

工業技術研究報告書

Report of the Industrial Research Institute of Niigata Prefecture No.39 2010

No.39 2010



新潟県

新潟県工業技術総合研究所

Industrial Research Institute of Niigata Prefecture

〒950-0915 新潟県新潟市中央区鋸西 1-11-1

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

目 次

I 研究論文

1. マグネシウム合金の複雑形状プレス加工技術の開発	3
2. マグネシウム合金管の浮動拡管プラグ曲げ加工技術の開発	13
3. マグネシウム合金の 実用的な表面処理技術の開発および評価（第3報）	21
4. 超音波キャビテーションを利用した 軽合金材料表面への圧縮残留応力付与技術の開発	27
5. 窒素含有ニッケルフリーステンレス鋼の実用化研究	33
6. cBN エンドミル工具による鉄系材料の鏡面加工（第2報）	41
7. ハット曲げ成形のスプリングバックに与える加工条件の影響	47
8. 暗号鍵の生成・管理を考慮したデジタル動画像のアクセス制御	52
9. 重粉砕機異物混入時の回転刃の CAE による衝突解析	57
10. 重粉砕機のデザイン開発支援	63
11. 高齢化社会に適した 再生医療普及のための安価な培養システムの開発（第2報）	69
12. 匠の技を継承し発展させる技能伝承支援システムの開発（第2報）	75

Ⅱ ノート

1. 業務用ダイヤモンド刃物の開発	83
2. マイクロウェーブ試料分解装置による試料分解方法の確立	86
3. マグネシウム合金製電動カート部品の試作	89
4. 高刺通性次世代型縫合針の研究開発	93
5. 干渉回避シミュレータの開発	96
6. 広空間型レーザ三次元座標測定システムの高機能化に関する研究	100
7. 重粉砕機の騒音低減について	104
8. 安心・安全・環境を配慮した繊維製品づくりの支援	107
9. たて糸インクジェット捺染織物の試織	109
10. 低炭素社会にふさわしい 雪による新たなニイガタブランドの創造	112
11. 鋳造品の外観検査装置導入に関する研究	115

Ⅲ 調査・報告

1. C-FRP 研究会報告	122
2. 太陽光発電研究会報告	125
3. 排熱利用研究会報告	128
4. EV 技術研究会報告	131
5. 感性工学研究会報告	134
6. 多軸高速加工研究会報告	138
7. 表面技術研究会報告	141
8. 熱処理研究会報告	144
9. 天然素材活用研究会報告	147
10. ナノテク機器利用技術講習会	150
11. CAE 研究室における技術支援事例	153

※ 平成 21 年度に実施した研究 102 テーマのうち、研究成果を公表できるものを報告しています。

I 研究論文

マグネシウム合金の複雑形状プレス加工技術の開発

本田 崇* 杉井 伸吾* 山崎 栄一**

Development of Press Processing Technology for Complicated Shape of Magnesium Alloys

HONDA Takashi*, SUGII Shingo* and YAMAZAKI Eiichi**

抄 録

マグネシウム合金は軽量で比強度が高いことから、その板材をプレス加工により複雑な形状に成形することで、これまでにない付加価値の高い製品を得られる可能性がある。本研究ではマグネシウム合金の複雑形状プレス成形として、板材に複数の三角錐台形状を有するテトラボードを対象にシミュレーションを用いて成形工程を検討した。実際に成形可能であることを試作により確認し、本手法による工程設計の有効性を示した。また、ブロー成形による加工に比べ、加工時間の大幅な短縮と板厚分布の均一化を達成することができた。

1. 緒 言

現在、航空機や鉄道車両の床材などの軽量構造部材として、大きな曲げ剛性をもつハニカムパネルが広く用いられている。しかし、せん断変形・面内圧縮に対する強度不足や、火災時に表面材との接着剤が燃焼する危険性が指摘されている。そこで、テトラボードを組み合わせることでハニカムパネルと同程度の曲げ剛性、高いせん断強度・面内圧縮特性を持たせたトラスコアパネルが、表面材が不要な軽量構造部材として着目されている^{1) 2)}。本研究では軽量で比強度が高いマグネシウム合金（以下 Mg 合金）を用いたテトラボードの製作を行ったので報告する。

2. 工程設計

金属薄板の成形にはプレス成形、ハイドロフォーミング、ブロー成形等が用いられるが、製造コストの安いプレス成形で加工できることが望ましい。そこで、シミュレーションを用いてプレス成形によるテトラボードの成形実現性、

工程設計および金型形状の検討を行った。

図 1 に示すテトラボードを成形の対象とした。三角錐台のアスペクト比（底面の辺長と高さの比率）は 0.4 である。材料が均一に薄くなる最も理想的な状態を仮定しても、板厚減少率が成形限界を超えれば、このアスペクト比ではプレス成形は不可能である。Mg 合金 AZ31 の成形限界の板厚減少率（200℃～250℃）は等二軸引張で約 63%であり³⁾、全体が均一に薄くなる場合で約 29%、三角錐台の投影面積が均一に薄くなる場合で約 39%となるため、一様伸びとなる加工条件に近ければ成形可能と判断した。

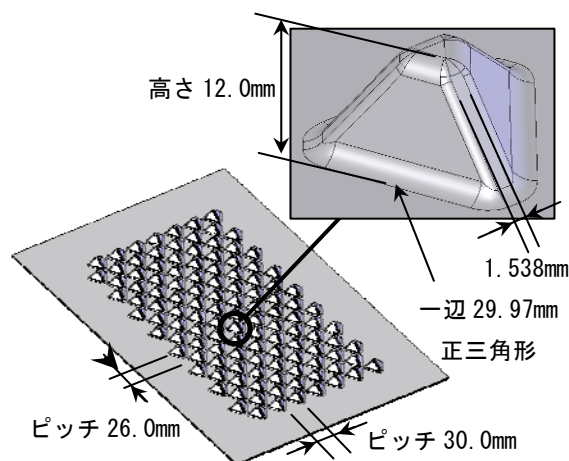


図 1 テトラボード成形形状

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

2.1 予備解析

プレス成形による材料の流れと板厚変化を確認するため、まず単工程での成形予備解析を行った。シミュレーションには汎用有限要素解析コード ANSYS ver.12.0.1 を用いた。

2.1.1 解析モデル

計算モデルには周囲からの材料の流入がなく一番厳しい条件と想定される、すべての三角錐台を同時に成形する場合を想定し、ブランク中心部のコアを解析対象とした。全体モデルの対称性より、1つのコアを成形する領域を抜き出し、次にコア形状の対称性より 1/6 を解析領域とした（図 2）。図 3(b) に有限要素モデルを示す。形状を把握しやすいよう 4/6 に拡張したモデルを図 3(a) に併記する。ブランクの厚さは 0.8mm とした。金型は変形を無視できることから表面形状を剛体として定義し、ダイスは全自由度を、パンチはプレス方向以外を拘束した。ブランクの各対称部には対称境界を設定した。また、摩擦条件であるが、金型との潤滑条件が異なると摩擦係数も異なるものとなり、計算により得られる板厚分布も異なる結果となる。

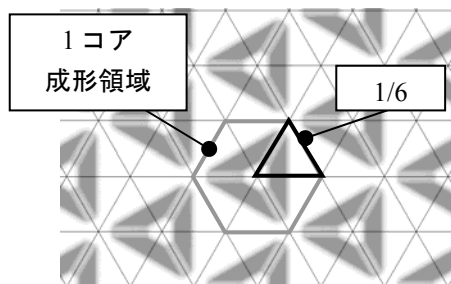
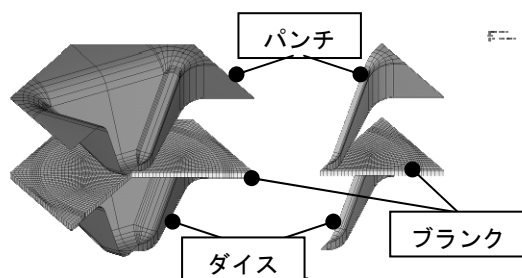


図 2 対称性を考慮した解析モデル



(a) 4/6 拡張表示 (b) 1/6 解析モデル

図 3 有限要素モデル

AZ31 の摩擦係数は潤滑方法の違いにより 0.05 ～0.3 程度となるが、成形条件や加工の進行によっても摩擦係数は変化するため、潤滑条件に依らず成形可能であることが望ましい。そこで、ある程度の潤滑条件の変動に対応できるよう中間値として摩擦係数 0.15 を選定し解析を行った。

2.1.2 材料モデル

AZ31 が良好な加工性を得られる 250℃を加工温度に設定した。材料に適用した AZ31 の機械特性を表 1 に示す。硬化則は 250℃での挙動から等方硬化則を適用した。応力-ひずみ曲線に関しては、万能材料試験機による引張試験にて得られたカーブを用いた。図 4 に応力-ひずみ曲線を示す。

2.1.3 予備解析結果

単工程成形時のブランクの変形を図 5 に示す。左に断面方向から見たパンチ押し込み量を、右に板厚分布の変化を示す。パンチを押し込むにつれ三角錐台頂点付近の板厚のみ大きく減少し、三角錐台周囲からの材料の流入はおこらない。これは求める一様な変形が単工程の成形では得られないことを示している。ここで AZ31 の成形限界板厚減少率 63%から、元の板厚 0.8mm に対し 0.3mm が成形可能の目安となる。成形完了前であるパンチ押し込み量 7mm の時点で、板厚は約 0.2mm となり、単工程での成形は不可能であることがわかる。

表 1 AZ31 の機械特性 (250℃)

ヤング率 (GPa)	74
ポアソン比	0.33

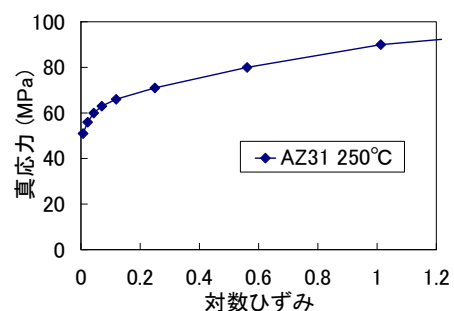
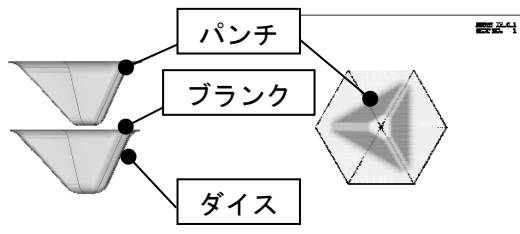
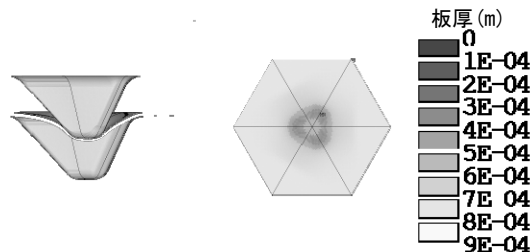


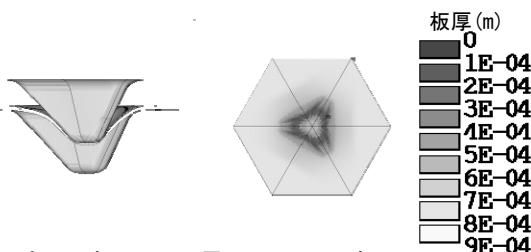
図 4 AZ31 の応力-ひずみ曲線 (250℃)



(a) 初期配置およびパンチ形状



(b) パンチ押し込み量 5mm 最小板厚 0.44mm



(c) パンチ押し込み量 7mm 最小板厚 0.21mm

図 5 単工程成形時の板厚変化

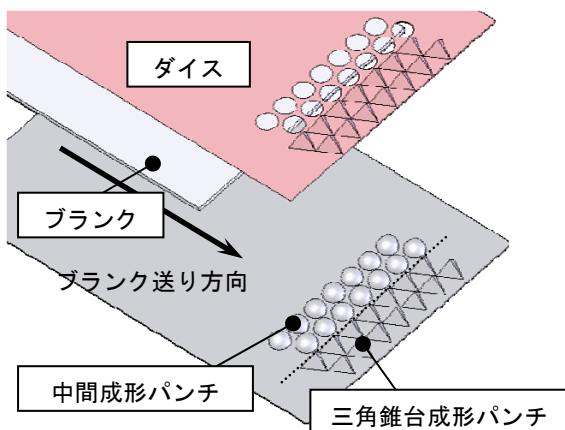
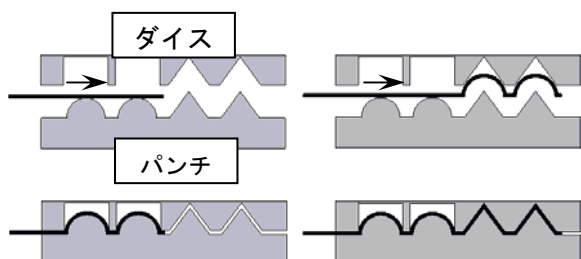


図 6 金型形状概要



第 1 工程 第 2 工程

図 7 各工程の成形概要

2.2 成形工程の検討

単工程での検討結果から、1 工程で三角錐台形状に成形した場合には期待したような板厚減少にはならないことがわかり、中間形状への成形を含む多工程による成形を検討した。

工程数や中間工程の形状には様々なパターンが考えられる。AZ31 の特性はエリクセン試験より張出成形性が優れていることがわかっており、中間工程の形状は半球への張り出しとした。工程数に関しては少ないほどよいとため 2 工程で成形可能か検討を行った。

金型形状の概要を図 6 に示す。成形は順送プレス进行を想定し、金型には中間形状を成形するための半球形状パンチと最終形状を成形するための三角錐台形状のダイスを配置する。半球形状のパンチに対応するダイスには穴、最終形状のダイスに対応するパンチには板厚分をオフセットしたパンチを設ける。各工程での成形の概要を図 7 に示す。まず第 1 工程では中間形状の半球にブランクが成形される。次の第 2 工程では、第 1 工程で配置した中間成形パンチの列分だけブランクを移動させ、第 1 工程で成形された半球は三角錐台形状に、同時に半球形状パンチにセットされたブランクでは新たに半球が成形される。この工程の繰り返しにより、平面ブランクから半球形状に成形され、次工程で三角錐台形状に成形される。

2.2.1 中間工程形状の検討

中間工程のパンチ形状は、1 コアに納まる半球サイズが候補であり、また半球をすべて張り出す必要もないため、様々な形状が考えられるが、すべての形状についてシミュレーションを行うのは非効率的である。そこでシミュレーションで検討する半球形状をまず幾何形状から絞り込み（形状検討①）、さらに最適な形状をシミュレーションにて検討することとする（形状検討②）。

半球形状の検討を行うにあたり、まず単工程成形が困難な原因を考察する。単工程成形では、

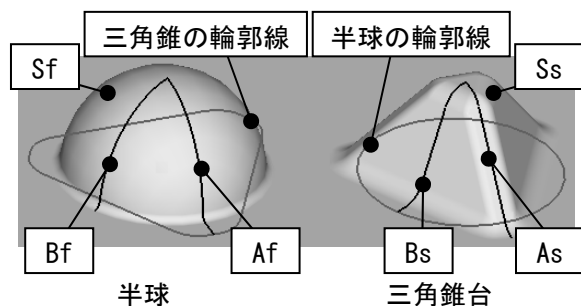
求める三角錐台形状への形の変更と表面積の拡大を同時に行おうとするが、表面積の増加は一樣でなくパンチ先端部周辺のみでおこっており、これが成形を困難にしている。そこで、各工程で形の変更と表面積の拡大と役割を分けることができれば、成形を可能にできると考えられる。したがって形状の検討①を行うにあたり、最初の成形では三角錐台形状と幾何学的な代表寸法値が近い半球形状へ張出成形を行うこととし

(以下、中間工程と称す)、次の工程(以下、形状成形工程と称す)では中間工程形状から三角錐台形状へ板厚分布を変えずに形状のみ変更を行うことを目標とする。

2.2.2 中間工程形状の絞り込み(形状検討①)

中間形状と三角錐台形状の代表的な幾何学形状として今回比較した形状パラメータを図8に示す。形状パラメータは半球、三角錐台およびそれらの輪郭線を基に、面積 S 、長さ A (長稜線)、 B (短稜線)の計3つとした。半球、三角錐台ともに単純な幾何学形状であり、 S 、 A 、 B を計算で求めることは容易である。

図9に絞りこみ作業のイメージを示す。三角錐台の形状は決まっているため S_s 、 A_s 、 B_s は不変であるが、中間形状の S_f 、 A_f 、 B_f は半径(R)と高さ(h)の関数であり、それぞれ R 、 h により値は変化する。よって、 S 、 A 、 B すべてについて差 Δ を小さくできる R 、 h の組み合わせを中間工程のパンチ候補として形状の絞り込み



Af, As: 長稜線(成形部長さ①)
Bf, Bs: 短稜線(成形部長さ②)
Sf, Ss: 表面積

図8 対応させる形状パラメータ

を行った。本開発では、三角錐台の形状を基準として、 $-10\% < \Delta S < 10\%$ 、 $-10\% < \Delta A < 10\%$ 、 $0\% < \Delta B < 15\%$ となるような形状を候補とした。

2.2.3 中間工程検討シミュレーション

形状検討①により絞り込まれた形状についてシミュレーションにて検討した(形状検討②)。材料モデル、摩擦係数は単工程と同じ条件とし、解析モデルについても単工程と同様に1コアの1/6とした。解析モデル例を図10に示す。金型形状は中間工程と形状成形工程に対応する半球形状と三角錐台形状のパンチ、ダイスの2セットである。実際の加工は順送プレス成形を想定しているが、解析では同一の加工領域で計算を行うことからブランクの移動ではなく、金型の交換により2工程の計算を行った。

解析結果例を図11に示す。左に中間工程後の板厚分布、右に形状成形工程後の板厚分布を

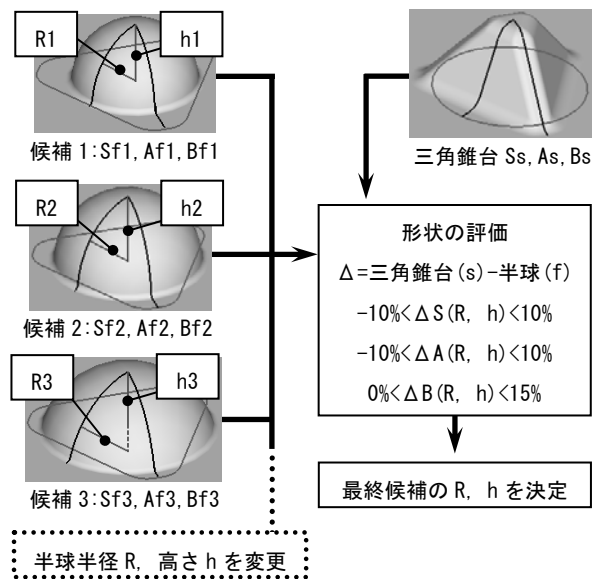


図9 形状検討①の作業イメージ

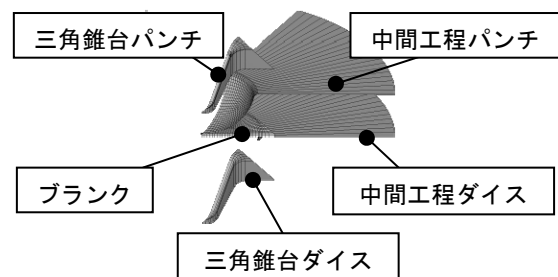


図10 中間工程検討解析モデル

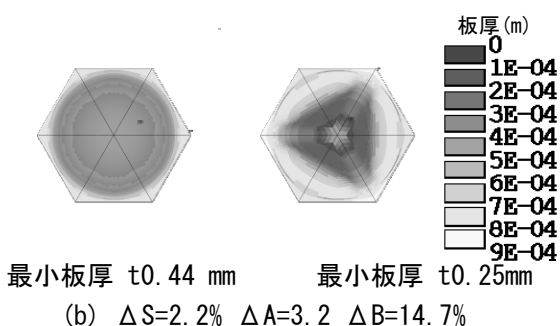
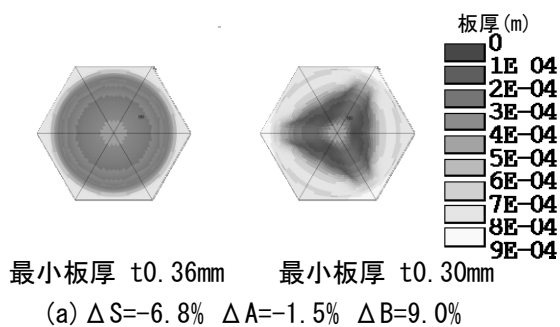


図 11 形状検討② 板厚予測の例 $\mu = 0.15$

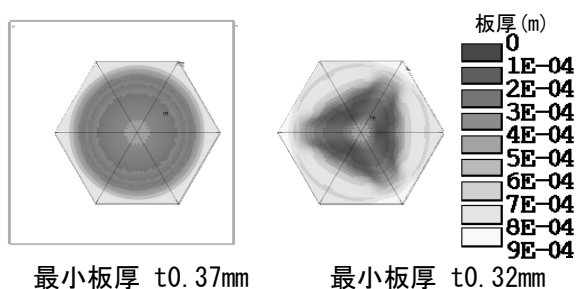


図 12 最適形状 板厚分布予測 $\mu = 0.15$

示す。図 11(a), (b) はサイズが異なる半球パンチ形状の結果である。ともに等二軸に近い張出形状であるため、中間工程では張出成形部全体で均一な板厚分布となる。ただし、より ΔS が 0 に近い(b)の方が形状成形後の板厚は薄くなることから、単一の代表寸法だけでは最適な中間工程形状は決定できないことがわかる。

最適形状における板厚分布の予測を図 12 に示す。単工程成形(図 5)に比べ、三角錐台成形時の板厚減少が少なく、板厚分布も均一になっている。三角錐台成形後、最も板厚が薄くなる箇所の板厚は 0.32mm となり、成形限界の板厚 0.3mm より厚いことから、2 工程で成形できる可能性を得た。この形状にて金型を製作し、テトラボードの試作を行った。

3. 多工程テトラボード成形

3.1 予備張出試験

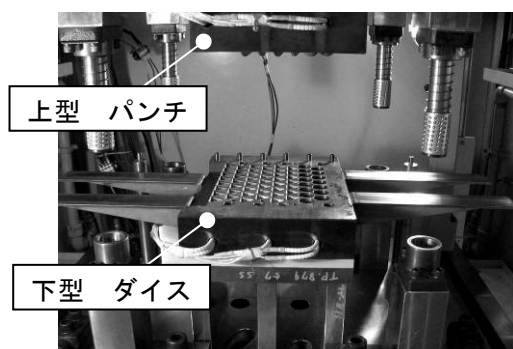
成形に用いる潤滑剤には扱いやすさ、多工程への適用から油系潤滑剤が望まれる。そこで本研究ではアクア化学(株)製の油系潤滑剤 MG-3 を用いてテトラボードの成形を行うことにした。MG-3 の摩擦係数についてはトラスコアの中間成形と同様に張出成形となるエリクセン試験を行い、板厚分布を実験値とシミュレーションで比較し板厚分布が一致する値を採用した。試験は高温用エリクセン試験機を使用し試験温度 250°C にて JIS Z 2247:2006 エリクセン試験方法に準じた。得られた MG-3 の摩擦係数は 0.23 であった。

3.2 多工程テトラボード成形金型

成形にはアイダエンジニアリング(株)製サーボプレス装置 NS1-2000(D)を用いた。試作に用いた多工程テトラボード成形金型の写真を図 13 に示す。工程間のブランクの移動は手動にて行うため、成形中の位置決めが問題となる。本開発ではこの問題の解決のため、中間工程を分離して 1 枚のパネルの成形を行い、次にその中間工程の形状を位置決めとして最終形状の成形を行うこととした。また、シミュレーションの結果から、多工程成形におけるブランクは三角錐台成形後十分な板厚が残ると予想されることから、形状精度の向上を目的とした矯正工程をさらに設けた。

3.3 多工程テトラボード成形試験

成形条件を表 2 に示す。ブランク材の加熱のために、ブランクと金型の接触後その位置にて 15 秒停止し、その後 $1\sim 2\text{mm/sec}$ の速度にて成形した。試験の結果、良好な形状の試作品を成形することができた。加工品の外観を図 14 に示す。



(a) 加工全景



(b) 中間工程 上型 パンチ



(c) 中間工程 下型 ダイス



(d) 形状成形工程 上型 パンチ



(e) 形状成形工程 下型 ダイス

図 13 多工程テトラボード成形金型

表 2 成形条件

成形速度	1～2mm/sec
金型温度	260℃
加熱時間	15sec



図 14 加工品外観

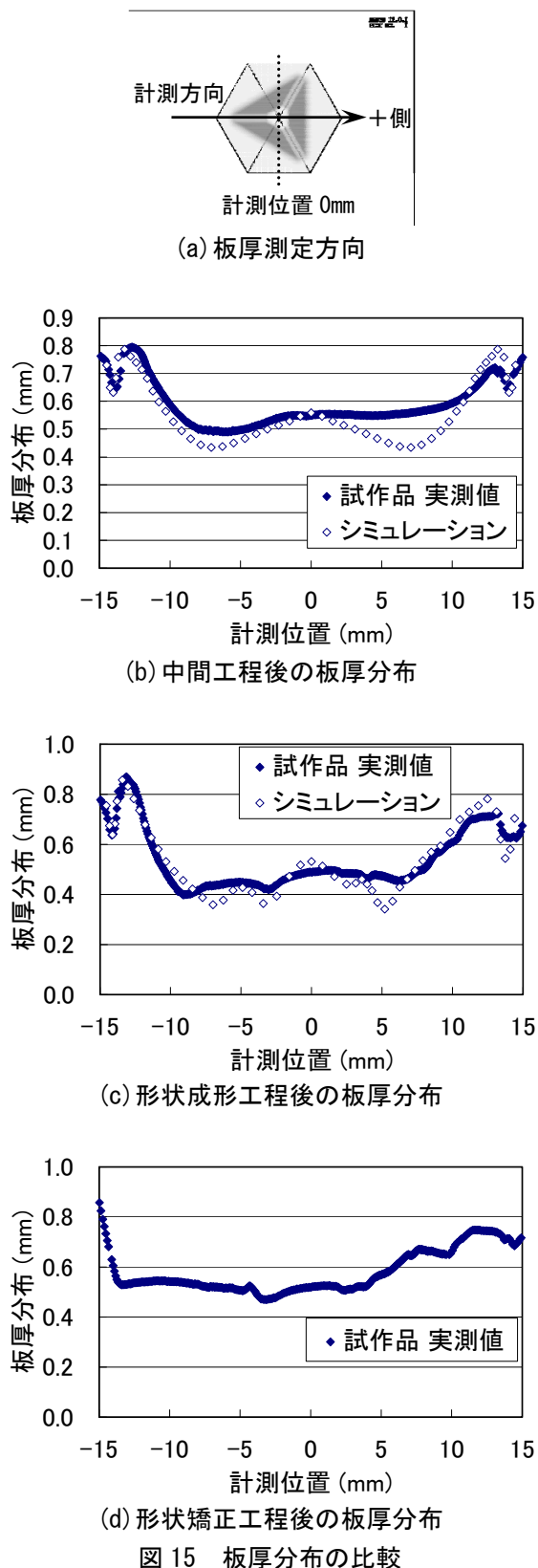
4. シミュレーションと実験結果の比較

エリクセン試験から求めた摩擦条件によるテトラボード成形シミュレーションと試作した製品の板厚の比較を行った。板厚の測定はカールツァイス社製三次元座標測定機 UPMC550C を用いた。各工程における成形部の板厚分布を図 15 に示す。なおシミュレーションは形状矯正工程を行っていないため、形状矯正後の板厚分布は試験品の実測値のみである。

各工程ともに、板厚分布の傾向はよく一致しており、成形の可否も含めシミュレーションによる成形の予測精度は十分であるといえる。計測位置＋側ではシミュレーションより実験値が厚くなる傾向があるが、これは全面を一度に成形することをシミュレーションでは想定しているのに対し、実験は順送にて成形しているため、計測位置＋側からわずかな材料の流入が起こるためと考えられる。ただし、板厚の差は小さいこと、シミュレーション予測値のほうの方が薄いことから、十分シミュレーションにより評価は可能であると考えられる。

5. ブロー成形品との比較

製品の板厚、加工時間、金属組織について昨年度取り組んだブロー成形（金型内で高圧気



体を吹き込み成形する加工法) との比較を行った。

5.1 板厚測定結果の比較

図 16 に昨年度ブロー成形にて試作したテトラボードとの板厚分布測定結果の比較を示す。ブロー成形は三角錐台の頂点付近の板厚が薄くなってしまうのに対し、プレス成形では頂点付近は薄くならず均一な板厚分布となる。また矯正工程を行うことで、さらに均一な板厚分布を得られている。これは製品を構造部材として使用するにあたり、プレス成形品の方がより高い強度、信頼性が期待できる。

5.2 加工時間の比較

ブロー成形における加工時間とプレス成形における加工時間の比較を行った。加工対象とするパネルのテトラボードは先掲の図 14 に示す 18 列とする。プレス成形については、本研究の条件を基に連続工程にて成形することを仮定し、加工時間の算出を行った。表 3 にそれぞれ

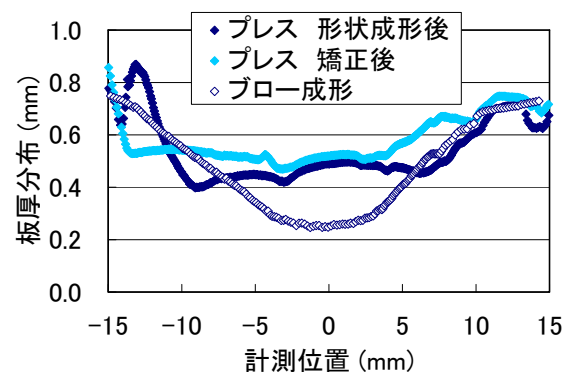


表 3 加工時間の比較

	ブロー (sec)	プレス(sec)			
		各作業時間		工程	
				1	2~11
加工時間	7200	搬送	5		5×10
		初期加熱	15	15	
		再加熱	5		5×10
		成形	10.5	10.5	10.5×10
		合計		25.5	205
合計	7200	230.5			

の加工時間を示す。プレス成形に必要な時間はブロー成形の加工時間の約 1/31 であり、大幅な加工時間の短縮が可能である。

5.3 Mg合金製テトラポードの金属組織

5.3.1 AZ31 板素材の金属組織

テトラポード成形試験に用いた AZ31 板素材の金属組織写真を図 17 に示す。試料を研磨した後、腐食液（ピクリン酸 5%-酢酸 13%-蒸留水 12%-エタノール溶液）にてエッチングし、金属顕微鏡観察を行った。粒径 $10\mu\text{m}$ 前後の細かな組織であり、板素材製造工程によるものと思われる双晶変形が所々に観察される。

5.3.2 成形法とAZ31 の金属組織

AZ31 板材を用いて、ブロー成形とプレス成形の工法の違いによる金属組織への影響を調べた。観察場所および成形後の金属組織写真を図 18 に示す。プレス成形（ 260°C 温間成形）による金属組織は、素材に比べ若干成長した結晶粒が観察される。 $10\mu\text{m}$ を超えた程度であり、良好な状態である。また、素材に存在していた双晶はみられず、等軸状の結晶であり、金属組織学的には加工の影響が取り除かれた状態を呈している。

一方、ブロー成形（ $430^{\circ}\text{C} \times 2$ 時間）による金属組織には、結晶粒が著しく成長粗大化し、 $20\mu\text{m}$ 以上の粒が多く存在する。加工温度が高く、また加工時間も長いことから、当初より予想された結果となった。また、ブロー成形では頂部板厚が約 0.25mm と非常に薄く、結晶粒が

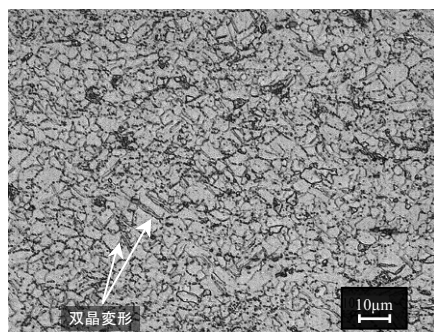
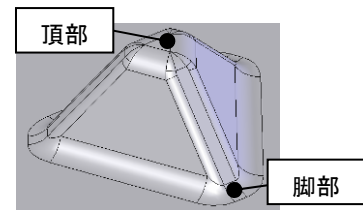
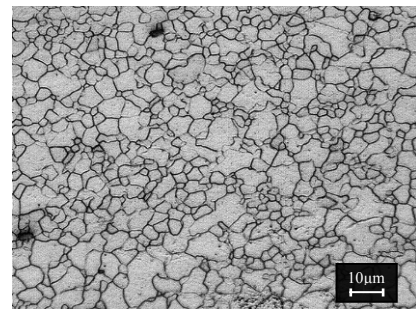


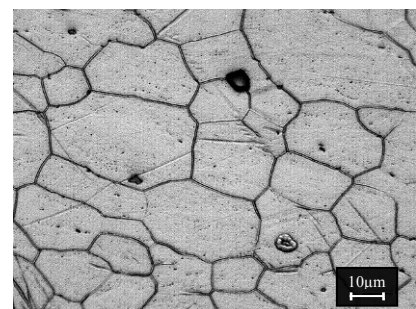
図 17 AZ31 板素材の金属組織



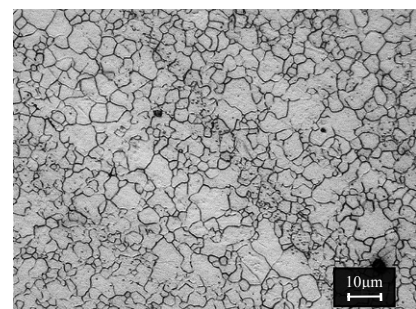
(a) 観察場所



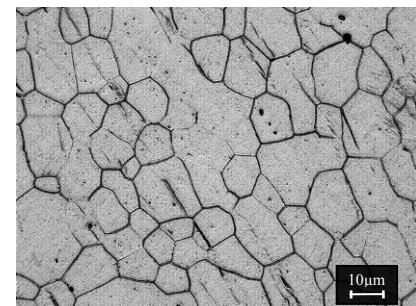
(b) AZ31 プレス成形 頂部



(c) AZ31 ブロー成形 頂部



(d) AZ31 プレス成形 脚部



(e) AZ31 ブロー成形 脚部

図 18 工法の違いによる金属組織への影響

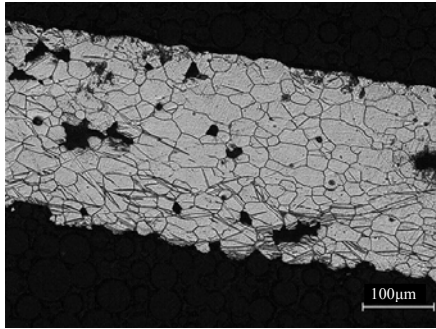


図 19 AZ31 ブロー成形頂部断面

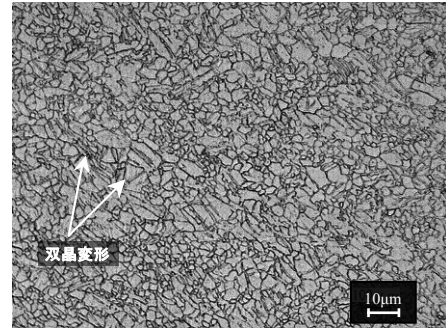
粗大化することから、板厚方向は 10 個前後の結晶粒となり、さらに粒の脱落がみられるなど強度的には好ましくない状態である（図 19）。この点、プレス成形品は微細結晶粒からなるため強度的に有利であり、板厚分布の均一さ、加工スピードはもちろんのこと、金属組織学的観点からも優位性を見出すことができた。

5.3.3 AM60 の金属組織

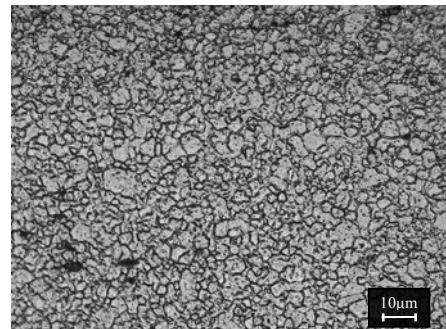
本研究は平成 21 年度都市エリア産学官連携促進事業（発展型）長岡エリア「マグネシウム合金の次世代製品開発」の中で行われたものである。本事業で開発された新 Mg 合金 AM60 についてもテトラボード成形試験を行い、良好な成形が可能であることを確認した。AM60 の板素材とプレス成形品の金属組織写真を図 20 に示す。AZ31 と同様に板素材は粒径 10μm 前後の細かな組織であり、双晶変形も所々に観察される。プレス成形後の組織は、等軸状の 10μm 以下の微細結晶粒である。AZ31 のプレス成形品よりさらに細かな組織であり、金属組織としては、非常に良好な状態と考える。

6. 結 言

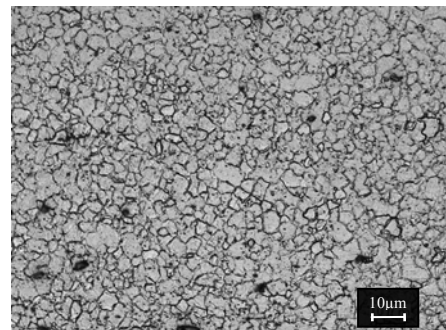
- (1) シミュレーションによりマグネシウム合金 AZ31 を用いてアスペクト比 0.4 のテトラボードの製造が可能であることを示し、試作により実際の成形が可能であることを確認した。これによりシミュレーションによる成形の可否の検討が可能であることを示した。



(a) AM60 板素材



(b) AM60 プレス成形 頂部



(c) AM60 プレス成形 脚部

図 20 AM60 の金属組織

- (2) 中間工程の金型形状の検討に、幾何学的な特徴を考慮した絞込みとシミュレーションを組み合わせることで、効率的な工程設計が可能になることを示した。
- (3) プレス成形に最適な中間工程を設けることで、テトラボードの板厚をブロー成形に比べ均一にすることができ、製品品質の優れた構造部材を作成できることを示した。また、加工時間も 1/31 以下と大きく短縮できることを示した。
- (4) 組織観察から、Mg 合金は温間プレス成形により細やかな等軸晶組織が得られ、

金属組織学的にも優位な加工方法であることを示した。一方、AM60はAZ31に比べ、より微細な金属組織が得られることを明らかにした。

参考文献

- 1) 齊藤一哉，野島武敏，“平面／空間充填形に基づく新しい軽量高剛性コアパネルのモデル化”，日本機械学会論文集（A編）73

巻 735 号，2007，p1302-1308.

- 2) 戸倉直，萩原一郎，“トラスコアパネルの製造シミュレーション”，日本機械学会論文集（A編）74 巻 746 号，2008，p1379-1385.
- 3) 中哲夫，片平卓志，植川陽介，“AZ31 マグネシウム合金板の温間非比例成形限界ひずみとその解析的予測”，弓削商船高等専門学校 紀要 第 30 号，2008，p21-24.

マグネシウム合金管の浮動拡張プラグ曲げ加工技術の開発

白川 正登* 山崎 栄一** 本田 崇*

Development of Pipe Bending Technology Using Floating-Expanding-Plug of Magnesium Alloy Pipes

SHIRAKAWA Masato*, YAMAZAKI Eiichi** and HONDA Takashi*

抄 録

浮動拡張プラグ曲げ加工技術のマグネシウム合金管への適用を試み、その加工性について評価を行った。その結果、曲げ比（曲げ半径／曲げパイプ外径）1.7 の厳しい曲げ加工が可能であることを示した。さらに、同加工法における円管曲げにおいて、曲げ加工性の向上と曲げパイプのさらなる形状の改善を目的にプラグの形状に工夫を加え、テーパ形状を付与した拡張プラグを用いて加工試験を行いその効果について調べたが、成形性改善の効果は確認されなかった。さらに、曲げ部の金属組織観察を行い、加工温度の影響について調べたところ、曲げ各部に双晶変形を確認するとともに、加工温度を高くにすることにより動的再結晶を利用した成形性に富む加工の可能性を示した。

1. 緒 言

マグネシウム合金は、実用金属としては最も軽い材料であるとともに、比強度に優れた材料である。また、パイプ材は中空構造であることから重量に比して高剛性であり、軽量化やコストダウンに適している。これらの特長を生かし、例えば車両用のシートのフレーム部品などの構造部材に適用した場合には、強度と軽量の両立が可能となり、今後の用途拡大が期待できる¹⁾。

一方、偏平、偏肉等が小さく曲げ断面形状が良好で、かつ半径の小さい曲げが可能なパイプの加工法のひとつとして浮動拡張プラグ曲げ加工法が報告されている^{2) 3)}。著者らは、前報⁴⁾において、マグネシウム合金管の曲げ加工に適用可能な温間浮動拡張プラグ曲げ加工装置を開発し、円管および異形断面管の曲げ加工が可能であることを示した。

また、浮動拡張プラグ曲げ加工では、曲げにともない拡張プラグが曲げ内側に移動するため、

内側ほどより大きく拡張され、大きなせん断変形を受ける（図 4(a) 参照）。そこで、拡張プラグ形状を単純な球形ではなく r 付プラグとすることで、せん断変形を抑え、加工限界、偏肉率、表面粗さを小さくする効果があることが報告されている⁵⁾。

本研究では、マグネシウム合金管の浮動拡張プラグ曲げ加工における加工性を評価するとともに、曲げ加工性の向上と曲げパイプのさらなる形状の改善を目的に、テーパ形状を付与した拡張プラグを用いて加工試験を行い、その効果について調べた。さらに、曲げ部の金属組織観察を行い、加工温度の影響についても検討したので報告する。

2. 曲げ加工実験

2.1 加工装置

実験には開発装置である浮動拡張プラグ曲げ加工装置を用いた。図 1 に装置の外観を、図 2 に温間浮動拡張プラグ曲げ加工法の概要を示す。浮動拡張プラグ曲げ加工法とは、自由に移動で

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

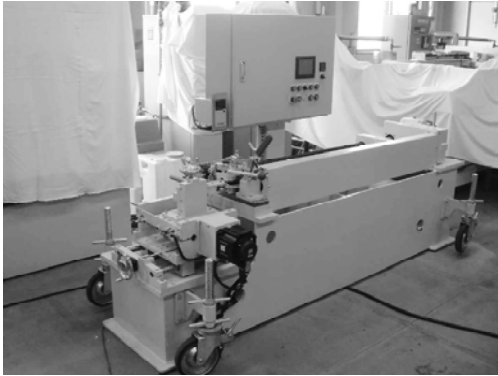


図1 浮動拡管プラグ曲げ加工装置外観

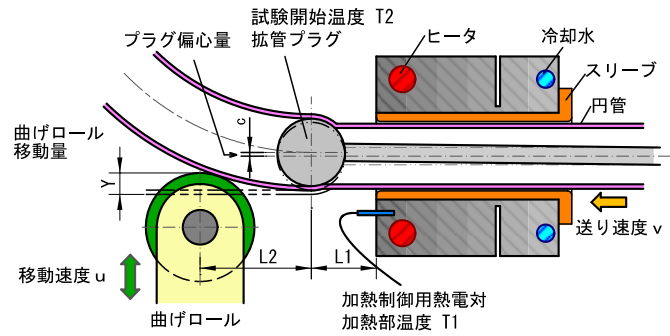


図2 温間浮動拡管プラグ曲げ加工法概要

きるように細い鋼線等で支持された拡管プラグを素材となるパイプに通し、拡管しながら押し出すとともに、拡管されたパイプに曲げロールによって曲げモーメントを付加して所定の曲率に曲げる加工法である。その際、拡管プラグは曲げロールによる押込み力とパイプがプラグを中心に戻そうとする力がバランスした位置に移動することが特徴である。

一般にマグネシウム合金の塑性加工においては、200℃以上の温度に加熱して加工を行う必要がある。本装置では、加工部に近いスリーブ出口側で高温に、スリーブの入り口側は、パイプの座屈防止のために水道水により冷却できる構造となっている。

2.2 供試材

供試材には、外径 $D_0=22\text{mm}$ 、肉厚 $t_0=1.8\text{mm}$ の AZ31 マグネシウム合金パイプを用いた。潤滑には、水溶性乾燥皮膜潤滑剤を用い、十分乾燥させた後、さらにグラファイト系潤滑剤を外径側のみにスプレーして用いた。

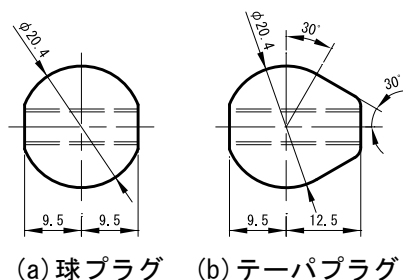


図3 プラグ形状

2.3 拡管プラグ

拡管プラグには、プラグ外径 20.4mm（拡管率 $E=10.9\%$ ）の球形プラグ（以下球プラグ）およびテーパ付き球プラグ（以下テーパプラグ）を用いた。拡管率 E の定義を以下に示す。

$$E = (d/d_i - 1) \times 100 \% \quad (1)$$

ここで d は拡管プラグ外径、 d_i は素管内径である。プラグ形状を図3に、それぞれのプラグで浮動拡管曲げを行った時のイメージ図を図4に示す。図4(b)に示すようにテーパプラグでは、プラグが移動したとき曲げ内側のパイプがプラグにあたる位置がテーパ部となり、拡管にともなうせん断変形を抑制することをねらったものである。

2.4 実験方法

曲げ加工における主な試験条件を表1に示す。曲げロール外周には、拡管曲げ加工後のパイプ外径寸法の設計値に合わせて半径 12mm の半円形状の溝加工を施した。

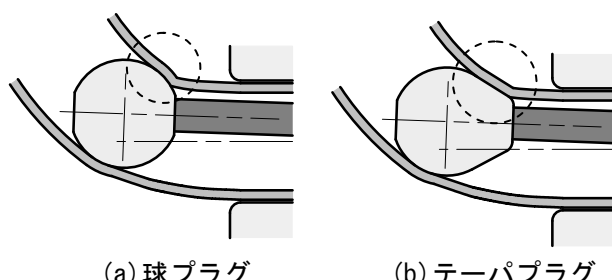


図4 プラグ形状と浮動拡管曲げイメージ

表 1 試験条件

スリーブ端面とプラグ中心の距離 L_1	20 mm
プラグ中心と曲げロール中心の距離 L_2	30 mm
パイプ押し出し速度 v	2 mm/sec
曲げロール移動量 Y	15~35 mm
曲げロール移動速度 u	1 mm/sec
ヒータ加熱部設定温度 T_1	325 °C
試験開始時拡張管プラグ温度 T_2	225 °C

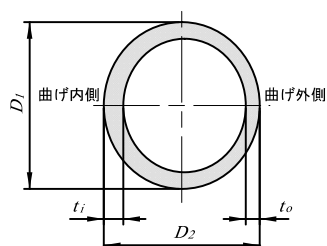


図 5 曲げパイプ断面の形状寸法

曲げ半径の測定には、万能投影機（ニコン製 V-16E）を用い、曲げ内側および外側の曲げ半径の平均値を中心曲げ半径 R とした。また、マイクロメータを用いて曲げ部の肉厚および外形寸法の測定を行い、偏肉率 e 、および偏平率 f を求めて評価した。偏肉率 e 、偏平率 f の定義を以下に示す。

$$e = (t_i - t_o) / t \times 100 \% \quad (2)$$

$$f = (D_1 - D_2) / D \times 100 \% \quad (3)$$

ここで、 t_i 、 t_o は、曲げ内側と外側の肉厚、 t はその平均肉厚 $t = (t_i + t_o) / 2$ である。また、 D_1 および D_2 は、曲げと直角方向および曲げ方向の外径、 D は平均外径 $D = (D_1 + D_2) / 2$ である（図 5）。曲げの程度は、中心曲げ半径 R の平均外径 D との比（以下曲げ比） R/D により評価を行った。

パイプの押し出し荷重を評価するため、パイプ押し出し部にロードセルを設けた。また、曲げ荷重を評価するため、曲げロールのベース部に圧電型動力計を配し、曲げロールの前進方向およびそれと直角な方向の曲げロールにかかる荷重を検出し、それぞれの方向の荷重の合成荷重を曲げ荷重とした。

プラグ偏心量の直接の測定は困難なため、プ

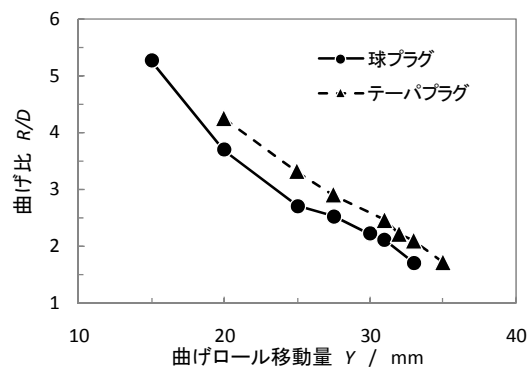


図 6 曲げロール移動量と曲げ比の関係

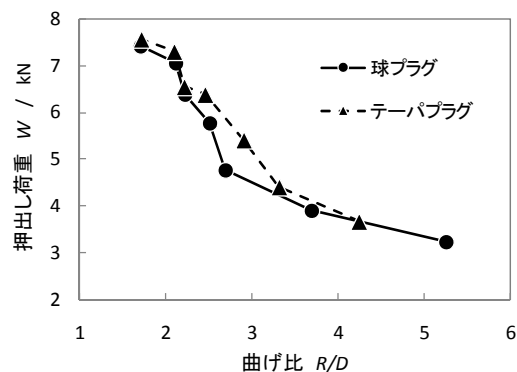


図 7 曲げ比と押し出し荷重の関係

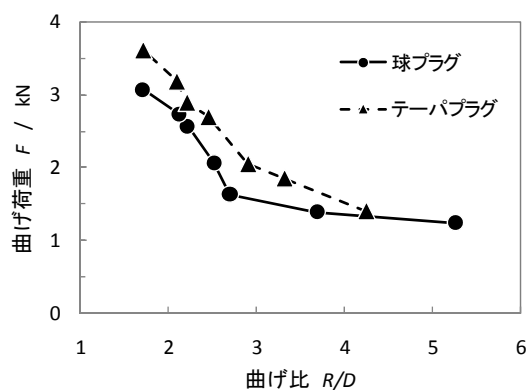


図 8 曲げ比と曲げ荷重の関係

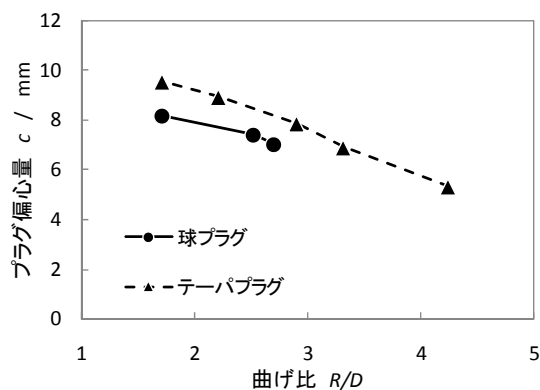


図 9 曲げ比とプラグ偏心量の関係

ラグ中心位置における拡張パイプの曲げ方向移動量をダイヤルゲージで測定し、その値をプラグ偏心量とした。

2.5 曲げ加工実験結果

曲げロールの移動量と曲げ比の関係を図 6 に示す。曲げロール移動量が大きいほど曲げ比は小さくなり (R/D の曲げ半径 R が小さくなる) 厳しい曲げ加工が行われる。同一の曲げロール移動量では、球プラグの方が曲げ比は小さくなることがわかった。

曲げ比と押し出し荷重の関係を図 7 に、曲げ比と曲げ荷重の関係を図 8 に、また、曲げ比とプラグ偏心量の関係を図 9 に示す。曲げ比が小さい厳しい曲げ加工ほど押し出し荷重や曲げ荷重といった加工荷重は大きな値となり、曲げ比 4.3 以下の領域において、これらの加工荷重はテーパプラグの方が大きい傾向が認められる。プラグ偏心量は、曲げ比が小さいほど大きな値となり、テーパプラグの方が同一曲げ比では偏心量が大きい。これは、テーパプラグの方が曲げ内側のせん断部の変形抵抗が小さく、プラグの移動が容易になるためである。一方、テーパプラグの方が、プラグの移動により曲げ内側におけるパイプ内径と拡張プラグとの接触長さが長くなるため、摩擦の影響が大きくなり、押し出し荷重が大きくなるものと考えられる。さらに曲げが厳しい曲げ比 2.3 以下の曲げでは、押し出し荷重のプラグ形状による差は小さくなっている。これは、パイプ内面およびプラグ表面の痕跡から、プラグの偏心量が大きくなりすぎプラグ支持側端面のコナ部が曲げ内側のパイプ内面にあたったことで変形抵抗が大きくなり、形状の差による影響が縮小されたものと考えられる。

曲げ比と偏平率および偏肉率の関係を、それぞれ図 10 および図 11 に示す。偏平率は、いずれのプラグを用いた場合も $\pm 3\%$ 以内の値であり良好な結果を示している。曲げ部の偏平率は、曲げロールの移動方向 (曲げ方向) に押しつぶされた場合に正の値となるよう定義している。

本研究では、曲げ比 2.5 以下の領域において、曲げ比が小さいほど負の偏平率が大きくなり、押しつぶされる形状とは逆で曲げ方向の外径寸法が大きな値となっている。特に、テーパプラグを用いた場合においてその傾向は顕著である。偏肉率は、曲げ比が小さくなると大きくなる傾向を示し、テーパプラグを用いた場合の方がその値は大きい。

これらの結果をふまえて、図 12 に曲げ比と

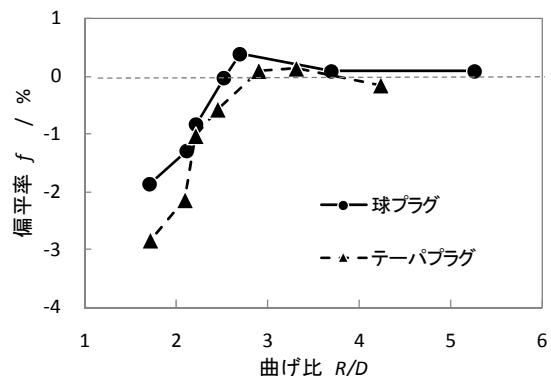


図 10 曲げ比と偏平率の関係

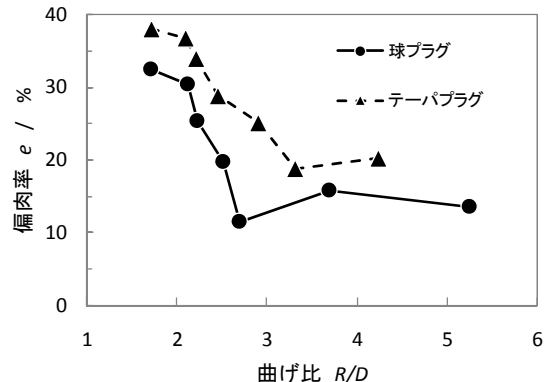


図 11 曲げ比と偏肉率の関係

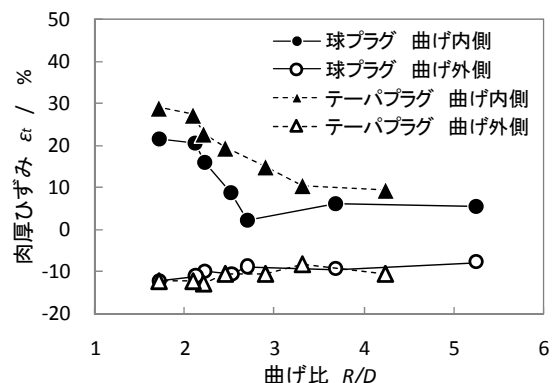


図 12 曲げ比と肉厚ひずみの関係

肉厚ひずみ (ε_t : 供試材肉厚に対する加工後のパイプの肉厚変化の割合) の関係を示した。曲げ比が小さい曲げでも、また、いずれのプラグを用いた場合でも、曲げ外側の肉厚ひずみは約 -10% で大きな変化はみられない。一方、曲げ内側の肉厚は曲げ比が小さいほど厚くなっていることがわかる。また、プラグ偏心量が大きいテーパプラグの方が、曲げ内側の肉厚ひずみが大きな値となっている。この曲げ内側の肉厚ひずみの増加が、負の偏平率および偏肉率の増加に大きく影響していることがわかる。

一般に銅合金等においては、浮動拡管プラグ曲げには偏心プラグ曲げの特徴が含まれており、プラグ偏心量が大きいほどその効果は大きく曲げに有利に働くため、曲げモーメントが小さくなり、曲げられたパイプの偏肉率や偏平率も小さくなるといわれている^{2) 3)}。しかし、本研究のマグネシウム合金管の温間浮動拡管プラグ曲げでは、同一曲げ比における曲げ荷重や押出し荷重といった加工に要する荷重は、プラグ偏心量の大きいテーパプラグを用いた場合の方が大きくなっている。また、曲げパイプの形状も、同一曲げ比ではテーパプラグを用いた場合の方が悪い傾向であった。これは、プラグをテーパ形状にしたことで、プラグとパイプが接触する拡管領域が長くなり、ひずみの増分が小さくなるために拡管曲げの効果が得にくくなることが原因のひとつと考えられる。

また、マグネシウム合金の加工温度 150℃で



図 13 曲げパイプの外観および断面写真

の偏心プラグ曲げにおいて、曲げ内側が薄肉となるひずみ分布は得られず、プラグ偏心の効果が得られにくいといった報告⁵⁾もあり、マグネシウム合金の材料特性が浮動拡管プラグ曲げ加工に及ぼす影響についても検討の必要がある。

本研究では、用いた加工装置の仕様の制約から、マグネシウム合金の浮動拡管プラグ曲げにおける加工限界は明らかにできなかったが、いずれのプラグを用いた場合でも曲げ比 1.7 程度の厳しい曲げ加工が可能となった。図 13 に球プラグを用いた場合の曲げ比 1.71 の曲げパイプの外観および曲げ部断面写真を示す。厳しい曲げにもかかわらず、偏平率は -1.9% と非常に良好であり、偏肉率は 32.4% に抑えることができた。

