズムにより、液晶表示器の文字欠落と黒点発生が検出できることを確認した。0.15mm以上の欠陥を安定して検出するには、1画素当り0.05mm²を割り当てる。このためには、液晶表示器全体を1画面(256×256画素)でとらえたのでは分解能不足であり、横方向を5分割、縦方向を2分割して検査を行う。CPU(8026:8MHz)1台で図7の処理を行うのに要する時間は、1画面当り約27秒、液晶表示器1個で約270秒である。10CPU構成の場合で約30秒、高速CPUを使用すれば約10秒まで短縮可能である。

液晶表示器製造ラインのタクトタイムが1秒と短かいため、オンラインでの全品検査には現状のままでは無理があるが、時間要素以外の問題、すなわち欠陥検出アルゴリズムの正当性、照明系を含めた画像入力光学系の問題は全て解決できた。今後、より短時間で検査を実現すべく、ゲートアレイなどの特定用途向けICによる検査アルゴリズムのハードウェア化を検討中である。

文 献

- 1) 秋山他2名: パターン認識技術の検査への応用, 日立評論, VOL 59-11 P 29 (1977)
- 2) 画像処理システム研究チーム: 画像処理サブルーチンライブラリ (昭61広島イノベーションチーム共同研究), (財)広島県産業技術振興機構(1982)
- 3) 藤田, 幸田: PC-Tecknow9800, システムソフト P 247 (1985)
- 4) 検査の自動化調査専門委員会: 外観検査の自動化 電気学会 (1984)

付着異物検出装置の開発

平田敏明, 蒲田政信, 吉野信行

Development of the Automatic Selecting Unit for Sheets Sticked Aliens.

HIRATA Toshiaki, KAMADA Masanobu, and YOSHINO Nobuyuki

This paper describes about development of the automatic selecting unit which continuously detects sheets stucked aliens. Concerning design of it, we paid attention to its operation and function. So, even if the size and thickness of sheets are change, we don't have to adjust it, only insert sheets between two rollers.

Displacement of two rollers is conveyed to differential-translator and decided good or failure from the variation. Failure falls in the case prepared in the selecting unit.

It becomes easy to select sheets stucked aliens by development of this unit.

1. 緒 言

自動車用パッキンをはじめ各分野で使用されるシート状の材料は、大きさ・厚さ・形状等、その種類は非常に多い。これらはシート状の大きな素材から裁断するか打ち抜いて作るが、その際打ち抜きカスや素材の切れ端等の異物が付着して使用不能となる場合がある。この不良品の検査選別装置は存在しているが、検査物の厚さが変わることによって微妙な調整を必要とするため多品種少量品の検査には適さない。そこで調整が不要で検査物の大きさ・厚さに関係なく連続的に検査選別可能な装置を開発した。

2. 装置の概要

装置の外観を写真1に示す。最大高さは約1m、幅は約50cm、シート材の流れる面の幅は40cm、傾斜角度は約30度である。ローラーは2対あり、上側のローラー対は不良品検出用、下側のローラー対はスイッチ（シート材の到達及び通過で作動）であり、傾斜面に設けた蓋は、不良品を装置内の箱に取り入れるためのものである。なお不良品検出用ローラーは軽量化のため中空の鉄パイプで製作した。



写真1 装置の外観

駆動機構を図1に示す。モーターの回転数は、1800

rpmで不良品検出用ローラー対の下側を駆動し、この回転は平歯車により上側のローラーに伝達される。また平歯車のピッチ円の径とローラー径を等しくしているので、シート材が入らない

時ローラー面は接触して回転する。スイッチ用のローラーも同様のモーターで駆動しているが、上のローラーは上下ローラーの接触摩擦だけで回転し、平歯車等による駆動はしていない。なおローラーの周速はいずれも約34cm/sとした。

不良品検出機構を図2に示す。シート材が検査用ローラーの間に入ると、下側

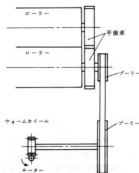


図1 駆動機構

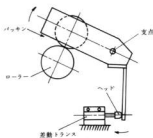


図2 不良品検出機構

ローラーは固定しているの上側ローラーが、もち上げられ、これに運動するてこにより差動トランスを動作させる。

スイッチ用ローラーの機構を図3に示す。この動作

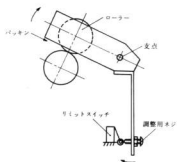


図3 スイッチ用ローラー機構

原理は、不良検出機構と全く同様であるが、1本の棒で2個のリミットスイッチを動作させているため、各々に調整用ネジを設け、これで微妙な調整を行っている。リミットスイッチのうち1個は、このローラー対にシート材が到達した時に割込みをかけるものである。他の1個はシート材が通過したことを検知するもので、不良品が通過した場合は一定時間（タイマーで任意に設定できる）後に蓋を閉じさせる。

蓋の開閉機構を図4に示す。不良品がスイッチ用ロ

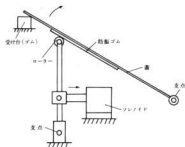


図4 蓋の開閉機構

ローラーに入るとソレノイドが動作して蓋が開くが、棒の上端にプラスチックのローラーをつけて蓋の開閉が円滑に行われるようにした。蓋の開閉時の振動防止のため、鋼板は1.6mmのものを使用しコーナー部にはエ

ッジをつけローラーとの接触面にはゴムを貼りつけた。なお蓋はソレノイドの電源が切れると自重で閉じる。

電子回路図を図5に示す。不良検出用ローラーから

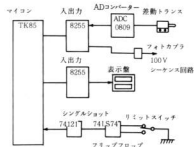


図5 電子回路図

の変位は差動トランスに入りそのアナログ信号はA/Dコンバーターによりデジタルに変換される。このコンバーターは逐次変換型で変換時間は100 μ sであるからシート材等の不良品検出用としては十分である。このデータは8255よりマイコン内に取り入れられる。一方スイッチ用ローラーにシート材が到達するとリミットスイッチがONして割込みがかかる。フリップフロップはチャタリング防止用の回路で、ここで整形された波形の立上がりでシングルショットのパルス(6 μ s)を発生させ割込み信号としている。この回路を設けたことにより、リミットスイッチが1回ONする毎に、すなわちシート材が入ってくる毎に割込みが1回

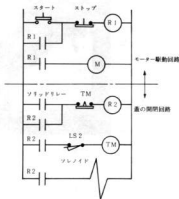


図6 シーケンス回路

かかり、不良品であればフォトカプラを通してシーケンス回路に起動がかかる。

シーケンス回路を図6に示す。回路の上半分はモーター駆動回路で、モーターは2連式ブリーチにより、不良検出用ローラーとスイッチ用ローラーの両方を駆動している。回路の下半分は蓋の開閉回路で、不良品が到達してトリッドリレーがONするとソレノイドに通電されて蓋が開き、不良品はローラーで下へ送られながら収納箱へ挿入される。不良品がローラーを通過するとリミットスイッチ (LS 2) のb接点が閉じてタイマー (TMD) に起動がかかり、タイムアップするとソレノイドはOFFし、蓋は自重で閉じる。LS 2によりシート材の終端を検出しているため、シート材の大小に関係なく円滑に収納される。

3. ソフトウェア

シート材の厚さは何種類もあるが、装置の調整をしないで検査可能にするため、入力する変位の変化量を読みとり良不良の判断を行う方式とした。

良品不良品の出力パターンを図7に示す。これは厚

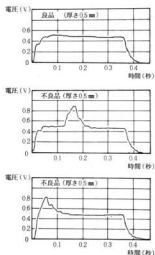


図7 良品不良品の出力パターン

さが0.5mmの自動車用バックンで不良品の場合は抜けカスが、バックンの中ほどと先端に付いている例であるが、抜けカスの付着場所・個数に関係なく検査が可能である。

プログラムの概略を図8に示す。プログラムは検査

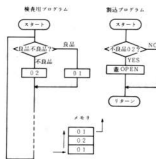


図8 プログラムの概略

用のプログラム (メインプログラムとデータ入力・カウント表示等9つのサブプログラム) と割込プログラムからなっており、検査用プログラムは良品・不良品の判断をしてメモリに良品ならば (01)、不良品ならば (02) を格納する。またメモリには3つの番地を割当て検査結果は早い番地から順次つめていく。割込みが発生すると検査用プログラムは一時中断して割込みプログラムが動作するが、これは3つのメモリのうち

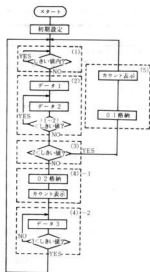


図9 検査用プログラムのフローチャート

最も早い番地の内容を参照して、不良品であれば蓋の OPEN 信号を出してメモリの内容を一つづつ繰り上げ、リターンする。検査の対象となるシート材が同時に3個以上装置上に存在することはないので、メモリ数はこれで十分である。

検査用プログラムのフローチャートを図9に示す。

(1)の間はシート材が検査用ローラーに入ってくるまでループをまわる入力待ちの状態、シート材が入るとループをぬける。(2)ではデータ1を新たに取り入れこれを基準にして、次に取り入れたデータ2と比較し、その差がしきい値内である間は、順次データ2を更新して比較を続け、しきい値を超えれば、(3)へ進み良品か不良品かの判断をする。データ2がしきい値以下であれば良品と判断し(5)へ進み、良品の結果としてメモリへ(01)を格納し良品のトータルを表示する。一方不良品と判断された場合は(4)へ進みメモリに(02)を格納し同様に不良品のトータルを表示する。(4)→2は不良品の終了待ちで、新たに取り入れたデータ3がしきい値以下になった時点が終了で、その後は再び次のシート材の入力待ちとなる。

しきい値とエラーの関係を図10に示す。グラフの

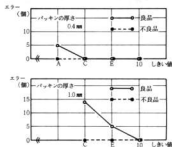


図10 しきい値とエラーの関係

縦軸は自動車用パッキンの検査100回当たりのエラー(良品を不良品と判断するか、あるいはその逆)数で、横軸はしきい値(但し16進数)として入力した値である。0.4mmのパッキンではしきい値をC(16)以上、1mmのパッキンでは10(16)以上にした時エラーが発生しないので、しきい値として10(16)を採用した。

最後にローラー対の変位と差動トランスに生じる変位の関係、すなわち検査試料入出力の関係を図11に示す。しきい値は10(16)であるから、これはセンサの変位0.32mm(5mm/256bit×10(16)bit)であり、

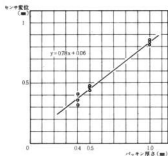


図11 検査試料入出力の関係

グラフより実際に検査可能なパッキンの厚さは理論的に0.35mm以上となる。

4. 結 言

各種シート材の付着異物検出装置を開発したが、特徴は次のとおりである。

- (1) 不良品は、異物の厚みによる入力電圧の変化量を読みとって検出するので、種々の厚さのシート材の検査に際して、厚さをその都度セットしたり装置を調整することは全く必要なく、検査時間の大幅な短縮が図れる。
- (2) 不良品は収納箱に一括して入れるので後処理が容易である。なお不良品取入用のふたの開閉は、シート材の始点終点を検出しているの、大ききの異なるシート材の収納がきわめて円滑に行われる。
- (3) 良品不良品の総数を各々表示するので、生産管理が容易である。

なおこの装置では、厚さ2.5mm(異物の厚さを含む)以下、大きさ400mm×400mm以下のシート材の検査が可能である。

種蒔機の自動化に関する研究

岡田芳雄, 大下 巖, 上梶迫省志*

Development of an Automatic Sowing Machine

OKADA Yoshio, OSHITA Iwao and UEKAJISAKO Syoji

Recently there has been gradually progressed the introduction of high-technology such as rearing and cultivating by use of biotechnology and mechanization of agriculture. However, there are many problems of small management and decreasing of farming population in Japanese agricultural environment. From above point of view, in this study, we developed an automatic sowing machine using a ground sensor and a driving unit of stepping-motor at small cost.

1. 緒 言

近年、農作業においてもバイオテクノロジーによる作物の育成、種苗生産および農業ロボットによる機械化や自動化等、先端技術の導入が進んでいる。しかし、一般に日本の農業は経営規模が小さく、高齢化による農業従事者の不足等の問題があり、稼働率が低い農業機械は、機能が低い割には安価であることが要求される。本研究では、農作業の省力化、自動化の一つとして、従来からある種蒔機に地面検出機能、およびステッピングモータによる駆動装置を追加して、低コストで種蒔機の自動化を行った。

2. 種蒔機の概要

種蒔機には条蒔と撒蒔があり、播種密度の制御は線

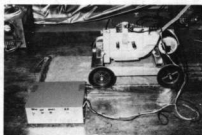


写真1 試作した種蒔機の全体写真

り出しロールの回転速度を走行速度に同期させる方法が採用されており、走行速度によらず一定密度で蒔くことができる。しかし、農作物育成における省力化として、畑の畝を一定間隔ごとに穴を開けたビニールで覆い地面の乾燥防止と除草を行うことがあり、この場合種蒔機の回転速度を穴の間隔に同期させる必要がある。本装置で使用した種蒔機には、図1に示すように

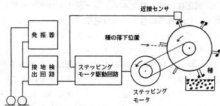


図1 種蒔機の構成図

ロールの周囲にエアによる種の吸引装置が6ヶ所あり60度回転する度に種の吸引、落下を行う。これに地面検出用センサを追加し、車輪に連結されていた駆動部をステッピングモータで制御してこの動作を可能にした。

大地は電気の良い導体であり、抵抗値によってビニールと地面を容易に分離することができる。接地検出回路は、電食の影響を小さく、信号処理を容易にするた

め微弱な交流電流を使用し、電極の一端を種蒔機本体の溝側機で接地し他端をセンサ車輪に接続して鉄の上を走らせる。これがビニールを外れ土に接触すると電流が流れ地面の検出ができる。

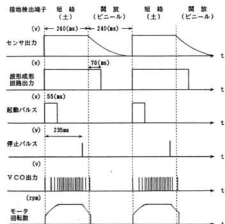


図2 種蒔機のタイミングチャート
(走行速度1.5km/h 穴径10cm 間隔10cm)

図2にこの種蒔機のタイミングチャートを示す。この図は、センサの接地検出端子をリレー接点で一定時間240 (ms) 毎に短絡或は開放して模擬的に実験を行い、測定にはデジタルストレージオシロスコープを使用した。通常の種蒔の走行速度は、1~1.5 (km/h) であるが、1.5 (km/h) では、ビニールの穴の径を10cm、間隔を10cmとすると、センサは、240 (ms) ごとに地面を検出する。地面は、不整地であることが多くジャンプによるチャタリングを防止するためセンサの応答は、立ち上がりは速くし、立ち下がりには時定数を持たせ、波形成形回路に示される信号を作る。この信号からワンショット回路でパルスモータ起動パルスを作る。起動パルスは、駆動装置の時間遅れ、バックラッシュ等による誤動作を防止するため、少し回転した後OFFとなるように若干長くした。一方、パルスモータ停止は近接センサの出力によりロールの回転を検出し、種の落下位置寸前で停止し次の動作に備える。

この様に種蒔機のロールは、1秒間に数回起動、停止を繰り返して確実に位置決めをする。このため、高価であるがパルスモータを使用した。図3にパルスモ-

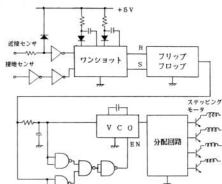


図3 ステッピングモータ駆動回路

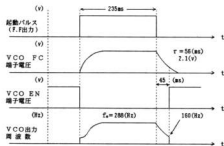


図4 ステッピングモータ加減速の特性

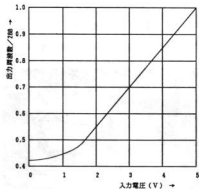


図5 VCOの入力電圧対出力周波数特性

タの駆動回路、図4にタイミングチャートを示す。パルスモータには2相モータを使用し、VCO（電圧制御発振器）で発生したパルスを、分配回路で2相励磁方式としており、1パルス当り 0.9° 回転する。VCOの周波数制御端子は、起動、停止時における衝撃を和らげると同時に自起動周波数の範囲の速度で短時間で位置決めをするため、CRの充放電特性を利用したスローアップ、およびスローダウンの動作をハードで制御する。VCOの入力電圧と出力周波数との関係は、図5に示すように1.5（V）以上では比例関係にありパルスモータは指数関数的に加速或は減速される。同時にVCOは、EN端子でON、OFFの制御が行われている。フリップ・フロップからのモータの起動信号がONになるとEN端子がローレベルになりVCOはアクティブになる。起動信号がOFFとなりCR放電回路の電圧が2（V）程度まで低下するとVCOの動作は停止する。スローダウンによる位置決め誤差は、回転角度を θ 、起動パルスがOFFとなり、EN信号の立ち上がる迄の時間をT、減速前の周波数をf、CR回路の時定数を τ とすると、

$$\begin{aligned}\theta &= 0.9 \int_0^T f_0 e^{-\frac{t}{\tau}} dt \\ &= 0.9 \tau f_0 (1 - e^{-\frac{T}{\tau}})\end{aligned}$$

となり、これに数値を代入して計算すると 8° ずれる。しかし、近接センサの位置を調整すれば実用上問題とならない。本システムの標準走行速度は、1.5Km/hであるが、3Km/h程度まで可能である。

3. 成 果

本研究は、農機具メーカー啓文社との共同研究であり、従来からある種蒔機に地面検出機能を追加し、ステップモータで繰り出しロールを制御することで、低コストで種蒔機の自動化を行った。

一般に、工業用機械が規格化した同一型式のものを大量に生産するのに対し、農業用機械は、生物を媒体としており対象の色、形態が大きく異なる。また、不整地を走行するため堅牢性、安定性が要求される。今後、実用化に向け検討、改良を進める。

文 献

- 1) 新村佳久 他：ステップモータの基礎と応用

金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究(第3報)

白金箔を用いたジルコニアの接合とその界面に関する研究

世良時夫, 岩本信也*, 巻野勇喜雄*

Joining of Zirconia Using Platinum Film and Characterization of Its Interface.

SERA Tokio, IWAMOTO Nobuya* and MAKINO Yukio*

Joining of two sorts of zirconias using platinum films was performed in oxygen atmosphere. No high strength was observed from ZR-11/Pt/ZR-11 joints. High fracture shear strength over 100 MPa was obtained in YTZ/Pt/YTZ joints. Excellent fracture shear strength of YTZ/Pt/YTZ joint can be attributed to the formation of Pt-Zr-O compound in the interlayer of the joint as well as strong original strength of YTZ. Detailed structure of the compound remain unclear except that state of oxygen in the compound and is less ionic.

No good joint using ZR-11 zirconia was obtained in the present study on account of no good strength of the zirconia. Further, the enrichment of aluminum, silicon and calcium at the interface between zirconia and platinum metal seems to cause weak strength of the joint.

