

ISSN 0386-863X

工業技術研究報告書

Report of the Industrial Research Institute of NIIGATA Prefecture No.32 2003

No. 32 2003



新潟県

新潟県工業技術総合研究所

Industrial Research Institute of NIIGATA Prefecture

〒950-0915 新潟県新潟市鎧西 1-11-1

1-11-1 Abumi-nishi ,Niigata City,Niigata 950-0915,Japan

目 次

I 戦略技術開発研究

1. 高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第3報）
2. 高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第4報）
3. マグネシウム合金による複雑形状部品の鍛造
・プレス加工技術の確立と用途開発
4. 逐次張出し成形機と成形法に関する研究
5. 高速デジタル動画像伝送システムの開発（第2報）

II 共同研究

1. 活性白土製造後の廃酸の利用に関する研究（第1報）
2. 活性白土製造後の廃酸の利用に関する研究（第2報）
3. 有機金属の積層コンデンサーへの応用研究
4. YAG レーザによる薄物板金溶接に関する研究
5. 小型携帯機器用 DC-DC インダクタに関する研究

III 信越スーパーテクノゾーン推進研究

1. 高出力 YAG レーザーを用いた溶接技術の研究
ー超軽量金属（アルミニウム合金・マグネシウム合金）の
レーザー溶接技術に関する研究ー

IV ISO14000 に対応する商品企画設計システム構築事業

1. エコデザイン（環境配慮型設計）による商品開発研究ー2

V 実用研究

1. 光触媒の担持応用技術とその評価
2. 難削材の穴あけ加工に関する研究（ガラス板の穴あけ加工）
3. 高性能刃物技術に関する研究
4. 県産スギ材製品の耐候性に関する研究
5. N-コンポ実用化試験
6. IT活用織物企画設計支援システムの開発
（第2報 織物企画表作成支援システムの開発）
7. IT活用織物企画設計支援システムの開発
（第3報 見本織機自動制御システムの開発）
8. 複合素材織物生産基盤強化のための
ビームツーマシンサイジング技術の確立研究
9. 環境と作業性に優れた接合法の研究

VI 提案公募型技術開発研究

1. 放物面型 THz 帯受信システムの開発
2. 超精密平面研削盤の開発
3. 拘束強加工によるチタンの結晶粒微細化技術の
開発およびその加工プロセスへの応用展開
4. 移動分散協調作業用汎用小型ロボットプラットフォームの開発
5. マグネシウム合金を中心としたエコマテリアルの接合技術の開発

戦 略 技 術 開 発 研 究

高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第3報）

丸山 英彰* 長谷川 雅人* 斉藤 博* 三村 和弘* 田村 信*

Development of Precision 3-D Laser Cutting System

MARUYAMA Hideaki*, HASEGAWA Masato*, SAITO Hiroshi*, MIMURA Kazuhiro* and TAMURA Makoto*

抄 録

高精度三次元レーザ切断加工システムを実用化するため、切断線補正データ作成システムの開発を行った。一方、制御システムの変更及び加工機の改造を行い、加工機の運動精度と切断精度の関連を調べると共に切断円間ピッチの収縮量を調べ、切断速度と材質による違いを明らかにした。またワーク固定治具を石膏の注型により迅速に作る方法を開発した。さらに、レーザ変位計を用いた加工機上でのワーク形状計測システムを開発した。これらの開発により、高精度三次元レーザ加工システムの実用化に目途がついた。

1. 緒言

本研究は平成12年度より、精密プレス成形品のトリミングを、従来のプレス切断からレーザ切断に置き換えるシステムを開発することを目的に実施してきた。昨年度までは主に高精度三次元レーザ加工機の開発を行った。今年度は実用化に近づけるため以下の項目について開発、改造、試験を行った。

- 1) 切断線補正データ作成システムの開発
- 2) 制御システムの変更及び加工機の改造
- 3) 加工機の運動精度と加工精度の測定
- 4) 切断円間ピッチ精度の測定
- 5) ワーク固定方法の開発
- 6) 機上計測方法の開発

以下項目毎に詳細を記す。

2. 切断線補正データ作成システム

プレス製品はスプリングバックや金型クリアランス等により、必ずしも設計どおりにはできていない。従って高精度三次元レーザ切断加工は単に設計面の上に描かれた切断線に正確に沿ってレーザ加工するだけでは実現できない。設計面と実際

の製品面にはズレやギャップがあるからである。そこで、実際の成形品の形状に合わせて精度良くレーザ切断するため、切断線補正データ作成システムを開発した。

詳細は研究報告書第4報に掲載。

3. 制御システム及び加工機

昨年度までに開発した制御システムでは切断線補正データ作成システムにうまく対応できないため、制御システムをファナック（株）のNC及びモーターを使った制御方式に変更した。それに伴い、加工機回転アームのC軸とα軸のオフセット角もファナックNCが対応できる45°に改造した。また、発振器に標準で装備されているシャッターでは反応が遅すぎて切断加工には不向きなため、ガルバノミラーを用いた高速シャッターを新たに設けた。このシャッターは信号入力から10 msec以内での開閉が可能である。

図1のような一点指向方式のレーザ加工機の回転軸角度とノズル方向の関係式を示す。

ノズル方向のX,Y,Z方向余弦を各々 n_1, n_2, n_3 とすると n_1, n_2, n_3 は以下の式で求められる。

* 研究開発センター

$$\begin{aligned}
n1 &= -\sin \theta \cos \theta \cos \alpha \cos C + \sin \theta \sin \alpha \sin C \\
&\quad + \sin \theta \cos \theta \cos C \\
n2 &= -\sin \theta \cos \theta \cos \alpha \sin C - \sin \theta \sin \alpha \cos C \\
&\quad + \sin \theta \cos \theta \sin C \\
n3 &= \sin^2 \theta \cos \alpha + \cos^2 \theta
\end{aligned}$$

この関係から C 、 α の角度を逆変換で求め、任意方向にノズルを向けることができる。

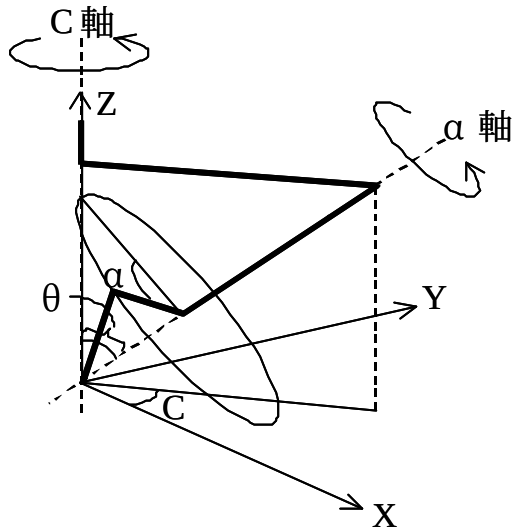


図1 一点指向方式の加工機の模式図

4. 加工機の運動精度と切断精度

加工機の運動精度については前報で既に報告しているが、制御方式及び加工機回転アームの改造を行ったため、改めて運動精度を調べた。

ハイデンハイン社製KGMによりXY平面上で円運動をさせたときの精度を調べると 500mm/min で運動したとき半径0.5mm 以上では真円偏差が10 μm以内であった。

また、DBB試験によりJIS-B-6336-6に基づいて5軸同時運動の精度を調べたところ、トレランス10 μmの直線補間経路で運動させた場合、真球からの偏差は19 μmであった。(図2参照)

以上により、加工機の運動精度は5軸制御においても目標の±10 μmを達成できたと認められる。

しかし、運動精度と実際の切断精度とが一致するとは限らない。そこでその関連を調べるため、同じ直径25mmの平面円運動試験、平面丸穴切断試

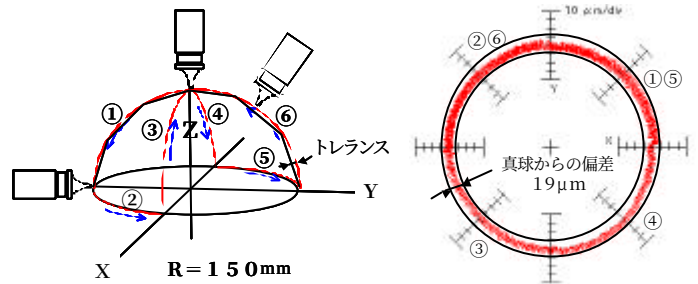


図2 5軸同時運動精度測定方法とその結果



図3 切断精度測定用サンプル

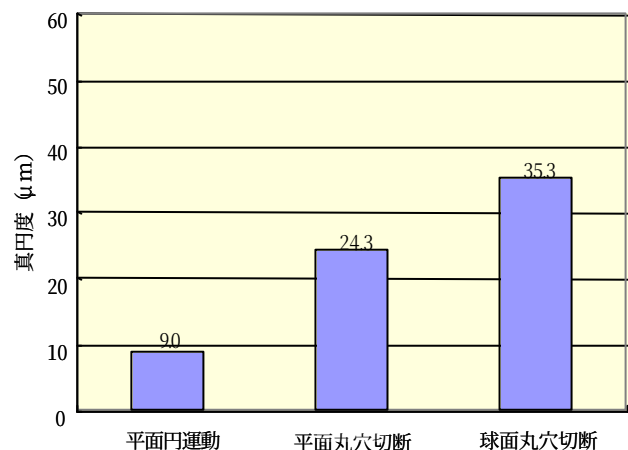


図4 運動精度と切断精度の比較 (φ25mm)

験、球面丸穴切断試験を行った。図3に切断精度測定のための加工サンプルを示す。平面丸穴切断試験はXY平面上の2軸同時運動での、球面丸穴切断試験はノズルを球面に垂直に向けながらの5軸同時運動での切断である。運動経路はトレランス1 μmの直線補間で作った。切断精度の評価は切り取った切断面の真円度により行った。図4に運動精度及び切断精度の比較を示す。平面円運動時(真円度 9.0 μm)に比べ、平面丸穴切断(真円度 24.3 μm)では約15 μm真円度が悪くなった。

切断面の粗さや切断幅のばらつき、熱変形などがその原因と考えられる。また、球面切断での真円度は $35.3\mu\text{m}$ であった。5軸制御での運動精度（真球からの偏差 $19\mu\text{m}$ ）より約 $16\mu\text{m}$ の精度劣化が認められるものの、目標の切断精度 $\pm 50\mu\text{m}$ は十分に達成できたと判断される。

5. 切断円間ピッチ精度

切断した円間ピッチ精度については機械運動精度がそのまま保てるかどうかを確認するため、図

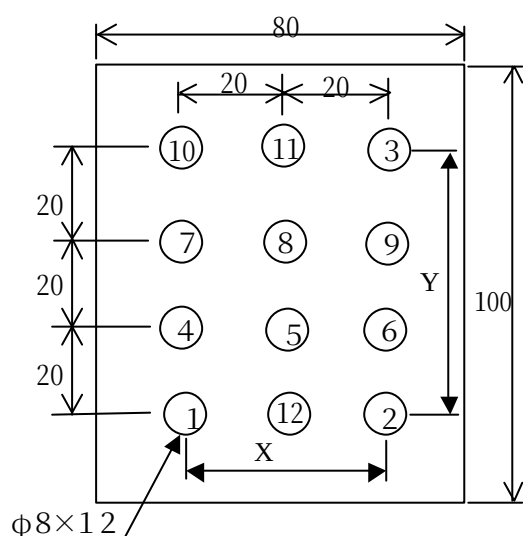


図5 切断ピッチ測定用テストピース

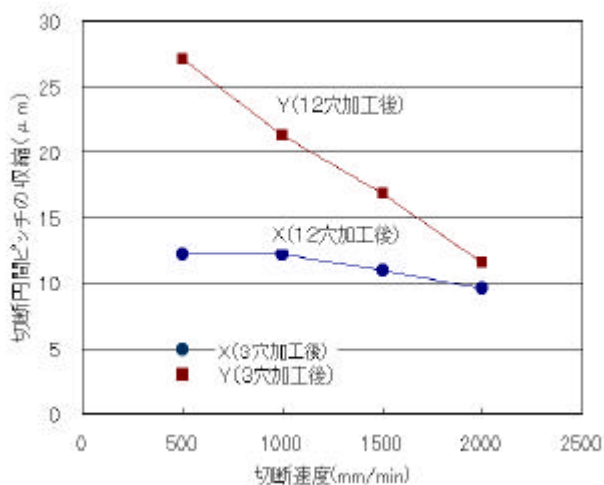


図6 Ti板(t0.8mm)切断時の円間ピッチ誤差

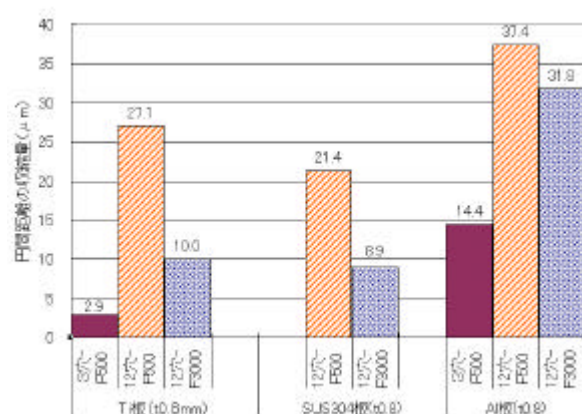


図7 各種板材切断時の円間ピッチ誤差

5に示すような平板に開発したレーザ加工機で丸穴をあけ、円間ピッチ精度を調べた。ピッチ精度の測定は、オリンパス光学工業(株)製測定顕微鏡STM5-322を用いた。加工順序は図5に示した番号順とし、1-2間をX、2-3間をYとして測定した。1から3までの3穴を加工した段階のものと、12穴全部を加工したものを測定した。

Ti板を加工した例について図6に示す。この場合、レーザ光波形は全て矩形波を用いた。3穴だけを加工した時点では数 μm 程度しか収縮は無かったが、12穴全てを加工してから測定すると、500mm/minではX12 μm 、Y27 μm の収縮があった。1, 2の間に1個、2, 3の間に2個の穴を加工していることが収縮を大きくしている原因と考えられる。また、加工速度を上げるに従って収縮量はX、Y共に小さくなった。

図7にTi、ステンレス、Al合金板材を500mm/min及び3000mm/minで切断加工した場合のYの収縮量を示す。いずれも加工速度が大きい方が収縮量は小さかった。材質別ではAl材が最も収縮量が大きかった。Tiやステンレスでは切断速度が遅いほど切断部の熱による変色幅が大きかったことから、レーザ切断時の収縮は切断隣接部分への熱の伝導が主な原因と考えられる。熱伝導率はAl合金(116W/m/K)がTi(18W/m/K)やステンレス(15W/m/K)に比べて1桁大きく、レーザ加工熱が切断隣接部分に伝わりやすいため、熱による収縮が大きくなるものと推察される。

これらのことから、ワークの切断ピッチ誤差を小さくするためには、ワーク中心付近から順番に加工を開始し外側の加工を最後に行うこと、加工速度をなるべく大きくすることが必要と考えられる。また、本開発機はCWが基本のYAGレーザー発振器を用いているが、熱の加工部周辺への伝導を防ぐという観点から、短時間に高密度エネルギーを与えることのできるパルスレーザーやQスイッチレーザーの可能性も検討する必要があると考えられる。

6. ワーク固定方法

高精度な切断をするためには、ワークを確実に再現性良く固定できる方法を開発することが必要である。本開発では高精度な固定治具を迅速に製作するため、石膏の流し込みによる方法を開発した。用いた石膏は、吉野石膏(株)製ハイトーンB L型で、硬化時の膨張が0.02%以下の精密型取りが可能である。

図8に示すようにプレス成形品の裏面が上になるようにセットし、その上に4枚の板で囲いを作った上、油粘土を用いて石膏が漏れないように目張りをした。また、固まってから脱型しにくそうなところに油粘土で肉盛りをした。規定の比率で水に石膏を溶かし、6～7分間掻き回した後、型枠の中に流し込んだ。1～2時間で固まってから脱型し、フライス盤などを用いて切断部位にアシストガス逃げの溝加工を施した後、銅プレートに固定した。こうして作った石膏型固定治具にワークをかぶせて良く押しつけるだけで左右10 μ m、上下30 μ m以下の再現精度で固定できた。ワーク

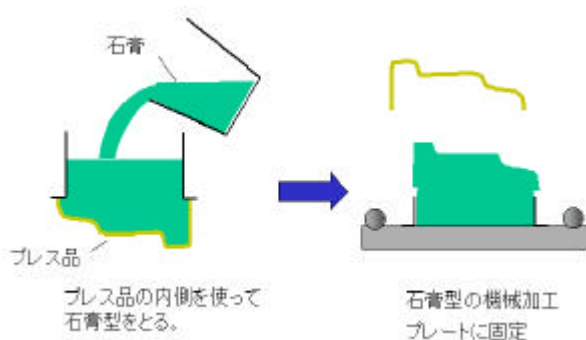


図8 石膏注型による固定治具の製作

の種類によってうまく設置できなかったり切断時に浮いてきたりしたので、主要箇所をネジ止める必要もあった。

また石膏型は熱に弱く、レーザー光が当たる箇所は徐々に掘れたり脆くなって崩れたりするため、1個の石膏型固定治具では20個程度のレーザー加工が限界であった。

石膏型を用いる方法は納期、コスト、精度に優れた方法であるが、50個程度以上の数量が必要な場合には金属型を用いるのが適当と考えられる。

7. 機上計測

切断線補正データを作成するためには、実ワーク形状を三次元計測する必要がある。そこでレーザー加工機上でデータ作成に必要な部分だけを効率よく測定できるシステムを開発した。

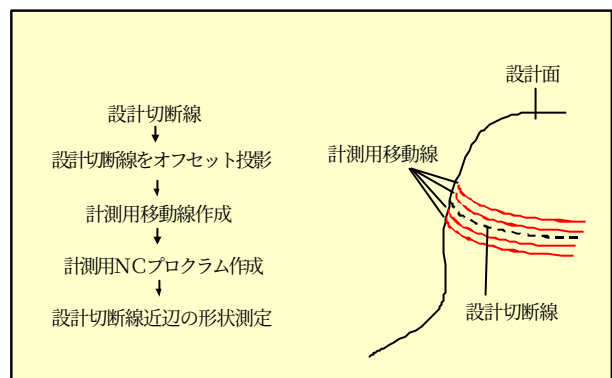


図9 計測移動線の作成と計測

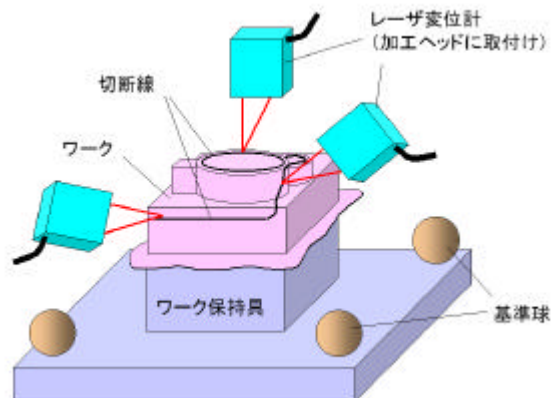


図10 機上計測のイメージ図

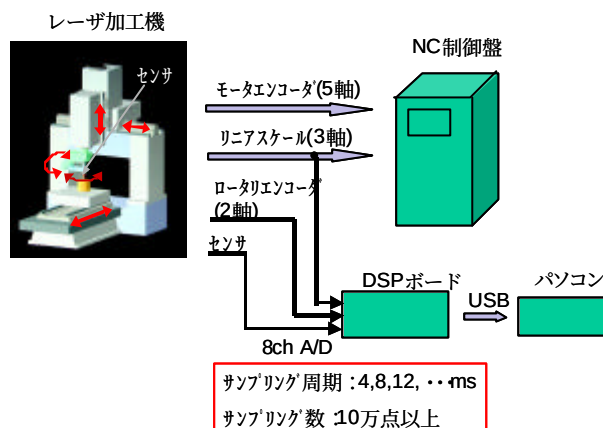


図 1 1 機上計測システムの概要

この計測方法はワーク全体の形状を測定しようというのではなく、設計切断線を投影するのに必要な切断線周辺だけを測定するものである。

図 1 2 に示すように設計切断線を一定量ずつオフセットすることにより設計面上に数本の新たな線を引き、これらの線をつないで計測移動線とする。センサーを計測移動線に沿って移動させることにより、切断線周辺のワーク形状を測定することができる。設計面とプレス成形品の位置の誤差はせいぜい数 mm なのでセンサーの測定レンジは小さくすることができ、結果的に高精度な計測が可能と思われる。

今回は計測センサーとして(株)キーエンス製レーザ変位計 LK-080、LK-2100 を用いた。測定範囲は $\pm 15\text{mm}$ とやや大きいのが、基準距離を大きく (80mm) 取ってワークとの干渉を避けることを優先した。機上計測のイメージを図 1 0 に示す。また機上計測システムの概要を図 1 1 に示す。加工機焦点位置 (X, Y, Z) 情報はリニアスケールから、 C, α の回転位置情報は専用のロータリーエンコーダから得て、センサーの変位情報と共にパソコンに取り入れた。

焦点位置座標を (X, Y, Z)、ワーク位置座標を (x, y, z)、ノズル方向の X, Y, Z 方向余弦を各々 $n1, n2, n3$ 、焦点位置からの変位を m とすると、 x, y, z は以下の式から求めることができる。

(θ, α, C については図 1 参照)

$$\begin{aligned} x &= X + m * n1 \\ &= X + m(-\sin \theta \cos \theta \cos \alpha \cos C) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \sin \theta \sin \alpha \sin C + \sin \theta \cos \theta \cos C) \\ y &= Y + m * n2 \\ &= Y + m(-\sin \theta \cos \theta \cos \alpha \sin C \\ &\quad - \sin \theta \sin \alpha \cos C + \sin \theta \cos \theta \sin C) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z &= Z + m * n3 \\ &= Z + m(\sin^2 \theta \cos \alpha + \cos^2 \theta) \end{aligned}$$

変位センサーを使った場合、変位センサー光軸と C 軸を一致させることは困難なため、 C, α 軸を回転させると計測用レーザ光の狙い位置が不定となる。従って 1 回の測定の間は C, α の回転軸は固定しておく必要がある。また同時に 3 個の基準球もその角度で測定しておくことで、測定データの位置の確定が可能となる。

図 1 2 にカメラ窓部の計測移動線を作成したものを、図 1 3 にこの計測移動線に沿って計測し、データをポリゴン平面に変換したものを示す。

これらにより、機上計測の可能性が実証された。

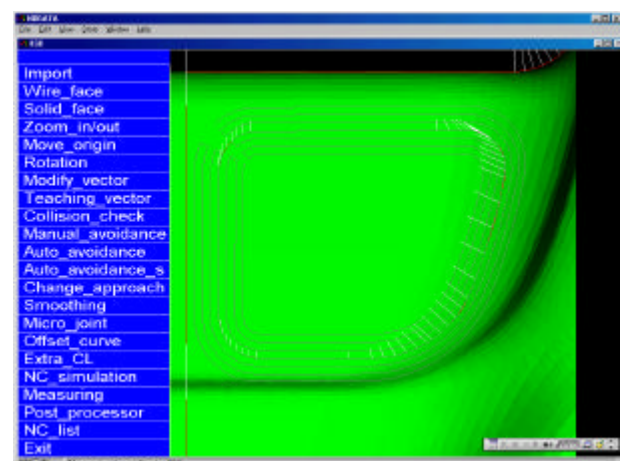


図 1 2 計測移動線の作成 (カメラ窓部)

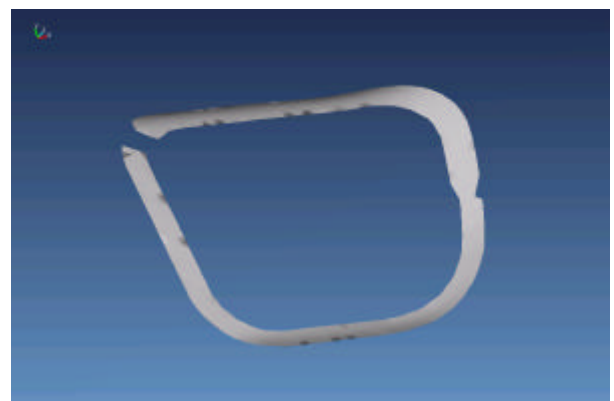


図 1 3 計測移動線に沿った計測結果(ポリゴン)

当センターでは加工用レーザと同軸に照射されるガイド光を使って同軸計測することについても検討中である。これが実現すると回転軸を動かしながらの連続計測が可能となるため、常に計測光を設計面に垂直に当てながら計測することができ、測定精度がさらに向上すると共に計測時間の短縮にも寄与ものと期待される。

8. 結言

- (1) 切断線補正データ作成システムにより、実際の成形品に合わせた切断線を作成し、精度良く切断できるようになった。
- (2) 開発した加工機は、5軸制御運動時においても $\pm 10\text{ }\mu\text{m}$ 以内という精度目標を達成することができた。
- (3) 丸穴切断試験の結果、5軸同時運動での切断においても $\pm 50\text{ }\mu\text{m}$ という切断精度目標は余裕を持って達成することができた。
- (4) 切断円間ピッチの狂いは切断速度が遅いほど大きくなることがわかった。パルス発振レーザ等が有効な解決手段と思われる
- (5) 石膏の流し込み成形により、高精度な固定治具を短時間に作ることができたが、耐久性に問題があることがわかった。
- (6) レーザ変位計を用いて加工機上で切断線周辺のワーク形状を計測する方法を開発した。
- (7) これらの成果をふまえ、明らかになった問題点を解決することにより実用化が達成されるものと思われる。

参考文献

- 1) 吉野、吉田、平石、板垣、佐々木、野村：「3次元レーザー加工機の高精度、短時間加工」新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書、N0.28、p.31(1999)
- 2) 吉野、長谷川、斉藤：「高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第1報）」新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書、N0.30、p.16(2001)

- 3) 丸山、長谷川、斉藤、三村、田村：「高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第2報）」新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書、N0.31、p.9(2002)

高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第4報）

（高精度三次元レーザ切断加工システムの切断精度）

丸山 英彰* 長谷川 雅人* 斉藤 博* 三村 和弘* 田村 信*

Development of Precision 3-D Laser Cutting System

MARUYAMA Hideaki*, HASEGAWA Masato*, SAITO Hiroshi*, MIMURA Kazuhiro* and TAMURA Makoto*

抄 録

高精度三次元レーザ切断加工システムを実用化するため、切断線補正データ作成システムを開発した。当補正システムに具備する修正切断線作成機能、三次元座標変換機能、自動干渉回避機能、三次元オフセット機能、ピアスライン作成機能、NCデータ作成機能、等の機能を使うことにより、複雑なプレス成形品の実形状に合わせた切断プログラムを作成できた。この切断プログラムを用いて、本研究で開発した高精度三次元レーザ加工機により切断試験を行い、切断精度を測定した結果、既存のレーザ加工機に比べて大幅に加工精度が良いことがわかったが、主に外周部で熱変形が原因と思われる精度不良が見られた。

1. 緒言

従来、多くの金型を必要とするプレス成形品に対するトリミング加工を、短納期、多品種小ロット生産に適した、金型を必要としないレーザ切断加工に置き換えることを目的として、高精度三次元レーザ加工切断システムの開発を行っている。今回、高精度切断を実現するソフト面の方策として、切断線補正データ作成システムを開発した。本システムはレーザ加工機のオフラインティーチングシステム（CAM）で、プレス成形品の実形状に合わせた切断ができる点に大きな特徴がある。

本報では切断線補正データ作成システムの開発概要と、高精度三次元レーザ切断加工システムを用いたプレス成形品の切断精度について報告する。

2. 切断線補正データ作成システム

2.1 概要

切断線補正データ作成システム（以下、補正システム）は高精度を目的とした三次元レーザ加工機用のオフラインティーチングシステムである。

プレス成形品はスプリングバックや金型クリアランス等の影響で設計形状とは異なっている。そのため設計切断線からNCプログラムを作成する従来の

オフラインティーチングシステムでは、ワークと加工ノズルの干渉が生じたり、狙い位置のズレにより加工精度の劣化が起こるなどの問題があった。

補正システムでは設計形状と実際のワーク形状の位置合わせの後、設計切断線を実際のワーク形状に投影することにより修正切断線を作成し、この修正切断線によってNCプログラムを作成するため、ワーク形状に合った高精度な切断を行うことができる。

また、自動干渉回避や三次元オフセット機能を開発すると共にオフラインティーチングでは必須のピアスライン付与機能なども備えた。

補正システムの概要を図1に示す。

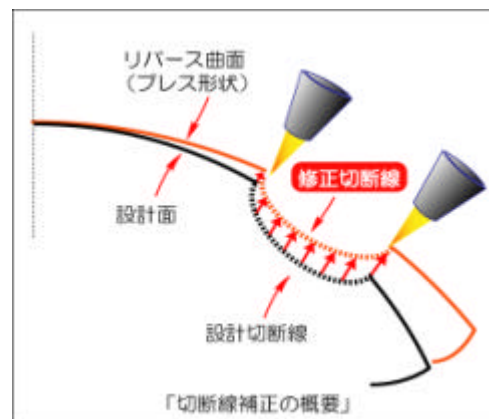


図1 切断線補正の概要

2.2 データ入力形式

設計曲面、設計切断線は IGES のサブセット JAMA-IF 形式とした。この形式は使用する要素を三次元形状の要素に限定してあるため、データ入出力時の問題が少ないことが特徴である。

三次元測定器で測定した点群をポリゴン化 (STL 形式) し、コンピュータ上で実際ワーク曲面を再現したものをリバース曲面とした (図 2)。リバース曲面は非接触三次元測定機 OPTON 社製 surf タイザ - 500 で取得した。

2.3 システムの流れ

以下に補正システムの流れを説明する。

2.3.1 設計曲面とリバース面の位置合わせ

設計切断線を投影するため、設計曲面と、実際のワークを再現したリバース曲面を重ね合わせ、位置合わせを行う。位置合わせは全体の誤差を最小とするベストフィット法などを用いることにより行うことができる。また、設計曲面とリバース曲面の誤差量をカラーマップで表示することも可能である (図 3)。

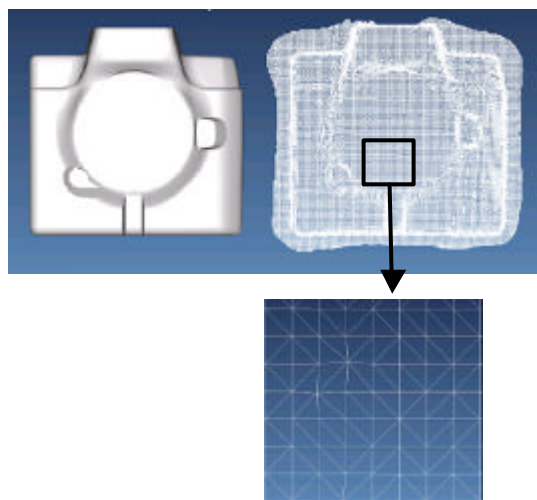


図 2 設計曲面 (左) とリバース曲面 (右)

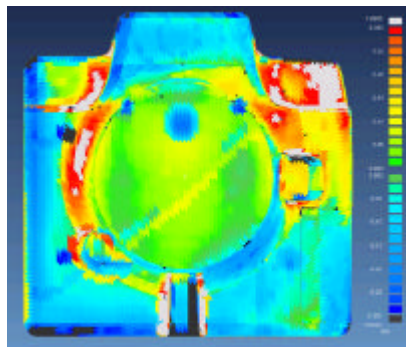


図 3 位置合わせ後の形状誤差カラーマップ

2.3.2 修正切断線の作成

設計切断線を実際のワークを再現したリバース曲面上に投影し修正切断線を作成する。投影方法は設計曲面の法線方向、XYZ 軸方向、任意方向を選択できる。目的とする精度を持った修正切断線を作成するためには、部位により適切な投影方法を選択する必要がある。カメラボディ (3. 三次元形状の切断精度参照) では、場所により適宜投影方法を使い分けて設計切断線を投影することで、設計どおりの精度で修正切断線を作成することができた。

2.3.3 通過点の作成

本システムで作成される NC プログラムは直線補完命令の連続で構成される。そのため誤差トレランスを指定して目標精度を維持するように修正切断線を直線近似し通過点を作成する (図 4)。この通過点には、XYZ の座標情報の他、設計面法線方向を示すベクトル情報も含まれている (図 5)。

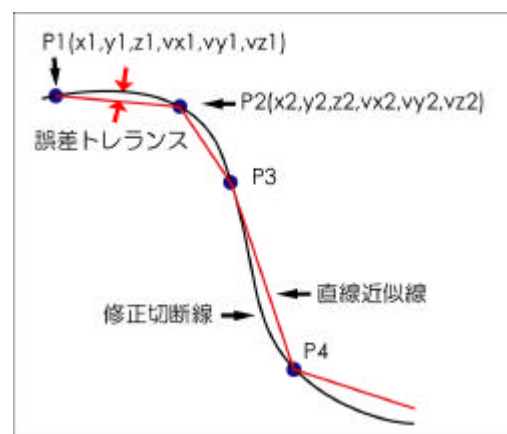


図 4 修正切断線の直線近似

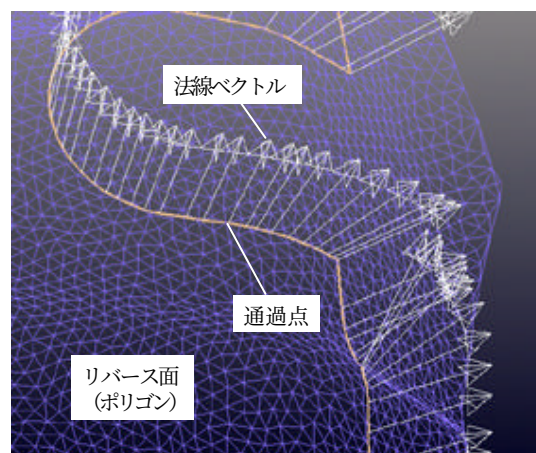


図 5 修正切断線上の通過点と法線ベクトル

2.3.4 オフセットとピასライン

レーザ加工では加工切断幅分を補正して切断経路を決める必要がある。修正切断線は3次元形状をしたリバース面上に描かれているため、3次元的なオフセットを行わなければならない。補正システムでは、連続する通過点の位置情報とベクトル情報を基に3次元オフセット補正を行えるようにした(図6)。

また、レーザ加工に必要なピასラインを、位置、長さ、形状を指定して設けることができる。

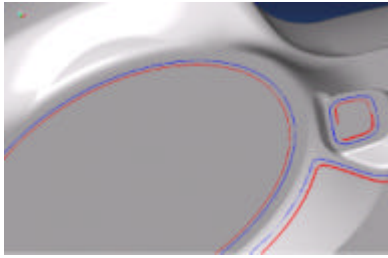


図6 切断線のオフセット

2.3.5 座標変換処理

従来のオフラインティーチングシステムでは、加工機上のワーク位置とNCプログラムは関連がないため、ワーク位置にNCプログラムを合わせる必要があった。位置合わせは目測で行うため、位置合わせ誤差が加工精度劣化の一因となっていた。

本補正システムでは、ワーク固定治具上の3個の基準球をワーク形状と同時に測定してリバース面を作成する(図7)とともに、加工機テーブル上に設置した際にも基準球をタッチプローブで測定し(図8)、この基準球位置を基に自動的に座標変換処理を行っている。これによりワーク位置に合致したNCプログラムを作成することができる。

2.3.6 自動干渉回避

加工時にはノズルは基本的に加工面に対し垂直に向けられるが、そのままでは加工ノズル等とワークの間に干渉が起こることがあるため、干渉を事前にチェックし、回避しておく必要がある(図9)。市販のオフラインティーチングシステムでは、干渉のあるポイント毎に手動で干渉回避操作を行うのが一般的で、ワークが複雑形状の場合、多大な労力を伴う。本補正システムでは、手動での干渉回避機能に加え、自動的にノズル姿勢を変更し高速に干渉回避操作を行うことができる自動干渉回避機能を備えている。

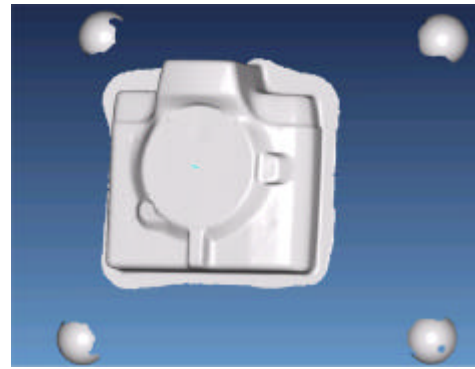


図7 基準球も含めたリバース面データ

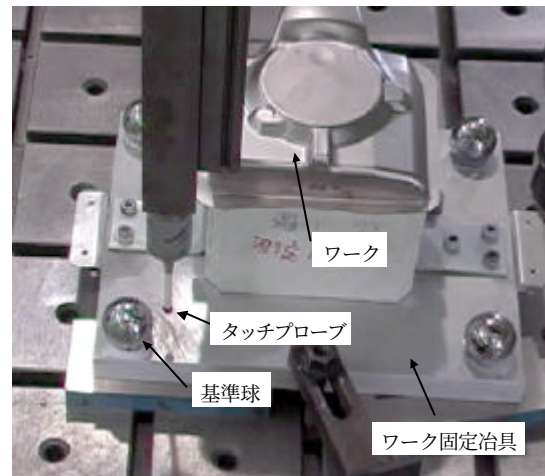


図8 タッチプローブによる基準球の測定

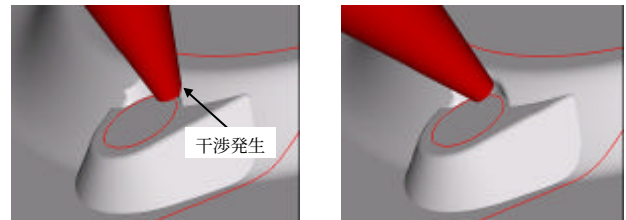


図9 干渉回避前(左) 後(右)

2.3.7 NCプログラム作成

加工順序を指定することによりNCプログラムが作成される。作成されたプログラムにはレーザ発振器の起動、停止、加工ガスのオン、オフ、シャッターの開閉などのコードも自動で挿入される。

3. 三次元形状の切断精度

3.1 概要

高精度3次元切断加工システムを用いてプレス成形品に対する3次元レーザ切断を行い、切断精度を評価した(図10)。

3.2 ワーク

評価に用いたワークは純チタン製のカメラ筐体で、板厚は0.7mmである（図11）。プレス成形品は、塑性変形により生じた残留応力が切断により解放され、形状が変わる恐れがあった。それを防ぐため、あらかじめ熱処理を行って残留応力を除去したワークを用いた。熱処理条件と熱処理前後の残留応力測定の結果を図12に示す。残留応力は約1/4に低減した。

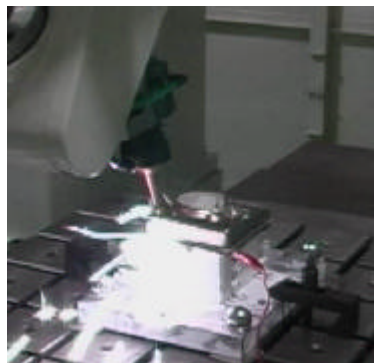


図10 加工の様子



図11 評価に用いたワーク

●条件 510℃ 300min

●残留応力測定箇所



●結果

左右方向 残留応力26%に減少

上下方向 残留応力24%に減少

図12 ワークの熱処理と残留応力

3.3 評価方法

同一条件で切断したワーク10個について寸法測定を行った。測定は製品図面に示された40カ所を対象とした。寸法公差はほとんどが0.025mm、0.050mmである。

評価パラメーターは工程能力指数Cp値、及びCpk値を用いた。Cp値はサンプルのばらつきに対する余裕を示し、Cpk値は設計値からのかたよりに対する余裕を示す。いずれも数値が大きいほど余裕がある状態を示し、1以上を良と判定した。それぞれ下式で計算される。

$$Cp \text{ 値} = T / 6\sigma$$

$$Cpk \text{ 値} = (Su - \mu) / 3\sigma$$

または

$$Cpk \text{ 値} = (\mu - Sl) / 3\sigma$$

T：規格幅

σ ：標準偏差

Su：規格の上限値

Sl：規格の下限值

μ ：サンプルの平均値

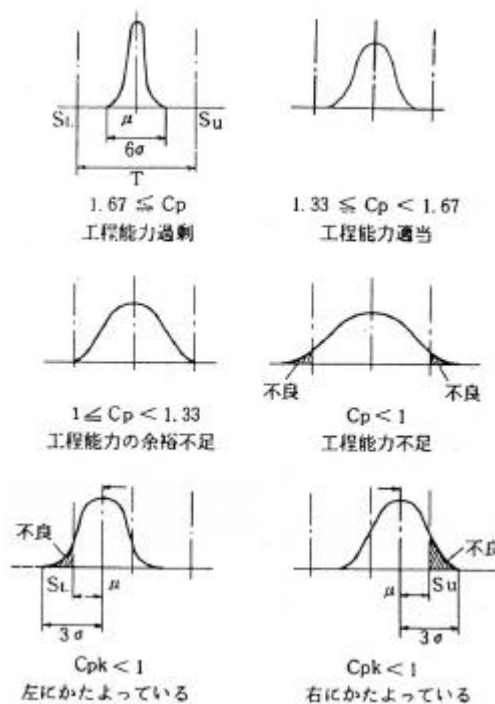


図13 Cp値及びCpk値

3.4 切断精度

測定結果の一例として図14に直径1.8mmの切断穴径測定の結果を示す。標準偏差 σ は0.0045mm、Cp値は3.68、Cpk値は2.62である。高精度で安定した切断ができていることがわかる。

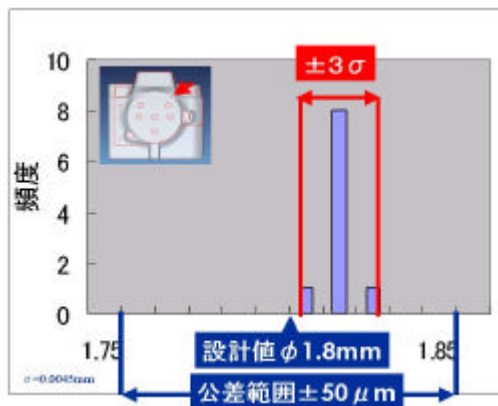


図14 直径1.8mmの穴直径のヒストグラム

表1に測定結果をCp値で分類した結果を示す。開発システムを用いて切断した場合、40箇所のうち31箇所がCp値1以上で、そのうち22箇所がCp値1.67以上と非常にばらつきの少ない加工ができた。既存の三次元レーザー加工機で切断を行ったものと比較すると開発システムの加工精度が優れていることがわかった。

表1 切断精度の評価 Cp

範囲	開発システム	既存機 K8 導入 CO ₂ レーザ)
	40 箇所	34 箇所
$1.67 \leq Cp$	22	1
$1.33 \leq Cp < 1.66$	6	0
$1.00 \leq Cp < 1.33$	3	2
$Cp < 1$	9	31

表2に測定結果をCpk値で分類した結果を示す。既存機で加工した場合に比べると精度の向上が見られるが、測定値の平均が設計値に対してかたよりの

あることを示すCpk値1以下の部分が15カ所あり改善が必要である。

Cp値が1以上であれば（測定の平均値－設計値）分だけずらせばいいので、NCプログラムを変更することで容易にCpk値の改善が可能である。今回の切断実験において問題となるのは、表3に示したCp値1以下の9箇所である。

表2 切断精度の評価 Cpk

範囲	開発システム	既存機 K8 導入 CO ₂ レーザ)
	40 箇所	34 箇所
$1 \leq Cpk$	25	2
$Cpk < 1$	15	32

表3に測定部位による詳細Cpを示す。円直径、円中心位置に関しては全く問題が無かった。問題となる箇所は図15に示した窓位置寸法及び外周Z方向である。窓位置寸法は中心側に移動する傾向が強く、外周は7箇所すべて同じ方向へ変形する傾向があった。また、Cp値1以上の箇所でも同様の傾向があった。残留応力は熱処理により除去されているため、原因は切断時のレーザー加熱によるワークの熱変形によるものと思われる。

表3 測定部位による詳細 Cp

範囲	円直径	円中心位置	窓位置寸法	外周XY方向	外周Z方向
	7 箇所	16 箇所	6 箇所	4 箇所	7 箇所
$1.67 \leq Cp$	7	11	2	2	0
$1.33 \leq Cp < 1.66$	0	5	1	0	0
$1.00 \leq Cp < 1.33$	0	0	0	2	1
$Cp < 1$	0	0	3	0	6

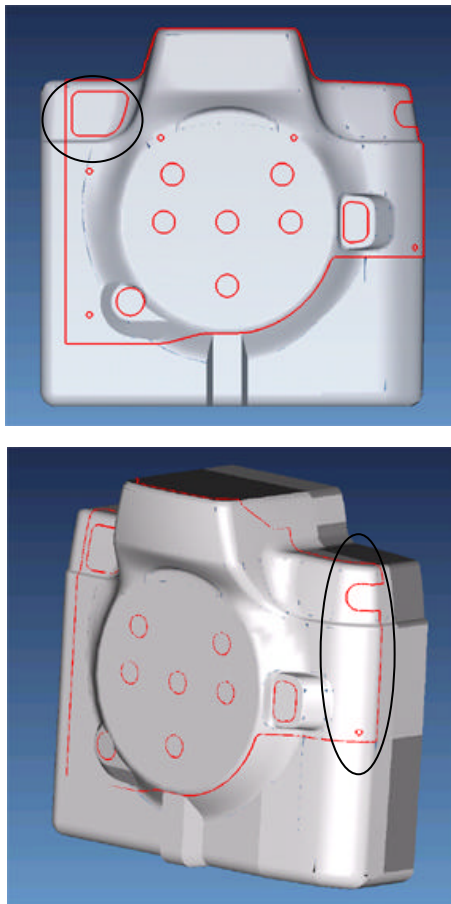


図15 寸法精度を満たせない部分

熱変形の抑制法として①加工機の高速化②ハイピークパワーレーザによる加工③加工ジグによる熱の除去が考えられる。以下に具体策を述べる。

- ①高速切断を行うことで熱の拡散を防ぐことができるものと考えられる。高精度三次元レーザ加工機のX、Y、Z直動軸は高速動作が可能であるが、A、C回転軸は最大回転速度 180 ° / secの制約があるため、姿勢変化の大きな切断部分に対しては加工速度を上げることができない。回転軸の高速化を図るため、モータの高速化、及び加工機の軸構成の変更等により加工速度を向上させる必要がある。
- ②開発機に用いているLD励起YAGレーザ発振器はCW発振が主であり、ハイピークパワーのパルス発振には対応していない。パルスレーザは発振のON、OFFを繰り返すため、加工部での急速な冷却効果が得られ、熱影響を低減できるものと考えられる。パルスレーザの適用も検討する必要がある。
- ③実験で使用した加工治具は石膏であるため、熱伝導

率が低くワークの熱を逃がすことが困難である。金属性の加工治具を用いることによりワークの熱を取り除くことが可能と考えられる。

4. 結言

- (1) 本開発により開発した高精度三次元レーザ切断加工システムを用いることで、より高精度にレーザ加工を行うことが可能になった。プレス成形品に対する加工では、ほとんどの部位で指定寸法に対して $\pm 0.05\text{mm}$ 以内での切断を実現することができ、従来のレーザ加工機に比べ飛躍的に切断精度を向上できた。
- (2) 開発した切断線補正データ作成システムは、高速自動干渉回避、位置合わせ、その他各種レーザ加工用の機能を有しており、高精度レーザ切断加工に有効である。また高精度を目的としない場合でも大きな時短効果がある。
- (3) なお、本システムの開発をとおり、加工方法について特許出願を行った。

5. 今後の課題

レーザ切断は熱加工であるため、その入熱によりワークの変形を生じ一部で製品寸法を満たせない部分が生じた。本開発で得られた所見を元に熱変形の抑制方法について検討する必要がある。

謝辞

本開発を進めるにあたり、ご協力をいただいたプロジェクト委員各位、並びに委託研究に従事していただいた(株)アルモニコス、倉敷機械(株)、(財)機械振興協会技術研究所、新潟大学に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 吉野ほか：「3次元レーザー加工機の高精度、短時間加工」新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書、N0.28、p.31(1999)
- 2) 丸山ほか：「高精度三次元レーザ切断加工システムの開発(第1報)」新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書、N0.30、p.16(2001)
- 3) 丸山ほか：「高精度三次元レーザ切断加工システムの開発(第2報)」新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書、N0.31、p.9(2002)

マグネシウム合金による複雑形状部品の 鍛造・プレス加工技術の確立と用途開発

高野 格* 山崎 栄一* 田辺 寛* 須貝 裕之* 平石 誠* 折笠 仁志*

Establishment of Forming Technologies for Complicated Shaping Parts
and Application Development Using Magnesium Alloy

TAKANO Itaru, YAMAZAKI Eiichi, TANABE Hiroshi, SUGAI Hiroyuki, HIRAISHI Makoto and
ORIKASA Hitoshi

抄 録

マグネシウム合金の鍛造・プレス加工技術の高度化および製品化技術を確立するため、(1)各種潤滑剤と金型表面コーティングの組み合わせによる絞り成形性の向上、(2)マグネシウム合金用研磨実験装置と装飾研磨技術の開発、(3)金属光沢を活かした染色可能な陽極酸化処理技術の開発、等を行った。各々について、マグネシウム合金加工技術をさらに高める結果を得たが、とくに(3)では新しい表面処理技術を開発することができた。また、本研究を通じて県央地域地場産業アクションプランの技術的な支援を行い数種の製品試作に至ったので、併せて紹介する。

1. 緒 言

マグネシウム合金は、実用金属中で最も軽く、比強度、振動減衰性、電磁波遮蔽性等に優れた特性を持ち、PCや携帯電話等の情報機器、携帯家電製品、自動車など各種産業分野に応用範囲が拡大している。しかし、マグネシウム合金の成形はダイカストやチクソモールディングが中心であり、県内の金属加工業が得意とする鍛造・プレス加工等の塑性加工による製品はほとんど無く、さらにはその基礎的データもいまだ不十分な状態である。

そこで、既存のマグネシウム合金の鍛造・プレス加工を中心とした塑性加工技術を高度化し、製品化技術を確立するため、(1)各種潤滑剤と金型表面コーティングの組み合わせによる絞り成形性の向上、(2)マグネシウム合金用研磨実験装置と装飾研磨技術の開発、(3)金属光

沢を活かした染色可能な陽極酸化処理技術の開発、などの研究を行ったので報告する。また、これらの研究を通じて県内企業へのマグネシウム合金塑性加工技術の普及と用途開発を行い、県央地域地場産業アクションプランの推進を支援し、数種の製品試作に至ったので併せて紹介する。

2. 各種潤滑剤と金型表面コーティングの組み合わせによる絞り成形性の向上

2. 1 概 要

現在、マグネシウム合金板を絞り成形する際の潤滑剤は、テフロンシート、プレコートタイプの潤滑剤、油系潤滑剤が主に使用されている。プレコートタイプの潤滑剤と油系潤滑剤は扱いやすい反面、潤滑性能がテフロンシートに比べて劣る。逆にテフロンシートは潤滑性能が最も優れるものの、高価で作業性が悪く、また多工程にわたる成形加工に難点がある¹⁾。マグネシ

* 研究開発センター

ウム合金成形用潤滑剤の開発方向は、多工程成形への対応や扱いやすさ、コストを総合した点から油系潤滑剤が有望視されているが、開発途上である。そこで、絞り成形における潤滑を、潤滑剤だけでなく金型の表面性状の側から見直し、各種表面コーティング²⁾を施した金型と油系潤滑剤の併用により、総合的に絞り成形性を向上させるべく実験を行った。

2.2 実験方法

実験には、定格 2MN(200tf)の油圧式複動プレスを使用し、供試材は米国 S.C.I社製の AZ31B-H24 材(板厚 0.88mm)を用いた。金型は内部に棒状ヒーターを組み込んだ円筒深絞り用金型で、金型各部の寸法は表 2.1 のとおりで

表2.1 金型各部の寸法

金型各部	寸法(mm)
ダイス径	φ 42
ダイス肩半径	R4
パンチ径	φ 40
パンチ肩半径	R4

ある。ダイスと板押さえの材質は SKD11 であり、表面コーティングの種類ごとにダイス、板押さえを取り替え可能な構造としている。表面コーティングは、硬質クロムメッキ、DLC(ダイヤモンドライクカーボン)、TiN(窒化チタン)の3種類を実験に供した(表 2.2)。また、潤滑剤には、表2.3に示す3種類を用いた。絞

表2.2 金型表面コーティングの種類と性質

	膜厚(μm)	硬さ(HV)	動摩擦係数
硬質クロムメッキ	11	950	0.4
DLC	2.3	2000	0.3
TiN	3	2100	0.57

表2.3 実験に用いた潤滑剤

潤滑剤	メーカーおよび潤滑剤の名称
テフロンシート	ユニバーサル(株) PTFE(005)
プレコート潤滑剤	日本工作油(株) AB-2578T
油系潤滑剤	大同化学工業(株) ラグレスDRM-220

り成形試験の条件は、ダイス・板押さえ温度を 200℃～250℃の間で変化させ、ポンチ温度(30℃)と板押さえ力(14kN)は一定として成形試験を行った。成形性の評価方法は、限界絞り比(LDR)にて行った。

2.3 実験結果および考察

図 2.1 に各種潤滑剤と硬質クロムメッキを組み合わせて、成形試験を行った場合の限界絞り比を示す。200℃～250℃の温度域において、

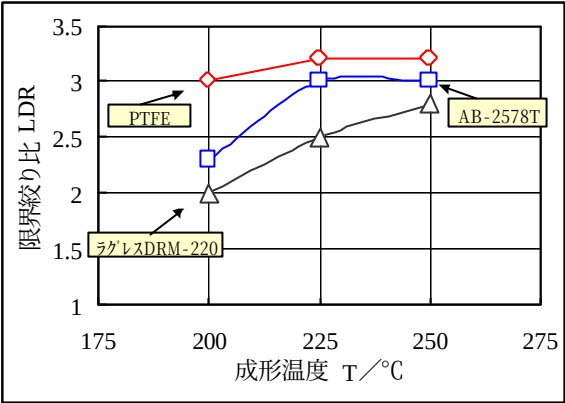


図2.1 硬質クロムメッキ金型の限界絞り比

テフロンシート(PTFE)の絞り比が最も高く、次いでプレコートタイプの潤滑剤 AB-2578T、最後に油系潤滑剤ラグレス DRM-220 となっている。3 種類の潤滑剤とも成形温度の上昇に伴い、成形限界が向上することが分かる。

