

広島県立西部工業技術センター研究報告

No. 32

目 次

October 1989

抄 録

一 報 文

1. FRP 腐蝕処理技術に関する研究
中塩武之・世良時夫・関 守雄・畑 徳宣 1
明神久喜
 2. レーザによる高度加工技術の開発
蒲田政信・斯波信雄・土取 功・池田哲夫 5
馬場祥宏・南良良治・西山敏一・出雲宣明
肥田光司・広実常登・福岡文明・石川和雄
江見 亨
 3. 雰囲気制御によるレーザ局部合金化の研究
蒲田政信・斯波信雄 13
 4. 柔軟アクチュエータの制御技術に関する研究
斯波信雄・坂元康泰・蒲田政信 16
 5. ホログラフィ干渉計による物体の微小変形計測に関する研究
田尾博幸・池田哲夫・岡田芳雄・岡本正幸 19
吉野信行・好満芳邦
 6. 高速画像処理による液晶表示器の欠陥検査
馬場祥宏・榎垣和生・永山博夫・坂元康泰 23
 7. LCA(ロジック・セル・アレイ)応用技術の開発
永山博夫 26
 8. 動的プログラミングと協調制御
坂元康泰・小林重信 29
 9. 生産技術における認識・識別システムの開発
岡田芳雄・田尾博幸・吉野信行・南良良治 33
 10. ジルコニアセラミックスと金属の接合に関する研究
新田 明・土取 功・世良時夫 37
 11. チタン酸カリウムウイスキー強化アルミニウム合金複合材料の特性と応用
土取 功・原 信彦・新田 明・中村和清 41
原田秀文・工道幸嗣・井上康夫
 12. 溶射によるニューガラスの試作開発
野地英治・原 信彦・筈本隆博・横山宏樹 46
近藤博美
 13. 溶媒抽出-ICP 発光分析法によるジルコニア中の微量重金属の定量
渡部英雄・田谷征雄・相原将人 50
 14. イオンブレーティングによる成膜時の基板温度測定を検討
梶岡 秀・丸下清志・尾辻康博・川下安司 54
 15. 繊維強化コンクリートの力学的特性
山藤康男・浜岡英男・藤本宗之 58
 16. 高強度ハイブリッドCFRP(炭素繊維強化プラスチック)の開発
好満芳邦・大橋彦彦・下原伊智朗 61
 17. 水素添加ビスフェノールAジグリシジルエーテルのビニルエステル化反応
大橋彦彦 65
 18. いくつかのビニルエステル樹脂の機械的性質
大橋彦彦・竹内正一 67
- 一 研 究 ノ ー ト
1. 太陽熱利用による海水より真水の回収
関 守雄・清水加津子・中塩武之・畑徳宣 69
 2. かき殻を利用した工芸品の試作
世良時夫・中塩武之・畑 徳宣・関 守雄 73
清水加津子・明神久喜
 3. モアレ干渉技術のトワイマン・グリーン干渉計への適用
吉野信行・横岡俊介 76
 4. 金属系複合材料の応用とそのハイブリッド化技術に関する研究
土取 功・新田 明・中村和清・芳野光利 80
横山宏樹
 5. 溶射による金型作製に関する研究
原 信彦・野地英治・筈本隆博 84
 6. 形状記憶合金の接合に関する研究
筈本隆博・中村和清・鈴木 寛・横山宏樹 88
葛山信行
 7. FW製のCFRPを用いた軽量自動車の試作
下原伊智朗・好満芳邦・大橋彦彦・三島久 92
池田芳清・広山光明・小川博文・瀧野篤洋

BULLETIN

of the

WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

Vol. 32

October 1989

Contents

—Originals—

1. Study on Scrapping Old FRP Boats by an Explosive Cutting 1
NAKASHIO Takeyuki, SERA Tokio, SEKI Morio, HATA Noriyoshi and MYOJIN Hisayoshi
2. A Development of High Processing by Laser 5
KAMADA Masanobu, SHIBA Nobuo, TSUCHITORI Isao, IKEDA Tetsuhiro, BABA Yoshihiro,
NARA Ryoji, NISHIYAMA Kouichi, DEHARI Nobuaki, HIDA Kouji, HIROZANE Tsuneto,
FUKUOKA Fumiaki, ISHIKAWA Kazuo and EMI Touru
3. Local Laser Surface Alloying in Controlled Atmospher 13
KAMADA Masanobu and SHIBA Nobuo
4. Study of Soft Actuator Control 16
SHIBA Nobuo, SAKAMOTO Yasuhiro and KAMADA Masanobu
5. A Study of Measurement for Microscopic Displacement of Object Using Holographic Interferometry 19
TAO Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro, OKADA Yoshio, OKAMOTO Masayuki,
YOSHINO Nobuyuki and YOSHIMITSU Yoshikuni
6. LCD Defects Inspection Using High-speed Image Processing Method 23
BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo, NAGAYAMA Hiroo and SAKAMOTO Yasuhiro
7. Evaluation of LCA (Logic Cell Array) Performance 26
NAGAYAMA Hiroo
8. Reactive Planning and Cooperative Control 29
SAKAMOTO Yasuhiro and KOBAYASHI Sigenobu
9. Development of a Cognition and Discrimination System for Industrial Field 33
OKADA Yoshio, TAO Hiroyuki, YOSHINO Nobuyuki and NARA Ryoji
10. Joining of Zirconia Ceramics to Metals 37
NITTA Akira, TSUTITORI Isao and SERA Tokio
11. Fabrication of Potassium Titanate Whisker Reinforced Aluminum Alloy(AC4C) Composite
and Their Tensile Properties 41
TSUCHITORI Isao, HARA Nobuhiko, NITTA Akira, NAKAMURA Kazukiyo,
HARADA Hidefumi, KUDO Koji and INOUE Yasuo
12. A Study of Thermal Spraying of Glass and its Mechanical Properties 46
NOJI Hideharu, HARA Nobuhiko, TSUTSUMOTO Takahiro, YOKOYAMA Hiroki and KONDO Hiromi
13. ICP-AES Determination of Trace Heavy Metal in Zirconia by Solvent Extraction 50
WATANABE Hideo, TADANI Isao and AIHARA Masato

14. Measuring of Substrate Temperature in Film Formation by Ion Plating	54
KAJIOKA Hideshi, MARUSHITA Kiyoshi, OTSUJI Yasuhiro and KAWASHIMO Yasushi	
15. Study on Mechanical Properties of Fiber Reinforced Concrete	58
YAMAGATA Yasuo, HAMAOKA Hideo and FUJIMOTO Muneyuki	
16. Studies on Matrix Resin Systems for High Strength Hybrid CFRP	61
YOSHIMITSU Yoshikuni, OHASHI Toshihiko and SHIMOHARA Ichiro	
17. Study of Vinyl Ester Resins (Part 1)	65
Vinyl Esterification Reaction of Hydrogenated Bis-phenol A Diglycidyl Ether	
OHASHI Toshihiko	
18. Study of Vinyl Ester Resins (Part 2)	67
Mechanical Properties of Some Vinyl Ester Resins	
OHASHI Toshihiko and TAKEUCHI Syoichi	
 — Notes —	
1. The Recovery Fresh Water from Saline Water by Solar Energy	69
SEKI Morio, SHIMIZU Katsuko, NAKASHIO Takeyuki and HATA Noriyoshi	
2. Trial Production of Industrial Art Objects Using Oyster Shells	73
SERA Tokio, NAKASHIO Takeyuki, HATA Noriyoshi, SEKI Morio, SHIMIZU Katsuko and MYOJIN Hisayoshi	
3. An Application of Moire Method in Interferometry Using Twyman-Green Interferometer	76
YOSHINO Nobuyuki and YOKOZEKI Syunsuke	
4. The Reaction of Interface on Diamond to Metal Bonding for Diamond Reinforced Metal Tool	80
TSUCHITORI Iso, NITTA Akira, NAKAMURA Kazukiyo, YOSHINO Mitsutoshi and YOKOYAMA Hiroki	
5. A Study on Die Fabricating Technique by Thermal Spraying	84
HARA Nobuhiko, NOJI Hideharu and TSUTSUMOTO Takahiro	
6. A Study on Welding of Ni-Ti Shape Memory Alloy	88
TSUTSUMOTO Takahiro, NAKAMURA Kazukiyo, SUZUKI Hiroshi, YOKOYAMA Hiroki and KARIYAMA Nobuyuki	
7. Development of All Plastic Battery Car Installed Ring Suspension System	92
SIMOHARA Ichiro, YOSHIMITSU Yoshikuni, OHASHI Toshihiko, MISHIMA Hisashi, IKEDA Yoshizumi, HIROYAMA Mitsuaki, OGAWA Hirofumi and URANO Atsunobu	

Published by

WESTERN HIROSHIMA PREFECTURE INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

6-21, Nishichuo 3chome Kure-shi

Hiroshima 737 Japan

○ FRP 廃船の解体処理に関する研究

中塩武之, 世良時夫, 関 守雄, 畑 徳宣, 明神久喜

FRP製の廃船が増加してきているが、その解体処理が難しいために大きな社会問題になりつつある。

本研究は主に金属切断用として開発され特殊作業などで使用されている帯状の成形爆薬を用い、FRPテストービスの爆破切断実験を行うことで、同材質廃船の解体手段として発展できるものかその可能性について検討した。

その結果、28g/mの爆薬では厚さ10mmのテストービスが切断でき、65g/mでは同テストービス二枚重ねを余裕をもって切断することができた。

騒音公害など懸念される点もあるが、性能的には非常に作業能率が高く、今後の研究次第では実用に供する解体技術に発展できる可能性を得た。

P 1~4, 表1, 図2, 写真4, 文献6

○ レーザによる高度加工技術の開発

蒲田政信, 斯波信雄, 土取 功, 池田哲宏, 馬場祥宏, 南良良治, 西山敏一
出張宣明, 肥田光司, 広実常登, 福岡文明, 石川和雄, 江見 享

Tiのレーザ溶融処理によるTiN皮膜の生成と自溶性合金粉末のレーザ硬化肉盛りを試みた。レーザ熱処理と切断によりハサミを試作した。イメージスキャナ画像、パソコンCADによるNC切断テープ作成システムと手書き画像を平板に彫刻するシステムを開発した。アクリルや合板の組合せによる象眼とホロー鋼板の木板への埋め込み加工がレーザによりできた。

鋭角部を有する部品の溶け落ちの無いレーザ切断条件を件を見つけることができた。自動車用高強度鋼板のレーザ切断部はプレス加工と同程度の疲労強度であることが確認できた。ダイヤモンドブレードのレーザ溶接を行い、基板と同等以上の強度を有する溶接部が得られ、実用化へのメドをたてることができた。

P 5~12, 表1, 図12, 写真11

○ 窒素雰囲気によるレーザ局部合理化の研究

蒲田政信, 斯波信雄

窒素雰囲気中で純チタン、チタン合金にレーザ照射を行い、厚膜の窒化チタン形成実験を実施し、次の結果を得た。

- ① 窒素雰囲気中で黄金色の窒化チタン膜を得ることができた。表面が滑らかであるためには、窒素圧を低くした方がよいが窒化チタンは形成されなくなる。
- ② ヘリウム雰囲気中で再溶融処理することにより表

面粗度を改善でき、窒素チタンの分離や硬度の低下もなく、有効な方法である。

- ③ 処理条件を適当に選ぶことにより、厚膜の窒化チタンを得たり、表面を窒化チタンの硬度に近い硬度まで上げることが可能で、局部的に高硬度の要求される部品への適用の可能性を確認することができた。

P 13~15, 図5, 写真1

○ 柔アクチュエータの制御技術に関する研究

斯波信雄, 坂元康泰, 蒲田政信

現在ロボットを利用した搬送・移載技術が工業分野のみならず流通分野・医療分野等においても注目されている。また搬送する製品も高品質化、高機能化する傾向にあり、製品の取扱については傷をつけたり、変形させない等の配慮が今以上に重視されるようになる。こういった観点から現在出回っているアクチュエータをみると様々な問題点が指摘される。そこで人間

の筋肉に良く似た新しいタイプのアクチュエータと考えられる柔アクチュエータを使った搬送装置を試作した。搬送装置はパソコンで制御させているが、パソコンにはティーチング・ブレイバック機能を持たせている。柔アクチュエータはその制御パラメータを変えることにより動作特性が変わるが、特徴的なパラメータを選んで搬送装置の動作実験を行った。

P 16~18, 表2, 図3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.32)

ホログラフィ干渉計による物体の微小変形計測に関する研究

尾田博幸, 池田哲宏, 岡田芳雄, 岡本正幸, 吉野信行, 好漢芳邦

近年, 先端複合材料等新素材の開発およびその応用に関する研究が様々な分野でなされている。特に, 素材開発においては, それらの外部応力(荷重, 加圧, 熱, 振動等)に対する変位・変形計測が工学的現場において重要である。複合材料は一般に, 外部応力に対して複雑な挙動を示すため微小変形の追跡が要求されると同時に表面精度の定量化等が望まれている。

これら材料の変形計測には, 光波干渉計を使用し, 干渉縞が持つ定性的な変位分布に対する3次元的な定量化が必要である。

本研究では, 先ず素材の定量化に必要な光波干渉計の干渉縞解析システムを開発し, 次いでレーザホログラフィを用いて鋼板, FRP板の微小変形計測を行い, それらの定量化を検討した。

P 19~22, 図10, 写真2, 文献2

高速画像処理による液晶表示器の欠陥検査

馬場祥宏, 檜垣和生, 永山博夫, 坂元康泰

時計・電卓など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(ピンホール, 黒点発生)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。

昭和61年度に実施した研究の成果を踏まえ, 高速素子, 処理方法の検討を行い, 高速化を図った結果, 標準の検査対象品(50×20mm品)の検査を, 約270秒から

10秒にまで短縮することができた。

検査員の人件費との比較でコストを考慮すると, 十分実用化に耐え得る速度での検査が可能となった。

機械的位置合わせだけでは困難な, 画素単位の位置合わせを実現するために, 正常品画像とともに, 位置合わせ情報を併せて登録しており, これを用いて画像メモリ内での画像移動を行なう手法を使っている。

P 23~25, 図3, 写真3, 文献9

LCA(ロジック・セル・アレイ)応用技術の開発

永山博夫

ユーザ自身が最終製品上でプログラム可能なASICの一種であるLCA(ロジック・セル・アレイ)をモータ回転速度制御装置へ適用し, その応用技術の確立および性能評価を行った。その結果は, つぎのとおりである。

- ① LCAのCLBのゲート使用率は30%台であった。
- ② LCAの採用により, TTL-ICを使用した場合と較

べ, 所要回路面積の50%以上の削減が可能となる。

③ LCAの応用回路としては, カウンタ回路よりはCLB間の接続線数が少ないランダム論理回路が適している。

④ LCAの応用製品としては, 仕様変更の頻繁で開発期間の短い製品が適している。

P 26~28, 表4, 図5, 写真1, 文献3

動的プランニングと協調制御

坂元康泰, 小林重信

従来の自動制御システムでは扱うことが困難であった“悪構造問題”を解決するために, 知識工学を利用した柔軟な制御手法を実現することを目的とする。

今回は, 世界, エージェント, タスクがそれぞれ複数存在する場合において, 実行時間に刻々変化する状況に反応して適切なオペレータを選択し実行する動的プランナーについて提案する。この動的プランナーは

干渉や協調などの相互作用を解決するための制御オペレータおよびプログラミング構造をもっている。

この処理機構を, FAにおける複数のエージェント下での動的世界であるクレーン群制御問題とロボットハンド制御問題に適用し, モデル化とコンピュータ上のシミュレーションを行い, その有効性を示した。

P 29~32, 図3, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.32)

生産技術における認識・識別システムの開発

岡田芳雄, 田尾博幸, 吉野信行, 南良良治

生産工程における部品の組立・検査等では、3次元物体の識別に対する要望が数多い。従来から、非接触3次元形状計測法の一つとしてモアレ法がよく使用されているが、鮮明なモアレ縞を得るための画像入力の方法、ソフトウェアの開発等種々の問題がある。

本研究では、走査モアレ法による3次元モアレ画像処理システムを開発した。テレビカメラの走査線を観

測格子として使用することで、テレビカメラの解像度を最大限に利用するとともに基準格子と観測格子の不要縞が除去されデータ処理を容易にした。また、干渉縞をコンピュータを用いた画像処理システムで処理して、鮮明なモアレ等高線を得るとともに、等高線の特徴量から3次元物体を認識・識別するシステムおよび3次元形状の表示プログラムの開発を行った。

P 33~36, 表1, 図5, 写真2, 文献2

ジルコニアセラミックスと金属の接合に関する研究

新田 明, 土取 功, 世良時夫

ジルコニアセラミックスと構造用炭素鋼の接合用インサート材を開発した。

本実験でジルコニアに有効なインサート材は、Zr-Ti-V-Ni-Cu系であった。接合前のジルコニア表面へのメタライズ条件は、温度 800~1200℃, 真空度 $1 \sim 5 \times 10^{-4}$ Torr, 時間10分間である。その結果を要約すると、

ジルコニアと金属をメタライズ法で接合すると、 $7 \sim 12 \text{ kgf/mm}^2$ のせん断強さが得られ、これらの応力緩和材として鋼が有効であった。

熱応力緩和材の厚さの影響については0.5mmの鋼の厚さにおいて顕著であった。

P 37~40, 表1, 図5, 写真4, 文献4

チタン酸カリウムウイスカー強化アルミニウム合金複合材料の特性と応用

土取 功, 原 信彦, 新田 明, 中村和清, 原田秀文*, 工道幸嗣*, 井上康夫* (チタン工業株式会社)

最近、高温安定性を増したチタン酸カリウムウイスカーが開発され、このウイスカーに少量の無機系粘結剤を添加して複合用のプリフォームを作製した。このプリフォームにアルミニウム合金 (AC4C) を高圧凝固鋳造法で浸透させたところ、プリフォームがほとんど圧縮・変形等を受けないほぼ所定通りの複合材料が得られた。この複合材料について常温・高温引張試

験および硬さ分布等の強度試験を行うとともにその組織についてもEPMA, X線回折により試験した。特に、この複合材料を熱分析したところ、このウイスカーは1123K付近まではアルミニウムに対し安定であることが分かった。また、この複合材料の強度は各温度範囲にわたって100Mpa程度の強化作用が認められた。

P 41~45, 表1, 図6, 写真4, 文献12

溶射によるニューガラスの試作開発

野地英治, 原 信彦, 筒本隆博, 横山宏樹, 近藤博美

従来、非常に困難と考えられていた溶射によるガラスコーティング技術を可能にするため、溶射用ガラス材料の試作、溶射条件の検討、ガラス皮膚の性能評価を行った。その結果、次のことが判明した。

① 基材に数百度の予熱を行うことにより、ポロシティー等の欠陥が全くないガラス溶射皮膚を通常の粉末式フレーム溶射装置を用いて簡単に得ることができる。

② ガラスの溶射は、基板とガラス皮膚とが拡散等により完全に結合しているため、プラストなしでも溶射は容易に可能である。

③ ガラス皮膚の密着性、耐衝撃性、耐熱衝撃性、耐摩耗性等の機械的特性は非常に優れており、今後多方面での利用が期待できる。

P 46~49, 表3, 図5, 写真2, 文献7

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.32)

溶媒抽出-ICP 発光分析法によるジルコニア中の微量重金屬の定量

渡部英雄, 田谷征雄, 相原将人

ジルコニア中の微量バナジウムの定量を, 溶媒抽出-ICP 発光分析法を用いて検討した。微量バナジウムはキサントゲン酸錯体として, pH1.2~2.7で定量的に抽出されることを見いだした。また, 共存物質として陽イオンおよび陰イオンの影響を検討したが, ジルコニウムは40mgまでは影響しないが, それ以上になると負の干渉を示した。それ以外の陽イオン, 陰イ

オンについては全く影響がなかった。

本法を実試料に応用し, 標準添加法と比較した結果両者は良く一致しており, 十分実用分析に適用できることが判った。

なお0~1 ppmでのバナジウムの検量線を作成したところ, 相関係数は0.9999であり, この時の検出下限(3 σ)は0.48ng cm^{-3} ($n=10$)であった。

P 50~53, 表6, 図3, 文献8

イオンブレーティングによる成膜時の基板温度測定法の検討

梶岡 秀, 丸下清志, 尾辻康博, 川下安司

イオンブレーティング時の基板温度測定は真空蒸着に比べて難しくなる。イオンの作用や基板に電圧をかけるために熱電対を絶縁しなければならないからである。そのためにもっと簡単な温度測定法が望まれている。我々は焼き入れた工具鋼が戻し温度によって硬さが低下するという性質に着目し, 温度測定センサーとして利用できるか否かを実験して, 以下の結果を得た。

① 炭素工具鋼の焼き入れ焼き戻し曲線から, 硬さ測定によって $\pm 25^{\circ}C$ 内で戻し温度を見積ることができた。② 基板温度上昇因子別に経時変化を測定し, その特性を明らかにした。③ 同一試料での熱電対と硬さ測定値から求めた温度では前者は40~100 $^{\circ}C$ 低い値を示した。④ 測定バラツキを考慮すれば生産現場では基板温度測定センサーとして利用できる。

P 54~57, 表2, 図6, 文献1

繊維強化コンクリートの力学的特性

山縣康男, 浜岡英男, 藤本宗之

セメントコンクリートは脆性材料でひび割れを起こしやすいが, この欠陥を改善する目的でセメントに繊維を混入した。ここでは繊維強化コンクリートの力学的性状を把握するため, 三種類の繊維(炭素繊維, 耐アルカリガラス繊維, ビニロン繊維)について, FRCの曲げ強度への影響を検討した。

その結果, 繊維の性状によってFRCの特性に影響することが分かった。一般に, 弾性率が高く伸び率の

小さい繊維では引張強度, 曲げ強度, ひび割れ抵抗性などが向上すると言われているが, 弾性率の高い繊維は曲げ強度が著しく向上した。伸び率の大きい繊維は曲げ靱性を高め, 耐衝撃性を改善すると考えられる。また, ひび割れ後の変形能が大きいことを確認した。

P 58~60, 表2, 図3, 文献3

高強度ハイブリッドCFRP (炭素繊維強化プラスチック) の開発

好美芳邦, 大橋俊彦, 下原伊智朗

高性能複合材料を安価に製造することは, 複合材料関連業界の夢でもあり, また, それを実現させることは大変重要な立脚点であることを意味する。それを実用上可能にする最も近道として, ハイブリッド化複合材料の概念があることは周知のことであるが, 層間はく離等の問題から, 実用的に普及していない。本研究では, マトリックス樹脂の化学的組成および成形技術の両面から

高性能化を検討した。概要は以下のとおりである。

① 樹脂組成がハイブリッド化の決め手になる。衝撃特性, 静的特性とも同様の傾向を示し, エポキシアクリレート, ウレタン変成等の高じん性品が良好。

② 高性能化という点で, MHD 成形, 引抜成形等の成形技術の高度化が必要である。その場合でも, マトリックスの化学的組成の効果が大きいことを認めた。

P 61~64, 表1, 図6, 文献6

水素添加ビスフェノールAジグリシジルエーテルのビニルエステル化反応

大橋俊彦

水素添加ビスフェノールA型エポキシとメタクリル酸を原料とするビニルエステル合成反応について研究した。この反応は、触媒の作用によって開環したエポキシ環に酸が作用してビニルエステルを生成する主反応以外に多くの副反応を伴っている。ここでは副反応を無視して主反応に対する見かけの反応速度と活性化エネルギーを求め、最適と思われる合成条件を経験

的に決定した。しかし、副反応は合成時のゲル化防止や生成した樹脂の物性への影響などの点で非常に重要な問題であり、新しい樹脂の開発にあたってはこれらのことに十分注意を払う必要がある。

P 65-66, 図4

いくつかのビニルエステル樹脂の機械的性質

大橋俊彦, 竹内正一

数種類のビニルエステル樹脂を合成し、その機械的性質を検討した。架橋用モノマーの影響について検討したところ、硬化剤や硬化条件がスチレンに最適であるためかスチレンを用いたものが最も特性が良かった。ビスフェノールA型のビニルエステルについては分子量が大きいほど弾性率が低く衝撃強度が高い傾向にある。水素添加ビスフェノールA型のビニルエステル樹

脂はよりむしろ、アジピン酸変成したものはよりぬばり強い傾向があった。同じ樹脂であっても合成や硬化の条件などによって化学組成・構造が異なり、従って物性も異なると考えられるので、今後はこれらの因子を確実に把握して研究を進めていく必要がある。

P 67-68, 表3, 図1, 文献3

太陽熱利用による海水より真水の回収

関守 雄, 清水加津子, 中塩武之, 畑 徳宜

海水淡水化法は、多段フラッシュ法、逆浸透法、電気透析法が大規模に実用されている。太陽熱利用淡水化法には、Basin型とウィック型等があり、本研究ではBasin型片屋根式太陽熱蒸留器を試作し、透明カバー材としてガラス板、アクリル板、ポリエチレンテレフタレートフィルムの3種類について実験した。透明カバー材の太陽光透過性は、アクリル>ガラス>フィルムの順であるが、真水回収においては、カバー材へ

の凝縮水により光透過性はガラス>フィルム>アクリルの順となる。4月の3種類の蒸留器の蒸留性能は、日射量とよく相関し、光透過性の順と同じであったが正午の気温が25℃以上ではガラスカバーは加熱され、相関がなくなる。最大蒸留量は、4月13日、日射量6,66K Wh/m²dで、ガラス蒸留器2.84 l/m²dであった。

P 69-72, 表1, 図8, 文献4

かき殻を利用した工芸品の試作

世良時夫, 中塩武之, 畑 徳宜, 関 守雄, 清水加津子, 明神久喜

かき殻を粉砕して3~10mmの大きさにふるい分けたのち人造大理石製造用のポリエステル樹脂と混合していろいろのものを試作検討した。

① 顔料の試作はシリコンゴム型を使用して、顔の正面(下型)にポリエステル樹脂を塗布後、数種類のかき殻サイズを分散させた。さらに木枠および樹脂への着色などを変えることで感じの違う良好な試

作品ができた。

② 装飾品素材として、かき殻と樹脂を同重量配合した円柱ブロックを約4mmの厚さに切断加工した。切断面のかき殻の不規則模様はコースタや装飾用タイルなどになる。また、照明用素材としても可能であると思われる。

P 73-75, 図1, 写真5, 文献4

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.32)

モアレ干渉技術のトワイマン・グリーン干渉計への適用

吉野信行, 横関俊介

一般に, 光波干渉計測法においては, 測定系の光学部品が高精度であること, 測定対象が鏡面であること, 測定環境(暗室, 振動, 恒温恒湿等)に十分な配慮が必要であること等, 現実には工学的現場で計測する場合かなり制約を受ける。本報告では, このような制約を緩和するため光波干渉計にモアレ技術を導入し, 理論の導出と実験により以下に示す特徴を確認した。

- ① 位相物体の変化が計測できる。
- ② 干渉計の光学要素が高精度でなくてよい。
- ③ ホログラフィ干渉法における粗面干渉縞に相当する干渉縞が得られる。
- ④ 干渉縞の記録と再生, モアレ縞の生成とを実時間で, しかも明るい部屋で容易に観測することができパソコン処理による自動解析の導入が可能。

P 76~79, 図1, 写真6, 文献3

金属系複合材料の応用とそのハイブリッド化技術に関する研究

土取 功, 新田 明, 中村和清, 芳野光利, 横山宏樹

金属系複合材料の中で現在応用が進んでいるダイヤモンド複合合金においてマトリックス金属をコバルトとし, それにクロムとチタンを添加してダイヤモンドとの反応性を比較し, 次のような結果が得られた。

コバルト単独のマトリックスに比べ, クロム, チタンを添加した場合ともそれぞれ異なる破断面を示し, EDX による分析結果からは炭化物を生成している可

能性が窺われたが, その反応性については, かなり程度が異なることが推察された。これら添加元素の量と焼結条件(複合化条件)を適切に選択することによりその接合性およびマトリックス特性を向上させることができる可能性が示された。

P 80~83, 表1, 図4, 写真4, 文献6

溶射による金型作製に関する研究

原 信彦, 野地英治, 筒本隆博

アーク溶射により金型を作製するための溶射条件及び溶射皮膚の性能について検討した。

電流値はマスターモデルの加熱に大きく影響し電流が増すに従って加熱温度は上昇し80A以上になると皮膚の剝離の原因になる。溶射距離が引張強さに及ぼす影響は亜鉛合金, 黄銅は少ないがSUS 420J 2 は大きい。また, 硬さに及ぼす影響はいずれも見られず,

400mm離れても低下しなかった。

溶射角度が引張強さに及ぼす影響は45°が最高値を示し, 硬さは距離と同様, 角度による影響は明らかでなかった。

P 84~87, 図9, 文献2

形状記憶合金の接合に関する研究

筒本隆博, 中村和清, 鈴木 寛, 横山宏樹, 荻山信行

本研究では, Ni-Ti系形状記憶合金の1mmのワイヤーの溶接を行うため, パーカッション溶接機を試作し, 良好な接合強度を得るための溶接条件の検討を行った。その結果, コンデンサ容量が10000 μ Fでは充電電圧が180V以上, 15000 μ Fでは140V以上, また, 溶接入熱に換算すれば約40 cal 以上であればだいたい60kgf/cm²程度の接合強度が得られることが分かった。ただし, 溶接時の加熱で内部酸化した部分がう

まくバリとなって外に排出されずに接合部へ残ってしまうと, それが著しい強度の低下をひき起こすため, 注意が必要である。

P 88~91, 図5, 写真2, 文献6

抄 録

広島県立西部工業技術センター研究報告 (No.32)

FW製のCFRPを用いた軽量自動車の試作

下原伊智朗, 好満芳邦, 大橋俊彦, 三島 久, 池田芳清, 広山光明, 小川博文, 浦野篤諄

炭素繊維等の先端複合材料の利用の普及を図るため、FW (フィラメントワインディング) 成形機を導入した。このFW成形機を用いて作成したCFRPパイプとCFRP-アルミニウムサンドイッチ板を多用したオールプラスチック製軽量自動車を試作した。また、パイプ材等の複合部材の評価もあわせて行った。軽量自動車の主な特長は次のとおりである。

- ① FW製CFRPパイプとアルミニウム材を用いた軽量化を目指し車重25kgを得た。
- ② FW製の軽量CFRPリングばねを開発し、サスペンションとして利用した。
- ③ CFRP-アルミニウムサンドイッチ板を用いた、軽量かつ剛性の高いホイール・リムを試作し装着した。

P 92-95, 表3, 図4, 写真1

FRP 廃船の解体処理に関する研究

中塩武之, 世良時夫, 関 守雄, 畑 徳直, 明神久喜

Study on Scrapping Old FRP Boats by an Explosive Cutting

NAKASHIO Takeyuki, SERA Tokio, SEKI Morio, HATA Noriyoshi and MYOJIN Hisayoshi

Year by year the scrapped boat which is composed of FRP, is on the increase and illegal disposal of them became a serious social issue.

In this paper, some experiments of cutting FRP plate test piece were performed using a shaped charge which was developed for cutting of metal or concrete panel.

This shaped charge is one of the application of Munroe effect for expand of detonation cutting power, for that reason, the FRP plate can be done cutting very efficient with a small amount of explosive.

It was found that this shaped charge is practically applicable to cutting of FRP plate. However, it is necessary to take measure to the loud sound level in the explosive blowing up.

1. 結 言

軽量で強度、耐久性などに優れていることから、漁船やレジャー船など小型船舶を中心に、昭和40年代頃より急激にFRP化が進んできており、初期のものが老朽化しつゝあるために、昭和60年代から平成年代にかけて急激にFRP船の廃船量が増加する傾向にある。

(財)日本造船振興財団によれば、平成元年には年間18,000隻程度から年々急激に増加していき、平成10年には約45,000隻を越えると予測している。

しかし、この種の船の廃船処理は船体を構成する材料の物性が優れているだけに、処理過程における解体作業は非常に困難をきたし、その対応策が各方面で検討されている。現時点では作業効果、設備コスト、解体時の公害の問題などで主流になる方法は定まっていない。

本研究はこれらの背景を踏えて実施するもので、主に金属切断用として開発され、一部の特殊作業などで使用されている成形爆薬(火工品)を用い、FRPテストピースの爆破切断実験を行うことで、この爆薬がFRP廃船の解体手段として応用できるものかその可能性について検討したものである。

2. 成形爆薬による爆破切断の原理

成形爆薬とは、爆発際のエネルギーを拡散することなく集中させるモンロー効果を積極的に利用し、物体の穿孔もしくは切断を効率的に行うために考えられた火工品である。

図1に成形爆薬の基本形を示している。さらにこの爆薬が起爆した際のモンロー効果により、ターゲットが切断され穿孔される様子を図示している。ここではこの図に従ってこれらの現象を説明する。

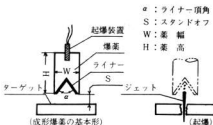


図1. モンロー効果を利用した穿孔

爆薬に図のように断面がV字形になるような円錐形の回みをつけて、その部分に同形状の金属ライナーを入れた状態で爆轟させると、ライナーをなす金属は微細化して先端が鋭く尖った棒状のジェットを形成する。このジェットをターゲットとなる材料に衝突させると非常にエネルギー効率の高い穿孔がなされる。この際ジェットの形成による爆発エネルギーの集中化現象をモンロー効果(Munroe effect)と呼んでいる。なおジェットの平均速度並びに衝突圧力は条件で異なるが、最大11km/s、20万気圧に達すると言われている。

一般的にモンロー効果による穿孔深さ(P)は次式で示される。

$$P=L(\rho/\rho_0)^{\frac{1}{2}}$$

L: ジェットの長さ(cm), ρ : ジェットの密度(g/cm³)
 ρ_0 : ターゲットの密度(g/cm³)

式からみて(P)を大きくするためには(ρ)を大きく、さらに(L)を十分に成長させてターゲットに衝突させることである。

(ρ)を大きくするためには直接因子であるライナーに密度の高い材料を選ぶこと、また(L)を大きくするためには高爆速の爆薬を使用すること、さらに図1におけるスタンドオフ(S)を適確に設定することなどが言われている。その他にも薬幅(W)、薬高(H)、ライナー頂角(α)など多くの因子が相乗して作用するために、これらの値は経験的に決められているようである。

3. 実験方法

実際の実験に用いた成形爆薬は、図1に示した成形爆薬の基本形を切断専用に変展させたもので、その形状は写真1および図2に示すごとく断面がほぼV字形の帯状のものである。この爆薬は軟質金属パイプの中に高爆速の火薬を充てんし、断面がV字形になるようロールで成形しながら引伸ばし製作されている。

本研究では鉛(Pb)およびアルミニウム(Al)の二種類のシース材で、薬量においては65g/mと28g/mの計四種類の成形爆薬を用いた。なお爆薬の大きさは薬量が65g/mのものは写真1に示す程度で、28g/mになれば概ね鉛筆大の太さである。前述のライナーに相当するシースの肉厚はいずれの爆薬も1mm程度である。充てん薬には炸薬や雷管の添装薬とされるRDX火薬が用いられている。この火薬は比重1.7程度に圧搾すれば爆速が8.5km/sにも達する高爆速薬である。

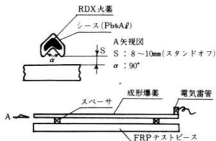


図2. 成形爆薬の形状および装着条件



写真1. Pb&Alシース成形爆薬(薬量65g/m)

なお図2における(α)は前述したライナー頂角に相当するもので、本研究で用いたものは全て90度である。これは金属切断用として開発された成形爆薬を応用したため、金属を対象にした場合はこの角度が最も切断が良好と言われている。

一方、切断されるFRPテストピースは、マトリクスにポリエステル樹脂を用い、ガラスチョップドストランドマットとロービングクロスを交互積層構造にした厚さ10mm、面積300×200mmのものである。このテストピースは実験用としてハンドレイアップにより特に製作したものと、FRPの実船の一部材から製作したものと、二種類を用いた。

成形爆薬のFRPテストピースへの装着条件を図2の下方に示している。

切断はFRPテストピースの200mm幅の部分を対象とし、同寸法長の爆薬を発泡スチロール製のスペーサで支持することで、8~10mmのスタンドオフを与え、爆薬の一端に電気雷管を取付け起爆した。

この際、騒音などの公害についても同時に計測したが、実験の現場では全ての項目の信号をデータレコーダに収録した後で解析する方法をとった。

4. 実験結果

実験結果についてはFRPの切断状況と爆破切断の際の公害の両面から検討した。

表1は実験結果の全様を一覧したものである。さらに写真2は切断されたテストピースの一例で、表1における5、6回目の実験の際のものである。

薬量65g/mの成形爆薬を使用した場合は、テストピース一枚は勿論、二枚重ねでも余裕をもって切断することができた。28g/mの場合もシースの種類を問わず切断の目的については全て達成することができた。

しかし切断の状態を詳細に観察すると、薬量およびシースの種類によって若干様子が異なる。

65g/mの爆薬を使用した際には、二枚重ねのテストピースであっても完全にジェットが貫通しているが、28g/mになるとジェットは厚みの中途までしか進入していない。

写真2の例はジェットが衝突したテストピースの表面、裏面、さらにジェットによる切断面を示す。

この中で切断面をみるとジェットが進入する側から

表1. 成形爆薬による切断の状況および公害の実態

実験回数	爆薬の種類 質量 g/m	テストピースの シース材	テストピースの種類	切断の状況		騒音 dB(A)	振動		低周波 レベルdB	実験環境
				ジェット 深さ mm	切断可否		V. L dB	速度 cm/s		
1	65	A β	A	貫通	可	—	—	—	—	地下屋内
2	*	*	A二枚重ね	*	*	—	—	—	—	*
3	28	Pb	A	6~6.5	*	118	*62	*0.15	—	屋外
4	*	A β	*	6~6.8	*	112	*65	*0.20	—	*
5	*	Pb	B	9.5~10	*	—	*61	0.13	101	*
6	*	A β	*	8~9.5	*	119	*62	*0.20	—	*
7	*	*	*	8.5	*	—	*62	0.14	108	*

備考、テストピースA:比重1.555、ガラス含有率43.20%、引張強さ19.3kgf/mm²
 * B:実験材、比重1.541、ガラス含有率43.49%、引張強さ15.0kgf/mm²
 騒音、振動、低周波レベルの測定値は、*印のみ爆薬より10m位置における測定値で他は20m位置の測定値を示す。なお、振動のV. Lは振動レベルを示す。

一定の深さまで黒く変色しているが、それ以後はガラス繊維の層間はく離がひどくて白色化し、裏面までその状態がつづいている。この黒く変色した部分にはシースと同様の金属微粒子の分布が認められ、ジェットのごくまで進入していることは明確である。表1における「ジェットの深さ」の欄はこの黒く変色した部分の寸法を示したものである。

切断状況については、ジェットが進入している部分についてはガラス繊維が鋭く切断されているが、層間はく離の所は引きちぎられた状態になっている。この傾向は実験全体にみることができ、ジェットが消滅した以後はその余力のエネルギーが分散しながら二次的に切断が進行するためと考えられる。

さらに切断状態を爆薬のシース材の違いからみると、相対的にA β よりもPbのほうが切断状態が鋭くなる傾向が見られ、この状態は写真2の例からも認められる。

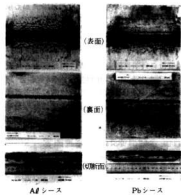


写真2. FRPテストピースの切断の状況

写真ではテストピースの表面をみてもジェットの切込はPbのほうが鋭く、さらに切断面を観察するとA β はガラス繊維が乱れているのに対してPbにはそれがなく、相対的にPbのほうが鋭利に切断されている傾向である。

前述したのが切断の上ではジェットの密度はできるだけ高いほうがよく、

A β よりもPbのほうが格段に比重が高いために、この点が切断上有利に働いているとも考えられる。

写真3にジェットで切断されたガラス繊維を示しているが、こゝでも相対的にPbのほうが繊維は鋭く切断されている。またPbの場合は爆発時に溶融するらしく金属粒が球状化しており、このことも切断上では何らかの影響を与えるものと考えられる。



写真3. ジェットによるガラス繊維の切断状況

主に金属切断用として開発された成形爆薬を用いて、FRPの切断実験を試みたが特に不都合は生じなかった。

金属においてもこの種の爆薬による体系だった切断データは乏しい状態ではあるが、本実験とは近い質量25g/mの成形爆薬では、ステンレスの3mmまたアルミニウム(A β)の6mmが切断限界とした実験データ⁴⁾がみられる。

前述の2項に示したモンロー効果による穿孔深さ(P)を求める一般式に基づけば、ターゲットとなる材料の密度(ρ)は切断性能を大きく支配し、切断可能厚さは $\sqrt{\rho}$ に逆比例する。この論理に沿ってFRPの比重を1.5と仮定し、ステンレスとA β のそれを8.03並びに2.7とし、前述の切断限界3および6mmからFRPの場合を計算すると、それぞれ6.9と8.0mmとなり、表1におけるジェットの進入深さに近い値となる。

公害については質量28g/mの爆薬を用いた場合の騒

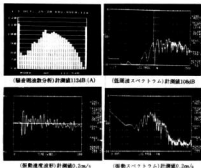


写真4. 爆破切断に伴う公害の実態(AQシース, 重量28g/m)

音, 振動, 低周波レベルを表1に示している。さらに写真4には各項目の周波数分析結果などの計測例を示す。

公害の面では成形爆薬のシース材の違いによる明らかな差は認められなかった。

実船の解体になると当然に薬量が大幅に増えることになるが, 例えば切断長が10mになると薬量は現在の50倍となり, 爆発エネルギーも同倍率になると考えれば, 各々のレベルは現状よりも17dB上昇する。表1のそれぞれの測定値を平均化し上昇分を加算すると, 騒音133dB(A), 振動レベル(VL)79dB, 低周波122dB程度となる。

この値の是非については解体作業場の立地条件を勘案して評価されるべきであり, こゝでは対応していくための基本的指針についてのみ述べる。

振動については写真4でみられるとおり周波数100Hz程度と比較的高く, 平均的な伝播減衰は距離が倍になる都度5dB以上は期待でき, 立地条件を考慮すれば特に大きな問題になることはないと考えられる。

振動速度においても爆破の規模が大きくなることで, 爆源から20m位置で3cm/s程度に上昇すると推定されるが, 火薬に関する文献によれば, この程度であれば人には感知できるが構造物への影響はないとしている。

低周波については経験上50Hz以下の単一周波成分が卓越し, 全体のレベルを支配する傾向がある場合, 種々の弊害をもたらすことが多い。写真4における低周波のスペクトラムからはそのような危険な傾向はみられないが, レベルが高いだけに実害の面では今のところ何とも言えない。低周波の場合もそのエネルギー

が球面状に拡散していくと考えれば, 音源からの距離が倍になる都度6dBの減衰が期待できる。

最も懸念されるのが騒音で, 開放状態ではたとえ爆源から100m離れた位置においても100dB(A)を下げることはないと推定される。この対応策としてはPDD (Precise Delay Detonator) による多段発破方式の採用, また解体作業場を地下壕内に設けるなどの方法が考えられるが, この点についてはさらに検討を重ねなければ容易に結論が出せるものではない。

5. 結 言

FRP 船の解体手段として, 火工品として位置付けられている成形爆薬の有効性について検討した結果次のことが言える。

主に金属向けに開発されている現状の成形爆薬でも, モンロー効果の利用により非常に高効率な切断が達成でき, 性能的には十分にFRP 船の解体手段として発展できるものと考えられる。

今後は爆薬の形状, シースをなす金属材料, 爆薬の装着条件などをFRP 向けに検討し, 現状よりも薬量を減らせる方向で研究を重ねれば, 公害対策を進める上でも有利となり, さらに実用的な解体技術へと近づけ得るものと考えられる。

今回の研究では種々の都合により実験回数が制限されたために, 体系だったデータの収集ができず十分な検討もできなかった。これらの点を反省しさらに研究を進めていくつもりである。

終りに, この研究は中国化学院の協力により, 成形爆薬の提供並びに爆破切断実験の際は種々技術的支援を頂いた。応和技術課長をはじめとし協力して頂いた方々に心より謝意を表します。

文 献

- 1) 林慎也ら:FRP 船船処理技術に関する研究(その1), 運輸省船舶技術研究所共同研究報告, (1988)
- 2) 藤原美雄ら:FRP 船船処理技術に関する研究(その2), 工業技術院四国工業技術試験場共同研究報告, (1988)
- 3) 吹上紀夫ら:FRP 船の処理技術, FRP 漁船, Vol119, No.7 (1988) p24
- 4) 中原正二:火薬学概論, 産業図書, (1987)
- 5) 小林直太:採石発破による地盤振動(その2), 石灰石, No.226(1987) p29
- 6) (財)日本造船振興財団:使用済みFRP 船解体, 処理の手引き, (1988)

レーザによる高度加工技術の開発

蒲田政信, 斯波信雄, 土取 功, 池田哲宏, 馬場祥宏, 南良良治
西山絨一¹⁾, 出張宣明²⁾, 肥田光司³⁾, 広実常登⁴⁾, 福岡文明⁵⁾, 石川和雄⁶⁾, 江見 享⁷⁾

A Development of High Processing Technology by Laser

KAMADA Masanobu, SHIBA Nobuo, TUTTORI Iso, IKEDA Tetsuhiro, BABA Yoshiro, NARA Ryoji,
NISUYAMA Kouji, DEHARI Nobuaki, HIROZANE Tuneto, FUKUOKA Fumiaki, ISIKAWA Kazuo and
EMI Tsuru

This study consists of Laser Modification, Laser Cutting and Laser Welding.

