

ISSN 0386-863X

工業技術研究報告書

Report of the Industrial Research Institute of NIIGATA Prefecture No.33 2004

No. 33 2004



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. 高速デジタル動画像伝送システムの開発（第3報）・・・・・・・・・・
2. 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（第2報）・・・・・・・・・・
3. 逐次張出し成形機と成形法に関する研究・・・・・・・・・・

II 共同研究

1. 有機金属の積層コンデンサーへの応用研究（第2報）・・・・・・・・・・
2. 医療用 CO2 レーザの中空ファイバ導光システムと周辺装置の開発・・・・・・・・
3. 三次元レーザ加工機の実用化・・・・・・・・・・

III 実用研究

1. 階調制御技術および限定色絵柄表現技術の研究・・・・・・・・・・
2. マグネシウムとアルミニウムの異種材拡散接合・・・・・・・・・・
3. プレス成形品のスプリングバックに関する研究・・・・・・・・・・
4. マグネシウム合金の鍛造成形技術の研究・・・・・・・・・・
5. 家具・建具用材の性能評価試験・・・・・・・・・・
6. 県産スギ材製品の耐候性に関する研究（第2報）・・・・・・・・・・
7. 研削加工の効率化に関する研究・・・・・・・・・・
8. N-コンボ実用化試験（第2報）・・・・・・・・・・
9. 自動小口染色システムの実用化試験・・・・・・・・・・
10. IT活用織物企画設計支援システムの開発（第4報）・・・・・・・・・・
11. 撚糸及び加工による新複合繊維素材の開発・・・・・・・・・・
12. アーク溶接の簡易自動化法の研究・・・・・・・・・・

VI 先導的戦略研究調査事業

1. MEMSプロセス技術の調査研究・・・・・・・・・・
2. フロンティア分野におけるミッション遂行型ロボットに関する調査研究・・
3. 燃料電池の技術動向調査と要素技術研究・・・・・・・・・・

戦 略 技 術 開 発 研 究

高速デジタル動画像伝送システムの開発（第3報） （OFDM 無線通信技術を利用した応用製品開発）

真柄 賢太郎* 天城 和哉* 小林 豊*

Development of Digital Communications Equipment for Moving Picture with High Frequency Radios.

(Applied Product Development using OFDM Wireless Communication Technology)

MAGARA Kentaro*, AMAKI Kazuya* and KOBAYASHI Yutaka*

抄 録

本研究ではこれまでに GHz 帯の高周波信号と OFDM という変調方式を用いたデジタル動画像無線伝送について研究を行ってきた。最終年となる本年度は以下の応用製品開発をおこなった。

- （１） OFDM を利用した FDML サーバー
- （２） 赤外線リモコン遠隔制御システム

1. 緒 言

OFDM（直交周波数分割多重）は周波数利用効率が高く、遅延波干渉に強い方式¹⁾であるため高速な動画像伝送が必要な無線 LAN や地上波デジタル放送で用いられている。本研究では県内情報通信産業の技術高度化と製品の高付加価値化を目的として OFDM 技術を中心とした無線通信の研究を行ってきた。本年度は工作機械産業の多い我が県の状況に合わせて、FA 機器への応用製品開発として、工作機器のフィールドデータを収集、一括管理するシステムと、赤外線リモコンを使った双方向遠隔制御システムの開発を行ったので報告する。

2. OFDM を利用した FDML サーバーの開発

2.1 概 要

このシステムは FA 現場で発生する様々なフィールドデータをフィールドデータ収集ユニット（FDAU）で収集し、インターネット経由でファクトリデータセンタ（FDC）に蓄積し一括管理するもので、点在する工場や異なる機種

のデータを送受信に FDML（Field Data Markup Language、フィールドデータ記述言語）を統一フォーマットとして使うことにより機器メーカーの違いやネットワーク端子の有無に関わらずデータの収集が行えるようになる。本研究ではこのシステムの中のフィールドデータ収集ユニットの開発を行った。図1にシステムの概要を示す。

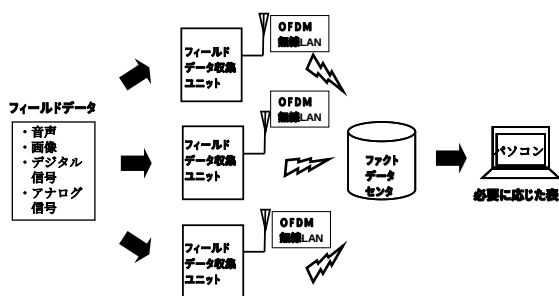


図1 システムの概要

*研究開発センター

2.2 フィールドデータ

フィールドとは現場あるいは作業を行う場所であり、フィールド機器とはフィールドにある機器の中で人間が直接制御せずに自律的に動作し、人間の代わりに作業を代行してくれる機器のことをさす。またフィールドデータとはフィールド機器の内部状態や収集した情報のことで特徴としては定周期、不定周期で生成され、ときに大量に生成され、データ間の時間的な関係が重要視される。またデータの種類もアナログ値、デジタル値、テキスト、画像など様々なものがある。フィールド機器をネットワークに接続することによって遠隔地からのアクセス、制御が可能になる、また他のフィールド機器と連携した作業の遂行が可能になる等の利点が生じる。

2.3 XMLとFDML

XML (Extensible Markup Language) はインターネットでデータを受け渡すために使われるデータ記述言語²⁾で、データの属性を表す任意のタグでデータを挟みこむ構造をしている。そのために人間がデータを理解し易やすく印刷出版、電子商取引やマルチメディアコンテンツの配信など多くの分野でネットワーク上のデータ交換の標準フォーマットとして使われている。FDMLは機器ごとに異なるデータ形式を一元化するために、XMLをベースにNTTが規格を制定した言語であり、データを時系列で扱うため機器の状態把握や故障分析を容易にできるのが特徴である。図2にXMLの記述例を示す。

2.4 FDMLサーバーの仕様

ハードウェアは省スペースと作業者の操作の簡便さを考慮してCPU組み込みボードを使用した。またOSは組み込み用途を考慮してLinuxを使った。開発はまずデスクトップパソコンを使って動作確認³⁾を行った後、CPU組み込みボードで開発を行い、その後実際の工作機械のデータの収集実験を行った。

2.5 動作確認実験

デスクトップパソコンで行った動作確認実験の結果を示す。FDAU、FDC、データ監

視端末をLANで接続し、擬似ネットワークを構築した⁴⁾(図3)。FDAUにはアナログIO、デジタルIO、WEBカメラを接続した。各サーバー⁵⁾、端末間は無線LAN(OFDM方式)で接続されている。また、この時点ではFDMLの仕様が明らかになっていなかったためデータはXML形式とした。動作を簡単に説明する。FDAUで収集された各種データはXML形式でFDCに受け渡される。監視端末はFDCにアクセスすることでデータを一括して監視できる。図4は電圧、電流、スイッチのON、OFF、温度、湿度、カメラ画像を収集したときのデータ表示画面の例を示しており、良好に表示されることを確認した。

日付データ:
2003年12月17日

```
XML
<Date>
  <Year>2003</Year>
  <Month>12</Month>
  <Day>17</Day>
</Date>
```

図2 XMLの記述例



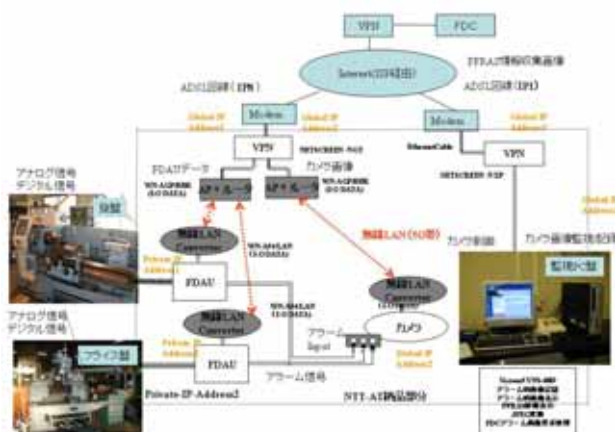
図3 動作確認実験の擬似ネットワーク



図4 データ表示画面例

3.1 実証実験のシステム構成について

FDML 端末実証実験システム接続図



工業技術総合研究所にある旋盤とフライス盤に、FDAUの8chアナログポートとの接続し、アクセスポイントはOFDM無線で接続している。フライス盤との接続関係を表1に表す。旋盤との接続関係を表2に表す。

なお、監視PCとFDAU、カメラとはそれぞれFDCと接続するため固定IPアドレスを用いている。

番号	チャンネル	名称	内容
1	AN1	MAIN	主軸電流
2	AN2	X	x 軸電流
3	AN3	Y	y 軸電流
4	AN4	Z	z 軸電流
5	IO1	RUN	運転中
6	IO2	ALARM	アラーム
7	IO3	STOP	停止中
8	IO4	END	加工完了

番号	チャンネル	名称	内容
1	AN1	MAIN	主軸電流
2	AN2	X	x 軸電流
3	AN3	Z	z 軸電流
4	AN4	なし	なし
5	IO1	END	加工完了
6	IO2	START	起動中
7	IO3	ALARM	アラーム
8	IO4	STOP	停止中

3.2.1 監視PCの機能

[illegible]

図 6 監視画面

また、監視データは、CSV形式でデータをパソコンに取り込むことが可能で、稼働率の計算したり、生産工程を見直しに利用できる。

3.2.2 監視カメラの仕様

監視カメラは VICTOR VN-C30 を利用した。画面サイズは、340×240 で、30 フレーム/秒動画像伝送可能である。また監視 PC からパン、チルド、ズーム画可能である。アラーム発生時には静止画に切り替えて画像を記録するため故障発生時には有効な情報になる。

4. 赤外線リモコン遠隔制御システムについて

4.1 WEBカメラサーバのシステム構成

工場内で妨害電波があるような場所では無線 LAN が使用できない。このような状況下を想定して赤外線リモコンによる遠隔監視を試作した。赤外線は直進性が強いので障害物があるようなところでは使用できないが、既存の設備を流用し、安価で設計できるというメリットがある。図7にWEBカメラサーバ、センサーとコントローラの構成を示す。

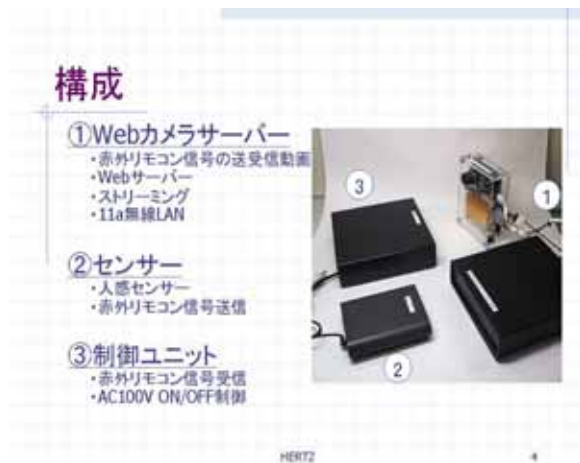


図7 システム構成

4.2 監視PCについて

監視用PCでの監視画面を図8に示す。人が近づくとWARNINGが表示され、ブラウザ画面からAC100VをON/OFF制御可能である。

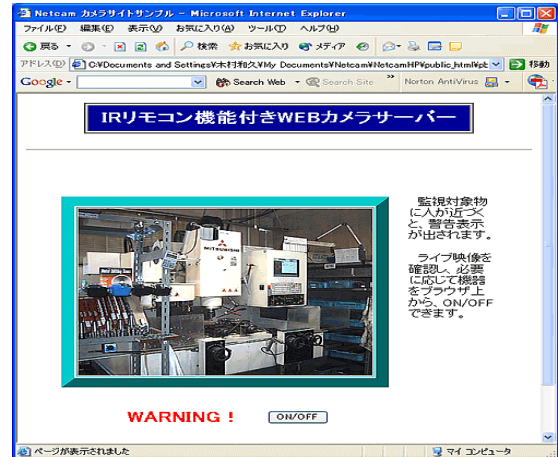


図8 監視画面

5. 結言

- (1) OFDMを用いたFDMLサーバ回路を設計し、動作確認した。
- (2) 外部サーバを用いてFDML実証実験を行った。データが途切れることなく伝送でき、OFDMの有効性が確認できた。
- (3) 赤外線遠隔制御システムを設計し、赤外線を活用したシステムの有効性も確認できた。
- (4) 今後はデータベースの改良、データの蓄積を行い、用途の開発と故障解析に利用したい。

参考文献

- 1) 伊丹 誠 “デジタル放送／移動通信のためのOFDM変調技術” 2000年 p37
- 2) 中山幹敏 “標準XML完全解説” 2001年 p60
- 3) 日経BP社 “日経LINUX” 2003年9月号 p76
- 4) 小高知弘訳 “TCP/IP ソケットプログラミング” 2003年 p33
- 5) アイティブースト “初めての Red Hat linux9” 2003年

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(第2報)

早川 剛* 山崎 栄一* 田辺 寛* 折笠 仁志* 小林 泰則*

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

HAYAKAWA Tsuyoshi, YAMAZAKI Eiichi, TANABE Hiroshi, ORIKASA Hitoshi, and KOBAYASHI Yasunori

抄 録

マグネシウム合金の鍛造技術・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)油系潤滑剤を用いた絞り成形性の向上、(2)各種高強度マグネシウム合金の鍛造性評価、(3)陽極酸化処理を活かす高品位な表面処理技術の開発、などを行った。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。とくに、(1)ではPTFE（テフロン）粉末を利用した成形性向上の可能性を明らかにし、(3)では装飾性の高い表面処理技術を開発したので報告する。

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、電磁波遮蔽性などに優れた特性を持ち、PCや携帯電話などの情報機器、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。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主流だが、当研究所では平成11年から行った戦略技術開発研究により県内の金属加工業が得意とする鍛造・プレス加工によるマグネシウム合金の成形をいち早く可能にした¹⁾。

一方、一連の研究開発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うとともに、平成14年度に開始した県央地域地場産業振興アクションプランの推進を支援し、数種の製品試作を行ってきた²⁾。また、この製品開発を通じて、新たな課題も明らかになった。

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、より完成された製品化技術を確立するため、(1)油系潤滑剤を用いた絞り成形性の向上、(2)各種高強度マグネシウム合金の鍛造性評価、(3)陽極酸化処理を活かす高品位な表面処理技術の開発、などの研究を行ったので報告する。

2. 油系潤滑剤を用いたマグネシウム合金の絞り成形性の向上

2.1 概 要

マグネシウム合金の温間プレス成形時に使用する潤滑剤は、PTFEシート（テフロンシート）、プレコート潤滑剤、油系潤滑剤などである。PTFEシートは最高の潤滑性能を示すが、高価で作業性に劣り、量産向きではない（表2.1）。これらのことから油系潤滑剤への期待が大きいものの、いまだ開発途中である。昨年度の研究では、金型表面コーティングと油系潤滑剤の併用により、PTFEシートと同程度のプレス成形が可能であることを示した。しかしながら、油煙や臭いなど作業環境面で問題があるため、成形性

*研究開発センター

は劣るものの油煙、臭いとも少ない油系潤滑剤を使用する必要がある。

そこで、PTFE粉末を添加した油系潤滑剤により、プレス成形性を改善する試みを行ったので報告する。

表2.1 各種潤滑剤の特性

	潤滑性	コスト	扱い 易さ	多工程へ の適性	洗浄性
PTFEシート	◎	×	×	×	◎
フレコトタイプ	○	△	△	△	×
油系潤滑剤	△	○	◎	◎	○

2.2 試験方法

比較的油煙や臭いの少ない油系潤滑剤（CF-853;日本工作油 製）をベース油として、PTFE粉末の粒径や濃度を変えて添加した潤滑剤を用いた温間絞り試験（φ40円筒深絞り）を行った。各成形温度（200℃～250℃）における限界絞り比と成形時の加工力を求めて、成形性に及ぼすPTFE粉末を添加した潤滑剤の効果を調べた。供試材にはマグネシウム合金板材（AZ31B-0材、t 0.8mm）を用いた。試験条件等を表2.2に示す。

表2.2 使用した潤滑剤と試験条件

PTFE粉末サイズ	2, 4, 10 μm
粉末添加濃度	0～10%
油系潤滑剤	CF-853（日本工作油製）
PTFEシート	t0.05mm
成形温度	200～250℃ (加熱温度30℃(一定))
成形速度	2～3 mm/sec



図2.1 PTFE粉末を添加した油系潤滑剤

また、図2.1に PTFE 粉末を添加した油系潤滑剤を示す。ベース油となる油系潤滑剤に PTFE 粉末を混ぜることにより白濁した。図2.2に使用した PTFE 粉末のSEM写真を示す。

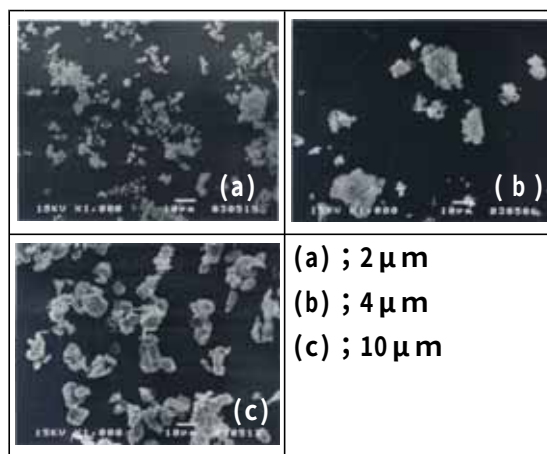


図2.2 使用したPTFE粉末のSEM写真

2.3 試験結果

図2.3に、PTFE粉末(粒径2 μm)を10%添加した潤滑剤を用いた温間絞り成形試験の結果を示す。比較としてベース油（CF-853）とPTFEシートを用いた場合も併せて示す。無添加の場合に比べ、PTFE粉末を添加したものでは温度上昇とともに成形性（限界絞り比）は急激に向上する。とくに、250℃ではPTFEシートと同程度となり、PTFE粉末添加により成形性が向上する結果を得た。

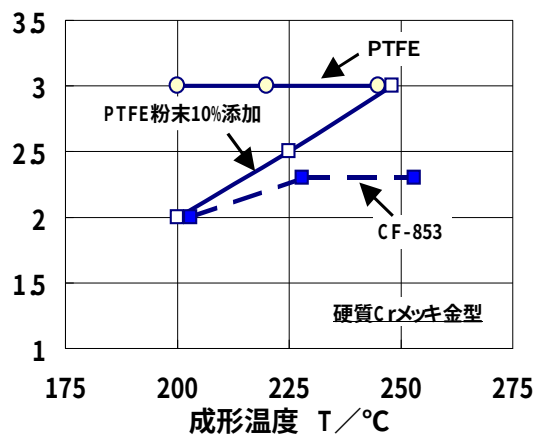


図2.3 PTFE粉末添加油系潤滑剤の効果

2.3.1 PTFE粉末添加濃度の影響

PTFE粉末添加濃度を变化させた成形試験の結果を図2.4に示す。添加濃度の増加とともに成形性は改善され、2～3%以上でPTFEシートと同等になり、飽和状態となる。図2.5に、絞り比

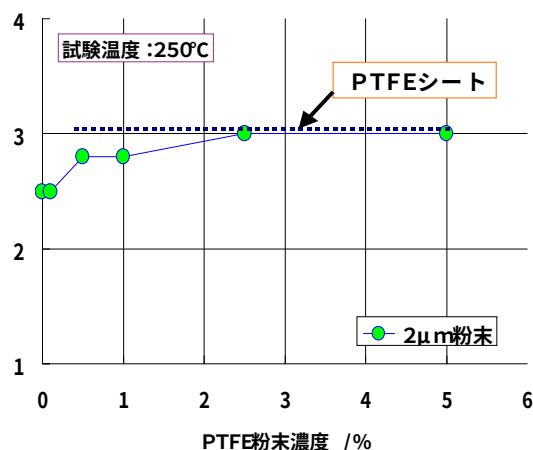


図2.4 PTFE粉末添加濃度の影響

を一定 (DR3.0) とし、濃度を变化させた場合の成形品を示す。表面状態をみると、PTFEシートを用いた場合 (下段右) に比べ、濃度2.5%の場合は良好な状態だが、10%にもなると表面にスジ状の模様が発生し、表面性状が悪化する。

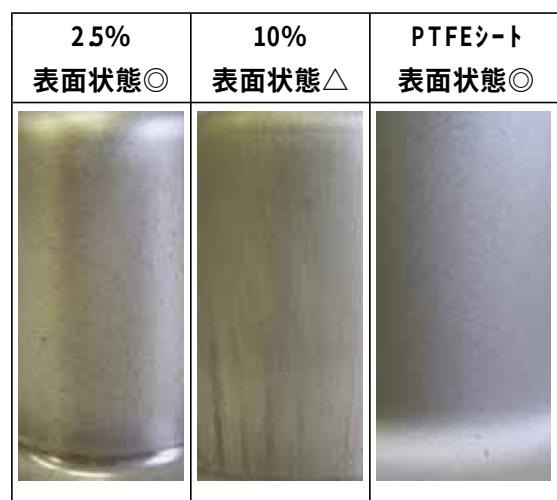


図2.5 添加濃度の表面性状への影響

以上のことより、PTFE粉末の濃度を高くすることで成形性は向上するが、ある量を超えると表面状態が悪くなることがわかった。また、PT

FE粉末の濃度は2～5%程度が適当と考える。

図2.6に成形中の荷重変化を示す。PTFE粉末の濃度増加に伴い、成形に要する荷重が減少する。このことが成形性向上のひとつの要因と考える。

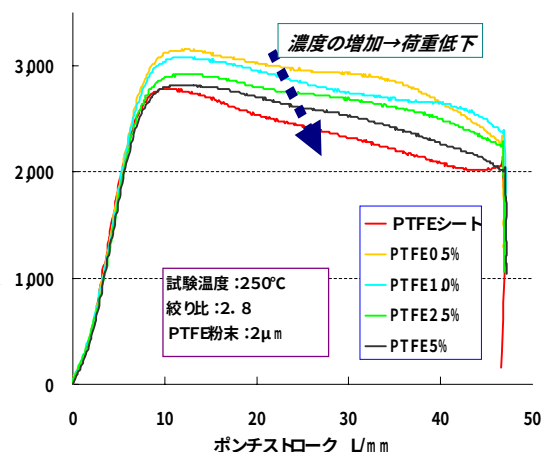


図2.6 添加濃度による成形荷重の変化

2.3.2 PTFE粉末サイズの影響

図2.7にPTFE粉末サイズを变化させた場合の成形荷重変化を示す。4μmと10μmでは大きな差異はみられないが、2μmの場合成形荷重の減少が認められた。図2.8にPTFE粉末サイズを変

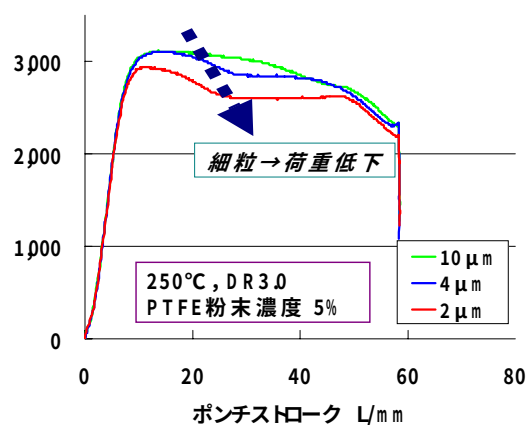


図2.7 PTFE粉末サイズによる成形荷重の変化

えた場合の成形品を示す。2μmの場合にはみられなかったスジ状の跡が、4μm、10μmのように粒径が大きくなると表面に跡が残り、表面状

態が悪化した。以上のように、成形性、表面状態とも、粒径が小さいほど良好な状態となる。

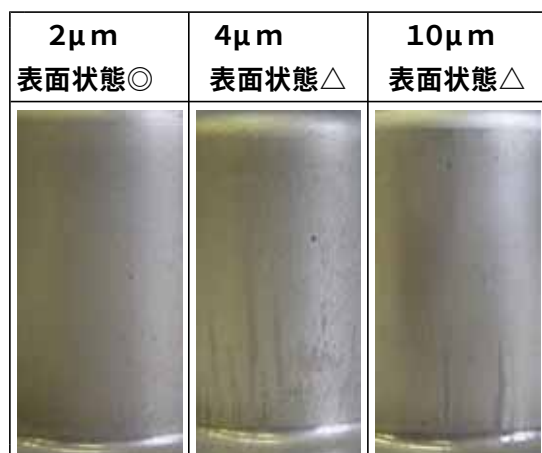


図2.8 PTFE粉末サイズによる
表面性状への影響

3. 各種高強度マグネシウム合金の鍛造性評価

3.1 概要

マグネシウム合金の鍛造では、対象が構造部材であることが多いため、高強度材料が必要とされる。これまで行ってきた鍛造に関する研究開発では、展伸性に優れたAZ31B材を主に手掛けてきているため、県央アクションプランにおいても、鍛造による製品試作を行っている企業のほとんどがAZ31B材を使用している。しかし、今後は高強度材料による鍛造製品が増加すると考えられることから、高強度マグネシウム合金の鍛造における基礎的データを得るために実験を行った。

3.2 試験方法

マグネシウム合金の場合、冷間では加工が不可能なため、温間での鍛造となる。そこで、鍛造時の最適加工条件を把握するために、試験片を電気炉中で100℃～400℃の間に加熱して端面拘束圧縮試験を行った。端面拘束圧縮試験とは、同心円上に溝が加工された耐圧板で円柱状の試験片を据え込み鍛造することにより、試験片と耐圧板との間の摩擦を考慮に入れずに材料の変形能を評価できる試験方法である²⁾。今回の試

験では、耐圧板は加熱せず、室温で実験を行った。実験に使用した金型を図3.1に示す。試験には、(株)コマツ製110tonのクランクプレス（平均速度250mm/sec）を使用した。試験片の形状は $\phi 14 \times H21$ mmで、供試材として、AZ31B(3%Al-1%Zn-Mg)、ZK60A(6%Zn-0.5%Zn-Mg)、AZ80A(8%Al-0.5%Zn-Mg)、AZ61A(6%Al-1%Zn-Mg)の4種類で評価を行った。



図3.1 端面拘束圧縮試験の金型（下側）

3.3 試験結果

端面拘束圧縮試験の結果を図3.2に示す。実験に供した4種類の材料は、加熱温度が250℃以下の場合、限界圧縮率がどれも40%を割っているが、300℃以上からは圧縮率が上昇する傾向にある。各マグネシウム合金の中でもAZ31Bが

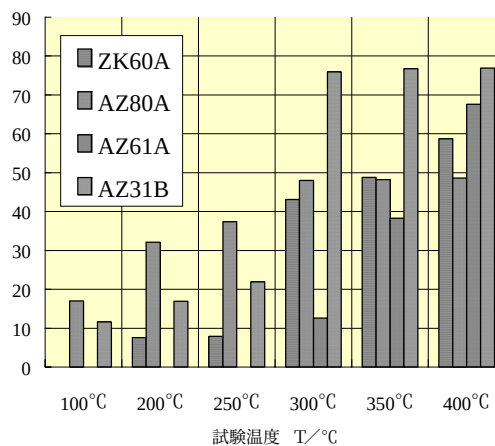


図3.2 端面拘束圧縮試験

最も圧縮性に優れており、300℃～400℃の温度領域で圧縮率が70%強となる。AZ80Aについては、他の材料と比較すると250℃以下の低温加工性に優れるものの、300℃以上では圧縮率40%強とあまり高い圧縮率は得られない。また、AZ61Aについて見た場合、300℃以下ではほとんど有効な圧縮率は得られないが、350℃から急激に圧縮率が上昇し、400℃では70%近い圧縮率となることから、加工温度に非常に敏感な材料と言える。ZK60Aも300℃以上から限界圧縮率の上昇が見られるが、AZ31Bほどの高い限界圧縮率は得られず、最高でも60%程度の圧縮率となる。

4. 機械的研磨技術と陽極酸化法を 組み合わせた高装飾表面処理技術の開発

4.1 概要

当研究所で開発した陽極酸化処理法の商品への適用を考えた場合、下地の金属光沢が透けて見えるため、金属下地の表面状態（装飾性）がそのまま商品の美観に反映されることになる。そのため、装飾性の高い商品を開発するためには、何らかの化学的処理や機械加工を行うことにより装飾性の高い金属下地を作成する必要がある。このような考えに基づき、我々はヘアライン加工やミラー仕上などの金属的特徴を付与した装飾性の高い機械的研磨技術の開発を平成15年度に行っている³⁾。

そこで今回は高装飾機械研磨技術と透明陽極酸化処理を組み合わせた新しいマグネシウム合金用表面処理法の開発を目指し、サンプル作成を行った。

4.2 サンプル作成方法

化成処理および塗装を行った名刺ケースに対してヘアライン研磨を行い、金属下地を露出させた。その露出表面に陽極酸化処理を行い、アクリル電着塗装（アニオン型）により封孔処理した。

4.3 試験結果

作成したサンプルを図4.1に示す。ヘアライン研磨された金属下地は非常に綺麗な金属光沢を呈することが明らかになった。また、陽極酸化処理とクリア電着塗装により、ヘアライン研磨による金属光沢が若干失われた。

しかしながら、化成処理と塗装による従来の表面処理と比較すると、非常に装飾性の高い表面処理が可能となった。



図4.1 ヘアライン加工と陽極酸化処理を
組み合わせた表面処理

5. マグネシウム合金用化学研磨法の開発

5.1 概要

現在、マグネシウム合金下地の装飾性付与の方法としては、ヘアライン研磨や鏡面研磨、ダイヤモンドカットなどの機械的加工法が検討されている。しかしながら、これらの機械的研磨法は切り粉の処理など作業環境の問題が指摘されている。また、マグネシウム合金の鏡面研磨についてはその難しさが指摘されている。

一方で、このような機械的加工法の他に金属下地に装飾性を付与するための方法として、化学研磨や電解研磨などの化学的研磨法が考えられる。化学的研磨法は切り粉の発生がないため、作業環境の向上が期待される。しかしながら、マグネシウム合金に対する化学研磨・電解研磨処理法はいまだ確立されておらず、実際の製品に応用されている例も非常に少ない。

そこで、本研究ではマグネシウム合金用化学研磨法に関する研究を行い、その適用可能性について検討した。

5.2 試験方法

マグネシウム合金（AZ31材）に適した化学研磨浴組成の探索を行い、目視にて良好に鏡面化されると思われる研磨条件を決定した。

次に決定された条件で作成されたサンプルについて、表面粗さ測定と反射率測定を行うことにより鏡面の評価を行った。表面粗さ測定には三次元あらさ測定器を使用した。反射率は入射光を研磨面に対して45°の角度で入射させ、入射角と同じ45°の位置での反射光の強度を測定することにより評価した。反射率は高純度アルミニウム蒸着鏡（株式会社アイ・シー・エス社製）の反射率を100%とした値で表した。反射強度は波長555nmでの値を採用した。

反射率の測定は未研磨物、機械研磨（ペーパーによる手研磨）のみのもの、機械研磨と化学研磨を組み合わせたものの、左記のものにクリア電着塗装を施したものの4サンプルについて行った。また、比較として市販の鏡についても測定を行った。それらのサンプルの詳細を表5.1に示す。市販の鏡、基準サンプルの外観を図5.1に、評価を行ったサンプルの外観を図5.2に示す。

表5.1 評価に用いたサンプルの作成プロセス

サンプル名	処理条件
サンプル1	未処理材
サンプル2	#320研磨→#1000研磨→#2400研磨→#4000研磨
サンプル3	#320研磨→#1000研磨→#2400研磨→#4000研磨→化学研磨
サンプル4	#320研磨→#1000研磨→#2400研磨→#4000研磨→化学研磨→クリア電着塗装



図5.1 基準サンプルと市販の鏡の外観



図5.2 各サンプルの外観

5.3 試験結果

5.3.1 表面粗さ測定

化学研磨による表面平坦化の効果について調べるため、表1のサンプル2とサンプル3について表面粗さ測定を行った結果を表5.2に示す。Ra（中心線平均粗さ）と Rz（十点平均粗さ）については大きな変化はみられなかったが、サンプル3の Ry（最大粗さ）がサンプル2のものより大きくなっていることが分かった。この原因については現在調査中である。

表5.2 表面粗さ測定結果 (nm)

	Ra	Ry	Rz
サンプル2	53	445	310
サンプル3	47	1352	420

5.3.2 反射率測定

反射率測定を行った結果について図5.3に示す。図のように、サンプル2の反射率は45%であったが、サンプル3とサンプル4の反射率は市販の鏡と同程度の61%となった。これは化学研磨により反射率が向上したものであると理解できる。

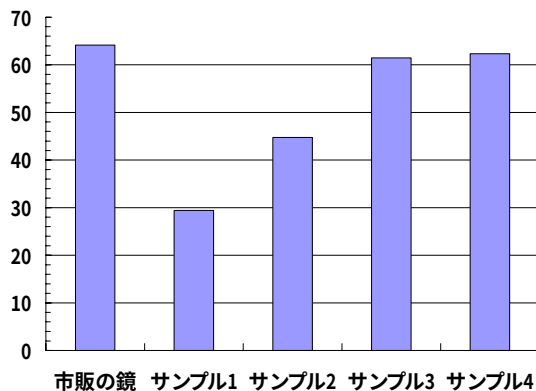


図5.3 鏡面反射率測定結果

5. 結 言

5.1 油系潤滑剤を用いた

マグネシウム合金の絞り成形性の向上

- (1) PTFE粉末添加により油系潤滑剤の潤滑性能が改善され、良好なプレス成形性が得られた。
- (2) とくに、成形温度250℃においてはPTFEシートと同等の成形 (LDR3.0) が可能である。
- (3) 粒サイズや添加濃度の増大により、表面性状が悪くなる傾向にある。成形性や表面性状を考慮すると、本研究では、粒サイズ2μm、その添加量は2.5~5%程度が適当と考える。

5.2 各種高強度マグネシウム合金の鍛造性評価

- (1) 4種類のマグネシウム合金について、端面拘束圧縮試験を行い、各素材とも300℃~400℃の間で最高の限界圧縮率が得られた。

- (2) 各素材の中でAZ31Bが最も圧縮性が高く、300℃~400℃の間で限界圧縮率が約80%となった。

5.3 機械的研磨技術と陽極酸化法を組み合わせた高装飾表面処理技術の開発

- (1) 非常に装飾性の高い表面処理ができる。
- (2) 他にも鏡面研磨、ブラスト処理なども検討した。

5.4 マグネシウム合金用化学研磨法の開発

- (1) 化学研磨により、機械研磨したマグネシウム合金の鏡面化 (反射率の向上) は可能である。
- (2) R_y (最大粗さ) が大きくなった原因や化学研磨と陽極酸化処理の相性など、実際の応用については課題が残る。

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) 日本塑性加工学会編: 塑性加工技術シリーズ 4 鍛造, コロナ社(1995), 159
- 3) 新潟県工業技術総合研究所: 工業技術研究報告書 NO.32 (2003), 15

逐次張出し成形機と成形法に関する研究

丸山 英彰* 坂井 修* 相田 収平*

A Study on Incremental Forming Machine and Forming Process

MARUYAMA Hideaki*, SAKAI Osamu* and AIDA Shuhei*

抄 録

本研究では、汎用 NC フライス盤を活用した逐次成形技術の実用化について検討している。今年度は、昨年度から行ってきた逐次張出し成形の他、逐次絞り成形技術の開発および迅速な加工データを作成するための機上計測技術の開発等を行い、逐次張出し成形の補完や付随する技術の開発に取り組んだ。

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いる^{1)~4)}が、実用化を進めていくために解決すべき問題点もある⁵⁾。

本研究では昨年度から、これらの問題を解決し逐次成形技術の実用化を図ることを目的として研究を行っている。今年度は、逐次張出し成形の他、これの補完や付随する技術である逐次絞り成形技術の開発や、加工データを迅速に作成するための機上計測技術の開発

等を行った。以下にこれらについて報告する。

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、三次元 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り、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しさせる塑性加工法である。

図 2 には、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示す。本成形機は、既存の NC フライス盤を流用することで、新たな設備投資の負担を軽減できるだけでなく、機上で型枠やマンドレルの加工ができるといった利点がある。

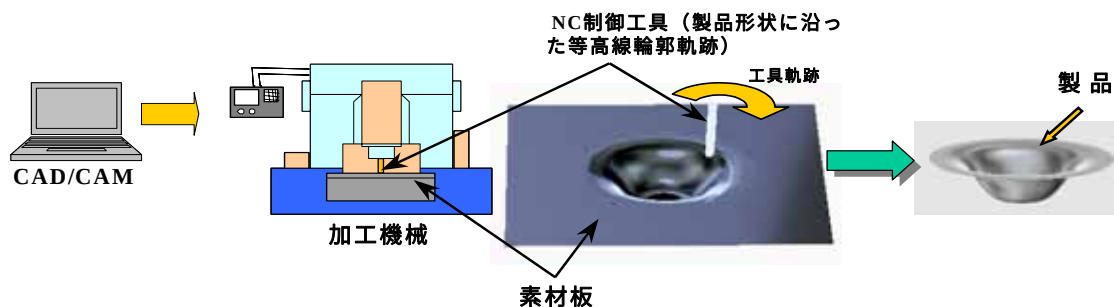


図 1 逐次張出し成形の概略

* 研究開発センター



図2 逐次張出し成形機およびジグ

3. 基礎成形性試験

3.1 実験方法

逐次張出し成形では、成形限界を評価する方法として、図3に示すような、円錐状（フランジ部直径147mm、高さ80mm）に成形した場合の半頂角 α の値を用いて逐次張出し成形性を評価する方法が一般的に採用されている。本研究では、ステンレス鋼やアルミニウムなど、成形する板材5種について、成形に用いる工具先端半径 R と成形時の工具軌跡の加工ピッチ p をパラメータとして、成形実験により成形限界の検討を行った。

3.2 実験結果

表1に実験結果を示す。表中の値は各成形条件における限界半頂角 α を表し、この値が小さいほど成形性が良好であることを意味する。工具先端半径 R は、成形性に大きく影響を及ぼすパラメータであり、板材種にかかわらず、 R が小さくなる程、成形性の向上

が認められる。また、加工ピッチ p については、0.2mm、0.5mm、1.0mmと行ったが、 $p=0.5mm$ の条件において成形性が良好な傾向が得られた。加工ピッチ p が大きすぎる場合には、板材に破断限界以上の局部伸びが生じることで成形限界が低下し、また p が小さすぎる場合では板材に与える変形が小さく、板材の弾性領域内であったりスプリングバックの影響などで、工具が板材の同一面に頻繁に接触を繰り返すことによって板材の破断が生じることなどが、成形限界低下の一因として考えられる。

一方、板材種の引張強さ σ_B や加工硬化指数である n 値などは、絞り成形性と関連のある材料特性であるが、今回の逐次張出し成形性試験結果とこれら材料特性との間には、明確な相関は認められなかった。例えば、工業用純アルミニウムA1050-O材は、 σ_B や n 値などは小さく、絞り成形性は良好ではないが、逐次張出し成形性は良好である。

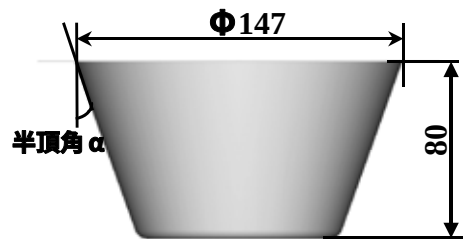


図3 基礎成形性試験の形状

表1 材料別逐次張出し成形限界

工具R	R=15			R=10			R=5			R=3		
加工ピッチ	0.2mm	0.5mm	1mm	0.2mm	0.5mm	1mm	0.2mm	0.5mm	1mm	0.2mm	0.5mm	1mm
A1050-O	28	27	27	23	22	23	18	17	17	15	14	15
A5052-O	35	33	32	30	27	26	24	21	21	22	19	19
C1020	31	30	29	28	26	26	23	21	22	19	19	19
SPCC	30	29	29	27	24	23	20	18	18	17	16	17
SUS304	29	29	30	26	25	26	22	21	23	18	19	21

