

研 究 報 告

第 22 号

令和 2 年 1 月



Journal of
Local Independent Administrative Agency
Iwate Industrial Research Institute

Vol.22

地方独立行政法人
岩手県工業技術センター



地方独立行政法人岩手県工業技術センター

〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡 2-4-25

電 話 : 019-635-1115

F A X : 019-635-0311

ホームページ : <http://www2.pref.iwate.jp/~kiri/>

電子メール : CD0002@pref.iwate.jp

地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告

第 22 号

目 次

◆ 電子情報システム部

- 1 ロボット技術を活用した玉ねぎ裸種子対応播種機の開発
(研究事業名：平成 30 年度 ものづくり革新推進業務)
箱崎 義英、長谷川 辰雄、高橋 強、佐々木 宏朋、佐々木 崇人 3
- 2 IoT を活用した製造ライン監視システムの開発
(研究事業名：平成 30 年度 ものづくり革新推進業務)
菊池 貴、高川 貫仁、大和田 功、寒川 陽美 7
- 3 塩蔵わかめの水分量・塩分量測定器の開発
(研究事業名：公益財団法人 JKA 平成 30 年度 公設工業試験研究所等が主体的に
取組む共同研究補助事業)
箱崎 義英、高橋 強、片桐 俊幸、古山 一幸、金谷 瞬 11

◆ 素形材プロセス技術部

- 4 3D プリンタによる立体器物の寸法補正に関する考察
(研究事業名：平成 28～30 年度 産総研地域連携戦略予算プロジェクト)
和合 健、長嶋 宏之、菊池 貴、黒須 信吾 14
- 5 ニオブのレーザー溶接技術
(研究事業名：平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業 (プロジェクトステージ))
久保 貴寛、桑嶋 孝幸、園田 哲也 22
- 6 オーステンパ球状黒鉛鉄の衝撃特性に及ぼす熱処理条件の影響
(研究事業名：平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業 (育成ステージ))
高川 貫仁 25
- 7 電子ビーム積層造形で作製した Ti-6Al-4V 造形体の造形品質に及ぼす
オーバーハング角度の影響
(研究事業名：平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業 (育成ステージ))
黒須 信吾 29

◆ 産業デザイン部

- 8 漆オブジェ制作への3次元デザインツールの活用
(研究事業名：平成30年度 共同研究)
小林 正信、富士原 文隆、松倉 幸道 34
- 9 南部鉄瓶のデザイン支援ツールの開発
(研究事業名：平成30年度 技術シーズ創生研究事業 (発展ステージ))
長嶋 宏之、高橋 正明、小林 正信 38
- 10 3次元自動加工による木工製品製造の効率化
(研究事業名：平成30年度 技術シーズ創生研究事業 (発展ステージ))
内藤 廉二、有賀 康弘、茨島 明 43

◆ 食品技術部

- 11 白ワイン用ぶどう品種の醸造試験
(研究事業名：平成28年度 技術シーズ創生研究事業 (発展ステージ))
山下 佑子、平野 高広、大野 浩、佐々木 真人、米倉 裕一 48

ロボット技術を活用した玉ねぎ裸種子対応播種機の開発*

箱崎 義英**、長谷川 辰雄**、高橋 強**、佐々木 宏朋***、佐々木 崇人***

岩手県では、農業振興策として玉ねぎの育苗技術開発・大規模化・高収益化への取り組みが進められている。特に収益性向上のためには、丈夫で均一な品質の苗を育てることが重要であり、セルトレイを用いた専用ハウスでの育苗が行われている。現在、セルトレイへの玉ねぎの播種作業は、専用自動播種機を使用している。しかし、既存の自動播種機は、耕地面積が5 ha以上の大規模経営向けの大型装置であり、複数名の作業人員を要し、かつ高価である。さらに、裸種子に比べ高価な丸粒状に成形したコート種子や専用のセルトレイを使用する必要がある。そこで本研究では、農林水産省規格の汎用セルトレイや裸種子を利用可能とする玉ねぎ用播種機の開発を行った。

キーワード：ロボット技術、播種、育苗、タマネギ

Seeding Machine Using Robot Technology for Non-coat Onion Seeds

HAKOZAKI Yoshihide, HASEGAWA Tatuso, TAKAHASHI Kyo,
SASAKI Hiroto and SASAKI Takato

Key words : Robot technology, Seeding, Non-coat Seeds, Onion

1 緒言

岩手県のみならず全国的に少子高齢化、生産年齢人口の減少などによる一次産業衰退の課題をかかえ、その解決のため、国・県はスマート農業を提唱し、ロボット技術やICT(Information and Communication Technology)による生産性の向上や省力化、効率化を進めている¹⁾。

財務相の諮問機関である財政制度等審議会では農業の生産性向上策として、米から収益性の高い野菜に生産を転換するよう提言している。そのなかで、農業・食品産業技術総合研究機構では、加工用玉ねぎの7~8月の端境期出荷を可能にする春まき栽培技術の確立を目指して、「東北・北陸地域における新作物開発によるタマネギの端境期生産体系の確立」の研究を行い、収益増加に向けた新たな経営品目の導入を推進している²⁾。また、県では農業振興策として玉ねぎの田畑転換を推奨しており、育苗技術開発・大規模化・高収益化への取り組みが進められている。

玉ねぎ生産における収益性向上のためには丈夫で均一な品質の苗を育てることが重要で、セルトレイを用いた専用ハウスでの育苗が行われている。現在、セルトレイへの玉ねぎの播種作業は、専用自動播種機を使用している。しかし、既存の自動播種機は、耕地面積が5 ha以上の大規模経営向けの大型装置であり、複数名の作業人員を要し、かつ高価である。岩手県は中山間地が多く農家の7割は耕地面積が2 ha以下となっており、岩手の

現状に合う中山間地域向けの播種機の開発が望まれている。

本研究では、上記ニーズを踏まえ株式会社小林精機と共同でロボット技術を活用し、裸種子に対応した玉ねぎ用播種機の開発を行った。

2 播種機の概要

既存の自動播種機では、扱いやすさから、図1に示すような不定形な裸種子を珪藻土等の造粒素材で丸粒状に成形した高価なコート種子を用いている。また、播種機では専用のトレイを利用しなければならず、生産コストの低減に課題がある。そこで本センターでは、図2に示す農林水産省規格の汎用セルトレイと裸種子が利用できる播種機の開発を目標とした。以下に構成機構等について述べる。

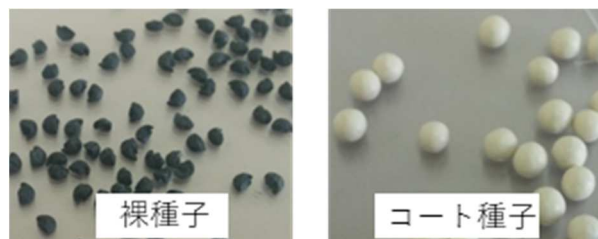


図1 種子(タマネギ)のタイプ

* 平成30年度ものづくり革新推進業務

** 電子情報技術部(現 電子情報システム部)

*** 株式会社小林精機

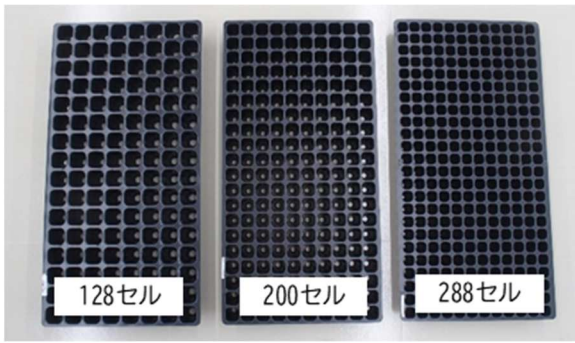


図2 農林水産省規格のセルトレイ

2-1 播種機構

図3に播種機構、図4に播種スライド板の種子保持部及び種子のピックアップの原理を示す。

播種スライド板はベース板上をA-B方向にスライドしながら種子をピックアップする。ピックアップされた種子は、シューターから落下しセルトレイに播種される。

播種スライド板の種子保持部は、図4に示す様に窪みを設けた特徴ある形状をしている。種子保持部前方に集められた種子群を通過しながら1粒を保持し、トレイ短辺のポット個数分のみ取り出すことが可能となっている。

農林水産省規格のセルトレイが128セル、200セル、288セルであるのに対し、図5にそれぞれの短辺のポット数である8、10、12に対応する播種スライド板とシューターを示す。播種スライド板とシューターが対となり3種類のセルトレイに対応可能となっている。

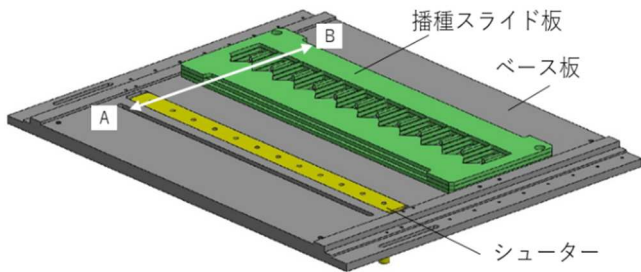


図3 播種機構

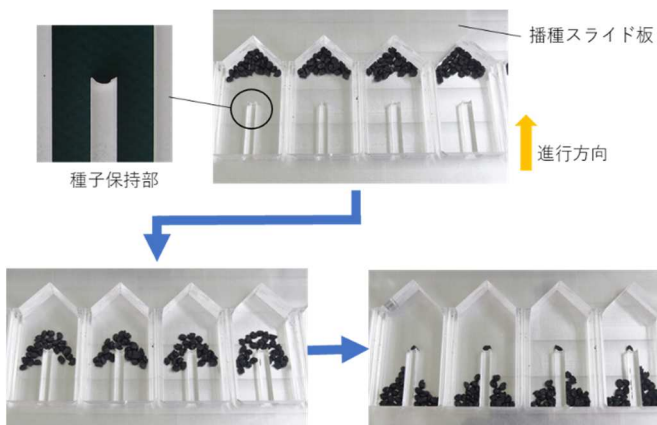


図4 裸種子のピックアップ原理



図5 播種スライド板とシューター

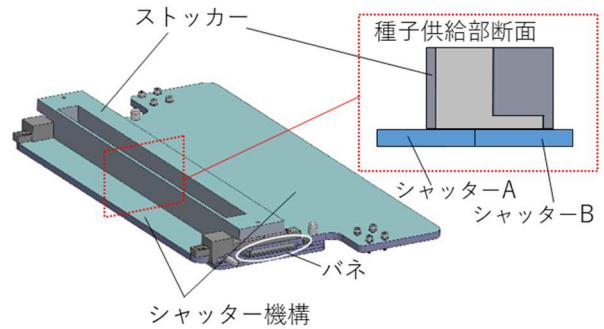


図6 種子供給部

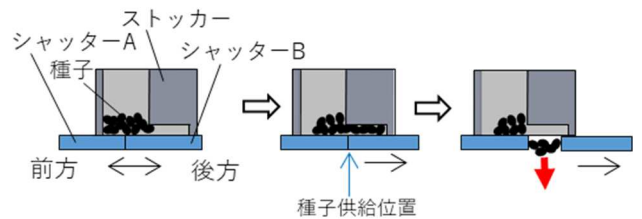


図7 種子の供給方法

2-2 種子供給部

図6に種子供給部を示す。種子供給部は播種スライド板へ種子を供給するものであり、シャッター機構及びストッカーで構成されている。またシャッター機構はシャッターAとシャッターBの二枚の板により構成され、バネによりシャッターは閉じた状態を維持しながらスライド動作が可能となっている。

図7に種子の供給方法を示す。ストッカー断面はL字型形状であり、シャッター機構の往復動作によりストッカー後方部へ種子を集める構造となっている。種子供給位置でシャッターAは動作が固定され、シャッターBがさらに後方に動作することでシャッターが開き、種子が落下して播種スライド板へ供給される。シャッターAを固定する位置を変更することによりシャッター開閉量を変え、種子の供給量を調整することができる。

2-3 セルトレイ搬送部

セルトレイの搬送部を図8に示す。ベルトコンベアにみられる蛇行やスリップ対策としてシャフトとリニアブッシュ及び搬送用テーブルを活用した。既存の自動播種機は、コンベア上のセルトレイを停止させることなく連

続的に播種作業を行っているが、本装置ではセルトレイをセルピッチ単位で間欠動作させ播種作業を行う。テーブルの移動量を変更することで3種類のセルトレイに対応することができる。

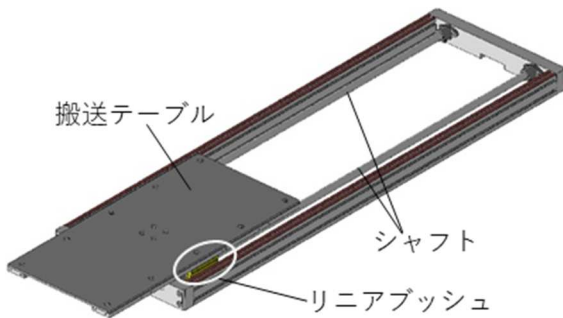


図8 セルトレイ搬送部

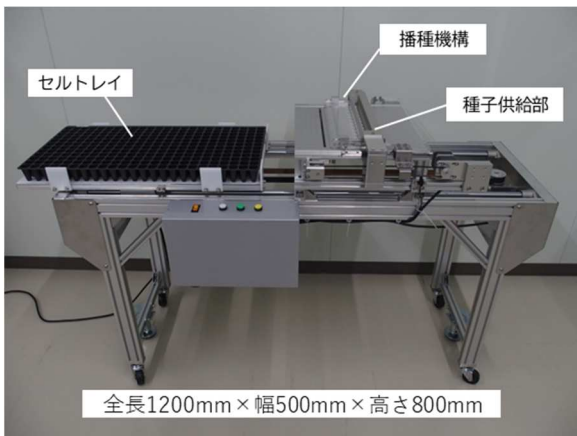


図9 裸種子対応播種機

2-4 試作した播種機

図9に試作した播種機を示す。装置は全長1200mm×幅500mm×高さ800mmであり、一人で操作可能なサイズとなっている。また、裸種子や農林水産省規格の128セル・200セル・288セルのセルトレイが利用可能である。

2-5 動作検証及び考察

播種スライド板種子保持部の一区画に種子を50粒程度供給し、288セルトレイに対して1粒播種の検証を行った。セルトレイ1ピッチの播種作業時間を1.1秒、1.3秒としてセルトレイ10枚について実験を行った結果を表1に示す。1粒播種は1.1秒では75.4%、1.3秒では92.5%であった。スライドの移動速度を速くした場合、セルトレイに種子が供給されない割合が大きくなる。これは、種子がシューター穴から落下せず通り過ぎる現象が発生することが原因であることが分かった。

今回、播種スライドの往復運動は速度一定で動作を行っている。そのため、シューター部分でスライドは急停止する状況となり、種子は弾き出される状態となるためである。作業時間を短縮するためにはスライド動作を高

速にしなければならないが、そのためには、加減速を加えた速度制御が必要となると考えられる。また、シューターの形状を楕円形状にすることや、シューターへのガイド用の溝を付加するなど考えられる。

また種子供給機構について動作検証を行ったところ、図10に示すように、2枚のシャッター板の間に種子の挟み込みが発生した。このことについては、シャッターが閉じると同時に種子の落下が発生することが原因であると考えられる。また閉じる際に種子が余計に供給されることになるため、播種スライド板の一区画における種子数にもバラツキが大きくなることが分かった。これら種子の挟み込みや1セルあたりの播種数のバラツキについては、今後の課題としたい。

表1 1セルにおける播種数の割合

種子数(個)	播種作業時間/回(秒)	
	1.1	1.3
1	75.4 %	92.5 %
0	19 %	1.4 %
2	5 %	5.6 %
3以上	0.6 %	0.5 %

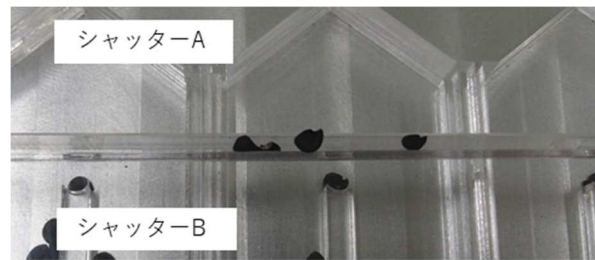


図10 種子の挟み込み

3 1粒播種の向上の検討

播種スライド板の移動速度を調整することで90%以上の確率で1粒播種が可能であることが分かった。一方、種子の抜けや2粒播種等の播種エラーも発生した。そこで、カメラを活用し画像処理によるセンシングを行うこと播種エラーの低減が可能かを検討した。