図 2.2 に DLC コーティングを施した金型の

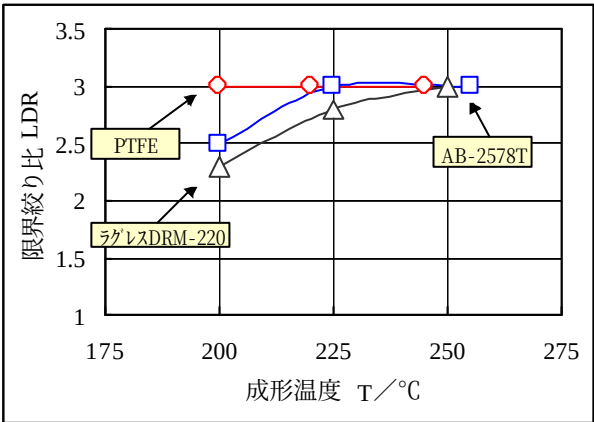


図2.2 DLCコーティング 金型の限界絞り比

限界絞り線図を示す。PTFE については、硬質クロムメッキの場合と比べ、コーティング膜の付加によるクリアランスの減少により、LDR が 3.2 から 3.0 と減少している。しかし、プレコート潤滑剤や油系潤滑剤においては軒並み限界絞り比が向上し、プレコート潤滑剤では 200℃において 0.2、油系潤滑剤では各温度で 0.2 ～ 0.3 絞り比が向上した。

図 2.3 には TiN コーティングを施した金型の限界絞り線図を示す。PTFE の限界絞り比は、各成形温度で DLC コーティングと同様に 3.0 であり、225℃以上ではプレコート潤滑剤も絞り比 3.0 に達する。また、250℃では油系潤滑剤も絞り比 3.0 となり、3 種類の潤滑剤とも同等の性能を示した。以上の結果、DLC や TiN

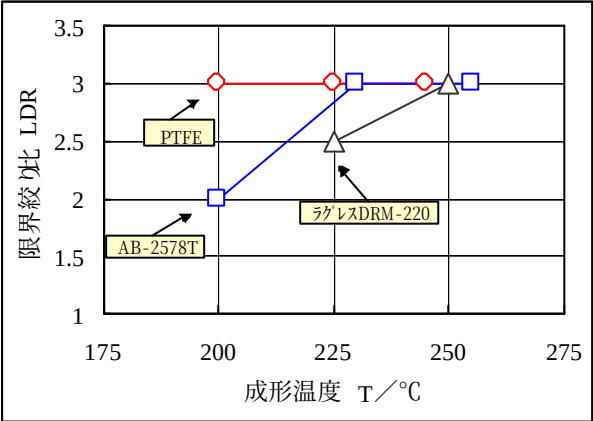


図2.3 TiNコーティング 金型の限界絞り比

をコーティングした金型と、プレコート潤滑剤や油系潤滑剤を組み合わせ使用した場合、成形温度 250℃においてテフロンシートと同等の成形が可能であることを確認した。

3. マグネシウム合金の装飾研磨技術の開発

3. 1 概 要

マグネシウム合金製品のほとんどが塗装であり、プラスチックや木製品と差別化が難しく、金属としての質感が求められている。そこで、マグネシウム合金表面に「ヘアーライン加工」や「ミラー仕上」などの金属的特徴を付与する意匠性の高い装飾研磨技術の開発を行った。

3. 2 研磨実験装置の開発

マグネシウム合金の研磨は、活性金属であることから激しい酸化反応を伴い、特に乾式研磨では粉塵爆発を起こす危険性がある。そこで、限りなく安全作業を目指し、バフ研磨とヘアーライン加工を可能にする研磨実験装置の開発を行った。開発機の特徴は、粉塵が周囲に飛散しないよう研磨作業場（プレハブハウス:幅 3600×奥行き 3600×高さ 2300）を設け、外部に設置した湿式集塵器により粉塵を処理する構造とした。仕様を表 3.1 に、開発した研磨実験装置を図 3.1 示す。

表3.1 研磨実験装置の仕様

項目		寸法(mm)・性能
電動機		3.7kW（防爆型）
バフ部	主軸回転数	2500rpm（イバータにより可変）
	バフサイズ	外径φ305×幅100×穴径φ25.4
ベルト部	ベルト周速	1570m/min（イバータにより可変）
	ベルトサイズ	幅300×周長2100
その他		冷却水ノズル設置

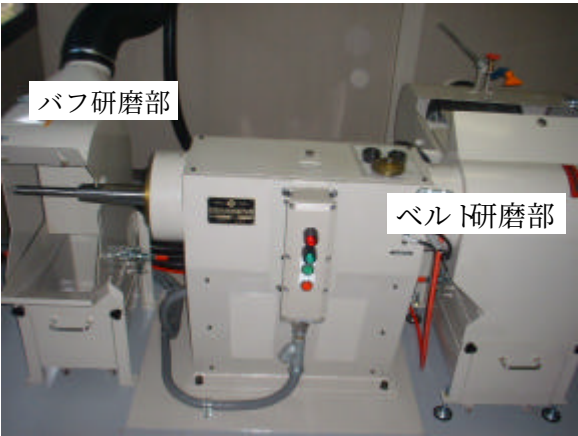


図3.1 開発した研磨実験装置

3. 3 装飾研磨技術の開発

マグネシウム合金板材のヘアーライン加工（ベルト研磨）とミラー仕上（バフ研磨）に関する最適加工条件を把握するとともに、安全作業について確認した。バフ研磨に関してはミラー面が得られる工程の確認を、ヘアーライン加工に関しては研磨速度による表面性状への影響

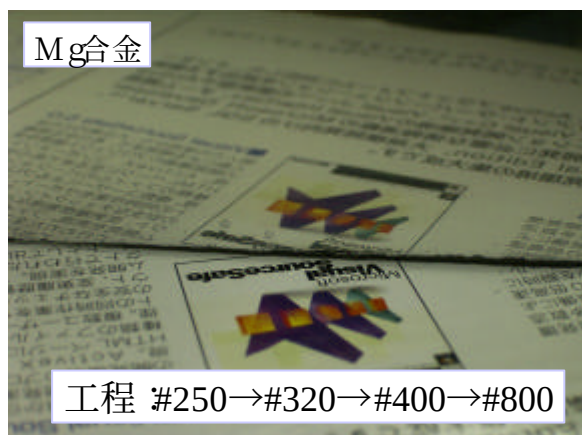


図3.2 バフ研磨によるミラー仕上

を調べた。図 3.2 にバフ研磨によるミラー面を示す。図柄や文字がよく写る良好なミラー仕上げを行うことができた。バフ研磨の粉塵飛散に関して、その特質上ほとんど起こらないが、頻繁な清掃を行うなど十分注意しながらの作業を薦めたい。

図 3.3 にベルト研磨における加工速度の影響

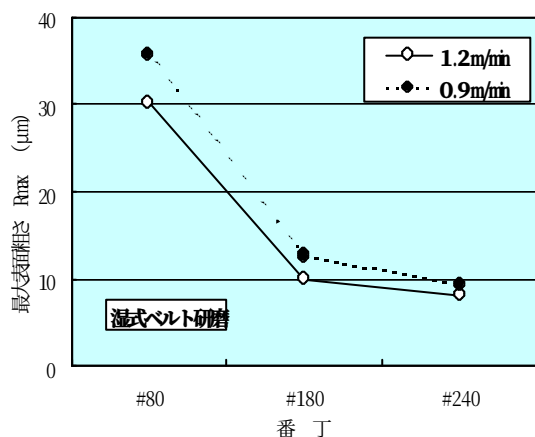


図3.3 ベルト研磨における加工速度の影響

を示す。ベルト砥粒番丁を細かくするに従い、当然ながら表面粗さも減少する。その値は加工速度を速くすると若干小さくなるようであるが、外観上は大きな差異は認められない。加工効率を考慮すると加工速度を大きくすることが有利であるが、研磨ベルトの寿命や焼き付き現象を考慮した研磨条件を選択する必要がある。また、乾式によるベルト研磨については、集塵を行った場合でも粉塵飛散が激しく、粉塵爆発

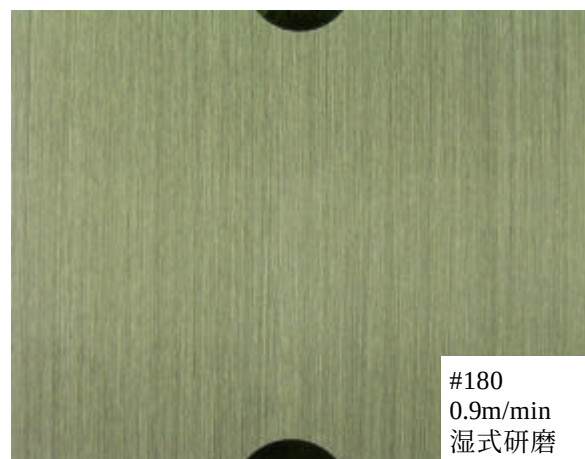


図3.4 ベルト研磨によるヘアライン

を引き起こす可能性があるため、安全上、必ず湿式研磨による作業を提案したい。図 3.4 にヘアライン仕上げの一例を示す。均一に揃った良好なヘアラインを加工できた。

4. 表面処理

4.1 概要

マグネシウム合金の主たる成形法はダイカストやチクソモルディングであるが、ピンホール、湯じわ等の問題があり、パテ盛り、研磨、塗装の工程が不可欠である。一方、プレス成形では良好な表面性状が得られることから、マグネシウム合金本来の光沢や金属感触を有する製品に対する市場からの要求が高まっている。

マグネシウム合金の表面処理は①化成処理②陽極酸化の2つに大別できる。化成処理は塗装を前提とした処理であるのに対し、陽極酸化は単独で表面処理として成立しており（JIS等）、金属感触を有する表面を表現できる。しかし、陽極酸化膜はそれ自体が着色し、商品としてバリエーションに乏しく、処理液に有害物質を含む等の問題がある。そこで、次のことを同時に満たす、陽極酸化膜の開発を行った。

- ①透明な陽極酸化膜
- ②陽極酸化膜は染色可能
- ③重金属や有害物を含まない

4. 2 陽極酸化フローチャート

図 4.1 にマグネシウム合金陽極酸化のフローチャートを示す。基本的にはアルミニウムの陽極酸化（アルマイト）と同じ工程を想定し、装置的にも、工程的にも、地場の産業に受け入れられやすい技術の開発を目指した。

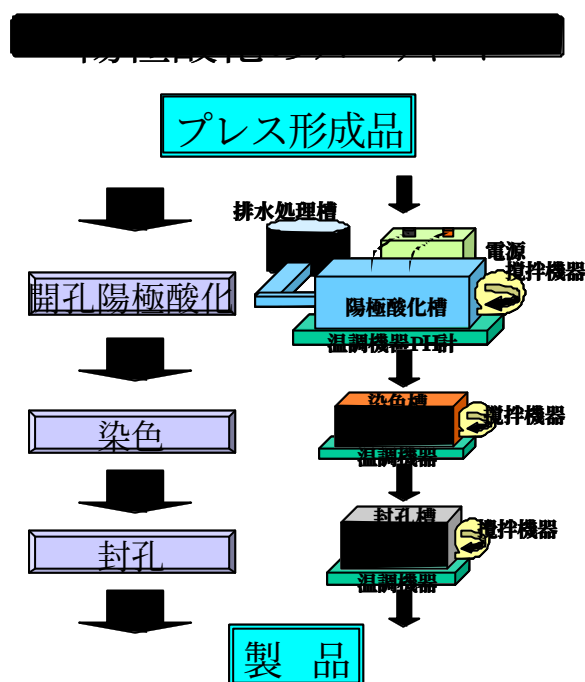


図4.1 陽極酸化のフローチャート

4. 3 各工程

陽極酸化、染色、封孔（電着塗料）の3工程からなる。染色槽を間にはさむことで、小ロット生産にも対応できると考える。

4. 3. 1 陽極酸化槽

アルカリ溶液中にて断続的に通電し、開孔の陽極酸化膜を生成する。条件（通電回数）を変えることにより、薄膜～厚膜まで変化をつけることが明らかになった。この工程における陽極酸化層が着色層となる。

4. 3. 2 染色槽

染色槽の交換だけで容易（安価）に小ロット対応ができる。

4. 3. 3 封孔槽

開孔膜に染料を含浸させた後、電着塗料で孔

をふさぐ。外観を決定づける最終工程のため、ゴミなどの混入や表面の平滑性に注意が必要である。

4. 4 陽極酸化膜の厚さ

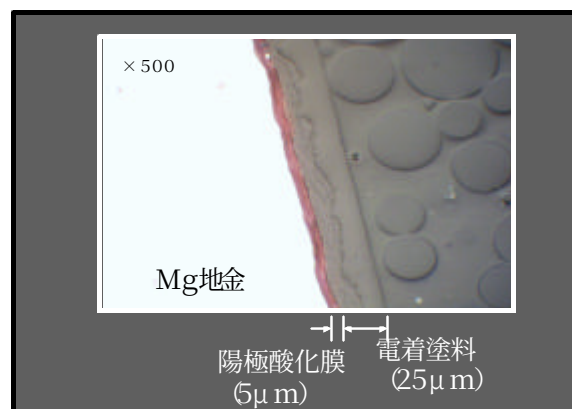


図4.2 陽極酸化膜の断面写真

図 4.2 は、一連の工程を経たマグネシウム合金表面近傍の断面写真である。陽極酸化膜が染料により一様に染まっているのが観察できる。この膜厚制御により、透明色から濃色（不透明）まで変化をつけることが可能となる（図4.3）。また、透明色が得られる膜厚の境界は約4 μmと思われる。

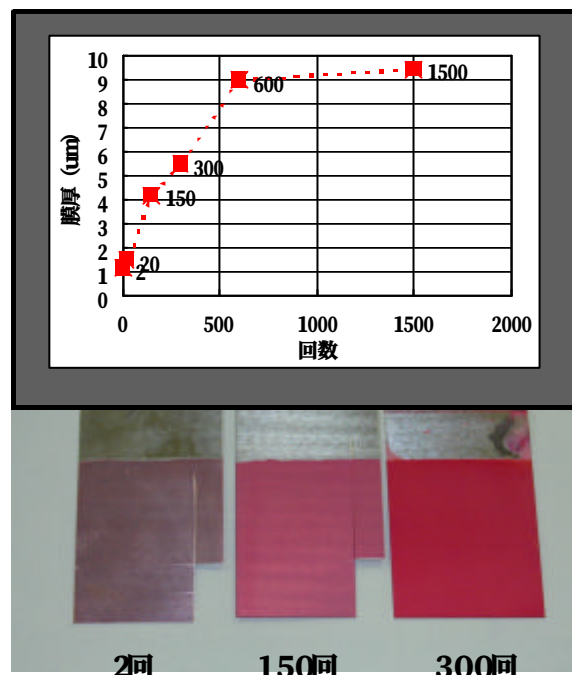


図4.3 陽極酸化膜の膜厚と染色濃度

4. 5 性能試験

本研究の陽極酸化膜について、基本的な性能テスト、付着性試験、塩水噴霧試験を行った。

4. 5. 1 付着性試験結果

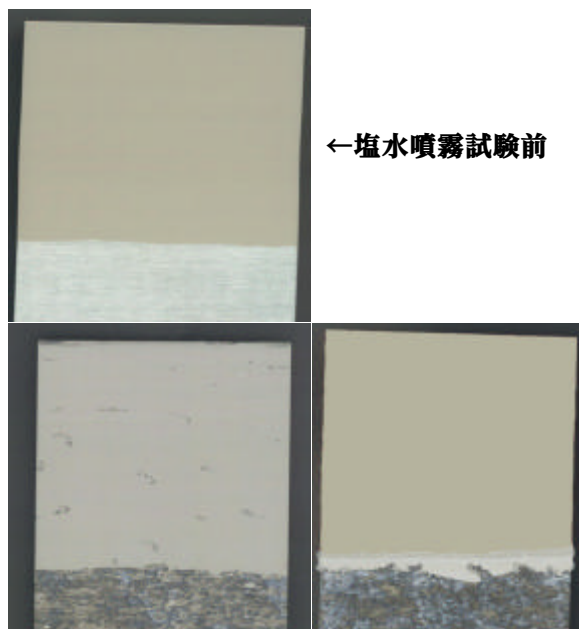


条件：JIS K 5400 8.5.2（碁盤目テープ法）による付着性試験を行った。結果を図 4.4 に示す。剥がれは確認出来なかった（100/100）。付着性、密着性とも問題はないと考える。

図4.4 陽極酸化膜の付着性試験

4. 5. 2 塩水噴霧試験結果

条件：JIS Z2371 7.2.1 中性塩水噴霧試験に準ずる
暴露：暴露8時間＋休止16時間を1サイクルとし、2サイクル暴露した。



塩水噴霧試験後
（電着塗料なし）

塩水噴霧試験後
（電着塗料あり）

図4.5 陽極酸化膜の塩水噴霧試験

結果を図 4.5 に示す。陽極酸化をしていない部分（試験片下部）に比べ、耐食性はだいぶ向上しているが、まだ若干の腐食が確認される。しかし、封孔処理を加えた場合には2サイクル試験後においても腐食は認められなかった。以上のことより、陽極酸化法には封孔処理が重要であると考え。

図 4.6 に、膜厚に対する塩水噴霧試験の結果を示す。図 4.3 の関係より、図中の通電回数は膜厚の厚さを表す。

1回	5回	100回	300回
2サイクル×	4サイクル○	4サイクル○	4サイクル○

図4.6 陽極酸化膜厚と耐食性

通電1回では2サイクルで腐食が発生しているが、通電5回の場合、4サイクル終了時点でも腐食は認められなかった。通電5回という条件は、十分透明色の範疇であり、透明色においても要求される耐食性を満足できると考える。

図 4.7 にいろいろな染色処理と透明性を変えた陽極酸化のサンプルを示す。使用する染料により好みのカラーリングが可能であり、とくに透明性のある色合いは金属としての光沢や質感を十分に表すものである。

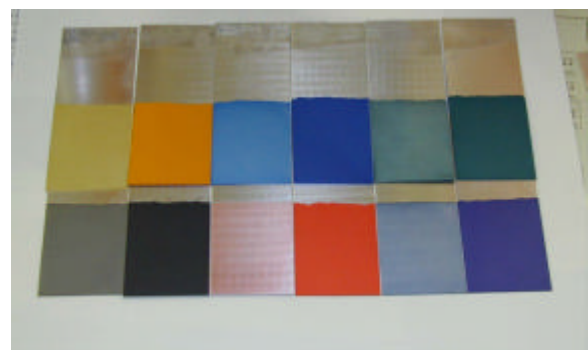


図4.7 開発した陽極酸化処理のサンプル

5. 県央地域地場産業アクションプラン

県央地域地場産業アクションプランにおいて、参加企業12グループがそれぞれのマグネシウム合金を利用した製品化の課題について取り組む際に、本戦略研究を通して製品化技術の支援を行った。その結果、携帯家電機器の筐体、作業工具、アウトドア用品、福祉機器など、広く民生品を試作することができた。いくつかの試作品を図5.1～5.3に紹介する。



図5.1 アウト・ドア用品



図5.2 車イス等の福祉機器



図5.3 ヘルメット、作業工具等の民生品

6. 結 言

6. 1 各種潤滑剤および金型表面コーティングによるマグネシウム合金絞り成形性の向上

- (1)本研究に供した潤滑剤において成形性に与える効果は、テフロンシート>プレコート潤滑剤>油系潤滑剤の順であった。
- (2)DLC (ダイヤモンドライクカーボン)、TiN コーティングした金型と各種潤滑剤を組み合わせる成形した場合、成形温度 250 °Cにおいてテフロンシートと同等の成形 (LDR3.0)が可能である。

6. 2 マグネシウム合金の装飾研磨技術

- (1)安全性を考慮したマグネシウム合金研磨装置を開発し、ヘアライン加工とミラー仕上に関する最適加工条件を把握した。
- (2)ヘアライン加工においては、作業安全性から湿式研磨を推奨する。

6. 3 マグネシウム合金の陽極酸化処理

- (1)染色可能な透明色のマグネシウム合金用陽極酸化処理技術を開発した。この方法では、処理条件により透明色から濃色まで容易にコントロール可能である。
- (2)付着性試験および塩水噴霧試験において、市場要求を満たす良好な結果を得た。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、長岡技術科学大学 小林 勝 名誉教授、長岡技術科学大学 小島 陽 教授、鎌土重晴 助教授、新潟大学 渡辺健彦 教授には有益なご助言をいただき、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1)相田収平, 田辺 寛, 須貝裕之, 高野 格, 大貫秀樹, 小林 勝: 軽金属, 50(2000), 476
- 2)古閑伸裕, RatchaneePAISARN: 軽金属, 51(2001), 441

逐次張出し成形機と成形法に関する研究

田中 興一* 坂井 修* 相田 収平* 宮口 弘明*

A Study on Incremental Forming Machine and Forming Process

TANAKA Kouichi*, SAKAI Osamu*, AIDA Shuhei* and MIYAGUCHI Hiroaki*

抄 録

本研究では、逐次張出し成形の実用化を目的として、汎用 NC フライス盤の活用による様々な形状の成形可能性を検討した。今年度は、実用化の第一歩として、半球殻や皿形状などの垂直壁を持つ形状をはじめとした各形状の成形実験を試みた結果、複数の成形工程を組み合わせること、および工具移動経路を検討することで板をより均一に張出すことができ、各種の成形が可能であることを確認した。

1. 緒 言

国内の製造業を取り巻く環境は、多品種・少量化と製品サイクルの短期化が急速に進んでいるとともに、試作用成形品や一品注文生産の要求も高い。このため、型を必要としないフレキシブルな板成形技術である逐次張出し成形法は、金型のすべて、または一部が不要となるために注目され、様々な研究が行われており^{1)~3)}、県内でも約 10 年程前に、県央地域地場産業振興センターにおいて、成形と逐次成形機の試作が試みられている⁴⁾。

しかしながら、この成形法は未だ広く実用化されていない状況にある。その理由として (1) 以前はコンピュータの性能やソフトウェアの機能や価格などの点から 3 次元 CAD/CAM が広く普及してはいなかった。(2) この成形法は張出し後の板厚がその形状の傾き角に依存するために垂直壁を有する形状の成形が難しい。(3) 成形機の開発が進み、市販されているが、逐次張出し成形専用機であり、かつ高価である。

などの問題が挙げられる。

上記 (1) については、ここ数年のコンピュータ関連のハードウェア、ソフトウェアの進歩や、3 次元 CAD/CAM が広く普及してきたことなどで解決されつつある。

本研究では、これらの問題を解決し、逐次張出し成形の実用化にはずみをつけることを目的として、汎用 NC フライス盤を活用することで、様々な加工用途への対応が可能となるフォーミングセンタの提案を行う。さらに成形が困難である垂直壁を持つ形状の成形方法等について実験的に検討するとともに、板厚変化や形状精度について考察を行うことで、様々な形状の成形可能性を検討した結果について報告する。

2. 逐次張出し成形の概要

図 1 に、逐次張出し成形の概略を示す。逐次張出し成形とは、3 次元 CAD/CAM によって成形する形状の設計および成形プログラムを作成し、このプログラムを数値制御によって、工作機械の主軸に取り付けた棒状の工具を動かすことによって、金属板を所望の形状に張出させる塑性加工法であり、大別して、

* 研究開発センター

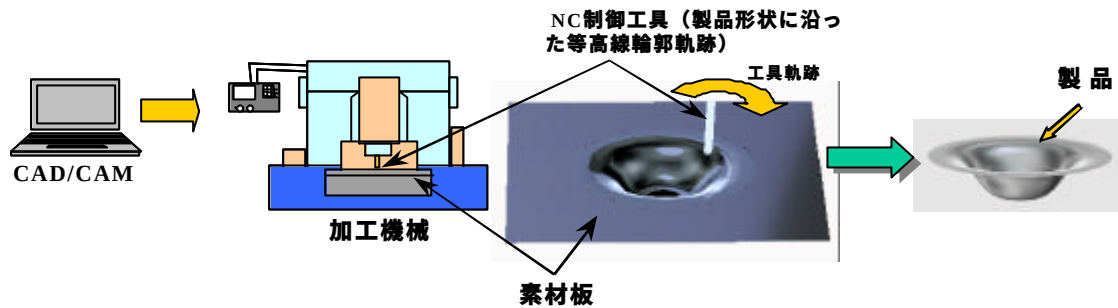


図 1 逐次張出し成形の概略

素材板の下に成形品の平面形状に応じた型枠を用意して成形する型枠成形方式と成形する形状の総型マンドレルを要するマンドレル成形方式がある。型枠成形方式は、治工具が簡易である反面、自由曲面のような深さ方向に複雑な変位を伴う形状の成形は難しい。一方、マンドレル成形方式では、成形する形状に応じた総型が必要となるが、自由曲面の成形が可能であるなどの特長がある。これら逐次張出し成形のメリットとしては、

- (1) 金型のすべて、または一部が不要。
- (2) 従来の絞り加工では困難な、自由曲面を含んだ形状の成形が可能である。
- (3) 金型の製作時間を短縮できるために、意匠検討などの試作品を速く成形することができる。

などの点が挙げられる。

3. NCフライス盤を活用した成形機

NCフライス盤およびマシニングセンタは広く普及しており、既設備として保有している企業も多く、これらを逐次張出し成形に活用することで、本成形技術の実用化に極めて有効な手段と考えられる。

図 2 に本研究で使用した成形機、および逐次張出し成形用ジグの外観を、表 1 には成形機の主な諸元を示す。機械のコンセプトは以

下のとおりである。

- (1) 成形機上で型枠やマンドレル加工と張出し成形の両方を同一成形機上で実現するため、切削加工の機能および同時 3 軸制御機能が備わっている必要がある。
- (2) 型枠やマンドレル加工の効率化と加工後直ちに金属薄板の張出し成形を行うためには、ATC（自動工具交換システム）は必要不可欠な機能である。
- (3) 企業や大学などからの意見・要望調査の結果、成形可能な大きさは X 軸、Y 軸とも 400mm 以上が必要である。
- (4) 高速な成形を実現するため、テーブル送り速度は 10m/min 以上が必要である。



図 2 逐次張出し成形機およびジグ

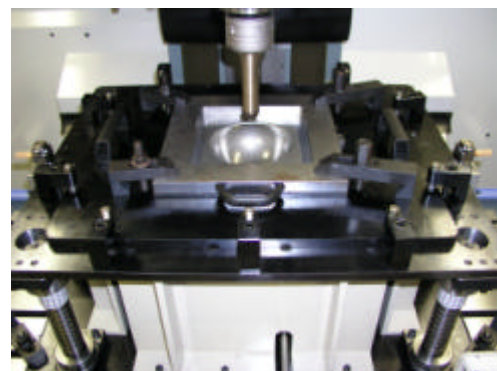


図 3 棒状工具と成形用ジグ

表 1 成形機の主な諸元

メーカー	(株) 静岡鐵工所
工具ストローク (X × Y × Z)	1000 × 500 × 400 mm
最大成形速度	10 m/min
ATC	8 本
位置決め精度	0.005 mm
繰返し精度	0.002 mm

以上の機能を満たす成形機として、（株）静岡鐵工所製 ATC 付きベッド型 CNC フライス盤 SMV-520 を選定するとともに、機上に型枠、マンドレルの両成形方式が可能な成形ジグ（最大成形寸法 $X=500\text{mm}$ 、 $Y=400\text{mm}$ 、 $Z=300\text{mm}$ ）をセットして成形実験を行った。

4. 逐次張出し成形実験

4.1 実験装置および実験方法

成形実験に供した材料は工業用純アルミ板 A1050-O、冷間圧延鋼板 SPCC、ステンレス鋼板 SUS304 の 3 種とし、板厚分布および形状誤差測定には板厚 $t_0=1.0\text{mm}$ 、成形荷重測定には $t_0=0.5\text{mm}$ の板材をそれぞれ使用した。また、成形には前述の NC フライス盤の主軸に先端が球形状を有する棒状工具（ $R=5$ 、 10 、 15 ）を取り付け、実験を行った（図 3）。また、成形中の荷重は、工具シャンク部に水晶圧電式 3 分力計（日本キスラー（株）製 9047B）を組み込み、測定した。

本研究で成形を試みた形状として、内径が 147mm および 84mm である半球殻や円形皿、および正方形皿などの垂直壁を有する形状の他、自由曲面を含む能面なども取り上げ、成形実験を行った。

4.2 半球殻成形実験

半球殻は、形状の一部に垂直壁を有するために 1 工程での成形が困難である。これは、逐次張出し成形における局部的板厚 t と成形前の板厚 t_0 と半頂角 θ との間には、ほぼ、

$$t = t_0 \sin \theta$$

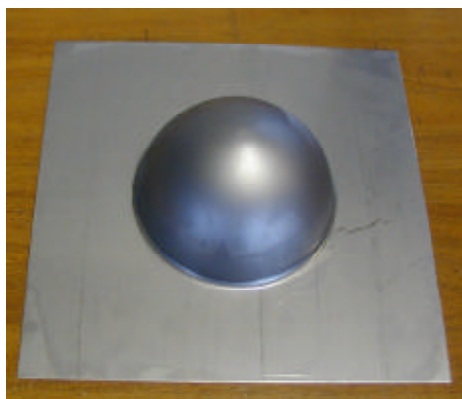


図 4 成形した半球殻（SUS304）

の関係が成り立つ¹⁾ことから納得できる事実である。

そこで、半頂角 θ が小さくなることによる板厚減少を抑え、なるべく形状全体について均一な板厚とすべく、複数の工程を組み合わせることによる半球殻の成形を試みた。まず第 1 工程では、フランジ部から頂部（底部）に向かって張出し成形を行う。第 2 工程以降は逆に頂部からフランジ部に向かって張出し成形を行うことで、成形に伴う板厚減少を極力抑え、均一に張出すことで、最終的に垂直壁の成形を行うものである。

内径 147mm 半球殻成形実験の結果、3 種の板材すべてについて半球殻の張出し成形が可能であった。成形に要した工程数は 16、成形時間は約 54 分であった。図 4～図 6 には、得られた半球殻および各材種における子午線方向の板厚分布と形状誤差を示す。

板厚は、フランジ部分から半球形状部分に移ると急激に減少し、頂部近傍を除いてはほぼ全域にわたって 0.45mm 程度に分布している。これは、円形の板を半球状に張出した場合に表面積が 2 倍になり、したがって板が均

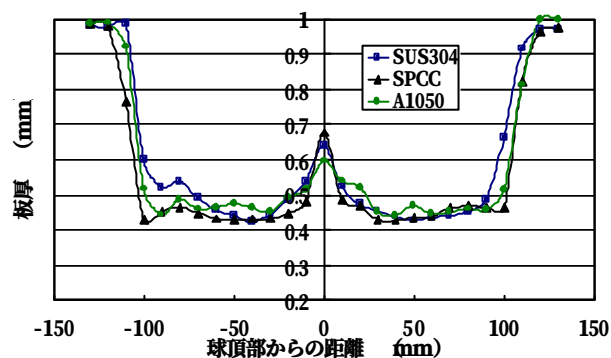


図 5 半球殻の板厚分布

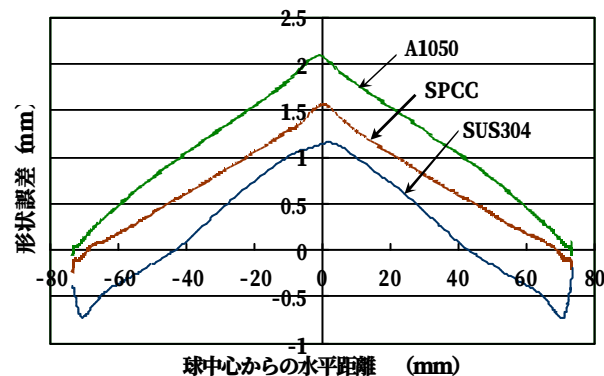


図 6 半球殻の形状誤差

一に張出された場合には成形後の板厚が 1/2 になることと良い一致が見られ、本成形法では板を逐次、均一に張出していることが推測される。また、球面頂部では工具移動速度がゼロになってしまい、板に対して有効な張出しの付与ができないために板厚が大きくなっている。子午線方向の形状誤差には、この影響が見られ、各材料とも頂部に近づくに従って形状誤差が大きくなっている。また、SUS304 では球直径部近傍において約 1.0% 程度の径の減少誤差が生じており、他の材料に比べスプリングバックの影響が強く出ているものと推測される。

また図 7～図 10 には、SPCC および SUS304 について内径 84mm の半球殻成形工程の際に生じる X-Y 方向（水平面内）と Z 方向（鉛直方向）の荷重を示す。

X-Y 方向荷重では全工程を通して常に荷重が加わっているのに対し、Z 方向荷重は、成形に要する全 16 工程のうち第 1 工程では、成形中を通して荷重が認められるが、第 2 工程以降では、工程の初期に球殻の頂部に対して工具を鉛直方向に押し込む際の荷重が認め

られる他は、顕著に現れていない。また、SPCC に比べ SUS304 の方が大きな荷重が発生しており、第 1 工程で比較した場合には、X-Y 方向で約 1.6 倍、Z 方向で約 1.3 倍程度である。一方、工程が進むにしたがって、SPCC では発生する荷重も徐々に減少していく傾向が見られるのに対し、SUS304 では、逆に、より大きな荷重が発生している。工程が進むにしたがって球殻部分の板厚は減少していくが、SUS304 では加工硬化が進むために、より大きな荷重が発生するものと考えられる。

4.3 円形皿および正方形皿成形実験

本研究で提案した複数の工程を組み合わせる方法により、さらに深い垂直壁を持つ円形皿と正方形皿についても成形を試みた。

実験の結果、図 11 に示す深さ 30mm の円形皿については各材種での成形が可能であった。また、図 12 に示す深さ 24mm の正方形皿については A1050-O、SPCC については成形可能であったのに対し、SUS304 については加工硬化が進行し最終工程で破断に至っ

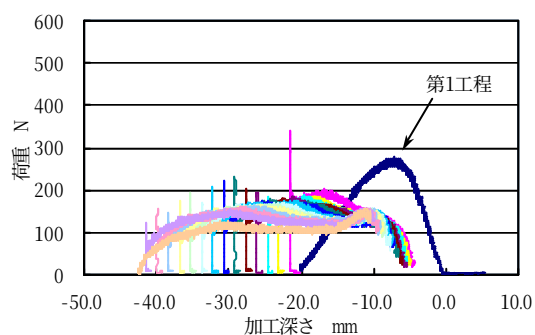


図 7 SPCC X-Y 方向荷重

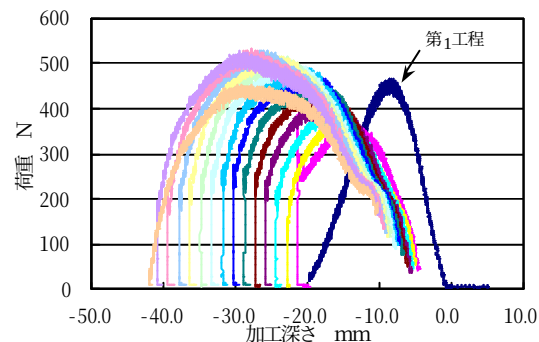


図 9 SUS304 X-Y 方向荷重

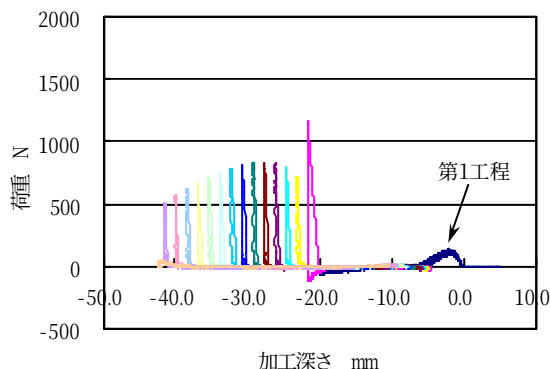


図 8 SPCC Z 方向荷重

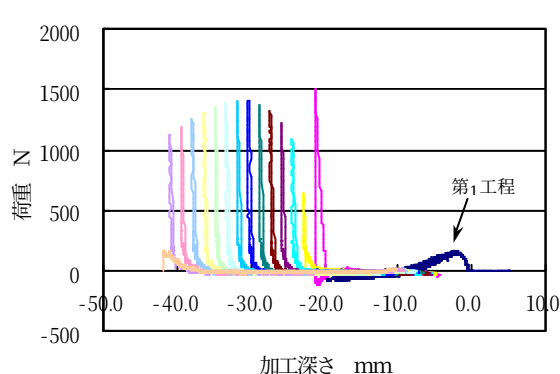


図 10 SUS304 Z 方向荷重

た。図 13、図 14 には、成形した形状についてのひずみ分布測定結果を示す。半球殻の頂部付近はほぼ等二軸ひずみの状態を示すとともに、球直径部に近づくにしたがって、等二軸ひずみと平面ひずみの間、すなわち張出し領域に分布している。一方、正方形皿では、X 軸上、すなわち対辺方向では平面ひずみ状態、対角線上では等二軸ひずみ状態を示しており、コーナー部においては、半球殻形状と比較しても特に大きなひずみが生じており、成形に厳しい形状であることがこの結果からもうかがえる。しかしながら、概ね本研究で提案した成形法が、垂直壁を有する形状に対して有効であることを確認した。

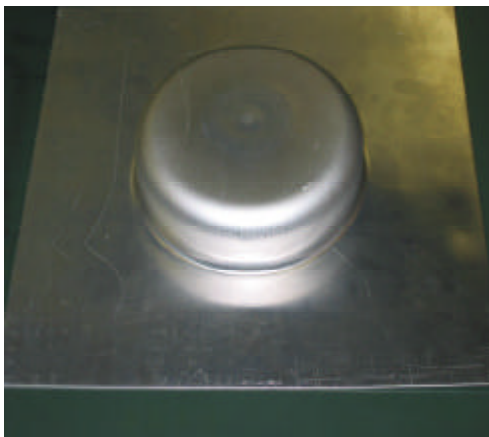


図 11 円形皿 (SUS304)

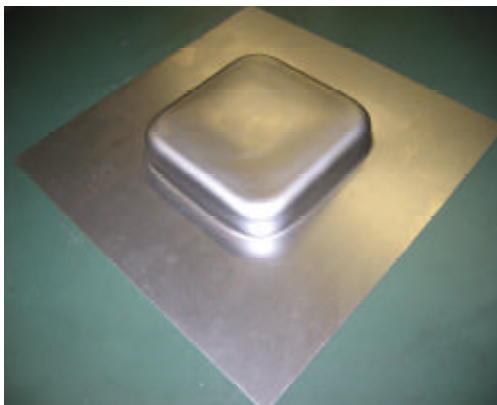


図 12 正方形皿 (SPCC)

4.4 各種形状の成形

前述した単純な幾何形状のみならず、逐次張出し成形によるその他の成形例を図 15、図 16 に示す。図 15 はアニメキャラクターをイメージした成形品であるが、このように複

雑な形状であっても、顔輪郭の型枠だけを使用した逐次張出し成形であり、目や鼻などに総型を使用せずに成形が可能である。しかしながら、図 16 に示す複雑な形状に対しては、総型マンドレルが必要である。

5. 逐次張出し成形用 CAM の開発

本研究で提案した張出し成形法により所望する形状の成形を行う際には、NC プログラムを必要とするが、現在広く普及している切削用の CAM システムでは、(1)成形する形状の他に中間工程の形状を含んだ複数の形状を定義する必要がある。(2)切削加工で用いられる等高線工具軌跡では、各等高線間での工具移動の際の成形痕が残ってしまう。など、逐次張出し成形に適していない面もあることから、図 17 に示すような専用 CAM の開発を試みた。このシステムでは、市販の 3 次元 CAD で設計した後に STL ファイル形式で出力した成形形状データを読み込んで工程計算を行い、NC プログラムを作成する機能を持っており、主な幾何学形状については、実用的なレベルまで開発が進んでいる。今後は、自由曲面を含んだ複雑な形状についても適用

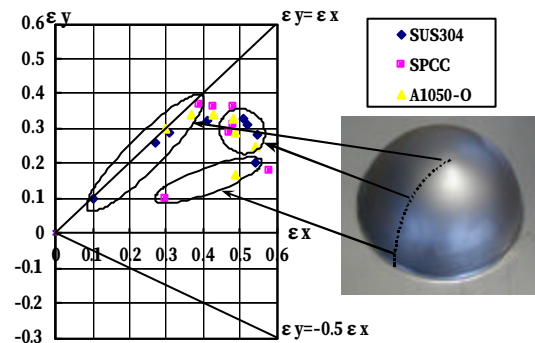


図 13 半球殻のひずみ分布

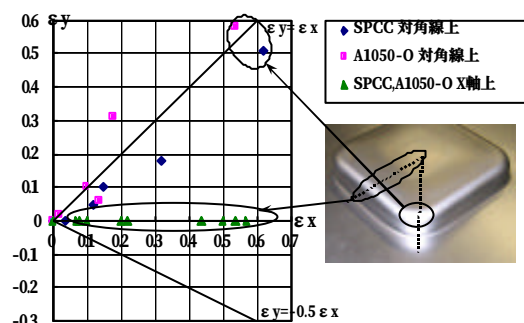


図 14 正方形皿のひずみ分布

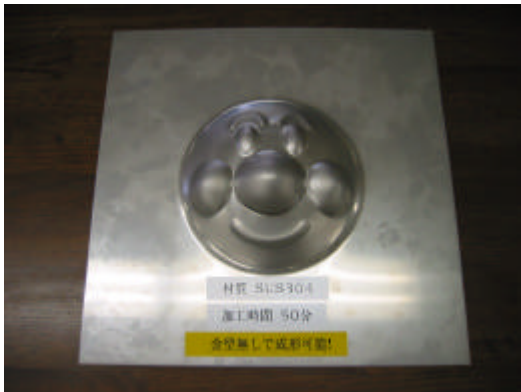


図 15 アニメキャラクタ (SUS304)



図 16 能面 (A1050-O)

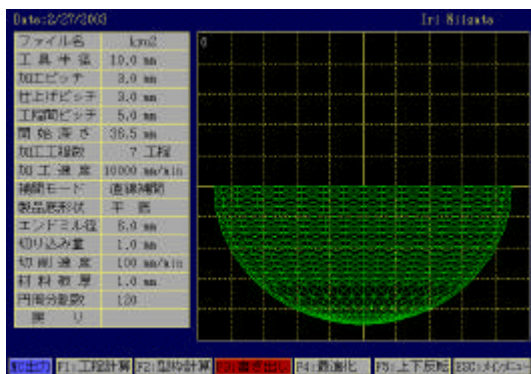


図 17 逐次張出し成形用 CAM

可能なシステムにすべく開発を継続している。

5. 結 言

- (1) NCフライス盤を活用したフォーミングセンタを提案し、工具軌跡、中間形状、工程分割等の工夫を行うことで、垂直壁を有する各種形状の逐次張出し成形を可能とした。
- (2) 半球殻の板厚測定の結果、成形品はほぼ均一に張出されているとともに、形状精度についても概ね良好な結果が得られた。
- (3) ひずみ分布測定の結果、半球殻などに比べ、正方形皿では特に対角線方向のコーナー部に大きなひずみが生じることが確認された。
- (4) 半球殻成形時の荷重測定の結果、第2工程以降ではほぼ水平面内の荷重で成形が進むこと、および SUS304 では、加工硬化の影響により工程が進むに従って大きな荷重が発生することが確認された。
- (5) 逐次張出し成形用の CAM システムを開発し、実用化にはずみをつけた。

参考文献

- 1) 松原茂夫：平 5 春塑加講論(1993)，611.
- 2) 北澤ほか：軽金属，46-5(1996)，219.
- 3) 吉川ほか：平 11 春塑加講論(1999)，305.
- 4) 井関ほか：平 6 春塑加講論(1994)，573.

高速デジタル動画像伝送システムの開発（第2報） （OFDM ベースバンド部の試作／5GHz RF 回路の試作）

吉野 武美* 天城 和哉* 皆川 要* 星野 公明* 小林 豊*

Development of Digital Communications Equipment for Moving Picture with High Frequency Radios.
(Design of OFDM Baseband Circuit./ Design of RF Circuit in the 5GHz Band.)

YOSHINO Takemi*, AMAKI Kazuya*, MINAGAWA Kaname*, HOSHINO Kimiaki* and
KOBAYASHI Yutaka*

抄録

GHz 帯の無線通信を利用して動画像などの高速大容量データをデジタル通信するためのシステムを開発することを目的に、以下の研究をおこなった。

- 1) F P G A や D S P を利用した O F D M ベースバンド部の試作。
- 2) 5 GHz 帯の無線回路の試作と評価。

1. 緒言

O F D M（直交周波数分割多重方式）は、周波数利用効率が非常に高く遅延波干渉に対処しやすい等の利点があるため、既に無線 L A N 等の分野で実用化が進んでいるが、中小企業が特殊用途で応用できる状況には至っていない。

本研究では、O F D M 技術を中小企業が無線による大容量通信を実現するための中核技術として捉え、その利用技術を GHz 帯の高周波無線回路の設計技術と併せて取り組む。

本稿では、ベースバンド部の試作に必要な回路構成を検討した結果を示した後、F P G A と D S P を搭載した試作用プラットフォームによるベースバンド部の試作について報告する。また、5 GHz 帯の無線回路を実現するために必要となる、アンプやフィルタ、ミキサなどの高周波回路を設計・試作した結果を報告する。なお、O F D M の原理等については前報を参照されたい。

2. ベースバンド部の構成

O F D M ベースバンド部に必要な処理について、無線 L A N 規格 IEEE802.11a を参考に検討した。

2.1. 送信部の回路構成

今年度研究した補足処理について、検討結果を報告する。

2.1.1. スクランブル

スクランブルは、符号化処理の安定化や生成されるアナログ波形の偏り防止を目的として、元データの偏り（1の連続など）を解消する為に施す。規格では、127状態のPN符号をスクランブラとして用い、元データ（シリアル）とXORをとっている。受信側では、同じ回路によりスクランブルを解除する。符号器の初期状態はオールゼロを除く任意のパターンが可能であるが、送信側の初期状態を受信側にコピーする必要があるため、各パケットの先頭部では、元データの前に連続したゼロを付加して、スクランブラの初期状態が送信されるように規定されている。

2.1.2. 畳込み符号

畳込み符号は、エラー訂正のために因果性と冗長性を付加する処理であり、規格では6ビットレジスタによる生成多項式 $g_0=133$ と $g_1=171$ を用いる。符号化率は、 $r=1/2$ の他、パンクチャリングによる $r=2/3$ や $r=3/4$ を利用する。符号化率と共に伝送速度は上がるがエラー訂正の能力が低下するので、伝送線

路の状況により最適な符号化率を選定する。

送信側の符号器は簡単な回路で実現できるが、受信側では軟判定のヴィタビが必要となるので大きな回路が必要になる。

2.1.3. インタリーブ

インタリーブは2段階の処理となっている。1段目は、符号化済みの連続ビットを離れたキャリアに分配する。畳込み符号の復号処理がデータの前後関係を元にする関係上、連続ビットが同時に消失する事は致命的であるので、これを離れたキャリアに分散する。

また、2段目は各キャリアでのマッピングが均等にばらつくようにすることで、生成波形のダイナミックレンジを抑える働きを持つ。

2.1.4. ガードインターバルについて

規格では、室内の線路を想定して0.8 μ 秒のガードインターバルを規定しているが、これは240mまでの経路差に対応することを意味する。当然、使用環境によっては、より長い時間を設定する必要も生じる。

ガードインターバルの長さが妥当な場合、シンボル長の開始位置には自由度がある。同期が確立していれば、本来の開始位置と実際の開始位置の差が一定となるので、等化パラメータが変わるだけの違いとなる。

なお、ガードインターバルの付加により、シンボル長が変わるため、スペアナ等の観察ではキャリア間干渉があるように見えるが、受信部ではシンボル長分のサンプル区間を抜き出してFFTにかけるため、キャリア間干渉は発生しない。

2.1.5. ローパスフィルタ

実用上、IFFT に対し3倍または4倍のオーバーサンプリングが妥当だが、ここでは4倍を想定する。前報では64次のコサインロールオフフィルタを用いたが、今回はFIR ハーフバンドフィルタ2段の構成とした。

設計は、外部で観察される周波数スペクトルが規格で規定するマスクに入るかどうか、ノイズのない状況でのチャンネル復元の程度を指標に、シミュレーターで行った。

外部で観察されるスペクトルのモデルとしては、ガードインターバルのない2つの異なるシンボルをまとめてFFT処理したものを

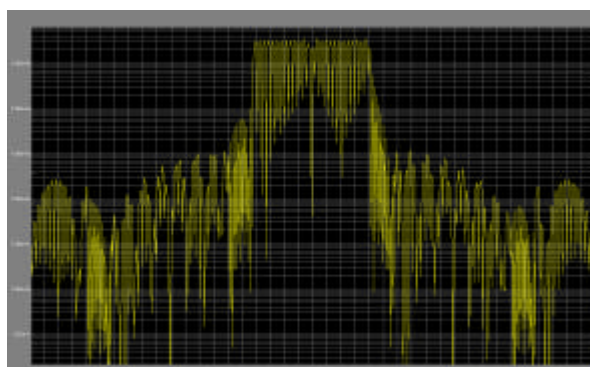
設定した。チャンネル復元の程度は、全チャンネルに同一振幅の信号を入れた場合における、復元された最大のチャンネルと最小のチャンネルの振幅比を目安とした。この際、FFTのサンプル開始点をずらした最悪値とした。

検討の結果、12ビットの量子化で、タップ数31のハーフバンドフィルタと、タップ数11のハーフバンドフィルタを連結したものを採用することとした。ハーフバンドフィルタは、その係数の半分がゼロ値を取り偶対称であることから、タップ数の割にコンパクトに実装できる。

設計したフィルタのインパルス応答と、外部で観察されるスペクトル例を図1に示す。



初段（31タップ）と次段（11タップ）



外部で観察されるスペクトル例

図1 フィルタの検討結果

2.1.6. その他補足事項

これまでに挙げた他に、パケットの先頭にはプリアンプル信号やパケット情報を、パケットの末尾にはヴィタビを終結させる為のデータをそれぞれ付加する必要がある。プリアンプル信号については、受信部で触れる。

また、シンボル境界における信号の不連続性がスペクトルを広げる原因になるため、境界点のサンプル点を前のシンボルで決まる値

と後ろのシンボルで決まる値の平均値に修正する処理が重要である。これは、IFFT出力にガードインターバルを付加した後、ローパスフィルタの前段で行う。

2.2. 受信部に関する事項

受信部の基本構成は、送信部を逆順にしたものになるが、信号検出、同期、ゲインコントロール、等化、ヴィタビその他、難しい処理が必要となるため、送信側よりも実装が難しい。また、受信した電波からベースバンド信号を生成する方法には、通常のIFから直交復調する方法、LowIFからアンチエイリアジングフィルタによる方法、ダイレクトコンバージョンによる方法などがあるが、LowIFの方法が有力とされる。

2.2.1. 信号検出

受信側では、いつ来るか分からない信号を検出する為に信号レベルをトリガとする。

その後、規格では、プリアンプルに含まれるショートトレーニングシンボルとの相関、さらにはロングトレーニングシンボルとの相関により、信号検出を完了する。

ショートトレーニングシンボルは、ガードインターバルを付加した通常のシンボル2つの期間を持ち、有効サブキャリア52のうち、等間隔の12サブキャリアに既知のデータを与えたものである。12サブキャリアのうち周波数が最低のものは、基本周波数の4倍であるので、ショートトレーニングの信号周期は通常のシンボルの1/4となり、期間内に10回繰り返すことになる。

ショートトレーニングでの相関は、この繰り返しを利用してFFTのサンプリングをベースに行い、5回程度の繰り返しが確認された段階で、並行してロングトレーニングシンボルの検出準備を行う。

また、ショートトレーニングの間には、ゲインコントロールやアンテナダイバシティの選択等も行う。

ロングトレーニングシンボルは、ショートトレーニングと同様に、ガードインターバルを付加した通常のシンボル2回分の期間の信号であり、52サブキャリアに既知のデータを与えたものである。

2.2.2. シンボル同期

FFTの開始タイミングは、シンボル間干渉部を除けば自由度があるので、ロングトレーニングの相関で決定するのが現実的である。

水晶発振器の精度は数ppm程度あるので、パケットが短ければ、その影響を想定する必要はほとんどないと考える。

2.2.3. 等化

各サブキャリアにおいて、線路の影響は位相と振幅の変化として現れるので、補正値がわかれば、FFTの後に座標変換演算により等化処理ができる。

等化のための情報は、ロングトレーニングシンボルのFFT出力を本来のデータと比較することで得られる。

移動体や長いパケットの場合には、定期的に等化の為の情報を更新する必要もあり、このための手法を検討した。

2.2.4. ヴィタビによる復号

送信側でかけた畳込み符号を、軟判定のヴィタビにより復号する。処理に用いるメトリックはコンスタレーションから求める。

パケットの末尾に終結用のデータが置かれているが、打ち切り長を数十ステージとするのが現実的である。処理に使うパスメモリの規模は、状態数(64状態)と打ち切り長(数十程度)により定まる。

3. OFDMベースバンド部の試作

3.1. 試作用プラットフォームについて

ベースバンド部の試作には、LYR社の試作用装置Signalmasterを利用した。

これは、FPGA(Xilinx Virtex XCV800)やDSP(TI TMS320C6701)の他、ビデオ入出力、ADC/DAC、TCP/IPポート等を装備している。

3.2. MATLAB を利用した回路設計

3.2.1. OFDM 基本回路の設計

MATLAB/Simulink により、OFDM ベースバンドの基本回路を記述した。DSP 用と FPGA 用の記述をそれぞれ図 2、3 に示す。

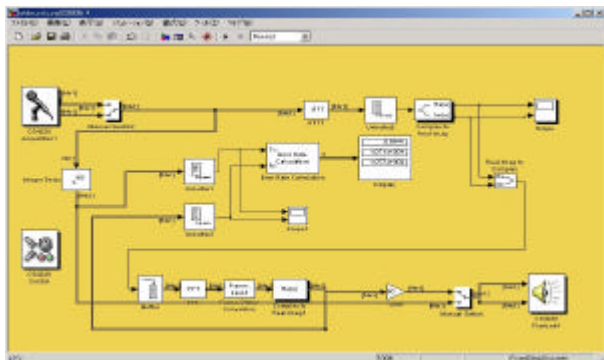


図 2 Simulink での OFDM 回路(DSP 用)

