

広島県立西部工業技術センター報告

No. 29

September 1986

目次

抄 録		
一 報 文 一		
1. セラミックスのレーザ溶接	南良貞治・藤田政信・池田哲宏	1
2. カラー情報高速検出技術の開発	永山博夫・松垣和生・馬場祥宏・打田澄雄 住本哲宏・西村金太郎・岡田三郎・今出政明	5
3. 電磁波障害の伝播経路における遮断技術に関する研究	松垣和生・馬場祥宏・打田澄雄・好満芳邦 島居貞博・山本隆也	8
4. リモートセンシング技術を利用したインプロセス検知器の開発	岡田芳雄・大下 義	12
5. 内陸インダストリアル・ベルト形成に基づく環境騒音レベルコンターの予測	吉野信行・田尾博幸・大下 義	15
6. ウィンドウ機能付簡易画像処理システムの試作	打田澄雄・永山博夫・松垣和生・馬場祥宏 久都内俊博・小西義孝	19
7. 画像処理装置HILIPSの開発	馬場祥宏・打田澄雄・松垣和生	23
8. 各種耐火断熱材の比較	中村和清・関 守雄・天高正行	26
9. セラミックス溶剤の接合強度に及ぼすプラスト及び下地溶射条件の影響	野地英治・吉池啓祐・横山宏樹	30
10. インサート材による金属とセラミックスの接合	世良時夫・原 信彦・新田 明・土取 功 芳野光利	34
11. ガスシールドアーク溶接によるショッププライマー塗装鋼板の溶接性	野地英治・芳野光利・菊山信行・今西和雄 村上俊行・要田壮史	38
12. 渦電流による鋳造品材質の判別用試験機の開発	中垣武之・斯波信雄・京極秀樹・畑 徳宣 兼広二郎・小林賢治	42
一 炭素繊維等の工業製品への応用に関する研究 一		
13. ポリマーブレンドによる樹脂の開発と評価 (第2報)	好満芳邦・山藤康男・大橋俊彦・筒本隆博 高崎宗利	46
14. CFRPの環境劣化	山藤康男・渡部英雄・梶岡 秀・好満芳邦	50
15. 動的粘弾性試験法によるCFRPの研究	大橋俊彦・山藤康男・好満芳邦・筒本隆博	54
16. 炭素繊維/ハイブリッド積層板の疲労に関する研究	筒本隆博・藤田政信・大橋俊彦・好満芳邦	58
17. CFRMの試作と評価	土取 功・新田 明・原 信彦	62
18. 炭素繊維の電磁波シールド効果	梶岡 秀・松垣和生・清水達磨・好満芳邦	66
19. ハイブリッドCFRPの諸特性	好満芳邦・丸下清志・田谷征雄・関 守雄	69

BULLETIN

of the

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE, HIROSHIMA PREFECTURE, WEST

September 1986

Vol. 29

Scientific Papers

CO₂ Laser Welding of Ceramics

NARA Ryoji, KAMADA Masanobu, and IKEDA Tetsuhiro 1

Development of High Speed Vision System

NAGAYAMA Hiroo, HIGAKI Kazuo, BABA Yoshihiro, UCHIDA Sumio, SUMIMOTO Tetsuhiro, HIGAKI
NISHIMURA Kintaroo, OKADA Saburo, and IMADE Masaaki 5

Study on the Preventive Measures for Radiated Electromagnetic Interference

HIGAKI Kazuo, BABA Yoshihiro, UCHIDA Sumio, YOSHIMITSU Yoshikuni, SIMAZU Sadahiro
and YAMAMOTO Mutsuya 8

Development of Parts Inspection Apparatus by Optical Fiber Sensor

OKADA Yoshio and OSHITA Iwao 12

A Prediction of Environmental Noise Based on Inland Industrial Belt Zone Formation

YOSHINO Nobuyuki, TAGI Hiroyuki and OSHITA Iwao 15

Inspection System using Digital Image Processing with Windows

UCHIDA Sumio, NAGAYAMA Hiroo, HIGAKI Kazuo, BABA Yoshihiro, KUTSUNAI Toshihiro,
and KONISHI Yoshitaka 19

A Development of Image Processing System HILIPS

BABA Yoshihiro, UCHIDA Sumio, and HIGAKI Kazuo 23

A Comparison of the Various Thermal Insulators

NAKAMURA Kazukiyo, SEKI Morio, and TENBATA Masayuki 26

Study on the Strength of Bonding coat for Ceramics Coating by Flame Spraying

NOJI Hideharu, YOSHIKE Hiroyuki, and YOKOYAMA Hiroki 30

Bonding of Ceramics to Metals by Insert Materials

SERA Tokio, HARA Nobuhiko NITTA Akira TSUCHITORI Isao, and YOSHINO Mitsutoshi 34

Study on the Weldability of Shop-primer Coated Plates by Gas Shield Arc Welding

NOJI Hideharu, YOSHINO Mitsutoshi, KARIYAMA Nobuyuki, IMANISHI Kazuo, MURAKAMI Toshiyuki,
and KANAMEDA Soshi 38

Testing Machine of Casting Quality by Eddy Current Characteristics

NAKASHIO Takeyuki, SHIBA Nobuo, KYOGOKU Hideki, HATA Noriyoshi, KANEHIRO Jiro,
and KOBAYASHI Kenji 42

Improvement of Unsaturated Resine for CF/GF Composite Matrix by Polymer Blend (2nd report)

YOSHIMITSU Yoshikuni, YAMAGATA Yasuo, OHASHI Toshihiko, TSUTSUMOTO Takahiro,
and TAKASAKI Munetoshi 46

Degradation of Unsaturated Resine and Its Laminates in Weathering and Water Circumstances

YAMAGATA Yasuo, WATANABE Hideo, KAJIOKA Hideshi, and YOSHIMITSU Yoshikuni 50

Study of Dynamic Viscoelasticity of CFRP

OHASHI Toshihiko, YAMAGATA Yasuo, YOSHIMITSU Yoshikuni, and TSUTSUMOTO Takahiro 54

Study on Fatigue of Carbon Fiber Hybrid FRP Plate TSUTSUMOTO Takahiro, OHASHI Toshihiko, and YOSHIMITSU Yoshikuni	58
Fabrication and Estimate of Carbon Fiber Reinforced Metals ced TSUCHITORI Isao, NITTA Akira, and HARA Nobuhiko	62
Effect of Electromagnetic Interference (EMI) shielding by carbon fibers KAJIOKA Hideshi, HIGAKI Kazuo, SHIMIZU Tatsuma, and YOSHIMITSU Yoshikuni	66
Testing Data of Hybrid CFRP YOSHIMITSU Yoshikuni, MARUSHITA Kiyoshi, TADANI Isao, and SEKI Morio	69

Published by

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE, HIROSHIMA PREFECTURE, WEST

6-21, Nishicho 3-chome Kure-shi

Hiroshima 737 Japan

抄 録

広島県立西部工業技術センター報告 (No.29)

セラミックスのレーザー溶接

南良良治, 蒲田政信, 池田哲宏

レーザーによりセラミックスの溶接を行ない次のような結果が得られた。

96%アルミナの溶接は1000℃以上の予熱で溶接可能であり、継手効率は表面で50~60%、裏面曲げで60~80%の強度が得られた。

99%アルミナの溶接も1200℃の予熱で溶接可能であるが、継手効率は30%であった。

窒素雰囲気中でアルミナの溶接を試みたが、曲げ強度は大気中のそれと差はみられなかった。

部分安定化ジルコニアは予熱温度をあげても溶接部に割れが発生した。

また部分安定化ジルコニアとアルミナの溶接は熱膨張係数の大きいジルコニア側に割れが発生した。

P 1~4 表0, 図6, 写真0, 文献5

カラー情報高速検出技術の開発

永田 博夫, 松垣和生, 馬場祥宏, 打田 澄雄, 住本哲宏, 西村金太郎, 岡田 三郎, 今出政明

グラフィック印刷のドクター線(細長い線状の印刷不良)を対象とした高速画像検査システムを試作した。試作した高速画像検査システムは、画像入力用として一次元カメラを用い、検査処理をハードウェアで実行しているため、単純な機構で高速の検査処理を実現している。

本検査システムは、一次元カメラ(分解能5000

画素)検査画像データと基準画像データとの比較をハードウェアにより実行する高速画像処理装置及び高速画像処理装置からの処理結果を基に、ドクター線の判定を行うパーソナルコンピュータから構成されている。

本検査システムにより0.2mm幅のドクター線の検出がリアルタイムで可能となり、グラフィック印刷機の検査工程の省力・自動化が図られる。

P 5~7 表2, 図3, 写真1, 文献3

電磁波障害の伝播経路における遮蔽技術に関する研究

松垣和生, 馬場祥宏, 打田 澄雄, 好満芳邦, 島居貞博, 山本睦也

導電性高分子材料としてガラス繊維等の補強用繊維と炭素繊維、金属繊維を組み合わせることによって、電磁波遮蔽効果の優れた導電性高分子材料を開発した。

成型法は任意形状のプリフォームに圧力を加え、液状樹脂を型内に圧入し成形する方法で金属繊維を混入した材料の遮蔽効果を向上させることに有効であることが分かった。

試料は圧力容器鏡板をレジインジェクション法で成型し、近接界における高インピーダンス電界に対し30~40dB、低インピーダンス磁界に対し20~30dBの遮蔽効果が得られ、製品形態での遮蔽性能として十分な効果が得られた。この材料は高い強度を有し、かつ絶縁層と導電層がサンドイッチ構造となっており広範囲な分野に応用することが可能である。

P 8~11 表2, 図3, 写真2, 文献6

リモートセンシング技術を利用したインプロセス検知器の開発

岡田芳雄, 大下 巖

近年、マイクロコンピュータの導入により生産ラインの自動化、無人化が急速に進められ製品の高精度化生産性の向上が行なわれており、自動検査の要求が年々高まっている。この検査工程の省力化は、現在の画像処理の技術で殆ど対応できると考えられ、プログラムの変更により汎用的に用いられるというメリットもあるが、一方高価である。中小企業にとって専用の、

かつ安価でスピーディーな検査装置が望まれている。本研究では、光センシング可能な各種工程の中で企業の要望の高い検査工程にテーマを絞り高速回転体の微小欠陥を検知するセンサを開発した。これは、表面の欠陥を光の反射を用いて検出するもので、光ファイバセンサと信号処理回路からなり試料のエッジに存在する小さな欠陥も安定に検出できる。

P 12~14 表1, 図4, 写真3, 文献1

抄 録

広島県立西部工業技術センター報告 (No.29)

内陸インダストリアルベルト形成に基づく環境騒音予測

吉野信行, 田尾博幸, 大下 巖

昭和45年以来, 広島県では, 各種さまざまな業種別個別工場の騒音防止技術に関する基準書を作成し, これらの基準書を基に, 市街地における各種工場の環境騒音アセスメントに関する実績を上げてきた。

これらの成果を踏まえ, 昭和59年度は, 近年の工業団地の増加に伴う広域環境騒音アセスメントに対処するため大規模工場を対象にした工場屋外騒音予測

システムを開発した。本年度ではさらに現実の工業団地騒音予測に整合したシステムにするため, 昨年度の子測システムに改良・検討を加え, 屋内騒音予測をも含めた総合的な意味での工業団地騒音予測に関するCADシステムを開発した。本予測システムの有効性は実際の一既設工業団地に適用し, 実測データと比較することにより確認した。

P 15~18 表0, 図7, 写真0, 文献3

ウィンドウ機能付簡易画像処理システムの試作

打田澄雄, 永山博夫, 松垣和生, 馬場祥宏, 久都内俊博, 小西義孝

配線用しゃ断器のラベルの印刷, 貼付は自動機(オートペーパー)で行われているが, 検査は目視に頼っている。そこで検査を自動化するため, 人の目に替わる視覚システムが検討されることになった。しかし, 現在市販されている画像処理システムはそのほとんどが画像データをソフトウェアで処理するため, 処理速度が遅く, また高価である。今回は, 計測をハードウ

ェアで高速に行い, 市販のパソコンで柔軟に対応できる安価でしかも高速な画像処理システムを開発し, ラベル検査に応用した。

P 19~22 表1, 図9, 写真1, 文献4

画像処理装置 HILIPS の開発

馬場祥宏, 打田澄雄, 松垣和生

(財)広島県産業技術振興機構の行う異業種交流による研究開発を技術支援し, 工場のFMS化を目的とした, 検査・計測・監視等の工程を自動化するための画像処理装置 HILIPSを開発した。

本画像処理装置の特徴は, 以下の通りである。

(1) 人間の目に相当する部分に, 半導体でできたカメラ, CCDイメージセンサを使用している。

(2) 高分解能のセンサを使用しており, 複雑形状の認識や測長を行う場合に高い精度が得られる。

(3) 複数台のセンサを接続することが出来るように, センサ制御部を内蔵している。

(4) 濃淡データを高速で処理することが可能である。本装置の応用として, 水門用ラック棒の自動測長システムを構成し, 良好な結果を得た。

P 23~25 表0, 図4, 写真2, 文献0

各種耐火断熱材の比較

中村和清, 関 守雄, 天島正行

製造業の製品単価に占めるエネルギー原単位の低減を図るため, 小型電気炉を用いた各種断熱材について, 200, 400, 600, 800, 1000℃の各温度ごとに入熱量, 蓄熱量, 放熱量を比較検討するとともに, 高放射材(Al_2O_3) 溶射した鉄板を用いて普通レンガの焼成試験を行なった。結果はレンガのみ用いたものを基準にすると, エネルギー低減率はレンガとセラミックスの組

合せたものが10.4%, セラミックとロックウールの組合せたものが16.7%, セラミックスだけのものが19.6%であった。尚築炉に要した材料費は, いずれの組合せの場合でも1年以内で回収できることがわかった。

Al_2O_3 溶射した鉄板を, 発熱体内部に置いた場合と置かない場合の普通レンガ焼成試験は, 両者とも差が認められなかった。

P 26~29 表5, 図4, 写真0, 文献3

抄 録

広島県立西部工業技術センター報告 (No 29)

セラミックス溶射の接合強度に及ぼすプラスト及び下地溶射条件の影響

野地英治, 吉池啓佑, 横山宏樹

金属材料の表面にセラミックスを溶射し、高機能材料を開発することを目的とし、ガス溶射法により、溶射の前処理としてのプラスト方法、セラミックス溶射用下地溶射材の種類、溶射条件等の要因が密着強度に及ぼす影響について研究を行った。その結果
(1) プラスト面の粗さ、及び下地溶射材の密着強度とプラスト条件との関連性が求められた。

(2) 下地溶射材の種類ごとに (Mo, Ni-Cr, Ni-Al), 溶射距離, ガス流量, エアー圧, ワイヤ送り速度等に関し、最適溶射条件が判明し、より信頼性のある溶射方法を見出した。

(3) プラスト後の放置時間と溶射材 (Mo 及び Ni-Cr) の密着強度との相関が求められた。

P 30~33 表 3, 図 7, 写真 0, 文献 3

インサート材による金属とセラミックスの接合

世良時夫, 原 信彦, 新田 明, 土取 功, 芳野光利

金属とセラミックスの接合を最終目標に、本実験では濡れ性試験及びセラミックス同士のせん断試験でインサート材料について検討した。各試験は 950~1300℃の温度で $2.66\sim 6.55 \times 10^{-2}$ Pa の真空中で加熱した。セラミックスは窒化けい素でインサート材料は純金属、合金の箔や粉末混合で実験した。

濡れ性試験では Mn-Cu 合金は良い結果を得たが、

評価法が不十分であった。

セラミックス同士の接合試験の結果では X-Cu 合金が良く、セラミックスに前処理を行い X-Cu 合金のインサート材で接合した場合 144.2MPa の高いせん断強さを得た。

又 X-Cu 合金は窒化けい素セラミックス表面への均一なメタライズができる。

P 34~37 表 3, 図 2, 写真 1, 文献

ガスシールドアーク溶接によるジョッププライマー塗装鋼板の溶接性

野地英治, 芳野光利, 菊山信行, 今西和雄, 村上俊行, 要田壮史

炭酸ガス自動溶接法による、ジョッププライマー塗装鋼板の溶接において弊害となるピット、ブローホール等の溶接欠陥を軽減すること、及び塗料の改良をめざして、中国塗料協と共同により本研究を行った。

ジョッププライマー塗装鋼板の隅肉溶接においては、裸鋼板と比較するとピット、ブローホール等溶接欠陥の発生は多いが、塗料の種類によってその量は異な

っており、溶接性の良い塗料についての指針が得られた。又最適な溶接条件を組み合わせると、溶接欠陥は大幅に減少し、塗料の改良もさることながら、溶接欠陥に対する寄与率から判断すると、適正な溶接条件、溶接方法の確立が欠陥軽減に対して、又溶接速度の向上に対して比較的大きなウエイトを占める事が判明した。

P 38~41 表 4, 図 5, 写真 0, 文献 5

渦電流による鋳造品材質の判別用試験機の開発

中塩武之, 新波信雄, 京極秀樹, 畑 徳宣, 兼広二郎, 小林賢治

金属材料の材質面の判断は、テストピースを製作して顕微鏡で観察することが主流となっているが、この方法は多大な手間を要する。

本研究は金属材料ごとに渦電流の形態が材質により異なる点に着目し、この現象を利用した材質判別機を試作した。

試作機の回路は材料に誘起した渦電流に対応した信

号のレベル、並びに位相が認識できるよう構成されており、各種材質における信号のレベル、位相を観察して、その差から識別して材料名を知るものである。

試作機で鋳造材料および鉄鋼材料の判別実験を試みたが、一部の材質を除けば多くの材質間で渦電流の差が認められ、限定した範囲の材質であれば、金属材料の判別用試験機として実用に供するものである

P 42~45 表 0, 図 5, 写真 2, 文献 7

ポリマーブレンドによる樹脂の開発と評価 (第2報)

好満芳邦, 山縣康男, 大橋俊彦, 筒本隆博, 高崎宗利

前報ではMMAのブレンドについて検討したが, 異臭性が強い, 異臭性のないアクリルモノマーによるマトリックスの改質と複合材料の特性について検討した。改質の内容としては, 樹脂にタフネスと弾力性および接着性を付与するためにスチレンモノマーの一部をアクリル系のモノマーで置換することである。

複合材料の特性はマトリックス樹脂の化学的組成に

支配されており, その意味でポリマーブレンドは有効であった。また, 炭素繊維の表面にコートされているエポキシは柔らかいためこれを硬化処理できれば特性は向上する。アミン類の添加によって層間特性の向上をみたが, 樹脂の変色(黒化)が著しく, 脆化が進む不安があり, 実用的には適用しづらい。

P 46~49 表3, 図4, 写真0, 文献9

CFRPの環境劣化

山縣康男, 渡部英雄, 梶岡 秀, 好満芳邦

炭素繊維強化プラスチックの環境劣化を把握するため, 光, 水分, 温度による影響を検討した。

オルソフタル酸不飽和ポリエステル樹脂, ビニルエステル, その改質樹脂およびそれらのブレンド樹脂で注型板, マット積層板, ハイブリッド板の煮沸吸水試験, 促進耐熱試験による劣化状態を吸水率, 色差, 光沢, 曲げ強さで評価した。その結果は,

1) オルソ系は吸水率が高く, ビニルエステルは比較的低い。また, 温度による影響が大きい。

2) サンシャインウエザーメータによる色差変動は, 暴露初期に大きい。

3) 耐熱性を曲げ強さで評価する場合, 注型板は比較的劣化状態を把握できるが, 積層板はばらつきが大きい。そのため困難と考えられる。

P 50~53 表1, 図7, 写真0, 文献2

動的粘弾性試験法によるCFRPの研究

大橋俊彦, 山縣康男, 好満芳邦, 筒本隆博

ビニルエステル樹脂等の注型板, 積層板について動的粘弾性, 曲げ強度, 弾性率などを測定した。その結果, 次のような知見が得られた。①樹脂の硬化の度合とガラス転移点, 弾性率, 強度等が相関を持っている。②同一樹脂でも硬化温度が異なると, 網目構造と性質にも差がある。③樹脂中のスチレンモノマーの一部を特殊モノマーに置き替えても, 軟化温度の向上は認め

られなかった。④積層板と注型板とでガラス転移点や分子鎖全体の運動の活性化エネルギーが異っており, 動的粘弾性特性の中に繊維と樹脂の界面の構造が反映されていることが期待される。

P 54~57 表2, 図7, 写真0, 文献5

炭素繊維ハイブリッド積層板の疲労に関する研究

筒本隆博, 大橋俊彦, 好満芳邦

各種炭素繊維織物をガラスマットと組合わせて積層した試料および商用BMC, HMC板を用い, 片振り引張, 両振り曲げの疲労試験を行なった。

片振り引張疲労試験では, ビニルエステル樹脂と炭素繊維織物の組合わせが低い疲労強度を示した。また, 切欠きの疲労強度への影響はほとんどみられなかった。

定変位両振り曲げ疲労試験では疲労の進行中, 曲げ剛性の低下が観察された。炭素繊維をハイブリッドした材料では, 炭素/ガラス界面のはくりにより, 曲げ剛性低下の停滞が生じた。

両振り曲げ疲労試験では, 強度向上のために炭素繊維や一方ガラス繊維で強化した材料は, 静的強度が高い割には, それ程大きな疲労強度の向上は期待できない。P 58~61 表1, 図6, 写真0, 文献7

抄 録

広島県立西部工業技術センター報告 (No 29)

C F R M の 試 作 と 評 価

土取 功, 新田 明, 原 信彦

銅およびニッケルを電気メッキした炭素繊維を黒鉛型に積層し、真空ホットプレスで拡散接合法により複合化した。Ni-C複合材はその製造温度と強さを、Cu-C複合材はその二三の材料特性を調査し、以下の結果が得られた。

(1) CE/Ni複合材の引張り強さは800℃成形で82kgf/cm²が得られ、CF/Cu複合材は95kgf/cm²であった。

(2) CE/Cu複合材の高温引張り強さは800℃付近まで室温強さを維持し、それ以上の温度では低下する。

(3) シャルピー衝撃試験でCE/Cu複合材はJISに基づいた試験片ではその破壊様式から正しく評価できなかつた。

(4) CE/Cu複合材の熱膨張係数はVfによってある範囲では調整可能である。

P 62~65 表 0, 図 10, 写真 4, 文献 6

炭素繊維の電磁波シールド効果

視岡 秀, 松垣和生, 清水達磨, 好満芳邦

炭素繊維の電磁シールド測定データの報告は少なく、特に長繊維炭素繊維は全くみられない。そこで、各種市販の炭素繊維のシールド効果を測定した。さらに、ロービングで格子を作り、格子の大きさがシールド効果に及ぼす影響もみた。シールド効果は近接界の電界と磁界、遠方界、周波数によって異なつた。近接界の磁界のシールド効果は他と比べ低かつた。高強度と高

弾性炭素繊維のシールド効果はほぼ同様であり、金属被覆炭素繊維も著しい向上は認められなかつた。一方向織物のシールド効果は低いが、クロス織物と各種ロービング3mmの間隔の格子は400MHz以下で40dB以上のシールド効果を示した。電子機器からのノイズは100MHz以下の電界ノイズが主であるため、これらの炭素繊維は電磁シールド材として用いることができる。

P 66~68 表 1, 図 6, 写真 1, 文献 4

ハイブリッドCFRPの諸特性

好満芳邦, 丸下清志, 田谷征雄, 関 守雄

ここでは、当所で行つた炭素繊維関連研究開発事業の中でその他の項目としてデータ収集を行つた実験の結果を中心に列記した。項目は下記のとおりである。

①市販および試作一向織物を用いた積層板の機械的性質

②繊維の種類(GF, CF, hybrid)と層間せん断強さ

③繊維配向と機械的性質

④樹脂, FRP, hybridの長期耐熱性

⑤複合材料およびプラスチックの摩耗特性

⑥樹脂, FRP, CFRPの電気的性質(絶縁特性)

P 69~72 表 2, 図 9, 写真 1, 文献 0

電子部品の高精度加工技術に関する研究(第2報)

セラミックスのレーザ溶接

南良久治, 蒲田政信, 池田哲宏

CO₂ Laser Welding of Ceramics

NARA Ryoji, KAMADA Masanobu, IKEDA Tetsuhiro

A CO₂ laser was applied for welding Alumina and PSZ/Partially Stabilized Zirconia) ceramic plates. Mechanical strength of laser welded ceramics has been estimated by a three-point bending test. The effects of preheating temperature on the crack were discussed. Result obtained are summarized as follows.

96% Alumina can be welded at preheating temperature higher than 1000°C without crack. In 96% Alumina, bending strength of weld-joint obtain 50%~60% in face bend 60%~80% in root bend compared with base material strength. When Alumina weld in nitrogen gas, bending strength is as high as strength in air.

The transverse and longitudinal crack in PSZ can not be prevented at preheating temperature 1400°C. In but weld-joint for PSZ to Alumina, transverse crack occur in the base material of PSZ.

1. 緒 言

最近のセラミックス製造技術の進歩は著しく、構造材料や機能材料として業界のニーズの多様化にともなう用途も次第に拡大されつつある。

目的によりセラミックスは単体や異種材料との組合せで、さまざまな使われ方をしているが、製造課程でセラミックスの持つ電気、熱、化学的特性を生かしながら目的の形状部品を実現することが理想的である。

現状の成形技術としては型による成形法や、接着、ろう付、機械的接合などの接合法¹⁾などがある。

しかし、前者は形状の制約や焼結時の収縮による寸法精度、後者は耐熱性、耐薬品性、機械的強度などに問題がある。

それらの解決策の一つとして、近年著しい進歩をみせているレーザビームを熱源としてセラミックスを直接溶融接合させて、目的の形状部品を製作する方法が考えられる。^{2), 3), 4), 5)}

そこで本研究ではアルミナ、ジルコニアの炭酸ガスレーザによる溶融接合を試みたので報告する。

2. 実験方法

試料は市販の88%アルミナ質耐火物と96%、99%アルミナの板および8mol%のイットリアを固溶させたジルコニアを700kgf/cm²で金型成形し、1500°Cで焼成した部分安定化ジルコニアの板を用いた。

板厚はすべて4mmである。

溶接は図1に示す電気炉をXYテーブルに取付け炉中で試料を予熱して、上部よりレーザビームを照射して溶接を行った。

炉内雰囲気は被溶接セラミックスが酸化物系であるため大気中で行なうこととしたが、N₂雰囲気での溶接も試みた。N₂雰囲気での溶接は電気炉にセラミックス管でN₂ガスを流入させながら行った。

溶接に用いたレーザ加工機は東芝製のCO₂レーザ加工機(LAC-553P)でビームモードはシングル、出力は最大1kWである。

溶接試験材は図2に示す寸法で、I開先の実合せ溶接とした。溶加材は用いていない。

また実合せ溶接に先だって、ビードオンプレート溶

接によって、レーザー照射によるセラミックスの蒸発、割れと予熱温度との関連について実験を行った。

溶接後の試験片の冷却は炉冷とし、炉内の温度が150℃以下になった時、取り出した。

溶接試験片はX線撮影を行い、内部の気孔の状態、割れの有無などの検査を行い、また実体顕微鏡による表面観察もあわせて行った。

溶接継手の強度評価は、突合せ溶接継手を巾9～10mmにダイヤモンド砥石で切出し、ダイヤモンドヤスリで軽く面取り後、支点間距離20mmの3点曲げで曲げ試験を行い、曲げ強さを求めることにより強度評価を行った。

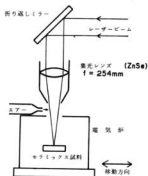


図1 レーザ溶接方法

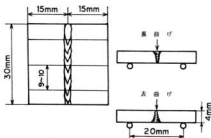


図2 実験試料の寸法と曲げ試験方法

3. 実験結果と考察

3.1 レーザ照射による試料の蒸発

図3は出力を600W、溶接速度を500ms/minに固定しアルミナ、ジルコニアにレーザーを照射して溶接した時の試料の蒸発損失を測定したものである。

アルミナの含有量の多いものほど損失は小さくなり、予熱温度の上昇によっても損失は大きくなるが99%アルミナ、ジルコニアにはその傾向は認められなかった。

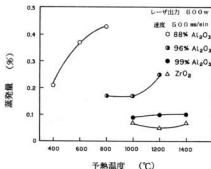


図3 レーザ照射によるセラミックスの蒸発

3.2 レーザ溶接時の割れの発生

室温においてレーザービームを用いてアルミナを溶接すると著しい割れが溶接部に発生し、溶接継手を得ることは困難である。これをある程度以上の温度に予熱して溶接を行うと割れの発生はなくなるか、特徴的な割れがみられるようになる。

割れの形態は文献²⁾によると図4(a)のようになり、レーザー溶接時の加熱、冷却過程から説明されている。本実験においても、この種の形態の割れがみられたが、この外に図4(b)に示すようなアルミナでポンドに沿った縦割れとジルコニアの溶接部内に縦割れがみられた。

また、アルミナとジルコニアの異材継手の溶接を試みた時、ジルコニア側母材部に横割れが発生した。

ポンド部に沿った縦割れは96%アルミナでポンドオンプレート溶接において裏波がでる条件で溶接を行った時と突合せ溶接の予熱温度が低い時にみられた

割れはビード始端から発生し、中央部付近まで伝播しており、96%アルミナのビードオンプレート溶

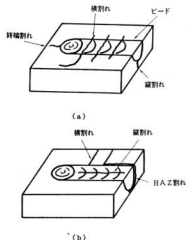


図4 溶接により発生する割れ

接においては 1400℃ の予熱温度においても割れは防止できないが、突合せ溶接では 1000℃ の予熱によって割れの発生はなくなる。

この割れは溶接時に発生する拘束力に関係しているものと考えられるが加熱過程で発生するか、冷却過程で発生するのが現在のところ割れの原因は不明である。

ジルコニア溶融部内の縦割れは凝固後の冷却過程で生じたものと思われる。

アルミナとジルコニアの異材継手でジルコニア側に発生する横割れは、アルミナとジルコニアの熱膨張係数の差があり、予熱して溶接を行い冷却をしていくとジルコニアの熱膨張係数がアルミナにくらべて大きいため、溶融部を境にアルミナ側に圧縮応力、ジルコニア側に引張り応力が働くようになってくるが、ジルコニア、アルミナとも塑性変形しないためジルコニア側に割れが発生するものと思われる。また予熱温度と熱膨張係数から計算したアルミナ、ジルコニアの収縮量の差と割れの間隔が一致した。このため、この割れを防ぐためには熱膨張の差を吸収できるような溶融部を得るよう溶融部の成分調整をするか、まったく熱膨張係数の等しいセラミックスの開発が必要となってくる。