3-1 画像処理による種子の認識

一般的なWebカメラの視野角は60°程度である。セルトレイの短辺(300mm)を1画面で取得するには、カメラを播種スライド板から約260mm以上の高さに設置する必要がある。実際に装置に組み込むことを考慮すると、カメラを高位置に設置することは装置全体のサイズが大きくなることから、1個のカメラでセルトレイの短辺の1/2の領域について認識を行う。

図11に画像処理による種子の認識結果を示す。種子の有無は、取得した画像を二値化し黒画素数をカウントすることにより判別する。シューターの穴の部分やピックアップ以外の種子も黒画素となるが、領域を指定することで対象となる種子を限定する。

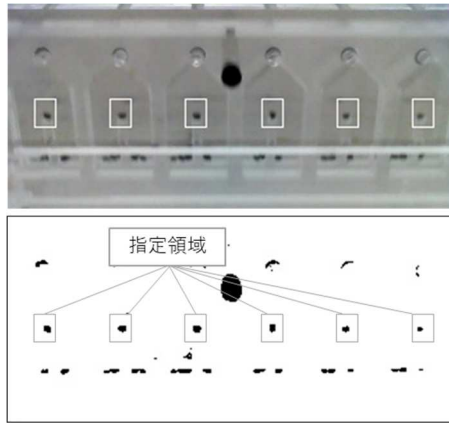


図11 種子の認識 (取得画像と二値化画像)

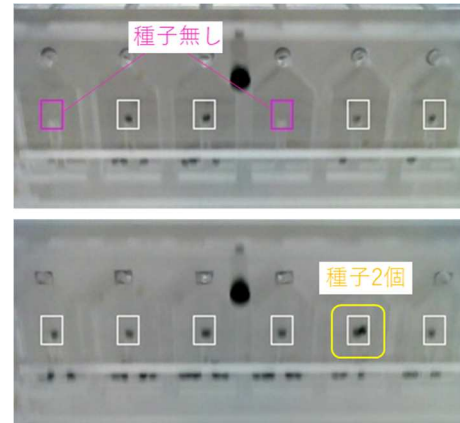


図13 種子の認識結果

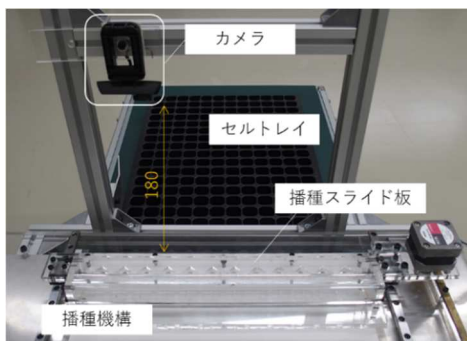


図12 実験装置

3-2 播種作業時での認識及び考察

種子の有無を判別する実験を播種スライド板が動作する工程で行った。播種機構は平成28及び29年度技術シーズ創生研究事業(プロジェクトステージ)で試作した装置を用い、カメラを図12に示すようにスライド板から180mmの位置に設置した。画像処理はシングルボードコンピュータのRaspberry Piを使用し、播種装置の制御はワンボードマイコンのArduinoで行った。種子保持部が種子をトレイに供給するシューターの穴位置から15mm移動したタイミングでシングルボードコンピュータに指令を出し、画像処理を開始させる。

図13に播種スライド板の動作時の判別結果を示す。白枠が種子あり、ピンク枠が種子無しとなっている。スライド板が動作する播種工程においても種子の有無の判別は可能であるが、指定領域における黒画素数により有無の判別を行っているため、複数の種子がある場合でもセルトレイへの播種は可能と判断されることが分かった。また、本実験の構成では画像を取得してから種子の有無の判別まで50msの処理時間となるため、スライド板の移動速度が速い場合、判別前に種子をトレイへ播種する場合も生じることが分かった。今回使用した一般的なwebカメラを使用する場合は、セルトレイ短辺を判別するのに2個のカメラが必要になる。判別にかかる処理時間も長くなることから、装置に組み込む場合には播種工程のスピードや画像処理の処理速度についても

考慮することが必要である。

4 結 言

本研究では、玉ねぎの裸種子を扱うことのできる播種機の試作開発を行った。試作した播種機は、農林水産省規格の汎用セルトレイに対応可能であり、裸種子を1粒取り出す播種機構部、種子供給部、セルトレイ搬送部で構成されている。各機構の単独動作確認を行い、各機構が動作することを確認し、90%以上の確率で1粒播種が可能であることが分かった。また、種子供給部では、種子の挟み込みが発生することが分かった。

1粒播種のエラーの低減を目的としたセンシングでは、種子の認識に安価なWebカメラを活用することが可能であるが、実際の装置に組み込む場合は判別の処理速度や播種工程の作業スピードを考慮する必要がある。また、いわてスマート農業祭トリニティにおいて試作した播種機の出展を行ったところ、以下の様な意見があった。

- 2、3粒播種にも対応できれば長ネギの育苗にも利用できる。長ネギではチェーンポットを利用して
- 花卉類の種子への対応を期待したい。
- 種子の抜けがあっても9割以上の播種ができていれば十分である。

本研究で明らかになった課題や、展示会でいただいた意見を参考に、今後、裸種子対応播種機の実用化を目指して改良していきたい。本研究の成果は、農業振興の上でセル育苗の作業標準化や、省力化、自動化による生産性の向上が図れることから、農業分野において広く周知を行っていきたい。

文 献

- 1) 農林水産省：スマート農業の実現に向けた取組と今後の展開方向について、(2016)
- 2) 農研機構：東北・北陸地域におけるタマネギの春まき栽培技術 技術解説編、(2016)

IoT を活用した製造ライン監視システムの開発*

菊池 貴**、高川 貫仁***、大和田 功****、寒川 陽美****

製造現場において IoT を活用した生産性向上が求められている。これまで製造装置の稼働状況を監視するシステムを開発し、鋳造工場において砂型造型機の稼働状況を計測してきた。このたび、さらに従来の装置監視システムを改良し、光センサを用いた稼働状況取得と動的に検量線と閾値が設定可能なグラフ表示機能を開発実装して、これを鋳造工場に設置し、試作システムの実証実験を行った。

キーワード：IoT、センサネットワーク、装置監視、スマート工場、鋳造工場

IoT Monitoring System for Production Line

KIKUCHI Takashi, TAKAGAWA Takahito, OWADA Isao and SANGAWA Harumi

Key words： IoT, Sensor Network, Equipment monitoring, Smart Factory, Foundry

1 緒 言

第4次産業革命を背景とした技術革新や情報社会が進展しており、製造業ではIoT (Internet of Things) を活用した生産性の高い工場の実現が期待されている¹⁾²⁾³⁾。製造現場へのIoTの導入を進めていくためには、第一に監視技術の確立が求められる。監視により装置の稼働状況や異常といった製造現場の状況を数値化でき、データに基づいた分析や改善活動が可能となる。

この監視技術の導入を支援するため、これまで岩手県工業技術センターは(有)イグノスと共同で装置監視システムを開発してきた⁴⁾⁵⁾。平成29年度はこの試作システムを一関市のシグマ製作所花泉工場(以下、シグマ製作所)に試験的に導入し、これまで取得できていなかった砂型造型機の稼働状況を明らかにした。

これを発展させ、工場全体の稼働状況を把握するためには、電気炉やサンドミキサーといった他の製造装置に対しても監視の範囲を拡大する必要がある。しかし、従来システムではPLC (Programmable Logic Controller) から信号を取得するため、PLCを使用していない電気炉には適用することができない。また、装置毎に稼働/停止の閾値が異なるため、従来のグラフ表示では稼働/停止の判別が困難である。

そこで、工場全体の稼働状況の取得を目的として、複数の装置の稼働状況を同時取得するためにシステムの改良を実施した。本報告では、光センサを用いたセンサノードの改良、動的に検量線と閾値が設定可能なグラフ表示機能の開発、及び実証実験について述べる。

2 装置監視システムの改良

2-1 従来システムの課題

従来システムの概要を図1に示す。

センサノードはSSR (Solid-State Relay) を介した信号取得と無線通信の機能を有する。これは製造装置に付属している制御用PLCの出力端子に接続することで、制御信号を自動で取得し、AD変換した電圧値のテキストデータを自動送信する。一方、表示端末は無線通信機能と表示機能を担う通信・可視化ソフトウェアを有する。これはセンサノードから送信されたテキストデータを受信し、表示端末の記憶領域への記録と表示端末上でのテキスト表示・時系列の折れ線グラフ表示を行う。これらを用いて平成29年度はシグマ製作所の砂型造型機の稼働状態を明らかにした。

このシステムを発展させ工場全体の監視を行う場合、図2に示すように、対象は電気炉2台、砂型造型機3台、モールドクーラー1台の計6台となる。しかし、電気炉にはPLCが無いためセンサノードを接続することができない。また複数の装置を監視する際に、稼働/停止を判別する閾値が一定ではないため、従来の時系列の折れ線グラフ表示だけではデータの確認作業が煩雑になる。

2-2 光センサを用いたセンサノード

監視対象とする6台の製造装置について調査し、いずれも稼働状態を示すランプまたはスイッチランプがあることに注目した。このランプの明滅を光センサで取得することで、装置の稼働/停止を取得できる。センサノードは平成28年度に開発したアナログセンサノードを用い、光センサにはNJL7502L (新日本無線) を用いた。

* 平成30年度ものづくり革新推進業務

** 電子情報技術部 (現 電子情報システム部)

*** 素形材技術部 (現 素形材プロセス技術部)

**** 有限会社イグノス

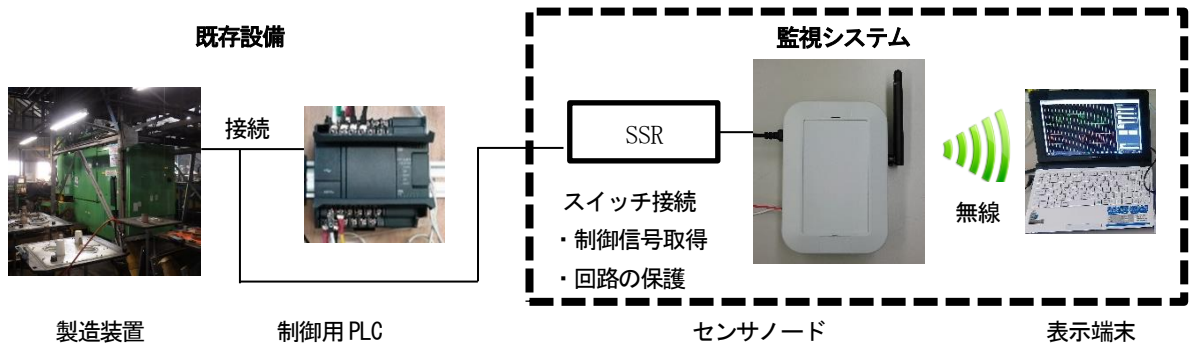


図1 従来の装置監視システム

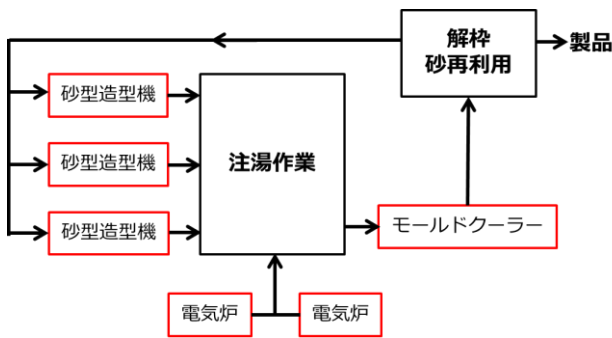


図2 工場における製造装置の配置

光センサを用いた場合、ランプの光量がそれぞれ異なるため出力電圧の範囲が一定ではない。また、工場内の照明環境の変化が外乱となる。そこで、実際のランプの光を取得する予備実験を行い、センサノード毎に増幅率を個別に設定した。また、外乱については照明や窓からの外乱光はセンサよりも上部から入射することに注目し、取り付け角度を下向きに調整すると共にセンサ部を黒色のカバーで覆うことで対処した。従来のセンサノードとの比較を表1、試作したセンサノードを図3に示す。この図の左はセンサノードの全景であり、右はそのヘッド部である。

これまでではセンサノードを設置する際に製造装置を停止させる必要があったが、改良版では光センサが非接触で稼働状況を取得できるため、製造ラインが稼働中であってもセンサノードの脱着が可能となった。

2-3 検量線と閾値を変更可能なグラフ表示機能

前述の光センサの使用による出力電圧のばらつきへの対応と、複数装置の稼働状況を同時に可視化するために、通信・可視化ソフトウェアの改良を行った。光センサを用いた場合、ランプごとに光量が異なるため、光センサの出力電圧もそれぞれ異なり、装置の稼働/停止の閾値も異なる。そのため、単純な時系列グラフでは装置の稼働状況を判別できない。そこで検量線と閾値を動的かつ個別に設定する機能、及び閾値を基に2値化したグラフ表示機能を追加した。従来の時系列グラフ表示を図

表1 センサノードの比較

	従来	改良
稼働状態の取得方法	PLCの出力電圧を取得	光センサでランプの光を電圧に変換
製造装置との接続方法	端子に接続	非接触
稼働中の設置	不可	可能
出力電圧	ほぼ一定	ランプ毎に異なる
外乱の影響	無し	有り

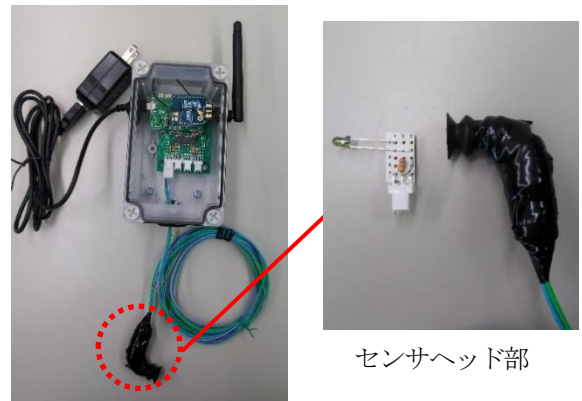


図3 試作したセンサノード

4、2値化し稼働期間を塗りつぶし表示にした改良版のグラフを図5に示す。さらに、保存先の変更やグラフの色指定等の機能についても追加した。従来ソフトウェアとの比較を表2に示す。

3 実証実験

3-1 センサノードの設置

改良した装置監視システムをシグマ製作所に設置し、実証実験を行った。センサノードは砂型造型機3台、電気炉2台、モールドクーラー1台の計6台に設置した。各装置への設置状況を図6に示す。砂型造型機及びモールドクーラーは制御盤のスイッチランプの明滅を取得するが、作業の妨げにならないようスイッチランプの側面

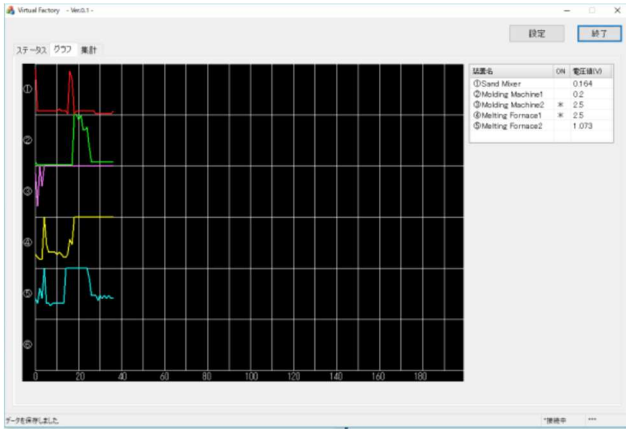
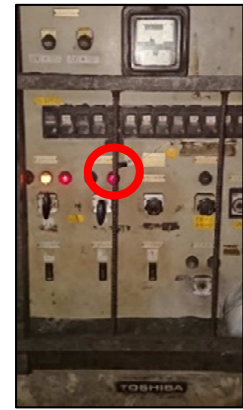