4. マグネシウム合金の成形性

4.1 実験装置および実験方法

マグネシウム合金は、その結晶構造などから常温での絞り成形性は悪いが、温間加工を行うことで良好な成形性を示し⁶⁾、板材のプレス成形による電子機器筐体などへの適用が期待されている。そこで本研究においても、マグネシウム合金の逐次張出し成形性を評価し、試作品等への適用の可能性を探るために、基礎的な成形性試験を行った。

成形実験に供した材料は板厚 $t=0.8\text{mm}$ の AZ31B-0 合金を用いた。また、温間加工を行うために、ブランクホルダ内部にヒーターを組み込むことにより材料の加熱を行った(図4)。温度制御は材料の表面部分に熱電対を取り付け、PID 方式によるフィードバックにより、473K~773K の範囲で制御した。

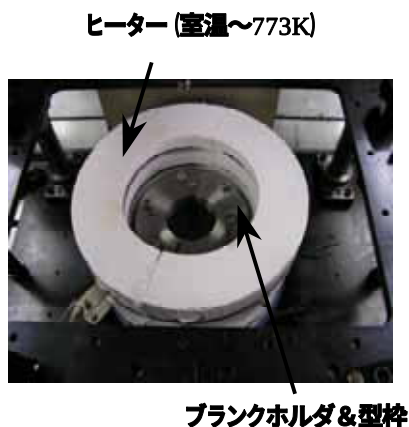


図4 加熱成形ジグ

なお、成形した形状は、円錐形状(フランジ部直径 84mm、高さ 25mm)、および半球殻(直径 84mm)を取り上げ、実験を行った。

4.2 実験結果

表2に円錐形状の成形実験結果を示す。表中○印は成形成功、×印は成形途中での破断を表している。逐次張出し成形が可能になる温度は 523K 以上であり、温度を上げていくことにより成形限界半頂角 α も小さくなり成形性が向上する。特に 623K 付近で $\alpha=35^\circ$ と顕著な向上が認められるが、それ以上の温度では、成形温度による顕著な成形性の向上は認められず、 $\alpha=33^\circ$ とほぼ横ばい状態となった。

また、多工程分割成形による半球殻の成形では⁵⁾、673K~773K の範囲で成形を試みたが、いずれも最終第7工程で破断を生じ、成形できなかった(図5)。

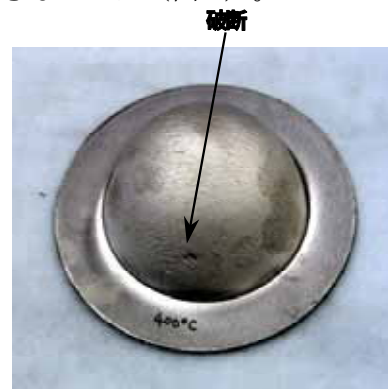


図5 破断した半球殻形状
成形温度 $T=673\text{K}$

表2 マグネシウム合金の成形性

成形温度 T K ($^\circ\text{C}$)

	473 (200)	523 (250)	573 (300)	623 (350)	648 (375)	673 (400)	698 (425)	723 (450)	748 (475)	773 (500)
47	×	○								
46										
45		○								
44		×	○							
43		×								
42			○							
41			×							
40				○						
39				○						
38				○						
37				○		○				
36				○	○					
35				○	×	○				
34				×	×	○	○	○	○	○
33						×	×	○	○	○
32						×		×	×	×

成形可能範囲

半頂角 α

5. 逐次絞り成形技術の開発

昨年度開発した、「工程を分割して逐次張出しを行う成形法」によって、浅い垂直壁を持つ形状の逐次張出し成形が可能となった⁵⁾。

しかし、この加工法は張出し成形であるために、深い垂直壁を持つ形状を成形することは原理的に不可能である。そこで、より深い垂直壁を持つ形状を金型を使わずに成形するために、「3 軸 NC 加工機による多角形スピニング加工法」（以後、逐次絞り成形と表記）の開発を行った。

本成形法は、回転体形状のシェル成形に用いられているスピニング加工（へら絞り）を多角形状シェルの成形に応用したもので、一般的な 3 軸 NC 工作機械で成形が可能となるよう、ワークを固定する特殊なジグを考案した。図 6 の中図でワークの周囲を囲んでいる□形状のものがジグである。このジグはワークをマンドレルに固定すると共に、ワーク周囲を回転する工具と干渉しないように回転が可能である。また、逐次絞り成形に必要な NC プログラムを作成するために専用の CAM を開発した。この CAM にパラメータを入力することにより、任意の寸法の角筒を製作するためのツールパス生成が可能である。

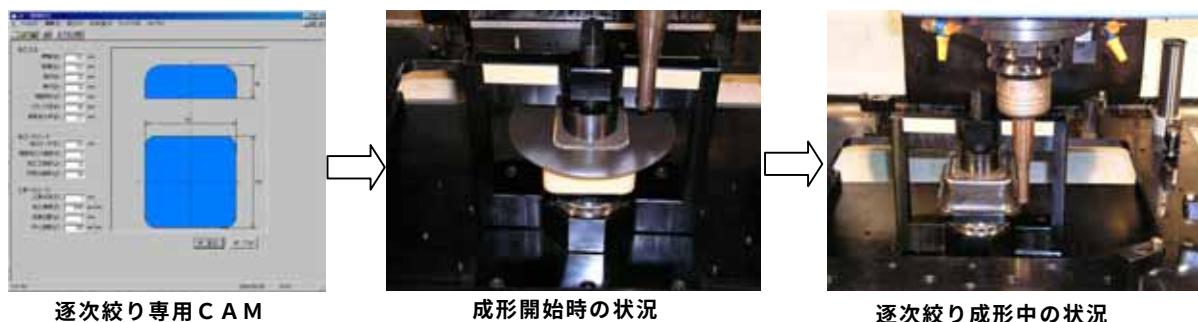
この逐次絞り成形の工程を図 6 に示す。左図に示す専用 CAM によって NC プログラムを作成し成形を行う。成形する材料は中図に示すように樹脂で作成したマンドレル上に成形ジグを用いて固定し成形を行う。右図には成形中の状況を示す。また、本成形法による成形例を図 7 に示す。この成形例では板厚 1.0mm の SPCC を使用して 102mm×102mm□、高さ 55mm の成形が可能であった。



図 7 逐次絞り成形例

6. 機上計測システムの開発

逐次張出し成形は NC 工作機械を用いた成形加工であるために、NC プログラム（ツールパス）を作成する必要がある。成形する形状が幾何学的な単純形状である場合や、あらかじめ三次元 CAD で設計されているものであれば比較的容易に NC プログラムを作成することが可能である。しかし、例えばデザイナー等が作成した立体モデルや形状見本などから NC プログラムを作成するためには、まず立体モデルや形状見本の形状データを三次元 CAD に取り込む必要がある。現状でも三次元測定機や立体デジタイザのような測定機器を使用することによって形状データの取り込みは可能であるが、このような測定機器は高価であり、企業が容易に導入できるような設備ではない。また、これらの測定機器は取り扱いが難しいだけでなく、測定や CAD にデータを取り込むためのデータ処理などにも時間がかかることから、現状ではあまり利用されていない。



逐次絞り専用 CAM

成形開始時の状況

逐次絞り成形中の状況

図 6 逐次絞り成形の工程

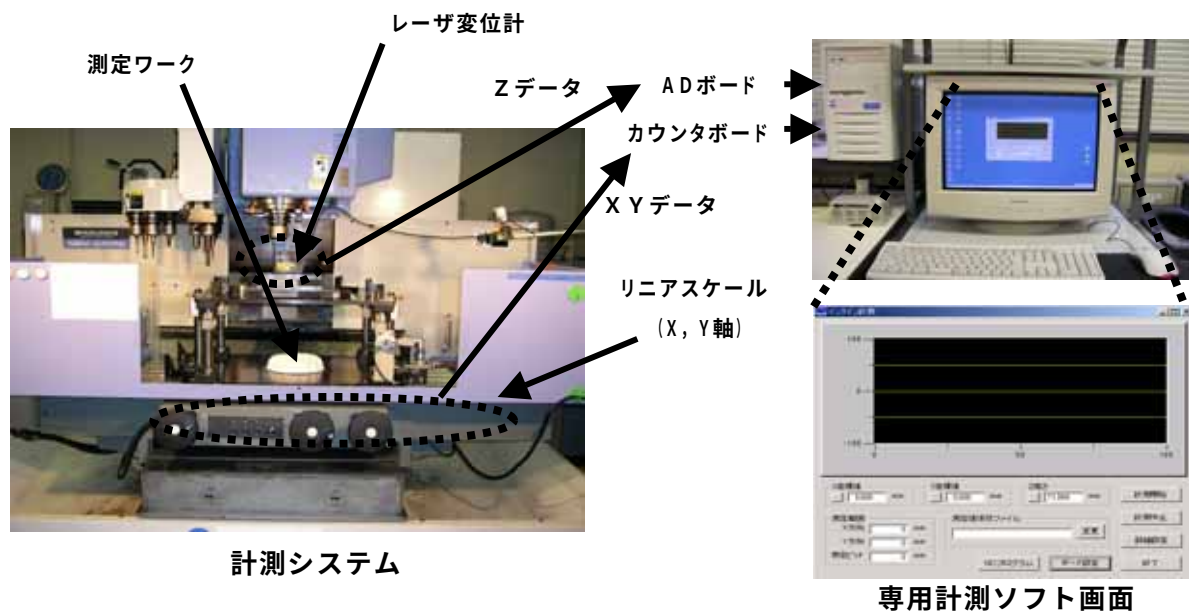


図 8 機上計測システムの構成

今後、逐次張出し成形を意匠製品や試作品製作用のツールとして普及するためには、立体モデルや形状見本から容易に形状データを読み取るための手段が必要不可欠との認識から、加工機上で簡単にワークの形状測定ができる「機上計測システム」を開発した。

図 8 に、開発した機上計測システムの構成を示す。

このシステムは加工機の XY テーブルの各軸にリニアスケール（最小読み取り $1\mu\text{m}$ ）を取り付け、テーブルの移動量をカウンタを介してパソコンに読み込むと共に、加工機の主軸に取り付けたレーザ変位計（分解能 $10\mu\text{m}$ ）で加工機テーブル上に置かれた測定ワークの表面高さをパソコンに読み込む構成になっている。

加工機テーブルを NC により一定速度で動かしながら、一定ピッチで測定を行うことによって、測定ワークの表面形状の三次元データを数値として取り込むことが可能である。

測定したデータは CAD を介して CAM に取り込むことによって、容易に逐次成形用の NC プログラムを作成することが可能となっている。

図 9 に測定例を示す。これはアニメキャラクターの成形品を X、Y 各軸 1mm ピッチで測定した後に、CAD 上に読み込んだものである。

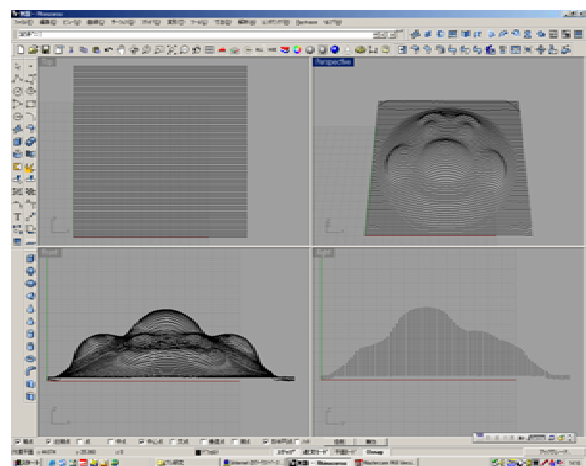


図 9 機上計測システムによる計測例

7. 逐次張出し成形用 CAM の開発

前にも述べたように、逐次張出し成形を行うためには逐次張出し用の NC プログラムが必要である。しかし、現在一般に普及している切削用の CAM では様々な問題があり、逐次張出し成形に適した NC プログラムを作成することが容易ではない。そこで逐次張出し成形に適した NC プログラムが簡単に作成できる専用 CAM の開発を昨年度から進めている。昨年度はパラメータを入力することで丸や角などの定形状の成形データを容易に作成する機能と、CAD で設計された比較的簡単な自由曲面からツールパスを作成する機能を

今年度はツールパスの生成方法や工程分割方法等に改良を加え、より洗練された NC プログラムの作成が可能となった。また、操作性を向上させるために Windows に対応させると共に逐次絞り成形用の NC プログラム作成機能を付加してある。今後は自由曲面形状への完全対応、加工条件の自動選定機能の付加など、より実用性を高めたシステムを目指して開発を進める予定である。

8. 結 言

- ## 参考文献

- 1) 松原茂夫：平 5 春塾加講論(1993)，611.
- 2) 北澤ほか：軽金属，**46**-5(1996)，219.
- 3) 吉川ほか：平 11 春塾加講論(1999)，305.
- 4) 井関ほか：平 6 春塾加講論(1994)，573.
- 5) 田中ほか：新潟工技総研研究報告書
(2002)，22.
- 6) 相田ほか：軽金属，**50**-9(2000)，476.

共 同 研 究

有機金属の積層コンデンサーへの応用研究（第2報）

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 Multi Layered Ceramic Capacitor

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

抄 録

金属有機塩を有機溶剤に溶解させてペーストを作製する有機金属法により、ニッケルの導電性ペーストの開発を行った。昨年度は、酢酸ニッケル四水和物とテトラエチレングリコールが好適な材料であることを見出し、ペーストを試作した。焼成実験により400℃の低温焼成でニッケルのナノ粒子が析出し、導電性が発現することを明らかにした。本年度は、より高温で処理した焼成膜の特性、ペーストの形態や焼成のメカニズムについて調査し、さらに積層セラミックコンデンサーへの適用の可能性について検討した。

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ー（MLCC）についても同様であり、誘電体層と同様に内部電極層もより薄膜化が要求されている。

このような背景から、薄膜形成を目的として有機金属法によるニッケルの導電性ペーストについて研究した。

一般に導電性ペーストは金属粒子を高分子バインダーと溶剤に分散させたもので、上述の薄膜化に対しては、湿式化学還元法やCVD法等による金属粒子の微粒化が盛んに研究されている。ニッケルでは、現在0.2 μm径の粒子が開発されているが、高温焼成後も電極としての特性を保ったサブミクロンの薄膜を形成することはまだ困難である。

一方で有機金属法は、金属有機酸塩を有機溶媒に溶解させてペースト化するという容易な方法であり、焼成により金属が析出してくるので、予め金属の微粒化処理をする必要が

ないのが特徴である。

本研究では、この有機金属法により、非アミン系溶剤を用いた有機ニッケルペーストの開発を行ってきた。尚、ここで非アミン系溶剤としているのは、焼成時の有害ガスの抑制を考慮してのことである。

昨年度は、酢酸ニッケル四水和物とテトラエチレングリコールが原料として好適であることを見出した。本年度は主として、

- （1）高温で焼成した膜の特性
- （2）ペーストの形態と焼成挙動の調査
- （3）積層コンデンサーへの適用の可能性について、検討を行った。

2. 焼成膜の特性

2.1 実験方法

2.1.1 試料

酢酸ニッケル四水和物とテトラエチレングリコール各10 gを120℃のオイルバスで攪拌しながら1時間加熱還流し、ペーストを作製した。

このペーストを幅1 mm×長さ30 mmのパターンでガラス基板にスクリーン印刷して

* ナミックス株式会社

** 研究開発センター

焼成用試料を作製した。ガラス基板は、スライドガラスと石英ガラスを焼成温度により使い分けた。また、スクリーンは乳剤厚 $10\text{ }\mu\text{m}$ （400メッシュ）の版を使用した。

図1は、実際にこのペーストをスクリーン印刷したものの写真である。

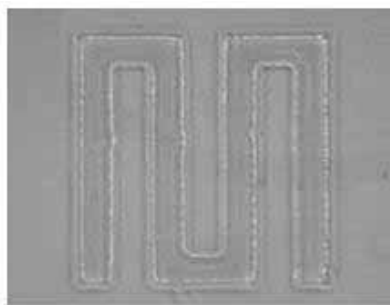


図1 印刷試料

焼成は、高真空加熱炉（ニッカトー製TS-420-P）により行った。

試料を炉に入れ、 300 Pa に減圧して炉内を窒素に置換した。次に1リットル／分の窒素気流中で焼成した。

焼成条件は、 400°C ／時間で昇温し、ピーク温度で30分保持した後、自然冷却とした。ピーク温度は、 $100\sim 1300$ （ 100°C 間隔）とした。

2.1.2 測定

デジタルマルチメーターを用いて図1のパターンの両端で電気抵抗を測定した。さらに光干渉式表面形状測定装置（WYKO製NT3300）で焼成膜の厚さを測定した。また、焼成膜の表面状態を走査型電子顕微鏡（日本電子製JSM6330F）で観察した。

2.2 結果及び考察

図2に各焼成温度における体積抵抗率の測定結果を示す。 400°C から 1200°C の範囲では導電性が得られたが、この範囲外では導電性は示さなかった。

図3に各焼成温度における膜厚を示す。温度の上昇に伴って、ペーストに含まれる有機

成分が分解し、 500°C 以上で安定した値となる。

この時の膜厚は、 $0.6\text{ }\mu\text{m}$ という値が得られた。現状、積層コンデンサーの電極層に使われる粒子分散型ペーストでは、厚さが $1\sim 2\text{ }\mu\text{m}$ であるので、この有機ニッケルペーストは、より薄膜の形成が可能であることがわかる。

しかし、図が示すとおり、焼成によって膜厚が大きく減少した。これはペーストに占めるニッケルの割合が約 $12\text{ wt}\%$ と小さいことによる。分子量から算出した酢酸ニッケル四水和物のニッケル含有率が約 $24\text{ wt}\%$ であり、これに溶剤を加えることで、さらに低下するためである。

これは有機金属ペーストの製法に起因するものであり、さらに高コンテンツ化することは困難と推測される。後述するが、このことは積層コンデンサーへの適用の際に大きな課題になると考えられる。

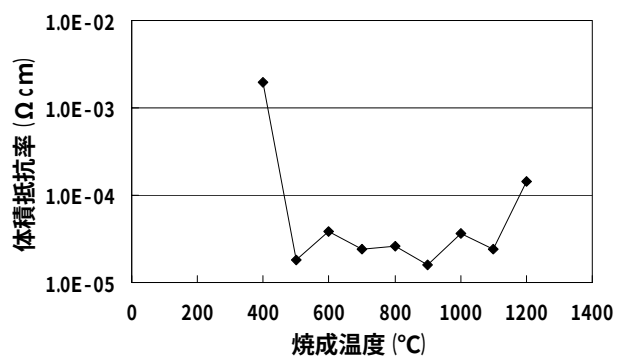


図2 体積抵抗率

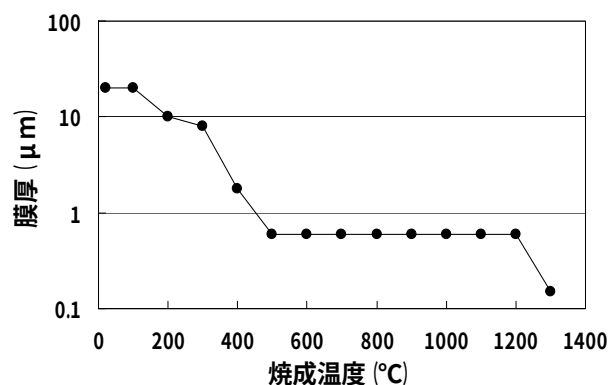


図3 焼成膜厚

図4 (a)～(f)に各温度で焼成した膜の電子顕微鏡写真を示す。これによると400℃では数nmから10nm程度の粒子が析出しており、焼成温度が高くなるに従い融着、粒成長が進行している。1200℃を超えるところから、より空隙が目立つようになっており、これが、図2のように高温で導電性が得られない原因になっている。

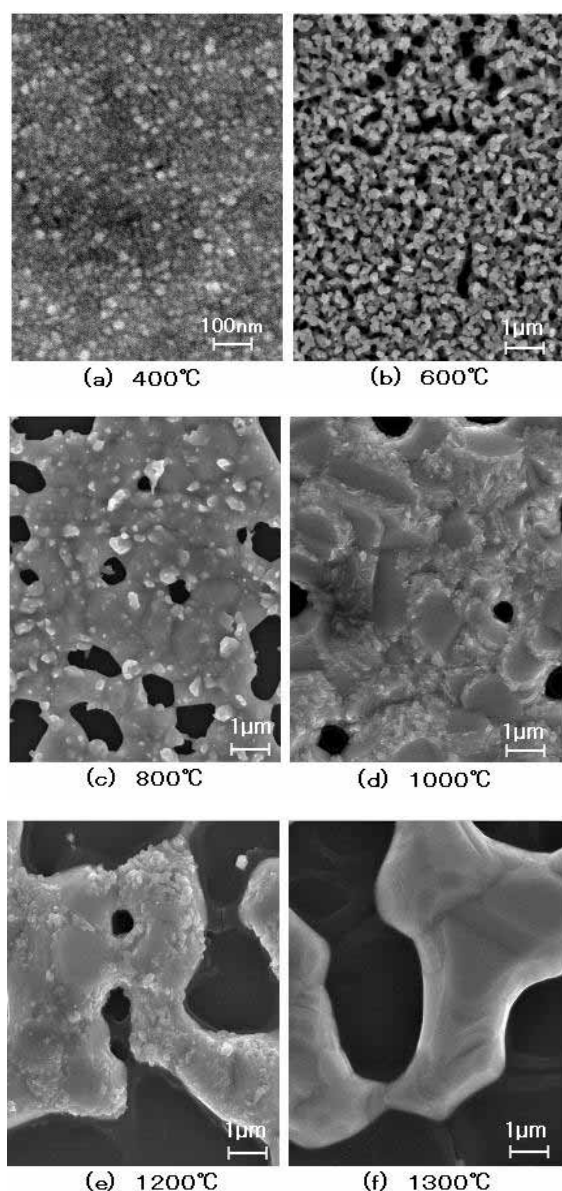


図4 焼成膜の表面状態

3. ペースト化及び焼成時の挙動

3.1 ペーストの形態

3.1.1 実験方法

前項で作製した有機ニッケルペーストの少量をエタノール中に分散させ、メンブレンフィルター（孔径0.2μm）でろ過した。

ろ紙に残留した粉体を乾燥させた後、走査型電子顕微鏡（同上）で観察した。

3.1.2 結果及び考察

図5のように、100nm×500nm程度の細長い形状をした粒子が観察された。

この粒子が溶剤中に分散してペーストを形成している。

ペーストを作製する過程では、酢酸ニッケル四水和物はテトラエチレングリコールに溶解して緑色透明液体となり、次いで増粘を伴って乳濁液に変化する様子が観察される。これより、何らかの化学変化が起きていると考えられるが、本研究においては明らかに出来なかった。しかし、加熱温度及び溶剤の種類から、塩の結晶水の脱離と溶剤のOH基の配位が関連していることが推測される。

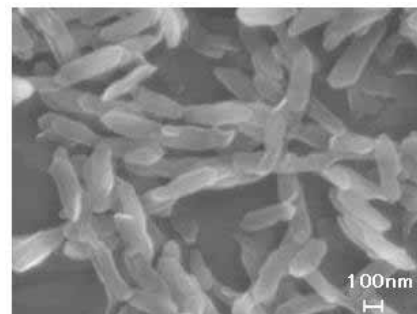


図5 ペーストに分散する粒子

3.2 焼成時の挙動

3.2.1 実験方法

スライドガラスにペーストを手塗りし、300℃から400℃まで20℃間隔で焼成して試料を作製した。焼成の際の昇温速度、保持時間は2項の条件に従った。

この試料をX線回折装置（理学電機製RAD2B）にて評価した。

3.2.2 結果及び考察

図6に示すとおり、320℃までは回折ピークは現れず、340℃でニッケルカーバイ

ド、380℃でニッケルを示すピークが現れた。これより、ペーストの焼成ではニッケルカーバイドの形態を経て、ニッケルが析出してくることがわかった。

ニッケルの析出する温度は、図2の焼成膜の導電性が発現する温度と一致している。

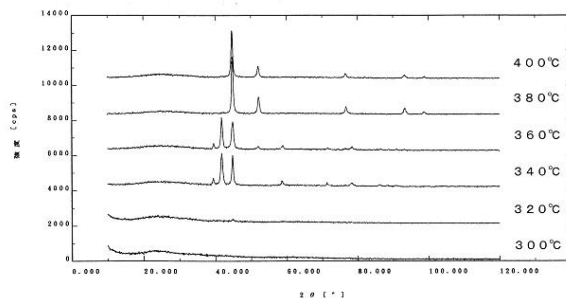


図6 X線回折線

4. 積層コンデンサーへの適用の検討

4.1 電極に適用する上での課題

酢酸ニッケル四水和物とテトラエチレングリコールを原料とした有機ニッケルペーストを積層セラミックコンデンサーの電極に適用するには、次の二つが主な課題と考えられる。

第一の課題は、乾燥性の問題である。原料のテトラエチレングリコールは、沸点が323℃の不揮発性溶剤であるため、スクリーン印刷した塗膜でも120℃で30～60分を乾燥に要した。積層コンデンサーの製造では、セラミックグリーンシートに電極ペーストを印刷し、乾燥させた後に積層していくのが一般的であり、生産性の観点からもペーストは速乾性のものが好ましい。

これに対して、テトラエチレングリコールの配合比を減少させて、より揮発性の高いエタノールに置き換える検討を行った。

第二の課題は、ペーストに含まれるニッケル含有量が低いことである。試作したペーストはニッケル含有率が約12wt%程度で、2項の図3に示したとおり、塗膜を焼成する過程で膜厚が著しく減少する。これはより多層積層へと移行している積層コンデンサーにおいては、焼結の際の収縮が大きくなり、デラミネーション等の問題を生じさせる。

これに対しては、ニッケル粒子を混合させ

て含有率を増加させることを検討した。1項で述べたように、金属粒子の微細化も近年研究が進んでおり、ニッケルでは図7に示すような0.2μm径のものが開発されてきている。この粒子を用いて作製した粒子分散型ペーストでサブミクロンオーダーの薄膜を形成することは困難だが、この粒子の間隙を有機ニッケルペーストから析出する、より微細な粒子で結合することにより、ニッケル含有率を増加させると同時に、薄膜を形成させることが可能と考えられる。この仮定から、ニッケル粒子と有機ニッケルペーストの複合化（ハイブリッド化）を検討した。

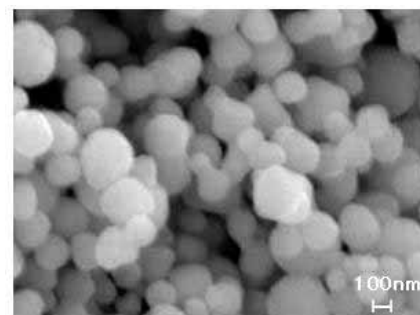


図7 φ0.2μmニッケル微粒子

4.2 乾燥性の改善

4.2.1 実験

前項まで、塩とテトラエチレングリコールを等量混合していたのに対し、この実験では塩10重量部に対し、溶剤を6ないし2重量部に減少させた。エタノールは塩の溶解性を考慮し、10または12量部とした。これらを攪拌しながら70℃2時間の加熱還流をしてペーストを作製した。

このペーストを乳剤厚20μm（250メッシュ）のスクリーン版を用い、スライドガラスに印刷して試料を作製し、70℃に保持したホットプレート上で加熱して乾燥状態を評価した。

さらに窒素気流中で600℃30分の焼成を行い、抵抗値を測定した。

4.2.2 結果及び考察

表1に結果を示す。これよりテトラエチレングリコールは、塩10量部に対して4量部

まで減少させても、等量混合したペーストと同程度の抵抗値が得られた。乾燥性は70℃で30分程度にまで向上した。

テトラエチレングリコールをさらに減少させると乾燥時間はより短縮されるが、抵抗値が著しく上昇することから、この比率が下限と考えられる。

この検討により、溶剤を置き換えることにより乾燥性向上の示唆は得られたが、実際の工程では、数分程度の速乾性が求められるので、溶剤の種類も含めて、さらに検討が必要と考えられる。

表1 乾燥性と抵抗値

試料 *1	配合比			70℃における乾燥状態			抵抗値 (Ω)
	NiA	TEG	EtOH	5分	10分	30分	
50wt%	10	10	0	×	×	×	9
23wt%	10	6	10	—	—	×	11
15wt%	10	4	12	×	×~△	△~○	16
12wt%	10	3	12	△	△~○	○	80
8wt%	10	2	12	○	○	○	∞

*1 ペースト中のTEGの含有率
*2 ○:乾燥する
△:わずかにタック性が残る
×:乾燥しない

4.3 ハイブリッド化の検討

4.3.1 実験

有機ニッケルペーストとニッケル微粉を重量比9対1で混合させ、溶剤と分散剤で調液したハイブリッドペーストを作製した。

このペーストを2項と同様に各温度で焼成し、抵抗値を測定した。有機ニッケルペースト、ニッケル微粉から作製した分散型ペーストも同様に評価し、ハイブリッドペーストと比較した。

4.3.2 結果及び考察

図8に測定結果を示す。図中“有機Ni”は有機ニッケルペースト、“複合”はハイブリッドペースト、“Ni粒子”は粒子分散型ペーストを意味する。

図より、ハイブリッドペーストは、500～1200℃で抵抗値が低くなり、有機ニッケルペーストと同等な特性を示している。

一方、粒子分散型ペーストでは、900℃まで焼成温度が上がらないと抵抗値が低下しなかった。したがって、ハイブリッドペース

トでは、有機ニッケルペーストの特性を維持しながら、ニッケル含有率を増加させる有効な手法であると考えられる。

また、焼成膜の厚さは有機ニッケルペーストで0.6μmであったのに対し、ハイブリッドペーストでは0.9μm、粒子分散型ペーストでは1.2μmであった。ハイブリッドペーストは分散型のものに比べて薄膜となっ

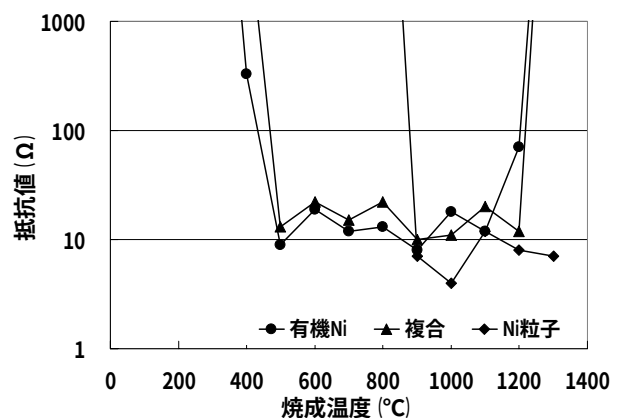


図8 各ペーストの抵抗値

5. 結 言

- (1) 有機金属法に有機ニッケルペーストの開発を行った。主原料として酢酸ニッケル四水和物とテトラエチレングリコールが好適であることがわかった。
- (2) 試作したペーストは、広範な温度範囲で焼成でき、薄膜の形成が可能であることがわかった。
- (3) このペーストの積層セラミックコンデンサーの電極への適用について検討した結果、乾燥性とニッケル含有率が課題であることがわかった。
- (4) 上記の課題に対して、溶剤の配合比やニッケル粒子との複合化により解決の余地があることが示唆された。

医療用 CO₂ レーザの中空ファイバ導光システムと 周辺装置の開発

本間 正士* 大川 斉* 丸山 英彰** 長谷川 雅人** 中川 昌幸**

Development of the CO₂ laser light delivery system using the hollow fiber
and peripheral equipments for medical treatments

HONMA Seishi*, OHKAWA Hitoshi*,
MARUYAMA Hideaki**, HASEGAWA Masato** and NAKAGAWA Masayuki**

抄 録

医療用 CO₂ レーザ装置において、多関節ミラーによる CO₂ レーザ導光路に代わり、中空ファイバによる導光路を適用することによって、製品の高出力価値化を図ることを目指して研究を行った。中空ファイバによる CO₂ レーザの伝送特性を明らかにするため、CO₂ レーザの中空ファイバへの入射条件、ファイバ長さ、曲げによる伝送損失を測定した。その結果、ファイバ曲げによる損失を、曲げ半径、曲げ角度をパラメータとして数式化した。また、治療を行う際に医師が操作するアタッチメントの光学系について集光特性を調べた。さらに、実用化のうえで非常に重要な問題となる安全対策に対応するため、赤外線センサを用いた中空ファイバの折れ検出方法について検討した。

1. 緒 言

医療に使用されるレーザ光源は、その適用対象によって最適な波長が選択されている。現在、多く使用されているものとして、ルビー、アルゴン、YAG、CO₂ などがある。CO₂ レーザは波長が 10.6 μm の赤外光で、水に対する吸収率が非常に高く皮膚等への照射における低侵襲性や、レーザメスで知られる止血効果など優れた特徴を持ち医療分野に広い適用範囲をもっている。

現在、様々な医療用レーザ装置が実用化されているが、その操作性、メンテナンス性、コスト面での優位性から、YAG レーザ、半導体レーザ等では導光路として光ファイバを用いるもの

が主流となってきた。しかし、CO₂ レーザは石英に対する吸収率が非常に高いため、石英コアの光ファイバで導光することができず、多関節ミラーの反射を利用した導光路を用いた装置(図 1)が依然広く使われている。

一方、石英ファイバで導光出来なかったレーザに適用できるファイバとしてコアが中空の中空ファイバが開発された。これは、ガラスキャピラリーチューブの内面に銀鏡反応により銀皮膜を形成したものであり、その表面での反射により光を伝送するものである。この中空ファイバでは、コアの材質による吸収損失がほとんどなく、入射端面でのフレネル損失も起こらない。しかし、コアの屈折率がクラッドよりも低いため、石英ファイバにおける全反射による伝送と異なりファイバ内径面で損失を伴う伝送となる。

* 株式会社ニーク新潟研究所

**研究開発センター

ここで、コア・クラッド境界における反射率を高めること、つまりファイバ内径面での反射率を向上させることにより高効率な伝送が可能になっている。

この中空ファイバの CO_2 レーザ伝送特性は、東北大学宮城教授、松浦助教授らの過去の研究^{1)、2)}で検討がなされており、実用上問題ないレベルの伝送効率を示している。しかし、中空ファイバによるレーザ光の伝送では、コア・クラッド界面における全反射を利用した石英ファイバに比べ損失が大きく、その特性について実験的に詳細に検討した報告がなかった。

以上の点から、本研究では、医療用 CO_2 レーザ装置に中空ファイバを適用するための基礎データとして中空ファイバの伝送特性を実験的に調べ、併せて周辺装置の開発と安全対策の問題について検討した。



図1 従来の多関節ミラー導光による医療用 CO_2 レーザ装置

2. 実験装置及び実験方法

2.1 中空ファイバ

本研究で用いた中空ファイバは日立伸材(株)製で、ガラスチューブの内面に銀鏡反応により平滑な銀皮膜を形成したものである。さらにその銀皮膜の内面には誘電体皮膜が形成され、ファイバ内面における反射率を高めている。中空ファイバの構造概略図を図2に示す。本研究では、内径 $\phi 0.7\text{mm}$ のファイバを使用した。

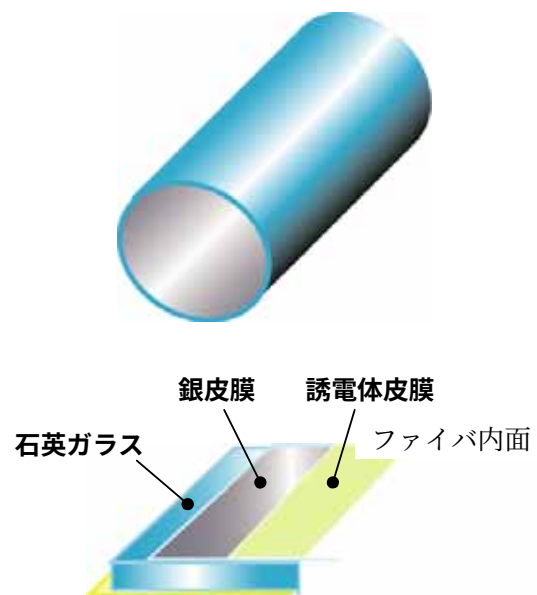


図2 中空ファイバ概略図

2.2 実験方法

2.2.1 中空ファイバ伝送特性の測定

レーザ発振器より出射した CO_2 レーザを ZnSe 平凸レンズにより集光し、中空ファイバに入射させた。集光レンズは焦点距離の異なる f50、f100 の2種類のレンズを使用し、ファイバへの入射光を変えて伝送損失の変化を調べた。中空ファイバの長さは0.1m、2mの2種類を使用し、入射時の損失、単位長さ当たりの伝送損失の測定を行った。また、中空ファイバの曲げによる損失は図3のように曲げ半径、曲げ角度をパラメータとして、ストレートの状態を損失 0dB として求めた。

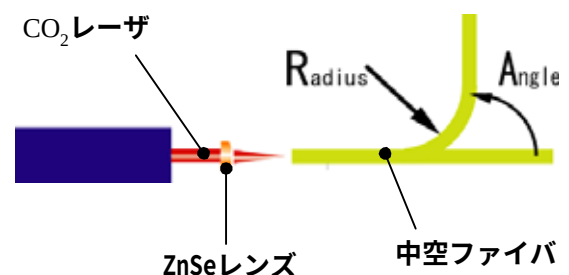


図3 実験の概略図

2.2.2 中空ファイバから出射した CO₂ レーザの集光特性

中空ファイバ出射後のレーザはハンドピースと呼ばれるペン型で内部に光学系をもつアタッチメントにより集光される。ハンドピースは医師がペンのように容易に操作できるよう、使いやすいサイズでなければならない。そこで、ファイバ出射端から焦点位置までが 150mm 程度に収まるような光学系を光学ソフトによるレンズ配置を基に検討した。2 枚の f50 平凸レンズを用い、レンズ間距離を 5mm に固定し、ファイバ出射端からレンズ入射までの距離を変化させたときのバックフォーカス、集光スポット半径を測定した。図 4 にファイバ出射端の光学系の概略図を示す。

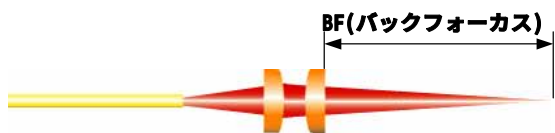


図4 中空ファイバ出射端と集光レンズの構成

2.2.3 中空ファイバ折れ検出方法の検討

中空ファイバが破損し、不可視光である CO₂ レーザが漏れることは非常に危険である。製品の安全性確保のために、ファイバの破損を速やかに検出し、レーザの照射を停止するなどの安全機構を設けなければならない。本研究では、ファイバ出射端における集光レンズ表面で反射・散乱する CO₂ レーザを赤外線センサであるサーモパイルを用いて、レーザパワーの急激な変動の検出可能性について検証した。サーモパイルは出射端ハンドピースに組み込むことを想定し、図5のようにファイバ出射端脇に配置した。サーモパイルによる測定は、レンズを透過して集光されるレーザのパワー測定と同時に行い比較した。

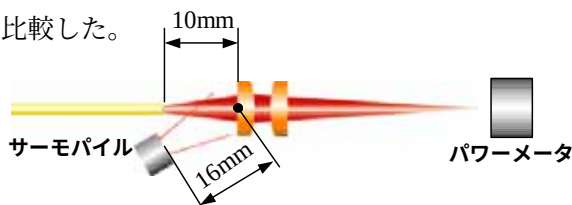


図5 サーモパイル設置位置

3. 実験結果及び考察

3.1 CO₂ レーザ入射条件（集光レンズ）による損失特性の違い

f50、f100 レンズにより集光した集光スポット半径、バックフォーカス(BF)、CO₂ レーザの光軸と光線とのなす角(図6)の測定値を表1に示す。また、入射レーザパワー15Wにおける入射損失と中空ファイバ長さ当たりの伝送損失を図7に示す。