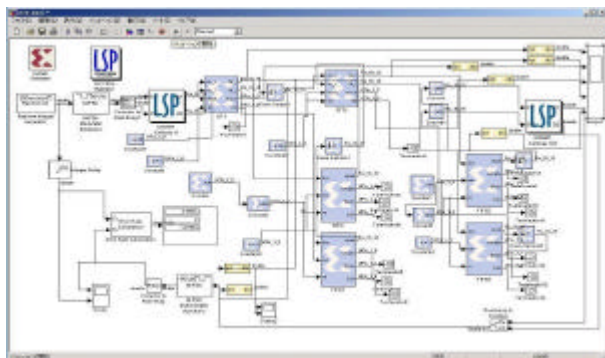


図 3 Simulink での OFDM 回路 (FPGA 用)

FPGA の場合、記述したブロックが IP コアに置き換わるが、FFT コアの場合、入出力でサンプリング速度が異なるため、バッファリングが必要であった。

3.2.2. MATLAB を利用した伝送実験

前項の基本回路を使用して、音声信号と動画の伝送実験を行った。

音声信号の場合は、DSP/FPGA のどちらでも速度的に問題なく伝送できた。

動画の伝送では、画像用バッファメモリ (32MB-SDRAM) を利用する必要があったが、MATLAB/Simulink で FPGA の設計する場合について、未対応であったので、DSP による伝送実験のみ実施した。実験結果を図 4 に示す。この場合は、DSP の処理能力から 200×120 ピクセルの変復調が限界であった。



図 4 DSP による動画の伝送実験

3.3. FPGA による動画処理実験

FPGA による動画伝送実験を行うため、VHDL 記述での回路設計を行っている。この際、LYR 社が VHDL コードで提供するインターフェース回路を修正して利用した。ビデオ入出力、画像用バッファ、OFDM 回路のそれぞれで対応するクロックが異なるため、処理の境界でバッファを含めたタイミング調整が必要である。

予備実験として、ビデオ信号をバッファリング後に表示する実験を行った。結果を図 5 に示す。通常のビデオ信号をほぼ全画面表示で処理できる能力があることを確認した。



図 5 FPGA による予備実験

4. 5GHz 帯高周波回路の試作

4.1. 回路構成と仕様

信号の無線送受信に必要な回路構成は図 6 に示すようになる。

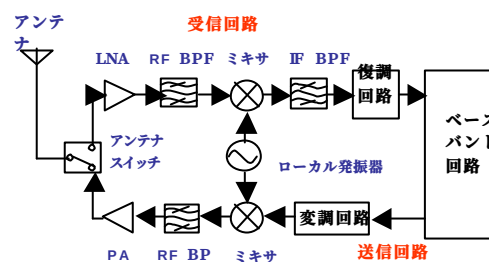


図 6 回路構成

送信回路では変調回路から出力される低い周波数の信号とローカル発振器の信号をミキサで混合して仕様で定めた周波数に変換する。同様に受信側ではアンテナで受信した信号とローカル発振器の信号を混合して復調回路で扱いやすい低い周波数の信号に変換する。試作する回路の仕様は IEEE.802.11a および電波法で定める技術基準適合証明「5GHz 帯小電力データ通信システム」を目安とした。ただし、本研究では動作確認に重点を置いたためレベル調整や同期についてはあまり考慮していない、実際の製品開発で重要になるこれらの数値については実現が難しい場合には規格外の数値を用いた。参考までに技術適合基準の主な項目を以下に示す。

- ・ 割当周波数：5.17～5.23GHz
- ・ 占有周波数帯域幅：18MHz 以内
- ・ 空中線電力：10mW/MHz (OFDM の場合)

4. 2. 回路の試作、評価

送信側の動作確認のためにパワーアンプ、バンドパスフィルタ、ミキサについて市販のデバイスを使用して回路の試作、評価を行った。使用したデバイスと 5.17GHz 付近の主な特性の測定値を以下に示す。なお、測定にはベクトルネットワークアナライザ（ヒューレットパッカード 8753E）、スペクトルアナライザ（ソニーテクトロニクス WCA380）を用いた。

- ・ パワーアンプ（アジレントテクノロジー MGA-83563）、ゲイン 12dB、1dB 利得圧縮点 10dBm、図 7 は電磁界解析による電流分布のシミュレーション

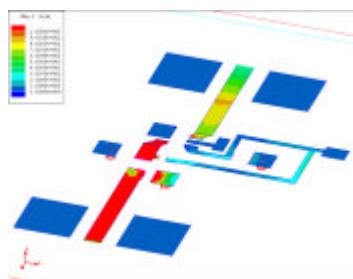


図 7 パワーアンプの電流分布

- ・ バンドパスフィルタ（村田製作所 DFCB35G25LAH）、中心周波数 5.25GHz、帯域幅 200MHz、挿入損失 10dB

- ・ ミキサ（ミニサーキット SKY-60LH）、
I F → R F 変換損失 13dB、L O → R F アイソレーション 16dB、I F → R F アイソレーション 25dB

プリント基板はガラスエポキシ ($\epsilon_r=4.5$ 、 $t=0.8\text{mm}$)、銅箔の厚さ $18\mu\text{m}$ のものを用いた。

4. 3. OFDM 信号の周波数変換

4. 3. 1. 評価方法

4. 2. 項で説明した各要素を組み合わせ、OFDM 信号の周波数変換（アップコンバート）を行い、送信側の動作を評価した。図 8 に試作した回路、図 9 に測定系を示す。OFDM 信号発生装置から 280MHz の I F（中間周波数）信号を入力し、5.17GHz に変換した後、信号解析装置で解析を行った。OFDM 信号は IEEE.802.11a 規格に準拠したデータを PC で作成し、任意信号発生器で I Q 信号にした後、デジタル信号発生器で R F 信号として出力した（図 10）。評価はコンスタレーションと周波数スペクトルで行った。コンスタレーションはベースバンド信号のシンボル配置を振幅と位相で直交座標表示した図で、QPSK、QAM など変調方式によって取得するポイントが決定される。

評価としては測定値が、決められたポイントからどれだけ離れているかを EVM (Error Vector Magnitude) を計算して求めた。周波数スペクトルに関しては信号の形状と電力値、帯域外のスプリアス強度を評価した。

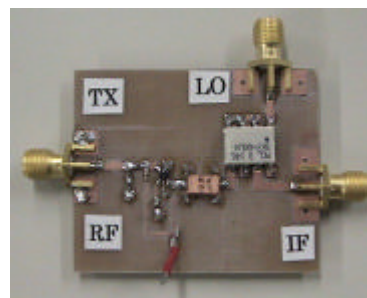


図 8 試作した回路

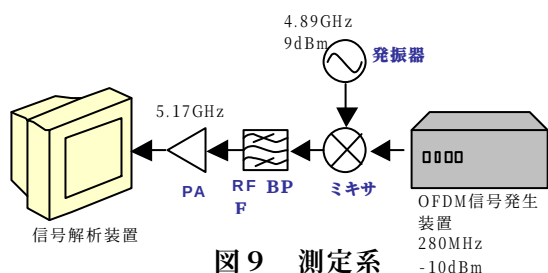


図 9 測定系

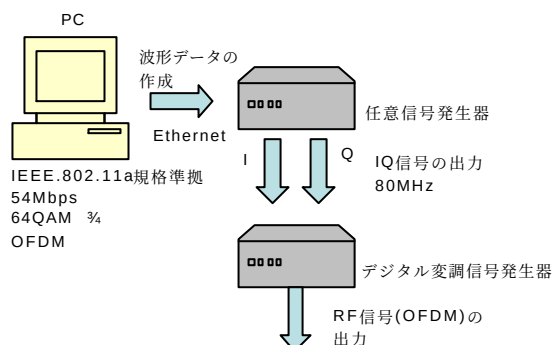


図 10 OFDM信号発生装置

4. 3. 2. 評価結果

図 11 にコンスタレーション、図 12 に周波数スペクトルを示す。スペクトルの図には比較として 5.17GHz の信号を信号発生器から直接出力した場合を載せた。コンスタレーションはほとんどぼらつきも見られず、平均 EVM を計算すると -30.0dB となり IEEE.802.11a の規格 -25dB を満たしている。スペクトル形状は 11a で定められたマスクに収まっており、5.17GHz を直接出力した場合とほぼ同じ形状である。信号の電力値、スプリアスについても、ともに規格に収まっている。ただし本実験では信号の電力値が約 -20dBm/MHz と小さいが、実際電波で放射するには 0dBm/MHz 程度まで増幅する必要がある。

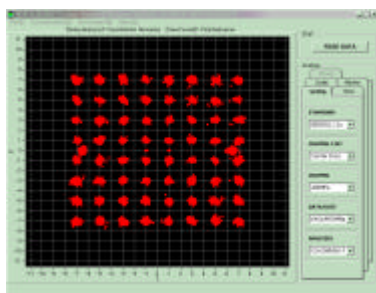


図 11 コンスタレーション

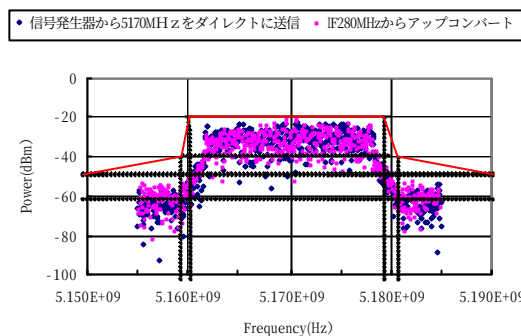


図 12 周波数スペクトル

5. 結言

(1) OFDM ベースバンド部の回路構成について検討した。検討において IEEE802.11a を参考にしているが、公称の伝送速度は瞬時値であり、連続した画像伝送の速度として理解できる値ではない。画像伝送に利用する場合は、連続信号の垂れ流しが現実的と考えるが、その場合には同期の維持と連続的な等化情報の更新が必要となる。

(2) OFDM 変復調について、DSP により変復可能であることが確認できた。また FPGA を用いて、全画面を処理する能力があることを確認し、変復調回路の試作を行っている。

(3) 試作した回路を用いて OFDM 信号の周波数変換 (アップ) を行い、コンスタレーション、スペクトルともに規格を満たすことを確認した。信号レベル、同期の考慮が今後必要である。

参考文献

- 1) IEEE Std 802.11a-1999
- 2) (財) テレコムエンジニアリングセンター: 「技術基準適合証明 無線設備の特性試験方法 (その 10)」
- 3) 斉藤洋一: 「デジタル無線通信の変復調」電子情報通信学会
- 4) 貴家仁志: 「マルチレート信号処理」昭晃堂
- 5) 伊達 玄: 「信号とシステム～アナログとデジタル (3)」コロナ社

共 同 研 究

活性白土製造後の廃酸の利用に関する研究（第1報） （硫化水素等、有害物質除去剤への展開）

鈴木 一彦* 溝口 保夫* 渡辺 博文*
渡邊 健次郎** 久保田 順一** 内山 雅彦** 山田 昭博**

Utilization of acid wastes from activated bleaching clay manufacturing process
(Application to harmful compound absorbents)

SUZUKI Kazuhiko* MIZOGUCHI Yasuo* WATANABE Hirofumi*
WATANABE Kenjiro** KUBOTA Junichi** UCHIYAMA Masahiko** and YAMADA Akihiro**

抄 録

活性白土製造工程より発生する酸廃棄物（廃酸）の有効利用を目的として、金属分を含む廃酸を中和・凝集沈殿処理などを行い水和含鉄アルミニウムが調製されている。水和含鉄アルミニウムは主に水処理剤として使われているが、有害物質吸着剤、特に硫化水素の吸着剤¹⁾としても優れた能力を有している。そのため本研究では水和含鉄アルミニウムの吸着剤としての応用について検討した。水和含鉄アルミニウムを用いた硫化水素発生現場における実証試験では著しい周辺環境の改善が認められた。また速度論的解析により、水和含鉄アルミニウムによる硫化水素吸着のメカニズムを推定できた。さらに水和含鉄アルミニウムはアンモニア吸着能力を有していることが明らかとなった。

1 緒言

水澤化学工業（株）では新潟県北部より産出する酸性白土を原料にして活性白土を製造している。活性白土は酸性白土を硫酸処理することで製造されるが、その工程より排出される酸廃棄物（廃酸）は浄水用の凝集沈殿剤として利用するとともに、吸着剤などの製造原料としても用いているが、一部は中和処理等を行った後固形分を埋め立て処理しており、廃棄物の削減を進める上から更なる再利用開発が求められている。廃酸を中和・凝集沈殿処理等することにより得られる水和含鉄アルミニウム（以後アルフェマイトと略す）はアルミ、鉄などの金属分を含むとともに、比表面積も比較的大きい。このため、各種吸着剤への展開の可能性が考えられ、アルフェマイトの硫化水素等有害物質除去剤へ

の適用について、現在までに行った研究について報告する。

2 硫化水素吸着剤への展開

2. 1 硫化水素吸着試験

アルフェマイトの組成はおおよそ Al_2O_3 : 70%、 Fe_2O_3 : 8%、 SiO_2 : 2%、 SO_3 : 1%、Ig-loss : 19%である。アルフェマイトには鉄分が含まれていることから硫化水素の吸着性能があると考えた。そこで定量容器中にアルフェマイトを入れ、硫化水素ガスを注入して硫化水素の吸着減少をみる定性実験を行った。その結果、自重の140wt%を越える硫化水素ガスを吸着することが明らかとなった。（本報における吸着は広義の吸着と定義する）

2. 2 硫化水素発生現場における実証試験

アルフェマイトに硫化水素の吸着性能が認められたことから、実用性を確認するため、硫化

* 水澤化学工業株式会社
** 研究開発センター

注)：正確には反応処理剤として機能していると考えますが、ここでは吸着を広義に考えこれを使用する。

水素臭がするとの住民苦情がある産業廃棄物処理場（建築廃材埋め立て地）に小規模な固定床式吸着反応塔を設置し、硫化水素の除去実験を行った。

実験地の硫化水素発生は試掘坑（地中 4～6 m）による検査で、1,000 ppm～10,000 ppm に達するものであった。

アルフェマイトを詰めた固定床式吸着反応塔（吸着塔部分： $\phi 0.2 \times 0.8$ m、写真 1）を試掘坑上部に設置し、土圧により抗をあがってくる硫化水素ガスをアルフェマイトに吸着させた。

空間速度を 277（吸着層：15.3 L、通気量：69.6 L/min）としたが、500～1,000 ppm で発生する硫化水素を長期にわたって 100% 近く除去することを確認した。（図 1）

その結果、埋め立て地付近の硫化水素臭は激減し、実験前には草も生えていなかった処分場に草が生育するところまで環境回復が認められた（写真 2，3）。



写真 1 実験に使用した吸着塔

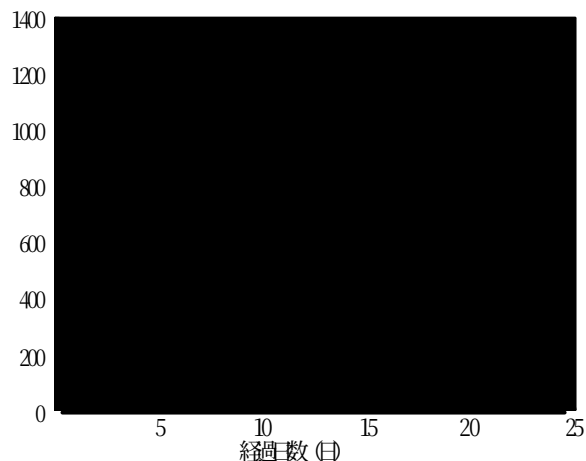


図 1 実証実験データの一例



写真 2 実証実験前の埋め立て地の様子



写真 3 実証実験後の様子（約 3 ヶ月後）

2. 3 硫化水素吸着メカニズムの解明 ～定性的解析～

アルフェマイトは硫化水素を吸着すると瞬時に淡黄褐色から黒化し、時間の経過とともに元の淡黄褐色へと変化する。そこで硫化水素の吸着がどのようなメカニズムにより行われているのかを明らかにするため、X 線回折実験を行った。X 線回折装置は理学電機（株）社製 RAD-2B を用いた。硫化水素を吸着させる前と、吸着させた後のアルフェマイトについて、X 線回折による解析を行ったところ、吸着前は目立ったピークは認められず、パーマイトゲル様のパターンを示していた。吸着後のサンプルでは固体硫黄のピークが認められ、本アルフェマイトでは硫化水素を吸着するのみではなく、反応により固体状の硫黄まで酸化させていることが明らかとなった。

2. 4 硫化水素吸着メカニズムの解明

～速度論的解析～

速度論的解析から吸着メカニズムを解明するため、デシケーター（容量約 12 L）を用いて以下の方法により静的吸着実験を行った。

- (1)デシケーター中に約 1 g（含まれる鉄分約 1 mmol）の粉末状のアルフェマイトを投入し、硫化水素ガスを 10 ml(約 0.45 mmol)注入し、
- (2)適当な時間に内部の硫化水素濃度を検知管を用いて測定。
- (3)残留硫化水素濃度がほぼゼロとなった時点で検知管吸引により陰圧になっているデシケータに外気を導入して圧力差をゼロとし、再度硫化水素ガス 10～100 ml を注入し、測定を繰り返した。

デシケータ内の硫化水素濃度をガス注入後の経過時間に対してプロットすると図2のようなグラフが得られた。このグラフより、本アルフェマイトにおける硫化水素吸着は一次反応的であることが明らかとなった。また、それぞれの吸着曲線に対し、近似曲線（近似式： $Y=B\exp(-AX)$ 、X：時間、Y：残留硫化水素濃度）を求め、近似式における A の値を反応定数とした。静的吸着実験を繰り返し各バッチで求められる反応定数 A をその実験までに吸着した硫化水素量に対してプロットすると、図3中■のようなグラフを示した。

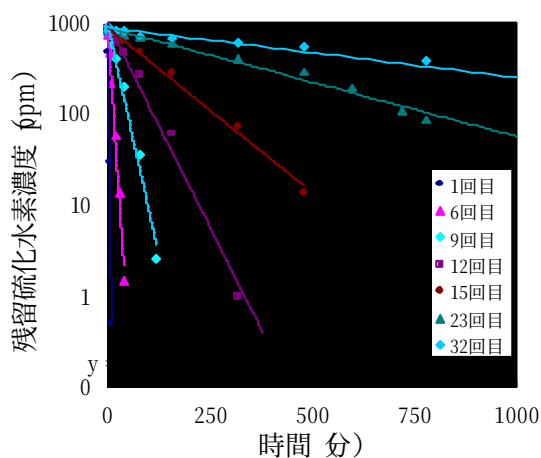


図2 硫化水素吸着実験データの一例

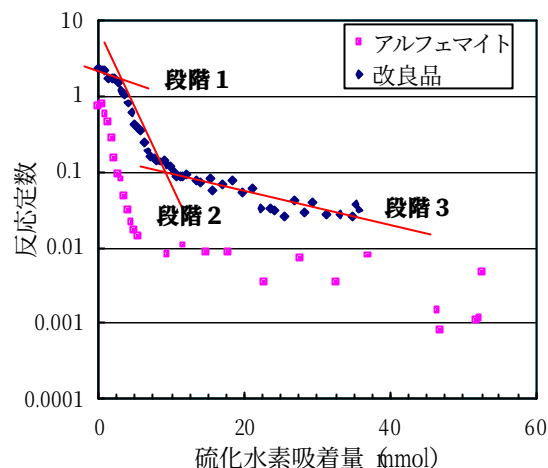


図3 硫化水素吸着量に対する反応定数変化

これを見ると硫化水素の吸着は3つの段階に分かれているように思われた。

- (1)段階1：約 1 mmol の硫化水素を吸着するまで

硫化水素吸着量の少ない段階で、硫化水素のモル数がアルフェマイト中の鉄のモル数とほぼ等しい量までは反応速度定数にほとんど変化が起こらずに吸着される。この段階では鉄と硫化水素が化学的な反応を行うために非常に早い吸着を示すものと思われる。

- (2)段階2：約 5.5 mmol の硫化水素を吸着するまで

次の段階では反応定数がその反応までに吸着した硫化水素量に対してほぼ指数関数的に減少している。これはアルフェマイト表面の反応部位が硫化水素の吸着に伴い酸化されて生成した硫黄分の蓄積等により減少するためと思われる。

- (3)段階3

その後は吸着した硫化水素量に対して反応定数は非常に緩やかな減少傾向を示しつつ乱高下を示している。この段階では反応部位へほぼ硫黄分が蓄積され、蓄積層への硫化水素拡散が律速となる。さらに S-S 結合などの生成、反応表面の変化が生じるなどで反応定数の乱高下が認められるものと思われる。

2. 5 鉄分による硫化水素吸着性能の向上

硫化水素の吸着がアルフェマイトに含まれる

鉄分に依存すると思われるため、鉄分を増量したアルフェマイト（改良品）を調製し、上記方法にて同様に硫化水素の吸着実験を行った。鉄分を増量したアルフェマイトの組成は Al_2O_3 : 57%, Fe_2O_3 : 20% (鉄分約 2.5 mmol) であり、鉄含量は改良前の約 2.6 倍であった。

改良したアルフェマイトの硫化水素吸収量の増加に伴う反応定数変化は改良前のものと同様であった（図3◆）が、段階1より段階2に移る点が高硫化水素側に移っており（鉄のモル数とほぼ等しい点）、さらにその点までの平均的な反応定数は改良前に比べ約 2.8 倍と鉄含量の増加に応じて高くなっていた。

3 アンモニア吸着剤への展開

3. 1 アンモニア吸着性能試験

硫化水素以外にもアルフェマイトが悪臭物質の除去に適用できるかを調べるために、カラムを用いたアンモニアの吸着実験を行った。アンモニアガスの発生源としては、フラスコに所定濃度のアンモニア溶液を入れておき、そこへポンプからのガスを通しバブリングすることで所定濃度（約 100～1,000 ppm）のアンモニアガスを発生させた。このアンモニアガスを改良したアルフェマイトを詰めたカラムに約 200 ml～1 L/min の流量で通し、カラム前後のアンモニア濃度変化から吸着されたアンモニア量および吸着率を調べた。

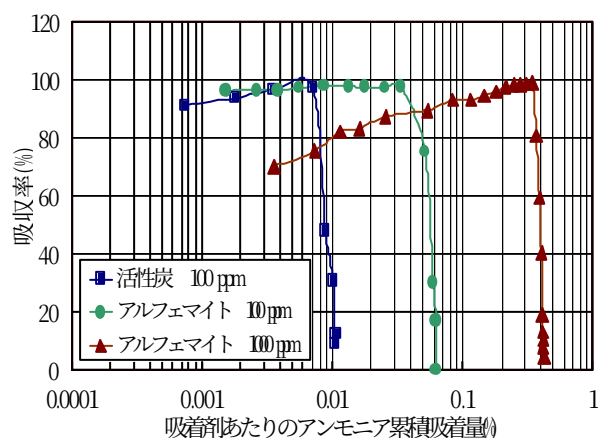


図4 脱硫基材によるアンモニア吸着データ

カラム実験の結果を図4に示す。比較として市販の活性炭を用いた。その結果、低濃度（約 100 ppm）のアンモニアガスを通した際に、活性炭では自重の約 0.007%しか吸着しないのに対し、アルフェマイトでは低濃度（100 ppm）で活性炭の約 6 倍、高濃度（約 1,000 ppm）では約 60 倍高い吸着が認められた。

3. 2 工場臭気除去への展開

ある堆肥製造工場では食品残渣等を発酵させて堆肥を製造している。しかし、その発酵工程で数十から数百 ppm のアンモニアを含む悪臭が発生し、その対策に苦慮していた。そこで、酸性ガスである硫化水素を吸収するとともにアンモニアも吸着できるアルフェマイトを用いアンモニアを含む複合臭気の除去に適用できるかの試験を行った。

工場内部の空気をポンプにより吸引し、ガス溜め用の袋に溜め、このガスを送風ポンプによりアルフェマイトを詰めたカラムに通過させた。カラム前後のアンモニア濃度を検知管によりチェックすると共に、脱臭効果を確認した。その結果、アンモニア成分の除去によりアンモニア特有の刺激臭から、野菜の腐敗臭程度の悪臭に低減できた。しかしながら吸着法の高濃度対応性の限界があり、高濃度臭気に対しては前処理の必要があると考えられた。しかしながら吸着速度と量的問題から考えて、作業員の防臭マスク用吸着剤としては十分に利用でき、現在も作業用マスクとして利用している。

4 結言

これまでの実験より以下のことが明らかとなった。

- (1) 廃酸より調製したアルフェマイトは硫化水素を吸着する。
- (2) 硫化水素の吸着と共に化学反応により分子状の硫黄まで酸化する。
- (3) 建築廃材埋め立て地における実証試験では、付近の硫化水素臭が激減し、草も生育する

まで環境が改善した。

- (4) 酸素のある条件下では市販の硫化水素吸着剤よりも優れた吸着性能を有していた。
- (5) アルフェマイトはアンモニアも吸着した。

5 今後の課題

本アルフェマイトは酸素のある条件では十分に硫化水素を吸着するものの、無酸素条件下では著しくその能力を低下させることが実験により明らかとなっている。そのため無酸素条件における硫化水素吸着性能の向上と硫化水素吸着後の再生処理が今後の課題である。

活性白土製造後の廃酸の利用に関する研究（第2報） （硫化水素等、有害物質除去剤への展開）

鈴木 一彦* 岡林 誠治* 溝口 保夫* 渡辺 博文*
渡邊 健次郎** 久保田 順一** 内山 雅彦** 山田 昭博**

Utilization of acid wastes from activated bleaching clay manufacturing process
(Application to harmful compound absorbents)

SUZUKI Kazuhiko*, OKABAYASHI Seiji*, MIZOGUCHI Yasuo*, WATANABE Hirofumi*,
WATANABE Kenjiro**, KUBOTA Junichi**, UCHIYAMA Masahiko** and YAMADA Akihiro**

抄 録

活性白土製造工程より発生する酸廃棄物（廃酸）の有効利用を目的として、金属分を含む廃酸を中和・凝集沈殿処理などを行い調製された水和含鉄アルミニウム（アルフェマイト）による硫化水素の吸着に関する研究を行った。昨年度の研究では、アルフェマイトによる硫化水素吸着機構の解明と吸着性能の評価を行い、その吸着性能は市販吸着剤よりも優れたものであることを明らかにした。しかしながら酸素の無い条件では吸着性能が著しく低下したため、本年度は無酸素条件下における吸着性能の向上について第三元素の添加による検討を加えた。また、硫化水素吸着後の吸着剤の処理方法に関しても検討を行い、硫化水素吸着後の酸への再溶解による再処理方法に関して目処が立った。

1 緒言

水澤化学工業（株）では新潟県北部より産出する酸性白土を原料にして活性白土を製造している。その製造工程より発生する酸廃棄物（廃酸）を有効利用するため、廃酸を中和・凝集沈殿処理などを行い調製された水和含鉄アルミニウム（以後アルフェマイトと略す）の、各種吸着剤への展開の可能性を検討した。昨年度の研究ではアルフェマイトの硫化水素等有害物質除去材への適用について検討を行った。その結果、アルフェマイトによる硫化水素吸着反応は硫化水素を固体状の硫黄にまで変換するとともに、酸素のある条件では市販の吸着剤よりも優れた吸着性能を有していた。⁽¹⁾ しかしながら無酸素条件下では著しくその吸着性能を低下させることから、アルフェマイトに第三物質を添加する

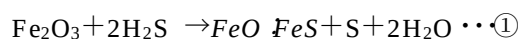
ことにより、アルフェマイト中の酸素放出を期待して、無酸素条件下における硫化水素吸着性能の向上を試みた。また、各種吸着剤に於いては使用後の処理方法が問題となっているため、使用済みアルフェマイトの再生方法についても検討を行った。

さらに、硫化水素のみでなく、硫化水素を含む複合臭気の除去に対する要望が多く、硫化水素を含む複合臭気に対応できる横型多段式吸着装置も作製した。

2 無酸素条件下における硫化水素吸着性能の向上に関する試験検討

昨年度の速度論的解析より、アルフェマイトによる硫化水素吸着反応は次のように進むと考えた。⁽¹⁾

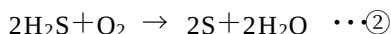
（第1段階）



* 水澤化学工業株式会社

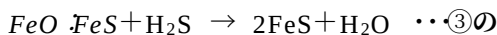
** 研究開発センター

(第2段階)



($\text{FeO} : \text{FeS}$ が触媒的な働きをしている)

酸素がないと第2段階の反応が進まず、



反応により硫化水素の吸着が止まってしまう。

一方、アルフェマイトの組成はおよそ $\text{Al}_2\text{O}_3 : 70\%, \text{Fe}_2\text{O}_3 : 8\%, \text{SiO}_2 : 2\%, \text{SO}_3 : 1\%, \text{Ig-loss} : 19\%$ であり、アルミと結合した酸素原子が多量に存在している。この酸素原子を反応に用いることができれば、硫化水素の吸着が進むと期待できる。そこで、アルフェマイトにアルミと鉄の中間の電気陰性度を有する第三元素を添加して、その効果を検討することとした。

2. 1 添加元素の選定

アルミと鉄の中間的な電気陰性度を有する元素としては In、W、Zn、Cr、Ga、Nb、V の七種類である。これらの中で、試薬としての入手性、合成のための溶解性・操作性、毒性、価格等で検討したところ、In、Zn、Cr の三元素が候補となった。これら元素をアルフェマイト合成時に 5、10、及び 20wt% となるように添加したドーピングアルフェマイトを合成し、その効果を検討した。

2. 2 ドーピングアルフェマイトの静的硫化水素吸着試験

第三元素添加の効果を、デシケーターを用いた静的硫化水素吸着試験により検討することにした。容量約 12L のデシケーターに、0.05 g のアルフェマイトを入れて窒素ガスで置換した後、硫化水素ガス 10 ml を加えて一定時間経過後の残留硫化水素濃度の変化を検知管により測定した。その結果を図 1 に示す。

その結果、水澤化学工業(株)の工場で合成したアルフェマイトに比べて 5% の Zn、および 10% の Cr を添加したアルフェマイトが高い硫化水素吸着性能を示した。最も良い吸着を示したのは実験室レベルで合成したアルフェマイトであった。

本実験の静的吸着試験では反応により生成し

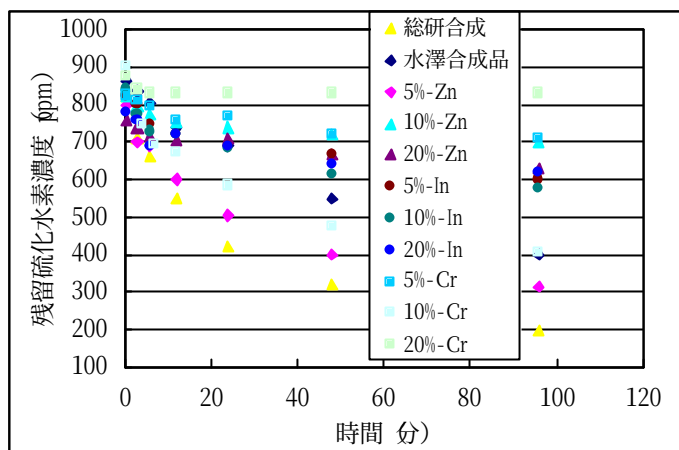


図 1 窒素条件下における静的硫化水素吸着特性

た硫黄が反応部位に蓄積するため、硫化水素吸着性能に影響を与えと考えられる。そこで、水澤化学合成品より高い吸着性能を示したサンプル (10%-Cr、5%-Zn) について、カラムを用いた動的試験により硫化水素吸着性能を検討することとした。

2. 3 ドーピングアルフェマイトの動的硫化水素吸着試験

動的試験に用いた装置の概略図を図 2 に示す。窒素ガス中に定量ポンプを用いて硫化水素ガスを供給・混合し、カラムに供給した。カラム前後の硫化水素濃度は検知管もしくはガス警報器にて測定し、供給ガス量は SV (空間速度) が約 3,000 (/hr)、供給硫化水素ガス濃度は 1.2~2.0% となるように調整した。

実験結果を図 3 に示す。比較として市販の脱硫剤を用いた。テストした 4 つのサンプル (水澤化学合成品、10%-Cr および 5%-Zn を添加したもの、総研合成品) では、すべて市販脱硫剤に比べて高い硫化水素吸着性能を示していた。さらに、試験時におけるカラムの様子の一例を図 4 に示すが、アルフェマイトでは硫化水素を吸着した部分が徐々に黒化していき、カラムの下端まで到達すると、出口側の硫化水素濃度が上昇するため、実使用では視覚的に確認できる利点がある。しかしながら、今回試験したサンプルにおいては静的試験と同様に総研合成品を上回る吸着性能を示すものは見られなかった。

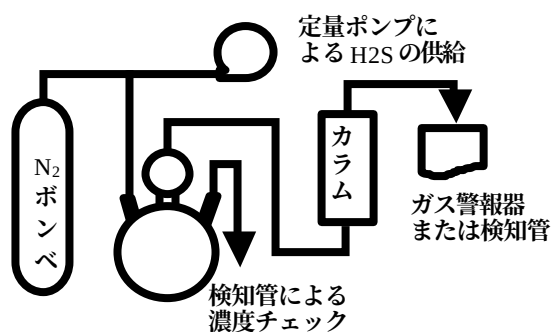


図2 カラム実験の概略図

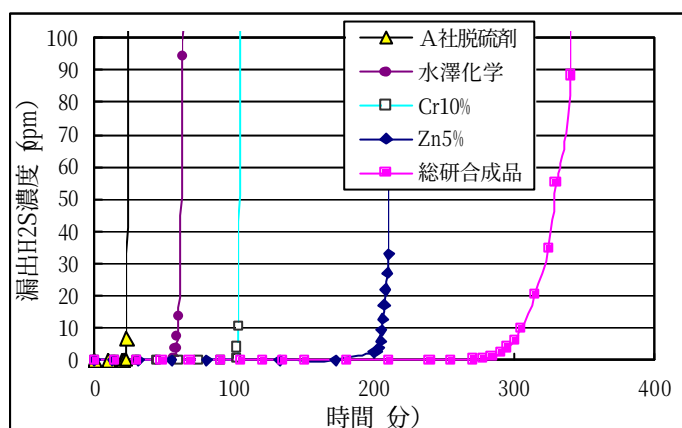
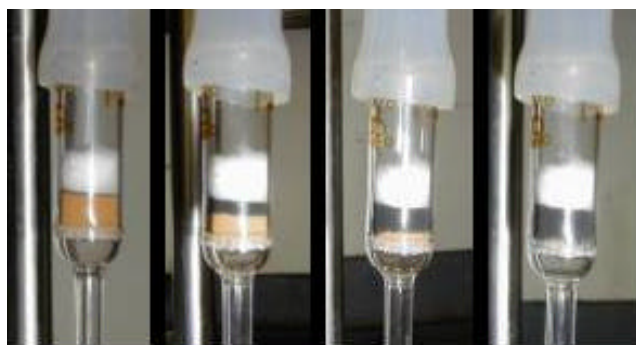


図3 動的試験結果のまとめ



開始時 破過時

図4 動的試験時のカラムの様子
(硫化水素は上方より下方へ流れる。
時間経過に伴い黒色部分が増えていく)

しかしながら第三物質添加の効果として、アルフェマイトの粒体構造に改良が加えられることが推察された。このアルフェマイトにおける粒体構造の変化から、偶発的に構造表面での鉄：アルミの出現比率の変化を生じたものが高吸着性能を有したものと考えた。

3 使用済みアルフェマイトの再生処理方法に関する検討

多くの各種市販吸着剤は使用後の処分方法が問題となっている。アルフェマイトも実証試験後の廃棄方法が問題となったため、安価な再生処理方法について検討することとした。今回、高温水中での硫黄の溶融分離、二硫化炭素を溶媒に用いた抽出分離、アルフェマイト自身を酸へ溶解し、再利用する溶解分離の三法について検討を行うこととした。

3. 1 高温水中での溶融分離

アルフェマイトへの硫黄の蓄積が、表面への硫黄の沈着と考えられるため、水中に入れたアルフェマイトを硫黄の融点（110～120℃）以上の温度に加熱することで、水をキャリアとして硫黄を遊離できると考えた。そこで、20 gの硫黄吸着アルフェマイトと水 200 mlを反応容器に入れ、150℃に設定したオートクレーブ（耐圧硝子工業（株）製 TAS-065）にセットした。150℃到達後30分間これを保持、その後徐冷し、硫黄の分離状況を確認したが、硫黄の分離は認められなかった。本方法を用いるためにはアルフェマイトと溶融硫黄との間に分離力を働かせる必要があると考えられる。

3. 2 二硫化炭素による抽出分離

硫黄の良溶媒である二硫化炭素を用いた硫黄の抽出分離によるアルフェマイトの再生を検討した。硫黄の抽出方法としては、2 Lの大型ソックスレー脂肪抽出器を用いて行った。

その結果、吸着した硫黄量の9割以上が除去されたと思われるものの、未使用アルフェマイトの2割程度しか硫化水素吸着性能が回復しなかった。

3. 3 廃酸への再溶解による分離

アルフェマイト自体を廃酸に溶解し、硫黄を固形分として回収後、再利用する溶解分離方法について検討した。廃酸に使用済みアルフェマイトを加え、90℃程度で1時間加熱したところ、アルフェマイトの溶解と、乳白色の固形物が認められた。これをろ過し、溶媒による溶解およ

びX線回折により、ほとんどが硫黄であると確認できた。経済性、品質等も併せて考えると、廃酸への再溶解による吸着物分離方法が最も優れていると考えられる。

4 複合臭気に対応できる新規吸着装置の試作

本共同研究においては各種現場実験を多く行ってきた。その中で硫化水素単独臭気が問題となるところもあるものの、硫化水素を含む複合臭気に対して効果のある吸着剤に関する要望が多かった。アルフェマイトは硫化水素の吸着性能は非常に高く、アンモニア、メルカプタン等もある程度は吸着できる。しかしながら硫化メチル、トリメチルアミン等の臭気物質に対する吸着性能が弱い。

そこで、アルフェマイトに加え、塩基性および中性ガスにも対応できるアルフェマイトの改良品や活性炭等の各種吸着剤を併せて使用できる多段式横置型吸着装置を設計、製作した。その写真を図5に示す。本装置はトラックの荷台にブロワ、吸着塔部分、発電機等がすべて収まるため、臭気発生場所へそのまま移動できる利点がある。



図5 多段式横置型吸着装置

5 結言

- (1) アルフェマイトにおける硫化水素吸着性能の向上の検討では、第三物質添加によりアルフェマイトの粒体構造に改良が加えられることが明らかになり、

吸着性能向上へのヒントが得られた。

- (2) 使用済みアルフェマイトの処理方法として熔融分離、抽出分離、溶解分離の三法を検討した結果、廃酸への再溶解による吸着物分離方法が経済性、品質等で最も優れていた。
- (3) 多段式横置き吸着塔を設計・製作し、硫化水素を含む複合臭気に対応できる吸着装置を作製した。

参考文献

- 1) 新潟県工業技術総合研究所：工業技術研究報告書「活性白土製造後の廃酸の利用に関する研究（第1報）」p33～p37, No.32, (2003)

有機金属の積層コンデンサーへの応用研究

吉井 明人* 鈴木 憲一* 横山 公憲* 高松 秀機* 北村 昌広*
渡邊 健次郎** 紫竹 耕司** 佐藤 健**

A Study on Application of Metal Organic Acid Salt to Malti Layer Ceramic Condenser

YOSHII Akihito*, SUZUKI Kenichi*, YOKOYAMA Kiminori**, TAKAMATSU Hideki*,
KITAMURA Masahiro*, WATANABE Kenjiro**, SHICHIKU Kouji** and SATOU Takeshi**

抄 録

積層セラミックコンデンサーの小型大容量化に伴う、内部電極の薄膜化に適用可能な導電性ペーストの開発を行った。本研究では、金属有機酸塩を有機溶剤に溶解させてペースト化する有機金属法により、卑金属であるニッケル有機酸塩と非アミン系溶剤を用いたペーストの作製を検討した。

酢酸ニッケルとテトラエチレングリコールを主剤として選定し、ペーストを作製した。さらに、このペーストをスクリーン印刷し、塗膜を焼成した結果、粒径が数10 nmの微粒子で形成された導電膜が得られた。

1. 緒 言

近年、電子機器の小型軽量化に伴い、それに実装されるチップ部品も小型化、薄型化が進展している。チップ部品の一つである積層セラミックコンデンサ（MLCC）についても小型化、大容量化、そして低コスト化のための研究が盛んに行われている。

MLCCは、誘電体層と内部電極層が交互に数百層積層された構造となっている。上述の小型、大容量化に伴い、内部電極層、誘電体層共に近年著しく薄膜化しており、内部電極層については、将来1 μm 以下の層厚が必要と言われている。また、低コスト化に伴い、内部電極に使用される金属はパラジウム等の貴金属から、ニッケルや銅等の卑金属が使用されるようになってきた。

内部電極の形成に使用される導電性ペーストは、一般に金属粒子を高分子を含む粘調液体に分散させたものであるが、この金属粒子は従来、粉碎法等のいわゆるブレイクダウン方式で製造されていた。しかし、上述の薄膜化に対応するためには、数十nm以下の粒径が必要であり、この方式では微粒化に限界がある。このため、近年、より微細な粒子が製造可能な、湿式化学還元法やCVD法等のビ

ルドアップ方式に移行しつつあるが、その一つに、金属有機酸塩を有機溶媒に溶解させてペースト化する有機金属法がある。この方法は金属塩の溶解過程あるいはペーストの焼成過程で金属粒子を析出させ、焼成膜を得るので、製法の容易さが特徴であるが、これまでは金属粒子が容易に析出する貴金属塩の研究が主であった。また使用される有機溶剤も溶解性の高いアミン系溶剤を用いる例が多く、焼成時に窒素酸化物等の有害ガスが発生するという問題があった。

そこで本研究は、卑金属であるニッケル有機塩と非アミン系溶剤を用いた内部電極用ペーストの開発を目的として、

- (1) ペーストの主剤となる有機溶剤の選定
- (2) ペースト化の方法について、加熱溶解法と水溶液からの作製法の検討

を行った。

2. 有機溶剤の選定

2. 1 実験方法

2. 1. 1 試料

主剤となるニッケル塩は酢酸ニッケル四水和物とした。これは有機溶剤に比較的溶解性

* ナミックス株式会社

** 研究開発センター

があること、かつニッケル有機酸塩の中では分子量が小さい部類に属するため、ペースト化した場合にニッケル含有率を大きくできるという利点がある。

スクリーニングに使用した有機溶剤は、表1に示すアルコール系、アルデヒド系の溶剤とした。これらを選択した理由は、還元性溶剤であること、酢酸ニッケル4水和物の溶解性が高いことによる。

表1 スクリーニングした溶剤

分類	試薬
環状エーテル類	2,3-エポキシ-1-プロパノール 3-エチル-3-ヒドロキシメチルオキセタン *1 テトラヒドロフルフリルアルコール テトラヒドロピラソ-2-メタノール
グリコール類	エチレングリコール ジエチレングリコール トリエチレングリコール テトラエチレングリコール ポリエチレングリコール ポリエチレングリコール#300 プロピレングリコール トリプロピレングリコール
グリコールエーテル類	2-エトキシエタノール 2-(2-エトキシエトキシ)エタノール 2-ブトキシエタノール トリエチレングリコールモノメチルエーテル ジプロピレングリコールモノメチルエーテル
アルデヒド類	フルアルデヒド ヘプタアルデヒド トルアルデヒド シナムアルデヒド クロトンアルデヒド サリチルアルデヒド グリオキサル40wt%sol. グルタルアルデヒド25wt%sol.

*1 東亜合成
無印 和光純薬

2. 1. 2 塗布

酢酸ニッケル四水和物（和光純薬）1 gと表1に示した各種有機溶剤20 gを混合し、24時間以上静置して溶液を作製した。この溶液を25×50 mmのアルミナ基板上に約0.5 cc塗布した。

2. 1. 3 焼成

真空熱処理炉（島津製作所製VHOG r）により、上記試料を以下の条件で焼成した。

- ・圧 力：0.001～0.1 Pa
- ・昇 温：60分
- ・温 度：400℃（維持30分）

2. 1. 4 測定

デジタルマルチメータで成膜領域両端の電気抵抗を測定した。

（成膜面積、膜厚のばらつきが十分に考慮されていないが、スクリーニングが目的であるため可とした。）

2. 2 結果

図1に抵抗値の測定結果を示す。

図中、a～cに示すようにグリコール類を溶剤とした場合に、一部に特異的に小さい値を示すものがあった。a～cの溶剤は、それぞれ、

a：テトラエチレングリコール

b：トリエチレングリコール

c：ポリエチレングリコール#300

であり、特にテトラエチレングリコールが最も小さい抵抗値を示した。

この結果から、高沸点のグリコール系溶剤が、ペースト化剤として有効であることがわかった。

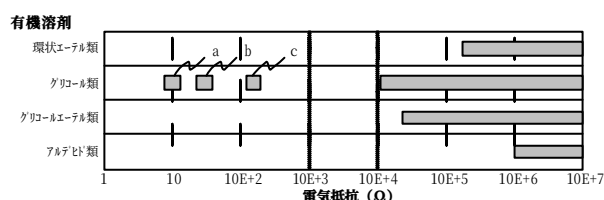


図1 電気抵抗

3. ペースト化の検討

前項で最も小さい抵抗値を示したテトラエチレングリコールを用いてペーストの作製を試みた。

3. 1 加熱溶解による作製

3. 1. 1 実験方法

表2に示すように、酢酸ニッケル四水和物

の割合が33、50、56wt%となる、テトラエチレングリコールとの混合液を作製し、オイルバスを用いて120℃に維持した状態で、フラスコ内で攪拌しながら、1時間加熱還流した。

表2 塩と溶剤の配合(1)

試料	試薬配合量		ニッケル含有量
	酢酸ニッケル四水和物	テトラエチレングリコール	
33wt%	20g	40g	8wt%
50wt%	20g	20g	12wt%
56wt%	25g	20g	14wt%

3. 1. 2 結果

加熱還流中の混合液は、ニッケル塩の粒子が、テトラエチレングリコール中で分散した状態から、緑色半透明液体に変化し、その後増粘を伴いながら、緑色の乳濁液へと変化した。各試料同様な変化を示すが、56wt%混合液については、増粘により流動性が著しく減少し、ニッケル塩の未反応粒子が残留した。

したがって、酢酸ニッケル四水和物とテトラエチレングリコールから試作できるペーストのニッケル含有率の上限は、12%程度と考えられる。

3. 2 水溶液からの作製

3. 2. 1 実験方法

酢酸ニッケル四水和物と水を1:10で溶解させた水溶液を作製し、この水溶液とテトラエチレングリコールを表3のように混合した。次にロータリーエバポレータを用いて、80℃で水分を除去した。水分量に相当する重量が減じた時点で留去を止め、室温で24時間放置した。

表3 塩と溶剤の配合(2)

試料*1	試薬配合量		ニッケル含有量
	水溶液(塩)*2	テトラエチレングリコール	
33wt%	33g(3g)	6g	8wt%
50wt%	55g(5g)	5g	12wt%
56wt%	55g(5g)	4g	14wt%

*1 水分量を除外した塩の濃度

*2 酢酸ニッケル四水和物水溶液の重量と含まれる塩の重量

3. 2. 2 結果

水分を除去した直後は、いずれも緑色透明液体であるが、24時間の放置により50、

56wt%の溶液は、目視で判別できる程度の大きな酢酸ニッケル粒子が析出した。

33wt%溶液は、均一に乳濁した溶液へと変化し、加熱溶解で作製したペーストと同様な外観を示した。

3. 3 考察

水溶液からの作製法では、酢酸ニッケル四水和物が50wt%(ニッケル含有率12wt%)以上の割合ではペースト化できなかったため、加熱溶解による作製法の方が、ニッケル含有率の高いペーストを作製する際には有利と考えられる。

水溶液による作製法では、水分留去直後、塩の過飽和状態となっているため、塩が析出しやすい状態にある。これにより、塩と溶剤の反応が進行する前に塩が析出するため、加熱溶解による製法に比べ、ニッケル含有率が小さくなると考えられる。

また、積層コンデンサの内部電極等に使用される導電性ペーストのニッケル含有率は、通常40~50%以上である。上述の加熱溶解による方法でもまだ小さい値となっており向上が望まれる。

4. 焼成実験

前項で50wt%の混合液から作製した加熱溶解ペースト(ニッケル含有率12wt%)を使用し、焼成膜の評価を行った。

4. 1 塗布

幅1mm×長さ30mmのジグザグパターンを形成した乳剤厚20μm、250メッシュのスクリーン版を用いて、スライドガラス上にペーストを塗布した。(形状は図2に示す。)



図2 スクリーン印刷による焼成膜

また、塗布後の乾燥の有無の影響を調べるため、ホットプレート上で 100°C 30分の条件で乾燥させた試料も作製した。

4. 2 焼成

高真空加熱装置VTS-420-9（ニッカトー製）により行った。試料を装置内にセットし、装置内を 20Pa に減圧、窒素ガスに置換した後、加熱をした。

条件の詳細は以下のとおりである。

- ・雰囲気：窒素ガス 99.95%
（流量：1リットル／分）
- ・昇温： 400°C ／時間
- ・温度： $300\sim 600^{\circ}\text{C}$
（いずれも昇温後30分間維持）

4. 3 評価

抵抗値と膜厚を測定し、体積抵抗率を算出した。抵抗測定にはデジタルマルチメータ、膜厚測定には、3次元粗さ計（テラーホブソン製タリサーフ）を使用した。

また、FE-SEM（日本電子製JSM6330F）により表面状態を観察した。

4. 4 結果及び考察

塗布後に乾燥せずに焼成した試料の結果を図に示した。図3は各条件で焼成した膜の体積抵抗率、図4はFE-SEMで焼成膜の表面を観察した結果である。

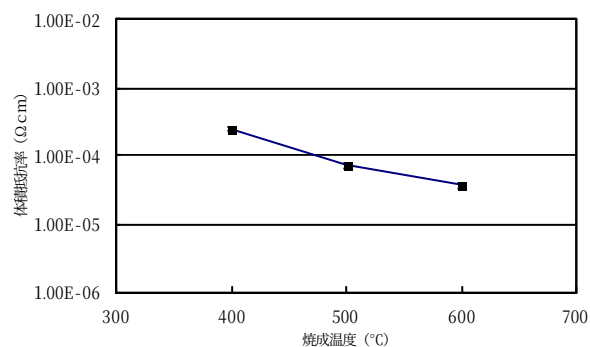
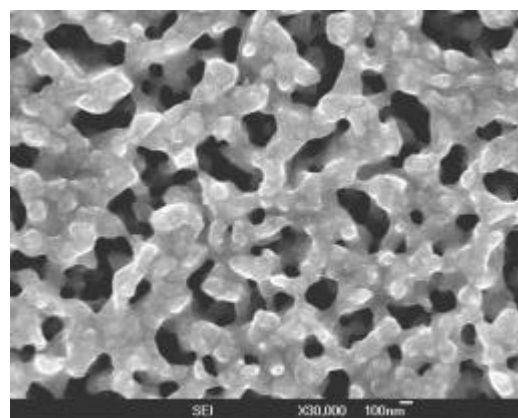


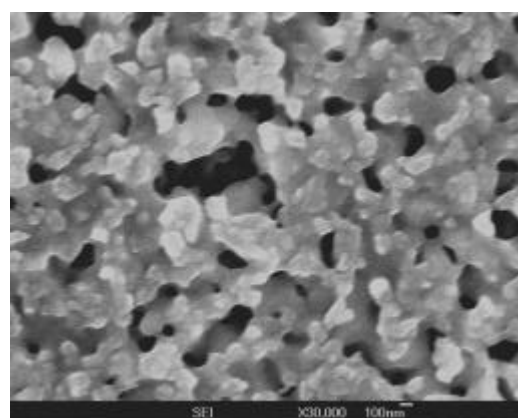
図3 体積抵抗率



(a) 400°C 30分



(b) 500°C 30分



(c) 600°C 30分

図4 焼成膜の表面状態

300℃で焼成した塗膜は、金属色への変化がなく、導電性も現れなかったため、ニッケルの粒子は析出していなかったが、図3に示すように、400℃から導電性が発現し、焼成温度の上昇とともに体積抵抗率は低下した。

図4より、400℃の焼成で10nm程度のニッケルの微粒子が現れ始め、500、600℃では、粒子の成長と融着により、粒径が大きくなり、網目状に連なった状態となった。同時に有機分の脱離により、膜質は空隙の多い状態となった。このため、ニッケル単体の体積抵抗率 ($7 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$) に比べ、一桁高い値となっていると考えられる。

また、1000℃を超える高温焼成について、本報告では取り上げていないが、粒子の凝集が更に進行し、導電路の切断等により、電気抵抗が上昇するのが一般的である。このため、凝集抑制剤が添加されるのが通常であり、本研究においても今後検討する必要があると思われる。

図示はしないが、焼成前に塗膜の乾燥を経た試料については、いずれも塗膜に亀裂が生じ、焼成過程において基板から剥離した。

乾燥させた後、室温に冷却する際に、乾燥膜と基板との収縮率の違いによって亀裂が生じ、その後の焼成過程で剥離したと考えられる。

実際の積層セラミックコンデンサの製造工程では、誘電体層であるグリーンシートに電極ペーストを塗布した後、乾燥工程が必要となるので、可塑剤等の添加による改善が必要である。

5. 結 言

有機金属法により、卑金属であるニッケル有機酸塩と非アミン系溶剤を用いた導電性ペーストを開発することを目的として研究を行った結果、

- (1) 酢酸ニッケルをテトラエチレングリコールに溶解させた溶液が、焼成過程におけるニッケル粒子の析出性と成膜性に優れることがわかった。

- (2) 上記の塩と溶剤の加熱溶解により、ニッケル含有率12%のペーストが得られた。
- (3) 上記のペーストをスクリーン印刷した塗膜を焼成した結果、粒径が数10nmのニッケル粒子で形成された導電膜が得られた。

6. 今後の課題

- (1) ペーストのニッケル含有率の向上
- (2) 乾燥による塗膜剥離の抑制
- (3) 高温焼成における凝集抑制の検討
- (4) グリーンシートとの同時焼成の検討

参考文献

- 1) 積層セラミックコンデンサの開発と材料技術および高信頼性化
(技術情報協会)

YAGレーザーによる薄物板金溶接に関する研究

清水 正人* 丸山 英彰** 三村 和弘** 田村 信**

A Study on YAG laser welding for sheet metals

SHIMIZU Masato*, MARUYAMA Hideaki**, MIMURA Kazuhiro** and TAMURA Makoto**

抄 録

YAGレーザー加工による薄物板金溶接の高度化研究を行った。今まで作業者の経験に頼っていた溶接時の加工条件を視覚的および数値的にデータベース化を行い、溶接時の加工条件の決定が従来の経験に加えて、蓄積されたデータベースを参照して、より適切にできるようにした。また、高精度な溶接システムを構築するための雰囲気装置を開発し、既存のレーザー加工機に付属させて溶接時の雰囲気中のモニタリングを行った。さらに、シールドガス流量と酸素濃度が測定できる計測システムを開発し詳細なデータを取得可能にした。実際の開発製品は、マグネシウム合金製の戦闘機（ブルーインパルス）模型、サッカーボールモニュメント、および医療用、精密機器部品等である。