部分安定化ジルコニア同士の突合せは 1400℃ の予熱でも溶融部内の横割れ、縦割れは防止できなかった。

3.3 溶接継手の曲げ強度

レーザ出力 800W、溶接速度 500mm/min とし、予熱温度を変えて突合せ溶接したアルミナの曲げ試験結果を図 5、図 6 に示す。

図 5 の 96% アルミナにおいて予熱温度 800℃ ではボンドに縦割れを生じているため著しく曲げ強度が低いですが、1000℃ 以上の子熱で縦割れはなくなり強度は

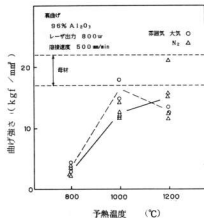
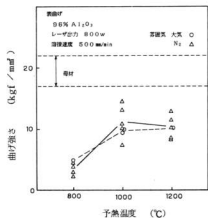


図5 96%アルミナ溶融部の曲げ強度

上昇する。

表曲げにおいて 1000℃と 1200℃の子熱温度では強度に差はなく、母材強度の 50～60%であった。

また破断は溶接部から生じていた。曲げ強度が母材強度の約半分になった原因は溶接部表面が凹になり、その底部にひげ巣などの表面欠陥が存在しているためと考えられる。

裏曲げは表面げより若干強く母材強度の 60～80%の結果が得られ、これは上述の欠陥が裏曲げでは存在しないため強度の上昇がみられたものと思われる。

96%アルミナを窒素雰囲気中で溶接したときの溶接部は黒ずんでいて何らかの窒化物が生成しているものと推察されたので E P M A 分析を試みたが特に窒化物が生成しているようではなかった。

また曲げ強度は大気中で溶接したものと同程度であった。

99%アルミナは図 6 に示すように 1200℃の子熱温度においても表曲げ、裏曲げともに曲げ強度が著しく低く、母材強度の 30%程度であった。

88%アルミナ質耐火物は母材の密度が低いためレーザによる溶融、凝固過程で溶接部の密度が上昇し、溶接部の収縮が著しく溶接部から母材にかけて横割れが発生し、継手の強度評価の対象としなかった。

また部分安定化ジルコニアも 1400℃の子熱でも溶接部の割れを防止することができなかったの曲げ試験は行っていない。

4 結 言

レーザビームを用い、アルミナとジルコニアの溶融溶接を試みた結果次のようなことが得られた。

- 1) アルミナの含有が多いほどレーザ溶接時の蒸発損失は少なくなる。
- 2) 96%アルミナの溶接は 1000℃以上の子熱で溶接可能であり、継手効率は表曲げで 50～60%、裏曲げで 60～80%が得られた。
- 3) 99%アルミナの溶接は 1200℃の子熱で溶接可能であるが、継手効率は約 30%であった。
- 4) 窒素雰囲気中で 96%アルミナの溶接を試みたが、曲げ強度は大気中のそれと差はなかった。
- 5) 部分安定化ジルコニアは子熱温度をあげても溶接部の割れは防止できなかった。またアルミナとの異材溶接は熱膨張係数の大きいジルコニア側に割れが発生した。

本研究の遂行にあたり、セラミックスの提供を戴いた 株式会社 長英製作所に対し厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 荒田吉明外：溶接学会誌，52，8，P6 (1983)
- 2) 宮本 勇：高温学会誌，10，6，P267(1984)
- 3) 丸尾 太外：溶接学会誌，51，2，P98 (1982)
- 4) 丸尾 太外：溶接学会誌，51，8，P54 (1982)
- 5) 安永暢男：機械技術，32，8，P61 (1984)

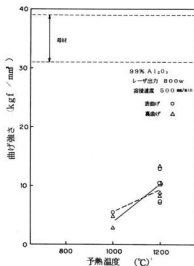


図 6 99%アルミナ溶接部の曲げ強度

コンピュータによる集中管理システムの開発(第2報) カラー情報高速検出技術の開発

永山博夫, 松垣和生, 馬場祥宏, 打田澄雄, 住本哲宏*
西村金太郎, 岡田三郎, 今出政明*

Development of High Speed Vision System

NAGAYAMA Hiroo, HIGAKI Kazuo, BABA Yoshihiro, UCHIDA Sumio, SUMIMOTO Tetsuhiro
NISHIMURA Kintaroo, OKADA Saburo, IMAE Masaaki

The High-Speed Vision System for gravure printing defects is described.

This system consists of a linear image sensor, a high-speed image processing unit, and a 16-bit personal computer as a host computer.

The linear image sensor uses an array of 5000 pixels and is driven at 1MHz. The high-speed image processing unit converts the image sensor output into a digital image and compares it to a standard image. The 16-bit host computer initializes the high-speed image processing unit and detects printing defects by comparing a measured image to a known standard image.

The High-Speed Vision system detects 0.2mm width doctor-line(linear printing defects) in real time, so automatic inspection in gravure printing can be realized. The system can be also applied to cosmetic inspection, non-contact measurement, and so on.

1. 緒 言

IC, LSIの発展に伴うメカトロニクスの進展により製造工程へのロボット, NC工作機械の導入, さらに, そのFMS(フレキシブル生産システム)化が進行し, 製造現場での省力・自動化が図られる一方, キズ, ラベルの検査に見られるように, 検査の工程は依然として人手に頼ることが多く, 省力・自動化のネックとなっている。

そこで, 本研究では画像処理技術を応用した高速画像検出システムの開発を行い, グラビア印刷のドクター線(細長い線状の印刷不良)の検出に適用し, 印刷機検査工程の自動化を図ることとした。

試作した検査システムは画像入力用として一次元カメラを用い, 演算処理をハードウェアで実行しているため, 単純な機構で高速での検査処理を可能とした。

2. 高速画像検査システムの概要

一次元カメラ及び高速画像処理装置の外観を写真1に示す。高速画像処理装置はパーソナルコンピュータ(NEC9801)インターフェース部, A/D変換部, 画像メモリ部及びコントロール部の各基板(計4枚)

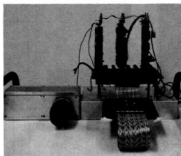


写真1 一次元カメラ及び高速画像処理装置の外観



図1 高速画像検査システムの構成図

から構成されている。

高速画像検査システムの構成を図1に示す、本システムでは一次元カメラからの映像信号を高速画像処理装置において処理し、その結果をもとにパーソナルコンピュータによるドクター線の有無判定を行う。

本システムの仕様を表1に示す、一次元カメラは5000画素の信号画素を持ち、1MHzで駆動されているため5msecで1走査を完了する。本カメラは高速画像処理装置から外部同期されている。パーソナルコンピュータは高速画像処理装置のホストコンピュータとして機能し、表2に示す命令を高速画像処理装置へ送りこれを制御している。

3. 高速画像処理装置の構成

高速画像処理装置の構成図を図2に示す。基準画像入力モード時はA/D変換器からの入力画像データを直接基準画像メモリへ格納する。画像検査モード時は差分回路においてA/D変換器からの検査画像データと基準画像メモリ内の基準画像データとの差が取られ、

表1 高速画像検査システムの仕様

項目	仕様	
一次元カメラ	撮像素子	CCDリニアイメージンサ
	信号画素	5000画素
	画素サイズ	7μm×7μm
	感光部	高速感PNフォトダイオード
	感度	0.8V/1x・sec
	動作周波数範囲	100kHz～3MHz
高速画像処理装置	A/D変換器	変換方式 全並列
		分解能 6ビット
		サンプリング周波数範囲 DC～30MPS
		画質性誤差 ±0.8画以下
		入力信号範囲 3～5V
	画像メモリ	基準画像メモリ
差分画像メモリ		8Kバイト
差分回路		ハードウェアによる実時間演算
パーソナルコンピュータ (NEC980D)	CPU	8086
	主メモリ	640Kバイト
	フロッピーディスク	8インチ、1Mバイト×2台
	プログラム語	BASIC、アセンブリ言語

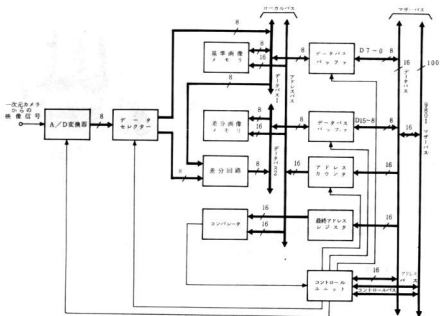


図2 高速画像処理装置の構成図

表2 高速画像処理装置の命令一覧表

命令	I/O アドレス	リード/ ライト	データ	説明
セット アドレス	D0	ライト	アドレス	画像メモリのアドレス指示をする アドレスカウンタ値の設定
リード スタータス	D0	リード	書き込み終了 信号	スタンダード又はディファレンシャル データの書き込み終了信号の入力。 1: 書き込み終了 0: 書き込み中
ライト データ	D2	ライト	画像データ	アドレスカウンタで指示した アドレスへデータを書き込む アドレスの値はインクリメントされ る。
リード データ	D2	リード	画像データ	アドレスカウンタで指示した アドレスからデータを読み込む。 アドレスの値はインクリメントされ る。
ライト スタンダード データ	D4	ライト	先頭 アドレス	A/D変換器を起動した後、イート に出力したデータを先頭アドレスと して、最終アドレスまで、A/D変 換器からのデータと基準画像メモ リに書き込む。
ライト ディファレンシャル データ	D6	ライト	先頭 アドレス	A/D変換器を起動した後、イート に出力したデータを先頭アドレスと して、最終アドレスまで、A/D変 換器からのデータと基準画像メモ リの基準データとの差を差分画像メ モリに書き込む。
セット ファイナル アドレス	D8	リード	最終 アドレス	画像データの書き込み最終アドレスを 指示する最終アドレスレジスタの設 定。

これが差分画像メモリへ格納される。

画像メモリアドレスはアドレスカウンタにより指示され、画像データの書き込み最終アドレスは最終アドレスレジスタにより設定される。コントロールユニットは本装置全体の統括を行っている。

本装置のバスは9801マザーバスとローカルバスにより構成されており、ローカルバスには画像メモリ関係の回路が接続されている。マザーデータバスはデータバスバッファを介し、その上位8ビットがローカルデータバス2に、下位8ビットがローカルデータバス1にそれぞれ接続されている。

本装置の命令の一覧表を表2に示す。これらの命令はパーソナルコンピュータの拡張I/Oポートを介し本装置に送られる。画像データのパーソナルコンピュータへの転送手順としては、まずセットアドレス及びセットファイナルアドレス命令により本装置の初期設定を行い、次にライトスタンダードデータ又はライトディファレンシャルデータ命令により画像データを画像メモリへ格納する。次に画像メモリからパーソナ

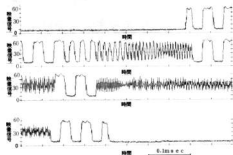


図3 テストチャートL撮影時の映像信号波形の一例

ルコンピュータの主メモリへ画像データを転送する。

本検査システムの分解能を評価するため、テストチャートL(大日本印刷製)を撮影した。その時の一走査分の映像信号波形の一例を図3に示す。図3では、時間的に連続な信号を4分割して表示してある。図3の縦軸の映像信号は、A/D変換された値(フルスケール:64)で示してある。本検査システムの分解能は、カメラ視野380mmの場合約0.2mmであった。

4. 結 言

試作した高速画像検査システムにより、約0.2mm幅のドクター線の検出がリアルタイムで可能となり、ドラビア印刷機の検査工程の省力・自動化が図られる。又本検査システムは製品外観検査、デザイン画読取りなどへの適用も考えられ、その応用範囲は広い。

今後、本検査システムを輪転機模型と結合し、より実機に近いシステムへと機能向上させる予定である。

文 献

- 1) 二宮輝雄他: 撮像工学, コロナ社
- 2) ビデオメジャー(8X2C-Z)テクニカルガイド, 立石電機機

電子機器への外部擾乱防止に関する研究(第2報)

電磁波障害の伝播経路における遮蔽技術に関する研究

松垣和生, 馬場祥宏, 打田澄雄, 好満芳邦, 島居貞博, 山本睦也**

Study on the Preventive Measures for Radiated Electromagnetic Interference

HIGAKI Kazuo, BABA Yoshihiro, UCHIDA Sumio,

YOSHIMITSU Yoshikuni, SHIMAZUI Sadahiro, YAMAMOTO Mutsuya

EMI may be propagated through cables as current or through space as radiated electromagnetic waves. Radiated emissions are generated by high impedance, electric field sources such as a probe antenna and low impedance, magnetic field sources such as a loop antenna.

The effect of the interference on the receptor is dependent upon strength of the source, propagating medium, distance and degree of susceptibility of the receptor.

So, many rules and regulations have been developed to limit emissions from devices and control susceptibility levels. Most commercial regulations are based on the recommendations of CISPR, a sub-committee of the IEC.

The number of reports about how to shield the electromagnetic waves and shielding materials is increasing. We tried to develop conducting plastics which compounded glass-fiber with short length, aluminium metal fiber. These materials have superior shielding effectiveness for electromagnetic waves.

To summarize our interpretation of the results, we can explain as follows.

- (1) The composite materials blended aluminium metal-fiber which filling contents at preforming are about 10% (weight ratio) have the attenuation of (30~45)dB at 500MHz to electric field and (20~40)dB at 500MHz to magnetic field.
- (2) The composite materials molded by resin injection have superior shielding effectiveness to electromagnetic waves, but molded by hand lay-up was inferior.

1. 結 言

電子機器のデジタル化にともない、コンピュータ等の電子機器から発生する電波ノイズが通信機・テレビ等に影響を及ぼし、騒音公害と同様な問題が生じてきている。これに対し、各国では規制^{1)~2)}を行い、機器の改良を義務づけている。我国では情報処理装置等電波障害自主規制協議会が充足し電波ノイズの自主規制を活発に進めている。

一方、プラスチック材料は成型の容易さ、軽量化、低コスト化に有利でコンピュータを初めとして各種の電子機器のハウジング等に多く使用されている。しかしながら、一般に電磁波に対し遮蔽効果はほとんど無く、

いわば透明体である。そこで、このプラスチック材料の持つ有利さに加え電磁波遮蔽性能を付加すべき研究が活発に行われている。

プラスチック材料を導電化するには金属溶射、導電性塗料の吹き付け、メッキ、金属繊維及び炭素繊維の充量等の方法が行われており、それぞれ強度、成型方法、経年変化、遮蔽効果等に長所、短所がある。中でも金属繊維充量複合材は金属繊維の充量、導電材料配合の均一性、成型法等電磁波遮蔽効果に影響する要因が多い反面、安価で長期安定性が望まれる。そこで電子機器から発生する電磁障害波の伝播経路における遮蔽方法として、電子機器のハウジング等に使用されるプラスチック材料に要求される電磁障害波遮蔽性能の向上について検討し、繊維強化プラスチックの有す

米 尾道鋳造所

米 中国工業所

る利点を生かしつつ、更に導電性を付加した材料の開発及び成型加工技術について検討した結果を報告する。

2 測定方法

導電性を付加したプラスチック材料の電磁波遮蔽効果の測定方法を図1に示す。

近接界における高インピーダンス電界及び低インピーダンス磁界の遮蔽効果は次式で示される。

$$SE = 20 \log_{10} (E/E\theta) \quad (dB) \quad (1)$$

$$SE = 20 \log_{10} (H/H\theta) \quad (dB)$$

ここで SE : Shielding Effectiveness, E 及び H : Transmitted Field, E θ 及び H θ : Incident Field で、送信アンテナと受信アンテナとの間に試料を挿入した場合と試料の無い場合との比で遮蔽効果を表す。

コンピュータの GP-1B コントローラで制御される発信器 (Sweep Generator) から 10~1000 MHz の周波数範囲で 10 MHz 毎に掃引し、これと同期してスペクトラムアナライザで受信電界強度を測定する。試料を挿入しない場合及び試料を挿入した場合の電界強度はそれぞれメモリに記録保存し、測定が終了した時点で順次 (1) 式に従って計算し、結果は XY プロットに出力されるようにプログラムを作成した。

充填する金属繊維は主として、びり振動法により作成したアルミニウム短繊維を使用し、ハンドレイアップで作成したテストピースへの添加条件を表1に、また製品形態での電磁波遮蔽効果を測定するために作成した压力容器鏡板の導電性材料添加条件を表2に示

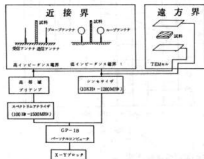


図1 電磁波遮蔽効果測定ブロック図

表1 テストピースのAlメタルファイバー添加条件

試料番号	繊維長(mm)	重量比 %	アスペクト比
1	30 μ \times 1.5	5.1	50
2	30 μ \times 1.5	9.5	50
3	30 μ \times 1.5	27.6	50
4	30 μ \times 1.5	34.2	50
5	30 μ \times 5.0	4.9	167
6	30 μ \times 5.0	9.2	167
7	30 μ \times 5.0	21.3	167

重量比はプリフォーム時におけるweight(%)

表2 压力容器鏡板用プリフォーム材料添加条件

試料番号	材料	添加量 weight(%)	アスペクト比
1	Niローピング (電解銅メッキ) トレカ	9.3	--
2	T-300	4.1	--
3	メタルファイバー Al(100 μ \times 5mm)	8.2	60
4	メタルファイバー Al(50 μ \times 3mm)	7.1	60
5	メタルファイバー Al(50 μ \times 3mm)	9.9	60
6	メタルファイバー Al(50 μ \times 3mm)	3.3	60
7	メタルファイバー Al(30 μ \times 2mm)	6.6	67
8	Blank	--	--

重量比はプリフォーム時におけるweight(%)

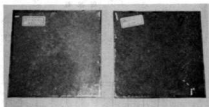


写真1 Alメタルファイバー充填試料 (表1の試料)

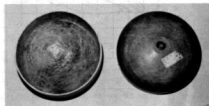


写真2 压力容器鏡板試料 (表2の試料)

す。なお、压力容器鏡板はレジインジェクション法³⁾で成型し、注入圧は12 kg/cm²、バッグ圧は注入圧に

負けない圧力で樹脂注入を行い成型している。

写真1に表1のアルミメタルファイバーを添加した試料を、また写真2に表2の圧力容器鏡板試料を示す。

3. 結果の考察

アルミメタルファイバーをガラスマットにサンドイッチ状に積層し、表1に示す条件でハンドレイアップ法で作成したテストピースの電磁波遮蔽効果を測定し

た結果を図2に示す。また、表2に示す条件でレジニジェクション法で作成した圧力容器鏡板試料の遮蔽効果測定結果を図3に示す。

炭素繊維を充満した高分子材料について、一定の配合率を境として急激に導電率あるいは体積固有抵抗が変化することが接触伝導機構^{(4)~(5)}によって説明されるが図2の結果からも確認できる。すなわち、アルミメタルファイバーを21.5% (プリフォーム時の重

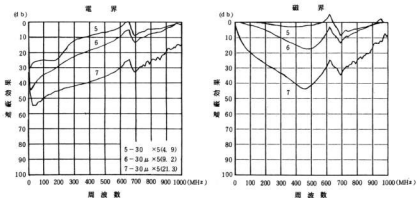


図2 Alメタルファイバー充満試料の電磁波遮蔽効果
(表1の試料)

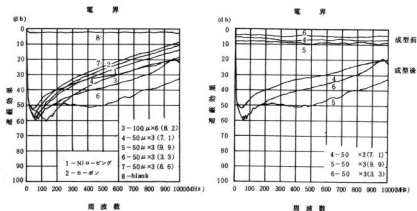


図3 圧力容器鏡板試料の電磁波遮蔽効果
(表2の試料)

量比) 添加した場合は高インピーダンス電界及び低インピーダンス磁界において400MHzで40dBと良好なシールド効果を示すが、配合率が低くなるに従いシールド効果が小さくなっている。

メタルファイバーの繊維長の効果は遮蔽効果に大きく影響する。繊維長が1.5mmのメタルファイバーを使用した試料は配合比を高くしても遮蔽効果は小さい。これは樹脂注入によってメタルファイバーが流動し、試料全体からみれば導電部の偏析が起こることによるもので繊維長5mmのものはこの影響が比較的小さいため良好な遮蔽効果を示したものと考えられる。従って、短繊維複合材の遮蔽効果は接触伝導機構により説明される効果のほかにシュルフの式⁶⁾におけるハイブリッド効果係数すなわち、材料のパラツキの影響を検討しなければならない。

レジンインジェクション法で成型した圧力容器鏡板は図3の結果から、アルミメタルファイバーを添加した試料は樹脂注入前のブリフォームの段階ではほとんど遮蔽効果がないが、樹脂の加圧注入成型によって明確な効果が現れる。アルミメタルファイバー以外の試料たとえば炭素繊維、ニッケルローピング充填材では樹脂注入によって効果の違いはほとんど認められず、ブリフォームの段階でも遮蔽効果がある。

このようにアルミメタルファイバー充填複合材の電磁波遮蔽効果はハンドレイアップ法では相当量のメタルファイバーを添加しなければ遮蔽効果が小さいが、レジンインジェクション法ではハンドレイアップ法に比べ少しの添加量でも遮蔽効果が現れる。これはメタルファイバーによる導電層の形成過程で加圧によって接触伝導が促進されるものと考えられる。

4. 結 言

導電性高分子材料としてガラス繊維等の補強用繊維と炭素繊維、金属短繊維を組み合わせることによって電磁波遮蔽効果の優れた導電性高分子材料の開発を試みた。成型法は任意形状のブリフォームに圧力を加え、液状樹脂を型内に圧入し成型する方法で、金属短繊維を混入した材料の遮蔽効果を向上させることに有効であることが分かった。

この材料は高い強度が与えられ、かつ外皮が絶縁体で中間層として導電部を有するもので、コンピュータハウジング等電子機器から発生する電磁波の遮蔽に有効で広範囲な分野に応用することが可能である。

ハンドレイアップ法によるアルミメタルファイバー

充填複合材の遮蔽効果及び圧力容器鏡板をレジンインジェクション法で成型し、製品形態での遮蔽性能について次のような結果が得られた。

1) アルミメタルファイバーをブリフォーム時に約10% (重量比) 添加し、レジンインジェクション法で成型した試料に対し、500MHzで高インピーダンス電界における遮蔽効果が30~45dB、低インピーダンス磁界における遮蔽効果が20~40dBのものか得られた。

2) 金属短繊維充填複合材はブリフォーム時には電磁波遮蔽効果はほとんどないが、レジンインジェクション法で樹脂注入成型を行うことによって遮蔽効果が現れる。

3) 金属短繊維はハンドレイアップ法による成型では繊維長5mm (アスペクト比166)、ブリフォーム時の充填量21.8% (重量比) で高インピーダンス電界における遮蔽効果が35dB、低インピーダンス磁界における遮蔽効果が40dBであったが、繊維長1.5mmあるいは充填量がこれ以下では遮蔽効果はあまり期待できない。

文 献

- 1) CISPR Pub 14 (1975)
Limits and Methods of Measurement of Radio Interference Characteristics of Household Electrical Appliances, Portable Tools and Similar Electrical Apparatus.
- 2) 岡村万寿夫: EMIの規制と国際的な動向, 電子通信学会誌 Vol 67, No 2, 1484, 142
- 3) 好黄芳邦: FRPの概要・炭素繊維等新素材の性質について, 生産加工技術講習会テキスト(1985)
- 4) 大谷彰郎他: 炭素繊維, 近代編集社 1983, 560
- 5) 片山祐三: 工業材料 Vol 23, No 11, 1975, 85
- 6) 関 康雄: 環境電磁工学, 理研EMC 報 1978, 560

オプトエレクトロニクスに関する研究 リモートセンシング技術を利用したインプロセス検知器の開発

岡田芳雄, 大下 巖

Development of Parts Inspection Apparatus by Optical Fiber Sensor

OKADA Yoshio, and OSHITA Iwao

Recently there has been development of the production facilities and there are many needs of automatic parts inspection systems.

In this paper, we use the optical fiber-sensor as the detector to check the surface of revolution. This system consists of optical fiber and a controller. The light of the LED as the light source is irradiated to the measuring plane through the fiber and the reflected light through the fiber is detected by the photo-detector in the sensor. The output of sensor is changed by the condition of the plane and bugs are inspected by the controller.

1. 結 言

近年、マイクロコンピュータの導入により生産ラインの自動化・無人化が急速に進められ、製品の高精度化・生産性の向上が行なわれている。それに伴い自動検査の要求も年々高まっている。この検査工程の省力化は現在の画像処理の技術で殆ど対応できると考えられ、プログラムの変更により汎用的に用いられるというメリットもあるが、一方高価である。中小企業にとって専用の、かつ安価でスピーディーな検査装置が望まれる。

本研究では、光センシング可能な各種工程の中で企業の要望の高い検査工程にテーマを絞り、高速回転体の微小欠陥を検知する光ファイバセンサを開発した。

2. 光ファイバセンサによる傷の検出

検査対象物は、旋盤等で加工される高速回転中の被加工物である。外周、端面、面取り部など感覚計測が必要とされるものの外観異常を検出し、良不良の識別を行う。写真1に試作した欠陥検出センサの外観を示す。

本装置は、表面の傷、巣等の欠陥を光の反射を用いて検出するもので、光ファイバセンサと信号処理回路からなる。センサの光源は赤色 LED、受光素子にはシリコン PIN フォトダイオード、光の伝送路として石英ファイバを使用する。この光ファイバプローブは、中心に投光用ファイバを1本、周囲に受光用ファイバを6本配置したものである。

投光用ファイバから出た光は円錐状の拡がりを持ち測定対象面に投光され、受光面と重なりをもつ部分のみが受光される。したがって、このプローブが対象面に接触した状態では、光はそのまま投光用ファイバにもどり受光用ファイバへの入光は生じない。

プローブを対象面から離すと、投光用ファイバから出た光の照射面が拡大し、受光ファイバへの入光量も増加する。これが最も大きい光学ビークでは、変位に対応した出力変化は小さくなり、表面の色、傷、欠陥等に対してレベル変化を示し、表面状態の検査が容易に行える。このとき、スポット径と光ファイバの受光角が小さい程、小さな欠陥に対して感度が高い。このため、ファイバの開口指数の小さい石英ファイバを使用する。このプローブの仕様を表1に示す。

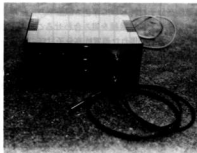


写真1 試作した欠陥検出センサ

表1 ファイバーセンサの仕様

ファイバーの種類	S I形石英ファイバー
コア径	100 (μm)
クラッド径	150 (μm)
開口指数 (NA)	0.2
出光ファイバー	1本
受光ファイバー	6本
長さ	1 (m)
光源	赤色LED 2000 (mcd)
受光素子	pinフォトダイオード
変調周波数	50 (kHz)

図1は、このプローブの変位とセンサ出力の関係を表したもので、対象物としてブロックゲージを用い、光学ビーク（プローブと対象物の間隔が6mm）における出力を100%としてプローブと対象物の間隔に対するセンサ出力を表示している。

図2は、エッジにおける出力特性である。プローブ

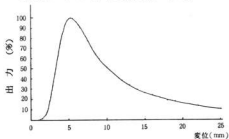


図1 プローブ変位対センサ出力特性

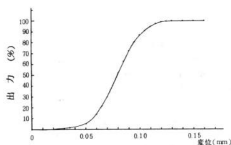


図2 エッジ位置における出力特性

をブロックゲージから6mmの間隔に保ち、水平方向に移動し、水平方向の変位対センサ出力を表示している。この傾きが大きい程小さな欠陥の検出が可能である。

3. センサ部の構成

図3にセンサ部のブロック図を示す。

LEDは50 (kHz) duty 50 (%) のパルスで駆動する。このため、外乱光の影響を受けず電気的ノイズに対しても強い。

この光源からのパルス変調光は、試料表面の反射状態によって強度変調を受け、受光ファイバによりPINフォトダイオードに導かれ電気信号に変換される。このフォトダイオードは、逆バイアスで使用するためインピーダンスが高く、電磁ノイズの影響を受けやすい。しかし、光ファイバの無誘導性、絶縁性、長距離伝送が可能等の利点を生かし、ノイズの少ない場所に変換でき、シールド、接地等の雑音対策も容易に行なえる。また、負荷抵抗は、大きい程S/N比が良いが帯域は低下する。このため、負荷抵抗の選定も重要である。



図3 センサ部ブロック図



図4 信号処理部ブロック図

ブリアンプは、FET1段、ビデオアンプ2段構成としてGB積を十分大きくし、ファイバの細径化、検出速度の高速化に対応できるようにした。

帯域幅は、検出可能な傷の大きさ、ファイバの種類、検出速度により決定される。今回は18 (kHz) と狭

く設定して不要なノイズを除去した。

検波回路は、相互干渉およびノイズに強い同期検波回路を使用した。プリアンプの出力と発振器の出力を乗算すれば整流できる。このあと簡単なローパスフィルタで信号を取り出す。

写真2は、試料をモータの回転軸に取付け、試料表面にある $\phi 0.5\text{ mm}$ の欠陥を周速 2.8 m/S で検出している例であり、上がセンサのプリアンプ、下がローパスフィルタの出力波形を示す。

写真3は、エッジに幅 0.7 mm の傷が存在する場合の信号波形で、下がセンサ出力、上は信号処理回路でこの傷を検出したものである。

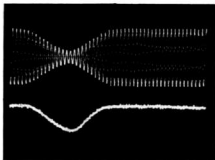


写真2 センサ各部波形

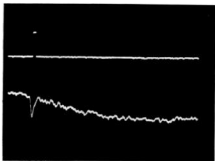


写真3 エッジに存在する傷の検出

4. 信号処理部の構成

図4に信号処理部のブロック図を示す。

センサ部からの出力は、ある一点の表面反射の状態を検出しており、どの部分を検査しているかを判断で

きない。信号処理部では、センサ出力信号から傷とエッジを検出して不良品の判別を行なう。

本装置の起動スイッチを押すと、モータの回転軸に取付けられた試料が回転するとともに検査が始まる。プローブを試料表面と平行に走査してやると試料全面の検査ができる。

センサからの信号は、傷検出回路とエッジ検出回路に入る。傷検出回路では、ある一定以上の大きさの傷を検出して黄色のランプで表示する。この設定は、ファイバ径、コンパレータ、あるいはプリアンプの帯域幅を変えることで変更できる。

エッジ検出回路では、試料の両エッジを検出し測定を終了させモータを停止させる。この場合、試料表面に傷がなければ緑のランプ、傷があれば赤のランプが点灯して不良の表示をする。

このセンサでは、試料の回転数 1800 (rpm) 周速 4 m/S で $\phi 0.5\text{ mm}$ の傷を十分余裕を持って検出できており、さらに高速、あるいは小さな欠陥の検出が可能である。また、エッジに存在する傷も安定に検出できた。

5. 結 言

高速で回転している物体の表面欠陥を検出するため光ファイバセンサを試作した。ファイバセンサは市販されているものがかなりあるが、応答性の問題、白い背景から黒点を検出すること、および欠陥に対して所定の感度を得るため、低NAの石英ファイバを使用し製作した。この特徴として次の点があげられる。

1. 受光角の小さな石英ファイバを使用しており、欠陥に対しては一般にレンズ集光型に比べて感度が高い。
2. 光ファイバプローブにより自由に測定場所の選定ができる。
3. 構造が簡単で動作が安定している。また、安価でスピーディな検査が行なえる。

今年度は検査用治具への部品の取付け、試料表面の走査を手動で行なった。今後メカニクスの開発を行ない検査工程の省力化および自動化をはかる。

文 献

- 高田容治：光ファイバによる非接触精密計測
オプトロニクス No.27 1984

内陸インダストリアルベルト形成に基づく環境騒音予測

吉野信行, 田尾博幸, 大下 義

A Prediction of Environmental Noise Based on Inland Industrial Belt Zone Formation

YOSHINO Nobuyuki, TAO Hiroyuki, and OSHITA Iwao

Standard manuals for the noise control of various industry, such as general machine factory, molded factory, printing office and textile factory, were published by Hiroshima Prefecture since 1970. Making use of these manuals, we have tried to control for several kinds of industrial noise in the urban district. However, up to now, the large scale industry such as inland industrial belt zone have gradually increased. From above points of view, we have developed CAD systems of noise level contour-map prediction in the inland industrial belt zone since 1985.