ファイバ内径φ0.7mmに対し、スポット径の小さいf50の場合では、入射損失が非常に小さくなっている一方で、長さによる伝送損失が非常に大きくなっている。これは、入射した光線と光軸とのなす角が大きいために集光後の広がりも大きく、ファイバの内面での反射回数が多くなり、損失が増えたためであると考えられる。

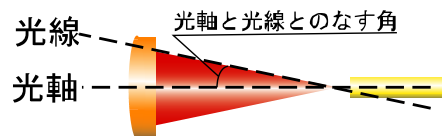


図6 光軸と光線とのなす角

表1 レンズ f 値による集光特性

レンズf値	集光スポット半径(mm)	BF(mm)	光軸と光線とのなす角(deg.)
50	0.058	45.5	2.4
100	0.198	118.3	0.8

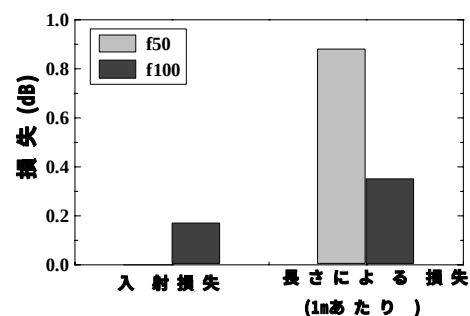


図7 f50、f100 レンズにより集光した CO₂ レーザの損失特性の違い

3.2 CO₂ レーザの中空ファイバ曲げによる損失特性 (ファイバ長 2m)

3.2.1 各曲げ条件における損失特性

f100 レンズで集光した CO₂ レーザを長さ 2m の中空ファイバに入射し、ファイバの曲げ半径、曲げ角度による損失の変化を測定した。結果を図 8 に示す。ファイバがストレートの状態、すなわち曲げ角度 0deg. の状態を損失 0dB としている。曲げ角度が大きくなるに従い、また曲げ半径が小さいほど損失が大きくなっている。図 9 に曲げ角度による損失特性(曲げ半径 R200mm における)、図 10 に曲げ半径による損失特性(曲げ角度 90deg. における)を示す。

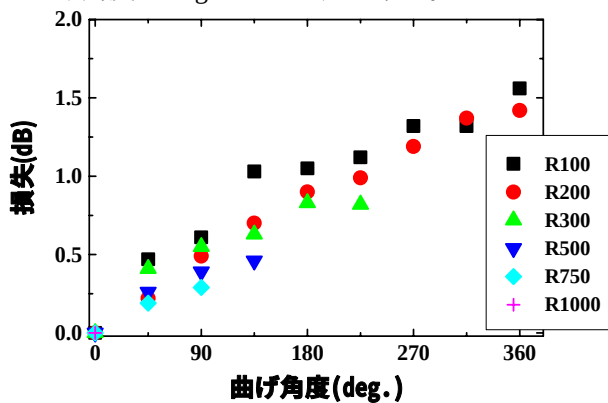


図 8 各曲げ条件による損失

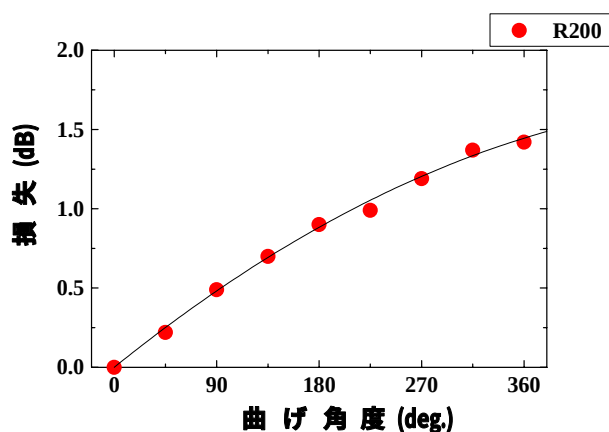


図 9 曲げ角度による損失特性
(曲げ半径 R200mm における)

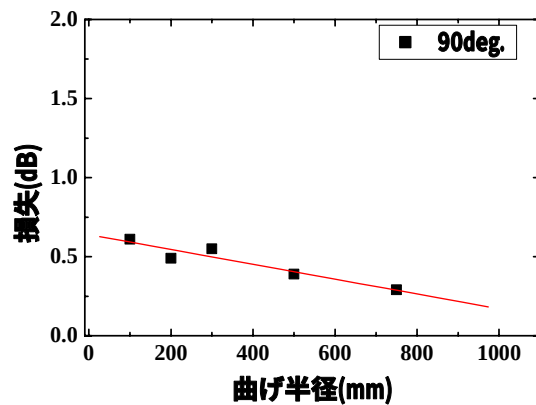


図 10 曲げ半径による損失特性
(曲げ角度 90deg. における)

3.2.2 中空ファイバ曲げによる損失の実験式

図 9、10 より、曲げによる損失特性は曲げ角度、曲げ半径の関数として表すことができると考えられる。そこで本研究では、様々な曲げ条件における損失を曲げ角度 $A(\text{deg.})$ 、曲げ半径 $R(\text{mm})$ という 2 つのパラメータにより数式で表現することを試みた。図 9 より曲げ角度による損失特性は 2 次多項式で近似し、図 10 より曲げ半径による損失特性は、1 次関数として最小自乗法で近似した。曲げ半径 R200 における測定データから曲げ角度による損失 $L_A(\text{dB})$ は(式 1) のように設定した。図 9 中の黒線はこの式による計算値である。

$$L_A = 0.0058A - 4.96 \times 10^{-6} A^2 \quad (\text{式 1})$$

また、曲げ半径による損失は L_A に乗する係数 k_R として設定した。 L_A は曲げ半径 R200 において設定した式であるので、任意の曲げ半径において L_A を表現するため、図 10 より求めた 1 次関数から $R=200$ における値を基準($k_R=1$)とし、その何倍であるかを表す係数として(式 2)のように設定した。

$$k_R = 1.17 - 8.59 \times 10^{-4} R \quad (\text{式 2})$$

(式 1)、(式 2)より、曲げによる総損失 $L_{Bend}(dB)$ は、

$$L_{Bend} = k_R \times L_A \quad (式 3)$$

と表すことができる。

これにより、中空ファイバの総損失が概略計算出来る。例えば、f100 レンズで集光、入射した場合、2m の中空ファイバにおいて、曲げ半径 R300、曲げ角度 120deg. という曲げ条件では、総損失は次のように計算できる。

$$0.22dB[\text{入射損失}] + 0.54dB[2m \text{ 伝送損失}] + 0.57[\text{曲げ損失}] = 1.33dB[\text{総損失}]$$

3.3 出射端ハンドピースの検討

3.3.1 中空ファイバから出射するレーザーの広がり角(deg.)

ファイバにより導光されたレーザーは広がりをもってファイバから出射する。中空ファイバの曲げ角度に対する出射レーザーの広がり角(deg.)を図 11 に示す。曲げ角度の増加につれて広がり角は若干増加する傾向があるが、180deg.まで曲げても大きな変動はなく、1.2～1.8deg.程度の広がりである。

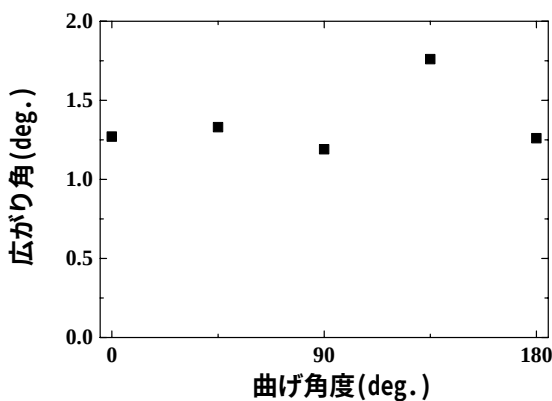


図 11 ファイバ曲げ角度に対する出射レーザーの広がり角(deg.) (曲げ半径 R200mm の場合)

3.3.2 集光特性の検討

中空ファイバ出射端から出射する CO₂ レーザを 5mm 間隔の f50 の平凸レンズ 2 枚で集光する

場合 (図 4) の集光特性を検討した。ファイバ出射端に最も近いレンズ表面における入射ビーム半径とレンズによる集光スポット半径の関係を図 12 に、入射ビーム半径とバックフォーカスの関係を図 13 に示す。レンズ入射ビーム半径を変えること、つまり、ファイバ出射端からレンズまでの距離を変えることにより、集光スポット半径、バックフォーカスを変化させることができる。

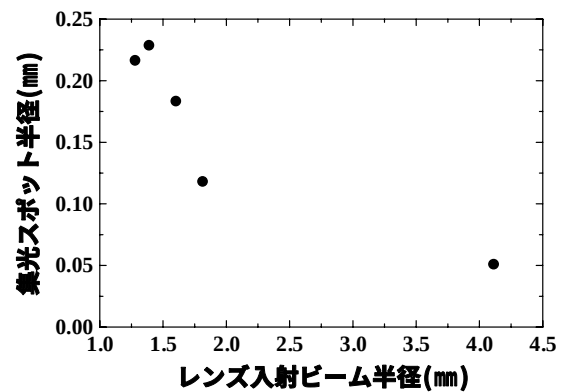


図 12 レンズ入射時のビーム半径と集光スポット半径の関係

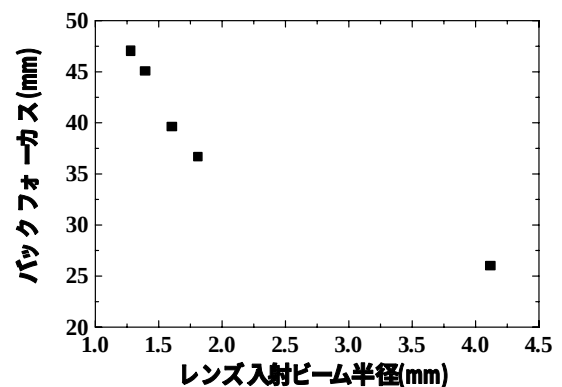


図 13 レンズ入射時のビーム半径とバックフォーカスの関係

3.4 ファイバ折れ検出技術について

ファイバ出射部において図 5 のような配置で、集光したレーザーパワーをパワーメータにより測定し、出射端に最も近いレンズ表面での表面反

射・散乱光をサーモパイル赤外線センサにより同時に測定した。図 14 にレーザパワーメータによる測定値とサーモパイルによる測定値を示す。レーザ照射を開始した時間を 0sec.とし、およそ 240sec.の間一定のパワーで照射した後、停止させた。

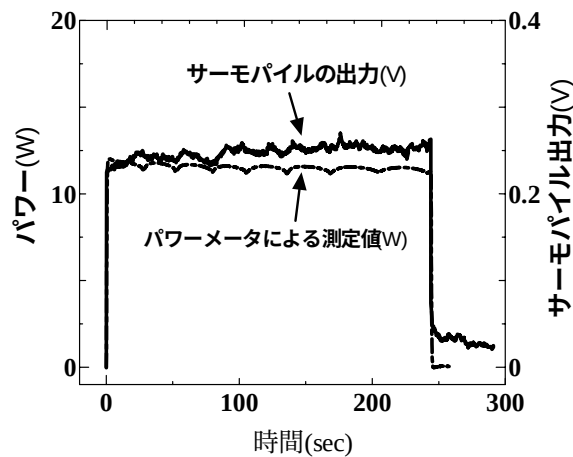


図 14 出射レーザパワーとレンズ表面での反射・散乱光の測定データの比較

0sec.におけるデータの立ち上がり、240sec.における低下についてサーモパイルの測定値はレーザの照射パワーに対してよく応答している。

しかし、レーザ照射時にパワーメータによる測定値が変動しながら若干の低下傾向を示しているのに対し、サーモパイルの測定値は逆に若干の増加傾向を示している。また、照射を停止した 240sec.後に完全に 0V まで下がらず、徐々に低下して 0V まで低下していく特性があった。この違いの一因として、レンズによる CO₂ レーザのわずかな吸収による温度上昇で赤外線放射量が変化したことが考えられる。しかし、その変化量は 240sec.の照射時間に対し、測定値の 10%程度である。ファイバ損傷等によりレーザ光が漏れた場合に発生すると考えられる出射パワーの低下はこの変動に比べて非常に大きくなると予想される。検証のための実験は必要であるが、入射パワー変動に対する出射パワーの変動の変化を捉えることでファイバの折れ等の破損を検出できる可能性がある。また、レーザパ

ワーに対するサーモパイルからの測定データの変動はレンズの温度変化が原因であると考えられるため、レーザ照射時間の関数として表すことができると思われる。これを補正することによって、ファイバ折れ検出以外にも出射端におけるパワーモニタとして利用できる可能性も示している。

4. 結 言

(1) CO₂ レーザの入射条件、曲げ条件による中空ファイバの損失特性の実験値から中空ファイバの曲げ半径、曲げ角度をパラメータとして損失特性を数値化し、特性を明らかにした。

(2) 中空ファイバから出射するレーザの特性を把握した。出射端ハンドピース設計の際に必要な、レンズ入射ビーム半径に対する集光スポット半径、バックフォーカスの関係が得られた。

(3) 中空ファイバが折れるなどの破損によるレーザ光の漏れ対策のため、赤外線センサであるサーモパイルを使用し、出射端における集光レンズ表面での散乱・反射光を検出する方法を検討した。実際に中空ファイバが折れた状態における検証は必要であるが、中空ファイバの折れ検出方法として使用できる可能性を示した。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導、ご助言をいただいた新潟大学工学部の新田勇助教授、坂本秀一助教授、(株)オプセルの管野明宏氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松浦祐司, 宮城光信, “中空ファイバによるレーザ光伝送”, レーザ研究, 27 巻, 3 号, 1999, p173-177.
- 2) 松浦祐司, 宮城光信, “レーザパワー伝送用中空光ファイバー”, レーザ加工学会誌, 10 巻, 1 号, 2003, p5-9.

三次元レーザー加工機の実用化

坂井 則夫*, 小杉 拓也*, 吉原 英雄**, 丸山 英彰***, 長谷川 雅人***, 平田 康一***

Improvement for Practical Use of Precision 3-D Laser Cutting System

SAKAI Norio*, KOSUGI Takuya*, YOSHIHARA Hideo** MARUYAMA Hideaki***,
HASEGAWA Masato*** and HIRATA Kouichi***

抄 録

現在多くの金型を使用して行っている精密プレス製品のトリミング加工を、戦略研究で開発した高精度三次元レーザー加工システム⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾で代替することを目的に実用技術開発を行った。パルスYAGレーザー発振器の導入、高精度三次元レーザー加工機の高速化、CAMシステムの改良等によって、加工サイクルタイムの短縮、切断精度の向上、切断面の外観向上を達成し、高精度三次元レーザー加工機を実用化することができた。

1. 緒 言

従来、高精度なプレス部品の製造にはプレス成形金型の他、穴開けやトリミングなど切断のための多くの金型が必要であり、このことが納期の短縮を阻み、コスト削減の阻害要因となっていた。そこで本研究では戦略研究の成果である高精度三次元レーザー切断加工システムを実用化し、精密プレス製品の切断行程を高精度な三次元レーザー切断加工に代替することを目的に研究を行った。

2. 実用化の問題点と解決の方策

戦略研究で開発した高精度三次元レーザー切断加工システムは、量産を目的として実用化しようとする以下のような課題を解決する必要があった。

- ア) レーザ加工機の運動精度に対し、できあがった加工品の切断寸法精度が良くない。
- イ) 切断面にドロスの付着があり、外観品質上問題がある。
- ウ) 量産のためには加工サイクルタイムの短縮が必要である。

ア) については切断部周囲の温度上昇による熱変形が原因ではないかと考えられた。イ) についても切断部周囲温度が上昇することによりドロスとの親和性が増したことが原因と推測された。そこで、切断部周辺の温度上昇を抑えるため、PW（パルス波）レーザーを適用してその効果を検討した。ウ) については加工機の高速化を図ると共に、NCプログラム上の動きの無駄を省くためCAMシステムの改良を行った。

3. パルスレーザーの効果^{2) 3)}

3. 1 実験方法

PW（パルス波）レーザーを用いることの有効性を推測するため、有限要素法を用いて熱伝導解析を行った。

また、実際のレーザー切断における変形を調べるため、切断実験を行った。切断実験の供試材には公称板厚 0.5mm の工業用純チタン一種を使用し

表1 純チタン板の化学組成

Material	O	N	Fe	H	Ti
CPTi	0.04	0.01	0.03	0.003	bal.

(mass%)

* 株式会社東陽理化学研究所

** 倉敷機械株式会社

***新潟県工業技術総合研究所研究開発センター

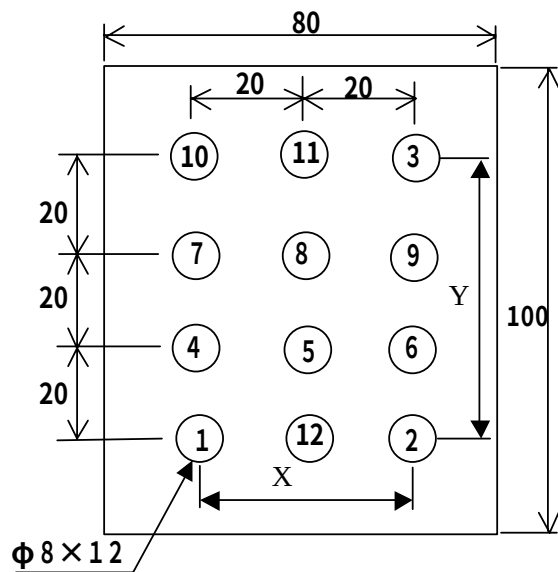


図1 Ti板の切断寸法と加工順序

表2 CPTi 切断加工条件

	CW レーザ加工機	PW レーザ加工機
定格出力(W)	500	150
周波数(Hz)	--	500
デューティー(%)	--	15
アシストガス	Ar	Ar
ガス圧力(MPa)	0.8MPa	0.6MPa

た。その化学組成を表1に示す。供試材を縦100mm、横80mmにシャーリングで切断して試験片とした。試験片の両端を拘束し、CWレーザ

またはPWレーザを用いて、図1に示すような直径8mmの12個の穴を番号順に切断加工した後、板の変形を測定した。レーザ切断加工条件を表2に示す。熱変形の測定にはモアレ式非接触3次元測定機サーフタイザーSシリーズ（株式会社オプトン製）を使用した。

3.2 実験結果

3.2.1 有限要素法による熱伝導解析¹⁾⁴⁾⁵⁾

チタン平板の直線切断加工をCWレーザおよびPWレーザで行った場合を想定し、有限要素法で熱伝導解析を行った結果を図2に示す。解析ではレーザ光の吸収率を35%とし、アシストガスによる放熱、切断に伴う要素の変化は無視した。

解析の結果、CWレーザを用いた場合には切断面から約1.0mmの部分まで1000℃以上となり、約0.2mmの部分までは500℃以上まで温度上昇することがわかった。これに対し、PWレーザの場合は100℃以上まで上昇するのは切断面からわずか0.2mmの部分までで、500℃以上にまで上昇する部分はほとんどないという結果となった。これらのことから、PWレーザを適用することによりレーザ切断時の切断部周辺温度の上昇を劇的に低減できることが期待された。

3.2.2 レーザ切断による熱変形

チタン板を切断したときの熱変形を測定した結果を図3に示す。CWレーザで加工した場合、板の反りの大きさは0.2mm以上であった。これに

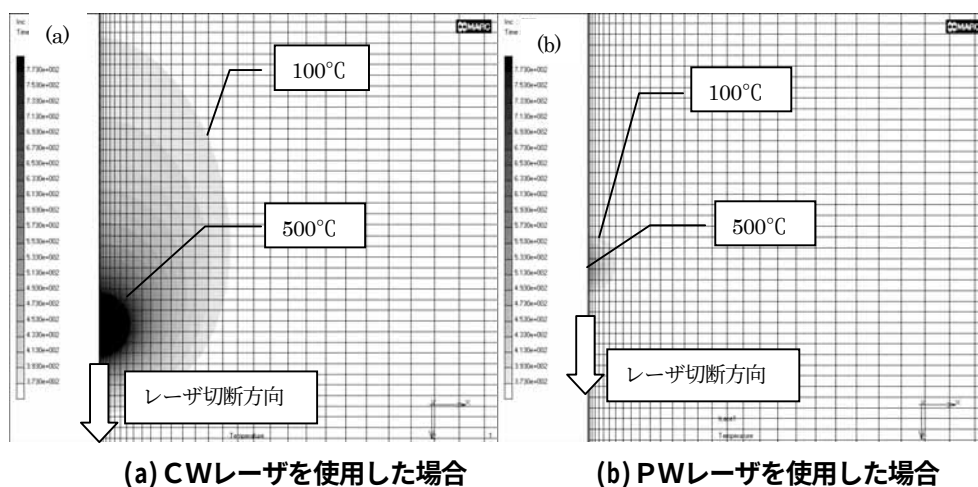
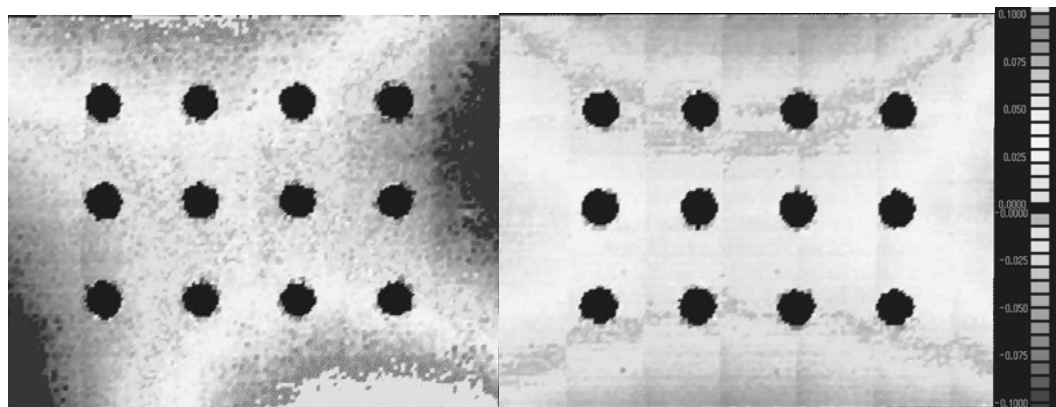


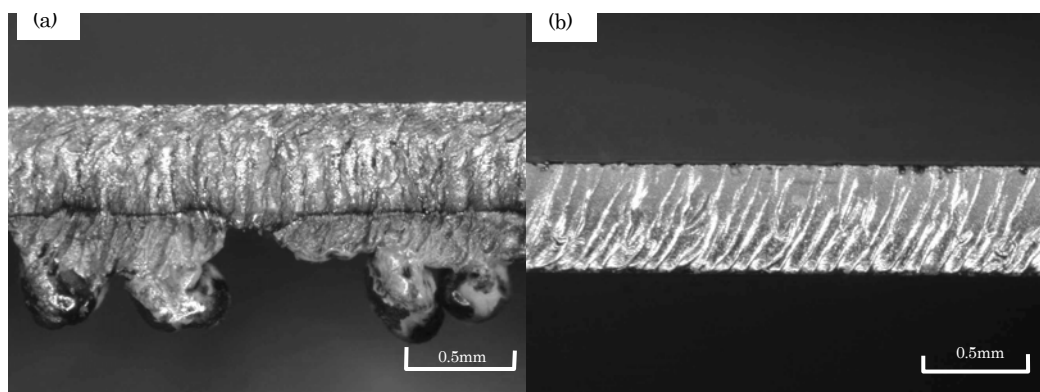
図2 有限要素法による熱伝導解析結果



(a) CWレーザー加工による熱変形

(b) PWレーザー加工による熱変形

図3 純Ti板レーザー切断加工後の熱変形測定結果



(a) CWレーザーによる切断面

(b) PWレーザーによる切断面

図4 レーザ切断加工面写真

対し、PWレーザーで加工した場合の反りの大きさは0.1mm以下のわずかなものであった。これらのことから、PWレーザーを用いることにより熱変形の少ないレーザー切断加工が実現できることが実証された。

3.2.3 レーザ切断におけるドロス付着

図4にCWレーザーおよびPWレーザーで切断加工を行った試験片の切断面の写真を示す。CWレーザーで切断した切断面には、レーザー光で溶かされたドロスと称される溶融金属が付着し、そのまま残って凝固したものが多々見受けられる。それに対し、PWレーザーで加工した切断面にはドロスの付着は全く認められない。また、外観も優れていた。この実験結果から、PWレーザーは切断面のドロス付着防止および切断面の品質向上に効果があることが実証された。

4. 加工機の高速度化

戦略研究で開発した加工機のC軸およびα軸の回転速度は $180^\circ/\text{sec}$ であったが、加工サイクルタイム短縮のため、これを $360^\circ/\text{sec}$ に高速化した。また、C軸に対するα軸のオフセット角を、一般的に採用されている 45° から 55° に変更した(図5参照)。ノズル方向のZ軸に対する角度(天頂角) θ を 0° から 90° まで一定角速度 V_θ で変化させるのに必要なα軸の回転角速度を V_α としたとき、 θ をパラメータとし、縦軸に速度比(V_θ に対する V_α の比)をとって示したものが図6である。α軸のオフセット角が 45° の場合、 θ が 90° 近く、つまりノズルの向きが水平に近いとき、速度比が無量大に近づく。このような時に θ の角度変化がある場合、実質的にα軸の回転が追従できなくなるため、ノズルの速度はそれに連

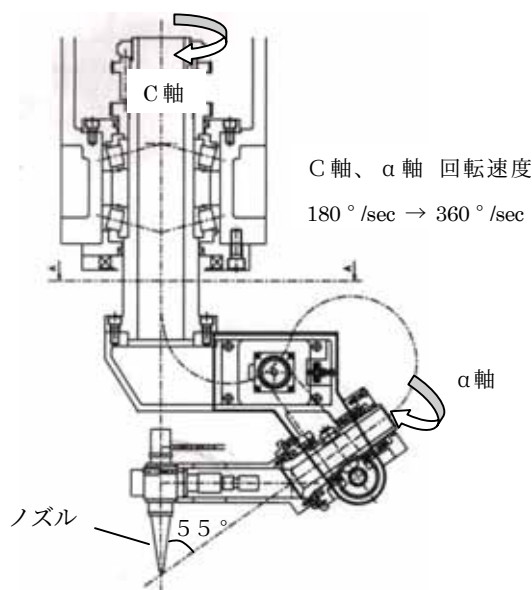


図5 加工機回転軸周りの構成

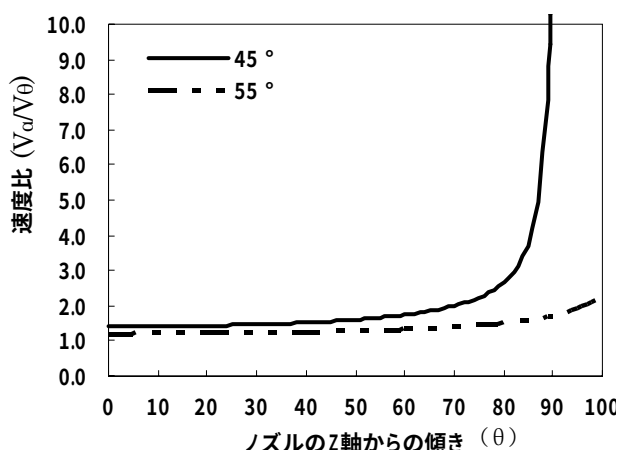


図6 ノズルのZ軸からの傾き（天頂角 θ ）

動して急激に減速することになる。これに対し、オフセット角を 55° に変更することによって、ノズル向きが水平付近であっても速度比が2程度におさまリ、加工速度の低下は限定的なものとなる。したがって、ノズルの天頂角 θ が大きく変化する指令が出た場合でも、回転軸の高速化と相まって、高速での追従が可能となり、ノズル速度が大きく減速することはない。このように、回転軸の高速化とオフセット角の変更により、加工機の高速度化を図ることができた。

5. CAMシステムの改良

加工サイクルタイムの短縮には3次元レーザ加工機の高速度化のみならず、合理的なNCプログラムの提供が必要である。そこで、戦略技術研究で開発した切断線補正データ作成システム（CAMシステム）の改良を行った。従来はノズルがワークと干渉するのを避けるため、一つの切断線の加工が終了するたびに必ず所定の高さまで待避することになっていた。しかし同一平面上に複数の切断線が存在する場合には、次の切断線の加工開始位置まで直線的に移動しても干渉の恐れがないため、待避動作を省くように改良した。

またNCプログラム作成までの負荷を低減し、リードタイム短縮を図るための機能付加も行った。一旦データを作ってしまうと、次回にワーク位置をずらして設置しても、前に作ったデータをその位置に合わせて使えるようにするため、座標変換機能を付加した。また複数の切断線のグループ処理機能や法線ベクトル処理機能などを付加し、機能の充実と処理能率の向上を図った。

6. 高精度三次元レーザ加工システムの実用化

以上の検討を重ねた結果、戦略研究で開発した高精度三次元レーザ切断加工システムを企業が実用的に使えるレベルまで改良することができた。図7に県内企業に導入され実用化された高精度三次元レーザ加工機の写真を示す。

実用化した三次元レーザ加工システムを利用することにより、精密プレス製品の高精度三次元切断加工が従来のプレス金型加工からレーザ加工に代替され、低コスト、多品種、短納期に対応した生産を実現できる可能性があることを実際に示すことができた。

7. 結 言

精密プレス部品の切断行程を高精度な三次元レーザ切断加工に代替することを目的に研究を行った。得られた結果は大要以下の通りである。

- (1) パルスレーザ発振器を導入することにより、切断の際に生じる熱変形を低減し、同時にド



図7 実用化された高精度三次元レーザー加工システム

ロス付着のない外観の良好な切断面が得られた。

- (2) C軸及びα軸の回転角速度を2倍に高速化し、C軸とα軸のオフセット角を55°に変更することにより、三次元レーザー加工機の高速化を図った。
- (3) CAMシステムに対し合理的NCデータ作成機能、座標変換機能の付加などの改良を加えることにより、加工サイクルタイム及びリードタイムの短縮を図った。
- (4) これらにより高精度三次元レーザー加工システムを実用化することができた。

8. 謝 辞

本研究を遂行するに当たり、CAMシステムの改良で(財)機械振興協会技術研究所 小西部長に尽力頂いたことに対し、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Kezhun LI and Paul heng
“COMPUTATIONAL MODEL FOR LASER CUTTING OF STEEL PLATES”
MED-Vol.2-1/MH-Vol.3-1, *Manufacturing Science and Engineering ASME*, p3-14(1995)

- 2) 下楠善昭 他 “パルス化高出力 YAG レーザの厚板溶接への適用” 溶接学会論文集, Vo.20, No.4, p477-483(2002)
- 3) 舟田義則 他 “パルス YAG レーザによる超精密切断技術の開発” 石川県工業試験場研究報告, No.50, p1-6(2001)
- 4) 菊池正夫 他 “レーザー熱処理の品質特性と熱伝導解析” 小松技報, Vol.26, No.2, p24-32(1980)
- 5) Andreas Hillebrand et al “Temperature modeling and in-process quality inspection in laser beam cutting of contour elements” *SPIE/* Vol.2007, p414-425(1994)
- 6) 高橋和久 他 “YAG レーザによる Al-Si-Mg 合金の表面改質と熱伝導解析” 軽金属学会第98回春季大会講演概要, p85-86(2000)
- 7) 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, NO.28, p.31(1999)
- 8) 吉野, 長谷川, 斉藤 “高精度三次元レーザー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, NO.30, p.16(2001)
- 9) 丸山, 長谷川, 斉藤, 三村, 田村 “高精度三次元レーザー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, NO.31, p.9(2002)
- 10) 丸山, 長谷川, 斉藤, 三村, 田村 “高精度三次元レーザー切断加工システムの開発(第3報)” 新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書, NO.32, p.3-8(2003)
- 11) 丸山, 長谷川, 斉藤, 三村, 田村 “高精度三次元レーザー切断加工システムの開発(第4報)” 新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書, NO.32, p.9-14(2003)

实 用 研 究

階調制御技術および限定色絵柄表現技術の研究

阿部 淑人* 五十嵐 宏* 長谷川 直樹*

Tone Controllability and Restricted Color Image Rendition

ABE Yoshito*, IKARASHI Hiroshi* and HASEGAWA Naoki*

抄録

プラズマディスプレイ (PDP)、液晶ディスプレイ (LCD) をはじめとして有機 EL(OLED)、電界放射ディスプレイ (FED) などフラットパネルディスプレイの研究開発が盛んに行われ市場拡大が期待されているが、多くのフラットパネルディスプレイが CRT と異なる点の一つに連続階調を表現するのが困難であることが上げられる。原理的に PDP や OLED は発光時間により輝度を制御するために概ね 64 階調程度しか表示できず、そのままでは疑似輪郭などのある低品質な表示となってしまう。そのため通常はディザ法などの処理により疑似濃淡表示を行っている。従来より良く用いられる方法に組織的ディザ法と誤差拡散法が有るが、いずれを用いるにも尖鋭度の調整を伴うには前置のフィルタ回路などを別途必要とし回路規模の増大をまねいていた。本研究では限定色表示装置に疑似濃淡階調表現を行う際に、別途フィルタ回路を用いることなく同時に尖鋭度の調整を行うことができるような方法を検討した。疑似濃淡化処理にわずかな構造要素を追加するだけで尖鋭化または平滑化を同時に処理できることが確認された。

1 緒言

疑似濃淡化でもっとも基本的な組織的ディザ²⁾はその単純さゆえの表示性能の低さから一般には利用される事が少ないが、印刷ではインク転移を改善するためドット形状制御の必要からクラスタードット (clustered-dot) 型の組織的ディザが利用されている²⁷⁾。標本化密度の増加があるため処理方式の差自体による画質の影響は少ない。ディザマトリクス設計如何でいかなる形状のドットも発生できるためブルーノイズマスク⁹⁾、グリーンノイズマスク^{12, 27)}などの検討が行われている。なお処理方式によらずクラスタードットを発生させる事^{10, 12, 14, 17, 20, 27)}は印字 (印刷) 用疑似濃淡化に共通の話題である。

誤差拡散法 (ED)³⁾ および平均誤差最小法

(MAE)⁴⁾ は、疑似濃淡化の主力方式として多用され、引き続き改良・検討が続けられている^{6, 8, 13, 15, 18, 19, 22, 25, 26)}。類似の方法として、量子化画素列の加重平均を対象画素値に近似することにより尖鋭化と疑似濃淡化を同時に行う決定的補間戦略 (DIS)¹⁾ およびそれと等価の平均濃度近似 (MDA)⁵⁾、クラス行列によって走査順序を制御するドット拡散法 (DD)^{7, 21)}、ランダム空間充填曲線 (RSFC) による変型走査 1 次元拡散法¹⁶⁾、平均濃度近似を一般化したドット決定法²⁸⁾ 等も提案されている。より高度な方法としては遺伝的算法 (GAs) や模擬焼鈍 (SA) などメタ戦略の最適化手法によるもの^{11, 23, 24)}があるが、平均濃度と輪郭形状の再現性を高めるだけであれば誤差拡散法の改良手法などでおおむね同等の目的が達せられるため、より多くの演算資源を必要とする最適疑似濃淡化はそれほど利用価値を認められていない。しかしながら今後より強力な演算性能が手に入った場合には、

* 下越技術支援センター

表示デバイスの各種物理条件を制約にした最適化により、著しい性能向上をもたらすことも期待できるため引き続き検討を行なう必要があると考える。

一方、実用面において、疑似濃淡化と同時に尖鋭化や平滑化を行ないたいという要求があるものの、従来は別途前置フィルタによるしか術が無く、処理負荷の点で無駄が多かった。そこで本研究では誤差拡散法を、わずかな付加要素で疑似濃淡化と同時に尖鋭化または平滑化を行なえるように拡張した。以下、次章で誤差拡散法を拡張し、第3章では信号伝達関数 (STF) と雑音伝達関数 (NTF) を手がかりに疑似表示能力と画質制御機能の解析を行なうなど各種表示性能について解析を行なう。

2 拡張誤差拡散法による疑似濃淡化処理

画像の疑似濃淡化に利用される誤差拡散法は、量子化誤差のフィードバックにより白色量子化雑音の青色化を行う方式である。それによって階調表現能力に制約のあるデバイスにおいても近似的に平均輝度表現を維持することができる。量子化は信号伝達系から見ると白色雑音の印加であり、誤差拡散法の形式では信号伝達関数 (STF) を全通過に保ったまま雑音伝達関数 (NTF) を高域通過にしてノイズシェーピングの効果を得ていることになる。

2.1 拡張誤差拡散法の処理過程

例として 8-bit 階調のグレースケール画像 $C(m, n)$ を L 階調の画像 $H(m, n)$ へと減色することを考える。ここで $(0 \leq m < M)$, $(0 \leq n < N)$ である。通常の誤差拡散による疑似濃淡化処理は量子化の前後での誤差を拡散フィルタを介して入力にフィードバックするものであるが、提案手法では量子化の前後の値を二つの異なる拡散フィルタで処理した後に差分し入力にフィードバックするように変更する。入力信号側のフィルタを V 、出力信号側のフィルタを W とし

て入出力関係を記述すると、

$$H(m, n) = Q_{l_{m,n}}; r$$

$$l_{m,n} = \arg \min_{l \in L} |\tilde{C}(m, n) - Q_l|, \quad (1)$$

$$\tilde{C}(m, n) = \alpha C(m, n) + D(m, n), \quad (2)$$

$$D(m, n) = D_V(m, n) - D_W(m, n), \quad (3)$$

$$D_V(m, n) = \sum_{(i,j)} V(i, j) \tilde{C}(m+i, n+j), \quad (4)$$

$$D_W(m, n) = \sum_{(i,j)} W(i, j) H(m+i, n+j). \quad (5)$$

となる。ここでフィルタの直流利得 $\delta_V (= \sum_{(i,j)} V(i, j))$, $\delta_W (= \sum_{(i,j)} W(i, j))$ は拡散率を表し通常は 1 である。減色後のカラーマップは $\{Q_l; l \in L = \{0, 1, \dots, L-1\}\}$ であらわされる。 $L = 4$ で例えば $Q_0 = 0, Q_1 = 85, Q_2 = 170, Q_3 = 255$ である。 D は印加するディザ信号、 V, W は拡散フィルタである。原画像 C にディザ D を印加したものが $\tilde{C}$ であり、単純に C を量子化するのでなく $\tilde{C}$ を量子化することで疑似濃淡化が実現される。 α は信号伝達関数の直流利得を 1 に保つための全域利得係数である。

2.2 拡張誤差拡散法の伝達関数

入力拡散フィルタ V の 2 次元 Z 変換を $V(\mathbf{z})$ 、出力拡散フィルタ W の 2 次元 Z 変換を $W(\mathbf{z})$ と書くと信号伝達関数は、

$$T_S = \frac{1 - \delta_V + \delta_W}{1 - V(\mathbf{z}) + W(\mathbf{z})} \quad (6)$$

と表され、同様に雑音伝達関数は

$$T_N = \frac{1 - V(\mathbf{z})}{1 - V(\mathbf{z}) + W(\mathbf{z})} \quad (7)$$

と表される。 δ_V および δ_W はそれぞれ拡散フィルタ (V, W) の直流利得であり、信号伝達関数の直流利得を正規化するために予め入力信号を増幅している。この式からわかるように、 $V = W$ の時は明らかに通常の誤差拡散法になり信号伝達関数は恒常的に 1 となるが、一般的には周波数特性を持つために尖鋭化や鈍化の前処理を内蔵することが可能になる。雑音信号の直流利得