3. 浮動拡管プラグ曲げ加工の金属組織変化

3.1 供試材の金属組織

供試材の軸方向断面の金属組織を、図 14 に示す。図中、上段は低倍率、下段は拡大して高

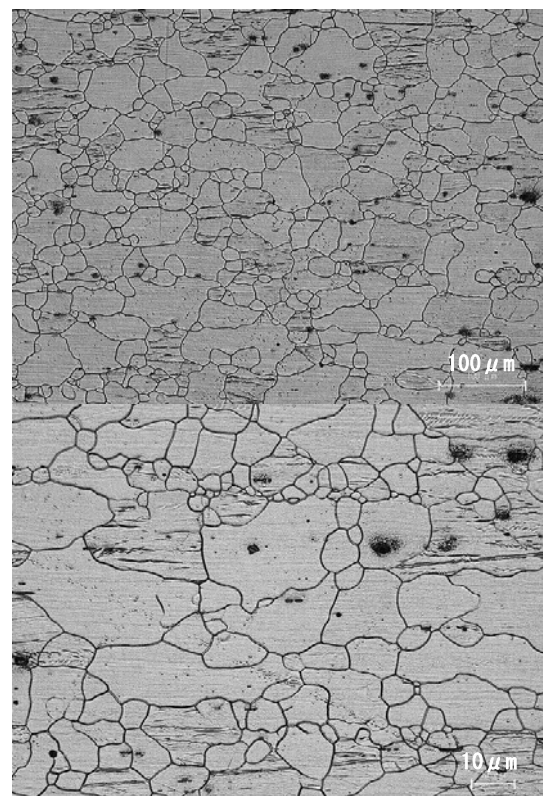


図 14 供試材の金属組織

倍率で観察を行った結果を示す。押出し加工後、焼鈍処理した典型的な金属組織であり、細粒と粗大化した粒が存在する混粒組織である。

3.2 浮動拡管プラグ曲げ加工の金属組織変化

浮動拡管プラグ曲げによる材質変化を調べるため、加工後のパイプ曲げ部の金属組織観察を行った。図 15 に観察場所を示す。観察方向は図中に示すようなパイプ軸方向断面とし、A 部の外側曲げ部、内側曲げ部について調べた。ヒータ加熱部の設定温度は 275℃とし、拡管プラグの温度が 180℃に達した段階で曲げ加工を開始した。

曲げ部外側の組織写真を図 16 に、内側の組織写真を図 17 に各々示す。両者とも、双晶変形がいたるところに発現し、素材組織に比し荒々しい様相となり、非常に過酷な成形であることがわかる。

一方、外側と内側の金属組織は若干異なり、後者において全体的にぼやけた感じであり、拡大して観察すると粒界から新しい結晶粒が成長しようとしている様子がうかがえる。曲げ部内側の加工温度が、外側より高かったことを示している。

3.3 加工温度の影響

図 18 に加熱部設定温度と曲げ比の関係を示す。加熱部設定温度以外の条件は同一とし、曲げロールの移動量は 25mm とした。加熱部の



図 15 観察場所



図 16 浮動拡管プラグ曲げ加工の金属組織（曲げ外側）

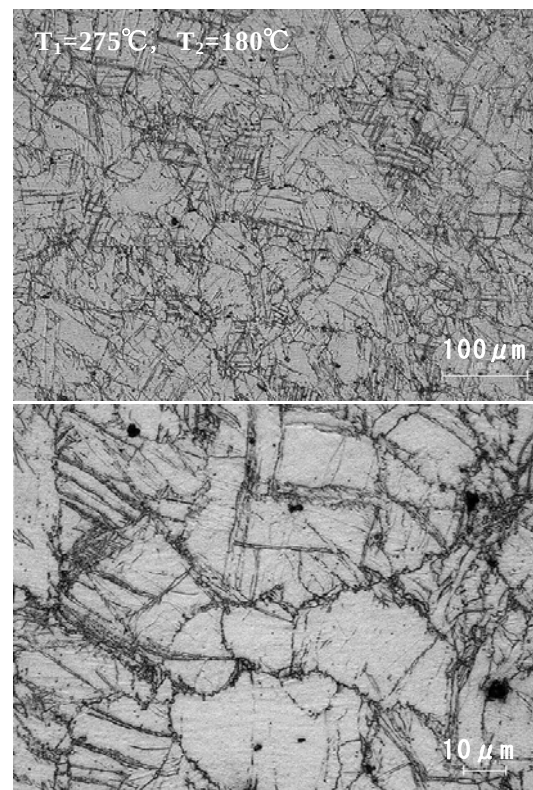


図 17 浮動拡管プラグ曲げ加工の金属組織（曲げ内側）

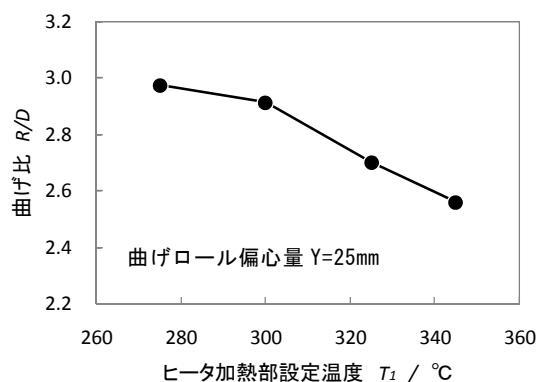


図 18 加熱部設定温度と曲げ比の関係

温度設定が高いほど曲げ比は小さくなり，加工温度が高いほど加工性が向上することがわかる。この結果を受けて金属組織観察を行った。ヒータ設定温度の異なる浮動拡管プラグ曲げ加工後の金属組織を図 19 に示す。曲げ部外側では，各温度において双晶がみられるが，温度上昇とともにその形が崩れ始めている様子がわかる。曲げ部内側では，ヒータ設定温度 275℃にて双晶変形の跡が認められるものの，325℃，345℃では認められず，むしろ微細な結晶粒の発生が観察される。

ヒータ設定温度 325℃以上では，動的再結晶

（加工と同時に再結晶が生じる現象）が発現し，加工性が改善されたと考える。

現状では，素管加熱温度を直接把握できていないが，浮動拡管プラグ曲げ加工装置の加熱部に工夫を加え，適当な加工温度の設定により，動的再結晶を利用した成形技術開発の可能性を示唆するものである。

4. 結 言

- (1) マグネシウム合金管の温間浮動拡管プラグ曲げ加工を行い，曲げ比 1.7 の厳しい曲げ加工が可能であることを示した。
- (2) 本研究で試作したテーパプラグ形状では，曲げ加工性や曲げパイプ形状の改善効果は得られず，いずれも逆に悪い傾向を示した。
- (3) 組織観察により，双晶変形が認められ，厳しい加工であることがわかった。一方，加熱温度を高くすることにより，動的再結晶を利用した成形性に富む加工の可能性も示した。

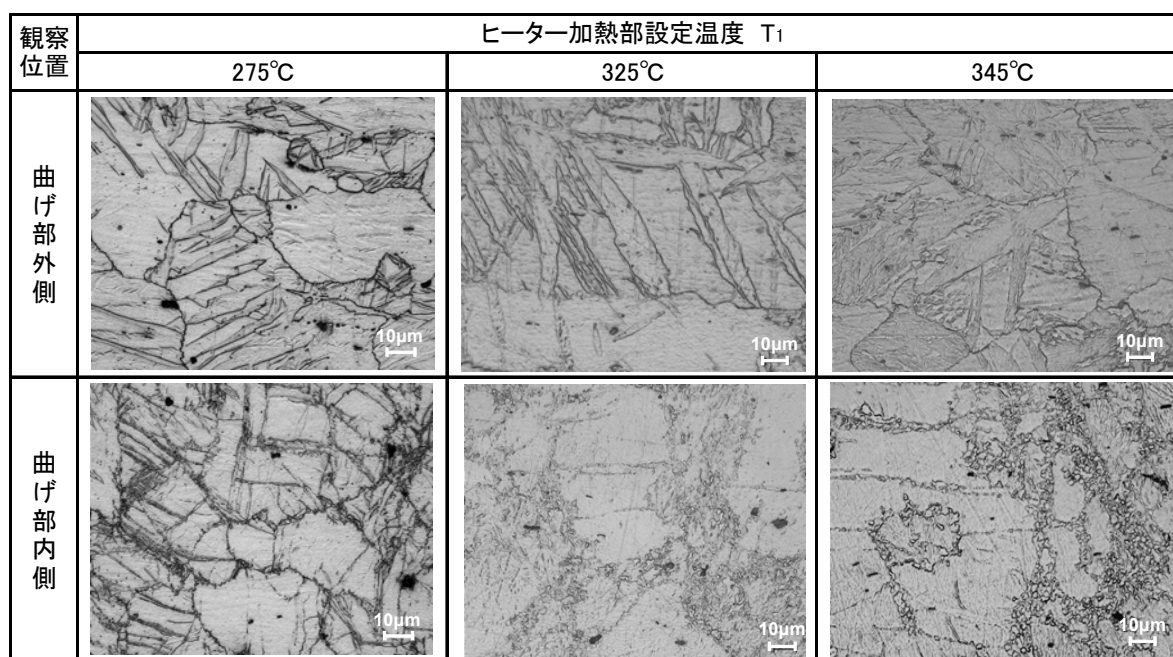


図 19 加工温度による金属組織変化

なお、本研究は、平成 21 年度都市エリア産学官連携促進事業（発展型）長岡エリア「マグネシウム合金の次世代製品開発」の中で実施したものである。

参考文献

- 1) 相田収平, “車両用軽量シートフレームの開発”, 軽金属, 57, 7, 2007, p341-343.
- 2) 中村雅勇, 牧清二郎, 原田泰典, 林清隆, 中島正憲, “浮動拡管プラグを用いた円管の曲げ加工”, 塑性と加工, 37, 424, 1996, p540-545.
- 3) 中村雅勇, 牧清二郎, 小山秀夫, “浮動拡管プラグにより付加価値をつける円管の加工”, 塑性と加工, 46, 538, 2005, p1044-1049.
- 4) 相田収平ほか, “マグネシウム合金パイプ材の曲げ加工技術の開発”, 工業技術研究報告書, No.38, 2009, p10-17.
- 5) 林清隆, 中村雅勇, 牧清二郎, 原田泰典, 中島正憲, “浮動拡管プラグ曲げにおける二, 三の工夫”, 塑性と加工, 38, 433, 1997, p67-72.
- 6) 福田雄太, “マグネシウム合金の浮動拡管プラグ曲げにおける変形挙動とその解析”, 平成 21 年度千葉大学大学院工学研究科修士論文, 2010.

マグネシウム合金の実用的な表面処理技術の開発および評価 (第3報)

小林 泰則* 内藤 隆之** 林 成実* 三浦 一真* 磯部 錦平*

Development on the Techniques for Surface Treatment of Magnesium Alloys III

KOBAYASHI Yasunori*, NAITO Takayuki**, HAYASHI Narumi*, MIURA Kazuma* and ISOBE Kohei*

抄 録

前報までに報告を行ってきた前処理法および化成処理法を市販材である AZ31 材および開発材である AM50, AM60 材に適用し、表面処理後に塗装を行った試験片について連続 1000 時間の塩水噴霧試験および 30 サイクルの複合サイクル試験により耐食性評価を行ったところ、良好な結果を得た。また、サイズの大きなサンプルにも処理可能な大型化成処理装置を試作開発し、開発した処理法が電動カート用の底面パネル、シートのフレーム等の大型実用部品へも問題なく適用できることを確認した。

1. 緒 言

マグネシウム合金（以下、Mg 合金という）は実用金属中最も軽量であり、比強度、電磁波シールド性などの長所を利用した機能性材料として有望視されている。しかし、実用金属中では活性が高く、最も腐食しやすい材料である。

大気中における Mg 合金の腐食形態は、粒界や介在物などを起点とする局部腐食^{1) 2)}と考えられる。そのため現状では外装品などへの表面処理方法として塗装が不可避と考えられ、外装用表面処理法として非塗装で実用化されている例はないものと思われる。

前報^{3) 4)}において、我々は AZ31 および AM50 の表面処理に関してフッ酸／アルカリ処理およびアルカリ＋有機酸処理が介在物を除去する前処理方法として有効であり、さらに前処理後に水熱処理を行うことが耐食性の向上に有効であることを報告した。本報では前報にて報告した手法を AM60 材に対して適用し、これまで得た結果について総括する。

なお本研究は文部科学省の委託研究「都市エリア産官学連携促進事業（発展型）【長岡エリ

ア】マグネシウム合金の次世代型製品開発」（管理法人：（財）にいがた産業創造機構）のサブテーマ「高耐食性を有する表面処理技術の開発」（千葉工業大学：高谷松文教授，長岡技術科学大学：松原浩准教授，新潟県工業技術総合研究所）内で行われたものの一部である。

2. 実験・評価方法

2.1 使用した板材

実験には AZ31B, AM50 および AM60 の圧延板材を用いた。AZ31B 材は通常の市販品（日本金属(株)製）であるが、AM 材の圧延材は都市エリア事業での開発材である。以降特に断りがない場合、各種実験および試験は大きさ 25 mm × 60mm, 厚さ 0.8mm の試験片を用いて行った。すべての条件において、試験前にアセトン中で超音波洗浄を行った。

2.2 前処理による介在物の除去

試験片に対しては前報と同様の条件で行った。

2.3 改質層の生成

試験片への化成処理は前報と同様の方法で水熱処理およびアルカリ浸漬処理を実施した。

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

表 1 使用材の成分分析結果

	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca
AZ31B 規格値 (wt%) (MP1B: JIS-H4201(2005))	2.4-3.6	0.50-1.5	0.15-1.0	≤0.005	≤0.10	≤0.05	≤0.005	≤0.04
AZ31 測定値(wt%)	2.87	0.95	0.38	0.003	0.014	0.001	<0.001	<0.001
AM50A 規格値 (wt%) (MDC4: JIS-H5303(2006))	4.4-5.3	≤0.30	0.26-0.6	≤0.004	≤0.10	≤0.010	≤0.002	
AM50 測定値(wt%)	4.84	0.02	0.33	0.002	0.004	0.001	0.001	
AM60B 規格値 (wt%) (MDC2B: JIS-H5303(2006))	5.5-6.5	≤0.30	0.24-0.6	≤0.005	≤0.10	≤0.010	≤0.002	
AM60 測定値(wt%)	6.08	0.02	0.46	0.003	0.005	0.001	0.001	

2.4 塗装方法

下塗り塗装としてエポキシ樹脂系プライマーを約 18μm, 上塗りとして耐候性ウレタン塗装約 13μm を実施した。

2.5 塩水噴霧試験

JIS Z2371 に従い, スガ試験機(株)製 ST-ISO-3 型試験機を用いて行った。

2.6 複合サイクル試験

複合サイクル試験はスガ試験機(株)製 CCT-1LX 型を用いて行った。試験サイクルは JASO M609-91 自動車用腐食試験方法に従い塩水噴霧 2 時間, 乾燥 4 時間, 湿潤 2 時間を 1 サイクルとした。

2.7 その他の分析および解析

素材成分の分析にはサーモフィッシャーサイエンティフィック(株)製誘導結合プラズマ発光分光分析装置 iCUP 6300DUO を用いた。X 線マイクロアナライザーによる試験片表面の定性分析には日本電子(株)製 JXA-8100 を用いた。

3. 結果と考察

3.1 試験材の成分分析結果

実験に用いた素材の成分分析結果を表 1 に示す。表中の規格値はそれぞれ相当する JIS 規格によるものである。

なお, AM 材の分析結果は長岡技術科学大学の松原浩准教授らによるものである。

3.2 試験片への前処理の実施と表面分析結果

開発した前処理法を適用した AZ31 試験片表面の Mn α X 線像を EPMA にて観察した結果を図 1 に示す。図中で白色に明るく表示されている部分が Mn の $k\alpha$ 線強度の高い部位であるため, Mn の存在量の多い部位であるといえる。図 1 の全ての図において, Mn 量の多い部位が点在している様子が確認できる。これらの点は SEM 観察および詳細な分析により Al-Mn 系の表面介在物であることが確認されている。図 1 の各図を比較すると, 前処理をした試験片 (b), (c), (d) と脱脂のみを行った試験片 (a) とで白色点の数や濃度に明確な差がないことがわかる。

次に電子顕微鏡による組成像 (反射電子像) を図 2 に示す。図 2 (a) に示す脱脂のみを行った試験片の表面には白色の粒状の物質が点在している様子が確認できる。これを図 1 (a) と比較すると, 白色点の位置が図 1 (a) 中の一部の白色点と一致することから試験片表面にある介在物であると考えられる。一方, 図 2 (b), (c) では図 2 (a) で観察されるような表面介在物はなく, それが脱落した痕であると思われる痕跡が見える。図 2 (d) では, 大部分の介在物は除去されているものの, 一部の介在物が残留している様子が確認できる。これらの傾向は AM50, AM60 材でも同様であった。

特性 X 線が測定される深さは反射電子が測定される深さよりも深いため, 特性 X 線測定では表面よりも下層にある Al-Mn 系介在物も検出し

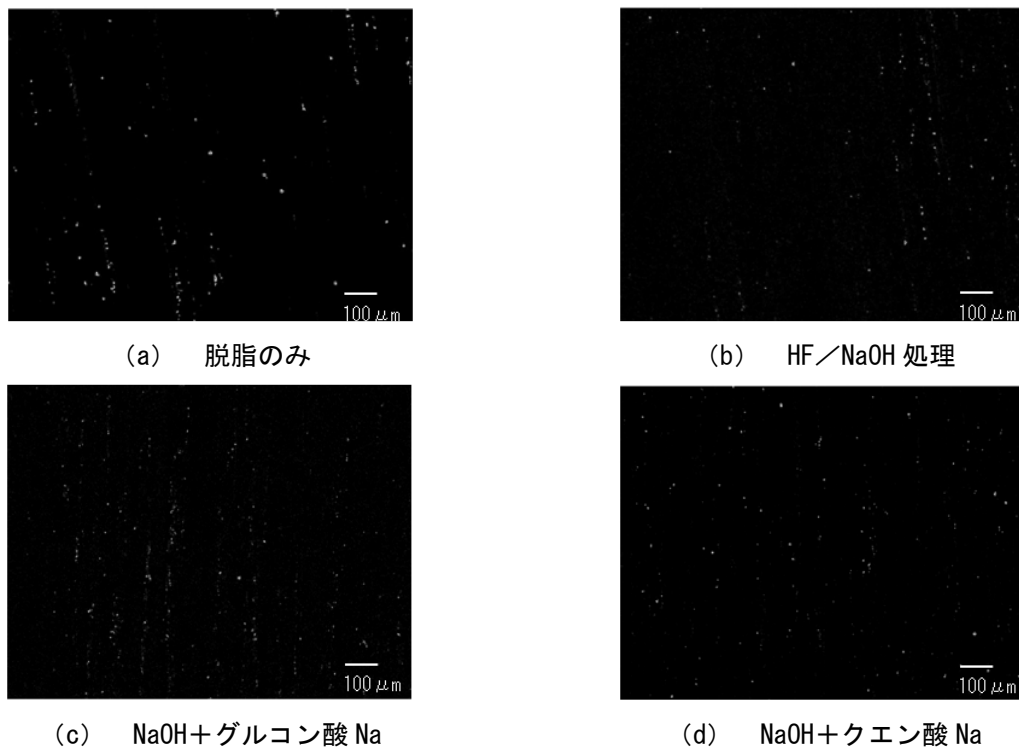


図 1 前処理した AZ31 試験片の MnK α X 線像

ていたため差が出なかったが、組成像観察では測定領域が浅いため、最表面にある介在物が除去されていることが確認できたものと思われる。

以上により、処理方法により除去能力に差はあるものの開発した前処理により Mg 合金表面の介在物が除去されていることが確認できた。

3.3 前処理した試験片の耐食性試験結果

前処理を実施した試験品の複合サイクル試験結果を図 3 に示す。複合サイクルは 30 サイクル実施した。サンプル周辺部はマスキングテープで保護している。図 3 から、脱脂のみの条件では AZ31 は全面腐食、AM50、AM60 材は全面的に変色しているものの腐食生成物の全面的な発生は見られず、部分的に腐食が進行していることがわかる。

一方、前処理を実施した試験片については、AZ 材については腐食生成物の発生が抑制されており、前処理による耐食性の向上が確認できる。AM 材については、前処理を行ったものとしてそうでないものとで明確な違いは確認できなかった。

これは AM 材では表面介在物の除去が耐食性

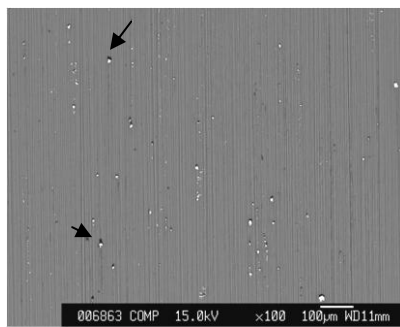
の向上に寄与していない可能性を示しているか、あるいは AM 材は素材自体の耐食性が高いため、介在物除去の効果を確認するためには今回行った試験サイクル数では不足していた可能性も考えられる。

以上の結果から、AZ31 材においては前処理により耐食性の向上が確認された。

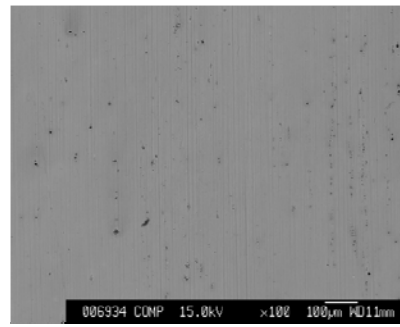
3.4 試験片への化成処理の実施と表面分析・耐食性試験結果

化成処理品に複合サイクル試験を実施した結果を図 4 に示す。試験片の周辺部はマスキングテープで保護している。図 4 において、脱脂のみを行った AZ31 材は 30 サイクル後に全面腐食の状態になっているが、化成処理の実施により、腐食形態が全面腐食から局部腐食に変化しているのが確認できる。これは化成処理により生成した改質層により耐食性が向上していることを示している。AM 材は脱脂のみの場合は 30 サイクル後も局部腐食を示しており、化成処理を実施した場合は変色は見られるものの、明確な腐食生成物は確認できない状態であった。

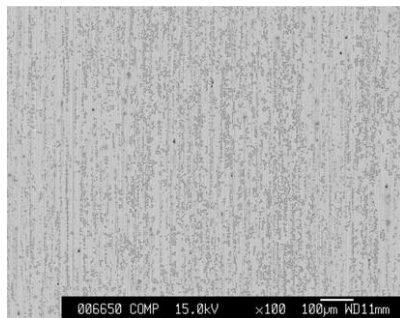
また、水熱処理とアルカリ浸漬処理を比較す



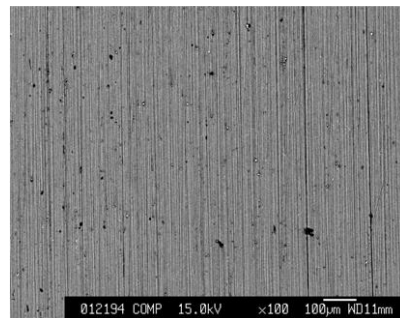
(a) 脱脂のみ



(b) HF/NaOH 処理



(c) NaOH+グルコン酸 Na



(d) NaOH+クエン酸 Na

図 2 前処理した AZ31 試験片の電子顕微鏡組成像（反射電子像）

材種 前処理	AZ31	AM50	AM60
脱脂のみ			
HF			
グルコン酸			
クエン酸			

図 3 前処理した試験片の複合サイクル試験結果

ると、すべての材種においてアルカリ浸漬処理品の方が水熱処理品に比べて孔食部以外の部位での変色の度合いが少なくなる傾向が見られた。

以上の結果から、化成処理による大幅な耐食性の向上が確認できた。

3.5 塗装品の耐食性試験結果

塗装品に連続 1000 時間の塩水噴霧試験を行った結果を図 5 に示す。試験はクロスカット

を行ったものと行わなかったものに対して行った。図からわかるように、クロスカットを行わなかった試験片については、すべてのサンプルに対して腐食やふくれ等の異常は見られなかった。一方、クロスカットした試験片については、AZ31 材では前処理や化成処理を行ったものと行わなかったものでクロスカット部およびその周辺での腐食生成物の量に若干の差が出ていることがわかる。また、AM 材においてはクロス

サンプル 条件 サイクル数	AZ31			AM50			AM60		
	脱脂のみ	水熱処理	アルカリ 浸漬処理	脱脂のみ	水熱処理	アルカリ 浸漬処理	脱脂のみ	水熱処理	アルカリ 浸漬処理
0 (0h)									
3 (24h)									
30 (240h)									

図 4 化成処理した試験片の複合サイクル試験結果

下地処理 材種	脱脂のみ	HF/NaOH	NaOH+ グルコン酸 Na	NaOH+ クエン酸Na	水熱	アルカリ浸漬
AZ31						
AM50						
AM60						

図 5 塗装した試験片の塩水噴霧試験結果

カットしたものでもクロスカット部やその周辺でも明確な腐食生成物の発生が認められず、前処理や化成処理の有無でも明確な違いが見られなかった。これは AM 材は素材自体の耐食性が高いため、介在物除去の効果を確認するためには今回行った試験時間では不足していた可能性が高いと思われる。

以上の結果から、AZ31 材においては前処理および化成処理の塗装下地としての有効性が示された。

3.6 大型化成処理装置の試作開発と大型実用部品への処理結果

化成処理は大型製品の処理において、陽極酸化と比較して設備やランニングコストの面で優位である。大きな製品を陽極酸化処理する場合、その大きさに対応した電流を流せる電源が必要

となり電力コストも嵩むが、本研究にて開発した化成処理法では、製品の大型化に伴うコスト増が陽極酸化に比べて少なくて済む。

そこで開発した化成処理法の大型製品への適応性を確認するために、大型化成処理装置の試作開発を行い、電動カート用の大型実用部品への処理試験を行った。

開発した大型化成処理装置の概観を図 6 に示す。本処理装置により最大 550×400 φ 程度のサイズの製品の処理が可能である。

図 7 に実際に化成処理を行った電動カート用部品を示す。それぞれ成形後に酸洗処理、その後水熱処理を行ったものである。(a)のテトラボードは AZ31 材、(b)のシート座面部品はパイプ部が AZ31 材、板部は AM60 材である。図のように、大型の成形部品に対しても均一に処理できることが明らかとなった。

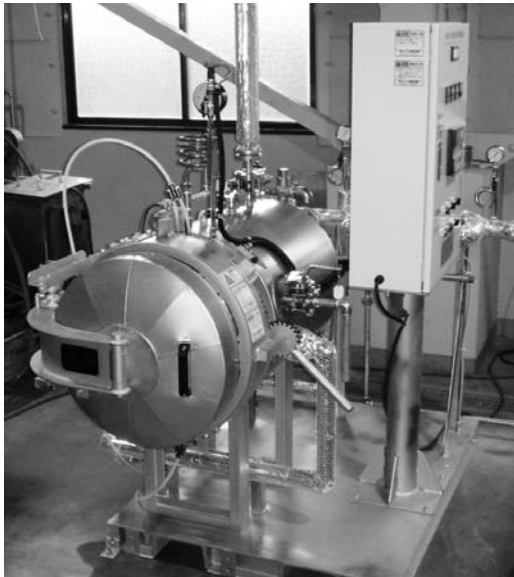
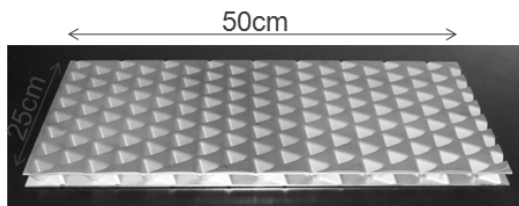
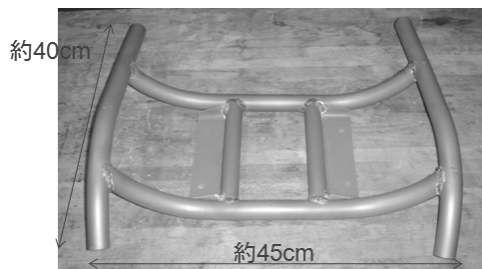


図 6 大型化成処理装置の外観



(b) テトラボード



(a) シート座面

図 7 化成処理した電動カート用部品

4. 結 言

- (1) 前処理により表面の介在物が除去されていることを確認した。また AZ31 においては前処理により耐食性が向上していることを確認した。
- (2) 化成処理により改質層が生成し、耐食性が向上していることを確認した。
- (3) 塗装したサンプルに対して塩水噴霧連続 1000 時間を実施し、十分な耐食性を持つことを確認した。AZ31 材においては前処理および化成処理が塗装の下地処理として耐食性の向上に寄与していることがわかった。
- (4) 大型化成処理装置の試作開発を行い、大型実用サンプルに対して問題なく処理が行えることを確認した。

参考文献

- 1) 寺脇翼, 山本厚之, 椿野晴繁, 軽金属, 57, 2007, p269.
- 2) O. Linder, J. E. Lein, T. Kr. Aune and K. Nisancioglu, *Corrosion*, 45, 1989, p741.
- 3) 内藤隆之ほか, “Mg 合金の実用的な表面処理技術の開発および評価 (第 1 報)”, 工業技術研究報告書, No.37, 2008, p76.
- 4) 小林泰則ほか, “Mg 合金の実用的な表面処理技術の開発および評価 (第 2 報)”, 工業技術研究報告書, No.38, 2009, p32.

超音波キャビテーションを利用した軽合金材料表面への 圧縮残留応力付与技術の開発

中川 昌幸* 白川 正登* 本田 崇*

Application of the Cavitation Peening generated by Ultrasonic Vibration
with the Bar-type Horn to Light Metal Surface

NAKAGAWA Masayuki*, SHIRAKAWA Masato* and HONDA Takashi*

抄 録

ステップ型ホーンにより増幅された超音波振動により、水中でキャビテーションを発生させ、その周期的な崩壊圧で金属表面をピーニングする効果により表面に圧縮残留応力を付与できる。本研究では、従来の円筒ステップ型ホーンよりも大型のバー型超音波ホーンを開発し、適切な速度で走査することにより広い面積に対してピーニングを適用する技術を開発した。A5052 圧延板表面 200×180mm に対し、超音波加工ヘッドを 180mm/min で走査することにより、表面粗さをほとんど変化させることなく均一に-100MPa 程度の圧縮残留応力を付与することができた。

1. 緒 言

金属材料表面にショットピーニングに代表される表面塑性加工プロセスを施すことにより、圧縮残留応力が付与されることは良く知られている。材料表面に付与される圧縮残留応力は、疲労強度の向上や SUS304 などにおける応力腐食割れ対策、溶接引張残留応力の低減など、さまざまな効果が期待されるため、工業的にも自動車部品などさまざまな対象にピーニングが適用されている。これらの方法では、ショットと表面という固体同士の衝突によるディンプル形成は避けられず、深部まで圧縮残留応力を付与できる反面、表面粗さの増大、最表面のダメージ層形成を引き起こすため、その効果を半減させてしまうという問題点がある。この対策として、ひとつには WPC（微粒子ピーニング）のようにショットを微粒子化することが考えられるが、本研究では超音波振動により発生させるキャビテーションを利用する方法を提案する。

過去の研究において、キャビテーションの気泡はその崩壊時には、マイクロジェットにより非常に激しい衝撃圧が発生し、最大で数 GPa 程度という大きな値を示すことは、数値解析だけでなく、測定値としてもいくつもの研究結果が示されており¹⁾、妥当な主張であると考えられる。そのような大きな衝撃圧は金属材料を塑性変形させるには十分に強力であり、キャビテーションを適切にコントロールすることによってピーニングプロセスとして利用できると考えられる。

東北大学の祖山教授はキャビテーションによるピーニングを検討し、キャビテーション・ショットレス・ピーニング（以下 CSP）と名づけ、多くの研究成果を示している。特に、アルミ合金鋳物に対して、CSP ではショットピーニングよりも圧縮残留応力深さが小さいものの、表面へのダメージが少ないために、結果として疲労強度が向上するという結果²⁾は、前述のとおり、付与できる残留応力深さが小さくても、表面ダメージが少ないことにより、ショット

* 研究開発センター

ピーニングとの置き換えも可能なケースがあることを示唆している。

本研究においては、超音波振動を利用してキャビテーションを発生させる。水中における超音波でキャビテーションが発生することは工業洗浄の分野で良く知られている。

本研究では、より効率的な処理のためキャビテーション発生領域となる振動ホーン先端面を大きく設計することを検討し、さらに実用性を高めるため、走査させることによって効率的な広い面積へのピーニングを検討した。

2. 超音波キャビテーションピーニング技術の概要

2.1 超音波によるキャビテーション発生

ホーンを介した超音波キャビテーションピーニングの最も基礎的な超音波振動発生部の構成を図 1 に示す。19.5kHz の超音波振動子の振動をステップ型ホーンにより増幅する。水中においてホーン先端を被処理面に対し近接させた状態で振動させることにより、ホーン先端面と試料面間において急速な圧力変化が生じ、キャビテーション現象が発生する。水中翼周りなどの流速変化によるキャビテーションと異なり、超音波振動の周期によってキャビテーション気泡の発生、崩壊のサイクルが誘起されるため、超音波振動と同じ周期の表面ピーニングが実現できる。

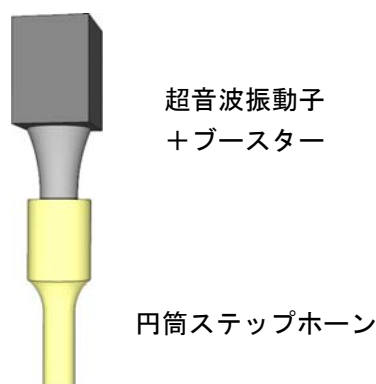


図 1 超音波振動部の構成

2.2 キャビテーション壊食

一般的にキャビテーション現象は壊食を伴う現象として理解されている。壊食とは、キャビテーションにより、設計寿命よりも遥かに短い寿命で破壊が起こる現象である。古くは船舶のスクルーの初期破壊などで知られ、ポンプの破損など流体機械において避けるべき現象である。このメカニズムは水中翼周りなど流速変化の激しい領域で気泡が発生、崩壊を繰り返し、キャビテーション気泡の激しい崩壊圧が繰り返し作用することにより、表面の局所的な破損が蓄積し破壊に到るものである。本研究においても、キャビテーション現象を利用することから、壊食現象との関連性は考慮する必要があると考えられる。

3. 超音波キャビテーションピーニングの適用

3.1 アルミニウム合金表面への適用

板厚 3mm の A5052 圧延板に対して、超音波キャビテーションピーニングを適用した。図 2 に表面粗さの変化を示す。照射時間 5sec まで表面粗さの変化は非常に小さく、圧延板の入手時の Ra 値 0.23 μm からの変化はほとんどない。照射時間 5sec 程度を超えると表面粗さが大きくなっている。この表面粗さの悪化は、キャビテーション衝撃圧による表面ひずみ導入から、壊食による表面脱落状態へ遷移しているためである。しかし、それでも通常のブラストやショットピーニング処理面と比較すると、表面粗さ

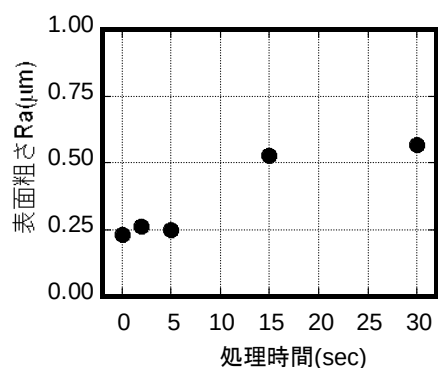
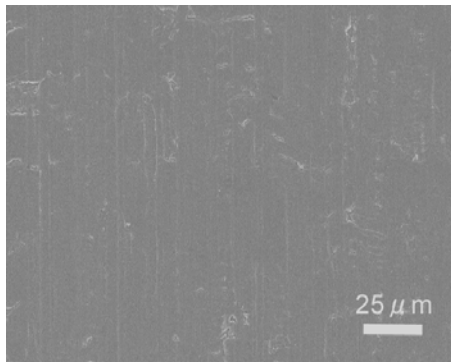
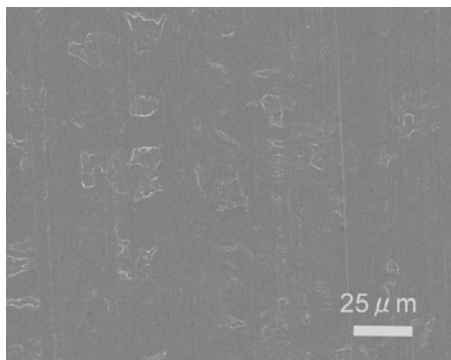


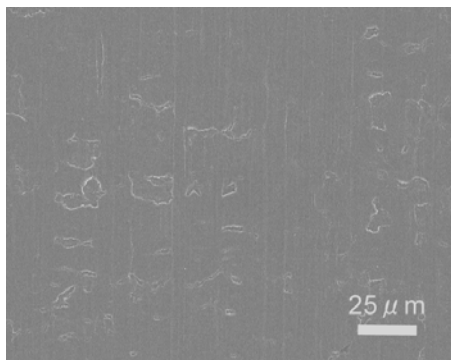
図 2 表面粗さの変化



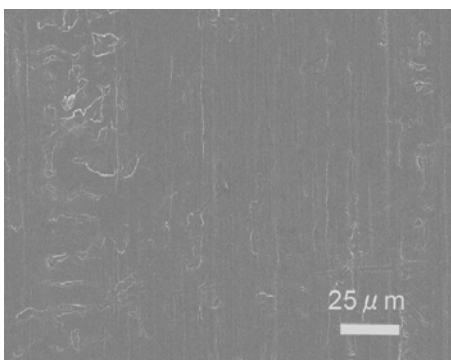
(a) 未照射



(b) 5sec



(c) 15sec



(d) 30sec

図 3 表面 SEM 観察

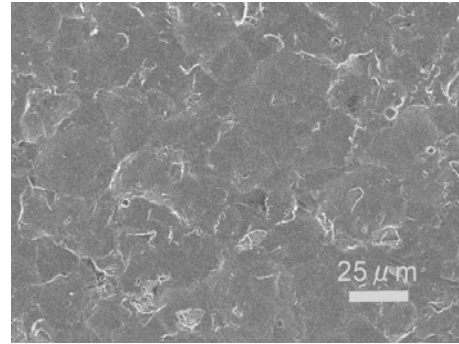


図 4 ウェットブラスト処理面の一例
(ノズル走査速度 600mm/min)

の変化は非常に小さい。図 3(a)～(d)に超音波照射時間 0, 5, 15, 30sec の表面 SEM 観察写真を示す。未照射状態の表面から、大きな変化は見られない。比較のため、図 4 にウェットブラスト処理面の SEM 観察写真を示す。固体ショットによるピーニングでは、ショットの衝突痕が表面を覆い表面ダメージ層を形成するが、超音波キャビテーションでは表面ダメージがほとんどないことが分かる。また壊食による大きな表面脱落も見られない。

3.2 アルミニウム合金表面に付与される圧縮残留応力

先端面φ15mm の円筒ステップホーンを用いてキャビテーションピーニング処理した A5052 圧延板の表面残留応力を測定した。X 線回折により Al の (222) ピークを測定し、 $\sin^2\psi$ 法を用いて応力を算出した。回折ピーク位置の決定には半価幅中点法を用いた。図 5 に超音波キャビテーションピーニング処理部中央における表面圧縮残留応力の処理時間による変化を示す。RD, TD はそれぞれ圧延方向とその垂直方向の応力である。処理時間とともに圧縮残留応力が増加し、5sec ほどの処理でほぼ 100MPa 程度に達している。付与される圧縮残留応力の最大値は、処理材の降伏する応力程度であり、加工硬化度の大きい材料は、加工により降伏応力が向上することにより、静的な降伏応力以上の圧縮残留応力が付与されることが分かっている³⁾。

本研究で使用した A5052 の 0.2%耐力はおよそ 110MPa 程度であり，超音波キャビテーションピーニングによる付与応力も同程度である。図 6 に残留応力測定で用いた回折ピークの半価幅の変化を示す。回折ピークの半価幅は焼き鈍し

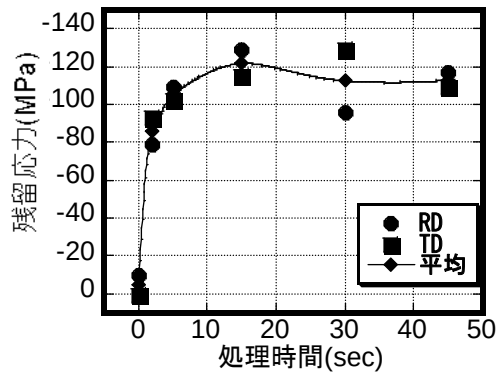


図 5 処理時間による残留応力の変化

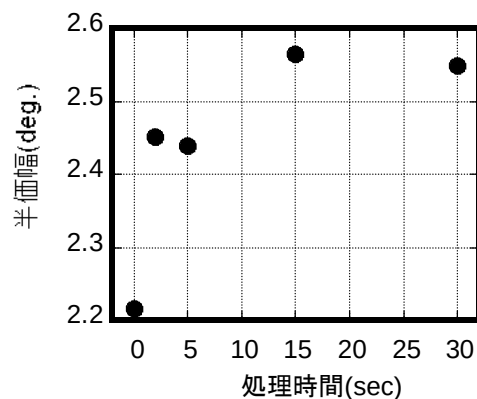


図 6 処理時間による X 線回折ピーク半価幅変化

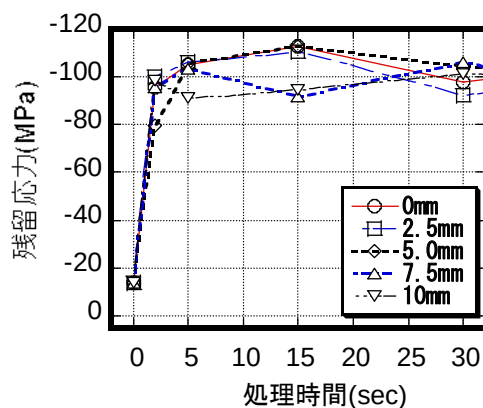


図 7 処理部半径方向の残留応力分布

の無ひずみ状態では小さくなり，内部に生じた転位などの結晶格子面の乱れに比例して広がることが知られている⁴⁾。半価幅は，処理時間につれて増大している。図 3 において超音波キャビテーションピーニングによる表面形態の大きな変化は見られないが，表面内部に微視的には転位などのひずみが導入されていることが分かる。キャビテーションピーニングではこのようなひずみにより圧縮残留応力が引き起こされていると考えられる。図 7 に処理部中心を位置 0mm として 2.5mm おきに測定した圧縮応力の処理時間による変化を示す。照射部における位置による違いはほとんど無く，処理領域にほぼ均一に -90～-115MPa 程度の圧縮残留応力を付与することができた。

4. 広面積処理対応超音波キャビテーション加工ヘッドの開発

4.1 バー型ホーンの適用

本研究では，超音波振動子とホーンからなる加工ヘッドを処理面に対して走査させることにより，広い面積へのピーニングを行うことを検討した。そのためのホーン形状としては，スキャン方向に対し，垂直方向に長い長方形断面を持つ形状が適していると考えた。一方このような形状は，超音波の伝播方向に対し垂直な方向への寸法が大きくなるため，曲げなどの横方向の振動モードに対する検討が必要となる。このような形状のホーンは，超音波溶着装置で多く用いられ，バー型ホーンと呼ばれる。本研究においてホーンに不可欠な機能として，振動面が均一かつより大きな振幅を得るということであり，超音波溶着の用途とほぼ一致することから，このバー型ホーンを設計し，超音波キャビテーションピーニングへの適用を試みた。

4.2 バー型ホーンの形状

図 8 にバー型ホーン形状の概略図を示す。走査する方向から見た正面図では，幅広の形状であり，側面から見ると R でつないだ段付形状

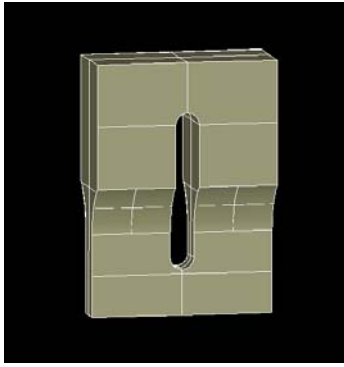


図 8 バー型ホーン概略図

となっている。中央部にはスリットを設けてあり，横方向の振動伝播を抑制している。詳細な高さ，幅寸法は FEM の固有値解析により，最適値を求めた。

4.3 超音波キャビテーションピーニングの適用

超音波振動子にバー型ホーンを取り付けた加工ヘッドをロボットアームで把持し， $200\text{mm} \times 180\text{mm}$ の面積に対し，ピーニング処理を施した。図 5 より，5sec 程度のピーニングで圧縮残留応力は -100MPa 程度まで付与されていることから，これと同等の条件となる， 180mm/min 程度で走査させた。 $200\text{mm} \times 180\text{mm}$ の照射面において，図 9 に示す 3×3 の計 9 ポイントについて，表面残留応力測定と表面粗さ測定を行った。残留応力の結果を図 10

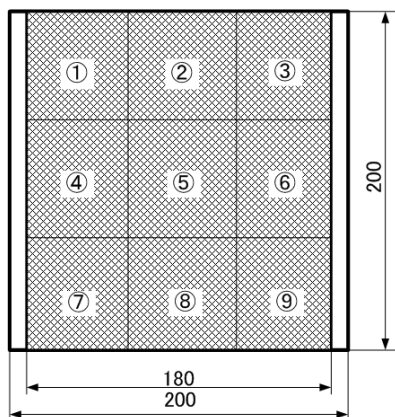


図 9 測定位置（斜線部が処理領域）

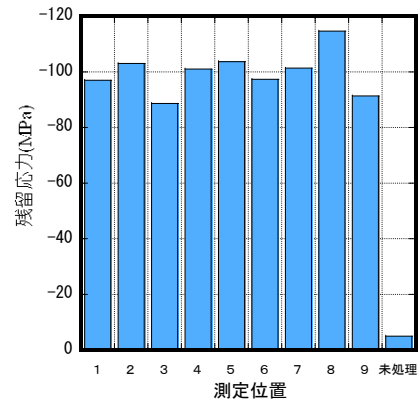


図 10 走査ピーニング残留応力

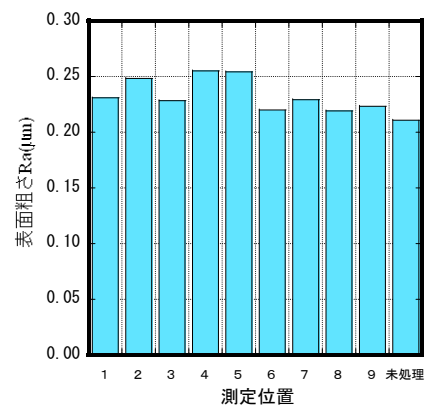


図 11 走査ピーニング表面粗さ

に表面粗さの結果を図 11 にそれぞれ示す。

5. 結 言

- (1) 超音波キャビテーションピーニングの実用化を目指し，キャビテーション照射面積を拡大させたバー型ホーンを開発した。
- (2) 開発したバー型ホーンを処理面に対し走査させることにより， $200\text{mm} \times 180\text{mm}$ の面積に超音波キャビテーションピーニングを施した。A5052 圧延板表面に表面粗さを劣化させることなくほぼ均一に圧縮残留応力を付与することができた。

なお，本研究は，(独)科学技術振興機構の平成 20 年度重点地域研究開発推進プログラム（地域ニーズ即応型）「超音波キャビテーションを利用した軽合金材料表面への圧縮残留応力

付与技術の開発」の一環で実施したものである。

参考文献

- 1) 加藤洋治編著, “新版キャビテーション”, 槇書店, 1999, p204.
- 2) 祖山均ほか, “キャビテーション・ショットレス・ピーニングによる金属材料の疲労強度向上”, 自動車技術会論文集, 34, 1, 2003, p101-106.
- 3) 中川昌幸, 渡辺健彦, “水中超音波照射による金属材料表面への圧縮残留応力の付与”, 溶接学会論文集, 22, 4, 2004, p587-594.
- 4) カリティ, “X 線回折要論”, アグネ, 1691, p265-271.

窒素含有ニッケルフリーステンレス鋼の実用化研究

三浦 一真*

Study of Nitrogen Content Ni-free Stainless Steel for Practical Use

MIURA Kazuma*

抄 録

SUS445J2, 444 相当の Fe-22mass%Cr-1mass%Mo, Fe-21mass%Cr を用い、窒素吸収処理プロセスに関する研究を行った。素材を窒素雰囲気・高温で処理することで、表面部から窒素が固溶してオーステナイト相に変態する。形成するオーステナイト相の厚さは処理温度、時間に依存し、フェライトスコープによるフェライト量からその厚さを推定することが可能である。80℃までの高温雰囲気中で耐孔食性を評価する孔食電位や塩化第二鉄腐食試験を行い、低温域の結果と比較したところ、既存のステンレス鋼の耐食性が大きく落ちたのに対し、窒素吸収ステンレス鋼は腐食性の落ち込みはわずかで、既存材を大きく上回る耐食性を示した。

1. 緒 言

SUS304に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼（クロム（Cr）－ニッケル（Ni）系）は延性、強度、耐食性、耐熱性、低温靱性、などに優れ、溶接性も良好であることから家庭用品、建材、一般機械、産業機械、電気機器、医療用途、などに幅広く使用されている¹⁾。

Ni を含まないフェライト系ステンレス鋼の中で 18mass%Cr（以下 mass%を省略）以上の高 Cr 系と呼ばれる鋼種については、SUS304 や 316 などの代替材料になり得る素材と考えられている¹⁾。しかし、塩水噴霧試験で評価した耐食性については SUS304 や 316 と同等レベルにあるといわれるものの、強度などの機械的特性はやや劣り、磁性を有するため、同じ特性を有する材料とは言い難い。

このような状況のもと、我々は Fe-24Cr-2Mo（研究開発材、以下 Fe）の素材に窒素を 1%強吸収させてオーステナイト相へ変態させ、既存のオーステナイト系ステンレス鋼と同等以上の

特性を有する Ni を含まない Ni フリーステンレス鋼の研究開発を行ってきた²⁾。

前年度では、誘導加熱と真空ガス置換による窒素吸収処理技術を開発し、24Cr-2Mo の類似組成で市場に流通している素材である SUS445J2 相当鋼種の窒素吸収処理ステンレス鋼の開発に成功した³⁾。

本研究では、窒素吸収処理技術を用い、この市場流通鋼種を中心に、オーステナイト相の厚さと窒素吸収処理プロセス条件との関係を実験的に求めるとともに、腐食環境で使用することを念頭に室温よりも試験温度を上げて耐食性試験を行い、既存のステンレス鋼と比較した。さらに窒素吸収処理ステンレス鋼の機械的特性や加工性に関する試験を行い、実用化に向けた課題を抽出する。

2. 実験方法

2.1 窒素吸収処理

窒素吸収処理に用いた素材は SUS445J2 相当の 22Cr-1Mo と SUS444 相当の 21Cr でいずれも板材を用いた。板厚は 0.8mm である。耐食性

* 研究開発センター

を改善するために 22Cr-1Mo 材にはチタン (Ti) , ニオブ (Nb) , アルミニウム (Al) が, 21Cr 材には Ti と銅 (Cu) が微量添加されている。

窒素吸収処理は誘導加熱方式の真空加熱装置 (SK メディカル電子(株)製, MD-1700D) で行った。装置外観を図 1 に示す。処理可能なサンプルの大きさは 50×50mm である。処理手順は、脱脂・洗浄した板材サンプルを炉内に設置後、真空排気によるガス置換を行い、窒素ガス充填後、加熱を開始した。加熱温度は最高 1200℃とし、大気圧窒素雰囲気にて行った。加熱は 4h までとし、加熱終了後は窒素ガスで冷却した。処理したサンプルは簡易的に磁性を評価するため、フェライトスコープ ((株)フィッシャー・インストルメンツ製, MP30) を用いてフェライト量を測定するとともに金属組織観察やビッカース硬度測定を行った。また、X 線マイクロアナライザー (日本電子(株)製 JXA-8100, 以下 EPMA) や ONH 分析装置 ((株)堀場製作所製, EMGA-1300) を用い、素材に含まれる窒素の定性・定量分析を行った。さらに、X 線回折装置 ((株)リガク製, RINT-UltimaIII) を用いて物質の同定を試みた。これらの測定・分析結果から、オーステナイト相への変態の有無を判断した。さらにグロー放電発光分析装置 (以下 GD-OES, (株)堀場製作所製) を用いて、処理材の表面近傍の元素分析を試みた。

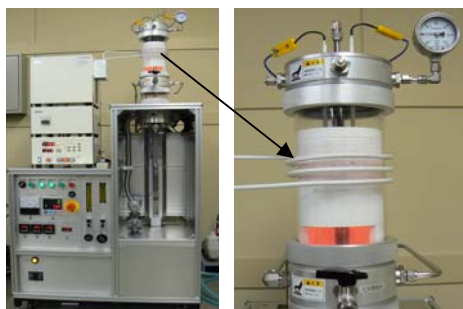


図 1 真空加熱装置外観

2.2 耐食性評価方法

ステンレス鋼で発生する局部腐食は応力腐食割れ、孔食、粒界腐食割れ、すき間腐食などがある⁴⁾。本研究では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。

耐孔食性の評価には外部から電位をかけたときに食孔発生時の孔食電位を求める方法と塩化第二鉄腐食試験の 2 通りの試験を行った。

孔食電位の測定は JIS G 0577『ステンレス鋼の孔食電位測定方法』に準拠した。耐食性試験用サンプルは試験前に耐水研磨紙#600 で研磨を行った後、アセトン洗浄、硝酸による不働態化処理を行った。試験前に 1cm² の電極面を確保し、それ以外をエポキシ樹脂にてコートし、乾燥後試験面を再度#600 の耐水研磨紙で研磨し、サンプルを電解槽内にセットした。

試験溶液は 5.5%NaCl 水溶液を使用し、脱気は高純度窒素ガスを用いて行った。設定液温は 50, 80℃である。また、電位掃引速度は 20mV/min に設定した。試験は電流値の変化を見るものである。典型的な変化は、電位を上げると途中電位の変化にかかわらず電流値が一定になる不働態域に入り、さらに電位をあげたときにある電位で急激に電流値が高くなる。この電流値が立ち上がる際の電位が孔食電位であり、このとき素材が激しく溶け出して食孔が形成される。試験後の表面についてはデジタルマイクロスコープを用いて観察した。図 2(a)に測定装置の外観を示す。

塩化第二鉄腐食試験は素材を幅 20mm, 長さ 30mm の板状試験片に加工し、JIS G 0578 に準拠した方法により行った。試験は、表面積・質量とも測定した試験片を塩化第二鉄水溶液に 24h 浸漬し、試験前後の質量変化を測定する方法で行った。塩化第二鉄腐食試験水溶液は、0.05 mol/l の HCl 水溶液に FeCl₃・6H₂O を溶解することにより調製した 6%FeCl₃・HCl 水溶液を用い、試験温度は 35℃に加え、50℃で行い、



(a) 孔食電位測定 (b) 塩化第二鉄腐食試験

図2 腐食測定装置外観

試験片は図2(b)に示すように樹脂性の3点ホルダーの上に乗せ、サンプル全体をビーカー内に浸漬し保持した。

2.3 機械的特性および成形性評価

機械的特性は引張試験により評価した。13B試験片を作製しJISに準拠して行った。また、成形性についてはJISに準拠したエリクセン試験により評価した。窒素吸収材の他、既存ステンレス鋼についても測定し、窒素吸収材と比較した。

3. 結果と考察

3.1 窒素吸収処理プロセス

図3は22Cr-1Moと21Cr板材を1200℃で窒

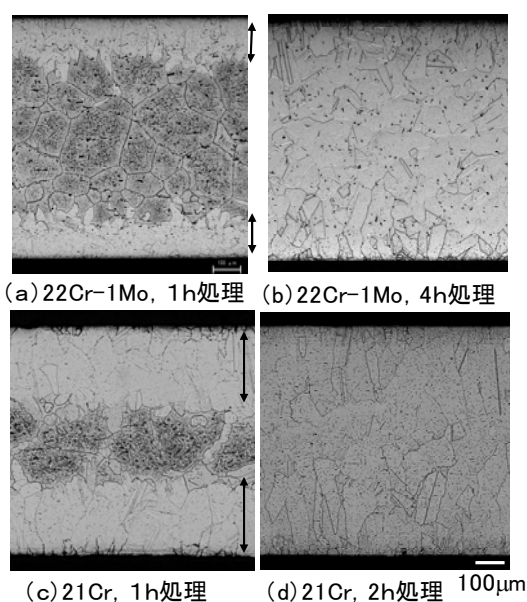


図3 窒素吸収後の金属組織

素処理したサンプルの板厚方向断面の金属組織写真を示す。図3(a)は22Cr-1Mo材の1h処理、図3(b)は4h処理、図3(c)は21Cr材の1h処理、図3(d)は2h処理を行った場合の組織を示す。写真を見ると、組織は大きく分けて、白色の組織（以下白色相）とエッチングにより黒色を呈している組織（以下黒色相）からなっている。白色相は(a)1hの場合は表面から約50~100μm（平均で75μm）付近にのみ分布しており、(b)4h処理で白色相のみが観察された。21Crの組織を見ると、(c)1hの処理で白色層は界面からおおよそ200μmの内部まで形成される。(d)2hの処理ではほぼ白色層のみとなる。したがって、22Cr-1Mo材に比べ白色層の形成は速いことがわかる。

図4は22Cr-1Moの白色層と黒色層のX線回折回折結果である。白色層はオーステナイトのみのピークが検出されている。また、黒色層はフェライトの回折パターンのみが検出されていることから、白色層はオーステナイト相、黒色層はフェライト相であることを確認した。なお、ONH分析装置により、図3(b)、(d)、すなわち完全にオーステナイト化したと考えられる窒素吸収材を定量分析したところ、(b)は1.1%、(d)では1.0%の窒素を検出した。窒素が1%固溶するとオーステナイトに変態することは他の研究でも報告されており⁴⁾、窒素吸収処理により表面から窒素が吸収・拡散し、1%まで固溶されるとオーステナイトに変態しながら白色相を形成

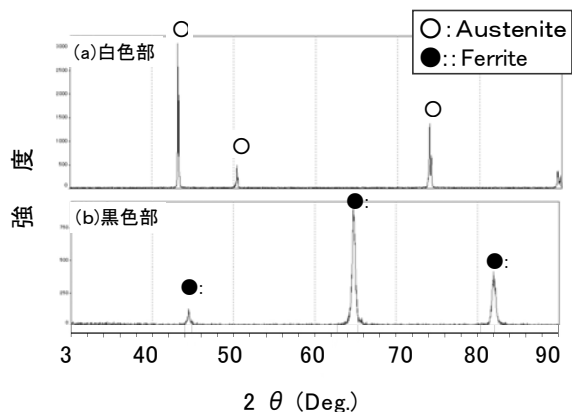


図4 断面組織X線回折結果

していくものとする。なお、この層の硬度は 300~350HV で平均で 320HV であり、黒色層であるフェライト層の硬度約 200HV に比べ硬くなっている。

22Cr-1Mo と 21Cr 材の白色相、すなわち、オーステナイト相の形成速度の違いは窒素吸収前の表面状態の違いによるものと推察される。この違いを調査するため、窒素吸収前の素材について GD-OES による表面から深さ方向の元素分析を行った。その結果を図 5 に示す。(a) は 22Cr-1Mo 材の濃度プロファイル、(b) は 21Cr 材の濃度プロファイルを示す。両者を比較すると、21Cr 材に比べ、表面近傍における酸素濃度が高くなっている。したがって、21Cr に比べ 22Cr-1Mo 材の方が表面酸化皮膜が強固であるため、21Cr 材に比べ窒素吸収によるオーステナイト層の生成速度が遅いものとする。

