

工業技術研究報告書

Report of the Industrial Research Institute of NIIGATA Prefecture No.46 2016

No. 46 平成 28 年度



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

平成 29 年 6 月

目 次

I 研究論文

1. 伝統的工芸品の世界販売戦略を支援するためのバーチャルショウケースの研究開発（第2報） 3
2. 複数工程における高精度シミュレーションに関するシーズ育成研究 8
3. X線応力測定における応力値のばらつきに関する研究 18
4. 人工光リーフレタス栽培における遠赤色光照射方法の違いが生育と品質に及ぼす影響 25
5. 人工光リーフレタス栽培における培養液組成が生育と養分吸収に及ぼす影響 29

II ノート

1. 太陽光発電システムに及ぼす風荷重と低減方法の研究 35
2. 炭素化繊維による電磁波シールド材の開発 37
3. 高圧クーラントを援用した析出硬化系ステンレス鋼の深穴加工 39
4. 白色 LED の光質の違いが葉菜類の生育に及ぼす影響 43
5. 次世代型二次電池の集電体孔加工におけるインライン化を可能にするレーザー量産加工機の開発 — 抵抗値試験による孔加工集電箔の評価 — 46
6. 次世代型二次電池の集電体孔加工におけるインライン化を可能にするレーザー量産加工機の開発 — たわみ修正機構の開発 — 48
7. 超音波を利用した連続屈曲加工による Si 系次世代 LIB 集電箔用ステンレス鋼の疲労強度向上処理法の開発 50
8. 位相補償が可能な簡易ロックインアンプの試作 52
9. 微細 3D 造形に関する研究 55
10. 920MHz 無線モジュール無線性能評価 58
11. 析出硬化型合金鍛造品の内部割れ発生に関する研究 61
12. エアロゾルデポジション法によるアルミナ膜の作製 67
13. テキスタイルを活用した膜材料の開発に関するシーズ育成研究 69
14. 旧オーステナイト結晶粒界の現出について 71
15. 表面増強ラマン散乱を利用した分析手法の開発 73
16. モンゴル産原料カシミア糸の物性評価及び性状把握 77

Ⅲ 調査・報告

1. 3次元ものづくり製造技術とその市場に関する調査研究（第2報）	82
2. センシング技術の農業分野への応用に関する調査研究（第2報）	85
3. ソフトマテリアルの利活用に関する調査研究	88
4. ジオポリマーに関する調査研究	91
5. ドローンを活用した3D計測技術に関する調査研究	95
6. テキスタイルと異種材料の接合による加飾加工に関する調査研究	99
7. ファインバブルに関する調査研究	102

※ 平成28年度に実施した研究119テーマのうち、研究成果を公表できるものを報告しています。

I 研究論文

伝統的工芸品の世界販売戦略を支援するための バーチャルショウケースの研究開発（第2報）

阿部 淑人* 大野 宏** 長谷川 直樹*** 中部 昇** 木嶋 祐太****

Development of Virtual Showcase for Worldwide Promotion of Traditional Handicrafts, 2nd. Ed.

ABE Yoshito*, OHNO Hiroshi**, HASEGAWA Naoki***, NAKABE Noboru** and KIJIMA Yuta****

抄 録

伝統的工芸品の販売を支援するために質感を高品位に再現できるバーチャルショウケースの開発を行っている。企画から設計・製造の流れを改善するための取り組みとしてデジタルプロトタイプング技術の開発に取り組んだ成果を活用して、より一層写実的なコンピュータグラフィクス（CG）を簡単に生成し容易に観察できるシステムを構築することとした。平成27年に総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業（通称SCOPE）の採択を受け、3ヵ年の研究開発計画の2年目としてシステム試作と検証などを実施した。主に、全体概要および個々の技術要素と今年度の研究成果について報告する。

1. 緒 言

新潟県の伝統的工芸品は、村上木彫り堆朱や新潟漆器、燕鋤起銅器など13地域で16品目が経済産業大臣の指定を受けている。品目数は、全国で第2位であるものの、生活スタイルの変化や人口減少などにより需要は減少傾向にある。また、一方では後継職人の確保や早期育成という人材面の経営課題もある。

国内市場の縮小に抗する策として、広く海外に販路を拡大することが急務となっている。世界各地に製品フルラインナップの伝統的工芸品ショールームを設置することは、コストの増大や輸送あるいは在庫の確保など様々な困難が伴う。その解決には、コンピュータグラフィクス（CG）によるバーチャルショウケースを構築することが効果的であると考えた。

本研究開発は、伝統的工芸品を、いつでもど

こにいても手元のスマートフォンやPC、TVに標準装備されているWebブラウザなどから自由に製品画像が見られ、製品を高い質感再現性で疑似展示できるバーチャルショウケースの実現を目的とする。サーバにデジタルコンテンツとしてのバーチャル製品を全数揃えることで、各提携ショップ内に当該商品の在庫がなくても、顧客や売主は正確なアピランスを把握することができる。また、この延長線上には、ユーザが直接ウェブサイト上で製品ページを見て購入できる電子商取引（EC）の為のオンラインカタログや、さらにはオンラインカスタマイズ（ユーザ自らウェブサイト上で形状や模様などを自在にアレンジして発注）やデジタル試作などへの発展形が期待できる。また、製造業者は単品生産のデジタルアーカイブとして記録を残すことができ、品目管理や若手職人への育成指導などにも活用できる。

前記の目的に対して、H23～H24年度に県の創造的研究事業で取り組んだ「質感の測定技術・表現技術の研究」¹⁾²⁾の成果をベースとして、コンテンツの生成にかかる技術と、鑑賞・操作

* 素材応用技術支援センター

** 研究開発センター

*** 下越技術支援センター

**** 企画管理室

にかかる技術について研究開発³⁾を行っている。

本研究を開発要素ごとに整理すると、

(A) 写実的CG⁴⁾に必要なテクスチャマッピングのためのマップデータの分析・合成を行う「テクスチャツール」

(B) CGの写実性を高めるための背景画像モデルを取得する「バックグラウンドツール」

(C) Webで高い操作性を備えて写実的表示できるようにする「ディスプレイツール」

(D) 汎用のフラットパネルディスプレイ表示に替えて、より臨場感や拡張現実感・没入感が高く表示できる「プレゼンスツール」

の4つになる。(A)と(B)はコンテンツとなるCGの素材生成にかかる技術で、(C)と(D)はユーザがディスプレイでCGを鑑賞する際の表現力と操作性にかかる技術である。これらを開発し、システム全体として研究完了後に実環境下で試験運用できることを目標としている。

2. 研究開発内容

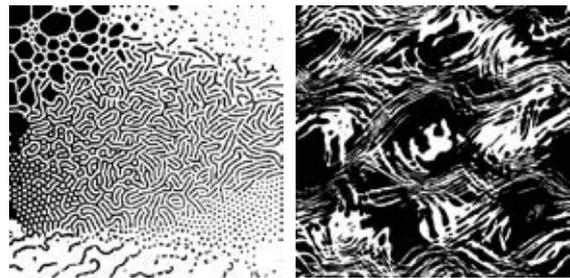
前記の4つのツールについて列記する。

2.1 テクスチャツール

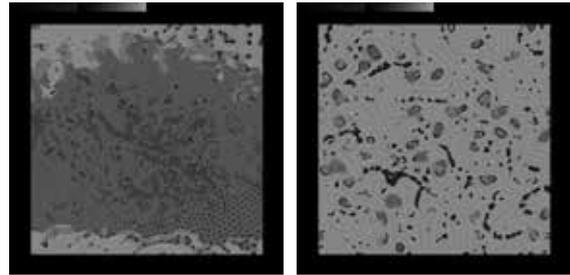
テクスチャツールは、伝統的工芸品をCGで再現する際に必要な色彩・模様データ（テクスチャマップ）を生成するためのサブシステムである。

開発目標は、実製品同様の模様を施したテストピースを専用の撮像装置で実写し、それを計算機に取り込んで解析することで、自動的にCGで使用するテクスチャマップ（色彩マップ・光沢マップ・法線マップ）を生成できるシステムを構築することである。なお、CG合成に必要な形状データ（3Dデータ）については、光学式の3次元スキャナなどによって製品そのものから取得するか、3次元CADソフトウェアまたはCGの3次元モデリングソフトウェアで造形することとした。

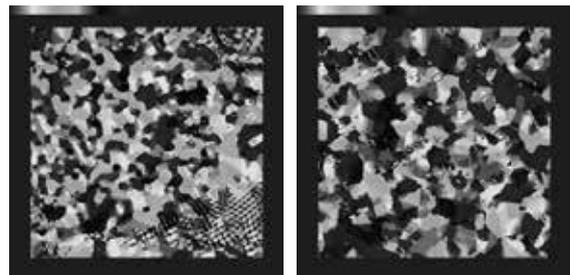
テクスチャの分析に関して、テクスチャを2値化してその部分形状（模様素）を2048種類の



(a) 元画像



(b) 形態分布図



(c) 方位分布図

図1 テクスチャのパターン分析
(左側) チューリング・パターン
(右側) 漆塗り磯草模様

基本模様素とのマッチング分類を行い、それらが連続変化する様子の追跡を行なった。図1には例として2つのパターンを分析した結果を示している。(a)が元画像である。(b)が画素ごとに、線状か点状か、そしてスケールの大きさがどうかの分布を示している。(c)は異方性を分析した方位の分布を色相で示している。この分析によって2値画像に限らず濃淡画像においても部分的な模様素の性状を推測することができるようになった。この分析には1024×1024画素のパターンに対して20分以上を要しているため高速化が必要である。また分析結果を元にGLSLと

呼ばれる CG 用記述言語⁵⁾でパターン発生することに改めたため、その部分を現在追加開発⁶⁾している。

2.2 バックグラウンドツール

バックグラウンドツールは、CG による製品画像を実写空間にバーチャル配置するための全周画像取得を目的としたサブシステムである。大衆に向けて配給上映される商業映画やコマーシャルフィルムにおいても CG によるバーチャル・エフェクツ (VFX) の利用は枚挙に暇がなく、外周など背景画像についてはイメージベーストライトニング (IBL) やイメージベーストレンダリング (IBR) という技術を利用して実写画像と融合されている。大規模な映像プロダクションでは数百万円～数千万円程度のパノラマカメラ (例えば PanoScan® や SceneCam®, iStar® など) を用いて周囲の背景画像を取得しているが、これらは極めて高額な装置であるため、本研究では、より安価な装置で撮像できることと、室内などの近景を対象にするため距離データの同時取得をめざした。

図 2 と図 3 には導入したランダムドットアクティブステレオ方式 3D スキャナ (Mantis Vision 製 PocketScan3D) の外観と、それによって取得した点群データ (位置情報と色情報を持った複数の点群) の例を示す。これにより図 4 の室内テーブルを、キャリブレーション済みの近距離周囲環境画像を取得した結果が図 5 である。現在点群データを面情報に展開して画像情報を貼り付けることを行っているため、その結果を元にパノラマステレオカメラ画像のキャリブレーションを行う予定である。点群の距離精度は±0.2%程度であり、点群密度は 360° (水平)×180° (垂直)に対しておよそ 12000 点×3000 点程度で 1 分以内に取得できる。パノラマカメラと当該スキャナを組み合わせた外周撮像デバイスを次年度に開発する予定である。

HDR 画像および光沢画像の取得についてはパノラマカメラとアクティブ光源の組み合わせ



図 2 PocketScan3D 外観

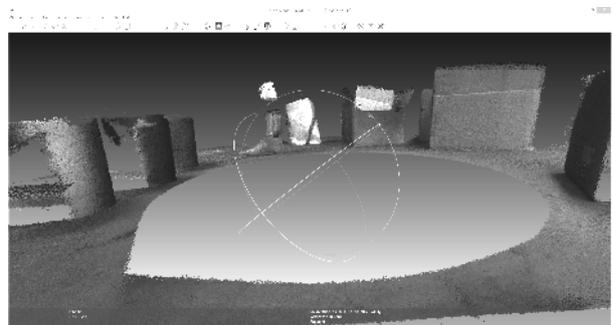


図 3 PocketScan3D で取得した点群



図 4 室内テーブルの外観

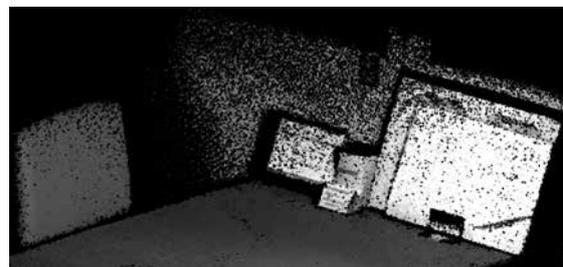


図 5 室内テーブルから取得した点群

で実現するように設計を行っている。パノラマカメラの解像度についても、これまで使用して

いた Ricoh 製 Theta S（解像度 5000×2500）では不足するため、複数撮像からの超解像処理を実装している。

2.3 ディスプレイツール

ディスプレイツールは、あらかじめ用意した製品の形状データおよびテクスチャデータと、外周データを元に写実的 CG を簡便な操作で見られるようにするシステムである。一般的な PC やスマートフォン、ゲームコンソールなどの Web ブラウザに表示できるように開発を進めている。ゲームエンジンと呼ばれるソフトウェア開発ツールを用いて、リアルタイムに写実的な CG を表示し製品やテクスチャの変更あるいは視点の移動などができるサブシステムのプロトタイプソフトウェアを制作した。当研究所内の LAN 環境下に用意した既設のウェブサーバに、ゲームエンジンで制作したアプリケーションソフトウェアと、製品の形状データ・テクスチャデータを格納し、LAN 経由で別の PC からウェブ・ブラウザで製品の CG を表示し、着せ替えや視点移動などの操作ができるようにした。昨年度からの進展は、開発に使用するゲームエンジンを Unity から Autodesk Stingray へ変更したことで、WebGL への対応である。これにより図 6 に示したように、対応ブラウザであれば特別なプラグインが無くても表示可能となった。

図 7 にはレンダリング品質の差を図示した。Stingray の方が一層写実的なレンダリング結果となった。

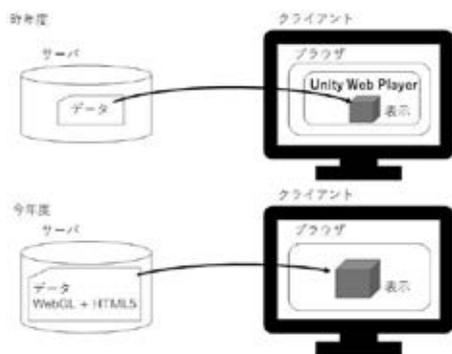
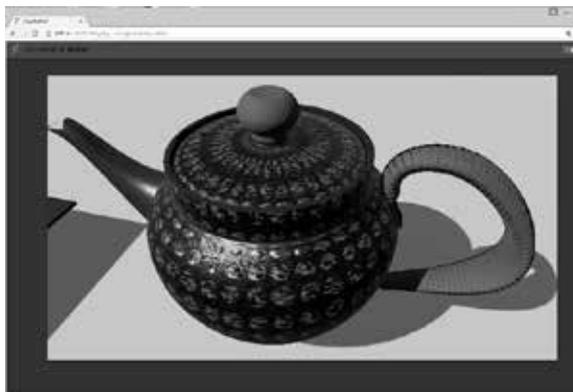


図 6 WebGL への対応



(a) Unity によるレンダリング



(b) Stingray によるレンダリング

図 7 ゲームエンジンによるレンダリング品質の差

2.4 プレゼンスツール

プレゼンスツールは、通常のパネルディスプレイ表示に対し、より写実性を高めたり没入感を高めたりするためにプロジェクションマッピングやヘッドマウントディスプレイを活用する表示システムである。

プレゼンスツールの今年度の研究内容としては、昨年度のバーチャルリアリティ（VR）表示に替えてアーギュメントドリアリティ（AR）表示（実画像にリアルタイムに CG を描画する）を検討したことである。図 8 にヘッドマウントディスプレイ（HMD）とステレオカメラのコンポジットデバイスを示す。実際のステレオ視差と同等のコンフィギュレーションとなるため AR 表示の違和感が少ないことが好印象であった。図 9 には当該デバイスで撮像した実際の周辺画像に CG の急須を描画している様子を示し

ている。描画位置の指定には AR 表示でよく利用されるマーカー（所定パターンを描画した小片）を利用した。手に急須やカップ類などを持つことをシミュレーションできるほか、実像と重ねるためにバックグラウンドツールの援用を必要としない。ジェスチャー操作の検討など、ユーザビリティに関して今後は開発を行う予定である。



図 8 HMD とステレオカメラのコンポジット



図 9 AR 表示例

3. 結 言

- (1) 伝統的工芸品を始めとする質感が重要な製品のバーチャルショウケースを構築するための技術開発を行った。
- (2) 3カ年の研究計画で、以下の4つのパートについて研究開発を行なっている。
 - (A) 写実的コンピュータグラフィックス (CG) に必要なテクスチャマッピングのためのマップデータの分析・合成

を行う「テクスチャツール」

- (B) CG の写実性を高めるため背景画像モデルを取得する「バックグラウンドツール」
 - (C) ウェブ経由で高い操作性を備えて写実的表示できるようにする「ディスプレイツール」
 - (D) 汎用のパネルディスプレイ表示に代えて、より臨場感や拡張現実感・没入感が高く表示できる「プレゼンスツール」
- (3) 2年目は、過去の研究¹⁾²⁾³⁾の成果と課題をもとに主に継続的開発と改善を行なった。
 - (4) 次年度は、研究開発の最終年度として成果をまとめて実用化に近づける予定である。

なお、本研究は、総務省から戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 平成 27 年度地域 ICT 振興型研究開発課題 (課題番号 1654467) として委託を受けたものである。

参考文献

- 1) 阿部, 中部, 橋詰, “質感の測定技術・表現技術の研究”, 工業技術研究報告書, No.42, 2013, pp. 68-71.
- 2) 阿部, 中部, 橋詰, “質感の測定技術・表現技術の研究 (第2報)”, 工業技術研究報告書, No.43, 2014, pp.19-25.
- 3) 阿部, 大野, 長谷川, 中部, 木嶋, “伝統的工芸品の世界販売戦略を支援するためのバーチャルショウケースの研究開発”, 工業技術研究報告書, No.45, 2016, pp.11-16.
- 4) M. Phar and G. Humphreys, *Physically Based Rendering, Second Edition*, Morgan Kaufmann, MA, 2010.
- 5) D. Wolff, *OpenGL4.0 Shading Language Cookbook, Second Ed*, Packt Pub., 2013.
- 6) 阿部淑人, “2 画像の類型とその連続変化”, 映像メディア処理シンポジウム 2016 予稿集, 2016, pp.106-107.

複数工程における 高精度シミュレーションに関するシーズ育成研究

本田 崇* 白川 正登* 永井 智裕* 石井 治彦*

Basic study on highly accurate Simulation of multistep deforming processes.

HONDA Takashi*, SHIRAKAWA Masato*, NAGAI Tomohiro and ISHII Haruhiko*

抄 録

成形シミュレーションの評価、解析の高度化を目的に、大変形する素材に対してメタルフローの解析手法の開発を行った。アルミニウムを素材とする冷間鍛造や軸受鋼を素材とする熱間鍛造に対して、高精度な成形シミュレーションを検討後、開発したメタルフロー解析を実施して、良好な評価が可能であることを確認した。

1. 結 言

近年、製品の高出力価値化に伴い、小ロット、複雑形状、難加工材を素材とする製品への塑性加工の適用が広がっている。このような従来と異なる製品に対して、有限要素法（以下 FEM）に代表されるシミュレーションを活用した効率的な成形条件の検討が行われている。FEM は、計算対象を要素と呼ばれる単純な形状の集合で表現することで、複雑な形状でも変形、応力、ひずみなどの物理量を計算することが可能な近似手法である。

成形シミュレーションでは、要素の頂点である節点の軌跡から、材料の変形の流れ（メタルフロー）の評価が可能である。ただし、複数の工程からなる複雑な加工では、要素の形状が大きく崩れ、計算を継続できなくなる。これに対して、変形したモデルの外形、応力、ひずみなどの物理量を再構築した新たなモデルへ再マッピング（リメッシュ）することで、要素の崩壊を回避することが多い（図 1）。ただし、リメッシュにより大きな変形に対して計算を継続することが可能となるが、節点位置も再構築される

ため、同一節点の追跡は継続できないといった別の課題が生じる。

そこで本研究では、軸対称であらわせる基本的な 2 次元モデルの変形を対象に、FEM のリメッシュにより失われる材料の流れの情報を補完するメタルフローの解析手法を開発した。

2. メタルフロー解析技術の開発

2.1 処理の流れ

リメッシュにより節点位置は再構築されるため、メタルフローの評価には成形シミュレーションの節点とは別の評価点を設定する必要がある。

本研究では、成形シミュレーションとメタルフロー解析を同時に行わず、成形シミュレーション

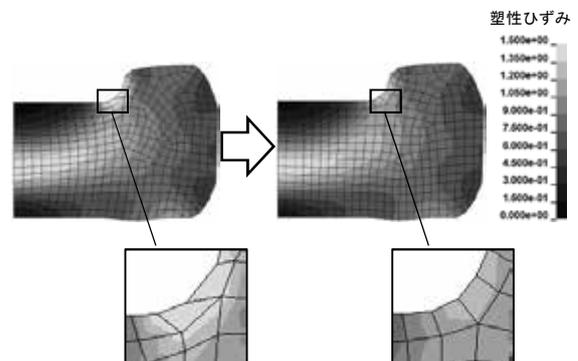


図 1 FEM のリメッシュの例

* 下越技術支援センター

ョンの結果を用いて、メタルフロー解析用に設けた評価点の移動を計算させる手法を検討した。これにより、評価点の位置には制約がなく、成形シミュレーションの節点とメタルフロー解析の評価点は全く異なる位置でもよい。

本研究におけるメタルフロー解析の流れを図2に示す。メタルフローの解析を行うにあたり、事前に成形シミュレーションを実施して、素材の変形を把握しておく。メタルフローの解析では、まず、設定した評価点と成形シミュレーションモデルの位置の関連付けを行う。次に、リメッシュを行う間のモデルの変形に評価点を追跡させる。評価点の追跡にあたっては、評価点を内包する成形シミュレーションモデルの要素の変形に伴い評価点の位置を計算する。新たなシミュレーションモデルの要素が構築されるリメッシュ時には、リメッシュまでの変形に伴い移動した評価点と、再度位置の関連付けを行う。

このように、成形シミュレーションモデルとの関連付けと追跡を繰り返し行うことで、成形シミュレーションの結果に対して任意の位置に設定した評価点の計算が可能となる。

2.2 評価点の計算手法の検討

FEMでは、節点でのみ変形、応力、ひずみなど

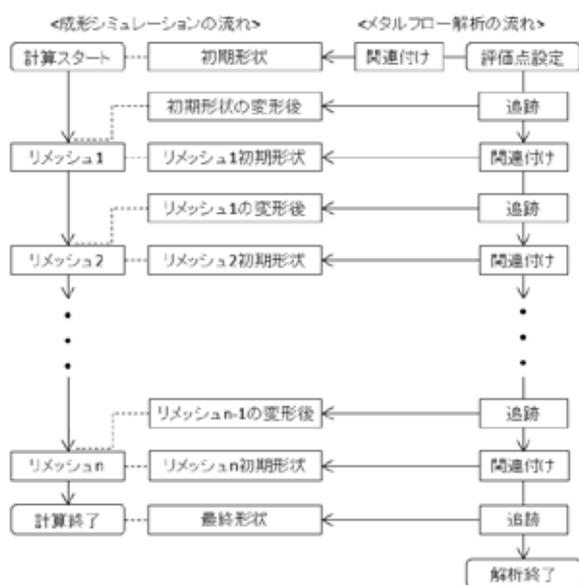
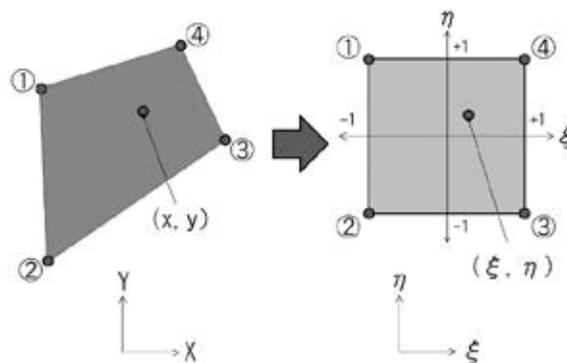


図2 メタルフロー解析の流れ

どの物理量が計算される。そのため、要素内部の物理量については、節点の物理量をもとに形状関数と呼ばれる関数で近似して求められる。さらに、要素の形状に依らず、また変形の前後もあっても同じ形状関数で処理できるように、要素は $\xi-\eta$ 座標系へ正規化される。図3に要素の正規化のイメージと形状関数を示す¹⁾。

本研究では、FEMと同様に、 $\xi-\eta$ 座標系への正規化と形状関数を活用した評価点の計算方法を検討する。まず、それぞれの評価点を内包する要素を $\xi-\eta$ 座標系へ正規化して、評価点の位置 (ξ, η) を求める。ここで、もとのX-Y座標系では、要素の変形に伴い評価点の位置は変化する。一方、正規化された $\xi-\eta$ 座標系における節点の座標は常に $(\pm 1, \pm 1)$ であり、評価点の位置 (ξ, η) も変化しない。したがって、内包する要素における評価点の位置 (ξ, η) 、変形後の節点の位置および形状関数によって、変形後の評価点の移動を求めることができる。

評価点を個別の点ではなく、実際の素材のメタルフローのようなラインとすることで、実成形における鍛流線の活用のように、材料の流れの評価が可能となる。本研究では、形状に合わ



$$u = u_1 N_1 + u_2 N_2 + u_3 N_3 + u_4 N_4$$

$$N_1 = (\xi - 1)(\eta + 1)/4$$

$$N_2 = (\xi - 1)(\eta - 1)/4$$

$$N_3 = (\xi + 1)(\eta - 1)/4$$

$$N_4 = (\xi + 1)(\eta + 1)/4$$

u は変位、応力、ひずみなどの物理量

図3 要素の正規化のイメージ

せた任意のラインの数を設定できるとともに、異なる向きの補助ラインを設定できるようにした(図4)。これにより、例えば実際の素材と同じ向きのメタルフローとこれと直行する補助ラインによる格子形状の解析も可能であり、実成形では観測できない詳細な流れの評価を行うことができる。

本研究では、成形シミュレーションおよびメタルフロー解析のソフトウェアとしてサイバネット(株)製 ANSYS LS-DYNA17.2 を用いた。ANSYS LS-DYNA は Fortran をベースとした独自の開発用言語(ANSYS Parametric Design Language)を備えており、結果の ASCII 出力、データの処理が可能である。この言語を用いてメタルフロー解析技術の開発を行った。

3. 冷間鍛造への適用

3.1 A1070 の冷間鍛造による成形試験

メタルフロー解析の対象として、アルミニウム A1070 を素材とした基礎的な成形試験を実施した。メタルフロー解析に先立ち、まず、この成形試験を再現できる高精度な成形シミュレーションを検討した。次に、得られた結果に対して、開発したメタルフロープログラムを適用して、実成形サンプルから得た鍛流線との比較を行い、流れの再現を確認した。

実施した成形試験の工程図を図5に示す。成形試験は据え込みと後方押し出しの2工程とした。据え込み工程については、下型にロードセルを組み込んで成形荷重の測定を行った。後方押し出し工程では、金型の構造上、下型にロードセルを組み込むことができない。そこで、パンチストレート部にひずみゲージを貼り、測定したひずみから成形荷重を求めた。ひずみと荷重の関係については(株)島津製作所製万能試験機 UH-F500kNC を用いて確認した。後方押し出し工程における成形の様子を図6に示す。

成形に用いた素材と成形後の形状を図7(a)~(c)にそれぞれ示す。素材は直径φ26.14mm、高さ25.3mmの押し出し素材の旋削加工品を用い

た。また、それぞれの工程の潤滑条件については、据え込み工程では無潤滑、後方押し出し工程では良好な離型を実現するため日本工作油(株)製 AB-3005W を用いた。

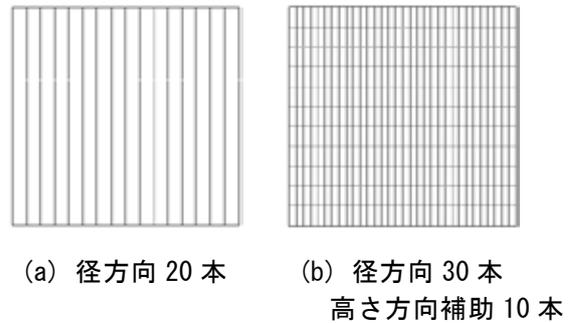


図4 評価点を結んだ評価ラインの例

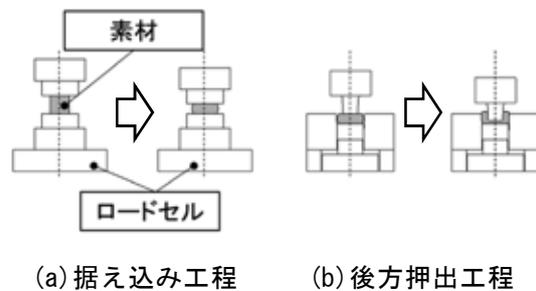


図5 成形試験の工程図

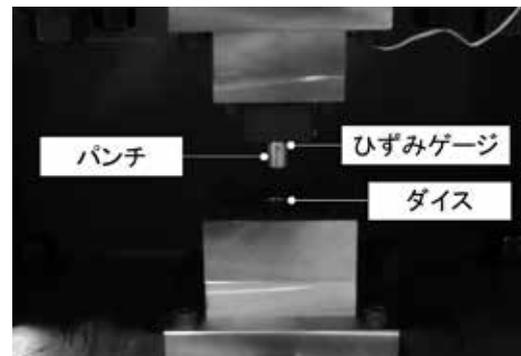


図6 後方押し出し工程の成形の様子



(a) 素材 (b) 据え込み (c) 後方押し出し
図7 成形に用いた素材と成形後の形状

3.2 成形シミュレーション

実施した成形試験に対して、成形荷重および成形品の形状を再現可能なシミュレーションの検討を行った。精度の高い計算結果を得るには、素材の材料特性である応力-ひずみ曲線と金型と素材間の摩擦の設定が重要となる。ここで、形状については摩擦、成形荷重については材料特性の設定から受ける影響が大きい。そこで、まず摩擦係数を検討して形状の合わせこみを行い、次に材料特性の検討により成形荷重の合わせこみを行った。

成形に関わる材料特性として、材料の応力-ひずみ曲線は引張試験の結果をもとに作成されることが多い。ただし、本研究のような複数の工程からなる鍛造では 200%以上の変形が発生するのに対して、金属の引張試験は数十%程度の伸びで破断するため、全ての加工範囲の結果を得ることができない。よって、引張試験の破断以降については試験結果の外挿が行われるが、どのような外挿方法が適切であるか検討が必要である。本研究では、変形抵抗を n 値で表した最も一般的な式である n 乗硬化則とアルミニウムの再現性が高いといわれる Voce の式の2つを比較した²⁾。本研究で用いた A1070 の応力-ひずみ曲線を図 8 に示す。

据え込み工程における主な寸法の比較を表 1 に、後方押出工程の成形品とシミュレーション結果の比較を図 9 にそれぞれ示す。成形品の形状は、3D Systems, Inc. 製非接触型 3D スキャナー Geomagic Capture にて測定した。据え込み工程、後方押出工程の摩擦係数はそれぞれ 0.2, 0.075 とした。両工程ともに、実形状を非常によく再現でき、良好な結果を得た。

据え込み、後方押出工程における成形荷重の比較を図 10 にそれぞれ示す。Voce の式を適用する場合、いずれの工程の成形荷重も良好に再現できた。一方、 n 乗硬化則を適用した場合には、後方押出工程の荷重が過大になってしまう。Voce の式は、変形抵抗の飽和応力を定義できることが特徴であり、変形抵抗が頭打ちになるア

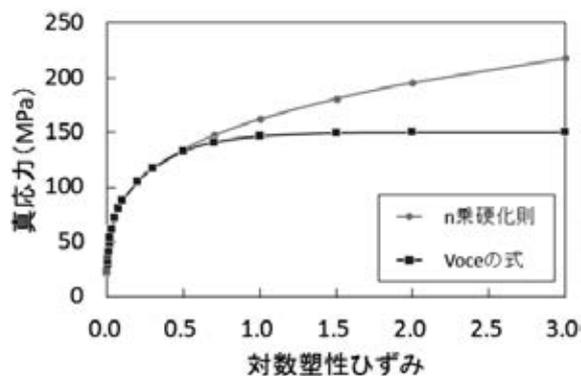


図 8 A1070 の応力-ひずみ曲線

表 1 据え込み工程における主な寸法の比較

比較項目	実成形	計算結果
高さ(mm)	14.4	14.4
最大径(mm)	35.6	35.5
端面の径(mm)	32.5	32.4

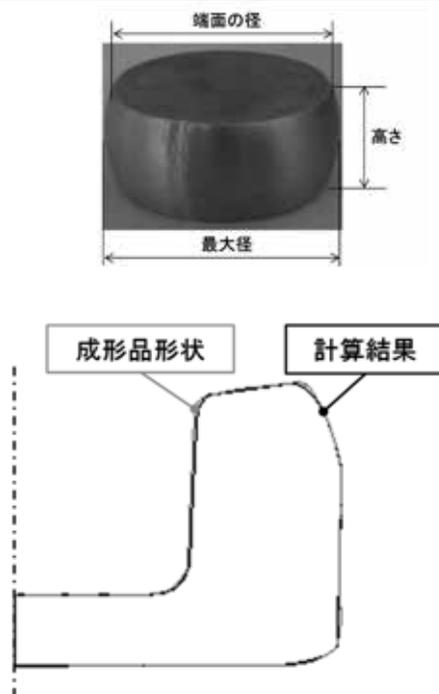


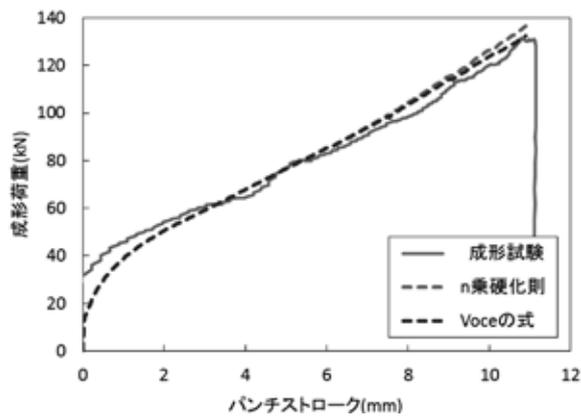
図 9 後方押出工程の成形品とシミュレーション結果の比較

ルミニウムの特性を良好に再現できたものと考えられる。

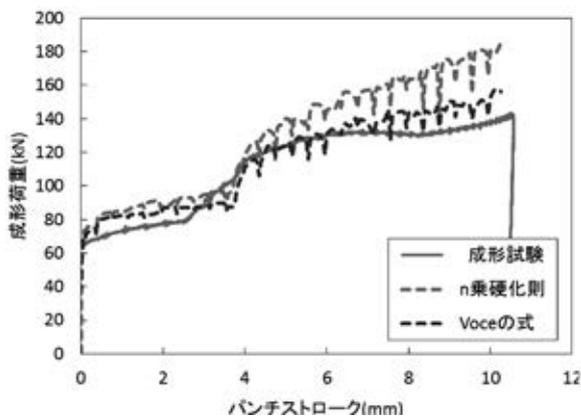
以上の検討より、材料設定の重要性を確認するとともに、前節の成形試験をシミュレーションで良好に再現できた。

3.3 メタルフロー解析

成形シミュレーションの結果をもとに、高さ方向に10本、径方向に30本のラインを設定してメタルフローの追跡解析を行った。成形中のメタルフローの変化を図11に示す。成形シミュレーションのリメッシュのタイミングで出力したすべての形状でメタルフローが観察できることから、成形の途中についても評価することができる。また、解析をとおして、それぞれの評価点は一貫した固有の番号で識別されるため、成形後の評価点から元の素材の位置の検索など、実製品の鍛流線観察では困難な評価が可能である。

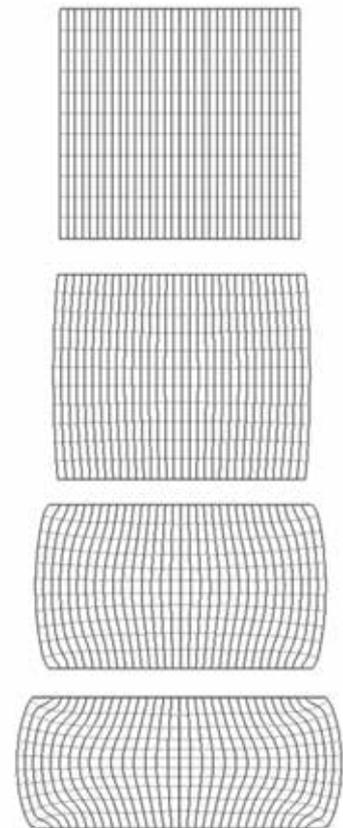


(a) 据え込み工程

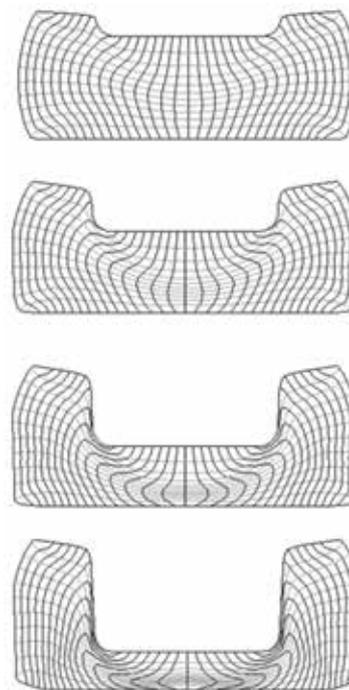


(b) 後方押出工程

図10 成形荷重の比較



(a) 据え込み工程



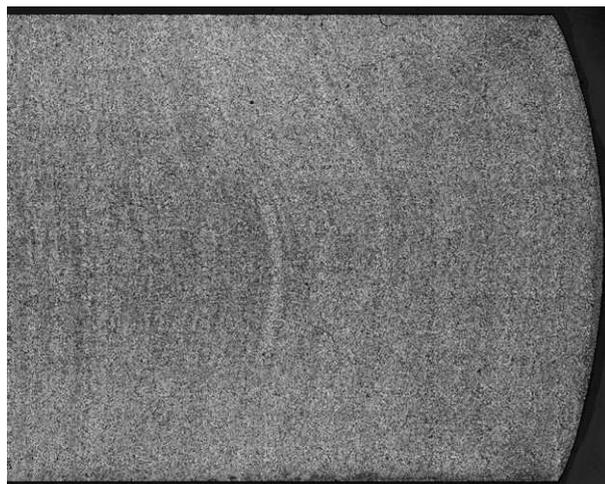
(b) 後方押出工程

図11 メタルフローの変化

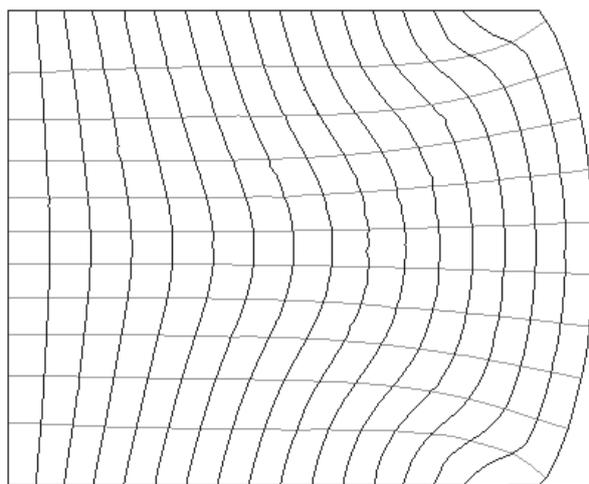
図 12 に解析結果と成形試験サンプルとの比較を示す。成形試験サンプルは、切断、研磨後、40℃の 10%水酸化ナトリウム水溶液で約 40 分エッチングを行った。据え込み工程におけるメタルフローの広がりや後方押出工程におけるパンチで圧下される材料の粗密などの特徴の一致から、材料の流れを良好に再現していることが

