

工業技術研究報告書

Report of the Industrial Research Institute of Niigata Prefecture No.37 2008

No.37 2008



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鋳西 1-11-1

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

目 次

I 創造的研究

1. [研究論文] 食品産業支援の化学チップ開発・・・・・・・・・・・・・・ 3

II 政策型受託研究

1. [研究論文] フェライト系ステンレス鋼の温間絞り加工技術・・・・・・・・ 11
(誘導加熱用鍋釜の軽量化に関する要素技術開発研究)
2. [技術レター] プラスチック製機能部品のナノレベル成型技術に関する調査研究・・ 18
3. [技術レター] 次世代工作機械に求められる高度要素技術に関する研究調査・・ 21
4. [技術レター] 新潟の匠の技を継承し発展させるための
計測と制御に関する調査研究・・・・・・・・・・・・・・ 24
5. [技術レター] 機能性材料の製造技術と用途開発に関する研究調査
～吸着・脱離・触媒作用を有する新材料の活用～・・・・・・・・ 27
6. [技術レター] 産業用インテリジェントロボット制御技術に関する調査研究・・ 31
7. [技術レター] 先端加工技術に関する調査研究・・・・・・・・・・・・・・ 36
8. [技術レター] 表面高機能化技術に関する調査研究・・・・・・・・・・・・・・ 42

III 競争型受託研究

1. [研究論文] 温間対向圧力プレス成形技術の開発・・・・・・・・・・・・・・ 49
2. [研究論文] ステンレス鋼の温間再絞り加工・・・・・・・・・・・・・・ 56
3. [研究論文] マグネシウム合金パイプ材の曲げ加工技術の開発・・・・・・・・ 63
4. [研究論文] 金型均熱化技術の開発・・・・・・・・・・・・・・ 68
5. [研究論文] 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)・・ 76
6. [研究論文] 介護予防のための筋力向上トレーニングロボットシステムの研究開発・ 83
7. [技術レター] 金属ペーストを用いたカーボンナノチューブの生成・・・・・・・・ 89

IV 共同研究

1. [技術レター] ナノ加工の精密バリ取りに関する研究・・・95

V 実用研究・小規模研究・ミニ共同研究

1. [技術レター] X線回折によるオーステナイト系ステンレス鋼の表面加工層の
評価方法に関する研究・・・101
2. [技術レター] CAE の効率的活用に関する研究・・・104
3. [技術レター] 非導電物の表面形状評価に関する研究・・・107
4. [技術レター] パソコンを用いた計測制御の一例・・・110
5. [技術レター] ユトラスエース[®]を使用するグリーストラップ油塊分解装置の開発・・・113
6. [技術レター] ICP 分析の高精度化に関する研究
(マトリックス元素の影響)・・・115
7. [技術レター] ユニフォーム上の汚れ発生メカニズムに関する研究・・・117
8. [技術レター] 染色堅ろう度試験における計器による判定の適用の研究・・・120
9. [技術レター] ポリエステル／ポリプロピレン二重構造編地の機能性評価・・・123

創 造 的 研 究

食品産業支援の化学チップ開発

永井 直人* 笠原 勝次* 佐藤 健**

On-plate chromatographic spectroscopy using Marangoni and/or Poiseuille flow

NAGAI Naoto*, KASAHARA Katsuji* and SATO Takeshi**

抄 録

数 cm 程度の大きさのプレート上にカバーガラスを傾斜をつけて配置し、その隙間に溶媒や溶液を導入して流れを形成して試料の組成物をプレート上に分離・展開する方法を開発した。流れはプレートの異なった場所に異なった表面張力の物質を吸着させる。その吸着物質を赤外分光やラマン分光などのマイクロプローブを利用して組成や化学構造の変化を議論できる。

1. 緒 言

近年、「食の安全・安心」の観点から食品中に混入する異物や残留農薬、産地や表示偽装などが問題となっている。新潟県は米や清酒などの特産品が多数存在し、食品製造業も多くあることから本問題で大きな影響を受ける可能性が高い。しかし、一般に加工食品は多種類の組成物で構成されており、その問題の原因を明らかにするための分析は容易ではない。

材料の構成物を分離分析する手法としてはクロマトグラフィーの手法を使ったものが多く¹⁾、分離のための前処理で時間がかかる場合が多い。うえ、同一の物質に関して主構成物質から不純物まで分析するには多大な時間を要する。最近では μ -TAS(Total Analysis System)、や Lab-on Chip と呼ばれる手法によって小さいチップ上で血液やタンパク質や DNA 解析を行うシステムが考案されている²⁾。これらは一般に集積化技術を利用して多くの種類の分子をチップ上に植えつけたり、微細な流路を作ってチップ上で反応を起こさせたりするものである。検出は蛍光色素を使い目的物質を効率良く検出するのが主流であり、これらの方法は微細加工技術や集積化技

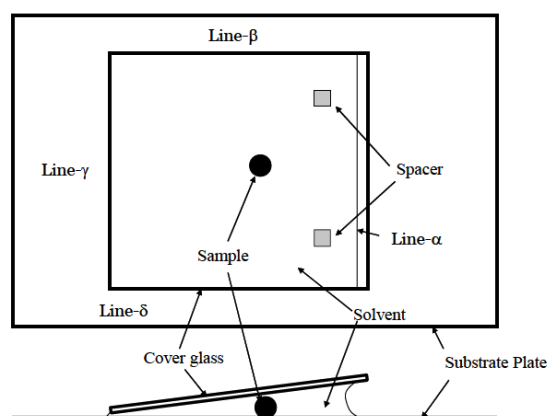


図1 新しい化学チップ分離法の配置図

術を要するためコストがかかる問題があった。

本研究では食品分析のために低コストで主構成物から微量不純物まで多様な分析に適用可能な革新的チップ開発を目指している。

今年度は基礎的な原理の確立を行ったので、それに関して報告する。

2. 実験および考察

2.1 実験的背景

シリコンウェハに金をスパッタリングし、3cm×10cm ほどの長方形に切断したものを基板とし、基板上に 1mm φ 程度の大きさで試料を固定する。そこに図1に示したようにカバー

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

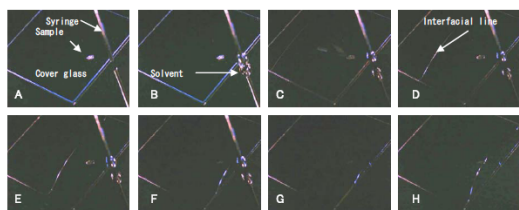


図2 液の挿入と気化の様子

ガラスを傾斜をつけてのせるシステムを考案した。カバーガラスの厚さは約 0.15mm である。その傾斜のあるカバーガラスと基板の間の隙間に溶媒が導入されると液は毛管現象によって固定されギャップから漏れない。液を挿入するためには接触角測定装置を改造してシリンジ先端から液を最大ギャップの位置に滴下するシステムを構築した。こうすると表面張力の異方性によって液がカバーガラス下に連続的に導入され、試料が溶媒に浸されるようにカバーガラス直下を満たすことができる。この様子を図2に示した。液が満たされた後、放置しておくと液はゆっくりと最大ギャップから最小ギャップの方向に向かって移動する。これは表面張力の異方性によってその方向に力が働くとともに³⁾、最小ギャップのラインからの溶媒の気化が大きいことによると考えられる⁴⁾。以下これを液を水平方向に駆動させる系であることから「薄膜ポンプ」と呼ぶことにする。この操作の後、溶媒の気化を待ってからカバーガラスをはずすと図3に示したような最大ギャップ以外のカバーガラスの周囲に沿ったしみが形成される。このしみを分析すると試料の構成物が分離されているこ

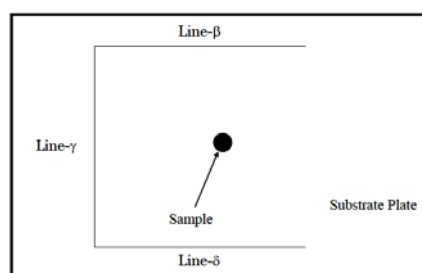


図3 液の気化後に形成されるしみ

とが見出された。例えば、図4は水 100cc に「イソジン」と「モンダミン」をそれぞれ2滴加え、よく攪拌した液をこの薄膜ポンプで駆動させ現れたしみを顕微赤外分光で分析した結果である。図3で表記した Line-βと Line-δの位置にはイソジンの成分のポリビニルピロリドンが現れているが、Line-γに近づくにつれてモンダミンの主成分であるグリセリンも混ざって現れていることがわかる。分離が不十分のところもあるが分光分析は差スペクトルを計算できるメリットがあり、混合領域が現れても計算で分離を進めることが可能であることから、本手法を我々の目指す食品分析に利用することを考えた⁵⁾。

しかしながら、本現象に関してはこれまで報告がなく、現象の解明が今後の分離向上を目指すうえで重要である。

2.2 実験

現象を理解するために用いた溶液はエタノール 100ml, ステアリン酸 4.2mg, ドデシル硫酸ナトリウム 3.7mg, グリセリン 4.5mg である。以下この溶液を「溶液 A」と呼ぶことにする。これを薄膜ポンプで導入して基板に残る成分を分析した。なお、本現象で溶質成分が現れることは吸着であると予想されることから、それぞれの物質の表面張力を調べるとグリセリンで 0.063N/m³⁾、ドデシル硫酸ナトリウムで 0.050N/m⁶⁾、ステアリン酸で 0.033N/m⁷⁾であっ

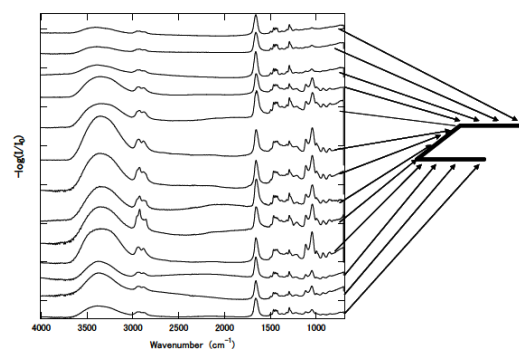


図4 「イソジン」と「モンダミン」で形成されるしみの赤外分析の分布

た。溶解度の違いによる析出である可能性も考えられるのであるが、水への溶解度が極めて高いグルコースをわずかに水に溶かし薄膜ポンプで本実験を行うと、Line-β、Line-γ、Line-δのそれぞれにしみが現れた。本現象が析出だとしたら、溶解度の高い物質の場合はLine-γのみにしか現れないと予想されるが、このような実験事実からしみが現れる主な効果は吸着によるものであると考えられる。なお、応用としては市販のサプリメントである「ブルーベリーエキス」の組成物を調べた。これは色素が入っているため、流体の流れを観察するためにも利用することができる。

2.3 結果と考察

図5には溶液Aを18mm角のシリコンコートカバーガラス（シリコンコートの場合には液の流動速度が遅くなる）で薄膜ポンプを駆動した場合にできるしみの顕微鏡画像と赤外スペクトルを示した。aの部位ではステアリン酸のみが検出されている。bの部位ではステアリン酸とドデシル硫酸ナトリウムとグリセリンが認められる。cではグリセリン比率が高くなっている。一方、Line-γ上ではdの位置でほとんどグリセリンであるのに対してeの位置ではステアリン酸も混ざってくる傾向が認められる。なお、Line-βと等価なLine-δの結果は省略した。

図6は22mm×54mmの長さの長いシリコンコートでないカバーガラスを用いた場合の結果

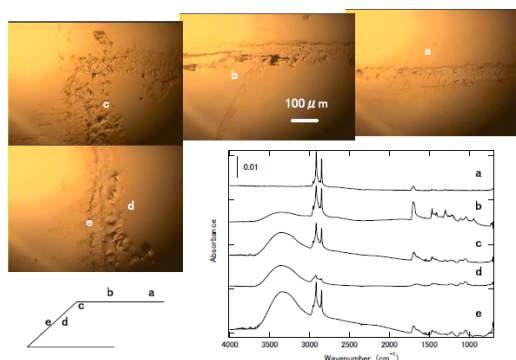


図5 「溶液A」の分離実験結果1

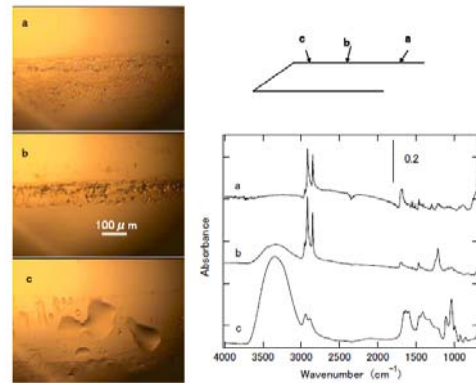


図6 「溶液A」の分離実験結果2

果を示した。この場合は長さが長かったためかLine-γ上にはあまりしみが残らなかったが、Line-β上に残ったしみは顕微鏡で観察しても明らかに異なるものであることが分かる。aの部位ではステアリン酸が、bの部位ではドデシル硫酸ナトリウムが、cの部位ではグリセリンが認められた。図5の実験では分離は不十分ではあったが、Line-β上での並び方が（ギャップ厚さの大きい方向から）表面張力の小さい物質から大きい物質になっているという図6の結果とほぼ合致している。一方、Line-γではギャップ厚さの大きい方向から小さい方向へむしろ逆で表面張力の大きい物質から小さい物質へと並んでいるように思われる。

物質の物理吸着はDefayによって示されるように図7の吸着核を考えると、臨界核形成の表面エネルギーを ΔF_g として以下の式によって与えられる⁸⁾。

$$J = c_{11} w v_1 \sqrt{(s \sigma^{\alpha\gamma} / \pi k T)} \cdot \exp[-(\Delta F_g / k T)]$$

$$\Delta F_g = 2 / 3 \sigma^{\alpha\gamma} \pi r_{\alpha\gamma}^2 (1 - \cos \phi - 1 / 2 \cos \phi \sin 2 \phi)$$

なお、ここでJは吸着核形成割合で、 c_{11} は単位体積あたりの核種の分子密度、wは単位時間、単位面積当たりのエンブリオ（核になる前の初期段階）との衝突分子数、 v_1 は核形成する種類の分子当たりの体積、sは形状因子、kはボルツマン定数で、Tは温度である。なお、図中の $\sigma^{\alpha\gamma}$ は相αとγの界面張力であり、 $r_{\alpha\gamma}$ は相αと

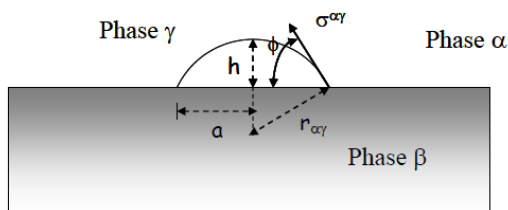


図 7 吸着核の模式図

γ の間の核によって作られる局面の曲率半径である。また、 ϕ は接触角である。今の系では α は溶液で、 β は基板、 γ は核である。以上のように物質の吸着はそれぞれの吸着核の界面張力と接触角に依存することがわかる。

しかし、カバーガラスのエッジに沿って吸着が起こる理由が理解できない。そこで、色素の入ったブルーベリーエキスをを用いて流動過程を追跡した。結果を図8に示した。Aは中央にサンプルを置いてカバーガラスをかけ溶媒のエタノールを導入した直後の画像である。右側がギャップ厚さの最も大きい領域で、左側が最も小さい領域である。液は右から左にかけて押されていく。B→C→Dとなるにつれて溶媒中に拡散した色素が押されていく様子が観察される。しかし、液面がEのサンプルを通りすぎる位置くらいから横方向への拡散も大きくなり最終的には平均化されてLine- γ の方へ押されていくことが分かる。ここで、特徴的なのはCの位置での現象で、液面が試料から1-2mm程度まで近づいてくると、右から左ではなく左から右への逆流現象が観察されることである。この様子を拡大した画像をHに示してある。赤い色素が先端を細くして液面に接触するのが観察される。液面に接触するとかなり速い動きで色素成分が液と大気の境界領域をカバーガラスの周囲に沿いながら流動していく。これは「界面かく乱」という現象で、液/大気の界面を不純物成分がマランゴニ流によって移動することを示している^{9,10}。マランゴニ流は物質の界面張力勾配や温度勾配が界面で存在すると、界面張力の低い方（溶質濃度の高い方）から高い方

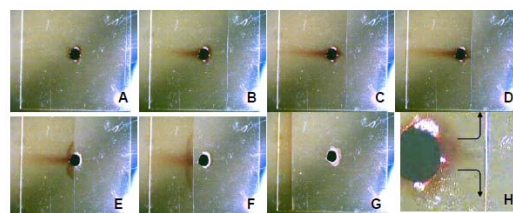


図 8 ブルーベリーエキスの流動

（溶質濃度の低い方）へ、温度の高い方から低い方へ界面流動が発生する現象である。したがって、拡散した物質がLine- α （図1参照）に接するとその点で界面張力が低くなり、その周辺での界面張力が高いため、物質はLine- α →Line- β （Line- δ ）→Line- γ と流動していくことになる。したがって、拡散物質はどんどん界面領域に流れ込んで移動していつてしまうことになる。さらに、Line- γ では溶媒の気化が激しいので、潜熱を奪われてLine- γ 上で最も温度が下がり、結局マランゴニ効果を増幅させることになる。これがカバーガラス周辺にしみを作るための駆動力であると考えられる。なお、界面かく乱が発生するまでの試料からの拡散成分が逆流していく初期の駆動力はLine- α 上で少し発生している溶媒の気化による温度勾配ゆらぎであろうと思われる。バルク流体中での温度勾配は物質勾配を誘起し、物質勾配がさらに温度勾配を誘起することが知られている¹¹。

以上の事実と吸着種の部位の違いをル・シャトリエの原理から考察してみる¹²。マランゴニ流は表面張力勾配および温度勾配によって発生している非平衡流であると考えられる。したがって、系は表面張力勾配や温度勾配をなくすることで非平衡流を緩和する方向に変化していくはずである。すなわち、Line- α に近いLine- β 領域では表面張力の小さい物質を基板に吸着させることによって溶液の表面張力を大きくし、Line- γ に近いLine- β 領域では表面張力の大きい物質を基板に吸着させることで溶液の表面張力を小さくしてマランゴニ流を緩和させると考えられる。ル・シャトリエの原理によって表面張

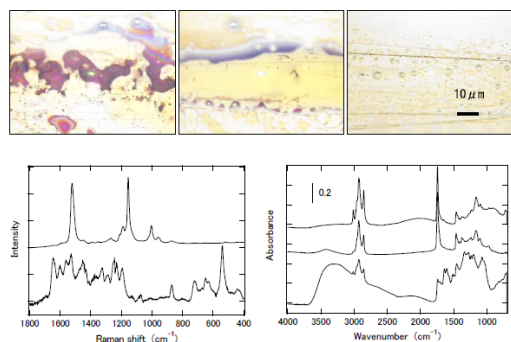


図9 ブルーベリーエキスの分離分析結果

力の異なる物質が異なる位置に吸着して分離することができていると考えられる。

Line- γ 上ではカバーガラスと基板の間の液が毛管現象の中で押されていく最終段階で形成されるしみである。すなわちカバーガラスおよび基板の抵抗を受けながら流動していくポワズイユ流である。しかし、ギャップ厚が次第に狭くなっていくため表面張力の大きい物質ではそこを通過していくための抵抗が大きくなり通過しにくくなる。一方、表面張力の小さい物質はギャップ厚さが小さくても通り抜けることが可能である。したがって、Line- γ 上ではギャップ厚の大きい方からグリセリンのような表面張力の大きい物質が現れ、ギャップ厚が小さい領域でステアリン酸のような小さい物質が現れるのだと考えられる。以上より、Line- β (Line- δ) で並ぶ物質と Line- γ 上での物質の並び方は本質的に異なる流動現象が起源であり、マランゴニ流とポワズイユ流が連続して起こる Line- γ 上では分離成分のミキシングも再び起こる可能性があると考えられる。しかしながら、これらの流動現象を利用することで、チップ上で簡便に分離を起こさせることができる。

2.4 応用

以上のメカニズムを用いて今後多くの試料の分析に適用してみる予定であるが、ここでは先に述べた「ブルーベリーエキス」を分析した例を紹介する。

図9には本手法にてブルーベリーエキスの

分離を行った結果を示した。Line- β 上に現れる組成物を顕微鏡で観察した結果が上の画像である。明らかに、部位によって異なった成分が現れているのが見えている。それぞれの成分をラマン分光および赤外分光によって分析した結果を図下に示している。下の左がラマン分析の結果で、右が赤外分析の結果である。赤外分析の結果から油脂成分のトリグリセリドが認められる。そのトリグリセリドも不飽和結合の多い植物性油脂と不飽和結合の少ない動物性油脂の2種類存在していることが分かる。また、紫色の部分からはグリセリンとアントシアニンが検出された。一方、ラマン分光分析からは黄色部分からカロテノイドが検出され紫色の部分からはアントシアニンが検出された。以上より、本手法によってブルーベリーエキスの主要構成物はほとんど検出することができていることがわかる。

3. 結 言

食品分析に応用するための全く新しい分離分析法を開発した。それはマランゴニ流とポワズイユ流による自己組織化現象を利用するものである。これによって、数 cm 角のチップ上で分離を行い、多様な分析が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) J. C. Giddings, Dynamic of Chromatography Part1 Principles and Theory, Marcel Dekker, New York, 1965.
- 2) M. A. Northrup, K. F. Jensen and D. J. Harrison eds., Micro Total Analysis System 2003, Transducers Research Foundation (2003).
- 3) P. G. de Gennes, F. Brochard-Wyart, D. Quere, Capillarity and Wetting Phenomena Drops, Bubbles, Pearls, Waves, Springer, New York, 2004.
- 4) D. Khrustalev and A. Faghi, "Fluid Flow Effects in Evaporation From Liquid Vapor Meniscus", J.Heat Transfer, 118 ,1996, 725.

- 5) 特願 2008-40595 「試料成分の分離方法及び分析方法」
- 6) K. J. Mysels, *Langmuir*, 2 ,1986, 423.
- 7) Catalogue from Mitsubishi-kagaku Foods corporation,
<http://mfc.co.jp/english/s1570.htm>
- 8) R. Defay, I. Prigogine, with the collaboration of A. Bellemans, *Surface Tension and Adsorption*, Longmans, London, 1966.
- 9) C.V.Sternling and L.E.Scriven, "Interfacial Turbulence:Hydrodynamic Instability and the Marangoni Effect", *AIChE J.* 5 ,1959, 514.
- 10) Y. Nakaike, Y. Tadeumi, T. Sato, and K. Fujinawa, "An optical study of interfacial turbulence in a liquid-liquid system", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 14 ,1971, 1951.
- 11) L.Landau and E.Lifshitz, *Fluid Mechanics* 2nd edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1987.
- 12) I. Prigogine and R. Defay, *Chemical Thermodynamics*,Longmans,London,1954.

政 策 型 受 託 研 究

フェライト系ステンレス鋼の温間絞り加工技術 (誘導加熱用鍋釜の軽量化に関する要素技術開発研究)

山崎 栄一*, 杉井 伸吾*, 田村 信*, 白川 正登*

Warm Press Forming of Ferritic Stainless Steels

YAMAZAKI Eiichi , SUGII Shingo, TAMURA Makoto and SHIRAKAWA Masato

抄 録

耐食性に富む高 Cr フェライト系ステンレス鋼のプレス加工技術開発に取り組み、素材の機械的性質の温度依存性を調べるとともに温間絞り加工の適応を試み、成形性が向上することを示した。加えて、摩擦試験により温間絞り加工に適した金型材料や潤滑剤を調べた結果、金型材料に関係なくプレコートタイプの潤滑剤が PTFE シートと同程度の良好な摩擦係数を示した。

1. 緒 言

IH 調理機器用素材として電磁誘導性に優れているフェライト系ステンレス鋼は、若干耐食性が劣るため多くの場合、クラッド鋼として利用されている。一方、最近では各鉄鋼メーカーともオーステナイト系ステンレス鋼に匹敵する耐食性を有する高 Cr フェライト系ステンレス鋼を開発¹⁾しており、一気に課題が解決される可能性が出てきた。

時期同じくして、ニッケル高騰によりオーステナイト系ステンレス鋼代替材としてフェライト系ステンレス鋼への期待が高まっている中、市場性、流通性のある高 Cr フェライト系ステンレス鋼 (16Cr-Ti, 19Cr, 19Cr-2Mo, 21Cr) について、温間絞り加工を中心にプレス加工技術の開発を行い、成形性向上とともに摩擦係数という観点から良好な金型材料、潤滑剤について調べたので報告する。

2. 温間絞り加工の適用と効果

オーステナイト系ステンレス鋼では、絞り加工の際に加熱しながら成形を行う「温間絞り加工」

により成形限界の向上、および加工誘起マルテンサイト変態を抑制する効果が知られており²⁾、当県燕・三条地域では広く普及している。そこで、先述のフェライト系ステンレス鋼 4 種について、機械的性質の温度依存性を調べるとともに、温間絞り加工試験を行い、SUS430 (代表的なフェライト系ステンレス鋼)、SUS304 (代表的なオーステナイトステンレス鋼) と比較しながら成形性について調べた。

2.1 試験方法

供試材の化学成分を表 1 に示す。なお、比較材として SUS430, SUS304 を用いた。表 2 に JIS G 0551 に準じて測定したフェライト結晶粒の粒度を示す。粒度番号が大きくなるほど、微細な結晶粒となる。図 1 に、例として 16Cr-Ti (結晶粒度 9.2) と 19Cr-2Mo (結晶粒度 7.0) の金属組織を示す。

引張試験は、素材圧延方向に JIS Z 2201 による 13B 号試験片を採取し、精密万能試験機 (島津製

* 研究開発センター

表 1 供試材の化学成分

(mass%)

材 種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Ti	Nb	N
16Cr-Ti	0.002	0.03	0.06	0.015	0.003	0.09	15.99	0.02	<0.01	0.16	-	0.008
19Cr	0.013	0.52	0.14	0.022	<0.001	0.28	18.95	0.03	0.44	0.10	0.39	0.013
19Cr-2Mo	0.004	0.17	0.13	0.029	<0.001	0.11	18.98	1.84	0.02	0.10	0.18	0.012
21Cr	0.009	0.17	0.23	0.027	0.002	0.26	20.38	0.04	0.42	0.28	-	0.008

表 2 供試材と結晶粒度

材種	結晶粒度
16Cr-Ti	9.2
19Cr	9.0
19Cr-2Mo	7.0
21Cr	9.0

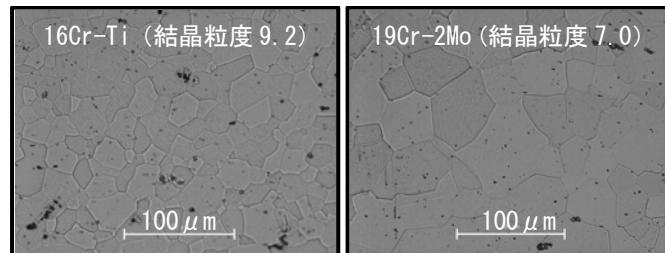


図 1 供試材の金属組織

作所製 AG-250KNI) により行った。試験条件は初期クロスヘッド速度を 5mm/min とし、ひずみ 5%以降は 10mm/min とした。試験温度は常温、100℃、150℃で行った。

深絞り成形性の評価は、円筒深絞り試験にて行った。金型温度を常温～150℃に変化させ、絞り比 (DR : drawing ratio) を 0.1 刻みに変化させ、破断の有無をもって限界絞り比 (LDR : limit drawing ratio) を求めた (図 2)。円筒深絞り試験用金型のサイズを表 3 に示す。また、深絞り試験の潤滑剤として PTFE シート (厚さ 0.05mm) を用いた。なお絞り試験にはアミノ製塑性加工万能試験機 (インナー1274kN, アウター686kN) を使用した。

張出し性の評価は JIS Z 2247 エリクセン試験方法に準じて行い、パンチ側のみ潤滑剤として PTFE シート (厚さ 0.05mm) を用い、試験温度を常温、100℃、150℃とした。(図 3)

2.2 試験結果

図 4 に引張試験より測定した各種板素材の圧延方向の機械的性質を示す。引張強さおよび 0.2%耐力は、試験温度が高いほど低くなる傾向を示し、引張強さは 150℃で常温に対して 10～12%程度、耐力は 15～21%程度低下する。n 値^(※1) は試験温

表 3 円筒絞り金型

金型材質	SKD11 (硬質クロムメッキ処理)
パンチ径, 肩 r	40mm, 3.8mm
ダイス径, 肩 r	42.1mm, 3mm

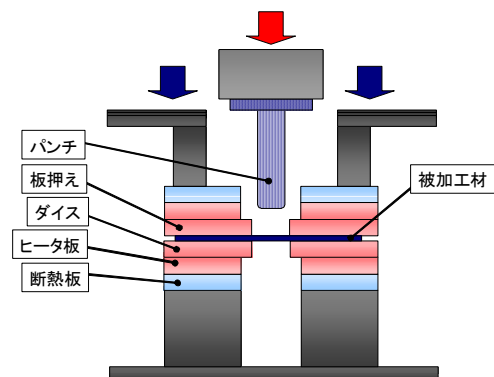


図 2 温間絞り金型の概要

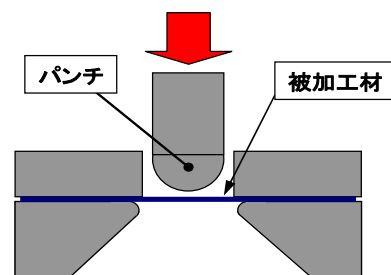
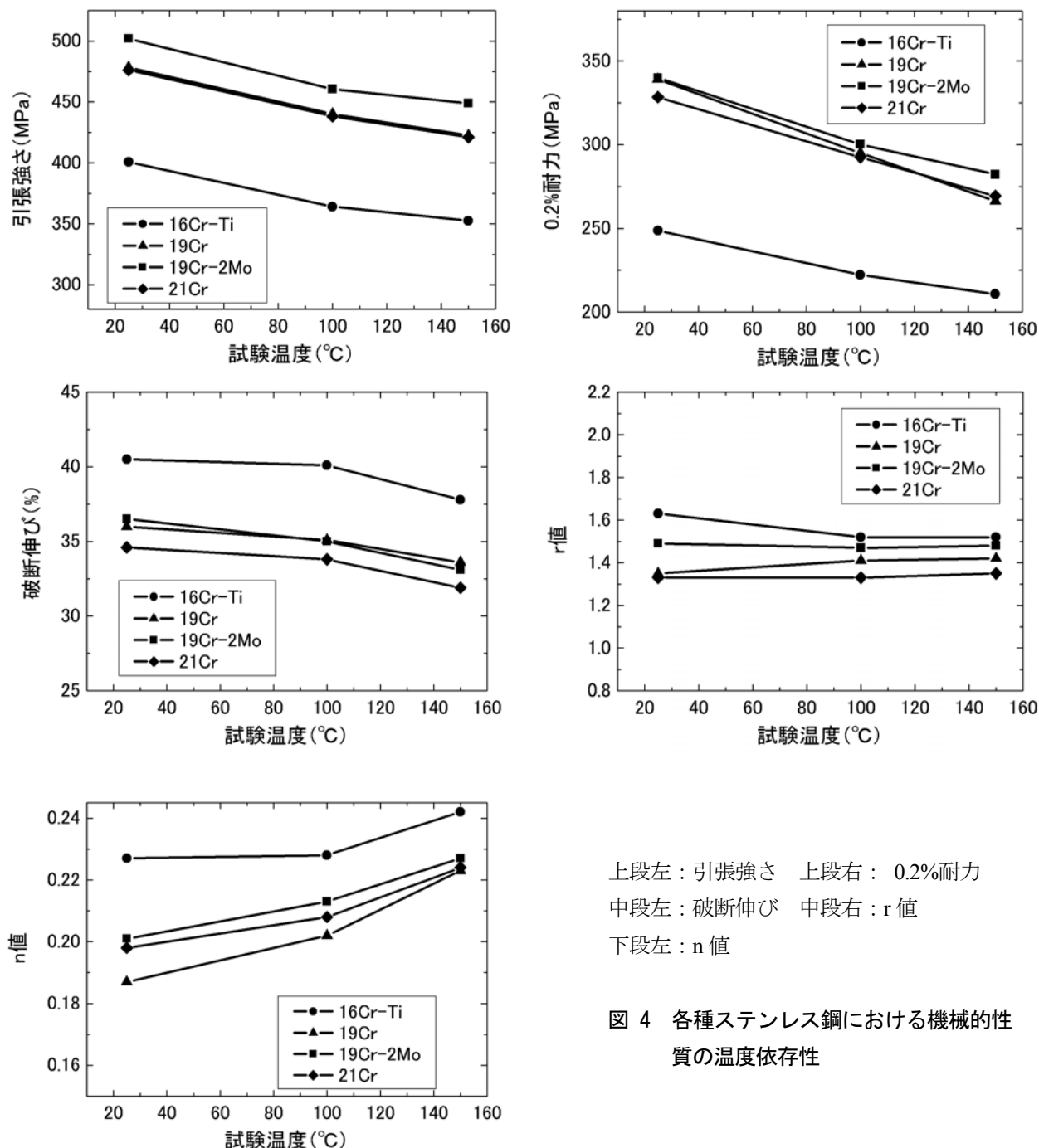


図 3 エリクセン試験金型の概要

度が高いほど高くなる。r 値^(※2)について温度依存性はみられないものの、従来のフェライト系ステンレス鋼 SUS430 (r 値：約 1.0) に比べると大

きな値を示した。材料別には 21Cr, 19Cr および 19Cr-2Mo の引張強さ、0.2%耐力、破断伸びは同等であるのに対して、16Cr-Ti はそれらと比較して強



上段左：引張強さ 上段右：0.2%耐力
中段左：破断伸び 中段右：r 値
下段左：n 値

図 4 各種ステンレス鋼における機械的性質の温度依存性

※1 n 値：(加工硬化指数) 真応力 σ と対数伸び e との関係を $\sigma A = Ce^n$ で近似したときの n の値。
一般的には、n 値が大きいほど張出し成形性が良好とされている。

※2 r 値 (ランクフォード値) 単軸引張変形を与えたときの板厚ひずみ (ϵ_t) に対する板幅ひずみ (ϵ_w) の比。一般的には、r 値が大きいほど深絞り成形性が良好とされている。

度が低く、破断伸びおよび n 値が大きく延性の高い材料である。

図 5 に各鋼種の常温成形，およびダイス温度 100°C ，パンチ温度 0°C の温間絞り加工における深絞り成形性を示す。フェライト系 4 鋼種は常温における限界絞り比は 2.2 であり，成形性に相違は認められないが，SUS430，SUS304 に対して高い成形性を示した。温間絞りの効果は各鋼種に認められ，とくに 19Cr の限界絞り比については常温の LDR2.2 に対して， 100°C では LDR2.6 と向上する。図 6 に，一例として 21Cr の成形品外観を示す。

図 7 に絞り荷重-ストローク線図を示す。常温成形に比べ温間絞りでは絞り加工に要する荷重が減少し，成形性向上に加え，金型への負担を軽減す

るなどの効果も期待できる。

金属材料の張出し性の指標であるエリクセン試験の結果を図 8 に示す。フェライト系ステンレス鋼 4 種はエリクセン値に大きな差が無く，張出し性は同等と思われる。また SUS430 よりも大きく SUS304 には劣る結果を示した。フェライト系ステンレス鋼は SUS304 に比べ一般的に n 値が小さく，破断伸びが小さいためである。温間での試験においてエリクセン値の向上は認められなかった。

一方，各種フェライト系ステンレス鋼を用いて絞り加工や張出し成形を行った場合，SUS304 に比べ表面状態が悪く（リジング，肌荒れの発生）なり，素材および加工技術からの改善策を考える必要がある。

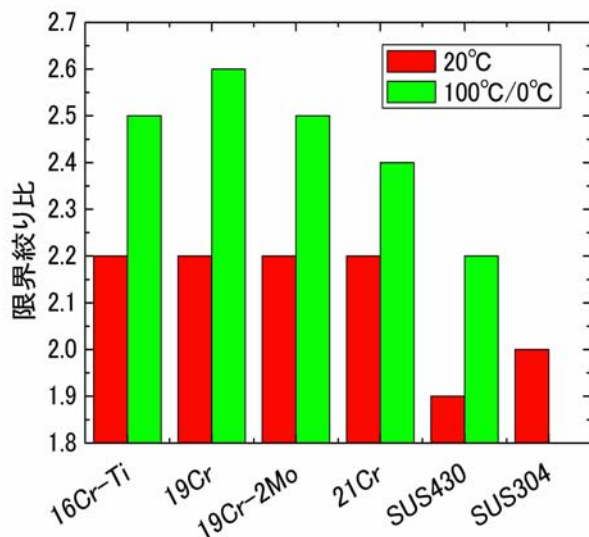


図 5 各鋼種の温間円筒深絞り成形性

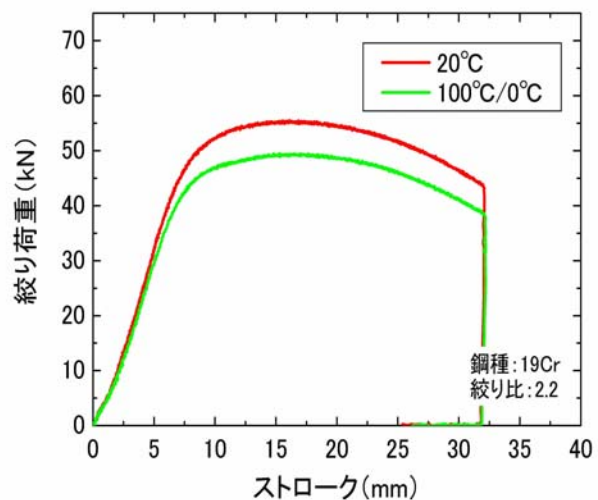


図 7 荷重-ストローク線図



図 6 円筒深絞り成形品外観 (21Cr の例)

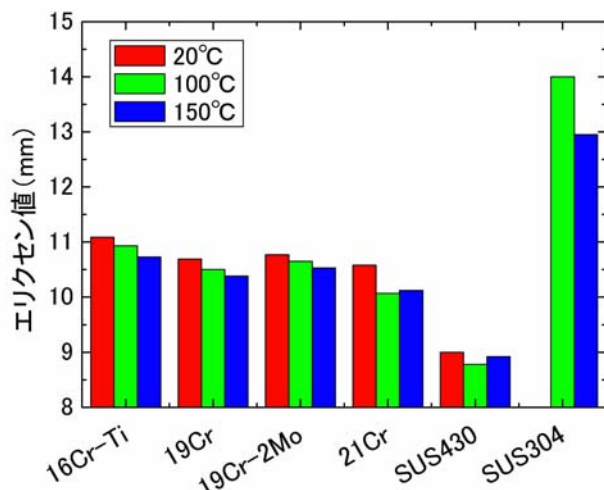


図 8 各鋼種のエリクセン試験結果

3. 温間絞り加工用潤滑剤と金型材料

フェライト系ステンレス鋼の温間絞り加工に適した潤滑剤や金型材料について調べるため、潤滑剤と金型材料の各種組み合わせによる摩擦係数の測定を行った。

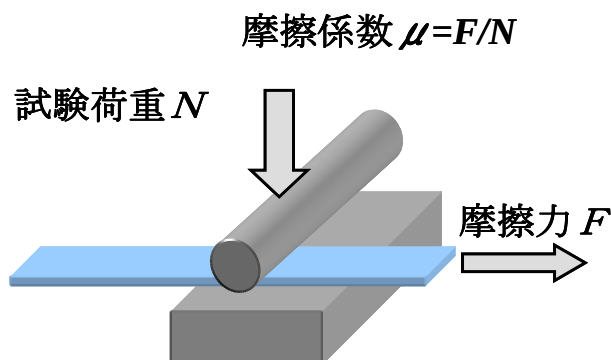
3.1 潤滑剤と摩擦係数

フェライト系ステンレス鋼のうち、19Cr材に対して潤滑剤を変えて、摩擦係数を測定した。測定方法は、図9に示すように平板状の試料に潤滑剤を塗布した後、上下金型により一定の荷重で挟み、引き抜く際の挟む力と摩擦力の関係から摩擦係数を求めた。この際、金型の一方は平面、もう一方は円筒面とし、線接触に近い状態で試験する構造である。また、金型をヒータにより加熱し、温間加工時の特性を調べることができる。用いた金型材料はダイス鋼にTiCコーティングを施したもの

である。

試験に供した潤滑剤は、いずれも日本工作油㈱製で、油性1種類、水溶性のプレコートタイプ3種類とした。それぞれの特徴を表4に示す。また、温間絞り加工時における比較潤滑剤としてPTFEシート（厚さ0.05mm）を用いた。

測定の結果を図10に示す。油性のG-755BM+G-6030Mは、常温、100℃（温間絞り加工時）ともバラツキが少なく安定しているものの、摩擦係数はプレコートタイプに比べて高い値を示した。プレコートタイプでは、G-2576Wが常温、100℃（温間絞り加工時）ともに安定して低い値を示し、PTFEシートと同等のレベルである。G-2578Tについては100℃（温間絞り加工時）でPTFEシートと同程度であるが、常温での値が大きく、しかもバラツキも見られることから塗布と乾燥状態の管理に注意が必要と考えられる。



被加工材	19Cr（0.8t×12.5w）
金 型	SKD11+TiCコーティング R15／平面
試験温度	常温 ， 100℃
試験荷重	100 kgf
試験速度	2.5 mm/sec

図9 摩擦係数測定方法と試験条件

表4 試験した潤滑剤の特徴

名 称	種 別	特 徴
G-755BM+G-6030M （比率1：1）	油性	G-755BMは高粘度の塩素系プレス工作油。キズ抑制および耐焼付き性に優れ、ステンレスのしごき加工に適する。 G-6030Mは低粘度の塩素系プレス工作油。G-755BMの希釈油として使用される他、単体ではSUSパネ材の薄板順送加工等に使用される。
G-2578T	水溶性プレコート	チタン1種，2種用冷・温間絞り用。加工後，水洗で容易に除去可能。
X-2460	水溶性プレコート	ステンレス，チタン，マグネシウム用。ステンレスおよびチタンの温間加工，冷間加工に適応。マグネシウムの温間加工に使用可能。
G-2576W	水溶性プレコート	ステンレスおよびチタンの温間，冷間での絞り加工に適応。加工後，水洗で容易に除去可能。

3.2 金型材料と摩擦係数

潤滑剤と同様に、金型材についても 19Cr 材を対象として、摩擦係数を測定した。供した金型材は SKD11+TiC コーティング、窒化粉末高速度鋼 (KHA)、銅基合金 (HZ) の 3 種である。KHA 材は SKD11+TiC コーティングに比べ高硬度で耐久性があるとされ、逆に、HZ 材は硬度、耐久性は低いものの、表面の焼付きやキズが付きにくいことを特徴とする金型材料である。摩擦試験は、常温で行い、潤滑剤は前項の試験結果から比較的安定していた油性の G-755BM+G-6030M とプレコートタイプの G-2576W を用いた。試験条件を表 5 に示す。

測定した摩擦係数の結果を図 11 に示す。金型材を変えても潤滑剤が同じ場合には、摩擦係数はほぼ同等であり、金型材による摩擦係数の変化はみられない。また、3 種の金型材に対して、プレコートタイプ G-2576W が、良好な値を示した。

3.3 摩擦係数と成形性

つぎに、測定した摩擦係数と実際の成形性の関係について調べた。図 12 に、角筒絞り試験 (角筒パンチサイズ: 50×50, 被加工材: 19Cr 材) を題材に、摩擦係数と成形性の関係を示す。用いた潤滑剤は、油性潤滑剤 G-755BM+G-6030M、プレコート潤滑剤 G-2576W および PTFE シート (厚さ 0.05mm) である。図中、たて軸の限界周長比 (円形ブランク周長/角筒パンチの周長) は角筒絞りの成形性を表す指標であり、円筒絞り試験の限界絞り比に相応する値である。

G-2576W や PTFE シートに比べ摩擦係数が高い G-755BM+G-6030M は、限界周長比が低く、成形性に乏しい。しかしながら、G-2576W や PTFE シートの場合には、摩擦係数が小さく、しかも良好な成形性を示すことから、摩擦係数の大小と成形性には強い関係があることがわかる。

また、フェライト系ステンレス鋼の利用が盛んになる中、型接触による凝着、表面のキズ対策が産業界において重要な課題であり、これら解決に向けた潤滑剤や金型材、表面処理等に関する研究が今後必要と考える。

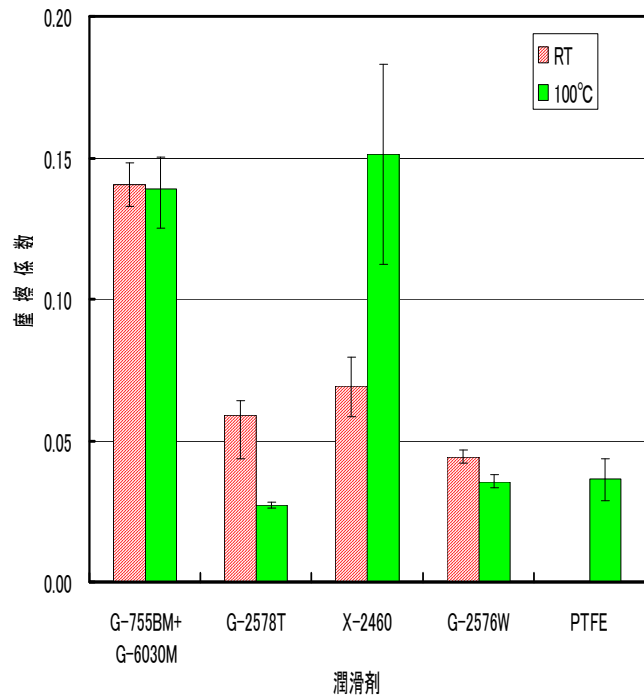


図 10 各種潤滑剤の摩擦係数

表 5 金型材評価試験条件

被加工材	19Cr材 (t0.8mm×w12.5mm)
金型材料 (R15/平面)	- SKD11+TiCコーティング - KAH (窒化粉末ハイス) - HZ (銅基合金)
潤滑剤	- G-755BM + G-6030M - G-2576W
試験温度	常温
試験荷重	約 100 kgf
試験速度	約 2.5 mm/sec

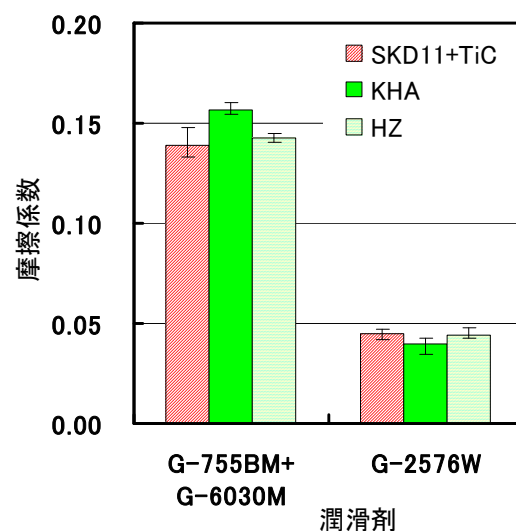


図 11 各種金型材の摩擦係数

4. 結 言

高Crフェライト系ステンレス鋼(16Cr-Ti, 19Cr, 19Cr-2Mo, 21Cr)の成形性, および温間絞り加工に適用できる潤滑剤と金型材料について調べ, つぎの結果を得た。

- (1)常温での深絞り成形性は, 代表的なステンレス鋼 SUS430 や SUS304 より優れている。加えて, 温間絞り加工の適用により, 成形性向上が可能である。
- (2)張出し成形性は, SUS430 よりも優れているものの, SUS304 には及ばず, 温間絞り加工を適用しても成形性向上は困難である。
- (3)潤滑剤において, 水溶性プレコートタイプ潤滑剤の中には, PTFE シートと同等の潤滑性を示すものがある。
- (4)摩擦係数は, 金型材料によらず潤滑剤の影響を強く受け, 本研究において金型材料は成形限界に大きく影響しないものと考える。