高 Cr 系ステンレス鋼は窒素吸収によりオーステナイト相が形成されるが、その厚さについてはフェライトスコープを用いて測定されるフ

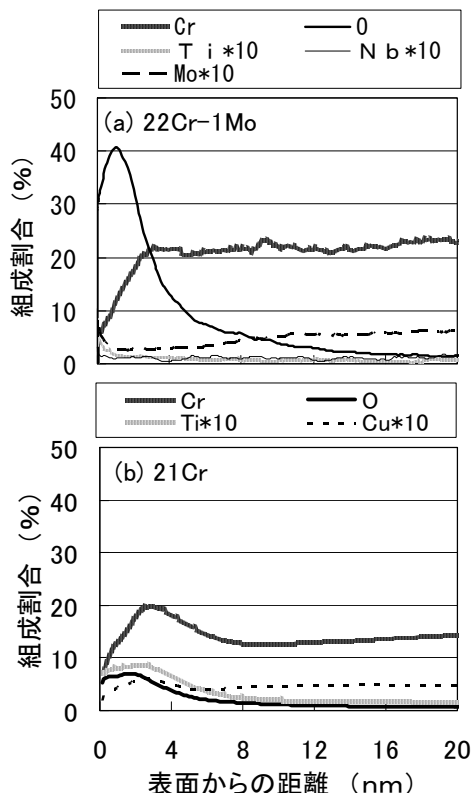


図 5 素材表面の GD-OES 分析結果

ェライト量からある程度の推測が可能である。例えば、図 3(a)では表面からのオーステナイト相厚さは約 100 μ m でこのときのフェライト量は 30%弱である。また、22Cr-1Mo 材の 2h 処理と 21Cr の 1h 処理の場合、オーステナイト相は 200 μ m 弱生成されており、この場合のフェライト量は約 12%である。22Cr-1Mo 材の 4h、または 21Cr 板材の 2h 処理ではフェライト量は 0 になる。このようにフェライト量とオーステナイト層厚さの関係等のデータベースがあれば品質管理の手段として有効であるとする。

3.2 耐食性評価

溶液温度を 50 $^{\circ}$ C、80 $^{\circ}$ Cに上げた状態孔食電位測定を行った。既存ステンレス鋼の代表値（平均値）と比較しながら窒素吸収処理材の耐食性試験結果について説明していく。

図 6 は溶液温度が 50 $^{\circ}$ Cのときの孔食電位測定結果を示す。試験に用いた窒素吸収処理材は 22Cr-1Mo と 21Cr で 4h 窒素吸収処理したものを用いた。また、比較のために既存ステンレス鋼の測定結果を合わせて示す。なお、孔食電位はアノード分極曲線の電流密度 100 μ A $\cdot$ 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変化（曲線の立ち上がり度合い）で判定した。

前報³⁾では溶液温度が 30 $^{\circ}$ Cの結果を報告した。試験温度を 50 $^{\circ}$ Cに上げた結果、既存のステ

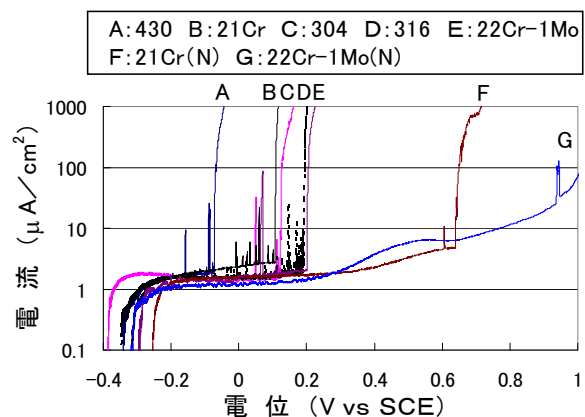


図 6 溶液温度 50 $^{\circ}$ C時の孔食電位測定結果

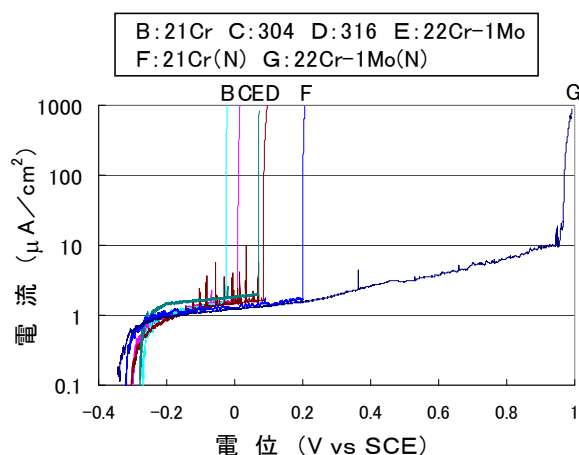


図 7 溶液温度 80℃時の孔食電位測定結果

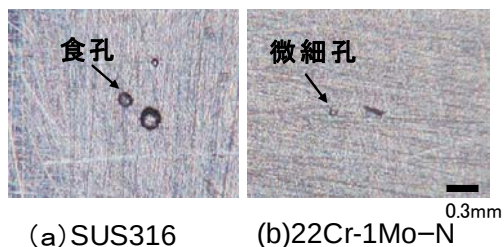


図 8 試験後のサンプル表面写真

ステンレス鋼では孔食電位は大幅に低下、すなわち、卑な方向に移動した。例えば SUS304 では 30℃ 時の孔食電位が平均で 0.22V であったのに対し、50℃では 0.1V に低下している。SUS316 は 30℃ の 0.3V から 50℃では 0.2V でその他の既存ステンレス鋼についてもそれぞれ 0.1～0.2V 程度孔食電位は低下している。

22Cr-1Mo の窒素吸収処理材は 30℃での試験と同様に印加電位 1V までの範囲では急激な電流値の立ち上がりは見られなかった。それに対して 21Cr 窒素吸収材は 30℃では孔食電位は見られなかったが、50℃では 0.6V の孔食電位が認められた。

図 7 は溶液温度が 80℃のときの孔食電位測定結果を示す。溶液温度が 30℃上がると既存のステンレス鋼の孔食電位はさらに下がり、SUS316 は 0.1V まで低下している。窒素吸収ステンレス鋼では 21Cr 材が 50℃のときの孔食電位が 0.6V であるのに対して 80℃では 0.2V に大きく低下しているが、22Cr-1Mo 材では 0.9～1V にかけて電流の立ち上がりが見られるものの孔食

電位の低下はわずかであり、他のステンレス鋼に比べ、温度の影響は少ない。

図 8 に溶液温度 80℃で試験後のサンプル外観を示す。22Cr-1Mo 以外のすべての鋼種において孔食による大きな食孔の形成が認められた。(a)に SUS316 の例を示す。22Cr-1Mo 窒素吸収材においても小さな食孔が観察された。したがって、80℃においては 0.9～1V で孔食が発生したものと推察される。

図 9 に塩化第二鉄腐食試験結果の一覧および試験後のマクロ写真を示す。縦軸は単位面積・時間あたりの腐食減量で測定を 3 回行い、平均をとった値である。横軸に試験に用いたステンレス鋼の鋼種を示し、それぞれの鋼種について左側が 35℃、右側に 50℃の試験データを示した。2 種の窒素吸収処理材については孔食電位測定と同様に完全オーステナイト化のサンプルを使用した。

既存ステンレス鋼の結果を見ると、溶液温度 35℃の場合、SUS304 の腐食減量値は 430 の約半分であり、SUS316、22Cr-1Mo（未処理）の腐食減量は 304 の 6 割である。窒素吸収処理材の腐食減量は SUS316、22Cr-1Mo に比べて少なく、22Cr-1Mo 材はほとんど腐食は見られない。溶液温度を 50℃にあげると SUS430 を筆頭に既存ステンレス鋼と 21Cr 窒素吸収材の腐食減量は増大する。それに対して 22Cr-1Mo 材は溶液温度 50℃においても腐食減量はゼロに近くほとんど腐食していないことがわかる。

腐食試験後のサンプルマクロ写真を見ると SUS304、316 では大きな食孔が観察されている。21Cr 窒素吸収材では細かな食孔が観察されている。22Cr-1Mo 窒素吸収材では食孔は観察されなかった。

2 つの溶液温度を上げての耐孔食試験結果より、22Cr-1Mo 材に窒素吸収処理を施したステンレス鋼は既存のステンレス鋼に比べ、高い耐食性を示すことが確認できた。

図 10 にステンレス鋼の孔食発生メカニズムの概略を示す。孔食は水溶液中の塩素イオンが、

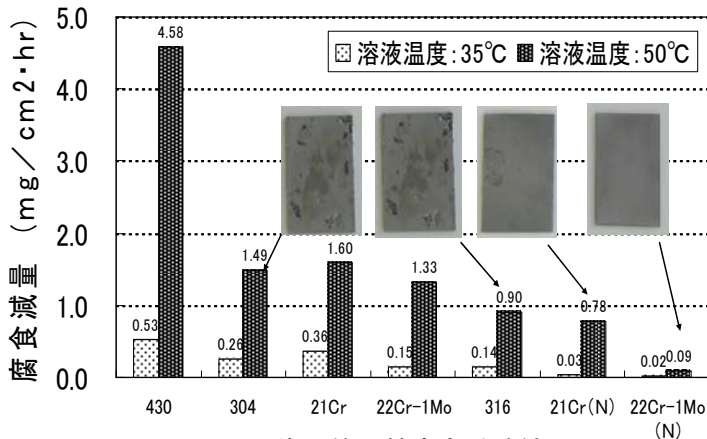


図 9 塩化第二鉄腐食試験結果

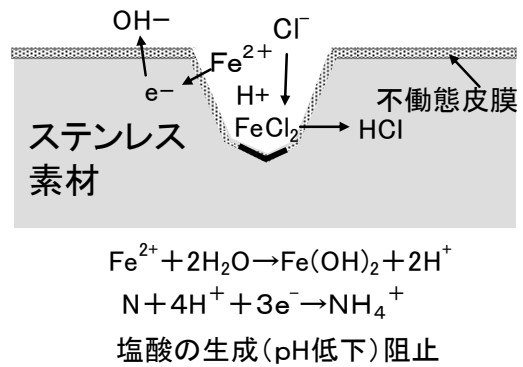


図 10 孔食発生メカニズム

不動態皮膜の不安定な部分に酸素、水酸基塩に置き換わり金属塩化物の錯塩を形成し、加水分解を経て最終的に生成した塩酸が局部的に皮膜を溶解し、その部分を起点に発生する⁵⁾。

ステンレス鋼への窒素吸収により耐食性が向上するメカニズムについては、例えば、アンモニアや硝酸塩生成によるインヒビター効果、不動態皮膜と金属との界面付近への窒素富化による不動態皮膜強固機構説がある⁶⁾。インヒ

ビター効果は、図 10 中の反応式に示すような孔食の初期段階で加水分解により生成した水素イオンと皮膜中の窒素とが反応してアンモニウム塩が形成され、孔食を抑制するというメカニズムや窒素の働きで液中に硝酸塩が形成されて孔食発生を抑えるというメカニズムで説明されている^{6) 7)}。

図 11 に 22Cr-1Mo 窒素吸収材 (4h 処理) の表面研磨後の GD-OES 表面分析結果を示す。表面酸化皮膜中には数%の N 成分を含んでいることがわかる。また、耐孔食性に有効な Mo 成分も表面近傍に含まれている。本開発の窒素吸収材腐食メカニズムについては、皮膜に含まれる N 成分が図 10 のアンモニウムイオン生成反応によるインヒビター効果が働き、ピットの成長が抑えられる効果によると推定される。N による不動態皮膜強固説については詳細な皮膜構造解析が必要である。なお、50℃、80℃において耐食性を示さなかった 21Cr 窒素吸収材の表面にも N が含まれていることが GD-OES 分析からわかっている。この腐食の原因については 22Cr-1Mo 窒素吸収材に比べ、窒素によるインヒビター効果がでないのが原因と思われるが、X 線回折からは窒素吸収によりオーステナイトに変態していることを確認しているが、ミクロ的にマルテンサイトのような別組織が形成されている可能性もあり、その場合は耐食性低下の原因となる⁴⁾。溶液温度が高い場合は耐孔食性に有効な Mo を含んでいない

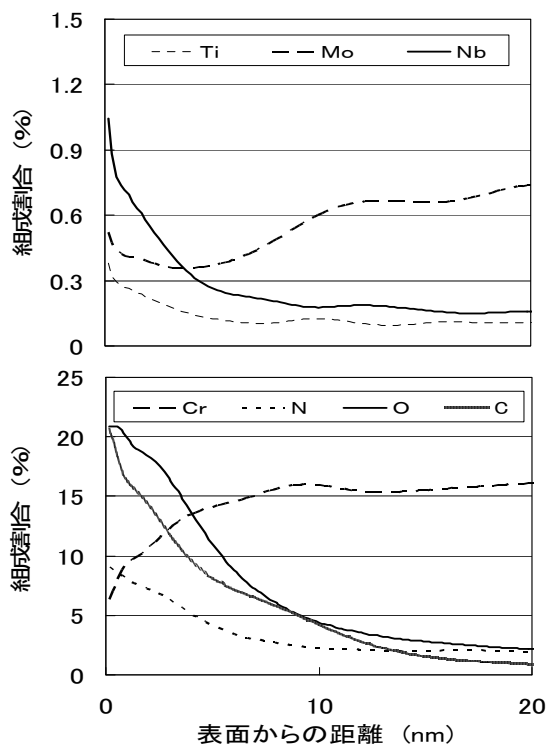


図 11 22Cr-1Mo 窒素吸収材の表面 GD-OES 分析結果

ことが耐食性に影響を与えたかもしれない。

窒素含有ステンレス鋼は耐食性の要求される分野への適用も試みられており、今後はメカニズムの解明とともにさらなる実用化に即した試験法を追求していく⁸⁾。

3.3 機械的性質・加工性評価

板厚が 0.8mm の 22Cr-1Mo 材と 21Cr 材の窒素吸収材の引張試験結果とエリクセン試験結果を表 1 にまとめて示す。窒素吸収前の 21Cr、22Cr-1Mo 材の引張強度と伸びは、おおよそ 500MPa、30～34% である。SUS316 は強度 640MPa で伸びは 46% である。窒素吸収材の引張強度と伸びは 22Cr-1Mo 窒素吸収材の場合、1h 処理で強度は 760MPa、伸びは 20.3%、4h 処理では強度は 910MPa と高くなったが、伸びは 9.2% と低くなった。既存のステンレス鋼に比べると強度は高いが伸びは低い。21Cr 窒素吸収材は 22Cr-1Mo 窒素吸収材に比べると強度、伸びともに低くなっている。

エリクセン値についても窒素吸収材の値は既存ステンレス鋼に比べて小さい。22Cr-1Mo の 1h 窒素吸収材で 5.3mm を示したのが最高であり、オーステナイト層が厚い 4h 処理ではエリクセン値は 4.2mm に低下した。なお、21Cr 材

は 1h 処理ですでに 2.1mm と低く、2h 処理の完全オーステナイト化した場合では、1.6mm と非常に低い値となった。

引張試験後の破断形態は図 12 に示すように 20%の伸びを示した 22Cr-1Mo の 1h 窒素吸収材では一部に延性破壊を示すディンプル模様がみられるが、ロック状の脆性破面が支配的である。4h 吸収の場合は全域で脆性破面となっている。

窒素吸収材では既存ステンレス鋼に比べ、引張試験の伸びの値やエリクセン値が既存のステンレス鋼に比べると低いのは、硬度が高いことが影響していると考ええる。結晶粒は既存ステンレス鋼に比べ多少大きい程度であり、加工性に影響するほど粗大化していないと判断している。今後、金属組織のミクロ観察と分析を行う予定であるが、微細な金属間化合物が形成されているために伸びや張り出し成形性が悪くなっているものと考えている。今後、詳細な分析を行い、原因を究明するとともに加工性改善について研究する予定であるが、既存のステンレス鋼レベルの加工性を得ることが実質的に難しいと考える。

窒素含有 Ni フリーステンレス鋼の実用化には、今のところ、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る。板材など一次加工品に窒素吸収処理を施してから加工するには薄板化が必要と考える。薄板化すれば窒素吸収時間も短縮化され、加工技術が確立すれば低コスト化に繋がるものと考ええる。

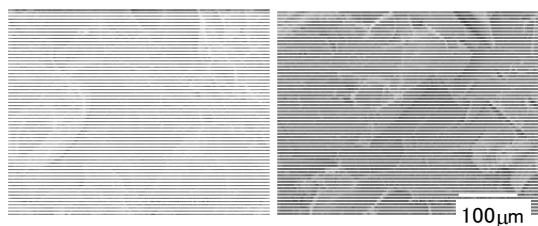
4. 結 言

- (1) 高 Cr 組成の SUS445J2、444 相当組成材 (22Cr-1Mo、21Cr) について、真空加熱装置を用い、1200℃・大気圧窒素雰囲気下で窒素吸収処理を行った結果、最良 4h までで完全オーステナイト化された。また、フェライト量を測定することでオーステナイト層厚さの推定が可能である。
- (2) 溶液温度を上げて孔食電位測定、塩化第

表 1 引張強度及びエリクセン値一覧

鋼 種	窒素吸収	Fe(%)	引張強度	伸び(%)	エリクセン値
22Cr-1Mo	1200℃, 1h	30.0	760	20.3	5.3
22Cr-1Mo	1200℃, 4h	0.7	910	9.2	4.2
21Cr	1200℃, 1h	16.0	750	5.5	2.1
21Cr	1200℃, 2h	0.0	690	1.7	1.6
SUS316	未処理	—	640	46	13.4
21Cr	未処理	—	530	34	12.8
22Cr-1Mo	未処理	—	500	30.5	10.5

(MPa) (mm)



(a) 22Cr-1Mo (1h処理) (b) 22Cr-1Mo (4h処理)

図 12 引張試験後の破断面写真

二鉄腐食試験を行ったところ、既存ステンレス鋼はすべて溶液温度が上がると耐食性は低下するが、22Cr-1Mo 窒素吸収材は溶液温度の影響を受けず、既存のステンレス鋼を大きく上回る耐食性を示した。

- (3) 機械的特性・加工性を評価する目的で引っ張り試験とエリクセン試験を行ったところ、既存ステンレス鋼に比べ、引張強度は高いが伸びやエリクセン値は低くこれらの改善が今後の課題として残った。

参考文献

- 1) 三浦一真, “ニッケルフリーステンレス鋼の特性と開発動向”, プレス技術, Vol.45, No.15, 2007, p37-41.
- 2) 三浦一真ほか, “Ni フリーステンレス鋼の実用化研究”, 工業技術研究報告書, No.36, 2006, p63-67.
- 3) 三浦一真ほか, “窒素吸収ステンレス鋼の開発”, 工業技術研究報告書, No.38, 2009, p39-44.
- 4) 黒田大介, 岡村一伯, 中村晃規, 大澤康暁, 三浦一真, 白木原香織, “冷間圧延した Fe-24Cr-2Mo-1.2N の機械的性質”, Journal of JACT, Vol.14, No.3, 2009, p29-34.
- 5) 根本力夫, “ステンレス鋼の選び方・使い方とトラブル対策”, (株)情報技術センター主催講演資料, 2007, p8-21.
- 6) 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.
- 7) 馬場晴雄, 片田康行, 木村秀夫, “オーステナイト系ステンレス鋼のすきま腐食と再不動態化に及ぼす窒素の影響”, 日本金属学会誌, Vol.71, No.7, 2007, p570-577.
- 8) 八代仁, “窒素鋼の耐食性に関する課題と今後の指針”, CAMP-ISIJ, Vol.22, 2009, p.1130-1133.

cBN エンドミル工具による鉄系材料の鏡面加工 (第 2 報)

平石 誠* 宮口 孝司** 宮口 弘明*** 石川 淳**** 斎藤 博*

Mirror-like Milling of Hardened Steel with CBN Ball Endmill

HIRAISHI Makoto*, MIYAGUCHI Takashi**, MIYAGUCHI Hiroaki***, ISHIKAWA Atsushi****
and SAITO Hiroshi*

抄 録

焼入鋼の鏡面加工に cBN (立方晶窒化ホウ素) ボールエンドミルによる三次元曲面を適用することを目的として工具の切れ刃にスカイフ盤研磨を施した。潤滑条件を検討した結果、切削油を用いた加工では工具逃げ面に凝着摩耗を生じたが、ドライ加工では凝着が抑制され、切削面粗さは小さくなった。直径 1mm の小径ディンプルの加工では、形状偏差および切削面粗さは市販ボールエンドミルを用いた場合と比較して大幅に改善された。

1. 緒 言

成形用金型では、焼入鋼の表面を鏡面に仕上げる必要がある。現在は熟練者の手作業により研磨仕上げを行っているが、作業に長時間を要するうえ、精密微細金型では加工面の精度低下も懸念されることから、仕上げ研磨工程の削減を目的として直彫り鏡面加工技術の確立が望まれている。

cBNはダイヤモンドに次ぐ硬さを有しており、cBN工具により焼入鋼を高能率に切削することが可能である^{1) 2)}。特にバインダレスcBN工具は、機械的特性を低下させるバインダを含まないことから、1000℃の高温においても1.5GPaを超える抗折強度を示し³⁾、また、化学的に安定した特性を持っている。このため、鋭利な切れ刃を形成しても充分に使用に耐え得ることが指摘されている⁴⁾。

前報⁵⁾では、切れ刃をスカイフ盤研磨した工具

を用いることにより、焼入鋼の切削面におけるバリの発生が抑制され、表面粗さが改善されることを報告した。本報では、スカイフ盤研磨工具を用いて平面加工した場合の潤滑条件が切削面粗さにおよぼす影響について調べ、得られた加工条件をもとに三次元微細形状加工を行った結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 切削工具および被削材

使用した工具は工具半径 R0.5mm のバインダレス cBN 製一枚刃ボールエンドミルである。一般にボールエンドミルの回転中心では切削速度が 0 になり正常な切削が行われない。そこで切れ刃先端に回転中心から 20μm

の逃げしを設けた (図 1)。逃げ面およびすくい面にはスカイフ盤研磨を施した。切れ刃部の SEM により観察したのが図 2

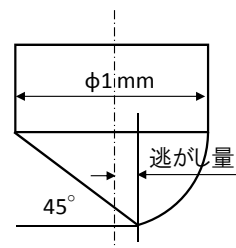


図 1 工具形状

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

表 1 加工条件

	平面加工	三次元加工 (小径ディンプル加工)
主軸回転数	50,000 min ⁻¹	
送り速度	150 mm/min	150 mm/min (スパイラル)
ピックフィード (Pf)	3 μm (ダウンカット)	3 μm (ダウンカット)
軸方向切込み	3 μm	
主軸角度 (θ)	加工面法線に対し 0°, 20°	ディンプル中心軸に対し 0°
潤滑条件	白灯油, ドライ	ドライ
切削距離	~30m (主軸中心の移動距離)	—————

である。図には比較のためにスカイフ盤研磨を施していない工具も示す。スカイフ盤研磨により逃げ面, すくい面ともに平滑になり, 切れ刃稜線が鋭利に仕上げられている。

図 3 は切れ刃の輪郭形状の測定結果である。逃げ面の切れ刃稜線近傍を稜線と平行な方向に測定した。縦軸は最適化された真円に対する形状偏差であり, 横軸の測定範囲は回転中心から約 45°の範囲に相当する。スカイフ盤研磨を施した工具の切れ刃輪郭の形状偏差は P-V 値 0.25 μm, 表面粗さは最大高さ Rz0.08 μm である。なお, 同研磨を施していない工具の場合, 形状偏差 1.41 μm, 表面粗さ Rz0.70 μm であった。

被削材には焼入鋼 (日立金属 (株) HPM38, 硬さ: HRC52) を用いた。被削面には事前に研削加工を施し, Rz1.0 μm に仕上げた。

加工機にはエアスピンドルを搭載した超精密加工機 (ファナック (株) ROBONANO α-0iA) を使用した。

加工実験は, まず平面加工における潤滑条件の検討を表 1 の条件で行った。主軸回転数と送り速度から, 一刀あたりの送り量は 3 μm となる。以下の三次元ディンプル加工で使われる切れ刃の位置を考慮し, 主軸角度 (以下, θ) を設定した。また, 切削距離は主軸中心の移動距離とし, ディンプル約 100 個分の加工距離に相当する 30m まで実験を行った。

次に, 図 4 に示す平底面を持つ φ1mm の小径ディンプルの加工を行った。別工具による粗加工

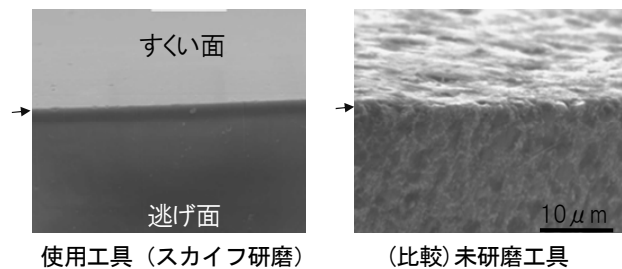


図 2 作製した工具の切れ刃の状態

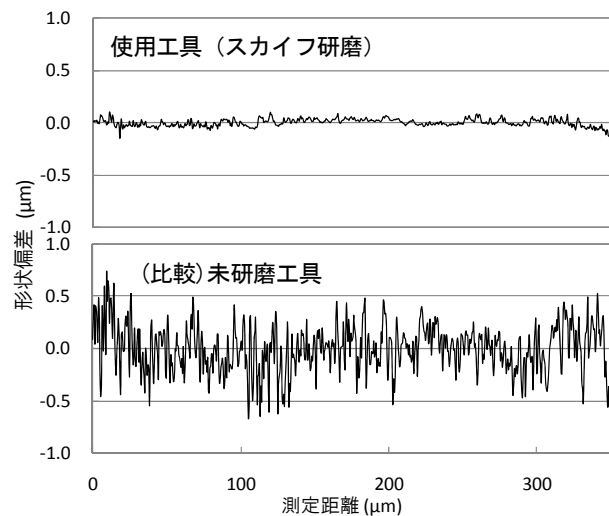


図 3 切れ刃の輪郭形状

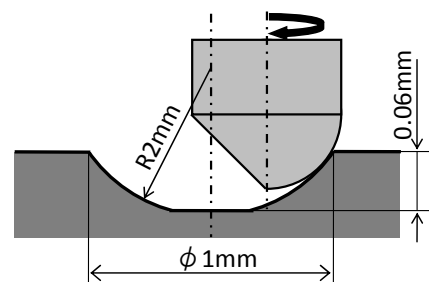


図 4 小径ディンプル

後、スカ이프研磨工具を用いて仕上げ加工を行った。主軸角度はディンプルの中心軸に対して 0° とし、ツールパプルの中心から外周に向けて半径が $3\mu\text{m}$ ずつ大きくなるスパイラル状とした。また、比較のため市販cBNボールエンドミル工具による仕上げも行った。同工具の切れ刃輪郭の形状偏差は $\pm 1.0\mu\text{m}$ である。

切削面の表面粗さは非接触三次元測定機（三鷹光機(株)NH-3SP、高さ方向分解能： $0.001\mu\text{m}$ ）を用いて最大高さRz（カットオフ： $80\mu\text{m}$ ，測定長： $480\mu\text{m}$ ）を測定した。測定方向はピックフィード（以下、Pfと記す）方向とした。

3. 実験結果と考察

3.1 主軸角度 0° における切削面

焼入鋼の切削における潤滑条件を検討するため、スカ이프研磨工具を用いて切削油使用下およびドライでの加工実験を行った。

図5に主軸角度が 0° のときの各潤滑条件における切削距離と切削面粗さの関係を示す。

切削油を使用した場合は、切削距離の増加とともに切削面の粗さは大きくなり、 20m 付近では $Rz0.29\mu\text{m}$ に達した。目視では図のA領域において顕著な曇りが認められた。

ドライ条件では、切削距離 15m まで $Rz0.1\mu\text{m}$ 以下となり、目視では回折にともなう発色のない鏡面が得られた。切削距離が 15m を超えると（同図B領域）表面粗さは急激に増加し、切削面には肉眼でもわかる傷が送り方向と平行に発生した。

表2は切削距離が 3m と 30m のときの切削面の状態である。

切削油を使用した場合、切削距離が短いときはトロコイド曲線状の切削痕が認められた。切削痕の幅は不安定である（図(a)）。切削距離が長くなるに従い切削痕の幅が大きくなり、図(b)のように多くのバリが観察される面になった。

ドライ条件の場合、 $3\sim 15\text{m}$ では細く安定した切削痕により平滑な面が形成されていた（図(c)）。切削距離が 15m を超えると明瞭な切削痕が断続的に発生し始め、 30m では表の図(d)に見られるよ

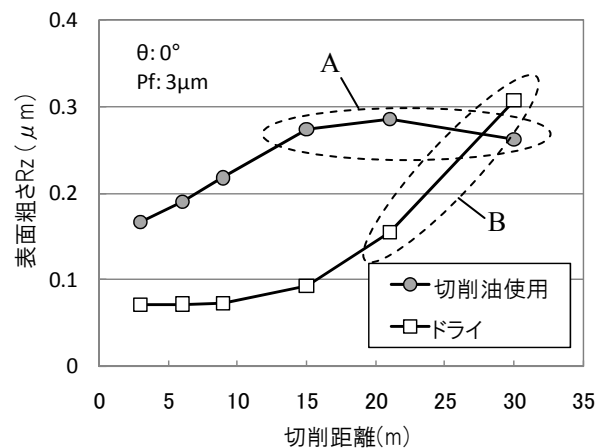


図5 切削距離と切削面粗さの関係（ $\theta: 0^\circ$ ）

表2 切削油を使用した場合とドライ加工での切削面の比較（ $\theta: 0^\circ$ ，Pf: $3\mu\text{m}$ ）

	切削油使用	ドライ
3 m	(a)	(c)
30 m	(b)	(d)

送り方向
Pf
10μm

うな連続的で深い切削痕に発達した。図5において切削距離が長くなると急激に表面粗さが大きくなったのはこの深い切削痕の発達のためである。

表3にこのときの工具の逃げ面の状態をSEM観察した結果を示す。

切削油を使用した場合、逃げ面には一部切れ刃を覆い隠すほどの厚い付着物が観察された（図(a)，矢印の個所）。X線マイクロアナライザー（EDX）による分析の結果、被削材の主成分であるFeおよびCrが検出されたことから、被削材の凝着であると考えられる。

切削距離 30m では凝着幅が拡大している（図(b)）。同図の四角い囲い部分を拡大し、元素分布

を測定したのが図(c)である。切れ刃稜線近傍にはFeの分布がなく工具のcBN母材が露出しており、また、クラックも観察される。このことから、切削油を使用した場合には、凝着層の形成と凝着層が工具の材料とともに剥離することを繰り返し、凝着摩耗を生じたものと考えられる。そして、加工時には凝着による構成刃先によって切削がなされるために切れ味が低下し、表2の図(a)に見られるような不安定な摩耗痕および図(b)のようなバリを生じたものと思われる。

構成刃先の形成過程についてはさらに検討を要するが、切削油の使用により工具逃げ面に熱亀裂を生ずることに起因する、すなわち、熱亀裂を生じた箇所に被削材が噛み込まれ、これを起点として逃げ面への凝着を生じ、構成刃先の形成に至ったものと考えている。また、凝着面積の拡大は摩擦熱による温度上昇を生じ、さらに凝着を促進していることも推測される。

一方、ドライ条件においてはアブレシブ摩耗を主体とした摩耗形態となった(表3図(d)、(e))。切削距離の増加とともに摩耗幅は拡大したが、図(e)に矢印で示した一部の個所を除き、上記のような厚い凝着は発生しなかった。すなわち、切削は工具の切れ刃によってなされていると考えられる。図6は採取した切り粉を観察したものである。工具が切り込みを開始したカールの部分の厚さは0.3 μm 程度と観測され、鋭利な切れ刃による切削が行われたことが推察される。

ただし、ドライ加工においても切削距離が長くなると部分的に凝着が発生する。表3中の図(e)における四角い囲い部分を拡大したのが図(f)である。矢印の個所にある直径2 μm 程度の凝着塊は摩耗により生じた凹部に切り粉が堆積したものと推察され、表2の図(d)に見られた深い切削痕はこのような凝着塊により形成されたものであると考えられる。

以上のように、ドライ条件においては工具逃げ面の凝着が抑制される。これによって、工具摩耗が抑制され、また、鋭利な切れ刃による安定した切削が可能になったと考えられる。

表3 切削油を使用した場合とドライ加工での工具逃げ面の比較 ($\theta: 0^\circ$, Pf: 3 μm)

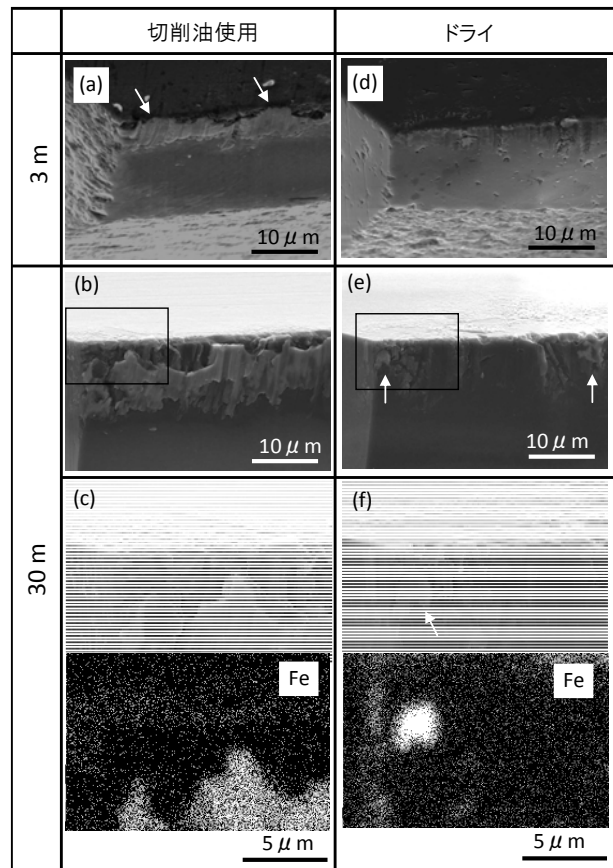


図6 ドライ加工時に排出された切り粉

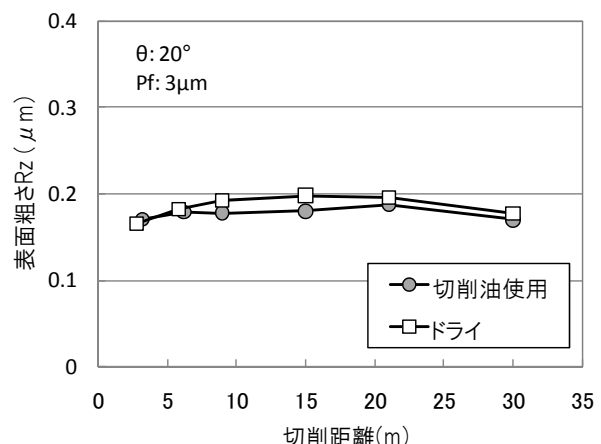


図7 切削距離と切削面粗さの関係 ($\theta=20^\circ$)

表 4 切削油を使用した場合とドライ加工での
切削面の比較
(θ : 20° , Pf: $3\mu\text{m}$, 切削距離: 30m)

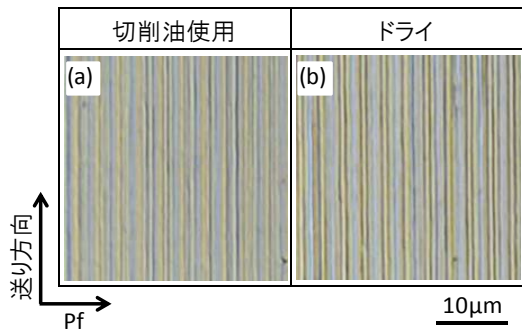
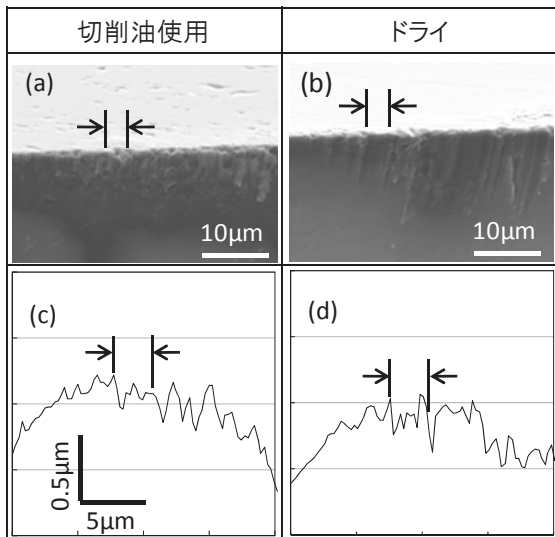


表 5 切削油を使用した場合とドライ加工での
工具逃げ面の比較
(θ : 20° , Pf: $3\mu\text{m}$, 切削距離: 30m)



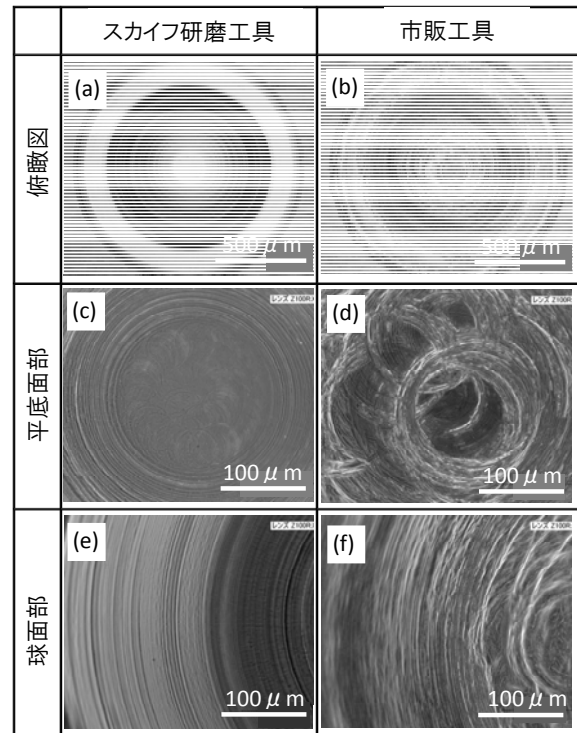
3.2 主軸を傾斜させたときの切削面

主軸角度を 20° 傾斜させた場合について同様の検討を行った。図 7 に切削油使用下およびドライ条件での切削距離と切削面粗さの関係を示す。潤滑条件による差異は少なく、切削距離 3m から 30m にわたって $Rz0.17\sim0.2\mu\text{m}$ で表面粗さがほぼ一定した切削面が得られた。

切削距離が 30m のときの切削面の状態を表 4 に示すが、潤滑条件による差異は認められない。

表 5 (a), (b) は切削距離 30m を加工した後の工具の逃げ面を SEM 観察したものである。主軸角度 0° のときと同様に、切削油を使用した場合には凝着摩耗を生じ、ドライ条件ではアブレシブ摩耗を主体とした摩耗を生じた。なお、Pf= $3\mu\text{m}$ であ

表 6 加工した小径ディンプル



ることから、切削面の形成に寄与するのは図中に示した幅 $3\mu\text{m}$ の部分である。図でこれより右の領域では切り取り厚さが厚くなり、また、一刃あたりの切削距離が長くなるため、摩耗の進行が早く摩耗幅が大きくなっている。

逃げ面の切れ刃近傍の断面曲線を測定した結果を表 5 (c), (d) に示す。図のほぼ中央に示した $3\mu\text{m}$ の領域が切削面の形成に寄与した部分である。同部には両潤滑条件ともに同等の大きさの凹凸が形成されており、切削面にはこれらの凹凸が転写されたものと考えられる。

3.3 三次元加工

以上の検討結果から、ドライ条件において小径ディンプルの三次元加工を行った。

スカイフ研磨工具と市販工具を用いて加工したディンプルを表 6 に示す。図 (a) において中心の小さな円が平底面部、その周囲の黒く見えるリングが球面部である。スカイフ研磨工具によるディンプルではそれらが明確に区別できる。平底面部の表面粗さは、市販工具の $Rz1.5\mu\text{m}$ に対し、スカイフ研磨工具では $Rz0.10\mu\text{m}$ となり、平滑な面が得

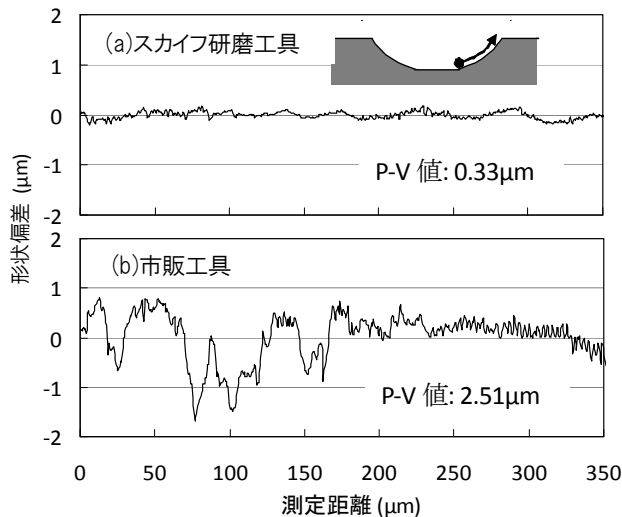
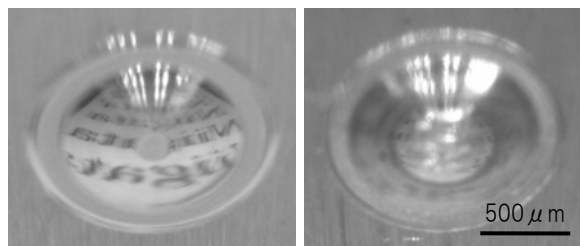


図 8 球面部の形状測定結果



(a) スカيف研磨工具 (b) 市販工具
図 9 ディンプル表面の反射像の観察

られた。

球面部の経線の形状測定結果を図 8 に示す。縦軸は最適化された真円に対する形状偏差である。スカيف研磨工具を用いた場合には形状偏差 $0.33\mu\text{m}$ の精度の高い球面が形成されていることがわかる。これは図 3 に示したように、スカيف研磨工具の切れ刃輪郭の形状偏差が小さいためと考えることができる。また、曲線は下に凸の円弧状のうねり成分と粗さ成分からなっている。うねりは切れ刃稜線上の凹凸が工具の円弧移動にともなって形成したものと思われる。形状偏差測定部の表面粗さは（このときカットオフは $250\mu\text{m}$ とした） $Rz0.15\mu\text{m}$ であり、主軸を傾斜させたときと同等の鏡面が得られた。

図 9 は「Niigata」という文字の反射像を観察したものである。凹面鏡になっているため、像は反転している。上述のように球面部にはうねりがあるため像に振れが出ているものの、球面部が鏡面に仕上げられていることがわかる。

4. 結 言

切れ刃にスカيف盤研磨を施したバインダレス cBN 製ボールエンドミルを用いて焼入鋼の鏡面加工を行い、切削時の潤滑条件の影響、三次元微細形状加工への応用について検討した。

得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 工具逃げ面の摩耗形態は、切削油を用いた場合は凝着摩耗が発生し、ドライ加工においてはアブレイシブ摩耗となった。
- (2) ドライ加工により切れ刃の凝着が抑制されて工具の切れ刃による切削が行われる。
- (3) スカيف盤研磨を施すことにより工具逃げ面の表面粗さと輪郭精度が向上し、その結果、切削面粗さは改善される。
- (4) スカيف研磨工具を用いて小径ディンプルをドライ加工した。形状偏差と表面粗さは市販工具に比して大幅に向上し、三次元形状の鏡面加工が可能であることを確認した。

本研究は平成 19～21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業において実施されたものであることを記し、ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 嶽岡悦雄, 斎藤博, 相田収平, 宮口弘明, 宮口孝司, 石川淳, 岩部洋育, “高硬度材の高速エンドミル加工に関する研究 cBN 工具による切削特性について”, 日本機械学会関西支部定時総会講演会講演論文集, 71, 1996, p69.
- 2) 安斎正博, 高橋一郎, “cBN ボールエンドミルによる焼入れ鋼の高速ミーリング”, 砥粒加工学会誌, 47, 1, 2003, p16.
- 3) 角谷均, 上坂伸哉, “高純度 cBN 多結晶体の微細構造と特性”, 粉体および粉末冶金, 49, 4, 2002, p327.
- 4) 新谷一博, “cBN 工具の開発とその動向”, 機械と工具, 49, 6, 2005, p20.
- 5) 平石誠ほか, “cBN エンドミル工具による鉄系材料の鏡面加工”, 工業技術研究報告書, No.38, 2009, p26.

ハット曲げ成形のスプリングバックに与える加工条件の影響

片山 聡*, 杉井 伸吾**, 田村 信**, 坂井 修**, 相田 収平***

FEM Analysis of Springback in Hat-shaped Bending

KATAYAMA Satoshi*, SUGII Shingo**, TAMURA Makoto**, SAKAI Osamu** and AIDA Shuhei***

抄 録

ハット曲げ成形におけるスプリングバックの抑制のため、金型形状やしわ抑え力などの成形条件がスプリングバックに与える影響を FEM 解析により調べた結果、成形中の材料に加わる引張応力が大きくなるとスプリングバックが減少することがわかった。また、その結果を基に成形条件を変えた実験を行い、解析結果を確認、検証した。

1. 緒 言

ステンレス鋼製の角筒容器を絞り成形する際に開口直辺部に口開き現象が起こり、形状精度が問題となることがある。角筒直辺部の成形は材料の曲げ、曲げ戻し変形が主な変形過程となり、こうした加工によるスプリングバックの抑制には加工後に張力をかけることが有効とされている¹⁾。

このため、角筒直辺部と同様の変形を経るハット曲げ成形を対象として、金型のダイス肩 R、ビードの有無、しわ抑え力などの成形条件がスプリングバックに与える影響を FEM 解析により求めた。また、その結果を基に成形条件とスプリングバック量の確認を行ったので報告する。

のオートメッシング機能を用いて作成した。使用した要素は低減積分型 4 節点 4 辺形シェル要素、要素密度は平面部が 2mm 間隔、角 R 部が 6 度間

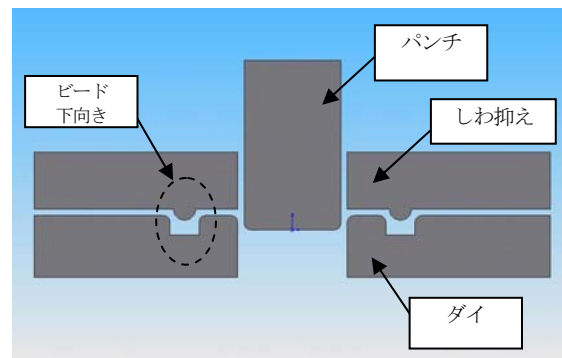


図1 ハット曲げ解析における金型構成

2. FEM 解析

2.1 解析方法

ハット曲げ解析は、仏 ESI 社製動的陽解法プレス成形シミュレーションソフトウェア PAM-STAMP 2G version 2007 により実施した。解析に用いた金型構成を図 1 に、金型とブランクの寸法値を表 1 に示す。要素分割は、PAM-STAMP 2G

表 1 金型寸法

パンチ肩R		2 mm
ダイス肩R		2, 4 mm
パンチーダイスのクリアランス		0.9mm (板厚+0.1mm)
ダイス内面とビード中心距離		14mm
ビード向き		下向き、上向き
ビード形状 (凸側)	高さ	1, 2, 3 mm
	R	2mm
ビード形状 (凹側)	幅	6 mm
	R	2 mm
ブランク		L160×W40×t0.8 mm

* 中越技術支援センター

** 研究開発センター

*** 下越技術支援センター

表 2 SUS304 材の機械特性

ヤング率 (GPa)		190
ポアソン比		0.3
r 値	0 度	0.69
	45 度	0.9
	90 度	0.66
質量密度 (kg/m ³)		7850

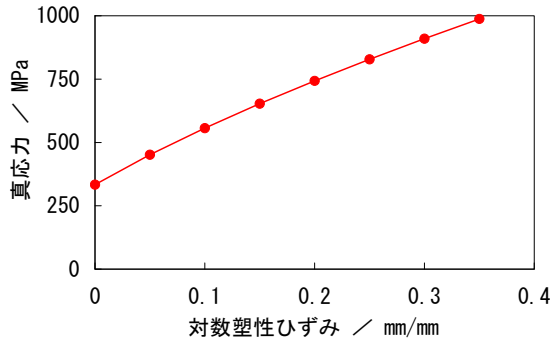


図 2 SUS304 材の真応力-対数塑性ひずみ曲線

隔である。ブランクのみ隣接角 10 度での細分化を 4 レベルに設定した。なお、モデルは対称中立面拘束による 1/4 モデルとした。(しわ抑え力はフルモデルの数値で示す)

ブランクに適用した SUS304 の機械特性を表 2 に、真応力-対数塑性ひずみ曲線を図 2 に示す。降伏関数は Orthotropic Hill'48 を使用し、材料の圧延方向 (0 度) はブランク長辺方向とした。

計算条件は表 3 のとおりで、スプリングバック形状の評価は、図 3 に示すような対称境界面に接する短辺側中立線を用いた。

2.2 解析結果

ダイス肩 R が 2mm, 4mm の場合のスプリングバック形状を図 4 に示す。同一ダイス肩 R で比較すると、しわ抑え力が大きいほどスプリングバックは小さくなり、同じしわ抑え力で比較するとダイス肩 R が小さい 2mm の方がスプリングバックが小さくなることからわかる。

次に、ダイス肩 R を変えた場合、およびビード高さを変えた場合の材料にかかる引張応力最大値を図 5 に示す。同じしわ抑え力でもダイス肩 R が小さい方が、またビード高さが高い方が引張応力が大きい。また、ビード高さが高くなると小さなしわ抑え力の変化で大きな引張応力変化が現れる。

表 3 計算条件

摩擦係数		0.1（クーロン摩擦）
しわ抑え		荷重制御（10～60kN）
パンチストローク		45mm
金型挙動		剛体
スプリングバック	計算手法	陰解法
	固定点	対称境界面交差点

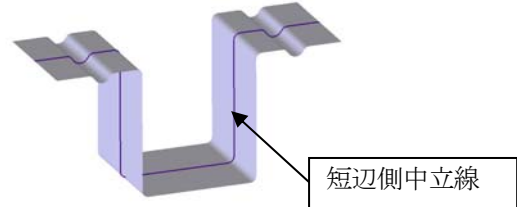


図 3 計算後の成形形状例

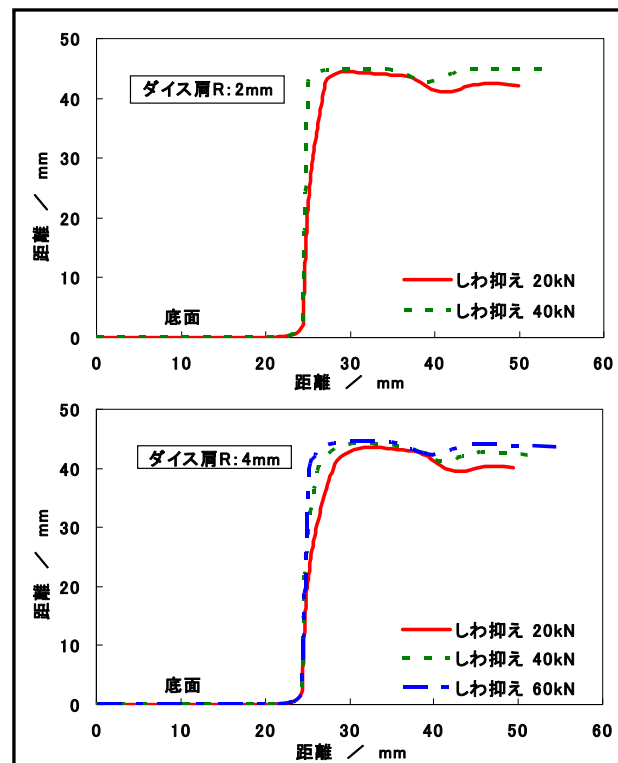


図 4 ダイス肩 R とスプリングバック形状

各ダイス肩 R における引張応力と最小板厚の関係を図 6 に示す。材料にかかる引張応力の増大につれて板厚減少も大きくなり、引張応力が同じでもダイス肩 R が小さい方が板厚減少が大きくなる。

引張応力が約 560MPa となる条件におけるスプリングバック形状は、図 7 に示すようにほぼ一致している。また、ビードの向きによるスプリングバック形状は、図 8 に示すように曲げ-曲げ戻し変形を受けた部分については、ビードの向きが変わっても同じしわ抑え力で比較すると一致していることがわかる。

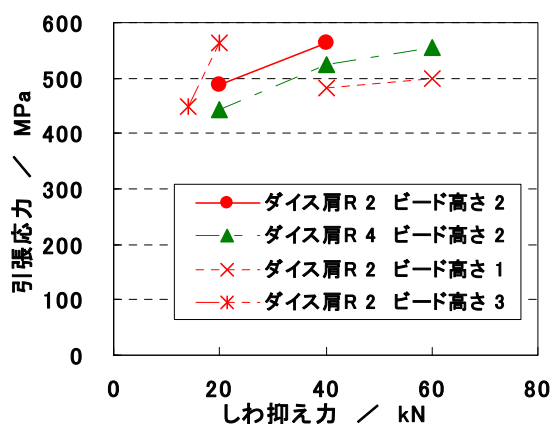


図5 金型形状による引張応力

以上の結果より、スプリングバック現象は、変形履歴よりも引張応力に依存していると考えられる。このため、ハット曲げ実験についてはダイス肩 R やビード条件を変更して、引張応力とスプリングバック量の関係を確認することとした。

3. 実験検証

3.1 実験条件

解析の結果を受け、ハット曲げ加工深さは 80mm として表 4 に示す条件において実験を行った。実験においてはパンチ取付部にロードセルを設置して成形課程のパンチ荷重を測定し、成形中の材料にかかる引張応力を計算した。主な実験項目は、しわ抑え力の変更による引張応力の影響、ダイス肩 R の影響、ビード高さの影響の 3 点である。実験装置は複動油圧プレス装置（株）アミノ製、インナ加圧能力 1274kN、アウト加圧能力 686kN、ダイクッション能力 490kN) を使用した。また、形状測定には形状測定機（株）ミットヨ製 コントレーサ CV-648) を用いた。実験に用いた金型の写真および下型図面を図 9 に示す。

3.2 実験結果

ハット曲げ成形において、しわ抑え力を変更することで成形部の材料にかかる引張応力の値が変わる。成形中のパンチ荷重最大値から成形部の材料にかかる引張応力を計算し、ダイス肩 R が 2mm, 4mm でそれぞれビードは無し、およびビード高さ 3mm, 4mm の時のしわ抑え力と引張応力の関係を

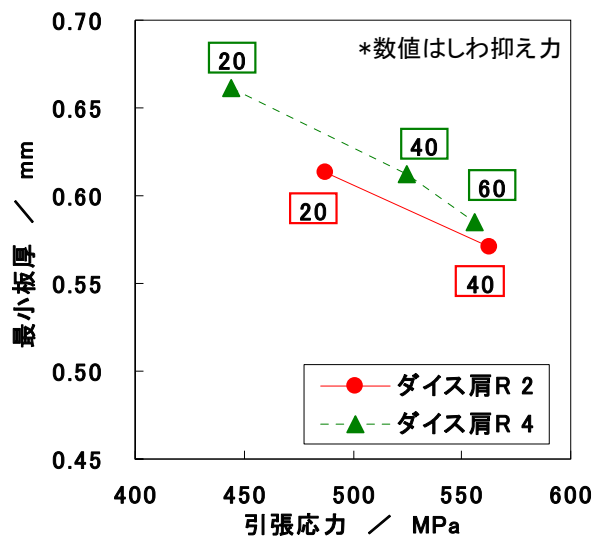


図6 ダイス肩 R, 引張応力と最小板厚

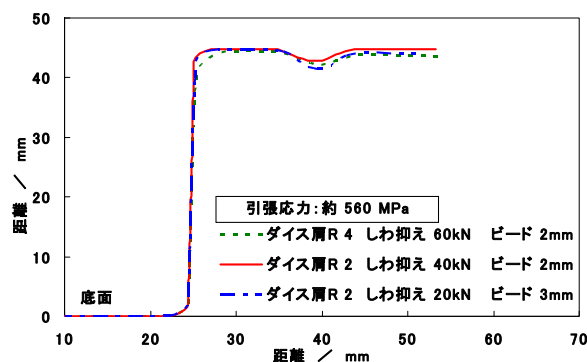


図7 同一引張応力における形状比較

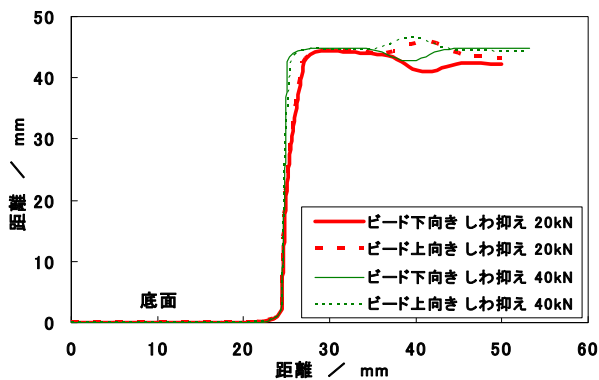


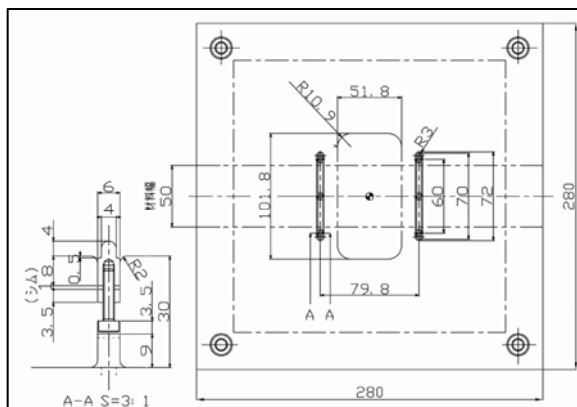
図8 ビードの向きによる形状比較

表4 実験条件

金型	ダイス材質	SKD11
	パンチ材質	SKD11+TiCNラップなし
	パンチ幅	50mm
	ダイス幅	51.8mm
	パンチ肩R	4mm
試験片	ダイス肩R	2mm, 4mm
	試験片幅	49mm
試験片	試験片長さ	280mm
	試験温度	28℃
試験片	潤滑剤	G-755BM+G-6030M(1:1)
	加工深さ	80mm



(a)写真



(b)下型図面

図9 ハット曲げ実験金型

図10に示す。いずれの場合もしわ抑え力を大きくすることで引張応力が大きくなることがわかる。ダイス肩Rが2mmと4mmでは、同じしわ抑え力でも結果にバラツキがあり、ダイス肩Rによる引張応力への影響は明確でない。ビードを設けることで小さなしわ抑え力で大きな引張応力が得られることがわかるが、ビード高さ3mmと4mmの差の影響も本実験では明らかでない。

ビード無しでダイス肩Rを変更した場合の成形部板厚測定結果を図11に示す。同じ引張応力においてもダイス肩Rが小さいR2の方が板厚が薄い傾向を示すことがわかる。

しわ抑え力を成形可能な範囲で条件を変えてハット曲げ実験を行い、ダイス肩Rが2mmの際の成形品形状測定結果を成形時の材料にかかる引張応力とともに図12に示す。引張応力が大きくなるほどスプリングバック量が小さくなることを確認できる。また、引張強さに近い応力においてもスプリングバックが確認できる。

次にダイス肩Rを変更した場合のスプリングバックについて調べた。上述のダイス肩R2mmに対し肩R4mmとして、しわ抑え力を変更して同様に実験し、形状測定を行った。

形状測定結果から、目標形状からのずれ量（垂直成形位置の変位を0として、その点からのずれ量）を、底面からの高さ60mmの点で求め、H60変位（図12参照）として求めた。測定結果を図13に示す。H60変位の値は、低引張応力域でばらつきが見られるものの、総じて引張応力の増加と

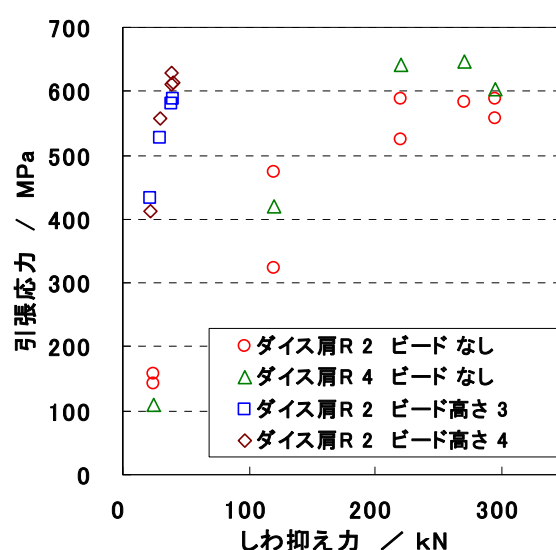


図10 しわ抑え力と引張応力の関係

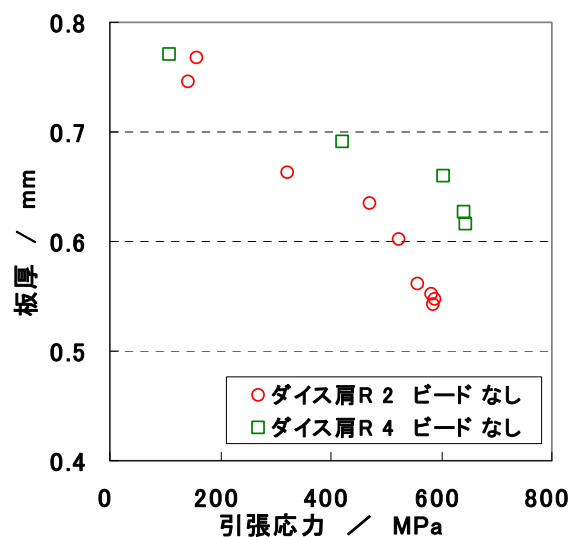


図11 ダイス肩Rと板厚の関係

ともに小さくなる。また、ダイス肩R2とR4の明確な差異は見られない。

次にビードを付加した場合の測定結果を図 14 に示す。前述のとおりビードを取り付けることで同じしわ抑え力でも材料の引張応力は上昇するが、H60 変位の値は、ビード無しのそれと比べて同等の引張応力では差異が見られない。また、ビード高さが 3mm と 4mm の場合の差異も明らかでない。

これらの計算結果と実験の傾向が明確に一致しない点は、実験の条件が結果に大きな影響を与えない程度の変更であったと考えられる。また、スプリングバックの計算精度にはバウシンガー効果の有無が影響するといわれている²⁾ ことから、スプリングバック量が異なる点は本研究で用いた材料モデルの影響が大きいと考えられる。

4. 結 言

SUS304 のハット曲げ成形において金型形状やしわ抑え力などの成形条件がスプリングバックに与える影響を FEM 解析により調べた結果、以下のことがわかった。

- (1) 成形中の材料に加わる引張応力が大きくなるとスプリングバックが減少する。
- (2) 引張応力が同じになる条件においても、ダイス肩 R が小さい方が板厚減少が大きくなる。
- (3) ビードの付加やダイス肩 R を小さくすることで材料に加わる引張応力の値を大きくすることができるが、今回検討の範囲ではビード付加の影響が大きく、ダイス肩 R およびビード高さの影響は小さい。

なお、本研究は平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業の成果の一部であり、経済産業省の委託を受けて実施したものであることを付記する。

参考文献

- 1) (社)日本塑性加工学会編，プレス絞り加工，1994，p27.
- 2) 上森武，岡田達夫，吉田総仁，“スプリングバック解析におけるバウシンガー効果の適切なモデル化の重要性”，塑性と加工，43，498，2002，p639-643.