This paper describes an arrangement of these CAD systems for the industrial noise prediction. The effectiveness of our CAD systems are experimentally confirmed by means of digital simulation and also applied to actual noise data observed in the inland industrial belt zone in Hiroshima Prefecture.

1. 緒 言

一般に都市・交通騒音にかぎらず工場騒音に関する公害は大気汚染のような物質公害と異なり、機能公害としてそれ自身固有な特徴をもっている。また関与する要因も極めて多く、その変動もさまざまな形態を示すのが常である。このような特殊性・多様性をもつ工場騒音防止に対処すべく広島県では木工・鋳造・繊維等各種工場の業種別騒音防止に関する基準書を作成してきた。現在では、これらの基準書に基づき各種工場の騒音防止対策を行ない実績を上げている。しかしながら、近年交通網の整備あるいは地域産業活性化による工場集約化等に伴ない内陸部での工業団地が益々増加する傾向にあり、広域的環境騒音評価が必要になって来た。

これらの背景を踏まえ、既発表では工業団地を対象にした工場屋外騒音の予測システムを開発し、シミュレーション実験によりその有効性を確認した。本報告では、まず現実の工業団地に整合性のとれた騒音予測システムにするため既発表での騒音予測システムに検討・改良を加え、さらに屋内騒音の予測を含めた総合的な意味での工場騒音予測システムを開発した。

本予測システムの有効性は県内の一既設工業団地に

適用し、実測データと比較することにより確認した。

2. 理論的背景

工場・事業所における騒音問題の特徴の一つは、その発生源の性状や伝搬特性など各種さまざまであり、そのために騒音防止計画にあたっては、それぞれのケースごとに実施計画・設計が進められることが多い。ここでは騒音防止を画一的に進めるため、騒音の伝搬経路を工場建屋の屋内・屋外に大別し騒音予測システムを構築した。以下、本予測システムの概要を述べる。

2.1 屋内の騒音レベル計算³⁾

音源が室内にある場合、その室内の任意の位置における騒音レベルは次式で与えられる。

$$L = L_w + 10 \log_{10} (Q / 4\pi r^2 + 4 / R) \quad (1)$$

ただし、

L_w : 音源のパワーレベル (dB)

Q : 音源の指向係数

室中心部 : 1, 床面上 : 2

壁線部 : 4, 室隅部 : 8

r : 音源から任意受音点までの距離 (m)

R : 室の音響特性 (室定数) (m²)

2.2 室の音響特性計算

室の音響特性は、次式で計算される。

$$R = A / (1 - \alpha) \quad (2)$$

ただし、

A : 室の吸音力 (m^2)

α : 室の平均吸音率

ここで、室の吸音力 A は、次式で計算される。

$$A = S \alpha \quad (3)$$

S : 室内の全表面積 (m^2)

2.3 屋内から屋外への音の伝搬計算³⁾

屋内から屋外に音が伝搬するとき、建屋外壁の騒音レベルは、次式で与えられる。

$$L_2 = L_1 - T L - \beta \quad (4)$$

ただし

L_2 : 屋外への透過音レベル (dB)

L_1 : 屋外壁面への入射騒音レベル (dB)

$T L$: 壁材の透過損失 (dB)

β : 入射条件等による損失 (dB)

2.4 屋外の騒音レベル計算

(1)から(4)式で建屋外壁面での騒音レベルを算出したあとは、既報告²⁾で示した手順に従って工場敷地内、敷地境界線上等の騒音レベルを算出する。すなわち、距離減衰式、回折による減衰量の計算式の適用については、点音源の距離減衰式を基本とし、線・面音源についてその素性を失わない程度に分割、等価点音源の集合として処理する。

3. 騒音予測システム

騒音予測システムは、パソコン上で動作可能となっている。またプログラムは、演算処理の高速化を図る必要があるため FORTRAN 言語で記述している。

図1に騒音予測システムのフローチャートを示す。システムは図のように、屋内騒音予測と屋外騒音予測の2つに分けられる。

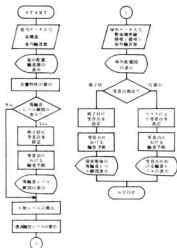
3.1 屋内騒音予測

1) 概要

屋内の騒音源による屋内各部の騒音レベルを計算する。その主要な機能は次のとおりである。

- (1)音響特性 (吸音力、室定数) の計算。
- (2)屋内に計算点を格子状に設定、各々の計算点について騒音源からの騒音レベルを求め、等騒音レベル線図を描く。
- (3)各騒音伝搬面における入射騒音レベル及び屋外への透過音レベルの計算。

(4)各騒音伝搬面への特定施設ごとの寄与量計算。



屋内騒音予測 屋外騒音予測
図1 騒音予測システムフローチャート

2) 入力データは、次のとおりである。

- (1)室の配置。
- (2)室の吸音率 (オクターブバンド毎)。
- (3)各騒音伝播面の透過損失 (オクターブバンド毎)。
- (4)騒音源の配置、指向係数、及びパワーレベル (オクターブバンド毎)。

3) 構成

プログラムでは、データ入力を行うとディスプレイ上に室の配置図及び騒音源を表示する。

次に音響特性について求める。等騒音レベル線図を描く場合は予測を行う室内全域を任意の大きさの格子状に区切って受音点を決定し、(1)式を用いて室内騒音予測計算を行う。求めた騒音レベルを基に等騒音レベル線図をディスプレイ上に描く。

各騒音伝搬面の屋外への透過音レベルは、等騒音レベル線図作成のときと同様、伝搬面における入射レベルを室内騒音予測式(1)式により計算、これから(4)式のように透過損失を差引くことにより行う。このデータは屋外騒音予測で用いられる。

これらの図、データは入力データとともにプリンタに印字される。

図2に屋内騒音予測システムの入力データ仕様、音響特性及び建屋外壁における騒音レベル計算結果の例を示す。

算入データ		算出結果	
項目	値	項目	値
計算周波数	1000	計算周波数	1000
計算点数	100	計算点数	100
計算時間	10.0	計算時間	10.0
計算メモリ	1000	計算メモリ	1000
計算精度	10.0	計算精度	10.0
計算単位	dB	計算単位	dB

算入データ	算出結果
項目	値
計算周波数	1000
計算点数	100
計算時間	10.0
計算メモリ	1000
計算精度	10.0
計算単位	dB

算入データ	算出結果
項目	値
計算周波数	1000
計算点数	100
計算時間	10.0
計算メモリ	1000
計算精度	10.0
計算単位	dB

(a) 入力仕様

算入データ		算出結果	
項目	値	項目	値
計算周波数	1000	計算周波数	1000
計算点数	100	計算点数	100
計算時間	10.0	計算時間	10.0
計算メモリ	1000	計算メモリ	1000
計算精度	10.0	計算精度	10.0
計算単位	dB	計算単位	dB

算入データ	算出結果
項目	値
計算周波数	1000
計算点数	100
計算時間	10.0
計算メモリ	1000
計算精度	10.0
計算単位	dB

(b) 騒音予測結果例

図2 屋内騒音入力仕様及び計算結果例

3.2 屋外騒音予測

1) 概要

建屋の外壁及び屋外の点音源、あるいは線音源から発生する騒音による各受音点の騒音レベルを計算する。その主要機能は次のとおりである。

- (1)座標のポインティング・デバイスであるマウスによって受音点を指定し騒音レベルを計算。
- (2)計算点を格子状に設定、騒音レベルを計算・等騒音レベル線図を描く。
- (3)各周波数(オクターブバンド毎)における等騒音レベル線図を描く。

2) 入力仕様

入力データは次のとおりである。

(1)計算周波数

a) 任意の1周波数

b) オクターブバンド周波数

(2)敷地境界線の配置

(3)障壁(建屋)の配置

(4)受音点の配置

a) 格子点(等騒音レベル線図作成用)

b) 任意の点(敷地境界線上の点など)

(5)騒音源の配置、分割数及び騒音レベル

3) 構成

プログラムではデータ入力を行うとディスプレイ上に敷地境界線・建屋の配置図及び騒音源を表示する。

等騒音レベル線図を描く場合は、予測を行う全領域を任意の大きさの格子点に区切って受音点を決定、騒音予測計算を行う。騒音予測は距離減衰量、超過減衰量を求め、また建屋などの障壁があれば障壁の遮蔽効果の計算を行う。こうして求めた騒音レベルを基に等騒音レベル線図をディスプレイ上に描く。

任意の受音点(敷地境界線上など)における騒音レベルを求める場合は、マウスを用いて画面上で受音点を指定することにより行う。

これらの図は入力データとともにプリンタに印字されるほか、ディスクへの格納も可能である。

4. 実験的考察

本システムの有効性を確認するため県内の一既設工業団地について騒音予測計算を行い実測値と比較してみた。

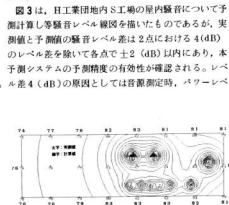


図3 屋内騒音予測例

ル、音源位置の測定誤差等によるものと考えられる。

図4は図3と同じ工場において屋内騒音予測プログラムで各騒音伝搬面における透過音データを求め、これを基に工場敷地内の騒音予測計算を行ったものである。図中、上部の建屋が屋内騒音予測をした工場であり、各壁の数値は計算された透過音レベルを表わしたものである。

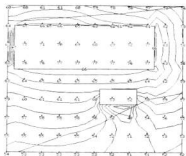


図4 屋外騒音予測例

図5は上記と同様な方法で全ての工場について屋内騒音予測を行い、その結果を屋外騒音予測プログラムにより、団地全体の騒音予測計算をし、実測値と比較したものである。団地周辺の敷地境界線上での実測値と予測値の差は約2dBであり、比較的精度良く予測していることが分かる。



図5 工業団地騒音予測例

図6は同団地各工場建屋の騒音予測結果を基に、等騒音レベル線図を描いたものである。図の等騒音レベル線図により、各工場建屋から発生する騒音の敷地境界線への騒音寄与量が直視的に把握できる。

なお当該工業団地の騒音測定は昭和60年11月に行ったものであり、各工場建屋の開放部が少なく各種施設稼働状況がほぼ定常とみなされる時刻を選んで屋内・屋

外騒音を測定した。当工場周辺の環境騒音規制は第3種規制地域であり、上記した図5、図6から昼間における環境規制をほぼ満足している。

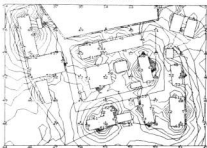


図6 工業団地騒音予測例(等騒音レベル線図)

5. 結 言

本予測システム開発の結果、各種個別工場はもとより工業団地においても新設・増設に際し、工場屋内・屋外及び工場周辺における騒音レベルの予測が可能となった。騒音レベルは等騒音レベル線図(騒音コンター)により直視でき、事前設計段階で、団地内各工場の敷地境界線上への騒音寄与度の評価、遮音・吸音材料、施設レイアウト等の変更による騒音環境の推定等、従来の個別的騒音対策手法と比較し、効率的・迅速・経済的に騒音評価・防止を行うことが可能となった。この結果、今後の工業団地の事前設計はもとより各種個別工場の新設・増設に対する騒音防止技術指導に有効に寄与することが期待される。

今後の課題としては、騒音予測精度の向上のため多くの既設工業団地における詳細な騒音測定(施設パワーレベル測定、壁・天井・ガラスサッシ等の遮音・吸音率測定の精度向上)を積上げること、統計的情報(L_{α} , L_{eq} 等)による実測値と予測値の比較、屋内間仕切のモデル化の導入等が考えられる。

終りに、本予測システムを開発するにあたり御指導頂いた広島工学部・太田教授、畠山助教授、生田助手に深謝の意を表わす。

文 献

- 1) 例えば、太田光雄他：鋳造関係工場騒音防止基準書、広島大学工学部システム研究室、(1975)
- 2) 吉野他：コンピュータグラフィックスによる工業団地騒音レベルコンターの予測、広西工技レポートJ985
- 3) 子安他：騒音・振動(上)、日本音響学会編(1980)

ウィンドウ機能付簡易画像処理システムの試作

打田澄雄, 永山博夫, 松垣和生, 馬場祥宏, 久都内俊博, 小西義孝*

Inspection System using Digital Image Processing with Windows

UCHIDA Sumio, NAGAYAMA Hiroo, HIGAKI Kazuo

BABA Yoshihiro, KUTSUNAI Toshihiro, KONISHI Yoshitaka

The automatic labeling of a circuit breaker has been performed by an "Auto labeler". The inspection of the label, however, has been done visually.

Therefore, we planned to apply a commercial image processing system to the label inspection.

But, most image processing systems on the market have a expensive image memory and their processing speed is very slow.

Therefore, we developed a low cost and high speed image processing system, which can measure the range and the area of objects in parallel processing and can be adapted to a variety of inspection tasks using a commercial computer.

This system has been successfully applied to the label inspection of the circuit breaker.

1. 緒 言

半導体製造技術の向上により安価で多量のLSIが家電製品から工業製品に至るまであらゆる分野の製品に組込まれ、社会生活、工場現場の変革が進行している。その中で画像処理装置はマイクログセッサ、メモリ、CCDイメージセンサなどのLSIから構成され、LSIの高密度化、高速化に伴い、高性能、多機能化、低価格化が促進されている。

ところで人間が外界から得る情報は視覚によるものが多いが、画像処理装置はその視覚機能の代替を目指すものであるため、従来目視で行われていた製品の外観検査、計測、監視などの製造現場の自動化へと応用されようとしている。しかし、現在市販されている画像処理装置はそのほとんどが画像データを記憶するためのメモリ（フレームメモリ）を有するもので、処理速度が遅く、また高価である。

そこで今回処理をハードウェアで高速に行い、市販のパソコンに柔軟に対応できる画像処理システムを開発した。

2. ウィンドウ機能付画像処理システム

2.1 システムの概要

試作した画像処理システムは図1のように、カメラ、

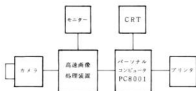


図1 システムブロック図

高速画像処理装置、モニター、パーソナルコンピュータ、CRT及びプリンタから構成されている。本処理システムは、カメラから入力した画像を高速画像処理装置により解析し、その結果をパーソナルコンピュータで判断してCRT又はプリンタへ出力する。

2.2 仕様

本システムの仕様はつぎのとおりである。

- (1) 入出力ビデオ信号：標準複合信号（モノクロ）
- (2) ビデオ入力数：2チャンネル
- (3) 分解能：255(H)×255(V)画素
- (4) 計測項目：面積
範囲 $X_{min}, X_{max}, Y_{min}, Y_{max}$
- (5) 計測時間：1/60秒（1ウィンドウ当り）
- (6) ウィンドウ設定数：200個（最大）
- (7) ウィンドウ形状：矩形
- (8) ウィンドウの大きさ：1(H)×1(V)~255(H)×255(V)画素
- (9) スレシールドレベル：255段階
- (10) 白黒反転機能：あり

2.3 ウィンドウと計測項目

高速画像処理装置の特徴として画面内の任意の矩形領域について面積・範囲を計測できる。この領域をウ

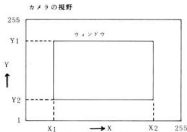
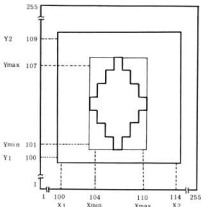


図2 ウィンドウ

ィンドウと呼ぶ。図2のように画面は水平方向(X)を255、垂直方向(Y)を255に分解されており、ウィンドウの指定は2点の座標(X1, Y1), (X2, Y2)を高速画像処理装置に設定することによって行う。

面積及び範囲の計測はウィンドウ内の二値化(白・黒)された画像に対して行われ、面積は白の画素数として計測され、範囲は白の領域に外接する矩形の右上と、左下の二つの頂点の座標として計測される。図3のように、ウィンドウを2点(100, 100)(114, 109)により決まる矩形領域に設定した場合、計測結果として面積は25、範囲は(104, 101)(110, 107)の2点が得られる。



ウィンドウ (100, 100), (114, 109)
 X1 Y1 X2 Y2
 面積 25画素
 範囲 (104, 101), (110, 107)
 Xmin Ymin Xmax Ymax

図3 計測例

2.4 カメラ

本システムで採用したカメラは固体撮像素子を使用しているため、画像歪み、焼付けがなく長寿命であり工業用カメラとしての機能を有している。今回用いたカメラはXC87(ソニー製)、TI-22A(NEC製)で解像度はいずれも280(H)×350(V)である。

2.5 高速画像処理装置

本装置は図4のように、映像信号処理部、計数部及びウィンドウ設定部から構成されている。写真1に装置内部を示す。

映像信号処理部ではカメラの映像信号から水平・垂



図4 高速画像処理装置内部ブロック図

直同期信号を分離し、また映像信号を255段階のスレッシュドレベルで二値化する。カメラは2台を切替えて使用することができる。

計数部では映像信号処理部からの二値化データについて、各ウィンドウ毎に、被測定物の面積・範囲を計測する。

ウィンドウ設定部では、ウィンドウとスレッシュドレベルをパソコンからのパラメータにより設定する。

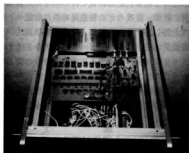


写真1 高速画像処理装置内部

2.6 パーソナルコンピュータ

パーソナルコンピュータは高速画像処理装置の初期

ウィンドウ	モード	レベル	X1	X2	Y1	Y2	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	メンセキ
1	07	120	100	114	100	109	103-105	109-111	100-102	106-108	00024-00026
							104	110	101	107	00025
2	07	120	100	107	100	109	103-105	106-108	100-102	106-108	00015-00017
							104	107	101	107	00016

↑ ウィンドウ番号
 ← スレッシュドレベル
 ← ウィンドウ
 ← 基準値
 ← 計測した範囲
 ← 計測した面積
 (カメラ1からの信号を二値化してウィンドウとともに表示)

図5 計測結果の出力画面

化、ウィンドウ及びスレッシュドレベルの設定をし、計数部の計測結果を取込む。被測定物の良否判定は、設定した各ウィンドウ毎の面積・範囲が、基準内にあるか、否かによって行う。結果は、CRTへ表示すると共にプリンタへも出力する。なおパーソナルコンピュータはPC8001(NEC製)である。

図5に結果の出力例を示す。

2.7 処理フロー

パーソナルコンピュータと対話形式でカメラの選択、ウィンドウ、スレッシュドレベルの設定を行った後に、良品の基準を入力する。以上の操作が終わると計測を開始する。全ウィンドウについて面積・範囲を計測した後に、良否判定を行い、不良の場合には不良信号を

外部に出力して次の計測を開始する。処理中、キー入力があると処理の終了かまたは設定値の変更かを判断し、それぞれの処理を行う。ただし設定値の変更の場合には変更後、計測を継続する。図6にフローチャートを示す。

3. ラベル検査への応用

配線用しゃ断器のラベルの印刷・貼付は自動機(オートラベラー)で行われている。しかしラベルに正常に製品・形式等が印字されているか、正しい位置にラベルが貼付けられているかといった検査機能はない。そのため、良否の検査は目視に頼っているのが現状である。そこで今回試作した装置をラベル検査に適用し、検査の自動化の可能性を検討した。

図7にラベル検査システムの構成を示す。

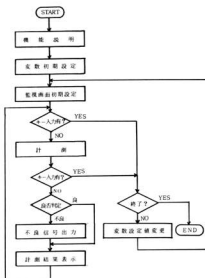


図6 フローチャート

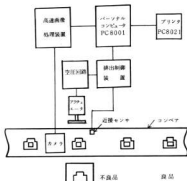


図7 ラベル検査システム

ラベル不良としては図8のように、印字不良と貼付不良とがある。印字不良は具体的には、(b)印字なし、(c)印字ズレ、(d)印字のにじみなどがある。同様に貼付

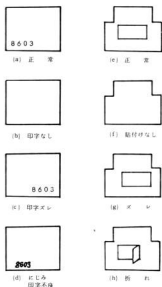


図8 ラベル不良

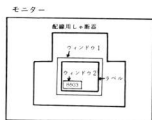


図9 ウィンドウの設定

不良については、(a)貼付けなし、(b)ズレ、(c)折れなどがある。

以上の不良を検出するために、図9のようにウィンドウを2つ設定する。まずラベルの貼付不良を検出するため、正常に貼られたラベルを囲むようにウィンドウ1を設定する。次に、印字不良を検出するため、印字箇所を囲むようにウィンドウ2を設定する。この場合、前述の不良に対する各ウィンドウ毎の判定基準は表1のようになる。そこで表1のデータに基づいて各

表1 不良判定基準一覧表

(a) ウィンドウ1によるラベル貼付不良検査

不良種別	面積	範囲			
		Xmin	Xmax	Ymin	Ymax
貼付なし	小	-	-	-	-
ズレ	左	-	小	小	-
	右	-	大	大	-
	上	-	-	-	大
	下	-	-	-	小
折れ	小	-	-	-	-
2枚貼り	大	-	-	-	-

(b) ウィンドウ2による印字不良検査

不良種別	面積	範囲			
		Xmin	Xmax	Ymin	Ymax
印字なし	小	-	-	-	-
ズレ	左	-	小	小	-
	右	-	大	大	-
	上	-	-	-	大
	下	-	-	-	小
かすれ	小	-	-	-	-
にじみ	大	-	-	-	-

小:基準より小 大:基準より大

ウィンドウ毎の計測値を判断すればラベルの良否判定が行える。

4. 結 言

本画像処理装置を配線用シヤ断器のラベル検査へ適用し、ラベルの貼付位置のズレ、印刷文字のにじみ等の検査を1/30秒で処理することが可能となった。

本画像処理システムは面積・範囲の計測をハードウェアで実行し、ソフトウェアで計測結果の良否判定を行うため、高速でフレキシブルな画像処理システムとなっており、製品の外観検査以外の用途、例えば物体監視などへの応用も考えられる。

画像処理装置HILIPSの開発

馬場祥宏, 打田澄雄, 松垣和生

A Development of Image Processing System HILIPS

BABA Yoshihiro, UCHIDA Sumio, and HIGAKI Kazuo

We developed a image processing system HILIPS(Hiroshima Innovation team Linear Image Processing System) with which manufacturing processes (i.e inspection, instrument, observation processes) can be automated.

Special features of this image processing system are as follows.

- (1) A CCD image sensor (A Semiconductor Camera) is used in place of man's eyes.
- (2) A High resolution sensor is in use, so it is possible to recognize complex figures and to measure at a high precision.
- (3) A Sensor switching circuit is included, so that plural sensors can be connected.
- (4) It is possible to deal with gray scale data at a high speed.

As an application of this image processing system, we have constructed an automatic measurement system of a water gate rack bar, and got good results.

1. 緒 言

産業分野におけるFMS(フレキシブル生産システム)化が進展するにつれ、より柔軟なシステム構築のため、視覚・触覚・聴覚など一層人間に近いセンシング機能の実現が望まれている。これらの機能のうち、視覚の役割を担うのが画像処理技術である。

画像処理技術は、傷の検出・位置抽出・パターン検査等の処理が容易に行え、工場の各工程にこの技術を利用することによって、より一層の合理化・省力化・製品の高精度化・生産性の向上をはかることが可能となる。

そこで、(財)広島県産業技術振興機構では、画像処理技術の導入を目指している地元企業の異業種共同による広島イノベーションチーム(画像処理システム)を組織し、技術交流や視察を行うとともにハードウェアの研究・ソフトウェア開発等の実践的研究を行ってきた。その結果、検査・計測・監視等の工程を自動化するための、標準的な画像処理装置HILIPS(Hiroshima Innovation team Linear Image Processing System)を開発した。

2. HILIPSの特徴

本画像処理装置は、イメージセンサの信号を画像データとして高速で取込み、コンピュータによるデータ処理を行うもので、ロボットの視覚として広い分野に应用することができる。

本装置の全景を、写真1に示す。

本装置の特徴は、以下の通りである。

- (1) 人間の目に相当する部分に、半導体で出来たカメラ、CCDイメージセンサを使用している。
- (2) 高分解能のセンサを使用しており、複雑形状の認識や測長を行なう場合に高い精度が得られる。
- (3) 複数台のセンサを接続することができるように、センサ切替部を内蔵している。
- (4) 濃淡データを高速で処理することが可能で、照明条件の変動に強く、また高速に移動する物体をも画像処理の対象とする。



写真1 画像処理装置HILIPS

3. 構 成

本画像処理装置は、図1に示すように1次元イメージセンサ、センサ切替回路、信号処理回路、信号同期回路、高速AD変換回路、アドレス生成回路、画像メモリ、制御回路、CPUインターフェースおよびパーソナルコンピュータで構成されている。

3.1 イメージセンサ

画像入力用イメージセンサは、CCDタイプのIX-S40(サンクス)を使用した。CCDタイプのイメージセンサは、長寿命・低歪である特長を有し、工業用途に適している。画素数は、4096と高分解能であり、きめの細かい画像の入力が出来る。このため、複雑形状の認識や測長を行う場合の精度が高い。

駆動周波数は2MHz、1ライン4096画素の読出時間は2msecであり、露光時間は1~16msecの間で可変である。

3.2 センサ切替回路

複数台のイメージセンサの接続を可能にするためのセンサ信号(映像信号と同期信号)の切替回路である。標準で8台、オプションで256台までのセンサを接続することができる。

映像信号の切替には、8chアナログスイッチLP13508(NS)を、同期信号の切替にはデータセレクトALS151(TI)を使用している。

3.3 信号処理回路

センサからの映像信号をAD変換器の入力レベルに変換する回路である。高速オペアンプLM318(NS)を使用している。

3.4 高速AD変換回路

アナログ値である映像信号を、デジタル信号に変換する。画素同期信号が2MHzと高速であるため、6ビット高速AD変換器MB40576(富士通)を使用した。通常、10MHz サンプル/秒以上の高速AD変換器の入出力はECLレベルであるため、回路が複雑になりやすいが、MB40576は、入出力がTTLレベルであり、回路構成が容易である。

4096画素の(白黒2値化データではなく)、濃淡データが得られるので、照明条件の影響を受けにくい。また、画像入力時間は最少2msecと短いため、高速に移動する物体をも画像処理の対象とすることが出来る。

3.5 画像メモリ

AD変換したデータを保持する画像メモリである。128KBの容量があり、1ライン4KBのデータを32ch格納することができる。

図2に示すようにCPUアドレスの80000~9FFF番地にマップされており、CPUからは主記憶と同様の読出・書込が可能である。

AD変換器からのデータを書き込む時には、CPUから切り離して、AD変換器側へ切り替える構成である。

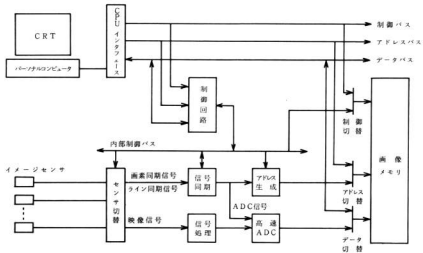


図1 画像処理装置HILIPSシステム構成

3.6 信号同期回路

CPUからの変換開始信号とライン同期信号の同期をとる。AD変換器の変換信号ADC、CLKを作成する。また、1ラインのデータ終了をCPUに知らせる変換終了信号を出力する。図3に、信号同期回路のタイムチャートを示す。

3.7 アドレス生成回路

カウンタ部とch切替部で構成されている。

カウンタ部は、1ライン4096画素中のどの画素をAD変換中であるかを示す。ch変換部は、現在変換中の1ラインを画像メモリの82chのうちのどのchに書き込むかを指定する。

3.8 制御回路

センサ切替、変換開始、ch切替信号の出力および変換終了信号の入力を行なう。また、画像メモリをAD変換器側、CPU側のどちらに切り替えるかの信号も出力する。図4に制御回路のI/Oマップを示す。

4. ラック棒自動測長システム

本画像装置の応用のひとつとして、水門巻き上げ用ラック棒の自動測長を行なった。写真2に、その全景を示す。

このラック棒は、平板と丸棒を溶接加工して作られた梯子状の製品であり、河川などの水門の開閉に使用される重要部品のひとつで、加工精度は0.3mmと高い精度が求められる。このため、一製品につき200箇所余りの測定点のうち十箇所を選び人手による測長を行なっているが、それでも多くの時間を要し、また、すべての測定点を検査し結果を自動的に記録したいという要求が強い。

そこで、本画像処理装置と汎用コンペアにより全測定点の自動測長を試みた。その結果、視野100mmの条

件のもとで0.1mmの精度を得た。測定時間は測定物の移動時間を除き約1秒であり、測定精度・時間とも実用化可能であることを確認している。

5. 結 言

(財)広島県産業技術振興機構の行なう異業種交流による研究開発を技術支援し、工場のFMS化を目的とした検査・計測・監視等の工程を自動化するための画像処理装置HILIPSを開発した。

本画像処理装置は、高分解能(4096画素)のイメージセンサを複数台接続可能で、かつ白黒2値化データではなく、6ビット濃淡データを高速に処理することが出来る。このため、複雑形状の認識や測長の場合に高い精度が得られ、照明条件の変動に強く、また高速に移動する物体をも画像処理の対象とするため、ロボットの視覚としてその応用分野は広い。

本画像処理装置の応用のひとつとして、水門巻き上げ用ラック棒の自動測長を行ない、良好な結果を得ることが出来た。

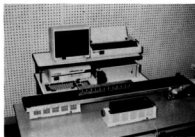


写真2 ラック棒自動測長システム

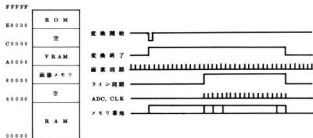


図3 信号同期回路タイムチャート

図2 メモリマップ

アドレス	出力	I/O	機能
87DE	7-0	O	コントロール レジスタ
88DE	4	I	変換終了信号
	0	O	変換開始信号
89DE	7-0	O	センサ設定
8ADE	5	O	ADC/CPU 切替
	4-0	O	ch 切替

図4 制御回路I/Oマップ

高放射型加熱炉の開発 各種耐火断熱材の比較

中村和清, 関 守雄, 天島正行

A Comparison of the Various Thermal Insulators

NAKAMURA Kazukiyo, SEKI Morio, and TENBATA Masayuki

For reducing energy unit which involved in the unit price of the industrial products, heat-absorption, -accumulation, -emission were comparatively determined by the electric furnace with various thermal insulators at 200, 400, 600, 800, 1000°C. As compared with thermal insulating bricks only, average reducing rate of energy with brick and ceramic felt were 10.4%, ceramic felt and rock wool felt 16.7%, and ceramic felt only 19.6% respectively. It is proved that material cost for construction of furnace can be recovered within a year.