Laser Modification: We could get hard TiN layer by melting Ti in nitrogenous atmosphere, and could produce scissors applied laser heat treatment. Laser overlay applied by using Ni-Cr base self-fluxing alloy powder.

Laser Cutting: We have developed the system which translate image scanner or PC CAD data into NC data. By using this, Laser Machine could have produced the lower goods. Through this study, we could find some conditions for cutting the acute angle and estimated fatigue strength of the high tension thin steel plate cut by laser for automobiles.

Laser Welding: We tried Laser Welding of diamond sawblade which could get upper strength at the welded joint than in substrate. This method will be realized.

1. 緒 言

レーザによる切断加工は精密板金加工の主流となってきた。これは細く絞られた高密度エネルギーとNC制御技術が相伴って今日の発展をもたらしたといえる。広島県においても自動車産業を中心にレーザ加工機が急速に普及し、五軸のレーザ加工機は自動車部品の試作加工には欠くことのできない加工機となって来ている。しかしながらレーザの特徴を生かすためにはもっと広範囲な応用技術の開発が望まれている。そこでレーザ加工技術の高度化を目的とした共同研究を行った。共同研究の狙いは開発された技術の移転を容易にすることにある。

本研究は(財)広島県産業技術振興機構からの委託研究として実施されたもので、研究を進めるに当たって、広島大学と中国工業技術試験所の支援を受けながら研究を進めた。

研究は参加企業の企業ニーズに沿った研究テーマを設定して取り組んだ。

2. 雰囲気制御による局部合金化

表面改質技術としてイオンプレATINGや溶射が応用されることが多くなってきたが、イオンプレATINGでは膜の厚さが20 μ m程度が限界とされており、

溶射においては膜の密着性に問題が残されている。

一方、レーザ光はクリーンな高密度エネルギーとして各方面への応用が期待されているエネルギーである。

レーザ光を用いて表面を合金化する技術が注目された。レーザ光による合金化では厚膜化と密着性の改善が出来る可能性がある。

そこで、窒素雰囲気中でチタンをレーザで溶融処理する事により窒化チタンを形成することを試みた。

完全N₂雰囲気を得るため真空容器の中に純N₂、試験片およびCO₂レーザビームを導入し、溶融処理試験を実施した。

またHe中で再溶融による表面粗度改善効果について検討した。

処理雰囲気圧の高い方が表面荒れが大きい。表面の色はN₂圧3 torr中レーザ照射まで黄金色が認められる。

図1はHe中で再溶融試験後の断面スケッチ図を示す。この結果より、N₂雰囲気中でレーザ照射した後He中で再溶融することにより表面粗度改善が図れることが判る。また、He中で再溶融したサンプルの表面のX線回折分析、EPMA分析ではN₂雰囲気のみでレーザ照射した場合と同様にTiNが認められ、再溶融によりTiNが分解することはないと判断される。但し表面は白色に変色した。

溶融深さは処理条件により0.1mmから0.3mm程度が

1) 西山教材社, 2) 雅平ハリ, 3) 機研平製作所, 4) 三菱重工業, 5) 黒石鉄工, 6) 瀬兵製作所, 7) 日本製鋼所

得られた。

再溶融部の硬度測定結果を図2に示す。移動速度が0.4, 0.6, 1.0m/minの場合にはN₂圧による硬度の変化はあまり認められないが、移動速度が0.2m/minの場合には360torrが非常に高く、最大でビッカース2630(MHV100g)とTiNの硬度に近い値が記録された。なお、360torr He中再溶融部の硬度は図中に、★印でプロットして示すが、360torr N₂中処理の硬度とほとんど同一であり、再溶融による軟化現象はない。以上のことから窒素雰囲気中でチタンにレーザー照射をすることによりTiN皮膜の生成が可能であり、He中での再溶融処理により表面粗度改善が可能で、TiNの分解や硬度の低下もなく良好な方法と言える。

処理条件を適当に選ぶことにより、厚膜のTiN層を得たり、表面をTiNの硬度に近い硬度にまで上げることが可能で、局所的に高硬度の要求される部品への適用の可能性を持っている。

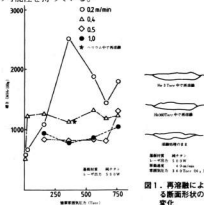


図2. 硬さにおよぼすN₂圧と移動速度の影響

3. レーザによる鋸の試作

鋸の切刃の焼入は高周波焼き入れなどが採用されている。

レーザー技術の発展にともない、レーザーによる熱処理が注目され出したのでレーザーの応用として鋸の製作を試みた。

表面硬化を行う際のレーザー光の照射方法として、現在最も採用されているのはレーザー光が試料表面に当たる時の焦点の位置を試料の表面でなく、少し遠ざかるようにする方法(焦点はずし法)である。この方法は簡単で特別な治具を必要としない便利さはあるが、レ-

ザ光のビームモードが硬化層の形状にもろに効いて来る事になる。本研究に使用したレーザーのビームモードはシングルモードのため、焦点はずしの方法では硬化層の形状が円弧状になる。

鋸の切刃の硬化処理にレーザー光を適用するにあたって、円弧状の硬化層では切刃の仕上げの際に硬化層の厚みが一定にならない。

そこで、硬化層の幅を極め、硬化層の厚みも一定になるようにビームをオシレートさせ切刃の熱処理に適用することを試みた。

鋸は材料を鍛造またはプレスによる打ち抜きにより鋸の形に仕上げられ切刃の焼き入れを行い、切刃部分を研削して鋸に仕上げられていく。

最初、この工程通りに鍛造により荒仕上げされた鋸のレーザー焼き入れを試みたが、鋸の先端部は尖っているため、冷却速度が遅くなり焼き入れが不可能であった。

そこで、発想を変え、板材の刃になる部分を先に焼き入れし、レーザー切断によって鋸の形状に切り抜く方法を試みた。

板材にレーザーで焼き入れを行い、その後、鋸の形状にレーザー切断で仕上げていく方法で製作された鋸を写真1に示す。焼き入れには前述した通り、ビームオシレート法を採用している。

この鋸の先端から5mmの位置の硬化層の様子を写真2に示す。狙いどおり焼き入れ時はまだ広い板のままであるから焼き入れは自己冷却のみで行え、その後のレーザー切断によって切断面に硬化層がみられる。

硬化層のかたさ分布を図3に示す。図の上の方は表面から深さ方向の硬さ分布である。下の方は表面硬化後レーザー切断したとき、軟化の程度を知るため硬化層表面から0.1mmの点での硬さ分布である。0.35mmの軟化層がみられたが、これは仕上げによって取り除けばよいところである。

この試作の特徴はレーザー焼き入れ後レーザー切断によって鋸の形状を作るところにある。

すなわち、レーザー焼き入れは自己冷却によって硬化するため、焼き入れ部分の質量が大きいことが必要である事、レーザー切断の熱影響は少ないので焼き入れした部分の切断でも軟化幅は小さく、0.5mm程度仕上げれば熱影響は取り除ける事である。

しかしながら、焼き入れ硬化層があまり深くなく、刃の部分に鋸に必要な反りと反対側に焼入れにより変形する欠点の克服が必要である。



写真1. レーザ加工された鉄



写真2. レーザ熱入部と切断面

図3. 熱入部と切断面のかたさ分布

4. 自溶性合金粉末のレーザー照射による硬化肉盛

射出成形機、押出成形機のスクリー、シリンダの耐摩耗性を向上させるため、スクリーの外面やシリンダの内面に硬化層を形成する。その代表的なものとして、メッキ、窒化がある。しかし、スクリーやシリンダの寿命、耐摩耗性を考慮した場合、これらの硬化層では十分でないことが多い。そこで、一般的に遠心鋳造法、HIP法、溶射法等の製造方法を用いて硬質の自溶性合金層を外面、内面に形成する。

しかしながら、いずれの方法も一長一短があり、最近のレーザー技術の発展にともない、レーザーを熱源とする製造方法が注目されている。この方法には溶射法と肉盛法があるが、特に真空中での局所的な肉盛等に有利性がある。実用化にはまだいくつかの問題が残されているが、スクリー、シリンダの硬質層を形成する新しい製造方法の一つとして考えられる。

レーザーで自溶性合金を溶解、凝固させた場合、かなりの急冷凝固組織になり、電気が等で溶解凝固させた従来の組織とはかなり異なると予想される。また、急冷による割れ、巣等の欠陥や母材との密着性の問題が予想される。

そこで、大気中でレーザーによる自溶性合金粉末の肉盛を行い、これらの問題点の解明のための基礎的検討を行った。

写真3は粉末をレーザー肉盛りした断面である。レーザーの場合溶け込みが浅いことが特徴で、この様子がよく現れている。図4は肉盛り部の母材への溶け込み深

さと肉盛り部の硬度である。粉末厚さ0.5mmにおいて、ビーム移動速度が100mm/minのとき硬度が低い。この時、肉盛り部の母材への溶け込みは0.3mm程度と非常に浅いにもかかわらず他に比べ低い値となっている。

肉盛り中央部でEPMAによりFeの含有率を測定した結果、硬度の低い試料のFeの含有率は約12%、高い方が約3%となっており、硬度の低い試料に約10%のFeの増加がみられ硬度の低下につながったと考えられる。

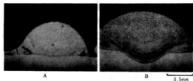


写真3. レーザ肉盛り断面マクロ組織

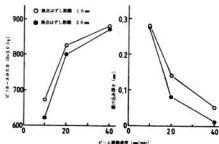


図4. レーザ肉盛りのかたさと溶け込み

5. パソコン画像処理によるレーザー加工

レーザーで複雑な形状のものを切断加工する場合、実際の加工時間よりも加工データの作成に多くの時間を取られるのが通常であり、いかに効率よく加工用データを作成するかが重要な課題の一つである。

そこで、パーソナルコンピュータを用いた画像処理技術の応用により、レーザー加工用データ作成を支援するシステムとして、

- 1) イメージスキャナ・輪郭線システム
- 2) 市販CAD・NCテープ変換システム
- 3) イメージスキャナ・塗りつぶしシステムを開発した。

これらの三つのシステムは、対象とする入力と出力に違いがあり、それぞれ用途に応じて使い分ける必要があるが、いずれもパーソナルコンピュータの処理能力を生かして、人間が単純な座標計算の繰り返しをすることなく、効率よくレーザ加工用データを作成することを可能にしている。

5.1 イメージスキャナ・輪郭線システム

本システムは、イメージスキャナとマウス入力を用いて、イラスト・写真など不定形な画像から、レーザ切断加工用NCテープを効率よく作成するためのものである。不定形な図形を直線と円弧で表現すると、一般に非常に多くの要素が必要となり、人手のみに頼るのは時間がかかるわりに効率がよくない。コンピュータの支援が有効と考えられるが、一般のCADは機械設計や建築設計など定形的な図形用にてきており、ここで考えている不定形な図形を扱うには必ずしも適していない。

そこで、本システムではイメージスキャナで読みとった画像を、CRT画面に下絵として表示し、人間がその下絵を見ながらマウスを用いて適合する直線、円弧を入力する方法を採用した。マウス入力した結果は、下絵に重ね合わせて表示され、視覚で確認しながら追加・修正を行なうことももちろん可能である。人間は、下絵と一致しているか否かのみ注意しておればよく、座標計算、コード変換などはパソコンがすべて処理する。

マウス入力した結果は、テープ変換プログラムにかけることにより、NCテープのコードに変換される。これを、紙テープリーダーパンチャで実際の紙テープに出力する。

写真4に本システムによる加工例を示す。この例では人手による入力の約10分の1にすることが出来た。

5.2 市販CAD・NCテープ変換システム

本システムは、パーソナルコンピュータ用として市販されている簡易CADを図形入力ツールとして使用し、レーザ切断加工用NCテープを作成するシステムである。

このシステムは、機械部品の図面など比較的少数の直線と円弧で構成された定形的な図形に対応するNCテープを作成するのに使用する。この種の図形は、精度が大きな意味を持っており、先に述べた下絵を見ながら輪郭線を入力する方法は適当ではない。直線の長さ、円の半径、円弧の角度などの座標に關係する数値情報を正しく入力できる機械設計のCADが入力ツール

として優れている。そこで、本システムでは図形入力ツールとしては市販の簡易CADを使用することとし、その図形ファイルを解析し、NCテープに変換するソフトウェアを付加した。

対象とした市販CADは花子(ジャストシステム)およびCANDY3(アスキー)である。

本システムを使うことで、定形的な図形に対応するレーザ切断加工用NCテープを効率良く作成することが可能となった。このシステムは、定形的な図形に対応する前述のシステムを補完する意味で開発したが、CADを使って図面を消すことでNCテープ情報が自動的に作成されるため、有用性が高い。

5.3 イメージスキャナ・塗りつぶし加工システム

本システムは、印鑑作成や木工製品への描画など筆幅のある画像をレーザ加工するためのシステムである。筆幅のある画像とは、写真5に示す加工例「牛の絵」のように塗りつぶし部分のある画像のことで、このような図形を例えば木工製品に描画するには、塗りつぶし部分でレーザビームを細かいピッチで走査させることが必要である。

そこで、本システムではイメージスキャナで読みとった画像をもとに、ランレングス変換、連結性解析の画像処理技法を用いて走査線データに分解し、XYテーブルとビームシャッタを直接駆動し、塗りつぶし加工を実現した。

印鑑作成への応用も考慮して、走査線に変換する前にネガポジ反転、表裏反転の機能も用意した。

本システムを用いることにより、筆幅のある画像を自動で塗りつぶし加工することが可能となった。塗りつぶし加工の場合、データ量が極めて多くなり、人手で作成することは不可能に近い。写真5の例の場合、NCテープに換算して約80m、座標の数にして約2,200点であり、これらのデータがイメージスキャナ入力から自動作成されるメリットは大である。



写真4(左) イメージスキャナシステムによる加工例

写真5(右) 塗りつぶしシステムによる加工例

6. レーザによる象眼技術の開発

厚板の非金属材料あるいは複合材等をレーザーで切断し、異種の材料をはめこんで象眼製品を製作するにあたって、レーザー加工条件を十分に把握していないため次のような問題点が生じ、レーザー切断面が製品の品質を低下させている。

- ① 色や質の異なる厚板の木材及びアクリルを象眼する場合、象眼接着部の中央部に凹部が生じ、直角なレーザー切断面を得ることが困難である。
- ② 木材合板にホーローボードを象眼して製品にする場合、ホーローの切断面に割れが発生し、欠けや変色の原因となる。

そこで、厚板のアクリル、木材合板及びホーローボードをレーザー切断後、その切断の品質を切断形状、割れ等で評価検討し、適正な切断加工条件を見だし象眼製品に適用した。

6.1 アクリルの切断

図5は板厚約31mmのアクリルを、10インチの集光レンズを使用して切断した場合の加工速度に対する切断精度を示したもので、一般的に速度を減少させ、アシストガス流量を増大させることによって、切断精度は良くなっており、ノズル径が小さいほど最大切断幅は減少している。

5インチのレンズを使用すると写真6(A)に示すように表面から3分の1のところ大きな凹部がみられる。10インチレンズを使用して適正加工条件を選定してやると写真6(B)に示すように凹部のない切断面が得られる。

以上の実験で求めた適正加工条件で異なる種類のアクリルを切断後、組み付けたアクリル象眼製品が写真7である。

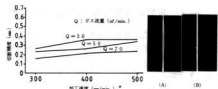


図5. 切断速度におよぼすガス流量と加工速度の影響

写真6. 切断断面

6.2 木材合板の切断

切断試料は、表面0.9mm、内部の板厚2.3mmが7層、合計9層から構成されている板厚18mmの合板で

ある。10インチの集光レンズを使用して切断したものを図6の上部に示す。この図は、左側が試料表面で、合板の9層に対応して段が付いており、木材繊維方向が加工方向に一致している場合は加工されやすく、直交している場合はされにくいことがわかる。その段差は10インチの集光レンズ、加工速度1,000mm/minの場合、およそ0.07mmで、図の下部に示すように従来の機械加工面の精度より良い結果が得られる。

以上の実験で求めた適正加工条件で異なる木材を切断後、組み付けた木材象眼製品は、写真8である。

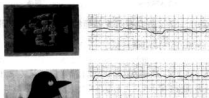


図6. 合板のレーザー切断(上)と機械切断の断面性状

写真7(左上) アクリルの象眼例
写真8(左下) 木材象眼例

6.3 ホーローボードの切断

切断試料は、母材0.35mmの鋼板に表面0.1mmの白色ホーロー、裏面0.05mmの黒色ホーローをスプレー塗装したマーカーボード用0.5mmの薄板である。一般的に、連続出力の加工条件でホーローボードを切断すると、加工熱でホーローに割れが発生し、欠けや錆の原因となるため適切な切断条件の選定が大切である。

パルス周波数100Hzの状態のパルス幅に対する母材鋼板の露出幅及びドロス付着高さを測定したものが図7である。パルス幅が小さい程、露出幅及びドロス付着量は小さくなっている。ホーロー部分の割れは全く見られず、パルスのデューティ比が低い程、母材鋼板の露出幅及びドロスの付着量が少なくなっていることがわかる。レーザー出力150W、加工速度500mm/min、周波数100Hz、パルス幅2msにおいて、割れがなく、ホーローと鋼板の切断面の段差及びドロスの付着量が最も少ない適正な切断面が得られた。

以上の実験で求めた適正加工条件で木材及びホーローボードをうきぎの形に切断後、黒色木材に白色ホーローボードをはめ込んだホーロー象眼製品が、写真9である。

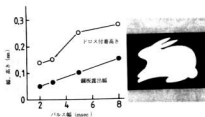


図7. ドロス付着高さと鋼板露出端のバルス幅効果

写真9. ホーロー塗膜製品

7. 鋭角を有する亜鉛鋼板のレーザ切断

金庫の材料の切断はシヤ、ボンス、プレス加工で行っているが、部品が多種少量のときに段取り替えが多く発生し、市場の納期の対応に苦慮している。これらの問題を解決するためレーザ加工が有望視されている。

しかしながら、金庫部品には鋭角部を持っているところがあり、レーザ加工が適用できるかどうか分かっていない。そこで、金庫用の材料である亜鉛鋼板の鋭角部をレーザ切断し、その切断面の品質を評価検討し、実用化のため最適な切断条件を見いだした。

切断に供した試料は、板厚1.55mmの亜鉛鋼板 (SECC) である。その切断試料寸法及び切断手順を図8に示す。

折り返し切断は単純に切断片Aのようにレーザ照射始点Sから終点Eへと三角形を描くよう切断する方法で鋭角のレーザ切断を行う。次に他の切断方法として、まずS1-E1のラインを切断し、次にS2-E2と切断する。こうすると切断片Bと切断片Cの接点部分の鋭角は矢印に示されるように互いに切断方向が逆方向になる。切断片B (切り逃げ切断) はレーザビームが試料より逃げるような鋭角切断になる。

切断片C (切込み切断) はレーザビームが試料に向かって切り込んで行くような鋭角切断になる。

このようにすると、鋭角切断の際のレーザビームの方向によって鋭角部がどの様に変わるか観察できる。

切断後、鋭角部の溶け落ち長さ及びドロスの付着高さ、切断面の粗さを測定し、その測定結果より、切断品質を評価検討した。

折り返し切断では、鋭角部で加工速度が低下 (NC制御では方向が変わる点近くに来る移動速度は減速する) すると、出力が一定であるためエネルギー密度が上昇

し、溶け落ちを起こし易くしているものと思われる。また、切断の済んだ方向にすぐ帰って行くため折り返す前の切断で温度の上昇した所の近くを加工するわけだから、溶け落ちはいつそう起き易くなる。即ち、熱がこもるために溶け落ちしやすくなる。

そこで、エネルギー密度が一定となるように速度が一定になり、熱がこもらないような切断方法となる切込み、切り逃げ切断の比較を行った。溶け落ちは切断方向によって異なる結果が得られた。この結果をドロス高さ、切断面粗さとともに図9に示す。

切り逃げ切断より切込み切断の方が鋭角部の溶け落ち長さは少ない。ドロスの付着高さも、図の中央部に示すように切り逃げ切断より切込み切断の方が少ない結果となっている。

このようにCO₂レーザを使用して亜鉛鋼板の鋭角切断が可能である。



図8. 切断手順

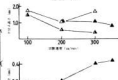
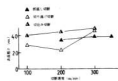


図9. 表面粗さ、ドロス高さ、溶け落ちと切断手順

8. 自動車用高強度鋼板のレーザ切断

レーザ加工機はここ数年で急速な普及がみられ、自動車関係の試作加工にはなくてはならない加工機の様相を帯びてきている。自動車工業においてレーザ加工を導入するメリットを考えてみると次のようになる。

- ① 設計変更に対応できる。
- ② プレス部品のブランク切断やパンチ穴の加工に型がなくても加工ができる。
- ③ プレス成形のトライにブランク形状の決定が速くできる。
- ④ 金型の点数が少なくなる。

⑤ 部品補給のための金型を何年か保管をしておく必要がなく、NCテープもしくはフロッピーディスクの保管のみで対応できる。

一方、自動車の軽量化にともない、部品の重量は軽減され、衝突時の安全対策上からバンパー用材料には高強度鋼板が使用されている。

そこで、自動車用高強度鋼板のレーザー切断部の強度について疲労強度を中心にプレス加工との比較を行いレーザー加工が適用可能であるか検討した。

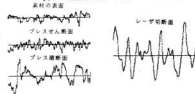
平滑材についてはレーザー切断と機械加工の試験片を用意し疲れ試験を実施し強度の比較を行った。

切断部には0.05mm程度の熱影響部が認められる。そのかたき分布を図10に示す。

表1はプレスとレーザー切断面の粗さを比較したものである。プレス切断面はせん断部と破断部に分けられ、せん断部は素材の表面粗さより若干粗く、破断面は細かい凹凸面が多い。

レーザー切断面はプレス切断面のような細かい凹凸は見られず、山と谷の形状がはっきりみえる条痕があるが、最近のレーザー加工機ではこれよりも面粗さのよいものも多く見られるようになっている。

表1. 切断面の粗さの比較 単位: μm



	素材の表面	プレス切断面		レーザー切断面
		せん断面	破断面	
Ra	0.76	1.76	2.62	4.3
R ₁₁ x	8.5	14.4	25.3	28.3
Rz	4.88	8.38	14.84	24.25

レーザー加工した試料の疲労試験結果例を図11に示す。平滑材の場合、S-N曲線の傾きはレーザー加工の方が大きいが耐久限は機械加工とレーザー加工ではあまり変わらなかった。レーザー切断のS-N曲線の傾きが大きいことの原因はレーザー切断が基本的には熱切断であり、切断面に組織的变化が生じていること、切断面の粗さが大きいためにより、クラック発生寿命が短いと推察される。

丸穴切り欠き材($\phi 10$)のレーザー加工とプレス加工の比較では、耐久限は応力集中のため、平滑材に比べ低

下するが、レーザー加工とプレス加工ではほとんど差がみられない。

角穴切り欠き材(10mm角)のレーザー加工とプレス加工の比較では、角穴の場合レーザー切断とプレス加工ではかなりの差がみられ耐久限で22%ほどレーザー切断の方が低い。角穴の隅にコーナーアールをつけると疲労強度は改善され、0mmから1mmで1.33倍に、2mmで1.44倍に上昇し曲率が2mmもあればプレス加工と同程度になる。

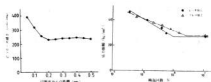


図10. 切断面のかたき分布

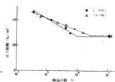


図11. 疲労試験結果例 (丸穴切欠材)

9. ダイヤモンドブレードのレーザー溶接

ダイヤモンド工具は各分野において年々その需要は増加の傾向を示している。とりわけ、土木・建築の関係業界でダイヤモンド工具の使用量は多く、各種の新しい建材の開発と共にその需要は増加の一途をたどっている。

一般にダイヤモンド切断工具は冷却を兼ねて水冷しながら使用する(湿式切断)場合が多いが、土木・建築業界では現場施工等において乾式切断が望まれることも多い。

ところが、従来のダイヤモンド切断工具はダイヤモンドセグメントを鋼基板にロー付けする方法によって製造されている。このようなダイヤモンド切断工具を乾式切断に用いると切断時の摩擦熱によってセグメント部が高温になりロー付け部の強度低下が起こり、使用中にセグメント部が基板より脱落・飛散するという事故が多く発生している。

そこで、ロー付けに変わって溶接によるダイヤモンドブレードの製作が注目された。この溶接にレーザーを適用してみた。

ロー付け法では、特にチップ部に特別な工夫は必要ないが、レーザーによる溶接では基本的に融接であるため、基板側は問題ないが、セグメントチップはダイヤモンド磁粒を含んでいること、そのマトリックス材料は焼結材料であるため、若干の気孔を含んでいる

ことが問題となる。すなわちダイヤモンド複合合金部にレーザ光が照射されると非常に高温(2,000℃以上)となってダイヤモンド部がブローホールとなる可能性が高く、そのため、溶接付近にはダイヤモンド砥粒が存在しないことが望ましい。そのためチップの溶接部にダイヤモンドを含まないCo系の層を粉末法により一体焼結で作製、基板材料と溶接する方法を採用した。

一方、基板材料としては従来のロー接ではSK-5等が用いられているが、この材料は炭素量が多く融接には適さないため、各種の調査を行った結果、強度(剛性)と溶接性を考慮してSAE4130の調質材(Hv350~380)を用いた。

溶接実験を行うにあたり、熱歪防止と位置決め的重要性から基板とセグメントを固定するため、写真10のような治具を作製した。この治具はセグメントおよび基板が簡単に脱着できるようにしたもので、写真から分かるように各セグメントをすべて溶接すれば実際の一枚のダイヤモンドブレードができるようにしたものである。

溶接部断面の硬さは溶接速度によって異なるが80cm/min以下ではHv600以下で割れの危険性も少ないものと思われる。

入熱量は少なくなるがビード外観の向上を目的としてパルス出力による溶接を行った。その結果を図12に

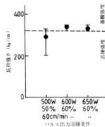


図12. 溶接部の強度



写真10. 溶接用治具



写真11. 曲げ試験外観

示す。ここで注意すべきことは図中にも示しているように曲げ試験による抗折強度が320kg/mm以上では溶接部で折れずに基板自体が曲がってしまうことで、従って、この場合は溶接部の強度はこの値以上ということになる。曲げ試験を行った製品を写真11に示す。いずれのスピードも外観は連続出力の場合に比べるとはるかに良好で、パルス出力による溶接では熱影響部の幅も狭く、連続出力片面溶接のような強度の方向性もなく外観は非常に良好な溶接と思われる。

現在、このレーザ溶接したダイヤモンドブレードの実用試験を行っており、高品質・高性能なダイヤモンドブレードの実用化を図っていく所存である。

10. 結 言

レーザ表面改質に関して、窒素雰囲気中でチタンのレーザ溶融処理により窒化チタン皮膜の生成が可能であり、自溶性合金粉末のレーザ硬化肉盛は遠心鑄造法より硬い皮膜を得ることが出来た。また、レーザ熱処理とレーザ切断によりハサミを製作することが出来た。

レーザ切断ではイメージスキャナー画像、パソコンCADデータからレーザ切断用NCテープを作成するシステムと手書き画像をレーザにより平板に彫刻するシステムを開発した。アクリル、合板、ホーロー鋼板のレーザ切断条件を最適化することにより、アクリルや合板の組合せによる象眼、ホーロー鋼板の木片への埋め込みが出来るようになった。鋭角部を有する部品のレーザ切断において溶け落ちの無い切断条件を見つけることができた。自動車用高強度鋼板のレーザ切断部はプレス加工と同程度の疲労強度であることが確認できた。

ダイヤモンドブレードのレーザ溶接を行い基板と同等以上の強度を有する溶接部が得られ、実用化へのメドをたてることが出来た。

おわりに本研究を進めるに当たって終始御指導を頂いた広島大学工学部若田光正教授、中国工業技術試験所山本茂之室長、大谷敏明主任研究官に厚くお礼申し上げます。

雰囲気制御によるレーザ局部合金化の研究

蒲田政信, 斯波信雄

Local Laser Surface Alloying in Controlled Atmosphere

KAMADA Masanobu and SHIBA Nobuo

Laser surface alloying in nitrogenous atmosphere can be used for local surface treatment enhanced hardness Ti, Ti-6Al-4V were used this study for CO₂ laser surface alloying.

TiN layer has obtained that the surface has been melted by CO₂ laser in nitrogenous atmosphere. The layer surface presented with gold color but very rough. Layer has been changed into smooth in low pressure atmosphere at 3 Torr, however TiN layer can't become to form.

To make a smooth layer, the surface has remelted in helium atmosphere after nitrogenous processing. This is effective method which does not dissolve TiN and decrease its hardness.

1. 緒 言

耐食性, 耐摩耗性向上対策として, CVD等により窒化チタン皮膜を金属や非金属表面に形成することがある。しかしながら, これらの方法は窒化チタン皮膜の厚さは20 μ m程度が限界とされており, 厚膜化の技術開発が望まれている。

一方, レーザ光はクリーンな高密度エネルギーとして注目され, 表面改質や合金化への適用が試みられている。

そこで, 高効率で厚膜化が期待されるCO₂レーザによる局部合金化を目的に窒素雰囲気中溶融処理法について検討を行った。

2. 実験方法

局部合金化の対象材料として, 今後, 軽量化エンジン部品等にニーズが高まるとされる純チタンとチタン合金(Ti-6Al-4V)を取り上げた。試料は直径50mm, 板厚5mmの円板で, 丸棒より切り出し表面を切削により仕上げた。

そして, レーザ処理を行う前にアセトン中で超音波洗浄を行い実験に供した。

実験に使用したレーザ加工機は定格出力1KW, シングルモード, 二軸直交型のCO₂レーザ加工機(株式会社製LAC-553P)である。

局部合金化のための雰囲気として窒素雰囲気を取り上げ, その中でレーザ溶融処理を行い局部合金化について検討した。

実験は完全な窒素雰囲気を得るため, 真空容器の中

に試料を入れて10⁻⁴Torrまで真空に引き, その後, 窒素ガスを容器内に導入し窒素雰囲気にした。

この容器のXYテーブルに試料をセットして窒素の圧力を種々変えて溶融処理試験を実施した。

真空容器は図1に示すような構造をしている。レーザ光は容器の上部からZnSeのレンズを通し, モリブデンのミラーで折り返され試料に照射される。容器内の試料はXYテーブルにより移動することができ, 各種雰囲気内で小物部品の加工にも適用できるようになっている。モリブデンミラーでレーザ光を折り返している理由はレーザ処理の際に試料成分の蒸発によりZnSeレンズが汚染されないようにするためである。

レーザ照射後, 外観, 合金組成, かたさ分布等について検討した。

また, 窒素雰囲気中でレーザ処理を行った後, 表面粗度を改善する目的でヘリウム雰囲気中で再溶融処理を行い, 組織等について調べた。

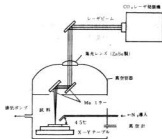


図1. 実験装置の構造

3. 実験結果と考察

窒素圧を大気圧としてチタンのレーザー溶融処理を行うと溶融部表面は黄金色を呈するが、表面は滑らかでない。これは実用化にとって障害となるものである。

そこで雰囲気窒素圧を下げてレーザー溶融処理を行い、表面が滑らかになる圧力を模索した。

窒素圧力が20 Torr となるとやや滑らかになり、圧力が3 Torr で非常に滑らかな溶融部が得られるようになった。図2は窒素雰囲気圧と試料の移動速度を変えたときの溶融部断面の状態をスケッチしたものである。窒素圧が高いと表面の形状がよくないことがよく分かる。

また、溶け込み形状も表面形状と同様な傾向を示し、窒素圧が20 Torr 以下になると弧状の溶け込みとなり、表面の粗度がよくなることと一致する。溶け込み深さはビーム移動速度が遅い方が浅くなるとともに160 Torr と20 Torr の間で著しい相違がみられ、溶融部近傍に生成されるプラズマとも関連していると思われるが、現在のところ不明である。

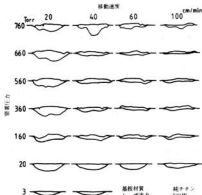


図2. 溶融部の形状および窒素圧力とビーム移動速度の影響

表面の色調は、純チタンでは窒素圧力が3 Torr まで表面が黄金色を呈する層が得られたが、チタン合金では3 Torr になると白色を呈するようになった。

この黄金色の皮膜の組成を調べるためX線回折を行った。その結果、窒化チタンが生成されていることが確認された。このX線回折の結果を図3の(B)に示す。図中の○印はチタンの回折線で●印は窒化チタンである。その確認のためチタン母材部のX線回折プロ

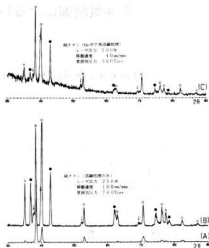


図3. レーザ処理部のX線回折プロファイル

ファイルを同図の(A)に示した。

一方、レーザー処理部の硬さは窒素圧、ビーム移動速度に影響され、窒素圧が高く、移動速度の遅い方が窒化物は密に生成され、硬さは高い傾向にあり、移動速度の効果が大いようである。

図4は溶融部の表面から0.05mmの深さで2点ずつ硬度を測定し、その結果をプロットしたものである。

移動速度が0.4, 0.6, 1.0m/minの場合には窒素圧による硬度の変化はあまり認められないが、移動速度が0.2m/minの場合にはかなりの変動がみられる。窒素圧360 Torr で非常に硬く、ピッカース硬さで2630 (MHv100g) と窒化チタンの硬度に近い値が記録された。

写真1に窒素雰囲気中でレーザー処理した試料のミクロ組織の例を示す。このミクロ組織の白い部分は窒化チタンとみられ硬度の高いところで、ピッカース硬さで2630(MHv100g)を示したところである。白い層の下部にはデンドライト状の自由晶がみられる。

窒素圧が低くなると白い層は無くなり、デンドライト状の自由晶や針状の結晶がみられるようになり、これらの見られる層の厚みも薄くなる。

このようにして、溶融部に形成される窒化層の厚さは窒素圧力が大気圧に近いほど、また、試料の移動速度が遅いほど厚くすることができるが、表面が滑らかな状態であつた程度厚みのある窒化層を得ることは困難である。

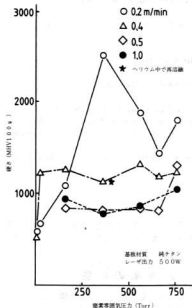


図4. レーザ処理部の硬さにおよぼす窒素雰囲気圧力とビーム移動速度の影響



基板材質 純チタン
 レーザ出力 500W
 移動速度 40 cm/min
 雰囲気圧力 360 Torr

写真1. レーザ処理部のミクロ組織

表面が滑らかでないとし上げろが大きくなり、実用部品に適用し難くなり、なんらかの方法で溶融処理部表面を滑らかにする必要がある。

そこで、窒素雰囲気中でレーザー溶融処理後、その部分をヘリウム雰囲気中で再溶融処理を行い平滑化することを試みた。この方法は実験容器内にX-Yテーブルが装備してあるため簡単に行うことが出来る。

再溶融処理した後の溶融部の断面スケッチを図5に示す。再溶融処理後のX線回折の結果を図3(C)に示すが窒化チタンの分解もなく、表面を滑らかにすることができた。再溶融部の表面の色は黄金色から元のチタンの色に変化した。

また、360 Torrの窒素圧で溶融処理したものをヘリウム雰囲気中で再溶融処理したときの硬さを図4中に★印でプロットして示すが、360 Torr窒素雰囲気中の溶融処理の硬さとほとんど同一であり、再溶融による軟化現象はみられないため有効な方法といえる。

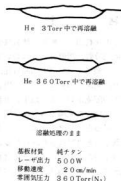


図5. 再溶融処理による形状の変化

4. 結 言

窒素雰囲気中で純チタン、チタン合金にレーザー照射を行い、厚膜の窒化チタン形成実験を実施し、次の結果を得た。

- 1) 窒素雰囲気中で黄金色の窒化チタン膜を得ることができた。表面が滑らかであるためには、窒素圧を低くした方がよいが窒化チタンは形成されなくなる。
- 2) ヘリウム雰囲気中で再溶融処理することにより表面粗度を改善でき、窒化チタンの分解や硬度の低下もなく、有効な方法である。
- 3) 処理条件を適当に選ぶことにより、厚膜の窒化チタンを得たり、表面を窒化チタンの硬度に近い硬度まで上げることが可能で、局所的に高硬度が要求される部品への適用の可能性を確認することができた。

柔アクチュエータの制御技術に関する研究

斯波信雄, 坂元康泰, 蒲田政信

Study of Soft Actuator Control

SHIBA Nobuo, SAKAMOTO Yasuhiro and KAMADA Masanobu

Not only in the industrial field but also in other fields, loading system technology utilizing robotics has been attended recently. We have developed the prototype of loading system by using soft actuator which are made of rubber tubes. This actuator resemble human muscle, we can say, because this is not hard like steel and is powerful compare to its weight, and pushing strength is controllable at a certain level even without special sensor.

