

工業技術研究報告書

Report of the Industrial Research Institute of Niigata Prefecture No.36 2007

No.36 2007



新潟県

新潟県工業技術総合研究所

Industrial Research Institute of Niigata Prefecture

〒950-0915 新潟県中央区鑑西 1-11-1

1-11-1 Abimi-nishi, Central District, Niigata City, Niigata 950-0915, Japan

目 次

I 戦略技術開発研究

1. [研究論文] MEMS プロセス技術の開発研究（第3報）・・・・・・・・・・

II 公募型受託研究事業

1. [研究論文] 高度塑性加工技術による車両用シートフレーム部品の開発・・・・・・・・
2. [研究論文] ニッケルフリーステンレス鋼の実用化研究・・・・・・・・
3. [研究論文] 先端レーザー等を用いた加工技術の研究（第3報）・・・・・・・・
4. [研究論文] シリコンウェハー厚さの非接触高精度測定
・凹凸性状可視化システムの開発・・・・・・・・

III 共同研究

1. [研究論文] 超精密加工による金型加工・・・・・・・・
2. [研究論文] 粒度ゲージ（グラインドとスクレーパー）による
粒度分散性評価の自動化に関する研究・・・・・・・・
3. [研究論文] こちよい打音・打感のゴルフクラブに関する研究・・・・・・・・

IV 実用研究・小規模研究・ミニ共同研究

1. [研究論文] 摩擦攪拌接合技術に関する研究・・・・・・・・
2. [研究論文] 抽出 IR 法による樹脂中微量成分検出方法の確立・・・・・・・・
3. [研究論文] 透き目柄出し製織技術の開発・・・・・・・・
4. [技術レター] ステンレス薄板の微細切断に関する研究・・・・・・・・
5. [技術レター] 鏡面光沢度の測定方法に関する研究・・・・・・・・
6. [技術レター] マイコンによる自動化支援キットの開発・・・・・・・・
7. [技術レター] グリストラップ改善装置の改良・・・・・・・・
8. [技術レター] 高品質・機能性繊維製品の開発支援
（インクジェットプリント染色の濃色化研究）・・・・・・・・
9. [技術レター] 自動縫製合わせ織機の改良研究・・・・・・・・

V 先導的戦略研究調査事業

1. [技術レター] 耐熱金型の高度化に関する調査研究
2. [技術レター] 高度センシング技術によるスマートメカニクスに関する調査研究
3. [技術レター] ナノ材料と成形プロセスに関する調査研究
4. [技術レター] シミュレーション援用による知的生産プロセスに関する調査研究

戦 略 技 術 開 発 研 究

MEMS プロセス技術の開発研究（第3報）

佐藤 健* 宮口 孝司* 坂井 朋之*

Development of MEMS Process Technology 3rd Report

SATOU Takeshi*, MIYAGUCHI Takashi* and SAKAI Tomoyuki*

抄 録

微細パターン描画、スパッタリングやドライエッチングなど、これまでに蓄積してきた MEMS 基本技術を応用し、新規の MEMS 製品の設計・試作を進めてきた。薄膜ガスセンサでは、MEMS 技術を利用し、感ガス材に貴金属触媒と微細形状を付与することにより、ガス感度を向上させた。また、光導波路では、専用 CAD による設計をもとに、レジストマスクを形成し、さらにドライエッチングにより光導波路をシリコン基板上に形成した。

1. 緒 言

MEMS は、フォトリソグラフィーに代表される半導体製造技術などを応用した微細加工技術、もしくはその製品群をいう。

この技術は、機械要素と同時に電子回路も同一チップ上に形成でき、高付加価値な微小部品の製造に有利な技術である。

現在、自動車のエアバッグに使われる加速度センサなど、各種小型センサ、携帯電話部品、インクジェットヘッドなど、様々な製品に応用が拡大している。

本研究は、MEMS プロセスの要素技術を開発し、県内企業へ移転、普及することを目的として行ってきた^{1),2)}。

図1は、本研究の一環で設計・試作したシリコン電子銃アレイである。シリコン基板上にクロムのマスクを形成し、等方性ドライエッチングを行うことにより、ピッチ 10 μ m、高さ 5 μ m の先鋭な形状を形成した。

本研究の進め方としては、このような微細部品の設計・試作を通して、パターン形成、成膜技術、ドライエッチング技術など、MEMS の

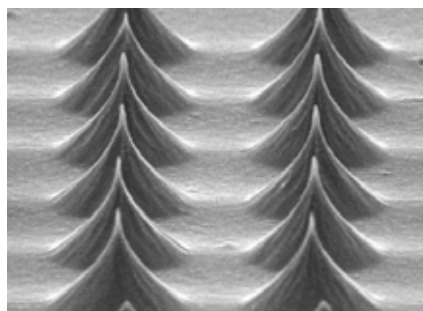


図1 シリコン電子銃アレイ

要素技術を確立し、これらをもとに新規の MEMS 製品への展開を進めている。

本報告では、昨年度から継続して検討してきた薄膜ガスセンサと光導波路について、研究の進捗を報告する。

なお、本研究を進めるにあたっては、財団法人にいがた産業創造機構のナノテク研究センター内に設置されている MEMS 装置を主に利用した。

2. ガスセンサの試作

2.1 ガス検知の原理

アルコールや一酸化炭素など、可燃性ガスの検知方式の一つに、酸化スズなどの氧化物半導体を感ガス材として利用する方法がある。これ

* 研究開発センター

レーザー・ナノテク研究室

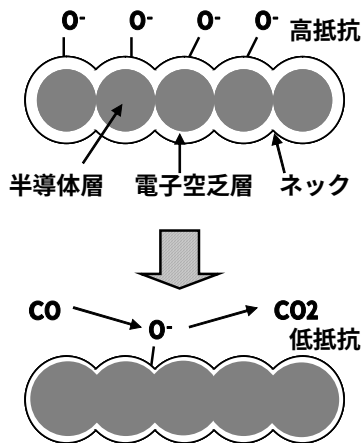


図2 n型半導体のガス検知モデル

は、感ガス材の表面でガス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2にガス検知のメカニズムを模式的に示した。感ガス材は、n型半導体の酸化物粒子を焼結した多孔質体であるため、ネックと呼ばれる微粒子の結合部が多数存在している。

これを200～500℃の高温に保持すると、表面に酸素が吸着する。酸素は半導体側から電子を引抜き、負電荷となって吸着するため、n型半導体の場合、表面に電子空乏層が形成される。特にネック部では、電子の伝導経路が狭い、あるいは、閉じた状態になるため、感ガス材の抵抗は大きい値を示す。

ここに一酸化炭素などの可燃性ガスが流入してくると、表面の吸着酸素が除去されて電気抵抗が著しく低下する。このメカニズムは、“ネック伝導モデル”として広く知られている³⁾。抵抗の変化はガス濃度に依存するので検知が可能となる。一般的に粒子径が小さいほどネック密度が高くなるので感度が向上する。

また、半導体ガスセンサでは、感ガス材に貴金属を添加することにより、増感作用とガス選択性が得られることがわかっている⁴⁾。白金、パラジウムなどが主に使用され、センサ材料の第2、第3成分として添加される。

従来この種のセンサは、液相法などで作製したn型半導体の酸化物微粒子をペースト化し、基板上に塗布・焼結することにより作製される

ことが多い。この方式は厚膜法（厚膜センサ）と呼ばれている。

一方、スパッタリングやエッチング技術などを利用して作製する方式を薄膜法（薄膜センサ）と呼ぶが、実用化はあまり進んでいないのが現状である⁵⁾。

昨年度から、薄膜法によるガスセンサの試作を進めてきたが、本年度は、スパッタリングによる触媒担持とMEMSプロセスによる微細形状付与を検討し、感度向上を目指した。

2.2 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1の条件でPt電極とSnO₂の薄膜を形成した。電極間隔と抵抗体幅はそれぞれ2mmとした。

次に、管状炉（いすゞ製作所製EPKRO-14K）を用い、空気中で650℃・8hourの焼成をして薄膜センサを作製した。

試作したセンサの外観を図3に示す。

参照試料として、液相法によるSnO₂粒子を用いた厚膜センサを試作した。作製方法は以下のとおりである。

表1 スパッタリング条件

	電極	感ガス材
ターゲット材質	Pt	SnO ₂
Ar流量(sccm)	25	17.5
O ₂ 流量(sccm)	0	7.5
出力(W)	250	250
時間(min)	10	3
膜厚(nm)	300	80

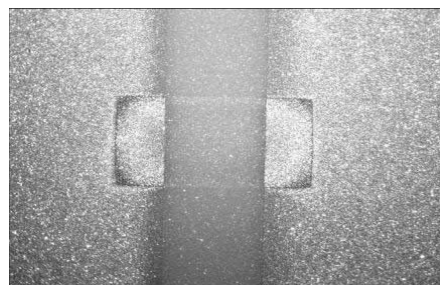


図3 ガスセンサの外観

塩化スズ五水和物 17.5g を 100ml の純水に溶解させ、攪拌しながら 25%アンモニア水を pH が 10 を超えるまで滴下し、水和酸化スズの分散液を作製した。次に、デカンテーションを 3 回行い、沈殿を自然乾燥した後、500°C-2hour の加熱をして SnO₂ 粉末を作製した。

この粉末を乳鉢で純水を少量加えながら粉碎してペースト状にし、上と同じ方法で Pt 電極を形成したアルミナ基板上に厚さ 25 μ m、幅 2mm で塗布し、650°C-8hour で焼結してセンサを作製した。

作製したセンサは、裏面にセラミックヒーターを取付け、350°C に加熱した状態でガス雰囲気における抵抗値 R_g と空気中の抵抗値 R_a を測定し、ガス感度 R_a/R_g を算出した。

なお、被検ガスには 100ppm と 1000ppm の CO を混合した空気を用いた。

次に、ガス感度への触媒担持の効果を評価するため、スパッタリング成膜した SnO₂ 表面に、Pt を膜厚 4nm でスパッタリングした。これを 650°C-8hour で焼成し、ガス感度を測定した。

さらに、ガス感度に対する微細形状付与の効果の評価するため、以下の実験を行った。

アルミナ基板の Pt 電極間に SiO₂ を 100nm スパッタリングした。その上に東京応化工業製フォトリソスト OFPR-800 (20cP) を用いて、ライン&スペース (L/S) 5 μ m のレジストマスクを形成した。L/S パターンは、電極を結ぶ方向に対して直交するようにした。

その上に SiO₂ を再び 100nm スパッタリングし、リフトオフ法により段差形状を形成した。

次に、SnO₂ を 80nm、Pt を 4nm スパッタリングして、650°C-8hour の焼成をしてセンサを作製した。

2.3 実験結果と考察

図 4 に薄膜法と厚膜法によるガスセンサの CO に対するガス感度を示す。図より、厚膜センサのガス感度は大きいが、薄膜センサではほとんどガスを検知しなかった。

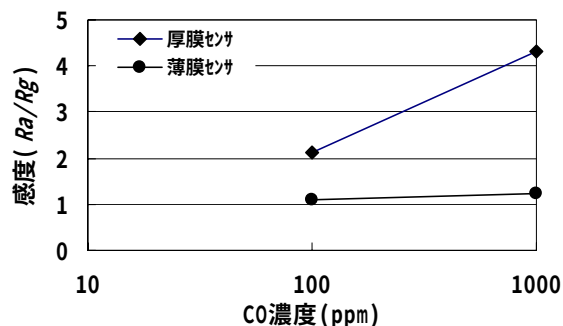
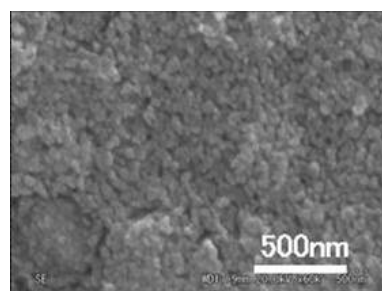
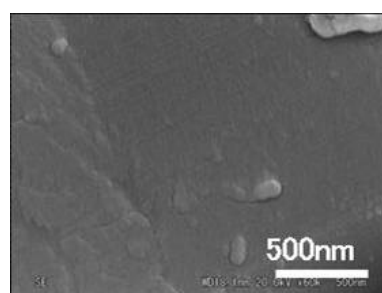


図 4 各センサのガス感度



(a) 液相法による厚膜センサ



(b) スパッタリングによる薄膜センサ

図 5 各センサの表面状態

図 5 は、それぞれのセンサの感ガス材の表面を SEM で観察したものである。(a) は、液相法で作製した SnO₂ 粒子を焼結したものである。前項図 2 のメカニズムにより、大きな感度を示したと考えられる。これに対して (b) のスパッタリングによる薄膜センサは、全体が平坦に成膜されネックが少ない。このため、電子空乏層の減少が電気抵抗の変化に十分反映されず、大きな感度が得られないと考えられる。

図 6 に SnO₂ 表面に Pt 触媒をスパッタリングし、焼成した状態を示す。SnO₂ の表面に Pt が微粒化した状態で担持されている。

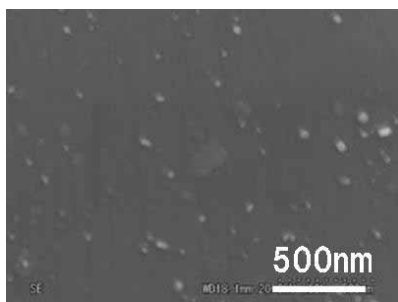
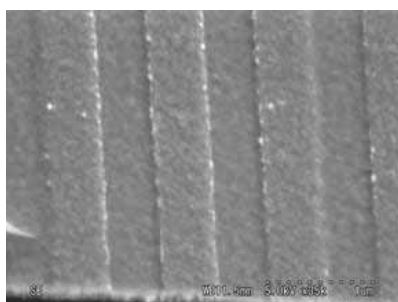


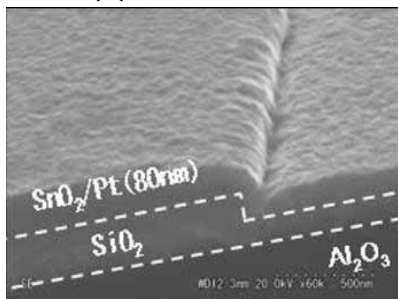
図6 センサ表面に担持された触媒粒子

図7は、 SiO_2 で段差形状を形成し、その上から SnO_2 と Pt 触媒をスパッタリングして作製したセンサである。(a)は全体形状、(b)は段差部分の拡大断面を示す。

段差部分で SnO_2 の薄膜にネックに類似した



(a) 段差形状外観



(b) 段差部の拡大断面

図7 段差形状を付与したセンサ

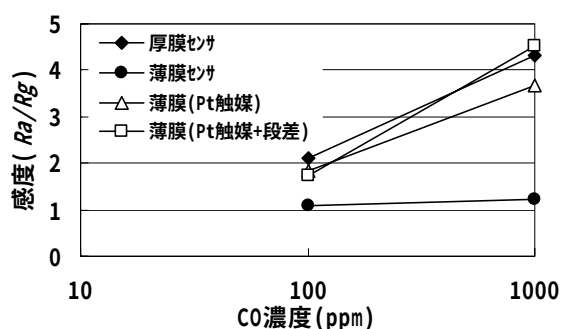


図8 触媒担持時と段差形成の影響

形状が形成されている。

これらのセンサの感度を測定した結果を図8に示す。ガス感度は、スパッタリング成膜の場合と比較して大きく向上しており、厚膜法で作製したセンサとほぼ同等のガス感度が得られた。

試作した段差は、微粒子から作製した厚膜センサのネックに相当すると考えられる。今回試作した段差は、比較的粗い L/S パターンであり、高さも SnO_2 の膜厚とほぼ同等とした。より感度を向上させるには、ネックに相当する部分が高密度かつ狭くなるような形状の検討が必要と考えられる。

3. 光導波路の試作

光集積回路では、光の波長程度の間隔で隣接する導波路間で相互のモードを結合することによって光を他の導波路に導くことができる方向性結合器とよばれる素子が多用される。この素子は信号の遅延やノイズの発生源となる光の反射が無いため、光の結合には最適である。また、シリコン導波路⁶⁾は光を強く閉じ込めることが可能で、素子の大きさを10分の1以下にすることが可能であるが、シリコン導波路を用いた方向性結合器では、光導波路の間隔が $0.3\mu\text{m}$ 程度と非常に狭く、エッチング条件を最適化することが難しい。本研究では、幅 $0.3\mu\text{m}$ 、高さ $0.4\mu\text{m}$ の方形導波路を $0.3\mu\text{m}$ の間隔で隣接させた方向性結合器モデルを試作した。

3.1 実験

図9に実験に用いた SOI 基板の構造を示す。シリコン導波路は Si①層をエッチングすることで作製した。入手した SOI 基板の SiO_2 層は $500\mu\text{m}$ 、Si①層は $5\mu\text{m}$ であったが、シングルモード条件を満たすシリコン導波路の高さにするため、 SF_6 ドライエッチングによって、Si①層の厚さを約 $0.4\mu\text{m}$ まで薄膜化した。Si①層の膜厚は、光学式膜厚計 (Filmetrics F20) を用いて測定した。

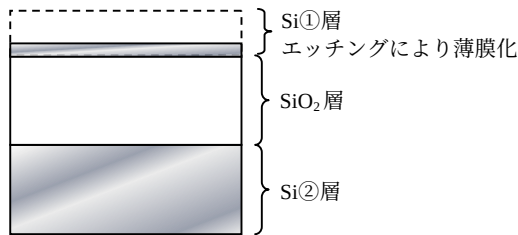


図9 実験に用いた SOI 基板の構造
(寸法比率は実物と異なる)

SOI 基板に、ネガレジスト（ローム・アンド・ハース SAL601）を塗布、ベークした後、電子線描画装置（日立ハイテック S-4300SE 東京テクノロジー Beam Draw）により露光した。露光後、ポストベーク、現像を行い、レジストパターンを形成した。その後、ドライエッチング装置（住友精密工業 Multiplex ASE-HRME）で異方性エッチングを行った。

3.2 実験結果および考察

これまでの、電子線描画装置によって形成したレジストパターンをドライエッチングすると、レジストが分解し、微細なパターンをシリコンに転写することができなかった。レジスト分解の原因は、エッチングの際に流していた O_2 にあると考え、 O_2 を使用しないレシピでエッチングを行ったところ、レジストの分解が抑えられることを見出した。図 10 に試作したシリコン導波路モデルを示す。導波路パターンが精度良くシリコンに転写されている。異方性エッチ

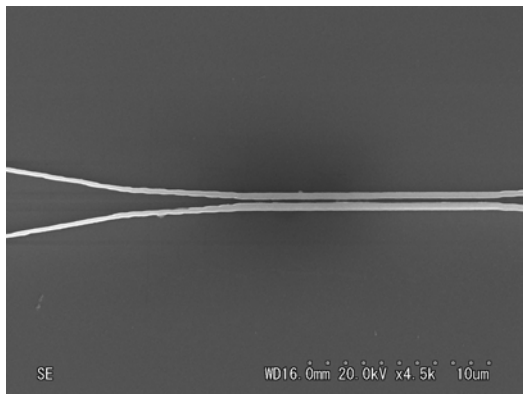


図10 試作したシリコン導波路モデル

ングを行った後、残ったレジストは O_2 プラズマで分解除去した。

従来、電子線描画装置を用いた、シリコンの微細パターンエッチングでは、 SiO_2 薄膜を用いたリフトオフ手法を経由する必要があったが、今回確立したエッチング条件を用いることによって、任意の数百 nm サイズの微細シリコン形状を直接作製することが可能になり、試作時間を削減することができた。さらに、リフトオフ時に発生するパターン端のめくれ等に起因する転写精度低下も防止できることから、転写精度も大幅に向上させることができた。

4. 結 言

- (1) 薄膜ガスセンサ試作において、感ガス材である酸化スズ薄膜に白金触媒を担持し、微細形状を付与することにより、一酸化炭素に対する感度が向上することがわかった。
- (2) SOI 基板上に、幅 $0.3\mu m$ 、高さ $0.4\mu m$ 、間隔 $0.3\mu m$ の方向性結合器の試作を行い、電子線描画装置による微細パターンをシリコン上に直接加工する手法を確立した。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 坂井，長谷川，佐藤，“MEMS プロセス技術の開発研究（第 2 報）”，工業技術研究報告書，35，2006，p.3-9.
- 3) 光藤，“ガスセンサー”，セラミックス，15，5，1980，p.339-345.
- 4) 片岡ほか，“センサハンドブック”，培風館，1986，p.525-535.
- 5) 権田ほか，“21 世紀版薄膜作製応用ハンドブック”，NTS，2003，p.1038-1040.
- 6) 和田，キマリング，“高度情報化社会に向けた Si フォトニクス将来展望”，応用物理，2，2007，p.141-147.

公 募 型 受 託 研 究 事 業

高度塑性加工技術による車両用シートフレーム部品の開発

相田 収平* 山崎 栄一* 紫竹 耕司** 杉井 伸吾* 白川 正登* 石川 淳* 片山 聡*

Development of high-performance lightweight seat frame parts for automobile

AIDA Shuhei*, YAMAZAKI Eiichi*, SHICHIKU Koji**, SUGII Shingo*,
SHIRAKAWA Masato*, ISHIKAWA Atsushi* and KATAYAMA Satoshi*

抄 録

環境負荷低減への要求から自動車等の輸送機器の大幅な燃費低減は必達であり、これを解決する手段として、軽量化への取り組みが重要である。本研究では、経済産業省から委託を受けた「地域新生コンソーシアム研究開発事業」において、輸送機器軽量化のための高性能軽量金属部材の実用化を図るため、マグネシウム合金に対する温間対向圧力成形技術、および温間逐次成形技術の開発を行った。これらの加工技術を車両用軽量シートフレーム部品へ適用することにより、高い意匠性を持った軽量センターテーブルを開発した。さらにミニバン用シートフレームの開発も行い、マグネシウム合金展伸材の強度・機能部品への展開を図る道筋をつけた。

1. 緒 言

現在、環境負荷低減への要求から自動車等の輸送機器の大幅な燃費低減は必達であり、これを解決する有効な手段として、軽量化への取り組みが重要である。このため自動車用部材への、高張力鋼板やアルミニウム合金の利用が進みつつあるが、さらなる軽量化を目指してマグネシウム合金の適用も始まっている。

一方、新潟県では、マグネシウム合金の加工技術開発にいち早く取り組み、その製品化技術を既に有している。今回、新潟県の産学官が持つ技術シーズ¹⁾をもとにこれらを組み合わせ、さらに融合させることにより、輸送機器の軽量化、高機能化を推進するための高性能軽量金属部材（マグネシウム合金製シートフレーム等）の実用化を目的として研究開発を行った。

開発製品の目標スペックは以下のとおり。

- ・ 従来の鉄製品に対して 20%以上の軽量化をしたシートフレームの開発

- ・ 従来の鉄製品に対して 50%以上の軽量化と高い意匠性を持ったセンターテーブルの開発

これらを実現するためには、効率的な試作技術による開発コストの低減、高精度複雑形状成形技術による生産工程の効率化が重要である。そこで、本研究では、以下に掲げる新しい加工技術を開発し、マグネシウム合金製シートフレーム部品の開発を進めた。

(1) 温間対向圧力成形技術の開発

対向圧力成形法はパンチに対向する圧力を加えることで素材の局部伸びを抑制し、成形限界の向上や従来法では不可能な複雑形状品の成形を可能にする方法であり、従来のプレス成形法に比べて工程の短縮と金型の簡易化が可能となる。しかし、マグネシウム合金の場合には成形温度が高く、油や水といった液体を利用することは困難であるため、小径粒体を圧力媒体とした対向圧力成形の実用技術開発を行うとともに、この成形技術を活用した車両用センターテーブルの開発を行う。

(2) 温間逐次成形技術の開発

金型を使わない板金成形法である逐次張り出し

* 研究開発センター

** 企画管理室

成形法は試作コスト、時間の大幅な短縮を可能とする技術である。本研究では、マグネシウム合金等の部材創製をターゲットとし、200℃～300℃の温度域で高効率な加工を可能とする温間逐次成形技術を開発する。また、この成形技術を車両用センターテーブルの試作に適用し、効率的な開発手法を確立する。

2. 温間対向圧力成形技術の開発

2.1 温間対向圧力成形試験

本試験ではマグネシウム合金の絞り加工を対象とし、材料に対向圧力を加える媒体としてフッ素ゴムを用い、通常の温間成形と温間対向圧力成形の成形限界を比較した。対向圧力成形法の模式図を図1に示す。

2.1.1 試験方法

絞り形状は円筒深絞りとし、その成形限界を限界絞り比で評価した。絞り比とは、成形するパンチの直径に対する素材円板の直径の比であり、破断せずに成形可能な最大の絞り比が限界絞り比である。

成形に用いた板材は AZ31B、板厚 0.5mm であり、対向圧力を加える圧力媒体はφ6mm の球形フッ素ゴム、硬さ A70 を使用した。

金型構造は図2に示すように対向圧力付加のために、金型下部中央に背圧ピストンを設け、パンチの変位に伴ってプレスのだイクッション力を制御して背圧ピストンを上下させ、対向圧力を与えられる構造としている。パンチ径はφ40mm、パンチ肩半径 8mm、ダイス肩半径は 2mm である。

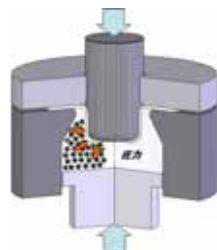


図1 対向圧力成形模式図

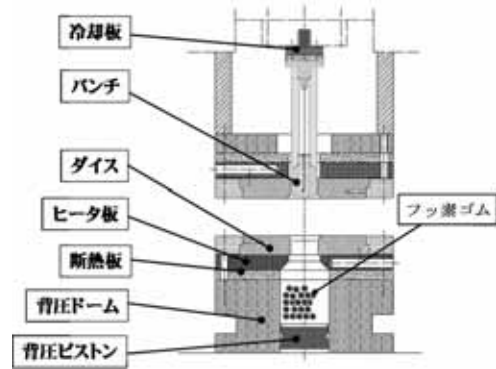


図2 温間対向圧力成形の金型構造

パンチ、ダイス、板押さえはヒータにより加熱し、温度制御している。また、潤滑には材料上下面に PTFE シート（厚さ 0.05mm）を用いた。

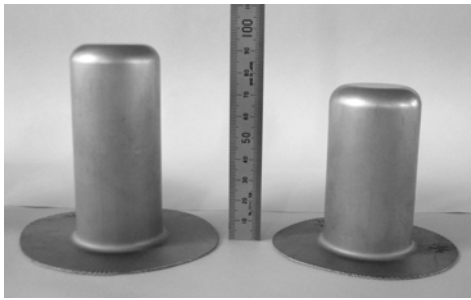
限界絞り比を求めるにあたり、対向圧力付加時には背圧ドーム内にフッ素ゴムを充填して試験を行い、通常の温間成形試験ではフッ素ゴムと背圧ピストンを除いた状態で試験を行った。主な成形条件を表1に示す。

表1 成形限界比較試験条件

成形法	通常温間成形	温間対向圧力成形
ダイス温度 (°C)	200	
板押さえ温度 (°C)	200	
パンチ温度 (°C)	60	
板押さえ荷重 (kN)	20	
対向圧荷重 (kN)	—	100
対向圧付加領域 (絞り深さ mm)	—	10以上
絞り速度 (mm/sec)	2 ～ 1	

2.1.2 試験結果

試験を行った結果、通常温間成形では限界絞り比が 3.3 であったものが、対向圧力を付与することにより 3.8 に向上した。このことから、ゴム粒体を圧力媒体とした温間での対向圧力成形により、通常の温間成形に比べて深絞り成形の成形限界が向上することが確認できた。成形品の写真を図3に示す。



左：温間対向圧力成形 限界絞り比 3.8
右：通常温間成形 限界絞り比 3.3

図3 成形品

2.2 センターテーブル部品への適用

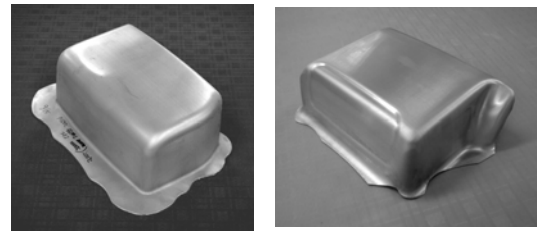
自動車の左右座席間に取り付けられるセンターテーブルの樹脂部品形状をマグネシウム合金で製作、置換して意匠性の向上を図るもので、図4に示すフロント部およびリア部の部品をマグネシウム合金板材の絞り加工によって成形を行った（図5）。しかし、総型のダイスを用いない絞り加工では複雑形状の成形や側壁部の形状精度の向上は一般に難しいため、絞り成形における形状精度を向上させるため、絞り加工後に温間での対向圧力付与による形状矯正加工を行い、その効果を確認した。

形状矯正加工は、絞り加工とは別工程で、金型に製品をセットした後に、製品表面にゴム粒体を介して圧力を付加することで行った。フロント部およびリア部の矯正加工条件を表2に示す。

絞り加工後と矯正加工後の成形品の幅中央部外形形状を三次元測定機により測定した結果を、差



図4 対象としたセンターテーブル部品



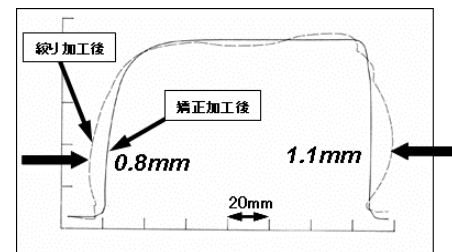
フロント部

リア部

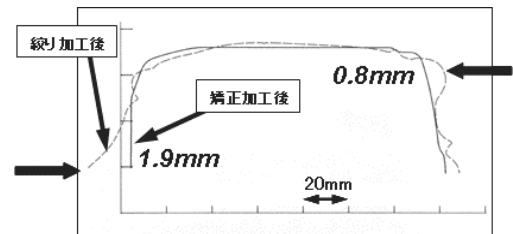
図5 センターテーブル絞り加工部品

表2 矯正加工条件

成形条件	フロント部	リア部
ダイス温度 (°C)	210	225
板押さえ温度 (°C)	210	225
パンチ温度 (°C)	250	250
矯正圧力 (MPa)	20	19
矯正圧力保持時間 (sec)	5	5



フロント部



リア部

図6 矯正加工による形状の変化

を拡大して図6に示す。フロント部、リア部ともに形状矯正加工で、1mm 前後の矯正効果が現れている。製品の外観においても、絞り加工品に比べ矯正加工品では、稜線をシャープにすることができた。

3. 温間逐次成形技術の開発

逐次成形技術は、NC フライス盤を使用し、その主軸に取り付けた成形工具を数値制御により動

かすことで、テーブル上に設置した金属板を所望の形状に張出し成形させる塑性加工法である²⁾。成形に金型を必要としないことから、金属製品の試作段階においてコスト低減や時間の大幅な短縮が可能である。

この技術をマグネシウム合金に適用する場合、成形温度が200℃～300℃と高いため、これに対応した逐次成形システムを構築する必要がある。そこで、板への通電加熱によるジュール熱を利用した効率的な加熱方法の成形システムを開発した。

3.1 温間逐次成形試験装置

通電加熱を利用した素材板の加熱機能を付与した温間逐次成形試験装置を作製した。図7に外観写真を示す。NCフライス盤のテーブル上に設置した電源トランス（単相、容量27kVA、1次200V／2次3V）からシャントワイヤ、銅電極を介して、同一テーブル上にある成形ジグに固定した素材板に通電させながら逐次成形を行う。

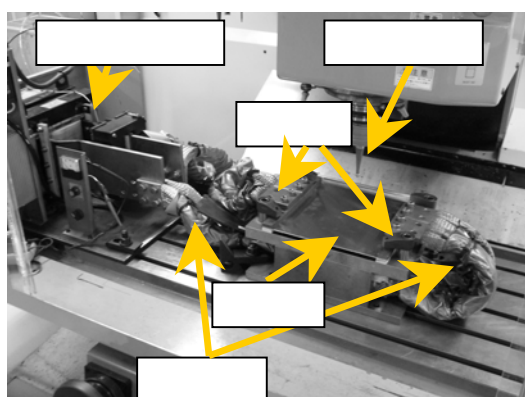
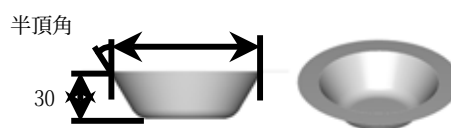


図7 温間逐次成形装置の外観

3.2 温間逐次成形試験

温間逐次成形装置を用いて、マグネシウム合金板AZ31Bの成形条件を検討する。成形形状について、成形温度と半頂角 γ を変え、様々な形状とした成形試験を行った。なお、成形温度はトランスから供給する電流値を調整することにより設定した。

成形試験結果を表3に示す。表中の○×は各成



試験材料	AZ31B、板厚2mm
成形工具	超硬合金 先端φ10ボール
潤滑剤	二硫化モリブデン乾性被膜

図8 温間逐次成形試験条件

表3 成形試験結果

	175	200	225	250	275	300
40	×	○				
39						
38						
37		○				
36						
35	×	○				
34						
33		○				
32		○				
31		○				
30		×	○	○		
29			○	○		
28			○	○	○	○
27			×	○	×	○
26				×		○
25						×

形温度における半頂角 γ の円錐台形状の成形可否を表し、 γ の値が小さいほど成形限界が向上する。試験結果から、①成形温度200℃以上で成形が可能となる、②高温になるにしたがって成形限界が向上する、③半頂角 $\gamma = 26 \text{ deg}$ が成形限界であることをそれぞれ明らかとした。

3.3 マンドレル材料の検討

逐次成形において、自由曲面などを有する複雑形状品の成形では、マンドレルと呼ばれる形状型が必要となる²⁾。室温での成形加工においては、マンドレル材料として樹脂など、切削加工が容易で安価な材料が選択できる。しかし成形温度が200℃以上となる温間逐次成形においては、耐熱性を有するマンドレル材料の検討が必要である。

そこで、200℃以上の耐熱性を有し、かつ形状創製が容易な材料とし、アルミニウム合金、石膏、耐熱セメントの3種を選定し、最適なマンドレル材料を検討した。

マンドレル形状および試験条件を図9に示す。円錐台形状のマンドレルにより成形試験を行った。アルミニウム合金製マンドレルについては、マンドレルにカートリッジヒータを組み込み、板温度とマンドレル温度を変化させて試験を行った。

試験の結果を表4に示す。アルミニウム合金はマンドレルを200℃以上に加熱することで成形可能、耐熱セメント、石膏の各マンドレルについては、マンドレルを加熱することなく成形が可能であり、成形素材であるマグネシウム合金板に供給する通電エネルギーと、マンドレルである耐熱セメントと石膏への放熱のバランスが取れば有効な材質である。これらの結果から総合的に考えた場合、アルミニウム合金製マンドレルにカートリッジヒータを組み込んだものが、製作の容易さや熱バランスに対する寛容性などから有利である。さらに、成形時の熱膨張を考慮した場合、マグネシウム合金とアルミニウム合金の熱膨張係数がほぼ同一と見なせることから、板材とマンドレルの熱膨張量を補正した成形用NCデータの作成が容易であるという利点があり、マンドレル材料としてはアルミニウム合金が最適であると判断した。



図9 マンドレル材料検討試験の概要

表4 マンドレル材料検討試験結果

試験No.	マンドレル材質	成形時 マンドレル温度 (℃)	成形時 マグネシウム合金板 温度(℃)	成形可否
1	アルミニウム合金	室温	230	×
2	アルミニウム合金	100	240	×
3	アルミニウム合金	150	240	×
4	アルミニウム合金	200	230	○
5	アルミニウム合金	250	230	○
6	アルミニウム合金	300	60	×
7	アルミニウム合金	300	150	○
8	アルミニウム合金	300	230	○
9	耐熱セメント	室温	250	○
10	石膏	室温	250	○

○：成形可能 ×：成形不可能

3.4 センターテーブル部品への適用

温間逐次成形技術について、試作成形への適用を試みた。自動車用内装部品であるセンターテーブルフレームのマグネシウム合金による製作において、ベースプレートを温間逐次成形により試作した。

ベースプレートの試作成形の概要を図10に示す。アルミニウム合金製のマンドレルを使用して温間逐次成形を行った。600×500×3mmのマグネシウム合金板 AZ31B について、張出し成形を行い、その後、レーザにてトリミングした。

この部品を従来の製作方法であるプレス成形により試作を行った場合、金型費で約150万円、試作品完成まで約4週間程度要する。一方、温間逐次成形による試作では製作費10万円程度、試作品完成まで2週間程度であり、非常に効率的な試作が実現できた。

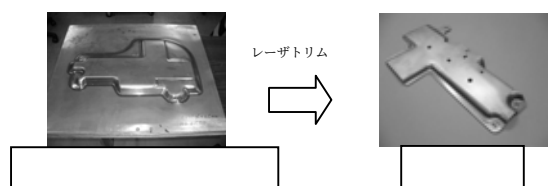
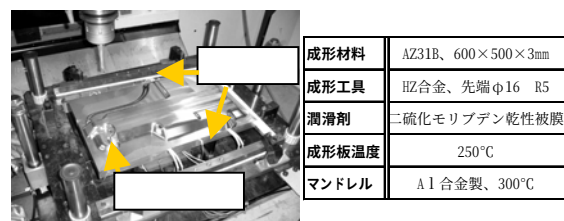


図10 センターテーブル部品への適用

4. 地域新生コンソーシアム研究開発事業

本研究は、平成17年度～18年度の2年にわたり、経済産業省からの委託研究「地域新生コンソーシアム研究開発事業」（管理法人：（財）にいがた産業創造機構）の中で行った。この事業では、マグネシウム合金の板やパイプといった展伸材によって、車両向けの高性能軽量金属部材の実用化を目的として、軽量シートフレーム、および軽量センターテーブルの試作

を行った。

4.1 マグネシウム合金製軽量シートフレーム

図 11 に、開発したミニバン用軽量シートフレームを示す。自動車用のシートフレームとしては初めて、マグネシウム合金の展伸材を用いている。また、製作だけにとどまらず、強度、耐久性、振動特性などの評価試験を行うことにより、軽量化が車両に与える効果、展伸材を適用することの利点、さらには実用化を進めていく上での検討課題等を明らかにした。

開発したシートフレームは、従来の鉄製品に対してほぼ同等の強度を有しながら、約 25%の軽量化を達成している。また、軽量化によってフレームの周波数特性が変化し、この結果、車両走行時の乗り心地の向上が期待できることがわかった。また検討課題は、溶接部分や継手部分の強度と信頼性を向上させることである。

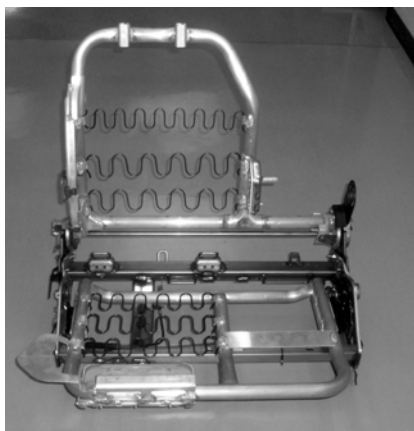


図 11 マグネシウム合金製シートフレーム

4.2 マグネシウム合金製軽量センターテーブル

図 12 には、開発したミニバン用センターテーブルを示す。従来の鉄製フレームに対して、約 53%の軽量化を達成している（鉄製重量 4.5kg に対して、2.1kg）。また、カップホルダ部など従来の樹脂製部品に対して、マグネシウム合金板材を使用した。そして、新たに開発した対向圧力による板成形技術に県内企業による



図 12 マグネシウム合金製センターテーブル

表面研磨技術、および陽極酸化処理技術（マグシャイン）³⁾を適用することで、金属が持つ質感と光沢を生かした意匠性に優れた製品を開発することができた。

5. 結 言

- (1) 温間成形が必要なマグネシウム合金に対し、フッ素ゴムを圧力媒体に用いて対向圧力成形を試み、成形限界が大幅に向上する「温間対向圧力成形技術」を開発した。（限界絞り比 3.3→3.8） また、センターテーブル部品への適用を通じて、高精度成形の可能性を明らかにした。
- (2) 逐次成形技術をマグネシウム合金に適用するべく、素材板に通電加熱させるとともに耐熱マンドレルを用いる「温間逐次成形技術」を開発した。この技術をセンターテーブルのフレーム部品の試作に適用した場合では、従来の製作工程に対して時間比で約 1/2、コスト比で約 1/10 と大きな効果が得られた。
- (3) 自動車用としては初めて、マグネシウム合金展伸材によるシートフレームを開発した。また、強度、耐久性、振動特性などの評価試験を行い、従来品と同等の強度を確認するとともに、軽量化による振動特性の改善効果を確認した。
- (4) マグネシウム合金の特性を生かし、従来品に比べて、重量が 1/2 と軽量で、かつ樹脂製品に比べて、金属の質感と光沢を生かした意匠

性の高い車両用のセンターテーブルを開発した。

なお、本研究の成果については下記の名称で2件の特許を出願済みである。

【発明の名称】

マグネシウム合金薄板の塑性加工方法

【出願番号】

特願 2006-311364, および特願 2006-311365

参考文献

- 1) 相田収平, 田辺寛, 須貝裕之, 高野格, 大貫秀樹, 小林勝 “AZ31 マグネシウム合金板の深絞り成形性”, 軽金属, 50, 9, 2000, p456-461.
- 2) 田中興一, 坂井修, 相田収平, 宮口弘明 “逐次張出し成形機と成形法に関する研究”, 工業技術研究報告書, No.32, 2003, p22-24.
- 3) 渡邊健次郎, 杉井伸吾, 田辺寛, 折笠仁志, 片山聡, 小林泰則 “マグネシウム合金による複雑形状部品の鍛造・プレス加工技術の確立と用途開発(第3報)”, 工業技術研究報告書, No.34, 2005, p3-10.