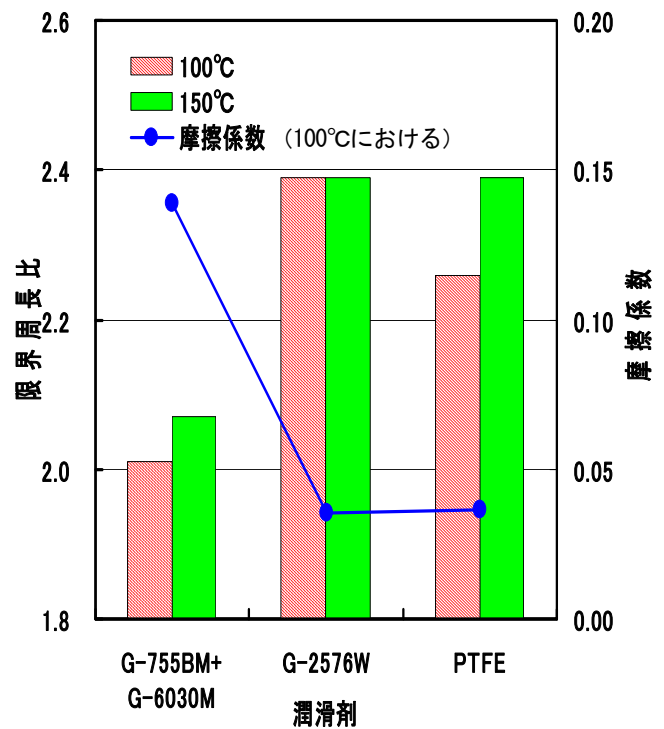


図 12 摩擦係数と成形性

参考文献

- 1) 野原清彦, “ステンレス鋼薄板の原価低減への取組みとプレス加工技術”, プレス技術, 45, 15, 2007, p.18-31
- 2) 渡部 豊臣, “ステンレス鋼板の温間絞り加工法”, 塑性と加工, 33, 375, 1992, p.396-403

プラスチック製機能部品のナノレベル成形技術 に関する調査研究

佐藤 健* 宮口 孝司* 斎藤 博*

Study on Fine Molding Technology of Functional Components made of Thermoplastic Resin

SATO Takeshi*, MIYAGUCHI Takashi* and SAITO Hiroshi*

1. 緒 言

電子機器、光通信、医療機器などのさまざまな分野でエンジニアリングプラスチック（エンプラ）の成形部品が多用されている。携帯電話の例などでもわかるように、製品の小型化、高機能化は年々進展し、これらに使用されるエンプラ成形部品にも微細な形状や複雑な形状が付与され、より機能性を高めたかたちで利用拡大が進んでいる。

これらの部品には、微細形状を付与した金型加工技術、その形状を樹脂に成形する技術が必要であり、当研究所においても、昨年度までに、シリコン基板上に成膜や微細形状を形成してデバイスを作製する MEMS 技術、ナノレベル形状を樹脂に転写するナノインプリント技術について調査、研究を行ってきた^{1),2)}。

このような背景から、本研究では、

- ① 高機能エンプラ部品の応用製品調査
- ② 微細形状付与金型の製造技術調査
- ③ 製造技術に関する試作実験

などの項目についてさらに調査を進めた。その結果、射出成形の分野においても、樹脂に微細形状を付与する必要性が高まっていることがわかった。

本調査研究では、従来の機械加工では作製困難な微細形状を有している、液晶バックライト用導光板について、MEMS 技術を利用した金型マスターの作製と、これをもとにした電鋳スタンパの作製を行い、さらに射出成形実験を行った。

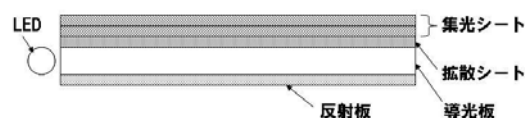


図1 液晶用バックライトの基本構造

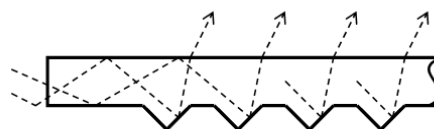


図2 導光板断面の例

本技術レターでは、主にこの試作実験の内容について報告する。

2. 液晶バックライト用導光板の試作

2.1 導光板の概要

導光板とは、液晶ディスプレイ用バックライトを構成する部品の一つである。

図1は、サイドライト方式のバックライトの基本構造である。導光板は、サイドにある光源から入射した光を観察方向に面発光させる役目を担っている。このため、光線を90°に偏角すること、さらに輝度や面内均一性を高めるために、表面に図2に示すような突起や窪みなどを形成してある。

この微細形状は、主にスクリーン印刷や金型を用いた成形によって形成されているが、印刷用スクリーン版や機械加工では、微細さに限界がある。

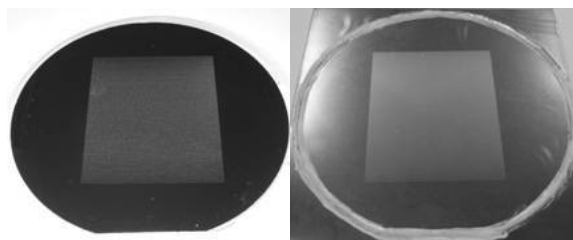
* 研究開発センター
レーザー・ナノテク研究室

その一方で、MEMS 技術を利用したシリコンの加工プロセスでは、 μm 以下オーダーの形状であっても容易に形成でき、非常に多くの数であっても所望の位置に配置できるという利点があるため、試作を検討することにした。

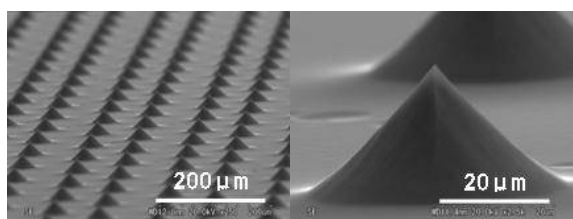
2.2 微細突起の形成と射出成形

シリコン基板表面に底面 $\phi 50\mu\text{m}$ 、高さ $30\mu\text{m}$ の円錐形状を目標に、微細な突起の形成を検討した。

4 インチシリコンウェーハに東京応化製フォトレジスト OFPR800 を厚さ $2\mu\text{m}$ で塗布し、フォトリソを用いて、対角長さ 3 インチのエリアに $\phi 65\mu\text{m}$ の円形マスクを、ピッチ $90\sim 250\mu\text{m}$ で、エリア内で密度の濃淡があるように形成した。これを住友精密製ドライエッチング装置 MUC21 を使用し、 SF_6 、 C_4F_8 、 O_2 のガスをチャンバー内に導入してエッチングを行った。ここで 3 種類のガスを用いたのは、等方性エッチングのガスである SF_6 、 O_2 を用いた場合に比べ、突起の斜面に直線的なテーパを施し、より円錐に近い形状を作製するためである。



(a) Si ウェーハ (b) Ni スタンパ
図 3 試作した基板



(a) 突起全体 (b) 突起の拡大写真
図 4 突起形状（テーパエッチング）

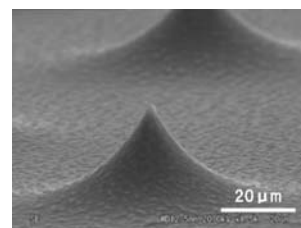


図 5 突起形状（等方性）

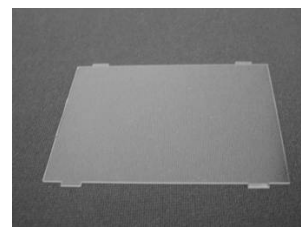
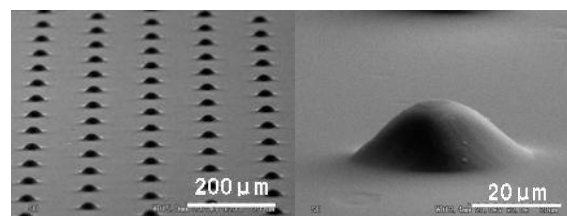


図 6 成形品外観



(a) 突起全体 (b) 突起の拡大写真
図 7 成形した突起形状

図 3(a)に加工したシリコンウェーハ、(b)にこれをマスターとして、電铸により作製した厚さ 0.5mm のニッケルスタンパを示す。基板中央部の四角のエリアが微細形状を形成してある領域で、(a)は凸状、(b)は凹状である。

図 4(a)、(b)は、 SF_6 、 C_4F_8 、 O_2 ガスでシリコンに形成した突起を倍率を変えて観察したものであり、図 5 に示した等方性エッチングで形成した突起に比べ、斜面の傾斜部が丸みを帯びていないことがわかる。

図 3(b)のスタンパを用いて、(株)ニイガタマシンテクノの協力を得て射出成形を行った。成形装置には、当社製 MD50XHP-AP を使用し、成形樹脂には、ポリカーボネート（出光興産製タフロン LC1500）を用いた。

図 6 は、成形した厚さ 0.4mm の 3 インチ導光板であり、図 7(a)、(b)はこの導光板に成形された突起の形状を倍率を変えて SEM で観察したものである。スタンパの凹部は、図 4(b)の

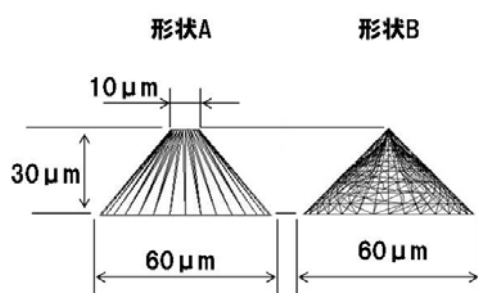


図 8 突起の形状

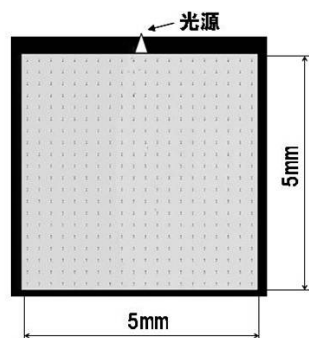


図 9 突起の配置

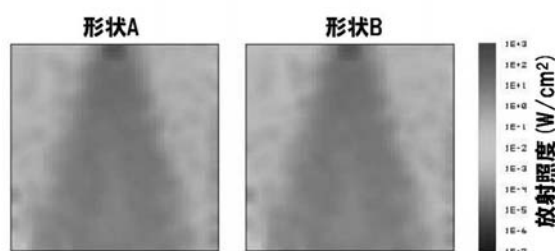


図 10 放射照度分布

形状が転写されているため、最深部が非常に狭くなっている。このため、樹脂の入り込みが困難であり、突起の先端が丸みを帯びた形状となった。

2.3 光学特性のシミュレーション

前項で作製した突起形状の光学特性のシミュレーションを行った。

射出成形実験の結果では、スタンプ最深部への樹脂の入り込みが不十分であったので、突起先端部の形状が光学特性に影響を与えるか否かを調べるのが目的である。

図 8 に示すように先端部が平坦な形状 A、先鋭な形状 B について、シミュレーションソフト ZEMAX を使用して計算した。この突起を図 9 に示すように、 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ のエリアの中に $250\mu\text{m}$ ピッチで配置し、端部中央から点光源で光を入射した場合の面方向の放射照度密度を示した。

図 10 に示すように、光源からの出射した光が突起によって散乱された結果生じる放射照度分布には、大きな差異が認められなかった。シミュレーション結果からは、先端部のとがりの有無は、輝度に対して大きな影響はないといえる。

3. 結 言

- (1) ドライエッチングによりシリコンウェハを加工し、微細な円錐形状を形成することができた。このシリコンウェハをマスターとして、電鋳により射出成形用スタンプを作製した。
- (2) 上記のスタンプを用いて射出成形を行い、対角 3 インチの液晶バックライト用導光板を試作した。マスターでは先端の尖った形状を作製したが、射出成形では、先端の部分への樹脂の充填が困難で、丸みを帯びた形状となった。
- (3) ZEMAX を用いたシミュレーションにより、導光板に形成した突起の先端部の尖りの有無は輝度への影響が少ないことがわかった。

参考文献

- 1) 佐藤健，宮口孝司，坂井朋之，“MEMS プロセス技術の開発研究（第 3 報）”，工業技術研究報告書，36，2007，p.3-9
- 2) 山田昭博他，“ナノ材料と成形プロセスに関する調査研究”，工業技術研究報告書，36，2007，p.96-98

次世代工作機械に求められる高度要素技術に関する研究調査

石川 淳* 相田 収平* 木嶋 祐太* 樋口 智** 須藤 貴裕**
本田 崇** 片山 聡*** 宮口 弘明****

A Survey Report of Advanced Mechanical Components Technology for Next Generation Machine Tool

ISHIKAWA Atsushi*, AIDA Shuhei*, KIJIMA Yuta*, HIGUCHI Satoru**,
SUTOH Takahiro**, HONDA Takashi**, KATAYAMA Satoshi*** and MIYAGUCHI Hiroaki****

1. 緒 言

製造業における国際競争が高まる中、日本の工作機械業界においては高速、超精密、多軸・複合といった高付加価値をもたらすための新たな要素技術を取り入れた、次世代型ともいえるべき工作機械の開発が活発におこなわれている。

本研究調査では、新潟県における、こうした次世代工作機械の研究開発推進を目的として、県内メーカの競争力を強化維持する上で必要となる要素技術や生産技術について調査をおこなった。

2. 研究調査の内容

2.1 県内関連企業の調査

概して大型工作機械を特徴とする県内工作機械メーカにおいては、高精度化に対する発熱対策と機上ワーク計測を課題のひとつとして掲げるメーカが多い。熱対策については工作機械の永遠の課題であり、現状、熱電対に代わる適当なセンサが存在しないことから、熱変位を相殺するような構造設計技術やこれまでの経験的な設計を補完するためのシミュレーション技術の活用が必要であると考えている。

また、航空宇宙産業の進展が見込まれている

こともあり、多軸加工・複合加工技術についての必要性を感じているメーカもある。

工作機械を使用する側である、機械加工メーカを対象に、課題となる加工技術について調査をおこなった結果、高速切削、高硬度材切削、難削材切削、無人加工、5 軸加工、鏡面切削などが回答として目立った。

高硬度材切削については、工具メーカから最近 cBN 工具が盛んに製品化されてきていることもあり、これまで困難であった 60HRC 以上の鋼材加工に対しての可能性が出てきたことも多数の回答があった背景にある。

無人加工については段取り替えレスという観点から 5 軸加工につながるところもある。この 5 軸加工については、すでに取り組んでいる企業もあるが、一般的にはこれからの加工技術であり、加工の高精度化、高能率化などにおいて有効な手段となる可能性があり、県内企業においても興味が高まっているものとする。

鏡面切削については、現状切削において達成可能な面粗さは $0.3\sim 0.5\mu\text{mRz}$ といわれており、人間の目で識別不可能となる面粗さ $0.1\mu\text{mRz}$ 以下を実現するには加工機械や工具、加工条件など解決すべき課題は多い。特に要求の厳しい金型加工において、みがきレスというのは現実的でなく、むしろ面粗度のばらつきを押さえ、みがき工程の負荷を低減するための切削実現に向けた取り組みが現実的であろう。

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

*** 中越技術支援センター

**** 上越技術支援センター

2.2 5軸加工・複合加工について

県内企業調査などから、本研究調査事業における対象技術のひとつとして、「5軸・複合加工技術」に着目した。

5軸加工は一般的な3軸加工に回転2軸を付加して切削加工をおこなう技術であり、複合加工は旋削機能にミリング、ドリリング機能を付加して加工をおこなう技術である。いずれもワンチャックで加工を完了させることで、大幅な工程短縮と省スペース化をはじめ、段取り替え数や治具数の大幅削減が可能となり、高能率加工が実現できるほか、従来困難であった複雑形状部品も高精度に加工できる、工具干渉を適切に回避できる、工具寿命を延長できるなど多くのメリットがあげられている。

本報では、複合加工に関して、旋削とミリングを組み合わせたターンミリング加工について簡易な試験加工システムを構築し、切削加工試験をおこなった結果について報告する。

2.3 ターンミリング加工試験

2.3.1 ターンミリングについて

一般的なバイト工具による旋削加工では、切屑は連続型となり、これが被削材や工具に絡まり、加工面品位の低下をまねくことから、旋削加工において切り屑処理は重要な課題である。一方、バイトの代わりにエンドミルなどの回転工具を用いると、切り屑が細かく分断され、さらにエアブローなどを併用することにより、切り屑処理が格段に向上することは容易に想像できる。また、加工系に熱が蓄積しにくいことから、航空機部品に用いられるチタン、インコネルなどの耐熱性難削材の加工に適用できる可能性も考えられる。

本研究調査では、NC汎用旋盤に市販の高速スピンドルを取り付け、回転工具を用いた旋削加工の試験を行い、加工条件による加工面粗さの比較を行った。

2.3.2 加工試験内容と結果

試験に使用した機器を表1に、加工の状態と加工パラメータを図1に示す。また、試験条件を表2に示す。工具の送り量、切り込み量、回転数を一定とし、そのほかの加工パラメータの違いによる加工面粗さの比較を行った。

図2に白色光干渉顕微鏡（日本VEECO製wyko NT3300）により測定した（測定エリア0.9mm×1.2mm）加工面状態を示す。いずれの条件においても工具1刃ごとのツールマークが確認できる。

ボールエンドミルを用いた場合の工具角度による加工面の違いを条件1と2で比較した。条件1では、ワークに対して工具が面直となるため、工具の切削速度がゼロとなる中心刃近傍を使用して切削している。一方、条件2ではワークに対して工具を傾けて加工しているため、ある一定の切削速度で加工している。面内最大高さ粗さ R_t について、条件1では $R_t=24.39\mu\text{m}$ 、条件2では $R_t=7.79\mu\text{m}$ であり、工具をワークに対して傾けた加工の方が良好な加工面粗さが得られることがわかる。

スクエアエンドミルを用いた場合の工具角度の影響については、条件3では $R_t=12.67\mu\text{m}$ 、条件4では $R_t=58.48\mu\text{m}$ となり、工具をワークに対して面直な姿勢で加工した方が加工面粗さを向上できることがわかる。

工具とワークの軸芯オフセットの影響について調べた条件3と条件5の比較では、 $R_t=12.67\mu\text{m}$ （条件3）、 $11.36\mu\text{m}$ （条件5）となり、スクエアエンドミルを用いてワークに対して面直な姿勢とした場合、工具の軸芯をワークの軸芯からオフセットした方が加工面粗さが良好になることがわかる。

ワークの回転数による影響を調べた条件5と条件6について比較する。この加工法によるワークの回転速度の違いは正面フライス加工における工具1刃あたりの送り量の違いと等価であり、加工面粗さに多大な影響をおよぼすと考えられる。条件5および条件6の加工では1刃あ

表 1 使用機器

旋盤	大日金属工業株式会社製 DL-53 主軸回転数 16~1600min ⁻¹
高速スピンドル	株式会社ナカニシ製 NR-3060S+EM-3060 最大出力 350W 最大主軸回転数 60,000min ⁻¹
被削材	アルミニウム合金 A5052 φ30mm 丸棒

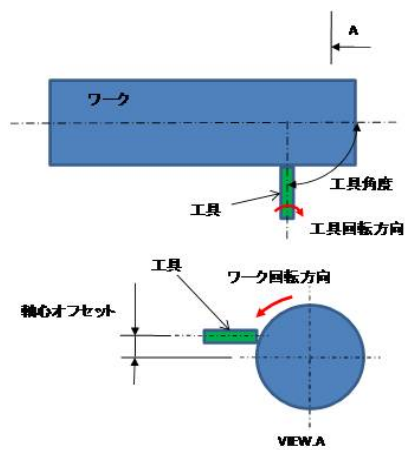


図 1 加工の状態と加工パラメータ

表 2 加工条件

条件	ワーク回転数 min-1	送り量 mm/rev	切込量 mm	工具回転数 min-1	軸芯オフセット mm	工具角度 deg	工 具
1	200	0.2	0.25	50000	0	90	ボールエンドミル (2枚刃R3超硬)
2						105	
3						90	
4						105	
5	16				-3	90	スクエアエンドミル (2枚刃φ6ハイス)
6						90	

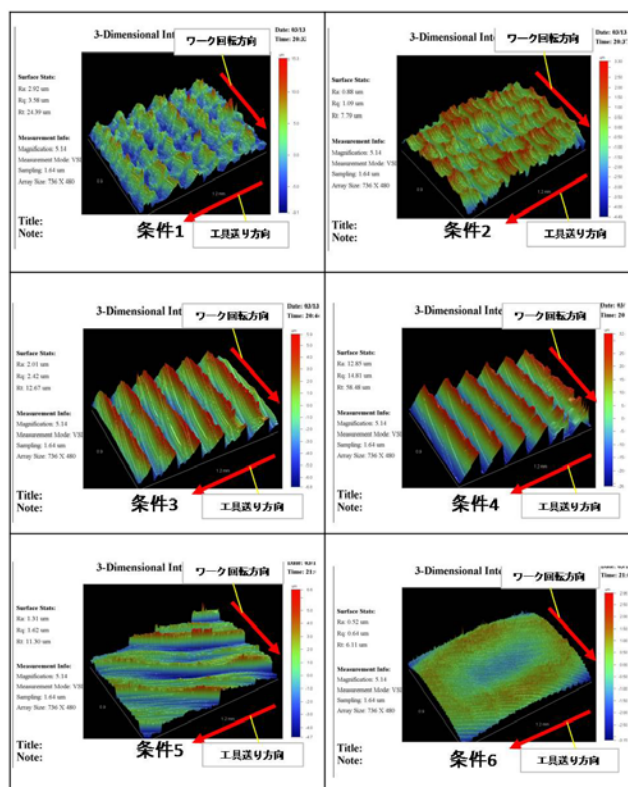


図 2 加工面の状態

たりの送り量はそれぞれ 1.89×10^{-4} mm/tooth, 1.51×10^{-5} mm/tooth であり約 10 倍程度異なる。

加工面粗さを比較した場合、 $R_t=11.36\mu\text{m}$ (条件 5), $6.11\mu\text{m}$ (条件 6) となり、条件 6 において大幅に向上していることが確認できる。この結果から、さらに高速なスピンドルを用いれば、ワークの回転数が比較的高速なままでも、条件 6 と同様な加工面粗さが得られると考えられる。

3. 結 言

- (1) 県内関連企業の調査ならびに産業界の動向などから、5 軸・複合加工技術を中心に研究調査をおこなった。
- (2) 5 軸・複合加工に関して、県内企業においては、概して一步遅れている感があるものの、加工機械、加工技術そのものが、いまだ未成熟かつ付加価値技術としての可能性を大きく秘めていると判断し、本県工作機械関連技術の高度化を担うものとして、人材育成を含めた技術蓄積が急務であると考えられる。

新潟の匠の技を継承し発展させるための 計測と制御に関する調査研究

五十嵐 晃* 大野 宏** 中部 昇** 丸山 英樹*** 中川 昌幸*
今泉 祥子* 松本 好勝**** 石井 啓貴*****

A Research of Measurement and Control Technology for Inheritance and Development of The Unique Skills in Niigata Prefecture

IKARASHI Akira*, OHNO Hiroshi**, NAKABE Noboru**, MARUYAMA Hideki **,
NAKAGAWA Masayuki*, IMAIZUMI Syouko*, MATSUMOTO Yoshikatsu*** and ISHII Hirotaka****

1. 緒 言

団塊世代の大量退職の影響により、今まで熟練作業者に蓄積されていた製造工程におけるノウハウの継承が企業の大きな課題となっている。

そこで本研究では、県内中小企業の作業現場における熟練技能に着目し、最新の計測・制御技術を利用して、これらの技能を短期間かつ高度に継承可能か調査を行った。また、県内企業の作業現場の現状調査し、最新技術の技能継承への適用に関する検討実験を行った。

2. 調査研究の内容

2.1 概要

本研究では、新潟県内のうち県央地区の製造業を中心に、熟練作業および工程の自動化の現状調査を行った。また自動化・省力化の先進企業として県外の企業についての調査も行った。さらに、計測や制御関連の技術動向調査についても行い、作業計測と加工品の計測・評価について、実際に計測装置を導入し、それらの作業現場への適用可能性について検討した。

2.2 県内企業の調査内容

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

*** レーザーナノテク研究室

**** 素材応用技術支援センター

***** 企画管理室

県内では、県央地区の金属製品製造業を中心に調査を行った。おもに、熱間鍛造と研磨工程についての調査を行い、いずれも作業者の経験と勘が重要な工程で、客観的な数値化が難しいという印象であった。後継者への技能継承の取り組みは、主として作業員から作業員へのOJTを通じて行われていた。

2.3 県外企業の調査内容

県外では、自動化が進んでいる先進大手企業についての現状調査を行った。当該企業における自動化の目的は、作業の数値化による品質の安定であり、一般的な省力化だけではない。また、扱うロットが大きいことから償却が可能であり、高額な自動製造システムに設備投資することが可能である。一方、熟練作業員の技能等のノウハウは、改善提案活動を通じて共有されている。

2.4 試験研究の内容と結果

2.4.1 概要

熟練作業員および初心者の違いによって、作業に違いが見出せるかを確認するために、金属の研磨作業工程を対象として、(1)研磨作業の計測および(2)研磨加工品の計測を行った。

2.4.2 研磨作業の計測

バフ研磨作業における技能伝承に関して、ワ

ーク（加工する部品）の位置や姿勢、ワークに作用する荷重を測定するシステムを試作し、熟練作業者と初心者との技術差異の抽出可能性について検討を行った。

2.4.2.1 試作システム

試作したシステムにより、①ワークの位置や姿勢、②作用する荷重、を測定した。

①は図 1 に示すように、モーションキャプチャシステム（NaturalPoint 社製 OptiTrack FLEX:V100）を用いた。

②は図 2 に示すように、ワーク台に対して、3つの 3 軸小型力覚センサ（（株）テック技販製 USL06-5H-100N）を用いた。

2.4.2.2 測定条件

被験者は熟練作業者と初心者とし、ワーク台に取り付けたステンレス製平板（100×200mm、厚さ 2mm）を研磨した際の、X、Y、Z の 3 方向について、ワークの位置・姿勢（Rx、Ry、Rz）とワークへの作用荷重（Fx、Fy、Fz）を同時に測定した。

2.4.2.3 測定結果

測定結果の代表値として、ワークへの作用荷重と姿勢のばらつきの結果を図 3 に示す。図中(a)、(b)とも左側のグラフが最大値と最小値

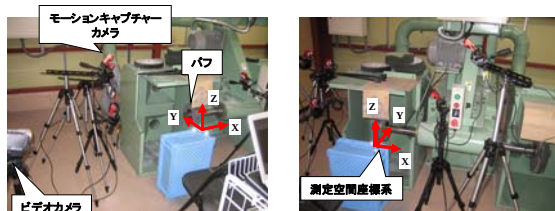


図 1 モーションキャプチャシステム

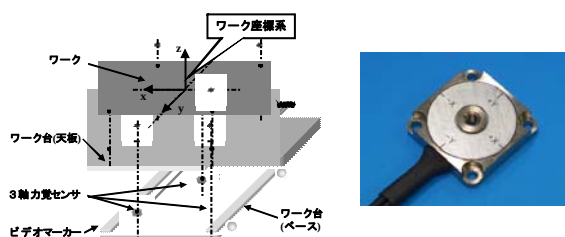


図 2 ワーク台（左）と力覚センサ（右）

の差を示し、右側が分散を示している。これから、熟練者と初心者では、熟練者の方が、最大値と最小値の差についても、分散についても、小さい傾向となり、ばらつきの少ない安定した作業を行っているとは推定できる。

以上の結果から、本システムにより、熟練作業者と初心者の作業の差異抽出の可能性を確認できた。

2.4.3 研磨加工品の計測

前節で計測した作業の結果、研磨されたワークについて、表面の計測を行った。

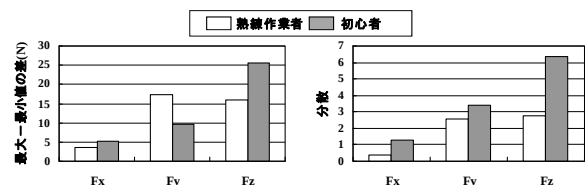
2.4.3.1 加工品の光沢度測定

光沢度計（日本電色工業（株）製 PG-1M）を用いて、熟練作業および初心者が研磨した合計 12 枚の SUS 板を測定した。測定角度は、20 度とした。

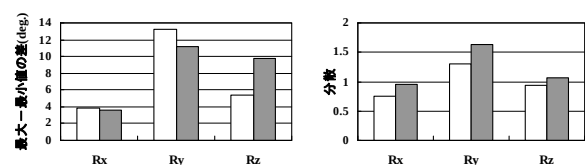
測定結果を図 4 に示す。各ワークについて、10 カ所の測定を行ったため、それらの平均値とばらつきを示した。これより、平均鏡面光沢は、熟練者ほど大きくなり、光沢のばらつきは、熟練者ほど小さいことがわかった。

2.4.3.2 加工品の表面粗さ測定

前節の図 4 に示した熟練作業、中間者、初心者による研磨面の光沢度比較のデータのうち、光沢度が最大であった熟練作業による No.2、中間者による No.3、熟練作業だが、光沢度が中間者や初心者と同程度であった No.1、そして初心者で No.1 と同程度の光沢度であった



(a) 作用荷重



(b) 姿勢

図 3 ワークの作用荷重と姿勢データ

No.4 の 4 つの供試材について、表面形状の評価を行った。まず、各供試材において、粗さ計（Veeco 社製 Wyko NT3300）により、表面粗さを測定した。代表として Ra（算術平均粗さ）の結果を図 5 に示す。

光沢度の高い供試材ほど Ra が小さく、表面粗さは小さかった。光沢度では No.2 と 3、No.1 と 4 ではほぼ同じ程度の値となったが、表面粗さにおいても同様の傾向であった。結果として、表面粗さは光沢度と相関が見られたが、作業熟練度との相関は見られなかった。

2.4.3.3 加工品の表面形状測定

感覚的な製品の光沢感はさらに広範囲な形状の影響があると考えられる。そこで、そのような広範囲な表面形状の評価として、研磨による表面のうねり成分の評価を行った。供試材は前節と同様とした。図 6 に、形状測定機（株）

ミットヨ製コントレーサ CV-648 特別仕様）で測定した形状結果を示す。

この形状測定で得られたプロファイルを検討に入れて求めた Ry（最大高さ）を図 7 に示す。この結果より、熟練度が高くなるほど、表面のうねり成分が小さくなり、全体的により平滑な面に仕上げられていると考えられる。

3. 結 言

- (1) 県内企業の製造工程は作業者の経験や勘による作業が多く、客観的な数値化は難しい。
- (2) 県外大手企業では品質安定のための自動化が進んでいる。
- (3) 作業現場計測の結果、熟練作業者と初心者の違いを確認することができた。

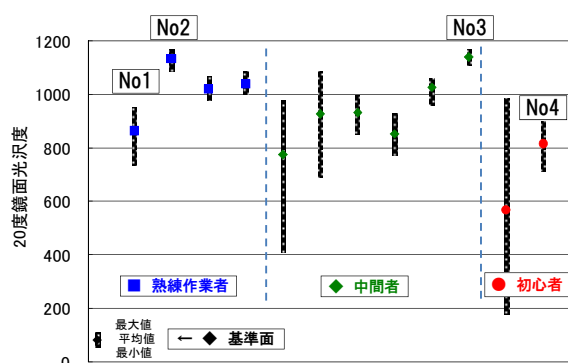


図 4 20 度鏡面光沢度の比較

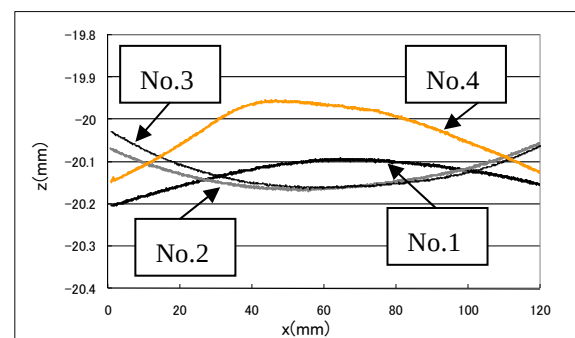


図 6 各供試材の形状測定結果

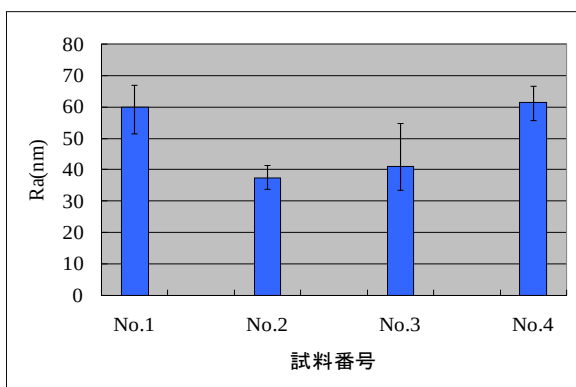


図 5 各供試材の算術平均粗さ Ra (nm)

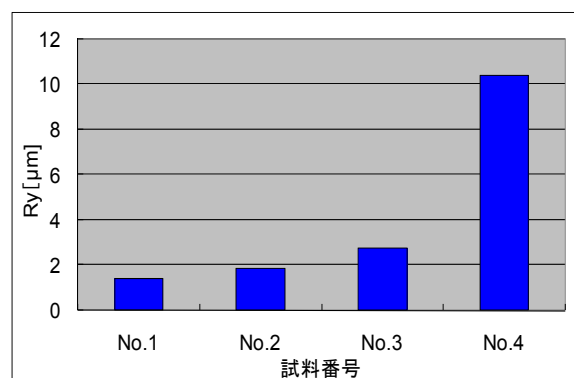


図 7 形状を考慮した最大高さ Ry (nm)

機能性材料の製造技術と用途開発に関する研究調査 ～吸着・脱離・触媒作用を有する新材料の活用～

阿部 淑人^{*}, 桂沢 豊^{**}, 永井 直人^{**}, 林 成実^{**},
内藤 隆之^{**}, 笠原 勝次^{**}, 山田 昭博^{*}, 森田 渉^{***}

A Survey Report of Manufacturing and Industrial Applications of Functional Materials

ABE Yoshito^{*}, KATSURAZAWA Yutaka^{**}, NAGAI Naoto^{**}, HAYASHI Narumi^{**},
NAITOH Takayuki^{**}, KASAHARA Katsuji^{**}, YAMADA Akihiro^{*}, and MORITA Wataru^{***}

1. 緒 言

本研究調査では材料表面の微細構造等が深く関与する機能性材料の製造技術と加工技術、応用技術に関して調査を行った。機能性材料とは主に熱・光・化学・電気・力学などの機能を有している材料である。その中でも物質選択性材料は、特定の物質を選択的にろ過したり反応させたりする機能を有する材料のことである。例えば分子インプリント高分子材料では、目的とする物質(ビスフェノール A など)を高分子合成時に混入させることで、選択的にビスフェノール A のみを捕まえることのできる材料となる。機能性材料の例としては、生体にも多く存在する磷灰石(HAp)などの成分を既存の担体(金属, セラミック, 樹脂, 繊維, ガラスなど)表層に塗工することで抗菌性や防汚性などの物質選択性機能を与えることが期待できる。さらには担体の材料と構造を選択する事によって浄化や精製, 改質などの様々な用途にも応用が可能であると考えられている。また機構材料・構造材料としてよく用いられる金属材料においても、機械的強度・軽量性などの基本的性質と併せて、耐食性, 熱伝導率, 潤滑性, 硬度などの機能性を持たせることでより高い付加価値を得ている例が多々ある。

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時のアンケートなどを行って、合計 47 社から意向を調査した結果を記す。なお、複数の項目に対して重複回答を含んでいる。またいずれの統計も母集団となる企業別の業種は、めっき等表面処理関係 18 社, 電機機械金属関係 18 社, 化学材料関係 5 社, その他 6 社である。

まず関心のある材料機能についての割合を示す。最も多いのが耐食性で 42%, 次いで、抗菌・抗黴, 接着, 環境浄化, 撥水・親水, 触媒・吸着・脱離, トライボロジー・潤滑, 発色・退色, 硬化, RoHS についてそれぞれ 15%ないし 20%である。次に、興味のある表面処理技術についての割合を示す。乾式で約 35%, 湿式で約 30%, 次いで熱処理および陽極酸化で約 20%の企業が興味を示している。MEMS や自己組織化, 溶射, ナノインプリントについても 10 数%程度の企業が興味を示している。また、興味のある適用業種についての割合を示す。機械関連で 32%, 半導体関連で 25%, 自動車関連で 20%, 家電関連と医歯薬関連でそれぞれ 17%, 光学関連で 13%, 土木建設関連で 9%の企業が関心を示している。

処理業者, ユーザー企業ともに乾式処理に関

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

*** 企画管理室

する期待は高いことがわかったが、湿式処理に比して装置の導入や維持管理に関してのコスト、運用技術などの点がネックになっているという声も多い。機械メーカーでは、半導体やディスプレイなど電子産業の製造装置がクリーンルーム内での運用になることから、防塵・固体潤滑の性能向上が強く求められていることがうかがわれた。また、いずれの企業においても、昨今の環境規制によって脱クロム、脱塩素、脱鉛などの材料難に瀕しており、逆手にとれば材料業者、処理業者にとっては新たな市場開拓の好機にもなる変革期であることを痛感した。

これまで主に材料科学获的機能性向上(潤滑、硬度など)のための表面処理が広く行われてきたが、新たに抗菌・抗黴や環境浄化、触媒などの機能性に着目した材料・製法について、興味を示す企業は数社あったものの具体的に事業化に向けて取り組むところまでに至っている企業は少なかった。

2.2 国の産業政策など

国際競争が激しい現状で製造業の競争力強化のためには、積極的な技術開発投資および設備投資あるいは経営資源の集中などが不可欠であるとして、研究開発促進税制の導入や減価償却税制の見直し、産業活力再生特別措置法、産業技術力強化法の改正などが2003年度から2007年度にかけて行われた¹⁾。この効果が明らかになるには、暫くの時間を要するとみられる。

また国全体としては景気回復基調にある反面、地方格差や企業間格差が進行している中で、従来のような公共事業投資によるテコ入れが不可能な地方経済の活性化が必要であるとして、中小企業地域資源活用促進法を施行し地域産業発展の核となる事業創出を今後5年間で1000件行うことを目標に挙げている²⁾⁴⁾。これらの施策を活用しながらいかにして地域産業の競争力強化につなげていくかが我々にとっての今後の課題となる。

これまで日本では、大学や研究所で行われた科学的な研究が企業におけるイノベーションに与える影響があまり高くなくサイエンス型イノベーションの

競争力が弱いと言われてきたが、近年その影響力が高まりつつあり、特に化学・バイオ分野や創薬分野などではその傾向が顕著である。材料開発などが先端研究により大きなブレークスルーを達成できる可能性が高いことを表している。

文部科学省では、科学技術の振興の成果を社会に還元することが重要であるとして産学官連携システムなどの施策を講じている⁵⁾。共同研究の数は平成17年度に国公立大学全体で1万3千件に達し、研究総額は323億円であった。今後も科学と産業の融合による競争力強化は国家レベルでの課題であり、様々な施策が講じられると思われる。

特許庁の報告⁶⁾によると、第3期科学技術基本計画で指定された重点推進分野の一つであるナノテク・材料について、2005年度の公開公表件数を日米欧で比較すると約4万対約3万対約2万と日本が突出している。国内では2002年から2006年の5カ年間で毎年1000件程度ずつ増加する傾向にあり、引き続き情報通信分野について活性の高い分野であることがわかる。このような状況の中、国は知的財産戦略本部を組織して知的財産推進計画2007を策定し、国際競争力の強化や地域中小企業の支援、大学等における知財の創造と産学連携の推進に向けた取り組みを行っている。

一方、資源エネルギー庁では、西暦2050年を視野に入れたCool Earth計画⁷⁾において種々のエネルギー資源開発・省エネ開発と併せて革新的材料・製造・加工技術の開発・導入・普及を上げておりさまざまなイノベーションに係る材料開発の重要度を伺い知ることができる。地球温暖化および環境悪化への対処は地球レベルでの恒常的かつ抜本的な対策が必要であり、経済効率を多少犠牲にしても対応しなければならない重要課題である。

3. 関連技術の俯瞰

本節では表面材料・機能性材料および表面処理手法に関して比較的多用されるものを一覧表にまとめる。

3.1 表面材料・機能性材料の例

表面材料・機能性材料の一例をあげると、表1のような材料の機能が利用されている。一般的に粉末あるいは薄膜で、構造体の表面や界面に存在してその機能を発揮する。また担体材料中に分散したり担体材料表面に製膜したりした複合材料も多種開発されており、その機能は、光学反射防止、反射、帯電防止、制電、耐熱、赤外線遮断、紫外線遮断、対候、電磁遮蔽、放射線遮蔽、耐傷、耐水、撥水、防湿、吸湿、耐油、撥油、濡れ性改善、接着性、ガスバリア、抗菌、抗黴、消臭、防臭、防虫、防汚、親水、生分解、水溶、難溶、硬化、軟化、衝撃吸収、光沢、非光沢、感触、表面改質、蓄熱、遮熱、放熱、耐熱、熱収縮、導電、耐電、絶縁、難燃、磁性、消泡、分散、防食、防錆、耐摩耗、吸音、遮音など多種多様に及んでいる⁸⁾⁹⁾。

3.2 コーティング技術・表面処理の例

表面修飾手法としては様々な手法が存在するが、表2に示したような手法が工業的によく使われる。化学的な手法から物理的な手法、電気化学的な手法、光化学的な手法など多様である。一般的には、構造材料・担体材料に表面材料・機能性材料を塗布したり分散したりすることで新たな機能を発現させる。一方、切削や研削などの除去操作によって表面に微細構造を形成し新たな機能を発現させることもできる¹⁰⁾¹¹⁾。

4. 結 言

本研究調査では、機能性材料の創成と応用に関する産業活性化について、国内企業の動向や県内企業の意向を調査するとともに、関連する技術分野の講演会を開催し、啓蒙を行った。

- (1) 当初多いと目論んでいた、吸着・脱離・触媒などの機能性材料の製造に関与するか、今後事業化を考えている企業は現時点で少なく、従来から関連する企業が多い湿式表面処理産業における、技術高度化に活路を見いだす意向であることがわかった。
- (2) 県内の表面処理関連企業としては、めっきな

ど湿式技術を用いている事業所が大半で、CVD・PVDなどの乾式技術を用いている事業所は少ない。今後も当面この傾向は大きく変わるとは考えにくい。

- (3) 表面硬化・固体潤滑などに関しても、国内市場で近年普及しつつある DLC などの乾式技術に対して、ダイヤモンドめっきなどの湿式技術の方が県内においては定着の可能性が高いと考えられる。
- (4) 種々の材料のいずれの機能性を利用するにしても、従来から長きにわたって広範囲に多用されてきた Pb, Cr, Cd などの環境汚染物質を排除しようという規制が強まっているため代替材料への転換が急務であり、そこに新市場開拓の余地も推進力もあることが分かった。

参考文献

- 1) 2007年版ものづくり白書(ものづくり基盤技術振興基本法第8条に基づく年次報告), 経済産業省, 平成19年5月
- 2) 技術戦略マップ2007, 経済産業省, 平成19年4月
- 3) 平成19年版通商白書, 経済産業省, 平成19年7月
- 4) 中小企業白書2007年版, 中小企業庁, 平成19年4月
- 5) 平成19年版科学技術白書, 文部科学省, 平成19年6月
- 6) 特許行政年次報告書2007年版, 特許庁, 平成19年7月
- 7) Cool Earth — エネルギー革新技术計画, 資源エネルギー庁, 平成20年3月
- 8) 機能性材料総覧2006, 加工技術研究会, 平成18年1月
- 9) 2006年ハイブリッドマテリアルの現状と将来展望, 富士キメラ総研, 平成18年10月
- 10) 諸貫信行編, 微細加工と表面機能, リアライズ, 平成19年5月
- 11) 2007年版高機能コーティングの現状と将来展望, 富士キメラ総研, 平成19年5月

表 1 表面材料・機能性材料の例

材料	機能例
二酸化チタン	光触媒, 超親水
酸化亜鉛(亜鉛華)	圧電, 透明電極, 顔料
二酸化マンガン	酸化剤, 触媒
アルミナ	耐蝕, 脱水, 吸着, 乾燥
ハイドロキシアパタイト	吸着, 骨誘導
ベントナイト	化粧品, 保湿, 増粘
ゼオライト	吸着, NO _x 分解
タルク	磁器材料, 樹脂添加
カオリナイト	医薬, 化粧品, 食品添加
ポーラスシリカ, 粉末シリカ	吸着, (耐水, ガスバリア)
金	導通, 宝飾
銀, 銅	抗菌, 感光, 導通, 宝飾
白金, パラジウム	宝飾, 触媒
窒化ホウ素	固体潤滑
窒化チタン	耐摩耗, 装飾
窒化アルミ	高熱伝導, 低熱膨張, 絶縁
DLC	低摩擦, 硬化, 低摩耗

表 2 表面処理手法の例

手法	特徴
CVD	金属酸化物の化合反応を利用した気相コーティング
PVD	気化した材料を物理的に衝突させる気相コーティング
イオンプレーティング	真空蒸着とプラズマの複合技術
スパッタ	高速に原子やイオンを衝突させて飛び出した固体原子を表面にコーティング
LIGA	X 線リソグラフィによる電鍍
FIB	集束イオンビームで成膜, 剥膜
イオンミリング	表面研磨と粗化
電子ビーム	重合・結合・切断
マイクロ放電加工	放電加熱で溶融・蒸発し除去
レーザー加工	レーザー加熱で溶融・蒸発し除去
溶射	熱して軟化した材料を吹付コーティング
ゾルゲル	ゾル加水分解重合して得たゲルを加熱して酸化物を取得
ナノインプリント	ナノサイズに加工した原板を型押しして形状を転写
フォトリソ	フォトレジストを用いてエッチングとプレーティングをパターンニング
めっき	液中で金属薄膜を生成
エッチング	気中あるいは液中で材料を溶解除去
固体分散・液体分散	粒子を凝集状態から分散状態に変化させる
蒸着	金属を気化させたのち表面に成膜
電鍍	電解液中で電気的に行う casting
塗布	機械的に液滴を塗る処理
粉末冶金	粉末金属を焼結して造形
陽極酸化	電解液内の陽極側で電圧印加し成膜

産業用インテリジェントロボット制御技術に関する 調査研究

大野 宏* 木嶋 祐太** 石川 淳** 三村 和弘*** 小林 和仁****

A Survey of Motion Control Technology for Industrial Robots

OHNO Hiroshi*, KIJIMA Yuuta**, ISHIKAWA Atsushi, MIMURA Kazuhiro***, KOBAYASHI Kazuhito****,

1. 緒 言

近年産業用ロボットやサービスロボットでは状況に応じたインテリジェントな制御が求められている。これらの要求を満たすためには、作業の対象を正確に計測する技術や高速かつ高精度の制御技術が必要となる。

本調査研究では、ロボットをインテリジェントに制御するための計測・制御の最新技術動向と、制御を実現するための組み込み技術について調査した。また、県内の工作機械、産業用機械、およびロボットに関連する企業の現状を調査し、これら企業への計測・制御技術の応用可能性を検討した。

2. 調査研究の内容

2.1 概要

ロボットをインテリジェントに動作させるための計測・制御技術と、これらを実現するための組み込み技術の最新動向について調査した。また、計測・制御と組み込み技術に関連する県内企業の現状を調査した。さらに、制御技術に関する技術講演会を3回開催した。

2.2 技術動向

2.2.1 計測技術

非接触で対象の形状等を計測する代表的な手法であるレーザやカメラを使う方法を中心に調査した。

レーザは、測定する対象の材質によりレーザ光が反射しない場合は表面に反射剤を塗る必要がある、逆に反射が強すぎて計測できないものもある。近年、受光素子が改良され、反射の弱いレーザ光から強いレーザ光まで広いレンジを扱えるようになり、計測できる対象が広がった。ただ、レーザをスキャンさせる必要があり、機構が複雑になり計測に時間がかかるという欠点がある。