を 0 にするための必要十分条件は $1 - V(\mathbf{z})$ の直流利得が 0 になることである。

また特に $V = \beta W; 0 \leq \beta$ とした場合にその信号伝達関数は、

$$T_S = \frac{1 + (1 - \beta)\delta_W}{1 + (1 - \beta)W(\mathbf{z})} \quad (8)$$

と表され、同様に雑音伝達関数は

$$T_N = \frac{1 - \beta W(\mathbf{z})}{1 + (1 - \beta)W(\mathbf{z})} \quad (9)$$

となる。入力拡散フィルタ $V = \beta W$ が直流利得 1 の低域通過フィルタであれば、量子化雑音は高域通過成分のみが出力されることになる。拡散フィルタの通過帯域幅が広いほど雑音の帯域幅が狭くなるので SN 比の良い疑似濃淡化が達成される。

β が 0 に近いほど平均濃度近似法と同等の振る舞いをし、高域強調するようになる。 β を大きくし 1 に近づけるほど通常の誤差拡散法と同等の振る舞いをするようになり、1 を越えると高域抑制になる。 β を少なくすることによって高域強調が出来る半面、 $\beta = 0$ では雑音伝達関数の直流利得を 0 にすることができなくなる。

雑音信号の直流利得が特に問題となるのは平坦部であり、輪郭部ではそれほど重要視されないことから、平坦部で β を大きくとって通常の誤差拡散とし輪郭部で β を小さくとって平均濃度近似とするような輪郭感応型の適応制御も有効であると考えられる。

またフラットパネルディスプレイ (FPD) 類では概ね 64 階調程度表現できるため、これに用いて、高域の強調・抑制を統合的に処理することができる。64 階調程度の表現能力があれば、雑音伝達関数が 0 にならないことの影響は微小である。

3 特性解析

本節では前節で拡張した誤差拡散法の特性について解析を行う。図 1 にテスト画像 Eye と

Target、Grayscale を JJN⁴⁾ 法で 16 階調化した画像を示す。それぞれ 512×512 画素の 8-bit 濃淡画像が原画像である。

誤差拡散フィルタの拡散係数を

$$V_\sigma(i, j), W_\sigma(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{\kappa} \exp(-\frac{i^2+j^2}{\sigma^2}) & \text{既量子化領域、} \\ 0 & \text{それ以外、} \end{cases} \quad (10)$$

とガウシアンフィルタ型とし、正規化係数 κ で直流利得を制御するものとする。

3.1 平均輝度再現性

前記拡散フィルタを $\sigma_V^2, \sigma_W^2 = \{0.4, 0.5, 0.64, 0.8, 1, 1.25, 1.6, 2, 2.5, 3.2, 4, 5, 6.4, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 32, 40\}$ と変えて、2 値化を行った場合の平均輝度再現精度を測定した。精度測定の尺度としては疑似濃淡化の前後の画像をそれぞれ $\sigma^2 = 2.5$ のガウシアンフィルタでぼかすことにより濃淡階調を復元して RMSE を測定した。ガウシアンフィルタの分散は数々の実験より 256 階調の画像を、解像度変換なしに 2 階調に疑似濃淡化した場合の再現性評価に適切と判断された値である。なお各拡散フィルタの直流利得はどちらも 1 である。

図 2 にそれぞれのテスト画像の RMSE 値のプロットを示す。いずれも $\sigma_V^2 = 0.4$ 付近、 $\sigma_W^2 = 1$ 付近で最小値となっている。図 3 にはそれぞれの画像で RMSE 値が最小となった時の疑似濃淡画像を示す。おおむね $0.5 \leq \sigma_V^2 \leq 1.6$ 、 $1.0 \leq \sigma_W^2 \leq 3.2$ 付近で良好な平均輝度再現が行われることがわかる。なお最小値は、Eye が $\sigma_V^2 = 0.50, \sigma_W^2 = 1.25$ の時の 4.89, Target が $\sigma_V^2 = 0.40, \sigma_W^2 = 0.64$ の時の 7.01, Grayscale が $\sigma_V^2 = 0.40, \sigma_W^2 = 1.60$ の時の 5.47、であった。なお JJN⁴⁾ フィルタによる一般的な平均誤差最小法では Eye が 7.53, Target が 12.78, Grayscale が 7.06 である。

3.2 輪郭精度再現性改善のための高域強調

ここでは輪郭強調を制御するために式 (8) のタイプの伝達関数を適用し、JJN 係数を β, δ_W で

制御した。

拡散フィルタ $V = \beta W$ として帰還率 $0 \leq \beta \leq 1.6$ を変化すると同時に、フィルタ W の直流利得 $0 \leq \delta_W \leq 1.6$ を変化することで高域強調度を変化させた。このときの平均輝度再現性が許容範囲内であれば、雑音伝達関数の影響も軽微であるといえる。

図 4 に 16 階調化を行った場合に β および δ_W を変えたときの RMSE の推移を示す。なおこの RMSE はぼかしを入れない生の状態での値である。 β と δ_W の積が 1 を越えると極端に誤差が増える場合があるがそれ以外では概ね良好な特性である。帰還率が 1 に近いほど一般の誤差拡散に近い状態のため信号伝達関数はフラットになり、帰還率が 0 に近いほど平均濃度近似に近い状態のため信号伝達関数は高域増幅される。またフィルタ W の直流利得が小さいほど、単純量子化に近づくため平均輝度再現が低下すると同時に輪郭再現が向上する。逆に直流利得が大きいほど変調度が高くなり (中心画素の寄与度低下) 平均輝度再現が向上すると同時に輪郭再現が低下する。

図 5 には $\beta = 0, \delta_W = 1.6$ の平均濃度近似状態での疑似濃淡画像をしている。輪郭が強調されていることがわかるが、特に Grayscale で低域雑音の残留により等色領域が発生していることも見受けられる。

4 結言

本稿では疑似濃淡化処理で利用価値の高い誤差拡散法を拡張し、疑似濃淡化と同時に尖鋭化または平滑化を行なえるようにした。

- (1) 拡張誤差拡散法は平均濃度近似法を含み平滑化または尖鋭化機能を内包することができる。
- (2) 拡散フィルタを 2 つに分け入力値列と出力値列をそれぞれ別々に拡散することで、さまざまな特性を持たせる事が可能とな

った。

- (3) 特に入力値列の帰還率を制御する形態では帰還抑止の場合が平均濃度近似法に相当し尖鋭化が最大限発揮されるがその代償として、雑音伝達関数の直流利得を 0 にすることができなくなる。
- (4) 減色程度が顕著な 2 値化では雑音伝達関数の直流利得は重要な要素であるが、電子表示デバイスなどでは 64 階調程度の表示が出来るので、小規模で尖鋭化機能が付加でき効果的である。

本研究成果について下記の名称で特許出願済みである。

【発明の名称】

画像の階調処理方法および処理装置

【出願番号】

特願 2004-070556

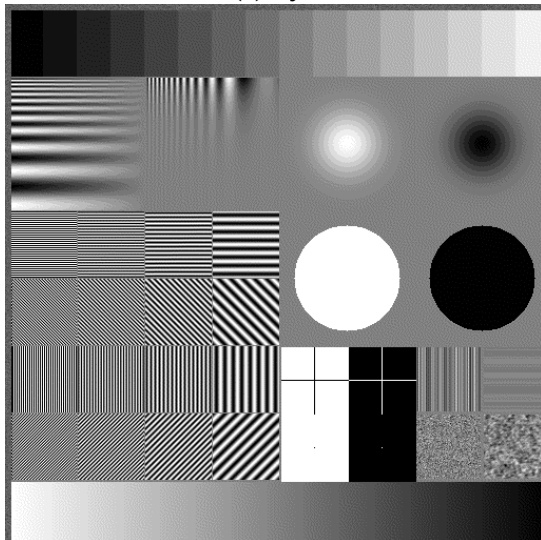
参考文献

- 1) Manfred R. Schroeder, "Images from Computers," *IEEE Spectrum*, vol. 6, 1969, pp.66–78.
- 2) B. E. Bayer, "An Optimum Threshold for Two-level Rendition of Continuous-tone Pictures," *Proc. ICC.*, vol.1, 1973, pp.26.11–26.15.
- 3) R. Floyd and L. Steinberg, "An Adaptive Algorithm for Spatial Gray Scale," *SID Digest of Tech. Papers*, vol.4.3, 1975, pp.36–37,
- 4) J. F. Jarvis, C. N. Judice, and W. H. Ninke, "A Survey of Techniques for The Display of Continuous Tone Pictures on Bilevel Displays," *Proc. CGIP*, vol.5, No.1, 1976, pp.13–40
- 5) 黒沢由明, "平均濃度近似による濃淡画像の 2 値化表示方式", 情報処理学会論文誌, vol.26, no.1, 1985, pp.153–160.
- 6) Robert Ulichney, "Digital Halftoning," M.I.T. Press, Cambridge, 1987
- 7) D. E. Knuth, "Digital Halftones by Dot Diffusion," *ACM Trans. Graph.*, vol.6, 1987, pp.245–273.
- 8) Robert Ulichney, "Dithering with Blue Noise," *Proc. IEEE*, vol.76, no.1, 1988, pp.56–79.
- 9) Theophano Mitsa and Kevin Parker, "Digital Halftoning Using a Blue Noise Mask," *Proc.*

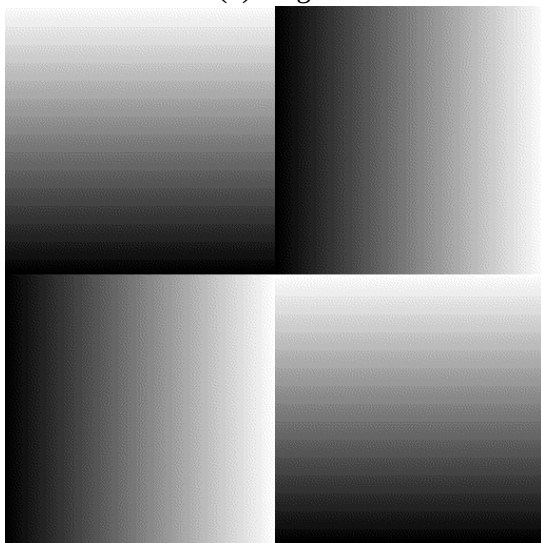
- IEEE ICASSP 1991*, 1991.
- 10) Raph Levien, "Output Dependent Feedback in Error Diffusion Halftoning," *Proc. IS&T NIP8*, 1992, pp.280–282.
 - 11) N. Kobayashi and H. Saito, "Halftone algorithm using genetic algorithm," *IEICE Trans. Inf.&Syst.*, vol.J78–D–II, no.10, 1995, pp.1450–1459.
 - 12) Shen-Ge Wang, "Stoclustic (Stochastic Clustered) Halftone Screen Design," *Proc. IS&T NIP13*, 1997, pp.516–521.
 - 13) T. Kakutani, "Threshold Control Technique for Error Diffusion Method," *J. of Society of Electrophotography of Japan (SEPJ)*, vol.37, no.2, 1998, pp.50–56.
 - 14) Daniel L. Lau, Gonzalo R. Arce and Neal C. Gallagher, "Green-noise Digital Halftoning," *Proc. of the IEEE*, vol.86, no.12, 1998, pp.2424–2442.
 - 15) T. Kimoto, T. Fujii, and M. Tanimoto, "Adaptive Error Diffusion for Step Edges of Image Signals," *IEICE Trans. Inf. and Syst.*, vol.J82–D–II, no.2, 1999, pp.205–215.
 - 16) T. Asano, "Digital Halftoning Algorithm Based on Random Space-filling Curve," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.E82-A, no.5, 1999, pp.553–556.
 - 17) Daniel L. Lau, Gonzalo R. Arce and Neal C. Gallagher, "Robust Halftoning with Green-noise," *Proc. 1999 Image Processing, Image Quality, Image Capture Systems Conference*, Savannah, Ga. USA, 1999, pp.26–28.
 - 18) J. Shimuzu, "An Error-Diffusion Based on a 2-D Teager Filter Using the Adaptaion of Error Diffusion Ratio," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.J82–A, no.7, 1999, pp.1167–1170.
 - 19) Keith T. Knox, "Evolution of Error Diffusion," *J. of E.I.*, vol.08, no.04, 1999, pp.422–429.
 - 20) Victor Ostromoukhov and Roger D. Hersch, "Stochastic Clustered-dot Dithering," *J. of E.I.*, vol.08, no.04, 1999, pp.439–445.
 - 21) Murat Mese, and P. P. Vaidyanathan, "Optimized Halftoning Using Dot Diffusion and Methods for Inverse Halftoning," *IEEE Trans. Image Proc.*, vol.9, no.4, 2000, pp.691–709.
 - 22) M. Muneyasu, T. Oda, Y. Nakata, and T. Hinamoto, "Adaptive Error Diffusion Using Fuzzy Reasoning for Step Edges," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.J83-A, no.7, 2000, pp.859–867.
 - 23) K. Tanaka, "Improvement of halftone images using SA," *J. of ITEJ*, vol.54, no.7, 2000, pp.1104–1106.
 - 24) H. Aguirre, K. Tanaka, and T. Sugimura, "Accelerated Halftoning Technique Using Improved Genetic Algorithm," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.E83–A, no.8, 2000, pp.1566–1574.
 - 25) Victor Ostromoukhov, "A Simple and Efficient Error-Diffusion Algorithm," *Proc. ACM SIGGRAPH 2001*, 2001, pp.567–572.
 - 26) Pierre-Marc Jodoin and Victor Ostromoukhov, "Error-Diffusion with Blue-Noise Properties for Midtones," *Proc. SPIE*, vol.4663, 2002, pp.293–301.
 - 27) Y. Abe, "A New Method of Designing a Dither Matrix," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.E85-A, no.7, 2002, pp.1702–1709.
 - 28) Y. Abe, "Dot Decision Algorithm for Image Rendition," *Proc. IEICE 18th DSP Symposium*, Ise-shima, 2003.



(a) Eye

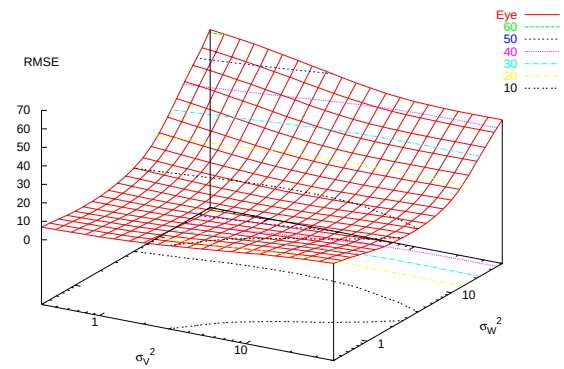


(b) Target

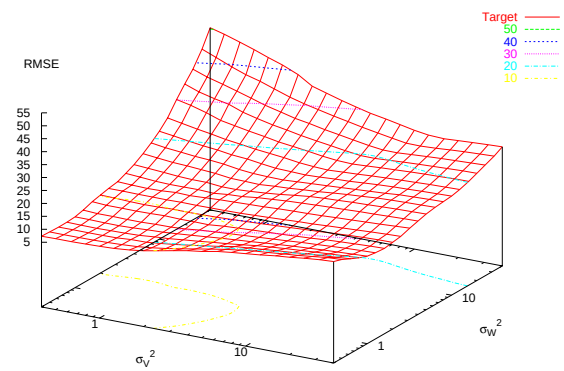


(c) Grayscale

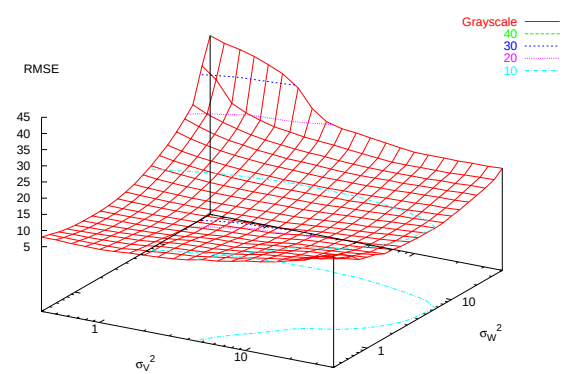
図 1: JJN 法による 16 階調疑似濃淡画像



(a) Eye



(b) Target

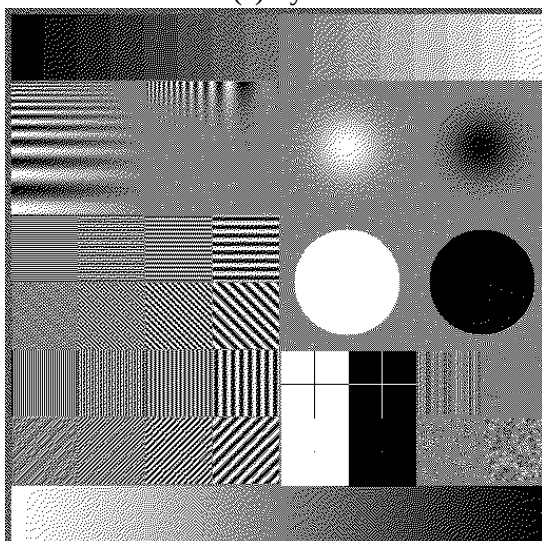


(c) Grayscale

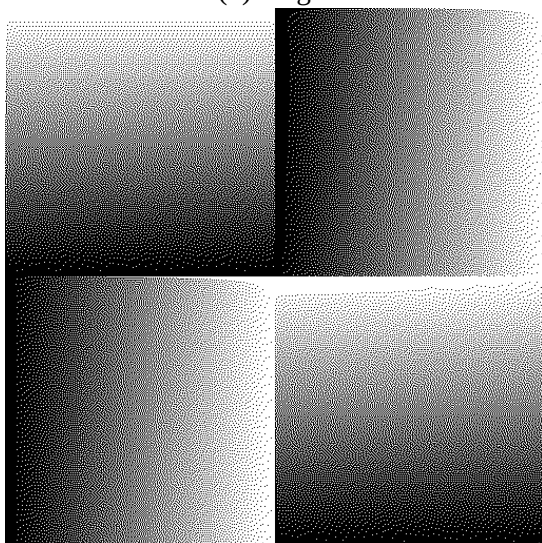
図 2: σ_v と σ_w を変化したときの RMSE 値



(a) Eye

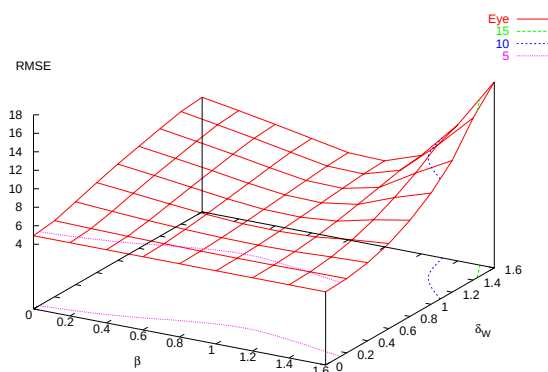


(b) Target

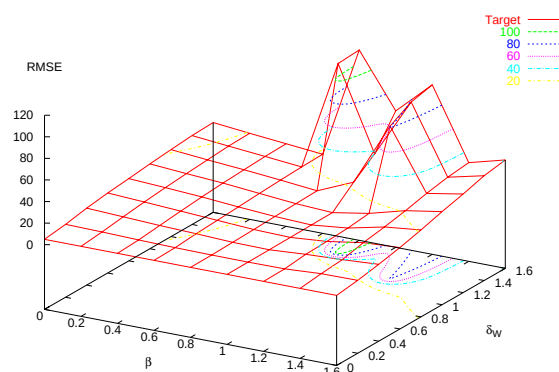


(c) Grayscale

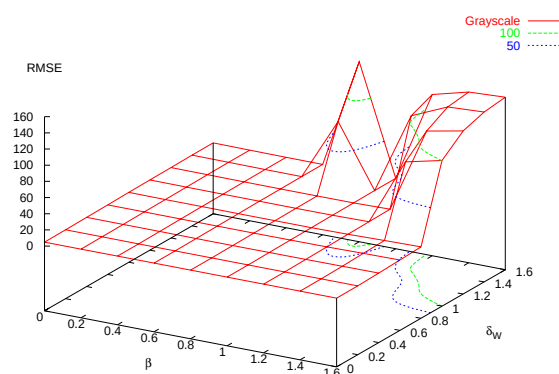
図 3: 最小 RMSE の時の 2 階調疑似濃淡画像



(a) Eye



(b) Target

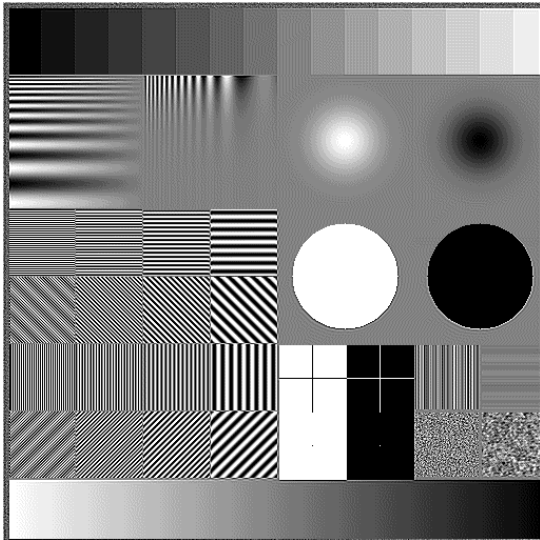


(c) Grayscale

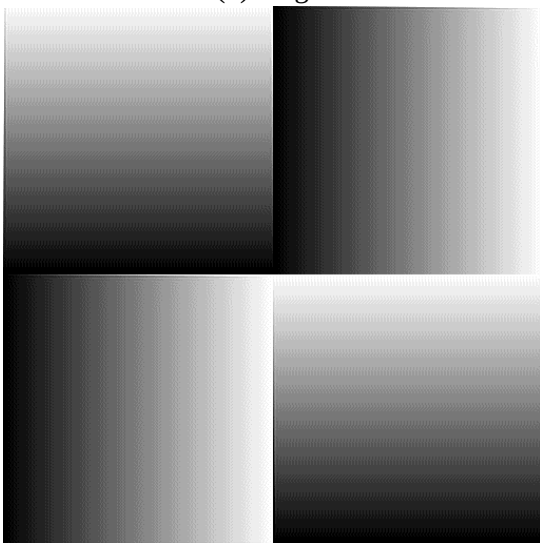
図 4: $\sqrt{\beta}$ と δ_W を変化した時の RMSE 値



(a) Eye



(b) Target



(c) Grayscale

图 5: 16 階調尖銳化疑似濃淡画像

マグネシウムとアルミニウムの異種材拡散接合

平石 誠* 石川 淳* 田宮 宏一*

A Study on Welding between Aluminum and Magnesium

HIRAISHI Makoto*, ISHIKAWA Atsushi* and TAMIYA Kouichi*

抄 録

アルミニウム（A1020）とマグネシウム合金（AZ31B）の拡散接合において、各種中間材が接合強さや接合部の組織に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、接合部の化学組成と接合強さの関係について調べた。中間材には Ag、Zn、In および Sn を用いた。

共晶温度付近の接合温度において接合できたのは Ag と Zn を用いた場合のみであった。Zn を用いた場合には接合界面で共晶反応が生ずる温度で高い接合強さが得られ、中間材を用いなかった場合に対して 2.5 倍であった。中間材を用いなかった場合、破断部近傍は初晶 Mg と金属間化合物 $Mg_{17}Al_{12}$ の擬共晶組成であった。Zn 中間材を用いることにより $Mg_{17}Al_{12}$ の生成が抑制され、接合強さが向上することが示された。

1. 緒言

マグネシウム合金は、チクソモールディングやプレス加工¹⁾などの成形技術の進歩や表面処理技術の開発²⁾に伴って、製品への適用範囲を広げている軽金属材料である。一方で、同じ軽金属としてマグネシウムとしばしば比較される材料にアルミニウムがある。アルミニウムおよびその合金は、材種が豊富であり、表面処理技術や加工技術において多くの実績があること、高い熱伝導率あるいは電気伝導率を活かした機能材料として用いられることなど、依然、工業材料として利用価値の高い材料である。マグネシウム合金とアルミニウムあるいはその合金を組み合わせることにより、より高機能、高能率の製品を構成できると考えられる。本研究では、これらの材料を拡散接合するにあたり、各種中間材が接合強さや接合部の組織に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 供試材

アルミニウムには純アルミニウム（A1020）（以

*下越技術支援センター

下、A1020 と記す）を、マグネシウム合金には AZ31B（以下、AZ31B と記す）を用いた。接合試験片の形状は、図1のように、直径 17 mm、高さ 18 mm の円柱であり、その端面を接合面とした。接合面を #1000 エメリー紙により研磨した後、アセトン中で超音波洗浄し、接合に供した。

中間材には Ag、Zn、In および Sn を用いた。いずれも純度は 99.95%以上、厚さは 50 μm である。一辺が 20 mm の正方形に切り出したものを接合界面に挿入して用いた。

2.2 接合方法

接合に用いた装置は、真空加熱炉付材料試験機である。図2には加熱炉内に試験片を取り付けた様子を示す。同図において試験片の上下にあるのが試験片に圧力を加えるための圧縮ジグであり、カーボンで作製した。上部ジグには接合温度を測定、制御するために $\phi 3.2\text{ mm}$ の K 熱電対を取り付けた。その位置は上部圧縮ジグの下端から 7.5 mm であり、熱電対の先端がジグの直径の中心に位置するようにした。

油拡散ポンプによりチャンバー内を真空中に引き、圧力が $1 \times 10^{-4}\text{ Pa}$ になった後、加熱を開始した。

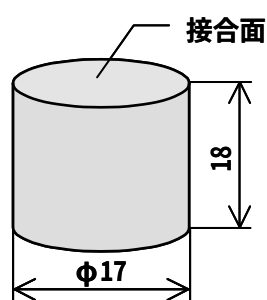


図1 試験片形状

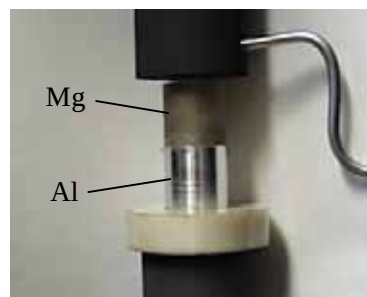


図2 試験片をチャンバー内に取り付けた状態

表1 接合条件

加圧力	0.5 MPa						
接合時間	1800 sec						
接合温度	中間材	共晶または包晶温度	接合温度 (°C)				
	なし	共晶：437°C	360	380	400	420	
	Ag	Mg との共晶：471°C	420	440			
	Zn	Mg との共晶：340°C	280	300	320	340	360
	In	Mg との包晶：160°C	150	175	200	250	300
	Sn	Mg との共晶：200°C	180	220	240	260	

0.33°C/sec の昇温速度で加熱し、温度が設定値（以下、接合温度とする）に到達すると同時に試験片に圧縮力（以下、加圧力とする）を負荷した。この時点で試験機は位置制御から荷重制御に切り替わり、試験片の熱膨張や高温変形に関わりなく一定の加圧力が試験片に負荷される。接合温度で一定時間（以下、接合時間とする）保持した後、加圧力を除荷した。さらにチャンバー内に高純度アルゴンガスを導入し、試験片をガス冷却した。接合条件を表1に示す。接合温度はAl または Mg と中間材との共晶温度または包晶温度を基準に設定した。

2.3 接合部の評価

得られた接合体を引張試験に供し、接合強さを測定した。また、接合部の断面について金属顕微鏡による組織観察および EDS による元素分析を行った。

3. 実験結果

接合実験の結果、接合ができたのは中間材を用いなかった場合と中間材にAg または Zn を用いた場合のみであった。Sn や In を用いた場合、中間

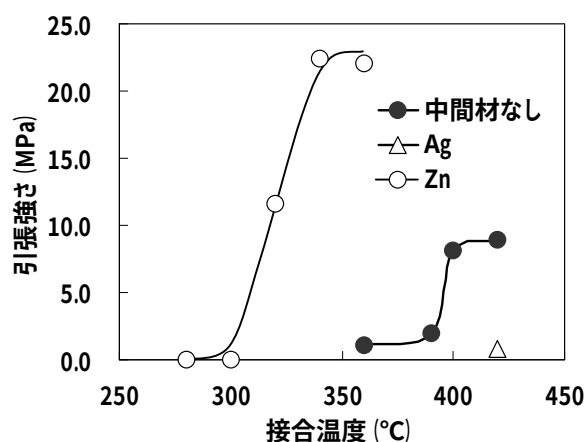


図3 接合強さと温度の関係

材はAZ31B 側には付着していたがA1020 とはまったく接合されなかった。また、Ag を用いた場合、接合温度が 440°C 以上では試験片が融解し接合体が得られなかった。

引張試験の結果を図3に示す。中間材を用いなかった場合は 400°C 以上で、Zn を用いた場合は 340°C 以上で急激に接合強さが増加した。これらの接合温度では接合部の周囲に金属融液がぬれ広がった様子が認められたことから、接合界面では

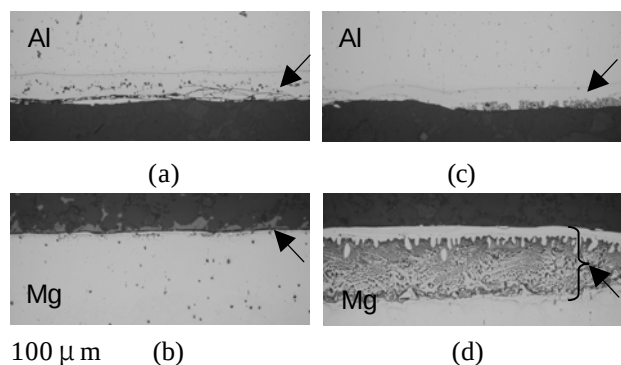


図4 破断後の接合部の断面

(a)、(b)は中間材なし、接合温度：400°C
(c)、(d)は Zn 中間材を使用、接合温度：340°C

共晶反応が生じたものと思われる。また、Zn を用いることによって、中間材を用いなかった場合と比較して、接合強さは 2.5 倍に増加した。

4. 考察

破断後の接合部の断面を観察した結果を図 4 (a)～(d)に示す。図 4 (a)、(b)は中間材を用いなかった場合のもので、接合温度は 400°Cである。接合中に生じたと思われる拡散層（図中に矢印で示す）の厚さは概ね 60 μm であり、その痕跡は Mg 側と A1020 側のいずれにも認められるが、AZ31B 側の方が薄いことから、破断は AZ31B 母材と拡散層の境界付近で生じたことがわかる。また、加藤らによる摩擦圧接²⁾に比べて引張強さが低い。これは拡散層が厚いことによるものと考えられる。

一方、中間材に Zn を用いた場合の接合部の様子を図 4 (c)、(d)に示す。接合温度は 340°Cである。中間材を用いなかった場合と比較すると拡散層の厚さは約 180 μm と厚くなり、また、破断は A1020 母材と拡散層の境界付近で生じた。

Zn 中間材を使用した場合と使用しない場合で破断位置が異なる原因を探るために、図 4 と同様の断面について EDS を用いて元素分布を調べた。

結果を図 5 (a)、(b)に示す。図の左端が破断面に位置しており、直線 L-L' 上の Al、Mg、Zn 各元素の分布を調べた。図 5 (a)は中間材を用いなかった場合で、破断後の A1020 側の接合部である。拡散層中の Al 濃度が破断部において急激に低下していることがわかる。図中に示した破断部近傍の

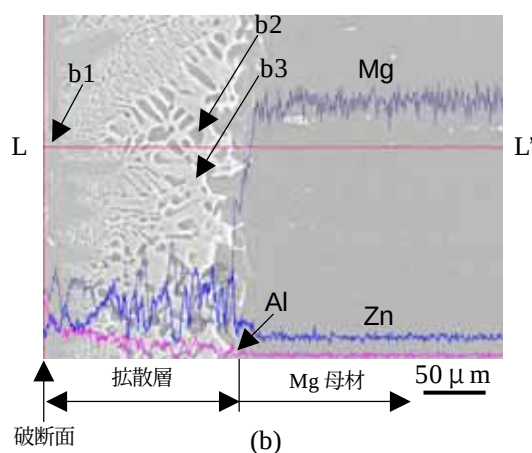
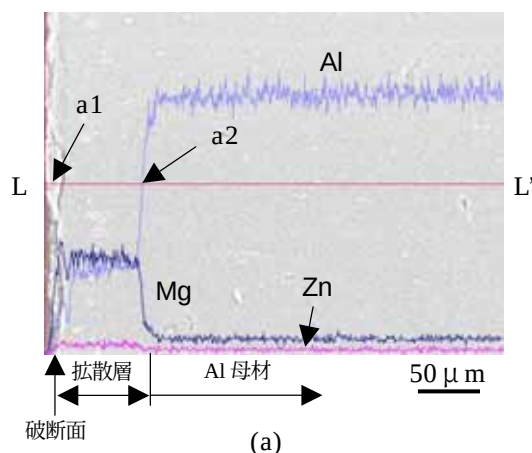


図5 接合部の元素分布

(a)は中間材なし、接合温度：400°C
(b)は Zn 中間材を使用、接合温度：340°C

a1 点および拡散層と母材の境界 a2 点について定量分析を行った結果、a1 点では 66 Mg-32 Al-2 Zn (mass %, 以下同様)、a2 点では 43 Mg-57 Al であった。後述のように a1 点は Al-Mg 二元系状態図における共晶組成にほぼ等しい。

図 5 (b)は Zn 中間材を用いた場合の AZ31B 側の接合部である。中間材を用いなかった場合に破断が生じた AZ31B 母材と拡散層の境界付近では Mg と Zn が多く分布し、Al は少ない。A1020 に近づくに従い Al は増加し、Zn は減少した。定量分析の結果、破断部近傍の b1 点では 44 Mg-32 Al-24 Zn であった。また、拡散層内には網目状の組織が認められる。網目内部の灰色部 (b2 点) の組成は 83 Mg-3 Al-14 Zn、白色部 (b3 点) では 27 Mg-11 Al-62 Zn であった。

以上の定量分析の結果を Mg-Al-Zn 三元系状態図³⁾上にプロットしたのが図6であり、各点の構成相は以下のように読み取られる。なお、状態図上の位置から質量比の高い順に記した。

a1: $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12} + \text{Mg}_{32}(\text{AlZn})_{49} + \text{Mg}$

a2: $\text{Mg}_2\text{Al}_3 + \text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$

b1: $\text{Mg}_{32}(\text{AlZn})_{49}$ 単相

または、 $\text{Mg}_{32}(\text{AlZn})_{49} + \text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$

b2: $\text{Mg} + \text{Mg}_{32}(\text{AlZn})_{49} + \text{MgZn}$

b3: $\text{MgZn}_2 + \text{Mg}_2\text{Zn}_{11} + \text{Al}$

a1、b2、b3 の各点はいずれも拡散層と AZ31B 母材の境界部であるが、b2 および b3 すなわち Zn 中間材を用いた場合には Al の濃度が低く、含まれる金属間化合物は MgZn_2 や $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$ が主であると考えられる。接合強さで比較すると、a1 部は 9 MPa (破断強さ) 程度であるのに対し、b2 部、b3 部の双方またはそのいずれかは 22 MPa 以上を示すはずである (図3 参照)。このことから、Mg-Al 間の化合物 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ に比べ、Mg-Zn 間の化合物は高い引張強さを持っていることが推測される。

Al 濃度が比較的高い a1、a2、b1 部について同様に接合強さを比較すると、a1 と a2 では、同一の拡散層において a1 部で選択的に破断が生じることから、a2 部の方が高い強度を有するものと思われる。また、a1 と b1 はいずれも破断部であり、Zn 中間材を用いた b1 の方が高い強度を持つ (図3 参照)。一方、図6のように、a2 部と b1 部では a1 部に比べて $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ の含有量が少ない。このことは、アルミニウムとマグネシウムの接合において高い接合強さを得られない原因として金属間化合物 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ の生成が関与していること、そして逆に、接合強さの向上には Zn 中間材を用いることにより Al と Mg が直接拡散するのを抑え、かつ安定な化合物の形成により $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ の生成を抑制することが効果的であることを示唆している。

5. 結言

アルミニウム (A1020) とマグネシウム合金 (AZ31B) の拡散接合において中間材が接合強さや接合部の組織に及ぼす影響を調べた。結果は次

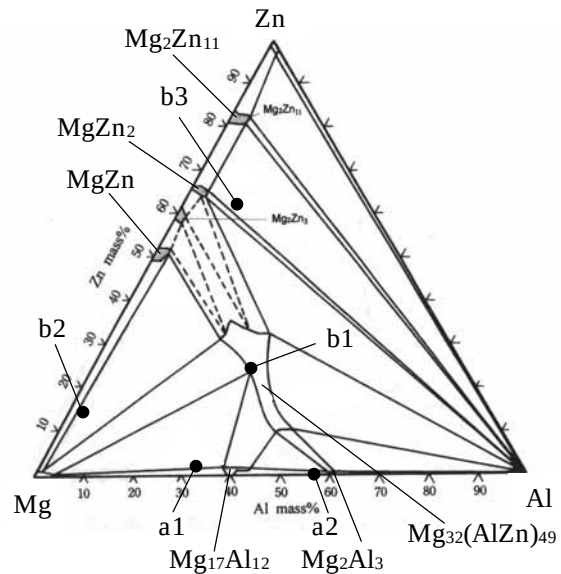


図6 拡散層の構成相

a1、a2 は中間材なし、接合温度：400℃

b1～b3 は Zn 中間材を使用、接合温度：340℃

のとおりである。

- (1) 中間材に Ag と Zn を用いた場合、Mg との共晶温度付近で接合が可能であった。
- (2) 中間材を用いなかった場合と Zn を用いた場合には接合界面で共晶反応が生ずる温度条件で接合強さが高くなった。
- (3) Zn 中間材を用いた場合、用いなかった場合と比較して接合強さは 2.5 倍に増加した。
- (4) 中間材を用いなかった場合、破断部近傍の化学組成は初晶 Mg と金属間化合物 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ の擬共晶組成に相当した。
- (5) Zn 中間材を用いることにより $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ の生成が抑制され、接合強さが向上することが示唆された。

参考文献

- 1) 田辺寛ら, “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”, 新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書, 32, 2003, 15-21.
- 2) 加藤数良ら, “AZ31 マグネシウム合金と 1050 アルミニウムの摩擦圧接継手の機械的性質”, 軽金属, 45, 5, 1995, 255-260.
- 3) 日本マグネシウム協会編, マグネシウム技術便覧, カロス出版, 2000, 89.

