

目 次

I 戦略技術開発研究

1. MEMS プロセス技術の開発研究（第 2 報）・・・・・・・・・・・・・・・・

II 公募型受託研究事業

1. 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・・・・・・・・
2. 先端レーザー等を用いた加工技術の研究（第 2 報）・・・・・・・・
3. 絨織物製織自動化技術の実用化・・・・・・・・・・・・・・・・

III 共同研究

1. CSP（チップサイズパッケージ）用極小径穴打ち抜き金型の研究（第 2 報）・・・・・・・・
2. アイスウォーターブラスト装置の実用化に関する研究・・・・・・・・
3. アモルファス電波アンテナに関する研究（第 2 報）
（アンテナの感度評価方法）・・・・・・・・

IV 実用研究

1. 電気工事用作業工具の絶縁性能評価方法に関する調査研究・・・・・・・・
2. 繊維製品への新規染色加工法及び機能性付与に関する研究・・・・・・・・
3. プラスチック等の添加物の分析方法に関する研究・・・・・・・・
4. ワンチップマイコンで構成するシーケンス制御機器の開発・・・・・・・・

V 先導的戦略研究調査事業

1. マイクロ・メゾ領域における小型・超精密加工技術に関する調査研究（第 2 報）・・・・・・・・
2. 難加工金属材料の革新的生産システムに関する調査研究・・・・・・・・
3. 機器性能向上を目的とする表面・界面の高機能化に関する調査研究・・・・・・・・
4. 生体情報の工業製品への応用に関する調査研究・・・・・・・・

戦 略 技 術 開 発 研 究

MEMS プロセス技術の開発研究（第2報）

坂井 朋之* 宮口 孝司* 佐藤 健*

Development of MEMS Process Technology 2nd Report

SAKAI Tomoyuki*, MIYAGUCHI Takashi* and SATOU Takeshi*

抄 録

昨年度に続き、MEMS プロセス技術の開発を進めている。基本プロセスである微細パターン描画技術やエッチング加工技術の確立に加え、新たに MEMS 製品の要素部品の設計・試作を行った。光通信部品については専用 CAD を用いて設計を行った。回折格子の試作では 90nm ピッチの溝パターンを形成した。スパッタリング装置により、アルミナ基板上に酸化スズを成膜し、ガスセンサを試作した。また、生体材料であるチタンの金属片表面に微細加工を施すプロセスも開発した。

1. 緒 言

「MEMS」は Micro Electro Mechanical Systems の頭文字を並べたもので、「微小電気機械システム」と訳される。MEMS では、数 mm 四方のシリコンチップ表面に、機械要素と制御用電子回路が、半導体製造技術などの微細加工技術によって作り込まれている。

この構造は、各種センサに有効である。圧力や加速度を検知する機械要素と、データを処理して信号を出す電子回路を一体的、かつ超小型に製造できるので、様々な製品への設置が容易である。

例えば、自動車は安全な走行を確保するために、油圧、水圧、ステアリング回転状態や車体の傾斜を検知し、制御する必要がある。このために各種の MEMS センサが利用され始めている。なかでも衝突時にエアバッグを膨らませるための衝突センサ（加速度センサ）は非常に有名である。今後も新機能を持ったアプリケーションの開発が期待されている。

また、携帯電話ではフルブラウザ用のポイ

ンティングデバイスを始め、様々な機能を付与するための位置・高度・加速度センサの利用が始まっている。

MEMS の市場規模はすでに 8 千億円を超え、2010 年には数兆円になると予測されているが、高額な初期投資が必要なことと、プロセス装置・技術が特殊であるという理由から、新潟県内で MEMS の製造を行う企業は少なく、生産量も限られたものになっている。また、県内大学における研究活動もあまり活発とは言えない状況にある。

そこで、本研究は MEMS のプロセス技術を開発し、県内企業へ移転、普及することを目的としている^{1),2)}。平成 17 年 4 月には、（財）にいがた産業創造機構が、ナノテク研究センターを設立し、MEMS 装置を導入した。当所では、これら装置の立ち上げを行うと同時に、本研究を進めてきた。

図 1 に当センターの機器を利用して、最初に試作した「マイクロ流路」を紹介する。これはバイオチップや DNA チップの要素部品となるものである。

シリコンを 10 μ m 深さでドライエッチングし

* 研究開発センター

レーザー・ナノテク研究室

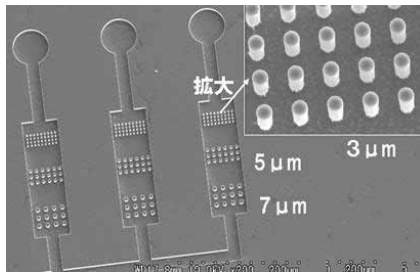


図1 マイクロ流路

ており、幅 20 μm の流路と 70 μm のカラムで構成され、カラムにはそれぞれ直径 3, 5, 7 μm 径のマイクロフィルタを形成している。

2. 新規 MEMS 製品の設計・試作

2.1 光導波路

次世代光ファイバー通信技術の基盤技術と考えられている光集積回路を構成するシリコン導波路の試作を行った。図2に光集積回路の一例を示す。この素子は、制御光1および2によって、信号光を高速スイッチングすることができる。回路中にある SOA（半導体光アンプ）は、制御光によってキャリア量が増減し、屈折率が増減することにより、方向性結合器から出る光を、任意の方向へ導くことができる。

2.1.1 実験方法

この素子は、方向性結合を構成する必要がある。光導波路は、 SiO_2 の上に Si 膜が形成された SOI（Silicon On Insulator）で作製する必要がある。光は、シリコン導波路中を伝播するが、シリコンは、光の閉じ込めが強く、マルチモード化しやすい。マルチモードでは、光が急激に

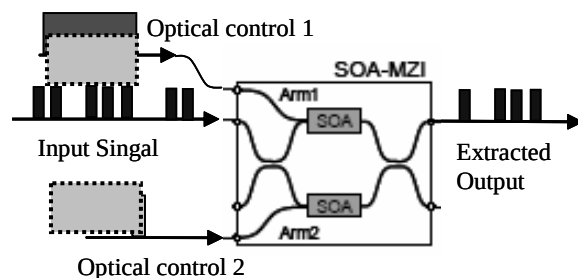


図2 全光スイッチの構成例

東京工業大学 小林功郎氏

減衰するため、減衰の小さい導波路を設計する必要がある。そこで、光伝播シミュレーターを用いて、適切なシリコン導波路の設計を行った。

モデルは、 SiO_2 に相当する屈折率 1.44 の層の上に、屈折率 3.48 のシリコン導波路が形成されていると仮定し、導波路の幅と高さを 0.3, 0.4, 0.5 μm と変化させたときの TE 偏光の各モードにおける実効屈折率を計算した。実効屈折率の虚数成分は、減衰の大きさを表す。

また、SOI 上に形成する導波路の作製条件を検討するため、単結晶シリコンウェハ上に、シングルモード導波路のレジストパターンを作製した。使用したレジストは ZEP520A で、膜厚は 500nm である。電子線描画には、日立ハイテクノロジーズ製 SEM(S-4300SE)と東京テクノロジーズ製描画制御装置(Beam Draw)で構成された装置を使用した。なお、描画フィールドの大きさは 200 $\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ である。

2.1.2 実験結果および考察

シリコン導波路の幅（高さ）と実効屈折率の計算関係は表1のようになった。実効屈折率の Re は実数部、 Im は虚数部を表す。幅（高さ）が 0.3 μm のとき、実効屈折率の実数部は、1.8 であり、光が、主にシリコン導波路の外を伝播することが分かる。また、比較的大きな減衰が生じることから導波路には適さない。

幅が 0.4 μm では、減衰が生じることなく伝播するモードがあり、より高次のモードでは減衰が生じることから、適切な形状であることが分かる。幅が 0.5 μm では、減衰の無いモード

表1 導波路の幅(高さ)と実効屈折率の関係

幅(高さ) (μm)	実効屈折率		
	Mode0	Mode1	Mode2
0.3	Re 1.80 Im 1.21e-8	Re 1.28 Im 1.35e-6	—
0.4	Re 2.57 Im 0	Re 1.69 Im 1.74e-10	—
0.5	Re 2.90 Im 0	Re 2.26 Im 0	Re 1.90 Im 0

が少なくとも3つ存在し、各モード間で光の分散が生じるため、信号波形が崩れることから適当ではない。

これらの結果から、シリコン導波路の幅は $0.4\mu\text{m}$ が適切である。図3は、幅（高さ）が $0.4\mu\text{m}$ のシリコン導波路の基底モードのプロファイルである。ビームエネルギーのほとんどが、シリコン導波路を通り、大きさは $\phi 0.4\mu\text{m}$ 程度である。光ファイバーの径は $6\sim 10\mu\text{m}$ なので、光ファイバーとの接続には工夫が必要である。

図4にシリコン上に形成した全光スイッチのレジストパターンを示す。パターンは、幅 $0.1\mu\text{m}$ であり、適切な導波路の幅より細いが、全面に渡って均一なパターンが形成できており、SOI上に同様のパターンを形成し、 SF_6 によるドライエッチングを行うことで、シリコン導波路パターンを形成することができる。

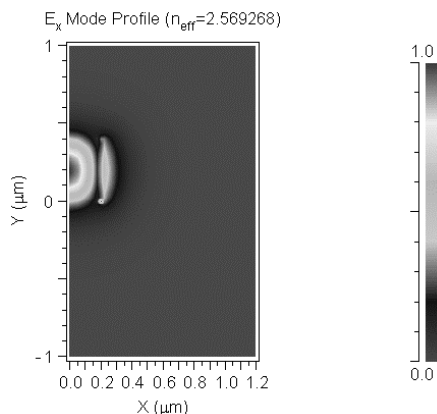


図3 幅 $0.4\mu\text{m}$ のシリコン導波路の基底モードのプロファイル

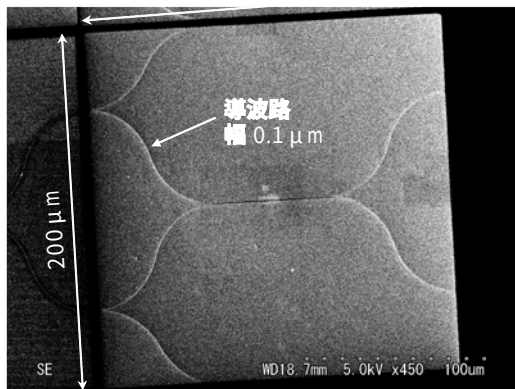


図4 シリコン上に形成した全光スイッチのレジストパターン

2.2 偏光素子回折格子

液晶パネルなど、ディスプレイの品質管理上、画像の輝度ムラ、色分布の計測が必要である。

この計測には、CCDに偏光フィルムを貼り付けた素子を用いるが、検査装置の高度化のためには、偏光フィルムに形成する回折格子ピッチの微細化が必要となる。偏光フィルムは、溝を形成したシリコン基板の型にUV硬化樹脂などをインプリントして作製する。

本実験では、シリコンの型作製に必要なレジストマスクを、電子線描画装置を使用して試作した。なお、溝ピッチは 60nm を目標とした。

2.2.1 実験

レジストは日本ゼオン製ZEP520A-7を専用溶剤ZEP-Aで2.4倍に希釈したものを用い、シリコン基板上に塗布した。プリベーク後の厚さは約 100nm であった。次に電子線描画装置を用いて露光した後、専用現像液ZEP-N50を用いて50s間現像し、溝パターンを形成した。

レジストの塗布とパターンニング条件を表2に示す。

2.2.2 実験結果及び考察

図5(a)～(c)にそれぞれ 120 、 90 、 60nm ピッチで溝パターンを描画し、現像した後の形状をSEMで観察した結果を示す。描画の際の照射量は $136\mu\text{C}/\text{cm}^2$ とした。

図より 120 、 90nm ピッチの溝は解像しているが、 60nm ピッチでは解像できずにレジストの大部分が消失する結果となった。

これは、 60nm ピッチという微細なパターンに対して、設定した照射量が過剰であったと考えられる。次に 60nm ピッチのパターンについ

表2 レジストの塗布とパターンニング条件

スピン塗布	3000RPM-2min
プリベーク	180°C -3min
加速電圧	20kV
電流値	97pA
ワークディスタンス	10.8mm
描画ライン幅	10nm
照射量	136,116,78 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$

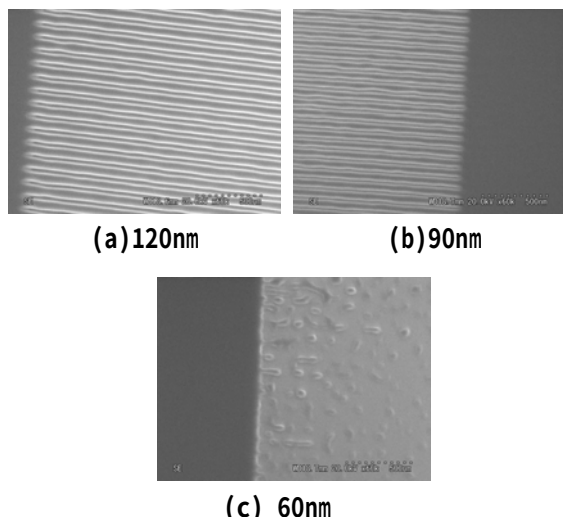


図5 溝ピッチが異なる場合の解像状態

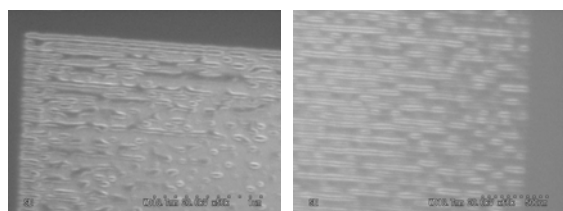


図6 照射量が異なる場合の解像状態

て照射量を 116, 78 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ に減少させてパターンニングした。

結果を図6 (a), (b) に示す。

図より、照射量を減少させることにより溝の形状が、より明確に形成される傾向にあるが、十分に解像されなかった。

この結果より、60nm ピッチのパターンを解像するためには、照射量の調整では不十分で、レジスト厚さなど、他のパラメータも考慮して、最適化する必要があると考えられる。

次年度は、パターンニングの最適化を引き続き行うと共に、樹脂への形状転写を行う予定である。

2.3 ガスセンサ

一酸化炭素やメタンなど、可燃性ガスの検出方式の一つに、酸化物半導体セラミックスを利用したものがある。これは、半導体表面でガス

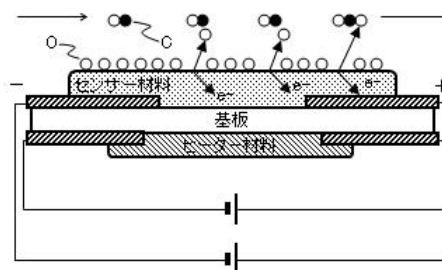


図7 ガスセンサの原理図³⁾

が吸着反応することにより生じる電気抵抗変化を利用している。

図7の原理図に示すように、センサ材料を高温に保持した状態では、表面に酸素が吸着されており、可燃性ガスが流入してくると、この吸着酸素が除去されて電気抵抗が変化する。この変化率は、ガスの濃度に依存する。

市販されているセンサの多くは、酸化スズ等の半導体粒子をペースト化し、電極間に塗布、焼結するというプロセスで作製されている。一般的にセンサの特性は、酸化物半導体の粒子径に依存する。

本実験では、上記プロセスと比較して、膜厚や形状の制御が、より容易と考えられる薄膜プロセス（スパッタリングやエッチングなどを利用したプロセス）を利用して、可燃性ガスセンサを試作することを目的とした。

2.3.1 実験

厚さ 1mm のアルミナ基板に芝浦メカトロニクス製スパッタリング装置 CFS-4EP-LL を用いて、表3のスパッタリング成膜条件で電極と抵抗体を作成した。

なお、電極間隔と抵抗体幅はそれぞれ 2mm とした。試作したセンサの外観を図8に示す。

次に、管状炉（いすず製作所製 EPKRO-

表3 スパッタリング成膜条件

	電極	抵抗体1	抵抗体2
材質	Pt	SnO2	SnO2
Ar流量(sccm)	25	25	25
出力(W)	250	100	100
時間(min)	10	7.5	15
膜厚(nm)	300	100	200

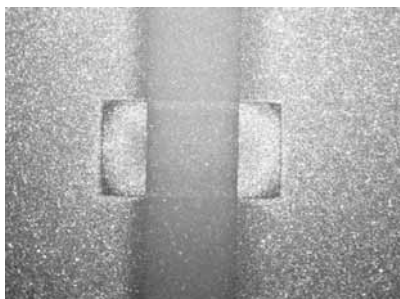


図8 試作したセンサの外観

14K)を用い、空气中で500℃-2hourの加熱をしてセンサを作製した。

試作したセンサの背面にセラミックヒータを取付け、表面温度が350℃になるように加熱し、所定濃度の一酸化炭素雰囲気で抵抗値を測定した。抵抗値は、6msのパルス電圧2.5Vを1s周期で印加することにより測定した。

また、これと同様に、酸化スズをセンサ材料として使用している市販品（フィガロ製TGS-2442）をリファレンスとした。なお、このセンサの加熱及び抵抗値測定は、メーカーの推奨条件に従った。

2.3.2 実験結果及び考察

図9に一酸化炭素濃度とセンサ抵抗の関係を示す。

リファレンスに使用したセンサは、濃度の上昇と共に大きく抵抗値が減少しているが、試作したセンサは、濃度変化に対して抵抗値がほとんど変化しなかった。

原因はまだ明らかにできていないが、今後さらに検討を進める。

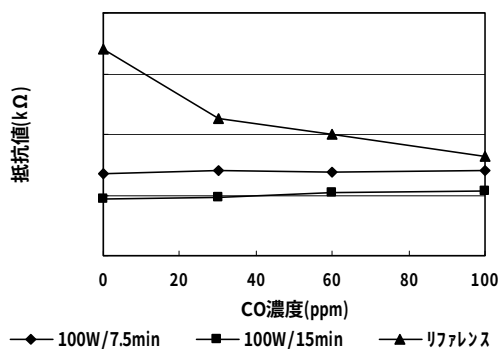


図9 一酸化炭素濃度とセンサ抵抗の関係

2.4 チタンエッチング

チタンは、比重が鉄の60%、濃硝酸にも侵されず、耐腐食性に優れ、比強度は鋼を上回り、アルミニウムの3倍に達する。優れた特性を有するチタンは、構造体として、宇宙航空、生体材料など、さまざまな分野で応用されている。

反面、微細加工を行う際には、レジストのエッチング耐性が問題になる。本節では、純チタン10mm×10mm×厚さ2mmの表面に微細エッチングを行う条件について検討した。

2.4.1 実験方法

純チタンは、ふっ化水素酸（ふっ酸）10wt%と濃硝酸90wt%の溶液を用いると、比較的良好なエッチング面が得られる⁴⁾。本実験では、比較のため、ふっ酸1.5wt%水溶液を用いた条件でのエッチング実験を併せて行った。エッチングのパターンは、5μmのラインアンドスペース(L/S)である。

始めに、クロムのフォトマスクを作製した。厚さ1mmの石英ガラスにクロムをスパッタリング装置で厚さ200nmに成膜し、EBレジストZEP7000-22を約500nmの厚さでスピコートした後、ホットプレート上で180℃-5minのベークを行った。このガラス基板に、電子線描画装置を用いて、上記微細パターンを露光し、現像、リンス、エアブロー後、180℃-5minのポストベークを行い、レジストの強度を高めた。クロムのエッチングにはHY液（和光純薬工業㈱）を用いた。

純チタンには、CMP（Chemical Mechanical Polishing）にて鏡面研磨を行ったものを用いた。用意した純チタンに紫外線フォトレジストOFPR800を1900rpm-20sでスピコートし、ホットプレートで110℃-5minのベークを行った。

作製したフォトマスクをマスクアライナに取り付け、用意した純チタン試料に露光、現像後、ホットプレートで110℃-15minベークを行った。さらにふっ酸およびふっ酸、硝酸の混合溶液でエッチングした後、目視およびSEMにてエッ

チング面を観察した。

2.4.2 実験結果および考察

図 10 にふっ酸 1.5wt%によるエッチング面の SEM 像を示す。この条件では、チタンの結晶粒界によるエッチングの異方性が大きく、エッチング面に大きな凹凸が現れた。また、粒界に沿ってエッチングが進行したため、レジストで保護された部分にも、侵食されている箇所が見られた。表面を目視で観察すると粒界の異方性に起因した凹凸による光の散乱で曇りが生じていた。

ふっ酸 10wt%と濃硝酸 90wt%溶液でエッチングを行うと、レジストがエッチング直後に剥離した。硝酸の酸化作用が強すぎるため、レジストが耐えられなかったと考えられる。しかし、エッチング面は、若干の曇りは認められるものの、ほぼ鏡面を保っていた。そこで、この溶液を純水で質量の 2 倍に希釈することにより、硝酸の酸化作用を低下させ、レジストの剥離を減少させることを試みた。

図 11 にふっ酸 10wt%と濃硝酸 90wt%を質量で 2 倍に純水希釈した液のエッチング面の SEM 像を示す。結晶粒界に伴う若干の凹凸は認められるものの、レジストで保護された部分の侵食は無く、エッチング面の曇りもほとんど無い。

実験の結果、L/S が $5\mu\text{m}$ のパターンを $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ のほぼ全面に形成することができた。

3. 結 言

- (1) 次世代光ファイバー通信の基盤技術と目されている光集積回路の一種である全光スイッチを実現するための SOI によるシリコン光導波路の最適な形状について、光波の有限要素法を用いた光伝播シミュレーションを用いて検討し、理論上損失が無く、他モードによる分散の影響が少ない形状を決定した。また、光集積回路のレジストパターンを電子線描画装置によって作製し、最適

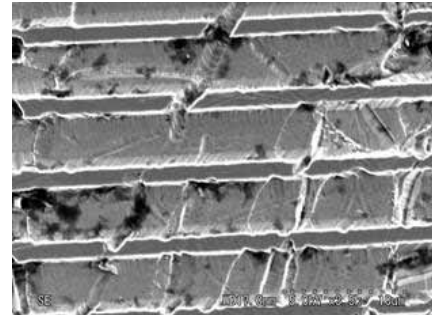


図 10 ふっ酸によるエッチング面の SEM 像

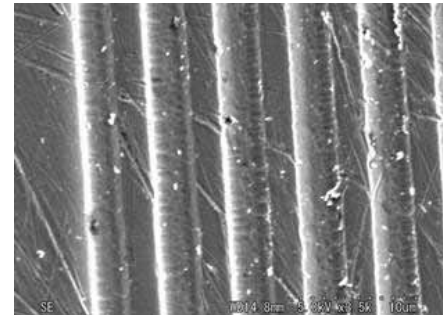


図 11 ふっ酸 10wt%と濃硝酸 90wt%を質量で 2 倍に純水希釈した液のエッチング面

な形状より、さらに細いパターンを描画することが可能であることを示した。

- (2) 偏光素子用回折格子を作製するための微細溝形状のマスク形成を検討し、電子線描画装置により、溝ピッチ 90nm のレジストマスクを試作した。
- (3) 可燃性ガスのセンサーをスパッタリング装置を利用した薄膜プロセスにより試作したが、ガスに対する感度が得られず、今後の検討課題となった。
- (4) フォトリソグラフィープロセスにより、純チタンの微細形状パターンを創製する条件を検討し、 $5\mu\text{m}$ の L/S 形状を $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 角の面に形成することができた。

4. 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、光導波路の設計についての御指導を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 坂井，宮口，佐藤，“MEMS プロセス技術の調査研究”，工業技術研究報告書，33，2004，p.97-103.
- 2) 渡邊，坂井，長谷川，佐藤，“MEMS プロセス技術の開発研究（第 1 報）”，工業技術研究報告書，34，2005，p.17-22.
- 3) フィガロ技研株式会社ホームページ
<http://www.figaro.co.jp/tec2.html>
- 4) 都市エリア産学官連携促進事業（新潟エリア）「安全、高機能、低価格を実現するナノメディシン産業の創出と発展」報告書

公 募 型 受 託 研 究 事 業

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

真柄 賢太郎* 相田 収平* 大野 宏* 阿部 淑人* 五十嵐 晃** 須藤 貴裕**

A Study of Autonomous Snowplow for Helping Snowlife

MAGARA Kentarou*, AIDA Syuhei*, OHNO Hiroshi*, ABE Yoshito*,
IKARASHI Akira** and SUTOU Takahiro**

抄 録

雪を圧縮して排出する除雪ロボットの自律制御機構を開発した。ロボット本体の位置を計算しながら人や車などの障害物を検出し、決められた範囲を効率よく移動して除雪する。「愛・地球博」で実証実験を行い、その結果をもとに実用化に向けての改良を行った。

1. 緒 言

新潟県などの日本海側の地域は冬季の積雪量が多く、ひと冬に何回も屋根の雪下ろしと平地の除雪作業が必要になる。これらの地域では過疎化に伴う高齢化や核家族化が進んでおり、除雪作業による肉体的・精神的な負担が大きい。また、屋根の雪下ろし作業中の転落事故や、平地で除雪機を操作している間に事故に遭うことが多く、深刻な問題になっている。

そのため、本研究では人の代わりに除雪作業を自律的かつ安全に行うロボットを開発した。このロボットは、あらかじめ決められた範囲を自律的に走行しながら雪を取り込んで圧縮し、定型のブロック形状に固めて所定位置に排出する。固められた雪ブロックは高密度に圧縮されており、雪室の冷熱源として利用できる。開発は、新潟工科大学中嶋研究室、山形大学水戸部研究室、(株)技術開発研究所、(財)にいがた産業創造機構および新潟県工業技術総合研究所が共同で行った。当研究所は雪を取り込んで圧縮するという除雪ロボットの基本仕様を決め、また、自己位置の計算と障害物検出を行いロボ



図1 除雪ロボット

ット本体の動作を決定する自律制御機構の開発を担当した。

本研究は平成16～17年度の独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「次世代ロボット実用化プロジェクト（プロトタイプ開発支援事業）」で行った。これは、2020年において一般家庭やオフィスで広い応用が可能となるプロトタイプロボットを開発するというものである。「愛・地球博」において実証実験を行い、その結果を踏まえ実用化に向けての改良を行った。

* 研究開発センター

**下越技術支援センター

2. 除雪ロボットの概要

開発した除雪ロボットの外観を図1に示す。また、基本仕様を表1に示す。ロボットは前進しながらオーガで雪を掻き集めて内部に送り、スクリューと反力板で圧縮して15kgの雪ブロックを生成し、これを6段に重ねて所定の位置まで運搬する。ロボットの走行機構と圧縮・排出機構の開発は（株）技術開発研究所が担当した。

このロボットは、全方位カメラ、ステレオビジョン、GPSおよび超音波センサを搭載し、自分の位置を計算しながら周囲の状況を把握し自律的に動作する。

3. 自律制御機構

3.1 概要

ロボットが自律的に走行して除雪作業を行うためには、障害物を検出して停止・回避する必要がある。また、一定の範囲内を除雪するためには、自己位置を計算しながらどのような経路で走行するか計画を立てる必要がある。ここでは、①ロボットの自己位置を計算する機構、②障害物を検出する機構、③ロボット内部に地図を作成しロボットの運行計画を決める機構、について述べる。

3.2 自己位置計算

ロボットが移動する場所に色のついたマーカを設置し、これを全方位カメラで撮像して画像処理し、その位置関係からロボットの位置を計

表1 除雪ロボットの基本仕様

重さ	600kg
走行速度	最大 5m/s
作業対象	対象雪 新雪（比重 0.1）～湿り雪（比重 0.4） 除雪能力 雪捨て時間を含み最高 2m ³ /h 程度 除雪対象 駐車場のよう路面が一様な土地

算する。また、D-GPS（Differential Global Positioning System）により経緯度情報を取得し、2つの方法を併用して自己位置を計算した。

3.2.1 全方位カメラによる自己位置計算

ロボットの移動する範囲が長方形の場合、四隅に色のついたマーカを設置し、これを全方位カメラで撮像すると図2の画像を得る。次にこの画像を処理し、図3に示すとおり各マーカの重心を求める。ロボットに取り付けた全方位カメラの位置が変わるとこのマーカの位置も変わるため、マーカの位置から逆算してロボットの位置を計算することができる。これはカッシーニの方法¹⁾と言われ、マーカが最低3個あるとロボットの位置と向きを求めることができる。ただし、マーカとマーカの間の角度が小さくなると計算で得られる位置の精度が悪くなるため、ここでは4個のマーカを使用した。

全方位カメラは鏡を使って周囲360°の様子を一度に撮像することができるが、その解像度



図2 全方位カメラ画像

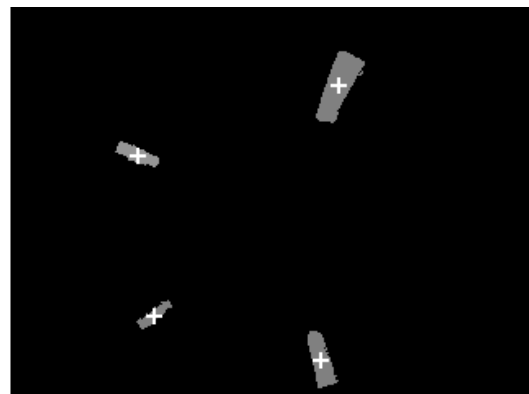


図3 マーカの検出

は低い。そのため全方位カメラとマーカの距離が長くなると色を正しく識別できなくなり、移動範囲が限られてしまう。次章で述べる愛知万博の実証実験では、移動範囲が広くなかったため、マーカを正しく識別できた。

3.2.2 D-GPS

GPS は、衛星を使用して自己位置を計測するシステムで、カーナビとして普及している。以前は、SA (Selectable Availability) と呼ばれる意図的な誤差があったが、2000 年にこれが解除され、その結果 100m 程度あった位置の誤差は 1/10 に小さくなった。補正信号 (RTCM SC-104) を与える D-GPS を利用すると、さらに誤差は小さくなる。現在補正信号を提供するサービスとして、船舶用に海上保安庁が中波で出力しているものと、カーナビ用にラジオの FM 波で出力しているものがある。

3.3 障害物検出

ロボットを安全に動作させるためには、人や車などを障害物として検出し、停止したり回避しなければならない。障害物検出は、能動型センサである超音波センサとレーザレンジファインダ、および受動型センサであるステレオビジョンを併用し、それぞれの長所を有効に活用した。

3.3.1 能動型センサ

一般的に能動型センサは、検出する対象に音や光などの信号を発し、その反射信号から対象物の大きさや距離を測定するもので、照明の影響を受けないため夜間でも使用できるという特徴がある。ここでは超音波センサとレーザレンジファインダを利用した。超音波センサは、低コストで高速に動作するが空間分解能が低く対象の細かい形状までは計測できない。レーザレンジファインダは空間分解能は高いが、広範囲を調べるためにはレーザ光をスキャンさせなければならない計測に時間がかかる。

本研究で用いた超音波センサはオーミック電子 (株) 社製の送受信一体型センサ OM6-2CD である。指向角度は上下 20° 左右 40° で、動作範囲は 0.5m~3m である。また、レーザレンジファインダは SICK (株) 社製の LMS221 を使用した。分解能が 1cm のとき測定範囲は 30m で、スキャン角度を最大の 100° にした場合、計測に要する時間は約 1sec であった。

3.3.2 受動型センサ

一般的に受動型センサは、受けた信号から対象を計測する方法で、ステレオビジョンがその代表的なものである。具体的には、複数のカメラ画像における各画素の対応点を求め、その視差から奥行き画像 (距離画像) を計算する。能動型センサにくらべて奥行き方向の分解能が低いものの、短時間で広範囲の距離画像を求めることができる。本研究では、平成 16 年度に (株) マイクロビジョンとの共同研究で開発したステレオビジョン²⁾ を改良して使用した。1GHz の PentiumM プロセッサを使用した場合、 320×240 画素の大きさの距離画像計算に約 0.2sec 要した。

3.4 ロボットの運行

図 4 に示す運行のための地図をあらかじめ制御用コンピュータの中に用意しておく。この地図に、ロボットが移動する範囲、現在のロボットの位置および障害物の位置と大きさを表示す

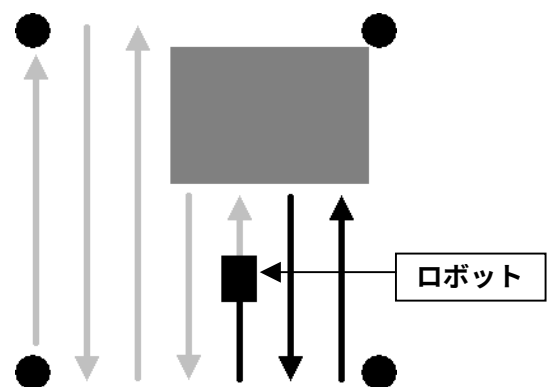


図 4 運行地図

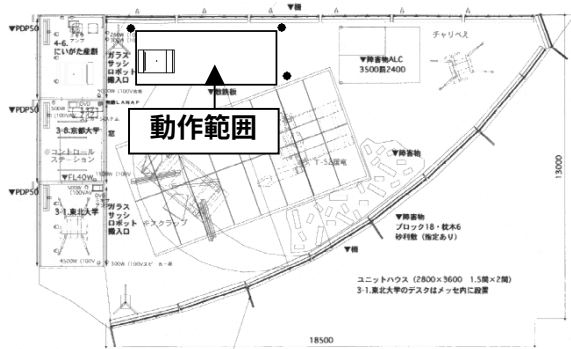


図5 展示会場

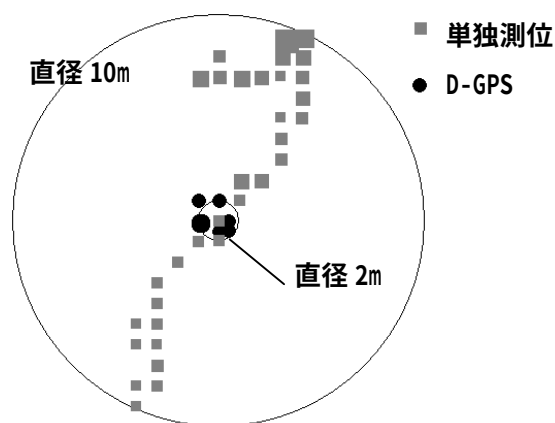


図6 D-GPS 測定結果

る。この地図情報を基に、どの部分が除雪されていないかを把握し、ロボットを制御する。駐車中の車は除雪中に移動する可能性もあるため、障害物検出センサで新たな情報が得られたら、そのつど地図情報を更新しロボットを制御する。