図 4 時系列の折れ線グラフ表示



電気炉 1



電気炉 2

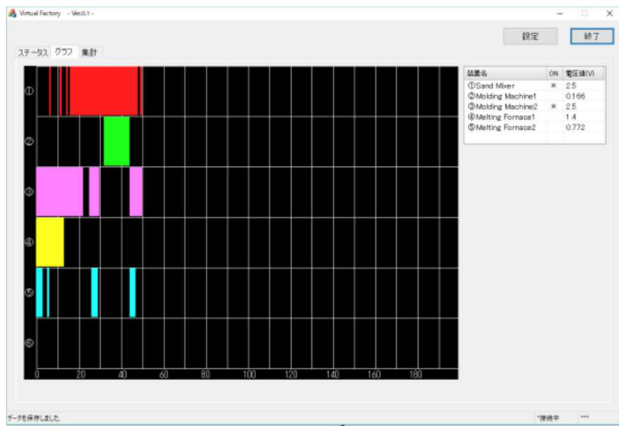


図 5 閾値で2値化した時系列グラフ表示



砂型造型機 1



砂型造型機 2

表 2 表示ソフトウェアの比較

	従来	改良
閾値	固定	可変
検量線の変更	1 次式	3 次の多項式
グラフ表示	1 種類 ・時系列の折れ線グラフ	3 種類 ・時系列の折れ線グラフ ・閾値で 2 値化した時系列グラフ ・閾値で 2 値化した時系列グラフ (塗り潰し表示)
グラフの色	固定	可変
ファイルの保存先	固定	可変
サンプリングレート	固定	可変
センサノードと装置の対応	無し	有り



砂型造型機 3



モールドクーラー

○ センサヘッド部 ○ センサノード本体

図 6 製造装置へのセンサノードの取り付け状況

に光センサを取付けた。電気炉については、装置の稼働時に点灯するランプの明滅を取得する。これについても同様にランプ側面に光センサを取り付けた。また工場内は大量の煤が舞っているため、光センサに煤が付着しないよう開口部が下向きになるよう調整した。

3-2 実験結果

改良システムを用いた装置の稼働状況取得実験を行い、製造装置 6 台の稼働状況を同時取得できることを確認した。また、シグマ製作所の担当者と共に測定結果を確認し稼働状況について意見交換を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 電気炉については、砂型の不足に起因する溶湯の保持時間が発生すること
- ② 砂型造型機については、型交換に起因する停止時間が発生すること
- ③ 不具合として、作業者の接触に起因するデータの取得失敗があること

これらは、①については、「砂型造型機の追加」、「より造型速度の速い装置への交換」、「溶解作業の開始時間の調整」等の対策を行うことで、電気消費量の抑制が可能である。また②については、特定の砂型造型機の停止時間が長いことから、この型交換作業を見直すことで製造ライン全体の稼働時間の短縮につながる。さらに③については、センサヘッド部の固定方法を改善することで長期の安定したデータ取得が可能となる。

4 結 言

本研究では、従来の装置監視システムを改良し複数の製造装置の稼働/停止状態を取得できるシステムを開発し、シグマ製作所において実証実験を行った。

システムの改良では光センサによる製造装置の稼働/停止の情報の取得、及び検量線と閾値の動的な設定、2値化したグラフの表示の各機能を開発した。実証実験では、シグマ製作所にセンサノードを設置し、電気炉2台、砂型造型機3台、モールドクーラー1台の計6台の製造装置の稼働状況の同時取得に成功した。そして、測

定結果をもとに、電気炉の保持時間の短縮、砂型造型機の型交換作業の短縮といった改善案を検討した。

今後は、本システムを活用し企業の担当者と共に生産性の改善に取り組む。また、より詳細な稼働状況や、装置停止の原因調査のために、画像を用いた装置監視技術の開発を行っていく。

謝 辞

本研究は株式会社シグマ製作所様の御協力により実施できた。この場を借りて深謝する。

文 献

- 1) 安部純一：ビッグデータを活用したものづくり現場のイノベーションを支援する「最強工場」、FUJITSU. 66、4、62-68 (2015)
- 2) 久保田真、福田茂紀、野村佳秀、阿比留健一：IoTデータの処理・利活用を促進するダイナミックリソースコントローラー技術、FUJITSU. 67、2、42-51 (2016)
- 3) 向殿政男：IoT時代におけるものづくり安全の動向、情報通信学会誌 vol. 34、1、41-46、(2016)
- 4) 菊池貴・野村翼・千田麗誉：画像情報とセンサデータを組み合わせたハイブリッド環境測定システム、岩手県工業技術センター研究報告 第18号、7(2015)
- 5) 菊池貴、浪崎安治：IoTを用いた伝統工芸品の製造工程の改善支援、岩手県工業技術センター研究報告 第19号 (2016)

塩蔵わかめの水分量・塩分量測定器の開発*

箱崎 義英**、高橋 強**、片桐 俊幸**、古山 一幸***、金谷 瞬***

岩手県わかめ生産量は全国1位であり、肉厚で品質の高いわかめとして流通している。塩蔵品の保存性は含有する水分量・塩分量に大きく依存するが、わかめの塩蔵加工は、漁家の経験と勘に基づいて行われており、水分量や塩分量には大きなばらつきが生じている。品質管理のためにはこれらを定量的に把握することが重要であるため、電磁誘導現象を活用した塩蔵わかめの葉一枚で計れる水分量・塩分量測定器を開発した。

キーワード：電磁誘導、水分量、塩分量、わかめ

Measuring Instrument for Moisture and Salt Contents of Salted Wakame

HAKOZAKI Yoshihide, TAKAHASHI Kyo, KATAGIRI Toshiyuki,
FURUYAMA Kazuyuki and KANAYA Shun

Key words : Electromagnetic induction, Moisture content, Salt content, Wakame

1 緒言

岩手県を代表する海産物であるわかめは、長期保存を目的に水分量 50 %～70 %、塩分量 23 %～26 %の塩蔵品として市場を流通している。わかめの塩蔵加工は漁家の経験と勘に基づいて行われており、含有する水分量・塩分量には大きなばらつきが生じる。加工品は、漁業協同組合で受け入れた後、抜取検査により水分量や塩分量の測定を行っている。しかし、水分量や塩分量のばらつきが大きいこともあり不良品の返品により経済的損失が発生している。そのため、生産現場で水分量・塩分量を簡便で短時間に評価する測定器が望まれている。

これまで、岩手県工業技術センターでは、県漁連、県内漁協の強い要望を受け、水分量・塩分量の測定技術を開発してきた¹⁾²⁾。本文では、ピーアンドエーテクノロジーズ株式会社と共同で、塩蔵わかめの葉一枚で計れる水分量・塩分量測定器を開発した。その結果を報告する。

2 水分量・塩分量センサ

2-1 センサ構成と測定原理

水分量・塩分量センサは、図1に示すように、励磁コイルと検出コイルを積層して構成されている。検出コイルは周波数 f_0 の共振回路を形成している。

励磁コイルに高周波電力を供給して交番磁界を発生させ、この磁界中に配置された検出コイルに測定物を近接させる。このとき、検出コイルのコイル線間の静電容量が変化し、共振特性が変化して共振周波数とインピーダンスが変化する。これにより検出コイルに発生する電圧も変化する。

水分量・塩分量の測定は、励磁コイルに加える高周波電力の周波数を 10 MHz～15 MHz まで掃引（スイープ）しながら共振点を探索し、共振点における受信レベルを取得する方法である。この共振周波数と受信レベルにより水分量・塩分量を推定する。測定器のブロックダイアグラムを図2に示す。

本測定器で使用するコイルを図3に示す。コイルは、わかめの葉の形状を考慮し、銅張積層板を電子回路基板加工機で 120×20 mm の長方形に製作した。

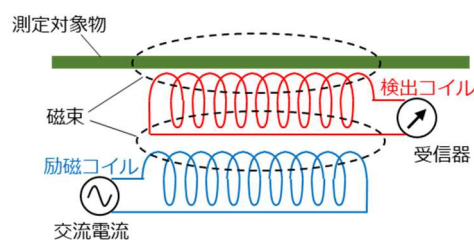


図1 センサ構成

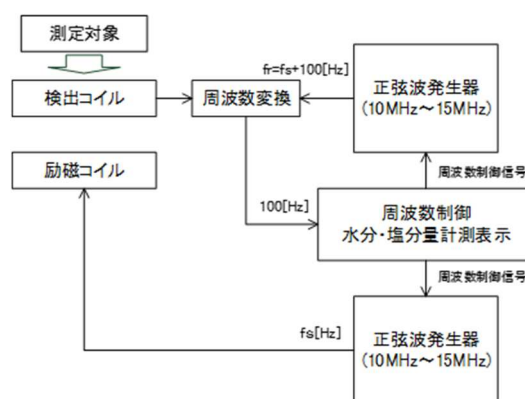


図2 水分量・塩分量測定器のブロックダイアグラム

* 公益財団法人 JKA 平成 30 年度 公設工業試験研究所等が主体的に取組む共同研究補助事業

** 電子情報技術部（現 電子情報システム部）

*** ピーアンドエーテクノロジーズ株式会社

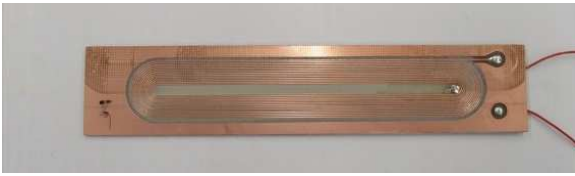


図3 渦巻コイル

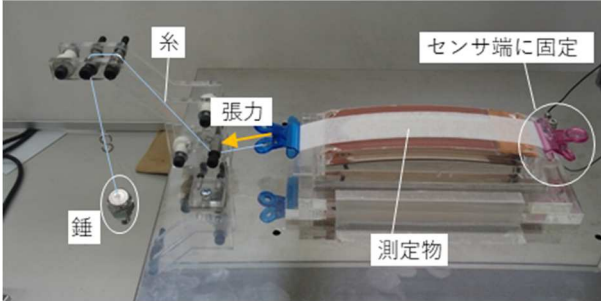


図4 測定物の固定方法

2-2 測定物の固定方法

測定物とセンサを安定に接触させ、高精度に測定するため、図4に示すように、測定物の片側をセンサ端に固定し、他方を一定の力で引きながら接触を確保する方式を考案した。また測定対象物のサイズの違いにより測定にバラツキが発生するため、測定対象物のサイズを規定した。

3 専用処理回路

測定器は、商用電源が利用できない場所でも使用できるようにバッテリー駆動とした。

処理回路は、電源モジュール、制御モジュール、信号処理モジュールに分け、それぞれ回路設計を行った。電源モジュールでは、DCコンバーターにより $\pm 12\text{ V}$ 、 5 V に変換して各回路に供給する。制御モジュールでは、プログラマブル発振器をマイコンで制御することにより、励磁コイルに供給する周波数を変更する。信号処理モジュールでは、検出コイルに発生する周波数をマイコンのAD変換器で取得できる周波数となる 100 Hz へ変換する。

図5に試作した専用信号処理装置を示す。内臓バッテリーとしてDC 24 V 出力リチウムイオン電源を利用し12時間以上の安定した動作が可能である様にした。

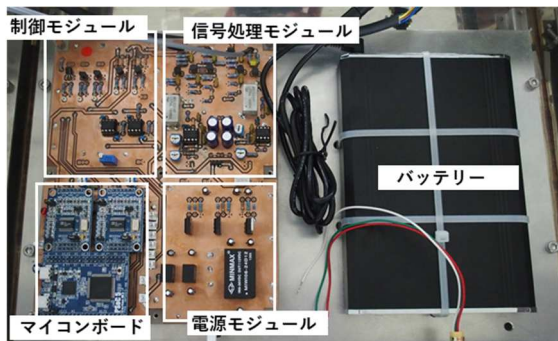


図5 処理回路



図6 試作した水分量・塩分量測定器

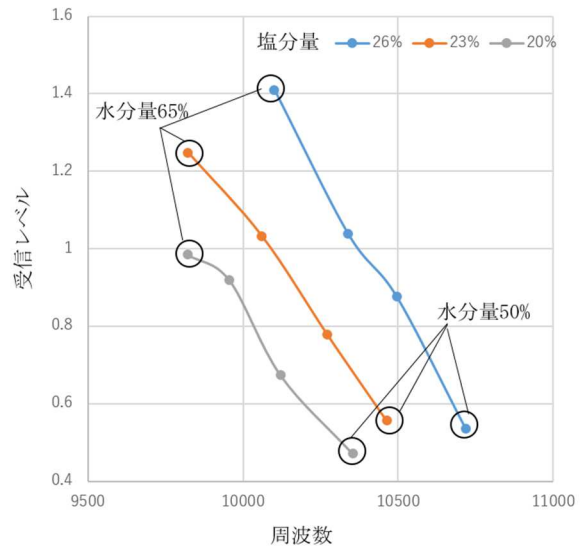


図7 測定結果

4 試作測定器

図6に試作した水分量・塩分量測定器を示す。装置筐体には、飽和レベルの塩水環境で使用するため、金属の中でも耐腐食性が大きいステンレス製の蓋付き筐体を選定した。ケーブルの引出は最少となるコネクタ1個を介して行い、耐水性を確保した。わかめの水分量・塩分量の合否判定は測定器に取り付けた表示器により行った。本試作器での水分量・塩分量の測定時間は35秒であった。

5 実験結果及び考察

検量線を作成するため、水分量は50%、55%、60%、65%、塩分量は20%、23%、26%となる試料を作製し、それらの共振周波数と受信レベルを測定した。わかめを任意の水分量、塩分量に調整することは困難であるため、センサから発生する磁界に与える影響が少ない不織布を用いて試料を調整した。測定した結果を図7に示す。

塩分量を一定として確認した場合、水分量の減少により周波数は増加し、受信レベルは減少することが分かる。また、水分量を一定とした場合には、塩分量の増加により、周波数と受信レベルはともに増加傾向にある。この

ことより、本測定器において水分量と塩分量は周波数、受信レベルの2つのパラメータで分離できることがわかる。そこで、得られた結果より、周波数と受信レベルを変数とし、回帰分析を行うことで水分量、塩分量の検量線を導出した。この検量線をもとに装置評価を行ったところ、誤差は、読み値で塩分濃度1%、水分濃度3%程度であることが判った。さらに高精度な測定には、わかめを適切にセンサへ接触させることができる安定的な固定方法の開発が必要であることも明らかになった。再現性の良い固定方法は今後の大きな課題である。

5 結 言

本文では、県内漁協のニーズである塩蔵わかめの水分量・塩分量測定器の試作開発結果を報告した。試作した測定器は、高感度を狙い、センサは渦巻き状平板コイルを採用し、2個のコイルを重ねて共振回路を構成するもので、対象物の水分量や塩分量により共振周波数が変化するものである。

専用処理回路は、プログラマブル発振器をマイコンで

制御することにより、10 MHz～15 MHzまでの周波数をスウィープしながら共振点を探索する方式を採用し、受信レベルについても同時に測定する。測定時間は35秒である。試料の固定方法については課題もあるが、今後、改良を加えながら水分量・塩分量測定器の実用化を目指したい。

また、本測定技術は、塩蔵わかめの他、木材や製材、作物栽培における土壌など広範囲での活用が考えられる。本研究の成果について、広く周知を行いながら測定器の適用範囲を広げていきたい。

この研究は、公益財団法人 JKA「平成30年度公設工業試験所等が主体的に取り組む共同研究補助事業」の助成を受けて実施したものである。

文 献

- 1) 電磁誘導を用いた水分量測定技術の開発：岩手県工業技術センター研究報告 第20号 (2017)
- 2) 物体の成分量測定装置 特願 2017-71222