プレス成形品のスプリングバックに関する研究

斎藤 博* 杉井 伸吾* 片山 聡*

Study on FEM Analysis of Springback in Press Forming

SAITO Hiroshi*, SUGII Shingo* and KATAYAMA Satoshi*

抄 録

プレス成形時に発生するスプリングバックについて、成形実験および静的陰解法プログラム MARC による有限要素法解析を行った結果、実験値と解析は良く対応した。また、解析精度向上には長手方向よりも板厚方向の要素細分割が有効であることが分かった。

1. 緒言

プレス成形時に発生する割れ、しわ、スプリングバックの予測は非常に困難で、従来は試作成形により不具合箇所を発見し、金型形状を修正するという手法が多く用いられてきた。しかし近年の製品の多様化、短納期化に対応していくには、これら試作工程の軽減は必須である。最近では有限要素法解析（FEM）によりプレス成形シミュレーションを行い、不具合箇所を発見しようという試みが積極的に行われているが、特にスプリングバック量の予測においては材料非線形、接触や摩擦の取り扱いなど、多くの課題を残しているのが現状である。

そこで本研究では、解析技術の向上を図ることを目的に、以下のような手順でプレス成形品のスプリングバック解析を行った。

- 1) 応力-ひずみ曲線の測定
- 2) 成形実験および形状評価
- 3) 有限要素法によるスプリングバック解析
 - ・要素分割による解精度の相違把握
 - ・材料特性の影響把握

以下、項目毎に詳細を記す。

2. 応力-ひずみ曲線の測定

有限要素法に用いる材料データを測定するため、万能材料試験機（島津製作所製 AG-250KNI）によ

る一軸引張試験を行った。試験によって得られた公称応力-工学ひずみ曲線は、(1)(2)式により真応力-対数ひずみ曲線へと変換した。結果を図1に示す。

$$\text{真応力} \quad \sigma = s(1+e) \quad \cdots(1)$$

$$\text{対数ひずみ} \quad \varepsilon = \ln(1+e) \quad \cdots(2)$$

s:公称応力、e:工学ひずみ

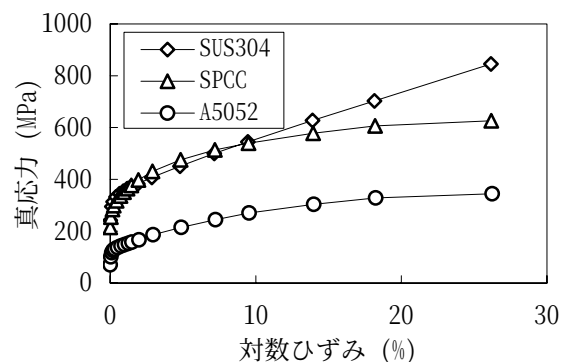


図1 真応力-対数ひずみ曲線

3. 成形実験および形状評価

3.1 成形実験

万能材料試験機により成形した形状を図2、図3に示す。曲げ試験については、ポンチの押し込み量を変化させて、スプリングバック量の違いを比較した。

* 下越技術支援センター

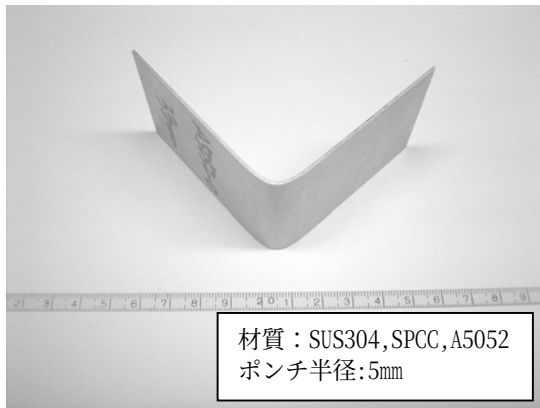


図2 曲げ実験結果

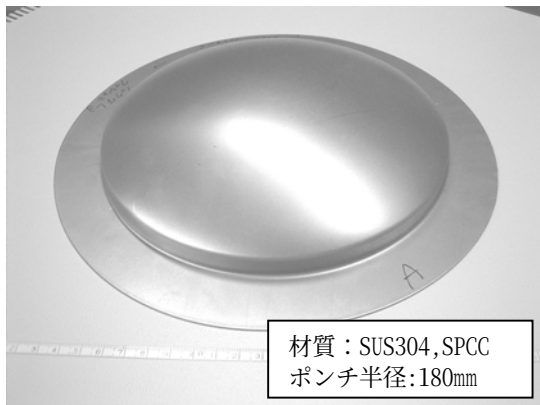


図3 成形実験結果

3.2 形状評価

曲げ形状は、V字直線部の開き角度により評価した。測定は工具顕微鏡（カールツァイス・イエナ製 UMM-D）を用いて、直線部の座標を等間隔に4点測定後、最小二乗法によって直線近似した。

成形実験の形状は、球面部の半径により評価した。測定は形状測定器（ミットヨ製 CV-648）を用いて、測定座標を最小二乗法によって円弧近似した。

4. 有限要素法によるスプリングバック解析

4.1 解析条件

静的陰解法汎用 FEM プログラム MARC を用いて弾塑性解析を行った。解析モデルの概要を図4、図5に示す。両解析ともポンチ、ダイは剛体とし、曲げ解析には四辺形平面ひずみ要素（合計 2500

要素）、成形解析には四辺形軸対称要素（合計 2320 要素）を用いた。ポンチ、ダイと板材の摩擦は考慮していない。材料データは一軸引張試験で得られた真応力-対数ひずみ曲線を MARC の TABLE 機能により入力して用いた。表1に各材質のヤング率と降伏応力を示す。ポアソン比は各材質とも 0.3 とした。

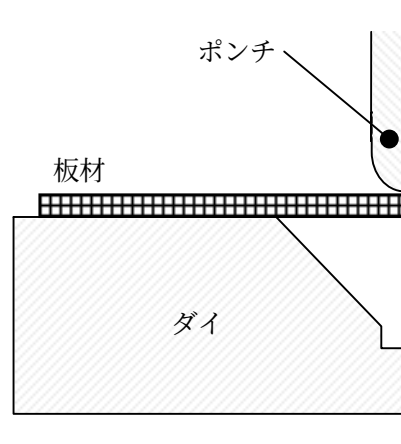


図4 曲げ解析モデル概要

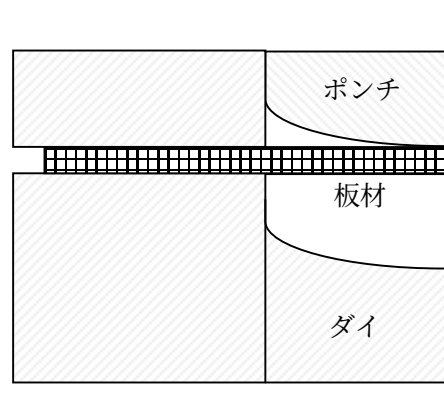


図5 成形解析モデル概要

表1 材料定数

材質	ヤング率 (GPa)	降伏応力 (MPa)
SUS304	198	232
SPCC	203	215
A5052	69	91

4.2 曲げ解析結果

押し込み量とスプリングバック量の関係を図6に示す。どの材質においても、押し込み量が大きくなるにつれスプリングバック量が小さくなっており、その差は8 deg程度であることが分かる。

実験値と解析値の開き角度の比較を図7に示す。ポンチの押し込み量にかかわらず、どの材質においても解析値が実験値と近い値を示しており、良好な解析結果が得られていることが分かる。

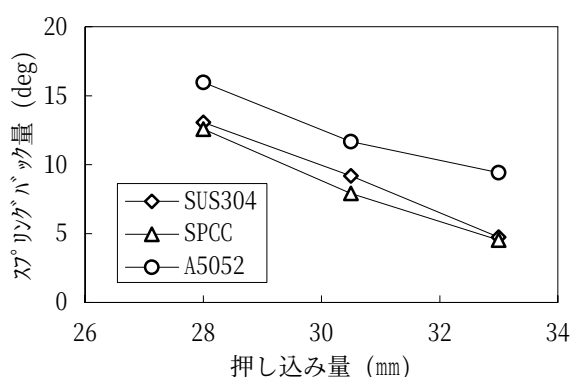


図6 押し込み量とスプリングバック量の関係
(曲げ解析：開き角度)

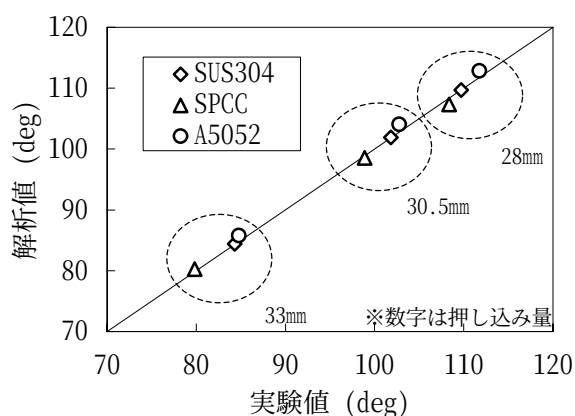


図7 実験値と解析値の比較
(曲げ実験、曲げ解析：開き角度)

4.3 成形解析結果

実験値と解析値の比較を図8に示す。スプリングバック量が半径180mmに対して3mm程度と小さいため誤差が現れづらいが、解析値と実験値がよく対応していることが分かる。

いたため誤差が現れづらいが、解析値と実験値がよく対応していることが分かる。

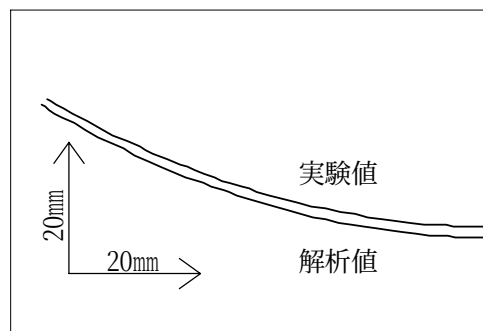


図8 実験値と解析値の比較
(成形実験、成形解析：形状データ)

4.4 要素分割方法による解精度の相違

有限要素法解析では、要素分割方法が解精度に与える影響は大きい。そこで曲げ解析において、長手方向、板厚方向の要素分割が解精度にどのような影響を与えるか調べた。

要素の一辺の長さ $0.2 \times 0.2\text{mm}$ を基準とし、長手方向、板厚方向どちらか片方を2分割したものの、両方向とも2分割したものとで、実験値と解析値の開き角度の差を比較した。図9は押し込み量 33mm での結果である。図から長手方向よりも板厚方向に要素を分割したほうが実験値との差が小さいことが分かる。同じ計算コストで解析を行う場合には、板厚方向の要素分割を優先したほうが効果的であるといえる。

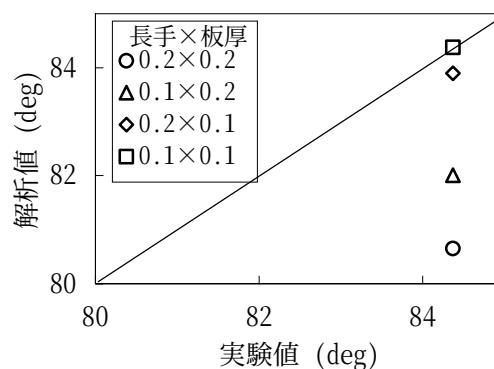


図9 要素サイズによる解析値の違い
(曲げ実験、曲げ解析：開き角度)

4.5 材料特性とスプリングバック量の関係

SUS304 の材料データをもとに、降伏応力 σ_y 、ヤング率 E の値を変化させ、曲げ解析において材料特性とスプリングバック量の関係を調査した。図10は σ_y / E とスプリングバック量の関係を示したものである。図から、降伏応力の増加、ヤング率の減少によりスプリングバック量が大きくなる事が分かる。実際の材料では、降伏点の大きい高張力鋼、ヤング率の小さいアルミ合金などがスプリングバック量の大きな材料であるといえる。

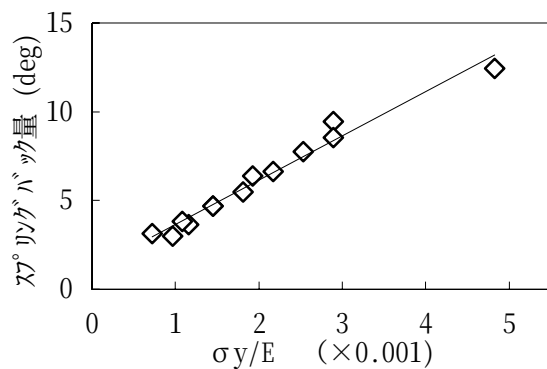


図10 材料特性とスプリングバック量の関係
(曲げ解析：開き角度)

5. 結言

有限要素法によるプレス成形品のスプリングバック解析を行い、以下の結果を得た。

- (1) 曲げ解析、成形解析とも、実験値と解析は良く対応する。
- (2) 高精度な解を得るには、長手方向よりも板厚方向の要素細分割が効果的である。
- (3) 高降伏応力、低ヤング率の材料ほどスプリングバック量が大きくなる。

マグネシウム合金の鍛造成形技術の研究

須貝 裕之* 樋口 智* 天城 裕子* 三浦 一真* 柄沢 武*

A Study on Forging Technology for Magnesium alloy

SUGAI Hiroyuki*, HIGUCHI Satoru*, AMAKI Yuuko*, MIURA Kazuma* and TAKESHI Karasawa*

抄 録

マグネシウム合金鍛造成型品で発生する表面傷の改善を目的として研究を行った。鍛造実験は、金型の温度制御が高精度に行えることや、実験条件を容易に定量化できるところから、機械式プレス装置を使用し、空気式ハンマー鍛造装置との成型性比較や鍛造における素材温度、金型温度、離型剤の影響について検討した。実験の結果、(1) 機械式プレス装置による鍛造は、空気式ハンマー鍛造装置に比べて材料の変形が小さい。(2) 鍛造素材の温度を300℃から400℃に上げた場合と金型の温度を室温から200℃に上げた場合では、成型時の最大負荷はそれぞれ10%、5%程度しか低下しなかった。(3) 鍛造時に離型剤を用いることにより、同じ鍛造条件でも材料の変形が大きくなり最大負荷も低下した。また成型品表面の品質も向上した。

1. 緒言

マグネシウム合金は、実用金属中最も軽量であるなどの利点がある反面、他の金属材料に比べて機械的強度に劣るという欠点をあわせもっている。このため、ある部品を他の材料からマグネシウム合金に同形状で置き換えようとした場合部品の強度低下は避けられず、これがマグネシウム合金の普及を阻む要因の一つとなっている。これを補う方法のひとつとして鍛造による成形方法がある。一般に鍛造成型は鋳造成型等に比べて、同じ材質を用いた場合でも高い強度を得ることができる。

当県では空気式ハンマー鍛造装置を用いる企業が多い。この装置による鍛造は低コストで大きな鍛造能力が得られる反面、電気ヒータによる金型温度の精密な管理や鍛造条件の安定化などが難しい¹⁾。また、鉄系材料を主体とした鍛造工場での軟質合金の鍛造は、金型への埃の付着による成形品きずや凹みなどの表面品質悪化に対する対処が難しいといった問題点がある。

これらの問題点により、高い表面品質が要求されるマグネシウム合金製外観部品を鍛造によ

り加工することは非常に困難となっている。

本研究では、表面に傷や凹みの少ないマグネシウム合金の鍛造加工を行うために必要な条件を調べることを目的とする。

鍛造実験には、金型の電気ヒータによる加熱が可能で実験条件を定量化しやすい機械式プレス装置を用いた。また、市販の製品を対象とした金型を用い、素材の予熱温度や離型剤の有無そして金型の加熱の有無が成型品の表面性状に与える影響を調べた。

2. 実験方法

2.1 素材

鍛造素材として、押出し加工により成形したマグネシウム合金 AZ31B (Mg-3Al-1Zn)を使用した。形状はφ 17mm*125mm の丸棒とし、素材の表面状態は押出しのまま(梨地状)とした。

2.2 鍛造装置

機械式プレス装置の仕様を以下に示す。

(株)小松製作所製機械式プレス

形 式 : LIC250

圧力能力 : 250t

ストローク数 : 27~55ショット/分

* 県央技術支援センター

ストローク長さ：140mm

機 構 ：ナックル機構

このプレス装置には鍛造時に金型に作用する最大負荷を記録するセンサがある。今回の実験では、このセンサにより、鍛造時に金型に作用した最大荷重を調べた。

2.3 金型

図1に実験に使用した機械式プレス装置の外観写真を示す。また、図2に実験で成形した鍛造品の外観写真を示す。

金型は鍛造の工程ごとに第1～3工程までの3つにわけて作られている。第1工程が粗成型であり、第3工程が仕上げ成型である。

金型の加熱にはカートリッジ式の電気ヒータ（200V,500W）を用い、上型・下型それぞれに4つつつ取り付け（合計2kW）、金型中央部の温度を熱電対により測定し、金型の温度制御を行うこととした。この加熱装置により金型温度を



図1 機械式プレス装置の外観

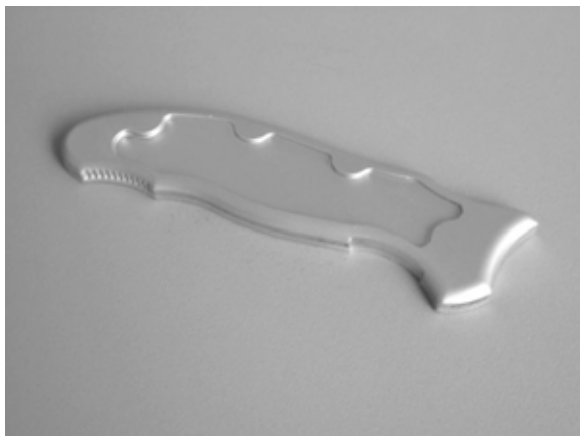


図2 成型品の外観

室温から220℃まで変化させて実験を行った。

2.4 鍛造実験方法

鍛造実験は下記の手順にて行った。

- ・鍛造素材の電気炉による予熱
- ・鍛造第1工程（粗成型）
- ・鍛造素材の再予熱
- ・鍛造第2工程（中間成型）
- ・鍛造素材の再予熱
- ・鍛造第3工程（仕上げ成型）

またすべての鍛造実験において鍛造速度（ストローク速度）は50回/分とした。

3. 実験結果

3.1 素材予熱温度の影響

素材の予熱温度の違いが鍛造成型や成型時の最大負荷に与える影響を調べた。

3.1.1 鍛造成型に与える影響

図3に素材の予熱温度300℃と380℃における成型品の外観を空気式ハンマー型鍛造成型品との比較で示す。

機械式プレス装置で鍛造成型したものは、空気式ハンマー型鍛造装置で成型したものに比べてあきらかに材料の変形が少なかった。このことは、機械式プレス装置による鍛造は空気式ハンマー鍛造装置に比べて成型速度が遅いため、鍛造中に素材の温度が下がってしまったこと、使用した機械式プレス装置の能力が小さく、下死点において上下の金型を接触する（クリアラ

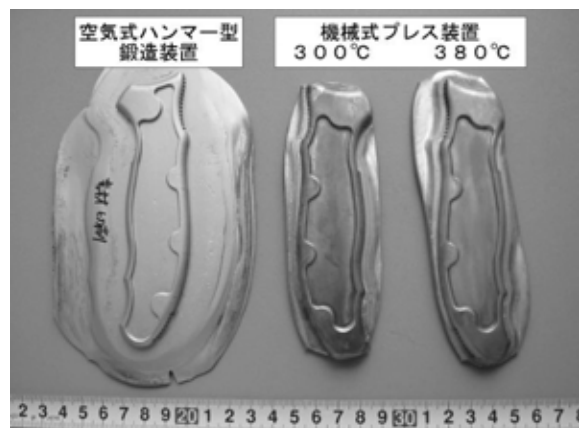


図3 素材の温度と成形性の違い

ンス0mm)まで近づけられなかったことが理由として考えられる。

また、二つの装置による成型品の表面を観察してみると、機械式プレス装置による鍛造では、空気式ハンマー型鍛造装置による鍛造でしばしば見られた装置周辺環境からの異物の侵入による"へこみキズ(図4)"が大幅に減少していることが確認できた。



上：空気ハンマー 下：機械プレス

図4 成型品表面のへこみキズ

3.1.2 最大負荷に与える影響

下記の実験条件における各工程での最大負荷の値を表1に示す。

実験条件

金型温度：室温(23℃)

クリアランス：1mm

素材の温度をあげることによって第1工程での最大負荷は低下するが、その差はわずかであった。また、第2～第3工程では最大荷重の差はほとんど無かった。

表1 金型温度と最大負荷

(単位：t)

		素材温度(℃)	
		300	380
鍛造工程	第1工程	200	180
	第2工程	190	190
	第3工程	190	190

これは金型が第1工程で大きく素材を変形させ、後の工程では細かい形状の成形を行うように工程設計されていることによるものと思われる。

3.2 金型加熱の効果

次に、金型の加熱が表面性状や成型時の最大負荷に与える影響を調べた。

図5に金型の温度が室温の場合と220℃の場合における成型品の外観を示す。

また、下記の実験条件における第1工程での最大負荷の値を表2に示す。

実験条件

素材温度：400℃

クリアランス：1mm

ストローク速度：50ショット/分

表2 金型温度と最大負荷(第1工程)

金型温度(℃)	23	220
最大負荷(t)	180	170

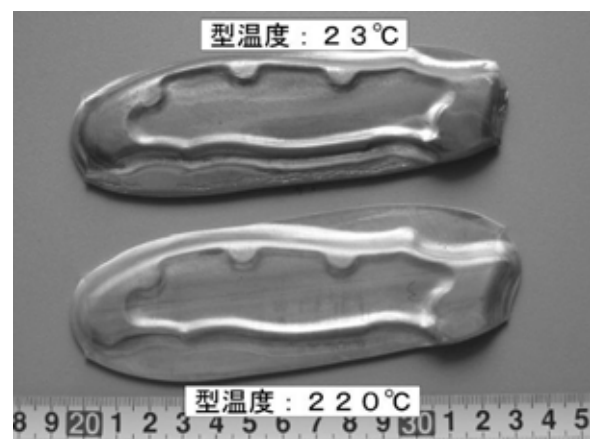


図5 成型品の外観



図6 成型品の外観

金型の温度を上げて鍛造成型を行うことにより、最大負荷がわずかに低下することが確認された。成型品も型温度が高い方が若干ではあるが変形量も大きくなっていた。

3.3 離型剤の効果

金型に離型剤を塗布し、その効果を調べた。離型材は日本黒鉛(株)製のアルミニウム合金用の水溶性黒鉛系離型剤プロハイトを使用した。金型への塗布方法は、成形直前に塗装用エアガンにて塗布し、水分の蒸発を確認した後成形を行った。

図6に離型剤を塗布して成型した成型品の外観を示す。

離型剤を塗布することによって素材と金型の摩擦が減少し、素材の変形が明らかに大きくなったことがわかる。

また成型時の最大負荷も、素材温度 300 °C、金型加熱なしで上型の下死点におけるクリアランスが 0mm の時の 250t 以上であった値が、素材温度 420 °C、金型温度 220 °Cで離型剤塗布によって 190t 程度まで低下した。成型品の表面も離型剤なしの場合に比べてなめらかな仕上がりになった。これは型の表面の摩擦が少なくなったため、鍛造素材の滑りが良くなったことによるものと思われる。

4. 結言

機械式プレス装置を使用し、素材の温度や金型の加熱温度の違い、更には離型剤の有無がマグネシウム合金の鍛造成形性に与える影響を調べ、以下の結論を得た。

- (1) 機械式プレス装置を用いた鍛造ではエアハンマー型の鍛造装置に比べて、材料の変形速度が低い。したがって鍛造素材の温度低下が大きく、金型の設計においても、これを考慮した設計が必要となる。
- (2) 鍛造素材や金型の温度を上げることにより成型時の最大荷重は、若干ではあるが低下する。
- (3) 離型剤を塗布して鍛造を行うことにより、成型時の最大荷重の低下と材料の成形性（材料の変型量）が向上した。

5. 今後の課題

インゴットをそのまま素材として使用できる鑄造に比べて、鍛造は高価な押出し材を必要とする。この欠点をいかに補うかが重要である。

押出し素材の表面品質は鍛造時の成型品の表面品質に大きな影響を与える。したがって高い表面品質を得るためには、押出し素材の表面品質向上が重要となる。

参考文献

- 1) (社)日本塑性加工学会、鍛造、(株)コロナ社、1995、P338.

家具・建具用材の性能評価試験

林 成実* 丸山 英樹* 田村 信*

An Evaluation of Woody Building Materials

HAYASHI Narumi*, MARUYAMA Hideki* and TAMURA Makoto*

抄 録

家具・建具用材 4 樹種について、建材としての利用方法を検討するために物性・強度試験および耐火試験等の性能評価試験を実施した。その結果、物性・強度・燃焼性能とも米マツが最も建材適性が高かった。また建材適性は密度に大きく影響されることを確認した。

1. 緒言

家具・建具用材は現在国内外とも様々な樹種が利用されている。近年、これらを床材や壁材等建材としても利用しようとする動きがあり、独特の暖かさや柔らかさ、高級感等から需要が拡大している。しかし、建材性能を実際に試験評価した例は少なく、虫が食わない、燃えにくい、腐りにくいなど伝統的に言い伝えられた状況のみが先行している。

そこで本研究では、一般的に家具・建具用材として使用されている 4 樹種の建材性能評価試験を行った。性能評価項目は、物性性能として吸湿性試験・吸水性試験、強度性能として曲げ試験・硬さ試験・木ねじ保持力試験、燃焼性能として準防火構造体燃焼試験とした。

2. 実験

2.1 供試体

供試体は、広葉樹材として中国産キリ材および北洋産ミズナラ材、針葉樹として新潟県産スギ材および北米産米マツ材（ダグラスファー）の計 4 樹種を用いた。（以降、キリ、ミズナラ、スギ、米マツと呼ぶ）これらの供試体は各試験寸法に木取り調湿後、JIS Z 2101:1994 に準じて密度・含水率・平均年輪幅を測定し試験体とした。密度は表 1 のとおり。また含水率は各樹種とも約 11～13%、平均年輪幅はキリ、スギ、米マツ、ミズナラそれぞれ 6.1、3.1、1.4、1.5 mm であった。

2.2 物性試験

JIS Z 2101:1994 に準じて試験を実施した。

吸水量試験における吸水面は柃目面および板目面とし、それぞれ測定しようとする一対の相対する面を吸水面として残し、他は耐水性樹脂で防水処理を施した。その後、24 時間浸漬し吸水量を求めた。

吸湿性試験については、吸水量試験と同様に柃目面および板目面をそれぞれ吸湿面とした。含水率 10% 以下に予備乾燥した木片は、40℃、75% R.H. の環境下で調湿し質量・吸湿面積を測定した後、吸湿面以外を耐湿性樹脂で被覆し試験片とした。試験条件は 40℃、90% R.H. とし、24 時間目の重量を測定し、各所定時間における吸湿量を求めた。

2.3 強度試験

曲げ試験および硬さ試験は JIS Z 2101:1994 に準じて試験を実施し、曲げ強さ、曲げヤング係数、硬さを求めた。また木ねじ保持力試験は JIS A 5905:2003 繊維板の木ねじ保持力試験に準じて試験を実施し、木ねじ保持力を求めた。

2.4 燃焼性試験

防耐火実験用壁型加熱炉を用いて燃焼性試験を実施した。（三生技研（株）に試験委託）

この度の試験は、各樹種間の燃焼性の違いを明らかにすることを目的としたため、本来の供試体（H1,000×W2,000 mm）を用いず、次のような予備実験用フレームを作成し、これを供した。

* 県央技術支援センター加茂センター

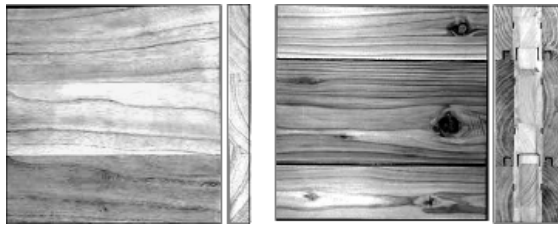


図1 燃焼試験用供試体
(左：幅接ぎ材、右：複合壁材)

約幅 100 mm材をレゾルシノール系接着剤で幅接ぎし、 $t30 \times H300 \times W300$ mmの形状（図1）とした。なお、キリ材とスギ材については防災剤の効果も検討するために、幅接ぎ材に（株）日本防災化学研究所製 防災剤ボーエンドβ(MC-N100)を 400ml/m^2 を2回刷毛塗りし比較試験体とした。その他、キリ造作集成材およびスギ板材を複合した壁材についても、防災剤塗布あり・なしの2種類実施した。

燃焼性試験は、ISO834 に準拠した標準加熱曲線で、幅接ぎ材は30分間、複合壁材は50分間加熱を実施した。測定項目は幅接ぎ材の場合、加熱裏面の中央部に K 熱電対を規定のとおり取り付け表面温度を測定した。また複合壁材の場合は、燃焼面とは反対の各材表面部分 3 カ所に K 熱電対を取り付け温度変化を測定した（図2）。また各試験体について試験後の状況を外観観察した。

3. 実験結果および考察

3.1 物性試験

各条件下 24 時間後の吸水量および吸湿量試験の結果を表1、図3に示す。吸水量における木目の違いについてはスギ材の吸水量で若干差が出たが、各樹種とも明確な差異は確認されなかった。吸水量はキリ材が 0.0416g/cm^2 となり、スギ・米マツの針葉樹材とほぼ同等であった。ミズナラは広葉樹の環孔材であり、放射組織が発達しているため吸水しやすく約3割吸水量が多かった。吸湿量についてはキリ材が 0.007g/cm^2 と最も少なかったが、明確な差異を確認できなかった。

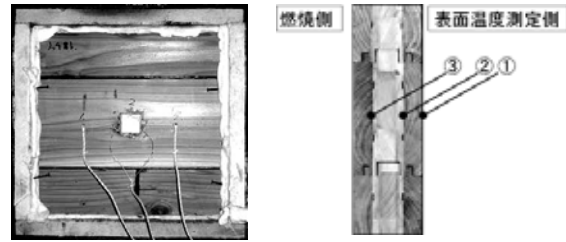


図2 複合壁材の熱電対設置位置

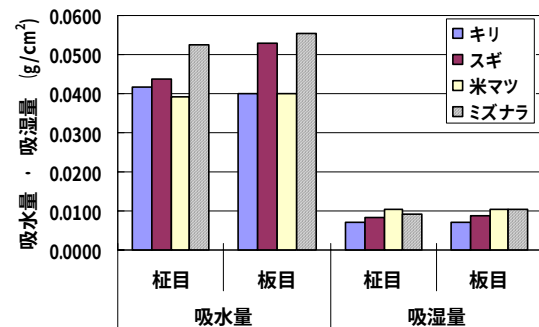


図3 吸水量・吸湿量試験結果

3.2 強度試験

曲げ、硬さ、木ねじ保持力試験結果を表1に示す。各試験結果とも密度に比例して強度性能が高い傾向を示した。キリ材を100とした場合、米マツでは曲げ強さ、曲げヤング係数、硬さ、木ねじ保持力とも約4倍の強度を示した。特に柱目硬さについては平均年輪幅の影響もあり、5.5倍の数値を示した。

3.3 燃焼性試験

幅接ぎ材の燃焼試験状況を図4、燃焼後試験体状況を図5および各試験体の表面温度変化を図6に示す。燃焼開始6分経過後、キリ材が防災処理材とも表面温度が上昇し、15分経過した時点で無処理キリ材の側面部分の燃焼が発生した。燃焼終了後の試験体状況では、無処理キリ材はほとんど炭化している状況が確認できた。その他の無処理試験体については、スギ材で約20mm、米マツおよびミズナラ材では約15mm、炭化が確認された。このように素材のみの場合、燃え代が多く密度の高い材の方が燃焼し難い傾向を示した。防災処理材に関しては、キリ材、スギ材とも燃焼温度

表1 物性および強度試験結果

樹 種	密度 (g/cm ³)	吸水量 (g/cm ²)		吸湿量 (g/cm ²)	
		柱目	板目	柱目	板目
キリ	0.26	0.0416	0.0401	0.0072	0.0073
スギ	0.38	0.0438	0.0530	0.0083	0.0087
米マツ	0.68	0.0391	0.0401	0.0105	0.0103
ミズナラ	0.66	0.0524	0.0552	0.0093	0.0106
樹 種	曲げ強さ (N/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	硬さ(柱目) (N/mm ²)	硬さ(板目) (N/mm ²)	木ねじ保持力 (kN)
キリ	34.2	4.57	4.04	4.27	0.29
スギ	59.8	8.07	7.43	5.91	0.48
米マツ	110.7	14.01	22.74	16.83	1.20
ミズナラ	91.9	10.02	16.65	19.11	1.23



図4 幅接ぎ材の燃焼試験状況

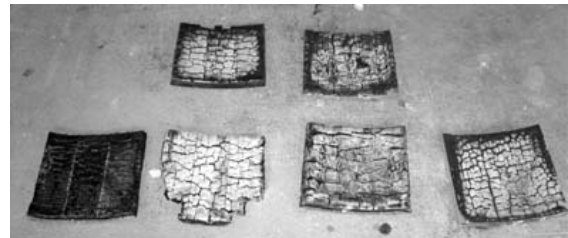


図5 幅接ぎ材の燃焼後試験体状況

上段 左から：キリ防災処理，スギ防災処理

下段 左から：米マツ，キリ，スギ，ミズナラ

は無処理材よりも高くなる傾向を示したが、燃焼スピードは遅く、炭化しても崩壊することは無かった。これは無機系防火剤により熱伝導性が上昇したため温度が伝わり易くなったが、燃焼による亀裂等の発生が抑制されたことで燃え広がり難くなり、崩壊には至らなかったものと推測される。

複合壁材の燃焼試験状況を図7、燃焼後試験体状況を図8、試験体の各表面温度変化を図9に示す。燃焼面のスギ材は約18分で炭化し始め26分で2層目のキリ造作集成材に燃焼が広がった。その後、キリ造作集成材が燃焼したが、燃焼終了49分間時点では炭化のみで3層目のスギ材には到達しなかった。そのため防火処理ありなしとも、表面温度測定箇所②および③の温度上昇は殆ど無かった。燃焼後の複合壁材の状況からも外周部は炭化していたが中心部は2層目のキリ造作集成材で炭化が止まっている状況であった。今回は予備試験として300mm角で行ったが45分間の燃焼に関してはクリアしたと言える。

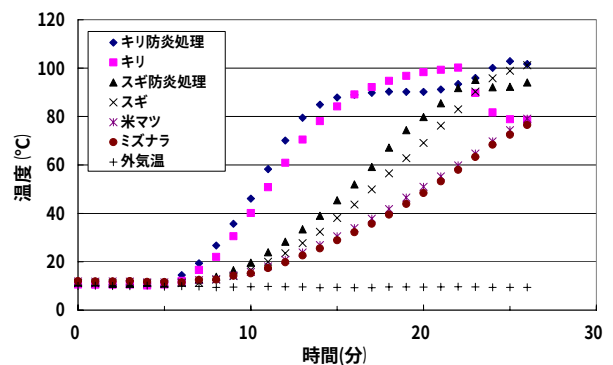


図6 幅接ぎ材の表面温度変化



図7 複合壁材の燃焼試験状況

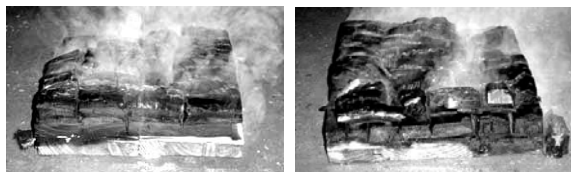


図8 複合壁材の燃焼後試験体状況

(左：防炎処理，右：無処理)

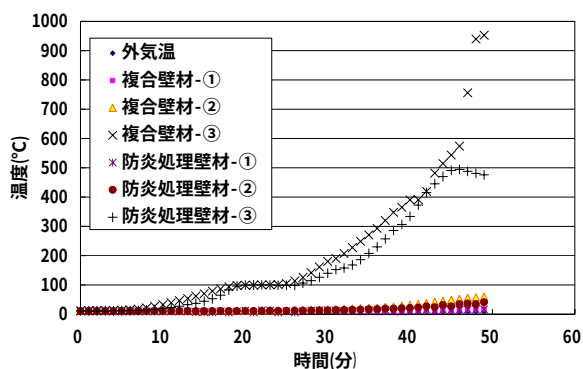


図9 複合壁材の各素材面温度変化

4. 結言

- (1) キリ材は、吸水量で $0.0416\text{g}/\text{cm}^2$ となり、スギ・米マツの針葉樹材とほぼ同等であった。吸湿量については4樹種内では最も少なかったが、明確な差異を確認できなかった。
- (2) 強度性能は一般的な傾向通り密度に比例して高くなった。実際、米マツでは各強度性能ともキリ材の約4倍の強度を示した。
- (3) 燃焼性試験では、燃焼時間 25 分間時点で板厚 30 mmのキリ材はほとんど炭化したのに対し、スギ材で厚さ方向約 20 mm、米マツおよびミズナラ材は約 15 mmまでの炭化が確認された。素材のみの場合、燃え代が多く密度の高い材の方が燃焼し難い傾向を示した。
- (4) 防炎処理材については、燃焼スピードが遅くなり炭化しても崩壊することは無かった。燃焼による亀裂等の発生が抑制されたことで燃え広がり難くなり崩壊には至らなかったものと推測され、キリ材における防炎剤の効果が確認された。

謝辞

本研究において、三生技研（株）様、三基物産（株）様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。

県産スギ材製品の耐候性に関する研究（第2報）

浦井 和彦* 本多 章作* 石井 啓貴*

The research on the weather resistance of the prefectural-made SUGI product (Vol.2)

URAI Kazuhiko, HONDA Syosaku 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）の正確な耐用年数の把握と製品の適正な防腐処理方法を検討するために、製品を試験体として、当センター北側の側溝に設置し、屋外暴露試験法による耐候性試験を実施している。設置して2年経過した試験体の劣化の状態を強度試験やピロディンを用いた測定により確認したので、ここに第2報として報告する。

1. 緒言

試験に用いた側溝用木製蓋は、県産スギ間伐材を利用した商品のひとつで、県内企業が開発したものである。従来の側溝用製品（コンクリート製、金属製）に比べ、製品素材に木材を用いることで軽量化が図られている反面、耐用年数が短いという欠点を持っている。

本研究の目的は、この製品の正確な耐用年数を把握することと、製品素材であるスギ材の使用環境に適した防腐処理方法を検討することである。そのために、各種防腐処理を施した製品を試験体として、平成14年よりセンター北側側溝に設置し、屋外暴露による耐候性試験を実施している。

今年度は、2年経過した屋外暴露試験体の劣化の状態を前回同様、強度試験および試験体を色差測定で評価を行った。また、木材の腐朽度を現場で確認できる評価機器として普及し始めたピン打ち込み方式による劣化診断の検査器具ピロディンによる測定を実施したので、ここに第2報として報告する。

2. 試験体

試験体は、一般的な防腐防蟻剤を用い処理し

たものの3種類と保護塗料で処理したもの2種類、これに未処理を併せて6種類、それぞれ6個作製した。

2. 1 供試材

- ・産地 新潟県上越市
- ・樹種名 スギ

2. 2 試験体の種類と処理方法

- ・試験体A 木材防腐防蟻剤 加圧注入処理
- ・試験体B* 木材防腐防蟻剤 加圧注入処理
- ・試験体C* 木材防腐防蟻剤 加圧注入処理
- ・試験体D 木材保護塗料 刷毛塗り
- ・試験体E 木材保護塗料 刷毛塗り
- ・試験体F 未処理木材

※：(社)日本木材保存協会認定薬剤

2. 3 寸法

試験体は、設置する側溝の寸法に合わせ作製した。大きさは、400×330×50mm。角材（50×50×400mm）6本を用い、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。

3. 屋外暴露試験（耐候性試験）

3. 1 設置場所

上越技術支援センター北側側溝（図1）

3. 2 暴露試験期間

* 上越技術支援センター

平成14年5月24日から平成16年2月20日まで



図1．設置され試験体

4．劣化診断

木材の劣化とは、自然環境下に長期間曝されることにより発生する木材の割れや菌による分解、昆虫による食害、光等による退色・変色などを含め、木材の性能が低下する現象を言う。

木材の劣化を判断する方法には、破壊検査方法と非破壊検査方法があり、非破壊による最も簡単な方法としては、目視や指触による判定法がある。

本研究では、非破壊検査法として、現場で比較的簡単に劣化診断が可能な検査器具ピロディンを用いた測定と曲げ剛性試験を実施し、破壊検査法として、強度試験による曲げ強さや圧縮強さを測定し、劣化の状態を確認した。

5．ピロディン（非破壊試験）

ピロディン（図2）は、木材の強度を簡易的に、かつ、持ち運び容易な検査器具で、検査物に一定の力でピン（検査針）を打ち込み、その打ち込み深さにより、検査物の強度や劣化の度合いを診断する検査器具である。

ヨーロッパでは、電柱の劣化診断に用いられ、我が国に於いても、現場で手軽に検査が出来ることから、普及し始めた。

図2．ピロディン

5．1 ピロディンによる測定

スギ材の乾燥材（未利用材）および試験体について、針径3mmの検査針を用い、スギ材については12箇所、試験体については、各部材1本につき2箇所の計12箇所測定した。（図3）