1. 緒 言

レーザー溶接は、アーク溶接や抵抗溶接に比較するとレーザービームの集光スポット径が小さくパワー密度が高いため溶接精度が優れている。また、YAGレーザーの波長は $1.06\mu\text{m}$ で、炭酸ガスレーザーと比較して波長が短く、エネルギー吸収が高く効率の良い溶接ができる。この溶接方法をチタンやステンレス鋼だけでなくマグネシウム合金に応用できれば、今後需要増が見込まれる家電や携帯部品等へ広く適用できる。そこで、現在行っているYAGレーザーの溶接において、最適条件の条件出し方法を省みると、作業者の経験に頼っていて多くの工数を必要としているのが実状である。また、最適条件を見つけ出しても溶接条件の解析が煩雑で困難なため、新しい製品を溶接する場合に以前の溶接条件が活かされていない。さらに、大気中で溶接を行っているため溶接不良が発生することがある。そこで、本研究では、フジイコーポレーション(株)と共同で高精度高品質な溶接を実現するため、計測システム付きの雰囲気装置を開発し、現在使用しているレーザー加工機と組み合わせて実験を行いデータベースにまとめた。さらに、開発製品としてサッカーボールモニュメントと戦闘機模型を製作し、精密機器部

品等の試作も行った。これらの結果について報告する。

2. 溶接実験およびデータベース

2. 1 レーザ加工機について

実験に用いた装置は図1に示す、6軸マニピュレータを取り付けてある、550WのYAGレーザー加工機（住友重機械工業(株)製）である。この装置を用いて各種の溶接実験を行い、データベースにまとめた。



図1 レーザ加工機

データベースソフトは、将来、社内で事務処理のデータベース化をMicrosoft Accessで行う予定なのでこれを採用した。データの

* フジイコーポレーション株式会社

** 研究開発センター

入力方法は、溶接条件、引張試験および写真等を一試料毎にデータ入力するようにし、新しい実験結果を順次付加できるシステムとした。データの参照方法は、最初のメインメニューを立ち上げ、6つの大項目を表示し、その中から1つを選択すると実際の溶接条件や写真等が入力されているデータ画面に移っていくことにした。

2. 2 メインメニューについて

メインメニュー画面を図2に示す。メインメニューは、突合せ溶接、コーナー溶接、チタンの雰囲気中での溶接、フィラー供給溶接、すみ肉溶接および除雪機写真の6項目に分けた。

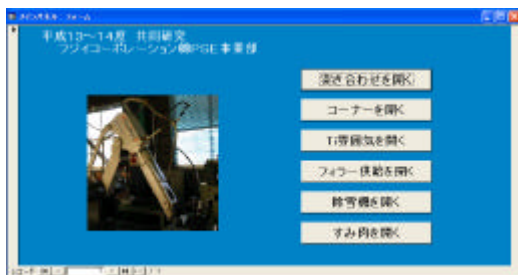


図2 メインメニュー画面

2. 3 突合せ溶接について

溶接条件として、溶接ノズルを溶接の進行方向に対して左右に揺動させながら溶接を行うウェービングの有無やレーザ出力等の設定を入力する。また、評価試験結果については、引張試験の最大力、最大応力、破断変位、破断位置および概観写真とマクロ写真を入力できるようにした。突合せ溶接データ画面を図3に示す。現在の登録試料数は67である。

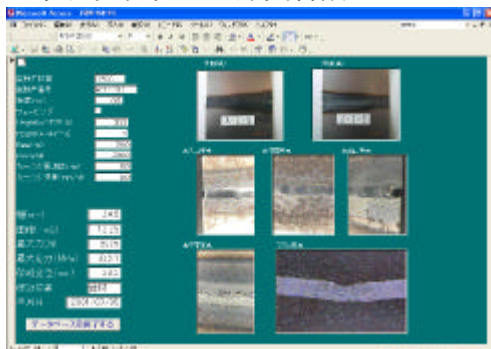


図3 突合せ溶接データ画面

2. 4 コーナー溶接について

通常の実合せ溶接試験では、実製品の強度をシミュレートできない場合があるので、除雪機カバーの溶接施工を模した山型の引張試験片を考案した。また、溶接部強度を測定するため溶接部に切欠きを設け、溶接部の破断状態を確認しながら引張試験を行った。この試験片を図4に示し、コーナー溶接データ画面を図5に示す。現在の登録試料数は23である。

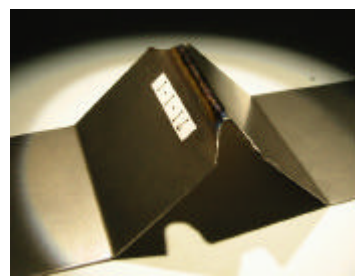


図4 山型引張試験片



図5 コーナー溶接データ画面

2. 5 チタン材の不活性ガス雰囲気中での溶接について

不活性ガス雰囲気中で純チタン2種TP340の溶接を行った。雰囲気中の溶接なのでシールドガス流量と雰囲気中の酸素濃度をモニタリングしながら実験を行った。チタンの不活性ガス雰囲気中での溶接データ画面を図6に示す。現在の登録試料数は12である。

2. 6 フィラー供給溶接について

フィラー供給溶接については、パラメータ

としてフィラーのワイヤー径と送り速度が重要になる。フィラー供給溶接のデータ画面を図7に示す。現在の登録試料数は31である。

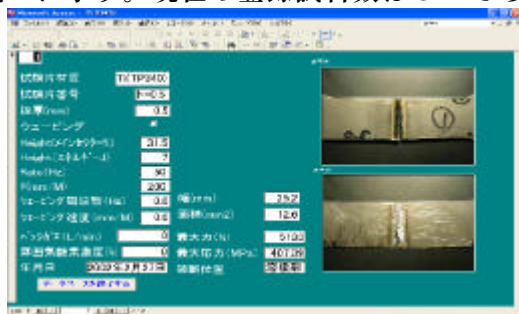


図6 チタンの不活性ガス雰囲気中での溶接のデータ画面

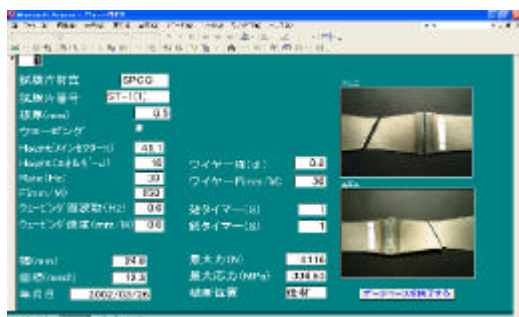


図7 フィラー供給溶接データ画面

2. 7 すみ肉溶接について

プレス成形品等を溶接する場合には、すみ肉溶接の必要がある。しかし、すみ肉溶接の強度試験に関しては、形状が複雑なため規定がない。そこで、試験片固定ジグを作製して引張試験を行った。すみ肉引張試験片とジグを図8に示す。

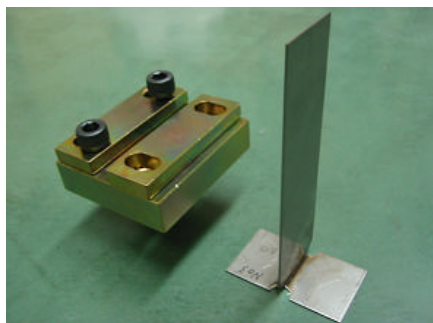


図8 すみ肉引張試験片とジグ

また、引張試験を行うときに、試験片の固定

については、溶接部から5 mm 位の間隔をあけて固定する方法と、および溶接部の際を固定する方法の二通りで実施した。すみ肉溶接のデータ画面を図9に示す。



図9 すみ肉溶接データ画面

2. 8 除雪機の写真

コーナー溶接で製作した除雪機カバーの写真を図10に示す。写真数は10である。

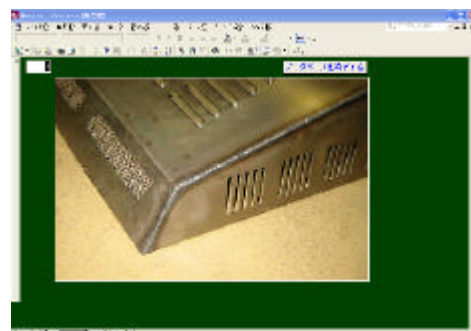


図10 除雪機の写真

3. 雰囲気装置の開発

3. 1 計測システムの概要

大気中での溶接は、溶接中の酸化作用のために、溶接欠陥が生じるおそれがある。そのために不活性ガスによるシールドが必要となる。本研究では、不活性ガス中で溶接を行うための雰囲気炉を製作するとともに、炉内のガス濃度を計測できるシステムを開発した。システムの概要図を図11に示す。

計測システムは、シールドガス流量と雰囲気炉中の酸素濃度をモニタリングするために、流量計と酸素濃度センサを取り付け、それぞれのアナログ出力値を通信機能付きDMM（デジタルマルチメータ）を介してパソコンにデータを取り込むようにした。また、流量

計は、ガスの種類によりHeガス用とArガス用を交換しながら使用した。ただし、Arガス用は、汎用型なのでN₂も使用できる。センサの入出力を表1に示し、雰囲気炉の外観を図12に示す。

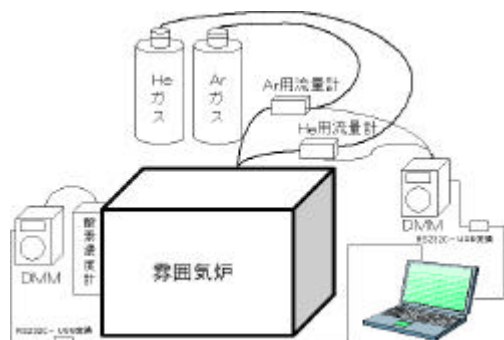


図11 計測システムの概要図

表1 センサの入出力値

センサ種類	入 力	出 力
流量計	流量 0~50L/min	0~5V
酸素濃度計	酸素濃度 0~25%	4~20mA

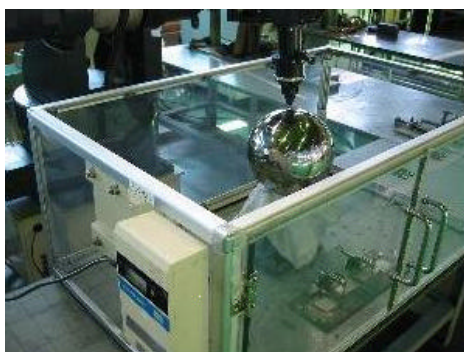


図12 雰囲気炉の外観

3.2 パソコン側のデータ取得

センサからの出力値をパソコンに取り込んでから、LabVIEW(日本NI社製)を使用してデータ表示やスケーリングを行った。パソコン上での計測ソフト表示画面を図13に示す。このソフトは表示画面とダイアグラムから成り立ち、実際のソースコードはダイアグラム上で作成する。ダイアグラムの一部分を図14に示す。

また、表示画面上からはデータを設定することができ、保存ファイル名、データ取得間隔、データ取得回等を入力する。そして、

DMMからのデータ値を取得し、スケーリングしてからグラフ表示をするとともに、パソコンのHDDにXLS形式ファイルとしてで保存する。



図13 計測ソフト表示画面

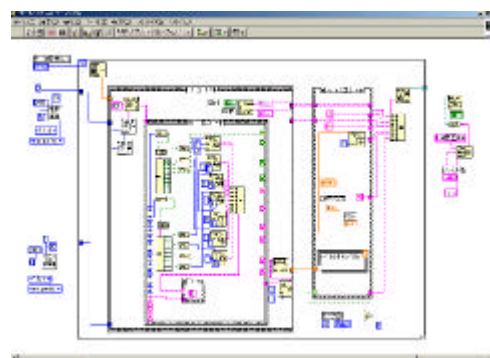


図14 ダイアグラム画面

4. 開発製品

フジコーポレーション(株)は、溶接部門の他に、プレス部門、機械加工部門等も完備しており製品の一貫生産ができる。そこで、他部門と協力しながら実用製品を試作した。

4.1 サッカーボールモニュメント

ステンレス鋼SUS304、純チタン、マグネシウム合金製のサッカーボールのモニュメントを製作した。これを図15に示す。

このサッカーボールは、5角形と6角形の



図15 サッカーボールモニュメント

ピースをプレス加工した後、自社製作したジグを用いて溶接を行った。この溶接ジグを図16に示す。

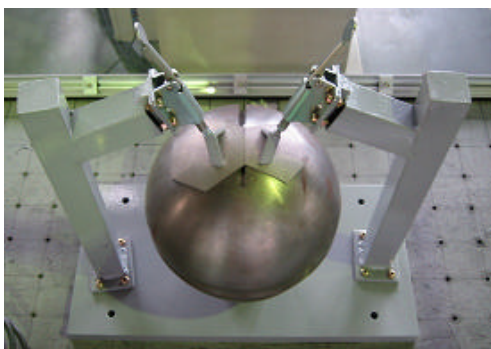


図16 溶接ジグ

その後の表面処理は、マグネシウム合金製は研磨をなしとし、純チタン製とステンレス鋼製は、エメリー(#250)研磨の後、サイザル及びバブ研磨を施した。

4.2 戦闘機(ブルーインパルス)模型

マグネシウム合金製の戦闘機(ブルーインパルス)を製作した。これを図17に示す。



(a)マグネシウム合金用塗装



(b)クリア塗装

図17 戦闘機(ブルーインパルス)模型



図18 模型の胴体部

この模型は、プレス加工後に溶接をして塗装を施した。また、プレス加工に関しては、模型全体を胴体部、水平尾翼部、垂直尾翼部、排気ダクト等の7つの部位に分けて、それぞ

れ金型を製作しており、注文数に応じた量産も可能である。模型の胴体部を図18に示す。

4.3 その他の製品

その他の製品例として、医療用および精密機器部品の溶接加工依頼があり、溶接箇所や方法等の設計変更を発注先に提案するなど、製品の高品質化を行っている。図19に医療用部品、図20に精密機器部品の溶接部を示す。



図19 医療用部品

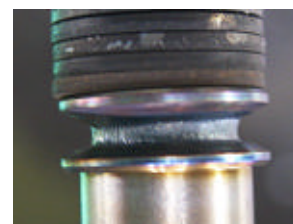


図20 精密機器部品

5. 結 言

- (1) 実験結果をデータベース化することで、新しい製品の溶接に対し、溶接条件出しの工数が少なくなり、経験だけでなく、実験データに基づく溶接条件の選定が可能になった。
- (2) 溶接中の酸化を防止するため、不活性ガスを充填できる雰囲気炉を製作するとともに、雰囲気中の環境をリアルタイムでモニタリングするシステムを構築し、高品質な溶接に必要な一つの装置を開発した。
- (3) 各種の実用製品を開発することにより、溶接技術の向上を図ることができた。特に、マグネシウム合金の溶接に関しては、多くのノウハウを蓄積でき、今後の受注増が期待できるようになった。

参考文献

- (1) 新井武二、杵名宗春、宮本 勇
「レーザー溶接加工」
マシニスト出版
- (2) 川澄博通：「最新レーザ加工技術総覧」(株)産業技術サービスセンター

小型携帯機器用 DC-DC インダクタに関する研究

井浦 博男* 片原 義浩* 浜谷 剛* 山田 義樹* 吉野 武美** 天城 和哉** 星野 公明**

A Study on an Inductor used for DC-DC Converter Circuit

IURA Hiroo*, KATAHARA Yoshihiro*, HAMAYA Takeshi*, YAMADA Yoshiki*,
YOSHINO Takemi**, AMAKI Kazuya** and HOSHINO Kimiaki**

抄 録

小型携帯機器用 DC-DC コンバータ回路に搭載されるインダクタの小型化を目的として開発を行う。

まず、インダクタの特性について電磁気学的考察を行った。磁気抵抗がインダクタの特性に関与しており、その値はコアの形状やギャップ幅に影響されることが理論的に説明できた。また、電磁界シミュレーションソフト (JMAG-Studio Ver7.2 (株)日本総研製) を用いてインダクタンス値を求めたところ、実測値とほぼ一致した。次に、コア形状やギャップ幅を変えたとき、インダクタンス値と直流重畳特性について解析した。試作することなくインダクタを評価できるので、シミュレーションは有効に活用できる。

1 緒言

携帯電話やデジタルカメラ等の小型携帯機器の電源部(図 1)には、DC-DC コンバータが使われており、昇圧・降圧用にインダクタが用いられている。近年これら機器の急速な普及により、使用されるインダクタの数量も飛躍的に増えている。また一方では、これらの機器は小型軽量化が進んでおり、インダクタについても必然的に小型・薄型化・高性能商品の開発が期待されている。



図 1. デジタルカメラに搭載されたインダクタ

本研究は、インダクタの小型・薄型化及び特性の向上を目的とし、インダクタの研究と製品開発を行った。その際に、設計開発を効率的に進めるために電磁界解析シミュレーションソフト JMAG-Studio Ver7.2(株)日本総研製を用いた。

ここでは、

- ①インダクタの電磁気学的考察
 - ②シミュレーションを使った特性評価
- について報告する。

2 インダクタについて

まず、インダクタについて、その物理的構造と電氣的・電磁気学的特性について述べる。

2.1 インダクタの構造

インダクタは、大きく分類して、磁束が外部に漏れない閉磁路タイプと、磁束が外に漏れる開磁路タイプとに分けることができる。閉磁路タイプのインダクタには、さまざまな構造のものがあるが、主に図 2(a) のようにドラム型コアと、図 2(b) のポット型コアが用いられる。なお、図はインダクタの断面を表している。

*新デンシ株式会社新潟工場

**研究開発センター

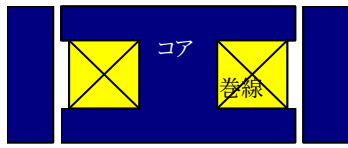


図 2(a). ドラム型インダクタ

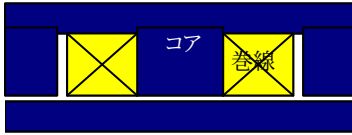


図 2(b). ポット型インダクタ

2.2 磁気回路について

図 3 のように、磁性体を満たした環状ソレノイドの巻線に $I[\text{A}]$ の電流を流したとき、巻線内の磁界の強さ $H[\text{A/m}]$ 、及び磁性体内の磁束密度 $B[\text{T}]$ については、次式の関係が成立する。

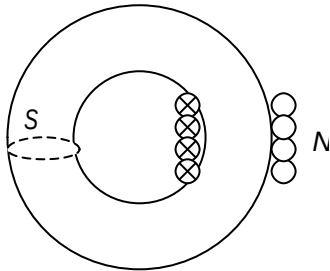


図 3. 環状ソレノイド

$$H = NI/l \quad (1)$$

$$B = \mu_s \mu_0 H \quad (2)$$

ただし、 l : 磁路長[m]

μ_s : 比透磁率[H/m]

μ_0 : 真空の透磁率[H/m]

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [\text{H/m}]$

磁性体の断面積を $S[\text{m}^2]$ とすると、磁束 $\Phi[\text{Wb}]$ は次式となる。

$$\Phi = BS = \mu_s \mu_0 H S = \frac{\mu_s \mu_0 N^2 I S}{l} \quad (3)$$

(3) の NI を起磁力 $F[\text{AT}]$ 、 l/μ_s を磁気抵抗 $R_m[\text{AT/Wb}]$ と名づける。

$$F = NI \quad (4)$$

$$R_m = l/\mu_s \quad (5)$$

(4)、(5) より、

$$\Phi = \frac{F}{R_m} \quad (6)$$

となる。

この関係は、電気回路のオームの法則と似ており、磁気回路のオームの法則と呼ばれる。

表 1 にその関係をまとめる。

表 1. 磁気回路と電気回路

磁気回路	電気回路
起磁力 $F=NI [\text{A}]$	起電力 $E [\text{V}]$
磁束 $\Phi [\text{Wb}]$	電流 $I [\text{A}]$
磁気抵抗 $R_m=l/\mu_s [\text{AT/Wb}]$	電気抵抗 $R=\rho l/S [\Omega]$
透磁率 $\mu [\text{H/m}]$	導電率 $\sigma=1/\rho [1/\Omega\text{m}]$
磁気回路のオームの法則 $\Phi=F/R_m=NI/R_m [\text{Wb}]$	電気回路のオームの法則 $I=E/R [\text{A}]$
磁束密度 $B=\mu H$	

2.3 自己インダクタンス

コイルに電流 $I[\text{A}]$ を流したときに発生する磁束鎖交数 $\Psi[\text{Wb}]$ は次式となる。

$$\Psi = LI \quad (7)$$

この比例定数 L をコイルの自己インダクタンスといい、単位は $[\text{H}] (= [\text{Wb/A}])$ である。

また、コイルの巻数を N とすると、磁束鎖交数 $\Psi[\text{Wb}]$ と磁束 $\Phi[\text{Wb}]$ は次の関係がある。

$$\Psi = N\Phi \quad (8)$$

(3)(5)(7)(8) 式をまとめると、

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I} = \frac{N}{I} \frac{\mu_s \mu_0 H S}{l} = \frac{\mu_s \mu_0 N^2 S}{l} \quad (9)$$

となり、 L は磁気抵抗 R_m に反比例、巻数 N の 2 乗に比例することがわかる。ここで、

$$AL = 1/R_m \quad (10)$$

で表される AL 値は、コイルの性能を表すひとつの指標である。

また、(3)(9) 式から電流 $I[\text{A}]$ との関係を求めると、

$$I = \frac{N\Phi}{L} = \frac{NBS}{L} \quad (11)$$

となる。インダクタの飽和電流 I_{sat} は、コアの飽和磁束密度 B_{sat} とすると、

$$I_{sat} = \frac{NB_{sat}S}{L} \quad (12)$$

となる。

2.4 インダクタの磁気回路考察

インダクタを設計する際には、磁束の流れを考慮する必要がある。図4のようなポット型コアを用いたインダクタの場合、巻線に電流を流すと矢印のように磁束が生じる。

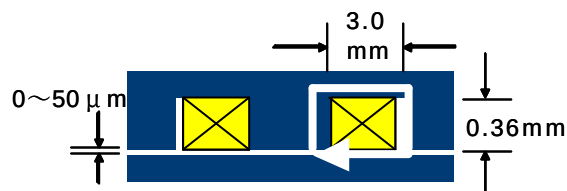


図4. ポット型インダクタ

このとき、フェライトコアの部分と空気層のギャップがあるので、磁気回路は等価的に図5のように表すことができる。

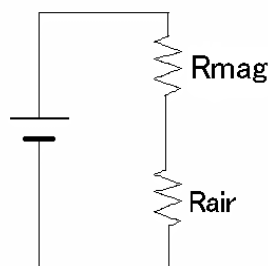


図5. 磁気回路

(5)式より、この場合 R_m は、

$$R_m \approx R_{mag} \approx R_{air} \quad (13)$$

$$\approx \frac{1}{\mu_0 S} \left(\frac{l_{mag}}{\mu_r} \approx \frac{l_{air}}{\mu_{air}} \right)$$

ただし、 R_{mag} : 磁性材料部の磁気抵抗

R_{air} : ギャップ部の磁気抵抗

l_{mag} : 磁性材料部の磁路長

l_{air} : ギャップ部の磁路長

μ_r : 磁性材の透磁率

μ_{air} : 空気の透磁率

となる。

2.5 インダクタの特性評価

インダクタの特性評価項目は、インダクタンス値、直流抵抗、定格電流である。定格電流は、

直流重畳特性と温度上昇特性により決定される。

直流重畳特性は、インダクタに直流電流を徐々に加え、ある電流値を超えると、磁気飽和によりインダクタンス値が小さくなる現象である。また、温度上昇特性はインダクタに直流電流を徐々に加えると、損失による自己発熱により、温度が上昇する現象である。一般的に、インダクタンス値の減少が-30%、あるいは温度上昇が40℃となる電流値のうち、小さいほうの値を定格電流としている。

図6は直流重畳特性と温度上昇特性を測定した結果の例である。直流電流が約1Aでインダクタンス値の減少が-30%となり、約1.5Aで温度上昇が40℃となっている。この場合の定格電流は、小さい方の値である1Aとなる。

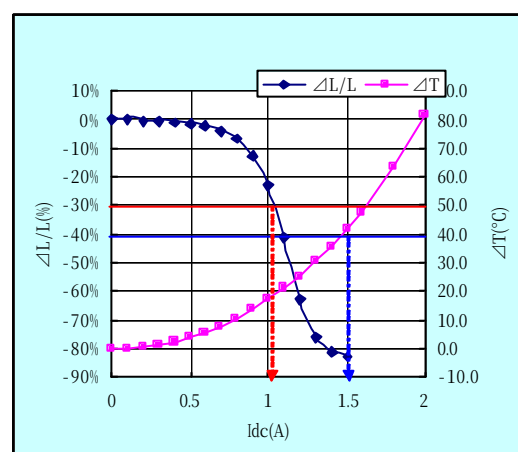


図6. 直流重畳特性と温度上昇特性

3 電磁界シミュレーション

インダクタのシミュレーションには、JMAG-Studio Ver7.2 (株)日本総研製)を使用した。DC-DC コンバータ用インダクタの評価で、JMAGでシミュレーションできる項目は、

- ・インダクタンス値
- ・直流重畳特性

である。

3.1 インダクタンス値

SR5018 シリーズを例にとり、インダクタンス値のシミュレーションを行った。同じ形状のコアを用い、巻数を変えることによりインダクタンス値を調整する。表2の巻数が端数になっているのは、巻き始めと巻き終わりが反対方向にあるためである。シミュレーションでは、端数の巻数は設定できないので、繰り上げた数値に設定した。図7はシミュレーション結果、コイル断面の磁束密度の表示で、色の違いにより磁束密度の強弱を表している。結果を表2と図8に示す。

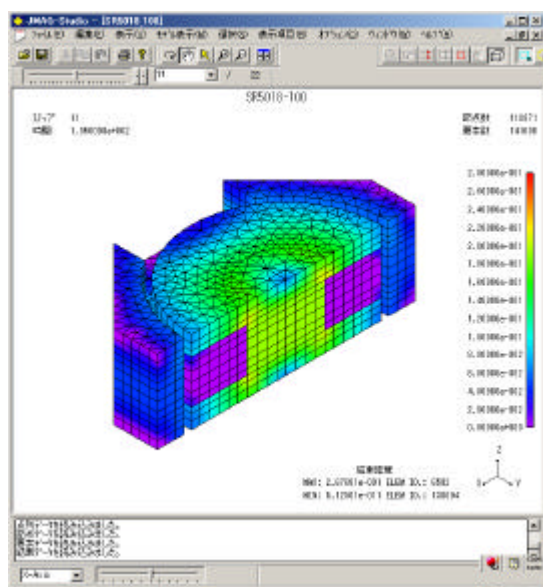


図7.シミュレーション結果の表示
(磁束密度)

表2.シミュレーションと実測

MODEL	巻数 (t)	インダクタンス (μH)		
		設計	実測	シミュレーション
SR5018-2R2	7.5	2.2	1.99	1.95
SR5018-3R3	9.5	3.3	2.98	3.05
SR5018-4R7	11.5	4.7	4.68	4.39
SR5018-6R8	13.5	6.8	6.59	5.98
SR5018-100	16.5	10.0	10.50	8.82
SR5018-150	21.5	15.0	16.23	14.76
SR5018-220	24.5	22.0	21.24	19.06
SR5018-330	31.5	33.0	31.10	31.24

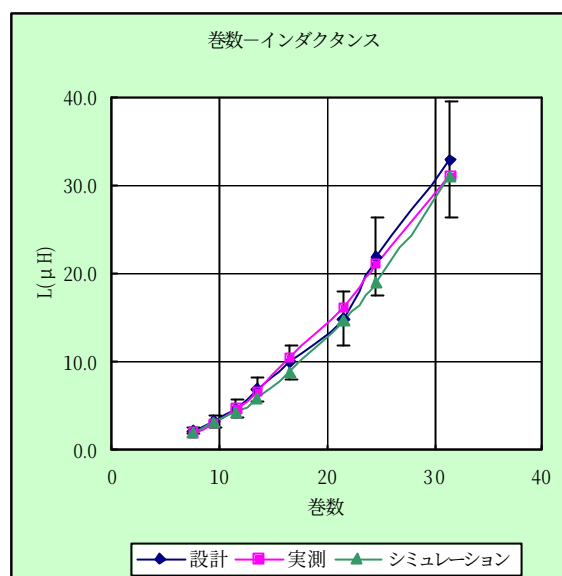


図8.シミュレーションと実測

結果を見ると、シミュレーション値は実測値と近い値となっている。また、インダクタの製品規格である設計値の±20%の範囲に入っており、JMagが精度良くシミュレーションできていることがわかる。

3.2 コア形状とインダクタンス値

次に、コアの形状（芯径、巻線幅）を変えたとき、インダクタンス値がどのように変化するか、シミュレーションを行った。図9の寸法のコアで、芯径を1.5mm～2.5mmに変えたとき（巻線幅は0.3mm一定）、巻線幅を0.2～0.4mmに変えたとき（芯径は2.0mm一定）、それぞれのインダクタンス値をJMagで求めた。

解析した結果、芯径とインダクタンス値の関係を図10(a)に、巻線幅とインダクタンス値の関係を図10(b)に示す。

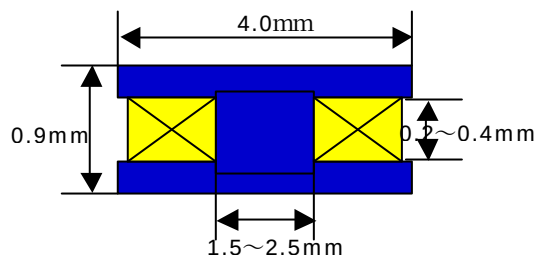


図9.コア形状とインダクタンス値

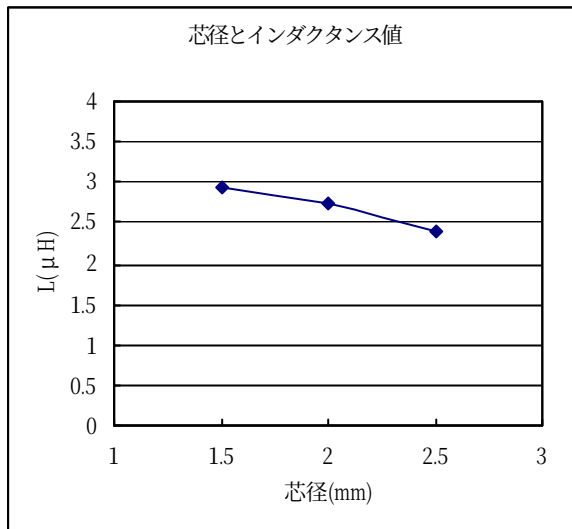


図 10(a). 芯径とインダクタンス値

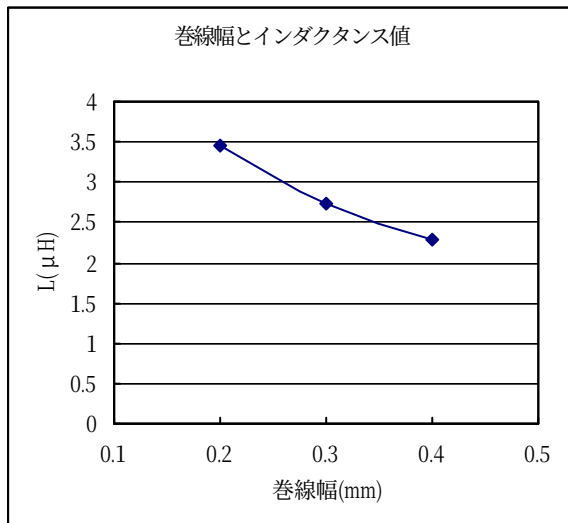


図 10(b). 巻線幅とインダクタンス値

グラフを見ると、芯径が大きくなると、また巻線幅が広がると、インダクタンス値が小さくなることがわかる。

3.3 コア形状と直流重畳特性

図 9 の形状のインダクタについて、3.2 と同様に芯径を変えた場合、巻線幅を変えた場合について、直流重畳特性がどの様になるかシミュレーションを行った。なお、インダクタンス値については、約 $10\ \mu\text{H}$ となるような巻数設定とした。

解析した結果、芯径と直流重畳特性の関係を

図 11(a) に、巻線幅と直流重畳特性の関係を図 11(b) に示す。

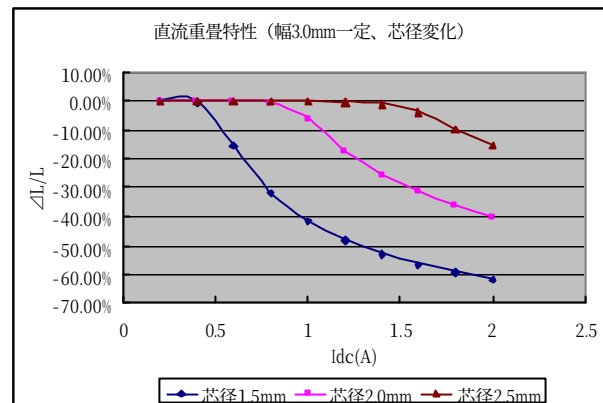


図 11(a). 芯径- 直流重畳特性

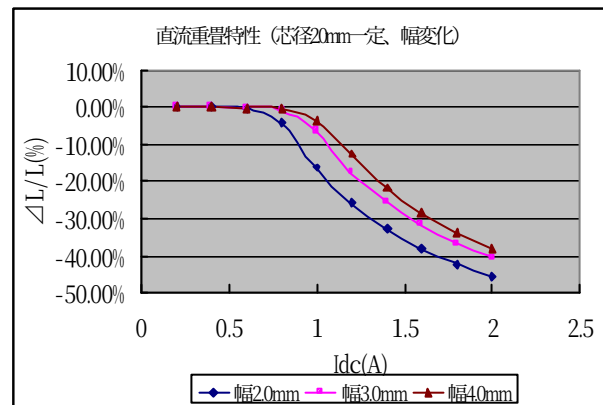


図 11(b). 巻線幅- 直流重畳特性

図 11(a)を見ると、芯径が大きくなるにつれて、電流増加によるインダクタンス値の減少 ($\Delta L/L$) が小さくなる、すなわち、直流重畳特性が良くなることが分かる。また、図 11(b)を見ると、巻線幅が大きくなるにつれて、直流重畳特性が良くなることが分かる。

これは、芯径が小さいと、また、巻線幅が狭いと、コアに磁束密度が集中し易い部分ができ、その部分が磁気飽和を起こすことが原因であることが、シミュレーション結果の磁束密度表示より判明した。

しかし、3.2 の解析結果から、芯径が大きくなると、また、巻線幅が広がるとインダクタンス値が小さくなるので、所定のインダクタンス値を得るには巻数を増やさなければならず、直流抵抗の増加をまねくこととなる。

3.4 コアギャップと直流重畳特性

コアギャップと直流重畳特性について、シミュレーションを行った。図 12 のポット型インダクタについて、ギャップを $0\sim 50\mu\text{m}$ に変えたとき、直流重畳特性がどのようになるかシミュレーションを行った。なお、インダクタンス値については、約 $10\mu\text{H}$ となるような巻数設定とした。

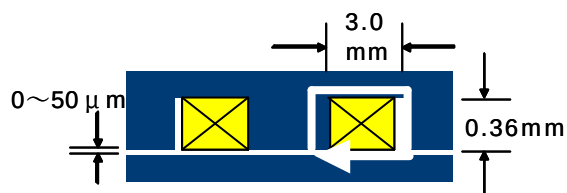


図 12. ポット型インダクタ

図 13 にシミュレーション結果を示す。ギャップが広くなるにつれて、電流増加によるインダクタンス値の減少 ($\Delta L/L$) が小さくなる、すなわち、直流重畳特性が良くなることが分かる。

これは、ギャップの狭い方が磁気抵抗は小さくなり、少ない電流でも磁気飽和が起きてしまうからである。逆に言うと、ギャップが広いほうが磁気抵抗は大きくなり、磁気飽和を起こすまでには、大きな電流を必要とするためである。このことは、シミュレーションの磁束密度表示からも確認できた。

しかし、磁気抵抗が大きくなるとインダクタンス値が小さくなるので、所定のインダクタンス値を得るには巻数を増やさなければならず、直流抵抗の増加をまねくこととなる。

4 結言

- (1) インダクタについて磁気回路的に考察を行い、形状・ギャップがその特性に大きく影響していることを理論的に説明できた。
- (2) JMAG によりインダクタンス値を求めることができ、その値は実測値とよく一致した。
- (3) JMAG から求めた磁気抵抗値は、理論式から計算した磁気抵抗とよく一致した。
- (4) 芯径が大きくなるとインダクタンス値は小さくなるが、直流重畳特性は良くなる。
- (5) 巻線幅が広がるとインダクタンス値は小さくなるが、直流重畳特性は良くなる。
- (6) ギャップが大きくなるとインダクタンス値は小さくなるが、直流重畳特性は良くなる。
- (7) JMAG を活用することで、インダクタの特性を評価することができる。しかし、設計の際には、JMAG ではシミュレーションできない抵抗値、温度上昇特性、機械的強度等を考慮する必要がある。

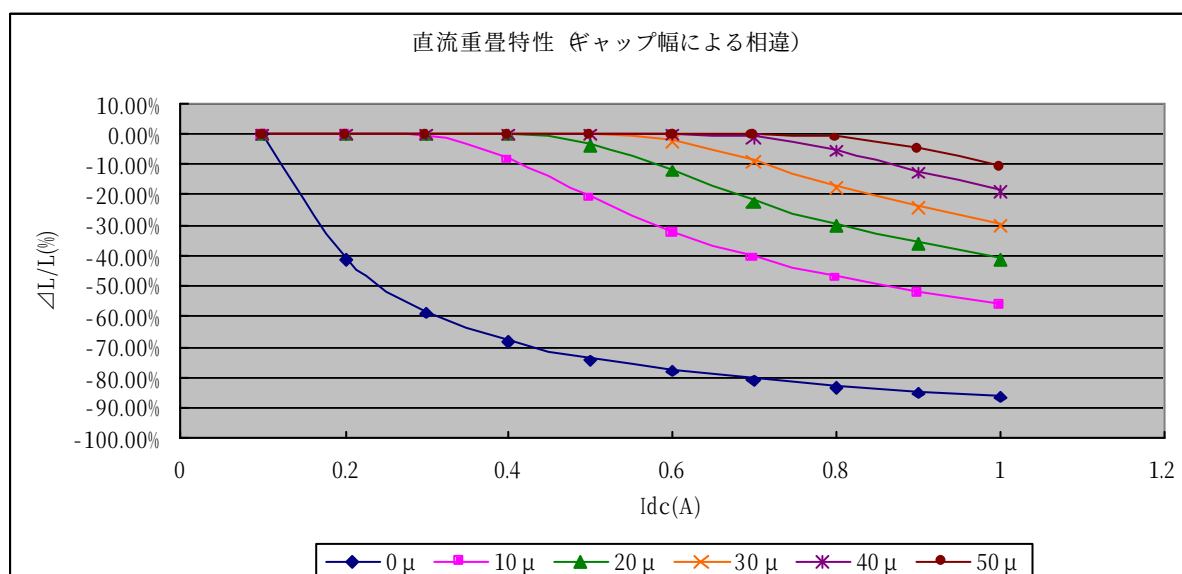


図 13. ギャップ-直流重畳特性

信越スーパーテクノゾーン推進研究

高出力 YAG レーザーを用いた溶接技術の研究 —超軽量金属（アルミニウム合金・マグネシウム合金） のレーザー溶接技術に関する研究—

森山 淳児* 若狭 裕** 長尾 活雄** 宮川 敏夫** 藤岡 順三**

Study on high power YAG laser welding

by

MORIYAMA Junji*, WAKASA Yutaka**, NAGAO Katsuo**,

MIYAGAWA Toshio** and FUJIOKA Junzou**

抄録

Nd:YAGレーザー（以下YAGレーザー）は、優れたビーム品質を維持しながら高出力化が一段と進み、また光ファイバーを利用できるために加工の自由度が大きく、非常に注目されている。

しかし、高出力YAGレーザーは、ここ数年で著しく進んだために、CO₂レーザーを用いた加工技術と比較すると、その特性が十分に理解されておらず、今後の普及のためには、加工技術のデータベース化が急務である。本研究では、YAGレーザー溶接の系統的な技術蓄積のために、昨年度までの軟鋼、ステンレス鋼、純チタン、アルミニウム合金およびマグネシウム合金に引き続き、アルミニウム合金間同一材・異材接合、マグネシウム合金間同一材・異材接合、アルミニウム－マグネシウム合金間異材接合についての最適加工条件データベース化を行った。

1. 緒言

近年実用合金上最も軽量であるマグネシウム合金の携帯情報機器や輸送機器への適用が進んでいる。

マグネシウム合金は最密六方構造であることから、室温での塑性加工性が著しく劣るため、主にダイカスト法などの鋳物によって作られており、溶接の検討は進んでいない。しかし近年ではプレス加工技術が大きく進展したため、展伸材の利用も進みつつあり、その場合には溶接技術はキーテクノロジーの一つとなる¹⁾。

また大型構造物を作るには、ダイカスト材の溶接も一つの方法であり、そのデータベース化も重要である。

本研究では、6kW YAG レーザーを用いて、主にアルミニウム合金間同一材・異材接合実験、マグネシウム合金間同一材・異材接合実験、アルミニウム－マグネシウム合金間異材接合実験の3種類の実験を行い、溶接条件（レーザー出力、溶接速度）と溶接状態の関係を調査した。

2. 実験方法

2.1 実験装置

供試材として、アルミニウム合金とマグネシウム合金を用いた。アルミニウム合金については展伸材 A5052 (2mm、3mm) とダイカスト材 ADC12 (2mm、3mm) を、マグネシウム合金については展伸材 AZ31B (1mm、2mm および 3mm) とチクソモールド材 AZ91D (1mm、2mm) を用いた。本研究で使用了6kW YAG レーザー装置の仕様を表1に示す。

表1 6kW YAG レーザー装置仕様

レーザーの方式	M O P A (Master Oscillator Power Amplifier)
発振波長	1.064 μm
平均出力	6.0 kW以上
ピーク出力	18 kW
ビーム品質	100 mm・mrad以下
光ファイバー	600 μm NA0.15
周波数	30～500 Hz
変調デューティ	100～40%可変

* 長岡技術科学大学

** (株) レーザー応用工学センター

レーザー発振器から出射された光は、光ファイバー（コア径600 μm ）を用いて伝送し、焦点距離187 mmのコリメートレンズで平行光にした後、同じ焦点距離のレンズを用いて集光して加工に用いた。従って焦点位置でのビーム径は約600 μm であり、焦点位置から ± 2 mm変化させてもビーム径は1割程度しか変化せず、深い焦点深度を持っている。また出力が高いと、焦点でのビーム径はわずかに大きくなるが、 CO_2 レーザーで見られたような焦点位置の変動はない。これはレンズ素材である石英の熱膨張係数が 1×10^{-6} /K以下と非常に小さいことが大きく影響している。

2.2 ビードオンプレート溶接

溶込み深さやビード形状などの溶接特性を調べるため、ビードオンプレート溶接を行った。溶接する面の酸化膜を予めステンレス鋼製ワイヤーブラシを用いて除去し、さらに全ての試験で溶接前に表面をアセトンで洗浄した。またレーザー出力、溶接速度、シールドガス、ノズル径や焦点位置など変化させて、その影響を調査した。

2.3 突合せ溶接

突合せ端部近傍の酸化膜をワイヤーブラシを用いて除去後、全ての条件で端部を十分にアセトン洗浄して、機械加工した端面を突合せて溶接した。レーザー出力、溶接速度を変化させて調べた。シールドガス及び焦点位置はビードオンプレート溶接と同じ条件で試験した。シールドは、センターガスシールド以外にバックシールドも必要に応じて併用した。

突合せ溶接の評価方法は、溶接表裏面の外観観察、断面のマクロ・ミクロ観察、ビッカース硬さ試験方法による硬度測定、引張試験及び曲げ試験とした。ビッカース硬さ試験、引張試験及び曲げ試験はJISに準じて行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 アルミニウム合金間同一材・異材接合実験について

この実験では、出力形態を連続波とし、同一材突合せ溶接（A5052-A5052、ADC12-ADC12）

と異材突合せ溶接（A5052-ADC12）を行った。

A5052-A5052では、溶接速度間でばらつきもなく、継手効率が安定していた。しかし、ADC12-ADC12やA5052-ADC12では、ビード形状や継手効率にばらつきが生じた。マクロ・ミクロ観察によりこの原因を追求したところ、ADC12を含んだ溶接では、ビード部にポロシティが生じていることがわかった。また、ADC12を含んだ溶接では、A5052-A5052の時と比べ曲げ性が劣っていることがわかった。

ビード部のポロシティの発生原因は、 casting時に巻き込まれた空気や潤滑材、離型材中の CH_x 、 H_2 などが溶接時の加熱による膨張や溶融による固液の溶解度差による放出によって残留することにある。

これを改善するため、Twin-Beamによる溶接実験を行ったところ、気泡の回復（溶融金属による気泡部の再充填）が見られた。

3.2 マグネシウム合金間同一材・異材接合実験について

この実験では、出力形態を連続波とし、同一材突合せ溶接（AZ31B-AZ31B、AZ91D-AZ91D）と異材突合せ溶接（AZ31B-AZ91D）を行った。

マグネシウム合金の突合せ溶接では、同一材・異材突合せ溶接をそれぞれ行くと、ビード部に常に穴が空いてしまい、最適加工条件を得ることができなかった。これは、レーザー溶接時に溶融池が表面張力などの影響によって穴が広がり、そのまま残留することに原因があると考えられる。

これを改善するため、突合せ間に間隙を0.05mmtだけ入れると、2mmtではビード部の穴が改善された。しかし、アルミニウム合金の時と同様、溶接速度条件間で継手効率やビード形状にばらつきが生じた。また、1mmtでは間隙を入れてもビード部の穴は改善されなかった。

3.3 アルミニウム合金-マグネシウム合金間異材接合実験について

この実験では、出力形態として連続波及びパルス波を用いて、厚さ3mmtのA5052-AZ31Bの突合せ接合を行った。

レーザー入射位置が溶接結果に大きく影響することが確認され、シールドガスとしてArを用いてA5052側に入射し、パルス波を用いて加工ヘッド傾斜を後退角とすると溶接品質良好となり、レーザーピーク出力13.5kW(PW)、溶接速度2m/minで最大引張強度20.3MPa(母材強度比9.7%)が得られた。破断位置は溶融部で、溶融部には、 Al_3Mg_2 、 $Mg_{17}Al_{12}$ の金属間化合物の存在が確認された。

4. 結言

- (1) 高出力YAGレーザーを用いてアルミニウム合金及びマグネシウム合金の突合せ溶接を行い、溶接条件と溶接結果との関係を明らかにした。
- (2) 今後展伸材の溶接構造やダイカスト材の大構造物など溶接の必要性が広がると考えられる。更なるレーザー溶接の技術の進展が重要である。

参考文献

1)K. Haferkamp, I. Burmester, N. Niemeyer, E. Doege and K. Droeder.: Innovative production technologies for magnesium light-weight constructions- Laser beam welding and sheet metal forming. Proc. Int. Symp. Automot. Technol. Autom. 30th, (1997) p247.