カメラは広範囲の対象を瞬時に撮像することができるという特徴がある。カメラには CCD（Charge Coupled Device）型と CMOS（Complementary Metal-Oxide Semiconductor）型があり、携帯電話やデジタルカメラの市場拡大により高解像度で低価格になっている。カメラから綺麗な画像を得るためには照明が重要となるが、近年、白色 LED が製品化され小型高輝度で色々な方向から光を当てることが可能となり、これまで難しかった対象も画像処理で扱えるようになった。複数のカメラを利用すれば3次元形状計測も可能であるが、測定精度が悪く処理時間もかかり苦手としている。そのため、特定の部品のみを対象とする場合は、あらゆる角度

* 研究開発センター
** 下越技術支援センター
*** 素材応用技術支援センター
**** 企画管理室

から撮像した 2 次元画像から位置や姿勢といった 3 次元情報を推定する研究が行われている¹⁾。

広範囲の 3 次元情報を瞬時に取得する新しいタイプのセンサも開発されている^{2), 3)}。これは、光の反射時間からある一定の範囲の 3 次元データを短時間で取得するものである。画素数は約 4 万、距離分解能は数 mm、価格もカメラに比べて高価であるが、新しいタイプのセンサとして利用範囲の拡大が予想される。

(独)産業技術総合研究所は、フェムト秒レーザを利用した瞬時 3 次元形状計測技術を開発した⁴⁾。パルス内で時間とともに連続的に色が変化する光パルス（チャープ光パルス）を対象に照射し、反射光を超高速シャッターで切り出すと、その瞬間にパルスの飛行する位置に応じた色の光が得られる。さらに、2 次元イメージングを組み合わせると、奥行き形状に応じた色の分布を持つ 2 次元の色画像が得られる。

2.2.2 制御技術

モータ制御では PID 制御が古くから使われているが、最近ではロバスト制御⁵⁾が普及しつつある。半導体製造用の超精密位置決め装置ではテーブルの除震のため、加速度センサで震動を検知しフィードバック制御する方法がある。ただし、加速度センサは高価のため外乱オブザーバを適用し、センサなしで同等の除震を実現している⁶⁾。また、外乱オブザーバを利用してモータの電流値と角速度からトルクを推定し、センサなしで力を制御する産業用機械の開発の取り組みがある⁷⁾。

機械のテーブルやステージ等の駆動機構としてボールねじとリニアモータがある。リニアモータの方が高精度の制御ができるものの、冷却装置が必要で価格も高いという欠点があり、ボールねじも改良が進んでおり普及率は高い⁸⁾。一方、リニアモータの欠点を改良し冷却装置が不要で、より高速に動作するトンネルアクチュエータが開発され⁹⁾、超精密位置決め装置に利

用されている。リニアモータより高加速度が実現できるため、工作機械への利用も期待されている。

2.2.3 組み込み技術

工作機械や産業用機械の制御にはコンピュータが使用されている。これらの制御装置は組み込み技術と呼ばれ、機能が特定されており、高い信頼性が要求される。組み込み技術のハードウェアとソフトウェアについて調査した。

マイコンは誕生してから 40 年近くが経過し飛躍的に進歩を遂げた。低機能のものから高機能のものまでいろいろあるが、高速化に対応するため複数のマイコンに仕事を分散させ、全体の処理速度を高めるという技術開発が近年盛んである。

DSP (Digital Signal Processor)¹⁰⁾ はデジタル信号処理に特化したプロセッサで、特に積和演算を高速に行うことができる。デジタル家電の普及により DSP の市場も拡大している。年々高速化と低消費電力化が進み、映像処理を対象にしたより高機能の製品化が行われている。

FPGA (Field Programmable Gate Array) は、ユーザが独自の論理回路を書き込むことのできるゲートアレイの一種である。専用チップより動作速度は遅いが、プログラムの書き換えが可能なため開発に要する時間を短縮でき価格も安い。多量のデータを扱う画像処理の分野を中心に普及が進んでいるが、処理速度はプログラムに依存するため、使いこなすまでには時間がかかる。

PSoC (Programmable System-on-Chip) はサイプレス社が開発した新しいタイプの IC チップで、従来はマイコンの周辺回路であったアナログ回路とデジタル回路を全て組み込みワンチップにしたものである。コンパレータやフィルタといったアナログ回路の特性をプログラムで変更できる。利用できる周波数が低いという制限があるものの、電子回路を非常に小型化できるという特徴がある。

リアルタイム OS (Operating System) は、各種処理をリアルタイムに実行するための機能を実装した OS のことである。産業用機械を制御するコンピュータでは、処理時間が一定の範囲内にあることを要求されるため、必要な処理時間の予測を行なう機能や、複数の処理要求が同時に発生した場合でも目的の時間内に終了させるための機構を備えている。組み込みシステムの代表的なリアルタイム OS に ITRON¹¹⁾ があり、コンパクトで性能が良く使いやすい。

これらのプログラムは C 言語で開発するのが一般的であるが、慣れるまでに時間がかかる。そのため、MATLAB/Simlink (MathWork 社) や LabVIEW (NATIONAL INSTRUMENTS 社) といったグラフィカルにプログラムできる環境があり、より簡単に組み込みシステムの開発に取り組めるようになった。

組み込み技術の開発ではそれを担う人材が必要となるため、各地域では技術者研修に力を入れている¹²⁾。宮城県産業技術総合センターは 10 年ほど前から組み込みリアルタイム OS の開発に取り組み、県内企業向けの研修を行っている。その成果として県内企業から組み込みを利用した製品が出ている。また、(財)にいがた産業創造機構は県内企業のニーズをふまえて 2 年前から組み込み研修を開始した。その他として、自動車産業の盛んな中京地区、半導体関連産業がある九州地区で人材育成の取り組みがある。

2.3 県内企業の動向

2.3.1 概要

約 30 社におよぶ県内企業を調査した。調査内容は、自社で開発している製品の計測技術と制御技術の状況、現在の課題、および今後の開発方針などである。

2.3.2 工作機械

県内には多数の工作機械メーカーと加工メーカーがある。工作機械メーカーは大型機械など特徴のある機械を開発しているが、制御に関してはフ

ァナック(株)の NC (Numerical Control) を使用している企業がほとんどである。そのため、NC の能力に制約されることも多く、計測と制御技術で独自性を発揮できない。例えば、熱を精度よく計測してより高精度な補正を行いたいという要望があっても、使用している NC が熱電対しか対応していなければ困難である。

2.3.3 産業用機械

長岡市を中心に半導体や薄型パネル等の製造に使用する装置を開発している産業用機械メーカーが多くある。これら装置の制御に PLC (Programmable Logic Controller) を使っている企業が多い。PLC はラダーと呼ばれる比較的簡単な方法でプログラムができるため、軽微な変更はユーザ側でも可能である。ただ、プログラムの中味を知られてしまうという欠点があるため、組み込みシステムを開発し制御部をブラックボックス化している企業もみられる。マイコンを利用した組み込みシステムは、価格も安く小型化できるため競争力を高めることができる。

2.3.4 ロボット

ロボットに関連する製品を開発している県内企業は少なく、セル生産用向けの小型産業用ロボットを開発している企業、教育用のロボットを開発している企業、土木作業等の特殊なロボットを受託開発している企業がある。また、製造ラインに産業用ロボットの利用を検討している企業がいくつかあり、プログラム変更で多品種少量生産に対応できるよう導入を進めている。

2.4 技術セミナーの開催

県内企業を対象に制御技術に関するセミナーを開催した。開催したセミナーの一覧を表1に示す。参加者数は3回のセミナーで110余名に至った。また、これ以外にも「先端加工技術に関する調査研究」と合同でセミナーを開催し、ヤマザキマザック(株)の木方氏から工作機械の NC についての講演をいただいた。各回とも活

表1 技術セミナー一覧

No	セミナーと講師	日 時	参加人数
1	匠の技を実現する制御技術セミナー ・新潟工科大学 中嶋新一 ・地域基板技術継承プラザ 相川克壽	2007/9/28 13:00～16:50	40
2	モーション制御技術セミナー ・横河電機(株) 貝瀬季幸 ・(株)テクノ 山中守	2007/12/19 13:30～16:50	34
3	モーションコントロール技術セミナー ・長岡技術科学大学 大石潔	2008/3/4 15:00～16:40	26

表2 県内での先進技術の有無
(○高い △普通 ×低い)

	技術項目	新潟県の技術水準
計測	センサ	×
	画像処理	△
制御	産業用ロボット	×
	位置決め	△
	ロバスト制御	△
	高速制御	×
	NC	×
組み込み	FPGA	○
	DSP	△
	マイコン	△

発な質疑応答があり、制御技術に対する関心の高さがうかがえた。

3. 新事業創出可能性

3.1 県内の先進技術の有無

今回調査した技術項目の県内における先進技術の有無を表2に示す。県内には多数の工作機械メーカーがあるが、制御装置に関してはファナック(株)のNCを購入して組み付けている企業がほとんどで、独自性を発揮できないという課題がある。産業用機械メーカーの中には、高精度の位置決め技術、ロバストな力制御、他にはない低コストな小型産業用ロボットを開発している企業がある。組み込みシステムに関しては、FPGAやDSPは海外のメーカーが開発しているが、これをプログラムし使いこなすためには高い技

術力が必要であり、県内にも数社見られる。これらを組み込み、高性能な製品を開発している企業もある。

3.2 提案

県内の工作機械メーカーの多くは、ファナック(株)のNCを組み付けており、制御技術に関して特徴のある工作機械を開発していない。一方、オープンMC(Motion Controller)を提唱する制御装置がある。これは、汎用のNCとは異なり、緻密なモーション制御をユーザが作り込むことができるため、制御技術で独自性を発揮できる。また、基本ソフトウェアとハードウェアが製品化されているため、ハードウェア開発のリスクがない。このオープンMCを利用し、ワークの回転テーブルと刃物台を高速同期させて制御し、非円形状のワークを高速に加工する複合加工機の開発を検討している。このような制御装置を使えばより細かな熱補正ができる工作機械等、インテリジェントでかつ独自性を持つ機械を開発できる。モータ制御やセンサを組み込んだインテリジェントな制御は工作機械だけでなく、産業用機械にも役立つ。

産業用機械は、一部でマイコンを利用した制御基板を自社開発し組み込んでいる企業もあるが、多くの企業はPLCを利用している。PLCも改良され小型低価格化が進んでいるものの、マイコン等を利用した組み込みシステムに比べて装置が大きく価格も高い。組み込み技術を利

用するためには開発を行う人材が必要になるため、初期コストは高いものの一度開発すれば継続して利用でき、競争力を高められる。

最近、画像処理を使った検査装置の開発に取り組んでいる企業が多く見られる。人による目視検査は疲労により基準が変動する等の理由から、自動化の要求は以前から高かったが、カメラやコンピュータ等、画像処理に必要な機器の性能が飛躍的に向上したこと、プログラムの開発ツールがグラフィカルになり取り組みやすくなったことが、その要因になっている。ただ、綺麗な画像を得るための照明のノウハウが必要であり、小さな傷の有無を検査するためには高解像度の画像データを高速に処理する必要がある。そのため、これら企業の取り組みを製品化につなげるためには、FPGA やソフトウェアによる並列処理などの高速処理技術の開発を行う必要がある。

4. 結 言

- (1) 計測・制御技術を調査した結果、一定の範囲の3次元情報が瞬時に得られる新しいセンサや、リニアモータの欠点を解消したトンネルアクチュエータが開発され、改良が進められている。
- (2) 県内工作機械メーカのほとんどが既製品のNCを使用しており、制御技術での独自性を出していない。ただ、制御技術開発の要求はあり、高速で高精度の制御技術の研究開発を行う必要がある。
- (3) 産業用機械メーカでも既製品のPLCを使用しているが、一部の企業では組み込み技術で制御装置を自社で設計している。また、自動機の開発から始め、自社製品の開発に成功し成長している企業も多くある。
- (4) 組み込みシステムを開発している企業は、(財)にいがた産業創造機構の組み込み研修を上手に活用している。組み込みに使われる技術は進歩が激しいため、最新のチップを使いこなす人材の育成が競争力のある製

品開発には重要である。

参考文献

- 1) 玉木徹他，“画像列の遷移行列のブロック対角化による部分空間を用いた物体の姿勢推定”，第10回画像の認識・理解シンポジウム，2007，p558.
- 2) 吉沢徹，“最新光三次元計測”，朝倉書店，2006，p106-113.
- 3) 株式会社日本クラビス，“製品案内 3次元距離測定ミニチュアカメラ”，<http://www.j-clavis.co.jp/Mesa-sr3000/index.html>，（平成20年3月6日閲覧）
- 4) 平尾一之他，“フェムト秒テクノロジー”，化学同人，2006，p173-177.
- 5) 社団法人精密工学会 超精密位置決め専門委員会，“次世代精密位置決め技術”，フジ・テクノシステム，2000，p475.
- 6) 大塚二郎，“ナノテクノロジーと超精密位置決め技術”，工業調査会，2005，p117.
- 7) 本田昭他，“新しいサーボ制御の基礎と実用化技術”，トリケップス，2003，p167-172.
- 8) 株式会社オプトロニクス社，“ポジショニング EXPO2007 特別セミナー資料”，2007
- 9) 株式会社日立製作所，“製品案内 トンネルアクチュエータ”，<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2004/04/0409.html>，（平成20年3月6日閲覧）
- 10) 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社，“DSP 講座資料”，2008
- 11) 藤倉俊幸，“リアルタイム／マルチタスクシステムの徹底研究”，CQ 出版社，2003，p133-154.
- 12) 翔泳社編集部，“組込みソフトウェアレポー2006”，翔泳社，2005，p131-163.

先端加工技術に関する調査研究

須藤 貴裕*, 田村 信*, 山田 敏浩**, 石井 啓貴***, 宮口 孝司****

A Research of Advanced Machining Technology

SUTOH Takahiro *, TAMURA Makoto *, YAMADA Toshihiro **, ISHII Hirotaka *** and MIYAGUCHI Takashi ****

1. 緒 言

近年、機械加工は短納期化や加工物の複雑形状化の要求により、さらなる高速・高効率・高精度加工が求められている。これら要求を満たすためには、主軸の高速高剛性化、テーブルの高速移動、精密位置決めなどのほか、ワンチャック加工を実現する多軸化や複合化が必要となる。

本調査研究では、高速主軸やリニアモータの搭載といった工作機械関連の技術動向について調査したほか、県内企業における多軸加工機および複合加工機などの導入状況について調査した。また、先端の切削技術として航空機分野などで使用されるチタン合金や超耐熱合金、複合材料などの難削材の加工技術動向についても調査した。

2. 調査内容

2.1 工作機械関連の技術動向

おもに展示会・セミナーなどを中心に調査を行った。工作機械メーカーは国内外を問わず多軸化・複合化が進んでいる。高速主軸やリニアモータを搭載した多軸加工機、ダイレクトドライブ方式の旋回テーブルを搭載しターニング機能を付加したマシニングセンタも実用化されており、高速・高効率・高精度加工が注目されて

いる。

送り軸にリニアモータを搭載した工作機械の例を図 1¹⁾に示す。(株)松浦機械製作所製で早送り 90m/min, 最大加速度 1.5G を実現している。

また、要素部品としても、ファナック (株) 製で最高速度 240m/min, 最高加速度 30G を実現しているリニアモータがあるなど、超高速送り機構としての利用が期待できる。各社リニアモータのスペックを表 1^{2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)}に示す。

主軸については、ドイツやスイスといった海外メーカーで高速なものが多く、毎分 10 万回転を超えるものでも転がり軸受のものが主流となっている。ドイツの GMN 社では小径ではあるが、毎分 25 万回転にもおよぶ超高速主軸を開発している。また、主に切削に使用される比較的軸径の太いものでも毎分 10 万回転を超える転がり軸受けの高速主軸が開発されており、現在よりも一歩進んだ超高速切削技術開発が期待できる。



図 1 リニアモータ搭載の工作機械例¹⁾
(株)松浦機械製作所製 LX-1)

* 研究開発センター

** 中越技術支援センター

*** 企画管理室

**** 研究開発センター

レーザーナノテク研究室

表 1 各社リニアモータスペック一覧^{2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)}

メーカーおよびシリーズ名	最大加速度	最高速度
FANUC LINEAR MOTER LiSシリーズ	30G	4m/s(240m/min)
ジエムシーヒルストン シャフトモータ	20G	6.3m/s(378m/min)
安川電機 Σ -trac-MAGシリーズ	20G	3m/s(180m/min)
THK リニアモータアクチュエーター RDM-MINI	9G	5m/s(300m/min)
テクノハンズ SGLシリーズ	8G	5m/s(300m/min)
YAMAHA MFタイプ	3G	2.5m/s(150m/min)
テクノハンズ 薄型VCM型Xステージ	—	14m/s(840m/min)

2.2 多軸・複合加工における CAM 技術動向

多軸・複合加工機は従来の 3 軸加工と比較し高度な技術を必要とする。そのひとつで最も重要な技術要素に CAM がある。3 軸加工における CAM では、主軸回転数、送り速度、切り込み量などのパラメータを設定すれば、比較的簡単にツールパスが作成できる。また、3 軸加工では通常、工具およびホルダとワークの干渉チェックを行えばよい。

しかし、多軸・複合加工の場合では、3 軸加工のパラメータに加えて工具姿勢の設定など多くのパラメータを設定する必要があるほか、旋回軸を有するため、形状によっては旋回軸が思わぬ方向に急旋回することもあり、マシンとワークなどの干渉チェックも厳密に行う必要がある。近年、CAM 上でも干渉チェックを行えるようになったほか、干渉チェックを主な目的としたシミュレーションソフトも数多く市販されており、精度良く干渉チェックが行えるようになってきた。しかし、シミュレーションで干渉することがわかったとしても、干渉せず、かつ、取り残しの無いツールパスに修正するのは CAM ユーザーの技量によるところが大きく、ノウハウが必要な部分となる。

2.3 難削材加工の技術動向

代表的な難削材であるインコネルの切削加工においては、従来、切削速度を極めて低速にして加工するのが一般的であったが、近年切削工具が進歩し、高切削速度でも切削加工が行えるようになってきた。その一例にセラミック製工

表 2 航空機の構造部材構成割合¹²⁾

材料名	構成割合	
	ボーイング787	ボーイング777
複合材 (CFRPなど)	50%	11%
アルミニウム合金	20%	70%
チタン合金	15%	7%
鋼	10%	11%
その他	5%	1%

具があげられる。超硬工具による旋削加工では従来切削速度は 30m/min 程度であったが、セラミック製工具の KENNAMETAL 製 KY1540 では切削速度 300m/min にも及ぶ高速加工が推奨切削条件⁹⁾に含まれている。またエンドミルなどを使用したミリング加工では、1220m/min まで推奨切削条件¹⁰⁾になっているなど工具の発展は目覚ましいものがある。一方、加工方法に目を向けると旋削加工において、ロータリ切削加工などの技術が研究¹¹⁾されており、超硬工具による旋削加工でも切削速度 500m/min でのドライ加工の事例が報告されている。

そのほか切削加工技術の動向が注目されている難削材では、航空機分野への適用が急速に進んでいる炭素繊維強化エポキシ樹脂（以下、CFRP という）などの複合材料がある。表 2 にボーイング 787 および 777 の構造材料の構成割合¹²⁾を示す。現状では、切削技術が確立されておらず、穴あけ加工などの比較的単純な加工に留まっており、切削加工技術の開発が求められている。その一例として、超音波振動切削による高精度穴あけ加工¹³⁾などが試みられている。切削初期は比較的切削可能であるが、切削が進むにつれ被削材に毛羽立ちが発生し、加工面性

状が悪化する。これは、CFRP を構成する炭素繊維とエポキシ樹脂の熱伝導率の違いに起因していると考えられる。つまり、摩擦により発生した熱が熱伝導率の良い炭素繊維に沿って伝わり、周辺のエポキシ樹脂が脆化して剥離し、毛羽立ちが発生する。超音波振動切削では瞬時に切削、離れを繰り返し摩擦熱の発生を抑制することを目的としている。

2.4 新潟県内企業の動向

近年、県内の企業においても数多くの企業で多軸加工機の導入が進んできており、全国的にみてもハイレベルな多軸加工を行っている企業もある。

高度な多軸・複合加工を行っている企業では航空宇宙医療産業など分野の加工を行っている場合が多い。航空宇宙医療産業分野では多軸・複合加工はもちろんのこと、難削材であるチタン合金やインコネルなどの耐熱合金が多用されており、そうした難削材加工においても高度な加工技術蓄積がある。CAD/CAM ソフトについても数種類のソフトを所有しており、客先から提供される様々な CAD 形式に対応するほか、それぞれの特徴を生かし使い分けしている。また、シミュレーションソフトで十分に干渉チェックを行い加工しているほか、加工物の加工精度予測なども行っている。

こうした企業では他社との差別化のために、加工時間の短縮などさらなる高効率切削加工技術の開発が求められているほか、CFRP などの複合材料においても、前述のとおり航空部品などで加工ニーズがあり、切削加工技術の開発が求められている。

また、その他の企業でも多軸加工機をすでに導入し、これからノウハウを蓄積して多軸加工に取り組もうとする企業も数多く見受けられる。

このような企業が技術者を育成しノウハウを蓄積することで、多くの県内企業で多軸・複合加工技術が習得されれば、県内加工業の高付加価値化が期待できる。

2.5 技術セミナー

主に県内企業を対象とした技術セミナーを開催した。セミナー時の写真を図2に、開催したセミナーの一覧を表3に示す。参加者数は2回のセミナーで130余名にのぼり、先端の切削加工技術に対する県内企業の関心の高さがうかがえる。図3にセミナー時のアンケート結果を示す。



図2 技術セミナーの様子

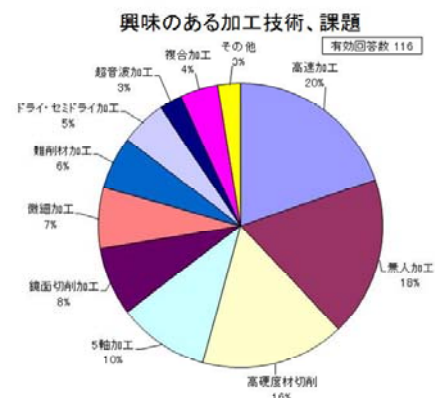


図3 アンケート結果

3. 新事業創出の可能性

3.1 新潟県内の先進技術の有無

県内における先進技術の有無を表4に示す。表中の県内レベルとは全国技術レベルと県内技術レベルを比較した場合の優劣を示した。リニアモーターや複合材料加工を除いた分野では県内に先進企業が存在し、ボールネジ、スライド部品や高硬度材加工においては、県内技術レベルも

表 3 開催したセミナー

No	技術セミナーおよび講師	日 時	参加者数
1	cBN加工の実体験と先進技術セミナー	H19. 9. 14 13時～17時	約65名
	・（独）理化学研究所 安斎 正博氏		
	・（株）松岡技術研究所 松岡 甫篁氏		
	・住友電工ハードメタル（株）上坂 伸哉氏		
2	5軸加工と複合加工技術セミナー	H20. 1. 31 13時30分～17時	約70名
	・日本ディエムジー（株）細田 陽一郎氏		
	・ヤマザキマザック（株）山本 博雅氏		
	・ヤマザキマザック（株）木方 一博氏		

表 4 県内における先進技術の有無

技 術 項 目		県内レベル	
要素部品	ボールネジ, スライド部品	○	
	リニアモータ	×	
	主 軸	△	
加工	技術	多軸・複合加工	×
		高速加工	△
		CAD/CAM	×
	材料	チタン合金	△
		耐熱合金	×
		高硬度材	○
		複合材料	×

全国レベルに達していると思われる。しかし、そのほかの分野については、全国レベルと比較して決して高いレベルとは言えない。県内企業が他県やアジア諸国をはじめとする諸外国との差別化を計るためには、多軸・複合加工や難削材加工、高度CAD/CAM技術を習得し、航空機や医療産業などの高付加価値加工分野へ進出するほか、高効率・高精度・高品位なものづくりを行う必要がある。

3.2 提 案

前述のとおり、県内企業が他県やアジア諸国をはじめとする諸外国との差別化を計るためには、技術者を育成し、多軸・複合加工技術や難削材などの高精度・高効率加工技術の向上とCAD/CAM技術の向上が必要である。そうした観点から難削材や複雑形状に対応する多軸・複合加工技術の開発を提案する。具体的な提案内容を図4および図5に示す。

3.2.1 超高速5軸加工技術の開発

図4は新潟県工業技術総合研究所が開発した切削加工技術（N-MACH加工）を5軸加工に応用

したもので複雑な形状加工において、工具姿勢を面直に保って加工する。加工面に対して常に工具姿勢が一定となるため、均一な加工面が創成でき磨き工程の短縮が期待できるほか、表面に圧縮残留応力を付与することで金型寿命の向上などが期待できる。また、チタン合金やインコネルなどの耐熱合金にN-MACH加工を適用することで、高効率な切削加工が期待できる。さらに、N-MACH加工は高速エアスピンドルを用いており瞬時に材料を切削するという特徴を有することから、摩擦熱発生低減が期待できる。さらに、超低温気体ブローと組み合わせることにより課題となっているCFRPなどの複合材の切削加工技術開発も期待できる。このN-MACH加工を5軸加工に応用するためには、送り速度の高速化技術開発が必要となるほか、CAMや加工シミュレーション技術の向上が鍵を握る。

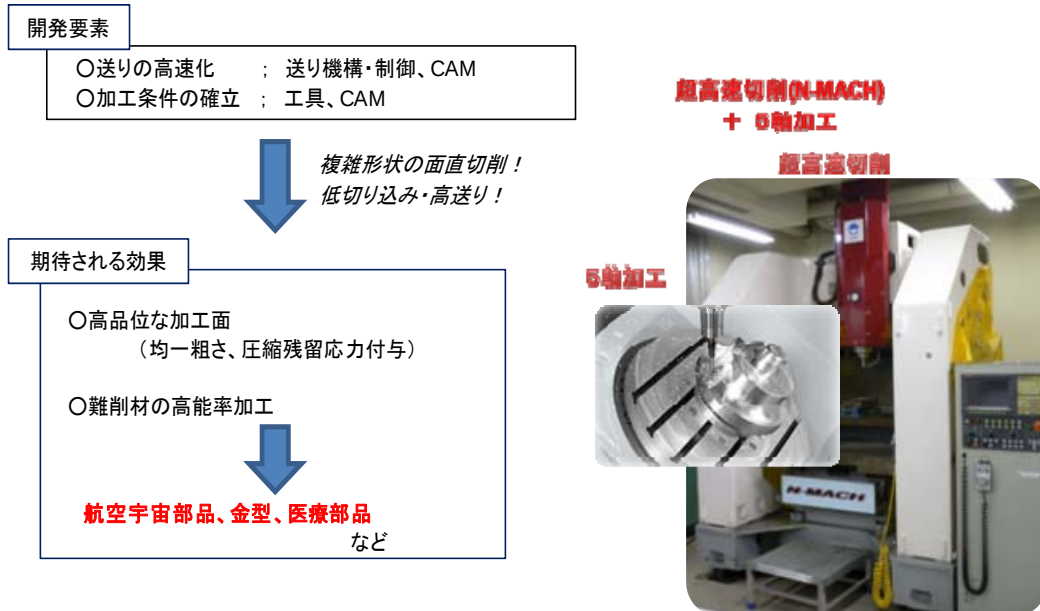
3.2.2 超高速非円形加工機の開発

図5は複合加工機の割り出し加工などで加工され、通常長時間におよぶ切削加工が必要とされる非円形状のワークを短時間に切削する加工機である。刃物台をリニアモータにより瞬時に加速および減速し、ワークの回転角と刃物台を超高速同期制御することで大幅な加工時間短縮など超高効率な非円形状加工を実現する。また、通常旋削加工で使用されるバイトの代わりに高速スピンドルを使用することで、旋削加工で問題となる切りくず処理や工具寿命の向上が期待できる。この加工機を実現するためには、オープンモーションコントローラなどによる超高速同期制御技術の開発が必要となるほか、刃物台

が瞬時に加速および減速するため、加速および減速時のイナーシャキャンセル機構の開発も必要となる。こうした超高速同期制御技術は工作

機械への適用はもとより、産業機械分野への技術の応用が期待できる。

超高速5軸加工技術の開発



N-MACH; 新潟県工業技術が開発した切削加工技術。
エアスピンドルによる工具の高速回転(max50,000min-1)と
低切り込み・高送り条件により金型の直彫り加工を実現。

図4 超高速5軸加工技術開発

超高速非円形加工機の開発

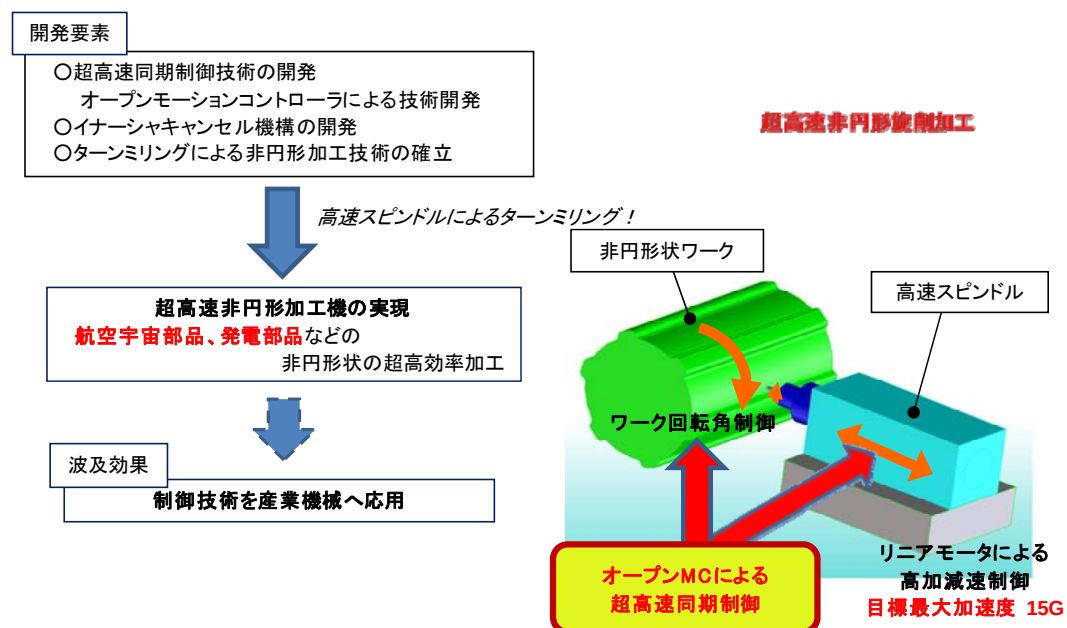


図5 超高速非円形加工機の開発

5. 結 言

- (1) 工作機械関連の技術動向を調査した結果、リニアモータ駆動やダイレクトドライブ方式の旋回テーブルを搭載しターニング機能を付加したマシニングセンタなど、多軸・複合・高速・高効率加工が注目されている。
- (2) リニアモータでは現在、最高速度 240m/min、最高加速度 30G のものが実用化されているなど、工作機械の超高速送り機構としての利用が期待できる。
- (3) 多軸・複合加工においては CAD/CAM や加工シミュレーション技術が重要な要素となっており、ノウハウの蓄積が必要である。
- (4) 難削材加工では工具の進歩により、インコネルなどの耐熱合金でも高速加工が可能となってきた。また、CFRP などの複合材料の切削加工技術開発が注目されている。
- (5) 県内企業においては、多軸・複合加工機の導入が進みつつあるが、一部の企業を除いては、今後技術者の育成などノウハウ蓄積が必要である。

参考文献

- 1) 株式会社松浦製作所，“製品紹介 超高速高精度立型リニアモータマシンLX Series”，株式会社 松浦機械製作所ホームページ，http://www.matsuura.co.jp/japan/mc/lx_series.shtm，（平成20年3月10日閲覧）
- 2) ファナック株式会社，“製品案内 サーボモータ”，ファナック株式会社ホームページ，<http://www.fanuc.co.jp/ja/product/servo/linear/index.html>，（平成20年3月10日閲覧）
- 3) 株式会社ジイエムシーヒルストン，“製品紹介 シャフトモータ”，株式会社ジイエムシーヒルストンホームページ，<http://www.ghc.co.jp/product/shaft.html>，（平成20年3月10日閲覧）
- 4) 株式会社安川電機，“製品情報 リニアサーボドライブ”，株式会社安川電機ホームページ，http://www.e-mechatronics.com/support/catalog/servo/kajps80000026c_3_0/data/kajps80000026c_3_0-08.pdf，（平成20年3月10日閲覧）
- 5) THK株式会社，“製品情報 アクチュエータ・ユニット”，THK株式会社ホームページ，<http://www.thk.com/jp/products/class/linearactuator/index.html>，（平成20年3月10日閲覧）
- 6) テクノハンズ株式会社，“製品案内 リニアモータ”，テクノハンズ株式会社ホームページ，<http://www.technohands.co.jp/products/lm-stage.html>，（平成20年3月10日閲覧）
- 7) ヤマハ発動機株式会社，“製品一覧 産業用ロボット”，ヤマハ発動機株式会社ホームページ，http://www.yamaha-motor.co.jp/product/robot/phaser/feature_mf/index.html
- 8) テクノハンズ株式会社，“製品案内 ボイスコイルモータ”，テクノハンズ株式会社ホームページ，<http://www.technohands.co.jp/products/vcm-x-tin.html>，（平成20年3月10日閲覧）
- 9) KENNAMETAL，“KENNAMETALカタログ KMTL-High-Temp-Alloy-Turning-Guide”，p9
- 10) KENNAMETAL，“KENNAMETALカタログ KMTL-High-performance-Milling-Cutters FOR HIGH-TEMP ALLOYS AND STAINLESS STEELS”，p5
- 11) 中島宏他，“複合加工旋盤におけるロータリ工具の加工特性（第二報）”，2007 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，2007，p641-642
- 12) 財団法人日本航空機開発協会，“平成 15 年度民間航空機および関連産業に関する調査研究”，2004，p66
- 13) 柳下福蔵，“複合材料（CFRP）の穴あけ加工技術”，機械と工具 2007 年 6 月号，2007，p24-28

表面高機能化技術に関する調査研究

山田 昭博*, 永井 直人**, 桂沢 豊**, 内藤 隆之**,
林 成実**, 坂井 朋之***, 紫竹 耕司***, 小林 泰則****

Study on advanced surface treatment

YAMADA Akihiro*, NAGAI Naoto**, KATSURAZAWA Yutaka**, NAITOU Takayuki**,
HAYASHI Narumi**, SAKAI Tomoyuki***, SHICHIKU Koji***, KOBAYASHI Yasunori****

1. 緒 言

近年、地球温暖化対策や環境負荷低減が企業におけるものづくりに求められている。併せて製品の差別化・高付加価値化に伴い、表面への機能性付与が求められている。例えば機械部品において、摺動面の低摩擦化は負荷の低減につながりエネルギー消費量が削減できる。このような機能を付与するためには、既存の処理技術に新たな物質を加える、処理条件を変更する、新しい処理技術を利用する等が必要となる。

本調査研究では、表面処理技術として液相でのコーティングとしてめっきを、気相でのコーティングとしてダイヤモンドライクカーボン(DLC)を中心として技術動向を調査し、県内企業における新事業創出の可能性について検討した。

2. 調査研究の内容

2.1 概要

表面処理手法としては、主に液相、気相、その他に大きく分けられる。新潟県においては液相処理、特にめっき処理が金属表面処理として多く行われている。そこで、めっき技術の高度化の可能性を調査した。また近年注目されてい

る気相でのコーティングとして DLC を中心に調査した。

2.2 めっき関連の技術動向

本調査研究では、めっきの中でも湿式での処理を対象とした。近年のめっきには微細化、精密化、高機能化が求められている。例えば半導体やエレクトロニクス関連では、はんだ付け性、電気抵抗、磁気特性、耐摩耗性など多くの機能を持たせるために利用されている。自動車などでは耐食性向上に加え、プラスチック上へめっきを行うことにより金属感を与えて高級感を出す、耐衝撃性、耐候性などの機械的特性を向上させて軽量化を図ることなどに利用されており、近年の注目も高い。微細加工の分野では、ディスク成形やマイクロからナノサイズの微細金型などにニッケルの精密電鍍が多く利用されている。

プラスチック上へのめっきでは、密着性を向上させるためにプラスチック表面に微細な凹凸を付ける必要があり、前処理として6価クロムであるクロム酸を用いたエッチングが必要となる。後述するが、環境規制への対応が必要となっており、有害物質として規制のある6価クロムを使わない処理方法が求められる。前処理法として、硝酸系や過マンガン酸を用いたエッチング処理や、TiO₂+UVを用いたオゾン処理など¹⁾に加え、日立マクセルでは超臨界CO₂を用いた技術開発を行っている。超臨界を用いためっ

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

*** 企画管理室

**** 中越技術支援センター

き技術としては、超臨界の浸透力を利用してプラスチック表面にパラジウム触媒を浸透させ、これを核にしためっき処理を行っている。²⁾また樹脂成型時のノズル先端部に触媒を充填した後射出成形することで、成型品の表面にパラジウム触媒が分散し、その触媒を元にめっきができる技術開発も行われている。

めっき被膜中への複合めっきに関しても硬さや潤滑性などを向上させるために、アルミナや酸化ケイ素、テフロン粒子を加える技術開発や、ホウ素などを添加するめっき処理も進められている。

めっき業界を取り巻く環境としては、各種環境規制への対応が要求されている。規制の始まった WEEE & RoHS, ELV, そして REACH 規則が交付され、規制への対応が必要とされている。これらの規制では、6 価クロム、鉛、カドミウム含有量の低減が要求されており、代替技術開発が進められている。また REACH 規則では構成物質の届け出が必要とされる。廃液処理技術としては各社ともしっかりとした取り組みを進めているが、亜鉛の処理規制が厳しくなるなどめっき処理業者に対する金銭的負担は高まることが予想される。

2.3 気相コーティング関連の技術動向

気相コーティングとしては PVD および CVD による成膜を調査し、中でも近年高い伸びを示しているダイヤモンドライクカーボン (DLC) を中心として調査を行った。

ドライコーティング自体は年率 10% の伸びを示しており、中でも DLC は同 20% の伸びである。2006 年の 63 億円から 2010 年には 80 億円規模の市場になるとも予測されている。³⁾

2006 年度に (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の補助金を受けて国内メーカーや大学、公設試等より提供されている DLC に関して様々な特性から評価し、DLC の特性をグループ化する事業が長岡技術科学大学物質・材料系の斉藤教授がトップとなり進めら

れた。⁴⁾ DLC の特性を示す既存の三相図を図 1⁵⁾に示す。DLC は炭素の結合様式 (sp^3 もしくは sp^3 結合) と水素の含有量によりグループに分けられ、100% sp^3 構造となればダイヤモンドとなり、100% sp^2 構造となればグラファイト構造を取る。DLC においては密度が高くなったり水素濃度が低くなると硬度を増し、 sp^2 の存在比が多くなると摩擦係数および摩耗量が減少する、という相関が見られている。DLC の成膜方法によっても大まかに分けられ、PVD では水素の少ない高密度型が多く、CVD では低密度のものが多い傾向が認められた。⁴⁾

DLC コーティングとしてはハードディスクメディアやヘッド、工具、湯水混合栓や赤外線バーコードリーダーの窓材、そして暖かい飲料用ペットボトル内面へガスバリア膜として利用されている。炭素質であることから、生体適合性があり、インプラント材料としても開発が進められている。またゴムのような柔らかい素材へのコーティング技術も開発され、素材の変形にも追従できるようにしわを入れた被膜やマイクロクラックを入れた被膜、そしてコーティング時にメッシュによるマスクを用いることで DLC を島状に存在させるセグメント DLC 技術も開発されている。⁶⁾これらは炭素膜自体が高硬度であり、素材の変形に追従できないことを避ける、または被膜の割れ、剥離を避けるためである。

DLC を成膜するメーカーとしては国内に 30

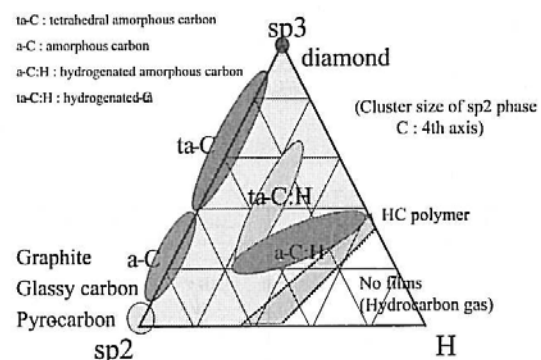


図 1 DLC の三相図⁵⁾

社程度あり、主として受託成膜加工を行い、一部では成膜した製品を製造している。膜の特性などに関しては各社各様である。用途によっては被膜の密着性が問題となるが、中間層として Si や Cr などの層を入れる、DLC 自身に金属をドーピングするなどにより改良を加えている。さらに DLC の複層化技術^{7,8)}も進んできている。

2.4 その他表面処理技術動向

塗装およびナノインプリント技術を中心として調査を行った。

塗装としては環境への配慮から、これまで用いられている溶剤である有機溶媒から環境に優しい水系溶媒への移行が進んで来た。加えて静電塗装やコールドスプレー技術も利用されてきた。静電塗装とは高圧の直流電気を利用し、被塗物をプラス、霧化した塗料粒子をマイナスに帯電させて噴霧するものである。コールドスプレーは、材料粉末を高温・高速の流れにして被塗物の表面に吹き付けて堆積・コーティングを行なう熔射法の一つであり、温度が材料の融点・軟化点以下の低い温度であることと、流れの速度が音速から超音速と高いという特徴を有している。そのため材料粉末は固体の状態のまま溶けることなく皮膜になり、酸化や熱による変質が少ない。

塗装に関しては、耐食性、耐候性などの評価手法が実際の製品を反映していないことが問題となっており、複合サイクル試験などによる評価を検討する必要がある。

ナノインプリントは半導体製造工程などを利用してナノレベルの型を作り、転写することで製品を作る技術である。導光板や拡散板、半導体加工、意匠性表面などへの応用を目指して検討が進められている。現状の加工技術としては数 10 nm レベルである。

その他興味深い表面処理としては、ラングミュア・ブロッケット膜 (LB 膜) を応用した形で、カチオン材料およびアニオン材料を含む溶液中へ交互に浸漬するのみで静電相互作用に

より分子吸着を生じる交互積層膜を形成する交互吸着法があり、鮮度保持用シートや吸着剤、メガネ用の反射防止膜などへのコーティングが簡単にできるものである。連続装置として(株)三菱マテリアルテクノが開発している⁹⁾

3. 新事業創出の可能性

長岡技術科学大学の松原准教授は複合めっきとして粒径数 nm のナノダイヤモンドをめっき被膜中に分散させたナノダイヤモンド複合めっき技術を有している^{10,11)}。ダイヤモンド粒子をめっき被膜中に混入させることで、高硬度および低摩擦・高摺動性の被膜を得ることが可能となる。これまでは数%程度しか混入させることができなかったナノダイヤモンド粒子混入率を、最大 14% まで高めることが可能となった。数 10 nm サイズのダイヤモンド粒子を分散させるためめっき被膜開発は他社でも進められているが、サイズの小さいダイヤモンド粒子とすることで摺動相手への攻撃性を減らす効果も期待できる。一方、自動車における CO₂ ガス発生削減への要望から、摺動面への低摩擦化、高摺動性が要求されている。当技術を用いた製品開発により、環境にも優しい製品開発が可能となると期待される。

4. 結 言

- (1) めっき関連の技術動向を調査した結果、プラスチック上へのめっき技術、複合めっき技術、無電解めっき技術、Ni などの電鍍技術、および鉄めっき技術が注目されている。
- (2) めっき処理としては各種環境規制への対応が必要であるが、新たな機能を有するめっき被膜開発など需要は高い。
- (3) ダイヤモンドライクカーボン (DLC) 市場は高い伸びを示し、用途も広がっているが、密着性を高める、割れなどを防ぐ技術開発が必要である。

参考文献

- 1) 表面技術協会 秋期セミナーテキスト.
- 2) 日立マクセルHP
<http://www.maxell.co.jp/jpn/news/2007/news070926.html>.
- 3) 富士キメラ総研 2007年版高機能コーティングの現状と将来展望.
- 4) H18年度 NEDO成果報告書 DLC の特性とその測定・評価技術の標準化に関する調査.
- 5) A. C. Ferrari and J. Robertson. Physical Review B, 61, 2000, p. 14095.
- 6) Y. Aoki and N. Ohtake: Tribology International 37, 2004, p. 941.
- 7) 栗津 薫, 安井治之, 池永訓昭, 川畠丈志, 長谷川祐史, 作道訓之, ニューダイヤモンド, 76, 2005, p. 28.
- 8) W. J. Yang, T. Sekino, J.-W. Yoon, K. B. Shim, K. Niihara and K. H. Auh: Key Eng. Mater., 317-318, 2006, p. 385.
- 9) 特開2001-062286.
- 10) 松原浩, “無電解ニッケルめっき膜中へのナノダイヤモンド粒子の共析”, 表面技術, 第57巻, 第7号, 2006, p. 484..
- 11) 工業調査会, 図解最先端表面処理技術のすべて “ナノ粒子を利用した分散めっき” p. 182.