1. 緒 言

過酷な条件下で使用されるセラミックスと金属接合では白金などの貴金属を用いる方法がある。今迄にアルミナと白金の接合に関する研究は比較的好く報告されている^{1,2}。しかし、ジルコニアと白金の接合に関する研究は少ない。その上、接合界面については十分解明されていない。

近年、高強度ジルコニアの開発により用途は拡がり耐摩耗、耐食性などの必要な軸受部品やポンプ部品、断熱性、靱性、疲労、耐摩耗などの必要な高速エンジン部品、その他厳しい条件下で使用する部品の白金箔による接合体は適した方法と考えられる。

このことは白金が酸化雰囲気中で最も安定した金属の一つで、セラミックスとの接合などは難しい。いろいろの接合条件をアルミナセラミックスで検討して、最適条件でジルコニアとの接合を行い、せん断試験により接合強度を評価した結果 YTZ/Pt/YTZ で 100 MPa 以上のせん断強さが得られ、その界面の分析についても検討したので報告する。

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日本化学陶業社製で、表 1

* 大阪大学溶接工学研究所

に示す組成の二種類のジルコニアを $10 \times 10 \times 3$ の試験寸法に加工し、YZZ ジルコニアは 1000 番まで研磨して使用した。

表 1 ジルコニアセラミックスの化学組成 (mol%)

| | ZrO ₂ | CaO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | Y ₂ O ₃ | 全不純物 |
|-------|------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|
| ZR-11 | 87.14 | 11.69 | 0.79 | 0.38 | — | — |
| YZZ | 97.0 | — | — | — | 3.0 | Fe, Na, Cl 100ppm |

接合に使用した白金は 1, 20, 50 μm の厚さで試験片と同じ 10×10 に切って、20 及び 50 μm 箔は 1500 番で表面を研磨して次の処理を行った。

セラミックス、白金をトリクレソール、アセトンで超音波洗浄後、水洗、乾燥、10% ナイタルで 15 分間超音波処理を行い、空气中、1000°C、2 時間加熱の前処理を行った試料を接合した。

2.2 実験方法

二個のジルコニア供試体の中間に白金箔を入れて、縦型シリコニット炉を使用して、14.7 KN の荷重を載せ酸素雰囲気中で 1500°C、4 時間加熱後炉冷した。

接合体の評価は、本報告³のせん断治具と同じ形状のものを使用し、万能材料試験機を使用して 1mm/min の速度で試験した。せん断試験後の接合界面を SEM-EDX 分析、XPS 分析を行った。XPS は ESC

A, Lab-5を使用して10 KW×2 mA, 2×10^{-4} Torrで測定した。

チャージアップの影響は C_{1s} (284.6 eV)と Ag_{3d} (367.9 eV)のピークで補正した。

3. 実験結果

ジルコニアと白金の接合条件とせん断試験結果を表2に示す。

CaO添加ジルコニアはセラミックスと接合界面が破壊して、せん断強さが測定できなかった。 Y_2O_3 添加のYTZジルコニアは白金の厚さに関係なく100 MPa以上の高いせん断強さが得られた。しかもその破壊は接合界面からであった。

表2 接合条件とせん断強さの関係

| 試料 | 白金の厚さ (μm) | 雰囲気 | 前処理 | せん断強さ (MPa) |
|-------|------------|-----|-----|-------------|
| ZR-1 | 1 | 空气中 | 処理1 | 5.9 |
| ZR-2 | 20 | 酸素中 | 処理2 | — |
| YTZ-1 | 20 | " | " | 105.9 |
| YTZ-2 | 20 | " | " | 134.4 |
| YTZ-3 | 20 | " | " | 102.0 |
| YTZ-4 | 50 | " | " | 104.9 |
| YTZ-5 | 50 | " | " | 143.2 |

処理1：アセトン洗浄

処理2：ジルコニア, Ptトリクレン, アセトン超音波洗浄, 10%ナイタル15分避波処理後1000℃2時間加熱処理

写真1はZR-11ジルコニアの破断面の各部分でのSEM-EDX分析結果を示す。左側の白い部分Aはジルコニアの破断面, B及びCはジルコニアと白金の接合界面, D部分は白金箔を示す。

EDX分析の結果, AはZr, Dは白金が明らかである。B及びCでは位置によって異なるがAl, Ca, Siなどの偏析していることが認められる。

写真2はYTZジルコニアのせん断界面の白金側を示したものである。白金のせん断による変形状況がみられる。

写真3はYTZジルコニアのジルコニア側の界面を示したもので, A, B部分でのEDXによるスポット分析を示したもので, Zrは明らかに認められる。又白金が微量ではあるが認められることが確認された。

さらにYTZジルコニアの詳細な分析を行うためXPS分析を行った。

図1～3はYTZジルコニア側 (Pt_{4f}についてはPt側も分析) のアルゴンイオンスパッター時間とO_{1s}, Pt_{4f}, Zr_{3d}の光電子分光スペクトルを示す。

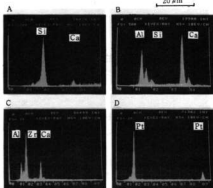
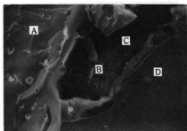


写真1 ZR-11/Pt/ZR-11接合破断面のSEM像及びEDX分析

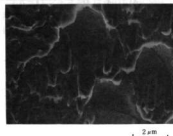


写真2 YTZ/Pt/YTZ接合界面の白金側のSEM像

図1はO_{1s}のスペクトルでスパッター時間90分迄と120分と比較すると, 後者の結合エネルギーピークが約5 eV高エネルギー側にシフトしている。

図2はZr_{3d}のスペクトルでスパッター時間による変化は小さい。そして120分間スパッター後には低エネルギー側にZr_{3d}のなだらかなピークがみられた。

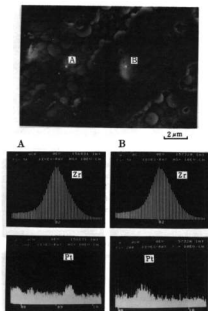


写真3 YTZ/Pt/YSZ接合界面のジルコニア側のSEM像及びEDX分析

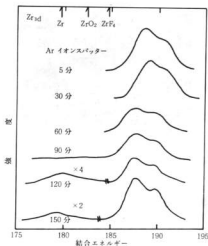


図2 YTZジルコニア側接合界面のアルゴンイオンスパッター時間と Zr_{3d} のXPSスペクトルの関係

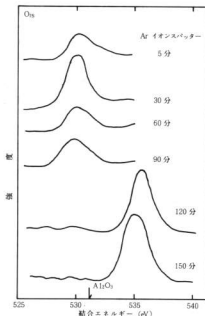


図1 YTZジルコニア側接合界面のアルゴンイオンスパッター時間と O_{1s} のXPSスペクトルの関係

図3は Pt_{4f} のスペクトルで、スパッター時間によって入り組んだスペクトルピークを示す。30分以上のスパッター時間では3~4つのピークがそのスパッター時間でみられる。

ZrO_2 , PtO_2 , $\alpha-Al_2O_3$ の標準の結合エネルギー値と Zr_{3d} , Pt_{4f} , O_{1s} のエネルギー値は2~5 eV高エネルギー側に現われている。

4. 結果の考察

強くなかったZR-11のジルコニアはせん断強さが測定されなかった。弱い原因として、ジルコニアと白金の間にAl, Si, Caなどの偏析があるためと考えられる。又、白金 $1\mu m$ の厚さの実験は高いせん断強さが得られなかった。

高いせん断強さの得られたYTZ/Pt/YSZの間にはPt-Zr-Oの形態の特徴ある化合物が出ていた。 Y_2O_3 はCaOやMgOで安定化したものより熱衝撃やジルコニアの変態が安定で擾れている。

YはZrとともに同質的な白金の拡散が期待出来る。YTZ/Pt/YSZのジルコニア側界面近傍でZrと

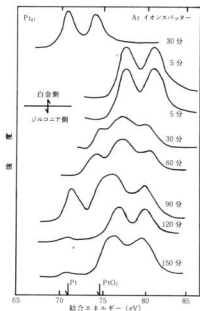


図3 YTZジルコニア側接合界面のアルゴンイオン
スパッター時間と Pt_{4f} のXPSスペクトルの関係

Yの共存していることがXPS分析から示唆された。

この結果から、標準の酸化物に比較して各々のイオンの部分電荷はかなり高い値が示唆される。

GalloniとRoffo⁴によると Pt_3O_4 において、Ptの酸素に対する配位は少し異常で、Ptは酸素に対して8配位を示す。このような配位数が高くなるほどPt部分電荷の増加とよく対応し、XPSの結果と矛盾しない。しかしながらYTZ/Pt/YTZ界面に形成された化合物の詳細な構造は不明である。

Pt-Zr-O化合物の形成はNevitt⁵らにより Zr_6Pt_3O の報告がされているのみである。部分電荷はXPSの総エネルギーから可能であるが、Pt-Zr-O化合物においては、PtとZrの安定度比及び配位構造が不明であるので簡単に計算できない。

YTZ/Pt/YTZ接合のせん断強さは白金の強さによって決まる。なぜなら、破断面の白金側のSEM像から塑性変形がみられることやPtの等級によって引張強さが異なることから考えられる。熱応力はセラミックスと金属の熱膨張差に大きく影響するがこの組合せはほぼ等しく又、白金は変形しやすいことで有利と

考えられる。インサート金属の厚さも重要な因子であるが、この研究では $20\mu m$ と $50\mu m$ の白金の厚さを変えてせん断試験を行ったが結果は大差がなかった。

結論として、構成元素の部分電荷を高めるような最近接構造をもつPt-Zr-O化合物が形成されることによってYTZ/Pt/YTZの接合界面が強化されるものと考えられる。

これに対してZR-11/Pt/ZR-11接合体ではZR-11ジルコニアそのものの強度が低い上に界面にAl, Si, Caなどの不純物が偏析するために接合体の強度が本質的に弱いものと結論される。

5. 結 言

二種類のジルコニアを白金箔を使用して接合した結果、つぎの結果が得られた。

1. YTZジルコニア、Ptをトリクレン、アセトンで超音波洗浄後、10%ナイタル15分超音波処理し1000℃2時間、加熱の前処理を行ない、1500℃4時間、酸素雰囲気中で接合した結果、約100~140MPaのせん断強さを得た。

2. 白金箔の厚さ20と50 μm ではせん断強さに大きな差は認められなかった。

3. 白金とYTZジルコニアの接合界面にはPt-Zr-Oの化合物が形成され、接合強度が向上したものと考えられた。

4. ZR-11ジルコニアはそのものの強度も弱く、接合界面にAl, Si, Caが偏析するため接合体の強度が低いといえる。

文 献

- 1) J. T. Klomp: Science of Ceramics, Vol 5 (1970) P.501
- 2) R. V. Alken and W. E. Borbide: Science of Ceramics, Vol 12 (1977) P.383
- 3) 世良, 原, 新田, 土取, 芳野: 広西工技報告, No. 29 (1986) P.34
- 4) E. E. Galloni; and A. E. Roffo: J. Chem. Phys. 9 (1941) P.875
- 5) M. V. Nevitt, T. W. Downey and R. A. Morris: Trans. Met. Soc. AIME, 218 (1960) P. 1019

セラミックス溶射による機能材料の開発

野地英治, 吉池啓佑, 菊山信行, 横山宏樹

Ceramics Coatings for Anti-wear by Thermal Spraying

NOJI Hideharu, YOSHIKE Hiroyuki, KARIYAMA Nobuyuki and YOKOYAMA Hiroki

Ceramics coating by using thermal spray method is very useful to make many functional materials. This time to make anti-wear materials, oxide ceramics (Al_2O_3 , $Al_2O_3 \cdot TiO_2$, TiO_2 , Cr_2O_3) and self-bonding metals (Ni-base, Co-base) were sprayed on mild steels by flexible-code flame spraying, and tested anti-erosion wear, anti-abrasion wear, hardness at high-temperature, post deposition treatment by Hot Press process. The results are as followed.

- 1) Oxide ceramics by flame spraying are not so good for anti-erosion wear.
- 2) Cr_2O_3 is good for anti-abrasion wear in comparison with SKD-11(heat treated).
- 3) Post treatment by Hot Press process is useful to reform ceramics coatings, and for anti-abrasion wear.
- 4) Hardness of ceramics coatings at high-temperature are very hard in comparison with steels, for example hardness of Al_2O_3 and $Al_2O_3 \cdot TiO_2$ are over Hv500 at 1000°C, but hardness of TiO_2 is beginning to decrease suddenly at 800°C.

1. 緒 言

近年厳しい使用環境への対応, 又製品の付加価値の向上等の理由により, 高機能化, 新製品開発のニーズが益々高まっている。そこで金属の有する特長とセラミックスの各種高機能性をドッキングした新しい複合材料の開発をめざし, ガス式溶射法により各種酸化物系セラミックス及び自溶性合金を軟鋼表面に溶射し, 耐摩耗性, 高温硬さ, 溶射後の後処理等について評価を行った。その結果, セラミックス溶射被膜の耐摩耗に対する適否, 有意性等二・三の知見が得られたので以下報告する。

2 実験方法

2.1 溶射材料及び溶射条件

使用した溶射材料は表1に示すように, 酸化物系セラミックス4種類, ニッケル基及びコバルト基自溶性合金2種類(いずれもフレキシブルコード状)とし, 溶射装置はS N M I社製トップ・ジェット2を用いた。溶射条件は表2に示す条件で行った。母材は板厚3mmの軟鋼板とし, 溶射膜厚は約0.5mmである。なおセラミックス材料の溶射に先立ち, モリブデンを約50 μ m下地溶射を行った。自溶性合金は溶射後, 真空中で1050°C×1時間後加熱した。(又溶射条件は表2に示す条件とした。)

2.2 被膜評価法

摩耗試験はプラストエロージョン試験及びJ I S H 8615に準ずる平面摩耗試験機(スガ式摩耗試験機)を用いた。プラストエロージョン試験条件は, ノズル内径5mm ϕ , プラスト材:昭和電工A-40モランダム, プラスト距離:150mm, エアー圧:2.5kgf/cm²(直圧式), プラスト時間:10秒, 試験片寸法:50×60mmとした。又平面摩耗試験は, 荷重3kgf, 研摩紙:SiC#320とした。摩耗試験に先だち溶射被

表1 溶射材料の化学成分

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------|-----------|---------|-----------|---------|-------|------|------|
| Al_2O_3 | Al_2O_3 | | | | | | | |
| | 99%以上 | | | | | | | |
| $Al_2O_3 \cdot TiO_2$ | TiO_2 | Al_2O_3 | SiO_2 | Fe_2O_3 | $CaOMg$ | | | |
| | 3.3 | 96.0 | tr | tr | tr | | | |
| TiO_2 | Al_2O_3 | TiO_2 | SiO_2 | | | | | |
| | 4.0 | 95.5 | 0.5 | | | | | |
| Cr_2O_3 | Cr_2O_3 | SiO_2 | TiO_2 | Al_2O_3 | | | | |
| | 50.0 | 10.0 | 6.0 | 34.0 | | | | |
| | C | Cr | B | Si | Fe | Ni | Co | W |
| ロクダ-No1 | 0.9 | 16.5 | 3.25 | 4.25 | 3.75 | 71.35 | — | — |
| ロクダ-No7 | 1.0 | 19.0 | 2.5 | 3.0 | — | 13.0 | 4.85 | 13.0 |

膜はダイヤモンド砥石で研磨した。

又溶射被膜の常温及び高温硬さ（ビッカース硬さ）も測定し、摩耗試験後の試験表面をSEM観察し、摩耗形態を考察した。

表2 溶射条件

| 溶射材料 | 溶射条件 | | | | |
|--|--------------------------------|-----------------|-------------------|--------------|---------------|
| | O ₂ ガス流量 (ガール/分) | ガス流量 (ガール/分) | ワイヤ速度 (mm/min) | 溶射距離 (cm) | エアージ (bar) |
| Al ₂ O ₃ | 70 | 65 | 25 | 7 | 4.5 |
| Al ₂ O ₃ +TiO ₂ | 70 | 65 | 30 | 7 | 4.5 |
| TiO ₂ | 65 | 65 | 35 | 7 | 4.5 |
| Cr ₂ O ₃ | 68 | 68 | 27 | 7 | 4.5 |
| Ni 基溶射合金 (ロゾナー地) | 65 | 70 | 90 | 20 | 4.5 |
| Cr 基溶射合金 (ロゾナー地) | 65 | 70 | 100 | 20 | 4.5 |

- 基板地 鋼材 約50μ
- 溶射線径 0.5mm

2.3 溶射後の後処理

セラミックス溶射被膜を後加工し、気孔の低減や、結合力の改善が図られれば、耐摩耗性の向上も期待出来ると考えられる。そこでアルミナ及び酸化クロムを溶射後、ホットプレスで荷重4kgf/cm²、温度：1050℃、保持時間1時間後処理をし、後処理の有効性をスガ式摩耗試験で評価した。

3. 実験結果及び考察

3.1 耐摩耗性

プラストエロージョン試験結果を硬さとの相関で整理し図1に示した。一般にプラストエロージョン試験は、土砂摩耗の摩耗に対する試験で主に結合力を評価する方法で硬さとの相関が有ると言われている¹。本実験の結果では総じて、硬いセラミックスは悪く、中

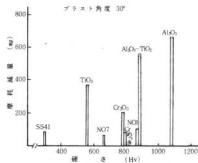


図1 プラストエロージョン試験結果

でも最も硬いアルミナ系（酸化クロムの方がアルミナより硬いという報告もある¹）は良くない。この原因はガス溶射による本実験の溶射条件では結合力が弱かったと推定出来る。一方セラミックスと比較し自溶性合金は結合力も良く、耐摩耗性は相当良くなる。

スガ式摩耗試験の結果を図2に示す。一般に本試験法のような引っかきの摩耗に対しては硬い材料が良いと言われているが¹、硬さとの相関で整理した図3で

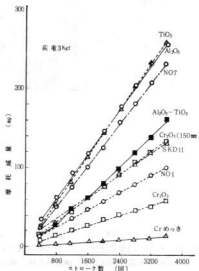


図2 各種溶射材料のスガ式摩耗試験結果

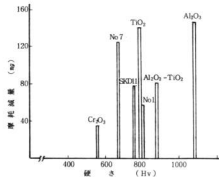


図3 スガ式摩耗試験と溶射材硬さ

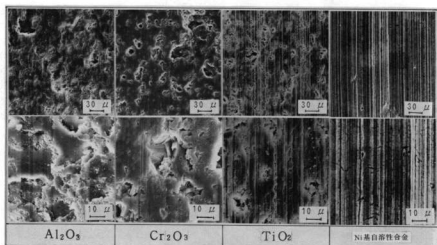


写真1 スガス摩耗試験後の表面SEM写真

みても、硬いアルミナ系は概して良くない。この事は溶射条件も影響すると思われるが、プラズマ溶射と比較し、ガス溶射では結合力、硬さ、気孔等被膜の特性にある程度限界があるか、よほど最適な条件を見つ出す必要があると思われる。

しかし酸化クロムは比較的良好な摩耗結果が得られ、比較したSKD-11熱処理材の約2倍の耐摩耗性を示した。この結果を基に県内企業の練瓦製造機に適用した事例でも好結果を得ている。しかし同じセラミックスでも、溶射条件によって結果が変わる例として、酸

化クロムを溶射距離70mmから150mmに変えただけで、耐摩耗性は約半分に低下したように溶射条件の管理は非常に重要である。

摩耗試験後の表面をSEM観察した例を写真1に示す。SEM観察によると金属系とかチタニア等比較的硬さの低い材料はスガス式摩耗試験により表面に引っかきの跡がすじ状にはっきりと残るが、アルミナ等耐摩耗性の良くなかった材料は引っかきの跡がなく、又ボロボロ剥離するように被膜が摩滅している。この事から引っかきの摩耗に対しても硬さだけでなく、粒子間の結合力も非常に重要な要因であると考えられる。

参考として、スガス式摩耗による軽負荷時(荷重500g)の摩耗の結果を図4に示す。軽負荷の下では随く剥離するような摩耗が減少するかと思われたが、重荷重下と同じ傾向となった。

3.2 セラミックス溶射の後処理の影響

セラミックス溶射被膜を溶射後、ホットプレスで後処理し、被膜をSEM観察すると、気孔等欠陥も大幅に減少し、後処理の効果が認められた。またスガス式摩耗試験の結果を図5に示す。後処理により耐摩耗性も向上する。しかしその程度は後処理方法、条件によっても変わる事が予想され、今後後処理による被膜の改善とその機能評価を追求する計画である。

3.3 セラミックス溶射被膜の高温硬さ

セラミックスは常温でも多くの優れた機能を有する

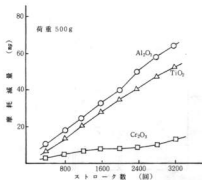


図4 セラミックス溶射のスガス式摩耗試験結果(軽負荷)

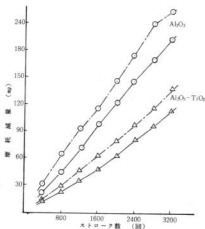


図5 ホットプレス加工したセラミックス溶射被膜のスガ式摩耗試験結果

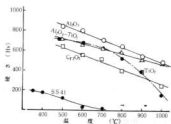


図6 セラミックス溶射被膜の高温硬さ

が、特に金属材料と比較した場合、高温での機能特性が非常に良い。その一例としてセラミックス溶射被膜の高温硬さを図6に示す。本研究に用いたセラミックス溶射材料の中で、アルミナ及びアルミナ・チタニアは特に高温での硬さ低下が少なく、1000℃においてもピッカース硬さは500以上である。一方常温では耐摩耗性の良かった酸化クロムは、アルミナと比較すると比較的高温硬さの低下は大きい。しかし金属材料と比較するとセラミックス溶射被膜の高温下における耐摩耗性も相当優れている可能性があると考えられる。

4. 結 言

ガス式溶射法により、フレキシブルコード状の各種セラミックス（アルミナ、アルミナ・チタニア、チタニア、酸化クロム）及び自溶性合金（ニッケル基、コ

パルト基）を軟鋼表面に溶射し、耐摩耗性、高温硬さ、溶射後の後処理の影響等について評価した。本研究の結果、主に次の様なことが判明した。

(1) 本実験での溶射条件下で得られた酸化物系セラミックスの溶射被膜は、土砂摩耗の摩耗にはあまり良い結果を示さなかった。

(2) 引っかきの摩耗（スガ式摩耗試験）には、酸化クロムの耐摩耗性が良く、SKD-11熱処理材の約2倍の耐摩耗性があり、ニッケル基自溶性合金も比較的良かった。しかし最も硬いアルミナは本実験の範囲内では耐引っかき摩耗性も良くなかった。

(3) 一般に引っかき摩耗と硬さとは比較的相关があると言われているが、必ずしも硬い材料が良いとは言えない。

(4) スガ式摩耗試験後の試料表面をSEM観察すると、金属系やチタニア等比較的軟らかい材料は表面に引っかきの跡がすじ状にはっきりと残るが、硬いアルミナ等は引っかきの跡がなく、ポロポロ剝離するように被膜が摩滅している。

(5) 溶射後、ホットプレスで加熱・加圧処理したアルミナ及びアルミナ・チタニアは気孔等も減少し、スガ式摩耗試験での耐摩耗性も向上する。

(6) セラミックス溶射被膜の高温硬さ試験の結果、アルミナ及びアルミナ・チタニアの高温での硬さ低下は低く、1000℃においてもピッカース硬さは500以上である。又チタニアは800℃位から急激に硬さは低下し始め、又酸化クロムの高温硬さはあまり高くない。

摩耗の種類は多岐にわたり、他の事例ではセラミックス溶射が非常に効果的であったとする報告も多く発表されており⁴、材料の種類のみならず溶射距離等溶射条件ならびに結合力によっても大幅に変わる。従って最適な溶射条件の把握は重要な課題である。

文 献

- 1) 岸田正明：高温学会誌vol.6 No.1(1980年1月) P.17～
- 2) 例 伊藤普他：日本溶射協会，學術講演大会 講演論文集(1986年) No.45 P.65～
- 3) 竹山象三他：日本溶射協会誌vol.23 No.4 P.1191～
- 4) 第一メテコ資料：Coating Recommendations No.010872

繊維強化金属(FRM)の開発

土取 功, 新田 明, 原 信彦

Study on Fabrication of Fiber Reinforced Metal by The Squeeze Casting Method.