We can operate this system by "teaching-playback" way, so do not need to teach behaviors once taught, and have got some basic data of parameter set which have influence on behaviors.

1. 緒 言

現在、ロボットを利用した搬送。移載技術が工業分野のみならず流通分野、医療分野等においても注目されている。また、搬送する製品も高品質化、高機能化する傾向にあり、製品の取扱については傷をつけたり変形させない等の配慮がいままで以上に重要視されることになる。こういった立場から現在出回っているアクチュエータを見ると、アクチュエータが大きすぎる、重い、制御が難しい等の問題点がみられる。そこで筋肉に良く似たアクチュエータと言われている柔アクチュエータを使った搬送装置を試作した。このアクチュエータはエアを駆動源としているが、各種

のパラメータをかえることにより、アクチュエータの剛さ、柔らかさ、また発生力を制御することが可能であるなどの特徴を有しており、新しいタイプのアクチュエータと考えられる。

2. 装置の概要

試作した搬送装置のブロック図を図1に示す。今回使用した柔アクチュエータはゴムチューブをネット状の布で包んだもので、ブリヂストン製のラバチューエータとよばれるアクチュエータである。このアクチュエータはチューブの中に圧縮空気を導入すると、チューブ径が増大すると同時に長さが短くなるが、この長さの変化を制御できるように工夫されている。基本的には2本の柔アクチュエータを1組として利用する。たとえば両方の柔アクチュエータに導入する空気圧をコントロールすることにより軸の回転動作等を行わせることができる。この空気圧を制御するために、サーボコントロールユニットとサーボバルブユニットが用意されているが、負荷その他に対して最適な制御を実現させるために各種のパラメータを動作内容等に応じて変更することができるようになっている。

図1に示した搬送装置も同様の方法により2つの関節を駆動させている。搬送装置はDDモータにより装置全体の回転動作を行わせ、柔アクチュエータにより2関節の回転運動を、またエアシリンダによりハンドのつかみ動作をさせている。DDモータ以外は圧縮空気が駆動源となっており、外部にコンプレッサーを必要とする。

搬送装置の制御は、動作内容の指示や柔アクチュエ

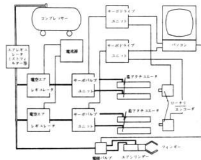


図1. 搬送装置のブロック図

ータや割り出し装置のパラメータの変更などが必要なため、パソコンを使用した。パソコンのソフトは次のような考え方に基いて作成した。

1. 搬送装置への動作の指示を人が搬送装置のハンド等をもって動作をフィードバックできる。
2. 座標値をキー入力して規定量だけ移動させたいという要求にも対応できる。
3. 一連の動作の中で動作パラメータを変更する事ができる。
4. 搬送装置は指示された動作を繰り返す。

搬送装置で使用しているアクチュエータの仕様を表1に示す。また搬送装置本体のスケッチ図を図3に示す。搬送装置の構造部材は主に鋼材を使用しているが、柔アクチュエータで駆動するアーム部分はできるだけ軽量化するためにアルミニウムを利用した。柔アクチュエータの最大収縮量は有効長さの20%程度と決まっているので、関節の回転できる角度を大きくしようとすると図2のプリーの直径を小さくすれば良いが、収縮力に限界があるので関節を動かす力は小さくなる。逆にプリーの直径を大きくすれば関節を動かす力は強くなるが、動ける角度が小さくなるといったことになる。

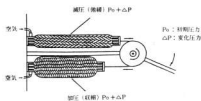


図2. ラバチューエータの動作原理

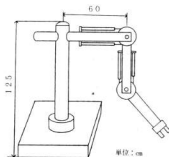


図3. スケッチ図

表1. アクチュエータの仕様

項目	仕様	
柔 ア ク チ ュ エ ー タ	サイズ	#10
	有効長さ	300mm
	許容収縮率	有効長さの0~20%
	許容内圧	0~6 kgf/cm ²
	引張破壊強度	250kgf
	収縮力	約50kgf (収縮率10%, 使用圧力5 kgf/cm ² 時)
重 量	76grf	
	最大外形	30mm (収縮率20%時)
DD モ ー タ	タイプ	4 インチ
	最大トルク	1 kgf・m
	最高回転数	4.5r. p. s.
	分解能	409, 600pulse/rev.

そこで、どちらかというを持ち上げられる力の方を重視した設計をした。従って回転できる角度は±20度弱と狭いが、数kgfの重りをハンドにつかんだ状態でアームを動かすことが可能である。

3. 動作実験

柔アクチュエータの原点位置決め動作と、腕の上げ下げ動作実験を行った。

3.1 原点位置決め動作

原点としては、割り出し装置に外部接点信号を用いた原点が1つと、各柔アクチュエータの関節部分に付いている角度検出用ロータリエンコーダのZ相を原点とした原点があり、割り出し装置1個とロータリエンコーダ2個の計3個の原点があることになる。割り出し装置にはDDモータである日本精工製のメガトルクモータを使用している。

柔アクチュエータは、前述したように最適な制御を実現させるために各種のパラメータを設定するようになっている。原点位置決め動作を開始するコマンドをドライバに送信する前にパラメータをセットしておくことになるが、原点位置決め後にも変更可能なパラメータがいくつかあり、位置決め動作はこれらのパラメータにより柔軟に対応できることになる。一方関節の角度は、腕がほぼ垂直になったときに原点位置となる

ようにロータリーエンコーダをセットしている。原点位置決め動作は、事前にパラメータで設定された角度だけ現在位置から前後に腕を動かし、Z相を検出した時点でロータリーエンコーダのカウントを0リセットするようにしており、位置決め動作の完了はドライバから送られてくる動作完了信号により知ることができる。原点位置決め動作に関するパラメータはいくつもあるが、位置決め動作にも大きく影響を及ぼすと予想されるオープンゲイン、比例ゲイン、積分ゲインの3つのパラメータを選んで原点位置決め動作実験を行った。その結果各パラメータの最適値は異なるがパラメータを変化させた場合は良く似た傾向を示した。すなわち、最適値付近では素早く原点位置決めができるのに対して、パラメータの絶対値が大きくなると発振し始めて位置決めが出来なくなる。また絶対値が小さくなると動作が不安定になり、なかなか原点位置を探せなかったか位置決め動作完了信号がドライバから送られてきた後も少しずつ動くといった様子がみられた。

割り出し装置は原点検出動作を始めると、外部の原点位置決めスイッチ等からの信号を受けて動作の停止およびカウンターの0リセットを行うようになっている。原点検出時のスピード等を上手に調整すれば停止精度を割り出し装置のもつ精度近くには抑えることが可能であり、使用上特に問題は無いと考えられる。

3.2 位置決め動作実験

第2関節を伸ばしたままで第一関節を約10度動かし、元に戻すといった動作を何回か繰り返し、それに要する時間をパラメータを変えて実験した。またハンドに1kgfの重りを持たせた場合についても同様の実験を行った。その結果の一例を表2に示す。

パラメータの値は、3.1の結果を参考に選んだが、最適値もパラメータの値が変化したときの傾向もあまり変わらなかった。重りを持たない場合と1kgfの重りを持った場合とでは、重りを持った場合の方が動作に要する時間が少し増え、また正常な動作をするパラメータの範囲が少し狭くなる傾向が見受けられた。表中で“-”を印した部分は数十秒しても動作を開始しなかったことを示す。また“発振”とは、動作を開始した後アームが目標値を通りすぎたり戻りすぎるといった状態を繰り返すことを指す。

動作に要する時間の再現性に少し問題があり、条件を適宜に選んで8回の繰り返し実験を5回行った結果、平均値で10~20%程度のばらつきがあった。このばらつきの原因としては、サーボバルブユニットでの各部

表2. 位置決め動作に要する時間

単位: 秒

積分G 比例G	FE02	FE04	FE06	FE08	FEOA	FEOC
FEF0	-	27	18	13	11	発振
FEF8	38	28	20	14	発振	発振
FF00	-	23	15	13	発振	発振
FF08	-	23	15	12	発振	発振
FF10	-	23	16	12	発振	発振

の再現性およびドライバでロータリーエンコーダからのパルス信号を取り込むタイミング、アクチュエータまでのエア配管その他様々な原因による誤差が考えられ、これらが重畳された結果時間の再現性が悪くなっているものと考えられる。

4. 結 言

人の筋肉に良く似ていると言われ、新しいタイプのアクチュエータと考えられている柔アクチュエータを用いた搬送装置を試作した。試作した搬送装置は、2つの関節とハンドを持ち、回転することができる。

- 搬送装置はパソコンで制御し、ティーチングプレイバックで動作させることを想定したソフトを載せている。

柔アクチュエータの利用について次のような結果を得た。

- 柔アクチュエータは自重に比較して発生力が大きく、装置全体を軽量化するのに役立つ。
- センサを使わなくても押し付け力ある程度コントロールできる等、他には見られない特徴がある。
- 動作することにより負荷が変化する様な場所へ利用すると、動作にともなってパラメータの最適値が変化することになるので注意が必要である。
- 時間の再現性を要求されるような場所への応用は、装置の設計段階からそれなりの配慮が必要とされる。

ホログラフィ干渉計による物体の微小変形計測に関する研究

田尾博幸, 池田哲宏, 岡田芳雄, 岡本正幸, 吉野信行, 好満芳邦

A Study of Measurement for Microscopic Displacement of Object Using Holographic Interferometry

TAO Hiroyuki, IKEDA Tetsuhiro, OKADA Yoshio, OKAMOTO Masayuki, YOSHINO Nobuyuki and YOSHIMITSU Yoshikuni

In recent years, research and development for new materials such as ACM(Advanced Composite Materials), has been progressing. These materials should be microscopically evaluated their mechanical behavior and surface profiles since their complicated composition. In this work, holography used laser beam was employed and optical interference was considered.

Generally speaking, an image to be observe by using optical interferometer is quality pattern of optical interferometric fringe, so, it is necessary that quality pattern of optical interferometric fringe is exchanged quantity pattern such as 3-dimensional image.

From these points of view, we have developed an automatical analysis system for 3-dimensional pattern of the optical interferometric fringe. The effectiveness of this system is experimentally confirmed by means of some samples of steel and FRP.

1. 緒 言

近年、先端複合材料等新素材の開発およびその応用に関する研究が様々な分野でなされている。特に、素材開発においては、それらの外部応力(荷重、加圧、熱、振動等)に対する変位・変形計測が工学的現場において重要である。複合材料は、一般に、外部応力に対して複雑な挙動を示すため微小変形の追跡が要求されると同時に表面精度の定量化が望まれている。

これらの材料の計測には、非接触・高感度な光波干渉計測法を適用し、干渉縞がもつ定性的な変位分布または変形に関する三次元的な定量評価が必要である。

この干渉縞の三次元的解析については、大学、公設試等で各種アルゴリズムが開発され、一部については、それらのソフトウェアが商品化され市販もされているが高価であり入手することが大変困難な状況にある。

本研究では、先ず素材評価に必要な光波干渉計の自動干渉縞解析に関するソフトウェアを開発し、次いでレーザホログラフィ干渉計をFRP、鋼材の微小変形計測に適用し、本ソフトウェアの有効性を確認した。

2. 理論的背景

光波は、振幅と位相の情報を持っており、両者が決定すれば、光波の強度、進行方向が決まる。ホログラフィ干渉は、この光波の振幅と位相情報を記録し、再生する写真技術である。具体的には、物体から回折散乱してきた光(物体光)と、可干渉な参照光とを干渉さ

せ、この位相情報を写真乾板に記録する(記録したものをホログラムという)。

このホログラムに元の参照光と同じ光波をあてると物体光が再現できる。ホログラフィを使用すれば、位相物体の変位・変形前の状態が光波の形で、振幅・位相とも記録・再生できる。この変位・変形前の状態を基準波面として、変位・変形後の位相物体からの散乱光とを干渉させれば、物体の変位・変形が干渉縞の形で計測でき、これがホログラフィ干渉法の応用である。変位・変形の計測法としては、二重露光法と実時間法が使用される。

2.1 変位計測の原理

図1において、粗面 π が π' の位置に変位し、面 π 上の点 P_i が、面 π' 上の対応点 P_i' に変位すると仮定する。また変形前後の物体面 π 、 π' からの光波が、二重露光法または実時間法によって再生されているものとする。このとき、二つの面から光波の観測点Oにおける寄与を計算し、干渉縞の形成を考える。

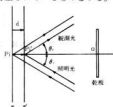


図1. 変位計測の原理

図1のように平面波で照明された物体が一様に d だけ変位したとき、無限遠の観測点(レンズLの焦点面)

における二つの面からの光波の寄与を考える。照明方向および観測方向と変位の方向とのなす角をそれぞれ θ_1 、 θ_0 で示すと、無限遠点での光路差 d は、次式で表示される。

$$d = d (\cos \theta_1 + \cos \theta_0) \quad (1)$$

上式で d は物体面上のどの点でも同じなので、 d は全て同じ値になり、明暗の干渉縞は同一にして重なる。光波の波長を λ とすれば物体表面に関する変位前後の間隔 d による光路差 d が $\lambda/2$ 変わるごとに干渉によって物体表面は明から暗、暗から明へと変化する。明るい干渉縞の次数を N_k とおけば、その干渉縞に関する変位量 d_k は次式で表示される。

$$d_k = N_k \lambda / (\cos \theta_1 + \cos \theta_0) \quad (2)$$

上式において観測角 θ_0 は、一般に変位方向と同一にとられ、 $\cos \theta_0 = 1$ 、照明角 θ_1 を小さくとれば、式(2)はつぎのように表示される。

$$d_k = N_k \lambda / 2 \quad (3)$$

3. 干渉縞解析システム

3.1 干渉縞解析のハードウェア

図2に干渉縞解析システムのハードウェアを示す。干渉縞解析システムは、干渉縞を撮像するCCDカメラ、カメラからの画像をA/D変換して8ビットに量子化し記憶するフレームメモリ、フレームメモリの内容を表示するモニター、フレームメモリの画像を処理するパソコン、処理前あるいは処理後の画像を格納するハードディスクおよび処理結果を出力するディスプレイ、プリンタで構成されている。



図2. 干渉縞システム構成図

使用したカメラは、ソニー製のXC-37で、512×512の解像度を有しており、高解像度な画像データの入力が可能である。フレームメモリは、サイバテック製CT-9800A(2)を使用した。これは、512×512×8ビット×1画面、あるいは512×256×8ビット×2画面として利用できて多目的な使い方が可能であり、また、ダイレクトメモリマッピング方式を採用してい

るため、高速アクセスが可能である。

パソコンは、32ビットCPUを持つNEC製PC-9801RA5で、高速な画像処理が容易であるとともに、40Mバイトのハードディスクを内蔵しているため多量の画像を高速に格納・呼出が可能であり、縮画像の比較、照合、解析などに有効である。

3.2 干渉縞解析のソフトウェア

干渉縞解析ソフトウェアは、人間との対話形式(項目選択方式)で処理が行え、対象縮画像の変更等に対する柔軟性を有する、また汎用性を考慮した構成とした。ただし対象が固定化し、処理手順が定まった場合の自動縮解析への対応も容易な構成となっている。

使用言語は、画像処理部分が実行速度面での配慮からアセンブリ言語、その他項目の選択等、人間との対話部分は、実行速度より操作性や処理機能等を充実させるためBASIC言語を採用した。

干渉縞画像処理は、図3に示すフローチャートの手順で行われる。



図3. 干渉縞画像処理のフローチャート

- (1) 縮画像の入力: カメラからの縮画像をA/D変換してデジタル画像に変換し、フレームメモリに格納する。この場合画像は512×256の標本点に対して、8ビット(256レベル)の画素データとなる。
- (2) ウィンドウの設定: 画像中、所定矩形領域内の画素に対してのみ処理を行なうため、マウスを使用してウィンドウを設定する。この様に処理対象を明確にすることで、後の各処理が容易になり、また処理

時間の短縮化にもつながる。

- (3) 前処理：通常の縞画像には雑音が含まれており、明るさのむら等があるため、必要に応じて画像の平均化など空間フィルタ処理を行い、画像のヒストグラムを修正して縞のコントラストを向上させる。また画像が“ぼけ”ている場合は高域強調フィルタを使用し、画像を鮮鋭化する。
- (4) 縞解析：縞の解析を行なうために縞画像を2値化する。この2値画像に対して必要ならば細線化処理を行ない、縞のピーク位置の検出を行なう。
- (5) 縞次数の決定：検出された縞の高さ情報を与えるために縞次数を割り当てるが、これはラベル付け（領域分割番号付け）を行い、縞に一定方向の番号付けをすれば縞次数となる。もし誤りなど不都合が生じている場合は、ディスプレイを見ながら対話形式で修正を加える。
- (6) 三次元表示：三次元表示を行なうためには、干渉縞から採取したランダムデータをメッシュデータに変換すると容易になる。この三次元データのメッシュ化は、高さ情報、つまり縞次数が決定しているのが縞の中心部分だけなので、他の部分の相対的な縞次数を、線形あるいは非線形の補間を使用して行なう。非線形の補間は、 \circ 1次、2次微分が連続、 \circ 与えられた点を通る、 \circ 見た目が自然な曲線である、という特徴を持つBスプラインのアルゴリズムを使用して行なう。以上の方法で作成されたメッシュデータは、ワイヤフレームモデルでディスプレイ上に三次元表示され、プリンタで印字される。

4. 実験的考察

実験に当たっては、開発した本干渉縞解析システムの有効性を確認するため、鋼板とFRP板について片持ち梁の変形および中心に集中荷重が加わった円板の変形についての測定を行った。



写真1. ホログラフィ干渉計の概観

写真1に、ホログラフィ干渉計の概観、またその光学系配置図を図4に示す。

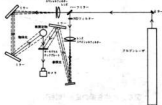


図4. ホログラフィ干渉計光学配置図

4.1 片持ち梁の変形測定

片持ち梁の変形に関する実験は、図4においてホログラムにニューポート社製のサーモプラスチックレコーダを使用し、実時間法によって測定した。写真2に実験結果の一例を示す。試料は、厚み2mm、幅23.6mm、長さ139.6mmの鋼板（縦弾性係数：21000kg/mm²）で、表面には酸化マグネシウムの白色粉末を附着している。測定条件は、試料取り付け具から荷重点までの距離を123.5mm、荷重を1.8gfとした。

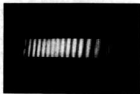


写真2. 鋼板の干渉縞

図5は上記鋼板の干渉縞を本干渉縞解析システムによって三次元表示したものである。

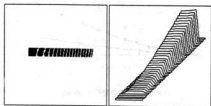


図5. 鋼板の干渉縞解析結果

図6は、図4の実験で得られた干渉縞の次数を基に解析システム(式3)で計算した値(●)と弾性理論による理論値(○)を比較したものであり、0.1 μ mの差でよ

く一致していた。

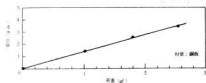


図6. 片持ち梁の変形(鋼板)

図7は、上記と同じ試料において荷重を変化させた場合の変位(取り付け具からの距離100mmの点)を示す。

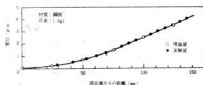


図7. 荷重に対する変位

図8は、厚み6mm、幅100mm、長さ1300mmのFRP板(縦弾性係数: $5600\text{kg}/\text{mm}^2$)を $6\text{mm} \times 22.5\text{mm} \times 138.9\text{mm}$ に切断した一部について上記と同様な方法で得た理論と実験の比較である。この図において実験値は理論値の2倍の値を示している。この原因としては、測定試料が大きなFRP板を分割したその一部を使用しており、縦弾性係数の値が板の部位によって異なった値を持ったためと推測される。従って元のFRP板の様々な部位で試料を製作、実験をする必要がある。

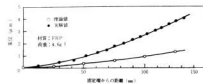


図8. 片持ち梁の変形(FRP板)

4.2 中心に集中荷重を受ける円板の変形計測

光学測定系については、図4と同様である。試料は厚み2mm、直径100mmの鋼板および厚み20mm、直径100mmのハニカム板(アルミニウムのハニカムをFRP材によってサンドイッチした板)を使用した。図9(a)

は鋼板の干渉縞を示し、(b)は干渉縞解析システムによる三次元表示結果を示す。

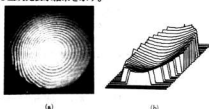


図9. 中心に集中荷重を受ける円板の変形(鋼板)

同様に図10(a)はハニカム板の干渉縞を示し、(b)はその三次元表示結果を示す。

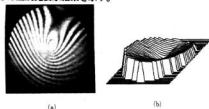


図10. 中心に集中荷重を受ける円板の変形(FRPハニカム板)

5. 結 言

本干渉縞解析システムの開発の結果、各種光波干渉計によって得られる干渉縞の定性的画像パターンから三次元表示が、簡単にしかも短時間で得られ、物体の変形、表面性状に有効な定量的評価が可能となった。従って、近年新素材として開発されている様々な複合材料等の特性評価(ポアソン比の導出等)、非破壊検査等に有効に寄与できる。

ホログラフィ干渉計により、鋼板・FRP板に対して本システムの有効性の一部を確認したが、FRPについては、まだ様々な課題が残っている。

今後の課題としては、本システムに繰定直技術を導入し、高精度でしかも迅速な干渉縞解析システムへの展開を図ると共に上記課題について詳細に検討していきたい。終りに、本システムの開発にあたり終始御指導頂いた大阪大学工学部横間助教に深謝の意を表す。

文 献

- 1) 永田: ホログラフィ干渉による3次元変位測定, 画像技術, 1972, p21~36
- 2) 谷田貝: 応用光学, 光計測入門, 丸善社, 1988

高速画像処理による液晶表示器の欠陥検査

馬場祥宏, 楡垣和生, 永山博夫, 坂元康泰

LCD Defects Inspection Using High-speed Image Processing Method.

BABA Yoshihiro, HIGAKI Kazuo, NAGAYAMA Hiroo and SAKAMOTO Yasuhiro

A number of Liquid Cristal Devices (LCD) have been used as display for watches, calculators and so on.

We have improved an automatic inspection system using high-speed image processing method for LCD defects and obtained satisfactory results.

We conclude from the experiment described as follows.

- (1) Substitute a i8086 (16bit, 8MHz) CPU for a i80386 (32bit, 16MHz) CPU.
- (2) Inspects simultaneously 16 pixels, as one pixel equal to a bit.
- (3) Inspects the difference between a sample and the standard pattern, withoru expansion and contraction technic for defect inspection.
- (4) More the image pattarn in imaging memory cell within the accuracy of mechanical movement method for taking coincident position.

Complete automation will begin and time will be reduced to one-twenty-sevenths of 270 sec, to recognize all defects on a 50×20mm LCD sample.

The value for practical usage is well recognized in comparison with the inspection by manual method in the personnel cost accounting.

1. 緒 言

液晶表示器は、数多い表示器の中でも極めて小さい電力で駆動できる長所を生かして、時計・電卓などで多用されている。また、最近では解像度とコントラストの向上、カラー化などの性能向上により、パーソナルコンピュータや自動車のディスプレイにも用途を広げている。

液晶表示器を製造する工程で、ピンホール・黒点発生と呼ばれる直径0.1mm前後の欠陥が発生するが、現在は人間の目視検査で良品・不良品の判定を行っている。微細な欠陥を長時間にわたって検査するのは大変苛酷な作業であり、検査工程の自動化が望まれて

いる。

昭和61年度に、(財)広島県産業技術振興機構が実施した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」の研究を行なったが、実用化に必要な検査速度を実現するに至らなかった。そこで、本年度改めて検討した結果、実用化に耐え得る高速化を実現したので、その概要を報告する。

2. 液晶表示器

検査の対象とした液晶表示器の外形を写真1に、欠陥の例を写真2に示す。液晶表示器の大きさは50×20mm、欠陥の大きさは直径約0.1mmである。



写真1. 液晶表示器の外形



写真2. 液晶表示器の欠陥例

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3に、ブロック図を図1に示す。

- ・パーソナルコンピュータ PC9801RA5 (日本電気機) システム全体のコントローラ。画像入出力、画像演算、XYテーブルの制御を行う。
CPU: 80386 (16MHz)。
- ・カラーCRT 画像処理結果の表示用。
- ・画像メモリボード I-MAGIN10,20(佐島電機機) 512×480画素、白黒2値の画像メモリボード。
- ・CCDカメラ TI-22A (日本電気機) 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ー用。
- ・実体顕微鏡 SMZ-10(純ニコン) 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 液晶に影を出さずに、光を均一に与えるのに使用。
- ・XYテーブル WX4636R (グラフテック機) 液晶移動用にXYプロッタを改造したもの。

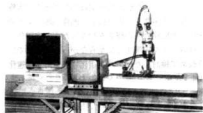


写真3. システムの構成

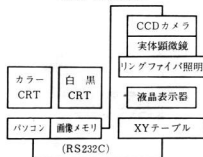


図1. システムブロック図

4. 検査手法

昭和61年度に、「画像処理による液晶表示器の欠陥検査」¹⁾の研究を行なったが、実用化に必要な検査速度を実現するに至らなかった。処理時間がかかっていた原因を分析した結果、以下の点がネックと見られた。

- (1) CPU (i8086, 16ビット, 8MHz)が遅い。
- (2) ラベリングを行うために、1画素=8ビットとしたため、効率が悪い。
- (3) 欠陥検出に膨張・収縮の手法を用いたため、大きな欠陥ほど検出に時間がかかる。

そこで、高速化のため、以下の対策および処理手法の変更を行なった。

- (1) 高速CPUを使う。(i80386, 32ビット, 16MHz)
- (2) 1画素=1ビットとし、16画素を同時処理する。
- (3) 膨張・収縮・ラベリングなど時間のかかる処理をなるべく避ける。
- (4) あらかじめ正常品の画像を登録しておき、検査品の画像との一致検出により、欠陥検出を行う。
- (5) 一致検出により欠陥検出を行うには、機械的位置合わせだけでは困難な、画素単位的位置合わせが必要となる。これを実現するために正常品画像とともに、位置合わせ情報を併せて登録しておき、これを用いて画像メモリ内での画像の移動を行う。

位置合わせ情報とは、図2に示すように、正常品画像における、サーチ開始点P (X_p, Y_p)と、Pから垂直方向にサーチしたとき最初に見つかる白黒変化点までの距離Lである。

検査品画像において、Pからサーチしたとき白黒変化点までの距離がL'である場合は、検査品の画像

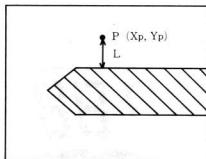


図2. 位置合わせ情報

を垂直方向に(L-L')画像だけ移動する。

水平方向についても、サーチ開始点を垂直方向にずらしたのち、同様の処理を行う。

この位置合わせ手法は、画像中に水平部分が含まれるという液晶表示器画像の特徴を利用したものである。

以上の変更により、1画面当りの検査速度を27秒から5.8秒にまで短縮することができた。

欠陥の大きさ(直径約0.1mm)と画像分解能(512×480画素)を考慮して、撮像視野を10.2×9.6mmに設定しており、標準の検査対象品(50×20mm)の検査時間は、液晶の移動時間を含めて10秒である。

なお、以上の欠陥検出手法は、すべてソフトウェアで実現している。メインルーチンはプログラム修正の容易なBASIC言語を用いたが、処理速度を要求される部分はすべてアセンブリ言語でサブルーチン化し、高速化を図った。図3に欠陥検出ソフトウェアのフローチャートを示す。

BASIC言語とアセンブリ言語のリンクの方法については文献2)、3)を参照されたい。また、外観検査については文献4)、5)を、画像処理一般については文献6)、7)、8)、9)を参考にさせていただいた。

5. 結 言

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ことが可能となった。

昭和61年度に実施した研究の成果をふまえ、高速素子・処理方法の検討を行ない高速化をはかった結果、標準の検査対象品(50×20mm品)の検査を、約270秒から10秒にまで短縮することができた。

検査員の人件費との比較でコストを考慮すると、十分実用化に耐え得る速度での検査が可能となった。

文 献

- 1) 馬場他、「画像処理による液晶表示器の欠陥検査」
広西工技セ報告 No.30 p23~26(1987)
- 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」
(昭和61年度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-Tecknow 9800」システムソフト(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)
- 5) 江尻、「工業用画像処理」昭晃堂(1988)
- 6) 長尾、「デジタル画像処理」近代科学社(1978)
- 7) 長江、「コンピュータ図形処理」共立出版(1981)
- 8) 鳥脇、「画像理解のためのデジタル画像処理」
昭晃堂(1988)
- 9) 長谷川、「画像処理の基本技法(技法入門編)」
技術評論社(1981)

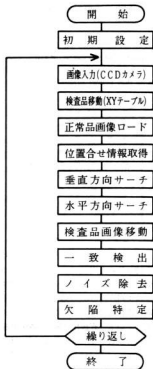


図3. 欠陥検出ソフトウェアのフローチャート

ASICの応用に関する研究 LCA (ロジック・セル・アレイ) 応用技術の開発

永山博夫

Evaluation of LCA (Logic Cell Array) Performance

NAGAYAMA Hiroo

The Logic Cell Array is a user-programmable gate array that consists of an array of configurable logic blocks (CLBs), configurable input/output blocks (IOBs) and configurable interconnects. It is completely reconfigurable by the user in the final system.

In order to evaluate the LCA performance, it is applied to a PWM (Pulse Width Modulation) circuit and a counter circuit in the DC motor speed-control system.

The results of the evaluation are as follows.

- (1) Efficiency of usable gates in CLB is 30% level.
- (2) By use of the LCA for replacement of standard logics, the required printed circuit board area can be reduced by more than 50%.
- (3) Random logics such as the PWM circuit have higher usable CLB efficiency than counter circuits.

1. 緒 言

近年の経済環境の激変やNIESの追い上げなどにより製品の付加価値化、高機能化、製品開発期間の短縮化が求められている。

このような中で、ASIC (特定用途向けIC) が注目され、実際の製品に多く使用され始めている。そこで、ユーザ自身が最終製品上でプログラム可能なASICであるLCA (ロジック・セル・アレイ) 応用技術の確立により中小企業のメカトロ製品の高度化、高級化を図るため、これをモータ回転速度制御装置へ適用し、その応用技術の確立および性能評価を行った。

2. LCAについて

LCA¹⁾は、ASICの中で特にゲートアレイとPAL、FPALなどのPLDの間を埋めるもので、チップ当りのゲート数が、数百～数千ゲートで、年間のチップ使用量が1,000個以内の用途に適している。

LCAは第1図のように、内部にCLB (論理ブロック) をマトリクス状に配列し、その周囲にIOB (入出力ブロック) が置かれている。これらのブロック間に配線領域がおかれる。

CLB, IOB, 配線の設計データは、スタックRAMに記憶されており通常外部のPROMなどから電源投入時のスタックRAMに取り込まれる。

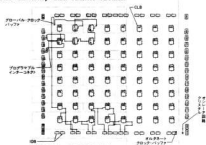


図1. LCAの構成

CLBは、5入力(内一つはレジスタ用クロック端子)、2出力端子を持っており内部に一つのレジスタを有している。IOBは、レジスタ、トライステイト出力で、入出力レベルはTTL/CMOSが設定できる。

内部接続線は直接接続線、ローカルライン、ロングラインに分かれている。直接接続線は、隣接するCLB間を結線している。ローカルラインは垂直5本、水平4本の線から成っている。ロングラインは垂直に3本、水平に1本走っている。

今回のLCAの設計では、APR (自動配置配線プログラム)の効率が低いため、あらかじめ、DASH (電子回路CAD)において、使用するCLBの配置を決めておき、配線のみをAPRで実施した。また部分的な、回路の追加・修正にはXACT (MMI社LCA用CAD)を用いた。

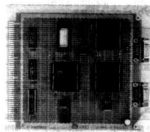


写真1. PWM回路および速度検出回路の外観

3. DCモータ速度制御装置

図2にLCAを応用したDCモータ速度制御装置のブロック図を示す。この中で、PWM(パルス幅変調)回路、速度検出回路をLCA(MMI社2018-50C, CLB数100個, 1,800ゲート相当品)で実現した。これらの回路データは、PROMに記憶されており、電源投入時にLCA内部のスタチックRAMに読み込まれる。LCA1個当たりの回路データのサイズは約18kバイトで、読み込み時間は、十数msecである。PWM回路、速度検出回路の外観を写真1に示す。

本装置は、DCモータの速度制御及び回転速度の計測のため、可変デューティサイクルのパルスが発生するPWM回路、モータの回転速度を測定する速度検出回路、駆動回路、DCモータ、ロータリエンコーダなどから構成される。

速度制御は、外部コンピュータから指定されたデューティサイクル、運転モードのパルス²⁾により行う。このパルスは、駆動回路で増幅され、DCモータを駆動する。回転速度は、DCモータに付属のロータリエンコーダからのA相の8パルスの時間間隔を速度検出回路で計測し、求める。

図3にPWM回路のブロック図を示す。PWM回路は、PWMデータレジスタ1, 2(8ビット)、モードレジスタ、比較器、カウンタ(8ビット, 3ビット)などから成っており、パルス幅のデューティサイクルは256段階で設定できる。クロック発生器の周波数は2.5MHzである。表1に示すように、コントロールワードによりフリー、正転、逆転、ブレーキの機能を設定する。3ビットカウンタは、ロータリエンコーダのA相の8パルスの時間間隔測定用のスタート、ストップ信号を発生している。

速度検出回路は、図4に示すように12ビットの2進

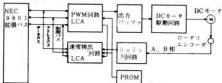


図2. DCモータ速度制御装置のブロック図

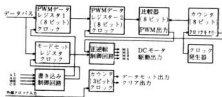


図3. PWM回路のブロック図

表1. PWM回路のコントロールワード

D1	D0	機能
0	0	フリー
0	1	正転
1	0	逆転
1	1	ブレーキ

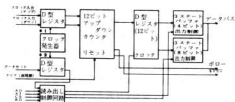


図4. 速度検出回路(12ビットアップダウンカウンタ)のブロック図

の同期式アップダウンカウンタで構成され、非同期クリアと3ステート出力を有している。クロック入力としては、アップ用とダウン用の二つの独立した入力がある。またカウンタ動作と独立してカウンタ値を読み出すことができるリードオンザフライ機能を有する。最高計数周波数は5.5MHzである。

表2. PWM回路をLCAで構成した場合とTTLICで構成した場合の比較

項目	LCA使用の場合	TTLIC使用の場合
使用IC数	2	13
IC占有面積	11.8cm ²	20cm ²

表3. 速度検出回路(12ビットアップダウンカウンタ)をLCAで構成した場合とTTLICで構成した場合の比較

項目	LCA使用の場合	TTLIC使用の場合
使用IC数	2	10
IC占有面積	11.8cm ²	15.6cm ²

4. LCAの性能評価

LCAの性能の評価のため、上記のPWM回路、カウンタ回路をLCAで実現した場合と、従来より使用されているTTLICで実現した場合との比較した結果を表2, 3に示す。LCA使用の場合、IC使用個数が2個となっているが、その内訳はLCA本体一個と回路データ格納用PROM一個である。

TTLIC使用の場合、実際には、IC占有領域の他に、さらにIC間の配線領域が必要なことを考慮すると、PWM回路、速度検出回路両方とも、LCAを使用することにより、所要回路面積は50%以上の大幅な削減が可能である。

表4にLCAで試作したPWM回路と速度検出回路の回路諸元を示す。ゲート数の算出は文献3によった。またCLBゲート使用率はゲート数を使用CLB数×18 (CLB一個当りの公称ゲート数)で割って求めた。

両回路ともゲート数は、300台でほぼ同様の諸元であるが、ネット当りのピン数については、速度検出回路の方が、PWM回路より若干大きくなっている。これは速度検出回路の接続線数が比較的多いことによる。CLB内のゲート使用率は両方とも30%台に留まっている。LCAでは、CLBの構造上の制約とCLB間の接続線数が少ないため、CLBゲート使用率を数十%へと飛躍的に向上させるのは、困難と思われる。

図5に速度検出回路のCLBの配置、配線図を示す。この回路では、ネット当りの接続線数が多いことに起因する配線上のネックを避けるため、使用するCLBはチップ全体にわたって一様に配置されている。また未使用のCLB数を使用して、カウンタ桁数を12桁から16桁に増やすのは困難であった。

表4. LCAで試作したPWM回路と速度検出回路(12ビットアップダウンカウンタ)の諸元

項目	PWM回路	速度検出回路
ゲート数	約320	約360
ネット数	75	79
ピン数	216	274
使用CLB数	51	54
CLBゲート使用率	35%	37%

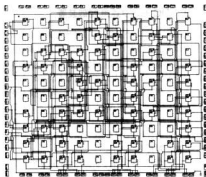


図5. 速度検出回路のCLB配置、配線図

5. 結 言

- (1) LCAのCLBのゲート使用率は30%台であった。
- (2) LCAの採用により、TTLICを使用した場合と比べ、所要回路面積の50%以上の削減が可能となる。
- (3) LCAの応用回路としては、カウンタ回路よりは、CLB間の接続線数が少ないランダム論理回路が適している。
- (4) LCAの応用製品としては、仕様変更の頻繁で開発期間の短い製品が適している。

文 献

- 1) 今富日出: コンピュータデザイン 4月号, p89~100(1987)
- 2) 鞠安川電機製作所編: メカトロニクスのためのサーボ技術入門, 日刊工業新聞社, p68~78
- 3) 富士通半導体デバイスカスタムLSIデザインマニュアルセル特性表 EM20-00001-3

動的プランニングと協調制御

坂元康泰, 小林重信*

Reactive Planning and Cooperative Control

SAKAMOTO Yasuhiro and KOBAYASHI Shigenobu*

This paper describes the reactive planner that select and execute appropriate operator, reacting on the dynamic situation in case of multi-world, multi-agent and multi-task.

This reactive planner has the cooperative controlling way and the programing structure in the dynamic world, and was applied to the multi-crane controlling problem accompanying the interaction and multi-hand controlling problem demanding cooperative actions in robotics. The validity of this frame work was given by some simulations.