1. 緒 言

我が国の石油情勢は一時期に比べ、かなり好転したが、有限資源であると同時に中東政情の不安定、石油に対する依存度等を考えると将来再び石油危機が、おとずれることも考えられ、省エネルギーは我が国にとって永遠の課題である。

政府は民間と協力し石油に代るエネルギーとして、石炭あるいは太陽エネルギー利用等の開発に努力しているが、中小企業では技術的な問題、資本金においてこれら代替エネルギーを充分利用することが困難な現状である。そこで中小企業ではいかにして製品に占めるエネルギー単位の低減を図るかが課題である。この課題解決の一助として、今回小型電気炉を用いて、各種耐火断熱材（セラミックフェルト、ロックウールフェルト）による入熱量、蓄熱量、放散熱量等について現在主として使用されている珪藻土レンガを基準に、エネルギーの低減率を比較検討するとともに放射率の高い高放射材を用いて、普通レンガの焼成試験を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 炉および炉材

実験に使用した当所製の小型電気炉を図1に示す。炉の外壁はステンレス板（放射率0.2）と底面に鉄板（放射率0.6）を用い、内容積206×156×550mm、電気容量8KW、最高使用温度1200°Cのコントロール発熱体を使用し、トランスはサイリスター式自動制御装置を用いた。

炉材の物性は表1の通りである。表1以外に溶射材として、下地溶射材にNiCr、高放射溶射材にAl₂O₃を用いた（母材1.5mm鉄板）。

表1 炉材の物性

種類	物性	比熱 (kJ/kg°C)	密度 (kg/m ³)	使用最高温度 (°C)
セラミックフェルト		0.20	1400	1300
ロックウールフェルト		0.20	1400	600
珪藻土レンガ		0.23	670	900

(注) 比熱:メーカ値, 密度:実測値

2.2 断熱材の組合せおよび試験方法

1) 図1のAとBの部分すべてに珪藻土レンガ（以下レンガと言う）を用いたもの。

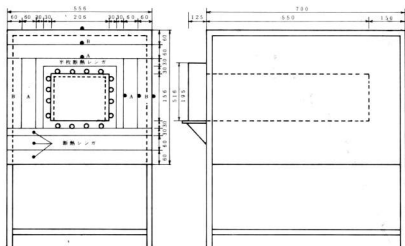


図1 小型電気炉

2) Aの部分にレンガを用い、Bの部分にセラミックフェルト（以下セラミックスと言う）を用いたもの。

3) Aの部分にセラミックスを用い、Bの部分にロックウールフェルト（以下ロックウールと言う）を用いたもの。

4) AとBの部分にすべてセラミックスを用いたもの。

以上4通りの組合せについて200℃、400℃、600℃、800℃、1000℃の各温度で、被加熱物（S45C材、10.8kg）を5.5時間加熱し、図1の●点部分と被加熱部の中心部（100×100×100mm）にC-Aセンサーを用いて温度測定を行ない蓄熱量、放熱量の算出を行った。全入熱量の測定は積算電力計を用いた。

なお、鉄炉に高放射材 Al_2O_3 を溶射したものを図1の点線部分に用いた場合と用いない場合での普通レンガの焼成試験を行なった。焼成はプログラムにより18時間で1000℃まで昇温させ、その後2時間保持した。

3. 実験結果

3.1 入熱量

200℃～1000℃までの内1000℃の入熱量を図2に示す。図に示すようにレンガのみ用いたものが最高値を示し、セラミックスのみ用いたものが最低値を示し

た。レンガとセラミックスの組合せたものは前者の中間値を示し、セラミックスとロックウールの組合せたものは、セラミックスのみ用いたものとほぼ同程度の値を示した。

最高値を示したレンガと最低値を示したセラミックスとの各温度ごとの差は200℃で890Kcal、400℃で3300Kcal、600℃で1300Kcal、800℃で2300Kcal、1000℃で2000Kcal、といずれもセラミック断熱材を使用した効果が認められた。中でも400℃が最も顕著な差を示した。

なお、入熱量は各温度とも時間の経過とともに緩いカーブを描きながら上昇しているが、入熱後約3時間ではほぼ直線の上昇しており、このことから10時間後あるいは20時間後の推定も可能である。

3.2 蓄熱量

1000℃の蓄熱量を図3に示す。図からわかるように入熱量と同じような傾向を示している、レンガのみ用いたものが最高値を示し、セラミックスのみ用いたものと、セラミックスとロックウールの組合せたものが最低値を示した。レンガとセラミックスを組合せたものは前者の中間値であった。

各温度での最高値と最低値の差をみると200℃で250Kcal、400℃で600Kcal、600℃で900Kcal、800℃で1200Kcal、1000℃で1500Kcal、と設定温度

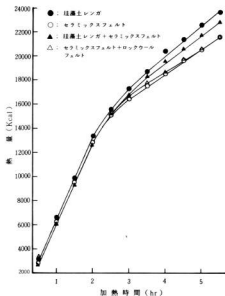


図2 100°Cにおける入熱量

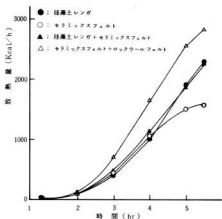


図4 100°Cにおける経過時間と放熱量

各温度とも入熱後約3時間経過すると、蓄熱曲線が平衡状態になっているが、このことは蓄熱がほぼ終了したことを示し、入熱量が直線状に近くなる時間とよく一致している。

3.3 放熱量

100°Cの放熱量を図4に示す。図からわかるようにセラミックスとロックウールの組合せたものが最高値を示し、セラミックスのみ用いたものが最低値を示した。レンガのみ用いたものと、レンガとセラミックスの組合せたものはほぼ同じ値となり、前者の中間値であった。

セラミックスのみ用いたものは各温度においても最低値を示した。

以上入熱量、蓄熱量、放熱量の結果から判断すると、レンガに比べセラミックス及びロックウール断熱材を使用することにより入熱量は減少する。その最大の要因は蓄熱量であり、続いて放熱量であった。

3.4 被加熱物の所定温度に達する時間

各温度とも所定温度に達する所要時間はセラミックスのみ用いたものが最も早く、次にレンガとセラミックスの組合せたもので、以下セラミックスとロックウールの組合せたもの、レンガのみ用いたもの順に時間を要していた。最も早いセラミックスのみ用いたものと、最も遅いレンガのみ用いたものとの差は200°Cで20分、400°Cで25分、600°Cで45分、800°Cで25分、1000°Cで20分であった。

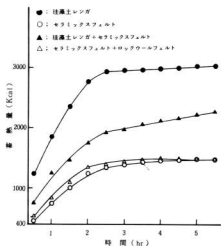


図3 100°Cにおける蓄熱量

が200°C高くなることに約300Kcal増加している。

3.5 エネルギー低減率

レンガのみ用いたものを基準に5.5時間と10時間(推定値)のエネルギー低減率を表2, 3に, 築炉費(材料費)を表4に示す。

表2 5.5時間のエネルギー低減率

種別	200℃		400℃		600℃		800℃		1000℃		平均	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
レンガ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
レンガとセラミックス	12.9	26.7	4.4	6.0	3.0	3.0	13.4					13.4
セラミックスとロックウール	11.8	27.5	6.3	12.2	9.1	13.8						13.8
セラミックス	21.7	35.1	16.1	12.1	6.6	16.7						16.7

表3 10時間(推定)のエネルギー低減率

種別	200℃		400℃		600℃		800℃		1000℃		平均	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
レンガ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
レンガとセラミックス	9.9	28.8	3.3	5.7	2.9	10.4						10.4
セラミックスとロックウール	11.3	33.9	10.0	15.2	13.1	16.7						16.7
セラミックス	24.2	35.7	11.9	14.7	11.4	19.8						19.8

表4 材料費

種別	材料費(円)	差額(円)	割合(%)	断熱材使用割合(%)
レンガ	46,900	-	-	-
レンガとセラミックス	43,400	+3,500	+4.2	23
セラミックスとロックウール	35,900	-11,000	-12.2	46
セラミックス	44,400	+2,500	+3.5	46

表2, 3に示すように各温度でもエネルギー低減に効果の大きかったものは, セラミックスのみ用いたものと, セラミックスとロックウールの組合せたものであった。

なお, 築炉に要した材料費をみると, 最も費用を要したセラミックスのみ用いたものと, レンガのみ用いたものとの差は8500円程度であり, この材料費の差はいずれの組合せでも1年以内で回収できる。

特に低温部(600℃以下)の所にはロックウールを使用すれば, 材料費も安価でエネルギー低減率も良好なため有効である。

3.6 溶射

高放射材(Al_2O_3)を溶射した鉄板を用いて, 普通レンガの焼成試験結果を表5に示す。

表5 レンガ試験結果

種別	項目	重量減(%)	吸水率(%)	強度(kg/cm^2)
溶射した鉄板なし	重量減	6.8	20.9	115
	吸水率			
溶射した鉄板あり	重量減	10.0	20.9	114
	吸水率			

注1. 放射率(20℃): 鉄板0.76, 溶射鉄板0.9

注2. 吸水率, 強度はJIS(R1250), 重量は一般法による。

4. 結 言

各種断熱材によるエネルギーの低減を検討した結果次の結果を得た。

1) 入熱量は各温度でもセラミック断熱材を単独で使用したものが最も低い値を示した。

2) 蓄熱量は各種断熱材による差が大きく, 入熱量に与える影響も大きい。

3) 放熱量は各温度とも, 多少のばらつきがあるが, 最も低い値を示したものはセラミックスのみ用いたものであった。

4) 入熱量, 蓄熱量, 放熱量のいずれも低い値を示したのはセラミックスのみ用いたものであった。

5) 各断熱材を単独又は組合せて使用した場合のエネルギー低減率は, レンガとセラミックスの組合せたもの10.4%, セラミックスとロックウールの組合せたもの16.7%, セラミックスのみ用いたもの19.6%で, セラミックスのみ用いたものが最高の低減率であった。

6) 築炉に要した材料費はいずれの組合せでも1年以内で回収できる。

7) 高放射材を溶射した鉄板を発熱体内部に使用したものと, しないもので普通レンガの焼成試験を行なった結果両者に差はなかった。この件については今後溶射材, 溶射方法, 被加熱物等の再検討を行ない, 引続いて実験を行う予定である。

文 献

- 1) 堀 克彦 : 工業用電気加熱
- 2) 佐田哲男 : 全員参加の省エネルギー活動
- 3) 平田敏明他 : セラミックファイバー施工断熱炉の省エネ対策

金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究(第2報)

セラミックス溶射の接合強度に及ぼすプラスト及び下地溶射条件の影響

野地英治, 吉池啓佑, 横山宏樹

Study on the Strength of Bonding coat for Ceramics Coating by Flame Spraying

NOJI Hideharu, YOSHIKE Hiroyuki, YOKOYAMA Hiroki

Ceramics coating on metals by thermal spray is very useful to make good materials for anti-abrasion, anti-corrosion, anti-heat and the others, and it's bonding strength depends on blasting conditions of steel, and many conditions of thermal spraying.

And so, we studied the effect on strength of blasting and kinds of materials(Mo, Ni-Cr, Ni-Al) and conditions of flame spraying. The results were as follows:

- (1) Roughness of mild steels depend on kinds of blasting materials and there finess, not on blasting time (more 10 seconds).
- (2) Bonding strength of Mo don't depend on blasting conditions, and Ni-Cr, Ni-Al depend on blasting materials and there finess.
- (3) Fast speed of Mo and Ni-Cr wires decrease bonding strength, but fast speed of Ni-Al increase.
- (4) Mo's bonding strength are good at the conditions of near spraying distance, and Ni-Cr and Ni-Al are at 15~20cm.
- (5) Air pressure don't affect bonding strength.
- (6) The time after blasting (within 2 days) don't affect the strength of Mo and Ni-Cr spraying.

1. 緒 言

金属材料の表面にセラミックスを溶射し、耐熱、耐食、耐摩耗等高機能材料の製造や新製品を開発する技術は、近年各方面で研究又実用化されつつあり、将来の有望な技術として非常に注目をあびている。

しかしその接合特性や応用面においては、今だ未知の分野が数多くあり、幅広い実用化に向けての研究・開発が望まれている。

そこで今回、溶射法の中では一番普及しているガス溶射法を用いて、溶射の前処理としてのプラスト方法、セラミックス溶射用下地溶射材の種類、溶射条件等の要因が密着強度に及ぼす影響について研究を行った。

その結果、密着強度に対するプラスト方法及びプラスト後放置時間の影響、又最適な溶射条件の組み合わせ等が判明し、信頼性の高い前処理及び下地溶射についての知見が得られたので以下報告する。

2. 実験方法

溶射被膜と母材との結合は主に投锚効果(母材表面の凹凸に溶射材がくいだむ事により得られる)によってその強度が得られる。従って一般的には溶射前に母

材表面をプラスト処理する。そのプラスト条件の密着強度への影響を求めめるため、表1に示すようにプラスト

表1 プラスト条件及び下地溶射材の種類

変動要因	準		
	水	16#	24#
プラスト材種	アルミナグリッド	16#	24#
及び粒度	鈣鋼グリッド	70番	100番
プラスト回数	2回	4回	8回
溶射材	Mo	Ni-Cr	Ni-Al

(プラスト条件) 一定条件
 プラスト圧力: 5 kg/cm²
 プラスト距離: 150mm
 プラスト角度: 60°
 プラスト時間: 5 sec/1回

(溶射条件)

	O ₂ 流量 (ポール高さ)	C ₂ H ₂ 流量 (ポール高さ)	ワイヤ速度 (cm/min)
Mo	28 (57)	21.3 (57)	280
Ni-Cr	28 (57)	21.3 (57)	780
Ni-Al	29 (60)	24.3 (65)	930

(溶射膜厚) 約 0.5mm

(母材) SS 41

ト材の種類及びその粒度，プラスト回数（時間），下地溶射材の種類を変えて付着力試験を行った。

溶射装置はフランスSNMI社製のトップ・ジェット2を用いた。プラスト装置は直圧式である。

密着強度は，J I S H 8666（セラミック溶射試験方法）の付着力試験方法により求めた。

次に溶射条件の密着強度への影響を求めため表2に示す溶射条件をとりあげ，表の各因子及び水準を統計的手法の一つであるL₂₇（3¹³）の直交表にわりつけて溶射を行った。測定項目は，付着力，表面粗さ，断面の顕微鏡組織及び硬さとし，表面粗さは触針式のテラーホブソン社製タリサーフ4型を用いた。

表2 溶射条件

変動要因	水 準		
溶射材	Mo	Ni-Cr	Ni-Al
溶射距離	10cm	15cm	20cm
突出し長さ	0mm	5mm	10mm
ガス流量	O ₂ : 24ℓ/min C ₂ H ₂ : 18.5ℓ/min (ボール高さ50)	26.5ℓ/min 20.5ℓ/min (# 55)	29ℓ/min 22.5ℓ/min (# 60)
エア圧力	4.0 bar	4.5 bar	5.5 bar

3. 実験結果及び考察

3.1 プラスト条件の密着強度に対する影響

プラスト条件とプラスト面粗さの関係は図1に示す

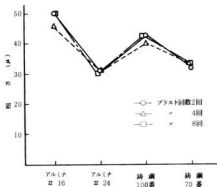


図1 プラスト条件とプラスト面粗さ

ように，軟鋼母材のプラスト面粗さに対してはプラスト回数（時間）の影響はほとんどなく，プラスト材の種類及びその粒度によって決まる。

次に密着強度に及ぼすプラスト条件の影響を図2に示す。

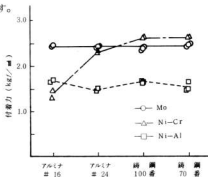


図2 プラスト材および下地溶射の違いによる付着力

密着強度に対してもプラスト回数の影響は全くなく，軟鋼に対してはプラストは10秒位やれば十分である。Moはすべての試料において溶射被膜内から破断しており，プラスト材質，粒度に関係なく一定強度である。又Ni-Crが最もプラスト材質，粒度の影響を受け，アルミナグリットよりも鋼グリットの方が，かつ粒度の小さい方が密着強度が高い。

また図1，図2からプラスト面の粗さと密着強度との間には相関がなく，溶射管理の一つとして表面粗さ測定が行われるが，その意味については疑問がある。

3.2 溶射条件の密着強度に及ぼす影響

溶射条件の密着強度に及ぼす分散分析結果を表3に示す。

ワイヤ送り速度は図3に示すように，Mo，Ni-Crとも送り速度が速くなると密着強度は低下するが，Ni-Alは逆に速くなると強度は向上する。

ガス流量は3種類の溶射材とも，流量が増せば強度も増加する。その傾向を図4に示す。

次に溶射距離の影響についてその結果を図5に示す。一般にガス溶射距離は10cmから20cm位が適正範囲とされているが，本実験の結果，適正距離は溶射材料によって異なっており，Moの場合は本実験の範囲内（10cmから20cm）では近づけるほど密着強度が向上し，Ni-Crは逆に溶射距離が離れた方が密着強度

表 8 溶射条件による付着力の分散分析結果

要因	平方和	自由度	不偏分散	F ₀	寄与率(%)
溶射材 (A)	5.22245	2	2.61123	115.211**	73.0
溶射距離 (B)	0.03162	2	0.01581	—	—
A×B	0.33977	4	0.08494	3.748*	3.3
突出し長さ(C)	0.26896	2	0.13448	5.933*	3.2
A×C	0.47763	4	0.16941	7.475**	8.3
ガス流量 (D)	0.31579	2	0.15789	6.967**	3.8
A×D	0.08226	4	0.02056	—	—
エア圧 (E)	0.04054	2	0.02028	—	—
A×E	0.11315	2	0.02828	—	—
(e')	0.27198	16	0.02266	—	—

が強い。又 Ni-AI は 15 cm から 20 cm 位が適当である。

エアの圧力は密着強度にはほとんど影響を及ぼさない。

以上の結果を総合すると、Mo は溶射距離を近くし、ワイヤ送り速度を遅く、ガス流量を上げると密着強度の高い被覆が得られる。Ni-AI は溶射距離を離し、ワイヤ送りを遅く、ガス流量を上げると良い。

又 Ni-AI は溶射距離は 15 cm から 20 cm 位でワイヤ送り速度を可能な限り遅くした方が密着強度は向上する。(Ni-AI の場合は粒子サイズが非常に大きくなる位遅くしても密着強度は向上する。)

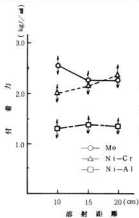


図 3 溶射距離と付着力との関係

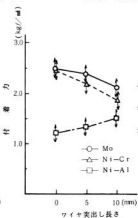


図 4 ワイヤ突出し長さと付着力との関係

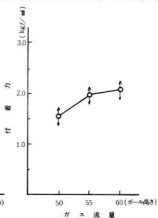


図 5 ガス流量と付着力との関係

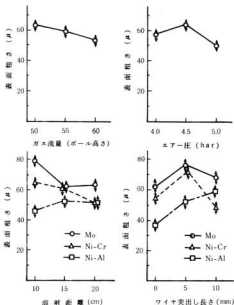


図 6 溶射条件の表面粗さに及ぼす影響

3.3 溶射材表面粗さに及ぼす溶射条件の影響

下地溶射材の粗さはセラミック溶射被覆の密着強度等機能面に影響を与えるし、又寸法精度とも関連するため、溶射表面粗さの解析を行った。その結果を図 6

に示す。この結果溶射材表面粗さに及ぼす溶射条件は材料に応じて複雑にかつ相互にからみ合って影響しており、寄与率から判断すると、溶射材料、突出し長さ（ワイヤ送り速度）のウェイトが比較的高い。

ワイヤ送り速度の影響については興味ある結果が得られている。つまりNi-Al材は送り速度が速くなるほど表面粗さが粗くなるが、Mo、およびNi-Cr材は中間の速度で一番粗く、それより速くても遅くても粗さは小さくなる。

エア-圧は、すべての下地溶射材に対して4.5気圧位が最も表面粗さが粗く、それ以上でも以下でも表面粗さは小さくなる。

又ガス流量は多くなるほど表面粗さは小さくなる。

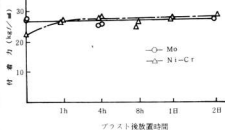


図7 プラスト後放置時間の付着力に及ぼす影響

3.4 プラスト後放置時間の影響

先にのべた様に、溶射材と母材との密着強度は投着効果（アンカー効果）が主であるが、さらに母材表面の活性化、あるいは一部の金属例えばMo等は母材への拡散等が密着強度を向上させるといわれている。したがって溶射は母材をプラストした後長くても4時間以内に溶射作業をする事が通説となっている^{2,3}。又活性化もプラスト直後が良く、4時間以上経過すると下がるという報告もある。

一方プラスト後4時間以内に溶射を行わなければならないとなると、作業上においては大変厳しい条件となるケースも多い。

そこで下地溶射を行う際、プラスト後の放置時間が密着強度にどの様に影響するかの指針を得るために、Mo、Ni-Crについて実験を行った。

その結果を表7に示す。最大2日間放置した環境は大気中であり、その間の平均湿度は60%だった。

この結果MoやNi-Crに関して、この程度の放置時間では密着強度の低下は全く認められなかった。

又Ni-Crに関しては活性化が良いはずであるプラスト直後に溶射した試料が、むしろ密着強度が低いという結果が得られた。

現在これらの現象について、さらに詳しく研究中である。

4. 結 言

本研究の結果得られた主な結果は次のとおりである。

(1) 軟鋼材のプラスト面粗さは、プラスト材及びその粒度によって決まり、プラスト時間は10秒以上いくらやっても差は認められない。

(2) 触針式粗さ計により測定したプラスト面粗さと密着強度との間には相関関係を認められない。

(3) 密着強度についてもプラスト時間の影響は認められず、Moはすべて溶射被膜内から破断し、プラスト材の種類、粒度の影響もなく一定強度であった。又Ni-Crが最もプラスト材の種類及び粒度の影響を受け、アルミナグリットよりも鈷鋼グリットの方が密着強度が高く、かつ被膜内破断となる。又その程度は小さい方が良かった。

(4) 溶射条件と密着強度との関係については

(4) 1 ワイヤ突出し長さ（ワイヤ送り速度）はMo、Ni-Cr材ともワイヤ突出し長さが長くなるほど強度は低下するが、Ni-Alは逆に長い方が強くなる。

(4) 2 ガス流量を増すほど密着強度は向上する。

(4) 3 溶射距離はMoは近い方（本実験では10cm）が強く、Ni-Crは離す（20cm）方が強度が高く、Ni-Alは15cmから20cmが良い。

(4) 4 エア-圧の密着強度への影響はない。

(5) 溶射条件と溶射材表面粗さとの関係は、溶射材に応じて複雑に相互にからみ合っている影響し、材料に応じて適正な条件は変わってくる。

(6) プラスト後放置時間の影響については、通常プラスト後4時間以内に溶射するのが通説となっているが、軟鋼にMo、及びNi-Crを溶射した結果、大気中に2日間以内の放置期間でも、密着強度への影響は認められない。

文 献

- 1) 馬込正勝 : 昭和60年度秋季全国大会 講演概要集
- 2) 日本溶射協会: 溶射ハンドブック p275~
- 3) JISH9301

金属材料とセラミックスの複合化技術に関する研究(第1報)

インサート材による金属とセラミックスの接合

世良時夫, 原 信彦, 新田 明, 土取 功, 芳野光利

Bonding of Ceramics to Metals by Insert Materials

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

In order to bonding ceramics to metals by inserted material, for the first step some evaluation test were carried out to find suitable inserted materials for bonding silicon nitride plate each other which was bonded in the temperatures range 950 to 1300°C and in vacuum of about $2.66 \sim 6.55 \times 10^{-7}$ Pa. Metallic materials (pure metals and alloys) were used as inserted materials.

Mn-Cu alloy indicated an excellent wettability against silicon nitride but it is inadequate to evaluate bonding strength.

From the results of shearing test of bonding interface, it was found that X-Cu alloy has an excellent shearing strength and a pre-treatment of carbon vapour deposition elevated it to 141.2MPa.

The results of X-ray diffraction of fracture surface indicated existence of X-nitride which seems to have an important contribution to bonding strength.

Only X-Cu alloy in prepared materials could metalize the silicon nitride surface.