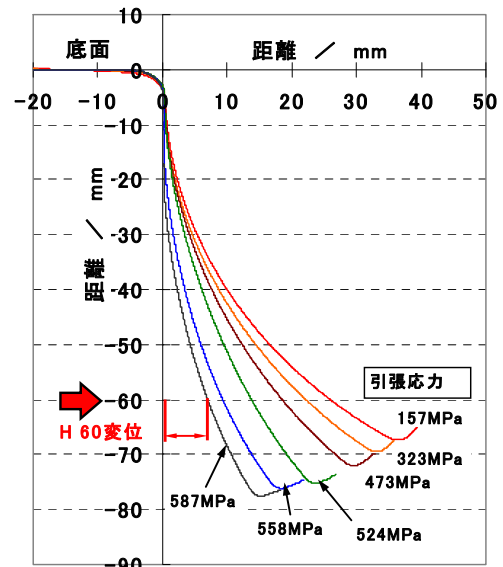


図 12 実験後の形状測定結果

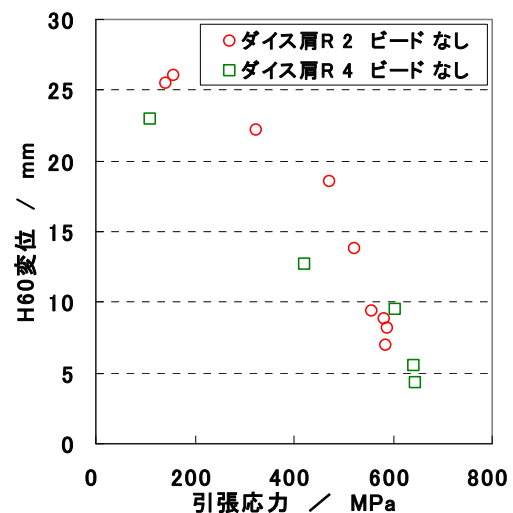


図 13 ダイス肩 R の影響

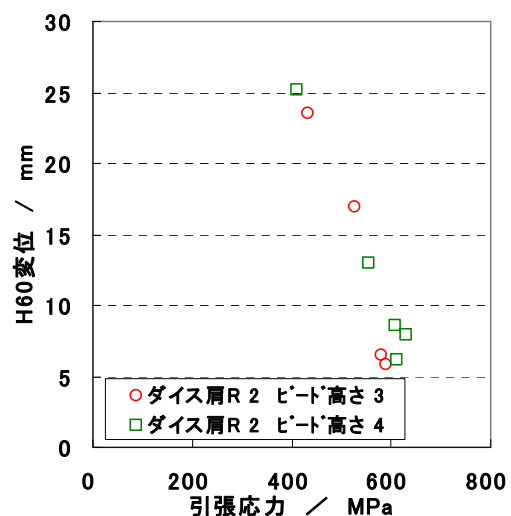


図 14 ビード高さの影響

重粉砕機異物混入時の回転刃の CAE による衝突解析

須貝 裕之* 片山 聡*

CAE Analysis of Accidental Jamming Damage cause of Alien Substance on Single-Shaft Shredder

SUGAI Hiroyuki* and KATAYAMA Satoshi*

抄 録

廃棄物の粉砕を行う重粉砕機が、硬い異物をかみこんで急停止した際に装置各部に生じる影響や、これを軽減する過負荷保護装置の効果についてコンピューターシミュレーションにより調べた。解析の結果、急停止時に回転刃を支えるシャフトのキーまわりに非常に大きな負荷が作用すること、またその主な要因は回転刃自体の回転エネルギーによるものであることがわかった。加えて過負荷保護装置は粉砕機の損傷低減に効果があることがわかった。

1. 緒 言

重粉砕機は廃棄物の見かけの体積を減少させて搬送や廃棄の効率化を図る装置として様々な分野へ適用が広がっている。一方、廃棄物に混入した想定外の硬い異物により粉砕刃が破損したり、粉砕機構の急停止により装置自体が破損するといった不安要素を抱えていた。重粉砕機には異物の噛み込みによる急停止時に装置にかかる負荷を低減させるため過負荷保護装置が備え付けられている。しかし実際に装置が急停止することは稀であるため、急停止時に各部に発生する応力に関する検討や過負荷保護装置自体の最適化はあまりなされていない。

本研究では、ウエノテックス(株)の重粉砕機が異物の噛みこみにより急停止する際に各部に生じる変形・応力状態をコンピューターシミュレーションにより計算し、それが装置各部に与える影響や過負荷保護装置の効果について調べた。

2. 解析手法と解析モデル

2.1 解析手法

今回の研究では解析に要する時間を削減する

ため、解析モデルの作成を企業と分担して行うこととした。図 1 に解析手順の概要を示す。三次元 CAD による解析モデル形状の作成は、実際に重粉砕機的设计を行っている企業側で行った。工技総研ではそのデータを元に解析用の要素分割と境界条件・初期条件の設定を行った後、解析計算を実行した。計算終了後、電子データを CD-R 等に記録し解析結果表示専用ソフトと一緒に企業に回付し、モデル形状へのフィードバックを検討した。解析モデルの作成には三次元 CAD の SolidWorks を使用した。また解析には動的陽解法有限要素法ソフトウェア LS-DYNA ver.971 を使用した。

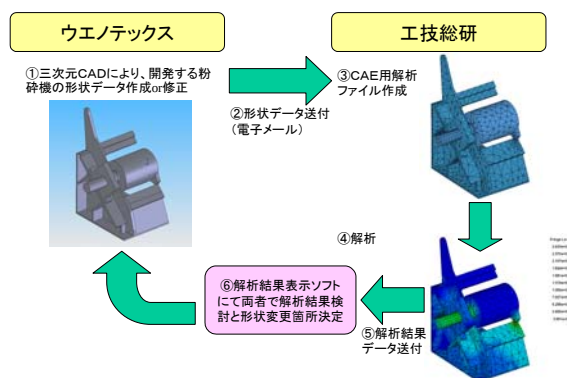


図 1 解析手順

* 中越技術支援センター

2.2 解析モデル

図 2 に解析対象とする重粉砕機の三次元 CAD による内部機構を示す。重粉砕機は 132 kWh のモーターによりベルトを介してフライホイールを回転させる。これによりフライホイールと接続されている回転刃が、装置下部フレームに固定されている固定刃との間で廃棄物をせん断・粉砕する。

解析モデルを図 3 に示す。重粉砕機は左右対称形状であるため、全体の 1/2 の部分のみをモデル化した。実機と同様に回転刃とシャフト、インナーフランジとシャフトはそれぞれ軸の両サイドのキーにより固定される構造とした。またベアリングケーシングと下部フレーム、下部フレームと架台はそれぞれボルトにより固定される構造とした。解析モデルは 4 面体要素と 6 面体要素で分割した。モデル全体の要素数は 52,410、節点数は 29,701 となった。

実機の重粉砕機は回転刃に過大な負荷が作用した際に、フライホイールと回転刃の締結を切り離して装置を保護する過負荷保護装置を備えている。本研究は衝突による応力状態の計算を目的としているので、保護装置自体の構造を正確に再現する必要はない。そこで解析モデルでは、図 4 に示す方法で保護装置を簡易的に模擬

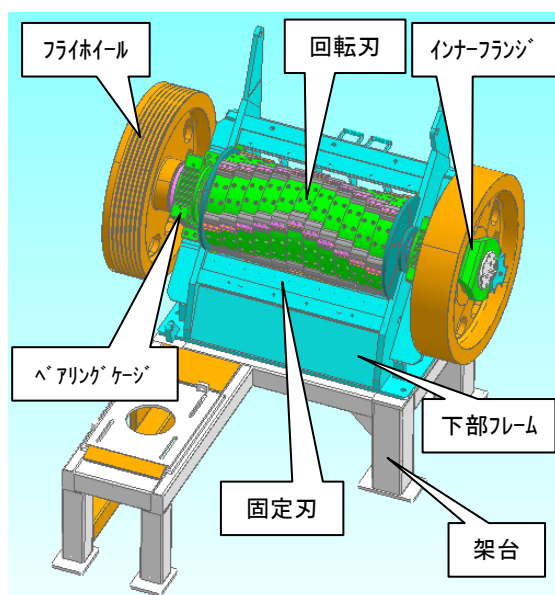
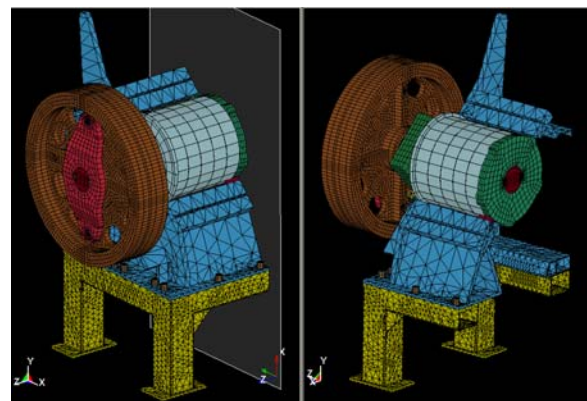
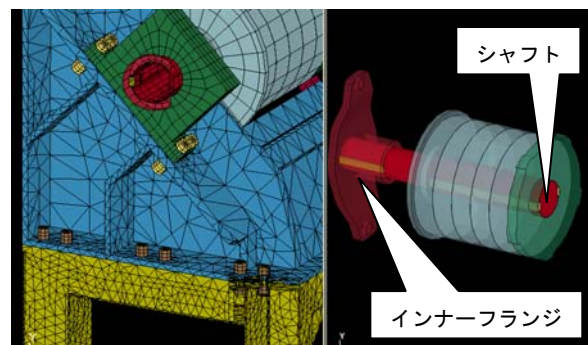


図 2 重粉砕機内部機構

した。ここではフライホイールから突き出した軸（突き出しピン）と回転刃と一体となったインナーフランジを、一個のソリッド要素（消滅ソリッド要素）でつないでいる。この要素は解析中所定の引張応力状態になると消滅するように設定した。消滅する引張応力の値は、締結切り離し荷重と黄色い要素の断面積から計算して設定した。図 5 に回転刃が異物と衝突した直後に



(a) モデル全体



(b) ボルトによる締結

(c) 回転刃とキー溝

図 3 解析モデル

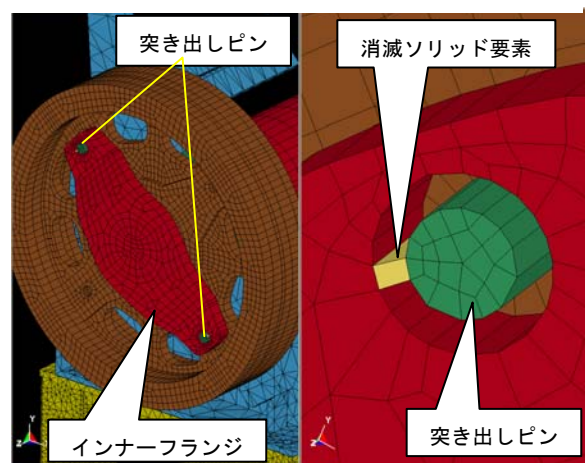


図 4 過負荷保護装置

過負荷保護機構が作動する様子を示す。

図 6 に異物の形状と位置を示す。実際の衝突による衝撃は、異物の姿勢や形状・材質などによって大きく異なるが、それらすべてに対応すべく莫大な組み合わせの解析を行うことは現実的でない。そこで本研究では異物の材質を鉄系の金属 (SS400) とし、位置はシャフトの中央部とした。形状は直方体とし下部フレームと一体化した。この条件設定における異物は実際に見られる異物に比べると強度は高めであり、回転刃に加わる衝撃も大きくなる。従って解析により得られた衝撃力は実際に起こりうる結果の中でも大きな部類になるため、設計から見れば安全側で見積もることになる。

解析に使用する材料特性を調べるため重粉砕機に使用されているのと同じ材料で引張試験を行った。今回は衝突現象の解析なので、非常に高速で材料が変形する。そこで試験速度は装置の最高速度である 1000 mm/min とした。

3. 解析結果

3.1 過負荷保護装置を設定した場合

図 7 に回転刃が異物に接触した直後の解析結

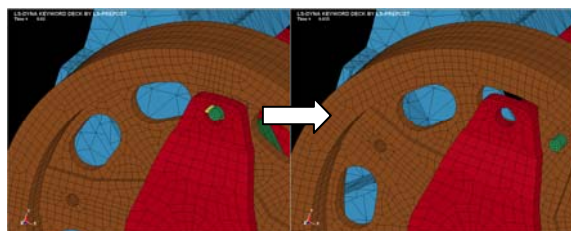


図 5 過負荷保護装置が動作する状況

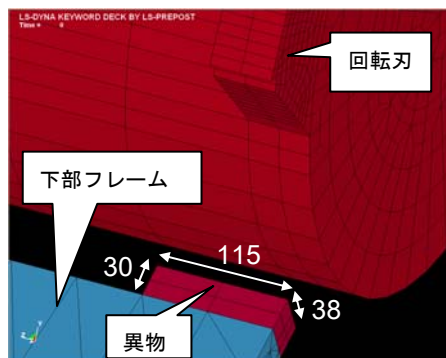


図 6 異物の形状

果を示す。異物が大きく塑性変形するとともに異物に衝突した回転刃の刃先も変形している。またベアリングケーシングと下部フレームの部分にも衝突によって回転刃が前方に飛び出そうとする力を抑えるため大きな応力が発生している。

3.2 過負荷保護装置の効果

次に過負荷保護装置の効果を調べるため、消滅ソリッド要素の破断限界をきわめて大きくして保護装置の機能を無効にした場合の解析を行った。図 8 に解析結果を示す。3.1 で行った過負荷保護装置が有効な場合と比較して、さらに各部の変形・応力状態が大きくなっていることがわかる。特にシャフトは応力状態が塑性域に達するほど大きくねじれており、もし過負荷保護装置がない場合、シャフト周りに大きな損傷が発生する可能性がある。以上の結果より、完全に破損を抑止できるとまではいえないが、過負荷保護装置は重粉砕機の破損を抑制する効果があると考えられる。

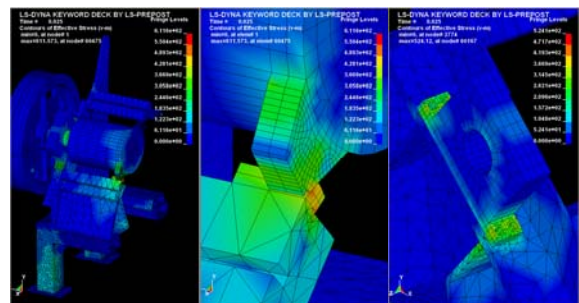
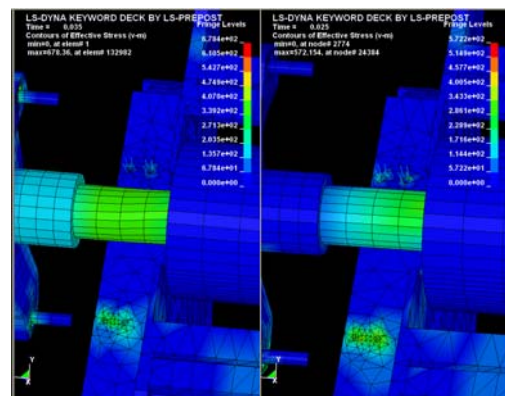


図 7 衝突直後の各部の応力状態



(a) 保護装置なし (b) 保護装置あり

図 8 過負荷保護装置の効果

3.3 衝突時に大きな荷重が作用する回転刃

キー周りの変形・応力状態の解析

図9に衝突時に Mises 応力が最も高い値になったときの解析結果を示す。ベアリングケージと下部フレームとの固定部分や異物と回転刃の衝突部に大きな応力が発生している。特に回転刃をシャフトに固定するキー周辺は最も高い応力が働き、キーは衝突の衝撃で大きく変形している。

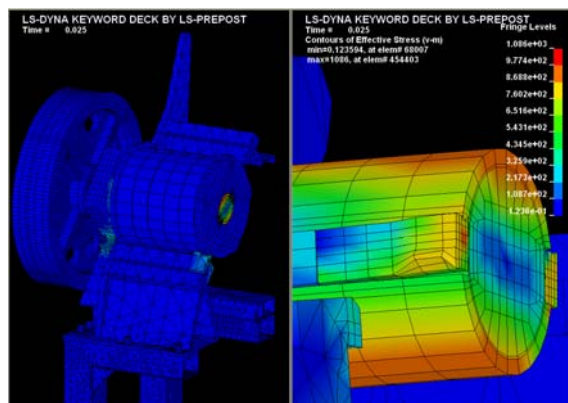
3.4 キーを変形させる要因

これまでの解析より異物と回転刃が衝突した場合、過負荷保護装置が作動しているにもかかわらずシャフトと回転刃を固定するキーは大きく変形する計算結果が得られた。キーを変形させるエネルギーには、過負荷保護装置が作動するまでの荷重と過負荷保護装置の作動によりフライホイールと切り離された後も回転し続ける

回転刃全体の回転エネルギーが考えられる。そこでどちらがキーの変形に大きな影響を与えているか調べるため、フライホイールがない状態で衝突解析を行った。結果を図10に示す。結果はフライホイールがある場合とない場合ではほとんど変わらない。このことから衝突によりキーを変形させるエネルギーの大半は回転刃全体の回転エネルギーによるものと考えられる。

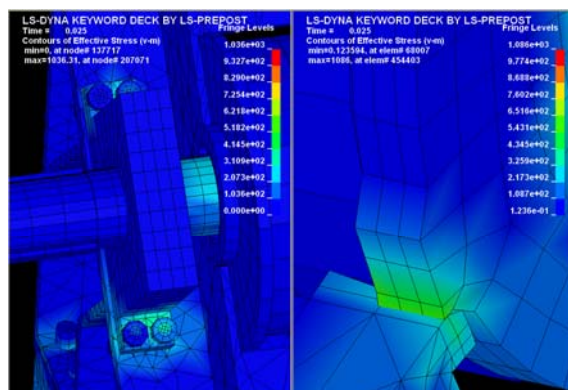
4. 動解析による衝突衝撃荷重と静解析によるねじり荷重によるキーまわり応力状態の比較

ここでは、異物混入による急停止時に最も大きな応力が発生する回転刃キー周りに関して、静的な解析と動的な解析を同様な条件下で行い、結果を比較する。これにより今後静的な解析結果をもとに衝撃的な荷重が作用する状況下での製品設計を行う際の指標とする。



(a) 全体

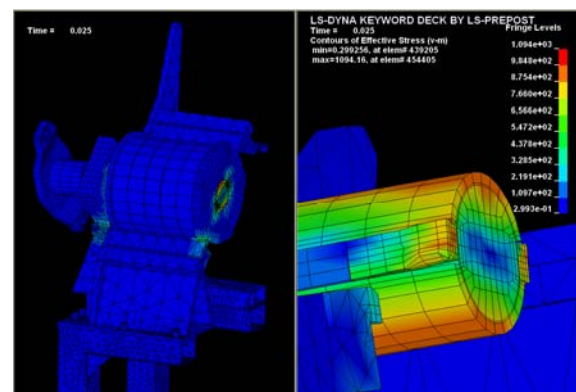
(b) キー部分



(c) 軸受け部分

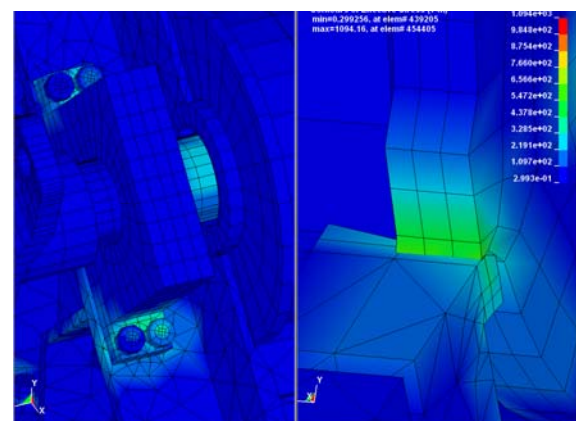
(d) 衝突部分

図9 解析モデル



(a) 軸受け部分

(b) 衝突部分



(c) 軸受け部分

(d) 衝突部分

図10 解析モデル（フライホイールなし）

4.1 解析モデルと解析条件

動的な解析と同様な条件下で静的な解析を行った。解析には静的陰解法有限要素法ソフトウェア ANSYS Workbench Ver.11 を使用した。図 11 に解析モデルを示す。静的な解析ではこれまで行った動的な解析のような複雑な接触条件では計算の収束性が悪化し解析の効率が悪くなるため、解析対象を単純化し回転刃、シャフトとキーのみをモデル化した。図 12 に荷重条件を示す。フライホイールと締結されるシャフトの一端にモーター出力と回転数、減速比から求められるトルクを設定した。拘束条件として、シャフトがベアリングケージによって支えられる部分についての半径方向の変位と、回転刃が異物と接触する位置の変位での並進方向の変位を完全に固定した。解析モデルの要素分割は自動にて行ったので、4 面体、5 面体、6 面体要素が混在した状態となり要素数 15,120 節点数 67,465 となった。

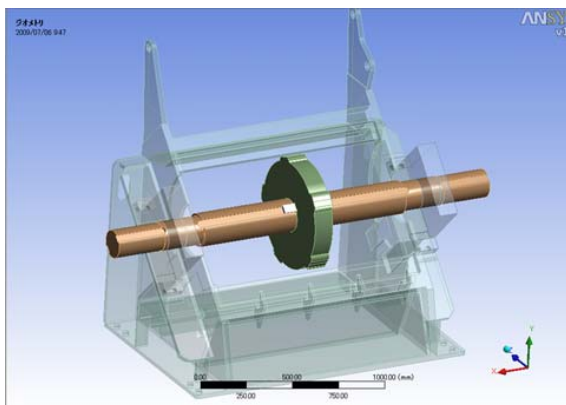


図 11 解析モデル

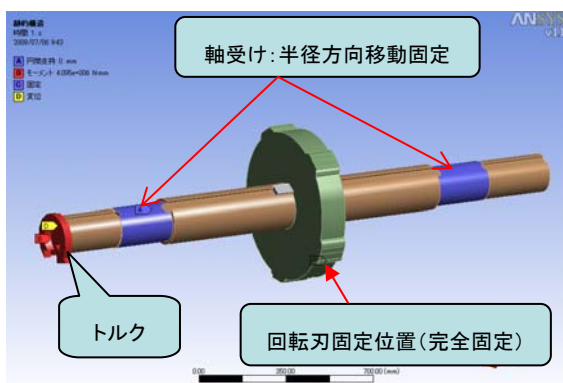
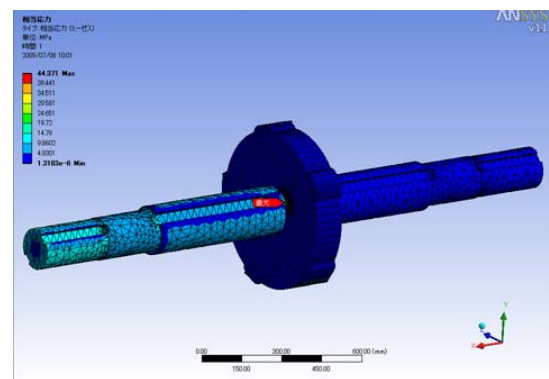


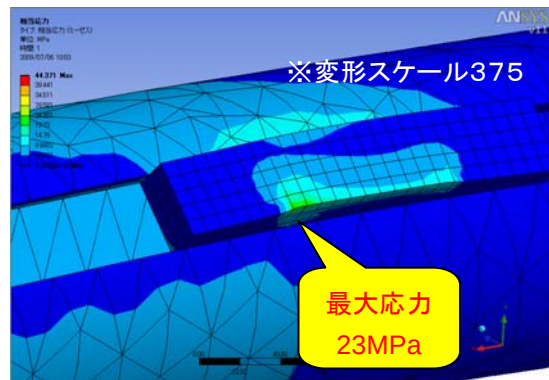
図 12 境界条件

4.2 静解析と動解析による解析結果の比較

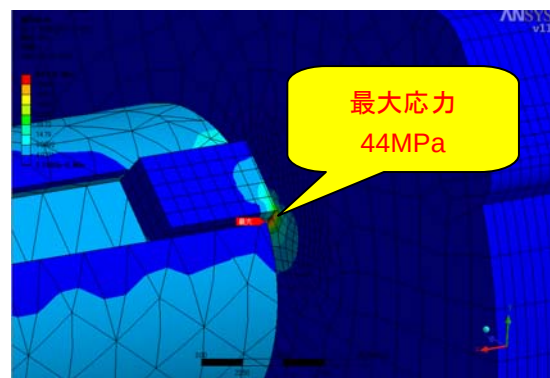
図 13 に静解析による解析結果を示す。キー側に 23MPa、回転刃のキー溝側に 44MPa の Mises 応力が発生している。また、シャフトのねじりトルクを 10 倍に設定して解析を行った結果、キーとキー溝の応力はそれぞれ 230MPa と 440MPa となった。今回の荷重範囲では形状非線形の影響がでるほど大きく変形しないため、荷重の増加とそれにより発生する応力の関係は線形（荷重が 10 倍になれば応力も 10 倍）であ



(a) モデル全体

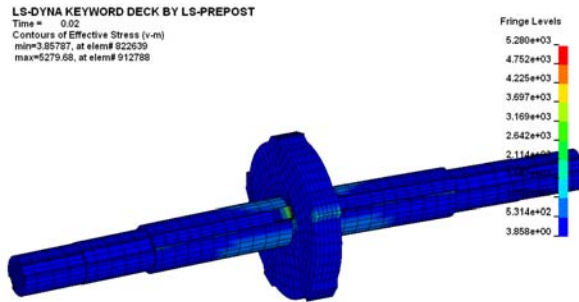


(b) キー側最大応力

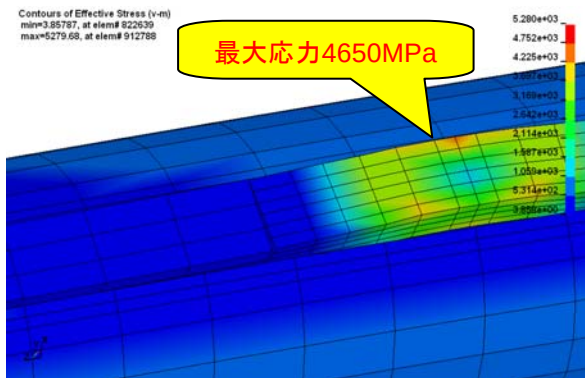


(c) 回転刃側最大応力

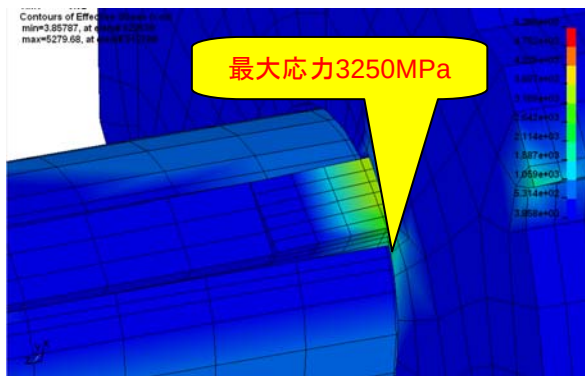
図 13 静解析の結果



(a) モデル全体



(b) 回転刃側最大応力



(c) キー側最大応力

図 14 動解析の結果

るといえる。

次に静解析の結果と比較するための LS-DYNA による動的な解析を行った。静解析の材料特性はヤング率とポアソン比のみを定義した弾性体による解析であった。そこでこの結果を同じ条件で比較するため、動的な解析においても材料特性を弾性体に変更して解析を行った。解析結果を図 14 に示す。キーと回転刃キー溝に発生する瞬間的な Mises 応力の最高値がそれぞれ 4,650MPa、3,250MPa となり静的な解析に

表 1 静解析と動解析の結果比較

部品各部の最大 Mises 応力			
	静解析 MPa	動解析 MPa	静解析に対 する倍率
キー	44	3,250	80
キー溝	23	4,650	180

比べて非常に高い応力が発生している。表 1 に静的・動的な解析結果を比較して示す。一般的な設計における安全率は静荷重の 3～4 に対して衝撃荷重ではその 4 倍の 12～15 と言われている。これに対して、今回計算した動的・静的な荷重によって発生する応力の比較では、動的な荷重では静的な荷重に比べて 80～180 倍の高い応力が発生する。無論、重粉砕機の形状や構造、運転条件によって異なるため一概にはいえないが、静的な解析方法により衝突時の応力状態を推定する場合はこの結果を念頭において検討する必要がある。

5. 結 言

本章で得られた結果を下記にまとめる。

- (1) 異物が混入して回転刃が急停止したときに重粉砕機各部が受ける衝撃や応力状態を解析する解析モデルを構築した。
- (2) 構築した解析モデルにより解析を行った結果、回転刃を固定するキー周辺に大きな永久変形が発生した。
- (3) 過負荷保護装置は装置の損傷抑制に効果があることを確認した。ただし、現状の機構では完全に損傷を回避することはできない。
- (4) キー周辺に大きな変形を発生させるエネルギーの大半は回転刃全体の回転エネルギーによるものと考えられる。
- (5) キーに発生する応力について、モーターのトルクが静的に作用する場合と回転刃の衝突により動的な荷重が作用する場合について比較した結果、動的な荷重は静的な荷重の 80～180 倍もの値となる。

重粉砕機のデザイン開発支援

橋詰 史則* 渡邊 直人**

Design Development of One Axis Crusher for Waste Recycling

HASHIZUME Fuminori* and WATANABE Naoto**

抄 録

新開発の一軸式重粉砕機UFP-130について開発目標に設定した「世界に通用する機械デザイン」を達成するため、商品開発評価手法を用いた製品情報分析を行い、現在の市場動向を把握し、競合製品群に対する開発機の位置付けを確認した。また外観デザインにおいてコンピュータグラフィックス（以下CG）を使用したデザイン提案を行い、決定形状に反映された。完成した後はグッドデザイン賞、ニイガタIDSデザインコンペティションに応募し、開発機の客観的評価を得た。

1. 緒 言

循環型社会の形成を一層進めることが課題である現在、環境関連機器分野において破砕機、粉砕機はリサイクルに欠くことのできない設備である。新開発の一軸式重粉砕機 UFP-130（以下開発機）は、CAEを活用した最適設計により、今まで不可能であった未処理の対象物を細かい粒度に一括処理することを可能とし、処理コストの大幅削減を達成した¹⁾。また動作時の静音性、防塵性の向上と、作業環境周囲への威圧感、危険性の減少を実現するためのカバー形状の検討が要求された。これら従来機には無い性能や開発目標を持つ新コンセプトの開発機にふさわしい本体デザインを付与することにより、リサイクル先進地域である欧州でも競争力を持ち、国内市場では先導的位置に立つ製品とするべくデザイン支援を行った。

2. 商品開発評価手法を使用した製品情報分析

2.1 対象市場と製品情報収集

今回の開発機のデザイン案が、既存の製品群の中でどのような位置づけになるかを把握し、他機種と比較し優位性を持っているかを確認しておくのは開発において重要な点である^{2) 3)}。

* 素材応用技術支援センター

** ウエノテックス(株)



図1 商品開発評価手法 研究事例集

そこで、工業技術総合研究所デザインセンターH12実施研究による成果物「商品開発評価手法研究事例集」の手法に基づき、データベースシート、特性カルテ、ポジショニングマップの作成を通してデザイン案の位置付けを確認することにした。図1に事例集を示す。

今回の分析の元となる情報群は、ウエノテックス(株)保有の海外見本市収集カタログファイルからの海外メーカー製破砕機・粉砕機製品情報と、2008NEW環境展で収集した主に国内メーカーカタログからの国内環境関連製品情報の二つを使用した。海外見本市収集カタログからは21社54点、NEW環境展収集カタログからは20社77点の製品画像情報を抽出し、使用した。

表1 分析項目

分析項目	記入内容及び選択肢
収集No	
企業名	製造メーカー名
製品名	型式名, 品番等
商品画像	カタログ, HPから
セールスポイント	カタログ, HPから抜粋
大きさ	縦・横・高さ・容積・重量
処理軸数	1軸式・2軸式・多軸式
出力	キロワット数
処理対象物	木・土砂, 石・金属・産廃・紙・繊維・プラ・バイオマス・生ゴミ・清掃, 洗浄
設置場所	屋外・処理場内・生産ライン・生活空間・オフィス
設置方法	自走式・据え置き・構造物・移動式
サイズ展開の有無	有・無・展開数
シリーズ展開の有無	有・無・展開数
外観の配色	赤・青・黄・緑・白・黒・グレー・配色数
メーカーHPアドレス	
マップ用感性分析軸	暖色～中間色～寒色 地味～中間～派手 軽快感～中間～重厚感 カバー～中間～むき出し

2.2 データベースシートの作成

収集した製品情報を整理し、分析するためのデータベースシートを作成した。画像やカタログ情報、メーカーHPから読み取れる分析項目を設定した。設定した分析項目を表1に示す。

こうして作成したシートに画像情報やセールスポイントを書き加え、該当する分析項目にチェックをしていった。この作業により、まず製品個々の概要を把握した。

2.3 特性カルテの作成

情報を入力したデータベースシートを元に、特性カルテを作成した。画像情報をまとめ、分析結果を集計しグラフにしたものである。海外製品情報と国内製品情報の二つのグループの特性カルテが作成できた。図2に海外製品グループ

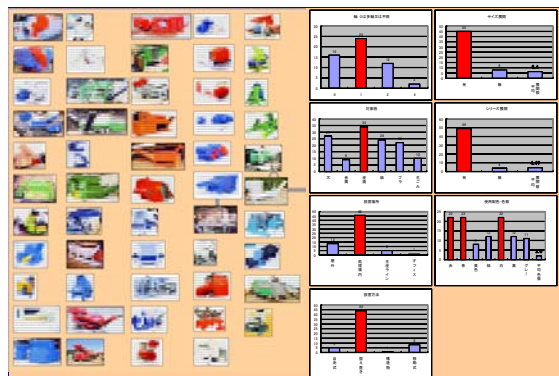
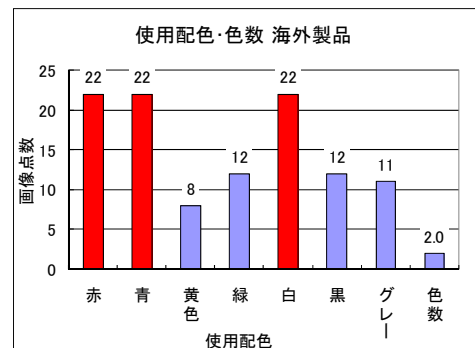
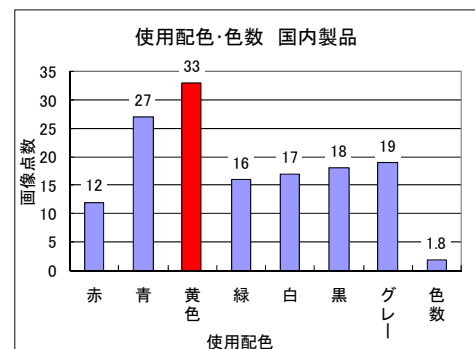


図2 特性カルテ

プの特性カルテを示す。分析項目のうちどの選択肢が多かったかを分かりやすく色分けしておき、各グループの傾向を掴むとともに、二つのカルテを比較して共通点や違いを見てみた。両グループとも一軸式の据え置き型が主流であることや、海外製品では処理対象物を幅広く設定しているものが多いのに対し、国内製品ではペットボトル専用などといった特定のものを処理対象とした製品がみられること、また国内製品ではオフィス向け機器や清掃機器等、より生活者に近い場面での設置・使用を考えた製品が見られることなどが分かった。外観の配色の傾向に違いがあることもカルテから読み取れた。比較分析結果の例として配色についてのグラフを図3に示す。特性カルテ作成を通して、以上のように製品群全体の傾向を把握した。読み取ったこれらの傾向は、次に作成するポジショニングマップにおける製品個々の位置付けの決定や、記入する開発ポイントを考察する際にも参考とした。



(a) 海外製品グループ配色傾向グラフ



(b) 国内製品グループ配色傾向グラフ

図3 特性カルテ 分析グラフ例



図4 ポジショニングマップ

2.4 ポジショニングマップの作成

ここまでの作業を通し、対象製品群の個々の製品概要と製品群全体の傾向を大まかに把握した。この結果を踏まえ、ポジショニングマップの作成を行った。まずマップの縦軸・横軸に商品評価軸を設定するが、この評価軸は現在の市場において各製品がどのような位置付けにあるのかを評価し、開発の方向性を見つけるためのものである。今回の分析においては、デザインの特徴を分析するキーワードを評価軸に採用した。対になるキーワードを設定してデータベースシート右端に追加し、個々の製品について感情的にチェックしていった。この結果を元に、マップで該当する縦・横の位置に各製品画像を配置した。今回のマップでは、縦軸を「カバーされた外観～構造むき出し」という形についての評価軸、横軸を「寒色系～暖色系」という色彩についての評価軸とした。作成したマップを図4に示す。

ポジショニングマップからは、様々な市場動向を視覚的に読み取ることができる。まず海外製品グループのマップを考察する。

横軸方向に分布する製品外観の配色の傾向においては、赤系、緑系、青系とはっきり分かれた。黄色の採用はアクセントにとどまっており、紫系は無い。あざやかで大胆な色使いのものが多く、低彩度の配色は少ない。また白の使用も多い。作業時の機械の視認性を高める目的と共に、カタログ掲載や見本市等の展示の際の見栄

えも重視していると考えられる。

縦軸方向の形状の違いによる分布を見てみると、構造むき出しのものよりは部分的にカバーリングを施したもののほうが多い。よって差別化を目指すのなら、製品全体をフルカバーするなど徹底することが必要と考える。だがその際、メンテナンス性に配慮した形状とする。曲面、ラウンド形状でのカバー類は見受けられない。またNC工作機械のように、動作を確認するのぞき窓があるものも無い。作業への優しさを感じさせる外観とする際にヒントとなるのではないか。

国内製品グループのマップでは、配色の傾向は、黄色+黒のグループと、青、白グループの二つが目立つ。黄色と黒の配色は、その機械の存在（時には危険であること）をアピールするものである。対して青、白の配色は、清潔なイメージにより、なるべく周囲と調和しようとする意図の表れではないか。大胆な海外グループと比べると、色使いに対する真面目さが感じ取れる。

縦軸方向に注目して見てみると、国内マップは海外に比べ下側に配置された製品が多いことが分かる。破碎機・粉砕機では構造むき出しの製品がまだ多く、静音性や安全性向上を含めた外観への配慮はこれからという段階である。よってフルカバー形状にデザインされた製品が登場した際のインパクトは海外市場より大きいという予想もできる。現状で上側に位置する製品

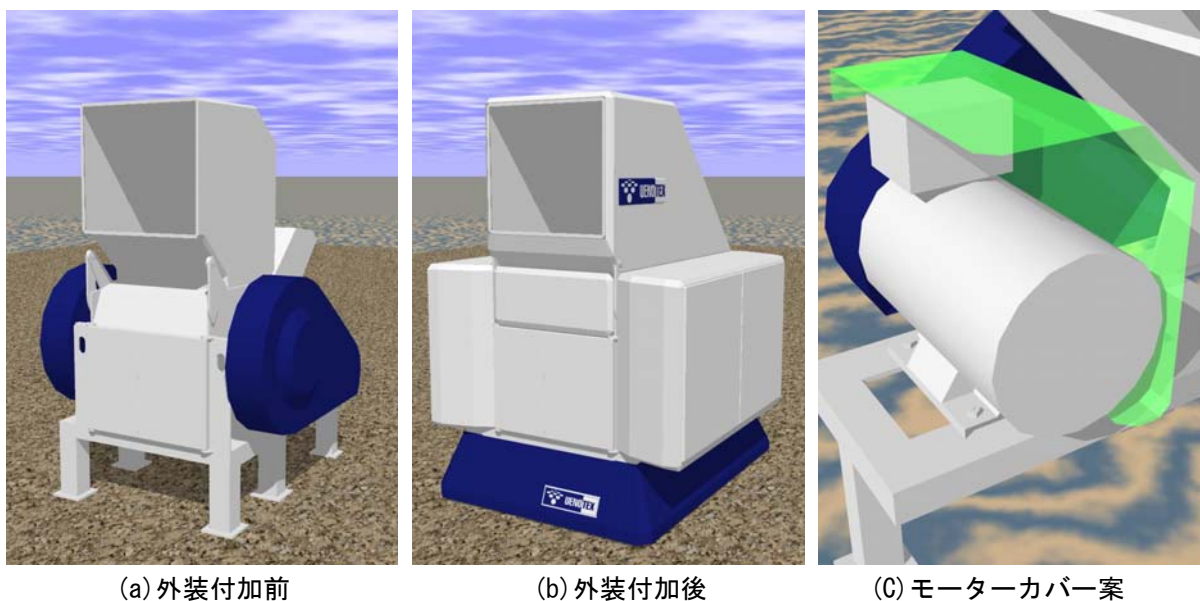


図5 CGデザイン案

は破砕機・粉碎機は少なく、清掃機器等のオフィスや生活空間に近い場面で使用されるものが多い。

以上の考察結果はまとめてマップ右隣に開発ポイントとして記述した。国内製品グループのマップと海外製品グループのマップを比較し、製品分布に明確な差があることが分かった点が収穫であった。

3. CGによる外観デザイン提案

3.1 形状デザイン

これまでの製品情報分析結果を踏まえ、既存の製品群と比べても優位性を確保することを念頭に置き、CGによる外観デザインの支援を行った。

一軸式で、上部投入口から処理対象物を投入し、下部側面（CGでは前面からも想定）から排出されるという処理経路と、各機構の構成を変更することなく、外装カバーを付加していくことでスマートな外観となることを目指した。デザイン上のコンセプトは、「基本構成を変更せず、メンテナンス性に配慮したフルカバー形状デザイン」。CGソフト（株）イーフロンティア製 Shade）を使用し、作成した。

基本構成図面を元にカバー装着前の外観をCGでまず作成した後、干渉に気をつけながら外装カバーを付加していった。外装カバー形状の作成時において、メンテナンス性を損なうことの無いよう、開閉式となることを考慮したこと、各部の端面を面取り処理することにより角張った印象を和らげることを注意点として作成した。配色は、ウエノテックス(株)のコーポレートカラーである白と深みのある青を使用し、下側に青を配し、上部を白とする配色で安定感と清潔感を表現した。ロゴマークについてもバランスの良い位置と大きさを検討し配置した。CGによる形状提案では、メンテナンス時にモーターの上に処理物が落ちるのを防ぐモーターカバー

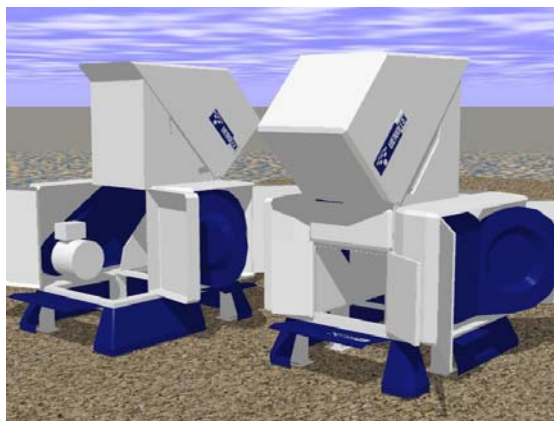


図6 メンテナンス時の状態



図7 1号機外観

一形状を検討する際にも活用した。図5に作成したデザイン案を示す。図6にメンテナンス時を想定したカバーを開いた状態を示す。開口部を大きくとることでアクセス性を高めている。

3.2 マップ上での位置づけの確認

作成したデザイン案が、分析した二つのマップにおいてどこに位置付けられるかを確認した。両マップにおいても、寒色系でカバーされた方のマップ右上部分に位置付けられる。形状面では他社にひけをとらず優位性を持っているといえる。特に国内市場はまだ機能優先という状況であり、より先進性と差別化を図ることができると考えられる。

4. 開発機の完成と各賞応募

4.1 デザイン提案を踏まえた製作

以上の分析と提案を踏まえ、開発機のデザインを決定し、ウエノテックス(株)であらためて3次元CADによる設計と製作を行い、1号機の完成となった。図7に外観を示す。形状、配色とも、提案を踏まえ実現できる形に修正して外装パネルを構成した。特に端面の形状はデザイン案を再現するよう配慮して製作された。

ヒンジや取っ手も外観に影響の少ない配置とした。外観全体を覆う外装パネルにより開口部を極力少なくしたことと、パネル内側の防音材設置により、静音性が向上し、動作時の粉塵の飛散が抑えられていることが1号機動作テストで確認できた。こうして完成した1号機は2009年6月に開催されたNEW環境展に出展することとなった。一般に展示を行い公開すると、形状が公知のものとなり、その後に意匠登録をすることができなくなるため、出展前に意匠登録出願を済ませた。

4.2 グッドデザイン賞応募

グッドデザイン賞は、(財)日本産業デザイン振興会が主催する総合的なデザイン評価・推奨制度である。1957年に通商産業省(現経済産業省)によって創立された「グッドデザイン商品選定制度(通称Gマーク制度)」であり、50年以上の歴史の中で約35,000点にのぼる。

開発機においても、外部から客観的なデザイン評価を得ることは有意義であり、その結果としての受賞は有益と考え、今年度のグッドデザイン賞に応募することになった。開発機が環境関連機器であり、循環型社会形成のために役立つ機器であることや、デザインを向上することにより安全性や静音性等の性能も高まり、作業者の立場からも考えられた開発方針と言えることから、それらをアピールした応募文章を作成した。

結果は残念ながら一次審査での落選となったが、要点をまとめて長所をアピールした資料は以後の販売活動にも活用できること、どこが至らなかったかを検証して以降の開発に反映する点を見いだしたことは有意義であった。

4.3 IDSコンペ応募

今年度で20周年となるニイガタIDSデザインコンペティション2010は、(財)にいがた産業創造機構が主催し新潟県が共催する、「地域発ブランド」を構築し得る産業の育成を目的に、生活市場へ向けた「新しい商品」及び、生活を

支える「新しいシステム（例：販売システム，レンタルシステムなど）」の提案を対象としたコンペティションである。審査員による客観的評価を得ることと，関係者や一般公開来場者への開発機の周知を目的に応募した。

審査及び展示会場には，大型のため1号機本体は搬入せず，説明パネルと処理物粉碎時の動作などを撮影したVTR映像を展示し，審査に臨んだ。

結果は惜しくも受賞に至らなかったが，審査委員と出品者が意見交換を行う参加型のイベントであるステップアップフォーラムの第2部「生活を助ける商品」において，審査員から冒頭で開発機について意見があった。リサイクル社会が進む中，高効率，より静かだという方向の製品が出てきたのは評価できること，静かでクリーンな外観という特徴を生かし，今後は大規模小売店舗などのより身近なところに設置されて処理物を破碎することで，リサイクル資材の運送時の減容化，運送コスト低減に繋がる粉碎機を開発すると良いのではということであった。多くの出品がある中フォーラム冒頭で取り上げられたことは開発機がそれだけ注目された製品であることが伺われた。またこのように今後の開発に参考となる意見を直接聞く機会があったことは有意義であった。

5. 結 言

- (1) 商品開発評価手法 研究事例集の手法に基づき，データベースシート，特性カルテ，ポジショニングマップを作成し，海外及び国内の破碎機・粉碎機製品情報分析を行い，動向を把握した。
- (2) CGデザイン案は，ポジショニングマップ上で開発機が狙う位置付けを確認し，海外及び国内製品グループの中でも優位性を持つ形状デザインであることを目指し作成した。
- (3) CGによる形状デザイン提案は，完成した実機の形状と配色，ロゴマーク配置の決定に反映された。
- (4) グッドデザイン賞とニイガタIDSデザインコンペティション2010応募を通じて開発機を周知し，今後の開発の参考となる意見を得た。

参考文献

- 1) ウエノテックス(株)，廃棄物リサイクル用粉碎機UFシリーズカタログ，2009.
- 2) 新潟県工業技術総合研究所デザインセンター，デザイン展開の手引き，2000.
- 3) 新潟県工業技術総合研究所デザインセンター，商品開発評価手法 研究事例集，2001.