3D プリンタによる立体器物の寸法補正に関する考察*

和合 健**、長嶋 宏之***、菊池 貴****、黒須 信吾**

樹脂 3D プリンタの光造形法と熱溶解積層法及び電子ビーム式金属粉末積層造形法による 3 種類の 3D プリンタを使用し、造形器物が立体形状の場合についてクローズドループエンジニアリングによる寸法補正の適用性を検証した。寸法測定はマイクロメータとカメラ撮影型デジタイザを使用し、寸法補正方法は設計値と造形後の測定値の比率による変形率から逆算して補正量を求めた。いずれの造形方式においてもクローズドループエンジニアリングによる寸法補正は有効であった。各造形法の絶対値平均誤差は初回時と補正後再造形時とで、光造形法では 0.210 mm が 0.128 mm に、熱溶解積層法で 0.101 mm が 0.084 mm に、電子ビーム式金属粉末積層造形法で 0.263 mm が 0.217 mm に、それぞれ改善された。

キーワード：樹脂 3D プリンタ、金属 3D プリンタ、3D 器物、寸法補正、寸法誤差

Dimension Corrections of Three-Dimensional Moldings Made with 3D Printers

WAGO Takeshi, NAGASHIMA Hiroyuki, KIKUCHI Takashi and KUROSU Shingo

Key words : Resin 3D printer, Metal 3D printer, 3D work-piece, Size compensation, Size deviation

1 緒 言

クローズドループエンジニアリングは、3D スキャナと 3D プリンタを相互連携させることで製造物の形状誤差を収束低減化させる製造手段である。この手段を用いることで製品製造の高精度かつ高能率化が達成できる。つまりクローズドループエンジニアリングは、造形→測定→補正→造形を繰り返すことで、補正効果により寸法値を目標値に収束させる技術である。

平板状の 2D 器物の補正の場合¹⁾は、X、Y 軸となる横方向のみの制御であったため良好な補正効果が確認できた。本報告では立体形状の 3D 器物を対象にした寸法補正に取り組んだ結果を報告する。とくに 3D 器物では、2D 器物と比較して高さ方向の次元が増えるため、造形に関する誤差要因が増える。このことから、その補正効果を確認した。

2 造形器物の製作

造形に使用した装置は、図 1 に示した光造形法（以下 LBL）（型式：NRM-6000、メーカー：シーメット株式会社）と熱溶解積層法（以下 FDM）（型式：FORTUS 360mc S、メーカー：Stratasys Ltd.）とを用いる樹脂 3D プリンタ、および図 2 に示した電子ビーム式金属粉末積層造形法（以下 EBM）（型式：Arcam EBMA2X、メーカー：Arcam AB）を用いる金属 3D プリンタの 3 種類である。

初回の造形は、産総研地域連携戦略予算プロジェクト（以下、3D3 プロジェクト）運営協議会から配布された

設計値である STL 形式モデルをそのまま各 3D プリンタの CAM に読み込ませ、造形パスを生成して行った。

再造形は、初回造形で製作した器物を、マイクロメータとカメラ撮影型デジタイザを用いて事務局が指示した位置について寸法測定し、変形量を補正した補正モデルを作製し、その補正モデルを利用して行った。材質は、LBL が光硬化樹脂、FDM が ABS 樹脂、EBM が Ti-6Al-4V である。

初回造形モデルを図 3、4 に示す。ここで熱溶解積層法 FDM での造形の際、ガイドライン²⁾に従った方法では

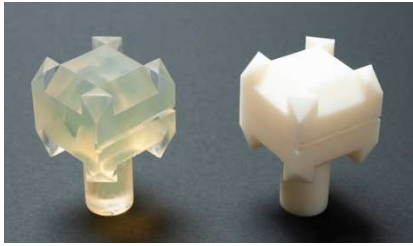


図 1 樹脂 3D プリンタ
(左：光造形法、右：熱溶解積層法)

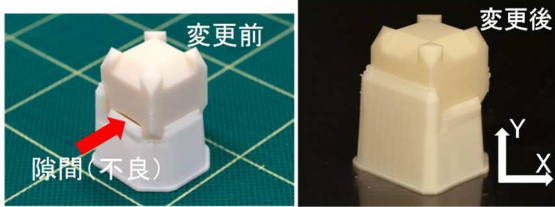


図 2 金属 3D プリンタ

* 平成 28～30 年度 産総研地域連携戦略予算プロジェクト
** 素形材技術部（現 素形材プロセス技術部）
*** デザイン部（現 産業デザイン部）
**** 電子情報技術部（現 電子情報システム部）



初回造形器物 (左: LBL、右: FDM)



FDM 装置での形状不良と変更した配置

図3 初回造形で製作した器物



図4 初回造形で製作した器物 (EBM)

造形中の蓄熱が原因と思われる形状不良が生じた。そこで内部構造 (パスパターン「Sparse」) と、造形方向を図3右に示すように Z 軸中心に -45° 回転するように、それぞれ変更して製作した。図3では水平面を X-Y 平面に、Z 軸を X-Y 面に鉛直直交する上向きの軸にとっている。

3 造形器物の寸法測定

3-1 測定方法

3D3 プロジェクトで指示されている器物の汎用測定にはマイクロメータを使用した。型式は No.102-302、メーカーはミットヨで、U 字フレームに防熱板が付いており、目量は $10\ \mu\text{m}$ 、測定範囲が 25-50 mm のものである。

測定方法は、一度の測定で測定物にアンビルとスピンドルを接触させ、シンプルを回して触圧を僅かにかけ、その後ラチェットストップを3回回して最終的な基点を

決める。この作業を2~3回繰り返す、測定値に変化が無いことを確認して最終的な測定値とする。測定の繰り返しは行っていない。測定中の雰囲気温度は平均値で 21.2°C 、変動幅は 0°C であった。マイクロメータの校正は、2年に1回 JCSS 登録事業者に依頼してブロックゲージを使用して行った。

汎用測定によらない測定では、カメラ撮影型デジタイザ (型式: COMET6_16M、メーカー: Carl Zeiss、以下、CAT) を使用した。取り付けカメラは、初回造形ではカメラ 80 (測定範囲: $80\ \text{mm}$ 、点間ピッチ: $16\ \mu\text{m}$) を、再造形ではカメラ 150 (測定範囲: $150\ \text{mm}$ 、点間ピッチ: $30\ \mu\text{m}$) をそれぞれ使用した。初回造形時の測定中の雰囲気温度は 21.0°C であった。

測定項目は、図5に示した軸方向の面間距離 (軸方向距離)、辺に形成した面間距離 (辺面間距離)、頂点に形成した面間距離 (頂点面間距離) の3項目である。

3-2 設計値照合による検査

撮影型デジタイザ CAT による設計値照合検査で用いる検査ソフトウェアは、初回造形では MSURF-I (ミットヨ)、再造形では spGauge (アルモニコス) である。設計値と測定値の位置合わせ方法は、MSURF-I では、3-2-1 (空間軸-回転軸-ゼロ点) で簡易位置合わせ後にベストフィット機能を使用した。spGauge では、複数点による簡易位置合わせ後にベストフィット機能を使用した。

4 補正方法

補正は、造形時の変形率を利用する方法とし、式(1)、(2)より算出した。

$$def = \frac{L_{mea}}{L_{nom}} \times 100 \quad \dots(1)$$

$$def : 100 = L_{nom} : L_{comp} \quad \dots(2)$$

$$L_{comp} = \frac{100 \times L_{nom}}{def}$$

ここで、def は変形率 (%)、 L_{mea} 、 L_{nom} 、 L_{comp} はそれぞれ各寸法の測定値、設計値及び補正值である。補正值は、軸方向距離では X 軸で4カ所の平均値、Y 軸、Z 軸も同様とした。辺面間距離では4カ所の平均値、頂点面間距離では4カ所の平均値とした。

光造形法 LBL と熱溶解積層法 FDM は、表面が滑らかであり、サポート除去が正確に行え、マイクロメータの寸法測定で各面の起点を正確に取得できたことから、マイクロメータによる測定値を補正に用いた。金属造形法 EBМ は、金属熔融により面に凹凸があり、サポートの残留も確認できたので、デジタイザ CAT での測定値を使用した。

補正モデルのモデリングには三次元 CAD/CAM (型式: CAMMAGIC-AD、メーカー: 三菱電機) を使用した。

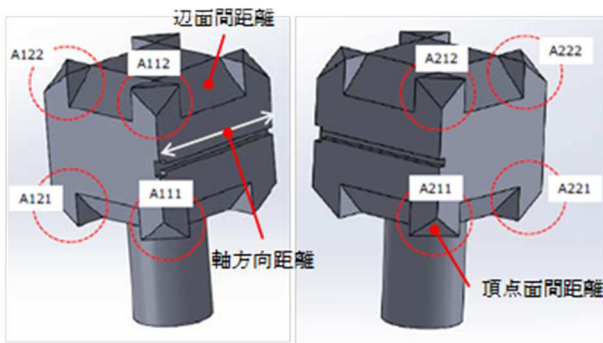


図5 頂角部の呼び番号及び測定項目

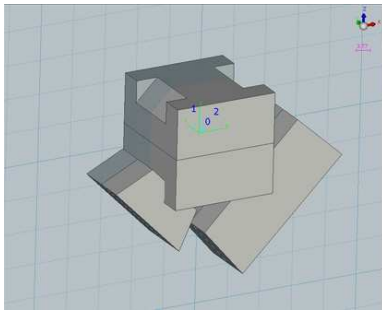


図6 CADによる補正モデルのモデリング
(辺面間を作製、LBL)

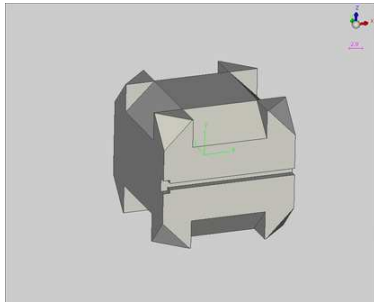


図7 CADによる補正モデルのモデリング
(完成モデル、LBL)

補正値を使用したモデリングは、まず X、Y、Z 軸の補正値を利用して立方体を形成する。次に、図6、7のとおり X、Y、Z 軸のゼロ点（立方体の中心）から辺面方向に等分距離に補正値を振り分けて平行面を作製し、ブーリアン演算の差で切り取った。頂点面の作製においても同様な等分振り分け方法で平行面を作製した。つまり、軸方向距離、辺面間距離、頂点面間距離の3種類の補正値をすべて使用して補正モデルを作製した。

5 結果及び考察

5-1 初回造形の寸法

初回造形で作製した器物の軸方向距離を図8に示す。光硬化樹脂 LBL と ABS 樹脂 FDM の両者はほぼ同等な値となっているが、金属粉末積層造形 EBM ではマイクロメータで測定したものよりも撮影型デジタイザ CAT の値の方が小さい。

EBM では金属溶融面であるため表面粗さが大きく、かつサポートが除去しきれずに残っている。そのため、アンビルとスピンドルの面対面で測定するマイクロメータでは、凸対凸の最大値で測定される。一方、CAT では面の平均値対点で測定するため、凸凹が大きい表面粗さやサポート残留の影響が排除される。その結果、補正に使用する値は、LBL と FDM ではマイクロメータの、また EBM で CAT の値を、それぞれ採用した。

表1に設計値と測定値を比較している。軸方向距離では、LBLの方がX、Y方向で測定値が小さく、平均値で-0.122 mm、またZ方向では測定値が大きく、平均値で0.385 mmであった。FDMでも、LBLと同様の傾向が見

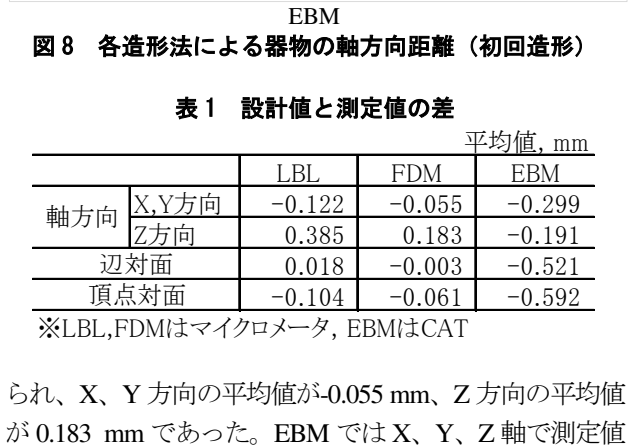
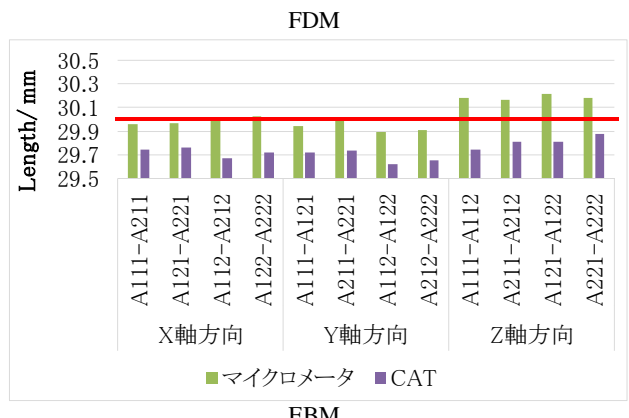
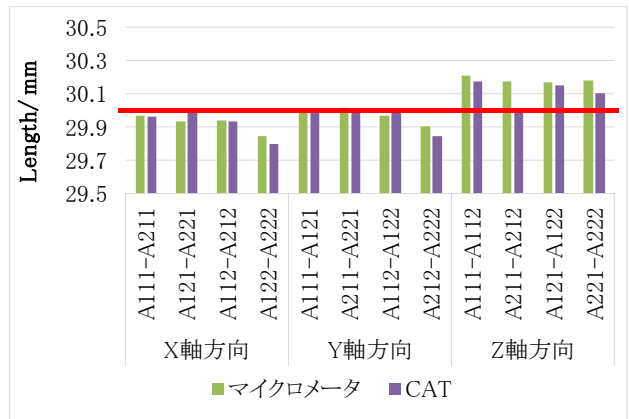
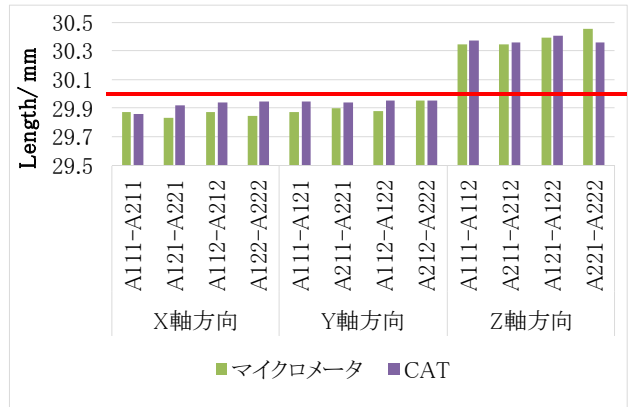


図8 各造形法による器物の軸方向距離（初回造形）

表1 設計値と測定値の差

		平均値, mm		
		LBL	FDM	EBM
軸方向	X,Y方向	-0.122	-0.055	-0.299
	Z方向	0.385	0.183	-0.191
辺対面		0.018	-0.003	-0.521
頂点对面		-0.104	-0.061	-0.592

※LBL,FDMはマイクロメータ, EBMはCAT

られ、X、Y方向の平均値が-0.055 mm、Z方向の平均値が0.183 mmであった。EBMではX、Y、Z軸で測定値が設計値より小さく、X、Y方向の平均値は-0.299 mm、Z方向の平均値は-0.191 mmである。3種類の造形法ともX、YとZで傾向が分かれており、異なる変形率となっている。辺面間距離と頂点面間距離では、LBLとFDMの設計値と測定値の差はほぼ1/100 mm台の良好な値と

なり、EBMでは軸方向距離よりも差が大きかった。

5-2 補正値の算出

式(2)で算出した補正値を表2に示す。この値は各方向の平均値であり、この値に設計値を足した数値で補正モデルをモデリングした。補正の仕組みは、変形率を利用し、収縮傾向であればその分を大きめに、膨張傾向であればその分を小さめに造形するとする考え方である。

図9~11に各平均値での補正値、図12に軸方向距離の補正値を示す。図12ではLBLとFDMで補正値に正負方向が混在しており、その値は1/100 mm台が多く見られる。一方、EBMではすべて正方向であり、かつ補正値が1/10 mm台になっている。

5-3 補正再造形の結果

5-3-1 面間寸法

表3~5に各距離の誤差値を示す。誤差の平均値と比較すると、軸方向距離では、光硬化樹脂LBLで初回造形の絶対値平均誤差0.210 mmが、補正後の再造形で0.128 mmに改善された。同様にABS樹脂FDMでは、初回造