ニッケルフリーステンレス鋼の実用化研究

三浦 一真* 岡田 英樹** 田辺 寛***
渡辺 光雄**** 安藤 俊幸**** 大澤 康暁****

A Study on Productive Application of Nickel-free Stainless Steel

MIURA Kazuma*, OKADA Hideki**, TANABE Hiroshi ***,
WATANABE Mitsuo****, ANDO Toshiyuki**** and OSAWA Yasuaki****

妙 録

フェライト組織の状態では薄板状に成形し、その後、窒素吸収熱処理させる手法で1~0.2mm厚さのNiフリーステンレス鋼(Fe-24%Cr-2%Mo-1%N)薄板を試作し、種々の特性評価を行った。引張強度について、伸びはSUS316をわずかに下回ったものの強度は大きく上回った。それに対して、絞り加工性は既存のステンレス鋼に比べ、劣る結果となった。耐食性については30℃、1kmol/m³NaCl溶液における孔食電位で評価した。その結果、既存のステンレス鋼と異なり、明確な孔食電位は認められなかったことから腐食環境での製品適用が期待できる材料であることがわかった。

1. 緒 言

(独)物質・材料研究機構が開発した新しいオーステナイト系ステンレス鋼は、Niを含まないフェライト系ステンレス鋼に高濃度の窒素を吸収させたもので高窒素Niフリーステンレス鋼と呼ばれている。特性については、例えば機械的特性である引張強度をSUS316と比較した場合、強度は1.4倍で伸びは2倍以上と強く^{1), 2)}、耐食性についても、海水中でのすきま腐食や孔食に非常に強く、非磁性で生体適合性にも優れていることから、特に海洋構造部材や医療分野においてSUS316が使われている部分の代替として期待されている^{3), 4)}。

Niフリーステンレス鋼は、主に窒素ガスを充填した加圧容器内で溶解母材を消耗電極として再溶解するESR(Electro Slag Remelting)法や

加圧誘導溶解炉により製造されるが⁵⁾、製造コストが高く、金属中に固溶した窒素は加工硬化により硬度を増すため、高濃度の窒素を添加したインゴットからの加工は非常に難しく、この量産化技術は未だ確立していない。

この問題を解決する方法として成形加工と窒素吸収処理を組み合わせた製造技術がある⁶⁾。我々は以前より窒素を含有する前のフェライト組織の状態では薄板成形し、その後窒素吸収処理する研究を行っている。今回は量産ラインで薄板成形後、窒素処理することで組織をオーステナイト化した薄板を試作し、特性を評価するとともに、SUS304など既存のステンレス鋼と比較することでこの板材の製品適用性について検討した。

2. 実験方法

供試品は高Cr組成フェライト系であるFe-24wt%Cr-2wt%Mo(以後、wtを省略)をそれぞれ所定の厚さ(約0.2~1mm)に圧延後、窒素吸

* 研究開発センター

** 県央技術支援センター

*** 県央技術支援センター加茂センター

**** 明道メタル株式会社

収処理した板材である。処理時間は数時間であり、処理中は炉内に窒素を流入させながら温度を 1150～1200℃に保持した。以後、窒素吸収処理した板材のことを Ni フリーステンレス鋼と呼ぶ。

Ni フリーステンレス鋼の特性評価は、厚さ 0.5mm の板材を用い、引張強伸度の測定、絞り性、耐食性について行い、オーステナイト系である SUS304 をはじめとする既存のステンレス鋼と比較した。絞り性についてはコニカルカップ試験（JIS Z 2249）により評価した。

耐食性については孔食電位を測定することで評価した。試験方法は JIS G 0577『ステンレス鋼の孔食電位測定方法』に準拠した。試験溶液は 1 kmol / m³NaCl 溶液で脱気は高純度窒素ガスで行った。液温は 30℃とした。また、電位掃引速度は 20mV/min に設定している。実験装置の外観写真を図 1 に示す。

3. 実験結果と考察

3.1 引張強伸度の測定結果

試験はオーステナイト系の SUS316 と試作した Ni フリーステンレス鋼について行った。試験に先立ち、試作した Ni フリーステンレス鋼に含まれる窒素を ONH 分析装置（EMGA-1300,（株）堀場製作所製）を用いて分析した。その結果、含有率は 1.00～1.18%であった。なお、フェライトスコープでフェライト量を測定したが、フェライトは未検出であった。したがって、Ni フリーステンレス鋼は窒素吸収によりオーステナイト相に変態したものと思われる。



図 1 腐食実験装置外観

表 1 試験結果一覧

サンプル	耐力 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	硬度 (HV)
316①	321	636	46	152
316②	324	639	46	150
Ni フリー①	774	1041	37	306
Ni フリー②	813	1033	36	302

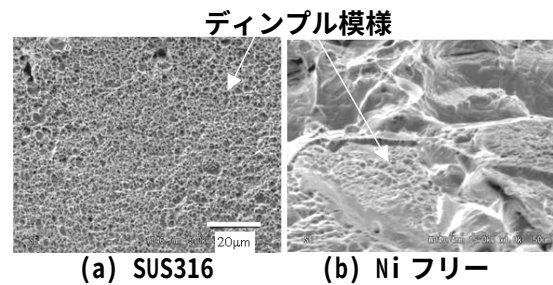


図 2 引張試験後の破面

板材から JIS で規定されている 14 号試験片を作製し、5mm/min の速度で試験を行った結果を表 1 に示す。なお、試験はそれぞれ 2 回ずつ行った。ビッカース硬度測定結果をあわせて示す。破断はいずれも試験片の中央部分で起きている。得られた Ni フリーステンレス鋼の引張強伸度は、平均で耐力 793MPa、引張強度 1037MPa、伸び 37%であり SUS316 に比べ、耐力で 2 倍以上、引張強度で約 1.5 倍の強い値が得られた。伸びは SUS316 より若干劣るものの、SUS430 の一般的な伸びの値は 20～30%であり、これに比べると大きい値を示しているといえる。Ni フリーステンレス鋼の硬度は SUS316 の約 2 倍の 300HV を越えており、非常に硬い。

なお、試験後の破断形態は図 2 に示すように図 2 (a)に示す SUS316 では延性破壊を示すデンプル模様が全面に形成された。一方、(b)に示す Ni フリーステンレス鋼では破面のおよそ半分程度はデンプル模様を呈したが、残りはややロック状の形態を示した。

3.2 絞り性評価

板厚 0.5mm の SUS304、SUS316、フェライト系の SUS430、Ni フリーステンレス鋼の各板材

**表 2 コニカルカップ試験結果
(D 値) 一覧**

サンプル	1 回目 (mm)	2 回目 (mm)	3 回目 (mm)	平均値 (mm)
Ni フリー	30.5	30.8	30.7	30.7
SUS304	26.3	26.8	26.3	26.5
SUS316	27.1	27.0	26.9	27.0
SUS430	27.9	27.6	27.9	27.8

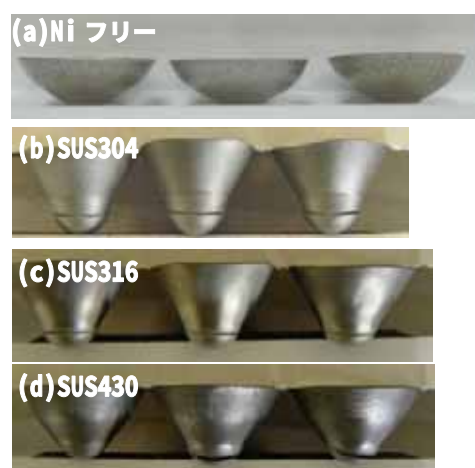


図 3 コニカルカップ試験後の外観

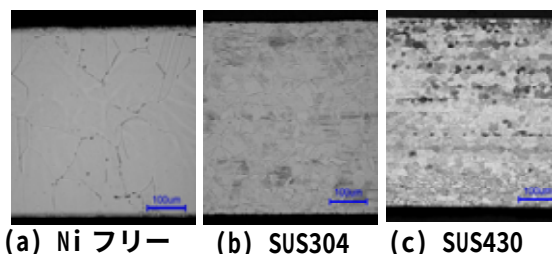


図 4 板材 (板厚 0.5mm) の金属組織

について、JIS Z 2249 に準拠したコニカルカップ試験 (13 型) を行った。得られた D 値の一覧を表 2 に、試験後のサンプル外観を図 3 に示す。Ni フリーステンレス鋼(d)は既存のステンレス鋼(a)～(c)に比べると D 値は大きく、絞り成形性に劣っていることがわかった。図 4 は板厚が 0.5mm である Ni フリーステンレス鋼 (a)、SUS304 (b)、SUS430 (c)各板材の金属組織を示す。結晶粒の大きさを比較すると、SUS304(b)、

430(c)に比べて、Ni フリーステンレス鋼(a)の結晶粒がかなり大きいことがわかる。

Ni フリーステンレス鋼の絞り性が他の板材に比べ、劣っているのは表 1 の結果からもわかるように硬度が高いこと、結晶粒が SUS304 をはじめとする既存のステンレス鋼に比べて大きいことも影響していると考ええる。結晶粒が大きいのは、高温で長時間の窒素吸収処理を行うためで処理時間を長くすると当然結晶粒が粗大化する。したがって、結晶粒を微細化し、かつ粗大化を防ぐ必要がある。窒素吸収を促進させる方法として、炉内の圧力を高くして窒素処理を行っている例が報告されている⁸⁾。圧力を高くすることで処理時間の短縮化と結晶粒粗大化の防止が期待できる。この方法をいかにして量産技術へ適用するかが大きな課題と考える。

Ni フリーステンレス鋼の実用化には、窒素吸収処理前のフェライト組織の状態で加工後、窒素吸収を行うプロセスの方がコスト的に有利であり、実用化するためには、更なる窒素吸収処理時間の短縮、結晶粒の微細化が求められる。将来的に圧延と窒素吸収処理を連続で行うプロセスを構築することができれば、量産性が大幅に向上し、既存のステンレス鋼の製造コストに近づくものと考ええる。

3.3 耐食性評価

ステンレス鋼で発生する腐食形態は全面腐食と局部腐食の両方であり、局部腐食はさらに応力腐食割れ、孔食、粒界腐食割れ、すき間腐食などがある。本研究ではこれらの腐食のうち、耐食性に優れているといわれているオーステナイト系においても問題となる腐食形態で応力腐食割れと並んで発生頻度の高い孔食に着目し、耐孔食性について評価した。

孔食はステンレス鋼のような不動態化性の金属に起こる腐食で、不動態皮膜の欠陥部分がハロゲンイオン (Cl^- , Br^- , I^-) の存在する環境中で破壊され、その部分のみが深く浸食されることが原因で起こる腐食である。本試験では、

SUS304, SUS430, YUS180（フェライト系高Cr組成, 19%Cr）, Ni フリーステンレス鋼を選定し、それぞれの孔食電位を測定し、鋼種間で比較した。なお、孔食電位はアノード分極曲線の電流密度 $100\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ に対応する電位で、孔食の有無はその電位における電流値の上昇度合い（曲線の立ち上がり度合い）で判定した。

表3に得られた孔食電位の一覧、図5に得られたアノード分極曲線を示す。分極曲線においてある電位で急激に電流値が立ち上がっているが、このときの電位を孔食電位という。これは材料表面の不働態皮膜が孔食電位において破壊された結果生じた孔へ電流が集中し、腐食が進行したことを意味している。

アノード分極曲線を見ると、SUS304（図5(a)）、SUS430（図5(b)）、YUS180（図5(c)）については、明確な孔食を示しており（図5の点線楕円部分に相当）、それらの孔食電位は、 $\text{SUS430} < \text{SUS304} < \text{YUS180}$ の順で高くなった。試験終了後のサンプル表面写真を図6に示す。図6(a)であるSUS304には食孔が観察されている（図中の矢印部分）。一方、Ni フリーステンレス鋼は、電流値は電位上昇に合わせて緩やかな上昇を示した。これは緩慢な全面腐食である

表3 孔食電位測定結果

鋼 種	SUS304	SUS430	YUS180	Ni フリー
孔食電位 (V)	0.15	0.06	0.17	-

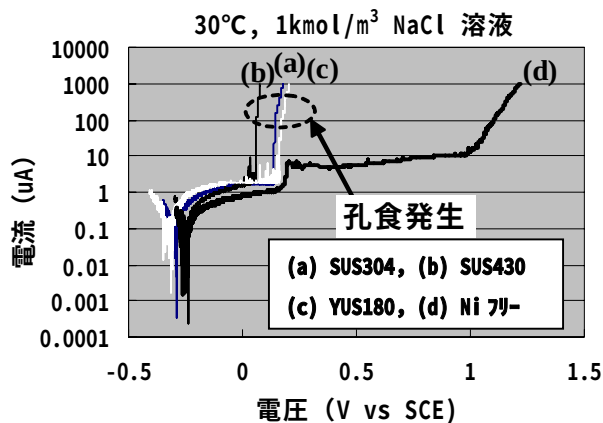


図5 アノード分極曲線

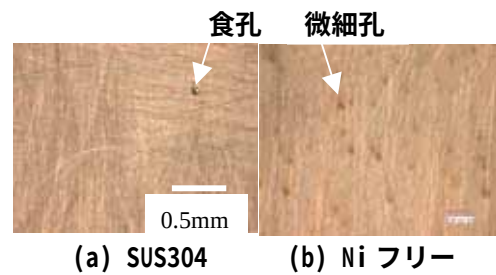


図6 電位測定後のサンプル表面

と考えられる。試験後の表面は図6(b)に示すように多数の微細孔（変色部に相当）が観察されている。Ni フリーステンレス鋼のアノード分極曲線である図5(d)を見るとYUS180の孔食電位よりわずかに貴な電位で、少しであるが電流値の立ち上がりが見られる。これは局所的に不働態皮膜の破壊が生じたものと考えられる。また、電圧1Vを越えたあたりで電流値が上昇に転じている。最終的には電流値が $100\mu\text{A}$ を越えたため、定義上ではこの電位が孔食電位といえるが、他のステンレス鋼の場合と比べると、電流値の立ち上がりが小さく、孔食の特徴とは異なっている。微細孔は食孔に成長せず、測定終了まで緩慢な全面腐食と考えられる挙動を示したので孔食とは判断しなかった。これはSUS304, SUS430, YUS180の挙動とは明らかに異なり、局所的に集中する腐食電流を分散させる効果を示したものと考えられる。つまり、孔食による貫通孔の生成を防止することが期待できる。

Ni フリーステンレス鋼の特徴の一つは耐食性が高いことである^{6)~8)}。ステンレス鋼中に含まれる窒素は耐応力腐食割れに悪影響を及ぼす元素と考えられてきたが、その後の研究で、耐孔食性に有効であることが判明し、現在ではCrやMoとともに耐食性向上に必要な重要元素となっている。ステンレス鋼の耐食性は不働態皮膜で保たれている。窒素は不働態皮膜と金属との界面付近に富化することで不働態膜を強固にするとの説がある⁷⁾。一方、鋼に窒素を添加することにより、皮膜中のCrの含有率を高め、耐食性をあげているとの報告もある⁹⁾。Ni フリー

ーステンレス鋼は耐海水腐食性が高く、特に孔食やすきま腐食に強いことが知られている^{3), 4)}。本研究で試作した Ni フリー板材は多数の微細孔が生成し均等に腐食したため、食孔ができなかった。これが試作材の特徴と断定するには更なるデータの積み上げが必要になるが、いずれにせよ、既存のステンレス鋼に比べ、耐食性に優れているといえる。

4. 結 言

難加工である Ni フリーステンレス鋼の実用化を目的にフェライト組織の状態で薄板に成形後、窒素吸収処理を施した Ni フリーステンレス鋼の特性評価を行い、以下の結論を得た。

- (1) Ni フリーステンレス鋼の引張強伸度は平均で耐力 793MPa, 引張強度 1037MPa, 伸び 37%であり, SUS316 に比べ, 伸びは若干劣るものの, 耐力で 2 倍以上, 引張強度で約 1.5 倍の値が得られた。
- (2) コニカルカップ試験の結果, 厚さ 0.5mm の Ni フリーステンレス鋼板材は既存のステンレス鋼に比べ, 絞り成形性は劣る。
- (3) 金属組織を観察したところ, Ni フリーステンレス鋼の結晶粒は SUS304 や SUS430 に比べ大きくなっている。
- (4) 比較的耐食性に優れているオーステナイト系ステンレス鋼において問題となる孔食に着目し, 耐孔食性について評価した。その結果, SUS304, SUS430, YUS180 は 60~170 mV で孔食が発生したのに対して, Ni フリーステンレス鋼は 1000 mV を越えたところで電流値は上昇したものの, 食孔は確認されなかった。このことから Ni フリーステンレス鋼は耐食性に優れた材料であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 黒田大介, “ニッケルフリーステンレス鋼”, まてりあ, Vol.43, No.8, 2004, p643-646.
- 2) Daisuke Kuroda, Takao Hanawa, Takaaki Hibar, Syuji Kuroda and Masaki Kobayashi, “Mechanical Properties of Thin Wires of Nickel - Free Austenitic Stainless Steel with Nitrogen absorption Treatment”, *Materials Transactions*, Vol.44, No.8, 2003, p1577-1582.
- 3) 相原雅之, 宇野秀樹, 片田康行, 小玉俊明, “海水環境における窒素添加ステンレス鋼の局部腐食特性に及ぼす合金元素の影響とすきま腐食の発生評価”, 鉄と鋼, Vol.88, No.10, 2002, p86-91.
- 4) 相原雅之, “高窒素ステンレス鋼の耐食性”, ふえらむ, Vol.7, No.11, 2004, 22-23.
- 5) 片田康行, “加圧式 ESR 法による高濃度窒素鋼の製造”, ふえらむ, Vol.7, No.11, p12-13.
- 6) Daisuke Kuroda, Takao Hanawa, Takaaki Hibar, Syuji Kuroda, Masaki Kobayashi and Takeshi Kobayashi, “New Manufacturing Process of Nickel-Free Austenitic Stainless Steel with Nitrogen Absorption Treatment”, *Materials Transactions*, Vol.44, No.3, 2003, p414-420.
- 7) 三浦一真, 丸山英樹, 天城裕子, 田村信, “高窒素 Ni フリーステンレス鋼の加工性向上及び製品実用化に関する研究”, 工業技術研究報告書 (新潟県工業技術総合研究所), No.35, 2005, p63-67.
- 8) 栗花信介, 光井啓, “ニッケルフリー高耐食ステンレス材の開発”, 福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2005, p66-68.
- 9) 遅沢浩一郎, 小林裕, “窒素鋼の耐食特性ー特にステンレス鋼に関してー”, 窒素が拓く鋼の新しい展開とその利用 (190 回西山記念講座), 2006, p73-91.

先端レーザー等を用いた加工技術の研究（第3報）

田宮 宏一* 山田 敏浩* 小林 豊* 齊藤 雄治*

Cutting and Piercing using Single-mode Fiber Lasers

TAMIYA Kouichi*, YAMADA Toshihiro*, KOBAYASI Yutaka* and SAITOU Yuuji*

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出せ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してきた。前報では、出力 2W のパルス波および出力 100W の連続波ファイバーレーザー発振器を用いた実験結果を報告した。本報では、出力 50W の連続波のファイバーレーザー発振器について、ビーム品質を調べるとともに、微細切断と微細穴あけの加工実験を行ったので、その結果を報告する。

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機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応されており、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 パルスレーザーと出力 100W の連続波レーザーを用いて炭素鋼やステンレス鋼の薄板の切断加工と穴あけ加工について実験を行い、有限要素法を用いた穴あけ加工の熱伝導解析の結果を報告した¹⁾。第 2 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微細切断および微細溶接についての加工実験を行った。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した²⁾。

本報では、50W 連続波レーザー（以降 50W-CW と表記する）を用いて、マグネシウム合金 AZ31 の薄板について微細切断と穴あけの実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験装置

2.1 ファイバーレーザー発振器

実験には、SPI Laser 社製ファイバーレーザー発振器 SP-50-B-1090-A-30-UAC を用いた。表 1 にファイバーレーザー発振器の主な仕様を示す。また、図 1 (a) にファイバーレーザーの制御部を、図 1 (b) に光学系の取付状態を示す。

表1 ファイバーレーザーの仕様

仕様	規格定格
発振形態	連続発振および変調発振
最大変調周波数(kHz)	10 以上
レーザーの中心波長(nm)	1090 $\pm$ 5
発信スペクトル帯域(nm)	<2
ビームの品質(M ²)	<1.1
レーザーの最大出力(W)	50
コリメータ径(mm)	ϕ 5 $\pm$ 0.5

* 中越技術支援センター



(a) レーザー制御部



(b) 光学系

図 1 実験装置

2.2 光学系

本研究では前報²⁾で使用した光学系を引き続き使用した。本研究では集光性を高めるため、コリメート光をいったん拡大し、再び集光する光学系を用いた。集光径 d は回折理論より次式から求まる。

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

ここで、 λ はレーザーの波長 (μm)、 f は集光レンズの焦点距離、 D は集光前の光径 (mm)、 M^2 はビーム品質を表す係数である。(1) 式で求めた計算上の集光径は $10\mu\text{m}$ となる。実験は、光学系を図 1 (b) のように 5 軸加工機の加工ヘッドに取り付けて行った。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放線に対して 10 度傾けて実験を行った。

2.3 コリメート光の出力と強度分布

2.1 節に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。測定した強度分布を図 2 に示す。また、コリメート光のビームプロファイルを、オフィール社製のビームプロファイラー FX50 を用いて測定した。図 3 に測定したビームプロファイルを示す。ふたつの測定結果からビームモードは集光性に優れるガウスモード

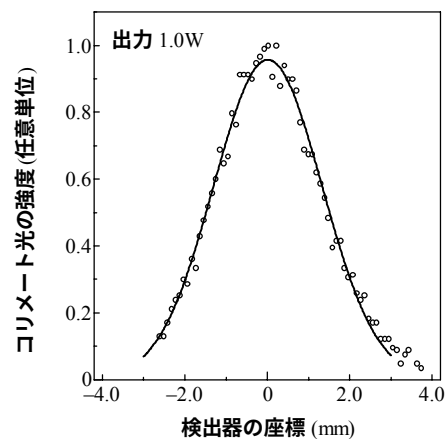
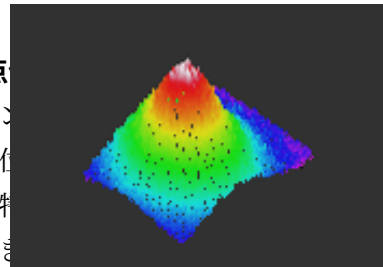


図 2 コリメート光の強度分布

となっていることがわかる。

2.4 焦点位置

集光レンズの焦点位置は、加工材料の表面が最も平坦な位置を焦点位置とする。加工材料の表面が平坦な位置は、加工材料の表面が平坦な位置を焦点位置とする。加工材料の表面が平坦な位置は、加工材料の表面が平坦な位置を焦点位置とする。



加工材料の表面が平坦な位置を焦点位置とする。加工材料の表面が平坦な位置は、加工材料の表面が平坦な位置を焦点位置とする。加工材料の表面が平坦な位置は、加工材料の表面が平坦な位置を焦点位置とする。

3. 加工実験

3.1 レーザー光の吸収率

マグネシウム合金はレーザー光に対する反射が大きいため、レーザー加工が困難な材料である。本実験で用いる試料について、(株)ニレコ製近赤外分光光度計 NIRS6500 を用いてレーザー光の吸収率を調べた。その測定結果を図 4 に示

す。板厚 50 μ m の AZ31 は、圧延工程で形成された酸化層が大きく、ファイバーレーザーの中心波長 1090nm の吸収率が 80%であった。一方、表面が酸化していない板厚 100 μ m の AZ31 の吸収率は 12%であった。レーザーによる加工性を向上させるため、吸収剤としてカーボンスプレーを塗布した板厚 100 μ m の AZ31 では吸収率は 85%に改善された。吸収剤については、カーボンスプレーのほかに染料等についても検討したが、染料は加工面への密着性が低く、吸収剤としては適さないことがわかった。これらの結果より、検討した吸収剤の中で最も 1090nm の光の吸収率が高く、比較的、材料への密着性のよいカーボンスプレーが吸収改善剤として有効であることがわかった。

3.2 実験材料

本実験では、マグネシウム合金 AZ31 の板厚 100 μ m、板厚 50 μ m、およびカーボンスプレーを加工面に塗布した板厚 100 μ m の 3 種類を用いることとした。なお、使用した AZ31 の元素分析結果を表 2 に示す。カーボンスプレーは（株）海保技研製 レーザー用ドロス防止剤レーザー CBX を使用した。

3.3 マグネシウム合金板の切断

微細な切断幅での加工を目的として、加工実験を行った。加工材料を移動させながらレーザー光を照射し切断（溝加工）を行った。その後、工具顕微鏡により切断幅を測定した。溝幅の測定においては加工面に焦点を合わせエッジとエッジの間隔を測定し切断幅とした。切断実験に使用したジグを図 5 に示す。ジグの隙間は 1mm とした。加工条件は、加工速度を 10 mm/min から 1000mm/min まで変化させ、アシストガスは空気（酸素 20.6%、残部が窒素）を用い、ガス圧を 100kPa から 300k Pa まで変化させた。

	A l	Z n	M n	M g
AZ31	2.40%	0.79%	0.35%	残部

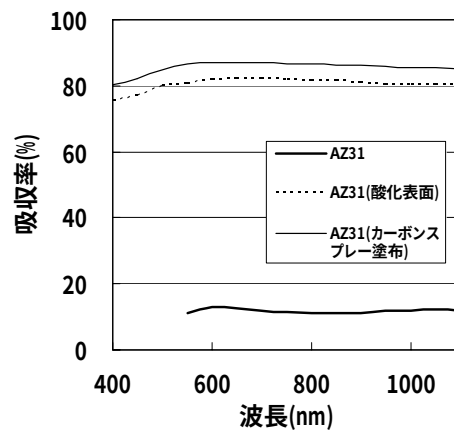


図 4 AZ31 の吸収率

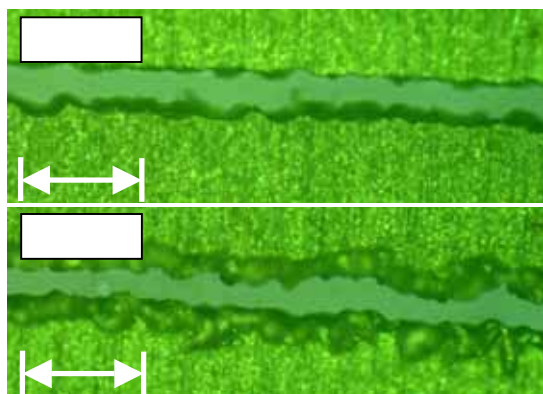
ノズルは ϕ 1mm の径を用いた。レーザー光の焦点は、加工面に合わせた。

図 6 に板厚 50 μ m の AZ31 についての切断部の写真を、図 7 に切断幅の測定結果を示す。アシストガスのガス圧 200kPa の場合に 30 μ m から 40 μ m の幅で切断できた。100kPa では、切断幅が大きく、ドロスの付着が多かった。300kPa についても切断幅が大きくなった。300kPa の場合は、ガス圧により、ジグの隙間にそって板に変形が生じ、加工面が焦点からずれて切断幅が広がったものとする。送り速度を変えても切断幅の変化は少なかったが、送り速度が速くなるに従って、ドロスの付着が増えた。実際の加工では、できるだけ高速で加工することが求められるため、ドロスの除去能力を上げるノズル形状の開発が今後の課題である。

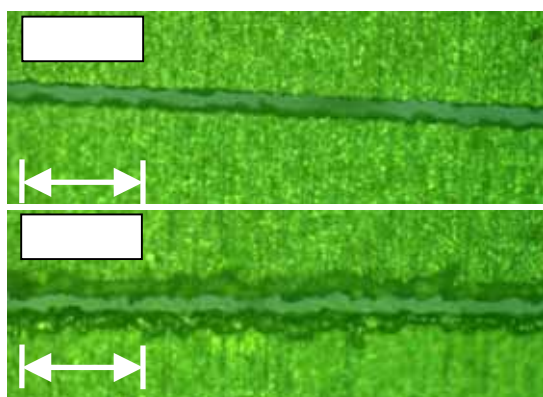
板厚 100 μ m の AZ31 の加工については、カーボンスプレーを塗布しない状態ではレーザー



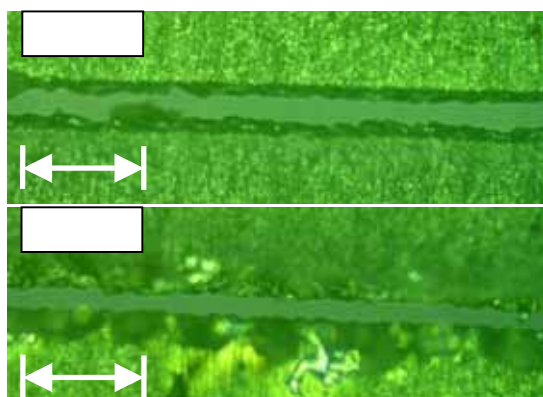
図 5 切断実験に使用したジグ



a) ガス圧 100kPa, 送り 50mm/min



b) ガス圧 200kPa, 送り 50mm/min



c) ガス圧 300kPa, 送り 50mm/min

図 6 AZ31 板厚 50 μ m の切断状況

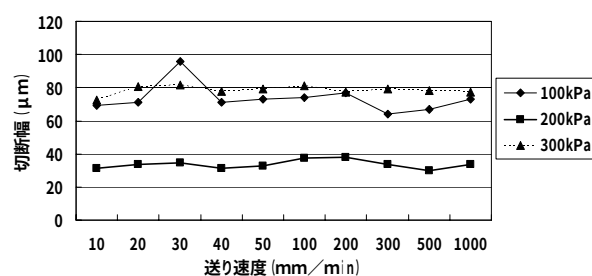
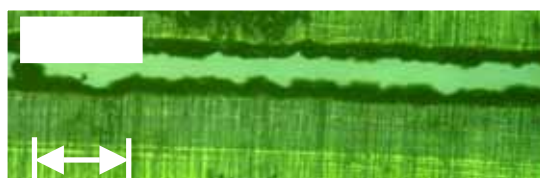


図 7 AZ31 板厚 50 μ m 切断幅

光の反射が大きく、50W-CW では加工できなかった。カーボンスプレーを塗布した後、切断実験を行った切断部の写真を図 8 に、切断幅の測定結果を図 9 に示す。切断幅は 150 μ m から 200 μ m で、ドロスの付着が多かった。板厚が 50 μ m から 100 μ m に増えたことで、熱拡散により溶融範囲が広がったものと考ええる。

3.4 マグネシウム合金板の穴あけ（ピアシング）

切断と同様に、吸収剤を塗布しない AZ31 は、レーザー光の反射が大きく、穴あけ加工はできなかった。このため、板厚 50 μ m と、板厚 100 μ m にカーボンスプレーを塗布したものについて実験を行った。実験ジグは切断実験に用いたものと同じものを使用した。加工条件は、アシストガスは空気、ガス圧を 100kPa, 200kPa, 300kPa と変化させ、レーザー光の焦点は加工面とした。穴径の測定結果を図 10, 図 11 に、加工部の写真を図 12, 図 13 に示す。板厚 50 μ m で 100 μ m 程度、板厚 100 μ m で 200 μ m 程度の穴



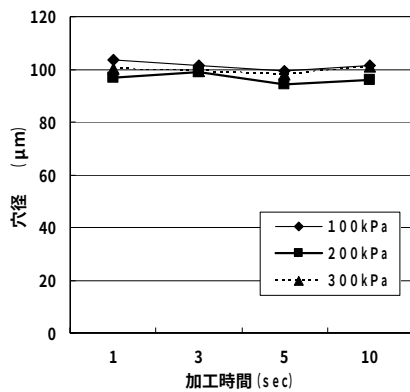


図 10 AZ31 板厚 50 μm 穴径

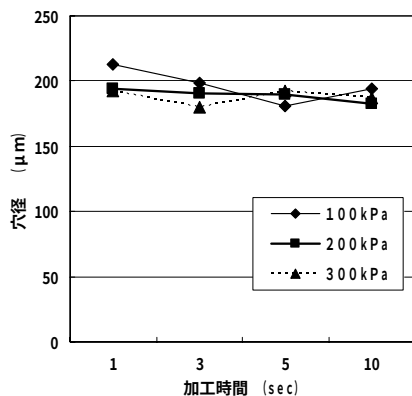
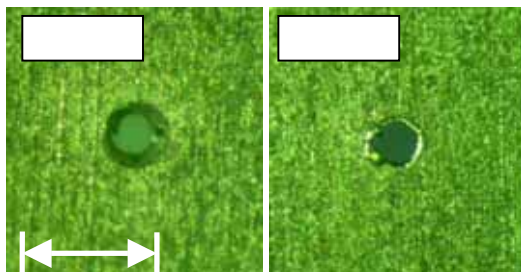
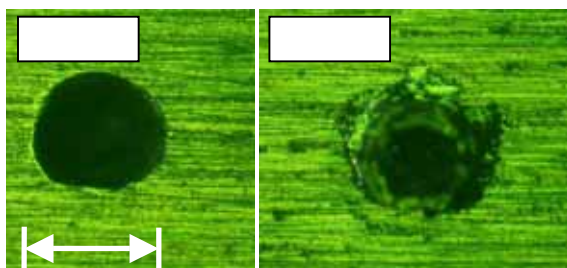


図 11 AZ31 板厚 100 μm 穴径



ガス圧 200kPa, 加工時間 5 秒

図 12 AZ31 板厚 50 μm の穴あけ状況



ガス圧 200kPa, 加工時間 5 秒

図 13 AZ31 板厚 100 μm の穴あけ状況

径となった。また、加工条件による穴径の差は

少なかった。本研究で用いたレーザーは計算上 10 μm の集光径であるが、それと比べて、大きな穴径となった。マグネシウム合金は、熱拡散率が高い材料であるため、穴が貫通するまでの間に、熔融範囲が広がったものと考ええる。

金属材料の穴あけでは、CW と比較してパルス発振のほうが、加工時間は増えるものの、穴径が小さくなる例も示されている⁴⁾。マグネシウム合金の穴あけについても、尖頭値の高いパルス発振ファイバーレーザーを用いることで、より微細な穴あけが可能になると考える。

4. 結 言

- (1) AZ31 の波長 1090nm の光についての吸収率は 10 数%であった。吸収剤を塗布するなど吸収率を上げる処理をすることで 50W-CW のファイバーレーザーで板厚 100 μm までの切断・穴あけ加工ができた。
- (2) 50W-CW のファイバーレーザーを用いた切断加工の場合、AZ31 板厚 50 μm で 30 μm から 40 μm の幅で切断ができた。また、送り速度を上げて加工面の切断幅は変わらないが、ドロスの付着が多くなることがわかった。
- (3) 50W-CW のファイバーレーザーによる穴あけ加工の場合、AZ31 板厚 50 μm で 100 μm 程度、AZ31 板厚 100 μm で 200 μm 程度の穴径となり、微細な穴あけ加工は困難であった。

参考文献

- 1) 長谷川他, “先端レーザ等を用いた加工技術の研究”, 新潟県工業技術研究報告書 NO.34, p128.
- 2) 斎藤他, “先端レーザ等を用いた加工技術の研究(第2報)”, 新潟県工業技術研究報告書 NO.35, p20.
- 3) 金岡 優, “レーザ加工”, 日刊工業新聞社, p154.
- 4) 倉田 豊, “レーザープロセッシング応用便覧”, (有) エヌジーティー, p153.