わかる。また、補助線を活用することで、さらに流れの変化が確認しやすくなっている。

以上の検討により、開発したメタルフロー解析を精度のよいシミュレーション結果に適用することで、良好なメタルフローの再現ができることを確認できた。



実成形形状

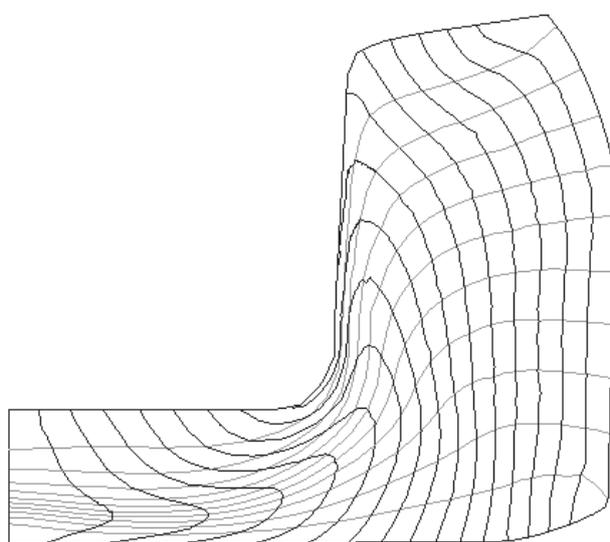


解析結果

(a) 据え込み工程



実成形形状



解析結果

(b) 後方押出工程

図 12 解析結果と成形試験サンプルとの比較

4. SUJ2 の熱間鍛造への適用

4.1 成形シミュレーション

次に、実際の製品の工程の一部を対象に、成形シミュレーションおよびメタルフロー解析の適用を試みた。素材は軸受鋼 SUJ2、形状は 3 章の成形試験と相似形で、直径 $\phi 64.8\text{mm}$ とおよそ 2.5 倍のサイズである。成形に用いた素材と成形後の形状をそれぞれ図 13 に示す。

本章で扱うサンプルは、成形温度が 1180°C と高く、また成形のひずみ速度は $6/\text{sec}$ と非常に速い。成形温度が高い場合、温度、成形速度が材料特性に与える影響は大きくなるが、このような条件では材料特性の取得が難しく、シミュレーションにあたってデータがない場合もある。

ここで、炭素鋼では、圧延での荷重の推定のため多くの研究が行われており、温度、成形速度、含有炭素量をもとに材料の変形抵抗を見積もる実験式が提案されている³⁾。本研究では、実験式の一つである美坂の式による推定を検討した。ただし、美坂の式は適用できるひずみ速度、温度、ひずみの範囲が指定されており、本章で扱うサンプルの成形条件はこの範囲から外れている。また、SUJ2 は軸受鋼であり、推定した特性にずれが生じることが予測される。そこで、本研究では美坂の式により推定された材料特性をベースに、成形試験から得られた成形荷重と成形シミュレーションの成形荷重が一致するよう応力-ひずみ曲線のカーブフィッティングを行い、適切な材料特性の設定を検討した。また、摩擦については 3 章と同様に、ワークの変形形状からの推定を行った。

本研究で用いた SUJ2 の応力-ひずみ曲線を図 14 に、成形荷重の比較を表 2 にそれぞれ示す。



(a) 素材 (b) 据え込み (c) 後方押出

図 13 成形に用いた素材と成形後の形状

美坂の式を用いた結果では、成形荷重に大きなずれがみられる。一方、フィッティング後の結果はよく一致しており、推定された材料特性は妥当と考える。

形状の比較を表 3、4 に示す。摩擦係数を 0.75 と設定することで、据え込み工程における胴部最大径、上下端面の径の一致および後方押出工程の形状を良好に再現できた。

以上のとおり、前節の成形試験を精度よくシミュレーションできることを示した。

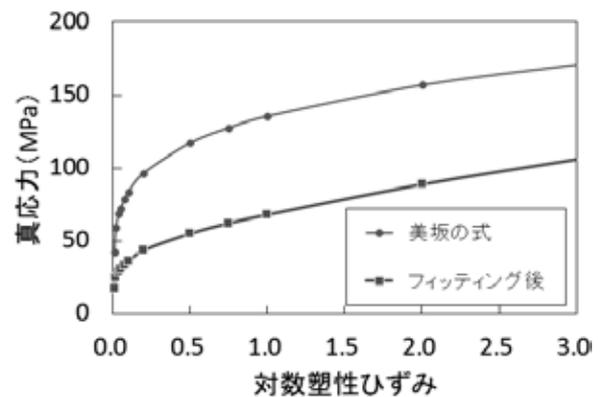


図 14 SUJ2 の応力-ひずみ曲線

表 2 成形荷重の比較 (kN)

工程名	実成形	美坂の式	フィット後
据え込み	441	868	436
後方押出	833	1449	838

表 3 据え込み工程成形後の形状の比較

比較項目	実成形	計算結果
高さ(mm)	35.0	35.0
最大径(mm)	94.0	93.4
端面の径(mm)	81.1	82.1

表 4 後方押出工程成形後の形状の比較

比較項目	実成形	計算結果
高さ(mm)	41.2	41.6
最大径(mm)	95.4	94.9

4.2 メタルフロー追跡解析

成形シミュレーションの結果をもとに、メタルフロー解析を行った。図 15 に成形試験サンプルとの比較を示す。成形試験サンプルについては、切断、研磨後、70℃の 50%塩酸で約 40 分エッチングを行った。

成形品と解析の結果から、材料の流れは非常によく一致していることがわかる。したがって、

3章の A1070 と同様に、精度のよい成形シミュレーションの結果を用いたメタルフロー解析により、材料の流れを非常によく再現できることがわかった。また、3章との比較から、成形形状が相似形であっても材料特性および摩擦の違いにより材料の流れに差が生じるが、この差についても精度よく解析可能なことを示した。

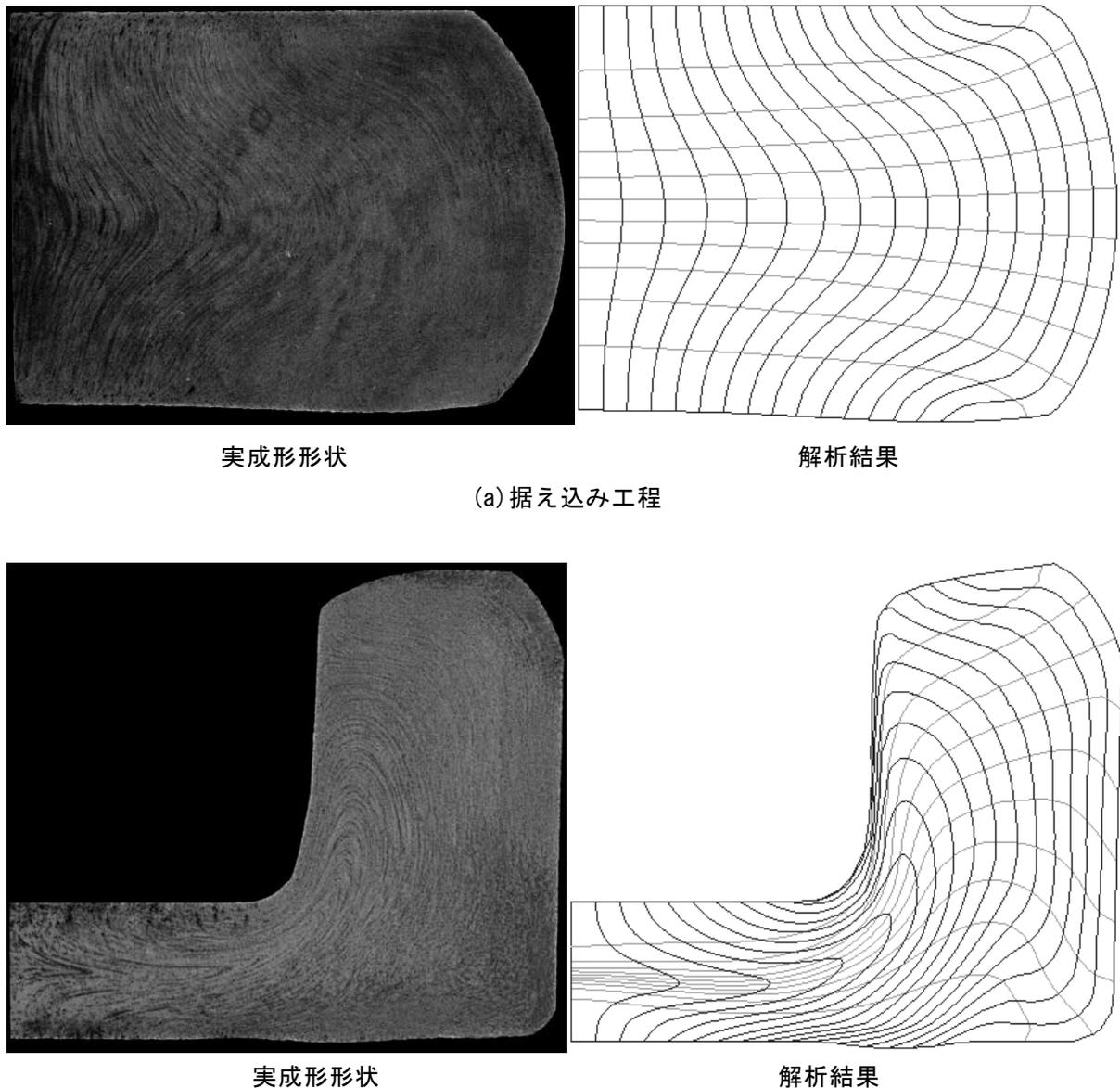


図 15 解析結果と成形試験サンプルの比較

5. 応用例

3, 4 章の検討から, 材料特性および摩擦の適切な設定により, 成形シミュレーションによる良好な成形試験の再現を確認した。また, その計算結果を用いたメタルフロー解析の再現精度が高いことも確認した。そこで, より実際の製品形状に近い成形に対して, メタルフロー解析の適用を行った。材料の設定については SUJ2 の特性を用い, 摩擦係数は 0.05 とした。

まず, フランジ付シャフトを 2 工程で成形す

るシミュレーションを実施して, その結果にメタルフロー解析を行った⁴⁾。図 16 に成形シミュレーション結果と得られたメタルフローを示す。

次に, 単一の工程ではあるが変形が大きい閉塞鍛造に対する適用を行った⁵⁾。図 17 に胴部中央部にフランジを有する製品への適用例を示す。

いずれの結果も, メタルフロー解析により, 材料の流れの粗密分布を良好に示すことができた。

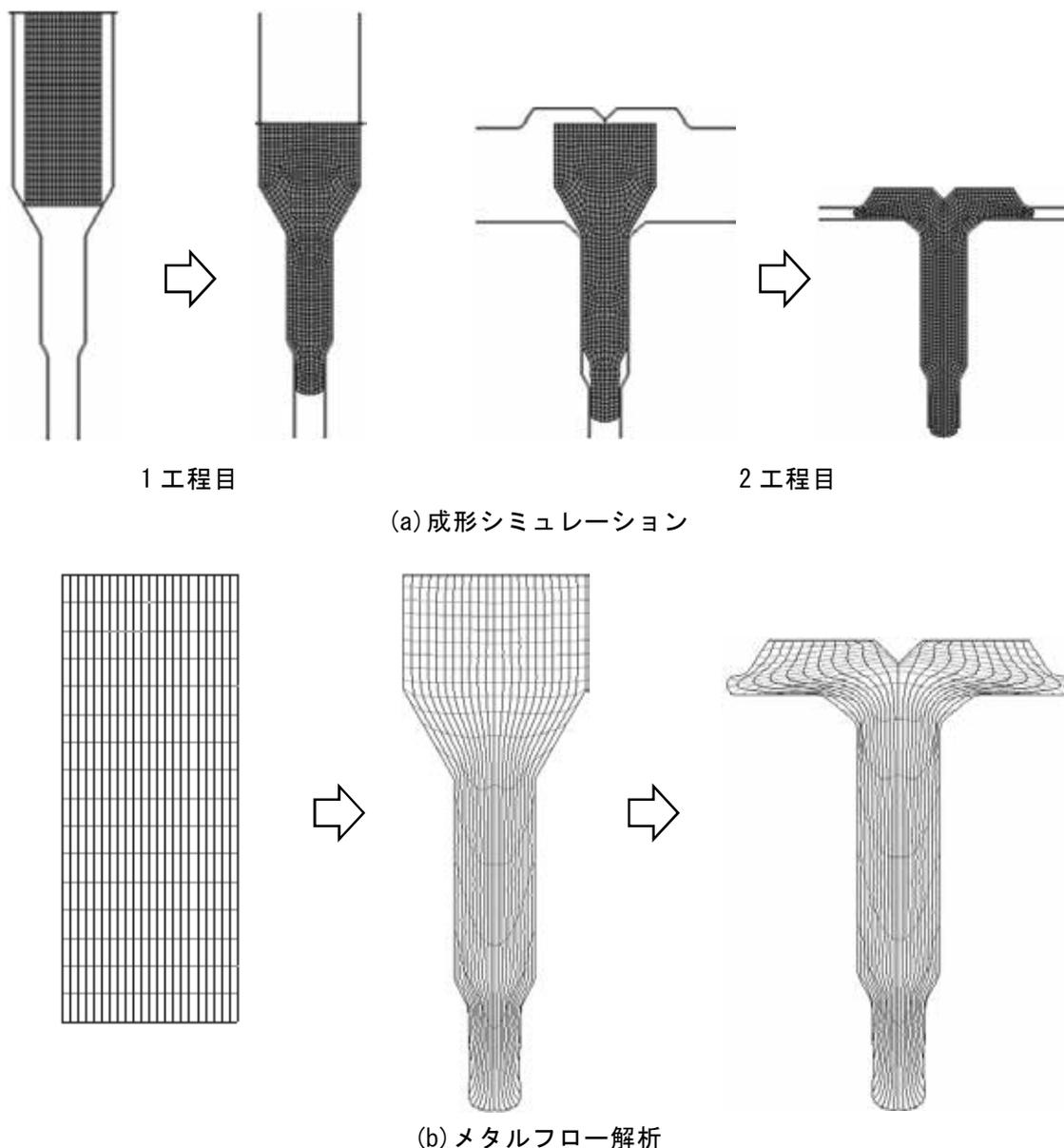
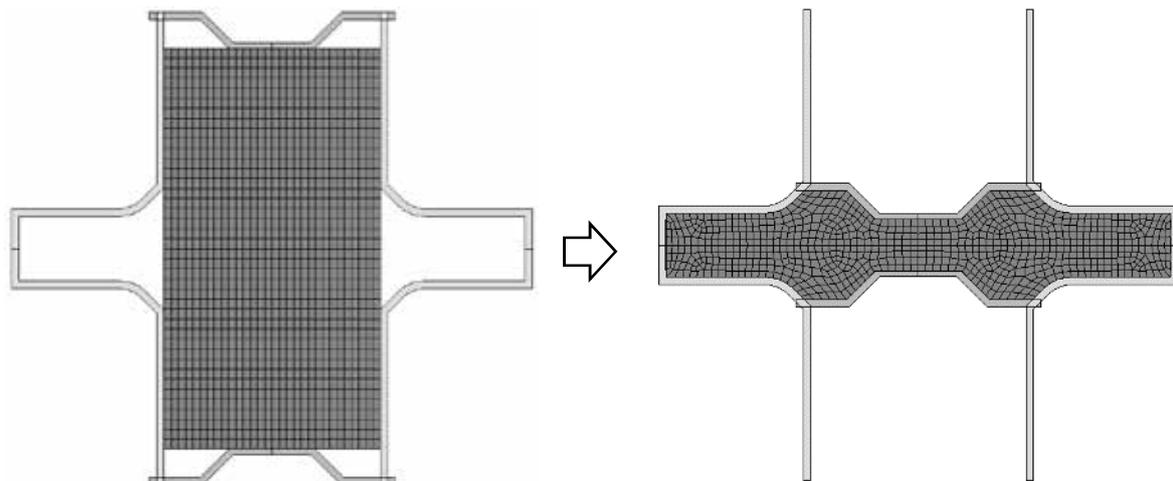
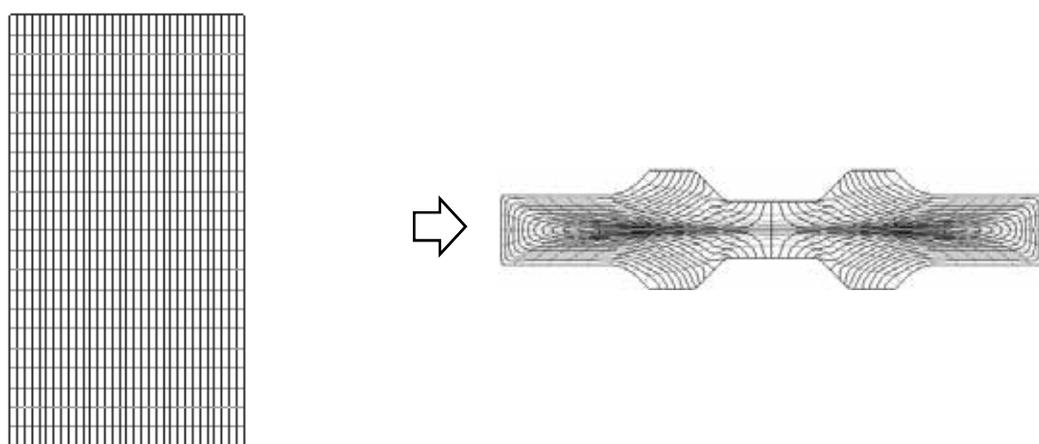


図 16 フランジ付シャフトへの適用



(a) 成形シミュレーション



(b) メタルフロー解析

図 17 胴部中央部にフランジを有する製品への適用

6. 結 言

- (1) A1070 および SUJ2 を素材とした成形に対して、適切な摩擦係数、材料特性を設定することで、形状および成形荷重を精度よくシミュレーションで再現できることを示した。
- (2) リメッシュを伴う大変形のシミュレーション結果をもとに、メタルフローを解析可能なプログラムを開発した。成形後の評価点がどこからきた材料であるかといった、実製品ではできない評価が可能である。
- (3) 精度の良い成形シミュレーション結果にメタルフロー解析を実施することで、材料の流れも良好に再現できた。

参考文献

- 1) 三好俊郎, "有限要素法改訂版", 培風館, No.298, 1998, pp.179-181.
- 2) 名古屋市工業研究所, "月刊名工研 No.762", 2015, p.3.
- 3) 日本塑性加工学会編, "わかりやすい鍛造加工", 日刊工業新聞社, 2005, pp.16-17.
- 4) 日本塑性加工学会編, "わかりやすい鍛造加工", 日刊工業新聞社, 2005, pp.49-50.
- 5) 日本塑性加工学会編, "わかりやすい鍛造加工", 日刊工業新聞社, 2005, p.113.

X線応力測定における応力値のばらつきに関する研究

齋藤 雄治* 吉田 正樹* 田辺 寛*

Deviation of Stress Values in X-Ray Stress Measurement

SAITO Yuji*, YOSHIDA Masaki* and TANABE Hiroshi*

抄 録

X線応力測定において、回折線ピーク位置や応力値などの測定値はX線強度固有の統計変動によってばらつきを生じる。これら測定値のばらつきの大きさを表す標準偏差については、一回の測定から解析的に求める理論が提案されているが、市販のX線応力測定装置には組み込まれていない。このため本研究では、まず、27年度導入したX線応力測定装置に上記の理論が適用できることを実験により確認した。次に、上記の理論を用いて一回の測定から求めた応力値の標準偏差と、100回繰り返し測定した応力値の標準偏差がほぼ一致することを確認した。さらに、導入した装置に上記の理論を組み込み、ステンレス鋼や耐熱合金などの応力定数を測定した。

1. 緒 言

材料を機械加工や熱処理することによって生じる残留応力は、加工後の製品の寸法精度、静的および疲労強度、耐食性などに大きい影響を及ぼす。このため、熱処理による残留応力の除去や、疲労強度を高めるためのショットピーニングや高周波焼入れなどを行い、積極的に製品表面に圧縮の残留応力を生じさせることなどが行われている。残留応力を精度よく測定することは、外力によって生じる応力測定に比べて難しい場合が多く、いまだに多くの問題が残されている。

X線の回折現象を利用したX線応力測定法は、結晶材料表面の局所の応力を非破壊的に測定できる。この測定法で測定しているのは、X線が回折する結晶の体積中の平均的な応力である。この測定法は、外力によって生じた応力も測定できるが、主な用途は残留応力測定である。

この測定法では、試料にX線を照射した際、回折してくるX線の強度を計測して回折線の位置や応力値などを測定しているが、これらの測定値はX線強度固有の統計変動によってばらつ

きを生じる。この統計変動はX線による測定値においては避けられないものである。このため、測定値の信頼性を高めるには、X線強度固有の統計変動によって生じる測定値のばらつきの大きさを表す標準偏差を求めて、測定値の再現性を検討することが重要となる。ここで、これらの標準偏差を一回の測定から統計学の理論を用いて解析的に求める方法が提案されているが¹⁾、²⁾、市販のX線応力測定装置には組み込まれていない。

ここで、この方法を適用するには、X線応力測定装置で計測したX線計数値のばらつきの大きさが、理論式に従っていることを確認する必要がある。

本研究では、当研究所が27年度に導入したX線応力測定装置（株）リガク製X線応力測定装置PSPC-MSF-3M）について、X線計数値のばらつきの大きさが理論式に従うことを確認した。さらに、上記の理論により一回の測定から求めた応力値の標準偏差と、繰り返し測定した応力値の標準偏差を比較し、両者がほぼ一致することを確認した。また、導入した装置にこの測定理論を適用して、ステンレス鋼や耐熱合金

* 県央技術支援センター

などの応力定数を測定した。

$$\sigma_p^2 = \sum \left(\frac{\partial p}{\partial y_i} \right)^2 \sigma_{y_i}^2 \dots\dots\dots(3)$$

2 応力値の信頼限界

2.1 t分布の式による応力値の信頼限界

X線応力測定法によって測定される応力値は、主にX線計数値固有の統計変動によってばらつく。我が国では、X線法によって測定された応力値の信頼区間は、直線回帰におけるt分布の式を用いて求められている。

t分布の式から求めた応力値Sの信頼区間を $\pm \Delta S$ とすると、 ΔS は次式で求まる³⁾。

$$\Delta S = K \cdot t(\alpha, n-2) \sqrt{\frac{\sum \{p_i - (Mu_i + N)\}^2}{(n-2) \sum (u_i - U)^2}} \dots(1)$$

ここに、 $t(\alpha, n-2)$ は自由度 $(n-2)$ のt分布の信頼水準 $100\alpha\%$ 点、 K は応力定数、 p_i はピーク位置の測定値、 n は p_i の個数、 $u_i = \sin^2 \phi_i$ 、 M と N は最小自乗法によって得られた $\sin^2 \phi$ 線図の傾きと切片、 $U = \sum u_i / n$ 、 Σ は $i=1$ から n までの和をとることを表す。

2.2 ピーク位置と応力値の標準偏差の求め方

応力測定値のばらつきの大きさを表す標準偏差は、ばらつきの主な原因であるX線計数値の統計変動から解析的に求めることができる¹⁾。

回折X線計数値の変動(ばらつき)の主な原因は、時間的にランダムなX線計数値固有の統計変動である。このX線計数値固有の統計変動によるX線計数値 y の母分散 σ_y^2 と母平均 μ_y との間には、理論上次式が成り立つことが知られている⁴⁾。

$$\sigma_y^2 = \mu_y \dots\dots\dots(2)$$

X線計数値の実測値 y と y の母分散 σ_y^2 の間には式(2)が成り立つ。回折線の位置を表すピーク位置 p は、 m 個の統計学的に独立な確率変数 y_1, y_2, \dots, y_m の関数である。このため、統計学の理論である誤差伝播の法則²⁾を用いることにより、X線強度の統計変動によって生ずるピーク位置 p の分散 σ_p^2 は次式で求められる。

ただし、 Σ' は $i=1$ から m までの和をとることを表す。式(3)の p にピーク位置を求める式を代入すれば、X線強度の統計変動によるピーク位置の標準偏差 σ_p が一回の測定から求まる。そのためには、 y の分散 σ_y^2 を求める必要がある。

なお、ガウス曲線法⁵⁾、放物線法⁶⁾、半価幅法⁷⁾、重心法⁸⁾について、ピーク位置およびX線計数値の統計変動による標準偏差を求める式が提案されている。

次に、応力値の標準偏差を求める。応力値 S は次式から求まる。

$$S = K \sum a_i p_i \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 a_i は

$$a_i = \frac{nu_i - \sum u_i}{n \sum u_i^2 - (\sum u_i)^2} \dots\dots\dots(5)$$

である

応力値のばらつきの大きさを表す標準偏差 σ_s は、各 $p_i (i=1 \sim n)$ が統計的に互いに独立であるので、誤差伝播の法則を用いれば

$$\sigma_s^2 = K^2 \sum a_i^2 \sigma_{p_i}^2 \dots\dots\dots(6)$$

となる。応力値の95%信頼区間は $\pm 1.96 \sigma_s$ で求められる。

3 X線計数値の統計変動

3.1 実験方法

用いた材料は、純鉄の粉末である。これを表面が平面になるように押し固めたものを試料とした。この試料について、表1の測定条件で100回連続してX線計数値 y を測定し、その標本平均値 Y 、標本分散 s_y^2 、標本標準偏差 s_y および相対誤差 s_y/Y を求めた。

3.2 実験結果および考察

図1~図3に、 y の標本平均値 Y に対する標本分散 s_y^2 、標本標準偏差 s_y 、相対誤差 s_y/Y の変化をそれぞれ示した。X線応力測定に用いる

表 1 X線計数値の統計変動の測定条件

管球	Cr
K β フィルタ	V
管電圧, kV	30
管電流, mA	10
コリメータ, mm	2 \times 2
ψ 角, deg	0
2 θ 角, deg	142~170
ステップ角, deg	0.05
プリセットタイム, s	1, 5, 10, 50, 100

X線計数値はおおむね $5 \times 10^3 \sim 10^5$ の範囲である。図 3 より, この範囲の X線計数値 y の相対誤差 s_y/Y は 0.01 以下 (1%以下) と小さいため, $Y \approx y$ とおける。このことから, 図 1~図 3 より

$$s_y^2 = y \dots \dots \dots (7)$$

$$s_y = y^{0.5} \dots \dots \dots (8)$$

$$s_y/y = y^{-0.5} \dots \dots \dots (9)$$

が成り立つ。

また 100 個の測定値 y から求めた標本分散 s_y^2 は, 標本数が 100 と多いため, y の母分散 σ_y^2 にほぼ等しいと考えられる。したがって, 式 (7)~(9) より次式が得られる。

$$\sigma_y^2 = y \dots \dots \dots (10)$$

$$\sigma_y = y^{0.5} \dots \dots \dots (11)$$

$$\sigma_y/y = y^{-0.5} \dots \dots \dots (12)$$

式(10)~(12)より, X線計数値の標準偏差 σ_y はその X線強度の平方根 \sqrt{y} で表せることが分かる。また, 式(12)より, カウント数を 2 倍すなわちプリセットタイムを 2 倍にすれば, 相対誤差 (変動係数) は $1/\sqrt{2}$ 倍に小さくなることが分かる。

式(10)は理論式(2)と同じであるため, 導入した装置で計測した X線計数値は, 理論どおりの統計変動を示す。

4 X線応力値の統計変動

4.1 実験方法

用いた材料は, 機械構造用炭素鋼 S45C である。この材料を $40 \times 40 \times 120$ mm の大きさに切

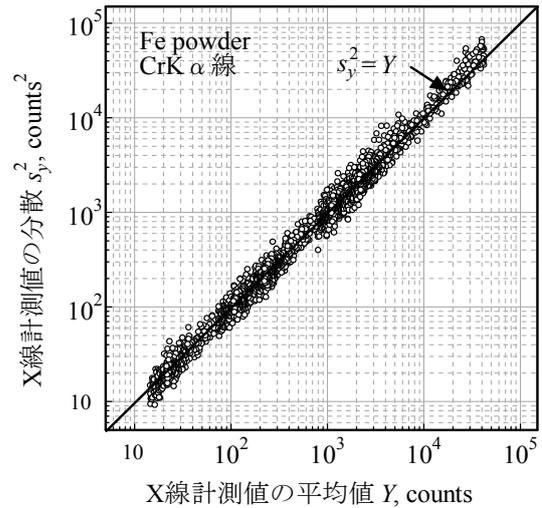


図 1 X線計測値の分散とその平均値

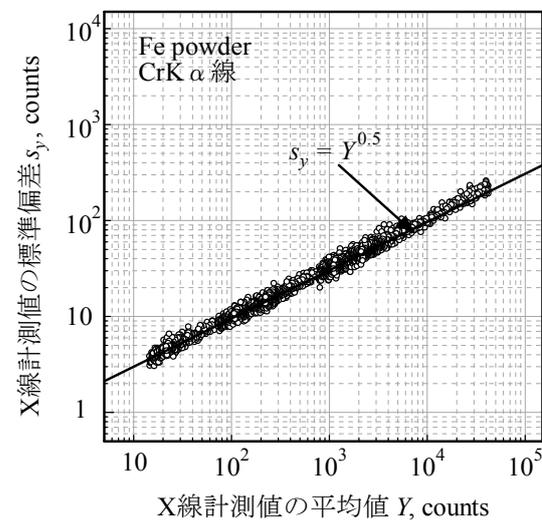


図 2 X線計測値の標準偏差とその平均値

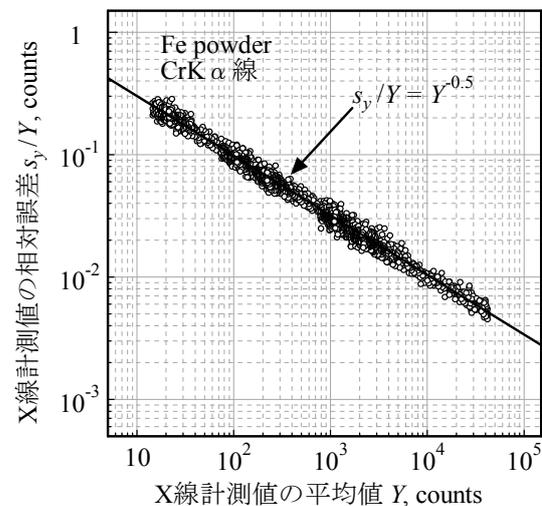


図 3 X線計測値の相対誤差とその平均値

表 2 X線応力値の統計変動の測定条件

管球	Cr
K β フィルタ	V
回折面	(211)
管電圧, kV	30
管電流, mA	10
コリメータ, mm	2×2
sin ² ψ	0~0.6まで0.1おき
2 θ 角, deg	142~170
ステップ角, deg	0.2
プリセットタイム, s	30
ピーク位置決定法	ガウス曲線法
バックグラウンド補正	あり
LPA 因子補正	あり
応力定数, MPa/deg	-318
信頼区間, %	95

り出した後、860℃に60分保持して水冷した。さらに、40×120mmの面の表面を紙やすりで研磨後、電解研磨で約70 μ m表面層を除去して試験片とした。

X線による残留応力測定は、試験片の長手方向に表2の測定条件で行った。応力値は、同一条件で ϕ_0 一定法を用いて100回繰り返し測定した。回折線強度はバックグラウンドとLPA因子によって補正し、回折線ピーク位置は補正した回折線強度の80%以上のデータを用いて、ガウス曲線法⁵⁾により決定した。100個の応力値より得た標準偏差と、ピーク位置の分散から式(6)を用いて求まる標準偏差、信頼限界およびt分布の式(1)から求めた信頼限界を比較した。

4.2 実験結果および考察

図4に、100回測定した結果を示す。図に示したエラーバーは、参考文献⁹⁾の理論によって求めた応力値の95%信頼区間を示す。エラーバーの中に100回測定した平均値がほぼ含まれていることが分かる。さらに、図より100回の測定値の95%信頼区間とエラーバーの幅がほぼ一致していることから、1回の測定で得られる信頼区間は100回測定したときのばらつきの

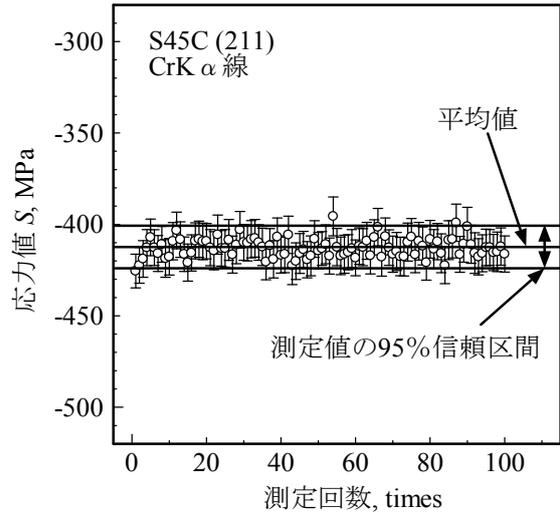


図4 同一条件による応力測定結果（信頼区間はX線強度固有の統計変動による）

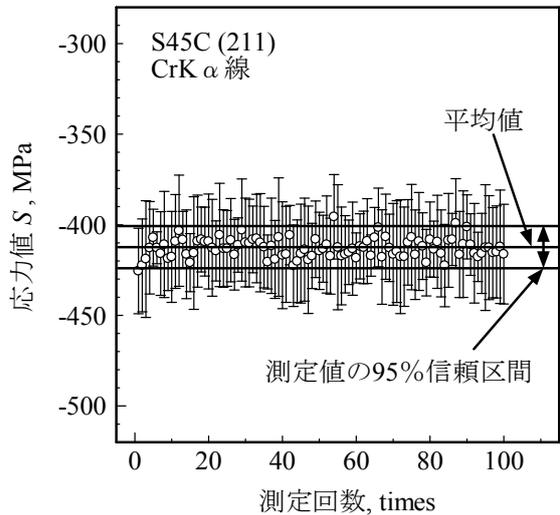


図5 同一条件による応力測定結果（信頼区間はt分布による）

大きさをよく表していることが分かる。

図5には、t分布の式(1)によって求めた応力値の95%信頼区間をエラーバーに示した。測定値のばらつきの大きさに比べて、各測定値のエラーバーの大きさは2倍以上大きくなっており、測定値のばらつきを正しく表していないことが分かる。

なお、これらのデータについては、当研究所のホームページにも掲載している⁹⁾。

5 応力定数の測定

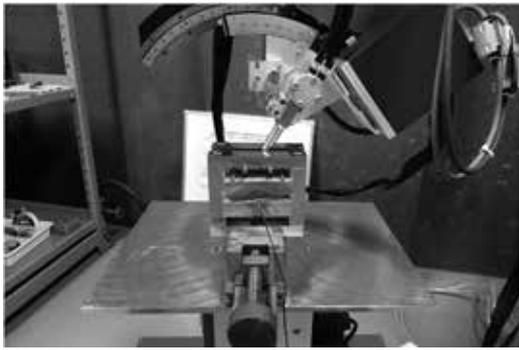


図 6 応力定数の測定の様子

表 3 X線による応力定数の測定条件

測定材料	S50C SUS630 15-5PH	IN718	Ti6Al4V
管球	Cr	V	Cu
K β フィルタ	V	Ti	Ni
回折面	(211)	(220)	(213)
管電圧, kA	30		
管電流, mA	10		
コリメータ, mm	2 \times 2		
sin $^2\psi$	0 \sim 0.6 まで 0.1 おき		
ステップ角, deg	0.15	0.2	
プリセットタイム, s	30	50	600
揺動角, deg	0	± 2	0

5.1 実験方法

用いた材料は、機械構造用炭素鋼 S50C、析出硬化系ステンレス鋼 SUS630 および 15-5PH 鋼、ニッケル基合金 IN718 およびチタン合金 Ti-6Al-4V である。これらの材料から、幅 15mm、長さ 80mm、厚さ 5mm の試験片を切り出した。

これらの試験片に四点曲げ負荷装置（支点間距離：内側 30mm、外側 60mm）で長手方向に単軸応力 σ を加えながら、応力測定方向を長手方向にとって、試験片の中央部の回折線ピーク位置を X 線で測定した。負荷応力 σ は負荷装置に取り付けたロードセルの試験力から計算し

た梁の曲げ応力から求めた。測定の様子を図 6 に示す。各負荷応力に対して、回折線ピーク位置を 6 点測定して sin $^2\psi$ 線図にプロットし、これらの点に最小自乗法を用いて当てはめた直線の勾配 M を求めた。回折線ピーク位置は、並傾法の ϕ_0 一定法または ϕ_0 揺動法によって表 3 の条件で測定した。回折線強度はバックグラウンドと LPA 因子によって補正した。回折線ピーク位置は、補正した回折線強度の 70%以上 (Ti-6Al-4V) または 80%以上 (Ti-6Al-4V 以外) のデータを用いて、ガウス曲線法⁵⁾により決定した。また、X 線計数値固有の統計変動によって生じる測定値のばらつきの大きさを表す 95%信頼区間^{1), 2)}を求めた。

5.2 実験結果および考察

ここでは、SUS630 の試験片の結果を示すが、S50C、15-5PH、IN718、Ti6Al4V の各試験片についても同様な結果が得られている。すべての試験片のデータについては、当研究所のホームページに掲載している¹⁰⁾。

図 7 には、負荷前の $\phi = 0$ deg に対する SUS630 試験片の回折線プロファイルとそれを近似したガウス曲線を示した。これらの図から、回折線の最大強度の 80%以上の各点がガウス曲線でよく近似されていることが分かる。

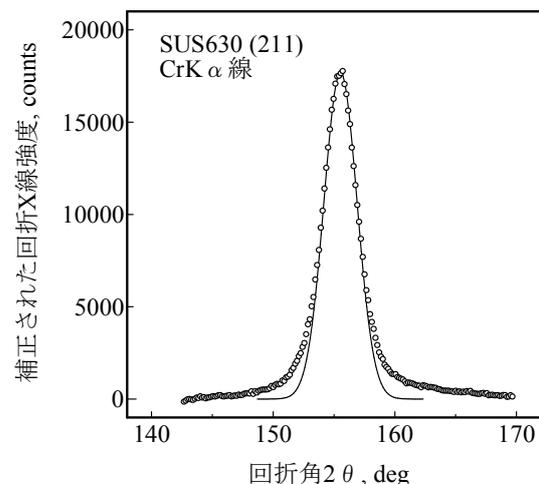


図 7 回折線プロファイルのガウス曲線近似

図 8 は、SUS630 試験片に四点曲げ負荷装置で種々の負荷応力 τ を加えたときの $\sin^2\psi$ 線図である。これらの図には、各負荷応力に対して 6 点の回折線ピーク位置に最小自乗法を用いて当てはめた直線を示した。負荷応力 τ によって回折線ピーク位置や $\sin^2\psi$ 線図の直線が変化していることが分かる。また、図の $\sin^2\psi$ 線図上の回折線ピーク位置は直線に乗っていないが、この要因としては深さ方向の応力勾配や弾性異方性などが考えられる。

図 9 は、図 8 の $\sin^2\psi$ 線図の直線の勾配 M を負荷応力 τ に対してプロットしたものである。 $\sin^2\psi$ 線図上の回折線ピーク位置が直線に乗らなくても、 $\sin^2\psi$ 線図の勾配 M は負荷応力 τ に対して比例して変化することが分かる。本研究では、この直線の勾配の逆数を応力定数 K として求めた。

図 10 は、図 8 の $\sin^2\psi$ 線図の直線の切片 N を負荷応力 τ に対してプロットしたものである。図 9 に示した勾配 M と同様に切片 N も負荷応力 τ に対して比例して変化することが分かる。

表 4 には、図 9 の直線の勾配から求めた応力定数 K の実測値を示した。材料の応力定数については結晶粒の大きさや配向性によって変わることが知られている。このため、より正確に残留応力を評価したい場合は、ここで紹介したような応力定数の実測が有効と考える。

表 4 応力定数 K の 95%信頼限界 (MPa/deg)

試験片	実測値
S50C	-337 ± 19
SUS630	-359 ± 22
15-5PH	-361 ± 18
IN718	-370 ± 42
Ti-6Al-4V	-295 ± 16

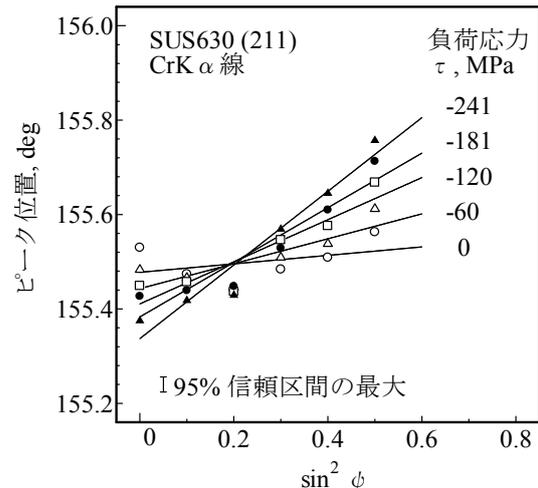


図 8 種々の負荷応力 τ に対する $\sin^2\psi$ 線図

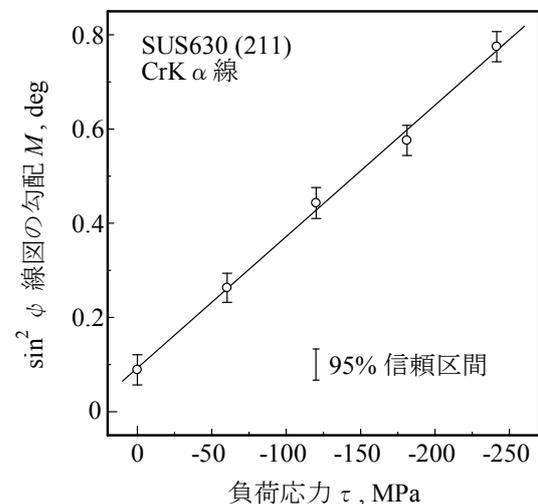


図 9 $\sin^2\psi$ 線図の勾配 M の負荷応力 τ に対する変化

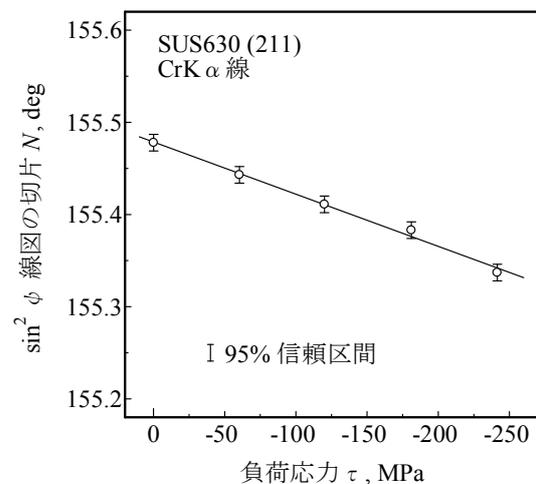


図 10 $\sin^2\psi$ 線図の切片 N の負荷応力 τ に対する変化

6. 結 言

- (1) PSPC 型 X 線応力測定装置で測定した X 線計数値 y と y の分散 s_y^2 との関係を調べた結果、式(2)が成り立つことを確認した。
- (2) プリセットタイムを 2 倍にとれば、相対誤差 (変動係数) は $1/\sqrt{2}$ 倍に小さくなる。
- (3) 従来法から求めた応力値の 95%信頼区間は、実際に 100 個の測定値から得られた信頼区間よりも 2 倍以上大きい値となった。
- (4) X 線強度の統計変動による応力値の一回の測定から求めた応力値の標準偏差は、100 回繰り返し測定した応力値の標準偏差と一致した。

参考文献

- 1) Kurita, M., "Confidence Limits of Stress Values Measured by X-Ray Diffraction", Journal of Testing and Evaluation, Vol.11, No.2, 1983, pp.143-149.
- 2) 栗田政則, 定時計数法による X 線応力測定における応力定数および弾性定数の統計学的解析, 日本機械学会論文集, 55 巻, 511 号, 1989, pp.590-597.
- 3) 日本材料学会 X 線材料強度部門委員会, X 線応力測定法標準, 1997, pp.1-6.
- 4) 三浦功・菅浩一・俣野恒夫, 放射線計測学, 1970, pp.325-328, 裳華房.
- 5) Kurita, M., "A Statistical Analysis of X-ray Stress Measurement by the Gaussian Curve-Fitting Method", Journal of Testing and Evaluation, Vol.9, No.5, 1983, pp.285-291.
- 6) Kurita, M., "Statistical Study on Improvement in Precisuin in X-Ray Stress Measurement by FiXed Time Method (Standard Deviation of Stress due to Statistical Fluctuations in Diffracted Intensities)", Bulletin of the JSME, Vol.21, No.156, 1978, pp.955-962.
- 7) Kurita, M., "Statistical Analysis of X-ray Residual Stress Measurement Using the Half-Width Method", Journal of Testing and Evaluation, Vol.10, No.2, 1982, pp.38-46.
- 8) 栗田政則, 天野順, 坂本勲, 重心法による X 線応力測定に関する統計学的解析, 材料, 第 31 巻, 345 号, 1982, pp.609-615.
- 9) <http://www.iri.pref.niigata.jp/topics/H28/28kin2.html>, X 線応力測定における応力値のばらつきについて, 「新潟県工業技術総合研究所ホームページ」, 2017 年 3 月 8 日.
- 10) <http://www.iri.pref.niigata.jp/topics/H28/28kin5.html>, X 線応力測定における応力定数の測定, 「新潟県工業技術総合研究所ホームページ」, 2017 年 3 月 8 日.