競 争 型 受 託 研 究

温間対向圧力プレス成形技術の開発

白川 正登* 杉井 伸吾* 田村 信* 本田 崇*

Development of Warm Press Forming Technologies with Counter Pressure

SHIRAKAWA Masato*, SUGII Shingo*, TAMURA Makoto* and HONDA Takashi*

抄 録

温間成形によりプレス成形性が向上するマグネシウム合金板のプレス成形に対して、フッ素ゴム粒体を対向圧力媒体として用いた温間対向圧力成形の適用を試みた。その結果、円筒深絞り成形における成形限界および成形精度の向上に効果があることがわかった。また、圧力媒体として用いるゴム粒体の性能について評価を行い、柔らかいゴムを用い、ゴム表面に潤滑を施すことにより、圧力分布状態の均一化が可能となった。

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は、およそ 200℃以上の温間加工により大幅に成形性が向上する¹⁾。一方、複雑な形状のプレス成形を高効率に行う成形法として、ゴムや液体を用いてパンチに対向する圧力を加えてプレス成形を行う対向圧力成形法があり、金型コストの低減や成形限界の向上などの効果が報告されている^{2),3)}。マグネシウム合金やアルミニウム合金といった温間成形によりプレス成形性が向上する材料に対して、温間で対向圧力成形法を適用することにより、さらなる成形性の向上や複雑形状の成形が期待されている^{4),5)}。温間での対向圧力媒体として、油等の液体を用いることも可能であるが、油煙や高温の油の取り扱いといった作業性の改善や安全対策などの課題を抱えている。

本研究では、マグネシウム合金圧延板の円筒深絞り成形において、対向圧力を加える媒体にフッ素ゴム粒体を採用し、通常の温間成形と温

間での対向圧力成形との成形限界および成形品の精度を比較した。また、ゴム粒体の硬さ、形状、大きさ、潤滑条件を変えて、対向圧力の分布状態について評価を行った。

2. 温間対向圧力成形法

本研究で提案する温間対向圧力成形法は、図1の模式図に示すように、温度制御されたダイスとしわ抑えによりフランジ部を加熱されたブランクに対し、パンチに対抗する圧力を付加しながら加工を行う成形法である。温間成形と対

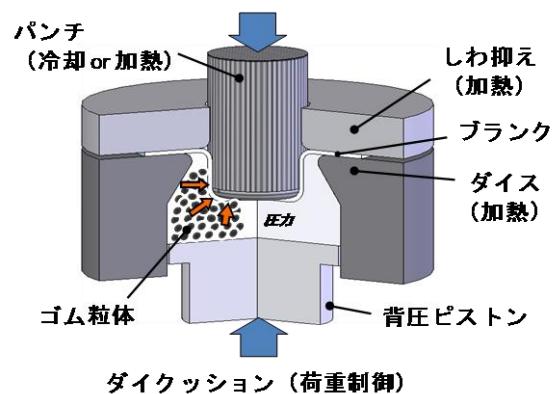


図1 温間対向圧力成形模式図

* 研究開発センター

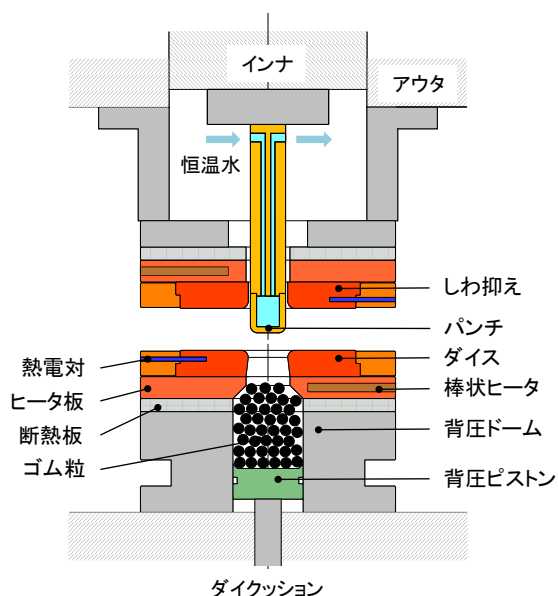


図 2 温間対向圧力深絞り成形用金型

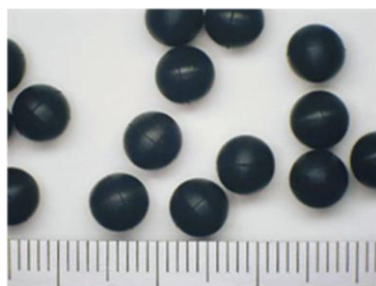


図 3 圧力媒体（ゴム粒体）外観

向圧力成形の複合化を図り、さらなる成形性の向上と通常のプレス成形では成形困難な複雑形状の成形を目的としている。

3. 温間対向圧力円筒深絞り成形

3.1 実験方法

成形には、複動型油圧プレス（アミノ製 インナ能力 1274kN、アウト能力 686kN、ダイクッション能力 490kN）を用いた。装置および金型構造の概要を図 2 に示す。対向圧力付加のため金型下部中央に背圧ピストンを設け、パンチの変位に伴ってプレスのダイクッション力を制御することによりピストンを上下し、圧力媒体であるゴム粒体を介してパンチに対向する圧力を加

表 1 金型および成形条件

金型形状・寸法	パンチ	φ 40mm 肩半径 3.8mm
	ダイス	φ 42.1mm 肩半径 3mm
金型材質	SKD11 硬質クロムメッキ	
成形温度 (℃) (ダイス, しわ抑え温度)	200, 225, 250	
パンチ温度 (℃)	45	
しわ抑え荷重 (kN)	25 ～ 80 (しわの発生状況により設定)	
絞り速度 (mm/sec)	4	
潤滑	ブランク上下面 PTFE シート (0.05mm)	
対向圧力付加領域 ※ 1	絞り深さ 8mm 以上	
対向圧力 (MPa) ※ 2	0 (付加しない), 4.4, 10.0, 19.0	
成形性評価	限界絞り比 (LDR)	

※ 1

※ 2

付加荷重 (N)
(ダイクッション荷重)

対向圧力 =
$$\frac{\text{付加荷重 (N)} \quad (\text{ダイクッション荷重})}{\text{背圧ピストン断面積 (mm}^2\text{)}}$$

えられる構造とした。また、ダイス、しわ抑えは、表面近傍に熱電対を取り付け、ヒータ板に組み込まれた棒状ヒータにより加熱し温度制御を行った。パンチは、温度調節された水で循環冷却できる構造とした。

対向圧力を加える圧力媒体には、約 250℃までの耐熱性があるフッ素ゴム（硬さ A70）を選定し、金型ドーム内への均一な充填を図るため球形φ6mmの粒体とした。フッ素ゴム表面はジメチルシリコーンオイル（信越シリコーン製 KF-968-100CS）により潤滑した。図 3 に使用したゴムの外観を示す。

成形に用いた金型および成形条件を表 1 に示す。対向圧力付加時は背圧ドーム内にフッ素ゴムを充填して成形を行い、通常の温間成形はフッ素ゴムと背圧ピストンを除いた状態で行った。絞り比を 0.1 ずつ変化させ、各条件での限界絞り比 (LDR) を求めた。対向圧力成形は、パンチがブランクに接触した後 8mm 成形が進んだところでパンチ動作を停止し、対向圧力を付加して所定の圧力に達した時点から再び成形を進める工程とした。

3.2 供試材

供試材には、市販の板厚 0.8mm, AZ31B マグネシウム合金を用いた。表 2 に化学組成を、図 4 に金属組織観察写真を示す。硬さは、63HV であった。また、供試材の特性を調べるため、板材の圧延方向に JIS Z 2201 による 13B 号試験片（平行部 12.5mm×長さ 60mm 標点距離 50mm）を採取し、室温から 250℃の温度範囲で引張試験を行った。試験には、精密万能試験機（島津製作所製 AG-250KNI）を用い、試験速度 5mm/min とした。供試材圧延方向の引張特性を図 5 に示す。引張強さは室温で 290MPa であ

表 2 供試材の化学組成

(化学成分 / mass%)

Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca	Mg
2.87	0.95	0.38	0.003	0.014	0.001	<0.001	<0.001	bal.

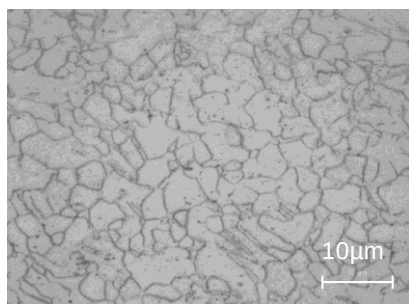


図 4 供試材の金属組織

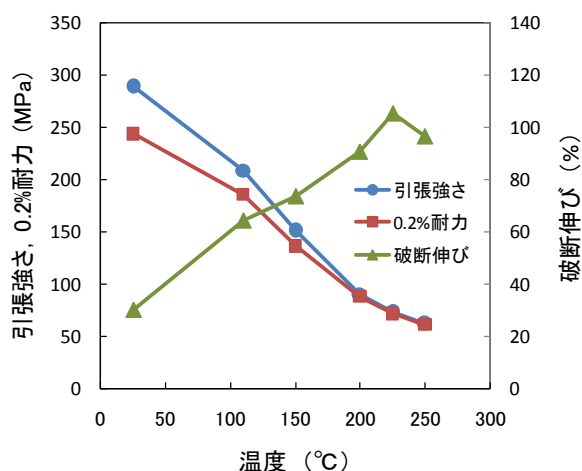


図 5 供試材の引張特性

るが、試験温度の上昇とともに低下し、200℃では 91MPa と 1/3 以下に、250℃では 62MPa と 1/4 以下に低下する。一方、破断伸びについては室温で 30%程度であるが、225℃までは温度の上昇とともに増加する傾向を示し、100%を超える伸びが得られるようになるが、250℃ではやや低下する。

3.3 実験結果および考察

3.3.1 対向圧力と限界絞り比

対向圧力を付加しない場合および 4.4, 10, 19MPa の各対向圧力を付加した場合での LDR を図 6 に示す。成形温度は 225℃とした。通常の温間成形において 3.4 であった LDR は、本実験で付加した対向圧力の値が大きいほど向上し、対向圧力 19MPa で LDR 3.9 と最も高い成形限界を示した。対向圧力が高いほど素材がパンチに押し付けられることによって生じる摩擦支持力が増大し、この摩擦支持力が成形力の一部を負うことで、素材への負担を軽減し破断が抑制されたものと考ええる。また、対向圧力により素材がパンチに押し付けられることで、素材のパンチによる冷却が促進される。その結果、成形中のパンチ肩部および側壁部の強度が高くなり、破断の抑制に寄与している可能性がある。

2.4.2 成形温度と限界絞り比

通常の温間成形と対向圧力 19MPa とした温間対向圧力成形において、ダイス温度を 200, 225, 250℃とした各条件における LDR を図 7

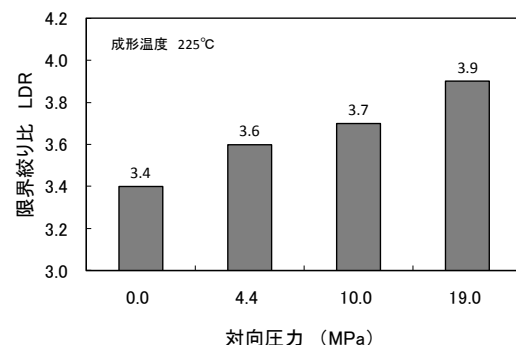


図 6 対向圧力と限界絞り比

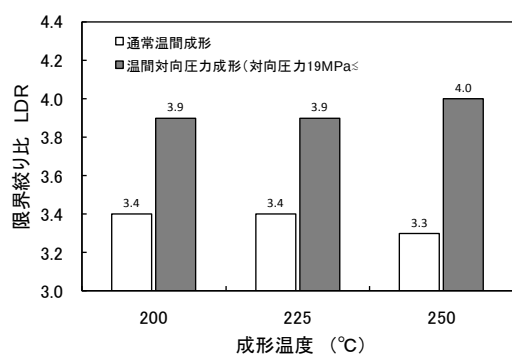


図7 成形温度と対向圧力の効果

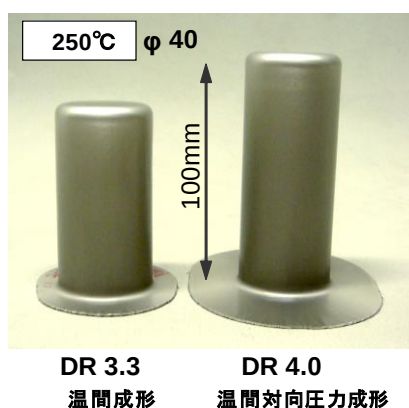


図8 成形品外観

に示す。いずれの温度においても、対向圧力を付加した場合に通常の温間成形と比較してLDRで0.5ポイント以上高い成形限界が得られた。特に、250°Cの条件では、通常の温間成形では3.3であったLDRが、温間対向圧力成形においては4.0となり、0.7ポイント高い結果が得られている。図8に、その外観写真を示す。いずれの温度においても摩擦支持力が有効に働いている効果と考える。

3.3.3 板厚分布

対向圧力（19MPa）を付加する場合と付加しない場合のそれぞれについて、同一成形温度225°C、同一絞り比3.4の円筒深絞り成形を行い、成形品断面の板厚分布を比較した。マグネシウム合金圧延板の強度等機械的特性は、一般的に

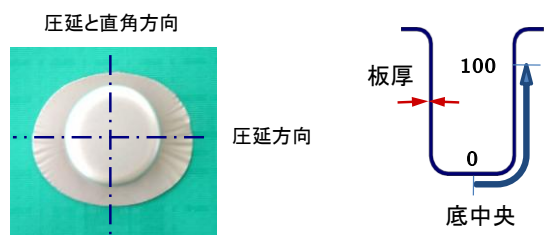


図9 成形品 (0MPa) 外観 図10 測定位置および測定断面

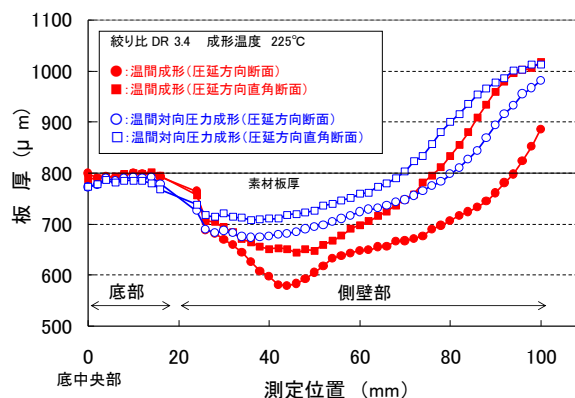


図11 板厚分布の対向圧力有無成形品比較

圧延集合組織に起因する異方性があると言われているため、板厚の測定は、素材の圧延方向および圧延方向と直角な方向のそれぞれの断面について行った。図9に通常の温間成形による成形品の外観と測定断面を示す。測定は、サンプルを測定断面にて切断し、万能投影機（ニコン製 V-16E）を用いて行った。図10に測定位置の説明図を、図11に板厚分布の測定結果を示す。図中横軸の測定位置の値は、成形品底部中央から測定位置までの経路長である。対向圧力の有無にかかわらず、成形品底部の板厚は素材板厚とほぼ等しい値である。また、パンチ肩部に近い側壁において、成形に伴う引張変形による板厚減少が認められるが、対向圧力成形法では通常の温間成形に比べ、この板厚減少が抑えられ、板厚の均一化が図られている。対向圧力による摩擦支持効果により引張による伸びが抑制された結果と考える。

4. ゴム媒体の違いによる対向圧力分布の評価

4.1 実験方法

圧力媒体として用いるゴム粒体の表面の潤滑、形状、硬さ、大きさを変え、これらの違いによる対向圧力の分布状態について比較評価を行った。ゴム粒体表面の潤滑効果の比較には、潤滑剤としてジメチルシリコンオイルを用いた。実験に用いたゴム粒体の種類を表3に示す。

圧力分布状態を評価するために製作した圧力分布測定装置の概要および圧力測定位置を図12に、その構造および試験状況の外観を図13に示す。この圧力分布測定装置は、成形状態を想定し、80×80mm断面のドームと加圧のためのピストンおよびドーム底面中央にパンチ（成形品）を模して配置された一辺40mmの立方体のブロックにより構成されている。また、各測定位置には、圧力測定用の受圧ピンを設け、その軸方向ひずみ量から圧力を算出した。

付加相当圧力（付加荷重／ドーム断面積）は30MPaとし、その時の付加荷重192kNに達するまでピストンにより加圧し、各測定位置の圧力の分布状態を比較した。使用するゴム粒体の容積は、いずれの条件でも一定（ $2.47 \times 10^5 \text{ mm}^3$ ）とした。加圧には精密万能試験機（島津製作所製AG-250KNI）を用い、加圧速度は、ピストン押圧面がパンチ上面から25mmの距離に達するまでは50mm/min、それ以降は5mm/minとした。

4.2 実験結果および考察

図14に圧力媒体の違いによる圧力分布状態

表3 圧力媒体として用いたゴム粒体

記号	φ6-70	□6-70	□6-50	□3-50
材質	ブツ素ゴム（FKM）			
形状・寸法	φ6mm 球体	6mm 立方体	6mm 立方体	3mm 立方体
硬さ(JIS A)	70	70	50	50

の比較結果を示す。図中の各プロットは、圧力の分布状態として比較しやすいように破線で結んで表示した。φ6-70のゴムを用いて、その表面への潤滑の有無による圧力分布の比較を行った結果を図14-(a)に示す。ゴム粒体表面が無潤滑の場合には、付加した圧力が30MPa相当であるのに対して、パンチ上面（以下上面と表す）では50MPa程度と高い圧力となり、パンチ側面（以下側面と表す）および底面では18MPaとなっているが、潤滑を行うことにより、上面が40MPa程度に低下、側面や底面では22～23MPa程度に上昇し、圧力の均一化が図られている。これは、潤滑によりゴム粒体表面の摩擦力が低下し流動性が増すことでドーム内の底部側へのゴム粒の移動が促進され、均一な充填が図られたためと考える。また、粒形状の変形を伴ったゴムの空隙への侵入も容易となり、より均一な充填に効果があったと考える。そこで、ゴム粒体の形状、硬さ、大きさの違いが及ぼす影響については、ゴム粒体表面を潤滑した条件で行った。

φ6-70と□6-70のゴムを用いてゴム媒体の形状の違いによる圧力分布を比較した結果を図14-(b)に示す。立方体形状と比較し球形状の方が粒体の流動性が向上し圧力の均一化が図られることを期待したが、本実験の範囲では、ゴム形

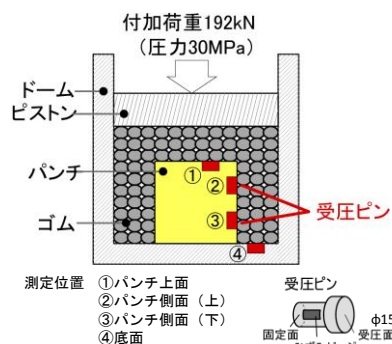
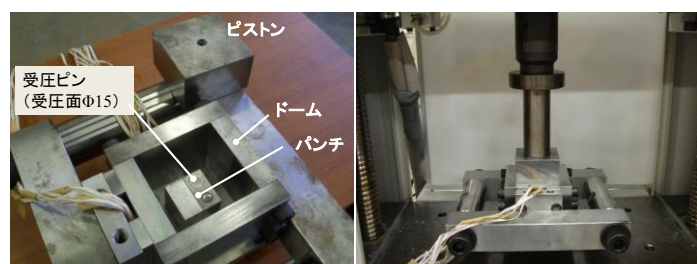


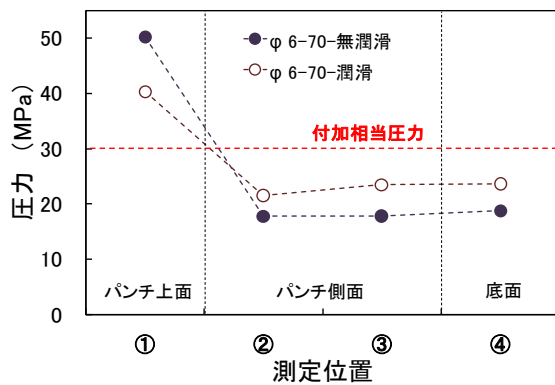
図12 圧力分布測定装置概要図



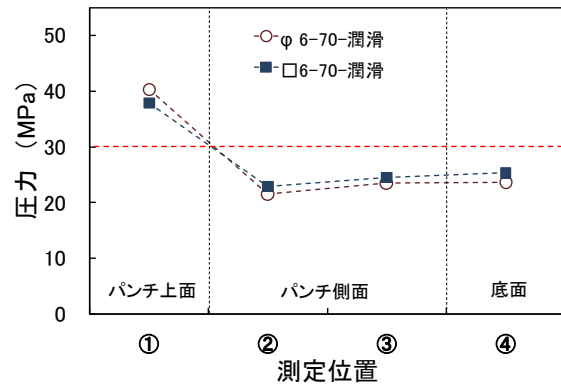
(a) 測定装置構造

(b) 加圧状況

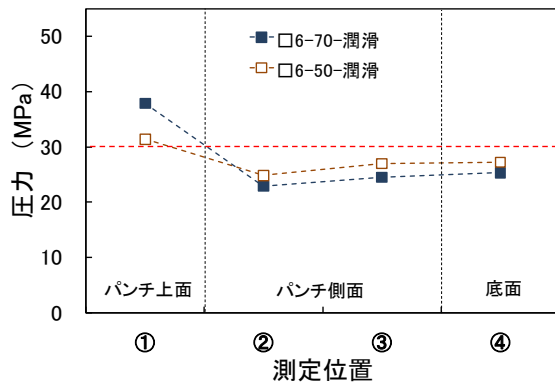
図13 測定装置外観



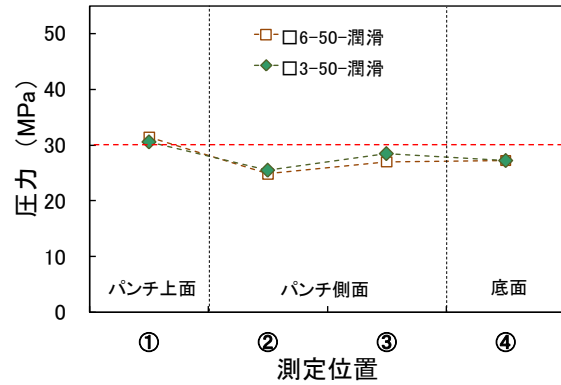
(a) ゴム表面潤滑



(b) 形状



(c) 硬さ



(d) 大きさ

図 14 圧力媒体の表面潤滑，形状，硬さ，大きさが対向圧力分布状態に及ぼす影響

状の違いが圧力分布に及ぼす影響は確認されなかった。これは、ゴムの場合にはその柔軟性からゴム粒が押しつぶされて変形しながらゴム粒体の隙間およびコーナー部等の空隙を埋めていくために、粒形状が充填の均一化に大きく影響しなかったためと考える。

□ 6-70 と □ 6-50 のゴムを用いてゴム媒体の硬さの違いによる圧力分布を比較した結果を図 14-(c)に示す。硬さ A 70 の場合には、付加した圧力 (30MPa 相当) に対して、上面が 38MPa 程度と高い圧力となり、側面および底面では 23～25MPa 程度となっている。しかし、硬さ A 50 のゴムを用いることで、上面が 31MPa 程度に低下、側面や底面は 25～27MPa 程度に上昇し、圧

力の均一化を図ることができた。ゴムが柔らかいことが粒の変形を容易にし、均一な充填に寄与しているものと考えられる。

□ 6-50 と □ 3-50 のゴムを用いてゴム媒体の大きさの違いによる圧力分布を比較した結果を図 14-(d)に示す。本実験の範囲では、大きさの違いが圧力分布に及ぼす影響は確認されなかった。しかし、比較的単純な形状である角筒をモデル形状として評価を行ったが、形状が複雑化し微細部へのゴムの侵入が必要な場合、あるいはドームとパンチのクリアランスが小さくなった場合等には、ゴム媒体のサイズが小さい方が、圧力の均一化に有利であると考えられる。その実際の効果の確認については、今後の課題とする。

本実験の範囲で最も均一な圧力分布状態が得られたのは、□3-50 および□6-50 のゴム媒体を用いてその表面を潤滑した条件であり、各測定位置で、付加圧力 30MPa 相当に対し、圧力差 5MPa 以内の圧力分布が得られた。

5. 異形断面形状深絞り成形品の試作

温間対向圧力深絞り成形技術を利用し、対角 40mm の八角形断面ねじれ形状成形品の試作を行った。ねじれ角度は 90° /50mm，パンチ肩半径は 4mm である。素材は板厚 0.8mm の AZ31B マグネシウム合金（3.2 節参照）を用いた。主な成形条件を表 4 に、成形品の外観を図 15 に示す。対向圧力成形技術を温間成形に適用することにより、通常のプレス加工では成形不可能な異形品の成形が可能となった。

表 4 試作品の成形条件

ブランク径	φ 120mm
絞り深さ	68mm
成形温度	225℃
パンチ温度	80℃
対向圧力	19MPa
圧力媒体	フッ素ゴム φ 6mm球形 硬さ A 70



図 15 八角形断面ねじれ形状成形品

6. 結 言

- (1) 本実験の範囲では、対向圧力が高いほど成形限界は向上し、成形温度 200 から 250℃ のいずれの温度条件においても、19MPa の対向圧力付加により限界絞り比で 0.5 ポイント以上向上する。
- (2) 対向圧力付加により成形品の板厚減少を抑えることができ、板厚分布の均一化を図ることができる。
- (3) ゴム媒体を用いた対向圧力成形において均一な圧力分布状態を得るためには、ゴム表面の潤滑が有効であり、ゴムが柔らかい方が均一な圧力分布が得られる。また、ゴム粒体の形状は圧力分布状態に大きく影響しない。

なお、本研究は、平成 19 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) 相田収平ほか，“AZ31 マグネシウム合金板の深絞り成形性”，軽金属，50，9，2000，p.456-461.
- 2) 中村和彦ほか，“対向液圧深絞り法の破断抑制機構”，塑性と加工，25，284，1984，p.831-838.
- 3) 福田正成ほか，“ゴムを用いたプレス成形”，塑性と加工，20，222，1979，p.566-573.
- 4) 中村和彦，“1050 アルミニウム板の温間対向液圧深絞り特性”，軽金属，47，6，1997，p.323-328.
- 5) 網野廣之，“対向液圧成形の応用技術”，プレス技術，39，9，2001，p.28-33.

ステンレス鋼の温間再絞り加工

田村 信* 相田 収平** 杉井 伸吾* 片山 聡***

Warm Redrawing of Stainless Steel

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

抄 録

温間深絞り加工法はステンレス鋼加工の基盤技術として知られている。本研究では温間加工法を再絞り工程に適用し、多段絞りにおける工程削減を目的に温間再絞りの研究を行った。その結果、通常の再絞り率 80%に対して、55%という高い再絞り率を実現し、焼鈍工程を含めた 3 工程の工程削減効果を示すとともに、耐食性に影響する加工誘起マルテンサイト変態量を大幅に低減できることを示した。

1. 緒 言

SUS304 などオーステナイト系ステンレス鋼は引張強さの温度依存性が強く、0～100℃の比較的扱いやすい温度範囲での変化が大きい。また、変形に伴い加工誘起マルテンサイト変態が発現するが、成形温度の上昇とともに加工誘起マルテンサイト変態量が減少し、とくに成形温度 90℃ではほとんど変態を起こさない。オーステナイト系ステンレス鋼はこのような性質を生かした温間絞り加工法を用いることで成形限界が飛躍的に向上することが知られている¹⁾。

多段絞りにおいて第 1 絞りに温間絞り加工法を適用している事例は見られるが、第 2 絞り以降の再絞りではヒーターの配置や冷却方法が困難なため利用されていない。再絞りに温間絞り加工法を適用することにより、再絞り率向上による工程の削減および加工誘起マルテンサイト変態

の抑制が期待できる。

本研究では、温間再絞り用金型の試作および温間再絞りの成形条件が成形性に与える影響を検討した。

2. 温間再絞り用金型の試作

再絞りには直接再絞りと逆再絞りの 2 形式がある。本研究では直接再絞り方式を採用し、30° のテーパ付きダイスとした。試作した金型の概要を図 1 に示す。金型のダイスおよびしわ抑えはヒーター加熱方式、パンチは水冷却

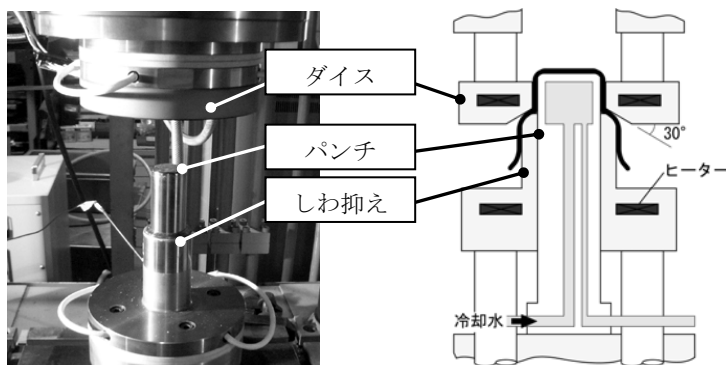


図 1 再絞り金型概要

* 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

方式とした。直接再絞り金型は、パンチおよびしわ抑えが近接しており温度制御が難しい。そのため、パンチ内部中央からの噴水方式として冷却を効率的に行うように工夫し、それぞれ安定した温度制御を可能とした。なお、パンチ肩半径は 3mm、ダイス肩半径は 4mm とし、再絞り率（＝再絞りパンチ径/第 1 絞りパンチ径×100）は 80, 70, 65, 60, 55, 50 および 45% の金型を試作した。なお、再絞り率は数値が小さいほど細く深い容器が成形できることを示し、成形難易度が高い。

3. 温間再絞り成形性

3.1 供試材

供試材は SUS304（公称板厚 0.8mm）を用いた。供試材の引張試験は、圧延方向に対して 0°、45° および 90° の方向に JIS Z 2201 による 13B 号試験片を採取し、精密万能試験機（（株）島津製作所製 AG-250KNI）により実施した。試験条件は初期クロスヘッド速度を 3mm/min、ひずみ 5%以降は 10mm/min とした。また、試験温度を 20℃、100℃および 150℃で行った。

機械的性質の温度依存性を図 2 に示す。150℃における引張強さは 20℃に比べ約 40%減少し、0.2%耐力は約 25%減少する。また、破断伸びは約 40%減少する。0.2%耐力の異方性を図 3 に示す。圧延方向に対して 45° 方向が弱く、本研究で使用した SUS304 は異方性が認められる。

再絞り試験に用いる第 1 絞り成形品は、パンチ径 φ 60mm、絞り比（＝初期ブランク径/第 1 絞りパンチ径）2.0, 2.4 および 2.6 の 3 種類である。第 1 絞りの成形条件を表 1 に示す。なお成形には油圧塑性加工試験機（株式会社アミノ製、インナー能力 1274kN、アウター能力 686kN）を使用した。

3.2 試験方法

再絞り試験は、試作した円筒再絞り用金型を

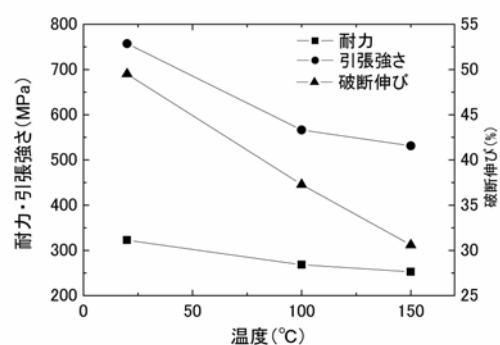


図 2 機械的性質の温度依存性

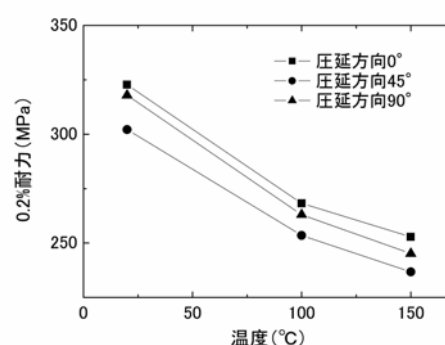


図 3 0.2%耐力の異方性

表 1 第 1 絞り成形条件

金型	材質	SKD11硬質クロムメッキ
	パンチ径	60mm
	パンチ肩半径	3mm
	ダイス径	61.8mm
	ダイス肩半径	5mm
成形条件	潤滑	PTFEシート (厚さ0.05mm)
	しわ抑え力	110kN
	絞り速度	8mm/sec
	パンチ温度	3±1℃
	ダイス温度	120±2℃

用い、成形性の評価に加え、加工誘起マルテンサイト変態量、板厚など成形品の品質を調べた。成形性は破断をおこさず成形可能な再絞り率で評価した。

試験条件はしわ抑え力を 10kN とし、ダイスおよびしわ抑えの温度を 70～200℃、パンチ温度を-7～20℃とした。潤滑剤は第 1 絞り後の成形品内外面に水溶性プレス工作油（日本工作油株式会社製 G-2576W）を塗布した。試験装置は油圧塑性加工試験機（株式会社不二越製、ア

ウター能力 294kN，ダイクッション能力 245kN）を使用した。加工誘起マルテンサイト変態量はフェライトスコープ（株式会社フィッシャー・インストルメンツ製 MP30E-S）を用い測定した。

3.3 試験結果

3.3.1 第1絞り成形後の品質

第1絞り成形品（絞り比 2.6）の板厚分布を図 5，測定位置を図 4 に示す。パンチ頭部は板厚が減少しており，さらにパンチ肩部では局部的な板厚減少が見られる。また，供試材の機械的性質の異方性から，パンチ肩部およびフランジ付近は円周方向の板厚の差が大きい。この傾向は絞り比 2.0，絞り比 2.4 の成形品についても同様であった。

各成形品の加工誘起マルテンサイト変態量を図 6 に示す。図中に比較対照として室温（30℃）成形した成形品の結果を示す。温間絞りした成形品はパンチを冷却していること，また，パンチ肩部で極端な板厚減少が生じているため，パンチ肩部における加工誘起マルテンサイト変態量は，絞り比 2.6 では約 8%，絞り比 2.0 では約 1%測定されたが，室温成形に比べて変態量が大幅に抑制されていることが確認できる。いずれの成形品についてもパンチ肩部で増加が見られるが側壁部ではほぼ 0 を示している。

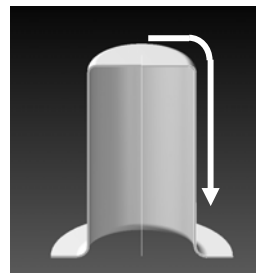


図 4 板厚，フェライト量測定位置

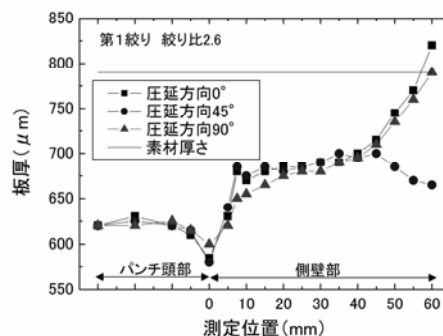


図 5 第1絞り成形品（絞り比 2.6）

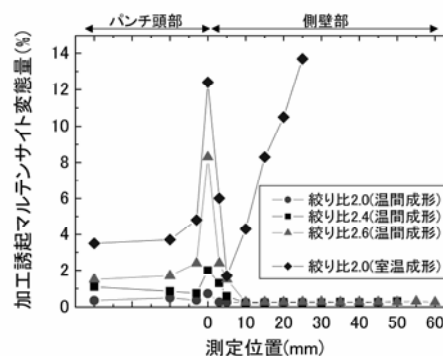


図 6 各サンプルの加工誘起マルテンサイト変態量

表 2 再絞り試験結果

再絞り率	45%							x	x	x
	50%							○	○	○
	55%				x	x	x			
	60%				○	○	○			
	65%				○	○	○			
	70%	x	x	x						
	80%	○	○	○						
成形条件	第1絞り 絞り比	2.0	2.4	2.6	2.0	2.4	2.6	2.0	2.4	2.6
	ダイス温度	30℃			120℃			200℃		
	しわ抑え温度	30℃			80±5℃			200±5℃		
	パンチ温度	30℃			20±5℃			-7±1℃		



図 7 温間再絞り成形品外観

3.3.2 再絞り成形性

再絞り試験の結果を表 2、成形品外観を図 7 に示す。ダイスおよびしわ抑え温度 30℃では、限界再絞り率は 80%であった。それに対してダイスおよびしわ抑え温度を上げることで成形限界は向上し、ダイス温度を 120℃、しわ抑え温度を 80℃とすることで限界再絞り率が 60%に向上する。さらにダイスおよびしわ抑え温度を 200℃、パンチ温度を-7℃とすることで、限界再絞り率は 55%となった。再絞り成形性は成形温度条件に依存することがわかる。また、本試験条件では第 1 絞りの絞り比には影響されなかった。

再絞りでは過大な板厚減少が生じるパンチ肩部で破断する。そのため破断しやすいパンチ肩部の強度を高めるため、パンチ肩部の冷却が重要である。また、ダイス、しわ抑えの温度は材料の流入抵抗に影響することから、成形限界を

高めるためにはそれらの温度を高く設定することが有効である。温間絞り加工法は再絞りに効果的に作用し、再絞り率 55%でアスペクト比 3.3（＝成形高さ/（再絞りパンチ径＋板厚×2））という非常に深い成形が可能となった。

従来、同等の形状を得るためには、第 1 絞りを温間で行ったとしても、その後に 4 工程（焼鈍 1 工程、再絞り 3 工程）を必要とした。それに対して、本研究で開発した温間再絞りによると、再絞り工程 1 工程でその形状を得ることができ、3 工程の工程削減効果がある。

3.3.3 再絞り後の品質

再絞り率 60%の板厚分布を図 8 に示す。再絞り後、板厚はパンチ肩部で局所的な減少が生じている。また、第 1 絞りで局所的に板厚減少があったパンチ肩部は、図中に示した部位にあたるが、その部分の板厚変動は少ない。この現

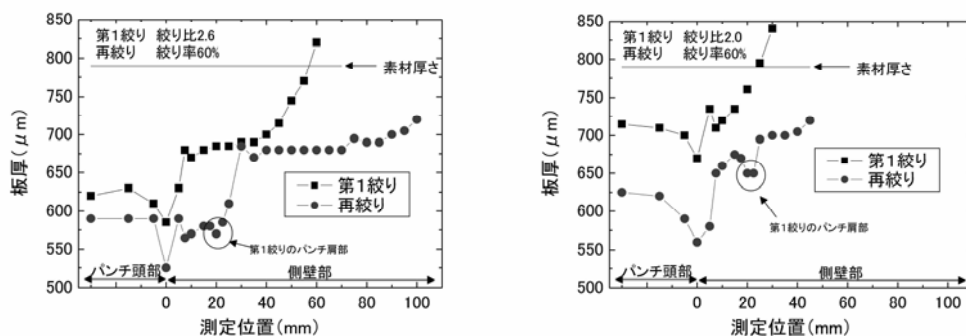


図 8 再絞り率 60%の板厚分布
(左：絞り比 2.6 右：絞り比 2.0)

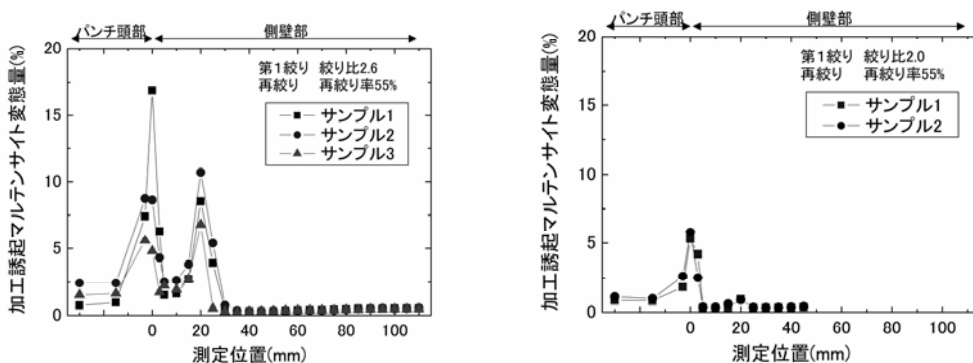


図 9 再絞り率 55%の加工誘起マルテンサイト変態量
(左：絞り比 2.6 右：絞り比 2.0)

象は加工硬化が影響しているためと考えられ、第1絞りにおけるパンチ肩部の板厚減少は再絞りの成形限界に大きな影響をおよぼさないことがわかる。

再絞り後、絞り比 2.6 では側壁部の板厚分布が大きい。第1絞りの絞り比 2.6 ではパンチ頭部の板厚減少が大きく、側壁部との板厚差が大きいためである。第1絞りの板厚分布が再絞り後の品質に影響を及ぼすことがわかる。

再絞り率 55%の加工誘起マルテンサイト変態量を図9に示す。パンチ肩部で絞り比 2.0 は5%程度、絞り比 2.6 は7~17%であった。このばらつきはダイス温度およびパンチ温度が安定しないことが原因と考えられ、ヒーター配置等を見直す必要がある。また、図9に示したサンプル3では最大で7%である。加工誘起マルテンサイト変態量は置き割れと相関があり、一般的には10%以上が置き割れ危険領域と言われている²⁾。置き割れに対しては温度条件を安定させることで、最終焼鈍を省略できる可能性が高いことがわかる。

3.3.4 再絞り温度低減策

これまで、温間再絞り成形性について検討し、成形温度と成形性の関係を把握することができた。ダイスおよびしわ抑え温度が高いほど成形性が向上し、限界再絞り率 55%を得ることができる。しかし、ダイスおよびしわ抑え温度を200℃に設定する必要がある、実用上は低温化が望まれる。再絞りの成形温度を低減する試みとして、第1絞り後の加工誘起マルテンサイト変態量が成形温度と成形性に与える影響について検討した。

温間成形した第1絞り後の成形品（絞り比 2.0）を焼鈍した。図10に焼鈍後の加工誘起マルテンサイト変態量を示す。加工誘起マルテンサイト変態量は、焼鈍を施すことでほぼ0%となる。同様に絞り比 2.4 および 2.6 の成形品を焼鈍し、再絞り試験を実施した結果を表3に示す。再絞り率は絞り比 2.0 では45%、絞り比

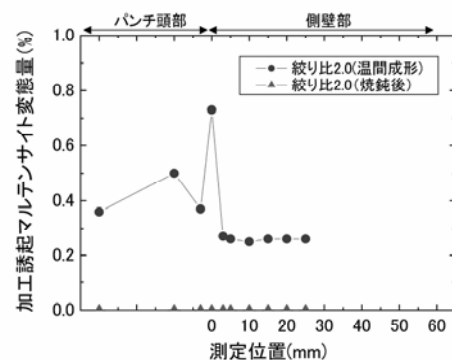


図10 焼鈍後の加工誘起マルテンサイト変態量

表3 再絞り成形性（焼鈍後）

再絞り率	45%	○	×	×
	50%	○	○	○
	55%			
	60%			
	65%			
	70%			
	80%			
成形条件	第1絞り 絞り比	2.0	2.4	2.6
	ダイス温度	150℃		
	しわ抑え温度	150±1℃		
	パンチ温度	-4±1℃		

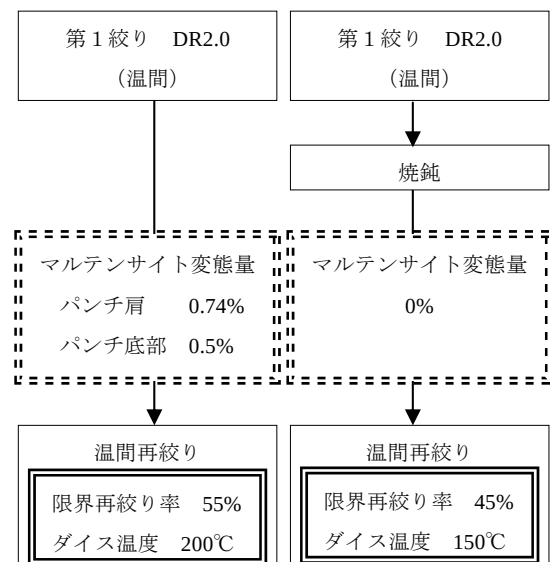


図11 加工誘起マルテンサイト変態量の影響

2.4 および絞り比 2.6 では 50%であった。また、ダイスおよびしわ抑えの温度は 150℃で成形が可能である。

加工誘起マルテンサイト変態量が成形性と再絞り温度条件に与える影響を図 11 に示す。前述の絞り比 2.0 の焼鈍なしの温間絞りをした場合では、加工誘起マルテンサイト変態量はパンチ底部で 0.5%、パンチ肩部で 0.74%であり、限界再絞り率は 55%となり、ダイスおよびしわ抑えの温度は 200℃が必要である。それに対して、焼鈍を行うことで、成形限界が向上し、成形温度の低減が可能である。加工誘起マルテンサイト変態量が再絞り成形性と再絞り温度条件に関連し、第 1 絞り後の加工誘起マルテンサイト変態量を抑制することが、再絞り温度の低減に有効であることがわかる。

温間絞り加工法は、ダイスおよびしわ抑えを加熱することにより材料の流入抵抗を低減させ、パンチ冷却によって破断しやすいパンチ肩部の強度を高くすることで成形限界を向上させる。その温度領域は引張強さの変化の大きな 0～100℃程度の範囲を利用している。ここで、ステンレス鋼 SUS304 の引張強さはそれ以上の領域でも温度上昇とともに減少傾向を示す。また、90℃以上の温度領域ではマルテンサイト変態を起こさないことから、第 1 絞りでのマルテンサイト変態を抑制する目的でパンチ温度を 80℃、ダイスおよびしわ抑え温度を 220℃に設定し、高い温度領域の温度差を利用した絞り成形を試みた。その概念図を図 12 に示す。また、成形条件を表 4、結果を表 5 に示す。この温度領域を利用した場合、加工誘起マルテンサイト変態量が最も多いと思われるパンチ肩部で 0%であった。

この条件では再絞り試験を実施していないが、焼鈍を施したサンプルと同様に、成形性の向上および再絞り温度の低減が期待できる。金型構造上、温度制御が難しい再絞り工程を低温化し、金型構造が単純な第 1 絞りを高温化する方法は実用的な方法として期待できる。

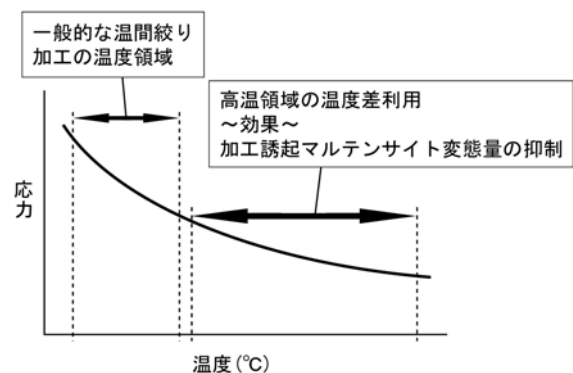


図 12 高温領域利用温間絞り加工概念図

表 4 第 1 絞り成形条件

金型	材質	SKD11硬質クロムメッキ
	パンチ径	40mm
	パンチ肩半径	3.8mm
	ダイス径	42.1mm
	ダイス肩半径	3mm
成形条件	潤滑	PTFEシート (厚さ0.05mm)
	しわ抑え力	50kN
	絞り速度	5mm/sec

表 5 第 1 絞り成形品のパンチ肩部の加工誘起マルテンサイト変態量

ダイス温度	100℃	220℃
しわ抑え温度	100℃	220℃
パンチ温度	0℃	80℃
変態量	1.4%	0%

4. 結 言

- (1) 温間絞り技術による工程短縮を実現するため、温間再絞り成形試験を実施した。室温での限界再絞り率 80%に対して、温間再絞りでは 55%であった。この結果、焼鈍工程も含めて 3 工程の工程削減の可能性を示した。
- (2) 再絞り成形後の加工誘起マルテンサイト変態量を 10%以下に抑制することができ、第 3 絞り以降も焼鈍工程を省略できる可能性を示した。

- (3) 再絞り金型は構造上、金型の温度制御が難しいため、再絞り温度低減方法について検討した。第 1 絞りの温度を従来より高くすることで焼鈍したサンプルと同等の加工誘起マルテンサイト変態量となる。その結果再絞り工程の成形温度を低減できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 渡部 豊臣, “ステンレス鋼板の温間絞り加工法”, 塑性と加工, 33, 375, 1992, p.396.
- 2) 鋸屋正喜, 塑性加工学会ステンレス鋼板のプレス成形分科会資料, 28, 1983.