表2 各造形法における補正値

		mm		
		LBL	FDM	EBM
軸方向	X方向	0.146	0.081	0.281
	Y方向	0.099	0.028	0.322
	Z方向	-0.380	-0.182	0.192
辺対面		-0.018	0.003	0.529
頂点对面		0.104	0.061	0.600

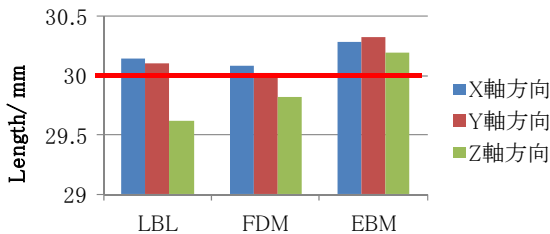


図9 軸方向距離の補正値 (平均値)

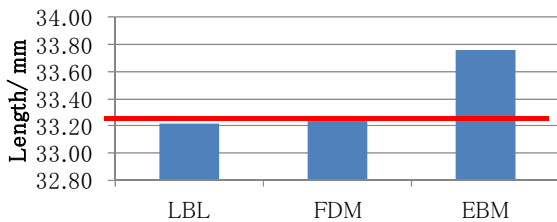


図10 辺面間距離の補正値 (平均値)

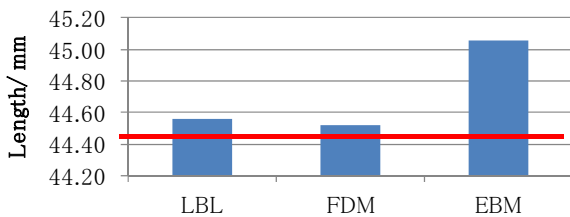


図11 頂点面間距離の補正値 (平均値)

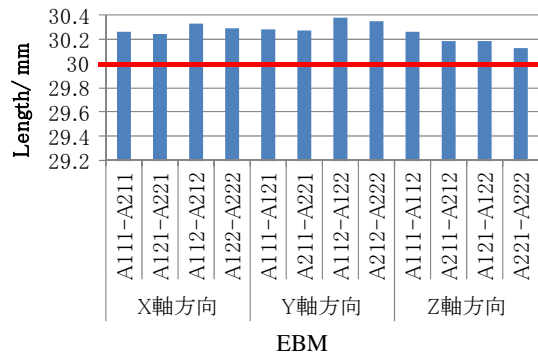
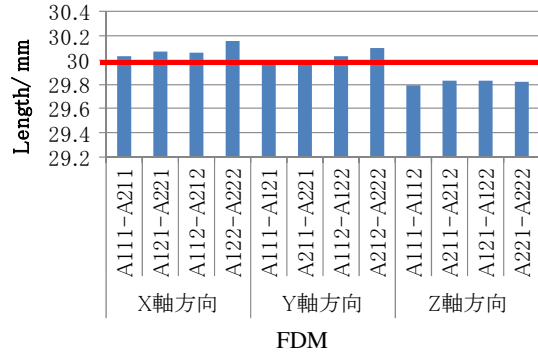
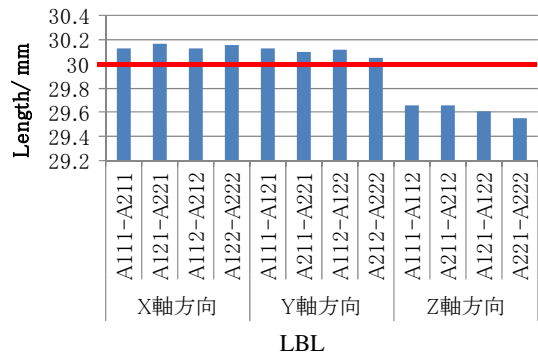


図12 各造形法における軸方向距離の補正値

形の0.101 mmが再造形では0.084 mmとなり、金属粉末積層EBMでは、初回造形で0.263 mmが再造形で0.217 mmになった。

図13に、軸方向距離の初回造形と再造形の比較を示す。LBLでは補正が適切に働き、再造形で設計値に近づいている。FDMでは、初回造形時に誤差が1/100 mm台の良好な値になっていたが、さらに設計値に近づけようとして僅かな補正量を付与し補正を行ったが逆効果となり、設計値を超えて誤差が増大した。EBMでも、初回造形時の収縮変形量が大きく、それに見合った分の補正量を加えた結果、FDMと同様に設計値を超える誤差となった。この傾向は各造形法とも、辺面間と頂点面間で同様な結果となった。

平板状の2D器物の場合では、補正が的確に効き、誤差が小さくなったが、3D器物では、2D器物と比較して補正効果が低下した。

表6に各造形装置の駆動方法を示す。LBLは光硬化樹脂に紫外レーザー光を照射して積層造形するものである。

表3 軸方向距離の誤差（絶対値）

	LBL		FDM		EBM	
	1st	Re	1st	Re	1st	Re
Maximum	0.456	0.323	0.211	0.151	0.378	0.410
Minimum	0.049	0.061	0.005	0.014	0.128	0.102
Range	0.407	0.262	0.206	0.137	0.250	0.308
Average	0.210	0.128	0.101	0.084	0.263	0.217
σ	0.135	0.089	0.073	0.046	0.070	0.096

表4 辺面間距離の誤差（絶対値）

	LBL		FDM		EBM	
	1st	Re	1st	Re	1st	Re
Maximum	0.064	0.034	0.065	0.095	0.531	0.589
Minimum	0.026	0.001	0.001	0.012	0.501	0.285
Range	0.038	0.033	0.064	0.083	0.030	0.304
Average	0.045	0.015	0.029	0.061	0.521	0.391
σ	0.017	0.014	0.032	0.040	0.014	0.140

表5 頂点面間距離の誤差（絶対値）

	LBL		FDM		EBM	
	1st	Re	1st	Re	1st	Re
Maximum	0.116	0.114	0.161	0.296	0.609	0.266
Minimum	0.098	0.026	0.003	0.002	0.574	0.114
Range	0.018	0.088	0.158	0.294	0.034	0.152
Average	0.104	0.074	0.061	0.203	0.592	0.191
σ	0.008	0.036	0.074	0.139	0.014	0.072

ガルバノミラー駆動方式で紫外レーザ光の照射位置を制御しており、ミラーをモータ軸に直付けした2個のミラーとモータの組み合わせで反射位置を制御する。一方FDMは、熱可塑性樹脂をノズルから吐出して積層造形するものである。

ノズルを位置制御するための駆動方法は、図14のとおり、X、Y軸ではゴムベルト駆動によるラック・ピニオン方式、テーブルの昇降を行うZ軸はボールネジ駆動である。またEBMは、電子ビームを磁界による偏向で位置制御している。

LBLで的確に補正された理由は、機械構造が持つ紫外レーザ光の照射位置の位置決め精度が高分解能かつ高精度であるためである。それにより補正量が再現できたと考えられる。一方FDMでは、初回造形時の設計値との差が十分に小さかったことが逆に災いして、再造形時に設計値に一致しない造形となったものと考えられる。つまり、微小駆動で補正量を与える再造形時に、機械性能としてX、Y軸方向の位置決め分解能と正確さを十分に持ち合わせていなかったことが原因であると思われる。すなわち軸駆動方式がゴムベルトによるラック・ピニオン方式であり、熱によるゴムベルトの膨張や歯車のバックラッシュが誤差要因となって、補正量に見合った精密位置決めが行われなかったため、設計値から外れたと思われる。

EBMは、電子ビームの位置決め制御を磁界による偏向で行っており、精度は高い。しかし、造形原理が金属を溶解させて再凝固させる仕組みであるため、再凝固時の表面粗さと再凝固時の膨張収縮により、造形後の形状再現性が低いことが、再造形で補正の効果が表れなかった

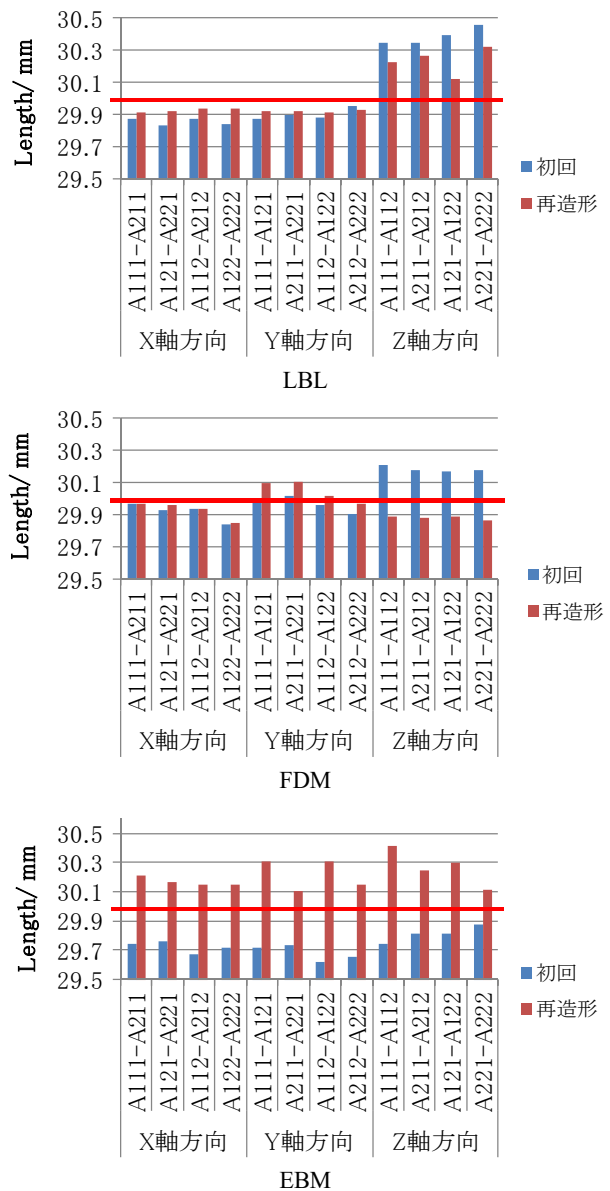


図13 軸方向距離の初回及び再造形の比較結果

表6 各造形装置の駆動方法

	LBL	FDM	EBM
ヘッド移動方式	ガルバノミラー	X,Y軸直動ガイド	磁界による偏向
駆動方式	ミラーとモータを直付け、ミラー2組を使用	X,Y軸:ゴムベルト式ラック&ピニオン	磁界による偏向
X,Y位置決分解能	高	低	高
X,Y位置決精度	高	低	高
積層ピッチ(mm)	0.05	0.127	0.05



図14 FDMの駆動構造（左：Y軸、右：Z軸）

理由と思われる。つまり、補正値を与えた再成形での設計値への収束のためには、位置決め分解能と正確さの精度が高いこと、積層ピッチが細かいことが必要になる。また、三次元CAD/CAMによる補正モデル作製時に軸方向、辺面間、頂点面間となる3要素の補正量を重複して与えたため、補正効果が過大になったことも原因の一つと考えられる。

5-3-2 CATによる検査

検査ソフトウェアを使用して補正後再成形した器物の設計値照合検査を行った結果を表7および図15、16に示す。表7より、標準偏差 σ はLBLの初回造形で0.125 mm、再成形で0.071 mmと低減し、補正の効果が表れていることが判る。FDMでは、初回造形で σ 0.057 mm、再成形で σ 0.086 mm、EBMでは初回造形で σ 0.115 mm、再成形で σ 0.148 mmと、再成形で誤差が増加している。これは、補正により設計値を超えて造形されるなど、補正が的確に反映されなかったためと思われる。

図15の設計値照合検査の誤差マップで、左側に配置した目盛は範囲 ± 0.2 mmを等分割したものである。誤差マップでは、頂点角部で膨張傾向であり、平面部では誤差が小さい。これは、頂点角部では軸方向の補正量が余分に付加され、これが頂点角部に与えた補正量に加わっ

表7 補正再成形の結果

	1st			2nd		
	LBL	FDM	EBM	LBL	FDM	EBM
Mean deviation	0.009	0.000	-0.151	0.067	0.076	0.080
Minimum deviation	-1.972	-0.650	-0.640	-0.107	-0.164	-0.312
Maximum deviation	1.670	0.808	0.707	0.271	0.170	0.616
σ	0.125	0.057	0.115	0.071	0.086	0.148

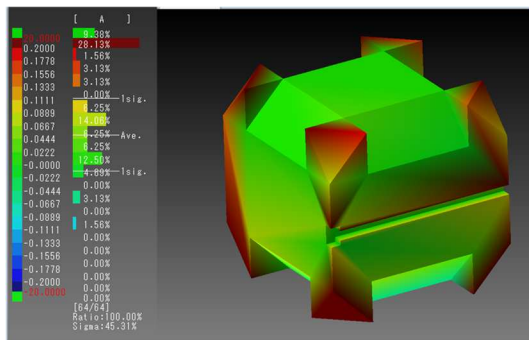


図15 LBLの設計値照合検査の誤差マップ (前方部)

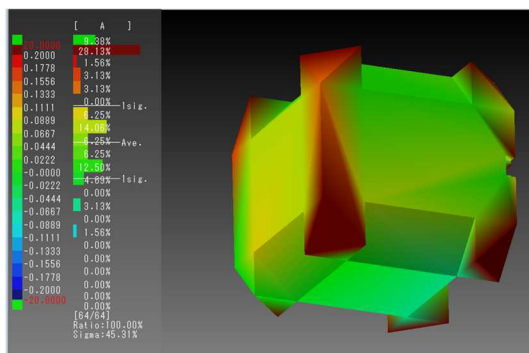


図16 LBLの設計値照合検査の誤差マップ (後方部)

て外側に膨張したためと思われる。重複する位置の補正が今後の課題である。

6 マイクロフォーカスX線CTによる座標測定

6-1 測定方法

マイクロフォーカスX線CTを利用して、LBL、FDM、EBMの3種類の補正造形後の器物でCT撮影を行い、製品設計値と比較した。本装置は、図17のとおり器物の回転をX軸周りに行う方式である。測定条件は以下の通りである。

使用装置：Y.cheetah uHD (エクスロンインターナショナル社製)、

撮影モード：QualityScan、

撮影枚数：720枚、

X線管位置(鉛検知器位置)(鉛直方向、サンプル中心位置を0とした場合)：300 mm

LBLとFDMでは、管電圧を75 kV、電流を150 μ Aとし、EBMでは、管電圧を150 kV、電流を90 μ Aとした。STL形式モデルへの変換にはVGSTUDIO MAXを用いた。

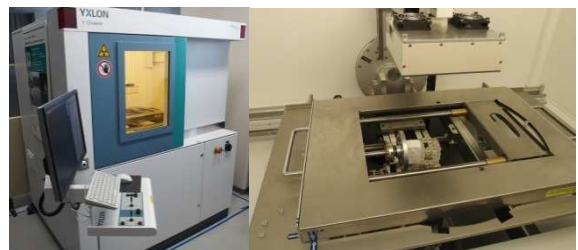


図17 本体(左)とCT用回転部(右)

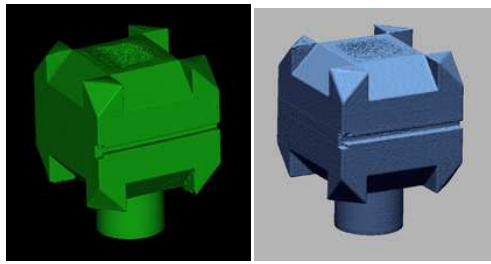
6-2 検査方法

形状誤差は、検査ソフトウェアによる設計値照合で算出した。使用した検査ソフトウェアはspGauge(アルモニコス)である。設計値には製品のSTL形式モデル、測定値にはX線CTで得られた点群をSTL形式に変換したモデルを、それぞれ使用した。位置合わせにはベストフィットを使用した。