ISO14000 に対応する商品企画設計
システム構築事業

エコデザイン（環境配慮型設計）による 商品開発研究－２

小奈 一雄* 畔上 正美*

A Study for Develop New Products by ECODESIGN－2

ONA Kazuo*, AZEGAMI Masami*

抄 録

地球環境問題への取り組みが世界的に活発となってきた中、本県産業にとっても環境対応化は大きな課題である。そこで環境に配慮した商品づくりの基盤となる研究を実施することにより、県内生活関連産業の環境対応商品開発体制づくりの支援を目的とする。

1. 緒 言

地球環境問題への取り組みが世界的に必要との認識が定着してきた。我が国の産業も、今後の世界市場での最優先課題として取り組みを進め、仕入先や協力先にも積極的な環境対応を求めるようになってきている。

本県産業にとっても環境対応は市場に生き残る必須条件であると同時に市場創造にもつながる力を秘めている。本県産業が環境対応活動をどのように進めていけば負担が少ないか、そして更には次代の活力づくりに活用できるか、そのノウハウ開発と活動計画の策定を目標に本研究を実施した。(図1)

本研究は3ヶ年計画で昨年度は環境対応動向の把握を主な目的とし、情報収集、分析から課題を抽出し、これからの活動の方向性を定める指針づくりまでを行い、それら成果をまとめた冊子「環境対応デザイン開発の視点分析2001」を作成した。(図2)

今年度は、研究会を組織し、「環境対応デザイン開発の視点分析2001」で提案したエコデザインのためのチェックリスト案の試行を行い、完成版「環境対応チェックスト」を作成した。

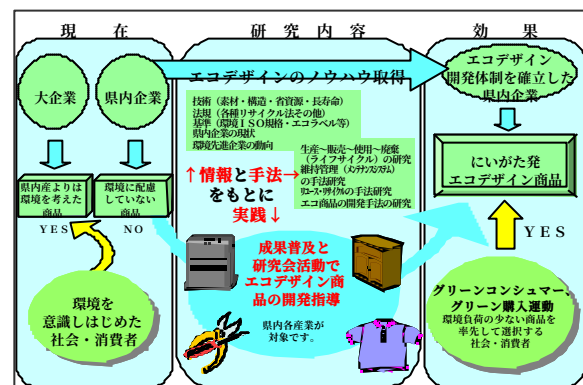


図1 本研究の内容と効果

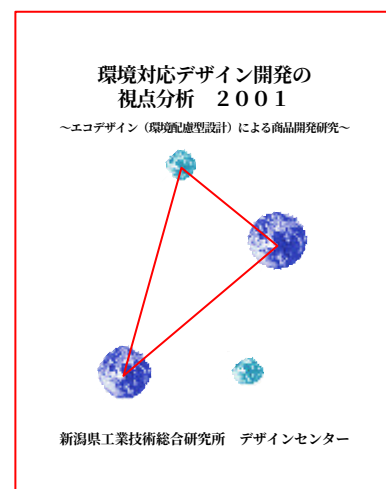


図2 環境対応デザイン開発の視点分析2001

* デザインセンター

2. 研究内容

2. 1 情報収集・分析

(1) EL情報(新聞記事見出しデータベース)からの環境関連情報の収集及び動向分析

①収集情報(収集件数)

- ・記事見出し 331件
- ・記事内容 61件

②動向分析

上記記事見出しを「環境活動の評価・分類フレーム」で示した9つの環境活動に分類整理し、動向分析を行った。

(2) 県内の環境情報及び企業・商品開発動向(県内新聞記事から)

①情報収集(収集件数)

- ・空間分野 32件
- ・道具分野 77件
- ・衣分野 31件
- ・食分野 120件
- ・環境分野 148件
- ・情報分野 10件

(3) 環境対応商品事例及び環境関連情報(平成13年度Gマーク商品、インターネット、各社環境報告書から)

①情報内容

- ・環境報告書等に見るエコ商品への取り組み
- ・Gマークに見る環境への取り組み
- ・グリーン購入法特定調達品目・判断基準
- ・エコマーク商品認定基準
- ・環境ラベルについて(アンケート等)
- ・廃プラスチックのリサイクル状況(2000年)
- ・環境報告書に見る経営理念・環境方針等
- ・エコ商品の表示事例
- ・リサイクル識別マーク・環境マーク
- ・その他環境関連情報

2. 2 環境対応チェックリストの作成

昨年度作成した「エコデザインのためのチェックリスト案」を研究会メンバーから試行してもらい、その意見を参考に「環境対応チェックリスト2002」を作成した。

(1) チェックリストの構成

試行の結果、昨年度作成したチェックリスト案では図3のように①生産面、②物流・販売面、③使用・廃棄面、④企業活動や製品の情報発信の4項目に対して、企業活動、生産ライン、製品、構成要素、原料、販売チャネル等の多くの面からチェックするようになっており、記入しづらいという意見が多かった。

そこで、新しいチェックリストは図4のように6つの商品ライフサイクルと11の環境活動を掛け合わせる構成に変更した。

また、自社の環境対応活動を考える際の情報が欲しいということで、環境対応先進企業の具体事例を参考として掲載することにした。

(2) チェックリストの記入方法

環境対応チェックリストは空間、道具、衣、食の4分野に分けて作成した。記入にあたっては、自社に関連した分野のチェックシートを選んで使用するようになっている。

チェックシートは、図5のように①商品のライフサイクル②チェック項目と考え方③チェック欄④動向(環境対応活動事例)⑤解決策の方向性⑥表示(エコマーク等)の6項目で構成されている。

②の「チェック項目と考え方」には①の「商品のライフサイクル」の生産から販売、使用・廃棄までの段階に応じた「環境対応の考え方」が書かれている。自社の生産から販売、販売後の使用や廃棄の段階を考えながら、環境対応の課題を右の③の「チェック欄」に書き出す。

チェック欄は三つに分かれており、1番目は、その課題がコスト管理や設備投資など、経営面での解決や努力が必要な場合に書き込

01 生産活動面での環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価										
01-01 生産ライン別、製品別、使用原料別に評価	生産活動面での環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価	原料の環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価	製品の環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価	製品の環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価	製品の環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価	製品の環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価	製品の環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価	製品の環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価	製品の環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価	製品の環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価
01-01-01 原料の生産面での環境への影響	原料採取の際に環境破壊の可能性はある									
	環境破壊を低減化した原料である									
	環境には影響しない生産方式の原料である									
	環境保全や維持再生に役立つ生産方式の原料である									
	不明である									
01-01-02 生産・製造時の加工面での環境への影響	原料の加工時に環境破壊の可能性はある									
	加工に際して、環境への影響を低減化するように配慮している									
	加工に際しては環境への影響はない									
	加工の端材や屑が環境破壊の可能性はある									
	加工の端材や屑の無公害化をしている									
	加工の端材や屑の再利用を行っている									
	加工のための周辺素材や機械などが環境に影響がある									
	加工のための周辺素材や機械などが環境汚染をしないようにしている									
	加工のための周辺素材や機械などの省エネ・省資源・再利用を進めている									
03 使用・廃棄面での環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価										
03-01 商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価	商品別、チャネルや地域別に評価
03-01-01 使用面・廃棄面での環境への影響	商品性能は環境への影響を考慮して設計されていない									
	商品性能は、省エネや環境破壊低減など、環境への影響を考慮して設計されている									
	商品自体が、省エネや環境破壊低減など、環境対応として先行的・評価される商品である									
	商品はリサイクルを考えた設計ではない									
	商品は、素材の構成や組み合わせ手法など、リサイクルを考えた設計になっている									
	その商品(素材)のリサイクルシステムを持っている									
	その商品(素材)のリサイクルシステムを持っていない									
	その商品(素材)のリサイクルシステムは必要である									
	その商品(素材)のリサイクルシステムは地域や他で成立している必要である									
02 物流・販売面での環境汚染低減や省エネ、リサイクルの評価										
02-01 商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価	商品別、チャネル別、構成要素別に評価
02-01-01 物流面での環境への影響	梱包材は環境破壊の可能性はある									
	環境破壊や使用エネルギーを低減化した梱包材である									
	再利用を考えた梱包材である									
	環境保全や維持再生に役立つ梱包材である									
	不明である									
02-01-02 販売面での環境への影響	パッケージは環境破壊の可能性はある									
	環境破壊や使用エネルギーを低減化したパッケージである									
	リサイクルを考えたパッケージである									
	環境保全や維持再生に役立つパッケージである									
	不明である									
04 環境汚染低減や省エネ、リサイクルのアピールについて										
04-01 生産面での発信	04-01-01 使用原料や生産体制・技術面で、環境活動努力を顧客にアピールしているか									
	アピールしていない									
	業界独自のエコマークなどがあるので、それを表記している									
	自社の商品説明で行っている									
	自社でマークをつくり、アピールしている									
04-02 物流・販売面での発信	04-02-01 梱包やパッケージの軽量化、省エネ、エコ素材使用、リサイクル化や再使用の努力を顧客にアピールしているか									
	アピールしていない									
	業界独自のエコマークなどがあるので、それを表記している									
	自社の商品説明で行っている									
	自社でマークをつくり、アピールしている									
04-03 使用・廃棄面での発信	04-03-01 省エネ効果やリサイクル対応などを顧客にアピールしているか									
	アピールしていない									
	業界独自のエコマークなどがあるので、それを表記している									
	自社の商品説明で行っている									
	自社でマークをつくり、アピールしている									

図3 チェックリスト案

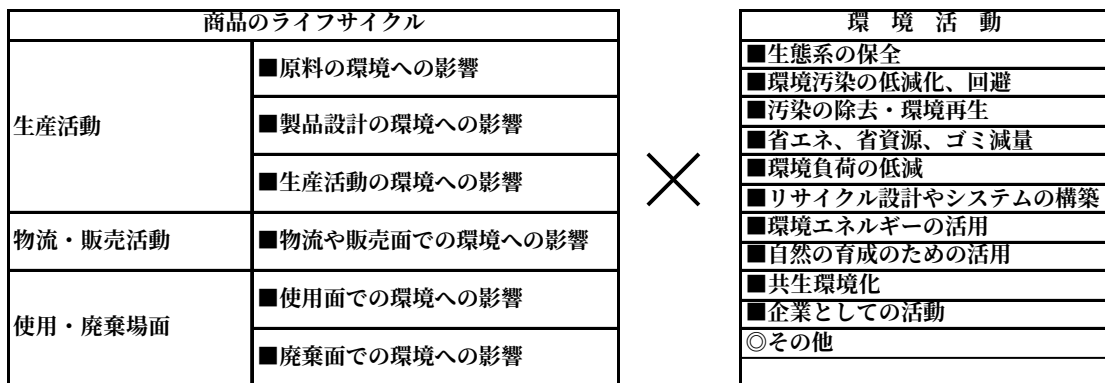


図4 チェック項目の構成

く環境対応に努力しても、それが理解されなければ市場にとって意味がない。その努力を表示していくことが重要で、表示には二つの方向性がある。既にエコマークなど、マークが制定されている場合はそのマークを使用した方が認知されやすくなるので、自社の解決の方向性と合致するマークを選んで取得し表示する。合致するマークがない場合には、パッケージや商品本体、商品説明書などに、自社で作成したマークなど分かりやすい形で表示していくことが必要であり、どのように対策をとるのか、表示の方策を書き込んでゆく。

食衣道具空間		環境対応チェックリスト		子チャック	動向(環境対応活動事例)	解決策の方向性	表 示
②		チェア②と考える力	③	④	⑤	⑥	
1 環境 影響	衛生基準の保全	●主観的の保全に役立つ土壌・表層腐 材を供給、開発しましょう。		○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。	○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。		
	環境汚染の低減化、削減	●環境汚染の少ない原料を選びましょう。		○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。	○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。		
	汚染の除去・環境再生	●環境汚染の除去、除去などの環境 再生に役立つ原料を使用、開発しま しょう。		○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。	○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。		
	省エネルギー、省資源、ゴミ減量	●省エネルギー、省資源、ゴミ減量 に役立つ原料を使用しましょう。		○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。	○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。		
	環境負荷の低減	●環境負荷の低減に役立つ原料を使用 しましょう。		○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。	○森林の伐採作業を持つスチール製、土に 埋めると自然に落ち、腐敗するものを使 いましょう。		

3. 結 言

対応活動開発のためのチェックリストを活用し、企業としての基盤強化と市場競争力強化、地域としての先行的なシステム構築に近づき、次代への環境対応高度化を果たしていくことを願っている。

謝 辞

本研究を行うにあたり、ご指導、ご助言をいただいた株式会社環境構造研究システムの中村正樹氏、横浜国立大学大学院環境情報研究院長の鈴木邦雄氏、長岡造形大学教授の松丸武氏、チェックリストの商品画像掲載にご協力をいただいた（財）日本産業デザイン振興会、そして研究遂行にご協力いただいた企業の皆様に深く感謝申し上げます。

实 用 研 究

光触媒の担持応用技術とその評価

坂井朋之* 佐藤 亨* 岡田英樹* 白井久美*

Application of TiO₂ thin films coating technology synthesized by a sol-gel process

SAKAI Tomoyuki*, SATO Toru*, OKADA Hideki* and SHIRAI Kumi*

妙 録

代表的な光触媒である酸化チタン(TiO₂)を簡易的に担持させる方法としてゾルゲル法についての検討を行った。試料はチタニウムテトライソプロポキシド／エタノール溶液よりディップ法で作成した。また、基材への接着性及び光触媒効果の向上を目指すために粘土鉱物（スメクタイト、セピオライト）及びポリエチレングリコール(PEG)を添加し、PEG の添加量・分子量の変化、セピオライトの添加量の変化により酸化チタン膜がどのような変化を示すのかを考察した。また、メチレンブルーの分解を用いた光触媒効果の性能評価を行い、各条件における効果の違いが確認された。

1. 諸 言

酸化チタンは光触媒効果を示す代表的な物質である。紫外光による励起エネルギーにより表面に付着している有機物を分解したり、表面に超親水性を付与させるという効果がある。抗菌、環境浄化（大気・水質）、防汚、防曇等の様々な分野で利用されつつある。

実際に酸化チタンを光触媒として用いる場合には他の素材に担持させて用いることが必要となる。担持させる素材はガラス・セラミックスなどの無機材料からプラスチックなどの高分子物質まで多岐にわたり、それに応じた担持方法の開発が行われている。この担持方法にはCVD、PVD、ペースト法、ゾルゲル法などがある。

本研究では組成の調整が比較的容易であること、大がかりな装置が必要ではないことなどの理由によりチタニウムテトライソプロポキシド／エタノール溶液を用いたゾルゲル法について検討を行った。その際に酸化チタン膜の表面積を大きくし、光触媒効果を上げる目的でポリ

エチレングリコール(PEG)を溶液に添加した。また、接着性の向上及び吸着性の付与の目的で粘土鉱物（スメクタイト、セピオライト）を添加した。PEG の分子量及び添加量の変化、及び粘土鉱物の添加量変化に対しての酸化チタン膜の変化を考察した。また、得られた酸化チタン膜の光触媒効果をメチレンブルーの分解により評価した。

2. 酸化チタンの担持

ゾルゲル法により酸化チタンの担持を行った。混合溶液の調整は表1に示す配合を基本とした。

表1. 混合溶液の基本配合表

チタンテトライソプロポキシド	3.0g	
トリエタノールアミン	1.0g	
PEG (#2000)	0.2g	1%
スメクタイト	0.8g	4%
エタノール	15.0g	
計	20.0g	

チタニウムテトライソプロポキシドは焼成することにより酸化チタンを生ずる。トリエタノールアミンは反応抑制剤である。

*下越技術支援センター

表1に示す配合を基本として、以下のようなパラメーターを変化させた。

(1) PEG の分子量

200, 2000, 6000, 20000, 500000

(2) PEG の添加量

0, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0%

(3) セピオライトとスメクタイトの比較

スメクタイト→セピオライトとし、その添加量を 0, 1.5, 3.0%

上記の通りに混合溶液を調整し、以下に示す方法で酸化チタンの担持を行った。

- ① 混合溶液へ基材であるスライドガラスをディップする。
- ② これを3回繰り返し、乾燥する。
- ③ 550°C, 1時間焼き付けを行う。

以上のようにして得られた試料の物性測定及び評価を行った。

3. 酸化チタン膜の評価

3. 1 膜厚測定

膜厚はマイクロメーターを用いて測定した。その結果を図1～3に示す。縦軸はディッピング1回あたりの膜厚を表している。

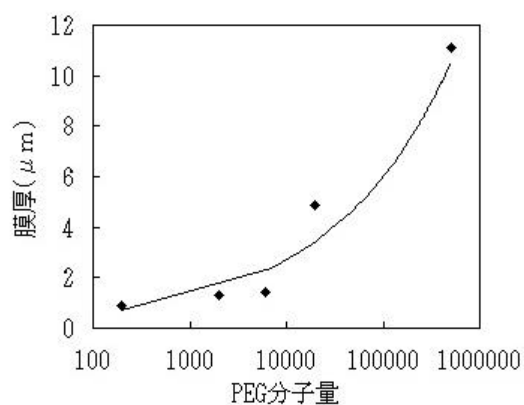


図1. PEG の分子量に対する膜厚変化

図1はPEGの分子量変化に対する膜厚の変化を示している。分子量の増加に伴い、膜厚が増大しているのがわかる。

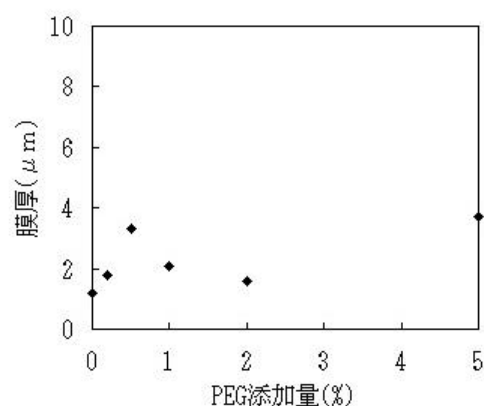


図2. PEG の添加量に対する膜厚変化

図2はPEGの添加量に対しての膜厚の変化を示している。添加量と膜厚の間に特に相関はみられず、その値は全体的に小さくなっている。

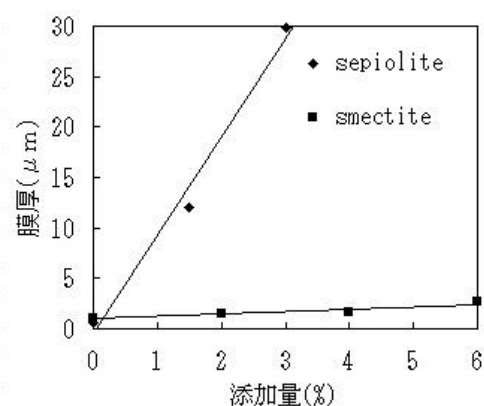


図3. セピオライトの添加量に対する膜厚変化

図3は粘土鉱物の添加量に対しての膜厚の変化を示している。(スメクタイトのデータは昨年度の実用研究のもの。) 添加量の増加に伴い、膜厚は増大している。また、その割合はスメクタイトに比べ、セピオライトのほうがかなり大きくなっていることがわかる。このことからセピオライトを添加することにより膜厚を増大できることがわかった。

3. 2 表面観察

酸化チタン膜の表面状態を電子顕微鏡により観察した。図4にそのSEM写真を示す。

使用装置：JSM-T220A（日本電子(株)製）

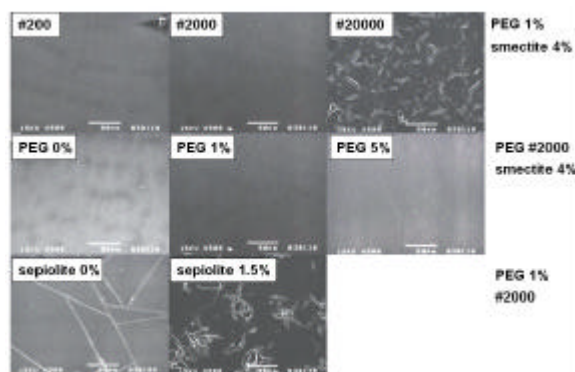


図4．表面観察（SEM 写真）

PEG の分子量変化に関しては#200, 2000 に関しては平滑な面が得られているが、#20000 には割れが生じている。PEG 添加量変化に関しては添加量にはよらず、平滑な面が得られている。また、セピオライトに関しては添加していないものは直線的な割れが生じ、一方、セピオライト 1.5% 添加しているものにも割れが生じている。総合的にみると膜厚が大きいと割れが生じるものと考えられる。

3. 3 X線回折

得られた酸化チタン膜の結晶系を確認するためにX線回折測定（測定装置：(株)リガク製 RAD-2B）を行った。セピオライト 1.5% 含有試料のものについての結果を図5に示す。

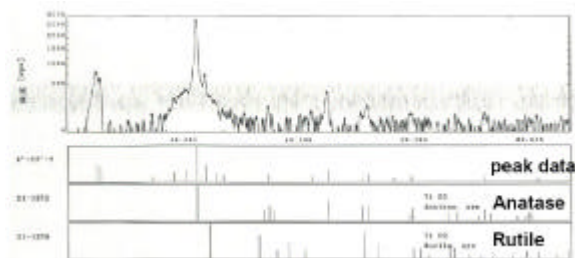


図5．X線回折の結果

この結果より得られた酸化チタン膜は光触媒効果を持つアナターゼ型であると確認できた。なお、スメクタイトを含有している試料に関しては昨年度、アナターゼ型であると確認済である。

3. 4 光触媒効果の評価

メチレンブルーの分解により光触媒効果の評価試験を行った。メチレンブルーは10mg/l 水溶液とし、10ml 使用した。試験は以下の通り行った。

- ① 溶液を入れたビーカー中に試料を垂直に固定する。
- ② 遮光箱中で紫外線（ブラックライト）を3時間照射する。
- ③ 溶液の透過率を測定する。

また、今回の試験では光触媒効果によるメチレンブルーの分解以外に酸化チタン膜表面への吸着のためにメチレンブルー濃度が変化してしまうことが考えられたため、その影響を確認するために同条件で紫外線を照射しない試験も行った。図にメチレンブルーの原液(10mg/l)、紫外線を照射した溶液、紫外線を照射しない溶液の透過率を測定した結果を図6に示す。

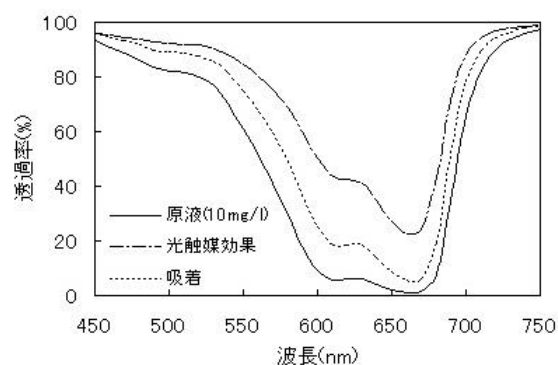


図6．メチレンブルー溶液の透過率

原液に比べ、吸着（紫外線照射なし）により透過率が上がっていることがわかる。しかしながら、紫外線を照射したものに関してはさらに透過率が上がっており、光触媒効果が確認でき

る。668nm 付近の吸収極大の吸光度の値から溶液中のメチレンブルー濃度を求めた。その結果を図7～9に示す。図7はPEGの分子量に対してのメチレンブルー濃度の変化、図8はPEGの添加量に対しての濃度変化、図9はセピオライトの添加量に対しての濃度変化を示している。すべての図において●は光触媒効果（紫外線照射あり）、▲は吸着（紫外線照射なし）を示している。

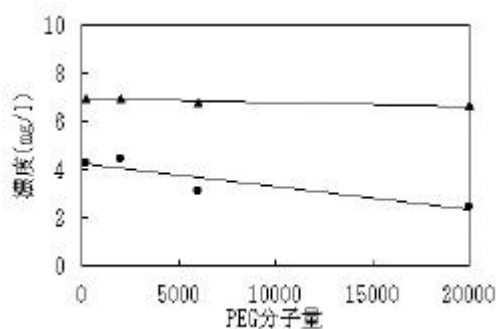


図7. PEGの分子量に対する濃度変化

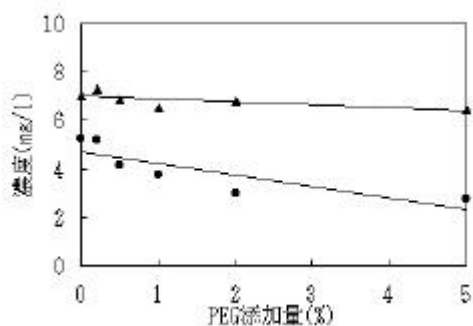


図8. PEGの添加量に対する濃度変化

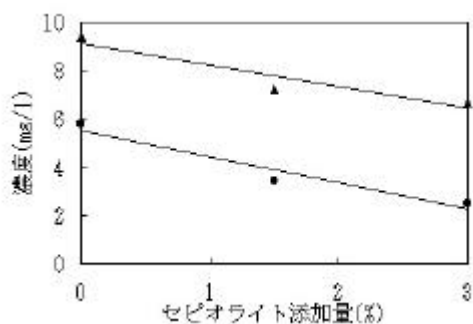


図9. セピオライトの添加量に対する濃度変化

これらの図より吸着に関してはほぼ一定であることがわかる。セピオライトに関してはそれを添加することにより吸着量が増加している。また、光触媒効果に関してはPEG分子量増加、PEG添加量増加、セピオライト添加量増加に伴い効果が上がる傾向がみられることがわかった。

4. 結 言

- (1) ポリエチレングリコールの分子量の増加、セピオライトの添加量の増加により酸化チタンの膜厚を増大することができる。
- (2) メチレンブルーの酸化チタン膜表面への吸着はほぼ一定である。また、セピオライトを添加することにより吸着量が増加する。
- (3) 光触媒効果に関しては、ポリエチレングリコールの分子量の増加、添加量の増加、セピオライトの添加量の増加に伴い、効果が上がる傾向がみられる。

謝辞

本研究において（財）上越環境科学センター北川氏に多大な協力を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

引用文献

工業技術研究報告書 No.31 2002 P77

難削材の穴あけ加工に関する研究

(ガラス板の穴あけ加工)

杉井 伸吾* 白川 正登* 石川 淳* 中川 昌幸*

Study on Hole Machining of Difficult-to-cut Materials
(Hole Machining of Glass)

SUGII Shingo, SHIRAKAWA Masato, ISHIKAWA Atsushi, NAKAGAWA Masayuki

抄 録

NCフライス盤を使用して、厚さ1mmのソーダガラス板に穴あけ加工を行った。加工時に発生する穴周囲の欠けを低減させるには、ヘリカル加工が有効であることが実証できた。

1. 緒言

近年、高付加価値加工として難削材の穴あけ加工の要求が高まってきている。当センターにおいても難削材の加工についての相談があるが、難削材加工についてはデータの公開や情報化が進んでおらず、相談に応じきれっていないのが現状である。そこで、これまでに相談のあったガラス板の高品位穴あけ加工について実験を行い、加工データの蓄積を行った。

ガラスは硬脆材料のため機械的な穴あけ加工を行うと図1のように穴周囲に欠けが発生してしまう。この欠けを防止する方法として、捨てガラスを重ね

て加工する方法や工具に超音波振動を与えて加工力を抑えつつ穴あけを行う超音波加工法が挙げられる。しかし、いずれの方法もコスト高や特殊な機構が必要となる。

今回は県内のある企業からの相談事項である、既存のフライス盤を使用したガラス板の高品位な穴あけ加工について研究を行った。

2. 加工仕様

相談のあった企業からの加工仕様は以下のとおりである。

- ・ フライス盤による加工
- ・ 厚さ1mmのソーダガラスに直径3mmの貫通穴あけ
- ・ 工具送り速度2mm/min以上
- ・ 加工穴周囲に欠けがないこと

これら仕様に基づいて実験を行うこととした。

3. 実験概要

実験には当センター所有のNCフライス盤(N-MACH)を使用した。また加工実験システムを図2に示す。加工時の工具送り方向の加工抵抗を測定するための圧電型動力計(キスラー社製9257A)の

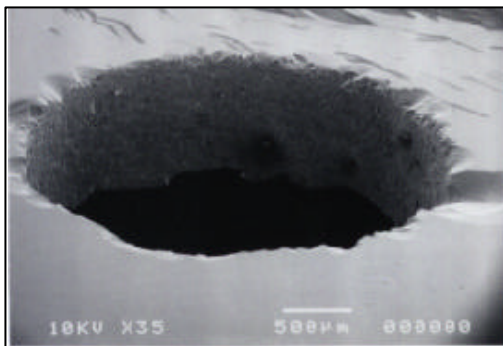


図1 加工穴周囲に発生した欠けの様子

*下越技術支援センター

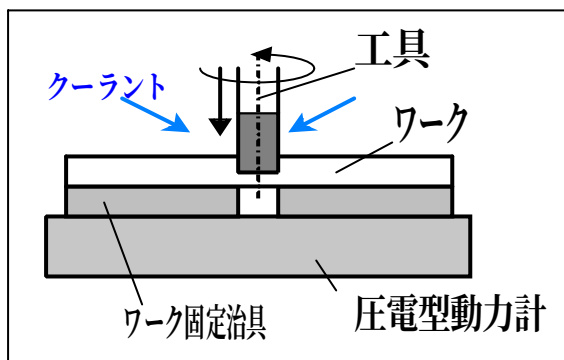


図 2 加工システム概略

上面にワーク固定治具を介して、ワークであるソーダガラス板を固定した。加工時には水溶性のクーラントを加工点に向けて外部より供給した。工具回転数、送り速度を変化させて穴あけ加工を行い、加工時の抵抗ならびに加工した穴周囲に発生した欠けの大きさを測定した。なお欠けの大きさは、図3に示すように加工した穴を上から見て、欠けの半径方向の幅が最大のものを測定した。また、実験に使用した工具の外観を図4に示す。一般的にガラスの穴あけ加工に用いられるパイプ状のダイヤモンド砥石であるコアドリルを用いた。

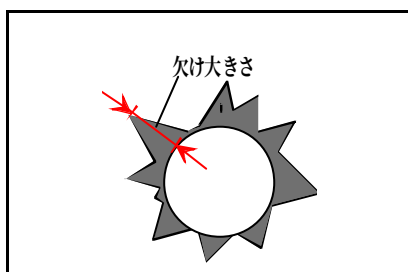


図 3 欠け大きさの定義

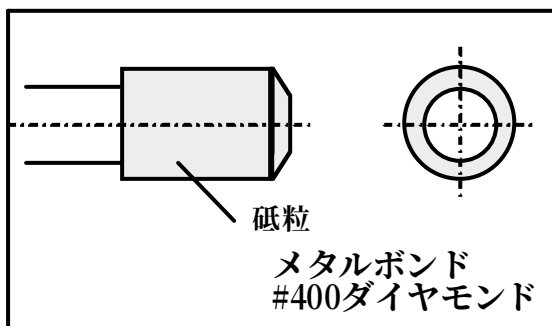


図 4 使用工具外観

4. 実験

4. 1. 通常加工

$\phi 3$ の穴径に対して、 $\phi 3$ の工具を使用して、穴あけ加工を行った。工具回転数、送り速度を変化させて穴あけ加工を行い、欠けの大きさを測定したものを図5に示す。加工開始面（ガラス上面）を入口側、加工終了面（下面）を出口側として、工具回転数をパラメータに横軸を送り速度、縦軸を欠け大きさとしてプロットした。目標とする送り速度 2mm/min において、欠けの大きさは良好なもので入口側で 0.1mm 、出口側では 0.2mm 程度であった。しかし、出口側の欠けについては欠けが小さいのは工具回転数が $20,000\text{min}^{-1}$ 、 $30,000\text{min}^{-1}$ という高速回転の場合であり、より一般的な機械を使用することを考えると工具回転数が $10,000\text{min}^{-1}$ 以下の領域で欠けを小さくする必要がある。

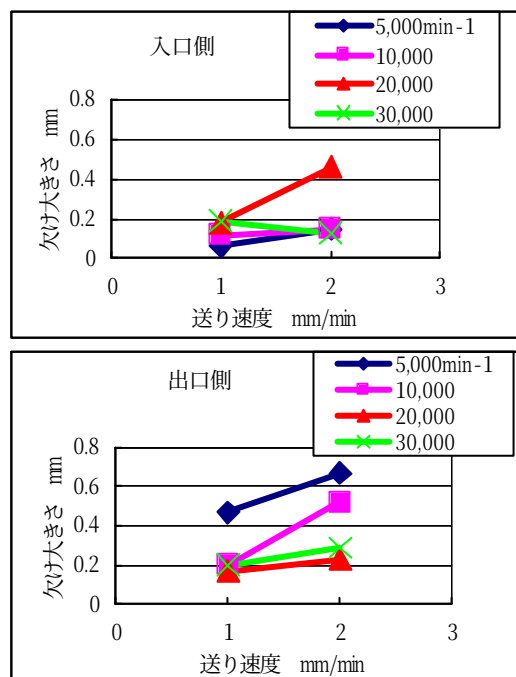


図 5 通常加工による欠けの大きさ

4. 2. ヘリカル加工

前節の結果より、工具回転数が $10,000\text{min}^{-1}$ 以下の欠けを小さくするためにヘリカル加工を試みた。ヘリカル加工とは図6に示すように穴径よりも小さな径の工具を自転させつつ加工穴中心軸周りにネジのように送りながら加工を行う方法である。これにより加工抵抗の低減やクーラントのかかりが改善で

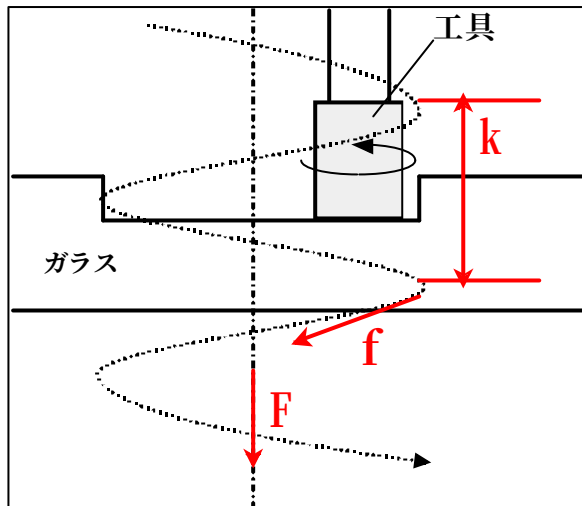


図 6 ヘリカル加工模式図

き、欠けが小さくなるのではないかと考え加工を試みた。実験はφ3の穴に対してφ2のコアドリルを使用した。前節の通常穴あけによる工具回転数 $5,000\text{min}^{-1}$ （周速 47m/min ）の条件と比較するために、工具回転数を $7,500\text{min}^{-1}$ （周速 47m/min ）とし、また、表1に示すようにヘリカル加工のリード k と経路接線方向送り速度 f の組み合わせで、穴軸方向送り速度 F が 2mm/min となるような条件で加工を行った。なお、ヘリカルの回転方向はダウンカットとなるようにした。図7に加工抵抗を示す。通常加工の 22N に対してヘリカル加工での抵抗は約 10N と半分程度に低減することができた。図8にヘリカル加工での欠けを測定したものを示す。入口側は通常加工と同程度であるが、出口側は通常加工の 0.7mm に対してヘリカル加工は 0.1mm と欠けを大幅に改善することができた。

表1 ヘリカル加工条件

加工条件 No.	リード k mm	接線方向送り f mm/min
1	1.0	13
2	0.5	25
3	0.2	63
4	0.1	126

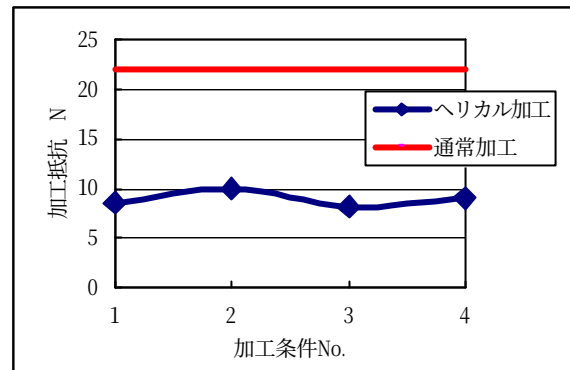


図 7 ヘリカル加工における加工抵抗
(工具周速 47m/min 、送り速度 2mm/min)

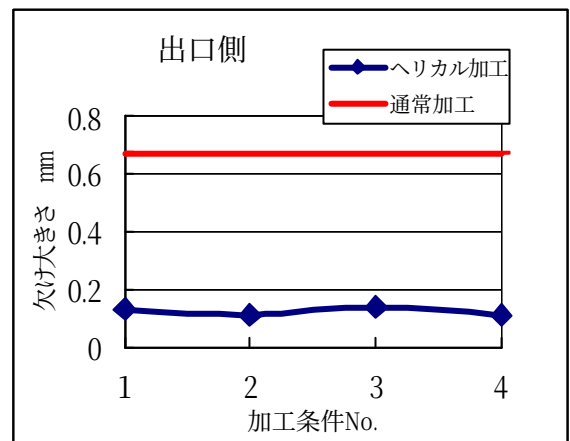
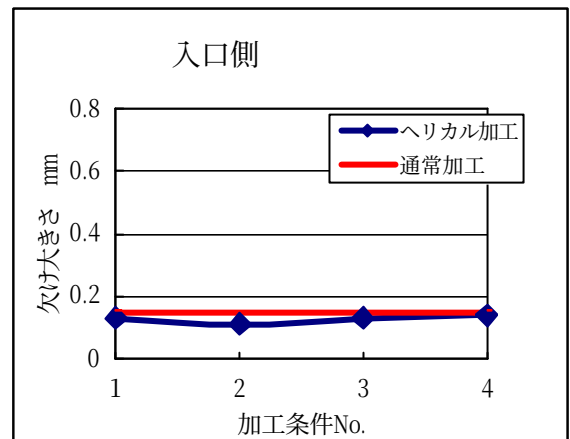


図 8 ヘリカル加工における欠けの大きさ
(工具周速 47m/min 、送り速度 2mm/min)

5. 結 言

NCフライス盤を使用したガラスの高品位穴あけ加工について実験を行った結果、加工時に発生する欠けを低減させるにはヘリカル加工が有効であることがわかった。

高性能刃物技術に関する研究

丸山 英樹* 本多 章作*

Study on DLC coated kitchen knife

MARUYAMA Hideki* and HONDA Shousaku*

抄録

切れ味が長期間持続する包丁の開発を目的として窒化、DLC（Diamond Like Carbon）による表面処理を行った。切れ味試験器を用いた評価の結果、窒化、DLC処理によって包丁の耐摩耗性が向上することが確認できた。また片面だけの表面処理でも耐摩耗性が向上することがわかった。

1. 緒言

県央地域の包丁業界は、中国産の安価な輸入品に押されて厳しい状況下にある。このような状況に対し、ほとんどの包丁製造業者は価格競争をするのではなく、付加価値の高い新製品を開発することで対抗したいと考えている。また、輸入された安い包丁が取り沙汰される背景には、従来当たり前に見られた研ぐという習慣を行わなくなった事も考えられる。しかし、省資源やメンテナンスの観点からも、研ぐ頻度が少ない刃物製品の開発は様々な産業において重要である。

本研究では包丁の刃の耐久性を高めるために窒化、DLC（Diamond Like Carbon）、フッ素樹脂コート of 表面処理を行い、その効果を調べた。表面処理により新たな機能が付加できれば、安価な輸入品との差別化が期待できる。これらの表面処理により付加価値の高い包丁の新製品開発を目的とした。

2. 実験

2.1 試料の表面処理について

表面処理は窒化処理、窒化処理+DLC 処理、窒化処理+DLC 処理+フッ素樹脂コート of 3 種類をそれぞれ片面と両面に行った。DLC 皮膜とテフロン皮膜の厚さはそれぞれ $1,2\mu\text{m}$ である。片面のみの処理品も作製した理由は、両面に表面処理を行うと研ぎ直しが出来ない

ためである。これらの表面処理はいずれも県内企業に依頼した。

DLC（Diamond Like Carbon）とは炭素の様々な同素体であるダイヤモンドやグラファイトなどの結合を含む、非晶質の黒色薄膜の総称である。表面が平滑で摩擦係数が低く硬い、耐摩耗性に優れるなどの特徴が挙げられる。このため、各種切削工具や磁気ヘッド、ハードディスク表面など幅広い用途に用いられている。窒化処理はイオン窒化である。フッ素樹脂は DLC よりも更に摩擦が小さく、既に市販の包丁に適用されている。これらの処理はいずれも包丁の母材が焼きなまされよう 180°C 以下で行った。

2.2 標準となる包丁について

はじめに表面処理を行うベースとなる包丁を選定した。この包丁は三条市内の包丁メーカーが製造する市販価格 2000 円程度の三徳包丁で刃先角は約 30° である。材質はステンレス、愛知製鋼の AUS6M である。AUS6M の成分表を表 1 に、標準となる包丁の外観を図 1 に示す。

表 1 AUS6M の化学成分表 (wt%)

	C	Mo	V	Si	Cr
AUS6M	0.55 ~0.65	0.20 ~0.30	0.10 ~0.25	≤ 1.00	13.0 ~14.5

* 県央技術支援センター加茂センター



図1 標準品とした三徳包丁

2.3 硬さ試験

DLC 皮膜は厚さが $1\mu\text{m}$ しかなく通常の硬度計では測定ができない。そこで下越技術支援センターの（株）アカシ製皮膜硬度計 MZT-4 を用いて表面の硬さを比較した。結果を表 2 に示す。参考のために同じ測定機を用いて HRC50, 55, 60 の硬さ基準片を測定した数値を表 3 に示す。窒化、DLC 処理を行うことで表面硬度が上がることを確認した。

表 2 各表面処理の硬さ比較

表面処理の種類	表面処理無し	窒化处理	窒化处理 +DLC
硬さ(HUV)	536	569	751

(測定条件 ビッカース圧子 F1:10gf V:5gf/sec)

表 3 硬さ基準片の皮膜硬度計測定値

硬さ基準片	HRC50	HRC55	HRC60
硬さ(HUV)	465	524	596

2.4 切れ味試験について

試験は（財）新潟県県央地域地場産業振興センターが所有する切れ味試験器を用いて行った。これは試験を行う包丁を約 3kg の自重をもつホルダーに固定し、付箋紙の束の上に静かに乗せ、この状態で付箋紙が 50mm 平行移動する際に、切れた紙の枚数により測定するものである。切れ味試験器の試験結果が人間の感覚的な切れ味と一致するかという問題は諸説があるが、ここでは単純に紙を切る負荷に対する耐摩耗性を評価した。付箋紙の動く方向は包丁で引切りとなる方向とし、今回

は紙の枚数ではなく、切れた紙の厚さをマイクロメータで測定した。付箋紙は幅 14.5mm、長さ 52mm の 100 枚綴りを 2 段重ねて使用した。試験は各条件とも 150 回まで行った。図 2 に使用した切れ味試験器の外観を示す。

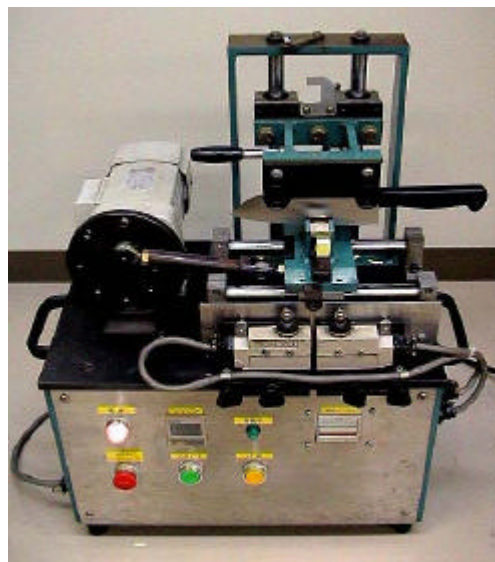


図 2 切れ味試験器

3. 実験結果及び考察

3.1 両面を表面処理した包丁

両面処理した包丁の試験結果を図 3 に示す。基準となる表面処理無しの包丁は試験開始時は約 10mm の切断深さが得られたが、150 回後では約 2mm まで低下した。DLC 及びフッ素樹脂処理品は試験開始時と 150 回後の切断深さがほとんど変わらず、高い耐摩耗性をもつことがわかった。フッ素樹脂処理が耐摩耗性を向上させるとは考えにくく、これは DLC による効果と思われる。実際にフッ素樹脂膜は試験中に剥離したが、切断深さはむしろ上昇した。これはフッ素樹脂膜が剥離する事で、刃先が鋭利になったためと考えられる。このようにフッ素樹脂処理は剥離のため、その効果は確認できなかった。窒化处理は初期の切断深さがもっとも大きい、150 回後は 10mm 程度まで低下した。これはイオン窒化处理のスパッタリング効果で刃先が鋭くなるために初期切れはよくなるが、硬度は DLC に及ばないために摩耗が進んだものと考えられる。

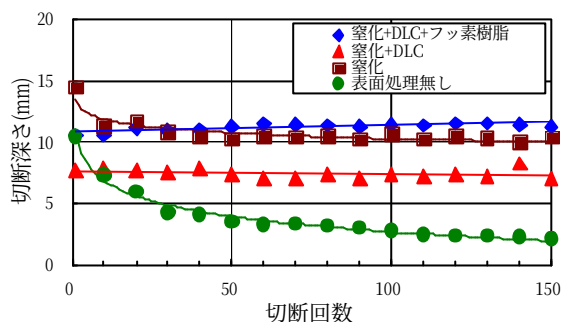


図3 切れ味試験結果（両面処理）

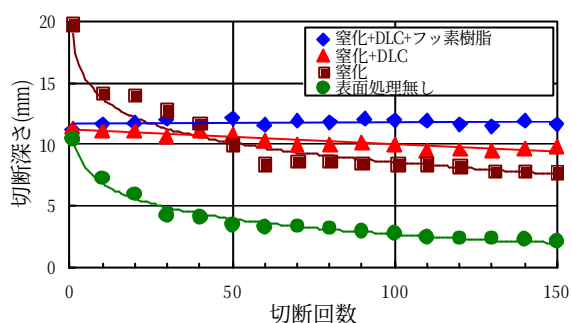


図4 切れ味試験結果（片面処理）

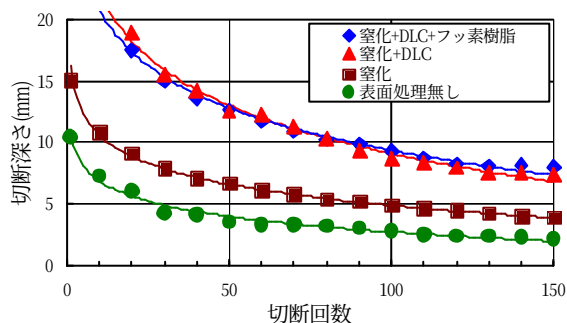


図5 切れ味試験結果（片面処理研ぎ直し）

3.2 片面のみ表面処理した包丁

片面処理の切れ味試験結果を図4に示す。片面のみでもDLC及びフッ素樹脂処理品は、試験開始当初と150回後切断深さの低下が小さく、高い耐摩耗性をもつことがわかった。窒化処理は両面処理と同様に初期切れ量が最大であるが、150回後にはDLC、フッ素樹脂の切断深さを下まわった。フッ素樹脂は両面の時と同じく試験中に剥離した。

3.3 片面処理包丁の研ぎ直し

片面処理した包丁をメーカーに依頼して研ぎ直してもらい、再度切れ味試験を行った。試験結果を図5に示す。初期切断深さは研ぎ

直した全ての包丁で大きくなった。しかし150回試験後の切断深さはいずれの表面処理の場合も低下し、研ぐ前に比較して耐摩耗性が低下した。

3.4 刃先観察

片面のみ表面処理を行った包丁では研ぐ前と研ぎ直した後で耐摩耗性に違いが見られた。そこで両者の刃先を上にして、SEM観察を行った。その1例を図6に示す。図6左側の研ぐ前の状態では刃の頂点を黒いDLC膜が覆って裏側にまで回りこんでいた。それに対して研ぎ直し後は刃の頂点でDLC面と研磨面が明確に分かれていた。このことから片面のみのDLC処理でもDLC膜は刃先の頂点を覆い、高い耐摩耗性が得られていたが、研ぎ直すことで先端のDLC皮膜が剥離し、耐摩耗性が低下したと考えられる。窒化処理についても窒化層が研磨によって無くなるため同様に耐摩耗性が低下すると考えられる。図7は研ぎ直した包丁の刃をほぼ真横から見たSEM写真であるが、黒っぽいDLC皮膜が部分的に剥離している様子がわかる。



図6 片面DLC処理刃先の表面観察写真

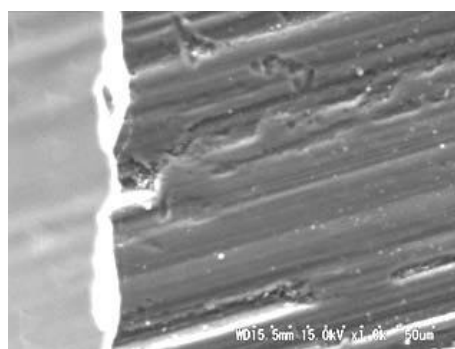


図7 研磨後の刃先拡大写真

4. 耐食性試験

表面処理による耐食性変化を JIS-Z-2371 中性塩水噴霧試験によって評価した。これは 35℃ に保った槽内で 5% の塩化ナトリウム水溶液を連続噴霧する試験である。3 時間暴露後の結果を図 8 に示す。写真ではわかりにくいですが、窒化処理を行った包丁は刃の全面に赤錆が発生し、未処理の包丁に比較して耐食性が低下した。これはステンレスの不動態膜が窒化処理によって置換されたためと考えられる。窒化処理後に DLC 処理を行った包丁では部分的に錆の発生が認められたが、未処理のものと同じ程度の耐食性が得られた。



図 8 塩水噴霧試験結果（3 時間後）

5. 結言

ステンレスの包丁の表面処理を検討し、以下の結果を得た。

- (1) 包丁に窒化処理および DLC 処理を行うことで耐摩耗性が向上することを確認した。
- (2) 表面処理は両面もしくは、片面だけの窒化処理及び DLC 処理でも耐摩耗性を向上させる効果が確認できた。
- (3) 片面だけの表面処理は研ぎ直しが可能であるが、研ぎ直し後の耐摩耗性能は研ぐ前に比較して低下した。
- (4) 窒化処理のみでは耐食性が低下し、包丁に用いるには注意が必要である。窒化処理後は刃先が鋭くなり、特に切断深さが改善された。窒化処理後に DLC 処理を行うと耐食性は未処理と同程度

となった。

- (5) DLC 処理の上にフッ素樹脂処理を行ったが剥離が生じ、効果を確認できなかった。

今回の窒化処理及び DLC 処理は包丁に限らず幅広い工業用刃物製品に応用が可能であり、その長寿命化に有効と考えられる。なお、この表面処理方法等は永田精機（株）と共同で特許出願済みである。

【発明の名称】

刃物の表面処理方法とその刃物

【出願番号】

特願 2003-98227

<謝辞>

本研究に際し、（株）タダフサ様には包丁の表面処理に関するご助言や研ぎ直し等で、永田精機（株）様には表面処理及び特許出願に際して多大なるご協力を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 鴨下隆志、矢野宏、田中健一：包丁の感覚切味の定量化、精密機械 15,12(1979)1473
- 2) 鴨下隆志、矢野宏：厨房用刃物の切味試験、人間工学 15,6(1979)325
- 3) 金沢憲一他、ナイフ状刃物による切断に関する研究：精密工学会 Vol.62, No.9, 1996
- 4) 柴田ブックス：包丁と砥石
- 5) 田中互、中村勝、田宮宏一、堀祐爾、鈴木誠一、神山義一：新潟県工業技術研究報告書、包丁の簡易切味試験機の試作と官能検査について（1980）

県産スギ材製品の耐候性に関する研究

浦井 和彦* 石井 啓貴*

Theresearchontheweatherresistance of the prefectural-made SUGIproduct

URAI Kazuhiko and ISHII Hirotaka

抄 録

新潟県産スギ材の間伐材を用いた製品（側溝用木製蓋）の耐用年数を把握するために、スギ間伐材を防腐処理した試験体5種類と未処理の試験体を作製し、これを上越技術支援センター北側入り口側溝に設置して、屋外暴露による耐候性試験を実施した。また、サンシャインウェザーメーターを用いた促進耐候性試験を実施し、県産スギ材製品の経年劣化の状態を強度試験や分光測色計を用いた測定により確認した。

1. 緒言

我が国に於ける国産木材の現状は、価格単価の安い輸入木材に市場を独占され、伐採期を迎えた木材が山に放置されるという厳しい状況に追い込まれている。なかでも、植林地の大半を占めるスギ林放置が深刻な問題になっている。

スギ林放置の問題は、地球温暖化防止などの環境問題や国土保全の観点から、その対策が立てられ、林の間伐管理やそれに伴い発生する間伐材の利活用が唱えられている。

この様な状況の中で、上越技術支援センター管内の企業が、新潟県産スギ間伐材を用いた側溝の蓋を開発し、販売を開始した。

木製の側溝蓋は、従来製品であるコンクリート製品や鉄鋼製品に比べ、重量が軽い。

この特徴が、側溝清掃の際、作業負担を軽減させ、一般家庭の側溝蓋として普及しはじめた。しかし、公共施設等への導入については、製品の耐用年数やコストがネックとなり、導入を控える公共団体が多い。

一般的なスギの耐用年数は、辺材部で4～5年、心材で6～7年とされている¹⁾が、間伐材

についての耐用年数は明らかではない。また、スギ材を含む木材の耐用年数は、材の木取り法や使用場所の環境に左右されることから、本研究では、新潟県産スギ間伐材を用いた製品である側溝蓋の正確な耐用年数を把握することを目的に、かつ、地域環境に適合した防腐防虫処理方法について検討するために、製品の耐候性試験を実施した。

県産スギの間伐材を防腐処理したもの、未処理のものを用い試験体を作成し、これを上越技術支援センター北側入口側溝に設置して、屋外暴露試験方法による耐候性試験を実施した。また、サンシャインウェザーメーターを用い、J I S A 1415の試験条件により500時間の促進耐候性試験を実施し、経年劣化の状況を強度試験や分光測色計による測定で確認したので、ここに報告する。

2. 試験体

新潟県産スギの間伐材を用いた側溝用の木製蓋を試験体として製作した。

2. 1 供試材の性質

試験体に用いる供試材の性質をJ I S Z 2101に準じ求めた。

・樹種 スギ（間伐材）

* 上越技術支援センター

- ・密度 0.40 (g/cm³)
- ・平均年輪幅 4.1 mm
- ・曲げ強さ 51.5 MPa
- ・曲げヤング係数 4.83 GPa
- ・圧縮強さ 28.1 MPa

2. 2 試験体の種類と処理方法

未処理の試験体と防腐処理した試験体を併せて、6種類の試験体を作製した。

防腐処理に用いた薬剤名及び処理方法は次の通りである。

- ・クレオソート油 防腐防蟻剤 加圧注入
- ・セトールHLS 保護塗料 刷毛塗
- ・タナリスCuZn* 防腐防蟻剤 加圧注入
- ・トヨゾールZN* 防腐防蟻剤 加圧注入
- ・キシラデコール 保護塗料 刷毛塗
- ・未処理

※：(社)日本木材保存協会認定薬剤

2. 3 試験体の寸法形状

図1に示すような試験体(側溝蓋)を各種類ごとに、それぞれ6個作製した。

試験体は、50×50×400mmの角材を6本用い、それぞれの間に座金を入れ、隙間を作った状態で、木ねじにより組み立てた。大きさは、400×330×50mmである。



図1. 試験体

3. 耐候性試験

試験体を屋外に設置し、屋外暴露方法による耐候性試験を実施した。また、これとは別に、試験体の供試材について、サンシャインウェザーメーターを用いた促進耐候性試験を実施した。

3. 1 屋外暴露試験

- ・設置場所 支援センター北側入口側溝
- ・試験期間 平成14年5月24日から
平成15年2月12日まで



図2. 設置された試験体

3. 2 促進耐候性試験

- ・試験機 サンシャインウェザーメーター
- ・試験条件 JIS A 1415
- ・試験時間 500時間

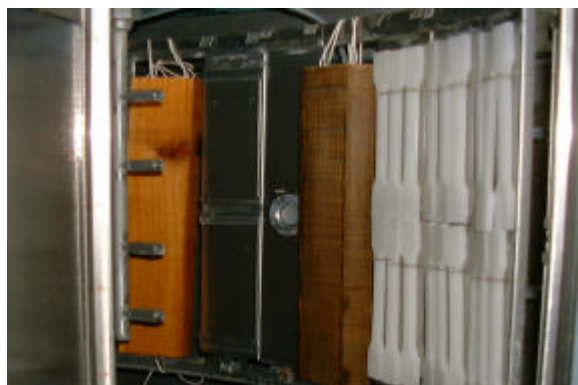


図3. 促進耐候性試験

4. 評価方法

耐候性試験に伴う試験体の経年劣化の状況を強度試験及び分光測色計による測定、目視観察により評価した。

なお、強度試験に用いた試験片は、側溝蓋試験体(屋外暴露による耐候試験を260日実施)を試験部材(50×50×400mm)に解体し、曲げ剛性試験を実施した後、これを4つ割りにし、曲げ試験片(20×20×400mm)、圧縮試験片(20×20×40mm)を作製した。

4. 1 曲げ剛性試験

試験体の性能評価に於いて、破壊を伴う試験評価では、同じ母材での測定は不可能であ

ることから、そこで、同一母材での非破壊性能試験方法として、供試材の弾性域における曲げ剛性試験を実施した。

曲げ剛性試験は、試験体に対し、耐候性試験実施前後の強度性能を変形荷重の大きさを表した。

試験は、支点間距離を340mmとして、JIS Z 2101に準じ、曲げ試験を実施し、試験体が2mm変形する時の荷重を測定した。

4. 2 曲げ試験、圧縮試験

JIS Z 2101に準拠し、圧縮試験及び曲げ試験を行い、圧縮強さ、曲げ強さ、曲げヤング係数を求めた。また、促進耐候性試験を500時間行った試験体から強度試験片を作製し、圧縮試験を行い、圧縮強さを求めた。

4. 3 分光測色計による測定

屋外暴露試験体の退色変色過程を分光測色計を用い、試験開始日より50日ごとに250日までの間、6回測定した。また、促進耐候性試験についても、試験開始前と試験終了後、それぞれ測定した。

測定した表色系は、マンセル、XYZ、L*a*b*等である。

4. 4 目視等による状態観察

屋外暴露による試験体の割れやカビ、腐朽、虫害等の発生状況を目視により、1週間ごとに確認した。また、同じく、試験体の変色退色の様子を写真撮影した。

5. 結果

5. 1 屋外暴露材の曲げ剛性

屋外暴露試験開始前のそれぞれの試験体母材を2mm変形させる荷重を100とした時、260日経過後の変形荷重は、3～14%減少した。未処理材より荷重の減少が大きかったのは、タナリスCuZn、トヨゾールZNの2種類で、クレオソート油処理試験体の減少が最も小さく3%だった。結果を図4に示す。

5. 2 促進耐候性試験片の圧縮強さ

防腐処理した供試材、未処理材、それぞれを2つ割にして、一方を母材の試験体に、残りを促進耐候性試験の試験体として、サンシャインウェザーメーターにより、500時間の運転を行った後、圧縮試験を実施した。

促進耐候性試験後の圧縮強さは、減少しなかった。

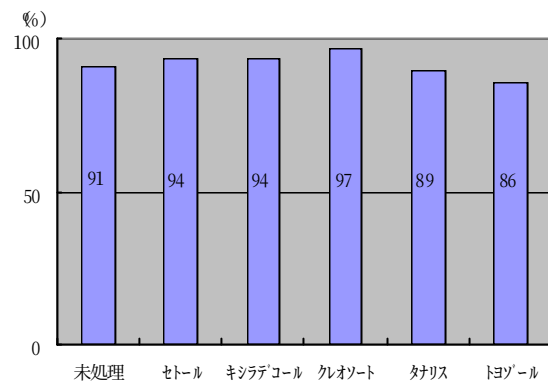


図4. 屋外暴露材の曲げ剛性

5. 3 屋外暴露材の圧縮強さ

屋外暴露材の圧縮強さは、未処理材では32%、クレオソート、セトール処理材では24%、キシラデコール、トヨゾール処理材では31%、タナリス処理材では34%、それぞれ、強度低下が確認された。

この値は、林業試験場が提案する腐朽被害度¹⁾の2度から3度に相当する。

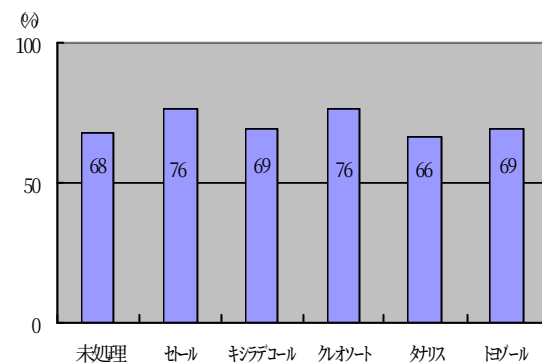


図5. 屋外暴露材の圧縮強さ

5. 4 屋外暴露材の曲げ強さ

クレオソート処理材を除き、それ以外の試験体で、曲げ強さが約9%から33%低下した。この中で、未処理材の強度低下が一番大きかった。

曲げ剛性試験の結果に比べ、曲げ強さの結果が低い値を示した理由として、曲げ試験の試験片寸法が剛性試験体寸法の4分の1の大きさであることから、材料の欠点である目切れ、節、キズ、割れ等の影響を強く受けたものと思われる。

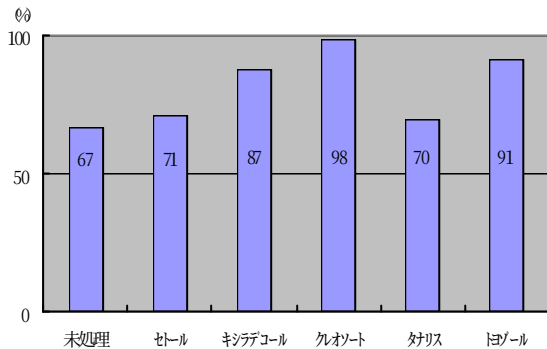


図6. 屋外暴露材の曲げ強さ

5. 5 屋外暴露材の曲げヤング係数

屋外暴露材の曲げヤング係数は、曲げ強さと同様な傾向を示した。

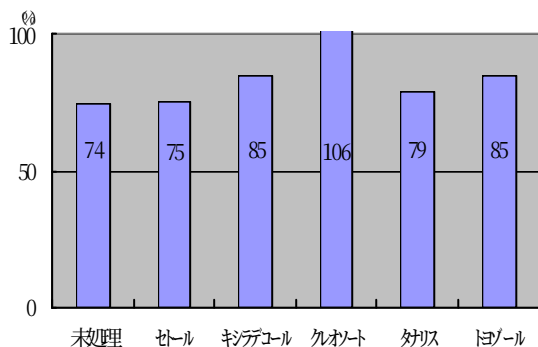


図7. 屋外暴露材の曲げヤング係数

5. 6 屋外暴露試験による色変化

木材を横断面に切ると、内部と外周部では色が異なる。

スギ材では、外周部の白色または色の薄い部分を辺材または白太と呼び、内部の色の濃い部分を赤身、赤太または心材と呼んでいる。

試験に用いたスギ間伐材の材色をマンセル表色系で表示すると、心材の色は6. 6 6 Y R / 6. 8 9 4. 4 6で表され、色相は橙色、明度はやや明るく彩度は普通である。また、辺材の色は、1. 7 5 Y / 7. 9 9 3.