マグネシウム合金パイプ材の曲げ加工技術の開発

相田 収平* 須藤 貴裕** 山崎 栄一**

Development of High-performance Bending Technology of Magnesium Alloy Pipes

AIDA Shuhei*, SUTOH Takahiro**, and YAMAZAKI Eiichi**

抄 録

マグネシウム合金パイプは、実用金属中では最軽量かつ重量に対して高剛性の中空型材といった両特長を有していることから、構造部材に適用した場合のメリットが大きく、今後の適用拡大が期待されている。本研究では、マグネシウム合金パイプの曲げ加工特性を把握するとともに、特徴的な現象である曲げ加工時の曲げ部内側での割れや座屈を抑制し、より小さな曲げ半径を可能とする曲げ加工技術の開発を行った。その結果、プレス曲げ加工による加工温度と曲げ比（本文 2.2.1 参照）、また曲げ部の偏平化や減肉等について明らかにし、構造部材に適用する場合の加工指針とすることができた。また、パイプの軸方向に引張り力を付加しながら曲げ加工を行う引張り曲げ加工技術の開発により、割れや座屈を抑制しつつ曲げ比 1.5 という小さな曲げ加工を可能とした。

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、同一重量において比較した場合の比強度では、鋼やアルミニウムより優れている。また、パイプ材は中空構造であることから重量に対して高剛性であり、軽量化やコストダウンに適している。これら両方の特長により、例えば車両用のシートフレーム部品などの構造部材に適用した場合には、強度と軽量を両立することが可能となり、大きなメリットが得られることから、今後の用途の拡大が期待できる¹⁾。

ところで、これらの製品の多くはパイプ材を曲げ加工した部品と板材をプレス成形した部品を組み合わせた形態となっている。しかしながら板材の成形技術に比べて、パイプの加工技術についての報告は少ない^{2),3)}。

本研究では、マグネシウム合金パイプの曲げ加工特性を把握するとともに、より高度な曲げ加工

技術を開発することによって、構造用部品等への適用拡大を図ることを目的とした。まず、プレス曲げ加工における曲げ加工特性を把握し、製品設計や加工時の指針とすること、および高品質かつ小さな曲げ半径を可能とする曲げ加工技術の開発を目指した。

2. マグネシウム合金パイプのプレス曲げ特性

2.1 供試材および引張り・圧縮特性

供試材として、外径 $D_0=22\text{mm}$ 、肉厚 $t_0=1.0\text{mm}$ 、および $t_0=1.8\text{mm}$ の AZ31 マグネシウム合金パイプを用いた。また、曲げ特性の評価に先立って、供試材の引張り、および圧縮試験を行った。引張試験には JIS14B 号円弧状試験片（平行部幅 8mm、標点距離 16mm）を用いた。一方、圧縮試験には供試材であるパイプを 16mm の長さに切断し、両端面を研磨加工したものを用いた。

図 1 に供試材の室温における応力-ひずみ曲線を示す。引張り側における耐力は約 160MPa に対して圧縮側では約 90MPa と引張り側の約 50%程

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

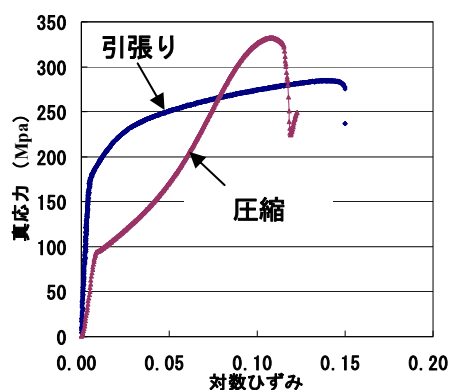


図1 AZ31 合金パイプの応力-ひずみ曲線

度になっており引張強さと圧縮強さの差が顕著な材料である。

2.2 プレス曲げ試験

マグネシウム合金パイプの曲げ加工特性を把握することで、加工時、あるいは設計時の指針として供するほか、加工特性を明らかにすることによって、新しい曲げ加工技術へ発展させていくことを目的として曲げ試験を行った。対象とした曲げ加工法はプレス曲げである。この加工法は生産性や設備コストの点で優位性があり、これからの適用拡大が期待できる加工法である。

2.2.1 試験方法

プレス曲げ試験は、図2に示すパンチとダイスより構成される金型を用いて、長さ300mmに切り出したパイプの90°曲げを行った。曲げ加工性は、パイプの外径D0とパイプ軸中心における曲げ半径R0、すなわちパンチ半径Rpにパイプの半径分を加えた値との比で表される曲げ比Br

$$\text{曲げ比 } Br = R0 / D0,$$

$$\text{ここで } R0 = Rp + D0 / 2$$

によって評価を行った。曲げ比Brは1.75～4.0の範囲で0.25ピッチで変化させるとともに、加工温度を室温から225℃まで変化させて曲げ試験を行い、パイプ曲げ部の割れ、および破断の有無によって曲げ加工の可否を判定した。

曲げ試験に用いたプレス機械として、以下の2台の機械を使用した。大きな加工速度の領域では

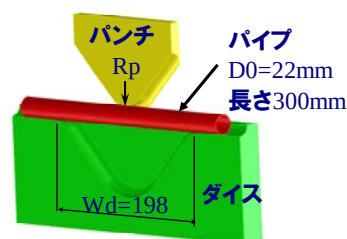


図2 パイププレス曲げ試験金型概略

加工能力1100kN、加工速度50SPMのクランクプレス機械を用いた。この場合の加工領域における平均加工速度は約270mm/sである。また、小さな加工速度領域では1～35mm/sの範囲で速度可変、加工能力290kNの油圧プレス機械を用いた。なお、曲げ加工に際してはパイプの偏平化を抑制する手段として、パイプ内に平均粒径0.5mmの鉄製ビーズを充填している。

2.2.2 試験結果

表1にクランクプレス機械によるマグネシウム合金パイプの曲げ加工試験結果を示す。縦項目は曲げ比Br、横項目には加工温度T(℃)をパラメータとして、各肉厚のパイプについて曲げ加工が可能な加工条件の領域を表している。表より、t0=1.0mmよりも、厚肉のt0=1.8mmのパイプの方が曲げ加工性が良好であり、室温ではt0=1.0mmパイプの限界曲げ比Br=3.5であるのに対し、t0=1.8mmパイプではBr=2.75までの曲げ加工が可能である。また、いずれの肉厚パイプについても、加工温度が上昇するにつれて曲げ加工性が向上し、

表1 パイプのプレス曲げ試験結果

曲げ比 Br	曲げ試験温度 T (°C)						
	R.T.	100	125	150	175	200	225
1.75							
1.875							
2							
2.25							
2.5							
2.75							
3							
3.25							
3.5							
3.75							
4							

 t0=1.8 曲げ可能領域
 t0=1.0 曲げ可能領域

225℃では両肉厚パイプについて今回の試験での最小曲げ比 $Br=1.75$ の加工が可能であった。しかし、 $Br=2.0$ を下回る小さな曲げ比では内側曲げ部に座屈による“しわ”が発生している。しわの発生具合は、肉厚の小さな $t_0=1.0\text{mm}$ のパイプにおいて顕著である。

次に、パイプの曲げ加工後の曲げ部断面形状について検討した。検討項目は、曲げ加工後の強度、および外観に影響を及ぼす、曲げ部横断面の偏平化率と曲げ部外側の肉厚の減肉率である（図 3）。

図 4 には、クランクプレス機械による曲げ加工時の偏平化率を示し、図 5 には減肉率を示している。どちらについても、曲げ比 $Br=2.0$ を下回るようになると、特に $t_0=1.8\text{mm}$ のパイプで顕著な悪化が認められる。 $t_0=1.0\text{mm}$ 、 $Br=1.75$ においては、 $t_0=1.8\text{mm}$ ほど偏平化率、減肉率の急激な悪化認められないのは、内側に発生する“しわ”の影響によるものと推測される。

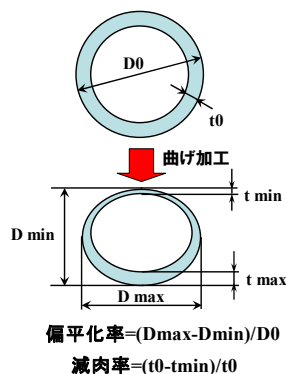


図 3 パイプ曲げ部横断面の変化模式図

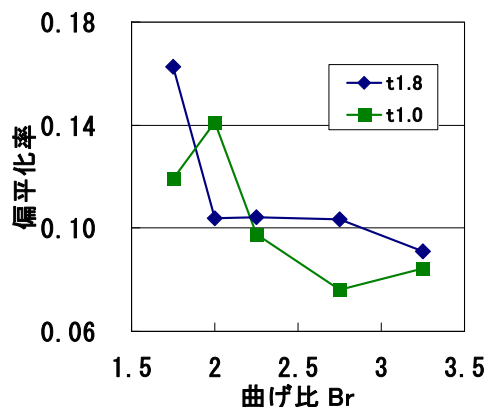


図 4 パイプ曲げ部横断面の偏平化率

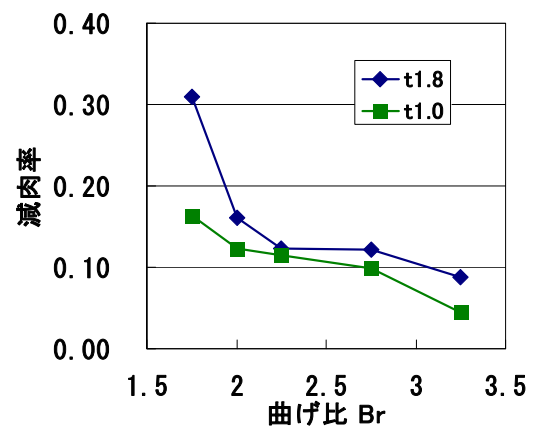


図 5 パイプ曲げ部横断面の減肉率

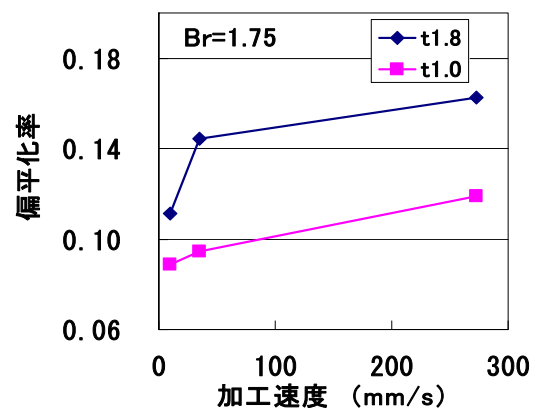


図 6 加工速度と偏平化率

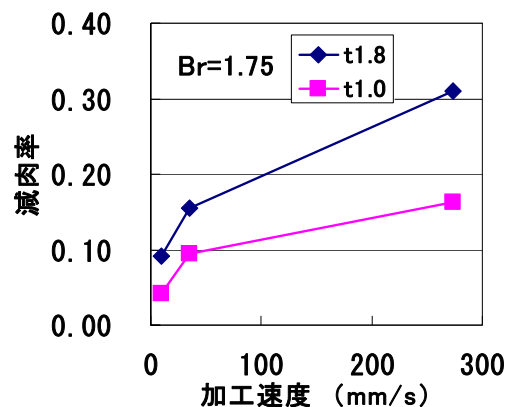


図 7 加工速度と減肉率

また図 6、7 には、 $Br=1.75$ における偏平化率、減肉率について加工速度を変化させた場合の傾向について示す。加工速度は 10mm/s 、 35mm/s 、および 270mm/s である。図から明らかなように、加工速度を小さくすることによって、偏平化率、

減肉率のどちらについても大幅に改善できることが明らかとなった。

3. パイプ引張り曲げ加工技術の開発

図 8 は t0=1.0mm パイプの曲げ加工時に発生する割れの形態について調べた結果である。図 1 の応力-ひずみ曲線からも明らかなように、マグネシウム合金では圧縮の耐力が引張り側の 50%程度であるため、パイプの曲げ加工時に曲げ部内側で発生する圧縮応力によって割れが発生するものと考えられ、今回調査した結果では、割れ現象の全てにおいて内側で発生していた。そこで本研究では、パイプの軸方向に引張り力を付加することでパイプ内側に発生する圧縮応力を低下させ、それによって曲げ加工性を向上させることをねらった、引張り曲げ加工技術の開発を試みた。



図 8 マグネシウム合金パイプの割れ形態

3.1 パイプ引張り曲げ試験装置

図 9 に開発した引張り曲げ試験装置を示すとともに、表 2 には装置の概略仕様を示す。鉄製ビーズを充填したパイプの両端を把持するとともに、この部分を油圧シリンダによって 0～20kN の範囲で引張り力を付加しながらサーボモータとボールネジによって駆動される曲げ型を前方へ移動することによって曲げ加工を行う。なお曲げ型には、600W のヒーター、および熱電対を埋め込むことによって室温～300℃の範囲で温度制御可能となっており、パイプ曲げ部を加熱しながら曲げ加工

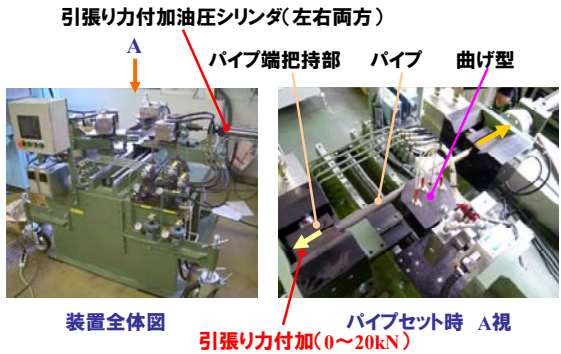


図 9 パイプ引張り曲げ試験機

表 2 パイプ引張り曲げ試験機概略仕様

パイプ外径 (D0) ×長さ (L)	φ22×600 mm						
曲げ比 Br	1.5	1.8	2	2.3	2.5	2.8	3
曲げ角度	0～90°						
軸方向引張り力	0～20 kN						
曲げ加工速度	0～150 mm/s						
パイプ内充填物	鉄製ビーズ (平均粒径0.5mm)						

が可能である。

3.2 引張り曲げ加工試験結果

図 10 には、t0=1.0mm パイプに引張り力を付加した際のパイプ曲げ部の外観を示す。また図 11 には、付加引張り力と曲げ加工時の内側に発生した“しわ”の山の高さ、すなわち座屈深さとの関係を示している。この場合の曲げ比は、従来のプレス曲げ加工では困難とされるほど小さな曲げ比 Br=1.5 とし、引張り力を 0.98～2.94kN の範囲で変化させて曲げ加工を試みた。

図から明らかなように、付加した引張り力が小さい場合には、パイプ内側に座屈による“しわ”の発生が認められるが、付加引張り力を大きくし、1.96kN、および 2.45kN の引張り力では、内側の“しわ”の発生が抑えられた良好な曲げ加工が可能となっている。また、座屈深さについても、付加引張り力の増加に対して、ほぼ直線的に小さくなっていることが確認されている。

以上の結果より、マグネシウム合金パイプの曲げ加工時に、軸方向に引張り力を付加することに

より，曲げ加工性の向上効果を確認することができた。



曲げ比 Br:1.5
加工温度 T:200 (°C)

図 10 付加引張り力とパイプ曲げ部

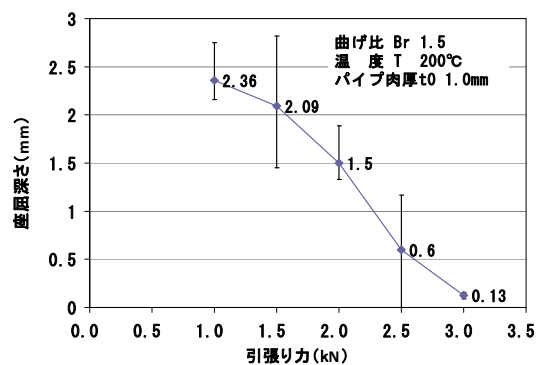


図 11 引張り力と曲げ部座屈深さの関係

4. 結 言

- (1) マグネシウム合金パイプのプレス曲げ加工特性について調査を行い，曲げ比と加工温度，および加工速度等との関係を明らかにし，曲げ加工時の指針とすることができた。
- (2) マグネシウム合金パイプの曲げ加工時に発生する内側での“割れ”や“しわ”の発生を抑制し，曲げ加工性の向上をねらった引張り曲げ加工技術を開発し，曲げ比 1.5 の小半径曲げ加工を実現した。

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) 長谷川収，真鍋健一，西村尚 “AZ31 マグネシウム合金押出円管の室温におけるプレス曲げによる変形挙動”，軽金属，52，7，2002，p298-302.
- 3) 須貝純一，岩井匡之，本保元次郎，清水亨，早田博，アレキサンダーマクリーン “AZ31 マグネシウム合金押出パイプの曲げ加工性に及ぼす Mn 量の影響”，軽金属，56，12，2006，p705-710.

金型均熱化技術の開発

本田 崇* 田村 信* 須藤 貴裕*

Development of Thermal Uniformity Technology for Forming Die

HONDA Takashi*, TAMURA Makoto* and SUTOH Takahiro*

抄 録

温間絞り用の金型表面の均熱化を目的として、伝熱シミュレーション技術の精度向上と金型表面の均熱設計手法の確立に取り組んだ。対流、輻射による熱損失を測定し、測定結果を熱伝達係数として整理することで、シミュレーションの精度が向上することを示した。このシミュレーションにより熱損失の割合を把握した。最も大きい損失は熱伝導であり、全損失の約 50%であることを示した。均熱設計手法では、シートヒータを用いた設計手法を開発した。実際に角筒絞り用金型をサンプルとして、設計、試作を行い、本手法の有効性を示した。

1. 緒 言

オーステナイト系ステンレス鋼はダイス加熱およびパンチ冷却を組み合わせた温間絞り加工法を用いることで飛躍的に深絞り成形性が向上することが知られている¹⁾。また、マグネシウム合金は常温における絞り加工は困難であるが、200℃以上に加熱すると変形抵抗が大きく低下することから、フランジ部やダイス肩部を加熱した温間絞り加工が行われている²⁾。

このように、熱を用いて加工を行うと、材料強度の温度依存性を利用して加工性を向上させることができるため、金型の温度制御は非常に重要である。しかし、金型の熱設計は経験によるところが多く、一様な温度条件を意図し設計しても、金型には温度ムラが生じてしまうため、成形への影響が懸念される。そこで本研究では、金型表面の均熱化を目的とし、伝熱シミュレーション技術の解析精度向上と金型表面の均熱設計手法の確立に取り組んだ。

2. 伝熱シミュレーション技術の精度向上

2.1 金属表面の熱損失の把握

金型からの熱損失は、空気への対流伝熱、輻射伝熱およびプレス機への熱伝導の 3 形態がある。精度のよいシミュレーションを行うには、これらの熱損失量の把握が必要となる。しかし、これらの把握は困難であり、特にプレス機への熱伝導による損失は実験から求めることは難しい。そこで、全熱損失に対し対流と輻射の割合を把握することで、間接的に熱伝導による損失を求め、各熱損失を把握することとした。

対流と輻射の測定の様子を図 1 に示す。測定

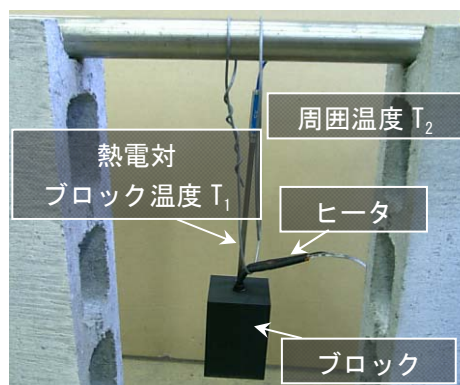


図 1 対流・輻射の測定

* 研究開発センター

サンプルには、材質 S45C、大きさ 50mm×50mm×70mm のブロックを用いた。この測定環境では、熱伝導による熱損失はほとんど発生しないため、定常状態における全供給熱量 Q は対流熱損失量 Q_c と輻射熱損失量 Q_r により式(1)で表される。

$$Q = Q_c + Q_r \quad (1)$$

また、対流と輻射熱損失については、それぞれ式(2),(3)のように表わすことができる。

$$Q_c = \alpha_c(T_1 - T_2)A \quad (2)$$

α_c : 熱伝達係数

A : 表面積

$$Q_r = \sigma F_{12} F_e (T_1^4 - T_2^4)A \quad (3)$$

σ : ステファン・ボルツマン係数

F_{12} : 形態係数

F_e : 放射率

ここで、 σ は輻射のエネルギーをやり取りする面の形状と面間距離から決定する係数であるが、ここでは 1 と仮定した。

熱損失量は、対流については熱伝達係数、輻射については放射率で表わされるため、このままでは熱損失量の比較が難しい。そこで、輻射を式(2)と同じ形で表すことで、輻射の熱損失量は式(4)のように等価熱伝達係数 α_r として表わすことができ、統一して整理することができる。

$$Q_r = \alpha_r(T_1 - T_2)A \quad (4)$$

ここで式(3)と式(4)から等価熱伝達係数は式(5)として求めることができる。

$$\alpha_r = \sigma F_{12} F_e (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2) \quad (5)$$

式(5)の等価熱伝達係数を用いることにより熱損失は熱伝達係数だけで整理でき、式(1)より対流と輻射を合わせた熱伝達係数 α は式(6)で表わされる。

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_r \quad (6)$$

実験では Q 、 T_1 、 T_2 および F_e を測定し、式(3)より放射伝熱量 Q_r を、式(5)より輻射の等価熱伝達係数 α_r を求めた。 Q_r を決定した後、対流伝熱量 Q_c 、対流熱伝達係数 α_c は式(1),(2)より求めた。実測した熱伝達率測定の結果を図 2 に示す。熱伝達係数は温度に依存しており、温

度が上がると大きくなる事が分かる。なお、ブロックの表面はフライス仕上げで放射率は 0.18 である。

一般に表面が平滑であれば、対流の熱伝達係数 α_c に大きな違いはないため、本研究では表面によらず同一と仮定する。これに対し、輻射は表面の腐食、色等の影響を受けるため、放射率は表面状態により変化する。金型は部位により表面状態が異なるため、正確な温度分布を予測するには、表面状態ごとに放射率を把握する必要がある。よって、表面状態ごとに放射率を測定し、等価熱伝達係数 α_r を求めた。測定した放射率を表 1 に、等価熱伝達係数を先ほど示した図 2 に示す。対流のみによる熱伝達係数と比べ、輻射により熱伝達係数が大きくなっていることがわかる。

2.2 金型表面の温度分布解析

2.2.1 解析モデル

測定した等価熱伝達率を用いて金型表面の温度分布解析を行い、実測値と比較してその有効性について検討した。解析には ANSYS, Inc 製有限要素解析ソフト ANSYS Workbench ver.11.0 を用いた。検討に用いた角筒絞り金型を図 3 に示

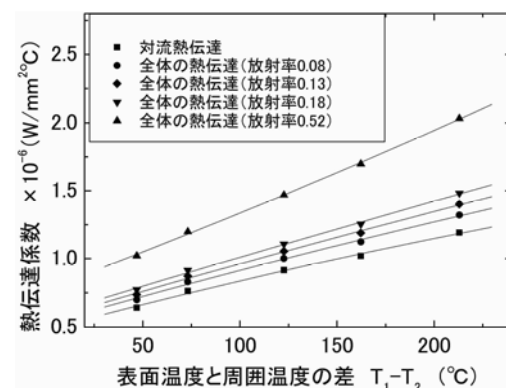


図 2 熱伝達測定結果

表 1 表面状態による放射率

表面の状態	放射率
鏡面	0.08～0.13
フライス面	0.18～0.25
さび面	0.52～0.60

す。金型はダイス、8本の棒状ヒータを配置したヒータ板、断熱板および台座で構成されている。金型形状の対称性から、解析モデルは金型の1/8とした。解析モデルを図4に示す。

2.2.2 プレス機への伝熱量

プレス機上に金型を載せた場合、金型の熱損失は2.1で検討した対流伝熱と輻射伝熱だけでなく、プレス機への熱伝導が発生するため、式(6)で表される。ここで Q_m はプレス機への伝熱量である。

$$Q = Q_c + Q_r + Q_m \quad (6)$$

Q は測定した実測した供給熱量であり、 Q_c と Q_r は2.2.1で求めた熱伝達係数を用いて計算した結果から求めることができるが、それぞれの熱損失量は Q_m の大きさにより変わるため、まず Q_m を把握する必要がある。しかし、プレス機への伝熱量 Q_m を測定するのは困難なため、実測した表面温度と解析結果の比較から値を推

定した。推定値を用いるにあたり、値の誤差が表面の温度分布に与える影響を検討した。解析から求めた、プレス機への伝熱量を変化させたときの温度分布を図5に示す。測定位置の数字は、上の図の番号である。各条件で求めた平均温度を0として、平均値からの温度差を比較した。ここで台座とプレス機の接触面では、面内で一様な熱の移動が行われていると仮定した。

結果より、プレス機への伝熱量 Q_m は表面の平均温度に影響を及ぼすものの、温度分布には影響しないことが確認できた。よって、 Q_m は解析で求めた金型表面の平均温度と実測した平均温度が一致したときの値を用いることとした。

2.2.3 解析結果

金型表面の熱画像と解析結果の比較を図6に示す。熱画像の測定にはアビオニクス社製TVS-500EXを用いた。シミュレーションにより温度分布を精度よく再現できていることが分かる。図5の測定点と同じ位置での、実測値と解

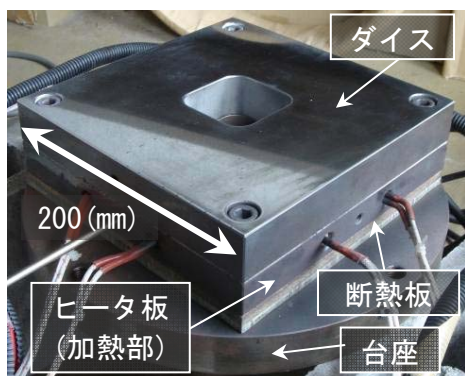


図3 角筒絞り金型

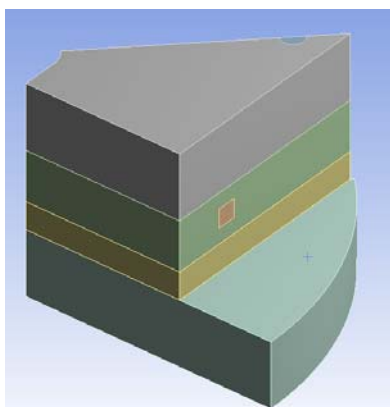
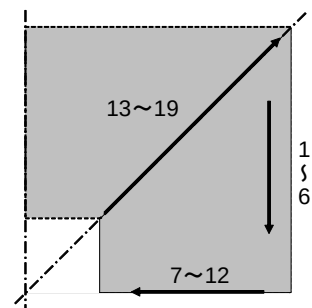
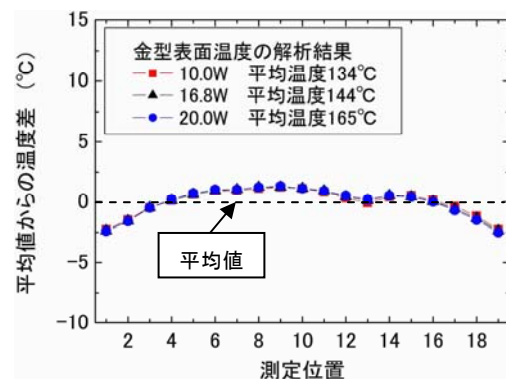


図4 解析モデル



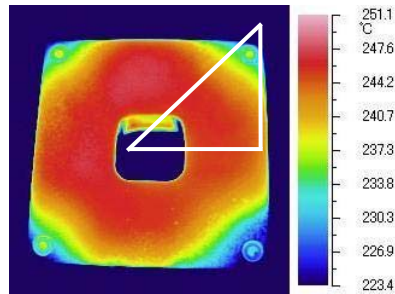
温度測定位置



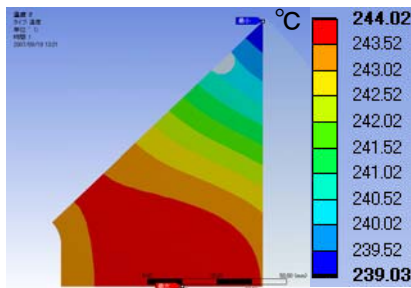
プレス機への伝熱条件と
平均値からの温度差

図5 伝熱量の変化による表面温度の分布

析結果の比較を図7に示す。ダイス上面を平均温度約140℃に加熱したとき、温度の誤差を±1℃以内で再現できていることが分かる。ま

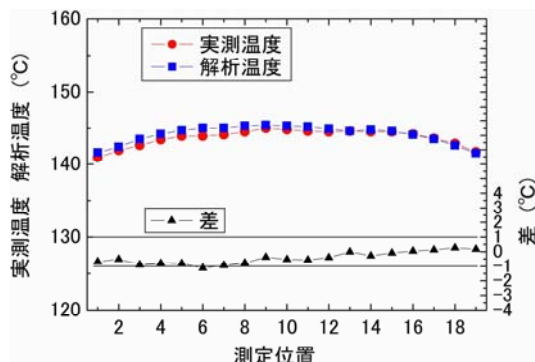


熱画像測定結果

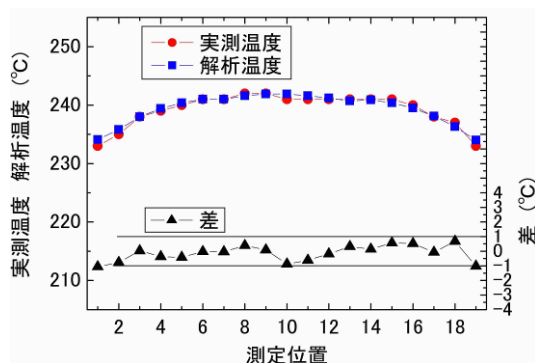


解析結果

図6 金型表面の熱画像と解析結果の比較



表面平均温度約140℃の比較



表面平均温度約140℃の比較

図7 伝熱量の変化による表面温度の変化

た、熱伝達率を温度依存で表現していることから、ダイス上面の平均温度を約240℃にした場合も±1℃で再現できている。これより本研究で用いている熱伝達率の有効性を確認できた。

2.2.4 熱損失の割合

金型の温度分布を精度よく再現できたことから、そのときの金型内の熱損失の割合について検討した。熱損失の割合を図8に示す。全損失に対して、対流による損失は41～45%，輻射による損失は6%，プレス機への伝熱量は48～52%であった。ダイスの表面温度によらず、金型表面の大部分が光沢面であることから放射率が低く、輻射による熱損失の割合が少ない。それに対してプレス機側への伝熱量は供給熱量の約50%と極めて大きい。結果より、金型に供給するエネルギーを有効に使うためには、プレス機への熱伝導を少なくすることが最も有効であることがわかった。

3. 均熱化の手法

3.1 金型の温度ムラ発生原因

金型の温度が均一にならない原因として以下の要因が考えられる。

- ① 周囲への熱損失（対流・輻射）
- ② プレス機への熱の移動（熱伝導）

① 周囲への熱損失（対流・輻射）

金型の表面は空気への熱伝達および周囲への輻射により熱を奪われる。そのため、金型の表

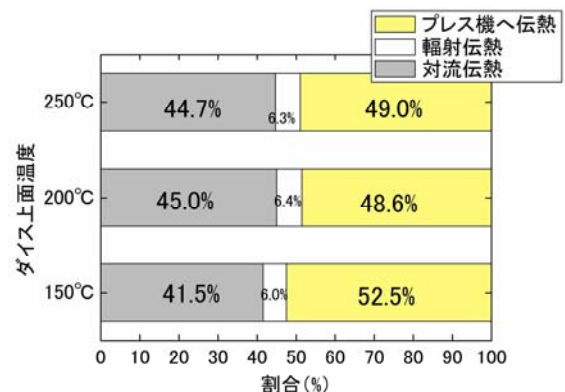


図8 金型内の熱収支の割合

面と内部には温度差が生じ、特に複数面空気と接する角部からの熱損失は大きく、温度は低くなる。

② プレス機への熱損失（熱伝導）

温間絞り用の金型は、図3のようにヒータ板（加熱部）とプレス機の上に断熱板を採用することにより、プレス機への熱の移動を減じている。しかし、ボルト締結部など金属同士が接する部分からは熱の移動が大きく、熱損失量は大きくなる。そのため、締結部周辺の温度は低くなる。

ヒータから発生した熱は、金型内を熱伝導により伝播するため、温度分布は均一になるよう変化する。しかし、上記①②のような熱損失が発生すると、熱伝導による均一化より、熱損失による冷却の効果が大きくなるため、温度は均一にならない。

金型表面の温度を均熱化するには、①の対策として、周囲への熱損失の大きい箇所（角部周辺）に多くの熱を供給し、温まりやすい箇所（角部遠方）には熱を供給しないようにする必要がある。また②の対策には、締結部からの熱の逃げの影響を表面の温度分布に対して少なくする必要がある。

そこで、まず締結部からの影響が少なくなるような金型の構造を検討し、次に熱源の最適配置を行うことで表面の均熱化を行った。

3.2 締結部の影響

熱の移動はフーリエの法則により式(7)の形で表される。

$$\frac{Q}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

k：熱伝導率

式(7)より、移動する熱流 Q は、熱伝導率と温度差に比例して大きくなるのがわかる。よって、ヒータから締結部に流れる熱流を減らすには、表面を加熱するヒータとは別のヒータで締結部周辺を加熱することで、周囲と締結部の温度差を少なくすることが有効と考えられる。そ

こで、締結部周辺の加熱の有効性を確認するため、図3に示した角筒絞り金型を対象に、全面ヒータ板を用いた解析を行った。全面ヒータ板の構造を図9に示す。全面ヒータ板は、外周部と穴部の周囲 10mm 以外に窪みを設け、ここにシートヒータを取り付けることによりダイスの上面全体に熱を供給する構造である。

この全面ヒータと棒状ヒータ（以下従来ヒータ）を上下複層ヒータとして、表面温度の比較を行った。解析したモデルを図10に、比較として行った条件を表2に示す。

解析結果を図11に示す。条件2と3の比較から、全面ヒータより従来ヒータの方が均熱化さ

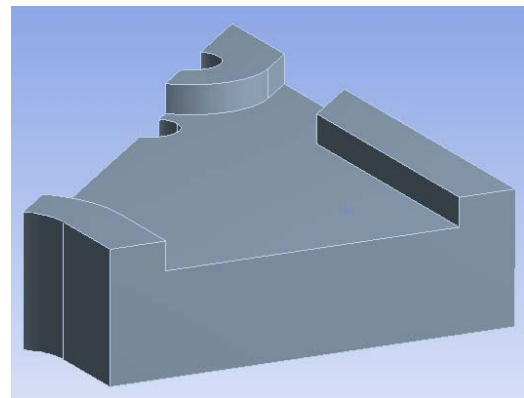


図9 全面ヒータ板

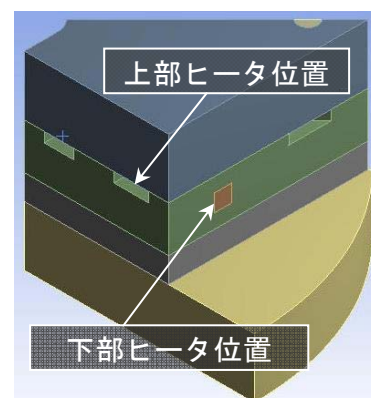
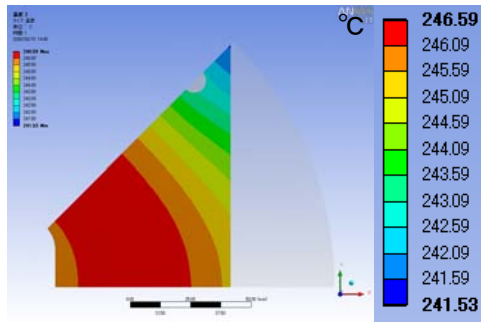


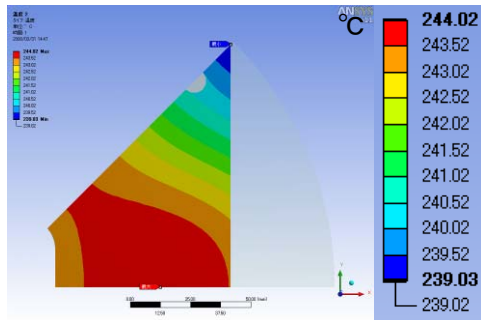
図10 上下複層ヒータ解析モデル

表2 比較条件

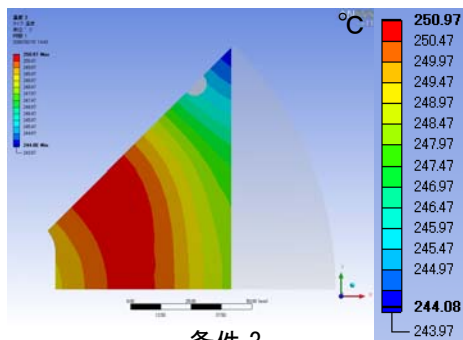
	上部ヒータ	下部ヒータ
条件1	全面ヒータ	従来ヒータ
条件2	なし	従来ヒータ
条件3	全面ヒータ	なし



条件 1



条件 2



条件 3

図 11 複層ヒータ板比較解析結果

れている。これより、単純に上面全体を加熱するだけでは均熱化されないことがわかる。また、条件 1 との比較から、従来のヒータと全面ヒータを複層化することで、より均熱化されることがわかる。これより、上下複層ヒータ構造金型では、下部ヒータにより締結部周辺が加熱され、表面を加熱する上部ヒータからの熱流が締結部へ流れにくくなり、均熱効果が得られることが確認できた。

3.3 熱源の最適配置

次に熱の供給コントロールとして熱源の配置を検討した。この検討については、3.2 で均熱効果を確認できた上下複層ヒータ構造とし、熱

源には任意に配置が可能なシートヒータを用いた。検討した手順は以下のとおりである。

- ① 従来ヒータ板＋全面ヒータによる解析
- ② 解析結果から、表面高温部直下のヒータを削除した CAD モデルの作成
- ③ ②で作成した CAD モデルを用いた解析
- ④ ②③の繰り返しによるシートヒータ形状の最適化

まず、上部ヒータ板に全面ヒータを用いて解析を行うことにより、金型の形状に起因する、金型表面への熱流を表面温度から把握する (①)。その後 CAD によるモデルの修正 (②) と解析 (③) を行う。①と同様に、現ヒータ形状による熱流を把握し、モデル修正を行うことで、温度分布が均一となるよう形状を制御することができる (④)。修正と解析結果の例を図 12 に

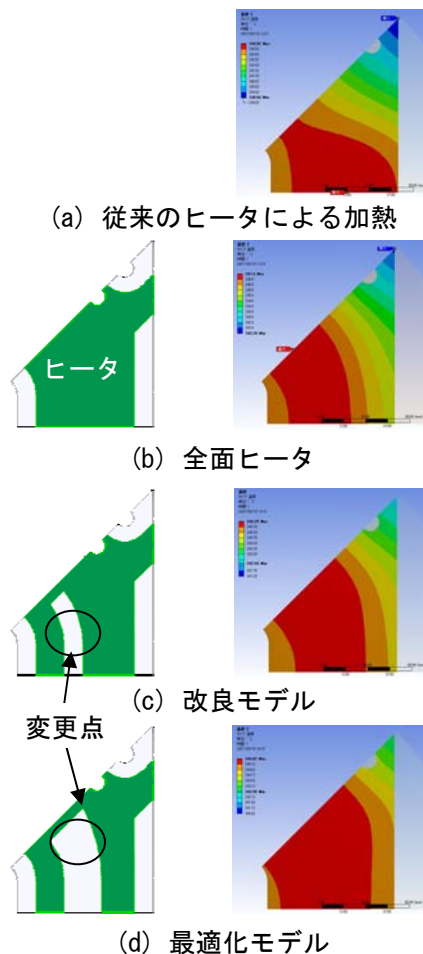


図 12 ヒータ形状 (左) と解析結果 (右)

示す。1色を0.5℃刻みで表示した。単純な修正を数回行うことで均熱化がなされることがわかる。ただし、この金型のサイズはあまり大きくないため、均熱化の効果を確認するには、大型で温度ムラが生じやすい金型が望ましい。そこで、図13の金型を対象として、同様の解析により最適形状のヒータ板を設計し、均熱化の効果を確認した。解析モデルを図14に、ヒータモデルの修正と解析結果を図15にそれぞれ示す。1色を2.0℃刻みで表示した。図12と同様に、金型形状が変わっても均熱化されており、改良前の金型の温度差が大きいことから、均熱化の効果が確認できた。

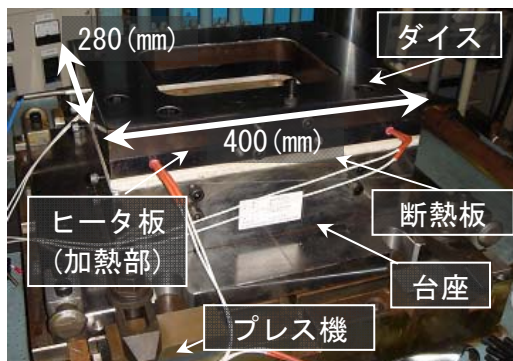


図13 大型角筒絞り用金型

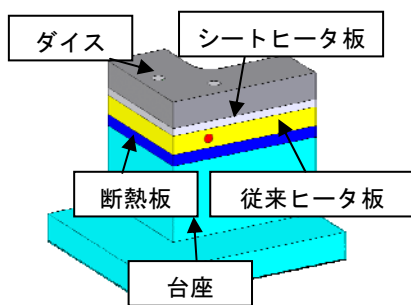


図14 シートヒータ取り付け位置



図16 均熱ヒータ板

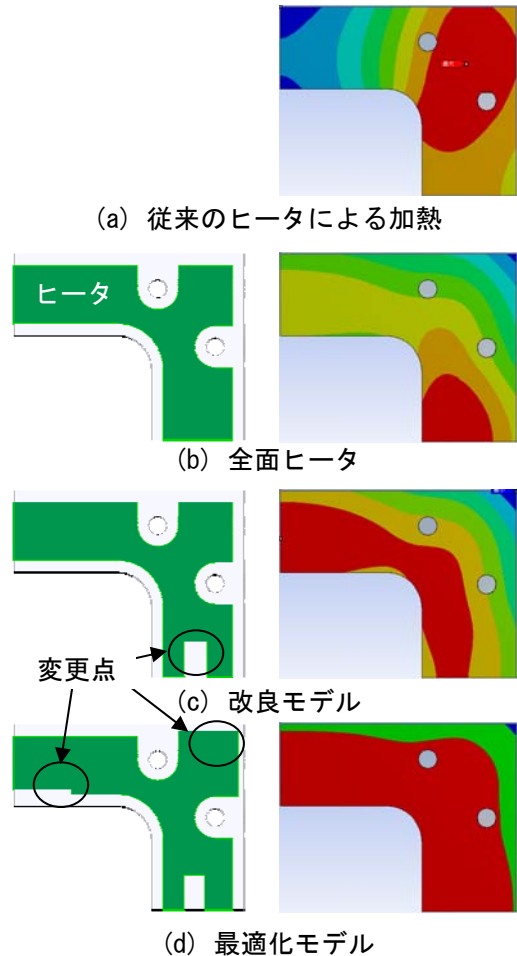
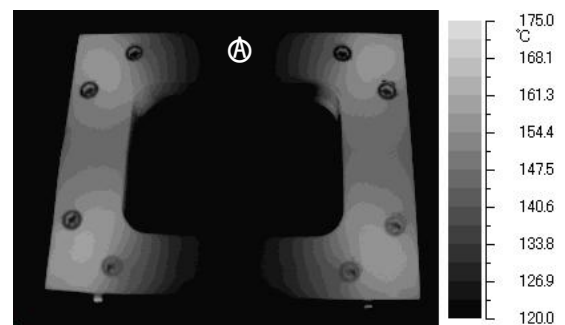
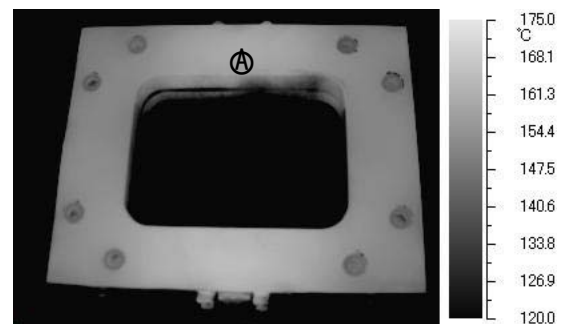


図15 ヒータ形状（左）と解析結果（右）



(a) 従来ヒータのみによる加熱



(b) 上下複層ヒータによる加熱

図17 大型角筒絞り用金型

3.4 均熱化の検証

均熱化の検証を行うため、解析結果を基にシートヒータおよびシートヒータ板を試作して加熱実験を行った。試作したシートヒータ板を図16に示す。シートヒータの取り付け位置は図14に示すとおり、ダイスと従来ヒータの間である。効果を比較するため、従来ヒータ板のみの加熱と、最適化された上下複層ヒータによる加熱による金型表面の温度を熱画像にて測定した。測定結果を図17に示す。従来のヒータ板による加熱では、図中④部は温まっておらず、金型表面に温度ムラが生じている。これに対し、上下複層ヒータによる加熱では、④部も周囲と同様に温まっており、金型表面の温度は均熱化されており、本手法による均熱化を確認することができた。

4. 結 言

- (1) 対流，輻射による熱損失を測定し，熱伝達係数で整理することで，精度のよいシミュレーションを可能とした。
- (2) シミュレーションにより，対流，輻射，熱伝導による熱損失の割合を把握した。熱伝導による熱損失は全損失の約50%であることから，効率よく金型を発熱させるには，熱伝導による損失を抑えることが有効であることを示した。
- (3) 均熱化手法の一つとして，シートヒータを用いた設計手法を開発した。サンプルとなる金型を対象に設計，試作を行い，本手法の有効性を示した。

参考文献

- 1) 渡部 豊臣，” 塑性と加工 “，33，375，1992，p.396
- 2) 鎌土重晴，小原久，小島陽，” マグネシウム合金の成形加工技術の最前線 “

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）

内藤 隆之*, 磯部 錦平**, 三浦 一真**, 山田 昭博**, 小林 泰則***

Development on the techniques for surface treatment of magnesium alloys I

NAITO Takayuki*, ISOBE Kohei**, MIURA Kazuma**, YAMADA Akihiro** and KOBAYASHI Yasunori***

抄 録

マグネシウム合金(AZ31B)の表面処理において、①フッ酸/アルカリ処理または②アルカリ+有機酸処理は前処理方法として耐孔食性の向上に有効であった。それぞれの前処理を実施した化成処理品（水蒸気を利用）は連続 86.4ks の塩水噴霧試験において腐食痕がわずかに確認される程度であり、耐食性の向上が確認できた。

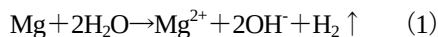
1. 緒 言

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。そのため耐食性を付与する表面処理方法は JIS H8651 をはじめ、最近の特許出願動向においても環境負荷低減を目的とした有害物フリーの処理方法が種々提案されている¹⁾が、未だ開発途上にある。

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^{2, 3)}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、Mg 合金に対して無塗装で耐食性のある表面処理方法は実用上あまりないと思われる。

一方、Mg 合金は活性が高いため(1)式に示すように水と容易に反応して強アルカリ性を示すとともに、その表面は不溶性の水酸化マグネシウム（以

下、 $Mg(OH)_2$ と略）で被覆される特徴がある。



そこで本研究では、Mg 合金中に散在する介在物などのうち表出しているものの除去方法と水蒸気を利用した有害物フリーな化成処理方法（以下、水熱処理という）について検討した。

2. 実 験

2.1 供試材

実験に使用した Mg 合金は AZ31B 材（日本金属（株）製）であり、化学成分を表 1 に示す。

試験片は厚さ 0.8mm の板材から 25×60mm に切り出した後、アセトン中にて浸漬脱脂を行った。

2.2 実験方法

2.2.1 フッ酸／アルカリ処理（以下、前処理①法という）

試験片をフッ酸溶液（以下、HF という）に浸漬

表 1 供試材の化学成分

成分 項目	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca
JIS規格値(mass%) - H4201(1種B) -	2.4-3.6	0.50-1.5	0.15-1.0	≤0.005	≤0.10	≤0.05	≤0.005	≤0.04
分析値(mass%)	2.87	0.95	0.38	0.003	0.014	0.001	<0.001	<0.001

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

*** 中越技術支援センター

後、水酸化ナトリウム溶液（以下、Na という）、純水（以下、W という）に順次浸漬して乾燥した。

2.2.2 アルカリ+有機酸処理（以下、前処理②法という）

試験片を水酸化ナトリウムとグルコン酸ナトリウムの混合溶液（以下、NaG という）に浸漬後、純水（以下、GW という）に浸漬して乾燥した。

2.2.3 水熱処理

予め純水を入れた加圧容器に試験片を置いて、定温乾燥器（ヤマト科学(株)製 DKN401）の中で加熱・加圧処理を行った。

2.3 評価方法

2.3.1 前処理工程における試験片からの溶出成分の分析

ICP 発光分光分析装置（サーモフィッシャーサイエンティフィック(株)製 iCAP 6300 Duo View、以下 ICP と略）を用いて、表 1 に示した各成分が試験片表面から各液（HF、Na、W、NaG および GW）へ溶出した量(kg/m²)を求めた。

2.3.2 表面分析

X 線マイクロアナライザー（日本電子(株)製 JXA-8100、以下 EPMA と略）により試験片の表面観察、元素分析およびマッピングを行った。光電子分光分析装置（日本電子(株)製 JPS-9000MC、以下 ESCA と略）により試験片表面における皮膜成分の深さ分析を行った。

2.3.3 塩水噴霧試験（以下、SST と略）

塩水噴霧試験機（スガ試験機(株)製 ST-ISO-3 型）を用いて、JIS Z2371 に準拠して行った。噴霧時間は、連続 86.4ks とした。

3. 結果および考察

3.1 前処理①法

HF、Na、W 各液に浸漬させた試験片

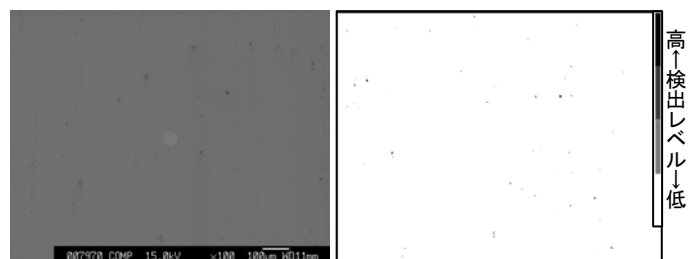
表 2 試験片表面から各液へ溶出した成分の分析値

成分 溶槽	Mg	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Ca
HF (kg/m ²)	0.041	0.002	0.000	0.002	0.000	※	0.000	0.000	0.000
Na (kg/m ²)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
W (kg/m ²)	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NaG(kg/m ²)	0.015	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
GW (kg/m ²)	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