人工光リーフレタス栽培における 遠赤色光照射方法の違いが生育と品質に及ぼす影響

種村 竜太* 白川 正登* 馬場 大輔* 永井 智裕* 石井 治彦*

Effects of irradiation method of far red LED on growth and quality of lettuce

TANEMURA Ryota*, SHIRAKAWA Masato*, BABA Daisuke*,
NAGAI Tomohiro* and ISHII Haruhiko*

抄 録

完全人工光リーフレタス栽培における最適光環境条件を明らかにするため、遠赤色光の照射方法が生育と品質に及ぼす影響について検討した。遠赤色光の照射は、葉の縦伸長を促進し、地上部生体重を増大させ、その生育促進効果は EOD 処理のような比較的短時間の照射でも得られることを明らかにした。

1. 緒 言

光・温度・湿度・CO₂濃度などの環境条件を植物に最適な条件で制御することが可能な完全人工光植物工場（植物工場）は、植物本来の生産能力を最大限に生かすことが可能である。しかし、植物工場に関する技術は発展途上であり、施設・装置の設置コストや空調・光照射にかかる生産コストが高いことが課題となっている。

これまで、植物工場用の光源には蛍光灯が主に使用されてきたが、近年は消費電力が少ないため生産コストの低減が期待できる LED に移行している。LED は組み合わせによって植物に最適な光質を作ることが可能であることから、当初はクロロフィルの光吸収スペクトルのピーク波長である赤色や青色 LED を用いて様々な試験が行われてきた^{1,2)}。その後は一般家庭・店舗への普及により価格が低下傾向にある白色 LED を用いた研究も進んでいる^{3,4)}。さらに近年は光合成有効放射の波長領域から外れる遠赤色光についての研究も進んでおり、生育促進効果が報告されている^{5~8)}。遠赤色光については、施設栽培のハウレンソウで日没（明期終

了）後（End Of day : EOD）の短時間照射により生育が促進されるとの報告もある⁹⁾。しかし、人工光レタス栽培における遠赤色光の EOD 照射の影響については明らかにされていない。そこで、本研究では、完全人工光リーフレタス栽培における遠赤色光の照射方法の違いが生育と品質に及ぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

2.1 光環境条件

光源は色温度 4200K の白色、ピーク波長 660nm の赤色、740nm の遠赤色が組み込まれ、別々に調光可能なパネル式 LED（オリンピア照明(株)）を使用した。発芽後は、明期 16 時間、暗期 8 時間、光合成有効光量子束密度（PPFD）を 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ （白色 150 + 赤色 50）とした。試験区は遠赤色光を照射しない対照区、光量子束密度（PFD）8 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の遠赤色光を定植時から明期に照射した明期区、定植時から明期終了後の 4 時間照射した EOD 全期区、収穫 2 週間前から明期終了後の 4 時間照射した EOD 後期区を設けた。図 1 に各試験区の分光特性を示した。

* 下越技術支援センター

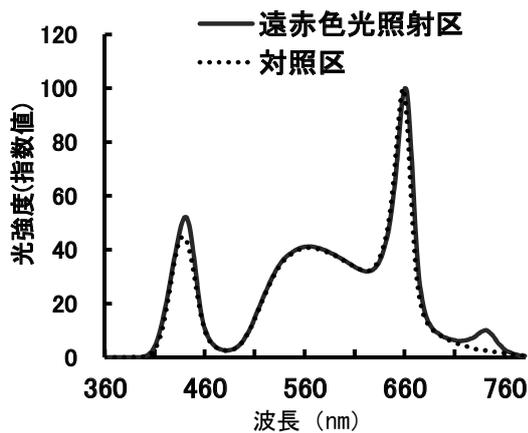


図1 分光特性
(最大強度を100とした指数)

2.2 栽培方法

試験は室温 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $70 \pm 5\%$ の室内で行った。品種は‘ハンサムグリーン’（横浜植木）を供試した。8月4日にウレタンキューブ（ $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm} \times 3.0\text{cm}$ ）に播種し、8月19日にプラスチックコンテナ（ $W390 \times D540 \times H90\text{mm}$ ）に8株ずつ定植し、湛液式水耕栽培（培養液量：7L）により試験を行った。培養液はOAT-A処方を用い、植物の吸水による減水分を随時水道水で補充し、2～3日ごとに肥料を追加して電気伝導率（EC）を発芽から定植までは $0.7 \sim 0.8\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 、定植後は $1.4 \sim 1.5\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ に調整した。定植後は培養液の循環や更新は行わず、栽培終了まで通気処理を行った。

2.3 調査方法

9月13日に収穫し、地上部と調整葉（黄化

した葉などを取り除いた可食部の重量）の生体重・全葉数・生葉数（黄化した葉などを取り除いた葉数）・最大葉長の測定を行った。葉を1枚ずつ分解してカメラで撮影し、画像処理ソフトを用いて葉面積を算出した。生育調査終了後は -40°C で凍結したのちに凍結乾燥および粉碎し、80%熱エタノール抽出を行い、硝酸イオン含有量を Cataldo 法により測定した。

3. 結果および考察

遠赤色光照射による障害発生は認められなかった。地上部重や調整葉重は対照区と比較して明期区では約20%、EOD全期区では約30%重くなったが、EOD後期区では対照区と有意な差は認められなかった（表1、図2）。明期区における生長促進効果については、光源の赤白比や、PPFDが異なるものの前報⁹⁾とほぼ同程度であった。植物工場で生産された市販レタスを参考に、80gを出荷規格と想定した場合、遠赤色光照射により栽培期間を2～3日程度短縮

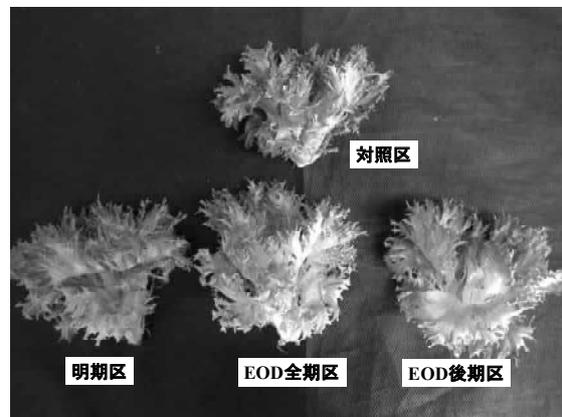


図2 調整後の状況

表1 遠赤色光が生育に及ぼす影響

処理方法	地上部重 (g/株)	調整葉重 (g/株)	最大葉長 (cm)	全葉数 (枚/株)	生葉数 (枚/株)	葉面積 ($\text{cm}^2/\text{株}$)	地上部乾物重 (g/株)
対照区	70.6 c ^z	67.2 c	15.8 c	14.8 b	10.5 b	578.1 c	2.8 a
明期区	84.2 ab	79.7 ab	18.0 b	16.6 a	12.3 a	721.0 a	3.2 a
EOD全期区	90.5 a	87.0 a	19.0 a	15.3 b	11.0 b	745.9 a	3.4 a
EOD後期区	77.7 bc	73.8 bc	17.8 b	15.3 b	10.8 b	634.0 b	2.9 a

z: 同一アルファベット間は、Tukey法により5%水準で有意差なし

することが可能と考えられる。

最大葉長は、遠赤色光照射により長くなり、対照区では 15.8cm であったのに対し、明期区では 18.0cm、EOD 全期区では 19.0cm、EOD 後期区では 17.8cm であった（表 1、図 3）。葉の形態は遠赤色光の照射によって大きく変化し、縦横の伸長が均等に促進されるのではなく、主に中肋部の伸長が促進されることによって葉長が長くなった（図 3）。全葉数及び生葉数は明期区では他の試験区と比較して多かった（表 1）。葉面積は、遠赤色の照射によって大きくなる傾向がみられ、対照区が 578.1cm² であったのに対し、明期区では 721.0cm²、EOD 全期区では 745.9cm²、EOD 後期区では 634.0cm² であった（表 1）。

遠赤色の照射により節間が長くなる傾向がみられたが、品質の上では問題ないレベルであった（図 4）。遠赤色光の付加照射による生長促



図 3 最大葉の状況

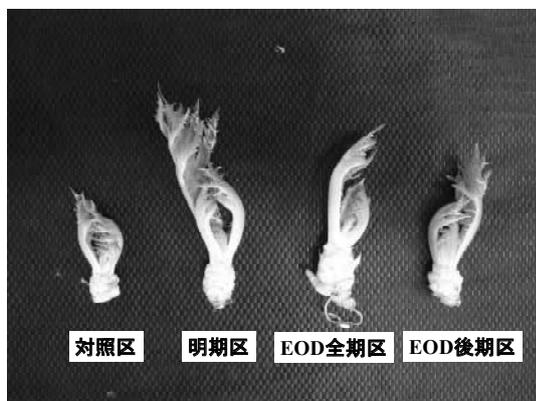


図 4 抽苔の状況

進効果についてはレタス、コマツナ、チンゲンサイなどで報告されている⁵⁻⁸⁾。本試験においても定植時から収穫期まで遠赤色光を照射することにより生体重が増加していた。EOD 全期区では、対照区と比較して生葉数に差がなく葉面積が増加していたことから、1枚の葉が大きくなることによって生体重が増加し、明期区では対照区と比較して生葉数が多く葉1枚当たりの葉面積に差がなかったことから葉数が増加することによって生体重が増加していたと考えられる。

遠赤色光の照射による伸長促進効果は赤色光と遠赤色光の比率の変化によってフィトクロム光平衡が変化し、茎や葉脈の伸長速度が増大するために茎長、節間長、葉面積が増加することによる¹⁰⁾。遠赤色光の光合成への寄与は無視できると考えられるため、生体重の増加は遠赤色光自体が光合成を促進するのではなく、茎長や葉脈の伸長が促進されるために植物が光源へ近づくことによって、より強い光を受光できることや、葉の相互遮蔽が減少するために受光葉面積が増大することなどにより受光量が増加し、光合成量が増加したためと考えられる¹⁰⁾。リーフレタスは、品種によって葉の形態は大きく異なり、バリエーションも豊富なため、遠赤色光の照射による生育促進効果には品種間差が大きい⁷⁾、そのため、遠赤色光による生育促進効果については品種ごとに検証する必要がある。

調整葉の硝酸イオン含量は、前報⁸⁾では遠赤色光の照射により高くなったが、本試験では差がなかった（図 5）。根から吸収された硝酸イオンは硝酸還元酵素（NR）により亜硝酸イオンへ、亜硝酸還元酵素（NiR）によりアンモニアへ還元されるが、窒素の栄養条件が十分な場合、遠赤色光を照射して赤色光と遠赤色光の比率を変化させても NR 活性は変化しない¹¹⁾。前報では試験区の光量子束密度を揃えるために遠赤色光を照射した試験区では PPFD が低くなっていたのに対し、本試験では遠赤色光を付与しているために各試験区の PPFD は変わらなか

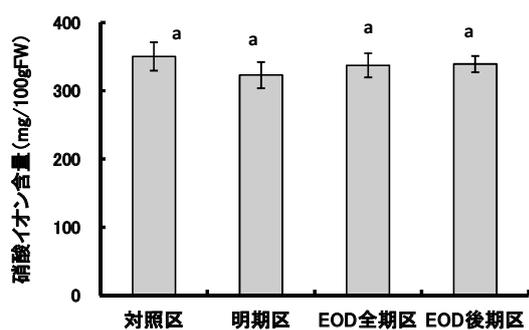


図5 調整用の硝酸イオン含量

同一アルファベット間は、Tukey法により5%水準で有意差なし

ったために前報と異なる傾向を示したと考えられる。

以上のことから、人工光リーフレタス栽培において遠赤色光の照射は、葉の縦伸長を促進し、地上部重を増大させる効果があり、その効果はEOD照射のように比較的短い照射時間でも得られることが確認された。しかし、リーフレタスは葉の形態や葉色のバリエーションが豊富で、遠赤色光に対する生育反応には品種間差が大きいと思われるため、品種ごとに検証する必要があると考えられる。

4. 結 言

- (1) 人工光リーフレタス栽培において遠赤色光の照射は、葉の縦伸長を促進し、地上部生体重を増大させる効果がある。
- (2) EOD照射のような短時間処理でも生育促進効果が認められる。
- (3) 硝酸イオン濃度などの品質に差は見られない。

参考文献

- 1) 松本拓也, 伊藤博通, 白居祐希, 白石斉聖, 宇野雄一, “光質がレタス生長と野菜中硝酸イオン濃度に及ぼす影響”, 植物環境工学, 22 (3), 2010, pp.140-147.
- 2) 大嶋泰平, 大橋敬子, 大野英一, 渡邊博之, “レッドリーフレタス生産に適した赤色と

青色発光ダイオードの光混合条件の検討”, 植物環境工学, 27 (1), 2015, pp.24-32.

- 3) 白井花菜, 梶川幸治, 野末はつみ, 五味正男, 野末雅之, “分光分布の異なる白色LEDの植物育成効果”, 日本生物環境工学会2016年大会講演論文要旨, 2016, pp.40-41.
- 4) 種村竜太, 内山雅彦, 三村和弘, 小林豊, “光質の違いがリーフレタスの生育・品質に及ぼす影響”, 新潟工技総研研報, 43, 2014, pp.35-37.
- 5) 野末はつみ, 野末雅之, “遠赤色光が光合成活性および生育に及ぼす影響について”, 日本生物環境工学会2014年大会講演論文要旨, 2014, pp.52-53.
- 6) 宮寄航, 吉田英生, 福田直也, “LEDを使用した連続照明条件下における光質中の遠赤色光がリーフレタスの形態形成ならびに成長に及ぼす影響”, 園芸学研究, 14 (別2), 2015, pp.214.
- 7) 村上克介, 洞口公俊, 森田政明, 相賀一郎, “遠赤色光 (FR) 付加照射によって生じるレタス生育の促進”, 生物環境調節, 30 (1), 1992, pp.23-28.
- 8) 種村竜太, 大川原真, 石井治彦, 木嶋祐太, “人工光リーフレタス栽培における遠赤色光が生育・品質に及ぼす影響”, 新潟工技総研研報, 45, 2016, pp.32-36.
- 9) 成松次郎, “ホウレンソウの補光栽培に関する研究”, 神奈川農総研報, 1996, 137, pp.17-23.
- 10) 村上克介, 洞口公俊, 柴田治男, 森田政明, 相賀一郎, “植物栽培用人工光源の開発に関する考察”, 生物環境調節, 30 (4), 1992, pp.135-141.
- 11) 壇和弘, 大和陽一, 今田成雄, “光強度および赤色光/遠赤色光の違いがコマツナの硝酸イオン濃度および硝酸還元酵素活性に及ぼす影響”, 園学雑, 4巻, 3号, 2005, pp.323-328.

人工光リーフレタス栽培における 培養液組成が生育と養分吸収に及ぼす影響

種村 竜太* 白川 正登* 馬場 大輔* 永井 智裕* 石井 治彦*

Effects of Nutrient Composition on growth and nutrient uptake of leaf lettuce

TANEMURA Ryota*, SHIRAKAWA Masato*, BABA Daisuke*, NAGAI Tomohiro* and ISHII Haruhiko*

抄 録

完全人工光リーフレタス栽培における最適培養液条件を明らかにするため、培養液の K・Ca 濃度や Mg 濃度が生育と養分吸収に及ぼす影響について検討した。培養液の K 濃度を高め、Ca 濃度を下げることによって生産性を高めるだけでなく培養液の成分バランスの乱れを抑えることが可能であることを明らかとした。また、培養液 Mg 濃度は 0.5~1.0me が適していると思われた。

1. 緒 言

植物に最適な環境条件を人工的に制御することが可能で、地域や季節を選ばず世界中どこでも周年生産が可能な完全人工光植物工場（植物工場）は、レタスを中心に増加傾向にある。植物工場では土耕栽培ではなく、土を使わない養液栽培が導入されている。養液栽培は土に代わる固形培地を使用する固形培地耕と、固形培地を使用しない水耕とに大別される¹⁾。レタスなどの葉菜類では水耕栽培が主流であり、DFT（湛液型循環式水耕, Deep Flow Technique）や NFT（薄膜水耕, Nutrient Film Technique）を採用しているケースが多い。

DFT や NFT において、現状では培養液中の個々のイオン濃度・組成の制御はされておらず、植物が吸収したことによる培養液の減少分を補水し、電気伝導率（EC）の数値が設定レベル以下になると濃厚肥料液が添加されるシステムが多く採用されている。しかし、EC は、あくまでも溶解している肥料成分の総量を示す数値であり、個々の成分濃度を把握することはできない、使用する培養液の組成と栽培する植物の養分吸収特性が合致していないと徐々に培養液

の組成が乱れてくる。実際にレタス栽培においては、市販の養液栽培用肥料を用いて EC 制御を行うと、K が減少し、Ca・Mg・S が蓄積することが報告されている²⁾。植物工場で生産されるレタスの播種から収穫まで期間は 40 日程度と短いため、培養液組成の乱れは生育の停滞や生理障害の発生を引き起こすことになる。

そこで、本研究では、人工光リーフレタス栽培における培養液の K・Ca 濃度や Mg 濃度が生育と養分吸収に及ぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

2.1 栽培方法

試験は室温 20±1℃、相対湿度 70±5%の室内で行った。品種は‘ハンサムグリーン’（横浜植木）を供試した。11 月 20 日にウレタンキューブ（2.5cm×2.5cm×3.0cm）に播種し、発芽後は OAT-A 処方 1/4 濃度（EC 0.7dS/m）の培養液により育苗した。12 月 8 日にプラスチックコンテナ（W390×D540×H90mm）に 8 株ずつ定植し、湛液式水耕栽培（培養液量：7L）により原水に水道水（Ca 9.3ppm, Mg 2.6ppm）を用いて試験を行った。植物の吸水による減水分を随時水道水で補充し、2~3 日

* 下越技術支援センター

ごとに肥料を追加して EC を 1.4dS/m に調整した。定植後は培養液の循環や更新は行わず、栽培終了まで通気処理を行った。

2.2 定植後の培養液組成

2.2.1 培養液 K・Ca 濃度の検討（試験 1）

N 10me, P 1me, Mg 1me とし, K・Ca 濃度を K 8me・Ca 1me (K8Ca1 区), K 7me・Ca 2me (K7Ca2 区), K 6me・Ca 3me (K6Ca3 区) とした 3 試験区と, OAT-A 処方 1/2 濃度 (N 9.3me, P 0.8me, K 4.6me, Ca 4.1me, Mg 1.5me) で管理した対照区を設けた。対照区を除く 3 試験区の微量成分は OAT-B 処方 1/2 濃度に準じた。K・Ca 濃度は硝酸 K と硝酸 Ca を用いて調整した。

2.2.2 培養液 Mg 濃度の検討（試験 2）

N 10me, P 1me, K 7me, Ca 2me とし, Mg 濃度を 0me, 0.5me, 1.0me, 1.5me とした 4 試験区を設けた。Mg 濃度は硫酸 Mg を用いて調整した。微量成分は OAT-B 処方 1/2 濃度に準じた。

2.3 光環境条件

育苗時の光源には昼白色の Hf 蛍光灯（パナソニック(株), FHF32EX-N-H) を用いた。定植以降は白色 LED（シャープ新潟電子工業(株), ピーク波長 605nm, 色温度 3000K) を用いた。

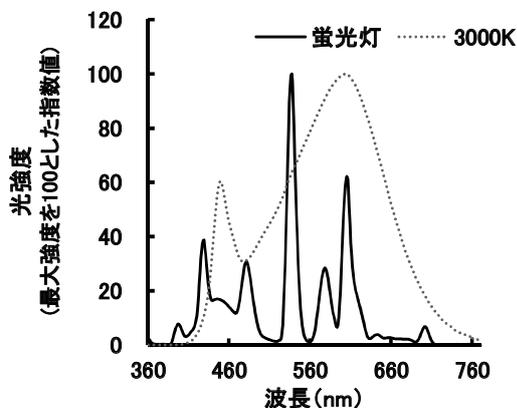


図 1 分光特性

図 1 に蛍光灯および白色 LED の分光特性を示した。

発芽から定植までの光強度（光合成有効光量子束密度：PPFD）は $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とし, 明期は 16 時間とした。定植後は明期を 16 時間とし, PPFD は試験 1 では $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 試験 2 では $180\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とした。

2.4 調査方法

12 月 29 日に収穫し, 地上部の調整葉（黄化した葉などを取り除いた可食部の重量）の生体重を測定した。その後は 65°C で乾燥したのちに粉碎し, ケルダール分解を行い, イオンクロマトグラフィーにより成分分析を行った。また, 定植時と収穫時の培養液成分の分析を行った。

3. 結果および考察

3.1 試験 1

植物工場でのリーフレタス栽培では Ca 欠乏に起因するといわれるチップバーンの発生が問題となるが, すべての試験区で発生しなかった（図 2）。地上部の古葉や黄化葉を除去した調整重は K8Ca1 区で対照区と比較して重く, K7Ca2 区と K6Ca3 区では対照区と同等であった（図 3）。ハウレンソウでは, 養液栽培だけでなく土耕栽培においても K 供給量を増やすことによって生育が促進すると報告されている^{3~5}）。品目は異なるものの, 本試験結果はこれらの報告と一致している。

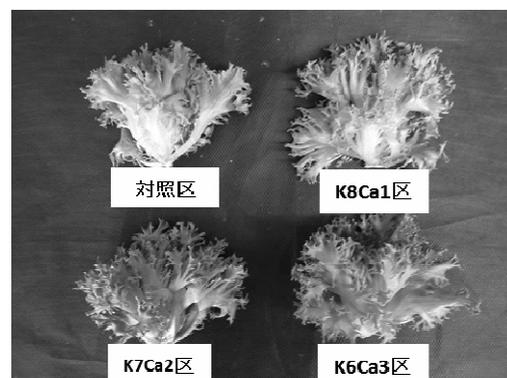


図 2 調整後の状況（試験 1）

葉の K 含有量は対照区と比較して K8Ca1 区、K7Ca2 区、K6Ca3 区で多くなったが (図 4) , Ca 含有量に差はなかった (図 5) 。 K と Ca の間には拮抗作用があり、K が多すぎると Ca の吸収が抑制されることがある^{6,7)}。今回の試験で吸収した Ca 量は K の 10~14%であった。培養液の K に対して Ca の比率は、対照区の 0.89

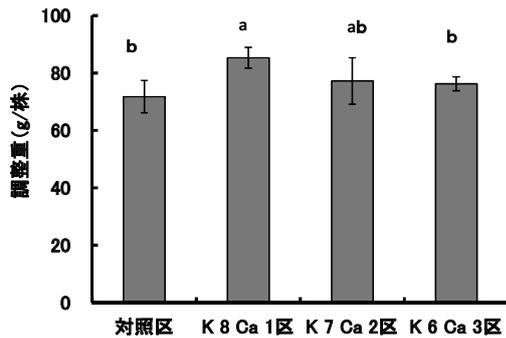


図 3 調整葉の生体重 (試験 1)

同一アルファベット間には、Tukey 法により 5%水準で有意差なし

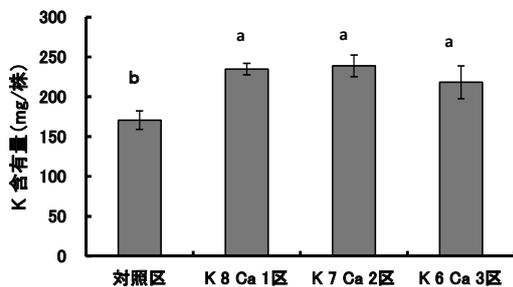


図 4 調整葉の K 含量 (試験 1)

同一アルファベット間には、Tukey 法により 5%水準で有意差なし

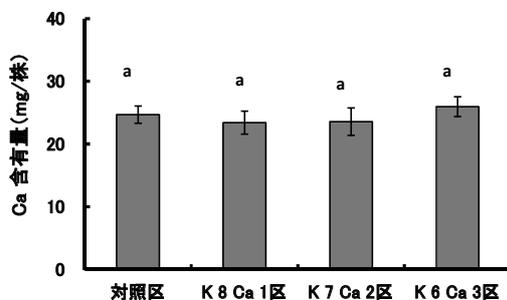


図 5 調整葉の Ca 含量 (試験 1)

同一アルファベット間には、Tukey 法により 5%水準で有意差なし

に対して他の 3 試験区 0.13~0.50 と低く、拮抗作用により吸収量が低下する可能性があったにもかかわらず、差がなかった要因の一つとしてリーフレタスの Ca 要求量が小さいためと考えられる。

対照区では栽培終了時の培養液 K および Ca 濃度が定植時の 36%, 139%となっていたのに対し、K8Ca1 区では定植時と栽培終了時で差はほとんどなかった (図 6, 7)。

以上のことから、一般的な養液栽培用配合肥料の培養液組成と比較して K を高め、Ca を下げることにより生産性を高めるだけでなく培養液の成分バランスの崩れを抑えることが可能と考えられる。

3.2 試験 2

Mg0 区においても Mg 欠乏に起因する生理障害は発生せず、健全な生育を示した。調整重に培養液 Mg 濃度による差はなかった (図 8)。葉の Mg 含有量は Mg0 区では少なかったが、Mg0.5~1.5 区での試験区ごとの統計的な差は

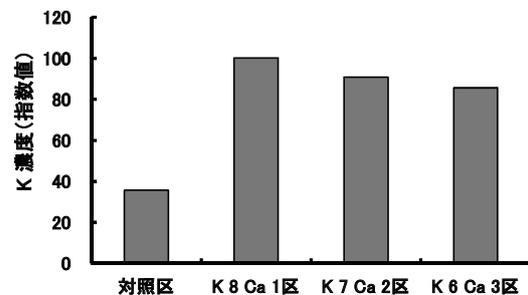


図 6 収穫終了時の培養液 K 濃度

(試験 1: 定植時を 100 とした指数値)

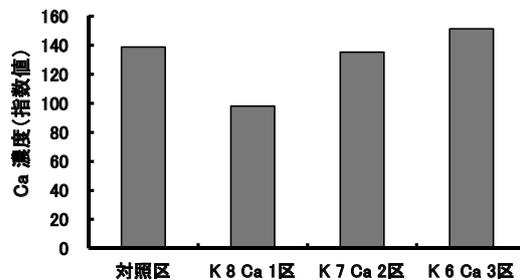


図 7 収穫終了時の培養液 Ca 濃度

(試験 1: 定植時を 100 とした指数値)

なかった（図9）。レタスでは、N・P・Kの吸収速度は高濃度から1me程度の低濃度にわたる広い範囲で培養液濃度に直接的に影響されない⁸⁾。培養液Mg濃度が0.5~1.5meの範囲でMgの含有量に差がなかったことから、Mgの吸収についてもN・P・Kと同様に培養液Mg濃度に影響されないと考えられる。収穫時の培養液Mg濃度は、定植時と比較してMg0.5区では60%と低下したのに対し、Mg1.0区では123%、Mg1.5区では130%で上昇する傾向を示した（図10）。

以上のことから、培養液のMg濃度は0.5~

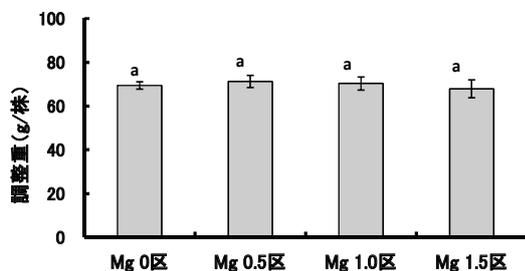


図8 調整葉の生体重 (試験2)

同一アルファベット間は、Tukey法により5%水準で有意差なし

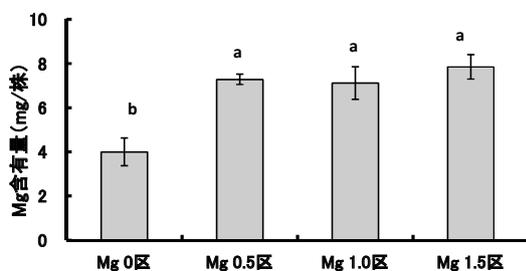


図9 調整葉のMg含量 (試験2)

同一アルファベット間は、Tukey法により5%水準で有意差なし

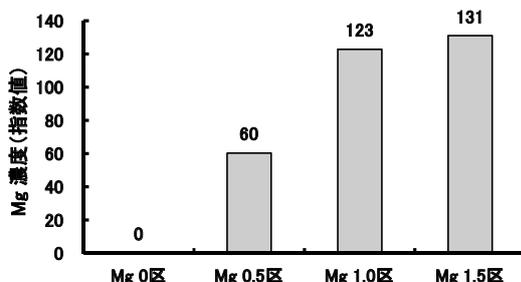


図10 収穫終了時の培養液Mg濃度

(試験2: 定植時を100とした指数値)

1.0me とすることによって、生育を維持した状態で培養液Mg濃度の変動を押さえることが可能であると考えられる。

4. 結 言

- (1) 一般的な養液栽培用配合肥料の培養液組成と比較してKを高め、Caを下げることにより、生産性を高めるだけでなく培養液の成分バランスの崩れを抑えることが可能。
- (2) 培養液のMg濃度を0.5~1.0meとすることによって、生育を維持した状態で培養液Mg濃度の変動を抑えることが可能。

参考文献

- 1) 日本施設園芸協会，日本養液栽培研究会，“養液栽培のすべて”，2012，pp.16-19.
- 2) 種村竜太，内山雅彦，三村和弘，小林豊，“光質の違いがリーフレタスの生育・品質に及ぼす影響”，新潟工技総研研報，43，2014，pp.35-37.
- 3) 位田藤久太郎，“根の生理と土壌管理 II 養分吸収”，野菜の栄養生理と施肥技術 2，誠文堂新光社，1971，pp.7-29.
- 4) 中村武次郎，“葉菜類の生育と硝酸態窒素含有量”，農耕と園芸，58，1983，pp.587-588.
- 5) 王秀峰，伊東正，“水耕ホウレンソウの生育，収量，葉中NO₃含量に及ぼす培養液の硝酸態窒素制限とカリウム増与の影響”，園学雑，67（1），1998，pp.74-80.
- 6) 田口亮平，“植物生理学大要”，養賢堂，1995，pp.141-145.
- 7) 高橋英一，吉野実，前田正男，“原色 作物の要素欠乏・過剰症”，農文協，2000，pp.108-132.
- 8) 丸尾達，篠原温，岩田正利，伊東正，“水耕レタスの無機成分吸収に及ぼす培養液濃度の影響”，園学雑，71（5），2002，pp.675-682.

II ノート

太陽光発電システムに及ぼす風荷重と低減方法の研究

須貝 裕之* 片山 聡** 相田 収平**
吉川 啓二*** 入澤 勉*** 岩名 紘司***

Study on Wind Force of Photovoltaic Panel and its Reduction Method

SUGAI Hiroyuki*, KATAYAMA Satoshi**, AIDA Shuhei**
YOSHIKAWA Keiji***, IRISAWA Tsutomu*** and IWANA Kouji***

1. 緒言

自然エネルギーの普及に伴い、工場や倉庫などの金属製折板屋根に太陽光パネルを設置する事例が増えている。太陽光パネルを設置する際的设计指針として JIS C 8955-2011「太陽電池アレイ用支持物設計標準」があるが、現行の規格は折板屋根を想定してはいないため、パネルや屋根に作用する風荷重や設計基準が不明確で安全性の確保や最適な設計提案が困難である。

そこで本研究では、折板屋根上に設置された太陽光パネルに作用する風荷重について検討した。具体的には、コンピューターによる風の流れのシミュレーション（以下、流体解析）と縮小模型による風洞実験を組み合わせる研究を行い、パネルに作用する風荷重についての詳細な検討を行った。

2. 流体解析

2.1 基準モデル形状解析方法

屋根に設置された太陽光パネルに作用する風荷重は建物の形状に影響を受ける。そこで本研究では類似の研究事例¹⁾を参考にして、基準とする建物形状を決定した（図1）。建屋の高さを平均的な値である15mとし、縦・横・高さの比が2:2:1となるよう縦と横の寸法を決めた。また屋根の勾配は5/100（約2.85°）とした。

* 中越技術支援センター
** 研究開発センター
*** 株式会社 サカタ製作所

2.2 流体解析

解析に使用したソフトウェアはソフトウェアクレイドル社製の汎用熱流体解析ソフトウェア SCRYU/Tetra version12 である。解析は地表面粗度Ⅲ、基準風速 38 m/s の風速条件における定常解析を行った。乱流モデルと解析手法は一般的な $k-\epsilon$ と RANS を使用した。建屋に対する風向を 15°刻みで変化させて計算を行い、各方向ごとの風荷重を調べた。解析モデルの要素数と節点数はそれぞれ約 1500 万要素、400 万節点である。

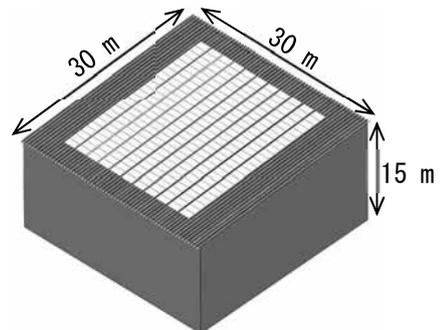


図1 基準モデル形状

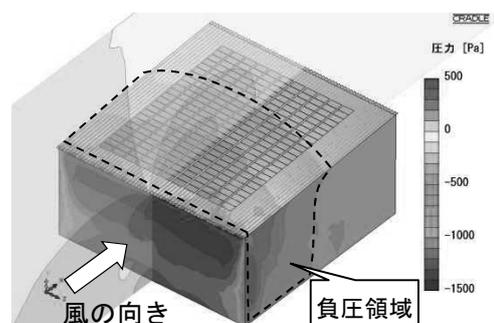


図2 表面の圧力分布計算結果

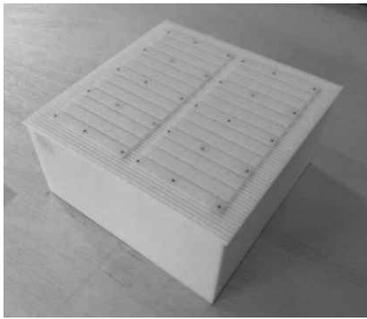


図3 風洞実験用模型

2.3 解析結果

図2に解析結果の一例を示す。計算した風向は建屋の正面から風が吹いた場合で、その時の建屋表面と、風の方向に平行な断面における空間上の圧力分布を示している。建屋の正面に高い圧力が発生するのに対して、風上側の屋根面や壁面は負圧となっている。

3. 風洞実験

3.1 実験装置と模型

流体解析の計算精度を確認するため、縮小模型による風洞実験を行った。実験には新潟工科大学の大型境界層型風洞実験装置を使用した。実験に使用する模型は、基準モデルを風洞に合わせて1/150に縮小し、3Dプリンターにより作成した(図3)。パネル上に等間隔に並んだ黒点は風圧測定用の穴である。実験は解析とほぼ同じ地表面粗度Ⅲの風速条件で行い、角度5°刻みで全周からの風圧を測定し、風速を無次元化した係数である風圧係数を求めた。

3.2 流体解析との結果比較

図4に建屋正面から風が吹いた場合の流体解析による建屋各面の風圧係数の計算結果を示す。風洞実験ではこのように詳細な圧力分布を測定することはできないが、各風圧測定点における実験結果を比較したところ、両者はほぼ同じ値となっていた。また、本計算結果を類似形状の建屋の風圧係数分布に関する研究結果²⁾と比較したところ、ほぼ同じ分布となっており、流体解析の計算精度が確認された。

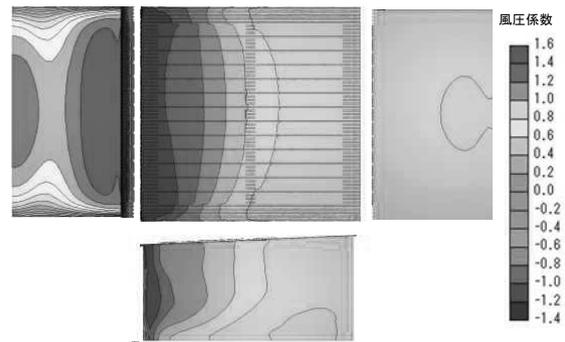


図4 風圧係数分布の計算結果

4. 実機による風荷重の測定

本研究では流体解析により風荷重低減のための様々な検討を行った。しかし、自然界の風は多様であり、流体解析や風洞実験などの限られた条件下における結果のみをもって最終的な判断を下すのは危険である。そこで折板屋根をもつ実際の建屋に太陽光パネルと風圧測定装置を取り付け、実機による風荷重の測定を行った。今後は実測されたデータと解析結果を組み合わせ、折板屋根に適した太陽光パネル設置方法について検討を行う予定である。

5. 結 言

- (1) 流体解析により折板屋根上に取り付けられた太陽光パネルに作用する風荷重とその特性を調べた。
- (2) 縮小模型による風洞実験を実施し、風圧係数の測定結果を流体解析の計算結果と比較したところ、ほぼ同じ値が得られ、流体解析の精度が確認できた。
- (3) 実際の建屋に太陽光パネルと風圧測定装置を取り付け、自然界の風における実測を行った。

参考文献

- 1) 染川ほか，“陸屋根に平行に設置された太陽電池パネルの風力係数”，第23回風工学シンポジウム，2014，pp.271-272.
- 2) 日本建築学会，“建築物の耐風設計のための流体計算ガイドブック”，2005.