TSUCHITORI Isao, NITTA Akira, HARA Nobuhiko

High modulus carbon fiber and Alumina-Silica chopped fiber which is lower price were incorporated into Al alloy(AC2A) by the squeeze casting. For Carbon fiber, the manufacture process condition under as lower temperature as possible was sought because of the interfacial reaction and thermal oxidation. Alumina-Silica chopped fiber was incorporated into Al alloy under the steady condition for reasons of that thermal stability. And bending strength, resistance to abrasion and cross section structure of the composite was examined.

The main results are as followe;

- 1) High modulus carbon/AC2A composite was gained completely on the condition that the fiber preheat temperature was 450°C above and the pouring temperature was 750°C above.
- 2) Bending strength was ultimately 70 kgf/cm² in High modulus carbon fiber/AC2A and 32 kgf/cm² in Alumina-Silica chopped fiber/AC2A.
- 3) Precipitated Si from Al alloy of FRM was observed similarly that Si adhered to fiber surfaces in High modulus carbon fiber, and which was different from that in Alumina-Silica chopped fiber.
- 4) The resistance to abrasion of Alumina-Silica chopped fiber/AC2A composite indicated about 3 times compared with AC2A in SUGA-abrasion wear test.

1. 緒 言

金属基複合材料の中で繊維強化金属(FRM)は次世代材料の一つとして各方面から注目されている。FRMを製造する場合の要点は材料面(繊維強化)からは繊維とマトリクス金属との界面の結合性という点にあり、製造技術の上からは繊維の配向性とマトリクス金属に均一に分布した状態をいかに作りだすかというところにある。

FRMの製造法はマトリクス金属の固相状態と液相状態での成形加工に分けられる。前者は固体拡散接合を利用したもので、ホットプレス法、HIP法、熱間ロール法、粉末冶金的方法、熱間押し出し(引き抜き)法等があり、後者では溶液浸透法、加圧鋳造法、真空鋳造法等である。最近では中間的な粘鋳法¹⁾(レオキャスト)を利用した方法も考えられている。これらの製造方法はそれぞれに特徴があるが、我々は固相拡散接合を利用したホットプレス法により炭素繊維/Cu、炭素繊維/Niについて検討してきた²⁾。しかしこの製造法は製造コストとしては高い部類に属する。そこで今回、より低コストな製造技術の一つと考えられ、液相状態での成形加工である加圧鋳造法(高圧凝固鋳造法)によりアルミニウム合金マトリクスのFRMの製造を試みたので報告する。

2. 実験方法

強化基材として高弾性炭素繊維(東レ, M40-99-6K, サイジング剤無し)と低価格で断熱材等に使用されているものと同種のアルミナ・シリカ短繊維(東芝モノフラクツス製, Al₂O₃ 48%, SiO₂ 51%)を用いた。これらの繊維特性を表1に示す。高弾性炭素繊維は約12cmの長さで切断し、これを約25mmφに束ねてアルミニウム箔(99.9%, 0.1mm²)で覆い、一方方向の成形体とした。一方、アルミナ・シリカ短繊維については水の中に懸濁させ、吸引成形により無方向な成形体(40φ×100mm^h)を作製した。

複合化に際して、高弾性炭素繊維は予熱時に繊維の酸化あるいは複合化時にアルミニウム合金との反応による劣化が考えられる。従って、できるだけ低い温度での複合化が望まれ、その成形条件を求めた。アルミナ

表1 使用した強化繊維の特性(カタログ値等による)

| 繊維の種類 特 性 | 高弾性炭素繊維 (M40) | アルミナ・シリカ短繊維 (モノフラクツス) |
|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| 引張強さ (kgf/cm ²) | 250 | 150 |
| 弾性率 (kgf/cm ²) | 40000 | 11000 |
| 平均繊維径 (μm) | 7 | 2.5 |
| 繊維長 (mm) | 連続 | < 50 |
| 密度 | — | 2.73 |

・シリカ短繊維についてはこのような恐れが少ないと考えられ、一定の条件で複合化した。

またマトリクス金属としてアルミニウム合金の AC2A (Si 4.19%, Cu 4.01%) を用い、比較として純アルミニウム (99.99%) でも成形を試みた。

●高圧凝固鑄造は図1のような装置を作成し、さきの繊維成形体を型内に配置して電気炉で予熱後、アルミニウム合金を型内に注湯し、直ちに 1000kg/cm^2 の圧力を加えてそのまま凝固させ、複合化を図った。高弾性炭素繊維については繊維予熱温度を $400\sim 500^\circ\text{C}$ 、注湯温度を $700\sim 800^\circ\text{C}$ の範囲で複合化条件を求め、アルミナ・シリカ短繊維については繊維予熱温度を 550°C 、注湯温度 750°C の一定の条件で複合化した。得られた FRM はその繊維含有率 (Vf) を画像処理によって求めるとともに $3\times 4\times 50\text{mm}$ の試験片に機械加工し、その強さを3点曲げ試験で評価した。(JIS R1601) またアルミナ・シリカ短繊維/AC2A についてはスガ式および西原式の摩耗試験機でその耐摩耗性を試験した。FRM の特性の一つとして、その熱膨張挙動を示差型熱膨張測定装置により測定した。その他、複合化後の断面組織を光学顕微鏡、SEM、EPMA 等で観察、分析を行った。

3. 実験結果

高弾性炭素繊維/AC2A, 純 Al の複合化後の様子を図1の A-A' の横断面で調べることとし、その結果を写真1に示す。AC2A の場合、注湯温度が 700°C で繊維予熱温度が 400°C では未複合な部分 (黒くみえる) が残り、この条件範囲では繊維予熱温度が 450°C 、注湯温度が 700°C 以上の条件で複合化が可能なが分かった。また一方純アルミニウムでは著しく成形性 (浸透性) が悪く (写真1下)、本実験の範囲内では健全な

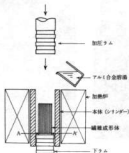
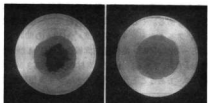
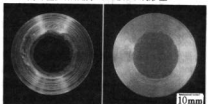


図1 FRMの成形法 (高圧凝固鑄造法)



繊維予熱温度: 400°C , 注湯温度: 700°C 繊維予熱温度: 450°C , 注湯温度: 700°C

(上) 高弾性炭素繊維/AC2Aの成形性



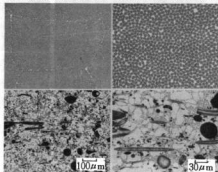
繊維予熱温度: 450°C , 注湯温度: 750°C 繊維予熱温度: 450°C , 注湯温度: 750°C

(下) 高弾性炭素繊維に対する純AlとAC2Aの成形性

写真1 高弾性炭素繊維の複合化後のようす

(図1のA-A'横断面)

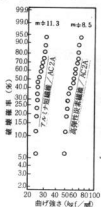
複合体は得られなかった。これが繊維のぬれ性に起因するものか、あるいは単に湯流れの問題かは明らかでない。写真2に高弾性炭素繊維とアルミナ・シリカ短繊維のAC2Aとの複合化後の顕微鏡組織を示す。これらの Vf は平均値でそれぞれ 70.1% と 20.2% であった。高弾性炭素繊維/AC2A では高い Vf ににもかかわらず繊維同士の接触も少なく、良い分散を示している。また(a)で粒界のように観察されるのは炭素繊維の6千本のストランドの境界である。アルミナ・シリカ短繊維の方は無方向であるが、数十 μm 以上の丸い黒くみ



(上)高弾性炭素繊維/AC2A (下)アルミナ・シリカ短繊維/AC2A

写真2 FRMの断面組織

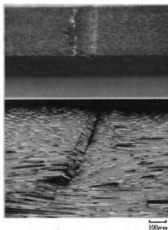
えるものは繊維ではなく、粒状で繊維製造上、混入するものである。これらの曲げ試験結果の一部を図2に示す。アルミナ・シリカ短繊維/AC2Aの曲げ強さは25~32 kg/cm²、高弾性炭素繊維/AC2Aが51~72 kg/cm²である。AC2A素材の曲げ強さが約33 kg/cm²であることからアルミナ・シリカ短繊維では



むしろ複合弱化している。これについてはVfが20%前後と低く、しかも繊維配向も無方向である上に、写真1の組織でみられるようにアルミナ・シリカの大きな粒子が比較的多く存在しているためではないかと考えられる。一方、高弾性炭素繊維/AC2Aも繊維強化はされているものの複合則からは著しく低い値

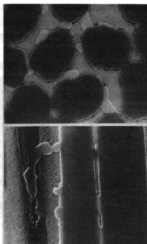
のため複合化条件による曲げ強さの差はあまりみられず、曲げ試験の試験片および曲げ加圧部のR(半径)が不適当であった。(一部引張試験を行うと86 kg/cm²以上の強さが確認された。)

またその組織を観察すると写真4にみられるように炭素繊維の周囲(表面)に析出物が附着しているのわかる。EPMAでの分析結果を写真5に示す。これから析出物はSiであることがわかる。Cuについてはα相に固溶していると思われ、状態図の上からもそのようになる³⁾。マトリクス金属のアルミ合金中のSiについては議論の分かれている点もあるが、最近砥綿⁴⁾はSiC繊維/Al-SiではSiがSiC繊維の周囲に析出し、FRMとしての強度を低下させることを指摘している。本実験の場合も同様に考えられるが、Siの析出状態がやや異なっている。すなわちSiC/Al-Siの場合SiはSiC繊維の周囲に粒状に析出しているのに対し、本実験の場合、写真4のように炭素繊維表面にSiが附着しているように、あるいは炭素繊維間を繋ぐように析出している。高圧凝固鑄造時に炭素繊維とアルミ合金とで熱交換が行われ炭素繊維表面から凝固すると思えば初晶としてはαの析出が始めに生じるはずであり、このようなSiの析出形態は想像しにくい。ま



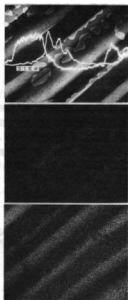
(A) 加圧くさびの当たった部分の外観
(B) その断面面
(C) その断面面

写真3 三点曲げ試験後における加圧くさびの当たった部分の損傷状況



(A) 断面面 (B) 断面面 倍率:0.5NIIF

写真4 高弾性炭素繊維/AC2Aにみられる析出物の様子



(A) Si分布 (B) Al分布

写真5 高弾性炭素繊維/AC2Aの組織の分析

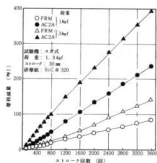


図3 アルミナ短繊維/AC2Aの耐摩耗性

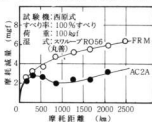


図4 アルミナ短繊維/AC2Aの耐摩耗性

たSiC繊維の場合と析出状態が異なることや、本実験のアルミナ・シリカ短繊維の場合〔写真2-(下)〕にはこのような析出がみられないことからアルミニウム合金中のSiの析出に繊維の種類による差があらわれている可能性も考えられる。いずれにしてもSiが繊維の周囲に析出していることはFRMの強度低下に連なっていることが考えられる。

つぎにアルミナ・シリカ短繊維/AC2Aについてスガ式摩耗試験を行った結果を図3に示す。このような引っかけ摩耗のような試験ではAC2A素材に比べて約3倍の耐摩耗性を示している。しかし西原式摩耗試験(図4)では耐摩耗性はAC2A素材より、わずかに低下しているが摩耗減量自体が非常に少なく、またその後の傾きは同程度で耐摩耗性は大きな差がない結果となっている。また西原式摩耗試験では一部焼付きがみられ、AC2Aの減量が一時逆に減少したのはその影響と思われる。また、FRMの方がAC2Aに比べ試験片の温度上昇が大きかった。これは摩耗係数が大きいと推定されるためではないかと考えられる。

FRMの熱膨張測定の結果を図5に示す。アルミナ・シリカ短繊維/AC2Aのような無方向な繊維配向、20%前後の低Vfでもかなりの熱膨張係数の低下がみられ、

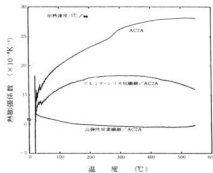


図5 FRMの熱膨張係数

約 $18 \times 10^{-6} / K$ を示している。高弾性炭素繊維では負の熱膨張係数となり高いVfのため炭素繊維の特性が強く現われている。このようにFRMは比較的、高温まで熱膨張係数が低いことがわかる。しかしこれは使用可能温度を示すものではないが、FRMの特徴の一つと思われる。

4. 結 言

強化基材として高性能繊維の一つである高弾性炭素繊維と非常に低価格なアルミナ・シリカ短繊維を用いてアルミニウム合金との複合化を図り、その成形性と得られたFRMについて強度、耐摩耗性、組織等について検討した。結果を要約すると次の通りである。

- (1) 高弾性炭素繊維/AC2Aの組合せでは繊維熟温度が450℃、注湯温度700℃以上の条件で複合化ができることがわかった。
- (2) 曲げ強さは高弾性炭素繊維/AC2Aで約 $70 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 、アルミナ・シリカ短繊維/AC2Aで $32 \text{ kg}/\text{mm}^2$ の最高強さであったが、高弾性炭素繊維/AC2Aでは曲げ試験に不適当な点があった。
- (3) FRMのA β 合金中のSiの析出状態が高弾性炭素繊維では繊維表面に付着しているように観察され、アルミナ・シリカ短繊維とは異なっていた。
- (4) アルミナ・シリカ短繊維/AC2Aはスガ式摩耗試験でAC2A素材に比べて約3倍の耐摩耗性を示した。

文 献

- 1) 大蔵: 第109回西山記念講座テキスト, (1984), 46
- 2) 土取他: 広島県立西部工業技術センター報告, 29 (1986), 62
- 3) 和泉他: 金属組織写真集非鉄材料編, 日本金属学会, 9
- 4) 砥綿, 山田: 日本金属学会誌, 48 (1984), 1192

セラミックスの原料配合及び焼成技術に関する研究

丸下清志, 浜岡英雄, 藤本宗之, 高峰宗利, 新田 明, 渡辺貞四郎

Study on Harmony of Ceramics Raw materials and Its Sintering Technics.

MARUSHITA Kiyoshi, HAMAOKA Hideo, FUJIMOTO Muneyuki, TAKASAKI Munetoshi, NITTA Akira, and WATANABE Teishiroo

In order to study about composited ceramics fundamentally, Al_2O_3 - ZrO_2 (3mol% Y_2O_3 added) composite were sintered, varying the sintering conditions (sintering temperature and pressure) and adding ZrO_2 compositions. From testing results, we acknowledged that,

- 1) maximum achieved density (MAD) of composite increased with ascending of sintering temperature and pressure, but pressure dependency was decreased with sintering temperature.
- 2) MAD decreased with ZrO_2 added, that is, addition of ZrO_2 into Al_2O_3 composite decreased the sintering kinetics for composite and required for composite to ascend sintering temperature.
- 3) Kic of composite could be extremely increased by adding of ZrO_2 .
- 4) sintering kinetics and characteristics of composite were largely affected by the morphology (its size, shape, agglomerating degree).

1. 緒 言

アルミナは代表的な酸化物系セラミックスとして、高強度・高硬度・耐熱性・耐磨耗性の優れた特性と資源が豊富で安価なこともあり、広く利用されているが、 SiC ・ Si_3N_4 ・ PSZ など他のセラミックスと比べ熱的及び機械的衝撃に劣り、適用の拡大が限定されている。従って、 Al_2O_3 の破壊力学特性の改良を意図して、安定化又は部分安定化 ZrO_2 を配合・複合化させ、応力誘起変態による強靱化が試みられているが、セラミックスの特性は使用する原料粉末の形態、メーカー（粉末の製法）により著しく異なるために、その結果の相互比較は非常に難しい現状にある。

そこで、安価な Al_2O_3 の活用を図るために、 Al_2O_3 を主体とした強靱複合体の開発を目的とし、第1段階として強靱改良効果の知られる Al_2O_3 - ZrO_2 (Y_2O_3 配合)系について、原料配合・焼結条件を変化させて焼結複合体を作製、焼結性の調査及び Al_2O_3 系セラミックスの研究上の問題点を検討した。

2 実験方法

2.1 原料粉末

本研究に使用した原料粉末の物性(カタログ値)を

表1 供試原料の物性

| 原料名 | 主成分(%) | MgO(%) | Y_2O_3 (%) | 密度(g/cm ³) | 平均粒子径(μm) | |
|--------|-----------|--------|--------------|------------------------|-----------|-------|
| AES-11 | Al_2O_3 | 9.98 | 0.10 | — | 3.96 | 0.4 |
| TZ-11 | ZrO_2 | 9.47 | — | 5.20 | 6.05 | 0.023 |

表1に示す。

原料粉末は、 Al_2O_3 に ZrO_2 (3mol% Y_2O_3)を重量比で10%及び20%配合した混合物0.5kgに対し、10mm^φアルミナボール1kg及びエタノール0.5ℓを加え、ポットミル(2ℓ)にチャージし24hr攪拌混合、乾燥(110℃-24hr)後アルミナ鉢で微粉砕したものを出発原料とした。

2.2 焼結体作製

焼結体の作製は、ホットプレス法を採用した。出発原料を焼結後の焼結体厚さが3.2mmとなる様に秤量、70mm^φカーボンダイス中に充填し、窒素雰囲気下において焼結加圧力(125・250・375kg/cm²)及び焼結温度(1300・1400・1500℃)を変化させ、各焼結温度での保持時間は1hrの一定とし、図1に示すプロセスで焼結体を作製した。

なお、比較試料として Al_2O_3 100%の試料(以下、100Aと記す)を用いた。また、 ZrO_2 配合率10%、

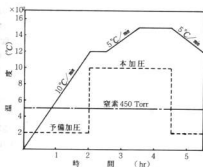


図1 ホットプレスのスケジュール

20%の焼結体を以下、90A-10Z, 80A-20Zと記す。

2.3 試験方法

嵩密度の測定は、焼結体の厚さが3.0mmになるまでダイヤモンド砥石で研削後、JIS A 5209に準じて行った。

弾性率・硬さの測定は、焼結体から3×4×50mmの試験片を切り出し、JIS R 1602に準じた曲げ共振法で弾性率を測定。硬さは弾性率測定後、試験片を3×4×15mmに切断、SiC研磨紙で湿式研磨後、粒度1μmのダイヤモンドペーストで鏡面とし、荷重30kgの条件でピッカース硬度を測定した。

破壊力学特性(K_{IC})は、硬さ測定時に発生した、クラックの大きさをEvans氏の次式により算出した。

$$K_{IC} = 0.027 \times \left(\frac{E}{HV}\right)^{1/4} \left(\frac{P}{C^3}\right)$$

焼結体の構成相は、X線回折法。組織観察は、X線マイクログラナイザーにより行った。なお、焼結体の熱膨張曲線は示差膨張方式で測定した。

3. 結果と考察

3.1 焼結体構成相の同定

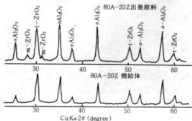


図2 出発原料、焼結体のX線回折図

図2は、出発原料(80A-20Z)及び焼結体(1500℃-375kg/cm²)のX線回折図を示す。

出発原料は、α-Al₂O₃とm相及びt相ZrO₂のピークが見られるが、焼結体ではm相-ZrO₂ピークが消滅、α-Al₂O₃とt相-ZrO₂で構成されている。

3.2 焼結体密度と製造条件の関連

焼結体密度変化に及ぼす、製造条件の影響を表2に示す。表中の相対密度とは、原料粉末の密度(カタロ

表2 焼結体密度変化に及ぼす製造条件

| 出発原料 | 温度(°C) | 圧力(kg/cm ²) | 嵩密度(g/cm ³) | 相対密度(%) |
|---------|--------|-------------------------|-------------------------|---------|
| 100A | 1300 | 125 | 3.40 | 85.9 |
| | 1300 | 250 | 3.57 | 90.2 |
| | 1300 | 375 | 3.83 | 96.7 |
| | 1400 | 125 | 3.92 | 99.0 |
| | 1400 | 250 | 3.96 | 100.0 |
| | 1400 | 375 | 3.97 | 100.3 |
| | 1500 | 125 | 3.97 | 100.3 |
| | 1500 | 250 | 3.97 | 100.3 |
| | 1500 | 375 | 3.98 | 100.5 |
| 90A-10Z | 1300 | 125 | 2.80 | 67.1 |
| | 1300 | 250 | 2.87 | 68.8 |
| | 1300 | 375 | 3.40 | 81.5 |
| | 1400 | 125 | 4.01 | 96.2 |
| | 1400 | 250 | 4.05 | 97.1 |
| | 1400 | 375 | 4.11 | 98.6 |
| | 1500 | 125 | 4.12 | 98.8 |
| 80A-20Z | 1300 | 125 | 2.65 | 60.5 |
| | 1300 | 250 | 2.72 | 62.1 |
| | 1300 | 375 | 3.56 | 81.3 |
| | 1400 | 125 | 4.26 | 97.3 |
| | 1400 | 250 | 4.26 | 97.3 |
| | 1400 | 375 | 4.28 | 97.7 |
| | 1500 | 125 | 4.28 | 97.7 |
| | 1500 | 250 | 4.28 | 97.7 |
| 1500 | 375 | 4.28 | 97.7 | |