高齢化社会に適した再生医療普及のための安価な培養システムの開発（第2報）

明歩谷 英樹*

Development of Low Priced Culture System for Regenerative Medicine Spread that is Appropriate for Aging Society II

MYOUBUDANI Hideki*

抄 録

平成20年度に続き¹⁾，再生医療に使用するための細胞培養用の柔らかい足場の開発を行った。その結果，新潟県繊維産地が持つ編み技術などを活用し，天竺編み地で問題となっていた編み地のメクレ上がりを防止する処理を見だし，また培養細胞との親和性をあげるため，UVオゾン加工を施しぬれ性を向上させた細胞培養用足場を試作できた。

1. 結 言

事故や病気などで失われた身体の一部の機能を回復するための再生医療は，近年大変注目され，各方面で開発が進められている。再生医療の開発要素としては，細胞（培養），足場，増殖因子の3つがある。その内，細胞培養時や移植時に細胞を保持するための足場は，これまで牛由来のコラーゲンや屍体皮膚，豚コラーゲンなどの生体材料が使われてきたが，近年，ポリ乳酸（以降 PLA）やポリグリコール酸（以降 PGA）などを用いたスポンジやフィルムと言った合成材料も登場してきている^{2) 3)}。当センターでは，取り扱い易い PLA やポリジオキサノン（以降 PDO）などの生体内分解吸収性繊維を用いて，柔らかいニット足場を開発することを目指して研究を行った。

なお，本研究は新潟大学，HOYA(株)，(株)ジュース，(株)ジャパン・ティッシュ・エンジニアリング，新潟県工業技術総合研究所がそれぞれテーマを分担し進めている(独)科学技術振興機構 JST イノベーションサテライト新潟の実用化のための育成研究課題「高齢化社会に適した再生医療普及のための安価な培養システムの開発」において実施されたものである。

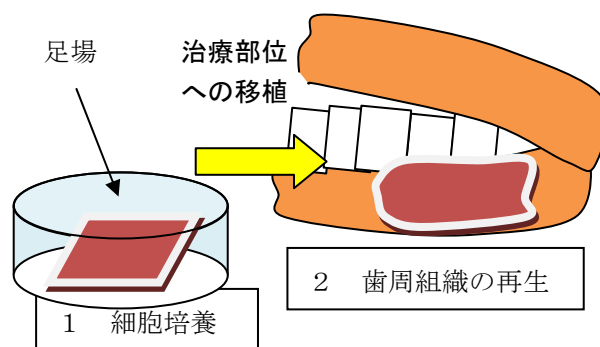


図1 細胞培養足場

2. PDO繊維を用いたニット足場の開発

足場は図1に示したようにシャーレなどの中で増殖させたい細胞を乗せ，細胞を培養する。その後，足場は幹部へ移植され，最終的には治癒するとともに，体内で分解吸収されることとなる。

我々は生体内分解吸収性繊維を新潟県のニット産地が持つ技術を用い編み立てることで，編み地状の足場を開発することに取り組んできた。昨年度までに①．組紐状の縫合糸を編み立てた足場，②．①を解きさらに編み立てたニット・デニット足場，③．PLAモノフィラメントを編み立てた上に，エレクトロスピン法によって PLA 不織布を形成させた複合足場（図2

* 素材応用技術支援センター

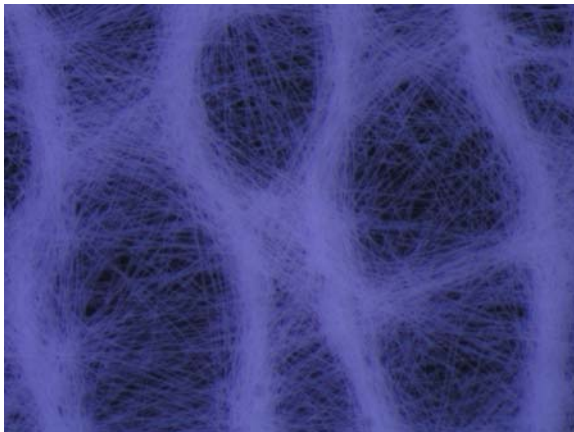


図2 エレクトロスピンニング複合足場

参照)を試作した。本年度はPDOモノフィラメント縫合糸を用いた編地を作製し、播種した細胞がニット足場に保持しやすくなるよう表面改質した足場を開発した。

2.1 PDO繊維縫合糸

PDO 繊維の足場作製には、ケイセイ医科工業(株)製のモノフィラメント縫合糸である次の2種類を使用した。

- ・PDO 7-0 : 106dtex./1
- ・PDO 5-0 : 349dtex./1

この縫合糸は、釣り糸のような1本の丸断面の糸であり、コーティングが施されていない縫合糸である。PDO7-0 は PDO5-0 に比べ繊維の直径が細い。

2.2 ニット足場の作製

足場開発においてポイントとなるのは、連通孔と呼ばれる表面から裏面までが貫通した穴の存在である。この穴によって血管の侵入が可能となり、酸素や栄養分の行き来ができるようになると言われている。しかし、細胞(直径が $10\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$)⁴⁾が穴から抜け出す懸念もあることから、編地作製の際により小さな網目を形成する必要がある。この天竺ニット作製には丸編み機(20ゲージ)を用いた。比較試料と

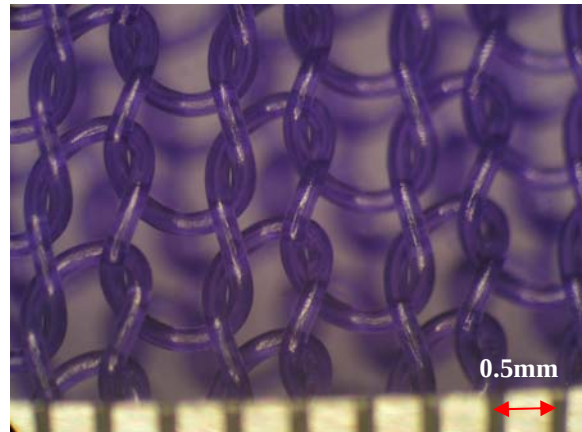


図3 天竺ニット足場 (PD05-0)



図4 ニット・デニット足場 (PD05-0)

して、この天竺ニットから糸をほぐし、15ゲージ横編み機で天竺編地に編みなおし不規則なループ形状としたニット・デニット編地を作製した。その後、網目の大きさをより小さくするため、75℃の熱水にて収縮させ、網目の直径を約 $100\mu\text{m}$ まで縮めた。図3には天竺ニット足場を、図4にはニット・デニット足場の拡大写真を示した。

2.3 表面処理方法の開発

先の項で示した PDO 繊維の天竺ニット足場、ニット・デニット足場について、アルコール洗浄後、新潟大学にて3日間の培養試験を行った。その結果、細胞が足場上に保持されておらず、ほとんどなくなってしまった。この原因を検討していく中で、網目の大きさが $100\mu\text{m}$ と細胞の

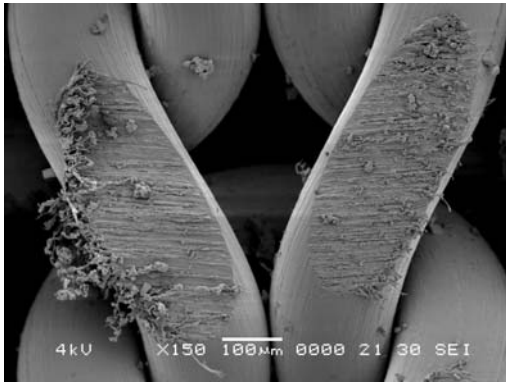


図5 摩擦加工後のニット足場表面

大きさに比べ大きいことや PDO 繊維の表面が細胞と相性が悪く、滑り落ちるのではないかとの見解を得た。

この項では、PDO 繊維のニット足場に各種表面処理を行い、細胞の付着保持が向上するような処理方法を検討した。

2.3.1 研磨布による溝作成

物理的に溝を与えることで、細胞の付着を向上させることを期待し、研磨布によってニット足場表面に凹凸をつけた。磨耗方法は JIS L 0849:2004 摩擦に対する染色堅ろう度試験方法に規定の摩擦試験機 II 形（学振形）を用いて行った。

- ・研磨紙：CC-1000
- ・磨擦回数：100 回

加工後の表面状態を拡大した電子顕微鏡写真を図 5 に示した。

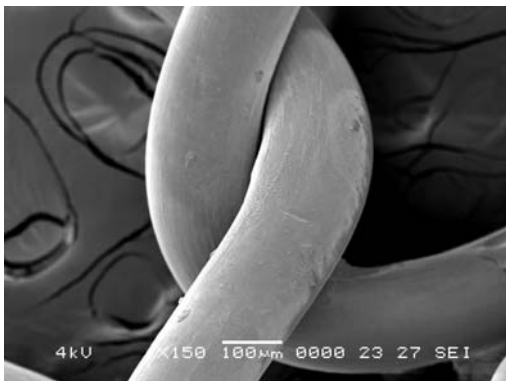


図6 エッチング後のニット足場表面

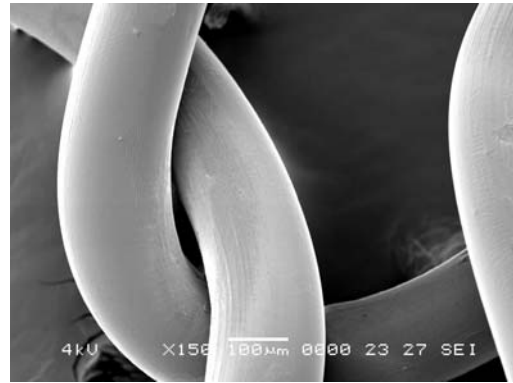


図7 UV オゾン処理後のニット足場表面

2.3.2 エッチング処理による表面改質

ニット足場上に電気エッチング処理を行い、表面改質を試みた。

加工機：小型ロードロック式スパッタリング装置 CFS-4EP-LL

処理時間：30 秒間

加工後の表面状態を拡大した電子顕微鏡写真を図 6 に示した。表面状態は滑らかであった。

2.3.3 UVオゾン処理による表面改質

近年電子デバイスの表面を改質，クリーニングする手法として，UV オゾン処理が注目され，多くの企業で利用されている⁵⁾。この技術を用いて，ニット足場表面を改質することを試みた。

加工装置：PHOTO SURFACE PROCESSOR Model PL16-110（セン特殊光源(株)）

UV 照度：18mW/cm²

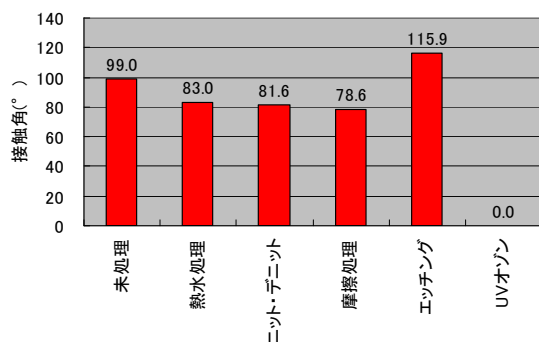


図 8 各種表面改質による接触角比較
(PD05-0)

処理時間：600 秒間

加工後の表面状態を拡大した電子顕微鏡写真を図 7 に示す。エッチング処理と同様，取り立てて表面状態に変化は見られず，滑らかな表面となった。

2.3.4 濡れ性比較

上記のように作成した表面処理によるニット足場の濡れ性を比較するため，協和界面科学(株)製接触角計 CA-S ミクロ 2 型を用いて接触角を測定した。その結果を図 8 に示した。各処理を比較したところ，UV オゾン処理の接触角が低い値を示し，濡れ性が飛躍的に向上していることがわかる。UV オゾン処理前後のニット足場に水滴を落とした写真を図 9 (未処理)，

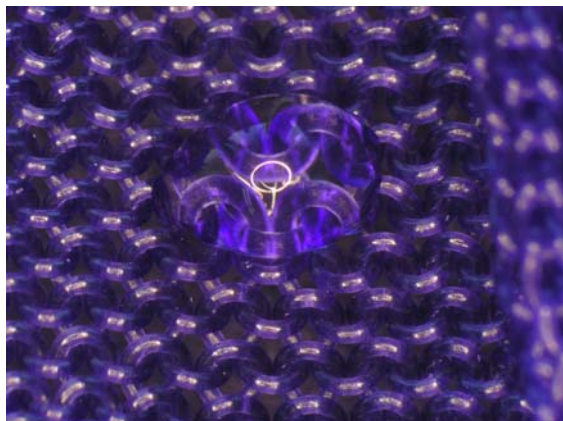


図 9 PDO ニット足場の濡れ性比較
(未処理)

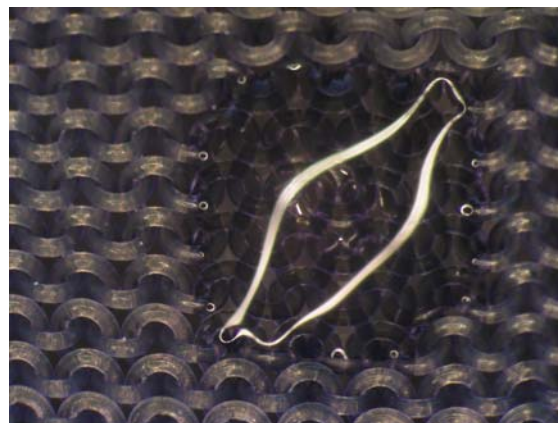


図 10 PDO ニット足場の濡れ性比較
(UV オゾン処理後)

図 10 (UV オゾン処理後) に示した。未加工では水滴が丸くなり撥水性を示しているのに対し，加工後は水がしみ込み，濡れ性が向上している。よって，PDO 繊維を用いたニット足場表面の濡れ性付与には，UV オゾン処理が有効であることがわかった。次に PLA 繊維を用いたニット足場に UV オゾン処理を行ったが，PDO 繊維の場合と同様に PLA 繊維でも濡れ性が向上し，PLA 繊維の濡れ性向上にも効果があることがわかった。PLA 繊維のニット足場の各表面改質による接触角を比較した結果を，図 11 に示した。数値的にも PDO 繊維の場合と同様の結果となった。

2.4 成形方法について

天竺編地でニット足場を作製していくと，図 12 のように，足場がフラットにならずイカを焼

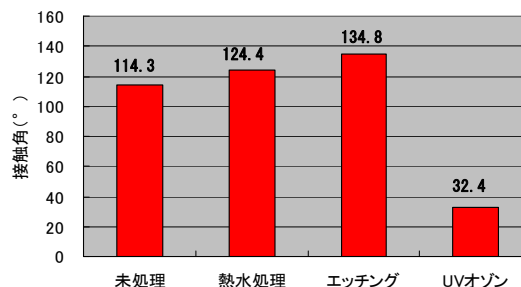


図 11 各種表面改質による接触角比較
(PLA)



図 12 天竺編地のメクレ

いたようなメクレ上がりが発生した。このようなメクレ上がりでは、培養細胞の偏りが発生するなど足場としては不適切であるため、防止方法について検討を行った。

超音波工業(株)製 ULTRASONIC TRANSDUCER を用いて、足場の端部を熔融切断した。その結果、広い面積が硬くなってしまうアイロンなどによる熔融プレス処理とは異なり、切断部分は一部熔融してはいるが、硬くなることなく成形することができた。図 13 にその成形品の写真を示した。

3. 細胞培養用足場の商品化について

今回試作したニット足場の作製工程をまとめ、



図 13 超音波切断後の足場

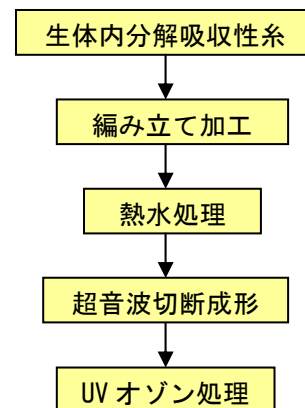


図 14 ニット足場作製工程

図 14 に示した。

細胞培養用ニット足場開発には、原材料である素材についてはコラーゲン繊維やキトサン繊維、PLA や PDO 繊維など多種多様なものが登場してきている。しかし、縫合糸として入手した場合大変高額であり、その入手先も限られてくる。そのような中で、ニット技術を用いての足場作製は、大きな天竺ニットを大量に製造しておき、超音波切断機によって希望する大きさに効率よく切断成形できるため、安価に提供できる方法である。

4. 結 言

- (1) 細胞培養用ニット足場に親水性を付与するため各種表面処理を行った結果、UV オゾン処理によって効果的に加工できることがわかった。
- (2) 超音波切断機によってニット足場を希望する大きさ・形状に処理することで、ニット足場の弱点であった伝線やメクレ上がりのないフラットな足場を試作することができた。
- (3) ニット足場を作製する工程として、糸→編み立て→熱水収縮処理→超音波切断成形→UV オゾン処理を提案した。

参考文献

- 1) 明歩谷英樹, “高齢化社会に適した再生医療普及のための安価な培養システムの開

- 発”，工業技術研究報告書，2009，No.38，p73-77.
- 2) 服部俊治，“動物由来繊維分子コラーゲンの性質と応用”，繊維と工業，Vol.65，No.12，2009，p453-461.
- 3) 朝倉哲郎，“新しいシルクの生産と再生医療材料への応用”，工業材料，vol.57，No.6，2009，p20-23.
- 4) 藤田聡，岩田博夫，“再生医療分野におけるナノファイバーの組織再生への応用”，繊維機械学会誌，Vol.63，No.3，2010，p146-150.
- 5) 本間孝治，“乾式洗浄”，最新洗浄技術総覧，p209-214.

匠の技を継承し発展させる技能伝承支援システムの開発 (第2報)

五十嵐 晃* 今泉 祥子* 本多 章作** 中部 昇*** 橋詰 史則****

Development of Technical Skill Succession Support System

IKARASHI Akira*, IMAIZUMI Shoko*, HONDA Shosaku**,
NAKABE Noboru*** and HASHIZUME Fuminori****

抄 録

製造業において検査作業は、未だ人手に頼るところも大きく、特に、製品の色彩検査の効率化は現在大きな課題の1つとなっている。最近の製品には、小さい範囲でそれぞれ複数の色が用いられることも多く、決められた範囲の平均値しか測定できない従来の測定器では、限界があった。また、非常に小さい製品も同様に、測定器による測色は非常に難しい。そこで、本研究では、対象となる製品をデジタルカメラにより撮影し、製品の色彩をモニタに忠実に再現し、さらに、モニタ上で選択した任意の範囲（最小単位は1画素）の色彩データを表示可能とする、カメラ撮影型測色システムを構築した。それをもって、熟練作業による製品色彩の目視検査技能を継承するための支援システムを開発したので報告する。

1. 緒 言

製造業における様々な工程の中で、熟練作業者の持つ技能を後継者へ継承することが、企業にとって1つの大きな課題となっている。これを受けて、平成20年度の研究¹⁾では、作業現場での熟練作業者の技能を短期間かつ高度に継承することを目的に、作業計測システムおよび画像評価システムから構成される技能伝承支援システムを開発し、研磨作業の技能伝承支援システムの基礎技術を確立した。

本年度は、色彩検査に焦点をあて、熟練作業による製品色彩の目視検査技能を継承するための支援システムを開発した。具体的には、製品の色彩を普遍的な数値データとして測定および記録するカメラ撮影型測色システムを構築し、

熟練作業による目視判定で良品にあたる範囲、あるいは、不良品にあたる範囲を決定することにより、色彩検査工程における技能伝承支援システムの基礎を確立した。

2. 分光測色計を用いた測定

これまで、測色に関する県内企業からの依頼に対して、図1に示すような分光測色計（以下、



図1 分光測色計

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

測色計)を用いて対応してきた。しかしながら、測色計による測定では、被測定物に対して、以下の条件が必要となる。

- ・測定面に対して平面であること
- ・測定径以上の面積を有すること
- ・照射光が透過しないこと

以上に加えて、測定面に複数の色が存在する場合、測定値はそれらの色の平均値となって出力される点も課題となっている。

被測定面積が測定径以下の場合については、図2(a)の通常のターゲットマスクに対して、同図(b)に示すような黑色加工を施し、通常の開口径より小さくしている。あるいは、図3に示すように被測定面の大きさに合わせた黑色マスクを作成する。ただし、これらの方法は、



(a) 通常マスク



(b) 黑色加工マスク

図2 ターゲットマスク

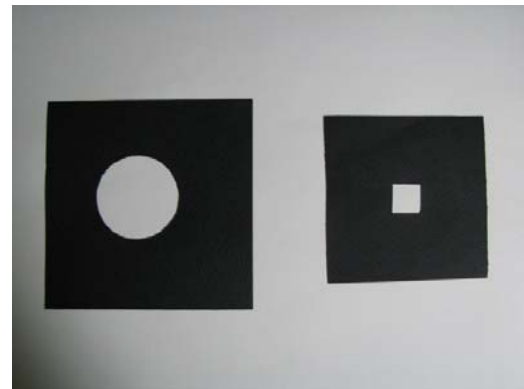


図3 被測定面に合わせた黑色マスク

測定器の開口径を変更しているため、絶対評価ではなく、相対評価としての測定となることに注意する必要がある。

また、照射光が被測定物を透過する場合、図4に示すように、サンプルの下に拡散白色板を用意する。これにより、サンプルを透過した光が白色板で反射して、再度サンプルを透過して受光されるため、より見た目に近い測色が可能となる。

上述のような技術により、いくつかの課題については対応可能となった。しかしながら、測



図4 透明な測定対象のための白色板

色計による測定は、微妙な色むらを判定できないこと、専門的知識が必要なことなど、現場で用いるには実用性に欠けるという大きな課題が残った。そこで、本研究では、被測定物をデジタルカメラで撮影し、写真をモニタ上で表示した際に実物と同じ色を正確に再現することが可能な測色システムを開発した。

3. カメラ撮影型測色システムの開発

3.1 システムの概要

製造業における製品の色彩検査では、測色計による測色が普及している一方、測色計が利用できない立体形状や不均一な色彩の製品では、一般に色見本による目視検査が行われている。この場合、判断は作業者の熟練した感覚に頼っている現状がある。また、独特な質感や不均一な色彩パターンを持つ製品では、色見本に製品の標準片を使用する場合があります、その選定にも熟練作業者の目視判断に頼ることが多い。

色見本と製品色彩を測色して、熟練作業者の目視判断を数値化することにより、それを作業者共通の判断基準としてその技能を訓練継承することができる。本研究では、目視判断の数値化ツールとして、製品の不均一な色彩分布を測定可能なカメラ撮影型測色システムを開発した。

カメラ撮影型測色システムの外観を図5および図6に、画像処理の流れを図7に示す。試料台上に置かれた被写体は、高演色蛍光灯（D65）により反射板（ポリスチレン板）を介して間接的に照明される。被写体画像をデジタルカメラで撮影してパソコンに取り込んだ後、後述する撮影画像の色校正から得られた色補正関数により、撮影画像のRGB値を補正して測色値

（CIE XYZ）の分布データを求める。測色値の分布画像はマルチメディアの標準色空間であるsRGBに変換した後に表示色が校正されたカラーマッピングモニタによって実際の見た目と変わらない正確な色彩で表示することができる。



図5 カメラ撮影型測色システム（撮影装置）



図6 カメラ撮影型測色システム（モニタ）

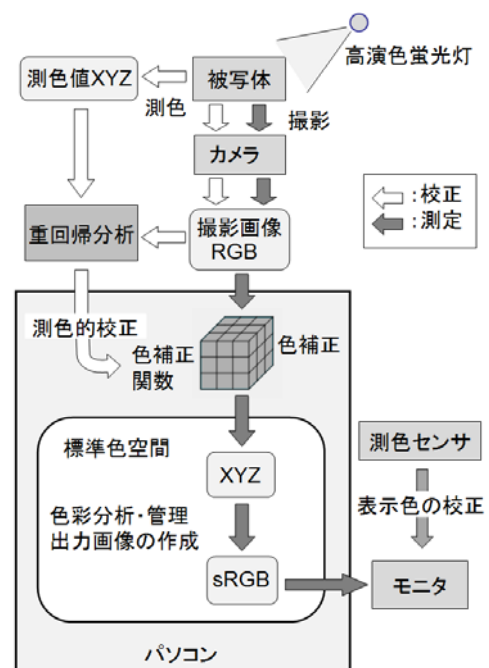


図7 画像処理の流れ

3.2 撮影画像の色校正

撮影画像の色校正には重回帰分析法²⁾を用いた。重回帰分析法では、多数の色見本の撮影画像とそれらに対応する測色値 XYZ のデータセットによって、撮影画像を測色値分布に変換する色補正関数が導出される。本研究では、色見本に図 8 に示すマンセル色票 (JIS-Z8721 準拠 JIS 標準色票, 日本規格協会) を用いた。D65 光源下におけるマンセル色票の xy 色度分布を図 9 に示す。色補正関数が適用される色域は色見本の色域によって決まるが、マンセル色票の色度分布は標準色空間である sRGB の色域を広くカバーしており、様々な色彩に適用が可能である。重回帰分析にはマンセル色票、全 1813 色の内 sRGB 色域内にある 1687 色の色票を用いた。この色補正関数によって高演色蛍光



図 8 JIS 標準色票

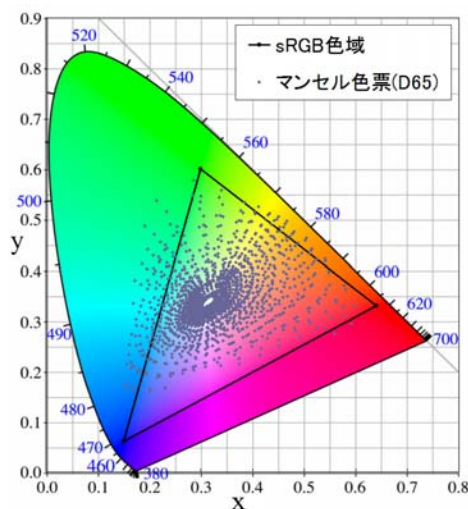


図 9 マンセル色票の xy 色度図

灯 (D65) 照明の下で撮影された画像データが D65 標準光源下の測色値 XYZ に変換される。

3.3 校正精度の向上

色補正関数は多項式近似であるため、マンセル色票の実測色値と色補正関数により得られた測色値の間には誤差が生じる。3 次多項式で近似した場合について補正誤差の平均値を表 1 に示す。補正誤差は実測色値と補正測色値を均等色空間である $L^*a^*b^*$ に変換してそれらの色差 ΔE^*ab で評価した。単一の色補正関数を sRGB 色空間全域に適用すると部分的に大きな誤差を生ずるため、色空間を領域分割して領域毎に色補正関数を導出した場合についても計算し、比較した。全色空間で単一の色補正関数を導出した場合と比較して、色空間を 216 分割してそれぞれ色補正関数を導出した場合の方が補正誤差が減少する結果となった。

表 1 補正誤差の評価

	色空間分割数	平均色差 ΔE^*ab
補正前	—	6.55
補正後	非分割	1.70
	27 分割	0.78
	216 分割	0.47

また、照明の明るさは、経年劣化や周囲温度の変化、照明の配置などによって変化して測定誤差の要因となる。照明の明るさの変化を補正するために、測色値が既知の色票を撮影して測色値を校正することで明るさのばらつきを補正することができた。

これらの校正方法によって、測定精度を向上することができた。ただし、三原色カメラによる測色的校正の制約として、測定対象は色見本のマンセル色票に類似した反射スペクトルを持つ被写体に限定される。しかし、マンセル色票による色校正で補正誤差が大きくなる被写体でも、対象製品の色を規定している材料で色見本

を作成して同様の校正を実施すれば，このシステムによる測色は可能である。

4. 結 言

- (1) 熟練作業者の目視判断の数値化ツールとして，製品の不均一な色彩分布をそのまま測定することが可能なカメラ撮影型測色システムを開発し，色彩検査工程における技能伝承支援システムの基礎を確立した。
- (2) マンセル色票の撮影画像に重回帰分析を用いることにより，撮影画像の色校正を可能とした。
- (3) 色空間を領域分割して領域毎に色補正関

数を導出することにより，校正精度を向上させた。

- (4) 測色値が既知の色票を撮影して測色値を校正することで，周囲環境等による照明の明るさのばらつきを補正することができた。

参考文献

- 1) 五十嵐晃ほか，“匠の技を継承し発展させる技能伝承支援システムの開発”，工業技術研究報告書，No.38，2009，p62-66.
- 2) 河村尚登，小野文孝，“カラーマネージメント技術”，東京電機大学出版局，2008，p53-56.

Ⅱ ノート

業務用ダイヤモンド刃物の開発

三浦 一真* 伊関 陽一郎** 小林 泰則* 本田 崇*

Development of the Diamond Composite Coated Cutlery for Business Use

MIURA Kazuma*, ISEKI Yoichiro**, KOBAYASHI Yasunori* and HONDA Takashi*

1. 緒 言

刃物製品はその多くが輸入品との競争にさらされている。一方で、輸入品との差別化や海外への輸出を目的に付加価値の高い新製品を開発し市場へ投入する動きも活発になっている。

我々は刃物の耐久性の向上に着目し、その手段として、刃先表面の硬度と耐摩耗性を付与することを考案した。

ダイヤモンド粒子を金属皮膜中に共析・分散させたダイヤモンド複合金属皮膜は硬度が高く、耐摩耗性と固体潤滑性に優れた特性を有している。本研究ではブレード（刃部）にダイヤモンド複合コーティングを施した包丁を試作し、性能試験を行うとともに皮膜の解析を行い、包丁への適用可能性について研究した。また、包丁以外の刃物への適用可能性について調査した。

2. 製品試作および評価方法

2.1 試作包丁

試作包丁を図1に示す。用いた包丁は試験評価用に用いる万能包丁（図1(a)）と市場評価用の牛刀（図1(b)）、同じく市場評価用で硬い物



図1 試作に用いた包丁

を切断するための出刃包丁（図1(c)）である。使用したダイヤモンド粒子の粒径は50～100nmであり、包丁のブレード部分を荒仕上げした後、コーティング処理をブレード全面に施し、最後に刃先の片面を研磨して刃付けを行い完成させた。

ブレードの硬度は使用中の欠けを防止するため、53HRCとし、標準硬度（58HRC）より低くしてある。試作した万能包丁の刃先断面組織を図2に示す。試作した包丁の刃先先端角度は26°である。ダイヤモンド粒子を含んだ金属コーティング層（以後、複合皮膜と称す）の厚さは約10μmとした。

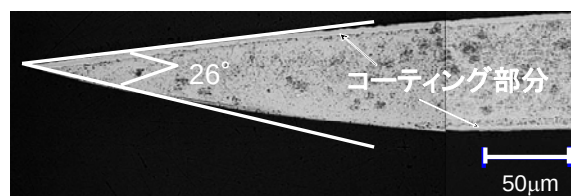


図2 試作包丁の刃先断面

複合皮膜の硬度はナノインデンテーション法により測定した。これはビッカース圧子に超微小荷重をステップ的に連続的に押し込み、荷重－変位（押し込み深さ）曲線から硬さを求める方法である。この方法で得られる硬さはマルテンス硬さと呼ばれ、これをビッカース硬度に変換することができ、従来のビッカース硬度では測定できない薄膜硬度を測定することができる。

この方法で得られたダイヤモンド複合コーティング層の荷重－変位曲線を図3に示す。これより得られるマルテンス硬度値は約7500N/mm²であり、ビッカース硬度の値に換算すると約1200HVとなり高い硬度を有している。

* 研究開発センター

** 県央技術支援センター

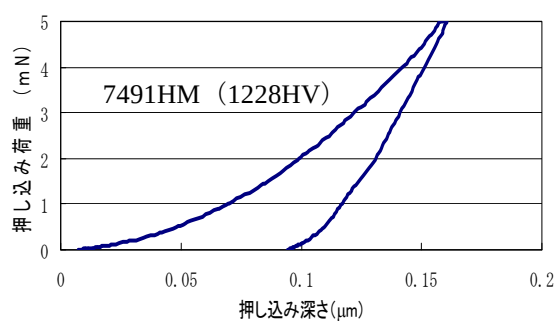


図3 荷重—変位曲線

2.2 評価方法

包丁の切断試験（切れ味試験）試験機の外観を図4に示す。試験は上側のホルダーに包丁を固定、下側にあるホルダーに切断材料を入れた後、上側ホルダーの固定治具をはずして包丁を切断材料に接触させて荷重を付加し、下部ホルダーを水平に一定速度で一定距離（ストローク）動かして材料を切断し、そのとき切れた材料の切断深さを測定した。なお、下部ホルダー移動速度は40mm/s、ストロークは80mmを1往復、すなわち160mmとした。切断材料の幅は20mmとした。

本研究では切断試験に用いる材料について、刃先の摩耗を最小限に抑えることが期待される材料であるポリテトラフルオロエチレン

（Polytetrafluoroethylene、以下PTFE）を用いた。PTFEの厚さは0.2mmである。試験時の荷重は1kgfとした。

耐摩耗試験は本研究で考案した方法で、幅20mm、高さ30mm、長さ100mmのMDF

（Medium Density Fiberboard、密度：0.6g/cm³、曲げ強さ25N/mm²、含水率7%、以下MDF）と呼ばれる木をくず状に細かくしてから再び接着剤で固めた基本的に紙と同質の人工木

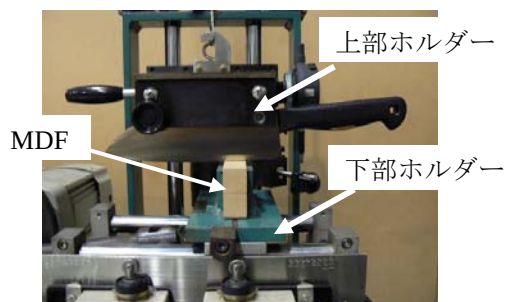


図4 切れ味試験機外観

材（図4参照）を1kgfの荷重で、ストローク速度は切断試験と同じ条件で繰り返し包丁で擦り、所定回数ごとにPTFEにて切断試験を行い、切断深さを測定した。切断試験は最初は10回（10往復）、次に15回後に行い、以後25回後ごと最大200回まで測定し、経過回数ごとの切断深さ変化で評価した。なお、試験体はダイヤモンド複合コーティング包丁の他に比較のために未処理包丁（通常包丁）についても測定した。

3. 評価結果

切断性能が同等程度の包丁を用いて耐摩耗試験を行い、通常包丁と比較した。包丁を人工木材（MDF）で一定回数擦った後でのPTFE

（0.2mm厚さ）での切れ味試験による方法（以下MDF-PTFE法）で得られた最大200回までの結果を図5に示す。通常包丁の場合では50回を超えたあたりまでは木材摺動回数とともに切断深さは小さくなっていくが、50回をすぎると切断深さは一定になった。一方、複合皮膜包丁はMDFによる摺動回数が増えても切断深さに変化はなく、通常の場合に比べ、切断深さ低下の度合いは小さい。

図6は耐久性試験後の刃先先端面をマイクロスコープにて観察した結果を示す。通常包丁の試験前の先端面幅はおおよそ1～2μmである。試験後の先端面(a)はその幅が4～5μmに広がり、摩耗しているのに対して、複合皮膜包丁の先端面(b)幅は約1μm程度で非常に細く、試験前と

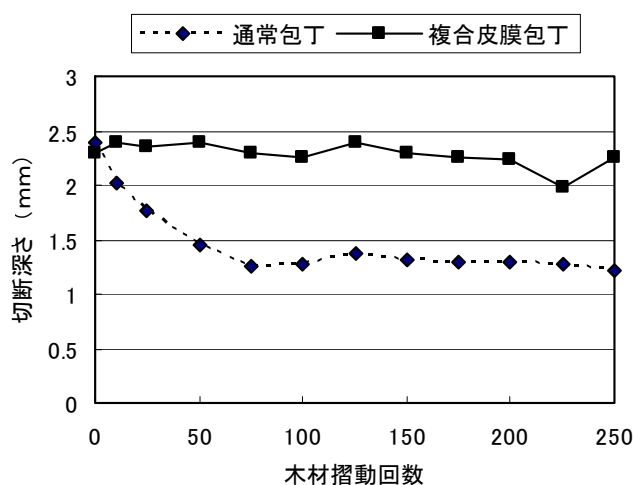


図5 耐久性評価結果

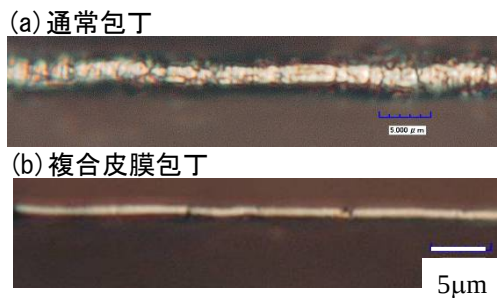


図 6 耐久性試験後の刃先先端面

ほぼ同じ幅を維持した。したがって、この先端面の摩耗の違いは耐久性試験結果を反映しているといえる。

切れ味試験といわれている包丁の切断性能評価方法はヨーロッパでは石英を 9%含有させた特殊な紙ベースの材料を切断する方法が規格化されている¹⁾。国内では JIS 規格は存在しておらず、条件はそれぞれで異なるが紙を切断する本田式切れ味試験法で評価している^{2) 3)}。今回は比較的评价しやすい家庭用の万能包丁を用いたが、包丁は用途に応じて多くの種類があり、同じ種類の包丁でも切る対象が違えば構造は異なる。したがって、各包丁の切れ味の善し悪しと切れ味試験の結果とは一致しない場合が多く、包丁の種類によっては紙を切断する本田式切れ味試験による評価の可否については議論の余地がある³⁾。本研究では切断材料に PTFE を用いたが、PTFE を用いた研究例は他にはなく、切断材料の選定については議論の必要がある。切断材料についてはさらに調査を継続し、優れた材料があれば採用したいと考える。

本研究は包丁を摺動させ、ポイント回数で行う切断試験に刃先摩耗の少ない PTFE を用い、回数による切断深さ変化を調べた。耐久試験については木のまな板を擦ることを想定し、檜製の木片を繰り返し摺動させ、一定回数ごとに紙で切れ味試験を行った例がある⁴⁾。この場合は 10000 回まで行っており、摺動回数とともに切れ味が落ちていき、10000 回まで繰り返すとほとんど切れなくなる結果が得られている。MDF の場合は 50 回前後から切断深さは低くなるが

250 回経過後もある程度の切れ味を保っている。

試験条件、用いた包丁が全く違うため比較は難しいが、木材等で摺動させ、一定回数時に切断試験を行う方法は耐久性を評価するのに有効な試験法であると考ええる。

4. 今後の事業展開

今回包丁の試作および切れ味試験機を用いて耐久性試験を行い、ダイヤモンド複合皮膜包丁が耐久性に優れていることがわかった。この包丁は硬いものの切断が可能のように、高硬度の皮膜を有するとともに刃部本体の硬度をやや落とし、欠けや破損を最小限に抑えた包丁である。これは魚や肉の切断で半解凍品のように硬いものの切断に適している。

今後は開発包丁の改良や製品化のための評価を継続するとともに包丁以外の刃物の製品化にも取り組んでいきたい。

5. 結 言

- (1) ダイヤモンド微粒子を皮膜中に共析させた複合コーティング層を包丁に被覆することに成功した。刃部硬度は 53HRC、皮膜硬度は約 1200HV である。
- (2) 複合コーティング包丁について MDF-PTFE 法による耐久性試験を行った結果、切断性能の低下は認められず、優れた耐久性を示した。

参考文献

- 1) Cutting test machine, CATRA カタログ.
- 2) 古川徹ほか, “刃物の切れ味”, 日本金属学会会報, 27, 9, p703-708.
- 3) 三浦一真, “刃物 (第 6 回) 三条刃物 (日本剃刀, 鋸) の歴史と現況”, 熱処理技術協会誌, 46, 3, 2006, p137-143.
- 4) 竹越久仁雄, “刃物 (第 1 回) 刃物の切れ味と耐久性について”, 熱処理技術協会誌, 45, 3, 2005, p139-146.

マイクロウェーブ試料分解装置による 試料分解方法の確立

内藤 隆之*

Approach for the resinous digestion with a microwave digestion system

NAITO Takayuki*

1. 緒 言

マイクロウェーブ試料分解装置(BERGHOF社製、以下MWと略)は、プラズマ発光分析や原子吸光分析等の前処理装置として試料を分解(溶解)することに利用されている。図1(a)に当支援センターで導入したMWの外観を示す。

当支援センターでは、これまでプラズマ発光分析(以下、ICPと略)の前処理(試料の分解)は開放系であるビーカーを用いて塩酸や硝酸等の酸を単独または適宜組み合わせで行ってきた。また、ビーカーの加熱方法にはホットプレートを利用してきた。

一方、MWは図1(b)に示す耐圧容器へ向けてマイクロ波を照射し、容器内の水溶液に吸収させて、水溶液を短時間で昇温・昇圧できることが特徴である。通常の試料分解には酸を使用し、試料毎に使い分けする。さらに、密閉系であるため操作中は外部からの不純物混入や容器内からの試料散逸を防止できる。この容器はマイクロ波の透過が良く、耐薬品性に優れたフッ素樹脂でできている。

また、容器内の急激な昇圧への安全対策は図2に示すように内蓋が破損して内圧を下げ、同時に排出されたガス(酸を含む)を容器に接続したチューブにより排気装置へ導くため万全である。

ICPの前処理例として樹脂製品を分解する方法は、ビーカーを用いた場合、硫酸に過酸化水素、硝酸または過塩素酸を適宜組み合わせで行っている。

一方、密閉系である MW は硝酸を沸点以上(120℃程度)で利用することにより樹脂を単独で分解できる可能性がある。これは、鉛のように硫酸で難溶性の塩(PbSO_4)を生成する元素成分の分析にとって極めて有効である。

そこで、県内企業へ ICP の利用(依頼試験および機器貸付等)拡大を図ることを目的に、工業製品として幅広く利用されている樹脂について、MW でいくつかの樹脂が同時に処理(試料分解)できるのか検討したので報告する。

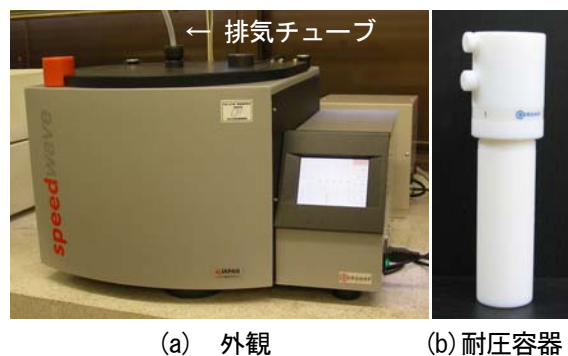


図1 マイクロウェーブ試料分解装置



図2 密閉容器の内蓋

* 下越技術支援センター

2. 実施方法

2.1 装置

図1(a), (b)に示す MW および分解容器の主な仕様を表1, 2に示す。

2.2 供試材

本試験で使用した工業用樹脂ペレットを以下に示す。

- ・ポリエチレン(PE)
- ・ポリプロピレン(PP)
- ・ポリエチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)
- ・アクリル
- ・ポリスチレン(PS)
- ・アクリロニトリル-スチレン共重合体(AS)
- ・アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合体(ABS)

2.3 試薬

本試験で使用した分解用試薬を以下に示す。

- ・硫酸（特級，和光純薬(株)）
- ・60%硝酸（特級，和光純薬(株)）

2.4 MWの操作方法

表2に示した容器の仕様に基づき，分解温度は耐圧容器を破損しないように最高498Kとした。そして，運転プログラムは耐圧容器の内蓋を破損しないように，容器内圧が4MPa以下で分解操作することを考慮し，2段階に分けて行った。また，試料の採取量は最大500mgとした。

表1 MWの主な仕様

規格・品質	BERGHOF製speedwaveMWS-3+
外寸	640×570×430mm
マグネトロン周波数	2450MHz
マイクロ波出力	1450W
分解容器	12本搭載
赤外温度計の測定範囲	100～300℃
圧力センサーの測定範囲	0～15MPa

表2 耐圧容器の主な仕様

材質	PTFE
内容量	100ml
最高使用圧力	4MPa
最高使用温度	513K
最大サンプル量（有機物）	500mg
最小充填量（酸）	5ml

2.4.1 硫酸と硝酸による分解

MWの運転プログラムを表3に示す。BERGHOFのアプリケーションデータ¹⁾を参考として，操作①は硫酸3mlと硝酸3mlの混合液で行った。次の操作②は容器を放冷後，硝酸5mlを追加して分解操作を継続した。

2.4.2 硝酸による分解

MWの運転プログラムを表4に示す。操作①は硝酸10mlで行った。次の操作②は容器を放冷後，内蓋を開けて内部のガスを排出し，圧を下げてから再び密閉して分解操作を継続した。

3. 結果および考察

3.1 硫酸と硝酸による分解

試料の採取量を500mgとして操作した結果，7種類の樹脂の内，同時に分解できたのは，PE，PP，EVAおよびアクリルの4種類だった。これをグループ1とする。分解できなかったPS，ASおよびABSは，この3種類で同時に分解できることを確認した。これをグループ2とする。

グループ1とグループ2の相違点は，分子構造内にベンゼン環を持つか持たないかである。MWによる試料分解において，樹脂の分子構造が分解操作に影響することがわかった。

また，全ての樹脂は分解後に，淡黄色の透明な水溶液となった。一方，各樹脂を単独で分解した場合

表3 硫酸と硝酸による分解プログラム

操作①	1	2	3	4
設定温度(℃)	160	200	225	225
昇温時間(min)	5	5	5	1
保持時間(min)	5	25	10	4
操作②	1	2	3	4
設定温度(℃)	160	225	225	225
昇温時間(min)	5	5	1	1
保持時間(min)	5	15	14	14

表4 硝酸による分解プログラム

操作①	1	2	3	4
設定温度(℃)	170	170	100	100
昇温時間(min)	10	1	1	1
保持時間(min)	5	14	14	0
操作②	1	2	3	4
設定温度(℃)	170	200	225	225
昇温時間(min)	5	5	5	1
保持時間(min)	5	15	15	9

は全て無色の透明な水溶液となった。つまり、淡黄色の水溶液は分解が不完全であることがわかった。

以上より、7種類の樹脂 500mg はグループ 1 とグループ 2 に分けて同時に分解できたが、不完全であった。

3.2 硝酸による分解

試料の採取量を500mgとし、硫酸と硝酸で同時に分解できたグループ1とグループ2に分けて操作した結果、どちらのグループとも同時に分解できなかった。分解操作中に内蓋を破損するときがあり、各容器の調整が難しいこともわかった。したがって、7種類の樹脂は単独で分解することとした。

分解できた採取量の結果を表5に示す。採取量は100, 250および500mgとした。また、分解できた水溶液は全て無色の透明となった。

表5に示すとおり、硝酸で分解できる量は樹種により異なることがわかった。特にグループ2の樹脂は操作後の水溶液が白濁し、未分解だった。

以上より、グループ 1 の樹脂は、同時に分解できず、単独で分解できた。しかし、分解できた量は、樹種により異なった。

4. 結 言

マイクロウェーブ試料分解装置による各種樹脂材料 (PE, PP, EVA, アクリル, PS, ASおよびABS) の分解方法について、以下の知見が得られた。

- (1) 硫酸と硝酸によって、全7種類の樹脂500mg

表 5 硝酸による分解結果

採取量 (mg)	100	250	500
樹種			
PP		○	×
PE		○	×
EVA			○
アクリル			○
PS	×	×	×
AS	×	×	×
ABS	×	×	×
備考 ○：分解できた ×：分解できない			

はグループ1とグループ2に分けて同時に分解できたが、不完全であった。分解後は、淡黄色の透明な水溶液となった。

- (2) 硝酸単独では、7種類の樹脂は同時に分解できなかった。グループ1の樹脂は単独で分解できたが、分解できた量は以下ようになった。グループ2の樹脂は硝酸で分解できなかった。また、グループ1の樹脂は分解後、無色の透明な水溶液になった。

- ・ PE, PP : 250mg
- ・ EVA, アクリル : 500mg

参考文献

- 1) Application Report Microwave Pressure Digestion speed wave MWS-3⁺, Technology, V5.0.

マグネシウム合金製電動カート部品の試作

杉井 伸吾* 白川 正登* 林 成実* 本田 崇* 山崎 栄一**

The Trial Manufacture of the Electric Cart Parts Made of Magnesium Alloy

SUGII Shingo*, SHIRAKAWA Masato*, HAYASHI Narumi*,
HONDA Takashi* and YAMAZAKI Eiichi**

1. 緒 言

軽量化，リサイクル性の観点から注目されているマグネシウム合金について，その加工技術開発が多方面から進められている。また，マグネシウム合金を用いた製品の試作，開発も進められ，新たな商品として提案がなされている。こうした中で，都市エリア産学官連携促進事業（長岡エリア発展型）において，これまでの研究成果を採り入れたマグネシウム合金製の電動カートの試作を行った。当所においては，本事業で取り組んだ板材の成形技術，パイプの曲げ技術および高耐食性表面処理技術を用いた部品の試作を行ったので，その内容を紹介する。

2. 試作内容

2.1 試作対象

試作を行ったのは図 1 に示す電動カートの運転席と荷台の床に用いられるパネル部品と，シート用のパイプ曲げ部品である。

2.2 床用パネル

2.2.1 仕様

試作した床用パネルは，図 2 に示すような 1 枚の板材に三角錐台の形状を多数個張り出した部品（以下テトラボード）2 枚を用い，三角錐台形状を組み合わせて稜線を接着することで厚さ 16mm のパネルとするものである。素材には，AZ31 マグネシウム合金板（板厚 2mm）を

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター



図 1 マグネシウム合金製電動カート

用いた。なお，電動カートに用いるパネル寸法は 230×458mm および 185.5×398mm の 2 種である。

2.2.2 試作方法および結果

テトラボードの成形は，エアブロー成形により行い，成形装置はサーボプレス装置（アイダエンジニアリング(株)製 NS1-2000(D)，加圧能力 2000kN）を使用した。金型は図 3 に示すように下型にダイスを配置し，上型からエア圧力を付加した。また，ダイスの三角錐台形状頂点近傍には成形の妨げとなるダイス側の空気を排出するための小孔を設けた。成形温度が 450℃ と高温のため，ヒータ位置と断熱材を解析により最適化して加工領域の温度差 18℃を実現している¹⁾。その他の成形条件を表 1 に示す。

防錆対策として水熱処理を施した後，2 枚を 1 組にして三角錐台の稜線および頂点部にエポ

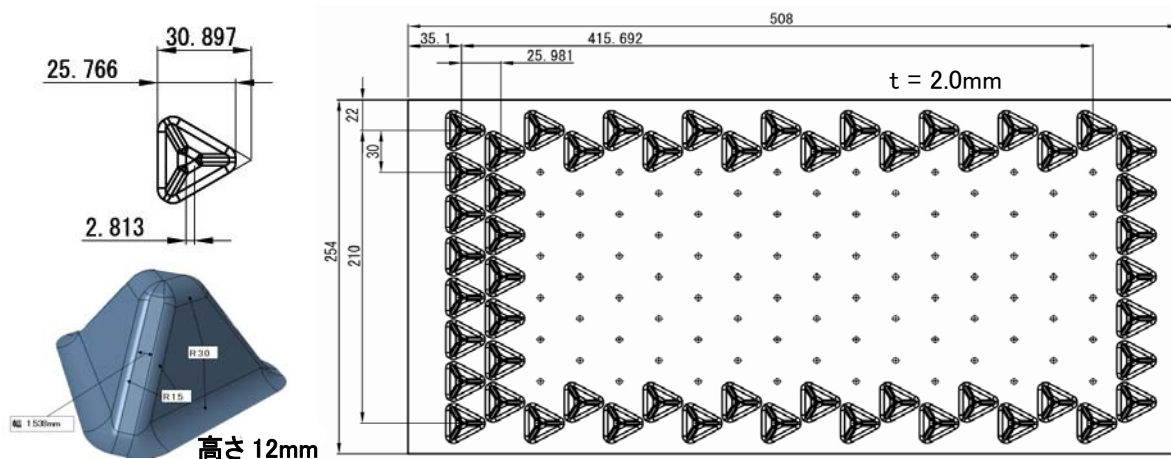


図2 テトラボード形状

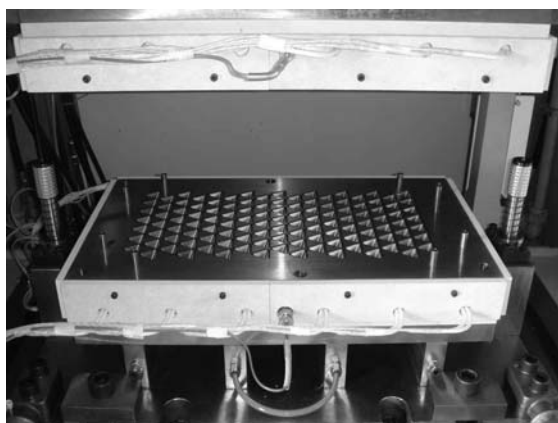


図3 成形金型写真

表1 テトラボード成形条件

成形温度	450℃
エア圧力	2.5MPa
成形時間	2時間
潤滑剤	BNスプレー（金型、材料）

キシ系接着剤を塗布し、2枚のテトラボードが組み合うようにして接着した。さらに接着後、仕様に定められた寸法に外周を切削加工した。接着、切削後の断面部写真を図4に示す。

できあがったパネルは電動カートの製作担当企業により他部品と併せて塗装を施され、枠を取り付けて完成となった。カートに装着された状態（足元部）の写真を図5に示す。

要求された仕様に沿って試作は完了したが、本成形を行ったブロー成形法では1枚の成形時間が2時間と長く、また450℃と高温での加工

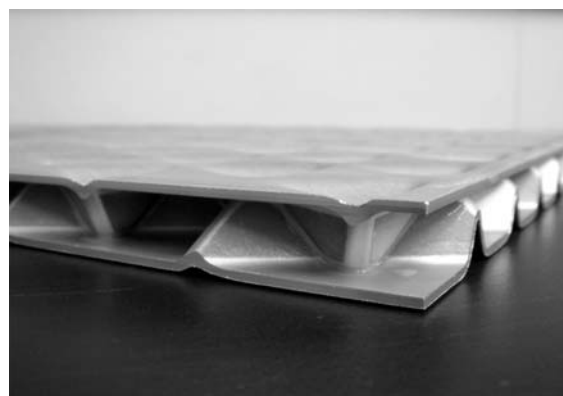


図4 テトラボード接着、切削後

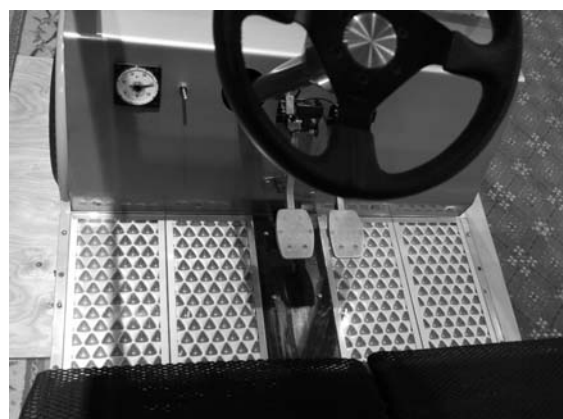


図5 パネル装着状況

が必要なことから、生産性の面でプレス成形による改善の検討を別途進めている。

2.3 シート用パイプ曲げ部品

2.3.1 仕様

試作したパイプ曲げ部品の主な仕様を表2に

表 2 パイプ曲げ部品の主な仕様

部品種類	部品単体形状の特徴	中心線 曲げ半径 (mm)	曲げ角度 (°)	1台あたり 部品点数 (個)
背もたれ1	単一R	162.5	—	4
背もたれ2	直線および2カ所曲げ	150	122	4
シート1	直線および曲げ	200	135.7	4
シート2	直線および2カ所曲げ	150	117.8	2
シート3	直線および2カ所曲げ	150	123.7	2

示す。試作部品には、曲げ半径や曲げ角度、曲げ箇所数等が異なる 5 種の部品があり、カート 1 台あたり合計 16 点の部品により構成されている。シート単体の試作品を含めカート 2 台分の部品試作を行った。

素材には、外径 $\phi 25\text{mm}$ 公称肉厚 2mm の AZ31 マグネシウム合金パイプを用い、浮動拡張プラグ曲げ加工後の外径寸法は $\phi 27.3\text{mm}$ であった。

2.3.2 試作方法および結果

パイプ曲げ部品の加工には、温間浮動拡張プラグ曲げ加工技術を適用し、加工機には平成 20 年度に試作した浮動拡張プラグ曲げ加工装置を用いた²⁾。主な加工条件を表 3 に、曲げ加工中の写真を図 6 に示す。

部品の寸法・形状を図面どおりに加工するために、曲げロールの押込み量と曲げ半径の関係を実験にて求めた。同様に、曲げの開始および終了位置と曲げ角度との関係、2 カ所曲げの場合の曲げ位置のスペンとの関係を求め、加工条件を設定した。その一例として、図 7 に曲げロール押込み量と曲げ半径の関係および同条件で加工したパイプ曲げ部の偏平率、偏肉率を示す。例えば、図中破線で示すように曲げ半径を 150mm とする場合、曲げロールの押出し量を 19.3mm に設定して加工を行うこととなる。

曲げ部の断面形状をみると、その偏平率は、すべて 1.5% 未満であり、偏肉率は、曲げ半径 148mm のサンプルで 21.3% であった。曲げ加工部断面写真を図 8 に示す。

試作において、素材パイプの偏肉による肉厚

表 3 パイプ曲げ部品加工条件

拡張率	10%
スリーブ出口温度	275℃
加工開始プラグ温度	180℃
パイプ押し速度	2mm/s
潤滑剤	水溶性乾燥皮膜潤滑剤 および黒鉛潤滑スプレー

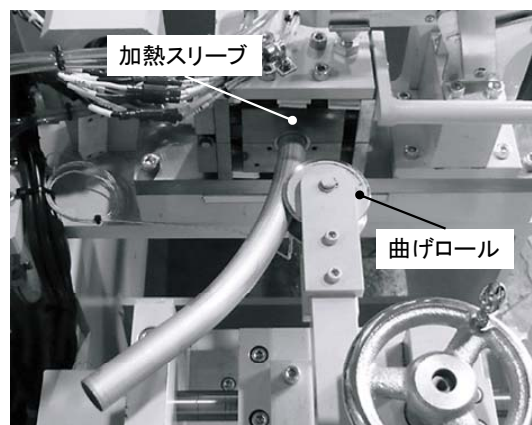


図 6 曲げ加工状況

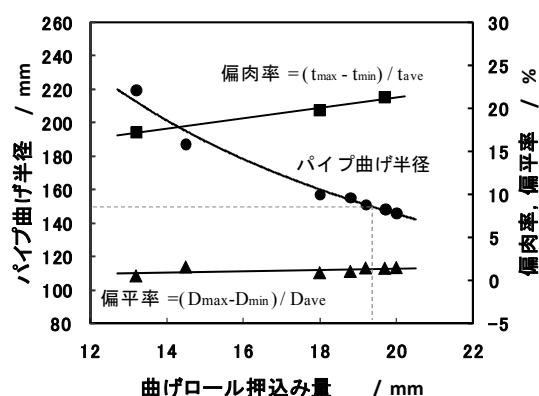


図 7 曲げロールの押込み量と曲げ半径の関係および曲げ部の偏平率と偏肉率

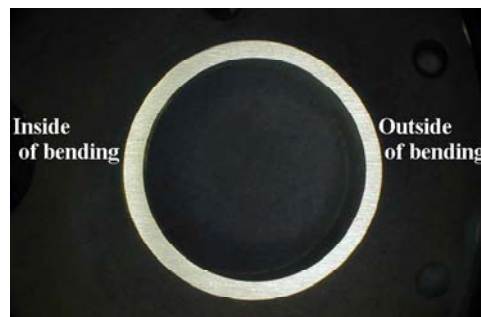


図 8 曲げ加工部断面

分布が曲げ半径および角度に大きく影響を及ぼすことが確認され、大きな課題となることが分かった。今回の試作においては、素管のパイプ断面の形状測定を行い肉厚分布を把握し、パイプをセットする際の押出し方向や円周方向の角度を統一する等の工夫をすることで対応した。

できあがったパイプ曲げ部品は、電動カートの製作担当企業により設計寸法となるように両端部の切断加工および穴あけ等機械加工を施され、組み立て・溶接の後、当所にて防錆対策として水熱処理を行った。その後、塗装を施されてシートフレームの完成となった。塗装前のシートフレームの写真を図 9 に、カートに装着されたシートの写真を図 10 に示す。

2.4 水熱処理

塗装下地の防錆処理として、大型化成処理装置を用いて水熱処理を施した。シートフレームは AZ31 パイプと AM60 板材が溶接されている。Mg 合金の種類により水熱処理における皮膜形成速度が異なるため、溶接サンプルによる予備試験を行った。その結果より処理条件は飽和水蒸気温度 150℃で 3 時間とした。皮膜厚さは約 15μm であり、耐食性向上に寄与していることが確認されている³⁾。

3. 結 言

都市エリア産学官連携促進事業（長岡エリア発展型）におけるマグネシウム合金製電動カートの試作に対し部品の製作、供給を行った。実施内容は以下のとおり。

- (1) ブロー成形により複雑形状を持つテトラボードを製作し、床パネル部品とした。
 - (2) 温間浮動拡張プラグ曲げ加工によりシートフレーム用のパイプ 5 種を製作した。
 - (3) 塗装下地として、大型化成処理装置を用いて水熱処理による防錆対策を施した。
- 試作により、マグネシウム合金の高い成形性



図 9 シートフレーム

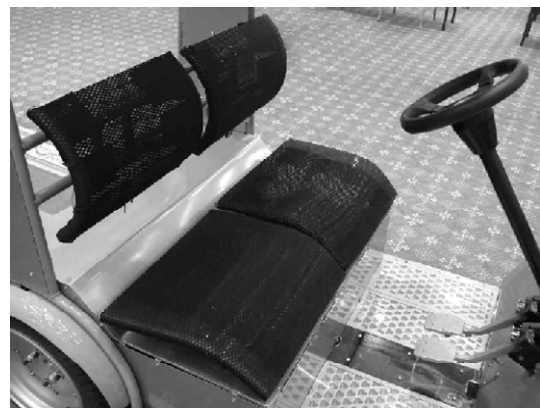


図 10 電動カートシート

や軽量性が体感できる部品を製作できた。また、各要素技術の課題が明らかになり、解決に向けた取り組みを行った。

参考文献

- 1) 本田崇ほか，“高断熱・均熱金型の開発”，工業技術研究報告書，No.38，2009，p18-25.
- 2) 相田収平ほか，“マグネシウム合金パイプ材の曲げ加工技術の開発”，工業技術研究報告書，No.38，2009，p10-17.
- 3) 小林泰則ほか，“Mg 合金の実用的な表面処理技術の開発および評価（第 2 報）”，工業技術研究報告書，No.38，2009，p32-38.