炭素化繊維による電磁波シールド材の開発

古畑 雅弘* 河原 崇史* 渋谷 恵太* 桑原 理絵** 笠原 勝次*** 石澤 賢太****
中津山 國雄***** 細貝 一也*****

Development of Radio Wave Shield Material by Carbon of Fibers

FURUHATA Masahiro*, KAWAHARA Takashi*, SHIBUYA Keita*,
KUWAHARA Rie**, KASAHARA Katsuji***, ISHIZAWA Kenta****,
NAKATSUYAMA Kunio***** and HOSOKAI Kazuya*****

1. 緒 言

携帯電話，スマートフォンなどに代表される電子機器の高性能化が進む一方で，発生する電磁波による他の情報機器への干渉，電子機器の誤動作などが問題となっている¹⁾。また，近年自動車分野では，電気自動車，ハイブリッド車の普及が進み，これらの電動モーターなどから発生する電磁波の対策も大きな問題となっている。この対応策として，一般的に金属を用いた電磁波シールド材が使用されているが，軽量化，低コスト化などの需要から金属の代替となる新たなシールド材が求められている。

本研究では，県内地場産業の一つである繊維技術を活用し，綿，絹などの汎用繊維からなる織物などを炭素化し，金属に代わる軽量でフレキシブル性に優れた電磁波シールド材の開発を行った。また，試作したシールド材の電磁波シールド性を評価するとともに，試料の開口率や厚さなど各種条件との相関性について検討を行った。

* 素材応用技術支援センター
** 中越技術支援センター
*** 研究開発センター
**** 下越技術支援センター
***** 株式会社中津山熱処理

2. 試験方法

2.1 試料の作製

真空炉を用いて綿，絹およびレーヨン（キュプラ）の織物，不織布を不活性雰囲気中で，700℃～1300℃の範囲で100℃毎に炭素化した試料を作製した。

2.2 電磁波シールド性測定

同軸管法（キーコム(株)製 S-39D）により測定を行った。これは図1に示すように，同軸管にドーナツ状の試料を挿入し，ネットワークアナライザ HP8753E を使用して反射特性と透過特性を測定する方法である。試料は外径 $\phi 47\text{mm}$ ，内径 $\phi 5\text{mm}$ で抜型により作製した。なお試料は脆く，装着時に破れるのを防ぐために，試料の片面に発泡材を重ねて測定を行った。測定周波数範囲は45MHz～3GHzである。

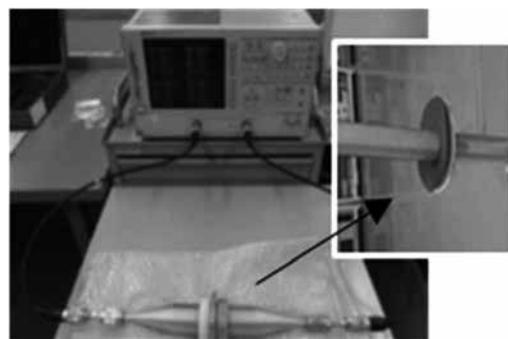


図1 同軸管法

2.3 開口率の測定

(株) キーエンス製デジタルマイクロスコープ VHX-2000 を使用して透過光により 100 倍で観察した。観察面積中の空隙部の割合を開口率として、5 回の平均値を求めた。

2.4 表面抵抗の測定

三菱化学 (株) 製抵抗率計ロレスタ MCP-T360 を使用して 4 端針法により測定した。

2.5 厚さ測定

(株) 東洋精機製作所製厚さ計 TYPE CM-10 により 3 回の平均値を求めた。

3. 試験結果

3.1 電磁波シールド性

絹織物を炭素化した試料の測定結果を図 2 に示す。700°C で炭素化した試料は電磁波シールド性 (SE) は見られなかったが、処理温度が上昇するにつれてシールド性は高くなり、1300°C で最も高い性能を示した。素材別では絹が最も高く 1300°C で約 38dB であった。

3.2 開口率

いずれの素材も処理温度による開口形状に大きな変化は見られなかった。開口率が小さいと電磁波シールド性は高く、開口率が大きいと電磁波シールド性は低かった。また絹、綿では開口率と電磁波シールド性に相関がみられた。

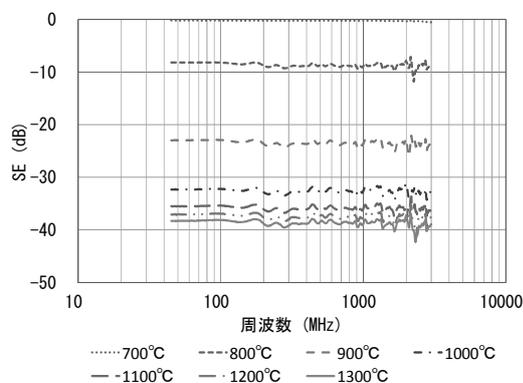


図 2 電磁波シールド性 (絹)

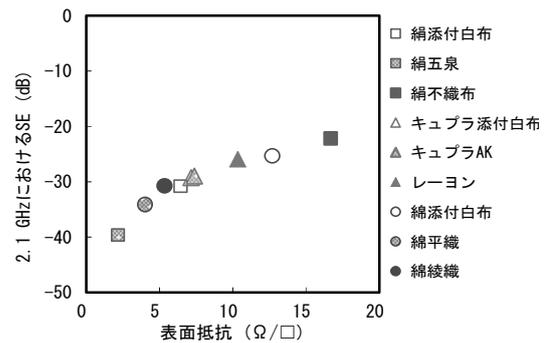


図 3 表面抵抗と電磁波シールド性

3.3 表面抵抗

一般的に電磁波シールド性は導電性が影響しているといわれている。そこで導電性に及ぼす処理温度の影響について検討した。処理温度が 800°C 以下では、表面抵抗はいずれの試料も 100Ω/□以上の高い値を示したが、900°C 以上で表面抵抗は急激に減少し、1100°C 以上ではほぼ一定の値となった。図 3 に 1300°C で処理したすべての試料の表面抵抗と携帯電話の周波数帯 2.1GHz のシールド性を示した。表面抵抗と電磁波シールド性に高い相関があった。

3.4 厚さ

電磁波シールド性に及ぼす厚さの影響を検討するため、1300°C で処理したすべての試料の厚さと 2.1GHz のシールド性について検討したが、厚さと電磁波シールド性に相関はみられなかった。

4. 結 言

- (1) 炭素化した織物は、25dB～38dB の電磁波シールド性があり、シールド材として活用可能であることがわかった。
- (2) 電磁波シールド性と開口率および表面抵抗に相関があることがわかった。

参考文献

- 1) 技術情報協会：“電磁波シールドのメカニズムと材料選定、評価技術”，電磁波吸収・シールド材料の設計、評価技術と最新ノイ対策，2016，p.167.

高圧クーラントを援用した 析出硬化系ステンレス鋼の深穴加工

田村 信* 石川 淳* 須藤 貴裕* 相田 収平*

Deep Drilling of Precipitation Hardening Stainless Steel with High Pressure Coolant

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

1. 緒 言

各産業分野において、部品の精密化・高機能化がますます進んでおり、それに伴い小径・深穴加工のニーズが高まっている。穴加工の方法としては、ドリル加工、放電加工、レーザ加工などがあるが、加工の汎用性、能率、コストなどの面からドリル加工への要求が高い。しかし、直径の 10~20 倍以上の深穴加工は、通常のドリル加工では、加工点の冷却や切り屑排出のためにステップ工程が必要となり、加工能率が低下する。そこで近年、深穴を高能率にドリル加工する方法として、ドリルの内部に設けた穴から刃先にクーラントを吐出する内部給油型ドリルの利用が進んでいる。内部給油ドリルを用いた加工では、刃先の冷却性が向上することに加え、加工穴からの切り屑排出性が向上することで、ノンステップで安定した深穴加工が可能となる。

本研究では深穴加工の高能率化や低コスト化を目的として、航空機部品などで使用される析出硬化系ステンレス鋼に対する直径 4mm、深さ 100mm (L/D25) の深穴加工を対象に、内部給油型ドリルに高圧クーラントを援用した深穴加工技術について、その有効性を検証した。

2. 試験方法

2.1 供試材

析出硬化系ステンレス鋼は耐食性、耐摩耗性、

高強度が要求される航空機材料などとして広く使われている。本研究では、その代表鋼種である SUS630 の中実丸棒（直径 10mm、長さ 105 mm）を使用した。なお、供試材は、固溶化熱処理後（1038℃/AC）、析出硬化熱処理（482℃/AC、H900）を施し、硬さは 44HRC である。

2.2 深穴加工試験方法

加工試験に用いた旋削装置の仕様を表 1 に示

表 1 旋削装置仕様

C 旋 盤	メーカー 型番	(株)滝澤鉄工所 TCN-213J
	最大加工径/長さ(mm)	370 / 301
	主軸回転速度(min ⁻¹)	100~5000
	軸移動量 X/Z(mm)	210 / 370
ト ユ ニ ツ ト	切削送り速度 X/Z(m/min)	0~20 / 0~24
	メーカー 型番	小倉クラッチ(株) OJ150BB37-BF
	最大吐出圧力(MPa)	15
	最大吐出量(L/min)	35

表 2 深穴加工条件

工 具	メーカー 型番	三菱マテリアル(株) MVS0400X25S040
	直径(mm)	4
	溝長(mm)	100.7
	先端角度(°)	140
切 削 条 件	切削速度 V(m/min)	60
	クーラント圧 (MPa)	0.1 (通常圧) 1.5, 7 (高圧)
	送り f(mm/rev)	0.08, 0.24
	クーラント	エマルジョン 10 倍希釈

* 研究開発センター

す。また本研究における深穴加工条件を表 2 に示す。クーラント圧は 0.1MPa, 1.5MPa, 7MPa の 3 水準, 送りは 2 水準として, 高圧クーラントの有効性を検証した。加工試験は同一条件にて 20 穴の加工を行い, 加工後のドリルの状態や加工穴の表面性状, また切り屑形状について評価した。加工試験では直径 4mm, 深さ 8mm のガイド穴を加工した後, 深穴加工を実施した。加工形状を図 1 に, 深穴加工の様子を図 2 示す。

3. 試験結果

3.1 高圧クーラントの優位性

表 3 に加工試験結果を示す。送り $f0.08\text{mm/rev}$ の場合, いずれのクーラント圧においてもドリルは折損せず 20 穴の加工が可能であった。これに対し $f0.24\text{mm/rev}$ の場合, 高圧クーラントを援用した加工条件 (1.5MPa, 7MPa) では 20 穴の加工が可能であったが, 通常のクーラント圧 0.1MPa では 1 穴目でドリルが折損した。

図 3 に切り屑の代表的な形態を示す。通常のクーラント圧 0.1MPa の切り屑はジグザグ形を呈している。これは円錐らせん形になるべきものが, ドリル溝や穴内面の拘束を受けて流出が妨げられ排出しきれずに座屈を起こして折りたたまれたもので, 詰まりの原因になりやすい形態である。それに対し, 高圧クーラントを援用した 7MPa の切り屑は, 長さ 2mm 程度に分断されており, 排出性の良い形態をしている。このことから高圧クーラントを援用することにより切り屑が分断され, 切り屑排出性が高まり, ドリル折損の抑制に有効であることを確認した。

さらに, 加工試験後のドリルの状態を図 4 に示す。切れ刃にはいずれの条件においてもコーティングの剥離が観察された。一方, チゼルエッジには $f0.08\text{mm/rev}$, クーラント圧 0.1MPa において頂部に大きな面積の剥離が観察されるが, 他の条件においては頂部周辺に剥離が観察されるものの, 頂部の剥離は観察されなかった。加工中のチゼルエッジでは, 被削材の塑性変形に

よる除去加工となっており, スラスト方向に大きな圧力が加わることに加え, 高温になるために損傷しやすいが, 高圧クーラントによる冷却によりチゼルエッジ頂部のコーティングの剥離を抑制できたものと考えられる。

これらの結果から高圧クーラントを援用することにより高能率な加工が可能になることを確認した。

3.2 品質評価

穴内面の表面粗さについて, 加工した 20 穴のうち 1 穴目, 5 穴目, 10 穴目, 15 穴目および

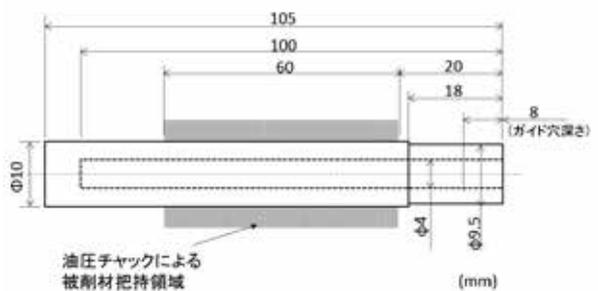


図 1 加工形状

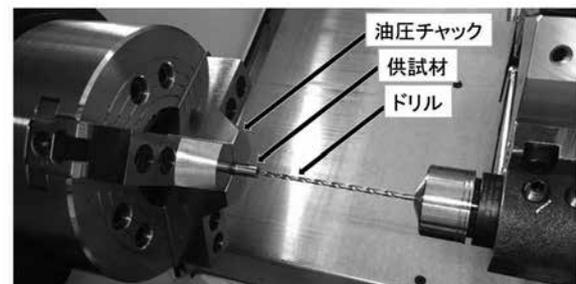


図 2 加工の様子

表 3 加工試験結果

送り	クーラント圧		
	0.1MPa	1.5MPa	7.0MPa
0.24mm/rev	×(1)	○	○
0.08mm/rev	○	○	○

※加工穴数:20(○:20 穴加工完了, X:折損, 折損時穴数)

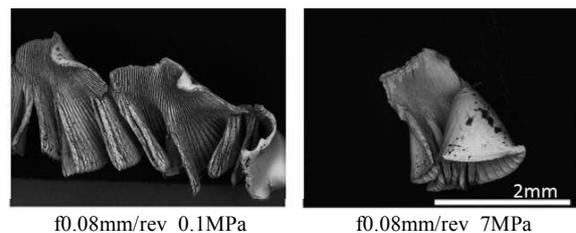


図 3 代表的な切り屑形態

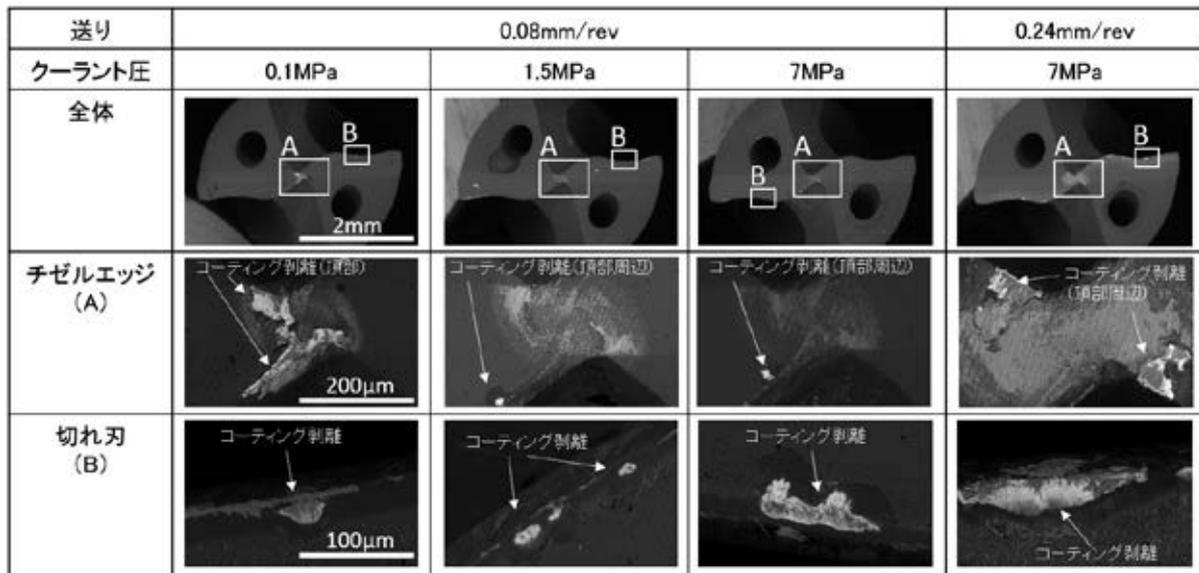


図 4 20 穴加工後のドリル摩耗の状況

20 穴目を抽出して測定した。図 5 に測定した 5 穴の平均値とばらつきを示す。また、図 6 には光学顕微鏡による穴内面の観察写真を示す。いずれの加工条件においても算術平均粗さ Ra が $1.0\mu\text{m}$ 未満の良好な面性状が得られている。しかし、クーラント圧や送りが高いほど表面粗さが悪くなる傾向がある。観察写真からも穴内面には回転方向の傷が観察され、表面粗さ測定結果と同様にクーラント圧が高く、送りが高いほど顕著に観察される。

この原因のひとつとして、クーラント圧が低いときは切り屑がドリル溝に沿って緩やかに押し出されるが、クーラント圧が高くなると分断された切り屑が強制的に速い速度で噴出するため、加工穴内面に擦過痕がついたものと考えられる。

本加工試験では、クーラント圧が高いほど加工面品位が悪化したが、切り屑の流出を滑らかにするようなドリル溝形状や切り屑の大きさをコントロールする切れ刃形状などを検討することで加工面品位を改善できる可能性がある。

4. 結 言

- (1) 内部給油型ドリルを用いた SUS630 の深穴加工において、高压クーラントを援用する

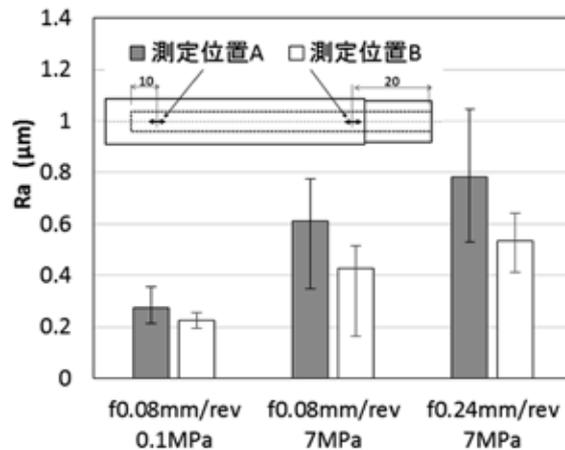


図 5 表面粗さ測定結果 (5 穴の平均値とばらつき)

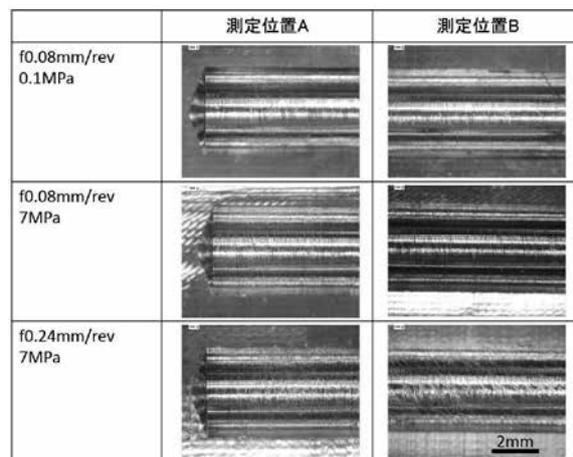


図 6 穴内面の観察写真

ことにより切り屑排出性が高まる。さらに、チゼルエッジの摩耗が抑制される効果があることから、高能率化が可能である。

- (2) 内部給油型ドリルを用いた SUS630 の深穴加工において、高圧クーラントを援用する場合に加工穴内面の表面粗さが悪化する傾向を示すことから、今後、切り屑の流出を

滑らかにするようなドリル形状の検討が必要である。

参考文献

- 1) 切削工具，三菱マテリアル（株），
（2013-2014），p.Q026.

白色 LED の光質の違いが葉菜類の生育に及ぼす影響

種村 竜太* 白川 正登* 馬場 大輔* 永井 智裕* 石井 治彦*

Effect of spectral quality of white LED on growth of leaf vegetables

TANEMURA Ryota*, SHIRAKAWA Masato*, BABA Daisuke*,
NAGAI Tomohiro* and ISHII Haruhiko*

1. 緒 言

完全人工光植物工場で生産された野菜は、無農薬で、洗浄せずにそのまま食べられる、日持ちする、えぐみや苦みが少なく食べやすいなどの特徴があることから¹⁾、消費者や食品加工業者へ浸透している。しかし、植物工場では設備コストや生産コストが高く、照明などの設備コストや電力コストの低減や生産性の向上が求められている。

これまで、植物工場用の光源には蛍光灯が主に使用されてきたが、近年、消費電力が少ないため生産コストの低減が期待できる LED の導入が進んでいる。LED の導入当初は、クロロフィルの光吸収スペクトルのピーク波長である赤色や青色 LED を用いて様々な試験が行われてきた^{2~4)}。その後は一般家庭・店舗への普及により価格が低下傾向にある白色 LED を用いた研究も進んでいる^{5,6)}。白色 LED は、需要が多いために発光効率の向上が年々進んでいる。また、白色 LED 単一素子での制御のため、赤青 LED を使用したケースと比較して光源や制御システムの低コスト化が可能となる。白色 LED については、光質を色温度で表記しているケースが多く、3000K、5000K、6500K でレタスの生育を比較すると 3000K で優れると報告されているが⁶⁾、白色 LED の分光特性は色温度だけでなく演色性によっても異なる。

そこで、本研究では、白色 LED を用いた人工光葉菜類栽培における光質の違いが生育に及

ぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

2.1 光環境条件

育苗時は、光源に昼白色の Hf 蛍光灯（パナソニック(株)、FHF32EX-N-H）を使用し、明期 16 時間、光合成光量子束密度（PPFD） $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、で管理した。定植後はシャープ新潟電子工業（株）の 23w 直管型白色 LED の 3000K 従来品（3K 従来区）、3000K 高演色品（3K 高演色区）、4000K 従来品（4K 従来区）、4000K 高演色品（43K 高演色区）を用いて 16 時間明期で管理した。幅 60cm の栽培装置に白色 LED を 3 本設置し、LED の下面から定植パネル上までの距離は 25cm とした。また、LED 裏面全体と、装置側面の上から 15cm に反射材としてタイベック 700AG（丸和バイオケミカル(株)）を展張した。

2.2 栽培方法

品種は、レタスは‘ハンサムグリーン’（横浜植木）と‘グリーンジャケット’（タキイ種苗）、ミズナは‘京しぐれ’（タキイ種苗）、コマツナは‘わかな小松菜’（中原採種場）を供試した。ウレタンキューブ（2.5cm×2.5cm×3.0cm）に播種し、発芽後は OAT-A 処方 1/4 濃度（EC 0.7dS/m）の培養液により育苗した。播種 14 日後に各 LED が設置してある湛液式水耕栽培装置に定植した。栽植密度は、水耕栽培用パネル（W59cm×L88cm）にレタスは 32 株、

* 下越技術支援センター

ミズナとコマツナは 64 株とした。定植後は植物の吸水による減水分を随時水道水で補充し、2~3 日ごとに EC を 1.4dS/m に調整した。いずれの品目ともに定植時に新たな培養液を作製し、収穫までは更新しなかった。‘ハンサムグリーン’は播種後 40 日、‘グリーンジャケット’は 37 日、‘京みぞれ’は 26 日、‘わかな小松菜’は 30 日で収穫した。収穫した地上部は黄化葉などを取り除いて可食部だけに調整し、重量と最大葉長を測定した。

3. 結果および考察

定植面 64 地点の光強度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) の平均値は、3K 従来区で 221.7, 3K 高演色区で 202.3, 4K 従来区で 221.7, 4K 高演色区で 213.3 であり、従来区と比較して高演色区で低

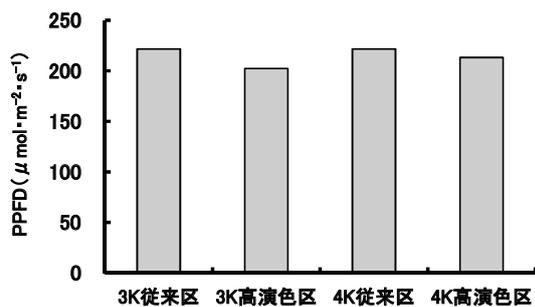


図1 各試験区の光強度

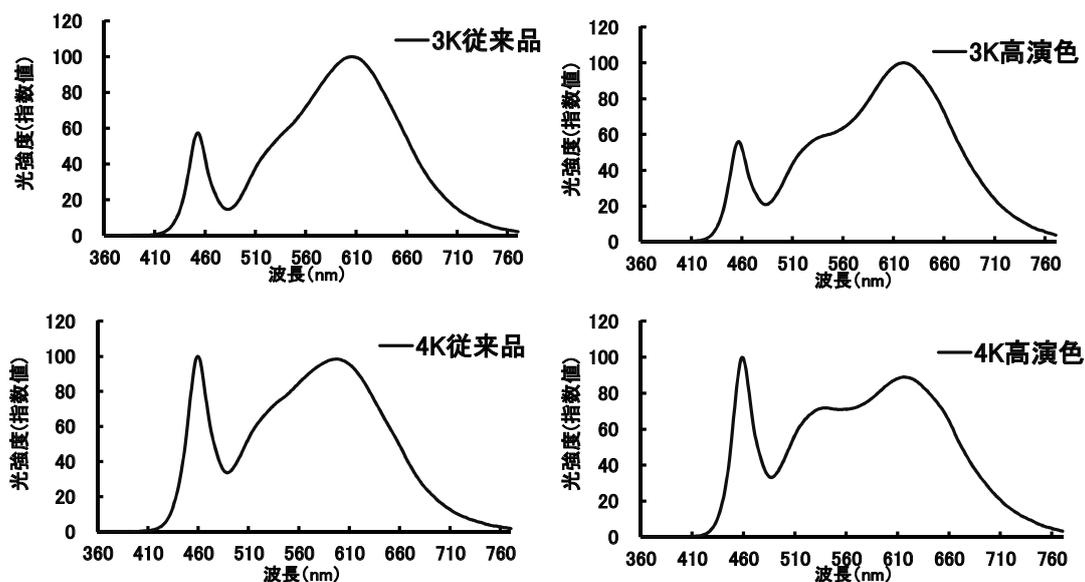


図2 白色 LED の分光特性 (最大強度を 100 とした指数値)

くなる傾向を示した (図 1)。

各 LED のピーク波長は、4K 従来区では 458nm, 4K 高演色区では 459nm で青色域であったのに対し、3K 従来区では 605nm, 3K 高演色区では 620nm で赤色域であった (図 2)。4K 従来区, 4K 高演色区では赤色域におけるピーク波長は 610nm で違いがなかった (図 2)。3000K, 4000K とともに従来品と高演色品で全体に占める 400nm から 500nm までの青色域の比率に差はなかったが、高演色品の方が 500nm から 600nm までの緑・黄色・橙色の領域の比率が減少し、610nm より長波長側の赤色域の比率が高くなっていった (図 2)。

レタスの調整重は、2 品種’ともに 4000K と比較して 3000K で優れていたが、従来品と高演色品での差は見られなかった (図 3)。最大葉長は、2 品種ともに 4000K と比較して 3000K で、従来区と比較して高演色区で長くなる傾向を示した (図 4)。

ミズナの調整重は、4000K と比較して 3000K で、高演色区と比較して従来区で重くなる傾向を示した (図 3)。最大葉長は、4000K と比較して 3000K で若干長くなる傾向を示したが、演色性による違いは見られなかった (図 4)。

コマツナの調整重は、色温度による違いはレ

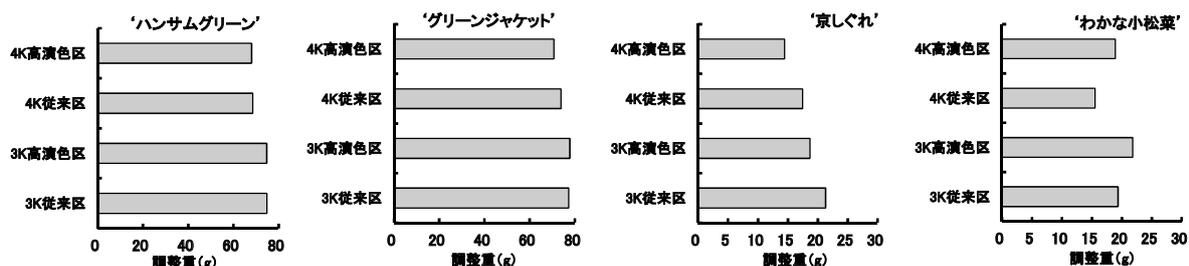


図3 光質の違いが調整重に及ぼす影響

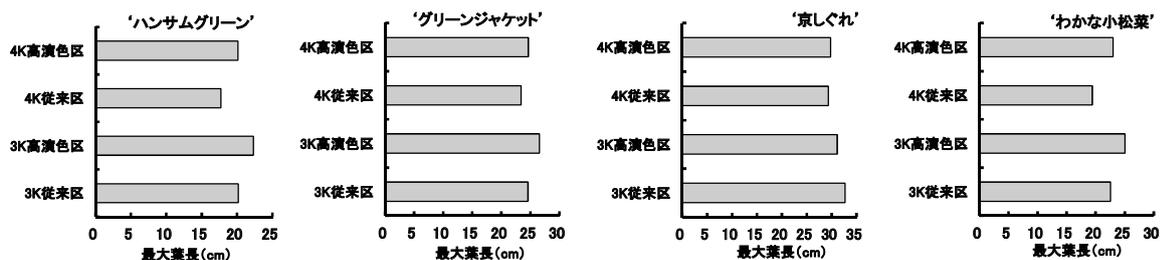


図4 光質の違いが最大葉長に及ぼす影響

タスやミズナと同様に 4000K と比較して 3000K で優れていたが、演色性による傾向は 2 品目とは異なり、従来区と比較して高演色区で優れていた (図 3)。最大葉長は、4000K と比較して 3000K で、従来区と比較して高演色区で長くなる傾向を示した (図 4)。

以上のことから、完全人工光による葉菜類の栽培において、演色性に対する生育応答は品目によって異なると考えられる。色温度については 3000K と 4000K で比較すると赤色域にピーク波長のある 3000K が優れると考えられる。

4. 結 言

- (1) レタス、ミズナ、コマツナの生育を LED の色温度で比較すると 4000K と比較して 3000K で優れる。
- (2) 演色性に対する生育応答は品目によって異なり、コマツナでは演色性の高い光源で生育が優れる。

参考文献

- 1) 高辻正基, “完全人工光植物工場の現状”, 植物環境工学, 22 (1), 2010, pp.2-7.

- 2) 庄司和博, 後藤英司, 橋田慎之介, 後藤文之, 吉原利一, “赤色光と青色光がレッドリーフレタスのアントシアニン蓄積と生合成遺伝子の発現に及ぼす影響”, 植物環境工学, 22 (2), 2010, pp.107-113.
- 3) 松本拓也, 伊藤博通, 白居祐希, 白石斉聖, 宇野雄一, “光質がレタス生長と野菜中硝酸イオン濃度に及ぼす影響”, 植物環境工学, 22 (3), 2010, pp.140-147.
- 4) 大嶋泰平, 大橋敬子, 大野英一, 渡邊博之, “レッドリーフレタス生産に適した赤色と青色発光ダイオードの光混合条件の検討”, 植物環境工学, 27 (1), 2015, pp.24-32.
- 5) 白井花菜, 梶川幸治, 野末はつみ, 五味正男, 野末雅之, “分光分布の異なる白色 LED の植物育成效果”, 日本生物環境工学会 2016 年大会 講演論文要旨, 2016, pp.40-41.
- 6) 種村竜太, 内山雅彦, 三村和弘, 小林豊, “光質の違いがリーフレタスの生育・品質に及ぼす影響”, 新潟工技総研研報, 43, 2014, pp.35-37.

次世代型二次電池の集電体孔加工における インライン化を可能にするレーザ量産加工機の開発 － 抵抗値試験による孔加工集電箔の評価 －

林 成実*** 中部 昇* 櫻井 貴文* 長谷川 直樹** 本多 章作** 中川 昌幸** 佐藤 健*

Development of In-line Laser Processing Machine for Micropored Current Collector Foil.
- Evaluation of Electric Resistance of Punching Foil -

HAYASHI Narumi***, NAKABE Noboru*, SAKURAI Takafumi*, HASEGAWA Naoki**,
HONDA Syosaku**, NAKAGAWA Masayuki** and SATO Takeshi*

1. 緒 言

リチウムイオンキャパシタ (LIC) は、リチウムイオンバッテリー (LIB) の負極と電気二重層キャパシタ (EDLC) の正極をハイブリッド化した新しい大容量蓄電デバイスであり、負極材にリチウムをドーピングするため集電体に孔加工が施されている。現行の集電体用金属箔 (Cu, Al) は、直径100~300 μm の貫通孔がロールプレスやエッチングにより加工されているが、高性能化するためには直径100 μm 以下の孔加工が必要である。また需要拡大に伴い、より生産能力を高め、孔径や配置などのパターン変更にも対応できる製造方法の確立が必要である。

そこで本研究では、LIC集電体の孔加工をインラインで高速に加工を行うことができるレーザ高速多孔加工機の開発を行うとともに、開発したレーザ加工技術により、孔径、開口率のパラメータを検討するためLICをアッセンブリして性能試験を行ない、高性能な新規集電体を製造する加工条件の確立を図った。

本報告では、孔加工集電箔の孔径および開口率の違いによるプレドープへの影響を確認する

* 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

ため、電気抵抗値評価試験を実施した結果を報告する。

2. 電気抵抗値評価試験

一般に、蓄電デバイスにおける抵抗値評価にはインピーダンス測定を行うが、簡易的な試験方法として抵抗値評価試験を実施した。評価サンプルの構成を図1に示す。1枚の孔加工集電体の両側を紙系セパレータおよび金属リチウムで挟み、2032型コインセルに組み上げた。セル内を電解液で満たし、リチウムイオンリッチ

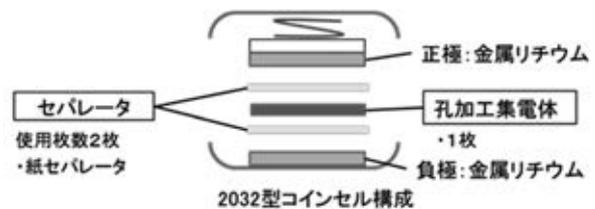


図1 抵抗値評価サンプル構成

表1 抵抗値評価試験条件

集電箔	圧延銅箔 t 10 μm	
孔加工集電体	孔径	4,8,17,30,40,50,100 μm
	開口率	1, 5, 10%
	使用枚数	1枚
正極・負極 (ϕ 15mm)	金属リチウム	
セパレータ (ϕ 16mm)	紙系セパレータ	
電解液	1M LiPF ₆ (EC:DMC 1:1 vol%)	
サンプル数	n = 5	

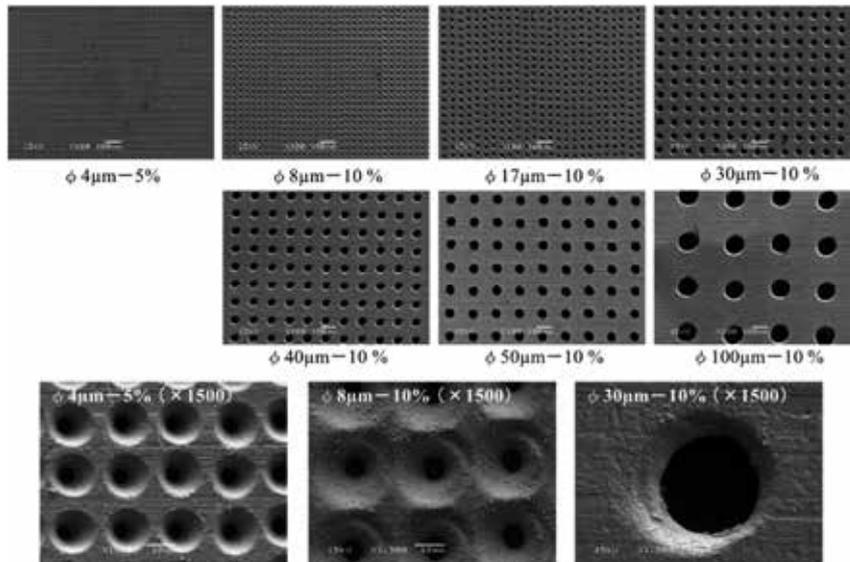


図2 孔加工集電箔サンプルのSEM表面観察写真

な状態にした。この構成により、集電体以外の抵抗を低減することができると考えられる。孔加工集電体の孔径，開口率をパラメータとした試験条件を表1に示す。孔径は4~100 μm の7条件，開口率は1~10%の3条件とし，各条件についてサンプル数は5試料とした。孔加工集電箔サンプルのSEM表面観察写真を図2に示す。抵抗値測定は，日置電機（株）製バッテリーハイテスタBT3562を用い，測定ソース周波数1kHzで行った。

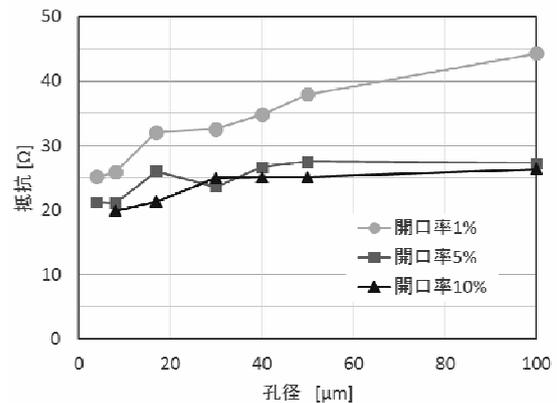


図3 孔径に対する抵抗値の変化

3. 孔径，開口率の違いによる抵抗値の傾向

各開口率における，孔径に対する抵抗値の変化を図3に示す。孔径4~100 μm の場合開口率5%と10%では同程度の抵抗値を示し，孔径4 μm ，開口率1%と孔径50 μm ，開口率10%のサンプルにおいては，ほぼ同じ抵抗値を示した。集電箔のない（blank）時の抵抗値は約20 Ω であることから，孔径8 μm 以下，開口率5%以上で微細孔加工を行うことで，ほぼblankに近い低抵抗値を得ることができた。また，これらの結果は本事業で実施したプレドープ試験においても同様な傾向が得られており，本評価方法は電池性能を簡易的に評価するうえで有効であると考えられる。

4. 結 言

- (1) 電気抵抗値評価試験の結果，孔径8 μm 以下，開口率5%以上の微細孔加工を行うことで低抵抗値を得ることができる。
- (2) 本研究で実施した電気抵抗値評価試験は電池性能を簡易的に評価する手段として有効な試験である。

なお，本研究は，平成26~28年度経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業で実施したものである。

参考文献

- 1) 富士重工業，蓄電デバイス，特開2011-210995。

次世代型二次電池の集電体孔加工における インライン化を可能にするレーザー量産加工機の開発 —たわみ修正機構の開発—

中川 昌幸* 中部 昇** 櫻井 貴文** 長谷川 直樹* 本多 章作* 林 成実*** 佐藤 健**

Development of In-line Laser Processing Machine for Micropored Current Collector Foil.
-Development of the Equipment for Leveling Deformed Metal Foil.-

NAKAGAWA Masayuki*, NAKABE Noboru**, SAKURAI Takafumi**, HASEGAWA Naoki*,
HONDA Syosaku*, HAYASHI Narumi*** and SATO Takeshi**

1. 緒 言

リチウムイオンキャパシタ（以下 LIC）の電極の集電体において正極には Al，負極には Cu の孔開き箔が用いられる。これは，LIC の負極に Li イオンをドーピングさせる際に，孔開き電極を用いることで，積層された電極とセパレータ間を Li イオンが通過する経路を持たせ，効率的に Li イオンドーピングを行うためである。また，2 次的な効果として，電解液，電極の局所的な分布を緩和し，局所劣化を抑制する効果が期待される。この集電箔の孔加工は，主にエッチングにより行われるが，通常 100 μm 以上の孔径となる。一方で，この孔径が小さいほど Li イオンドーピングの効率が良く，10 μm 以下で最大値をとるとい報告¹⁾がされている。また，著者らは，コインセルにおいて孔径 5 μm ～20 μm の同一開口率の集電箔を用いて抵抗値試験を行った結果，最も孔径の小さい 5 μm における抵抗値が最も低くなり，従来の孔開きエッチング箔よりもさらに小さい孔加工を行うことで，高性能化できる可能性を示した。このような孔加工は現段階において，短パルスレーザー加工以外に量産可能な方法は見当たらない。しかし，こ

のような微細孔を一定の開口率で加工する場合，孔径が小さいほど加工孔数は多くなり，レーザー加工においてはショット数が多くなるため，単位面積あたりの加工速度が遅くなる。加工速度を上げるためには，貫通孔加工における 1 ショットのレーザーエネルギーを上げ，レーザーショット数を減らす必要がある。しかし，これは短パルスレーザーの利点であるアブレーション加工から熱加工に遷移する方向となり，加工による熱により，厚み 10 μm 程度の金属箔はシワ，たわみが顕著となる。そこで，本研究ではシワ，たわみが生じた金属箔を平坦化することを目的に，コイル材の矯正加工に用いられるレベル加工を参考にし，より細かい楕円形状の噛み合わせの間に金属箔を通すことによって平坦化させる方法を発案し，ロールトゥロールで加工する装置に組み込み，実証実験を行った。

2. 加工ラインにおけるたわみ修正

集電箔のレーザー微細孔加工装置において，たわみ修正機構を図 1 の位置へ組み込んだ。金属箔をコイル材から送り出し，位置決めなどを行ってレーザー加工部により高速微細孔加工を行い，その後，加工熱によるたわみをたわみ修正部で平坦化する。

* 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

3. たわみ修正検討結果

3.1 たわみ修正実験

本研究で扱う金属箔は、厚みが $10\mu\text{m}$ 程度と非常に薄いため、レベラーで用いるローラーの噛み合わせではなく、微小な楕円形状の噛み合わせとした。そしてこの楕円形状表面に摺動性を持たせるため超音波振動を適用した。図 2 にたわみ修正基礎実験の模式図を示す。箔を上下から挟み込むようにして楕円形状を噛み合わせ、ワーク送りの摩擦抵抗を低減するため、上側の楕円を超音波により共振させた。テスト加工の

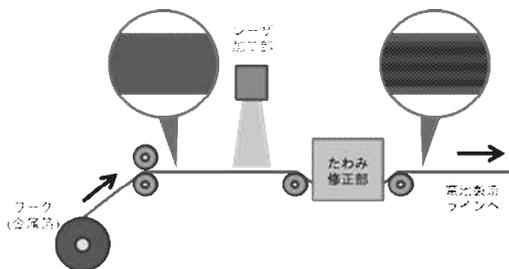


図 1 開発したレーザー微細孔加工装置

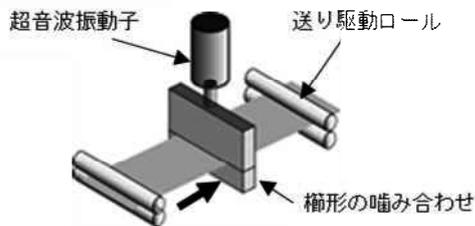


図 2 たわみ修正実験の模式図



(a) 修正前



(b) 修正後

図 3 たわみ修正加工の例

一例を図 3 に示す。(a)がレーザー加工後のたわみ修正前、(b)がたわみ修正後の状態である。

3.2 開発装置への展開

本研究のたわみ修正機構を、開発したレーザー微細孔加工装置に設置し、たわみ修正加工を行った。その様子を図 4 に示す。レーザー加工後に生じたシワ、たわみは、たわみ修正機構を通過する際に平坦化されることが確認された。

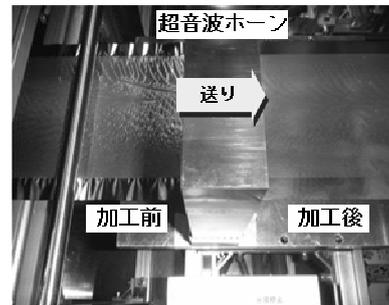


図 4 開発装置におけるたわみ修正加工

4. 結 言

- (1) 集電箔のレーザー微細孔加工により、加工熱で生ずるシワ、たわみを修正する方法として、超音波により摺動性を持たせた楕円の噛み合わせの間に金属箔を通し、連続的に繰り返し屈曲変形を加えることでひずみを均一化し平坦化する方法を提案した。
- (2) たわみ修正機構を、レーザー微細孔加工装置に組み込み、レーザー加工によるシワ、たわみが生じた銅箔に対して処理を行い、平坦化効果を確認した。
- (3) 提案したたわみ修正方法は、「金属箔シートの加工装置と加工方法」として特許出願を行った。(特願 2016-160676 号)

なお、本研究は、平成 26~28 年度経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業で実施したものである。

参考文献

- 1) 富士重工業、蓄電デバイス、特開 2011-210995.