シリコンウェハー厚さの非接触高精度測定・凹凸性状可視化システムの開発

三村 和弘* 家坂 邦直* 小海 茂美* 古畑 雅弘*
松本 好勝* 橋詰 史則*

Development of High Precision and Non-contact Measurement System that makes
Thickness Form of Silicon Wafer visible

MIMURA Kazuhiro*, IESAKA Kuninao*, KOKAI Shigemi*, FURUHATA Masahiro*,
MATSUMOTO Yoshikatsu* and HASHIZUME Fuminori*

抄 録

シリコンウェハーの厚さ測定を空圧非接触で行い、凹凸性状の可視化を実現するシステムを開発した。空圧流でシリコンウェハーを浮上回転させながら、高精度レーザ変位センサを2個用いて上下からの挟み込みでウェハー全面の測定を行う。さらに、測定データからウェハーの厚さを求めてPLC(Programmable Logic Controller)に保存し、パソコンと通信を行い三次元凹凸性状を表現する。

1. 緒 言

近年、シリコンウェハーの大口径化が進むとともに、ウェハーの表面性状は高い平坦度が要求され、検査工程において高精度の測定が望まれている。現行の厚さ検査は、ウェハー自体を治具で固定支持するので、ウェハーに汚れや傷などが付着する可能性がある。そこで、空圧流を用いて非接触でウェハーを浮上回転させ、ウェハー全面を測定する方法を開発した。また、開発機とパソコンを通信させて、ウェハーの厚さデータを三次元状に可視化し、後工程の研磨条件を容易に決定できるソフトウェアも作成した。

2. 開発機の概要

2.1 測定部の概要

図1にシリコンウェハーをセットした開発機の測定部を示す。測定部は、ウェハーを非接触で制御する浮上回転部とレーザ変位センサを取り付けたローディング部からなる。

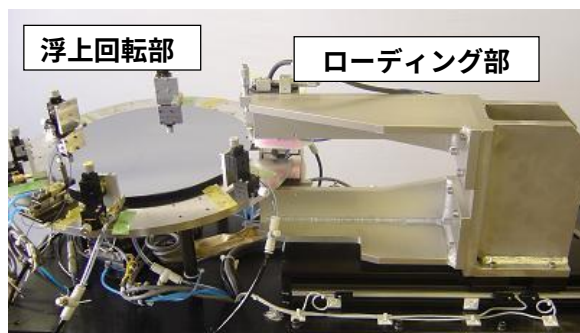


図1 開発機の測定部

2.2 浮上回転部

浮上回転部では、6個のノズルとノッチを検出するためのファイバセンサ1個が取り付けられている。各ノズルは図2のようにXZステージに固定されていて、これを操作して前後上下に微調整でき、さらにノズル先端を角度調整することが可能となっている。測定時は、ウェハーを非接触で制御するため、テーブル下方からの空圧流でウェハーを浮上させる。また、各ノズルの流量や先端角度を調整することによりウェハーの挙動を制御する。

* 素材応用技術支援センター



図2 ノズルとXZステージ

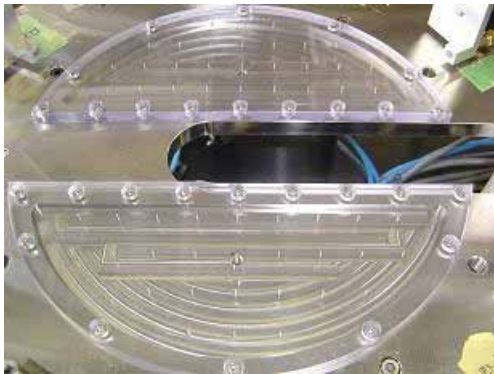


図3 浮上回転のテーブル

また、空圧流を安定させるため空気を溜める空間を作り、多数の小孔より空気を吹き出させている。図3に浮上回転をさせるテーブルを示す。

設定に関しては、テーブルの水平度や空圧流を調整して、ウエハのノッチ検出が可能になるまで回転偏芯を抑えることができ、浮上状態でウエハをほぼ停止させることにも成功した。また、空圧流の流量や方向などを変化させてウエハの回転数を任意に調整した。

ここで、回転数は全体の測定時間に影響するものであり、今回は 20~30rpm 程度の回転数で測定を行った。

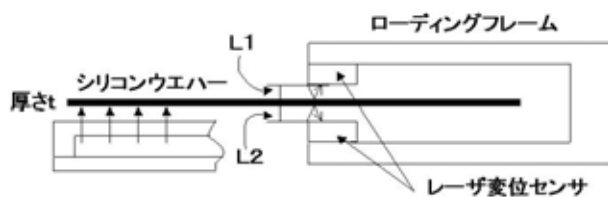


図4 レーザ変位センサとローディングフレーム

表1 レーザ変位センサの仕様

メーカ（機種名）	キーエンス(LK-G15)
直線性	$\pm 0.03\%$ of F.S
繰り返し精度	0.02 μ m
温度特性	0.01% F.S/ $^{\circ}$ C

2.3 ローディング部とレーザ変位センサ

ローディング部の先端には、上下一組のレーザ変位センサが取り付けられており、ウエハの上下の変位（L1, L2）を測定し、ウエハの厚さ t を算出する。図4にレーザ変位センサとローディングフレームを示す。このとき、ウエハは上下に振動するが、挟み込み測定であるため、その影響はキャンセルされる。レーザ変位センサの仕様は表1のとおりである。サンプリング速度は 50 μ s、平均回数は 16 回移動平均で設定した。

測定は、ウエハが浮上回転テーブルに対し非接触で安定回転してから、ウエハの周端近傍点より開始する。ウエハには一箇所だけ 1mm 深さのノッチがあるので、この部分をファイバセンサで読み取り、ウエハが 1 周するときの円周表面上を測定し、1 周が終了したらローディングフレームが中心方向に 5mm 移動し、次の同心円周上の測定を行う。これを 30 回繰り返して、ウエハの周端近傍点から中心点までの厚さデータを取得する。ここで、1 周あたり 72 点の測定点としたので、ウエハ全面のデータ数は $72 \times 30 = 2160$ 点となる。

2.4 制御方法

PLC(Q02HCPU:三菱製)を使用して、機械制御を行い、センサからの測定データもセンサコントローラで演算された後に PLC のメモリに保存する。これを図5に示す。これらは、測定部の下段に格納してあり、一連の操作は、装置の前面に取り付けてある図6のタッチパネルで行う。

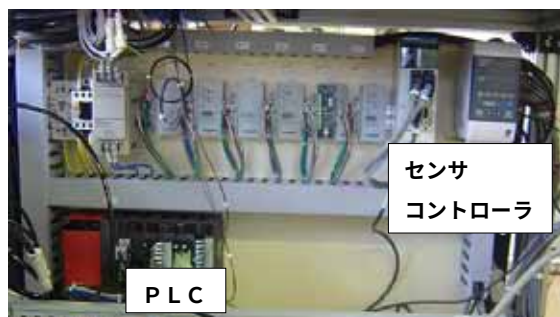


図5 センサコントローラとP L C



図6 操作用タッチパネル

3. 可視化システム

3.1 PLC とパソコンとの接続

PLC とパソコンとの接続には、RS232C を用い、その通信プロトコルを表 2 のとおりにした。また、PLC 専用のプロトコルの MC プロトコル、形式 4 を採用した。

PLC 内のデータを読み出すために、パソコン側からコマンド送信を行い、ワード単位でデータを読み出した。

3.2 プログラムの作成

データを三次元表示するために、汎用的な計測制御ソフト LABVIEW7.0(日本 NI 社製)を用いて凹凸性状可視化ソフトを開発した。このソフトは、ソースコードをブロックダイアグラムと呼ばれるもので作成し、パソコン画面上にフロントパネルを構築する。そして、フロントパ

表 2 通信プロトコル

ボーレート	19200bbs
パリティ	なし
データビット	8bit
ストップビット	1bit

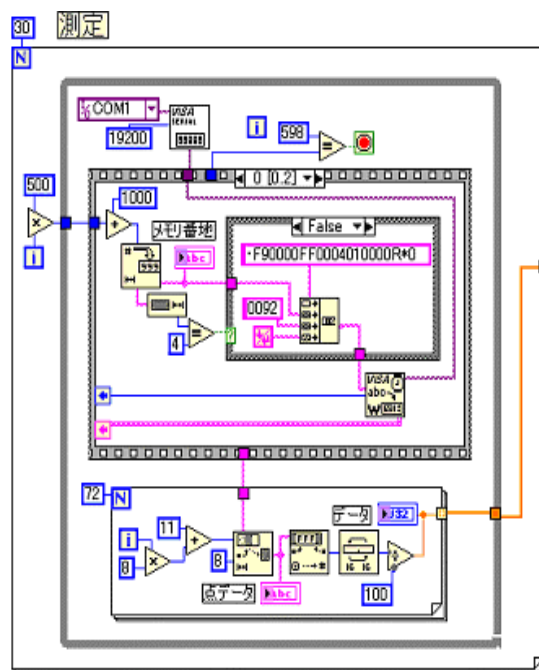


図7 測定データを読み出すプログラム

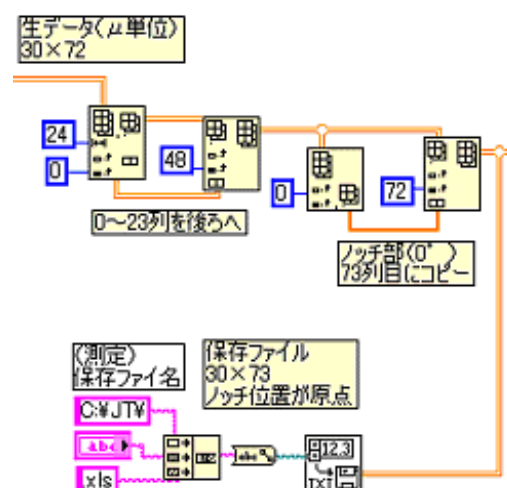


図8 データを保存するプログラム

ネル上で操作し実行する。

3.3 測定用モード

測定データを PLC より読み出すプログラムを図 7 に示す。ここでは、データを読み出すだけでなく、データの配列も作成する。また、図 8 にデータをパソコンのハードディスクに保存するプログラムを示す。これは、データをウエハーのノッチ部を基準としたデータに並べ替えて保存している。

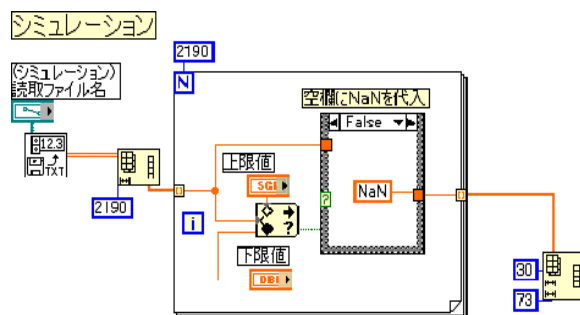


図 9 保存ファイルを読み出すプログラム

3.4 シミュレーション用モード

測定データを単に表示するだけでは、ウエハー上の明らかな傷やゴミ等が存在したときに、そのデータも表現してしまうため、任意にデータを削除する必要がある。また、パソコンに保存されてあるデータを再び表示することも必要なため測定モードのほかにシミュレーションモードのプログラムも作成した。図 9 に保存ファイルを読み出すプログラムを示す。ここでは、データを読み出して、任意に設定できる上限値と下限値に従い、データを削除できるようにした。さらに、最大値と最小値の差を求めたり、断面図を任意方向で切断した凹凸性状を観察できるプログラムも作成した。

3.5 フロントパネル上での操作

3.5.1 三次元凹凸性状

操作は、測定データが全て PLC に保存されてからデータを読み出したり、ハードディスクの保存ファイルを読み出したりすることで、ウエハーの三次元凹凸性状、等高線図、および最

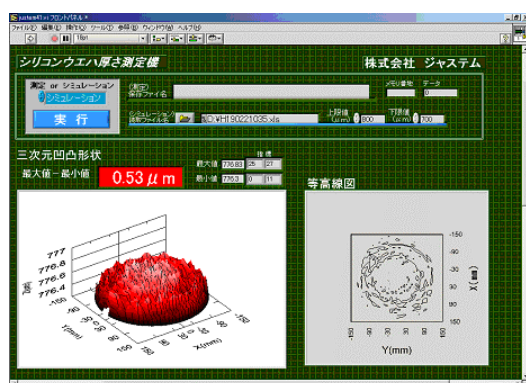


図 10 三次元凹凸性状

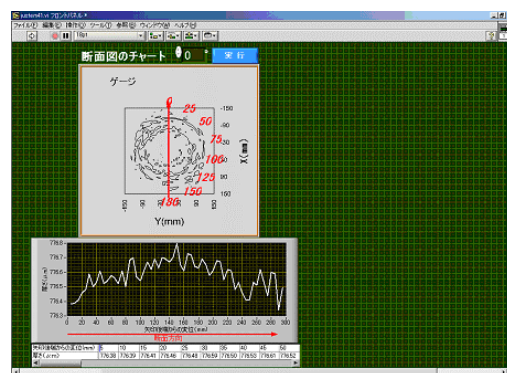


図 11 断面チャート図

大値と最小値の差などをパソコン上に示す。

最初に測定とシミュレーションの一方を選択する。測定の場合は、パソコンに保存するために任意のファイル名を入力し、シミュレーションの場合は、既に保存されているファイル名を入力する。そして、画面上の実行ボタンをクリックして実行する。この画面を図 10 に示す。

3.5.2 断面チャート図

断面チャート図は、図 11 に示すように断面を XZ 平面で表した。等高線図上の赤矢印を操作することで、任意断面を指定できるようにした。操作は、赤矢印をマウスでクリックする。または、テキスト数値を直接入力して断面を設定する。ここで、断面を表す方向を一義的に決定するために、各点の X 座標を矢印後端からの変位で表した。

4. 従来機と開発機の測定比較

4.1 サンプルの測定結果

図 12 にウエハーの厚さが凹型となっているサンプルを従来機と開発機で測定した結果を示す。この図は、ウエハー表面を XY 平面にし、厚さを Z 軸にしている。そして、厚さの最大値と最小値の差を比較した。図 12(a)の従来機の結果より最大値と最小値の差は 0.8μm 程度であり、図 12(b)の開発機の結果は 1.2μm 程度となっている。さらに、ウエハーの厚さが凸型のものを従来機で測定した結果を図 13(a)に示し、開発機での結果を図 13(b)に示す。従来機

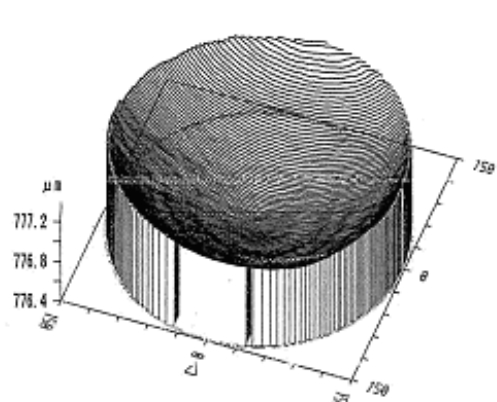


図 12(a) 従来機による凹型サンプル測定

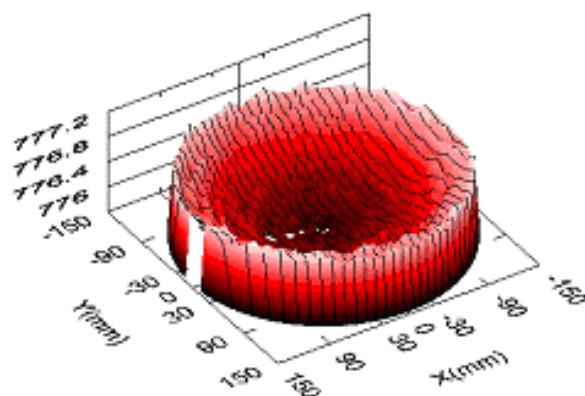


図 12(b) 開発機による凹型サンプル測定

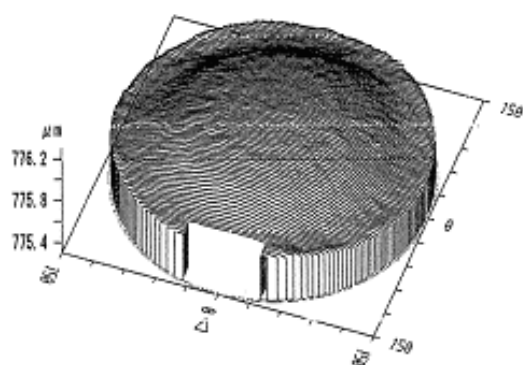


図 13(a) 従来機による凸型サンプル測定

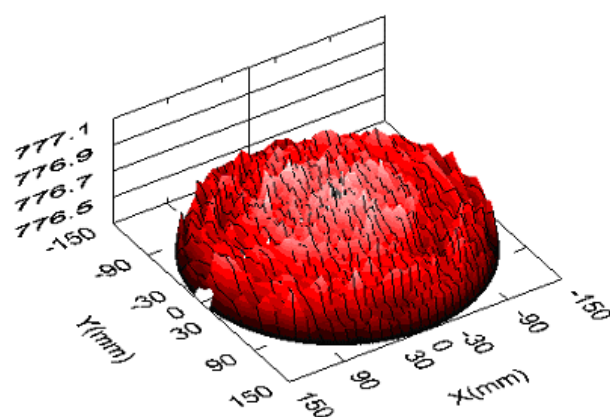


図 13(b) 開発機による凸型サンプル測定

では、 $0.4\mu\text{m}$ 程度であり、開発機では $0.5\mu\text{m}$ 程度であった。

4.2 測定の考察

静電容量型のセンサを用いている従来機の測定結果は細かな凹凸が目立たず、滑らかなものとなっている。一方、レーザ変位センサを用いている開発機では、測定した結果は凹凸が目立ち、値も大きくなっている。この両者の値を近づけるには誤差要因の更なる改善

とともに、レーザ変位センサの測定値に対してデータ処理をかけるなどの工夫が必要である。

5. 結 言

- (1) 空圧非接触でシリコンウエハの回転・停止・回転偏芯防止技術を確立できた。
- (2) 高精度で非接触測定が可能なシリコンウエハ厚さ測定機を開発した。
- (3) シリコンウエハの厚さを三次元凹凸性状で表現できるソフトウェアを開発した。

共 同 研 究

超精密加工による金型加工

毛利 敦雄* 丸山 英樹** 本田 崇*** 坂井 朋之**
知野 吉浩**** 岩佐 信明****

Study of Ultra Precision Machining for Injection Mold

MOURI Atsuo*, MARUYAMA Hideki**, HONDA Takashi***, SAKAI Tomoyuki **,
CHINO Yoshihiro**** and IWASA Nobuaki****

抄 録

微細加工による加飾を目的に、プロモーション用キーシートの射出成型金型の研究を行った。具体的には、微細加工を施した金型の試作、射出成型試験を行い、成型品の評価を行った。また、量産化に向け金型の洗浄試験を併せて行い、洗浄条件を検討した。

1. 緒 言

近年、携帯電話市場は世界中で拡大の傾向にある。加入者は2006年内に26億人に達し、2010年までに40億人に増加すると予想されている¹⁾。従来、携帯電話に対する要求は機能的なものが中心であったが、携帯電話の機能が成熟してきたことから、最近新たな付加価値として、意匠の差別化が求められている。

本研究では、携帯電話のキーシートにマイクロメートルオーダーの微細加工を施し、光学的な視覚効果を持たせるための加工技術確立を目的とした。現在、微細加工は、加工装置が高価である、加工に時間がかかるといった問題があるため、光導波路やフレネルレンズといった高価な製品に限られている。今回、製品そのものを加工するのではなく、金型に微細加工を施し、射出成型により量産することでコストを抑え、一般製品への適用を試みた。また、量産化に向

けた取り組みとして、金型の洗浄条件も併せて検討した。

2. 射出成型用金型の試作と射出成型試験

2.1 加工機

金型の加工には、ながおか新産業創造センターに設置されているファナック(株)の超精密加工機 ROBONANO α -0iA (以下「ROBONANO」という。)を用いた。図1にROBONANOの外観を示す。加工ユニットは、製品の量産化を考慮し、加工速度の大きいシャトルユニットを用いた。シャトルユニットはリニアモータとピエゾ素子の上下により、最高で1秒間に3本の溝加



図1 ROBONANO 外観図

* 素材応用技術支援センター
** 研究開発センター
レーザー・ナノテク研究室
*** 研究開発センター
**** サンアロー新潟工場

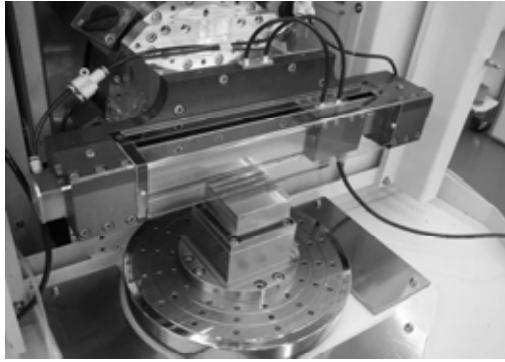


図2 シャトルユニット加工

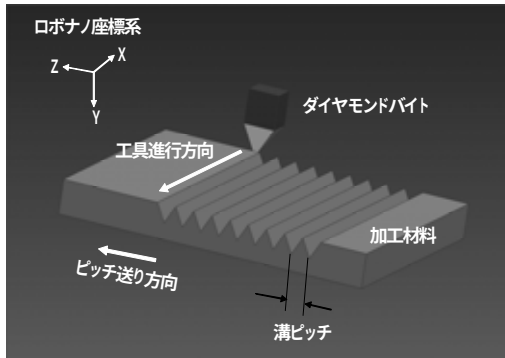


図3 加工の概略図

工を行うことができる。図2にシャトルユニットの加工時の様子を、図3に加工の概略図を示す。加工面には無電解ニッケルめっきを行い、平面出し用バイトにて基準面を出した後、溝加工を行った。

2.2 加工方法の検討

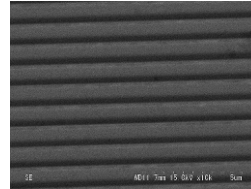
光の波長に近い微小な溝に光を当てると、光の干渉により虹模様が観察される。きれいな虹模様を得るためには、金型の溝にバリ・たおれなどの不良をなくすことが必要である²⁾。よって不良をなくす加工・仕上げ方法を検討するため、以下の方法で比較を行った。

- ①溝加工のみ（切り込み $0.5\mu\text{m}$ ）
- ②溝加工①＋頂点のなぞり加工
- ③同じ溝を3回ずつなぞる加工

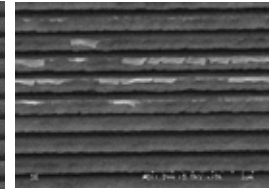
観察結果のまとめを表1に、電子顕微鏡（以下「SEM」という。）観察結果を図4にそれぞれ示す。なお溝ピッチはすべて $1\mu\text{m}$ ピッチである。①の条件では、加工部の大部分できれいな虹模様が観察できる。SEM画像はバリのほとんどな

表1 観察結果の比較時の様子

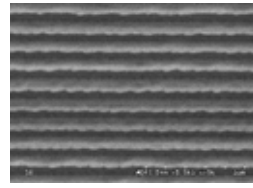
条件	目視観察	電子顕微鏡
①	ほぼ全面虹模様	バリ少ない
②	虹模様にしじあり	バリ多い
③	虹模様にしじあり	バリ多い



条件①



条件②



条件③

図4 金型溝加工部 SEM 観察結果

い部分のものである。②の条件では、SEM画像のように仕上げの一部にバリが発生しており、虹模様にしじが見られる。③の条件も②と同様にSEM画像でバリが確認でき、虹模様にしじが発生する。

比較結果から、きれいな溝を作るには仕上りなしの加工が一番であり、修正による不良部の除去はできないことがわかった。加工面すべてを仕上げなしで加工するには、溝加工前の基準面を平滑にすること、先端の鋭利な工具を使用することが重要となる。

2.3 溝間隔の検討

虹模様の色や光の強度は、加工する溝形状に依存する。よって、溝のピッチを決定するためには、干渉光の測定・評価を行う必要がある。そこで大塚電子(株)のMCPD100を用い、干渉光の測定を行った。測定の方法は、光源の向きを固定し、受光カメラを 3° 刻みで動かし、各角度における光の強度を測定した。測定の様子を図5に示す。

今回の干渉光測定には、1, 2, 3, $5\mu\text{m}$ の溝ピッチの射出成型品を用いて比較した。それぞれのSEM観察結果を図6に、干渉光測定結果

を図7にそれぞれ示す。横軸は図6の受光カメラの角度、縦軸は光の波長であり、測定した光の強度をプロットしてある。グラフは複数のライン状にプロットされ、右端のラインは光源の反射光、右下から左上に伸びるラインは干渉光である。濃い色で示されている点は光の強度が大きいことを表しており、その角度でどの波長の光が強かったか、つまり外観上の色が分かる。測定結果から、溝間隔が $3\mu\text{m}$ ピッチ以上の場合、干渉のラインが複数重なってしまうため、色のはっきりしなくなることがわかる。また、光の強度も弱くなり、シャープな色は観察されなくなる。一方、 $2\mu\text{m}$ ピッチ以下ではラインの重なりも少なく、強い干渉光が得られることがわかる。量産を考慮に入れると、同じ加工面積のときに $1\mu\text{m}$ ピッチの溝本数・加工時間は $2\mu\text{m}$ ピッチの2倍となることから、量産には $2\mu\text{m}$ ピッチが適正であると考えられる。

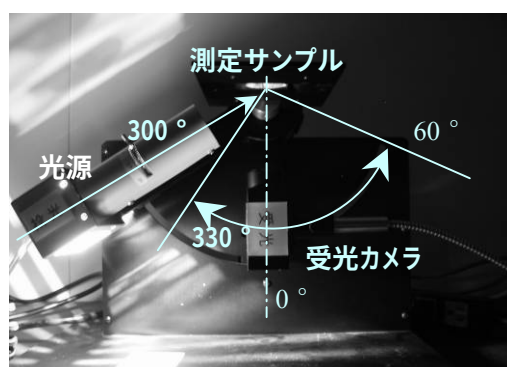


図5 干渉光測定の様子

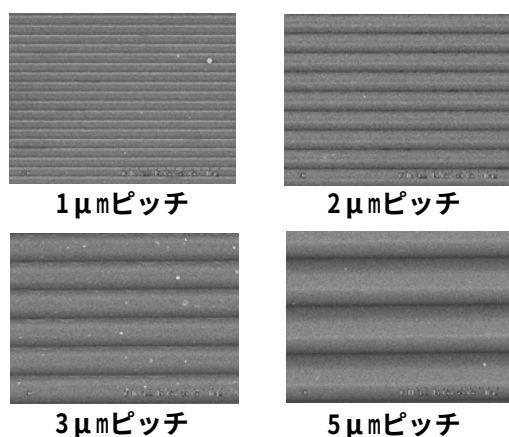
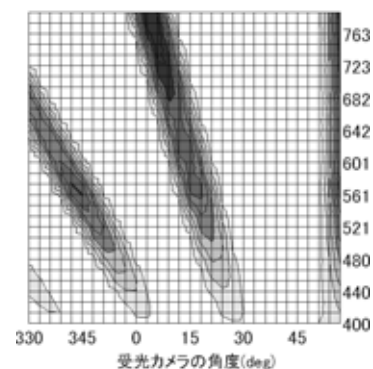
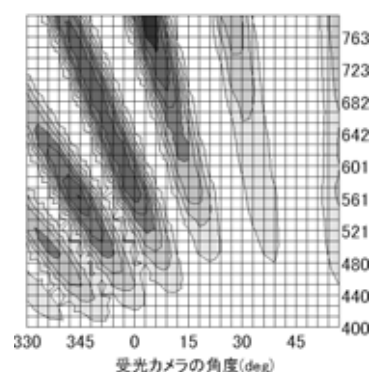


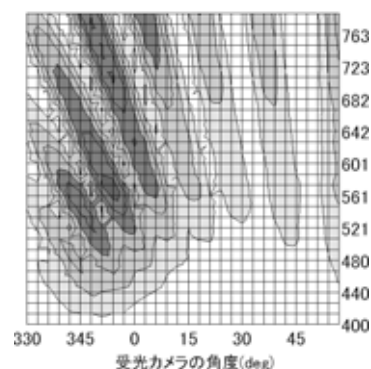
図6 射出成型部品 SEM 観察



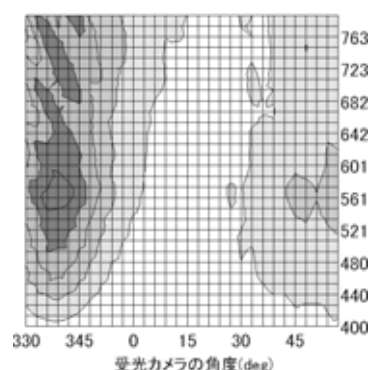
1 μm ピッチ



2 μm ピッチ



3 μm ピッチ



5 μm ピッチ



図7 干渉光測定結果

3. 金型コマ汚れの分析

射出成型により金型に付着する、曇り状の汚れの分析を行った。分析用に、入れ子方式の金型コマ（φ10×H10mm）を作成して金型内に装着した。ポリカーボネート（以下「PC」という。）を2万ショット成型し、付着した汚れを分析に供した。金型コマの写真を図8に示す。

汚れの赤外分光分析（以下「IR」という。）測定例を図9に示す。測定は、パーキンエルマージャパン製フーリエ変換赤外分光分析装置 Spectrum One を使用した。IR では 2924, 2853 cm^{-1} に飽和炭化水素の C-H 伸縮振動, 1744 cm^{-1} にエステルに帰属される C=O 伸縮振動の吸収が認められた。

ガスクロマトグラフ質量分析（以下「GC/MS」という。）では、金型コマ汚れの溶剤抽出物の分析を行った。溶剤はジクロロメタン、トルエン、テトラヒドロフラン（THF）、酢酸エチルを使用した。測定には日本電子(株)製ガスクロマトグラフ質量分析計 Automass II 50 を用いた。GC/MS では、フェノール系酸化防止剤、ビスフェノール A（PC 原料）などが同定

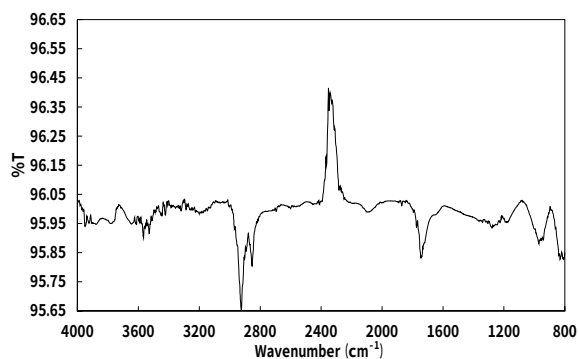


図9 金型コマ曇り，IR 測定

された。

IR, GC/MS の結果から、金型汚れは単一の物質ではなく、PC 分解物,添加剤等の混合物であることがわかった。

4. 金型洗浄の検討

4.1 金型コマのアルカリ洗浄

金型コマ汚れのアルカリ洗浄を検討した。使用したアルカリ液の組成を表2に、洗浄条件を表3に示す。

弱アルカリの条件1では、洗浄効果は見られなかったが、条件2では汚れは除去された。浸漬により膜状の汚れの剥離が進行し、超音波洗浄により脱落する様子が観察された。金属顕微鏡写真を図10に示す。洗浄後、金型表面には射出成型に起因する表面の荒れが認められた。

4.2 金型のアルカリ洗浄

金型コマの結果を踏まえ、金型のアルカリ洗

表2 アルカリ液組成

	組 成		pH
1	炭酸水素ナトリウム(NaHCO_3) 界面活性剤	50g/l 5g/l	8.0
2	メタケイ酸ナトリウム($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ヘキサメタリン酸ナトリウム($(\text{NaPO}_3)_6$) 界面活性剤	10g/l 10g/l 5g/l	12.4
3	メタケイ酸ナトリウム($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ヘキサメタリン酸ナトリウム($(\text{NaPO}_3)_6$) 水酸化ナトリウム(NaOH) 界面活性剤	10g/l 10g/l 10g/l 5g/l	14.0

表3 金型コマ，アルカリ洗浄条件

	洗浄液	洗浄条件
1	1	60°C, 1時間浸漬, 10分超音波
2	2	//



洗浄前

洗浄後

図10 金型コマ金属顕微鏡(×400)

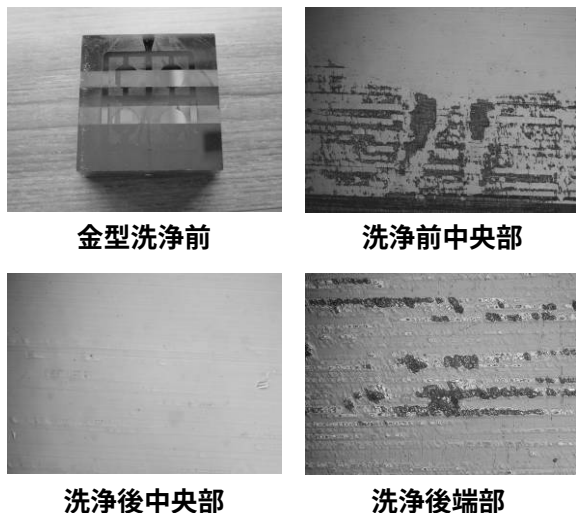


図 11 金型写真，金属顕微鏡(×100)

表 4 金型，アルカリ洗浄条件

	洗浄液	洗浄条件
1	2	60℃，1時間浸漬，10分超音波
2	2	60℃，1時間浸漬，1時間超音波
3	2	60℃，24時間浸漬，10分超音波
4	3	60℃，1時間浸漬，10分超音波

洗浄を行った。金型は，母材に無電解ニッケルめっき（約 100 μ m）をし，その後 ROBONANO で溝加工を行ったものである。この金型で，PC を 4 万ショット成型した。金型写真，金属顕微鏡写真を図 11 に示す。金型コマでは，曇り状に汚れが付着していたのに対し，金型では焼け，樹脂分解物が強固に付着していた。