グ値)を基にした計算密度に対する到達密度の割合である。

表2より、次のことが認められた。

① ZrO₂配合量の多い程、焼結体の到達密度の割合が小さい。

② 焼結温度の高い程、加圧力依存性は小さく、ZrO₂配合量の多い程、加圧力依存性は大きい。

焼結温度の低い1300℃の焼結体では、加圧力の影響が顕著に現われ、その到達密度も焼結温度1400℃及び1500℃と比較して著しく低い不完全焼結な状態にある。しかもその到達密度は、ZrO₂配合量の多い程低い傾向にある。これは、1300℃の焼結では焼結

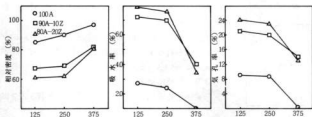


図3 焼結体 (1300℃) の特性

温度として低く、焼結性の小さいことに起因する多空隙によるものである。従って、加圧力の増加による気孔圧縮効果 (圧力依存性) が、図3のように現われることになる。焼結温度が1400℃、1500℃と上昇すると、焼結反応の進行と共に残留空隙が減少、圧力依存性が低下して到達密度は高くなる。従って、 $Al_2O_3-ZrO_2$ 複合焼結体の焼結が進行する温度領域では、圧力依存効果が小さくなると言える。

一方、 ZrO_2 配合量の多い程、未焼結状態 (1300℃) での圧力依存性の影響が大きく、又、焼結温度1400℃、1500℃における到達密度の低いことから、 ZrO_2 の配合は100Aに比較して、焼結性を低下させ、焼結温度の上昇を必要とさせる。

$Al_2O_3-ZrO_2$ 系複合焼結体における ZrO_2 配合の効果に、 Al_2O_3 マトリックスに分散した ZrO_2 による、 Al_2O_3 焼結時の結晶粒成長の抑制は、 ZrO_2 粒子の小さい程大きく、又、 ZrO_2 粒度の微細化は焼結性を助長し、焼結体密度の上昇・焼結温度の低下、焼結時間の短縮に効果があるとされる⁸⁻¹。即ち、 $Al_2O_3-ZrO_2$ 複合体の特性に、 ZrO_2 粒度が大きく影響すると示唆された。

3.3 焼結体の微構造

写真1～2は、焼結体破断面のSEM像を示す。焼結温度1300℃では、100A及び90A-10Z焼結体に多数の空隙が存在し、不完全な焼結状態であることが裏づけられる。1500℃では、共に緻密質で焼結が進行していることがわかる。又、焼結体マトリックス Al_2O_3 の粒径は、100A-1300℃焼結体の0.7～1.3μmから、100A-1500℃焼結体の1.2～3.0μmへと、焼結の進行に伴う粒成長が見られるが、90A-10Z焼結体では1.0～1.5μmと粒成長は抑制されている。

写真3は、X線マイクロアナライザーによる、Zr元素の面分析を示す。配合された ZrO_2 粒子は、焼結に伴う粒成長は顕著でなく、 ZrO_2 粒子の分散状況は、

各所に粗大粒 (4～8μm) が点在するが、ほぼ均一に分散していることがわかる。粗大粒は、出発原料に含まれた微粒子凝集体により、形成したと推定される。

80A-20Z焼結体において、粗大粒により発生した lenticular Void の例を写真4に示す。このような Void

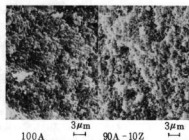


写真1 焼結温度1300℃-圧力375kg/cm²

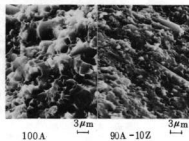


写真2 焼結温度1500℃-圧力375kg/cm²

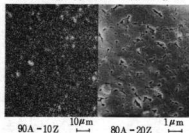


写真3 焼結温度1500℃-375kg/cm² 写真4 焼結温度1500℃-375kg/cm²

の発生は、分散する ZrO_2 の粒度（凝集後の見掛上の粒度）が大きい程、更にはその凝集度（凝集体の微密度）の小さい程顕著に現われることから、 ZrO_2 粉体の配合に当っては超微粉の配合よりは超微粉を造

弾性率・熱膨張率の変化の傾向も同様に肯定できる。

ZrO_2 配合による Al_2O_3 単味焼結体の破壊靱性 (K_{IC}) の効果は、 $100A$ の $4 \sim 5 MN \cdot m^{-3/2}$ から $90A-10Z$ で $7.5 MN \cdot m^{-3/2}$ まで急増し顕著な効果を示した。

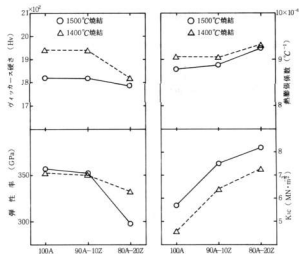


図4 $Al_2O_3-ZrO_2$ 系複合体の特性

粒後配合する方が複合体の焼結性、諸特性に好結果をもたらすと期待される。

3.4 $Al_2O_3-ZrO_2$ 系複合体の諸特性

焼結状態にある（加圧力 375 kg/cm^2 ・焼結温度 1400°C 、 1500°C ）焼結体について、 ZrO_2 配合量による諸特性への影響を調べた結果を図4に示す。

図4より、 ZrO_2 配合による Al_2O_3 単味焼結体の特性の変化は、硬さ、弾性率については減少させ、熱膨張率では増大させる傾向を示した。このような、 $Al_2O_3-ZrO_2$ 複合体の傾向は Al_2O_3 単体及び ZrO_2 単体の諸特性から推定して妥当なものと考えられる。

一方、複合体の特性変化に及ぼす焼結温度の影響は、相対密度の差が殆んど見られないにもかかわらず、 1500°C 焼結体と 1400°C 焼結体では硬さに顕著な差が認められる。これは、焼結温度によるマトリックス Al_2O_3 粒子の粒径が原因と考えると肯定できる。即ち、微構造の観察の結果（マトリックス粒径は温度上昇により粒成長が促進され、 ZrO_2 配合により抑制されていた）と焼結温度及び ZrO_2 配合量による硬さの高低きの大小は良く合致する。微構造の観察の結果を導入すると、

4. 結 言

アルミナ系強化複合体の開発のため、ホットプレス法により、正方晶ジルコニア粒子分散アルミナ焼結体を製作。複合体の諸特性、複合体製造上の問題について検討を行い、次の結果を得た。

(1) 焼結体は SEM 像・組成像・X線回折パターンから、 $\alpha-Al_2O_3$ と正方晶 ZrO_2 で構成され、焼結体中に ZrO_2 粒子は、ほぼ均一に分散している。

(2) 焼結体の密度はホットプレス条件として、焼結温度 1400°C 、加圧力 250 kg/cm^2 から密度が一定化し、 ZrO_2 配合比の増大は焼結性を低下させ空隙を増大させる傾向が認められた。

(3) 焼結体マトリックス (Al_2O_3) 粒子は、温度上昇と共に粒成長が促進され、 ZrO_2 粒子の配合により抑制される。

(4) $Al_2O_3-ZrO_2$ (3 mol % Y_2O_3 added) 複合焼結体は、IF法による K_{IC} として、 $8 MN \cdot m^{-3/2}$ 程度まで向上させることができた。

文 献

- 1) W. H. Rhodes: J. of Am. Ceram. Soc., Vol. 64, No. 1, p. 19-22 (1981)
- 2) A. H. Heuer, N. Claussen, W. M. Kriven and M. Rühle: J. of Am. Ceram. Soc., Vol. 65, No. 12, p. 642-650 (1982)
- 3) T. Kosmac, J. S. Wallace and N. Claussen: J. of Am. Ceram. Soc., Vol. 65, No. 5, p. 66-67 (1982)

セラミック薄膜の製作技術の開発

イオンプレーティング窒化チタン被膜のEPMAによる定量分析

梶岡 秀, 清水達磨, 丸下清志, 尾辻康博*, 川下安司**

Quantitative EPMA Analysis of Titanium Nitrides Films by Ion Plating

KAJIOKA Hideshi, SHIMIZU Tatsuma, MARUSHITA Kiyoshi, OTSUJI Yasuhiro*, and KAWASHIMO Yasushi**

It is important to know chemical compositions of thin ceramics films, because their characteristics were effected by chemical compositions. Quantitative analyses by AES and XPS of TiN films were reported.^{1,2,3} But we thought EPMA is suitable for films of μm order. Before quantitative EPMA analyses of nitrides films were reported by Itoh⁴ and Toya.⁵ We examined quantitative EPMA analysis of Titanium Nitrides films by Ion Plating too. Reproducibility of the obtained values were less than $\pm 4\%$.

1. 緒 言

セラミック薄膜の化学組成を知ることは、その薄膜の特性を知る上で非常に重要である。TiN薄膜に対してはオージェ電子分光法¹やX線光電子分光法^{2,3}での報告もみられるが、数 μm 程度の被膜の分析にはEPMAの方が適していると考えられる。窒化物薄膜のEPMAによる定量分析について、伊藤⁴、戸谷⁵らによって報告されている。筆者らは、イオンプレーティング法によって作成したTiN被膜を用いてEPMAの定量分析法を検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 TiN標準試料

TiNの標準試料として、表1のTiNの粉末を用い、焼結温度1900℃、加圧力312 kg/cm²、45分間で、ホットプレスした。試料表面はバフ研磨し、走査型電子顕微鏡で観察したものを写真1に示した。

Tiの標準試料としてJIS H 4600 2種 (Ti 99.5 wt. %以上) をバフ研磨して用いた。

2.2 EPMA

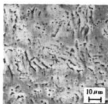
島津製作所製EPM-810を用いた。Ti(K α)は分光器№1 (LiF)、N(K α)は№3 (PbSD)で測定した。

* セラー一万筆機

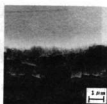
** 神港精機機

表1 TiN粉末(日本新金属特製)の分析表 (wt. %)

| size (μm) | Porosity | T-C | Fe | O | N | Ti |
|------------------------|----------|------|------|------|-------|-------|
| 1.41 | 0.481 | 0.21 | 0.06 | 0.64 | 21.91 | 77.18 |



a) TiN標準試料

b) イオンプレーティング被膜
写真1 分析試料の表面状態

2.3 イオンプレーティング条件

神港精機製AIF-850SB型イオンプレーティング装置を用いて、窒化チタン被膜を作成した。N₂ガス圧は表2のように変化させたが、Tiの蒸発速度は0.7~0.8 $\mu\text{g}/\text{min}$; EBガン出力9kv, 500 \pm 50 mA; イオン化電極電圧30V; イオン化電極電流60A; 基板電圧-300 V; 基板温度560℃以下; 成膜時間50分と一定条件とした。

表2 Ti/N被膜の生成のイオンプレATING条件

| 試料記号 | A | B | C | D | E |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| N ₂ ガス圧 (Torr) | 1×10^{-3} | 5×10^{-3} | 1×10^{-1} | 5×10^{-1} | 1×10^{-1} |
| 膜厚(μm) | 8.6 | 11.7 | 10.9 | 12.7 | 13.5 |

3. 実験結果と考察

3.1 EPMA測定条件について

a) 測定被長とX線強度の求め方

Ti ($K\alpha$) は試料ごとにピークサーチしてスペクトルピークを求め、10秒間測定した。N ($K\alpha$) は図1に示したように、Ti ($L\beta$) と重なるために、スペクトルをチャートに記録させ、ベースラインからのピーク高さを求めた。定量する場合にはスペクトルの面積から求めた。

b) 加速電圧

標準試料Ti/Nを用い、入射電流200nA一定で、加速電圧を5~25kvに変化させて、Ti ($K\alpha$)、N ($K\alpha$) のX線強度を測定した。臨界励起電圧はN ($K\alpha$) 0.372kv, Ti ($K\alpha$) 4.95kvであるため、5kvでN ($K\alpha$) スペクトルは検出されたが、Ti ($K\alpha$) は検出されず、6kvでもX線強度は不安定で、7kvで安定した。

N ($K\alpha$) とTi ($K\alpha$) のX線強度の加速電圧依存性を図2に示した。N ($K\alpha$) のX線強度は、10kvまで加速電圧増加とともに急激に増加する。15kvで最大となり、25kvでは逆に減少した。Ti ($K\alpha$) は加速電圧増加とともに急激に増加した。

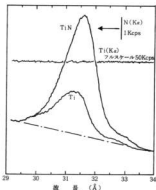


図1 TiおよびTi/NのN ($K\alpha$) 31.60 ÅのX線スペクトル

信号が余り小さくならない程度 (S/N比が十分大きい) で出来るだけ低い加速電圧を用いるほうが、表面汚染を減少できるので、加速電圧は10.0kvに設定した。また、加速電圧は分析領域の深さとも関係しているが、加速電圧10.0kvで下地金属の鉄は全く検出されなかった。

c) 入射電流

N ($K\alpha$) とTi ($K\alpha$) のX線強度の入射電流依存性を図3に示した。両者とも非常に良い比例関係が認め

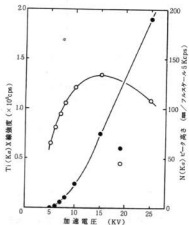


図2 Ti ($K\alpha$) およびN ($K\alpha$) X線強度の加速電圧による変化

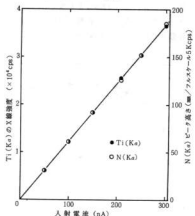


図3 Ti ($K\alpha$) およびN ($K\alpha$) X線強度の入射電流による変化

られた。S/N比を考慮した上で、入射電流を小さくした方が試料表面の汚染が少なくなる⁴。N(K α)の検出感度が小さいため、200 nAに設定した。なおTi(K α)の不感時間による計数損失は、300 nAでも良い直線関係が見られることから考慮しなくて良い。

d) 電子プローブ径

入射電流一定でプローブ径を大きくすると入射電流密度は小さくなる。図4にプローブ径25 μ mから最大径の206 μ mまでのX線強度を比較した。Ti(K α)のX線強度はプローブ径が大きくなるとわずかに増加(1.01)し、100 μ mより大きくなると減小し、206 μ mでは0.92となった。N(K α)のX線強度はプローブ径とともに直線的に極くわずかに減少し、206 μ mで約0.97となった。

入射電流密度が小さいほど表面汚染は減少し、プローブ径の大きい方が表面粗さの影響を受けにくいと考えられる。また、広い範囲での平均的な分析が出来ることから、プローブ径を大きくした方が有利である。X線強度低下が小さいプローブ径100 μ mを選定した。

e) 表面汚染

試料の同一場所を電子線照射していると、照射部が変色してきた。これは装置内の汚染物に起因するといわれている⁶。標準試料TiNの測定結果を図5に示した。加速電圧10 kV、入射電流200 nA、プローブ径85 μ m一定とした。汚染物の蓄積によりX線強度が低下したが、Ti(K α)よりN(K α)の低下の方が大きかった。汚染による影響を少なくするために、試料を移動させ同一場所の照射は1分以内とした。

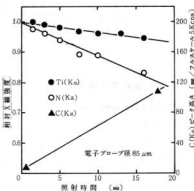


図5 表面汚染に及ぼす電子線照射時間の影響

3.2 測定結果の検討

a) 入射電流の安定性について

入射電流の変動はファラデーカップで測定し、安定性をチェックした。Ti(K α)X線強度は入射電流のわずかな変動に対しても良く対応するので、図1に示したようにN(K α)スペクトル測定時に同時に記録させモニターとした。定量分析中の入射電流は201 \pm 1 nAであった。

b) Ti(K α)の測定

N(K α)を測定する間に、1分おきに6回、10秒間の計測をした。この測定値のバラツキは \pm 0.5%以下であった。

同じ試料を時間を変えて測定した結果を表3に示した。標準Tiのバラツキが最も大きく \pm 2.3%、イオンプレティング被膜では \pm 1.2%以下であった。これは標準Ti表面の研磨が不十分であったためと考えられる。

c) N(K α)の測定

N量はN(K α)スペクトルをチャート上に記録し、ベースラインまでを切取って重量を秤量して面積から求めた。

TiNのN(K α)スペクトルはすでに図1で触れたが、Ti(L β)のピークと重なる。そこで次のように計算してNの量を求めた。

$$N = N(K\alpha)_{TiN} - Ti(L\beta)_{Ti} \times Ti(K\alpha)_{TiN} / Ti(K\alpha)_{Ti}$$

N(K α)_{TiN} はTiNのN(K α)、Ti(L β)_{Ti} はTiのTi(L β)、Ti(K α)_{TiN} はTiNのTi(K α)、Ti(K α)_{Ti} はTiのTi(K α)のX線強度

表3より、バラツキはTi、TiNで \pm 4%、イオンプレティング被膜で \pm 2%以下であった。N(K α)

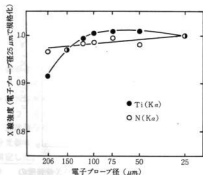


図4 電子プローブ径の大きさによるX線強度の変化

表3 EPMAによるTi(K α)とN(K α)X線強度の測定値

| 試料 | Ti(K α) (cps) | | | 平均 | N(K α)·Ti(L β) (mg) | | | 平均 | N(K α) (mg) |
|-----|-----------------------|--------|--------|------------------|------------------------------------|-------|-------|---------------|---------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 | | |
| Ti | 34,495 | 34,873 | 33,345 | 34,240(2.6%) | 134.4 | 122.0 | 119.4 | 125.3(4%) | |
| TiN | 25,172 | 24,983 | 25,728 | 25,265 (1.8%) | 338.1 | 343.5 | 357.7 | 340.3 (4%) | 247.9 |
| | 25,518 | 25,463 | 25,125 | | 343.9 | 334.5 | 330.3 | | |
| | 24,796 | | | | 338.2 | | | | |
| A | 31,002 | 30,792 | 30,535 | 30,777(0.8%) | 230.0 | 222.8 | 222.0 | 224.9(2%) | 112.3 |
| B | 28,456 | 28,292 | 27,888 | 28,217(1.2%) | 315.1 | 315.4 | 319.8 | 316.8(0.9%) | 213.5 |
| C | 27,415 | 27,342 | 26,935 | 27,233(1.1%) | 348.8 | 343.8 | 349.3 | 347.3(1%) | 247.6 |
| D | 26,856 | 26,995 | 26,785 | 26,880(0.4%) | 357.2 | 359.1 | 350.5 | 355.6(1.5%) | 256.6 |
| E | 26,787 | 27,032 | 26,718 | 26,843(0.6%) | 364.4 | 351.9 | 362.0 | 359.4(2%) | 261.2 |

表4 ZAF-2による補正計算結果

| 試料 | 元素 | I-RATIO | wt. % | RATIO/E | AT. % |
|----|----|---------|---------|---------|--------|
| A | Ti | 1.21860 | 91.735 | 0.9624 | 73.96 |
| | N | 0.45300 | 10.280 | | 26.04 |
| | 計 | | 102.016 | | 100.00 |
| B | Ti | 1.11724 | 85.689 | 0.9920 | 56.47 |
| | N | 0.86123 | 19.509 | | 43.53 |
| | 計 | | 105.198 | | 100.00 |
| C | Ti | 1.07828 | 83.205 | 0.9978 | 51.91 |
| | N | 0.99879 | 22.607 | | 48.09 |
| | 計 | | 105.813 | | 100.00 |
| D | Ti | 1.06430 | 82.267 | 0.9966 | 50.70 |
| | N | 1.03509 | 23.423 | | 49.30 |
| | 計 | | 105.691 | | 100.00 |
| E | Ti | 1.06284 | 82.210 | 1.0000 | 50.22 |
| | N | 1.05365 | 23.840 | | 49.78 |
| | 計 | | 106.051 | | 100.00 |

X線強度がTi(K α)X線強度と比べバラツキが大きいのは、Ti(L β)重なりによる計算操作やベースラインの引き方などバラツキの要因が多いためと考えられる。また、イオンプレATING被膜の方がTiやホットプレスで作成した標準TiNよりバラツキが小さいのは、写真1から明らかのようにら密で表面状態が滑らかであるためと考えられる。

d) 補正計算と計算結果の検討

EPMA-810Qの補正計算プログラムを用い、化合物用のZAF-2を用いてコンピューター計算させた。結果は表4に示した。なお、標準試料TiNのN/Tiは0.971であるが、その補正はしていない。イオンプレATING被膜のWeight %トータ

ルが100%以上になったのは、イオンプレATING被膜のみで比較するとかなり良く一致しているの、上で述べた標準試料との緻密さや表面状態の違いによるものと考えられる。

イオンプレATING試料のN(Atomic %)はN₂ガス圧増加とともに試料Cまで急激に増加し、それ以上のN₂ガス圧でほとんど飽和した。試料C, D, EではTiNの化学量論に近い値が得られたことから、定量分析の正確さを示していると考えて良いと思われる。

4. 結 言

EPMA測定値のバラツキは±4%以下であった。もっと緻密な標準試料TiNを得て、Ti表面をより完全に研磨すれば、イオンプレATING被膜程度の±2%のバラツキに押えることが出来ると考えられる。なお、N₂ガス圧の大きい領域でN(Atomic %)が飽和して、かつTiNの50%に近い値が得られたことから測定値の正確さもあると考えられる。

以上のことから、設定したEPMA測定条件で定量分析が可能であると考えられる。

文 献

- 1) S. Laimer, et al.: Mikrochimica Acta, Suppl. 10, 177-187 (1983)
- 2) K.S. Robinson, et al.: SURFACE AND INTERFACE ANALYSIS, 6, 6 (1984)
- 3) 関口晴男: 島津科学器械ニュース, 26, 4 (1983)
- 4) 伊藤昭夫他: 真空, 13, 12 (1970)
- 5) 戸谷恒夫他: 真空, 25, 4 (1982)
- 6) 内山郁他著: X線マイクロアナライザ (日刊工業 関社 1972)

セラミック研削用ダイヤモンド砥石結合剤に関する研究 ポリイミド樹脂砥石の物性に及ぼす成形条件の影響

藤本宗之

Effect of Pressing and Curing Conditions on the Physical Properties of PABM Resin Bonded Wheels

FUJIMOTO Muneyuki

PABM(polyaminobismaleimide) resin(KERIMIDE 1050 by Nippon Polyimide Co.,Ltd.) was attempted for bonding material of super abrasive grinding wheels. Differential thermal analysis and disc type flow test were used to estimate the starting point of melt and reaction of resin. GC#800 as filler and resin were mixed by 60:40 and pressed with heat in the dies according to some schedules of pressure, temperature and time. Pressed bodies were cured with various temperature and measured pore ratio, bending strength, young's modulus and hardness. Most suitable conditions of manufacturing the grinding wheels were

- 1) 130-140°C for temperature of dies.
- 2) more 1 ton/cm² for pressing.
- 3) 200°C for curing temperature.