1. 緒 言

従来の固定的でアルゴリズム的な自動制御システムでは扱うことが困難であった“悪構造問題”に対する解決方法として、知識工学を利用した制御型知識システムの開発が求められている。この制御型知識システムの開発は、専門家のもつ経験的知識をコンピュータ上に導入することによって、人間が行うような高度で柔軟な制御を実現することを目的とする。

知識工学の世界ではロボットなどのエージェントの行動選択の方法を与える枠組みとしてプランニングに関する研究がなされてきた。伝統的なプランニングでは初期状態からゴール状態へ変換するオペレータ順序空間を探索することに焦点がおかれていた。しかし、現実世界は複雑性、不確定性、実時間性をもっており、このプランニング方法を現実の状況に拡張させることは困難である。よって、従来の「オペレータ順序空間を探索すること」から、「実行時間に、刻々変化する状況に反応してプランを構築または変更すること」²⁾を中心とするプランニングシステムを構築する必要がある。このシステムを動的プランナーと呼ぶ。

FAにおける複数のエージェント下での動的世界を観察すると、タスクは順序が決まったオペレータでできており、周りの状況と他のタスクの影響を受けながら実行しなければならない。この問題領域では、同時進行が可能なタスクおよびエージェントが複数存在し、相互作用があるために、干渉を避けながらまたは協力しながらオペレータを実行しなければならない。さらに、類似の世界が複数存在することが通常である。

本研究では、干渉を生じるケースとしてクレーン群

制御問題を、協調が必要なケースとしてロボットハンド制御問題を、それぞれ取り上げ、上記を処理する動的プランナーを構築することを目的とした。

2. 動的プランナーの基本的枠組み

実世界環境下での動的プランニングの領域では多くの問題があるが、動的プランナーを設計するに当たっては特に次のような条件を陽に考慮する必要がある。

- (1) 動的プランニングとはプランニング、実行、モニタリングが同時処理されるプロセスである。よって、この3要素をもつこと。
- (2) 複数のタスク、エージェント、世界を取り扱えること。
- (3) 干渉、協調などの相互作用を解消するための制御機構をもつこと。

3. 処理機構

前節で述べた動的プランナーの基本的枠組みの下でクレーン群制御問題やロボットハンド制御問題に適用することができる処理機構について述べる。

3.1 複数のタスク、エージェント、世界を扱うための枠組み

3.1.1 初期プランの作成

実行プロセスに移る前に初期プランを生成する必要がある。初期プランは個々のエージェントがもつ実行前の最善と思われるタスク列である。この初期プランは人間によりまたはシステムによりヒューリスティックなどを用いて事前に作成される。

3.1.2 動的プランナーの実行手順

実行中のプランを格納するQueueが1つであるため、

* 東京工業大学

相互作用を伴う複数のプラン処理が困難であったFirby²⁾のRAPを拡張したアルゴリズムを示す。このアルゴリズムによりエージェントや世界が複数でもフレキシブルな処理が可能となる。

動的プランナーの実手順

手順1: Queueの設定

それぞれの世界のなかで、エージェント数が最大のQueueを設ける。

手順2: プランの分配

それぞれのエージェントがもつ初期プランを適当なQueueに分配する(図1参照)。これで初期のQueueが決定される。

手順3: オペレータの選択と実行

それぞれのQueueの先頭プランの先頭タスクの先頭オペレータを選択し実行する。

(実行可能条件)

- (1) 前のオペレータが完了していること。
(モニタリングプロセスにより生成される完了リストなどにより確認される)
- (2) オペレータの前件が満たされていること。
- (3) このオペレータを実行した場合、他のエージェントが実行中のオペレータが完了予定までに干渉をおこさないこと。またはこのオペレータが協調動作を必要としないこと。

手順4: 回避

干渉する場合はそれを回避するためのオペレータをそのQueueの先頭に差し込む。

手順5: 協調動作

他のエージェントの協調を必要とする場合、そのエージェントが存在するQueueの先頭に必要な協調動作のためのオペレータ列を差し込む。

手順6: Queueの更新

オペレータが実行された場合、そのオペレータを除いた残りのプランを新しいプランとしてそのQueueの最後に回し、実行されなかった場合、プラン全体をそのままQueueの最後に回す。

上記のアルゴリズムによりそれぞれの世界のそれぞれのエージェントがもつプランが次々に実行され、Queue内のリストがなくなった時点で全体のプランが完了となる。

この仕組みは下記を考慮して作成された。

- (1) 状況が満たされないプランは後回しにし、満たされたプランから処理を進めていくこと。
- (2) あるエージェントに対する実行命令を与えた後は完了までの時間を要するので、次はそのエージェント以外のプランを処理すること。
- (3) 協調要求オペレータ列を容易に差し込むことができること。

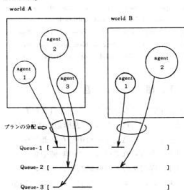


図1. Queueの設定およびプランの分配

実行されるオペレータの前は、他のエージェントのオペレータの前に何らかのオペレータを差し込める構造は有用である。例えば、オペレータの効果が完全に期待できない世界では、その効果を確認するためのモニタリングオペレータを次のオペレータを実行する前に差し込むことによりモニタリングを含んだ、より現実性のある実行システムとなり得る。また、それぞれのプランの先頭に時刻条件オペレータを入れることにより、時刻駆動型のプラン処理が可能となる。

3.2 協調動作の受け入れ時期

プラン中のオペレータ間に関連性がない場合、各エージェントはどこで協調要求を受け、実行中のプランを中断しても影響はない。しかし、プランとは本来、一連の動作である。例えば、あるエージェントがあるタスクを実行するために移動した時点で他のエージェントからの協調要求により元の場所に戻ることは効率的ではない。

オペレータ間には関連性の強いものともそうでないものがある。中断されることが望ましくないオペレータ列の実行中はそれらをパッケージ化し、他のオペレータの挿入を受け付けないようにする。

3.3 協調制御方法

協調が必要なオペレータは、他のエージェントの協調オペレータの実行が完了するまで待ち(PAUSE)、その効果が生じている間に(main) 本来のオペレータを実行しなければならない。よって、この2つの制御オペレータが必要である。この協調方法はプランが格納されているQueueのなかにこの「待機」と「維持」の役目をするオペレータを含んだ協調タスクを入れること、協調動作中は他のオペレータを受け付けないようにパッケージ化することにより可能となる。

3.4 動的世界でのプログラム構造

プランは一連のオペレータ列を過不足なく記述されていると仮定する。他のエージェントからの協調要求によりプランを中断したときの状況は、これから実行しようとする協調のためのオペレータの前件と一致しているとは限らず、その場合、実行できない。また協調作業を完了した後も、中断時の元の状態に戻るためのオペレータが必要となる。

Schoppers³⁾は予測不可能な世界でのプランニング方法としてuniversal planを提案した。これはプランを、「初期状態がどこにあっても目標状態に達成するための次に実行しなければならないオペレータ」と捉える。この目標指向の記述方法は、すべての状態に対して目標に達成するための最初のオペレータを記述することである。例えば、エージェントがある場所へ移動するためのオペレータとして、prologで図2のように記述することによりこのオペレータは前件(位置)に関係なく実行できる。プログラムの複雑性はかなり増すことになるが、この記述方法は前件が不確定となるパッケージ化されたオペレータ列の先頭のオペレータのみでよい。

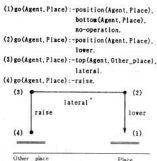


図2. 目標指向の記述方法

4. 適用例

この動的プランナーを干渉が生じるクレーン群制御問題と、協調が必要なロボットハンド制御問題に適用した。言語はProlog-KABAを用いた。

4.1 クレーン群制御問題

4.1.1 概要

製鉄所内にある、鋼板を円筒状に巻いた約10トンのコイルの冷却および保管のための施設であるコイルヤードでは、クレーン群が多数のコイルの受け入れおよび払い出しのタスクを実行している。クレーン群は共通のレール上を走行しているため、衝突を回避しながらタスクを最適な順序で次々に実行しなければならない。

4.1.2 基本的な流れ

1つのタスクは4つのサブタスク(①タスクの始点までの移動、②コイルをつかむ、③タスクの終点までの移動、④コイルをはなす)に分割される。

このタスクが複数(一般には多数)存在するため、これらのタスクの実行順序をヒューリスティックスを用いたルールによりシステムが各エージェントに割り当てる(初期プランの生成)。割り当て後は上述したアルゴリズムに従い処理を行う。

干渉が生じたとき、どのエージェントが回避(待機または退避)行動を取るべきかについては、次に実行するオペレータの重要度やオペレータの連続性から決定される。例えば、運転中のエージェントよりは空荷のエージェントが、残りのタスクが多いエージェントよりは少ないエージェントが回避行動を取る。

4.1.3 実行結果

ヤードが2箇所あり1ヤードにクレーンが3台、合計6台にそれぞれ複数のタスクを割り当て、計算機上でシミュレーションを行った。初期プランに従いながら、互いに干渉が生じたときはそれを回避しながらタスクが処理されていくことが実証された(図3参照)。

4.2 ロボットハンド制御問題

4.2.1 概要

家電、コンピュータ機器の組立、検査ラインは複数のロボットを使用し自動化が進んでいる。現状ではこれらのロボットは同じ空間領域に複数存在することはほとんどなく、相互作用は存在しない。その理由は、

- ① 同じ世界に複数のロボットを使用したくても、空間的な相互干渉を予測回避することが困難である。
- ② 複数のロボットを使用してその有用性を発揮させ

図3. クレーン群制御問題実行例

各ヤードにランダムな15タスクを割り当てる。
各クレーンには5タスクずつの初期プランが生成され、実行に移る。
図は各クレーンの時間ごとの位置を示す。待機、回避動作(図中大線)を差し換ひながらプランが実行されている。

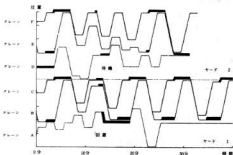
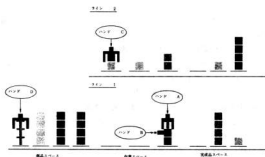


図4. ロボットハンド制御問題実行例

ライン1, 2とも複数のタスクのうち、実行可能なタスクから処理されていく。
ライン1ではハンドBがブロックを固定している間にハンドAがpegを入れる協同動作を実行中。ライン2ではハンドCとハンドDは個々のタスクを実行中。



るためには協同動作を行う必要があるが、その方法はあまり研究されていない。

本節では②に焦点を当てた動的プランナーを実現したのでその実行結果を示す。

4.2.2 実行結果

2本のハンドが部品スペースから部品を取り出し、作業スペースで何らかの作業を行い、完成品スペースに運ぶタスクを考える。部品は別のラインから随時供給され、実行可能なタスクから実行プロセスに移る。初期プランは人間が作成する。ここで、不確定性は部品の供給時期およびオペレータの実行に要する時間変動などから生じる。協同動作を含むタスクを次々に処理したシミュレーション結果が得られた(図4参照)。

5. 結 言

複数の世界、エージェント、タスクが相互作用を伴って存在する動的な世界での処理機構を開発した。この動的プランナーをクレーン群制御問題とロボットハン

ド制御問題に適用しその有効性を示した。例えば、クレーン群制御問題において、製鉄所内のコイルヤードでは複数のクレーンを専門のオペレータが通信しながら衝突を回避しているのが現状である。この動的プランナーを用いることにより専門家と同等の制御が実現できる可能性がでてきた。

なお、この研究は昭和63年度国内留学研修において行った研究成果であり、第9回知識工学シンポジウムにおいて発表した内容を一部修正したものである。

参 考 文 献

- 1) Agre, P.E. and Chapman, D.: PENGI: An Implementation of a Theory of Activity, NCAI-87.
- 2) Firby, R.J.: An Investigation into Reactive Planning in Complex Domains, AAAI-87.
- 3) Schoppers, M.J.: Universal Plans for Reactive Robots in Unpredictable Environments IJCAI-87.

生産技術における認識・識別システムの開発

岡田芳雄, 田尾博幸, 吉野信行, 南良良治

Development of a Cognition and Discrimination System for Industrial Field

OKADA Yoshio, TAO Hiroyuki, YOSHINO Nobuyuki and NARA Ryoji

Recently demands for three-dimensional measurements have been increasing in the engineering field. Moire topography is one of the practical methods of three-dimensional measurement.

In this study, we developed image processing system of 3-D shape by using scanning moire method. Scanning moire method is useful approach for automatic three-dimensional measurement in which high-contrast moire fringe patterns are easily detected by a TV camera and online digital processing can be performed.

A working system is constructed of a projection unit, a camera unit and a image processing unit. It generates the surface contours and discriminates the objects from the moire fringe pattern.

1. 緒 言

生産工程における部品の組立, 検査等では, 3次元物体の識別に対する要望が数多い。従来から非接触3次元形状計測法の一つとして, モアレ法がよく使用されているが, 鮮明なモアレ縞を得るための画像入力の方法, ソフトウェアの開発等種々の問題がある。

本研究では, 走査モアレ法による3次元モアレ画像処理システムを開発した。テレビカメラの走査線を観測格子として使用することで, テレビカメラの解像度を最大限に利用するとともに, 基準格子と観測格子の不要縞が除去され, データ処理を容易にした。また, コンピュータを用いた画像処理システムで干渉縞を処理して, 鮮明なモアレ等高線を得るとともに, 等高線の特徴量から3次元物体を認識・識別するシステムおよび, 3次元形状の表示プログラムの開発を行った。

2. 格子投影法の原理¹⁾

モアレ法では, 図1に示すように基準格子を投影機で物体に照射し, そのとき物体形状に従って歪められた格子の像と別の基準格子を重ねると, 変形格子と基準格子の系列によって物体形状を示す等高線モアレ縞が形成される。

本研究では, 第二の基準格子の代わりにTVカメラの走査線を利用する走査モアレ法を使用する。

変形した格子が走査線でサンプリングされるとき, 走査線がモデルグリッドの黒い線の上にあると黒い線の画像が得られ, 白い線の上にあるなら, 白い線の画

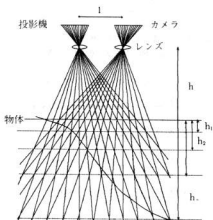


図1. モアレトポグラフィの原理

像が得られる。この場合の等高線モアレ縞の関係式は, N番目のモアレ縞に対する高さを h_N , 格子ピッチを P_0 , 投影と観測光学系の節点間距離を l , 節点から像面までの距離を b , レンズの焦点距離を f とすると①式の様に表される。

$$h_N = \frac{b(b-f)NP_0}{f l - (b-f)NP_0} \quad \text{①}$$

基準点からのモアレ縞深さは, 事前に①式で計算しておくと同番号を数えることにより知る事ができる。

測定精度は、光学配置と格子のピッチで決まり、通常、50 μ mから数cm程度である。

基準等間隔格子自体は測定物体に比して小さなものでよい。また、焦点距離の異なるレンズに取り替えることによって倍率を変化させる事ができる。

3. 走査モアレ法によるモアレ画像の入力²⁾

走査モアレ法では、偶数と奇数の走査線を分割することにより一枚の画像から位相差 π (rad)の2枚のモアレ画像が得られる。

走査線の基準格子のピッチをa、その格子ラインの方向はy軸に平行とする。物体上の格子のピッチはbでその線の方向はy軸に対し θ 傾いている。カメラの偶数の走査線 $F_A(X, Y)$ 物体上の格子を $F_B(x, y)$ とすると

$$F_A(X, Y) = 1 + \cos(2\pi x/a) \quad (2)$$

$$F_B(x, y) = 1 + \cos(2\pi(x - y \tan \theta)/b) \quad (3)$$

$$\text{但し } b' = b/\cos \theta$$

2つの格子が合成されるとき、偶数フィールドで生成されるモアレ縞は照明の強度分布を $I(X, Y)$ とすると、

$$\begin{aligned} F_M(x, y) &= I(X, Y) \cdot F_A(X, Y) \cdot F_B(x, y) \\ &= \frac{I(X, Y)}{4} + \frac{I(X, Y)}{4} \cos 2\pi x/a \\ &\quad + \frac{I(X, Y)}{4} \cos 2\pi(x - y \tan \theta)/b' \\ &\quad + \frac{I(X, Y)}{8} \cos 2\pi \left(\frac{b'+a}{ab'} x - \frac{y \tan \theta}{b'} \right) \\ &\quad + \frac{I(X, Y)}{8} \cos 2\pi \left(\frac{b'-a}{ab'} x + \frac{y \tan \theta}{b'} \right) \quad (4) \end{aligned}$$

この計算式で、初項はバイアス、2項、3項はもとの格子と一致する。 θ が非常に小さく $a \gg b$ のとき、モアレパターン $M(X, Y)$ は、初項と5項の和で定義され

$$M(X, Y) = \frac{I(X, Y)}{4} + \frac{I(X, Y)}{8} \cos 2\pi \left(\frac{b'+a}{ab'} x + \frac{y \tan \theta}{b'} \right) \quad (5)$$

同様に奇数フィールドの走査線によるモアレ縞

$$M^*(X, Y) \text{ は}$$

$$M^*(X, Y) = \frac{I^*(X, Y)}{4} + \frac{I^*(X, Y)}{8} \cos 2\pi \left(\frac{b-a}{ab'} x - \frac{y \tan \theta}{b'} \right) \quad (6)$$

滑らかな物体上ではカメラの偶数と奇数フィールド

に対応する点の距離は、照明の強度分布に比較して通常十分小さく、隣合う受光素子の輝度は連続していると考えられ、 $I(X, Y)$ と $I^*(X, Y)$ は、互いに走査線を絞る隣合う2本の走査線の輝度を平均することで補完できる。これを⑤式と⑥式に適用することにより照明の分布によるバイアス成分を除去し鮮明なモアレ縞が得られる。同時に、物体上の変形格子も除去される。

4. 画像処理システムの構成

図2に画像処理システムの構成を示す。

- ① 画像処理用コンピュータ
PC-9801RA (32bitcpu)
- ② 画像メモリ CT-9800A(2)
(サイバーテック製)
512 (H) \times 512 (V) \times 8 bit 1画面
512 (H) \times 256 (V) \times 8 bit 2画面
I/Oバンク切り換え方式の128Kバイト
- ③ CCDカメラ XC-37 ソニー
512(H) \times 512(V)
レンズ f=28-85mm
F=3.5-4.5
- ④ 投影機 160(W) 焦点距離 60(mm)
格子ピッチ 0.0845(mm)
- ⑤ カラーディスプレイ
モニター モノクロ受像機



図2. システムの構成図

5. モアレ画像処理のソフトウェア

投影機によって照射された参照光格子は物体表面で変形する。変形格子はTVカメラによって1/30秒でサンプリングされ256の階調を持つ画像としてデジタルフレームメモリに格納される。この画像メモリの内容はディスプレイで表示される。縞の解析は、32ビットのパソコンで行い、処理結果はディスプレイとプリンタに出力される。

ソフトウェアは、画像の取り込み、フィルタ、ウィンドウの設定、2値化処理、細線化処理、ラベル付け、3次元表示等の機能を持っている。また、演算機能と

て通
ている
査線
で補
り照
し構
れる。

して、論理演算機能と四則演算機能をもち、3次元画像の認識・識別に汎用性をもたせている。

モアレ画像処理は、これらの機能を利用して以下の手順で行われる。

- ① 画像の取り込み 512(H)×256(V) 2画面
- ↓
- ② ウィンドウ設定 背景除去
- ↓
- ③ 偶数奇数画像間演算 ノイズ、照明むらの除去
- ↓
- ④ 縞画像の2値化 縞のピーク位置の検出 2値化
- ↓
- ⑤ 細線化処理 各連結成分をその中心部分に位置する線図形に変換する
- ↓
- ⑥ ラベル付け 2値画像中の各連結成分に名前を与える
- ↓
- ⑦ 周囲長、重心、縞間隔の計算 基準データとの比較 3次元物体の識別、検査
- ↓
- ⑧ 縞次数決定 縞の高さ情報の付与
- ↓
- ⑨ 3次元表示 縦断面・横断面の高さを計算して3次元データを完成する



図3. プラスチックパイプのモアレ画像処理

写真1は、外径114(cm)のプラスチック製パイプのモアレ等高線を観測したもの、図3はこの画像処理システムのディスプレイ上に表示したものである。ディスプレイの右側にコマンドがあり対話形式での画像処理が可能である。

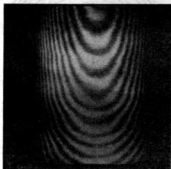


写真1. プラスチックパイプのモアレ画像

6. 検査対象物の認識・識別方法

モアレ等高線画像は、任意の高さにおける断面形状の表示が可能で、全体がパターンとして計測できるといった利点がある。このモアレ等高線画像を基に、縞の分布状態、任意の高さにおける等高線の形状あるいは特徴量から、線の構造および線に囲まれる領域に着目し、3次元物体を識別することができる。ここで用いる特徴量は、面積、長さ、重心など広く用いられている幾何学的特徴量である。このシステムは、検査対象物に対して汎用性をもたせるため縞の数、面積、等高線の重心等を計算し、各々についてしきい値を定めて識別ができる。

7. 計測結果

写真2は、バレーボールのモアレ等高線を観測したものである。撮影条件は、レンズから基準面までの距

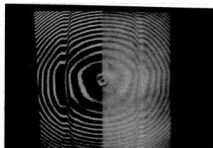


写真2. バレーボールのモアレ画像



図4. バレーボールの等高線図

表1. モアレ等高線の高さと周囲長

プリングNo.	高さ (mm)	画素数	周囲長 (cm)
1	27.0	29	1.0
2	25.4	61	2.0
3	23.8	113	3.7
4	22.2	171	5.6
5	20.6	250	8.0
6	19.1	350	11.2
7	17.5	438	13.8
8	16.0	632	19.8
9	14.5	706	21.9
10	13.0	715	22.0
11	11.5	764	23.3
12	10.0	771	23.3
13	8.5	708	21.2
14	7.1	642	19.1
15	5.6	542	16.0
16	4.2	430	12.6
17	2.8	300	8.7
18	1.4	58	1.7

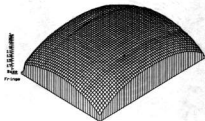


図5. バレーボールの3次元表示

離330 (mm), 投影機とカメラのレンズ節点間距離90 (mm), レンズ焦点距離60 (mm), 格子ピッチ0.0845 (mm)である。

写真中右半分は, カメラから取り込んだ偶数フィールドのモアレ画像である。照明のむら角度の違いによる反射率の差等があり, コントラストと明るさにむらがあり, 縞の鮮明度が低い。左側半分は, 画像間演算を行い, 照明光によるバイアスとノイズ等を除去して鮮明なモアレ等高線が観測されている。

図4は, この画像を2値化し, 細線化したものである。次に, ラベル付けを行い, 縞画像の中央部から外側に向かって明縞部あるいは暗縞部の位置を求めてこれに順次縞次数を与えて, 高さの情報を与えるための番号付けを行なう。

図5は, モアレ等高線を基にボールの3次元形状を復元したものである。また, このときのモアレプリングの高さと各等高線の画像メモリの画素数および周囲長を表1に示す。

8. 結 言

テレビカメラの走査線を基準格子として使用する走査モアレ法により3次元物体の非接触形状測定, および認識システムの開発を行った。TVカメラやオンラインデジタル処理により, 被測定物体の表面の反射むら, 色むら, 照明むら等の問題に有効であり, 縞のコントラストの向上, 鮮明化等が容易に行われ3次元形状測定の自動化, 認識への応用が可能である。

1. 3次元計測が非接触で瞬時にデータをとることができ, 移動物体にも適用できる。
2. 物体に等高線模様を重ねて表示する事ができる。
3. TVカメラの解像度を最大限に利用できる。また, 基準格子, 観測格子等の不要縞が観測されず, データ処理が容易である。

今後は縞走査法, あるいは光切断法等を併用した高さ情報の自動判定を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 鈴木正根: モアレトポグラフィ計測法による人体の複製 富士写真光機
- 2) 新井泰彦他: 走査モアレ法による画像2値化の一手法 精密工学会誌 Vol 52, No.6 (1986)

金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究(第7報) ジルコニアセラミックスと金属の接合に関する研究

新田 明, 土取 功, 世良時夫

Joining of Zirconia Ceramics to Metals

NITTA Akira, TSUCHITORI Isao and SERA Tokio

We developed the new insert metal which is used to joint zirconia ceramics to carbon steels.

Before joining, surface of zirconia ceramics were metallized by the some different metals used in the temperature ranges 1073 K to 1473 K and in vacuum atmosphere about $1.33\sim 6.65 \times 10^{-2}$ Pa for 10min.

The results are summarized as follows:

(1) Shearing strength values between zirconia ceramics and the inserted metal were 68.6~117.6 MPa, when the copper was used as stress reduction materials.

(2) The shear properties of joining parts was markedly affected by 0.5mm in thickness of copper.

1. 緒 言

セラミックスの実用化には、周辺基盤技術の確立が緊急課題となっている。そのなかで、セラミックスの脆性、難加工を補うための金属との接合は、構造部品への適用拡大のための急務となっている。

セラミックスと金属を複合化する場合の技術的なポイントは、いかにしてセラミックスと金属の強い接合を得るか。またいかにしてセラミックスと金属の熱膨張差を緩和するかである。

セラミックスと金属との接合に関する文献^{1)~3)}はいくらかあるが、今回、酸化物系セラミックスの ZrO_2 と強く反応するインサート材の開発と、セラミックスと構造用鋼の接合後、高温から常温に至る時に発生する熱応力の緩和方法について検討した結果を報告する。

表1. 接合用インサート材の化学成分

記 号	成 分 (Wt %)
Ti	100%Ti
Zr	100%Zr
V-Ni-Cu	1%V, 10%Ni, 残部Cu
Be-Cu	4%Be, 残部Cu

2. 実験方法

実験に使用した酸化物系セラミックスは ZrO_2 で、接合相手の金属は構造用炭素鋼(S45C)とした。

インサート材は、表1に示した材料を使用した。他の研究者からのデータが少ないZrを中心として実験を行った。

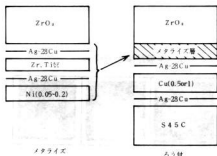


図1. ZrO_2 と金属の接合構造

ZrO₂はあらかじめ接合面をエメリーペーパー#400まで仕上げしておく。

ZrO₂と金属の接合構造は図1のようにZrなどの活性金属を銀ろう(28%Cu, 72%Ag, 厚き50μm)に挟み, Ni箔(厚き50~200μm)をかぶせてメタライズ処理を行った。このNi箔の使用は, 銀ろうが凝固の際表面張力によって中心に寄ったり, 不均一になるのを防止する効果が期待できるためである。メタライズ後, ZrO₂のメタライズ面をエメリーペーパー#320まで仕上げ後, 銅板(0.5又は1mm)を挟みS45Cを銀ろうによって接合体に加工した。

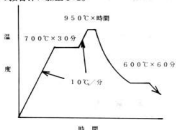


図2. セラミックスのメタライズ処理

メタライズのヒートサイクルの例を図2に示した。加熱は真空ホットプレス中で, 昇温, 予熱は本図の通りで行い, 接合温度800~1,000℃×10分間でメタライズを行った。高融点のV-Ni-Cu系では銀ろうを使用せず, 予熱900℃×30分間, 接合温度1,150~1,200℃×10分間の条件でメタライズを行った。加熱雰囲気は $1\sim 5 \times 10^{-4}$ Torrの真空中で行い, 冷却時にインサート材の応力緩和のため600℃×60分間保持後冷却した。接合体のろう付は, 銀ろう箔により真空中で850℃×10分間加熱し, 冷却時に400℃×60分間保持後冷却した。なお接合荷重は, メタライズ, ろう付ともに1kg/cm²一定とした。

3. 実験結果と考察

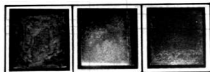


写真1. 各インサート材のメタライズ処理表面

写真1にZrO₂のメタライズ処理表面の外観写真を示す。Zr系, V-Ni-Cu系, 特にZr系の表面はかなり酸化され, 表面の凹凸が認められるのに対し, Ti系は, 表面が金属光沢を有し, メタライズとしては最も良好に行なわれている。

写真2にZrO₂と金属の接合体を示す。せん断試験用

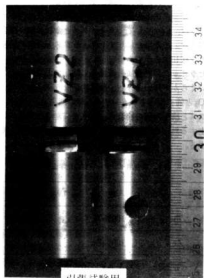
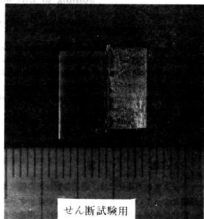


写真2. ZrO₂と金属の接合体

用の ZrO_2 は $12 \times 12 \times 6$ mm, 相手材のS45Cは $12 \times 12 \times 5$ mmの形状とした。引張試験は、同一形状の ZrO_2 両面をメタライズ後ろう付によって写真の下部のような試験片を得た。写真左側の試験片は、破壊がセラミックス中に起こり引張強さが 6.7 kgf/mm^2 であった。写真右側の試験片は接合界面で剥離し、その引張強さは 2.9 kgf/mm^2 と、あまり高強度が得られなかった。

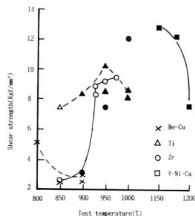


図3. 各種インサート材のせん断強さと接合温度の関係

図3に各種インサート材のせん断強さと接合温度の関係を示す。せん断試験の評価は、25Tonのオートグラフを使用しクロスヘッドスピード 0.5 mm/min の条件とした。

Ti, Zr系においては 950°C 前後の条件が最も安定したせん断強さを示し、 7 kgf/mm^2 以上の強さが得られた。V-Ni-Cu系は $1150 \sim 1200^\circ\text{C}$ の高温でメタライズ処理を行った後、接合体に加工した試験片は $7 \sim 12 \text{ kgf/mm}^2$ のせん断強さが得られた。

なお、図中黒く塗りつぶした印の条件は図1で紹介した方法であり、メタライズ後ろう付によって接合体を得たものである。白抜き印の条件はメタライズとろう付を同時に行った。すなわち直接接合によって接合体を得た。4%Be-Cu合金は、すべて直接接合によって接合体を得たが $2.5 \sim 5 \text{ kgf/mm}^2$ のせん断強さしか得られなかった。

その他のインサート材としてNb, Mo, Ta, Niなど銀ろうに挟む方法でメタライズ処理を試みたが成功しなかった。これらの元素は、あらかじめ他の元素と

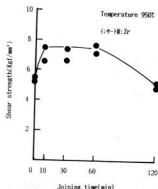


図4. せん断強さへの接合時間の影響

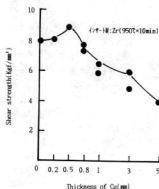


図5. せん断強さへの緩和材の厚さの影響

合金化し、融点を低下しておくか、銀ろうを使用せず、より高温で反応させる必要があると考えられる。しかしそのためには、筆者らが行った方法と比較しコスト高になるのであまり良い方法とは思えない。

図4は、せん断強さへの接合時間の影響を求めた結果であり、インサート材ではZr系で接合温度は 950°C 一定とした。接合時間は $10 \sim 60$ 分ではせん断強さへの影響はあまりない。120分の長時間では接合界面の脆化層の成長などによって強さの低下が認められた。

図5は、応力緩和材である銅の厚さによるせん断強さへの影響を求めた結果である。本実験では ZrO_2 セラミックスにおいてインサート材Zr、メタライズ条件 $950^\circ\text{C} \times 10$ 分間の場合、銅の厚さ 0.5 mm が最高のせ

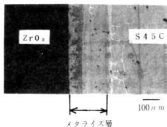


写真3. 接合体断面

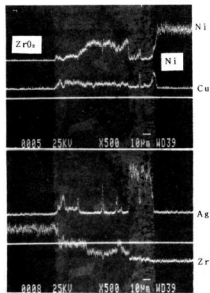


写真4. EDXによる分析結果

せん断強さを得ることができたが、他のデータ⁴⁾では0.8 mmとなっており0.5～1 mmの鋼の厚さが接合体に良い結果をもたらすと考えられる。熱応力緩和のために用いた軟質金属がある厚さ以上になると、接合強度は軟質金属自身の強さと等しくなるため強さの低下が生

じると考えられる。

950℃×10分間の条件でZrO₂同志の接合を行ったところTiをインサート材とした場合14kgf/mm²、Zrをインサート材とした場合16kgf/mm²の高いせん断強さが得られたので、更にせん断強さを大きくするためには1～2 mm程度のMo、インパーなどの低弾張材料を使用すれば、より大きなせん断強さの接合体が期待できる。

写真3はインサート材Zrでメタライズ後、ろう付により接合された接合体断面の顕微鏡写真である。

写真4は同一試料のZrO₂界面近傍のEDXによるライン分析結果である。ここで注目すべきはZrO₂界面でのZrリッチ相の存在であり、この反応相はZrO₂と考えられ、同界面をX線回折により観察した結果、ZrO₂の生成が認められた。また、Al₂O₃セラミックスに対し、同様にZrをインサート材とした場合も同界面のX線回折の結果ZrO₂が同定された。したがって接合にZrが深く関与していることが確認できた。

4. 結 言

主に銀ろうを用いて、ZrO₂セラミックスと金属との接合方法の確立を目標にインサート材を開発し、接合体のせん断強さにより評価を行い、これらの結果をまとめると次のとおりである。

- (1) インサート材Ti、Zr、V-Ni-Cuについては7～12kgf/mm²のせん断強さが得られた。
- (2) 熱応力緩和材の厚さは、0.5mm程度の鋼の厚さが有効である。

今後、工業的にセラミックスと金属の接合体の利用拡大をはかるためには、引張強さでのデータの積上げ、更にコスト的に安価なセラミックスのデータが望まれると考えられる。

最後に、株式会社兵英製作所・古満氏、石川氏、堀氏の多大な御協力に対し深く感謝いたします。

文 献

- 1) 岡本:金属学会報, Vol.25(1986)No.5, p417
- 2) 山田: , Vol.25(1986)No.5, p436
- 3) 欠野:窯業協会誌, Vol.95(1987)No.3, p357
- 4) 白兼:金属学会講演概要, (1985・10月), p200

チタン酸カリウムウイスカー強化アルミニウム合金複合材料の特性と応用

土取 功, 原 信彦, 新田 明, 中村和清, 原田秀文,* 工道幸嗣,* 井上康夫*

Fabrication of Potassium Titanate Whisker Reinforced Aluminum Alloy (AC4C) Composite and Their Tensile Properties

TSUCHITORI Isao, HARA Nobuhiko, NITTA Akira, NAKAMURA Kazukiyo, HARADA Hidefumi*, KUDO Koji* and INOUE Yasuo*

Synopsis

The modified potassium titanate whisker being stabler at higher temperature was developed recently. This whisker was only composed of $K_2O \cdot 6TiO_2$ which free from other chemical constitutions and, was used to make the preform to which was added small amount of inorganic binder. This preform was infiltrated aluminum alloy (AC4C) by squeeze casting, and the dimensional change of the composite was very small. Therefore, the $K_2O \cdot 6TiO_2$ whisker reinforced aluminum alloy composite with lower volume fraction of the whisker could be fabricated without large deformation and distortion. Some properties of the composites were investigated. Tensile and hardness tests, X-ray diffraction method and thermal analysis were carried out. In particular, it was found that this whisker began to react with aluminum over about 1123 K.