洗浄条件を表 4 に示す。このうち，条件 3 で良好な結果が得られた。洗浄後の金型では，端部で最後まで汚れが残ったが，端部の汚れは，実用上問題は少ないものと考えられる。

条件 1 では浸漬時間の不足により，汚れの除去は十分ではなかった。条件 2，条件 4 では，

金型表面にピット状の荒れが発生して，過度の超音波洗浄，強アルカリは逆効果であることがわかった。

5. 結 言

微細加工による加飾を施したキーシートの作成を目的に，射出成型用金型の研究を行い，以下のことがあきらかになった。

- (1) シャトルユニットによる加工では，溝の修正はできないため，溝加工は一度の加工で行わざるをえない。そのため，バイトの鋭さ，加工面の平面出しが重要になる。
- (2) 2 μ m 以下の溝ピッチであれば強い干渉光を得ることができる。量産を考慮に入れると，2 μ m ピッチの加工が適正なピッチと考えられる。
- (3) 金型に付着する曇り状の汚れの分析を行い，汚れは PC 分解物，添加剤等の混合物であることがわかった。
- (4) 金型の洗浄条件を検討し，アルカリ洗浄で汚れが除去可能である事を見いだした。

参考文献

- 1) <http://www.computerworld.jp/news/mw/52310.html>,
「computerworld.jp ホームページ」
IDG ジャパン 2006 年 11 月 13 日
- 2) 坂井朋之他，“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（第 2 報）”，工業技術総合研究所工業技術研究報告書，No.35，(2006)，p.67-72

粒度ゲージ(グラインドゲージとスクレーパー)による 粒子分散性評価の自動化に関する研究

阿部 淑人*, 白川 正登*, 伊関 陽一郎**, 小林 豊**, 木嶋 祐太***, 原 司****, 浅田 友之****

Development of an Automated Dispersion Assessment System Equipped with a Grind Gauge

ABE Yoshito*, SHIRAKAWA Masato*, ISEKI Yoichiro**,
KOBAYASHI Yutaka**, KIJIMA Yuta***, HARA Mamoru**** and ASADA Tomoyuki****

抄 録

グラインドゲージを用いた分散性評価装置の自動化について試作機を開発した。この装置は掃引作業を自動で行う機械と、認識行為を自動で行う回路からなっている。テストに使用したサンプルやその結果の計測能力についてはまだ限定的ではあるが、試作の初期段階としてはおおむね良好と言える結果となった。実用上の性能や運用上の課題について今後のフィールドテストを通して検証と改良を行い製品としての完成度を上げて行きたい。

1. 緒 言

微小粉体やインキ、塗料などの材料は、製造業のあらゆる分野で使用されている。インキ類や塗料類などは、顔料などを粉碎した粉末と樹脂および溶剤の主として3種類を混練したものであるが、粉碎や混練が十分でないと色調や流動性、粘性を初めとし膜強度、膜表面形状など様々な性質に悪影響を及ぼす。そのため工程内での品質制御の点からも、工程後の品質管理の点からも混練の良し悪しつまり材料分散性の評価は重要なポイントである。同様に貯蔵中の再凝集等についても分散性評価によって管理することが肝要である。

グラインドゲージは粉体等の粉碎品質やインキ等の顔料分散を測定するための装置である。図1にグラインドゲージを操作している状態の外観を示す。その詳細は後述するが、ゲージとスクレイパーを用いてゲージ天面の溝上に塗膜を生成した後、膜面を観察することでゲージ天面の刻印から分散度[μm]を測定すること



図1 グラインドゲージの操作

ができる。この操作および膜面の観察には熟練を要することから、それらの自動化は緊急の課題としてあげられている。そこでグラインドゲージによる分散性評価の自動化を目標として試作機を開発した。装置は掃引操作の自動化器械と認識動作の自動化回路からなっている。

2. 顔料等の分散性評価の方法

2.1 概略

図2には、インキ等の材料分散を模して示している。溶剤中に樹脂に被覆された顔料が分散していて、図中右端部には粒度の揃った顔料が良好に分散している様

* 研究開発センター
** 中越技術支援センター
*** 下越技術支援センター
**** 株式会社第一測範製作所

子が描かれ、それよりも左方には不十分で分散が悪く凝集しているか、あるいは粉体の粉碎が不十分な様子が描かれている。混練が十分であるかどうかを材料の分散から調べるための方法の一つが、JIS K5101¹⁾, JIS K5600²⁾, JIS K5701³⁾ に規定されたグラインドゲージによる分散性の評価試験である。

2.2 グラインドゲージ

グラインドゲージは幅 90mm 程度、長さ 240mm 程度の矩形の鋼材の天面に最大深さ 15[μm]~100 μm [15,25,50,100] の斜面からなる溝が研削等によって形成されている。インキ等の試料をスクレーパーで掻き取って天面に塗膜を生成し、粉体の粉碎や分散の不良によって生じた痕跡を観察する器具である。天面には溝と並列して深さの目盛りを彫刻してある。実測に基づいて目盛りがつけられているため必ずしも等間隔に彫刻してあるとは限らない。図 3 には、ゲージとスクレーパーの概略寸法を示している。

図 4 に表面仕上げの異なる 3 種の試作ゲージを示す。左側はラッピング後に黒染め仕上げを施したもの¹⁾であり、中央は研削後にラッピング仕上げをしたもの、そして右側は研削仕上げのみのものである。目視では仕上げの違いによる視認性の差が確認されているが、今後は自動計測に適した条件だしを行っていく予定である。

2.3 JIS K5101, K5600 の試験方法

図 5 には、ゲージの横断面を模式的に示している。天面に溝が形成されている。この最も深い側にインキ等の被評価材料を滴下したのちにスクレーパーを等速・等圧に保ったまま溝の深い側から深さ 0 μm 側に向かってインキを掻き取るように掃引すると天面上の溝にはインキの皮膜が張られ、粉碎の良否あるいは分散の度

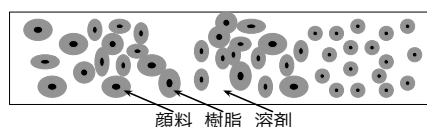


図 2 溶剤中に分散した顔料と樹脂の様子

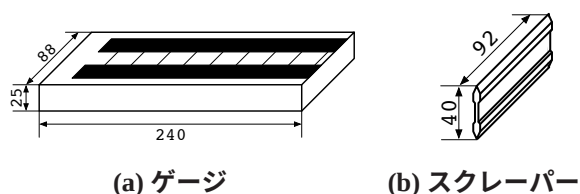


図 3 測定器具の寸法

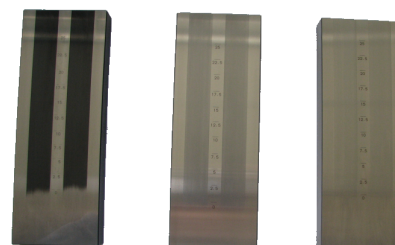


図 4 仕上げの異なる 3 種のグラインドゲージ

合いによって粒状もしくは線状の特異模様が膜面にうつすらと発生する。それを目視で確認し、溝に並列して彫刻された目盛りから値を読み取って測定値とする。図 6 には JIS K5101 等に規定された線状痕と粒状痕によるそれぞれの読み取り方を示す。詳細は JIS に譲るが、分散性の悪い凝集物によって膜面に線状もしくは粒状の特異模様の発生が確認された場合、線状痕では 1cm 以上の筋が 3 本以上発生した位置の目盛りを読み取り、粒状痕では 3mm 幅の帯の中に 5~10 個の点が発生した位置の目盛りを読む。ゲージには単溝と双溝の 2 タイプがあるが、双溝タイプでは評価の信頼性を高めるために双方の読み取りが一致することを確認して評価値とする。

このゲージを用いた分散性の測定作業においては、掻き取り操作に関して押し圧の調整やスクレーパーを引く速度・傾きの調整などが困難である。また膜面観察に関しては、照明角度や観察角度・距離など設定に関して習熟が必要であり、空中の浮遊微粒子による外乱等を判定から排除するような画像認識にも習熟が必要である。

2.4 分散性測定装置の自動化

グラインドゲージによる分散性の評価には機械的な操作および視覚的な認識の両面で熟練を必要とするため、技能者の早期育成の支援ツールとしてあるいは工

¹⁾特許出願済み

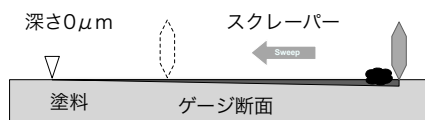
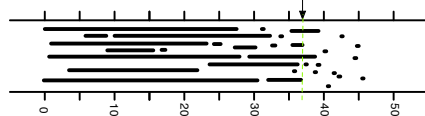
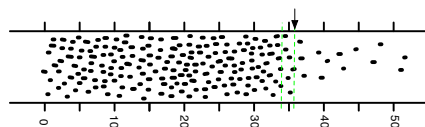


図5 ゲージ断面



(a) 線状法



(b) 粒状法

図6 測定方法

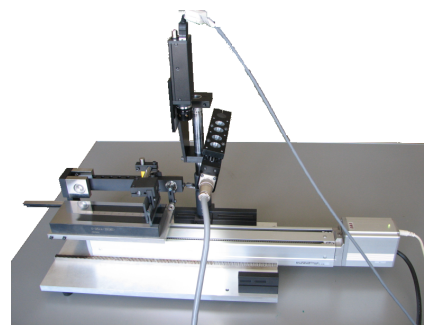


図7 自動掃引機構



図8 押し圧の空間分布

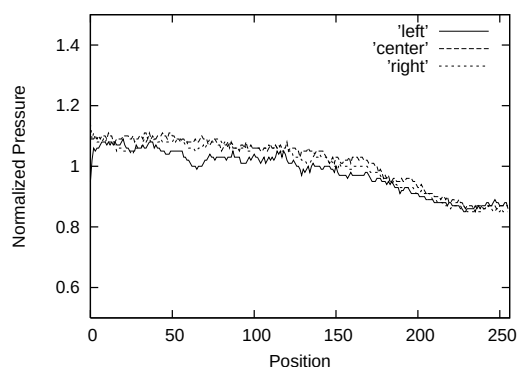


図9 押し圧のプロット

程管理再現性向上支援ツールとして一連の作業を自動化することが重要であると考えられる。そこで次章に示すように掃引作業と観察作業のそれぞれを自動化する装置を開発することにした。

3. 自動掃引装置

3.1 概略

図7には、試作した自動掃引装置を示す。図中右方ボックスにスライダの駆動モータが格納され、ボールねじによってテーブルを左右に定速走行させることができる。テーブル上にはゲージを2方当て止めして傾き等が無いようにしている。左手奥にはスクレーパーをゲージ天面に押し付けるための加重梁があり、ばねによって一定圧で押し付けている。中央部に直立しているのはカメラフレームであり、右下に線状光源のフレームがある。これらは試作品のため角度を変更できるように可変アングルで固定されている。

押し付け圧については、ばねにより梁の加重を 3kgf ～6kgf に変化し乾燥状態でゲージ天面に圧力測定フィルムを貼付してムラの有無を検証した。図8に 6kgf の時の圧力測定フィルムの画像を表示した。濃淡によって圧力の大小を示しており、濃いところほど強い圧力を受けたことを示している。左から右に行くにしたがって溝が浅くなり右端がフルスケールのカラーバーであ

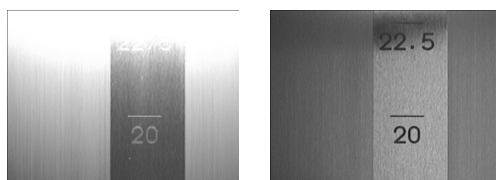
る。2本の白い部分が双溝の部分であり、圧力のスクレーパー左右位置および掃引の位置による変化を図9に示した。横軸が掃引の始点から終点までの位置で、縦軸が圧力を平均値で正規化したものである。±10%程度に収まっていることが見て分かる。

4. 自動画像計測

4.1 照明系

塗膜の表面に発生した痕跡を検出するため、照明系の設定は最も重要な条件設定の一つである。

正反射は鏡面反射とも呼ばれるように、金属表面などで投光と等角の反対方向へ主たる受光成分が反射するような配置で撮像し、主に光沢や表面の凹凸を観察



(a) 正反射照明 (b) 拡散反射照明

図 10 照明による画像の差

する際に利用される。拡散反射は投光と受光の入射射出角度が異なるような配置で観測し、主に物体色を観察する際に利用される。

ここでは、塗膜面の異常凹凸を観察するために主に正反射光を主体とした照明方法をとることとした。

4.1.1 機器設定と照明条件および映像

CCS 社製の線状 LED 光源 HLND-100SW-R を照明具として使用した。照明幅は 100mm である。作動距離 (WD) を 100mm としたときの中央部照度は約 15,000lx で、終端部照度は約 10,000lx である。

なお、図 10 にはゲージ天面を正反射照明と拡散反射照明で撮像した場合の絵を比較のため示している。前述のとおり、正反射照明の場合には強度の反射成分によりハレーション (てかり・飽和) が発生していることが分かる。また正反射の近傍ではハレーションを発生せず凹凸による陰影を観察できることも分かる。一方拡散照明では凹凸の影響が排除され天面の色彩濃度 (拡散反射率) が良好に観察できることが分かる。

上記をふまえ様々なアングルを試した結果、本試作機では図 11 に示すようにカメラと光源を 15° の狭角に設置し、正反射に近い状態で撮像することとした。図中カメラは 90° に配置し、光源は 75° に配置した。本装置の機構上ステージの掃引に合わせて画像を走査するため光源は線状光源とした。

4.2 撮像系

撮像素子には線状と面状の 2 タイプがあり、線状撮像素子ではコピー機等のように被写体もしくは撮像体の掃引による画像走査で画像情報を生成でき、面状撮像素子ではテレビカメラ等のように単一の撮像で画像情報を生成できる。一般に工業用途など特殊用途では



図 11 照明配置

平面状被写体の撮像には前者のラインセンサを用いることが多い。後者のエリアセンサに比べて撮像が複雑になり対象が静止又は走行物体に限られる反面、空間解像度の高い画像を得ることができるからである。

ゲージ天面撮像では掻き取り用に掃引機構があるためそれを利用して、画像走査を行うこととした。

4.3 画像処理系

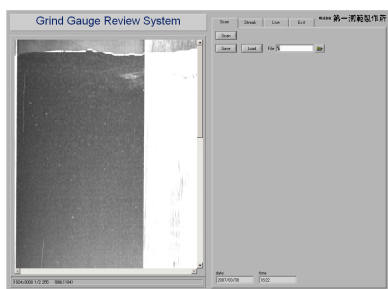
ここでは、画像処理系のハードウェアとソフトウェアの双方について述べる。カメラから転送された画像データは既にカメラ内部でデジタル化されており伝送系でのノイズ重畳を懸念する必要は無い。

4.3.1 処理ハードウェア

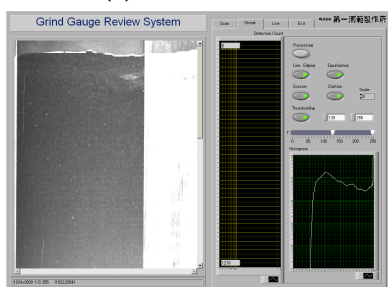
画像処理を実行するハードウェアには OS に Windows®XP を搭載した Intel 社製 CPU Pentium® D 840 と NVIDIA 社製 GPU GeForce®7600GS、1GB のメモリ、80GB の HDD を搭載した PC を利用した。

4.3.2 ソフトウェア開発環境

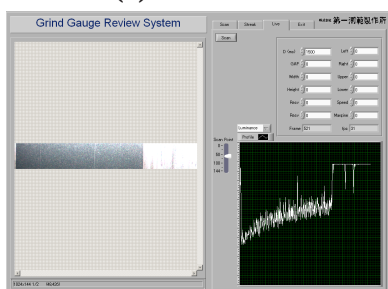
ソフトウェアの開発環境としてはナショナルインストルメンツ (NI) 社製のグラフィカルな計測制御ソフト開発環境である LabVIEW™ ver.8.0 を使用した。画像計測用にアドインとしてビジョン開発モジュール等が追加してある。これによってグラフィカルな操作で、ユーザインタフェース (外観) をフロントパネル画面で設計し、アルゴリズムのデータフロー (動作) をブロックダイアグラム画面で設計することができる。



(a) スキャン画面



(b) 線検出画面



(c) 生画像連続撮像

図 12 画面構成

4.3.3 ソフトウェアの構成と機能

前述の開発環境によりプロトタイプソフトウェアの実装を行った。機能は、(a) 画像走査およびファイルへの録再、および (b) 線画像計測、(c) 光源・カメラ設定の為の連続撮像である。図 12 にそれぞれの機能に応じた表示画面 (フロントパネル) を示す。各画面の切り替えは右上のタブコントロールの押下による。

前述のように線状痕を検出することを目的としているので、まずは検出する痕の特徴から、縦筋であることおよび長さが 10mm 以上であることを考慮して、水平微分処理と数値形態学処理によって所定のサイズ以上の縦線を抽出することとした。図 13 に LabVIEW のブロックダイアグラム画面を示す。画像バッファから表示までの間のデータフローが視覚的に表現されている。

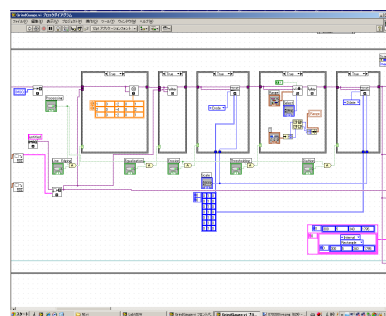


図 13 処理データフロー

5. 実験結果

前章で示したプロトタイプソフトウェアで幾つかのパラメータを調整しながら線状痕の検出を行う実験を行った。サンプルとして使用したのはプリント基板用の溶剤レジストで $20\mu\text{m}$ 程度の目盛り位置から線上痕が目視によって確認されている。撮像幅は 35mm に対し 1024 画素であり 1 画素あたり $34\mu\text{m}$ である。走行方向に対しては 300mm に対して 3000 画素とし 1 画素あたり $100\mu\text{m}$ である。まず水平微分処理で縦線を検出し、次にモルフォロジ処理で縦線をサイズ弁別した。最後に 2 値化によってレベル弁別を行い線像検出を行った。図 14(a) に元画像の溝部分、(b) に同縦線検出、(c) にサイズ弁別、(d) に 2 値化結果の例を示す。なお (b)(c)(d) は輝度を濃淡に変換し有意画素を濃色で示した。図中に目盛りは含んでいないが試行中には 17.5 ~ 20.0 の間に 3 本の線像を検出できた。

5.1 考察と課題

縦線検出に関しては、線状痕の特徴と雑音成分は一般に空間的にも無相関であるという事実を利用して次のモルフォロジー処理で雑音を除去している。サイズ弁別に関して、エッジフィルタ処理のあとモルフォロジー処理で 10mm 未満の線分を排除した。判定サイズは反復パラメータで任意に指定できるが、判定サイズを大きくした場合反復処理の都合上演算時間が長引いてしまうと言う問題があるが、現在の長さ 100 画素の弁別では 1 画像 (1024×3000 画素) の処理に 1 秒程度であったため許容範囲内であった。

レベル弁別に関しては、2 値化の閾値を便宜的に 128

階調とした。現在光源照度等の条件をそろえることとエッジフィルタ後にレベル補正を行うことにより固定の閾値で対応可能であると考えているが、被検体により適切な値を見極める必要がある。

また、今後は粒状痕の検出に適したアルゴリズムの開発を行う必要がある。

6. 結 言

- (1) グラインドゲージによる分散性測定作業を自動化する試作装置の紹介を行った。掻き取り操作を自動化する掃引機構と読み取り行為を自動化する画像計測回路からなる装置であり、作業者の負荷を手作業と視覚認識の両面から軽減することを目的としている。
- (2) 機構系に関しては、一定の押し圧で定速掃引するスライダ装置で自動化できることが分かった。
- (3) 光学系に関しては、照明部と撮像部の配置等について検討し痕跡の視認性を高めることができた。今後の課題としては線状痕の検出に加え粒状痕の検出にも適した照明形態を見出すことがあげられる。
- (4) 画像処理系に関して、ソフトウェア処理で所定のサイズの線状痕を検出できることを確認した。
- (5) 機器の個体差はもとより経時変化による偏差がなくなるようにシステム的あるいは運用的な仕組みが必要である。例えば粒径が既知な標準粒子^{4),5)}を混練した較正インキ²などを用意して定期的に性能を一定に保つキャリブレーションを行う手順を定めるのが良いと考えられる。

参考文献

- 1) JIS K5101-5-2:2004 顔料試験方法 – 第5部: 分散性の評価方法 – 第2節: 分散度の変化による評価, (ISO 8781-1 : 1990)
- 2) JIS K5600-2-5:1999 塗料一般試験方法 – 第2部: 塗料の性状・安定性 – 第5節: 分散度, (ISO 1524 : 2000)
- 3) JIS K5701-1:2000 平版インキ – 第1部: 試験方法
- 4) JIS Z8901:2006 試験用粉体及び試験用粒子
- 5) NIST, “Data, Reference Materials, and Measurement Methods”, http://www.ceramics.nist.gov/ftproot/projects/AR05_DRM.Ovrvu.pdf

²Calibration を較正でなく校正と書く例が多いが、校正は印刷分野で proof reading や color proof の意味で使用され校正インキと書くとき校正用のインキと紛らわしいためここではあえて較正を用いた。

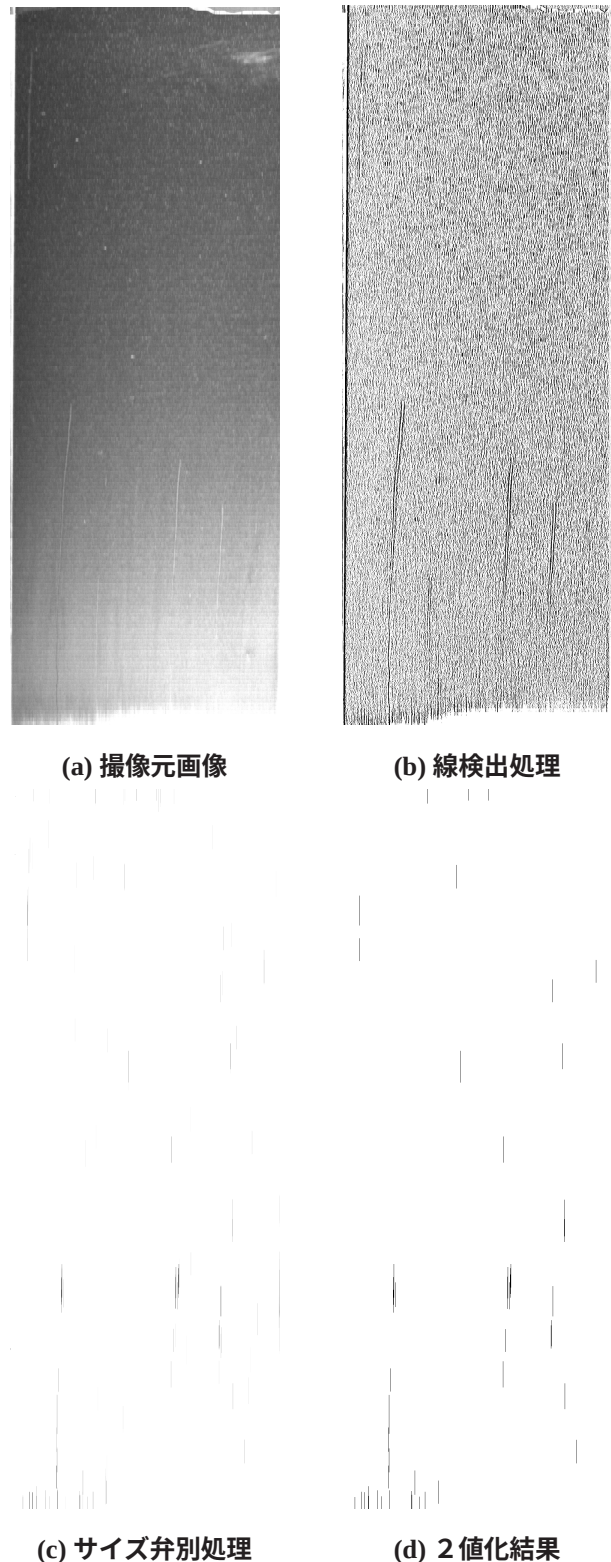


図 14 画像処理結果

こちよい打音・打感のゴルフクラブに関する研究

中部 昇** 船山 智成* 酒井 智幸* 有吉 建* 高井 光太郎*
菅家 章** 山崎 栄一** 今泉 祥子***

Evaluation of Comfortableness of Impact Sound and Feel in Golf Club

NAKABE Noboru **, FUNAYAMA Tomonari *, SAKAI Tomoyuki *, ARIYOSHI Ken *, TAKAI Kohtarō *
KANKE Akira **, YAMAZAKI Eiichi ** and IMAIZUMI Shoko ***

抄 録

プレーヤーの生体情報、すなわちボールを打ったときに聴こえる打音と、身体に伝達する振動に着目し、これを基にして打音、打感のこちよさを定量化する手法について検討した。打音の時間一周波数応答から打音の快適性評価パラメータを提案し、官能検査結果と比較することによってその妥当性の検証を行った。また、ボール打撃時におけるシャフトの曲げひずみと手への伝達振動との関係を実験によって調べ、シャフトの曲げひずみを計測することで打感の推定が可能であることを明らかにした。スイングロボットを用いボール打撃時におけるシャフトの曲げ、ねじれひずみを計測し、クラブ間での比較によって、打感評価がどのような特性に起因するかを把握した。

1. 緒 言

従来、ゴルフクラブの開発においては、飛距離の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おり、これまでもさまざまな材料、構造設計が行われている^{1),2)}。しかしながら、平成 20 年の SLE ルール施行に伴い、今後高反発クラブが規制されることから、反発性に基づく他社との差別化が困難となり、現在、これに替わる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。打音、打感に関する快適性（こちよさ）は反発性や方向性と並び重要視される特性であり、新たな付加価値となり得る機能といえる。しかしながら、これらはプレーヤーの感性に依存する部分であるため、これら感性情報と構造、材料などゴルフクラブの機械的特性との関連は明らかでなく、各メーカーとも定性的な訴求に留まっているようである。

本研究では、プレーヤーの生体情報、すなわちボールを打ったときに聴こえる打音と、身体に伝達する振動に着目し、これらと感性情報、クラブの機械的特性との関係を把握することによって両者の関係を明らかにし、こちよい打音、打感を有するゴルフクラブの材料および構造設計技術の構築を目的とする。本報ではボールインパクト時においてゴルフクラブが発する音響、振動特性を基にした、打音および打感を数値化する手法について報告する。

2. 打音評価手法の検討

打音に関して、プレーヤーの感性に適合する快適性評価パラメータを、音響特性から算出する手法を提案した。音響解析においては、一般にその音の周波数特性、すなわちどの周波数（高さ）の音が発生しているかに着目し、オクターブ分析などを用いて解析を行うが、衝撃音である打音においては、音の高さに加えてその長さ（音の伸び）もその評価において重要であると考えられることから、本研究では周波数応

* 株式会社遠藤製作所

** 研究開発センター

*** 下越技術支援センター

表 1 実験に用いたゴルフクラブ

クラブ	ヘッド体積	備考
A	415cc	SLEルール適合モデル
B	415cc	高反発モデル
C	460cc	SLEルール適合モデル
D	460cc	高反発モデル

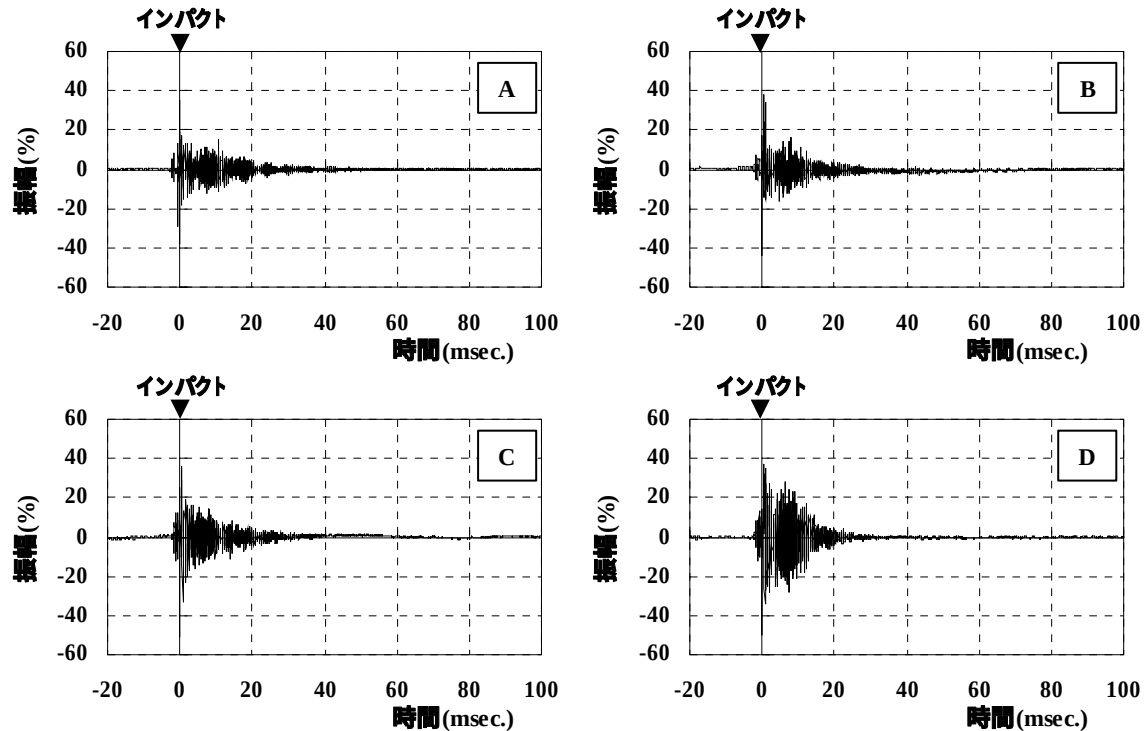


図 1 打音の時系列波形

答の時間変化に着目し、これを基に打音評価を行うこととした。

2.1 方法

実験には表 1 に示す、4 種類の特性の異なるクラブ（ドライバー）を用いた。ここで、シャフト、グリップは各クラブとも同一とした。シングルプレーヤーに各クラブを用いて同一のボールを打たせ、その打音を精密騒音計を用いて測定した。計測した各クラブの打音の時系列波形を図 1 に示した。打音の時間一周波数特性の解析にはガボールウェーブレットによる連続ウェーブレット変換を用いた。この特性を基に、「こちよい打音」は「高周波音が低周波音にかき消されずに残響する」との仮説を立て、打

音のこちよさを数値化するパラメータ（以下打音評価パラメータ）を算出した。

一方、対象となるクラブの打音に対し、ゴルフ経験者 26 名を用いて官能検査を実施し、その快適性について比較した。官能検査は SD 法と一対比較法の 2 種類を用いた。前者は音に対する様々な印象を点数付けすることによって、その特性を抽出するために用いた。また、後者は全体のうち 2 種類を抽出し、聴き比べてどちらが良いかを判定するもので、打音の嗜好の順位付けに用いた。

2.2 実験結果

図 2 に 4 種類の打音のウェーブレット解析結果を示す。グラフ横軸は時間、縦軸は周波数を

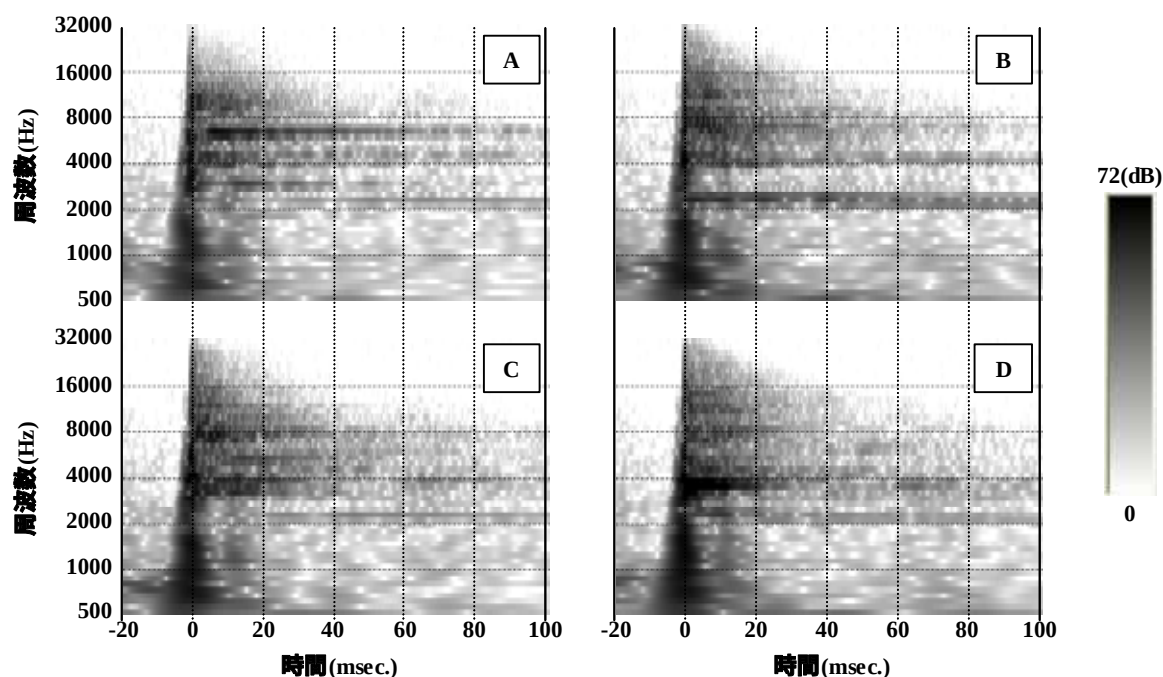


図2 打音の時間－周波数解析結果

それぞれ表しており、レベルの大きさは色の濃淡で表示した。各クラブで特性を比較すると、インパクト瞬間（時刻 0）付近においてはいずれのクラブとも同様の周波数特性を示すが、その後では、ピークを示す周波数帯やその減衰が異なることが観察された。これらから打音評価パラメータを算出して比較を行った結果を、官能検査結果と併せて図3に示す。なお、これらはいずれも値が大きいほうがこちよい打音であることを表す。打音評価パラメータはクラブ

A－D－B－C の順となり、官能検査結果とよく適合していた。以上の結果、本研究で提案した打音評価パラメータによって、打音のこちよさの数値化を可能にした。

3. 打感評価手法の検討

プレーヤーが感じる打感が、手に伝達する打撃時の振動（衝撃荷重）に起因すると考え、プレーヤーが打感进行评估するにあたり、どのような振動特性に起因するか、そのメカニズムを実

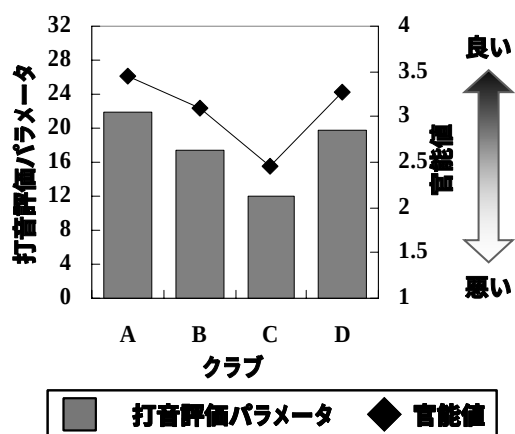


図3 打音評価パラメータと官能検査結果

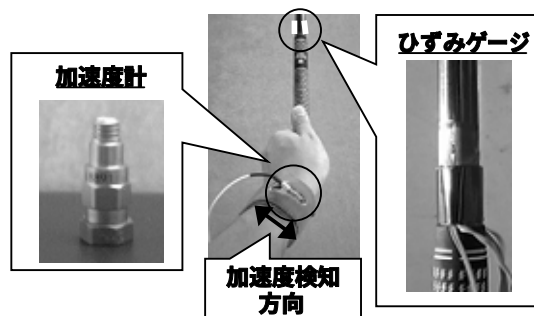


図4 計測方法

験によって調べた。

3.1 打撃時における上肢への振動の計測

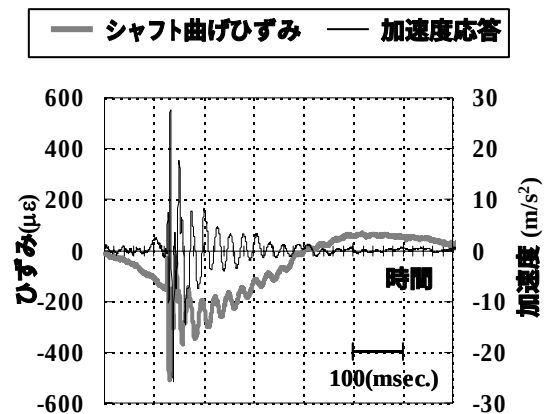
加速度計とひずみゲージを用いて、ボール打撃時におけるゴルフクラブ（ドライバー）の振動がどのように手に伝達するかを調べた。加速度計は図 4 に示すように、ベルトを用いて手首に固定した。このとき加速度検知方向を掌背方向とし、ボール打撃に伴うシャフトの曲げ方向と同一となるように設定した。シャフトの振動計測はひずみゲージを用い、グリップ部近傍の、フェースと垂直方向、すなわちボールの衝突方向の曲げ振動を測定対象とした。グリップを握った状態でゴルフボールをヘッドに衝突させ、そのときの加速度およびひずみ信号を、データロガーを用いて測定した。