1. 緒 言

ダイヤモンドやCBNなど超砥粒のレジソンド砥石では、ボンドとしてフェノール樹脂が最も多く使われているが、研削熱により、砥粒に接している樹脂が劣化し、砥粒の脱落が起こることが報告されている¹。フェノール樹脂は一般に使われる樹脂の中では耐熱性の高い方に属するが、さらに耐熱性の優れた樹脂を使うことによって、砥石の研削性能を上昇させることが期待される²。

ポリイミド樹脂は1964年に発売された比較的新しい種類の樹脂で、金属に匹敵する耐熱性を有するといわれ、宇宙・航空分野で多く利用されてきた。しかし初期の樹脂は成形性が悪く、値段も高いために砥石ボンドには利用されなかった。その後樹脂の種類が増え、成形性にも改良が加えられ、現在世界中で約20種類のポリイミド樹脂があるといわれている。

砥石工場ではフェノール樹脂の取扱いには慣れており、現在使用している製番装置が、そのまま新しい樹脂にも対応できれば非常に好都合であるので、ポリイミド樹脂の中からフェノール樹脂に近い加工性を示すものを選定し、砥石の製造に必要な温度・圧力等の基礎データを実験により求めた。

2. 試料と実験方法

2.1 試 料

原料樹脂は日本ポリイミド㈱のポリアミノビスマレイミド(PABM)樹脂で商品名ケルイミド601, 1050, 1000の3種類とフェノール樹脂TD-2056(大日本インキ㈱)を比較用に使った。

充填材は原料樹脂の流れを調整する以外に、研削熱の媒体や耐摩耗性の向上等をほゞ満足するものとして微粉砥石用GC#800を使用した。

2.2 実験方法

2.2.1 原料樹脂の物性測定

原料樹脂の熱分析は理学電機㈱のサーモフレックス8112H(TG-DTA)により、樹脂の融解と反応の開始温度を求めた。昇温速度は5°C/minで行った。

原料樹脂の流れ性はJIS K 6911(円板式流れ試験法)により測定した。

2.2.2 供試砥石の作製

原料樹脂粉末と充填材を60:40の体積比でステンレスボウルに量り取り、葉さじで予めおおまかに混合した。次に0.3mm目の篩を通して樹脂塊を砕いた後エタノールをわずかに加え湿し、攪拌混合機で30分間混合した。混合の終わった成形原料は1夜放置してエタ

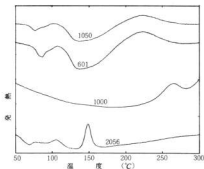


図1 原料樹脂の示差熱分析

ノールを除いた。

成形原料は25×50mmの金型にプレス後の厚さが5mmとなる量を入れた。加圧は、金型温度の上昇中は所定の1/2とし、目的温度に到達後全圧を加え、5分間保持した。その後加圧したままで冷却し、60℃以下に下がってから圧力を解き、型から成形体を取り出した。なお最適硬化温度を求める実験と、熱劣化の実験では50×100mmの金型を使い、成形圧は70kgf/cm²とした。

成形体は熱風循環式の加熱炉に入れ約40℃/時で所定温度に昇温し保持した。加熱開始から24時間後加熱を止め、炉中で試料を冷却した。

2.2.3 砥石の物性測定

硬化した砥石は寸法測定後、減圧法により吸水率を求め、気孔率を算出した。曲げ強さと弾性率はJIS R 1601, 1602により、3点曲げ試験法で測定した。硬さはJIS R 6240により、ロックウェルスケールを使用した。

研削熱によるボンドの劣化を想定して熱劣化試験を行なった。曲げ試験用のテストピースを加熱した電気炉に入れ、3分間熱曝露した後取り出し、室温で曲げ強さと硬さを測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 原料樹脂の物性

3.1.1 原料樹脂の熱分析

原料樹脂の示差熱分析結果を図1に示す。1番下に示したフェノール樹脂(TD-2056)では70℃付近にわずかながら融解による吸熱が見られる。また150℃近くのピークはヘキサメチレンテトラミンとの反応に

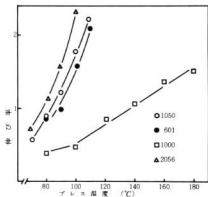


図2 原料樹脂の流れ性

よる発熱で、硬化が130℃付近から始まることを示している。これに対してポリアミド樹脂では、ケルミド601と1050が70～80℃に融解によると思われる吸熱がまた220～230℃に硬化反応によるピークが認められるが、後のピークはフェノール樹脂ほどシャープでなく反応速度の遅いことがわかる。ケルミド1000は融解温度のピークが認められず、硬化反応の開始温度は1番高く230～240℃と思われる。

3.1.2 原料樹脂の流れ試験

原料樹脂の円板式流れ試験の結果を図2に示す。原料樹脂はいずれも熱可塑性であり、加熱により流動性を示す。ケルミド1000は伸び率が温度に対しほぼ直線関係にあるが傾きが緩く、成形性が悪いことを示している。これに対してケルミド1050と601はフェノール樹脂に近い傾きをしており、熱分析の結果と合わせて考えると、フェノール樹脂と同等に取り扱えるように思われる。以後の成形実験からはケルミド1050にマトを絞って行った。

3.2 砥石の物性に与える製造条件の影響

3.2.1 成形温度の影響

金型温度を変えて成形した結果を図3に示す。成形圧はすべて500kgf/cm²である。金型温度の上昇と共に樹脂の流動性がよくなるため、成形体は緻密となり、気孔率は低下し曲げ強さは上昇する。しかし気孔率は160℃くらいから横ばいとなっている。曲げ強さは、140℃までは上述の理由で上昇しているが、それ以上の温度では急速に低下している。弾性率と硬さについても同じ傾向にあり、成形温度は130～140℃が上限

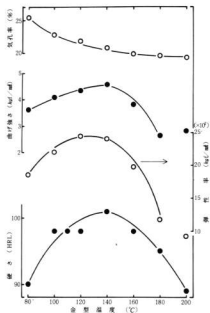


図3 成形温度の影響

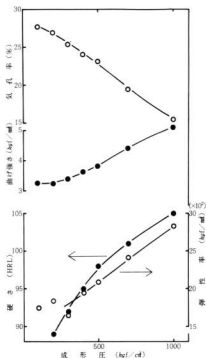


図4 成形圧の影響

と思われる。

3.2.2 成形圧の影響

金型温度を130~140℃に保ちながら成形圧を変えて作った砥石は、図4に示すようにすべての物性が、低圧側でややバラツキがあるものの、ほぼ直線的に変化している。金型の都合でこれ以上の成形圧のデータが取れなかったが、安定状態に達するにはさらに高い圧力で成形する必要がある。ケルミド1050は図2に示した如く、非常に流れ性がよいはずであるが、成形圧1 ton/cm²で平衡密度に達しなかった理由は、多量の充填材が混入されているためと思われる。

3.2.3 プレス時間の影響

樹脂メーカーが提供している技術資料³では、外国における実施例として、長時間加熱加圧する方法が記されているが、現実の企業生産を考慮するとプレス時間が短いほど生産性はよくなる。この実験では圧力500 kgf/cm²、温度130および200℃で30分~3時間の間で時間を変えて成形を行った。その結果温度については200℃よりも130℃の方がすべての時間にわたり、よい物性が得られた。この点は図3に示した結果から、

妥当と思われるが、しかし同一温度ではプレス時間による差はほとんど見られず、長時間プレスする必要はないように思われた。ただしこれはプレス時間をできる限り短縮しようとする立場からの発想であることを付言しておく、というのは、プレス温度130℃は樹脂の硬化温度としては低すぎることが図1から考えられる。一方200℃まで急激に昇温すると図3で明らかにように樹脂が硬化する前に劣化してしまうことが考えられる。後述するように、硬化後の砥石を高温に曝した場合、強度の上昇が認められたことから、130℃以下の温度でプレス成形し、圧力をかけたまま徐々に昇温し、長時間かけて200℃かあるいはそれ以上の温度で硬化させる方法が理想的ではないかと思われる⁴が実験していないので不明である。

3.2.4 硬化温度の影響

硬化温度を180~240℃で変化した場合図5に示すように、気孔率は全範囲でほぼ直線的に上昇するが、

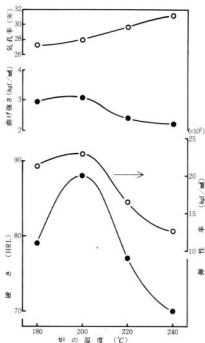


図5 硬化温度の影響

他の物性は200℃をピークに、それ以上では急速に低下した。200℃以下では温度が高いほど樹脂の粘性が下がり、硬化速度が促進される結果、原料樹脂粉末は相互に溶け合い、ボンドの見掛け容積は減少し、気孔率が増加するが強度は上昇する。しかし200℃を越すと未硬化樹脂の劣化が起り、気孔率が増加し砥石強度は低下すると考えられる。

3.3 ボンドの熱による劣化

この試験で研削熱による砥石ボンドの劣化が即判定できるわけではないが、ボンドの耐熱性を判定する1つの方法にはなると思う。図6に示すようにフェノール樹脂ボンド砥石では300℃の熱曝露で室温強度の約70%まで低下するのに対し、ポリアイミド樹脂ボンド砥石では300℃では逆に強度上昇が見られ、400℃でもほぼ室温強度を維持している。300℃で強度が上昇した原因は、極めて短時間の加熱であるので硬化が進

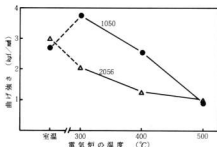


図6 ボンドの熱劣化

んだとは考えられず、見掛けの強度上昇なのかどうか不明である。

4. 結 言

ポリアミノビスマレイミド樹脂を結合剤とするレジノイド砥石の製造条件として、次のことが実験により明らかになった。

- 1) 成形金型温度は140℃以下が適当で、これ以上では砥石強度が低下する。
- 2) 成形圧は1000 kgf/cm²以上必要と思われる。
- 3) プレス時間は5mm厚の砥石で約10分間かければ平衡密度に達する。
- 4) 硬化温度は200℃が適当で、これ以上では砥石強度が低下する。

また硬化後の砥石は短時間の熱曝露では400℃まで室温強度を維持することが分かった。

文 献

- 1) 横川宗彦ほか：精密機械 50巻, 1475~1480(84)
- 2) 寺田召二：機械と工具 26巻5号, 97~104(1982)
- 3) The use of RHONE-POULENC polyimide resins in the abrasive industry (技術資料)
- 4) Polyaminobismaleimide resins for the grinding wheel industry (技術資料)

セラミックス用超音波穴あけ機の開発

斯波信雄, 蒲田政信, 田尾博幸

Development of Ultrasonic boring Machine for Ceramics

SHIBA Nobuo, KAMADA Masanobu and TAO Hiroyuki

Recently, social needs of light and high functional materials have been increased, and so the development of new materials and the composition of materials have been studied.

These new materials have special quality and character, such as its higher hardness, its strength against the heat and so on, but machine work of them is very difficult. Especially, ceramics which is in the spotlight in recent years is hard and brittle, so they are processed with difficulty.

From the above viewpoints, we tried to develop an ultrasonic boring machine for ceramics, and made several experiments with it.

1. 結 言

新素材と呼ばれる材料は加工性の悪いものも多く、最近特に注目を集めているセラミックス材料も硬くて脆いため加工が難しいと言われている。セラミックスや宝石のように、硬くて脆い材料に対して有効な加工法として、超音波加工法がある。

そこで今年度、セラミックスの穴あけ加工を目的に、超音波加工機を試作し、若干の加工実験を行って加工に及ぼす要因を探ったので報告する。

2. 加工機の構造

試作した超音波加工機は、超音波発振器・超音波加工機本体の2つから構成されている。

2.1 超音波発振器

超音波発振器の発振方式としては、使用目的により自励発振方式、MOPA方式、振動帰還方式などがあるが、今回は振動帰還方式を採用した。また試作した発振器は上述の振動帰還方式の他に、外部発振器からの入力を増幅して振動子を振動させることができるようにした。

振動帰還方式を採用した理由は、超音波加工の場合、振動子のインピーダンスが無負荷時と負荷時で大きく変動し、しかも振動系の温度変化により共振周波数が大きく変動するのに対処した発振方式とするためである。

振動帰還方式は、振動子の機械的共振の強さに比例した電圧を増幅器の入力に帰還させるもので、振動子

の機械的共振周波数に追従させて発振させることができる。

この振動子の機械振動を電気的に検出し、増幅器に帰還させるために圧電素子を用い、振動子に直接接着した。この方法は、励振源からの誘導がなく、検出電圧も大きく取ることができる。

今回、試作した超音波発振器の回路構成を図1に示す。

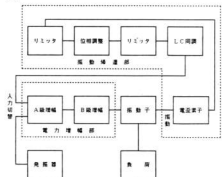


図1 超音波発振器ブロック図

発振器は、振動子の機械的共振周波数が20 KHz及び28 KHzに対応でき、負荷に対して最大300Wの交流電力が供給可能なものである。

図中、振動帰還部は、リミッタ・位相調整・リミッタ・LC同調の各々の回路から構成されている。

入力段のリミッタ回路は、振動子に接着した圧電素

子からの帰還電圧が負荷の変動によって絶えず変化するので、帰還入力電圧の上限を抑えている。位相調整回路では、増幅回路が位相特性を持つため励振電圧と帰還検出電圧の位相差が零にならず、増幅率が正常に動作しなくなることがあるので、この位相差を補正する。そして次段のリミット回路で、LC同調回路入力が増還入力変動に関係なく一定になるように保つ。この矩形波に近い電圧は、LC同調回路で正弦波の一定振幅に増幅される。

電力増幅部は、電力段であるB級プッシュプル回路と、その駆動段であるA級シングル出力回路から構成されている。

ここでは、振動帰還部により一定振幅に増幅された信号、あるいは発振器からの信号がA級シングル増幅され、トランス結合によって電力段にインピーダンス整合を取りながら印加される。電力段では、B級プッシュプルによる電力増幅が行われ、出力トランスを介して振動子に交流電力が加えられる。

2.2 超音波加工機本体

試作した超音波加工機本体は、振動部と構造部より成る。

振動部は図2に示すように電気信号を機械振動に変換するためのフェライト振動子とコイル、振動振幅の拡大・振動部と構造部の振動絶縁・構造部への取り付けのためのコーン・防振用ゴムリング・振動部保持具、コーンの振動振幅を拡大し工具に伝えるためのホーン、振動子の冷却用ファン、振動帰還用圧電素子

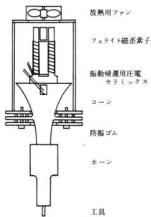


図2 振動部



写真1 加工機

から構成されている。フェライト振動子とコーン、及びコーンと振動帰還用圧電素子との接合にはエポキシ樹脂系の接着剤を用いた。

加工機を写真1に示す。全体の大きさは60×75×170cm(縦×横×高さ)。手動によりXY方向には15×10cm、上下方向には8cmの移動が可能である。

超音波加工は工具に被加工物を一定の力で押し付けて加工するため、加圧機構が必要であり、図3に示す加工機構により加工を行う。

3. 加工実験

実験には試作した超音波加工機を用いて行った。振動子には共振周波数20KHzのフェライト磁歪素子を用いた。

加工深さの把握は図3の重錘の上に変位計のピッケアップを取り付け、重錘の上下変化を記録することに

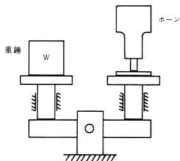


図3 加圧機構

より行った。

工具： $\phi 3$ ピアノ線

砥粒：ボロンカーバイト # 220

砥液：ポンプにより連続的に供給 1 ℓ /min

加工実験を行う前にコーンの取り付け方法による影響を調べるための実験を行った。コーンの取り付け方法は図4の3種類である。実験は図3の重錘をのせてある例の加工台の振動加速度を調べた。重さは0.5, 1, 2 kgについて行ったが、加圧力の影響はあまりみられなかった。重錘1 kg時の結果を図4に示す。この実験結果から以後の加工実験はCの方式によりコーンを取り付けた場合のみで行った。

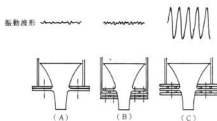


図4 コーン取り付け方法

実験に先立って振動変位を読み取り顕微鏡で測定した。その結果振動変位は40~50 μ mであった。また、振動掃選方式の発振周波数は18.12 KHzであった。

加工実験は、1. 加圧力の影響、2. 入力波形の影響について行った。

4. 実験結果

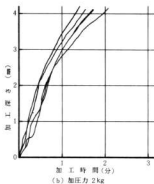
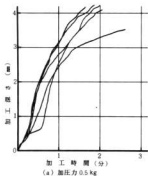


図5 加圧力の影響 (ガラス)

4.1 加圧力の影響

被加工物はガラスと99%アルミナについて行った。加圧力は、重錘を0.5, 1, 2 kgと変化させ、その結果を図5, 6に示す。実験結果から加工スピードは、

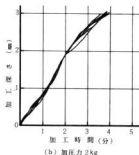
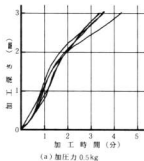


図6 加圧力の影響 (セラミックス)

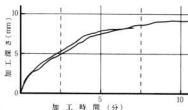


図7 深穴の影響 (ガラス)

実験の範囲内では、あまり加圧力の影響を受けていないように見受けられる。

ガラスとアルミナとは加工スピードに差があり、約3mm加工するのにガラスでは1分前後、アルミナでは3~4分と、3倍以上の差が認められる。

深穴の場合、磁液の回りが悪くすると予想されるが、ガラスについて深穴の加工実験を行った結果を図7に示す。加工深さが8~9mmになると横ばい状態になり加工されていないことが分かる。

4.2 波形の影響

外部入力として振動掃選の場合の発振周波数と同じ18.12 KHzの正弦波、三角波、矩形波について、加工スピードを調べた。その結果を図8に示す。三者とも加工スピードに著しい差は見られなかった。

外部信号として18.12 KHzの正弦波を入力したり切ったりしてパルス状の信号を入力した。パルスの周期は1 secと0.2 secの2種類について行った。実験結果を図9に示す。

加工スピードとしては著しい差は見られなかったが、5 Hzの場合、加工深さが2mm前後からダウンして、加工時間を長くしても余り加工しなくなっている。こ

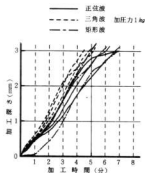


図8 波形の影響 (1)

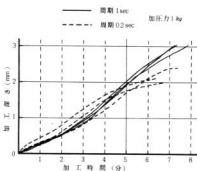


図9 波形の影響 (2)

の理由の1つとして振動振幅の大きさが考えられる。振動振幅は、1 secの場合は掃選型の場合と同様、40 μ m程度であったが、周波数が高くなるにつれて減少し0.2 secで30 μ m程度であった。

5. 結 言

振動掃選発振回路と外部入力とを切り替えて使うことのできる超音波加工機を製作して、セラミックスの穴あけ加工に利用できることを確認した。

$\phi 3$ の穴あけ実験により次のことがわかった。

- 1) ガラス、アルミナともに0.5~2kgの範囲では加工スピードに顕著な差はみられなかった。
- 2) 加工穴の深さが深くなると、加工時間を長くしても加工が進まなくなると予想される。今回のガラスの深穴加工実験では8~9mmで加工が進まなくなった。
- 3) 外部入力波形として正弦波、三角波、矩形波を与えたが、3者の間には顕著な加工スピードの差はみられなかった。
- 4) パルス状の信号を与えて加工実験をしたが、パルス周期による加工スピードの差はあまり認められなかった。ただ、1 secの場合再現性が良かったこと、また0.2 secの場合早く加工スピードが鈍ってしまったことが特徴的であった。

文 献

- 1) 藤森聡雄:「やさしい超音波の利用」(1976) P112~151 産報
- 2) 松原宗次:「超音波の応用」(1976) P56~65 東京電機大学出版局

セラミックスの組成分析技術に関する研究

田谷征雄, 渡部英雄

Composition Analysis of Ceramics by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission spectrometry.

TADANI Isao, and WATANABE Hideo

The determination of iron, magnesium, calcium and aluminum in silicon nitride was carried out with ICP-AES method.

The optimum experimental conditions of ICP-AES was as follow; incident power: 1.0kw, observation height: 16mm above the coil, coolant gas flow rate: 15.0 l/min, plasma gas flow rate: 1.0 l/min, carrier gas flow rate: 1.0 l/min.