1. 結 言

近年, セラミックスは耐熱性, 高強度, 耐摩耗性など, 金属材料に比べて, すぐれた特性を持ち, 注目されている。中でも非酸化物系セラミックスは酸化物系セラミックスよりさらにすぐれた材料としていろいろな面で関心が高まっている。

しかし, 耐衝撃性は今でも金属材料より劣ることから両者の複合化による新しい構造材料としての考え方が多くなり, 最近この分野の研究や技術資料が多くなってきた。

非酸化物系セラミックスは溶融物質と濡れにくい特徴をもっていることから, これらの接合を行うことは非常に困難である。

金属とセラミックスの接合で解決しなければならない大きな問題は二つある。一つは金属とセラミックスがよく濡れること。二つめは金属とセラミックスの熱膨張差による熱応力をどのようにして低下させるかである。この二つを解決することで信頼出来る接合技術の確立がなされると思っている。

そこで, セラミックス材料として窒化けい素(以下 Si_3N_4 と記す)を選び金属との接合についての基礎実験を進めた。

本実験では, まず Si_3N_4 セラミックスと良く反応しさらに接合強度も高いインサート材料をみつけるために Si_3N_4 セラミックス表面への濡れ性試験を行った。又一部では Si_3N_4 セラミックスとステンレスの接合も併用して判断したが, 熱応力の影響があり, 良否の判定が困難であった。そこで熱応力の小さい Si_3N_4 セラミックス同士を各種インサート材料で接合しそのせん断強さで比較した。

その結果, 接合強度で良好な結果が得られたので以下に報告する。

2 実験方法

2.1 供試材料

接合用セラミックス試験片は常圧焼結 Si_3N_4 (東芝製 TOSNITE08) $100 \times 100 \times 6.5$ mm の素焼材を # 400 のダイヤモンド砥石で研削して約 10×6 mm に切断して試験片を作製した。研削面のあらかさは研削方向に関係なく最大 $2 \mu\text{m}$ 程度の表面あらかさであった。接合時には試験片はアセトンで 10~15 分間超音波洗浄を行い供試体とした。

Si_3N_4 セラミックスは $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ に Y_2O_3 と Al_2O_3 を主な助材とした Si_3N_4 焼結体で主な特性を表 1 に示す。

表1 常圧焼結強化けい素の特性

密度($\frac{g}{cc}$)	3.2	圧縮強度($\frac{kgf}{mm^2}$)	400
熱伝導率($\frac{W}{mK}$)	15.5	熱膨張率($\times 10^{-6}/^{\circ}C$)	3.4
比熱($\frac{Cal}{g^{\circ}C}$)	0.17	ヤング率($\times 10^4 \frac{kgf}{mm^2}$)	2.8
曲げ強度($\frac{kgf}{mm^2}$)	80	常用使用温度($^{\circ}C$)	1000

※カタログデータ

2.2 インサート材料

Si_3N_4 セラミックスを接合するインサート材料として何が有効かを、種々考えられる金属材料で検討した。各種の金属箔や合金、さらには比較的融点の得られる共晶成分に金属粉末を混合しメチルセルロース水溶液(一部はスクリーンオイルを使用して真空乾燥)でペースト状にして接合界面に塗布後、大気中で乾燥を行った。又前述の合金材は薄く切断したものを手動ロールで100~200 μm の厚さに圧延しサンドペーパーで表面を研摩した。

2.3 実験方法

Si_3N_4 セラミックス表面にインサート用箔や金属粉末を塗布乾燥後、真空加熱装置を使用して、 $2.66 \sim 6.55 \times 10^{-2} Pa$ ($2 \sim 5 \times 10^{-4} Torr$) の真空雰囲気中で設定温度に加熱保持後、炉冷した。 Si_3N_4 セラミッ

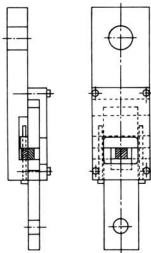


図1 せん断試験用治具

クスに濡れた状況を目視、又は濡れ強さを引かいて判定した。

接合強さの測定用試験片は Si_3N_4 セラミックス同士間にインサート材料を介して前述同様の操作を行った。接合時には0.049MPa (0.5 $\frac{kgf}{cm^2}$) の荷重をかけた。接合強さはせん断強さで評価し、その治具の概略は図1に示す。接合した試験片を図に示すようにセットして、オートグラフで1mm/minの試験速度で行った。

又一部では Si_3N_4 セラミックス表面へのメタライズを試みた。

その他、一部の試料では接合界面のX線回折や接合断面をEPMAによる線分析を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 Si_3N_4 セラミックスへの濡れ性試験

インサート材料として融点が1000 $^{\circ}C$ 以下のものを主に考え、濡れ性試験をした結果を表2に示す。

表2 各種合金の加熱条件と濡れ状況

No	合 金	加熱条件	濡れ状況
1	2%Be-Cu m.p1040	1100 $^{\circ}C$ IH	×
2	16%Si-Cu m.p800	*	×
3	12%Si-8%Al-Cu(Si-Cu850)	*	△
4	35%Mo-Cu m.p868	*	◎
5	15%P-Cu m.p1000	*	×
6	2%Cu-20%Ag-Cu m.p(Ag-Cu980)	*	×
7	28%Ti-Cu m.p875	*	○
8	4.5%Zr-2.5%Cr-Cu m.p920	1050 $^{\circ}C$ IH	* ○
9	28.5%Ni-Ti m.p955	*	* △
10	47%Zr-Cu m.p855	*	* ×
11	40%Ni-Mn m.p1018	*	* ○
12	16%Ni-Zr m.p961	*	* ×
13	30%Ag-30%Ni-Mn(Ni-Mn1018)	1050 $^{\circ}C$ 0.5IH	* ○
14	10%Mo-30%Ag-Cu(Ag-Cu930)	*	* ○

*メタルとの接合状況も参考

この結果、もつとも良く反応し、しかも強いと判断されたインサート材料はMn-Cu合金である。さらにMnを含む合金で検討した結果は、Ni-Mn合金、Ag-Ni-Mn合金、Mn-Ag-Cu合金等は良く反応することが判った。この結果Mn元素は Si_3N_4 セラミックスとの反応に大きく寄与しているものと考えられる。

その他のインサート材料ではTi合金が反応する傾向を示すことがわかった。しかし、本実験の濡れ性試

験では、定量化が出来ないので十分とは云えなかった。又 Be-Cu 合金の濡れ性試験では、反応しないと判定されたが、接合実験では良い結果 (SUS/インパー/Cu/Be-Cu 合金/ Si_3N_4 /逆同左、引張強さ 66.6MPa) が得られた。このことから濡れ性試験だけでインサート材料の検討は難しいことがわかる。

3.2 Si_3N_4 セラミックス同士のせん断試験

次に Si_3N_4 セラミックス同士の接合強さからインサート材料を検討することが熱応力を小さく出来る一つの方法と考え、実験を進めた。

Si_3N_4 セラミックス同士の接合であれば接合温度を高くした考え方も可能なことから、融点が 1000℃より高い合金を主に実験した結果を表 3 に示す。この実験でも混合粉末と箔を使用したのが後者の場合のみ箔と記した。

ステンレス粉末、鉄粉末をインサート材料としたせん断強さは 15.6MPa、22.5MPa であった。両者とも融点より低い温度で反応しているが、これは真空中で元素によっては蒸発したり、 Si_3N_4 セラミックスの分解等によるためと考えている。X線回折の結果、ピークが弱く同定出来ないがシリサイドか窒化物が形成されていると考えられる。Ni-Fe 合金粉末のインサート材料で 11.7MPa のせん断強さを示した。これら粉末混合によるインサート材料は合金箔で、最適温

表 3 Si_3N_4 /合金/ Si_3N_4 の接合

No	合 金	接合条件	せん断強さ(MPa)
1	30%Mn-Ni m.p 1180	1230℃ 30min	5.9
2	42.5%Mn-Ti m.p 1175	"	△
3	22.5%Mn-Zr m.p 1135	"	—
4	Zr 箔	1260℃ 20min	—
5	SUS	"	15.6
6	Fe	1250℃ 30min	22.5
7	40%Mn-Fe m.p 1381	1260℃ 30min	9.8
8	50%Ni-Fe m.p 1430	"	11.7
9	20%Si-Fe m.p 1200	"	0.9
10	35%Mo-Fe m.p 1450	"	△
11	10%Co-Cu箔 m.p 1200	1230℃ 20min	3.9
12	X-Cu 合金箔	"	59.8
13	X-Cu 合金 # 前処理	"	141.2
14	25%Mn-Cu箔 m.p 900	950℃ 20min	20.6
15	25%Mn-Cu # 前処理	"	66.7
16	37%Mn-Al m.p 960	"	3.9
17	SUS 前処理	1300℃ 20min	10.7

度によってはさらに強い接合強度が得られると思われる。

Si_3N_4 セラミックスにカーボン蒸着の前処理をしてステンレス粉末で接合した No.17 の試料は同じステンレス粉末の No.5 に比べてせん断強さが低下しているが、この原因は前処理の影響よりも接合温度が異なるためと考えている。

次に X-Cu 合金(特許申請中)のインサート材料では 59.8MPa という高いせん断強さが得られた。又 Si_3

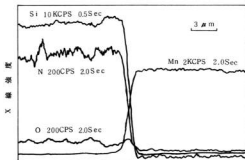
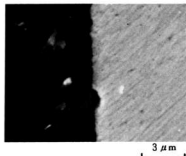


図2 Si_3N_4 セラミックスと 25% Mn-Cu 合金による接合断面の線分析

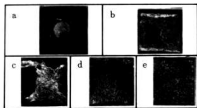
N₄セラミックス表面にカーボン蒸着の前処理を行いX-Cu合金で接合した試験片では141.2MPaの本実験で最も高いせん断強さが得られた。この試料の接合界面のX線回折結果はX窒化物の生成が認められ、この窒化物が接合強度の向上に寄与していると考えられる。

さらに25%Mn-Cu合金のインサート材料では20.6MPa、カーボン蒸着の前処理を行い同インサート材料で接合すると66.7MPaのせん断強さが得られた。

この試料はせん断試験時にセラミックスが割れ、接合界面がはがれなかった。これはMn-Cu合金の熱膨張係数が $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と比較的大きいので熱応力によると考えられる。図2は25%Mn-Cu合金とSi₃N₄セラミックスの接合断面の線分析を示す。分析結果からみるとMnが十分に拡散しているとは云えない。又逆にSi、Nも同様、拡散しているとは云えない。Si₃N₄セラミックスには少量の酸素が分析された。

Si₃N₄セラミックスの表面にはSiO₂、V₂O₅、Al₂O₃などやSi₂N₂Oがあると云われている。このことから前処理にカーボン蒸着することはSi₃N₄セラミックス表面を還元し、反応を促進されるであろうと予想したためである。しかしこの考え方の実証は出来ないがせん断強さの向上にはなっていることから、今後のXPS分析、EPMA分析等で検討したい。さらに添加金属の真空中における蒸発がどのように作用するかということもわかっていない。

3.3 Si₃N₄セラミックス表面へのメタライズ
接合実験と併用して、接合強さの良好であったMn-Cu合金、X-Cu合金によるSi₃N₄セラミックスへのメタライズを行った結果の一部を写真1に示す。Mn-Cu合金は丸く玉になり全面への濡れは問題である。



a: 25%Mn-Cu合金 前処理なし 950℃×20分
b: X-Cu合金 カarbon処理1230℃×20分
c: # 前処理なし1260℃×20分
d: # カarbon処理 #
e: # # 1300℃×20分

写真1 Si₃N₄セラミックスへのメタライズ

しかしカーボン生成材による処理を行うと改良はされられると思われる。X-Cu合金はこれに比較して前処理なしでも濡れの傾向は良く、わずかのカーボン生成材の処理を行うと処理温度により異なるが1260℃、1300℃×20分で比較的均一なメタライズが出来ることがわかった。この結果Si₃N₄は導電性が得られ、メッキ処理やロウ材等による金属の接合が可能と考えられる。

4. 結 言

金属とSi₃N₄セラミックスの接合を行うことを最終目標に真空加熱装置を使用して各種インサート材料について、濡れ性試験、せん断試験を行い検討した。その結果をまとめるとつぎのとおりである。

1. 濡れ性試験で良いと判断されたインサート材料はMn-Cu合金である。又Mnを含むNi-Mn合金、Ag-Ni-Mn合金、Mn-Ag-Cu合金も良く反応する。

2. せん断試験で良いと判断されたインサート材料はX-Cu合金で、とくにカーボン蒸着の前処理を行い真空中1230℃×20分加熱で接合した試料は141.2MPaと高いせん断強さが得られた。この接合界面にはX窒化物の生成が認められた。鉄及びステンレス粉末のインサート材料もほゞ良い結果が得られた。又25%Mn-Cu合金のインサート材料はカーボン蒸着の処理をして950℃×20分加熱で接合した試料は66.7MPaのせん断強さが得られた。

3. Si₃N₄表面にカーボン生成材を塗布後X-Cu合金を表面に密着させて1260～1300℃×20分加熱すると均一なメタライズが出来た。

文 献

1. 荒田, 大森: 溶接学会誌 vol 52 No.8 (1983) p624
2. 河野, 山田, 横井: 日本金属学会誌 vol 49 10号 (1985) p876
3. 岩本: セラミックス vol 15 No.6 (1980) p402
4. 田中外: エンジニアのための金属材料: 昭和59年度
5. 尾崎: 耐火物 35-710 No.12 (1983) p42
6. 高塩: セラミックス vol 15 No.6 (1980) p427
7. 高塩: 工業材料 vol 32 7号 (1984) p33
8. 高塩: 工業材料 vol 33 8号 (1985) p116
9. 松本: 日本金属学会報 vol 25 No.3 (1986) p175

ガスシールドアーク溶接によるショッププライマー塗装鋼板の溶接性

野地英治, 芳野光利, 菊山信行, 今西和雄, 村上俊行, 要田壮史*

Study on the Weldability of Shop-primer Coated Plates by Gas Shield Arc Welding

NOJI Hideharu, YOSHINO Mitsutoshi, KARIYAMA Nobuyuki,
IMANISHI Kazuo, MURAKAMI Toshiyuki, and KANAMEDA Soshi

Gas shielded arc welding method is very efficient in comparison with manual arc welding.

But sometimes we have many weld defects (especially blowholes, pits), when welding shop-primer coated plates by fillet welds. And so in order to decrease weld defect, and to improve paints, and to find high-speed welding, we studied how to weld of many kinds of shop-primer coated plates by gas shielded arc welding of fillet joints.

The results were as follows:

- (1) Diffusible hydrogen from our paints by welding are 1cc/100g-weld metal.
- (2) There are more weld defects of shop-primer coated plates, in comparison with non-coated plates.
- (3) A little root gap is very efficient to decrease weld defects.
- (4) Kinds of welding wires(flux in-cored wires), made in Japan, don't affect blow-holes, but affect pits.
- (5) There are more weld defects in second beads of fillet joints, but twin welding method (shift distance 50mm) is efficient to decrease pits.
- (6) We found good paints for welding.

1. 緒言

近年溶接加工の高効率化を図るため、従来の被覆アーク溶接(手溶接)に変わって作業能率が数倍高いガスシールドアーク自動・半自動溶接が普及している。しかし本溶接法によるショッププライマー塗装(一次防錆塗装)鋼板の溶接ではビット、ブローホール等欠陥が出やすく、その普及に際して弊害となっている。

広島県においては、特に中小造船業界の溶接加工の合理化が遅れており、本溶接法の適用拡大が望まれる。そこで炭酸ガスアーク溶接法によるショッププライマー塗装鋼板の溶接欠陥を軽減し、業界への普及拡大を図ること、又塗料の改良を目的とし、塗料のメーカーである中国塗料㈱と共同により本研究を行った。

2. 実験方法

2.1 塗料の種類と溶接欠陥

塗料の種類による溶接欠陥発生の違いを重点的に把握するため表1に示す塗料をとりあげた。溶接条件は表に示すように一定とし、溶接は全自動による水平隅肉溶接で溶接長は500mmとした。

* 中国塗料 ㈱

評価の対象とした溶接欠陥は主にブローホール、ビット、ビード表面のガス溝であり、その測定方法は外観での寸法測定、X線透過試験、及び破面試験を用いた。ただしこれら溶接欠陥は隅肉両面溶接の内、第1ビードよりも第2ビードに多く発生するため、破面試

表1 塗料の種類と溶接欠陥の試験条件

変動要因	水準
塗料の種類	ウエルボンドH, ウェルボンドH-M, ウェルボンドH-K, ウェルボンドH試作1, ウェルボンドH試作2, ウェルボンドH試作3, エパボンドHM-3, EPZR-B, NZプライマー-P, 裸鋼
溶接速度	40cm/分, 60cm/分

一定条件

〔膜厚〕ウエルボンド:15 μ , EB:15 μ , EPZR:18 μ , NZ:25 μ

〔乾燥期間〕 塗装後10日

〔試験片板厚〕 12mm

〔溶接条件〕

ルート間隔	: 0mm	ねらい位置	: 下板側1mm
保持角度	: 前進角 15度	溶接温度	: 室温
ワイヤ径	: 1.2mm	鋼長	: 約5mm
ワイヤの種類	: SF-1	ガス流量	: 20L/分
突出し長さ	: 25mm	フインの種類	: 両面同時 (50mm間隔)

験では、第1ビードをガウジングによりはつり取り、第2ビードを評価の対象とした。

又本実験に先だち、溶接欠陥と関連が深いと思われる拡散性水素量を各塗料について測定を行った。

2.2 塗装鋼板の溶接欠陥に及ぼす溶接条件

隅肉溶接部に発生するビット、ブローホール等溶接欠陥に及ぼす要因は、塗料の関係、溶接条件の関係を合わせると非常に多くの要因が考えられ、それらすべてを網羅するためには膨大な実験を行わなければならない。そこで本実験では①溶接欠陥を軽減するための溶接方法・溶接条件の確立をめざすこと、②溶接欠陥と塗料との関連性を求めることを目標として、表2に示す項目をとりあげた。

表2 塗装鋼板の溶接性に関する溶接条件

変動要因	水 準		
塗料の種類	ウェルボンドNC	ウェルボンドH-M	試作品
膜厚	1.0 μ	1.5 μ	2.5 μ
溶接速度	3.50	4.50	5.50(mm/分)
乾燥期間	3日	7日	30日
ワイヤの種類	DW100	S.F.I.	D.X 50 F
板厚	9mm	12mm	16mm
ツインの種類	シングル	両面同時 (50mm間隔)	
ルート間隔	0mm	0.5mm	1mm

一定条件

溶接姿勢	水平隅肉	ねらい位置	下板側1mm
ワイヤ径	1.2mm ϕ	溶接温度	室温
突出し長さ	2.5mm	ガス流量	20 ℓ /分
保持角度	前送角15度	溶接機	DAIDEN AUTO A-500

実験はこれら因子及び水準を実験計画法の一つである $L_{27}(3^{13})$ の直交表にわりつけ、統計的手法に基づく実験方法・解析を行った。溶接は全自動水平隅肉溶接で溶接長は500mmとした。実験の順序はかたよりを無くするため、ランダムに行った。

評価の対象とした溶接欠陥及び評価方法も前項と同様であり第2ビードの欠陥を重視した。

3. 実験結果および考察

3.1 塗料の種類と溶接欠陥

破面試験による第2ビード側のブローホール点数を図1に、ビット数を図2に示す。なおブローホール点数とは個々のブ

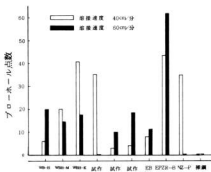


図1 塗料の種類とブローホール点数

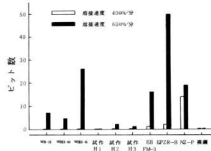


図2 塗料の種類とビット数

ローホールの大きさに表3の係数を掛けたブローホール合計数である。

この結果、無塗装鋼板はビット、ブローホールとも無欠陥である事と比較すると、明らかに塗装鋼板はビット、ブローホール等溶接欠陥が発生しやすい。又ブローホールは本実験の範囲では溶接速度の影響は顕著に現れていないが、ビットは溶接速度の影響があり、高速の方がビット発生量は増加する。

塗料の種類に関しては、エポキシ樹脂系シンクリッチプライマーはビット、ブローホールとも多発するのに対し、ペースト中に溶接助剤等を混合させた試作塗料はビット発生が少なかった。又各塗料からの拡散性水素量は、概して1cc/100 ϕ と比較的少なかった。

3.2 塗装鋼板の溶接欠陥に及ぼす溶接条件

ブローホールに及ぼす溶接条件及び塗料の影響の分散分析結果を表4に、又影響が認められた要因についての結果を図3、図4に示す。

この結果、ブローホールに対しては、ルート間隔の影響が最も大きく(寄与率28.3%)、ルート間隔を1mm位あげると、ブローホールは急減する。又ツイン溶

表3 ブローホールの大きさと係数

大きさ	係数
0.5mm以下	0.5
0.5 < \leq 1.5	1.0
1.5より大	2.2

表4 溶接条件によるブローホールの分散分析結果

変 因	平方和	自由度	不偏分散	F ₀	寄与率(%)
塗料の種類(A)	1583.965	2	794.983	5.457	—
膜 厚 (B)	1814.816	2	907.407	6.223	—
A×B	12933.816	4	6466.906	44.391**	22.3
溶接速度 (C)	2061.299	2	1030.649	7.075*	3.2
A×C	6280.597	4	3140.298	21.556**	10.3
乾 燥	2285.410	2	1142.705	7.844*	3.6
ワイヤの種類	4.454	2	2.227	—	—
板 厚	5403.406	2	2701.703	18.545**	9.2
ツインの種類	6563.965	2	3281.982	22.529**	11.3
ルート間隔	15974.852	2	7987.426	54.826**	28.3
e	572.871	2	286.435	—	—
(e')	582.725	4	145.681	—	—
合 計	55490.889	24	—	—	—

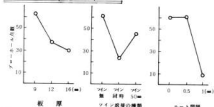


図3 ブローホールに及ぼす溶接条件の影響 (No.1)

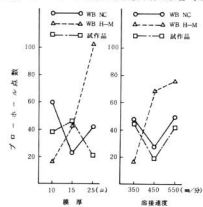


図4 ブローホールに及ぼす溶接条件の影響 (No.2)

接の種類については、ツインの両側同時溶接がブローホール発生が少ない。これらの理由はブローホールの中味はほとんど水素ガスと考えられているが²⁾、塗装鋼板の溶接においては、水素ガスの量だけでなく、ルート部のガス圧が影響していると考えられる^{3), 4)}。つまり溶接熱により分解した塗料がガスとなり、ルート部のガス圧が上がるが、ルート間隔が開いたりすると、ルート部のガス圧が下がり、欠陥も大幅に減ると考えられる。

板厚の影響はルート部近傍の塗料の受けた熱影響の差と思われる。

又塗料の種類と膜厚および塗料の種類と溶接速度については、ウェルドボンド目が膜厚が25ミクロンになると、又溶接速度が速くなるほど急にブローホール発生が多くなる。他の2つの塗料についてはその傾向は少ないようである。

一方溶接ワイヤの種類はブローホールに対しては影響が認められない。

次にビード表面に出たピットに及ぼす影響を図5に示す。ピットに対しては、ルート間隔、塗料の種類と溶接速度、ワイヤの種類、膜厚に高度な有意差(大きな影響)が認められた。

ルート間隔はブローホールと同様に、1mm位あけるとピットやビード表面のガス溝とも無欠陥となった。

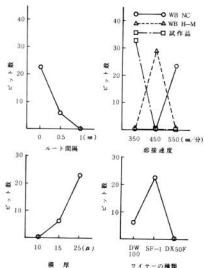


図5 ピット数に及ぼす溶接条件の影響

膜厚は15ミクロンまではさほどでないが、25ミクロン位の厚みでもピット、表面のガス溝とも増加する傾向にある。

ワイヤの種類もピットには差が認められた。

塗料の種類についてはウェルドボンドHはピットが出やすく、試作品が最もピットが少なかった。

又1回目の実験では有意差が認められなかったが、2回の実験結果を合わせて判断すると、ブローホールに対して最も良かったツイン両側同時溶接がピットに対しては最も良かった。

隅肉溶接部の欠陥の中でブローホール等丸みをおびた欠陥は少々有っても強度低下はさほどなく、又外観からは判別出来ない事も考慮すると、ピット・ガス溝等表面まで出た欠陥の方が現場的にも重要と考えられる。

以上の結果を総合的に判断すると、ツイン同時溶接よりもツイン溶接でシフト間隔を少し開ける溶接法の方がより良いと考えられる。又ルート間隔を開ける効果は大きく、少し開けただけで、ピット、ブローホール等溶接欠陥は大幅に減少する。

又本実験の範囲内では、塗装の乾燥期間（3日から1カ月）、板厚、及び溶接速度（350mm/minから550mm/min）の影響は認められなかった。しかし溶接速度を速くし同一脚長を得るためには必然的に溶接電流を上げる必要があるため、溶込み深さが少し大きくなるので、欠陥は発生しやすくなると思われる。⁵⁾

塗料の種類については、やはり差が多少認められ、溶接助剤等を入れた試作品が最も良かった点を考えると、改良の余地がまだ有ると考える。

塗装膜厚は一般的には20ミクロン以下が良いといわれているが、可能な限り薄くする事が欠陥軽減につながる。

以上の結果から影響の認められた要因について、それぞれ最適な条件を組み合わせると、相当溶接欠陥が減少すると期待できる。又逆に影響の認められなかった要因（例えば塗装後の乾燥期間等）に関しては、あまり注意を払う必要がない。又今回の研究を通じて、塗料の改良もさることながら、溶接欠陥に対する寄与率から判断すると、適正な溶接条件、溶接方法の確立が欠陥軽減に対して比較的大きなウェイトを占める事が判明した。

4. 結 言

炭酸ガスアーク溶接法による塗装鋼板の溶接欠陥を

軽減し、業界への普及拡大、塗料の改良に寄与することを目的として、本研究を行った結果、主に次のような結論が得られた。

(1) 塗料が溶接熱によって分解され発生する拡散性水素量は概して1cc/100g前後と比較的少なかった。

(2) 試作塗料を含めて9種類の塗料について溶接欠陥の発生状況を調べた結果、いずれの塗料とも裸鋼板よりもピット、ブローホール等欠陥の発生は多い。

又塗料の種類によって欠陥発生状況は異なっており、溶接助剤等を入れたウェルドボンド試作品は特にピット発生が少なかった。

(3) 9種類の塗料について溶接速度を変えた結果はブローホールは溶接速度との相関は認められなかったが、ピットは各塗料とも溶接速度が速くなると発生量が多くなる。

(4) 塗装鋼板の溶接条件と隅肉溶接部の欠陥との関連性について、実験計画法の手法を用いて解析した結果。

(4)・1 ルート間隔（上板と下板とのすき間）を少し開けると、溶接欠陥は大幅に減少する。

(4)・2 溶接ワイヤの種類はブローホールに対しては差がないが、ピット、ビード表面のガス溝に対しては銘柄の差が認められた。

(4)・3 ツイン溶接の種類は、ブローホール、ピットに対して影響の傾向は異なるが、本実験の範囲内では、ツイン溶接で両側同時溶接の場合がピット発生量が最も多く、2電極間の距離（シフト間隔）を50mm位離すと、ピットは減少する。

(4)・4 塗装の膜厚はブローホールに対しては影響は少ないが、膜厚が厚く（25ミクロン）なるとピット発生量が増加する。

(4)・5 本実験の範囲内では、塗装後の乾燥期間、母材の板厚、溶接速度（最大550mm/min）の欠陥に対する影響は顕著には認められない。

文 献

- 1) 安藤精一他：溶接棒の研究 No.11 p.42～
- 2) 小林 実他：溶接学会春季全国大会講演集（1980）No.134
- 3) 小林 実他：溶接学会春季全国大会講演集（1980）No.135
- 4) 安藤精一他：溶接棒の研究 No.12 p.56～
- 5) 長岡茂雄：炭酸ガスアーク溶接と耐ペイント性能 朝日新聞

渦電流による鑄造品材質の判別用試験機の開発

中塚武之, 斯波信雄, 京極秀樹, 畑 徳寛, 兼広二郎, 小林賢治

Testing Machine of Casting Quality by Eddy Current Characteristics

NAKASHIO Takeyuki, SHIBA Nobuo, KYOGOKU Hideki, HATA Noriyoshi,
KANEHIRO Jiro, and KOBAYASHI Kenji

It is well known that the behavior of Eddy current occurred on metal varies with the quality. Based on the characteristics of metal, a testing machine for discriminating each casting quality has been manufactured experimentally.

This principle is based on discriminating casting quality with observing the level and the phase difference of this Eddy currents signal, with canceling Lift Off noise caused by incomplete contact of sensor.