図 5(a)(b)にシャフトの曲げひずみおよび手の加速度応答の時系列変化と、FFT を用いて算出した両者の周波数特性を示す。両者の周波数特性は、測定時のシャフトのたわみを除いた 25Hz 以上の領域でほぼ同様の傾向を示した。両者に対し、25Hz から手が感知できる上限といわれる³⁾、1500Hz の周波数領域でフィルタリングした結果、図 5(c)に示すように両者はよく対応していた。以上の結果から、シャフトの曲げひずみ波形を計測し、その低周波のたわみを除いた成分を用いることによって、手に伝わる振動の特性、すなわち打感の推定が可能であることが明らかとなった。

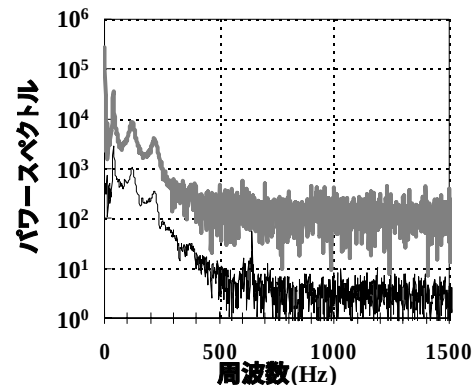
3.2 ヘッド構造の差異におけるシャフトの曲げ、ねじれひずみの比較

スイングロボットを用い、ボールを打った場合のシャフトの曲げひずみを、表 1 に示す 4 種類のクラブで測定し、比較することによって、打感に影響を与える因子について検討を行った。併せて、シャフトのねじれひずみも測定し、各クラブで比較した。測定例として、シャフトの曲げひずみ、ねじれひずみの時系列変化と周波数特性、および 25Hz から 1500Hz でフィルタ

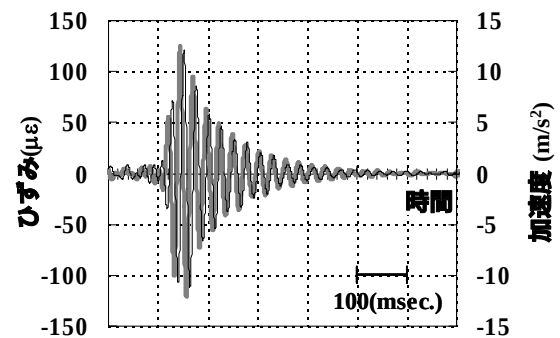
リングした周波数成分の測定結果を図 6 および図 7 に示した。これらを各クラブで比較することによって、打感評価がどのような特性に起因するかを把握することができた。



(a)時系列波形



(b)周波数特性



(c)25-1500Hz 成分の時系列波形

図 5 シャフト曲げひずみと手の加速度応答

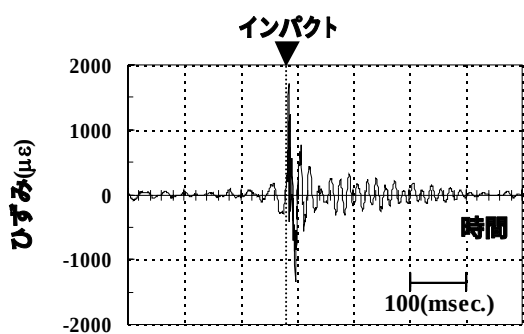
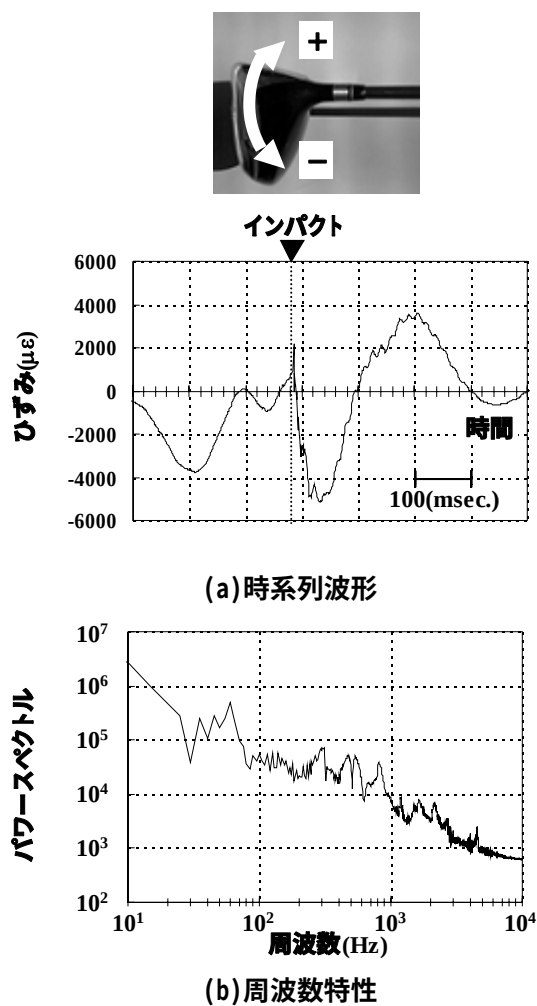


図 6 シャフトの曲げひずみ計測例

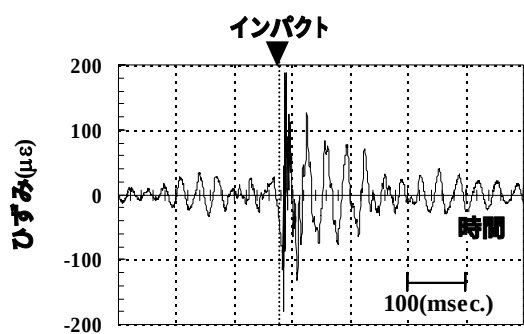
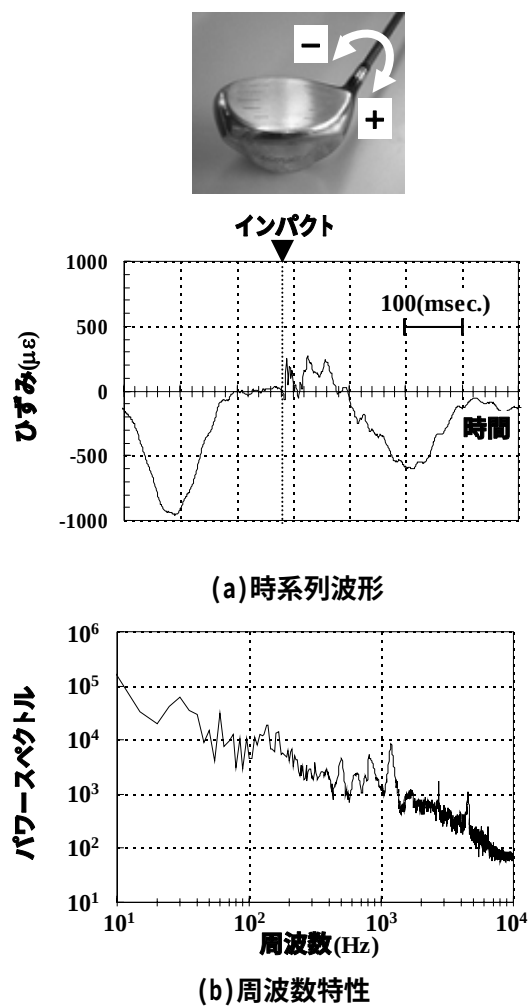


図 7 シャフトのねじれひずみ計測例

4. 結 言

(1) 「こちよい打音」＝「高周波音が低周波音にかき消されずに残響する」との仮説を立て、ウェーブレット解析によって得られた打

音の時間一周波数応答を基にした、打音の快適性評価パラメータを提案した。

(2) 特性の異なる 4 種類のクラブの打音から評価パラメータを求め、官能検査結果と比較し

た結果、両者はよく対応しており、これによって打音のこちよさを数値化することができた。

- (3)ボール打撃時におけるシャフトの曲げひずみと手への伝達振動と関係を実験によって調べ、シャフトの曲げひずみを計測することで、打撃によって手に伝達する振動、すなわち打感の推定が可能であることが明らかとなった。
- (4)スイングロボットを用い打撃時の曲げ、ねじれひずみを計測し、4種類のクラブ間で比較することによって、打感評価がどのような特性に起因するかを把握することができた。

参考文献

- 1)岩壺卓三ほか, “高反発特性を有するゴルフクラブヘッドの設計に関する研究”, 日本機械学会講演論文集, No.00-38, 2000, p100-103.
- 2)森山圭治ほか, “ゴルフクラブ, ゴルフボールの固有振動数の初期条件に及ぼす影響”, 日本機械学会講演論文集, No.06-35, 2006, p142-145.
- 3)佐藤方彦監修, “人間工学基準数値数式便覧”, 技法堂出版, 1992.

実 用 研 究

小 規 模 研 究

≡ 二 共 同 研 究

摩擦攪拌接合技術に関する研究

田辺 寛* 天城 和哉** 折笠 仁志** 岡田 英樹**

A Study on Friction Stir Welding of Magnesium Alloy

TANABE Hiroshi *, AMAKI Kazuya **, ORIKASA Hitoshi ** and OKADA Hideki **

抄 録

回転プローブを用いた AZ31B マグネシウム合金の摩擦攪拌接合を行い、製作した継ぎ手の機械的性質やマイクロ組織等について検討を行った。摩擦攪拌接合による継ぎ手は、継ぎ手強さが接合母材の82%で、母材強度には達しなかった。また、プローブにより攪拌された部位は、結晶粒の微細化が確認され、プローブによるせん断応力の付与とショルダからの摩擦熱で動的再結晶を起こしたものと推察された。

1. 緒 言

近年、顕在化する環境問題から自動車や鉄道車両などの輸送機器の軽量化が求められている。また、輸送機器と同様にパソコンや携帯電話等の携帯用電気製品も、その製品としての性質上、常に軽量化が要求されている。製品の軽量化には、製品設計を見直すとともに、構造材料を比重の大きい材料から比重の小さい金属材料に代替することが効果を上げるため、実用金属中で最も比重の小さいマグネシウム合金が注目されている。

一方、接合分野においては、近年、アルミニウム合金やマグネシウム合金などの低融点の金属で、溶融させずに接合する固相接合法に関心が集まっている。固相接合法には、大別して、拡散接合法、摩擦圧接法、摩擦攪拌接合法、常温接合法（冷間圧接法）、爆発圧接法（爆着法）、ガス圧接法、超音波接合法、電磁圧接法、熱間圧接法¹⁾などがある。中でも、摩擦攪拌接合（Friction Stir Welding, FSW）は、英国の The Welding Institute (TWI) で発明され、特許出願された新しい固相接合法であり、継ぎ手の機械的性質に優れ、熱による歪みが少なく、接合時の欠陥も生じにくい接合法として、すでに鉄道車両や航空宇宙分野におけるロケットの燃料タンクの接合に用いられ、実用化が進んでいる。

そこで、本研究では、軽量化材料として注目されるマグネシウム合金への摩擦攪拌接合の適用と実用化への知見を得ることを目的に、技術の機能性について調査するとともに、その継ぎ手の引張強さ、硬さ等の機械的特性や金属組織の評価を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材は、大阪富士工業(株)製 AZ31B-O マグネシウム合金で、板厚は 2.0mm の圧延材である。材料のマイクロ組織を図 1 に示すが、大小の

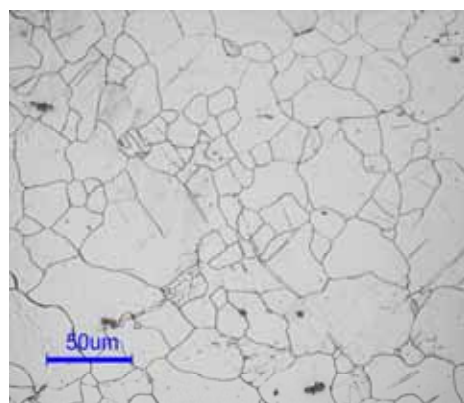


図 1 母材のマイクロ組織

表 1 母材の化学組成 (mass%)

	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Mg
AZ31-O	2.6	0.68	0.3	0.01	0.01	bal.

* 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

表 2 母材の機械的性質

	引張強さ (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	伸び (%)	ビッカース硬さ (HV)
AZ31B-O	229	150	6.9	63

等軸晶が混在する混合組織となっている。化学組成を表 1 に、機械的性質を表 2 に示す。

2.2 接合方法

接合には、万能フライス盤（㈱春日製作所 RNC-80）を使用し、フライス盤のテーブル上に突き合わせ治具を固定して、供試材の長さ方向が接合面となるようにした。回転工具は、焼き入れを施していない高速度工具鋼により作製し、ショルダ径 20mm、プローブ部は直径 3 mm×高さ 1.8mm のストレートプローブとした。なお、プローブ部にはネジは施されていない。

接合に供する試験片の寸法は、幅 47mm×長さ 140mm の矩形形状で、長さ方向が圧延方向と平行になるように切断した。接合する端面はフライス加工後に、#500 のエメリー紙で研磨し、エタノール洗浄して接合に供している。接合端面の表面粗さは、Ra 1.04 μ m 程度である。

接合する際の工具回転数は 400rpm、800rpm、1200rpm、1600rpm、2000rpm と変化させ、接合速度は 100mm/min と一定した。また、ショルダー部の試験片への挿入量は 0.05mm で一定とし、工具挿入時は材料の予熱のため、ショルダーが試験片に接触した後に 30 秒間の保持時



図 2 接合治具の外観

間を設けた。引張試験片は、フライス盤にて表裏を平坦にした後に接合方向と直角に試験片を切り出した。引張試験片の寸法は幅 10mm×長さ 94mm×厚さ 1.8mm で、引張試験における試験速度は 0.5mm/min で行った。引張試験以外での継ぎ手の評価としては、外観の評価、光学顕微鏡による組織観察、引張試験片の破断面の SEM 観察、接合断面のビッカース硬さの測定を行った。実験前の接合治具の外観を図 2 に示す。

3. 実験結果

3.1 外観の評価

接合した継ぎ手の外観を図 3 に示す。工具回転数 400rpm では、ショルダから材料への入熱不足から溝状の欠陥が発生したが、800rpm から 2000rpm の間では継ぎ手外観に欠陥は見られなかった。図 3 において、工具回転方向は、時計回りの方向であるが、接合方向と工具回転方向が逆であるリトリート側（写真中の継ぎ手下側）でバリの発生が顕著となった。

3.2 引張試験の結果

摩擦攪拌接合を行ったマグネシウム合金の継ぎ手の引張試験結果を図 4 に示す。なお、工具回転数 400rpm の試験片は、前記の通り、溝状

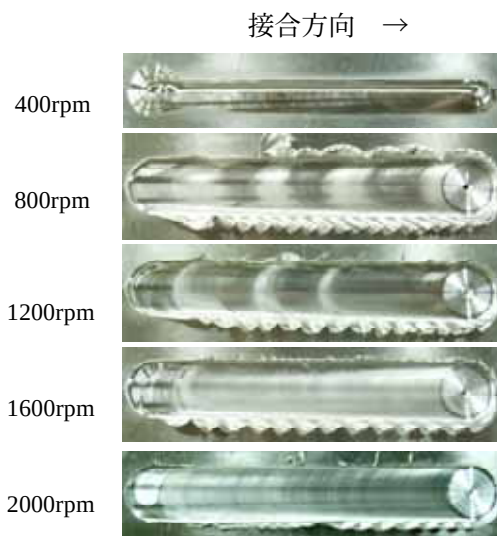


図 3 継ぎ手の外観

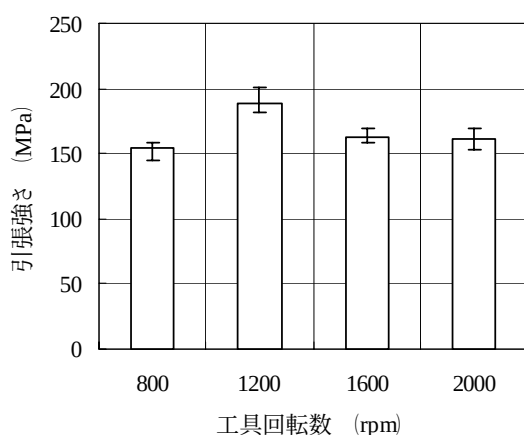


図4 接合継ぎ手の引張試験の結果

の欠陥が発生しており、有効な試験結果を得ることができなかったため、図には表示していない。工具回転数が800rpmから1200rpmまでは引張強さが増加する傾向にあるが、1200rpmから1600rpmまでは引張強さが減少し、1600rpmから2000rpmではほぼ横ばいとなる。また、最大引張強さは、工具回転数1200rpmで発生し、平均で188MPa、最大では200MPaが得られた。平均の引張強さを基準とした場合、継ぎ手効率は82%となり、母材の引張強さには及ばなかった。

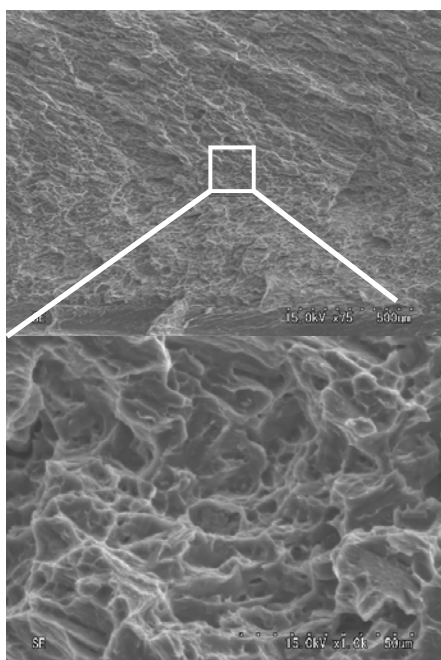


図5 引張試験片の破断面の写真

3.3 引張試験片の破断面のSEM観察

図5に工具回転数1200rpmにおける引張試験片の破断面におけるSEM写真を示す。写真上部に破断面の全体を示し、中段部の四角印を拡大したものを下部に表示した。下部拡大写真に示す様に、微細なディンプル形状が観察され、延性的な破断形態となっていることが分かる。

3.4 継ぎ手断面のミクロ組織

図6及び図7に継ぎ手中央部（攪拌部）とTMAZ（熱機械的影響部）におけるミクロ組織写真を示す。交差線分による結晶粒径の測定方法（直線交差線分法,JIS G 0552）により、マグネシウム合金の母材の結晶粒径は、約25 μ mであるのに対し、図6で示される継ぎ手中央部（攪拌部）における平均結晶粒径は約10 μ mと結晶粒の微細化が顕著に見られた。これは、回転攪拌によりマグネシウムの結晶粒にはせん断ひずみが付与され、それらがショルダからの熱

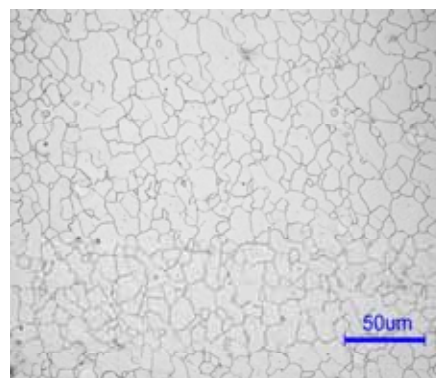


図6 継ぎ手中央部（攪拌部）のミクロ組織

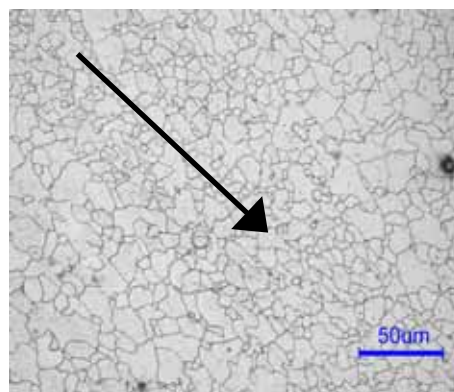


図7 TMAZ部（熱機械的影響部）のミクロ組織

で動的に再結晶した結果であると考えられた。
また、図7のTMAZ部におけるマイクロ組織では、矢印の方向に向かって、塑性流動が生じているものと考えられるが、その部位を中心に結晶粒の微細化が起こっていることが分かる。

3.5 継ぎ手断面のビッカース硬さ

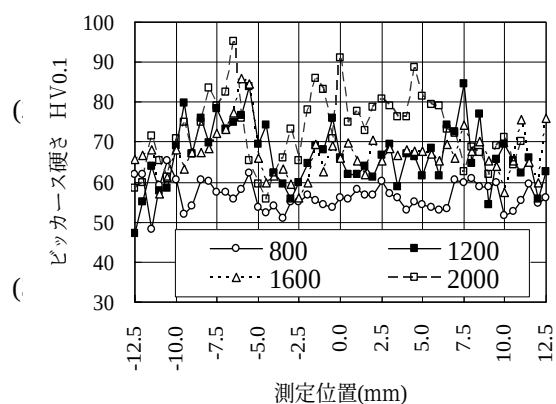
図8に継ぎ手断面のビッカース硬さの分布を示す。図中の測定位置において、0は突き合わせ位置、マイナス表記はアドバンシングサイド、プラス表記はリトリートイングサイドを表している。図8から、マグネシウム合金母材のビッカース硬さはHV63相当(表2)であるのに対し、接合後の断面の硬さ値は、すべからく高くなっていることが分かる。これは前記のマイクロ組織で示した通り、結晶粒の微細化の効果が現れたものと推察される。また、各工具回転数において、測定位置約-3.0mmの場所に硬さの低下が見られた。S.Limら²⁾によれば、アドバンシングサイド側の攪拌部と熱機械的影響部の境界で酸化物層様の接合欠陥が形成されるため、引張試験の破断伸びの値が急激に低下するとの指摘がある。この硬さの低下については、明らかな接合欠陥であるとの判断はできなかったが、引張試験の破断もほぼ同じ位置で生じていることから考えて、硬度低下が原因となり引張強さが母材強さに及ばなかったものと考えられる。

4. 結 言

AZ31Bマグネシウム合金の摩擦攪拌接合について以下の知見を得た。

- (1) AZ31Bマグネシウム合金の摩擦攪拌による接合は、容易に行える。

図8 継ぎ手断面のビッカース硬さ



いて顕著な結晶粒微細化が見られた。

参考文献

- 1) 溶接学会編, “溶接・接合便覧”, 丸善, 1990, 465.
- 2) S.Lim, S.Kim, C.G.Lee, C.D.Yim and S.G.Kim, “Tensile behavior of friction-stir-welded AZ31-H24 Mg alloy”, Metallurgical and Materials Transactions, 36A, 2005, 1609-1612.

抽出 IR 法による樹脂中微量成分検出方法の確立

永井 直人*, 五十嵐 晃*, 林 成実*

A technique for detecting the ultra-low concentration materials in polymers
by infrared spectroscopy with extracting preparation

NAGAI Naoto*, IKARASHI Akira*, and HAYASHI Narumi*

抄 録

工業製品のトラブルの中には樹脂およびその周辺材料の微量成分が原因となるものがある。しかし、これまでの分析法では微量成分検出能と化学構造解析能とがトレードオフになっており、これらの微量成分の化学構造の推定が困難であった。本研究では化学分析能にすぐれた赤外分光顕微システムと抽出法を組み合わせることによって工業製品中の微量成分を検出・同定する検討を行った。抽出溶媒の種類や温度などを变化させた前処理で多様な微量成分分析が簡便に行える可能性が示された。

1. 緒 言

樹脂の変色や溶剤等によるクラック発生(いわゆるソルベントクラック)は工業製品において多発するトラブルのひとつである。これらは樹脂中に存在する添加剤の変質や外部からのオイルや微量成分の混入によって引き起こされることが多いが、その原因究明は一般には容易ではない。クロマトや質量分析を使った手法は微量成分検出に向いているが、溶解する必要があること、また実際にデータが得られた場合でも質量数などから原因物質を同定するのは多くの労力を要し、さらに分子量が多い物質ではその解析が困難になるなどの問題点がある。一方、赤外分光法(IR)は従来から簡便に物質同定が行えることから、広くトラブル解析に用いられている手法であるが微量添加剤成分を検出するだけの感度がなかった。そこで、抽出法を工夫し、微量成分でも分析が可能な顕微赤外分光法と組み合わせることによって樹脂変色や割れ原因究明の分析手法を確立するための基礎検討を行った。本技術が確立されることによって

県内企業への分析支援の充実を図ることができる。

2. 赤外分光分析の概要と本研究の背景

赤外分光分析は波長 2.5 μm ~15 μm 程度の光を物質に照射すると、物質を構成する成分の分子振動に対応する波長の光が吸収されることを利用して、物質の化学構造を推定することができる分析手法である。その特徴は以下のようにまとめることができる。

(1)物質の化学構造が分かるため、トラブルなどの原因究明に利用することができる。

(2)多様な測定モードがあり、表面分析や微小部分析などとして利用することができる。

(3)原則非破壊である。

以上の特徴は工業製品のトラブル解析で極めて重要なメリットをもつ。例えば、蛍光X線やEPMA (Electron Probe Micro Analyzer) などでは元素情報しか得られないことから、ある物質から炭素、酸素、ケイ素が検出された場合、その材料がシリカ(酸化ケイ素)なのかシリコン(ポリジメチルシロキサン)なのか判別するのは困難である。さ

* 下越技術支援センター

らにシリカの表面にシリコンが付着している場合などは元素分析では判断不可能であるが、赤外分光分析ではこのような評価が可能である。

赤外分光の中でも材料表面を分析でき汎用性の高い ATR 法 (Attenuated Total Reflection: 全反射減衰法) の光学系を図 1 に示した。屈折率の高いプリズムを通して入射角を大きくとって赤外光を入射させるとプリズム表面で全反射の現象が起こり、光はほとんど検出器に入っていく。しかし、実際にはプリズム表面から波長の $1/10$ 程度までの距離にわずかに電場が存在している (それをしみこみ電場と称する)。このしみこんだ電場の領域に試料が置かれると、密着された試料の表面約 $1\mu\text{m}$ 深さの領域のシグナルを得ることができる。これが表面分析手法としての測定モードのひとつである ATR 法の原理である。この ATR 法の派生モードで材料表面の分析によく使われる方法として ATR 転写法がある。これは ATR 法で試料表面の分析を行ったのち、サンプルをはずして、再びプリズム表面には何も密着させない状態で測定する手法で、これによって試料の表面に付着している成分のみがプリズム表面に転写されてシグナルとして得られるのである。

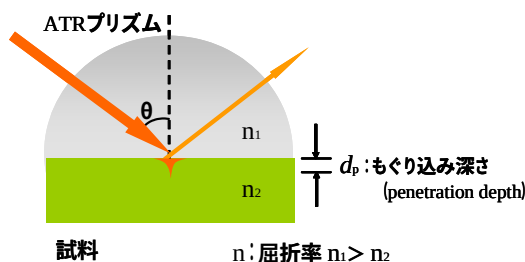


図 1 ATR 法の原理図

図 2 には例として軟質ポリエチレンの透明な袋を ATR 法で測定したスペクトルと ATR 転写法によって得たスペクトルを示した。ATR 法ではポリエチレンの炭化水素の吸収が主に観測され、滑剤である脂肪酸アミドの吸収がわずかに認められている。一方、ATR 転写法では滑剤のシグナルのみが認められている。このように赤外分光法は種々

の測定モードを利用してバルクのみならず表面をも選択して化学構造解析ができる手法である。

しかしながら、一般に赤外分光分析の検出感度は $1\sim 0.1\%$ の範囲と言われており、特に混合物になると、解析は熟練を要するため、試料中の微量成分測定に赤外分光分析を利用するケースは少なかった。

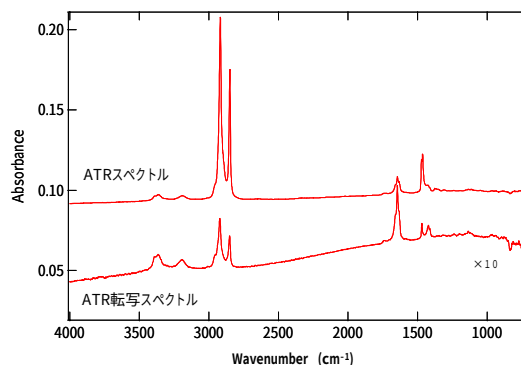


図 2 ポリエチレンの ATR スペクトルと ATR 転写スペクトル

3. 抽出 IR 法

一般に、試料を溶解しない溶媒を用いてソックスレー抽出し、抽出された成分に対して種々の分析を行うことで材料の微量添加剤に関する知見を得ることができる。しかし、これには試料の量が必要であり抽出の手間もかかるという問題があった。これに対し、最近の高感度な赤外顕微分光装置を用いれば、わずかな抽出量で化学構造解析が可能なのではないかと予想される。したがって、もし、わずかな量でも材料の検出・解析が可能であるならば、試料を溶媒で浸しておく程度



図 3 顕微赤外分光システム

の抽出量で分析が可能となり、むしろ種々の溶媒を用いて抽出し、多くの成分を明らかにするほうが、工業材料の分析の観点からは有利であると考えられる。

図3には総研で保有している顕微赤外分光システムを示した。左側が顕微システムで右側が分光システムである。

図4には図2で示した軟質ポリエチレンの袋を水、アセトン、およびベンゼンで一晩浸した後、その液をそれぞれとけい皿にとり、溶媒を飛ばした後に残分として残る抽出物の赤外吸収スペクトルを示した。スペクトルのシグナル強度は抽出物の同定が行えるほど十分であること、また、スペクトルパターンの違いから溶媒によって抽出物が異なることが分かる。実際、水抽出の場合は、カルボン酸、カルボン酸塩、炭酸塩、ケイ酸塩が、アセトン抽出の場合は脂肪酸アミドのほかエステルも検出されている。それに対してベンゼンでは主にパラフィンが検出され、わずかに脂肪酸アミドも認められている。

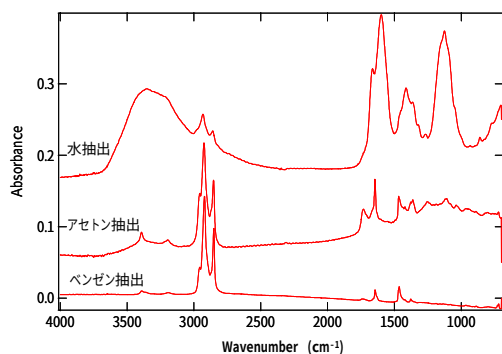


図4 ポリエチレンの抽出 IR スペクトル

図5は塩化ビニルおよびエポキシをエタノール抽出した後のIRスペクトルである。塩ビで認められる成分はフタル酸エステルのシグナルで可塑剤由来である。エポキシでは脂肪酸アミドが認められるが、これはエポキシ樹脂をポリエチレン袋に入れて長い間保管していたために樹脂に付着していた成分が抽出されたのではないかと考えている。

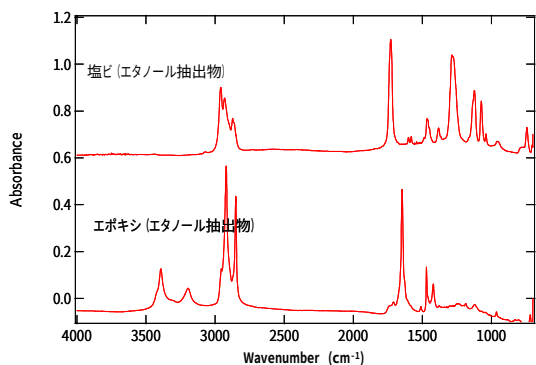


図5 塩ビおよびエポキシの抽出 IR スペクトル

4. 樹脂以外への応用

4.1 グリースの分析

樹脂の破断などのトラブルにおける原因の一つに、ソルベントクラックがある。これは樹脂が長い間、オイル、食品、グリースなどに接触していると、樹脂の非晶領域にそれらが入り込み機械的強度が著しく減少し破断に至ってしまう現象である。ソルベントクラックの特徴は破断面がきれいな鏡面である点で、破断面を丹念に分析すると浸透成分を検出できる場合がある。しかしながら、その浸透成分が必ずしも、オイルや食品そのものではなく、その中のわずかな添加剤の一部である場合が多い。したがって、ソルベントクラックを引き起こしている疑わしい候補品がある場合は、破断した樹脂の破断部を抽出して分析すると同時に、候補品に対しても抽出成分の分析を行い組成成分を把握しておく必要がある。図6には2種類のシリコングリースに抽出IR法を試みた結果を示す。グリースAのアセトン抽出物はほとんどシリコン成分のみであるが、エタノール抽出し

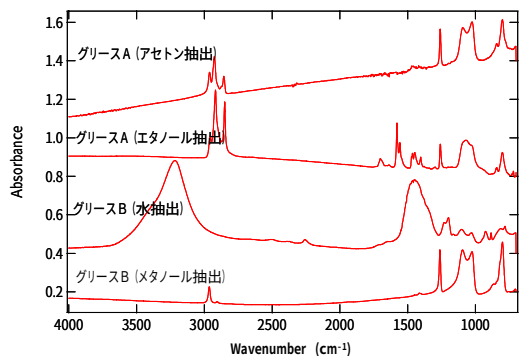


図6 グリースの抽出 IR スペクトル

たものはシリコンのほかに金属石鹸のカルボン酸塩も認められている。一方、グリース B ではメタノール抽出したものはシリコン成分のみであるが、水抽出したものでは炭酸塩やアミンなども認められている。

4.2 木片の分析

天然物の分析には抽出液を GC/MS にかける評価がよく行われる。しかし、この分析は比較的分子量の小さい成分に限られている。IR では抽出固化した分子量の大きな成分を分析することができる。図 7 には天然物である木片を測定した結果を示した。ATR 法による測定ではセルロースの吸収スペクトルが認められている。一方、この木片を水につけて抽出したものからはカルボン酸およびカルボン酸塩のピークが認められる。さらに、水熱抽出ではそれ以外に芳香環を含む成分 (1500 および 1600cm^{-1} の鋭いピーク) が認められ、抽出溶媒の温度によって取り出される成分が異なることが示唆される。すなわち、目的によって抽出温度も重要なパラメータになることがわかる。

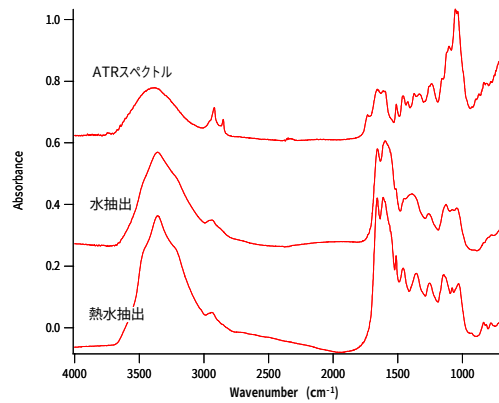


図 7 木片の ATR スペクトルと抽出 IR スペクトル

5. 結 言

- (1) 工業製品のトラブル原因究明のために樹脂およびその周辺材料の微量組成成分の検出と化学構造解析を目指した抽出 IR 法を検討した。
- (2) 本手法のポイントは高感度な顕微赤外システムを使うところにあり、多様な溶媒や処理温度によって多くの微量成分を簡便に分析できる点が特徴である。

透き目柄出し製織技術の開発

古畑 雅弘* 家坂 邦直* 小海 茂美*
三村 和弘* 松本 好勝* 橋詰 史則* 本田 崇**

Development of Weaving Technology that makes Partially Transparent Textiles

FURUHATA Masahiro*, IESAKA Kuninao*, KOKAI Shigemi*
MIMURA Kazuhiro*, MATSUMOTO Yoshikatsu*, HASHIZUME Fuminori* and HONDA Takashi**

抄 録

三角形の切り欠き凹部を持つ箴羽（おさは）15枚程度を一群とし、それらを和装織機箴全幅にわたり配設する装置を作製した。そしてそれら箴羽群を任意に上下位置決め制御することにより、織物に部分的な密度変化を持つ柄を創出する新規製織技術を開発した。試作織機による製織試験の結果、平織組織においても立体的な凹凸感のある織物の製織が可能となり、また従来のドビー機やジャカード機を併用することにより、新感覚の高付加価値織物の製造が可能となった。

1. 緒 言

中国や台湾などの途上国企業の台頭や人口減による国内市場の縮小などにより、県内織物産地の生産量が減少している。こうした状況の中、産地では「量から質への転換」、国際競争力を持ったオリジナリティのある高付加価値商品の開発が急務となってきている。