4. 「愛・地球博」での実証実験

4.1 概要

「愛・地球博」のプロトタイプロボット展は、平成17年6月9日から19日までの11日間、長久手会場で開催された。京都大学のレスキューロボット、東北大学の不整地走行ロボットと交代で実演を行った。午後3時30分と6時30分の2回、実際に模擬雪を使って除雪を行い自律制御機構の実証実験を行った。また、その他の時間帯は紹介ビデオやパネルを使用して来場者に説明した。

4.2 位置計算

図5に除雪ロボットの動作範囲を示すが、その四隅に、黄、赤、緑、青のマーカを設置し、全方位カメラの画像からロボットの位置を計算する。除雪ロボットの動作範囲が $6\text{m} \times 2.5\text{m}$ と比較的狭いため全方位カメラとマーカの距離が短く、マーカの検出が容易であるため、位置計算を確実に行うことができた。直線走行させた場合の位置の測定誤差は最大10cmで、実演には問題なかった。

もう一つの位置計算手段であるD-GPSの実験を行った。補正信号をかけ高精度にしたD-GPSと何もしない単独測位の測定結果を図6に示す。○はD-GPSで得られた位置を、□は単独測位で得られた位置を示す。単独測位は直径10mの円の中を、D-GPSは直径2mの円の中をそれぞれ変動した。位置精度は補正信号をかけることで10mから2mほどに高くなるが、除雪ロボットの精度としては悪い。そのため、全方位カメラ画像からの位置情報を優先させた。

4.3 障害物検出

展示会場では安全を確保するため屋外ゾーンでは柵が設置されており、一般来場者はその中に入ることができない。そのため、図7に示すとおり、展示スタッフが除雪ロボットの前に立った時に、障害物検出が正しく行われロボットが停止するかどうかの実験を行った。

障害物検出には超音波センサとステレオビジョンを併用した。当初はレーザレンジファインダも使用する予定であったが、屋外防水仕様のもものは形状が大きいためロボット全体のデザインを優先させ「愛・地球博」では使用しなかった。あらかじめ超音波センサのしきい値を3mに設定し、超音波センサと人の間隔がこれ以内になると超音波センサが動作しロボットは停止した。次に、ステレオビジョンの距離画像の形状から人か車かを判別する。図8は、ステレオビジョンで人をとらえた時の距離画像で、白いほどカメラとの距離が近いことを示している。

人は自動車などと違って細長い形状をしておりこの形から判断し、除雪ロボットは停止した。その後、人がいなくなると超音波センサは OFF 状態となり、ステレオビジョンでも人がいなくなったと判定し、除雪ロボットは前進した。

当初予定していた車などの大きな障害物を検出しこれを避ける動作は、可動範囲が狭いため、「愛・地球博」での実証実験では行わなかった。

4.4 ロボットの運行

展示会場での実演ではかき氷を雪にみたてて実験を行ったが、1回に利用できる量や実演時間も限られていたため、ロボット本体の位置を計算しながら一方向のみ直線的に走行するようにした。また、雪ブロックを数個作製したら来場者の方向に旋回しこれらを排出するようにした。

旋回角度の計算は位置計算と同じように4個のマーカーの位置関係から計算する。1回の位置と角度の計算時間は1GHzのCeleronプロセッサで約0.3sec、旋回速度は約0.2sec/degで、90°旋回の場合、旋回角度の誤差は最大で5°であった。実演では特に問題はなかったが、折り返し走行させる場合、旋回角度に大きな誤差があると同一場所を除雪したり未処理の場所が残ったりするため、旋回角度の誤差をできるだけ小さくする必要がある。

5. 実用化に向けての改良と実験

5.1 概要

「愛・地球博」での実演の後、ステレオビジョンの改良と、降雪時におけるレーザレンジファインダを使った測定実験を行った。ステレオビジョンは短時間に多くの情報を得ることができるため、自動車の安全センサとして一部利用されている。しかし、雪が降ったりした場合や夜間はカメラでは十分な画質が得られないため、能動型のセンサを併用することが一般的である。ここでは、実際の降雪時にレーザレンジファインダで障害物が検出できるか実験を行った。

5.2 ステレオビジョンの改良

平成16年度は、県内企業との共同研究で開発したステレオビジョンを除雪ロボットに搭載したが、より処理速度を速くするため計算アルゴリズムを改良した。本ステレオビジョンの計算方法は、カメラのY軸方向の1ラインごとに輝度値の変化の激しい点をエッジとし、エッジとエッジの間隔ごとに左右カメラ画像の対応を求め、その視差から距離画像を算出している。このエッジを求める方法を簡略化し、全体の計算時間を短くした。得られた距離画像結果はほぼ同じとなり、1フレーム当たりの計算時間はほぼ半分の0.1secに短縮された。

5.3 レーザレンジファインダによる実験

レーザレンジファインダはピンポイントに照



図7 人の検出実験



図8 人の距離画像

射するレーザを鏡で走査し、障害物までの距離をパルスレーザの反射時間から測定するものである。雪の降りが弱い時のレーザレンジファインダでの測定結果を図9に示す。センサの近くに小さな物体がみられ、これは雪を検出したものである。レーザは雪で反射するため、同図に示すとおりところどころで雪の反射が発生する。この場合、信号処理により小さな反射を取り除くことで、車や家の壁だけを障害物として検出することができる。しかし、雪の降りが激しい場合は、実際に実験はできなかったが、いたるところで反射が起きるため雪か車などの障害物なのか判別は非常に困難になる。そのため、レーザレンジファインダの使用は雪の降りが弱い時に限られる。

なお、自動車間の距離計測センサとして使われているミリ波レーダの利用も検討したが、車間距離検出用に設定されているものを除雪ロボットにはそのまま使用できず（自動車用は測定範囲が数十メートルから百メートルであるが除雪ロボットは約 1/10）、設計からやりなおすと膨大なコストがかかるため、今回は利用しなかった。

5.4 遠隔操縦

能動型のセンサを使用しても天候が非常に悪い場合は、ロボットの自律制御が難しくなる。そのため、人が遠隔で操縦できるようにした。模型用リモコンでロボットを操縦できる制御回路を開発し、映像転送機能を加え、屋内にしながらロボットのカメラからの映像を見て操縦することができる。暖かい屋内で除雪作業を行えることから、この機能だけでも除雪作業が非常に楽になる。

6. 結 言

- (1) 自律的に走行しながら雪を取り込み圧縮して排出する除雪ロボットを開発した。当初の予定より大きなロボットになったが、時間当たりの除雪能力は目標とした $2\text{m}^3/\text{h}$ を達成することができた。
- (2) ロボット本体の位置を計算しながら人や車を検出してこれらを避けて移動する自律制御機構を開発した。
- (3) 「愛・地球博」のプロトタイプロボット展に出展し、来場者に好評を博した。NEDOの次世代ロボット実用化プロジェクトの主

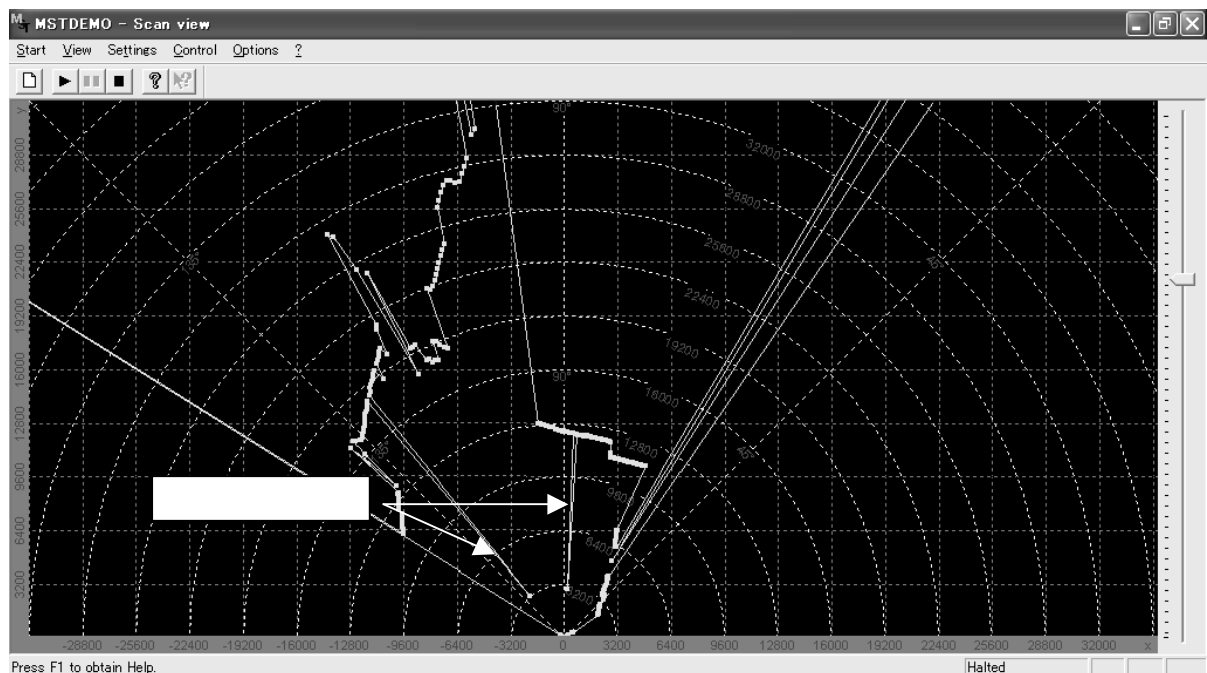


図9 降雪時におけるレーザレンジファインダの測定結果

旨である「2020年において一般家庭やオフィスで広い応用が可能となるようなプロトタイプロボット」を提示することができた。

- (4) 自律制御機構に関しては既存の各種センサを利用し信号処理を工夫したが、降雪時等の悪天候下でも正確に動作するセンサがないため、新しいセンサの開発が必要である。このようなセンサは、屋外の移動ロボットだけでなく、自動車の運転者の安全運転を支援する車間距離計測センサとしても使えるため、大きな市場が見込める。

参考文献

- 1) 倉爪亮, 長谷川勉, “全方位カメラとデッドレコニング機能を有するサッカーロボットのロバストな自己位置同定手法 L-MedS法を用いたランドマークの対応付け”, 第20回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 3A22, 2002
- 2) 大野宏他, “ステレオビジョン画像処理の実用化研究”, 工業技術総合研究所工業技術研究報告書, 34, 2005, p45-51.

先端レーザー等を用いた加工技術の研究（第2報）

齋藤 雄治* 長谷川 雅人* 田宮 宏一* 小林 豊*

High Precision Laser Cutting and Welding Using Single-Mode Fiber Lasers

SAITO Yuji*, HASEGAWA Masato*, TAMIYA Kouiti* and KOBAYASHI Yutaka*

抄 録

ファイバーレーザーはビーム品質が高く集光径を小さくできることから微細加工に適している。本研究では、マグネシウム合金等の金属材料に対してファイバーレーザーによる微細加工の可能性を検討するために、出力 2W のパルス波および出力 100W の連続波のファイバーレーザー発振器を用いて、ビーム特性を調べるとともに微細切断および微細溶接の加工実験を行った。

1. 緒 言

軽量化、省資源化、高機能化等のため、あらゆる機器や部品に対して小型化や高性能化が望まれている。このため、多くの工業製品に対して微細加工が適用されており、微細加工に関する研究も盛んに行われている。

ファイバーレーザーはビーム品質が高く集光径を小さくできるため、微細加工に適している。このため当センターでは、平成 16 年度よりファイバーレーザーを用いた微細加工の実験を行ってきた。第 1 報では、出力 10W のパルス波レーザーと出力 100W の連続波レーザーを用いた炭素鋼やマグネシウム (Mg) 合金の薄板の切断加工と穴あけ加工についての実験結果を示すとともに、有限要素法を用いた穴あけ加工における熱伝導解析の結果を報告した¹⁾。

本報では、出力 2W のパルス波レーザーと出力 100W の連続波レーザーを用いて Mg 合金やステンレス鋼等の板材の微細切断および、微細溶接について加工実験を行った。その結果、板厚 10 μ m のステンレス鋼板の重ね合わせ溶接などの微細加工が可能であったので報告する。

2. 実験方法

2.1 ファイバーレーザー発振器

実験には、IPG 社製の平均出力 2W のパルス波レーザー発振器 YLP-0,1/8/20 (以降、2W-PW と表記する) および SPI 社製の出力 100W の連続波レーザー発振器 red POWER (以降、100W-CW と表記する) を用いた。2W-PW の本体外観を図 1 に、100W-CW の本体外観を図 2 に示す。またそれぞれの仕様を表 1 に示す。2W-PW の平均出力は 2W と小さいが、ピークパワーは 12-kW 以上と高くパルス幅は 8ns 未満と短いことから、熱影響の小さい微細加工が期待できる。なお、発振器から発振されたレーザー光は光ファ



図 1 2W-PW の本体概観



図 2 100W-CW の本体概観²⁾

* 中越技術支援センター

表 1 実験に用いたファイバーレーザー発振器の主な仕様²⁾³⁾

	2W-PW	100W-CW
メーカー(機種名)	IPG 社(YLP-0,1/8/20)	SPI 社(red POWER)
モード	パルス波 (PW)	連続波 (CW) , 変調波も可能
パルス周波数 (kHz)	20～100	---
出力 (W)	2 (平均出力)	100
パルス幅 (ns)	<8 (20kHz において)	---
出力可変範囲 (W)	0.2～2.2	10～100
波長(nm)	1060～1070	1090±5
ビーム品質 (M^2)	<2	1.1
ピーク出力 (kW)	>12	---
偏光	ランダム	ランダム
コリメート光径 (mm)	6～9	5

イバーで伝送され、コリメータから平行光（コリメート光）となって出力される。

2.2 光学系

本研究では集光性を高くするためコリメート光径を拡大してから集光する光学系を用いた。ここで、集光径 d と集光レンズへの入射径 D との間には回折理論より次式の関係がある⁴⁾。

$$d = \frac{4\lambda \cdot f}{\pi D} M^2 \dots\dots\dots (1)$$

λ : 波長, f : レンズの焦点距離,

M^2 : ビーム品質 (回折限界で $M^2=1$)

式 (1) より、 λ が一定の場合、 M^2 および f が小さく D が大きいほど、集光径 d は小さくなることからわかる。本研究では、1.5 倍、2.5 倍、4 倍のビームエキスパンダーを用いてコリメート光径を拡大してから集光した。また、 f を極力小さくするため、集光レンズの焦点距離 f は 40mm とした。表 1 の特性値と式 (1) より、本研究で用いた光学系での最小の集光径は、2W-PW で 1.5 倍のエキスパンダーを使用した場合 8 μ m, 100W-CW で 4 倍のエキスパンダーを使用した場合 5 μ m となる。実際の集光径はレンズの収差等により、式 (1) で求めた値よりやや大きくなると考えられる。

実験は、図 3 に示すように光学系を 5 軸加工機の加工ヘッドに取付けて行った。また、加工材料からの反射光（戻り光）による発振器の破

損を防ぐため、レーザー光軸は試料の表面法線に対して 20 度（2W-PW の場合）または 10 度（100W-CW の場合）傾けた。

2.3 コリメート光の出力と強度分布測定

2.1 節で述べた発振器について、発振器の出力設定値に対する実際のコリメート光の出力（コリメータ出力）をオフィール社製のレーザーパワーメーター F150A を用いて測定した。測定は、コリメート光をパワーメーターの検出器に直接照射して行った。

また、発振器から出たレーザー光のビームモードを調べるため、オフィール社製のビームプロファイラー FX-50 を用いて、コリメート光のプロファイル（エネルギー強度分布）を測定し



図 3 5 軸加工機の加工ヘッドに取付けた光学系の外観

た。測定は機器の損傷を避けるため、ビームプロファイラーの直前に透過率 1/50 の ND フィルターを二枚または三枚重ねて設置した。2W-PW については、プロファイラーの受光面に対してコリメート光径が過大のため、1/4 ダウンコリメータでコリメート光径を 1/4 に縮小し測定した。

2.4 焦点位置

集光レンズで絞られたレーザーの光径が最小となる位置が焦点位置である。焦点位置は切断や溶接の加工特性に大きく影響するため、焦点位置の決定はきわめて重要である。本研究では、光学系の加工材料表面からの高さを変えて一定速度でレーザー光を照射した後、断面を研磨・腐食して溶け込み部を金属顕微鏡で観察し、溶け込み深さが最大となる位置を焦点位置とした。加工材料にはステンレス鋼（SUS304）を用いた。

2.5 加工実験

加工材料には Mg 合金（AZ31）、ステンレス鋼（SUS304）、チタン（Ti）合金（2 種）、アルミニウム（Al）合金（A5052）を用いた。そ

れぞれの発振器について、アシストガスの種類やガス圧、レーザー出力、発振モード（パルス波、連続波、変調波）、送り速度等を変えて、微細切断および微細溶接の加工実験を行った。100W-PW による Mg 合金の溶接実験を除き、焦点位置は加工材料表面にとった。切断実験は、一定速度でレーザー光を照射後、切断した材料の表面と切断面を顕微鏡で観察した。溶接実験は、同じ板材を二枚重ねたものに一定速度でレーザー光を照射して重ね合わせ溶接した後、断面を研磨して溶接部を金属顕微鏡で観察した。

3. 実験結果および考察

3.1 基礎実験

図 4 には、種々の出力設定値に対して測定したコリメータ出力を示した。図中の直線は、最小二乗法による近似直線である。図 4 (a) には、パルス周波数を 20、50 および 100kHz とした場合の 2W-PW のコリメータ出力を示した。コリメータ出力の各測定点は直線によく乗っていることから、コリメータ出力は出力設定値に比例して変化することがわかる。また、コリメータ出力は、周波数によらず出力設定値の約 75%に

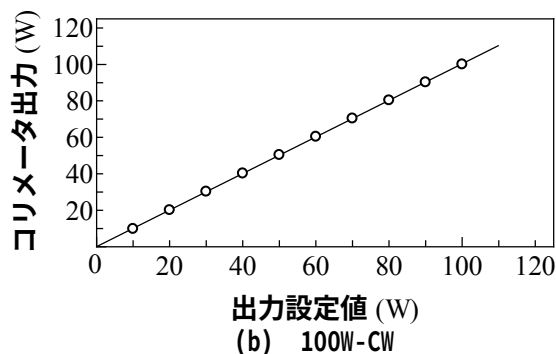
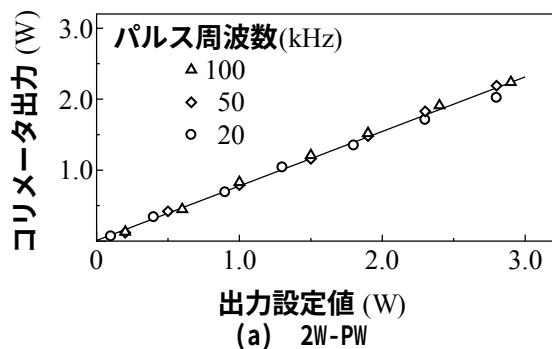


図 4 出力設定値に対するコリメータ出力

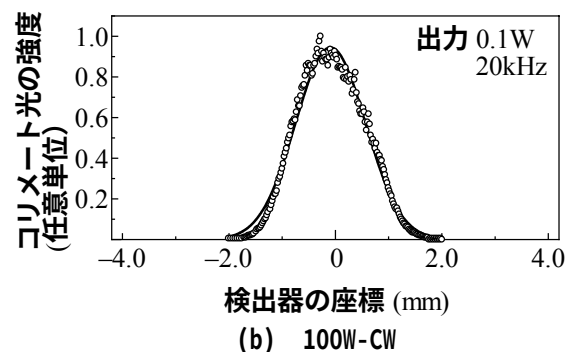
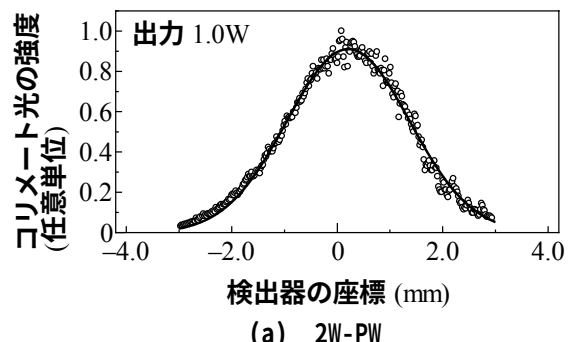


図 5 コリメート光断面の強度分布

表 2 2W-PW の加工条件

実験の種類	レーザー出力 (W)	レーザーパルス周波数(kHz)	送り速度 (mm/min)	アシストガス	アシストガス圧(kPa)
各種金属の溶け込み (図 6)	2.0	20	100	N ₂	5
種々の板厚のステンレス鋼の溶接 (図 7)	2.0	20	100	N ₂	5
板厚 10 μ m のステンレス鋼の溶接 (図 8)	0.07	20	100	N ₂	5
板厚 50 μ m の Mg 合金の切断 (図 9)	0.7~2.0	20	100	N ₂	10

なっていることがわかる。図 4 (b) には、100W-CW のコリメータ出力を示した。コリメータ出力は出力設定値に比例しており、値もほぼ一致していることがわかる。

図 5 (a) および (b) には、2W-PW および 100W-CW のコリメート光断面の強度分布を示した。図には、コリメート光の強度の各点に最小二乗法を用いて近似したガウス曲線を示した。2W-PW、100W-CW とともにコリメート光の強度の各測定点はガウス曲線によく乗っているため、ビームモードは集光性に最も優れたシングルモード⁵⁾と考えられる。図 5 において、最大強度の 13.5% ($1/e^2$ 値) となるコリメート光径は

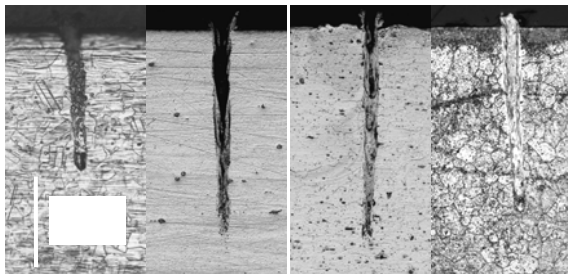
2W-PW が 2.4mm、100W-CW が 4.7mm である。ここで、2W-PW のコリメート光径は 1/4 ダウンコリメータを用いた値のため、実際のコリメート光径は 9.6mm となる。これらの測定値は、表 1 に示したコリメート光径とほぼ一致した。

3.2 2W-PW による加工実験

表 2 に、2W-PW を用いた実験の加工条件を示す。

図 6 に送り速度 100mm/min で各種金属材料にレーザーを照射したときの断面の溶け込み状態の観察結果を示す。溶け込み部のアスペクト比は 8~19 と大きく、溶け込み深さは Mg 合金と Al 合金で約 230 μ m、Ti 合金で約 200 μ m、ステンレス鋼で約 150 μ m となった。

図 7 にレーザー出力を 2W に設定し、板厚を変えてステンレス鋼を重ね合わせ溶接した断面



ステンレス鋼 Mg 合金 Al 合金 Ti 合金

図 6 各種金属の溶け込み断面



図8 板厚10 μ mのステンレス鋼の重ね合わせ溶接断面(出力0.07W)

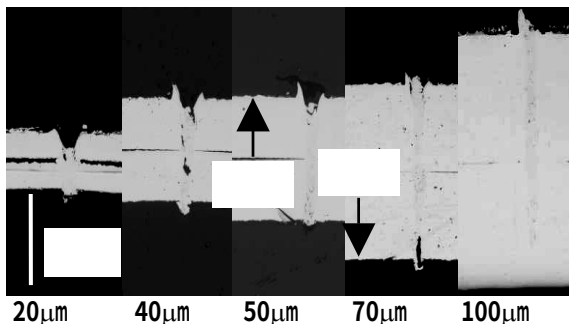


図 7 種々の板厚のステンレス鋼の重ね合わせ溶接断面 (出力2W)

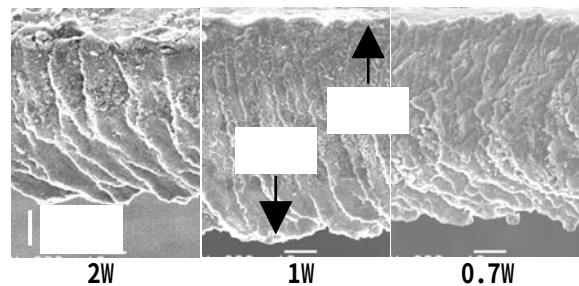


図9 板厚50 μ mのMg合金の切断面

表3 100W-CWの加工条件

実験の種類	レーザー出力 (W)	レーザー変調周波数 (kHz)	送り速度 (mm/min)	アシストガス	アシストガス圧(kPa)
板厚 0.8mm の Mg 合金の切断 (図 10)	100	CW	10	Air	300
板厚 0.2mm の Mg 合金の切断 (図 11)	100	CW	10	Air	200
板厚 0.2mm の Mg 合金の高速切断 (図 12)	100	CW	5000	Air	200
板厚 0.1mm のステンレス鋼の切断 (図 13)	30	1	10	Air	150
板厚 0.17mm の Mg 合金の溶接 (図 14)	50	CW	10	Ar	5

の観察結果を示す。溶接部はよく溶け込んでいることがわかる。また、板厚 20～50 μ m において溶接部の表面側が陥没したように観察されるが、これは板厚に対して照射エネルギーが過大のため、材料が蒸発または溶け落ちたものと考えられる。

図 8 にレーザー出力 0.07W で板厚 10 μ m のステンレスフィラージを重ね合わせ溶接した断面を示す。レーザー出力を適正にとることにより良好な溶接が可能ながわかる。

図 9 にレーザー出力を変化させ板厚 50 μ m の Mg 合金の板材を切断したときの切断面を示す。出力が小さいほど切断面の粗さは小さくなっている。なお、写真では板厚が異なって見えるが、これは撮影時の板の傾きによるものである。

3.3 100W-CW による溶接・切断加工実験

表 3 に、100W-CW を用いた実験の加工条件を示す。

図 10 に板厚 0.8mm の Mg 合金の板材について切断実験を行い、切断幅が最小となったときの試料を示す。熱影響部はわずかで切断幅は 56 μ m と小さいが、切断面は粗い。

図 11 に板厚 0.2mm の Mg 合金の板材について切断幅が最小となった試料を示す。このときの送り速度は 10mm/min とした。熱影響部はわずかで切断幅は 39 μ m と小さいが、切断面においてドロスが裏面側に多く出ている。

図 12 に図 11 と同じ板材を送り速度 5000-mm/min で切断した試料を示す。切断幅は 210-

μ m で、図 11 に示した送り速度 10mm/min の結果と比べてかなり広い。送り速度を大きくすることによって切断幅が大きくなる原因については、さらに実験を重ねて検討する必要がある。

図 13 に板厚 0.1mm のステンレス鋼 (SUS-304) の板材について、連続波レーザーを 1kHz で

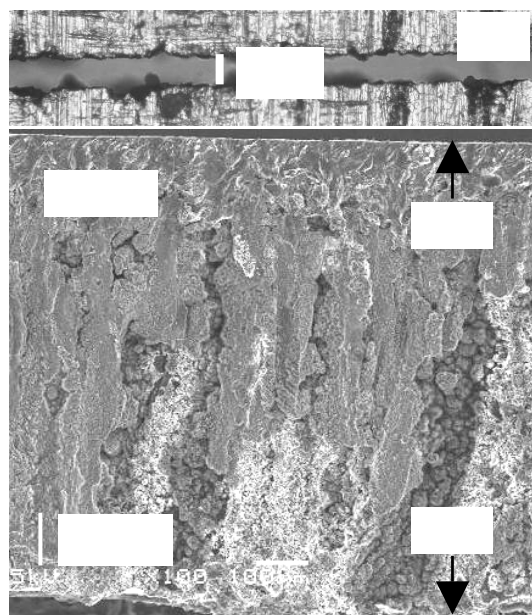


図10 板厚0.8mmのMg合金の切断

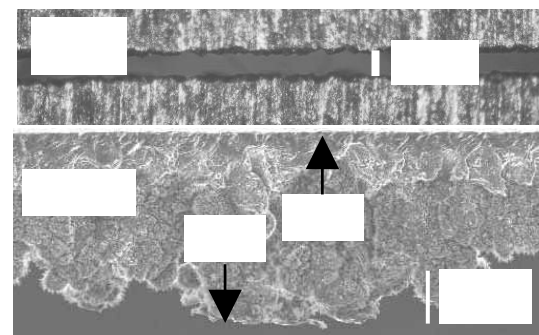


図11 板厚0.2mmのMg合金の切断

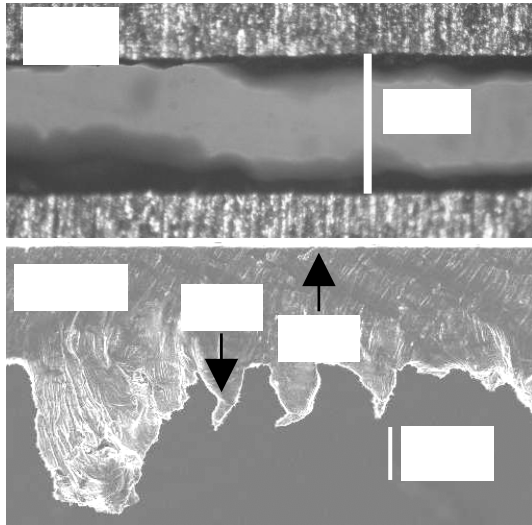


図12 板厚0.2mmのMg合金の高速切断

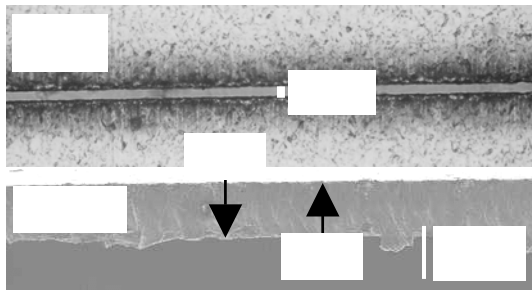


図13 板厚0.1mmのステンレス鋼の切断

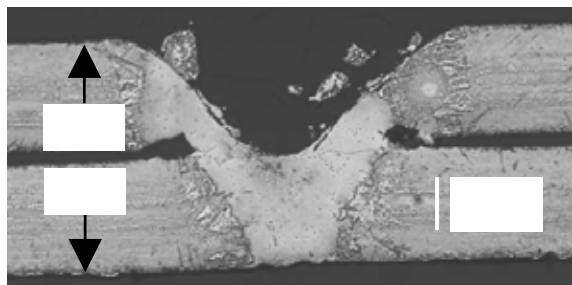


図14 板厚0.17mmのMg合金の重ね合わせ溶接断面

変調して切断実験を行い，切断幅が最小となった試料を示す。熱影響部は少なく，切断幅は19 μ mと小さい。また，切断面はドロスが少なく良好な状態であることがわかる。

図14に板厚0.17mmのMg合金の板材を重ね合わせ溶接した断面を示す。この試料では，焦点位置を加工材料表面から約1mm上方にずらしてレーザーのパワー密度を小さくするとともにガス圧を5kPaと低くしたにも関わらず，溶接部の表面側が大きく陥没している。これはマグネ

シウムの沸点が1090 $^{\circ}$ Cとステンレス鋼などに比べてかなり低い⁶⁾ため蒸発したものと考えられる。より良い溶接状態を得るにはレーザー出力を小さくすること，焦点位置をさらに上方にすること，集光レンズを変更して集光径を大きくすること等，条件の最適化が必要と考えられる。今後，さらに最適な溶接条件を探るため，実験を重ねていく予定である。

4. 結 言

2W および 100W のファイバーレーザー発振器のレーザー光を3~15 μ m（計算値）に集光して微細切断および微細溶接の加工実験を行った。得られた主な結果は以下のとおり。

- (1) 板厚 10 μ m のステンレス鋼(SUS304)の重ね合わせ溶接が可能であることを確認した。
- (2) 板厚 0.8mm の Mg 合金（AZ31）の板材を切断幅約 60 μ m で切断できた。
- (3) 板厚 0.2mm の Mg 合金（AZ31）の板材を切断幅約 40 μ m で切断できた。
- (4) 板厚 0.1mm のステンレス鋼（SUS304）の板材を切断幅約 20 μ m で切断できた。
- (5) 板厚 0.17mm の Mg 合金（AZ31）の板材の重ね合わせ溶接ができた。

参考文献

- 1) 長谷川雅人他，“先端レーザー等を用いた加工技術の研究”，工業技術総合研究所工業技術研究報告書，34，2005，p.128-133.
- 2) “100W CW/Modulated High Power Fiber Laser Product Manual”，Southampton Photonics Ltd.，p. 1，19-24.
- 3) “YLP-0,1/8/20 User's Guide”，IPG Photonics，p.14-15.
- 4) 宮本勇，“ファイバーレーザーの応用”，溶接学会誌，72，8，2003，pp.13-17.
- 5) 金岡優，“レーザー加工”，日刊工業新聞社，1999，p.10.
- 6) 日本金属学会編，“金属データブック”，丸善，1989，p.10.