超音波を利用した連続屈曲加工による Si 系次世代 LIB 集電箔用ステンレス鋼の疲労強度向上処理法の開発

中川 昌幸* 森田 渉* 林 成実**

Improvement of Fatigue Strength of Work Hardened Austenitic Stainless Foil Achived with Repeated Fully Reversed Bending and Ultrasonic Reducing Friction.

NAKAGAWA Masayuki*, MORITA Wataru* and HAYASHI Narumi**

1. 緒 言

リチウムイオン電池（以下 LIB）において、活物質と金属箔（集電体）を組み合わせた負極が用いられる。次世代型 LIB 負極材料として期待される Si 系材料は従来の黒鉛系電極材よりも高容量化が可能だが、リチウムイオンを吸蔵する充電時には体積膨張が大きく、集電体材料には機械的強度が要求される。このような機械的性質の他、耐食性、コストなど要求を満たす集電体材料としてオーステナイトステンレス SUS304 箔が検討されている。

SUS304 の圧延箔は、0.1mm 程度以下の厚みに薄肉化すると加工硬化が顕著となり、引張強さ 1000MPa 以上、HV450 程度まで機械的性質が向上する。一方、伸びが数%と延性が著しく低下するため、疲労起点が生じやすいと考えられる。ひずみ緩和のためには、焼きなましを用いる方法が一般的だが、伸びは大きく改善する反面、加工硬化による強度や硬さが損なわれるうえ、製造コスト高となる。

過去の研究^{1), 2)}で t0.1mm の SUS304 圧延箔の表面に超音波キャビテーションピーニング処理を行うと微小エリアのひずみ緩和により表面の硬さがわずかに低下し、結果として疲労特性が改善した。しかし、表面ピーニングでは表面のダメージも同時に起こり、薄い箔には適さな

い。本研究では、加工によるひずみ緩和法として、矯正加工のひとつであるレベラー加工のように、細かい楕円形状の噛み合わせの間に SUS 箔を通し、繰り返し連続屈曲させる方法を試みた。

2. 供試材および実験方法

供試材は SUS304 の板厚 0.1mm 圧延板を用いた。図 1 に実験装置の概略を示す。シート状のサンプルをロールで送り、楕円の噛み合わせの間を通る際に材料は連続的に繰り返し曲げ加工を受ける。噛み合わせとワーク間の摩擦低減のために、一方の楕円を 19.5kHz の超音波により共振させた。

この加工による機械的性質の変化について引張試験を行った。また、引張疲労試験により、疲労特性改善について評価した。さらに疲労試験の破断部亀裂付近の電子後方散乱回折法による解析を行い、微視組織の変化を調べた。

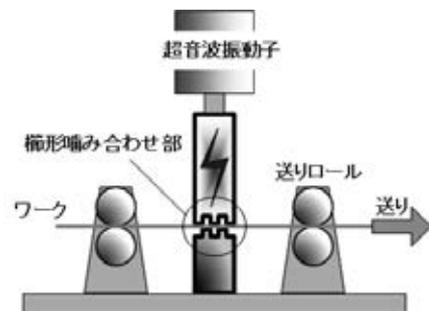


図 1 実験装置の概略

* 下越技術支援センター

** 中越技術支援センター

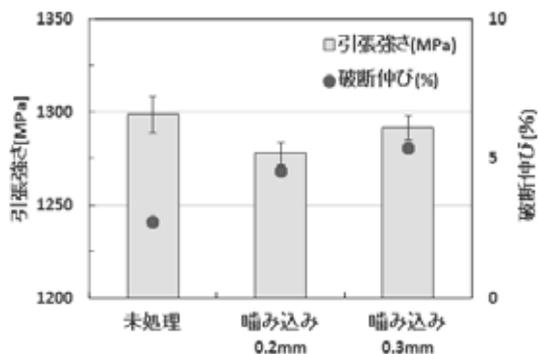


図2 引張試験結果

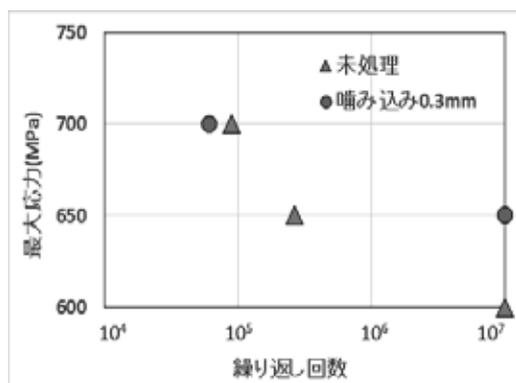


図3 引張疲労試験結果

3. 結果と考察

図2に連続屈曲加工前後の引張試験の結果を示す。加工により引張強さは1%程度低下したが、伸びは1.5~2倍に向上し、延性回復の傾向が確認された。図3に引張疲労試験の結果を示す。加えた応力波形は37.5MPa~最大応力の正弦波とし、未破断の場合は 10^7 回で終了した。最大応力650MPaのとき、未処理では 3×10^5 回で破断したが連続屈曲加工により 10^7 回まで破断しなかった。加工を行ったサンプルにおいて最大応力700MPaの条件で 6×10^4 回で破断した破断面近傍の亀裂周辺をSEM観察し、EBSD解析を行った。その結果を図4(a)SEM(BEI)、(b)EBSD(IPF MAP)にそれぞれ示す。破断部付近には結晶粒サイズより微細な粒子が多数みられ、サブストラクチャー形成が確認できる。疲労試験時に亀裂周辺に生じたこのような構造によりひずみ緩和が行われたのではないかと考えられる。

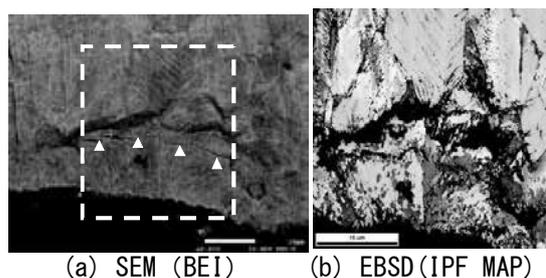


図4 亀裂周辺のSEM観察, EBSD解析

4. 結 言

- (1) 厚さ0.1mmのSUS304圧延板に連続屈曲加工を行うことにより、引張試験における伸びの向上、硬さの低下が確認され、圧延により導入された局所ひずみが緩和されたと考えられる。
- (2) 引張疲労試験において、未処理では 3×10^5 回で破断した最大応力650MPaの条件で、連続屈曲加工を行うことにより、 10^7 回まで破断せず、疲労特性改善の効果が認められた。
- (3) 連続屈曲加工後の疲労試験で破断した破断面近傍の亀裂付近をEBSD解析したところ、サブストラクチャー形成が確認された。これが亀裂周辺のひずみ緩和に寄与しているのではないかと考えられる。

なお、本研究は、H28年度科学技術振興機構JST マッチングプランナープログラム(企業ニーズ解決試験)事業の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 小平, 中川ほか, “オーステナイト系ステンレス鋼 薄板に対する超音波キャビテーションピーニング”, 日本金属学会講演大会概要, 2011.
- 2) 中川, 林, “超音波キャビテーション処理により形成される表面加工層の評価法に関する研究” 工業技術研究報告書, No.42, 2013, pp.79-82.

実験では、ファンクションジェネレータ AD8624A（株）エー・アンド・デイ）を使用した。励起電極によって励起され、検出電極からくる電流信号は、励起電極と検出電極間で形成されるコンデンサによって位相が 90° 進む。

2.2 電流電圧変換

図 2 の中で、電流電圧変換はオペアンプ OPA627（Burr Brown）で行われる。検出電極からきた信号はここで電圧に変換される。OPA627 は低ノイズオペアンプであり、数 μA の微弱な電流を数 V の電圧に変換する。増幅率は端子 2 と 6 の間で選択される抵抗値によって決まる。2 つのトランジスタ 2SC1815 は OPA627 に対する保護である。この要素では、電圧の位相が少し遅れる。

2.3 乗算

ロックインアンプの乗算には AD630（Analog Devices）を使用した。検出電極からの信号と参照信号を乗算する。この要素によって、参照信号と同期する成分のみが高感度で検出される。このとき検出電極からきた信号は、検出電極のコンデンサとオペアンプによって位相が進められているが、参照信号と検出電極からの信号との位相関係は不定であり、そのままでは位相同期しない。位相がずれた状態で乗算しても、高

感度検出が実現しないため、位相補償回路で位相を揃える必要がある。位相補償回路については後述する。

2.4 ローパスフィルタ

その後、ローパスフィルタによって検出電極からの信号を直流成分に変換する。コンデンサを切り替えることによってカットオフ周波数を変えることができる。

次段のオペアンプ OPA627 はフィルタを通った信号の正帰還増幅回路である。端子 2, 6 間のスイッチを閉じると増幅を行わない。

2.5 位相補償

ロックインアンプの感度を最大化させるために位相補償を付加した。この位相補償は、広い周波数に渡って位相を移すことが可能であるうえ、少ない部品点数で構成される。

位相補償は信号立ち上がり位相の調整回路と信号立ち上がりを用いた矩形波発生回路からなる。位相の調整回路は、参照信号発生器で発生させた三角波の参照信号と可変抵抗で設定した電圧をオペアンプで比較することによって立ち上がり位相を移す。矩形波発生回路で立ち上がりに同期したデューティ比 50% の矩形波を発生させることで位相が移される。

図 2 中の CD4046BE（Texas Instruments）は

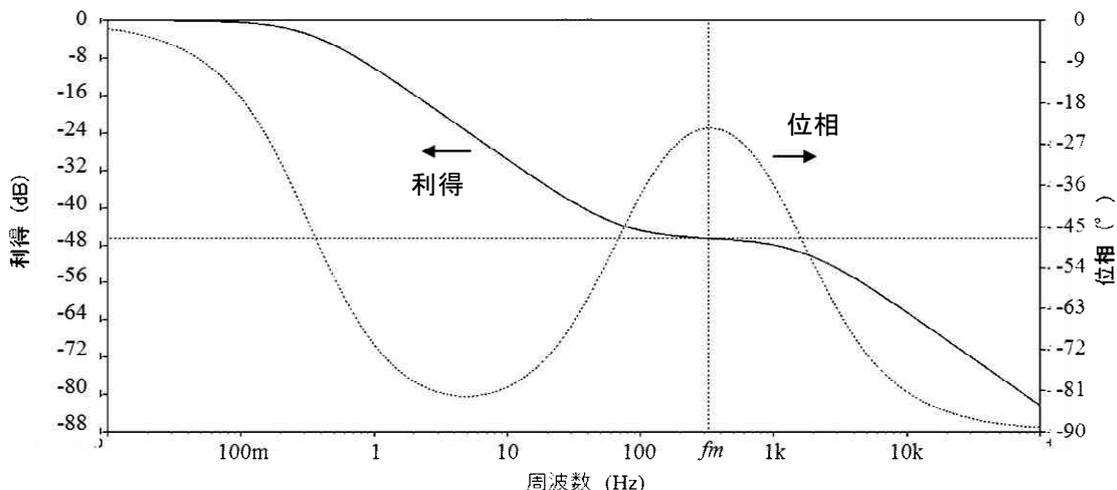


図 3 パッシブラグリードフィルタのボーデ線図

PLL（位相同期回路：Phase Locked Loop）IC であり、信号の立ち上がりに同期した矩形信号を発生させる。

CD4046BE の端子 13 と端子 9 間にはループフィルタが接続される。ループフィルタは PLL の発振を安定させるために重要である。ループフィルタは、位相差に比例する周期信号にローパスフィルタをかけ、電圧に比例した周波数を発生させる端子 9 に安定した直流電圧を供給する役目を果たす。位相差に関連する端子 13 は参照信号に相当する周期で変動する。通常ローパスフィルタは位相遅れを生じるが、位相遅れを、引き込み周波数で少なくするパッシブラグリードフィルタを用いることで、位相余裕を生み出し、引き込み特性を改善させることができる³⁾。

図 3 は今回設計したパッシブラグリードフィルタのボード線図である。 f_m は位相遅れが極小になる周波数である。回路シミュレータ LT Spice のシミュレーションに基づいて素子を選択した。

3. 結 果

図 4 にローパスフィルタをかける前のロックインアンプの出力波形を示す。測定は 350kHz の三角波を 2pF のコンデンサに通して入力側の OPA627 の端子 2 に入力した信号を AD630 の端子 13 を通してオシロスコープで観察した画像である。参照信号はコンデンサに印加した 350kHz の三角波を用いた。このとき、図 2 の 20k Ω の可変抵抗と DPDT Switch を用いて位相の調整を行った。

参照信号と入力信号の位相が揃っていない場合、乗算された波形のうち連続する 2 つの山の

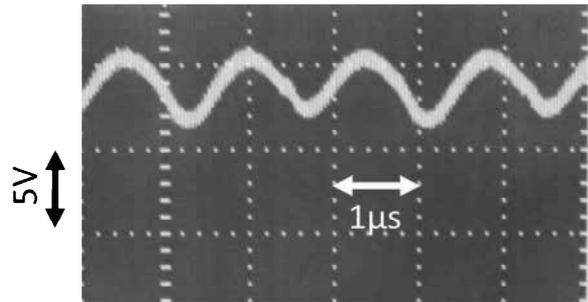


図 4 ローパスフィルタをかける前のロックインアンプの出力波形

高さは揃わないが、図 4 の波形は連続する 2 つの山の高さが揃い、あたかも 1 つの波形の様に見えることから位相補償が正常に行こなわれていることが確認できる。

4. 結 言

- (1) 施設園芸栽培における養液管理に適用が可能な養液成分分析装置を試作するため、ロックインアンプを試作した。
- (2) 試作したロックインアンプに広い範囲に渡って位相補償可能な回路を付加した。
- (3) 試作したロックアンプは 350kHz で位相補償が可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 宮口, 佐藤, 齋藤, 天城, “イオン濃度分析装置”, 特開 2016-148624.
- 2) S. K. Sengupta, et.al, “A Simple Low-Cost Lock-In Amplifier for the Laboratory”, Journal of Chemical Education, Vol. 82, No. 9, 2005, pp. 1399-1401.
- 3) 遠坂俊昭, PLL 回路の設計と応用, CQ 出版(株), 2003.

微細 3D 造形に関する研究

山田 敏浩* 宮口 孝司* 樋口 智* 天城 和哉*

Study on Fabrication of Microstructures

YAMADA Toshihiro*, MIYAGUCHI Takashi*, HIGUCHI Satoru* and AMAKI Kazuya*

1. 緒 言

石英ガラス製の光学部品は、光学機器、ディスプレイ装置など様々な分野に用いられており、機器の高性能化に伴いレンズについても微細化、高精度化が求められている。石英ガラスは、型による成形も行われるが、成形温度が 1000°C を超えるため、成形型には耐熱性の高い難加工材料を用いる必要があり、型加工は容易ではない。

本研究では、フォトリソグラフィ技術を用いたリフロー法と、型を用いたインプリント法により、レンズ形状の樹脂を石英ガラス上に形成し、その後、ドライエッチングを行い、石英ガラス製のレンズを作製する方法について検討したので、その結果について報告する。

2. 実験

2.1 リフロー法によるレンズパターン形成

フォトレジスト OFPR8600LB（東京応化工業(株)）を用いてレンズ形状を作製した。作製工程を図 1 に示す。

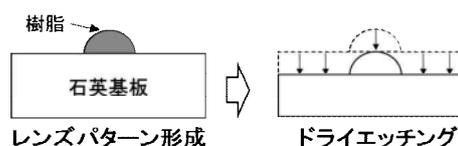
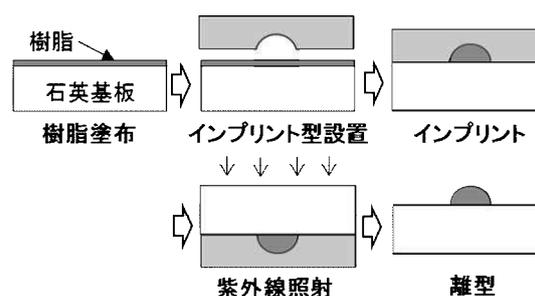
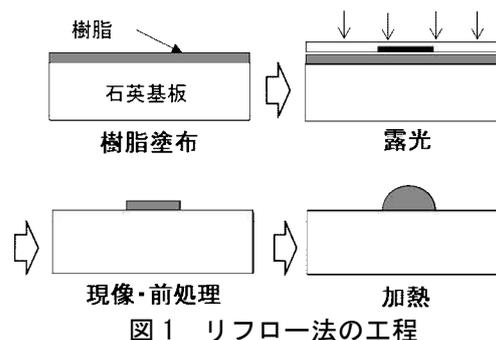
石英ガラスにスピナーを用いてレジストを塗布し、次にフォトマスクを用いてレジストを円盤状にパターニングを行った。その後曲率半径に応じた処理を加えた後、210°C に設定したホットプレート上で 5min 加熱した。

レンズ形状は球面とした。曲率半径の調整は、レジストの膜厚調整により行った。膜厚を厚くすることで曲率半径を小さく、膜厚を薄くする

ことで曲率半径を大きくすることができる。

2.2 インプリント法によるレンズパターン形成

紫外線硬化樹脂 PAK01（東洋合成工業(株)）を用いてレンズ形状を作製した。作製工程を図 2 に示す。



* 研究開発センター
レーザー・ナノテク研究室

石英ガラスにスピナーを用いて樹脂を塗布し、次にインプリント装置によりインプリントを行った後、紫外線を照射し、レジストを硬化させた。

インプリント型は、リフロー法により、レジストで作製したレンズパターンを Ni 電鍍により転写して作製した。

2.3 ドライエッチングによるレンズ形状の作製

リフロー法により OFPR8600LB で作製したレンズパターンにドライエッチングを行い、石英ガラスをレンズ形状に加工した。工程を図 3 に示す。

ドライエッチングには住友精密工業（株）製 Multiplex ASE-HR を使用した。

3. 結果

3.1 リフロー法によるレンズパターン形成

リフロー法でレジストを用いて作製したレンズパターンの写真を図 4 に、断面形状を図 5 に示す。欠陥のほとんどない表面が得られており、断面についても円へのフィッティングは良好であった。

レンズパターンの曲率半径については、レジスト塗布時のスピナーの回転数を調整し、膜厚を変えることにより、設定した値とすることができた。

3.2 インプリント法によるレンズパターン形成

インプリントに用いた電鍍型の写真を図 6 に、レジストで作製したレンズパターンの写真を図 7 に示す。電鍍型の断面形状が図 8、作製したレンズパターンの断面形状が図 9 である。電鍍型に対して良好な転写性が得られた。

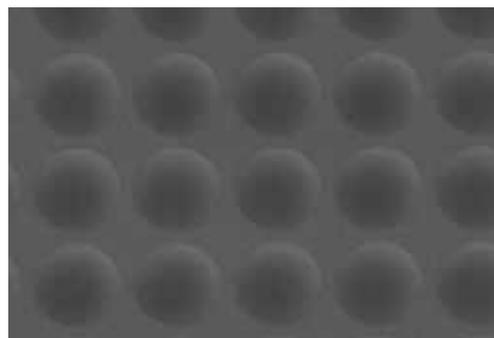


図 4 リフロー法で作製したレンズパターン

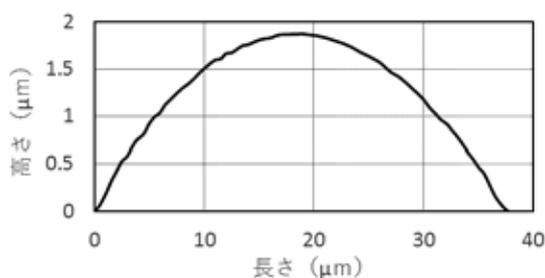


図 5 リフロー法で作製したレンズパターンの断面形状

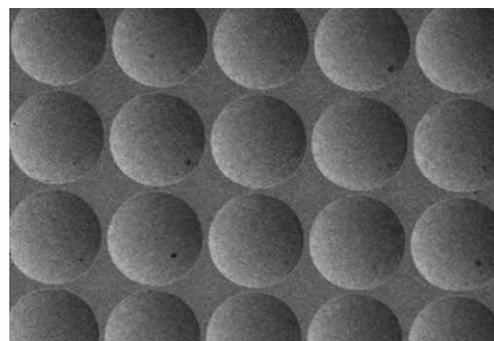


図 6 電鍍型

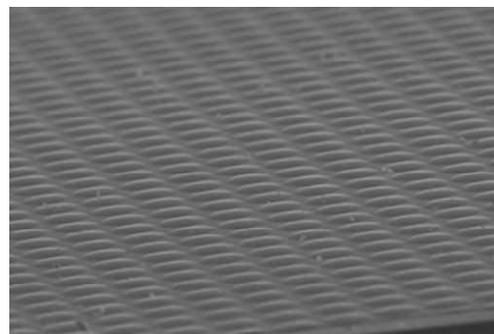


図 7 インプリント法で作製したレンズパターン

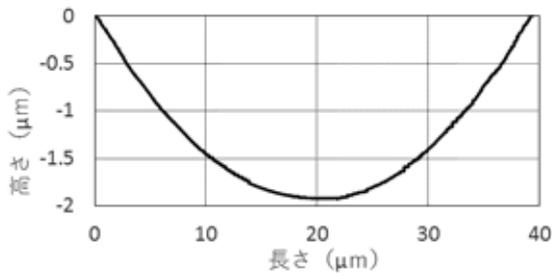


図 8 電鍍型の断面形状

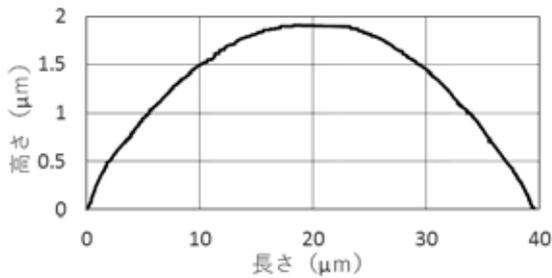


図 9 インプリント法で作製した
レンズパターンの断面形状

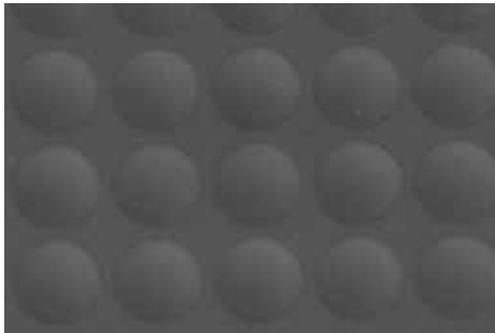


図 10 ドライエッチングで作製した
レンズパターン

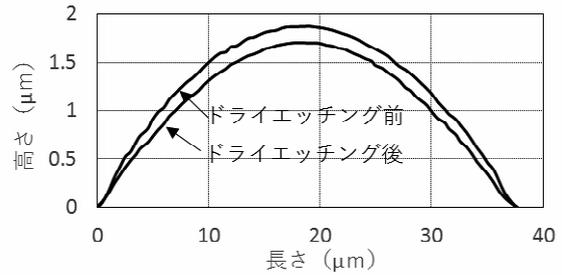


図 11 ドライエッチングで作製した
レンズパターンの断面形状

3.3 ドライエッチングによるレンズ形状の作製

ドライエッチングで作製した石英製レンズパターンの写真を図 10 に、ドライエッチング前後の断面形状を図 11 に示す。

レジストと石英ガラスではエッチングレートが異なるため、レンズ部分の高さが 9%程度減少した。

ドライエッチング前の形状に補正を加えることで、設定したレンズ形状を得ることができる。

4. 結 言

- (1) リフロー法による球面のレンズ形状作製条件を把握した。
- (2) ドライエッチングによるレンズ形状の作製については、レジストと石英ガラスのエッチングレートの違いにより、レンズ部の高さが 9%程度減少した。

参考文献

- 1) 佐藤健, 宮口孝司, “簡易なグレースケールマスクを使用したリフロー法によるマイクロレンズアレイの作製”, 工業技術研究報告書, No.45, 2015, pp.64-67.

920MHz 無線モジュール無線性能評価

石澤 賢太* 牧野 斉* 須田 孝義*

Evaluation of RF Performance of 920MHz Wireless Module

ISHIZAWA Kenta*, MAKINO Hitoshi* and SUDA Takayoshi*

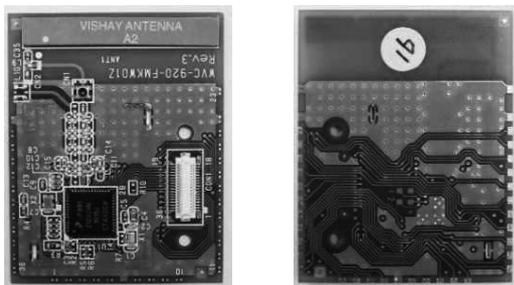
1. 緒言

無線周波数 920 MHz 帯（915MHz～928MHz）を用いる無線通信システムは Wi-SUN（Wireless Smart Utility Network）と称され、2.4GHz 帯を用いる Wi-Fi や ZigBee と比較して、通信エリアが広く、障害物や外乱の影響を受けにくいというメリットがあり、2013 年頃から脚光を浴びている。

本評価では、Wi-SUN 用無線モジュールとセラミックチップアンテナ素子（CCA 素子）を実装した試作プリント基板について無線性能を調べたので、概要を紹介する。また、設計における改善点の考察について併せて報告する。

2. 評価項目および方法

図 1 に示すプリント基板について、次に示す測定を実施した。



(a) アンテナ実装面 (b) 背面

図 1 プリント基板

2.1 電圧定在波比と反射損失

ベクトルネットワークアナライザ（Hewlett Packard 社製 8753E）を使用して、周波数範囲

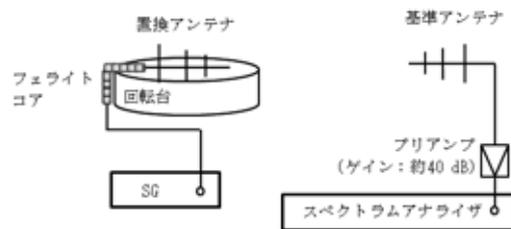
700MHz～950MHz の電圧定在波比（Voltage Standing Wave Ratio : VSWR）と反射損失を測定した。

2.2 アンテナインピーダンス

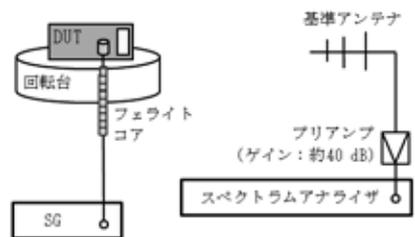
ベクトルネットワークアナライザを使用して、スミスチャートにより周波数範囲 700MHz～950MHz のアンテナインピーダンスの挙動を測定した。

2.3 アンテナ利得

図 2 (a) および (b) に示すアンテナ利得の測定系を電波暗室内に構築し、置換法によりアンテナ利得を測定した。アンテナと被測定物（Device Under Test : DUT）間の距離は 3m とした。図 3 にアンテナ利得評価の様子を示す。



(a) 置換アンテナからの受信電力測定



(b) DUT からの受信電力測定

図 2 アンテナ利得の測定系

* 下越技術支援センター

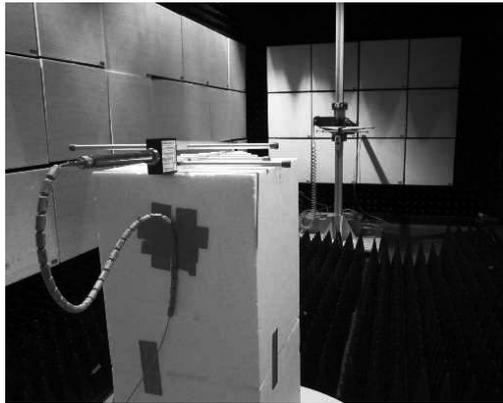


図3 アンテナ利得評価の様子

置換法は、まず図2(a)のように、信号発生器 (Signal Generator : SG) から、アンテナ利得が既知の置換アンテナに対し所定の周波数で基準信号を入力する。この時の受信電力 P1 をスペクトラムアナライザで測定した。続いて、置換アンテナを図2(b)のように DUT に置換し、図2(a)と同条件で基準信号を入力する。指向性が最大となる角度に回転台を合わせた時の受信電力 P2 を測定した。アンテナ利得は、P1 と P2 の差から求めた。なお、SG と DUT 間の同軸ケーブルには、外導体を流れる不平衡電流の影響を低減させるため、フェライトコアを装着した。

2.4 アンテナ放射パターン

図2(b)の測定系でアンテナ放射パターンの測定を行った。SG から所定の周波数で DUT に基準信号を入力し、回転台を 360°回転させ、スペクトラムアナライザで受信電力を測定した。図4のように座標系を定義し、X-Z 面、Y-Z 面、X-Y 面の3面について基準アンテナの水平および垂直偏波を切り換えて測定した。

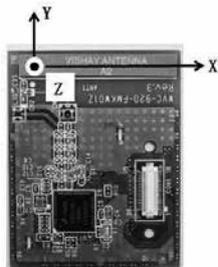


図4 座標系の定義

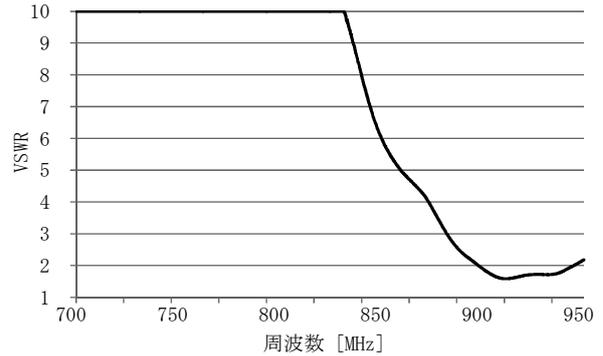


図5 VSWR

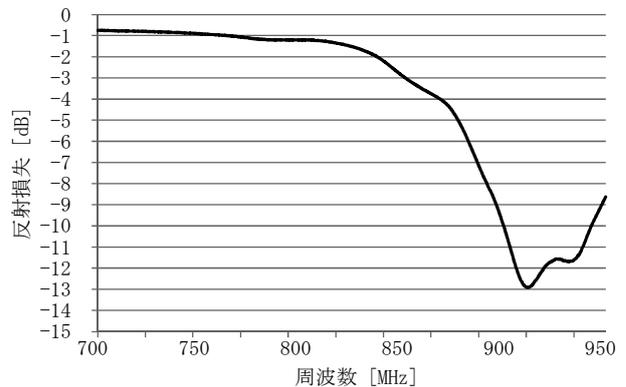


図6 反射損失

3. 評価結果および考察

3.1 VSWR と反射損失

図5に VSWR, 図6に反射損失の評価結果を示す。Wi-SUN の周波数帯域である 915MHz ~ 928MHz において、VSWR は 1.7 以下で反射損失は -11dB 以下であり、おおむね実用上問題のないことが確認できた。ただし、プリント基板が製品の筐体に組み入れられることを想定すると、近接する筐体や金属部品によって、Wi-SUN 信号の波長短縮および高周波結合の影響に留意する必要がある。

3.2 アンテナインピーダンス

図7にアンテナインピーダンスの評価結果をスミスチャートで示す。周波数 915MHz ~ 928MHz において、アンテナインピーダンスの軌跡は実軸近傍にあり実用上問題のないことが確認できたが、前項同様に製品の筐体に組み入れられる際の影響には留意が必要である。

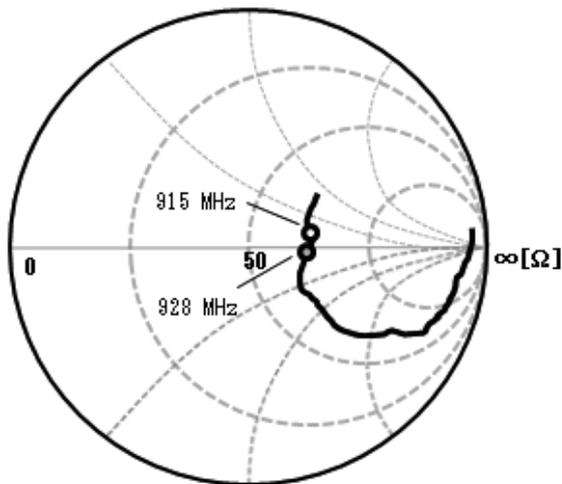


図7 アンテナインピーダンス

3.3 アンテナ利得

アンテナ利得の評価結果は、周波数 915MHz～928MHz において最大でも-5.5dBi であった。CCA 素子のデータシート¹⁾に示されている平均値は 1.73dBi である。これと評価結果は 7 dB 以上差があることから、アンテナを実装しているプリント基板の配線設計に不備があると考えられる。改善すべき事項として、プリント基板の配線設計において CCA 素子と基準グラウンド面までの距離および、CCA 素子への入力パターンの配線形状の最適化が挙げられる。このことにより CCA 素子が、より効率よく動作すると考えられる。

3.4 アンテナ放射パターン

図 8 にアンテナ放射パターンの評価結果の例として、周波数 915MHz における X-Z 面の評価結果を示す。CCA 素子のデータシートに記載されている放射パターンと合致していた。

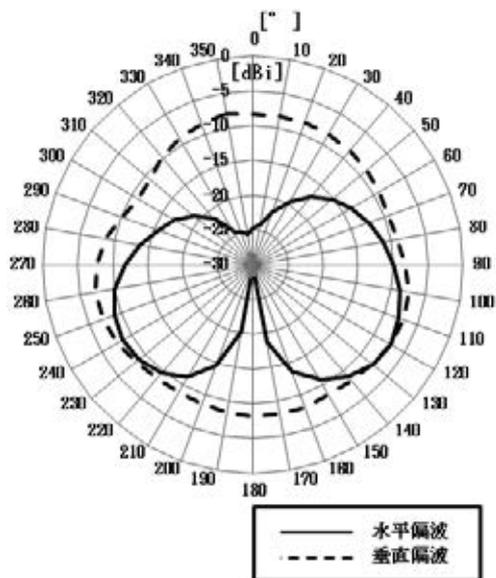


図8 アンテナ放射パターン
(周波数 915MHz, X-Z 面の例)

4. 結 言

- (1) 920MHz 無線モジュールについて VSWR, 反射損失, アンテナインピーダンス, アンテナ利得および, アンテナ放射パターンの無線性能評価を実施した。
- (2) 評価結果から, 設計における無線性能の改善方法について言及することができた。

参考文献

- 1) Vishay Intertechnology, Inc., “Surface Mount Ceramic Chip Antennas for 915 MHz”, *VJ5301M915MXBSR data sheet*, Document Number:45207 Rev.28-Mar-12 (2012), pp. 1-2.

析出硬化型合金鍛造品の内部割れ発生に関する研究

諸橋 春夫* 柳 和彦* 本田 崇* 藤岡 智裕**

Study on Internal Crack Formation of Precipitation Hardening Alloy Forgings.