今回、新潟県森林研究所データ¹⁾と互換性を持たせるために、針径3mmの検査針を用いた。



図3．ピロディンによる測定

6．強度試験

耐候性試験体の部材で曲げ剛性試験を実施した後、その部材から曲げ試験片および圧縮試験片を作製し、JIS Z 2101に準拠し、強度試験を実施した。

6．1 曲げ剛性試験（非破壊試験）

木材などの不均一な材料において、同一母材での破壊を伴う強度試験評価は不可能である。そこで、同一母材の強度を評価する非破壊検査方法のひとつとして曲げ剛性試験がある。曲げ剛性試験は、試験材の弾性域に於ける曲げ試験で、試験材をある一定の量に変形させた時、その変形に要した荷重の大きさで表す。

試験は、木材の試験方法(JISZ2101-1994)に準

研削加工の効率化に関する研究

田中 亙* 本多 章作* 石井 啓貴* 木嶋 祐太*

A Study on Efficiency of Grinding Process

TANAKA Tohru , HONDA Shosaku , ISHII Hirotaka and KIJIMA Yuuta

抄 録

ステンレス鋼SUS304の平面研削加工は反りが発生したり砥石のくい込みが起こるため、切込は2～3 μm と小さく設定し加工に長時間を要している。そこで、加工の効率化のため切込8 μm (2倍以上)を与えた場合の研削抵抗、反りを調べたところ、研削抵抗については不規則性があること、反りは凸に15～40 μm 以上発生し大きくばらつくことがわかった。また、当て板を同時に研削する方法と従来の方法とを比較したところ反りの差はなかった。

1. 緒言

SUS304はマグネットベースによる磁力保持ができない。そのため、ワーク送り方向の左右の当て板を磁力保持することで当て板に接しているSUS304を保持している。平面研削加工の効率化のためには切込を大きくすることが考えられるが、それに伴い反りも大きくなると予想される。そこで、切込8 μm とした場合の研削抵抗と反りについて調べた。

また、通常は当て板を研削しないが本実験では当て板もSUS304と同時に研削し、その際の砥石のドレッシング効果を調べるため従来方法との反りの比較をおこなった。

2. 実験方法

図1にマグネットベース上のSUS304、当て板のセッティング状態を示し、表1に研削条件を示す。

実験は8 μm の切込を19回（最終回は6 μm ）片面におこない総切込0.15mmとした。当て板同時研削も同様の条件でおこなった。また、一部切

込6 μm で総切込0.15mmの条件も実施した。研削加工をおこなった面を研削面、反対側の面を裏面とする。



図1 SUS304と当て板

表1 研削条件

被研削材	SUS304 5×100×157 冷間圧延材	
平面研削盤	岡本工作機械 PSG-64AN	
砥石	旭ダイヤモンド工業 $\phi 200 \times 13T \times 5X$ 砥粒 CBN 粒度 #170 結合材 : レジンボンド 結合度 中 集中度 100	
研削条件	砥石周速	25m/s (2400rpm)
	送り速度	0.28m/s
	ピッチ送り	3mm/pass
	切込 8 μm 総切込 0.15mm 片面研削	
ツルーイング ドレッシング	生材研削による 1800rpm 0.28m/s 手動、バイアス送り 切込10 μm ×10回	
当て板	S50C 5×50×100 同時研削の場合)	

* 上越技術支援センター

研削抵抗はキスラー製の圧電型動力計 Type92 57Aを用い、5mm厚のSUS304をM4のさら小ねじ6本で動力計に固定して接線方向と法線方向の2方向を測定した。

反りの評価は実験前後の三次元測定でおこなった。裏面でXY基準面を設定しZ軸方向のデータを20mm間隔のメッシュ交点35点について裏面と研削面で測定した。裏面のZ軸方向データの実験前後の範囲の差が反りの成分であると考え、その数値で評価した。

3. 結果

図2に研削抵抗の測定結果を示す。図の上段がSUS304、下段が比較のために測定したSKD11である。

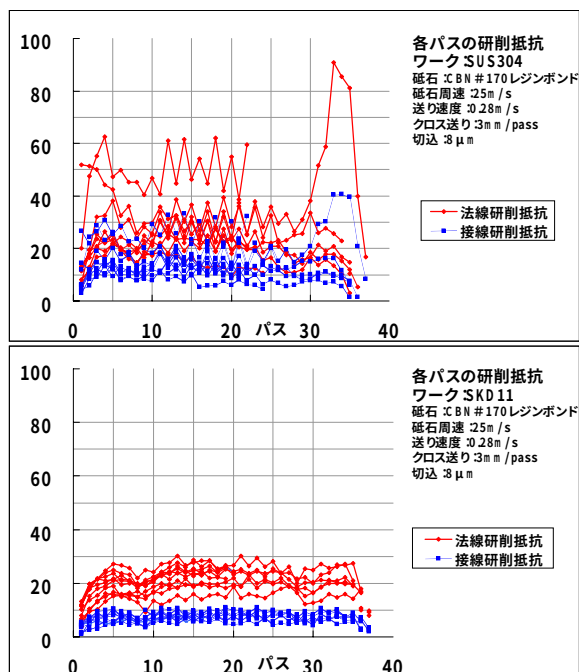


図2 研削抵抗

図2の横軸はパス数であり、幅100mmをピッチ送り3mm/passで送るためワークの全面を研削するのに30数パスを要するが、その全パスの研削抵抗をプロットした。SKD11は接線、法線方向共に安定しており総切込の増加に従い研削抵抗も大きくなった。総切込0.15mm近くでは接線10N、法線25~30Nであった。それに対してSUS304は各パスのばらつきが大きく、さらにSKD11のような

総切込と研削抵抗の比例関係は見られなかった。図2のSUS304では総切込40μmの最終パス周辺で研削抵抗が大きく、その時の研削抵抗の最大値は接線41N、法線91Nであった。その後、総切込の増加とともに研削抵抗の最大値は減少し法線方向では総切込64μmで52N、72μmで25Nとなったが総切込120μmからまた増加の傾向となった。このようなSUS304の研削抵抗の不規則性により、最大研削抵抗発現時に砥石のくい込み現象が起これと考えられる。

反りの測定結果について図3に通常研削の三次元測定結果の一例を、図4に当て板同時研削の一例を示す。図の左側が実験前、右側が実験後であり、上段が研削面、下段が裏面である。上段の研削面各測定ポイントから下段の裏面各測定ポイントまでが板厚に相当する。

裏面の反りは研削方向とその直角方向の両方向において凸方向に発生した。全試料においてこの傾向が認められた。また、裏面の凸の反り

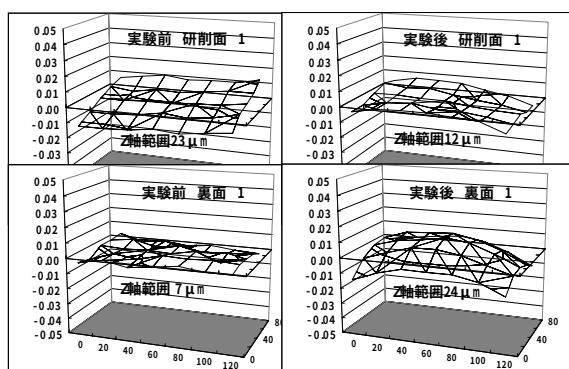


図3 通常研削の三次元測定結果

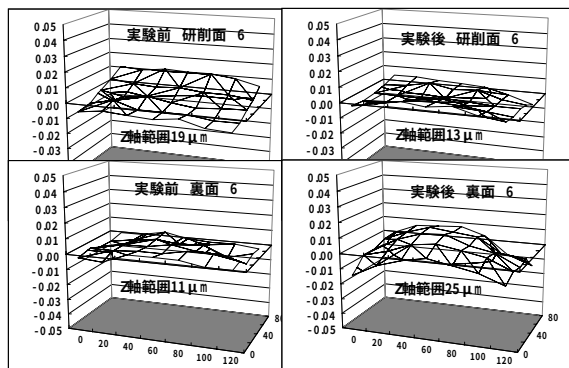


図4 当て板同時研削の三次元測定結果

と同様に研削面も凸方向の反りが発生したが裏面に較べて反りの量は小さかった。

図5に反りと1回当たりの切込の関係を示す。

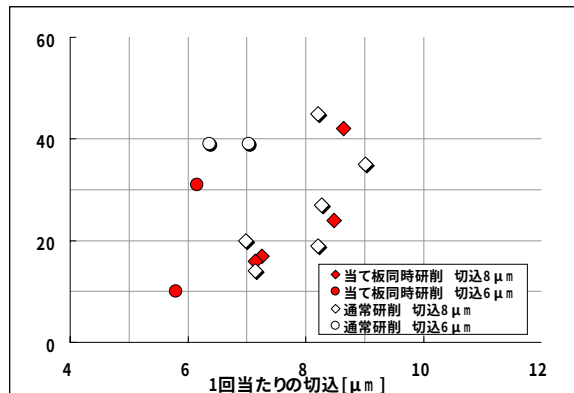


図5 反りと1回当たりの切込の関係

図5の横軸は、研削面と裏面の35点のデータから求めた平均板厚の実験前後の差を総切込とし、これを研削回数で除した値である。反りが発生すると総切込0.15mmを与えても実際は反りの量に応じて、総切込は大きくなると考えられる。そのため1回当たりの切込も大きくなる。

図5より、切込8 μm では反りは15~40 μm 以上、切込6 μm では反りは10~40 μm と大きくばらついた。そのため、切込6 μm が切込8 μm よりも反りが小さくなる傾向は図5からは読みとれなかった。また、切込8 μm では当て板同時研削と通常研削とで反りの差はなかった。

また、予備実験において図1の前後方向の当て板を設置しない状態では9試料のうち3試料に砥石がくい込む現象が見られ、砥石動力負荷が大きくなり研削盤の自動停止が起こった。しかし、本実験では16試料でその現象は見られなかった。

4. 結言

SUS304、板厚5mmをCBN砥石#170、切込8 μm の条件で総切込0.15mmの片面平面研削をおこない次のことがわかった。

- (1) SUS304の研削抵抗は比較したSKD11に較べて各パス間のばらつきが大きく、また全切込を通して研削抵抗の最大値は総切込

に関係なく表れる。その値はSKD11の3倍以上であった。

- (2) 裏面の反りはすべて凸方向に発生し、実験前後から求めた反りの量は切込8 μm では約15~40 μm 以上、切込6 μm では約10~40 μm であり大きくばらついた。研削面も反りはすべて凸方向であるが裏面に比較して反りの量は小さかった。
- (3) 当て板同時研削の効果は認められなかった。
- (4) 反りに大きなばらつきが生じたのは各試料間の最大研削抵抗のばらつきに起因すると推定される。

参考文献

- 1) 松尾哲夫 “研削反りの発生と対策”，機械と工具，2001.1，106
- 2) “薄鋼板の研削加工における反りの抑制”，機械振興協会技術研究所，1992.3，11

N-コンポ実用化試験（第2報）

小海 茂美* 大野 宏* 吉田 正樹* 白川 正登* 本田 崇* 関 幸徳**

The test to practical use N-COMP

KOKAI Shigemi*, OHNO Hiroshi*, YOSHIDA Masaki*, SHIRAKAWA Masato*,
HONDA Takashi* and SEKI Yukinori**

抄録

戦略技術開発研究にて開発された、複合素材に対応するための自動引き通し機 N-コンポ（Niigata-Composite yarn Piercing）の織物産地でのフィールド試験を行い、様々な糸種への適応性と課題について把握するとともに、信頼性や耐久性等実用上の問題点を抽出した。その結果、引き通しにおける糸受渡し動作の確実性および安定性の向上が課題であり、今後解決する必要があることが確認された。また、昨年度に基本的な設計と試作を終えた2ビーム綾取り装置の動作の確実性と操作性の向上を図り、この2ビーム綾取り装置により整経した種糸を用いた N-コンポによる引き通し手順を確立し、N-コンポの利用範囲の拡大を図ることができた。

1. 緒言

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し、輸入品や他県製品との差別化を図っている。一方で、製織のための経糸の準備工程である引き通し作業は、人手による非常に手間のかかる作業であるとともに、作業内容の複雑・高度化が進み、機械化対応が求められてきた。

そこで県では、複合素材等に対応できる自動引き通し機「N-コンポ（Niigata-Composite yarn Piercing）」の開発に取り組み¹⁾、その実用機の製品化に至っている。しかし、実際の生産現場における引き通し実績が少ないことから、さまざまな糸種への適応に関するデータの蓄積、引き通しにおける課題とその対応策に関する技術の蓄積が求められていた。

さらに、県内の織物産地では、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ために複数ビームを使う織物、特に2ビーム織物の割合が多くを占めるようになってきているが、N-コンポ単独では2ビーム織物の引き通しに対応していないため、前報²⁾において、見本整経機の改良による2ビーム綾取り装置の製作への取り組み、引き通しのための種糸整経およびその引き通し技術の確立について提案・報告してきた。

そこで本研究では、開発された N-コンポの様々な糸種への適応性を把握するとともに、実用上の問題点を抽出し、実用性能を向上させることを目的に、フィールド試験を行い問題点への対応方法について検討した。また、試作した2ビーム綾取り装置の実用化および同装置と N-コンポを用いた2ビーム織物の自動引き通し技術の確立を目的に、実用化試験を行った。

2. フィールド試験

2.1 試験装置および試験方法

* 素材応用技術支援センター

** 丸栄商事株式会社

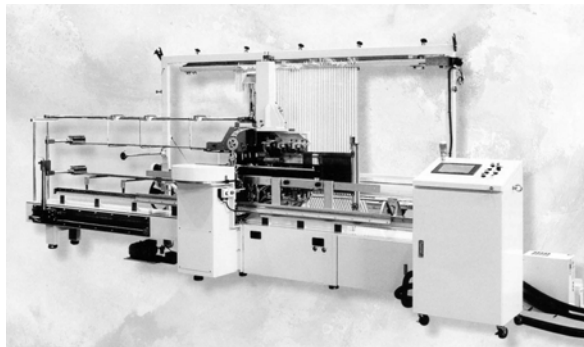


図1 N-コンボの外観写真

表1 N-コンボの主な仕様

メーカー	三星工業株式会社
型式	DS-601
有効引き通し幅	2,300mm
引き通し速度	60本/分
引き通しの対象	ヘルド・おさの2点通し
ヘルド形状	フラットヘルド 13インチ
ヘルド列数	20列
おさ密度	20～100羽/鯨寸
ビーム径	最大 1,000mm

表2 試験を行った糸種類

素材等	太さ	糊
綿 (単糸)	50/-～20/-	総・弱糊
綿 (双糸)	80/2～20/2	総・弱糊
テロン (諸然り)	50d/2	無糊
テロン・綿 混紡糸	45/2	総・弱糊
綿 (強燃糸 燃数1800T/m)	50/-	ローラー・強糊

表3 フィールド試験結果 (抜粋)

№	糸種	太さ	糊付け	本数 (本)	箆密度と引込本数	ミス回数	ミス率 (%)	要修正本数 ^{※1}	作業時間 (分) ^{※2}
		番手							
1	綿	60/2	弱	3,872	60羽・2本	3	0.08	0	107
2	綿	40/-	強	2,700	75羽・3本	7	0.26	4	110
3	綿	40/-	強	7,380	75羽・3本	31	0.42	25	—
4	T/C 65/35	45/2	弱	5,356	70羽・2本	15	0.28	10	180
5	綿	60/2	弱	3,976	60羽・2本	6	0.15	5	110
6	綿	60/2	弱	3,516	53羽・2本	3	0.09	2	110
7	綿	60/2	弱	3,398	60羽・2本	3	0.09	1	90
8	綿	60/2	弱	4,932	68羽・2本	5	0.10	3	—
9	綿	80/2	弱	4,846	65羽・2本	10	0.21	3	—
10	綿	60/2	弱	6,288	63羽・3本	12	0.19	10	180
11	綿	60/2	弱	3,446	53羽・2本	110	3.19	100	—
12	綿	40/- 40/2	強	3,972	60羽・2本	27	0.68	21	240
13	綿	60/2 40/2	弱	3,898	32羽・3,4本	16	0.41	13	220
14	綿	60/2 20/2	弱	3,780	57羽・2本	13	0.34	9	180
15	綿	60/2	弱	3,508	53羽・2本	11	0.31	8	—

※1:ミスのうち、自動引き通し終了後、手作業による修正が必要な糸本数

※2:引き通し開始から終了までの時間。準備及び終了後の作業は含まない

試験には、自動引き通し機「N-コンボ」を用いた。図1に装置の外観写真を、表1に装置の主な仕様を示す。同装置は、平成14年度に、同装置の実用化と見附産地アクションプランの支援を目的に、県により導入されたものである。フィールド試験は、見附織物工業協同組合指定の丸栄商事株式会社にて、実際の生産品または試験用糸を用いた引き通しを行い、データの収集を行った。これら試験データを、データシートに記録し、課題の把握、引き通し技術に関するノウハウの蓄積を図った。

2.2 試験糸種類

表2に、フィールド試験により引き通しを行った主な糸種類について示す。

2.3 結果および考察

2.3.1 試験結果の概要

表3に、フィールド試験実施結果の一部について例を示す。引き通し設定速度は、いずれも50本/分で行った。ミスの発生頻度等は表3に示すとおりであるが、最も課題となるミスの内容としては、引き通す糸の掴み受渡しミス（特にミニクリップからニードル糸把持機構）である。原因としては、一つに、糸張り時の張力ムラなど人為的な作業技術が考えられる。また、装置面で見ると、上記受渡し動作が、高速での加速動作中に行われているため、糸を受け渡すための動作タイミングあるいは糸の位置決めおよび糸姿勢等が非常に限定され、さらに、それらのバランスの取れた条件でのみ正確な受渡しが行われていることが要因と考えられる。そのため、糸の張力ムラや位置決め精度、糸の太さ・柔軟性・伸縮性の違い、装置駆動部の調整のズレなどによる若干の負荷変動等の影響を受け安く、ミスが発生しているものと考えられる。対策として、動作タイミングの許容範囲を広げるような追加機構の検討や制御方法の見直し、位置決め精度向上のための各機構の再調整や部品の見直し等に取り組み、継続実施中である。

表 4 主なミス内容およびその原因と対策

ミスの内容	原因	対策
ヘルド分離ミス	・ヘルドの変形 ・吸引分離部の汚れ	・変形ヘルドの除外 ・吸引部の清掃
ヘルド分配ミス	・ヘルドの変形 ・分配爪へのヘルド受渡しミス	・変形ヘルドの除外 ・分配ハンドの把持力調整
糸分離ミス	・糸の毛羽 ・糸張り時の張力ムラ	・糸の毛羽対策技術の蓄積 ・糸張り技術の向上
糸端固定モータ脱調	・チェーンへの糸端の絡み付き	・同機構カバー部の設計見直し
引き通し確認センサ検出不良	・引き通した糸のニードルガイドからの排出タイミングの不安定さ	・確実かつ安定したタイミングでの排出方法の確立 ・センサ設置位置の見直し

その他に発生する主なミスとその原因・対策について、表 4 に示す。これらは、軽微なミスで復旧に時間を要しないミス、発生頻度が極めて低いミス、あるいは比較的対策が明確なミスであり、簡易な改造、装置利用技術の蓄積、作業手順の確立で解決が可能なものと考えられる。

このような中で、調整条件が整い、標準的な糸の引き通しを行う際には、ミス率 0.1～0.2%（1000 本に 1 回から 500 本に 1 回）程度で引き通しを行うことが可能であり、ヘルドの送り作業やヘルド供給、ミスの復旧等を含めた引き通し能力として、毎分 30 本以上での引き通しが可能であることがわかった。しかし、その一方で、引き通し動作の不安定さから、同じ条件で引き通しを行っても、ミスの発生頻度が急に変わってしまうこと（例えば表 3 No.2 と No.3）や、場合によっては引き通し途中で前兆もなくミスが急激に増加し、修正不能な程度のミスが発生してしまう場合（例えば表 3 No.11, ほとんどのミスが、1000 本目以降に発生）も確認され、原因の確認と解決が課題である。

2.3.2 高密度経糸の引き通し事例

下記引き通し条件における、高密度な経糸の N-コンポによる引き通しを行った。これは、2 ビームの高密度織物の事例であり、種糸による引き通しとした。経糸密度は、約 0.12mm あたり 1 本と非常に高密度である。

- ・ 設定速度：50 本/分
- ・ 箴密度および引込本数：80 羽/鯨寸 4 本入

第一に、糸種 1〈綿 C80/2 レギュラー 総・弱糊〉を用いて、引き通しを試みた。その結果、糸密度が込みすぎており、糸シートからの糸 1

本分離ミスが頻発し、引き通しは不可能であった。これは、糸が太いために 1 枚のシート状に整列した状態での糸張りができなかったこと、また、毛羽により糸分離が困難なことが原因であった。

そこで、糸の太さを細くするとともに、糸の滑りが良く、毛羽立ちの少ない糸として、糸種 2〈テトロン 諸撚り 50d/2 無糊〉を選定し、再度引き通しを試みた。その結果、糸種 1 で課題であった糸の分離について、問題なく行われることを確認した。ただし、糸の太さ、滑り具合の違いから、最適な引き通し条件が変わってくるためか、糸の受渡しタイミング等の調整が必要となった。調整後の状況で、500 本に 1 本程度の引き通しミスに押さえることが可能となり、ノウハウの蓄積により実用可能と考える。

2.3.3 強撚糸の引き通し事例

自動引き通しにおける従来からの課題の一つである強撚糸について、下記条件で N-コンポによる引き通しを行った。

- ・ 糸種：綿 C50/- 強撚(1800T/m) ロー・強糊
- ・ 経糸本数：4,320 本
- ・ 設定速度：50 本/分
- ・ 箴密度および引込本数：68 羽/鯨寸 2 本入

その結果、引き通し開始から終了までの作業時間は 188 分、実引き通し能力 23 本/分であった。その際、糸の引き通しミスが 29 本、ヘルドの分離ミス・分配ミスが各 1 回発生し、ミス率は約 0.7%であった。また、この他に、軽微な検知ミスが 20 回程度発生している。撚り数が多いことにより懸念されたスナールの発生や機構への絡み付きなどは、糸端移送時の緩み防止を考慮した機構の効果、また、糸の糊付けが強いことから、比較的少なかったと考えている。逆に、糸が固いことがセンシングミス、糸の把持ミスの原因となっていると考える。

ミスした糸の修正作業等を考慮すると、現段階では、ミス原因の究明と対策、最適引き通し条件の把握等に課題があり、継続して改善に取り組んでいる。

3. 2ビーム綾取り装置の実用化試験

3.1 試験内容

前報²⁾では、基本的なハード部分の試作を行い、見本整経機改良による2ビーム織物の種玉ドロ잉の概要について報告を行った。本研究では、正確な動作の確認および改良、作業性向上のため機能追加を行い、フィールド試験をととして実用化を図った。装置の外観を図2に示す。



図2 2ビーム綾取り装置

3.2 結果および考察

3.2.1 センシングおよびプログラムの改良

本装置は、見本整経機のベルトの回転から動作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構成されている。試作の段階では、動作タイミング取り込みの際に、整経機の振動等により、チャタリング（2重検出）あるいは回転の未検出が発生し、正しい動作タイミングの検出が行われていなかった。そこで、対策として、①センシング精度の向上②センシングプログラム改良によるチャタリング対策③整経用回転ベルトのガイドおよびローラの改良による回転軌道の安定化を実施し、確実な動作タイミングの検出を実現した。

また、整経機側の動作は、同装置付属の従来からのプログラムを用いており、装置が旧式のためプログラム上の制約が多くある。プログラム本数の制約等、整経機側にあわせたプログラムに改良し、正確に動作することを確認した。

3.2.2 作業性・操作性向上

前記のとおり、同装置は整経機の回転動作を検出して整経機側の運動に同期して動作するよ

うに構成されている。そのため、正しく同期した動作をさせるには、運転開始時や中断後の運転再開時に、作業者が、整経機の状態および本装置の制御プログラムを把握して、綾の向きなどを正しい位置に設定する必要がある。①個々の綾を単独に動作させるための送りボタン②動作開始時の初期位置に綾の姿勢をセットするための原点復帰ボタン③ミス時の修正等手作業によるセンサの誤検出防止スイッチ④作業再開時の綾の任意選択スイッチを設けた操作パネルを設置するとともに、作業時の各種状態における作業手順をマニュアル化し、作業性・操作性の向上を図ることができた。

3.2.3 地玉の多色化

同装置では、地玉および上玉を組み合わせた引き通し用の綾および2ビーム個々の綾を取った種糸を整経し、N-コンボによる引き通し、さらには、その後タイイングマシンにより織機にかける本玉と繋ぐことになるが、引き通しやタイイングの工程において、綾のミス等により糸の順番に間違いが発生した場合に、全作業終了までミスが確認できないと、作業のやり直しや修正などの問題が発生する。そこで、地玉用の種糸は、2色の任意パターンでの整経が可能となるように使用糸本数を増やし、本玉の糸が多色使いの場合などはそれぞれの糸の色で、糸順に間違いがないか確認できるようにした。また、整経の繰り返しパターンの境界に確認用の別な色の糸を入れることで、1パターン毎に作業者がミスの有無を視認することも可能となった。

3.2.4 フィールド試験

図3に、開発装置を用いた引き通し用種糸の概要と2ビーム織物を織機にかけるまでの作業工程を、図4に、2ビーム引き通し用種糸をN-コンボに糸張りセットした外観写真を示す。フィールド試験にて、整経からN-コンボによる引き通し、さらに、個々のビームとのタイイング、織機にかけるまでの一連の工程・作業を行い、2ビーム織物の自動引き通しが可能であることを確認した。

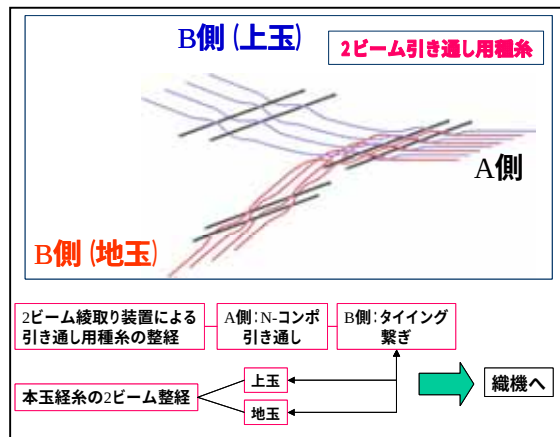


図3 2ビーム織物経糸準備作業工程

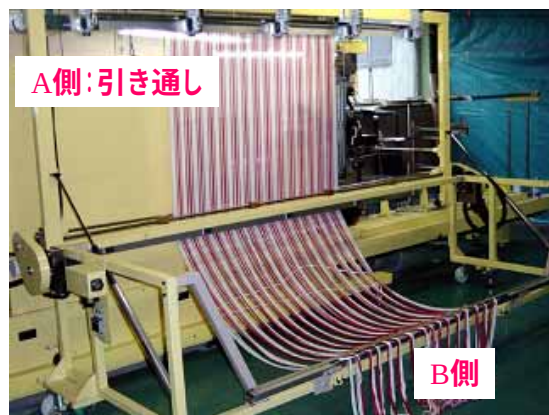


図4 2ビーム引き通し用種糸のN-コンボへの糸張りセット

謝辞

本研究を進めるに際し、株式会社三星工業開発室課長鈴木芳雄氏、同社設計課有間健太郎氏に多大なるご協力頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 荒木弘, 石本陽太郎, 長谷川直樹, 白川正登, 長谷川泰介 “糸状素材のマイクロハンドリング機構の研究(第3報)”, 新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書, No.29, 2000, p.3
- 2) 佐野正, 古畑雅弘, 土田知宏, 高橋靖, “N-コンボ実用化試験” 新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書, No.32, 2003, p.90

4. 結言

- (1) 標準的な糸については、十分に実用レベルの自動引き通しが可能なことが分かった。また、動作の安定性に課題があり、対策が必要であることを確認した。
- (2) 各種素材のフィールド試験をとおり、適応性・問題点を把握し、その対応方法について検討を行った。また、一部の部品および機構について改良を加え改善を図った。
- (3) 2ビーム綾取り装置により整経した種糸を用いたN-コンボによる引き通し手順を確立した。これにより、2ビーム織物の引き通しにN-コンボを適用することが可能となり、N-コンボの稼働率の向上を図ることができた。

自動小口染色システムの実用化試験

武内雅敏* 佐野正** 毛利敦雄** 土田知宏** 山崎武**

Application of Automatic Small Lot Dyeing System

TAKEUCHI Masatoshi*, SANO Tadashi**, MOURI Atsuo**,
TSUCHIDA Tomohiro** and YAMAZAKI Takeshi**

抄 録

見附アクションプランの一環として、自動小口染色システムを構築するとともに、各種複合繊維素材の染色試験を実施した。また、チーズ染色機を使用してスペック調染色を試みた。

1. 緒 言

県内繊維製品が低価格輸入品に対抗するためには、商品の差別化と多品種少量生産、短納期生産を行う必要がある。染色業界は、装置産業の側面があるため、従来からの大型染色装置ではこれらに十分に対応できない状況がある。

素材応用技術支援センターでは、これらに対処し、県内繊維産地振興のため、自動小口染色システムを構築するとともに、協同組合で各種複合繊維素材の染色試験を実施した。

また、当支援センターは、反応染料を使用したスペック染色技法を開発し、県内企業に技術移転を行っている。スペック染色は、染料を微粒子化して、斑点状に染める手法である。しかしこの技法は総糸を対象としたもので、生産性は必ずしも良くない。この点を改良する目的で、チーズ染色機を使用したスペック調染色を試みた。なお、これらの事業は見附アクションプランの一環として実施したものである。

2. 自動小口染色システムの構築

自動小口染色システムは、横編み機、丸編み

機の、小口ロットの編成に必要な量を試験染色できる、一群のチーズ染色機として構築した。システム外観を図1に示す。

○自動小口染色システム内容

・チーズ染色機（5 kg 用）	1 台
・チーズ染色機（8 kg 用）	2 台
・チーズ染色機（15 kg 用）	2 台
・チーズ染色機（25 kg 用）	2 台
・自動チーズ染色機（5 kg 用）	1 台



図1 自動小口染色システム

3. 各種複合素材繊維素材の染色試験

自動小口染色システムを使用して、各種複合素材の同色性と、新素材の染色性について試験を実施した。

○試験素材と結果の概要

・アクリル／トリアセテート混紡糸

* 協同組合 テクノ・アート・みつけ

** 素材応用技術支援センター

分散染料とカチオン染料による黒の2色染めでキャリアーを使用。100℃では同色性良好。ただしキャリアー臭は残る。

- ・和紙／綿・ポリエステル交撚糸
分散染料と反応染料による黒の2色染めを実施。同色性は良好。
- ・ウール／綿混紡糸
綿の混用率が少ない場合は軽く精練漂白を行うと良い。反応染料による黄色・紺の1浴染色で染色可能。
- ・バンブー繊維

反応染料で染色可能。編成した編み地では、ウォータースポットが発生しやすい。

この他、ポリエステル／トリアセテート混紡糸、レーヨン／ウール混紡糸等でも試験を実施した。試験総数は平成15年度は57回であった。

4. チーズ染色機を使用したスペック調染色

使用したチーズ染色機は、(株)日阪製作所製HUT-250/350、処理量1kgの装置である。装置の外観を図2に示す。



図2 チーズ染色機

4.1 スペック粒子の微細化の検討

チーズ染色では、糸を多孔の樹脂製中空ボビンに巻き（形状からチーズと呼ぶ）、染色機にセットした後、染液をボビン中空部と糸層外面との間で通過、循環させて染色を行う。不均一系であるスペック染液を循環する場合、糸層がフィルターとなり、粒子が内部に入りにくいことが想定される。このため粒子の微細化を検討した。

スペック粒子は、高濃度の硫酸ナトリウム（ボウ硝）溶液の添加により、メチルセルロース（M

C）の水和水が減少して不安定化し、染料とともに析出（塩析）するものである。このため、MC分子量が粒子径に関与するものと想定し、次のビーカー実験を行った。

MC／反応染料水溶液（MC 2 g/l、染料 0.5g/l）50ml にボウ硝溶液（200g/l）50ml を攪拌しつつ滴下しスペック粒子を生成する。濃度は標準的な濃度¹⁾とした。粒子は、ろ紙5Aでろ過、乾燥の後、顕微鏡で観察した。

MC：メロース SM-15、-400、-8000

（信越化学工業(株)、数値はセルロースの重合度）

結果を図3に示す。MCの重合度が高くなるにつれスペック粒子は微細化し、粒子も硬さを増す。通常使用する SM-400 では粒子径は1～2 mm であるが、SM-8000 では1 mm 以下となる。

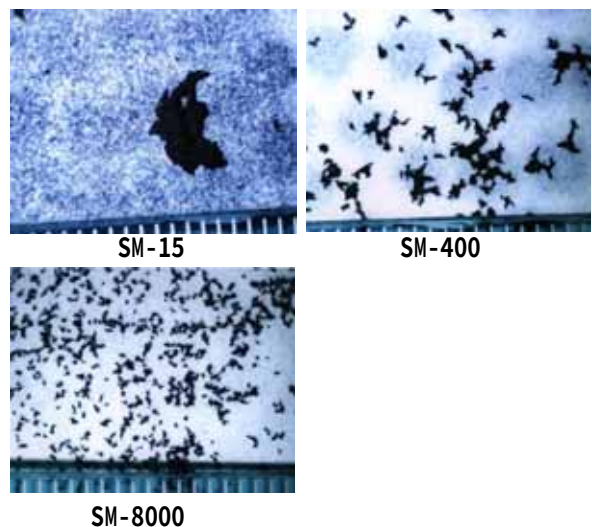


図3 MC重合度とスペック粒子

4.2 微細粒子によるチーズ染色

微細粒子を使用したチーズ染色を試みた。概要は下記のとおりである。なおチーズ表面に粒子がゲル状に付着することを避けるため、MC、染料添加量は標準¹⁾の1/3程度とした。

染色後のチーズ写真を図4に示す。表面には、スペック粒子による斑状の濃淡が現れているが、内部には粒子は入らず、色相は均一である。

この状況は条件を変えても変わらず、スペック粒子を循環する方法では、斑状染色は困難であると思われる。

材料 :羊毛 (2/ 32) チーズソフト巻き 1kg
 MC :SM -8000
 染料 :Kayac ion Blue F-N5R
 操作
 スペック溶液調整
 MC / 染料溶液 7L (MC 4g, 染料 2g)
 ← ボウ硝溶液 7L (ボウ硝 1400 g)
 ↓ 攪拌添加
 スペック溶液 14L
 チーズ染色 常温 30分、循環速度 20L / 分
 蒸し オートクレーブ 100℃ 120分
 水洗
 乾燥

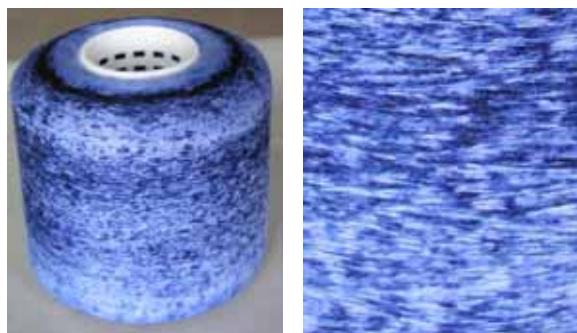


図4 微粒子によるチーズ染色

4. 3 チーズ内部でのスペック粒子生成

チーズ内部でスペック粒子を生成させる手法を試みた。低濃度のボウ硝（塩析が発生しないレベル）を添加したMC・染料・ボウ硝溶液を調整する。一方、チーズをボウ硝溶液に浸漬→乾燥し、ボウ硝を乾固析出させる。ついでMC・染料・ボウ硝溶液を短時間循環させることにより、チーズ内部にスペック粒子を析出させる。一例を下記に示す。

材料 :羊毛 (2/ 32) チーズソフト巻き 1kg
 MC :SM -400
 染料 :Kayac ion Blue F-N5R
 操作
 ソフト巻へのボウ硝付着
 ボウ硝溶液 200 g/L に浸漬、乾燥
 MC / 染料 / ボウ硝溶液調整
 14L (MC 14g, 染料 7g, ボウ硝 100 g)
 チーズ染色 常温 3分、循環速度 20L / 分
 蒸し オートクレーブ 100℃ 120分
 水洗
 乾燥

染色後のチーズ写真を図5に示す。表面に斑状の色むらが発生するが、内部は均一な色調である。これは、ボウ硝付着→乾燥時に、表面からの水分蒸発に伴って内部から表面へのボウ硝の移動が生じる。このためボウ硝析出は主に表面で起こり、チーズ内部ではスペック粒子が生成しにくいものと考えられる。

また、循環を長時間行くと、ボウ硝濃度は均一化してスペック発生の限界濃度を下回り、表面のスペック粒子は溶解して濃淡は消滅する。

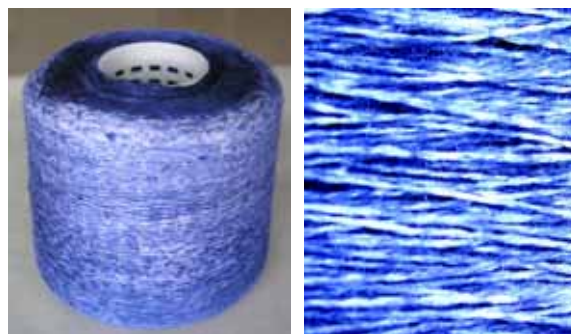


図5 チーズ内部でのスペック粒子生成

今回の研究の範囲では、チーズを内部までスペック調に染色することはできなかった。これを達成するには、ワインダーの段階等で何らかの操作を行う必要があるものと思われる。

5. 結 言

- (1) 自動小口染色システムを構築した。
- (2) 各種複合素材、新素材について同色性、染色性の試験を実施した。
- (3) チーズ染色機を使用して、スペック調染色を試みた。チーズ表面には濃淡が発現したが、内部の色相は均一であった。

参考文献

- 1) 新潟県工業技術研究報告書, No31,2002,P113.