絣織物製織自動化技術の実用化

家坂 邦直* 小海 茂美* 三村 和弘*
白川 正登* 松本 好勝* 本田 崇* 皆川 森夫*

Practical use of automation technology that weaves Kasuri cloth

IESAKA Kuninao*, KOKAI Shigemi*, MIMURA Kazuhiro*
SHIRAKAWA Masato*, MATSUMOTO Yoshikatsu*, HONDA Takashi* and MINAGAWA Morio*

抄 録

自動絣織り技術の実用化を実現するため、次の内容の研究を行った。まず絣合わせマーク剤の開発と各種マーク剤を用いた絣糸の試作を行い、実用性を損なわず十分な検出性能を確保できることを確認した。次に織機運動状況を検知する各種センサの装着、自動絣合わせに必要な各種ユニットの試作、およびこれらをシステム制御する自動絣織りソフトの開発を行い、有杼織機にこれらの機能を持たせた自動絣織機を試作した。

試作織機による絣織物試織の結果、その性能が製織作業者と同等レベルであることを確認した。

1. 緒 言

絣織物製造産地においては、製織はほとんど出機とよばれる外注に依存しており、作業者の高齢化が進み後継者も少ない。これらの織物は非常に付加価値の高い商品であるため、工業的生産の継続が必要であり、自動化を進めることが急務となっている。

そこで、手作業で行っている緯糸の絣合わせを自動化することにより、伝統技術を継承しやすくし、最終的には絣合わせ作業者が一人で複数台を運転管理できる自動絣合わせ織機を試作した。開発するユニットは既存の有杼織機に付加する方式とした。

2. 絣織りの概要

絣織物とは模様になる部分があらかじめ染められている糸を用いて、織りながら柄を創出していくもので、プリントと違い精緻で味のある柄を形成することができる。県内では十日町、

小千谷、塩沢産地などで人手により生産されている。

図1に示すように、手作業でマークと柄の双方の位置関係を確認しながら織り進める。



図1 絣織物の手織り作業

* 素材応用技術支援センター

3. 緋糸の試作

緋織物の緯糸には、緋の模様が設計図案と合うように箄通し幅に合わせてマーク（耳墨）が付けられている。作業者が手により織る場合にも、このマークを織物の耳端に合わせることで緋模様を織り出す作業を行っている。自動緋合わせ製織も、このマークが箄通し幅に対して正確に付いていれば、マークの位置をカメラにより認識し、それを織物の耳端に合わせて織ることで、自動緋合わせが実現できることとなる¹⁾。

以前の共同研究において用いられていたマーク剤は黒色に近かったが、その場合、反物の耳が黒くなって製織されることとなる。着物に仕立てた際には、反物の耳は裏側となるため通常は問題にならないが、淡色、特に夏物の薄地の織物において、裏の黒い耳が透けて見えてしまうことが課題となっていた。

そこで本研究においては、従来のように位置決め精度の観点から CCD カメラおよび画像処理により、マークの重心を認識することを基本とし、白い糸に対してもマークの方が明るいと認識できることを目標とし、蛍光染料や蛍光顔料を用いて、紫外線照明下において蛍光発光の輝度差による認識を行うこととした。

今回試作した糸の実機上で得られた画像を図 2 に、その画像のグレースケールでの濃淡のヒストグラムを図 3 に示す。これらに示すとおり明瞭な検出が可能であり、緋合わせのマーク剤として適正であることを確認した。

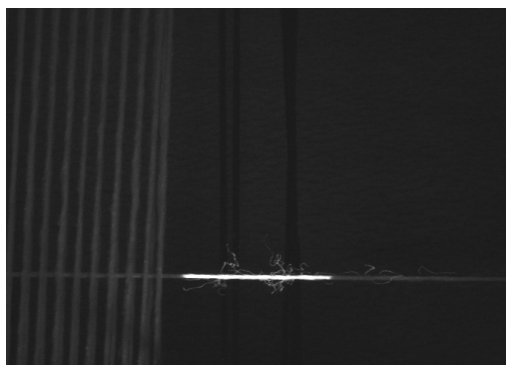


図 2 マーク画像

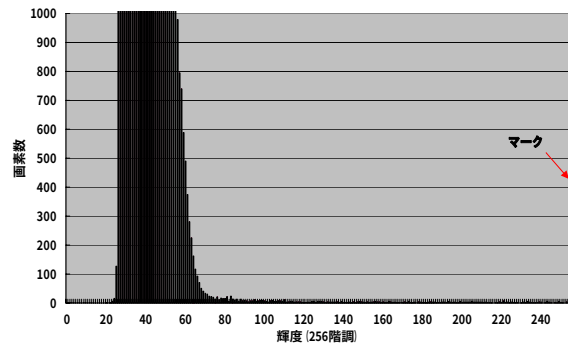


図 3 画像のヒストグラム

4. 製織の自動化

4.1 織機の運転制御

緋糸の緋合わせマークを位置決めするためには、まず緋糸の把持を確実に行う必要がある。

飛走した緯糸の位置は、クランク軸の角度が 290° 付近で、ほぼ同じ位置で安定することが、わかっている。このため、マークの位置決めは 290° から 295° で行うことにした。これに伴い自動制御運転は 290° が、1 サイクルの起点となる。

図 4 に織機の制御フローを示す。

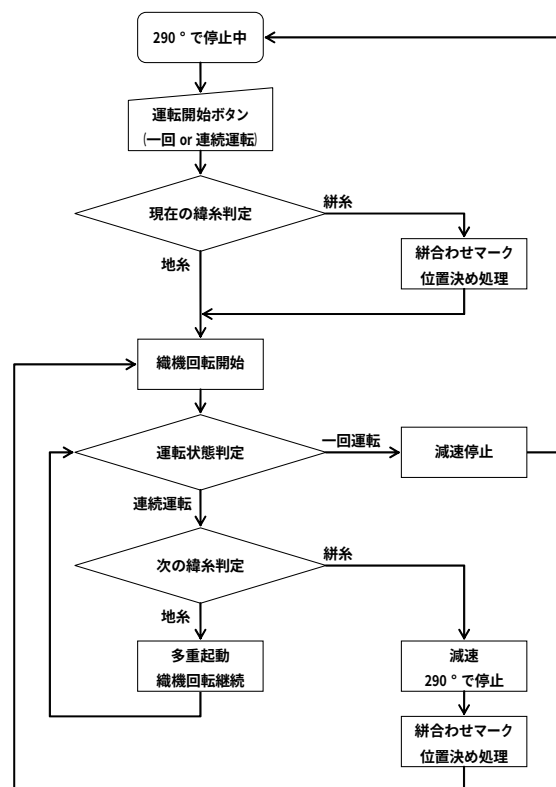


図 4 織機制御フロー

4.2 紐合わせマークの位置決め

紐系についたマークを紫外照明で照らし、マークから発せられる蛍光の CCD カメラ撮像図を、図 5 に示す。マークの重心をカメラ側に固定された座標の原点（図 5 の円の中心）付近 $\pm 0.12\text{mm}$ に合わせる位置決めを行う。図 6 に位置決め方式の概略を示す。紐系の引き出し側はグリッパで掴み、戻し側は紐系がピンに巻きかかるよう設定する。

カメラ画像からマークの重心を求め、その位置データを基に、織物の両サイドにあるピンおよびグリッパを位置決めし、マークを織物の耳端に合わせる。

ヨコ入れした紐系の紐合わせマーク位置決め法のフローを図 7 に示す。

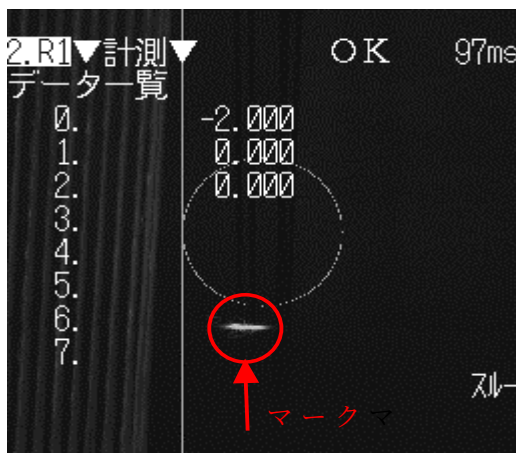


図 5 CCD カメラ画像

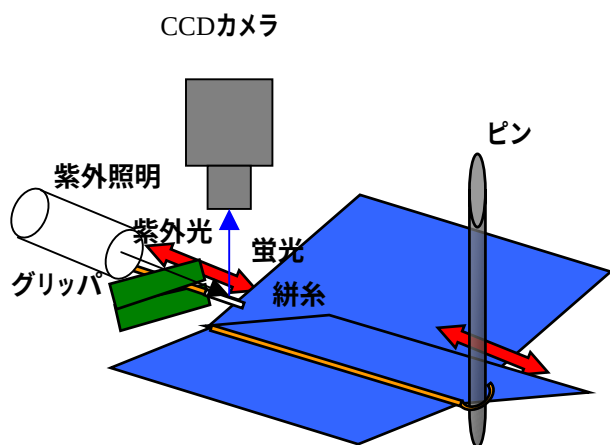


図 6 位置決め方式の概略図

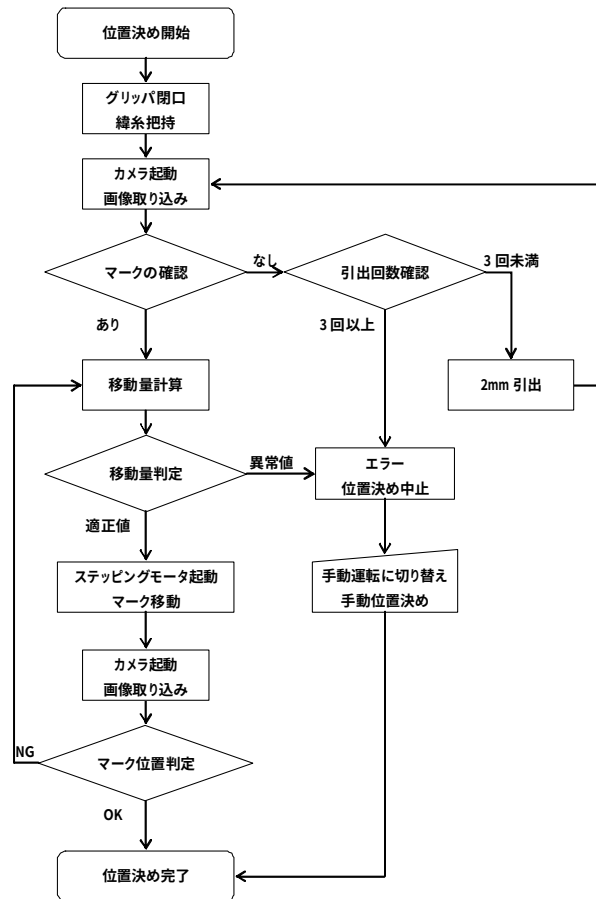


図 7 位置決めフロー

4.3 位置決めユニット

紐緯糸を把持してマークを耳端の所定位置に移動する位置決めユニットは、糸把持用のグリッパおよび引き戻し用のピンで構成し、織物の左右に配している。駆動には小型のステッピングモータを使用した。

図 8 に位置決めユニットを示す。



図 8 位置決めユニット

5. 拵合わせ性能評価

企業の手捺染による生産ラインで試験用の拵糸を試作し製織した。図9に示すとおり試織拵織物を全体的に見ると拵模様は合って見えるが、柄の縁部分にずれが存在する。図10に柄のずれを示す。模様を観察すると、ずれには周期的なパターンがあり、繰り返されて出現する。このずれについて、拵合わせマークの間隔のばらつきを調べたものが図11である。設計の箴通し幅は39.4cmであり、これがマーク間糸長の基準である。製織時の周期的パターンは、糸段階での拵模様およびマーク間隔のずれを忠実に反映し製織した結果であると推察される。



図9 試織拵織物

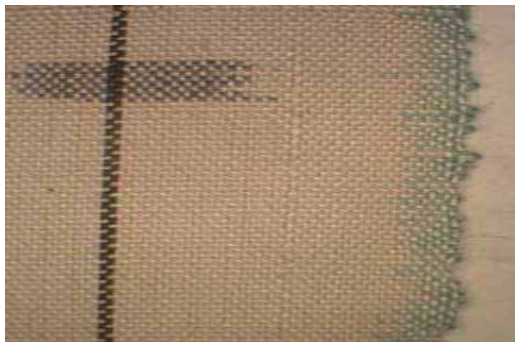


図10 模様ずれ

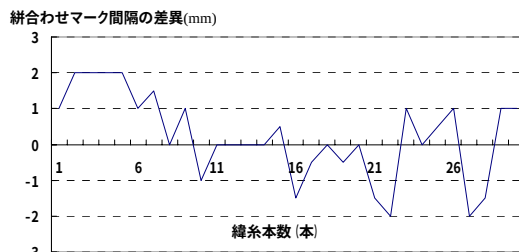


図11 拵合わせマーク間隔の差異

一方、アクリル板に均一な張力で緯糸を巻き、これに耳マークと評価のための柄（直線柄）を描きこの緯糸で製織した。図12に示すとおり直線柄は曲がることなく正確に織上がっていることが確認された。ずれの誤差は60羽/寸の箴羽で2羽（1.2mm）の範囲であった。



図12 評価用直線柄

柄が違う拵織物であるが、自動拵織機で試織した織物と、製織作業者が織り上げた織物を比較した結果、柄の再現性に遜色はなく、その性能は製織作業者の拵合わせ能力と同等レベルに達している。

図13に手織りの拵合わせ状態を示す。

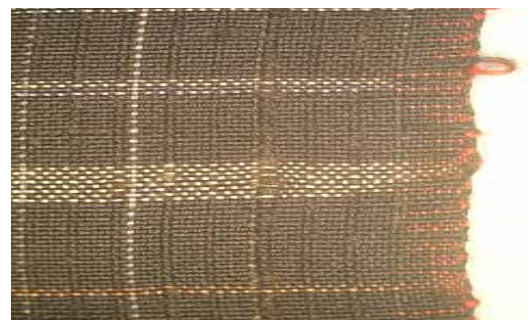


図13 作業員製織織物

6. 試作機機の運転性能について

地糸の製織本数を測定すると、124本/分であり、マークの位置決めを伴う拵糸を連続製織した場合は20本/分である。通常の拵織物である地糸2本、拵糸2本の拵織物では、72本/分を実現し、目標の40本/分を大きく上回る充分な性能を確保できた。

7. 結 言

(1) 和装用織機に、下記機能を持たせた自動絣織機を1台製作した(図14)。

- ・ CCD カメラ、画像処理、および LED 照明を使用した絣合わせマーク認識機能。
- ・ サーボモータを使用し、自動絣合わせ織りを最適に実行できる織機運転制御機能。
- ・ 電動グリッパで絣糸を把持し、マーク検出位置データに基づき、ステッピングモータを駆動するマーク位置決め機能。
- ・ 前記全体機能をシステム化した自動絣合わせ用制御機能。

(2) 蛍光染料、顔料、アクリルバインダー、糊を使用した絣合わせマーク剤を調整し、それを用いた絣糸を作製した。

(3) カメラ、マーク位置決めユニット等の機器配置と、耳端への絣合わせマークの位置決めノウハウを確立できた。

(4) 自動絣織機による緯糸3種類の絣織物の試作と、マイクロスコープによる絣合わせ性能評価試験を行い、絣合わせの性能が実用性能をクリアしていることを確認した。

参考文献

- 1) クロス 21 研究会, 家坂 邦直, 矢内 悦郎, 高橋 靖 “ 自動絣合わせ織機に関する研究 ”, 工業技術研究報告書, No.28, 1999, p41-45.

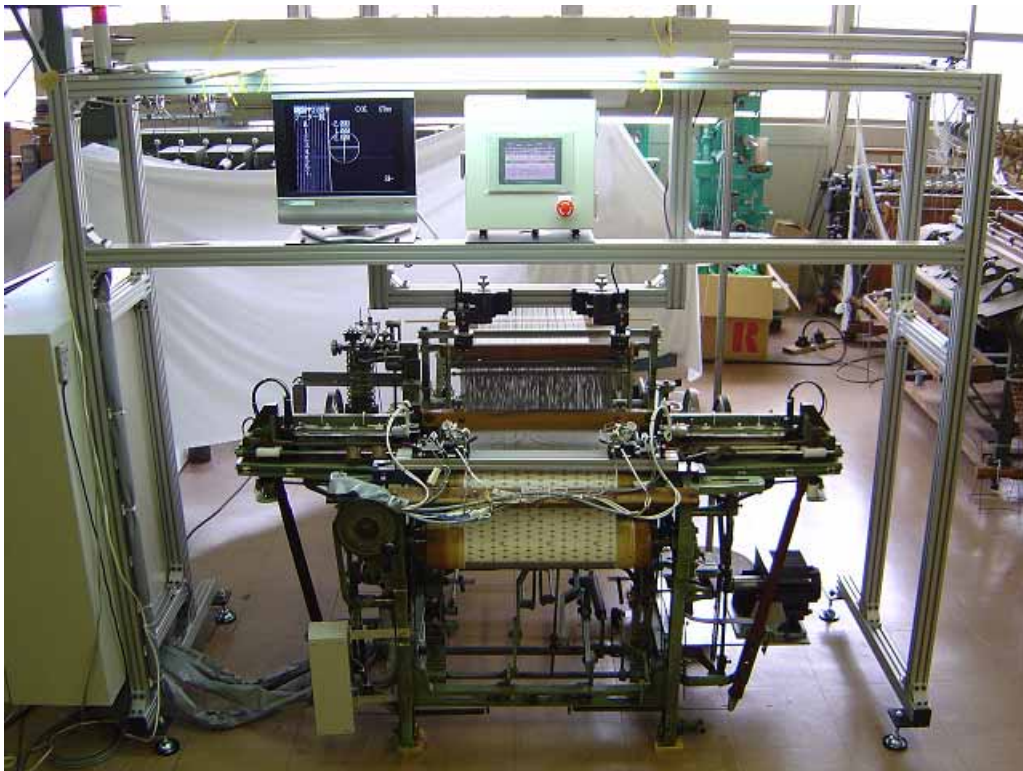


図 14 完成した自動絣織機

共 同 研 究

CSP（チップサイズパッケージ）用極小径穴 打ち抜き金型の研究（第2報）

石川 淳** 進藤 賢士* 和久井 敏夫* 舟見 豊*
宮下 孝洋** 紫竹 耕司** 田村 信***

Study of micro-hole punching metal mold for CSP(Chip Size Package)

ISHIKAWA Atsushi**, SHINDOU Kenji*, WAKUI Toshio*, FUNAMI Yutaka*,
MIYASHITA Takahiro**, SHICHIKU Kouji** and TAMURA Makoto***

抄 録

半導体の実装に使用されるポリイミドフィルムにφ0.1～0.2mm 程度の小径穴を多数個打ち抜くための金型製造技術の確立を目的に研究を行った。昨年度に引き続き、硬さが 60HRC 程度の金型鋼を対象に、必要とされる小径穴をドリルで直接加工するための加工技術の確立を目指して研究を行い、小径ドリル加工におけるドリル折損予知に関して、切削力（スラスト力）のモニタリングについて検討した。また、小径穴を有するダイプレートの耐久性向上を目的とした表面処理方法について検討した。

1. 緒 言

近年、携帯電話に代表されるように電子機器の小型化・薄型化・高機能化が進んでいる。これらに用いられる半導体パッケージも小型化が要求され、BGA（Ball Grid Array）構造のCSP（Chip Size Package）が多く用いられるようになってきている。このCSPの基板材料であるポリイミドフィルムにはハンダボールが搭載されるφ0.1～0.2mm 程度の導通用の穴が0.5mm 程度の間隔で加工される。ポリイミドフィルムへの穴あけにはレーザや金型が用いられる。

本研究では昨年度より、金型による穴の打ち抜きのための金型設計ならびに金型製造技術の研究を行ってきた。

小径穴の打ち抜き金型製造技術のなかで、ダイプレートに打ち抜き穴径とほぼ同一寸法の穴を加工する必要がある。この加工について、昨年度は能率や加工面精度などの点で放電加工に対して優位性があるドリル加工にて、熱処理済みの高硬度金型鋼に直接、所定の小径穴加工を行う技術について研究を行い、ドリルの選定、最適加工条件の把握などの知見を得て、実用化への目処を立てた。

本年度は高硬度金型鋼への小径穴ドリル加工技術について、ドリルの折損予知技術の検討を行った。ドリルによる穴あけ加工において、加工中のドリル折損は加工ワークにダメージを与えることが多く、本研究での対象金

* 株式会社南雲製作所

** 研究開発センター

***上越技術支援センター

型のなかで、ダイプレートは多数穴を有することから、ドリル折損の影響は大きく、それまでの加工が無駄になってしまう。

一般に工具折損予知として、切削力や振動加速度、AE（Acoustic Emission）信号などのモニタリングが利用されることが多い¹⁾。本研究での小径ドリル加工において、これら信号が折損予知に利用できるか検討した。本報では加工時に発生する切削力の工具送り方向成分（スラスト力）について、検討した結果を記す。

また、昨年度の研究において試作した金型を用いてポリイミドフィルムの打ち抜き試験を行ったところ、目標打ち抜き回数前にダイ穴の顕著な摩耗が観察された。原因としていくつか考えられたが、対策のひとつとして、ダイプレートの耐摩耗性を向上させるための表面処理方法を検討することにした。ここではイオンプレーティングによるCrNコーティングと塩浴窒化処理について、おもにダイ穴内面まで処理可能かというところに観点をおいて検討した結果について記す。

2. 工具折損予知に関する実験

2.1 使用機械・機器

小径穴加工実験には空気静圧スピンドルを搭載した高速加工試験装置（東芝機械(株)製 ASV40）を使用した。おもな仕様を表1に示す。

表1 加工機械のおもな仕様

主軸回転数	3,000～30,000min ⁻¹
クーラント	ミスト（田中インポート製ドライカットシステムII）
移動指令最小値	X,Y,Z 0.001mm
NC 設定	ステップ退避 Z 座標 +0.2mm クリアランス 0.2mm

ドリル加工時のスラスト力測定は図1に示すように水晶圧電式切削動力計（KISTLER 社 9257B）の上に被削材を取り付けて加工を行い、ドリル送り方向の切削力であるスラスト力を検知する。この検知信号はチャージアンプ（KISTLER 社 5019A）を介して解析装置（横河電機(株)製 WE7000）に取り込み、スラスト力測定を完了する。



図1 スラスト力測定システムの概略

2.2 加工条件

表2に示す加工条件において、工具折損に至るまでのスラスト力を測定することとした。なお、被削材についてはデータ取得の容易性からプリハードン鋼 NAK55(40HRC)とした。また、加工する穴は直径 0.1mm、深さ 1.0mm の止まり穴である。使用した工具は TiN コーティング超硬ドリル（直径 0.1mm、溝長 1.2mm）である。

表 2 加工条件

実験 No.	主軸回転数 (min^{-1})	送り速度 (mm/min)	ステップ量 (μm)
1	20,000	20	15
2	20,000	20	15
3	20,000	20	15
4	20,000	40	15
5	20,000	60	15
6	20,000	20	25
7	20,000	20	25
8	10,000	20	15

2.3 実験結果

図 2 に本実験システムにより測定した小径ドリル加工にともなうスラスト力波形データの一例を示す。図の上段が 1 穴目から折損に至るまでのスラスト力の推移を示し、下段が任意の穴におけるステップごとのスラスト力波形を拡大表示したものである。それぞれ横軸が時間、縦軸がスラスト力を表す。

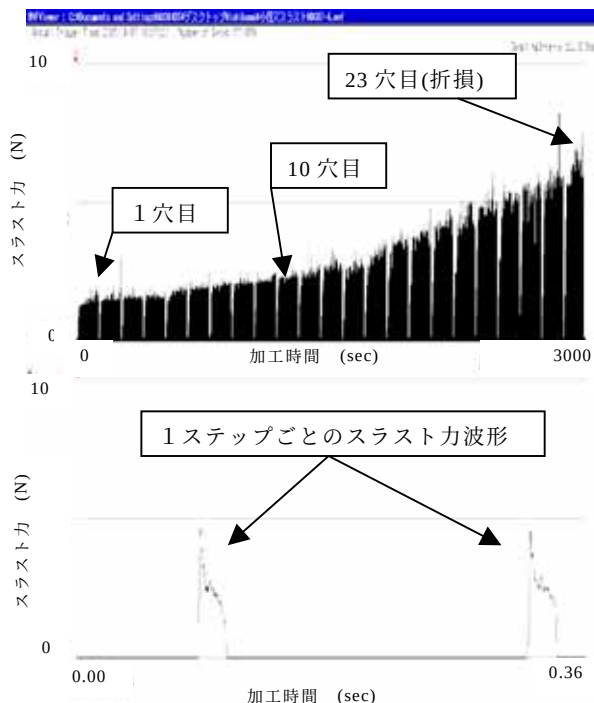


図 2 スラスト力測定波形の例

各実験条件において、波形データからスラスト力の数値を読み取り、加工穴数の進行に伴う推移を図 3 にまとめた。

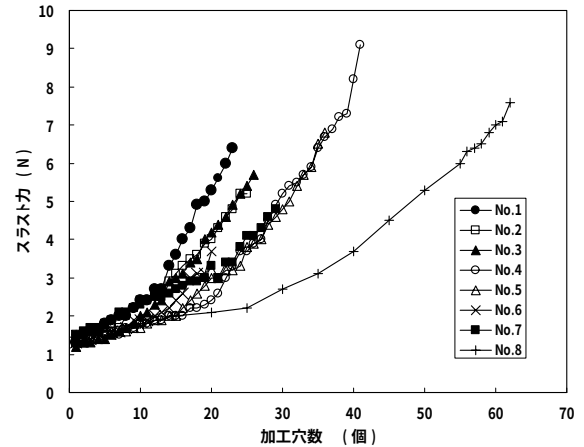


図 3 加工穴数とスラスト力の推移

すべての条件において、加工の進行に伴うドリルの摩耗に起因すると思われるスラスト力の増加推移が読み取れる。一般的に考えると、このような加工状況においてスラスト力がドリル固有のある値に達した場合にドリル折損につながれば、スラスト力のモニタリングによりドリル折損が予防できるといえる。しかし、実験結果では折損直前のスラスト力にはかなりのばらつきがみられる。ドリル回転方向に作用する加工力も考慮しなければならないかもしれないが、実用上困難であるため本研究では断念した。

さらに各条件について、1 穴目のスラスト力 a と折損直前のスラスト力 b を読み取り、これらからスラスト力の増分 $(b-a)$ 、比 (b/a) 、増加割合 $((b-a)/a)$ を求めて、表 3 ならびに図 4 にまとめた。

この図から加工条件が同じ (No.1, 2, 3 ならびに No.6, 7) であれば、比 (b/a) 、図 4 中 $\times$ 印) に関してはばらつきが比較的小さいことから、このパラメータがドリル損傷予知に使える可能性はある。

表 3 スラスト力に関する算出パラメータ

実験 No.	折損時 加工穴 数 n (個)	1穴目 スラスト 力 a (N)	折損前 スラスト 力 b (N)	b-a	b/a	(b-a)/n
1	20	1.74	7.11	5.37	4.09	0.27
2	25	1.41	5.41	4.00	3.84	0.16
3	26	1.41	5.81	4.40	4.12	0.17
4	42	1.22	9.00	7.78	7.38	0.19
5	36	1.26	6.78	5.52	5.38	0.15
6	20	1.30	3.67	2.37	2.82	0.12
7	29	1.48	4.93	3.45	3.33	0.12
8	62	1.52	7.60	6.08	5.00	0.10

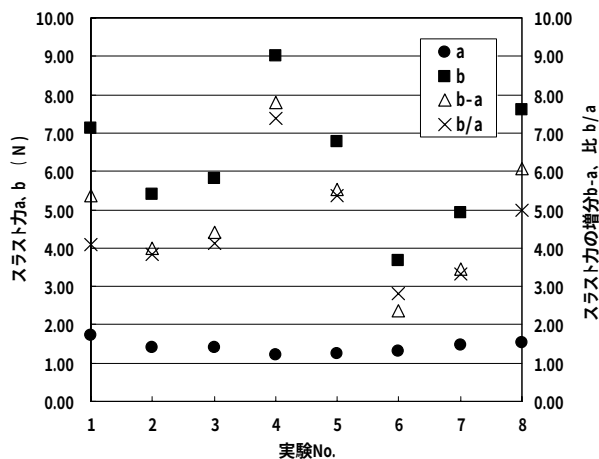


図 4 スラスト力に関する算出パラメータ図示

3. ダイプレートへの表面処理の検討

3.1 イオンプレーティング

ダイプレートのモデルとして直径 0.1mm、深さ 1.0mm の穴を 0.5mm ピッチで格子状に 25 個配した鋼材プレートを用意した。このプレート上面からイオンプレーティングにより、CrN コーティングを施した。イオンプレーティング処理については外注し、前処理等標準的な条件で処理した。この CrN コーティングしたサンプルについて、穴断面が観察できるように試料研磨機を用いて除去研磨を行った。

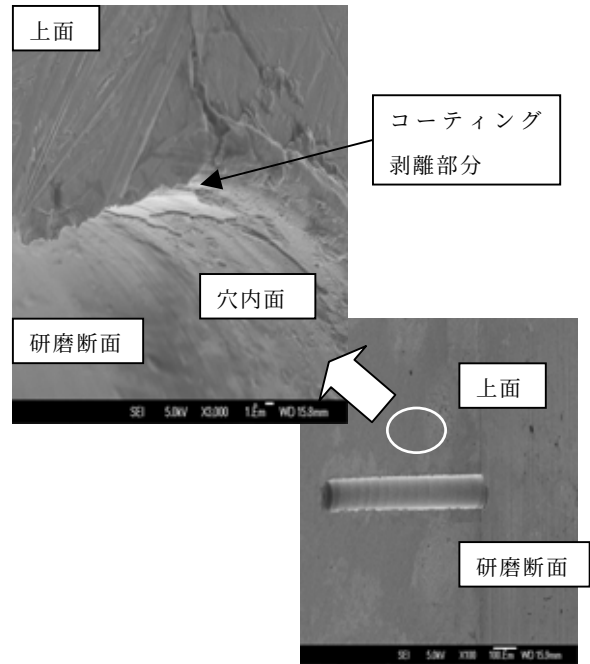


図 5 ダイプレート穴付近の成膜状態観察像

図 5 にサンプルの断面 SEM 観察像を示す。サンプル上面には厚さ 0.5μm 程度の CrN 膜が成膜していた。穴内部については元素分析などから入り口近傍は成膜しているものの深部に従い膜厚は減少しており、およそ穴直径と同一深さ（約 0.1mm）までしか成膜されていないことがわかった。

3.2 塩浴室化処理

イオンプレーティングのような PVD によるコーティングでは穴内部までの表面処理が不可能であったため、窒化処理による金型の耐摩耗性向上について検討した。前節イオンプレーティングと同様のダイプレートモデルを用意して塩浴室化処理(タフトライド処理)を行った。この処理も外注による標準的な条件により行った。図 6 にサンプルの断面 SEM 観察像を示す。

サンプル上面は 50μm、穴内部は深部においても 20~30μm 窒化されているのが観察できる。このことから小径穴内部の耐摩耗性向

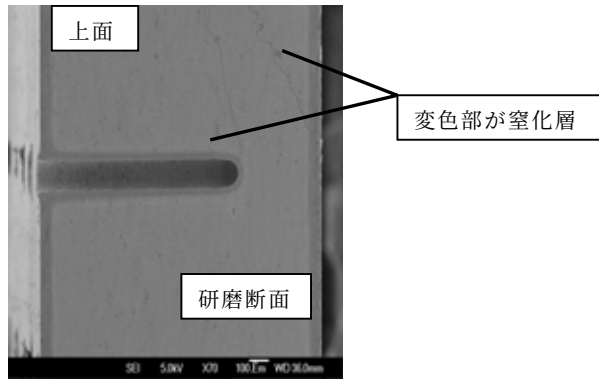


図6 ダイプレート穴付近の窒化状態観察像

上を目的とした表面処理方法として塩浴室化処理が有効であることがわかった。しかし、表面には窒化鉄と思われる数 μm の黒色被膜が形成されていた。この被膜はピンを通すことにより除去可能であるものの、工程が増えてしまう課題が残った。

4. 結 言

極小径穴打ち抜き金型に関する研究の中で、おもにダイプレート製造に必要となる技術に関して研究を行い、以下のことが明らかになった。

- (1) 小径ドリル加工におけるドリル折損予測に関して、システム構築が簡易な加工スラスト力のモニタリングについて検討した結果、スラスト力の比のモニタリングが折損予測に使用できる可能性があった。
- (2) 小径穴を有するダイプレートの耐久性向上を目的とした表面処理方法について検討した結果、塩浴室化処理が有効である。

参考文献

- 1) 相田, 稲崎, 福岡, " AE を利用した工具チップング検出システムの開発 ", 日本機械学会論文集 (C 編), 52, 481, 1986, p2,563-2,568.