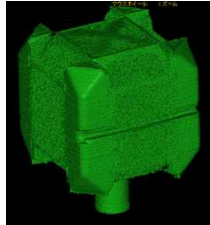
6-3 測定結果

図18にX線CTで測定したSTL形式モデルを示す。金属粉末積層造形EBMでは、エッジの鋭利さが欠落した丸味を持つモデルとなっている。

表8に各造形法の形状誤差、図19~21にそれらの誤差マップを示す。左側に配置した目盛は ± 0.2 mmの範囲を等分割したものである。表8より、LBLの σ が0.071 mmとなり、形状誤差が最も小さい。一方FDMとEBMでは、 σ が0.155 mmおよび0.136 mmとなり、LBLと比較して形状誤差が大きい。EBMで形状誤差が大きい原因は、図18の測定モデルでエッジの鋭利さが失われているとおり、金属系材質のためX線透過の困難さが測定形状として表れるためである。これはビームハードニング



(左 : LBL、右 : FDM)



EBM

図 18 X 線 CT で測定した STL 形式モデル

表 8 補正再造型モデルの形状誤差

	mm		
	LBL	FDM	EBM
Mean deviation	0.042	0.123	0.076
Minimum deviation	-0.052	-0.257	-0.244
Maximum deviation	0.333	0.546	0.902
σ	0.071	0.155	0.136

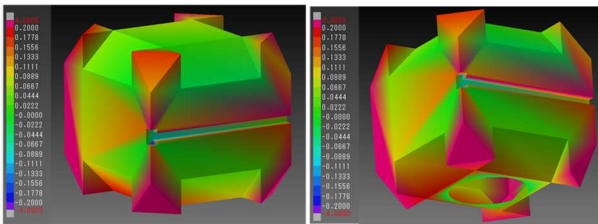


図 19 LBL の誤差マップ (Nom-X 線 CT による測定値、左 : Front、右 : Back)

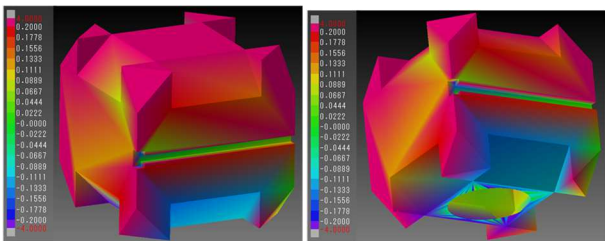


図 20 FDM の誤差マップ (Nom-X 線 CT による測定値、左 : Front、右 : Back)

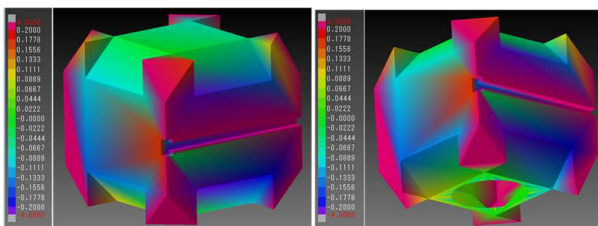


図 21 EBM の誤差マップ (Nom-X 線 CT による測定値、左 : Front、右 : Back)

アーチファクト現象によるもので、形状厚さが一定厚に成らずに非線形で出力されるためと思われる。X 線 CT

におけるもう一つの主要な誤差と言われるコーンビームアーチファクトは、測定槽内の測定位置に起因する形状誤差であるが、今回の測定では一定位置で各造形法の器物を設置したため相対的にはこの誤差の影響は小さい。一方 FDM で σ が大きくなった原因は、LBL が中実であるのに対し FDM と EBM は中空であるため、モデルは薄壁で構成されている。そのため、空気とモデル材質との閾値の区別が難しい FDM で形状誤差が増大したと思われる、X 線 CT での測定誤差が形状誤差となって表れたと推測される。図 19~21 の誤差マップでは、各造形法とも頂点部で赤色の膨張傾向を示し、この傾向は CAT での設計値照合結果と一致している。

7 結 言

3D3 プロジェクト運営協議会が示す全体課題のプロトコルに従い、立体形状の 3D 器物の補正問題に取り組んだ結果、以下の知見が得られた。

- (1) 器物造形は、樹脂 3D プリンタの光造形法と熱溶解積層法、及び電子ビーム式金属粉末積層造形法の 3 種類の装置を使用して行った。
- (2) 器物の寸法測定は、光造形法と熱溶解積層法によるものはマイクロメータを利用し、金属 3D プリンタによるものは表面凹凸やサポート部の残留が見られたので、カメラ撮影型デジタイザを利用した。その結果、前者は X、Y 方向で設計値に対して収縮傾向、Z 方向で膨張傾向が見られ、後者は X、Y、Z 方向で収縮傾向が見られた。
- (3) 補正方法は、変形率を利用して変形方向とは逆方向に補正量を加えて、造形後に設計値に近寄る考え方として補正値を算出した。補正値は軸方向距離では X、Y、Z 方向の各平均値、辺面間距離と頂点間距離では全平均値とした。
- (4) 補正モデルによる再造型の結果、軸方向距離で、光造形法では初回造形の絶対値平均誤差 0.210 mm が再造型で 0.128 mm に改善された。熱溶解積層法では初回造形の絶対値平均誤差 0.101 mm が再造型では 0.084 mm に、また金属 3D プリンタでは初回造形の絶対値平均誤差 0.263 mm が再造型で 0.217 mm となった。
- (5) 設計値照合検査の誤差マップでは、各造形法とも頂点角部で膨張傾向であり、平面部では誤差が小さい。このことから頂点角部では軸方向の補正量が余分に付加され、これが頂点角部に与えた補正量に加わり、外側に膨張したためと思われる。したがって重複位置の補正が今後の課題である。
- (6) FDM では、辺面間と頂点間で補正後の再造型の誤差が大きかった。この補正不良の原因は、各装置については、①ヘッドの位置決めに関する分解能及び正確さの装置性能、②積層ピッチ、また金属 3D プリンタの場合は、③金属溶融時の表面粗

さ、④再凝固時の形状再現性、が考えられる。FDMでZ方向に関する項目で偏差が大きい理由は、X、Y軸の位置決め精度と積層ピッチが相乗的に働いたためと思われる。

- (7) X線CTによる測定では、中空モデルで形状誤差が大きかった。とくにFDMでは薄壁で構成されたモデルであるため、肉部と空気の透過率の差による閾値が正確に決定できなかったために測定誤差が生じた。

謝 辞

この研究は、産総研地域連携戦略予算プロジェクト

「3D計測エボリューション」(3D3プロジェクト)により実施した。本共同研究に携わったすべての研究者に感謝する。

文 献

- 1) 和合健、長嶋宏之、菊池貴、黒須信吾：樹脂3Dプリンタによる加工物の2D面寸法補正に関する考察、岩手県工業技術センター 研究報告 第21号(2018)、PP. 11-15
- 2) 3D3プロジェクト運営協議会：実施ガイドライン2018年度全体課題(2018)

ニオブのレーザー溶接技術*

久保 貴寛**、桑嶋 孝幸**、園田 哲也**

超伝導加速空洞等で使用されるニオブは、主に電子ビーム溶接で接合されている。本研究では、電子ビーム溶接に代わるニオブの接合法としてレーザー溶接で溶接試験片を作製し、溶接条件が断面組織や引張強さ等の機械的特性に与える影響について調べた。レーザー出力一定の条件では、溶接速度が遅くなるほど、溶接金属及び熱影響部が粗大な組織となったが、引張強さは上昇する傾向が見られた。これらは溶接時に酸素や窒素を吸収した影響によるものと考えられる。

キーワード：ニオブ、レーザー溶接、活性金属

Laser Beam Welding Technology for Niobium

KUBO Takahiro, KUWASHIMA Takayuki and SONODA Tetsuya

Key words : Niobium, Laser welding, Active metal

1 緒言

ニオブは、高融点、高耐食性のため、その特性を生かし、反応槽や配管のライニング、電極等に使用されている。また、元素の中では、高い超伝導転移温度を持ち、従来の銅より表面抵抗が小さく、高い加速性能を得られることから、超伝導加速空洞にも使用されている。この超伝導加速空洞は、現在、国内誘致が検討されている国際リニアコライダー（ILC：International Linear Collider）で、電子及び陽電子のビームの加速を行う重要な部品であり、ILCが誘致された際には、16,000～18,000台が必要になると言われている¹⁾。その為、製造コスト低減策が求められている。

この超伝導加速空洞の組立は、電子ビーム溶接（EBW：Electron Beam Welding）で接合される。この、EBWは高コストな接合法であるため、より安価な接合法の開発が求められている。ニオブの接合は、EBW以外に、TIG溶接²⁾や真空ろう接³⁾について報告されている。TIG溶接はEBWと比較してエネルギー密度が小さいため、熱影響や変形が大きく、真空ろう接は装置による寸法の制限や接合に要する時間が長いといった課題がある。そこで、高エネルギー密度で高速な溶接が可能なレーザー溶接の適用が考えられるが、ニオブをレーザー溶接した報告は、ほとんど見当たらない。本研究では、レーザー溶接によりニオブの溶接を行い、溶接条件が溶接部組織や引張強さ等の機械的特性に与える影響について検討した。

2 実験方法

2-1 供試材

本試験では、純度99.9%のニオブ板を使用した。図1に、試験片の模式図を示す。ワイヤー放電加工により、

試験片の開先を段型（幅0.5mm、厚さ0.85mm）に加工し、試験に供した。溶接は、2枚の試験片の開先を互い違いに重ね合わせて溶接した。

2-2 溶接方法

レーザー溶接には、ビーム径0.6mmの半導体レーザー装置（Laserline社製LDF6000-40VG6）を用いた。溶接条件は、出力5150W一定とし、試験片両面をアルゴンでガスシールドした。溶接速度は0.5～5.0m/minの範囲で変化させて溶接した。

2-3 評価方法

接合部の評価のために、溶接部を切断・研磨後、フッ酸：硝酸：リン酸＝1：1：2の混酸で腐食して、光学顕微鏡で組織観察を行った。組織の硬さは、マイクロビッカース硬さ試験（試験力0.05kg）で評価した。また、接合したサンプルはワイヤー放電加工で、幅10mm、長さ15mmの平行部をもったダンベル型に加工し、1つの溶接条件につきサンプル数N＝3で引張試験を行った。一部、

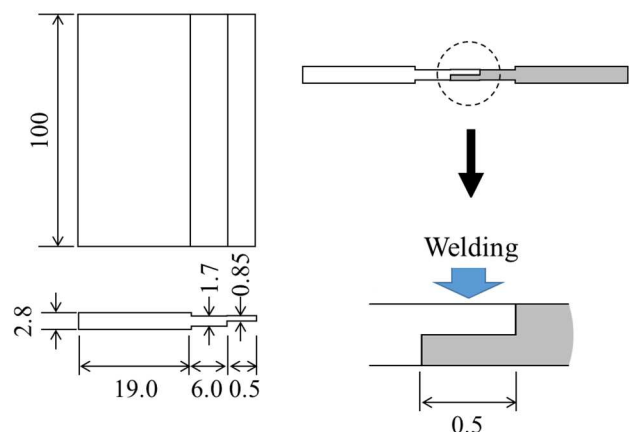


図1 溶接試験片の寸法形状

* 平成30年度技術シーズ創生研究事業（プロジェクトステージ）

** 機能表面技術部（現 素形材プロセス技術部）

溶接金属破断したため、走査型電子顕微鏡（日本電子製 JCM-6000）で破面観察した。

酸素・窒素分析は、試料を幅 1.7 mm、長さ 10 mm に切り出し、表層から 100 μm の厚さを除去するため、フッ酸：硝酸：リン酸＝1：1：2 の混酸でエッチング後、アセトン中で超音波洗浄し、乾燥した試験片を用いた。分析は、酸素・窒素同時分析装置（LECO 社製 TC-500）を用いて行った。

3 結果及び考察

3-1 溶接部外観及び断面組織

図 2 にレーザ溶接したニオブの外観及び断面写真を示す。外観は、いずれの条件においても、試料裏面まで溶け込んでおり、溶接速度が速くなるにつれて、溶け込み幅は減少した。また、酸化の影響を受けて、部分的に黄色あるいは青色に変色した。断面組織は、溶接金属 (WM: Weld Metal) と熱影響部 (HAZ: Heat Affected Zone) の結晶粒が粗大化し、溶接速度 0.5 mm/min では、1 mm 以上の結晶も見られた。ニオブは拡散係数が低く、粒界の移動度が小さいことから、熱処理により再結晶に先行して回復が進行し、粗大な組織となることが報告されている⁴⁾。レーザ溶接においても、熱影響により回復が進行し、入熱量が大きくなる溶接速度が遅い条件ほど、粗大な組織となったと考えられる。

3-2 溶接部組織の機械的特性

溶接部組織の機械的特性や溶接の健全性を確認するため、溶接部組織の硬さ試験と引張試験を行った。図 3 に、硬さ試験の結果を示す。いずれの条件でも、熱影響部は、50HV 程度と母材と同程度となったが、溶接金属

は上昇した。溶接金属の硬さは、溶接速度が遅くなるほど、上昇する傾向が見られ、3.0 m/min 以上では溶接金属の硬さは 100HV 程度となるが、1.0 m/min 以下では、180HV 程度まで上昇した。

図 4 に溶接金属の硬さと引張強さの関係を示す。いずれの条件でも、母材より大きい引張強さとなった。溶接金属の硬さが大きくなると、引張強さも上昇する傾向が見られた。引張試験で溶接金属破断となった破面の形状が溶接速度で異なった。図 5 に破面の SEM 写真を示す。溶接速度 5.0 m/min では、延性的な破面となっていた。破面の一部に開先が残っていた。これは、溶接速度が速いため、部分的に十分な溶け込みが得られなかったことが原因と考えられる。一方、溶接速度 0.5 m/min の破面は、脆性的な破面となっていた。これは、溶接金属が硬くなったことで、延性が低下したためと予想される。溶接速度 1.0 及び 3.0 m/min の条件では、すべて母材破断となった。

以上の結果から、引張試験で母材破断となるニオブのレーザ溶接条件を確認した。ここで、溶接部組織と引張強さの関係について着目すると、図 2 から分かるように、溶接速度が遅くなるほど、溶接金属及び熱影響部の組織が粗大化したが、引張強さは上昇する傾向が見られた。ニオブの TIG 溶接において、溶接金属中の酸素及び窒素濃度が高くなるほど、溶接金属が硬く、また引張強さが上昇することが報告されている^{2,3)}。レーザ溶接でも、溶接金属の酸素あるいは窒素の上昇が原因であると考えられる。図 6 に、溶接速度 1.0 m/min の酸素・窒素分析した結果を示す。酸素濃度に着目すると母材 (BM: Base Metal) は 50 ppm 程度であり、熱影響部も同程度の値となった。

Welding speed [m/min]	Appearance of weld bead		Cross-section image
	Face bead	Back bead	
0.5			
1.0			
3.0			
5.0			

図 2 溶接試験片の外観及び断面写真 (出力: 5150 W)

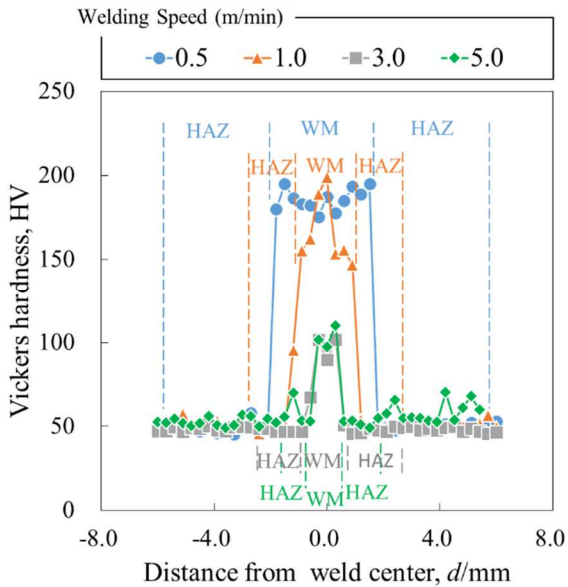


図3 溶接中心からの距離と硬さの関係

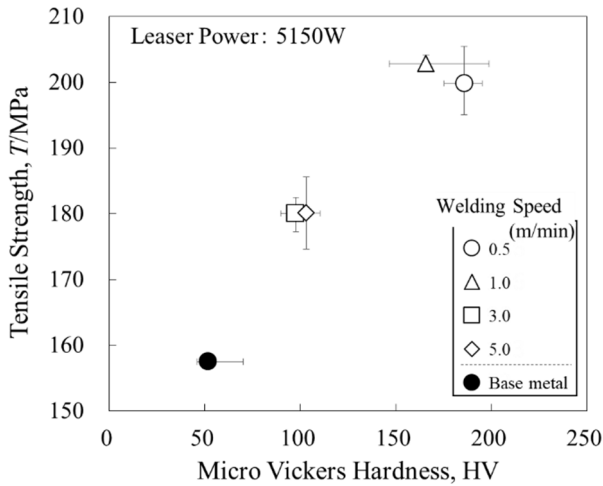


図4 溶接金属の硬さと引張強さの関係

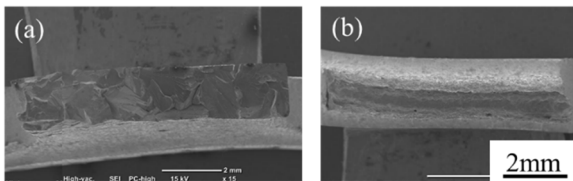


図5 溶接金属破断面SEM写真
(出力5150 W, 溶接速度(m/min) ; (a) 0.5, (b) 5.0)