I T活用織物企画設計支援システムの開発（第4報）

（織物企画表作成支援システムの開発）

牧野 斉* 小海 茂美*

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

MAKINO Hitoshi* and KOKAI Shigemi*

抄 録

織物の企画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た。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となった。

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、織物企画データに基づき糸量計算書、整経指図書、引き通し指図書、整織指図書、染色指図書等を出力するソフトシステムを開発した。織物設計は設計基本入力表を作成し、これに品名や数値などの必要項目を入力することからはじめられる。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、作成した基本入力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、基本入力表から目的の各表や指図書を一括作成・管理するシステム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1～5に織物企画表作成支援システムを示す。織物の設計は設計基本入力表を作成することから始める。図1に示す基本データ入力表は、織物に使用されるタテ糸・ヨコ糸の種類、糸名、織度、織物幅や長さ等を計算して出力する各表に必要な名前や数値データを入力する表である。図2は縞割表でタテ糸準備の整経工程に使用する指示書で、タテ糸配列の糸類、色、本数等が一見で解るようにした表で、数種類の糸から構成さ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のデータで構成されており、経糸と緯糸のそれぞれについて縞割表が作成される。また糸通し工程のチェック用としても使用する。

図3に染色加工指図書を示す。織物設計により使用されるタテ糸及びヨコ糸の染色加工に関するデータを計算表示させた表で、自社内の管理や外注先の受発注管理としても使用する。図4は織物設計採算表で、織物に使用されるタテ糸・ヨコ糸の単価や染色加工単価、織工費等採算に関する表であり、糸の混紡率も計算させ、採算の確認と発注の管理に使用する。図5に織

* 素材応用技術支援センター

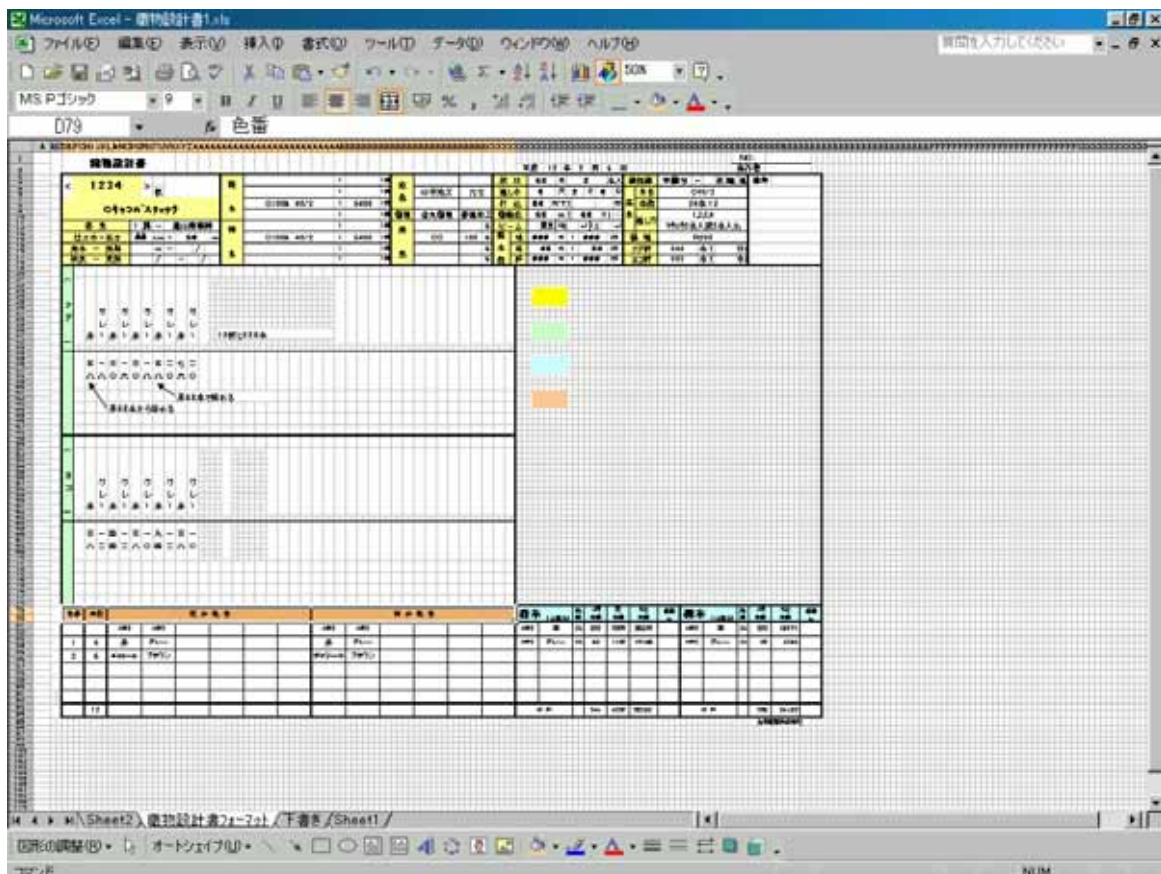


図 5 織物設計書

物設計書を示す。基本データ入力表で入力した数値を計算させ、織物製織準備の各工程で使用し、織物設計のデータとして蓄積管理する。

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および箆羽の合計、ならびに柄展開表および柄展開図を自動的に演算、表示するといった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って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、縞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者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って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）することが可能となり、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。

撚糸及び加工による新複合繊維素材の開発

小海 茂美* 土田 知宏* 明歩谷 英樹* 本田 崇*

Development of new fiber materials by mixing method

KOKAI Shigemi*, TSUCHIDA Tomohiro*, MYOUBUDANI Hideki* and HONDA Takashi*

抄 録

本県繊維業界が得意としている複合素材に焦点を当て、既存の合撚糸機や仮撚り機などに改良を加えながら、物性差が異なる種々の繊維を組み合わせ、機能性や意匠性に優れた素材の開発を行った。その結果、任意に糸形状や伸縮性を付与することが可能な仮撚り加工機を開発できた。また、ペーパーヤーンや金属細線などの特徴ある素材の複合化により、新しい素材ができた。

1. 緒言

県内繊維産地は、中国からの安価な製品と欧州諸国からの高級品の輸入増加により、非常に厳しい状況が続いている。この解決策の一つとして、容易に真似の出来ない商品の開発による差別化が重要であり、そのために新たな素材開発が求められている。

そこで本研究では素材の複合化により機能性や意匠性に優れた素材の開発を行った。

2. 素材開発

新たな素材開発のテーマとして下記の3つのテーマについて研究を行った。

- ・ 仮撚り機の開発とその利用による複合素材の開発
- ・ ペーパーヤーンの複合化による可編性の向上
- ・ 金属線利用による素材開発

3. 仮撚り機による複合素材の開発

仮撚り加工とは合成繊維に伸縮性とかさ高性を付与する撚糸加工の一種であり、合成繊維の加工を担っている当県繊維産地において広く普及している加工機の一つである。

この項では、仮撚り加工機の回転部分をより高度に制御することにより、新たな素材開発の手法として試みた。

3. 1 仮撚り方法

今回行った仮撚りの方法を図1に示す。

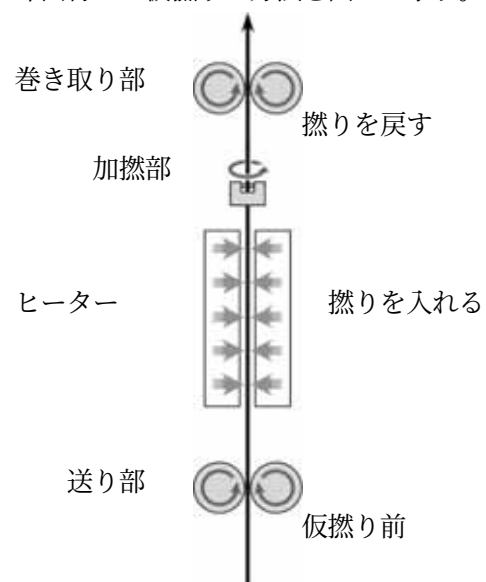


図1 仮撚り方法

3. 2 仮撚り機の開発

開発した仮撚り機の写真を図2に示す。仮撚り機は送り部、巻き取り部、加撚部、ヒーターから構成される。この仮撚り機の特徴として、送り、

* 素材応用技術支援センター

巻き取り、仮撚りの各工程を行うサーボモータを、プログラマブルコントローラ（以下 PLC）により速度を制御して仮撚りを行えることである。これにより下記のような仮撚りが可能となった。

- ・ フィード率、つまり糸のテンションを変化させながらの仮撚り加工
- ・ 仮撚り数を変化させながらの仮撚り加工
- ・ フィード率変化と仮撚り数変化の組合わせによる仮撚り加工

変化の周期、変化量はランダムに変化させながら運転させることもでき、より自然な仮撚りのムラを作ることが可能となっている。図3、図4に仮撚りの運転例を示す。

また、個別のモータ制御による仮撚りなので、モータの負荷が少なく、PLCの制御に対する応答性が高い。よって、短い周期のフィード率の変化や仮撚り数の変化も可能となっている。

これらの特徴により、従来の仮撚り機と比較して、より変化に富んだ仮撚りが可能となっている。



図2 仮撚り機

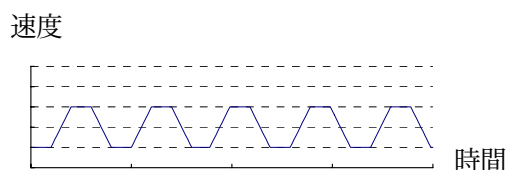


図3 高速と低速を一定周期で繰り返す運転

速度

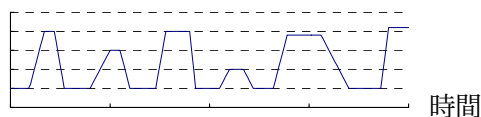


図4 高速回転時の速度及び運転の周期をランダムに変化させる運転

3.3 開発した仮撚り加工による効果

開発した仮撚り機を用い作成した糸の表面状態を調べるため、以下の加工条件で編み地を作成した。

3.3.1 糸作成条件

糸作成は、開発した仮撚り機で加工した糸を随時意匠撚糸機に通し、一連の動きの中でアクリルフィラメントをカバーリングした。

使用糸：・ポリエステルジグヤーン（100/24/-）

→芯糸

・アクリルフィラメント（75/36/-）

→花糸

共通加工条件：仮撚りヒーター温度 210℃

アクリル撚り数 350 T/m

変化を付けた加工条件：

加工条件①：定常仮撚り

（仮撚り数）1500 T/m

（フィード率）0

加工条件②：仮撚り数変動

（仮撚り数）1500 T/m; 2秒、0 T/m; 20秒の繰り返し

（フィード率）0

加工条件③：フィード率変動

（仮撚り数）1500 T/m

（フィード率）-2; 2秒、+2; 6秒の繰り返し

3.3.2 編み地作成条件

上記の条件で作成した糸を、ローソン丸編み機を用いて下記条件により編み立てた。

ゲージ：36 G

度目：6

コース数：300 コース

作成した編み地は、沸騰水により 15 分処理し糸を収縮させ編み地を安定化させた。

3.3.3 各糸の条件による物性比較

(沸水収縮率)

各編み地の収縮性を比較するため、沸騰水により処理させたときの収縮率を図5に示す。フィード率を変化させた試料がウエル方向、コース方向共に38%を超え、収縮率が大きいことがわかった。また、加工条件①と加工条件②の試料はウエル方向がコース方向に比べ収縮率が小さいのに対し、加工条件③のフィード率を変えたものは大きくなっている。このように簡単に加工条件を変えるだけで、物性差の異なる編み地を作成することができた。

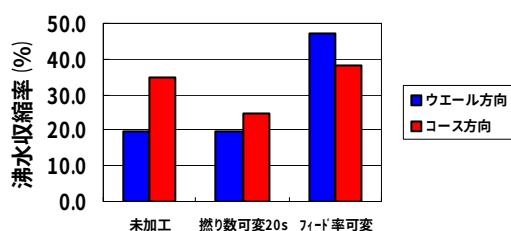


図5 加工による収縮率比較

(編み地の表面形状)

図6、図7、図8に各加工条件（それぞれ加工条件①、②、③）による編み地を撮影したものを示す。図6では、撚りトルクによる弱い斜行が見えるが表面変化はほとんど見えない。図7の撚り数変化では斜行がほとんどなく、仮撚りを加えた部分と止めたことによる効果として、解撚部分（S撚り）、ウーリー部分（トルクナシ）、追撚部分（Z撚り）が混在し特徴ある段模様が見られた。図8では撚りトルクによる斜行が強く現れており、またフィード率変化による糸形状の変化が見られた。



図6 定常仮撚りの編み地



図7 仮撚り数変動の編み地



図8 フィード率を変動させた編み地

4. ペーパーヤーンの可編性向上

4.1 ペーパーヤーンとは

ケナフやアバカと呼ばれる植物を紙状（シート状）に作成した後、幅を細く切り糸状にしたものが近年ペーパーヤーンとして市場に出て話題となっている。その特徴として吸水性、通気性、ドライ感があり、県内ニット業界でも夏用素材としての利用が期待されている。

しかし、糸状になったとはいえ紙であるため伸縮性がほとんどなく、糸が切れ易く編むことが困難である。これを改善するため、アルカリ処理や酵素処理といった手法を当センターにて取り組み成果¹⁾を得ている。本研究では、化学的手法とは異なる撚糸加工を用いることで、ペーパーヤーンの新たな風合いの発現や加工時間の短縮などを狙

い取り組んだ。

4.2 ペーパーヤーンの複合化

意匠撚糸機を用いてペーパーヤーンに撚糸加工を加え、伸縮性を付与するための以下の加工を試みた。

(加工前のペーパーヤーン) 720D Z撚り 350T/m

加工①：追撚 350T/m

加工②：ポリウレタン40Dを芯に350T/m

加工③：水溶性ビニロン75Dを芯に350T/m

加工を行った糸を丸編み機を用いて300コース編み立て、編み地の安定化のためと加工③で使った水溶性ビニロンを溶解するため、70℃のお湯にて10分処理を行った。その後乾燥した編み地の表面状態と風合いを比較した。その結果、水溶性ビニロンを用いた編み地が風合いや、形状が整っており多数のニッター様から評価を頂いた。

5. 金属細線の用途開発

現在、直径が数十ミクロンの金属細線の用途としてはIC基盤用プローブの芯材としての利用や人工衛星のパラボラアンテナとしての利用など非常に特殊分野に限られている。そこでこの素材に繊維業界が保有する機器や技術により付加価値をつけ新たな用途展開へ発展できるよう開発に取り組んだ。

5.1 使用金属細線

(株)トクサイより提供いただいた以下の金属細線を使用した。

- ・ 30μm モリブデン
- ・ 70μm チタン

5.2 試作例

金属細線に撚糸加工を採用し、以下の素材を作成した。



図9 モリブデンにポリエステルフィラメントを撚糸し、編み立てた導電性金属編み地



図10 金属細線を複合化したリリアン

金属細線単独では、糸切れが発生し布状やひも状にするのが困難であるが、素材を複合化することで上記のような素材を試作することができた。今後、上記試作品を県内企業へ提示するなどし、金属細線の用途拡大を進めて行く予定である。

6. まとめ

- (1) 仮撚り加工試験機の回転部(送り、加撚、巻き取り)をサーボモータでPLC制御することによって、合成繊維素材に規則的な変化を加えることや、天然素材により近づけるランダムな変化を加えることが可能になった。この技術は県内企業に普及している仮撚り加工機へ応用が可能であることから、今後普及を進めて行きた

い。

- (2) 編み立てが困難であるといわれているペーパーヤーンを複合化することで可編性を向上させる技術を開発した。その中でも、ペーパーヤーンを水溶性ビニロンと複合化した糸素材を編み立て後、水溶性ビニロンを溶解する技術では編み地の形態がきれいに整うことや、やわらかい風合いを得ることができた。
- (3) 金属細線単独では糸切れが頻発し加工が困難であったが、複合化によって金属細線を用いた編み地、リリアンを試作する事ができた。

謝辞

当研究を進めるに当たり、多大なるお力添えをいただいた（株）近藤商店様、（株）トクサイ様、並びに多くの県内ニット業者様、（財）にいがた産業創造機構様に感謝申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 佐藤清治，菊池孝之“繊維製品の染着制御・機能性付加技術の開発（その2）”，工業技術研究報告書，No.31，2002年，p108～p110.

アーク溶接の簡易自動化法の研究

大野 宏* 吉田 正樹* 白川 正登* 本田 崇*

A Study on simple automatic arc welding

OHNO Hiroshi, YOSHIDA Masaki, SHIRAKAWA Masato and HONDA Takashi

抄録

アーク溶接を自動化するには自走式台車やロボットを使う方法などがあるが、今回は中小企業で採用しやすい自走式台車を用いた自動化について検討を行った。自走式台車に溶接トーチを取り付けただけではウィービング（溶接線に対して直角にトーチを振ることや、小さな円弧を描くことによって幅広のビードを作る動作）ができず薄板のみしかできないため、厚板も出来るように回転式ウィービング機能を持った自走式台車を作り、それを用いた隅肉継ぎ手、突き合わせ継ぎ手について条件検討を行った。条件を選ぶことによって適正な溶接ビードが出来ることを確認した。

1. 緒言

高度な熟練を要する溶接作業者の高齢化は現場においてはすでに大きな問題である。高齢化に伴う視力の低下や運棒の安定などに問題が出てくることが多く、新たな技術者を育成するのも難しい状況である。そこで溶接を自動化するためにトーチを持って溶接を行う自走式台車やロボットなどが使用されるようになってきている。

しかし、ロボットなどはまだ价格的に高く、中小企業では購入するのは難しい。また、自走式台車が中小企業では使い易いが、一般的な自走式台車は直線運動をするだけで、厚板等の溶接などでウィービングが必要な作業では使うことが出来ない。そこでウィービングできる自走式台車を開発し、それを用いた自動化溶接の条件検討を行った。

検討に際して建築用羽子板を想定し、その丸棒と平板の隅肉溶接をモデルにして自動化を検討した。また同時に平板の突き合わせ溶接についても検討を行った。

なお、今回用いたウィービングの機構は、製作の容易さと、羽子板での隅肉溶接でのビード形状の最適化を図るために回転運動を採用した。

2. 隅肉溶接

2.1 実験方法

2.1.1 建築羽子板用試験機

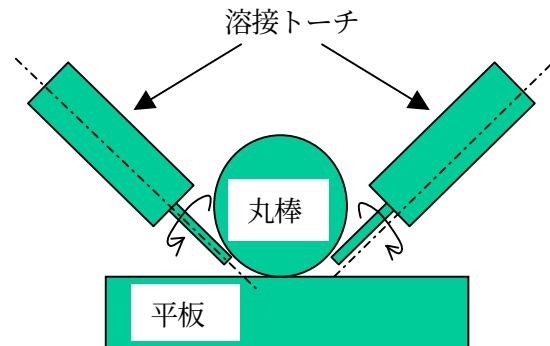


図1 建築羽子板用試験機

丸棒両脇の溶接は、一般的には左右片側ずつ溶接部を上に向け溶接を行い、片側が終わったあとに反対側を溶接するために、重力による溶け落ちなどは問題にならない。

それに対し今回は、図1に示すように丸棒と平板の隅肉溶接を行うモデルを考え、丸棒の両側から一度に溶接し、短時間で効率的に溶接をした場合を想定している。

その工法をとった際の問題点と溶接条件設定について検討を行った。

*素材応用技術支援センター



図2 試験機

また、試験機のウィーピング用回転機構については、上述のビードの重力によるオーバーラップやアンダーカットを防止するために、インダクションモーターの回転軸部に駒を儲け、リミットスイッチを当てることにより、一定の角度で一回転あたり2スピードを選べるようにした。

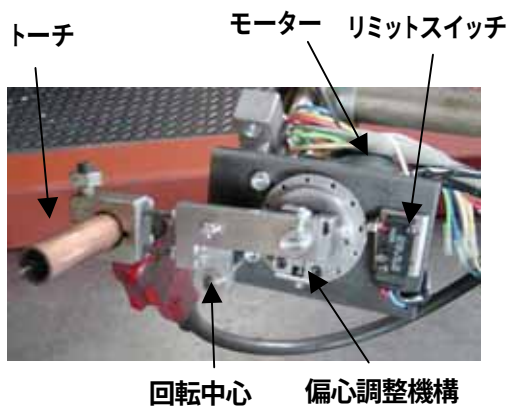


図3 ウィーピング機構

2.1.2 溶接条件

予備試験からある程度溶接条件を決め試験を行った。

溶接速度：100～200mm/min

回転速度：33～66rpm

回転方向：進行方向に対し時計廻り

回転直径：4mm

トーチ前進角度：0度

トーチ角度：45度

ワイヤ：YGW12 (φ1mm)

丸棒：φ22mmSS400

平板：板厚 9mmSS400

溶接電圧 210V 電流 24A

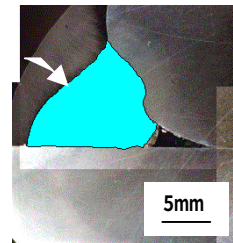
2.2 試験結果

2.2.1 溶接速度のビード形状への影響

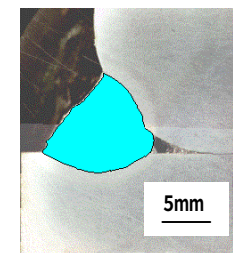
図4、図5に示すように、適正な溶接速度 150mm/min を速めるとワイヤの供給が十分行われず、丸棒側にアンダーカットが発生する。また、溶接速度を遅くしすぎると、ワイヤ供給が多すぎるためにオーバーラップが発生する。電流電圧条件に合わせた溶接速度の設定が重要であることがわかる。

100mm/min：

オーバーラップ発生



150mm/min：



200mm/min：

アンダーカット発生

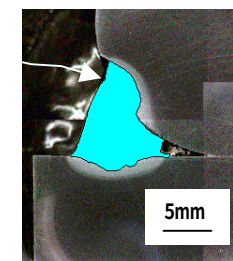


図4 溶接速度によるビード形状

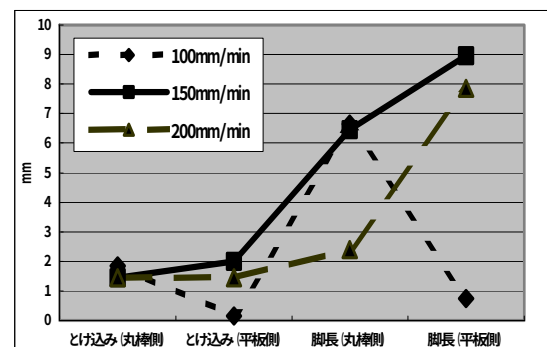


図5 溶接速度による溶け込みと脚長の差

2.2.2 回転速度制御によるビード形状への影響

前述の溶接速度によるアンダーカット、オーバーラップといったビード形状の修正のためにビード上部の溶接速度を落とし、ビード下部の溶接速度を上げるために、図6のように回転速度を制御し、アンダーカットの出来易い位置に溶着金属を供給することで、ビード形状を最適化することについて検討した。ビード止短部と母材のつながりがなだらかになり、その効果があることを確認した。

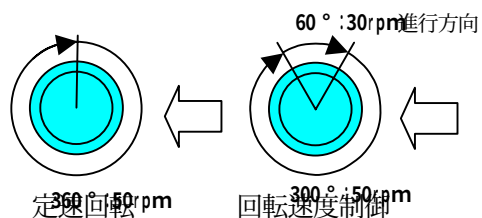


図6 回転速度制御の例

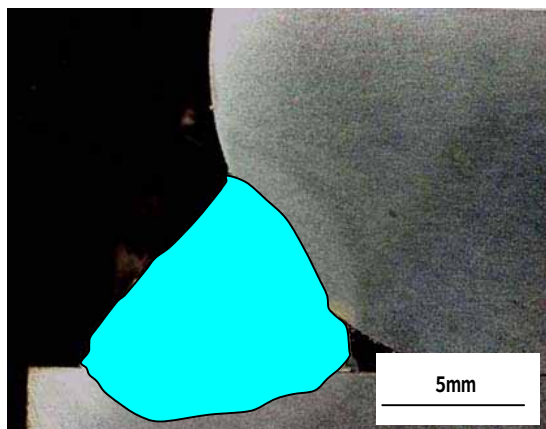


図7 定速回転でのビード形状

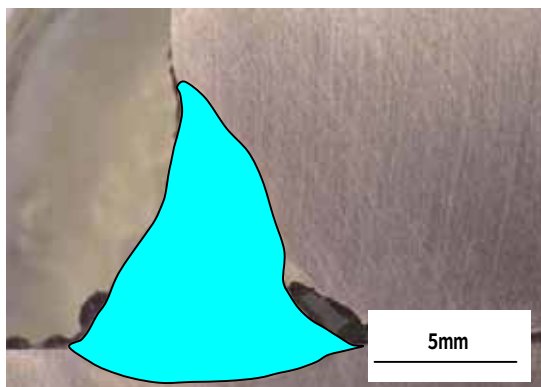
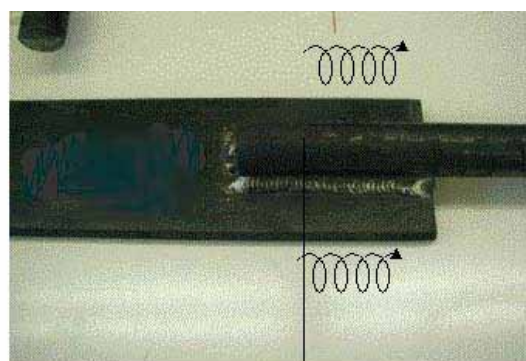


図8 回転速度制御によるビード形状

2.2.3 回転方向のビード形状への影響

回転方向を反対にした場合の影響を確認するため、建築用羽子板の左右で回転方向を反対にした試験を行い、ビード形状への影響確認を行った。溶接方向とビード上部の回転方向が一緒になるとその部分の溶接速度が速くなりすぎるためにアンダーカットが生まれ易くなり（図10右のビード）、反対の場合（図10左のビード）はアンダーカットが出来にくくなるのがわかる。回転方向を間違えないことがビード形状の適正化には必要であることを確認した。



マクロ写真→

図9 回転方向

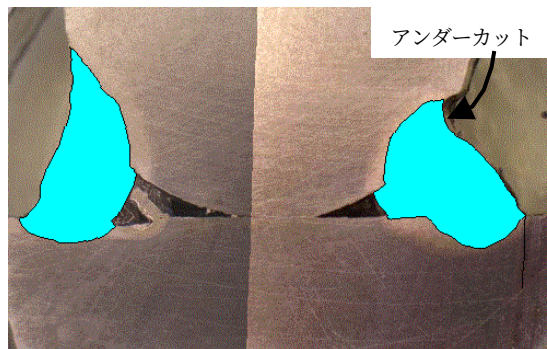


図10 図9の矢印方向からみたマクロ写真

3. 突き合わせ溶接

3.1 突き合わせ溶接用試験機

平板の突き合わせ溶接を想定し、板厚9mm、開

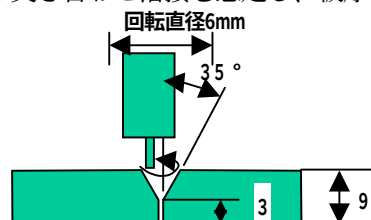


図11 突き合わせ溶接用試験機

先角度 70°を取った平板に前述の回転式ウィーピングを使った場合の試験機を図11に示す。

3.2 溶接条件

予備試験からある程度溶接条件を決め試験を行った。

溶接速度：150mm/min

回転速度：50rpm

回転直径：6mm

トーチ前進角度：0°

トーチ角度：0°

ワイヤ：YGW12 (φ1mm)

丸棒：直径 22mmSS400

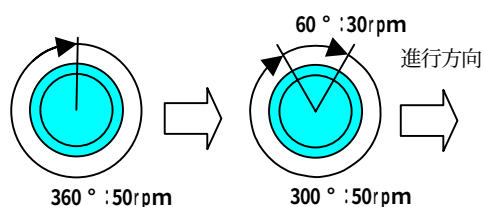
平板：板厚 9mmSS400

溶接電圧 210V 電流 24A

3.3 試験結果

定速回転で突き合わせ溶接をした場合は、溶接速度がかなり遅いために表面上はあまり偏りはないが、とけ込みが片側に偏ってしまう。また、溶接の端は運棒が早いために溶け込みが少なくなる。

そこで、溶け込みの少ない側のスピードを落として突き合わせ溶接をしたものは、左右均等な適正な溶け込みを維持できるようになった。



定速回転

回転速度制御

図12 回転速度制御の例

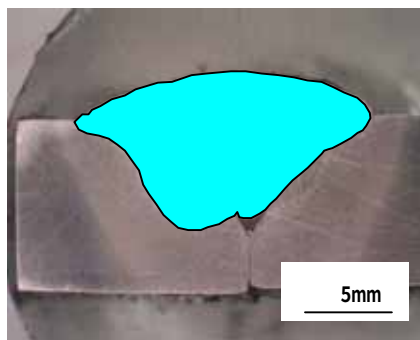


図13 定速回転での突き合わせ溶接

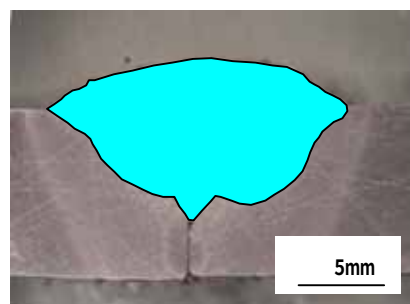


図14 回転速度制御による突き合わせ溶接

4. 今後の課題

今回行ってきた溶接では、溶接スピードをかなり落とした条件で溶接を行っているために、回転による溶け込みへの影響が大きかったので、それに対する対応を検討してきたが、今後より高速化を狙う場合は、軸回転を高速化するなど条件が変わってくるために、それぞれについての条件検討が必要である。

また、現在の装置は溶接姿勢が変わると対応することが出来ないため、装置周辺の改良が必要である。

5. 結言

(1) 自走式走行台車に回転動作のウィーピング機能を持たせることによって隅肉溶接が可能になった。

(2) 溶接条件を選べば、溶接経験の少ない人でも、この走行台車を用いて建築用羽子板を溶接することが安定して出来る。

(3) 平板の溶接も偏りを少なく溶接することが可能になった。

謝辞

本研究は（有）井上の見附市新技術新商品開発支援補助事業を支援した内容である。尚、代表取締役井上慶三郎氏にご協力いただき、感謝申し上げます。

先 導 的 戰 略 研 究 調 查 事 業

MEMSプロセス技術の調査研究

坂井 朋之^{*1} 宮口 孝司^{*3} 佐藤 健^{*1} 丸山 英樹^{*5}
須貝 裕之^{*4} 小林 豊^{*1} 岡田 英樹^{*2}

SAKAI Tomoyuki^{*1}, MIYAGUCHI Takashi^{*3}, SATOU Takeshi^{*1}, MARUYAMA Hideki^{*5},
SUGAI Hiroyuki^{*4}, KOBAYASHI Yutaka^{*1} and OKADA Hideki^{*2}

A Study on MEMS Process and Technology

抄 録

MEMSプロセス技術についての調査研究を行った。本研究では、MEMSプロセスやその応用製品に関する研究開発の動向、マーケットの将来予測についての調査をした。また、この技術に関する県内の大学や企業の状況についても調査をした。さらに、MEMSの基本的なプロセスの把握を目的として、光通信用導波路とCNT-FED電子銃の試作を行った。

1. 緒 言

「MEMS」とは Micro Electro Mechanical System の頭文字を並べたもので、文字通り微小電気機械システムのことである。数mm四方の小さなチップの上に、メカニカルに動く部分と、それを制御する電子回路がコンパクトに納められたもので、いくつかの部品や装置を使った大きなシステムと同じ働きをすることができる。その製造方法は、基本的には半導体製造プロセスを基盤としているが、メカニカルな部分があることから、より立体的かつ複雑な形状を含むのが特徴である。このために基板平面上の線幅ルールでは、半導体ICほどの微細化は進んでいないが、より深く掘るといような特殊な技術が含まれている。

MEMSの応用例として代表的なものは、光通信用デバイス、各種センサ類あるいはインクジェットヘッドなどがあるが、将来はエネルギーや医療など、幅広い産業への応用が期待され

ている。

本研究では、このMEMSプロセス技術に注目し、技術やマーケットの動向、大学や企業の研究状況を調査した。さらに代表的なMEMS製品を実際に試作することにより、MEMSの基本的なプロセスについての理解を深めた。

2. MEMSの概要と技術動向

2.1 MEMS製品とプロセス技術

MEMSの例として、自動車に使われている「エアバッグシステム」がある。

従来の機械式エアバッグシステムでは、自動車の衝突に連動して移動するオモリ、これを支えるバネ、バネ長さの変化を検出する装置、爆薬に点火する電気信号処理装置などが必要である。MEMSによるエアバッグシステムでは、これらのすべてが微細化され、10mm四方ほどの一つのチップに収められている（図1参照、写真中央部がオモリに相当し、周囲に検出機能が配置されている）。

また、機械式センサでは、オモリやバネ、検出器など個々のユニットを最適に組み上げる熟練した技能が必要であったが、MEMSでは1チップ化されるためその必要がなく、高い信頼性が得られる。

*1 研究開発センター
*2 下越技術支援センター
*3 中越技術支援センター
*4 県央技術支援センター
*5 県央技術支援・加茂センター

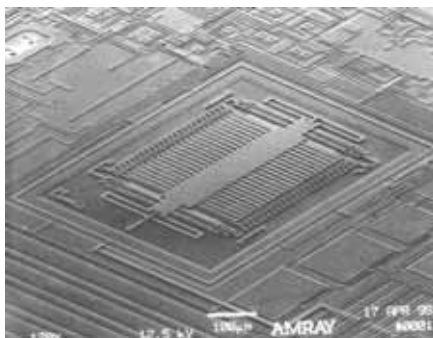


図1 アナログデバイス社の加速度センサ

このようなMEMS製品の製造技術は、半導体IC製造プロセスを基盤としている。半導体ICでは、様々な製造技術が使われるが、最も基本的な技術はフォトリソグラフィーである。これは“フォト（写真）”と“リソグラフ（石板画）”を合わせた造語であることからわかるように、写真のネガを印画紙に現像して行くのと似ている。

図2に基本的なフォトリソグラフィーのフローを示す。まず、シリコンウェハの表面にレジスト（液状の感光剤、この図はネガ型の例）を塗布する。ガラスマスクを通してUV光を照射すると、遮光部のレジストは硬化しないために、現像液で除去され、マスクのパターンが形成される。更にレジストで被覆されていないシリコン表面を薬液や反応ガスでエッチングした後、レジストを剥離すると、マスクのパターンがシリコンに転写される。

このプロセスを繰り返すことで、様々な形状や回路が形成され、デバイスが製造されている。

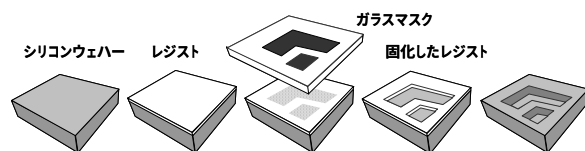


図2 フォトリソグラフィーの基本的なフロー

半導体ICでは、平面上の集積度を上げるために、ライン幅で数10nmというような議論がなされているが、MEMSプロセスでは、まだそれほど微細なパターンは必要とされておらず、ライン幅でサブミクロン程度が現在のレベ

ルである。しかし、メカニカルな機能を持つ三次元構造を形成するために、“深堀り”、“異種部材の接合”、“形成物の保護膜”などの半導体ICとは異なった技術も要求されている。以下にその数例を挙げる。

（1）ボッシュ法エッチング

高異方性のディープエッチング技術。側壁をコーティングしながら底をエッチングして行くので、アスペクト比の高い形状をつくることができる（図3参照）。

（2）超臨界乾燥

高アスペクトの構造物が、洗浄後の乾燥時に液体の表面張力で破壊されるのを防止する。洗浄液に表面張力ゼロの超臨界流体を用いることにより、乾燥の際の破壊を防止できる。

超臨界流体としては、二酸化炭素が使われる。図4に、通常乾燥と超臨界乾燥の形状の違いを示した。

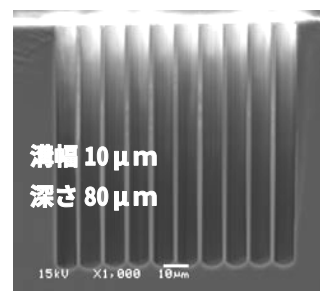


図3 ボッシュ法によるシリコンエッチング

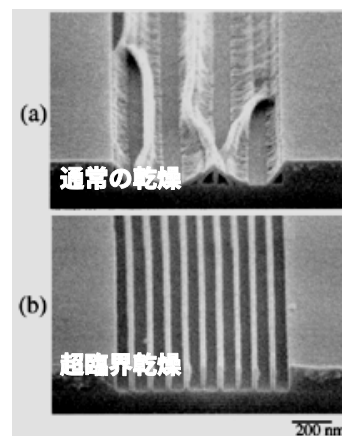


図4 レジストの破壊（NTT研究所）

(3) 陽極接合

シリコンチップを固定したり、パッケージングをするときに使われる接合法で、シリコンとガラスを接合する。

パイレックスガラスとウェハーの研磨面同士を重ね、400℃程度に加熱してガラス側に数100Vのマイナス電圧を印加する。電氣的引力で接合するのでこのように呼ばれている。

このように、MEMSプロセス技術は、半導体ICの製造技術を基盤としながらも、より複雑な形状、機能を必要とするために様々な技術が取り入れられている。

2.2 MEMS市場と研究開発の動向

2.2.1 製品開発の動向

MEMSプロセスは、基本的にダウンサイジングおよび高機能化のための製造技術であるので、その応用分野は多岐にわたっている。今現在大きな市場を形成している製品は、インクジェットヘッドや磁気ヘッドなどであるが、今後の発展が期待されるものとして以下の4分野が挙げられている。

(1) センサおよび光MEMS

マイクロセンサ分野の研究開発は、日本が技術的に進んでいると言われており、引き続き諸外国に対し優位を保つことが期待されている。光学分野では特に光MEMSと呼ばれており、従来からの光センサ・ディスプレイ用素子の開発に加え、光通信用スイッチが注目されている。

(2) 医療・バイオMEMS

この分野は、一つ一つの製品としては市場規模が小さく、難しいシリコン加工技術を必要としない場合も多い。このため、大学等公的機関の小さな設備であっても、短期間の少量生産が可能であり、最もベンチャー企業が育ちやすい分野と考えられる。

(3) RF-MEMS

集積化というキーワードが最も端的に実現され、市場の大きさがあり、また、半導体製造技術の蓄積が最も有効に使えるのが、このRF（通信デバイス用高周波）-MEMSの領域である。コンデンサや抵抗などの受動素子もシリコンチップ内に混載することで配線長が短くなり、高周波域でQ値という高速化のファクター向上が期待できる。さらに共振器などの可動部分や電源部分までも1チップあるいは1パッケージに組み入れようとするものである。

(4) パワーMEMS

マイクロ燃料電池やマイクロガスタービンなど微細なエネルギー供給システムである。マイクロ燃料電池は、現在、携帯機器用に検討されている小型燃料電池をさらにマイクロレベルまで微細化するという位置付けにある。現状の電池より長寿命化が達成できれば、携帯電話でインターネットを常時接続で利用することも可能になるため、市場の期待は大きい。まだハードルの高いターゲットとは言えるが、市場性のみならず社会的インパクトも大きく、最も期待されている分野である。

2.2.2 市場規模

MEMSプロセスは応用分野が広いため、様々な製品のダウンサイジングに伴い、市場規模は拡大の傾向にあると考えられる。

図5の経済産業省の技術調査レポートでは、2005年に約1兆円と予測しており、センサなど明らかにMEMS技術に分類される項目に対し、その他の項目の比率も大きく、この技術が広範な応用分野を持つことの特徴と考えられる。通常、市場予測は各調査機関によって差が出てくるが、多くは2005年で、国内2～3兆円、世界7～8兆円と推計しているようである。

調査した範囲では、どの機関も市場の伸び

を予測している。

また、MEMS製品はナノテクノロジーの市場予測と関連させて議論されることが多い。

それは、この技術がナノテク製品の生産技術として不可欠なものと位置づけられているためである。

表1に、三菱総研と日経新聞社の共同調査などに基づき算出した、ナノテクノロジー市場の予測を示した。これも大きな伸びを予測しているが、この表に挙げられている多くの製品はMEMSプロセスに関連しており、MEMS製品の市場はやはり大きくなると考えられる。

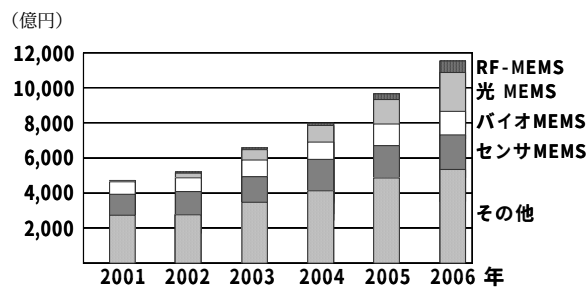


図5 MEMS市場予測

表1 ナノテクノロジー市場予測

産 業	2005年	2010年
バイオセンサ	443	1,193
医療用マイクロマシン	287	1,200
遺伝子診断	359	1,071
遺伝子治療薬	4346	4,510
バイオリアクタ	616	1,387
分子設計タンパク質	153	178
光触媒材料	583	1,826
高選択性・高性能触媒材料	581	680
インテリジェント材料	1026	1,139
フラーレン、ナノチューブ	143	292
マイクロマシン	5020	7,723
ナノメートル水準の検査機器	137	368
超精密加工装置	2025	2,963
半導体製造装置	24450	31,950
薄膜製造装置	1875	1,875
次世代超メモリ	5051	16,309
光メモリ用材料	10313	17,063
高密度記憶用磁気材料	27075	95,813
量子デバイス	282	1,380
分子エレクトロニクス材料	290	2,213
合 計	85055	191,133