1. 緒 言

金属基複合材料(MMC: Metal Matrix Composite)の中で短繊維強化複合材料は、その製造および二次加工が長繊維強化複合材料に比べて比較的容易であることから、いろいろな特長を持った短繊維が開発されている¹⁾。これらの短繊維の中で、ウイスカーはその強度特性が優れていることから早くから、複合材料の強化基材としての利用が期待されてきた。最近、開発されているものはセラミックス系ウイスカーが多く、これらは焼結体としても優れた性質を示すものが多い。チタン酸カリウムウイスカーはそれらに比べて硬さが低い(モース硬度で4程度)のが特徴的であるが、なによりも安価に供給されることが予想されることから、一般機器等における強度部材や耐熱部材等複合材料の強化材としての応用が期待されている。チタン酸カリウムウイスカー強化のアルミニウム合金複合材料に関する研究例は幾つかみられるが^{2), 7)}、他の強化繊維の例に比べると非常に少ない。しかし、その中にチタン酸カリウムウイスカーは溶融アルミニウムと反応し、カリウムがウイスカーから消失することが報告されている²⁾。また、これを防止するため、粉末冶金的方法での製造実験⁷⁾やまた高圧凝固鑄造法では、きわめて短時間に複合化を完了する工夫も行われている³⁾。これら

の報告の中で高圧凝固鑄造による複合化を行った場合、いずれもチタン酸カリウムウイスカーの成形体(以下、プリフォームと呼ぶ)が金型壁面に押し付けられるような形で圧縮・変形を受け、ウイスカーの体積率(以下、VIと呼ぶ)がプリフォーム時の低い状態から50%を超えるような高いVIの複合材となることが示されている。これはチタン酸カリウムウイスカーのプリフォームに溶湯が浸透しにくい生じる現象であるとも指摘されている³⁾。しかし、このような方法では一定の複合化条件のもとで、複合材のウイスカーのVIをコントロールすることは技術的に難しいものと思われる。

最近、比較的、高温安定性を向上させたチタン酸カリウムウイスカーが開発されている。本研究ではこのウイスカーに無機系粘結材を少量添加し、プリフォームを作製した。このプリフォームを使って複合材料を製造し、強度特性について実験・検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材

実験に用いた強化繊維は表1のような特性を持つチタン酸カリウムウイスカー〔チタン工業純製、HT-300〕である。このチタン酸カリウムウイスカーは一般には $K_2O \cdot nTiO_2$ という化学式で表され、nは1~6までが知られているが、このうちの2種類以上が混在す

* チタン工業株式会社

る場合も多いとされている。¹⁰⁾ 今回用いたものは $n=6$ のもので、この組成以外はX線回折と組成分析結果からまったく含まれていないことが分かっている。写真1にこのウィスカーの走査電子顕微鏡写真を示す。このウィスカーを水の中で攪拌・分散させ、さらに無機系粘結材(シリカ系)を少量添加した後、 $35^W \times 100^L \times 150^D$ の型枠の中に入れ、吸引成形した。成形体を型内より取り出し、電気が $973\text{K} \times 1\text{hr}$ 焼成後、成形体の全ての表面をエメリー紙にて研磨し、表層を除去したものを複合用のプリフォームとした。このような方法でウィスカーの体積率が15%のものを作製した。なお、吸引成形後のウィスカーの場所による密度差を無くすため、成形体の上部と下部から5mm厚さの試料を切り出し、蛍光X線にてKとSiについてそのX線のカウント数が上下で2%以下となるように吸引成形および加圧を工夫、調整した。

一方、マトリックス材料としてアルミニウム合金鋳物材料であるAC4C (Si:7.4%, Fe:0.23%, Cu:0.02%, Mg:0.33%, Ca:0.0021%, Al:bal)を用いた。

2.2 複合材料の製造方法

複合化は図1に示すような装置を作製し、高圧凝固鋳造法で行った。なお、加圧には50ton万能試験機を利用した。複合材の作製手順としてはまず、金型を環状の電気が約723Kに予熱し、その金型に別の電気が973Kに予熱したプリフォーム($35 \times 32 \times 100^h$)を図のように長手方向を立てて型内にセットした。そしてすばやくアルミニウム合金溶湯(約1073K)を型内へ上端より2cmの位置まで注ぎ、加圧パンチを挿入後、クロスヘッドに取り付けたロッドを降下(450mm/min)させると共に、加圧ラムを上昇(200mm/min)させた。加圧が始まるとクロスヘッドは停止させ、加圧ラムだけ上昇させて約100MPa [全荷重で196KN (20tonf)]の圧力を加え、3分間保持した。その後、加圧を解除

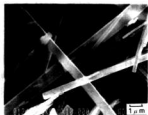


写真1. 実験に用いたチタン酸カリウムウィスカーのSEM写真

表1. チタン酸カリウムウィスカー (チタン工業製、HT-300) の性状

形状	針状結晶
化学組成	$\text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{TiO}_2$
繊維長(μm)	10~100
繊維径(μm)	0.4~1.5
真比重	3.3
嵩比重	0.3以下
含水率(%)	0.2以下
モース硬度*	4
融点($^{\circ}\text{C}$)	1350
引張強度(Kg/mm^2)*	500~700
弾性率(Kg/mm^2)*	28,000
比熱($\text{cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$)	0.22
電気抵抗($\Omega \cdot \text{cm}$)*	3.3×10^{15}
誘電率*	$\epsilon=3.5\sim3.7$
耐酸性*	Tan $\phi: 6\sim9$
耐アルカリ性*	10%酸に室温で安定 30%アルカリに沸点で安定

* 文献値。(メーカーカタログ値による)

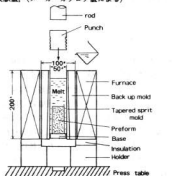


図1. 高圧凝固鋳造による複合化方法

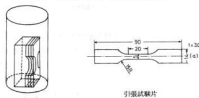


図2. 引張試験に用いた試験片形状と採取方法

し、バックアップ型から複合材を分割型ごと抜き出し、強制空冷後、複合材を取り出した。

2.3 試験方法

このようにして作られた複合材料を機械加工し、引張試験片を作成した。図2に引張試験片寸法および採

取方向を示す。引張試験はインストロン型引張試験機で引張速度1 mm/min. で試験した。高温での引張試験は熱電対先端を試験片上に接触させ、所定の温度になってから30分間保持後に試験した。

硬さ測定はマイクロピッカース硬さ計を用いて(荷重:300gf)試験した。

また、光学顕微鏡による複合材の組織観察を行い、この時の試料は研磨後、5% NaOH水溶液で軽く腐食した。その他、適宜EPMAによる局所分析やX線回折、示差熱分析(Ar気流雰囲気)等を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 複合化状態とX線回折、熱分析

複合化後の複合材の成形状態を写真2に示す。灰色部分が複合材でこれから大きな圧縮や変形を受けることなしに、ほとんど元のプリフォーム形状のままの複合材が得られていることが分かる。しかし、プリフォーム時の長さがちょうど100mmであったものが複合後は92mmに、わずかながら圧縮されていた。他の方向の寸法は32×35mmでこれはプリフォーム寸法と同一で全く変化していなかった。したがって加圧方向にこれらの寸法分だけ、わずかに均等圧縮されたものと思われる。このことから複合材のVfはプリフォーム時のVfにこの圧縮分だけを補正した値とした。

チタン酸カリウムウイスカーの複合化前後の状態を調べるため、X線回折を行った結果を図3に示す。複合材の方はウイスカーのVfが16.3%のため、ウイスカーの回折強度は全体的に低下しているが、ウイスカーに関しては非常によい対応がみられる。そして複合材ではこの $K_2O \cdot 6TiO_2$ とAl, Si以外の回折線はみられなかった。

今回、用いたチタン酸カリウムウイスカーは従来より、高温安定性の向上を目指したもので、本研究の複

合化条件では図3のX線回折の結果からもマトリックスのAC4C材に対するKの反応・溶出等は生じていないと考えられる。もし、そうであるなら、この複合材はより高い温度にてその反応・溶出等を起こす可能性が高く、その確認のため複合材の示差熱分析を行った。ここで用いた複合材は無機系粘結材を使用しないで複合化したものである。図4で、複合材は1123K付近から発熱を生じ始め1213Kにピークがみられ、なんらかの反応が生じていることが推察される。ここでの発熱現象はAC4C材中のAl以外の合金元素の影響も考えられる。しかし、別の試験で純アルミニウムとの複合材でも同じ温度付近で発熱が起きることを確かめており、ここでの発熱はこのウイスカーとAlとの反応による結果と考えられる。

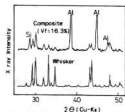


図3. $K_2O \cdot 6TiO_2$ ウイスカーと $K_2O \cdot 6TiO_2$ /AC4C複合材のX線回折図形

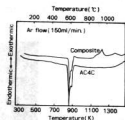


図4. $K_2O \cdot 6TiO_2$ ウイスカー/AC4C複合材とAC4C素材の示差熱分析

3.2 引張試験及び顕微鏡組織と硬さ

高温での引張試験の結果を図5に示す。複合材は室温で230~270MPaの引張強度で、AC4Cに比べ100MPa程度の強化作用が認められる。そして573Kでも170MPa程度の強さを保持しておりAC4C材との差も大きくなっている。

複合化後の各断面の顕微鏡組織を写真3に示す。これからウイスカーの特に著しい配向はみられないこ

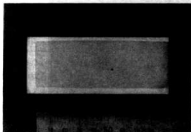


写真2. 高圧焼結による複合化後の断面マクロ写真

と分かる。また、表面付近と内部でも繊維密度に大きな差は認められない。

次に複合材の硬さ測定の結果を図6に示す。アルミニウム合金部がHv40~50に対し、複合材はそれぞれHv=100, Hv=130とウィスカーのVfに応じて硬くなっている。

特に、いずれのVfにおいても複合材の表面部が内部に比べて硬化しているのが注目される。この原因については後述する。

本研究では耐熱性のあるチタン酸カリウムウィスカーに少量の無機系粘結材を用いてプリフォームを成形し、アルミニウム合金と複合化したところ大きな圧縮や変形を生じることなく、ほとんどプリフォーム形状のままの複合材が得られた。しかも、ここで用いたチタン酸カリウムウィスカーは図4から1123K付近まではアルミニウムと反応しないものと考えられ、この温度付近までの条件での複合化ならばウィスカーの変質は防げるものと思われる。

チタン酸カリウムウィスカーのプリフォーム作成に吸引成形法を用いると複合材中のウィスカーが配向するとの報告⁸⁾もあるが、本実験では写真3にみられるようにウィスカーの特定方向の配向はあまりみられないようである。したがって、複合材の繊維配向は複合化時の圧縮変形による影響とも考えられる。

次に図6の複合材境界近くで硬さが高くなる原因についてはプリフォームのわずかな圧縮が浸透時の表面であるこの境界部に集中したのではないかと考えら

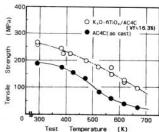


図5. K₂O-6TiO₂ウィスカー/AC4C複合材とAC4C素材の常温および高温引張強さ

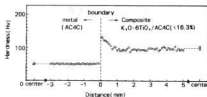


図6. マトリックス-複合材境界付近の硬さ分布

れる。しかし、プリフォームが大きく圧縮変形を受けた複合材では中心部から表面部に向かってVf、硬さも低下していくことが知られており⁸⁾またPhoto.3の表面部と中心付近の組織写真を比較しても大差なく、圧縮が境界部に集中したとは考えにくい。複合材のこ

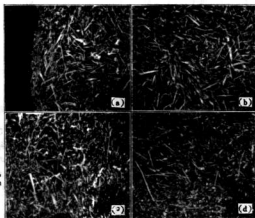
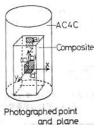


写真3. K₂O-6TiO₂ウィスカー/AC4C複合材の各断面のComp. 像

の境界付近をEPMAで分析すると、写真4に示すようにMgの富化部を生じており、このことが硬さ値が高くなった原因と考えられる。アルミナ・シリカ短繊維ではシリカ繊維に非晶質が多いとアルミニウム合金中のMgと反応しやすくMgO・SiO₂のスベニルを生じることが報告されており^{11), 12)} このことからMgの富化は使用した無機系粘結剤(シリカ系)の成分とAC4C材中のMgとの反応による結果と考えられる。しかも境界部の複合材側がアルミニウム合金部のMg濃度レベルより富化していたことから浸透時にAC4C材のMgがこのプリフォーム表面付近で過剰的作用を受けた可能性も考えられる。

このように短繊維、特にウイスキーでは複合材作製時(複合化時のみならず予熱前後の取扱いにおいて)にプリフォームがある程度の強度を持っていることが望ましく、そのためにはなんらかの方法で繊維を固定する必要がある。その方法がバインダーを使うことであり、繊維特性に悪影響を与えないようなバインダーを見い出すとともに適切なプリフォームを作製することが重要であると思われる。

4. 結 言

高温安定性を向上させたチタン酸カリウムウイスキーとAC4Cアルミニウム合金とで高圧凝固鑄造法によって複合化を試みた。そしてその複合過程ウイスキーの反応性、また得られた複合材の機械的性質等の測定を行い、実用材料としての特性把握を行った。その結果は次のようである。

- (1) チタン酸カリウムウイスキーを少量の無機系粘結剤によって固定することにより、プリフォーム時の形状・寸法から大きく変形することなしに、ほぼ所定形状の比較的低いVfの複合材を得ることができた。
- (2) 本実験で得られた複合材料の強さは室温で270MPa、高温でも各温度範囲で素材より100MPa強度の強化作用が認められた。
- (3) 本研究に用いたチタン酸カリウムウイスキーは1123K付近からアルミニウムと反応し始めることが分かった。
- (4) この複合材料の表面付近でアルミニウム合金元素中のマグネシウムの濃度レベルが高くなっていることが認められた。

最後にこの複合材料の応用については企業側で電気機械部品および自動車部品への応用を目指しており、現在、試作を行っているところである。

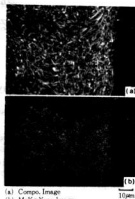


写真4. マトリックス-複合材境界付近のMgの濃度分布

文 献

- 1) 村上陽太郎：金属系複合材料の現状と将来(第108, 109回西山記念技術講座テキスト) p2
- 2) 福永秀春, 武市通文, 太田進啓：日本複合材料学会誌, 8 (1982), p66
- 3) T. IMAI, NISHIDA, M. YAMADA, H. MATSUBARA, I. SHIRAYANAGI: J. Mater. Sci. Letters, 6 (1987), p343
- 4) 福永秀春, 合田公一, 田端伸雄：材料, 34(1985), p64
- 5) 大泉真哉, 横 寛, 山田 享, 守谷 茂, 丹野肇, 小林誠也, 田中善衛：昭和61年度技術開発研究費補助事業普及講習会用テキスト(中小企業庁)
- 6) 菅沼克昭, 藤田輝昭, 新原浩一, 鈴木信幸：軽金属学会第75回秋大会講演要旨, (1988), p81
- 7) 今井恒道：未発表資料
- 8) 西田義則, 今井常道, 山田 守, 松原弘美, 白柳 裕：軽金属, 38(1988), p515
- 9) 杉本孝一：鉄と鋼, 60(1974), p2203
- 10) 藤木良規：新材料ガイドブック(金属臨時増刊号), (1975), p61(アグネ)
- 11) 久保雅洋, 田中淳夫, 加藤 秀：自動車技術会講演会前刷集, No.872(1987), p387
- 12) D. L. BATY, B. G. COLEMAN, J. P. PRICE : SME, EM87-573

溶射によるニューガラスの試作開発

野地英治, 原 信彦, 筒本隆博, 横山宏樹, 近藤博美*

A Study of Thermal Spraying of Glass and its Mechanical Properties.

NOJI Hideharu, HARA Nobuhiko, TSUTSUMOTO Takahiro, YOKOYAMA Hiroki and KONDO Hiromi

It has long been considered difficult to obtain good coatings of glass materials by thermal spraying. In the present paper, glass materials for flame spraying and spraying conditions for obtaining high quality glass coatings by thermal spraying were studied, and some tests were performed to evaluate the properties of these coatings. It was found that good coatings with no crack and porosity could be obtained on preheated (550-700°C) substrates by using conventional flame spraying apparatus, and these coatings showed good adhesive strength and high resistance against thermal shock, sea water corrosion and abrasive wear.

1. 緒 言

従来から、セラミックスやサーメット、金属、樹脂などは、溶射用材料として広く工業的に用いられている。しかし、ガラスの溶射は一般に非常に難しいとされており、論文も少なく、確立された技術はまだない。¹⁻⁴⁾そこで、溶射による高品質なガラス皮膜を得るため、溶射用ガラス材料の試作および溶射方法に関する研究を行った。また、ガラス皮膜の性能を評価するため、密着性試験、熱衝撃試験、衝撃試験、摩耗試験などの各種性能試験を行った。

その結果、通常の粉末式フレーム溶射装置で、ポロシティーや割れなどの欠陥が全くないガラス皮膜を得ることに成功し、皮膜の性能も非常に優れていることが判明した。ガラス溶射が表面処理法の一つとして、各種工業製品に応用が期待出来る。

2. 実験方法

2.1 ガラス材料

溶射用ガラス材料として重要な要素は、軟化点、基材との熱膨張係数の差およびガラスの流動性などがあげられる。そのような観点から、ガラス材料の化学成分を検討する必要がある。たとえばSiO₂を減らしたり、Na₂O、K₂O、B₂O₃、PbOなどを増加させると、軟化点を低くすることが可能である。またCaOやMnO₂は熔融ガラスの流動性や耐食性を改善するのに役立つ、CaOは付着力も高める。⁵⁾ 残留応力を低減するために、ガラスの熱膨張係数は、可能な限り母材の膨張係数と合わせる事が基本である。

それらの事を考慮して、われわれは多くのガラス材料を試作した。本研究においては、その中で表1に示すような3種類のガラス材料を実験に用いた。

2.2 溶射条件

溶射装置はSNMI社(フランス)製のJET-PMRを用いた。一般にガラスの溶射は、フレームの長さを長くし、粒子のフレーム中への滞留時間を長くした方がよい。そのためにアセチレンの流量を多くし、フレーム速度を遅くする。

表1. ガラス材料の化学成分および転位点、軟化点

試料	化 学 成 分 (wt. %)											転位点 (°C)	軟化点 (°C)	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	ZrO ₂	ZnO	CoO	CuO	NiO	Na ₂ O	K ₂ O			B ₂ O ₃
A	53.76	1.57	3.85	0.99	0.60	0.99	0.34	ND	ND	18.8	1.6	14.3	455	496
B	44.16	2.70	3.85	1.00	1.48	1.05	0.35	ND	ND	17.2	1.7	20.5	447	508
C	33.72	3.91	9.31	10.4	ND	0.09	0.44	0.58	1.49	—	—	—	472	523

* 独日本鑄造技術研究所

また基材の予熱は密着を良くするために不可欠であり、予熱温度はガラス材料の種類によって大きく異なる。本研究では600℃～700℃の予熱を行った。溶射条件は表2に示すとおりである。また本研究に用いた基板は軟鋼とし、そのほとんどはブラスト処理を行ったが、一部ブラストを行っていない基板も加えた。いずれの場合も、下地溶射は行わなかった。

表2. 溶射条件

項目	条件
酸素流量	40ℓ/min
アセチレン流量	21ℓ/min
パウダー供給圧	0.8bar
エアー圧	0.4bar
溶射距離	180～200mm

2.3 ガラス皮膜の評価

皮膜のポロシティーは3.5%食塩水に3日間浸漬後のガラス表面の錆の有無および断面の光学顕微鏡観察によって測定するとともに基板との密着機構はEPMAにより評価した。

密着強度はJISH8664(肉盛溶射製品試験方法)による付着力試験により求めた。また熱膨張は熱膨張測定装置によって測定した。

耐衝撃性はJISR4301(ほうろう製品の品質基準)に基づく鋼球落下試験により、割れの有無、大きさ、はく離状態を観察した。鋼球の重量は200g(36.51mmφ)とし、落下高さは50cm～150cmまで可変した。軟鋼板の厚さは3mmとし、皮膜厚さは0.6mm～0.7mmとした。

皮膜の耐熱衝撃性は、試験片を150℃～400℃の各温度の炉中に20分間保持した後、20℃の水中に急冷する熱サイクル試験を10回繰り返した後のガラス皮膜内の割れや、はく離の存在から評価した。

摩耗試験はJISH8615に準ずる平面研削摩耗試験機で評価した。

3. 実験結果及び考察

3.1 皮膜の欠陥

3.5%食塩水に浸漬後のガラス表面の錆の有無および断面の光学顕微鏡観察の結果、本研究に用いた3種類のガラス皮膜には、すべてポロシティーや割れ、はく離などの欠陥は認められず、全く無欠陥な皮膜を得

ることが出来た。写真1に皮膜断面の一例を示す。

ガラス粒子は、予熱された基板に付着した端からぬれ始め、完全に熔融する。この機構は他のセラミックスや金属、サメットなどの材料の溶射とは全く異なっており、ポロシティーが全くなく、かつ平滑な表面を呈する皮膜が簡単に得られる。このことはガラス溶射の大きな特徴の一つである。

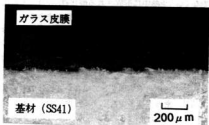


写真1. ガラス皮膜の断面写真

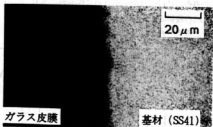


写真2. EPMAによる断面X線分析(FaKa)

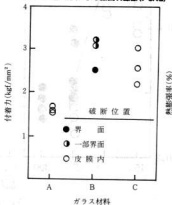


図1. ガラス皮膜の密着強度試験結果

3.2 密着機構および密着強度

ガラス皮膜と母材の密着機構は、基板表面の凸凹によるアンカー効果と、酸化鉄を媒体とした化学的結合が主な要因であると考えられている⁶⁾。EPMAによる界面の分析を行った結果、写真1に示すように、ガラス皮膜へのFeの拡散が確認された。このことは、ガラス皮膜の密着機構がプラストによるアンカー効果だけでなく、予熱中に形成される酸化鉄中のFeとの化学的結合が重要な役割を演じることを意味する。

密着強度の試験結果を図1に示す。また、引張試験による破断位置は、サンプルAの一部を除いて、ガラス皮膜内から破断していた結果からも、基板との強固な結合が推定できる。

さらに、プラスト処理をしていない基板に溶射を行った結果、密着力は多少低下する程度で何の問題もなく、プラスト処理を行ったものと同じように、簡単に溶射が可能である。この点もガラス溶射の特徴の一つである。図2にガラス皮膜の熱膨張率を示す。皮膜の熱膨張率は基板より少し小さめに作られており、皮膜に圧縮の残留応力が残り、耐衝撃性の改善にも役立つものと考えられる。

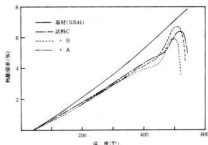


図2. ガラス皮膜の熱膨張率

3.3 耐衝撃および耐熱衝撃性

鋼球落下試験法による耐衝撃性の試験結果を、図3に示す。図中の各ポイントは、8個の繰り返し実験の平均値を示す。ほうろう製品の品質基準と比較すると、ガラス溶射皮膜の衝撃性は非常に良く、たとえば、150 cmの高さからの鋼球落下でも、せいぜい3 mmφの割れが生じる程度で、すべての試験片において、はく離は全く生じない。

耐熱衝撃試験の結果を図4に示す。同図は10回の急

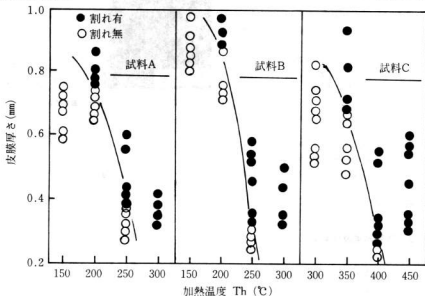


図4. ガラス皮膜の熱衝撃試験結果

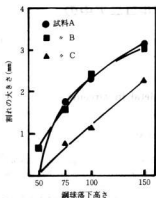


図3. 鋼球(200g)落下による衝撃試験結果

熱急冷の繰り返し熱サイクルを加えた後のクラック発生の有無を、皮膜厚さとの関連で整理したものである。皮膜厚さは、耐熱衝撃性に顕著な影響を及ぼし、薄い皮膜ほど耐熱衝撃性が優れている。サンプルAとBは、加熱温度が150℃を超えると、膜厚によっては割れ始める可能性がある。しかし、サンプルCは300℃以下では割れは全く生じない。この結果はJISR4301のほうう製品の品質基準を相当上まわる。

さらに、何かのアクシデントで皮膜に割れやはく離が生じた場合は、もう一度加熱するか再溶射を行えば、容易に欠陥の補修ができる特長も有する。

3.4 硬さおよび耐摩耗性

表3に示す硬さ試験結果から、3種類のガラス皮膜は比較的硬い。しかし、ほとんどの試料は硬さ測定中の圧痕部から割れが発生する。このもろさにもかかわらず、これらガラス皮膜は高い耐衝撃性と耐熱衝撃性を示すのは、皮膜に圧縮の残留応力が残り、軟弱基材に保護されていることのおかげである。⁷⁾

摩耗試験の一例として、平面研削摩耗試験の結果を図5に示す。図中にはプラズマ溶射された3種類のセラミックス皮膜の結果も、比較として示している。この結果、3種類のガラス材料の中でサンプルAが最も平面研削摩耗に強く、プラズマ溶射したアルミナー40%チタニアとほぼ同一の耐摩耗性を有し、チタニア皮膜よりも優れている。

表3. ガラス皮膜の硬さ試験結果

試料	A	B	C
Hv (0.3)	779	764	614

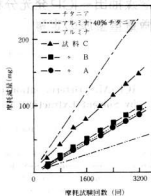


図5. 平面研削摩耗試験結果

4. 結 言

溶射による高品質なガラス皮膜を得ることを目的として、溶射用ガラス材料の試作、溶射方法の検討、皮膜の各種性能評価を行い、次の様な結果が得られた。

- (1) 基材に600℃から700℃の予熱を加えることにより、通常の粉末式フレーム溶射装置で、ボロシティーなどの欠陥のまったくない高品質なガラス皮膜が得られた。
- (2) ガラス溶射の密着機構は、アンカー効果以外に、基材表面の酸化膜中のFeがガラス皮膜中に拡散する化学結合により、強固に密着し、プラストなしでも容易に溶射が可能である。
- (3) ガラス皮膜の耐衝撃性、耐熱衝撃性、耐摩耗性は非常に優れている。

文 献

- 1-3) 加藤 健: 日本溶射協会, 36回, 38回, 40回学術講演大会論文集, p1~, p29~, p59
- 4) 加藤 健: 日本溶射協会誌, Vol.19, No.1 (1982), p681~
- 5) 沢井郁太郎: ガラスホウロウ, 日刊工業新聞社 (1959), p146~
- 6) 黒河照天他: 日本金属学会報, Vol.24, No.2 (1985), p121~
- 7) 成瀬 省: ガラス工学, 共立出版(1971), p172~

溶媒抽出-ICP発光分析法によるジルコニア中の微量重金属の定量*

渡部英雄, 田谷征雄, 相原裕人**

ICP-AES Determination of Trace Heavy Metal in Zirconia by Solvent Extraction.

WATANABE Hideo, TADANI Isao and AIHARA Masato

ICP-AES determination of trace vanadium in zirconia was investigated by solvent extraction with potassium xanthates. Vanadium reacts with potassium xanthates [KRX: R=alkyl groups, viz. ethyl (Et), propyl (Pr) and butyl (Bu)] to form complexes extractable into organic solvents as well as molybdenum reported in our previous paper.

The application of this extraction method with xylene in ICP-AES determination of trace vanadium was investigated. With this method, the detection limit (3σ) was 0.48 ng cm^{-3} in xylene phase and the relative standard deviation after each ten runs ranges from 1.89 to 1.97% in the determination of 25, 50 and $100 \mu\text{g}$ of vanadium.

Among the KRX examined, butyl derivative (KBuX) was found to be the most suitable complexing reagent, the optimum pH region is 0.09 to 2.5 and KBuX concentration should be above 0.08 mol dm^{-3} in aqueous phase for quantitative extraction of V-RX complexes into xylene.

1mg of Na(I), K(I), Mg(II), Ca(II), Ni(II), Mn(II), Al(III), Fe(III), Ti(IV), 10mg of Y(III) and 40mg of Zr(IV) were tolerable, respectively.

The results of determination of vanadium in zirconias were in excellent agreement with standard addition method.

1. 緒 言

ジルコニアはセンサーや耐火断熱材などに使用されているが、高強度、高靱性のエンジニアリングセラミックスとしても期待されている。ジルコニアの高性能焼結体を得るためには、原料中の微量成分の管理が必要である。前報で、セラミックス中の微量のモリブデンの定量法について報告¹⁾したが、本報告では、微量のバナジウムの定量法について検討した。

各種試料中の微量のバナジウムの定量法には、N-BPHA法²⁾、PAR法³⁾及びジフェニルアミンスルホン酸塩⁴⁾を用いる吸光度法があるが、実試料への応用では、共存物質の影響を考慮する必要がある。

著者らは、以前から合成したキサントゲン酸塩類を用いる微量金属の溶媒抽出-ICP発光分析法について報告⁵⁻⁷⁾したが、バナジウムもこれらの金属と同様錯体を形成し、有機溶媒中に抽出できることが判明したため、溶媒抽出-ICP発光分析法について、基礎的な諸条件を検討し、ジルコニア中の微量のバナジウムの定量に応用した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 試 薬

バナジウム標準溶液：市販のAAS用標準溶液を用い、使用に際しては純水で目的の濃度に希釈した。

キサントゲン酸塩類：前報⁵⁾と同様に合成及び精製したものを用いた。

酒石酸溶液：10W/V%酒石酸溶液を調整した。

その他：市販試薬特級をそのまま用いた。

2.2 装 置

ICP-AES装置は島津製作所製ICPS-100V型を用い、振り混ぜ器はイワキ製V-Dを用いた。pHは東亜電波工業製HM20B型を用いて測定した。

2.3 抽出操作

50ml ビーカーに $10 \mu\text{g}$ までのバナジウムを含む試料溶液を採り、10W/V%酒石酸溶液10mlを添加し、希塩酸又はアンモニア水を用いてpHを約2.0に調整する。この溶液を100mlのスリーブ型分液漏斗に入れ、10W/V%ブチルキサントゲン酸カリウム(以下KBuXと略記)溶液10mlを加えた。純水を加えて水相容量を一定量(40ml)とし、生成したバナジウム-ゼンセート錯体をキシレン10.0mlで5分間振り混ぜて抽出した。

* 分析化学会第48回分析化学討論会の一部発表
** 近畿大学工学部

水相と分離したキシレン相を直接ICP-AESに噴霧して発光強度を測定した。またブランクについても同様に操作し、それらの差を真の発光強度とした。

3. 実験結果と考察

3.1 測定条件の検討

2.3で抽出した有機相中のバナジウム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はバナジウム濃度 $1.96 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (バナジウム濃度 1 ppm) とし、高周波電力を 1.0KW ~ 1.4KW まで変化させ、測光位置をコイルの先端からの距離を 7mm ~ 22mm 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)を求めた結果である。図1から分かるように、高周波電力が小さくなるとS/B比は上昇し、1.0KWの時最もS/B比は高い。また測光位置はコイルの先端からの距離13mmが最もS/B比は高い。またアルゴンガス流量について検討したが、キャリアガス流量 0.6 ℓ/min の場合、最もS/B比が高く、プラズマガス流量、クーラントガス流量は 1.6 ℓ/min 、16.0 ℓ/min が最適であった。以上の結果、バナジウムの最適な測定条件を表1に示した。

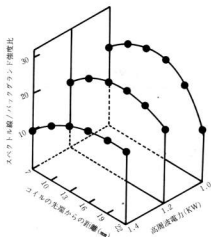


図1. 高周波電力と測光位置の影響
 $[V^{5+}] : 1.96 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

表1. バナジウムの測定条件

高周波周波数	27.12MHz
高周波電力	1.0KW
アルゴンガス流量	
キャリアガス	0.6 ℓ/min
プラズマガス	1.6 ℓ/min
クーラントガス	16.0 ℓ/min
測光位置	コイルの上部13mm
積分時間	5秒
測定波長	309.31nm

3.2 pHの影響

バナジウム抽出におけるpHの影響について検討した結果を図2に示す。図2は10%KBuX 10ml添加したものであるが、バナジウム-ゼンセート錯体はpHが高くなると発光強度が高くなり、pH1.2から2.7で最大かつ一定の発光強度が得られ、それ以上では発光強度は低下した。本法を実試料であるジルコニアに適用す

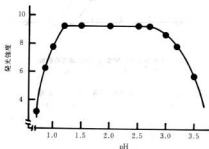


図2. pHの影響
 $[V^{5+}] : 1.96 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

る場合、多量のジルコニウムの共存下で分析することになるがpHが高くなるとZr(OH)₄の沈殿を生じるため、ジルコニウムのマスキング剤として10W/V%酒石酸溶液10mlを添加した。

3.3 キサントゲン酸塩類の添加濃度の影響

バナジウム量10 μg に対して、エチルキサントゲン酸カリウム、プロピルキサントゲン酸カリウム(以下KETX, KPrXと略記)及びKBuXの水相への添加濃度の影響について検討した結果を図3に示す。KBuXは

0.08モル(水溶液濃度で1.5%)以上0.3モル(水溶液濃度で5.6%)の範囲で、KPrXは0.1モル(水溶液濃度で1.7%)以上0.3モル(水溶液濃度で5.2%)の範囲で、またKEtXは0.3モル(水溶液濃度で4.8%)以上でそれぞれ最大一定の発光強度を示し、アルキル基の炭素数の増加と共に、低濃度の添加で抽出が可能であった。以上の結果、低濃度から高濃度まで同一の発光強度が得られるKBuXが本法での抽出試薬として最適であると考へ、抽出系への添加量は10W/V%溶液10mlとした。

なお水相と分離後の抽出化学種は少くとも120分以上は安定であり、分析操作上問題はなかった。

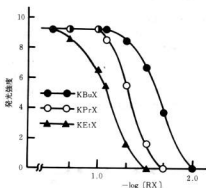


図3. キサントゲン酸塩類の添加濃度の影響
(V^{5+}): $1.96 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$)

3.4 バナジウムの原子価の違いによる影響

バナジウムの原子価の違いによる抽出挙動について検討した。五酸化バナジウム、硫酸バナジル、三塩化バナジウムを塩酸又は純水で溶解し、JISによる硫酸第一鉄アンモニウム滴定法⁸⁾でバナジウムを定量し、一定濃度のバナジウム溶液を調整した。 V^{3+} 、 V^{4+} および V^{5+} 溶液をそれぞれ10 μg とり、2,3の抽出操作に従ってバナジウム-ゼンセートを抽出して発光強度を測定した結果、発光強度は同一であり、原子価による差は認められなかった。

3.5 陽イオンの影響

本法を実試料であるジルコニア中の微量バナジウムの量に応用する場合、共存が予想される陽イオンについて、その影響を検討した結果を表2に示す。表2は主成分の影響を検討したものであるが、バナジウム量10 $\mu\text{g}/40\text{ml}$ とし、イットリウムは10mgまで、ジル

コニウムについては100mgまで検討したが、ジルコニウムは40mgまでの共存は影響ないが、それ以上に共存すると負の干渉を示し、100mg共存するとバナジウムの回収率は48.5%となり、著しい負の干渉を示した。以上の結果、実試料の分析を行う場合ジルコニウムの共存量は40mg以下になるように調整する必要がある。

表2. 陽イオンの影響(主成分の影響)

陽イオンの共存量 (mg)	Vの検出量 (μg)	Vの回収率 (%)
Y (III) 1	10.01	100.1
◇ 5	10.11	101.1
◇ 10	10.08	100.8
Zr (IV) 1	9.99	99.9
◇ 20	9.95	99.5
◇ 40	9.89	98.9
◇ 60	8.01	80.1
◇ 80	6.45	64.5
◇ 100	4.85	48.5

同様に比較的共存量が少ない陽イオンの影響について検討した結果を表3に示す。表3はバナジウム量10 $\mu\text{g}/40\text{ml}$ とし、各種陽イオンを100倍量の1mg共存させて検討したものであるが、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、マンガン、ニッケル、亜鉛、アルミニウム、鉄、チタン及びクロムの共存は、全く影響なかった。

表3. 陽イオンの影響

陽イオン	Vの検出量 (μg)	Vの回収率 (%)
Na (I)	10.01	100.1
K (I)	10.07	100.7
Mg (II)	9.90	99.0
Ca (II)	10.06	100.6
Mn (II)	9.97	99.7
Ni (II)	10.11	101.1
Zn (II)	9.89	98.9
Al (III)	9.96	99.6
Fe (III)	10.12	101.2
Ti (IV)	9.90	99.0
Cr (VI)	10.01	100.1

3.6 陰イオンの影響

実試料のジルコニアを分析する場合、試料の分解に無機酸を使用するため、共存が予想される陰イオンの影響を検討した結果を表4に示す。表4はバナジウム量10 $\mu\text{g}/40\text{m}\ell$ とし、陰イオンの共存量を100~1,000mgまで共存させてその影響を検討したが、塩素イオン、硝酸イオン、過塩素酸イオン及び硫酸イオンの共存は、バナジウムの回収率には全く影響なかった。

表4. 陰イオンの影響

陰イオンの共存量(mg)	Vの検出量(μg)	Vの回収率(%)
Cl^- 100	10.10	101.0
× 1,000	10.05	100.5
NO_3^- 100	9.98	99.8
× 1,000	10.02	100.2
ClO_4^- 100	10.01	100.1
× 1,000	9.97	99.7
SO_4^{2-} 100	9.94	99.4
× 1,000	9.96	99.6

3.7 バナジウムの定量精度

本法におけるバナジウムの定量精度について検討した結果を表5に示した。バナジウム量を任意の3段階の一定量をとり、それぞれ10回の繰り返し定量を行い定量結果から母平均、標準偏差、相対標準偏差を計算した。相対標準偏差はいずれも2%以内であり、精度良く定量できることが判明した。

表5. バナジウムの定量精度

バナジウム採取量(μg)	平均値(μg)	標準偏差(μg)	相対標準偏差(%)
2.5	2.49	0.049	1.97
5.0	5.08	0.098	1.93
10.0	10.14	0.192	1.89

3.8 ジルコニア中の微量のバナジウムの定量

試料0.5gをテフロン加圧分解容器に精秤し、フッ化水素酸(1+1)2.5m ℓ 塩酸2.5m ℓ を加え、150℃に調整した乾燥器に5時間入れて分解する。放冷後溶液をテフロンビーカーに入れ、過塩素酸5m ℓ を加えて良く振り混ぜたのち、加熱して過塩素酸白煙を発生させる。冷却後塩酸10m ℓ 、純水30m ℓ を加えて加熱溶解し、100m ℓ とする。この試料溶液を一定量(バナジウム量とし

て10 μg 以下)を50m ℓ のビーカーに採り、2.3に従ってキシレン相に抽出した。キシレン相をICP-AESに直接供試して発光強度を測定し、あらかじめ作成した検量線よりバナジウム量を求めた結果を表6に示す。本法と標準添加法を併記したが、二法での定量値には差がなく、十分実試料に適用できるものとする。なおバナジウム濃度0, 0.1, 0.5, 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}\ell$ について検量線を作成したところ、相関係数は0.9999であり、この時のバナジウムの検出下限(3 σ)は0.48ng $\cdot\text{cm}^{-3}$ (n=10)であった。

表6. ジルコニア中のバナジウムの定量結果

試料	本法($\mu\text{g}/\text{g}$)	標準添加法($\mu\text{g}/\text{g}$) [*]
A	7.5	27.3
B	6.2	26.5
C	9.2	28.9
D	1.5	21.9

^{*} バナジウム添加量: 20 μg

4. 結 言

キサントゲン酸塩を用いるバナジウムの溶媒抽出-ICP発光分析法について検討した結果、下記のことが判明した。

- 1) バナジウム-ゼンセート錯体はpH1.2~2.7で定量的に抽出される。
- 2) 抽出試薬を合成したため常時新しい試薬を使用するので、試薬の変質がなく、定量精度は良好であった。
- 3) 本法をジルコニア中の微量バナジウムの定量に応用した結果十分適用できるため、今後さらに他のセラミックスの分析に応用をはかりたい。

文 献

- 1) 渡部英雄他: 広西工技報告, No.31, 40(1988)
- 2) D. E. Ryan: Analyst, **85**, 569(1960)
- 3) 四条好雄他: 分析化学, **14**, 115(1965)
- 4) 深沢 力他: 分析化学, **5**, 336(1956)
- 5) 渡部英雄他: 分析化学会第36年会講演要旨集, p 737(1987)
- 6) 渡部英雄他: 分析化学, **37**, 180(1988)
- 7) 渡部英雄他: 第49回分析化学討論会講演要旨集, p 353(1988)
- 8) JIS G1221(1981)

イオンプレーティングによる成膜時の基板温度測定 of 検討

梶岡 秀, 丸下清志, 尾辻康博,* 川下安司**

Measuring of Substrate Temperature in Film Formation by Ion Plating

KAJIOKA Hideshi, MARUSHITA Kiyoshi, OSTUJI Yasuhiro* and KAWASHIMO Yasushi**

It is not so easy to measure the substrate temperature in deposition by ion plating. The substrate temperature in deposition by vacuum deposition is measured with a thermocouple directly connected with the substrate, but for ion plating the thermocouple has to be insulated from the substrate, because the voltage is applied and the Ti^+ bombard the thermocouple. Thus it is difficult to measure the substrate temperature accurately. An easier method of measuring substrate temperature is also desirable for practical application. Noting that the hardness of quenched Tool Steels is softened by tempering temperature, we studied (1) the relationships between hardness and tempering temperature, (2) the relationships between the substrate temperature and the operation time for each operation parameter using thermocouple inserted in Tool Steel. We also compared the measured values of the two methods. We found that it was possible to estimate temperature by decreasing hardness of Tool Steels within $\pm 25^\circ C$. In all cases, the temperatures measured by thermocouple were lower than those by the other method, but it was possible to use the Tool Steel as a sensor for measuring substrate temperature.