1. 緒 言

金属材料の材質面の判断は、テストピースを製作して顕微鏡で金属組織を観察することが主流であるが、この方法は多大な人手と時間を要するために工場現場での対応は困難である。

本研究はおむねの材料判別については、従来の顕微鏡による方法に替って、簡易な方法はないものかと思案した結果、金属材料においては材質によって誘起する渦電流の形態が異なることに着眼し、この現象を利用した渦電流式の材料判別用試験機を試作し、主に鑄造材料を対象とした判別実験を試みた。

2. 試験機の基本原理解

図1において、コイルに交流電流を加えると交番磁界が発生し、その磁界の中に金属材料を置くと材料表面に渦電流を発生するが、この渦電流はコイルからの磁界を打消す方向の二次磁界を発生するためにコイルのインピーダンス（交流抵抗）が変化する。このことはコイルの電流またはコイルの両端電圧の変化で検出でき、その際の金属体に伴う電流または電圧を材料の判別に利用する。

この場合、インピーダンスの変化は金属体の材質、（電気伝導度、透磁率）ばかりでなく、表面の傷や割れ、金属体の大きさ、金属体とコイル間の隙間（以下リフトオフと称する）などが影響する。

材料判別のためには、材質に伴う信号のみが必要で、その他の信号は全て雑音となり、とくにリフトオフに伴う信号はレベルも高く、材料の判別上では多々問題になるものである。

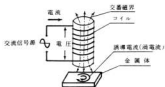


図1 渦電流による材料判別の原理

3. 試験機の構成

試作した試験機のブロック線図を図2に、写真1にその外観を示す。

試作機の回路構成を大別すると、コイルをセンサとした信号の検出部、位相検波による信号処理部、マイクロコンピュータに接続するためのA/D変換部分となる。判別能力は主にA/D変換以前のアナログ回路部分で決るために、この部分は試作と実測の繰返しで回路を決定していった。

3.1 材質に伴う信号検出回路

図2にそって説明すると、発振器は5KHzの搬送波を発振し、電力増幅回路でP&P、25Vに増幅しブリッジ回路に供給する。

ブリッジ回路はブリッジの二辺にコイルが接続されており、一方のコイルをセンサとし、金属材料にセンサが接続された際のインピーダンス変化を、ブリッジのアナバランス成分として電圧でとり出す。

この場合の二つのコイルには、通信機用のマイクロインダクタとして市販されているコイルを流用しており、リアクタンスは33μH、大きさは直径8mm、長さは15mm程度で樹脂に封入された小型のものである。

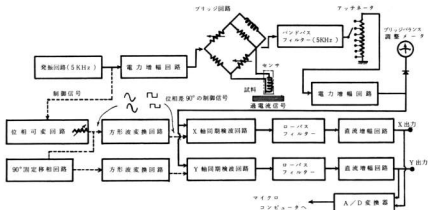


図2 材料判別用試験機の回路構成



写真1 試作機の外観

ブリッジ後のバンドパスフィルターは、ブリッジ出力信号の高調波歪を除くのが目的で、この歪が残った状態では試験機の初期設定となるブリッジ回路のバランスがとれなくなる。とくに磁性材料の場合に波形歪が著しくなるため、本試験機ではQが20程度の高い選択度のフィルターを採用している。

なお、ブリッジの初期バランスはセンサを開放状態とはせず、判別の対象となる材質の一つを標準材としてバランスをとる。これは回路を構成するオペアンプの最大出力内で材質間の信号差を最大限に増幅して判別能力を向上させるためである。

3.2 位相検波による信号処理回路

ブリッジの印加電圧を $E \sin \omega t$ とすると、出力は、 $E_0 \sin(\omega t + \theta)$ となり θ の位相差を生じるが、 E_0 と共に θ は各種材質により異なり、換言すれば材質に伴うブリッジ出力は二次元的に変化する。そのため出力信号を正確に表すためにはベクトル的な表示が必要となり、この信号処理部分は出力信号を90度位相差をもたせたXとY成分に分けて出力し、ブリッジ出力

信号のベクトル点表示を可能としている。

発振器から分岐した信号は位相可変回路を経て90度位相差をもたせた二つの方形波に整形される。この信号をそれぞれの同期検波回路に制御信号として送れば、出力信号をX、Yの二つの成分に分けて出力できる。

図3はXとYの出力信号をオシロスコープの水平、垂直軸に加えた状態を想定したもので、材料A、Bの信号およびリフトオフの信号方向を示している。

信号を二次元座標系で示せばレベルに加えて信号の方向の認識が得られ、それだけ材質の分解能は向上する。また座標軸を点線のように回転させて、Y軸とリフトオフ信号の方向を一致させ、X方向の信号で評価すれば問題となるリフトオフ信号は除去できる。同様にX軸を特定の材料信号の方向と一致させれば、その材料の信号を最大感度でX方向に出力できる。いずれも判別上ではS/Nの改善に寄与することができ、この際の座標軸の回転角は前述した位相可変回路による制御信号の位相設定で決定される。

同期検波後の出力信号はローパスフィルターで平滑化されて、直流増幅しA/D変換機へ送られる。

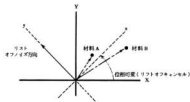


図3 同期検波による材質信号のベクトル点表示

3.3 マイクロコンピュータによる判別

XかYまたはX, Y双方の信号を観察して材質間で差が認められれば, 予じめ判別の対象となる材質の信号レベルを掌握し, コンピュータのメモリー上にデータテーブルを作っておけば, 取込んだデータに沿って検索していくことで材質の判断は可能となる。

試作機の場合, XおよびY出力を8ビットA/D変換器を介して出力しており, 基板マイコンおよびパソコンに接続できるように構成している。

本研究の一環としてマイクロコンピュータにより, ディスプレイ上に材質名を表示させることを試みたが, そのためのソフトウェアの概要は, 種々の判別対象となる取込データからメモリー上にデータテーブルを自動生成するティチング用フロー, また計測された材質データに基づきデータテーブルを検索して名称を表示するフローに分かれ, 基板マイコンにおけるマシン語レベルで1Kバイト程度である。

4. 試験機による判別実験

図4に試作機で実測した鑄造材料のオシロスコープによるベクトル点表示例を示す。写真2は実験に用いた材料の組織写真である。なお, C V 鋳鉄についてはE C V 記号で表わし, 記号の後に引張強度の値を示している。

試料の大きさは図中に示す寸法とし, 試料面は400番のペーパーで仕上げた後, 軽くパフ研磨している。

ブリッジの初期バランスはFCD60でとり, 位相の調整はリフトオフ信号の方向がY軸上になるよう調整している。従ってX方向の出力にはリフトオフの影響は表れない。

出力信号の再現性の面では, センサの接触不良によるリフトオフ信号の影響が非常に大きく, 平面度の悪い試料においては, 上述したごとく同期検波などの信号処理でこの雑音信号を除去するしかない。

図4において, 原点から信号を示すベクトル点までの距離が, 各材質に伴う単なる出力電圧値に相当するもので, 原点からみて各信号の方向が異なるのは, 材質により出力信号の位相が異なることを意味しており, XとY双方の出力電圧で評価すれば位相の認識も可能となる。

判別の対象にした材質の間においては, 出力電圧および位相とも差が認められ, 全体的にみると基体がパーライト組織のものが左上方に, フェライト組織のものが右下方に分布する傾向にある。

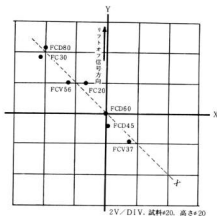


図4 鑄造材料に伴う信号のベクトル点表示

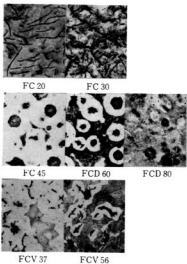


写真2 鑄造材料の組織

図5はJISの標準材として市販されている鉄鋼材料について同様な判別実験を試みたものである。この種の材料においては, 個々の材質間で差が認められな

からも、組織面または物性面からみて明らかな分布の傾向はみられない。なお、この実験における初期のブリッジバランスは SCM415 で行っており、試料表面の仕上は鋳造材料の場合に準じている。

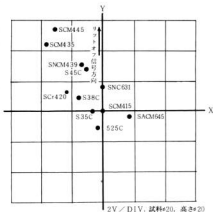


図5 鉄鋼材料に伴う信号のベクトル表示

図4の鋳造材料については、X成分に基づきパソコンで材料名を表示することを試みたが、X成分の信号レベルが近似している FCD60と45、また FCD80とFC30は判別できない場合があった。図4において、X軸を点線のように傾斜させると、各材質のX成分の信号差が明確になるために判別能力は向上したが、リフトオフ信号がX成分に現れたために、試料の平面度が高いことが条件となり、さらにセンサの試料への接触は慎重さを要する。

いずれにしてもコンピュータによる材質判断は、信号差の小さい材質間においては、オシロスコープによる目視の方法に比べて誤判断することが多かった。この原因は材質に伴う信号の再現性に係る問題と考えられる。さらにこの面の検討が必要と考えられる。

5. 結 言

本研究は試験機を製作するための回路の検討に大半の時間を費してしまい、多くの材質間で信号の差を認めながらも、本来の信号と金属組織や金属成分などとの相関についてはあまり追求していない。そのため現時点では判別の対象となる材質の信号データを予じめ掌握しておき、それらのデータとの比較によって材質

を判別するしかない。

筆者らの考えでは本試験機をさらに研究して改善していけば、顕微鏡による材質の判断には及ばないにしても、限定された範囲の材質については、お互いの判別ができる試験機へと発展できるものとする。なお、本試験機は材質の判別に限らず、製造ラインを自動化する際に、特定の材質を管理するためのセンサとして、また使用方法によっては他の目的のメカトロセンサとして流用できる可能性がある。

以下に本研究の課程で得た事項をまとめておく。

- (1) 試みた多くの材質の間で渦電流信号の差が認められた。材料判別においては信号のレベルばかりでなく信号の位相も含めて検討するほうがよい。
- (2) 同期検波による信号の位相処理は、リフトオフ信号の除去、また材質に伴う信号の感度向上に寄与することができ、S/Nの改善には効果的な方法である。
- (3) 判別の対象となる材料が限界を越えて狭小になると渦電流も変化する。センサの大きさと関係があるようで、試作機の場合直径8mmのセンサにおいて、試料の直径が30mm、高さ40mm以下になると影響がでた。
- (4) 材質間の信号レベルの差また位相差は、センサに加える交流の周波数でも変る。リフトオフ信号と材質に伴う信号が同位相で、リフトオフ信号を除去するための信号処理ができない場合、また材質間の信号差が小さくて判別が困難な場合は周波数を変えてみる。

終りに本研究を進めるに当たり、日本大学生産工学部の石橋泰雄氏、星川洋氏の両教授には種々有益なる助言を頂いた。また実験に用いた鋳造材料の試料は柳中国機械製作所、柳田口鋳造所の好意により製作して頂いた。協力して頂いた方々に心より謝意を表します。

文 献

- (1) (社) 日本非破壊検査協会編：渦流探傷試験 A, 1977
- (2) (社) 日本非破壊検査協会編：渦流探傷試験 B, 1984
- (3) 電気磁気工業会編：渦流（電磁誘導）探傷試験
- (4) 宮島良一：センサと周辺回路、産業報知センサ - 1984, p 190
- (5) 岡村勉夫：OPアンプ回路設計、CQ出版 1977
- (6) 石橋泰雄ら：うず電流を利用した硬貨選別回路と非破壊検査への応用、非破壊検査 vol 119 No 2 (1970) p 48
- (7) 石橋泰雄ら：電磁誘導法による材質判別装置について、昭和 46年電気学会全国大会講演集, p1740

炭素繊維等の工業製品への応用に関する研究

ポリマーブレンドによる樹脂の開発と評価(第2報)

好満芳邦, 山縣康男, 大橋俊彦, 筒本隆博, 高崎宗利

Improvement of Unsaturated Resine for CF/GF Composite Matrix by Polymer Blend (2nd report)

YOSHIMITSU Yoshikuni, YAMAGATA Yasuo, OHASHI Toshihiko,
TSUTSUMOTO Takahiro, TAKASAKI Munetoshi

This paper discussed the effects of polymer blend technique on inter-laminar adhesion of hybrid composites.

The purpose of polymer blend was to increase toughness, elasticity, and inter-laminar adhesive force of matrix resin. When some of styrene as polymerizing monomer changed acrylic monomer, it changed properties of resin and enhanced various characteristic matrix resin. Some of them showed good results.

Next discussion was about coated epoxy on carbon fiber surface as finishing agent. Epoxy had no reactivity on unsaturated resin. Therefore, it decreased adhesive force between carbon fiber and matrix resin.

Many amines as hardening agent of epoxy resin were not stable in unsaturated resin. A few amines showed good stability to ortho-phthalic unsaturated polyester and vinyl ester resin. Blending them into these polymers increased inter-laminar shear strength, but it changed colour of resin into dark brown.

1. 緒 言

1) 前報ではメチルメタクリレートモノマーのブレンドによる樹脂の改質について検討したが、効果に今一つの感があったことと異臭性のために実用化は困難と判断し、新たに異臭性のないアクリル系モノマー 3 種をスチレンの一部と置換したブレンドについて検討した。

ハイブリッド複合材料については世界的に関心が高く、SPI (Society of the Plastics Industry) 等でも毎年取り上げられているが、マトリックス樹脂の開発・検討が盛んである。とくにハイブリッド材料の場合、マトリックス樹脂の寄与が大きい²⁾。炭素繊維およびアミド繊維は表面処理にやむ難点があるため、樹脂の種類によって接着性が大きく異なる。ガラス繊維とのハイブリッド化においては繊維特性の著しいちがいが加わり、問題をさらに複雑化させている。

本報では、CF/GF 系ハイブリッド複合材料を対象として、マトリックスに不飽和樹脂系のポリマーブレンドを適用し、それらの硬化特性、層間接着性等について検討した。

2. 実験方法

2.1 ポリマーブレンド

低伸度の炭素繊維と高伸度のガラス繊維の樹脂界面を介した層間の接着性を向上させるための樹脂特性と

して、タフネス、弾力性、および高伸度を付与させることに着目した。表 1 はその目的で試作した樹脂組成の概要である。これらの調査・調製は日立化成工業に依頼した。

表 1 試作樹脂の理論組成比

項目	品名	wt %		
		試作 1	試作 2	試作 3
ブレポリマー		52.5	50.0	55.5
特殊モノマー		A17.5	B17.0	C18.5
スチレンモノマー		30.0	33.0	26.0

市販樹脂の代表として、汎用のオルソフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂(以下オルソ系と略称)および高級グレードとしてビニルエステル樹脂(以下ビニルエステルと略称)をベースに表 1 の試作樹脂および軟質不飽和ポリエステル樹脂(以下軟質と略称)をブレンドし実験に供した。また、炭素繊維表面にはエポキシがコーティングされていることからエポキシ硬化剤の配合についても検討した。

2.2 硬化特性

ブレンドポリマー(未硬化)の反応性と成形作業条件を求める目的で、触媒・促進剤等を段階的に添加して、発熱温度-時間曲線を記録した。それよりゲルタイム、キュアタイム、および最高発熱温度を求めた。環境条件は、23±2℃, 50±10%RH である。触媒はメ

チルエチルケトンパーオキシド、促進剤はナフテン酸コバルトを用い、必要に応じてジメチルアニリンを併用した。

2.3 ハイブリッド複合材料の作成

表2に用いた繊維基材を示す。ハイブリッド複合材料積層板の基材構成は表2中の略号で示すと、UDCF・GPCL・UDCF・GPCL・UDCF交互積層板およびUDCF・MX3・UDCFサンドイッチ積層板の2種類であ

表2 用いた繊維基材

材料名	品番(メーカー)	番手	略号
ガラスチョップド ストランドマット	MC450A (日東紡績)	($\frac{g}{m^2}$) 450	M
ガラスクロス	WP-18D 180 (日東紡績)	167	GPCL
一方方向炭素繊維織物 (高強度品)	TR000-6190 (三菱レイヨン)	160	UDCF

る。UDCFを用いた理由は繊維の配向の影響と成形時のポイドを抑えるためである。本研究で用いた三菱レイヨン製#6190はハンドリングと成形性において大変優れている。

成形はハンドレイアップ法で行い、成形室の温湿度は2.2と同様とした。ゲルタイムを20~25分の範囲とする触媒配合を採用し同一の硬化状態とした。また、PBTフィルムを用いて両面の平滑性を確保した。

2.4 機械的特性試験

- 1) 層間せん断強さ：ショートビーム法
- 2) 曲げ試験：JISK7203に準拠
(試験機は、島津製作所製オートグラフDSS-10T)

3. 実験結果と考察

3.1 硬化特性

硬化特性のうち、発熱温度は樹脂系の反応性と成形収縮率に、硬化時間は、やはり反応性と可成時間にそれぞれ対応する。成形作業終了後直ちに硬化反応が開始し、発熱温度も低く、かつ重合反応が十分進行すれば申し分ない。連鎖移動剤を用いて硬化特性をコントロールする研究なども興味深いのが、基本的にはやはり触媒および促進剤の配合によって決まる。図1は触媒配合割合の強弱による硬化時間と最高発熱温度の関係を示したものである。この特性線図から各種樹脂の化学組成のちがひによる硬化特性が特徴づけられる。試作樹脂の中で2は母体のビニルエステルとほぼ同じ

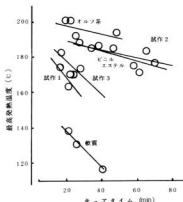


図1 各種樹脂の硬化特性

特性を示すが、1および3はオゾン系と軟質の中間の特性を示している。例えば、硬化時間を20分に固定すると発熱温度がそれぞれ異ってくる。この差が収縮率や、それに伴う残留応力等に影響するのである。試作1および3等が比較的良好であると考えられる。また、軟質の添加も発熱温度を下げるという点で効果があると考えられる。(相溶性等の検討が必要)

3.2 ハイブリッド複合材料の力学的特性

3.2.1 層間接着性と材料の機械的特性

層間接着性はショートビーム法による層間せん断強さで代表する。この方法によると材料内部の各繊維配向層の剛性(弾性率)の影響が大きいと考えられる。例えば、筆者らが以前に検討した層間引張せん断試験結果との相関が低いこと、さらに剛性の高い材料の場合にはそれに比例して値が高くなること等の理由があげられる。同一の基材構成の場合には厚さ等のばらつきにも比較的鈍感であり、層間の接着性を表現するものと考えられる。一方、曲げ特性は材料の厚さおよび各繊維層の層厚さと分布位置によって大きな影響を受けるため、マトリックス間の有意差を求める実験には適していない。図2に層間せん断強さの平均値と同一材料の曲げ強さの平均値をプロットしたが、これからも層間せん断特性と機械的特性の実際データの突き合わせでは必ずしも定量的でないことが分かる。

曲げ破壊の進行プロセスは、先ず層間はく離が生じて破断に至るものである。従って、理論的には層間接着性が高めれば曲げ強度も高いことになる。ここでは、両者の実験的追求は今後の検討課題として、層間接着性のレベルを層間せん断強さで代表させる。図2中の、

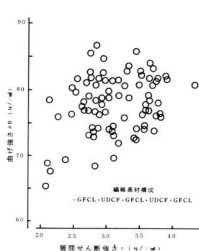


図2 層間せん断強さと曲げ強さ

データは繊維基材の構成を固定し、マトリックス樹脂の化学的組成を変えた積層板についてのものである。

3.3 ポリマーブレンドと層間特性

3.3.1 マトリックスの改質による効果

ビニルエステルは幅広い化学組成を有するため、それに伴って樹脂としての特性も変化する³⁾。この特徴を利用して良好な性質を有するマトリックス樹脂を創生することが本来の目的である。筆者らは、先ず、市販の不飽和樹脂をタイプ別に分けて評価した結果、ビニルエステルの良好な性質に着目した。さらに、ビニルエステル系についてグレード別に評価した結果、入手できた範囲内であるが、高い接着性を示す品種を特定した。例えば、リポキシR806 (昭和高分子)、ポリセト PS6801 (日立化成工業) 等である。これらは比較的高分子量のエポキシをベースにしたビニルエステルであり、反応性は低いが接着性とじん性の高いグレードであると考えられる。このうち、PS6801をベースにした試作樹脂の調製を日立化成工業のご厚意によりお願いした。樹脂の配合比による積層板の層間せん断強さを図3および図4に示す。図3は交互積層ハイブリッド板に関する結果の一つであり、オルソ系をベースにしたポリマーブレンドの効果を示している。オルソ系は室温硬化性が良好である。ビニルエステル系のブレンドによって低下する傾向が認められるものいづれも層間せん断強さは著しく向上することを認め

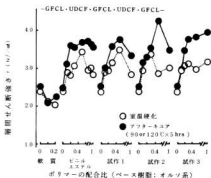


図3 ポリマーブレンドと層間せん断強さ I

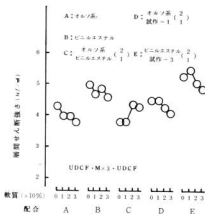


図4 ポリマーブレンドと層間せん断強さ II

た。オルソ系は反応性を受持ち、ビニルエステル系が接着性を受け持つ理想的なパターンを示し、元の樹脂の特性を大きく越える、いわゆるハイブリッド効果が認められる。ビニルエステルは通常のFRPでは高級耐食用途に用いられ、抜群の耐食性を発揮するが、反応性の低さが欠点である。本実験結果からもオルソ系の室温硬化後と後硬化(after cure)後(図3中○および●)の特性がほぼ等しいのに対して、ビニルエステル系(図3中配合比1のプロット)は特性値の差が著しいことが認められる。ビニルエステルおよび一部の試作ブレンドにおいて、一定の配合比までこれらの差を縮める、室温硬化性の向上が認められる。これは

今後の展開に大変有利な現象である。この実験により有効な配合比を決定して、剛性付与面が有利であり、一般的に普及するであろうサンドイッチ構成ハイブリッドCFRPのマトリックスの検討に移った。(図4の実験)

図4はサンドイッチ板の層間特性であるが、図3と比べて材料の剛性が高いために特性値は著しく向上している。軟質の添加は、一部に特性の向上を認められるが、剛性を低下させる効果のため配合量に比例して低下する傾向を認めた。ブレンド組成によっては高い層間接着性を発揮する可能性は十分認められる。

繊維・マトリックス界面は、繊維にとって微小な応力であっても厳しい応力になりうる場合があり、それはマトリックスのタフネス、弾力性等の性質に大きく左右されるため、マトリックスの化学組成は重要である。反面、炭素繊維の極端な異方性のために我々の手に織物として入る段階では少なからず損傷していると考へた方がよい。炭素繊維に予備緊張をかけて、損傷しているフィラメントを完全に破断させた場合、複合材料としての特性が向上するといった報告もある⁵⁾。つまり、織物の状態および損傷についても検討する必要があるが、非破壊的には大変難しい問題である。さらに、成形作業中に入り込むボイドの影響も大きい¹⁾とと作業者の技能レベルによる特性差も大きい⁶⁾。こうしたばらつき要因についても考慮する必要があるが、それらを差し引いてもポリマーブレンドによる改質は効果的な働きをすると考えられる。

3.3.2 表面処理エポキシの硬質皮膜化

現在市販されている炭素繊維は、そのほとんどがエポキシを表面コーティングされて、損傷防止と接着性の改善をはかっている。その理由はCFRPのマトリックスの主役がエポキシ樹脂であるためである。このエポキシ皮膜は熱可塑性であり、アミン類等の硬化剤により熱硬化性となる。その際、硬くてもろい皮膜となる方が複合材料特性は向上するという報告もある⁷⁾。

筆者らが対象とした不飽和樹脂にはこのエポキシを硬化させる性質がないため、エポキシは複合材料中に柔らかいまま界面を形成することになる。このエポキシを硬化させることを検討した。オルツ系およびビニルエステル等の不飽和樹脂と相溶性があつて、同時に貯蔵安定性の良好な硬化剤の選別試験を行った。ほとんどのアミン系硬化剤は少量(数phr)の添加混合で不飽和樹脂をゲル化させる。一部のものに相溶性・安定性が認められた。それらを添加した不飽和樹脂を用いて一方向CFRPを成形し、層間せん断強さを求めたの

が表3である。ビニルエステルに1.8phr添加したものが良好であり、効果を認めた。ただし、炭素繊維表面のエポキシとの反応の有無を化学的に証明することはできない。マクロな結果である。実用的には、樹脂が黒色化し、硬くてもろい性質が出現する不安があるため問題である。他に有効な化合物が見出されると界面の改善がなされ不飽和樹脂マトリックスがエポキシ樹脂に近づき可能性がある。

表3 CFRPマトリックスへのアミンの添加効果

樹脂系	アミン添加量 (phr)	層間せん断強さ(\log_{10} の平均)				変動係数(%)
		max.	min.	av.	S.D.	
オルツ系	0	4.22	4.10	4.16	0.05	1.3
	0.9	4.49	4.18	4.31	0.15	3.5
	1.8	4.25	3.79	4.07	0.19	4.7
ビニルエステル	0	5.73	5.40	5.62	0.13	2.3
	0.9	6.03	5.65	5.78	0.17	3.0
	1.8	6.15	5.96	6.04	0.09	1.4

4. 結 言

ハイブリッド複合材料のマトリックスとしての不飽和樹脂の改質について検討した。

マトリックスの化学組成は重要であり、ポリマーブレンドはその改質に有効に作用する。タフネス、弾力性等の付与を目的にアクリルモノマーとスチレンとの一部変換を行ったが、改質の効果も認められた。ブレンドによる反応性、接着性等の改善もはかられるが、定量性、再現性等の確認までには至らなかった。GPに付着しているエポキシの硬化処理は材料特性を向上させるが、不飽和樹脂との反応等の問題がある。

最後に、試作樹脂を検討するに当たり、調査・調整にご協力を頂いた日立化成工業㈱に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 好萬外: 広西工技報告 No.28, p.49-52, '85
- 2) 強化プラスチック vol.31, No.1, p.28-30, '85
- 3) 伴野外: 同上, vol.29, No.8, p.27-32, '83
- 4) 酒井外: 同上, vol.31, No.12, p.17-18, '85
- 5) H.R.Pigott: ICCM-IV, Tokyo, p.193-209, '83
- 6) ZHIFAMCHI 外: J.Composite Material vol.17, May, p.196-209, '83
- 7) 吉田: 強化プラスチック vol.29, No.2, p.4-9, '83
- 8) 百島: 同上, vol.27, No.5, p.24-31, '81
- 9) DRZAL 外: J.Adhesion vol.16, p.133-152, '83

炭素繊維等の工業製品への応用に関する研究

CFRPの環境劣化

山縣康男, 渡部英雄, 梶岡 秀, 好満芳邦

Degradation of Unsaturated Resine and Its Laminates in Weathering and Water Circumstances

YAMAGATA Yasuo, WATANABE Hideo, KAJIOKA Hideshi, YOSHIMITSU Yoshikuni

The purpose of this experiment was to evaluate and improve durability of CFRP. In preceding article, MMA blended unsaturated resin were investigated. In this paper, another acrylic monomer were blended and investigated weather resistance. The effect of light, water, and temperature were very important factors in weathering behavior. Ortho-phthalic unsaturated resin, vinyl ester, and trial blended polymer were exposed to light and water spray, or boiled and non boiled water. After exposure, gloss, color difference, water absorption, and flexural strength were tested. In gloss, color difference, and water absorption, it showed distinguished differences with the passing of exposing time. On mechanical property, cast resin showed decrease of strength after exposing, but laminates didn't showed mechanical degradation.

1. 緒 言

FRPは比強度, 耐食性, 経済性などの点で優れており, 大型貯蔵タンク, 漁船, 配管等の構造材料として広く用いられている。FRPを屋外に長期間暴露すると, 光, 水分, 熱などのさまざまな要因により劣化する。これらの要因の中では, 紫外線による影響が大きいと言われている。また, それぞれの要因が単独ではなく複合的に作用するため, その劣化過程を予測するのはなかなか困難である。

FRPの耐候性を正しく評価するには, その材料を使用環境下で長期間暴露するのが信頼性が高いが, 結果を得るまでに時間が掛り過ぎ, 実用的でない。多くの場合, 短時間で耐候性の評価をする必要があり, そのために各種の促進耐候試験機が使用される。

当所では, CFRPについて一連の研究を行っているが, ここではCFRPの環境による劣化状態を把握するため, サンシャインウェザーメータを使用し, 光温度, 水分による影響について報告する。

2. 実験方法

実験に使用した材料を表1に示す。樹脂は市販のオルソフタル酸不飽和ポリエステル樹脂(オルソ系), ビニルエステル樹脂(ビニルエステル)およびビニルエステルをベースとして耐候性を高める目的で, 重合モノマーの一部を置換した試作樹脂, また, オルソ系とビニルエステルあるいは試作樹脂を1:1の割合で

混合したブレンド樹脂(ブレンド1, ブレンド2)を使用した。経済性, 取り扱いやすさを考慮し, 耐候性の良い樹脂組成の創生を目的としてオルソ系にビニルエステルをブレンドした。

表1 実験に用いた材料

材 料 名 (略号)	商品名及びメーカー
繊維基材	ガラスチョップドストランドマット(M) 高強度炭素繊維ロービングクロス(C)
樹脂	不飽和ポリエステル樹脂(UF) ビニルエステル樹脂(VE)
	FEM-450-01 (富士ファイバーガラス㈱) パイロフィルクロス# (三菱レーヨン㈱) PS-596 (日立化成工業㈱) PS-6801 (日立化成工業㈱)

注型板は前報²⁾の方法により, 積層板はガラスマット三層(MFRP), また, C-M-M-Cの構成(ハイブリッド)をハンドレイアップ法で作成した。注型板および積層板は室温で硬化させたのち, 完全硬化させるためオルソ系は80℃/4h, ビニルエステル系は120℃/4hの後硬化を施して実験に供した。

促進耐候試験はスガ試験機製サンシャインウェザーメータWEL-SUN-DCにより, 室温63℃, スプレ-18分/120分, 最大2000時間まで暴露した。また, 煮沸浸漬による吸水率の試験も行った。

試料の評価は吸水率, 色差, 反射率, 曲げ強さで行った。なお, 色差の測定は日本電色製分光色差計を80を使用した。

3. 実験結果

3.1 煮沸浸漬

注型板の煮沸吸水率を図1に示す。樹脂単身である注型板ではオルソ系がビニルエステル系に比べて非常に高い。試作樹脂はビニルエステルよりやや高い値を示した。ブレンド樹脂は混合割合に比例した吸水率を示した。常温での吸水率は、煮沸沸水と同じ傾向を示し、オルソ系はビニルエステル系より大きいが、ほぼ50日後から差が現れた。注型板の吸水率は浸漬温度が高くなるほど大きく、短期間に飽和状態となる。

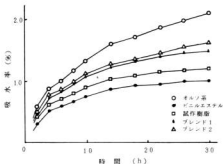


図1 各種樹脂の煮沸吸水性

吸水率の小さい樹脂が耐候性の点からも望まれるが、煮沸吸水率と曲げ強さ減少率を比較した結果では、吸水率の多い樹脂が必ずしも強度劣化が大であると認められなかった。オルソ系は吸水すると白濁し不透明となる。その場合、曲げ強さも低下する。たとえば、浸漬40時間後で50%低下した。オルソ系は加水分解が容易に起こり、エステル結合の分解が進むためである。ビニルエステルは46時間で1割程度低下した。

ブレンド1、2は単身樹脂の混合割合とおりの初期強度を示し、ブレンドによる顕著な効果は認められなかった。これらの煮沸による強度低下率はブレンドで25%、ブレンド2で40%であり、2の方が煮沸による劣化が大きい。本研究で用いたビニルエステルはオルソ系及び試作樹脂と比較して、強度・耐水性・耐候性に優れた樹脂と言える。

図2に積層板の吸水率を示す。積層板の吸水率より小さい。これは積層板の場合、樹脂量が約60~70wt%であること、繊維物性が高いために樹脂の動きが単身に比べて抑えられるためと考えられる。ビニルエステルの場合は樹脂自体の吸水率が小さいので、積層

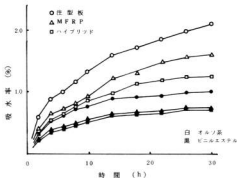


図2 注型板・積層板の煮沸吸水性

板の繊維の違いによる差は明瞭でなかった。積層板の煮沸浸漬による強度劣化は40時間ではパラフキが大きく、有意な差を認めなかった。

3.2 耐候性試験

サンシャインウェザーメータに2000時間暴露した場合、注型板の透過による色差を図3に示す。

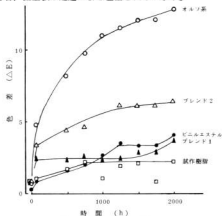


図3 樹脂の色差変化

オルソ系は暴露時間による色差が大きく、黄変が激しい。暴露初期の60時間で変化量が最も著しい。紫外線による劣化が著しいことを認めた。一方、試作樹脂とビニルエステルは徐々に変色しているが、最も色差が小さいのは試作樹脂であった。ブレンド2は配合比とおりの色差を示したが、ブレンド1はビニルエステルと同様であった。これはビニルエステル自体に青味をおびており、オルソ系の黄変がブレンド樹脂へ及ぼす影響が小さいためと考えられる。

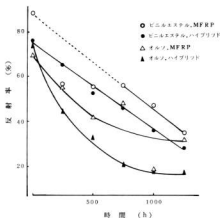


図4 積層板の反射率

図4にMPRP板、ハイブリッド板の反射率の経時変化を示す。時間経過とともに反射率は低下している。樹脂表面を顕微鏡で見ると、侵されて灰色の物質が析出しており、表面で乱反射するためと考えられる。

図5, 6, 7に注型板、MPRP板、ハイブリッド板の曲げ強さにおける経時変化を示す。注型板の初期曲げ強さを比較すると、ビニルエステルはオルソ系の約1.5倍であり、試作樹脂はビニルエステルと同等の強さを示す。

樹脂単身の暴露時間による強度保持率はいずれも減少傾向にある。初期強度の高いビニルエステルが最も減少し、試作樹脂はゆるやかな減少を示すが、オルソ系は後期に増加する傾向を示した。これは表面層の劣化が初期に生じて、それより深い層の劣化が進行しな

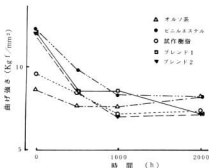


図5 樹脂の促進耐候性(曲げ強さ)

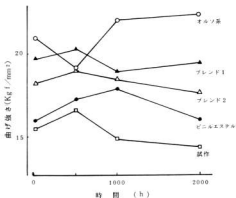


図6 MPRP板の促進耐候性(曲げ強さ)

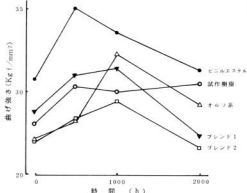


図7 ハイブリッド板の促進耐候性(曲げ強さ)

いことと、データのバラツキによるものと考えられる。耐候性良好なビニルエステルでも20%の低下を認められたが、逆に耐候性の弱いとされるオルソ系の減少率は低い値を示した。

一方、積層板の暴露後の曲げ強さは、照射初期の段階で上昇する傾向にある。ハイブリッド板の場合、照射500時間では、すべての積層板で上昇している。この理由の1つとして、樹脂の硬化が促進されるためと考えられるが、注型板の500時間照射では、いずれの樹脂も低下していることと逆の現象を認めた。

積層板の2000時間後の曲げ強さは、ほとんど減少が見られず、逆に照射前より増加しているものもあり、耐候性評価の困難性を認めた。

積層板の機械的強度は補強繊維に多く依存し、マト

リタス樹脂の環境要因による強度低下が積層板全体の強度へ及ぼす影響は少ないことを認めた。

均質材料と言える注型板を曲げ強さで評価するのは比較的ばらつきも小さく、傾向もつかみやすいが、複合材である積層板は成形による試料間のばらつきが大きいため、それらの要因を制御して最小限に抑える必要がある。また、積層板の劣化は、表面の樹脂層が光、水、温度などの作用によって光化学反応を起こし、化学構造の変化、亀裂発生、樹脂脱落、繊維露出などの現象を生じる。このような現象は極く表面層だけに限られ、全体の強度変動はわずかと考えられるので、耐候試験でFRPの機械的劣化することはより基本的な項目の追及が必要であることを認めた。

4. 結 言

炭素繊維強化プラスチックの環境劣化を評価するため、劣化要因である光、水、温度の影響について検討した。本研究で得られた結果は次のとおりである。

1) 樹脂の吸水率は種類により異なり、温度による影響が大きい。積層板の補強繊維は吸水拡散速度を遅くする。

2) 煮沸浸漬による曲げ強さの低下は不飽和ポリエステル樹脂では大きく、ビニルエステル樹脂は比較的小さい。積層板の曲げ低下は認められなかった。

3) 耐候試験で、不飽和ポリエステル樹脂は初期に黄変による色差が大きい。ビニルエステル樹脂は色変化が少ない。積層板の反射率は直線的に低下する。

4) 曲げ強さは、注型板の場合、経時劣化が進む。積層板はばらつきが大きく、経時変化を把握できなかった。より基本的な技術的項目の検討が必要であることを認めた。

文 献

- 1) 鈴木 : 強化プラスチック 18(1D 487 (1972))
- 2) 好満他 : 広西工技報告 No 28 (1985)

炭素繊維等の工業製品への応用に関する研究 動的粘弾性試験法によるCFRPの研究

大橋俊彦, 山縣康男, 好満芳邦, 筒本隆博

Study of Dynamic Viscoelasticity of CFRP

OHASHI Toshihiko, YAMAGATA Yasuo, YOSHIMITSU Yoshikuni, and TSUTSUMOTO Takahiro

Dynamic viscoelasticity and several mechanical properties of cast resin plates and FRP laminates are measured, and the results suggest as follows. ① Degree of cure relates to glass-transition temperature, flexural strength, flexural modulus and so on. ② The same polymers have different cross-linking structure and properties, if they are cured at different temperature. ③ In spite of replace partly styrene monomer with several special monomers, softening temperature isn't climbed.