(単位：億円)

2.3 大学や企業の状況

MEMS技術の研究については、東北大学ベンチャービジネスラボラトリーや立命館大学マイクロシステム技術研究センターなどが著名で、産官学連携により研究が進められている。“どう作るか”と同時に、“何を作るか”ということも重要視しているようである。他の大学でも産業界との連携が進んでいるが、MEMS技術を直接の研究対象とするよりは、ナノテクノロジーの研究の中で、MEMS技術を取り入れて行くことが多いようである。これは上述の市場予測の場合と似ている。

県内も同様に、新潟大学と長岡技術科学大学でも、直接的にMEMS技術を研究している研究室はないが、微細な切削加工、ナノレベル計測、半導体リソグラフィーなどの研究がされている。

これらの大学研究者は、表2に示すように財団法人にいがた産業創造機構が主催する“にいがたナノテク研究会”のリーダーとして活動している。

企業では、圧力センサと磁気ヘッドの製造メーカーである日本精機（株）やアルプス電気（株）など、MEMS技術の有力企業をはじめとして、ナノテクノロジーに興味を持っている企業が多数参加している。

このような活動の中で、MEMSプロセス技術は重要な位置を占めると考えられる。

表2 にいがたナノテク研究会に参加している研究者と企業

新潟大学	梶田 教授	微細加工
長岡技術科学大学	八井 教授 柳 教授 明田川助教授 末松 助教授 安井 助教授 南口 助教授	半導体プロセス他 ナノ計測 光学測定 ナノ粒子、ナノ薄膜成長 カーボンナノチューブ成長制御 ナノ材料、金属材料
参加企業	アイエスエンジニアリング / アイオムテクノロジー アクティブ / アドテックエンジニアリング / アルプス電 エルメック電子工業 / クリーン・テクノロジー サンデバイス / シンワ測定 / ツインバード / トッキ 永田精機 / ナミックス / 新潟三洋電子 新潟プレシジョン / 日本精機 / 八海クリエイツ プロデュース / マコーユニオンツール	

また、MEMSについてはファウンドリービジネスや製造設備の中古市場が成立しつつあることも興味深い。製品が多品種少量生産の場合が多く、高価な半導体製造設備を整えるにはリスクが伴うからである。このため、受託生産を事業化する企業が現れている。また、線幅ルールでは最先端のICほど微細ではないので中古設備でも対応が可能である。

3 MEMS プロセスによる試作

3.1 試作の目的

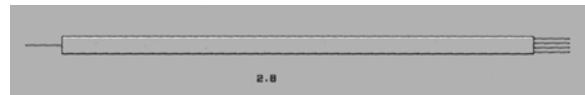
本研究では、技術動向や市場調査に加え、試作実験も課題の一つとした。これは、MEMSプロセス技術の理解をより深めることを目的としている。試作ターゲットは、現在研究段階にあるもので、将来の市場性が見込まれていること、かつ、MEMSの基本プロセスの把握に適切と考えられることから光通信導波路とCNT-FED電子銃とした。

3.2 光通信導波路

本試作では、光導波路のシミュレーション計算を行い、その結果からフォトマスクを作製した。また、このマスクを用いてシリコン層5 μm のSOI基板をエッチングし、光分岐結合器の基礎となる光導波路モデルを試作した。尚、光導波路の作製には日本精機株式会社の協力を得た。

図6は試作したMMIカプラ（多モード干渉分岐素子）と方向性結合器である。MMIカプラは、光の干渉によって1本の光ファイバーを4本に分岐することができる基本的な光素子である。

方向性結合器は、2本の光導波路間の距離と結合距離を変えることによって、2本に等分に分岐したり、もう一方の光導波路に光を移すなど、光の分岐比率を可変でき、光送受信器などレーザーダイオードとフォトダイオードとを同一基板上に配置する場合に必要な素子である。試作の結果、全体の形状は良く形成されている。



(a) MMIカプラ



(b) 方向性結合器

図6 シリコン製光導波路

図7に方向性結合器の最狭部分でのエッチング状況を示す。光導波路の幅とスペースは4 μm の設計である。2つ光導波路は完全に分離できているが、開口部が広がるという等方性エッチングの特徴が現れ、導波路の断面形状が台形となっている。

方向性結合器は、2つの導波路の距離や導波路の形状で特性が大きく変化するので、このエッチング条件では、特性を安定させるのが難しいと考えられる。

図8に試作したMMIカプラモデルを示す。導波路幅の設計値は2.8 μm である。この例ではエッチングがオーバー気味で、光導波路部分の幅が狭く、高さも低くなっており、現実の製品に対して適用する場合には、エッチング条件の検討が必要である。



図7 方向性結合器最狭部

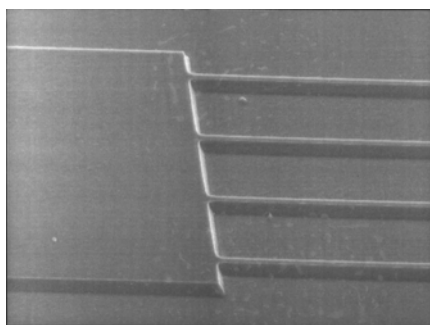


図8 MMIカプラ分岐部

3.3 CNT-FED電子銃

FED (Field Emission Display) は、電子銃から電子を放出させて蛍光体を発光させるディスプレイである。発光原理はCRTと同じだが、CRTが単一の電子銃を偏向して画像を表示するのに対し、FEDは小型の電子銃を画素毎に配置することが特徴である。電子を電界放出させるため、電子銃先端は針形状に形成されている。先端がより急峻な方が、低電圧で電子放出が可能となるので、銃の先端にCNT (Carbon Nano Tube) を配置する研究も行われている。

図9はCNT-FEDの画素の構造断面図である。産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門では、2002年4月にこのデバイスの試作を発表している。この例をもとに、シリコン基板に高さ5 μm のチップを10 μm ピッチで形成し、その先端にCNTの成長を試みた。

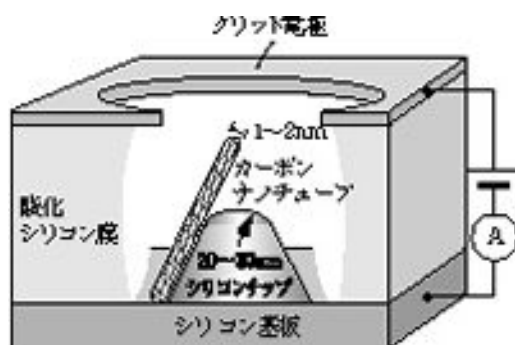


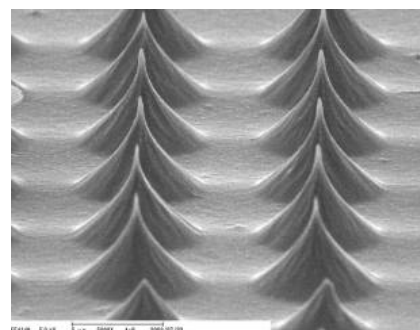
図9 CNT-FEDの構造断面図

実験にあたっては、産総研に製造プロセス全般の指導を頂き、シリコンの加工は外部に委託した。CNT成長は、長岡技術科学大学の協力のもと行った。

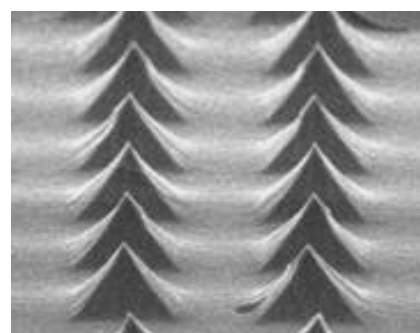
図10は試作したシリコンチップである。シリコンウェハーにCrをスパッタし、ウェットエッチングで円形と正方形のマスクを形成した後、等方性ドライエッチングを行った。図はそれぞれ直径7 μm の円形マスク、一辺6 μm の正方形マスクにより作製した円錐型と四角錐型のシリコンチップであり、ほぼ狙い通りの形状を形成することができた。

この四角錐型チップにCNT成長触媒のFeを10 nm厚でスパッタリングし、700 $^{\circ}\text{C}$ のアニール処理を行い、エタノールを原料としてCNTの成長を試みた。

図11は、実験をした試料である。アニールにより触媒の微粒化はできているが、CNT成長は確認できなかった。同条件の平面基板では成長を確認できているので、再現性が課題として残った。



(a) 円錐型チップ



(b) 四角錐型チップ

図10 試作したシリコンチップ

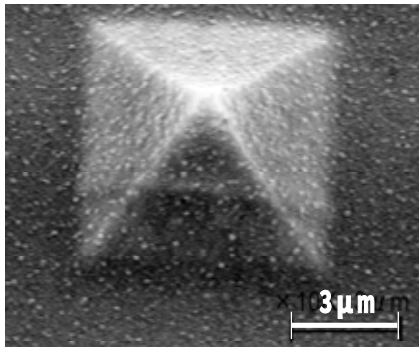


図11 Fe触媒の微粒化

長岡技術科学大学安井助教授には、CNT-FEDに関してのご指導ご協力を頂きました。
ここに感謝の意を表します。

4 結 言

- (1) MEMSプロセス技術の調査研究をした。この技術は、半導体IC製造技術を基盤とし、三次元形状をつくるための様々な技術が含まれている。製品の小型高機能化、ナノテクノロジーの進展に伴い、広範な応用が期待でき、この技術を利用した製品の市場も拡大すると考えられる。
- (2) 光導波路の試作においては、MEMSの設計及び基礎的なプロセスを行い、概ね目標とする形状が得られた。より完成度の高いものにするためには、異方性エッチングによる垂直側壁の形成、エッチング形状の三次元的な寸法測定、表面粗さの定量的計測などが課題である。
- (3) CNT-FEDの試作においては、目標とするシリコンチップの形状が得られた。CNTの成長については、触媒の微粒化はできたものの、成長は確認できず、再現性に課題が残った。今後条件の見直しなどが必要である。

5 謝 辞

本研究の試作実験を行うにあたって、東京工業大学小林教授には、光導波路に関して多大な御指導を頂きました。

また、産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門松本統括研究員（現大阪大学教授）、

フロンティア分野における ミッション遂行型ロボットに関する調査研究

山崎 栄一^{*1} 相田 収平^{*1} 天城 和哉^{*1} 杉井 伸吾^{*2} 大野 宏^{*3}
石川 淳^{*2} 須貝 裕之^{*4} 平石 誠^{*2} 牧野 斉^{*3} 石井 啓貴^{*5}

A Study on Robotics Trends and Technologies

YAMAZAKI Eiichi , AIDA Shuhei , AMAKI Kazuya , SUGII Shingo , OHNO Hiroshi ,
ISHIKAWA Atsushi , SUGAI Hiroyuki , HIRAISHI Makoto , MAKINO Hitoshi and ISHII Hirotaka

抄 録

ロボットの市場、開発動向、関連技術などについてシーズ・ニーズの調査を行った。また、ロボットの要素技術として自律制御に関連するステレオビジョンシステムの試作と、日常生活とは異なるフロンティア分野（極限環境）における潤滑技術について調査を行い、今後産学官で取り組むべき研究開発課題の検討を行った。

1．緒言

昨今、二足歩行ロボットがTVで紹介されたり、家庭内で使う掃除ロボットが大手家電メーカーから販売されたりと、ロボットは我々の日常生活に身近なものになりつつある。

こうした中で、本調査研究では、今後の発展が期待される民生用ロボットや、日常生活とは異なる極限環境においてミッションを遂行するロボットについて、ニーズと開発が必要な要素技術を調査し、新潟県におけるロボット産業の育成に係る研究開発テーマやその方向性、および関連要素技術の県内企業への応用の可能性について調査、検討を行った。

2．ロボット産業の現状（関連産業・市場の動向と将来展望）

日本のロボット産業は総出荷額で4,000億円（2002年）、そのうち5割以上が輸出されている状況である。また、日本の産業用ロボット生産台数は世界の約半分のシェアを持っている。

日本のロボットメーカーは、国内で150社あまり、関連従業員は約12000名となっているが、ロボット専門メーカーは非常に少なく、企業における複数の事業のうちの一つとした位置付けになっている場合が多い。¹⁾

日本のロボット技術は、その普及状況、技術開発力、世界市場における競争力ともに世界のトップクラスと言っても過言ではない。その要素技術からみると、コントローラの小型化・高性能化（高速、高精度）が飛躍的に発展するとともに、制御理論面でも、力、振動、視覚応用、協調などの動作制御については、ほぼ理論体系が確立されている。

民生用分野におけるロボットの需要は、既に発表されているエンターテインメントロボットや癒し系のロボットに代表されるように、個人ユ

*1 研究開発センター

*2 下越技術支援センター

*3 素材応用技術支援センター

*4 県央技術支援センター

*5 上越技術支援センター

ースや一般家庭向けを対象としたもので、今後の社会環境の変化に伴って、ゆとりと豊かさの追求、少子高齢化社会の到来、ハンディキャップを負った人達の積極的な社会参加といった要因などから、大きな潜在的市場があるものと予測されており、2010年には産業用ロボットをしのぐ市場規模に拡大するとの予測もある。また、同様の理由から、今後非製造業ロボットでは、医療・福祉、農林水産・畜産、運輸・倉庫などの分野で需要が拡大すると予測されている。²⁾

3. 県内企業の動向

県内企業で純粋にロボット関連の開発を行っている企業は少なく、非製造業分野では、教育用ロボットの製造販売、特殊環境での作業ロボット設計製造、またはロボットの要素技術研究を行っているところなど数社にとどまる。また、産業用ロボットの分野では、自動機メーカーと自社用に既存ロボットの改造を行っている企業がある。

これらの企業を見ても、今後成長が期待される民生用ロボットに直結した開発を行っている県内企業は少ない状況である。

4. ロボットの開発動向と要素技術

4.1 民生用ロボット

民生用ロボットはペット型やヒューマノイド型が製品化されているが、現状では企業イメージアップに活用されているのみで、収益を上げるまでには至っていない。今後、一般家庭に浸透していくためには、ヒューマンインターフェースや安全性の向上と価格の低減が課題であり、こうした分野の技術開発が必要である。

4.2 その他のロボット

極限環境においてミッションを遂行するロボットとして、惑星探査ローバ、レスキューロボット、原子力発電関連ロボット、水中ロボット、農業用ロボットなど、日常環境以外で用いるロボットについて、開発の動向および必要な要素技術について調査を行った。

(1) 惑星探査ローバ

《開発主体（調査対象）》

（独）宇宙航空研究開発機構

《開発の動向》

民間企業の技術を採用する動きあり。広範な要素技術が必要。ミッションの具体化は未定(2010年以降)。

《必要な要素技術》

航法誘導制御系（カメラ、画像処理装置、レーザ測距計、傾斜計）、走行系（車輪、サスペンション、電動モータ、操舵機構）、熱制御系（ヒータ制御ラジエータ、断熱材）、電源系（太陽電池、パドル駆動、バッテリー、電力制御器）、通信系（アンテナ、通信回路、トランスボンダ）、データ処理系（コマンドデコーダ、データハンドリングユニット）、構造系（主構体、機械計装）、ミッション系（観測機器、分析装置、サンプル採取機構）、電気計装系。

(2) レスキューロボット

《開発主体（調査対象）》

文部科学省（大都市大震災軽減化特別プロジェクト）

《開発の動向》

H14～19まで文部科学省でプロジェクトを実施。研究テーマ数47。

《必要な要素技術》

センシング、移動機構、空中移動、情報収集、環境モデリング、ヒューマンインターフェース。

(3) 原子力発電関連ロボット

《開発主体（調査対象）》

東京電力柏崎刈羽原子力発電所

《開発の動向》

原発は管理運転は電力会社、保守・点検・修理はメーカーが担当。現在は原発メーカーが検査用ロボットを電力会社に提案して共同開発。東京電力は県内大学や企業と共同研究を実施中。

《必要な要素技術》

耐高温、多湿、放射能性、高信頼性。

(4) 水中ロボット

《 開発主体（調査対象） 》

大手造船メーカ

《 開発の動向 》

目的とする作業を実現するオーダーメイド型の開発。開発実験に多額の経費を要する。

《 必要な要素技術 》

通信手段、電源系、自律制御、防水、耐圧。

(5) 農業用ロボット

《 開発主体（調査対象） 》

農業機械メーカ

《 開発の動向 》

実用化されているロボットはほとんど無い。安全面、コストなどで課題が多い。

《 必要な要素技術 》

センサ、自律制御、安全性。

5. ロボット要素技術

5.1 自律制御

5.1.1 概要

ロボットが自律的に動作するためには、最初に周囲の状況を正確に把握し、これに応じてどう動作するかを決定する必要がある。進みたい方向に障害物があれば、この障害物の位置や大きさを把握して回避しなければならない。これは知的な生物が有する性質で、人間のように完全に自律して移動するようなロボットは現状では存在しないが、研究室内などの限られた範囲内を自律して移動するものは実現されつつある。自律制御は、ロボットの特徴的な機能の一つで

あり、これについて現状の調査を行った。

自律制御を行うには、周囲の状況を把握する必要があり、現在最も一般的な方法はレンジセンサを用いる方法である。本調査研究では、レンジセンサの一つであるステレオビジョンを移動ロボットに取り付け、廊下を走行する実験を行うために、ステレオビジョンシステムと移動ロボットを試作した。

5.1.2 ステレオビジョンシステム

ステレオビジョンでは距離画像を求めることができるため、周囲の障害物の有無や位置を把握することが可能であり、移動ロボットの眼として使用できる。我々人間も、三次元世界を左右2つの眼の二次元網膜に射影し、その像に基づいて三次元の環境を判断している。

左右2台のカメラ画像において画像の対応点を求めるためには、左画像のある1点を中心に窓（ $n \times m$ ）を設け、右画像の同じ窓の大きさを切り出して相関値を計算し、最も相関の大きい点を対応点とする。対応点の探索は、2台のカメラモデルの幾何から求められる直線上（エピポーラ線）のみを行えばよい。ステレオビジョンはこの相関計算の計算量が非常に多く、処理時間が問題となっていたが、前の計算結果を利用して計算回数を劇的に減らす方法が提案され、また半導体技術にささえられた演算処理装置の高速化により、近年有効な距離情報センサとして注目されている。³⁾

試作したステレオビジョンシステムは、2台のカメラ画像をキャプチャボードとMicrosoft社

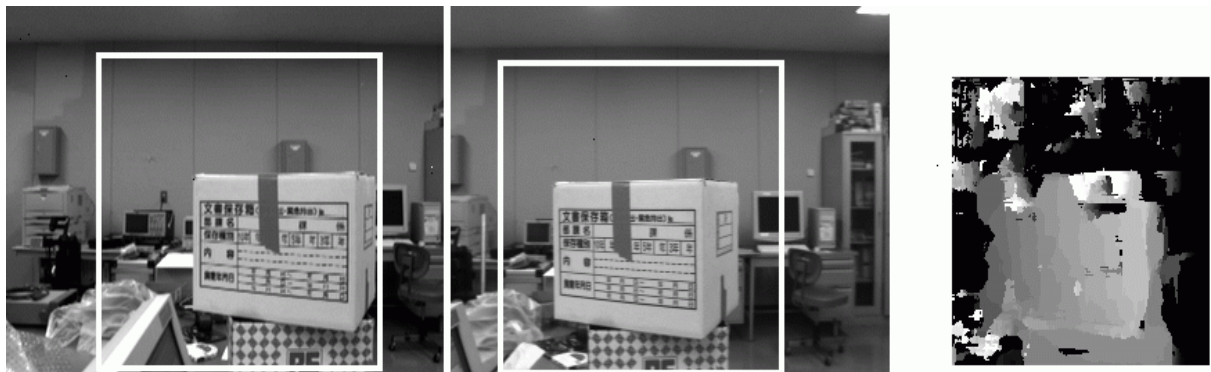


図1 2台のカメラによる左右画像と計算された距離画像（白が手前で黒が奥）

のDirectXでパソコンに取り込み、 13×13 画素の領域の相関計算で対応点を求め32段階の距離画像を計算するものである。図1に2台のカメラによる左右画像と計算された距離画像の例を示す。この図の左右のカメラ画像からわかるように、手前にあるものは、左右画像の対応点位置の差（視差）が大きく、奥にあるほどその差は小さくなる。ステレオビジョンでは複数台のカメラを使用しているが、カメラの特性や位置の違いによる画像の輝度変化を補正するため、LOG (Laplacian of Gaussian) フィルタ処理を行う。このフィルタ処理は画像のノイズを平滑化するとともに特徴を強調する働きがある。LOGフィルタ処理や相関計算にMMX命令を利用し、PentiumIVプロセッサ (1.7GHz) のパソコンを用い、 200×200 画素の大きさにて每秒10フレームの距離画像が得られた。

5. 1. 3 自己位置算出

自律走行するロボットは自分が今どこにいるかを正確に把握しなければならず、ロボット研究の大きな課題になっている。人間も目的地に移動するためには現在の位置を正確に把握する必要があり、それがわからなければ迷子になってしまい目的地に達することができない。

屋外自律走行するロボットでは、GPSを使い自己位置を把握する方法が一般的である。近年、SAが解除されGPSの精度も上がり、DGPSを使うことでさらに誤差を少なくすることができる。ただし、建物の陰などのため補足するGPSの数が少ないと誤差が大きくなる欠点がある。特徴となる画像をGPSと併用する方法もある。

屋内では、画像を使う方法が一般的である。自律走行する範囲をあらかじめ走行してカメラから得られる画像を取り込み、その画像と比較しながら自分の位置を推定するもので、取り込む画像を固有空間法などで圧縮し、基準となる画像の情報量を減らす方法がある。また、全方位カメラで周囲360度の画像を使って精度を高める方法もある。

5. 1. 4 実験用移動ロボット

ステレオビジョンを使用したロボットの自律制御の実験を行うため移動ロボットを試作した。図2に外観を示す。

2相ステッピングモータを2個使用して駆動し、全体の制御はH8マイコンで行う。この実験用移動ロボットにステレオビジョンを搭載し、障害物を避けながら廊下を走行する実験を行った。



図2 実験用移動ロボットの外観

5. 2 極限環境における潤滑技術

極限環境として真空、高圧、低温、高温のそれぞれの環境について現状の潤滑方法と問題点の調査を行った。

(1) 真空環境

圧力 10^{-3} Pa 程度までの潤滑には真空グリースが使用可能、これ以上の真空度になると MoS_2 等の固体潤滑剤を用いる。問題点はグリースの蒸発や固体潤滑剤の発塵による真空環境の汚染である。

(2) 高圧環境

圧力発生装置の可動ピストンの潤滑では、 MoS_2 粉末を塗布した鉛箔を摺動面に用いたり、超硬基材に種々の表面処理を施したものが使われている。問題点は摺動部の物理的または電気化学的な摩耗があげられる。

(3) 低温環境

低温可動部のシールにはPTFEなどの高分子系材料と金属材料を組み合わせたものが用いられており、問題点は発塵などによる耐久性である。

(4) 高温環境

高温環境での潤滑では温度が高くなるにつれてPTFEなどの高分子系材料から複合材、固体潤滑、非鉄合金、セラミックスなどが用いられる。温度領域と面圧、滑りスピードにより潤滑方法が異なってくることから、経験によって潤滑方法を選定している状況である。

6. 今後の展開

今後産学官で取り組むべき研究課題として以下のテーマを検討、提案を行った。

(1) 『人間型ロボットの視覚機構の高度化と高機能ハンドの開発に関する研究』

《 概要 》

高精度の視覚情報処理を行うシステムと、小型で高機能な多指・多関節ロボットハンドの開発を行い、人間のような高度な作業が可能なロボットに関する開発テーマ。この視覚情報処理部分は『ステレオビジョン画像処理技術の実用化研究』としてH16年度共同研究事業に採択。

(2) 『無潤滑プレス加工技術および金型技術に関する研究』

《 概要 》

DLC膜およびセラミックスなどの利用による無潤滑プレス加工技術の開発、およびセラミックスなど、難加工型材料の加工技術の開発テーマ。今後、無潤滑加工に対するニーズ、効果についてさらに調査が必要である。

(3) (財) にいがた産業創造機構 (NICO) と連携し、(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 『21世紀ロボットチャレンジプログラム』へ応募。

テーマ名：『雪国の生活を支援する自律運行型除雪ロボットの研究開発』

《 概要 》

2005年愛知県で開催される「愛・地球博」で運用デモンストレーションを行うロボットの開発に対するNEDOの助成事業に応募するための技術的検討を行い、採択となった。

7. 結言

(1) ロボットの市場と開発動向について調査を行い、今後民生用分野のロボットで高い伸びが期待されているものの、県内でこれに直結する開発を行っている企業は少数であることがわかった。

(2) ロボットのセンサとして注目されているステレオビジョンのシステムを試作し、MMX命令を利用したプログラムにより、200×200画素の大きさで毎秒10フレーム (Pentium IV 1.7GHz) の距離画像が得られた。さらにこのシステムを実験用移動ロボットに取り付け、障害物回避走行実験を行い、センサの有効性を確認した。

(3) ロボット関連要素技術の調査に基づき、研究開発テーマの検討を行った結果、H16年度の共同研究に1テーマ、NEDOの助成事業に1テーマ採択となった。

参考文献

- 1) (社) 日本ロボット工業会：ロボットハンドブック, (2001), 16
- 2) (社) 日本ロボット工業会：ロボットハンドブック, (2001), 23
- 3) 岡田ほか：日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 6(2002), 138

燃料電池の技術動向調査と要素技術研究

三浦 一真* 長谷川 直樹** 柳 和彦** 平田 康一*** 折笠 仁志***
山田 昭博*** 本多 章作****

Technical trend investigation and component-engineering research of a fuel cell

MIURA Kazuma*, HASEGAWA Naoki**, YANAGI Kazuhiko**, HIRATA Kouichi***,
ORIKASA Hitoshi***, YAMADA Akihiro*** and HONDA Shousaku****

抄 録

昨今注目を浴びている燃料電池を新潟県の産業とする可能性を検討するため、技術動向調査と要素技術について検討を行った。実用化目前といわれる燃料電池ではあるが、まだまだ解決すべき課題は多く残っていることがわかった。本県の技術特性などをふまえた上で、当所では燃料電池のコア部分であるセパレータの金属化、膜－電極接合体（MEA）製作手法の検討、および電極触媒評価手法についての検討を行った。セパレータは金属の切削加工により製作した。MEA では、当所で転写法による製作技術を確認した。そして、製作した MEA と金属セパレータを用いた発電試験により両者を評価できる体制を確認した。加えて電極触媒評価では、実際の電極触媒を電気化学的手法により評価することで、カーボンに担持された白金の効果を確認できた。以上より基本的な燃料電池開発の要素技術を検討できる技術を工技総研において確立した。

1 緒言

燃料電池は水素などの燃料から直接化学エネルギーを取り出して利用することができるため、燃焼などに比べて高い燃料利用効率が期待できる。加えて発生する熱を利用することで80%を超える総合効率を有し、二酸化炭素発生も少ない優れたシステムとなることから、エネルギー・環境対策として期待されている。燃料電池の基本原理を図1に示す。アノード側に供給された水素などの燃料が電極にある触媒によりプロトンと電子に分かれる。プロトンは電解質を通過してカソード側へと到達し、外部回路を通った電子とカソード側に供給される酸素が電極触媒の作用により結合し、水へと変換される。燃料電池は用いられる電解質

の種類により5種類に分類されるが、低温での動作が可能であることなどから、電解質に固体高分子膜を用いた固体高分子形燃料電池（PEFC）が最も注目を浴びている。そこで、燃料電池関連産業群を新潟県において形成できないかを検討するため、先導的戦略研究調査事業にて技術動向調査と要素技術研究を行った。

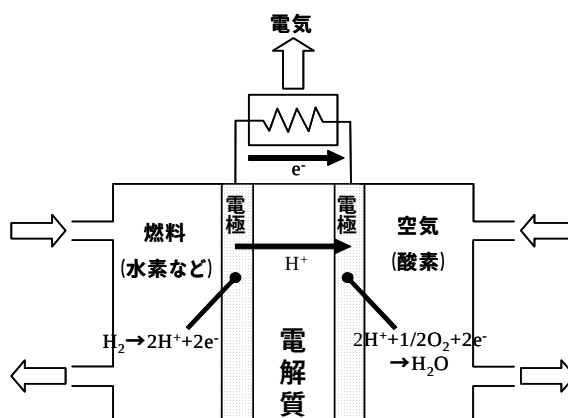


図1 燃料電池の基本原理

- * 県央技術支援センター
- ** 下越技術支援センター
- *** 研究開発センター
- **** 上越技術支援センター

2 燃料電池の技術動向調査

国内で行われている各種セミナー、講演会等に参加し、燃料電池について現在の開発状況を調査した。実用化目前といわれている燃料電池ではあるが、実用化にはまだ多くの課題が残っていることがわかった。一例を以下に示す。

- ・ 低加湿条件でも作動する膜の開発
- ・ セパレータ材料・成形法開発
- ・ セパレータ流路構造
- ・ CO 被毒に強い電極触媒開発
- ・ スタック化技術
- ・ 多様な燃料に応じた改質触媒開発
- ・ 低価格、低電力、かつ長期間稼働できる燃料電池補器類の開発
- ・ システム全体としての耐久性

これらの現状をふまえ、当所においては特にコストダウンと耐久性の向上に向けた取り組みが必要と考え、固体高分子形燃料電池（PEFC）のコア部分であるセパレータ、膜－電極接合体（MEA）、電極触媒にターゲットを絞り、検討を行うこととした。

従来から用いられているセパレータはカーボンの切削加工による製作が主であり、コストダウンは難しい。現在、成型カーボンおよび金属セパレータが検討されているが、成型カーボンでは樹脂による固有抵抗が問題となり、金属セパレータでは腐食と酸化皮膜による抵抗が問題である。しかし県内には金属加工業者が多く存在している。この金属加工技術を活用するため、金属セパレータをターゲットとして試作・検討を行った。

MEA に関しては県内企業で手掛けている所はなく、県内で燃料電池製造を行うことを考えると MEA の製作技術の確立が必要である。そこで、工技総研にて製作手法の検討を行った。

また、家庭用燃料電池などでは天然ガス、灯油などの燃料から改質により水素ガスを発生させる際に、混入する一酸化炭素（CO）ガスによる白金触媒の被毒が問題となっている。CO 被毒に強い触媒開発を目的にして、電極触媒自体の性能を評価する手法の検討を行った。

3 金属セパレータの検討

国内企業においてセパレータを金属化するための素材開発を行っていることから、金属を用いたセパレータ加工技術を検討した。量産化によるコストダウンをねらうためにはプレス加工による検討が必要となる。今回は当所で購入した JARI 標準セルを用いた燃料電池評価装置により評価を行うため、サーペンタイン流路を用いることとしたが、加工方法を検討する中で、本流路をプレスにより加工するためには精密プレス技術が必要であることがわかった。そのため金属セパレータの問題点を抽出するために、切削加工による製作を行った。また、腐食対策として金メッキ（約 5 μm 厚）を行った。

図 2 に製作したセパレータの写真を示す。寸法は 50×50 mm、厚さは 10 mm と 6 mm を作製した。流路幅と深さは 1 mm であり、6 mm 厚の場合においても 1 mm の流路幅と深さに加工することができた。重量は厚さ 10 mm で約 480 g である。同じ厚さのカーボン切削セパレータの重量は約 120 g である。6 mm 厚のセパレータでは約 280 g であった。なお、平面度は 0.013～0.019、表面粗さは Ra：0.1～0.23 μm 、Ry：2.3～5.3 μm の範囲であった。一般的に求められている平面度は 0.03 であることから、要件を満たしたセパレータを製作できた。製作した金属セパレータを燃料電池標準セルに組み込



図2 製作した金属セパレータ

んで発電試験を行った結果については後述する。

4 膜－電極接合体（MEA）製作技術の検討と MEA およびセパレータの評価

燃料電池セルを製作するためには MEA の製作技術は必須である。そこで、当所において転写法による MEA 製作技術を検討した。

4.1 製作手法の検討

MEA 製造の概略を以下に示す。

Nafion-117 膜を硫酸処理などにより前処理を行った。別にテフロンシート上に電極触媒および Nafion 溶液を混合したものをスプレーにより吹き付け、触媒シートを調整した。これらをホットプレスにより成形し、MEA を作製した。今回の MEA にはアノード、カソードともに 20 wt% Pt/C を用い、触媒量は 0.5 mg-Pt/cm^2 を目標とした。

4.2 発電試験

燃料電池評価装置を用いて 4.1 にて作製した MEA および上記 3 にて製作したセパレータの評価を行った。MEA の評価には標準セル付属のカーボンセパレータを用い、セル付属の MEA（触媒量：アノード、カソードとも約 1 mg/cm^2 ）と発電性能を比較した。また、セパレータの評価には、4.1 にて作製した MEA を用い、セル付属のカーボンセパレータと比較した。

発電試験条件は以下の通り。

供給ガス（ガス利用率）

アノード：水素（60%）

カソード：酸素（60%）

セル温度： 80°C

アノード加湿温度： 80°C

カソード加湿温度： 70°C

発電試験の結果を図 3 に示す。製作した MEA では高電流側で電圧の低下が認められる。これは電極触媒量、Nafion 量、プレス条件などの不適合による IR ドロップではないかと考えられる。引き続き製作条件の検討を行い、最適化を行うことが必要である。また、金属セパレータの初期特性はカーボンセパレータとほぼ同等であった。

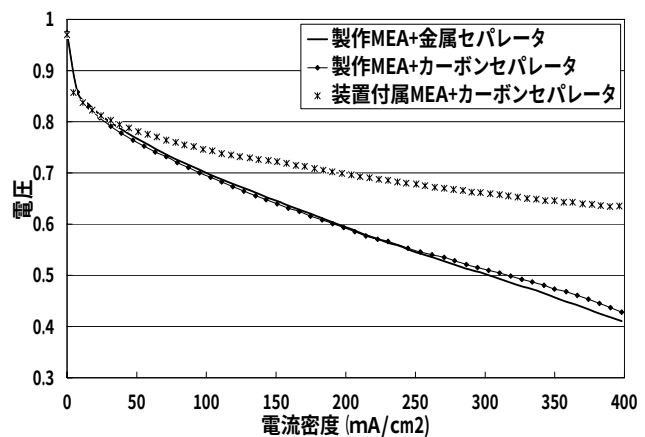


図 3 燃料電池発電試験結果

5 電極触媒評価方法の検討

燃料電池の耐久性向上を目的とした触媒開発を検討するために、粉体である電極触媒自体を評価する手法の検討を行った。MEA とした際にも触媒の評価は可能であるが、MEA に伴う要素の変動も大きいため、長岡技術科学大学 梅田助教授らの開発したマイクロ電極を用いた電気化学的评价方法¹⁾による検討を行うこととした。マイクロ電極は今回の粉体触媒のような微小物質や細胞内の電気化学測定が可能であるとともに、バッテリー活物質のような高抵抗物質の電気化学的測定やマイクロマニピレーションなどへの適用も可能な技術である。

5.1 マイクロ電極の製作

マイクロ電極の電極先端部分の概要図を図 4 に示す。 $\phi 50 \mu\text{m}$ の金線を $\phi 1.5 \text{ mm}$ のガラスキャピラリー中に封入し、先端を研磨することで金線を露出させた。その後 1 N-HCl 溶液中でエッチングを行い、 $10\sim 20 \mu\text{m}$ 程度の空隙を製作した。この空隙部分に粉体触媒を詰め込み、電気化学測定

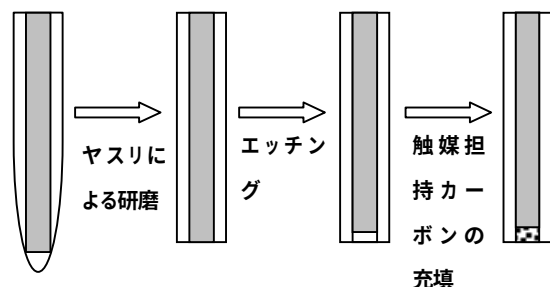


図 4 マイクロ電極の概要図

の作用電極として使用した。

5. 2 サイクリックボルタモグラムの測定

上記で作製したマイクロ電極を用いて、粉体触媒を評価できるかを検討するため、1 N-H₂SO₄ 中でのサイクリックボルタメトリーを行い、触媒中の白金による水素の吸脱着および酸化皮膜の生成、還元が認められるかどうか検討した。また、比較のためにφ50 μmの白金線を封入して作製したマイクロ電極を用いて同様に測定した。測定前には窒素ガスによるバブリングを行った。測定条件を以下に示す。

作用電極：φ50 μm Au with 50wt% Pt/C

φ50 μm Pt

参照電極：Ag/Ag₂SO₄ (sat-K₂SO₄)

対照電極：Pt 箔

走査速度：10 mV/s

Pt 線を封入して作製したマイクロ電極により得られた測定結果を図5に、電極触媒を封入して測定した結果を図6に示す。これを見ると、どちらの測定結果においても水素の吸脱着および酸化皮膜の生成と還元反応が認められる。この結果、マイクロ電極を用いて実際の電極触媒を評価できることが明らかとなった。

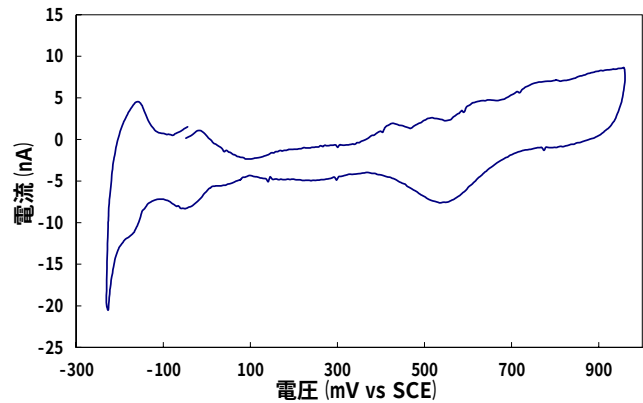


図5 φ50 μm Pt 線を封入したマイクロ電極によるボルタモグラム

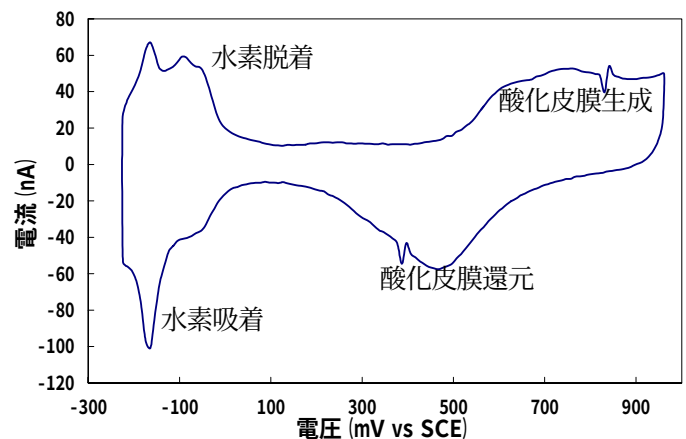


図6 50 wt% Pt/C を詰めたφ50 μm Au 線を封入したマイクロ電極によるボルタモグラム

6 結言

- (1) 燃料電池の現状調査を行い、実用化に向けてはまだ改善すべき点が多いことがわかった。
- (2) 金属セパレータの試作を行い、初期特性としてはカーボンセパレータと同等であることを確認した。
- (3) 転写法による MEA の製作技術を確立した。
- (4) マイクロ電極を用い、電極触媒を評価する手法を確立した。
- (5) 今後、精密プレス技術を用いたセパレータ加工方法の検討、CO 被毒に強い触媒開発、耐久性のある MEA の製作を進める必要がある。

参考文献

- 1) Porous-microelectrode study on Pt/C catalysts for methanol electrooxidation. M. Umeda et al., Electrochim. Acta 48 (2003) 1367-1374