そこで本研究では、産地活性化に向けた新たな技術シーズの取り組みとして、透き目柄出し（密度可変織物）製織技術について研究を行った。

2. 密度可変織物

密度変化を利用した従来の方法としては、特殊なよろけ箴を上下動させる経よろけや、波状の立体的な箴を使用したり、経糸の張力変化を利用した緯よろけなどが実用化されているが¹⁾、これらの多くは、パターンの周期的な変化を創り出すことはできるが、密度を任意に変化させることは不可能であった。

本研究では、従来から使用されている小幅和装織機の箴羽に切り欠き凹部を設け、織物の密度を任意に変化させて、複雑で多種多様な柄を創出可能にする方法を確立した。

3. 箴打ち機構

今回開発した緯糸の箴打ち機構を図1に示す。通常箴羽では、緯糸は常に平行に打ち込まれるが、切り欠き凹箴羽を使用した場合、凹部では

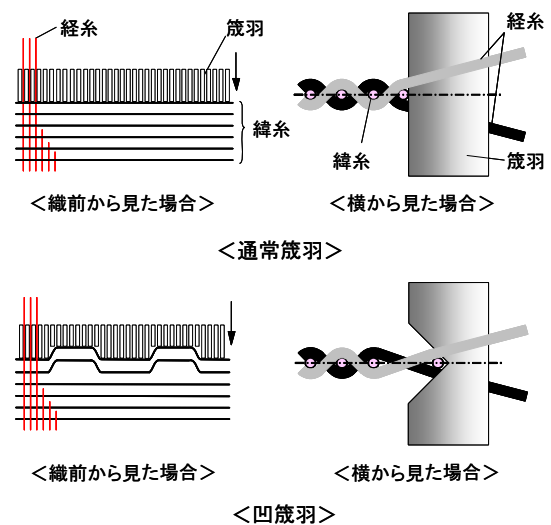


図1 箴打ち機構

* 素材応用技術支援センター

** 研究開発センター

緯糸は切り欠き深さ分だけ通常より箴打ち量が少なく、この部分だけ緯糸が曲がり、密度が変化（隙間が発生）する機構である。

4. 製織装置の開発

4.1 装置の概要

開発した装置の構成概要を図2に示す。箴羽（セレクトア）を制御するエアシリンダー、ロータリーエンコーダ、装置全体を制御するPLC（プログラマブルロジックコントローラ）、エアシリンダーを作動させるエアコンプレッサ、各種動作設定を行なうタッチパネルからなる。柄データは、PCで作成し、コンパクトフラッシュカードを介して、PLCのメモリに書き込む。

エアシリンダーを動作させるタイミングは、織機のクランク軸に取り付けたロータリーエンコーダからの信号で決定し、約 35° ～ 85° で変更を行なっている。

4.1.1 箴羽の加工

箴羽は60羽/鯨寸を使用し、これに長さ4mm、深さ2mmの切り欠き加工を施した。加工部のバリによる糸の損傷が発生しないように、最後に研磨を施している。加工後の箴羽を図3に示す。



図3 箴羽の切り欠き加工

4.1.2 箴羽のセレクト化によるブロック化

図4に箴セレクトの概略を示す。織機の取付スペースを考慮し、切り欠き箴羽15枚を1組としてブロック化し、上下部セレクトで可動する箴を規定した。箴全幅で44セレクト配設した。なお、1セレクトあたりの織物幅は約10mmとなっている。

4.1.3 箴羽の位置決め制御

各セレクトごとにエアシリンダーで箴セレクトを上下5mm可動するように位置決め制御し、箴セレクトが上位位置に来たときに、緯糸が凹部に入るように設定した。

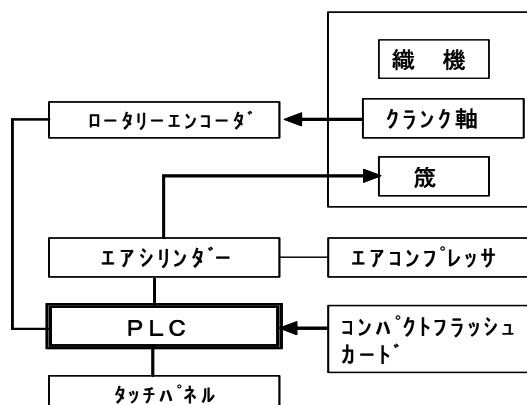


図2 装置の概要

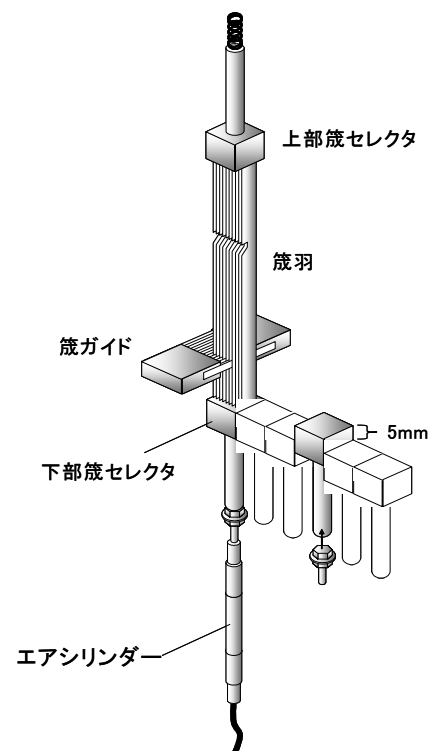


図4 セレクトの概略

4.1.4 箆ユニットの作製

作製した箆ユニットを図5に示す。小幅和装織機に取り付ける場合は、従来の織機箆部と開発した箆ユニット全体を取り替える構造となっている。

4.2 PLC制御プログラム

PLCプログラムの概要を図6に示す。PCで作成した柄データを書き込み後、スタート行の設定を行ない、運転モードに切り替える。織機を動作させるとメモリから柄データを読み取り、クランク軸のタイミングに併せてエアシリンダーを動作させる。糸切れなどのトラブル時には、タッチパネルでデータ行を再セットすることで修正した糸の本数分のデータを戻すことができる。また作業状況はメモリに自動保存しており、任意のタイミングで作業の中断・再開が可能である。図7にタッチパネルの表示例を示す。メインメニュー、位置表示、データ変更などの機能ごとに画面構成されている。

4.3 柄データ作成プログラム

データ作成プログラムは、表計算ソフトEXCELのVBAにより作成しており、柄データを容易に作成することが可能となっている。図8に柄データの一例を示す。1マスは1セクタの動きを示しており、白マスは箆セクタが下位位置にある状態、すなわち通常箆打ちをする位置、黒マスは箆セクタが上位位置、すなわち凹部で箆打ちを行う位置である。実際の製織

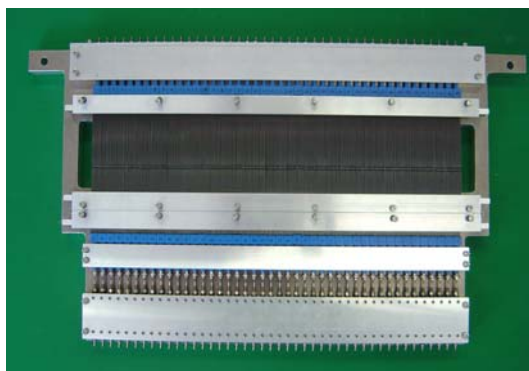


図5 作製した箆ユニット

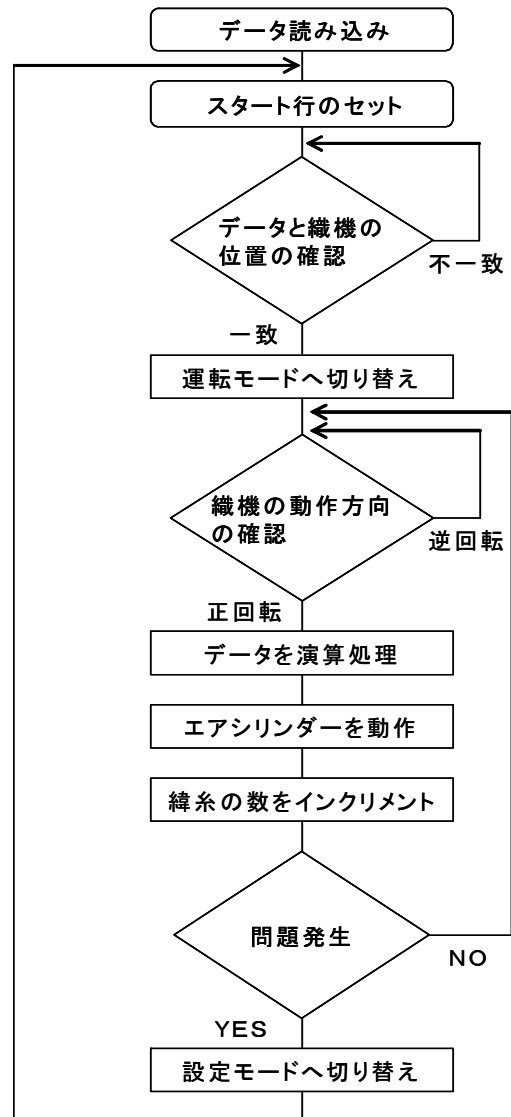
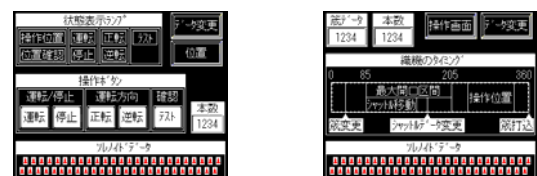


図6 PLCプログラムの概要



(a) メインメニュー画面

(b) 位置表示画面



(c) データ変更画面

図7 タッチパネルの表示例

では、凹部で箴打ちを数本繰り返しただけでは、次の通常箴打ちで密度変化（隙間）が消滅してしまう可能性がある。これを防止するため、柄データをコンパクトフラッシュカードに出力するときに、糸種や番手、緯糸打ち込み密度により、1マスが緯糸何本に相当するのか緯糸の繰り返し本数を設定し、実際の製織データに変換して製織している。

5. 製織試験

開発した装置を小幅和装織機に取り付け、製織試験を実施した。素材は経緯糸とも絹を使用し、織機回転数は約 150rpm で製織した。その状況を図 9、10 に示す。箴セクタが上位位置にあるときの切り欠き凹部形状や凹部での緯糸の曲がっている様子が確認できる。実際の製織サンプルを図 11 に示す。組織は平織であるが、柄データどおりの密度変化（隙間）が創出されており、かつ立体的な凹凸感がよく現れている。また製織後に仕上げ加工を行っても、この密度変化（隙間）が消滅することなく、逆により凹凸感が際立つことが確認されている。なお、当該サンプルは、第 44 回全国繊維技術交流プラザに出展し、優秀賞を受賞し、好評を得た²⁾。

6. 結 言

小幅和装織機に、下記機能を持たせた透き目柄出し装置を開発し、その製織技術を確認した（図 12）。

- (1) 箴に切り欠き凹部を設け、これを電子制御することで、緯糸に密度変化をもたせることが可能となった。従来と全く同じ作業感覚で製織が可能である。
- (2) 平織等単一組織においても、立体的な凹凸感を持つ柄を表現することが可能となった。
- (3) 従来のドビー機やジャカード機と併用し、より変化に富んだ付加価値の高い織物の製織が可能となった。
- (4) 小幅和装織機については、すぐに実用化が可能である。

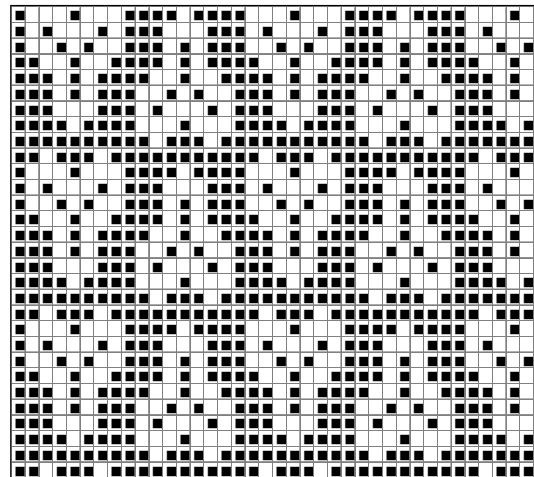


図 8 柄データの一例



図 9 製 織



図 10 製 織（拡大図）

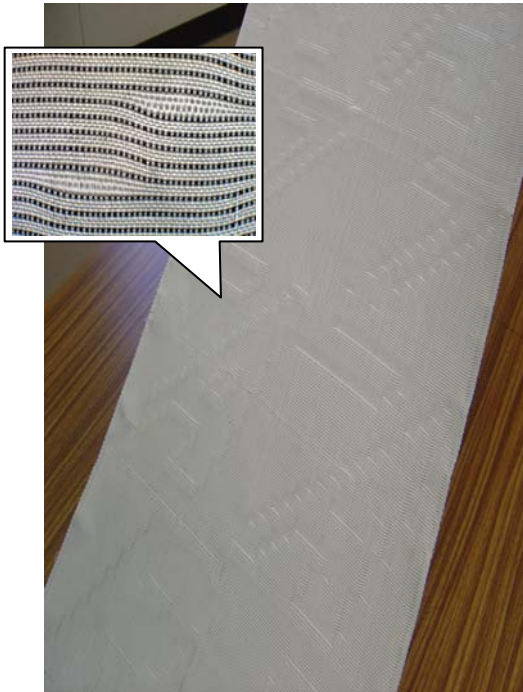


図 11 製織サンプル
(仕上げ加工済み)

(5) 本研究の成果について、特許出願済みである。

[発明の名称]

密度可変柄出し装置並びに密度可変柄出し織物の製造方法

[出願番号]

特願 2007-15510

参考文献

- 1) 繊維辞典刊行会，“モアールおさ”，繊維辞典，1951，p1274.
- 2) 全国繊維工業技術協会，“透き目地紋変わり着尺”，繊維加工技術の歩み(2006)，第32巻，2007，p17.

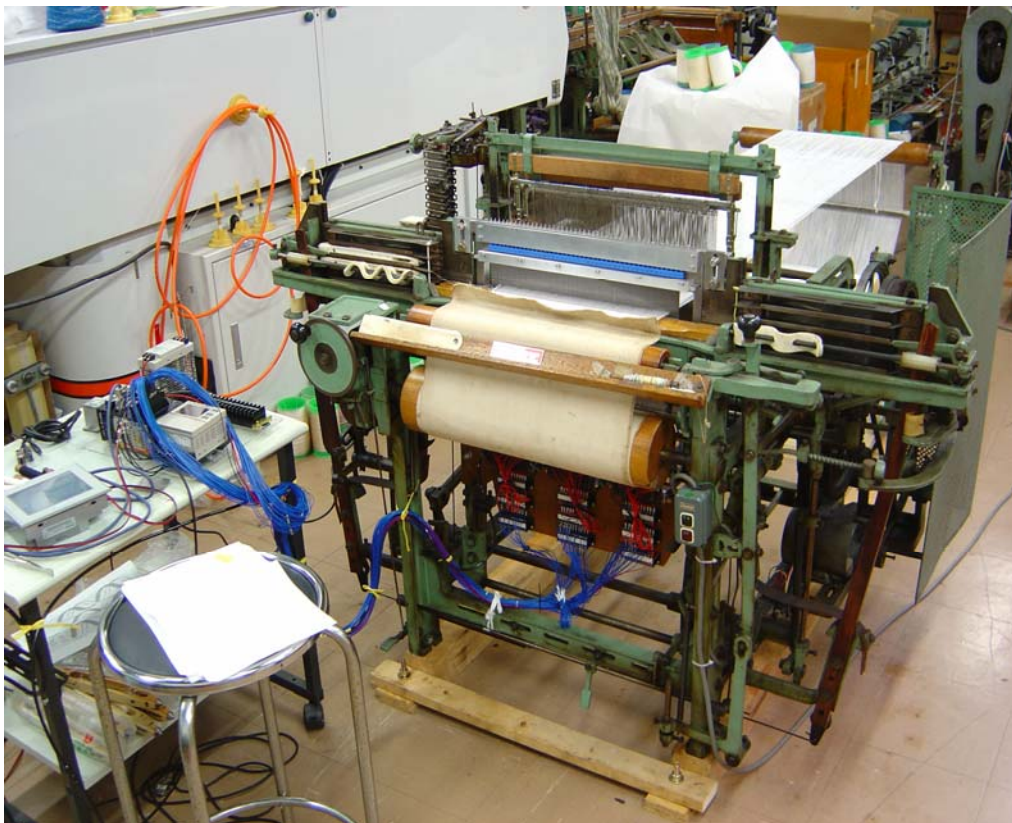


図 12 完成した透き目柄出し装置

ステンレス薄板の微細切断に関する研究

小林 豊* 伊関 陽一郎*

Micro Cutting of Stainless Steel Sheet

KOBAYASHI Yutaka* and ISEKI Yoichiro*

抄 録

ステンレス薄板の高精度・微細加工技術を確立するために高エネルギー密度レーザー光であるファイバーレーザーを使って切断実験を行い、加工条件が加工品質に与える影響を確認した。また、条件を最適化することにより 20 μm 程度の幅で切断できることを確認した。

1. 緒 言

現在、金属薄板に微細な切れ目を形成する方法としてはレーザー切断¹⁾、ケミカルエッチング、電铸²⁾などの方法が用いられているが、これらの加工方法には加工精度が出ない、工程が多く時間がかかる、価格が高い、などの課題がある。さらに、近年、より微細な加工精度が求められるようになっており、新たな加工技術の開発が期待されている。本研究ではエネルギー密度が高く微細加工への応用が期待されているファイバーレーザー³⁾を使ったステンレス薄板の切断加工実験を行いその実用化の可能性を検討した。

2. ファイバーレーザー

ファイバーレーザーは励起、発振、伝送を全てファイバーの中で行うシンプルな構造であり、もともとは通信用途に開発されたが、近年大出力化が進み、微細加工用途や既存のレーザーの代替として注目されている³⁾。発振用ファイバーはダブルクラッド構造をとり、外側クラッド層に導入された半導体レーザーにより中央部の内部コアを励起してレーザー光を発生する。微小径の内部コアの中を伝達することで優れたビーム品質

のシングルモードの高密度エネルギー光を発生することができる⁴⁾。発振原理を図1に示す。

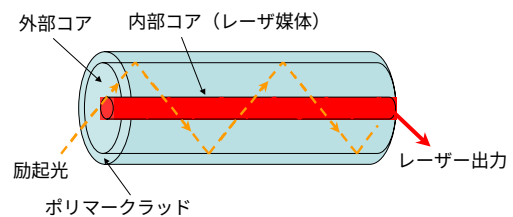


図1 ファイバーレーザーの発振原理

3. 実験方法

ファイバーからコリメート光として照射されたレーザー光はエキスパンダーでビーム径を拡大した後、レンズで集光される。ビーム径は計算値で約 10 μm であるが実際にはレンズの収差により若干大きいと考えられる。発振器は 5 軸の加工機に取り付けられており、レーザー光を照射しながらワークを移動して切断加工を行えるようになっている。なお、戻り光による発振器の破損を防止するためにレーザー光は加工材料に対し 10 度傾けて照射した。実験に使用した発振器・光学系の仕様を表1に、測定系を図2に示す。

4. 実験結果

加工条件が加工品質に与える影響を調べるために、アシストガスの圧力と加工速度を変化さ

*中越技術支援センター

表 1 発振器・光学系の仕様

発振器	シングルモードファイバーレーザ RedPower (SPI社製) 最大出力50W (連続波/変調波) 波長1090±5nm ビーム品質M ² <1.1
光学系	焦点距離40mm エキスパンダー4倍

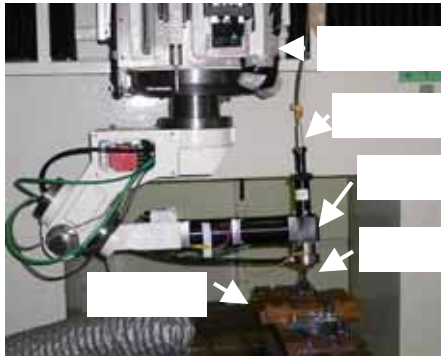


図 2 測定系

せて切断幅を測定した。図 3 にアシストガスの圧力を変えたときの切断幅を測定した結果を示す。比較のためアシストガスに空気と窒素を使って測定を行った。また、ガスボンベの圧力調整弁の制限から空気は 500kPa、窒素は 400kPa を上限とした。加工後の切断面を観察すると切断幅は均一ではなく一定のばらつきを持っているため、最もばらつきが少ないと思われる位置で測定した。空気、窒素ともにアシストガスの圧力が高くなるに従い、切断幅が小さくなる傾向が見られる。ガスによって高温のドロスが吹き飛ばされることが材料そのものが冷却されるためと考えられる。切断幅は空気と窒素を比較すると空気のほうが小さく、最小値は約 20 μ m であった。今回の測定系ではビーム径が 10 μ m 程度であることから妥当な数値と考える。

図 4 に切断幅が最小になったとき（アシストガスの圧力が空気は 500kPa、窒素は 400kPa）の加工面の写真を示す。空気の場合、表面に変色した熱影響部がみられる。また、切断部の内側に材料の溶融物が残っており窒素に比べ切断幅は小さい。窒素の場合は熱影響部は少ないが裏側に付着するドロスの量は空気の場合に比べて多くなっている。

図 5 に加工速度を変えたときの切断幅を測定した結果を示す。アシストガスに空気を使用し

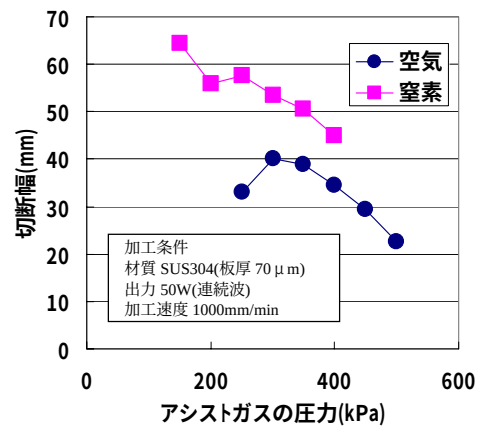
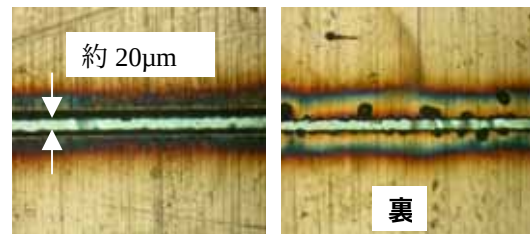
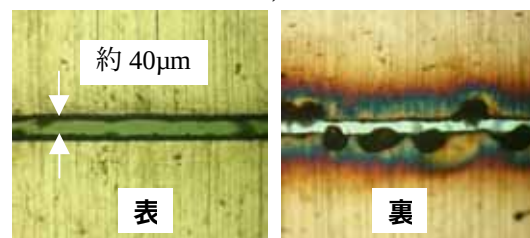


図 3 アシストガスの圧力を変えたときの切断幅の関係



(a) 空気を使用した場合の切断面
(加工速度 1000mm/min, 出力 50W, 圧力 500kPa)



(b) 窒素を使用した場合の切断面
(加工速度 1000mm/min, 出力 50W, 圧力 400kPa)

図 4 切断幅が最小のときの切断面の写真

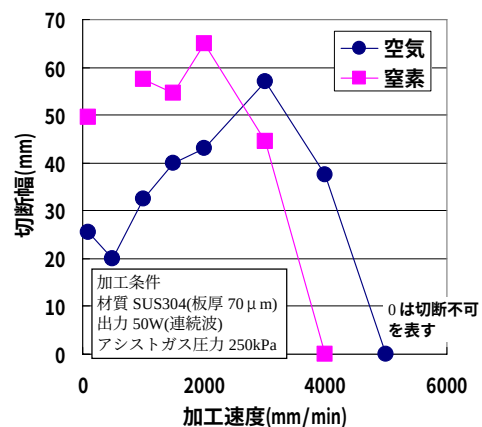


図 5 加工速度と切断幅の関係

た場合と窒素を使用した場合ともに加工速度が3000mm/min程度までは加工速度が上がるに従い切断幅が増加している。切断面を観察すると加工速度が上がるにつれてドロスの付着が多くなり加工面が荒れていることからドロスの除去が不完全で高温のドロスが付着し周囲が溶解するためではないかと考える

5. 結 言

最大出力 50W のシングルモードファイバーレーザーを使用してステンレス薄板の切断実験を行い、加工条件の影響を調べた。アシストガスの圧力を高くすることで切断幅は減少した。加工速度が上がるに従い、加工面が荒れ、切断幅は増加した。また、アシストガスに空気をを用いたほうが窒素に比べ切断幅は小さく、約 20 μ m で加工が可能であることを確認した。今後、測定系の制約から今回行えなかった条件での測定や、

加工後の切断粗さ、変形量の測定など、さらに詳細な検討を行うことで、従来法に比べ加工精度の向上、加工時間の短縮が期待できると考える。

参考文献

- 1)川澄弘道, " レーザー加工技術 ", CMC テキニカルライブラリー, 36-45
- 2)表面処理対策 Q&A1000 編集委員会, " 表面処理対策 Q&A1000 ", (株)産業技術サービスセンター, 948-954
- 3)宮本勇, " ファイバーレーザーの応用 ", 溶接学会誌, 72, 8, 2003, 13-17
- 4)前田純也他, " ファイバーレーザー用ダブルクラッドファイバーの開発 ", 応用物理学会誌, 73, 11, 2004, 1450-1451

鏡面光沢度の測定方法に関する研究

今泉 祥子* 須田 孝義* 牧野 齊*

Measurement of Specular Glossiness using Spectrophotometer

IMAIZUMI Shoko*, SUDA Takayoshi* and MAKINO Hitoshi*

抄 録

分光光度計を用いて鏡面光沢度を相対的に測定する方法を検討する。本研究では、分光光度計を用いて日本工業規格（JIS）に規定された角度における鏡面反射率を測定し、その測定値を鏡面光沢度に変換する。さらに、光沢度計で測定した値と比較し相関を評価する。

1. 緒 言

一般に、物体に光が入射すると、光は物体表面で反射、透過および吸収される。反射には、鏡面反射と拡散反射の二種類がある。前者は、光が物体表面に入射する角度と反射する角度が等しい反射であり、後者はそれ以外の反射である。両者の比率は物体表面の粗さに関係する。ガラスや金属表面のように平らな面においては鏡面反射率が高く、紙や塗膜のように粗い面においては拡散反射率が高くなる。したがって、鏡面反射率が高いほど、その物体は光沢があると認識される。

日本工業規格（JIS）には、鋳工業製品の平滑な表面における鏡面光沢度の測定方法が定められており、試料表面の鏡面反射率と、基準となるガラス表面の鏡面反射率との比によって求められる。

JIS に規定されている鏡面光沢度の測定方法では、光沢の度合いによって、入射角が5つに区分されている。しかしながら、下越技術支援センターが所有する光沢度計 PG-1M（日本電色工業^(株)製）では、3つの入射角でしか測定することができない。そこで、本研究では、分光光度計 MCPD-100（大塚電子^(株)製）を用いて、

5つの入射角に対応した鏡面光沢度の測定方法を検討した。具体的には、分光光度計により分光鏡面反射率を測定し、その測定値から鏡面光沢度を算出する。なお、測定値は、鏡面光沢度の絶対値ではなく相対値である。

2. 鏡面光沢度の測定方法

2.1 JIS 規定の測定方法の種類

JIS Z 8741¹⁾では、入射角 85°、75°、60°、45° および 20°の5種類の測定方法を示している。これらには、それぞれ適用範囲があり、入射角 60°による光沢度が10以下の表面は85°で、70を超える表面は20°で、それぞれ測定することが規定されている。本研究では、入射角 60°による光沢度が70を超える表面を対象とし、入射角 20°による光沢度を適応するものとする。

2.2 測定装置

図1に鏡面光沢度測定装置の概念を示す¹⁾。光源から規定された入射角 θ で試料表面に光を入射し、鏡面反射方向に反射角 θ' で反射する光を受光器で測定する。

2.3 JIS 規定の鏡面光沢度の基準

可視波長範囲全域にわたって、屈折率が一定値 1.567 であるガラス表面を基準とし、規定さ

* 下越技術支援センター

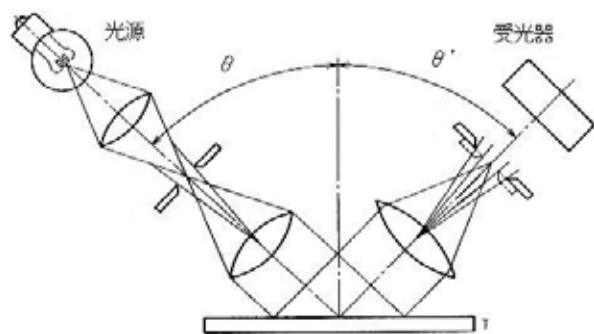


図 1 鏡面光沢度測定装置の概念

表 1 鏡面反射率 $\rho_0(\theta)$ と入射角 θ との関係

θ	20°	45°	60°	75°	85°
$\rho_0(\theta)$	0.0491	0.0597	0.1001	0.2646	0.6191

れた入射角 θ での鏡面光沢度を 100 % と表す¹⁾。表 1 に、基準となるガラス表面の鏡面反射率 $\rho_0(\theta)$ と、入射角 θ との関係を示す。

2.4 鏡面反射率から鏡面光沢度への変換

JIS Z 8741¹⁾では、鏡面光沢度の算出方法を定めている。JIS で規定される標準光源は、色温度が約 6504 K の昼光 D_{65} 光源であるが、本研究では、色温度が約 2856 K の白熱電球の光 A 光源に近い光源を用いている。A 光源を用いた測定値は、 D_{65} 光源を用いた測定値と比較して、大きな誤差は生じないとされている²⁾。本研究では、JIS に準拠した次の算出方法を使用する。

JIS における鏡面光沢度 $G_s(\theta)$ は、

$$G_s(\theta) = \frac{\int S_D(\lambda) V(\lambda) \rho(\theta, \lambda) d\lambda}{\int S_D(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{1}{\rho_0(\theta)} \times 100 \quad (1)$$

で求められる。ここで、 $S_D(\lambda)$ は D_{65} 光源の相対分光分布、 $V(\lambda)$ は分光視感効率³⁾、 $\rho(\theta, \lambda)$ は入射角における分光鏡面反射率である。しかしながら、本研究で用いる光源は A 光源であることから、相対分光分布には、JIS Z 8720⁴⁾に基づき、A 光源の分布 $S_A(\lambda)$ を用いる。



図 2 分光光度計 MCPD-100

また、式(1)における $\rho(\theta, \lambda)$ は試料の屈折率を用いた計算値であるが、本研究では、この $\rho(\theta, \lambda)$ を分光光度計による実際の測定値 $\rho_v(\theta, \lambda)$ に置き換える。以上より、A 光源を使用した場合の鏡面光沢度 $G'_s(\theta)$ は、式(2)のように表される。

$$G'_s(\theta) = \frac{\int S_A(\lambda) V(\lambda) \rho_v(\theta, \lambda) d\lambda}{\int S_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{1}{\rho_0(\theta)} \times 100 \quad (2)$$

3. 鏡面光沢度の測定と評価

3.1 測定条件

測定機器は、A 光源を有する分光光度計である(図 2)。測定波長範囲は 400~700 nm で、10 nm 刻みで測定する。測定試料は板状のマグネシウム合金 AZ31 に電解研磨を行った 10 枚について実施する。これらの試料は、あらかじめ光沢度計による入射角 60°での光沢度がいずれも 70 を超えることを確認している。したがって、2.1 節で述べたように、入射角 20°で測定する。また、分光光度計による測定値の相関を評価するために光沢度計による測定値と比較する。

3.2 測定結果と評価

分光光度計により測定した分光鏡面反射率の結果は図 3 のとおりである。図 3 の分光鏡面反

射率を、式(2)により鏡面光沢度に変換した結果と、光沢度計により測定した結果を図4に示す。同図から絶対値には一様に600程度の差異が生じるが、全体として相似した形をとっていることから、ある程度の相関を有すると評価できる。

4. 結 言

- (1) 分光光度計を用いて、JIS に基づいた相対的な鏡面光沢度の測定方法を実現した。
- (2) 光沢度計による測定値と比較し、相関を明らかにした。

参考文献

- 1) “鏡面光沢度—測定方法”，JIS Z 8741，1997，pp.1-4.
- 2) 蓮沼宏，“光沢”，コロナ社，1965，pp.99.
- 3) “光学技術ハンドブック 増補版”，朝倉書店，1975，pp.316.
- 4) “測色用標準イルミナント（標準の光）及び標準光源”，JIS Z 8720，2000，pp.5.