1. 緒 言

イオンプレーティング時の基板温度測定は真空蒸着に比べて難しくなる。真空蒸着時には熱電対を基板に接合して温度を測定できるが、イオンプレーティングでは基板にマイナスのバイアス電圧をかけるために熱電対は絶縁する必要がある。また、イオンが飛び込まないように熱電対全体を完全に絶縁する必要がある。そのため熱電対は試料に穴を開け、熱電対を挿入して測定しなければならないため、薄板試料の温度測定は非常に困難となる。また、実際に成膜する場合、試料を回転することも多く、その場合熱電対を用いての基板温度測定は不可能である。

そのため、もっと手軽に基板温度を測定する方法が生産現場から要求されていた。焼き入れた工具鋼が焼き戻し温度によって硬さが低下するという性質に着目し、逆にこの性質を利用して温度測定センサーとして利用できないかと考え、実験的に検討したので報告する。

2. 実験方法

炭素工具鋼(SK5)、高速度工具鋼(SKH4)は市販品の同一ロットの15mm角材を用いた。これをJISで

決められた長さ20mmと質量効果を検討するために10mm、4mmに切断し、試料とした。20mmのものは熱電対用の穴($\phi 2$ mm, 深さ10mm)を開けた。これらの試料は温度 $800 \pm 20^\circ C$ 、15分間保持した後に水焼き入れた。全試料をロックウェルCスケール(HRC)で硬さ測定し完全に焼き入れされたか否かを確認した。硬さ測定は以下全てHRCで5点測定しその平均値を採用した。

SK5の焼き戻しは溶融塩(45% $NaNO_3$, 55% KNO_3 および46% $NaNO_3$, 54% KNO_3)を用いて、CA熱電対で測定しながら温度を一定に保持した後、試料を浸漬し、一定時間後に取り出し硬さを測定した。SKH4の焼き入れ及び焼き戻しは外注した。

表1の基板温度上昇因子別に、20mm長さの試料に $\phi 1.6$ mmのシースCA熱電対を挿入して、真空容器とも絶縁して温度の経時変化を測定した。

イオンプレーティング操作条件は表1に示した。操作手順は、真空引きした後、Arイオンボンバードで基板表面をクリーニングしながら同時にヒーターで基板を加熱する。10分間ボンバードした後、電子銃をスタートさせ、つばのTiの溶かし込みを開始し均一に溶けた5分後にシャッターをオープンする。ヒーター加熱はシャッターオープンまで続け、その後イオンプレーティング開始となる。

* セーラー万年筆

** 神港精機

表1. 基板温度上昇因子と操作条件

基板温度上昇因子	操作条件
イオンボンバード	Ar ガス圧 6×10^{-2} Torr, 基板電圧600V, 基板電流1.4~0.6A
基板加熱用ヒーター	3.8kW(210A), 1.7kW(140A), 7.0kW(280A)
電子銃	加速電圧10kV, エミッション電流300mA, 400mA, 500mA
イオン化電極電流	10A, 20A, 60A (エミッション電流300mA, 400mA, 500mAに相当)
(電子銃パワーと関連)	
基板電圧	-300V
基板距離	350mm, 170mm, 500mm

3. 結果と考察

3.1 焼き入れ焼き戻し曲線の作成

焼き戻し温度をパラメーターとした焼き戻し時間と硬さの関係を図1に示す。いずれの戻し温度でも5分以内で硬さが急激に低下する。一方その後は時間経過と共にわずかにしか低下しない。また、いずれの試料によっても硬さのパラツキが小さいことから質量効果はほとんど見られない。短時間で硬さが変化しその後はほぼ一定の硬さを示す特性は、センサーとして用いるには都合がよい。即ち5分間のキープ時間で戻し温度が推定できることになるので、温度変化の追従性はかなり良いと思われる。

先に求めた戻し時間と硬さの関係から、戻し時間30分での硬さと戻し温度との関係をプロットして図2に示す。JISの曲線とほぼ同様な曲線を示した¹⁾。戻し時

間10分では焼き入れ焼き戻し曲線よりわずかに上側にシフトし、60分では下側にわずかにシフトする。この時間内では測定値のパラツキを考慮しても、硬さ測定値から±25℃内で温度を見積られることが分かった。

SKH4はSK5に比しパラツキが大きかったが、JISに示された曲線と同様な曲線を示した¹⁾。

3.2 基板温度の経時変化

基板温度とボンバードおよびヒーター加熱による時間変化を図3に示す。ボンバードによる基板温度上昇は約5分までは直線部の傾斜(温度上昇速度)は大きく、約90℃に達するとほぼ飽和し、その後の上昇速度は小さく80分後でも140℃までしか上昇しない。ヒーターによる基板温度の上昇は、投入パワーが大きくなれば上昇速度は大きくなり、直線部分の上昇速度は投入パワーにほぼ比例している。投入パワーが大きいと短い時間で基板温度が飽和し、小さくなると飽和温度は低

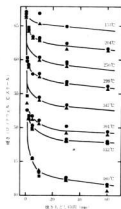


図1. 炭素工具鋼(SK5)の硬さ変化と焼きもどし時間の関係

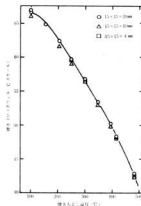


図2. 炭素工具鋼(SK5)の焼き入れ焼きもどし曲線

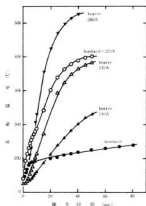


図3. 基板温度とイオンボンバードおよびヒーター加熱の関係

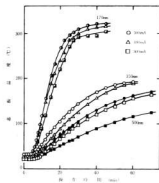


図4. 基板温度と電子銃パワーおよび基板距離の関係

下するが、飽和に達する時間が長くなる。210Aヒーター加熱とボンバードを組み合わせた場合、最初の5分ぐらいまではボンバードの効果がみられ上昇速度は大きくなっている。しかし、それ以上の時間になるとボンバード効果は小さくなる。標準のイオンブレイティング操作ではボンバードは10分のみであり、その時までには約190°Cに上昇する。

次に基板温度と電子銃パワーおよび基板距離の関係を図4に示す。Tiの真空蒸着時の基板温度の変化を見たものである。この場合の基板温度上昇は主にるつばからの熱放射に起因する。熱放射量は距離の2乗に反

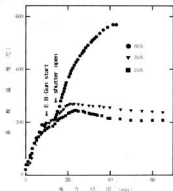


図5. イオンブレイティング時の基板温度変化と操作時間の関係

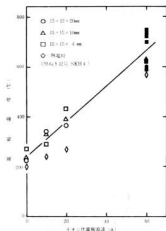


図6. 最高基板温度とイオン化電極電流の関係

比例するが、初期の直線部分の傾きは、いずれのエミッション電流でも距離の2乗の反比例値とはほぼ対応している。基板距離170mmでは約30分以後で上昇速度は急激に低下する。基板距離350mm, 500mmでは操作時間と共に段々と低下する傾向を示す。これらの最高基板温度は表2にまとめて示した。

イオンブレイティング時の基板温度の経時変化は図5に示す。イオン化電極電流60Aではイオンブレイティングを開始してから基板温度は急激に上昇するが、10A, 20Aではボンバードとヒーター加熱による基板温度以上にわずかに上昇するに過ぎず、ブレイティン

グ時間が長くなると上昇するよりもわずかに低下する傾向がみられ、その後は一定となる。

表2. 硬さ測定と熱電対による基板温度測定値の比較

操作条件		熱電対	SK 5	温度差 (℃)	
ヒーター	210A	10 min	130	175	45
	210A	50 min	382	442	60
	140A	60 min	262	303	41
	280A	40 min	523	542	19
ボンバード		80 min	140	188	48
ヒーター	210A	10 min	191	223	32
ボンバード	210A	50 min	400	465	65
基板距離 350mm	500mA	60 min	192	225	33
	400mA	60 min	189	220	31
	300mA	80 min	167	200	33
基板距離 170mm	500mA	45 min	321	423	102
	400mA	45 min	315	397	82
	300mA	45 min	304	353	49

3.3 熱電対と工具鋼による測定温度差

基板の最高温度とイオン化電極電流の関係を図6に示す。イオン化電極電流の増加に従ってほぼ直線的に基板温度は増加する。このことはTiイオンの衝撃による温度上昇の効果が非常に大きいことを示している。試料の成膜面、裏面、側面でバラツキ程度以上の硬さの差異は見られないこと、また、試料サイズによる硬さの系統的な差異は認められないことから質量効果は無視できることが分かった。

イオンブレーティングおよび基板温度上昇因子別の操作時間による基板温度変化はすでに紹介したが、時間と共に増加し飽和傾向を示すこと、また、工具鋼は10分間ではほぼその温度に対応した硬さに低下することから、工具鋼の硬さ変化から基板の到達最高温度を見積ることは妥当と考えられる。熱電対による測定値は、

熱電対を挿入した同一の長さ20mmの工具鋼の硬さ測定から求めた温度より、いずれの場合も40~100℃低い値を示す。表2に示した値もほぼ同様な結果を示している。同一条件で処理した長さが10mm、4mmの試料の硬さ変化から見積った温度のバラツキも、この温度範囲内にあった。

試料断面における硬さ分布を測定したが、いずれの試料においてもU曲線は得られず、一定の硬さを示した。即ち、熱電対挿入位置も試料表面と同一な温度に達していることを示している。両者の測定温度差は熱電対に熱伝導性の悪いシース熱電対を用いていること、また、挿入穴でのシース熱電対の接触が完全ではないことなどにより、低い測定値を示すと考えられる。しかし、工具鋼から求めた温度はかなり正確に基板の到達最高温度を示している。よって生産現場での基板温度測定センサーとして十分に利用できる。

4. 結 言

- 1) 炭素工具鋼(SK5)の焼き入れ焼き戻し曲線から、硬さ測定することによって、±25℃内で戻し温度を見積ることができた。
- 2) 基板温度上昇因子別に基板温度と操作時間の関係を測定した。いずれの場合も初めは温度上昇速度が大きく、時間経過と共に小さくなる傾向を示した。
- 3) 熱電対による基板温度測定値は工具鋼の硬さ測定から見積った温度と比べ40~100℃低い値を示した。シース熱電対を用いているので測定値が低めになると考えられる。
- 4) 測定バラツキを考慮すれば、工具鋼はイオンブレーティングの基板温度測定センサーとして利用可能であることが分かった。また、基板が回転する場合にも適用できるため、生産現場での基板温度測定には大いに役立つであろう。

文 献

- 1) JIS 工具鋼解説, p 92, p 130(1956)

繊維強化コンクリートの力学的性質

山縣康男, 浜岡英男, 藤本宗之

Study on Mechanical Properties of Fiber Reinforced Concrete.

YAMAGATA Yasuo, HAMAOKA Hideo and FUJIMOTO Muneyuki

[To make investigation into the mechanical properties of fiber reinforced concrete, carbon-fiber, glass-fiber and "VINYLON"-fiber were mixed into the cement paste and bending strength were examined.

It is confirmed that the kind of fiber material have a great influence on the properties of FRC, fiber with high Young's modulus make a contribution to increase bending strength, fiber with large elongation ratio as organic fiber are excellent in toughness and shock-resistance.

1. 緒 言

セメントは土木や建築用資材として幅広く使用されている材料であり、このように普及した理由としては超安価な材料であることと圧縮強度、熱的性質や耐久性など総合的に優れていることによるものと考えられる。しかしながら、コンクリートとした場合には多くの無機物質と同様に引張りに弱いことと、引張り歪みあるいは曲げ歪みが小さいため、脆いことが欠点として挙げられる。このような材料を改良しようとする試みは古くから行われ、通常は鉄筋で補強して使用される。

一方、強度的に優れた繊維を補強材としてコンクリートに利用する方法が行われており、近年、炭素繊維、有機繊維が補強材としてコンクリート分野にも積極的に利用され、製品開発が進んでおり、一部では商品として実用化され市場に出ている。

セメントコンクリート用補強繊維としては、鋼繊維、ガラス繊維やアスベスト等もあるが、それぞれ固有の欠陥があるため、新素材である炭素繊維や有機繊維の利用が運が生まれたものと考えられる。一般に弾性率が高く、伸び率が小さい繊維で補強すると、引張り強度、曲げ強度、ひび割れ抵抗性などの改善を図ることができるが、伸び能力や靱性の点では効果が小さいことが考えられる。^{1,2)}

本報では繊維補強コンクリート(FRC)の性状を把握することを目的として、三種類の繊維について、セメントに混入した時のFRCの曲げ強度へ及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

セメントはポルトランドセメントを使用した。繊維は耐アルカリガラス繊維(ARG チョップドストランド 25mm)、ビニロン繊維(VF 偏平タイプ、12mm長)、炭素繊維(CF ビッチ系、チョップドストランド 7mm長)の三種類である。各繊維の物性を表1に示す。ARGはセメントとのぬれ性が良好であり、引張強度、弾性率とも補強用としては適している。しかし、耐アルカリ性繊維とは言えセメント中の強アルカリによって、経年劣化を引き起す問題がある。

ビニロン繊維は水とのぬれ性が良いが、弾性率が低く、伸び率が大きいため、FRCの力学的性質の向上には期待できないように考えられる。炭素繊維は単体の物性はガラス繊維とビニロン繊維の中間に位置し、アルカリ溶液にも強いためFRCの補強用繊維としては有望と予想される。

試料の作製方法はセメントペーストに一定量の繊維を混入、練り混ぜた後、モルタル試験用金型(4×4×16cm)に流し込み成形した。養生は室温で一週間の水中養生した後、曲げ試験を行った。なお、混合は手練りで行った。また、セメントペーストと繊維だけを混合し、砂や砂利等の骨材は一部を除いて、使用しなかった。

表1. 繊維の物性³⁾

繊維の種類	密度 (g/ml)	引張強度 (kgf/mm ²)	弾性率 (T/mm ²)	伸び (%)
ガラス繊維	2.6	130	7.5	1.5
ビニロン	1.3	90	3	6.0
炭素繊維	1.6	70	3.5	2.0

3. 実験結果

3.1 混練性

セメントペーストに各繊維を混入したときのフロー値を表2に示す。繊維混入率が大きくなるにつれてフロー値は低下する傾向にあり、繊維の種類や形状によっても影響されると考えられる。また、混練時の繊維により空気の巻き込みによると見られる気泡があり、特に炭素繊維の場合に大きな気泡が不規則に分布していた。

繊維の分散状態を硬化体の破断面で観察すると、気泡とともに繊維が塊状のまま均一に分散していない部分が多量に見られた。この場合、混合時間が不十分であることも考えられるが、長時間混合すると繊維同志が集合する場合がある。

3.2 強度

セメントはW/Cによって強度が変わることは良く知られている。図1はモルタルにおけるW/Cと曲げ強度との関係を示すが、W/Cが大きくなると曲げ強度は低下している。曲げ強度に比べて圧縮強度の方が値が高いため、低下率は圧縮強度の方が大きかった。また、W/C=0.4のモルタルにビニロン繊維をVfとして、1.6%、3.6%混入すると、曲げ強度はモルタル単味に比べてそれぞれ約20%、80%の向上が認められた。

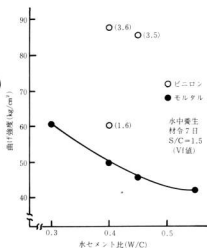


図1. W/Cによる強度変化とVFの補強効果

表2. 曲げ強度とフロー値の測定結果

繊維	曲げ強度 (kgf/cm ²)	フロー値 (mm)	Vf (%)	W/C (%)
ペースト	64	190	—	0.4
ARG	121	130	1.9	*
*	148	110	3.1	*
VF	104	140	2.5	*
*	140	120	4.9	*
CF	180	130	1.6	*
*	272	120	2.2	*

備考: CFは40℃1日、水中6日養生、他は7日水中養生

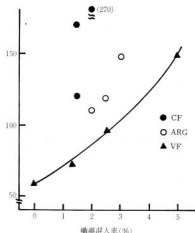


図2. 繊維混入率と曲げ強度の関係

セメントペーストに三種類の繊維をそれぞれ混入した時の曲げ強度の変化を表2、図2に示す。ARGではVf、1.9%、3.1%添加すると、ペースト単味の1.9倍、2.3倍と向上し、両者のぬれ性は比較的良好と見られる。VFではVfが2.5%で1.6倍、40%で2.2倍になった。VFでは水とのぬれ性が良好と言われているが、繊維自身の伸び率が大きいためFRCの曲げ強度への寄与率はガラス繊維ほどの効果は少ない。CFは前二者より小さいVfで、強度の向上は最も大きかった。

ただし、この時の養生条件は40℃1日経過、常温水中で6日間行い、前二者の7日間の水中養生とは異なる

る。従って、曲げ強度が大きくなったのは養生条件による初期硬化を促進したものと考えられる。

FRCの曲げ靱性が繊維によって異なる。オートグラフによる繊維別FRCの荷重～たわみ曲線は図3のとおりであった。繊維によってパターンが異っているが、ARGは一般に言われているような擬似延性領域をもつ傾向を示している。VFはFRCの曲げ強度を向上させる効果は少ないが、大変形に対する追随性が向上する。CFは曲げ強度を向上させたがセメントペーストと同じような脆性的破壊を生じた。

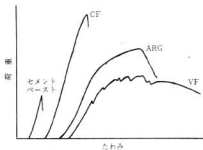


図3. 繊維別FRCの荷重～たわみ曲線

4. 結 言

繊維補強コンクリートの力学的特性を把握する目的で、セメント単味に耐アルカリガラス繊維、ピニロン繊維、炭素繊維等三種類の短繊維を混入し、曲げ強度への影響を検討した結果、次の知見を得た。

- 1) 繊維補強コンクリートの湿練性は繊維の混入率が増えるに伴ってフロー値は低下し、空気の巻き込みが増加する傾向にある。また、セメントモルタルに繊維状物を均一に混合するには特別の配慮が必要と考える。
- 2) 繊維による曲げ強度への効果は、繊維混入率が異なるが、炭素繊維が最も高く、ピニロン繊維はあまり期待できない。曲げ靱性は強度とは逆に、繊維の伸び率の大きいピニロン繊維の方が効果があった。

すなわち、弾性率が大きく伸び率の小さい繊維は曲げ強度を増大し、コンクリートのひび割れ抵抗性の改善することが予想される。また、有機繊維のような伸び率の大きいものは、コンクリートの曲げ靱性を高め耐衝撃性を向上し、ひび割れ後の変形能が大きいことを確認した。

文 献

- 1) 秋浜他：セメント・コンクリート No440 (1983)
- 2) 加賀他：同 上 No503 (1989)
- 3) 繊維物性はメーカーカタログによる。

高強度ハイブリッドCFRP (炭素繊維強化プラスチック)の開発*

好満芳邦, 大橋俊彦, 下原伊智朗

Studies on Matrix Resin Systems for High Strength Hybrid CFRP

YOSIMITSU Yoshikuni, OHASHI Toshihiko and SHIMOHARA Ichiro

It is one of the most important advantages for composite related industries to manufacture high quality composites economically. The concept of hybrid composite was widely known to manufacturers as feasible way to do it, however, they must clear out of many problems which should be solved, such as interlaminar delamination, low impact tolerance, etc.

In previous works, we suggested the role of matrix was very important for hybrid composite to be ensured high qualities. In this work, various kinds of matrix resin systems with high moldability and processing technique were studied and find out some useful results.

Summary of those results were as follows.

1. Resin systems available for hybrid composites (CF/GF) were selected by chemical composition of resin system such as epoxy acrylate, urethane acrylate, and their modified resin systems, which showed superior mechanical properties.
2. It was recognized processing technique was not always more effective to acquire high quality on hybrid composites without screening matrix resin systems.

1. 緒 言

昭和57年度からハイブリッドCFRP関連の研究を行ってきた。¹⁻⁴当時、学・協会を中心にハイブリッド材料ブームでバラ色の夢が技術者のロマンをかきたてたことを記憶している。⁵その後、色々な事項が実証されるにつれて、多くの問題が指摘された。こうした背景を見ると、まさに、筆者らの行ってきた研究の歴史が技術の推移をそのまま、写したとも言えなくもない。

多くの事例(実用)的研究を交えながら、⁶大企業に占められがちな新素材への県内産業界の潜在的ニーズが高いものであることを強く認識してきた。

一方で、将来を展望すると、複合材料には2つの流れがあって、汎用複合材料とCFRPのような高性能複合材料である。両者は次第に近接する傾向が認められ、境界領域にさまざまな材料ニーズが発生することは疑いの余地がない。問題は、それらのニーズに応えられる材料が実用的側面をもって開発できるのか、ということになる。本研究はその可能性を実証することを命題として、成形技術の高度化およびマトリックス樹脂の最適化をめざした。成形技術では、ハンドレイアップ、レジンインジェクション、圧縮成形、および引抜成形の4手法について検討した。マトリックス樹脂に関しては、従来の研究の実用編という形で、成形

性の良好な、不飽和ポリエステル、エポキシアクリレート、およびウレタンアクリレート等の変成樹脂を対象とした。エポキシアクリレート系については、化学合成による化学組成面での検討を行った(次章に報告)。

これらの結果、第一にマトリックス樹脂の化学的組成がハイブリッド材料の特性を大きく変えること、第二に成形技術の高度化によって、用途特性面ではCFRPの1/10のコストで同等程度の特性が得られることを実証することができた。

2. 実験方法

2.1 試料

主として用いた材料を表1に記載した。その他に、比較試料として、三菱レイヨン㈱にてオートクレーブ成形していただいた各種CFRP、汎用SMC成形板(武田薬品工業㈱)等を実験に供した。

2.2 実験方法

ハイブリッド化のメリットは、コストだけでなく、特性がコスト比をしのいで向上する必要があること、さらに元の素材の欠点をカバーすることが望ましい。

従って、本研究の実験手法としては、CFRPの弱点である耐衝撃性および用途特性の一つである曲げ特性の向上について実現を図ることとした。

紙面の都合で、方法の詳細は割愛するが、各種繊維基材、タイプ別樹脂、成形技術等の要因別成形板を作

*昭和63年度加速的技術開発支援事業共通基盤的技術開発事業

表1. 実験に用いた繊維基材および樹脂

繊維 基材	(炭素繊維)
	パイロフィル#3110(平織), #6190(UD)
	(アラミド繊維)
	ケブラー(49) K120 (平織)
	(ガラス繊維)
	FEM-380-04, FEM-300-04(チョップドマット) (ハイブリッド織物)
CF/KF: トレカR8208(平織)	
CF/GF: トレカ#5341(平織)	
樹 脂	(不飽和ポリエステル)
	PS-5595, 660, 2212
	(エポキシアクリレート)
	PS-6801, NEOPOL8250HK, 試作品各種 (ウレタンアクリレート)
	UPICA8921 (エポキシ)
	ARALDITE LY556

成(一部外注加工)し, それらを評価・検討した。

衝撃試験は既設の計装化衝撃試験装置(島津製作所: HTM-1)の一部を改良し, 万能型衝撃試験装置として衝撃挙動の評価を行った。さらに, 衝撃を受けた材料内部における損傷の状態を評価するために, C-SCAN超音波探傷装置を導入して, 材料の評価を多角的に行った。これらの詳細については, 本研究の属する国補事業の成果普及講習会テキストに記載予定である。

3. 実験結果と考察

3.1 マトリックス樹脂化学組成と複合材料特性

本研究開発で実施した実験結果からは, ハイブリッドCFRPの特性に関する支配的要因はマトリックス樹脂の特性であることを認めた。接着性, じん性, 反応性等の樹脂特性が加工工程を含めた形成・固化過程を通してさまざまな現象を生じさせるのである。

図1にハイブリッド構成品のマトリックス別のアイゾット衝撃値(フラットワイズ, ノッチなし)のプロットを示す。ここではトータルエネルギーを採用しているためバラツキが大きいけれども(変動係数10~50%), 代表値(平均)間の傾向としてはマトリックスの性質によって変動する傾向を否定できない。

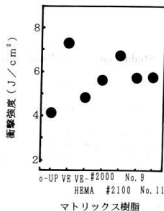


図1. MCMCMハイブリッドCFRPのアイゾット衝撃強度に及ぼす樹脂組成の効果
(M: GFマット, C: CF平織クロス)

0-UP: 汎用不飽和ポリエステル樹脂
VE: エポキシアクリレート
VE-HEMA: ポリマーブレンド
その他: 特殊および試作樹脂

3.2 引抜成形品のハイブリッド化

引抜成形は, 一般的に一方強化であって, 繊維体積率が50%を超えるため, 補強効果が顕著に現れる。張力下での伸び率が繊維間で大きく異なる等の成形上の問題はあるが, 同一型・工程から, 種々の特性を有する成形品(寸法はいずれも同じ)が得られ, 部材形状の変更なしで新しい要求特性が得られるなどの経済効果・省力化効果の高い成形技術として発展すると考えられる。図2はこの引抜成形に段階的にハイブリッド化を適用した場合の衝撃特性(アイゾット)を示す。加工機(設備)・工程等の要因も考えられるため, あくまでも事例というのとらえ方が肝要であるが, 炭素繊維の体積率の増加の効果は, マトリックス樹脂の性質をマッチングさせる方向で発揮させることが実証された。ここで, 図中に表示していないが, オールCFRPの同じ衝撃強度も実験しており, 一方商品(オートクレープ法, Vf: 50%)のそれが, 8.8J/cm²であった。そのレベルから判断すれば, Vfの違いはあるものの, かなり高いレベルの衝撃強度が確保できることを実証した。

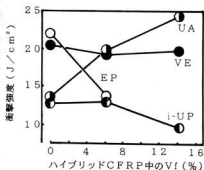


図2. 引抜成形品のハイブリッド化と衝撃特性

EP: エポキシ
 UA: ウレタンアクリレート
 VE: エポキシアクリレート
 i-UP: イソフタル酸系不飽和ポリエステル

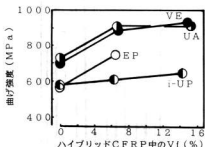


図4. 引抜成形品のハイブリッド化と曲げ強度

EP: エポキシ
 UA: ウレタンアクリレート
 VE: エポキシアクリレート
 i-UP: イソフタル酸系不飽和ポリエステル

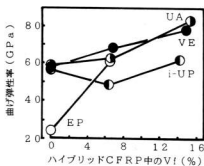


図3. 引抜成形品のハイブリッド化と曲げ弾性率

EP: エポキシ
 UA: ウレタンアクリレート
 VE: エポキシアクリレート
 i-UP: イソフタル酸系不飽和ポリエステル

図3および図4に曲げ弾性率および曲げ強さのプロット(平均値)を示した。おおむね炭素繊維のVfの上昇に伴って特性は向上する。しかしそのメリットはマトリックス樹脂の性質によってその効果を異にすることを認めた。強度面では炭素繊維の最外層への集中的配置によって、Vf: 6%付近で大きなメリットを得た。

以上のように、引抜成形品ではハイブリッド化におけるマトリックスの効果が顕著に現れており、実験中観察でも、適さないマトリックス(i-UP)の場合は層間はくり現象が顕著であった。

3.3 圧縮成形品のハイブリッド化

圧縮成形による複合材料製品は、現在、そのほとんどが、バルクモールドディングコンパウンド(BMC)、シートモールドディングコンパウンド(SMC)、あるいは、プリプレグ等の成形材料から量産されている。

従って、本研究でもこれらの材料を対象にハイブリッド化を検討することとした。ハイブリッド化と複合材料特性は千変万化の趣きがある、さまざまな機能に応じたレイアウトが考えられるが、それゆえに基本的な問題が積たわっている。ここでは、製品化における問題点を探る前段として、SMC材料と炭素繊維クロスを適用したハイブリッド化で可能性を検討した。もちろん、SMCに用いられるマトリックスの効果は大であって、それらの中でメリットの大きな組合せによる特性を図5に示した。曲げ強度・弾性率とも大きく向上する。コア厚さとスキン層の厚さの最適バランス等の問題を解けば、さらに高い、クリティカル強度に接近する可能性がある。これらの衝撃特性はSMCの特性に大きく依存する。従って、炭素繊維基材だけでなく、SMC材料の性質を十分考慮しておく必要がある。

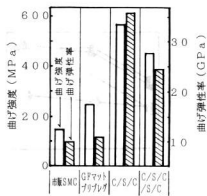


図5. 圧縮成形品の特長

[C/S/C: CFクロスとHMCのサンドイッチ]
[C/S/C/S/C: CFクロスとHMCの交互サンドイッチ]

3.4 衝撃損傷領域

図6にC-SCAN超音波探傷装置により、試験板の衝撃前後の投影画像を示した。黒で塗りつぶした領域が損傷領域である。0.5インチ径のボンチで貫通させたものである。右側のポリマーブレンド（エポキシアクリレート+HEMAブレンド品）品はほぼボンチ径を示し、左側の汎用品に比べて損傷が軽微であるこ

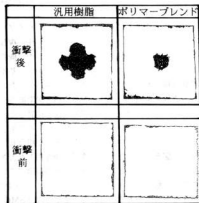


図6. C-SCAN超音波探傷装置による衝撃損傷画像例 (ON/OFF画像)

とが明確に認められる。このことは構造材料が衝撃後に残留強度を保持する問題と関連する。(安全性の確保)

ハイブリッド化による複合材料(FRP)の高性能化のポイントがマトリックス樹脂の性質にあることを実証してきた。樹脂としては、プレポリマーの化学構造をフレキシブルに設計することと重合モノマー（三次元網状構造を生成）にフレキシブルな化学構造を採用することの2面的選択がある。フレキシブルな構造、例えば(CH₂)_nを増大させると耐熱性が低下する等の問題も生じること、原料コスト面での制約もある。

ハイブリッドCFRPが高性能材料として認知されることによって、今後、かなり特殊なマトリックス樹脂が開発・市販されてくることを期待したい。それから、熱可塑性マトリックスについての研究開発も進捗してゆくものと期待したい。

4. 結 言

補助事業ということで、短期間に圧縮された研究を行ったが、ハイブリッド化によるFRPの高性能化については、実用化への目途を得た。本報告では手法および成果について圧縮して述べた。一言で言えば、ハイブリッドCFRPは、FRPでも、CFRPでもなく、新しい境界材料である。と考えると、実用化を検討することが望ましい。そのためには、まだ多くの材料データ、実用データの蓄積が望まれる。実証順に実用化されてゆくことを期待して止まない。

最後に、本研究のために、外注加工を快く引き受けて下さった県内企業、貴重なサンプル提供を下さった材料メーカーの方々的心から感謝の意を表します。

5. 参 考 文 献

- 1) 好満芳邦他：広島県立西部工業技術センター報告, No.28, p48-59(1985)
- 2) 好満芳邦他：広島県立西部工業技術センター報告, No.29, p46-72(1986)
- 3) 例えば、好満芳邦, 筒本隆博, 大橋俊彦, 鍋本好計：第15回FRPシンポジウム前刷, p97-100 (1986)
- 4) 好満芳邦, 下原伊智朗, 松原輝次：第33回FRP総合講演会要旨集, p165-168(1988)
- 5) 竹鼻三雄ほか：強化プラスチック, Vol.28, p214-228(1982)
- 6) 好満芳邦, 大橋俊彦, 筒本隆博：広島県立西部工業技術センター報告, No.31, p48-52(1988)

ビニルエステル樹脂に関する研究(その1)

水素添加ビスフェノールAジグリシジルエーテルのビニルエステル化反応

大橋俊彦

Study of Vinyl Ester Resins (part 1)

Vinyl Esterification Reaction of Hydrogenated Bis-phenol A Diglycidyl Ether

OHASHI Toshihiko

Vinyl esterification reaction of hydrogenated bis-phenol A diglycidyl ether and methacrylic acid was studied. This reaction involves many other side reaction. In this study, apparent reaction rate and activation energy of predominant reaction (formation of vinyl ester) was evaluated without respect for side reactions. And apparent optimum reaction condition was decided. But side reactions were important because of the influence on some properties of resins.

1. 緒 言

我々のグループでは従来から繊維強化複合材料 (FRP) について研究を行ない、それらの成果をもとに県内企業に対する指導を行ってきた。しかしそれらは主として機械工学・材料工学的な研究であり、マトリックス樹脂の構造と物性、繊維の表面処理・表面構造と樹脂との接着性等の化学的な問題は (FRP の性能に大きく影響するにもかかわらず) ほとんど手をつけていない現状である。このような化学的な問題について研究を行うためには、樹脂や繊維表面の化学構造がわかっていなければ機械的性質等を評価してもそのデータの意味づけを行うことができない。そのためには合成技術・分析技術が不可欠であるが、分析面は設備的な問題から将来的な事項とし、合成面に関する技術的蓄積をはかることにした。

この目的のために数種類のビニルエステル樹脂を実際に合成し、その合成条件について検討したが、ここでは水素添加ビスフェノールA型エポキシを原料とするビニルエステルの合成反応について見かけの反応速度式と活性化エネルギー及び経験的に決定した反応条件を報告し、またその過程で明らかになった諸問題についても述べる。

2. 実験方法

合成装置の構成を図1に示す。容量2ℓのセパラブルフラスコに水素添加ビスフェノールA型エポキシ樹脂(旭電化EP-4080、エポキシ当量470)とメタクリル酸を1:2のモル比となるように加え、その全量に対

して重合禁止剤としてハイドロキノン0.01%を添加する。これを攪拌しつつ60~70℃まで加熱して混合・溶解し、触媒(分子量325程度の4級アンモニウム塩)を加えた後所定の温度まで加熱して合成反応を行わせる。

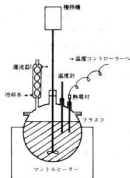


図1. 合成装置

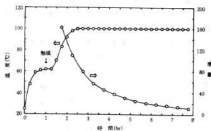


図2. 合成反応の1例

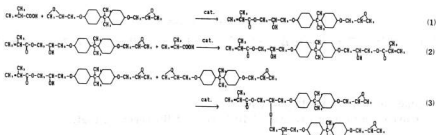


図3. 水素添加ビスフェノールA型エポキシのビニルエステル化反応

反応の進行状況は酸価によって追跡した。酸価は反応液の少量を温度計に付着させて取り出してアセトンに溶解し、ブロムチモールブルーを指示薬として0.1N水酸価カリウムエタノール溶液で中和滴定することにより測定した。

3. 実験結果と考察

図2に反応の進行状況(温度と酸価の変化)の1例を示す。

ビニルエステル化反応はいくつかの副反応を伴って図3のように進行すると考えられる。しかしここでは副反応を無視して、触媒の作用によって開いたエポキシ環とメタクリル酸の反応のみを考え、次のような反応式に対する見掛けの反応速度と活性化エネルギーを求めてみた。



その結果は次のとおりである。

$$\frac{d(\text{VE})}{dt} = k [\text{EP}]^{0.072} [\text{acid}]^{0.113} [\text{cat.}]^{0.833}$$

$$k = A e^{-E_a/RT}$$

$$A = 6.3 \text{ mol/kg} \cdot \text{s}, E_a = 6.6 \text{ kcal/mol}$$

各反応次数が整数にならないのは副反応を無視したことに対応すると考えられる。また反応速度に及ぼす触媒の影響が非常に大きいことがわかる。

温度が高いほど反応速度が大きいのは当然であるが、120℃以上ではゲル化が起った。この原因としては反応(3)のようなヒドロキシエーテル部の水酸基とエポキシ環の反応やメタクリル基のラジカル重合反応等が考えられるがはっきりしたことはわからない。ゲル化の防止は合成技術上のノウハウの一つとして非常に重要であるが、副反応に対する知見を得ることができ

ない現状ではこれ以上の検討は不可能である。

このような制約のもとに適当と思われる合成条件を経験的に決定した。それを図4に示す。しかしゲル化

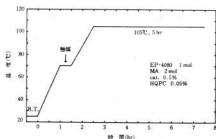


図4. 経験的に決定された水素添加ビスフェノールA型エポキシのビニルエステル化の合成条件

以外にも副反応には硬化した樹脂の性質に影響を及ぼす等の問題が考えられる。従ってこれが真に最適の条件であるという保証は無く、副反応を考慮した触媒の選定や合成条件の検討が必要である。

4. 結 言

水素添加ビスフェノールA型エポキシのビニルエステル化反応の見かけの反応速度と活性化エネルギーを求め、合成条件を経験的に決定した。

しかし副反応がゲル化防止、樹脂特性に及ぼす影響等の点で非常に重要な問題であり、それを考慮して合成条件等を検討しなければならないことが明らかになった。そのためには各反応生成物をモニタして完全な反応機構と反応速度を把握する技術を確立せねばならない。この点でも分析能力の向上は重要な因子である。

ビニルエステル樹脂に関する研究(その2)

いくつかのビニルエステル樹脂の機械的性質

大橋俊彦, 竹内正一*

Study of Vinyl Ester Resins (part 2) Mechanical Properties of Some Vinyl Ester Resins.

OHASHI Toshihiko and TAKEUCHI Shoichi

Mechanical properties of vinyl ester resins synthesized in previous report¹⁾ were evaluated. It was appeared that these properties were remarkably influenced by chemical composition, molecular structure, molecular weight, etc. These data were useful for development of high performance resins.

1. 緒 言

我々は繊維強化複合材料(FRP)に関して化学分野における研究を今後展開しようとしているが、その第一段階としてマトリックス樹脂の一種であるビニルエステル樹脂の合成に関する技術的蓄積をはかっている。そのための数種類のビニルエステル樹脂を実際に合成して反応条件の検討を行い、また合成した樹脂の特性を評価した。ここでは数種類のビニルエステル樹脂の力学的性質について報告し、原料配合および樹脂の化学構造と力学的性質との関係について考察する。

2. 実験方法

ビニルエステル樹脂は前報¹⁾で合成したものを用いた。樹脂の原料配合、反応温度、最終酸価等を表1に示す。これらの樹脂を架橋モノマー(スチレン、フェニルメタクリレート、シクロヘキシルメタクリレート)と

1モル対4モルの割合で溶解し、硬化剤および触媒を加えて硬化した後、120℃で4時間以上アフターキュアを行って注型板を作成した。硬化剤等の配合は表2のとおりである。注型板から試験片を切り出し、曲げ試験、アイゾット衝撃試験等を行った。

表2. 硬化剤および触媒の配合比

MEKPO	(日立化成工業製 CT-3)	1.0%
ナフチン酸コバルト	(* CT-24)	0.5%
ジメチルアニリン	(* CT-42)	0.5%

3. 実験結果と考察

ビニルエステル樹脂のスチレン溶液の粘度と理論分子量の関係を図1に示す。ただし樹脂DとGはスチレンに完全には溶解しなかった。ビスフェノールA型のビニルエステル(A, B, C)では粘度の対数と分子量に比例関係があり、水素添加ビスフェノールA型(E)や

表1. 原料配合と反応条件

樹脂	原料配合		反応温度	最終酸価
	エポキシ	酸		
A	Epikote 828 (1 mol)	MA (2 mol)	110℃	25
B	Epikote 828 (0.5 mol) + 1001 (0.5 mol)	MA (2 mol)	110℃	18
C	Epikote 1001 (1 mol) *	MA (2 mol)	110℃	16
D	Epikote 1001 (0.5 mol) + 1004 (0.5 mol)	MA (2 mol)	120℃	13
E	ADK resin EP-4080 (1 mol)	MA (2 mol)	100℃	12
F	Epikote 828 (1 mol)	MA (1 mol) + ADPC (0.5 mol)	110℃	24
G	Epikote 828 (1 mol)	MA (0.67 mol) + ADPC (0.67 mol)	110℃	21

Epikote 828, 1001, 1004: shell 液
ADK resin EP-4080 : 旭電化液

MA (methacrylic acid) : 三菱レーヨン液
ADPC (adipic acid) : 関東電化工業液

* マナック株式会社

表3. ビニルエステル注型樹脂の機械的性質

VE	monomer	曲げ強度 (kgf/mm ²)	曲げ弾性率 (kgf/mm ²)	衝撃強度 (kgf·cm/cm ²)
A	styrene	15.9	352	15.0
A	phenyl methacrylate	8.4	343	5.4
E	styrene	12.6	301	9.1
E	phenyl methacrylate	9.2	327	5.3
E	cyclohexyl methacrylate	9.1	269	3.0
F	styrene	10.1	305	19.2

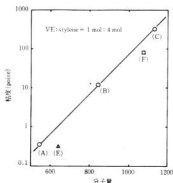


図1. ビニルエステル樹脂の分子量と粘度の関係

アジピン酸変成したビニルエステル(F)ではそれよりも低い粘度となっている。実際のハンドレイアップ成形では樹脂(B)程度の粘度のものが使いやすい。

いくつかの注形板についての曲げ強度、曲げ弾性率、衝撃強度を表3に示す。ビスフェノールA型のビニルエステルでは分子量が高いほど曲げ弾性率は低く、衝撃強度は高くなり、また耐熱性が低下することが報告されている²⁾。これは分子量が大きいかほど架橋密度が低くなるため理論的に推定される傾向と一致している。架橋モノマーの影響について見るとスチレンと比べてフェニルメタクリレート(PMA)、シクロヘキシルメタクリレート(CHMA)では機械的性質が全般に低くなっている。しかしこれはPMAやCHMAが架橋モノマーとして不適当であることを必ずしも意味しない。即ちここで用いた硬化剤や硬化条件等にも検討の余地がある。実際にPMAやCHMAではゲルタイムが長く硬化発熱量も小さく、完全硬化しているかどうか不安が残る。またスチレンの場合、ビニルエステル間を2個のスチレン分子で架橋していることがNMRの測

定から知られているが、PMA、CHMAでも同様であるかどうかはわからない。架橋モノマーの影響を把握するためにはこれらの要因について検討する必要がある。

樹脂AとEについてみると、Eの方が高靱性を期待されたにもかかわらず衝撃強度が小さくなっている。これは原料自体の化学構造によるものか合成時の副反応によるものかが問題である。これらの樹脂では化学構造中のヒドロキシエーテル部による粘弾性緩和が衝撃強度に影響を及ぼすことが知られており²⁾、副反応によって生じる化学構造がこの粘弾性緩和を低下させる可能性がある。

アジピン酸変成した樹脂(F)は衝撃強度は大きい、耐熱性が低下した。またこの樹脂は粘度が非常に高いので、低粘度の樹脂と混合して使用する必要がある。

4. 結 言

ビニルエステル樹脂の機械的性質は原料配合と合成条件、架橋モノマーの種類と量、硬化剤と硬化条件等様々な要因によって影響される。これらは最終的に樹脂の化学組成と構造に帰せられ、逆に言えば組成と構造が異なれば同じ名前でも呼ばれていても物性的には別の物質に等しい。したがって今後この分野の研究を行っていくには、組成・構造をしっかりと押えた上で物性評価を行うということが重要である。

5. 参 考 文 献

- 1) 大橋俊彦：広西工技報告, No. 32, P.65~66 (1989)
- 2) 滝山栄一郎：“ポリエステル樹脂ハンドブック”, 日刊工業新聞社(1987)
- 3) 越智光一：東海シンポジウム講演要旨集, p.50, (1989)

太陽熱利用による海水淡水化に関する研究

関 守雄, 清水加津子, 中塩武之, 畑 徳宜

The Recovery Fresh Water from Saline Water by Solar Energy

SAKI Morio, SHIMIZU Katsuko, NAKASHIO Takeyuki and HATA Noriyuki

This study was carried out on the single roofed basin type solar still.

As the clear cover of the still, glass plate, PET film and PMMA plate were used.

The order of the penetration of solar insolation was PMMA, glass and PET cover still by blanktest. Through that of the state in distillation was glass, PET and PMMA cover still. Productivity of the distilled water was correlated to solar insolation in April. Amount of the produced distilled water has reached about $2.8\ell/(m^2d)$ by the glass cover still, $2.0\ell/(m^2d)$ by the PET film cover still and $1.6\ell/(m^2d)$ when the solar insolation was $6.66kWh/(m^2d)$.