一方、溶接金属では、260 ppm 以上の値に増加した。窒素についても、同様に溶接金属で著しく増加していた。溶接速度が遅くなると、溶接中の溶融時間も長くなり、溶接金属中の酸素や窒素の量も増加するため、溶接金属

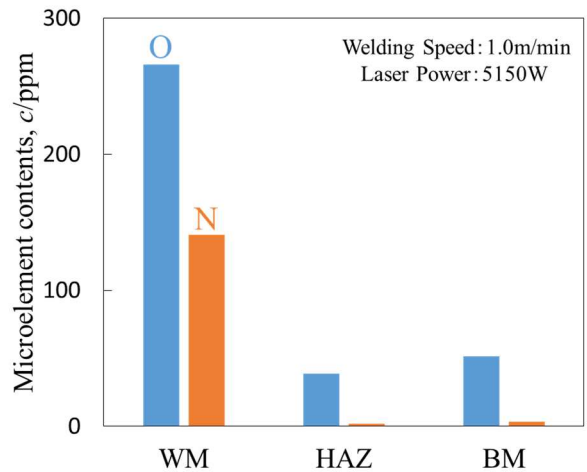


図6 酸素・窒素分析の結果

の硬さと引張強さが上昇したと考えられる。また、溶接金属の組織が粗大化したにも関わらず、引張強さが上昇したのは、結晶粒径の粗大化よりも、酸素や窒素の吸収による影響が大きいためと考えられる。

4 結 言

ニオブにレーザー溶接を施し、溶接条件がニオブの溶接部組織や強度等に与える影響について調査した。

- (1) レーザ出力 5150 W、溶接速度 1.0 及び 3.0 m/min の条件で、引張試験で母材破断となる溶接が可能であることを確認した。
- (2) 溶接速度が遅くなる（入熱量が大きくなる）ほど、溶接金属及び熱影響部の組織が粗大化した。
- (3) 溶接金属組織が粗大化したにも関わらず、引張強さは溶接速度が遅くなるほど上昇する傾向が見られた。これは、酸素や窒素の吸収による影響が大きいためと考えられる。

文 献

- 1) 佐伯学行, “KEK における ILC のための超伝導 9 セル空洞製造の研究”, 高エネルギーニュース, Vol.32, No.3 (2013), pp.178-184
- 2) 鈴木春義, 橋本達哉, 松田福久, “ニオブとタンタルの電子ビーム溶接と TIG 溶接に関する研究”, 溶接学会誌, Vol.32, No.3 (1963), pp175-186.
- 3) 依田連平 “Nb について(I)”, 日本金属学会誌, Vol.3, No.7 (1964), pp.347-357
- 4) 山口裕太, 泉拓水, 湯浅元仁, 宮本博之, 山中将, “超伝導加速空洞用高純度ニオブの再結晶挙動と集合組織”, 日本金属学会誌, Vol.82, No.7 (2018), pp.262-268

オーステンパ球状黒鉛鑄鉄の衝撃特性に及ぼす熱処理条件の影響*

高川 貫仁**

低合金の球状黒鉛鑄鉄をオーステンパ熱処理し、衝撃特性に及ぼすオーステンパ熱処理条件の影響について調べた。処理温度 300 °C ではマルテンサイト組織が多く衝撃吸収エネルギーは低かった。処理温度 350 °C 及び 400 °C では、保持時間の経過に伴い塊状の残留オーステナイト量が減少し衝撃吸収エネルギーは向上したが、30 分を超えると低下した。処理温度 350 °C、保持時間 30 分の条件において衝撃吸収エネルギーは最大となり、107 J/cm² が得られた。

キーワード：オーステンパ球状黒鉛鑄鉄、衝撃特性、残留オーステナイト、ベイナイト

Effect of Heat Treatment Condition on Impact Characteristics of Austempered Ductile Cast Iron

TAKAGAWA Takahito

Key words : austempered ductile cast iron, impact characteristics, retained austenite, bainite

1 緒言

近年、輸送機器や産業機械等の鑄鉄部品は、環境負荷低減や作業性向上等の観点から、軽量化や衝撃荷重に対する安全性の向上が求められており、これに伴い、鑄鉄材料の高強度化のみならず、強じん化も求められている。

高強度の鑄鉄として、オーステンパ球状黒鉛鑄鉄(以下、ADI (Austempered Ductile Cast Iron) と記す)がある。ADI は、球状黒鉛鑄鉄をオーステンパ熱処理することにより得られ、鉄基地組織は熱処理により強度と延性を兼ね備えたベイナイト組織になるため、合金鋼に匹敵する強度を持ちながら延性にも優れるのが特徴である。しかし球状黒鉛鑄鉄は炭素やシリコン含有量が高いため、オーステンパ熱処理後、多量のオーステナイトが残留する。共晶セル粒界に形成される塊状の残留オーステナイトは、応力誘起マルテンサイト変態しやすく破壊の起点になりやすいため、じん性の向上にはこれの制御が重要と言われている^{1), 2)}。

本研究では、耐衝撃性に優れる ADI を開発することを目的に、低合金の球状黒鉛鑄鉄を種々の条件でオーステンパ熱処理し、金属組織及び衝撃吸収エネルギーを求め、衝撃特性に及ぼすオーステンパ熱処理条件の影響について調べた。

2 実験方法

2-1 供試材及び衝撃試験片

供試材は、目標組成 3.9 mass% C - 2.5 mass% Si - 0.2 mass% Mn の黒鉛球状化処理を行った約 5 kg の鑄鉄溶湯を、165×100×18 mm の板状供試材採取用の CO₂ 鑄型に注湯し作製した。溶解は 3 回行ない 3 つの供試材を

表 1 代表的な供試材の化学組成 (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Cr
3.7	2.5	0.26	0.03	0.01	0.04

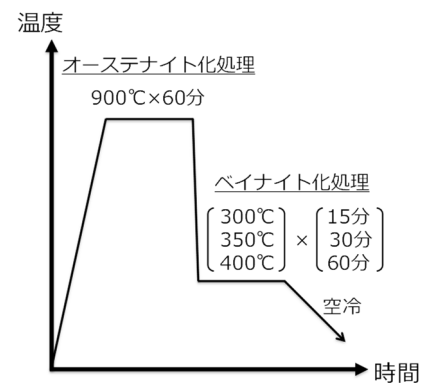


図 1 オーステンパ熱処理の工程図

作製した。得られた供試材の代表的な化学組成を表 1 に示す。得られた供試材 1 点から、10×10×55 mm の溝無し衝撃試験片を 9 本採取し、計 27 本の衝撃試験片を作製した。代表的な 9 本の衝撃試験片の平均の黒鉛粒数は 88 個/mm²、黒鉛平均粒径は 41 μm、黒鉛球状化率は 86 % である。

2-2 熱処理条件

衝撃試験片のオーステンパ熱処理は、図 1 に示す熱処理工程により行った。まず 900°C の大気炉において 1 時間保持しオーステナイト化処理を行った後、300~400 °C

* 平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業 (育成ステージ)

** 素形材技術部 (現 素形材プロセス技術部)

の金属スズ浴に急冷し、スズ浴にて 15~60 分保持しベイナイト化処理を行なった。所定時間保持後、試験片を浴から取り出し空冷した。

2-3 衝撃試験

オーステンパ処理後の試験片にはスズや酸化被膜が付着しているため、サンドブラストにより表面を清浄してから衝撃試験に呈した。衝撃試験は、JIS Z 2242 に準拠しシャルピー衝撃試験機を用いて室温にて行なった。

2-4 組織観察

組織観察は、衝撃試験後、各熱処理条件につき平均的な衝撃値を示した試験片 1 本について、破断面から約 14 mm 離れた変形していない部分を切断し、その断面を研磨し観察した。黒鉛組織を観察後、3 %ナイタールにより腐食させ基地組織を観察し、さらに大気炉において 260 °C で 6 時間加熱し酸化着色させた。酸化着色により、

共晶セル境界の残留オーステナイト及び低炭素の残留オーステナイトから成るベイナイトは青色に、高炭素のオーステナイトから成るベイナイトは赤色に着色され、マルテンサイトは白色に残る。黒鉛組織及び酸化着色組織について、画像解析ソフトを用いて、黒鉛粒数、黒鉛平均粒径、黒鉛球状化率及び共晶セル境界の残留オーステナイト面積率を求めた。

3 結果及び考察

図 2 にナイタールで腐食した組織写真を示す。主な基地組織は、ベイナイト化処理温度(以下、処理温度と記す)300 °C では、細かい針状の下部ベイナイト及びさらに細かい針状のマルテンサイト組織、処理温度 350 °C では、針状の下部ベイナイト及び丸みを帯びた羽毛状の上部ベイナイト、またはその中間組織、処理温度 400 °C で

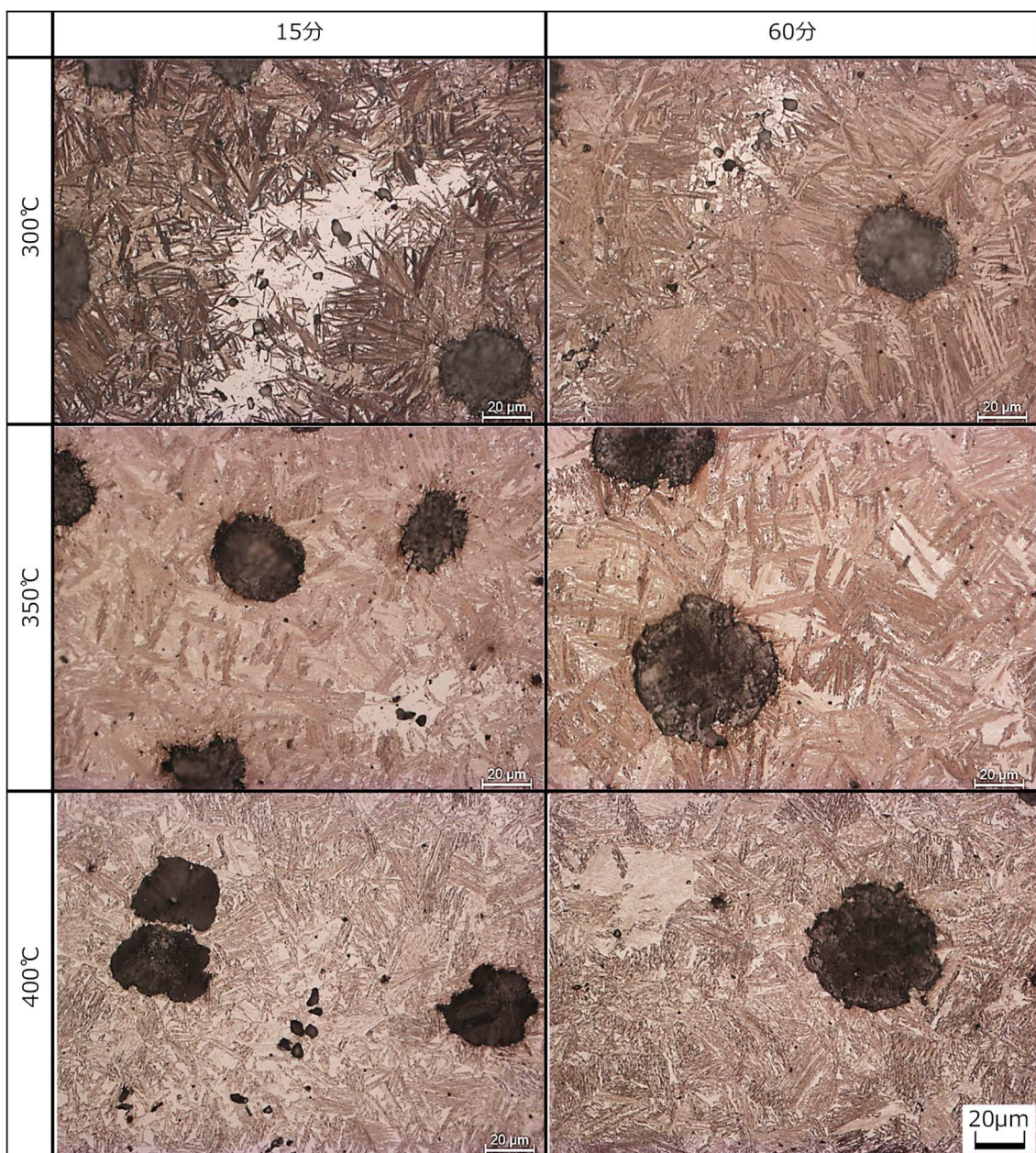


図 2 各条件でベイナイト化処理を行なった衝撃試験片の代表的な組織写真 (ナイタール腐食)

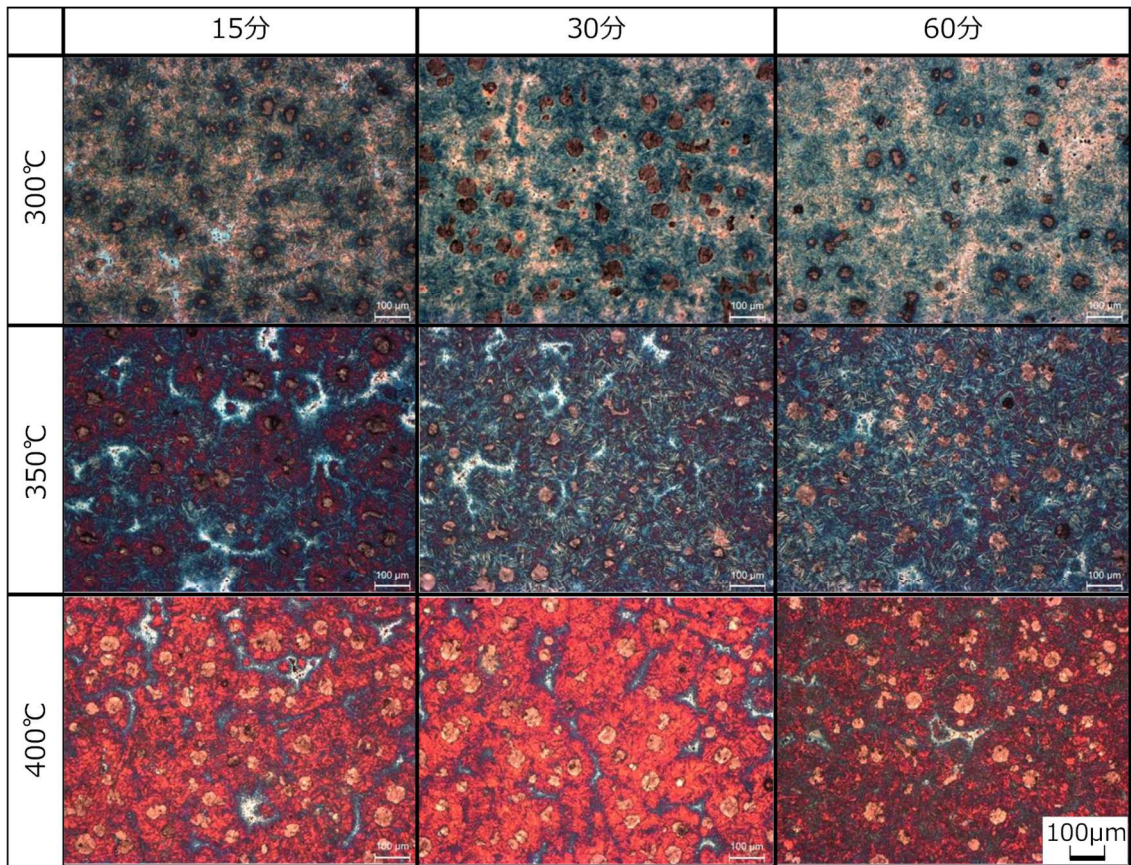


図3 各条件でベイナイト化処理を行なった衝撃試験片の代表的な組織写真（酸化着色）

は上部ベイナイトとなっていた。またベイナイト組織は、いずれの処理温度においても、ベイナイト化保持時間(以下、保持時間と記す)の経過に伴い長く太く粗大に成長した。またいずれの条件においても、共晶セル境界には塊状の残留オーステナイトが観察された。