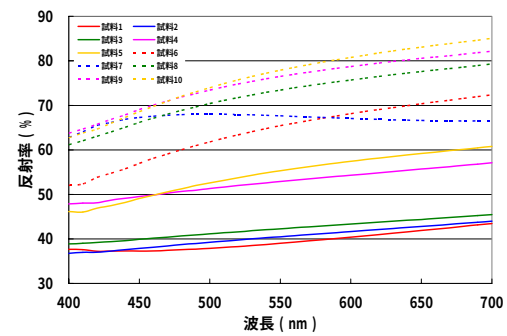


図3 分光鏡面反射率の測定結果

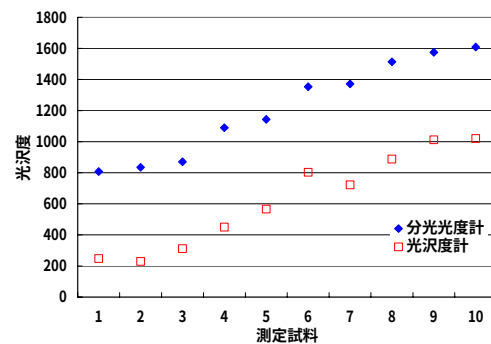


図4 分光光度計および光沢度計による鏡面光沢度の測定結果の比較

マイコンによる自動化支援キットの開発

木嶋 祐太*

Development of device for automation support with microcontroller

KIJIMA Yuta*

1. 緒 言

製造の自動化（効率化），製品の高付加価値化へ向けて，県内企業の取り組みが行われている。

近年，コンピュータの小型化，高性能化，低価格化に伴い，様々なものにコンピュータが取り入れられ高機能化を実現している。マイコン等を用いると，ネットワーク，アクチュエータの制御，センシングといった機能が簡単に製品に実装できるようになった。

そこで，自動化，高付加価値化に対しての県内企業ニーズに応えるため，マイコンを使った支援キットを開発した。

(1)ペレットストーブハンディタイプ用制御装置の開発

(2)温度制御デモ装置の開発

前者は県内 S 社から相談を受けた案件の開発，後者は今後の支援業務に役立てるためのデモ装置の開発である。

2. ペレットストーブハンディタイプ用制御装置の開発

ペレットストーブは炉に木材ペレットを供給して，そこに風を送ることで燃焼を維持する。時間当たりのペレット供給量，送風の強さを変えれば，ストーブの火力を変えることができる。図 1 のようにペレットストーブはペレット供給アクチュエータ，送風ファンを持っていて，そのモータを制御すれば，ストーブの火力が調整

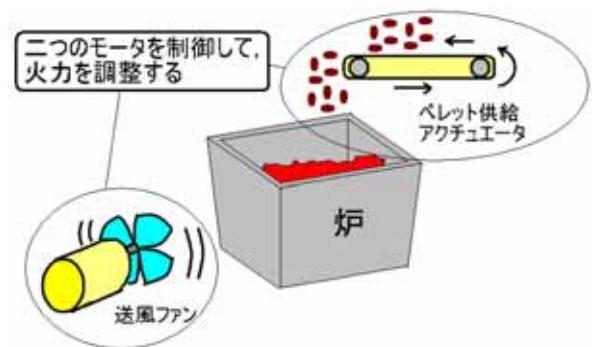


図 1 ペレットストーブ

できる。

作成した制御装置を図 2 に示す。モータが 2 つ取り付けられ，片方はペレット供給アクチュエータ用，片方は送風ファン用である。

ペレット供給動作は，モータの回転と停止を繰り返すようにした。回転している時間と停止している時間を変えれば，供給するペレット量を増減することができる。

送風に関しては PWM によりモータを制御し

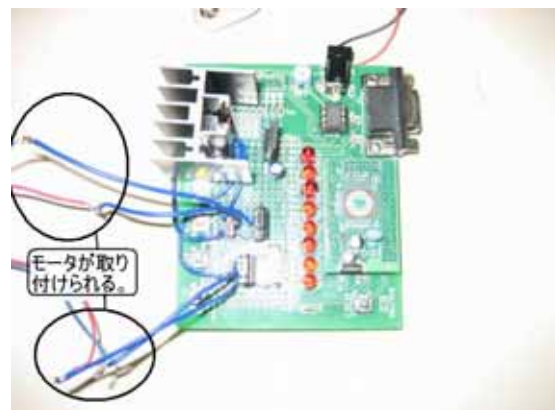


図 2 制御装置

* 下越技術支援センター

た。PWM はパルス幅変調と呼ばれる方式である。高速なパルスをもータに与え、図3のようにパルス幅を変えることによって、もータにかかる平均的な電圧を変えることができる。もータにかかる電圧が変わればもータの回転速度が変化する。

この装置で火力を大、中、小にする3パターンの動作ができるようにした。

3. 温度制御デモ装置の開発

デモ装置は、ブロワ、温度センサ、マイコンから成り、熱源のそばにあるセンサ付近の温度を目標値にするために、マイコンがブロワを動かす仕組みになっている（図4）。

温度センサは測温抵抗体を使用し、1℃の分解能で温度を測定できるようにした。ブロワはPWMによりパラメータを用いて動かせるようにした。制御プログラムは、PID（Proportional Integral Derivative）制御により目標温度に到達

もータにかかる電圧と時間のグラフ

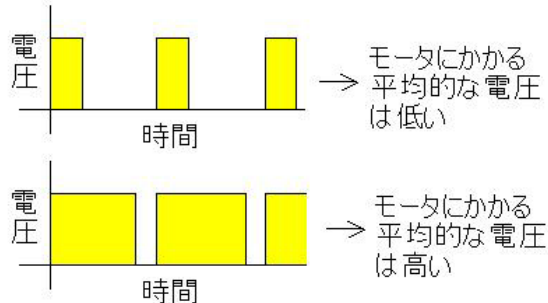


図3 PWM

するように作成した。

図5に作成したデモ装置を示す。LCD表示器には測定した温度と目標温度が表示される。図5(a)のように、指でセンサを触ると加熱され測定温度が室温（20℃）より高くなる。それからセンサをブロワの吹き出し口にもっていくと、図5（b）のように温度が目標温度になる。

4. 結 言

- (1) ペレットストーブハンディタイプ用制御装置を開発した。それによりS社への支援ができた。
- (2) 温度制御デモ装置を作成した。今後自動化や製品の高付加価値化に対する支援の際、提案に具体性が出てくるようになった。

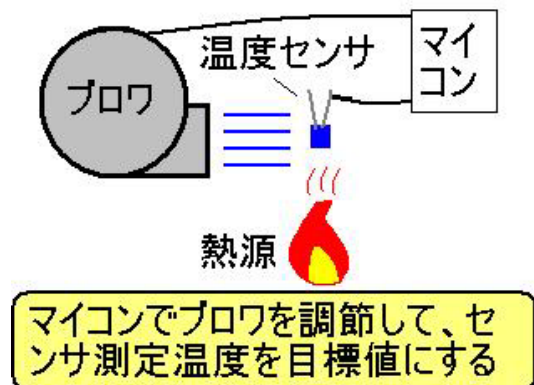


図4 デモ装置概略図



(a) センサをブロワの前に置いていない状態



(b) センサをブロワの前に置いた状態

図5 デモ装置

グリストラップ改善装置の改良

笠原 勝次* 永井 直人* 須和田勝男**

Improvement of Grease-Trap Conditioning System

KASAHARA Katsuji*, NAGAI Naoto* and SUWADA Katsuo**

1. 緒 言

オゾン吹込み式グリストラップ改善装置を備えたグリストラップにおいて、ラード状の固形食用油を処理しようとするとう塊が生成してグリストラップの性能、およびメンテナンス性が著しく損なわれる。これを改善する目的で、現状の把握のための分析を行い、アルカリ加水分解による鹸化分散作用を用いたいくつかの改善策を試した。

2. 実 験

2.1 対象となるグリストラップ設置店舗（MY店、MP店）のグリストラップの現状把握

2.1.1 目視観察

油塊の蓄積が顕著なグリストラップ設置店舗（MY、MP）の2店舗の現状を目視観察し、油塊の蓄積状況を確認した。

2.1.2 採取した油塊および廃水の FT-IR 測定

上記2店舗から、油塊及び廃水を採取し、FT-IR スペクトルを測定した。

2.2 油塊減量試験

アルカリ鹸化による油塊の分解分散試験（実験室でのビーカースケール試験とモデル実験、現地での実地試験）を下記の条件で行った。

2.2.1 水酸化ナトリウム処理

水酸化ナトリウムを用いて、油塊を構成する

油脂を鹸化分解し、油塊の分解・分散を試みた。

2.2.2 塩化カルシウムの添加

上述の方法では、生成する水溶性の石けんと吹き込んだオゾンの気泡によって起泡して処理槽内を汚してしまうため、塩化カルシウムを添加して、消泡を試みた。

2.2.3 水酸化カルシウム処理

水酸化ナトリウムと塩化カルシウムの2剤混合では、薬品投入時に配合する必要がある、手間がかかるので、起泡しにくいアルカリとして、水酸化カルシウムを用いた処理を試みた。

2.2.4 炭酸カルシウム処理

水酸化カルシウムよりも保存性が良く、取り扱いが容易な炭酸カルシウムの使用を検討した。



図1 MY店のグリストラップ

* 下越技術支援センター

** (株)環境システム開発

3. 結果

3.1 グリストラップの現状把握

3.1.1 目視観察

対象とするグリストラップは厨房内床下のコンクリート製のピット内に埋設されたもので、食材片を除去するステンレス製の金網を備える第一槽と、油水の分離のために廃液を貯留する第二槽、油と分離した廃水を貯留し、沈降性のゴミなどを除去する第三槽からなるステンレス製の水槽である。オゾン吹き込み装置は、床上に設置されており、生成したオゾンを含む空気は、塩化ビニル製のパイプで第二槽に2箇所、第三槽に1箇所の3点に分岐されて、水槽底部から散気管を通して吹き込まれている（図1）。

3.1.2 採取した油塊および廃水の FT-IR 測定

油塊は両店舗とも脂肪酸グリセリド（油脂）であった（測定スペクトルを図2に示す）。

また、廃水を蒸発乾固したものについても測定したところ、これも両店舗とも脂肪酸グリセリドであった。

3.2 油塊減量試験

アルカリ加水分解による油塊の分解と分散（実験室でのビーカースケール試験とモデル実験、現地での実地試験）を試みた。

3.2.1 水酸化ナトリウム処理

油塊の浮遊しているグリストラップ内に、約50gの水酸化ナトリウムを直接投入した後、オ

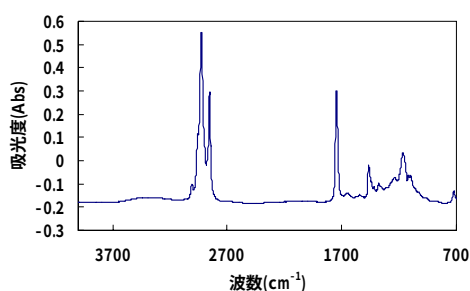


図2 MY店より回収した油塊のFT-IRスペクトル

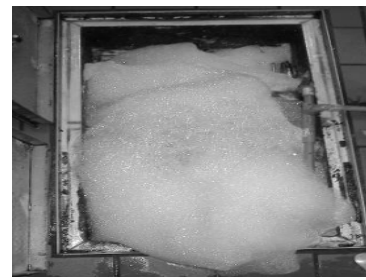


図3 油塊の鹼化分解実験
：水酸化ナトリウム投入後

ゾン吹き込みを開始した。約20分後、石鹼が生成したため、オゾン吹き込みの泡によって起泡してしまい、グリストラップ内が泡でいっぱいになった（図3）。

泡の下の水面を観察するために、水を注いで泡を消した。水の濁りは少なくなっており、浮いている油塊も、塊ではなくスカム状になっているようであった（図4）。

3.2.2 水酸化ナトリウム処理

消泡剤として、①そのまま放流できること、②排水設備を汚損しにくくメンテナンスしやすいこと、の二つの条件を満たし、なおかつ安価であることから、塩化カルシウムを選択した。実際のオゾン吹き込み装置とプラスチック製水槽で簡易の実験装置を作成し（図5）、実験室で予備試験を行ってから、現地試験を行うこととした。

試験用に、前述のMY店グリストラップから約500gの油塊を含む廃水を約5l採取して用意した。オゾン吹き込みをすると、5lでは水の



図4 油塊の鹼化分解実験
：水酸化ナトリウム投入後

深さが足りないので、水道水を約 10l 加えて試験を行った。

試験は前述の廃水に粒状水酸化ナトリウム（和光純薬製試薬 1 級）を約 50g と塩化カルシウム（和光純薬製試薬 1 級）を約 2g 加えて、オゾン吹き込み装置を用いて、オゾン吹き込みを行った。4 時間後、油塊はほぼ半量まで減少したが、起泡は水酸化ナトリウムのみ加えた前項の試験の際よりも明らかに少なく、また、起泡しても成長して蓄積することは無く、直ちに消泡してクリーム状になり、さらに石鹸カス状になって浮遊凝集しているようである。また、廃水は試験開始直後では pH は 4 前後であったが、水酸化ナトリウム投入直後には 13 以上、4 時間経過後には 7~8 程度となった。

3.2.3 水酸化カルシウム処理

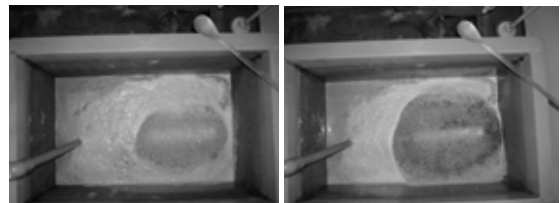
薬品で処理する場合、薬品の投入頻度との兼ね合いもあるが、日常的に投入量や濃度などを管理する必要がある。今回の場合、日常の管理は対象となる各店舗の従業員ということであり、特に薬品の取り扱いに関して熟練しているわけではないので、毒劇物である水酸化ナトリウムより取り扱いが容易なカルシウム塩をいくつか試してみることとした。まず、カルシウム化合物の中でも、アルカリ性の強い水酸化カルシウム（消石灰）を使用することとした。結果を図 6 に示す。8 時間経過後、明らかに油塊の量は減少しており、水は白濁している。この白濁は FT-IR による分析の結果、カルシウム石鹸と炭酸カルシウムの混合物と、試験用に採取した油に混入していた紙くずのセルロースによる

ものであり、油脂による濁りではなかった。FT-IR スペクトルを図 7 に示した。

3.2.4 炭酸カルシウム処理

次に、水酸化カルシウムよりも安定性に優れる炭酸カルシウムを用いた。（結果は図 8 のとおり）。反応時間は水酸化ナトリウムや水酸化カルシウムを使った場合よりも長くかかった。

油塊の量は、大幅に減少したが、水の白濁は最も濃く残った。水の蒸発乾固物の FT-IR による分析の結果から、水酸化カルシウムのときと同様にカルシウム石鹸と炭酸カルシウムがほとんどで、油脂による濁りではなかった。



a) オゾン吹込開始直後 b) 8 時間後
図 6 水酸化カルシウム処理

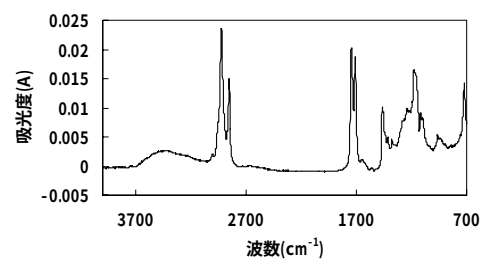
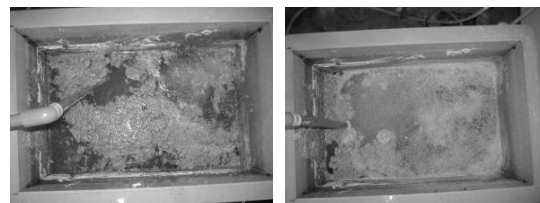


図 7 白濁した水を乾燥したものから得られた FT-IR スペクトル（カルシウム石鹸）



図 5 予備実験装置



a) 試験開始直後 b) 36 時間後
図 8 炭酸カルシウム処理

3. 結 言

- (1) 水酸化ナトリウム＋塩化カルシウムのみが実用的な効果が認められた。
- (2) 現実に運用する際には、薬品の投入が日常メンテナンスレベルの頻度で行われる必要があり、グリストラップの日常メンテナンスは対象飲食店の店舗従業員（アルバイト含む）で行われているという現状から、毒劇物（水酸化ナトリウム）を扱う必要があるというのは安全衛生上の問題がある。
- (3) 日常のメンテナンスではなく、定期点検時程度の頻度で環境システム開発が管理できるように、1回薬品を投入すれば、1ヶ月程度持つような仕組み（薬品の形態、供給装置等）を考える必要がある。

高品質・機能性繊維製品の開発支援 (インクジェットプリント染色の濃色化研究)

森田 渉*, 五十嵐 宏*, 毛利 敦雄*, 明歩谷 英樹*, 渋谷 恵太*, 佐藤 亨*

Development of High Quality and Functional Textile Goods
(Study of Method for Deep Dyeing in Direct Print System)

MORITA Wataru*, IKARASHI Hiroshi*, MOURI Atsuo*, MYOUBUDANI Hideki*,
SHIBUYA Keita* and SATO Tohru*

1. 緒 言

インクジェットプリントは通常の捺染プリントと比較して版（スクリーン）を必要としないことなどから、多品種少量生産および短納期対応に適しており、広く利用されるようになってきている。

インクジェットプリントでは、あらかじめ生地に染料インクのにじみ防止や発色性向上のために、前処理を行う必要がある。この前処理技術のノウハウは最終製品の品質、特に発色性を考える上で、非常に重要なポイントであり、これまでも京都市産業技術研究所、群馬県繊維工業試験場などがこれらに関する研究に取り組んでいる¹⁾²⁾。

本研究では、これらの研究結果を参考にして、濃色のプリントが得られる前処理剤の調製方法について検討を行った。

2. 試験方法

2.1 前処理

表 1(a)に示す条件で前処理剤を 16 種類調製し、パディング法により、絹織物（羽二重）にそれぞれ前処理剤を付与した。糊料改質剤には、センカ ECN-11（センカ株式会社製）を使用した。

2.2 インクジェットプリント

市販のインクジェットプリンター（EPSON

PX-V500)を使用してプリントを行い、インクには反応染料を使用した。画像処理ソフト Adobe Photoshop の CMYK モードで作製した C（シアン）、M（マゼンタ）、Y（イエロー）、K（ブラック）100% の 4 色をそれぞれ 5cm 角の正形状にプリントし、自然乾燥させた。

2.3 後処理

約 98℃で 20 分間蒸気熱により処理した。その後、水洗・ソーピングを行い、未染着の染料を除去した。

2.4 測色

コニカミノルタ分光測色計 CM-2002 を使用し、各色の分光反射率を測定した。これらの測定結果より、各色の最大吸収波長での表面染着濃度 K/S を算出した。

生地の変色については、次式より求めた。
黄変指数 = $100 \times (1 - 0.847 Z/Y)$ （Y, Z は XYZ 表色系における三刺激値）

3. 試験結果

測色結果を表 1(b)に示す。前処理剤中に含ませた①アルカリ剤（重ソー、ソーダ灰）②糊料改質剤③尿素が、発色性および黄変にどのような影響を及ぼしているか考察した。発色性の評価は、各色の K/S の合計値について行った。

*素材応用技術支援センター

表 1 前処理条件と測色結果

(a) 前処理条件

番号	アルギン糊 (%) (元糊 10%)	糊料改質剤 (%) (元糊 20%)	重ソー (%)	ソーダ灰 (%)	尿 素 (%)
1	30	10	2		8
2	30	10	2		20
3	30	10	4		8
4	30	10	4		20
5	30	10		2	8
6	30	10		2	20
7	30	10		4	8
8	30	10		4	20
9	40		2		8
10	40		2		20
11	40		4		8
12	40		4		20
13	40			2	8
14	40			2	20
15	40			4	8
16	40			4	20

(b) 測色結果

番号	K/S					黄変 指数
	C	M	Y	K	合計	
1	5.59	12.18	6.43	7.53	31.73	5.84
2	8.22	11.43	7.36	7.85	34.86	5.10
3	7.92	14.79	9.03	14.35	46.09	8.06
4	10.13	16.08	9.33	15.74	51.28	6.94
5	7.99	16.44	11.34	13.94	49.71	6.56
6	9.35	14.84	11.10	13.99	49.28	5.91
7	7.86	14.69	9.29	13.02	44.86	8.28
8	8.95	14.54	9.99	15.25	48.73	8.25
9	5.60	11.91	6.99	7.55	32.05	5.63
10	6.29	10.18	6.93	6.76	30.16	5.71
11	6.57	14.21	9.35	13.90	44.03	7.52
12	9.89	17.40	12.01	16.02	55.32	7.79
13	7.39	16.81	10.23	12.32	46.75	6.70
14	7.52	13.85	8.91	10.93	41.21	5.85
15	6.96	14.21	9.09	14.35	44.61	8.00
16	9.19	16.68	10.65	16.14	52.66	8.69

3.1 アルカリ剤の効果

図 1 に、糊料改質剤を使用したときのアルカリ剤濃度と発色性の関係を示す。重ソーは濃度が増すことにより K/S 値が高くなっており、発色性がよくなっている。しかし、ソーダ灰は濃度が増しても、発色性はむしろ悪くなっている。また、重ソーとソーダ灰を比較すると、2%ではソーダ灰のほうがより発色しているが、4%ではほとんど差が

なかった。

図 2 に、糊料改質剤を使用したときのアルカリ剤濃度と黄変指数の関係を示す。アルカリ剤の種類を問わず、濃度の増加に伴い黄変指数が高くなっている。また同じ濃度の場合、ソーダ灰のほうが重ソーよりも黄変指数は高くなっている。

これらの結果より、アルカリ剤の濃度増加は必ずしも発色性の向上につながらず、アルカリ剤の

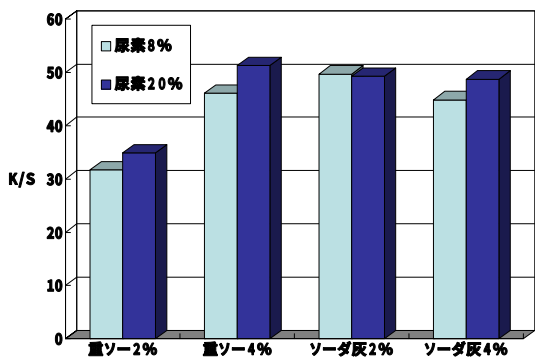


図 1 アルカリ剤濃度と発色性
(糊料改質剤を使用)

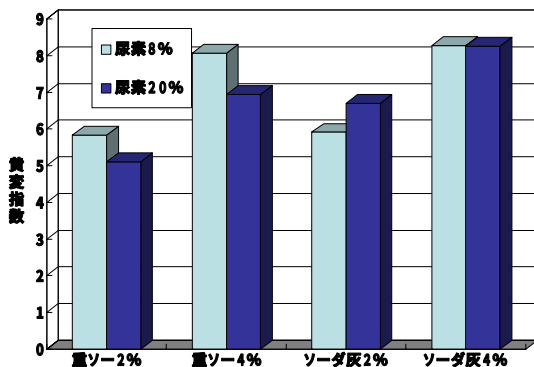


図 2 アルカリ剤濃度と黄変指数
(糊料改質剤を使用)

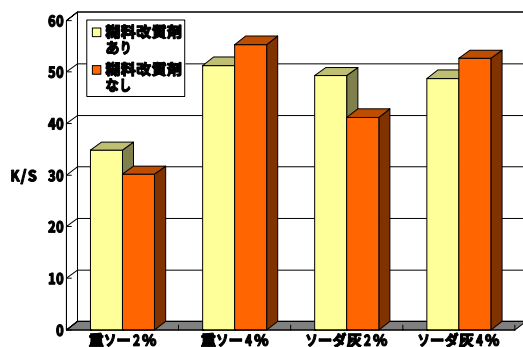


図3 糊料改質剤有無と発色性
(尿素濃度 20%のとき)

種類によって適量濃度が異なることがわかった。また黄変は発色性とは直接連動しておらず、アルカリ剤濃度とともに増加する傾向にあることがわかった。これらは糊料改質剤を使用しない場合においても同様の傾向であった。

3.2 糊料改質剤の効果

図3に、尿素濃度が20%のときの糊料改質剤の有無による発色性の違いを示す。アルカリ剤の濃度が2%と低いとき、糊料改質剤を含んでいる前処理剤のほうが、K/Sの数値が高く発色性がよくなっている。一方、アルカリ剤濃度が4%と高いときは、糊料改質剤を含んでいないもののほうが、発色性がよくなっている。

これらの結果より、アルカリ濃度が低い場合、糊料改質剤を添加すると発色性の向上につながることもわかった。

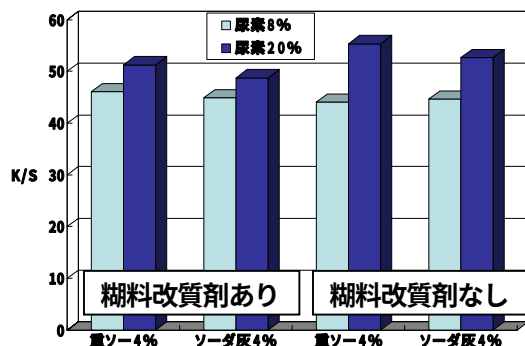


図4 尿素濃度と発色性
(アルカリ剤濃度が高いとき)

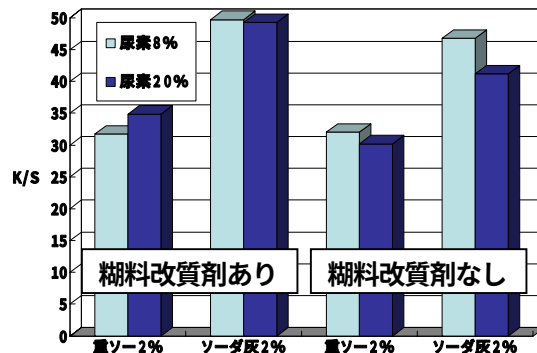


図5 尿素濃度と発色性
(アルカリ剤濃度が低いとき)

3.3 尿素の効果

図4に、アルカリ剤濃度が高いときの尿素濃度と発色性の関係を示す。全ての条件において糊料改質剤の有無に関わらず、尿素濃度の増加によって発色性がよくなっている。一方、アルカリ剤濃度が低いときの関係を図5に示す。この場合、糊料改質剤を含んでいる前処理剤では、尿素濃度の増加によって発色性がよくなっているが、含んでいないもののほうでは、尿素濃度の増加にともない、むしろ発色性が悪くなっている。

これらの結果より、尿素濃度の増加は、基本的に発色性の向上につながるが、アルカリ剤濃度が低いとあまり効果がないことがわかった。

4. 結 言

- (1) 前処理剤中の糊料改質剤、アルカリ剤、尿素が発色性および黄変に及ぼす影響について把握した。
- (2) これらの基礎データをもとに、十分に濃色のプリントが得られる前処理剤を調製できた。

参考文献

- 1) 北尾 好隆, “特色(事前混色)用インクジェットシステムの開発”, 加工技術, 35, 11, 2000, p657-670.
- 2) 石井 克明, “無製版プリント用絹布及び羊毛前処理の最適化”, 群馬県繊維工業試験場 平成17年度業務報告, 2006, p29-32.

自動拵柄合わせ織機の改良研究

松本 好勝* 小海 茂美* 三村 和弘*

The Improvement Study of Automaton that weaves Kasuri Cloth

MATSUMOTO Yoshikatsu*, KOKAI Shigemi* and MIMURA Kazuhiro*

1. 緒 言

前年度に素材応用技術支援センターで開発した自動拵柄合わせ織機¹⁾は、その後実用性を検証するための試験運転を実際の製造現場において行っている段階にあるが、その結果、より実用的にするための様々な要求項目が上がってきている。

本装置は作業者がついていなくても自動的に拵織物を織り上げることが可能であるため、作業者は通常この織機を監視しているわけではない。そのため、トラブルが発生した際に織機を適切に止める技術、ならびにトラブルを未然に防ぐ技術が必要になってくる。更に装置堅牢性の向上および動作の高速化が求められている。以上のことを目指し、機能向上のための研究を行ってきた結果について報告する。

2. 経糸・緯糸切れ検出停止機構の導入

2.1 経糸切れ検出停止装置の追加

織物は経糸に緯糸を通して箆で織込む形で織り上げられていくが、経糸が切断されたまま織り進められると、切れた部分は傷となり欠陥商品を生産してしまうことになる。昨年度開発した自動拵柄合わせ織機は、この経糸切れセンサが装着されていなかった。そこで今回はこの部分の対策から取り組んだ。

経糸切断停止装置はもともとドロッパー装置と呼ばれるものが市販されている。図1に概略を示す。ドロッパーと呼ばれる金属製の薄い板

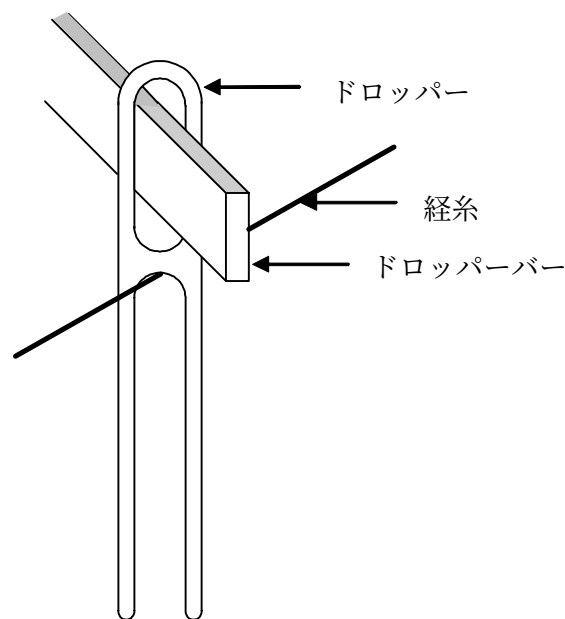


図1 ドロッパー

状のピンが経糸一本ごとに通されていて、さらにドロッパーバーに通されて、並べられた状態で配置されている。

このバーは通常上面と側面が電氣的に絶縁されている状態になっているが、経糸が切れるとドロッパーが落下し、ドロッパーバーに接触すると、この絶縁されていたバーの上面と側面が通電状態となり、織機を停止させる機構となっている。

通常この装置は一般の織機に装着され、PLC (programmable logic controller) に接続されて用いられるものではないが、今回この装置を自動拵柄合わせ織機に取り付け、配線をPLCの

* 素材応用技術支援センター



図2 カッターフィーラー

停止回路に組み込んだ。その結果、経糸切断自動停止が問題なく動作することを確認した。

2.2 緯糸切れ検出停止装置の追加

自動拵柄合わせ織機では緯糸が拵糸だけの場合、緯糸が切れれば緯糸把持が出来ないため、織機は自動停止する。しかし緯糸に地糸を使用する場合、緯糸把持を行わないため、同じ方法では自動停止できない。従ってこの部分についても対策を行う必要がある。

この対策として今回はカッターフィーラーを用いた。

カッターフィーラーは緯糸が切れたときに織機の運転を停止させる装置で、これも市販され一般の織機において広く使用されているものである。

図2は今回取り付けたカッターフィーラーの緯糸切れ検出部である。構造は織機のシャトルレースの上下方向で位置は織物の端近傍に光電センサを配し（図2の丸印部分）、織機のクランク角度約150°~210°の範囲内で緯糸が光電センサを横切るように調整してある。緯糸が切れている場合、光電センサに通過信号が出ないので、これを緯糸切れとして織機を停止させる構造になっている。

この装置も前出のドロッパーと同様、一般の織機に装着され、PLCに接続されて用いられるものではないが、今回は自動拵柄合わせ織機

に取り付け、配線をPLCの停止回路に組み込み、自動停止を試みた。その結果、緯糸切断自動停止が問題なく動作することを確認した。

3. 緯糸引き寄せ機構の導入

自動拵柄合わせ織機の初期コンセプトは経糸・緯糸ともネップや節・毛羽の無い平坦な糸を使用することが基本であった。

一方、製造現場においては消費者嗜好の変化に対応した真綿紬糸の仕様が主流となってきている。この糸は通常の糸に比べ、毛羽立っているのが特徴である。

経糸に毛羽のある糸を使用した場合、経糸が閉口するとき緯糸は手前に移動してくるが、毛羽に邪魔され、把持装置（電動グリッパ）の待機位置まで到達することができなくなる。その結果、緯糸が掴めずマークの位置合わせができないため、織機は停止する。

製造現場において、拵糸を掴めないことによるエラーが高い割合で発生し、その都度自動拵柄合わせ織機が止まってしまうことから、作業効率が低下することが指摘されていた。このため糸把持部分の改良が急務となった。

緯糸が経糸に引っかかった場合、何らかの方法で把持部まで緯糸を持って来なくてはならず、そのための機構が必要である。

そのために今回、緯糸が走るたびに強制的に把持部まで緯糸を引き寄せる装置を追加した。

クランク角度約285°（すなわち拵合わせ角度290°直前）付近で、グリッパのサイドに取り付けたエアシリンダを前後に動かし糸を手繰り寄せる動作を実現した。

実際に製織動作をさせたところ、問題なく動作し、グリッパが拵糸を把持できないことによるエラー停止はなくなった。

4. 試験製織

以上の機能を追加し、試験製織を行い、問題なく動作することを確認した。現在までに4反の製織が終了している。図3の縦方向の中央に



図3 経糸切れ検出

経糸と直角の方向に向かって並べて取り付けられているものがドロッパーである。

5. 把持装置の小型化改良

今回の実証試験運転中に電動グリッパが破損する事故が起きている。これは不注意による事故ではあったが、作業スペースの狭い所に把持装置があり、クリップテンプル、照明装置等多くの部品や配線が集中していて突起部分があり、引っかかり易く作業に集中していないと、この種の事故の発生に繋がりがかねない問題を含んでいる。

従って、把持部を小型化すると共に激突破損した際に低コストで交換が可能なものに変更する必要がある。

また、軽量化することによって、併合わせ動作をさらに高速化できる可能性がある。

電動グリッパは小型モータを内蔵しており、このことによって重量とサイズには制約が出てくる。一方でコンプレッサーなどの外部設備は必要としない。

図4は今回設計した軽量化把持部であるが、把持部上部にエアー供給のための継ぎ手が付いていて、空圧で動作する方式としている。



図4 軽量化把持部

外部に別途コンプレッサーが必要となるが、低コストかつ小型軽量であるメリットが大きいと考え、今後採用することにした。

6. 結 言

- (1) 経糸・緯糸停止機構の導入及び回路設計を付加したことで、糸切れ自動停止で傷戻しの時間短縮が図られ、一人数台持ちが可能となることを動作試験を行い確認した。
- (2) 緯糸引き寄せ機構の設計試作と動作プログラムを作成追加した。緯糸把持装置本体側にエアシリンダとバネ線材を組み合わせた緯糸引き寄せ機構の付加と、既存の PLC 回路に緯糸引き寄せ機構動作プログラムを追加し、毛羽のある経糸の製織試験を行い目的の動作を行っていることを確認した。
- (3) 緯糸把持装置を電動から空圧方式に変更することで、更なる小型軽量化をはかる。

参考文献

- 1) 家坂，小海，三村，白川，松本，本田，皆川，“ 絨織物製織自動化技術の実用化 ”，新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書，No.35 (2006) ， p26-30.

先 導 的 戰 略 研 究 調 查 事 業

耐熱金型の高度化に関する調査研究

田辺 寛* 石川 淳** 中川 昌幸*** 樋口 智**** 須藤 貴裕** 紫竹 耕司*****

Study on Improving Heat-resisting Die

TANABE Hiroshi*, ISHIKAWA Atsushi**, NAKAGAWA Masayuki***, HIGUCHI Satoru****,
SUTOH Takahiro** and SHICHIKU Kouji*****

1. 緒 言

金型は、自動車や家電などの製品を量産する上で必ず必要となる道具（ツール）であり、その品質が製品の品質を決定づけるため、「マザーツール」とも呼ばれている。新潟県の金型製造業は農業と並ぶ基幹産業の一つであり、平成15年度の工業統計（経済産業省）によれば、製造品出荷額で国内11位の位置にある。これは関東圏、名古屋圏、大阪圏を中心とした太平洋側の金型集積地と距離的に大きく離れた日本海側にあっては、最大の規模となっている¹⁾。

一方、半凝固状態の材料を金型を用いて成形することによって、従来の鑄造組織であるデンドライト組織より微細な粒状組織を得ることができる半溶融・半凝固加工が注目されている。半溶融・半凝固加工では、組織の微細化、粒状化により、鑄造組織よりも強度・伸びで、特に良好な特性が得られるため、製品の薄肉化が可能で、軽量化に対してメリットがある。反面、成形前の半凝固スラリーを一旦生成してから成形しなければならないこと、また、スラリーの固相率を一定の状態に保つことが難しいことなど、製品化、低コスト化、量産技術で解決すべき問題点も多い²⁾。

本調査研究では、半溶融・半凝固加工のような高温領域での加工で使用される金型の高度化を目標とし、対象となる成形をガラス材料のプレス成形に絞って、ガラス材のプレス金型材料として注目されるガラス状カーボンの切削性について検討するとともに、日本のガラス産業の現状や県内企業の動向について調査研究を実施した。

2. 調査研究の内容

2.1 日本のガラス産業の現状

日本のガラス産業の生産額は約1.9兆円といわれ、磁気ディスク用ガラスやディスプレイ用基盤ガラス、マイクロレンズ等の各分野で日本のガラス製品が世界的に多くのシェアを有している³⁾。ガラス製品には、窓ガラスやCRTなどの市場規模において継続的な発展が見込めない分野もあるが、光ファイバーや平面ディスプレイなど今まさに成長期にある分野もある。中で

* 県央技術支援センター加茂センター

** 研究開発センター

*** 下越技術支援センター

**** 研究開発センター

レーザー・ナノテク研究室

***** 企画管理室

も光学的機能や電氣的機能等を高めたガラスは、「ニューガラス」⁴⁾と呼ばれ、日本のガラスメーカー各社が研究開発を競っており、需要予測では全体で年率 7～8%の成長が見込まれ、2015 年には 2 兆 3800 億円に達するとの予測もある⁵⁾。本調査研究が対象としたプレス成形によるガラスレンズの需要予測では、2015 年まで年平均成長率 4.6%と堅実な成長が見込まれている。

2.2 県内の企業の動向

平成 17 年工業統計調査によると、新潟県内におけるガラス・同製品製造業は 14 社、製造品出荷額は約 122 億円となっている。中でも、ガラスレンズを製造する企業は数社にとどまるが、非球面レンズなどの高付加価値製品を製造する企業もある。また、ゴム・ガラス用金型を製造する企業は 7 社あり、製造品出荷額が 21

表 1 ガラス状カーボンの諸特性

材 料	GC10	GC20	GC30
嵩 密 度 (g/cm ³)	1.48－ 1.51	1.47－ 1.50	1.44－ 1.47
硬 さ (HV)	267	301	230
ヤング率 (MPa)	40.8	44.6	34.2
熱伝導率 (W/mK)	3.76－ 4.6	8.36－ 9.19	15.0－ 17.6

億円となっている。今後成長が期待されるニューガラス等を用いた高付加価値製品の開発には、ガラス製造業や金型製造業を含めた産学官による研究開発が期待される。

2.3 ガラス状カーボンの切削加工実験

2.3.1 ガラス状カーボンの特徴

近年、高屈折率、低複屈折、低色収差、耐高温特性、耐環境性などの要求から、ガラス製光学レンズの用途が増している。

ガラス製光学レンズ用金型には、超硬合金、ステンレスなどが用いられているが、最近、そ

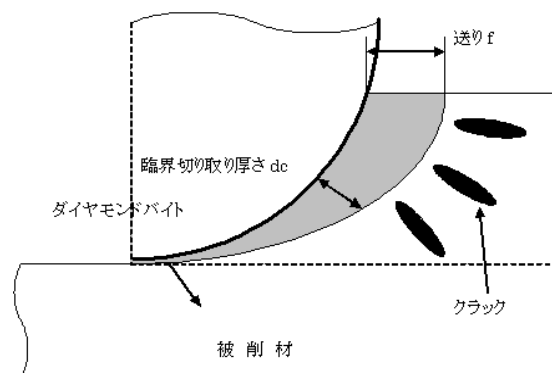


図 1 ボールエンドミルによる脆性材料切削のモデル

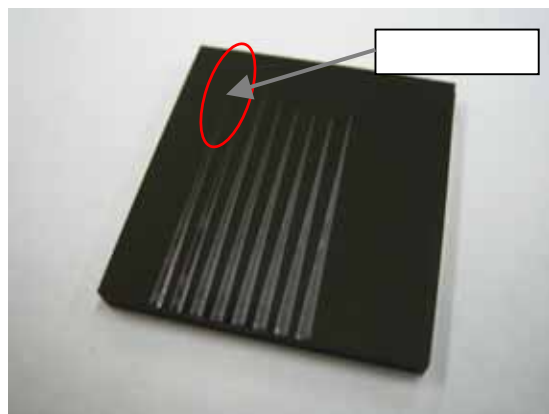
の優れた特徴からガラス製光学レンズ用金型として期待されている新材料のひとつとして、ガラス状カーボンが挙げられる。ガラス状カーボンとはアモルファスカーボン、グラッシーカーボンとも呼ばれる炭素材の一種であり、以下のような特徴を有する。