アイスウォーターブラスト装置の実用化に関する研究

山岸 陽一* 武藤 浩二* 荒川 良一* 坪水 英全*
杉井 伸吾** 中部 昇** 須藤 貴裕***

Development of Ice and Water Blasting Machine

YAMAGISHI Youichi*, MUTOH Hiroji*, ARAKAWA Ryouichi*, TSUBOMIZU Hidenori*
SUGII Shingo**, NAKABE Noboru** and SUTOH Takahiro***

抄 録

氷粒を混合した高圧水でバリ処理、洗浄を行うアイスウォーターブラスト装置に関して、バリ処理能力の把握を行うと共に、装置能力の向上を図った。バリを実際に除去することなく簡便にバリ処理能力を評価しうる定量化手法を確立し、本手法を基に装置構造とバリ処理能力の関係を把握することにより、能力向上を目的とした装置の改良を行った。さらに、実際にバリ処理試験を行い、処理前後におけるバリ形状を測定することにより本装置の処理能力を定量的に把握した。

1. 緒 言

アイスウォーターブラスト装置は図1、図2に示すように、ノズル内において高圧水、およびその負圧によって吸入される氷粒を混合して噴射する装置であり、金属製品のバリ処理、洗浄に用いられる。一般に、このようなブラスト装置においてはメディアと呼ばれる研磨剤を高圧水、あるいは空気と混合して噴射することによりバリを除去する。しかしながら、メディアの使用は処理後の洗浄工程を必要とし、またメディアが最終的に廃棄物となるなど環境面での問題も多い。一方、本装置では氷粒をメディアとして用いることによって、バリ処理後の洗浄工程が不要となるため作業効率が高く、さらには水を循環利用することで廃棄物を生じないという利点を有する。

本研究は平成16年に開発したアイスウォーターブラスト装置に関して、バリ処理能力の把握を行うと共に、装置能力の向上を図り製品の

完成度を向上させることを目的とする。まず、バリを実際に除去することなく簡便にバリ処理能力を評価しうる定量化手法を確立した。次いで、これらの手法を用い、装置構造とバリ処理



図1 アイスウォーターブラスト装置外観

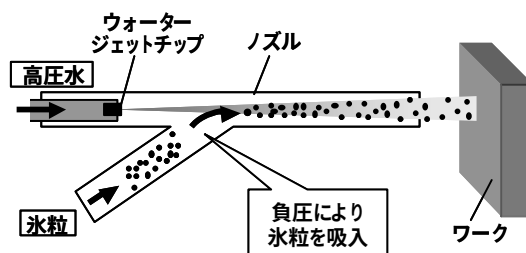


図2 アイスウォーターブラスト原理

* アドバンエンジン株式会社

** 研究開発センター

*** 下越技術支援センター

能力の関係を把握することにより、能力向上を目的とした装置の改良を行った。

2. ブラスト能力定量化手法の確立

装置の機能向上を図る際、それによりどの程度バリ処理能力が向上したかを定量的に評価することは重要である。従来バリ処理能力の評価については、あらかじめワーク、あるいはバリを生成させた試験片に対して処理を施し、バリが除去されているかを目視、形状測定などで確認することが多い¹⁾。この手法では装置の処理能力を直接評価できる反面、ワーク、試験片の準備に手間がかかること、さらには、定量評価のための形状測定についても多くの時間を要するなどの問題がある。そこで、装置開発の効率を向上させる目的で、水・氷粒による噴射圧力（以下ブラスト圧力）に着目し、実際にバリ処理を行うことなく処理能力を定量的に評価する手法を確立した。

2.1 ブラスト圧力の測定

ブラスト圧力の測定には感圧紙（富士写真フイルム社製プレスケール）を使用した。本感圧紙はPETフィルム上に発色剤を封入したマイクロカプセルと顕色剤を塗布したものであり、圧力作用領域に挿入することによってマイクロカプセルが破壊され、その中の発色剤が顕色剤に吸着し、化学反応で赤く発色する。ここで、作用圧力の増加によりカプセルの破壊量、すなわち発色剤の反応量が増加することから、発色の濃淡によってその領域の圧力値を推定できる。なお、本感圧紙で測定可能な圧力分布の分解能は 0.01mm^2 （ $0.1\text{mm} \times 0.1\text{mm}$ ）である。

2.2 較正実験

感圧紙による圧力分布の測定においては、発色の色濃度と作用圧力の関係を明らかにする必要がある。そこで、既知の圧力を作用させた場合の色濃度を測定し、両者の関係を求めた。較正実験は図3に示すように感圧紙を上下からパ

ンチで挟み、万能試験機を用いて既知の圧縮荷重を作用させた。感圧紙の色濃度分布画像は市販のイメージスキャナによってパソコンに入力し、各画素における色濃度を計測した。図4に較正実験による感圧紙の濃度分布と作用圧力－色濃度の関係の一例を示す。両者の関係はほぼ線形を示すが、高圧力作用下、特に測定限界付近において色濃度増加が鈍化する傾向がみられたことから、圧力算出においては、両者の関係を2次式に近似した曲線を較正曲線として、計測された濃度値を圧力値に変換した。

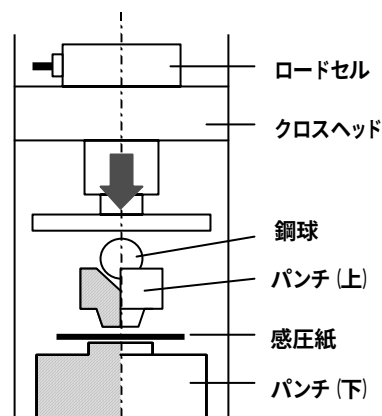


図3 較正実験装置概略

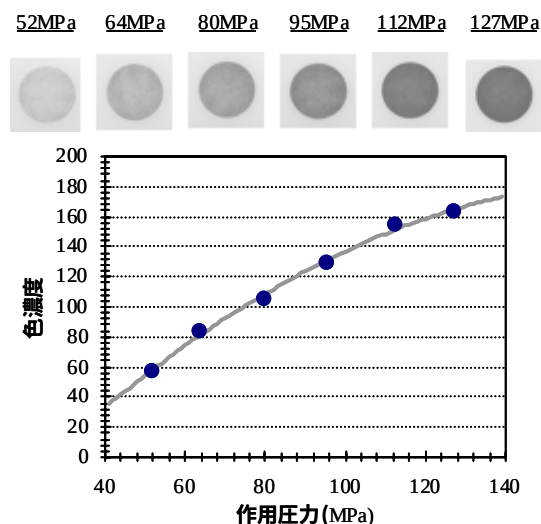


図4 較正実験結果例

上：較正実験による感圧紙濃度分布
下：較正曲線（作用圧力－色濃度）

2.3 ブラスト圧力測定と評価パラメータ算出

ブラスト圧力は平坦なワークに感圧紙を貼り付け、そこに一定時間ブラスト処理を行うことにより測定した。ここで、ノズルは感圧紙に垂直方向に設定した。図5に測定例を示す。圧力分布は、高压水による中心部の比較的均一な圧力を示す領域に加え、氷粒の衝突による、多数の局所的な高圧力領域が観察された。

これら圧力分布を基に、バリ処理能力評価パラメータとして、図6に示すように平均圧力、氷衝突圧力、圧力分布の均一度を定義した。ここで、平均圧力は圧力分布の図心を中心とした、ノズル径と同一円内の領域中における圧力値の平均値とし、氷衝突圧力は氷粒の衝突による、局所的に高い圧力値を示した点を順に100点抽出し、これらの平均値を求めた。これらの値が高いほどブラスト圧力が高い、すなわちバリ処理能力が高いと判断される。また、圧力分布の均一度は分布をその図心を中心とした円と想定し、その中心から任意の距離の同心円上にある点の圧力値の平均を求め、中心からの距離と圧力値の関係を圧力の均一度として定義した。一般に両者の関係は中心部で最大となり距離の増加に伴い減少する傾向を示すが、特にノズル径内において減少割合が小さいほど、ブラスト範囲において均一度が高い、すなわち均一にバリ処理が行われることを表す。

2.4 パラメータ算出プログラムの開発

バリ処理能力評価に関連して、上記パラメータを簡便に計算するプログラムを Microsoft Excel によって制作した。これにより、イメージスキャナを用いて入力した、感圧紙のビットマップ画像ファイルを直接読み込むことにより、平均圧力、氷衝突圧力、圧力の均一度等を直接計算・出力することが可能となり、バリ処理能力評価の効率化を図ることができた。

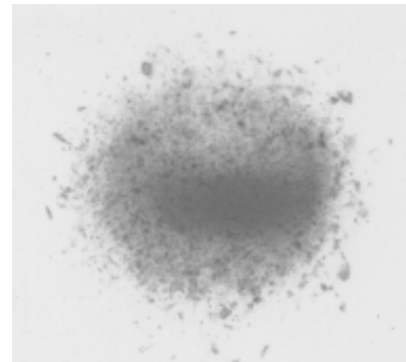
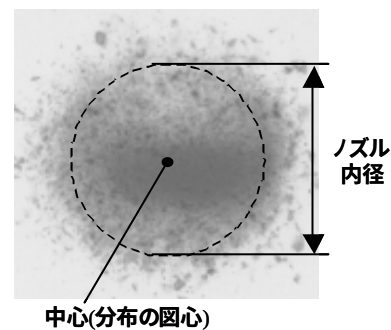
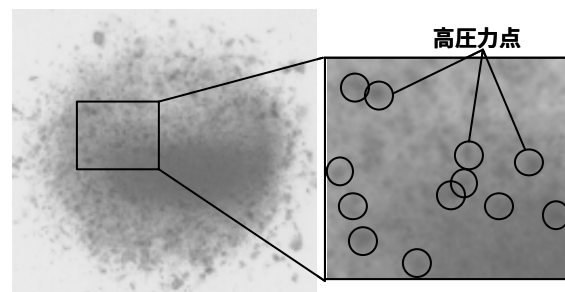


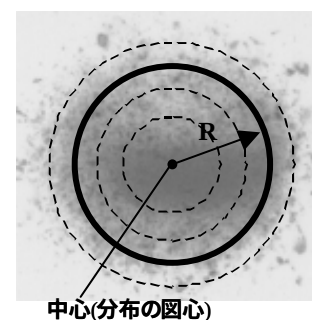
図5 ブラスト圧力分布測定例



(a) 平均圧力



(b) 氷衝突圧力



(c) 圧力分布の均一度

図6 バリ処理能力評価パラメータの定義

3. 装置機能向上を目的とした装置開発

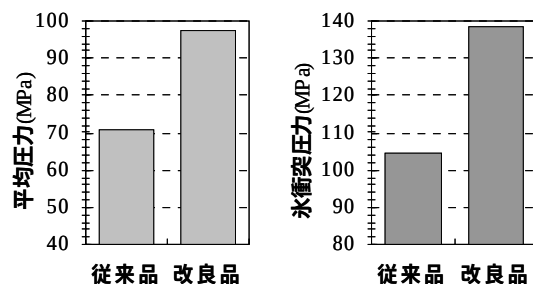
前章で示した評価手法を用い、バリ処理能力向上を目的とした装置の開発を行った。

3.1 最適ノズル構造の決定

氷粒を混合して噴射するノズルに関して、その最適な構造について検討を行った。ノズル構造の異なる試作品を製作し、ブラスト圧力の測定を行った。その結果、ブラスト圧力はノズル構造に大きく影響を受けることが明らかとなり、バリ処理に最適なノズル構造を把握することができた。また、これらの結果を基にノズル構造を改良した結果、図7に示すように、改良ノズルにおけるブラスト圧力は、従来品と比較して平均圧力、氷衝突圧力共に30%以上増加することを確認した。

3.2 氷粒の最適管理

バリ処理能力を向上させるにあたり、メディアである氷粒の温度や供給条件の最適化はノズル構造と並んで重要であると考えられる。そこで、氷粒温度、および供給量を変化させた場合のブラスト圧力を測定し、両者が共にバリ処理能力に影響を及ぼすことを確認した。また、氷粒温度、供給量に加えて、供給方式やノズル氷吸入部の構造等もバリ処理能力向上に寄与することが実験によって示唆されており、今後これらを総合的に考慮した設計を行うことにより、更なる機能向上が期待される。



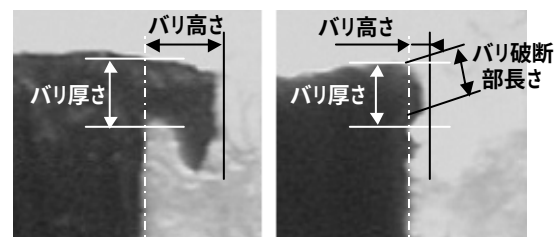
(a) 平均圧力

(b) 氷衝突圧力

図7 改良ノズルにおけるブラスト圧力

3.3 バリ処理能力の把握

ブラスト圧力測定実験結果を基に改良を施したアイスウォーターブラスト装置において、実際のバリ処理能力を把握するため、フライス切削加工によってバリを作成したアルミニウムおよび鋳鉄試験片に対し、本装置を用いてバリ処理を施した後、バリ形状を測定し処理前と比較した。ここで、バリ形状の測定は、処理前後における試験片を樹脂に埋入した後にバリ断面が観察できる方向から切削加工を行い、バリ断面を撮影することにより行った。撮影したバリ断面画像より、図8に示す発生したバリの根本高さ、バリ高さに加え、ブラスト後にバリが破断していることが明らかな試験片についてはその破断部長さを測定した。図9にアルミニウム試験片に対する測定結果の一例を示す。これによって、様々な材料、切削条件におけるバリの形状、および、これらのバリに対する本装置の処理能力を定量的に把握することができた。



(a) 処理前 (b) バリ処理後

図8 バリ断面画像とバリ形状の定義

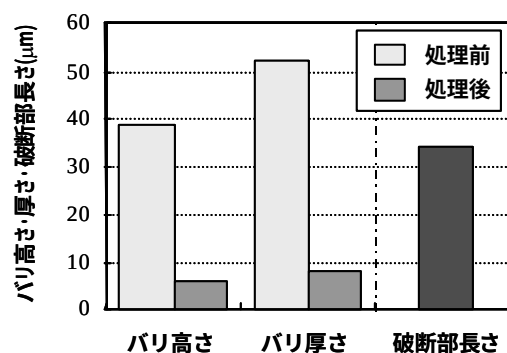


図9 バリ処理試験結果の一例

アルミニウム試験片におけるバリ形状の比較

4. 結 言

- (1)水・氷粒による噴射圧力（ブラスト圧力）を感圧紙で測定することによって，実際にバリを除去することなくバリ処理能力を簡便，かつ定量的に評価する手法を確立した。
- (2)確立した評価手法を用い，アイスウォーターブラスト装置構造とバリ処理能力の関係を把握し，能力向上を目的とした装置の改良を行った。
- (3)改良したアイスウォーターブラスト装置に

ついて，アルミニウムおよび鋳鉄試験片に対してバリ処理を施し，その処理前後における形状を比較することにより，様々な材料，切削条件におけるバリ形状，および，これらに対する本装置の処理能力を定量的に把握した。

参考文献

- 1) 高沢孝哉，北嶋弘一，“バリテクノロジー入門”，2002.

アモルファス電波アンテナに関する研究（第2報） （アンテナの感度評価方法）

伊関 陽一郎* 菅家 章* 須田 孝義** 浅間 正剛*** 相羽 智*** 井浦 博男***

A Sensitivity Evaluation method of an Antenna for Standard Radio Waves

ISEKI Yoichiro*, KANKE Akira*, SUDA Takayoshi**, ASAMA Masatake***,
AIBA Satoshi*** and IURA Hiroo***

抄 録

試作した電波腕時計用の標準電波受信アンテナの特性の評価項目として L 値, Q 値があるが, 最終的には時計全体としての感度を評価する必要がある, そのための手法について検討した。疑似標準電波を放射し, それを受信して得られる出力信号の変化から感度を求めることができ, 試作アンテナの感度評価を可能とした。

1. 緒 言

我々は, 昨年度に引き続き電波腕時計用の標準電波受信アンテナの開発を行ってきた。開発品が小型のものになるにつれ, これまで評価項目としてきた L 値 (インダクタンス) およびコイルの性能を表す Q 値だけでなく, 受信用 IC と組み合わせて実際に時計とした際の感度も評価する必要に迫られた。そこで, そのための手法の検討・開発および関連基礎データの収集を行った。

2. 電波時計のシステム

2.1 JJYのタイムコード

日本の標準電波(JJY) は, 40kHz もしくは 60kHz の搬送波に, 出力が 10:1 となるように 1Hz のタイムコードで AM 変調をかけたもので, 60 ビット (1 分) を 1 フレームとするシリアルデジタル信号である。

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

*** 新デンシ株式会社新潟工場

タイムコードは分, 時, 曜日, 1 月 1 日からの通算日, 西暦年, うるう秒情報などを BCD (2 進数 10 進法) で表現しており^{1),4)}, 2 進数の '0', '1' の他, フレームの始まりを示すマーカと 10 秒ごとにデータ位置の目印として入るポジションマーカと呼ばれる信号の計 3 種類の信号で構成される。それぞれの信号は図 1 のようなパルス幅の信号であり, マーク (H レベル) の長さが 200ms のものはマーカ (M: 0 秒時) およびポジションマーカ (P0 ~ P5: 10 秒ごと) を, 500ms のものは 2 進数の '1' を 800ms のものは 2 進数の '0' をそれぞれ表している。

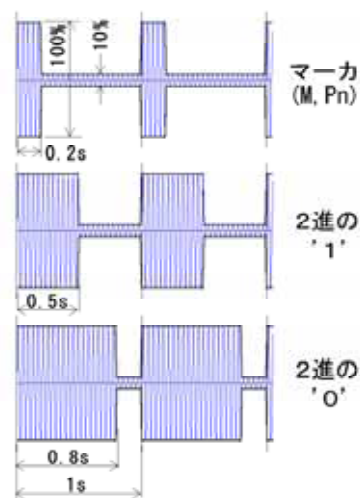


図1 JJYの信号

2.2 タイムコード受信IC

市販の電波時計は一般的に、タイムコード受信ICを用いて、受信した標準電波から1Hzのタイムコードを復調し、これをマイコンで判読して正確な時刻を取得し表示を修正している。

通常、受信用ICは、アンテナで受信した微弱な電波を増幅するRF増幅部、外付けの水晶フィルタで不要な信号を除去した後それを検波復調する整流部およびその信号を整形しマイコンをドライブできるレベルのタイムコード出力(以下、TCO)にするデコーダ部からなる。

本研究では、このTCO信号のパルス幅および整流後の信号(検波出力)に着目して感度評価の検討を行った。

3. 実験

3.1 受信状態による出力の変化

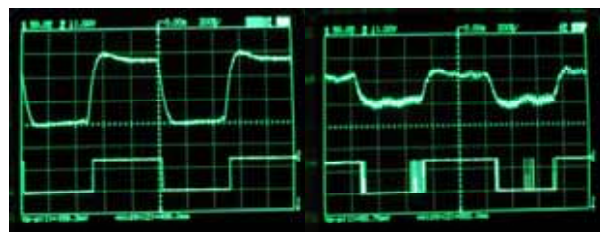
市販の電波時計を改造し、アンテナの交換およびTCO信号の取り出しができるようにしたものを用いて実験を行った。

時計は小型の置き時計型のものと腕時計を利用し、前者はTCO信号の他に検波出力も取り出せるようにした。図2に腕時計の例を示す。

図3(a)は電界強度が十分強く安定して受信できる状態の、また図3(b)は電界強度が弱く正常に受信できない状態の出力信号波形の例で、そ



図2 使用した腕時計



(a)安定受信時

(b)不安定時

図3 出力信号波形例

れぞれ上段が検波出力、下段がTCO信号である。受信状態が悪くなると検波出力が低下しノイズを含むようになり、TCO信号もノイズの多いものとなる。同時に波形そのものが崩れ、パルス幅が変化する。そこで、一定時間内に観察されたTCO信号について、そのパルス幅が所定の範囲内に収まらないものの割合から受信の良否を判定することにした。

なお、パルス幅の測定にはアンリツ製周波数カウンタMF1603Aを、40kHzの電波の発生には同じくアンリツのシンセサイズト標準信号発生器(以下、SSG)MG3633Aをそれぞれ用いた。

3.2 実際のJJYのパルス幅

図4に、夜間の静穏時にJJYを受信した場合と、近くに雑音を発する機器がありノイズの多い環境でJJYを受信した場合の、TCO信号のパルス幅の分布を示した。

JJYで送出されるタイムコードのパルス幅は200ms、500msおよび800ms(いずれも誤差±5ms)であるが、それを受信して得られるTCO信号のパルス幅は静穏時では、中心値が180ms、485msおよび780ms程度でそれぞれ前後に70ms程度の幅を持った分布をしている。

雑音環境では中心値がずれ、分布も広がっていることが分かる。つまり、'マーカ(M,Pn)', '0', '1'のいずれとも判別できないデータが増えることになり、それだけ時刻の修正が困難になることになる。

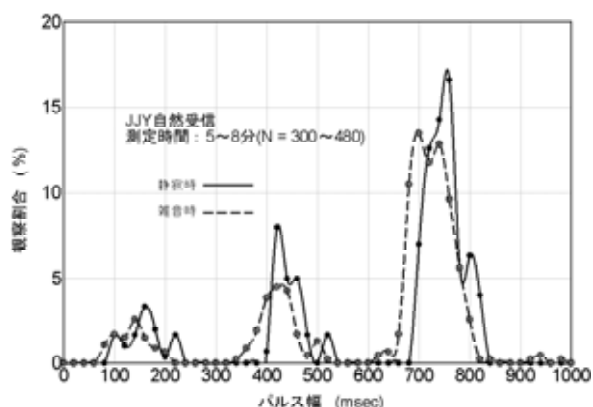


図4 JJY受信時のTCO信号パルス幅

3.3 疑似標準電波の生成

受信用 IC にもよるが、同じ符号のみを連続して受信した場合と、3 種類の符号が組み合わされて送られている実際の JJY（と同等の信号）を受信した場合とでは、出力されるパルス幅の分布状態が異なることが確認された。

また、タイムコードによる変調度（実際の JJY では 10:1）によっても受信時の状況が異なることから、評価を行うにあたっては、実際の標準電波にできるだけ近づけた形の電波を発生させて利用する必要性があった。

そこで、パソコンを用いて疑似タイムコードを生成するプログラムを開発し、その信号を適切なレベルに変換するインタフェースを介して SSG の外部変調入力とすることで疑似標準電波を生成した。疑似タイムコード生成プログラムの開発に当たっては、1 秒や 0.5 秒などの時間間隔が可能な限り正確に得られるようにするため、予期せぬ割り込み処理が発生して遅延が生ずる可能性のある Windows の利用を避け、あえて DOS で動作させるようにした。また、最終的にはワンボードマイコンを用いて疑似タイムコードを生成するようにした。

3.4 評価方法およびデータのバラツキ

感度評価は図 5 に示したような機器構成で行った。つまり、周囲の電波を遮蔽するため供試アンテナと受信部を GTEM セル内の一定位置に置き、タイムコードで変調をかけた 40kHz の電波をセルに入力し、受信部から得られる TCO 信

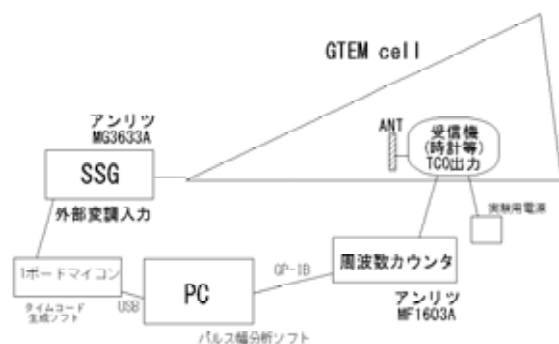


図5 評価に用いた機器構成

号のパルス幅を周波数カウンタを用いて計測するようにした。

計測したパルス幅によって '0'(710 ~ 850ms), '1'(415 ~ 555ms), 'M,Pn'(110 ~ 250ms)を判別し、それらから外れるものを判別不可データとし、測定時間内に観察された TCO 信号の総パルス数に対する判別不可データ数の割合を判別不可率として評価の指標とした。

図 6 は、1 分間の測定を 10 回繰り返し、SSG 出力に対して判別不可率がどう変化するかを示したもので、実線が平均値、破線が標準偏差である。当然ながら出力が増加するに従い判別不可率は低下し、結果のバラツキも小さくなる。

1 分の測定では出力が十分であってもまだバラツキがみられたので、測定時間を変えて結果のバラツキをみたのが図 7 である。1 回の測定時間が長くなるほどバラツキは小さくなり、また、判別不可率も低くなる傾向がみられた。しかし、バラツキの減少は 7 分程度から頭打ちに

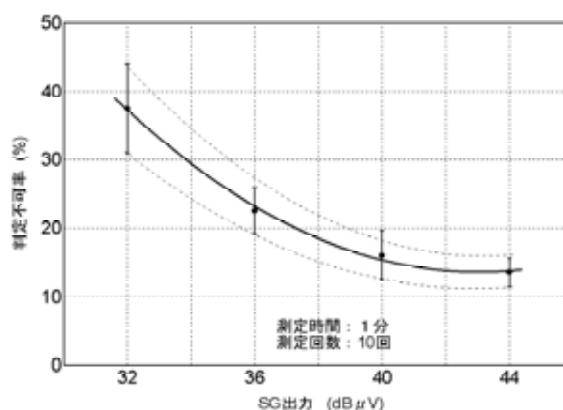


図6 SSG出力と判定不可率

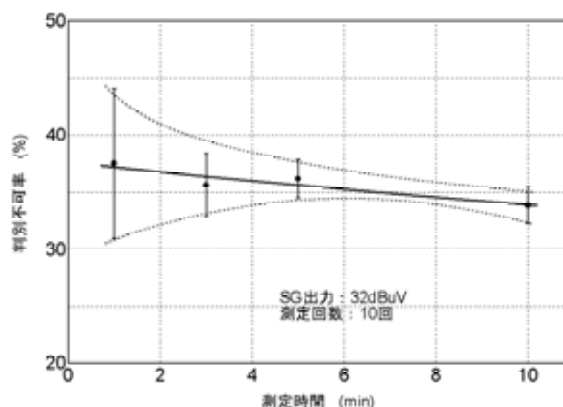


図7 測定時間と判定不可率の関係

なり、それ以上測定時間を延長してもあまりその効果は望めない。これから、実際的には3～5分程度の測定時間が適当と判断した。

実際の感度評価に際しては、3分の測定を複数回行い、過半数の測定結果（判別不可率）が所定の値を超えない最低のSSG出力を感度の値として採用した。

3.5 受信用ICによる違い

現在タイムコード受信用のICは数社から製造販売され^{2),3)}、各時計メーカに採用されているが、ICの種類（メーカ）によってその特性が異なることが分かった。

図8は、メーカの異なるICを使った2種類の時計を用いて、日中室内の良好に受信できる状態でJJYを受信したときのパルス幅分布を示したもので、ピーク位置はもとより、広がりも異なったものとなっている。

このことから、評価の際には使われているタイムコード受信用ICにあわせて評価プログラムのパラメータを設定する必要があることが分かる。実際この例の場合、ICメーカAのICにあわせたパラメータ設定を行った評価プログラムで判別不可率を求めるとICメーカAについては6.4%であったのに対し、ICメーカBは13.8%と大きく異なる結果となった。

3.6 試作品の感度評価

これまで述べたようなことをもとにして評価条件を設定し、試作を行っている小型アモルフ

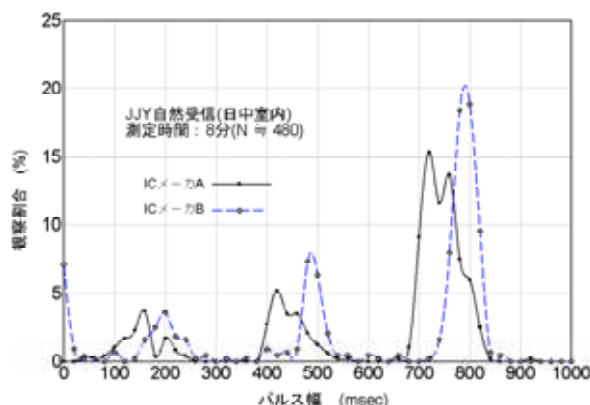


図8 ICによる違い

ァスアンテナや比較用の各種アンテナの感度評価を行い、本方法の有効性を確認している。

4. 結 言

標準電波受信用のアンテナの感度評価に関し、次のような基礎データの取得およびシステムの開発を行い、適切に感度評価を行えるようになった。

- (1) 標準電波を受信して得られるTCO信号のパルス幅はある程度の幅を持った分布がみられ、受信状態によってその分布は異なる。
- (2) これを利用して、パルス幅が所定の範囲から外れたデータ数の割合で感度評価を行うことができる。
- (3) 判定不可率のバラツキは測定時間を長く取ることで減少するが、約7分を超えるとそれ以上の効果はそれ程望めなくなる。
- (4) タイムコード受信用ICの種類（メーカ）によってTCO信号パルス幅の分布が異なり、利用するICにあわせて評価プログラムのパラメータを設定する必要がある。
- (5) JJYのタイムコードを再現する疑似タイムコード生成プログラムおよびTCO信号のパルス幅を集計分析する評価プログラムを開発し、標準信号発生器やGTEMセルおよび周波数カウンタと組み合わせて感度評価システムを構築した。

参考文献

- 1) 森川, “通信総合研究所の時間・周波数とその応用”, 長波標準電波シンポジウム集録, 2001, p1-5.
- 2) 近藤, 丸山, 大池, “電波時計用LSIについて”, 沖テクニカルレビュー 202号, 72, 2005, p88-91.
- 3) 木下雅貴, “電波時計受信用LSIの開発”, 長波標準電波シンポジウム集録, 2001, p22-25.
- 4) 独立行政法人情報通信研究機構日本標準時グループ <http://jjy.nict.go.jp/>

実 用 研 究

小 規 模 研 究

≡ 二 共 同 研 究

電気工事用作業工具の絶縁性能評価方法に関する調査研究

馬場 大輔* 天城 和哉**

A Research of Insulation Performance Evaluation Method of Handtools

BABA Daisuke* and AMAKI Kazuya**

抄 録

県内作業工具メーカーは、工場・事業所内設備の通電時における配線、工事、組み立て等作業において、短絡が原因となって発生する回路事故を防止し、かつ作業者を感電事故から守るために使用される短絡防止絶縁工具を共同で開発している。特徴は、使用上支障ない最小限の導電部を露出させるだけで、出来る限り絶縁コーティングで覆うことにあるが、その絶縁性に関する統一的な試験基準が確立されていなかった。そこで、短絡防止絶縁性能に関する試験基準を確立するとともに、この工具の普及啓蒙を計るため短絡防止絶縁工具協議会を立ち上げることにした。

1. 緒 言

電気配線工事等に使われるペンチやドライバーに代表される工具については、作業が安全・確実に実施されるために、電気絶縁性をはじめとした電気的安全性能の保証が不可欠である。これまで、絶縁工具で実施される試験は、IEC60900で示されているように活線作業中の人体への安全に重点が置かれ、作業者が主に触れる握り部を中心に行われているだけで、活線作業における工具による機器や電気回路への短絡事故については評価方法が標準化されていないという課題があった。そこで、県央技術支援センターでは、作業工具メーカーおよび長岡工業高等専門学校と協力して、電気工事・作業用途の絶縁工具の試験評価基準について、仕様を策定することとした。

2. 絶縁工具に関する状況

電気通信設備など停電確保が非常に難しく作業現場では活線作業を余儀なくされていた。このため、いくつかの絶縁工具製品が存在してい

る。絶縁方法として、(1) 金属を使用せず絶縁物だけの構造とする方法、(2) 機械的強度を必要とする部分は金属構造とし周囲を絶縁物で被覆する方法、(3) 従来の工具に絶縁被覆を施す方法がある¹⁾。県央地域の作業工具メーカーは、(3)の方法(ふっ素樹脂系の絶縁被膜)により、絶縁性を付与したトルクレンチ、ソケットおよびドライバー等工具の開発を行っている(図1)。外膜構造として、刃先以外はすべてコーティングしてあるため、従来からの人体の安全に加え、活線作業中の短絡事故防止機能も備えている点に特徴がある。



図1 ふっ素樹脂等で頭部まで極薄皮膜のコーティングを施した短絡防止絶縁工具の例

* 県央技術支援センター加茂センター

** 県央技術支援センター

3. 絶縁被覆材料の電氣的性能について

3.1 絶縁耐力評価試験

県央地区の作業工具メーカーで使用されている塩化ビニル製チューブと PFA（テトラフルオロエチレン・パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体）熱収縮チューブ皮膜について電気絶縁性能の材料評価するため、絶縁耐力試験を実施した。

3.2 試験条件

図 2 に試験方法を、表 1 に試験条件を示す。JIS C 2110「絶縁耐力試験」に準じ、5cm 正方形の試料の中心に球体の電極で挟みその間に AC15kV まで試験電圧を印加した。また試料を上下から押しあてた圧着力は重力で確保している。