The result with this method was compared with atomic absorption spectrometry, and the good agreement was observed.

1. 緒 言

窒化ケイ素焼結体の強度は原料中の微量成分により著しく影響を受けると言われており、これらの微量成分の管理のために分析が必要である。

現在 J I S では、窒化ケイ素粉末中の鉄、アルミニウム、カルシウムの分析法が検討されているが、公定法としては発表されていない。

筆者らは以前から溶媒抽出法を併用した I C P 発光分析法により微量成分の分析法について研究し報告^{1,2}してきたが、窒化ケイ素中のカルシウム、マグネシウム、アルミニウム、鉄の4元素を、分離操作を併用しない直接 I C P 分析法について検討した結果、比較的精度よく定量できたので報告する。

2. 実験方法

2.1 試薬

鉄、アルミニウム、マグネシウムは純金属を塩酸+過酸化水素水に溶解して1mg/mlの溶液を調整した。カルシウムについては試薬特級の炭酸カルシウムを塩酸に溶解して1mg/mlの溶液を調整し、使用に際してはこれらの原液を希釈して用いた。その他使用した試薬は全て特級試薬を用いた。

2.2 装置及び測定条件

使用した装置及び測定条件を表1に示す。

3. 実験結果と考察

3.1 高周波電力と測光位置の影響

鉄、カルシウム、マグネシウム、アルミニウムの最

表1 装置と測定条件

| | |
|-----------|--|
| 装置 | 島津製作所ICPS-100 V型 |
| 周波数 | 27.12 MHz |
| 高周波電力 | 1.0 KW |
| 測光位置 | コイルの上部 16mm |
| ターラントガス流量 | 15.0 l/min |
| プラズマガス流量 | 1.0 l/min |
| キャリアガス流量 | 1.0 l/min |
| 積分時間 | 5秒 |
| 測定波長 | 鉄: 238.20nm マグネシウム: 279.55nm カルシウム: 393.37nm アルミニウム: 396.15nm |

適な測定条件を求めめるため、高周波電力と測光位置(コイル先端からの距離)の影響を検討した結果を図1に示す。図1は、アルミニウム、カルシウム、マグネシウムの1mg/ml溶液について、高周波電力を1.0~1.4 KW、コイルの先端からの距離7~22mmまで変化させて発光強度を測定し、スペクトル線の強度とバックグラウンドの強度比(以下S/B比と略記)を求めたものである。図1からわかるように、アルミニウムは測光位置が高くなるとS/B比は上昇する。この現象はどの高周波電力の場合も同様の傾向を示し、とくに1.0 KWの場合S/B比は高くなる。カルシウムはコイルの先端からの距離がどの位置でも、またどの高周波電力でもあまりS/B比は変化しないが、高周波電力1.0 KW、16mm位置でS/B比は最高となった。

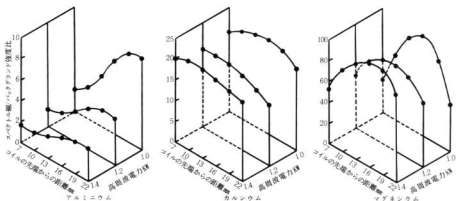


図1 高周波電力と測光位置の影響

マグネシウムは測光位置が高くなるとS/B比は上昇し16mmの位置がもっと高く、さらに高くなるとS/B比は低下した。また高周波電力1.0KWの場合S/B比は最大となった。鉄については図には示さないがマグネシウムと同様の傾向を示した。

以上の結果からシーケンシャルICPの測定条件としては4元素の比較的S/B比の高い高周波電力1.0KW、測定位置はコイルの先端からの距離を16mmとした。

また、アルゴンガス流量の影響について検討したがキャリアガス流量1.0ℓ/min、プラズマガス流量1.0ℓ/min、ターラントガス流量1.5ℓ/min、で最大のS/B比が得られた。最適な測定条件は表1に示すとお

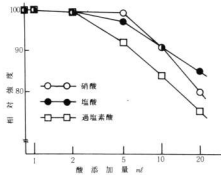


図2 酸濃度の影響

りとなった。

3.2 酸濃度の影響

実試料の分析を行う場合、分解に使用する酸濃度の影響について検討した結果を図2に示す。図2は酸を加えないアルミニウムの発光強度を100とした相対的な強度を示した。硝酸は5ml添加しても全く影響ないが、10ml以上添加すると負の干渉を示した。塩酸は5ml添加でわずかに負の干渉を示し、それ以上の濃度では硝酸と同様の傾向を示した。また過塩素酸については5ml添加すると相対強度が92%となり著しい負の干渉を示した。

同様にして鉄、カルシウム、マグネシウムについても検討したがアルミニウムとほとんど同じような傾向を示した。以上の結果から実試料の分析も考慮して使用する酸は過塩素酸1ml、硝酸5ml/mlとして以下の実験を行った。

3.3 陽イオンの影響

実試料を分析する場合、共存すると予想される陽イオンの影響について検討した。カルシウム、マグネシウム、鉄、アルミニウム0.1mgに10倍量のナトリウム、カリウム、ニッケル、マンガン、銅、コバルト、バナジウムについて検討したが共存による影響は認められなかった。

3.4 実試料の分析

窒化ケイ素粉末は石塚らの方法にしたがって分解した。すなわち窒化ケイ素粉末を0.5gテフロン製加圧容器に入れフッ化水素酸10mlと硝酸2mlを加え、170℃に調節した乾燥器に16時間入れて試料を分解

表2 窒化ケイ素の定量結果

| 試料 | 化 学 成 分 % | | | | | | | |
|----|-----------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| | C a | | M g | | F e | | A l | |
| | ICP | AAS | ICP | AAS | ICP | AAS | ICP | AAS |
| A | 0.20 | 0.21 | 0.008 | 0.009 | 0.20 | 0.19 | 0.14 | 0.15 |
| B | 0.02 | 0.02 | — | — | 0.02 | 0.03 | 0.08 | 0.10 |
| C | 0.02 | 0.02 | — | — | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.08 |

する。放冷後溶液をテフロンビーカーに移し、これに過塩素酸10 mlを加え加熱して過塩素酸白煙を発生させる。放冷後硝酸5 ml+H₂O 20 mlを加え可溶性塩類を溶解する。この溶液をホールピペットで各種元素が0~0.1 mgなるように分取し、硝酸5 mlを添加し、水で希釈して100 mlとする。この溶液をICP発光分析装置に噴霧して各種元素の発光強度を測定しあらかじめ求めた検量線より含有量を求める。

3.5 検量線の作成

各種元素を(0~0.1 mg)/100 ml、酸濃度(過塩素酸1 ml+硝酸5 ml)を調節して、それぞれ10回測定における検量線を作成した。

鉄、カルシウム、マグネシウム、アルミニウムとも良好な直線性が得られた。

なおこの時の検量線の相関係数はいずれも0.999であり、この時の検出下限(3σ)は鉄:0.0016 mg/l、カルシウム:0.0013 mg/l、マグネシウム:0.0011 mg/l、アルミニウム:0.0091 mg/lであった。

なお、実試料(0.5 g)での各元素の定量下限は鉄:3.2 μg/g、マグネシウム:2.2 μg/g、カルシウム:2.6 μg/g、アルミニウム:18 μg/gであった。

3.6 窒化ケイ素の定量結果

窒化ケイ素中の微量成分を定量した結果を表2に示した。カルシウム、マグネシウム、鉄、アルミニウムとも原子吸光法で定量した値と一致しており十分適用できると考えられる。

なお原子吸光法及びICP発光分析法について標準添加法を併用したが、検量線とまったく差が認められなかった。

4. 結 言

ICP発光分析法による窒化ケイ素中の微量成分である鉄、マグネシウム、アルミニウム、カルシウムの定量法について検討した結果、ICP発光分析法は共存物質の影響も少なく、実試料の分析を原子吸光法と比較したところ両者の差がなく、実試料の分析に充分適用できるものと考えられる。

文 献

- 1) 渡部, 相原, 木ト: 第35年会分分析化学講演要旨集 P563 (1986)
- 2) 渡部, 相原, 田谷, 木ト: 第48回分析化学討論会講演要旨集 P141 (1987)
- 3) 石塚, 上養, 柘植: 分化, **33**, 489 (1984)

ICP発光分析法による工場排水中の全リンの定量*

渡部英雄, 丸下清志, 日色和夫**

Determination of Phosphorus in Waste Water by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

WATANABE Hideo, MARUSHITA Kiyoshi, and HIIRO Kazuo

ICP-AES determination of phosphorus in waste water was investigated. The optimum experimental conditions of ICP-AES was as follow: incident power, observation height of mesurment, coolant gas flow rate, plasma gas flow rate, carrier gas flow rate, purge gas flow rate and wavelength were 1.2kw, 16mm above the coil, 16.0 l/min, 1.0 l/min, 1.0 l/min, 3.0 l/min and 177.50nm or 178.29nm.

The co-existence of a 200-fold amount of Cu^{2+} and Ni^{2+} interfered with the determination of phosphorus at 177.50 nm and the same amount of Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Cl^- , NO_3^- , CH_3COO^- , Br^- , F^- , SO_4^{2-} , $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2^-$ and I^- was tolerable. The interference of co-existence cations and anions was tolerable except of I^- with the determination of phosphorus at 178.29 nm.

By this method, the detection limit (3σ) was 8 ng cm^{-3} and the result in the detrimination of phosphorus in waste water was in excellent agreement with colorimetic method.

1. 結 言

近年、湖沼における富栄養化の進行が問題となり、一昨年7月15日より湖沼における窒素およびリンの排出規制が実施されることになった。このため各事業所では、工場排水中の全リンの測定も必要となった。

現在、工場排水中の全リンの分析法には、蛍光光度法¹が採用されているが、試料中の全リンをリン酸イオンまで酸化して測定するため、時間がかかるという欠点がある。その点ICP発光分析法による全リンの測定は、比較的感度も良く、共存物質の影響も少ないため、鉄鋼や銅合金²、岩石やたい積物³、河川水⁴の分析に応用されている。これらの方法は、紫外領域の213.62nm, 214.91nmおよび253.57nmで測定したものであるが、真空紫外領域の177.50nmおよび178.29nmにも高感度で強い発光線がある。

本報告では、これらの真空紫外領域のスペクトル線を用いて工場排水中の全リンを測定したところ、迅速に精度よく定量できたので報告する。

2. 実験方法

2.1 試 薬

110℃で3時間乾燥したリン酸二水素カリウム4.39

* 1985年11月日本化学会九州支部・中国四国支部合同大会で発表

** 工業技術院 大阪工業技術試験所

35φを蒸留水で溶解して1ℓとし、1mg/ml溶液を作り、使用に際しては、この原液を適当に希釈して使用した。

その他使用した試薬は全て特級試薬を用いた。

2.2 装置及び測定条件

使用した装置および測定条件を表1に示す。

表1 装置および測定条件

| 装 置 | 島津製作所製ICPS-100V型 |
|----------|--------------------|
| 高周波周波数 | 27.12 MHz |
| 高周波電力 | 1.2 KW |
| クールドガス流量 | 16.0 ℓ/min |
| プラズマガス流量 | 1.0 ℓ/min |
| キャリアガス流量 | 1.0 ℓ/min |
| パージガス流量 | 3.0 ℓ/min |
| 測光位置 | コイルの上部16mm |
| 積分時間 | 10秒 |
| 測定波長 | 177.50nm, 178.29nm |

3. 実験結果と考察

3.1 高周波電力と測光位置の影響

リンの最適な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は、リン濃度を5μg/ml、波長を178.29nmとし、アルゴンガス流量を表1に示すとおりに設定し、高周波電力を1.0~1.4KW、測定位置(コイルの先

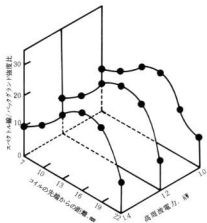


図1 高周波電力と測光位置の影響

P: $5 \mu\text{g}/\text{ml}$, 波長: 178.29 nm

端からの距離)を7~22 nmまで変化させて発光強度を測定し、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)を求めたものである。図1から分かるように、距離が高くなるとS/B比は上昇し、16 nmの位置が最も高く、さらに高くなるとS/B比は減少した。この傾向は、高周波電力を変化させても同様であるが、高周波電力が1.2 kWの時にS/B比が

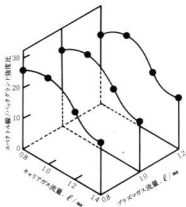


図2 アルゴンガス流量の影響

P: $5 \mu\text{g}/\text{ml}$, 波長: 178.29 nm

最も高くなった。また、波長177.50 nmの場合も同様の傾向を示した。

3.2 アルゴンガス流量の影響

波長178.29 nmとし、キャリアガス流量とプラズマガス流量の影響について検討した結果を図2に示す。キャリアガス流量が1.0 l/minの場合最もS/B比は高く、流量が多くなるとS/B比は低下した。この傾向は、どのプラズマガス流量においても同様であったが、プラズマガス流量1.0 l/minの場合に最も高いS/B比が得られた。

また、ターラントガス流量、パーガス流量について検討したところ、ターラントガス流量が高い程S/B比は高くなるが、16.0 l/min以上では一定の値を示した。パーガス流量についても3.0 l/min以上で一定の値を示した。これらの現象は、波長177.50 nmでも同様であった。そこで最適な測定条件を表1に示すとおりに決定した。

3.3 酸濃度の影響

硝酸、塩酸および過塩素酸の影響について検討したところ、硝酸、塩酸は1.0 N以下では全く影響なかった。過塩素酸については、0.5 N以上になると負の干渉を示した。このため、実試料の分析への適用を考えた硝酸性を選び、濃度は5 ml/100 mlとして以下の実験を行った。

3.4 陽イオンの影響

リン含有量を0.5 mgとし、各種陽イオンを200倍量(100 mg)共存させて、波長177.50 nm, 178.29 nmでの影響を検討した結果を表2に示す。表2から分か

表2 陽イオンの影響

| リン添加量 (mg) | 陽イオン (100 mg共存) | 177.50 nm | | 178.29 nm | |
|---------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 定値 (%) | 誤差 (%) | 定値 (%) | 誤差 (%) |
| 0.5 | Na ⁺ | 0.498 | -0.40 | 0.497 | -0.60 |
| 0.5 | K ⁺ | 0.498 | -0.40 | 0.504 | +0.80 |
| 0.5 | Mg ²⁺ | 0.506 | +1.20 | 0.513 | +2.60 |
| 0.5 | Ca ²⁺ | 0.495 | -1.00 | 0.502 | +0.40 |
| 0.5 | Co ²⁺ | 0.508 | +1.60 | 0.508 | +1.60 |
| 0.5 | Al ³⁺ | 0.520 | +4.00 | 0.518 | +3.60 |
| 0.5 | Fe ³⁺ | 0.495 | -1.00 | 0.498 | -0.40 |
| 0.5 | Cu ¹⁺ | 0.909 | +81.8 | 0.501 | +0.20 |
| 0.5 | Ni ²⁺ | 0.661 | +32.2 | 0.495 | -0.80 |
| 0.5 | Cu ²⁺ ※ | 0.567 | +13.4 | — | — |
| 0.5 | Ni ²⁺ ※ | 0.536 | +7.2 | — | — |

※ 10 mg 共存

るように、波長 177.50 nm では銅、ニッケルが著しい正の干渉を示した。そこで銅、ニッケルの共存量を 1/10 (10ppm) として検討したところ、干渉は大幅に低下した。一方、波長 178.29 nm では、検討した全ての陽イオンについて影響はほとんどなかった。

以上の結果から、陽イオンについては 178.29 nm の方が妨害が少なく、測定波長として適当と思われる。

3.5 陰イオンの影響

同様の実験を陰イオンについて検討した結果を表 3 に示す。表 3 から分かるように、陰イオンはほとんど

表 3 陰イオンの影響

| リン添加量 (ppm) | 陽イオン (100ppm 共存) | 177.5 nm | | 178.29 nm | |
|----------------|--|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | | 定量値 (ppm) | 誤差 (%) | 定量値 (ppm) | 誤差 (%) |
| 0.5 | F ⁻ | 0.509 | +1.80 | 0.509 | +1.80 |
| 0.5 | Cl ⁻ | 0.497 | -0.60 | 0.501 | +0.20 |
| 0.5 | Br ⁻ | 0.503 | +0.60 | 0.500 | 0 |
| 0.5 | CH ₃ COO | 0.509 | +1.80 | 0.511 | +2.20 |
| 0.5 | SO ₄ ²⁻ | 0.499 | -0.20 | 0.500 | 0 |
| 0.5 | B ₄ O ₇ ²⁻ | 0.503 | +0.60 | 0.503 | +0.60 |
| 0.5 | C ₄ H ₄ O ₆ ²⁻ | 0.501 | +0.20 | 0.501 | +0.20 |
| 0.5 | C ₆ H ₅ O ₇ ³⁻ | 0.503 | +0.60 | 0.503 | +0.60 |
| 0.5 | I ⁻ | 0.521 | +4.20 | 11.84 | +2270 |
| 0.5 | I ⁻ | - | - | 1.248 | +150 |

※ 1 mg 共存

※※ 1 mg 共存、硝酸の代わりに塩酸 5 ml 添加

影響しないが、波長 177.50 nm ではヨウ素イオンが 100 ppm 共存するとわずかに正の干渉を示すが、波長 178.29 nm では、1 ppm 共存した場合で 2270%、5% 塩酸溶液で 150% と著しい正の干渉を示した。この現象については、ヨウ素イオンは硝酸などの酸化剤により揮発性の高いヨウ素分子まで酸化され、ヨウ素の発光強度の増加³することが知られており、リンの近接線であるヨウ素の 178.28 nm の発光線のため、正の干渉が現れたと考えられる。陽イオンについての妨害は 178.29 nm の方が少ないという結果であり、通常の工場排水ではヨウ素イオンの共存はあまり考えられないので、測定波長は 178.29 nm を用いるのが適当と判断した。

3.6 実試料の分析

ピロリン酸塩や次亜リン酸塩などの無機リン化合物や、P-ニトロフェニルリン酸塩などの有機リン化合物を過塩素酸で分解した場合と分解しない場合との発

光強度を比較した結果、両者の差は認められず、杉前の報告と一致した。以上の結果、実試料である工場排水の分析法を以下のように決定した。

試料の適量 (0~200 ml) をホールビレットで採取し、硝酸 5 ml を加え加熱濃縮する。冷却後沈殿があれば 5 B のろ紙でろ過して 100 ml とし、波長 178.29 nm で発光強度を測定し、あらかじめ作成した検量線よりリン含有量を求めた。

なお、(0~5) μg/ml の範囲で 10 回測定における検量線を作成したところ、相関係数は 0.9999 であり、この時のリンの検出下限 (3σ) は 0.008 μg/ml であった。定量下限は検出下限の 10 倍と言われており、実試料 (200 ml) での定量下限は、0.04 μg/ml であった。

3.7 実試料の分析結果

本法による工場排水中の全リンの定量結果を表 4 に示す。表 4 は JIS K 0102 による吸光光度法による測定値も併記したが、本法との差は 3% 以内であり、十分適用できると考えられる。また、本法による実試料の全分析所要時間は 2 時間であった。

表 4 工場排水の分析結果

| 試料 | 本法 (mg/l) | 吸光光度法 (mg/l) | 偏差 (%) |
|--------------|--------------|-----------------|-----------|
| A (クリーニング排水) | 0.16 | 0.16 | 0 |
| B-1 (塗装排水) | 5.20 | 5.35 | -2.80 |
| B-2 (") | 4.85 | 4.76 | +1.89 |
| C (バレル排水) | 0.39 | 0.40 | -2.50 |
| D (塗装排水) | 5.10 | 4.99 | +2.20 |

4. 結 言

以上 ICP 発光分析法による工場排水中の全リンの分析法について検討した結果、次のことが判明した。

I DP 発光分析法は分析所要時間も短く、吸光光度法との偏差も 3% 以内であり、実試料の分析に十分適用できると考える。

文 献

- 1) JIS K 0102 (1986), 工場排水試験方法
- 2) 河口, 伊藤, 水池: 分化, 27, 53 (1978)
- 3) 平田: 分化, 33, T64 (1984)
- 4) 杉前: 分化, 29, 502 (1980)
- 5) 中原, 中村, 和佐: 第 35 年会分析化学講演要旨集, P.587 (1986)

発熱鋳型法による一方向凝固材料の製造とその高温強度

筒本隆博, 世良時夫, 原 信彦, 横山宏樹, 矢野哲夫*

Study on Unidirectional Solidification by Exothermic Method

TSUTSUMOTO Takahiro, SERA Tokio, HARA Nobuhiko, YOKOYAMA Hiroki, and YANO Tetsuo

In order to clarify the technical points for unidirectional solidification of Fe-30wt%Cr-2.8wt%C eutectic alloy in the exothermic method, several tests were carried out. Unidirectional solidified samples were prepared by this method and by the Bridgman method. Tensile and creep rupture tests of these samples at elevated temperatures were carried out. The results are summarized as follows.

In the exothermic method, the minimum preheating temperature of the mold necessary to prevent the solidification of the melt from the mold inner surface, T_c , increases with decreasing diameter of casting. Smaller value of G/R (G : temperature gradient, R : solidification rate) make the fiber orientation worse. Microstructure of carbide fibers by the exothermic method is finer because of its rapid solidification, but it has some irregularity in shape in longitudinal section, which makes the aspect ratio smaller. The larger solidification rate by the exothermic method makes for the finer structure of carbide fibers, which improves tensile strength at high temperatures. However no improvement over Bridgman method in creep rupture strength was achieved in spite of finer fibers. This seems to be due to the irregularity of longitudinal shape and the smaller aspect ratio of the carbide fibers.