高刺通性次世代型縫合針の研究開発

樋口 智* 山田 敏浩* 平石 誠* 斎藤 博*

Development of Low Resistance Needle

HIGUCHI Satoru*, YAMADA Toshihiro*, HIRAISHI Makoto* and SAITO Hiroshi*

抄 録

本実験では医療用縫合針を対象として、超精密加工機により先端形状が $1\mu\text{m}$ 以下となる微細針モデルなどを切削加工し、形状と刺す際の抵抗力（刺通力）との関係について実験を行った結果、先端頂角が大きい方が刺通力は大きくなり、先端の鋭さよりも刺通力に影響を及ぼすこと、胴体部分の軸断面形状は正方形よりも側面が挟れ、稜線部が鋭い方が刺通力を低く抑えることができるなどの結論を得た。

1. 緒 言

医療用の縫合針は、感染症を防ぐなどの目的から、基本的にその使用は1回のみであることに加え、今後さらなる高齢化社会へと変遷していく状況を踏まえると、その市場は今後さらに拡大していくと考えられる。

しかしながら縫合針について、その形状が刺通力に与える影響については過去に検討された例が少ない。

そこで医療用の縫合針を対象として、超精密加工機を用いて微細針モデルを製作し、先端形状や胴体部断面形状と刺通力の関係について実験を行ったので報告する。

2. 微細針モデル加工

2.1 先端モデル加工

本実験では、図1に示す軸で構成される超精密加工機（ファナック（株）製 ROBONANO α -0iA）を用い、針先形状の異なる先端モデルを切削加工した。

先端モデルの形状および加工条件を表1に示す。形状は $1\mu\text{m}$ 以下に尖らせたもの、 $10\mu\text{m}$ 幅のもの、頂角 30° および 50° の組合せで計4種類（タイプA～D）とした。加工は被削材を回転させながら工具を針先端よりXY平面内で送る

スパイラル（X,Y,Bの同時3軸）加工とした。

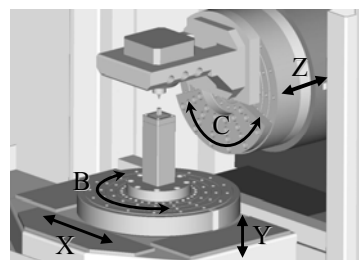


図1 加工機軸構成

表1 先端モデル加工条件

タイプ	A	B	C	D
頂 角	30°		50°	
先端幅	$1\mu\text{m}$	$10\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$	$10\mu\text{m}$
工 具	単結晶ダイヤモンドエンドミル($\phi 7\text{mm}$)			
主軸回転数	$40,000\text{min}^{-1}$			
材 料	黄 銅			
クーラント	白灯油（断続）			

加工後の先端モデルの電子顕微鏡像を図2に示す。先端部は $1\mu\text{m}$ 以下であることが確認できる。また、非接触三次元測定装置（三鷹光器（株）製 NH-3SP）によるタイプAの表面粗さ測定結果を図3に示す。加工面の表面粗さはタイプにもよるが $Ra20\sim 80\text{nm}$ であった。

* 研究開発センター

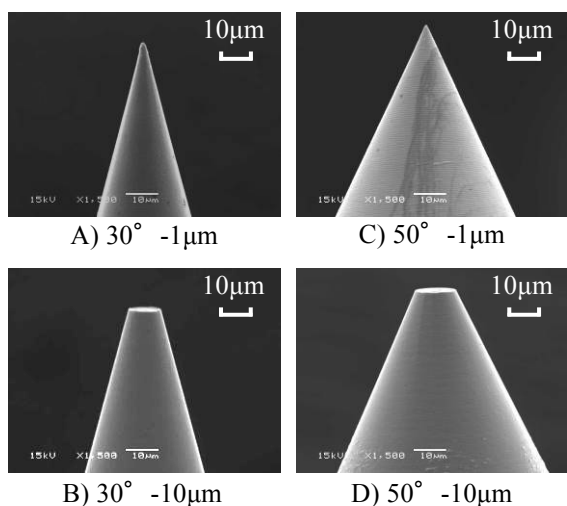


図 2 先端モデル SEM 像

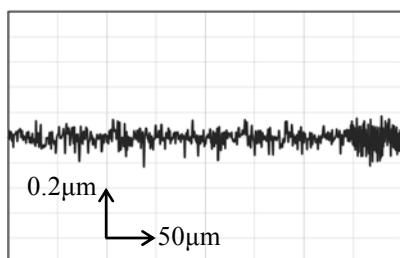


図 3 表面粗さ測定結果（タイプ A）

2.2 胴体部モデル加工

先端モデル加工で使用した超精密加工機により胴体部モデルを切削加工した。

胴体部モデルの軸断面形状を図 4 に、加工条件を表 2 に示す。加工は先端モデルと同様のスパイラル加工とした。

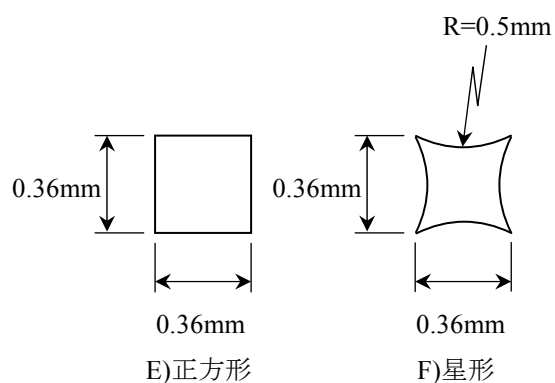


図 4 胴体部モデル断面形状

表 2 胴体部モデル加工条件

タイプ	E	F
断面形状	正方形(□0.36mm)	星形(R0.5mm)
工 具	単結晶ダイヤモンド エンドミル (φ 7mm)	単結晶ダイヤモンド ボールエンドミル (R0.5mm)
主軸回転数	40,000min ⁻¹	50,000min ⁻¹
材 料	黄 銅	
クーラント	白灯油（断続）	

加工後の胴体部モデルの電子顕微鏡像を図 5 に示す。エッジ部まで良好に加工できていることが確認できる。またタイプ F（星形）の側面 R 部の形状誤差測定結果を図 6 に示す。形状誤差は約 5μm であり、この誤差要因は工具先端と加工機の B 軸中心との位置偏差が原因と考えられる。

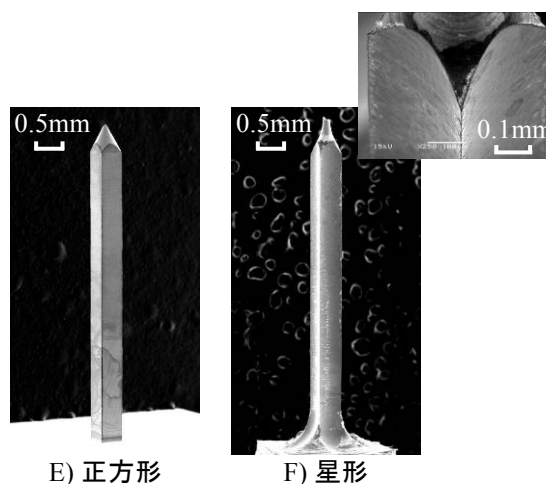


図 5 胴体部モデル SEM 像

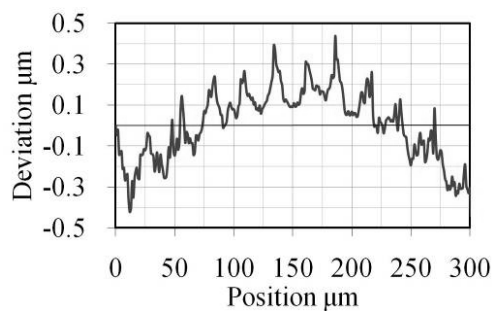


図 6 星型モデル側面形状測定結果

3. 刺通力測定実験

数値制御が可能な直動ステージに力センサーを取り付け、針モデルを一定速で被刺材に刺した際の刺通力を測定した。被刺物はシリコンゴムとした。実験条件を表 3 に示す。直動ステージには、駿河精機(株)製 KS101-20HD（送り分解能：0.02 μm ）を使用し、力センサーには、キスラー(株)製 9215（分解能：0.5mN）を使用した。

表 3 刺通力測定条件

	先端モデル	胴体部モデル
材 質	シリコンゴム	
厚 さ	0.5mm	1.0mm
硬 度	A50	A70
送り速度	0.01mm/s	0.05mm/s

先端モデルの刺通力実験結果を図 7 に示す。接触点の位置を深さ 0 として 100 μm 刺した際の刺通力で評価した。刺通力の順から、先端の鋭さより頂角による影響の方が大きいことがわかる。また同じ頂角で比較した場合、当初の推測通り、先端の鋭利さによりタイプ A がタイプ B より約 20% 刺通力が低くなっているが、タイプ C とタイプ D では約 10% となっており、頂角が大きくなると先端の鋭利さが刺通力へ及ぼす影響が小さくなることがわかる。

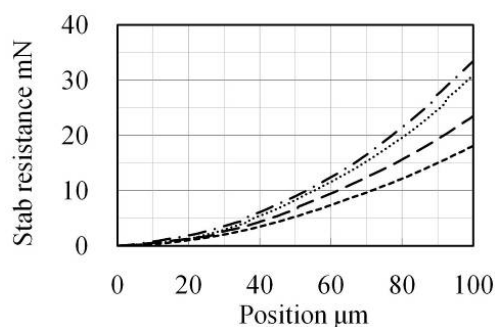


図 7 先端モデル刺通力測定結果

胴体部モデルの刺通力実験結果を図 8 に示す。接触点の位置を深さ 0 (i) として 3mm 刺した際 (iv) の刺通力で評価した。針先端が被刺材に接触後、刺通力は深さに比例して増加し、先端部

分が被刺材を貫通 (ii) すると刺通力は急激に減少する (iii)。胴体部が被刺材を通過する際には刺通力は緩やかに減少する。胴体部の刺通力を比較するため (ii) ~ (iii) 間の直線部分と (iii) ~ (iv) 間の直線部分の交点の刺通力を図 9 に示す。タイプ F の刺通力は、タイプ E の約 70% であった。タイプ F の断面積はタイプ E の約 75% であるが、刺通力の差はそれ以上であることからタイプ F のような軸断面形状により、刺通力を低減できるものと考えられる。

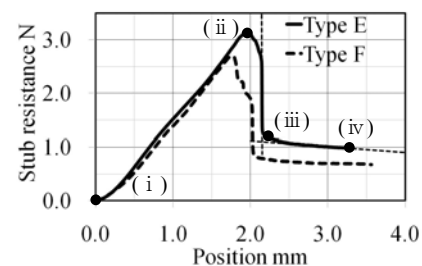


図 8 胴体部モデル刺通力測定結果

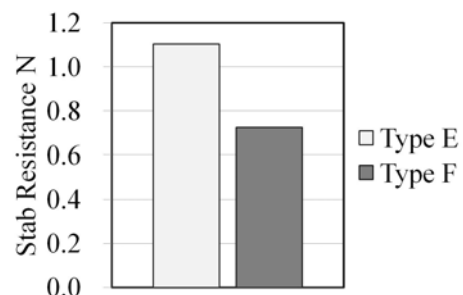


図 9 胴体部モデル刺通力比較

4. 結 言

医療用縫合針を対象に、単純な先端形状および胴体部形状を成した微細針を切削加工により製作し、刺通力実験を行い次の結果を得た。

- (1) 先端が R1 μm 以下、表面粗さが Ra20 ~ 80nm となる微細針を作製できた。
- (2) 先端の頂角が 30° の微細針について、先端が 1 μm 以下に尖ったものの刺通力は先端が 10 μm の面取りしたものより約 20% 小さい。また、頂角 50° の微細針について、先端の鋭利さの刺通力への影響は頂角 30° のものと比べると少ない。
- (3) 軸断面形状が星形の刺通力は、正方形に比べ約 30% 小さい。

干渉回避シミュレータの開発

田村 信* 木嶋 祐太** 相田 収平** 石川 淳** 須藤 貴裕*

Development of the simulator for a 5-axis milling machine with the interference evasion function

TAMURA Makoto*, KIJIMA Yuuta**, AIDA Shuhei**, ISHIKAWA Atsushi** and SUTOH Takahiro*

1. 緒 言

従来 5 軸加工機は、工作物に対して任意の工具姿勢を与えることができることから、一体化構造で薄肉・複雑曲面形状のタービン翼、プロペラなどの自由曲面の加工、インペラ翼面のルールド面の加工などに使用されてきた。近年、より単純な形状の一般機械部品や金型などの加工分野においても、段取り替えの省略による工程削減などへの期待から、5 軸加工機による高速・高精度加工が注目されている。また近年、市場の急拡大が予測されている航空機分野では、部品の多くが 5 軸加工機により加工されている。

5 軸加工においては、技術的利点を有する反面、干渉の生じない NC プログラムの生成は複雑であり、その実現は容易でない。例えば、工具系形状（工具、工具ホルダ、スピンドル）とテーブル系形状（工作物、ジグ、テーブル）間に生じる干渉は、加工機を用いたテストランもしくはシミュレータによって検出し、干渉が生じた場合は、作業者が加工戦略を変更し、干渉が生じない経路を再生成する必要がある。5 軸加工機を用いる企業においては、高速で、最適な NC プログラムの生成を可能にするシミュレータに対する強い要望を持っている。

本研究では、市販 CAM より出力される NC プログラムに対して、工具系とテーブル系間に生じる干渉を、高速かつ確実に検出することができ、その干渉を自動で回避することができる機能を備えた干渉回避シミュレータの開発を

行った。

2. 干渉回避シミュレータの開発

2.1 概要

干渉回避シミュレータは、データ入力部、回避処理部、プログラム出力部で構成される。従来方法と比較して構成を図 1 に示す。シミュレータによって干渉を検出した場合、従来方法では作業者が加工戦略を変更し、干渉が生じない経路を再生成する必要がある。それに対して、干渉回避シミュレータは、干渉を検出した際、自動で干渉を回避し最適な NC プログラムの生成を行う。そのため NC プログラムの生成作業の効率化が図れる。

2.2 入出力部の開発

データ入力部は、工具系形状とテーブル系形状、および CAM より出力されたツールパスを入力する。

工具は半径および突き出し長さを入力する。工具を除く工具系形状とテーブル系形状は STL 形式で入力する。STL 形式とは 3D Systems 社の SLA CAD のファイルフォーマットで、三角形の面法線ベクトルと 3 頂点の座標値で記述されている。データ入力部は STL 形式で記述された工作機械形状と工作物形状の三角形要素データ（ポリゴンパッチ）を読み込み、各行の文字列を分析して、ポリゴンパッチの 3 頂点の座標値と単位法線ベクトルを設定する。このデータは干渉検出、回避処理および OpenGL での形状表示に用いる。

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

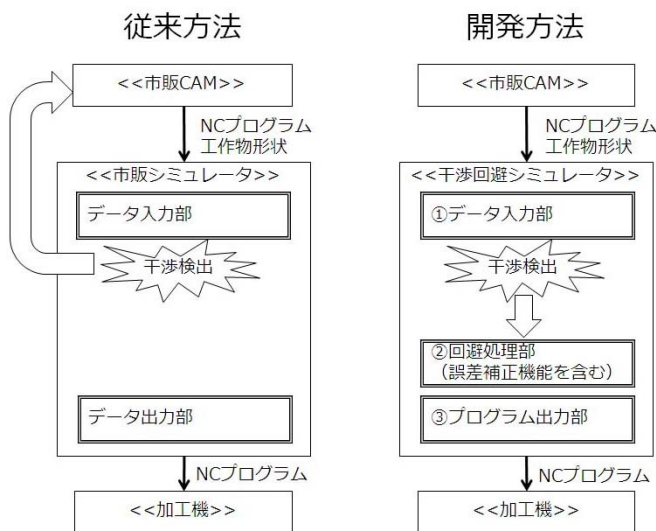


図1 干渉回避シミュレータの概要

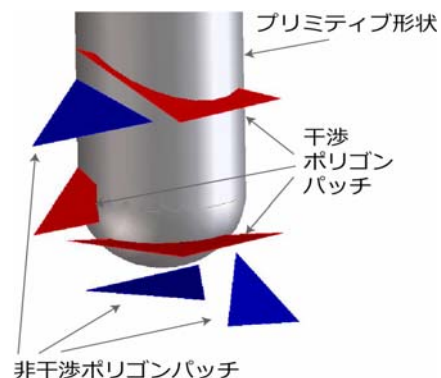


図2 プリミティブとポリゴンパッチの干渉検出

ツールパスはNCプログラムを入力する。テキスト形式のNCプログラムを読み込み、ブロック単位で各ワードのアドレスと指令値データを解析し、ワーク座標系のCL（カッティングロケーション）データを作成する。

出力部は回避処理部で回避されたCLデータをNCプログラムに変換して出力する。

なお、工具先端点制御なし、工具先端点制御（回転軸指定）および工具先端点制御（工具軸指定）に対応した。

2.3 回避処理部の開発

2.3.1 干渉検出

干渉検出の概略図を図2に示す。工具系とテーブル系間に生じる干渉検出の処理は、処理の高速化、検出漏れ防止などを考慮して、干渉検出の対象となる工具系はプリミティブ（半球、円柱）で定義された工具、工具ホルダなどで構成されているものとした。また、干渉検出の対象となるテーブル系は使用工具径より短い稜線を少なくとも1本含む三角形のポリゴンパッチで近似された工作物、テーブル、ジグなどで構成されているものとする。このことにより、工具系とテーブル系の干渉検出問題をプリミティブとポリゴンパッチの稜線間の交差検出問題に

置換した。本システムではプリミティブを半球、円柱に限定し、ポリゴンパッチとの干渉を検出した。

2.3.2 回避処理

回避方向を示すベクトル定義を図3、干渉回避の模式図を図4に示す。干渉回避は、テーブル系のポリゴンパッチに対して以下の手順で行う。

- ①回避処理前NCプログラムの特徴を示す補助情報より回避方向（ベクトルA）を決定する。補助情報は、加工形状（凸形状、凹形状など）、加工部位（内側、外側）、本体加工動作（等高線、螺旋、平行など）を示すもので、それぞれ識別番号で指示する。
- ②ポリゴンパッチの法線ベクトルと回避方向ベクトルとの内積が負であるポリゴンパッチに対して、B軸を回転軸として工具軸ベクトルを回転させたときに干渉が生じる天頂角の最小値を α_1 とする。ここでB軸とは、ベクトルAとn軸に垂直で、工具中心点Otを通る軸である。干渉を回避できない場合は α_1 を $\pi/2\text{rad}$ に設定する。（図4(a)）
- ③ポリゴンパッチの法線ベクトルと回避方向

ベクトルとの内積が正であるポリゴンパッチに対して、B 軸を回転軸として工具軸ベクトルを回転させたときに干渉が生じる天頂角の最小値を $\alpha 2$ とする。干渉を回避できない場合は $\alpha 2$ を $\pi/2\text{rad}$ に設定する。(図 4(b))

④この 2 つの天頂角 $\alpha 1$ と $\alpha 2$ により、回避方向に干渉の存在しない区間 $[\alpha 1, \alpha 2]$ を決定する。

⑤ $\alpha 1 \leq \alpha 2$ の場合は、回避方向に干渉を回避できないことを意味する。

⑥回避量の算出、工具軸ベクトルの設定をする。

2.4 回避処理の検証

回避処理を検証した。回避処理前 NC プログラムは工具系形状とテーブル系形状間に干渉を有する 3 軸加工用プログラムとした。そのプログラムを汎用 5 軸 CAM の 5 軸変換機能および干渉回避シミュレータを用い 5 軸加工 NC プログラムを作成し、それぞれの作成に要する時間を評価した。

汎用 CAM は 5 軸加工 NC プログラムを作成する方法が各種用意されている。具体的には、方法軸自動設定方式(工具の初期角度、優先回避軸を設定、以下方法①)、ガイドカーブ利用方式(作業者がガイドカーブを描き工具軸方向を設定、以下方法②)などがある。干渉回避シミュレータは自動生成を目的としていることから、時間の比較は方法①と行った。コンピュータはデスクトップ PC (Dell precision T3400, CPU:core2 Duo E8500 3.16GHz, メモリ:3GB) を用いた。

検証した形状を図 5、検証結果を表 1 に示す。検証した形状は干渉回避が容易に思えるが、方法①では干渉回避できない場合が多いことがわかる。こうした形状に対しては、方法②で行うことになる。それに対し、干渉回避シミュレータを用いた場合はいずれの形状に対しても実用的な時間で NC プログラムを生成できることがわかる。

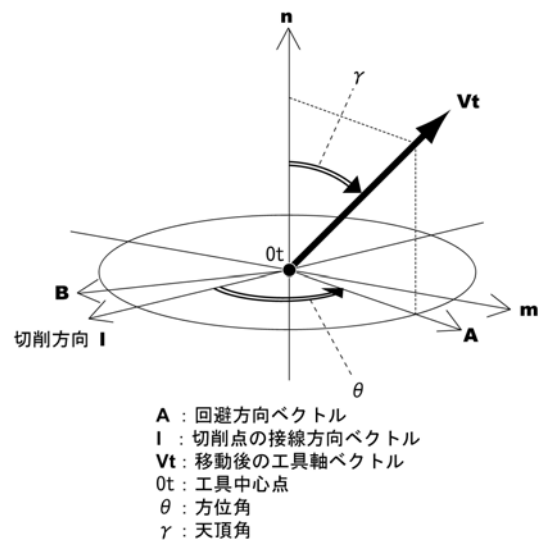


図 3 ベクトルの定義

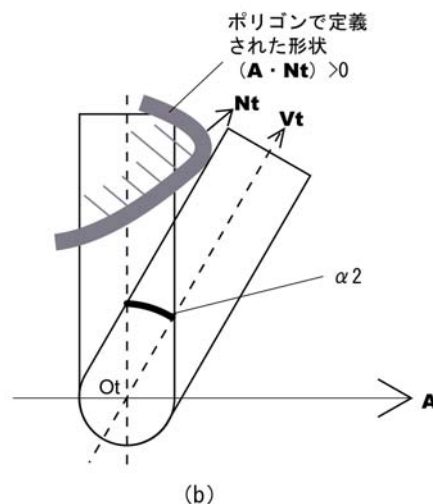
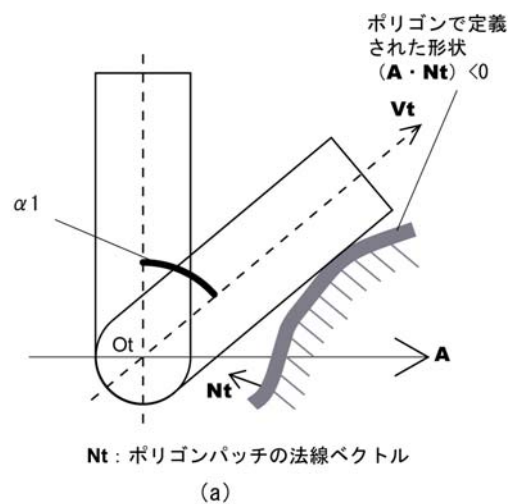


図 4 回避処理の模式図

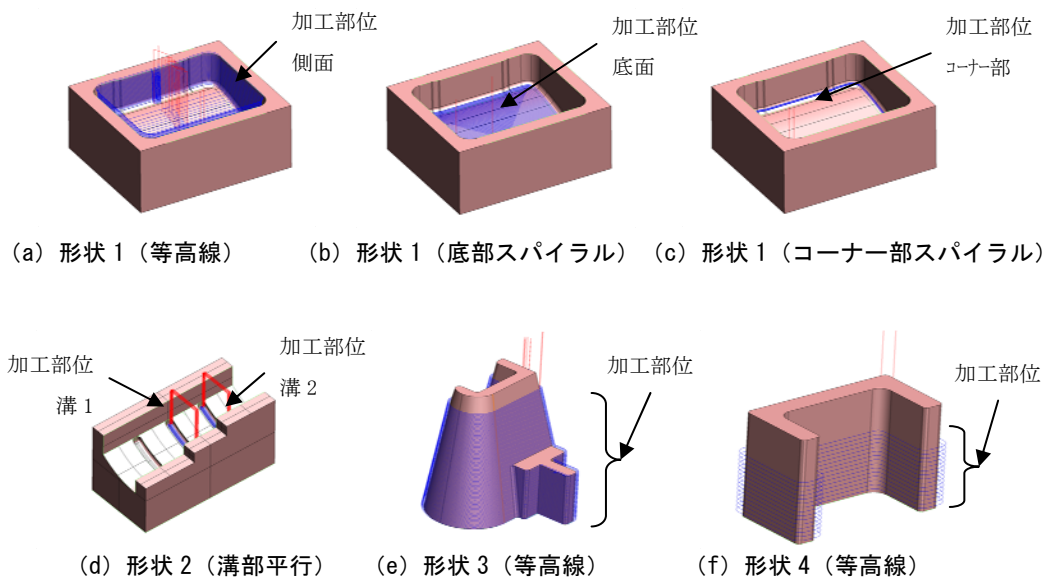


図 5 検証形状（括弧内は本体動作形態を示す）

表 1 プログラム生成に要する時間比較

	干渉回避 シミュレータ	汎用 CAM 方法①
形状 1 等高線動作	35 秒	NG
形状 1 底部スパイラル	20 秒	NG
形状 1 コーナー部スパイラル	15 秒	26 秒
形状 2 溝 1	29 秒	NG
形状 2 溝 2	29 秒	NG
形状 3	1 秒	NG
形状 4	32 秒	NG



図 6 実加工検証サンプル

実加工により，作成した NC プログラムの検証を行った。加工は形状 1 の等高線加工（図 5(a)），底面加工（図 5(b)）およびコーナー部加工（図 5(c)）の 3 種類行った。加工後のサンプルを図 6 に示す。いずれも干渉することなく加工が行えた。しかし，加工面には加工品質が低下している部位が確認された。これは，工具姿勢の連続性が悪く，局部的に姿勢変化するため，姿勢変化を分散させるなどの改善が必要である。

干渉回避は確実にできたが，実用化するためには工具姿勢の連続性を考慮するパラメータの改善が必要である。

3. 結 言

- (1) 工具系とテーブル系間に生じる干渉を検出し自動で回避できるシミュレータを開発した。
- (2) 干渉回避性能および処理速度は実用上問題ないが，工具姿勢の連続性を考慮するパラメータの改善が必要である。

広空間型レーザ三次元座標測定システムの 高機能化に関する研究

菅野 明宏*

Functional Enhancement of Laser Three-dimensional Coordinate Measuring System with Wide Field of View

KANNO Akihiro*

1. 緒 言

近年，大型構造体の製造現場では機械加工や溶接後の寸法を高精度に管理することで，後工程の組立時に発生する不具合の修正工数を低減させたいという要望が高まっている。そのためには，その大型構造体上の三次元座標を離れた位置から高精度に測定する必要がある。著者はそれらの要望に応えるために，レーザ測長器を用いた簡易的な三次元測定システムの開発を進めている。ここでは数メートルから十数メートル程度の大きさがある構造体の寸法を，数ミリメートルの精度で測定することを目標としている。昨年度の研究では，レーザ測長器とガルバノスキャナで構成した測定システムの試作開発を行った¹⁾。

そして本年度の研究では，そのシステムのさらなる高機能化に向けて，近年低コスト化かつ高精度化が進んだ無線通信型レーザ測長器の本システムへの適用を行った。さらに測定時間の短縮を目的とした制御計測ソフトウェアの改良を行った。本報では，それらの開発概要を紹介すると共に，測定実験による形状測定精度の検証結果について報告する。

2. 高機能化の概要

2.1 無線通信型高精度レーザ測長器の適用

本システムの外観を図1に示す。また，測定器本体部の詳細とシステムの座標系を図2に示す。測定器の本体部分はレーザ測長器と2軸の

表1 システム構成要素の仕様

レーザ測長器	測定精度	±1.0mm
	測定範囲	0.05～200m
	レーザ波長	635nm (<1mW)
	レーザスポット径	6/30/60mm (10/50/100m 測定時)
ガルバノミラー	走査範囲	±30度 (光学角)
	分解能	1.17×10 ⁻⁴ 度/パルス

ガルバノスキャナで構成している。それらの仕様を表1に示す。

ここでレーザ測長器には Leica Geosystems 製の Disto D8 を用いた。これまで用いていたレーザ測長器の距離測定精度は±1.5mm であったのに対して本測長器は±1.0mm であり測定精度が高い。また，ここではそのレーザ測長器を本研究で開発したソフトウェアにより Bluetooth 通信を介して制御している。今後，RS-232C を介して制御しているガルバノスキャナ部の無線

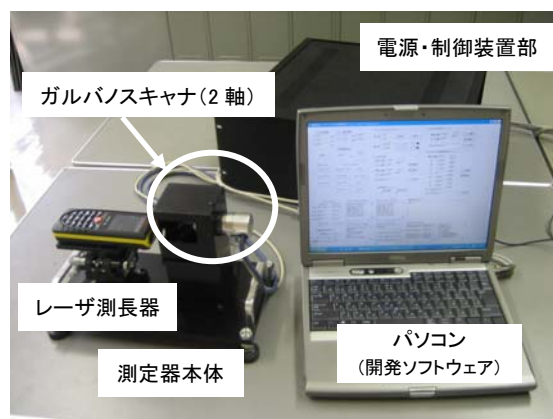


図1 システムの外観

* 下越技術支援センター

通信化を行えば、測定者が離れた所から本測定器を制御して測定することも可能になる。これは大型構造体の内部寸法の計測などで、被測定物に変形や振動が発生するために測定者が構造体内部に入れない場合などに有用であると考えている。

2.2 制御計測ソフトウェアの改良

本システムでは、レーザ測長器から射出されたレーザ光をガルバノスキャナで偏向して被測定物上に照射し、その点までの距離計測値とレーザ光の偏向角度から三次元座標を演算している^{2) 3)}。従って、三次元形状を精度良く測定するためには、レーザスポットを微小な間隔で移動して多数の点を測定する必要がある。それは、高精度な形状測定の場合には測定点数に比例して測定時間が長くなることを意味する。

これまで開発したソフトウェアでは、2次元断面形状測定において指定した測定幅を等間隔で測定している。そこで、測定時間の短縮を図るために、その測定幅を最大8つの領域に任意に分割して、それぞれの領域内の測定間隔を設定できるようにソフトウェアを改良した。これにより、エッジ部やコーナ部など被測定物の寸法測定における基準になる部分だけを微小間隔で高精度に測定し、それ以外の部分は大きな間隔で測定することが可能になる。後述の測定実験を一例に挙げると、等間隔での測定に対して

測定時間が約1/5に短縮される。

3. 測定実験

3.1 実験内容

被測定物までの距離の差による測定精度の検証を行うために、図3に示す段差ブロックの測定を行った。凹凸部の長さは160mmで段差の高さは10mmである。実験では、これらの段差ブロックを本システムから1mと3m、そして5m離れた場所に置いて一ラインの断面形状を測定した(図4)。その測定結果から段差ブロックの凹凸部の長さを求めて、本システムのレーザ走査方向(ここではX方向)の測定精度を検証した。また、同様に段差の高さを求めて、測定距離に対して小さな段差が検出できるかを調べると共に、Z方向の測定精度を検証した。実験では測定間隔を、エッジ部とコーナ部の近傍で0.1mmとし、平面部では2mmとした。



図3 測定対象(段差ブロック)

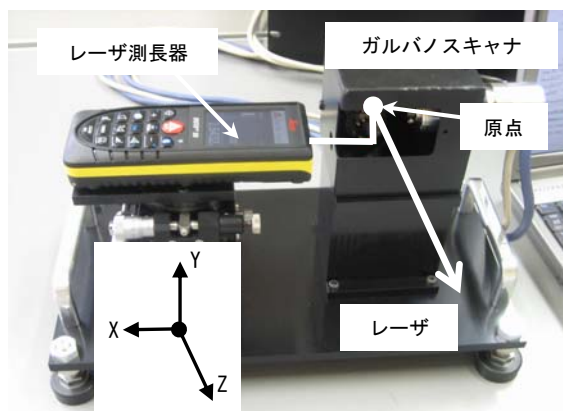


図2 走査装置部の詳細と測定座標系

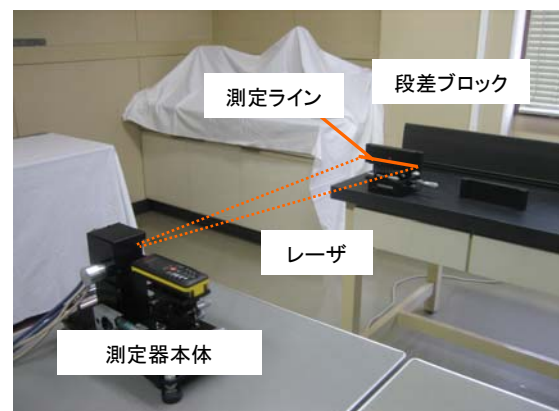
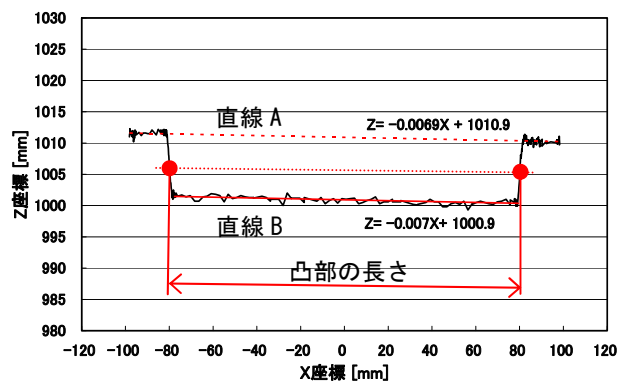


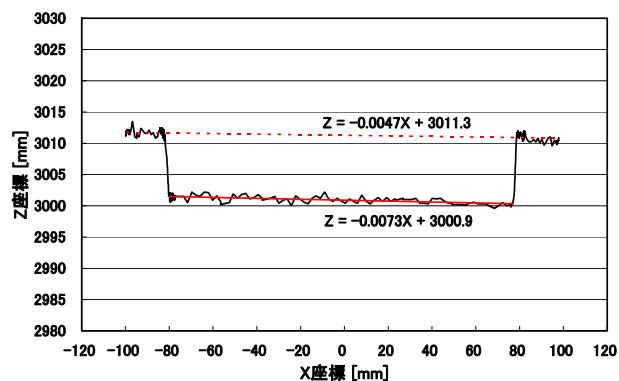
図4 測定の様子(距離1mの場合)

3.2 実験結果

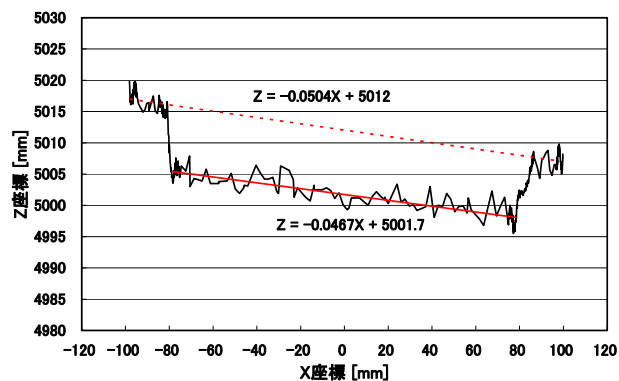
凸面のある段差ブロックの測定結果を図 5 に示す。ここでは図 5(a)に示すように凸部と両端の段差部の測定結果をそれぞれ最小二乗法により直線近似を行い、近似直線 A, B とした。そして凸部の長さを、近似直線 A と B の高さ方向の中間位置と測定結果のグラフが交わる測定点の 2 点間の距離として求めた。そして高さは、凸部の各測定点から近似直線 B に対する距離の



(a) 測定距離 1m



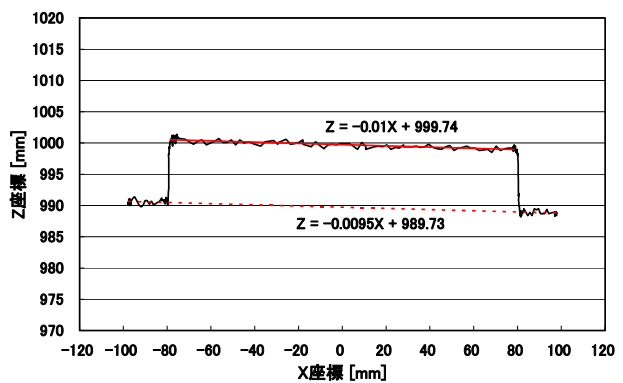
(b) 測定距離 3m



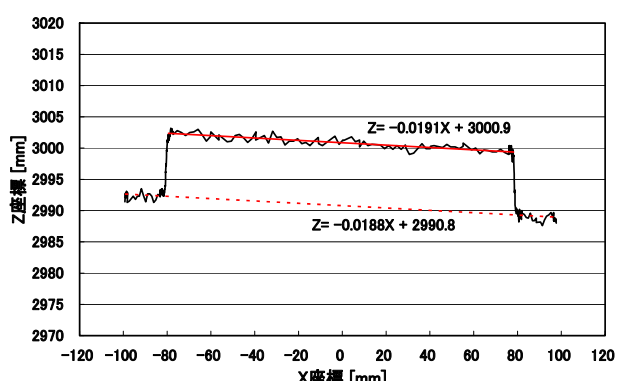
(c) 測定距離 5m

図 5 凸面段差ブロックの測定結果

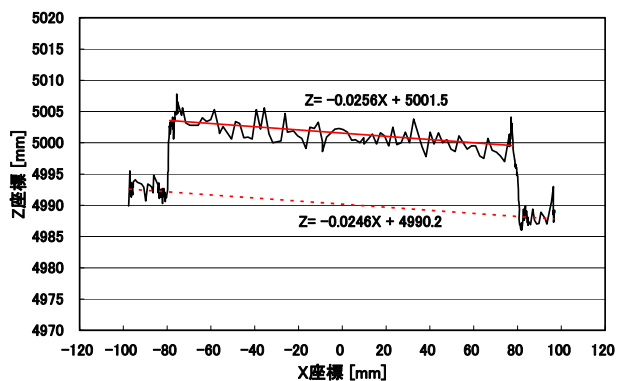
平均値とした。図 6 には凹面のある段差ブロックの測定結果を示す。凹部の長さや段差高さの求め方は凸部と同様とした。それぞれの寸法測定値を表 2 に示す。これより凹凸部の長さの誤差は最大で+2.6mm であり、高さの誤差は+2.2mm であった。すなわち、5m までの測定距離においては数ミリメートル程度の精度で形状測定が可能であると言える。



(a) 測定距離 1m



(b) 測定距離 3m



(c) 測定距離 5m

図 6 凹面段差ブロックの測定結果

表 2 測定結果（寸法測定）

	測定距離	凹凸部長さ(mm)	誤差(mm)	段差高さ(mm)	誤差(mm)	標準偏差
凸面ブロック	1m	160.1	+0.1	9.0	-1.0	0.40
	3m	159.0	-1.0	9.4	-0.6	0.48
	5m	162.6	+2.6	9.3	-0.7	1.29
凹面ブロック	1m	159.7	-0.3	11.0	+1.0	0.37
	3m	159.1	-0.9	11.0	+1.0	0.54
	5m	160.0	0.0	12.2	+2.2	1.54

4. 考 察

はじめに被測定物までの距離と測定誤差の関係について考える。表 2 の結果より凹凸部の長さや高さの測定において、測定誤差は距離に応じて大きくはならなかった。しかしながら、測定結果のグラフでは、明らかに測定距離が大きくなると各測定点のばらつきが大きくなることが分かる。そこで、前述の近似直線 A から、それぞれの測定点までの距離の標準偏差を求めた。その結果を表 2 の右に示す。これより距離 1m と 3m は標準偏差があまり変わらないが、5m ではその 3 倍程度まで大きくなっていることが分かる。これはレーザ測長器の距離測定のばらつきが影響しているものと思われる。しかしながら、本システムのように測定点数を多くして平均化すれば、数ミリメートルの精度での形状の測定が可能であると言える。

次に段差の高さ測定について考えると、測定距離によらず凸面の場合では小さく測定され、逆に凹面の場合では大きく測定された。紙面の都合上、詳細は割愛するが複数回の測定でも同様の結果が得られている。すなわち、本測定系に測定幅の両端付近で Z 方向の成分が小さくなるような誤差が含まれていると言える。しかしながら本実験の結果では、1m から 5m 離れた位置から高さ 10mm という小さな段差の測定を再現性良く高精度な測定ができていたとも言える。そして前述のような誤差は、校正方法を検討することで誤差を低減させることが可能であると思われる。

5. 結 言

- (1) 本システムに高精度なレーザ測長器を用いて基本性能の向上を行うと共に、

Bluetooth 通信を介した無線での制御を可能にした。

- (2) 測定領域を最大 8 つに任意分割して、測定間隔を設定できる測定制御ソフトウェアを作製して、測定時間の短縮を実現した。
- (3) 測定距離を最大 5m まで変化させて段差ブロックの形状測定を行った結果、数ミリメートルの精度で寸法測定が可能であることを示した。

謝 辞

新潟大学工学部機械システム工学科の新田 勇教授には、レーザ測長器の Bluetooth による無線制御ソフトウェアの開発に関してご指導いただくと共に実験機材の貸与で多大なるご協力をいただきました。ここで深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 菅野明宏, “レーザ測長器を用いた三次元座標測定システムの開発”, 工業技術研究報告書, No.38, 2009, p96-98.
- 2) 新田勇, 小森克也, 飯村良雄, 西村孝司, “レーザ測長器を用いた 2 点間測定に関する基礎研究”, 日本機械学会 北陸信越支部第 43 期総会・講演会論文集, 2006, p139-140.
- 3) 新田勇, 小森克也, “レーザ測長器を用いた 3 次元測定器の基礎研究”, 日本機械学会第 6 回機素潤滑設計部門講演会論文集, 2006, p153-154.

重粉砕機の騒音低減について

馬場 大輔* 宮口 弘明*

Reduction of Noise from Single-shaft Shredder

BABA Daisuke* and MIYAGUCHI Hiroaki*

1. 緒 言

県内企業が製造した、騒音低減対策を施した重粉砕機（図1参照）について、対策の効果を検証するため4種類のマテリアルの粉砕時における騒音を測定した。

2. 騒音対策

パンチングメタル、グラスウール、遮音シートを使用した遮音板をホッパー部に使用した。また、他の部分はスポンジ状の防音材を使用し、さらにカバーの内部全体に防音材を貼付した。

3. 対策による効果の測定

3.1 測定条件

粉砕対象マテリアル、前後カバーの状態、測定位置についてそれぞれ以下のように条件を設定した。

3.1.1 粉砕対象マテリアル

硬質プラスチック、軟質プラスチック、PET ボトル、木材

3.1.2 前後カバー状態

開放、密閉（PET ボトル、木材は密閉のみ）

3.1.3 測定位置

装置前面（装置前カバーから 1m 離れた場所）で、マイクロホン設置高さが 1m になるように騒音計を三脚で固定した位置）、装置背後（装置斜後方 1m 離れた場所で、マイクロホン設置高さが 1m になるように騒音計を三脚で固定し

た位置）（図 2（装置を上から見た図）参照）

3.2 使用機器

精密騒音計 LA-5560（（株）小野測器）

マイクロホン MI-1233（（株）小野測器）

1/1 リアルオクターブ分析機能を使用し周波数分析を行った。

3.3 測定結果

測定結果についてまとめたものを図 3 に示す。凡例中の数値はオーバオール値である。



主な仕様	
モータ出力	132kW
回転数	308min ⁻¹
ロータ幅	1188mm
重量	約 10,000kg
参考処理能力	毎時 3,000～ 12,000kg

図 1 測定対象重粉砕機¹⁾

* 上越技術支援センター

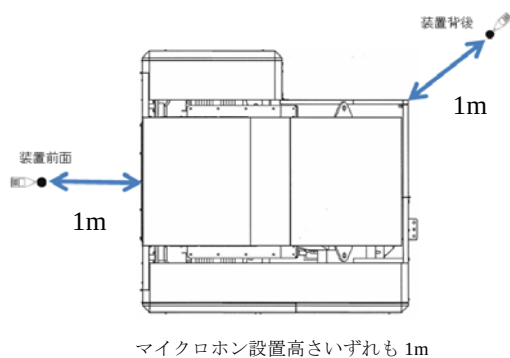


図2 測定位置（装置上面から見た図）

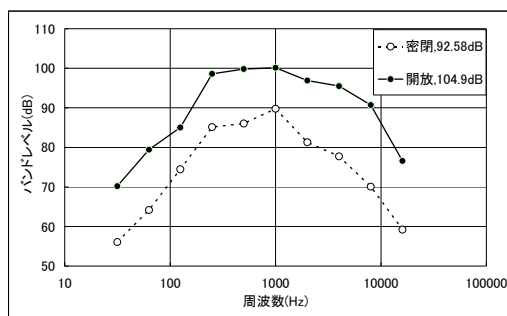
3.4 騒音低減対策による効果

3.4.1 軟質プラスチック

軟質プラスチックを粉砕した場合の測定結果を図3(a), (b)に示す。カバーを密閉することによりオーバーオール値で装置前面で12dB, 装置背後で17dB程度の騒音低減を達成できた。

3.4.2 硬質プラスチック

軟質プラスチックを粉砕した場合の測定結果を図3(c), (d)に示す。カバーを密閉することによりオーバーオール値で装置前面で4dB, 装置背後で10dB程度の騒音低減を達成できているが、特に1,000Hz以上の高周波数域の騒音低減効果が大きいようである。



(a) マテリアル：軟質プラスチック
測定位置：装置前面

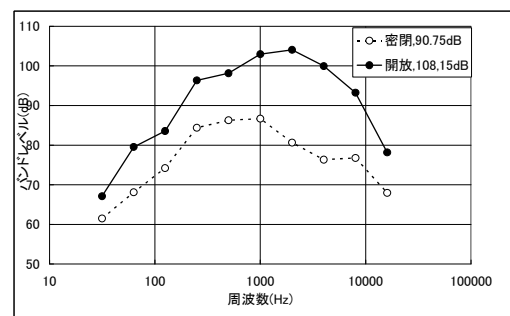
3.5 マテリアルの種類による比較

前後カバーを密閉して粉砕を行った場合のマテリアルによる騒音レベルの差を図3(e), (f)に示す。装置前面、装置背後とも、軟質プラスチック、木材、硬質プラスチック、PET、の順で騒音レベルが上昇している。また、いずれのマテリアルも装置前面と比較して装置背後で大きい騒音低減効果が得られている。大きい騒音を発生する粉砕部が前面カバー直近に配置されていることによるところが大きいと思われる。

4. 結 言

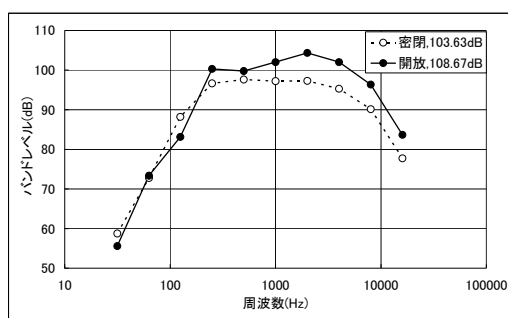
- (1) 今回の騒音対策で、オーバーオール値で約4～17dBの騒音低減効果が得られた。
- (2) いずれのマテリアルにおいても装置前面と比較して装置背後で大きい騒音低減効果が得られた。
- (3) 1,000Hz以上の高周波数域で大きい騒音対策効果が得られた。

なお、本測定は平成20～21年度ゆめわざものづくり支援事業スーパーわざづくり助成金「重粉砕機の開発」の中で実施したものである。

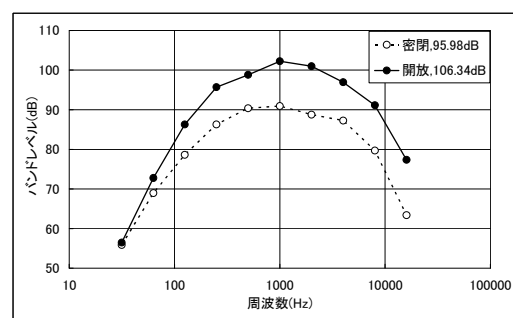


(b) マテリアル：軟質プラスチック
測定位置：装置背後

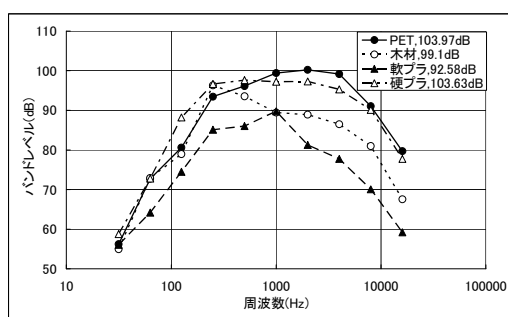
図3 測定結果



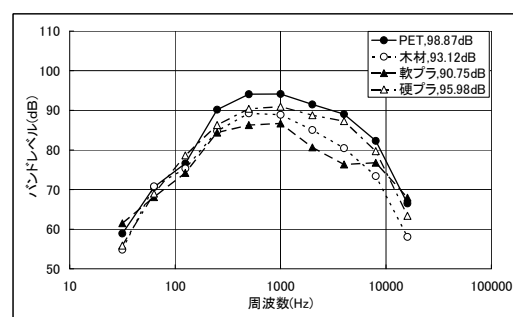
(c) マテリアル：硬質プラスチック
測定位置：装置前面



(d) マテリアル：硬質プラスチック
測定位置：装置背後



(e) カバー状態：密閉
測定位置：装置前面



(f) カバー状態：密閉
測定位置：装置背後

図3 測定結果（つづき）

参考文献

- 1) ウエノテックス(株)ホームページ,
(2010年3月31日閲覧)
<http://www.uenotex.co.jp/>

安心・安全・環境を配慮した繊維製品づくりの支援

渋谷 恵太* 五十嵐 宏* 明歩谷 英樹*

Report of Assist to Develop Secure and Environment-Friendly Textiles

SHIBUYA Keita*, IKARASHI Hiroshi* and MYOUBUDANI Hideki*

1. 緒 言

近年、消費者の購入商品に対する安全性や環境への優しさへの意識がかつてない高まりを見せている。工業製品も例外でなく、肌身につける繊維製品においてはその傾向が顕著であり、染料や助剤に対して各種規制により使用が禁じられたり、使用量について報告義務が課せられたりしている。また、エコテックススタンダード 100 をはじめとした安心安全や環境に配慮した繊維製品の認証制度も次第に浸透しつつある。

しかしながら地場中小繊維企業においては規制や認証などに関する情報入手経路が確立しておらず、また有害物質等の分析について対応可能機関が分からなかったり、時間や費用の面がネックとなったりと、今後いっそう重要性を増すとも思われるこの分野について対応に苦慮している話も伝わってきている。

そこで本研究では安心、安全で環境に配慮した繊維製品づくりに役立てるべく、まず県内繊維企業に対し聞き取り調査を行い、現況の把握とニーズの洗い出しを行った。次に、寄せられたニーズのうち、特に分析に関するものについて、当センターで実施可能な内容が検討した。そして対応可能と思われたものに対しては必要な資器材を調達したうえで、依頼試験等での実践的な対応実現に向け試分析を行った。

2. 企業ニーズ調査

県内の繊維関係企業 12 社を訪問し安心、安

* 素材応用技術支援センター

表 1 現況、ニーズ調査

業種	現況、ニーズ
染色・繊維加工	・ROHS指令のための分析が必要 ・有害な異臭成分の特定と定量をしたい ・シルク粉末を精製品しているが原料のロットが切り替わるたびに重金属などの有害成分を検査しデータを提出する必要がある ・機能付与加工した繊維の性能評価をしてほしい（消臭、染色堅ろう度向上、吸湿速乾、蓄熱保温、抗菌性 等） ・ホルマリン試験程度しか検査ニーズはない ・精練が主であり大した薬品は使っていない ・海外の法規や認証制度の動向を迅速に詳しく知りたい ・染料、助剤等に含まれる成分の危険性、規制への抵触等についてメーカーからの情報開示が少なく困っている ・エコテックススタンダード100の認証取得について検討中である
ニット・縫製	・有害物質等の検査ニーズはない ・デザイン重視のものづくりであり、商品の企画においてエコや環境の要素は取り入れていない ・グリーン調達制度により使用したハンガー中に異物が混入していた

全で環境に配慮した繊維製品づくりに関した現況やニーズについて聞き取った。主な対象は染料や薬剤の使用量が多く法規制等への対応に最も日々頭を悩ませていると思われる染色整理業、最終製品を手がけており消費者の声が良く届いていると思われるニット業である。調査結果の概要を表 1 に示す。今回調査の中ではニット業からは規制対応や分析ニーズ等、本研究がター

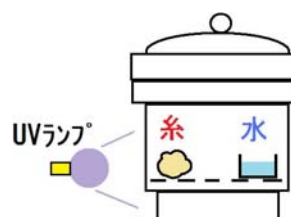


図 1 UV への曝露とアルデヒド類の捕集

表 2 HPLC 分析条件

前処理	2,4 - ジフェニルヒドラジン (DNPH)添加
測定波長	360nm
カラム	ODS 4.6mm×150mm
移動層	水, アセトニトリル (1:1)
オープン温度	40℃
流速	1ml/min.

ゲットとするような内容は聞かれなかった。染色整理業からは化審法、化管法をはじめとした規制情報の照会対応や製品が含有する有害成分の分析などのニーズが聞かれた。

3. 試験と結果

前項で把握したニーズのうち分析に関するものについて、対応力強化の観点から高価な分析装置の導入が不要なものについては基本的に実施が可能と考え、試験に取り組んできた。そのうち二例について以降に紹介する。

3.1 アルデヒド類の同時定量

加工剤に原因し、紫外線に曝露されることで複数種のアルデヒド類を放散している疑いのある糸があった。このような場合、消臭性能試験などで一般的に用いられるガス検知管では測定に支障があるので、高速液体クロマトグラフ (HPLC) を用いた定量方法を試みた。JIS (日本工業規格) や JAS (日本農林規格) に定める合板等のホルムアルデヒド放散量測定方法を参考にしてデシケータ中に水を入れたビーカーと試料の糸を共存させて、その外側から UV ランプにより照射曝露した。照射後にデシケータ中の水を取り出し、必要な処理を行い糸から放出されて水に吸着されたホルムアルデヒド、アセトアルデヒドを HPLC により定量した。試験の

表 3 糸のアルデヒド類放散量測定

	試料(g)	2.4
UV照射	照度(mW/m ²)	1.0
	時間(h)	48
HPLC測定 濃度(μg/ml)	ホルムアルデヒド	2.4
	アセトアルデヒド	2.8



図 2 セミマイクロケルダール窒素蒸留装置

模式図を図 1 に、HPLC の分析条件を表 2 に示す。試験結果を表 3 に示す。糸から実際にホルムアルデヒド、アセトアルデヒドが放散されているのを確認し、濃度を定量することができた。

3.2 製品中成分の分析

化粧品や食品をはじめとして今後の用途展開が期待されているいずみ染工(株)製のシルクパウダーについて、医薬部外品の規格に沿った方法により窒素分の定量や重金属やヒ素などの有害成分についての各種分析を行った。窒素分の定量に用いる実験装置の写真を図 2 に示し、その試験結果を表 4 に示す。いずれの試験も実施を繰り返すなかで概ね良好な試験結果を得られるようになってきた。

4. 結 言

- (1) 安心、安全で環境に配慮した繊維製品づくりに関する県内繊維企業の現況やニーズを調査した。特に染色整理業において規制情報や分析のニーズがあることが分かった。
- (2) 分析ニーズのうち実施可能と判断したものに対し、試験を繰り返すなかで分析実施についてのスキルを得た。

表 4 シルクパウダー中の窒素分の定量

試験方法	医薬部外品原料規格2006-44	
試料採取量(mg)		20.9
0.005mol/L H ₂ SO ₄	f	1.075
	滴定量(ml)	15.25
窒素分	(mg)	2.30
	(%)	11.0

たて糸インクジェット捺染織物の試織

渋谷 恵太* 橋詰 史則*

Weaving Test of Warp Inkjet Printing Textile

SHIBUYA Keita*, HASHIZUME Fuminori*

1. 緒 言

たて糸捺染は捺染（プリント染め）の一形態であり、布帛に対して行う一般的な方法と異なり、製織前の引き揃えられたたて糸に対し捺染を行う手法である。よこ糸が無い場合、糸の密度が疎な状態で捺染を行えば、捺染面の裏側まで染料が行き渡り、製織後の織物は表裏が同じ色柄に仕上がる。これは一般の捺染品にはない特長である。

たて糸捺染織物の一例としてほぐし織がある。これはごく粗くよこ入れして仮織りした織物に捺染を施し、よこ糸をほぐしながら本製織を行う工程を経る。大正昭和期に着物柄として隆盛を極めたが、現在は工業的な規模ではほとんど行われていない。

織物整理業の(有)金丸整理工業（見附市）は、たて糸巻き取り装置と大型インクジェットプリンタにより構成されるたて糸インクジェット捺染装置を開発した。これは製織用ビームに巻いたたて糸に対してインクジェットプリンタにより染料を捺染した後、これを製織、熱処理を行い、たて糸捺染織物を得るものである。

このたて糸捺染技術には多くの特長がある。まず旧来のほぐし織りと異なり、仮織りとほぐしの工程がないことによる効率の良さがあげられる。捺染はビームに巻かれたたて糸の始端から終端まで連続的に行うことができ、フィルム貼付等によりたて糸を固定する手間もなく、不用品の切れ目が生じることもない。

また、コンピュータとインクジェットプリンタによるデザインと染色のため、柄の表現、色

数に高い自由度がある。もちろんビームの途中で色柄を変更することも可能であり、多品種小ロット化対応に適している。

また、そもそもたて糸捺染の広幅織物自体が従来市場にない新規のものであり、生地表裏が同柄の広幅捺染生地という特異性、優位性を生かし、従来捺染織物が不得手としてきた、生地の裏側にも柄表現できることが活かせるような商品分野への展開、例えばブラインドなどのインテリア用品等、衣料以外の用途へも活用が期待できる。

当センターはこの捺染技術の開発に対し本年度も対応素材の幅を広げるためのミニ共同研究を実施するなど継続的に支援を行ってきた。本研究は当技術をPRするための見本品製織を行ったものである。

2. 試験と結果

2.1 織物設計

糸はたて糸、よこ糸とも綿100%とし、組織は平組織とした。織物規格の概要を表1に示す。

2.2 デザイン

インクジェット捺染による自由な表現を活かすには立体感、奥行きのある図柄が良いと考え、3Dコンピュータグラフィックスソフト（(株)

表1 織物の規格

素材	綿100%
織度(s)	たて糸：80/2 よこ糸：40/-
密度(本/cm)	たて糸：34 よこ糸：28
組織	平

* 素材応用技術支援センター



図 1 捺染用図柄

イーフロンティア製 Shade) を用いてたて糸に捺染する図柄のデザインを行った。デザインにあたってはたて糸捺染織物の特長を分かりやすく訴えかけることを心がけ、色彩、明暗、細かい柄の解像度がどれくらい再現できるかを確認できる柄とした。図 1 に作成した図柄の元画像を示す。

2.3 染織加工

糸に染色性向上用の前処理を施した後に整経

表 2 染織工程概要

工程	糸の前処理 ↓ 整経 ↓ インクジェット捺染 ↓ 製織 ↓ 熱処理, ソーピング ↓ 仕上げ
前処理剤	糊剤, アルカリ
前処理条件	総糸の状態で付着, 脱水, 乾燥
染色方法	インクジェットプリンタ 捺染 (反応染料)
加熱方法	蒸熱
ソーピング剤	センカノール C-80 (センカ (株) 製) 1g/l
ソーピング条件	85℃, 10分間処理後, 水洗2回, 脱水, 乾燥



図 2 織物写真

し、金丸整理工業のたて糸インクジェット捺染装置により前項で作成した図案を捺染し、これによこ糸を打ち込んで織物とした後、蒸気で加熱し捺染した反応染料をたて糸に固着させ、更にソーピング等必要な後処理を施して仕上げた。工程の概要等について表 2 に示す。完成した織物の写真を図 2 に示す。なお、これまでたて糸捺染織物ではよこ糸に白糸を打ち込んでおり、そのため図柄の色味が淡くなる傾向があったが、今回はたて糸の柄の明度に合わせて灰色に染めた糸をよこ糸に用いた。図柄の淡色化が抑えられ柄が明瞭に表現され、具合が良いことが確認できた。

2.4 PR活動等

完成した織物による PR について実績を表 3 に示す。本研究の成果物であるこの織物は、昨年の NHK 大河ドラマの題材であった本県ゆかりの武将直江兼続が兜にあしらった「愛」の字をモチーフとした時節に合ったインパクトあふれる図柄が人気を呼び、当初予定した機会の他にも多くの方から展示のお誘いを掛けて頂き、地元の新聞にも取り上げて頂いた¹⁾。本研究は当初の目的であったたて糸捺染技術の PR だけにとどまらず、地域資源としての繊維産業の魅力と価値を発信することのお手伝いもできたものと考えている。

表 3 PR 活動等

日時	イベント名等, 場所
H21.10.6 ～H21.10.7	TOCHIO TEXTILE COLLECTION '10 , 表参道・新潟館 ネスパス (東京都渋谷区)
H21.10.30 ～H21.10.31	第47回全国繊維交流技術ブラザ, (財)栃木県南地域地場産業振興センター (栃木県足利市)
H21.12	店内にて展示, 大光銀行見附支店(見附市)
H22.1.24	生涯学習講演会「天地人を語る」 ～直江兼続の義と愛～, 見附市中央公民館(見附市)
H22.2～	館内にて展示, ホテルつるや(見附市)

3. 結 言

- (1) たて糸捺染の技術的特長や商品的な魅力を伝えることのできるインパクトある織物を試作した。
- (2) 完成した織物により各所で PR 活動を行った。非常にユニークな差別化技術であり、今後とも技術開発を支援し PR にも努めて行きたい。

参考文献

- 1) 見附新聞社, “匠の技とデジタルの融合”, 見附新聞, 2009 年 11 月 26 日付け, 2 面.