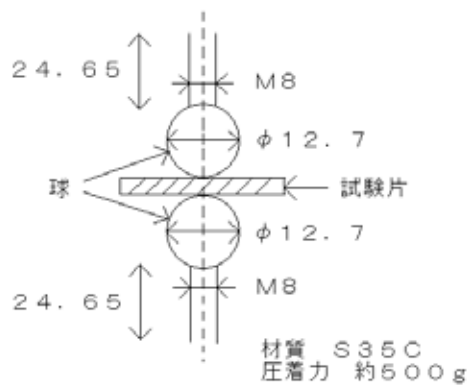


図 2 絶縁耐压試験方法

表 1 絶縁耐压試験条件

試料の厚さ	0.5mm
試験の周囲媒質の種類	大気中
前処理条件	気中処理(20°C/65%RH1h)
周囲条件	20°C/65%RH
電極の材質、寸法、形状および圧着力	図 2 の通り
電圧印加方法	耐電圧試験
印加電圧・電圧印加時間	MaxAC15kV 5sec
実施回数	5 回（それぞれ異なる位置）

3.3 試験結果

試料に 1kV ずつ AC15kV まで、試験電圧を印加し、どちらの材料とも絶縁破壊しない事を確認した。これより、塩化ビニル製チューブと PFA 製熱収縮チューブに十分絶縁耐力があることがわかった。今後は電圧値や試料の厚さなどをかえて試験し、データを蓄積する予定である。

4. 品質検査試験設備の開発

絶縁被覆材料の電氣的性能試験結果と絶縁性能試験法に関する調査により、製品の品質検査試験に用いる設備開発を作業工具メーカーと共同で行った。設計の留意点は、絶縁皮膜に覆われた工具の導電性部位に試験電極を接触させる際、絶縁皮膜近傍まで沿面距離をとること。また、もう一方の電極は絶縁皮膜の絶縁される部位全面を覆うことを主眼において試験設備を開発した。試験回路図を図 3 に、電極部詳細図を図 4 に示す。

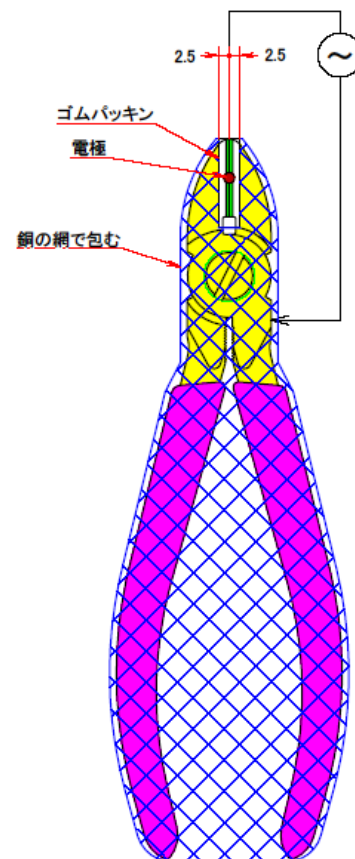


図 3 試験回路図

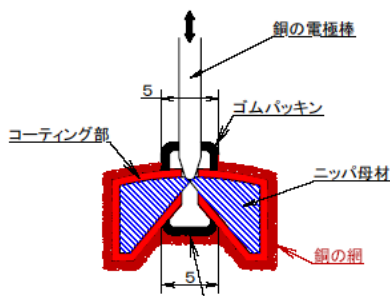


図4 電極部詳細図

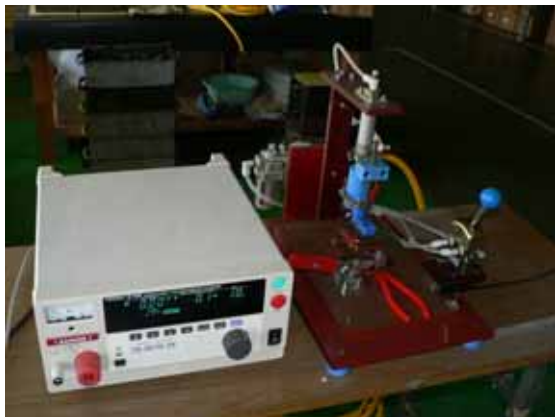


図5 品質検査試験機

図5は品質検査試験機である、銅の電極より母材に試験電圧最大10kVを印加し、銅板等外皮導電材間にリーク電流、絶縁破壊、火花放電がないことを確認する。

5. 短絡防止絶縁工具協議会（仮称）設立への取り組み

絶縁工具の多くは、人体の安全に重点を置いたもので、活線作業中の電気回路への安全に配慮がなかった。県内作業工具メーカーが商品化を目指す工具は、人体の安全のみならず工具が原因で起こりうる電気回路の短絡事故も未然に防ぐ機能をもっており、二つの機能を持つことから「短絡防止絶縁工具」と命名し、試験基準の策定と普及するための短絡防止絶縁工具協議会の設立が検討されている。県央技術支援センターでは作業工具メーカー、樹脂皮膜成形メーカー、長岡工業高等専門学校でメンバー構成し、電気工事関係者など多方面からの意見を取り入れながら短絡防止絶縁工具協議会準備検討会を立ち上げて準備を進めている。これまでに協議

会の設立趣意書（素案）を作成し、経済産業省の意見を伺うとともに「にいがた新技術・新工法の展示商談会」に出展し、市場の反響を調査し開発の方向性に間違いのないことを確認した。

5.1 設立趣意書

短絡防止絶縁工具の電気絶縁性能の向上を図り安全な社会と産業の発展に資することを目的に、以下の内容とすることとした。

- (1) 短絡防止絶縁工具の電気絶縁性能の向上に関する研究開発
- (2) 短絡防止絶縁工具の電気絶縁性能評価に関する研究開発
- (3) 短絡防止絶縁工具の電気絶縁性能の評価
- (4) 短絡防止絶縁工具の電気絶縁品質の保証体制の運営
- (5) 短絡防止絶縁工具の啓発・普及

5.2 経済産業省の意見

経済産業省素形材産業室から、全国作業工具工業組合の了解を得ることおよび入会希望者を制限しないことを条件に協議会の趣旨への賛同と、協議会入会の承諾を得た。

5.3 にいがた新技術・新工法の展示商談会

日立製作所およびそのグループ企業に県内企業の技術力を売り込むため、にいがた産業創造機構（NICO）主催で2005年9月8日、9日に東京にて開催された。短絡防止絶縁協議会準備検討会では、ふっ素樹脂等で頭部まで極薄皮膜のコーティングを施した工具を展示し、既存品と比較するとともに協議会の趣旨書を配布し関係企業への周知を図った²⁾。

今後ひきつづき作業工具ユーザーなど広く多方面から意見交換し、協議会の趣旨に賛同する会員を募っていく予定である。

5.4 表示マーク

協議会ではIEC60900製品と差別化するため、独自マークを考案し、製品に表示することとし

た。表示マークの作成には、にいがた産業創造機構から指導頂き、保証される電圧値を取り囲み安心をイメージしたマークを開発した（図6）。人体に影響のある部分には1000Vと表記し、短絡防止効果のある部分は電圧値は使用電圧によって変えるよう配慮した。（商標・サービスマークの申請済み）



図6 短絡防止絶縁工具協議会表示マーク

5.5 ユーザー意見交換会

電気工事関係者からの意見を取り入れるため、ふっ素樹脂等で頭部まで極薄皮膜のコーティングを施した工具を、主に電力系統配電工事を行っている県内企業に試用いただき使用感などについて意見を聞いた。

(1) ニッパについて

作業で使うペンチ、ニッパを見ると短絡させた跡がある場合があるのでこの工具を使うと事故を心配せず使用できる。（工事管理者）

(2) ドライバーについて

作業用のドライバーを見ると短絡防止のためビニールテープや熱収縮チューブを巻かれているので、この工具を使うと事故を心配せず使用できる。

(3) ラチェットレンチについて

トルクレンチもあればありがたい。また3つの工具に共通で、操作性が良い、現在使用しているものとコストに大差がなければ実使用を検討したい。

以上のような意見をいただいた。今後も通信、自動車関連など多方面のユーザーから意見を取り入れる予定である。

6. 結 言

- (1) 電気設備工事などで使用する工具の試験方法について、人体の安全を考慮した絶縁耐圧試験および電気回路の短絡事故を未然に防ぐ短絡防止絶縁試験の基準制定するため、短絡防止絶縁工具協議会準備検討会を開催した。
- (2) 短絡防止絶縁工具協議会準備検討会では日立製作所「にいがた新技術・新工法の展示商談会」で協議会の趣旨などを周知し、会員を募った。
- (3) これまでに短絡防止絶縁工具試験（案）を作成した。今後試験仕様詳細について議論を進める。
- (4) 平成18年度に短絡防止絶縁工具協議会（仮称）の設立の準備を進めている。

参考文献

- 1) 強崎暉朗，古屋一彦，森山栄治，井上恵右，永木康善，“絶縁工具の開発”，平成11年度電気設備学会全国大会論文集，1999，p261-262.
- 2) 日本経済新聞社，“絶縁工具，細かな作業安全に一新潟・三条などのメーカー5社，持ち手や先端工夫”，日本経済新聞，2005年9月16日付け朝刊，新潟経済面。

繊維製品への新規染色加工法及び機能性付与に関する研究

明歩谷 英樹* 五十嵐 宏* 毛利 敦雄* 山崎 武* 森田 渉*

Research of New Dye Processing Method and Functionality Giving to Textile Goods.

MYOUBUDANI Hideki*, IKARASHI Hiroshi*, MOURI Atsuo*,
YAMAZAKI Takeshi* and MORITA Wataru*

抄 録

本研究ではナノファイバーの紡糸を簡単な設備により可能にするエレクトロスピンニング法に注目し、この技術を用いて布への加工を試みた。加工方法や使用する素材によってどのような加飾形態になるか試験し、試作品を作製した。

1. 緒 言

近年、中国や台湾などの技術力向上に伴い、単一素材製品、単純製品は輸入により需要を満たすこととなり、さらに日本国内の繊維業界が得意としてきた中・高級品市場をも脅かす状況となっている。そのような中、県内繊維業界はアクションプランや独自の取り組みにより、更なる技術力向上を目指し挑戦し続けている。

我々は、県内繊維業界へ様々な技術シーズを提供することを目的に、新規染色加工及び機能性付与加工についての研究を行った。ここではエレクトロスピンニング法^{1)・7)}と呼ばれるナノファイバーを手軽に製造する技術を用いて、布に模様形状を付与するための手法を検討したので報告する。

2. エレクトロスピンニング法

エレクトロスピンニング法とは、次に挙げる工程によりナノファイバーを形成する手法である。①高電圧を高分子溶液の入ったノズルの先端と陰極の間に印加することにより、ノズルの先端にできた溶液滴が電場中で陰極側に引っ張られ、やがて陰極側に溶液の一部（ポリマージェット）が飛び

出す。②ポリマージェットは陰極側に達するまでに溶媒が蒸発し、その結果繊維が陰極側に不織布状で形成される。これがエレクトロスピンニング法と呼ばれる手法であり、簡単に直径がナノオーダーサイズの繊維を作成することができるといわれている（図1、2参照）。

この技術自体は1880年代のRayleighが電場中の液滴の形態変化を観察したのが起源とされ⁸⁾、⁹⁾、また、1971年にデュポン社のBaumgartenにより発表された論文¹⁰⁾が有名である。近年のナノテクノロジーブームにより再注目され、欧米はじめアジア各国、国内では信州大学や滋賀県立大学、新潟大学などで盛んに研究されてきている技術である。

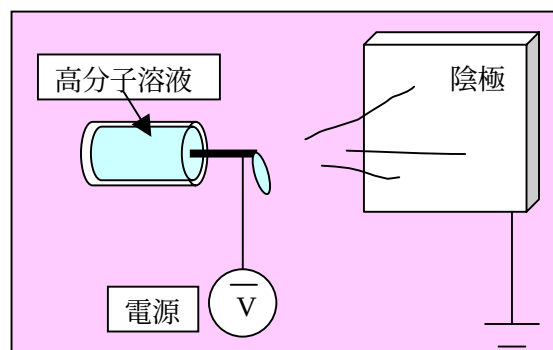


図1 エレクトロスピンニング装置

* 素材応用技術支援センター

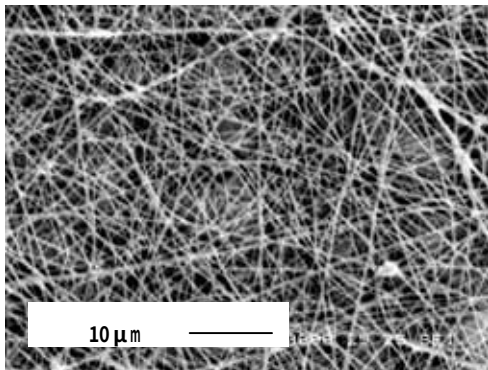


図2 エレクトロスピンニング法による加工糸

現在、この技術が多方面で応用されており、単なるフィルターとしての利用からリチウムイオン二次電池や電気二重層キャパシター用セパレーターへの利用、細胞培養用基材などへの展開が図られている。

我々はこの技術を織物や編み物といった衣料分野へ、布の加飾といった観点で提案できないか検討を行った。

3. エレクトロスピンニング法による布加工の開発

3.1 基本加工条件

当研究で行った基本加工条件を以下に示す。

(印加電場) 4kV/cm

: 直流電源にて 20kV を 5cm の電極間に印加した。

(陽極側) 5ml シリンジ

(陰極側) 銅板

: 銅板の一端よりアースを取った。

(加工時間) 模様が視認できるまでに約 3 分以上の加工が必要である。

3.2 加工法の検討

エレクトロスピンニング法を使って布へ加工するに当たり、①電極間に加工布を挿入する方法、②金属細線を用いた布を陰極とする方法の 2 つの方法について検討を行った。

3.2.1 電極間に加工布を挿入する方法

電極である注射針の先端と陰極（今回は銅板を

用いた）の間にターゲットである布を挿入した。電界が遮断される織物は加工ができないが、県内繊維業界が取り扱っている織り、編み物の厚み、組織であれば何ら問題はないと思われる。この方法を用いたモデルを図 3 に示す。

この手法を用いて PVA(ポリビニルアルコール)を加工した綿布を図 4 に示した。この加工法により安定して加工ができることがわかった。

また、加工布のしわ状態に変化を付けたり、マスクを掛けるなどすれば様々な模様が表現できることがわかった。

3.2.2 陰極に金属細線を用いる方法

陰極自身を導電性のある布にすることで加工が可能であるか試験を行った。このモデルを図 5 に示した。

金属細線 ($\phi 30\mu\text{m}$) とポリエステル加工糸を引き揃え、編み地としたターゲットに加工を行った。この編み地を用いるとクモの巣状にナノファイバーが付着し、立体的な加工ができた。このクモの巣状態を図 6 に示した。

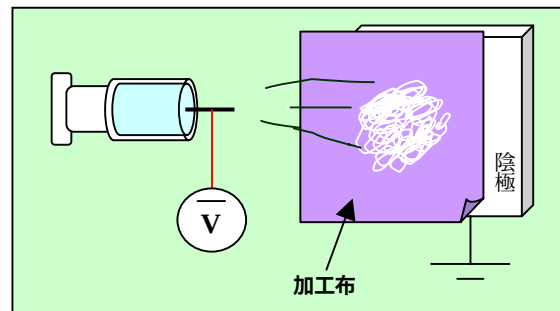


図3 電極間に加工布を挿入する方法



図4 PVA を加工した綿布

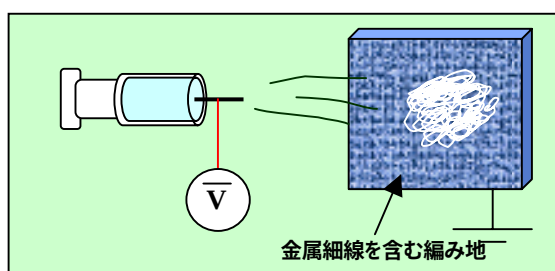


図5 陰電極に金属細線を用いる方法



図6 PVAを加工した金属細線入り編み地

以上加工法を検討した結果、電極間に加工布を挿入する方法や導電性素材を陰極にすることにより、布へエレクトロスピニング加工ができることがわかった。

3.3 各種素材による効果

エレクトロスピニング法を適用できる高分子素材と溶媒の関係については Zheng-Ming Huang らの論文¹¹⁾が詳しく示している。我々は、高分子溶液や加工布、印加電場を変化させることによって生じる布への影響を調査した。

3.3.1 高分子溶液による効果

表1に今回行った高分子溶液の組み合わせと濃度を示した。

表1 高分子溶液の組み合わせ

高分子	溶媒	濃度
PVA	水	10wt%
ナイロン	蟻酸	10wt%

3.3.1.1 高分子溶液にPVA/水を用いた場合

形成される不織布状の模様は柔らかく、拡大すると綺麗なナノファイバーが形成されることが分かった。しかし、PVAが水溶性であることから、水分により剥離してしまうことや、基布との結合の弱さから摩擦などに弱いといった点が挙げられる。

3.3.1.2 高分子溶液にナイロン/蟻酸を用いた場合

加工布に十分結合し水洗いにも耐えるが、加工後の素材が固い風合いを示した。

図7に示すように加工布のナイロンフィラメント表面に加工で付着したナイロンナノファイバーが確認できる。

3.3.2 加工布素材による効果

高分子溶液と加工布との組み合わせによって、どのような効果が発現するのか検討した。ここではターゲットを綿布、ナイロン布と変えてナイロンを加工した時の形状を比較した。

綿布に加工した場合、加工布はフラットであるのに対し、ナイロン布に加工した場合はターゲットのナイロン布が溶媒である蟻酸によって収縮し立体的な織物になった。(図8, 9参照)

3.3.3 印加電場による効果

印加電場を変化させることによって、布への加工にどのような影響が生ずるのか試験した。高分

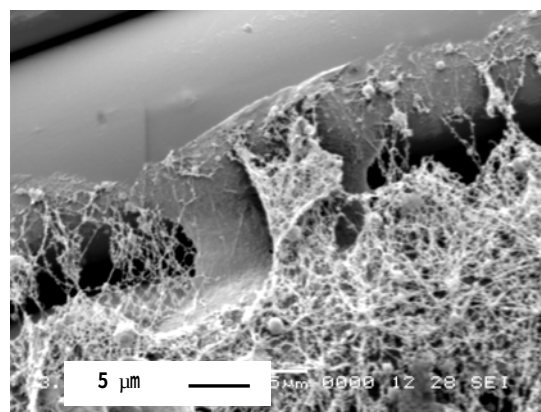


図7 ナイロンを加工したナイロン布



図 8 加工布素材（綿布）

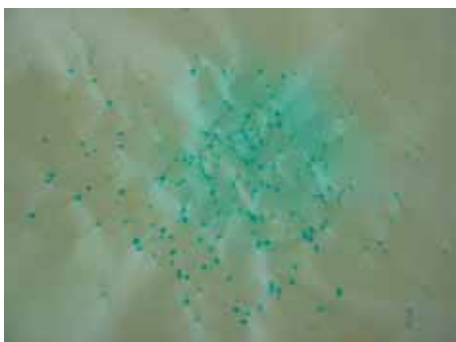


図 9 加工布素材（ナイロン布）

子溶液を PVA/水、ターゲットをレーヨン布として印加電場を変化させた時に形成される不織布状の模様の大さきについて試験し、その結果を図 10 に示す。

印加電場 2kV/cm まではほぼ一定の値を示しているが、それ以降は電圧増加と共に模様の大さきが大きく変化した。このように印加電場を変化させることで模様を変化させることに利用できるとがわかった。ある一定以上電圧を掛けすぎると、加工布が絶縁破壊を引き起こし焦げが発生したり、模様部に溶媒が飛びスポット状の欠点が発生することに注意が必要である。

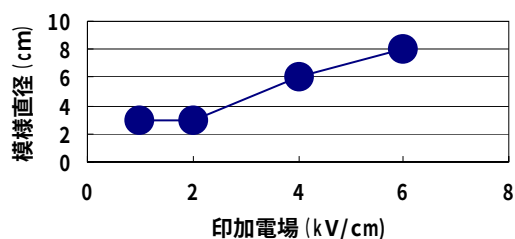


図 10 印加電場による模様直径の変化
(加工時間 3 分)



図 11 試作品

4. 試作事例

あらかじめ染色したレーヨン布に PVA を加工し、エレクトロスピンニングの特徴的な模様を付与した。
(図 11 参照)

5. 結 言

- (1) 電極間に加工布を挿入することや、導電性素材を陰極にすることにより、布へのエレクトロスピンニング加工が大がかりな装置を用意することなく、容易に可能であることがわかった。
- (2) PVA/水、ナイロン/蟻酸などの高分子溶液、およびターゲットの素材を組み合わせることにより、加工布にいろいろな模様や立体感の付与ができた。

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新潟大学 教育人間科学部 鋤柄教授に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 山下義裕, “エレクトロスピンニング法によるナノファイバーの創製 (その 1) ナノファイバーの作り方 (上)”, 加工技術, 40, 2, 2005, p101~103.
- 2) 山下義裕, “エレクトロスピンニング法によるナノファイバーの創製 (その 1) ナノファイバーの作り方 (下)”, 加工技術, 40, 3, 2005, p167~172.

- 3) 山下義裕, “ エレクトロスピンニング法によるナノファイバーの創製 (その 2) エレクトロスピンニングで作られたナノファイバーの出口 ”, 加工技術, 40, 4, 2005, p272~272.
- 4) 山下義裕, “ エレクトロスピンニング法によるナノファイバーの創製 (その 3) エレクトロスピンニングで機能性ナノファイバーを作る ”, 加工技術, 40, 6, 2005, p365~369.
- 5) 山下義裕, “ エレクトロスピンニング法によるナノファイバーの創製 (その 4) なぜナノファイバーができるのか ”, 加工技術, 40, 7, 2005, p447~450.
- 6) 山下義裕, “ エレクトロスピンニング法によるナノファイバーの創製(その 5)現状と将来 ”, 加工技術, 40, 11, 2005, p720~726.
- 7) 山下義裕, 田中皓, Frank Ko, “ エレクトロスピンニング法を用いたナノエラストマーファイバーの作成 ”, 繊維学会年次大会予稿集, 2004, 1F05.
- 8) L.Rayleigh, Philos. Mag.14,184,1882.
- 9) 大川浩作,山本浩之, “ 信州大学 21COE「先進ファイバー工学研究教育拠点」－新規な生分解性高分子材料の開発－ ”, 繊維と工業, 61,11, 2005, p311~312.
- 10) P.K.Baumgarten, J.Colloid Sci , 36(1), 71, 1971.
- 11) Zheng-MingHuang, Y.-Z.Zhang, M.Kotaki, S.Ramakrishna, Composites Science and Technology, 63, 2003, p2223-2253.

プラスチック等の添加剤の分析方法に関する研究

佐藤 亨* 木嶋 祐太*

Research on method of analyzing additives in plastics

SATO Tohru* and KIJIMA Yuta*

抄 録

プラスチックなどの高分子にはその性能を向上させるために多種類の添加剤が含有されている。本研究では、このような添加剤を比較的簡易に分析するための方法について検討を行った。パイロライザーにより試料を加熱し、揮発した添加剤を液体窒素によりトラップし、ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）で分析するという方法である。今回、ポリプロピレンを試料として実験した結果、温度条件によっては添加剤の分析ができることがわかった。

1. 緒 言

プラスチックをはじめとする高分子物質は各々の高分子に機能性を付与するために様々な添加剤が用いられており、同じ系統の高分子物質であっても添加剤により異なる性質を持つ。主な添加剤の一例^{1),2)}を表1に示す。

このような添加剤の分析を行う際は、通常、溶解、抽出などの前処理を行う必要がある。このような前処理には非常に時間がかかったり、何段階もの工程を踏まなければならないという

ような困難が伴う。そこで、本研究ではより簡易に分析する方法を検討した。具体的にはパイロライザーを使用し試料を過熱し、添加剤を気化させ液体窒素でトラップし、その後ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）で分析するという方法である。試料としてポリプロピレンのペレット（カクタス社製 MH540）を温度条件を変化させて分析を行った。

2. 実験

2.1 パイロライザーについて

表1 添加剤の種類

種類	効能	化合物等の種類
酸化防止剤	熱・酸素による劣化防止	フェノール系 リン系 イオウ系
光安定剤	紫外線による劣化防止	ベンゾフェノン 安息香酸エステル
金属不活性化剤	金属による劣化防止	オキシアニリド系
安定剤	PVCの脱塩酸防止	金属石けん エポキシ系
滑剤	滑性向上 離型剤	炭化水素 高級アルコール 高級脂肪酸 シリコン
可塑剤	柔軟性付与	フタル酸エステル エポキシ系
帯電防止剤	帯電の防止	界面活性剤
防曇剤	水滴付着防止	多価アルコール部分エステル
難燃剤	自消性付与	無機酸化物 有機ハロゲン系
強化剤	力学的特性向上	ガラス繊維 炭素繊維
充填剤	加工性向上 増量剤	シリカ アルミナ 炭酸カルシウム



図1 パイロライザー

* 上越技術支援センター

今回の実験では試料の測定の際にパイロライザーを用いた。図1にその概略図を示す。パイロライザーはホルダに入れた試料を熱分解炉の位置に移動させ、その炉温度での揮発成分をガスクロマトグラフへと導入する装置である。試料を熱分解炉へと導入しそのまま3分間保持する。その間に発生した気体は液体窒素でトラップする。その後、試料を元の位置に戻し、液体窒素をはずし測定を開始する。

2.2 実験条件

○使用機器：

・ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)

Automass II 50 (日本電子(株)製)

・パイロライザー

PY-2010D (フロンティア・ラボ社製)

○GC 条件

昇温速度 (°C/分)	温度 (°C)	保持時間 (分)
	50	1
30	200	20

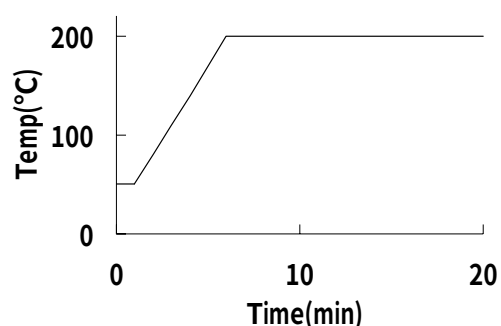


図2 GC 条件

○MS 条件

マススペクトル範囲：30~300(m/Z)

スキャン時間：0.3 秒

データ取込時間：40 秒~15 分

○パイロライザー温度条件：

260,280,300,320,340,360°C

○試料：ポリプロピレンペレット (PP)

2.3 結果

実験条件に示した各温度でのガスクロマトグラフチャートは以下の図3~5に示すとおりで

ある。特徴のある 260°C, 300°C, 320°Cの3つについてのみ示した。

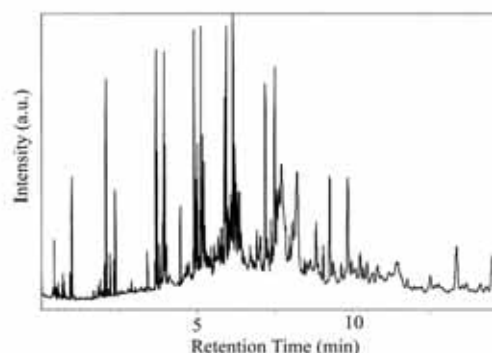


図3 260°Cの結果

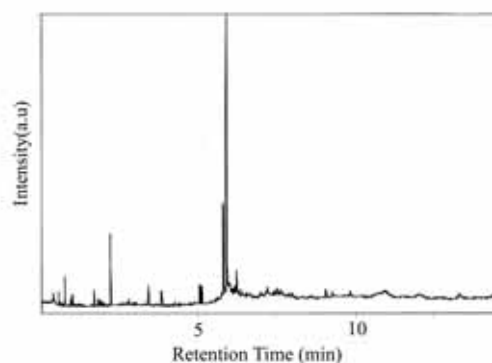


図4 300°Cの結果

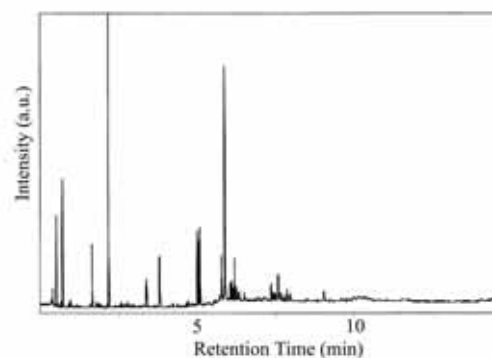


図5 320°Cの結果

2.4 考察

図3の260°Cのチャートにおいては多数のピークが確認できる。この中で最も強度の大きい6.2min付近のピークのマススペクトルの解析

結果を図6に示す。上段が測定スペクトル、下段が解析結果である。

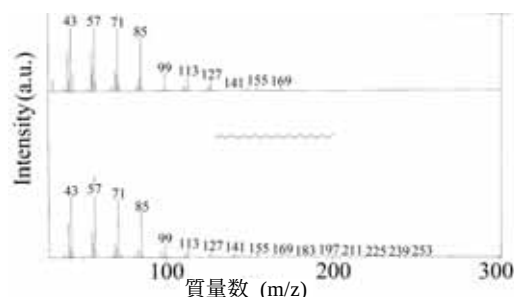


図6 260°Cのマスペクトルの結果

この結果からこのピークは Docosane 等の炭化水素であることが推測できる。これはおそらく滑剤等に用いられた炭化水素が検出されたのではないかと考えられる。

次に 300°Cのチャート（図4）についてであるが、5.9min 付近に強度の大きなピークが見られる。この点におけるマスペクトルの解析結果を図7に示す。

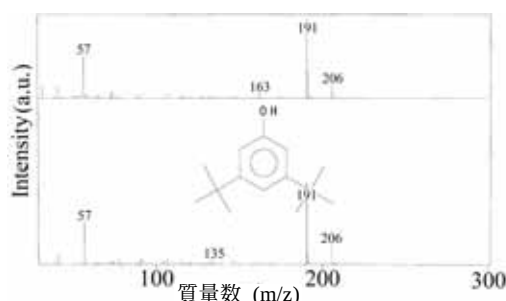


図7 300°Cのマスペクトルの結果

この結果からこのピークは 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-phenol であることが推測できる。これは PP の添加剤の1つであるアルキルフェノール系のラジカル連鎖禁止剤であり、酸化防止剤であると考えられる。300°Cのチャートにはこのピークが明確に現れているが、今回の温度範囲全体にわたってこのピークは確認できた。予備的な実験の結果からは 150°C付近から発生していると考えられる。しかしながら、この添加剤の分析および解析という観点から言えば

280～300°Cの温度範囲が適当であると考えられる。

320°Cのチャート（図5）に注目してみると、2.5min 付近に最も強度が大きいピークが現れている。この解析結果を図8に示す。

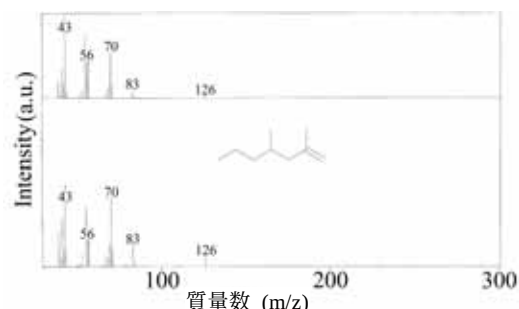


図8 320°Cのマスペクトルの結果

解析の結果からは、2,4-dimethyl-1-heptene などの炭化水素であることが推測できる。これは、温度などの条件から PP の分解生成物ではないかと考えられる。これ以上の温度になるとさらに多くのピークが現れる。このように適切な温度範囲を定めなければ必要とされる物質以外のピークが現れ、解析を困難にしてしまう恐れがある。

3. 結 言

パイロライザーを用いることにより、比較的簡易な方法で滑剤、酸化防止剤などのプラスチックの添加剤を分析することが可能であった。しかしながら、その温度条件によることが大きく、効率のよい分析を行うためには多種類の試料についての測定データの蓄積が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 大阪市立工業研究所，プラスチック技術協会，“プラスチック読本”，1954，p207-223.
- 2) 伊藤公正，“プラスチックデータハンドブック”，1980，p673-826.