1. 緒 言

タービンブレード等の耐熱性向上の手段として、一方向凝固が注目され、現在まで、この目的のために各種のプロセスが開発されてきた。^{1,2} Fe-30wt%Cr-2.8wt%C系高クロム鋳鉄は、古くから耐摩耗、耐熱材料として用いられている一般的な材料である。³ この材料を一方向凝固させると、マトリクス中に鉄-クロム炭化物相が繊維状に晶出し、いわゆる天然の繊維強化複合材料を製造することができる。^{4,5}

本研究では、上記の高クロム鋳鉄を用いて、高価な鋳造装置を必要としない発熱鋳型法^{6,7}により、一方向凝固組織を得るための条件を検討した。また、この方法により得られた一方向凝固材の高温強度を Bridgman 法による材料と比較し、高温強度に及ばず組織の影響を検討した。

2. 実験方法

図1に注湯実験に用いた発熱鋳型装置を示す。鋳型はロストワックス法によって作製したジルコン・アルミナ系のセラミック・シェル鋳型で、鋳型肉厚は約6.8mm、高さ約120mm、内径は12.5, 22, 28mmの三種類である。温度測定は、鋳型内で冷却板から10, 30, 60, 100mm、鋳型の外壁面で冷却板から30, 100mmの位置で行った。

Bridgman 法では、温度勾配を約130℃/cmとし、12mmφの棒状母合金を、石灰粉を用いたソフトモー

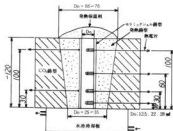


図1 注湯実験に用いた発熱鋳型装置

* 広島大学工学部

ルド内で一方向凝固させ、試料を作製した。

表1に、本研究に用いた合金の化学成分を示す。

表1 用いた合金の化学成分 (重量%)

| Cr | C | Si | Mn | P | S |
|------|------|------|------|-------|-------|
| 29.8 | 2.92 | 0.24 | 0.12 | 0.020 | 0.014 |

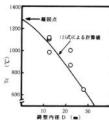
3. 実験結果と考察

3.1 鋳型の予熱条件

溶湯を鋳込んだ直後、温度の高い (T_p) 溶湯から、温度の低い (T_m) 鋳型に熱が移動し、鋳型が加熱され、温度 T_f になると仮定すると、溶湯の放出した熱量 Q_1 は、 $Q_1 = \pi D^2 \rho_L C_p^L (T_p - T_f) / 4$ である。ここで D は鋳型内径、 ρ_L は溶湯の密度、 C_p^L は溶湯の比熱、 T_p は注湯温度である。また鋳型の受け取った熱量 Q_2 は、 $Q_2 = -\pi (D+t) t \rho_m C_p^m (T_m - T_f)$ である。ここで t は鋳型の肉厚、 ρ_m は鋳型の密度、 C_p^m は鋳型の比熱である。 $Q_1 = Q_2$ とし、 T_f が合金の融点 T_M より大きくなる条件を求めると、(1)式が得られる。
(T_m の最低値は、鋳込み直後に凝固が起こらないための鋳型の最低予熱温度 (T_c) を意味する。

$$T_m > T_M - \frac{D^2 \rho_L C_p^L}{4(D+t)t \rho_m C_p^m} (T_p - T_M) \quad (1)$$

ここで、 $T_M = 1280^\circ\text{C}$ 、 $T_p = 1500^\circ\text{C}$ 、 $\rho_m = 2.0\text{g/cm}^3$ (実測)、 $C_p^m = 0.2\text{cal/}^\circ\text{C}$ (Al_2O_3 , ZrSiO_4 の値より推定)、 $\rho_L = 6.9\text{g/cm}^3$ 、 $C_p^L = 0.2\text{cal/}^\circ\text{C}$ 、 $t = 6.8\text{mm}$ として T_c を計算すると図2の実線が得られる。図に示さ



れるように、試料中央部と鋳型外壁で測定した予熱温度の測定値 (鋳込前) ほぼ等しい値を示す。) と凝固組織観察から、 T_c を求めてプロットすると、式(1)の予測とよく一致することがわかる。この図と(1)式は、また、鋳型内径 D が小さくなるほど、予熱温度 T_c を高くしなければならないことを示している。

3.2 凝固速度と凝固組織

無熱鋳型法において、長さ約 100 mm の鋳物を製造し

た時の、冷却曲線から求めた、注湯から凝固終了までの時間 (凝固時間) t と冷却端からの距離 y の関係を図3に示す。これより y と t の関係は、従来言われている¹⁴ 放物線則にほぼ従うことがわかり、(2)式で表わすことができる。

$$y = 2.7\sqrt{t} \quad [y: \text{mm}, t: \text{sec}] \quad (2)$$

(2)式を微分すると、凝固速度 R は(3)式のように見積もられる。

$$R = \frac{dy}{dt} \approx 3.67 \frac{1}{y} \quad [\text{cm/sec}] \quad (3)$$

図3の結果のように、有限の長さを有する鋳造の場合、凝固終了

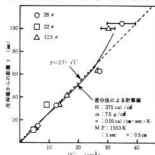


図3 $y = \sqrt{t}$ の関係 y : 冷却端からの距離 t : 注湯から凝固終了までの時間 H : 凝固部の潜熱 α : 熱伝導率 ρ_L : 合金の密度

されたので、上端に断熱の境界条件を与えて、一次元差分法による計算を行った。なお、凝固処理は温度回復法¹¹⁾を用い、冷却面直上の温度は冷却水の温度と等しいと仮定した。計算結果を同じ図中に実線で示す。

(3)式から求め

た凝固速度を用いて、凝固組織中の組織状態炭化物の間隔と凝固速度の関係を図4に示す。ここで、Bridgman法による結果もあわせて示した。^{4, 13, 14} 各値とも多少のずれがあるが、これは Fe, Cr, C 以外の不純物の量

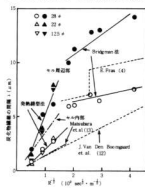


図4 $\lambda - \frac{1}{R}$ の関係 λ : 組織間隔 R : 凝固速度

のちがいや、 λ の測定算出法のちがいによるものと考えられる。

凝固組織を写真1に示すが、発熱鋳型法による組織

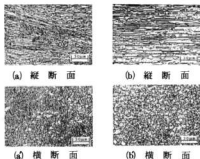


写真1 試料の顕微鏡組織

(a)(c)発熱鋳型法

(b)(d) Bridgman法 ($R=42 \text{ mm/h}$)

は、細かいが、若干不規則である。

一般に G/R (G : 温度勾配, R : 凝固速度)の値が小さくなると、凝固繊維の整列化は困難になる。図3に示した凝固終了時間と測定値と各点における冷却曲線との一致が最も良好なパラメータを使って次元差分法の計算で求めた温度勾配 G と、凝固速度 R を用いて、 G/R の変化を示したのが図5である。上部にゆくほど G/R が小さくなる傾向は、凝固繊維の配向性が悪くなる傾向と一致した。繊維の乱れの少ない健全な方向凝固組織と考えられる長さは図5の結果と一致して全長の約50~60%であった。

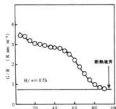


図5 発熱鋳型法に対する凝固の差分計算から求めた G/R , G : 温度勾配, R : 凝固速度, H : 単位体積当りの凝固の発熱。これは図4に示した繊維間隔の凝固速度依存性が、発熱鋳型法とBridgman法とで異なることも関連していると考えられる。発熱鋳型法における凝固の強い非定常性が共晶組織形成に影響しているのかもしれない。

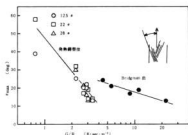


図6 $\theta_{\max}-G/R$ の関係 θ_{\max} :凝固方向に対する繊維方向の最大ずれ角 G :温度勾配 R :凝固速度

3.3 高温強度

前述した2つの方法により作成した材料の1000℃までの引張強さを図7に示す。焼なましを行わないものは、室温で

1850 MPaもの強さがあり、600℃でも1200 MPaであるが、700℃以上では、ほとんど焼なまししたものと同じ値となる。この材料が、室温で非常に高い強度を示すという報告もあるが、

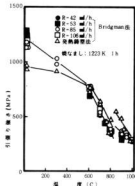


図7 各温度における引張強さ ($\dot{\epsilon}=8.3 \times 10^{-4} \text{ S}^{-1}$)

これは主にマトリクスのマルテンサイトの影響であると思われる。

図7から、この材料の軟化温度はだいたい600℃であることがわかる。これは、T. Okamotoの $(\text{Fe, Cr})\text{C}_3$ 炭化物の硬さ測定から求めた軟化温度である900 Kとはほぼ一致する。また、820℃あたりで強度の変化が不連続となる部分があるが、これはマトリクスの α から γ への相変化によるものである。しかしながら、引張り強さは、マトリクスよりもむしろ炭化物の軟化により大きく依存している。

図8に600℃以上で行なったクリープ破壊試験の結果を示す。これから、Bridgman法では凝固速度 R が大きいと、クリープ破壊強度は改善されるが、発熱鋳

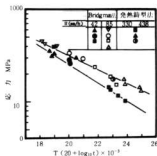


図8 Larson-Miller プロット

不規則で、そのアスペクト比が低下したためと考えられる。

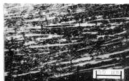


写真2 クリーブ破壊後の破面近くに発生した炭化物繊維のマクロクラック

写真2にクリーブ破壊した試料の破面近くに生じた炭化物繊維のマクロクラックを示す。温度が高く、応力が低いほど、こういったマイクロクラックがつかがってできた、より大きなクラックが発生しやすくなり、破面近くでマイクロクラック密度が高くなった。しかし、クリーブ試験途中の試料の組織観察の結果、破壊後の試料では、マイクロクラックの発生は、破面近傍に集中しているもの、破壊直前までは、試料の平行部に均一に分布し、その密度は、時間とともに高くなっていることがわかった。

発熱鋳型法により、大きなクリーブ強度の改善が認められなかったのは、炭化物繊維の不規則性のために生じた繊維のアスペクト比の低下が、初期のマイクロクラックを高める効果として働いたためと考えられる。

4. 結 言

共晶合金であるFe-30wt%Cr-2.8wt% C 系高タロム鋳鉄を発熱鋳型法により一方向凝固させるため検討を行った。また、この方法により作製した材料の金属組織と高強度を、Bridgman 法により一方向凝固させたものと比較した結果、次のことがわかった。

- (1)発熱鋳型法において、鋳型壁面から凝固が起らないための鋳型の最低加熱温度は、鋳物の径が小さいほど高くなる。
- (2)G/R (G:温度勾配, R:凝固速度)の値が小さい

型法では、Bridgman 法よりはるかに凝固速度が大きいかかわりなく、クリーブ破壊強度は高められていないことが認められる。これは発熱鋳型による材料の繊維組織が

と繊維の配向性が悪くなる。

(3)発熱鋳型法による炭化物繊維の組織は、凝固速度が大きいため、細かいが、凝固方向の断面でいくらか不規則となり、このため、繊維のアスペクト比が低下している。

(4)Bridgman 法に比べ、発熱鋳型法は凝固速度が大きいため、炭化物繊維が細かく、このため、高温の引張り強さも改善される。しかし、クリーブ破壊強度においては、細かい繊維にもかかわらず、Bridgman 法を超える強度の改善はみられなかった。これは、凝固方向の断面の繊維の形が不規則となり、アスペクト比が小さくなったためであると思われる。

5. 文 献

- 1) 中川幸也, 大友 規, 薄質書規: 日本金属学会+ 報 vol. 17, No. 7, P. 589-597, 1978
- 2) A. E. Giamei, and J. G. Tschinkel: Met. Trans. 7A, P. 1427-1434, 1976
- 3) A. Yoshida, K. Ogi, A. Sawamoto and K. Matsuda: Proc. 105th Annual meeting of JPS, P. 65, 1984
- 4) E. Fras: Proc. 48th International Foundry Congress, 1981, Varna, Bulgaria, 23 PL
- 5) S. C. Panigrah: Proc. 48th International Foundry Congress, 1981, Varna, Bulgaria, 19 ND
- 6) E. Fras, E. Guzik and A. Karamara: Proc. 3rd International Symp. Physical Metallurgy of Cast Iron, P. 477-486, 1984
- 7) G. E. Nereo, P. F. Polich and M. C. Fleming: Modern Casting, vol. 9, P. 57-69, 1965
- 8) 田中朝尚, 末光繁, 藤田順三, 西山幸夫, 福道達一: 鋳物, vol. 58, No. 1, P. 46-51, 1986
- 9) R. S. Jackson: J. ISI, vol. 208, P. 168, 1970
- 10) K. Ogi, Y. Matsubara and K. Matsuda: Trans. ASFP, vol. 71, Pt. 1981
- 11) I. Ohnaka and T. Fukusako: Trans. ISI J, vol. 17, P. 192, 1977
- 12) J. Van, Den Boomsmaard and L. R. Wolfe: J. Crystal Growth, vol. 15, P. 11-19, 1972
- 13) Y. Matsubara et. al.: Trans. ASFP, vol. 81, P. 192, 1972
- 14) P. R. Sahn: High Temperature - High Pressure vol. 7, P. 242, 1975
- 15) T. Okamoto et. al.: J. Mat. Sci., vol. 19, P. 2546, 1984

6. 付 記

本研究は、広島大学、広島市工業技術センター、マツダ鋼と共同で行っている「組織制御法による新材料開発研究会」の中で計画、実行されたもので青年、中国の北京で行なわれた北京国際鋳造会議(1986年10月)で発表を行なったものである。研究会の中で、多くの有益な御指導、御助言をいただいたことに対して最後に、会員の方々に心から感謝の意を表します。

一方向強化CFRP板の三点曲げ強さに及ぼす加圧くさびの影響

筒本隆博, 大橋俊彦, 好漢芳邦

Compressive Fracture of Unidirectional CFRP Initiated by Contact of Loading Roller in Three-point Bending Test

TSUTSUMOTO Takahiro, OHASHI Toshihiko, and YOSHIMITSU Yoshikuni

In order to study the effect of contact condition on bending strength between a loading roller and a specimen, three-point bending tests of unidirectional CFRP were carried out with loading rollers of various radii and with inserted polymer sheet of various thickness. The following results were obtained.

- 1) When the specimen is directly loaded by the steel loading roller, small-scale compressive fracture occurs near the surface close to the roller, drastically decreasing the bending strength.
- 2) Bending stress at the initiation of compressive fracture, σ_{com} , increases as the value of P/w decreases or as the radius of roller, r , increases. (P : net load at the initiation of compressive fracture, w : width of specimen)
- 3) σ_{com}/τ_c can be expressed as a function of only one parameter, $\sqrt{E \cdot r / (P/w)}$ that expresses a degree of surface micro-deflection by concentrated force of loading roller. (τ_c : inter laminae shearing strength, E : elastic modulus of thickness-direction.)
- 4) Insertion of soft polymer sheet between roller and specimen effectively prevents the initiation of compressive fracture, and a sheet thickness just over 0.2mm is sufficient to achieve this prevention effect.

1. 緒 言

著者らは炭素繊維をサンドイッチ構造を有する積層板の表層として用いた場合、両振り曲げ疲労強さは、静的曲げ強さほど炭素繊維による補強の効果が現れないことを示した。¹それは、炭素繊維クロスを用いた場合、主に繊維のクランプした部分から、圧縮時にマイクロバッキングが生じることに起因した。しかし、クランプの少ない一方向の炭素繊維織物では、前述した、マイクロバッキングは生じないが、治具との接触した部分から、圧縮破壊が起こり、これが曲げ強度を著しく低下させる結果となった。このような圧縮破壊は、CFRPの曲げ強さを測定する上で、重要な問題として指摘されており、^{2,3,4}それに影響を及ぼす色々な因子についての研究も行なわれている。

本研究では、今までに行なってきた研究に引続き、加圧くさびとの接触により引き起こされた圧縮破壊が曲げ強さにどのように影響を及ぼすかを、より詳細に検討するために、加圧くさび先端の半径を変えた場合や、加圧くさびと試料の間にシートを入れた場合について実験を行ない、その影響について考察した。

2. 実験方法

本研究で用いたCFRPは、一方向炭素繊維織物を三種類の不飽和ポリエステル樹脂で積層成形して作成した。その構成を表1に示す。積層はハンドレイアップ

表1 試料の構成

| 積層数 | 一方向炭素繊維織物 三菱レーヨンT8000-6190 | | | |
|-----|----------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | 0° 方向 | 10° ply | | |
| 樹脂 | ポリエステル 樹脂 3層 | 樹脂 A ポリセト 5501 | 樹脂 B ポリセト 550 | 樹脂 C ポリセト 595 |
| | | 1.0% | 1.0% | 1.0% |
| 硬化剤 | アクリル酸エポキシ | 0.5% | 0.5% | 0.5% |
| | ジメチルアミン | 0.5% | 0.5% | 0.5% |
| 硬化化 | 100°C 1時間 | | | |
| 厚み | 2.0~2.2mm (Vf=0.47~0.43) | | | |

により10層行ない、厚さをそろえるため、PBTフィルムをのせて、よくしごいたあと、両端にスパーサーを置き、平らな鉄板で押えた。室温である程度硬化させた後、100°C 1時間でアフターキュアした。試料厚さは2.0~2.2mmで、これから換算すると繊維体積含有率は0.47~0.43となる。このようにして作成した積層板を幅13mmに切断し、所定の長さにして三点曲げ試験のための試料として用いた。

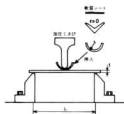


図1 三点曲げ試験の治具の様子

図1に三点曲げ試験の治具の様子を示す。加圧くさび先端の半径を変えるために、半径の比較的小さいもの($r \leq 5\text{mm}$)は、それぞれ用意したが、それ以上のものは、図のように、金属性パイプを半円状に切り出し、それを試験片と加圧くさびの間に挿入し、パイプの外周の曲率半径をもった加圧くさびの代用とした。また、アングルのとがった部分を $r=0$ として用いた。加圧くさびの集中荷重を緩和する目的で、それ以外にも、PVCゴムシート、ポリエチレンシート、セロハンテープのような軟質シートも挿入して試験を行なった。

3. 実験結果と考察

図2に、曲げスパンLを変えて行なった三点曲げ試験結果の一例を示す。長スパンでPVCゴムシートを挿入した場合、破壊時における荷重点でのたわみ δ が大きくなるため、これを考慮した次式のような島村の式³で曲げ応力 σ_B を計算した。

$$\sigma_B = \frac{3PL}{2wt^2} \left(1 + \frac{t}{L} \left(\frac{\delta}{L} \right) + 6 \left(\frac{\delta}{L} \right)^2 \right) \quad (1)$$

$L/t < 20$

でPVCゴムシートを挿入した時の σ_B が、 L/t とともに増加しているのは、この領域で、層間剪断破壊が破壊のモードとなっているためである。⁴ 図中には、破壊時の層間剪断応力 τ もあわせてプロットした。一般的に、シートビーム法による層間剪断強度 τ_c は、曲げスパンLを短くとり、層間剪断破壊の層間剪断応力をいうのが普通で、同一方向強化CFRP材においては、 L/t を6以下で測定

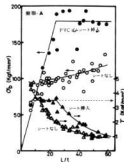


図2 破壊時の曲げ応力 σ_B 、及び層間剪断応力 τ に及ぼすスパンLの影響 (t :試験片の厚み)

したという報告もある。⁵しかしながら、本実験では、明らかにその領域では、 τ は一定とならず、 L/t とともに減少する傾向にあるのがわかる。そのため、ここでは、層間剪断破壊を生じ、かつ L/t に対して τ が一定となる部分(図2の樹脂Aの場合、 L/t が15~25のところ)で層間剪断強度 τ_c を求めた。

$L/t > 20$ では、シートを挿入した場合と、そうでない場合では σ_B は大きな差が見れる。これは、直接、金属製の加圧くさびで押さえると、試料と加圧くさびの接触した部分で圧縮破壊が生じ、最終破壊を早めたためである。

図3に、シートを挿入しなかった場合の曲げ応力-曲げひずみ曲線の一部を示す。○印は、圧縮破壊が開始し、荷重がわずかに低下している部分を示しており、これから圧縮破壊の開始する曲げ応力 σ_{com} を求めることができる。 $L/t > 15$ では、すべての試料が、圧縮側で破壊し、圧縮破壊が開始した後、直ちに最終破壊に至るものもあった。

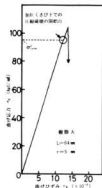


図3 金属製加圧くさびで直接加圧した時の $\sigma_B - \epsilon_B$ 線図の一例

写真1に、加圧くさびの接触によって圧縮破壊した試料の断面を示す。圧縮破壊が起こると、このように試料表面が隆起し、繊維方向に対して $60 \sim 65^\circ$ の方向

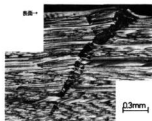


写真1 加圧くさびにより引起された圧縮破壊に伴う表面隆起とキンク帯の様子 ($L=60\text{mm}$, $r=15\text{mm}$, シートなし)

でキンク帯が形成された。こういったキンク帯の形成を伴う圧縮破壊については、一方方向繊維強化材料の破壊の特徴として従来から指摘されており、^{3, 4, 6} GFRPや、^{7, 8} FRM¹¹などでも見い出されている。写真から、このキンク帯は、表面や内部の樹脂層をも貫通していることがわかる。