低炭素社会にふさわしい雪による新たな ニイガタブランドの創造

永井 直人* 阿部 淑人*

Creating a new “NIIGATA” brand contributed to low CO₂ action using “YUKIMURO”

NAGAI Naoto* and ABE Yoshito*

1. 緒 言

本研究報告は平成 21 年度から 22 年度にかけて新潟県農業技術総合研究所食品研究センターが主体となつて行う創造的研究制度の表題テーマにおいて、新潟県工業技術総合研究所下越技術支援センターが分光分析などの技術で参画した結果をまとめたものである。

古くから「雪室」を利用して食品や野菜を貯蔵しておく「おいしくなる」「甘くなる」ということが経験的に言われているが、科学的に根拠が乏しいことが指摘されている。この「雪室」は地球温暖化問題に関連して CO₂ 排出を削減する観点から優れた保存方法として見直されており、「おいしくなる」理由が科学的に明らかになれば「雪」のネガティブなイメージをポジティブに転換し、低炭素社会にふさわしい新たなニイガタブランド創出へと展開していきたいというのが本研究の発端である。他に高冷地農業技術センターが参画しており、新潟県立大学、雪だるま財団、JA 津南町の支援・連携を仰いでいる。

工業技術総合研究所は県内企業のトラブル分析や研究開発に寄与してきたが、近年、食品製造業からの依頼試験にも取り組んでおり、平成 19, 20 年度には創造的研究制度によって「科学チップの開発」を行い、混合物組成を分光分析レベルで行うことが可能となり食品分析にも展開してきている^{1) 2)}。

本研究は県内の他の研究機関であまり行われ



図 1 安塚地区の雪室外観

ていないこの分光分析手法を「雪室」の効果検証に利用できるか検討するものである。分光分析の特徴は分析プローブを小さくすることが可能であることから、組成分布を知ることも可能である。したがって、従来行われてこなかった「雪室」保存によって糖などの分布変化を捉えることができれば、保存による物理的な拡散や外部環境に対応した酵素などによる能動的変化が起こることも検証できるのではないかと考えられる。

なお、今年度は実際の「雪室」保存サンプルが年度終盤に持ち込まれ出すため、保存される予定のいくつかの食品素材に関する予備実験を行った結果（特にニンジン）のみを報告する。

2. 「雪室」と分光分析

2.1 雪室の様子と特徴

図 1 は上越市の安塚地区にある「雪室」の写真である。撮影は夏場に行ったが、冬場に積もった雪をこの体育館ほどの建物の中に重機で搬

* 下越技術支援センター



図2 雪室内の様子

入する。深さは地下1階ほどになっており、雪が金網で堰き止められた地下1階の一部のスペースが保管場所になっている。図2に保管場所を撮影した写真を示した。

夏場でも涼しく、長い時間入っていられないほどである。品物の保管場所は約5℃で冷蔵庫並みであるが、湿度が100%に近いという点が大きく異なっている。この湿度が異なる点が食品にどのように影響を及ぼすのが着目点と言える。

2.2 分析方法の概要

ニンジン分析した例を以下に示す。

ニンジンは切断すると同心円状に模様を観察することができる。このパターンは組織の違いを反映していると考えられ、含有されている構成物も違い、したがって味にも影響が出るものと予想される。従来のように切断したニンジンを磨砕して、組成の分析をする場合と比較してそれぞれの断面模様に対応した構成物の化学構造を調べることは、これまでになかった情報が得られ、作物の代謝を調べる上でも有効ではないかと考えられる。部分ごとに採取してそれぞれを磨砕して組成を調べることは途方もなく大変であるが、以下に示すATR法とその転写法はそれぞれの部位の情報を比較的簡便に取得することができる。すなわち、図3に示したように直径2mmほどの屈折率の高いプリズム（この場合はGe）の上にニンジンの目的部位を圧着し、しみこみ電場を利用することで組織の赤外スペ

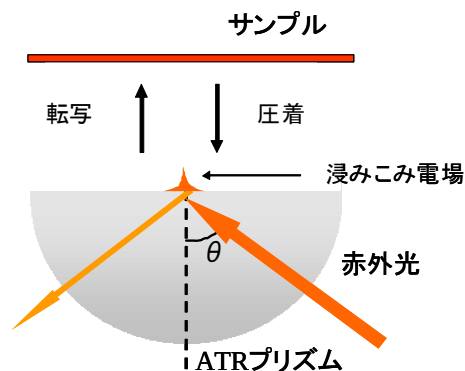
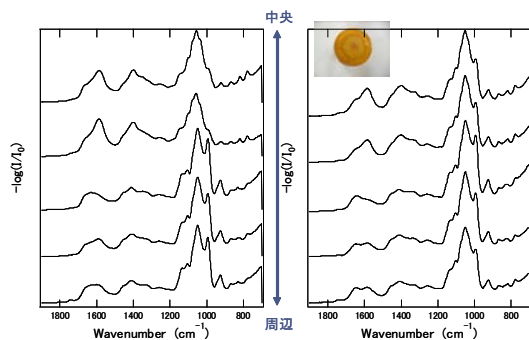


図3 FTIR-ATR法の光学配置

クトルを取得する。測定後にサンプルをプリズムから離すと、組織から浸み出た糖などの成分がプリズムの上に残る。これをドライヤーの冷風で乾燥したのち再び測定すればプリズムの上に残った糖などの成分の分析が可能となる。プリズムの残余物をふき取った後、他の部位を同様に測定すれば、理屈の上ではニンジン組織構造と糖に関する「地図」が作成されることになる。

2.3 結果

図4には「はまべに」と「ひとみ」という2種のニンジンに関して上記の転写法を利用して糖の分布を調べた結果を示した。左が「はまべに」で右が「ひとみ」である。スペクトルの上から下にかけてニンジン中央部から周辺にかけての結果を示した。図5には糖類の標準スペクトルを示した。これらのパターンを比較すると「はまべに」中央部では主にフルクトースが、周辺部にはスクロースが存在していることがわかる。一方、「ひとみ」ではフルクトースとスクロースが混在している傾向が認められる。また、相対的に 1600cm^{-1} 付近の有機酸塩も少ない傾向がある。図6にはそれぞれを「化学チップ法」にて分析した結果を示した。データは分離された特徴的な成分を並べたものである。上部の方のスペクトルではどちらの種からタンパク成分（ 1640cm^{-1} 、 1550cm^{-1} ）が検出されていることが分かる。一方、「ひとみ」の方では 1740cm^{-1} 付近の脂質のピークが相対的に顕著に



はまべに ひとみ
図4 ニンジンのATRスペクトルの比較

認められ、脂質濃度が高いことが予想される。

これらの成分は味に影響する成分と考えられることから、上記のような新たな視点で食品分析を試みることは「雪室」による味の変化の解明やさらには外部環境の変化による食物の代謝を探る上で有効な手法になるのではないかと期待される。

近年、ケモメトリックスと呼ばれるデータ処理方法によって分光スペクトル中に含まれるわずかな違いを検出し、食品偽装に対応する鑑識技術が著しく進んでいる³⁾。

来年度は、実際の「雪室」投入した試料の変化に関して報告し、ケモメトリックスも取り入れた定量化への取り組みについて報告する予定である。

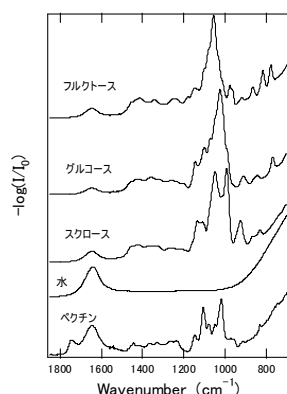
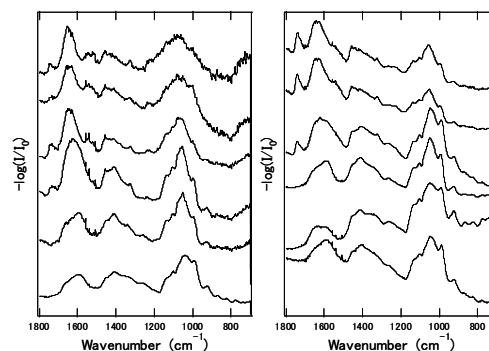


図5 糖類の赤外標準スペクトル



はまべに ひとみ
図6 ニンジンの化学チップ分析の比較

3. 結 言

- (1) 「雪室」投入による食品の味の変化を調べるため、分光法を用いた新たな手法を提案した。
- (2) ニンジンの糖や組織の分布を簡便に評価することができ、「はまべに」と「ひとみ」の2種に関して分布が存在し、両方で異なることが分かった。この手法は今後の「雪室」投入試料に関して適用できる。
- (3) 「化学チップ法」も併用することで、主成分以外の微量成分の差異も検出できることが期待される。

参考文献

- 1) 永井直人ほか，“食品産業支援の化学チップ開発”，工業技術研究報告書，No.37，2009，p3.
- 2) 永井直人ほか，“食品産業支援の化学チップ開発”，工業技術研究報告書，No.38，2009，p67.
- 3) 長谷川健，スペクトル定量分析（講談社サイエンティフィック），2005.

鑄造品の外観検査装置導入に関する研究

木嶋 祐太* 大野 宏**

A Study of Introducing a Visual Inspector for Metal Casting Parts

KIJIMA Yuuta* and OHNO Hiroshi**

1. 緒 言

鑄鉄品は複雑な形状部品を大量に製造できるため、安価な量産部品として製造されている。しかし、鑄型に不具合が生じたり、鑄造条件が不適当だったりすると鑄鉄品に欠陥が発生する。そのため、目視による外観検査が行われているが、検査員による個人差や疲れによるばらつきが生じるため自動化が望まれている。

2008年度の「画像処理を利用した鑄鉄品の外観検査の自動化についての研究」¹⁾において試作した外観検査装置を企業の現場に導入するための実験を行った。様々な欠陥サンプルに対して、照明の位置、カメラのゲインの条件を変更したときの欠陥の検出のしやすさを評価した。

2. 実 験

2.1 実験の目的

最適な照明の位置やカメラのゲインの条件を求めることが実験の目的である。

画像処理を行うと欠陥に近いほど画素の階調値が大きくなる。図1に画像処理後の画像を1次元として表現したグラフを示す。グラフで欠陥部と表示した範囲は実際に欠陥がある場所である。また、図1のように幅が小さいものは雑音のため、平滑化フィルタをかけて減衰させた。

正常部の値は欠陥がない部分の最大値とし、欠陥部の値は欠陥部での最大値とした。図1の場合は、Aが正常部の値でBが欠陥部の値となる。A値より、B値が大きくなるほど、検査に適していることになる。この実験では正常部の値と欠陥

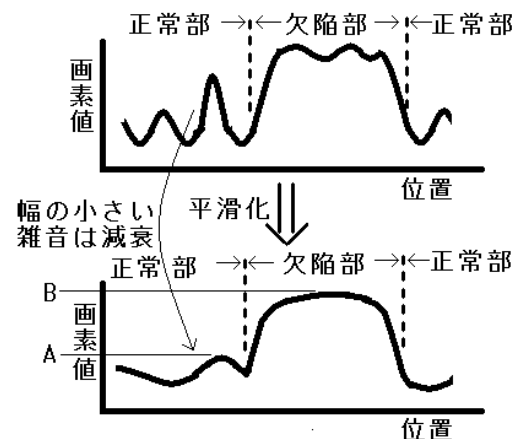


図1 評価方法

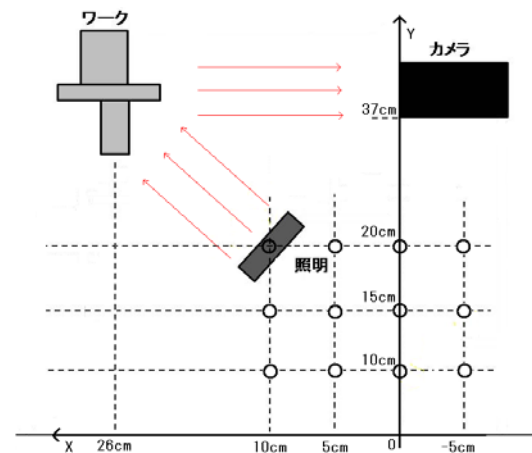


図2 実験配置図

部の値の比率で評価した。

2.2 実験方法

図2のように検査対象ワーク、カメラ、照明を配置し、試作した外観検査装置で検査を行い、その結果を評価した。照明の位置は図のX方向に4条件、Y方向に3条件の12条件であり、図中に

* 下越技術支援センター

** 企画管理室

○で示す。平滑化フィルタの大きさは欠陥の面積を考慮し、5×5とした。

2.3 対象ワーク

欠陥品として10種類のワークを用意した。側面に欠陥があるものが4種類（ワーク1～ワーク4）、底面に欠陥があるものが6種類（ワーク5～ワーク10）である。

3. 実験結果

3.1 ワークによる結果のばらつき

表1～表3に側面の欠陥について評価した結果を示す。この結果は、カメラのゲインと照明の位置について表に示す条件下での正常部の結果に対する欠陥部の結果の比率を求めたもので、1より大きいと欠陥部が強調されていることになる。表1は4種類の側面欠陥の最小値を求めた結果で、表2、表3は側面欠陥のワーク単体での測定結果である。わかりやすくするために1.5を基準に表1をみると、1.5を超えている条件は存在しないのがわかる。しかし、表2、表3をみると1.5を超えている条件は存在している。このことから欠陥の場所や種類によって測定のしやすい条件が違い、最小値をとると小さな値になってしまうことがわかった。

3.2 画像処理のマスク

底面の画像処理については、刻印部分と影になる部分があることから、マスクを設定しその部分は画像処理を行わない。図3の白くなっている部分が画像処理を行う範囲である。このマスクを図4のように、シャフトの円周部と刻印がされて

表1 ワーク1～ワーク4 測定結果の最小値

照明の位置		カメラのゲイン						
X [cm]	Y [cm]	300	350	400	450	500	550	600
10	10	0.44	0.53	0.70	0.82	0.88	0.98	1.06
10	15	0.83	0.94	1.05	1.16	1.21	1.14	1.09
10	20	1.19	1.15	1.02	0.56	0.70	0.00	0.00
5	10	0.76	0.89	0.96	1.09	1.21	1.24	1.17
5	15	1.07	1.12	1.19	1.07	0.86	0.63	0.27
5	20	1.00	0.77	0.54	0.21	0.00	0.00	0.00
0	10	0.95	1.02	1.07	1.16	1.18	0.99	0.72
0	15	0.95	1.08	1.13	0.91	0.61	0.31	0.00
0	20	1.11	0.92	0.67	0.33	0.00	0.00	0.00
-5	10	0.90	0.91	0.97	1.07	1.11	0.86	0.59
-5	15	0.88	0.96	1.07	1.03	0.83	0.43	0.06
-5	20	0.70	0.85	0.89	0.80	0.47	0.00	0.00

表2 ワーク1の測定結果

照明の位置		カメラのゲイン						
X [cm]	Y [cm]	300	350	400	450	500	550	600
10	10	1.00	1.18	1.51	1.67	1.55	1.45	1.34
10	15	1.49	1.46	1.37	1.29	1.23	1.14	1.09
10	20	1.21	1.15	1.02	0.56	0.70	0.00	0.00
5	10	1.49	1.64	1.53	1.44	1.35	1.26	1.17
5	15	1.39	1.27	1.19	1.07	0.86	0.63	0.27
5	20	1.00	0.77	0.54	0.21	0.00	0.00	0.00
0	10	1.69	1.57	1.39	1.28	1.18	0.99	0.72
0	15	1.39	1.29	1.13	0.91	0.61	0.31	0.00
0	20	1.11	0.92	0.67	0.33	0.00	0.00	0.00
-5	10	1.78	1.57	1.37	1.25	1.11	0.86	0.59
-5	15	1.48	1.31	1.18	1.03	0.83	0.43	0.06
-5	20	1.03	0.96	0.89	0.80	0.47	0.00	0.00

表3 ワーク2の測定結果

照明の位置		カメラのゲイン						
X [cm]	Y [cm]	300	350	400	450	500	550	600
10	10	0.44	0.53	0.70	0.82	0.88	0.98	1.06
10	15	0.83	0.94	1.05	1.16	1.27	1.41	1.82
10	20	1.34	1.53	1.98	2.19	11.60	0.84	0.00
5	10	0.76	0.89	0.96	1.09	1.21	1.31	1.46
5	15	1.13	1.22	1.31	1.41	1.69	2.41	4.27
5	20	1.37	1.61	2.17	3.67	10.48	62.33	0.00
0	10	1.00	1.06	1.14	1.26	1.34	1.50	1.77
0	15	1.11	1.23	1.31	1.47	1.72	2.22	4.71
0	20	1.26	1.47	1.85	2.67	4.95	16.90	11.00
-5	10	1.04	1.05	1.11	1.22	1.36	1.52	1.82
-5	15	1.03	1.10	1.21	1.36	1.67	1.88	2.96
-5	20	0.95	1.05	1.26	1.83	2.58	3.28	7.64

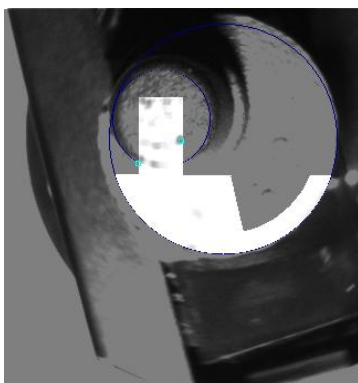


図3 底面の画像処理

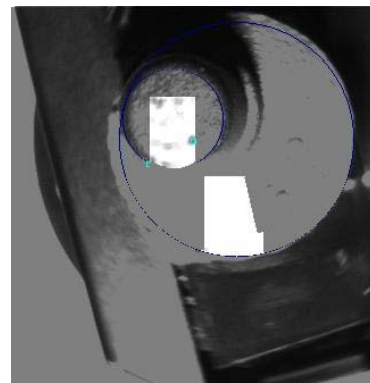


図4 マスクの拡大

いる面の一部へ拡大し実験を行った。表 4 と表 5 が、底面の欠陥（ワーク 5）の通常測定とマスク拡大した測定の結果である。表 4 では 1 を超える条件はなかったが、表 5 では 1.5 を超える条件が現れた。マスク拡大は有効であるが、マスクした部分が検査不可能になるのがデメリットである。

3.3 最適な条件

今回の実験の結果から最適な条件を求めた。工場では欠陥品の中に良品が混じっても良いが、良品の中に決して不良品は混じってはならない。そのため、どの欠陥もある程度検出できる条件、つまりすべての欠陥ワークの最小値が最大になるような条件が求められる。この装置では側面の検査と底面検査で、照明位置は変えられないが、カメラのゲインは変えることができる。

6 種類の底面欠陥（ワーク 5～ワーク 10）を測定した結果の最小値を表 6 に示す。表 1、表 6 を同時にみたときに、最も良い照明位置は「X 0cm, Y 15cm」で、カメラのゲインは側面で 400、底面で 450 であることがわかった。

4. 結 言

- (1) 現状の装置、画像処理方法で最適となる条件がわかった。
- (2) 欠陥の種類や位置でそれが検出しやすくなる条件が変わった。精度を上げるためには、照明を増やして複数回検査を行うか、画像処理の方法を変更する必要がある。
- (3) 製品の形状変化が激しい部分を欠陥と認識しないようにマスクをすることは有効であることがわかった。不感部分を最小化するためのマスクの設定についても検討を行う必要がある。

表 4 ワーク 5 の結果（通常）

照明の位置		カメラのゲイン							
X [cm]	Y [cm]	300	350	400	450	500	550	600	650
10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00
10	20	0.00	0.35	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.13
5	15	0.00	0.00	0.00	0.92	0.49	0.10	0.00	0.00
5	20	0.55	0.31	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
0	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	0.65	0.28	0.06
0	15	0.00	0.00	0.00	0.49	0.34	0.05	0.00	0.00
0	20	0.20	0.60	0.36	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
-5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.46	0.33	0.06
-5	15	0.00	0.00	0.66	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00
-5	20	0.00	0.00	0.61	0.39	0.09	0.00	0.00	0.00

表 5 ワーク 5 の結果（マスク拡大）

照明の位置		カメラのゲイン							
X [cm]	Y [cm]	300	350	400	450	500	550	600	650
10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
10	20	0.00	0.26	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.20
5	15	0.00	0.00	0.00	0.38	0.18	0.18	0.00	0.00
5	20	0.99	0.75	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24	0.65	0.23	0.07
0	15	0.00	0.00	0.00	0.97	0.26	0.26	0.00	0.00
0	20	1.16	1.56	0.48	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
-5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.38	0.21	0.06
-5	15	0.00	0.00	1.14	3.14	0.00	0.00	0.00	0.00
-5	20	0.00	0.00	1.45	1.85	0.13	0.00	0.00	0.00

表 6 ワーク 5～ワーク 10 測定結果の最小値

照明の位置		カメラのゲイン							
X [cm]	Y [cm]	300	350	400	450	500	550	600	650
10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	20	0.00	0.26	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.20
5	15	0.00	0.00	0.00	0.76	0.38	0.16	0.00	0.00
5	20	0.81	0.75	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.65	0.23	0.07
0	15	0.00	0.00	0.00	0.88	0.26	0.26	0.00	0.00
0	20	0.00	0.00	0.48	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
-5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.38	0.00	0.00
-5	15	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-5	20	0.00	0.00	0.64	0.80	0.13	0.00	0.00	0.00

参考文献

- 1) 大野宏ほか，“画像処理を利用した鋳鉄品の外観検査の自動化についての研究”，工業技術研究報告書，No.38，2009，p56-61.

Ⅲ 調査・報告

工業技術総合研究所 研究会活動報告

工業技術総合研究所では、①ものづくり技術連携活性化事業、②新エネルギー産業形成事業、③市場開拓技術構築事業にもとづく研究会を、平成 21 年度 9 テーマ実施しました。

構成は、有望産業・成長産業に参入するにはという視点からの研究会（新分野チャレンジ分野）、地域技術或いは技術分野ごとの企業集約を図る研究会（地域基盤技術ブレークスルー分野）からなります。前者は、対象有望産業・成長産業の様子や市場動向を調査、セミナーや講演会開催によるホットな情報提供を行いました。一方、後者については技術セミナーを中心に、対象技術分野の基礎的な技術や工業技術総合研究所が開発した技術或いは強みのひとつである評価技術の紹介を行いました。

開催したセミナーは、年間延べ 50 回に達し、3000 人超の参加者があり、総じて好評を得ました。また、紙面やマスコミ情報では得られないところも知ることができました。エネルギー関連については昨年 12 月に行いました新エネルギーフォーラム（12/16、ハイブ長岡）で報告しておりますが、ここにまとめて研究会活動を報告します。

平成 21 年度 工業技術総合研究所 研究会

(1) 新分野チャレンジ分野

- ・ C-FRP 研究会 (ものづくり技術連携活性化事業)
- ・ 太陽光発電研究会 (新エネルギー産業形成事業)
- ・ 排熱利用研究会 (新エネルギー産業形成事業)
- ・ E V 技術研究会 (ものづくり技術連携活性化事業)
- ・ 感性工学研究会 (ものづくり技術連携活性化事業)

(2) 地域技術ブレークスルー分野

- ・ 多軸高速加工研究会 (市場開拓技術構築事業)
- ・ 表面技術研究会 (ものづくり技術連携活性化事業)
- ・ 熱処理研究会 (ものづくり技術連携活性化事業)
- ・ 天然素材研究会 (ものづくり技術連携活性化事業)

C-FRP 研究会報告

古畑 雅弘* 橋詰 史則* 矢内 悦郎* 小海 茂美*
明歩谷 英樹* 渋谷 恵太* 佐藤 清治** 吉田 正樹** 高橋 靖***

Report of Market and Technology Trends of Carbon Fiber Reinforced Plastics

FURUHATA Masahiro*, HASHIZUME Fuminori*, YANAI Etsuro*, KOKAI Shigemi*
MYOUBUDANI Hideki*, SHIBUYA Keita*, SATO Seiji**, YOSHIDA Masaki** and TAKAHASHI Yasushi***

1. 緒 言

炭素繊維複合材料（以下 CFRP）はその優れた特性から次世代の産業資材として航空宇宙、自動車、土木建築、スポーツ・レジャー分野等様々な分野で利用されているが、製品化には素材から中間基材、成形、機械加工技術と多くのプロセスを必要とし、多くの課題を抱えている。

本事業では、昨年度に引き続き CFRP の研究開発や事業化の推進を目的として、CFRP の市場調査、技術的課題等について調査を行い、参入の可能性について検討した。あわせて研究会参加企業を対象にしたセミナーや低コスト量産型成形技術として樹脂含浸工程を省くことを目的とした混織技術や中間基材の製造技術に関わる予備研究を実施した。

2. 調査研究の内容

2.1 技術セミナー

CFRP に関する知識の習得を目的に、炭素繊維技術の全般的な内容の技術セミナーを 2 回、より専門的な内容として繊維、成形、加工の 3 分野で研究会を開催した。セミナーの様子を図 1 に、セミナーの一覧を表 1 に示す。参加者は延べ 135 名であった。またセミナーをとおした講師との交流を機に、用途開発に向けて自社 HP を更新したり、複合材料メーカーと交流するなど積極的に活動を

* 素材応用技術支援センター

** 下越技術支援センター

*** 県央技術支援センター



図 1 技術セミナーの様子
始める企業も現れてきた。

2.2 CFRP 関連の技術動向

CFRP を取り囲む環境は金融危機以降急激に低下し、景気回復まで静観する企業が多いが、これまで CFRP を扱ったことのある企業や今後の需要増加を予測している企業では、航空宇宙、風力発電、一般産業分野をターゲットにして、用途開発や研究開発を積極的に行っている。現在、この分野に内在する技術的課題を以下に示す。

(1) コスト低減・量産可能な成形技術の開発

半硬化したプリプレグを釜で成形するオートクレーブ法は、技術的にも確立されており、高い強度、品質を有する一方で、設備投資が大きく、成形加工時間も長くコスト高になることから、航空宇宙分野など高付加価値分野での利用に限定されている。しかし将来的に、一般産業分野や量産品、汎用型ポリウムゾーンへの展開を図っていくには、コスト低減・量産化技術が重要である。熱可

表 1 開催したセミナー

		内 容	開催日	参加人数
全体セミナー	第 1 回	「複合材料の用途展開事例および副資材の紹介」 サンワトレーディング(株) 代表取締役 馬場 俊一 氏 「成形技術と特徴」 サンワトレーディング(株) 技術顧問 坂元 勝治 氏	8/28 (金)	43
	第 2 回	「ピッチ系炭素繊維の現状と課題」 (株)クレハいわき事業所 炭素製品工場 工場長 大谷 陽 氏 「CFRP の自動車分野への活用動向」 東レ(株)オートモーティブセンター 課長代理 山口 晃司 氏	12/15 (火)	32
分野別研究会	加工技術	「ウォータージェット加工技術と 5 軸加工」 (株)スギノマシン 高圧装置事業部 技術部長 尾嶋 弘幸 氏 「航空機用複合材料への穴あけ加工技術について」 (株)スギノマシン 精密機器事業部 技術部長 石川一行 氏	11/12 (木)	17
	成形技術	「オートクレープの紹介、成形方法の紹介」および実機によるデモ (株)羽生田鉄工所 代表取締役社長 羽生田 豪太 氏 ほか 「日軽新潟(株)の保有するオートクレープの紹介」 日軽新潟(株) 業務・経理G リーダー 長井 正治 氏 「第41回東京モーターショーのCFRP製品出品事例報告」 当センター職員	11/17 (火)	21
	繊維技術	「開繊技術および製織技術について」 (株)ハーモニ産業 開繊事業部 部長 新河戸 宏昭 氏 「製織デモ」 当センター職員	1/22 (金)	22

塑性樹脂の活用や VaRTM 法 (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding : 真空バックなどを用いて樹脂を繊維に含浸させる手法) は、オートクレープ法に比べ品質的には劣るものの、成形時間を大幅に短縮し低コスト量産化が可能な方法として注目されている。

(2) 接合技術

CFRP を構造体、部品として機械装置に組み込む場合、金属やセラミックスなど異素材との接合が必要である。しかし CFRP は接合が困難であり、従来は大型ブロックから必要形状を削り出したり、耐熱性樹脂等によって接着したりしているが、これらの方法では高価となることから、安価で容易な接合技術が求められている。

(3) リサイクル技術

CFRP の多くは、加熱すると硬化する熱硬化性樹脂が使用されているが、分離が困難でリサイクルが難しいことから、これまでは埋め立て処理がほとんどであった。しかし地球環境問題や LCA (ライフサイクルアセスメント) への対応、また CFRP の利用拡大のためには、リサイクル技術の確立が不可欠となっている¹⁾。炭素繊維は高価な材料であり、回収して再利用することができれば資源の節約のみならず、CFRP のコスト低減を図る上でも重要な技術である。

2.3 県内企業の調査内容

県内では、CFRP の認知度が低く、用途、市場が明確にならないことや高い生産コストも影響し、CFRP を取り扱う企業や新たに取り組もうとする企業が少ない状況であった。CFRP の特性を活かした用途として適当と思われる場合でも、高コストから採用を見送る事例も見受けられた。しかし企業の中には、炭素繊維の特徴を活かした製品開発や、将来的に炭素繊維の需要が増加すると考えて情報収集を行っているところも出てきた。

業種別に見ると、繊維業では一般衣料の落ち込みが大きく、経営に危機感を持ち新規分野の開拓を考えている企業も多い。その一つとして炭素繊維のシート化 (製織、編立) やこれを使用した製品開発を検討している企業も現れてきている。

成形業では、技術的な関心は高いものの従来の成形方法とは全く異なる方法であることから、取り組みを始めることが出来ない企業も多い。しかし従来からハンドレイアップやオートクレープでガラス繊維や炭素繊維に携わっている企業では、メーカーからの成形試作依頼も来ている状況である。また低コスト化が可能な VaRTM 法を独自に試みている企業もある。

機械金属業では、切削加工条件や仕上がりについて関心が高く加工試験を望む企業も多いが、CFRP の特性や要求スペックが企業により千差万別で、CFRP の調達が難しいことなどから加工条件の把握に苦慮しているところが多かった。

2.4 新事業創出の可能性

2.4.1 市場参入時の課題

CFRP の製品化には、成形技術によるところが大きい。現状の CFRP の用途を大別すると、高品質を要求する航空宇宙分野と、大量生産による品質の低い用途に 2 極化している。前者は設備投資や生産コストが大きく、後者は品質的に用途が限定されている。今後はこの中間に適用できる技術開発や用途開発が求められており、低コスト化や量産型の成形技術の開発が重要となっている。

また新規に参入を図る場合は、この中間をターゲットにした生活関連やスポーツ・レジャー用品等の新規用途を開拓する必要がある。

2.4.2 地域の課題

県内企業が新規参入を図る場合は、先行事例の後追いではなく CFRP の特徴を活かした新たな用途や技術開発による優位性がなければ参入は難しいことがわかった。県内には多種多様な業種が集積しており、課題が出てきた場合は、関連する業種が有機的に連携し開発を進めていくことが重要である。研究会をとおしていくつかの案件が出てきており、引き続き支援して行く。

2.5 予備研究

低コスト量産化技術について知見を得るため、樹脂含浸工程を省くことを目的とした開繊、混織技術や中間基材のシート化、また炭素繊維ニットの活用について試験した。

炭素繊維ニットの中間基材としての活用は、特性を十分に発揮できないことから実施例が少なかった²⁾。しかしニットは織物に比べ自由度が高く、賦形性に優れ皺になりにくいことから、強度を必要としない複雑形状用途への適用が考えられた。そこで炭素繊維ニットによる編成性や成形加工性、意匠性の有無について試験した。成形用樹脂として、ポリエステル樹脂の硬質タイプと軟質タイプの 2 種類を使用した。用いた素材は、炭素繊維 3K、よこ編み 7G、天竺組織である。

図 2 に成形品を示す。炭素繊維は伸度が無く、



図 2 ニット成形品

編成が難しかったので、水溶性ビニロンをカブリングし伸度を増し、編成後除去した。成形性に関しては、空隙が大きく樹脂の流動性に問題はなかったが、炭素繊維含有量の増加やニットのカール防止のために組織の検討が必要であることがわかった。意匠性については期待したほどの成果は得られなかった。また用途により、炭素繊維だけではなく、アラミド繊維等他の強化繊維の活用も有効であると考えられた。

3. 結 言

- (1) 県内では、CFRP の認知度が低く、高い生産コストも影響し、CFRP 分野への参入に意欲的な企業は少なかった。しかしセミナーをとおして複合材料メーカーと交流を始めた企業や、会員同士のコラボレーションや商品開発の事例も現れてきた。
- (2) 新たに CFRP 分野への参入を図るには、従来技術だけでは難しいが、特殊な技術を持つことで参入の可能性があることがわかった。
- (3) 県内には、生活関連分野やスポーツ・レジャー用品製造メーカーも多く、こうした企業と連携することで、参入が可能と考えられた。

参考文献

- 1) 前田豊，“炭素繊維の最先端技術”，シーエムシー出版，2007，p267-271.
- 2) (株)東レリサーチセンター，“テクニカル・テキスタイルの用途開発と市場動向”，2009，P147.

太陽光発電研究会報告

大野 宏* 諸橋 春夫** 石井 啓貴** 森田 渉* 本多 章作**
本田 崇*** 坂井 朋之*

Report of Market and Technology Trends of Photovoltaic Power Generation

OHNO Hiroshi*, MOROHASHI Haruo**, ISHII Hirotaka**, MORITA Wataru*, HONDA Shousaku**,
HONDA Takashi*** and SAKAI Tomoyuki*

1. 緒 言

太陽光発電は、世界的な景気後退の中においても市場規模が拡大し、今後も成長が見込める分野である。日本市場では、太陽電池設置に対する補助金が復活した上に発電余剰分の固定価格買取（フィード・イン・タリフ＝FIT）制度が始まっており、急速に需要が増えてきている。また新政権は、地球温暖化対策の中期目標として90年比でCO₂の25%排出削減を目標に掲げており、太陽光発電導入による対策がますます重要性を高めている。一方で、太陽光発電の発電コストは、電力会社にはほど遠い水準にあり、政策支援により作られた需要（政策需要）に依存している状態である。このため発電コスト低減に向けた革新的技術開発が、強く求められている。

このような背景の中、当研究会では県内企業の太陽光発電市場への参入および企業間連携推進の支援を行うことを目的として、研究会開催による情報提供や太陽光発電に関する調査等の活動を行ったので報告する。

2. 太陽光発電の概要

太陽光発電は、太陽電池を使って電気に変換するシステムである。家庭用太陽光発電の一般的な構成を図1に示す。太陽電池では直流電流

が発生するため、パワーコンディショナーで交流に変換し、分電盤を通して各部屋のコンセントに送られる。家庭で使いきれない電力は、余剰電力として電力会社が買い取る。

太陽電池は、結晶シリコン太陽電池、化合物太陽電池に大別される。また、製品化されていないが製造方法が簡単な有機薄膜太陽電池や色素増感型太陽電池の研究開発も進められている。

3. 活動概要

3.1 研究会の開催

県内企業（主に製造業と施工業）を対象に、太陽光発電に関する動向と課題を知ってもらうため、講演会を開催した。講師は、先進企業や大学の研究者を中心に、既に市場に参入している県内企業の方にもお願いした。また、当研究所の職員が調査した内容について報告した。

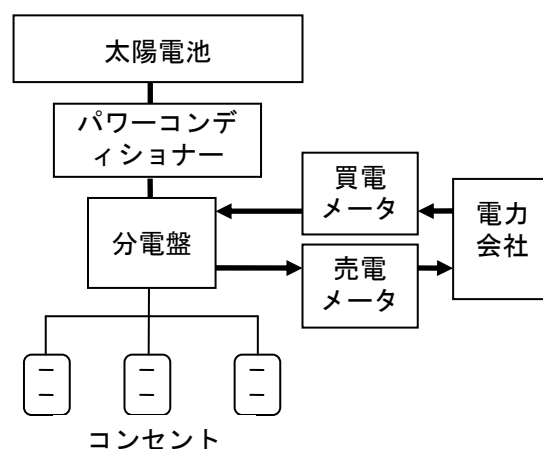


図1 家庭用太陽光発電の構成

* 企画管理室

** 下越技術支援センター

*** 研究開発センター

第1回 平成21年7月10日

「太陽光発電の現状と将来」

(株)資源総合システム 大橋孝之氏

「CZTS 薄膜太陽電池」

長岡工業高等専門学校 片桐裕則氏

第2回 平成21年9月25日

「太陽電池の基本原則と新規化合物薄膜太陽電池材料の開発」

新潟大学工学部 坪井 望氏

「アモルファスシリコン太陽電池の製造方法」

(株)アルバック超材料研究所 浅利 伸氏

「県内企業の取り組み」

(株)ジェイシーエム 佐久間淳一氏

第3回 平成21年10月26日

「富士電機システムズの太陽光発電への取り組み」

富士電機システムズ(株) 西原啓徳氏

「太陽光発電のための集光技術」

長岡技術科学大学 山田 昇氏

「有機薄膜太陽電池の製造方法」

トッキ(株) 松本栄一氏

第4回 平成21年11月24日

「太陽光発電の施工」

(株)日本エコシステム 小島盛利氏

「不具合の事例とその調査法」

(独)産業技術総合研究所 加藤和彦氏

・新エネルギーフォーラム2009 平成21年12月16日

「太陽電池の開発動向と課題」

シャープ(株) 前川治治氏

「『最北端から最先端』風のまち稚内の挑戦」

稚内新エネルギー研究会 長谷川伸一氏

3.2 太陽光発電の現状調査

太陽光発電の現状を調査するため、国内の先進企業を訪問し、各種セミナーに参加した。

2008年の国内の太陽電池の生産量は1.2GW、対前年伸び率は33%、システム全体の市場規模は1,600億円である。今年から国の補助制度が復活し買取制度も始まったため、2015年に

は1兆円を超えると予想されている。また、全世界の生産量は6.9GWで高額買取制度のある欧州での導入が進んでいる¹⁾。

太陽電池に関する課題は発電効率のアップと低コスト化で、高効率で低価格の太陽電池の開発に各メーカーがしのぎを削っている。また、市場が急に拡大したためパネルの施工を希望する業者は多いが、メーカーの研修が必要で既に半年から1年待ちという状況である。

太陽光で発電した電力を電力網に流す系統連携も課題である。現在は系統連携している太陽光発電の数が少ないため問題になっていないが、太陽光発電が増えると系統電圧が上昇し、基準電圧(101±6V)を逸脱すると太陽光発電設備側の保護装置が作動する。系統連携される太陽光発電の数が電力会社の柱上トランスで制限されており、発電した電力を買電できない事例もある。太陽光発電を普及させるためには、発電した余剰電力を全て系統連携できるよう電力網を強化する必要がある。

3.3 県内企業の現状調査

県内企業の状況を調査するため、すでに市場に参入している企業を中心に10社ほどを訪問し、現状や課題、今後の取組等を伺った。

県内には完成品としてのパネルを製造するメーカーはないが、製造装置、検査装置、部材、制御装置等を製造し、既に市場に参入している企業がある。これらの企業も、高性能化と低コスト化や、分野の拡大等を目指している。

また、県内には雪止め金具を製造している企業が多く、太陽光パネルの取付金具も製造している。一般家庭用の取付金具はパネルメーカーの保証範囲に含まれるため、メーカーの厳しい検査を受けなければならない障壁が高い。一方、検査体制が確立されている産業用太陽光発電の取付金具は、金具メーカーによる保証でもよい場合があり、すでに製造販売している企業が多い。まだ参入していない企業も、今後の市場の拡大が見込めるため、自社の得意技術をこの分野に活

かせないか積極的に情報収集を行っている。

3.4 市場参入の課題

各種調査を進めながら、太陽光発電市場参入の課題や開発テーマを検討した。

製造工程では、大手のパネルメーカーや製造装置メーカーが抑えており、中小企業の新規参入は難しい。この分野に参入するためには、これらメーカーの技術者と太いパイプを作り、製造工程における具体的な課題を提示してもらい、また、県内企業の技術の提案が必要である。(財)にいがた産業創造機構は、10月から太陽光発電ビジネスマッチング会を開催し、大手メーカーと県内企業のマッチングに取り組んでいる。大手メーカーから講師を招いて講演を行い、県内企業のプレゼンテーションを行ったが、大手メーカーからは発電効率の向上や製造コストの低減等一般的な課題の提示しかなかった。一方、オープン・イノベーションを導入している大手企業がありマッチング会も開催されている。これは、大手企業が外部からの導入を考えている開発課題を提示し、その分野の技術を有する中小企業がプレゼンをしてマッチングにつなげるものである。このようなマッチング会に参加して、製造工程に役立つ技術を売り込むことが有効と思われる。

太陽光発電はメンテナンスフリーと言われているが、実際には10年以内に10%程度不具合が発生しているという報告がある²⁾。今後太陽光発電が普及すれば設置後の保守管理も重要になるため、太陽光発電が正常に動作しているか判別する検査装置の開発が考えられる。

県内には太陽光発電の取り付け金具を製造販売している企業が数社ある。また、屋根に穴を開けずに取り付け金具を製造している企業もある。これは、大手メーカーがパネルをしっかり固定するために、屋根に穴を開けて取り付けの方法を指導しているが、雨漏りの心配があるからである。当所のCAE技術を活用し、より軽量で丈夫な金具の開発を支援することが考えられる。

新潟県では冬季に雪が降り、これが太陽光パネル上に積もっていると、その後太陽が出ても発電しないため、雪への対策が必要である。太陽光パネルの設置角を30度以上にし、パネルの外枠の出っ張りが小さければ、雪は自然落下する。また、降雪時に太陽光パネルに電流を逆流させ発熱して雪を溶かしたり、面状発熱体を組み合わせて融雪させたりするパネルも製品化されている。新潟県のメガソーラーに採用された昭和シェルソーラー(株)のCIS(銅Cu-インジウムIn-セレンSe)太陽電池は、冬季の発電量がシリコン系太陽電池に比べて若干高いという報告がある³⁾。いずれにせよ、雪に強い太陽電池の開発が課題である。

すでに、太陽電池の部材や製造装置で、太陽光発電市場に参入している県内企業もあるが、個々の課題を持っている。そのため、これらの企業の課題を共同研究事業や受託研究事業で個別に支援する方法がある。

4. 結 言

- (1) 太陽光発電は今後市場が大きく拡大する分野であり、県内でもいくつかの企業が市場に参入している。
- (2) 短期的な課題として、取付金具や施工、検査装置の開発等が考えられる。
- (3) 製造工程への参入は難しいが、大手メーカーや製造装置メーカーとのマッチングが必要である。

参考文献

- 1) 第1回太陽光発電研究会, (株)資源総合システム講演配布資料, 平成21年7月10日
- 2) 第4回太陽光発電研究会, (独)産業技術総合研究所講演配布資料, 平成21年11月24日
- 3) (財)にいがた産業創造機構主催第2回ビジネスマッチング会, 昭和シェル石油(株)講演配布資料, 平成21年12月4日

排熱利用研究会報告

三村 和弘* 野中 敏* 阿部 淑人* 本多 章作* 菅野 明宏*

Report of Market and Technology Trends of Exhaust Heat Utilization

MIMURA Kazuhiro*, NONAKA Satoshi*, ABE Yoshito*, HONDA Shosaku* and KANNO Akihiro*

1. 緒 言

近年、国連は気候変動枠組み条約締結国会議（COP）により温室ガス排出削減目標を決めており、我が国においても消費される多くのエネルギーが再利用されずに廃棄されている。

こうした中で、当県には食品や鋳物関連の企業が多く、これらの工場設備からの排熱を再利用することは長年の懸案であった。そこで、この排熱を利用して新たなエネルギーシステムを構築し、排熱分野におけるニュービジネスの創出を目的とする「排熱利用研究会」を開催した。ここでは、工場排熱の現状把握、排熱に関する最新技術調査、エネルギー全般に関する講演、県内企業の排熱に関する意識調査等を実施し情報提供を行った。また、最終的に参加企業を中心とした研究体を作り、スターリング発電機による排熱利用の研究テーマを提案することとなった。

2. 研究会の体制

2.1 会員について

会員募集は、工業技術総合研究所ホームページで研究会への参加を募るとともに食品と鋳物関連企業を中心に参加を呼びかけ、最終的に36名（15社、1大学、3団体）が会員となった。

また、参加企業の業種は、鋳物企業3社、食品企業2社、電機企業5社、その他5社であった。

2.2 運営体制

実施にあたり、下越技術支援センターを主体

* 下越技術支援センター

にして、新潟県農業総合研究所食品研究センター、(財)にいがた産業創造機構が連携しながら研究会活動を運営した。

3. 研究会活動

3.1 勉強会について

有識者を招き排熱利用技術の講演や情報提供を行い、県内企業の工場見学も実施した。以下に演題と講師を記し、講演風景を図1、工場見学風景を図2に示す。

第1回 平成21年7月15日

「産業活動における排熱と再利用の現状」

長岡技術科学大学 山田 昇氏

「蓄熱と輸送による排熱利用の提案」

地域社会パートナーズ(株) 中丸正氏

「機能性吸着剤」

三菱樹脂(株) 窪川清一氏

第2回 平成21年9月30日

「スターリング発電機を用いた排熱利用の可能性」

サーモ技研(株) 前澤一男氏



図1 講演風景



図2 工場見学風景

「熱電変換材料による排熱利用の可能性」

長岡技術科学大学 武田雅敏氏

第3回 平成21年10月28日

(株)品川鑄造の工場見学

越後製菓(株)の工場見学

第4回 平成21年11月25日

「新潟県内企業アンケート報告」

工業技術総合研究所 菅野明宏

「最新技術調査報告1」

工業技術総合研究所 阿部淑人

「最新技術調査報告2」

工業技術総合研究所 本多章作

第5回 平成21年12月9日

「トランスヒートシステムについて」

工業技術総合研究所 三村和弘

「サーモサイホンについて」

サーモ技研(株) 前澤一男氏

「研究テーマの提案」

工業技術総合研究所 野中 敏

「(財)にいがた産業創造機構(NICO)からのお知らせ」

(財)にいがた産業創造機構 天城 和哉氏

3.2 最新情報調査

排熱利用に関して、企業訪問及び講演・展示会等に参加し情報収集を行った。ここでは、排熱に関する研究成果や新技術の調査以外に生成した電力の利用法としてLEDを活用している植物工場への適用についても調査し、WEBか

らも最新技術動向や資源エネルギー庁のエネルギー計画、ガイドライン¹⁾等を調べた。以下に主な調査項目を記す。

- ①熱電変換素子
- ②蓄熱、熱輸送技術
- ③排熱回収
- ④ヒートポンプ
- ⑤スターリングエンジン
- ⑥吸着材料
- ⑦植物工場

以上の調査より、熱電変換素子は用途が特殊なものに限られること、大工場排熱の熱輸送には大規模な設備投資が不可欠であることなどがわかった。

3.3 県内情報調査

排熱利用に関する県内企業の状況を把握するためアンケート調査を行った。県内製造業500社を対象にして、236社から回答があった。調査結果より、食品と鑄造・熱処理企業では、製造業全体の平均よりも熱を排出する設備が多いことが分かった。また、現状で排熱を再利用している企業も一部あるが、その利用方法はボイラのドレン回収などが大多数を占めていた。

なお、排熱の温度域は食品業で200℃までの低温排熱が多く、鑄造・熱処理業は低温排熱に加えて400℃以上の高温排熱もあった。しかし、製造業全体では200℃までの低温排熱が大半であり、多くの工場では、排熱設備が分散設置されていることも明らかになった。

したがって、排熱利用に関して低温排熱を効率よく集めて、低損失で利用できる技術開発の必要性のあることがわかった。

4. 研究テーマの考案

4.1 排熱利用の温度域

活動を通して排熱利用には、200℃以下の低温排熱を利用することが重要であり、県内企業にとって有効であることが認められた。



図3 小型運行釜

4.2 研究テーマの前提条件と基盤技術

県内企業への技術移転あるいは新産業群の育成という観点から、県内産業をターゲットとすることと、扱いやすい電力へ変換することの2つを前提条件にした。また、米菓工場の運行釜あるいは鋳物工場の鋳型や焼却炉からの排熱を利用することが好ましいが、稼働中の設備を使用することは困難であり、今回は米菓工場の排熱利用を想定し、食品研究センターの実験用小型運行釜を利用することにした。運行釜を図3に示す。

また、電力への変換を考慮すると熱電変換素子も有効と思われるが、調査結果より、変換効率や電源等の問題があるため、県内に技術シーズのあるフリーピストン型スターリング冷凍機²⁾の原理を応用して、低温でも動作可能なスターリング発電機を開発し、適用することにした。

4.3 研究の課題

研究の課題として、2kW級のスターリング

発電機の開発、運行釜からの集熱方法や熱伝達方法および生成した電力の電源制御方法等が解決しなければならない問題として提起された。

5. 結 言

- (1) 研究会は最初10社程度の参加で始まったが、最終的に県内15社からの参加があった。討論会等では意見交換が活発に行われ、互いに知見を広げるだけでなく、他業種の実状も知ることができた。
- (2) 勉強会では、会員の出席率も高く、排熱利用に対する関心の高さがうかがえ、改めて排熱利用の必要性を痛感した。
- (3) 会員を主体とした研究体を組織して排熱利用の研究テーマを提案した。
- (4) 来年度の活動は、研究テーマの実施に加えて、生成した電力の利用について、LEDや蛍光灯に使用し植物工場等に適用する可能性を探る予定である。
- (5) 研究活動および研究テーマについては、業界新聞でも開発状況が紹介された³⁾。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁ホームページ，資源エネルギー政策の展開（2010年3月30日閲覧）
<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/tenkai.html>
- 2) ツインバード工業(株)，スターリングクーラー カタログ
- 3) 日刊工業新聞社，“工場の排熱を再利用”，日刊工業新聞，2010年1月20日付け。

EV 技術研究会報告

五十嵐 晃* 阿部 淑人** 須貝 裕之*** 中川 昌幸*
菅野 明宏** 今泉 祥子* 木嶋 祐太**

Report of Market and Technology Trends of Electric Vehicles

IKARASHI Akira*, ABE Yoshito**, SUGAI Hiroyuki***, NAKAGAWA Masayuki*,
KANNO Akihiro**, IMAIZUMI Shoko* and KIJIMA Yuta**

1. 緒 言

本研究会は、新潟県内の製造業が、EV（電気自動車）関連市場への参入を考えた場合に、どちらの方向を向き、何をすればよいのか？のヒントを与えることを目的として、EV 関連技術の動向、EV 関連業界の動向を把握するために、それらに詳しい講師を招へいし、技術セミナーを合計 3 回開催した。その際、併せて参加企業に対するアンケートにより、EV に対する意識調査を行った。また、各種セミナー、展示会に参加し、調査を行った。さらに、県内企業における EV への対応、開発状況を把握するために、県内企業の調査を行った。また、昨年 12 月には、太陽光発電研究会、排熱利用技術研究会と共同で、「新エネルギーフォーラム 2009」にも参画し、EV 関連技術の普及啓発を図った。

以上の調査、活動結果を総合し、EV に関して、今後県内企業および工技総研が進むべき方向を検討した。

2. 講演会、研究会活動

2.1 EV 関連技術セミナー

県内製造業が今後 EV 関連産業へ参入するにあたり必要とされる、EV 技術の動向、関連産業構造の状況等の情報提供を目的として、技術セミナーを 3 回開催した。例として、第 2 回セミナーの様子を図 1 に示す。



図 1 開催セミナーの様子

合計 3 回のセミナー参加人数は、のべ 144 名にのぼった。また、EV 研究会への参加希望者は、のべ 35 名であった。

2.2 新エネルギーフォーラム 2009

当該フォーラムに EV 技術研究会として参画し、研究会のそれまでの活動報告を行った。また、電池に関する技術として、県内外の 2 社から講演いただいた。また県内製造業による、蓄エネルギーについてポスター等の展示も行った。電気自動車の試乗会も行われ、320 名の参加があった。

3. 調査活動

3.1 最新技術動向、市場動向

EV 関連技術動向および市場動向の把握を目的として、合計 15 箇所のセミナー、展示会に参加し、最新状況の調査を行った。

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

*** 中越技術支援センター

3.2 県内企業状況調査

県内のEV技術動向の把握を目的として、最新状況の調査を行った。全体で7カ所へ調査に行った。内訳は製造業が5カ所で、団体が2カ所であった。すでにEV関連の部品等を手掛けている企業もあり、今後手掛けようとしている企業もあった。

4. 課題とその対応

4.1 EV関連市場参入時の課題

EV関連市場は、大きく3つに集約される。

- ①EV車両自体の開発およびアッセンブリ市場、
- ②部品市場、③EV周辺市場である。

このうち、①については、車両の安全基準が非常に厳しく、ノウハウの蓄積が必要な市場であるため、大部分は従来の大手自動車製造企業がそのまま移行するものと思われる。ただし、用途限定のもとであれば、中小企業でも参入を図る可能性がある。

②については、動力源がエンジンからモータへ移行することで、要らなくなる部品市場と必要になる部品市場が出現する。今までの企業がいかにして業態転換を図ることができるかが鍵になる。

③は、EVが普及した未来を想定した際に周辺でどのようなものが必要になるかということである。

4.2 技術的課題

EV普及にあたり、技術的に課題となってくるのは、①「電池のコスト」、②「電池の性能」の2つがある¹⁾。

EV用の二次電池には、高いエネルギー密度が求められるため、現在実用化されている電池の中では、リチウムイオン電池が最有力候補とされているが、2009年現在では、電池コストだけでも200万円を越えると言われている。このコスト低減のためには、量産効果が期待される。これは現在量産している企業の製造技術、生産技術に負うところが大きいと思われる。

次にEVの航続距離を決める電池の性能である。EVを満充電した場合の航続距離は100～200km前後であり、エアコン使用時には、この距離が大幅に短くなる。EVの実用性を高めるためにも航続距離を左右する電池性能の進化が必要である。

4.3 県内企業がEV市場へ参入する際の課題

県内企業がEV市場へ参入するにあたっての課題と対応策を整理する。

①地域でのEV普及速度が不確定

EVは航続距離が短い状況から考えても、地域内で完結するEV通勤・通学といった分野は地域であるからこそ普及する可能性があるため、EV技術を習得する意味でも、今のうちにEV通勤・通学分野を手掛けることは、よいチャンスと考えられる。

②従来の系列に入っていなかった企業が簡単にEV市場へ参入できない

既存の技術の延長で電動化で必要になる部分を導入して、電動市場への参入を図ることも重要である。今市場にある電池や、モータはあくまでも乗用の電気自動車用の仕様になっている。しかし、農作業車や除雪車等、県内企業で従来から開発している車両については、乗用電気自動車用の仕様が必ずしもベストではない可能性が高い。また、モータや電池に関しては、それらの仕様を細かく制御できるところが強みである。そのため、農作業車や除雪車用に仕様を変更し、そのうえで電動化を図れば、自社製品の仕様に合致した電動化を図ることができる。

③従来の自動車製造企業の動向が読めない

今まで以上に関係を深め、各種情報交換を進めていく必要がある。また、日頃よりEV関連技術動向にも注目し、それらの情報をもとに、従来の自動車部品メーカーとの付き合いを行っていくことが重要と思われる。

④新規の参入企業（電池メーカー、モータメーカー）の動向が読めない

新規参入組は、コアとなる部分の技術的課題については、解決した形で量産化に進んでいると思われるため、県内企業が参入していくには、製造技術及び生産技術分野においての技術的提案を行っていき、採用を勝ち取る必要がある。県内企業が採るべき行動としては、新規参入組の動向を注視することに加え、新規参入組に接触する機会を設けることが必要である。さらに、それらの企業に対し、自社の技術提案を行う機会を得ることが非常に重要になる。

5. 研究会の進む方向

EV 研究会としては、今年度はセミナーを主体に活動した。来年度は、今年度と同様に普及啓発のための一般向けのセミナーを開催する一方で、EV 研究会への参画企業を中心にして、閉じた会の中で、より具体的な課題に対してアプローチしていくことが重要であると考えている。その場合の開発課題は、参画企業から募るなどが、県内企業として当面課題となると考えられる、制御系の課題に取り組みながら技術的ノウハウの蓄積を図っていくことが必要である。

また、県内各所で開発が行われている EV についても、出来る限りフォローしていきたい。

長岡技術科学大学や、産業振興課新エネルギー資源開発室と連携しながら、県内 EV の開発動向が工技総研において一手に入手できる体制作りを進めていきたい。

6. 結 言

- (1) EV 研究会としては、来年度は、今年度と同様に普及啓発のためのセミナーを開催する一方で、EV 研究会への参画企業を中心にして、閉じた会の中で、より具体的な課題に対してアプローチしていくことが重要である。
- (2) 県内企業が EV 関連市場へ参入していくには、自社技術の足元を着実に押さえながら、新しい市場、技術動向を注視し、様々なトライを繰り返して、実績を積んでいくことが重要であろうと考えている。自社の固有技術を確実に押さえつつ、新しい市場にどのようにアプローチすれば受け入れられるかを見極めて素早く行動していく必要がある。

参考文献

- 1) A. T. カーニー，“電気自動車革新する企業戦略”，日経 BP 社，2009，p12.