8 3で表され、黄色の薄い色あいで、白色が心材の色より強く無彩色に近い。

屋外暴露試験により、各試験体が変色する過程を分光測色計で50日ごとに測定した結果、防腐処理により、木材に処理剤の色がついたが、最終的には、着色前の木材の色に近づいた。その様子を下の図に示す。

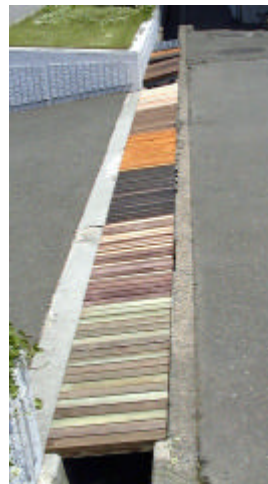


図8. 試験開始直後



図9. 6ヶ月経過

6. 結言

- (1) 県産スギ間伐材製品の経年劣化の状況を強度値や色差値によって把握できた。
- (2) 屋外暴露試験により、製品の圧縮強さが約30%低下したが、寿命には至っていない。
- (3) 促進耐候性試験500時間では、圧縮強さは変化しない。
- (4) 製品の正確な耐用年数を求めるためには、引き続き耐候性試験を行う必要がある。

7. 参考文献

- 1) 松岡、雨宮他；浅川実験林苗畑の杭試験(3)、林業試験場報告 第232号
- 2) 雨宮；浅川実験林苗畑の杭試験(1)、林業試験場報告第150号、

N-コンポ実用化試験

佐野 正* 古畑 雅弘* 土田 知宏* 高橋 靖*

The test to practical use N-COMP

SANO Tadashi*, FURUHATA Masahiro*, TSUCHIDA Tomohiro* and TAKAHASHI Yasushi*

抄 録

戦略研究により開発した自動引き通し機 N-コンポ (Niigata Composite yarn Piercing) のフィールド試験を行い、様々な糸種への適応性を把握するとともに、実用性能を向上させるために問題点への対応方法を検討した。また、近年新潟県内の織物産地で主流を占める 2 ビーム織物を N-コンポで引き通しするための対策として、見本整経機を用いて 2 ビーム用の種糸を整経する方法を検討し、そのための見本整経機の改良を行った。

1. 緒 言

N-コンポ (Niigata Composite yarn Piercing) は、新潟県工業技術総合研究所が平成 9 年度から 11 年度の戦略技術開発研究により開発した自動引き通し機である。織物の準備作業である“引き通し”は、経糸をソウコウやオサに通す作業であるが、これまでは熟練の作業員でも 1 日から 2 日を要す手間のかかる作業であった。特に、新潟県内の織物産地では、伸縮糸や強撚糸、複合素材の糸等、様々な糸を使った織物の製造を得意とすることから、これに対応した自動引き通し機を開発する必要がある。しかし、開発後のフィールド試験では、レギュラー糸 (綿 1/30 など) を主に試験を行っており、多種多様な糸種に対しては今後の課題であった。

そこで本研究では、N-コンポのフィールド試験を行い、様々な糸種への適応性を把握するとともに、実用性能を向上させるために問題点への対応方法について検討した。

2. 試験方法

N-コンポは三星工業株式会社 (新潟県柿崎町) により製品化されており、図 1 にその外観を示す。この装置を使い、実用上の課題

および様々な糸種への適応性を把握するべく、株式会社丸栄商事の協力を得ながら実際の生産品を N-コンポで引き通すフィールド試験を行った。収集したデータは、糸の素材・織度・糊付けの方法、作業時間、トラブルやエラーの数・種類とした。

3. 結果

3.1. N-コンポ 1 号機のフィールド試験

3.1.1. フィールド試験結果

表 1 にフィールド試験結果概要を示した。このフィールド試験の結果から、強撚糸や麻などの硬い糸を引き通した場合のトラブルやエラーの発生件数が多く、装置の改良や作業手順の確立が必要であることがわかった。また、トラブルやエラーの種類は、改良により

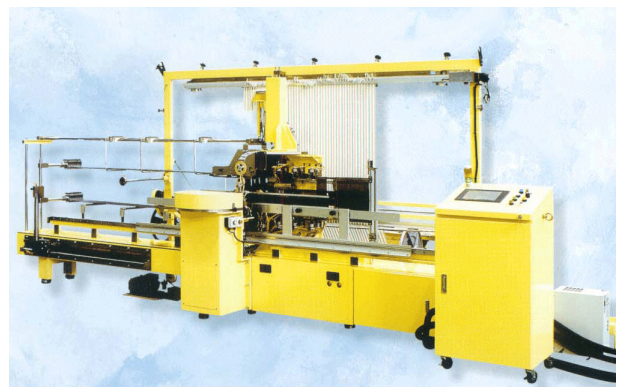


図 1 N-コンポの外観

* 素材応用技術支援センター

表1 N-コンポ1号機のフィールド試験結果概要

No.	素材	織度	経糸本数	箆・通し本数	作業時間	トラブルの内容
1	綿, レキ'ュラー糸	20/2	3,204	48 羽 2 本入	3:00	問題なし
2	綿, レキ'ュラー糸	60/2	5,788	35 羽 5 本入	6:00	問題なし
3	綿, レキ'ュラー糸	20/1	2,982	45 羽 2 本入	3:00	問題なし
4	綿, レキ'ュラー糸	30/1	3,888	30 羽 4 本入	4:00	問題なし
5	綿, レキ'ュラー糸	20/2	4,312	33 羽 4 本入	7:15	糸張り不良による停止多い
6	綿, 強撚糸 S1800	50/1	4,632	68 羽 2 本入	18:50	トラブルが多く、途中で断念
7	綿, レキ'ュラー糸	40/2	3,460	53 羽 2 本入	3:35	問題なし
8	綿, レキ'ュラー糸	40/1	4,420	68 羽 2 本入	6:45	問題なし
9	綿, レキ'ュラー糸	60/2	4,076	57 羽 2 本入	8:20	糸張り不良による停止あり

容易に解決できるものから、機構の改造などの見直しが必要なものまでいろいろとあることもわかった。以下に、フィールド試験で発生した主なトラブル項目を示した。

- ・ ニードルクリップの糸詰まり
- ・ 糸端吸引部の不良
- ・ ミニクリップの駆動ベルトの損傷
- ・ 箆の送り精度不良

(1) 軽度なトラブル

- ・ 引き通し確認センサの検出不良
- ・ 糸張台糸端検知不良

(2) 中程度のトラブル

- ・ 糸分離切断不良
- ・ ニードルへの受け渡し不良
- ・ 糸張り張力のばらつきによる不良

(3) 重度のトラブル

- ・ ヘルド分離異常

3.1.2. N-コンポ2号機への改良

上述のフィールド試験の結果、発生したトラブルやエラーを少なくするための装置の見直しを行った。表2にその主な改良の内容を示す。

現在、様々な糸種への適応性の評価、作業手順の確立に向けて、そのフィールド試験を行っているところである。

表2 N-コンポ2号機の主な改良点と効果

場所	改良の内容	効果
箆送り部	・ 長尺の一軸モジュールに変更 ・ 箆羽間検出センサの設置 ・ 箆送り機構と制御方法の変更	・ 箆送り精度が大幅に向上した。
糸端移動軸	・ ベルト駆動からチェーン駆動に変更 ・ 移送糸の張力保持用中間ばねの積極開閉機構の追加	・ 耐久性および運動精度が向上した。 ・ 糸端移動の確実性が向上した。
ミニクリップ	・ チェーンとの接続強化	・ ミニクリップ運動精度が向上した。
制御盤	・ 本体に組み込み一体構造化	・ 操作性、作業性が向上した。
本体および糸張台フレーム	・ 本体フレーム, 糸張り台フレーム構造の改良	・ 作業性が向上した。
ヘルド吸引分離機構等	・ 機構のユニット化	・ 調整およびメンテナンス性が向上した。

3.2. 2 ビーム織物引き通しへの対策

3.2.1. 2 ビーム織物の概要

近年新潟県内の織物産地では、製織技術の高度化が進み、複数のビームを使う織物、特に2ビーム織物の割合が大半を占めている。2ビーム織物とは、経糸を巻いたビームが2つあり、複雑な柄を作り出す織物や素材を複合した織物を製織する際に使われている（図2参照）。

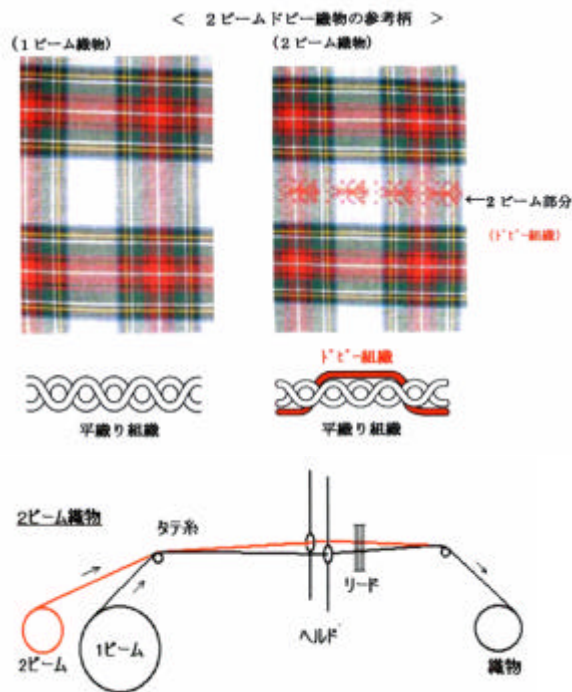


図2 2ビーム織物について

通常、シングルビーム織物をN-コンボで引き通しする場合、N-コンボの糸張り台に経糸を固定してシートとする。その固定したシートから糸を1本1本取り出して、引き通している。

2ビームの場合はこのシートが2つできるが、N-コンボは2つのシートから一度に引き通しすることは出来ない。よって、2ビーム織物をN-コンボで引き通しする場合、2つのシートを姉妹機である自動柄組機N-コスモ（Niigata Composite Sheet Multi-yarn Original-rearrange）を使用してシートを統合する工程が必要となる（図3参照）。

しかし、複数の装置を導入するには多額の費用がかかるため、応急的な措置として、N

ーコンボを2ビーム織物に対応できるようにして欲しいというニーズが上がっていた。そこで、今回それを実現する方法、すなわち種玉ドロ잉について検討した。

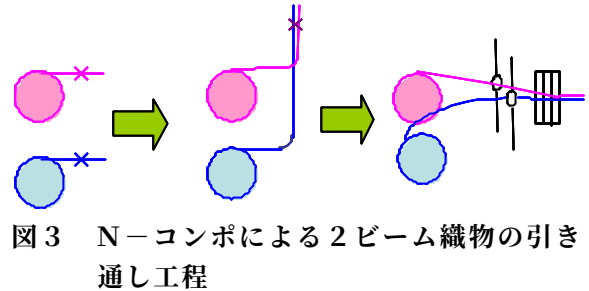
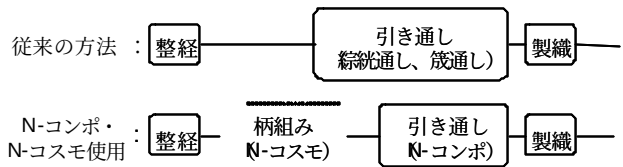


図3 N-コンボによる2ビーム織物の引き通し工程

3.2.2. 種玉ドロ잉

種玉ドロ잉とは、ビームからシートを取り出して引き通しする代わりに、あらかじめ2ビーム整経形態を持つ種糸（種玉）を作り、これを1つのシートにしてN-コンボにより引き通しを行い、引き通した後、種糸とビームをタイイングマシンによりつなぐというものである（図4参照）。

このつなぎの工程で必要なのが、各ビームごとの綾であり、この綾を取りながら整経する装置として、今回は見本整経機（ヤマダビー製）を使用した。

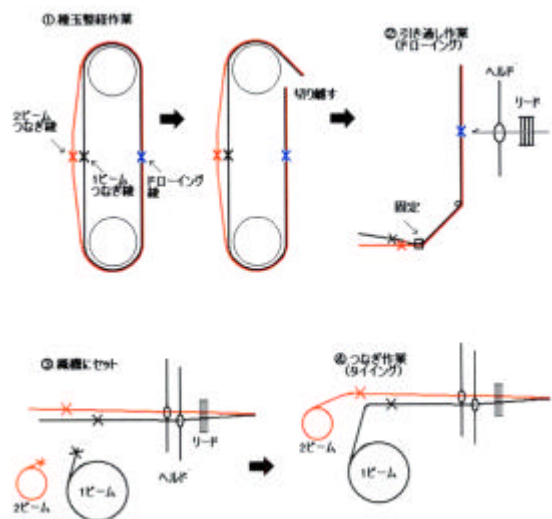


図4 種玉ドロ잉

3.2.3. 見本整経機の改良

既存の見本整経機は、図5の左に示す様な装置で、本来は少量の見本反を作るために使用される。8種類の糸を切り替えるための糸選択装置と、糸を巻き取るためのニードルベルト、綾取り装置などから成る。綾取り装置は2つ装備されており、これらは1つのモータからリンクにより連動して動作する。しかし、2ビーム織物を引き通すためには、上玉つなぎ用の綾、下玉つなぎ用の綾を別々に取らなければならない。すなわち、そこで、これらの綾を別々に取るための綾取り装置を新設し、これらをサーボモータにより別々に駆動するように改良した。綾取り装置はモータの回転をてこクラック機構を介して揺動させることとし、そのためのリンクも合わせて検討した。また近接センサにより、見本整経機から運動のタイミングを取り込み、全体をシーケンス制御するようにした。改良後の見本整経機を図5の右に示した。また、既存の見本整経機による整経状態と2ビーム織物の整経状態の違いを図6に示した。



図5 見本整経機の構造
(左：改良前，右：改良後)

現状の整経状態

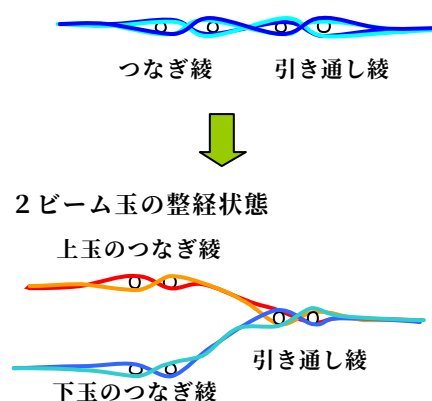


図6 既存の見本整経機による整経状態と
2ビーム織物の整経状態の違い

4. 結 言

- (1) 自動引き通し機N-コンポのフィールド試験を行い、様々な糸種への適応性を把握するとともに、実用性能を向上させるための対策について検討した。
- (2) 1号機の問題点を見直し、それをもとにN-コンポ2号機を開発した。更に実用性能を向上させるため、現在2号機のフィールド試験を進めている。
- (3) 2ビーム織物をN-コンポで引き通し可能にするための方法として、見本整経機による2ビーム用の種糸を整経する方法を検討し、そのための見本整経機の改良を行った。これによりN-コンポの適応範囲を拡大することが可能となった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、株式会社丸栄商事代表取締役関幸徳氏、および株式会社三星工業開発課課長鈴木芳雄氏にご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新潟県工業技術総合研究所研究報告書
1998, 1999, 2000

I T活用織物企画設計支援システムの開発（第2報）

（織物企画表作成支援システムの開発）

牧野 斉*

Development of Textile Design System using Information Technology
(Development of Textile Planning Chart Support System)

MAKINO Hitoshi*

抄 録

織物の縞割設計をコンピュータで行う織物企画表作成支援システムを開発した。従来手作業で行っていた作業が本システムを導入することで、設計作業に不慣れな作業者でも容易になり、製品開発に要する時間を短縮することができる。また、本研究開発により織物生産現場における I T化の段階的な推進を図ることが可能である。

1. 緒 言

県内織物産地が低価格輸入品に対抗するためには、差別化商品の多品種生産と短納期生産の体制を確立しなければならない。そのため、IT (Information Technology) を活用した織物企画設計の迅速化や生産情報の一元管理が必要となる。

本研究では、織物の縞割設計とその際に必要な糸の本数を自動的に計算する織物企画表作成支援システムを開発した。

織物の縞割設計は経縞割表、緯縞割表、柄のリピート、色組表などを作成することからはじめられる（これを縞割表とよぶ）。従来、この設計作業は熟練した作業者が紙と鉛筆を使い手作業で行っており、間違い箇所の発見修正がしにくい、他者が作成した企画設計表はわかりにくい、紙に書かれたデータは管理保存に不便であるなどの問題があった。また、作成した縞割表から実際の製品生産に必要な糸の本数（糸量）を計算する際も、その計算の不正確さや曖昧さに起因する織物生産段階での糸の過不足が生じるなどの問題があった。そこで、縞割設計と糸の本数計算をパソコン上で行う織物企画表作成支援システムを開発した。

2. 織物企画表作成支援システム

2. 1 織物設計と縞割表

図1に織物企画表作成支援システムを示す。織物の設計は縞割表を作成することからはじめられる。縞割表は一般に色名（糸名）と糸の本数データを記入する領域から構成されている。さらに数種類の糸から構成れる織り柄の繰り返し記入を簡略化するためにリピートと呼ばれる表記方法が用いられることが多い。縞割表はそれらの周期的な織り柄の最小単位で構成されており、経糸と緯糸のそれぞれについて縞割表が作成される。

2. 2 システムの概要

このシステムは表計算ソフト Excel (Microsoft Excel2002)をベースにしており、Excel が本来持っている優れた機能をそのまま使用することができる。Excel の VBA 機能を利用することによりデータの編集を容易にする様々な機能を作成した。

これらの編集機能は図2に示すメニューまたはマウスの右クリックポップアップメニューから項目を選択することによって、対話的に操作を進めることができる。

本システムは糸本数及び箒羽の合計、柄展開表及び柄展開図を自動的に演算、表示するといった

* 素材応用技術支援センター

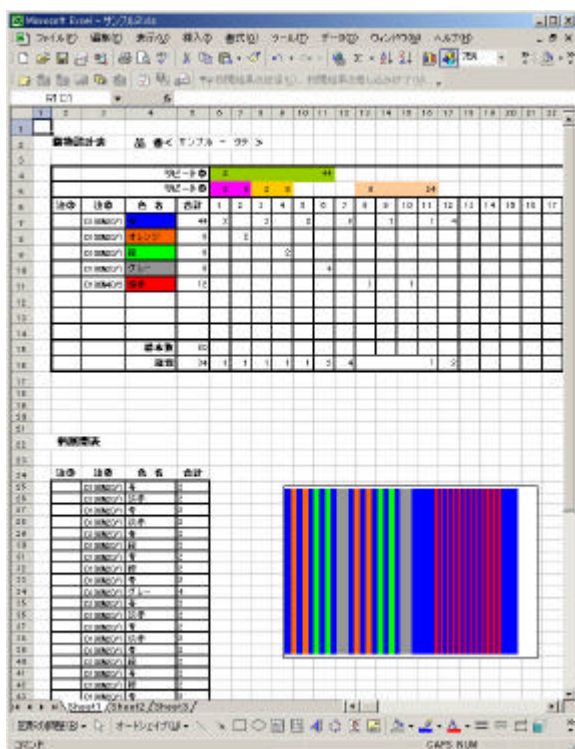


図1 織物企画表作成支援システム

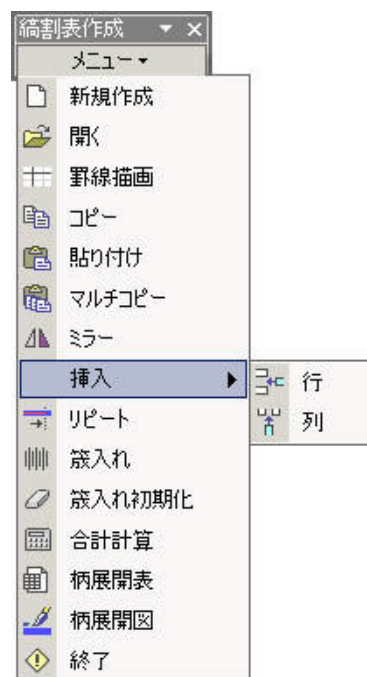


図2 織物企画表作成支援システムのメニュー

基本的な機能を有する。さらに織物を設計する際に頻繁に使用される編集方法である繰り返しコピー（マルチコピー）や反転コピー（ミラー）といった機能を有する。また、罫線描画の自動化やリピートデータ、箆入れデータなど入力機能は作業者の操作性を重視するように開発し、さらに糸本数データを入力する際の二重入力や未入力を検出するチェック機能も付加した。色名は最大で27種類入力することが可能である。

3. 結 言

- (1) 操作の容易な織物企画表作成支援システムを開発した。本システムを使うことにより従来の手作業による織物の設計作業と比べて企画設計に要する時間を大幅に短縮することができ、短納期、多品種少量生産に対応した迅速な商品開発を行うことができる。
- (2) 本システムの開発ではExcelのVBAを使用し、割割データの編集を容易にする様々な機能を作成した。織物の企画設計に慣れていない作業でも容易に

操作できるように、その操作性を重視した。その結果、間違い箇所の発見修正が容易になった。企画設計表の書式が統一されることにより他者が作成した設計表でもわかりやすくなった。

- (3) 本システムで作成したデータファイルはExcel形式であるため、データの管理保存や再利用が容易であり、インターネットを利用したデータの送受信が可能である。
- (4) 本システムを利用することによって蓄積されるデータを他の生産管理データと連携（データベース化など）することによって、将来的には社内外におけるより大規模な情報ネットワーク化が可能になると考えられる。

本研究開発は素材応用技術支援センターの実用研究及び見附繊維振興協同組合連合会のIT化推進事業（見附市地場産業振興アクションプラン）で行われた。

謝 辞

本研究開発を行うにあたり、ご指導、ご助言を
いただいた見附繊維振興協同組合連合会会員企
業の皆様に深く感謝申し上げます。

I T 活用織物企画設計支援システムの開発（第3報）

（見本織機自動制御システムの開発）

大野 宏*

牧野 斉*

Development of Textile Design System using Information Technology
(Development of Automatic Weaving System)

by

OHNO Hiroshi*

MAKINO Hitoshi*

抄録

見本織機を制御するドビーを自動的に動作させる装置を開発した。パソコンで動作データを作成できるソフトを開発し、昨年度開発した自動パンチングマシンのデータ作成ソフトに組み込んだ。本装置と自動パンチングマシンを使うことで、織物見本の製作からドビー紋栓カード作成及び実際の織物製造までに要する時間を大幅に短縮することができる。

1. 緒言

県内織物産地が低価格輸入品に対抗するためには、差別化商品の多品種生産と短納期生産の体制を確立しなければならない。そのため、I T (Information Technology) を活用した織物企画設計の迅速化や生産情報の一元管理が必要となる。

本研究では、見本織機を制御するドビーを自動的に動作させる装置を開発した。実際には、既存の見本織機のフィラーニードルと呼ばれる多数の針を自動的に制御する。また、昨年度開発した自動パンチングマシンを参考にして装置を開発した。ドビーを動作させるためのデータ作成機能は、同じく昨年度開発した自動パンチングマシンの制御用データ作成ソフトに組み込んだ。

織物見本の製作をこの装置で行えば、ドビー紋栓カードの作成も大変容易に行えるため、織物の設計から製造までの時間を大幅に短縮できるようになった。

2. 装置の概要

開発した装置の概要を図1に示す。フィラーニードル制御部、センサ、装置全体を制御

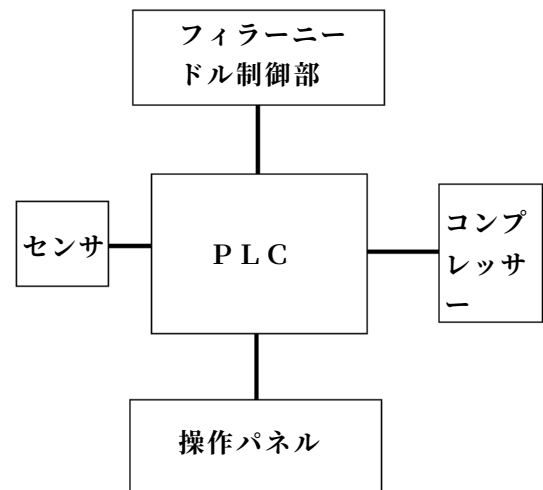


図1：装置の概要

するPLC（プログラマブルコントローラ）、エアシリンダーを動作させるコンプレッサー、各種設定や緯糸選択データを修正する操作パネルからなる。

これまでの見本織機では図2に示すようなドビー紋栓カードと呼ばれる穴の開いた紙で、フィラーニードルを上下させ機械全体を制御していたが、今回は図3に示すエアシリンダーで動く50個のストッパーでフィラーニードルを上下させる。

ストッパーを動作させるタイミングは、既

* 素材応用技術支援センター

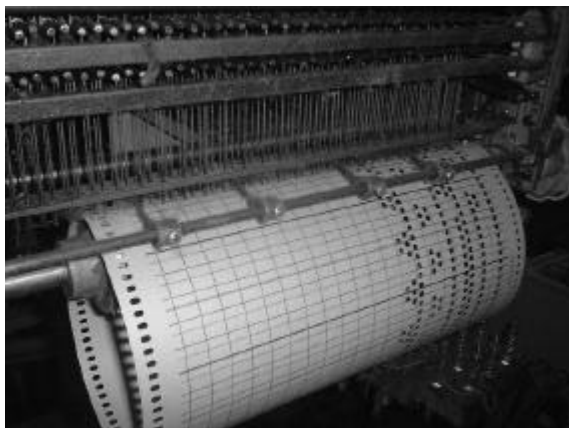


図2：見本織機のフィラーニードルとこれを制御する紋栓カード



図3：フィラーニードルを制御するストッパー

存の見本織機に取り付けた回転センサ（1回転360度を16分割する信号が出力）の信号で決定する。フィラーニードルは織機の回転軸が2回転するなかで奇数針と偶数針が1回ずつ交互に動作するため、奇数列か偶数列かを判別する内部接点をPLCプログラムに設け、奇遇のどちらを動作させるかを決定する。それぞれの動作タイミングを図4に示す。織機は非常に高速で動作するため、奇数偶数それぞれのフィラーニードルが動作する前にストッパーを動作させておく。

3. PLCプログラム

PLCプログラムの概要を図5に示す。最初に制御データの書き込まれたカードからデータを読んでPLCのメモリに書き込み、次に初期設定やスタート行の設定を行う。見本織機を動作させるとメモリから制御データを読み取り、ストッパーを動作させる。最後のデータを読み取ると、また最初のデータを読

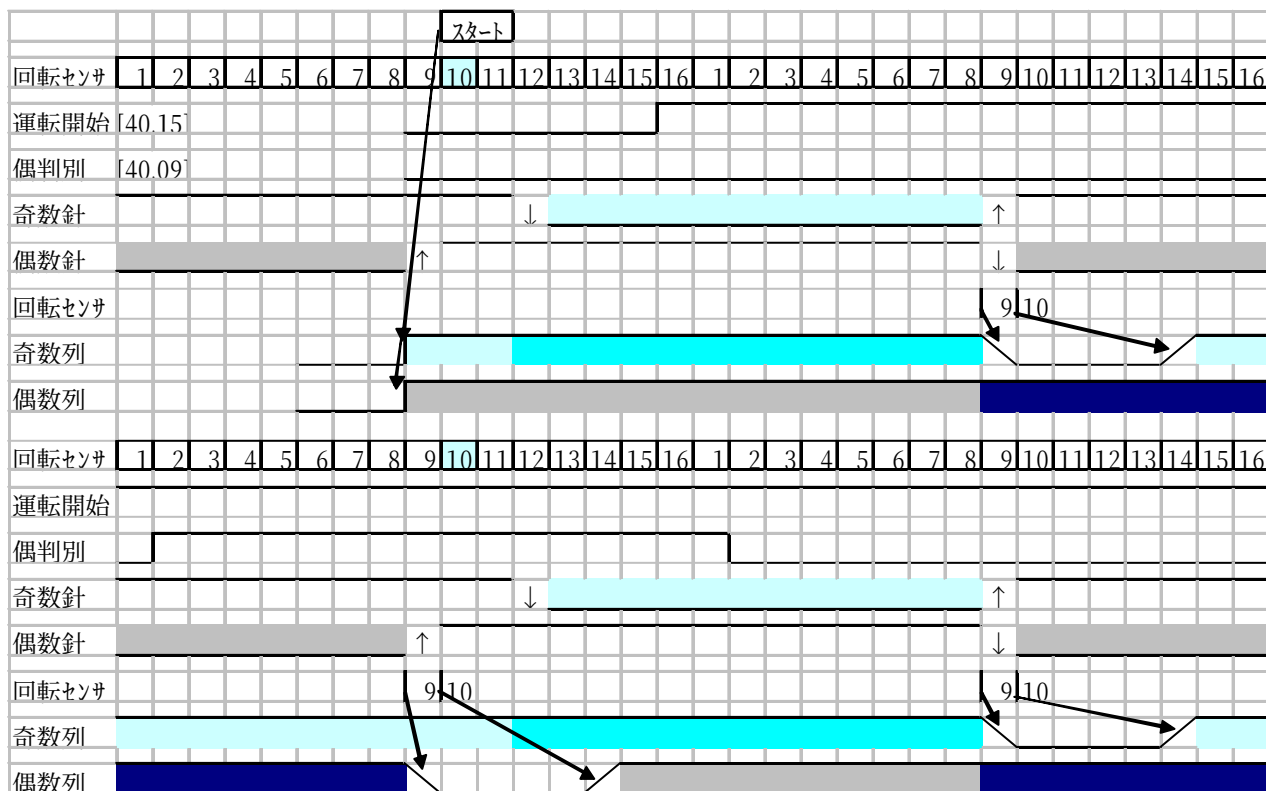


図4：各部の動作タイミング

（奇数針偶数針は織機のフィラーニードル、奇数列偶数列はストッパーを示す。）

む。操作パネルから行番号を入力すると、その行の緯糸選択データが表示され、パネル操作でデータを修正できる。修正されたデータをカードに書き込めば、パソコンで再度読み込むことができる。

4. データ作成プログラム

自動化した見本織機は、昨年度開発した自動パンチングマシンと一体で使用するため、同じく昨年度開発したパンチングマシン制御データ作成プログラムに、見本織機制御データ作成機能を組み込んだ。自動パンチングマシンは既存のパンチングマシンの構造から、1回の動作で2行まとめてカードをパンチングするが、見本織機は1行ずつ動作するため、データの構造を変更する必要があり、これに合わせてプログラムを作成した。表計算ソフトエクセルのVBAを使用している。

5. 結言

見本織機を制御するドビーを自動的に動作させる装置を開発した。これまでは、自動パンチングマシンで作成したドビー紋栓カードで見本織機を動作させていたが、本装置を使えば電子データで直接織機を動作させることができる。そのため、織物見本の製作にかかる時間がよりいっそう短縮され、変更も容易に行えるようになった。

本研究は、素材応用技術支援センターの実用研究及び見附IT推進化事業（見附市地場産業振興アクションプラン）で行われた。

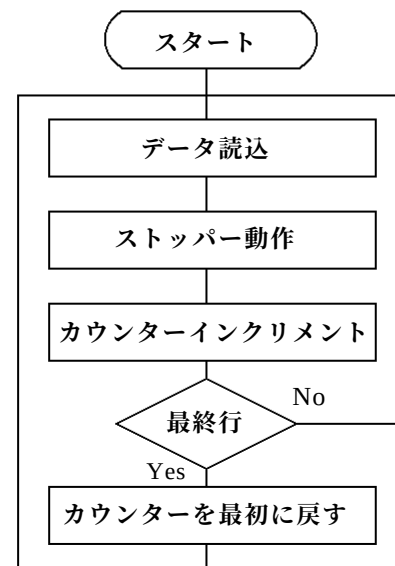


図5：PLCプログラムの概要

複合素材織物生産基盤強化のための ビームツービームサイジング技術の確立研究

西片 實** 渋谷 恵太* 佐藤 清治* 家坂 邦直*

Study of Beam to Beam Sizing Method for Mixed Woven Fabrics

NISHIKATA Makoto, SHIBUYA Keita, SATOU Seiji and IESAKA Kuninao

抄録

複合素材織物へのビームツービームサイジング方式による経糸糊付け技術の確立を目的として、各種複合素材織物を企画・製織し、サイジング糸の品質や製織性の評価をすることにより適切な糊材やサイジング条件等の把握を行った。またそれらをベースとして多くの試作商品開発を行い、更にノウハウを蓄えた。

1 緒言

本県の織物製造業の生き残りにおいて、元来得意とする複合素材織物の開発強化により差別化を図ることは必要不可欠な策であるといえる。その複合素材織物製造において経糸のサイジング（糊付け）は生産性、品質、両面に対してカギとなる大変重要な行程として位置づけられている。

そこで本研究では小ロット、クイックレスポンス、コストダウン等の要素に対し非常に有利であるものの従来単一素材織物生産に利用が限られていたビームツービームサイジング方式について、複合素材織物への対応が可能なサイジング技術を確立させることをその目的とし、各種の試験や評価を行った。

2 各種複合素材に対するサイジング試験

この試験は天然・合成繊維や異番手使い等の複合素材織物に対する適切な糊材、サイジング条件を把握する目的で実施した。各種素材を用いた織物を5種類企画した。同一企画の織物中で複数の異なる条件によるサイジング処理を行い、それぞれの処理糸の抱合力測定及び糸表面状態の顕微鏡観察を行いサイジング品質を比較評価した。またそのサイジングビームで実際に製織を行い、製織性を評価した。

2. 1 企画

各種素材からなる5種類の織物を企画した。概要表1に示す。

表1 サイジング試験用織物の概要

No.	織物規格概要	
1	経糸	綿30番単糸
	緯糸	ジアセテート75dとポリエステル75dのインターレス糸
	組織	シジラ織
2	経糸	綿30/-とポリエステルウーリー150dの2本交互
	緯糸	綿/麻混紡糸30/-番単糸とポリエステルウーリー150dの2本交互
	組織	平織
3	経糸	綿40/2とポリエステルフィラメント糸75d
	緯糸	経糸に同じ
	組織	平織
4	経糸	グランドは綿40/-、チェックの部分に綿ポリエステル混紡のジャズネップ糸（混率50/50、共通番手1/12）
	緯糸	経糸に同じ
	組織	二重織
5	経糸	グランドはポリエステル75d、太いチェックはレーヨンステープル30/-、他にも綿30/2とスラプリング糸を柄1完全当たり1本ずつ
	緯糸	経糸に同じ
	組織	平織

2. 2 サイジング

いずれの企画においても糊落としのし易さや品質保持性を勘案し糊材にはポリビニルアルコール（PVA）系のものを用いた。同じ糸規格で、糊濃度の高低や異なる糊の使用などで、サイジングが違う複数のビームを作った。具体的な処方、条件等を表2に示す。

* 素材応用技術支援センター

**（有）山信織物

表2 サイジング条件

No.1	糊処方振り分け		
	1-1 (低濃度1)	1-2 (高濃度)	1-3 (低濃度2)
JL-05EY*1	2	3	2
LA18GP*2	2	3	2
FXH*3	0.3	0.3	0.3
SR-46*4	0.2	0.2	0.2
No.2	2-1 (高濃度)	2-2 (低濃度)	
JL-05EY	3	2	
LA18GP	3	2	
FXH	0.3	0.3	
SR-46	0.2	0.1	
No.3	3-1 (高濃度)	3-2 (低濃度)	
JL-05EY	3	2	
LA18GP	3	2	
FXH	0.3	0.3	
SR-46	0.2	0.1	
No.4	4-1 (合繊維向)	4-2 (綿向)	
T931*5	6		
LA05	1	3	
FXH	0.3	0.3	
SR-46	0.2	0.2	
LA18GP		3	
No.5	5-1 (合繊維向)	5-2 (レーヨン向)	
T931	5		
FXH	0.3	3	
SR-46	0.2	0.3	
JL-05EY		3	
LA18GP		3	

*1 糊材 日本酢ビポパール（株）製JL-05EY

*2 糊材 信越ポパール（株）製LA18GP

*3 ソルベルワックス ユシロ化学工業（株）製SH-46

*4 ソルベルワックス ユシロ化学工業（株）製FXH

*5 糊材 ユシロ化学工業（株）製クイックサイズ`T931

（サイジング条件）

使用機器：（株）金丸製作所製ビームツーマシン
サイジングマシン

絞り：100～110%

乾燥温度：110～120℃

2. 3 サイジング処理系の品質評価

サイジング処理系の品質評価として抱合力の測定と糸の表面状態の顕微鏡観察を行った。

2. 3. 1 抱合力測定

（抱合力測定条件）

使用機器：（株）蛙田理研製 抱合力試験機

回転数：一律90rpm

荷重：試料の繊維度に応じ取扱説明書に準拠した

測定要領：5回／試料、最大1000回転

測定結果は表3のとおり。サイジング処方の違いにより抱合力には差が出た。ただし糊濃度と抱合力の関係については濃度の高低と抱合力の大小が必ずしも一致しなかった。

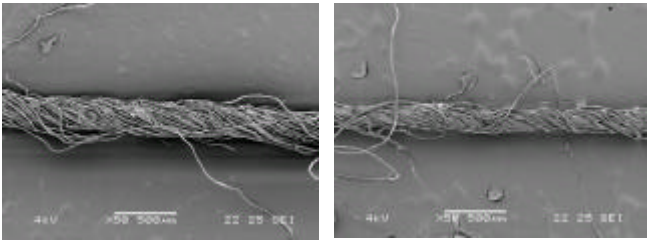
表3 抱合力測定結果

	糊処方振り分け			
No.1	1-1		1-3	
系	C30/-	C30/-	C30/-	
抱合力 測定結果	1000	1000	1000	
	1000	1000	1000	
	1000	143	331	
	1000	480	379	
	1000	1000	73	
No.2	2-1		2-2	
系	C30/-	EW150d	C30/-	EW150d
抱合力 測定結果	34	1000	1000	1000
	51	1000	1000	1000
	46	1000	1000	1000
	65	1000	1000	1000
	201	1000	1000	1000
No.3	3-1		3-2	
系	C40/2	EF75/-	C40/2	EF75/-
抱合力 測定結果	1000	1000	281	1000
	1000	1000	946	1000
	1000	1000	841	1000
	1000	1000	240	1000
	1000	1000	985	1000
No.4	4-1		4-2	
系	C40/-	T/C	C40/-	T/C
抱合力 測定結果	985	42	748	238
	638	15	1000	77
	612	17	1000	116
	1000	26	1000	29
	991	63	1000	25
No.5	5-1		5-2	
系	R30/-	EF75/-	R30/-	EF75/-
抱合力 測定結果	442	1000	1000	1000
	131	1000	1000	1000
	99	1000	1000	1000
	58	1000	1000	1000
	62	1000	1000	1000

2. 3. 2 顕微鏡観察

電子顕微鏡で糸の表面状態を観察した。スパン糸の大半には若干の毛羽立ちが見られた。観察結果の一例を図1に示す。

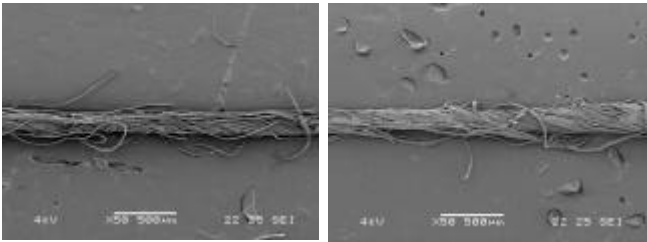
企画：No.2 糸：綿30/-



サイジング 条件2-1

サイジング 条件2-2

企画：No.5 糸：レーヨン30/-



サイジング 条件5-1

サイジング 条件5-2

図1糸表面の電子顕微鏡写真

2. 4 製織試験

ここまでに企画、試験サイジングした5種の織物の計11ビームについて実際に製織して製織性を評価した。結果は表4のとおり。必ずしも抱合力が高いビームの製織性が高いとは限らなかった。

表4 製織性評価

No.1	1-1	1-2	1-3
製織性	×	△	△
No.2	2-1	2-2	
製織性	△	○	
No.3	3-1	3-2	
製織性	△	○	
No.4	4-1	4-2	
製織性	○	○	
No.5	5-1	5-2	
製織性	△	△	

(製織試験結果記号の目安)
○・・・概ね糸切れ1回/20min以下
△・・・概ね糸切れ1回/5～10min
×・・・概ね糸切れ1回/5min以上

2. 5 この章の結果と考察

抱合力測定の結果からサイジングの違いで同じ糸規格でも抱合力には大きな差が出ることが分かった。しかし、抱合力が高いものでも織物の製織性が低かったり、またその逆のケースも見受けられた。これについては製織性を決定する要因としてサイジングの他にも、原糸、撚糸その他後に掲げるような要因があるので、他の要因が複合してこのような抱合力と製織性が一致しない結果になったと考えられる。あくまで抱合力は製織性を左右する要因の一つに過ぎず、抱合力が0ならば確実に製織性は低いで

あろうが、抱合力の良否だけで製織性を予見することはできないことがあらためて確認された。

なお試験全般をとおして、経糸複合素材織物のビームツービームサイジングの場合、せっかく張力均一に整経してもサイジングで熱をかけ巻き取る段階で素材間で熱による収縮差が発生しこれが経糸のぶくつき（部分たるみ）を引き起こし、糊付きの良否には関わらず、製織性が低くなるという問題発生の傾向があることが確認された。

＜製織性決定要因＞	
・原糸（形状や物性）	
・撚糸（ムラがないか）	
・染色（酸、アルカリ等で糸強度低下を引き起こしていないか）	
・整経（適切な張力で均一に行われているか）	
・規格（密度、組織等、無理がないか）	
・サイジング（毛羽伏せ、平滑性、抱合力付与）	
・経糸のぶくつき（部分的なたるみのこと）	

3. 各種織物の製織、試作商品開発

この試験は前章の試験で得られた糊材選択及びサイジング条件等の知見を基にして更にノウハウを蓄積する目的で行った。ビームツービームサイジング利用により各種試作商品を製織し、製織性評価等を行った。表5に概要を示す。

表5 試作品の概要

No.	糸	糊	濃度(%)	抱合力	用途	糸使い等	特徴	対象年齢	製織性
1	150/48/- 丸糸	JL-05EY	3	1000	ニット	T/C混		全般	◎
		LA18GP	3	1000					
		FXH	0.3	140					
		SR-46	0.2	562					
2	C40/- ユマ	JL-05EY	2.5	1000	婦人ジャケット	綿100%	ストレッチ	ヤング	○
		LA18GP	2.5	1000					
		FXH	0.3	784					
		SR-46	0.2	1000					
3	C40/- ユマ	JL-05EY	2.25	213	紳士ジャケット	麻混	チャームし わ加工	30～50代	△ 緯糸がルビ アに引っ掛 かる
		LA18GP	2.25	712					
		FXH	0.3	1000					
		SR-46	0.2	1000					
4	C40/- ユマ	JL-05EY	2.5	1000	婦人ジャケット	麻混	チャームし わ加工	ミセス	△ 緯糸がルビ アに引っ掛 かる
		LA18GP	2.5	1000					
		FXH	0.3	1000					
		SR-46	0.2	1000					
5	C60/2 ネ化ニ	JL-05EY	2.5	1000	紳士ジャケット	綿100%	ソフトな高 級感	シニア	○
		LA18GP	2.5	1000					
		FXH	0.3	1000					
		SR-46	0.2	1000					
6	C18/- 丸糸 サツメ	JL-05EY	2.25	1000	紳士ジャケット	サツメ糸 使用	スリ感	40～50代	△ 緯糸がルビ アに引っ掛 かる
		LA18GP	2.25	1000					
		FXH	0.3	1000					
		SR-46	0.2	1000					
7	C40/- ユマ	JL-05EY	2.5	1000	婦人服地	麻混	シワ加工 仕上りによ る上質感	ミセスヤ ング	△ 緯糸（麻 シワ）が切 れる
		LA18GP	2.5	1000					
		FXH	0.3	1000					
		SR-46	0.2	1000					
8	C80/2 丸糸	JL-05EY	1.75	1000	婦人服地	シワ混	シャブレー 光沢感	20～30代	○
		LA18GP	1.75	1000					
		FXH	0.3	966					
		SR-46	0.2	543					
9	C80/2 丸糸	JL-05EY	2.25	1000	紳士スーツ	マイクロ 糸使い	ストレッチ	ヤング	○
		LA18GP	2.25	1000					
		FXH	0.3	1000					
		SR-46	0.2	1000					
10	Ex75/36/- 丸糸	JL-05EY	3	712	婦人ジャケット	細デニール	きれいな 発色性	ヤング	◎
		LA18GP	3	1000					
		FXH	0.3	170					
		SR-46	0.2	1000					

色	糸	組	濃度(%)	撓合力	用途	糸使用等	特徴	得意年齢	製織性
11	C30/-	JL-05EY	2.25	測定	紳士服地	綿100%、麻混		30～50代	○
	カド	LA18GP	2.25	2.25					
	色	FXH	0.3	2.25					
	濃紺	SR-46	0.2	2.25					
12	C80/2	JL-05EY	2.25	測定	婦人服地	綿100%、麻混		30～50代	○
	ユマ	LA18GP	2.25	2.25					
	色	FXH	0.3	2.25					
	黒	SR-46	0.2	2.25					
13	C30/-	JL-05EY	2.25	測定	紳士服地	麻混		30～50代	○
	カド	LA18GP	2.25	2.25					
	色	FXH	0.3	2.25					
	濃紺	SR-46	0.2	2.25					
14	C40/-	JL-05EY	2.25	測定	ヤング服地	ポリエステル		20～30代	○
	カド	LA18GP	2.25	2.25					
	色	FXH	0.3	2.25					
	ピンク	SR-46	0.2	2.25					
15	C40/-	JL-05EY	2.25	測定	ヤング服地	綿100%、麻混	楊柳仕上げ	20～30代	○
	ユマ	LA18GP	2.25	2.25					
	色	FXH	0.3	2.25					
	蛍光緑	SR-46	0.2	2.25					
16	C30/-	JL-05EY	2.25	測定	ヤング服地	綿100%、麻混	綿100%、麻混	20～30代	○
	カド	LA18GP	2.25	2.25					
	色	FXH	0.3	2.25					
	紺	SR-46	0.2	2.25					
17	C40/-	JL-05EY	1.75	測定	紳士服地	麻混		30～50代	○
	カド	LA18GP	1.75	1.75					
	色	FXH	0.3	1.75					
	カキ	SR-46	0.2	1.75					
18	C30/-	JL-05EY	2.25	測定	ヤング服地	綿100%、麻混	楊柳仕上げ	20～30代	○
	カド	LA18GP	2.25	2.25					
	色	FXH	0.3	2.25					
	7色カラー	SR-46	0.2	2.25					
19	C30/-	JL-05EY	2.25	測定	婦人パンツ	麻混	ストレッチ	20～40代	△組織(1/3と3/1組合せ)上の問題による
	カド	LA18GP	2.25	2.25					
	色	FXH	0.3	2.25					
	ベージュ	SR-46	0.2	2.25					
20	C80/2	JL-05EY	2.25	測定	ヤング服地	綿100%、麻混	綿100%のよい風合い	20～30代	○
	カド	LA18GP	2.25	2.25					
	色	FXH	0.3	2.25					
	蛍光緑	SR-46	0.2	2.25					

3. 1 この章の結果と考察

今回の製織、試作商品開発ではいくつか製織性の良くない織物があった。しかし原因は緯糸が絹、麻などデリケートな素材であったり、組織自体の製織性がそもそも劣るため、ビームツービームサイジングでの糊材選択や処方の不適切が原因の製織性不良は起こらなかった。

なお、ここまでの各種織物の試作商品開発等、ビームツービームサイジングマシンによるサイジングと製織をとおして、このサイジング方法の特性に関して得られた知見を従来の糊付け方法（かせ、ローラー）の特性と対比しまとめたものを表6に示す。これらについて説明すると以下のとおりである。

ビームツービームサイジングは、

- ・ローラーで糊が糸に内部まで強固に付着するため、箆打ちでの毛玉の発生はほとんどない。
- ・平織りや2／2綾等基本的な組織での製織性には問題はない。
- ・サイジング時に熱をかけて伸ばす力が作用するため、糸の巻縮性が損なわれており、複雑な変化組織の場合の製織性では劣る。
- ・複合素材織物の場合、整経時に張力均一に巻いても、サイジングで熱がかかる時に素材間で収縮差が発生しこれが経糸のぶくつきを生んで製織性が低くなる。
- ・高密度織物の製織性には支障がない。
- ・異番手織物の場合、均一な糊付き、平らな巻き取

りが難しいため製織性が劣る。

- ・巻き返し等の工程もなく、織物全巾の経糸糊付けが一度に行えるので、コストや納期の面では一番有利である。

表6 各種サイジング方法の性能比較

	サイジング方法		
	かせ	ローラー	ビームツービーム
毛玉の発生	時々有	殆ど有	殆ど有
平、2/2等基本組織	○	○	○
複雑変化組織	○	△	×
複合素材	△	○	×
高密度	△	○	○
異番手の場合	△	○	×
コスト	△	×	◎
納期	△	×	◎

4. 結言

- (1) 異番手、異素材複合等、本来ビームツービームサイジングが不得手とする複雑な企画に対して、本研究における各種試験サイジング～製織試験によってこの手法を使用できる企画の範囲を広げることができた。
- (2) 現在のサイジング技術レベルにおいての企画の複雑程度とビームツービームサイジングの使用の可否の関係を確かむことができた。県内繊維産地が得意とする複合素材織物にこのサイジング方法の適用を進めることができたことは、短納期化、手の込んだものづくりによる差別化他、相反する要素が複合化する国内の繊維需要にあっていく上で大きな成果であると言える。
- (3) この研究結果は既に実用化がなされた。本研究に伴い当該サイジング設備を導入した企業（（有）サンビームサイジング、栃尾市）において、実働開始後半年間で利用は累計70社近くにのぼり稼働10万m／月程度で推移するなど、ビームツービームサイジングは本県の実績複合素材織物製造業にとって不可欠なものとして定着しつつある。
- (4) 納期、コストのメリットだけでなく、製織、仕上げ後の製品の品質も十分に高いものとなり、今後は海外輸出品にも利用できるとの期

待が産地企業内で高まっている。

なお本研究は（有）山信織物（栃尾市）ほか計5社による地域産業技術基盤高度化推進事業費助成金事業として取り組まれた。

環境と作業性に優れた接合法の研究

田宮 宏一* 斎藤 雄治* 箕田 博**

A study on eco-friendly adhesion method excellent in workability .