ワンチップマイコンで構成するシーケンス制御機器の開発

木嶋 祐太* 本多 章作*

Development of a sequence controller using an one-chip microcomputer

KIJIMA Yuta* and HONDA Syosaku*

抄 録

PLC 言語（シーケンス制御用プログラム）を PIC マイコン用のアセンブラ言語に変換するプログラムを開発した。プログラミングのしやすさ、処理速度の観点から、STL（SFC を基にして作成される PLC 言語）を変換できるようにした。開発の結果、STL で PIC マイコンを動かすことができるようになった。本研究は、シーケンス制御を組み込みシステムに統合することを見据えている。

1. 緒 言

マイクロプロセッサの高性能化に伴い、より高度な機能をソフトウェア開発で実現できるようになっている。FA システムの分野においては、高速応答を必要とする制御機能や大量データ処理機能が組み込みソフト開発の対象となっており、ソフトウェア開発の適用範囲が拡大している。

シーケンス制御は多くの現場で用いられている。現場技術者はそのノウハウをもっているので、シーケンス制御には保守管理がしやすいというメリットがある。シーケンス制御は、PLC が使用されることが多く、PLC 言語によるプログラミングが主流となっている。

シーケンス制御を組み込みソフトで開発した場合、現場技術者が PLC 言語でプログラムを保守管理できなくなり、利便性が損なわれる。組み込みシステムにおいて、プログラムを PLC 言語で記述できる環境が構築できれば、現場の保守性を損なわずに他の制御機能と統合した組み込みシステムを構築できる。

本研究では、このような開発環境を構築することを目的として、PLC 言語ソースプログラ

ムをマイコンで動作させる方法を検討し、開発した。

2. 組み込み制御システム開発環境

本研究では STL をマイコン言語に変換するプログラムを作成したが、図 1 のような組み込み制御システム開発環境を想定した場合、変換プログラムはその一部として使用できる（図 1 のコード変換プログラム）。

制御システム開発者は、シーケンス制御プログラム（図 1 の PLC プログラム）を SFC とラダー図で記述する。それ以外の特殊制御機能やそれらの実行管理を統括するプログラム（図 1 の命令リスト以外のプログラムライブラリ）は C 言語などの構造化プログラム言語で記述する。それらは、マイコン開発環境でロードモジュール化されマイコンボードに書き込まれる。



* 上越技術支援センター

システム利用者（現場技術者等）は、必要に応じて SFC とラダー図を書き換え、制御システム開発者から提供されたマイコン開発環境でプログラムを再構築してマイコンに上書きできる。

3. マイコンによるシーケンス制御の実現法

3.1 PLC の動作

一般的に PLC の駆動方式はサイクリックスキャン方式、入出力方法はリフレッシュ（一括書き換え）方式が採用されることが多い。サイクリックスキャン方式では、図2のように入力要素読み込み、命令リストによる演算、出力要素書き出しを1サイクルとして順次繰り返される。

3.2 シーケンス制御の高速化

自動制御では、処理の遅れが致命的な誤動作を引き起こす可能性があるため、マルチタスク環境が想定される組み込みシステムでは、専用プロセッサを使用する PLC とは異なる独自の高速処理アルゴリズムを考案する必要がある。シーケンス制御の高速化には次の方法が考えられる。

(1) マイコン言語にアセンブリ言語を使用する。

シーケンス制御の命令リストはアセンブリ言語と同じくニーモニックを規定したもので、共に論理演算命令をもつため、命令リストからアセンブリ言語に変換することで冗長性が少なくなる。

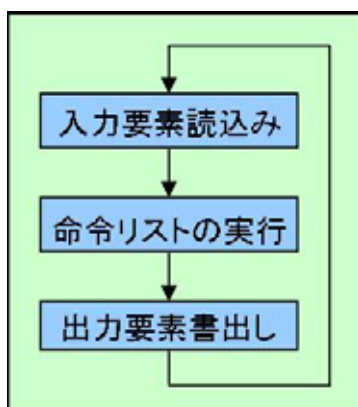


図2 PLCのシーケンス制御フロー

(2) シーケンス制御に SFC を使用する。

SFC は図3のような図である。PLC では、この図を用いてシーケンス制御をプログラミングすることができる。

図中の四角がステップをあらわしている。それぞれのステップ毎にラダー命令が書かれ、そのステップの時だけそのラダー命令は有効になる。ステップとステップの間に条件が書かれていて、その条件が ON になると次（上から下へ）のステップに進む。

SFC では、有効になっているステップ以外は無視できるため、その分高速化が図られる。

(3) シーケンス制御の駆動をイベントドリブン型とする。

要素（入力要素、出力要素、タイマ要素、内部リレー要素など）変更時だけシーケンス制御命令をスキャンし、余分なスキャンサイクルを省くことで高速化を実現する。それぞれの状態に出てくる要素のみ変更を監視し、変更があった時だけ命令リストの実行、出力要素書き出し（図2参照）を行う。

4. コード変換プログラムの試作と評価

4.1 コード変換プログラム試作

STL を PIC マイコン用アセンブラ言語に変換するプログラムを作成した。試作にあたっては、三菱電機の PLC 言語を使用した¹⁾。

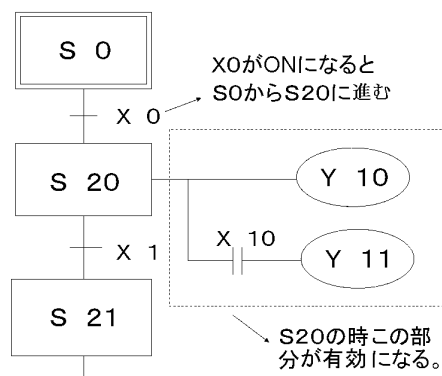


図3 SFC

4.1.1 STL

STL は、SFC を PLC で実現するための PLC 言語である。図 4 が図 3 の SFC から作成される STL である。

4.1.2 STL の実現

STL をマイコン上で実現する方法は、図 4 のフロー図の形で行う。存在するステップすべてにビットを割り当てて、ON ならそのステップである、OFF ならそのステップで無い、とする。そのビットすべてを監視し、ビットが ON の場合、そのステップでのラダー命令を処理するサブルーチンと呼ぶ。

4.1.3 ラダー命令リスト処理

ここでは、ラダー命令リストをアセンブラに変換する方法を説明する。この方法で作成され

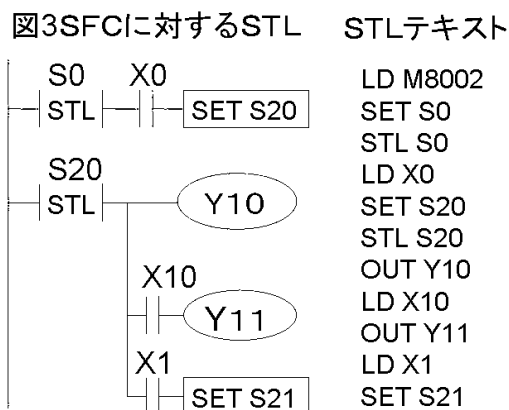


図 4 STL

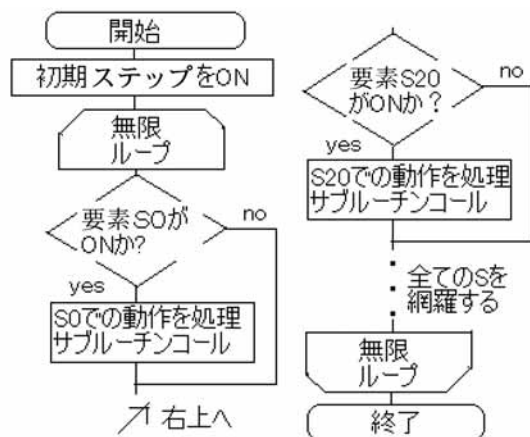


図 5 STL 処理フロー

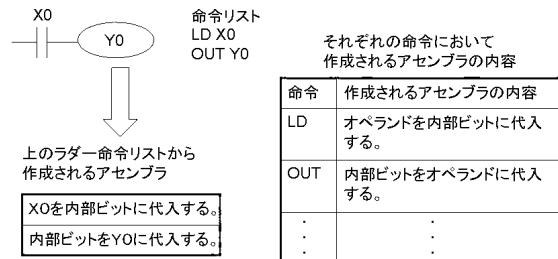


図 6 ラダー命令リスト処理

たアセンブラは、図 5 のサブルーチンコールで呼ばれるサブルーチンとなる。

ラダー命令リストの処理は、1 ビットの内部ビットを用いて行う。ラダー命令一つにつき、オペランド（もしくは内部ビット）を読んで、その値に応じて内部ビット（もしくはオペランドが指す要素）を変更する、という内容のアセンブラを作成する（図 6）。

4.2 変換プログラムの評価

4.2.1 動作検証

作成した変換プログラムで STL をアセンブラ言語に変換した。そのアセンブラ言語を PIC マイコンに書き込み動作させたところ、STL の意図と同じ動作をした。

4.2.2 性能評価

マイコンに書き込むプログラムのサイズは、基本プログラムが 1K バイトで、STL10 行につき 100 バイト増えた。

動作スピードを表 1 に示す。その動作スピードで、SFC を使用しなかった場合、PLC を使用した場合と動作スピードを比較してみた（表 2）。比較プログラムは、ステップが 50 でそのステップ内に AND, LD, OUT 命令がそれぞれ 10 個でてくるプログラムとした。SFC を使用したことで PLC に近い処理スピードになった。PIC より性能の良いマイコンを使えばさらに高速にすることができる。

表1 動作スピード

処理内容	処理にかかる時間
入力要素読み込み処理	5μ秒
STL処理(図5)	1μ秒×ステップの数
各ステップでの処理 (図6)	命令の種類・量によって変わる AND命令 1μ秒 LD命令 1μ秒
出力要素書き出し処理	30μ秒

表2 処理時間の比較

	PICで実施		PLCで 実施※
	SFC 未使用	SFC 使用	
1サイク ルの処 理時間	1585 μ秒	115μ 秒	70μ秒

※PLCは、1μ秒で2命令処理すると想定

5. 結 言

- (1) STL をマイコン言語に変換するプログラムを開発した。
- (2) シーケンス制御を組み込みシステムに統合する環境が想定できた。
- (3) 動作スピードは，工夫しだいで PLC に近づけられることが確認できた。

参考文献

- 1)浅野哲正，“図解シーケンサ百科”，オーム社，1990．

マイクロ・メゾ領域における 小型・超精密加工技術に関する調査研究（第2報）

坂井 朋之* 杉井 伸吾** 宮口 孝司* 丸山 英樹* 石川 淳** 中川 昌幸*** 樋口 智* 岡田 英樹****

Research of Technology for Ultra Precision Machining

SAKAI Tomoyuki*, SUGII Shingo**, MIYAGUCHI Takashi*, MARUYAMA Hideki*,
ISHIKAWA Atsushi**, NAKAGAWA Masayuki***, HIGUCHI Satoru* and OKADA Hideki****

抄 録

平成17年10月、ながおか新産業創造センター内にナノテク研究センターが設置され、超精密加工機が利用できる環境が整った。それに伴い、本年の調査研究は加工を主体とした研究となった。具体的な内容は、①県内企業の協力を得て行った射出成形用金型の試作と射出成形試験、②CAD/CAMの研修課題として行ったフレネルレンズの金型試作、③ダイヤモンドドリルを用いた超硬合金の微小穴加工実験、である。あわせてニッケルリンめっきの試作や金型のメンテナンス性向上を目指したDLC（Diamond Like Carbon）のコーティング試験を行った。

1. 緒 言

昨年度、新潟県内の超精密加工の動向について調査を行った。その結果、県内企業の多くは将来、超精密な加工技術が必要という認識はあるものの、そうした部品業界との繋がりがなく、設備投資に費用がかかることから参入できずにいることがわかった。

平成17年10月、財団法人にいがた産業創造機構により、ながおか新産業創造センター内にナノテク研究センターが設置された。センター内は超精密加工室とMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）加工のためのクリーンルームに分かれており、加工室にはファナック（株）の超精密加工機ROBONANO α -0iA（図1参照）及び三鷹光器（株）の非接触3次元測定装置NH-3SPが整備された。

本年度は超精密加工機を用いて、（1）射出成形用金型と射出成形試験、（2）フレネルレンズ金型

試作、（3）ダイヤモンドドリルによる超硬合金の微小穴加工実験、（4）ニッケルリンめっき試作、（5）金型のDLCコーティング試験、（6）無酸素銅・アルミ・モリブデンの鏡面加工実験、（7）企業からの試作相談などを行ってきた。

ここでは（1）～（3）の実験について報告し、（4）～（7）については結言のみの報告とした。



図1 超精密加工機 ROBONANO

2. 射出成形用金型の試作と射出成形試験

2.1 概 要

ポリカーボネートの樹脂部品に光の干渉による装飾効果をつけることを目的として、金型に微細なV溝加工を行った。加工した射出成形用金型を用いて射出成形を行った結果、成形部品に装飾効果が生じ、

* レーザー・ナノテク研究室

** 研究開発センター

*** 下越技術支援センター

**** 県央技術支援センター

微細な溝が転写されていることを確認した。但し、走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した形状には、バリの発生、倒れなどの問題点が明らかになった。

2.2 シャトルユニットについて

シャトルユニットはシェーパーと同じ動作で、直線的な溝加工を行う ROBONANO のオプションユニットである。リニアモータとピエゾ素子の上下動により最高で1秒間に3本の溝加工が可能である。シャトルユニット加工時の様子を図2に、加工の概略を図3に示す。

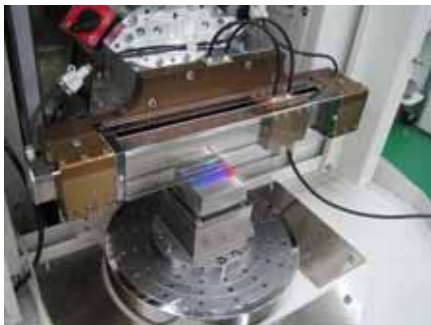


図2 シャトルユニット加工時の様子

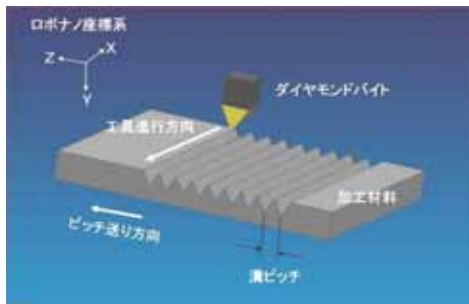


図3 シャトルユニット加工概略

2.3 射出成形金型の加工

金型材料は県内の企業から提供を受けた NAK80 調質鋼で大きさは 60mm 角である。実際の溝加工は上面につけたニッケルリンめっき層に行った。めっきは県外の超精密加工用めっきメーカーの共和産業（株）に依頼した。ニッケルリンめっきの仕様を表1に示す。めっき面は平面出し用ダイヤモンドバイトを用いて1 μ m ピッチで基準平面を出した後、開き角 90° の V 型ダイヤモンドバイトで溝加工を行った。V 溝のピッチは 1, 2, 3, 5 μ m の4種類である。90° の V 溝の切込み深さは各ピッチの半分である。1 度に加工する切込み深さは最大で 2 μ m ま

でとし、仕上げに 0.5 μ m の切込み深さとした。従って 1 μ m ピッチの溝加工のみ 0.5 μ m の切込み一回で終了となる。各溝ピッチの加工方法(切込み深さ)を表2に示す。加工の際には新日本石油（株）製の放電加工油を6秒に1回程度供給した。

表1 ニッケルリンめっきの仕様

厚 さ (μ m)	100
リン含有量 (%)	9.8
マイクロビッカース硬さ (HV)	541

表2 溝のピッチと切込み深さ

溝ピッチ	1 μ m	2 μ m	3 μ m	5 μ m
1 回目加工	0.5	0.5	1	2
2 回目加工	無し	0.5	0.5	0.5

(μ m)

2.4 金型および成形部品の SEM 観察

加工した金型とそれを用いて射出成形した部品を SEM で観察した。溝ピッチが 1 μ m と 5 μ m の金型の SEM 像を図4に示す。金型では 1 μ m ピッチにピッチ間隔が均等でない所があった。また観察したすべてのピッチの加工面にバリが観察された。

射出成形品の SEM 像を図5に示す。1 μ m, 5 μ m ピッチ共に金型の溝が転写されることが確認できたが、金型の奥まで樹脂が入り込んでいない部分がある事がわかった。また 1 μ m の射出成形品では山がわずかに倒れている。

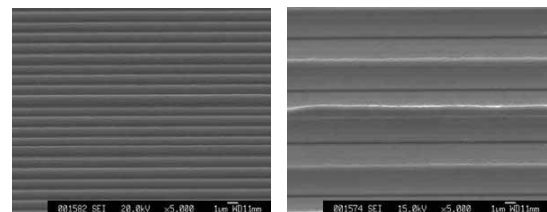


図4 金型の SEM 像

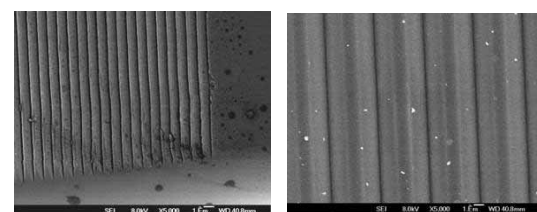


図5 射出成形部品の SEM 像

2.5 射出成形金型についての考察

1 μ m ピッチの溝加工ではピッチの間隔が不均等な部分が見られた。これは加工時の振動等による影響と考えられる。バリはすべてのピッチで生じていたが、バリの大きさはどのピッチでも大差がない。相対的にピッチが細くなるほど、バリの影響で形が崩れて見える。図6は意図的に切込みを過大にした際のSEM像である。大きなバリが生じ、そのバリが次の加工を行うバイトによって倒されていると考えられる。これほど極端ではないが、1 μ m ピッチの金型でも同様の現象が生じており、このため射出成形部品に倒れが見られたと推察する。

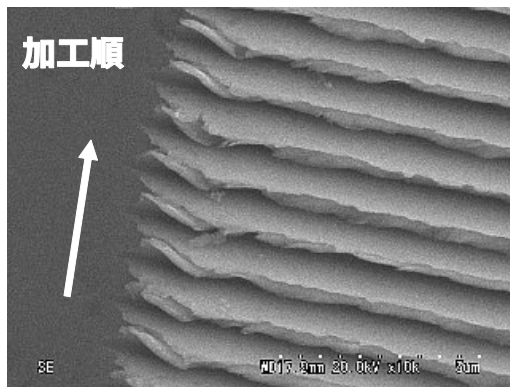


図6 切込み過大時のバリと倒れ

バリの発生を少なくするためには切れ味の良いバイトを使用し、1回の切込み量を小さくする事が重要と思われる。また図7に示すように1 μ m以下を切削するダイヤモンドバイトの先端形状は90°より開いた形状になっていた。このため、1 μ mのピッチに対して0.5 μ mは切込み過ぎだったと思われる。1 μ mピッチの溝加工では切込み過ぎによってバリが生じ、さらにバイト先端の開き角が90°より大きかったことで、発生したバリを倒してしまったものと考えられる。理想的には溝は図8のように必要最小限の深さであることが望ましい。しかし工具の先端形状を考慮し、さらにバイトと基準面との位置を正確に合わせることは目視では非常に難しい。正確な位置合わせを行うことが今後の課題である。

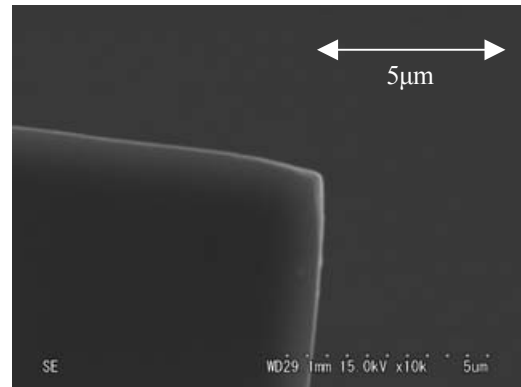


図7 ダイヤモンドバイトの先端形状

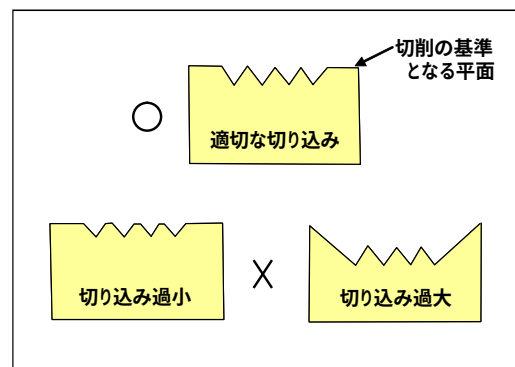


図8 適切な切込み量

3. フレネルレンズ金型試作

デジタルプロセス(株)のCAD/CAM導入支援事業に対し、フレネルレンズ金型の試作を提案し、設計から加工までのプロセスを検証した。

3.1 仕様

目標とするフレネルレンズの仕様を表3に示す。また、工具は単結晶ダイヤモンドバイト(開き角45°)を使用し、旋盤用スピンドルの回転数は2500min⁻¹とした。

表3 フレネルレンズ仕様

項	目	
外径寸法	D(mm)	50
プリズム角	θ (°)	0.5~54.0
逃げ角	α (°)	0.25~13.625
ピッチ	P(mm)	0.224
材料		銅めっき

※プリズム角については0.5°、逃げ角については0.125°ずつ増大するものとした。

3.2 加工結果および考察

図9および図10に加工結果を示す。

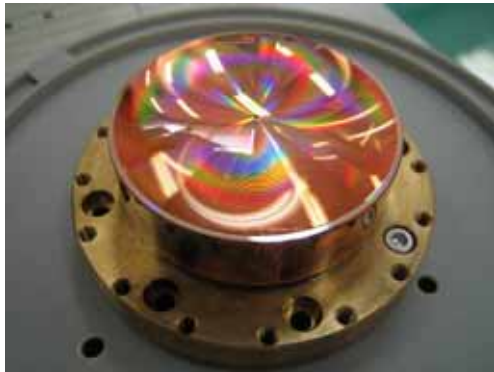


図9 加工後写真

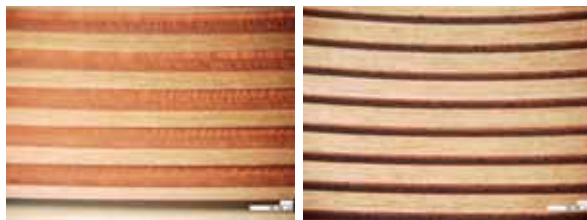


図10 加工後拡大写真

モデリング(CAD)からNCデータの生成(CAM), 加工機へのデータの引渡し, 実加工まで一連で確認することができた。また, 今回は連続旋削を行ったが, 切屑の排除がうまくいかずバイト上に堆積し, 結果としてスピンドルの回転数が落ちるという問題も確認できた。

4. ダイヤモンドドリルによる超硬合金の微小穴加工実験

硬度の観点から, 超硬合金の切削加工を可能にする現存する唯一の材料はダイヤモンドであるといわれている。本実験ではそのダイヤモンドのドリルを用い, 超硬合金の微小穴加工実験を行った。

4.1 加工材料および加工条件

加工材料および加工仕様を表4に示す。また穴加工は図11に示すとおり, ステップ加工を行った。

表4 加工材料および加工仕様

工 具	タンガロイ製 アキュエンドミル MEP 形φ18, 細軸長 l=1.2mm
被削材	共立合金製作所製 超硬合金 KD20 (1,450HV)
クーラント	間欠供給
目標穴寸法	直径 φ0.18mm, 深さ 1.0mm 止まり 穴

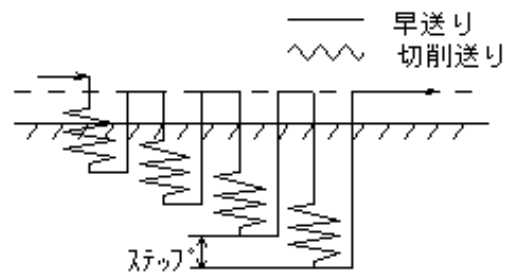


図11 穴加工プロセス

4.2 加工実験

表5に示す3通りの条件で実験を行った。

表5 実験条件

	工具回転数	ステップ量	送り速度
実験①	25,000min ⁻¹	4μm	10 mm/min
実験②	40,000min ⁻¹	4μm	0.5 mm/min
実験③	40,000min ⁻¹	1μm	0.5 mm/min

4.3 加工結果および考察

実験①・・・2 ステップ目 (8μm) で工具折損

実験②・・・10 ステップ目 (40μm) で工具折損

実験③・・・180μm まで加工。工具折損なし

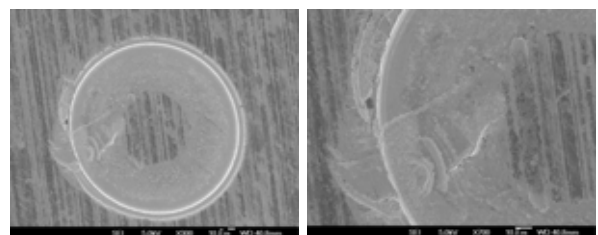


図12 加工後写真－実験①

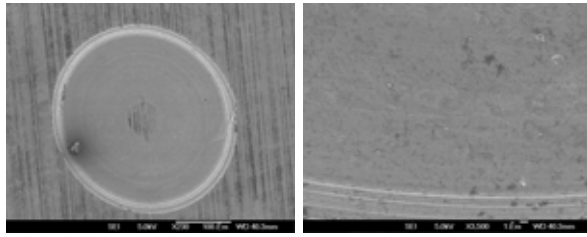


図 13 加工後写真－実験②

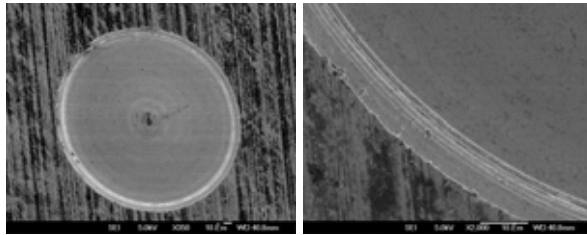


図 14 加工後写真－実験③

加工後の状態を SEM で観察した。SEM 像を図 12, 図 13, 図 14 に示す。

実験①について、加工穴底面の性状はかなり荒れており、工具で強引にむしり取った感じである。加工開始後すぐに工具折損に至ったことから、加工条件設定がかなり厳しかったと考えられる。

実験②について、円周方向に条痕が観察されることから、工具切れ刃を利用した切削が実現されていると考えられる。しかし、僅か 10 ステップで工具折損に至っていることから、加工条件設定がまだ厳しいと考えられる。

実験③について、穴入り口のバリの様子から、塑性流動を伴う良好な切削が実現できていると考えられる。さらに工具を取り外して観察したところ、切れ刃周囲に被削材の付着が見られるものの、顕著な摩耗、損傷などは確認されず、加工の継続は可能であった。しかし、深さ約 180 μm 加工するのに時間が 60 分程度もかかることから、実用化にはまだ多くの課題がある。

送り速度などの条件をかなり落とすことにより、高硬度脆性材料とされている超硬合金の塑性流動的な切削（穴加工）が実現できる。しかし、加工時間がかかることから、能率の面で放電加工などには及ばない。また、工具が高価であり、最適な加工条件の設定を求めることが困難であり、加工面性状などの点においては優位である可能性はあるものの、現状では実用化は難しいと考えられる。

5. 結 言

ROBONANO による超精密切削実験を行い以下の結果を得た。

(1) 射出成形用金型と射出成形試験

ROBONANO オプションのシャトルユニットを用いて微細 V 溝加工を行い、バリの問題点を確認した。さらにその金型を用いて射出成形を行い、最小 1 μm ピッチの微細溝においても良好な転写性があることを確認した。県内企業の既存射出成形機でも微細金型の適用が可能であることを確認した。

(2) フレネルレンズ金型試作

モデリングから実加工までの一連のプロセスを実際に行い、段取りや実加工に関わる問題点を確認できた。

(3) ダイヤモンドによる超硬の微小穴加工実験

ダイヤモンドドリルを用いた超硬合金の微小穴加工を行い、延性モードでの切削が可能であった。ただし、加工時間の面では放電加工に及ばない現状も把握できた。

(4) ニッケルリンめっき試作

現在の超精密加工用被削材として一般に利用されているニッケルリンめっきについて、専門メーカー（県外）と県内メーカーの現状、ニッケルストライクめっき層の密着性の問題を把握した。また工技総研で行ったニッケルリンめっきの試作では、母材との密着性に課題は残るものの、連続で厚さ 100 μm のめっきが可能であった。

(5) 金型の DLC コーティング試験

射出成形用金型のメンテナンス性を向上させる目的として、DLC コーティングを検証した結果、V 溝ピッチ 1 μm の微細溝において、コーティングによる形状の崩れなどは見られず、さらにはダイヤモンドペーストによるクリーニングにも良好な耐性を示した。さらなる実験は必要なものの実用の可能性は十分に確認できた。

(6) 無酸素銅・アルミ・モリブデンの鏡面加工実験

ROBONANO に装備されている平面切削用ダイヤモンド工具を用い、各種金属材料の平面加工を行った結果、それぞれにおける最適加工条件、クーラント方法などを把握できた。

(7) 企業からの試作相談

5 件の試作相談を受け、うち 2 件に関しては実際に試作を行った。試作相談を通し、企業ニーズや超精密加工分野の動向を知ることができた。

参考文献

- 1) 杉井伸吾他, “ マイクロ・メゾ領域における小型・超精密加工技術に関する調査研究 ”, 工業技術総合研究所工業技術研究報告書 No.34 (2005) , p.91-96

難加工金属材料の革新的生産システムに関する調査研究

齋藤 博* 相田 収平** 白川 正登*** 佐藤 亨**** 片山 聡**

Research of efficient production system on difficult-to-machine materials

SAITO Hiroshi*, AIDA Shuhei**, SHIRAKAWA Masato***, SATO Toru**** and KATAYAMA Satoshi**

抄 録

近年、自動車、電子機器、光通信、生体材料などの各種分野において、製品の小型化、軽量化および高機能化の要求が高まるなかで、高強度材料、耐熱合金など難加工金属材料の検討、適用が進んでいる。一方、製造コストや生産工程を革新的に低減する生産システムは、ゼロエミッション化技術とも関連して産業界で強く要望されている。そこで、素形材加工の生産システムを対象に、ネットシェイプ加工技術、精密プレス加工技術およびその関連技術について調査研究を行った。

1. 緒 言

環境問題などを背景に、自動車部品は、排ガス規制やハイブリッド化などに対応するため、小型化、軽量化、高機能化に加えてコスト削減が強く要求されており、製造コストや生産工程を革新的に低減する生産システムが要望されている。

製品を構成する部品は、材料に所望の形を与えて製造しているが、その手段には大きく3つの方法、すなわち除去加工（切削、研削、放電、レーザなど）、付加加工（溶接、めっき、コーティングなど）および変形加工（鍛造、プレス、鋳造など）がある。このなかで変形加工は、素材に熱や力を加えて加工するもので「素形材加工」と称され、加工品は「素形材」と呼ばれる。素形材加工のなかでも変形加工は、母型を用意すれば複雑形状品も効率よく大量生産できるため、種々の部品製造に広く活用されている。さらに変形加工は、除去加工や付加加工に使用さ

れる素材の製造法としても活用されているので、素材に形を与える重要な手法と考えられる。

従来、日本が得意としていた変形加工（以下素形材加工）の基盤産業は、近年、高度加工装置とともに中国、東南アジアを中心とした海外にシフトしており、新潟県企業においても、本分野の加工に対する取り組みの遅れが懸念されている。よって、県内産業の重要な位置を占める本分野の生産システムに積極的に取り組み、技術の高度化を実現し、製品の高付加価値化および産業の活性化につなげることが急務である。

そこで、素形材加工の生産システムを対象に、ネットシェイプ加工技術、精密プレス加工技術およびその関連技術について調査研究を行った。

2. 関連産業・市場の動向と将来展望

日本の素形材産業は、工業統計・産業編（平成14年度）によれば出荷額3.9兆円、従業員数17.7万人、事業所数7,300事業所の規模である。さらに、金型など製造業、素形材生産機械、金属熱処理業などの素形材関連産業の規模は、出荷額3.9兆円、従業員数23.0万人、事業所数14,000事業所である。金属系素形材の生産額合計は、平成2年の4.8兆円をピークに減少、微

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

*** 素材応用技術支援センター

**** 上越技術支援センター

減増を繰り返してきたが、最近2年間は回復に向かっており、平成16年度は3.8兆円になっている。主要機械工業別の素形材の用途は、鍛造製品全体の出荷先は約8割が自動車産業と土木建設機械産業、一方、金属プレスの7割を自動車産業が占めており、製造コストの削減、品質および精度向上の要求は年々高くなっている。今後とも、技術開発を推進することにより、コスト競争力をつけることが需要拡大につながる。自動車部品の加工を行うには、高度な鍛造技術、プレス技術、鋳造技術などの基盤技術が要求され、新潟の技術力を活かすことができる領域であり、さらなる生産性の向上、品質の向上が望まれている。

3. 調査研究の結果

素形材を対象にした生産システムは、素形材加工技術の範囲が広く、加工精度も工業製品の種類によりmmオーダーから μm レベルまで広範囲である。今回の調査研究では、本県の産業構造、技術水準などを勘案し、自動車部品素材を中心に、主に冷間鍛造、鋳造技術（半溶融・半凝固加工）および精密プレス加工技術（サーボプレス）を対象に調査研究を行った。また、関連する重要技術として、シミュレーション技術、リサイクル技術についても調査した。

3.1 冷間鍛造

3.1.1 概要

冷間鍛造は、常温の素材を圧縮成形するため、温間鍛造、熱間鍛造と比較して寸法精度の良好な鍛造品が成形可能で、後工程の加工量も減少させることができる。鍛造と切削を組合せる場合、鍛造コストに比べ切削コストが大きいので、切削工程を削減して全生産コストを下げるように、製品に近い形状（ニアネットシェイプ）に鍛造する精密冷間鍛造方法が開発されてきた。最近では、さらに進んで、最終形状（ネットシェイプ）まで鍛造だけで加工することが求められるようになっている。切削加工の加工精度は、

1 μm 以下を達成しており、これにともないネットシェイプ精密鍛造では寸法精度1~10 μm の高精度加工を行うことが目標になる。しかし、現在の精密鍛造においては、20 μm 程度の寸法精度が大量生産で保証できる限界であり、今後一層の技術開発が求められている。本調査研究では、自動車エンジン部品を想定した冷間鍛造品について、試作研究およびシミュレーション解析を行ったので概要を述べる。

3.1.2 冷間鍛造実験および加工品評価

自動車エンジン部品を模した製品（図1）を対象に、（株）川崎製作所（三条市）において冷間鍛造実験を行った。製品材質はS15C、金型は超硬合金である。本製品は、県内T社が2008年排ガス規制対策部品として受注を開始しようとしているもので、切削加工での対応を検討している（実際の大きさは約1/3）。