MOROHASHI Haruo*, YANAGI Kazuhiko*, HONDA Takashi* and FUJIOKA Tomohiro**

1. 緒 言

析出硬化型合金である SUH660 (A286) は、時効処理により γ' 相 ($\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$) が析出し、高温強度が著しく向上する耐熱鋼である。耐熱材料の中では比較的安価であり、700°C程度までの高温強度に優れているため、航空機、ガスタービンなど多様な分野に用いられており、また、常温での強度も高く、主要な用途として新幹線などの車両モーター用保持環などもある。

タンレイ工業(株)では、SUH660 材の熱間リングローリング加工(以下リング鍛造)を行っているが、この加工で作製した鍛造品を超音波探傷検査したところ、内部割れが確認されるケースがあった。

そこで本研究では、内部割れが確認された鍛造品内部の観察および成分分析を行うとともに、空冷時の伝熱と成形時のシミュレーションにより割れ発生の原因を検討した。

2. リング鍛造

本研究では、SUH660 の丸棒を素材とするリング鍛造品を対象とした。リング鍛造の工程は、荒地成形、空冷後の再加熱、リングローリング、熱処理である。その概要を図1に示す。なお、荒地成形前の予熱温度は1080°C、空冷後の再加熱温度は、1100°Cである。

また、熱処理は固溶化処理、時効処理を行っている。その条件を図2に示す。固溶化処理は、

鍛造工程時に析出した炭化物が固溶する 985°C とし、時効処理は高強度が得られる 720°C である。

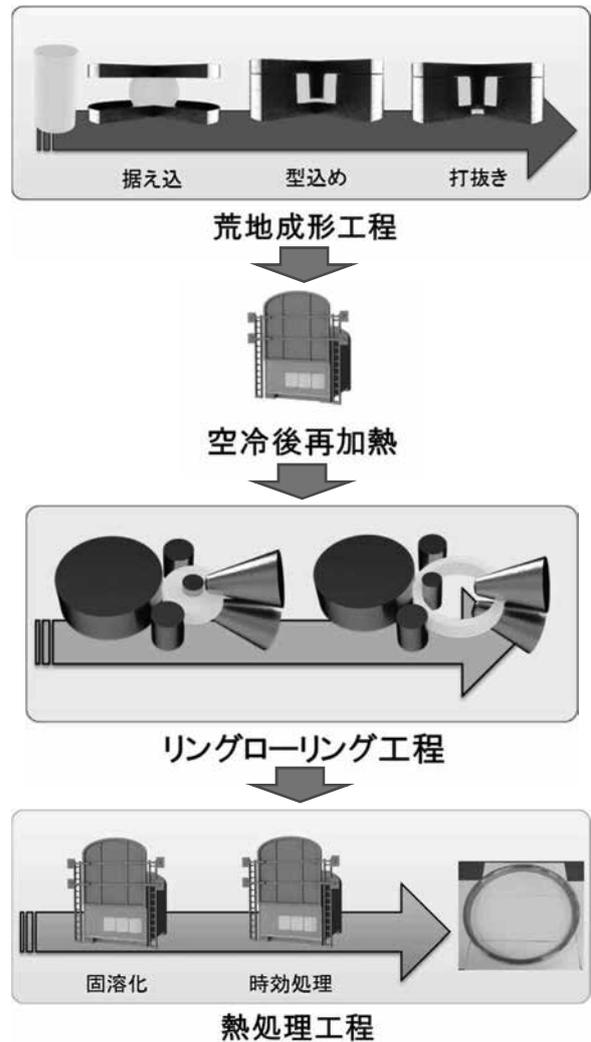


図1 リング鍛造の工程

* 下越技術支援センター

** タンレイ工業株式会社

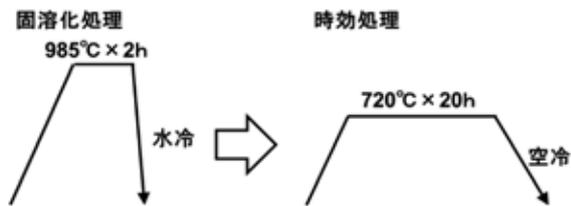


図2 熱処理条件

3. 研究内容および結果

3.1 鍛造品内部の観察および分析

前述の加工条件で得られたリング鍛造品に関して超音波探傷検査を行った結果、リングの幅の中央部にて内部欠陥が検出された。そこで、内部欠陥が検出された鍛造品について、幅および厚さ方向の中央部を異常部、幅の端部かつ厚さ方向の中央部を正常部として切り出し、これらを分析サンプルとした(図3)。

この分析サンプルについて、日本電子(株)製 X線マイクロアナライザーJXA-8100を用いて、走査型電子顕微鏡(SEM)観察および析出物の定性分析を行った。

正常部のSEM観察結果を図4に、異常部のSEM観察結果を図5、6に示す。正常部では割れは確認されなかったが、異常部では内部割れが観察できた。析出物は、正常部と異常部のどちらにも存在していたが、割れ部に析出物が存在している箇所も観察できた(図6)。

また、図7に示されている析出物についてX線マイクロアナライザーによる定性分析を行った。その半定量結果を表1に示す。この結果から構成元素の主成分はC、Tiであり、その存

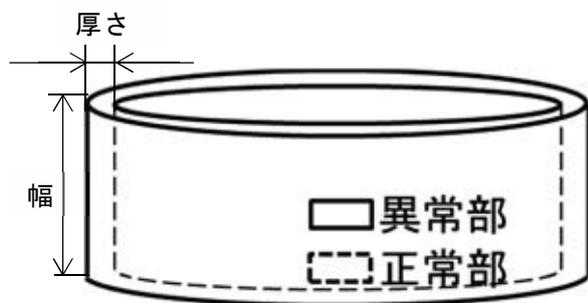


図3 分析サンプル採取位置

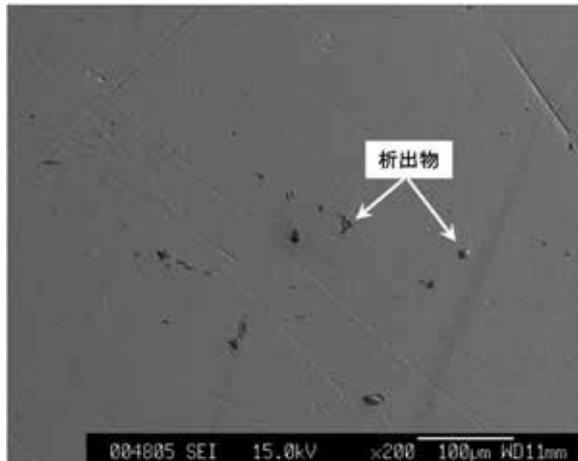


図4 二次電子像(正常部)

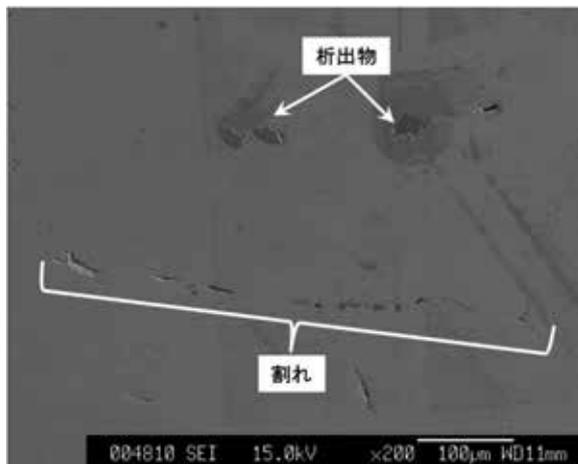


図5 二次電子像(異常部1)

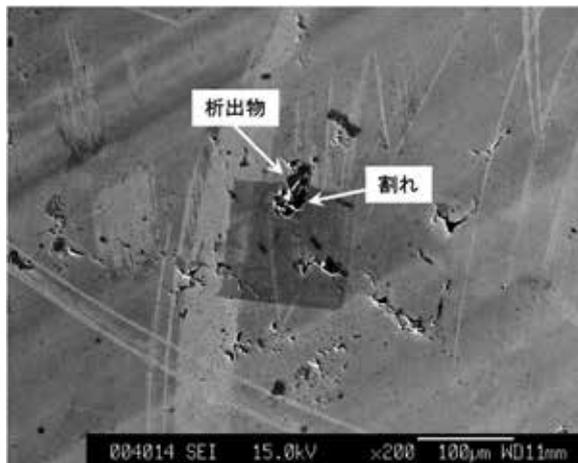


図6 二次電子像(異常部2)

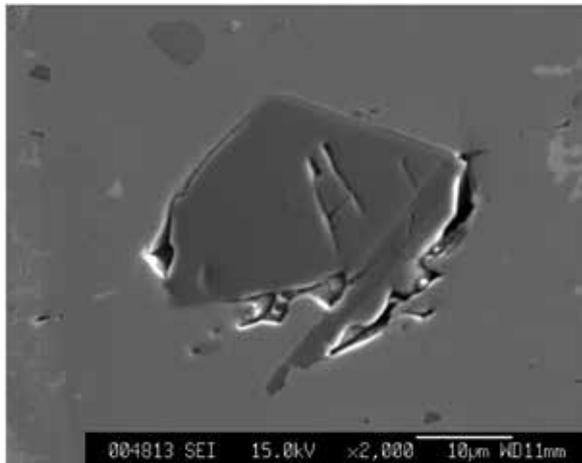


図7 二次電子像（析出物）

表1 析出物の半定量結果

Element	Mass(%)	Atom(%)
C	18.1	48.0
Ti	73.7	49.0
Cr	0.3	0.2
Fe	0.6	0.3
Nb	2.2	0.8
Mo	5.1	1.7
Total	100.0	100.0

在比率が約1:1であることが分かった。以上のことから、析出物の主成分はTiCであると判断される。

3.2 空冷時の温度の評価

3.1節のSEM観察の結果、サンプルには大きな析出物があり、また析出物の周りには空隙が確認できた。空隙は圧延時の変形により生じたものであるから、析出物はリングローリング工程前に析出したものと考えられる。リングローリング工程前にワークが高温となるのは、荒地成形後の空冷と圧延前の再加熱である。特に荒地成形後のワークは厚いため、素材内に発生する温度分布と温度変化は、析出物の生成に影響を与える可能性がある。

そこで、この空冷を模擬した伝熱シミュレ-

ーションを実施してワークの温度の変化を調べた。シミュレーションには、サイバネット（株）製 ANSYS Workbench16.2 を用いた。

シミュレーションモデルを図8に示す。空冷時の状況を模擬して、ワークを載せる SUS310 製パレットとパレットが設置されるコンクリートの床をモデル化した。形状の対称性からワークを1/4とした。また、ワークの配置の対称性から、パレットのサイズを決定した。

ワーク、パレットについては、温度の変化が大きいため、温度依存性を考慮して熱伝導率、比熱を設定したり。図9、10にそれぞれの特性を示す。コンクリートについては、温度の変化が小さいことから、熱伝導率、比熱を一定値とした。熱的特性を表2に示す。

計算の条件を表3に示す²⁾。荒地成形後のワーク内部の温度は均一と仮定して初期値を与え、計算を行った。

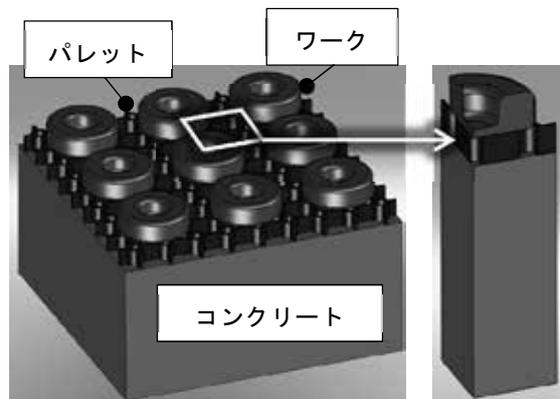


図8 伝熱シミュレーションモデル

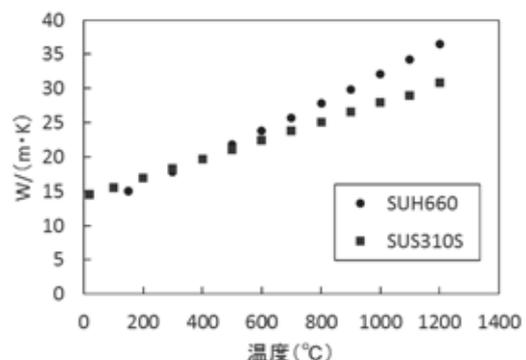


図9 熱伝導率

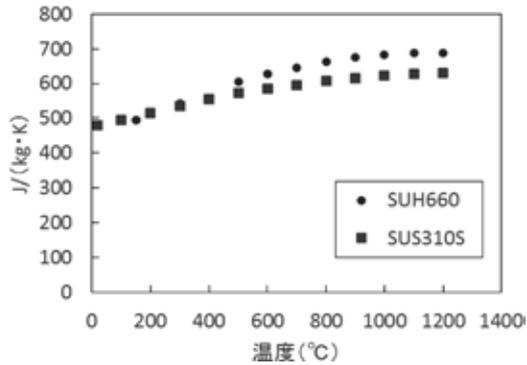


図 10 比熱

表 2 熱的特性

材料名	熱伝導率 (W/(m·K))	比熱 (J/(kg·K))	密度 (kg/m ³)
SUH660	温度依存	温度依存	7940
SUS310S	温度依存	温度依存	7820
コンクリート	1	880	2000

表 3 計算条件

設定条件		設定値
初期温度 (°C)	ワーク	1200
	パレット	22
	コンクリート	22
冷却条件	熱伝達係数 (W/m ²)	10
	周囲温度 (°C)	22
	放射率	0.7

ワーク内の最高および最低温度の点における時間履歴を図 11 に、また約 550 秒、1450 秒における温度分布を図 12(a)(b)に示す。ワークの熱容量は大きく、1400 秒以上の間、680°C以上の温度が保たれていることが確認できた。ここで、析出物による強度の上昇の効果を十分に得るには、時効処理のように 20hr 程度の保持時間が必要である。ただし、加熱初期には急激に硬さが上がることから、空冷と再加熱における時効処理温度を通過する時間において析出がおこっている可能性は十分あると考えられる³⁾。

次に、温度分布に着目すると、時効処理温度

を通過する間、ワーク内には常に温度分布が発生しており、幅中央部の温度は上下端面より 50°C以上高い。これは、中央部ほど時効処理通過時間が長いといえる。再加熱時には中の温度は温まりにくいことから、この場合にも時効処理温度を通過する時間が長くなる。よって、空冷、再加熱ともに、中央部の析出物が成長しやすい状態にあると考えられる。

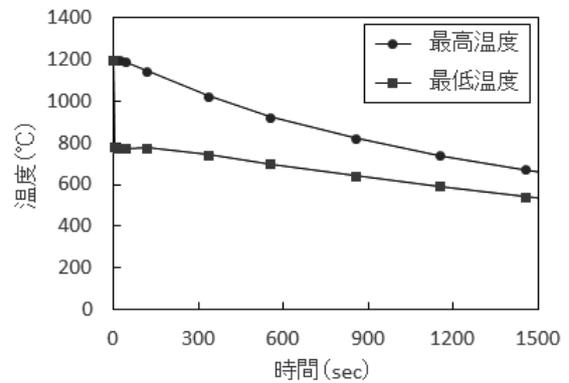
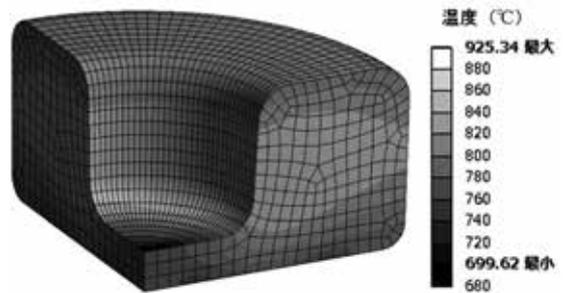


図 11 ワークの温度履歴



(a) タイミング① (約 550 秒)



(b) タイミング② (1450 秒)

図 12 ワークの温度分布

3.3 成形時の応力の評価

3.1 節の観察の結果，正常部，異常部ともに析出物が確認された。ただし，異常部の析出物の周りのみ空隙が発生しており，この空隙が欠陥につながると考えられる。そこで，リング鍛造を模擬した成形シミュレーションを実施して，加工時に発生する応力分布を調べた。

成形シミュレーションモデルを図 13 に示す。圧延時の各治工具は変形の生じない剛体とした。また，SUH660 の高温材料特性は不明であることから，SUS304 の高温特性で代替した。材料特性が異なるため，SUH660 の応力値は計算できないものの，材料が変わっても応力分布の傾向は十分把握できると考えられる。

ここで，圧延で発生する応力の向きに着目すると，拡大される周方向に最も大きな主応力が発生する。また，ワークは回転しながら部分的に圧延される。よって，本研究では，ワークの特定の断面を観察面として，圧延前後のタイミングにて最大主応力の評価を行った。観察のタイミングを図 14(a) に，それぞれのタイミングで観察面に生じる最大主応力を図 14(b)～(d) に示す。

ワークの位置によって応力分布は変化しており，圧延直前のタイミングで異常部に大きな引張応力が発生している。一方，圧延時，主ロール軸通過後には，異常部に引張応力は発生していない。また，図 14(b) より，主ロール軸通過前に発生する引張応力については，位置によって差があり，異常部が最も大きく，正常部に近づく

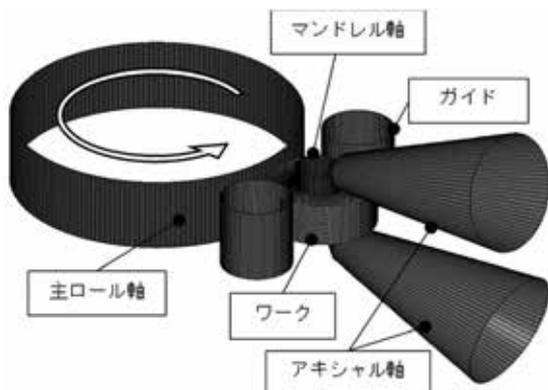
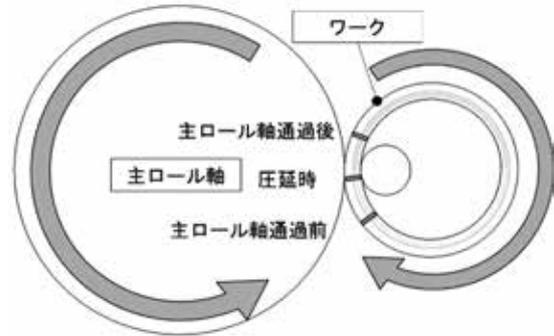
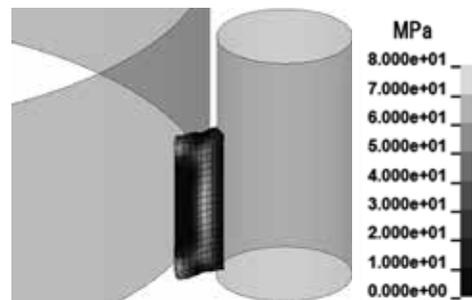


図 13 成形シミュレーションモデル

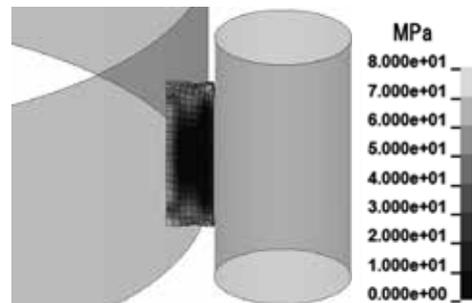
につれ引張応力は小さくなっている。よって，圧延を繰り返すことで，異常部には圧縮と引張が繰り返されることが確認できた。



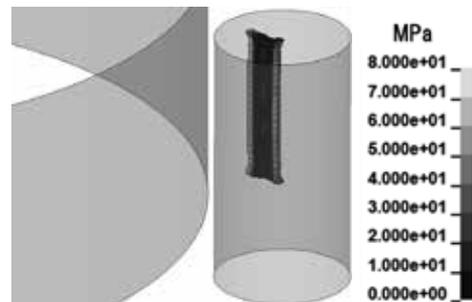
(a) 観察のタイミング



(b) 主ロール軸通過前



(c) 圧延時



(d) 主ロール軸通過後

図 14 観察面に生じる最大主応力

4. 考 察

SEM 観察, 分析およびシミュレーションの結果から, 割れの原因を考察した。

成形シミュレーションの結果から, リングローリング工程において, 図 3 の異常部は正常部に比べて大きな引張応力が繰り返し発生することがわかった。ただし, 異常部の SEM 観察から, 20 μ m 以上の析出物の周辺に空隙が確認されており (図 6, 7), 割れは母材の破断ではなく, この空隙が起点と考えられる。よって, 割れは加工時に発生する引張応力だけでなく, 大きな析出物があることが発生原因と考えられる。

また, 伝熱シミュレーションの結果から, 時効処理温度を通過する際, ワークの異常部は正常部より 50 $^{\circ}$ C 以上高く, 通過時間も長いことがわかった。再加熱時にも同様に, 通過時間が長いことが想定される。このことから, 荒地成形工程後の空冷および再加熱時において, 異常部では析出物 (TiC) が成長しやすい状態であり, 大きな析出物が発生する原因と考えられる。

上記の考察に基づく内部割れの対策には, 加工中に発生する引張応力の低減, また, 析出物の大きさを小さくすることが挙げられる。ただし, 径を拡大するリングローリング圧延の加工の様式から, 加工中周方向に引張応力を発生させなくすることは困難である。したがって, リング鍛造の割れの対策では, 析出物の大きさの抑制が重要であると考えられる。そこで, 析出物が成長すると考えられる空冷をやめ, 加工後の高温状態を活用して再加熱時間も最小限になるよう工程の改善を検討した。改善の結果, 内

部割れが発生しなくなり, 温度管理の重要性を確認することができた。

5. 結 言

- (1) SUH660 のサンプルについて, SEM 観察を行った結果, 正常部, 異常部ともに析出物が観察された。X 線マイクロアナライザーによる定性分析を行った結果, 析出物の主成分は TiC と考えられる。
- (2) 正常部と異常部を比較すると, 異常部の析出物の方が大きく, また大きな析出物の周囲に空隙も観察された。この空隙が割れの起点と考えられる。
- (3) 伝熱シミュレーションの結果, 異常部は正常部に比べて空冷時の温度が高く, 時効処理温度を通過する時間も長いことから, 析出物が成長しやすい状態と考えられる。
- (4) 成形シミュレーションの結果, 異常部は正常部に比べて繰り返し大きな引張応力が発生していることが確認できた。
- (5) 割れ発生の考察に基づき, 析出物が成長しないよう工程を検討した結果, 割れを防止することができた。

参考文献

- 1) 岸正彦, "有限要素法実践ハンドブック", 森北出版 (株), 2006, pp.253-255.
- 2) J.P.ホールマン, "伝熱工学<上>", 1987, p.13.
- 3) ナス鋼帯 (株) HP, "特色製品 NAS660", <http://www.nas-kotai.co.jp/leaflet/660.html>
2017 年 3 月 30 日閲覧.

エアロゾルデポジション法によるアルミナ膜の作製

渡邊 亮* 近 正道* 内藤 隆之* 白川 正登* 石井 治彦* 幸田 貴司**

Fabrication of Al₂O₃ Film Using Aerosol Deposition Method

WATANABE Ryo*, CHIKA Masamichi*, NAITO Takayuki*, SHIRAKAWA Masato*,
ISHII Haruhiko* and KODA Takashi**

1. 緒 言

エアロゾルデポジション法（以下 AD 法）は乾燥した微粉末をガスと混合してエアロゾル化し、常温で基材に高速で衝突させ、緻密で高密着な膜を形成する技術である。微粉末と基材の組み合わせは、微粉末側は金属またはセラミックス、基材側は金属、セラミックス、ガラス、プラスチックなどで、様々な組み合わせが適用可能である¹⁾。

AD 法は溶射技術などの従来のコーティング技術の課題を克服する可能性があるため、新たな表面処理技術として県内企業への導入が見込まれる。そのため、（国研）産業技術総合研究所から技術指導を受け、AD 法装置を導入し、基礎的な実験を開始した。

2. 成膜実験

図 1 に示すような AD 法装置を用いて、乾燥処理したアルミナ粉末を金属基材の表面に成膜した。成膜実験は表 1 の条件で、再現性を確認するため、異なる日時で 2 回行った。

3. 結果及び考察

成膜したサンプルについて表 2 に示す機器で硬さ、表面粗さおよび膜厚を評価した。評価結果を表 3 に示す。成膜実験の 1 回目、2 回目ともに金属基材上にアルミナの成膜を成膜することができた。

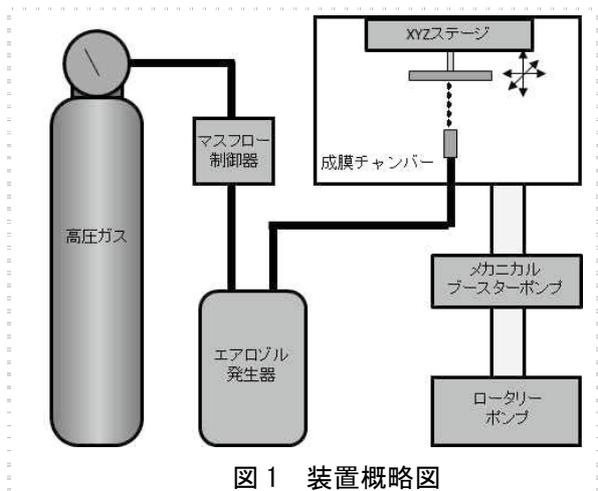


図 1 装置概略図

表 1 成膜条件

成膜温度	室温
搬送ガス種	N ₂
ノズル孔形状 (mm×mm)	10×0.8
基材—ノズル間の距離 (mm)	10
ノズル掃引速度 (m/s)	4
成膜面積 (mm ²)	10×10

表 2 評価に使用した機器

機器名	評価項目
(株) フィッシャー・インスツルメンツ製ピコデントーHM500	硬さ (マルテンス硬さ HM)
(株) 東京精密製粗さ測定器サーフコム 5000DX	表面粗さ (算術平均粗さ Ra), 膜厚

表 3 評価結果

試験片	HM (GPa)	Ra (μm)	膜厚 (μm)
1 回目	5.1	0.09	15
2 回目	6.8	0.1	9

* 下越技術支援センター

** 企画管理室

ただし、2 回の実験で膜の硬さや膜厚が大きく異なっていた。成膜終了後、ノズルを装置から取りはずして、噴射口（ノズル孔）内壁へアルミナ粉末の付着について確認したが、ノズル孔が閉塞するほどの付着は確認できなかった。状況から、成膜実験中の噴射口閉塞による成膜の中断は考えがたく、ばらつきの原因として、アルミナ粉末の乾燥処理が十分でなかったことが考えられる。

今後、原料のアルミナ粉末の乾燥処理を安定的に行う仕組みを構築し、実験を行う予定である。

4. 結 言

- (1) （国研）産業技術総合研究所から AD 法装置を導入した。
- (2) AD 法によるアルミナの成膜実験を行い、金属基材上にアルミナ膜を成膜した。

参考文献

- 1) 明渡 純，エアロゾルデポジション法の基礎から応用まで-常温衝撃固化現象による新規セラミックコーティング技術のすべて-，2008，pp.1-5.

テキスタイルを活用した膜材料の開発に関するシーズ育成研究

河原 崇史* 古畑 雅弘* 桑原 理絵**

Research and Development of Membrane Materials Using Textiles

KAWAHARA Takashi*, FURUHATA Masahiro* and KUWAHARA Rie**

1. 緒 言

世界的な人口増加や経済発展に伴い、水の需要が高まっている。しかし、地球上で人間が利用できる水は限られており、水の確保は重要な課題である。世界の水ビジネスの市場規模は、上水、下水、産業用水・排水などに関する施設整備、部材供給などのハード面から事業運営などのソフト面を含めると、およそ 57 兆円（2013 年）と言われており、今後も大きく成長することが見込まれている。

水処理に使用する膜には、精密ろ過膜、限外ろ過膜、ナノろ過膜、逆浸透膜といった分離対象物のサイズや種類によって様々なものが使い分けられている。また、活性炭やイオン交換膜など特異的に分離するものもあり、用途に応じて様々な膜が開発されている。

そこで本研究では、平成 27 年度のものづくり技術連携活性化事業「炭素化繊維利用に関する調査研究」²⁾で研究を行った炭素化繊維について、水処理膜に必要な基本的性能である撥水性および透湿性の観点から検討した。

2. 試験方法

2.1 試料作製

研究に使用した繊維は絹と綿で、JIS L 0803 染色堅ろう度試験用添付白布に規定の添付白布を用いた。試料は 700°C、1000°C、1300°C の各温

度条件で焼成し、炭素化試料とした。

また、比較対象としてゴアテックス®を用いた。

2.2 撥水性評価

各試料表面の水に対する接触角を測定することで、撥水性について評価した。

試験装置：協和界面科学（株）CA-S ミクロ II 型

2.3 透湿性評価

各試料を JIS L 1099 繊維製品の透湿度試験方法 A-1 法（塩化カルシウム法）に基づいて試験を行い、透湿性について評価した。

3. 試験結果

3.1 撥水性評価

各試料の結果を表 1 に示す。絹の接触角は、炭素化処理温度 700°C の試料で 111°であったが、炭素化処理温度が高くなるにつれて大きくなり 1300°C で 134°であった。一方、綿は炭素化処理温度に関わらず、140°前後であった。このことから、綿は炭素化処理温度が 700°C でも表面が十分に疎水性を示すのに対し、絹は 1000°C 以上の高温にしないと表面が十分に疎水性にならないことがわかった。この違いは、繊維表面の凹凸形状の違いや、表面に残存している官能基量の違いなどの理由によるものと考えられる。

また、ゴアテックス®の接触角は 140°であったことから炭素化した各試料はゴアテックス®と同程度の撥水性を有することがわかった。

* 素材応用技術支援センター

** 中越技術支援センター

表 1 各試料の接触角

試料名		接触角 (°)
絹	未焼成	-
	炭素化温度 700°C	111
	炭素化温度 1000°C	122
	炭素化温度 1300°C	134
綿	未焼成	-
	炭素化温度 700°C	139
	炭素化温度 1000°C	142
	炭素化温度 1300°C	142
ゴアテックス®		140

表 2 各試料の透湿度

試料名		透湿度 (g/m ² ・h)
絹	未焼成	498
	炭素化温度 1300°C	505
綿	未焼成	539
	炭素化温度 1300°C	604
ゴアテックス®		195

3.2 透湿性評価

各試料の結果を表 2 に示す。各試料ともに、炭素化していない試料と炭素化した試料で透湿度は 500~600g/m²・h でほぼ同じであった。一方、ゴアテックス®の透湿度は 195g/m²・h であった。これらのことから、炭素化した絹、綿はともに高い透湿性を有することがわかった。

4. 結 言

- (1) 1300°C で焼成した炭素化繊維は、ゴアテックス®と同程度の高い撥水性を示すことが明らかになった。
- (2) 炭素化繊維は、炭素化前の繊維と同程度の透湿性を有しており、ゴアテックス®に比べて高い透湿性を示すことが明らかになった。

参考文献

- 1) 経済産業省「平成 26 年度インフラシステム輸出促進調査等事業（水ビジネス市場に関する動向調査）報告書」.
- 2) 古畑雅弘ほか，“炭素化繊維利用に関する調査研究”，工業技術研究報告書, No.45, 2016, pp. 104-106.

旧オーステナイト結晶粒界の現出について

齋藤 雄治*

Revealing Prior Austenitic Grain Boundaries

SAITO Yuji*

1. 緒言

破損した鋼製の機械部品の破損原因を調べる際、破損品と正常品の金属組織や硬さを比較することがある。このとき、硬さや金属組織がほぼ同じでも、旧オーステナイト結晶粒の大きさが異なっている場合がある。

一般に、旧オーステナイト結晶粒が大きいと靱性が低下する¹⁾。このため、正常品より破損品の旧オーステナイト結晶粒が大きい場合、破損品の靱性が低下していた可能性がある。また、高い安全性が要求される機械部品等に対して靱性の低下は致命的であるので、このような部品の旧オーステナイト結晶粒の観察は有用である。

本研究では、市販の AGS エッチャントと文献に掲載されている腐食液を使って、旧オーステナイト結晶粒の現出を試みた。

2. 実験条件

試験片には、S45C（直径 20×長さ 20mm）を用いた。この試験片に対して、焼入れ（850℃に 10 分保持してから水冷）および焼戻し（なし、300℃で 1 時間、600℃で 1 時間のいずれか）の熱処理を行った。

熱処理後の試験片を長さが半分となる位置で切断し、その断面を鏡面研磨して金属組織を金属顕微鏡で観察した。

実験装置には（株）東洋製作所製 電気マッフル炉 KM-420 および（株）ニコンインステック製 倒立型金属顕微鏡 TME3000U-NR 型を用

いて、腐食液には次の三種類を用いた。

①硝酸アルコール溶液

HNO₃ 3ml, エチルアルコール 97ml

②市販の腐食液

（株）山本科学工具研究社製 AGS エッチング液

③ピクリン酸の飽和水溶液ベースの腐食液²⁾

ピクリン酸 2g, 界面活性剤（台所洗剤） 5g, 塩化ナトリウム 0.15g, 硫酸 0.07g, 蒸留水 100ml

※②と③は 50℃に加熱した状態で 10 分浸漬後、水酸化ナトリウム水溶液で中和

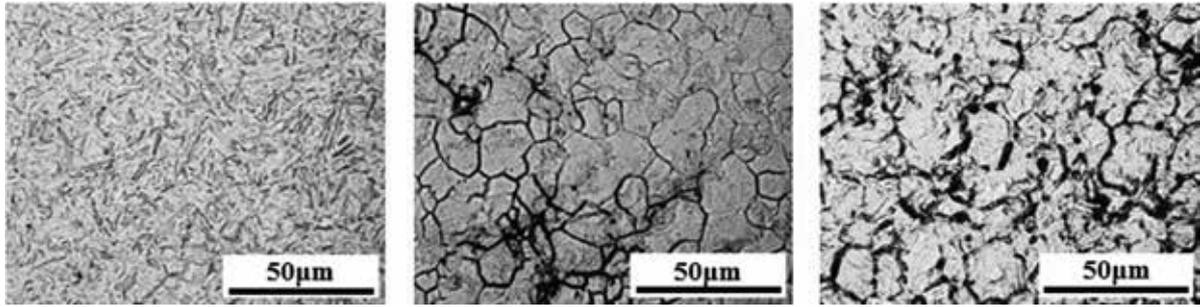
3. 実験結果

図 1 に、焼戻しなしの結果を示す。腐食液①ではマルテンサイトが見える。一方、腐食液②と③では旧オーステナイト結晶粒界が見える。腐食液②と③の結果を比較すると、腐食液②の方が結晶粒界をより選択的に腐食している。

図 2 に、300℃で 1 時間焼戻しの結果を示す。腐食液①では焼戻しマルテンサイトが見えるが、腐食液②と③では図 1 の結果と同様に結晶粒界が見える。

図 3 に、600℃で 1 時間焼戻しの結果を示す。腐食液①では焼戻しマルテンサイトが見えるが、図 2 の焼戻しマルテンサイトに比べて組織が細かい。一方、腐食液②と③では結晶粒界が見えるが基地も腐食しているため、図 1 や図 2 の結果に比べて結晶粒界が不明瞭である。この場合、腐食とわずかなバフ研磨を繰り返す行うことで、結晶粒界が明瞭になると考えられる。

* 県央技術支援センター

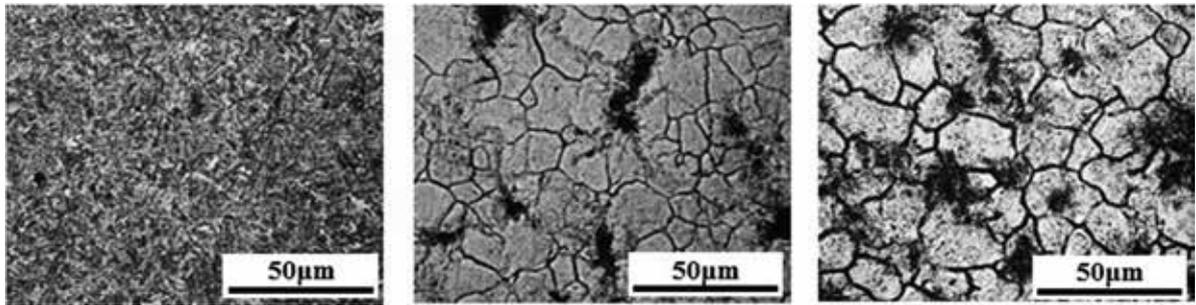


腐食液①

腐食液②

腐食液③

図1 焼戻しなしの金属組織

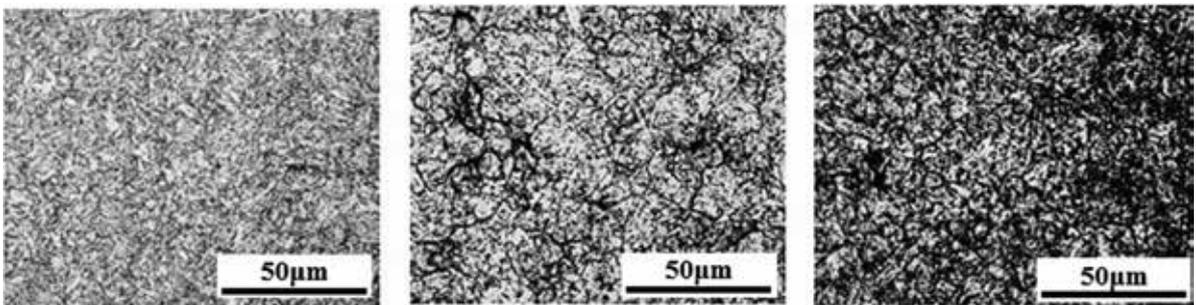


腐食液①

腐食液②

腐食液③

図2 300°C焼戻しの金属組織



腐食液①

腐食液②

腐食液③

図3 600°C焼戻しの金属組織

なお、本報告書の実験結果については当研究所のホームページに掲載している³⁾。

4. 結 言

- (1) 炭素鋼 S45C を市販の腐食液およびピクリン酸の飽和水溶液ベースの腐食液で腐食して、旧オーステナイト結晶粒界を観察できた。
- (2) 焼戻し温度を高くすると、旧オーステナイト結晶粒が不明瞭になる傾向があった。

参考文献

- 1) (社)日本熱処理技術協会編著, 入門・金属材料の組織と性質, 2004, p.126, (株)大河出版.
- 2) 材料技術教育研究会編, 金属組織の現出と試料作製の基本, 2016, p.89, (株)大河出版.
- 3) <http://www.iri.pref.niigata.jp/topics/H28/28kin4.html>, 旧オーステナイト結晶粒界の現出について, 「新潟県工業技術総合研究所ホームページ」, 2017年1月27日.