TAMIYA Kouiti*, SAITO Yuji* and MITA Hiroshi**

抄 録

有機溶剤系接着剤と水溶性接着剤の接着強度の比較を行い、鉄道車輛の製造工程に水溶性接着剤を使用することが可能かどうかの検証を行った。その結果、A1材を水溶性接着剤で接着した場合は、有機溶剤系接着剤で接着した場合よりも高い接着強度が得られることが明らかになった。また、SS材でも処理条件を変えることにより、必要な接着強度が得られる可能性がある。今後は作業性と耐久性を考慮しながら実用化試験を実施し、水溶性接着剤の鉄道車輛への適用を促進する。

1 緒 言

産業界では地球環境問題、資源の有効利用などが重要な課題とされているが、鉄道車輛メーカーにおいては有機溶剤による環境汚染が問題となっており、その見直しが盛んに行われている。JRにおいても現在多くの有機溶剤系接着剤が使われているが、地球環境に配慮した車輛づくりをするためにも、水溶性接着剤への置き換えが求められている。しかし、水溶性接着剤は有機溶剤系接着剤に比べて作業環境は改善されるが、接着強度や耐久性などに関する信頼性に乏しいという問題がある。

車輛製造段階においては、屋根のロンテックスや天井部の断熱材、床部の敷物、窓廻りなどの内装材、断熱・防音材や構体骨組と室内化粧板との間のパッキン材、内装の化粧板など多くの接合箇所に接着剤が使われている。

鉄道車輛では構造物が大きいのでスプレー塗付ができて、次工程までの作業時間が短い有機溶剤系のクロロブレンゴム系が多く使用されている。窓の水密用シーリング材なども含めると、1両当たり約250kgもの接着剤が使用されている。

有機溶剤系接着剤は、作業環境・安全面から見て問題があり、住宅関連製品や車の内装品などでは水溶性接着剤が多く使用されるようになってきている。



図1 接着作業の現状

図1に車輛製造行程における接着作業の状況を示す。車輛の接着作業は、車輛内部での吹き付け作業が多く、作業者は保護マスクを付けて作業しなければならない。そのため、廻りの作業者にも悪影響を及ぼしている。また、床敷物のように床面全体を接着するために大きな換気装置が必要となり、作業スペースも制限されるなど、作業工程上も大きな問題となっている。

有機溶剤系接着剤は、金属から木工など多くの種類の材料に適用できる上に、耐熱性や弾性に優れ、乾燥が早いことから接着行程が短くなるなど、作業

* 下越技術支援センター

** 東日本旅客鉄道株式会社新津車輛製作所

効率面で優れており、鉄道車輛の製造には適しているといえる。

しかし、接着剤の中にトルエン、ノルマルヘキサン、アセトンなどの有機溶剤が含まれており、この溶剤の蒸発によるガスなどが作業環境を害し、作業者が中毒症状を起こすこともあるなど、大きな問題となっている。

一方、環境問題の中から水溶性接着剤が開発され、住宅関連部材や車の内装材の接着に使われてきたが、①有機溶剤系接着剤に比べて接着力が弱く乾燥時間が長い、②作業環境は良いが、接着強度や耐久性などに関して信頼性に乏しいという問題があり、鉄道車輛の製造分野にはあまり普及していないのが現状である。

そこで、本研究では有機溶剤系接着剤と水溶性接着剤の接着性について、実作業に即した形での評価試験を行い、被接着材料や養生温度などが接着強度に及ぼす影響を明らかにした。

2. 実験方法

2. 1 接着剤の選択

実験に使用した接着剤は現状の有機溶剤系1種類と水溶性の2種類とした。表1にその諸元を示す。

表1 使用した接着剤の成分と特性

	有機溶剤系接着剤	水溶性接着剤A	水溶性接着剤B
基 材	クロロプレンゴム	クロロプレンゴム	アクリル系
不飽和分	25%	49%	65%
溶 剤	トルエン ノルマルヘキサン アセトン	水	水
粘度(cps)	150～500	約400	約13000

2. 2 試験片と接着方法

図2に試験片と接着方法を示す。本実験では、車輛の内装部材である金属板と側化粧板を想定して、SS材とパッキン材（ハードボード）、およびAl材とパッキン材（同上）の二通りの組合せにより試験片を作製した。それぞれの試験片について有機溶剤系接着剤と水溶性接着剤を用いて接着し、その接着強度の比較を行った。これは実験結果を実際の車輛製造現場に適用するため、できるだけ実作業に近い条件となるように考慮したことによる。

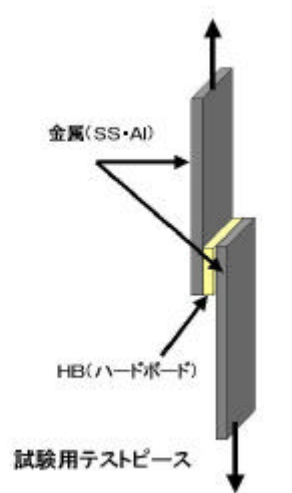


図2 試験片と接着方法

2. 3 接着条件

接着条件を表2に示す。車輛製造現場で現実使用されている材料と実作業時間とを考慮して、オープンタイム（塗付後の放置時間）は5分とし、養生時間（接着後の経過時間）をそれぞれ1日、7日、30日と設定した。実験温度は常温の20℃と、冬季作業を想定した10℃の2条件とした。また、サンプル数は各5本とした。接着前の表面処理法としては、SS材では腐食防止用に水溶性の塗料を塗布し、Al材では脱脂を行った。

表2 被接着材と接着条件

試験片	SS400/HB	A305P/HB
板厚 mm	1.6 / 3.5	1.5 / 3.5
接着面積mm	25×25	25×25
塗布方法	両面スプレー	両面スプレー
オープンタイム	5分	5分
養生時間	1日・7日・30日	1日・7日・30日
接着温度	10℃・20℃	10℃・20℃

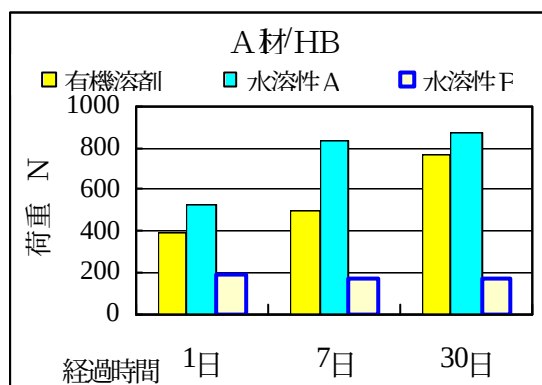
2. 4 引張せん断試験条件

接着強度の評価には万能材料試験機（インストロン）を使用し、図2の試験片の上下に引張荷重を与え、接着部の引張せん断試験を行った。試験片の引張速度は5mm/minとした。

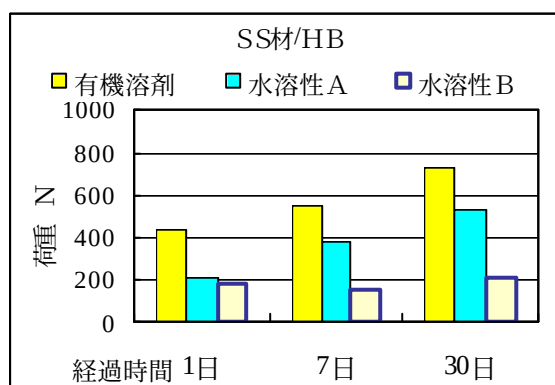
3. 実験結果と考察

3. 1 接着強度

図3(a)(b)に引張せん断試験の結果を示す。図より、現在使われている有機溶剤系接着剤を使用した場合は、SS材、Al材ともに安定した接着強度が得られ、試験片の材質による明確な差は認められなかった。



(a) Al材の場合



(b) SS材の場合

図3 接着条件と接着強度の関係

一方、水溶性接着剤Aを用いた場合、SS材の試験片では有機溶剤系接着剤より高い接着強度は得られなかった。しかし、Al材では有機溶剤系接着剤の場合よりも高い接着強度が得られている。さらに、経過時間が短い条件でも、現状用いられている有機溶剤系接着剤による接着強度を上回っている。

3. 2 剥離面の観察

図4(a)~(c)には、それぞれ異なる接着剤を用い

て接着した試験片について、引張りせん断試験を行ったあとの剥離面の状況を示す。

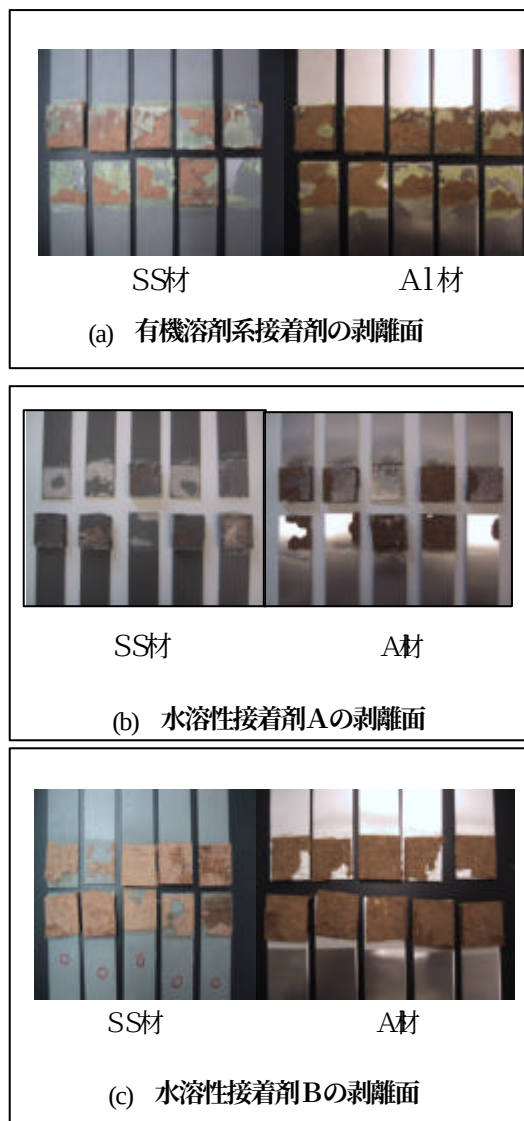


図4 接着条件と剥離面の状況

同図(a)に示す有機溶剤系接着剤の場合、試験片がSS材およびAl材の場合、ともにパッキン材（ハードボード）部で破壊している。このことは、高い接着強度が得られていることを示しており、いずれの金属材料の場合でも実用上問題がないと考えられる。

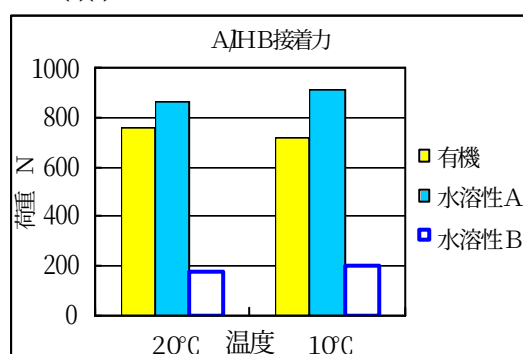
水溶性接着剤Aを用いた場合で試験片がSS材の場合には、同図(b)に示すように接着層における界面破壊が観察されることから、塗装面から剥離が生じたものと考えられる。これは、腐食防止のために

接着面に塗られた水溶性塗料の影響により接着強度が下がったものと考えられる。試験片がA1材の場合は、界面破壊が多く見られるが一部には接着破壊が見られる。このことは接着面の表面処理方法や接着条件に改善の余地があることを示している。しかし、接着強度が有機溶剤系接着剤の場合よりも高いので大きな問題はないと考える。

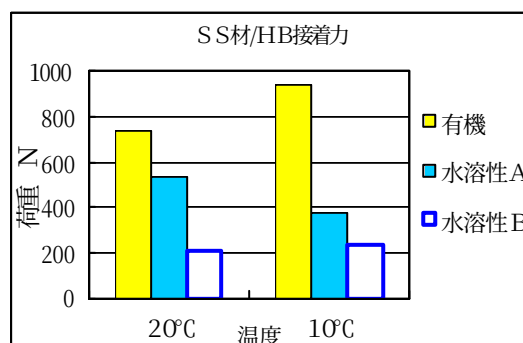
同図(c)に示す水溶性接着剤Bを用いた試験片では、材料破壊が見られる上、破壊荷重は200N程度にすぎない。さらに、養生に要する時間が他に比べて長いことなどから、鉄道車輛への適用は難しいと考えられる。

3. 3 養生温度が接着強度に及ぼす影響

接着後、それぞれの養生温度で30日を経過した試験片について、引張りせん断試験を行った結果を図5(a)(b)に示す。



(a) A1材の場合



(b) SS材の場合

図5 養生温度と接着強度の関係

同図(a)に示すA1材を用いた試験片では、水溶性接着剤Aを用いた場合、いずれの養生温度におい

ても有機溶剤系接着剤を用いた場合に比べて接着強度が高くなった。一方、同図(b)に示すSS材を用いた試験片では、水溶性接着剤Aを用いた場合の方が有機溶剤系接着剤を用いた場合よりも接着強度は低く、これは養生温度によって変わらない。

SS材の試験片で水溶性接着剤による接着強度が低くなる原因は、すでに3. 2項で述べたように、SS材の接着面に腐食防止用の塗料が塗布されており、それが接着強度に悪影響を及ぼしているものと考えられる。しかし、前述したとおり表面の皮膜を除去すれば接着強度は改善できるものと思われる。

4. 結言

- (1) 現状使われている有機溶剤系接着剤は、被着材の種類によらず、安定した接着強度が得られることが確認できた。
- (2) 水溶性接着剤Aを用いてA1材を接着した場合は、養生温度が低くても十分な接着強度が得られることが明らかにされた。また現状の設備でそのまま対応できることは大きな利点である。
- (3) SS材の接着に水溶性接着剤を適用するには、接着面の前処理方法を十分に検討する必要がある。さらに、接着面の耐久性や作業性などについても十分に検証しなければならない。

提案公募型技術開発研究

放物面型THz帯受信システムの開発

安井孝成^{*1} 菅原貴哉^{*1} 鈴木 哲^{*2} 富岡 充^{*3} 上村勝博^{*3} 行方武夫^{*3}

Development of THz Receiver System Using Parabolic Mirror

by

YASUI Takanari^{*1}, SUGAWARA Takaya^{*1}, SUZUKI Tetsu^{*2}, TOMIOKA Mituru^{*3},
KAMIMURA Katuhiro^{*3} and NAMEKATA Takeo^{*3}

抄 録

THz帯電磁波の用途が、各分野で広がりつつあるが、特に欧州を中心として、X線に比べて安全性に優れた医療診断技術としての優位性が指摘され、実用化に向けた大型プロジェクトがスタートしている。しかしながら、プロジェクトで研究対象となっている技術は、超短パルスレーザを必要とし、装置の大型化が避けられず、感度、応答速度、コスト面等で問題がある。一方で、ショットキーダイオードを用いた高速応答・超高感度受信システムの開発が古くから行われているが、数THz以上での利用上、克服すべき課題が多い。本報告は、従来型THz帯受信システムの諸問題を解決する世界初の新構造提案と、その設計・製作を行い、初号機システムのTHz帯受信テストに成功した結果である。

1. 緒言

高密度情報通信、人体に悪影響が少ないとされる次世代断層医療診断、核融合研究におけるプラズマ電子密度測定などの分野でTHz波の利用が大いに期待されている。欧州で2001年から始まった大型プロジェクト⁽¹⁾⁽²⁾は、THz帯電磁波を使った画像診断システムの開発を主目的とし、X線診断に代わる新しい断層診断システムの開発を目指している。これらのプロジェクトで検討されているシステムは、主にTHz帯電磁波の1サイクルに当たるps程度の超短パルスレーザを用いるもので、その光源については日本の研究⁽³⁾を中心にかなり進展しているが、受信側のシステムには進展が無い。この方式でのTHz帯システムは、一般的に装置が大型化し、感度、応答速度、コスト、扱い安さの点で未だ課題が多い。一方、超高速・高感度THz帯受信システムにはショットキーダイオード(SBD)とコーナーリフレクター及びワイヤアンテナの組み合わせ(コーナーキ

ューブ型)⁽⁴⁾等が用いられてきたが、数THz以上では、調整が非常に困難で、周波数依存性も大きく、実用上の大きな障害の一つであった。本研究では、この超高速・高感度受信システムにターゲットを絞り、扱い安さと数THz以上に及ぶ受信帯域の拡大を目的に、新型ミラーの設計・開発を行い、その初号機試作に成功した。

2. 新構造と特徴

本構造の基本概念を図1に示す。ワイヤアン

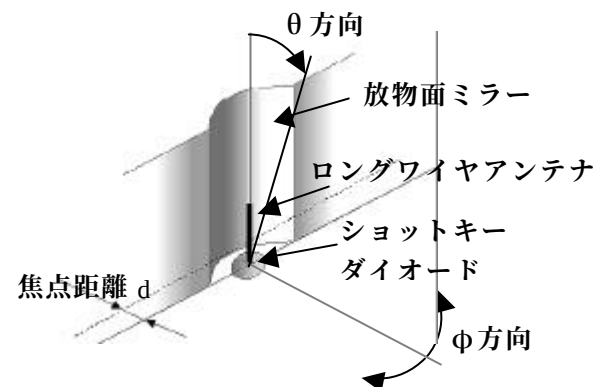


図1 放物面ミラーアンテナ

^{*1}長岡技術科学大学、^{*2}仙台電波高専、

^{*3}八海クリエイツ株式会社

テナ、放物面柱ミラー及び、検波を行う SBD で構成される。

第一の長所は、調整の容易さが格段に向上することである。入射波が放物面で反射し焦点に集中するため、ワイヤアンテナ位置を使用周波数によって移動することなく数 THz までの広帯域受信が可能である為である。従来のコーナーキューブ型ミラーを 5THz 以上の帯域で利用するためには、アンテナとミラー間距離を周波数に反比例して数 $10\ \mu\text{m}$ 以下に調整する必要があったが、本

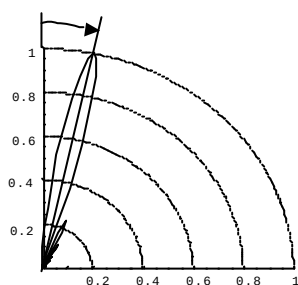


図2 θ 方向指向性

構造ではワイヤアンテナを焦点位置に固定したまま使用可能なので、操作性が格段に向上する。指向性シミュレーションの結果から、 θ 方向の最大入射角はワイヤアンテナの指向性を反映して 24° (図 2)、 ϕ 方向の最大入射角は放物面ミラーの指向性を反映して 0° (図 3) の方向から電磁波を入射させた場合に最も効率良く電磁波を受信する。

第 2 の特徴は、その帯域の広さである。予想される指向性利得の周波数依存性 (計算、図 4) は、本システムでは数 THz 全域でほぼ一定であり、コーナーキューブ型に比べ格段に高帯域化が可能である

3. 製作した放物面ミラーシステム

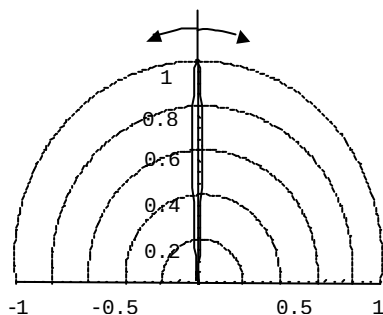


図3 ϕ 方向指向性

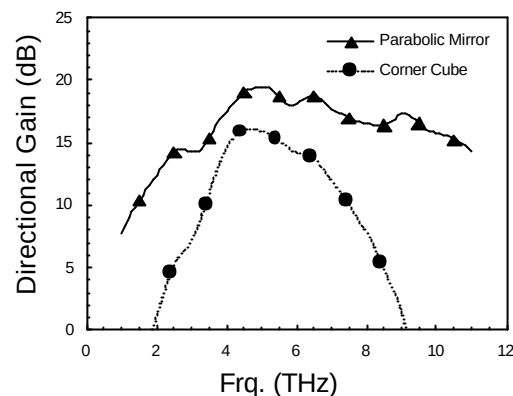


図4 指向性利得の周波数依存性

製作した放物面ミラーアンテナ (図 5) は主に 3 つのパーツで構成され、放物面ミラー、ステージ及び SBD を半田付けするマウントポストである。放物面ミラー材料は、表面の機械的強度が高くかつ腐食しにくい SKS31 とした。このステージはアリ溝構造とし、放物面ミラーをマイクロメータヘッドでスライド調整可能とした。また、マウントポストもステージ溝に空けた穴より下方からマイクロ

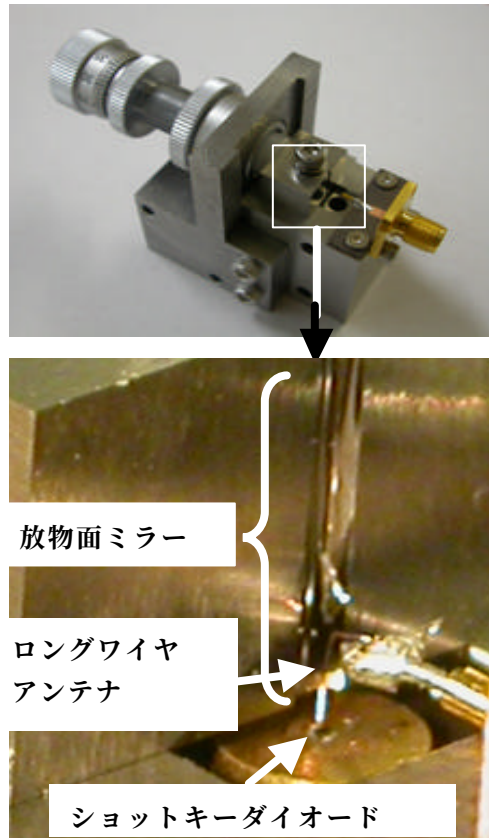


図5 放物面ミラーアンテナシステム

メータヘッドにより高さ調整を可能とすることで、ワイヤアンテナとコンタクトさせる。図5には、ワイヤアンテナとSBDとのコンタクト部分を示した。

本システムの中で最も重要な放物面ミラーは、ワイヤアンテナ径 50 ミクロンに対して集光率を高くするために、高い加工精度が要求される。さらに、上記のようにその材質（SKS31）の硬度は HRC61 以上であり、一般的な工具以上の強度を有する。これらの条件下で、理想的な放物面形状との誤差を極力低減化する必要がある。図6はその加工後の放物面形状測定の結果である。図6の上图が理想形状と重ねて表示したもので、縦軸フルスケール 0.25mm に対してその誤差は確認できない。図6の下図は、理想形状との差を表したもので、縦軸スケール単位は mm である。この結果から、放物面内に左右対称に誤差 2.5 ミクロン程度が確認された。

この誤差が集光率に与える影響を光線追跡して予測したものが図7である。放物面は図6の測定結果としている。光線軌跡の方向だけでなく、全ての光線の同一位相面が焦点位置に集光することが理想である。この理想

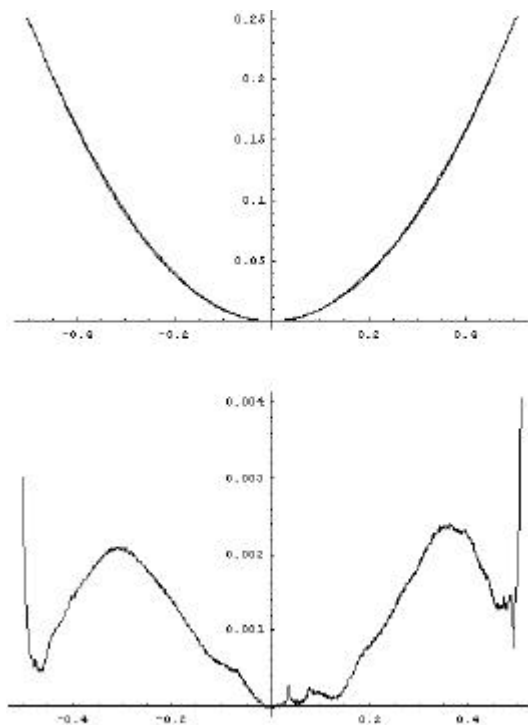


図6 放物面ミラーの形状評価

的な集光条件を 100%とした場合、ワイヤアンテナ直径 50 ミクロン以内に集光する確率は 95%と予測された。この結果、製作した放物面ミラーは十分な集光効率が期待できる。

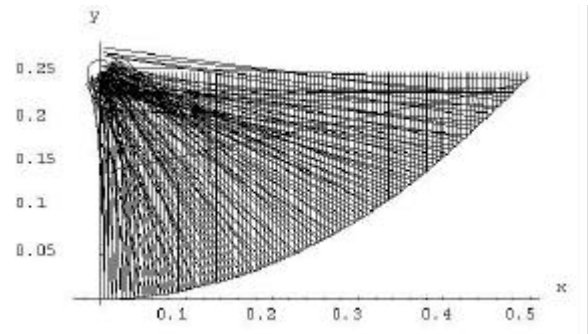


図7 形状誤差による収差予測

4. 初期性能評価

本ミラーシステム単独での評価は困難であり、SBD の性能を含めた評価となる。従って、SBD チップの個体差や性能に大きく左右されることが予測された。しかしながら、アライメント等の最適化が不十分な条件下にも関わらず、1.4THz レーザー光のダイレクト検出に一回で成功した。その結果を図8に示す。

1.4THz レーザー光源を 15Hz でチョッピングすることで、検出の確認を行っている。結果はネガティブ表示になっており、矩形パルスの底の位置で THz を受信していること

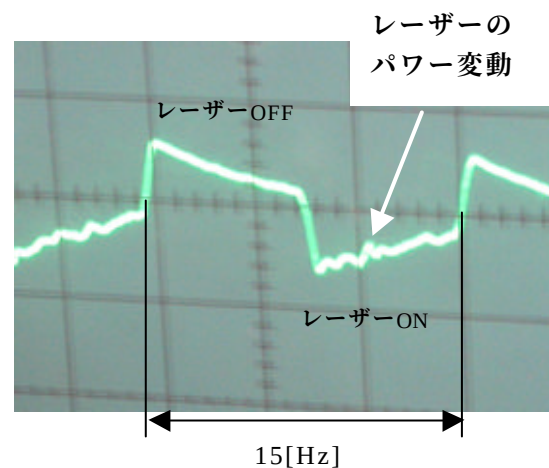


図8 1.4THz 受信の確認

を示し、またその間のレーザー光源のパワー変動（おそらく MHz 程度）を確実に検出している。初期性能としては非常に良好な結果であり、その潜在性能の高さを実証することに成功した。

今後さらに各部の最適化を行い、より低ノイズ、高感度化を目指すことが期待できる。また、SBD の素子自体は 250 ミクロン角であり、将来は、アレイ化による 2 次元受信システムへの拡張も可能である。

5. 結言

- (1) THz 帯域で使用可能な放物面ミラーの製作に成功した。
- (2) 1.4THz の実証実験から、十分な性能を検証した。
- (3) 従来型ミラーに比較し、アンテナ及び素子の位置調整を非常に簡素化する事に成功した。

参考文献

- (1) <http://www.teravision.org/> を参照
- (2) <http://www.frascati.enea.it/THz-BRIDGE/> を参照
- (3) 川瀬晃道、伊藤弘晶：応用物理学会誌 71, 167 (2002).
- (4) T. Suzuki 他：IEEE Trans. Microwave Theory Tech., MTT-47, 1649 (1999).

超精密平面研削盤の開発

石崎 幸三¹

Development of High Precision Grinding System

by

ISHIZAKI Kozo¹

抄録

定圧送り機構研削盤に、エアースライダーを導入し、研削盤の性能を向上させた。その結果、以下のような成果が得られた。テーブル送り速度は、研削条件により変化することが確認された。このことは時間とともに悪化する砥石の性能評価、ひいては砥石面再生工程である目立てのタイミングが容易に判定できることを示す。また、切り込み量が増大するにつれて比研削エネルギーは減少し、切り込み量 $10\mu\text{m}$ 以上で一定値となった。定圧送り研削盤で加工した試料は、切り込み量によらず表面粗さおよび破壊強度は一定であった。これは定圧送り研削盤では加工物の研削面に切り込み量によらず常に一定な力が作用しているため、加工物の面粗さと破壊強度を損なうことなく、高速な加工が行えることを示す。アルミナ焼結体、シリコンウエハともに数十 μm の厚さまで、特殊なサポートテープや接着剤を用いず研削のみで加工することが可能となった。

1. 緒言

最近、宇宙開発、海洋開発、原子炉、核融合炉、航空機などの先端技術分野においては、高温、高真空、大きな応力、高腐食性などの厳しい環境に耐える材料が開発され。また、新エネルギーおよび省エネルギー技術においても、 1000°C 以上の高温で長期間使用できる材料の開発も進んでいる。しかし、エンジニアリングセラミックスの優れた特性を広く工業界で活用するためには、焼結後の機械加工が必要となるが、大部分のエンジニアリングセラミックスは硬くて脆いため、精密な加工は困難である。そこで今回はこの問題点を解決する方法として研削方向に定圧機構を仕上げ面方向には定寸機構を適用した新しい研削装置を提案してきた。本事業では、その加工法を進歩させたウエハ研磨システムを確立するために、数十グラムの低い定荷重で精密にかつ高剛性で駆動するテーブル送り機構の開発を行い、先端電子部品加工の生産性向上を図ることを目的とする。

¹ 長岡技術科学大学機械系教授

2. 定圧送り研削盤

一般にエンジニアセラミックスの平面加工は、表面に大きな欠陥を生じにくい遊離砥粒を用いたラッピングが施されてきた。しかし、ラッピングは加工能率が低く、加工量の制御が難しい。そこで、被削材表面に欠陥を生じず、高能率・高精度に加工できる装置が切望されている。筆者らは、素材に与えるダメージを極限まで抑え、サブミクロンの平坦度とナノメートルオーダーの表面粗さを実現し、かつ高能率に加工できる新しい発想の研削加工機を開発し提案してきた。

図1に高能率かつダメージフリー加工を実現するために、研削方向に定圧機構を仕上げ面方向には定寸機構を適用した新しい研削装置を示す。研削機構を考えた場合、被削材の表面性状を向上するためには、被削材表面に過度の力が一切かからない定圧機構が望ましい。一方、加工後の被削材の厚さの寸法精度を確保するためには定寸機構が望ましい。定圧送り研削盤は、削られる材料の立場で機械の動きを制御する。低摩擦の案内機構と

定圧の送り機構を用いて、加工工具(砥石)の切れ味に合わせて加工が進行することを特徴とする。機械主導の動きではなく、材料の立場、工具の立場(砥石)から、新しい研削機構を提案する⁽¹⁻⁴⁾。

また、本方式では、研削速度は定圧方式のために研削能力によって決まり、高能率な砥石を用いると、その砥石の能力を最大限に発揮させることができる。目詰まり等で砥石の研削能力が低下した場合、研削速度が低下するため砥石のドレッシング間隔が判定しやすく、表面粗さや平坦度などを維持した加工が可能である。

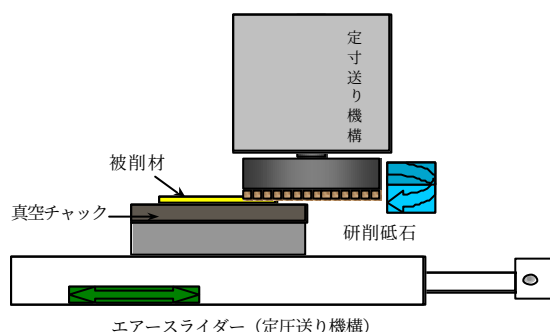


図1 定圧送り研削盤概観

高能率・ダメージフリー研削を実現するために、高能率研削砥石、多孔質セラミックス製真空チャック、定圧送り機構を開発した。

定圧送り研削盤は、加工速度が砥石の性能に依存する。そこで砥石形状、構造、条件等を考慮し、鏡面加工と高能率を同時に実現できる新型砥石を開発した^(5,6)。図2に同じダイヤモンド砥粒サイズ(30-40 μm)を用いた市販砥石および新型砥石の研削速度と研削後の表面粗さを示す。比研削材はハードディスクに用いられる結晶化ガラスである。また、同じサイズの遊離砥粒を用いたラッピングの結果もあわせて示す。新規に開発した砥石の研削速度と表面粗さの関係を示す曲線は、市販砥石やラッピングに比べて右下に位置する。これは新型砥石が、良好な仕上げ面と高能率な加工を同時に実現していることを示す。

2. 2 開発要素2：多孔質セラミックス製真空チャック

平坦面を作り上げるには、高剛性の真空チャック

の開発が必要となる。そこで多孔質セラミックスを利用した真空チャックを開発した。この真空チャックの出来如何がサブミクロンオーダーの加工精度(特に平坦度)実現に直結する。本方式では、まず、ドレッシング、ツルーイングが完了した砥石を用いて、真空チャック表面の研削加工を行う。これにより砥石面と真空チャック面は平行に加工される。加工後、真空チャックに被削材を取付け、加工を行うことにより、被削材表面を真空チャック面に対して平行に加工できる。これが、高精度な加工が可能となる本方式の一つの要因である。

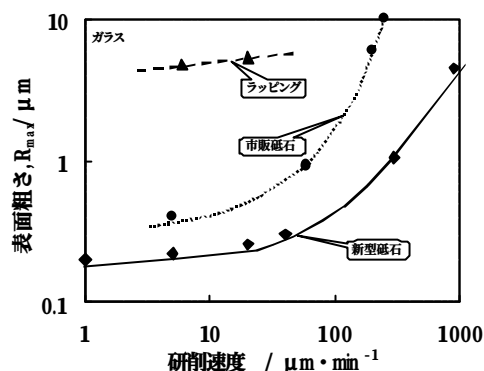


図2 同じダイヤモンド砥粒サイズ

(30-40 μm)を用いたラッピング、市販砥石および新型砥石の研削速度と研削後の表面粗さの関係。新規に開発した砥石の研削速度と表面粗さの関係を示す曲線は、市販砥石やラッピングに比べて右下に位置し、良好な仕上げ面と高能率な加工を同時に実現していることを示す。

2. 3 開発要素3：定圧送りシステム

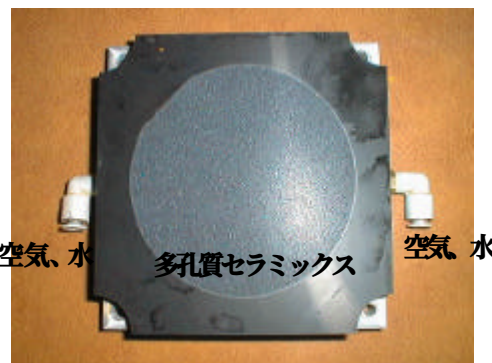


図3 多孔質セラミックス製真空チャック

あらかじめ真空チャックを研削することにより、研削後の試料の平坦度を確保する。

本事業では、上記既開発要素に加えて、加工物に与えるダメージを極力抑えることを目的に加工物送り機構にわずかな圧力差で駆動するエアスライダーを導入した。通常のエアスライダーでは、点浮上のために十分な機械剛性が得られない。そこで、多孔質セラミックスを用いて、面で浮上できるエアスライダーの作製し、研削加工に耐えうる高剛性のエアスライダーを開発した。ダメージフリー加工の最大の特徴は、この定圧送りシステムである。素材に、あらかじめ一定以上の力を加えないようにすることで、材料に加わる欠陥を力で制御することになる。投入した力は、当然クラックや表面状態に影響するため、あらかじめ投入の力を軽減することがダメージフリー加工につながる。

2. 4 加工結果

図4に25×50×1mmのアルミナ焼結体の研削結果を示す。1pass当たりの切込み量を増加させるにつれて加工物にかかる垂直方向力(F_n)と砥石回転方向力(F_t)は増加する。一方、テーブル送り速度(V_f)は減少することが明瞭に観察された。本事業により開発したエアスライダーを導入することにより、僅かな加工条件の変化でも、テーブル送り速度が変化することが確認された。このことは時間とともに悪化する砥石の性能評価、ひ

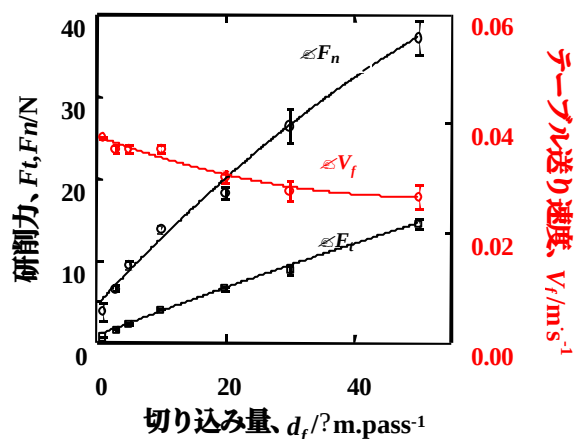


図4 アルミナ焼結体の研削結果

僅かな加工条件の変化でも、テーブル送り速度が変化する。このことは時間とともに悪化する砥石の性能評価、ひいては砥石面再生工程である目立てのタイミングが容易に判定できることを示す。

いては砥石面再生工程である目立てのタイミングが容易に判定できることを示す。

図5に直径4inch×厚さ0.5mmのシリコンウエハの研削結果を示す。1pass当たりの切込み量を増加させるにつれて加工物にかかる垂直方向力(F_n)と砥石回転方向力(F_t)は増加し、切り込み量30 μm で最大となり、その後減少する。一方、テーブル送り速度(V_f)は常に減少する。その減少傾向は、アルミナ焼結体の減少量に比べて激しい。垂直方向力(F_n)と砥石回転方向力(F_t)の研削抵

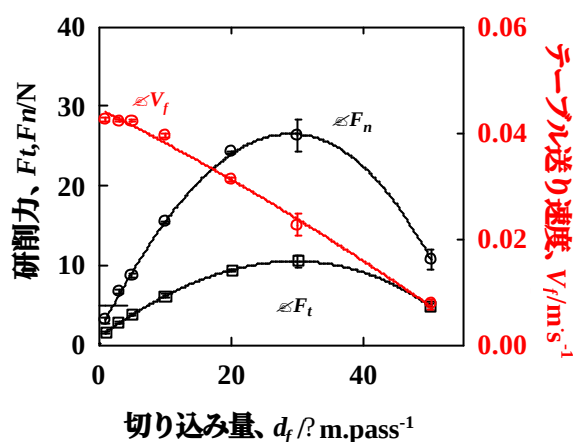


図5 シリコンウエハの研削結果

垂直方向力(F_n)と砥石回転方向力(F_t)の研削抵抗が最大を示すのは、切り込み量30 μm 前後でシリコンウエハの研削メカニズムが変化するためである。

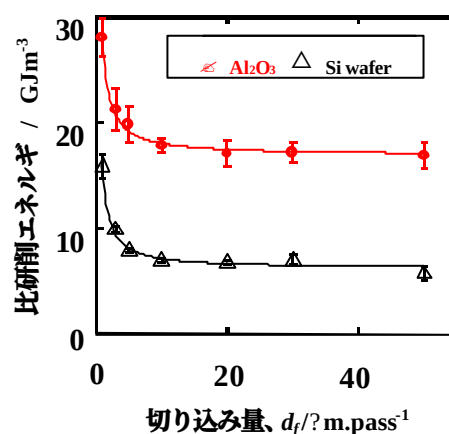


図6 比研削エネルギーの計算結果

比研削エネルギーは、加工物、加工条件、使用する砥石に影響され、その値が小さいほど効率の良い研削を行っていることを示す。

抗が最大を示すのは、切り込み量 $30\text{ }\mu\text{m}$ 前後でシリコンウエハの研削メカニズムが変化するためである。切り込み量が $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下では、延性的な破壊により研削が進行するが、それ以上では脆性的な破壊が生じる。したがって、切り込み量を維持するために必要な研削抵抗は減少する。以上の結果から、定圧送り研削盤で送り速度および研削抵抗を常時測定することは、砥石の目立て工程の時期を判断することが可能であるばかりでなく、加工メカニズムを解明する上でも重要である。

図6に比研削エネルギーの計算結果を示す。比研削エネルギーは次式により定義される。

$$S.G.E. = \frac{F_t V_s}{\dot{V}}$$

ここで、 F_t は回転方向の研削抵抗、 V_s は砥石の周速、 $\dot{V}$ は加工物除去速度を示し本事業では加工物のサイズと切り込み量の積をテーブル送り速度で除した値である。比研削エネルギーは、加工物、加工条件、使用する砥石に影響され、その値が小さいほど効率の良い研削を行っているといえる。本事業の場合、切り込み量が増大するにつれて比研削エネルギーは減少し、切り込み量 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上で一定値となる。切り込み量が小さい時は、研削時の機械抵抗などが比研削エネルギーを増加させる原因となる。また、アルミナ焼結体に比べてシリコンウエハの比研削エネルギーが全実験条件で小さな値となるのは、シリコンウエハがアルミナ焼結体に比べて研削しやすい材料であることを示す。

図7に研削後の加工物表面粗さを示す。加工物の表面粗さは、いずれの試料とも切り込み量によらず一定である。これは定圧送り研削盤では加工物の研削面に切り込み量によらず常に一定な力が作用しているため、加工物の面粗さを損なうことなく、高速な加工が行えることを示す。

図8にアルミナ焼結体の4点曲げ試験の結果を示す。この試験ではアルミナ焼結体を $3\times 4\times 40\text{mm}$ のサイズになるように定圧送り研削盤で加工した。加工条件は1pass 当たりの切り込み量のみ変化させた。また、一般的な研削盤の送り機構である定速送りでもアルミナ焼結体を加工し、曲げ試験に及ぼす送り機構の影響を調べた。定圧送り機構により加工したアルミナ焼結体の曲げ試験結果は、切り込み量によらずほぼ一定の破壊強度を示した。(僅かに切り込み量が $50\text{ }\mu\text{m}$ の場合、破壊強度の低下が見られた。) 一方、定速送り機構により加工したアルミナ焼結体の曲げ試験では、

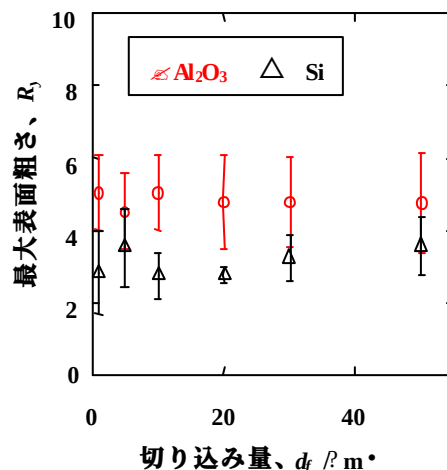


図7 研削後の加工物表面粗さ
加工物の面粗さを損なうことなく、高速な加工が行えることを示す。

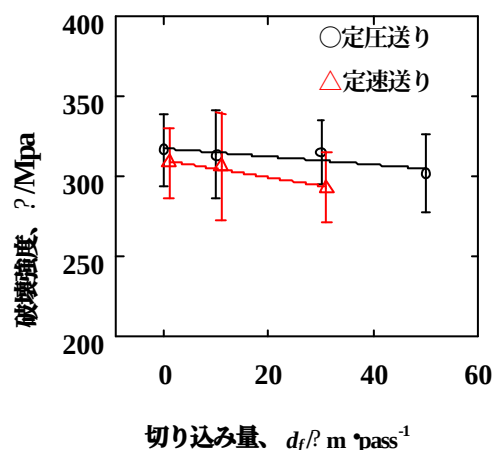


図8 アルミナ焼結体の4点曲げ試験の結果
定速送り機構により加工したアルミナ焼結体の曲げ試験では、全切り込み量で定圧送り機構により加工した試料より低い破壊強度を示す。

全切り込み量で定圧送り機構により加工した試料より低い破壊強度を示した。また、切り込み量の増加につれて、破壊強度が低下する。

シリコンウエハとアルミナ焼結体はいずれも数十 μm まで破壊することなく加工可能であり、その加工速度は約 $10\mu\text{m}/\text{min}$ である。定圧送り研削盤による加工結果の一例を図9に示す。この研削盤で厚さが $40\mu\text{m}$ まで加工したアルミナ焼結体は良好な透過性を示した。



加工前のアルミナ 加工後のアルミナ
厚さ 1 mm 厚さ 40 μm

図9 定圧送り研削盤による加工結果の一例
アルミナ焼結体はいずれも数十 μm まで破壊することなく加工可能であり、その加工速度は約 $10\mu\text{m}/\text{min}$ である。この研削盤で厚さが $40\mu\text{m}$ まで加工したアルミナ焼結体は良好な透過性を示す。

3. 結言

定圧送り機構研削盤に、エアースライダーを導入し、研削盤の性能を向上させた。その結果、以下のような成果が得られた。

- (1) テーブル送り速度は、研削条件により変化することが確認された。このことは時間とともに悪化する砥石の性能評価、ひいては砥石面再生工程である目立てのタイミングが容易に判定できることを示す。
- (2) 切り込み量が増大するにつれて比研削エ

ネルギーは減少し、切り込み量 $10\mu\text{m}$ 以上で一定値となった。定圧送り研削盤では、切り込み量を増大させても理想的な研削状態を維持することを示す。

- (3) 定圧送り研削盤で加工した試料は、切り込み量によらず表面粗さおよび破壊強度は一定であった。これは定圧送り研削盤では加工物の研削面に切り込み量によらず常に一定な力が作用しているため、加工物の面粗さと破壊強度を損なうことなく、高速な加工が行えることを示す。
- (4) アルミナ焼結体、シリコンウエハともに数十 μm の厚さまで、特殊なサポートテープや接着剤を用いず、研削のみで加工することが可能となった。

参考文献

1. Koji Matsumaru and Atsushi Takata, MRS Bulletin, Vol. 26, No. 7, 544-546(2001)
2. Tomohiro ISHIZU, Hirokazu FUJIWARA, Atsushi TAKATA and Kozo ISHIZAKI, Advances in Technology of Materials and Materials Processing Journal, Vol. 2 No.1, 36-41(2000)
3. 大西人司、石崎幸三、特開平 09-103965 多孔質超砥粒砥石とその製造方法
4. 飯浜孝雄、嶋本 篤、高田 篤、特開 2000-033566 研磨盤の制御方法および装置
5. 石崎幸三、高田 篤、特開 2000-117641 研削砥石の製造方法および研削砥石
6. Kazuyuki KUMAEDA, Hirokazu FUJIWARA, Atsushi TAKATA and Kozo ISHIZAKI, Advances in Technology of Materials and Materials Processing Journal, Vol. 2 No.1, 10-16(2000)

拘束強加工によるチタンの結晶粒微細化技術の開発

およびその加工プロセスへの応用展開

鎌土 重晴* 奥村 勇人*

Development of grain refining technique for titanium by sever working and its application to working process

by

KAMADO Shigeharu* and OKUMURA Hayato*

抄録

ゴルフクラブヘッドのパフォーマンス向上を目的として、フェース材に用いられる準安定 β 型Ti-20%V-4%Al-1%Sn合金に冷間クロス圧延および時効処理を行い、ミクロ組織および引張特性を評価した。クロス圧延した試料では結晶粒が等方的に変形し、引張特性の面内異方性が改善されるとともに、引張強さ、0.2%耐力も向上する。さらに、時効を行うことにより、0.2%耐力の平均値は1132MPaに達する。この試料をゴルフクラブのフェースに適用した場合、板厚は従来材の2.7mmから2.45mmまで薄肉化が達成できる。その結果、たわみは約16%増加し、より高反発のフェースが作製可能となる。

1. 緒言

チタンは、比強度や比剛性が高く、かつ耐食性に優れる等の特徴から、その用途が拡大しつつあり、介護用機器、産業用機器等の民生用部品に利用されている¹⁾。最近ではゴルフクラブヘッドにチタンおよびチタン合金の適用が盛んである^{1, 2)}。

従来、ゴルフヘッド用素材としては α + β 型チタン合金であるTi-6%Al-4%V合金が主流であったが¹⁾、フェース部分には β 型チタン合金が使われ始めている。 β 型チタン合金は高強度である上、結晶構造がbccであるため冷間加工性に優れ、加工による強度の向上が容易である。また、 α や α + β 型に比べて弾性率が低く、大きなたわみが得られる。このような性質は、ゴルフクラブヘッド用のフェース材に適している。また、フェースは、板厚が薄いほどたわみが大きく高反発となり、飛距離が増す。したがって、フェース材の強度

を向上させ、薄肉化することによって、さらなるパフォーマンスの向上が可能となる。

現在、フェースに用いられている β 型チタン合金の結晶粒径は約50 μ m程度で、この材料では、フェースの肉厚は2.7mmが限界となっている。本研究では、準安定 β 型Ti-20%V-4%Al-1%Sn(SAT-2041CF)合金³⁾を供試材とし、圧延加工と熱処理を組み合わせた加工熱処理を行い、高強度、高靱性化を図り、フェース材としてのパフォーマンスの評価を従来材との比較により行った。

2. 実験方法

本検討合金には、市販のTi-20mass%V-4mass%Al-1mass%Sn 準安定 β 型チタン合金板材を用いた。公称組成を表1に示す。供試材は冷間圧延後850 $^{\circ}$ C-15minの溶体化処理を施した3mm厚の板材である。また、比較材として、冷間圧延したままの試料を用いた。はじめに、厚さ1.5mmまで冷間で一方向圧延およびクロス圧延を行った。1パス毎の圧

*長岡技術科学大学工学部機械系

表1 SAT-2041CF 合金の公称組成 (mass%)					
V	Al	Sn	O	Fe	Ti
19.0~22.5	3.0~3.6	0.8~1.2	~0.2	~0.2	bal.