でキンク帯が形成された。こういったキンク帯の形成を伴う圧縮破壊については、一方方向繊維強化材料の破壊の特徴として

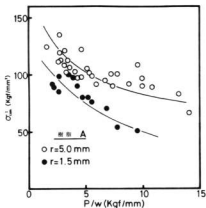


図4 σ_{com}^I に及ぼす試料にかかる加圧くさびの荷重(P/w)の影響(P :圧縮破壊開始時の加圧くさびの荷重、 w :試験片の幅)

図4は、圧縮破壊の開始する応力 σ_{com}^I に及ぼす、加圧くさびの荷重の影響を示すグラフである。この図は、曲げスパン L を変えて行なった試験の結果を、このようにプロットしたもので、スパンが長いほど、加圧くさびの力 P が低下し、 σ_{com}^I は高くなってゆく。

図5は、加圧くさび半径 r を変えたときの σ_{com}^I の変化を表わしたグラフである。これより、 r が大きいかほど、 σ_{com}^I は高くなり、圧縮破壊の開始は抑制されていることがわかる。また、この抑制効果は、弾性率が最も低く、層間剪断強さ τ_c の最も高い、樹脂Aが、最も顕著に表れて

図5 σ_{com}^I に及ぼす加圧くさび先端の半径 r の影響

こういった、加圧くさびの集中荷重の程度や、樹脂の機械的特性の違いが、 σ_{com}^I にどのように影響を及ぼすかを、より定量的に関係づけるために、図6(a)



図6 加圧くさびの接触により生じた試験片表面のくぼみの様子

のようなモデルを考えた。

ヘルツの弾性接触応力論¹³から、長さ w 、半径 r の円柱と、曲率 R を持った曲面の二つの弾性体が、加圧力 P で接触している場合、接触幅 $2b$ (図6(b))は、次式で表わされる。

$$b = 1.08 \sqrt{\frac{P}{w} \left(\frac{Er+E}{Er \cdot E} \right) \left(\frac{R \cdot r}{R-r} \right)} \quad (2)$$

ここで、 Er, E はそれぞれ、加圧ローラー、曲面の弾性率である。これを、三点曲げ試験の加圧くさびと試験片に当てはめると、 $E \ll Er, r \ll R$ となることから、 b は次式のように表わされる。

$$b = 1.08 \sqrt{\frac{P \cdot r}{w \cdot E}} \quad (3)$$

このため、試験片には、微小なへこみができることになる。そして、このへこみにより、試験片最上面の炭素繊維層は、図6(b)で示すように、曲げによって生ずる圧縮応力 σ の方向に対して、最大 θ だけ傾くことになる。この傾いた界面に、圧縮応力 σ によって引き起こされる、剪断応力は、次式で表わされる。

$$\tau = \sigma \cos \theta \sin \theta \quad (4)$$

この剪断応力 τ が、層間剪断強度 τ_c に達すると、前述した圧縮破壊が起こると仮定すると、 $\sin \theta = b/r$ 、 $\cos \theta = \sqrt{1 - (b/r)^2} \sim 1$ ($b \ll r$)を考慮することにより、圧縮破壊強さ σ_{com}^I は次式のように求まる。

$$\frac{\sigma_{com}^I}{\tau_c} = \frac{1}{1.08} \sqrt{\frac{E \cdot r}{P/w}} \quad (5)$$

(5)式の右辺は、本質的には繊維方向と圧縮方向の間の角度の逆数を表わす量であるから($\theta \neq 0$ のとき $\sin \theta \approx \theta$ となるので)Argon¹⁴の導いた式 $\sigma = \tau / \sin \theta$ (θ :圧縮方向と繊維方向の間の角度、 τ :層間剪断強さ)と全く等値である。

図7に、(5)式の左辺である σ_{com}^I / τ_c と、右辺の中の $\sqrt{E \cdot r / (P/w)}$ をそれぞれ、縦軸と横軸にとり、曲げスパン L や、加圧くさび先端の半径 r の試験条件と、樹脂の種類を変えて行なった、すべてのデータをプロットした。これより、かなり大きなばらつきはあるものの、前述した、考え方に基づいて導いてきたパラ

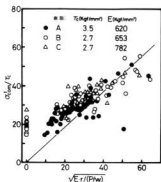


図7 $\sigma_{com}^1/\tau_c - \sqrt{E \cdot r/(P/w)}$ の関係
(τ_c :層間剪断強さ, E :試験片の厚み方向の弾性率)

メータで、すべての実験データはうまく関係づけられることがわかる。しかし、原点に近づくに従って、(5)式による推定値より、かなり高い値へずれる。

図8では、厚さと種類の異なる軟質シートを、加圧くさびと試験片の間に挿入した時の曲げ強さ B を、シートの厚みに対して示した。これより、軟質シートの

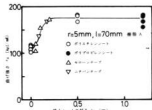


図8 曲げ強さ B に及ぼす挿入シートの厚みの影響

挿入は、圧縮破壊を抑制し、曲げ強さを向上させるのに非常に効果的で、0.2mm以上の厚みで十分な効果が得られることがわかる。

4. 結 言

一向向CFRPの三点曲げ試験を行ない、加圧くさび先端の半径及び、試験片との間に挿入した軟質シートの、曲げ挙動への影響について調べた結果、次のようなことがわかった。

- (1)金属性の加圧くさびで、直接三点曲げを行なうと、加圧くさびの接触した部分で、せん断的な圧縮破壊

が起こり、曲げ強さを著しく低下させる。

- (2)この圧縮破壊の開始する応力 σ_{com} は、 P/w が小さいほど、また加圧くさび先端の半径 r が大きいほど、高くなり、圧縮破壊は起こり難くなる。(P:圧縮破壊開始時の加圧くさびの荷重, w:試験片の幅)
- (3) σ_{com}^1/τ_c は、加圧くさびの集中荷重により生じた、試験片表面のゆがみを表わすパラメータ。 $\sqrt{E \cdot r/(P/w)}$ によって、すべてのデータに対してうまく整理できる。(E:層間剪断強さ, E:試験片の厚み方向の弾性率)
- (4)試験片と加圧くさびの間に軟質シートを挿入することは、圧縮破壊を抑制するのに非常に効果的で、約0.2mm以上のシートで十分な効果が得られた。

文 献

- 1) 岡本隆博, 蒲田政信, 大橋俊彦, 好満芳邦: 広島県立西部工業技術センター報告 No.28, P58-61, 1986
- 2) 吉田 均: 強化プラスチック vol. 29, No.2, P56, 1983
- 3) T.V. Parry and A.S. Wronski: J. Mater. Sci. 16(1981) 439-451
- 4) 北條正樹, 野口祐成, 古江治美, 松井醇一: 強化プラスチック vol. 33, No.1, P2-11, 1987
- 5) S.M. Lee: SAMPE J. March/April(1986) P64-68
- 6) N.L. Hancock: J. Mater. Sci. 10(1975), P234-242
- 7) 宮入裕夫: 強化プラスチック vol. 21, No.8, P32, 1975
- 8) 林 毅 編: 複合材料工学(日科技連 1971) P619
- 9) プラスチック標準試験方法研究会編: 炭素繊維複合材料研究報告書 第1報(昭60.5), P87
- 10) D.ハル著, 宮入ら訳: 複合材料入門(培風館 1983) P145
- 11) C.R. Chaplin: J. Mater. Sci. 12(1977), P347-352
- 12) 土取ら: 口頭発表
- 13) 軸受・潤滑便覧編集委員会編: 軸受・潤滑便覧(日刊工業新聞社 1961), P4
- 14) A.S. Argon: Fracture of Composites in "Treatise of Material Science and Technology", Vol. 1 (Academic Press, New York, USA 1972), P79-114

太陽光を利用した発電に関する研究

関 守雄, 中村和清, 天島正行, 吉野信行

Study on the Use of Photovoltaic Cells

SEKI Morio, NAKAMURA Kazukiyo, TENBATA Masayuki, YOSHINO Nobuyuki

SYNOPSIS: — The sun energy is inexhaustible and omnipresent, the other hand is dilute ($1\text{kw}/\text{m}^2$) Photovoltaic cells have many benefits such as cleanliness, reliability, easy-maintenance, cordless, on-site, adaptability, etc.

Already Photovoltaic applications and application systems are using the various fields (examples: sola calculator, solar clock, solar watch, solar street light, solar traffic lighting systems, solar ventilating fans, etc).

Therefore, we studied the generating characteristics of multicrystalline silicon cells, made a solar application and developed the solar application system.

The results were as follows:

- 1) The output of multicrystalline silicon cells were affected by the next factors (light strength > the angle of module > temperature).
- 2) The output of multicrystalline silicon cells were interacted by temperature \times light strength and temperature \times the angle of module.
- 3) We have made a photovoltaic application: air-lift pumping system (air rate 1 litre/min at 30cm depth to water-lift 2.6 litres/min).
- 4) We have developed Water recycle pumping system consisting of photovoltaic cells and mechatronics (battery controller, remote controller, timer controller).

1. 緒 言

太陽エネルギーは、 $1\text{KW}/\text{m}^2$ とエネルギー密度は低いが、地域偏在性がなく、他の自然エネルギーに比べてクリーンで、太陽光を利用した太陽光発電(太陽電池)は、信頼性が高く、メンテナンスフリー等の利点があることより、電卓等の微小電源から無人灯台等の独立電源まで、広い分野で利用^{1,2}研究³されている。

また1990年代初頭には、太陽電池モジュール発電コストは、20円～50円/ $\text{KW}\cdot\text{h}$ になり、ディーゼル発電電池のエネルギー源と競合できるようになり、現在の特殊、限定的用途から、より一般のエネルギー源として、広範囲に普及することが期待されている。

本研究では、多結晶太陽電池を用い、太陽電池の発電特性を実験計画法により解析すると共に、乾電池応用小型コンプレッサーを太陽電池応用の小型空気揚水筒を試作し、さらに一般家庭用養魚用水循環装置を、太陽電池とメカトロ技術を駆使した、太陽電池応用養魚用水リサイクルシステムを開発した。

2. 実 験

本研究では、京セラ株式会社製の表1の規格の多結

晶太陽電池を以下の実験に用いた。

表1 多結晶太陽電池標準規格

| 太陽電池 型 | モジュール 寸法 (mm) | 最大電力 (W) | 最大電圧 (V) | 最大電流 (mA) | 開放電圧 (V) | 短絡電流 (mA) |
|-----------|---------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 1 | 170 130 | 1.3 | 16.2 | 8.1 | 19.6 | 88 |
| 2 | 260 130 | 2.3 | 8.1 | 29.1 | 9.8 | 340 |
| 3 | 900 495 | 33.0 | 17.6 | 187.5 | 22.0 | 2180 |

2.1.1 白熱電球による発電特性の実験

太陽電池(以下PVという)の発電特性は、太陽光強度、PV設置条件、PV素子温度、PV表面汚れ等の要因に影響されると考えられる。そこで環境試験室において、太陽の代りに光源として500W白熱電球を用い、表1PV No.1に図1の如く抵抗を結線し、 V_1 より出力電流、 V_2 より出力電圧を読み取った。

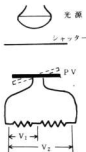


図1 発電特性測定図

実験は、実験計画法の

表2 L₁₆(2¹⁵)実験割付表

| 因子 | 水準 | 水準 | |
|-------------|----|--------|------|
| | | 第1水準 | 第2水準 |
| 温度 (A) | 1 | 25℃ | 70℃ |
| 光源高さ (B) | 2 | 15cm | 20cm |
| 電池受光角度 (C) | 4 | 0度(水平) | 15度 |
| 電池受光面汚れ (D) | 8 | 無し | 有り |

表3 実験結果

| 実験No | 電圧(V) | 電流(mA) | 出力(W) | 実験No | 電圧(V) | 電流(mA) | 出力(W) |
|------|-------|--------|-------|------|-------|--------|-------|
| 1 | 16.8 | 80.0 | 1.34 | 9 | 14.8 | 70.7 | 1.05 |
| 2 | 16.3 | 77.8 | 1.27 | 10 | 14.5 | 69.0 | 1.00 |
| 3 | 14.9 | 71.2 | 1.06 | 11 | 14.2 | 67.6 | 0.96 |
| 4 | 14.3 | 68.5 | 0.98 | 12 | 14.0 | 66.6 | 0.93 |
| 5 | 14.1 | 67.3 | 0.95 | 13 | 13.7 | 65.5 | 0.90 |
| 6 | 14.0 | 66.9 | 0.94 | 14 | 13.6 | 65.4 | 0.89 |
| 7 | 12.7 | 60.6 | 0.77 | 15 | 13.3 | 63.3 | 0.84 |
| 8 | 12.2 | 58.4 | 0.71 | 16 | 12.5 | 59.7 | 0.75 |

表4 分散分析結果表

| 要因 | S | σ | V | F | σ (%) |
|-----|------------------------|----------|------------------------|------|--------------|
| A | 3.06×10^{-2} | 1 | 3.06×10^{-2} | 41.7 | ※※ |
| B | 21.16×10^{-2} | 1 | 21.16×10^{-2} | 288 | ※※ |
| C | 11.22×10^{-2} | 1 | 11.22×10^{-2} | 153 | ※※ |
| D | 1.00×10^{-2} | 1 | 1.00×10^{-2} | 13.6 | ※ |
| A×B | 3.24×10^{-2} | 1 | 3.24×10^{-2} | 44.2 | ※※ |
| A×C | 2.40×10^{-2} | 1 | 2.40×10^{-2} | 32.7 | ※※ |
| e | 0.66×10^{-2} | 9 | 0.073×10^{-2} | | |
| 計 | 42.74×10^{-2} | 15 | | | |

$$F(1.9; 0.01) = 10.6$$

L₁₆(2¹⁵)直交配列表に、表2の如く4因子、2水準を割付け実験を行った。

2.1.2 実験結果と考察

実験結果は、表3のとおり最大出力1.34W、最小出力0.71Wで、これはPVNa1の最大出力およびその2分の1出力が得られるよう光源高さ等の因子、水準を選んだ結果である。また本実験は、交互作用を見出す事を主目的に割付けた結果、表4のとおりA×B、A×C2つの交互作用が有意と判定された。

出力への寄与率(ρ)を見ると、光源高さつまり光強度が約50%、PV受光角度が26%と2因子で全体の4分の3を占めている。この事は、太陽光発電においては、太陽を追尾する事が理想であるといえる。

温度(A)の主効果およびA×B、A×Cの交互作用を合わせると寄与率20%を占め、太陽光発電において温度に対する配慮が大切であるといえる。

PV表面汚れの有無は危険率1%で有意であるが、出力への寄与は2.3%で小さかった。

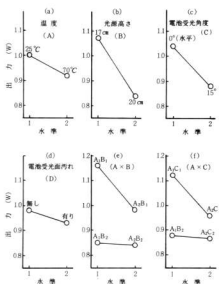


図2 発電要因と出力の関係

各因子の水準と出力の関係は図2(a)-(f)の通りで、特に交互作用A×Bの(e)より、B₂光が弱い場合は温度の影響も弱く、光が強い場合、温度の負効果が強く現われる。(f)のA×Cにおいて、PV受光角度が15°ずれている場合は温度の影響は弱い、PVが光源と真正面に向い合っている場合、温度の負効果が強く現われている。

表2・温度の水準のみを10℃、40℃と変え、同様に実験を行ない、その結果と表3の結果を图示したのが図3である。図3より多結晶PVの温度依存性は、最大出力相当の光強度、曲線Na1より、25℃で出力が最大となり、高い温度でも、低い温度でも負の温度依存性があることが分った。特にPV設置において夏の温度上昇に対する工夫^{4,5}が必要であるといえる。

2.2 太陽電池設置条件と発電特性

表1 Na1 PVを図1と同様に結線し、三脚にセットし、晴天日の正午に、15°ずつすみやかに角度を変え出力を測定した結果を図4に示す。図4、3/25において15°のいずれで3%、30°で13%、45°で43%の出力

表5 図3曲線の因子及び水準

| 曲線 No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 因お水 | B | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| よ | C | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 子び準 | D | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |

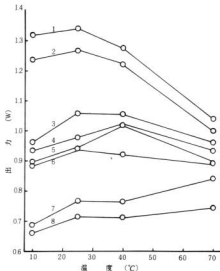


図3 温度と出力の関係

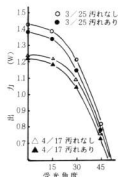


図4 PV受光角度と出力

程度からその倍程になると思われる。^{9, 3}

№1 PV 3個に図1と同じ結線をし、太陽追尾、真南30°、水平の3条件で、日出より日没まで発電出力を測定した結果を図5、表6に示す。

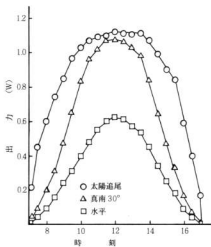


図5 太陽電池設置条件と出力の関係

表6 太陽電池設置条件と出力の関係

| 設置条件 | 太陽追尾 | 真南30° | 水平 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| 平均出力電圧 (V) | 12.4 | 10.2 | 8.1 |
| 平均出力電流 (mA) | 61.9 | 48.7 | 32.6 |
| 平均出力 (W) | 0.768 | 0.497 | 0.264 |
| 総発電量 (Wh) | 7.68 | 4.97 | 2.64 |
| 平均照射時刻 | 8:30 | 9:00 | 9:05 |
| 出力比 (%) | 100 | 65 | 34 |
| 対最大出力比 (%) | 59 | 38 | 20 |
| 単位面積平均出力 (mW/cm ²) | 6.35 | 4.12 | 2.19 |
| 単位面積最大出力 (mW/cm ²) | 9.28 | 8.86 | 5.13 |

太陽の最大日射量を 100 mW/cm² とすれば、エネルギー交換効率は平均値で太陽追尾 6%、真南 30° 4%、水平設置で 2% の電気が得られたことになる。

2.3 太陽電池応用製品の試作

図6(1)定格 6V、300 mA の小型コンプレッサを PV を応用して(2)~(4)へと空気揚水筒を試作した。



図6 小型コンプレッサシステム

図6(2)は、図7のシステムで充電したNiCd電池をMn電池と置換し、ポンプを5.5時間稼働させた。

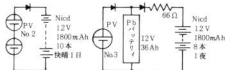


図7 NiCd電池充電システム

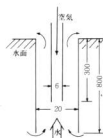


図8 空気揚水筒

図6(3)はNa2 PV 2個を並列に接続しPVの支援により、晴天日10時間ポンプを稼働させた。

図6(4)は、(2)、(3)がNiCd電池の交換を必要とする事より、電流制限用に10Ωの抵抗を入れ(1)と同様の性能が得られた。このコンプレッサーは空気揚水筒図8として吐出空気量2ℓ/minで

80cmの水深より水を2.6ℓ/min揚水し、規模を拡大すると湖沼・海洋の水質の浄化に役立つものと思う。

2.4 ソーラバッテリー応用システムの開発

家庭用養魚用水ポンプ(五十鈴製)の交流部を直流に変えと共に図9のようにシステム化した。

本システムの機能は、PV No.3を使用し、バッテリーチャージャコントローラ部は、二次電池の過充電、



図9 養魚用水リサイクルシステム構成図

過放流防止回路からなり、PVからの出力を負荷へ供給すると共に、余剰電力を二次電池へ供給する。

赤外線リモートコントローラ部は、送信部と受信部から構成され、電源と負荷の開閉に使用する。

光センサコントローラ部は気象条件：雨天、夜間等

における光量を検出するセンサコントローラ部とタイマーコントローラ回路より構成されている。

以上太陽電池を応用した養魚用水リサイクルシステムは、商用電源によらない、コードレス、オンサイト性、携帯性、遠隔操作をもち、規模の拡大により家庭用のみならず、農業、養殖魚業にも利用できると考える。

3. 結 言

- 1) 多結晶太陽電池の発電因子の寄与は、光強度>受光角度>温度の順であった。
- 2) 多結晶太陽電池は、温度と光強度、温度と受光角度の間に交互作用が認められた。
- 3) 太陽電池設置条件：太陽追尾、真南30°、水平の出力比は100:65:34であった。
- 4) 太陽電池応用製品として空気揚水筒を試作し、吐出空気量2ℓ/minで2.6ℓ/minの揚水量を得た。
- 5) 太陽電池の特徴とメカトロ技術を駆使し、養魚用水リサイクルシステムを開発した。

謝 辞

本研究にあたって、京セラ㈱平井寛爾氏、㈱ソーラエンジニアリング 坂本一夫氏の御協力に深謝の意を表します。

文 献

- 1) 瀧谷昌生：ソネットシステム, No.34, 1986, 13
- 2) 太陽エネルギー, 13, 1, 1987, 12-29
- 3) 伊藤三郎：太陽エネルギー, 13, 3, 1987, 9-16
- 4) 近藤茂樹, 原哲夫：日本太陽エネルギー学会 第12回研究発表会 講演論文集 124
- 5) 大塚弘信：昭和62年太陽光発電シンポジウム 講演集 8-6
- 6) 渡辺吉明：ソネットシステム, No.32, 1986, 49-56
- 7) 桑野幸徳：太陽電池とその応用 86
- 8) 1) 15ページ
- 9) 山本一哉：ウォーターガイド ノーベル書房, 37

昭和62年8月25日印刷

昭和62年9月1日発行

編集発行 広島県立西部工業技術センター

〒737 呉市西中央3丁目6-21

TEL 呉局(0823) 643800

印刷所 桐リプロ

〒737 呉市昭和町2番1号

TEL (0823) 633300