表面増強ラマン散乱を利用した分析手法の開発

天城 裕子*

Analysis Method using Surface Enhanced Raman Scattering

AMAKI Yuko*

1. 緒言

ラマン分光法は、対象が幅広く、測定が簡便で得られる情報も多いため、近年普及の進んでいる分析手法の一つである。しかし検出感度は高くなく、さらに工業製品が対象の場合、不純物などからの蛍光妨害によりデータ取得不可の場合も多いという欠点がある。

一方、金・銀などの貴金属ナノ粒子と吸着した分子は、励起光が照射されるとラマン検出感が大幅に増強される表面増強ラマン散乱 (Surface Enhanced Raman Scattering, 以下 SERS) を起こすことが知られている。この SERS には蛍光妨害の低減効果もあるとされている。しかし、現状の応用分野は生化学関連中心と限定的なものにとどまっている。

本研究ではこの現象を簡易な手法で利用することを目的とし、(1) ナノコロイド溶液の添加、(2) ナノ構造をもつ SERS 基板の試作、(3) サンプルへの金コーティングによる SERS 効果の検証、について報告する。

2. 試験方法および結果

2.1 ナノコロイド溶液添加による SERS 効果

ラマン分光法は溶液成分については通常、検出に 100ppm 程度の濃度を要するが、金属イオンについては球状金ナノコロイドの添加により 1ppm 以下程度まで検出可能である^{1), 2)}。本項では素材・形状の異なるナノ粒子における SERS 効果について、鉄イオンを用いて検証した。

2.1.1 試験方法

鉄キレート溶液 (鉄イオン濃度0.5ppm) と各種ナノコロイド溶液を混合し、ラマン測定を行った (日本分光(株)製NRS-3000, 励起波長532nm, 12mW)。鉄イオンは関東化学(株)の化学分析用標準液を希釈して用いた。キレート剤は、4-(2-ピリジルアゾ) レソルシノール (以下PAR, 同人科学研究所製) 0.1g/l溶液とした。

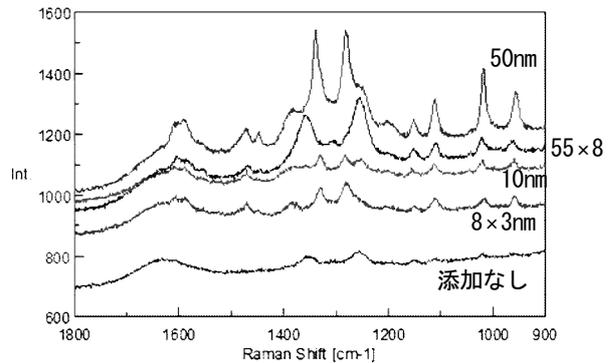


図1 Fe-PAR スペクトル(金ナノコロイド添加)

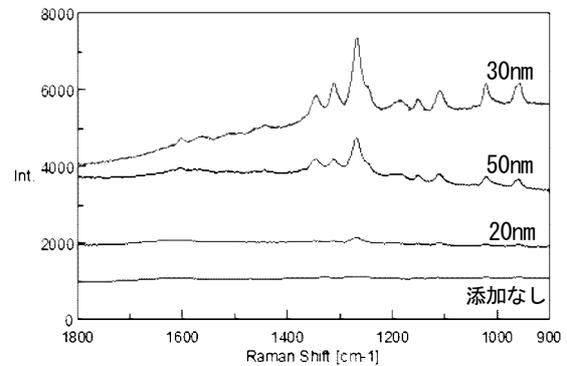


図2 Fe-PAR スペクトル(銀ナノプレート添加)

* 中越技術支援センター

球状金ナノコロイドは sigma-aldrich 製 10nm, 50nm を用いた。素材・形状違いとして銀ナノプレートと金ナノロッド (大日本塗料(株)製) で比較を行った。銀ナノプレートは 20, 30, 50nm の 3 種類 (いずれも厚さ約 8nm), 金ナノロッドは 8×3nm と 55×8nm の 2 種類を用いた。

2.1.2 結果と考察

図 1, 2 に Fe-PAR のスペクトルを示す。図 1 は各種金ナノ粒子, 図 2 は銀ナノプレート添加後である。金・銀ナノコロイド添加後にスペクトル強度の増加がみられた。増幅されたのは主にキレート外殻の PAR のベンゼン環, ピリジン環の振動モードに帰属される³⁾部分である。また, 球は 50nm, ナノロッドは長軸 55nm, プレートは 30-50nm サイズで増幅効果が高く, 素材・形状を問わず 50nm 程度のサイズを持つナノ粒子で SERS 効果が得られやすいと思われる。

2.2 SERS 基板試作

2.2.1 試験方法

シリコンウェハー上への金コートによる SERS 基板の試作を行った。SEM 用コーター (サンヨー電子(株)製 SC-701) で 2 分間の金コーティング後, 大気雰囲気下で 1 時間加熱し基板を作成した。成膜レートは分光光度計 ((株)島津製作所製 UV-2500PC) の反射率測定により評価した。成膜レートは 11~12nm/min であり, 2 分後の初期膜厚は 20-25nm 程度と推測される。

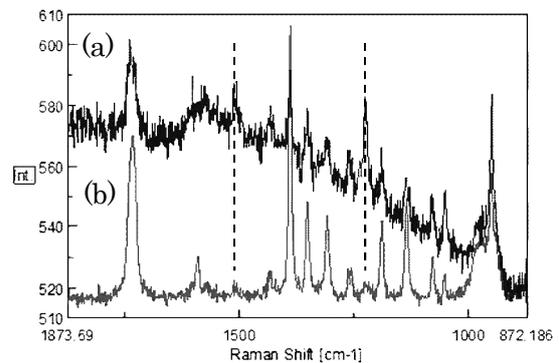


図 4 シスチンスペクトル
(a:金あり、b:金なし)

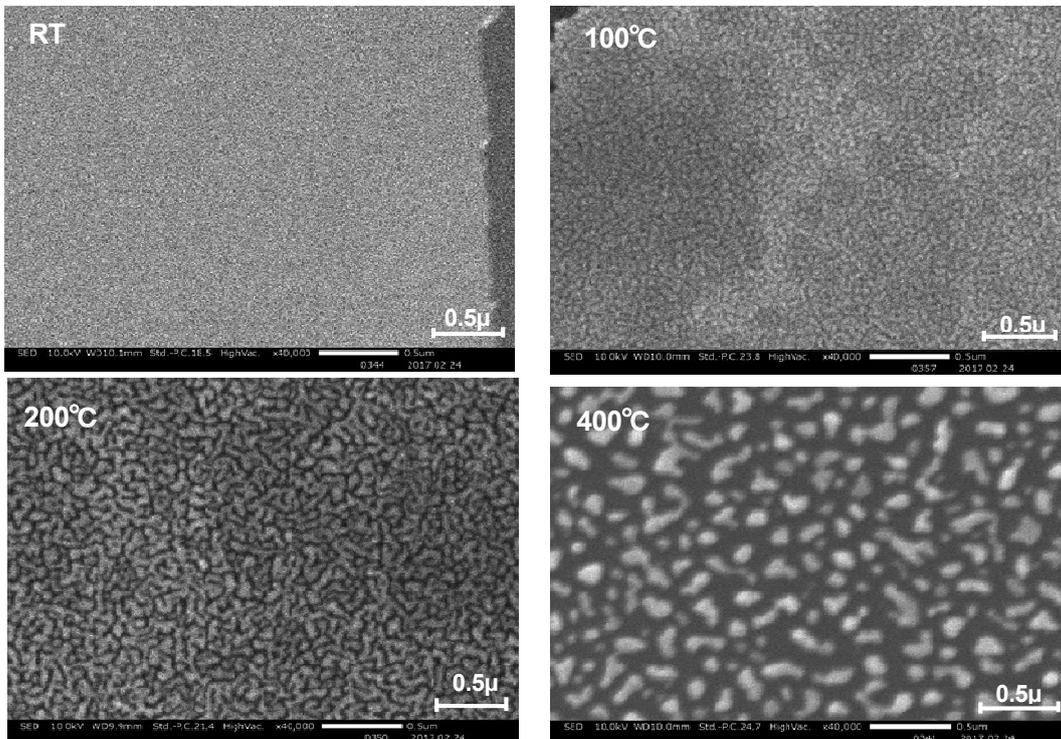


図 3 金コーティング SEM 像 (×40000)

2.2.2 結果と考察

図 3 に SEM 画像を示す（日本電子(株) JSM-IT300LA, 10kV)。成膜直後は微細構造が確認できないが、100, 200°C加熱後では数十 nm 程度の海島構造となる。

コーティングによる SERS 効果の確認のため、100°C処理後のウェハにシスチン溶液を塗布したところ、シスチンのアミド基由来のピークの増強がみられた（図 4 点線部）。金ナノ構造がシスチンの NH 部分に選択的に吸着し、SERS 効果を発現していると考えられる。なお、コーティングの密着性はよくないため、基板としての利用にはウェハへの何らかの処理が必要である。

2.3 金コーティングによる SERS 効果

サンプルへの直接金コーティングによる SERS 効果を検証した。検出感度があまり問題とならない固体サンプルへの適用となるため、感度増幅よりも蛍光妨害低減の効果を主体に検証した。

2.3.1 試験方法

サンプルは、蛍光妨害の強いゴム（天然ゴム、シリコンゴムの 2 種）とタンパク（爪）とした。

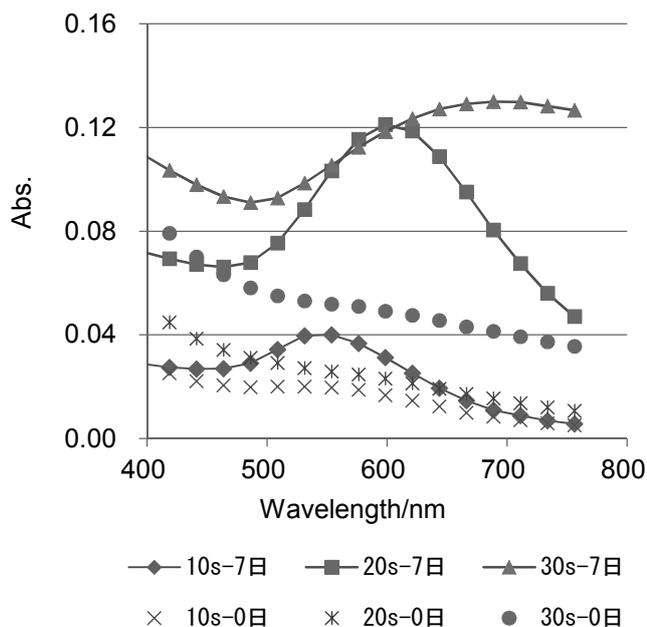


図 5 金コーティング UV-Vis スペクトル

SEM 用コーターでコーティングを行い試験サンプルとした。

2.3.2 金コーティング条件の検討

金ナノ粒子はプラズモンによる赤色の発色を示すことより、分光光度計での UV-Vis スペクトルによる評価を行った。図 5 にスライドガラス上にコーティング直後と 7 日後のデータを示す。10-20 秒のコーティングで 500-600nm の領域に金プラズモン由来の吸光ピークが確認できる。また、時間経過後に発色が明瞭になる傾向がみられた（不純物の影響などが考えられるが詳細は不明）。評価用サンプルの処理条件は 20 秒コーティング後、数日経過したものとした。

2.3.3 結果と考察

ゴム 2 種については全体的に蛍光が低減したが、ラマンピークの確認はできなかった。爪については蛍光妨害の低減および 1650cm⁻¹, 1440cm⁻¹ 付近のピークが確認できた（図 6）。

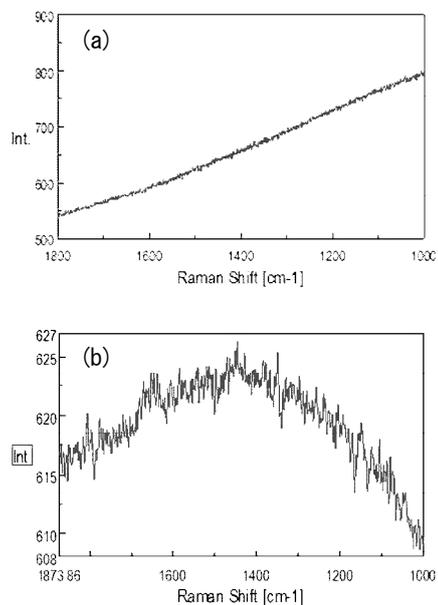


図 6 爪のラマンスペクトル
(a: コーティング前、b: コーティング後)

3. 結 言

- (1) ナノコロイド溶液の添加では、金・銀とも 50nm 付近のサイズがもっとも SERS 効果を発現した。
- (2) アミドやピリジンなどの NH 構造の部分で SERS 効果による増幅が顕著であった。
- (3) 一部のサンプルで金コーティングにより蛍光妨害の低減がみられた。

参考文献

- 1) 宮口孝司他, "精密微細加工技術の分析分野への応用に関する調査研究", 工業技術研究報告書, 45, 2016, pp.107-110.
- 2) 天城裕子, "表面増強ラマン分光 (SERS) 法による遷移金属イオンの高感度分析", 日本分析化学会第 29 回新潟地区部会研究発表会, p.12.
- 3) N. Leopold *et al.* "Raman spectroscopic and DFT theoretical study of 4- (2-pyridylazo) resorcinol and its complexes with zinc (II) and copper (II) "Journal of Molecular Structure 919 (1), 2009, pp.94-99.

モンゴル産原料カシミア糸の物性評価及び性状把握

渋谷 恵太* 古畑 雅弘* 橋詰 史則*

Evaluation of Properties and Characterization of Cashmere Yarn Using Mongolian Raw Materials

SHIBUYA Keita*, FURUHATA Masahiro* and HASHIZUME Fuminori*

1. 緒言

県の支援により見附商工会が導入を進めているモンゴル産カシミアを原料とする紡績糸について、各種試験の実施により物性の評価を行い、その性状、特徴を把握した。

2. 試験試料

カシミア糸 3 種類（図 1(a)左より、モンゴル産原料ベージュ色、同茶色、中国産原料。全て 2/24 番手）およびウール糸 1 種類（図 1(b)、2/20 番手）を試験試料とした。

2.1 糸の強伸度特性

カシミア糸 3 種類に対し、JIS L 1095:2010 一般紡績糸試験方法 9.5 単糸引張強さ及び伸び率 9.5.1 JIS 法 a) 標準時に準じた以下の試験条件により強伸度を測定した。

使用機器：ツェルベガーウスター製

自動強伸度試験器

ウスターテンソラピッド UTR3

つかみ間隔：25cm

引張速度：25cm/min

初荷重：0.102N

試験回数：100 回（結果は平均値）

2.2 編地の性能評価

試験体として編地が必要であるため、カシミ

* 素材応用技術支援センター



(a) カシミア糸

(b) ウール糸

図 1 試験試料

ア糸 2 種類（モンゴル産原料ベージュ色、中国産原料）およびウール糸について、以下の条件で糸を編成した。作製した編地を使用し、以降の試験を行った。

試験装置：（株）島精機製作所製

自動編み機 SWG041

組織：天竺

工程：編立て、ノニオン系界面活性剤による洗い、すすぎ、乾燥（縮絨などの整理加工は行わない）

2.2.1 保温度試験

室温+10℃に加熱した測定部を室温の試料に接触させ、最大熱吸収速度（q-max）を測定した。測定は編地を四つ折りにして、組織の裏地側（人体に接触する側）に対して行った。なお、q-max は接触冷温感を表す指標値であり、数字が小さいほど瞬間的な熱の逃げが少なく温かい

ことを意味する。

試験装置：カトーテック（株）製
精密迅速熱物性測定装置
KES-F7

試験環境：20℃，65%RH

試験回数：5回（結果は平均値）

2.2.2 風合い試験

編地の屈曲する時のかたさを風合計量測定装置により測定した。

試験装置：カトーテック（株）製
風合計量測定装置
純曲げ特性 KES-FB2

試験環境：20℃，65%RH

試験回数：1回

3. 試験結果

試験結果を表 1 に示す。モンゴル産原料カシミア糸は中国産原料カシミア糸に比べ強度、伸度ともに大きく、また、編地の保温性もわずかだが優れていた。風合いは糸の番手が異なるた

表 1 試験結果

繊維種	カシミア		ウール
	原料産地	中国	
色	ベージュ	茶	—
引張強さ(N)	3.68	3.50	3.19
伸び率(%)	14.0	15.1	11.5
q-max(W/cm ²)	0.050	—	0.051
曲げかたさ(B値)	0.68	—	0.60

めに単純に比較できないが、カシミア糸の編地はウール糸編地よりも同等以上に柔らかい風合いであることがわかった。

4. 結 言

- (1) モンゴル産原料カシミア糸は中国産原料糸及びウール糸との比較において、それら以上の物性、風合い性能を有していることが確認できた。
- (2) 実際の商品開発では、編成後の製品に縮絨処理などの整理加工を行った状態における風合いが重要となる。これについては今後整理加工条件と風合いについてのデータ収集による関係確立が望まれる。

Ⅲ 調査・報告

工業技術総合研究所 研究会活動報告

工業技術総合研究所では、新分野や新産業、新技術を調査し、研究開発テーマの創出を目的として各種研究会を開催している。この研究会活動を通じて参加企業とのコンソーシアムを形成し、研究開発体制を構築することにも取り組んだ。

研究会活動は、主として「ものづくり技術連携活性化事業」によって実施した。対象とする市場や技術の動向を調査し、会員企業へ情報提供を行うとともに、県内企業による研究開発の可能性を模索するため、平成 28 年度は、継続を含め以下の7テーマについて研究会を立ち上げて実施した。

1. 3次元ものづくり製造技術とその市場に関する調査研究(継続)
2. センシング技術の農業分野への応用に関する調査研究(継続)
3. ソフトマテリアルの利活用に関する調査研究
4. ジオポリマーに関する調査研究
5. ドローンを活用した3D計測技術に関する調査研究
6. テキスタイルと異種材料の接合による加飾加工に関する調査研究
7. ファインバブルに関する調査研究

なお、研究会主催のセミナーには、講師として各界の専門家を招聘し、市場や技術動向等の最新情報の紹介などを行った。

3次元ものづくり製造技術とその市場に関する調査研究 (第2報)

中部 昇* 片山 聡* 馬場 大輔** 天城 裕子***
橋詰 史則**** 渋谷 恵太**** 阿部 淑人****

A Report of Manufacturing Technology Utilizing Three-dimensional Shape Data

NAKABE Noboru*, KATAYAMA Satoshi*, BABA Daisuke**, AMAKI Yuko***,
HASHIZUME Fuminori****, SHIBUYA Keita**** and ABE Yoshito****

1. 緒 言

製造現場における 3D プリンタなどを活用した試作の迅速化はある程度普及し、今後は金属付加製造（アディティブマニュファクチャリング，AM）装置の普及と共に製品製造への適用が期待されている。これに伴い，3D スキャナや 3D-CAD，CAE の活用など，入力，編集・設計，出力といった 3D データによるものづくりのワークフロー改善が求められている。そこで，3D データの入力や編集・データ交換に関する運用技術の普及と，これらの技術を応用したものづくりの効率化や設計技術に関する研究課題の抽出を目的として，前年度から継続^りして調査研究活動を行った。

2. 講習会開催概要

金属 3D プリンタの現状，および 3D 設計に関連するコンピュータシミュレーション技術について，（一社）日本塑性加工学会 北関東・信越支部，ならびに（公財）にいがた産業創造機構 先進的金型研究会との共催で，以下のとおり講演会を実施した。

2.1 「金属におけるアディティブマニュファクチャリング技術」講演会

金属 AM 装置（3D プリンタ）を製造，販売する 2 社を招き，各社の装置の特色と適用事例などについて紹介した。内容は以下のとおり。

(1) 「3D プリンタによる金属造形技術」

（スリーディー・システムズ・ジャパン

春日 寿利氏）

同社の粉末焼結積層方式（SLS）3D プリンタの特色と適用例を紹介した。

(2) 「金属 3D プリンタ技術の現状と金型への適用」

（松浦機械製作所 緑川 哲史氏）

SLS 方式の積層造形と切削加工を同時に行うハイブリッド式金属 3D プリンタの概要と金型製造への適用例について紹介した。

2.2 「プレス加工におけるシミュレーション技術」講演会

3D データの活用と密接な関係にあるシミュレーション技術について，特にプレス加工に着目してその現状と活用事例を紹介した。内容は以下のとおり。

(1) 「プレス成形シミュレーションの活用方法」

（研究開発センター 片山主任研究員）

本研究所におけるプレス成形シミュレーション事例を紹介するとともに，計算の際に必要なデータについて説明した。

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

*** 中越技術支援センター

**** 素材応用技術支援センター

(2) 「決め押し加工シミュレーション技術の開発」

(研究開発センター 櫻井主任研究員)

LS-DYNA のシェル要素とリスタート機能を用いた決め押し加工のシミュレーション技術の有効性や課題について報告した。

(3) 「プレス成形シミュレーションにおける 1 ステップ解析と板鍛造解析の活用事例」

(JSOL 浜田 知己氏)

プレス成形シミュレーションの初期検討段階などで活用される 1 ステップ解析 (逆解析) と、板鍛造の解析事例を紹介した。

3. 調査・研究内容

3.1 AM 技術動向

AM 技術は、従来の切削、研削などの除去加工、プレスなどの塑性加工に対する第 3 の加工法として国際標準化が進められている。造形方式はほぼ確立されており、現状最も問題となっている造形速度の向上と材料の多様化が今後の技術開発のポイントとなる。

樹脂 3D プリンタでは普及に大きく貢献した溶融物堆積方式 (FDM) の個人向けデスクトッププリンタが既にほぼ淘汰され、今後は産業用途として、エンプラなど材料の多様化に対応可能な高温高圧ノズルの装備と造形サイズの大型化が進む。

産業用機で主流の液槽光重合方式 (SLA) や粉末焼結積層方式 (SLS) に対し、結合剤噴射 (BJ) 方式、材料噴射 (MJ) 方式といったインクジェット方式の普及が進んでいる。同方式は HP など 2D プリンタで実績のある複数企業の参入が発表されており、ノズル数を増やすことで簡便に造形速度の向上が可能なことから大きく普及することが予想される。

金属 AM 装置は SLS を中心に製造台数が増加しており、特に欧州では普及期に入ったといえる状態である。そのため、生産現場への導入を想定した、熱処理や後加工を組み合わせた製造ラインとしての技術開発が進んでいる。

一方、造形材料についても樹脂 (FDM, SLA) を中心にして多様化が進んでおり、将来的には造形方式に依存せず同様な材料での造形が可能になっていくものと予想される。

3.2 AM 製造を考慮した設計技術動向

AM 装置の普及により従来の製造工程では不可能であった構造の製品を製造できるようになり、例えば内部構造による軽量化設計など、製品の設計技術自体についても従来と異なる発想や方法論が求められている。AM での製造を考慮した設計技術として、近年再評価されている技術に位相 (トポロジー) 最適化が挙げられる。これは図 1 に示すように、設計者が与えた初期形状と境界条件に対して、CAE ソフトウェアが自動的に応力状態を基に不要部分を肉抜きする手法である。図 2 に 3 次元構造体における解析例を示す。同図(a) の中実構造体に対して境界条件を与え、所定の強度を維持しながら軽量化を図り、同図(b)に示す形状を得たものである。本技術の歴史は古く、理論的には 1980 年代後半から提唱されたものであるが、特にこのような 3 次元構造体においては従来工程では製造することができず、近年の AM の普及に伴って特に自動車業界で注目されるようになり、CAE ソフトウェアへの導入も進んでいる。ただし、位相最適化技術では境界条件の変更はできず、例えば図 1 では固定穴の位置や穴数などの最適値を求めることはできない。そこで将来的には、仕様決定に適する寸法最適化技術と融合させた設計技術が求められるものと思われる。

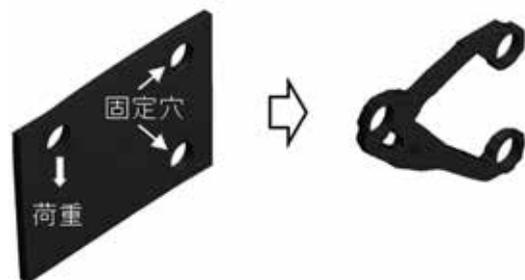


図 1 位相 (トポロジー) 最適化



(a) 初期形状



(b) 最適化結果

図2 位相最適化の解析例

3.3 県内企業の動向

3Dプリンタについては多くの企業が試作、開発評価やジグ製造目的で活用しており、また、3Dプリンタを保有しない企業からの試作、少量生産についての相談も引き続き多い。また、平成27年度に公益財団法人JKAの補助による「3次元デジタルものづくり技術高度化のための人材育成事業」で実施した、3Dスキャナによる形状入力と3Dデータ化についても引き続き多くの企業から関心を集め、機器利用を前提とした人材育成を実施することができた。

3.4 市場参入時の課題とその対応

金属3Dプリンタの普及に伴い、製品製造への適用について期待が高まっているが、製造に長時間を要し、ワイヤカットによる造形物の取出しに始まり熱処理や研磨などの後工程が必須であることに加えて、材料コストがまだまだ高額であることから、少なくともここ数年は従来工程では製造が困難な高付加価値、高価格製品、すなわち航空・宇宙分野や医療分野などに

限定されると推察される。前者については、内部構造の付加、あるいは中空化や複数部品の一体化による軽量化など、先に示した位相最適化技術をはじめAMの特性を生かした構造設計技術の開発が研究課題として挙げられるものと思われる。

一方後者は、個別対応（カスタマイズ）品として、AM装置の利点を得やすい例として以前から注目され、歯科分野では小型3Dスキャナを用いた歯科用光学印象採得やAM装置による義歯製造など実用化したものもある。他にも、義肢・装具など、人体形状の型取りで形状データを得ていた工程を3Dスキャナで置き換え、CADで形状設計を実施することが汎用装置で可能となってきている。しかしながら形状計測は簡便でも、設計を汎用CADで1から手作業で行うことになれば効率化とはいえず、今後それぞれの業種、工程に適合した自動化などの専用設計システムの構築が、医療機器のみならず個別対応品設計におけるワークフロー改善のキーワードになると思われる。

4. 結 言

- (1) 金属AM装置による製品製造は、ここ数年間、従来工程では製造が困難な高付加価値、高価格製品に限定される。
- (2) 今後の研究課題として、AM装置による製品製造を考慮した構造設計技術や、個別対応品におけるそれぞれの工程に適合した自動設計技術が求められる。

参考文献

- 1) 中部 昇他，“3次元ものづくり製造技術とその市場に関する調査研究”，工業技術研究報告書，45，2016，pp.98-100.

センシング技術の農業分野への応用 に関する調査研究（第2報）

種村 竜太* 小林 豊** 菅家 章*** 木嶋 祐太****

Report of Market and Technology Trends of Sensing Technology in Agriculture

TANEMURA Ryouta*, KOBAYASHI Yutaka**, KANKE Akira*** and KIJIMA Yuta****

1. 緒 言

国は農業を成長産業と位置づけ、稲作経営体への園芸導入や次世代施設園芸の導入を推進しており、農業の高度化に向けたシステム・機器・資材の開発が求められている。特に、園芸生産の作業管理は生産者の経験やカンに基づいていることが多く、若手や異業種からの新規参入では高い生産技術を持つまでに時間がかかる。そのため、技術のデータ化を図るとともに気象情報や生体情報に基づいた自動制御装置の開発が求められている。

そこで、本調査研究では工業分野で普及しているセンシング・画像処理技術を農業分野へ応用し、自動制御装置開発に向けた技術課題とその対策についての調査を行った。

2. 活動概要

2.1 研修会の開催

農業総合研究所と共催で平成 28 年 11 月 11 日に「農業分野における ICT 推進研修会」を開催し、参加人数は 60 名であった。講演内容は以下のとおり。

- (1) 新潟県農業における ICT 利活用の実態と今後の展望について

新潟県農業総合研究所

* 下越技術支援センター

** 中越技術支援センター

*** 研究開発センター

**** 企画管理室

- (2) アグリ・インフォマティクスの活用
～暗黙知から形式知への転換等～

NEC ソリューションイノベータ（株）

- (3) 養液土耕 ICT システムの紹介

～匠の技を普遍的な技術に転換～

（株）ルートレック・ネットワークス

- (4) 水田農業における ICT 利用の実例紹介

～アグリノートと PaddyWatch～

ウォーターセル（株）

農家数の減少・寡占化に伴う大規模化、生産者の高齢化による技術伝承問題など国内農業の課題解消のため農林水産省が「スマート農業」として検討を進めるなど、ICT 技術への期待は大きくなっており、質疑が活発に行われ、参加者の関心の高さがうかがわれた。また、現状では太平洋側での導入が多く、冬季の栽培が難しいことなどから新潟県や東北地方の日本海側では導入事例が少ないことが明らかになり、今後の県内への普及推進が必要であることが確認された。

2.2 市場や研究動向

2.2.1 環境情報のセンシング

温度・湿度・照度などの環境情報を遠隔からリアルタイムでモニタリングできるクラウド型サービスが既に始まっている。土壤水分や電気伝導率センサなどを取り付けられる製品もある。製品の内容は、センサで測定を行う「子器」と、そのデータを集約しインターネットサーバに送

信する「親器」、サーバ上のデータを PC・スマートフォンで確認・管理するための「ウェブサービス」で構成されているケースが多い。

2.2.2 生体情報のセンシング

2次元の RGB データに距離データ (Depth) を加えた 2.5 次元データを得ることが可能な、高機能で低価格な RGBD カメラの「Kinect」が発売された 2010 年以降、自動車分野や医療分野など各種産業分野で利用が進んでいる。農業分野においても草高や葉面積を非破壊で計測する研究がされている^{1, 2)}。また、超音波距離センサを用いた茎伸長簡易計測システムの開発が行われている³⁾。

2.2.3 ディープラーニングの技術動向

農業におけるセンシングは自然条件下で行われるため、撮影時間、天候、ゴミや虫の異物混入など、様々な状況に対応しなければならない。人間であれば撮影時の状況を考慮して画像データから生育状況を判断できるが、同レベルの判断をコンピュータの条件分岐でプログラムするときは、状況に対応する膨大な条件プログラムが必要になる。また、プログラムされていない条件では、コンピュータは判断できない。そこで人工知能技術にも応用され、普及が進んでいるディープラーニングの利用について調査した。

調査の結果、ディープラーニングを農業分野へ応用するためには、農業分野に特化したシステムの研究開発が必要となることがわかった。ディープラーニングを利用するためには多くのデータを収集しなければならないが、データ収集には多くの労力と時間が必要である。それらを抑えるためには既存の学習データの活用や、農業分野以外で蓄積されたディープラーニングに関する技術の流用が考えられる。多くのデータ収集という部分では、本研究で様々なセンサを利用し、センシングを試みたことから、ディープラーニングに関する技術支援に役立つものと考えられる。

2.2.4 県内企業の動きと市場参入時の課題

革新的農業実践特区である新潟市において、NTT 東日本新潟支店と新潟クボタが切り花栽培での農業 ICT ソリューションのトライアルを実施している。ほ場にバッテリーレスのセンサを設置し、温度・湿度・日射量といった環境情報を自動的に収集し、分析しながら施設栽培での新たな知見獲得を目指している。

また、弊所で開催したセミナーのアンケートや情報提供の活動で企業調査をしたところ、生体情報センシングや、制御装置の開発に関心がみられる一方で、現状のモニタリングシステムについては、取得したデータを生産者が十分に活用できない現状が明らかとなった。

3. 工業技術総合研究所の取り組み

3.1 センシング装置の試作

環境情報としては温度・湿度・照度・CO₂濃度・土壌水分などのデータを、生体情報としては茎径・葉面積・葉面電位などのデータを収集するセンシング装置を試作し、データの活用方法について検討した。茎径と葉面積はカメラ画像を OpenCV で画像処理し、解析した。

試作した装置はイントラネットやインターネットへ接続でき、他のセンシング装置や PC と計測データの情報共有ができる。また、各装置へ計測データを保存する仕様にしたので、LAN 環境が整備されていない「ほ場」においてもセンシング装置を利用できる。特別なソフトウェアを PC へインストールしなくても撮影結果と計測結果を確認できるよう、ブラウザで表示可能にしたので、センシング装置と PC を直接 LAN 接続することで、ほ場においても撮影結果の確認や計測データの確認ができる。

3.2 イチゴ栽培における植物体センシング

ワンボードマイコン「Raspberry Pi 2 Model B」と専用カメラモジュールからなるセンシング装置をイチゴ栽培施設に設置して鉛直方向からセンシングした。画像処理を行うことにより

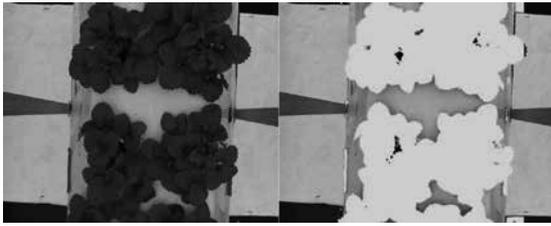


図1 画像処理による群落葉の抽出

受光葉面積を算出でき（図1），生育に伴う葉面積の増加や葉かき作業による葉面積の減少をとらえることができた。収量や果実品質データと合わせて解析することによって，高品質生産に向けた生育モデルの構築が可能と思われる。

3.3 マイクロスコープによる茎径センシング

昨年度，実験室レベルでは USB マイクロスコープを用いてトマトの茎径をセンシングできることを報告した。今年度は実際にトマトほ場での実験を繰り返しながら茎径センサの改良を試みた。まず，トマトの茎付近に USB マイクロスコープを設置し，茎を撮影した。撮影した画像には，トマトの茎以外にも枯れ枝，薬剤のしみなどが撮影されている。これらは茎径の算出に影響を与える。そこで茎以外の物が写らないようにするための治具を 3D プリンタで試作した。治具は USB マイクロスコープの取付口と茎の背景板で構成されており，枯れ枝や薬剤などが背景板につかないよう，背景板をコの字状にするなどの改良を加えた（図2）。作成した茎径センサを用いて茎径の測定を試みた結果，生長に伴い茎径が増加している様子が確認できた。マイクロスコープから茎までの距離によるが，約 0.03mm の分解能で測定が可能であった。植物の水分状態によって茎径が変化することから，今後は茎径を指標とした自動水分制御装置を試作し，栽培実証をする予定である。

3.4 ホームページでの研究事例紹介

本研究調査の5事例を弊所のホームページで紹介した（①カメラによる植物の認識，②小型コンピュータを用いた生育情報の収集，③トマ



図2 試作治具を用いた撮影風景

トほ場で様々なセンサのデータ収集，④トマトの茎径センサ，⑤葉面電位センサ）。

4. 結 言

- (1) 「農業分野における ICT 推進研修会」を開催した。農業分野における ICT 活用は期待される技術であり，幅広い業種の企業から多くの方に参加いただいた。
- (2) 温湿度や日射量など環境情報についてはクラウド型サービスを多くの企業が展開している。一方，生体情報のセンシングについては開発途上である。
- (3) 「Raspberry Pi」と Web カメラやマイクロスコープを用いることにより，群落葉面積や茎径などの生体情報のモニタリングが可能であることがわかった。
- (4) 研究事例を工業技術総合研究所のホームページに技術トピックとして掲載した。

参考文献

- 1) 大山暁男ら，“トマト分離集団を用いた草高と葉面積の非破壊測定の評価”，園芸学研究，16（別1），2017，p.328.
- 2) 浜本浩ら，“Kinect for Windows の深度情報から作物の受光体勢を評価する”，園芸学研究，13（別2），2014，p.223.
- 3) 羽藤堅治ら，“生体情報と環境情報のためのデータベースシステム構築”，日本生物環境工学会 2016 年大会 講演論文要旨，2016，pp.232-233.

ソフトマテリアルの利活用に関する調査研究

石井 治彦* 中部 昇** 岡田 英樹** 櫻井 貴文**
毛利 敦雄*** 小林 泰則*** 林 成実****

Report of Market and Technology Trends of Soft Matter

ISHII Haruhiko*, NAKABE Noboru**, OKADA Hidek**, SAKURAI Takafum**
MOURI Atsuo***, KOBAYASHI Yasunor*** and HAYASHI Narum****

1. 緒 言

ソフトマテリアルの一種であるゲルやゴム、エラストマーのような柔軟な素材は、プラスチックとは異なる柔軟性や質感が付与できるため、自動車などの工業分野を始めとして、医療分野などにも幅広く用いられている。ソフトマテリアルの開発においては、用途に応じた特性調節が必要なことから、素材自体の開発にとどまらず、フィラー混練などによる機能付加が進められている。マトリックス材を補強するフィラーについても、さまざまな材料が模索されているが、近年セルロースナノファイバー(CNF)が注目を集め、企業や大学、公設試など様々な機関が取り組んでいる。

そこで、本調査研究では、ソフトマテリアルを利活用するにあたっての技術動向調査、県内企業のニーズ・シーズ調査、そして抽出された技術課題とその対策についての調査を行った。また、県内企業への情報提供の場として講演会を開催した。

2. 活動概要

2.1 講演会開催

新素材フィラーのひとつとして注目されている、CNFに関する講演会を実施した。CNFは植物繊維を

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

*** 県央技術支援センター

**** 中越技術支援センター

微細にほぐすことで作製できるが、作製法は水撃などの機械的作用によるものと、触媒を使用して化学的操作を伴うものの2種類がある。前者の太さはおおむね数nm～数10nmに対して、後者の太さはおおむね10nm以下である¹⁾。

このようなCNFを製品へ応用する取り組みについて、2件の講演をいただいた。講演には企業から30社45名の参加があった。概要は以下のとおり。

セルロースナノファイバー講演会
(平成28年9月29日、県央技術支援センター)

講演1) 県内の取り組み

「セルロースナノファイバーのエアフィルタへの応用」

(北越紀州製紙(株) 研究所 根本純司氏)

メンブレンフィルタやガラス繊維不織布のサブミクロンから数ミクロンオーダーの空孔に、CNFの微細なクモの巣構造を作製する研究について紹介した。化学処理で作製されたCNFを分散した水溶液にクモの巣構造の足場となるフィルタを浸漬させ、加熱乾燥させることで空孔内にさらに微細なCNFのクモの巣構造が作製でき、従来に比べ高性能なフィルタになりうる評価結果が得られた。この技術を応用し、製品開発に向け取り組み中である旨の紹介があった。

講演2) 県外の取り組み

「セルロースナノファイバーの様々な熱可塑性プラスチックへの複合事例紹介」

((地独)京都市産業技術研究所 研究副主幹 仙波健氏)

熱可塑性プラスチックの補強を目的とした、様々なプラスチックへのCNFの混練と、強度評価の事例紹介。CNFがプラスチックに混ざりやすいように、その構造の一部を疎水化しプラスチックへの混練性向上を図った。これにより、従来は240℃付近で熱分解していたプラスチックとCNFの複合材で50℃程度の耐熱性向上が見られた。また、化学変性させたパルプをプラスチックとともに2軸混練機に投入することでCNF複合材料を作製する、非常に簡便なプロセスの開発についても紹介があった。

2.2 県内企業の動き

県内企業からソフトマテリアルに対するニーズについて聞き取りを行った。当所に対するニーズには大別して「新材料に関する情報提供」と「製品や開発品の評価方法の検討と実施」の2つがあった。前者は、CNFを分散したプラスチック材料の機能付加及び疲労特性について、木材表面への塗工による効果などに関心が寄せられた。後者は、ゲルの強度、エラストマー製品の特性評価について要望が寄せられた。

2.3 ゲル強度試験

水溶性ゲルの硬さ評価について県内企業から要望があり、当所の設備を利用して実施した。なお、試験に際しては、JIS K6503にかわ及びゼラチンにおける5.4ゼリー強度²⁾を参考とした。

試験装置を図1に示す。試験は、試料表面に対して垂直にプローブを押し込んだ後に引き抜く過程の中で、プローブに加わる荷重の変化を測定した。プローブの押し込み速度及び引き抜き速度は0.5mm/sとし、押し込み深さは試料表面から4mmとした。

測定例を図2に示す。横軸はデータ採取開始を0とする時間、縦軸は荷重変化と、プローブ先端の位置変化である。試験開始から約2秒後にプローブが試料に接触する。その後、荷重は不規則に変動を始

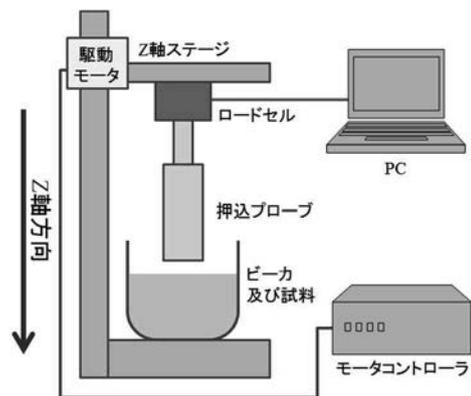


図1 ゲル強度試験装置概略図

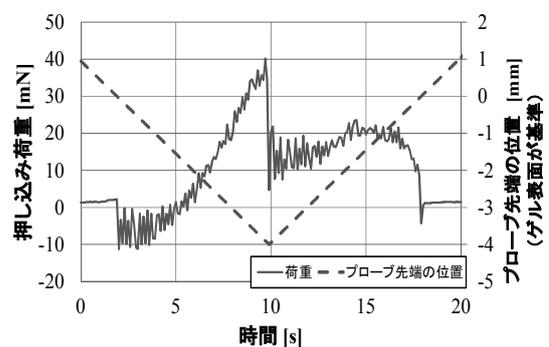


図2 ゲル強度試験の一例

め、その後一様に上昇した。試料表面から4mm押し込まれた時点で最大荷重を示した。この後プローブを上方に移動、その際荷重は急激に低下し、試料はプローブが引き抜かれる方向に移動を始めた。試料表面位置(18秒の時点)では、荷重がわずかに負の値を示した。以上の試験により、プローブのゲル表面への付着、押し込み、ゲル表面から脱離する一連の挙動を評価できることがわかった。

本来、ゲルの特性を評価するに当たっては、変形速度やひずみによる影響などに加え、熱分析などを組み合わせた評価が望ましいが、ゲル製品の硬さを簡易的に比較する場合は、押し込みの最大値やプローブからの脱離力で比較することも可能と考えられる。

2.4 エラストマーの強度試験

エラストマーやゴムの強度評価については、JIS K6254 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム 一応力-ひずみ特性の求め方で定められた強度試験片の寸法が製品に比べて大きく、試験片が十分に確保できない場

合がある。そこで、エラストマー製品から、規格外の試験片を取り出して特性を評価する方法について検討を行った。一般的に、エラストマーは変形速度に応じて異なる力学挙動を示すことが知られており、詳細な評価には周波数特性や温度特性などを組み合わせることが求められるが、今回は圧縮条件下で使用される製品を想定したため、定速圧縮試験及び緩和試験により特性評価を試みた。

厚み4mmの熱可塑性エラストマーシートから、φ8mmポンチで円柱形に打ち抜いた試料を試験に供した。

試験は、万能材料試験機（株）島津製作所製、AG-250kNI）を用いて圧縮円盤で試料を挟み、圧縮過程と緩和過程における荷重変化を測定した。試験条件は表1のとおり。圧縮円盤の動作速度を0.01と0.1mm/sとし、最大圧縮荷重490Nまで圧縮した後、5分間隙間を固定し、荷重の緩和を測定した。

圧縮及び荷重緩和過程を図3に示す。圧縮過程については、0.01、0.1mm/sともに押込量0.6mm付近までほぼ同じ曲線を示した。その後、徐々に0.01mm/sが下側に位置する形で推移し、490Nに至る圧縮量は0.08mm程度の違いが見られた。試験前のエラストマーシートの厚みの面分布を測ったところ0.02mm未満の厚み分布あり、変形速度により圧縮挙動が変化したと考えられる。

次に緩和過程について、5分間のうちに荷重の緩和を示した。それぞれの緩和挙動については、0.1～10秒の傾きに注目すると、0.1mm/sの方が0.01mm/sより傾きが大きい。また10秒以降では、両者の傾きに大きな差は見られない。このことから、今回試験した熱可塑性エラストマーは、圧縮速度を変化させ、10秒までの傾きを比較することで、特性評価につながる事が示された。このような試験方法で、製品の用途によってはエラストマーの速度依存性や荷重の緩和挙動を評価できることがわかった。

表1 圧縮過程及び緩和過程の試験条件

圧縮過程	試験速度	mm/s	0.01	0.1
	最大圧縮荷重	N	490	
緩和過程	490Nに至った変位を5分間維持する			
試験温度		°C	22±1	

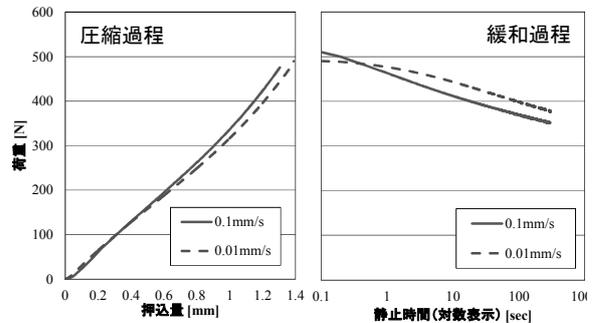


図3 エラストマーの圧縮及び緩和過程の一例

本調査研究の過程で、大学、企業との協力関係を築いたが、競争的資金への応募や製品開発には至らなかった。今後は個々の事案への個別対応を行う予定である。

3. 結 言

- (1) 新素材のひとつであるCNFに関する講演会を実施し、企業から45名の参加があった。
- (2) ソフトマテリアルに関して県内企業に聞き取り調査を行ったところ、「新材料に関する情報提供」と「製品や開発品の評価方法」についてのニーズが得られた。
- (3) ニーズのひとつである製品評価方法について、ゲル強度評価及びエラストマーの特性評価を行った。この試験方法を持って、大学、企業との協力関係を構築した。

参考文献

- 1) ナノセルロースフォーラム編, “図解よくわかるナノセルロース”, 日刊工業新聞社.
- 2) 日本規格協会, “JIS K6503 にかわ及びゼラチン” .