※検量線作成に失敗した (bk値>std値)

表面から溶出した各成分の ICP 分析値(kg/m²)の結果を表 2 に示す。HF では Mg(0.041kg/m²)の他に Al(0.002kg/m²)と Mn(0.002kg/m²)を検出した。このことから試験片表面では母材の溶解と同時に表出している介在物も溶解除去されているものと考えられる。また Na では Al、Mn は検出せず、W では Mg の溶出(0.001kg/m²)のみ検出した。

前処理①法で処理した試験片表面を EPMA にて観察した結果を図 1 に、分析した結果を図 2 に示す。一般に Mg は HF との反応で不溶性 MgF₂ を生成して、不動態膜を形成する。反射電子像では、図 1(a)に示すように試験片表面は滑らかであるものの、無数の食孔（φ10 μm 程度の黒点）や微細な白点を確認できた。AZ31B には Al-Mn 系の介在物があり²⁾、図 1(b)に示す Mn の分布が図 1(a)の白点と一致した。これは前処理①法では試験片表面の介在物が一部残存していることを示すと考えられる。また、無数にある食孔の成因は明らかではないが、介在物が抜け落ちたものと思われる。図 2 に示すように HF に浸漬した試験片（図中 HF）で検出した F は、Na と W に浸漬した試験片（図中 HF/Na/W）では検出できなかった。一方、O は著しい増加(2→22mass%)が確認できた。図 3 に HF で処理した試験片および前処理①法（HF から W



(a) 反射電子像（組成像） (b) X 線 (MnK α) のマップ

図 1 前処理①法後の試験片表面

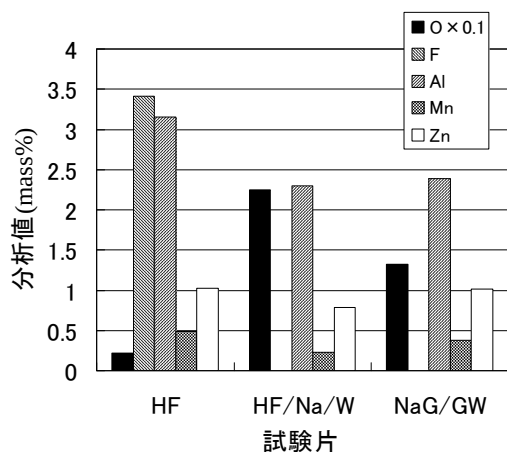


図2 各試験片のEPMAによる表面分析結果

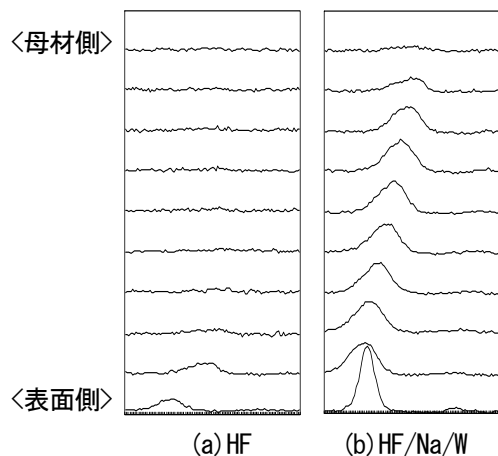


図3 各試験片表面の酸素(O)の深さ分布

まで)で処理した試験片の各表面について ESCA 分析した結果を示す。ここでは試験片の表面側から母材側に向かって O の深さ分布を測定した。O の分布は HF の処理試験片 (図 3(a)) と比較して、前処理①法 (HF から W まで) の処理試験片 (図 3(b)) で広がっていることを確認できた。このことから Na と W で処理した試験片表面では、F を除去しながら主要な合金成分 (Al と Zn) の溶出を抑えつつ、(1)式のような水と Mg の反応により不溶性 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ が生成して全面を被覆しているものと考えられる。

図4に前処理①法で処理した試験片の SST 結果を示す。SST 後の試験片表面は全体にかっ色を呈し、無数の腐食斑 (白斑) と糸状腐食が確認できた。図5にかっ色部、白斑部および糸状腐食部の EPMA 分析結果を示す。かっ色部、糸状腐食部と白

斑部で化学組成の相違が確認できた。かっ色部は図2の HF/Na/W (前処理①法による処理表面) と同様な傾向となり、表面を一様に腐食しているものと考えられる。糸状腐食は粒界に沿って成長²⁾し、かっ色部、白斑部とくらべて Cl の濃縮と考えられる数値の上昇が認められた。白斑部は Al, Mn と Zn が検出されず、Mg の優先的な溶出と(1)式のような水と Mg の反応により $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の生成が起こっていると考えられる。糸状腐食部と白斑部は皮膜の欠陥 (図 1(a)で確認される介在物や黒点状の食孔等) を起点として、皮膜と母材の電位差腐食により生成したものと考えられる。このことから皮膜の欠陥を軽減することが耐孔食性向上に有効である。

3.2 前処理②法

NaG, GW 各法に浸漬させた試験片表面から溶



図4 前処理①法試験片の SST 結果

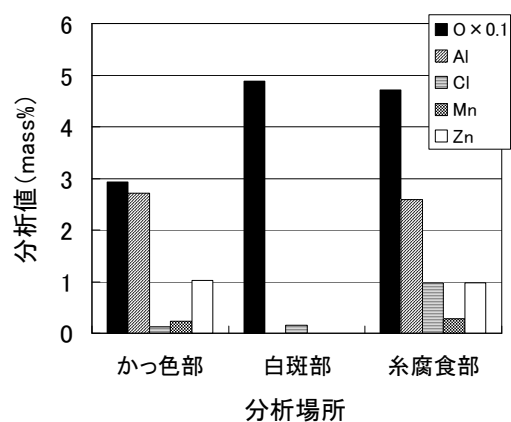


図5 SST 後の前処理①法試験片の EPMA による表面分析結果

出した各成分の ICP 分析値(kg/m²)の結果を表 2 に示す。NaG では Mg(0.015kg/m²)の他に Al(0.001 kg/m²)が検出し、Zn と Mn は検出しなかった。各元素の溶出量は相対的に前処理①法と同様な傾向を示したことから、前処理②法でも前処理①法と同様に表面の介在物が除去されていると考えられる。GW では Mg の溶出(0.001kg/m²)のみ検出した。

前処理②法で処理した試験片表面の EPMA 分析した結果を図 6 に示す。グルコン酸は一般に金属の酸性型洗浄剤の主剤としてアルカリ液中で使用されている強力なキレート剤である。図 6(a)に示すように試験片表面は無数の食孔(φ10 μm 程度)が確認でき、前処理①法(図 1(a))とは明らかに異なっていた。この食孔は図 6(b)に示すように O

の分布と一致していた。また、図 6(c)に示すように Mn の分布も確認でき、前処理②法でも試験片表面の介在物が一部残存していることがわかった。また、食孔(図 6(b))の成因は明らかではないが、材料を構成している α 固溶体と Mg-Al 化合物(Mg₁₇Al₁₂: β 相)の電位差³⁾等がグルコン酸との反応性に関与して、Mg の不均一な溶出を起こしているものと思われる。また図 2 に示すように前処理②法の試験片(図中 NaG/GW)で検出した O は、前処理①法の試験片(図中 HF/Na/W)と比較して減少していること(22→13mass%)がわかった。このことから前処理②法による試験片表面では、グルコン酸による不均一な Mg の溶出を伴いながら(1)式のような Mg(OH)₂ の生成により全面を被覆しているものと考えられる。

図 7 に前処理②法で処理した試験片の SST 結果を示す。SST 後の試験片表面は大きく 2 つの領域に分かれた。図 7(a)の点線より左側は全体にかっ色を呈し、微細な腐食斑(白斑)が無数確認できた領域(以下、領域 A という)であり、一方図 7(a)の点線より右側は全体に明るい灰色を呈し、腐食斑(白斑)と糸状腐食が混在した領域(以下、領域 B という)である。領域 A(図 7(b))のかっ色部(点線囲み)と白斑部(矢印)の EPMA 分析結果を図 8(a)に示す。かっ色部は図 2 の NaG/GW(前処理②法による処理表面)と同様な傾向となり、

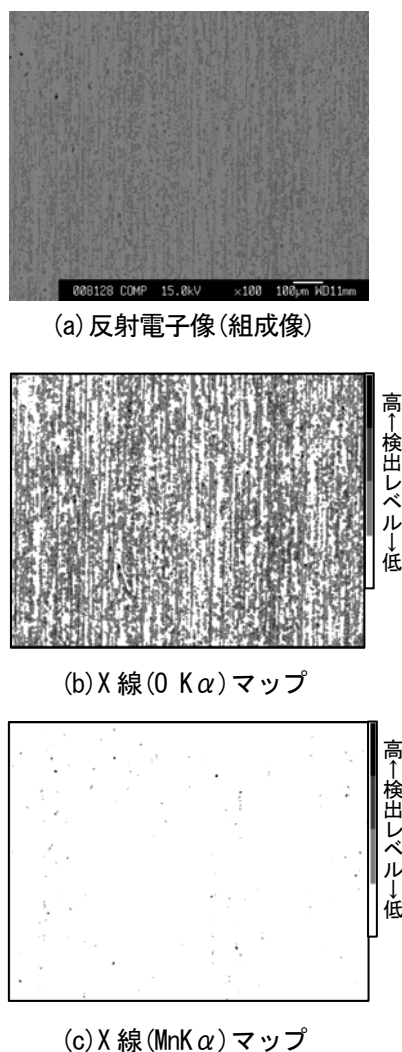


図 6 前処理②法後の試験片表面

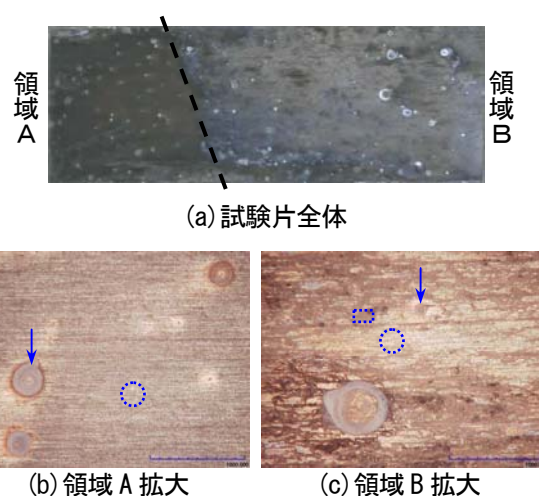
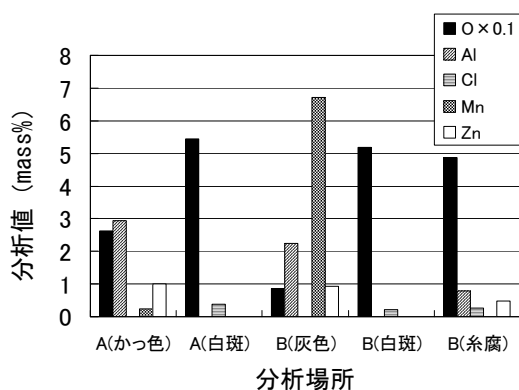


図 7 前処理②法試験片の SST 結果
(矢印と点線囲みは分析場所)



(a) 表面各部分の分析

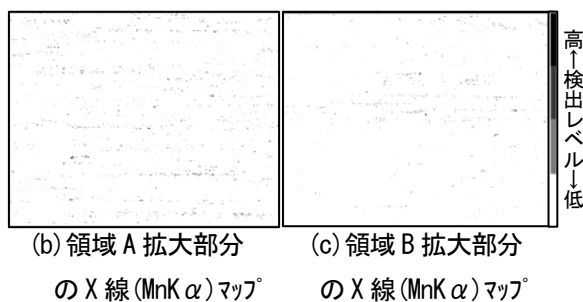


図 8 SST 後の前処理②法試験片の EPMA による表面分析結果

表面が一様に腐食しているものと考えられる。白斑部は Al, Mn と Zn が検出されず, Mg の優先的な溶出と(1)式のような水と Mg の反応により $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の生成が起こっていると考えられる。このことから領域 A の腐食状態は前処理①法と同じ傾向であった。領域 B (図 8(c)) の灰色部分 (点線丸囲み), 白斑 (矢印) および糸状腐食部分 (点線四角囲み) の EPMA 分析結果を図 8(a)に示す。灰色部分は図 2 の NaG/GW と比較して, Mn に著しい変化(0.4→6.7mass%)が認められた。一方, 白斑部は領域 A の白斑部と, 糸状腐食部は図 5 の糸状腐食部とそれぞれ同様な傾向が認められた。図 8(b), (c)に領域 A と B について Mn の分布を示す。均一に腐食されていると考えられる領域 A のかっ色部と領域 B の灰色部では, 同様な傾向が認められた。このことから, 2 つの領域の成因は試験片表面に残存している介在物 (腐食の起点) と O の不均一な分布 (図 6(b)) によると考えられる。

3.3 水熱処理

前処理①または②法を行わずに水熱処理をした

試験片表面について EPMA 分析した結果を図 9(a), (b), 図 10, および図 11(a)に示す。図 9(a)で示すように試験片表面は全体的に滑らかであるが, 皮膚の欠陥としてところどころに無数の白点, 数十 μm 程度の陥没状剥離痕および亀裂が認められた。また図 9(b)で示すように皮膚は 10 μm 程度の緻密な構造の膜であることがわかった。図 10 で示すように皮膚表面では O が著しく検出されており, (1)式で示したような反応により $\text{Mg}(\text{OH})_2$ を主体とした皮膚が厚く生成したものと考えられる。また, 図 9(a)で認められる白点は図 11(a)で示すように Mn の分布と一致しており, 皮膚表面で介在物の混在が確認できた。

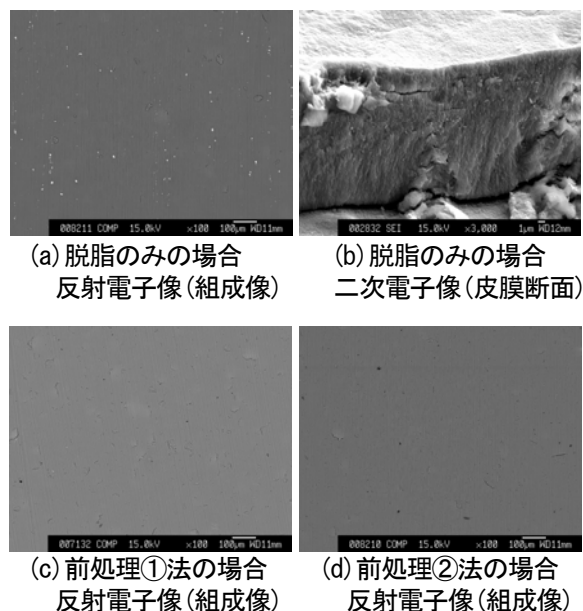


図 9 水熱試験片の電子顕微鏡観察

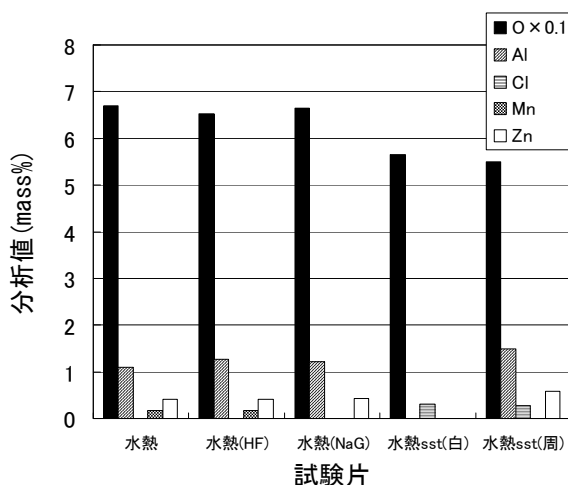


図 10 水熱試験片の EPMA による表面分析結果

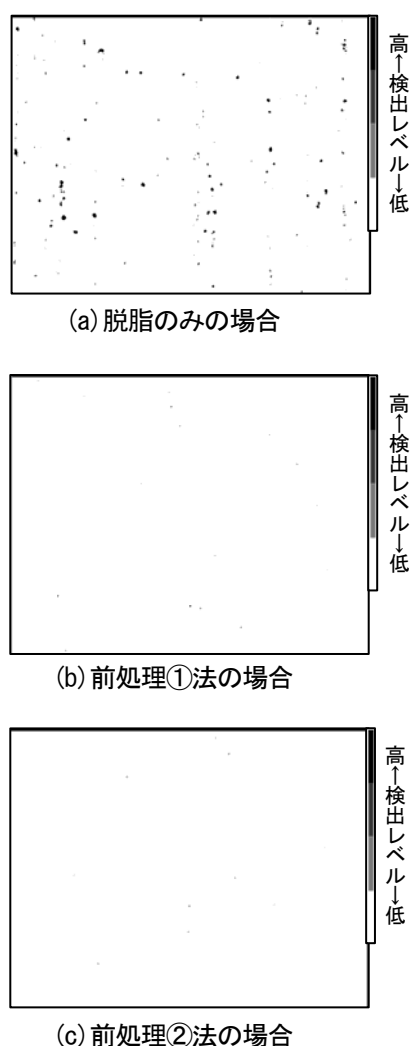


図 11 水熱試験片の X 線 (MnK α) マップ

前処理①および②法を行って水熱処理をした試験片表面について EPMA 分析した結果を図 9(c), (d), 図 10, および図 11(b), (c)に示す。図 9(c)で示すように前処理①法を行った試験片表面は全体的に滑らかであるが、皮膜の欠陥としてところどころに数十 μm 程度の陥没状剥離痕および亀裂が認められ、図 1(a)と似た傾向であった。一方、図 9(d)で示すように前処理②法を行った試験片表面は図 6(a)と同様に無数の食孔 ($\phi 10 \mu\text{m}$ 程度) が確認でき、表面の起伏は水熱処理後においても維持されていた。

図 10 で示すように皮膜表面では O が著しく検出されており、(1)式で示したような反応により $\text{Mg}(\text{OH})_2$ を主体とした皮膜が厚く生成したものと考えられる。また、図 11(b), (c)で示すよう

に Mn の分布は前処理をしない場合 (図 11(a)) と比べて著しく減少していた。

図 12 に脱脂のみ行った試験片と水熱処理した各試験片および各試験片の SST 結果を示す。SST 後の試験片表面 (図 12(e)から(h)) は脱脂のみの試験片 (図 12(e)) で著しい腐食を受けたことに比べて、水熱処理した各試験片 (図 12(f), (g), (h)) では試験前 (図 12(b), (c), (d)) とほぼ同じ状態であり、耐食性が向上していることを確認できた。しかし、前処理①または②法を行わずに水熱処理した試験片 (図 12(b)) では腐食孔 (矢印) が多数確認できた (図 12(f))。この腐食孔の周辺を拡大すると図 13(a)で示すように、図 7(b)と同じような白斑も確認できた。図 13(a)における白斑部 (矢印) およびその周辺部 (点線囲み) の EPMA 分析結果を図 10 に示す。白斑部は Al と Zn が検出されず、Mg の優先的な溶出と(1)式のような水と Mg の反応により $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の生成が起こっていると考えら

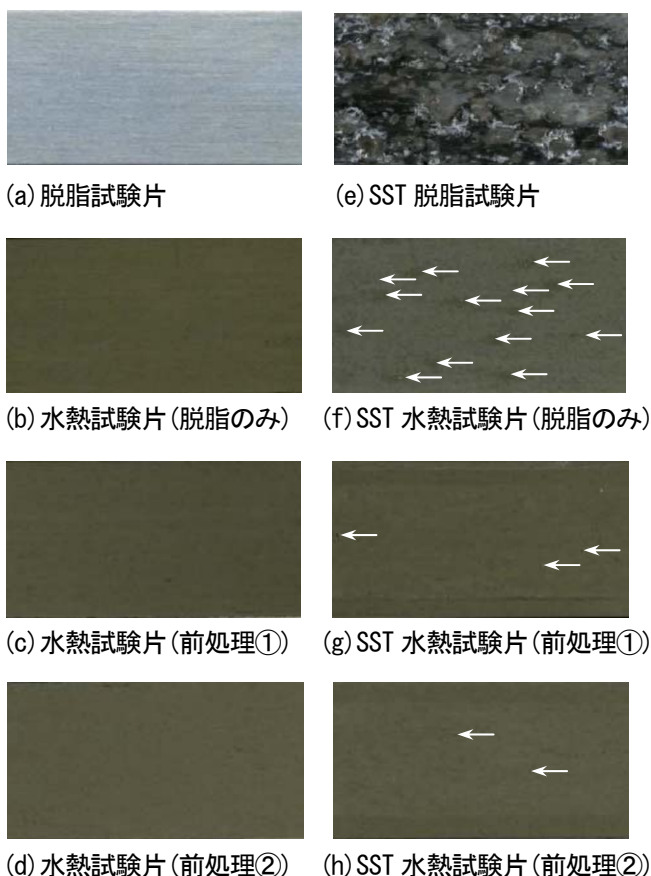


図 12 水熱処理および SST 結果 (矢印は腐食孔)

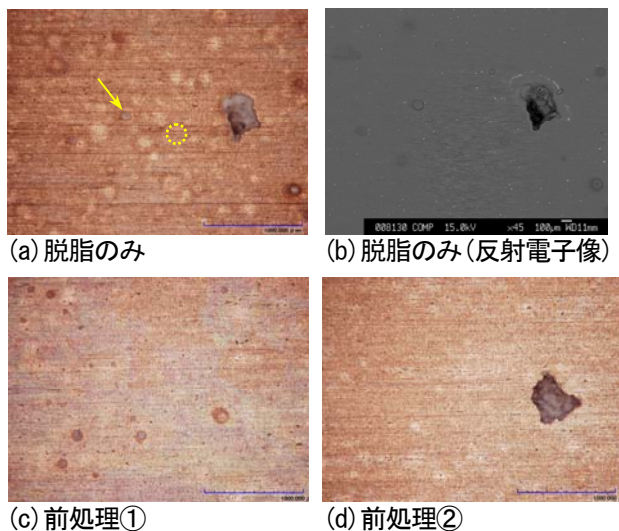


図 13 SST 水熱試験片

(矢印と点線囲みは分析場所)

れる。この白斑部は皮膜の欠陥（図 9(a)で確認される無数の白点，数十 μm 程度の陥没状剥離痕および亀裂）を起点として，皮膜と母材の電位差腐食により生成したものと考えられる。図 13(b)で示した白点が白斑部とほぼ一致していた。一方，前処理①または②法を行ってから水熱処理した試験片（図 12(g), (h)）では，腐食孔（矢印）や白斑がわずかに確認できる程度であった。拡大したものを図 13(c), (d)に示す。以上のことから，耐孔食性の向上には皮膜の欠陥（特に介在物）を軽減することが有効であることがわかった。

4. 結 言

- (1) フッ酸を用いた前処理①法は Mg 合金表面の介在物 (Al-Mn 化合物) 除去に有効であった。
- (2) 前処理②法は Mg 合金表面を浸食させるものの，フッ酸処理と同等程度に介在物の除去に有効であった。
- (3) 水熱処理は Mg 合金の耐食性を向上させ，前処理①および②法と組み合わせることでさらに耐孔食性を改善した。

なお，本研究は文部科学省からの委託研究「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型製品開発：平成 19 年度から 21 年度の 3 年間実施」（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」の中で行った。

参考文献

- 1) 特許庁平成 17 年度特許出願技術動向調査報告書，マグネシウム合金構造用材料の製造技術，
http://www.jpo.go.jp/shiryou/pdf/gidou-houkoku/17mani_magnesium_gokin.pdf
- 2) 寺脇 翼，山本 厚之，椿野 晴繁：軽金属，57，2007，p269
- 3) O.Lunder, J.E.Lein, T.Kr.Aune and K.Nisancioglu : Corrosion, 45, 1989, p.741

介護予防のための筋力向上トレーニング ロボットシステムの研究開発

中部 昇* 須田 孝義** 菅家 章* 大野 宏* 斎藤 博*** 長谷川 直樹**** 真柄 賢太郎*****

Development of muscle strength improvement training robot for elderly persons

NAKABE Noboru*, SUDA Takayoshi**, KANKE Akira*, OHNO Hiroshi*,
SAITOH Hiroshi*, HASEGAWA Naoki**** and MAGARA Kentarou*****

抄 録

高齢者を対象とした筋力向上トレーニングロボットの安全性を評価するために、人の代わりにトレーニングロボットを駆動する試験装置を開発し、負荷特性試験、電気安全性・電磁両立性試験、および連続運転試験を行った。これらの試験結果はいずれも良好であり、その後高齢者の使用が試みられるトレーニング効果の実証試験へむけて、その安全性を確認することができた。本試験装置によって、使用者に危険が及ぶことなく、かつ任意の使用状況を繰り返し再現することが可能となり、再現性の高いトレーニングロボットの安全性評価を行うことができた。

1. 緒 言

加齢などにより体力や身体機能の低下した高齢者が質の高い生きがいのある社会生活を営むためには、各個人の体力や身体機能に応じた無理のない運動を続けることによって、心身ともに健康を維持、増進することが必要である。これに関連して、平成 18 年度に施行された改正介護保険法によって、全国に設立される介護予防拠点で高齢者に対して筋力向上トレーニングなどのサービスが提供されるようになった。このような筋力向上トレーニングでは、各人の医療情報に基づいて専門医師や理学療法士の処方による個人の身体能力に適合した適度な運動メニューを提供することが不可欠である。

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の平成 17-19 年度事業「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」において、高齢者を対象とした、安全かつ効果的な運動メニューを提供できる筋力向上トレーニングロボットシステムの開発を、財団法人にいがた産業創造機構と株式会社日立製作所が受託したものである。試作された筋力向上トレーニングロボットを図 1 に示す。本トレーニングロボットは従来のレッグプレス、ローイング、レッグエクステンションを複合した構造を有して

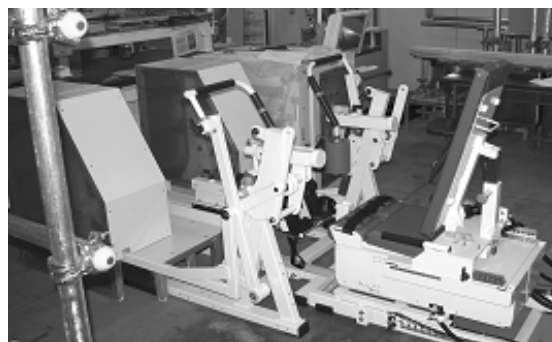


図 1 筋力向上トレーニングロボット

* 研究開発センター
** 下越技術支援センター
*** 研究開発センター
レーザー・ナノテク研究室
**** 下越技術支援センター
(平成 17-18 年度所属)
***** 研究開発センター (平成 17 年度所属)

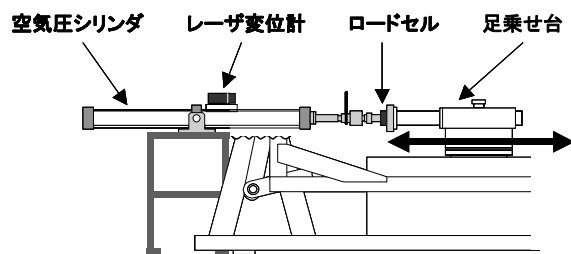
おり，上肢と下肢の筋力トレーニングを1台で行うことができる。また，トレーニング負荷を従来の錘ではなくモータにより発生させることで，それぞれの利用者に適合した負荷パターンを任意に調整することが可能である。しかしその反面，このようなロボットと使用者が直接触れ合うシステムでは，故障，停電など万一の場合において，誤作動などにより利用者に危険が及ばないよう安全性を確保する必要がある。

そこで新潟県工業技術総合研究所では，本トレーニングロボットの安全性評価を受託し，人の代わりにトレーニングロボットを動かす試験

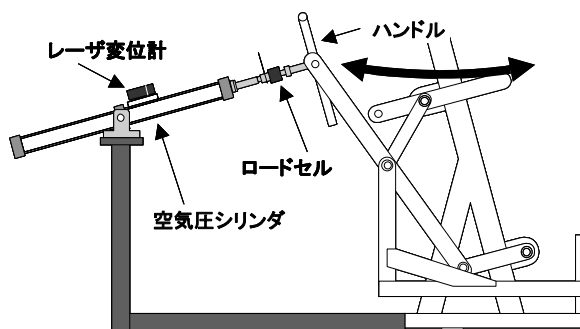
装置を開発した。これを用いて負荷特性試験，電気安全性・電磁両立性(EMC)試験，および連続運転試験を行い，使用時においてトレーニングロボットが所定の負荷を作用させているか，ならびに制御装置の安全性が確保されているかについて検証を行った。本報では平成 18 年度に行った試作トレーニングロボットの安全性評価試験について報告する。

2. 安全性評価試験装置の開発

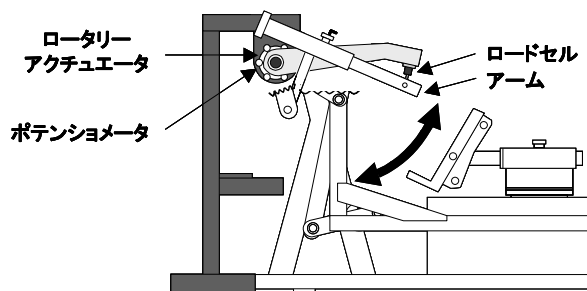
トレーニングロボットの安全性を評価する際，ロボットを人の力で動かす方法は使用者に危険



(a) レッグプレス用評価試験装置



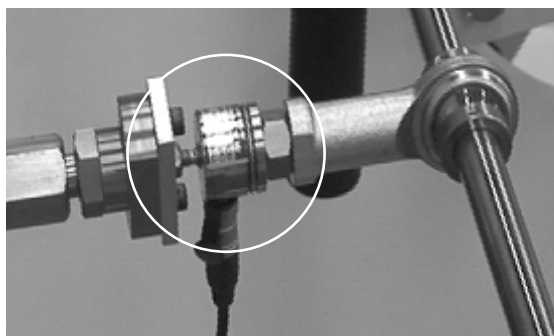
(b) ローイング用評価試験装置



(c) レッグエクステンション用評価試験装置

図 2 安全性評価試験装置





(a) ロードセル



(b) レーザ変位計

図 3 作用荷重およびストロークの測定

が伴うばかりでなく、動作のばらつきによる試験結果の再現性への影響が懸念されることから、人の代わりにロボットを動かす安全性評価試験装置を開発した。本試験装置は図 2 に示すように、レッグプレス、ローイング、レッグエクステンションに対応した 3 台とした。試験装置の駆動源には、レッグプレス、ローイング用については空気圧シリンダ（太陽鉄工製 10A-6TC50B600-CF2-FB）を、レッグエクステンション用については空気圧式ロータリーアクチュエータ（太陽鉄工製 TRV2-300D90A45L-K2）を用い、それぞれトレーニング時に使用者が力を作用させる足乗せ台、ハンドル、アームに治具を介して接続することによって、これらを直接動かす構造とした。シリンダ、ロータリーアクチュエータはプログラマブルコントローラを用いて制御し、その駆動速度はスピードコントローラによる空気の吸排気量で、ストローク幅は停止位置に取り付けた磁気センサの位置でそれぞれ調整を行った。接続治具には図 3(a)に示すロードセルを取り付け、ロボットを動かした際の作用荷重を測定できるようにした。またストロークの測定を行うために、レッグプレス、ローイング用試験装置には図 3(b)に示すレーザ変位計を、レッグエクステンション用試験装置にはポテンシオメータを取り付けた。これらの出力は共に A/D コンバータを介し、サンプリング周波数 50Hz でパーソナルコンピュータに記録した。

3. 安全性評価試験

本評価試験装置を用いて、試作トレーニングロボットの安全性評価試験を行った。試験の結果はいずれの項目とも良好であり、その後高齢者の使用が試みられるトレーニング効果の実証試験にむけて、その安全性を確認することができた。以下、各試験項目の概要について述べる。

3.1 負荷特性試験

試作トレーニングロボットのレッグプレス、ローイング、レッグエクステンションについて、評価試験装置を用いてその負荷特性を測定した。

実験条件は表 1 に示す速度および荷重条件とした。ここで、速度条件は所定のストローク幅を動かす際の片道の所要時間として設定した。

表 1 負荷特性試験条件

対象	ストローク幅	設定荷重	速度
レッグプレス	300mm	6kgf	片道 2 秒
		30kgf	
		60kgf	
		6kgf	片道 4 秒
		18kgf	
		30kgf	
		60kgf	片道 10 秒
		6kgf	
		30kgf	
ローイング	450mm	15kgf	片道 2 秒
			片道 4 秒
			片道 10 秒
レッグエクステンション	70°	10kgf	片道 2 秒
			片道 4 秒
			片道 10 秒

また荷重条件は、トレーニングロボットを動かす速度によらず常に設定した荷重が作用する設定とした。試験装置を用いて各実験条件にてトレーニングロボットを動かし、そのときのストロークと作用荷重を測定した。試験風景を図 4 に示す。

レッグプレスにおける計測データの一例を図 5 に示す。グラフはそれぞれ脚を伸ばす方向（以下伸展）、縮める方向（以下屈曲）にロボットを動かした場合の作用荷重およびストロークの時系列変化であり、併せてストロークから算出した速度、加速度も表示した。静止から動

作開始に伴い速度が急激に変化する時刻，すなわち加速度がピークを示す時刻付近において，作用荷重は伸展時に最大値，屈曲時に最小値をそれぞれ示し，その後は速度変化が小さくなり一定の荷重値を示す傾向がみられた。これらはローイング，レッグエクステンションにおいても同様の傾向を示した。本試験においては，作用荷重が動作の速度や速度変化，すなわち加速度にどの程度依存して変化するかに着目して，レッグプレス，ローイング，レッグエクステンションに対して，動作開始時における作用荷重の最大値および最小値（ピーク負荷），ならび

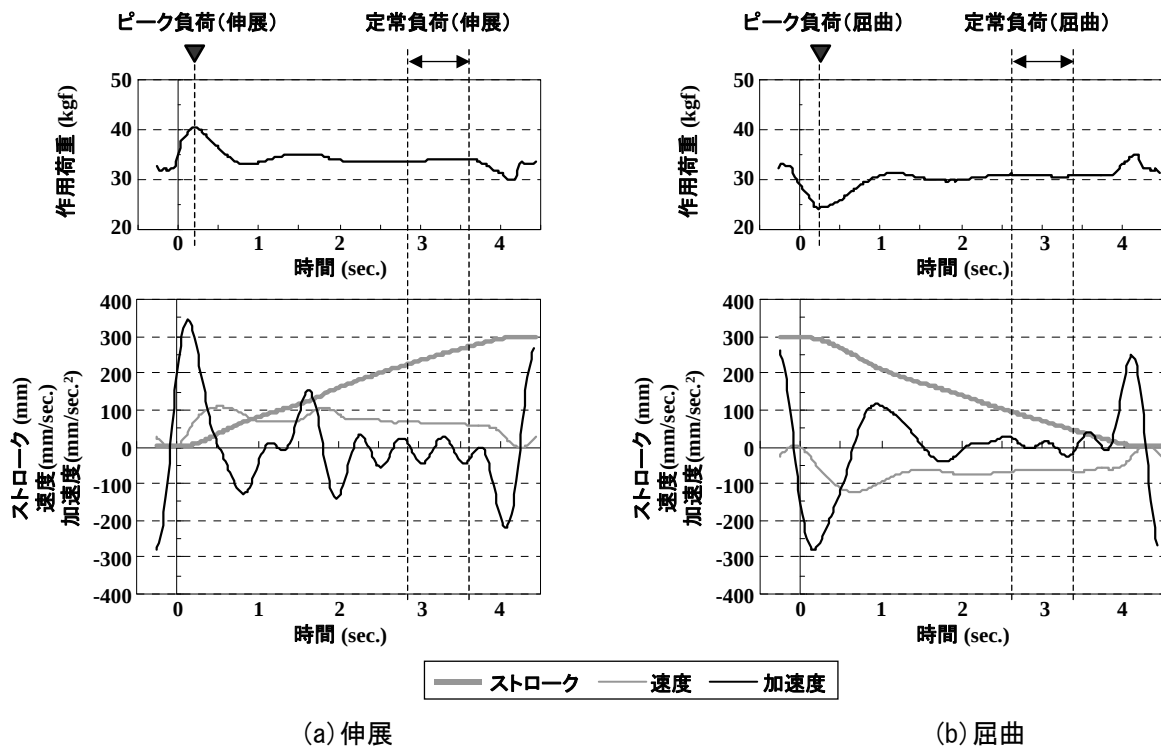


(a) レッグプレス

(b) ローイング

(c) レッグエクステンション

図 4 負荷特性試験風景



(a) 伸展

(b) 屈曲

図 5 負荷特性試験測定例（レッグプレス：設定荷重 30kgf，片道 4 秒）

表 2 電気安全試験，電磁両立性(EMC)試験項目

試験項目		試験概要	
電気安全試験	絶縁耐圧	電源入力部への過大電圧に対する絶縁耐圧確認	
	絶縁抵抗	電源入力部の絶縁能力確認	
	漏洩電流	接触部位からの漏電(感電)の危険性確認	
	接地導通	フレームグラウンド(安全接地点)の有効性確認	
	異常信号	信号線の断線等の影響による異常動作確認	
EMC 試験	EMI試験	不要電界放射	不要電界強度の測定
		不要高周波伝導電圧	不要高周波伝導電圧の測定
	イミュニ ティ試験	静電気放電	人体からの静電気放電耐力
		放射電界	無線局等からの放射電界耐力
		ファストトランジェン トバースト	電源線，信号線へ伝導するバースト波状ノイズ耐力
		雷サージ	電源線へ伝導する雷サージ耐力
		無線周波数伝導	電源線，信号線へ伝導する無線周波数ノイズ耐力
		電力周波数磁界	電力設備からの磁界放射耐力
		電圧ディップ， 短時間停電	入力電源の変動，瞬断，短時間停電耐力

に，その後速度がほぼ一定状態となった際の作用荷重（定常負荷）を算出し，これらをトレーニングロボットの負荷特性として評価した。

3.2 電気安全性・電磁両立性試験

トレーニングロボットに対して，その電気安全性，電磁両立性(EMC)に関する性能を試験によって確認した。試験項目とその概要について表 2 に示す。ここで，本試験の基準となる規格については，日本工業規格(JIS)の電磁両立性に関するものとした¹⁾⁷⁾。加えて，トレーニングロボットは病院等の医療機関で使用されることが想定されることから，薬事法の一般医療機器に関連する規格も考慮した⁸⁾⁻¹⁰⁾。

3.3 連続運転試験

長時間の運転によってトレーニングロボットの機構や負荷特性に異常が生じないか確認するために，本評価試験装置を用いて 24 時間，7500 回の連続運転試験を行った。試験はレッグプレスを対象とし，試験条件は設定荷重 60kgf，所要時間片道 4 秒の 1 条件とした。運転時間による定常負荷の変化を測定し，併せてビデオ撮影により異常の有無を確認した。

4. 結 言

- (1)高齢者を対象とした筋力向上トレーニングロボットシステムの安全性を評価するために，人の代わりにトレーニングロボットを動かす評価試験装置を開発した。
- (2)本試験装置を使用することによって，使用者に危険が及ぶことなく，かつ任意の使用状況を繰り返し再現することが可能となり，再現性の高い安全性評価や長時間の連続運転試験を行うことができた。
- (3)本試験装置を用いて実施した試作トレーニングロボットの安全性試験結果はいずれも良好であり，その後高齢者の試用が試みられる実証試験へむけて，その安全性を確認することができた。

参考文献

- 1)JIS C 61000-4-2 電磁両立性—第 4 部:試験及び測定技術—第 2 節:静電気放電イミュニティ試験。
- 2)JIS C 61000-4-3 電磁両立性—第 4 部:試験及び測定技術—第 3 節:放射無線周波電磁界イミュニティ試験。

- 3)JIS C 61000-4-4 電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 4 節:電氣的ファストトランジェント／バーストイミューニティ試験.
- 4)JIS C 61000-4-5 電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 5 節:サージイミューニティ試験.
- 5)JIS C 61000-4-6 電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 6 節:無線周波電磁界によって誘導する伝導妨害に対するイミューニティ.
- 6)JIS C 61000-4-8 電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 8 節:電源周波数磁界イミューニティ試験.

- 7)JIS C 61000-4-11 電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 11 節:電圧ディップ,短時間停電及び電圧変化に対するイミューニティ試験.
- 8)JIS T 0601-1 医用電気機器－第 1 部:安全に関する一般的要求事項.
- 9)JIS T 0601-1-1 医用電気機器－第 1 部:安全に関する一般的要求事項－第 1 節:副通則－医用電気システムの安全要求事項.
- 10)JIS T 0601-1-2 医用電気機器－第 1 部:安全に関する一般的要求事項－第 2 節:副通則－電磁両立性－要求事項及び試験.