図2に実験結果を示す。比較的良好な冷間鍛

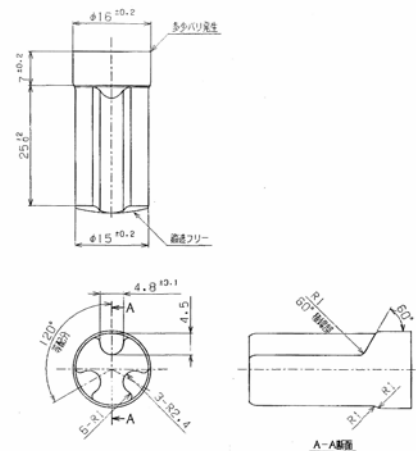


図1 冷間鍛造部品



図2 実験結果（製品およびコメント）

造が可能であったが、製品化にあたっては、軸方向の長さ精度、潤滑切れ、小 R 部精度などが課題になることが分かった。

3.1.3 冷間鍛造シミュレーション

前項の冷間鍛造実験を有限要素法解析による鍛造シミュレーション（MSC.SuperForge 使用）で評価した。図 3 に解析モデルを示す。材料は S15C とし、MSC.SuperForge の材料データベースに登録されている材料定数をそのまま用いた。金型は剛体とした。図 4 に充填状況を示す。下端部の状況は、実験と比較的近い結果を示している。また、図中囲み部に示すように、断面 A のほうが断面 B に比べて、ダイへの密着度が大きいことが分かる。これは鍛造上り形状において、断面 A のダイ側素材の押出される量が、同じ断面の中央素材や断面 B と比較して少ないことから分かる。この差が実際にどの程度かによって、ダイへの付加状況や金型寿命を検討することが可能になるといえる。図 5 は降伏点応力分布図である。断面 A と B を比較すると、断面 B のダイ側素材の加工効果の度合いが大きいことが分かる。つまり、ダイ円周外側への素材の変形がしにくくなり、密着度が低くなると考えることができる。この結果は、図 4 に示した充填状況の結果を裏付けるものとなる。なお、今回の解析では金型は剛体としているが、剛体であっても金型壁面に発生する反力を調べることで、金型寿命をある程度予測することは可能である。

3.2 半溶融・半凝固加工

3.2.1 概要

鑄造や鍛造などの素形材産業においては、国際的な価格競争と技術競争の厳しい環境におかれ、その衰退が危惧されるとともに、その革新的な生産プロセスの開発が急務とされている。その 1 プロセスとして、固体と液体が共存したシャーベット状態（固液共存状態）で加工を行う半溶融・半凝固加工が注目され、複雑形状部

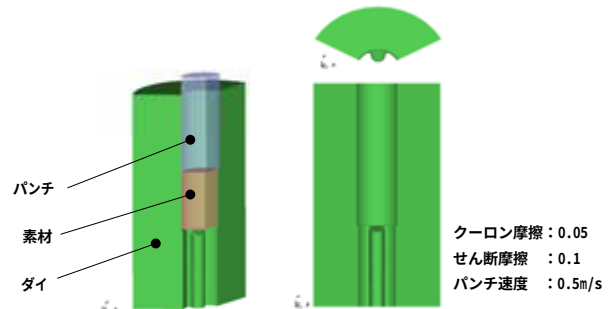


図 3 解析モデル

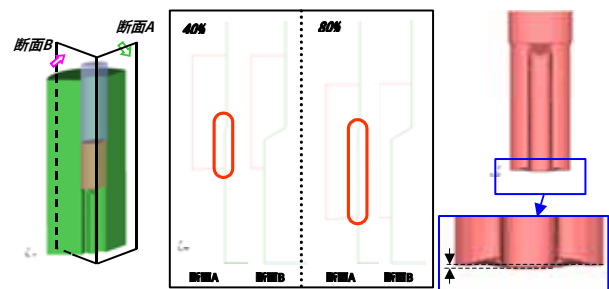


図 4 充填状況

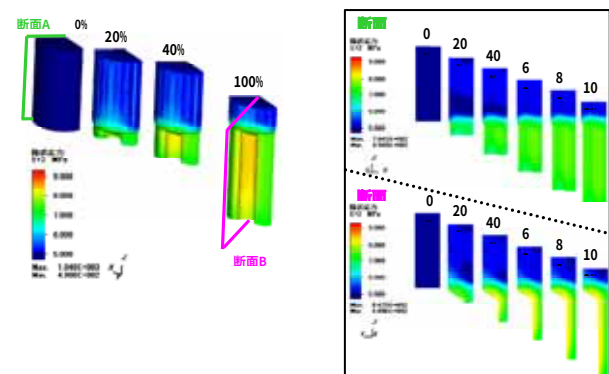


図 5 降伏点応力分布

品のネットシェイプ・ニアネットシェイプ加工が期待されている。本調査では、軽金属および鉄系材料における半溶融・半凝固加工の現状について調査を行い、その可能性について検討を行った。

3.2.2 軽金属の半溶融・半凝固加工

ダイカストなどの軽金属鑄物製品は、従来、カバー類などの強度が重要視されない所に多く用いられてきたが、軽量化の波により、強度や靱性が要求される部品へと採用され始めている。このような中、ダイカスト品や鑄造品の品質、

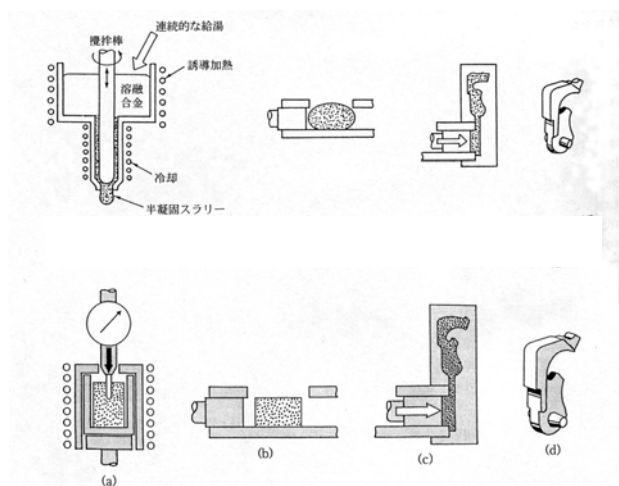


図7 半溶融加工法（チクソキャスト法）¹⁾

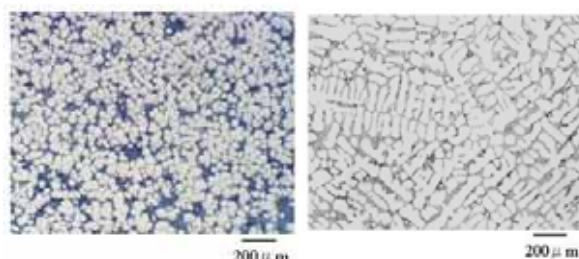
材質向上を目的として、半溶融・半凝固加工の研究が進められている。この半溶融・半凝固加工法は、1970年代にアメリカ Massachusetts 工科大の Flemings らや東京大学生産技術研究所の木内らによって研究されはじめた技術であり、溶融金属中に固体金属粒（固相金属）が均一に分散した状態を作り、それを金型鑄造やダイカストなどで成形加工する方法である。

半凝固加工は、溶融金属を冷却しながら攪拌して、溶融金属中に球状の固相金属が均一に分散した半溶融スラリーを作り、これを直接成形する方法のことをいう¹⁾（図6参照）。この攪拌方法としては、機械的攪拌のほか、電磁攪拌、機械振動、超音波振動などの種々の方法およびそれらの複合による方法が試みられている。一方、半溶融加工とは、固体金属を固液相共存温度まで加熱し、溶融した金属中に未溶融の固体金属粒が分散した状態で成形する方法のことをいう¹⁾（図7参照）。実際には、前者のような「溶湯」→「半凝固スラリー」→「成形」の直結化は実用的プロセスとして難しく、半凝固スラリーを連続鑄造法により一度冷却凝固させて棒状素材とした後、切断してビレット化し、再加熱して半溶融化した後に、加工機に投入して成型する後者の方法が多く用いられてきた。これらの方法により作られた素形材は、通常の液体金属の成形に比べ、以下のような特徴を示すと言われている。

- ①成形時の凝固収縮が小さく、寸法精度が高い。
- ②粘性が高く、成形時のガス巻き込みが少なく、ガス欠陥が少ない。
- ③凝固組織が微細な粒状晶となるため、伸びなどの機械的特性が向上する。
- ④金型の狭小な部分への固相の充填性が良く、マクロ偏析が軽減される。
- ⑤金型などの加工工具への熱負荷が減少し寿命が向上する。
- ⑥変形抵抗が小さく、難加工材の成形が容易である。
- ⑦異種材料との混合が容易で、新しい複合材料を作ることができる。

3.2.3 半凝固金属製造技術

日立金属（株）では、縦型ダイカストマシンを用いて電磁攪拌ができるスリーブ内に電磁ポンプで直接溶湯を給湯し、冷却過程で初晶形状を粒状化したのち鑄込む半凝固ダイカスト法（SSM 製法）を開発した²⁾。この方法により、ビレットを必要としない加工が可能となり、ガスの混入量が少なく T6 処理、溶接が可能になった。金属組織写真を図8に示す³⁾。同方法により、重要保安部品である自動車のサスペンション部品が生産されている³⁾（図9参照）。



宇部興産機械（株）は、溶湯から直接半凝固状態の金属スラリーを1ショット分ずつ容器内で作るニューレオキャスト法（NRC 法）を開発した⁴⁾。融点に対する過熱度が 30℃未満の融点直上の結晶微細化剤 Ti が添加された溶湯を金属容器に静かに注湯し、液中に結晶核を発生させる。目標成形温度まで容器外部からエアブローにより所定の速度で冷却する。容器内部の半凝固スラリー各部位の温度を均一にするために、注湯直後の温度が低い、あるいは冷却しやすい部位をセラミックにより保温し、容器内のスラリー温度が目標値に近づいた段階で最終の温度調整のため、高周波誘導装置を使用する。このあいだ、容器内面において発生した結晶核を起点として球状結晶が液中に発生して成長する。機械的性質は熱間加工材に近いなどの報告がある。収縮巣、偏析の発生が少ない、金属組織が細かい、酸化物の混入が少ないなどの優れた品質上の特徴を有すること、半凝固状態で成形するため高サイクルでの成形が可能であることから、低コストの成形法として自動車軽量化に対応できる方法と考えられている。

3.2.4 高融点金属の半溶融・半凝固加工

高融点金属の半溶融・半凝固加工は、（1）高温・高圧に耐える型材料に十分なものがない、（2）高温環境による成形加工機への負荷、（3）高温域での正確な温度制御や均一加熱が困難、などが問題となり、実用化された例はほとんど無い。材質的には、固液共存状態を安定して実現するために、液相線温度と固相線温度との差が数十℃以上あることが望ましく、そのため対象となりうる高融点金属は各種鋳鉄、高炭素鋼および高合金鋼に絞られる。

国内における半溶融・半凝固加工の事例を以下に紹介する。

・鋳鉄の半溶融ダイカスト法（チクソ成形）

虹技（株）では、鋳鉄の半溶融成形用ビレットの製造から半溶融ダイカスト、その後の熱処理までの一貫プロセスを開発している⁵⁾。プロ

セスの概要は、連続鋳造法によるビレットの製造、ビレットの再加熱とダイカストマシンによる成形、最終工程で熱処理を施し完成となる。

水平連続鋳造法を用いることで、成分変動が小さく、微細均一な組織のビレットの製造が可能となったと報告されている。成形時には、ビレットを高周波誘導加熱により半溶融温度域に再加熱し、ダイカストマシンにて成形する。成形時の金型には、熱伝導性と強度に優れるベリリウム銅を用い、水冷を施すことで、熱応力が低減され、鋼製金型に比べ数倍以上の耐久性が得られている。

・遷移制御セミソリッド鋳造法

厳密には半溶融・半凝固加工とは若干異なるが、鋳鉄溶湯が液相から液相－固相共存状態になる過程を制御して、鋳造組織をセミソリッド化（遷移制御セミソリッド化）することにより鋳物の特性を向上させ、薄肉軽量鋳鉄鋳造品を対象とした鋳造技術である⁶⁾。

同技術の実用化を目指し、戦略的基盤技術力強化事業（独立行政法人中小企業基盤整備機構法）「ロストフォーム法による鋳鉄の遷移制御セミソリッド鋳造法及びロストフォーム用金型技術に関する研究開発」（平成 15～17 年度、管理法人：財団法人素形材センター、研究参画企業・大学：三重可鍛工業（株）、新東工業（株）、ダイセン（株）、大藤（株）、名古屋大学）が行われている。同研究は、減圧補助機構をもつロストフォーム鋳型に、鋳鉄溶湯を通常（約 1,450℃）より 200℃程度低い遷移制御セ

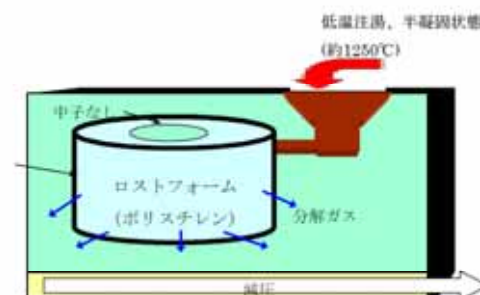


図 10 遷移制御セミソリッド鋳造法の概念⁶⁾

ミソリッド温度領域で注湯して、ダクタイル鋳鉄異形管の肉厚を現行 10mm から 5mm まで薄肉化することを目標としている。低温で鋳造することにより湯流れ性が悪くなるため、金枠内を減圧し溶湯の湯流れ性を向上させることを目論むとともに、発泡模型が分解するときに発生するガスを金枠外に排出するなどの工夫がされている（図 10 参照）。

3.3 サーボプレス

国際的な競争の激化にともない、プレス加工分野においても、低コスト化と高付加価値化がキーワードとなっている。近年、注目を集めているサーボプレス機械は、CNC による自在なモーションコントロールや高精度の位置制御などによる、難加工材の高精度加工などを容易に実現できる可能性を持った、新しい概念のプレス機械である。従来のプレス機械（特にメカプレス）と比較した場合の大きな特長は、CNC による自在なスライドモーションが可能、スライド速度を自由に可変可能、下死点位置などの制御を高精度に設定できるなどである。また、特に抜き加工時に材料板厚の 85～90% のところで止めることにより、静音抜きが可能である。

なお、全国で 2000 台といわれるサーボプレス所有数（2006 年 1 月現在）に対して、県内は約 20 台（1%）と少なく、作業者の熟練技能に依存している状況がうかがえる。

3.4 シミュレーション

近年、ハードウェアの進歩にともない、製品開発・設計段階におけるシミュレーション技術導入が急速に進んでいる。コスト低減や短納期化の実現だけでなく、新技術開発の分野においてもシミュレーション技術は必須となってきたため、その最新技術動向を調査した。

3.4.1 強度シミュレーション

最近のソフト開発の傾向として特に顕著なのが、強度解析ソフトと 3 次元 CAD との親和性

向上である。例えば、SolidWorks には有限要素法解析モジュール（CosmosWorks/Express）が標準で付属しており、部品単体の線形強度解析であれば構造解析ソフトを別途起動することなく SolidWorks 上のコマンドより実行することができる。汎用有限要素法解析ソフト ANSYS においても 3 次元 CAD との親和性を高めた GUI モジュール ANSYS Workbench が用意されている。SolidWorks とは違い、3 次元 CAD とは別に起動する必要があるが、ANSYS Mechanical などの ANSYS 本体の解析モジュールを活用することで、アセンブリモデルの接触問題や材料非線形問題、熱伝導解析を取り扱うことが可能となっている。従来の ANSYS GUI との大きな違いは、CAD モデルから接触面を自動認識する機能や設計変数による最適設計値を CAD モデルに反映させる機能を有する点である。ただし、これら 3 次元 CAD との親和性を高めた強度解析モジュールでは非等分布荷重の適用や時刻暦応答解析など、難易度の高い解析は行うことができない点に注意が必要である。

3.4.2 プレス加工シミュレーション

プレス加工シミュレーションは汎用有限要素法解析ソフトにおいても解析可能であるが、プリポストをプレス加工専用のカスタマイズされたソフトが発売されており、そちらを使うのが一般的である。準静的問題として扱うことができるようなプレス加工であれば、陰解法ソルバーでも解析可能であるが、ひずみ量が大きくなった場合に収束性が低下して解析が発散する傾向にあるため、これらのソフトの多くは解法に陽解法を採用している。陽解法は陰解法のように力の釣り合い方程式を解くのではなく運動方程式を解くため、計算が発散することがないという利点がある。その一方で、材料の減衰性や後述する時間ステップサイズの極微小化などの問題があり、求解には陰解法による解析とは違ったノウハウが必要となる。陽解法を採用するソフトのソルバーは LS-DYNA を用いるものと、

独自ソルバーを備えているものに大別される。どちらのソルバーを用いても、しわおよび割れの予測は実用レベルにあり、大手自動車関連企業では複数本のソフトを所有して使い分けているようである。特に、陰解法によりスプリングバック解析を行う場合には、陰解法ソルバーとの親和性の高い LS-DYNA が多く用いられるようである。プレス加工シミュレーションにおいて、最大の技術課題となっているのはスプリングバック解析の精度向上である。自動車用ドアパネルなど、高張力鋼板の大型製品プレス加工において、特に積極的な研究が進められているが、新規の製品形状に対する信頼度においてはまだ実用レベルに達していないのが現状である。

また、マグネシウム合金のような温度依存性の高い材料では、加工温度というのは重要な要素となる。熱との連成解析におけるスプリングバック解析は、板材開放時の放熱速度による材料定数変化も考慮せねばならず、従来以上に問題が複雑となり、非常に技術ハードルの高い課題であるといえる。

3.4.3 鍛造シミュレーション

鍛造シミュレーション専用ソフトとして国内で取り扱われている代表的な製品は MSC.SuperForge と DEFORM である。MSC.SuperForge は有限体積法、DEFORM は有限要素法を用いている。2次元モデルの鍛造シミュレーションであれば、汎用有限要素法解析ソフト MSC.Marc、ANSYS、LS-DYNA などでも可能であるが、要素が異常変形した際の再メッシング機能を3次元モデルでも精度良く行える点において、上記2本のソフトは優れている。また、鍛造シミュレーションにおいては製品の完成形状予測だけでなく、鍛流線による欠肉・巻きこみの確認や金型寿命予測などを行うことも目的としているため、ポスト機能において、それらの確認を容易に行えることもソフト選定における重要な要素となる。鍛造シミュレーションで取り扱われる事例の多くは冷間鍛造である。熱間鍛造に

おいてもシミュレーションに対するニーズは高いが、高温域の材料定数データベースの不足や伝熱効果などの技術課題を抱えており、実用レベルには達していない。

3.4.4 鋳造シミュレーション

鋳造シミュレーションにおける解析内容は、湯流れ解析（充填解析）と凝固解析に大別される。注湯位置や注湯圧力による流れ状態を確認するだけであれば、湯流れ解析だけで十分であるが、最終的な製品形状を予測するためには、冷却後のヒケなどを確認する必要がある、そのためには凝固解析が必須となる。

国内で使用されている鋳造シミュレーションソフトは、MAGMASOFT、Procast、JSCAST、ADSTEFAN などである。ソフト開発の傾向として、MAGMASOFT と Procast は構造解析ソフトとの連携強化、JSCAST は GUI のユーザ親和性向上、ADSTEFAN は大規模モデル（1億メッシュ）の高速求解の開発に力を入れている。なお、鋳造シミュレーションは構造解析ベースのものに比べメッシュ数が多い（数十万～数千万メッシュ）のが普通であり、シミュレーション分野においてハードウェアのクラスタ化が最も進んでいる。そのため、ハードウェアが高価になり、中小企業への普及の障害となっている。

3.5 金属リサイクル

鉄、アルミニウムなどのベース金属のリサイクルの大部分は希釈により行われている。すなわち、使用後、回収された金属を基成分のみに注目し、分離不能な添加成分を害にならない程度までバージン材などで希釈して使用方法である。しかしながら、このような方法をとる場合、二次精錬の能力を超える多量の添加元素を含むものや、成分調整の困難なものはバージン金属とは異なった用途に使われる。これに対し、合金の基成分も添加成分も含まれるすべての成分をその組成のまま再利用しようとするのが Alloy to Alloy である。すべての成分を

利用するという点では Alloy to Alloy がリサイクルの理想形ではあるが、実際には、再溶解時の成分移動など技術的な課題は多い。現状では、電線、鉛蓄電池などほぼ単一成分に近く組成の決まっているもの、工場内部の自家発生屑の再溶解などに限られている。

一方、レアメタルのリサイクルは、80%近くの高いリサイクル率を示すものから、ほとんどリサイクルされていないものまで様々であり、抽出によるリサイクルが技術的に困難であるものも多い。また、回収される形態もガラス、セラミックス、複合材、薄膜、積層構造、超微粉など様々である。

4. 結 言

- (1) 冷間鍛造は、温間鍛造、熱間鍛造と比較して寸法精度の良好な鍛造品が成形可能である。後工程の加工量も減少させることができるため、切削工程を削減して全生産コストを下げる取り組みが活発であり、製品に近い形状（ニアネットシェイプ）から、さらに進んで最終形状（ネットシェイプ）まで求められるようになっている。冷間鍛造機械（サーボプレスなど）、潤滑剤、工法、熱処理、材料開発などを総合した開発が重要である。
- (2) 鋳造、鍛造分野の素形材産業においては、国際的な価格競争と技術競争の厳しい環境におかれ、その革新的な生産プロセスの開発が急務である。解決手段の1つに半溶融・半凝固加工が注目されており、軽金属分野で適用が進んでいる。複雑形状部品のネットシェイプ加工が期待されているが、鉄系高融点金属において実用化された例はほとんど無く、今後の課題である。
- (3) 低コスト化と高付加価値化に対応するためサーボプレス機械の導入が進んでいる。CNCによる自在なモーションコントロールや高精度の位置制御などによる、難加工材

の高精度加工などを容易に実現できる可能性がある。県内導入は約20台程度と推測される。ちなみに、全国での推定導入台数は2006年1月現在で約2000台と言われており、新潟県内導入台数は全国の約1%という状況である。

- (4) ハードウェアの進歩にともない、製品開発・設計段階におけるシミュレーション技術導入が急速に進んでいる。コスト低減や短納期化の実現だけでなく、新技術開発の分野においてもシミュレーション技術は必須となってきている。
- (5) レアメタルは、80%近くの高いリサイクル率を示すものから、ほとんどリサイクルされていないものまで様々である。回収される形態もガラス、セラミックス、複合材、薄膜、積層構造、超微粉など様々であるが、今後レアメタルの需要はますます増加する傾向にあるとみられる。

参考文献

- 1) 岡野忍, 金属便覧, 2000, p972-974.
- 2) 原雅徳, 小沢賢久, 河野勝海, 金内良夫, 桜木秀偉, “新半凝固ダイカスト法によるアルミニウム合金サスペンション部品の開発”, 素形材, 42, 12, 2001, p13-18.
- 3) 日立金属株式会社ホームページ, http://www.hitachi-metals.co.jp/prod/prod06/p06_02.html
- 4) 内田正志, 古屋博幸, “コールドチャンバ・ダイカストマシンについて”, 鋳造工学, 75, 6, 2003, p428-434.
- 5) 虹技株式会社開発部, “鋳鉄の半溶融ダイカスト法”, 素形材, 46, 1, 2005, p9.
- 6) 蛭川遼治, 塚本順夫, “「ロストフォーム法による鋳鉄の遷移制御セミソリッド鋳造法およびロストフォーム用金型技術に関する研究開発」の成果報告”, プレス技術, 60, 2, 2005, p60-64.

機器性能向上を目的とする表面・界面の 高機能化に関する調査研究

桂澤 豊* 永井 直人* 諸橋 春夫** 笠原 勝次** 山田 昭博** 小林 泰則***

Research on the Surface and an Interface Technology to Improving the Instrument Performances

KATSURAZAWA Yutaka*, NAGAI Naoto*, MOROHASHI Haruo**, KASAHARA Katsuji**
YAMADA Akihiro** and KOBAYASHI Yasunori***

抄 録

本報告書は、材料の表面と界面に注目し、今日話題となっている成膜技術や界面制御技術、そしてこれらの技術を支える分析評価技術について、本県産業との関わりを踏まえて調査研究を行ったものである。今後新潟県が取り組むべき研究開発の方向性について検討した。

1. 緒 言

従来、材料開発は主にバルク材そのものの開発を意味することが多かったが、材料に新しい表面形成を行い、材料のバルクにおける性質を生かした上で、さらに表面に新しい機能を付与する表面技術（Surface technology）が注目されるようになってきた¹⁾。

また、表面処理技術とともに、界面制御技術やナノレベル（10 億分の 1 m）での制御技術を利用した材料開発もナノテク技術の基で行われるようになってきている。

これらの技術的進展を支えているのが、最近特に、高度化してきた分析・評価技術である。

本調査研究は、材料表面に機能性薄膜を生成し、表面・界面における高機能化を図る技術、およびそれを支える分析・評価技術に関し、県内産業を視野に入れて平成 17 年度に行った調査研究についてとりまとめたものである。

2. 技術動向

表面処理技術や界面制御技術の発展と、分析機器や観察機器などを用いた分析評価技術の発展とは、車輪の両輪のごとき深い関係がある。

2.1 表面処理技術

新しい表面改質技術の開発が進み、速度を増しつつある。これらには、電子ビーム、イオンビーム、電磁波、プラズマ、レーザなどを用いて、材料の表面改質法や従来の表面処理を大きく発展させる方法のものなど、種々試みられている。

摩擦、摩耗、潤滑、固体接触などトライボロジー性向上のための表面改質は常温、常圧下のみならず、高圧、真空、高温、高速、長寿命など極限状態での使用を含め、機能性や材料経済性からも極めて重要である。これら構造用材料と、また電子材料としての機能を求める表面の新素材化が進んでいる。

表 1 には、操業性、環境調和性、高品質、高機能化、低価格という観点では、今後、最も期待できるプラズマエネルギーを利用した代表的

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

*** 中越技術支援センター

な表面改質法とその特性を示した。それぞれの処理法によって各種のプロセスの使い分けがなされている。これからの処理方法は、プラズマ浸炭を除き 600℃以下という比較的低温側で処理が可能で、基材の相変態を伴わない寸法精度の維持が可能で、後加工を必要としないことも大きな特徴である。

2.2 界面制御技術

界面制御技術のなかでも、材料の高機能化を図るため、極微小（ナノレベル、ナノサイズ）の機能性材料をナノレベルで材料制御を行い、複合材料を生成する技術が盛んに研究されている³⁾。例えば、カーボンナノチューブ（ナノカーボン）、ナノメタル・ナノ合金、ナノガラス、ナノコンポジット等がある。

薄膜成長技術についても、ナノレベルでの制御が可能になりつつある。薄膜成長技術については、特に半導体材料において、単結晶化が重要なテーマとなっている。今まで、多結晶やアモルファスであった薄膜材料を単結晶化することにより、機械的・電氣的・光学的特性を向上することが知られている⁴⁾。また、磁気ディス

ク（ハードディスク）においては、ディスクおよびヘッドの表面へ炭素系の保護膜がついているが、記憶容量の向上のため薄膜化が求められている。最近までは、ハードディスクの炭素保護膜の作成にはマグネトロンスパッタリングが用いられてきたが、マグネトロンスパッタリングによる炭素保護膜は、薄膜化により耐食性、耐摺動性が低下するため、5nm 以下の極薄保護膜には CVD による DLC 保護膜が必須となっている⁵⁾。

2.3 分析・評価技術

1970 年代後半より、RBS（Rutherford Back Scattering）、NRA（Nuclear Reaction Analysis）、XPS（X-ray Photoelectron Spectroscopy）、AES（Auger Electron Spectroscopy）などが表面および深さ方向分析法として発展してきた。RBS や NRA は加速させた He イオンのエネルギー損失や核反応断面積相関などを理論的計算と比較することで非破壊的に表面・界面分析する手法である。しかしながら、これらは加速器などの大規模な装置が必要である。一方、同じく 1970 年代には機械的研磨、化学的溶解、電解研磨し

表 1 プラズマエネルギーを利用した種々の表面改質処理法とその特性²⁾

処理法	表面生成法または膜種	処理温度 (°C)	処理特性	備 考
プラズマ窒化	Fe ₃ N, Fe ₄ N	400～570	耐摩耗性 耐疲労性	他の軟窒化プロセスよりプラズマ窒化へ移行
ラジカル窒化	Fe ₄ N（拡散層のみ）	400～570	耐摩耗性 耐疲労性	表面光沢維持可能、PVD との複合処理に最適
プラズマ浸硫窒化	FeS, Fe ₃ N, Fe ₄ N	400～570	耐摩耗性 耐疲労性	機械部品、金型など耐かじり性を必要とする対象品に適用
プラズマ浸炭	マルテンサイト層、炭化物	800～1100	耐摩耗性 耐疲労性	オーステナイト系ステンレス鋼および Ti 含有量の表面硬化に適用
PVD（AIP, HCD, UBMS 法など）	TiN, TiCN, TiAlN, CrN, DLC	200～600	耐摩耗性 低摩擦係数	高寸法精度維持
プラズマ CVD	TiN, TiCN, DLC	～600	耐摩耗性 低摩擦係数	操作条件のコントロール維持

た表面層を種々の化学分析・分光分析で評価することが考えられた。これは破壊分析であるが、一定の成果があり、現在でも使われている。1980年代にイオンスパッターによる表面研磨技術が開発され、これを AES, XPS, SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy) と組み合わせ、金属・ポリマー・半導体に適用することで、大きな成功を収めた。これらの分析手法は現在でも表面・界面分析手法の中心であり、個々に感度など要素技術は進歩している。

一方、表面の形態観察としては SEM (Scanning Electron Microscopy) が一般的に利用されているが、1980年代に開発された AFM (Atomic Force Microscopy) の登場によって表面を原子レベルで観察できるようになってきた。

さらに、これらの観察技術と分光技術を組み合わせ、原子・分子レベルの構造と形態を対応させる試みが盛んになっている。原子・分子のサイズオーダーは通常の分光方法では使っている光の波長よりはるかに小さいため、物理的回折限界を越えておりその情報を得ることができない。そこでエバネッセント波を使ったことによって nm サイズオーダーの構造情報が得られるようになってきている。

これまで、元素、化学構造情報などが表面・界面あるいは微小な領域で取得できるようになってきている。近年、物質が構成されるにあたって、化学構造とともに重要なもう一つの要素である分子間相互作用はバイオ関連材料の評価で注目されている。これまで分子間相互作用の評価は NMR (Nuclear Magnetic Resonance) で行われていたが、NMR は基本的にバルク分析で試料量が必要なことから、薄膜の層界面、接合面など特定領域の分子間相互作用解析は不可能である。今後、特定領域の分子間相互作用解析ができる手法が望まれる。

3. 調査研究内容と結果

3.1 表面処理技術に関する調査結果

表面処理技術は、大きく湿式めっき法と乾式

めっき法に大別される。現在はプラズマ窒化、ラジカル窒化、プラズマ浸硫窒化、プラズマ浸炭、PVD (AIP 法, HCD 法, UBMS 法など)、プラズマ CVD などの乾式めっき法が伸びている。

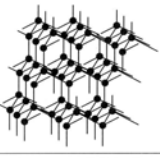
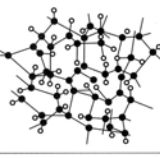
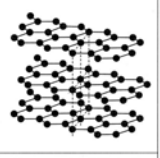
これらの乾式メッキ法は湿式めっき法に比べ環境規制対応の点で有利とされ、乾式への移行や新機能薄膜の開発により、今後も伸びて行くと言われている。

3.1.1 湿式めっきに関する調査結果

業種や取引先によって RoHS 規制対応が早急に求められている企業と、そうではない企業がある。ヨーロッパに輸出している電機機器やその部品を作っているメーカーでは特に早急な対応を求められている。しかしながら、現時点において取引先から分析値を示せという要請をされている企業はごく一部である。今早急に対応を進めているメーカーは取引先の要請の先を読む形で独自に動いているものと考えられる。RoHS 規制は 6 価クロムでのクロメート処理を行っている業者にとっては非常に致命的な規制であるため、多くの業者ではすでに 3 価への置き換えが進んでいる。クロムめっき皮膜への処理液残留についても試験研究機関に分析を依頼するなど、一部の企業ではしっかりとした対応を取っている。

表 2 RoHS 規制対象物質の分析方法

規制物質	スクリーニング 分析法	詳細分析法
鉛	蛍光 X 線分析法	ICP 発光分光法 ICP 質量分析法 原子吸光法
カドミウム		
水銀		
6 価クロム	蛍光 X 線分析法 (全クロム分析) 吸光光度法	吸光光度法
PBB	蛍光 X 線分析法 (全臭素分析) FT-IR 法 (%オーダー)	GC-MS 法
PBDE		