④ Glass-transition temperature and activation energy of motion of molecular net work of laminates at T_g are different from those of cast resin plates.

So maybe we can expect that the interfacial structure of fiber and matrix polymer is reflected in dynamic viscoelastic properties.

1. 結 言

FRP材料の利用については非常に大きな需要が、特に経済性の面から、あるにもかかわらず、金属材料と比較して信頼性の面で今一步劣る感を否めず、その普及を阻害する一因となっている。これはFRP材料に関して、性質・形態・加工の基本的関係に対する理解が欠如しているためであるが、これらの関係を決定することは、硬化過程のケモレオロジー、樹脂マトリックスの粘弾性、樹脂及び樹脂-強化材界面のモルフロジー等の複雑さのために非常に難しく、学・協会において現在いろいろと検討されている。

一方、動的粘弾性測定法は従来ゴム、フィルム等について比較的軽微な領域で用いられていたが、近年、装置の進歩によってFRP等の比較的厚く強い材料も取り扱えるようになってきた。

そこで本研究では、FRP材料の信頼性向上のために、樹脂注型板及びFRP積層板の動的粘弾性等を測定し、樹脂網目、樹脂-強化材界面の構造とFRPの性質について考察した。

2. 実 験

東洋ホールディング製 Reo-vibron DDV \square を用い、引張法によって動的粘弾性を、島津製作所製オートグラフDSS-10Tにより曲げ弾性率と曲げ強度を測定した。また、水中置換法により比重測定を行った。

実験に用いた樹脂及び繊維は表1に示すものである。注型板は既報¹⁾と同様な方法で、積層板はハンドレイ

アップ法によって作成した。どちらの場合も樹脂100部に対して硬化剤(MEKPO)1部と触媒としてナフテン酸コバルト0.5部、ジメチルアニリン0.1部を加えて20℃で硬化させた後、アフターキュアを行った。アフターキュア条件は特記しない限り、120℃、4時間である。

3. 結果と考察

図1にビニルエステル樹脂注型板の動的粘弾性曲線

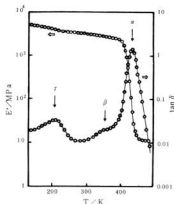


図1 樹脂注型板(PS-6801)の動的粘弾性挙動

表1 実験に使用した樹脂及び繊維類

樹脂及び繊維	略号	型番	メーカー名
ビニルエステル樹脂	V	PS-6801	日立化成工業㈱
※ +メタクリル酸メチル	V-M		※
※ +長鎖アクリル (Mw=300)	V-1		※
※ +長鎖アクリル (Mw=500)	V-2		※
※+2-ヒドロキシエチルメタクリレート	V-8		※
一方向強化炭素繊維	UDCF	TR000-6190	三菱レーヨン㈱
一方向強化ケブラー繊維	UDKF	アドヒープ	倉紡㈱
ガラスチョップドストランドマット	GM	FEM-450-04	富士ファイバーガラス㈱

を示す。貯蔵弾性率 E' は 400 k 付近から急激に低下し、ついでに 3 桁程度も小さくなる。これは、無定形高分子のガラス転移現象に対応している。また、減衰因子 $\tan \delta$ の温度依存性には、高温側から α (420k 付近)、 β (320k 付近のショルダー)、 γ (200k 付近) の 3 つのピークが見られる。樹脂の構造が明確でないため、 β 、 γ ピークの原因がはっきりしないが、 α ピークは明らかにガラス転移領域における分子鎖全体の運動によるものである。

ビニルエステル樹脂の最適アフターキュア温度は 120℃ と言われているが、室温でも時間経過とともに硬化が進行して行く。そこで、40℃での注型板の後

硬化過程を動的粘弾性、曲げ強度 σ_b 、曲げ弾性率 E_b 、比重 d を測定することによって追跡した。その結果を図 2、3、4 に示す。

E' は温度が上昇するとある温度付近で急激に低下し始めるが、その後増加し、更に温度が上ると再び急激

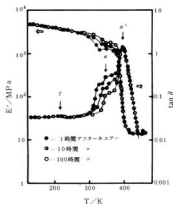


図2 40℃でアフターキュアした注型板 (PS 6801) の貯蔵弾性率 E' と分散 $\tan \delta$ 周波数 3.5 Hz.

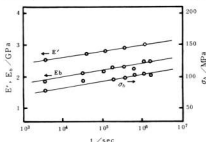


図3 40℃でアフターキュアした時の注型板 (PS 6801) の 2.3℃で測った貯蔵弾性率 E' 、曲げ弾性率 E_b 、曲げ強さ σ_b のアフターキュア時間による変化。

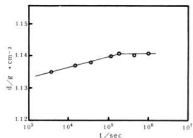


図4 40℃でアフターキュアした注型板 (PS 6801) の 2.3℃で測った比重のアフターキュア時間による変化。

に低下する。最初の E' の低下は不完全な硬化状態にある樹脂のガラス転移によるものであり、温度が上ると硬化が進行して δ が一度増加し、完全硬化した後再びガラス転移を起こすものと考えられる。従って $\tan \delta - T$ 曲線について見ると、本来の未硬化の樹脂のガラス転移に対応する α ピークはショルダーの部分であり、高温側のピークは見かけのもの（ α' ピーク）である。 α ピーク温度（ $T\alpha$ ）はアフターキュア時間が長くなるにつれて高温側にシフトしており、分子鎖の架橋が進むにつれてガラス転移点（ T_g ）が上昇することを表している。そして $T\alpha$ が $T\alpha'$ と一致した時をもって完全硬化したと判定することができよう。

このような $T\alpha$ のシフトと対応して、 E_s 、 ω_s 、 d のアフターキュア時間（ t ）による変化を測定したところ、 E' 、 E_s 、 ω_s は $\log t$ に対して直線的に増加しており、これらの値と $T\alpha$ が互いに相関を持っていることがわかる。これに対し d はある温度で一定となるが、初期の部分は E' 等と同様に $\log t$ に対して直線的に増加している。

ガラス転移点、架橋密度と E' 等との定量的な相関とアフターキュア過程の速度論的な取り扱いについては今後の検討課題である。

また、図2において注目されることは図1における α ピークが見られないことで、これは完全硬化した場合でも同様である。従ってアフターキュア温度が異なると、硬化した樹脂の構造に何らかの違いができ、当然物性も異なることが期待される。実際に樹脂を取

り扱った感じでは、40℃で長時間かけて硬化したものは、120℃で硬化させたものと比べてもろいように思われた。

次に樹脂の改質を試みるために日立化成工業㈱に依頼して作成した特殊モノマー添加樹脂について動的粘弾性測定を行った。これらの樹脂の構成は他報²⁾に述べられている。 α ピークの位置と大きさは、どの樹脂でもほぼ一定であったが、 $T\alpha$ は図5に示すようにかなりの差が見られた。 $T\alpha$ は弾性率が急激に低下するガラス転移点に対応しているため、樹脂の耐熱性（軟化温度）を表す指標の一つと考えられるが、特殊モノマーを添加したものは、元の樹脂よりも低下している。ベースポリマーのロットが夫々異なるために、特殊モノマーの添加によって T_g が低下するとは必ずしも言えないが、軟化点の向上に関する限り、これらの特殊モノマーの添加効果はそれほど無いようである。

次に積層板について動的粘弾性測定を行った結果について述べる。UDCF、UDKPの各々のクロスプライ（4 ply）積層板の非強化方向について測定した $T\alpha$ の周波数依存性を図6に示す。比較のためCPS-6801注型板の結果も描かれている。積層板のガラス含有率は表2に示されている。

積層板の $T\alpha$ は注型板の $T\alpha$ と比べてかなり低くなっていることがわかる。同様な結果が炭素繊維のエポキシ樹脂積層板の動的剪断特性についてBARKERらによって得られており³⁾、彼らはその原因を繊維の表面処理剤と樹脂の反応によって生じた架橋密度の低い

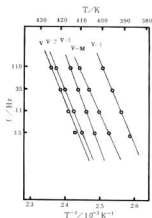


図5 各種樹脂の注型板の α ピーク温度のアーレイヌスプロット

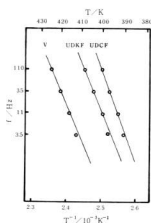


図6 注型板と各種積層板（樹脂はPS 6801）の α ピーク温度のアーレイヌスプロット

表2 積層板のガラス含有率とガラス転移領域における分子運動の活性化エネルギー

積層構成	Wf (%)	ΔH_a (Kcal/mol)
注型板		3.8
UDCF (0/90) ₂	37.4	4.3
UDKP (0/90) ₂	37.0	4.2
GM (1ply)	34.0	—

部分に偏している。本実験の結果もおそらく同様な原因に由来するものであろう。

一方、樹脂網目の一部は、繊維表面と結合して不動化されるために、 T_g は上昇するはずとする意見も有る⁴⁾。このあたりのことは、 T_g を決定する因子についてもう少し検討を加えてみる必要がある。

T_g の周波数依存性からガラス転移領域における分子鎖の運動の活性化エネルギー ΔH_a を求めた結果を表2に示す。積層板では注型板よりも ΔH_a が大きな値となっており、分子運動がより束縛されていることが示されている。即ち、樹脂網目が繊維表面と結合して不動化したことによる影響が ΔH_a に表れていると考えることも可能である。従って、樹脂と繊維の界面の状態が動的粘弾性に反映されていることが期待される。

ガラスマット (1ply) 積層板の E' , $\tan \delta - T$ 曲線は図7のようになる。 E' の高温での低下はガラス織

維の強化作用のために非常に小さい。また、 $\tan \delta$ の T_g ピークが非常にブロードになっていることが特徴的である。FRPでは樹脂の本来の T_g より高温側に界面での強固な結合を表す副次的なピークが生じるとの報告もあり⁵⁻⁶⁾。本実験で観測された α ピークのブロードニングは、この副次的なピークの重なりによるものではないかと考えられる。即ち、ここでも界面の状態が情報として動的粘弾性の中に含まれていることになる。

今後、各種の測定法、分析法と動的粘弾性を組み合わせることで測定を行うことにより、界面についてより詳細な研究をしていく必要があると思われる。

4. 結 言

FRPを作成する上で関連のある各種の試料について動的粘弾性測定を行ったところ、非常に有用な情報が得られることがわかった。それらをまとめると次のようになる。①樹脂の硬化度とガラス転移点、強度、弾性率等が相関を持っている。②同一樹脂でも硬化温度が異なると分子鎖網目の構造と性質が異なる。③樹脂中のスチレンモノマーの一部を特殊モノマーに置き代えても、軟化温度の向上は認められなかった。④積層板と注型板とでガラス転移点や分子鎖全体の運動の活性化エネルギーが異なり、動的粘弾性特性の中に繊維と樹脂の界面の構造が反映されていることが期待される。

今後、これらの各問題について、より詳細な研究が行われ、性質-形態-加工の関係が解明されて、FRPがより信頼性の高い材料として確立されることが望まれる。

文 献

- 1) 好満芳邦他：広島県立西部工業技術センター報告, 28, p. 48 (1985)
- 2) 好満芳邦他：広島県立西部工業技術センター報告, 29 (1986) 掲載予定
- 3) A.J. BARKER, et al.: *Composite*, 14, p. 141 (1985)
- 4) 児玉峯一他：日本複合材料学会誌, 8, p. 9 (1982)
- 5) 児玉峯一他：高分子論文集, 42, p. 388 (1985)

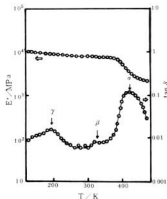


図7 ガラスチップドストランドマットで強化した積層板 (樹脂はPS 6801) の貯弾性率 E' と分散 $\tan \delta$ 。

炭素繊維等の工業製品への応用に関する研究

炭素繊維ハイブリッド積層板の疲労に関する研究

筒本隆博, 蒲田政信, 大橋俊彦, 好漢芳郎

Study on fatigue of carbon fiber hybrid FRP plate

TSUTSUMOTO Takahiro, KAMADA Masanobu, OHASHI Toshihiko, and YOSHIMITSU Yoshikuni

In order to clarify the effect of the carbon fiber reinforcement on the fatigue strength, pulsating tension and reversed plain bending fatigue tests were carried out with various samples in which some carbon fiber fabric(unidirectional fabric, plain woven cloth and twill woven cloth) and glass chopped strand mat were laminated with three types of unsaturated polyester resin(biylester ortho-phthalic and iso-phthalic resin).

Following results were obtained

In pulsating fatigue test,

(1) Biylester resin brought higher fatigue strength for the samples with unidirectional carbon fabric and lower fatigue strength for that with plain woven carbon cloth compared with other types of resin.

(2) Fatigue strength of notched samples were almost the same as that of un-notched one.

In reversed plain bending fatigue test,

(3) Fractural rigidity reduced during fatigue test. Its reduction rate increased monotonously in the sample of glass chopped strand mat but decreased in the carbon hybrid sample when the delamination of carbon/glass interface occurred.

(4) Fatigue strength elevated with increase of static strength but effect of strengthening by the layer of high strength fiber on fatigue strength was small compared with that on static strength.

1. 結 言

近年, FRP (繊維強化プラスチック) は, 軽量, 高耐食性等の利点から大きな注目を集め, 耐食性容器, 圧力容器, 船舶, 自動車等の各方面へ金属材料に代わる構造用材料として急速に普及しつつある^{1), 2)}

しかし, 長年構造材料の主たる地位を保ってきた金属材料に代替するためには, 材料としての信頼性を高めることが最も重要な課題である。特に新しい基材である炭素繊維は, 機械的データも十分ではなく, その評価方法すらしっかりと確立されていない。³⁾

本研究では, 炭素繊維を従来のガラス繊維と複合化した材料について, 片振り引張及び両振り曲げの負荷で疲労試験を行ない, 前者では疲労強度に及ぼす樹脂の種類と切欠きの影響を, 後者では積層方法の影響について調べた。

2. 実験方法

表1に本実験で使用した試験片の種類を示す。片振り引張の疲労試験には, 炭素繊維層をガラスチップドストランドマットで両側からはさんだ三層の積層板を用いた。

両振り曲げ疲労試験では, ガラスマットのみから成る試料(B-GM)と, それを炭素繊維織物で両側からはさんだ, いわゆるサンドイッチ構造を持つ試料(B-Hy1~8)でまず試験を行なった。試験の結果, 最外層に配置された炭素繊維が図1のように圧縮側のマイクロバックリングにより損傷するため, それを抑えることを目的に炭素繊維層を一層だけ内側に配置したのもも作成し(B-Hy4~5)同様の試験を行なった。また, 比較のために商用のBMC板1種と, HMC板2種の試験も行なった。HMC板は強度をもたせるために, 一方ガラス繊維が混合積層されている。

マトリクスとなる樹脂は, 日立化成の樹脂3種(P

表1 試験片の種類

試料 記号	負荷 様式	炭素繊維織物 の種類	樹脂の 種類	積層方法	静的強度 (kgf/cm^2) ($\times 10^4$) ($\times 10^5$)
TS-A	引張-引張	一方向織物 A	PS6801	MCM	25.3**
TS-B	"	"	PS640	"	28.6*
TS-C	"	"	PS595	"	27.0*
TP-A	"	千織物 B	PS6801	"	19.5*
TP-B	"	"	PS640	"	16.6*
TP-C	"	"	PS595	"	19.4**
B-GM	両面曲げ (定荷重)	"	PS6801	MMMMM	22.4***
B-Hy1	"	一方向織物 A	"	MMMMM	41.1***
B-Hy2	"	千織物 B	"	"	27.0***
B-Hy3	"	縦織物 C	"	"	36.4***
B-Hy4	"	千織物 B	"	MCMCM	25.9***
B-Hy5	"	縦織物 C	"	"	32.3***
IMC	両面曲げ (定荷重)	"	"	"	12.3***
HMC4	"	"	"	"	46.4***
HMC7	"	"	"	"	44.7***

炭素繊維織物の種類

A...三菱レーヨン TR000-6190
 B... " TR000-3110
 C... " TR000-3520

積層記号

M: ガラスマト層
 C: 炭素繊維織物層

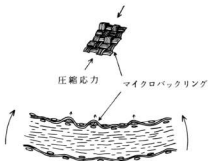
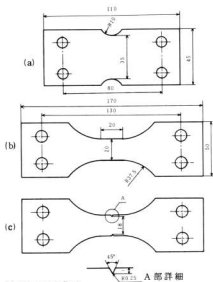


図1 圧縮側最外層に生じる炭素繊維織物のマイクロバックリングの様子

S6801: ビニルエステル系, PS595: オルソフタル酸系, PS660: イソフタル酸系)を用い、ハンドレイアップ法により積層した。成形硬化後、120℃4時間のアフターキュアを行ない図2のような試験片形状に切削加工した。

片振り引張疲労試験用の試験片は (b) のような平滑材と (c) のような切欠き材を用い、切欠きの効果もあわせて検討した。この切欠きの応力集中率は、ノイパーの式⁴⁾より求めると4.8であった。

疲労試験は、片振り引張で島津製作所製VF-500機械振動式疲労試験機を用い、応力比 (=最小応力/



(a) 両振り四点曲げ
 (b) 引張-引張 (平滑材)
 (c) " (切欠き材)

図2 疲労試験片の形状

最大応力)を0.05として行ない、両振り曲げ疲労試験には、同じく島津製作所製サーボホルサー-EHP-V C2-20L油圧式疲労試験機を用い、試作積層板を定変位で、商用積層板を定荷重の条件で試験した。試験周波数は前者で約17Hz、後者で5Hzとし試験温度は 28 ± 8 ℃となるようコントロールした。

また、各試験片において疲労荷重様式に従い静的試験を行なった。結果を表1に示す。

3. 実験結果と考察

図3に片振り引張疲労試験の結果を示す。ハンドレイアップにより試料を作成したため、各試料ごとに厚みが大きくばらついた。そのためか、実応力によりS-N線図を作成すると、ばらつきが大きかったので、単位幅当りと比較するため、各試料の厚さは用いず、全体の平均厚さで各試料の応力を計算し、静的強度で無次元化し図3のようなS-N曲線を得た。

表1からもわかるように、静的強度は一方向織物を用いた試料が平滑クロスを用いたものに比べて高く、疲労強度も絶対値では高い値を示した。しかしながら

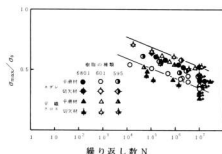


図3 静的強度で無次元化した片振り引張疲労試験による試作積層板のS-N曲線

疲労強度の静的強度に対する割合は、両者ともほとんど同じであった。

樹脂の種類による差は、一方方向織物より平織物の方が明らかに顕著に表れている。これは一方方向品は、荷重のほとんどを炭素繊維で受けつため、樹脂の荷重負担が低くなり、この影響が少なくなるためであると考えられる。平織物では、荷重方向の炭素繊維の数が半分になり、樹脂の荷重負担が大きくなるだけでなく、クロス材として織ってあるため、クランプが存在し、繊維と樹脂の界面の影響も大きいためと思われる。本実験においては、最も弾性率の低いビニルエステル系樹脂を用いたものの疲労強度が、平織物では低く、一方方向織物では高くあらわれた。

切欠きのある試料では、平織物を用いた試料で、切欠き底から破断し、一方方向織物を用いたものは、平滑材と同様R肩部より破断した。しかし、図3のS-N曲線からは、ほとんど切欠きの影響はみられない。

図4は試作積層板の定変位曲げ疲労試験において、繰返し荷重下の曲げ剛性の低下の様子を繰返し回数に対して表わしたもので、初期曲げ剛性に対する比 D/D_0 は次式により計算した。

$$D/D_0 = (P_{max} - P_{min}) / (P_{max} - P_{min}^0) \quad \dots (1)$$

ここで P_{max} は繰返し荷重における荷重最大値、 P_{min} はその最小値で値 0 は初期の値を表す。

これより、ガラスマットのみからなる試料B-GMは単調に剛性が低下しているが、最外層に炭素繊維平織クロスを配置したB-Hy2は、 $D/D_0 = 0.6 \sim 0.5$ 付近で剛性低下が停滞している。炭素繊維をハイブリッドした積層板(B-Hy1, B-Hy3~5)も同じような停滞が認められた。これは最外層は炭素繊維の場合、炭素繊維層が損傷した後、それがしだいに離れて

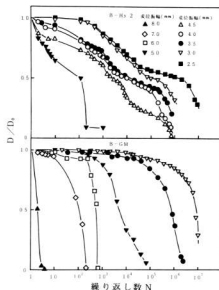


図4 定変位両振り曲げ疲労試験による、くり返し荷重に伴なう曲げ剛性低下の状態

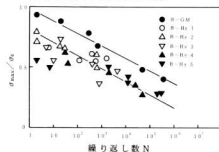


図5 静的強度で無次元化した定変位両振り曲げ疲労試験による試作積層板のS-N曲線 ($D/D_0 = 0.9$ の時のN)

ゆく段階で観察され、最外層にガラスマット層を配置している場合、ガラスマット層をき裂が貫通し、そのき裂が次の炭素繊維層をダメージを与えながら層間はく離の方向へ進む時に停滞が生じている。最外層が炭素繊維のような高い剛性をもつ層の場合、最外層を貫通しているき裂は層間はく離を起こしやすいことが指摘されている。⁵⁾ 本実験におけるこの停滞も、剛性、強度の大きく異なる材料のハイブリッド化により生じた層間はく離により引き起こされたものと考えられる。

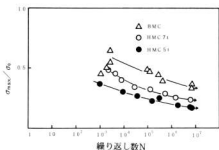


図6 静的強度で無次元化した定荷重両振り曲げ疲労試験による各種商用積層板のS-N曲線

FRPの疲労中の剛性低下は既に観察されており^{6),7)}その重要性は指摘されている。本実験のように定変位の場合、ハイブリッド材はかなり曲げ剛性が低下しても破壊しないが、定荷重で行なった結果、前述した曲げ剛性低下の停滞は現れず、 $D/D_0 \sim 0.9$ で急速に曲げ剛性が低下し破断に至った。これは、炭素繊維層の破断が内側のガラスマト層の荷重増加を引きおこし、全体の破壊に至らしめるからである。すなわち、定荷重下では、炭素繊維層の破断が、疲労強度を律する。これらのことから、 $D/D_0 = 0.9$ の点を破断点と考え、初期の荷重振幅をもとに応力を計算すると図5のようなS-N線図が得られた。

10^6 サイクル以上のデータがないため高サイクル側の挙動は明らかでないが、低サイクル側では炭素繊維をハイブリッドしたB-Hy1~5は静的強度に対する疲労強度の割合は低い値を示す。実応力で比較しても、一方繊維物を最外層にしたB-Hy1以外は、ほとんどB-GMと同程度の疲労強度を示し、炭素繊維をハイブリッドした効果がほとんど認められなかった。

図6は商用の積層板3種を定荷重下で両振四角曲げの疲労試験を行なった時のS-N曲線である。実応力で比較すると、HMC板2種はBMC板の2倍程度の疲労強度をもつが、静的強度の割合で比較すると同じ層からなるBMC板が一方ガラス繊維で強化したHMC板より高い値を示した。

総じて、曲げ疲労試験においては、強度の高い層をハイブリッドして強化した材料は、静的強度の向上に比べ疲労強度の向上はそれ程望めないことがわかる。

4. 結 言

各種炭素繊維織物をガラスマトと組合わせて積層

した試料及び商用積層板を用いて、片振り引張り、両振り曲げの荷重条件下で疲労試験を行なった結果、次のようなことがわかった。

片振り引張り疲労試験において

- ①一方炭素繊維織物を用いた試料においては、疲労強度の樹脂の種類による差は比較的少ないが、炭素繊維の平織物を用いた試料では、その差は大きく、特にビニルエステル系樹脂を用いたものが低い疲労強度を示した。
- ②切欠き材は平滑材の疲労強度とほとんど変わらず、切欠きに対して鈍感であることがわかった。

両振り曲げ疲労試験において

- ③疲労の進行中、曲げ剛性は低下する。定変位で行ったものについてガラスマト層のみから成る試料ではその低下の様子は単調であるが、炭素繊維をハイブリッドした試料では、曲げ剛性の低下が途中で停滞する。これは、疲労損傷の進行が炭素繊維層/ガラスマト層の間のはくりによって抑えられたためと考えられる。
- ④商用積層板の定荷重両振り曲げ疲労試験もあわせ、本曲げ疲労試験においては、強度剛性の向上を目的に炭素繊維、一方ガラス繊維をハイブリッド化した高強度の材料は、静的強度の高い割には、それ程高い疲労強度は期待できない。

文 献

- 1) 源田栄行他：第30回FRP総合講演会要旨集(昭60)、123
- 2) 後町光夫他：第30回FRP総合講演会要旨集(昭60)、52
- 3) 宮入裕夫：第30回FRP総合講演会要旨集(昭60)協会活動報告、〔15〕
- 4) 西田正考：「応力集中」(1967)森北出版
- 5) H.D.Wagner, G.Maroon: 38th Annual Conf., Reinforced Plastic/Composites Inst., 1968, Session 12-E
- 6) 宮入裕夫他：材料科学, vol 20, No.1, (1983), 46
- 7) 宗宮 詮他：第30回FRP総合講演会要旨集(昭60)、23

炭素繊維等の工業製品への応用に関する研究

CFRMの試作と評価

土取 功, 新田 明, 原 信彦

Fabrication and Estimate of Carbon Fiber Reinforced Metals

TSUCHITORI Isao, NITTA Akira and HARA Nobuhiko

Carbon fiber composites were fabricated by vacuum hot press using Ni or Cu electrodeposited fiber. CF/Ni composite was investigated their fabrication condition and CF/Cu composite was investigated their materials properties. The results were as follows:

- (1) The tensile strength of CF/Ni composite (Vf=55%) attained to 82kgf/mm² by selecting condition (800°C), and that of CF/Cu was 95kgf/mm².
- (2) High temperature tensile strength of CF/Cu composite kept room temperature's strength up to 300°C, then more high temperature, that strength was decreased.
- (3) Impact sharply test of CF/Cu composite could not be estimated correctly.
- (4) Thermal expansion coefficient of CF/Cu composite could be controlled within narrow range, and their thermal expansion increased up to 300°C, then more high temperature, stragnated or decreased.