金属ペーストを用いたカーボンナノチューブの生成

佐藤 健*

Formation of Carbon Nanotubes using Metal Paste

SATO Takeshi*

1. 緒 言

平成 14～15 年度に行った共同研究において、Ni 薄膜を低温焼成で形成できる有機金属ペースト（以下、Ni ペーストと記す）を新規に開発した^{1),2)}。このペーストは、Ni の有機金属塩を有機溶媒に溶解させるという簡易な手法で作製できるので低コストである。焼結は、昇温による有機成分の分解により、まず図 1(a)のように Ni のナノ粒子が析出し、やがて融着により、(b)のように金属薄膜を形成するというメカニズムで行われる。

Ni や Fe などの遷移金属のナノ粒子は、カーボンナノチューブ（以下、CNT と記す）の成長触媒として機能することが知られている。基板上にこれらのナノ粒子を担持しておき、管状炉などの中で、メタンなどの原料ガスを流して反応させることにより、CNT が生成する。

開発した Ni ペーストは、焼結の過程でナノ粒子を析出するため、CNT の成長触媒としても機能することがわかった³⁾。

一般に金属ナノ粒子の担持には、スパッタリングや蒸着などが用いられ、このパターニングにはフォトリソグラフィ工程が必要となるので高コストであるが、このペーストを使用する場合は、ペースト自体が低コストであることに加え、スクリーン印刷を適用することにより、パターニングが容易になるという利点がある。

これを利用して、図 2 のように、CNT を局所的に成長させることや図 3(a), (b)のように金属と CNT を複合させた薄膜導体の形成などが可能になると考えられる。

独立行政法人科学技術振興機構の平成 18 年度「シーズ発掘試験」において、このペースト

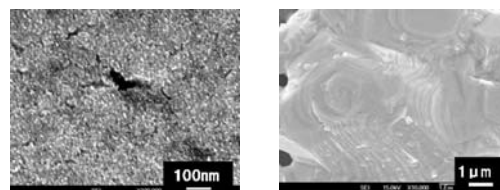


図 1 有機金属ペーストの焼結過程

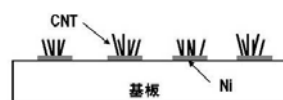


図 2 CNT の局所成長

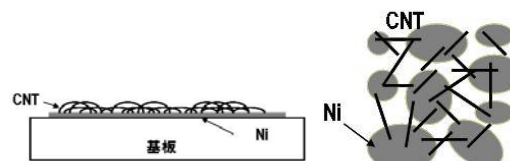


図 3 金属と CNT の複合薄膜

に関する解像性向上のための組成の検討や CNT 成長条件の検討を行ったので報告する。

2. ペーストの解像性向上

表 1 の条件で Ni ペーストを作製した。酢酸ニッケル 4 水和物とテトラエチレングリコールからなる TEG 系は、開発した Ni ペーストの最も基本的な組成で、スクリーン印刷の際の塗布性と、焼結の際の成膜状態に優れている。しかし、ニッケル有機塩の分解温度と溶剤の沸点がそれぞれ 300℃以上と高温であるため、印刷の際に必要な 70℃～100℃程度の低温における乾燥性（B ステージ化）に課題があった。

TEG-PG 系とアミン系は、より低分解温度の

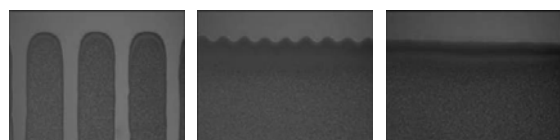
* 研究開発センター
レーザー・ナノテク研究室

塩と低沸点の溶剤を用いることにより、この低温における乾燥性を改良したペーストである。

作製した Ni ペーストを熱酸化膜付 Si 基板に乳剤厚 10 μ m のスクリーン版で印刷した。パターンは、50～200 μ m のラインアンドスペース（以下、L/S と記す）とし、いすず製管状炉 EPKRO-14K（石英管直径 60mm）に入れた後、Ar800sccm と H₂200sccm の気流下で 30 分焼結した。図 4～6 に各ペーストの成膜状態を L/S の寸法ごとに示す。ペーストの構成材料が低沸点、低分解温度になることにより、焼結後の解像性は改善され、アミン系では 50 μ m の解像性が得られている。

表 1 Ni ペーストの組成

名称	組成／混合比	低温乾燥性	Ni含有率
TEG系	酢酸ニッケル4水和物	4	10～15 wt%
	テトラエチレングリコール (TEG)	5	
TEG-PG系	酢酸ニッケル4水和物(脱水)	7	
	テトラエチレングリコール (TEG)	6	
	プロピレングリコール (PG)	6	
アミン系	酢酸ニッケル2水和物	4	
	3-アミノ-1-プロパノール	0.3	
	2-(2-アミノエチルアミノ) エタノール	3	



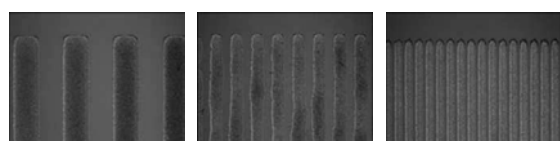
(a) L/S200 μ m (b) L/S100 μ m (c) L/S50 μ m

図 4 TEG 系ペーストの焼結状態



(a) L/S200 μ m (b) L/S100 μ m (c) L/S50 μ m

図 5 TEG-PG 系ペーストの焼結状態



(a) L/S200 μ m (b) L/S100 μ m (c) L/S50 μ m

図 6 アミン系ペーストの焼結状態

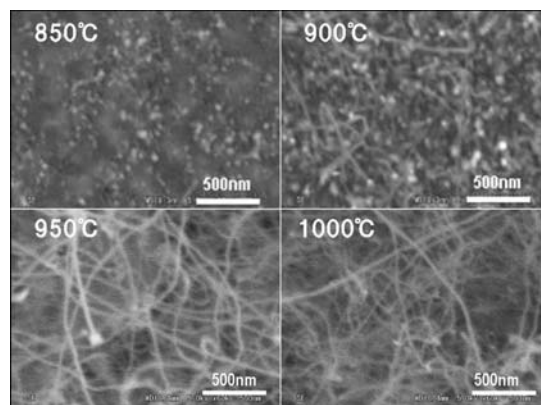
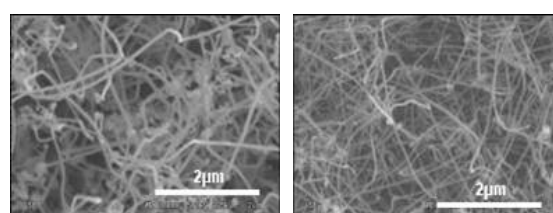


図 7 各温度の CNT 成長状態



(a) TEG-PG 系 (b) アミン系

図 8 各ペーストの CNT 成長状態

3. Ni ペーストを用いた CNT の生成

TEG 系ペーストを乳剤厚 5 μ m のスクリーン版で Si 基板に印刷し、各温度で CNT を成長させた状態を図 7 に示す。成長は、Ar 800sccm 気流中で昇温させ、設定温度到達後に Ar を止め、CH₄1000sccm と H₂200sccm を 30 分間流した後、再度 Ar 気流中で自然冷却させる条件で行った。

図より、900～1000 $^{\circ}$ C の温度において CNT は比較的多く成長しており、成長温度としては、900 $^{\circ}$ C 以上に昇温することが必要であることがわかった。

また、図 8 には、TEG-PG 系とアミン系ペーストを 1000 $^{\circ}$ C で処理した状態を示した。これらのペーストを用いた場合でも CNT は成長しており、触媒として機能することが確認できた。

4. CNT のラマン分光測定

CNT のラマン分光測定を行った。Si 基板に TEG 系ペーストを乳剤厚 5 μ m のスクリーン版で印刷し、管状炉で CH₄800sccm と H₂200sccm の気流中で 900 $^{\circ}$ C 15 分の焼成をした。その結果を図 9 に示す。

低波数側に RBM のピークが現れていること

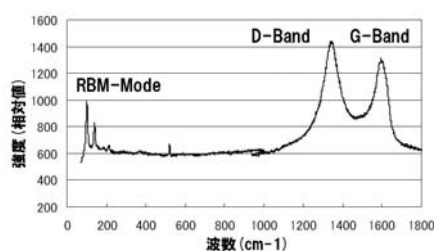
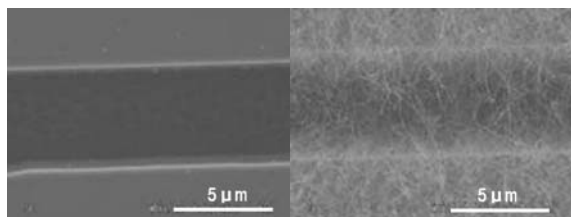


図 9 CNT のラマン分光測定



(a) Si に形成した溝 (b) CNT 成長

図 10 溝上にブリッジ状に形成した CNT

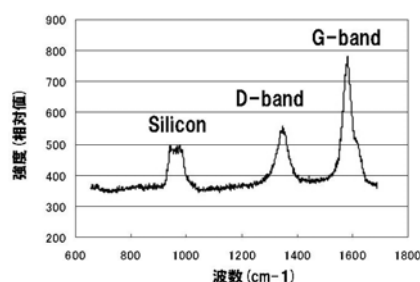
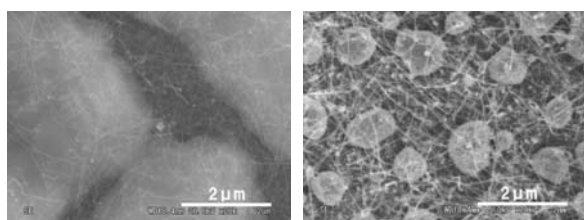


図 11 ブリッジ状 CNT のラマン分光測定



(a) 塗布面中央部 (b) 塗布面端部

図 12 Ni 粒子間の CNT 成長

から、生成した CNT には単層 CNT が含まれていることがわかった。図中の G バンドは結晶質の炭素の存在を示すピークで、CNT やグラファイトに対して現れる。D バンドは、グラファイト面内の乱れや欠陥に起因するため、アモルファスカーボンや格子欠陥を多く持った CNT の存在を示す。G/D 比が大きいほど結晶性や純度の高いことを示すので、このグラフからは、生

成した CNT には欠陥が多いことが示唆されるが、下地の Ni ペーストの未反応成分を検出していることも推測される。そこで、図 10 のように Si に溝を形成し、その上に CNT をブリッジ状に形成してラマン分光測定を行った。その結果、図 11 のように D バンドのピークは大きく減少し、結晶性を示す G バンドピークの方が高くなった。

5. 複合導体薄膜の形成

TEG 系ペースト 1 に対して溶剤 0.7 を加えて希釈したものを、乳剤厚 5 μm のスクリーン版で SiO₂ 膜付 Si 基板に印刷した。CH₄800sccm と H₂200sccm の気流中で 900℃15 分の焼成をした結果を図 12 に示す。

溶剤を加えたことにより、Ni 含有率が小さくなるため、高温状態では、膜状に維持されずに線切れを起こしている。印刷パターンの端部は、塗膜がさらに薄くなるので線切れの度合いが大きい。生成した CNT は、いずれの部位であっても線切れした Ni 間を連結するように成長し、図 3 で示したような形態を作製できた。

6. 結 言

- (1) 開発した Ni ペーストの組成成分である Ni 有機塩と有機溶媒について、それぞれの分解温度を低下させることによって、成膜の解像性を向上させることができた。
- (2) Ni ペーストは、CNT の成長触媒として機能することを確認した。
- (3) Ni ペーストを用いて、金属 Ni と CNT の複合薄膜を形成した。

参考文献

- 1) 吉井，鈴木，他，“有機金属の積層コンデンサーへの応用研究”，工業技術研究報告書，32，2003，p.42-46
- 2) 吉井，鈴木，他，“有機金属の積層コンデンサーへの応用研究（第 2 報）”，工業技術研究報告書，33，2004，p.23-27
- 3) 新潟県，他，“カーボンナノチューブの製造方法”，特開 2007-91530

共 同 研 究

ナノ加工の精密バリ取りに関する研究

樋口 智* 杉井 伸吾** 田村 信** 斉藤 博* 小方 雅淑*** 佐田 俊彦***

A Study on Precision Deburring by Wet Blast Technology

HIGUCHI Satoru*, SUGII Shingo**, TAMURA Makoto**, SAITO Hiroshi*, OGATA Masayoshi*** and
SADA Toshihiko***

1. 緒 言

切削，研削，放電，レーザー等によるナノ加工の研究，開発事例が数多く発表され，一部実用化されている。しかし，本格実用化においては問題が山積しており，広く普及しているとは言えない現状にある。その原因の一つに加工時に発生するバリの除去技術が確立されていないことが挙げられる。

一方，固体粒子と水を混合して高速噴射し，対象物の表面を加工するウェットブラスト加工では，粒子を従来よりも微細にすることによって，より精密な表面加工やバリ取りが実現できる可能性がある。

そこで，超精密切削加工後に発生する微細なバリに対し，ウェットブラスト処理を用いて除去する検討を行った。

2. ウェットブラスト処理

ウェットブラスト処理とは，粒子（以下「メディア」という）と液体（主に水）とを混ぜ合わせ均一にしたスラリーを専用の噴射ノズルから圧縮空気を利用して高速に噴射し，対象物表面を加工する表面処理技術の一つである¹⁾。加工と同時にスラリーが削った粉や取り除かれた汚れ，さらにはメディアそのものを洗い流せるといった特徴がある。ウェットブラスト工法の

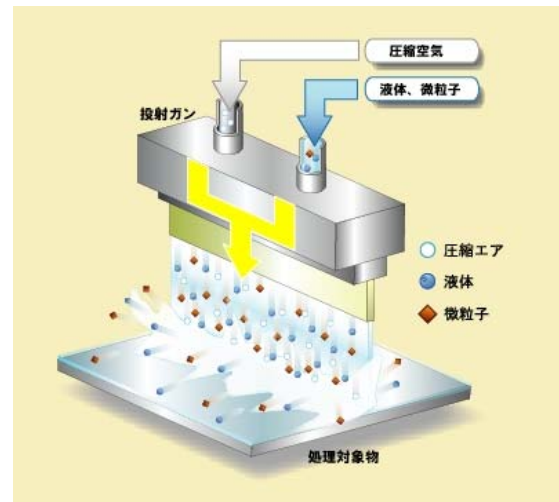


図1 ウェットブラスト概要²⁾

概要を図1に示す。

3. 実験方法

ここではNi-Pめっきに対し，切削加工により微細なピラミッド形状を加工し，ウェットブラスト処理を行う前後の微細バリの变化を観察した。

3.1 メディア

(a)アルミナ#10000 平均粒径0.8 μ m

(b)アルミナ#30000 平均粒径0.3 μ m

各メディアの走査型電子顕微鏡（SEM）像を図2に示す。

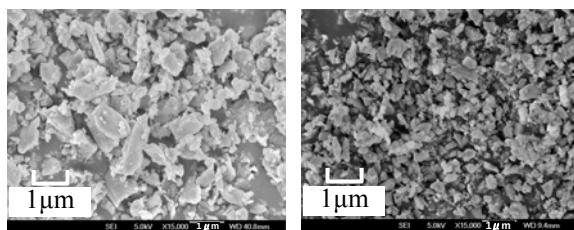
3.2 被加工材

ステンレス系快削鋼 RAMAX-S

(18×18×10mm) 表面に 100 μ m の Ni-P めっきを

* 研究開発センター
レーザー・ナノテク研究室
** 研究開発センター
*** マコー株式会社

施し、その上面（18×18mm 面）めっき層をファナック（株）製、超精密 5 軸ナノ加工機 ROBONANO α -0iA のミーリング加工ユニットを用いて先端角 90°の V 溝を 5 本加工し、さらに、これに直交するように同様の V 溝を 5 本加工した。5 本の V 溝のピッチは 5 μ m, 10 μ m, 50 μ m の 3 種類とし、溝加工終了後に熱処理を施したものをを用いた。また、評価は同一ピッチの V 溝が交差し、ピラミッド形状を呈した部位で行った。



(a) #10000 (b) #30000

図 2 研磨剤 SEM 像

3.3 ブラスト処理条件

ブラスト処理条件を表 1 に示す。なおブラスト処理は同一部位に 6 回まで行なっている。

表 1 ブラスト処理条件

エア圧 (MPa)	スラリー圧 (MPa)	処理速度 (mm/sec)
0.2	0.18	10

3.4 洗浄

洗浄工程を図 3 に示す。なお洗浄はブラスト処理のたびに行なっている。

4. 実験結果

メディア #10000 を用いたブラスト処理前と 1 回および 6 回処理後の SEM 観察写真を、各溝ピッチについて図 4～6 に示す。溝ピッチ 5 μ m, 10 μ m では、1 回の処理で大きなバリが除去されているものの、バリ根元近傍は取れていない。

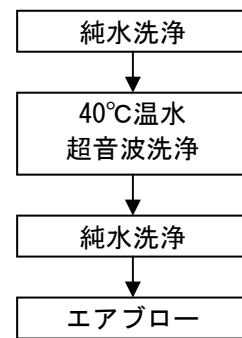


図 3 洗浄工程

6 回処理を行っても除去できないバリがわずかに見られ、さらには加工形状の稜線部分にダレが見られる。溝ピッチ 50 μ m では 1 回のブラスト処理によりバリが除去され、残っているバリは確認できない。

メディア #30000 を用いたブラスト処理前後の写真を各溝ピッチごとに図 7～9 に示す。溝ピッチ 5 μ m, 10 μ m ではブラスト処理によって大きなバリは除去できるものの、根本近傍のバリは除去できていない。また、加工形状の稜線部分のダレは #10000 に比べて少ない。溝ピッチ 50 μ m では #10000 と同様に 1 回のブラスト処理によりバリが除去され、残っているバリは確認できない。

5. 結 言

- (1) 水とアルミナ粒子を用いたウエットブラスト処理により超精密切削加工品の微細バリ除去が可能である。
- (2) ブラスト処理 1 回でバリ処理効果が現れ、回数を増やしてもその効果は限定的であった。
- (3) #10000 の粒子では #30000 に比べブラスト処理によって加工形状稜線部に発生するダレが多い。また、処理回数を増やすことでダレが増大する。
- (4) バリ除去能力と稜線部の形状確保は相反する。

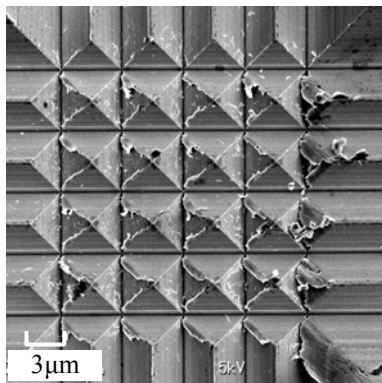
(5)超精密切削加工品へのウェットブラスト処理条件を決定するための基礎的なデータが得られた。

参考文献

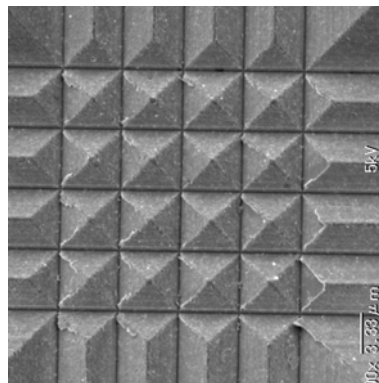
1)諏訪誠，実用湿式・乾式ブラストとその応用，日刊工業新聞社，1974，p.6-8.

2)マコー株式会社 ホームページ

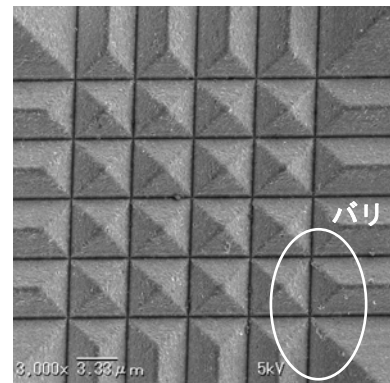
http://www.macoho.co.jp/r_technology/index.html



(a) 処理前

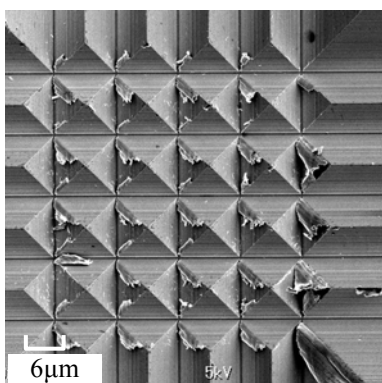


(b) 1 回処理後

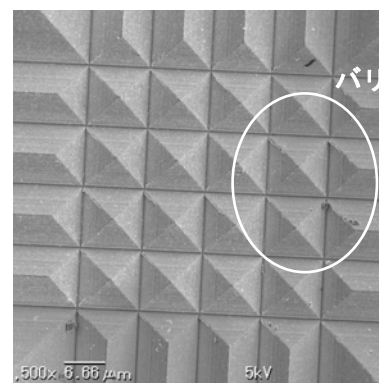


(c) 6 回処理後

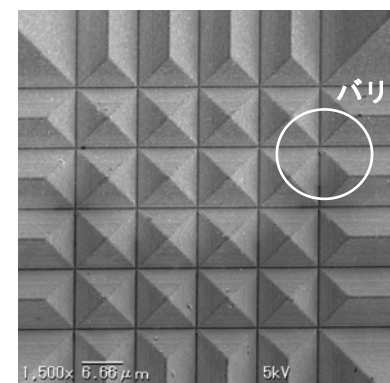
図 4 #10000 溝ピッチ 5 μm



(a) 処理前

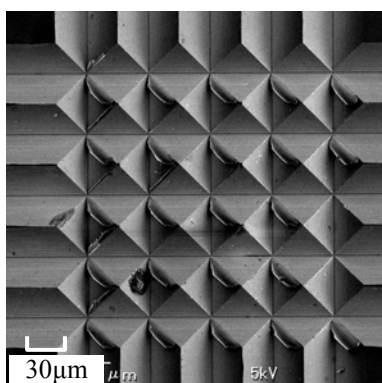


(b) 1 回処理後

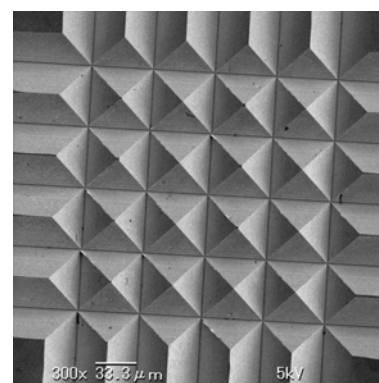


(c) 6 回処理後

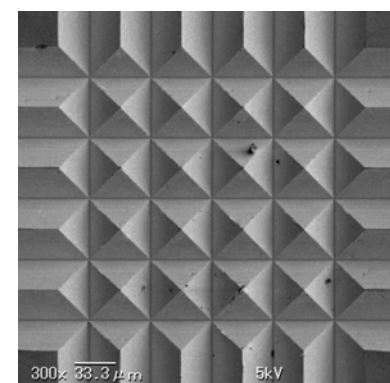
図 5 #10000 溝ピッチ 10 μm



(a) 処理前

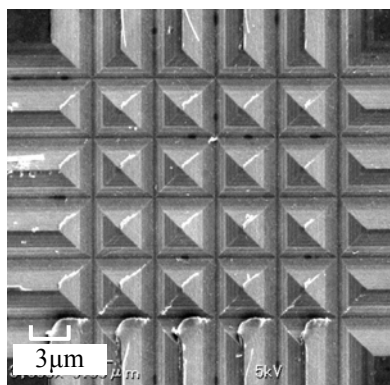


(b) 1 回処理後

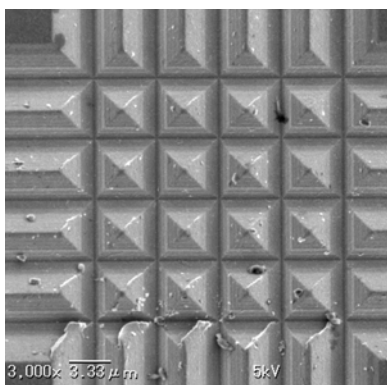


(c) 6 回処理後

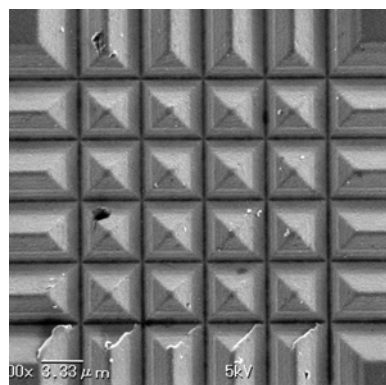
図 6 #10000 溝ピッチ 50 μm



(a) 処理前

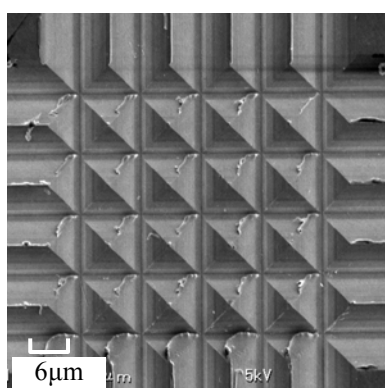


(b) 1 回処理後

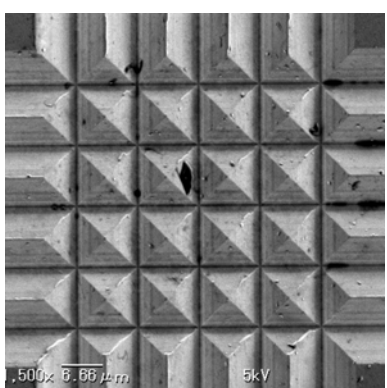


(c) 6 回処理後

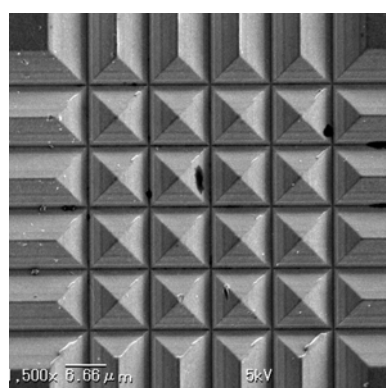
図 7 #30000 溝ピッチ 5 μm



(a) 処理前

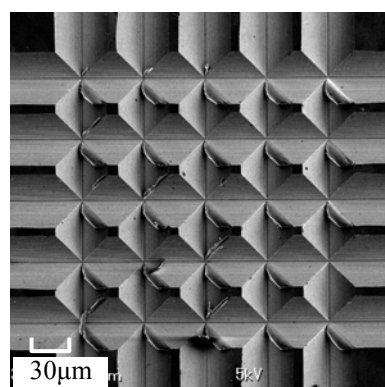


(b) 1 回処理後

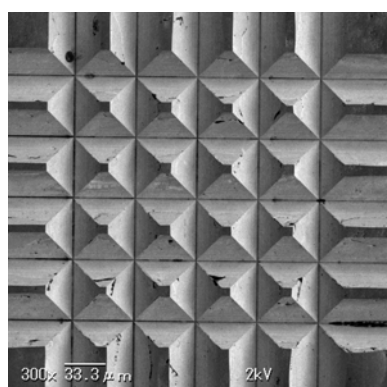


(c) 6 回処理後

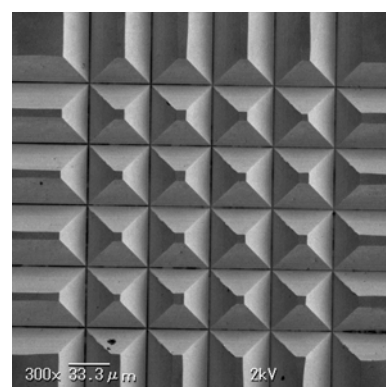
図 8 #30000 溝ピッチ 10 μm



(a) 処理前



(b) 1 回処理後



(c) 6 回処理後

図 9 #30000 溝ピッチ 50 μm

実 用 研 究

小 規 模 研 究

≡ 二 共 同 研 究

X線回折によるオーステナイト系ステンレス鋼の 表面加工層の評価方法に関する研究

中川 昌幸*

Study on the evaluation technique for a processed surface of austenitic stainless steel by XRD profile analysis.

NAKAGAWA Masayuki*

1. 緒言

ブラストをはじめとするピーニングプロセスは、材料表面への冷間加工プロセスであり、疲労強度、耐摩耗性向上に有効な硬度上昇、圧縮残留応力付与の効果をもたらす。一方、焼き鈍しなどの加熱により、材料内部に存在する残留応力やひずみは、回復により低減あるいは除去される。冷間加工後に接合などの熱プロセスが存在する場合、加熱温度や時間により、冷間加工で付与された圧縮残留応力や加工硬化が回復により消失していく挙動を把握することが重要になる。本研究では、代表的なオーステナイト系ステンレス鋼におけるこの回復挙動をX線回折装置により評価する方法を検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材には、オーステナイト系ステンレス鋼である SUS304 を用い、形状は $\phi 12\text{mm} \times h5\text{mm}$ の円柱形状とした。 $\phi 12$ の表面に対し、異なる表面加工層を得るため、以下の4パターンの処理を施し、供試材とした。

- ・(Lathe)旋盤加工のみ
- ・(Anneal)旋盤加工、焼き鈍し($1000^{\circ}\text{C} 1\text{Hr}$)
- ・(B.P.)旋盤加工、焼き鈍し($1000^{\circ}\text{C} 1\text{Hr}$)、ブラストピーニング
- ・(W.J.P.)旋盤加工、焼き鈍し($1000^{\circ}\text{C} 1\text{Hr}$)、ウォータージェットピーニング

以降、各供試材の区別には、上記行頭の () 内の記号を用いる。

2.2 各供試材表面の初期状態について

図1に各供試材表面の圧縮残留応力（初期応力）、X線回折ピークの半価幅値を示す。Anneal は旋盤加工後に残留応力を除去するために加熱を行ったもので、Lathe における圧縮残留応力、半価幅値が低下しており、無ひずみに近い状態であると考えられる。Anneal にさらにブラスト、ウォータージェット処理を施した B.P., W.J.P. では、圧縮残留応力が付与されている。特に固体ショットの衝突プロセスであるブラストにより、B.P. には大きな圧縮残留応力が付与され、半価幅値は増大したことから、より激しい塑性変形が導入されたことが分かる。

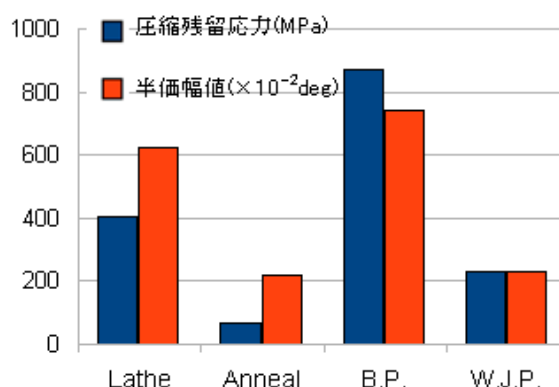


図1 X線残留応力と回折ピークの半価幅値
(各供試材の初期状態)

* 下越技術支援センター

一方、W.J.P.は圧縮残留応力が増大しているが、その値はB.P.よりも小さく、半価幅値はAnnealからわずかに増加しただけであった。これは、ウォータージェットによる加工がブラストに比べ、表面に与えるダメージを抑えて圧縮残留応力を付与できる特徴を持っていることを示している。

2.3 回復挙動評価のための焼き鈍し条件

各供試材に対し、加熱処理による回復挙動の評価を行うため、加熱温度を300℃～600℃まで50℃毎の水準で、保持時間を30, 120, 480, 1920, 7680, 30720minという4倍毎として焼き鈍しを行った。

2.4 X線回折測定条件

残留応力測定は、X線応力測定法標準¹⁾に準拠し、 γ -Fe(220)のV-K α による回折ピークを測定した。残留応力の算出には、 $\sin^2\phi$ 法(ϕ_0 一定法)を用い、半価幅の midpoint を回折ピーク位置とした。半価幅値は各 ϕ_0 角における回折プロファイルより求めた平均値とした。

3. 結果と考察

3.1 X線残留応力と半価幅値評価

図2に焼き鈍し時間による残留応力の変化の一例としてW.J.P.の結果を示す。500℃以上の条件では、焼き鈍し時間の増大に伴い、付与された圧縮残留応力が開放されていく様子が見て取れるが、例えば400℃、450℃の条件では、焼き鈍し時間が数百℃から1000℃程度において、圧縮残留応力が増大するなど、回復の進行との相関を評価できないデータとなった。この傾向は、その他の供試材においても同様に見られた。また、Annealにおいては、加工を受けていないにもかかわらず、測定された残留応力値は0～-100MPa程度のばらつきを示したため、無ひずみ状態の残留応力値=0MPaとして評価することができなかった。通常の $\sin^2\phi$ 法では、一様な平面応力状態を仮定していること

や統計的なばらつきを含んだ回折ピーク位置から応力値を算出するため、特に回復挙動により残留応力が低下した状態では応力分布の影響を受けやすく、個々の回折ピーク位置の精度が低下するため、測定時間を長くするなどの対策が要求される。そこで、本研究ではより短時間で簡便に回復挙動を評価するため、X線回折ピークの半価幅値に着目した。

半価幅値は、結晶粒の大きさと微視的ひずみの均一性と相関があるパラメータである²⁾。回折ピークの広がり格子面間隔の統計的な分布により生ずるため、正規分布となる。一般に、焼き鈍し材が冷間加工を受けることにより、半価幅が広がることが知られている。これは、結晶粒の破壊による結晶子サイズの微細化と、微視的な不均一ひずみ分布が生じたためである。この状態から再結晶温度以上に加熱した場合、結晶粒成長による回折に預かる結晶数の減少、回復による微視的な不均一ひずみ分布の減少により、半価幅が小さくなる。本研究において初期状態からの焼き鈍しは600℃以下であり、半価幅値の減少は即ち微視ひずみの回復によるひずみ開放の挙動と見なすことができると考えた。図3～6に各供試材の焼き鈍し時間による回折ピークの半価幅値の変化を示す。Lathe, B.P., W.J.P.各供試材で、導入された半価幅の広がりが、熱処理により減少していく挙動を見て取る

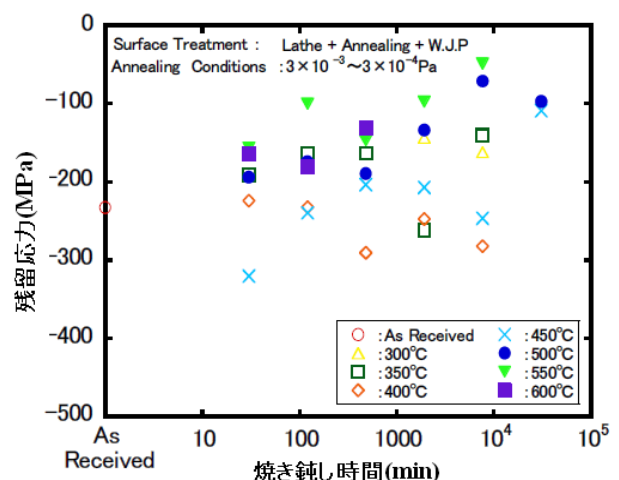


図2 焼き鈍し時間による残留応力の変化の一例 (W. J. P.)

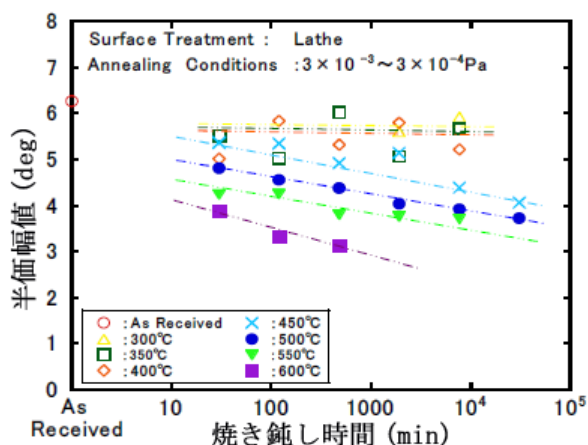


図3 焼き鈍し時間による半価幅値の変化 (Lathe)

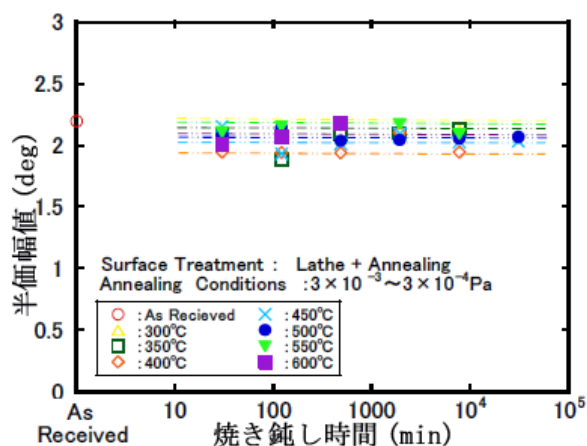


図4 焼き鈍し時間による半価幅値の変化 (Anneal)

ことができる。Lathe, W.J.P.では、450℃以上、B.P.では350℃以上の条件で半価幅が減少している。各処理により導入された微視ひずみが回復により開放されたためであると考えられる。また、応力測定値と比べて、測定値のばらつきが小さく、同じ測定時間で結果が得られることから、非常に有効な評価方法である。

4. 結 言

X線回折による表面加工層の回復挙動の評価を残留応力測定と半価幅評価で行った。得られた結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 残留応力値による評価では、回復によって応力値が低下すると相対的に測定値のばらつ

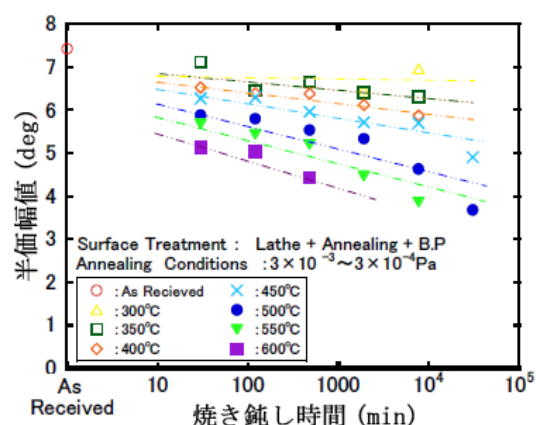


図5 焼き鈍し時間による半価幅値の変化 (B. P.)

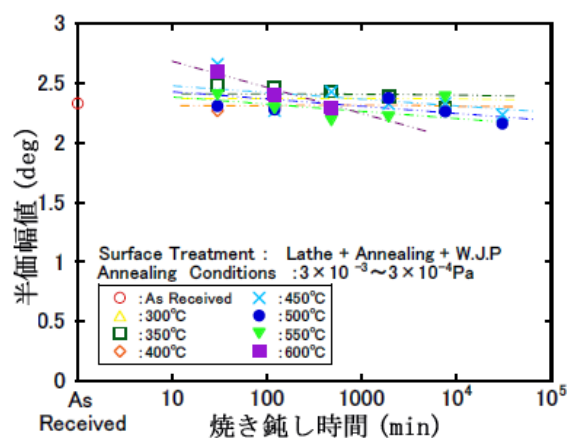


図6 焼き鈍し時間による半価幅値の変化 (W. J. P.)

きが大きくなり、回復挙動の評価が難しくなった。

- (2) 半価幅値による評価では、測定値のばらつきは小さく、回復により半価幅値が減少していく挙動を評価できた。測定時間も短く、簡便で有効な方法であると考ええる。

参考文献

- 1) 日本材料学会編，“X線残留応力測定法標準”，1997，p.1-13, p46-48.
- 2) カリティ，“X線回折要論”，アグネ，1691，p265-271.

CAE の効率的活用に関する研究

片山 聡* 須貝 裕之*

Research on efficient use of CAE

KATAYAMA Satoshi* and SUGAI Hiroyuki*

1. 緒 言

FEM（有限要素法解析）を中心とした CAE（Computer Aided Engineering）技術は、近年のミッドレンジ 3 次元 CAD の急速な普及に伴い県内企業においても導入が進んでいる。しかし CAE 技術の効率的活用には、条件設定や材料特性の把握など経験を要することが多い。そのため中越地域では『長岡モノづくりアカデミー』（長岡技術科学大学、長岡工業高等専門学校、NICO 共催）の中で CAE 講座を設けるなど、技術者の CAE 教育にも力を入れている。

当センターでは H19 年度に CAE に関する 7 件の企業等技術課題解決型受託研究（ミニ共同研究）を実施したほか、長岡モノづくりアカデミー受講者をフォローアップする目的で CAE 研究会を設立した。これらの活動を通じて得られた成果と、情報共有化を柱とした CAE 技術の効率的活用方法について紹介する。

2. CAE 技術支援、普及に関する取組み

2.1 ミニ共同研究および技術相談

表 1 に H19 年度に当センターが実施したミニ共同研究（CAE 関連）と技術相談実績（ミニ共同研究へ発展したものを除く）を示す。線形構造解析については CAE 関連装置を所有していない企業からの問い合わせ・依頼が多く、非線形構造解析については CAE 関連装置を所有しているものの自社内で対応できないことから相談・依頼を受けることが多かった。なお、非線形構造解析の中には ANSYS による解析だ

表 1 H19 年度 CAE 関連実績

解析分野	ミニ共同研究	相談
線形構造解析	3	6
非線形構造解析	3	3
振動解析	0	2
伝熱解析	1	3

けではなく、LS-DYNA を用いた破壊解析の相談が 2 件含まれている。また今年度実施したミニ共同研究のうち、設計の初期段階にて実施されたものは 2 件。ほか 5 件は製品完成後に設計や加工法案の正当性を確認する目的で解析を実施した案件であった。

2.2 CAE 研究会および講習会

前述のとおり、主に長岡モノづくりアカデミー受講者を対象に CAE 研究会を設立した。参加者の要望より各解析分野についてセミナーを実施するとともに、CAE 技術利用について意見を交換した。CAE 研究会の活動内容を表 2 に示す。また 11～12 月には上越地区にて CAE 技術セミナー（主催：上越商工会議所、上越技術研究会）を 4 回実施した。

これらの活動を通じて講習会スライドや学習

表 2 CAE 研究会の活動内容

	内 容
第 1 回	基調講演（長岡技大 田辺教授）
第 2 回	進め方に関する検討会
第 3 回	静解析、品質工学セミナー
第 4 回	LS-DYNA セミナー
第 5 回	振動解析セミナー
第 6 回	非線形解析セミナー
第 7 回	これまでのセミナーのまとめ

* 中越技術支援センター

用データなどの整備により CAE 技術者育成への支援体制を強化することができた。

3. CAE 技術の効率活用

3.1 当研究所の CAE 支援体制について

当研究所ではメインサーバを下越技術支援センターに置き、県央・中越・上越支援センターとはネットワークを経由して ANSYS 等のライセンスを共有している。そのため、どの支援センターにおいても CAE 技術に関する支援を行うことができるが、その一方で各センターにて実施した解析事例を共有することが難しい状態にあった。

ミニ共同研究や技術相談に対して迅速に対応するためには、過去の解析事例より材料特性や境界条件を参照することが必須である。そこで、これらの情報を共有する手法について検討した。

3.2 解析事例の共有化について

解析結果ファイルは大きいもので数 GB に達することもあり、数多くの結果を端末に保存しておくことは難しい。また一連の解析が終了すると、結果を多角的に検討する機会はほとんどなくなる。そのためミニ共同研究の場合は報告書を、技術相談の場合は ANSYS Workbench のレポート機能を用いて結果を PDF 化し、メインサーバへ保存することとした。

過去の解析事例を比較すると、表 3 に示した項目について担当者による差異が生じていることが分かった。これら解析条件については定型書式により整理し、少ないキーワードで検索できるようにした。なお ANSYS は入力データをテキスト保存しているため、複雑な条件設定を行った事例についてはこれを添付し、再利用で

きるようにした。

従来は接触モデルの検討など、複数条件にて計算を実施していたが、過去の事例が参照できるようになったことでモデル検証の時間を 1/2 ～1/4 程度短縮することが可能となった。今後は複数の条件ファイルを自動作成できるよう、代表的な入力データをマクロ化するなど効率化を進めたい。

3.3 共有化された情報の例

共有された情報の例として、LS-DYNA における材料定数同定について紹介する。

LS-DYNA の特徴の一つとして、破壊モデルを有していることが挙げられる。破壊挙動は *MAT_ADD_EROSION を用いて材料モデルに破壊判定基準（最大主応力など）を付与する方法のほか、*MAT_PLASTIC_KINEMATIC のように破壊判定基準を有す材料モデルを用いることで表現できる。本研究ではこれらの特性を把握するため、鋳物（FC）の曲げ破壊試験を実施し、LS-DYNA による計算結果と比較した。

曲げ破壊試験の概要を図 1 に示す。試験には（株）島津製作所製万能材料試験機を用いた。曲げ支点間距離は 450mm、その中央部をポンチにより押し込んでいく。このときのポンチ荷重とストロークの関係を記録し、LS-DYNA による計算結果と比較した。

LS-DYNA ではポンチ、支点とも剛体として設定し、それぞれ表面のみモデリングした。材

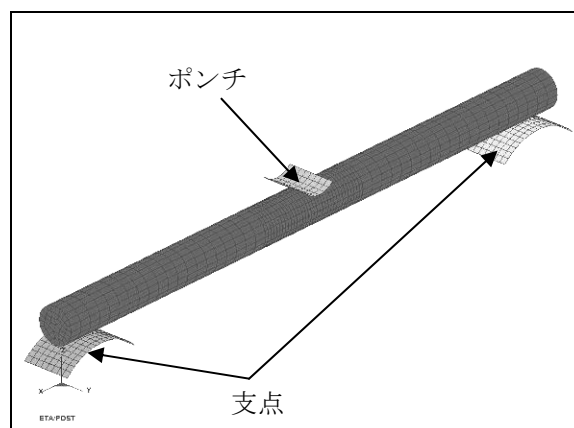


図 1 曲げ破壊試験概要図

表 3 差異のみられた計算条件の例

解析分野	条件
構造解析	材料定数（降伏応力、n 値） 接触モデル（定式、剛性） 幾何非線形
伝熱解析	熱伝達係数 接触熱抵抗

表 4 計算条件

条件	材料モデル
1	*MAT_PLASTIC_KINEMATIC *MAT_ADD_EROSION
2	*MAT_PLASTIC_KINEMATIC
3	*MAT_PLASTICITY_ COMPRESSION_TENSION

料モデルは表 4 に示す 3 パターンとし、ヤング率、ポアソン比はすべての材料モデルで同一の値を用いた。

破壊判定は条件 1 では最大主応力、条件 2 および 3 では塑性ひずみにて行うよう設定した。また条件 3 では引張方向と圧縮方向の降伏応力および加工硬化係数を異なるものとし、引張荷重により破壊するよう材料モデルを調整した。これは圧縮荷重に対して強い鋳物の特性をモデル化したものである。

曲げ破壊試験と計算結果の比較を図 2 に示す。LS-DYNA による計算では降伏後の挙動に差が生じていることが分かる。条件 3 において特に実験値と近い傾向を示していることから、鋳物については引張および圧縮方向の特性をそれぞれ設定することが重要であることが分かる。また鋳物など脆性材料を扱う場合、塑性変形は微小となるため無視することが多いが、破壊まで計算する場合には降伏応力および加工硬化係数に現実に近い値を設定する必要があることが分かる。

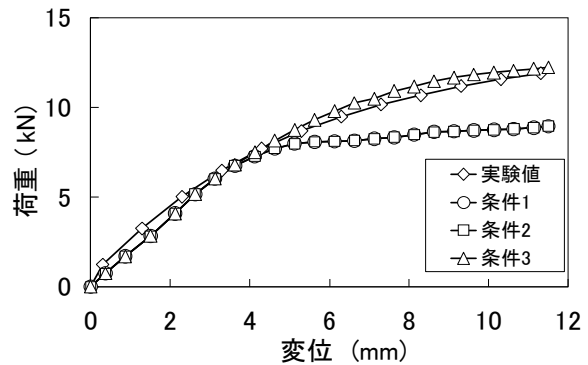


図 2 曲げ破壊試験と計算値の比較

このような材料情報を共有せずに解析を進める場合、同様の予備解析を実施する必要がある。しかし情報を共有することでそれを省略できるほか、材料定数を決定した経過も併せて共有化することで解析技術の向上にも繋がる。

4. 結 言

- (1) ミニ共同研究、技術相談に対し迅速に対応できるよう、解析事例および条件設定を共有化する手法について検討した。その結果、PDF による報告書のインデックス化、入力ファイルの共有化などにより、モデルの検証時間を 1/2～1/4 程度に短縮することができた。
- (2) LS-DYNA における鋳物の破壊モデルについて検討した。引張、圧縮方向それぞれで特性を設定した材料モデルにて実験値に近い計算結果を得ることができた。

非導電物の表面形状評価に関する研究

馬場 大輔* 宮口 弘明* 皆川 森夫*

A research on surface shape evaluation of non-conductor

BABA Daisuke*, MIYAGUCHI Hiroaki* and MINAGAWA Morio*

1. 緒 言

各種材料の表面を微細に観察する場合、表面粗さ計、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡(SEM)等の設備を使用するケースが多いが、これらの方法にはそれぞれ、触針が接触して表面に傷がつく可能性がありまた触針形状の影響を受ける、焦点深度が浅いため観察視野範囲全体に焦点を合わせることが難しく無色透明な材料の観察が困難である、試料が帯電するため導電性を有しない試料では金属蒸着等の前処理をしないと観察が難しい、等の短所がある。

レーザ顕微鏡は試料にレーザ光を照射して反射受光量を測定するものであり、レーザ光をスキャンすることにより各測定点の反射光の強さを計測し、そのデータを集めて観察画像を得る。この方法では非接触で観察視野全体に焦点が合った画像を得ることができ、また特別な前処理なしにそのまま観察可能である。

本研究では当所設備のレーザ顕微鏡（キーエンス社製 VK-9500、主な仕様は表 1 参照、以下「顕微鏡」という）を使用して、非導電性で無色透明である、合成石英レンズ、PDMS（ポリジメチルシロキサン）の表面形状を評価した。

2. 合成石英レンズの形状測定

市販されている外径φ3の合成石英平凹レンズを顕微鏡で観察し、断面形状を測定した。レンズの直径を一画面に表示するため、顕微鏡用画像連結ソフトウェアで画像を5枚連結した超深度画像（画像全体で焦点が合った状態の画像）を図1に示す。また、凹面の断面形状を顕微鏡用形状解析ソフトウェア（以下、「顕微鏡用ソフト」という）にて表示したものを図2に示す。凹面の最高部と底部の高さの差は240μmという結果となり、この全面にわたって鮮明な画像が得られた。

ある観察画面における超深度画像や高さのデータは顕微鏡用ソフト独自のファイル形式で保

表 1 レーザ顕微鏡の主な仕様

対物レンズ倍率	10倍, 20倍, 50倍, 150倍 高さ測定は20倍以上の倍率で可能
観察測定範囲[μm]	横675×縦506 (対物レンズ倍率20倍のとき)
高さ測定	測定範囲 7mm 表示分解能 0.01μm
表示分解能	1024画素×768画素

* 上越技術支援センター



図 1 合成石英レンズの超深度画像
(点線は画像を連結した部分)

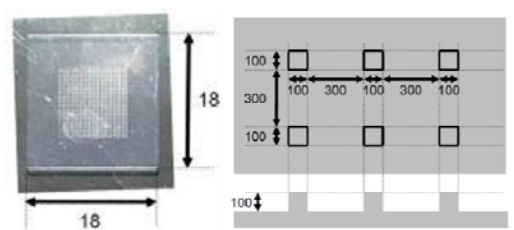


図 2 合成石英レンズの断面形状

表 2 図 3, 図 5 の構成

- ① 顕微鏡用ソフトのファイルから得られた3次元画像（スケールは上下左右前後とも等倍）。
- ② ①と同じ高さデータをCSVファイルで保存しProAna3Dを使用してファイルを開いて得られた3次元画像。
- ③ 顕微鏡用ソフトのファイルから得られた超深度画像。
- ④ ③と同じ超深度画像データをCSVファイルで保存しProAna3Dを使用してファイルを開いて得られた超深度画像。

①②の3次元画像は同視点からのもの。



左 写真[単位 mm]

右 凸面寸法[単位 μm]

図 4 観察した PDMS 凸面スタンプ

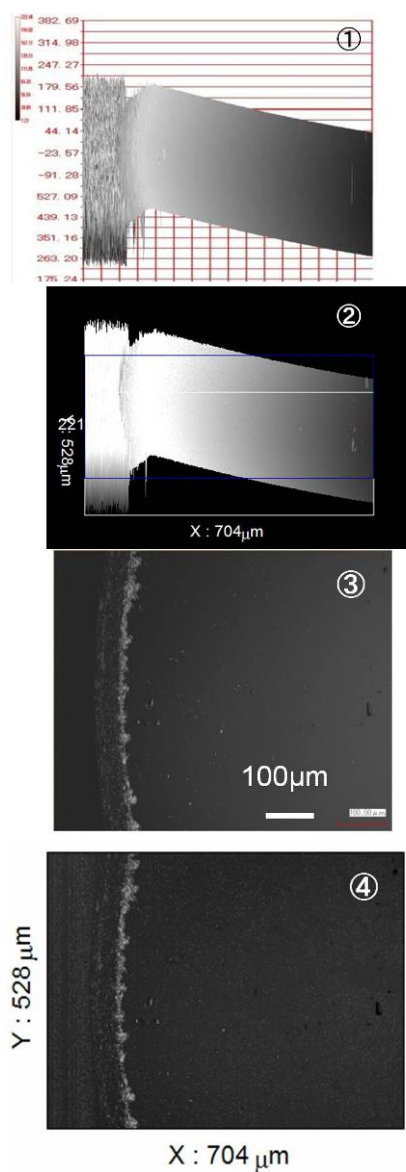


図 3 合成石英ガラスの観察結果

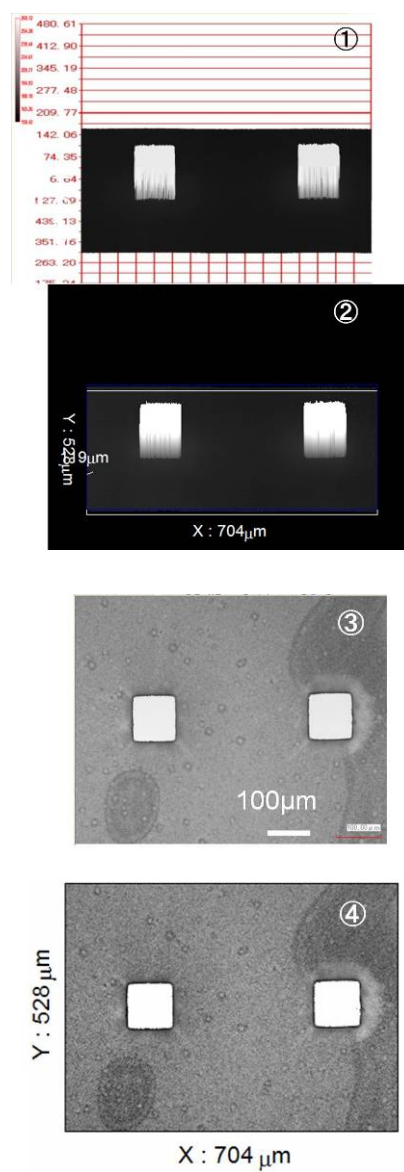


図 5 PDMS スタンプの観察結果

存できるが、そのほかに超深度画像データと高さデータそれぞれについて CSV ファイル形式で保存することもできる。この CSV ファイルのデータを可視化できる、無償にて入手可能なソフトウェアに ProAna3D がある¹⁾。図 3 は図 1 中の太線で囲った観察画面から得られた画像である（各画像については表 2 参照）。①と②の画像，③と④の画像はよく一致しており，超深度画像データと高さデータそれぞれについて CSV ファイル形式で保存すれば，ソフトウェア ProAna3D を使用することにより，顕微鏡で得られた情報を一般的な PC で十分に再現が可能となる。