- ・耐熱性に優れ、高強度である。
- ・耐薬品性、耐腐食性に優れている。
- ・発塵（炭素粉）のない、高純度でクリーンな材料である。
- ・溶融ガラス、溶融金属に濡れにくく付着しない。
- ・導電性、熱伝導性を有する。
- ・熱膨張が小さく、熱衝撃にも強い。
- ・ガスバリアー性および液体遮断性が高い。

ガラス状カーボンの製造方法は、フェノール樹脂、ポリイミド樹脂、エポキシ樹脂、フuran樹脂などの熱硬化性樹脂を射出成形、圧縮成形などの方法で成型し、その樹脂成形品を不活性ガス雰囲気中において、千数百℃で焼成して炭素化する。焼成により樹脂成形品中の炭素以外の元素、すなわち水素、窒素、酸素等がまわりの炭素と化合して二酸化炭素、メタン、エタン等の分解ガスとなり放出され、最後に炭素の網目骨格だけが残し、ガラス状カーボンとなる。表 1 にその特性を示す⁶⁾。不活性雰囲気中の 1300℃で炭素化処理を施す過程で GC10 が作製され、引き続き 2000℃、ハロゲン系ガス雰囲気中で高純度化処理を行うことにより GC20 が作

表 2 加工条件

工 具	(株)オグラ宝石精機工業
	単結晶ダイヤモンド ボールエンドミル (R4)
主軸回転数	35,000 m^{-1}
工具送り速度	1mm/mim, 5mm/mim, 10mm/mim, 20mm/mim
クーラント	オイルミスト（新日本 石油製メタルワーク）



製される。その GC20 をさらに 3000℃で高純度
化処理を施すと GC30 が得られる。

2.3.2 ボールエンドミルによるガラス状カー ボンの正面切削加工

ダイヤモンドバイトを用いて硬脆材料を切削
加工する場合に、二つの問題が指摘されている。
その一つは、加工面に生じる微視的な脆性破壊
であり、もう一つは、ダイヤモンドバイトの磨
耗である。脆性破壊を生じない、いわゆる延性
モード切削を行うためには、工具・工作物間の
実質切込み（切取り厚さ）を常にある臨界値
dc(～100nm)以下にしなければならない。この
臨界値を把握するために、ボールエンドミルに
よる切削加工を実施した。

図 1 に示すように、ボールエンドミルによる
正面切削では、切取り厚さが切れ刃に沿って変
化しており、刃先でゼロになる。したがって、
刃先側すなわち工作物の前加工面の表面付近で
脆性モード切削が行われているとすれば、刃先
と刃元間のどこかに臨界切取り厚さ dc に対応

する脆性・延性遷移点が必ず存在する。こ
の切削点が刃先側に近ければ、脆性破壊による
クラック層が仕上げ面にまで及び、仕上げ面は
脆性破碎によって形成された面になる。また dc
に対応する切削点が刃元側に近く、クラック層
が最終仕上げ面に達しなければ、最終仕上げ面
は延性モード切削により形成される。

ガラス状カーボンにおける臨界値 dc を確認
するため、ダイヤモンドボールエンドミルによ
る正面切削加工を実施した。

2.3.3 ガラス状カーボンの切削加工における 実験方法

切削加工実験にはファナック(株)製超精密 5 軸
ナノ加工機 ROBONANO $\alpha 0i-A$ を使用し、被削
材として、東海カーボン(株)製のグラッシーカー
ボン GC20（鏡面仕上げ品）を用いた。

被削材を加工機へ取り付ける際に、工具進行
方向に傾きを持たせることにより、NC プログ
ラムで切込み量を変化させずとも、被削材への
切込み量を連続的に変化させることができる。
そこで本実験では 0.04mm/30.0mm の傾きを持

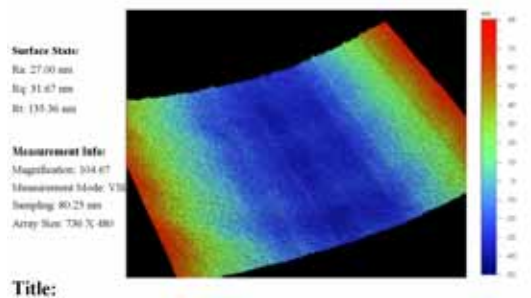


図 3 鏡面部分の粗さ測定結果

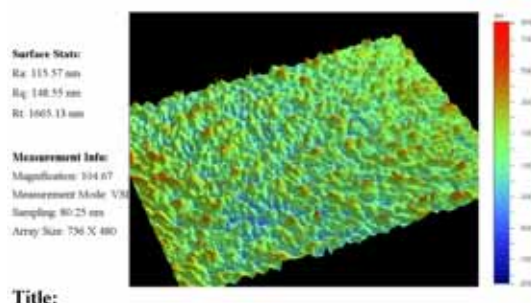


図 4 脆性破壊部分の粗さ測定結果

たせることとした。加工条件を表2に示す。

2.3.4 実験結果

加工後の外観写真を図2に示す。各条件につき2カ所ずつ加工した。工具送り速度が1mm/min時に切込み深さの浅い部分で良好な鏡面が得られた。鏡面部分と脆性破壊部分の三次元構造解析顕微鏡（Veeco製 Wyko NT-3300）での測定結果を図3および図4に示す。なお、測定面積は60μm×45μmである。これにより脆性破壊部分の算術平均粗さ(Ra)が107nm程度であるのに対し、鏡面部分の中心付近の算術平均粗さ(Ra)は3nmとなっており、その数字からも良好な鏡面が得られていることがわかる。

次に鏡面部分の溝幅を測定し、それより切込み深さを算出した。正面切削加工の場合、工具中心が切削速度ゼロとなり不良となる可能性があるため、現実的には斜面切削加工を行う場合が多い。そこで、工具の最大周速度も併せて算出した。その結果を表3に示す。

3. 結 言

- (1) 日本におけるガラス産業の市場と県内関連企業について調査を行った。ガラス材料のプレス成形の市場規模は、今後とも堅調な成長が見込まれていることが分かった。
- (2) ガラス状カーボンのボールエンドミルによる正面切削加工実験を行い、切削による鏡面生成が可能であることを確認した。
- (3) 脆性破壊部分の算術平均粗さ(Ra)が約107nmであるのに対し、鏡面部分の中心付近における算術平均粗さ(Ra)は約3nmとなることが分かった。

参考文献

- 1) 嶽岡悦雄,相田収平,宮口孝司,石川 淳,丸山英樹,山崎栄一,“ものづくりナンバーワン地域を目指してーにいがたの金型産業の成長戦略ー”,技術と経済,4巻,470号,2006,p.26-31.

- 2) 木内 学他,“半溶融・半凝固加工の最先端”,第247回塑性加工シンポジウム,2006,p.1-10.
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構,“平

表3 鏡面が得られる切込み深さと
その時の工具最大周速度

溝 幅(mm)	0.32
切込み深さ(μm)	3.2
最大周速度(mm/sec)	1,190

成11年長期エネルギー技術戦略等に関する調査「産業技術戦略策定基盤調査（分野別技術戦略〈材料技術分野〔ファインセラミックス技術分野〕〉」”,2000,p.158.

- 4) 社団法人ニューガラスフォーラムホームページ.
- 5) 社団法人ニューガラスフォーラム・独立行政法人産業技術総合研究所,“平成16年度～平成17年度成果報告書 ナノテクノロジープログラム（ナノマテリアル・プロセス技術）ナノガラス技術プロジェクト「2015年のナノガラス市場」”,2005,p.13-16.
- 6) 技術情報協会編,“高精度切削・研削・研磨・精密成形による非球面レンズの加工技術と評価～ガラス・プラスチックレンズ・材料・金型・装置・測定・評価～”,2005,p46.

高度センシング技術によるスマートメカニクス に関する調査研究

五十嵐 晃* 大野 宏** 長谷川直樹* 牧野 斉* 石井 啓貴*** 木嶋 裕太* 今泉 祥子*

A Research of Smart-Mechanics with High Performance Sensing Technology.

IKARASHI Akira*, OHNO Hiroshi**, HASEGAWA Naoki*, MAKINO Hitoshi*, ISHII Hirotaka***, KIJIMA Yuta* and
IMAIZUMI Shoko*

1. 緒 言

新潟県においても、今までに機械加工や金属製品製造等をはじめとした各種製造業において、製造工程および検査工程の自動化・省力化がなされてきている。しかし最近では、ユーザーや消費者が今までよりも高品質な製品を求める傾向にあり、従来の検査工程のレベルでは、必要な精度が得られない等の弊害が起きている。さらに、機械加工や金属製品製造業以外においても、繊維や食品産業等では、製品そのものが柔らかく、ハンドリングが難しいために、未だ自動化が図られずに人手に頼っている工程が存在している。

一方で、検査工程の自動化に必要な画像センサや温度センサ等各種センサの技術開発は日々進められている。そのため、それらの開発された新しいセンサを実際の上記のような製造工程に適用できれば、製造工程の自動化・省力化に加え、知能化（スマートメカニクス化）が円滑に図られる可能性を秘めている。

そこで、本調査研究においては、新潟県内中小企業の製造工程での自動化・省力化の現状を把握し、その一方で、センサ技術等の技術動向・市場動向に関しての調査を行った。そのうえでいくつ

かの最新センサについては、県内中小企業の製造工程への応用することの可能性を探った。

2. 調査研究の内容

2.1 概要

調査は、新潟県内の製造業の自動化・省力化の現状調査と、先端的なセンサ関連の技術動向調査を中心に行った。また、いくつかの先端的センサを購入して試験研究を行い、その応用可能性の評価を行った。

2.2 県内企業の動向

約 30 件におよぶ県内企業の調査を行った。調査内容は、製造工程の自動化の現状、自動化要求の内容、および技術開発体制の確立と多岐に渡った。製造工程の自動化・省力化への漠然とした必要性を感じながらも、現状は人手で対応している企業が多い。一方で、各種自動機の開発を行ったり、独自技術を利用して検査装置を開発したり、センシング技術を主要業務としている企業も見られる。

2.3 センシング技術の動向

2.3.1 概要

センシング技術を産業用と民生用と 2 つに大別すると、産業用は製造工程における分野と社会基盤整備等における分野に利用されている。製造工程では主に、部品や製品の最終工程にあたる検査

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

*** 企画管理室

工程において利用されており、社会基盤整備における例としては、高速道路における ETC システム等のインフラ関連や、地滑りセンサや川の水位センサ、気象観測所のセンサ等自然のセンシングへの応用がある。

一方、民生用は、一般の人が普段の生活の中で直接恩恵にあずかるセンサで、例えば自動車や電気製品等に使用されている。自動車を例にすると、エンジンに使用されている酸素センサのように必要不可欠なものと、車間距離センサといったどうしても必要というわけではないが、付加価値向上をさせるものがある。

新しい動きとしては、「安全・安心で暮らせる社会」を実現させるため、赤外線センサや個人認証センサなどのセキュリティ関連のセンサが普及し始めている。また、MEMS 技術を利用した空気圧センサなど小型で省電力のセンサも開発され、利用範囲が大幅に広がっている。

2.3.2 特許出願状況

製造工程におけるセンサの利用分野の観点から、ロボットと工作機械の動向を調査した。これら分野は、センサとアクチュエータが大きな役割を果たしている。

ロボット産業は近年サービス分野の研究開発が盛んであるが、あいかわらず工場内で使われる産業用の市場が大きい。特に日本は、ロボット技術において優位にあり、特許の出願件数は 1991 年をピークに大きな増減は見られない。

工作機械産業は、汎用機の NC 化を先行したことで、家電や自動車産業の精度や能力等の厳しい要求に応じてきたことで、国際的な競争力をつけてきた。特許出願件数も欧米に比べて多く、高精度で高効率な工作機械に関する出願が多い。

2.3.3 現状と競争力

県内にも画像処理装置や非接触形状計測を手がける企業や、一部分野で最先端の計測技術を有する企業もあるが、製造業全体を見ると高度センシング技術の普及度、寄与度は小さく、全国的に見

て競争力は弱いと言わざるを得ない。今後は、目視検査の自動化、金属光沢面の客観的評価、機上計測機能付加による産業機械の高付加価値化、センシングデータを含んだ品質管理システムの構築など、様々な面で最新センシング技術を利用したシステムの導入を検討し、高付加価値産業群の実現を目指すべきである。

2.3.4 先進企業

高度な自動機を開発する企業は県内にも多数あるが、一品生産が多く高度なものほど試行錯誤で開発するため手離れが悪く、なかなか利益につながらない。そのため、自動機に組み込んで使われる汎用的センサや制御機器に特化して開発を行っている企業がある。一方、特殊な装置でも市場を見極められれば数多く販売することができ、その会社独自の技術を活用した装置であれば付加価値を上げることができる。人間の眼の機能を画像処理に利用し、高精度の検査装置を開発したり、X 線を利用して食品の異物検査機を開発したりする企業がある。

2.4 試験研究の内容と結果

3 次元距離画像センサを利用した人体動作の計測、画像処理技術を利用したバリ検出および最新のセンシング技術であるテラヘルツを利用した試験研究を行った。

3 次元距離画像センサは、赤外線の反射時間からある一定の範囲の 3 次元データを短時間で取得可能である。このセンサを利用して、人体の動作を非接触で計測できるか検討、簡単な手の動きを計測できることを確認した。

画像処理技術を利用したバリ検出では、金属が鏡面反射をおこすため照明が難しかったが、最近普及している小型の LED 照明の当て方を工夫することで、バリだけを浮き上がらせることが可能となった。

テラヘルツ波は、降雪時における車間距離センサとして利用できないか実験を行い、雨には吸収されるが、雪を透過することがわかった。

3. センシング技術の今後の対応について

3.1 センシング技術高度化の方向性

センサから得られた情報を処理するセンシング技術は、人間あるいは機械の外界の情報を取得し、それを受けて種々の行動判断を行うための欠くことのできない技術である。近年、半導体製造技術などのエレクトロニクスやインターネットやその他の情報通信技術の急速な発展してきており、センシング技術とエレクトロニクスや情報通信技術の融合により、センサの物理的または分野的な適用範囲は急速に拡大していくものと考えられる。

新潟県は、工作機械や金属塑性加工技術といった、ものづくりの基板技術となる産業の集積を有している。工業技術総合研究所において、これまで蓄積してきた制御技術や画像処理技術を生かしながら、新しいセンシングデバイスの積極的な活用を図ることにより、新潟県の産業界が求める要請に応えることが求められている。

3.2 センシング技術ロードマップ

新潟県の産業状況や、センシング・ビジョン技術の研究開発状況を踏まえて、センシング技術ロードマップを作成した。あわせて工業技術総合研究所が注力すべき研究分野を検討した。図1にその結果を示す。

4. 結 言

以上、高度センシング技術によるスマートメカニクスに関する調査研究について述べてきた。そこで、以下の事項が明らかになった。

- (1) 県内企業において、製造工程自動化の要求を持つ企業、すでに独自技術で自動化への対応を図っている企業がある。
- (2) センサ関連技術は産業界でも重要な位置を占めている。
- (3) 3次元距離センサ等新規センサは十分応用可能性がある。
- (4) 今後のセンサ技術の方向性は、安全・安心な社会という要求を背景に、今後さらなる小型化・省電力化・高機能化を図られていく。

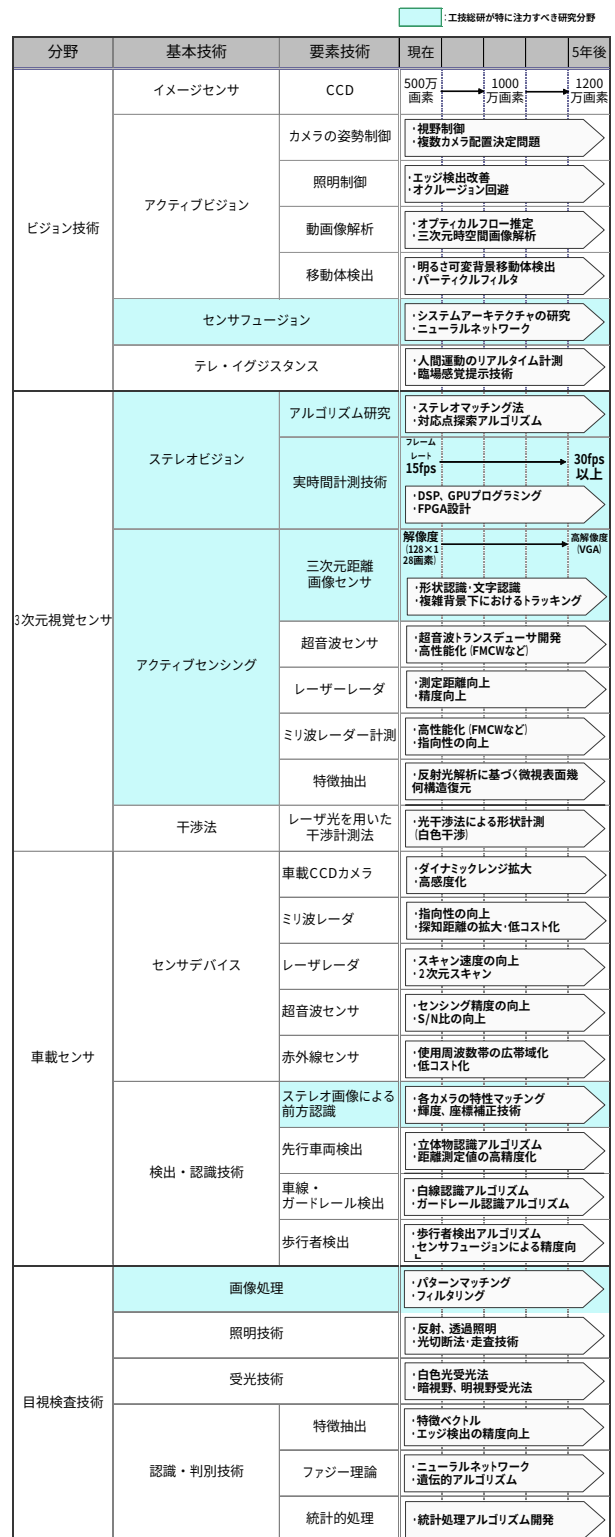


図1 センシング技術ロードマップ

ナノ材料と成形プロセスに関する調査研究

山田 昭博* 佐藤 健* 永井 直人** 笠原 勝次** 林 成実** 佐藤 亨*** 岡田 英樹****

Study on the nano-materials and nano-processing

YAMADA Akihiro*, SATOU Takeshi*, NAGAI Naoto**, KASAHARA Katsuji**, HAYASHI Narumi**,
SATO Toru*** and OKADA Hideki****

1. 緒 言

ナノテクノロジーは、材料、情報通信、環境、エネルギー、機械、生命科学など、広い範囲に渡る融合的で総合的な科学技術分野である。10億分の1メートルの単位で原子・分子を操作・制御することにより今まで実現できなかった全く新しい機能を発現させ、科学技術の新しい領域を切り開くものとして期待されている。

このような新しい機能の発現は、原子・分子の操作・制御のみならず、これらを観察できる分析・評価装置があつてはじめて応用できるものである。ナノサイズの物質を観察できるものとしては透過電子顕微鏡（TEM）、走査電子顕微鏡（SEM）および走査プローブ顕微鏡などがある。これらを用いたナノ計測は、創製した材料の評価技術として定着しており、産業界にも広く普及している。このようなナノレベルの対象物をきちんと評価できるための分析機器の発明や改良という下地があつてこそナノテクノロジーが発展したとも言える。

工技総研ではこれまでの研究において、MEMS プロセスに関する研究、超精密加工に関する研究、ナノ粒子に関する研究、ナノ表面・界面に関する研究など、ナノ領域の技術を利用した分野に関する研究を進めてきた。しかしながら、ナノ領域での材料設計や加工性は、加工

精度、サイズはもとより、ナノであるが故の凝集性の発現、分析自体の困難さのため、従来技術での対応ができないために企業での技術導入や技術開発が本格的に進んでいないのが現状である。特に県内産業においては、大きな流れであるナノテクノロジーの導入による高付加価値製品への対応が遅れており、将来的な競争力低下が懸念される。

そこで、産業の活性化と新規産業の創出および、高付加価値製品開発による県内企業の競争力向上を目的に、県内産業とリンクすべきナノ材料製造・加工技術およびニーズ調査を行い、上記技術開発に要求される分析技術についても調査研究を行った。

2. 調査研究内容

本調査研究では、次の3分野を中心として検討を行った。

- ① 県内産業として高い技術力を有する金型技術を応用することが可能と考えられるナノインプリントなどの微細加工関連プロセス
 - ② ナノ粒子の分散や凝集の制御によるナノコンポジットの創製技術
 - ③ 県内企業のこれら技術分野へのステップアップや新規進出をサポートするために重要となるこれら領域の観察・計測・分析技術
- このような技術は今後のナノテクノロジーを生かした高付加価値製品開発に無くてはならない技術であり、県の産業を発展させるうえで欠

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

*** 素材応用技術支援センター

**** 県央技術支援センター

くことのできない技術である。なお本報では①のナノインプリント関連技術を中心に述べる。

2.1 ナノインプリント技術の俯瞰

ナノインプリント (nano-imprint) が始めて登場したのは 1995 年のミネソタ大 (当時、現プリンストン大) の Chou 教授らが提唱したもので、ナノインプリントリソグラフィという技術であった^{1,2)}。ナノインプリントリソグラフィの工程図を図 1 に示す。シリコンに形成されたパターン (モールド) をシリコン基板上のレジスト薄膜に押し付け (プレス) により転写することで新たな基板上に所定のパターン形成を行うものである。この技術が注目されたのは、当時の半導体加工技術で得られていた最小線幅が 90 nm であったのに対して、この技術により 10 nm 程度のパターン転写が確認されたためである²⁾。これにより本技術の有用性が認識され、多くの研究が進められた。

ナノインプリント技術には大きく分けて熱を利用するプロセスと紫外線 (UV) を利用するプロセスの 2 つの種類がある。熱ナノインプリントプロセスは、成型材料とモールドをある一

定の温度 (ガラス転移点や硬化温度) に保持した状態でモールドに押し付け、冷却することでパターンを成形する。UV ナノインプリントプロセスは、UV 硬化樹脂を基板上に塗布した後にモールドに押し付け、UV 光を照射することでパターンを成形する。各々のプロセスでは様々なメリット、デメリットがある。

モールドに関しては、熱用は成型温度に耐えられ、硬い材料であれば金属材料やセラミックスなど様々なものが利用可能であるのに対して、UV 用では UV を透過する材料を選ぶ必要がある。石英ガラスが多く用いられており、最近ではフッ素樹脂を用いることもある。

材料について、熱用は熱硬化および熱可塑性樹脂であれば多くの材料が利用可能であり、さらに用途によってはガラスへの転写も可能である。これに対して UV 用では半導体関連に用いられる UV 硬化樹脂が主に用いられており、樹脂を選べるという状況ではない。

タクトタイムとしては、熱プロセスではその温度への昇温、加圧、冷却、剥離というプロセスである程度時間を要するが、UV プロセスでは押し付け、UV 照射、剥離というプロセスのみであり、最短 10 秒程度と短時間で成形可能である。

どちらの方法にも言えることだが、プロセス途中においてナノレベルでの成形となることから型への樹脂の付着や成型品の剥離が難しいといった課題がある。

2.2 ナノインプリントの試作検討

工技総研保有のフォトリソグラフィの技術を応用してシリコンモールドを作製し、ナノインプリント装置メーカーで一般的な樹脂への形状転写実験を行なった。

□20 mm にカットしたシリコン基板に日本ゼオン製電子線描画レジスト ZEP7000-22 を厚さ 330 nm で成膜し、基板中央 10 mm 角の範囲にライン&スペース (以下 L/S と記す) 状のパターンを描画してレジストマスクを形成した。レ

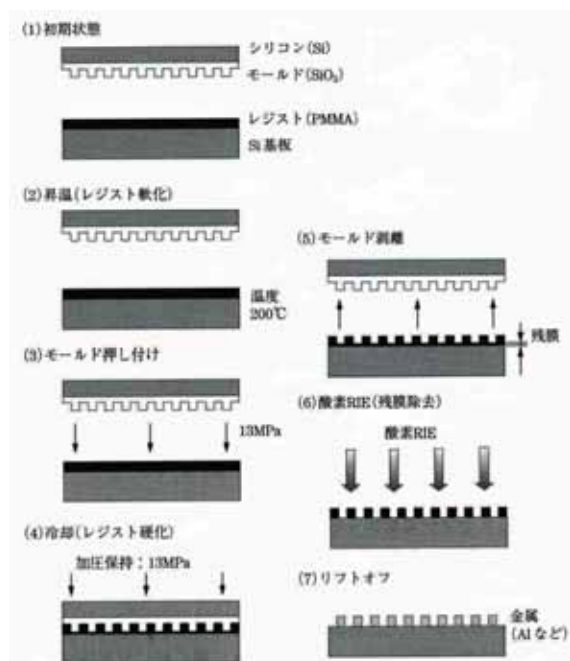


図 1 ナノインプリント
リソグラフィの工程図¹⁾

表 1 レジストマスク形成条件

工程 / 試料	L/S 250 nm	L/S 500 nm	備考
スピコート	1 st / 300 rpm-3 sec → 2 nd / 1000 rpm		ZEP7000-22
バーク	180°C-3 min		ホットプレート
HV	20 kV-205 pA		
ドーズ量	7.38	6.26	$\mu\text{C} / \text{cm}^2$
現像 / リンス	4 min / 20 sec		ZED500 / ZMD-D
エッチング	$\text{SF}_6 / \text{C}_4\text{H}_8$ 切替		
剥離 / リンス	24 hour / 5 min		ZDMAC / IPA

レジストマスクは 500 nm と 250 nm の L/S の 2 種類とした。形成条件の詳細を表 1 に示す。

住友精密工業（株）社製ドライエッチング装置 MUC21 を使用し、基板露出部をエッチングして溝を形成した。溝の側壁を垂直に近づけるためにボッシュプロセスを適用し、アスペクト比がほぼ 1 の溝深さになるようにエッチング条件を調整した。最後に基板上のレジストマスクを溶剤で剥離し、IPA で洗浄した。図 2 に SEM で観察した型の断面を示す。

東芝機械（株）社製インプリント装置 ST50

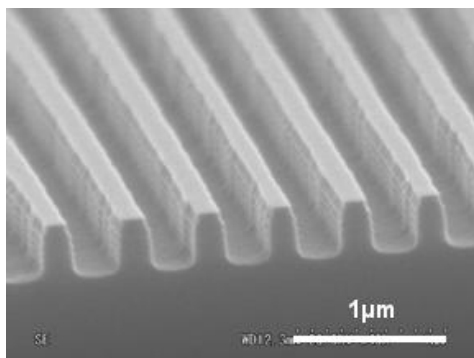


図 2 作製した型の断面形状 (L/S 250nm)

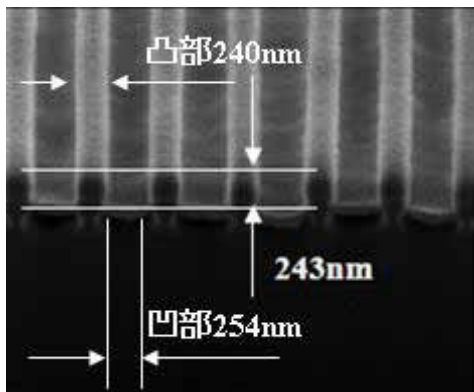


図 3 転写した PMMA の断面形状 (L/S 250nm)

により樹脂へのインプリント実験を行った。樹脂はアクリル（PMMA）とポリカーボネート（PC）の 2 種類とした。また、転写前に型ヘフッ素系シランカップリング剤の単分子膜を形成することにより離型処理を施した。

図 3 に PMMA フィルムに転写された形状を SEM で観察した結果を示す。全体的に形状の乱れもなく良好に転写されていることがわかった。

また、共焦点顕微鏡で PMMA 樹脂に転写された溝深さより充填率を計算すると、PMMA と PC でそれぞれ 93% と 83% であった。温度、時間、加圧力という充填率に大きく影響すると思われるパラメータを全体的に高めに設定していたため、高い充填率が得られたと考えられる。

3. 結 言

- (1) 県内産業へのナノテク技術の適用の可能性を探る目的でナノインプリントを中心に調査を行った。ナノインプリントに関してはアプリケーションはまだ見出されていないため、今後引き続いての検討が必要である。現行のナノインプリントの実力は 100 nm ～数十 nm 程度の表面加工精度があると思われる。一方、県内産業においてはマイクロ・サブミクロンオーダの成形技術をいかにレベルアップしていくかが重要であると考えられる。
- (2) ナノコンポジットなどの材料開発においては個々の企業独自の技術開発となることが多いが、この領域の評価・分析機器の多くは高価であり、その結果の解析などにも熟練を要する。したがって、分析・評価技術に関して公設試験場の持つ役割が拡大していくと考えられる。

参考文献

- 1) 谷口 淳, “ はじめてのナノインプリント技術 ”, 工業調査会, 2005
- 2) プリンストン大学 Chou 教授 HP <http://www.ee.princeton.edu>

シミュレーション援用による知的生産プロセスに関する 調査研究

齊藤 博* 片山 聡** 馬場 大輔*** 小林 豊**** 森田 渉***** 小林 泰則**** 本田 崇**

A Research Report of Intellectual Production Process by Simulation Aiding

SAITOH Hiroshi*, KATAYAMA Satoshi**, BABA Daisuke***, KOBAYASHI Yutaka****
MORITA Wataru*****, KOBAYASHI Yasunori**** and HONDA Takashi**

1. 緒 言

近年の産業界においては、製品およびその製造プロセスに短納期・低コスト・高品質・安全性が求められている。これらを実現する手段のひとつとして強い関心を寄せられているのがシミュレーション技術である。シミュレーション技術はコンピュータ上で仮想実験を行い、製品構造や加工条件を最適化するものである。特に選択肢が多い場合や、通常の実験では確認ができない内部構造の可視化などに効果がある。最近ではハードウェア性能の飛躍的な進歩により、ワークステーションではなくパーソナルコンピュータ上でもシミュレーションを実行できるようになり、大手企業だけではなく中小企業においても積極的な導入が図られている。本県においてもシミュレーションを用いたものづくり体制の確立は急務な課題であるが、人材や情報の不足から導入が遅れているのが現状である。

そこで本調査研究では各技術分野におけるシミュレーション技術の概要や最新動向を調査し、本県産業界へのシミュレーション技術普及について検討した。

*	下越技術支援センター
**	研究開発センター
***	上越技術支援センター
****	中越技術支援センター
*****	素材応用技術支援センター

2. 機械系シミュレーション技術の現状

2.1 構造シミュレーション

構造シミュレーションは主に構造物の強度計算に用いられる。例えば、架台のフレーム本数や配置の最適化は、構造シミュレーションを用いることで、実際に試作を繰り返すよりも効率的に行うことができる。計算手法としては有限要素法が用いられることが多い。

最近では操作面や表示機能において 3 次元 CAD との親和性を高めた製品も多く開発されており、シミュレーション専任者だけではなく設計担当者による強度計算も可能となってきた。また複数の選択肢の中から最適解を得る品質工学の導入も積極的に進められており、自動最適化を実行する製品も多く開発されている。中小企業にとって身近な技術領域であり、また製品価格も比較的安価であることから、構造シミュレーションは急速な広がりをみせている。

2.2 塑性加工シミュレーション

塑性加工シミュレーションは、プレス加工や鍛造加工を対象に、金型の構造最適化や寿命予測、加工条件の最適化に使用される。加工分野それぞれに専用の製品が開発されているが、全体として構造シミュレーション関連製品ほど数は多くない。

プレス加工シミュレーションは特に自動車業

界に多く導入されている。現在では特に加工後のスプリングバック挙動が注目され、材料モデルの提案¹⁾や金型形状の自動最適化²⁾など積極的に開発が進められている。

鍛造シミュレーションはモデルの変形度合いが大きく、計算中の要素再分割技術が重要な技術となる。現在は材料の移流を考慮できる ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) 要素の採用や要素分割を行わない EFG (Element Free Galerkin) 法を用いた計算などが試みられている³⁾。

塑性加工シミュレーションは構造シミュレーションに比べ大規模計算となる場合が多く、ハードウェアを含めた導入コストは大きくなる。現状でのシミュレーション精度は定量的に一致するレベルに達しているとは言い難く、費用対効果の面で中小企業では導入を見送っている例もある。

3. 電気電子系シミュレーション技術の現状

3.1 電磁場シミュレーション

電磁場シミュレーションはモータや磁気ヘッドといった電気電子部品の設計において、電磁的特性の予測・評価に用いられる。また近年、演算素子のクロック速度が急激に速くなり、デジタル回路設計においてもクロストークやノイズ放射などの電磁気現象による影響を考慮する必要性に迫られている。

電磁場シミュレーションを大別すると、入力したパルス波の過渡応答をフーリエ変換することで周波数領域のデータを得る時間領域解析と、特定の周波数ごとに正弦波を入力して定常応答を求める周波数領域解析とに分けられる。計算法として前者には有限差分時間領域法 (FDTD 法) や伝送線路法 (TLM 法) があり、後者には有限要素法 (FEM 法) やモーメント法 (MoM 法) がある。様々な案件が持ち込まれる公設試においては、汎用性のある FDTD 法や FEM 法による製品を導入している例が多い⁴⁾⁻⁵⁾。

3.2 電子回路シミュレーション

電子回路シミュレーションは、半導体の設計、製造および実装するプリント基板設計の自動化ツール群 (EDA) のなかで動作検証を行う部分に用いられる。例えば、デジタル回路設計シミュレーションは、ASIC や FPGA などの LSI 設計において書き込んだ論理回路の動作を検証するために用いられる⁶⁾。FPGA は機器メーカーが自由に回路構成を書き換えることができるため、開発コストおよび納期を抑える目的から最近では多く利用されており、デジタル回路設計シミュレーションはその検証工程の迅速化に大きく貢献している。

4. 化学系シミュレーション技術の現状

化学系分野で用いられているシミュレーション技術は、分子動力学法、モンテカルロ法、分子力学法などの分子シミュレーション手法のほか、材料の化学反応活性や電気・磁氣的物性を計算できる量子化学計算手法 (QC) が広く用いられている。例えば、分子動力学法ではニュートン方程式を用いて、バルク、表面、界面およびクラスターといった多様な系を扱うことができる。しかし化学系シミュレーションの多くは学術性の高さから汎用的な製品として開発された例が少なく、企業への普及は進んでいない。

5. 新潟県内におけるシミュレーション技術の現状と課題

シミュレーション技術は特に自動車業界を中心に大手企業が積極的に導入を進めているが、県内企業においてシミュレーション技術を導入している企業はきわめて少ない。その背景には人材不足やシミュレーション技術によって製造プロセスがどのように変わるのかといった情報が不足していることが影響していると考えられる。

現在、人材育成については (財) にいがた産業創造機構において『長岡モノづくりアカデミー』が開催され、その中で CAD や CAE に関する講義が行われている。参加企業は数十社に及

んでおり、県内企業の関心の高さを窺うことができる。

今後、県内企業へのシミュレーション技術普及拡大を図るためには、上記のようなセミナー開催のほか、基礎技術や応用事例を掲載したポータルサイトの開設など、広く情報を発信する必要がある。

6. シミュレーション技術の高度化

シミュレーション技術の高度化には、実際の現象とのすり合わせが必須である。また結果を正しく評価し、修正指針を作成するためには、材料や加工プロセスに対する高度な知識が必要となる。県内産業においては、県央地区における金属加工など高い技術力を有する地場があり、これらとシミュレーション技術を効果的に融合させることで、高い競争力を持った産業群を形成できると考えられる。そのためには加工技術とシミュレーション両面において継続的な研究開発が必要であるといえる。

7. 結 言

(1) 各分野のシミュレーション技術について、現状と技術動向を調査した。シミュレーション技術は、ハードウェア性能の向上に伴い、大手企業を中心に積極的に導入されており、製品開発における短納期化・低コスト化に貢献している。県内企業においては導入が遅れている。

(2) 機械系、電気電子系シミュレーションは、

各技術分野に対してシミュレーション製品が開発されている。特に近年では CAD やシミュレーション製品間の親和性が向上した製品が多く開発されている。

(3) シミュレーション技術の普及および高度化のためには、地場産業が保有する高い技術力との融合が必須である。そのためには人材育成や情報発信、継続的な研究開発を行う必要がある。

参考文献

- 1) 山本茂雄，後藤良孝，酒井岳人，吉田総仁，“鋼の降伏点現象のモデル化とその塑性加工シミュレーションへの応用”，日本機械学会中国四国支部第 43 期総会・講演会講演論文集，2005，p.13-14.
- 2) 日本イーエスアイ，“PAM-STAMP バージョンアップセミナー資料”，2005
- 3) 富士通株式会社，“LS-DYNA セミナー2007 資料”，2007
- 4) 東京都立産業技術研究所，“電波ノイズの防止に役立つ電磁界シミュレーション”，テクノ東京 21，117，2002，p.2.
- 5) 宮城県産業技術総合センター，“施設機器紹介 高周波電磁材料解析システム”，ミヤギ産業技術情報，11，2002
- 6) 内藤竜治ほか，“付録基板で始めるデジタル回路設計”，トランジスタ技術，4，2006，p.116-197.