1. 結 言

炭素繊維は比強度，比弾性率が優れていることからFRPの強化材料として注目され，航空機，船舶等の構造材やスポーツ用品の部材に応用され始めている。また，最近では自動車部品等の一般工業製品にもその使用が検討されつつある。このような炭素繊維は金属の繊維強化材としても期待され，主にアルミニウム-炭素繊維複合材料のような耐熱軽高強度な構造材料を狙った研究が行われている。^{1)~3)}

金属と炭素繊維の複合における問題は金属との反応による炭素繊維の強度低下であり，また技術的には繊維どうしが接触しないよう，その各々がマトリックス金属に均一に取り囲まれた状態が望まれることである。

最近，高性能な無機繊維が開発されているが（例えば炭化珪素繊維，アルミナ繊維，各種ウイスキー等）それらに比べて炭素繊維は電気伝導性を有することや，熱膨張係数が負であること，また潤滑性が期待できることなどの特徴がある。本実験は炭素繊維の電気伝導性を利用して繊維に銅とニッケルを電気メッキにより被覆した。メッキした炭素繊維を黒鉛型に入れ，真空ホットプレスを用いて拡散接合により複合材料を作製し，反応性のないCu-Cについてはその複合材の各種特性を，CがNiに固容するNi-C複合材につい

ては，その製造条件について検討した。

2. 実験方法

実験に使用した炭素繊維はPAN系高強度繊維（東レ製トレカT-800）で直径約7μm，引張強さ270kgf/mm²，弾性率25000kgf/mm²である。これに銅とニッケルを約1.2μmの厚さに電気メッキした。その3000本の束をピッチが2mmの間隔で整列させ，黒鉛の型（40×80mm²）に積層し，図1に示すように真空中（1×10⁻⁴Torr）で加圧成形して厚さ約2.2mmの複合材を作製した。なお型への積層時に50μm厚さのCuおよびNi箔を入れることにより繊維体積率（Vf）が3水準得られるように調整した。また成形温度は反応性

のないCu-C複合材については1000°Cで，CがNiに固容する恐れのあるNi-C複合材で

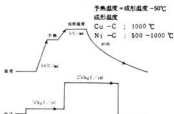


図1 真空ホットプレスの加熱-加圧サイクル

て成形条件を求めた。

このようにして得られた複合材のうち Ni-C については各温度で成形後、引張り試験を、Cu-C 複合材については引張り試験、高温引張り試験、衝撃試験、摩耗試験、熱膨張測定を行った。

図2に引張り試験片形状を示す。試験機はインストロン型で1mm/min. のクロスヘッドスピードで試験した。高温引張りも同様であるが、加熱は大気中で行い熱電対(B)を試験片に接触させ、所定の温度になってから15分間保持した後、試験した。

衝撃試験はシャルピー衝撃試験機で試験片はサブサイズのUノッチ付きとし、比較材としてPCD-50も共に試験した。

摩耗試験は西原式摩耗試験機を用いて、被摩耗材はS35C調質材(HRC46~47)で100%すべり、乾式、荷重30kgfの条件で試験した。なおここでも比較材としてPCD-50と純銅を共に試験した。

熱膨張測定は示差型熱膨張測定装置により、熱膨張係数が既知のアルミナ標準試料と未知のCu-C複合材の熱膨張差から求めた。なお試料は2.2×4.0×20mmで測定は真空加熱中(10⁻²~10⁻³Torr)で加熱速度が10℃/min.で行った。

また複合材の断面や引張り試験後の破断面を光学顕微鏡や走査電顕(SEM)により観察した。

3. 実験結果

写真1に得られたCu-C複合材の断面顕微鏡写真を示す。これを見ると比較的均一に炭素繊維が分散しており、これはメッキした繊維を拡散接合により成形

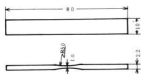


図2 引張り試験片

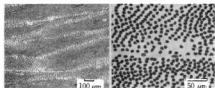


写真1 Cu-C複合材の断面顕微鏡組織

した複合材の特徴と考えられる。これはNi-C複合材についても全く同様であった。また、非常にまれではあるが、ごく局所的には繊維同士の接触、未成形部分もあった。

Ni-C複合材の成形温度と引張り強さの関係を図3に示す。成形温度が高くなると引張り強さも上昇し、800℃前後にピークがみられ、それ以上では漸減の傾向を示している。Ni-C複合材については塩田、渡辺らの報告があり、それによるとPAN系高強度炭素繊維の場合Niとの複合比は600℃成形が最適で、それより高温で成形するとNi中にCが拡散固溶し、複合材としての強さが急激に低下すること、またその時は炭素繊維の周囲に白環を生ずることなどを指摘している。本実験結果ではこれと異なり800℃付近にピークをもつ曲線となり、1000℃成形の場合でも白環はみられなかった。800℃以下の成形温度で引張り強さが低いのは、ポイド等がないように観察されても写真2のように破断面では接合が不十分な部分が観察される。800℃以上で引張り強さが低下する原因は現在のところ不明であるが渡辺らの指摘しているような傾向がNi-Cでは本質的にあるためかもしれない。

図4はCu-C複合材のVfと引張り強さの関係で、ほぼ直線的であるが、複合比ではVf=0.50で187kgf/cm²の引張り強さである

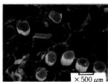


写真2 Ni-C複合材(600℃)

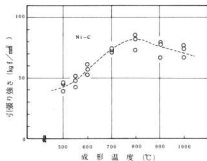
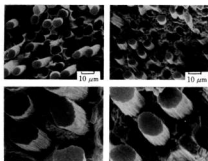


図3 Ni-C複合材の成形温度と常温での引張り強さ



Cu-C複合体

Ni-C複合体

写真3 各複合材の引張り試験後の破断面

繊維のプルアウトがみられ、界面接着強さが小さいことを示している。Cu-CではマトリクスがNiに比べて軟いため延性的である。

Cu-C複合材の高温引張り強さを図5に示す。引張り強さは300℃付近まで常温強度を維持しているが、それ以上の温度では低下する。しかし500℃でも50 kgf/mm²の強さを有している。550℃をすぎると繊維の酸化が一段と激しくなるようである。

図6はシャルピー衝撃試験の結果でVfによる傾向は定かではないが、PCD-50に比べれば衝撃値はかなり大きくなっている。しかし破断の仕方を見ると写真4のように繊維の方向にせん断応力による破壊を生じている。衝撃値はこの破壊エネルギーも含んでおり、これがかなり大きいためVfによる傾向があらわれないのかもしれない。

図7に摩耗試験の結果を示す。(①)と(②)で大差はなくこのような被摩耗材で100%すべりの場合、PCD-50に比べて約1.5倍近く、純銅では4倍以上の耐摩耗性を示し、炭素繊維の耐摩耗性に対する効果であること

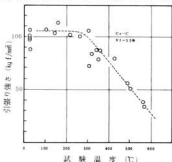


図5 Cu-C複合材の高温での引張り強さ

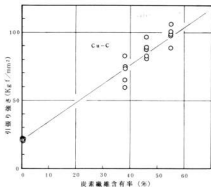


図4 Cu-C複合材の炭素繊維含有率と引張り強さ

は明かである。

図8はCu-C複合材の各Vfに対する熱膨張係数と試料採取方向の関係を示している。一方向材の試料採取方向に対する熱膨張係数は次式で表わされているが^{⑤)}

$$\alpha\theta = \alpha_1 \cos^2\theta + \alpha_2 \sin^2\theta$$

α_1 : 繊維方向の熱膨張係数
 α_2 : # と直角方向の#
 θ : 繊維方向に対する角度

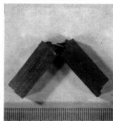


写真4 衝撃試験後のCu-C複合材のようす

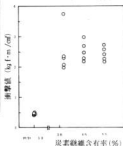


図6 Cu-C複合材の繊維含有率と衝撃値

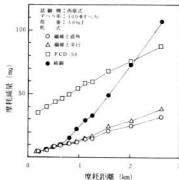
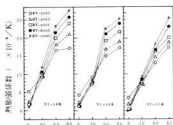


図7 Cu-C (Vf=55%) 複合材の摩耗特性



繊維方向に対する試料採取方向(角度°)

図8 各炭素繊維含有率での試料採取方向と熱膨張係数

Cu-C複合材ではそれは室温からきわめて低い(100°C位)温度範囲で、それ以上では異なる。

図8の0°方向(繊維方向)のみをVFに対してみると図9のようなになる。これを見るとVFが大きくなると熱膨張係数は低くなる傾向はみられるもの本実験のVFの範囲内ではその変化は比較的小さい。R.T.(室温)~200°Cの範囲の熱膨張係数が最も大きくなっている。これは次の理由のためと考えられる。図10にCu-C複合材の熱膨張挙動の一例を示す。これによると複合材は300°C位までは熱膨張を続け、それ以上の温度になると収縮を示すようになり1000°Cでは0に近づいてくる。Cu-C複合材の熱膨張がこのように通常の金属材料とは異なってくる。図10についてはまず温度の低い範囲(R.T.~300°C)ではマトリクスの銅の強度も十分にあるため銅の熱膨張に繊維も引張られていくが、さらに高温になって銅が軟化してくると炭素繊維に引張られて収縮を示すのではないかと考えられる。いずれにしてもマトリクス金属と炭素繊維の膨張の釣り合いと界面の接合力とのバランスによって決まるものであり詳細はさらに今後、検討したいと考えている。

4. 結 言

CuとNiを電気メッキした炭素繊維を真空ホットプレスによる拡散接合法で複合材料を製作した。Ni-C複合材についてはその成形温度を、またCu-C複合材については種々の材料特性について検討した。その結果を要約すれば次の通りである。

(1)本実験に用いた炭素繊維にNiメッキしたものを真空ホットプレスで成形した場合、成形温度800°C付近で最も強い複合材が得られ、その平均引張り強さは82 kgf/mm²であった。

またCu-C複合材では95 kgf/mm²(VF≒55%)であった。

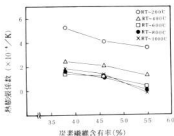


図9 繊維方向(0°)の熱膨張係数と炭素繊維含有率

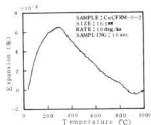


図10 Cu-C複合材の熱膨張の一例

(2) Cu-C複合材の高温引張り強さは300°C付近までは室温強度を維持し、それ以上になると低下するが500°Cでも50 kgf/mm²の強さであった。

(3) ショールビー衝撃試験でJISに基いた試験片では繊維方向にせん断破壊を生じ、正しく評価できないことがわかった。

またCu-C複合材の耐摩耗性は、本実験の条件下ではFCD-50と同等かそれ以上である。

(4) Cu-C複合材の熱膨張係数はVFによってある範囲では調整可能である。またその熱膨張挙動は300°C付近まで膨張し、それ以上の温度になると停滞ないし収縮する。

文 献

- 1) 見村, 奥野, 三浦: 日本金属学会誌, 38(1974), 757
- 2) 浅野, 大蔵: 日本金属学会誌, 49(1984), 1119
- 3) 川村, 坂本, 梶川, 恩田: 三菱重工技報, 13(1976), 496
- 4) 堀田, 渡辺: 日本金属学会誌, 38(1974), 788
- 5) 堀田, 渡辺: 日本金属学会誌, 38(1974), 794
- 6) 田谷, 荒川, 金井: 日本金属学会誌, 49(1985), 291

炭素繊維等の工業製品への応用に関する研究

炭素繊維の電磁波シールド効果

梶岡 秀, 松垣和生, 清水達磨, 好漢芳邦

Effects of Electromagnetic Interference(EMI) shielding by carbon fibers

KAJIOKA Hideshi, HIGAKI Kazuo, SHIMIZU Tatsuma, and YOSHIMITSU Yoshikuni

Carbon fibers have very high strength and good electric conductivity. Carbon fibers are expected of not only reinforced plastics but also EMI shielding materials. There were several reports measured EMI shielding about faced plastics composited chopped carbon fibers but few reports about long carbon fiber. So EMI shielding of commercial long carbon fibers (high strength, high modulus and metal coated carbon fibers) were measured. Meshes were made by roving of commercial carbon fibers were measured too.

1. 結 言

炭素繊維は強化プラスチックの繊維強化材として用いると非常に高強度の材料が得られる。また、電気伝導性が良いために、電磁シールド材としても利用できないかと期待されている。しかし、電磁シールド効果の測定値は、短繊維の炭素繊維をプラスチックに混入したものについては報告もみられるが、¹⁾ 長繊維については文献やカタログなどにもほとんどみられない。

そこで、各種市販の炭素繊維品の電磁シールド効果を測定した。さらに、ロービングで格子を作り、格子の大きさが電磁シールド効果に及ぼす影響もみた。これら長炭素繊維の基本的な電磁シールド効果の測定値を得ることによって、炭素繊維を使用する際の電磁シールド設計の資料としたい。

2. 実験方法

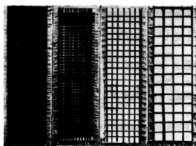
電磁シールド効果の測定に用いた炭素繊維は表1に示した。測定用試料は5cm×15cm×0.3cmのアクリル板に、写真1のように炭素繊維を配置した。炭素繊維の表面はエポキシ系の樹脂でコートされているので、端面に粘性の低い導電性ペーストを塗り、導電性テープでサンドイッチ状にはさみ導通をとった。各ロービングの体積固有抵抗の測定値も表1に示した。高強度炭素繊維の値はカタログ値^{2),3)}とほぼ一致したことから、上記の方法で導通は十分に取れているとおもわれる。

表1 電磁シールド効果の測定に用いた炭素繊維

材 料 名	商品名及び体積固有抵抗*	
高強度炭素繊維 (トレカT-300相当)	ロービング (6,000本)	ハイロフィルETIS3LSKA 三菱レイヨン㈱ ※ $2.1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$
	一方向織物	スタレ:三菱レイヨン㈱
	クロス織物	ハイロフィルクロス#3110 三菱レイヨン㈱
高弾性炭素繊維 (M-40相当)	ロービング (3,000本)	M-40:東レ㈱ ※ $2.0 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$
	クロス織物	トレカNL6864東レ㈱
金属被覆炭素繊維	ロービング (3,000本)	東レT-800:銅めっき厚 1.2 μm ※ $2.2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$
	ロービング (3,000本)	東レT-800:ニッケルめっき厚 1.2 μm ※ $5.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$

開口率とロービング間隔の関係を図1に示した。ロービング間隔が狭い時は開口率はほぼ直線的に増加するが、広くなると増加率は小さくなる。ロービング中の高強度炭素繊維数は6,000本で、高弾性及び金属被覆炭素繊維は3,000本である。そのために高強度炭素繊維の開口率は小さくなっている。また、高弾性に比し金属被覆炭素繊維が小さいのはめっきによって繊維径が大きくなっているためと思われる。

電磁シールド効果の測定方法はポツタス法で、近接



クロス織物 ロービングセンター間隔
(3mm) (6mm) (10mm)
写真1 高強度炭素繊維の測定用試料

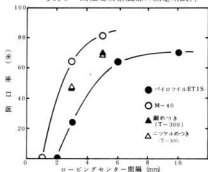


図1 開口率とロービング間隔の関係

界の電界と磁界、遠方界でのシールド効果を測定した。ボックスはタケダ理研社製の測定器、シンセサイザー及びスペクトラムアナライザーはヒューレットパッカード社製を用い、10～1000MHzを測定した。

3. 実験結果と考察

高強度炭素繊維の電磁シールド効果の近接界の電界と磁界の測定結果を図2、図3に、遠方界を図4に示した。近接界の電界では低周波域でシールド効果が大きく、クロス織物の場合、1000MHzで最高の60dBとなった。ロビング間隔が大きくなるに従いシールド効果が最大となる周波数は高周波側へ移行し、シールド効果も小さくなり、間隔が10mmでは約20dBに低下した。500MHz以上の高周波域ではシールド効果は20dB以下で、ロビング間隔の影響もほとんどみられなくなった。近接界の磁界のシールド効果は電界のシールド効果に比べて小さい。特にクロス織物以外では小さく、ロビング間隔による差も殆どみられなくなった。遠方界では近接界の電界と逆に、

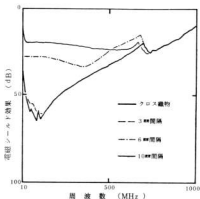


図2 高強度炭素繊維の電界(近接界)のシールド効果

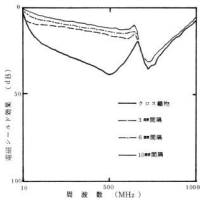


図3 高強度炭素繊維の磁界(近接界)のシールド効果

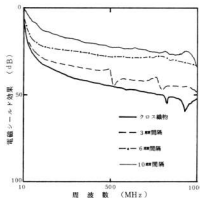


図4 高強度炭素繊維の遠方界のシールド効果

周波数が高くなるとシールド効果は大きくなった。また、全周波数域でクロス間隔が大きくなるに従いシールド効果も低下した。

一方向織物の電磁シールド効果の測定結果は図に示していないが、シールド効果は悪かった。特に近接界の磁界ではまったくシールド効果は無かった。

高弾性炭素繊維の近接界の電界の電磁シールド効果の測定結果を図5に示した。クロス織物のシールド効果は高強度炭素繊維のクロス織物とほとんど一致した。しかし、クロス間隔が8mm、5mmの両者とも開口率が高強度炭素繊維と比し大きいため、シールド効果は小さくなった。近接界の磁界のシールド効果も、遠方界のシールド効果も高強度炭素繊維と同様なシールド特性を示した。高弾性炭素繊維は電気伝導度が良いという報告^{2),4)}がみられ、シールド効果も良くなると期待されたが、我々の測定では体積固有抵抗の測定値もほぼ同じ値を示し、シールド効果もほぼ同様な結果を示した。

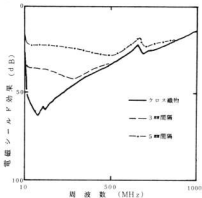


図5 高弾性炭素繊維の電界（近接界）におけるシールド効果

金属被覆炭素繊維の電磁シールド効果の測定結果は図6に示した。高弾性炭素繊維のロービング間隔3mm、5mmと比しシールド効果の向上はわずかしみられない。開口率は金属被覆炭素繊維が小さいことを加味すると、体積固有抵抗は約1/10であるが、電磁シールド効果はほとんど差がないと思われる。同様にニッケル被覆の体積固有抵抗は銅被覆の約2.5倍であるが、電磁シールド効果の差はほとんどみられない。

近接界の磁界、遠方界の電磁シールド効果も高強度及び高弾性の炭素繊維と比べわずかな向上しかみられ

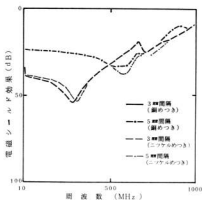


図6 金属被覆炭素繊維の電界（近接界）におけるシールド効果

なかった。

4. 結 言

電磁シールド効果の測定結果をまとめると、(1) クロス織物のシールド効果は、測定条件（近接界の電界、磁界、遠方界及び周波数）によって異なった。(2) 開口率が大きくなればシールド効果が低下するのは当然のことであるが、測定条件によって低下率は異なった。特に磁界（近接界）での低下は著しかった。(3) 一方向織物は、クロス織物の開口率とほぼ等しいが、シールド効果はかなり低下した。(4) 高弾性炭素繊維は高強度炭素繊維とほぼ同様なシールド効果しか示さなかった。(5) 金属被覆炭素繊維はロービングで格子状に配置して用いると、無被覆の炭素繊維と比べ、著しいシールド効果の向上はみられなかった。

実務的なノイズ発生は、100MHz以下の電界ノイズがほとんどである。クロス織物、ロービング間隔3mmの高弾性及び金属被覆炭素繊維とも400MHz以下では40dB以上のシールド効果を示すことから、これら炭素繊維は電磁シールド材としても用いることができると思われる。

文 献

- 1) 田中ら；工業材料，**29**，12，p44（1981）
- 2) 技術資料，炭素繊維トレカCPO5R3
- 3) カタログ，GRAPIL data sheets
- 4) 多加谷ら；プラスチック，**33**，2，p56（1982）

炭素繊維等の工業製品への応用に関する研究 ハイブリッドCFRPの諸特性

好満芳邦, 丸下清志, 田谷征雄, 関 守雄

Testing Date of Hybrid CFRP

YOSHIMITSU Yoshikuni, MARUSHITA Kiyoshi, TADANI Isao, and SEKI Morio

In this paper, test data arranged from many experimental results of composites were showed simply. Those data were divided under four heads. Each head was as follows:

- (1) Mechanical properties of composites used various fibrous materials.
- (2) Long term heat resistance of hybrid composites and matrix resins.
- (3) Abrasion data of composites and other plastics.
- (4) Dielectric strength and insulation resistance of hybrid composites.

1. 諸 言

ここでは、市販の各種繊維基材および広島県立福山繊維工業試験場が試作した織物等を用いた積層板の機械的特性、長期耐熱性、耐摩耗特性、および電気的特性（主として絶縁特性）の4項目について、当所で行った実験結果の一部を紹介する。紙面の関係でデータを中心とした報告にとどめる。

2. ハイブリッドCFRPの諸特性

2.1 各種積層板の機械的特性

1) 一方向強化積層板の引張特性

図1に引張試験の結果を示す。検体数は各5本である。横軸に示した基材の詳細を表1に示す。

表1 一方向繊維基材の織物特性

品名	試作	重量 %	ハイブリッド内容 重量(%)配分
Hybrid Iami	LJK324MI	580	CF15, GF15 (UD)+M100
Hybrid A	試作	235	CF95(UD)+GF Cloth140
Hybrid B	試作	132	タテCF 122, ココKF 5.5
UDCF Cloth A	# 3310	165	タテCF ココGF 織織
UDCF Cloth B	# 6190	160	タテCF 160
Ashove (KF)	K150-UD	155	タテKF 155
Ashove (CF)	C200-UD	204	ココCF 204

応力の方向にCF配向の高い材料が強さを発揮しているが、織物設計によっても複合材の特性は変わる。

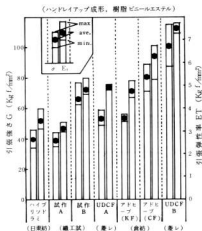


図1 各種一方向強化積層板の引張特性

2) 繊維基材と層間せん断強さ

層間せん断強さは複合材料のような異方性材料にとって重要な特性であるが、繊維基材の特性に支配される傾向がある。図2に繊維基材別の層間特性を示す。層間の接着力よりも剛性の寄与が大である。

3) 一方向Hybrid材の繊維配向角と機械的性質

ここでは、前出のハイブリッドタミを配向積層した成形板についての曲げ特性を示す。特徴は応力方向がCFの配向角から45°以上ずれてもベースのGF基材があるため、特性が極端に落ちないことである。

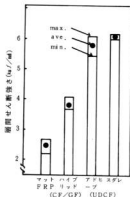


図2 繊維基材別層間特性

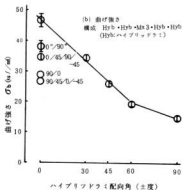
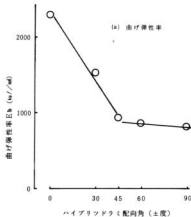
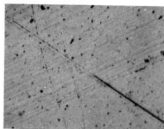


図3 ハイブリッドラミ配向積層と曲げ特性

図3 (a) に曲げ弾性率のCF配向角による変化を、同 (b) に曲げ強さを示す。曲げ弾性率が45°まで急激に低下しそれ以降ほとんど低下しないのに対して、曲げ強さは90°までゆるやかに低下する傾向を示した。

2.2 長期耐熱性

写真1に180℃で3週間経過後の炭素繊維クロス・ガラスマットサンドイッチ積層板の表面の50倍拡大による繊維(CF)露出の状況を示す。オルソ系が著し



(未処理)

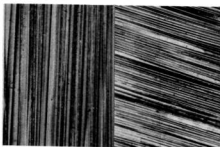


写真1 180℃×8W 熱処理の表面拡大写真(×50)

い繊維露出の状況を示している。図4に樹脂注型板の熱処理による減量曲線を示す。120℃では変化がなく、それより高温側で減量が大きいの。

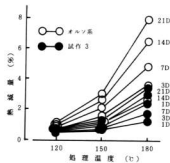


図4 処理温度による熱減量曲線

図5は注塑板の曲げ強さの変化を示す。イソ系不飽和ポリエステルは150℃で劣化が著しい。

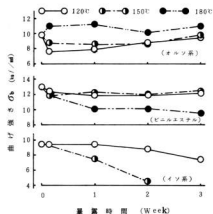


図5 樹脂タイプ別長期耐熱性

2.3 耐摩擦特性

ISO型スガ摩擦試験機NUS-ISO-2を用いて摩擦試験を行った。図6に使用したエメリー紙の表面粗さと樹脂の摩擦痕の粗さを示す。荷重の影響はほとんど認められなかった。仕上面の粗さとしても参考になる。標準試験方法によると、エメリー番手#180、荷重

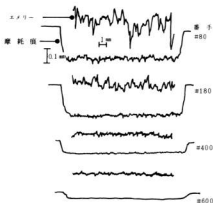


図6 エメリー紙および摩擦痕(樹脂)の表面粗さ

ど認められなかった。仕上面の粗さとしても参考になる。標準試験方法によると、エメリー番手#180、荷重

500gという条件が採用されている。その妥当性を検討したのが、図7および図8である。番手および荷重のちがいでより摩擦結果を求めた。荷重は1kgまで有効であり、それ以上は差を認めなかった。

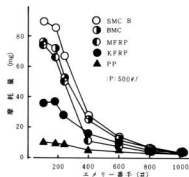


図7 エメリー番手による磨耗量の変化

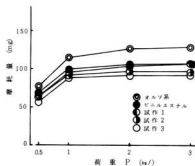


図8 荷重と磨耗量の関係

プラスチック系材料に関しては、パラツク等の問題を考慮した場合、エメリー紙の粗さが比較的正常範囲に留まっている#180が妥当であり、かつ、荷重は500gが妥当である。

図9にエメリー番手#180および#600、荷重500gの場合の各種プラスチックの摩擦結果を示す。環境条件はいずれも $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $50 \pm 10\% \text{RH}$ である。これから、摩擦材の表面粗度の影響が大きく、相対的に粗度の差と磨耗量が必ずしも比例していないことがわかる。つまり、摩擦材の種類によって傾向は変わる。

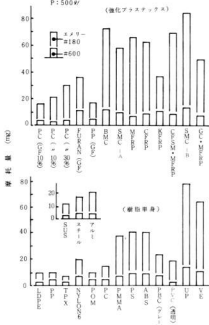


図9 各種プラスチックの摩耗特性

2.4 電気的特性(絶縁体特性)

1) 絶縁抵抗

体積固有抵抗は炭素繊維の存在により低下するが、低電圧における測定では高い抵抗値 ($10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上)を示した。これは表面処理されたエポキシ皮膜のため絶縁された繊維束として樹脂中に分散しているためである。しかし500V以上の高電圧下では、試料厚さによって異なるが、材料内部が絶縁破壊を受けて測定器では測れない易導電性を示す。樹脂単身あるいはGFRP化した場合の抵抗値は $10^{14} \sim 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ のオーダーであり、ビニルエステル>インソ系>オルソ系の序列で絶縁性能を発揮した。

2) 絶縁破壊電圧

樹脂の化学的組成から決まってくる特性である。又、ガラス繊維等の絶縁性の高い補強用繊維で強化した場合、材料の機械的的特性が向上することから破壊電圧は上昇する。ここでは樹脂の影響が大きく、化学的組成によって、特性は支配される。表2に実験結果を示す。S.D., C.V. は標準偏差および変動係数である。

表2 各種樹脂および積層板の絶縁破壊電圧

項目	樹脂別	(kV/mm)					
		オルソ系	インソ系	ビニルエステル	試作1	試作2	試作3
注型板	max.	7.8	17.1	19.3	25.5	20.9	21.8
	min.	7.7	15.2	15.8	20.3	16.1	15.0
	ave.	7.7	16.4	18.3	23.0	18.3	18.4
	S.D.	—	0.76	1.7	2.8	1.8	2.5
	C.V.(%)	—	4.6	9.2	12	10	14
Fマット	max.	8.6	23.4	25.8	29.4	28.0	28.4
	min.	7.3	17.9	21.0	25.1	24.7	22.5
	ave.	7.7	20.7	24.2	27.0	26.2	25.9
	S.D.	0.8	1.9	1.8	1.4	1.7	2.1
	C.V.(%)	9.7	9.3	7.4	5.2	6.4	8.1
方向	max.	0.7	1.7	1.6	2.4	2.3	4.1
	min.	0.6	1.5	1.4	2.2	1.3	2.5
	ave.	0.6	1.5	1.5	2.3	1.7	3.5
	S.D.	0.06	0.08	0.12	0.1	0.5	0.6
	C.V.(%)	8.9	5.3	7.9	4.3	30	16
直文CF織物	max.	0.7	1.8	3.6	4.6	3.1	3.7
	min.	0.7	1.5	2.1	4.3	1.4	2.5
	ave.	0.7	1.6	3.1	4.4	2.2	3.2
CF織物	S.D.	—	0.1	0.5	0.1	1.2	0.5
	C.V.(%)	—	6.7	17	2.9	44	15

オルソ系は他の樹脂に比べて極端に低い値を示した。炭素繊維は絶縁体固連に誤って用いた場合必然的に事故につながることを示す結果となった。

2.5 その他

炭素繊維の熱伝導特性を評価する目的で各種積層板を作成し室温における熱伝導率を計測したが、GFRPおよびCFRP間に顕著な差を認めず、大略、 $0.15 \sim 0.30 \text{ kcal/mh}$ の範囲内の値を示した。

3. 結 言

ハイブリッド材料特性、長期耐熱性、耐摩耗性、電気的性質のうちの絶縁特性等の実験結果の一部を紹介した。複合材料は非常に幅広く、かつ変化に富む材料であって、先進複合材料等の先端技術の影響を強く受けるものである。従って、特性データの収集に関しては無限の拡がりをもっていると言っても過言ではない。今後とも企業化に役立つ特性データについて継続して収集し、公表する予定である。

昭和61年8月25日印刷

昭和61年9月1日発行

編集兼
発行 広島県立西部工業技術センター

〒737 呉市西中央3丁目6-21

TEL 呉局(0823)㊟6438 ㊞

支所 〒720 福山市山手町砂畑

TEL 福山局(0849㊟)2732

印刷所 ㈱ アイ・エイチ・アイ・プリント

〒737 呉市昭和町2番1号

TEL (0823) ㊟6333 ㊞