3. PDMS の形状測定

PDMS はシリコーンゴムの一種で，マイクロ流体チップなどに利用される無色透明で電気絶縁性が高い材料である²⁾。市販されている PDMS 製標準品マイクロ流体チップ凸面スタンプ（フルイドウェアテクノロジー製 N1-1-100，図 4）の観察結果を図 5 に示す。高さデータを基にした 3 次元画像（図 5①）を見ると図 4 の凸面とよく一致している。この観察画面についても前節と同様に ProAna3D による画像と比較したところ同じように可視化できていると考えられる。

4. 結 言

- (1) レンズ外径 $\phi 3$ の合成石英平凹レンズの凹面部形状をレーザ顕微鏡にて評価することができた。
- (2) PDMS 製凸面スタンプを前処理なしで観察し，仕様とほぼ同じ形状を計測できた。
- (3) 表面形状粗さ解析ソフトウェア ProAna3D を使用すれば顕微鏡で得られた情報を一般的な PC で十分に再現が可能となる。このソフトウェアで 3 次元画像，超深度画像の CSV ファイルを可視化できた。

謝 辞

ProAna3D についての問合せに迅速丁寧な御対応をいただいた岩手大学工学部・内館道正助教に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 内館道正，“表面形状・粗さ解析ソフト ProAna3D”，<http://www13.plala.or.jp/Uchi/progprog01.html>（参照 2008-03-27）。
- 2) 工藤寛之，加沢エリト，渡邊耕士，“マイクロ流体チップの低コスト製造技術の開発”，東京都立産業技術研究所平成 16 年度研究発表会要旨集，2004，p4-6。

パソコンを用いた計測制御の一例

三村 和弘*

A Example of Measurement Control that uses Personal Computer

MIMURA Kazuhiro*

1. 緒 言

パソコンを用いて各種センサの信号を取得し、測定値をハードディスク(HDD)に保存したり、複数の信号を数値演算できれば、パソコンを作業現場や他所に運んで、測定を行うだけでなく演算結果も知ることができる。さらに、複数のパソコンでネットワークを組めば、遠隔地に居ながらリアルタイムで測定を観察ことも可能である。

そこで今回、計測制御技術セミナー(平成 20 年.1 月~2 月)の開催にあたり計測システムを開発したので紹介する。

2. 温度計の製作

2.1 ブレッドボードを用いた温度計

セミナー受講者の経験年数や職種が様々なので、電子部品をユニバーサル基板に半田付けする方法ではなく、容易に回路が組めて、配線の間違いをしてもすぐに元の状態に戻せることができるブレッドボードを用いて温度計を製作した。

2.2 温度計の回路

温度計の回路図¹⁾を図 1 に示す。この回路は、大別すると電源部、マイコン部、センサ部、シリアル(RS232C)通信部の 4 部分であり、部品などは簡単に入手できるもので構成されている。

2.3 PIC マイコンへの書き込み

プログラムの作成では、MPLAB IDE を入手

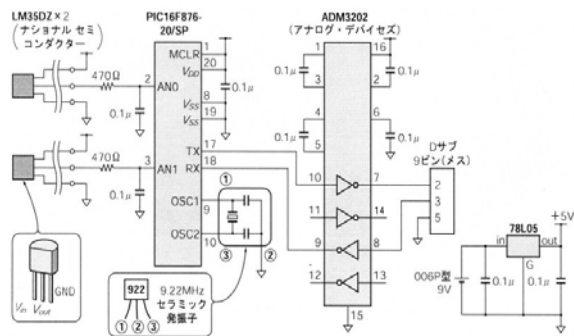


図1 温度計の回路図

し、ASM ファイルを作成後に HEX ファイルに変換した。そして、PIC プログラマを用いて、マイコンに書き込んだ。

2.4 パソコン側のプログラム作成

温度計とパソコンの通信を行うために、計測制御ソフト LabVIEW8.2(日本 NI 社)を用いて通信プログラムを作成した。このソフトは、ソースコードをブロックダイアグラムと呼ばれるもので作成し、それと連動するフロントパネルを構築する。そして、パソコン画面上で操作を行う。この通信プログラムを図 2 に示す。

3. DMM(デジタルマルチメータ)との通信

アナログ値で出力されるセンサの信号を RS232C 付属の DMM(デジタルマルチメータ) で測定し、パソコンで数値計算処理を行えば、身近なパソコンがデータロガーの役割を果たす。今回選んだ DMM は MAS-345 (MASTECH 社) であり、電流・電圧・容量などの汎用的な測定

* 素材応用技術支援センター

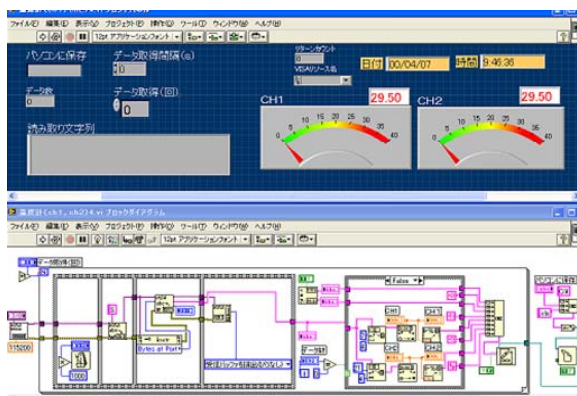


図2 温度計の通信プログラム

の他に付属の K 型熱電対で温度測定やトランジスタの増幅率も測定ができる。

ここでも LabVIEW を用いてプログラムを作成したが、ソフトに付属のサンプルプログラムを部分的に改変するだけで簡単に作成できた。

4. 計測システム

4.1 計測システムの概要

前述のブレッドボード温度計と DMM を同時にパソコンに接続して簡易な計測システムを構築し、各々のプログラムを一つにまとめて新しいプログラムを作成した。この温度計と DMM を図 3 に示す。また、パソコン上で構築したフロントパネルとブロックダイアグラムを図 4 と図 5 に示す。

4.2 計測システムの可能性

今回の製作は、単に温度計と DMM を組み合わせた計測システムであるが、DMM の測定パラメータが多いので機械設備や実験開発装置に組み込めば、各種の測定が実現できる。また、得られた測定値を演算したりグラフなどに表せ

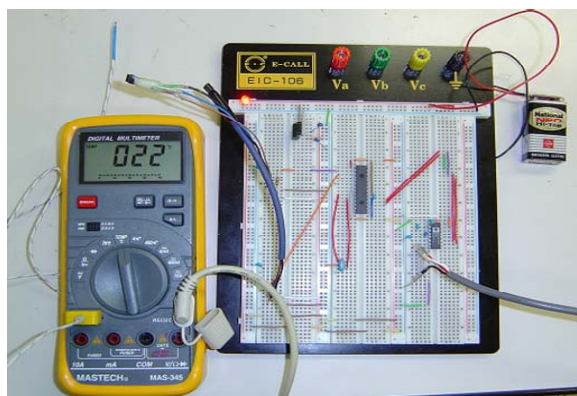


図3 作成した温度計と DMM

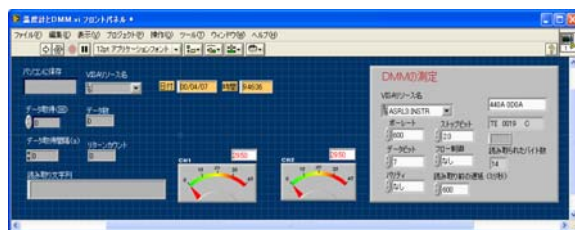


図4 フロントパネル

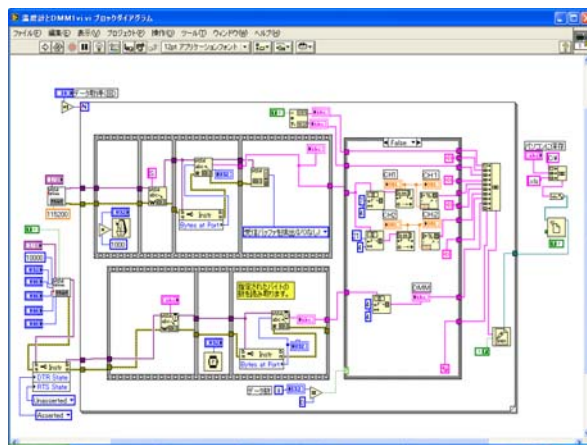


図5 ブロックダイアグラム

ば、測定結果を有効に活用できる。

さらに、今後、測定器が増えても同様な方法でシステムをスケールアップすることが簡単に行える。

5. USB 接続への適用

5.1 USB 接続の実現

昨今のパソコンは、USB 端子のみでシリアル (RS232C) 端子が付属していない機種も多く、パソコンと測定器を直接に接続することが困難になってきている。しかし、測定器側に USB 端子を設けることができれば、パソコンの機種を考慮しなくてもよい。そこで、今まで RS232C 用として作成したプログラムを継承することを目的とし、前述の温度計を使って USB 接続を可能とする方法を実現した。

5.2 USB-シリアル変換器

USB-シリアル変換器の IC として、FT232RL (FTDI 社) を用いた。これは、外付け部品が少なく電源が USB より供給されて、標準の COM ポートとしてアクセスできる。さらに、ドライバが FTDI 社から無償で入手できて取り扱いが

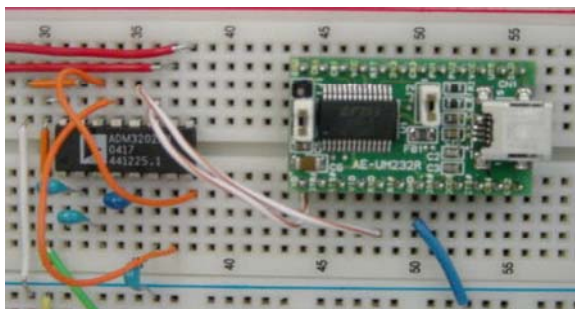


図7 ブレッドボード上での配線

簡単であることから、この IC を採用した。そこで、この IC をコアにして他に必要なディスクリット部品が実装してある変換モジュール(秋月電子通商)を用いて開発を行った。

5.3 温度計との通信方法

前述の温度計とパソコン間は、通信においては TXD と RXD の 2 線だけであり、ADM3202 の変換用インバータは 4 つのうち 2 つしか使用していない。そこで、残りの 2 つも使って通信を実現した。最初に、PIC マイコンからの送信データを ADM3202 の 10 番ピンにつなげて 7 番ピンから出力し、それを 13 番ピンに戻し、さらに、12 番ピンから出力させて FT232RL に接

続する。同様に、FT232RL からの送信データも ADM3202 を 2 回通過させて PIC マイコンへデータを送る。こうすることで、レベル変換 IC が 1 個だけで、今までの測定プログラムを改変することなく通信ができた。この接続を図 6 に示し、実際のブレッドボード上の配線を図 7 に示す。

6. 結 言

- (1) 温度計と DMM を組み合わせることで、簡易型の計測システムを開発した。
- (2) パソコンで USB 接続を行う場合に、RS232C 接続用プログラムを活用できる方法を実現した。
- (3) 計測制御技術セミナーの実習において、受講者が同様な計測システムを構築し、オリジナルプログラムを作成した。

参考文献

- 1) 落合正弘，“簡易温度計の製作”，トランジスタ技術，3，2006，P255-260

ユトラスエース[®]を使用するグリーストラップ 油塊分解装置の開発

須藤 貴裕* 笠原勝次** 永井 直人**

Development of Instrument for elimination of grease cluster in grease-trap

SUTOH Takahiro* , KASAHARA Katsuji**and NAGAI Naoto**

1. 緒 言

オゾン吹込み式グリーストラップ改善装置を備えたグリーストラップにおいて、ラード状の固形食用油を処理しようとする油塊が生成してグリーストラップの性能、およびメンテナンス性が著しく損なわれる。これを改善する目的で、ユトラスエース[®]α（三菱ガス化学製）をグリーストラップ内に供給し、その油脂吸着作用により廃水を浄化し、極力メンテナンスフリーとなるような装置を検討および試作を行った。

2. グリーストラップの現状把握

既存のグリーストラップの構造は図1に示すとおり、食材片を除去するステンレス製の金網を備える第一槽と、油水の分離のために廃液を貯留する第二槽、油と分離した廃水を貯留し、沈降性のゴミなどを除去する第三槽からなる。

オゾン吹き込み装置は、床上に設置されており、

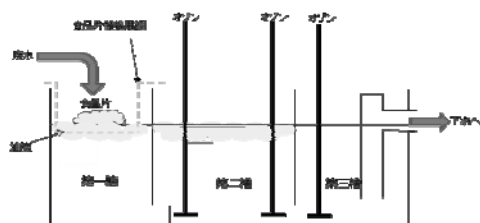


図1 既存グリーストラップ構造

生成したオゾンを含む空気は、塩化ビニル製のパイプで第二槽に2箇所、第三槽に1箇所の3点に分岐されて、水槽底部から散気管を通して吹き込まれている。第一槽、第二槽に油塊が生成し、頻繁にメンテナンスを要する。

3. 廃水処理工程の検討

グリーストラップは図1に示した構造で既に数多く納入されている。そのため、廃水処理工程は既に納入されたグリーストラップにおいても設備そのものを交換することなく、適用できる方式で検討した。図2に検討した廃水処理工程を示す。油吸着作用のある粉体（三菱ガス化学製ユトラスエース[®]α）を粉体供給装置によりグリーストラップ内に供給し、廃水循環部において廃水と供給した粉体を攪拌および混合する。攪拌および混合により分解された廃水は廃水放流部より下水へ放流される。なお、廃水循環部と廃水放流部はエアリフトを用いた揚水構造とし、放流部には油脂吸着作用による生成物を捕集する網を設けた。

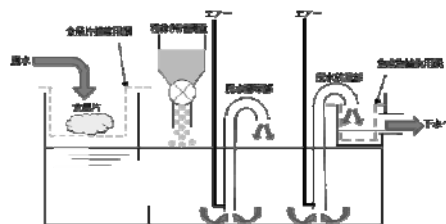


図2 検討した廃水処理工程

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

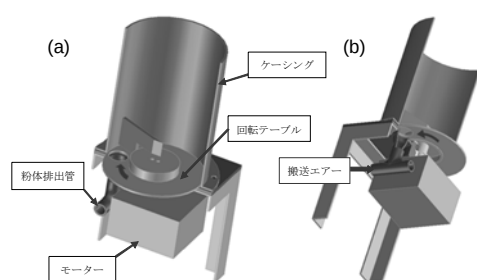


図3 粉体供給装置(a)上斜視図, (b)下斜視図

4. 粉体供給装置の検討

検討した廃水処理工程では、グリーストラップ内に粉体（ユトラスエース[®]α）を定期自動供給する粉体供給装置が必要となるが、通常用いられるロータリーバルブなどは非常に高価であるため、簡易で安価な粉体供給装置の検討が必要となった。検討した粉体供給装置のカットモデルを図3に示す。粉体供給装置はケーシング内の粉体が回転テーブルに開いた排出孔より粉体排出管に排出され、排出管に貯まった粉体はある時間ごとにエア搬送され、グリーストラップ内に供給される構造とした。回転テーブルの回転速度と搬送エアを供給するタイミングを変更することで、時間当たりの粉体供給量を制御できる。

5. 粉体供給装置の簡便化および試作

前述のとおり検討した粉体供給装置をメンテナンス等のランニングコストを低減するため、さらに簡便な構造を検討し試作した。試作した粉体供給装置の写真を図4に示す。回転テーブル方式から簡易なロータリーバルブ方式に変更し、ロータリーバルブが回転する間隔を制御することで時間あたりの粉体供給量を制御する。

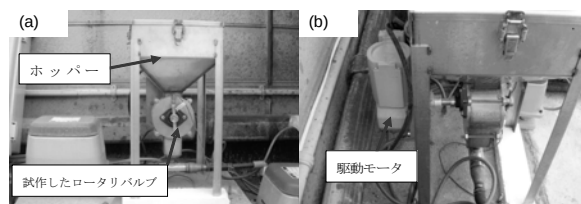


図4 試作した粉体供給装置

(a) 全体, (b) ロータリーバルブ部

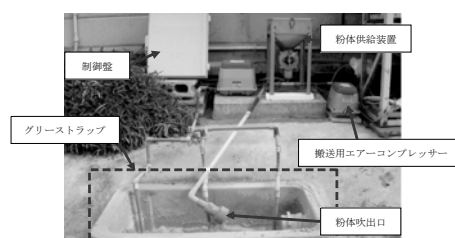


図5 試作装置を適用したグリーストラップの全体構成

6. 検証

図5に試作装置を適用したグリーストラップの全体構成、図6(a)に試作装置適用前、図6(b)に試作装置適用後のグリーストラップの状態を示す。検証は既存グリーストラップをそのまま利用したため、エアリフトによる攪拌部、放流部および生成物捕集用網は設けなかった。図に示したとおり試作装置適用前は廃水がかなり白濁しているが適用後では廃水の白濁が改善しており、はっきりとした違いが確認できた。また、エアリフトによる攪拌部を設けなくとも、十分な効果が得られることが確認できた。

7. 結 言

- (1) 廃水処理工程の検討により、既存のグリーストラップと比較してメンテナンス頻度を抑えたグリーストラップの試作が可能であった。
- (2) 粉体供給装置の検討により、通常用いられる市販のロータリーバルブなどと比較し、安価な粉体供給装置の製作が可能であった。
- (3) エアリフトによる攪拌部を設けなくとも十分な効果が確認できた。
- (4) 処理廃水の油含有量に対応した、最適な粉体供給量を検討する必要がある。

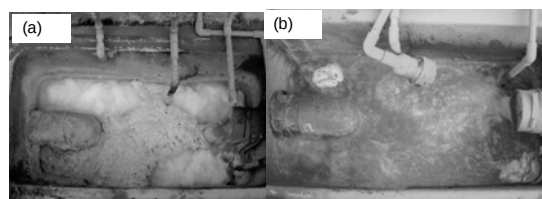


図6 試作装置を適用した効果の検証

(a) 適用前, (b) 適用後

ICP 分析の高精度化に関する研究 (マトリックス元素の影響)

皆川 森夫* 五十嵐 宏*

Study on high accuracy in ICP spectrometry
(Influence of a matrix element on analytical quantities)

MINAGAWA Morio* and IKARASHI Hiroshi*

1. 緒 言

ICP 分析(誘導結合プラズマ発光分光分析)は、鉄鋼の分析で一般に使われる分析方法である。しかし ICP 分析には干渉の問題があり、それを緩和させる一つの方法に、マトリックスマッチング(検量線試料に分析試料と同レベルのマトリックス元素を添加すること)がある。

今回、濃度既知であるステンレス鋼標準試料を対象に、マトリックス成分が測定値に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 分析試料と対象元素

- 分析試料：ステンレス鋼標準試料
(日本鉄鋼認証標準物質 JSS651-12)
- 分析対象元素と表示化学成分は表 1 のとおりである。

2.2 使用機器

- プラズマ発光分光分析装置 Vista-MPX
ST アキシャル仕様
(セイコーインスツルメンツ(株)製)

2.3 試料の調製

試料は JIS G 1217 鉄及び鋼ークロム定量方法「5.5.1 試料溶液の調製」を参考に調製した。

表 1 標準試料の表示化学成分(%)

Cr	18.26
Ni	9.03
Mo	0.054

図 1 にその流れを示す。硫酸，りん酸，硝酸は試薬特級を用い，3 試料調製した。

3. 検量線の作成

前項 2.3 で調製した溶液の Cr, Ni, Mo, Fe の濃度を概算すると Cr 18ppm, Ni 9ppm, Mo0.5ppm, Fe 70ppm となる。

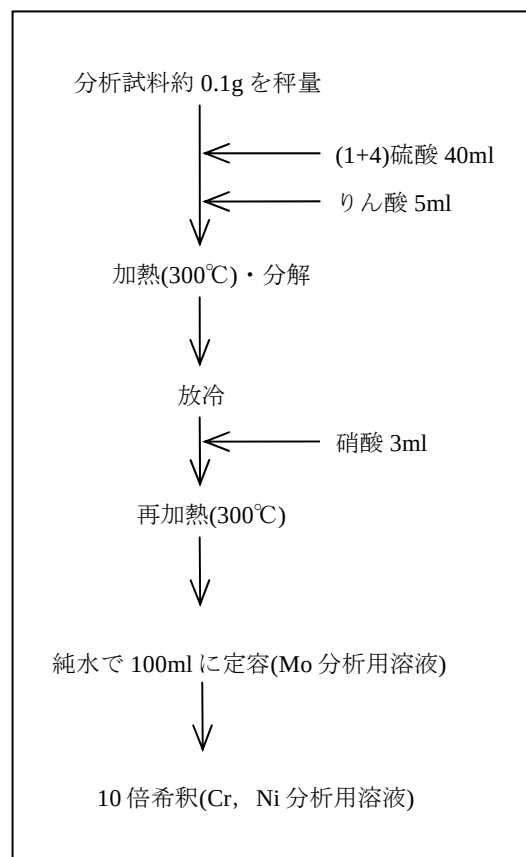


図 1 試料の調製方法

* 上越技術支援センター

これらの元素の濃度を考慮し、検量線に用いる2点の濃度を表2のように決めた。

検量線を作成するための各元素は、分析用金属標準液を使用した。なお、Fe成分を入れないものを検量線Aとし、Fe成分を入れたものを検量線Bとした。

また標準液を調製する際、試料溶液と同様に酸レベルを合わせるために、硝酸 5ml を添加し、100ml に定容した。

表2 作成した検量線の種類と濃度

元素	検量線 A (Fe なし)		検量線 B (Fe あり)	
	① (ppm)	①/10 (ppm)	① (ppm)	①/10 (ppm)
Fe	—	—	100	10
Cr	20	2	20	2
Ni	10	1	10	1
Mo	5	0.5	5	0.5

表3 Cr の定量値 (%)

波長 (nm) 試料	検量線 A (Fe なし)			検量線 B (Fe あり)		
	205.560	205.560	206.158	205.560	206.158	267.716
①	18.09	18.09	18.14	18.00	17.92	18.01
②	18.12	18.12	18.22	18.37	18.39	18.16
③	18.34	18.34	18.42	18.29	18.33	18.29

表4 Ni の定量値 (%)

波長 (nm) 試料	検量線 A (Fe なし)			検量線 B (Fe あり)		
	216.555	221.648	231.604	216.555	221.648	231.604
①	8.98	8.99	8.95	9.00	8.99	8.99
②	8.99	9.04	8.99	9.23	9.24	9.24
③	9.13	9.16	9.08	9.09	9.13	9.13

表5 Mo の定量値 (%)

波長 (nm) 試料	検量線 A (Fe なし)			検量線 B (Fe あり)		
	202.032	203.846	204.598	202.032	203.846	204.598
①	0.062	0.061	0.062	0.062	0.061	0.061
②	0.060	0.059	0.061	0.059	0.060	0.060
③	0.060	0.059	0.060	0.060	0.060	0.059

表6 分析結果

		検量線 A (Fe なし)			検量線 B (Fe あり)		
表示化学成分 (%)		分析値 (%)	差(※) (%)	分散 (%) ²	分析値 (%)	差(※) (%)	分散 (%) ²
Cr	18.26	18.21	0.05	0.01	18.20	0.06	0.03
Ni	9.03	9.03	0.00	0.00	9.12	0.09	0.01
Mo	0.054	0.060	0.006	0.000	0.060	0.006	0.000

(※) 差= | 分析値－表示化学成分 |

4. 定量操作と結果

Cr, Ni, Mo について、各元素それぞれ3本の波長の異なる発光スペクトル線によって定量した。またその際、各元素の発光スペクトル線が分光干渉を受けていないことを確認した。定量結果を表3, 4, 5に示した。

5. 分析結果

前章4.で得られた3試料9個の定量値を平均し、分析値とした。各元素の標準試料の表示化学成分と検量線A, Bより得られた分析値、その差および分散を表6に示した。

6. 結 言

Feマトリックスの有無によって、分析値、分散には差が見られなかった。従って、実際の分析にあたっては、Feの影響を考慮しなくてよいことがわかった。

ユニフォーム上の汚れ発生メカニズムに関する研究

明歩谷 英樹*

Research on Dirt Generation Mechanism on Uniform

MYOUBUDANI Hideki*

1. 緒 言

野球用ユニフォーム分野において、汚れ対策（防汚）は、選手が練習後ユニフォームを各自家に持ち帰り、毎日のように洗濯をしているが、その汚れは落ちにくく、洗濯機メーカーや洗剤メーカー、素材メーカーなどが苦慮しているところである¹⁾。これらの汚れは繊維と繊維の間に入り込んだものであり、落とすことが不可能であるとまで言われている。

当研究では、野球用ユニフォームに付着する汚れについて、汚れの付着状況や汚れ物質を把握することで、その発生メカニズムを明確化することを目的とした。

2. 調査研究

2.1 ユニフォーム上での汚れの状況把握

高校野球部員が長年着用し、スライディングなどにより付着した汚れの状況を、電子顕微鏡観察や顕微鏡観察などを行い調査した。

2.1.1 試料

試料1：野球部員が着用したズボン

ズボンの洗濯はJIS L 0217 番号103により1回洗濯処理を行った。洗濯用合成洗剤は「ライオン（株）製スーパートップ」を用いた。また、洗濯後の乾燥はつり干しにて実施。試料の素材情報を以下に示す。

素材：ポリエステルフィラメント加工糸
(150デニール/48フィラメント/-)
編み組織：天竺

2.1.2 試験方法

日本電子社製 走査型電子顕微鏡 JED-2200

* 素材応用技術支援センター



図1 着用ズボン(試料1)

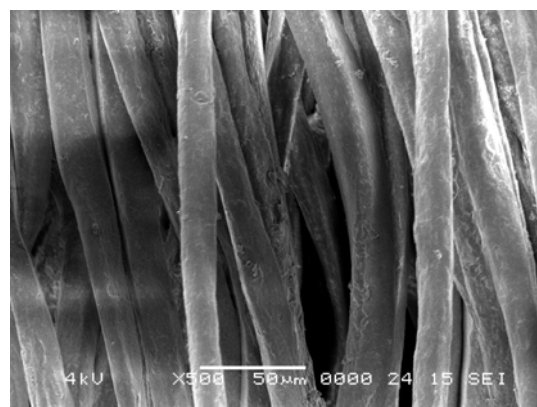


図2 洗濯後ズボン(試料2)

を用いて、拡大観察を行った。

2.1.3 試験結果

洗濯前後の拡大比較写真を図1、図2に示す。

着用ズボンである試料1の電子顕微鏡表面写真を見ると繊維と繊維の間にグラウンドの土と思われる粒状物質が多く確認できる。その粒状物質は洗濯後（試料2）の電子顕微鏡観察では大部分が脱落し、繊維の隙間に入り込んでいたほとんどの土が洗濯で落ちていることがわかった。また、洗濯後試料のフィラメント（繊維1本）

自体に注目するとフィラメント表面が凸凹になるなど変形が見られ、フィラメントへの物理的な損傷があることがわかった。

2.2 汚れ付着物質の分析

ユニフォームに付着している汚れ物質にどのような元素が含まれているのか定性分析を行った。

2.2.1 試料

- 試料 1：野球部員が着用したズボン
- 試料 2：試料 1 を洗濯処理したズボン
- 試料 3：ズボンから取り出した泥
- 試料 4：A 社防汚加工ズボン（未使用品）

2.2.2 分析方法

日本電子製走査型電子顕微鏡 JED-2200 のエネルギー分散形 X 線分析装置を用いて、分析を行った。

2.2.3 分析結果

表 1 には各試料毎に検出された元素をまとめて示す。

分析結果から、洗濯前後で検出元素が同じであることから考えて、電子顕微鏡による拡大観察で確認できなかったが、微少な泥の成分が洗濯後にもフィラメント表面に留まっていると考えられる。

2.3 汚れ付着量試験

洗濯後のユニフォームにどのぐらいの汚れが残存しているのか、汚れの定量試験を行った。

表 1 分析結果

	検出元素
試料 1	炭素、酸素、鉄、アルミニウム、ケイ素
試料 2	炭素、酸素、鉄、アルミニウム、ケイ素
試料 3	炭素、酸素、鉄、アルミニウム、ケイ素、カルシウム
試料 4	炭素、酸素

2.3.1 試料

以下に示す試料を採取したが、各試料に付着した汚れの程度にはムラがあった。

試料 2：着用後ズボンを洗濯処理した試料（標準品）

試料 4：A 社防汚加工ズボン（未使用品）

試料 5：A 社防汚加工ズボンを着用後洗濯処理した試料

2.3.2 試験方法

試料を 1cm～2cm 角に切って、約 2gf になるように試料を切り出す。その試料をフラスコに入れ特級メタクレゾール 120ml を加え 80～90℃ に加熱し、ポリエステルを溶解する。予め計量しておいたろ紙（1 号 180mm 径）で溶解液をろ過し、溶剤を揮散させ乾燥後、汚れを含むろ紙重量を秤量する。汚れ付着率 S（%）は以下の式によって求めた。

$$S = (r1 - r2) / m \times 100$$

S：汚れ付着率（%）

r1：ろ過前のろ紙重量（gf）

r2：ろ過後のろ紙重量（gf）

m：試料重量（gf）

2.3.3 試験結果

各試料の付着率を表 2 に示す。

洗濯を行った後のズボンにも、ズボンの重量に対して約 10%の汚れが付着していることがわかった。

2.4 再現試験用の汚れ付着方法の検討

JIS L 1919²⁰⁰⁶ 繊維製品の防汚性試験方法に準拠し、スライディングなどによる過酷な汚れを、再現できるか検証を行った。

表 2 汚れ付着率

	汚れ付着率(%)
試料 2:標準品	10.1
試料 4:防汚加工品 (未使用品)	2.8
試料 5:防汚加工品	12.9

2.4.1 試料

(株) ハニーインターナショナルワープ事業部製たて編み地を使用した。

2.4.2 試験方法

JIS L 1919²⁰⁰⁶ 繊維製品の防汚性試験方法
A 法 (ICI 形ピリング試験機を用いる方法)

A-2 法 (密閉形樹脂製袋を用いる方法) に準拠して行った。

粉体汚染物質：高松油脂(株)製泥汚れ試験用人工土

汚れにくさ試験：粉体汚染物質を袋に入れた後、10cm×10cm の試験片を 1 枚入れ、エアポンプで袋いっぱい空気封入する。これをピリング試験機に入れ、毎分 60 回転±2 回転で 60 分間操作する。操作後、試験片の四隅を持ち変えて、試験片の中央部を 5 回指で弾き、余分な汚れを取った後、汚染用グレースケールを用いて判定する。

付いた汚れの落ちやすさ試験：上記汚れにくさ試験で汚れを付着させた試験片を JIS L 0217 の付表 1 の番号 103 に規定の方法にて洗濯を行い、乾燥させた後、汚染用グレースケールを用いて判定する。

2.4.3 試験結果

各試験結果を表 3 に示す。洗濯後の試料を観察すると、実際のスライディングによって付着した汚れとは大きく異なり、粉体汚染物質を振りかけるような今回の JIS の試験方法では、再現できていないように思われる。この結果から考慮すると、スライディングなどによって付着する汚れは、電子顕微鏡でフィラメントが変形したような摩擦熱等によって汚れがフィラメント内部にまで入り込んでいると考えられる。

表 3 防汚試験結果

たて編み地	
汚れにくさ試験	2 級
付いた汚れの落ちやすさ試験	4 級

よってユニフォームの防汚性能を評価するためには、汚れ物質の繊維間への入り込みの他に摩擦熱という要因も考慮する必要があると思われる。

また、グラウンド用の黒土混合土などを調べていくと今回使用した粉体汚染物質のような無機物質の他に有機物質が含まれることが示されている²⁾。この有機物質にはフルボ酸やフミン酸という物質があり、これら有機物質が繊維の着色の原因物質となっている可能性も考えられる。

従って、再現試験を行うに当たり、汚染物質に有機物質の導入も重要である。

3. 結 言

- (1) 野球用ユニフォームの汚れを調査した結果、汚れには炭素、アルミニウム、鉄、ケイ素の元素が含まれることがわかった。
- (2) 洗濯後にて除去できない汚れは、フィラメント内部にまで入り込んでいる可能性を示した。
- (3) 野球用ユニフォームの汚れを再現するためには、摩擦熱や適切な汚染物質の選定を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 金澤，角田，“実際系での洗浄の技術と科学”，繊維と工業，vol.61，No.9，2005，p240-244.
- 2) 渡辺他，“腐食物質分析ハンドブック”，三景社，p14-17.

染色堅ろう度試験における計器による判定の適用の研究

橋詰 史則*, 渋谷 恵太*

A Study about the Application of Instrumental Determination of Colour Fastness

HASHIZUME Fuminori*, SHIBUYA Keita*

1. 緒 言

繊維の染色堅ろう度試験における計器判定の適用については、JIS L0809:2001「計器による変退色及び汚染の判定方法」として制定されており、正式な方法として認められているが、実際は目視によるグレースケールとの比較判定が一般的である。

本研究では染色堅ろう度試験において、過去の試験結果との整合性確認や蓄積データによる堅ろう度予測、目視判定では不可避な試験者の癖や体調の影響の減少に役立てるため、計器判定を実際に行って目視判定の結果と比較し、繊維特有の安定した判定を妨げる要因がどの程度影響を及ぼすかについて分析を行った。

2. 染色堅ろう度試験

2.1 試験の分類と測色対象試料

染色堅ろう度試験は、変退色と汚染の大きく二つに分類できる。変退色においては、提出試料自体が試験前と試験後でどれだけ色の変化があったかをみる。よって計器判定のため、試験前試料と試験後試料の両方の計器測色を行う。

汚染に分類される試験の判定においては、提出試料から溶出した染料などが別の試験用添付白布をどれだけ汚染したかをみる。計器判定のため、試験前の白布と汚染された部分の両方の計器測色を行う。

試験結果は、色の変化や汚染が全く無い場合の5級を最も高い判定とし、最も低い1級までの9段階で判定する。



図1 目視判定用グレースケール

2.2 試験試料

今回の研究での試験試料は、今年度10月から3月まで依頼試験で行った染色堅ろう度試験の試料を対象とした。目視判定の際に使用するJIS染色堅ろう度試験用汚染用グレースケールと変退色用グレースケール(図1)の各等級見本部分も計器判定結果と比較するため計器測色を行った。

3. 計器による測色と判定

3.1 使用機器

本研究で使用した測色機器は(株)島精機製作所製デザインCADシステムに付属の測色計「i1」(エックスライト(株)製)を使用した。測色測定径は直径5mm、Lab表色系の測色値を求める。

3.2 計算式

測定した測色値と、JIS L0809:2001「計器による変退色及び汚染の判定方法」に規定された白布汚染評価式と変退色評価式により等級対応値を求めた。その値から1級から5級までの計器判定結果

*素材応用技術支援センター

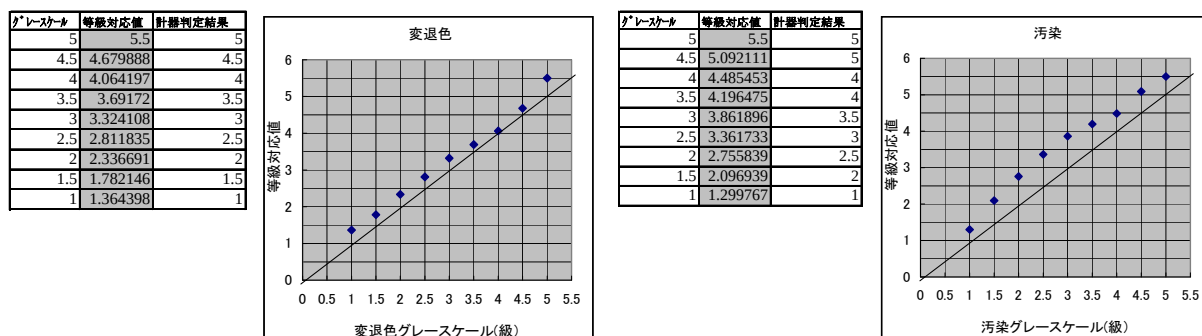


図2 グレースケールの計器判定結果

を導いた。これらの計算式を用いて、表計算ソフト EXCEL で測色値を入力することにより判定結果が求められるワークシートを作成し、計器判定結果を蓄積していった。

4 比較結果

4.1 グレースケール

従来行っている目視判定では各グレースケールの等級見本が判定の基準となっている。各見本部分を測色し、その測色値と評価式から導いた等級対応値および計器判定結果が等級見本の等級と整合しているかをまず確認した（図2）。

変退色における等級対応値は少し高い値が出ているが、計器判定結果としてはグレースケール等級と合致した値となっている。

汚染においての等級対応値はより高い値となって出てくる傾向が強く、計器判定結果も 0.5 級高い判定となる部分があった。よって実際の試験試料の計器判定の際も同様の傾向（目視判定より甘い判定が多くなること）が現れることを想定しながら結果を分析していく必要があることがわかった。

4.2 変退色

変退色に分類される堅ろう度試験の結果について、同じ試料を判定した際の目視判定と計器判定の結果の差について分析した。図3（a）に計器判定結果と目視判定結果の差の分布を示す。若干計器判定結果が厳しく出る傾向にあるが、同じ判定となった結果が最も多い。変退色は提出試料自体を測色するので、測色結果は試料の表面性状や柄の入り方に大きく影響される。そのため計器判定にもばらつきが生じていると思われる。

4.3 汚染

汚染に分類される堅ろう度試験の結果について、図3（b）に計器判定結果と目視判定結果の差の分布を示す。0.5 級ぶん計器判定が甘い結果が多く出ているが、図2で説明したグレースケールの計器判定結果の傾向が影響しているのがわかる。

汚染に分類される堅ろう度試験は、測色する試料は試験用白布のため表面性状は一定であるが、特に摩擦堅ろう度試験の際に提出試料の柄の配置などにより、白布が強く汚染される部分とそうでない部分に分かれる場合がある。結果事例を図5

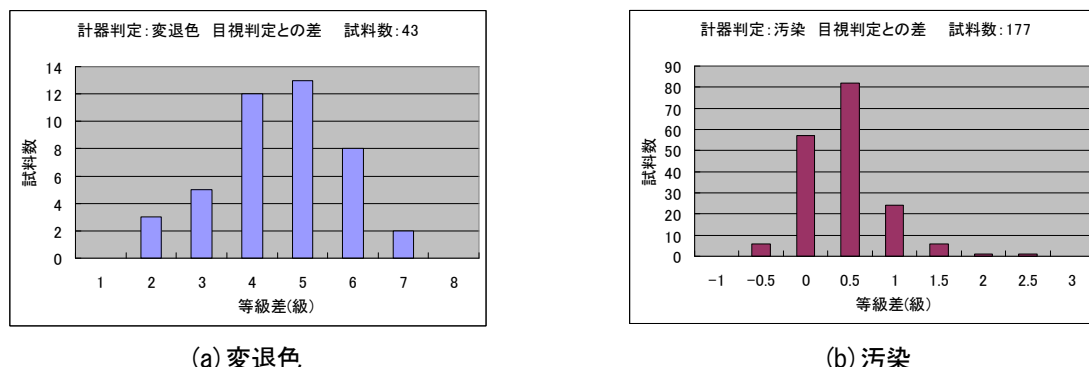


図3 計器判定値から目視判定値を引いた値の分布

ポリエステル／ポリプロピレン二層構造編地の機能性評価

古畑 雅弘^{*}，橋詰 史則^{*}

The Evaluation about Function of Polyester / Polypropylene Layer Knitting Fabric

FURUHATA Masahiro^{*} and HASHIZUME Fuminori^{*}

1. 緒 言

快適性に対する意識の高まりから，吸水速乾性素材や軽量保温性素材，ベトツキ感を軽減した素材など様々な機能性素材を用いたインナー，スポーツウェアが開発されている¹⁾。しかしながら機能性評価法については，JIS 等で規格化されている試験も少なく，メーカー独自の基準を定めて評価しているところも多い²⁾。

本研究では，生地を表側にポリエステル，裏側にポリプロピレンを使用した二層構造編地による「汗をかいても快適な素材」の開発を目的に，各種試験方法について調査，検討したので報告する。

2. 試験方法

2.1 編地の作成

横編機（18 ゲージ）を使用し，表 1 のとおり PET/PP および比較試料として 4 種類の二層構造編地を作成した。その後，編地を界面活性剤（ノイゲン EA-20）にて 30 分間ソーピング後，平干ししたものを試料とした。

表 1 試料

	素 材		表記方法
	表 地	裏 地	
①	ポリプロピレン 75d 2P	ポリプロピレン 75d 2P	PP
②	ポリエステル AHY 150d 1P	ポリプロピレン 75d 2P	PET/PP
③	ポリエステル AHY 150d 1P	ポリエステル AHY 150d 1P	PET
④	綿（ソフィ） 60/2 2P	綿（ソフィ） 60/2 2P	C
⑤	ウール 2/60 1P	ウール 2/60 1P	W

2.2 性能評価試験

評価試験として，接触冷温感試験(q-max)，拡散乾燥性試験，摩擦抵抗力試験（ベトツキ感）を実施した。

2.2.1 接触冷温感試験（q-max）

濡れたときの冷え感を評価するために，保温性試験機（カトーテック（株）製 THERMO LABO II）により，乾燥した状態と濡れた状態の接触冷温感 q-max を測定した。これは，熱を蓄えた純銅板が試料表面に接触した直後に，蓄えられた熱量が低温側の試料物体に移動する熱量のピーク値である。ここでは，水分率を 5%，30%，70%で測定した。

2.2.2 拡散乾燥性試験

乾燥性の評価法として，図 1 のとおり，アクリル板上に蒸留水を 0.2g 滴下し，その上に試料を置き，このセット重量を経時的に測定し，下記により蒸散率を求めた。

蒸散率(%) = (セットの重量減少／滴下した水の量) × 100



図 1 拡散乾燥性試験

^{*}素材応用技術支援センター

2.2.3 摩擦抵抗力試験（ベトツキ感）

生地は濡れると肌に吸い付くようにベトツキ感が増大する。このベトツキ感の評価法については規格化されておらず独自の方法を検討した。図2のとおり、幅50mm、長さ200mmの短冊状の編地の一方に10gfの荷重をかけて、外周をテフロンシートで覆った金属ローラーに接触させ、乾燥した状態と濡れた状態での摩擦抵抗力を2分間測定した。なおローラーの回転数は約20rpmとした。

3. 試験結果

3.1 接触冷温感試験

結果を図3に示すが、 $q_{\max}$ は乾燥した状態では、PPおよびPET/PPが大きかった。一般に $q_{\max}$ が大きいほど冷たく、小さいほど温かく感じる度合いが強いといえるが、クールビズ対応素材の基準は、 $0.10\text{W}/\text{cm}^2$ 以上（銅板と試料の温度差 10°C のとき）で冷感を感じるといわれており³⁾、PP素材は冷感を感じやすい素材であるといえる。また濡れた状態では、すべての素材で水分率の増加に伴い $q_{\max}$ が増加するが、PET/PPの増加率が最も緩やかで小さく、他の素材に比べて皮膚に触れたときの冷え感が改善されることがわかった。



図2 摩擦抵抗力試験

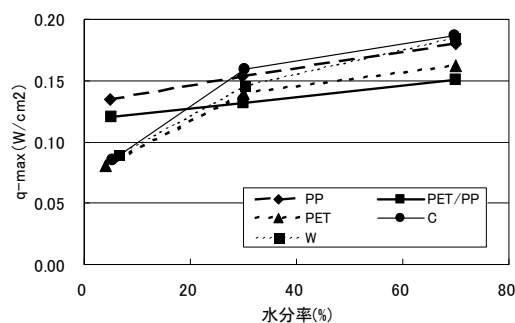


図3 接触冷温感 $q_{\max}$

3.2 拡散乾燥性試験

蒸散率の経時変化を図4に示す。乾燥までの時間は、PET/PPが50分と早く、PPが最も遅かった。これは、疎水性であるPPのみでは編地への吸水が進まず乾燥までの時間を費やすが、PETとの二層構造編地にすることにより、毛細管現象によりPP側からより親水性のあるPET側に拡散が進んだためと考えられる。

3.3 摩擦抵抗力試験

図5にPET/PPの乾燥、濡れた状態における摩擦抵抗力を示すが、濡れた状態での摩擦抵抗力は乾燥した状態の約2倍ベトツキことがわかった。また図6に素材による違いを示すが、Cが著しくベトツキ、それ以外の素材ではあまり大きな差は見られなかった。

しかしながら、3.2 拡散乾燥性試験の結果を考慮すると、PET/PPは乾燥が最も早く、ベトツキ感の低減には有効であると考えられる。

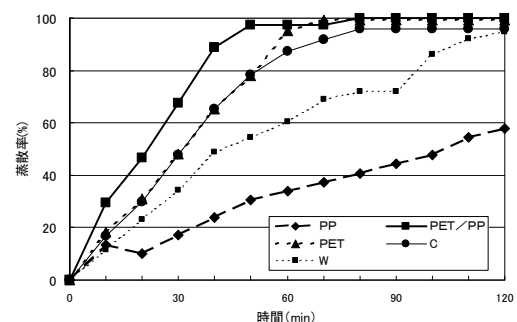


図4 蒸散率

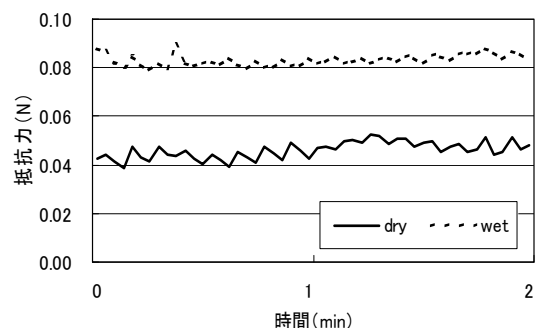


図5 PET/PPの摩擦抵抗力

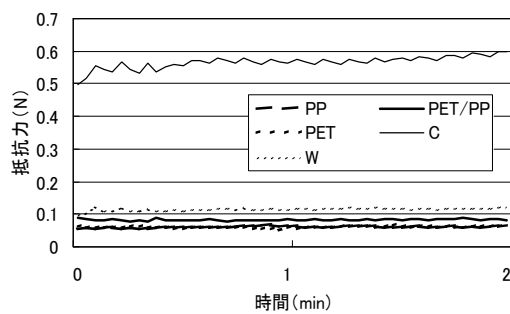


図6 素材による摩擦抵抗力 (wet)

4. 結 言

- (1) PET/PP 二層構造編地は q-max, 蒸散率で優れているが, 摩擦抵抗試験では比較素材との明確な優位性は認められなかった。
- (2) 試験結果を総合的に考えると, PET/PP 二重構造編地は, 快適性に優れた夏物衣料素材として有効であると考えられた。
- (3) PET/PP 二重構造編地にすることにより, 本来疎水性である PP に吸水乾燥性等の機能性を付

与することができることから, 産業資材分野等への展開も可能と考えられる。

- (4) 機能性評価法について, JIS 以外の試験方法を把握することができた。また規格化されていない摩擦抵抗試験についても, 独自の測定方法を見いだすことができた。今後は測定条件の最適化を図っていきたい。

参考文献

- 1) 安井 聡, “次世代型自己調節機能素材「MRT ファイバー」”, 繊維機械学会誌, Vol.60, No.8, 2007, p40-42.
- 2) 原田 隆司, “「快適性」に関する基礎知識と「快適性」素材のねらい, 技術, 評価法 (その2)”, 繊維製品消費科学, Vol.48, No.9, 2007, p25-36.
- 3) 久次米 正弘, “クールビズ対応素材の性能評価”, 繊維機械学会誌, Vol.60, No.3, 2007, p37-41.