ダイヤモンド	DLC (Diamond Like Carbon)	グラファイト
		
ダイヤモンド構造 (sp ³) 構成元素：C	アモルファス (sp ³ を含む) 構成元素：C、H	グラファイト構造 (sp ²) 構成元素：C

このように、環境規制強化に伴い企業負担は増加しているものの、製法の改善で対応している。また、RoHS 規制対象物質の分析方法をまとめたものを表 2 に示す。

3.1.2 乾式めっきに関する調査研究と結果

ここでは最近特に注目されているプラズマを使用した成膜技術の中でも DLC を中心に調査した。DLC 皮膜とは、ダイヤモンドライクカーボン (Diamond-Like-Carbon) 膜の略称であり、高硬度などのダイヤモンドと似た物性を持つ、水素を含むアモルファスなカーボン膜のことである。DLC 膜はダイヤモンドやグラファイトと異なり、定まった結晶構造を持たないが、これまでの解析などにより、図 1⁶⁾のような構造を持つと考えられている。DLC 成膜法では、水素化された無定形炭素膜 (a-C:H) と、水素をほとんど含まない無定形炭素膜 (a-C) に分類することが出来る。

代表的な成膜原理と成膜の性質は表 3⁶⁾のとおりである。

市場規模予測は、2001 年度の DLC 市場は内製加工および受託加工を合わせた、いわゆる賃加工ベースで 26 億 3000 万円となっている。成長率は約 20%/年で、2010 年度には 65 億円/年になると予想されている。今後の開発課題としては成膜技術においては基材との密着性の向上、前処理プロセス、厚膜、多層、複合膜および複合処理 (スーパー高機能 DLC の開発) などがあり、これらの課題が解決されるにつれ、新たな用途開発が可能になることと思われる。

特に、多層膜、複合膜および複合処理におけ

る製造方法の組み合わせは無限で、また、界面制御技術を使った密着性向上のための応力緩和技術や機能性発現のための分子間相互作用の研究が、今後の利用拡大に寄与するものと考えられる。

また、製造コストの低減については DLC の最近の研究では、セグメント方式の DLC や準大気下での DLC 膜の成膜が試みられており⁷⁾、注目される場所である。

3.2 界面制御技術 (ナノレベルでの材料制御技術) に関する調査結果

3.2.1 ナノカーボン材料

フラーレンやカーボンナノチューブを代表とする新しいナノカーボン材料は、様々な分野での応用が期待されている。県内企業におけるナノカーボン材料の応用は、ほとんどがナノカーボン材料をプラスチックや金属との複合体とする方法であり、複合体とすることで機械的、電気的特性をそのマトリックスより向上させることを目指している。

ナノカーボン材料の複合材料化において一番大きな問題は、凝集が強いためマトリックス (プラスチックや金属) 中への分散性が著しく悪いという点であり、この凝集を防ぐ方法として、分散剤や界面活性剤の添加、あるいは粒子表面の ζ 電位制御、グラフト処理などがある。

3.2.2 自己組織化現象の応用制御技術

自己組織化現象は材料となる分子や原子、あるいは、もっと大きな微粒子が一定の秩序をもって集合、集積して、決まった形状を形成する現象である。この技術を使うと、従来では、切削や研磨、プレスのような機械加工やそれらの微細加工技術を応用したリソグラフなどを用いて、何工程も経て作成していた微細構造物が自動的に 1 工程のみで形成できることや、誘電異方性材料を、あらかじめ、使用時と直交する電界をかけて歪ませた状態で成型することで、高効率の電界駆動型ポリマーアクチュエータなど

の新規機能性材料への応用も考えられている。

現状では、この現象は、条件を整えれば均一な処理を行うことができるレベルから、繊維表面を樹脂フィルムがモザイク状に覆うレベルまで制御できることがわかっているため、県内産地の「スベック染色」の応用展開に利用できる可能性がある。

3.3 分析評価技術各法

3.3.1 表面分析技術

光学顕微鏡や SEM を用いて表面の観察を行う。また、表面の異物や変色の解析には EPMA, SIMS, TOF-SIMS, AES による元素分析が必要であり、表面構造のほか、劣化構造の变化解析などで FTIR, ESCA を使用する場合もある。

3.3.2 界面分析技術

元素分析としては RBS, SIMS, AMS, TEM-EDX, GDMS など、構造解析には FTIR, ESCA, TEM-EELS などが使用され、界面相互作用分析には NMR, テラヘルツ波などが用いられる。

この界面分析技術分野に対する機器の性能は十分ではなく、今後の発展が期待される。

本調査研究では、現在テラヘルツ波に関する応用化の研究が盛んに行われているため、後段に詳しく述べることにする。

3.3.3 精密切削法による薄膜の密着性評価

材料のトラブルの種類で、薄膜の密着性が問題になるケースが多い。密着性を評価する手法は JIS にもあるピール試験が代表的ではあるが、

ダイプラ・ウィンテスが製造している SAICAS (Surface And Interfacial Cutting Analytical System) もいくつか問題があるものの、微小領域分析が可能なことから知名度は比較的高い。この装置は密着性だけでなく分析用前処理用としても使用することができ、切削した面や切削によって露出した界面を分析することで従来の手法では得られない情報を取得できる。

3.4 テラヘルツ波に関する調査

近年登場してきたテラヘルツ波技術は、界面制御技術にも関係する分子間相互作用の解明やテラヘルツ波のセンシング応用への実用化など、今後さまざまな応用技術開発が期待されている分野である。

3.4.1 県内関連企業調査

テラヘルツ波関連技術の県内企業は存在しないが、テラヘルツ波を使った研究は長岡技術科学大学で行われており、主に、情報通信の観点から特定周波数のテラヘルツ波の遠隔伝搬の研究が行われている。

3.4.2 テラヘルツ波に関する調査

以下に述べるように、分子間相互作用解析やセンシング応用でテラヘルツ波の調査を行った。分子間相互作用解析のための実証測定は(株)東レリサーチセンター(滋賀県大津市)にて行った。

センシング応用のための基礎データ取得は(株)栃木ニコンにて行った。この分野の研究は世界的には米国および欧州で進んでいる。欧州は主にバイオへの応用研究がなされ TeraVision と TeraBridge という数十億円規模の国際共同プログラムが行われた。米国は軍事利用が行われているらしく、研究成果の公表はあまり行われていない。

3.4.3 テラヘルツ分光法の材料分析応用

テラヘルツ分光法は分子間相互作用解析に期

表 3 各種 DLC 成膜法の特徴比較 ⁶⁾

成膜原理 比較項目	イオン化蒸着法	陽極アーク法	プラズマ CVD 法	アンバランスドマグ ネトロンスパッタ法
成膜原料	C ₂ H ₄	固体カーボン	C ₂ H ₄ または CH ₄	固体カーボン
成膜温度(℃)	～300	～200	～200	～250
膜組成	水素含有	水素フリーも可能	水素含有	水素フリーも可能
摩擦係数(μ)	0.1～0.2	0.1～0.2	0.1～0.2	0.1～0.2
硬さ*(GPa)	20～50	20～90	30～50	20～80
表面粗さ	○	△	○	○
密着力	○	○	△	○
その他・特徴			プラスチック・ゴム 上にも成膜可能	メタルドープ DLC、導 電性 DLC 可能

*ナノインデントによる弾性変形硬度

待されると言われてはいるものの、本領域には分子の回転振動などの分子内振動も共存することから、その両者を区別し、本周波数帯の有効性を主張している文献は少なく、今後の研究が待ち望まれる。本先導研究では、その有効性をいくつかの生体関連物質で確認し、将来の応用研究への基礎資料とした。

3.4.3.1 分子間相互作用シグナルの確認

図 2 にはグルタミン酸に対してアセトンと水を滴下した場合を示した。この場合には、アセトン滴下で 0.6THz に新たなピークが発生することがわかった。一方、水に対しては最初水のバックグラウンドが見られるが、時間が経過して水がなくなると全体のスペクトルはほぼ元に戻る事が分かる。このアセトン滴下では多くのアミノ酸に共通でこの 0.6THz のシグナルが現れることが判明した。赤外スペクトル測定より、本実験で使用したアミノ酸はカルボン酸とアミンで分子内塩を形成している構造をとっており、そこへアセトン分子が攻撃することで、アセトン分子とアミノ酸との間で新たな相互作用振動が現れたものではないかと考えられるが、詳細な構造解析のためにはもっと多くの実験が必要であろう。その他、コロネンやサリチル酸ナトリウムで溶媒との相互作用シグナルが現れ

ることが確認できた。

3.4.3.2 テラヘルツ波まとめ

今回の調査によって、テラヘルツ波分光は従来の分析法で困難であった分子間相互作用に関する情報が得られることが分かった。特に、バイオ・医薬品の分野への応用が期待でき、分子間相互作用解析装置の開発などへの応用提案ができる。

4. 結 言

- (1) 今回の調査研究で、表面・界面に注目した高機能化材料の開発や製品開発が、今後ますます盛んになると考えられ、県内産業においても重要戦略の一つになるということが分かった。DLC を始めとする表面硬質皮膜の研究開発やナノ材料を使用した複合材料の高度化などは、県内でも徐々に始まっていて、それらの企業から開発に絡む分析評価法に関する問い合わせや要望も来ている。
- (2) 総研においてもこれら企業の要望に応えるべく、ナノレベルや分子間相互作用に係る分析評価技術に対する備えを進めていく必要がある。

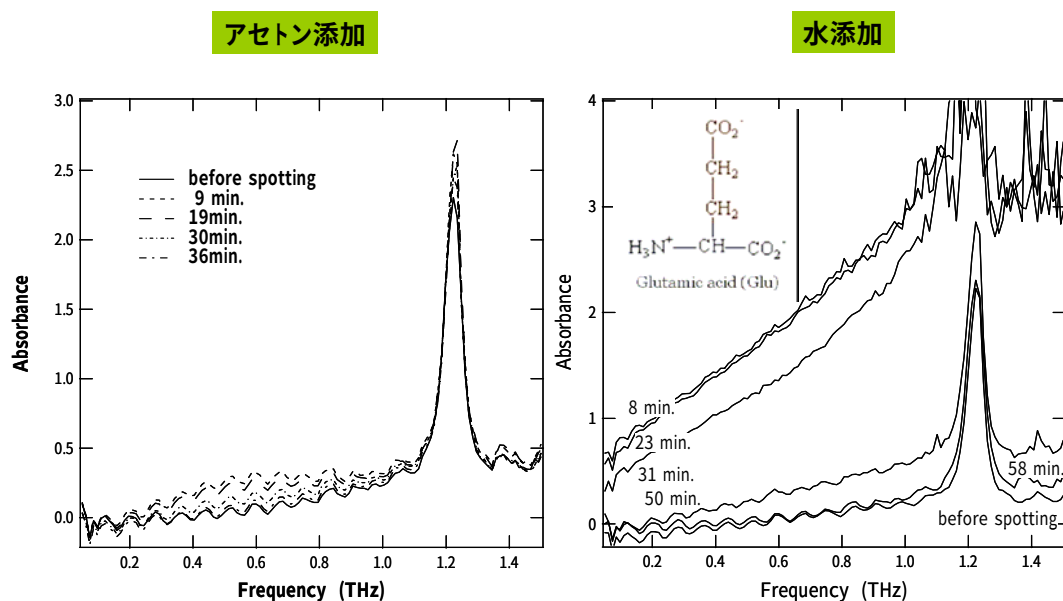


図 2 グルタミン酸にアセトンと水を滴下した場合のテラヘルツスペクトル経時変化

参考文献

- 1) (社)表面技術協会編, 表面技術便覧, 1998, p5.
- 2) 鈴木秀人・池永 勝, 事例で学ぶ DLC 成膜技術, 日刊工業新聞社, 2003, p6.
- 3) 工業材料 キーワード 30, 日刊工業新聞社, 2004, p9～79.
- 4) 麻蒔 立男, ”最近の薄膜材料・形成技術の動向と用途展開・課題”, 工業材料, 日刊工業新聞社, Vol.52, NO.3, 2004, p20.
- 5) 藤巻成彦, 小角雄一, “ナノ単位の高記録密度化に対応する極薄の炭素保護膜を作製”, 日刊工業新聞社, 工業材料, Vol.52, NO.3, 2004, p37.
- 6) 鈴木秀人・池永 勝, “事例で学ぶ DLC 成膜技術”, 日刊工業新聞社, 2003, p2～18.
- 7) 大竹尚登, “DLC 膜の合成に関するいくつかの試み”, 表面技術, Vol.56, No.10, 2005, p31.

生体情報の工業製品への応用に関する調査研究

阿部 淑人* 長谷川 直樹** 林 成実** 中部 昇* 菅家 章* 馬場 大輔*** 木嶋 祐太****

A Research Report of Homeware Development Based on Biocybernetics

ABE Yoshito*, HASEGAWA Naoki**, HAYASHI Narumi**, NAKABE Noboru*,
KANKE Akira*, BABA Daisuke***, KIJIMA Yuta****

抄 録

本調査研究では生体情報を利用しての製品開発の効率化や製品の高付加価値化を目論んで、技術動向および産業動向を調べた。健康・快適・安全に関連する産業として医療福祉産業があるが、医療福祉産業は薬事法の適用を受け参入障壁が高いため、その適用を受けないような生活用品や、スポーツ用品・衣料品の快適性向上に繋がる技術開発を主な対象にして調査を行なった。調査の結果、県内企業の多くにおいて生体情報を利用した製品開発や、快適性、健康増進などをキーワードにした高付加価値化に興味をもつことが分かった。今後はツールの開発などをおして開発支援を行っていく必要があると考えられる。

1. 緒 言

生体情報工学は、生体情報の計測・処理・制御を対象とする工学の分野である。本調査研究では、生体情報を利用しての製品開発の効率化や製品の高付加価値化を目論んで、技術動向および産業動向を調べた。バブル崩壊以後産業構造は急変し、労働集約産業は BRICs (Brazil, Russia, India, China) 地区にその勢力の大半を奪われ、設備集約産業は大企業でも合併などの構造改革策を伴う資金調達力の強化策なしには維持できないほどに設備投資額が高騰するようになってきた。そのような背景のもとで中小企業が生き残るためには、大企業以上に知識集約を進め製品やサービスの高付加価値化を図らないといけない状況となった。21 世紀は心の世紀といわれるように、人々の健康や快適に関心が集中するようになってきたため、「健康・快適・安全」は高付加価値化のキーワードとして検討する余地が十分にあると考えられる。そこ

で、高付加価値化のキーワードにつながる技術シーズとしての生体情報を活用した製品開発について調査を行なった。以下、第2章では、本調査研究の関連技術分野について述べる。また第3章では、関連の深い日用品等製造業の動向について述べる。第4章では、今後の方針を含めてまとめる。

2. 関連技術分野の概略

以下に、関連の深い4つの技術分野について説明する。

2.1 生体情報工学

生体は非常に優れた情報処理システムを持っている。生体情報工学(Biocybernetics)とは、「生物から学ぶ」という観点から生体システムの計測・処理・制御の解析について工学的手法によりアプローチし、そのシステムを工学的および医学的に応用することを目的とした学問である¹⁾。生体情報は、生体の形質および諸機能を計測し数値として得られたものである。生体諸機能の計測目的は、最終的には人間の生活や作業環境における安全性、快適性の追求にある。

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

*** 県央技術支援センター

**** 上越技術支援センター

生体情報の対象としては身体の構造と機能つまり情報システムとしての脳・神経系や形態構造物としての骨格、稼動組織としての骨格・筋肉、各種感覚器、生体としての生理反応、などが主としてあげられる。またそれ以外にも疲労度合いや、作業効率、性格知能、主観評価値、周辺環境なども測定対象として重要である。生体情報工学は、「これらの情報を如何に測定するか」から始め、「それをどう理解するか」、「どう活用し、生体を制御するか」などについて探る学問分野である。生体情報工学は医学、心理学、電子工学、計算科学、機械工学、などの幅広い分野にわたる知識を必要とする分野である。

生体情報の計測に当たっては、主に生体から発せられる微弱電気信号を用いる場合が多く、それ以外に、機械的なセンシング手段や光学的なセンシング手段によるものがある。生体を扱うために、無侵襲もしくはできるだけ低侵襲であることが望ましく、機械的・化学的・電気的な破壊を起こさないことは絶対条件である。

2.2 感性工学

感性工学 (Kansei Engineering) は、感性 (主観) と工学 (客観) を結びつけることを目的とする学問である²⁾。人間の感性を分析し、それを工業製品の設計に取り込むことで、より満足をもたらすモノづくりをサポートする技術分野の学問である。生活者にとって必要なモノがあふれる現代社会においては、“必要”を超えて“欲しい”という気にさせなければ購買意欲をそそることができない。感性は、辞書的には「外界の刺激に応じて何らかの印象を感じ取るその人の直感的な心の働き」という説明がなされている。そして感性は、社会的歴史的側面もあれば個人的側面もあり、また総合的に統合された知覚であるために、それをいかに工学的尺度で評価し、さらに商品設計につなげるかが大きな課題となっている。昨今の商品開発の現場においては、ニーズ主導のいわゆるプロダクト

アウト型からニーズ主導のいわゆるマーケットイン型の設計開発へとパラダイムをシフトする企業も多くみられ、自企業の価値をどう位置づけ、それをプロダクトやサービスとして実現するという課題の中で、人の感性に対する深い理解が必要となっているため、今後重要度が増してくる学問分野である³⁾⁻⁵⁾。

2.3 人間工学

人間工学 (Ergonomics/Human Factors Engineering) は、第二次世界大戦以後急速に発展してきた学問であり、機器やシステムや環境がいかに人に優しいかを評価し、それをどう実現するかについて研究する⁶⁾。初期の段階では、機械要素的なヒトへの負荷などについて扱われることが多かったため、現在でも誤解が多いようであるが、人という生体は、生理的、論理的、心理的、社会的、などさまざまな側面を持ったシステムであり、現在は、より心理的・感覚的側面に関心の中心が移りつつある。ヒトと機械とのインターフェースをさまざまな側面から改善することが人間工学の目的である。関連分野として生体計測、認知科学、生体制御、人工知能、感性工学、意匠設計などがある。その守備範囲は、工業製品のみならず、システム、作業環境 (工程) などにおよび、生活や産業の広い場面をカバーしようという方向に進んでいる。

2.4 ユニバーサルデザイン

ユニバーサルデザイン (Universal Design) は、「多様なニーズを持つユーザに、公平に満足を提供できるように商品 (製品、サービス、環境や情報) を設計すること」と定義されているように、商品のアクセシビリティとユーザビリティの改善を設計に反映することが目的である⁷⁾。その提唱者であるロン・メイスがまとめたユニバーサルデザインの7原則は

- a) 誰にでも公平に使用できること
(Equitable Use)
- b) 使う上での自由度が高いこと

(Flexibility in Use)

- c) 簡単に直感的にわかる使用方法となっていること (Simple and Intuitive Use)
- d) 必要な情報がすぐ理解できること (Perceptible Information)
- e) うっかりエラーや危険につながらないデザインであること (Tolerance for Error)
- f) 無理な姿勢や強い力なしで楽に使用できること (Low Physical Effort)
- g) 接近して使えるような寸法・空間となっていること (Size and Space for Approach and Use)

とされ、これによって、その方向性を規定してはいるが、どのようにしてその実現を図るか、というアプローチや方法論については、触れていない。原則1の「誰にでも」の部分がユニバーサルという用語の由来でもあり、「誰にでも公平に使用できること」という目標を提示することによって、デザインの方向性についての理念を提示したものである。ただし「誰にでも」を考える際に、共用品的な考え方でなく、専用品としての考え方が必要なケースもあることに注意が必要である。

3. 県内関連製造業の動向

健康・快適・安全に関連する産業として医療福祉産業があるが、医療福祉産業は薬事法の適用を受け参入障壁が高いため大多数の企業にとって狭き門となっている。「にいがた産業活性化戦略策定事業」に係わる医療機器産業創出基礎調査報告によれば、薬事法の改正により製造者の責任は、全般的に重くなる。一方で低リスク医療機器への参入や製造外注の受託といった面では、県内医療機器産業の創出に向けた機会は広がっているとみられている⁸⁾。また産学官連携による医療機器産業創出に向けた支援戦略を構築していく上では、現状の産業の創造と育成に関する県の施策・制度・インフラなどを把握し、その成果や機

能を評価する必要がある。新潟県には、技術シーズと治験の場として新潟大学医学部など複数の医療関係教育研究機関が存在し、産業技術開発の側面においては、様々な県の政策・制度とあわせて工業技術総合研究所が大きな役割を果たしている事により産学連携の進みやすい環境にあると考えられている。しかしながら大多数の中小企業にとって狭き門であることには、変わりがない。前述のように本調査研究では、薬事法の適用を受けないような生活用品やスポーツ用品・衣料品の快適性向上に繋がる技術開発を主な対象にして調査することにした。以下、本調査研究の対象である新潟県内の代表的な既存製造業の状況⁹⁾¹⁰⁾と課題を記す。

3.1 家具装備品製造業の現状および課題

県内の家具製造業は、婚礼タンスなどの箱物家具を得意とし、桐タンスから洋タンスまで幅広く生産し、最盛期には、全国3位の生産額を占めていた。しかし、住宅様式の変化や阪神淡路大震災などの地震をきっかけに置き家具から住設家具への移行が進み、タンス等箱物家具の出荷額は落ち込んだ。さらに、韓国から始まり数年前からは、中国から安価な家具が大量に輸入され、現在、量産品については、価格的に太刀打ちできない状況となっている。建具製造業については、従業員3人以下の零細事業所が全体の約6割を占めている。家具同様に住宅・生活様式が変わり、主力であった襖や障子は徐々に姿を消し始めている。枠付きドアなども生産していたが、一般住宅に関しては、日本の大手企業が中国工場で大規模に量産したことを契機に、中小零細企業は太刀打ちできなくなった。ただし、県内外のマンションについては、取付設置込みで県内企業が請け負うケースもある。

大半の企業は、生産量は上がっているにも関わらず、出荷額に結びつかない例が多い。つ

まり付加価値額が低いことが最大の問題点と言える。そこで、付加価値を高くし、差別化を図った特徴のある製品開発が求められている。現状では、上記のように「和」、「伝統」を基調とした製品や自然志向・環境に配慮した製品、高齢化社会を背景とした介護・福祉製品、電化製品との融合を図った製品など様々な種類がある。これらに関して、強度性能やホルムアルデヒド放散量などの環境データについては、数値化しユーザにも伝えることが可能である。しかし、木の「温もり」や「暖かみ」、「自然」、「使いやすさ」、「和」といった性能については、感覚や伝統的な判断のみが支配的なため、ユーザの関心は、高いにもかかわらず需要拡大には、結び付きにくいのが現状である。そこでこれらの性能を数値化または、定量化が可能になれば、製品の性能を客観的に伝えることが可能となり、製品開発もとより市場拡大が図られると考えられる。

3.2 日用雑貨・食卓用品製造業の現状および課題

全国のプラスチック製日用雑貨等製造業事業所の6%程度が新潟県内に存在しており、ある程度の産業集積があると考えられるが、事業所あたりの付加価値などでは、全国平均と比べて下回っており、単純製造下請け構造から脱出仕切っていないことがわかる。

この事業分野についても、使い勝手などの定量化にもとづく訴求ができれば、付加価値の増加や市場拡大に大きく貢献することが期待される。

3.3 洋食器・厨房用品等製造業の現状および課題

最近の陶磁器業界の動向をみると、主力の台所・食卓用品は、料亭やホテルの購買意欲が乏しく、法人向け業務用割烹食器の受注は、引き続き減少している。個人向けの一般食器も、生

活スタイルの変化や安価な輸入品の増加などから、依然として低調な動きが続いている。また、洋食器について述べると、高額な贈答品用といったような付加価値の高い製品を取り扱う一部の企業で原材料価格の上昇を価格転嫁できているものの、ほとんどの企業では、鋼材価格上昇分を転嫁ができない状況である。

今後の課題としては、高級品のプレミア化の一方で、旧来の一般品についてコスト低減と同時にデザイン・機能に付け加えて快適性や安全性の訴求による高付加価値化が必要不可欠となっている。

3.4 運動用具等製造業の現状および課題

H8年度からH16年度にかけて事業所数、従業員数とも大幅に減少しており（39事業所1,300名→14事業所888名）、製造出荷額ベースで288億円から168億円と40%以上の減少がみられる。これは児童数、若年者数の減少に起因するところが大きく、今後の高齢化社会の進行に伴い、さらに厳しい状況に置かれると考えられる。このような状況下においては、競合他社との差別化を図るために、継続的に新材料の適用など機能的な優位性をユーザに訴求し、市場を確保する必要がある、常に新しい付加価値が切望されている。

生産拠点の多くが海外に進出した現状では、価格面での競争は、困難であり、市場確保のためには価格面以外での差別化が必要となる。その方策として、これまでもデザイン性や機能性の向上に努めているが、後者では、前述のように新材料の開発に依存することがほとんどで、その結果、市場への訴求が散発的になる傾向がある。以上のことから、今後は新材料に依存しない、かつ継続的に市場へ訴求することが可能な新たな付加価値の導入が大きな課題となると考えられる。

これに関連して、運動用具は、ユーザが直接身につけて使用することから、製品の機能がユ

ーザの身体的負担や快適性に直接影響を及ぼしやすい。したがって、感性・生体情報によるユーザーの応答を基にした製品開発は、負担軽減、使いやすさ、快適性の向上など、新たな付加価値として有用と考えられる。

企業調査の結果によれば、新材料の開発に依存した機能向上の訴求については、限界があり、近年において、ユーザビリティ（使い易さ）、あるいはユーザの負担軽減や快適感向上が新たな付加価値として注目されている。例えば、ゴルフクラブにおいては、従来、飛距離向上を目的とした高反発性の発揮が最重要項目とされてきた。しかしながら、H20年のSLEルール施行（高反発クラブの規制）にともない、反発性による他社との差別化が困難となるため、市場優位性を得るための新たな付加価値が求められている。そこで、打感・打音など、使用者の感性（快適性）や生体情報に関連した技術開発が新たな高付加価値化のキーワードとして注目されている。実際に、一部企業において、筋電図などの生体情報を基にした製品開発を試みているようであるが、未だ確実なアピールポイントに結び付けるまでには、至っていないようである。

3.5 業務用衣服製造業の現状および課題

H8年度で48事業所、従業員数1,457名であったのが、H16年度20事業所、従業員数445名と激減しており、製造出荷額も93.2億円から46.7億円と半減している。これは、生産拠点の海外移行がさらに進行していることによるものと思われる。

他業種と同様、市場確保のためには、他者との差別化、すなわち新たな付加価値の訴求が求められる。例えば、当該品目は、一般の衣服に比べ、特に長時間着用して作業、運動することが要求されることから、その際に、いかに身体への負荷を軽減し、かつ快適に作業することができるかは、付加価値のひとつとして有用と思

われる。生体情報を基にした開発により、動作時における関節可動域や、力仕事、スポーツなどで筋力を発揮する際の筋力、関節のサポート性などの機能向上を図ることが可能と思われる。

3.6 民生用電気機器製造業の現状および課題

民生用電気機器製造は、ここ数年で、事業所数、出荷額、従業員数ともに減少傾向である。しかし、出荷額における付加価値額の割合は増えている。H14年とH16年を比べてみると、事業所数と従業員数は、減っている。しかし、内訳をみると、空調・住宅関連機器部分は、事業所数、従業員数、出荷額は、増えている。空調住宅関連機器として床暖房があり、今回は、製造している何社かを調査した。各社とも付加価値をつけるための取り組みに力を入れていた。自社製品を増やすところや、開発に力を入れ、特許をとっているところもあった。通信機器製造は、事業所数、従業員数、出荷額、ともに減っている。内訳をみると、減っているのが電気音響機械器具製造業で、有線、無線通信機械器具製造業は、それほど減ってはいない。開発型企業が多く、新たなシステムやデバイス開発に意欲のある企業が多い。電子部品デバイス製造は、H8年から事業所数は、減っているが、その他は変わっていない。抵抗器やコンデンサなどの素子製造は、わずかに減少している。海外進出の影響と思われる。プリント回路製造業、その他の電子部品製造業の出荷額は、伸びている。おそらく、電子デバイスが好調であるのが要因である。

以上総括すると、最終製品の設計、開発に携わっている所が、競争に勝ち生き残っている印象を受ける。全体として事業所数が減っていて、付加価値額が上がる傾向にある。付加価値が低かった所が、海外との競争に負けて淘汰された結果であると考えられる。

インターネット普及によるユビキタス時代への移行などにより、電子デバイス、通信器具の

製造は、非常に盛んである。様々な製品に、電子デバイスがとりいれられ、付加価値の高い製品が生み出されている。電子デバイスが、高性能化、小型化、低価格になっており、応用範囲が広がっている。東南アジアには、各国の様々な企業が進出してきており、それにともない技術もそこへ集約し、グローバル化により、取引自体も従来よりも容易になり競争相手もまた増えてきている。韓国では、国を挙げてユビキタス時代に備えている。このような状況下で、県内企業の課題としては、①単なる下請けから脱却し、設計・開発力強化、製造技術強化などに力を入れなければならない。②優秀な人材が不足している。③技術水準が上がってくる海外との差別化要因が必要になる。などがあげられる。

3.7 暖房装置等製造業の現状および課題

この分類に含まれる製品は、ガス・石油を使う暖房用・調理用機器およびその部分品・附属品である。県内では、ほとんどが石油ストーブ（しん式、ファンヒータを含む）およびその部分品・附属品が占める。事業所数は、平成10年から平成16年で約100事業所から60事業所に減少しているが、従業員数は2,500人、出荷額は600億円前後でほぼ横ばいである。また、付加価値額は、近年減少傾向にある。製品の低価格化が影響していると考えられる。なお、平成11年から平成13年にかけて、出荷額は1,000億円前後で一時的に増加した。これは、石油ストーブの2000年問題特需と県外大手撤退の影響であるとみられる。

平成17年の状況は、寒波、停電などに対応する需要と県外大手の更なる撤退により、出荷額を大幅に伸ばしている。県内シェアは80%が見込まれている。企業調査の結果、現在の最大の課題は、製造コスト低減であることが分かった。その一方、消臭性能向上や輻射熱併用の高級機種種の市場投入も行っている。石油暖房機器

は、技術面では、ほぼ成熟した製品である。今後の開発課題は、ユーザの使い勝手や快適性の追求にあると感じているが、その評価方法が確立されておらず、模索している状態である。

ファンヒータなどの開放式暖房機は、換気の必要性、結露発生の問題から、近年増加傾向にある高気密高断熱住宅には、向かないと言われている。一方、送風出口温度が高いため、暖をとることができ、局所的な暖房が可能であるという利点がある。人が感じる快適性の評価手法として、気温、湿度、風速などを基にするPMV（Predicted Mean Vote）値があるが、暖房機の評価に適用しても、人が感じる暖かさ、心地よさを評価することができない。この快適性を客観評価する手法を確立し、利点をアピールしていく必要がある。石油ストーブ、ファンヒータは、技術的には、ほぼ成熟した製品であるが、製造コストの低減、省エネルギー、消臭性能、安全性などの性能の一層の向上が望まれている。輸出を視野に入れると、国によって異なる石油品質に対応した製品開発が必要となると思われる。この他、石油枯渇、地球温暖化、他分野模索（他家電、エコキュート、燃料電池）の課題なども挙げられる。

4. 結 言

- (1) 生体情報工学は、生体情報の計測・処理・制御を対象とする工学の分野である。本調査研究では、生体情報を利用した製品の開発の効率化や製品の高付加価値化を目論んで、技術動向および産業動向を調べた。調査の結果、県内企業の多くにおいて、生体情報を利用した製品開発や、快適性、健康増進などをキーワードにした高付加価値化に興味をもつことが分かった。しかしながら、中小企業単独での製品化などについては、多くの困難が伴うために、今後はツールの開発などをおして開発支援を行っていく必要がある

と考えられる。

- (2) 健康・福祉・医療などについては、「新潟県健康・福祉・医療新産業ビジョン」¹¹⁾が策定され、これにより「健康福祉医療」ビジネス連峰の活性化が積極的にすすめられることとなったため、本研究調査での結果に基づき、今後の開発案件などについて本庁との連携を深めてゆく必要がある。
- (3) 生体情報を利用した製品開発や快適性などをキーワードにした高付加価値化の産業応用は、端緒についたばかりであり、今後も継続して情報調査を初め製品開発への適用を行う必要がある。
- (4) 今後の方策としては、まず H18 年度の共同研究での製品開発（こちよい打音打感のゴルフクラブ）を通してわれわれの経験を深めるとともに、他の案件との連携を模索してゆくこととしたい。また、感性の定量化のみならず生体情報の常時計測デバイスなどについても、今後は市場が増大すると考えられるため先行調査および引き続き研究開発が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 山越憲一，戸川達男，“生体用センサと計測装置”，日本エム・イー学会 編コロナ社，2000.
- 2) 辻三郎，“感性の科学—感性情報処理へのアプローチ”，サイエンス社，1997.
- 3) 長町三生，“快適科学”，海文堂，1992.
- 4) 長沢伸也，“感性をめぐる商品開発—その方法と実際”，日本出版サービス，2002.
- 5) 原島 博，井口征士，“感じる・楽しむ・創りだす 感性情報学”，工作舎，2005.
- 6) 福田忠彦，“人間工学ガイド—感性を科学する方法”，サイエンティスト社，2004.
- 7) 日本人間工学会編，“ユニバーサルデザイン実践ガイドライン”，共立出版，2003.
- 8) 日本総合研究所，「にいがた産業活性化戦略策定事業」に係わる医療機器産業創出基礎調査報告書，2004.
- 9) 新潟県総合政策部統計課，“にいがた県の工業～工業統計調査結果報告～”，1996～2002.
- 10) 新潟県，にいがた産業創造機構，“第1回スポーツ・健康増進・健康食品に関する研究会資料”，2006.
- 11) 新潟県産業労働部，“新潟県健康・福祉・医療新産業ビジョンについて”，2006.