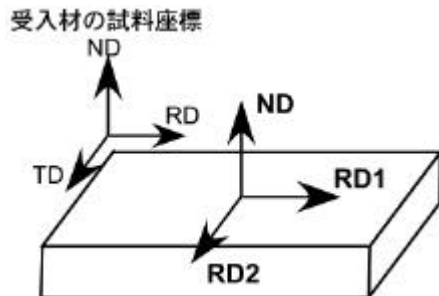


図1 クロス圧延材の試料座標系

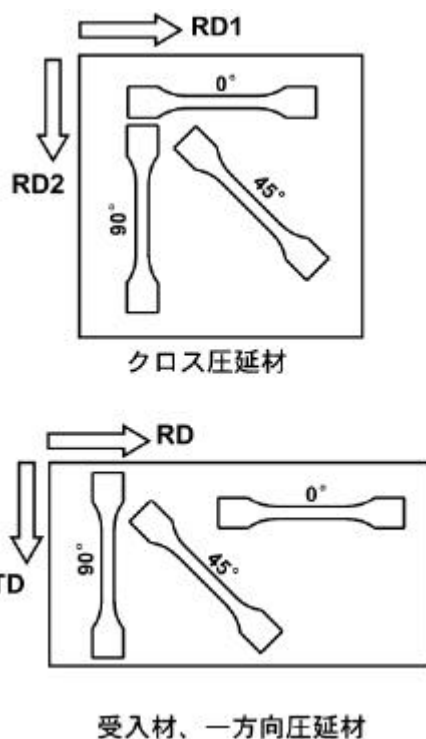


図2 引張試験片採取方向

下率は 5%/ pass、最終圧下率は 50%である。また、一方向圧延の圧延方向は受入材の RD 方向と同じである。クロス圧延は、はじめに受入材の RD 方向と平行に圧延を行い、次のパスでは受入材の TD 方向と平行に行った。その後、この工程を交互に繰り返し、最終圧延方向は、受入材の RD 方向と平行とした。クロス圧延材の試料座標系は図 1 のようになる。

本検討合金をクロス圧延および一方向圧延後、ソルトバス中にて時効処理を行った。

温度は 500℃で、2、4、8、16h 保持した後、大気中にて空冷した。その後、時効特性を調べるため、各試料の硬さ試験を行った。

各試料のマイクロ組織を光学顕微鏡により観察した。試料は、バフ研磨により鏡面仕上げした後、硝フッ酸液（2%フッ化水素酸-10%硝酸-88%蒸留水）を用いて、エッチングを 15s～30s 行った。

各試料の引張試験をインストロン型万能試験機を用いて、大気中、室温にて、ひずみ速度 $1 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ の条件で行った。引張試験片は、図 2 に示すように、RD あるいは RD1 方向に対して 0°、45°、90°の各方向から板状試験片を切り出した。引張試験片の標点間の寸法は 20mm×4mm×1.5mm である。

3. 結果および考察

3.1 as-rolled 材のマイクロ組織

図 3 に圧延前の溶体化処理材、一方向圧延およびクロス圧延したまま材のマイクロ組織写真を示す。組織観察は各面の表面近傍と中央部にて行った。溶体化処理した試料のマイクロ組織は？単相で、結晶粒は粒径 100?m 程度の等軸粒である。圧延後、両試料とも、結晶粒は押しつぶされ、加工組織を示す。一方向圧延材の組織中には、一部にひずみ量の多い箇所が存在する。また、一方向圧延材の TD 面(A)では、圧延方向に引き伸ばされた結晶粒が観察されるが、RD 面(B)の結晶粒は比較的球状である。一方、クロス圧延材では RD1(B)、RD2 面(A)の結晶粒はともに引き伸ばされ、パンケーキ状となる。さらに、クロス圧延材では、一方向圧延材より結晶粒の圧下量大きい。これらのことから、クロス圧延では、高ひずみが均一に導入されていることが予想される。

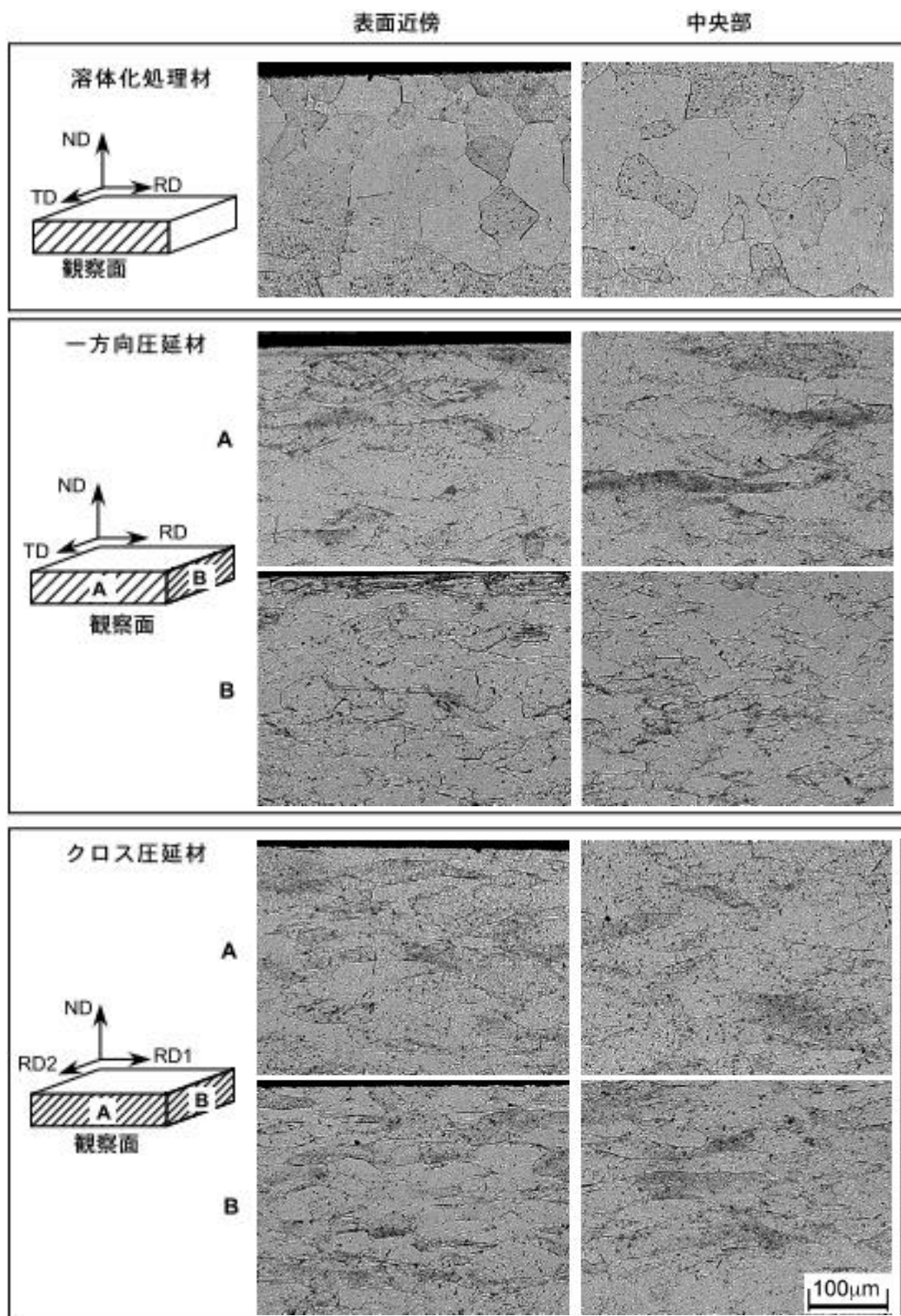


図 3 溶体化処理材および as-rolled 材のマイクロ組織

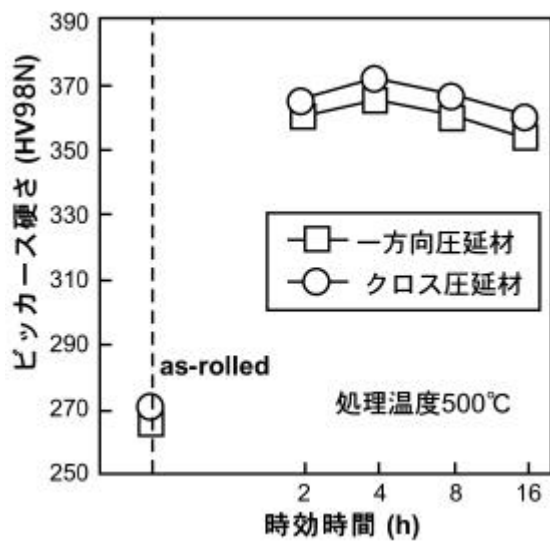


図 4 時効特性

3.2 時効特性

図 4 に時効特性を示す。一方向圧延およびクロス圧延したまま材の硬さはそれぞれ 265HV と 271HV であるが、時効を行うことで両材ともに硬さが大幅に上昇し、時効時間 4h で、一方向圧延材では 364HV、クロス圧延材では 376HV の最大硬さ値を示す。図 5 に一方向圧延およびクロス圧延後時効した試料のミクロ組織写真を示す。両材とも白色の β 相が析出し、一方向圧延材では、粒内で圧延方向とほぼ平行に線状に析出する。冷間圧

延後時効した Ti-15-3 合金でも同様の組織になることが Boyer ら⁴⁾によって報告されており、 β 相はすべり帯に沿って析出している。これに対して、クロス圧延材では、試料中央部では比較的ランダムに析出し、特に中央部では、組織は白色の析出物で均一に占められる。前述の Boyer らの報告にあるように、析出はすべり帯のような転位堆積域において優先的に生じやすいと考えられる。本研究のクロス圧延材も、流動が一方向圧材より複雑で、いたるところで析出サイトとなるすべり帯が形成されるため、多量の微細な析出物が比較的ランダムに生じ、一方向圧延材より硬さ値が高くなるものと考えられる。

3.3 引張特性

図 6 に各試料の引張特性を示す。受入材の as-rolled 材は、非常に大きな引張特性の異方性を示す。溶体化処理後一方向圧延した試料では、引張特性の異方性は小さくなり、クロス圧延を行うことにより、異方性はさらに小さくなる。これは、クロス圧延材の結晶粒が圧延面内で等方的に引き延ばされるためと考えられる。また、as-rolled 状態では、ク

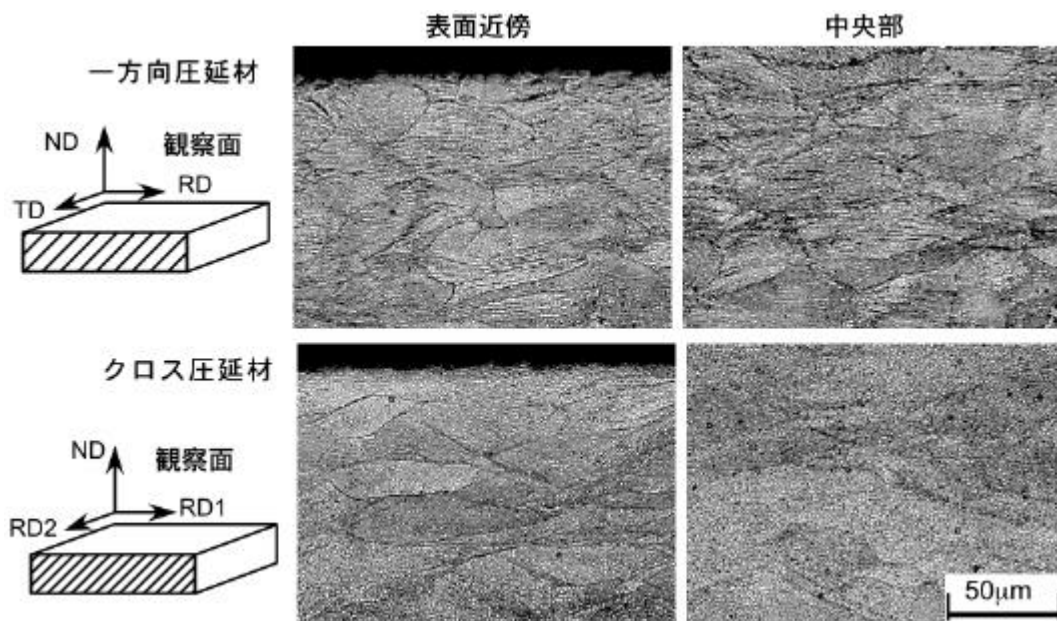


図 5 時効後のミクロ組織

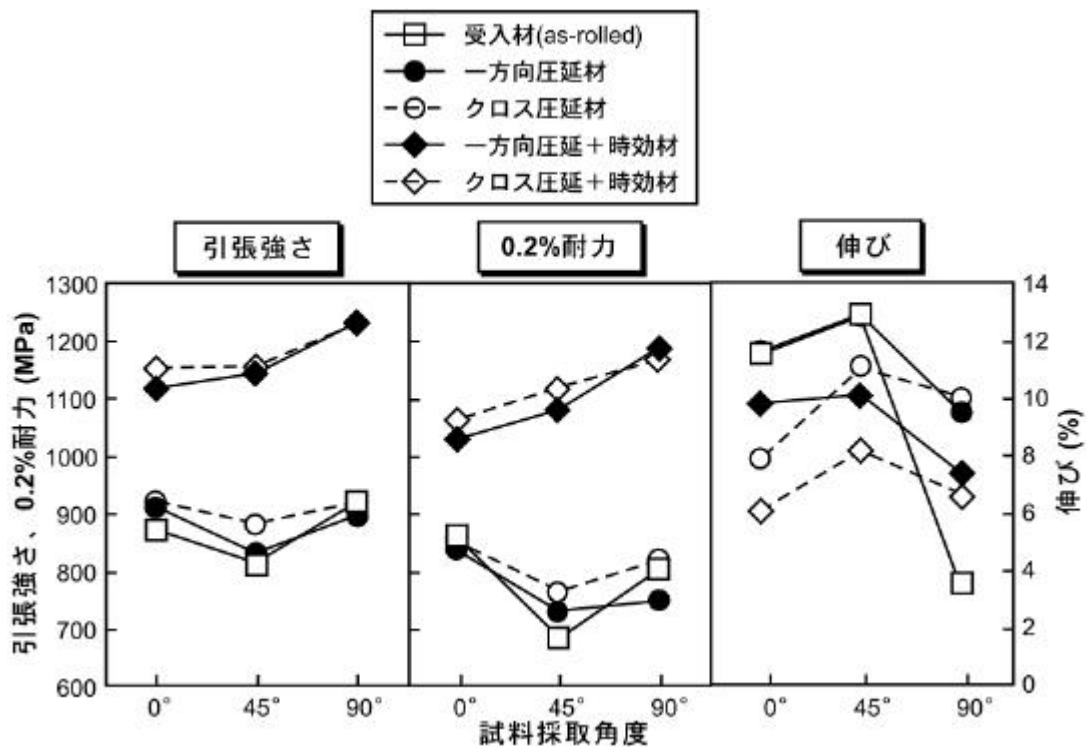


図 6 引張特性

ロス圧延材の方が、一方向圧延材より引張強さと 0.2%耐力が高く、伸びが小さい。これは、クロス圧延材では一方向圧延材よりひずみ量が大きいためと考えられる。圧延後、時効を行うことにより、両圧延材とも、引張強さ、0.2%耐力が大幅に上昇し、クロス圧延+時効材の 0.2%耐力は平均で 1132MPa に達する。また、両試料とも 0.2%耐力は SAT 2041CF 合金時効材の規格値の 930MPa より高い値を示す。時効材においても、クロス圧延材では、90°方向を除いて一方向圧延材より 0.2%耐力が高い。これは、通常圧延材では析出物に指向性があり、それらが 90°方向の変形に寄与する転位を妨げる向きに配向するため、90°方向の耐力が高くなるが、クロス圧延材では、相が各方向に均一微細に析出するため、0°および 45°方向の耐力も顕著に向上するものと考えられる。また、時効材は as-rolled 材と異なった引張特性の異方性を示し、0°方向の強度が最も低く、45°、90°の順に高くなる。

3.4 フェースのパフォーマンスの評価

本検討合金のクロス圧延+時効材をゴルフクラブヘッドのフェースに適用したときのパフォーマンスを従来材との比較により評価した。

ここでは Ti-15%Mo-5%Zr-3%Al (Ti-15-5-3)合金のフェースと比較を行う。このフェースには市販圧延材が用いられており、製品の結晶粒径は 50 μ m 程度で、板厚は 2.7mm が限界となっている。

一般に金属材料の結晶粒径と降伏応力の関係は次の Hall-Petch の関係で表される。

$$\sigma_y = \sigma_0 + Kd^{-1/2} \quad \dots(1)$$

ここで、 σ_y :降伏応力、 d :結晶粒径、 σ_0 , K :定数である。

実験的に求められている、Ti-15-5-3 合金の σ_0 および K の値⁵⁾はそれぞれ 874MPa、340MPa $\cdot\mu\text{m}^{1/2}$ であり、フェース材の結晶粒径 $d=50\mu\text{m}$ とすると、降伏応力 σ_{yc} は

$$\sigma_{yc} = 922 \text{ MPa} \quad \dots(2)$$

となる。また、本検討合金の降伏応力 σ_{yp} は、

本研究の引張試験結果より、0.2%耐力の平均値を用いる。

$$\sigma_{yp} = 1132 \text{ MPa} \quad \cdots(3)$$

ショット時のフェースのたわみを計算するために、本検討合金の板厚を求める。ボールによってフェースがたわむ状態を、全周固定円板の中央に集中荷重が加わった状態と仮定すると、板厚 h と応力 σ の関係は

$$h \propto \frac{1}{\sigma^2} \quad \cdots(4)$$

となる。

従来材の板厚を $h_c (=2.7\text{mm})$ 、本検討合金の板厚を h_p とすると、式(2)、(3)、(4)より

$$h_p \propto \frac{1}{\sigma_{yp}^2} / \frac{1}{\sigma_{yc}^2} h_c = 2.45\text{mm} \quad \cdots(5)$$

上記の荷重条件において、最大たわみ w は以下のように弾性係数 E と板厚 h の3乗の積に逆比例する。

$$w \propto \frac{1}{Eh^3} \quad \cdots(6)$$

ここで、従来材(α 型)の弾性係数 E_c は 80GPa、本検討合金時効材($\alpha + \beta$ 型)の弾性係数 E_p は引張試験結果より 92GPa であるので、本検討合金と従来材とのたわみの比 w_p/w_c は式(5)、(6)より

$$w_p/w_c \propto \frac{1}{E_p h_p^3} / \frac{1}{E_c h_c^3} = 1.16 \quad \cdots(7)$$

となる。すなわち、本検討合金をフェース材として用いることにより、従来材の 2.7mm から 2.45mm に薄肉化可能で、その結果、約 16%のたわみ増加が達成できる。

4. 結 言

本研究では、準安定 β 型 Ti-20%V-4%Al-1%Sn 合金に圧延加工と熱処理を組合せた加工熱処理法を用いて、材質を改善した試料のミクロ組織および引張特性を評価した結果、以下の結論を得た。

- (1) 溶体化処理材に、一方向圧延を行うことにより、結晶粒は圧延方向に引き延ばされる。一方、クロス圧延材の結晶粒は、パンケーキ状に押しつぶされる。
- (2) 圧延後 500℃にて時効を行うことにより、両材ともビッカース硬さ値は大幅に上昇し、保持時間 4h でピーク硬さを示す。このとき、硬さ値はクロス圧延材で 376HV に達する。
- (3) 溶体化処理材に、クロス圧延を行うことにより、受入材の as-rolled 材に見られる圧延面内の異方性が改善されるとともに、引張強さ、0.2%耐力も向上する。圧延後に時効を行うことにより、強度は大幅に上昇し、クロス圧延+時効材の 0.2%耐力は平均で 1132MPa に達する。
- (4) 本検討合金のクロス圧延+時効材をゴルフクラブのフェースに適用した場合、厚さは従来材の 2.7mm から 2.45mm まで薄肉化でき、その結果たわみは約 16%増加することになる。すなわち、フェースの更なるパフォーマンスの向上が可能となる。

参考文献

- 1) 山本喜孝: 神戸製鋼技報, **49** No.3 (1999), pp. 68-70.
- 2) 霜島潤, 黒田篤彦, 石山成志: 住友金属, **49** No.4 (1997), pp. 25-31.
- 3) 高橋渉, 前田尚志, 永井博司, 福田隆: 住友金属, **41** No.2 (1994), pp. 55-62.
- 4) R. R. Boyer, H. J. Rack and V. Venkatesh: Mater. Sci. Eng. A, **A243** (1998), pp. 97-102.
- 5) 西村孝, 西垣実, 大谷四聰: 日本金属学会誌, **40** (1976), pp.219-226.

移動分散協調作業用汎用小型ロボットプラットフォームの開発

木村 哲也*

Development of a Small Robot Platform for Moving Distributed Cooperative Operations

KIMURA Tetsuya

抄 録

生産分野から非生産分野へと応用が拡大しつつあるロボットは、2025年には現在の10倍以上の8兆円市場が見込まれている。特に分散協調作業を行う移動ロボットは、様々な分野に応用可能であり、一層の研究開発が求められている。しかし、移動ロボットの研究開発をゼロからはじめる場合、その技術的、価格のハードルが高いため、良いアイデアがあってもそれを実用化することは困難である。本研究では、開発者のアイデアを容易に具体化できる、安価で手軽な移動ロボットのプラットフォームの開発を目的とする。本研究ではシステム全体を見直し、拡張性に優れた低価格なプラットフォームを開発する。

1. 緒言

生産分野から非生産分野へと応用が拡大しつつあるロボットは、2025年には現在の10倍以上の8兆円市場が見込まれている。特に分散協調作業を行う移動ロボットは、様々な分野に応用可能であり、一層の研究開発が求められている。移動分散協調作業ロボットの基礎的研究は着実にシーズを蓄積しており、その実用化がよいよ視野に入ってきた。特にサッカーを題材にした移動分散協調作業ロボットの研究は「ロボカップ」と呼ばれるコンテスト形式で世界規模で盛んに行われており、関連製品も発売されている。しかし、移動分散協調作業ロボットの開発では、ロボットの移動機構のみならず、各種技術が有機的に結合する必要がある。その技術的、価格のハードルが高いため、良いアイデアがあってもそれを実用化することは現状では困難である。

本研究では、汎用性の高い移動ロボットプラットフォームを安価に開発し、開発手法のガイドラインと共に社会に供給することを目的と

する。本プラットフォームを用いることで、大学等での基礎研究のシーズと市場のニーズの結合が促進され、移動分散協調作業ロボットの研究開発が加速されると期待される。

ここでは、ロボカップサッカー小型機リーグを題材としてロボットの開発を行う。これまで個別に製品化されていたものをシステム全体で見直し、合理的な設計を行うことで、安価なシステムとする。ユーザーの興味、技術力に応じた拡張モジュールを用意して、コンピュータのDOS/Vマシンのようにロボットを容易に拡張できるようにする。必要とする前提知識を極力減らし、幅広い層が本プラットフォームを用いた研究開発に取り組めるようにする。なお、本開発はエフテック（株）との共同開発である。

2. 開発目標

本研究は平成13年度に行われた長岡技術科学大学受託研究「ビジュアルフィードバックを用いたロボットの開発」(出資:新潟県)を先行基礎研究としており、そこで得られた知見を元に、開発を進める。ここでは、ユーザーに技術的負担をなるべくかけずに、移動分散協調作業ロボットの応用研究開発に手軽に取り組める、以下の特徴をもつロボットプラットフォーム(図1. 基本ロボット)の開発を目指す。

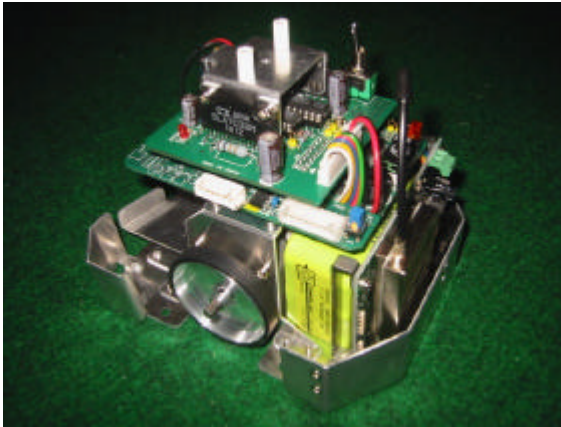


図1. 基本ロボット

- ・低価格化: 既存の製品の1/2~1/3の価格を目標とする。
- ・高い拡張性: モジュール化を推進し、ユーザーの目的に合わせて適切なモジュールを容易に交換できるようにする。各機能に対し、性能の異なる交換モジュールを用意し、ユーザーの要求に沿ったシステム構成とできるようにする。また、移動ロボットにはユーザー独自の拡張が容易に行えるようにする。
- ・ユーザーの技術的負担の低減: オールインワンのシステムとして提供するため、ユーザーのレベルにあわせて研究開発が進められるようにする。必要最小限の知識で開発に取り組めるシステムとし、Visual Basicを用いたWindowsプログラミングに近い感覚(GUI中心の開発環境。様々なテンプレート、ライブラリが用意されておりユーザーは必要最小

限のプログラムのみ行う)で開発できることを目指す。職業的コンピュータプログラミングの基礎を学習している若い年代(工業高校の学生を想定)が、適当な指導のもと自分のアイデアを実装できる程度の技術的負担とする。

3. 開発成果

拡張モジュールとして以下のものを開発した。

- (1)高速移動ドライバモジュール
- (2)汎用CPUモジュール: 教育機関などで広く用いられている市販のCPUボードを利用して、より手軽に開発できるようにしたCPUモジュール
- (3)高性能CPUモジュール
- (4)キックモジュール

また、下記の制御アルゴリズムの開発・改良を行った。

- (5)移動予測アルゴリズム
- (6)移動ロボットの車輪駆動アルゴリズム

これらを先行開発のロボット開発キットと組み合わせることで、ユーザーの負担が少なく、様々な分野に応用可能なロボットプラットフォームを構築することが可能になった(応用例: 移動掃除ロボット、移動探査レスキューロボット)。
詳細を以下に示す。

3. 1 高速移動ドライバモジュール

DCモータを用いて高度な移動を可能とするための2軸デジタルサーボドライバモジュール(図2)。デジタルPID制御を用いており、素早く高精度な応答を実現した。パルス列入力方式としており、基本キットのステッピングモータに近い感覚で制御を可能としている。

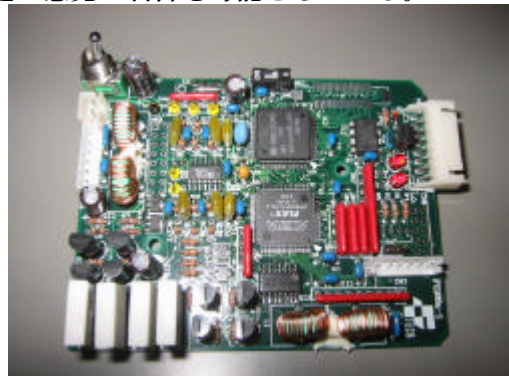


図2. 高速移動ドライバモジュール

特徴：

- ・エンコーダ付DCサーボモータをステッピングモータ感覚で制御可能
- ・16bitCPU+FPGAによるデジタルサーボ
- ・PIDパラメータは外部より変更可能
- ・ソフトウェアによるモータ電流制限機能付
- ・DCモータ2軸同時駆動可能
- ・マイクロマウスや2足歩行ロボットなどに最適な小型サイズ
- ・エンコーダパルス通倍設定可能

電気仕様：

- ・電源電圧範囲：DC6～12V
- ・出力電圧範囲：電源電圧と同一
- ・最大出力電流：1.5A
- ・最大出力電力：7.5W
- ・入力パルス周波数：1.2MHz(max)
- ・制御周期：1msec
- ・EEPROM：25LC040
- ・FPGA：EPF8282
- ・CPU：H8S/2345
- ・CLOCK：19.6608MHz
- ・COM.I/F：RS232C 38400bps
- ・MOTOR CN：B6B-EHA(日本圧着端子)

3. 2 汎用CPUモジュール

教育機関などで広く用いられている市販のCPUボードを利用して、より手軽に開発できるようにしたCPUモジュール(図3)。本モジュールを利用することで、教育機関で利用している開発環境を変更することなく、本開発キットでの移動ロボットの制御に取り組むことが可能になった。

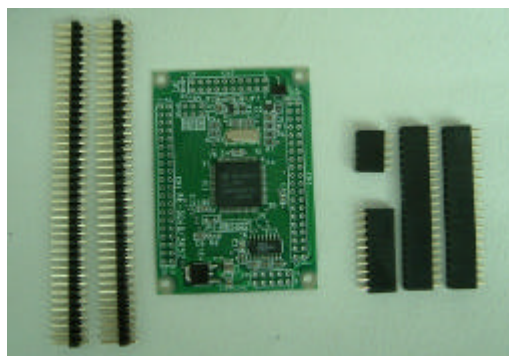


図3. 汎用CPUモジュールに利用する市販CPUキット

3. 3 高性能CPUモジュール

Linux 搭載や画像処理も可能とする高度な処理能力をもつCPUモジュール。諸元を表1にまとめる。

表1 高性能CPUモジュール緒元

CPU	SH7044F28 (日立製)
動作周波数	最大 24.576MHz (6.144MHz 水晶)
メモリ	ROM 内蔵フラッシュROM 256Kbyte
	RAM 外部高速SRAM 256Kbyte実装済み
	内蔵メモリ 4KバイトRAM
メモリバックアップ	リチウム電池によりバックアップ可能
シリアル I/F	非同期/同期 I/F 2チャンネル
パラレル I/F	入出力 74本 入力 8本 (兼用端子含む)
タイマ/カウンタ	16ビットタイマ/カウンタ 5チャンネル
割り込み	割り込みコントローラ内蔵 外部 9本 内部 43本
DMA	DMAコントローラ内蔵 4チャンネル
DRAM	DRAMコントローラ内蔵 外部にDRAMチップを直接接続可能
リセット	リセット SWを搭載
RS232C	専用コネクタ
電源電圧	5V±10%
基板サイズ	75×107 (mm)、4層基板

<SH7044F性能概要>

・内部 32ビット構成
・256Kbyteフラッシュメモリ内蔵 (F-ZTAT)
・大容量内蔵メモリ 4KバイトRAM
・アドレス空間 4Gバイト (アーキテクチャ上)
・乗算器内蔵
・パイプライン 5段パイプライン
・命令キャッシュ 1Kbyte
・高速DMAコントローラ 4チャンネル
・シリアルインターフェース 2チャンネル
・16ビットタイマ 5チャンネル
・マルチファンクションタイマパルスユニット
・割り込み 外部 9本 内部要因 43本
・パラレルインターフェース 入出力 74本 入力 8本 (兼用端子含む)
・最高動作周波数 28MHz (PLL使用時)
・低消費電力モード

3. 4 キックモジュール

キック動作を可能にするモジュール(図4.1、図4.2)。基本キットの拡張ポートに接続して利用するため、電子回路上の大幅な変更は必要とせず、手軽に利用することが可能になっている。

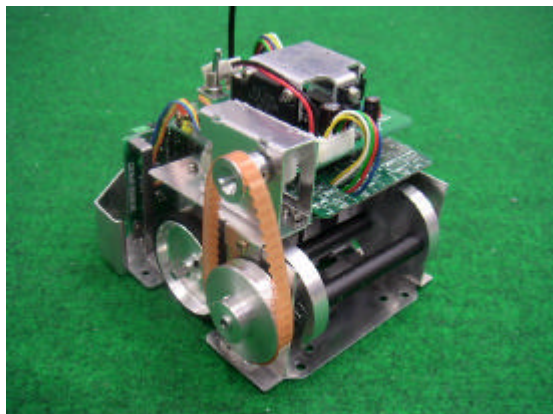


図4. 1 キックモジュール+基本キット

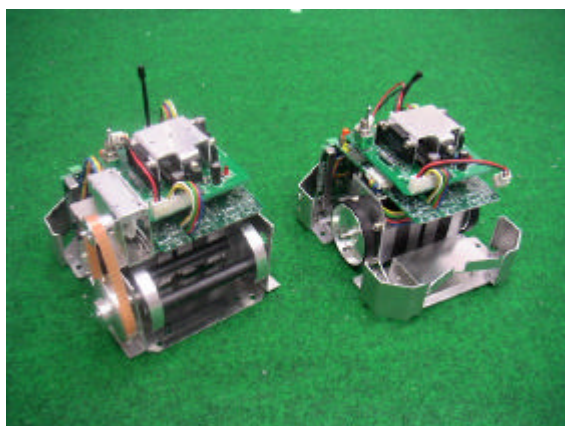


図4. 2 基本キット（右）との比較

3. 5 移動予測アルゴリズム

ある意図も持って移動する障害物の動特性を考慮した移動先予測アルゴリズムを開発した。

障害物を敵ゴールキーパーロボット(図5.1参照)とした場合の予測結果(線形予測との比較)を図5.2に示す。平均的に良好な予測ができている事がわかる。

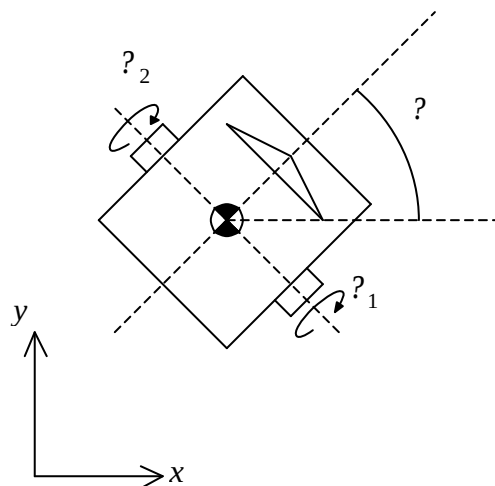


図5. 1 障害物ロボットのモデル

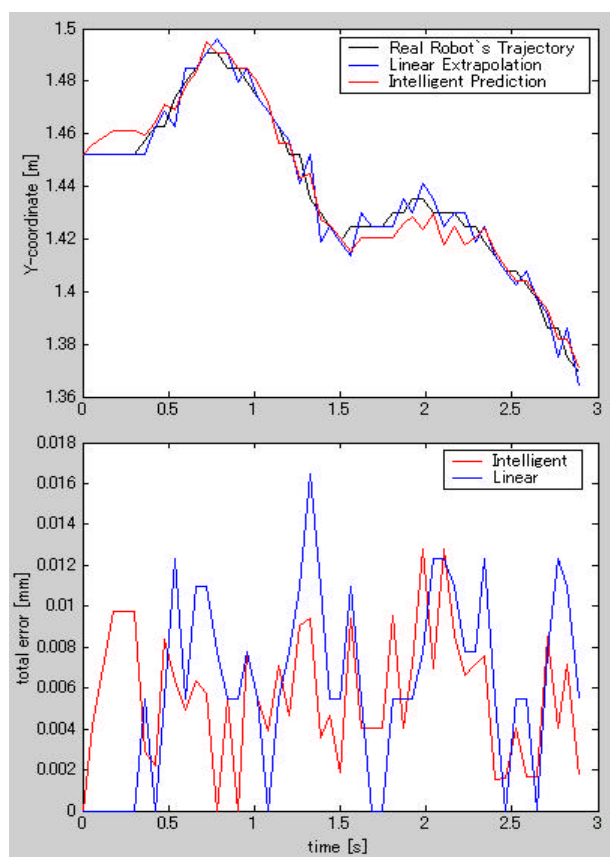


図5. 2 予測結果

3. 6 移動ロボットの

車輪駆動アルゴリズム

従来は、直線移動を基本としており、目標値が進行方向と異なる場合は直線移動と旋回移動を組み合わせて目標値に到達していた。このアルゴリズムは単純であるが、直線と旋回の状態遷移時に加減速が必要になるため時間的ロスが大きかった。

ここでは、目標値に応じて自動的に車輪駆動指令値を変化させ、滑らかに目標値に到達できるようにアルゴリズムを改良した。図6.1、図6.2にそのイメージを示す。

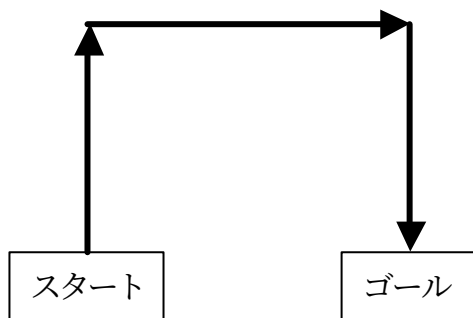


図6. 1 従来アルゴリズム

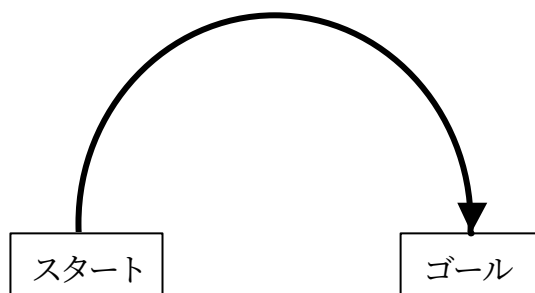


図6. 2 改良アルゴリズム

4. 結言

本研究では、高性能な移動分散協調作業用汎用小型ロボットを手軽に開発できるプラットフォームを開発した。本研究が新潟での次世代ロボット産業の礎の一角になることを願っている。なお、ここで得られた成果の一部は、2003年5月の朱鷺メッセで開かれる朱鷺メッセ開幕イベントで利用される予定である。

マグネシウム合金を中心としたエコマテリアルの接合技術の開発

武藤 睦治*、宮下 幸雄*、小林 直樹**、清水 正人***

A Study on Welding Technologies for Magnesium Alloy and Eco-materials

by

MUTOH Yoshiharu , MIYASHITA Yukio, KOBAYASHI Naoki and SHIMIZU Masahito

抄録

マグネシウム合金 AZ31B を供試材とし、MIG、TIG およびレーザーといった各種溶接法による接合実験を行った。MIG 溶接は、マグネシウム合金用に電源特性を調整した溶接機を用いて、まず、ビードオンプレートにより接合条件を求め、シールドガスの影響について検討した。ビードオンプレートの結果をもとに、突合せ接合体を作製した。TIG 溶接では、ワイヤ供給装置にサーボモータを組込み、精密な制御を可能とした。突合せ溶接により、母材程度の強度を示す接合体が作製できた。また、シールドガスの影響についても調べた。レーザー溶接では、突合せおよび重ね接合について検討した。突合せ接合では、ワイヤ供給装置を組込み、厚さ 1mm 以下の板材の突合せおよびすみ肉・肉盛り溶接を可能とした。溶接条件を検討し、母材程度の強度を示す突合せ接合体を作製することができた。重ね接合では、高レーザー出力条件においては、上下両板材を安定して溶融することが困難であり、低レーザー出力条件で接合体を作製することができた。Mg 合金／Al 合金異材レーザー重ね接合を仮定し、有限要素法解析により、各レーザー出力および溶接速度における界面温度分布を求め、溶接条件を検討した。解析に必要なパラメータの導出方法を確立し、解析に基づく、Mg／Al 異材接合の指針を得る手法を示した。

1. 緒言

実用金属中最も軽量であるマグネシウム合金は、我が国では現在、主に携帯用電子機器などを中心に実用化が進んでいる¹⁾。自動車などの輸送機器の構造用部材にマグネシウム合金を適用した場合には、車体軽量化にともなう燃費の向上が期待されるため、高効率動力源の開発のみでは達成できない、低燃費自動車の実現が期待される²⁾。米国や欧州では、すでに自動車部品のマグネ化が進んでおり、適用例も多い³⁾。また、マグネシウム合金の有する、優れたリサイクル性も注目されており、実際に、国内の需要も増加傾向にある⁴⁾。マグネシウム合金の需要拡大にともない、接合技術

の開発が重要となる。マグネシウム合金の接合に関して、数は多くないが、これまでに、MIG 溶接⁵⁾、TIG 溶接⁶⁾、レーザー溶接⁷⁾、電子ビーム溶接⁸⁾、摩擦圧接⁹⁾およびFSW（摩擦攪拌溶接）¹⁰⁾など各種溶接法に関する研究報告がある。ところが、実際の産業界に目を向けると、我が国ではマグネシウム合金の構造材としての実用実績が少ないために、マグネシウム溶接に関して十分なノウハウを蓄積している企業はほとんどなく、まして、地域的な取り組みは現在のところ行われていない。新潟県、とくに県央地域は、全国の中でも金属加工技術が優れており、マグネシウム合金に関しても県全体として取り組みつつある。したがって、溶接・接合技術の確立を、他地域に先行して行うことにより、この地域を日本におけるマグネシウム加工の中心地とすることができる。

本研究では、MIG、TIG およびレーザーといった、

* 長岡技術科学大学

** (有) 小林製作所

*** フジイコーポレーション (株)

各種溶接法によるマグネシウム合金溶接手法の基礎的な知見を得るため、以下に示す研究体制で研究を行った。

①MIG 溶接

主に、長岡技術科学大学の設備で実施した。

(株) ダイヘン溶接メカトロカンパニーの協力により、Mg 合金用に電源特性を調整した溶接機および適切な溶接ワイヤを準備し、溶接実験を行った。溶接速度、溶接電流を制御し、ビードオンプレートによる溶接条件の導出を行い、さらに、突合せ継手を作製した。

②TIG 溶接

主に、(有) 小林製作所の設備で実施した。協力企業に既存の TIG 溶接機を用いて行った。まず、ワイヤ供給装置にサーボモータを組み込み、精密なワイヤ供給制御を実現した。また、溶接速度や溶接電流などを変化させ、適切な溶接条件を求めた。さらに、シールドガスとして、Ar ガスおよび Ar/He 混合ガスを用い、その影響を調べた。接合体は、主に、突合せ溶接により作製し、その強度を評価した。

③レーザ溶接

突合せ溶接および重ね溶接について行った。突合せ溶接は、主に、フジイコーポレーション(株)の設備で実施した。とくに、薄板の溶接について、協力企業に既存のレーザ溶接機を用いて行った。レーザ溶接機には、Mg 合金の肉盛・すみ肉溶接を行えるようにフィラー供給装置を取付けた。レーザ出力や溶接速度を変化させ、適切な溶接条件を求めた。また、突合せ溶接により作製した接合体の強度試験を行った。重ね接合に関しては、新潟県工業技術総合研究所レーザ応用研究室に設置されている 4kWYAG レーザ装置を用いて、長岡技術科学大学を中心に行った。溶接条件を導出するとともに、得られた接合体について引張りせん断試験を行い、接合体強度を評価した。

他方、構造材料として使用される場合、異材との接合技術が重要となる。例えば、自動車車体に関しても、アルミニウム合金や鋼材との併用は避けられない。しかし、Mg 合金と異種金属の接合に

関しては、これまでにごくわずかな研究報告しかない^{11)~13)}。そこで、将来の Mg 合金需要拡大を見据えた、レーザによる Mg 合金/Al 合金異種金属接合を有限要素法解析により検討した。

2. 研究内容

2.1 MIG 溶接

溶接機は、(株) ダイヘン溶接メカトロカンパニーの協力により、Mg 合金用に電源特性を調整した MIG 溶接機を用いた。供試材には板厚 2.5mm の AZ31B 押出材を、溶接ワイヤには直径 1.2mm の AZ61 を用いた。JIS による、AZ31B および AZ61A の化学組成規格を表 1 に示す。治具に試験片を固定し、治具が取り付けである直動ステージを任意の速度で動かすことにより、実験を行った。本実験では、トーチ位置を試験片表面から 5mm の位置とし、前進角は付けなかった。なお、シールドガスには、流量 16l/min の Ar ガスを用いた。

ビードオンプレートにより得られた溶接条件を図 1 に示す。同図に示すように、溶接条件範囲が小さく、過度な入熱により、容易に溶落ちもしくは蒸発が生じた。これは、Mg の融点 (923K) と沸点 (1443K) が近似していることや、表面張力および粘性が他の金属材料と比較して著しく低いことが原因と考えられる。ビード断面観察より、ビード幅とビード深さの関係を求めた結果を図 2 に示す。同図より、溶接電流が 100A の場合、溶接速度が 30mm/s 以下において幅および深さのいずれも大きく変化している。

表 1 AZ31BおよびAZ61Aマグネシウム合金の化学組成規格(JIS)。

	Al	Zn	Fe	Mn	Si	Cu	Ni	Ca	others	Mg
AZ31B	25~35	0.50~1.5	—	>0.2	<0.03	<0.10	<0.005	<0.04	<0.30	Re.
AZ61A	55~72	0.50~1.5	—	0.15~0.40	<0.03	<0.10	<0.005	—	<0.30	Re.

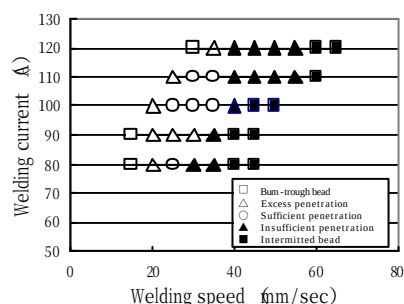


図 1 ビードオンプレートによる溶接条件。

ビードオンプレートの結果をもとに、突合せ溶接を行った。突合せ部を中心に、4mm 幅の裏当て板を用いて、同様に溶接実験を行った。得られた溶接条件を図3に示す。また、例として、溶接電流 90A、溶接速度 15mm/s の条件で得られた接合体のビード外観を図4に示す。得られた接合体を JIS Z3121 を参考にレーザにより引張り試験片形状に加工し、接合体強度を調べた。例として、溶接電流 90A において得られた突合せ接合体の引張り試験結果を図5に示す。なお、試験片表面および裏面のビード凸部は、研削加工してから試験に供した。いずれの接合体も、接合部で破断しており、破断面の観察から、溶接速度 15 mm/s および 20mm/s において接合された接合体は、裏側への溶融が不十分であり、未接合部が存在していた。他方、裏側まで溶接されていた、接速度 10mm/s で作製した接合体においても、接合体強度は母材強度の 55%程度であった。したがって、裏側への溶融を防ぎつつ、さらに、入熱量を増加させる必要があり、溶接条件は、さらに検討を要する。

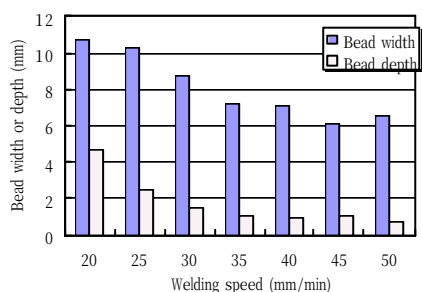


図2 MIG ビードオンプレートにおけるビード幅および深さ (溶接電流 100A)。

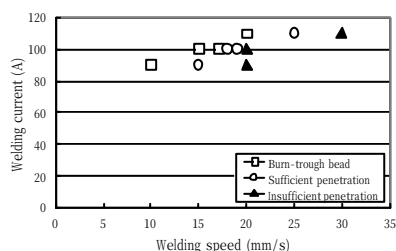


図3 MIG 突合せ継手溶接条件。



図4 MIG 突合せ継手ビード外観観察例 (溶接電流；90A、溶接速度；15mm/s)。

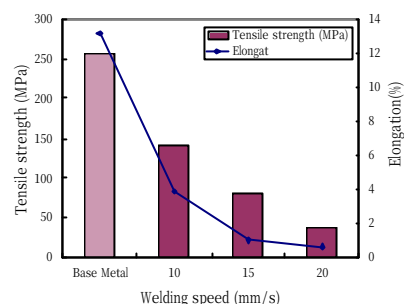


図5 MIG 突合せ継手引張り試験結果 (溶接電流；90A)。

3.2 TIG 溶接

実験に使用した溶接機は、Panasonic 製交流直流両用 300A インバータ TIG 溶接機である。精密なコントロールを可能にするため、サーボモータを組み込んだワイヤ供給装置を開発し、TIG 溶接機と組み合わせることで、実験を行った。溶接実験は、治具に固定した試験片は動かさずに、溶接トーチ取り付けした直動テーブルの送り速度を制御して行った。トーチ位置、溶接電流および溶接速度を変化させて実験を行った。供試材は板厚 3.5mm の AZ31B、溶接ワイヤには直径 1.2mm の AZ61 を用いた。突合せ部に沿った幅 2mm の溝を加工した銅板を当て板として用いた。本報告では、シールドガスに Ar/He 混合ガスを用い、Ar ガスでバックシールドを行った結果について示す。

溶接速度を 100mm/min で一定とし、溶接電流を変化させて突合せ継手を作製した。引張り試験の結果を図6示す。溶接電流 100A および 115A の場合には、ビードが裏まで達していなかったため、接合強度が低いと考えられる。他方、適切な接合体が得られた溶接電流 120A 以上で接合された接合体の試験結果を比較すると、強度および伸びのいずれも、溶接電流の増加、すなわち、入熱量の増加にともない増加する傾向を示した。なお、本実験で最高強度を示した、溶接電流 130A で溶接した接合体の強度は、母材強度のおよそ 93%程度であった。引張り試験後の破断面の観察より、溶接電流 125A および 130A で溶接された接合体は、母材熱影響部で破断していたが、溶接電流 120A 以下で溶接された接合体は、溶接部で破壊が生じていた。接合部断面をエッチング処理し、組織観察を行い、溶融部と熱影響部の幅を測定した結果を溶

接電流についてまとめて図 7 示す。また、例として、溶接速度；100mm/min、溶接電流；130A で得られた突合せ継手の断面観察例を図 8 に示す。同図より、溶接電流の増加にともない、ビード幅は増加するが、溶接電流が 120A より大きい場合には、逆に、溶接電流の増加にともない、ビード幅は減少している。以上の結果より、試験片裏側までビードが出ている条件では、溶融部と熱影響部幅が小さいほど、高い強度を示す接合体が得られると考えられる。

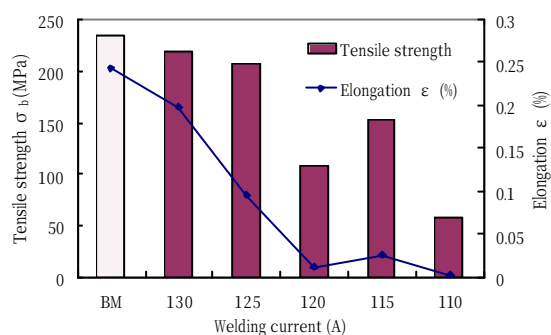


図 6 引張り試験結果
(溶接速度；100mm/min)。

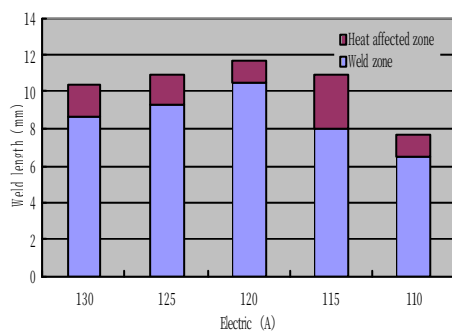


図 7 TIG 突合せ継手溶融部および熱影響部幅
(溶接速度；100mm/min)。

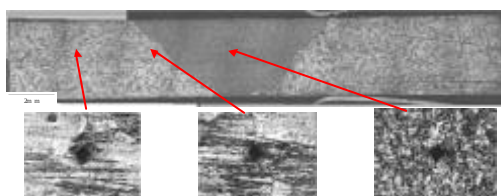


図 8 TIG 突合せ継手断面観察例
(溶接速度；100mm/min, 溶接電流；130A)。

3.3 レーザ溶接

3.3.1 突合せ溶接

突合せ溶接では、厚さ 1mm 以下の薄板について検討した。実験には住友重機機械工業（株）の Nb-YAG レーザ装置を用いた。溶接機には、ファイラワイヤ供給装置を取付け、すみ肉溶接も可能とした。厚さ 0.5mm の AZ31 をすみ肉溶接した例を図 9 に示す。また、板厚 0.6mm の AZ31 について作製した突合せ継手について引張り試験を行った結果を図 10 に示す。同図より、ばらつきはあるが、AZ31 母材強度程度の接合体は、薄板についても作製できた。

3.3.2 重ね溶接

重ね溶接実験には、最高出力 4kW の YAG レーザを用いた。レーザ加工ヘッドは固定し、治具を取り付けた XY テーブルを移動させることで溶接速度を変化させ、接合実験を行った。板厚 1mm の AZ31B を供試材とし、重ね幅 30mm で固定して実験を行った。シールドガスには、流量 40l/min の Ar ガスを用いた。また、蒸発金属の飛散による保護レンズの損傷を避けるために、前進角を 20°として実験を行った。本報告では、焦点位置を試験片表面とした場合の結果についてのみ示す。

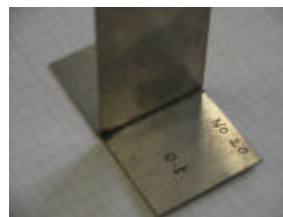


図 9 レーザすみ肉溶接接合体。

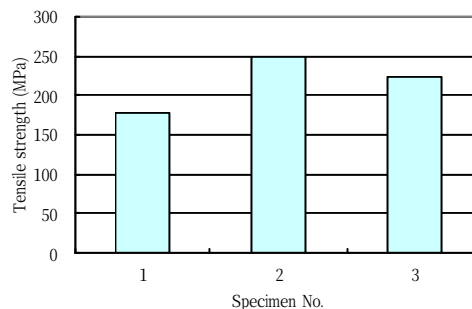


図 10 レーザ突合せ接合体引張り試験結果。

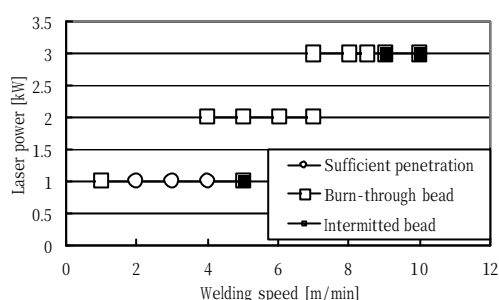


図 11 レーザ重ね溶接条件.

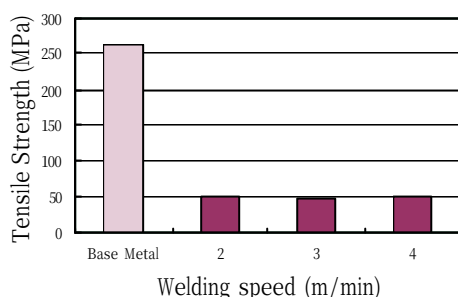


図 12 レーザ重ね接合体引張りせん断試験結果.

溶接実験により得られた接合条件を図 11 に示す。同図より、レーザー出力 1kW の場合のみ、接合体が得られたが、2kW および 3kW では接合体を作製することができなかった。レーザー出力が 2kW および 3kW の場合には、下部の試験片を溶融させる程度の溶接条件では、上部試験片の溶融状態が不安定となり、上部試験片ビード部に局所的に空孔が生じた。本実験で得られた 3 本の試験片を試験片形状に加工し、引張りせん断試験を行った。なお、ビード部は未加工状態で試験に供した。引張りせん断試験の結果を図 12 に示す。接合体は、いずれも、接合部で破断していた。図 12 より、今回得られた接合体の強度は、母材強度の 20%程度であり、さらに、溶接条件を検討する必要がある。

3.4 Mg 合金／Al 合金異種金属接合のための有限要素法解析

Mg 合金と Al 合金のレーザーによる異種金属重ね接合を仮定し、有限要素法により界面の温度分布を求め、接合条件について検討した。本解析には汎用有限要素法解析ソフト ABAQUS を用いた。溶接条件は、Mg 合金および Al 合金のいずれも板厚 1mm とし、重ね幅 30mm で Al 合金側よりレーザーを照射

した。レーザー出力を 1.5kW～2.5kW、溶接速度を 0.3m/min～0.5m/min の間で変化させて解析を行った。解析には、レーザーの入熱効率および熱伝達係数が必要となる。そこで、予備実験を行い、繰返し解析によりこれらの値を求めた。解析を行った例を図 13 に示す。同図は、レーザー出力 1.5kW、溶接速度 0.4m/min である。このような解析から、界面の温度分布を求めた例を、溶接速度で整理して図 14 に示す。同図より、レーザー出力 1.5kW の場合には、溶接速度 0.4mm/min 以上では入熱量が不足し、界面の温度が Al および Mg の融点に達していないことがわかる。したがって、ちょうど、Al および Mg 両材料の融点近傍の温度を示す、溶接速度 0.4 もしくは 0.3m/min 付近が、最適な接合条件と考えられる。しかし、Mg／Al の組合せは金属間化合物を生成するため、過度な溶融は接合体強度を低下させると考えられる。したがって今後は、実験により各溶接条件における実際の界面状態を把握し、そのような温度分布を実現するための溶接条件を本研究で示した解析手法を用いることによりさらに検討する必要がある。

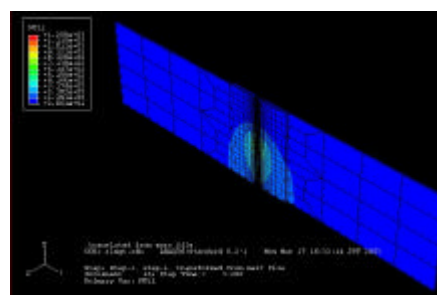


図 13 レーザ異材接合界面温度分布 FEM 解析結果 (レーザー出力；1.5kW，溶接速度；0.4 m/min)。

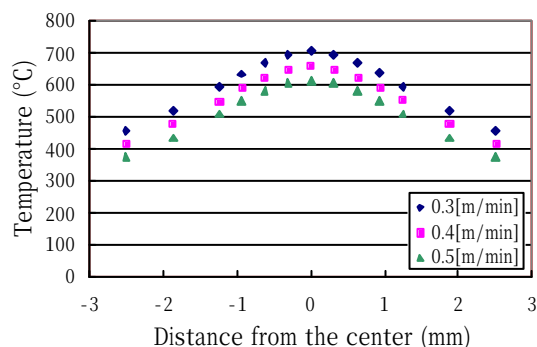


図 14 接合体中心位置における界面温度分布 (レーザー出力；1.5kW)。

4. 結言

Mg 合金 AZ31B を用いて、各種溶接法により溶接実験を行った。得られた結果を以下に要約する。

- (1) MIG 溶接は、まず、溶接機およびワイヤーの問題を調査し、Mg 合金用に電源特性を調整した溶接機により接合実験を行った。ビードオンプレートにより、接合条件を検討し、さらに突合せ継手を作製し、引張り試験を行った。Mg 合金は、溶落ちが著しく、溶接条件範囲が小さい。本実験で得られた突合せ継ぎ手は、継手効率が 55% 程度であり、さらに溶接条件の検討が必要である。
- (2) TIG 溶接は、まず、ワイヤ供給装置にサーボモータを組み込み、精密な制御が行えるように工夫した。シールドガスの影響を調べた結果、MIG 溶接と同様に、He を用いた場合には、Ar を用いた場合よりも溶接条件が低入熱側となることがわかった。これは、シールドガスの熱伝導特性に起因すると考えられる。突合せ接合体について引張り試験を行った結果、同じ溶接速度で比較すると、高入熱条件で作製した接合体の方が、高強度を示した。なお、本実験では、継手効率 93% を示す、十分な強度を有する接合体を作製することができた。
- (3) レーザ溶接では、突合せおよび重ね接合について検討した。突合せ接合では、ワイヤ供給装置を工夫し、薄板の突合せ、すみ肉・肉盛り溶接を可能とした。作製した突合せ接合体について引張り試験を行った結果、母材程度の強度を示し、良好な接合体が作製することができた。重ね接合に関しては、高レーザ出力条件において、上下両板が溶融せず、上部板のみの溶融・蒸発が生じやすく、接合条件範囲がきわめて小さかった。得られた接合体について行った引張りせん断試験の結果、接合体の見かけの強度は、母材の引張り強度の 20% 程度であった。今後は、さらに溶接条件の検討を行うとともに、試験片の密着性を向上させる

治具の工夫が必要と考えられる。

- (4) Mg 合金/Al 合金の異材重ね接合を仮定し、有限要素法解析により接合条件を検討した。解析に必要なパラメータは、予備実験および繰返し解析より求めた。レーザ出力 1.5kW~2.5kW の範囲において、界面の温度分布から、接合条件を検討した。本解析手法と、実際の接合実験を組み合わせることにより、異材接合手法の指針を得ることができる。

参考文献

- 1) "マグネシウム技術便覧", 日本マグネシウム協会編、カロス出版、(2000).
- 2) S. Schumann and H. Friedrich, Materials Science Forum, 419-422, pp.51-56(2003).
- 3) 例えば; Frank Lehnert, Stefan Kalke, Jürgen Scheer, Ludwig Seethaler and Frank T. H. Dürnenburg, Proceedings of 59th Annual World Magnesium Conference, Motreal, Canada, May 19-21, 2002, pp.72-83(2002).
- 4) "2002 年マグネシウム需要見通し", 小原久, 日本マグネシウム協会提供資料.
- 5) 例えば; 上山智之、全紅軍、中田一博、溶接学会全国大会講演概要集第 71 集, pp.254-255(2002).
- 6) 例えば; 朝比奈敏勝、時末光、軽金属、45-2, pp.70-75(1995).
- 7) 例えば; 平賀仁、井上尚志、鎌土重晴、小島陽、溶接学会論文集、19-4, pp.591-599(2001).
- 8) 朝比奈敏勝、大久保通則、時末光、軽金属、44-4, pp.210-215(1994).
- 9) 例えば; 朝比奈敏勝、加藤数良、時末光、軽金属、41-10, pp.674-680, (1991).
- 10) 佐藤裕、粉川博之、朴勝煥、軽金属学会第 103 回秋期大会技術懇談会(2)資料、pp.21-26(2002).
- 11) 加藤数良、朝比奈勝俊、時末光、軽金属、45-5, pp.255-260.
- 12) 森田美知太郎、片山聖二、松縄朗、溶接学会全国大会講演概要集第 69 集、pp.90-91, (2001).

- 13) 平野聡、岡本和孝、土井昌之、岡村久宣、稲垣正寿、青野泰久、溶接構造シンポジウム 2002 講演概要集、pp.428-434(2002).