ジオポリマーに関する調査研究

渡邊 亮* 柳 和彦* 森田 渉* 毛利 敦雄** 岡田 英樹***

Report of Market and Technology Trends of Geopolymer Technology

WATANABE Ryo*, YANAGI Kazuhiko*, MORITA Wataru*, MOURI Atsuo** and HIDEKI Okada***

1. 緒 言

メタカオリンやフライアッシュなどのアルミナシリカ粉末とアルカリ性溶液との反応により生成する非晶質のアルミノケイ酸塩硬化体を Davidovits が「ジオポリマー」と呼称したり。このジオポリマーとは通常のセメントと同程度の機械的強度を持ち、かつ優れた耐酸性を持つ。そして、フライアッシュなどの産業副産物を原料に利用できるため CO₂ 排出を抑制できる低環境負荷な構造材料として検討されている。また、ゼオライトに類似した構造を持ち、イオン交換能があるとともに、細孔を持つため吸着材としても注目されている。

そこで、本調査研究では、これら様々な特徴を持つジオポリマーについてコンクリート二次製品への適用や新規機能性材料の開発の可能性を探るため、セミナーを開催するとともにアンケートによる聞き取り調査を行い、技術動向の調査、県内企業と大学・高専への訪問調査、さらには、種々の試験によりジオポリマーの特性把握を行った。

2. 活動概要

2.1 セミナー開催

ジオポリマーに関してその基礎から応用事例についてセミナーを開催し、企業などから 29 名の参加があった。セミナー開催時の様子を図 1

* 下越技術支援センター

** 県央技術支援センター

*** 研究開発センター



図 1 セミナーの様子

に示す。アンケート調査の結果では、コンクリート材料に望む性能として、耐酸性、耐塩害、耐凍害性などの項目で要望が挙がっていた。セミナー概要は以下のとおり。

・「ジオポリマー研究会」セミナー（平成 29 年 1 月 26 日、会場：新潟県工業技術総合研究所講堂）

講演 1：「ジオポリマー硬化体：基礎から応用まで」（(公財)鉄道総合技術研究所材料技術研究部コンクリート材料研究室 上席研究員 GL 上原元樹氏）

様々な配合・養生条件のもとジオポリマー硬化体を作製し、機械的強度や乾燥収縮率、塩化物イオンの浸透性、細孔分布などを調べ、鉄道部材のまくらぎへの適用を行っていた。また、ジオポリマー硬化体の配合方法の統一的記述方法の提案、新たな作製方法の提案、補修材への適用、壁材・床材の開発、重金属吸着材の例など多岐にわたる応用を紹介いただいた。さらに、

ジオポリマーの配合領域ごとに適した目的製品の例示があった。

講演 2:「三重県工業研究所におけるジオポリマー技術に関する取り組みくポーラスコンクリートに関する話題を中心に>」(三重県工業研究所ものづくり研究課 主幹研究員 前川明弘氏)

ポーラスコンクリートの利用目的やその製造に必要な材料特性について基礎的なところから説明いただき、作製したポーラスコンクリート漁礁の設置の様子を紹介があった。その後、セメントをジオポリマーに置き換えたジオポリマーポーラスコンクリートの具体的な開発方法について講演いただいた。

2.2 技術動向の調査

(公財)日本コンクリート工学会がジオポリマーに関する「建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会」を立ち上げた。その目的は技術に関する国内外の既往の知見をとりまとめ、ジオポリマーの体系と期待できる品質を示すことなどが上げられている。その研究委員会が開催する「建設分野におけるジオポリマー技術の現状と課題」に関するシンポジウムに参加し技術動向の調査を行った。

豪州では空港舗装をジオポリマーの現場打設で実施し、大分の酸性温泉地ではジオポリマー製の道路縁石で施工が行われたことが紹介され、ジオポリマーが利用され始めていることがわかった。ジオポリマーコンクリートの環境影響に関する定量的考察、乾燥収縮による体積変化を抑制するための添加剤の開発や化学的浸食抵抗に関する報告などがあった。ジオポリマーの標準配合例示を目指し活動している研究委員会から標準配合が例示されれば、コンクリート二次製品へジオポリマーの適用が容易になると思われる。ただ、フライアッシュや高炉スラグは排出場所や季節により組成が異なるため、地域ごとのローカル配合を考えるのが良いとの意見があった。

2.3 大学・高専及び県内企業への訪問調査

2.3.1 大学・高専への訪問調査

ジオポリマーのコンクリート二次製品への適用に関して大学・高専に対し訪問調査を行った。

ジオポリマーコンクリートはセメントコンクリートに比べ費用が1.5~2倍程度と試算されているため、低環境負荷材料という特徴だけではセメントコンクリートの代替は困難である。ただ、セメントコンクリート材料は技術的に成熟した材料であるが、耐酸性に関してはいまだ大きな弱点として存在している。そのため、耐酸性を必要とする部分にジオポリマーの適用可能性があることがわかった。

2.3.2 県内企業への訪問調査

ジオポリマーのコンクリート二次製品への適用の可能性を探るためにコンクリート二次製品製造企業を訪問した。

下水道施設のコンクリート二次製品において耐酸性に課題があり、各社、ジオポリマーの持つ耐酸性には興味があるようだった。加えて、プレミックスされた状態で供給され、設備投資を伴わないような材料や、耐塩害性や耐凍害性に優れた材料が望まれていた。

コンクリート二次製品以外への適用を探るために環境保全資材製造企業を訪問した。

産業副産物を高付加価値製品にする技術にニーズがあり、産業副産物から骨材や吸着材などにする技術の一つとしてジオポリマー技術を適用する可能性があることがわかった。

2.4 工業技術総合研究所の取り組み

ジオポリマー硬化体がセメント系硬化体と同程度の機械的強度を持つのかを調べるため、ジオポリマーモルタル試験体を調製し、圧縮強度試験を行った。また、ガス吸着材としての可能性を検討するため、ジオポリマーによる粉体試料を調製し、硫化水素吸着試験を行った。

表 1 ジオポリマーモルタル試験体の配合条件

試料名	単位量 (g/L)			
	フライアッシュ	水ガラス	水酸化ナトリウム水溶液	細骨材
ジオポリマーモルタル試験体	750	203	174	1056

2.4.1 圧縮強度試験

既存の研究結果を参考に²⁾、表 1 の配合条件及び表 2 の材料で試験体を作製した。試験体の作製方法は以下のとおり。

- ① 水ガラスと水酸化ナトリウム水溶液を混合しバケツに投入した。
- ② フライアッシュを投入し、ハンドミキサーで 30 秒間練り混ぜた。
- ③ 細骨材を投入し、ハンドミキサーで 90 秒間練り混ぜた。
- ④ 紙製型枠 (φ 50×100mm) に二層打ち込みし、振とう器で固締めした。
- ⑤ 型枠上面を養生フィルムとビニールテープで封緘、初め 6 時間は 80℃、その後養生開始後 48 時間まで室温で養生した。
- ⑥ 脱枠を行い、圧縮強度試験前に圧縮面に対し研磨を行った。

圧縮強度試験の結果を図 2 に示す。材齢 3 日で圧縮強度が 30N/mm²に達し、材齢 28 日では 45N/mm²に達した。図中に付記したセメントモルタルの材齢 28 日における圧縮強度の範囲と比較して、同程度の圧縮強度が出ていることがわかる。

2.4.2 硫化水素吸着試験

表 3 の配合及び養生条件で混合作製し、粉碎して調製した試料について硫化水素吸着試験を行った。使用したフライアッシュ、水ガラス、水酸化ナトリウム水溶液は表 2 と同じものである。対照試料として一般的な吸着材である活性

表 2 使用した材料

材料名	種類 (密度)
フライアッシュ	2 種相当 (2.26g/cm ³)
水ガラス	1 号相当 (1.67g/cm ³)
水酸化ナトリウム水溶液	5mol/L (1.19g/cm ³)
細骨材	標準砂 (2.64g/cm ³)

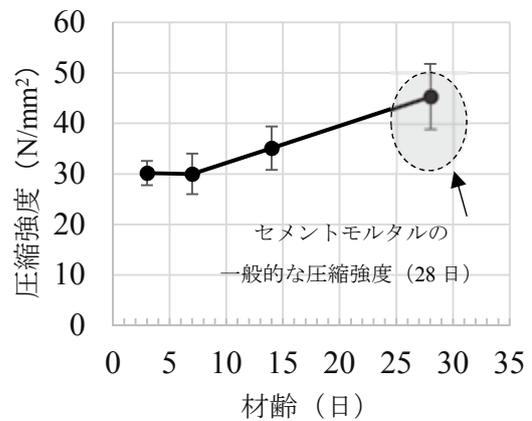


図 2 圧縮強度試験

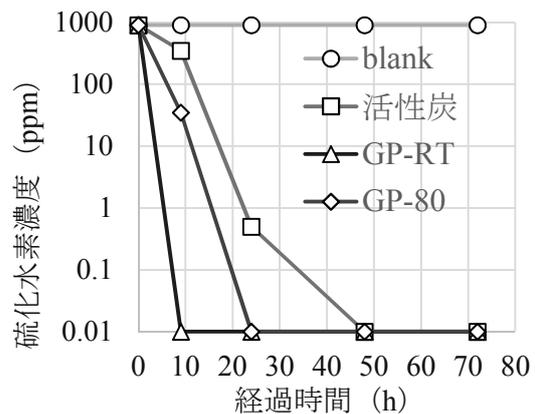


図 3 硫化水素吸着試験

表 3 硫化水素吸着試験試料の配合及び養生条件

硫化水素吸着試料	フライアッシュ (g)	水ガラス (g)	水酸化ナトリウム水溶液 (g)	養生条件
GP-RT	124	34	29	室温
GP-80	124	34	29	80℃で 24 時間封緘

炭を用いた。テドラーバッグに各種試料 0.5g を入れ、硫化水素濃度 900ppm のガスを 4L 導入し、所定の時間ごとに硫化水素用ガス検知管を用いてテドラーバッグ内の硫化水素濃度を測定した。

硫化水素濃度の経時変化を図 3 に示す。活性炭と比べ、ジオポリマーは硫化水素をよく吸着することが分かった。今回の条件では特に室温下で養生したもので硫化水素吸着能が優れていた。

3. 結 言

- (1) ジオポリマーについて基礎から応用に関するセミナーを開催し、企業などから 29 名の参加があった。
- (2) 下水道施設のコンクリート二次製品において耐酸材料のニーズがあり、ジオポリマーの適用可能性があることがわかった。
- (3) 産業副産物を高付加価値製品にする技術に

ニーズがあり、その一つとしてジオポリマー技術の適用可能性があることが分かった。

- (4) 圧縮強度試験においてジオポリマーモルタルは通常的水泥を用いたモルタルと同程度の強度を示した。また、硫化水素吸着試験において、ジオポリマーが硫化水素に対して優れた吸着能がある可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Joseph Davidovits, *GEOPOLYMER Chemistry & Applications 4th edition*, 2015, pp. 11-14.
- 2) 前川 明弘, “ジオポリマーコンクリートの乾燥収縮特性に関する基礎的研究”, 「建設分野におけるジオポリマー技術の現状と課題」に関するシンポジウム, 2016, pp. 75-80.

ドローンを活用した 3D 計測技術に関する調査研究

高橋 靖* 松本 好勝* 浦井 和彦*
馬場 大輔** 大野 宏***

A Report of Measurement technology for Three-dimensional Shape Data by Utilizing Drone

TAKAHASHI Yasushi*, MATSUMOTO Yoshikatsu*, URAI Kazuhiko*,
BABA Daisuke** and OHNO Hiroshi***

1. 緒 言

近年、進歩が著しい無人航空機ドローンを活用した 3D 形状計測技術については、地形測量、自然災害調査、建築物・構造物の検査・点検などの用途で開発が進められている。

一方で県内には、鉄道車輛、船舶、建設機械、化学プラントなど、比較的大きな製品の製造に携わる企業が存在している。これらの大型製品がその性能を期待どおりに発揮するためには、寸法、形状、幾何公差など、作られた製品の計測とその精度管理が重要となる。

しかしながら現状では、大型の製品や部品の寸法測定は、生産者が独自で設備投資を行う場合、高価なものとなり、大きな負担となってしまうことに加え、測定自体も対象物が大きくなるほど困難となる。高価な測定機を導入し、計測を行っている企業も存在しているが、一般的には上記の理由から精度の高い計測を実施できない企業は多い。

そこで本調査研究では、このような問題を解決するため、ドローンを活用した 3D 形状計測技術について、現状の 3D 計測技術で実現できる精度の確認や技術課題の把握を行い、企業ニーズに整合した研究テーマの提案を探索することを目的に、調査研究を行った。

* 上越技術支援センター

** 下越技術支援センター

*** 研究開発センター

2. 活動概要

2.1 セミナーの開催

ドローンの活用方法における最新技術、およびドローンを活用した三次元計測技術を県内企業へ情報提供するため、セミナーを 2 回開催した。内容を以下に示す。

第 1 回ドローン計測研究会

開催日：平成 28 年 8 月 9 日（火）

会場：上越テクノスクール 人材開発センター
一実習場、および体育館

参加者：61 社、105 名

演題 1：「UAV 利活用に必要な考え方」

講師：国立大学法人岐阜大学 工学部附属インフラマネジメント技術研究センター
教授 沢田 和秀 氏

内容：ドローンを用いた空中写真測量を土砂災害・落石対策に活用する事例を交えながら説明。ドローンは空中写真撮影・測量の分野において大変有効なツールである一方、運用目的を明確にすること、および運用方法の適性を事前に検討することの重要性を解説していただいた。

演題 2：「ドローンの基礎と現状～ロボット産業の展望」

講師：金井度量衡（株） 執行役員 UAV 企画開発部部長 吉田 雄一氏

内容：ドローンは空中写真撮影・測量のほか、

様々な分野において大変有効なツールである一方、システムとして脆弱なために運用する上でのトラブルやリスクがあり、法令、規則の遵守が求められる点などを啓発していただいた。

第2回ドローン計測研究会

開催日：平成29年2月7日（火）

会場：上越テクノスクール 人材開発センター
実習場

参加者：34社、51名

演題1：「デジタル写真測量の基礎から応用」

講師：ジオアカデミーコンサルタント

田中 邦一 氏

内容：デジタルカメラで撮影した画像から、撮影位置を再現し、3D計測をする原理と、それに使われる主要なソフト、応用分野などについて解説していただいた。

演題2：「ドローン計測研究会の調査報告」

講師：上越技術支援センター 高橋 靖

内容：市販のデジタルカメラと SfM (Structure from Motion) ソフトを用いた 3D 計測の事例などを紹介するとともに、研究会の活動内容について説明した。

2.2 ニーズ調査

ドローンを活用した 3D 形状計測に関する県内企業ニーズを把握するために、企業訪問による聞き取り調査を実施した。調査では、①大型製品測定、②プラントの現物合わせ、③現場点検補修、の3つのニーズを想定し、該当する企業への訪問調査を実施した。また、セミナー開催時にアンケートを実施した。以下に、ニーズ調査、アンケート結果の内容を示す。

2.2.1 大型製品測定に関するニーズ調査

対象用途：船舶、鉄道車輛、建設機械などハンディスキャナーでは計測困難なメートルサイズの大型製品、構造物の 3D 形状測定、主要寸法測定など

対象企業：輸送機械製造業、一般機械製造業、金属製品製造業

調査結果：対象企業では、アーム式 3D 測定機や大型三次元測定機などを利用している。

2.2.2 プラントの現物合わせに関するニーズ調査

対象用途：現物合わせ時の現場計測、配管プラント、コンクリートブロックなどのボルトや取付穴の位置計測

対象企業：プラント設計メーカー

調査結果：地上型 3D レーザースキャナーを用いた計測方法が実用化されており、ドローン計測が必要とされない。

2.2.3 現場点検補修に関するニーズ調査

対象用途：風力発電、水力発電、火力発電、太陽光発電などの現場点検やメンテナンス、補修に必要な部品の寸法測定

対象企業：エネルギー機器関連メーカー、メンテナンスメーカー

調査結果：既にいろいろな企業によりドローンを用いた点検サービス技術の開発が進められている。検査方法が規格に定められている場合には、開発した検査技術が採用されないことも想定される。

2.2.4 アンケート結果

2回実施したセミナーでは、建設業が参加者の7割以上を占め、測量における精度確保を具体的にどのように行えば良いか、ドローンによる飛行方法や撮影条件、解析方法などの課題が挙げられていた。一方、製造業の参加は1割と少なく、具体的なニーズはみられず、大型製品測定に関する具体的な技術提案が必要であるように感じられた。

2.3 技術動向調査

ドローンを計測装置のプラットフォームとして用いる場合、搭載するセンサには、①小型・

軽量，②高速計測，高速処理，③安価であることが求められる。そのため，現時点では，レーザースキャンとデジタル写真測量による 3D 形状取得技術が実用化されているのみである。以下にその特徴を述べる。

2.3.1 レーザースキャン

レーザー光をパルス照射し，測定対象から反射するレーザー光との時間差より距離を求め（TOF 方式，位相差方式），GNSS/IMU から得られるセンサの位置・姿勢情報をもとに絶対座標を求め，点群データを収集する。ドローン向けに小型軽量のレーザースキャナーが販売されているが，数千万円と非常に高価である。

2.3.2 デジタル写真測量

ドローンによる空中写真を SfM ソフトにより処理する方法。SfM は重複した連続画像から，特徴点を自動抽出，ステレオマッチング，標定を行い，特徴点の相対座標を求め，別に求めた基準点により絶対座標を得る¹⁾。デジタルカメラは一眼レフカメラが多く使用され，数万円から数十万円と比較的安価である。SfM ソフトは，100 万円くらいからフリーのものまで様々あり，その種類やグレードにより，性能，精度に違いがみられる²⁾。

3. 工業技術総合研究所の取り組み

3.1 予備試験

デジタル写真測量，SfM ソフトによる 3D 計測について検討するため，ドローンによる空中写真撮影から，SfM ソフトによる 3D 形状の構築までを検討した。

3.1.1 ドローンによる空中写真撮影

試験機器：DJI Phantom4pro+

試験方法：Point of interest により定点巡回飛行しながら静止画像を任意に撮影した。

飛行高度：>5m

旋回半径：>5m

飛行速度：1m/sec

測定対象：小型自動車（日産 AD バン，長さ 4.4m，幅 1.7m，高さ 1.5m）

撮影枚数：30 枚程度

天候：晴れ

3.1.2 空撮画像から 3D 形状の構築

使用ソフト：AgiSoft Photoscan Std

試験方法：SfM ソフトによる 3D 形状の構築

試験結果：図 1 に示す。透明のガラスの部分を中心に，細部の形状が構築できていない。概ね 3D 形状を構築できることはわかったが，まずはドローンに搭載する前の段階の写真測量技術について，更にノウハウを蓄積する必要があると考えられる。

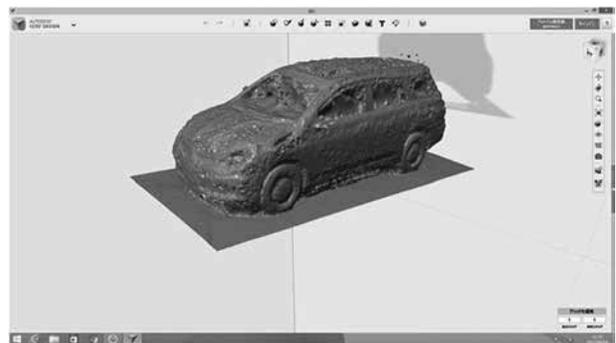


図 1 3D 形状の構築結果

3.2 ドローンを活用した 3D 計測技術の課題

3.2.1 ドローンの飛行制限

現在，日本国内ではドローン飛行の安全運用を確保するため，様々な法律や条例などで規制がかけられている。航空法に抵触する場合には，国土交通大臣の許可を得る必要がある。そのため，屋外で飛行する空域，飛行の方法については注意が必要である。また，航空法に抵触しない空域や飛行方法であっても，私有地で飛ばす場合には，その管理者への許可を得る必要がある。有料のドローンフィールドや屋内飛行であれば特に問題はない。

3.2.2 GPSに代わる屋内測位技術

ドローンを屋内や構造物の下を飛行させる場合は、GPSの電波が及ばないため、これに代わる方法でドローンの位置を測定し認識させる必要がある。この課題への対策としては、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) や IMES (Indoor Messaging System) , iGPS (indoor GPS) などの技術が既に開発されており³⁾、これらの実装が必要となると思われる。なお、市販のドローンでも、CCDカメラや赤外線センサ、超音波センサなどを搭載して安定飛行させるといった測位によらない方法での制御技術の進展がみられるため、これらの内蔵された機能を利用する方法も考えられる。

3.2.3 測定対象の適応性の検討

デジタル写真測量では、いかにピンボケのない写真を撮影するか、また、背景、照明をどのように設定するかなどの写真撮影技術に関するノウハウが必要とされる。また、レーザースキャンでは、透明体や、反射率の低い黒色の対象物など、データ取得の不得意な対象物の表面があり、表面テクスチャーの影響を除去する表面処理方法や適応対策についての検討が必要である。

3.2.4 SfMソフトの検討

3D計測にSfMを用いる場合、その精度を向上させるため、撮影枚数、オーバーラップ、サイドラップ、ソフトウェアの種類や処理条件の検討が必要である。

3.2.5 基準設定方法の検討

デジタル写真測量による3D計測においては、

あらかじめその絶対座標を求めた対空標識の設置、測定対象物へのマーカーの貼付、あるいは一緒に撮影する基準尺の設置が必要になる。それらの基準設定方法が測定精度に大きく影響を与えるとされ、検討が必要である。

4. 結 言

- (1) 2回のセミナーを開催し、延べ95社156名の参加があり好評を得た。参加者は建設業が7割以上を占め非常に関心が高いことがわかった。一方で製造業は1割程度と関心が低かった。
- (2) ニーズ調査では、①大型製品測定、②プラントの現物合わせ、③現場点検補修、の3つを想定し調査を実施したが、研究テーマ提案につながるような有力なニーズは見つからなかった。また、測定レンジや測定精度は、対象により大きく異なること、既存技術と競合があることもわかった。
- (3) SfMソフトによる3D形状の構築を試みたが、細部の形状が再現できず、更にノウハウを蓄積する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本写真測量学会、三次元画像計測の基礎バンドル調整の理論と実践、2016。
- 2) 近津博文他、UAV写真測量における三次元モデリングソフトウェアの性能評価、写真測量とリモートセンシング、vol.55, no.2, 2016, pp.117-127。
- 3) 小特集「Indoor 3D～屋内マッピング・屋内測位・屋内ナビゲーションの最新研究」、写真測量とリモートセンシング、vol.55, no.4, 2016, pp.232-253。

テキスタイルと異種材料の接合による 加飾加工に関する調査研究

橋詰 史則* 古畑 雅弘* 渋谷 恵太* 河原 崇史*
山田 敏浩** 田辺 寛***

Report of Market and Technology Trends of Decorative Processing
by Joining Textile and Dissimilar Materials

HASHIZUME Fuminori*, FURUHATA Masahiro*, SHIBUYA Keita*, KAWAHARA Takashi*,
YAMADA Toshihiro** and TANABE Hiroshi***

1. 緒 言

自動車内装部品や携帯情報端末をはじめとした生活用品分野において、製品表面に高い質感を付与する加飾技術が幅広く用いられている。加えて近年は視覚的外観の向上にとどまらず、触感の心地良さを伴う加飾技術の向上が求められている。そこで織物、ニット、不織布などのテキスタイルを表面へ接合することにより機能性や高い質感を付与する加飾技術について調査や実験を行い、新しい加飾技術やそれを活用した新商品の開発に結び付けることを目的とした調査研究を行った。

2. 活動概要

2.1 研究会の開催

生活用品や自動車部品などにおいて幅広く使用されているプラスチック成形品における加飾技術の現状や市場動向について講演会を開催し、36名の参加を得た。図1に講演会の様子を示す。加飾加工技術研究会の事業紹介も併せて行った。アンケート調査では、講演内容には「非常に参考になった」「参考になった」の回答が9割を超え好評であった。講演内容は以下のとおり。

* 素材応用技術支援センター

** 研究開発センター

レーザー・ナノテク研究室

*** 県央技術支援センター



図1 講演会の様子

開催日：平成28年12月8日

演題：「ものづくりの付加価値を高めるプラスチック加飾技術の最新動向」

講師：秋元技術士事務所 所長 秋元英郎氏

概要：プラスチック成形品は通常の一次成形品のままでは安っぽく、冷たい感じがしてしまう。そこで金属の光沢感や皮革のシボ感など、高級感のある他の素材の質感を追求し、樹脂の特徴を活かして品格を良くするプラスチック加飾技術が使われている。これは金型内で行うものと金型外で行うものの二種類に大別される。さらにそれぞれ塗る、貼る、転写する、という手法で分類することができ、目的や長短に応じて使い分けられている。加えて最近では大容量デジタルデータの取り扱いが可能になったことから、金型に直接シボやテクスチャの形状を切削加工する技術が注目され始めてきている。今後も高級感の演出のため、環境に配慮した手法で高付加価値を得る加飾技術の進歩が予想される。

2.2 技術動向

プラスチックの通常成形品は、表面の外観品質や質感、耐光性や表面硬度が不足しており、現在は塗装、メッキといったウェット加飾が一般的に行われている。しかし、自動車生産時のCO₂排出量において塗装工程の占める割合が大きく、VOCと合わせ排出削減が課題となっている。¹⁾ そこで上記手法を用いないドライ加飾手法が注目されてきている。

1 点目はNSD（ノンスキンデコレーション）と呼ばれる表面層を付与しない加飾である。高外観原着樹脂を使用して塗装に近い発色やメタリック感を得る手法や、大容量デジタルデータにより金型表面にシボなどを切削加工し、射出成形により微細な表面凹凸を得る手法がある。

2 点目はフィルム貼合や転写などにより表面層を付与する加飾であり、意匠表現性や機能付与性に優れる。先に目的形状に賦形した成形品を装置内に設置し、真空成形技術を応用して真空圧および大気圧・圧縮圧によりフィルムを成形品に被覆または転写する「TOM工法」が代表的なものである。逆テーパ形状や端末巻込みも可能であるが、フィルム被覆のみ加工後のトリミングが必要である。多種多様な加飾フィルムがあり270社以上がフィルム製造に参入していると言われている。

3 点目は塗装の高度化である。インクジェット塗装はUV硬化型高粘度インク吐出により絵柄と表面凹凸形状の付与が可能である。金型内で塗装を行うIMP（インモールド塗装）では、金型内で樹脂射出成形後、型をわずかに開いて塗料を注入し再度型締めし塗料を硬化させる。金型表面形状の転写性に優れ、鏡面やシボの塗膜面を得ることができる。タレやゴミの付着が無くミリ単位の厚い塗膜を得ることも可能で環境負荷も少ない。

2.3 市場動向、県内企業の動向

各展示会視察により市場動向を調査した。

フィルム被覆・転写による加飾技術関連では



図2 布施真空 TOM 工法サンプル

布施真空 TOM 工法をはじめとして各社が手法を提案しているとともに、多様な被覆用フィルム素材が開発されている。図2にTOM工法サンプルを示す。自動車部品に多く使われており、接着、塗装、印刷が困難な素材であるポリプロピレンを対象とした接着資材や加飾シートも各社から提案されている。天然木を使用したフィルム素材や本漆を用いた塗料、本物同等の質感を備えたスエード材などもあり、本物感の追求は継続するものと考えられる。

スポーツ用品分野では、防汚性、抗菌性といった清潔感の維持、滑り止めや美観といった機能性の付与や、クッション性や視認性といった安全性向上のための表面質感の付与がなされている。

介護福祉用品分野では、介護現場でのロボットスーツにおいて、安心感を与える外観やソフトな表面質感について適用の可能性があることが分かった。

県内企業の訪問調査ではテキスタイルを用いた加飾技術のニーズについて調査したところ、各企業製品の内外装においてテキスタイル接合による加飾適用の可能性があることが分かった。実際の製品への適用を目指して引き続き連携して取り組んでいく。

3. 工業技術総合研究所の取り組み

テキスタイルと異種材料の接合に関して、手法や素材の組み合わせによる接合可否や状態を確認するため、2手法による試作を行った結果を報告する。

3.1 金属との熱圧着、プレス形状付与

純アルミニウム、A5052、SUS304の板材に対して4社5種の熱圧着シートを使用して、綿、ナイロン、スエード調、合成皮革の生地をホットプレス機により圧力をかけながらシート熔融温度まで加熱し接合した。その後、球頭および角筒プレス金型によりプレスを行った。実製品を想定した際の外装にあたる凸面側、内装となる凹面側の両方にテキスタイル面が来るように実施した。図3に角筒プレスサンプルを示す。

その結果、繊維の強度が高く伸縮性がほとんど無いナイロン生地や、厚みがある生地以外は破れやシワ、剥離が無くおおむね良好に形状付与することができた。

本手法においては熱圧着接合後に必要寸法や形状にトリミングしてプレスするため、金属が露出した端面となることと、端部からテキスタイルのほつれが発生する恐れがあることから、覆う、隠すなどの仕上げ方法の研究が必要である。また県内企業などの意見として表面テキスタイルの耐久性や防汚性、防水性の向上が挙げられており、その改善方法の研究も課題である。

3.2 インモールド射出成形による接合

県内の射出成形企業の協力を得てテスト用金型と射出成形機を借用し試作を実施した。テキスタイル、アルミニウム板、硬質繊維ボードなどの計8種類の被接合材料を金型内に設置し、ポリプロピレン、ABS、熱可塑性エラストマーの3種類の樹脂を射出成形し接合の可否や状態



図3 SUS角筒プレスサンプル

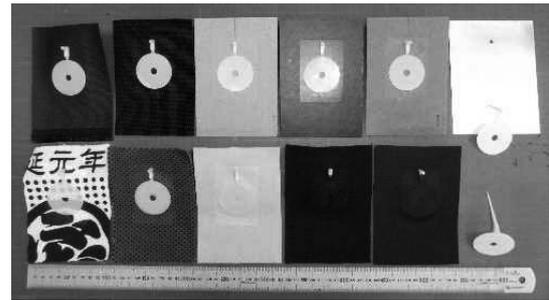


図4 インモールド射出成形サンプル

を調べた。図4に射出成形サンプルを示す。

その結果、被接合材料と樹脂の組合せによって接合強度に差が出ることで、型締め力や射出圧により風合いの潰れや樹脂流れ方向に生地うねりが発生するなどの課題があることがわかった。

4. 結 言

- (1) プラスチック加飾技術に関するセミナーを開催した。県内企業36名の参加者に対し、加飾技術の概要や最新動向について情報提供を行った。
- (2) 見本市視察やセミナー参加により、技術動向や市場動向を調査した。また、県内企業への訪問調査により、テキスタイル接合による加飾の製品への適用の可能性があったことがわかった。
- (3) テキスタイルと金属を熱圧着シートで接合しプレスにより形状付与する試作について、良好な結果を得ることができた。本手法の製品適用に向けた企業との連携や端面処理方法の研究を継続する。
- (4) インモールド射出成形によるテキスタイルと樹脂の接合では、接合強度や風合いの潰れなどが課題であることがわかった。

参考文献

- 1) https://www.toyota.co.jp/jpn/sustainability/environment/challenge2050/6challenges/pdf/presentation_3.pdf, 工場CO₂ゼロチャレンジ, 「トヨタ自動車ホームページ」, 平成29年4月12日.

ファインバブルに関する調査研究

内藤 隆之* 星野 公明** 天城 裕子***

Report of Market and Technology Trend of Fine-bubble Technology

NAITO Takayuki*, HOSHINO Kimiaki** and AMAKI Yuko***

1. 緒 言

ファインバブルとは、直径 100 μm 以下の気泡を総称した呼称である。さらに直径 1 μm を境として大きい気泡をマイクロバブルと呼び、小さい気泡をウルトラファインバブルと呼んで区別する。なお、ウルトラファインバブルの呼称については、既にナノバブルやマイクロナノバブルとの呼称が定着しているものの、今後ファインバブルの定義について ISO 化が実施される見通しであり、ウルトラファインバブルの呼称が徐々に浸透していくものと考えられる。

またファインバブルは、水中への易溶性のほか、水中で浮遊する気泡（特にウルトラファインバブル）の存在による効果に特徴があるとされている²⁾。しかし、この浮遊する気泡の計測（粒度分析）は困難であり、今日まで確立された粒度分析方法がなく、ISO 化に向けていくつかの方法が検討されている状況である。

そのような状況の中、『NIIGATA 開県プロジェクト』における「新潟清酒ブランド構築」に向けた取り組みとして、新潟清酒へのファインバブル活用を検討するため、ファインバブル径計測装置を導入することとした。

そこで、本調査研究では、ファインバブルの粒度分析装置について市場動向を調べ、粒度分析における現状と課題を報告する。また、ファインバブル技術に関する特許出願動向についても報告する。

* 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

2. 活動概要

2.1 講習会の開催

県内企業などのファインバブルに対する関心度を計る目的で講習会を開催した。講習会の様子を図 1 に、内容を以下に示す。

開催日：平成 29 年 3 月 10 日（金）

参加者：16 社 19 名

講 演：

「ファインバブルの計測技術」

「ファインバブルの応用と国際標準化の動向」

講 師：

（株）島津製作所

分析計測事業部 試験機ビジネスユニット
プロダクトマネージャー 島岡 治夫 氏

参加者はファインバブルに関心のある方々であり、本講習会を大変好意的に受け止めていただけた。また、研究会の設立に関する期待も高いことがわかった。



図 1 講習会の様子

2.2 技術動向調査

2.2.1 ファインバブル計測装置

バブル計測に関して、関係する産官学の参加した団体（（一財）ファインバブル産業界：FBIA）が平成 24 年に設立されており、ここで計測方法の国際標準化と認証制度などの研究・検討が行われている。

ファインバブル径計測装置には、レーザー回折・散乱法、動的光散乱法、粒子軌跡解析法、電氣的検知帯法などを利用した計測装置がある。FBIA では、ファインバブルの効果を検証するため、気泡径（nm, μm ）と個数濃度（個/ml）の測定を必須としている。

これまで測定試験の実施を製品評価技術基盤機構（NITE）に委託し、粒子軌跡解析法による測定方法案を先行して作成している。

ファインバブル径の濃度測定ができる方式は、レーザー回折・散乱法と粒子軌跡解析法である。また、 $1\mu\text{m}$ 未満の気泡測定は静置状態での計測となる。一方、 $1\mu\text{m}$ 以上の気泡測定は静置状態では浮上するために通水させながらの計測となる。

2.2.2 特許出願

ファインバブル技術に関する特許出願のうち「マイクロバブル」、「ナノバブル」で検索した 1,046 件について、①出願日、②用途の 2 項目を調べた。出願件数の推移を図 2 に示す。

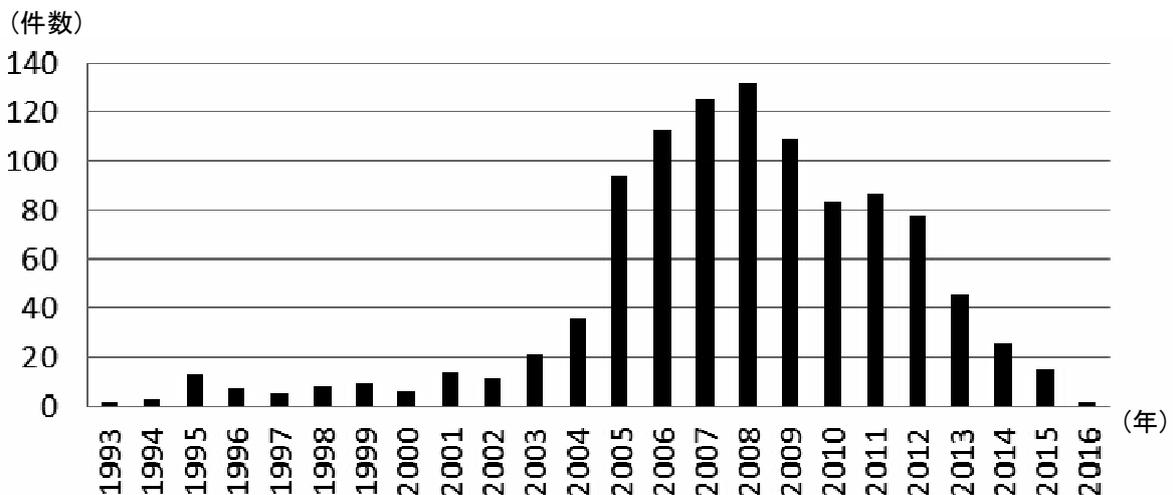


図 2 ファインバブルの特許出願推移

出願件数は 2004 年から急激に上昇したことがわかった。また、出願人の国籍について、日本国と外国で比較すると、1,046 件のうち日本国 946 件、外国 100 件であった。

次に用途別の出願割合について、国別（日本国と外国）で調べた結果を図 3 に示す。日本国では発生装置と水処理（排水処理など）で 6 割を占めていることがわかった。一方、外国からの出願傾向では医療装置関連（主に超音波画像装置および像映剤に含ませて利用）に 7 割を占めていることがわかり、付加価値の高い医療部門に特化している特徴を認識できた。

2.3 工業技術総合研究所の取り組み

装置導入において、機種を選択する経緯を整理すると、以下ようになる。

- ・主な計測方法は、レーザー回折・散乱方式、動的光散乱方式、粒子軌跡解析方式がある。
- ・気泡径の測定条件には 2 とおりがあり、計測するファインバブル水を測定容器内に静置する場合と、測定容器中を通水させる場合がある。
- ・レーザー回折・散乱方式は静置でも通水でも測定ができる。
- ・動的光散乱方式と粒子軌跡解析方式は静置でのみ測定ができる。
- ・気泡径 $1\mu\text{m}$ を境にして計測の可否があり、

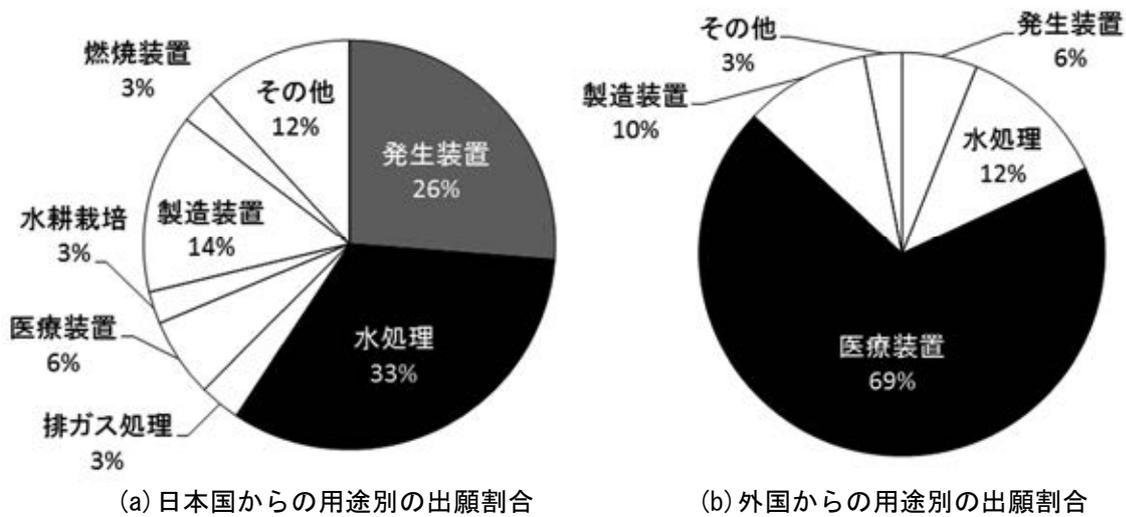


図3 ファインバブルの用途別の出願割合

1 μ m以上の気泡（マイクロバブル）は液中を浮上するため、通水でのみ測定ができる。

- ・動的光散乱方式と粒子軌跡解析方式は1 μ m未満の気泡（ウルトラファインバブル）のみ測定ができる。

このことを踏まえて、計測範囲が広く、多様な要望に応え得るレーザー回折・散乱方式の装置を導入した（図4）。

2.4 県の取り組み

『NIIGATA 開県プロジェクト』における「新潟清酒ブランド構築」に向けた取り組みとして、新潟清酒へのファインバブル活用を検討するため、次年度から醸造試験場と連携し、酒造りにおけるファインバブル技術の適用を検討する。

3. 結 言

- (1) 『NIIGATA 開県プロジェクト』における「新潟清酒ブランド構築」に向けた取り組みとして、新潟清酒へのファインバブル活用を検討することし、当該プロジェクトでの県産品等認知度向上機器整備費によりファインバブル径計測装置（レーザー回折・散乱方式）を導入した。

- (2) ファインバブル径計測では、粒径分布測定において各粒径範囲毎の濃度測定（個数/ml）が重視されている。

- (3) 特許出願動向では2004年から急激に出願件数の増加が見られ、発生装置と水処理関連で全体の6割程度を占めていた。

- (4) 醸造試験場と連携し、酒造りにおけるファインバブル技術の適用を検討する。

参考文献

- 1) 日刊工業新聞，“ファインバブルISO化”，平成29年2月16日。
- 2) 矢部彰ほか，“ナノバブルによる固体微粒子汚れの洗浄”，伝熱，43，183，2004，pp.16-18。



図4 ファインバブル径計測装置

工業技術研究報告書

No.46 平成28年度

平成29年6月 発行

編集発行人 新潟県工業技術総合研究所

所在地 〒950-0915
新潟市中央区鑑西1丁目11番1号
TEL 025-247-1301

印刷所 株式会社 新潟フレキソ
TEL 025-385-4677