1. 緒 言

海水淡水化法は、燃焼排ガスの排熱回収による多段フラッシュ法、電気による逆浸透法や電気透析法が実用化されている。太陽エネルギーを利用した淡水化としては、Basin型蒸留器とウィック型蒸留器^{1), 2)}があり、本研究では、前報³⁾と同様Basin型片屋模式蒸留器を試作し、透明カバー材として、ガラス、ポリエチレンテレフタレートフィルム、アクリル板の3種類について実験し、若干の知見を得たので報告する。

2. 実験方法

2.1 装置および機器

2.1.1 片屋模式Basin型蒸留器

蒸留器は、熱電対等センサーの脱着を容易にするため、上下分割方式とした。上部の受光部は市販ベニヤ板(10mm×90mm×180mm)を受光角度26°になるよう枠組みし、外面を発泡スチロールで保温した。下部の原水容器は、深さ100mm皿状FRP製で、上部および下部とも黒色ゲルコート加工した。

2.1.2 透明カバー材

蒸留器内に太陽光を取入れる透明カバー材としては前報³⁾においては、ガラス板、塩化ビニル板およびポリエチレンテレフタレート(以下PETという)80 μ mフィルムを用いたが、塩化ビニル板は、白濁化したためアクリル板(以下PMMAという)3.0mmとPETフィルムは、より薄いPET20 μ mフィルムおよびガラス板の3種類について実験した。

2.1.3 太陽電池-日射計モニター

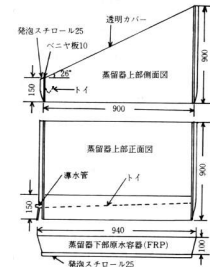


図1. 片屋模式蒸留器の構造(単位mm)

太陽電池出力は、日射強度と高い相関がある³⁾ことより、京セラ製多結晶小型太陽電池(以下SCという)を日射計モニターとして、蒸留器北側に水平に設置し、日射計と対比させると共に、各蒸留器中央部にSCを水平設置し、蒸留器内への太陽光入射量をモニターSCと対比することで日射計代りに使用した。

2.1.4 気象解析装置

各種気象データおよびSCモニター出力さらに蒸留器各部の熱電対温度計よりの温度は、英弘精機㈱製気象解析装置に、インターバル30秒、収録時間1時間にセットし、収録は解析した。

2.2 実験方法

透明カバー材として、ガラス板、PETフィルム、PMMA 3種類、5台の蒸留器を当センター3階屋上に、受光部を真南に向け、東西方向に1m間隔で設置した。

蒸留用原水としては、海水の代りに上水を使用し、午前9時までに前日生成した蒸留水を受器メッシュリッダーより読み取った後、蒸留器に戻ると共に、適量の上水を追加し、蒸留器内の水量を常に一定な状態より開始するようにした。

3. 実験結果と考察

3.1 透明カバー材の太陽光透過性

3種類の透明カバー材の太陽光透過性は、図2、3および表1のごとくである。図2、表1に示すごとく、PMMAが材料としての光透過は最も良く、正午において、90%、1日の日射量の75%が蒸留器内に入射する。PETがプラスチックのブランクでの光透過性は、ほぼ同じである。しかし、実際の原水を入れた蒸留状態においては、カバー材の裏面に水蒸気凝縮による凝縮水の付着により、光が反射され光透過量は減少する。特にプラスチック材である、PET、PMMAは撥水性より凝縮水は微小水滴となり鏡面を形成する。

ガラスにおいては、その親水性より凝縮水は膜を形成し、蒸留器内部を透視出来、図4のごとく、太陽光透過率は、ブランクでの透過率とあまり差がない。

表1. 透明カバー材の太陽光透過性

月 日	4月25日	4月27日	5月4日
日射量 $\text{KWh/m}^2 \cdot \text{d}$	6.52	6.03	6.02
原水の有無	有り	無し	無し
受光部設置角度	26	26	13
太陽高度	67	67	70
ガラスカバー光透過量 (%)	70(84)	71(86)	74(84)
PETカバー光透過量 (%)	61(75)	70(86)	76(87)
PMMAカバー光透過量 (%)	56(70)	75(90)	79(89)

()は12時の太陽光透過率

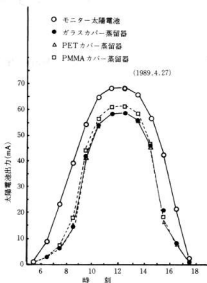


図2. 蒸留器(ブランク)への太陽光透過性

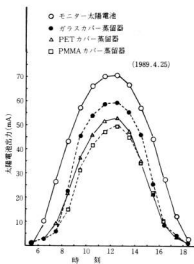


図3. 蒸留器(蒸留時)への太陽光透過性

また図4
テムにお
率が高く
70%を占
80%を占
さらに
た場合、
り、僅か
%増加し
ーラー
熱蒸留
より、
い方が
10

太陽光透過率 (%)
太陽光透過率 (%)

また図4より、真南向け設置、固定型ソーラーシステムにおいて、正午を中心とする5時間が太陽光透過率が高く、図2よりも、水平面日射量は、5時間で、70%を占めるのに対し、システムへの太陽光入射量は80%を占めていることが分った。

さらに表1、5月4日の受光部設置角度を13°にした場合、12時での太陽光透過率は、太陽高度の関係より、僅かに低下するが、1日の太陽光入射量では約5%増加している。これは、広島県海岸部での固定型ソーラーシステムの最適傾斜角度⁴⁾28°~30°に対し太陽熱蒸留器の場合、受光、受熱部が水平水面であることより、透明カバー材設置角度は、本実験の26°より低い方が適しているともいえる。

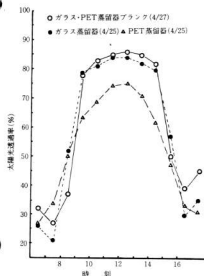


図4. 蒸留器への太陽光透過率の経時変化

3.2 蒸留器の蒸留性能

図5、ガラスカバー蒸留器、昭和63年8月の日射量と蒸留水生成量の関係は、相関が見られず、最大生成量の日は、夜間の温度降下が比較的大で、約半分は夜間に蒸留水が得られている。図6、昭和63年9月は、天候不順で、日射の強い日がなかったが、日射量と蒸留水生成量との間に相関係数は0.76、また、平成元年4月は、非常に天候がよく、日射量と蒸留水生成量との相関係数は、0.95が成立した。

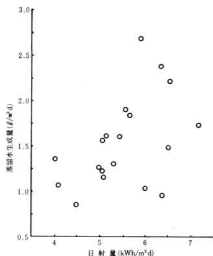


図5. ガラスカバー蒸留器 1988.8月の蒸留性能

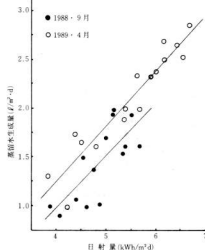


図6. ガラスカバー蒸留器の蒸留性能

4月と9月の晴天日、日射量約 $4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$ 以上の日の正午の平均気温は、4月約 19°C 、9月約 28°C と、約 9°C の差があり、ガラスカバー蒸留器においては、気温の高い9月の方が、一見蒸留水生成量が低い結果となっている。同様な結果は、図7、PMMAカバー蒸留器においても認められる。この9月の現象は、気温の高い晴天日においては、ガラス(3mm)、PMMA(3mm)が加熱され、温度が高くなり、蒸留器内部の水蒸気を冷却、凝縮する作用が得られないことによると考えられる。

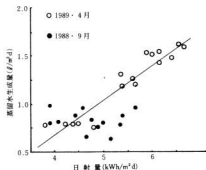


図7. PMMAカバー蒸留器の蒸留性能

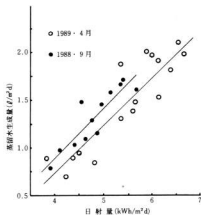


図8. PETカバー蒸留器の蒸留性能

図8、PETカバー蒸留器の蒸留性能は、日射量と蒸留水生成量との間に4月の相関係数0.90、9月0.91と共に高い相関が認められ、気温の高い9月の方が、蒸留水生成量の回帰線が上にある。このことは、PETフィルムは、太陽光透過性という点では、図3、図4のごとくガラスに劣るが、水蒸気の冷却能という点で、フィルムは熱容量が非常に小さいことより、優れているといえる。ガラス、PET、PMMA3種類のカバー材において、蒸留能については、ガラス>PET>PMMAの順で、PETフィルムは強風により破損し易いが、補修も容易で、PET以外のフィルムについても検討したい。

風の蒸留能への影響は、4階屋上6m高の風速計の風速と3階屋上設置蒸留器位置でのアネモマスターによる風速比は、2:1~3:1で、風速 1 m/s 以下においては、ガラスおよびPMMAカバー蒸留器の蒸留性は、カバー材の加熱、冷却能不足より低い。

4. 結 言

太陽エネルギー直接利用の海水淡水化法として、透明カバー材、ガラス、PETフィルム、PMMA板、3種類のBasin型蒸留器の蒸留実験を行った結果、蒸留能はガラス>PETフィルム>PMMAの順で、比較的天気の安定した4月の、日射量と蒸留水量は、よく相関した。

ガラスカバー蒸留器の光透過性は、ブランクおよび実際の蒸留においてもあまり差がなく、原水加熱性がよい。しかし夏期には冷却能が悪く日射量と相関しない傾向がある。PETカバー蒸留器は、光透過性で、ガラスに劣るが、日射量と蒸留水量がよく相関する。

文 献

- 1) 菊地邦雄, 稲葉秀彦, 山下正幸, (社)日本工業用水協会第20回研究発表会講演要旨, p121~127
- 2) 岡村秀昭, 田中耕太郎, 渡部謙一, 太陽エネルギー, 14, 6, p27~34 (1988)
- 3) 関 守雄, 中村和清, 天島正幸: 広西工技報告, No.31 (1988), p69~72
- 4) 吉田作松, 菊地原英和: 日本太陽エネルギー学会第13回研究発表会講演論文集(1988.12月), p13~16

かき殻の有効利用に関する研究(第1報)

かき殻を利用した工芸品の試作

世良時夫, 中塩武之, 畑 徳宣, 関 守雄, 清水加津子, 明神久喜

Trial Production of industrial Art Objects Using Oyster Shells

SERA Tokio, NAKASHIO Takeyuki, HATA Noriyoshi, SEKI Morio, SHIMIZU Katsuko and MYOJIN Hisayoshi

In this report some examples of the industrial art objects made utilizing effectively the oyster shells, waste material, are shown. The followings are produced for trial mixing the shattered oyster shell's pieces with the polyester resin.

1. Frame

Frames were shaped in way of filling the resin into the mold made of silicone rubber. While the oyster shells were crushed, into the small pieces and 3-10mm size pieces were selected at every size for decoration of the frame. The prepared shell pieces were scattered artistically on the surface of the frame when filling the resin into the mold.

Consequently, some tasteful frames have been successfully formed thanks to the variety of the size of the oyster shell's pieces and colorations to the frame and resin.

2. Decorations

Uniformly and densely, compounding the oyster shell's pieces and resin, columnar solid resin blocks involved the shells were hard formed, and from these blocks the disk plates having 3-4mm thickness were cut in round slices. Then, after the many slices investigated carefully the oyster shell's patterns appeared on the cutting surface of the disk plates proved to be beautiful, artistic and very attractive.

Consequently, it has become clear that the formative works containing the oyster shells artistically are well worth applying to the materials for decorations such as construction, interior, exterior, accessories and industrial art objects.

1. ま え が き

広島県のかき養殖は全国の約70%の生産高を占め、県内の養殖漁業の中核をなしている。このかき養殖にともない、かき殻はむき身の約5倍の年間14-15万トンも発生している。一時、かき殻に付着した肉片や海藻などの腐敗による悪臭対策が問題になったが、現在は海中一時堆積場に置くことで処理されているようである。これらのかき殻は養鶏飼料と肥料の原料として利用されているのが現状である。

「かき殻の利用」に関する研究は多く、本県では平館¹⁾らのかき殻陶器に関する研究や、藤本²⁾らのかき殻を使用した発泡体の試作などがある。さらには荒川³⁾らのかき殻の利用に関する文献抄録からみると、水産関係では、人工魚礁、かき養殖場の底質改良などである。農業、畜産関係では、多くが利用されている肥料、飼料などである。その他の利用について塗料、医薬品などの文献もある。また武智⁴⁾らの真珠貝殻の有効利用に関する研究などである。

この他、考えられる利用として化粧品、健康飲料、食品添加物などへの応用であろう。かき殻はCaCO₃が主成分で安い原料である石灰石と同じで新しい利用法が難しい。しかし、かき殻の特徴を生かした利用法について考えているが、本報では、顔料、装飾品素材への利用について検討したので以下に述べる。

2. 供 試 材 料

2.1 かき殻

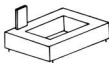
かき殻加工業者から入手した粗砕のかき殻を水洗、乾燥後、ジョークラッシャーで2-3回粉碎処理して3-10mmにふるい分けたものを使用した。又一部は実験用湿式ボールミルで研磨したかき殻も使用した。

2.2 不飽和ポリエステル樹脂

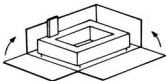
樹脂は人造大理石用(注型用)の不飽和ポリエステル樹脂(日立化成PS-4520AP)を使用して、かき殻を混合して成型した。

2.3 模型の型取り用ゴム

市販の室温硬化のシリコンゴムを使用した。この



(1) マスターにゲート(樹脂の注入口)を取りつける。マスターを浮かせてピンなどで固定する。



(2) マスターを四方から囲むように板状の型枠を組立て、樹脂が漏れない様にする。



(3) シリコーンゴムに所定量の硬化剤を加えて混合し、真空脱泡する。



(4) マスターが完全に埋まるまでシリコーンゴムを型枠内に流し込む。



(5) 室温で24時間放置して硬化後、約50℃で1~2時間加熱する。



(6) 型枠を外し、手術用のメスでゴム型を切り開きマスターをゴム型より取外す。



(7) 切り口をずれないように合わせればゴム型は完成する。

図1. シリコーンゴム型の作り方

ゴム型の特徴は離型性がすぐれていること、寸法精度が良い、逆勾配の製品、複雑形状でも出来ることである。

3. 工芸品への試作と考察

3.1 顔縁の試作

シリコーンゴム型による顔縁の製作は、模型を使用して図1に示すとおり手順で型取りをした。

顔の正面(下型)にポリエステル樹脂を標準配合し脱泡後、シリコーンゴム型に塗布し、粉砕したかき殻を全面に分散させた。その状況は写真1に示すとおりである。顔の裏側(上側)は写真2に示すような木枠を作

り上型に取付け、下型にセットし、その中空部にポリエステル樹脂を注型して製作した。その後、バリ取り、裏側の木枠部に紙を貼り仕上げた。完成した顔縁は写真3に示すとおりである。

顔縁の試作品は小さく粉砕したかき殻(3~4mm位)を使用すると模型の凹凸がきれいに見えるが、かき殻の感じから人造石のように見える。逆に、かき殻の10mm角位のものを使用した場合は貝殻のイメージは良く出る。かき殻の使用量は少ないよりも多目のほうが出来が良いようである。さらに、使用したポリエステル樹脂が透明であるため、裏側に使った木枠の色によっても出来上りが異なる。今回の試作品は木枠に白

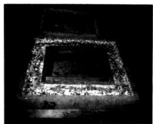


写真1. 下型にかき殻を分散させた状況

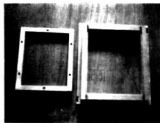


写真2. 使用した木枠
(左:マット用、右:顔縁用)



写真3. 試作顔縁

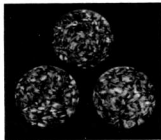


写真4. 装飾用素材の試作品



写真5. 照明器具の試作

を着色して製作した。ポリエステル樹脂は透明で、少量の顔料で着色しやすく、充填剤によって変化を追求し、自由に創作出来る。裏側に使用した木枠は樹脂の変形防止になっているものと思われる。

3.2 装飾品素材の試作

約10mm角の研磨したかき殻とポリエステル樹脂を同重量配合し、円柱形の型に注型脱泡後硬化させた。それをダイヤモンド切断砥石で約4mmの厚さに切断し、その切断面を研磨仕上げした。その装飾品素材は写真4に示すとおりである。

この試作品はかき殻の切断面の不規則な模様を生かして、コースタや装飾用タイルなど色々な方面に応用可能と考えられる。さらにはかき殻以外の貝殻を混ぜることで模様の変化をつけるとさらに装飾性は向上すると思われる。

写真5は電気スタンドの笠を試作したもので、製作法は前述同様にかき殻と樹脂を混合し成型したものである。照明器具に使用した結果は樹脂の種類にも関連して温味のある色とかき殻の影で趣きのある試作品が出来た。

4. ま と め

かき殻を粉砕して3～10mmにふるい分けてポリエステル樹脂と混合して、いろいろのものを試作検討した。

- 1) 顔料の試作はシリコーンゴム型を使用して、かき殻粉砕粒の大きさ、木枠及び樹脂への着色などを変えることで、いろいろ感じの違う優れた製品が出来た。
- 2) 装飾品素材としてかき殻と樹脂を同重量配合したブロックを切断加工したかき殻切断面の不規則模様はコースタや装飾用タイルなどになる。又照明用素材としても可能であると思われる。

この研究にあたり試料の提供をいただいた丸森隆立木氏、日立化成工業㈱米屋氏に深く謝意を表します。

5. 文 献

- 1) 平館：広葉試業務報告，昭和30～31年度
- 2) 藤本，中塩，丸下，山根，浜岡：兵工試報告，No. 17(1974)87
- 3) 荒川，土屋，兼保，谷本：広水試研報，第8号，(1977)53
- 4) 武智，仙波，宮岡：愛媛工技研究報告，No.23(1985)13

モアレ干渉技術のトワイマン・グリーン干渉計への適用

吉野信行, 横関俊介*

An Application of Moire Method in Interferometry Using Twyman-Green Interferometer

YOSHINO Nobuyuki and YOKOZEKI Syunsuke*

In this paper, from a fundamental viewpoint of the industrial engineering application, we have introduced theoretical expression of moire method that is based on the superposition of product or sum type (The first superposition corresponds to recording the two patterns on separate plates and their subsequent overlap. The second superposition is realized by the double exposure technique). The moire method in this study include as special cases the speckle pattern interferometry of Leenderz and Holographic interferometry.

The effectiveness of this moire method are experimentally confirmed a comparison between Twyman-Green Interferometry and the superposition of product or sum type for measuring of phase distribution of a glass plate.

1. 緒 言

近年の機械・電子部品, 光学部品等に関する高精度加工技術の向上は, 光計測技術の進歩に負うところが多い。大企業を問わず中小企業にも今後益々導入が予想されるこのようなシステムによって加工される様々な部品の高精度計測に対応するためには, レーザを利用した光波干渉計測法の導入が不可欠である。しかしながら, 一般に光波干渉計測においては, 測定系の光学部品が高精度であること, 測定対象が鏡面であること, 測定環境(暗室, 振動, 恒温恒湿等)に十分な配慮が必要であること等工学的現場で使用する場合かなりの制約を受ける。このような制約を緩和する光波干渉計測法として, モアレ干渉技術¹⁾の導入が工学的現場で有効であることが証明されている。

本報告では, このような特徴を持つモアレ干渉技術をとワイマン・グリーン干渉計に適用することにより, 理論の導出および位相物体(スライドガラス)の位相特性を計測することが可能であり, モアレ干渉技術が工学的現場で有効であることを確認した。

2. 理論的背景

一般に, 規則性ある2枚の格子を重ねると, 元のパターンとは異なったパターンが生成され, この現象をモアレという。特に, 周期性のある直線群あるいは曲線群のパターンを重ねた場合, 元の周期とは異なった

縞模様が見られる。この縞をモアレ縞という。モアレ干渉法においては, 位相物体の変化前, 変化後に得られた干渉縞を重ね合わせる。その結果得られたモアレ縞は, 物体の変化のみを示す。物体が変化しない場合, 物体があるときと無いときの干渉縞の重ね合わせにより, 物体の位相分布のみが得られる。一方, 二つの干渉縞の重ね合わせ方には, コヒーレントな方法とインコヒーレントな方法がある。一つの干渉縞を記録したフィルムを二つ目の干渉縞を発生させる二光束の光波で照明し, 記録された干渉縞によって回折された二つの一次回折光のみを空間フィルタリングすると, それらの干渉縞としてモアレ縞のみを発生させることができる。これがコヒーレントな重ね合わせである。この場合はイメージ・ホログラムを利用したホログラフィック干渉法と見なせる。

光の強度分布で表される二つの干渉縞を写真技術やビデオ技術で重ね合わせるとモアレ縞が発生する。これがインコヒーレントな重ね合わせである。ここでは, 工学的現場で有効なインコヒーレントな重ね合わせについて考察する。

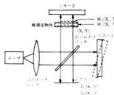


図1. モアレ干渉計

*大阪大学工学部応用物理学教室

干渉計としては、図1に示すツイマン・グリーン干渉計について原理を説明する。ここで、物体面の座標を(X, Y)とし、その観測面上での平行光による影の座標を(x, y)とする。この参照光の振幅分布が一樣とし、波面の形状をA(X, Y)とすれば、観測面上における参照光の振幅分布は、次式で与えられる。

$$I_{00} = a \exp(2\pi i/\lambda) [A(x, y)] \quad \dots\dots(1)$$

ただし、aは定数、 λ は波長

次に、物体照明光の振幅分布が観測面で見て一樣で、位相物体の直前における波面の形状がC(x, y)とすれば、物体の直後における物体光の複素振幅分布は、次式で表示される。

$$I_{00} = b(X, Y) \exp(2\pi i/\lambda) [W_1(X, Y) + C(X, Y)] \quad \dots\dots(2)$$

上式中、b(X, Y)は、物体の振幅透過率分布、 $W_1(X, Y)$ は、初期状態の位相物体による波面の変形を表している。式2より観測面上における初期状態の物体光は次式で与えられる。

$$I_{00} = b(x, y) \exp(2\pi i/\lambda) [W_1(x, y) + C(x, y)] \quad \dots\dots(3)$$

従って、初期状態の干渉縞は次式で表示される。

$$I_1(x, y) = |I_{00} + I_{00}|^2 \\ = I_{00}^2 + I_{00}^2 + I_{00} I_{00}^* + I_{00}^* I_{00} \\ = a^2 + b^2 + 2ab(x, y) \cos(2\pi i/\lambda) \\ \cdot [W_1(x, y) - A(x, y) + C(x, y)] \\ = K_1 + K_2 \cos \phi_1 \quad \dots\dots(4)$$

ただし、 $K_1 = a^2 + b^2$, $K_2 = 2ab(x, y)$

$$\phi_1 = (2\pi i/\lambda) [W_1(x, y) - A(x, y) + C(x, y)] \quad \dots\dots(5)$$

初期状態の干渉縞を記録した後、物体の位相分布を変化させ、さらに参照光側のミラーを少し回転させる。変化後の位相物体による物体光波面の変形を $(\alpha + \beta y)$ とする。ここで、 α, β は定数である。位相物体変化後の干渉縞は、式5と同様な計算過程を経て次式のように表示できる。

$$I_2(x, y) = a^2 + b^2 + 2ab(x, y) \cos(2\pi i/\lambda) \\ \cdot [W_2(x, y) - A(x, y) + C(x, y) \\ - \Delta B(x, y) - \alpha x - \beta y] \\ = K_1 + K_2 \cos \phi_2 \quad \dots\dots(6)$$

$$\text{ただし、}\phi_2 = (2\pi i/\lambda) [W_2(x, y) - A(x, y) + C(x, y) \\ - \Delta B(x, y) - \alpha x - \beta y] \quad \dots\dots(7)$$

ここで、 $\Delta B(x, y)$ は、ミラー1の回転によって生じる波面収差の変化を示す。前述したように、インコヒーレントな二つの干渉縞の重ね合わせのみを考える。

この重ね合わせには、和と積の方法があり、両者とも同等なモアレ縞が得られることを以下に示す。

(I) 和のモアレ干渉

位相物体の変化前、変化後の干渉縞の式は、各々式(4)および(6)で与えられた。従って、これらの式の和をとることによってモアレ縞が得られる。即ち、

$$I_3(x, y) = I_1(x, y) + I_2(x, y) \\ = 2K_1 + K_2 [\cos \phi_1 + \cos \phi_2] \\ = 2K_1 + 2K_2 \cos(\phi_1 + \phi_2)/2 \cdot \cos(\phi_1 - \phi_2)/2 \quad \dots\dots(8)$$

となり、この式は振幅変調型の関数であり $\cos(\phi_1 + \phi_2)/2$ の項は搬送波、 $\cos(\phi_1 - \phi_2)/2$ の項は変調された低周波成分であり、この項がモアレ干渉に寄与する。従って、式5、(7)およびモアレ干渉縞パターン

$$\phi_1 - \phi_2 = W_1(x, y) - W_2(x, y) + \Delta B(x, y) + \alpha x + \beta y \\ = m\lambda \quad \dots\dots(9)$$

ただし、mは整数

和のモアレ縞は、二つの干渉縞の二重露光によって得られるが、式9から推測されるようにそのモアレ縞は、重ね合わせられた干渉縞のコントラストの変化として現われるため干渉縞が見えないことには、モアレ縞を観測できないという欠点がある。そこで、和のモアレ縞を生成する場合、写真感光材料の特性等の非直線性を利用して、空間的に低周波成分としてモアレ縞を見易くする。

(II) 積のモアレ干渉

積のモアレ縞は、式(4)と(6)の積をとることにより、次式の関係から得られる。

$$I_4(x, y) = I_1(x, y) I_2(x, y) \\ = (K_1 + K_2 \cos \phi_1) (K_1 + K_2 \cos \phi_2) \\ = K_1^2 + K_1 K_2 \cos \phi_1 + K_1 K_2 \cos \phi_2 + K_2^2 \{ \cos(\phi_1 - \phi_2) + \cos(\phi_1 + \phi_2) \} / 2 \quad \dots\dots(10)$$

上式で、モアレ干渉に寄与する項は、低周波成分であるから、第4項の $\cos(\phi_1 - \phi_2)$ であり、その位相は式(4)および(6)の関係から次式が得られる。

$$\phi_1 - \phi_2 = W_1(x, y) - W_2(x, y) + \Delta B(x, y) + \alpha x + \beta y \\ = m\lambda \quad \dots\dots(11)$$

積のモアレ縞は空間的に低周波成分として得られるので、重ね合わせた干渉縞が見えない観測系でもモアレ縞は見える。

このようにして得られた和のモアレ縞の式(8)および積のモアレ縞の式(11)は同一であり、縞のコントラストが異なっているのみである。

図1において、一般的にはミラーの回転角は小さいので式9、11における $\Delta B(x, y)$ は無視できる。従って式9、11は次のように書ける。

$$W_1(x, y) - W_2(x, y) + \alpha x + \beta y = m\lambda \quad \text{.....12}$$

上式がモアレ干渉法で得られる縞模様を表す一般式である。得られたモアレ縞は格子状の縞模様で、 $W_1(x, y) - W_2(x, y)$ に比例した変形をしていることが式12から分かる。これを変形格子型モアレ縞と名付ける。

特に、ミラー1の回転角がゼロのときには、 $\alpha = \beta = 0$ で $\Delta B(x, y) = 0$ となるので式11は、次のように書き改められる。

$$W_1(x, y) - W_2(x, y) = m\lambda \quad \text{.....13}$$

上式はモアレ縞が物体光の波面形状の変化のコンツァーであることを示しているのでコンツァー型モアレ縞と呼ぶ。

式12、13に基づいて次の特徴が確認される。

- (1) 両式には、 $A(x, y)$ 、 $C(x, y)$ 、 $\Delta B(x, y)$ が含まれていない。従って、干渉計の波面収差を原因とする誤差をモアレ干渉法を適用すれば、取り除くことができる。このことは大口径の干渉計を製作する場合に大変有効である。
- (2) 上の解析では、物体面における参照光と位相物体照明光との振幅分布を観測面から見て一様にする以外には特別の制限がない。従って、2つのミラーを粗面に置き換える可能性を有する。これは、Leendertzのスペckル・パターン干渉計そのものである。従ってLeendertzのスペckル・パターン干渉法は、モアレ干渉法の一スペシャル・ケースであると言える。
- (3) モアレ干渉法によれば、位相分布の変化($2\pi/\lambda$) $[W_1(x, y) - W_2(x, y)]$ が検出できる。このことは、モアレ干渉技術によって二次元の減算が行なわれることを示している。
- (4) 図1に示したように座標 x, y における観測光は、 X, Y の平行光によるものでありレンズの結像系による歪みはない。また干渉縞計測の場合、検出される測定量 $[W_1(x, y) - W_2(x, y)]$ は空間的に非常に低周波で数本の縞で表現できるのが一般的である。従って、観測光の歪みによる誤差は大きくないと思われる。

上記したモアレ干渉法の特徴はホログラフィ干渉法のものと同じである。従って、本モアレ干渉法はホログラフィ干渉を内包する。

3. 実験的考察

実験によって、上記したモアレ干渉法の原理や特徴を以下に示す。

ここでは、上記した理論(和と積のモアレ干渉法)の正当性を実験によって確認する。写真1は、本実験で使用したモアレ干渉計(トワイマン・グリーン干渉計)の全景を示す。実験に使用した位相物体としては、あるスライドガラスを対象とし、その変形にはオプティカルパラレルでない板ガラスを使用した。



写真1. モアレ干渉計の全景

3.1 トワイマン・グリーン干渉計に関する実験

写真2に、物体光と参照光との傾きをゼロに調整し、標準トワイマン・グリーン干渉計によって得た標準の干渉縞(スライドガラスのみ)を示す。



写真2. トワイマン・グリーン干渉計によるスライドガラスの干渉縞

3.2 和のモアレ干渉法に関する実験

上記した干渉計で、ミラー1にある傾きを持たせて($\alpha \neq \beta \neq 0$)得た変形格子型干渉縞を写真3に示す。

(a)は、スライドガラスとオプティカルパラレルでない板ガラスに対する干渉縞である。(b)は板ガラスのみの干渉縞を示す。(c)は、(a)と(b)を2重露光して得た変形格子型の干渉縞である。これから、和のモアレ干渉によって得た干渉縞は、写真2の干渉縞と一致することが確認されるが、写真3の(a)と(b)との干渉縞の周波数が低いために干渉縞が鮮明でない。この

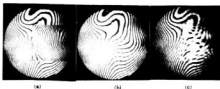


写真3. 和のモアレ干渉法によって得たスライド・ガラスの干渉縞($\alpha \neq \beta \neq 0$)

理由はミラーの回転角(α, β)が少なかったためである。写真4は、上記と同じ干渉計で回転角(α, β)をもう少し増加したものであり、結果のモアレ縞写真4(c)は、写真3(c)よりもモアレ縞が鮮明であり、写真2とよく一致していることが分かる。

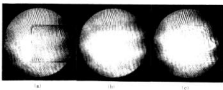


写真4. 和のモアレ干渉法によって得たスライドガラスの干渉縞($\alpha \approx \beta \approx 0$)
(ただし、上実験よりミラー-1の角度が大きい)

3.3 積のモアレ干渉法に関する実験

写真5は、積のモアレ干渉法によって得た干渉縞を示す。(a)は、スライドガラスとオプティカルパラレルでない板ガラスに対する干渉縞、(b)は板ガラスのみの干渉縞を示す。(c)は、(a)と(b)のフィルムを別々に撮影し、それらのフィルムを重ね合わせ焼き付けた干渉縞である。これから和のモアレと同様に、積のモアレ干渉法から得られた干渉縞は、写真2と同じ干渉縞であることが確認される。

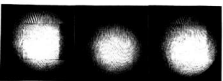


写真5. 積のモアレ干渉法によって得たスライドガラスの干渉縞($\alpha \approx \beta \approx 0$)

3.4 粗面ミラーを用いたモアレ干渉に関する実験



写真6. 粗面干渉の例

この実験は、3.1と同じ干渉法で2枚の全反射ミラーを粗面にするためすりガラスを用いた。この干渉計の物体面に、スライドガラスとオプティカルパラレルでない板ガラスを置いたときに得られるスペckル・パターン状の干渉縞とスライドガラスなしで得たものとを2重露光で重ね合わせた結果が写真6である。コントラストは非常に悪いが、得られている縞模様は写真2の干渉縞と一致している。

この実験は、3.1と同じ干渉法で2枚の全反射ミラーを粗面にするためすりガラスを用いた。この干渉計の物体面に、スライドガラスとオプティカルパラレルでない板ガラスを置いたときに得られるスペckル・パターン状の干渉縞とスライドガラスなしで得たものとを2重露光で重ね合わせた結果が写真6である。コントラストは非常に悪いが、得られている縞模様は写真2の干渉縞と一致している。

この結果は、理論の2項で予想したとおり、測定系のミラーが粗面でも良いことを意味している。

これらの実験を通じて、理論の項で述べた和および積によるモアレ干渉技術によって得られた縞模様が全く同一であることが確認できた。

また、本実験では光学系部品の面精度 $\lambda/10$ の部品を使用しているが、たとえばミラー、レンズ、ハーフミラー等に波面収差があったとしても理論1項で述べたように波面収差を原因とする誤差は、モアレ干渉法では取り除くことが可能と推測される。ここでは、ビデオ技術を用いたモアレ干渉技術についての実験は行なわなかったが、文献2)に述べられているように和あるいは積のモアレ干渉がビデオ技術の導入により簡単に処理できる。

4. 結 言

理論の導出および実験によって本モアレ干渉技術の一部についてその正当性・有効性について確認したが、改めて本モアレ干渉法の特徴をまとめておく。

- 1) 位相物体の変化が計測できる(ホログラフィの時分割干渉に相当する)。
- 2) 干渉計の光学要素が高精度でなくてよい。
- 3) ホログラフィ干渉における粗面干渉に相当する干渉縞パターンが得られる。
- 4) 干渉縞の記録・再生、モアレ縞の生成を実時間で、しかも明るい部屋で容易に観察することができ、コンピュータ処理による縞走査²⁾を利用した自動縞解析³⁾の導入が可能である。

今後の課題としては、このような特徴を持つモアレ干渉技術を従来のホログラフィ干渉計測・シェアリング干渉計測分野に適用し、サーモプラスチックレコーダ、ビデオ技術を導入した上でFRP、FRM等の新素材の微小変形計測、非破壊検査に応用したい。

本研究は、昭和63年度中小企業大学校・中小企業指導員養成過程6カ月コースにおける後半3ヶ月の実習成果である。

終わりに、この研究に御支援頂いた関西大学・機械工学科新井氏に深謝の意を表する。

文 献

- 1) 横関：モアレ干渉法，光学，12，6，(1983)501
- 2) 横関：縞走査，光学，10，3，(1981)202
- 3) 新井他：走査モアレ法による干渉縞位相分布の自動測定法，精密工学会講演論文集(1988)919

金属系複合材料の応用とそのハイブリッド化技術に関する研究

(昭和63年度加速的技術開発支援事業)

土取 功, 新田 明, 中村和清, 芳野光利, 横山宏樹

The Reaction of Interface on Diamond to Metal Bonding for Diamond Reinforced Metal Tool.

TSUCHITORI Isao, NITTA Akira, NAKAMURA Kazukiyo, YOSHINO Kazutosi and YOKOYAMA Hiroki

Synopsis

In the diamond tools, some superior features were required, i.e. efficiency cutting, long life, silent, good cutting surface, etc. Therefore the compatibility of diamond and metal matrix is particularly important for production of tools. In particular, stronger diamond to metal bonding has been desired in the many properties. In this experiment, analysis of diamond surface reacted with metal matrix alloy, which exposed by break test, was examined participated with the above bonding strength. The addition of some active elements into metal matrix was effective at the interface reaction, but for strong bonding strength, the quantities (thickness) of intermetallic compounds must be controlled adequately at the interface.