感性工学研究会報告

阿部 淑人* 畔上 正美* 五十嵐 晃** 中部 昇***
本多 章作* 橋詰 史則**** 今泉 祥子**

Report of Market and Technology Trends of Kansei Engineering

ABE Yoshito*, AZEGAMI Masami*, IKARASHI Akira**, NAKABE Noboru***,
HONDA Shosaku*, HASHIZUME Fuminori**** and IMAIZUMI Shoko**

1. 緒 言

機能性による差別化が困難となってきた現在では感性品質やデザイン性の向上が製品付加価値向上につながるひとつの突破口であると考えられ、製造業者にとっては優れたデザインを如何に製品として作り上げるかが課題である。優れたデザインを的確に製品として表現できる企業が他社に対して優位性を持てると考えている。

本研究会では、感性品質に関して現在の県内製造業での課題や取り組みを探った。

また、技術啓蒙活動として測色測光およびカラーデザイン等に関する3回の技術講演会を実施し、のべ94名が参加した。

担当者による各種展示会や技術講習会に参加しての技術動向調査の結果、全般として色彩等の心理物理量に関して品質管理で苦慮する例が多くみられるが、塗料・染料・印刷・繊維など一部の業界では色彩管理技術が一定のレベルまで確立して運用されているので他業界への応用展開の可能性はある。一方、光沢や質感等についてはまだそれと比して管理体制が確立しているとは言い難い。

色彩管理や外観検査・目視検査の技術動向を調査した概要をまとめると、色彩管理について

は十分確立された手法があり、その技術啓蒙が可能と思われ、外観検査技術についても確立された手法の技術啓蒙を次年度行うことが有用と思われる。

県内製造業を対象に行った調査の結果、多くの場合において、現状では開発工程においてユーザー企業やデザイナーの感性品質要求をどう製品に実現するかについての知見や手段が十分でないことが課題であり、また製造工程においての感性品質の管理・検査の体制や技術が十分でないことが課題であることが分かった。

またその解決を支援するためには現状当所が十分な体制ではなく、今後の研究会の取り組みとしては、技術啓蒙と併せて上記の課題解決に向けた具体的構想を立案することが必要である。

以降の章では、動向調査の結果と関連技術の俯瞰について述べた後、全体をまとめる。

2. 調査結果

2.1 県内企業の動向・意向

県内企業へ赴いての意見聴取や技術講演会開催後のアンケートなどを行って、合計13社から得られた回答の結果を記す。回答がえられた企業の業種は、一般製造業6社、デザインスタジオ1社、住宅設備1社、歯科医療機器2社、印刷1社、測定機関1社、大学1校である。まず、質問と回答の概要を下記に記す。

Q1 製造品目（または取扱品目）

A1 電子機器部材、義歯、住設、スポーツ用品、

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

電子機器、印刷物、ホームページ、給湯機等、医療機器、水準器等

- Q2 製品の中で色彩や光沢などの外観品質が重要な商品？また、どのような性質（色、光沢、質感など）が重要か？
- A2 高級感、光沢、色調、傷、透過色、コントラスト、質感、調和性、耐候性など
- Q3 感性品質の重要な商品の開発においての方策は？また困っている点は何か？
- A3 コストと高級感・質感の両立、色調管理、商品の企画設計、カラーマネージメント、社員教育、トレンドの把握、色調自動計測、サンプル生産と量産の差
- Q4 製造における色彩・外観品質管理はどのように（目視管理や数値管理など）行っているか？困っている点は何か？
- A4 目視抜き取り管理（限度見本利用）、機械抜き取り管理（測色機利用）、目視全数管理（限度見本利用）
- Q5 開発課題として取り上げたいことは？
- A5 色調管理機械化全数化、サンプル生産と量産の差削減、高級感の再現範囲拡大、ユニバーサルデザインと色彩計画など
- Q6 感性工学会において、今後セミナーを行ってほしいテーマは？また、セミナー形式（聴講型・実習型など）の希望は？
- A6 パッケージング、商品の市場動向、色彩の表現技法、統計解析、感性和ユニバーサルデザイン、色彩、錯視、嗅覚臭気等
- Q7 感性に関する測定について、工技総研で装備してほしい測定器は？
- A7 2次元測色機、変角測色機、マルチ測光システム、標準光源、臭気測定機等

まとめると次のことが明らかとなった。

- (1) 外観性能の設計においてはコストと使用材料、加工技術の両立に苦慮している例が多いことが分かった。またユーザー企業やデザイナーの要望をいかに商品として実現す

るかという課題に対して、材料の選択、表面の加工方法・処理方法の検討、性能・品質指標の設定など多くの設計課題があり苦慮している例が多いことが明らかとなった。

- (2) 製造工程における色調・光沢等外観品質の管理においては、現状目視による抜き取り検査に頼っている例が多く、自動検査化および全数化を課題としている企業が多い。管理対象とする品質項目によっては、必ずしも目視検査より機械検査が好ましいとは限らず、また全数検査が必要でない場合も多いが、それらの選択基準や運用体制に関して明確な答えを有していない企業が多い。外観性能等の感性品質管理に関する課題は、顕在化している以外にも潜在的に数多く存在していることが分かった。
- (3) 現在工技総研では、光沢度計や旧式の測色機程度しか外観品質評価の装置を有しておらず、変角色彩計などの光沢感をともなう色彩の計測装置や、2次元面色彩計測装置、画像鮮明度計測装置など製品表面の外観性能評価のための計測装置の導入およびそれに関する技術支援が求められている。

2.2 色彩管理や外観検査等の技術の動向

色彩管理や外観性能の品質管理においては、測色機器や自動外観検査装置や目視検査による検査・計測等が適切に行われる必要がある。しかしながら定量評価基準が得にくいことや製造ライン上での自動検査が困難な場合が多いことなどから、十分な体制で運営することが困難な場合が多い。全数全量を自動検査装置により定量評価することが望ましいとは言え、コスト等の兼ね合いによって必ずしもそのように出来ない場合もある。生産品目あるいは品質項目によって抜き取りでの目視検査であっても十分に目的が達せられる場合もある。

色彩管理や外観検査に関する技術の動向について示すとともに感性品質マネージメントシステムへの発展について記す。

2.2.1 色彩管理の技術動向

企画段階に決定した色彩を設計段階で試作品として表現し、製造段階で量産品として生産するに当たっては各段階での色が統一されている必要がある。

色彩管理（カラーマネージメント）とは、基本的に色再現域や発色原理などの異なる複数のデバイス（機器・色材・機材等）にわたって目標の色彩を正確に表現するための管理手法である¹⁾。近年はデバイスインデペンデントカラー空間（機器独立色空間）として $L^*a^*b^*$ ²⁾ 空間（あるいは sRGB/AdobeRGB 空間）を利用して入力から出力までを統一的に扱う方式が標準的に用いられるようになってきている。そのためカラープロファイルを機器毎に用意して、その機器が扱える色データと $L^*a^*b^*$ データとの関係を記述してデータベース化する。これによってある入力装置から別の出力装置への色データを一旦 $L^*a^*b^*$ データを介して変換することが出来るため最低限の変換誤差で色データの変換が出来る。また個々のデバイス同士の色変換テーブルを作成する必要がなくなるため多くの機器の間で運用することが可能になる。図1にカラーマネージメントシステムの概念を示す。

ただし、機器の校正や、色再現域の違いなど運用上の困難は幾つもあり、すでに運用が進んでいる印刷出版関係や、広告デザイン関係、従来から色に取り組んできた染色、塗料関係などを除く他の業種への技術普及については個々の業種や生産品目に応じた対応を検討する必要がある。また、設計問題としての機器間の色彩管理をこの手法で行うことが可能であるとしても、製造問題として所定の色彩を安定的に再現できるかどうかは別の問題であり、次項の外観検査と併せて実施する体制の構築が必要である。

2.2.2 外観検査の技術動向

自動外観検査では、通常製造工程上あるいは専用検査工程に撮像機器を設けて、予め記録させた良品サンプルの画像と検査対象サンプルの



図1 カラーマネージメントシステム

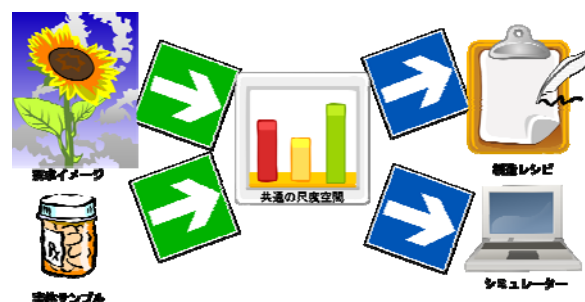


図2 感性品質マネージメントシステム

画像を比較するか、検査対象サンプルの画像から特徴量を抽出して、特定の判断基準によって良否判定を行う。一方、目視検査では、原則的に限度見本を用意してそれとの対比から主観的に良否を判定する。いずれにおいても良否判断の尺度となるものが必要でありそれを厳密に管理する必要がある³⁾。

品質マネージメントシステムの国際規格である ISO 9000 シリーズの普及によって認証取得企業では体系だった品質管理が実施されるようになってきたが、品質管理工程は製造工程そのものと比べて副次的に考えられている例が多く、本質的な対応がなされていない場合も多い。その一方でハイテク産業などにおいては機能検証や外観検査の全数自動化が進められている。全製造コストの3割にも当たる額が検査コストとなる場合もあり大きな負担となっている。

現在では撮像機器や演算処理装置の技術進歩によって外観検査装置の性能は飛躍的な向上をみせている。

現状、県内企業では一部を除いて、十分な外観品質管理体制を取ることができていない企業も多い、単にコストの問題で見送っているばかりでなく、経営層やスタッフが問題を判断しかねていることも多いとみられ、外観品質管理の技術啓蒙の必要性が高い。

2.2.3 感性品質マネジメントシステム

光沢や質感あるいは高級感といったような感性品質を統一的に機器独立で管理する手法は今のところ確立されていないばかりか、そもそもそれらを的確に測定する方法についても確立されているとは言い難い。選択可能な素材と制御可能パラメータとの結果として得られる光沢や質感に関するデータベースの構築は、大いなる飛躍にむけたチャレンジとなると思われる。図2に感性品質マネジメントシステムの概念を示す。質感などについてユーザーやデザイナーの要求イメージを表現できる共通の感性尺度空間を定義しそれを共通言語としてイメージや実体と製造レシピーや感性品質シミュレータを結ぶものである。

3. 結 言

本調査より、県内企業が抱える問題およびその解決を支援する立場の当研究所が抱える問題が幾つか明らかとなった。それらの課題と併せ、課題解決のために本研究会が今後どう活動してゆくか等について、以下に記す。

- (1) 企業課題の調査結果から、外観などの感性品質を有する製品に関して以下の課題がある。設計段階では、ユーザーやデザイナーが要求する外観・質感・高級感をどのような材料や加工方法で実現するかという問題に対してコストなど多くの制約があり、また性能をどう評価するのかという点が未解決である。製造段階では、現状目視による抜き取り検査に頼っている例が多く、自動検査および全数検査を導入したいと多くは

考えている。しかし十分なコストの投入が不可能だったり、感性品質の検査・管理に対する情報が不十分だったりする例も少なくない。また、設計時の感性品質評価以上に製造時の感性品質評価は技術的に困難であり管理・保証がままならない。

- (2) 現在工技総研では、光沢度計、色彩色差計、分光輝度計など限られた測定機しか保有しておらず、変角色彩計などの光沢感をともなう色彩の計測装置や、2次元面色彩計測装置、画像鮮明度計測装置など製品表面のアピランス性能評価のための計測装置の導入が望まれている。また感性品質管理の実現に関する支援要求に応えることが十分できていない。また生産後の単品の計測だけではなく、生産中の検査計測が重要な課題であるにも関わらず、その対応ができない状態である。
- (3) 工技総研では、前述の県内企業が抱える課題を考慮すれば、設計課題として感性品質の要求をどう実体化しその性能を評価するかという未解決問題についての支援と、製造課題として感性品質の計測制御をどうするかという課題、それぞれについての技術啓蒙および技術支援を行う必要がある。
- (4) 感性工学会では次年度も主に色彩や光沢などの外観の感性品質を対象課題として活動を行いたいと考えている。外観検査や品質管理、カラーマネジメント、質感表現などに関する技術啓蒙を行う予定である。また感性品質の定量化尺度の検討を行いたい。

参考文献

- 1) 画像電子学会編，“カラーマネジメント技術”，電機大出版局，2008。
- 2) 日本色彩学会編，“新編 色彩科学ハンドブック”，東京大学出版会，1998。
- 3) 坂田ほか，“外観・目視検査ノウハウ集”，技術情報協会，2008。

多軸高速加工研究会報告

相田 収平* 石川 淳* 田村 信** 須藤 貴裕** 木嶋 祐太*

Activity Report of Collegium for High Speed and Multiaxis Milling Technology

AIDA Shuhei*, ISHIKAWA Atsushi*, TAMURA Makoto**, SUTOH Takahiro** and KIJIMA Yuuta*

1. 緒 言

新潟県内の機械加工技術力は全国的にも高く、特に自動車産業向けの金型や部品加工の分野で優れた切削加工技術を有する企業が多い。しかし国内の自動車産業は海外生産の拡大や中国、インドといった新興国メーカーの台頭などによって、今後の拡大が見込めない。このような状況の中で県内の金型業界、機械加工関連業界では、今後新たな伸びが期待できる分野への進出を模索しており、航空機産業やエネルギー関連産業に注目している。

これらの産業では高い信頼性・安全性・耐久性が求められる。使用される部品については、信頼性を高めるために、素材からの機械加工による削り出しであること、さらに極力接合部を少なくする設計思想から複雑な形状が多いことが特徴である。このため、従来の3軸制御工作機械による加工では対応が困難となり、多軸制御の加工を必要とする。また使用される金属材料は、高耐食・耐熱性、高強度を達成するためにチタン合金や耐熱合金などの難削材が多く使用されつつある。

工業技術総合研究所では平成21年1月より、(財)にいがた産業創造機構の市場開拓技術構築事業「チタン合金等の革新的加工技術開発」を受託し、従来の切削加工技術に対して圧倒的な競争力を持つ固有技術を開発し、航空機・エネルギー関連産業をはじめとした新しい市場への参入を促進する手段となり得る研究開発を行

っている。

多軸高速加工研究会は、上記の研究開発事業の一部であり、新潟県内の機械加工に関わる技術者を対象として、多軸加工や高速加工技術に関する知識や技術向上を目的としている。

2. 研究会活動・セミナー

2.1 定例研究会

定例研究会は、加工技術関連有識者ならびに工業技術総合研究所職員が講師をつとめるセミナーである。今年度は「5軸加工入門」をメインテーマとして、通年参加することで5軸加工に関する基礎知識と最新技術を習得することを目的に研究会の年間計画を立てた。4月に開催した第1回目の研究会開始の際に予め、年間の活動計画概要を示し、継続的なセミナーであること、および開催予定日を明示することで参加し易い工夫をした。

会員の募集を、工業技術総合研究所および(財)にいがた産業創造機構のホームページ等を利用して、年間計画と会員への登録(会費無料)案内を掲載するなど、広く県内企業への周知を図った結果、69社、110名(平成22年2月現在)の会員数となっている。図1に会員の業種について示す。切削加工に直接かわる機械部品加工と金型で全体の約4割を占めるとともに、切削加工と密接に関連のある工作機械、機械部品、工具等で約7割を占めている。

各回の定例研究会の内容等を表1、および図2に示す。平成21年4月～平成22年2月にかけて8回のセミナーと1回の見学会を行った。各回とも会場が満席となるほど盛況であり、の

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

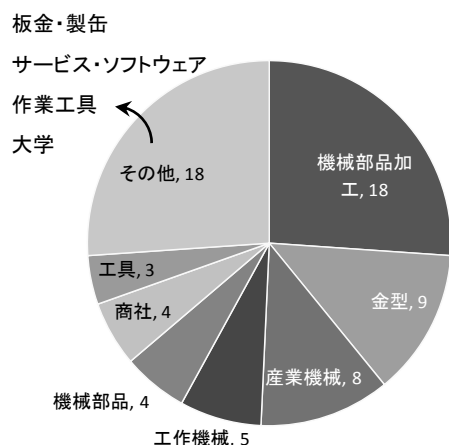


図 1 研究会会員の業種 (全 69 社)

表 1 多軸高速加工定例研究会

回	開催日	テーマ	参加人数
1	4/16 (木)	オープニングセミナー 「航空機産業と切削加工技術」 「5軸加工のプロセス」 「5軸加工機による加工実演」	94
2	5/20 (水)	入門・5軸加工 「ここが違う！5軸CAM」 「ここまでできる！5軸加工」 「デモンストレーション加工実演」	114
3	6/18 (木)	難削材加工のヒント 「こんなに削れる！難削材加工」 「能率加工の新提案！」	123
4	7/28 (火)	夏期集中講習 part1 「知って得！品質管理① ISO9001」 「解説！5軸加工の現状」	100
5	9/10 (木)	夏期集中講習 part2 「知って得！品質管理② JISQ9100」 「5軸加工の心得」	102
6	10/21 (水)	多軸加工機の活用と周辺ツール 「解説！機械と加工技術」 「活かそう！加工ツール」	87
7	11/18 (水)	最新の5軸金型加工 「提案！5軸金型加工」 「最新CAM情報！」	69
8	12/16 (水)	5軸加工の使いこなし 「これで対応！難削材」 「最新の5軸加工技術！」 「検証！5軸加工 実機デモ加工」	83
9	2/18 (木)	見学会 東京電力 柏崎刈羽原子力発電所	30

べ参加人数は 802 名にのぼり、当初の目的どおり、5 軸加工に関する基礎知識と最新技術の習得に寄与できた。

2.2 多軸高速加工ワークショップ

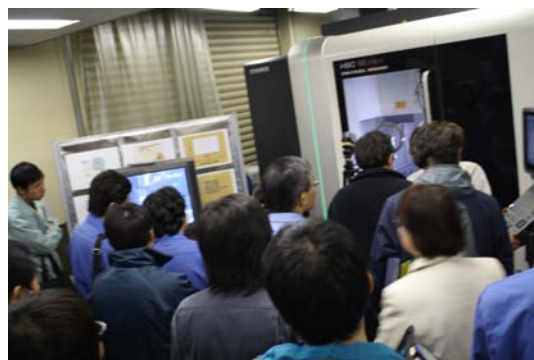
チタン合金や耐熱合金の切削加工技術は電力・エネルギー関連分野において強いニーズがあることは前に述べたとおりである。そこで（独）理化学研究所、および東京電



講演の様子（第 1 回）



多数の参加者



加工技術研究室での公開実験（第 8 回）

図 2 定例研究会の様子

力(株)の協力を得て、これらの分野の企業を主なターゲットに、新潟の優れた加工技術を PR し、今後の研究開発テーマの指針とする他、これら企業との繋がりを深めることを目的として「多軸高速加工ワークショップ」を開催した。
日時：平成 21 年 10 月 15 日（木）
会場：（独）理化学研究所
プログラム：

①理化学研究所施設見学（サイクロトロン，脳科学研究センターなど）

②シンポジウム「新潟の産業集積と技術ポテンシャル」

参加者：企業数 42 社，117 名

午前中は，（独）理化学研究所が世界に誇る超伝導リングサイクロトロンなど最先端の研究設備・内容を見学した。午後からは「新潟の産業集積と技術ポテンシャル」と題して，新潟県内から参加した企業 10 社の技術プレゼンテーションと工業技術総合研究所の研究紹介を行った。プレゼンテーションに際しては，説明者と聴講者間での活発な意見交換を促すために，松岡甫篁氏（（株）松岡技術研究所代表取締役），安斎正博氏（芝浦工業大学大学院工学研究科教授），高橋一郎氏（理化学研究所ラピッド・エンジニアリングチームヘッド）の方々をはじめ，本県産業労働観光部産業振興課長，および工業技術総合研究所長もセッションファシリテータとして加わり，県内企業の技術力を聴講者に十分に PR するとともに活発な意見交換を行うことができた。

さらに（株）リコー，代表取締役社長執行役員近藤史朗氏より，「リコーの企業変革」と題した基調講演を頂いた。リコーが実践してきたイノベーションや，環境への取組みなど，ご自身の経験に基づいた話であり，今後の企業活動や研究開発に役立つ内容であった（図 3）。

3. 結 言

- (1) 平成 21 年度の多軸高速加工定例研究会では，「5 軸加工入門」をメインテーマとして，通年参加することで 5 軸加工に関する基礎知識と最新技術を習得することを目的として研究会を運営し，8 回のセミナーと 1 回の見学会を行った。登録会員は 69 社，110 名にのぼるとともに，毎回多くの会員が参加し，のべ 802 名にのぼった。
- (2) 工業技術総合研究所が中心に進めている



会場（理研 大河内記念ホール）の様子



県内企業のプレゼンテーション



（株）リコー近藤社長の基調講演

図 3 多軸高速加工ワークショップの様子

「多軸高速切削加工技術」および新潟県内の関連企業の技術を電力・エネルギー関連分野の企業に広く PR する目的で，（独）理化学研究所を会場として「多軸高速加工ワークショップ」を開催した。（株）リコーの近藤社長の基調講演や理化学研究所の見学等も行い，42 社，のべ 117 名の参加を頂いた。

表面技術研究会報告

林 成実* 三浦 一真* 中川 昌幸* 小林 泰則*
永井 直人** 天城 裕子** 岡田 英樹***

Activity Report of Collegium for Surface Treatment Technology

HAYASHI Narumi*, MIURA Kazuma*, NAKAGAWA Masayuki*, KOBAYASHI Yasunori*,
NAGAI Naoto**, AMAKI Yuko** and OKADA Hideki***

1. 緒 言

めっき、化成処理、研磨、洗浄、熱処理、塗装など様々な表面処理企業はもとより、金属、プラスチック、セラミック、天然素材製品から自動車や工作機械、電子デバイスなど、ありとあらゆる工業製品が表面処理工程を経て最終製品化されており、表面技術は「ものづくり」に関連する基盤産業技術となっている¹⁾。

基盤産業技術である表面技術では、ニーズの多様化、環境問題、安全性など「ものづくり」を行う上で品質管理は必要不可欠である。産業グローバル化に伴う海外製品との性能・価格競争も激化しており、いかに品質の高い製品を安定して製造していくかが鍵となっている。

本研究会では、もの（製品・材料）の高品質化や安定化を確保していくという課題に対し、様々な面から解決策を探ることを目的とし調査研究を実施した。活動内容は、セミナー開催、技術動向調査、県内外企業調査である。特にセミナーについては、今年度「表面評価技術」をメインテーマとして、研究会スケジュールを組み立てた。

2. 活動概要

2.1 セミナー活動

新潟県内の表面技術関連および品質管理等に



図1 セミナーの様子

関わる方々を対象として、表面評価技術に関する基礎知識と最新技術を習得することを目的とし、表面評価技術セミナーを以下のとおり3回開催した。毎回多くの方々が参加し、のべ137名にのぼった。（図1）

第1回 平成21年7月7日

「ナノインデンテーション（計装化超微小押込み試験）の現状および工業的必要性と利用に関する課題」

新潟大学大学院自然科学研究科 石橋達弥氏
ナノインデンテーションの原理、材料特性値評価、装置の現状と各装置の差違、工業的必要性と利用に関する課題を説明。

「DLC（ダイヤモンドライクカーボン）の研究とインデントテストの役割～DLC膜標準化プロジェクトとのかかわり～」

長岡技術科学大学無機材料工学 赤坂大樹氏
DLCを概説し、DLC調査プロジェクトに

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

*** 県央技術支援センター

ついてその活動を中心に紹介。

「ナノインデンテーション装置の紹介」

(株)フィッシャー・インストルメンツ 片山繁雄氏

ナノインデンテーション装置および測定事例を紹介。

第2回 平成21年12月8日

「電子顕微鏡による新材料・デバイスの解析」

(株)東レリサーチセンター 橋本秀樹氏

電子顕微鏡を用いた材料やデバイスの解析について事例を中心に紹介。

「工技総研における新しい表面分析技術の紹介」

工業技術総合研究所 永井直人

表面分析技術を概説し、新しく開発したナノキャッチャーにより表面100nm深さの化学構造解析を行った事例を紹介。

第3回 平成22年2月16日

「金属の腐食・防食の基礎」

東北大学大学院工学研究科 原 信義氏

金属の水溶液腐食現象を理解するための基礎知識として、腐食反応の熱力学と速度論を鉄の腐食を例に挙げて具体的に解説。腐食現象を解析するための手法および防食法について最近のトピックスを概説。

「分析による工業材料のトラブル解決」

工業技術総合研究所 林 成実

工技総研の分析への取り組みについて概説し、工業材料のトラブル解決手法を説明。

2.2 市場動向調査

表面技術関連の展示会視察や最新の技術・研究セミナー、会議等に参加し、現況や動向について情報収集を行った。表面技術分野においても環境や健康、安全等に関連した研究情報や製品が注目されていた。またナノテクノロジーを用いた材料や製品、分析機器に関する展示品やセミナーが多く、特にナノオーダーの極表面の性状が耐食性や製品の性能に大きく寄与していることが再認識された。

2.3 県内企業調査

表面技術分野への取り組みや品質管理・安定化に対する考え方、対応状況および表面技術研究会に対する要望等を調査した。

県内企業においては、品質関連認証としてISO9001認証を取得し、品質方針・目標を定め品質向上施策を実施し、製品開発や品質保証・確保のために評価解析技術の向上を図っている企業も多く、高度分析機器を設置しているところもある。しかしニーズの多様化や多品種少量短納期のものづくりが求められている昨今、海外生産による部品調達も多く、品質を如何に維持するか難しい状況になってきている。特に中小企業では、海外生産品や様々な材料が交錯し多様化する中、品質維持およびクレーム対策への対応に苦慮しているのが現状といえる。

また新製品では独自開発を行ってきたために、自社の技術レベルやポジションが世の中のどのレベルにあるのか解らないとの意見もあった。産業のグローバル化が進み、様々な分野が交錯し製品化されているため、製品がどのように使用されているか解らないこともある。そのため自社製品の適切な分析・評価が重要になってくる。また他社製品との差別化を図る意味で自社製品が優れている点等、機能や特性も十分把握する必要がある。

本研究所では技術支援事業（依頼試験や機器貸付）からみると、今年度の化学系分野における依頼相談（依頼試験、機器貸付、電話相談）の内、クレーム関連が約5割を占める。そのクレームの原因としては、塗膜やプラスチック等の有機系問題（剥離、色斑、変色、割れ、etc）が約6割、金属組成や錆、異物等無機系が約4割ある。これら製品トラブルの原因究明を行うことが生産体制の見直しや品質安定化に繋がるため重要である。

2.4 研究会構築の課題と対応

表面技術研究会は、「表面評価技術」をメインテーマとして、表面評価技術に関する基礎知

識と最新技術を習得することを目的とした。県内企業や団体から多くの方から参加して頂き、初年度としては満足のいく結果であった。

表面技術分野は、ものづくりの基盤産業技術であるため、技術、企業体系について多岐にわたっている。そのため、個々の表面処理技術での研究会では無く、図2のとおり、各種製品・材料に共通した高品質化および安定化を目指した分析評価技術という位置づけで研究会を構築していきたいと考えている。

現在、表面技術研究会への入会は数社のみだが、業種はそれぞれ異なっている。前述のとおり、共通の分析評価解析技術手法により研究会を構築することがベストだが、分野別に分科会を形成するか、直接企業との共同研究や競争的資金への研究テーマを提案する方向にいく可能性も高い。また日常業務に直結した表面処理技術への支援要望も多かったため、個々の表面処理技術に対しては、工業技術総合研究所を中心に県内の技術シーズを組合せながら、1企業単位で技術支援やミニ共同研究および企業に出向き固有技術の講習会を行う出前セミナー等を行う体制づくりが必要である。

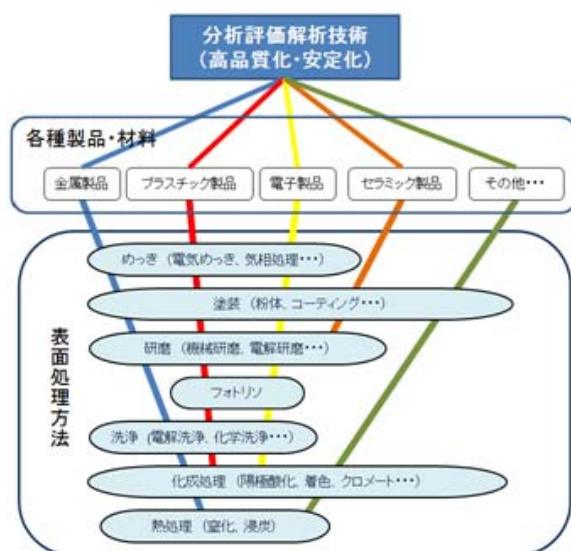


図2 表面技術研究会の方向性

3. 結 言

- (1) 表面技術研究会では、もの（製品・材料）の高品質化や安定化を確保していくという課題に対し、様々な面から解決策を探ることを目的として研究会を運営した。特にセミナーについては、「表面評価技術」をメインテーマとして、表面評価技術に関する基礎知識と最新技術を習得することを目的とし、3回のセミナーを実施した。毎回多くの方が参加し、のべ137名にのぼった。
- (2) 工業技術総合研究所で研究開発した技術や保有機器での解析事例紹介を望む意見が多く、工業技術総合研究所からの情報発信をメインに対応していく方針である。
- (3) 表面技術研究会は、企業ニーズに即した情報を得られることで好評のことから、引き続き研究会を継続する方向である。内容は「高品質化」をメインテーマとして運営していく予定である。

参考文献

- 1) 栗原泰弘，“表面処理技術の発展を期待して”，表面技術，61巻，2号，2010，p112-115.

熱処理研究会報告

伊関 陽一郎* 宮口 孝司* 皆川 要* 高橋 靖* 佐藤 亨*
中部 昇* 岡田 英樹* 三浦 一真** 桂澤 豊*** 堀 祐爾*

Activity Report of Collegium for Heat Treatment Technology

ISEKI Yoichiro*, MIYAGUCHI Takashi*, MINAGAWA Kaname*, TAKAHASHI Yasushi†,
SATO Toru*, NAKABE Noboru*, OKADA Hideki*, MIURA Kazuma**,
KATSURAZAWA Yutaka*** and HORI Yuuji*

1. 緒 言

自動車や建設機械、家電から身の回りにある刃物まで多くの工業製品が熱処理工程を経て最終製品化されており、熱処理技術はものづくりに欠かせない基盤技術の一つとなっている。

古くから利用され基本的には成熟した技術ではあるものの、最近の各種機械の高性能化及び自動化などから、部品の軽量・高強度・高精度化や、金型の高寿命・低歪化、処理コスト低減等が求められ、さらなる技術の高度化が必要とされている。

新潟県は県央地域を始め金属加工企業が多く集積していることもあり、東日本の熱処理事業者の団体である東部金属熱処理工業組合の加盟82社中10社が新潟県内に事業所を持ち、神奈川、東京に次ぐ数となっている。さらに組合非加盟の企業や社内で製造工程の一部門として持つところも多く、熱処理に関係する県内企業は相当数に昇る。

昨年度に引き続き、これら熱処理関連企業を対象に、研究会等の組織化を視野に置きながら、熱処理をキーワードとした情報提供と、事業に対する機運醸成のために講習会などを行った。

* 県央技術支援センター

** 研究開発センター

*** 下越技術支援センター

2. 活動概要

2.1 熱処理技術セミナー

昨年度のセミナー参加者へのアンケート結果では、基礎的な事柄をじっくり勉強したいとの意見が多かったため、今年度は5回連続の熱処理基礎講座として最終回以外は同一講師に担当を依頼し、時間もほぼ半日と昨年の倍とした。

毎回60名程、のべ300名近い参加者があり、実務経験豊富な講師ということで総じて評判は良く、終了後も講師と個別に議論を行う姿が見られた。(図1)

当初時間の長さを危惧していたが、参加者からは丁度良いとの意見が多かった。ただ、内容的には難しかったとする参加者も多く、十分な理解には相応の時間が必要と思われた。

また、今回は人数の関係で断念した組織観察



図1 セミナー風景

の実習や県外企業の様子の話を更にといった意見が聞かれた。

第1回 平成21年10月1日

「鉄鋼材料と熱処理の基礎」

山方技術士事務所 山方三郎氏

- 1) 鉄鋼の性質と変態（相変態、状態図等）
- 2) 基本的熱処理、焼入れ性・質量効果

第2回 平成21年10月21日

「金属材料とその熱処理」

山方技術士事務所 山方三郎氏

炭素鋼から高合金鋼まで

第3回 平成21年11月27日

「表面硬化処理法①」

山方技術士事務所 山方三郎氏

浸炭・窒化

第4回 平成21年12月1日

「表面硬化処理法②，熱処理の不具合と対策」

山方技術士事務所 山方三郎氏

高周波など

第5回 平成22年1月22日

「硬さ試験方法」

(株)ミットヨ 山下 勉氏

原理，注意点，実技など

「他県・業界状況等調査報告」

工業技術総合研究所 伊関陽一郎

工業技術総合研究所 宮口孝司

2.2 専門家による現地技術相談

熱処理の専門家と共に企業へ出向き，現場で技術的な課題について議論した。

今年度は2回のべ3日間で実施し，要望のあった7社を訪問，各社の課題に対しアドバイスを受けた。

各社とも硬さのバラツキや歪み，同一条件で処理しているにもかかわらず結果が以前と違ってきたといった問題があり，様々な事例を経験している外部専門家の意見は大変参考になったようである。

2.3 県外企業等調査

首都圏および中京圏の企業・団体を訪問し，不況下でも特徴をもった経営で業績を伸ばしている例や地域の経済動向等について情報収集を行った。

全体としては，仕事は自動車関連を中心に以前の6～8割程度には戻っているものの，工作機械等それ程でない分野もあり，企業間でも開きが出ている状態とのこと。

また，仕事量は自動車でも従来レベルまで戻ることはないとの認識で，新たな客先の開拓など対応策の検討を進めている。

個々の企業では例えば，徹底した自動化と美化・整理整頓を行うことで効率化と顧客の信頼を得ている企業や，小回りが利くものの環境問題等から他が廃止する方向の処理手法を専門とすることで，営業をしなくとも全国から仕事が入ってくる企業などから話を伺うことができ，この状況下でやっていくためには何かしら一つ徹底したものを持つことが必要と思われた。

2.4 課題とその対応，総研の取り組み

これらの活動を通して得られた意見・情報をもとに，地域の熱処理技術における課題とそれに対する今後の工業技術総合研究所での取り組みについて検討した。

(1) 継続的な知識習得の機会設定

冒頭にも記したとおり，熱処理は県内製造業にとって欠くことのできない重要な基盤技術であるが，現象が直接目に見えず理解が容易でない分野であること，熟練者の退職により社内での技術教育・伝承が困難な状況があることなどから，セミナー等知識習得の機会に対する要望は衰えることがない。

これに対しては，継続的な知識習得の機会設定が求められるが，本事業での一連のセミナーの他にも三条工業会などで随時セミナーが開催されることがあるものの，継続的なものではなく十分とはいえない。

今年度、東部金属熱処理工業組合が、各地の工業試験場と連携する形で会員以外にも対象を広げて実習や工場見学を含む講習会を郡山、甲府など5カ所で開催して地元企業から好評を得たとのことであり、このような中央団体との連携の他、地元工業系団体との連携を更に図っていくことが必要と考えられる。

(2) さらなる技術支援

熱処理は学術的な意味では成熟・完成した技術とも考えられるが、実際面では理論通りとはならず問題となる場合も多々ある。

例えば、

- ・中国製のものなど材料が変化・多様化（同じ規格内であったとしても）していることにより、同じ名称の材料であったとしてもこれまでと同じ処理では不都合が出る。
- ・材料の違いの他にも、冷却材や雰囲気の変化等処理条件の微妙な変化といった多くのファクターが寸法変化や硬さのバラツキ等処理結果に影響を与える。

といった点があり、成熟した技術とはいいいながら一定の品質を維持し続けるためにはデータ・経験の蓄積が欠かせず、常に知恵と技能の傾注が必要な分野といえる。

技術支援センターには、様々なトラブルに対する相談が持ち込まれており、より積極的にこれらに対応し、原因解明と対応策の事例蓄積を

図っていくことが求められる。

また、熱処理に関する独自技術の開発や新規に技術・設備の導入を検討する企業もあることから、共同研究、受託研究（ミニ共同研究）等により、企業ニーズに即した技術開発・支援を行っていく必要がある。

3. 結 言

昨年度に引き続き、参加者が共通の課題で議論しあう研究会のような集まりの組織化を最終的な目的として、つぎのような事業を行った。

- (1) 熱処理技術セミナーの開催。内容は昨年度の参加者の意見を受け、基礎についてじっくりということで、半日5回連続の講座とした。毎回60名程、のべ300名近い参加者があり、内容的にも良好な評価を得た。
- (2) 企業の現場で外部専門家から直にアドバイスを受ける技術相談を2回実施。
各企業が抱える問題点について、個々具体的な議論を行った。
- (3) 大都市圏の企業等を訪問調査し、技術動向や経営方針などに関する情報を収集し、地域の熱処理技術の方向性等を考える上での参考とした。
- (4) これらを踏まえ、工業技術総合研究所としての取り組みを検討した。

天然素材活用研究会報告

浦井 和彦* 長谷川 雅人* 宮口 弘明* 馬場 大輔*
林 成実** 内山 雅彦*** 柳 和彦****

Activity Report of Collegium for Use of Natural Materials

URAI Kazuhiko*, HASEGAWA Masato*, MIYAGUTI Hiroaki*, BABA Daisuke*
HAYASHI Narumi**, UTIYAMA Masahiko*** and YANAGI Kazuhiko****

1. 緒 言

新潟県の木製家具工業は、かつて、箱物家具を中心とした全国有数の家具産地を形成していたが、生活様式の変化や海外製品との競合から厳しい状況に追い込まれている。しかしながら本県の木製品製造業には、加茂の桐タンスや村上の堆朱に代表されるように、固有の伝統技術を有し、国内で高いシェア占めながら産地を形成している業種もある。また、他社には真似のできない高度な技術を有し、広くマスコミで紹介される企業もある。

このような状況の中で、県内木製品製造業の技術の高度化を進め、市場ニーズにマッチした「ものづくり」を目指すために、「ものづくり技術連携活性化事業」の一環として、平成21年度より、天然素材活用研究会を開始した。

本研究会は、天然系素材である木材や木質系材料を利用した産業群、とりわけ木製家具や木工品、建材などの製品製造業を主な対象にして、木製品を製造する上で必要な技術の習得を目的としたセミナー、勉強会を計画した。

また、県内企業の技術シーズの把握を目的とした調査を行うとともに、最新の技術動向の情報収集のために、メンバーによる各種展示会や学会への参加、大学や先進企業等の研究・技術動向調査を行った。

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



図1 セミナー風景

2. 活動概要

2.1 木製品製造技術セミナー

新潟県内の木材・木質材料を取り扱う業者、とりわけ木製家具や建具製造業、木工品製造業、製材業、建材製造業など、木製品製造に係わる技術者を対象として、木製品の製造技術に関する知識の普及や技術の高度化を図ることを目的として、技術セミナーを開催した。

本セミナーは上中下越の各技術支援センターを会場に4回開催した。参加者は、当初予測した参加人員を大幅に超え県内の企業82社からのべ180名の出席を数えた。(図1)

2.1.1 開催概要

第1回 平成21年10月27日

「環境に優しい接着剤の基礎」

(株)オーシカ 加部敏夫氏

「環境に優しい塗料・塗装技術動向」

玄々化学工業(株) 今井佳彦氏

「意匠性を活かした塗装仕上げ」

三基物産(株) 捧 秀雄氏
 第2回 平成21年12月11日
 「木材乾燥の基礎と最近の動向」
 (独)森林総合研究所 齋藤周逸氏
 「NC ルータによる木材加工技術動向」
 神奈川県産業技術センター 中島岳彦氏
 第3回 平成22年1月25日
 「森林バイオマスの新たな利用法の提案」
 新潟大学農学部 小島康夫氏
 「木質防耐火材料の開発の現状」
 (独)森林総合研究所 原田寿郎氏
 第4回 平成22年3月2日
 「支援事例：桐スピーカーの紹介」
 工業技術総合研究所 浦井和彦
 「圧縮木材の利用と現状」
 工業技術総合研究所 林 成実
 「構造材料としての木材利用とその課題」
 秋田県立大学木材高度加工研究所 佐々木貴信氏

2.2 県内企業の情報収集調査

2.2.1 調査方法

県内企業の情報収集として、セミナー開催時に於けるアンケート調査とメンバーによる企業訪問調査を実施した。

アンケート調査では、(1)企業が抱える技術課題、(2)興味のある技術分野、(3)セミナーに関する要望・意見、(4)研究会参加の意志の有無、(5)その他の意見・要望を把握するための設問をもうけ、企業ニーズの把握に努めた。

企業訪問調査では、主に、景気動向と今後の展望、自社の得意技術、セミナー・研究会への要望などについて、経営者から直接、聞き取り調査を行った。

2.2.2 調査結果

以下に、調査結果を示す。企業が抱える課題は、個々の企業により様々である。

1) 企業が抱える技術課題

- ①木材の反り・変形
- ②木材の耐久性向上
- ③樹種に適した乾燥スケジュールなど、木材

の品質管理

2) 興味のある技術分野

- ①合板や集成材への防火性・耐火性の付与
- ②木材の乾燥技術
- ③木質バイオマス燃料の開発
- ④圧縮木材の利用

3) セミナーに関する要望・意見

- ①セミナー開催の継続

4) 研究会参加の意志の有無

- ①興味があるとの回答は、全体の30%

5) 研究会で取り上げて欲しい研究テーマ

- ①防火・耐火・不燃木材の開発
- ②木材の基礎知識を学ぶ
- ③バイオマス製品の開発
- ④桐材や県産杉材を利用した製品開発
- ⑤総研の固有技術（圧縮木材、樹脂注入）を使った製品開発
- ⑥木橋

2.3 市場・新技術動向調査

2.3.1 調査方法

建材や木質材料の製品化に関する技術動向を把握する上で、「建築建材展」や「エコプロダクツ展」などがある。また、木材や木質材料の製造技術や最新技術動向を把握するには、「木工機械展」や大学・学会が主催する講演会への参加など、市場・新技術動向調査が有効である。

以上の理由から、下記の展示会や講演会等へ赴き市場・新技術動向調査を行った。（表1）

表1 市場・新技術動向調査先一覧表

名称	調査日	会場
第3回木質科学分科会	平成21年10月7日 ～10月9日	ホテルサンシャイン徳島 アネックス
第39回名古屋国際木工機械展	平成21年10月30日	ポートメッセ なごや
エコプロダクツ2009	平成21年12月10日	東京ビックサイト
第16回建築・建材展	平成22年3月9日	東京ビックサイト
京都大学新技術説明会	平成21年9月8日	科学技術振興 機構 JST ホール

2.3.2 調査結果

1) 市場動向

建築建材展やエコプロダクツ展では、「エコロジー」「安全」「安心」「環境」「太陽光」をコンセプトとした商品に、多くの方が興味を示していた。また、名古屋国際木工機械展では、NC 加工機や各種汎用機械にかわり、ペレット製造装置などの「リサイクル」「省エネ」関連機械が出展されていた。

2) 新技術動向

木材を余すところなく資源として利用しようとするバイオマスリファイナリーに基づく研究が進んでいる。木材の葉から抽出した抗菌剤や芳香剤へ、木皮を堆肥へ、木材を製材製品へ、または、化成品原料へと様々な利用方法が研究されている。

この様な状況の中で、実用化が高い研究として、木材をマイクロフィブリルまで分解し、新たな利用を図る「セルロースナノファイバー利用技術」がある。

また、バイオマス燃料関連産業として、ペレット・チップによるストーブやボイラーの開発、廃材や木質材からのアルコールの抽出など、技術開発が進められている。

2.4 研究会構築の課題とその方針

セミナー時のアンケート調査や企業への訪問調査の結果から、企業が研究会設立に興味を示していることが分かった。その一方で、個々の企業が望む具体的なテーマは異なり、共通の研究テーマでの研究会発足は、難しいことから、研究会発足のための仕掛け作りが課題である。

そのためには、以下の様な方向付けをしたい。

- ①企業ニーズと工技総研のシーズを勘案しながら、分野別に複数の研究会を立ち上げて参加者を募る。
- ②技術普及を目的としたセミナーを開催する。

3. 結 言

- (1) 平成 21 年度天然素材活用研究会活動として、のべ 4 回の木製品技術セミナーを開催し、受講者数は 82 社、180 名に達し、好評を得た。
- (2) セミナーの 10 テーマの中で、一番高い関心を示したテーマは①木材乾燥の基礎と最近の動向。次いで②木質防耐火材料の開発現状、③森林バイオマスの新たな利用方法の提案、④構造材料としての木材利用、⑤圧縮木材の利用と現状、⑥桐スピーカー、⑦NC ルータによる木材加工技術動向となった。企業の接着剤や塗料に関する興味は少ない。
- (3) セミナー開催時のアンケート調査結果から、セミナー継続の要望は強い。また、研究会活動に関心があるとの回答は、全体の 30%にものぼり、来年度以降の天然素材活用研究会活動に対する期待が感じられる。
- (4) 企業が抱える課題や問題は、個々の企業により異なる。技術の高度化を求める企業や製品開発を望む声、販路開拓を望む声と多種多様である。これらの要望に応えるために、引き続き研究会を継続する予定である。天然素材活用研究会の活動内容の詳細については、今後早急に策定するが、現時点では、セミナーの開催、「桐スピーカー開発」や「圧縮木材の用途開発」に関する研究会の立ち上げ、および、調査研究として「セルロースナノファイバー利用技術に関する調査研究」、「集成材・合板などの防難燃化処理技術に関する調査研究」を実施していく予定である。

ナノテク機器利用技術講習会

樋口 智* 平石 誠* 山田 敏浩* 斎藤 博*

Report of Training Course on Nanodevice Production

HIGUCHI Satoru*, HIRAISHI Makoto*, YAMADA Toshihiro* and SAITO Hiroshi*

1. 緒 言

電子機器、光通信、医療機器の小型化に伴い、微細形状を付与した高機能部品や超精密加工部品の利用拡大が進んでいる。これらに対応する技術に、ナノテクノロジー（物質をナノメートル [$1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$] 領域で自在に制御する技術）があり、国の重点支援技術領域に指定されるなど製品の高付加価値化を実現する技術として期待されている。しかしながら、本県の主要な製造業である一般機械、精密機械等既存企業の実践は、先端産業であるがゆえの技術習得や導入の難しさ（機器が高額）のため、進んでいないのが現状である。そこで、既存産業へのナノテクノロジーの導入、普及を図るため、NICOナノテク研究センター機器を利用した技術講習会を実施した。

なお、本技術講習会は(財)にいがた産業創造機構（NICO）の平成21年度産業基盤形成支援事業である。

2. 講習会の概要

MEMS製品の加工技術および超精密加工技術、評価技術を対象として技術講習会を実施した。実習テーマとして次の2つを設けた。

- MEMS装置を使用した薄膜熱電対（図1）の試作・評価（MEMS研修と記す）
- 超精密ナノ加工機を使用した回折格子金型（図2）の試作・評価（超精密研修と記す）

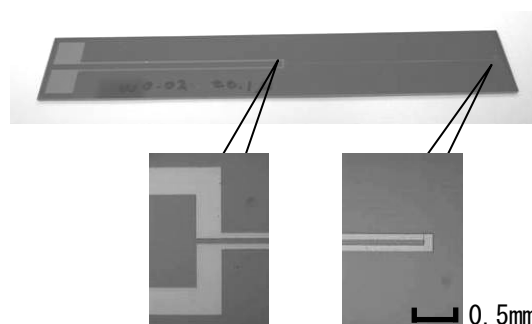


図1 薄膜熱電対



図2 回折格子金型

2.1 MEMS研修

MEMS加工技術は、電子線等を用いて数十nm～数 μm サイズのパターンを描画・現像し、エッチング、成膜、レジスト除去を繰り返し、シリコンなどの表面に極微細な形状を形成する技術である。本技術講習会では、作成したテキストおよび副読本¹⁾を使用してMEMS加工に関する講義を行った後、薄膜温度センサーを題材としてスパッター成膜装置やドライエッチング装置を使用して試作・評価技術について実習した。図3にスパッター成膜装置、図4にドライエッチング装置の外観を示す。

* 研究開発センター

2.2 超精密研修

超精密加工は、デジタルカメラや光学メモリのレンズ、液晶導光板などの光学部品やバイオチップの加工等で不可欠というべき技術となっている。本講習会では、作成したテキストおよび副読本²⁾に基づき超精密加工に関する講義を行い、その後、超精密ナノ加工機を使用し回折格子金型の試作および加工品の非接触三次元測定機による評価技術について実習した。図5に超精密ナノ加工機、図6に非接触三次元測定機の外観を示す。

超精密ナノ加工機はファナック(株)のROBONANO α -0iAを使用した。静圧空気軸受けを搭載する5軸加工機で、直線軸(X, Y, Z)の分解能は1nm, 回転軸(B, C)の分解能は1/100,000度である。

非接触三次元測定機は三鷹光器(株)のNH-3SPを使用した。オートフォーカス機構(分解能1nm)を搭載した非接触三次元測定機である。



図3 スパッター
成膜装置



図4 ドライ
エッチング装置



図5 超精密ナノ加工機



図6 非接触
三次元測定機

3. 講習会の実施方法

3.1 実施概要

講習会の概要を以下に示す。

実施日時：

《MEMS 研修》平成 21 年 9 月 16 日, 17 日

《超精密研修》平成 21 年 9 月 29 日, 30 日

実施会場：NICO ナノテク研究センター

参加者数：6 名 (募集定員)

3.2 タイムテーブル

各研修のタイムテーブルを図 7, 図 8 に示す。

<1 日目>

10:00	+	～講義～ MEMS の基礎
12:00	+	
13:00	+	～実習～ ・レジスト塗布 ・露光, 現像, 電極スパッター ・レジスト剥離
17:00	+	

<2 日目>

13:00	+	～実習～ ・SiO₂成膜, ドライエッチング ・ダイシング ・測定
17:00	+	

図7 MEMS 研修

<1日目>

10:00	～講義～ 超精密加工の基礎
12:00	
13:00	～実習～ ・シャトルユニット調整 ・平面加工用工具取付け ・平面加工
17:00	



【座 学】



【ユニット調整】



【平面加工】



【測定・評価】

<2日目>

13:00	～実習～ ・シャトルユニット調整 ・回折格子加工用工具取付け ・測定
17:00	

図8 超精密研修

<超精密研修時の様子>

4. 研修風景

研修風景を以下に示す。



【座 学】



【露 光】



【パターンの確認】



【ドライエッチング】

<MEMS 研修時の様子>

5. 結 言

(1) 講習会終了後、受講者を対象にアンケート調査を行った。

概略としては、流れや工程が分かりやすく、ナノテクノロジーを身近に感じることができた等、肯定的な意見があった一方で、研修日数や研修回数を増やして欲しい、もっとPRするべきなどの指摘・要望も寄せられた。

(2) 超精密加工やMEMS加工という比較的新しい技術分野について受講者の知識や認識に差異があるため対応が難しい面もあるが、今回参加いただいた企業のフォローアップや、今後同様の講習会を開催していく中で県内企業のニーズを把握し、講習内容の改善を進めていきたい。

参考文献

- 1) 麻蒔立男, “トコトンやさしい薄膜の本”, 日刊工業新聞社, 2002.
- 2) 竹内芳美, “超精密マイクロ切削加工”, 日刊工業新聞社, 2008.

CAE 研究室における技術支援事例

片山 聡* 須貝 裕之* 本田 崇**

A Report of Technical Support in CAE Laboratory

KATAYAMA Satoshi*, SUGAI Hiroyuki* and HONDA Takashi**

1. 緒 言

CAE を専門とする職員を中心に Web 上に仮想組織『CAE 研究室』を設置し、ミニ共同研究をはじめとする CAE を用いた技術支援の効率化を試みた。本報告書では CAE 研究室 Web の概要と成果について報告する。

2. CAE 研究室の概要

2.1 従来の体制

工業技術総合研究所では、平成 19 年度から平成 20 年度にかけて CAE（Computer Aided Engineering）を用いた企業課題解決型受託研究（ミニ共同研究）件数が大幅に増加した。通年型の研究と異なり、ミニ共同研究では短期間で成果を求められることが多く、また複数の研究が同時に進行することもあるため、担当職員数およびソフトウェア数が限られた環境下では、すべての案件への迅速な対応が困難となっていた。

当研究所の CAE システムは、下越技術支援センターにメインサーバを、各技術支援センターに CAE 端末を置いたフローティングライセンス型であり、どの技術支援センターにおいても CAE を用いた技術支援が可能となっている。そのため、技術相談窓口は最寄の技術支援センターが担い、ミニ共同研究なども窓口となった技術支援センターにて実施することがほとんどであった。

この体制は、距離・時間の面で地域に密着し

た技術支援が行えるという利点がある反面、進行中の案件に関する情報共有が各技術支援センター間でなされず、CAE ライセンス管理が煩雑になるという欠点があった。また、1つの技術支援センターにて複数の技術支援を同時に行うことも困難であった。

2.2 CAE 研究室 Web の体制

従来体制の欠点である情報共有は、窓口を一本化することで大幅に改善される。しかし、現実の組織や窓口を一本化した場合には、県内企業の利便性は著しく損なわれる。そこで、広域対応という従来の支援体制を損なうことなく、情報を一元管理できるよう、Web 上に仮想組織『CAE 研究室』を設置することとした。

CAE 研究室の概念を図 1 に示す。CAE に関する技術相談は、CAE 研究室ホームページ（http://www.iri.pref.niigata.jp/ad_balloon/cae_vr_lab/index.htm）で受け付けるほか、各技術支援センターにおいても CAE 研究室として受け付け、技術分野や難易度が確認される。その後、

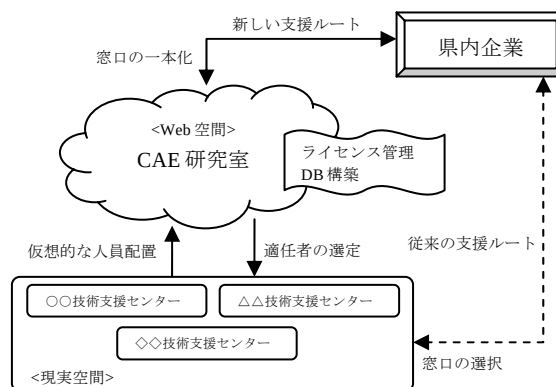


図 1 CAE 研究室の概念図

* 中越技術支援センター

** 研究開発センター

地域性や得意分野を考慮して適任者が選定され、技術支援に当たる。

この体制により、技術相談のすべてを CAE 研究室にて把握でき、スケジュール管理が容易となるほか、適切な人員配置による効率的な技術支援が可能となる。また、CAE 研究室を利用する県内企業においては、対応可能な技術支援センターや担当者を調べる必要がなくなり、従来よりも利便性が向上すると思われる。

このような Web を利用した窓口の一本化、仮想人員配置が CAE 研究室の特徴である。

3. 活動報告

3.1 ミニ共同研究

表 1 に CAE 関連のミニ共同研究の実施件数およびミニ共同研究全体に占める割合を示す。また、本年度はミニ共同研究のほかにも通年型の研究開発 5 件にも CAE が関係している。昨年度比で 1.5 倍強の件数となったが、すべての案件を滞りなく終了することができた。これは技術支援の進捗状況を把握し、ライセンス稼働時間を細かく管理したことで実現できたといえる。

表 1 CAE 関連のミニ共同研究実施件数

年度	件数	全体に占める割合
H19	6	11%
H20	14	25%
H21	22	37%

表 2 に地域別ミニ共同研究実施件数を示す。平成 19 年度以降、CAE を専門とする職員の多くは下越・中越に所属しているため、これらの地域での実施件数は常に多いが、今年度は県

表 2 地域別ミニ共同研究実施件数

年度	下越	県央	中越	上越
H19	1	2	4	0
H20	6	1	7	0
H21	5	7	7	3

央・上越地域の件数が伸びている。これらの地域対応においても、CAE 研究室 Web のシステムは大きな効果を発揮した。

3.2 CAE 技術者育成

CAE 技術者の育成では、長岡モノづくりアカデミー・CAE コース（主催：長岡工業高等専門学校、（財）にいがた産業創造機構）へ参画し、構造解析（応用編）・伝熱解析・振動解析・ケーススタディのカリキュラム作成および講師を務めた。特にケーススタディは、設計工程へ CAE を効率的に組み込むポイントを受講者に体感してもらうため、各々の自社製品を解析対象とした講義内容とし、好評を得た。

また、企業の技術者だけではなく、当研究所内の CAE 技術者の育成も行った。昨年度まで、CAE に携わる職員は実質 3 名であったが、今年度は新たに 2 名が専門職員のサポートを受けながら、CAE を用いたミニ共同研究を実施した。これにより技術支援における人員的な問題は大幅に改善された。今後はソフトウェアの拡充・保守により、効率的な技術支援を継続していくことが望まれる。

3.3 ミニ共同研究事例の紹介

CAE 研究室の技術支援事例として、ダイニチ工業(株)（新潟市）と実施したミニ共同研究を紹介する。

本研究は、新型石油ファンヒータの前面パネル部品のプレス成形性を CAE により評価することで金型試作回数を低減し、製品開発期間を短縮することを目的とした。短期間で結果を得る必要があったことから、CAE 研究室ではプレス成形シミュレーションの経験者を担当者として選定し、主に中越技術支援センターにて計算を実施した。

プレス成形シミュレーションは PAM-STAMP を用いた。初期金型形状における計算結果を図 2 に示す。新型石油ファンヒータはデザイン性を重視した複雑な形状となっていたため、成形

可能かが当初から懸念されていたが、CAEにより成形の可能性が高いことや、一部にしわが発生し、成形品質としては問題が残ることも判明した。

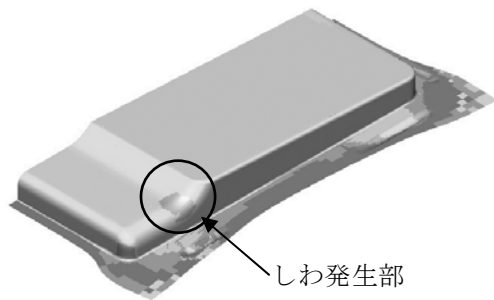


図2 初期計算結果

初期計算結果を受け、ビード位置や成形条件を見直し、最終的には5回のフィードバックシミュレーションで最適解を得た。その後、ダイニチ工業(株)にて金型試作が行われ、同社FXタイプの前面パネルとして正式に採用されるこ

ととなった。金型開発にかかる期間としては、CAEを用いたことで従来の3分の1程度に短縮することができた。

金型開発期間を大幅に短縮できたのは、初期段階で定量的な評価を求めず、成形の可否判断のみにCAEを用いるといった焦点の絞込みや、計算結果を受けて素早く対策を練ることのできるダイニチ工業(株)様の成形ノウハウが、大きな役割を果たしたことを付記する。

4. 結 言

Web上に仮想組織『CAE研究室』を設置し、以下の成果を得た。

- (1) 情報の一元管理により、昨年度比1.5倍強のミニ共同研究を滞りなく終了させることができた。
- (2) 地域を問わない支援体制により、これまで実績が少なかった県央・上越地域の企業とのミニ共同研究を実施した。
- (3) 新たに2名がCAEを用いたミニ共同研究を実施した。