1. はじめに

金属基複合材料(MMC: Metal Matrix Composite)が従来の有望材料として注目され各所で研究開発が行われている。金属材料は元来、ミクロ的には複合材料であるが、一般的には、もう少し積極的に複合化を行った材料が研究されている。我国では次世代産業基盤技術整備の研究の中で繊維強化金属(FRM)が取り上げられ精力的な研究開発が行われた。そのためか金属系複合材料といえばFRMといった感が強いが、その他にも分散強化材料や粒子強化材料がある。金属基複合材料の中で現在の工業界に欠かせないものとして実用され、確たる地位を占めているものに超硬材料とダイヤモンド複合金がある。前者は各種切削工具や耐磨耗材料として、後者は各種切断ブレードや研削工具として関係業界に欠かせないものとなっている。これらはいずれも金属基複合材料の中の粒子強化材料であるが、ダイヤモンド複合金を応用した各種工具の製造は県内企業において技術転換が行われているところである。ダイヤモンド工具は現在の材料の高硬度化や新材料の登場と共に著しい需要の増加を示してきており¹⁾、また製造面からもその付加価値は高く将来性のある産業になりつつある。しかし、県内企業に比べて他地域の先発メーカーはより高い技術蓄積が何われ、その製品は高級化しつつある。このように、より高級

な製品の製造を目指して行くには工具として各種の材料特性や物性を把握しながら製品開発を進めていく必要がある。そのような各種特性の中で最も重要なものの一つであるダイヤモンド砥粒とマトリックス金属の関係がある²⁾。それらは(1)マトリックス金属ダイヤモンド粒の保持力、(2)マトリックス金属の弾性率、(3)マトリックス金属の耐摩耗性、(4)基板の疲労強度、…等々の多くの因子がある。中でも(1)の項目については特に重要であるにもかかわらず、公表されたデータは皆無に近い。むしろ重要であるからこそ公表されることがほとんど無かったものと思われる。⁴⁻⁶⁾本研究はこのマトリックス金属とダイヤモンドの保持力(接合力)について明かにしていくことを目的にその試験方法を検討すると共により効果的な試験片作製を探ることの試みも行った。また、マトリックス金属に合金元素を添加した場合のことを考慮して、これら添加元素とダイヤモンドとの反応性について調査した。

2. 実験方法

本実験ではまずマトリックスを一般的なコバルトのみで3点曲げ試験を行い、その問題点を検討した。そして、より効果的な実験手法を探るため、試験片作製等について試行した。

また、マトリックスへの添加元素として、カーボンに対して活性であるクロム、チタンを選び、ダイヤモンド

ドとの反応性を調査した。

2.1 供試材

マトリックスに用いたCo粉末は純度が99.9%で1~2 μm 粒子径のものである。また新しい実験手法としてCoマトリックスにカーボンに対して活性であるCrとTiを選び、それらの粉末をそれぞれ5%添加して予め焼結した材料で複合化を試みた。

一方、用いたダイヤモンド砥粒は天然ダイヤモンド(De Beers社製, EMBS 30/40 USmesh)と人造ダイヤモンド(GE社製, MSD 30/40 USmesh)を用いた。それらの外観を写真1に示す。

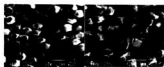


写真1. 実験に用いたダイヤモンドの形状

2.2 複合化方法

まず保持力の試験におけるダイヤモンド砥粒の集中度の影響をみるため、Co粉末にその集中度が20~100になるようにダイヤモンド砥粒を加え、ナイロンボールを入れたボットミル混合機で十分に混合し(1hr, 以上)、これらを真空ホットプレスで加圧焼結(1100 $^{\circ}\text{C}$ \times 1hr, \times 250kg/mm)を行い成形(約3mm $^{\text{L}}$ \times 10mm $^{\text{W}}$ \times 40mm $^{\text{H}}$)した。

また新しい実験手法の試みとして、予め焼結させたマトリックス材料を図1の(a)のような寸法に切り出し、ダイヤモンド粒の位置をある程度決めるため(b)のようにロックウェル硬さ試験機で一列に凹みをつけ、そこにダイヤモンド粒を配置した。さらに強度試験時この箇所から破断するように一列に配置されたダイヤモンドの両外側に非接合部をつくるため、BNを帯状

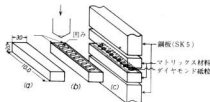


図1. 試験片の作製方法

に塗布した。そして(c)のようにこの上に同じマトリックス焼結材を載せ、この上下に鋼の板材(SK5.3mm $^{\text{L}}$ \times 10mm $^{\text{W}}$ \times 25mm $^{\text{H}}$)を配置してこの状態でホットプレスの黒鉛治具の3箇所セットした。このようにして1100 $^{\circ}\text{C}$ \times 1hr, \times 200kgfの条件でダイヤモンドとマトリックス金属の複合化を行った。

2.3 試験方法

複合化後、図2のような3点曲げ試験によってその強度を評価した。またその破断面を観察するとともにその表面をエネルギー分散型X線分析装置(EDX)によって各種分析し、マトリックス金属とダイヤモンドとの反応性についてを調査した。また、一部引っ張り試験も行った。

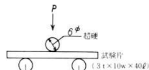


図2. 3点曲げ試験

3. 実験結果および考察

図3にダイヤモンド複合金の真空ホットプレスによる加圧焼結過程における寸法変化の挙動を示す。これから、450 $^{\circ}\text{C}$ 付近で焼結が始まり、ほぼ1050 $^{\circ}\text{C}$ 位で終了していることが分かる。従ってマトリックスの高密度化には1100 $^{\circ}\text{C}$ 程度の焼結温度が適当と考えられる。次に、ダイヤモンド複合金では一般に3点曲げ試験によって各種の評価が行われることが多い。しかし、その時のダイヤモンド集中度についてはあまり考慮されていないのではないかとと思われる。そこで、この集中度が曲げ強さに与える影響について調べた。図4にその結果を示す。Coマトリックスにダイヤモンドが複合されると、その曲げ強さは母材より低下しており、

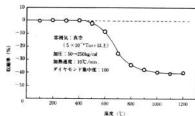


図3. ダイヤモンド複合金の加圧焼結時における収縮曲線

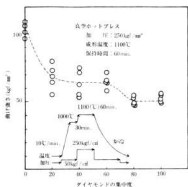


図4. ダイヤモンド複合合金におけるダイヤモンド砥粒の集中度と3点曲げ強さの関係

複合強化していることが分かる。このことからマトリックスとダイヤモンドの結合力はかなり弱いことが推測できる。また曲げ強さは集中度の増加と共に緩やかに低下している。これは複合材料で界面の結合力の低い場合、その強化相の割合の増加だけ母材断面積を減じる結果によるものと考えられる。そしてその曲げ強さは集中度が60位まではバラつきが大きく、80以上では比較的、集束しており、これは3点曲げ試験法の

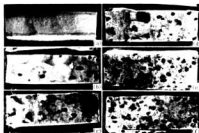


写真2. 集中度が異なるダイヤモンド複合合金の曲げ試験後の破断面

影響と思われる。すなわち、3点曲げ試験では試験片のある一横断面に応力を集中させるため、その断面において、ダイヤモンド砥粒の存在する数に曲げ強さが支配されることが考えられ、集中度の低いところは当然、そのバラつきも大きくなっているものと思われる。従って、3点曲げ試験法で本実験のCoマトリックスではその集中度が80以上の試料によって試験するのが適当と思われる。その破断面の様子を写真2に示す。

表1. 複合化試験片の引張試験

組成	引張強さ (kgf/mm ²)
Co (100%)	26.9
Co+5%Cr	29.6
Co+5%Ti	28.3

集中度の低いものは砥粒も疎らである。また破断面はかなり凸凹状になっている。

次にCr、Tiを5%添加した材料を予め焼結しておき、これでダイヤモンドとの複合化を行った試験片の引張試験の結果を表1に示す。

またその破断面の様子を写真3に示す。中央部に帯状に白く見えるところが接合部でその中に円形状の塊状物が一列に配置したダイヤモンド、両外側に黒い部分がBNによってつくられた非接合部である。

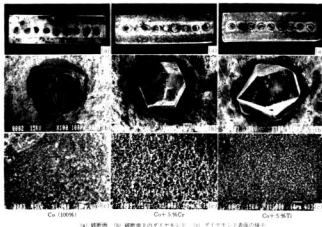
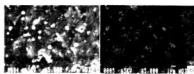


写真3. Co (100%), Co+Cr, Co+Tiで複合化した試験片の引張試験後の破断面

この引張試験の値はCr, Ti添加の場合ともCo単独に比べてわずかに強くなっているが、マトリックス自体が強くなっていることから、反応性の向上による保持力の向上があるかどうかは決定的でない。しかし、写真3の中で示されているように破断面のダイヤモンド表面上にTi, Crの場合とも反応生成物らしきものが観察されている。

現在のところ、このような試験片の作り方にはまだ、問題点がある。それは複合化時において写真3のTiの場合にダイヤモンド粒の周辺に黒い部分が存在し、Co単独の場合にはそれが観察されないことである。この黒い部分は加熱複合化時にダイヤモンド粒がマトリックス金属中へ複合化する際の塑性変形により、



(a) S.E. Image
(2.0 kV x1000)

(b) Co K α X-ray Image



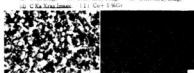
(a) S.E. Image

(b) Cr K α X-ray Image



(a) S.E. Image

(b) Ti K α X-ray Image



(a) S.E. Image

(b) Co K α X-ray Image

(c) Ti K α X-ray Image



(a) S.E. Image

(b) Co K α X-ray Image

(c) Cr K α X-ray Image

(d) C K α X-ray Image (2.1 Co+5.9Cr)

ダイヤモンド粒の周囲に未接着部を生じたためと考えられる。これに対し、Coだけのときはマトリックスが十分軟らかく、ダイヤモンド粒の周囲まで複合化時の粘性流動によって充填されたものと思われる。このことは引張試験時には切欠き効果として働き、その値に影響していることが十分考えられ、今後、改良を要する点である。

写真4にこれらのEDXでの分析結果を示す。Cr, Tiを添加した場合には、破断面上のダイヤモンド表面にこれらの添加元素が検出されたことはダイヤモンドとマトリックス合金成分が反応して、それらの元素、あるいはそれらの元素との反応生成物がダイヤモンドと接合力が強く破断面上に多量に残存したことを示している。ここでの反応は当然、添加元素の炭化物生成反応と考えられる。TiとCrを添加した場合を比べるとTiの場合の方がその炭化物生成の標準自由エネルギーからもCとの反応性は強いことが考えられる。

4. ま と め

金属基複合材料の中で現在応用が進んでいるダイヤモンド複合金においてその保持力の指標を得るべく試験方法について検討した。マトリックス金属をコバルトの場合、ダイヤモンドの集中度は80以上が望ましくことが分かった。コバルト単独のマトリックスにくらべクロム、チタンを添加した場合、炭化物を生成している可能性が伺われたが、その反応性については違いが認められた。これら添加元素の量と焼結条件を適切に選択することによりその接合性及びマトリックス特性を向上させることができる可能性が示された。

文 献

- 1) 通産省「生産動態統計」
- 2) BABU N. THAKUR : Society of Manufacture Engineers, (1985), MR85-307
- 3) P. M. SCOTT, M. NICHOLAS, B. DEWAR : JOURNALS OF MATERIALS SCIENCE, 10 (1975), p 1833
- 4) Yu. V. NADICH, V. P. UMANSKII, I. A. LAVRINENKO : INDUSTRIAL DIAMOND REVIEW, (1984), p 327
- 5) Z. LIN, R. A. QUEENCY : Powder Metallurgy International, 18(1986), p 76
- 6) Xu · Zha. -ying, Lin · Zhǎng-dong : Powder Metallurgy (chinese) 5, (1985) p 12

写真4. 複合化試験片の破断面ダイヤモンド上のEDX分析

溶射に関する研究(第5報)

溶射による金型作製に関する研究

原 信彦, 野地英治, 筒本隆博

A Study on Die Fabricating Technique by Thermal Spraying

HARA Nobuhiko, NOJI Hideharu and TSUTSUMOTO Takahiro

To fabricate many kinds of die by arc spraying thermal conditions and mechanical properties of sprayings were studied. It was found that arc spraying was one of the splendid methods to make many kinds of dies.

The results were as followed.

1. Spraying distance and spraying current of Zn-alloys and Cu-Zn alloys have not so much influences on overheating master model and adhesion strength.
2. But spraying current of SUS 420J2 has a remarkable influence on overheating master model and it should be kept under 80A (1.6mm φ) not to exfoliate the spraying.
3. Spraying distance of SUS 420J2 has a remarkable influence on adhesion strength, too. That is shorter distance is better than longer (between 100mm and 400mm)
4. Spraying angle of 90 is not always best for adhesion strength, and generally until 45 it has not so much influence on adhesion strength.
5. Hardness of spraying depends on the kinds of materials not on spraying conditions such as distance angle and current.

1. 緒 言

最近, 商品の多様化により多品種少量生産の傾向になり, 製品コストに占める金型費の割合が大きくなっているため, 安価で短時間に金型を作製する技術が求められている。

アーク溶射法は, 被溶射物に与える温度が低いためマスターモデルの材質は, 金属・木・石膏・皮など多くの物が使用でき, 皮膜の熱変形や収縮が極めて少なく寸法精度・転写性が良いため, マスターモデルに忠実な金型を短時間に安価に作る事が出来る方法であると言われている。¹⁾ そのため, 簡易金型としては以前から使用されていたが, これを改良してプレス金型に適用し, 10,000~50,000ショット以上使用出来たとの報告もある。²⁾

本研究では, 射出成型用, 真空成型用, リム成型用ゴム用, プレス用の中量生産用の金型を作る目的で溶射材料に融点の異なる亜鉛合金, 黄銅, SUS420J2を使用し, 溶射条件を変化させて, 金型作製で基礎となるマスターモデルの加熱温度と皮膜の性能について検討した。

2. 実験方法

供試材は, 溶射材料に亜鉛合金(亜鉛, チタン, 銅)

・黄銅, SUS420J2の1.6mmワイヤを使用した。マスターモデルの温度上昇の測定には, モデル材に金属粉末入りのエポキシ樹脂を使用し, モデルの表面に2箇所と表面から10mm入った点にK熱電対を埋込んで行なった。又, 溶射方法はガンを手持ちで行ない, 溶射距離300mmと100mm, 角度はほぼ直角で10秒溶射後, 10秒空吹きを行なって冷却し, これを繰り返したものと, 一部については連続して2分間溶射した。又電圧は20V~30V, 電流は50A~110Aと変化させた。

皮膜の性能を測定するために使用したテストピースは図1に示す引張り試験片と, 硬さ用に50×50×3mm²のSS材をブラスト後, 引張り試験片と硬さ試験片を同時に次の条件で溶射した。

溶射ガンは自動走行装置に取り付けて溶射速度8m/分一定で行なった。

溶射距離, 角度の影響を調べる場合は, 皮膜の厚さを約1mmとし, 引張り試験には万能試験機を使用し硬さは試料の断面をマイクロピッカーズで荷重10gで測定した。

溶射距離が強さ, 硬さに及ぼす影響については, 距離を100, 200, 300, 400mmと変化させ, 溶射角度は90°で行なった。

溶射角度は溶射ガンを水平に取り付け、テストピースを90°(垂直), 60°, 45°, 30°, と傾け、溶射距離は200mmで行なった。

溶射皮膜の厚さは溶射距離200mm, 角度90°と一定にし、パス数を材料によって1パス~13パスまで変化させ、厚さが0.4~1.3mm前後になるように調整した。

溶射角度が溶射量に及ぼす影響は、各角度の溶射皮膜の厚さをパス数で割って1パスの溶射量とした。

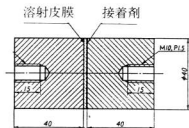


図1. 引張り試験用テストピース

3. 実験結果と考察

金型を作製する場合、マスターモデル及び溶射皮膜の温度上昇は金型に歪を与え、精度を下げるほか、溶射時に皮膜の剝離が発生したり、モデルの材質によってはモデルを傷付け、溶射できなくなるため、作業条件を変えてマスターモデルの温度変化を測定した。その結果を図2, 3, 4に示す。

金型を作製する場合の適性溶射条件と思われる亜鉛合金20V-50-60A, 黄銅25V-60-70A, SUS420J 2 25V-60-70Aで溶射した場合、モデルの表面温度はいずれも溶射を始めると急速に上昇し、10秒間溶射しても62℃以下で、溶射をやめる(10秒)と急速に低下する。これを2分間繰返しても温度は62℃以上には上昇せずこの条件は金型の製作に適していた。

またモデルの内部の温度はゆっくり上昇し2分間で37℃前後であった。その一例を図2(亜鉛合金)に示す。

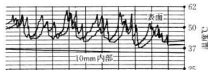


図2. マスターモデルの温度変化

図3は黄銅を2分間連続して溶射した場合と、溶射距離を100mmに近づけた場合のモデルの温度変化である。連続溶射の場合、1分まではゆるやかに上昇するが、1分後はほぼ平行で62℃前後を保ち、300mm以上離れた場合連続して溶射してもそれ以上温度は上らなかった。溶射距離を100mmにした場合は、急激に温度は上昇し30秒で110℃近くになり、100mmでの溶射はオーバーヒートの原因になる。

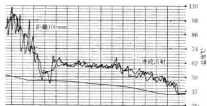


図3. 連続溶射, 距離100, 300mmのモデルの温度変化

図4はSUS420J 2の電圧電流を変えた場合のマスターモデルの加熱温度の変化を示した。25V-60Aでは62℃以下であるが、25V-80Aでは70℃以上になり、30V-110Aでは120℃前後まで上昇し、80A以上になるとオーバーヒートになり剝離の原因になる。又110Aではモデルが樹脂の場合焦て使用できなくなった。

肉盛溶射の場合、溶射距離は、100mm前後が皮膜の性能が良いといわれているが、金型を作製する場合は100mmではモデルの温度が急激に上昇するため、離す必要がある。そのため、溶射距離をどこまで離すことが出来るかを調べるため、溶射距離が皮膜の性能に及ぼす影響を調べた。

溶射距離が引張り強さに及ぼす影響を図5に、硬さに及ぼす影響を図6に示す。

引張り強さは、亜鉛合金は100mm0.62kgf/mm², 400mm 0.51kgf/mm²とわずかに低下するが、黄銅は400mmでも強度の低下は見られないが、SUS420J 2は100mmで2.8 kgf/mm², 400mm 1.96kgf/mm²とはほぼ直線で低下し、距離の影響は大きかった。

硬さに及ぼす影響は、亜鉛合金40-48Hv 黄銅123-154Hv SUS420J 2 464-493Hvで、400mm離れても硬さの低下は見られなかった。

この結果SUS420J 2の引張り強さをのぞいては、溶射距離の影響は400mmまでは、ほとんどなくマスタ

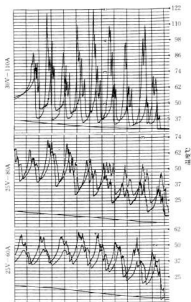


図4. 電流電圧を変えた場合のマスターモデルの温度変化

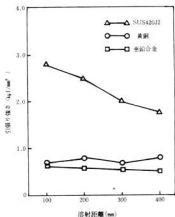


図5. 溶射距離が引張り強さに及ぼす影響

一モデルの加熱を考慮した場合、300mm前後が良いと思われる。

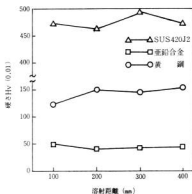


図6. 溶射距離が硬さに及ぼす影響

金型作製にあたって、凹部を溶射する場合、溶射角度が問題になる。そのため溶射角度が引張り強さ、及び硬さに及ぼす影響を検討した。

溶射角度が引張り強さに及ぼす影響を図7に示す。

引張り強さは、亜鉛合金は0.6~0.8kgf/mm²、黄銅0.8~1.0kgf/mm²、SUS420J2 2.5~3.4kgf/mm²で、いずれも45°が最も高い値を示したが、亜鉛合金、黄銅は角度の影響は少なかったがSUS420J2は大きい。

溶射角度が硬さに及ぼす影響を図8に示す。

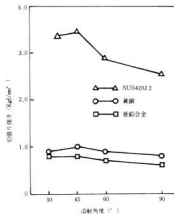


図7. 溶射角度が引張り強さに及ぼす影響

黄銅は角度がつくにしたがってわずかに硬さは低下したが、その他は角度の影響は認められず、90°と30°の差はあまりなかった。

一般では溶射角度は90°が良いと言われているが、本研究では45°の強さが最高となった。このことについては今後追求していく。

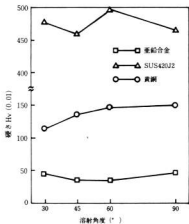


図8. 溶射角度が硬さに及ぼす影響

溶射角度によって溶射歩留りがどのように変化するかを見るため、溶射角度が溶射量に及ぼす影響を調べた。その結果を図9に示す。いずれの材料も角度がつくにしたがって1パスの溶射量は少くなり歩留りは悪くなった。

金型作製の場合の溶射皮膜厚さは1mm以上必要のため、皮膜の厚さが引張り強さに及ぼす影響を調べた。

亜鉛合金、黄銅は厚さが変わっても強度はほとんど変化せず、SUS420J2も厚くなるとわずかに下る程度で、厚さの影響は少なく、かなりの厚盛も可能であることがわかった。

4. 結 言

アーク溶射により金型を作製する場合の基礎となる溶射条件が、マスターモデルの温度上昇及び皮膜の性能に及ぼす影響について検討した。

1) マスターモデルの加熱は、電流値が高くなるにし

たがって上昇するため、出来るだけ低くすることが望ましく、80A以上になるとオーバーヒートの原因に

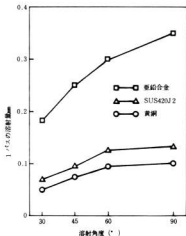


図9. 溶射角度が溶射量に及ぼす影響

なる。

また溶射距離もあまり近づけると加熱の原因となるため、300mm前後が良いと思われる。

- 溶射距離が強さ、硬さに及ぼす影響は、亜鉛合金、黄銅は400mmではほとんど影響なかったが、SUS420J2の引張り強さには大きく影響した。
- 溶射角度が強さ、硬さに及ぼす影響は、引張り強さは45°が最高値を示し、硬さについては、角度の影響は認められなかった。又、溶射角度がつくにしたがって溶射歩留りは悪くなる。
- 溶射皮膜の厚さが強さに及ぼす影響は、皮膜の厚さが厚くても強度の低下は少なく、1mm以上の厚盛も可能であることがわかった。

文 献

- 露崎恒雄：プラスチック用簡易型のすべり，p 13
- 月岡良介：日本溶射協会第45回学術講演大会講演文集，p 44(1986)

形状記憶合金の接合に関する研究

筒本隆博, 中村和清, 鈴木 寛, 横山宏樹, 菊山信行

A Study on Welding of Ni-Ti Shape Memory Alloy

TSUTSUMOTO Takahiro, NAKAMURA Kazukiyo, SUZUKI Hiroshi, YOKOYAMA Hiroki and KARIYAMA Nobuyuki

In this study, some welding tests of a Ni-Ti shape memory alloy wire (1mm ϕ) were performed by hand made percussion welder, and the welding conditions to obtained good joining strength were examined by tensile test and SEM or microscopic observations of fractured specimens. Over 180V and 140V of Charge voltages were required for good joining strength where condenser capacities were 10000 μ F and 15000 μ F respectively. These conditions were equivalent to a condition over about 40cal in heat input of welding. However, when internally oxidized part during welding remained in the joint, the strength drastically decreased even at an enough heat input of welding.

1. 緒 言

近年、形状記憶合金は新しい機能を持った新材料として注目を集めている。加熱すると元の形に戻るという非常に単純で興味ある機能であるため、専門家のみならず一般の人々から多くのアイデアが出され、この材料を使った特許は膨大な数に上る¹⁾。その一部がすでに実用化となり、女性用のブラジャーなどの応用例は広く知られるところとなっているが、多くのアイデアは、この材料の信頼性、成形加工性などいくつかの技術的問題点のため依然実用化されていない。

その問題の一つとして、形状記憶合金の溶接が挙げられる。一般に形状記憶合金は使用時に大きな歪みを繰り返して受けることから、溶接部の受ける負荷も大きく、大きな信頼性が要求される。

本研究で取り上げたNi-Ti系形状記憶合金は素材の強度も100kgf/mm²以上と非常に高く、現在最も多く実用に供されている材料で、TIG、抵抗溶接、レーザー、フィルター金属を使ったものなどいくつかの方法で溶接接合の研究が行われているが²⁻⁵⁾ けっして確立した技術とは言えない。

ここでは、小型の溶接機の開発を目指し、その原形となるパーカッション溶接機を試作し、それにより溶接実験をおこない、接合力という観点から、いくつかの溶接条件について検討を行った。

2. 実験方法

実験に用いたNi-Ti形状記憶合金は大同特殊鋼社製

造の線径が1mmのワイヤーで、それを通常の形状を記憶させるための温度である500℃で熱処理をほどこした。その後、硝酸沸酸水溶液で酸化スケールを落とし、溶接を行う端を#400程度のエメリー紙で長手方向に直角になるように磨き、試作したパーカッション溶接機で溶接実験を行った。図1に溶接機の概略とその電源回路を示す。

この装置の原理は、コンデンサを充電し、それを溶接したいワイヤーの両端に印加し、その時の電気エネ

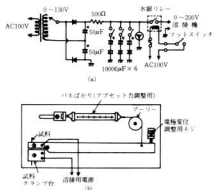


図1. 溶接実験に用いた溶接電源(a)と溶接機の概略(b)

ルギーの放出で溶接を行うというものである。その溶接用電源はコンデンサの容量が5000~15000 μ F、電圧が0~200Vの範囲で可変できる。また試料に加える加圧力は取りつけられたバネばかりによって調整できる。さらに溶接前後の電極間の変位を調整ネジによって任意の値に制限できるようにした。

溶接した試料は、島津製作所製の万能試験機DSS-10Tにより引張り試験を行い、接合部の強度を測定した。その時つかみ部から破壊が起こらないよう、銅板でその部分を保護して試料を取りつけた。

破壊した試料は、日本電子工業製の走査型電子顕微鏡JSM-820により破面観察を行うとともに、溶接部断面を硝酸濃酸水溶液により腐食し組織観察を行った。

3. 実験結果及び考察

図2に加工硬化している素材を熱処理した後の引張り強度の変化を示した。500 $^{\circ}$ Cでは100kgf/mm²以上の強度が得られているが、再結晶の起こる550 $^{\circ}$ C以上では大きく強度が低下し、70~80kgf/mm²の強度となっていることがわかる。

図3に試料の加圧力を5kgfとし、コンデンサ容量と充電電圧を変化させたときの接合強度と電極変位量の変化を示した。ここで、溶接後の電極変位量は調整ネジにより制限していない。図より充電電圧が上昇するにしたがって電極変位量は急激に増加し、それに伴い接合強度も上昇し、10000 μ Fで180V以上、15000 μ Fで140V以上の条件で接合強度は、素材を再結晶温度以上で熱処理したものの約80%である50~60kgf/mm²という値が得られていることがわかる。

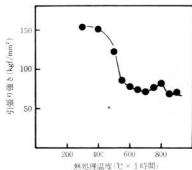


図2. 素材の引張り強度に及ぼす熱処理温度の影響

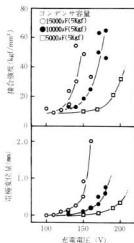


図3. 電極変位量と接合強度に及ぼす充電電圧の影響

これは、西川²⁾が0.73mm ϕ の線材の抵抗溶接で得た100kgf/mm²という接合強度には及ばないものの、佐藤ら³⁾がミニプラズマ法により得た60kgf/mm²に匹敵する接合強度である。

図4に接合強度と溶接前後の電極変位量の関係を示す。これより接合強度は電極変位量が増加すると共に上昇し、ほぼ0.5mmの変位量でほとんど飽和していることがわかる。

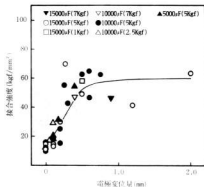


図4. 接合強度と電極変位量の関係

西川²⁾は実合せ抵抗溶接法によりNi-Ti ワイヤーを溶接する際、熱影響部を残さないためアプセット量を大きくし、バリを出すことにより熱影響部を少なくすることができ、良好な接合部が得られることを指摘している。しかし電極変位量を大きくするには最初の試料のつかみを大きくとっておかなければならない。しかしそうすると、過熱中に素材が柔らかくなり、溶接される前に試料が変形し接合部がずれやすくなり好ましくない結果となった。そのため、以後の実験では電極変位量を1mmに制限して実験を行った。

図5に電極変位量及び接合強度を溶接入熱に対してプロットした。溶接入熱Q(cal)は充電電圧E(V)とコンデンサ容量C(F)で次の様に求めた。

$$Q = \frac{1}{4.2} \cdot \frac{1}{2} CE^2 \quad (\text{cal}) \quad (1)$$

図より溶接強度と電極変位量は、コンデンサ容量が5000 μ Fのときを除き、ほぼ溶接入熱によって決まることがわかる。特に、5000 μ Fのときだけ曲線が上のほうにずれたのは、コンデンサ容量が低いと同じ溶接入熱を得るためには高い充電電圧が必要となり、そのため、電流値が増加し溶接過程が断熱状態に近づくからではないかと思われる。

溶接入熱が増加すると電極変位も増加し、それが約

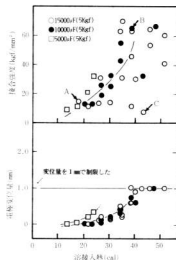


図5. 溶接入熱と電極変位、接合強度の関係

40calになると、ついに制限した1mmに達する。それ以上の溶接入熱では、接合強度はばらつき、極端に低いものが見られるようになった。

写真1に素材及び溶接部を引張り試験した後の破面のSEM像を示す。素材は写真1-(a)のように全面ディンプル破面を呈し、引張り強度も123.6kgf/mm²とかなり高い値となる。

写真1-(b)は溶接入熱の不十分な試料(図5中のA)の破面を示すが、断面の全てが破面ではなく、溶着していない部分が残っていることがわかる。接合強度は14.9kgf/mm²と低く、さらに溶着している部分の面積で強度を計算しても、25.1kgf/mm²と素材の強度より

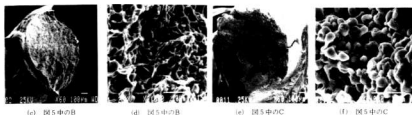
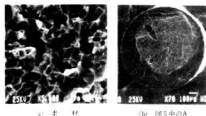


写真1. 素材及び溶接試料の引張り試験後の破面のSEM像



写真2. 引張り試験後の接合部の断面組織
(試料: 図5中のC)

かなり低い値を示した。これは、接合部の未溶着部が鋭い切欠きとして作用し、応力集中が起こったためであると思われる。溶着していたと考えられる破面を詳細に観察すると、中心部はディンプル破面であるが溶着部と未溶着部との界面に近いところでは擬へき開破面を呈していた。

写真1-(e)~(b)は図5中のBの試料の破面を示している。この試料は溶接熱も大きく、接合強度も63 kgf/mm²と比較的高い値を示し、破面のほとんどの部分が(d)に示すようなディンプル破面であった。

写真1-(e)~(f)は図5中のC、すなわち溶接熱は十分大きいのに接合強度が7.4kgf/mm²と低い値を示した試料の破面である。破面の大部分は写真1-(f)に示すような粒界破面を呈している。

写真2には同試料の縦断面の顕微鏡写真を示す。腐食を行っていないが結晶粒界がはっきり現れ、粒界酸化が起こっていると思われる。また結晶粒の大きさも破面で観察されたものとはほぼ同程度であった。これは溶接中に酸化された部分が塑性流動によりバリとしてうまく排出されず接合部に残ったものと思われ、それが著しい強度の低下を引き起こしたのではないかと想像される。

この試料の結晶粒の大きさは、融点近くまでの温度上昇が予想されるにもかかわらず、700℃の中で1時間再結晶させた試料よりも小さい。これは、溶接時

の加熱が急速であるため、結晶成長の時間がなく、比較的小さい結晶粒のまま粒界酸化が起こり、そのことにより、結晶成長が妨げられたものと考えられる。

4. 結 言

Ni-Ti系形状記憶合金の溶接を行うため、パーカッション溶接機を試作し、線径が1mmのワイヤーを用いて溶接実験を行なった。そして溶接されたものの引張り試験により、接合強度を測定し、それを指標にコンデンサ容量、充電電圧などいくつかの溶接条件の検討を行なうとともに、引張り試験後の試料の破面観察及び断面の組織観察を行った。それにより次の様なことがわかった。

- 1) 充電電圧が上昇すると溶接前後の電極変位量は増加し、それに伴い接合強度も上昇し、その様子は溶接熱でほぼ規定された。
- 2) 接合強度は電極変位量に良く対応し、電極変位量が約0.5mmをこえると、再結晶温度以上で熱処理した素材の強度の約80%である50~60kgf/mm²の接合強度が得られた。
- 3) 溶接熱が十分に高いものでも接合強度の非常に低いものが現れた。これは溶接時の加熱で、素材が粒界酸化し、それがバリとして外へ排出されず接合部に残ったためであると考えられる。

5. 文 献

- 1) 石川昇治ら：形状記憶合金応用アイデア集、工業調査会、1987
- 2) 西川雅弘：金属学会会報、Vol.24, No.1, p.56, 1985
- 3) 佐藤忠行ら(宮城県工業技術センター)：昭和62年度・技術開発研究費補助事業成果普及講習会用テキスト
- 4) 荒本孝雄ら：日本金属学会秋季大会一般講演概要、p.426, 1987
- 5) Obering, Le Zeng Welding and Cutting 2, 1987, E:21
- 6) (財)大阪科学技術センター形状記憶合金用途開発委員会編：形状記憶合金とその使い方、日刊工業新聞社、p.206, 1987

FW製のCFRPを用いた軽量自動車の試作

下原伊智朗, 好漢芳那, 大橋俊彦, 三島 久,¹⁾ 池田芳清,²⁾ 広山光明,³⁾ 小川博文,⁴⁾ 浦野篤詳⁵⁾

Development of All Plastic Battery Car Installed Ring Suspension System

SHIMOHARA Ichiro, YOSHIMITSU Yoshikuni, OHASHI Toshihiko, MISHIMA Hisashi, IKEDA Yoshizumi, HIROYAMA Mitsuaki, OGAWA Hirohumi and URANO Atsunobu

In this work filament winding molding (FWM) machine was mainly employed for frame manufacturing. Honey comb core sandwich panels applied to build very light weight wheels and chassis. Firstly, operating of machine was studied and properties of FW-pipes which have various composition were evaluated to be main frame. After these fundamental studies all CFRP small vehicle for one person was build up. It has aluminum honey comb core sandwich structured wheel and frame, chassis, driving axis, ring suspension, etc made from CFRP, FRP.

1. 結 言

現在ある先端複合材料(ACM)技術は、航空・宇宙産業あるいはスポーツ・レジャー産業という限られた分野にしか利用されていない。それは第一に、材料が高価であることが大きな理由となっているが、その利用技術の情報不足というの一手を出し難い要因である。こうした背景で、今年度、技術パイオニア養成研修事業を行い、企業から派遣された研修生を中心に、先端材料の応用開発と評価を行った。

本研修では、炭素繊維等の加工技術を身につけ、応用分野を開拓するという意味で、コスト面はあまり重視せず、今回導入したFW(フィラメントワインディング)成形機によって作製したCFRPと、ハニカムサンドイッチ板を使った軽量自動車の製作を試みた。このコンセプトカー製作においては、以下のことをテーマにして開発を行った。

1. 超軽量であること。
2. CFRPを多用すること。
3. 持ち運びの簡単なこと。
4. デザイン的にアピール性のあるもの。
5. レジャー性をもつもの。

2. 応用複合部材の検討

2.1 FW成形によるパイプ材

FW成形により作成したパイプをコンセプトカーの

メインフレームとして使用するため、曲げ負荷に対するパイプの強度特性について、繊維の巻き角度と強化繊維の種類に関して検討した。

(1) 使用材料

エポキシ樹脂	三菱レイオン	MRF-1
炭素繊維	パイロフィル	T-16K
アラミド繊維	ケブラー49	968
ガラス繊維	富士ファイバークラス	1041

(2) 試験片

試験片は、 $\phi 16$ 及び $\phi 27$ のマンドレルを使用し、30~60度の巻き角度で、6層ワインディングして作成した。硬化条件は、120°C/12hrとした。

(3) 試験方法

パイプ材の曲げ試験は、パイプにそのまま荷重を加えると、その部分が座屈して破壊してしまうので、図1のように、パイプの内径に一致する鉄製の棒を差し込み、丸棒の部分に加圧する4点曲げで行った。

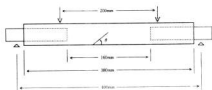


図1. パイプの曲げ試験方法

●昭和63年度技術パイオニア養成事業ORT研修

1) ヒロポン機 2) 東プレ機 3) 大協機
4) 機エス・シー・ケー 5) 機下中工作所

表1. パイプ材の曲げ試験結果

項目	単位	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	K-1	G-1	
強化繊維		CF						KF	GF	
巻き角度		30°	45°	60°	30°	45°	60°	30°	30°	
サイズ	内径	mm	27.2	27.3	27.3	15.9	16.0	16.0	16.0	15.7
	外径	mm	29.4	29.4	29.4	18.9	18.9	18.2	17.6	20.6
繊維含有率	wt%	59	60	58	56	58	58	—	77	
曲げ強さ	kgf/mm ²	30.1	27.9	14.9	26.2	30.4	18.5	15.0	26.8	
曲げ弾性率	kgf/mm ²	2990	1370	830	3270	1310	970	1600	1470	

(4) 結果と考察

試験結果を表1及び図2に示す。曲げ強さについては、繊維の巻き角度 θ が小さくなる程大きくなる傾向にあるが、30°と45°ではあまり大きな差が見られなかった。これは、60°のときは、パイプの下側、即ち引張側で破壊しているのに対し、30°、45°では圧縮側で破壊が起っていることから、特に30°においては、圧縮による破壊のため強度が上がりなかつたものと考えられる。また弾性率では、予想どおり巻き角度が小さくなる程大きな値となっており、巻き角度の少しの違いでも弾性率に大きく影響することがわかる。

2.2 ウィスカークの複合

積層成形品の欠点である層間強度を上げるために、ウィスカーによる樹脂の強化が期待されている。そこで、ウィスカーク強化の有効性について実験した。

表2に示す3種類のウィスカークを、ポリエステル樹脂に混合し減圧脱泡後、注型硬化させ5mm厚の試験片を作成した。また硬化後、60℃/8hrでアフターキュアした。

表2にウィスカーク配合樹脂から得られた物性を示す。チタン酸カリウム配合の弾性率に若干の向上が現れているが、強度的には、どのウィスカークもむしろ低下の要因となっている。この原因としては、樹脂とウィスカークの濡れ性や接着性が悪く補強効果が得られないこと、ウィスカークの繊維長が短かすぎること、ウィスカーク近辺にポイドが集まっていることなどが考えられる。従って、単にウィスカークを樹脂にブレンドしただけで

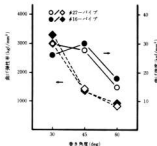


図2. 巻き角度と物性

は強化できないことがわかった。ウィスカークの表面処理などによって樹脂との接着性を上げる必要があると考えられる。なお、酸化亜鉛ウィスカーク、カーボンウィスカークについては、これ以上の添加配合は、粘度が著しく高くなり、困難であった。

2.3 アルミハニカムの接着について

ハニカム材は、ハニカムコアとスキン層の接着強さが材料の性能に大きく影響することから、いくつかの接着方法について検討した。

接着剤を、ポリエステル(UP)樹脂、エポキシ系(EP)二液接着剤、ホットメルト型接着シートの3種類について、またポリエステル樹脂に関しては、樹脂の塗布方法についても検討した。結果を表3に示す。CFRP板のみにポリエステル樹脂を塗ったものは接

表2. ウィスカー強化樹脂の物性

項目	単位	樹脂6801	チタン酸カリウム			酸化亜鉛			カーボン
			10部	20部	30部	2部	5部	10部	1部
ウィスカー添加率	phr								
引張強度	kgf/mm ²	7.8	5.4	4.3	5.0	6.5	6.5	6.2	6.7
引張弾性率	kgf/mm ²	350	380	430	480	340	350	360	330
曲げ強度	kgf/mm ²	12.7	9.0	7.7	8.2	10.6	9.8	9.7	10.9
曲げ弾性率	kgf/mm ²	300	330	390	420	290	310	330	290
アイゾット衝撃値	kgf·cm	19.4	13.5	9.6	10.9	21.2	19.7	24.4	21.3

表3. 各接着方法の接着強さ

接着剤/接着方法	接着剤重量 g	接着強度 kgf/cm ²	変動係数 %
UP/CFRPに塗布	0.08	—	—
UP/ハニカムに塗布	0.20	1.3	11.9
UP/両面に塗布	0.38	1.3	6.9
EP系二液性接着剤	0.42	4.2	7.2
ホットメルト型接着シート	0.25	4.8	4.9

着力が非常に弱く、くっついているだけという状態であった。やはり樹脂についてはエポキシ系の方が勝っており約3倍の強度が得られた。二液性のエポキシ接着剤とホットメルト型接着シートでは、ほとんど同程度の強さであった。後者の方がばらつきが少ない点で有利であるが、温度や圧力などの工程条件が厳しいため、接着場所によっては、二液性のものでも充分使用できることがわかった。

3. コンセプトカーの試作

今回のコンセプトカーはFW成形機によって作ったCFRPパイプを中心に製作することとした。そこでメインフレームは、パイプとハニカム板、サスペンションに、大口径のFW製CFRPリングばね、またホイールには、CFRP板とアルミハニカムのサンドイッチ構造のものを用いた。全体の構成を図3に示す。

制御部、駆動部については市販のものを利用した。

3.1 CFRPリングばね

FW製のリングばねは、形状としてはCFRPのパイプを切り出しただけのものであるが、炭素繊維の高い弾性率により、軽量でかたいものが作成できる。また従来の板ばね、コイルばねとは異なる形状であり、設計の自由度が広がる。今回作成したリングばねは、たとえば直径250mm、幅30mm、厚み4mmのもので、荷重10kgfに対して、10mmのたわみになるよう設計し作成した。実車では、幅を前側60mm、後側100mmとして、荷重を受け持つこととした。重量は、幅60mmのもので、約250gである。



図3. コンセプトカーの構成

3.2 ハニカム製ホイール

ホイールは、ハンドレイで積層したCFRP製のお盆状の板を2板用意し、アルミハニカムコアをサンドイッチして接着する方法によって作成した。リム部はアルミハニカムだけでは弱いので、CFークロスを接着した上に、FW成形機によって連続繊維を巻き付け補強した。

3.3 バイブフレームの接合

CFRPパイプでフレームを作成する際、大きな問題となるのが接合である。特にT字型の接合の場合、穴加工などを行うと、繊維を切断することになり強度が低下する。そこで、図4のように接合する部分に、CFRP材をインサートして補強し、ボルトによって止める方法を探った。しかしこれは、接合部の多い、バイブフレーム構造のため、相当の重量増加になると思われる。

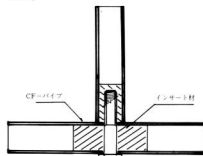


図4. バイブの接合

3.4 コンセプトカー主要諸元

寸法	
全長	1965mm
全幅	950mm
全高	590mm
ホイールベース	1300mm
トレッド 前/後	780 / 800mm
重量	
車両総重量	50kg
車両重量(駆動部・制御部を除く)	25kg
性能	
速度	20km/hr
モーター	12V/150W

バッテリー	38Ah
換向装置	リンク式 1対1
サスペンション	
前	ダブルウィッシュボーン
後	リンク式
タイヤ幅	前/後 60/100mm
ホイール	前/後 13/13inch



写真 コンセプトカー外観

4. 結 言

FW製のCFRPパイプを多用したオールプラスチック製の軽量電動自動車を開発した。(写真)このコンセプトカーは、次のような特長を有する。

- 1) 主要構造部材は、FW製CFRPパイプと、アルミハニカムサンドイッチパネルで、軽量化を実現した。
- 2) CFRP製のリングばねを用い、エアータイヤに替わるサスペンションとしている。
- 3) CFRP-アルミハニカムサンドイッチ構造の超軽量ホイールである。

◎ このテーマは広島県技術バイオニア賞或事業ORT研修(期間120日間)で実施したもので、中小企業の技術者5名を受け入れ、これを1チームとして、「先端複合材料の応用開発」を目的とし、テーマの企画、開発技術、評価技術の習得のため、当センター研究員と研修生が一体となり、共に考え、試行することにより「形のある成果」を目指し、コンセプトカーを試作する過程における実験成果である。

平成元年10月15日印刷

平成元年10月25日発行

編集者 広島県立西部工業技術センター

発行

〒737 呉市西中央3丁目6-21

TEL (0823) 26438 ㊟

FAX (0823) 264144

印刷所 松広印刷株式会社

〒737 呉市東中央3丁目4-4

TEL (0823) 22175