図3に酸化着色させた組織写真を示す。処理温度300℃では、黒鉛周辺は青色に着色されたが、基地全体では白色部分が目立つため、黒鉛周辺は低炭素のオーステナイトから成るベイナイト組織であるが、全体ではマルテンサイト組織が多いことが分かる。そのため、保持時間60分においてもベイナイト化の反応が十分でないことが分かる。処理温度350℃では、黒鉛周辺は赤色と青色が混在した状態で着色され全体は青色に着色された。処理温度400℃では全体が赤色に着色され、処理温度が高くなるに従いベイナイト内のオーステナイトの炭素含有量が高くなり、よりマルテンサイト変態しにくい安定したオーステナイトになっていることが分かる。また処理温度350℃及び400℃のいずれにおいても、共晶セル境界には青色に着色された網目状及び塊状の残留オーステナイトが観察された。そして網目状及び塊状の残留オーステナイトは、保持時間が長くなるに従い減少し分断され、そのサイズも小さくなった。

図4に処理温度350℃及び400℃における保持時間

の経過に伴う共晶セル境界の残留オーステナイト面積率の変化を示す。なお、処理温度300℃の場合は、未着色部分があり二値化できず測定できなかったため、図示していない。共晶セル境界の残留オーステナイト面積率は、保持時間15分では5~7%であり、時間の経過に伴い直線的に減少し、60分では2~4%に減少した。また処理温度が高い方が、僅かに面積率は低かった。

図5に各処理温度における衝撃吸収エネルギーに及ぼす保持時間の影響を示す。処理温度300℃の場合、保持

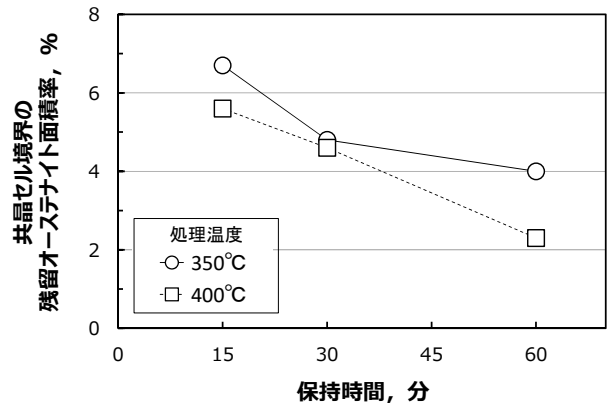


図4 保持時間経過に伴う共晶セル境界の残留オーステナイト面積率の変化

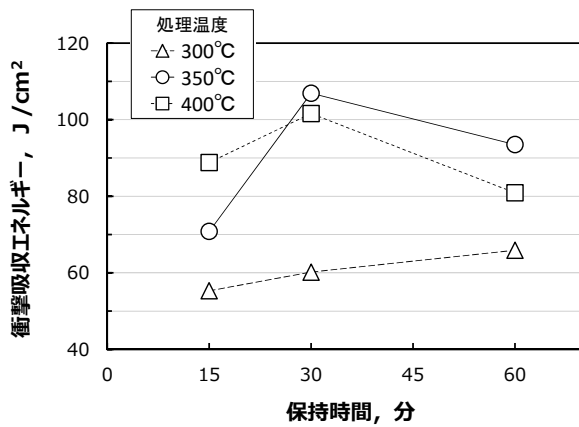


図5 各処理温度における衝撃吸収エネルギーに及ぼす保持時間の影響

時間の経過に伴い衝撃吸収エネルギーは高くなった。ただし最大で66 J/cm²と値は低く、保持時間経過に伴う増加幅も10 J/cm²と小さかった。処理温度350℃の場合、衝撃吸収エネルギーは、保持時間15分から30分にかけて71 J/cm²から107 J/cm²まで大きく増加したが、60分になると低下した。処理温度400℃の場合も、保持時間15分から30分にかけて89 J/cm²から102 J/cm²まで増加したが、60分になると保持時間15分の値を下回った。

処理温度300℃の場合は、組織観察結果より、共晶セル境界に塊状の残留オーステナイトが存在するだけでなく、硬くて脆いマルテンサイト組織が網目状に多く存在しているため、き裂が伝播しやすい状況であり、衝撃吸収エネルギーは低かったものと考えられる。

処理温度350℃及び400℃の場合は、保持時間経過に伴い共晶セル境界に網目状に存在した残留オーステナイトが分断し細分化され、さらに残留オーステナイト面積率も減少したため衝撃吸収エネルギーは増加したと考

えられる。一方、保持時間60分では、いずれの処理温度とも、衝撃吸収エネルギーが減少し、処理温度がより高い400℃の方が減少傾向は大きい。これは、保持時間の経過に伴いベイナイト化反応が進む一方で、基地組織であるベイナイト組織の粗大化が進行したためと考えられる。

4 結 言

低合金の球状黒鉛鋳鉄を種々のベイナイト化処理条件でオーステンパ熱処理し、金属組織及び衝撃吸収エネルギーを求め、衝撃特性に及ぼすオーステンパ熱処理条件の影響について調べた。結果は以下のとおりである。

- (1) 処理温度300℃では、保持時間60分においてもベイナイト化反応が十分に進まず、マルテンサイト組織が観察され、衝撃吸収エネルギーは最大で66 J/cm²と低かった。
- (2) 処理温度350℃及び400℃では、共晶セル境界に網目状の残留オーステナイトが観察されたが、保持時間の経過に伴い残留オーステナイトは細かく分断され、面積率も減少した。
- (3) 処理温度350℃及び400℃では、衝撃吸収エネルギーは保持時間の経過に伴い向上したが、30分を超えると低下した。これは、保持時間の経過に伴いベイナイト組織の粗大化が進行したためと考えられた。
- (4) 衝撃吸収エネルギーは、処理温度350℃、保持時間30分の条件において、最大値107 J/cm²を示した。

文 献

- 1) 青山正治、小林敏郎、松尾國彦：鋳物62(1990)7、517
- 2) 矢島善次郎、岸陽一、清水謙一、望月栄治、吉田敏樹：鋳造工学77(2005)7、445

電子ビーム積層造形で作製したTi-6Al-4V造形体の造形品質に及ぼすオーバーハング角度の影響*

黒須 信吾**

電子ビーム金属積層造形法を用いて、種々のオーバーハング角度を有するTi-6Al-4V造形体を造形し、寸法精度やサポートの有無による表面粗さの変化について調査した。サポートの無い状態で、オーバーハング角度が小さくなると、表面粗さが増加し、25°以下では測定できないほどの変形が確認された。一方、サポートを付加することにより、変形は抑制され、25°以下においても変形なく造形でき、平均表面粗さ20~25 μmに改善できることがわかった。

キーワード：電子ビーム積層造形、Ti-6Al-4V合金、オーバーハング角度、平均表面粗さ(Ra)、サポート

Effect of Overhang Angle on the Quality of Ti-6Al-4V Alloy Object Fabricated by Electron Beam Melting

KUROSU Shingo

Key words : Electron Beam Melting, Ti-6Al-4V alloy, Overhang angle, Arithmetic mean roughness(Ra), Support

1 緒言

金属粉末積層造形法は、金属粉末を出発材料とし、3DCADデータから作成した2Dスライスデータを電子ビームまたはレーザービームを用いて選択的に熔融、積層することで3D形状を造形する手法である。最終製品形状近くまで造形できる高いニアネットシェイプ特性を有しているため、製品試作に係る期間を大きく短縮化することができ、よりスピーディに試作開発を進める方法として期待されている。

一方、本造形法は、積層方向に対して下方向の面を有する場合、オーバーハング角度が小さくなるに伴い、粉末床の上に新たに造形される面（下層に造形物の無い面）の面積が増加する。そのため、熔融した金属の粉末床への沈み込み、放熱不足による変形などが生じ、形状変形などの造形不良を引き起こす。オーバーハング角度によっては造形物に対してサポート（支持材）を付加し、造形物の支持や放熱を促進することも必要となる。本造形法の適用を広げるためには、オーバーハング角度による造形不良やサポート付加の最適化の検討が不可欠である。

そこで本研究では、Ti-6Al-4V合金粉末を用いて、電子ビーム金属積層造形法により種々のオーバーハング角度を有する造形体を作製し、オーバーハング角度が及ぼす造形品質（寸法精度、表面粗さ）への影響について調査した。さらに、サポート付加による効果についても調べた。

2 実験方法

2-1 造形サンプル

造形に用いた装置はARCAM社製のEBM®A2Xである。材料にはメーカ指定のTi-6Al-4V ELI合金粉末(+45/-106、 $d_{50}=70 \mu\text{m}$)を用い、装置メーカから提供された造形条件によってサンプルを作製した。

図1に、造形サンプルの概略図を示す。造形サンプルは、基本サイズを幅10mm、厚さ5mmとし、高さを50mmに合わせて、種々のオーバーハング角度を付けた。オーバーハング角度(θ)は、水平面(XY面)とモデルの下面から成る角度とし、5°から90°まで5°刻みで付加させた。

図2に造形サンプルの配置図を示す。同図に示すように、粉末を敷布する方向(Raking direction、x方向)に対してサンプル幅方向を垂直(z)および平行(y)になるように配置した。各々の配置をA配置、B配置と呼称する。また、サポート付加の効果进行调查するために、サポートを付けたサンプルと付けないサンプルを造形した。サポートはメーカ推奨条件に準じ、オーバーハング角度が65°よりも小さいサンプル($\theta < 65^\circ$)に付加させ、別ロットで造形した。サンプル配置に関しても、サポートなしと同様に配置した。

2-2 造形品質評価

造形品質評価として、寸法と表面粗さを測定した。寸法は、サンプルの幅と厚さについてマイクロメータを用いて、図1に示すサンプル上部と下部について各2か所

* 平成30年度 技術シーズ創生研究事業（育成ステージ）

** 素形材技術部（現 素形材プロセス技術部）

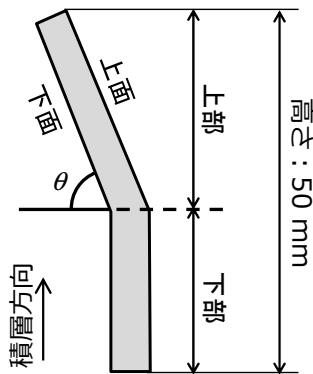


図1 造形サンプルの概略図

測定し、平均値を算出した。上部はオーバーハング角度を付加させている部位でオーバーハング形状による影響を受けている箇所、下部はオーバーハング角度を付けていない部位（オーバーハング角度90°と同等）ですべての造形サンプルに共通する部位である。

表面粗さについては、接触式の表面粗さ測定機（小坂製作所、DSF600S）を用いて、図1に示すオーバーハング部位である上部の上面と下面について平均表面粗さ（Ra）を3ライン測定し、平均値を算出した。測定は、送り速度0.2 mm/s、トレース長さ24 mm、カットオフ（ λ_c ）8 mm、評価長さはカットオフ×2で実施した。

3 実験結果及び考察

3-1 オーバーハング角度が及ぼす寸法精度への影響

図3に、種々のオーバーハング角度を付加させた造形サンプル（A配置）を示す。(a)は側面側から、(b)は上面側から、(c)は下面側から見た外観写真である。いずれのオーバーハング角度でも最後まで造形は完了したが、オーバーハング角度25°以下では、大きな変形が確認された。一方、B配置においては、オーバーハング角度が30°以下で大きな変形が認められた。

図4に、A、B配置における造形サンプルの幅と厚さの測定結果を示す。なお、変形の大きかった上部（A配置：25°以下、B配置：30°以下）の寸法測定は省略している。図4(a)-(d)より、オーバーハング部ではない下部において、幅および厚さの測定値は、設定値よりも大きな値を示した。これらは、表面に融着している未溶融粉末が存在し、それらも含めた測定によるものと考えられる。図4(a)(b)、または図4(c)(d)より、下部寸法において異なる配置による寸法の違いも認められた。測定面と粉末敷布方向（x方向）の関係が垂直関係である方が平行関係にあるよりも値が大きくなる傾向を示した。これより、少なからず粉末の敷布する方向の影響を受けていることが示唆される。

オーバーハング部位である上部においても幅方向では、同様な傾向を示しているが、厚さ方向では異なる傾

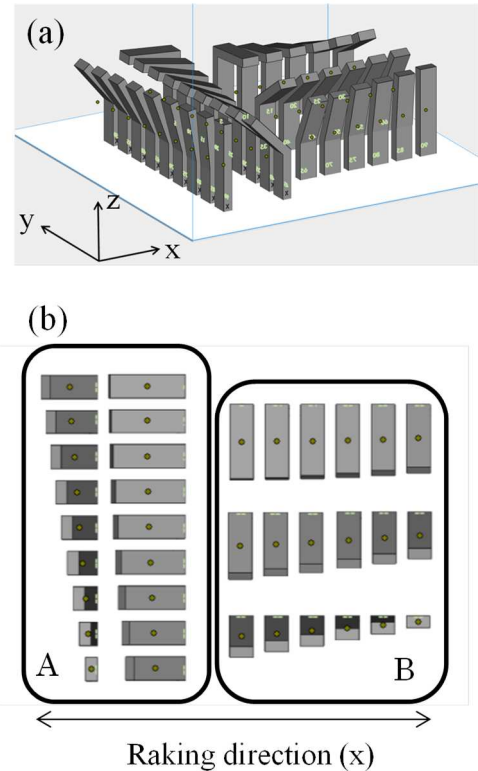


図2 造形モデル配置 (a) 投影図、(b) 上面

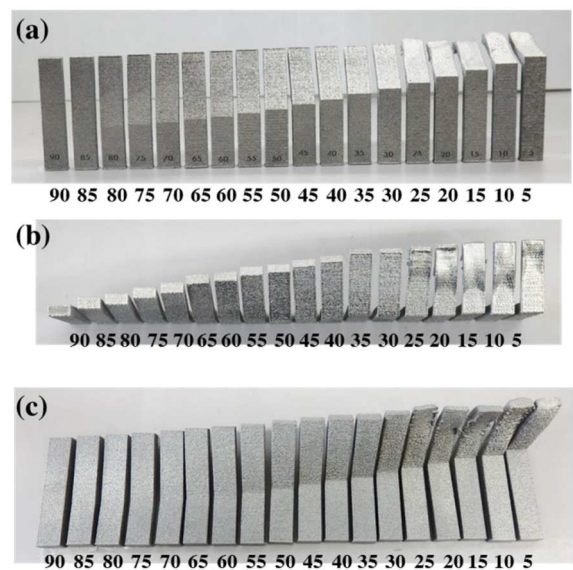


図3 A配置造形品の各方向から見た外観写真
(a) 側面側、(b) 上面側、(c) 下面側

向を示している。オーバーハング角度が小さくなるに伴い、徐々に値が増加し、オーバーハング角度55°よりも小さくなると急激に値の変動が生じている。この原因として2つ考えられる。一つは、厚さの測定面はオーバーハング部位であり、オーバーハング角度の低下により下面の粗面化が大きくなり、厚さが増加したためである。もう一つは、オーバーハング部位の厚さの精度は、オー

バーハング角度の低下に伴い、XY平面の寸法精度よりも精度が劣る積層方向（Z方向）の寸法精度が支配的になるためである。

3-2 オーバーハング角度が及ぼす表面粗さへの影響

図5にA、B配置における造形サンプルの上面、下面の平均表面粗さ（Ra）を示す。図5（a）、（b）より、いずれの配置においても、上面はオーバーハング角度が小さくなるに伴い、平均表面粗さも小さくなっていく傾向を

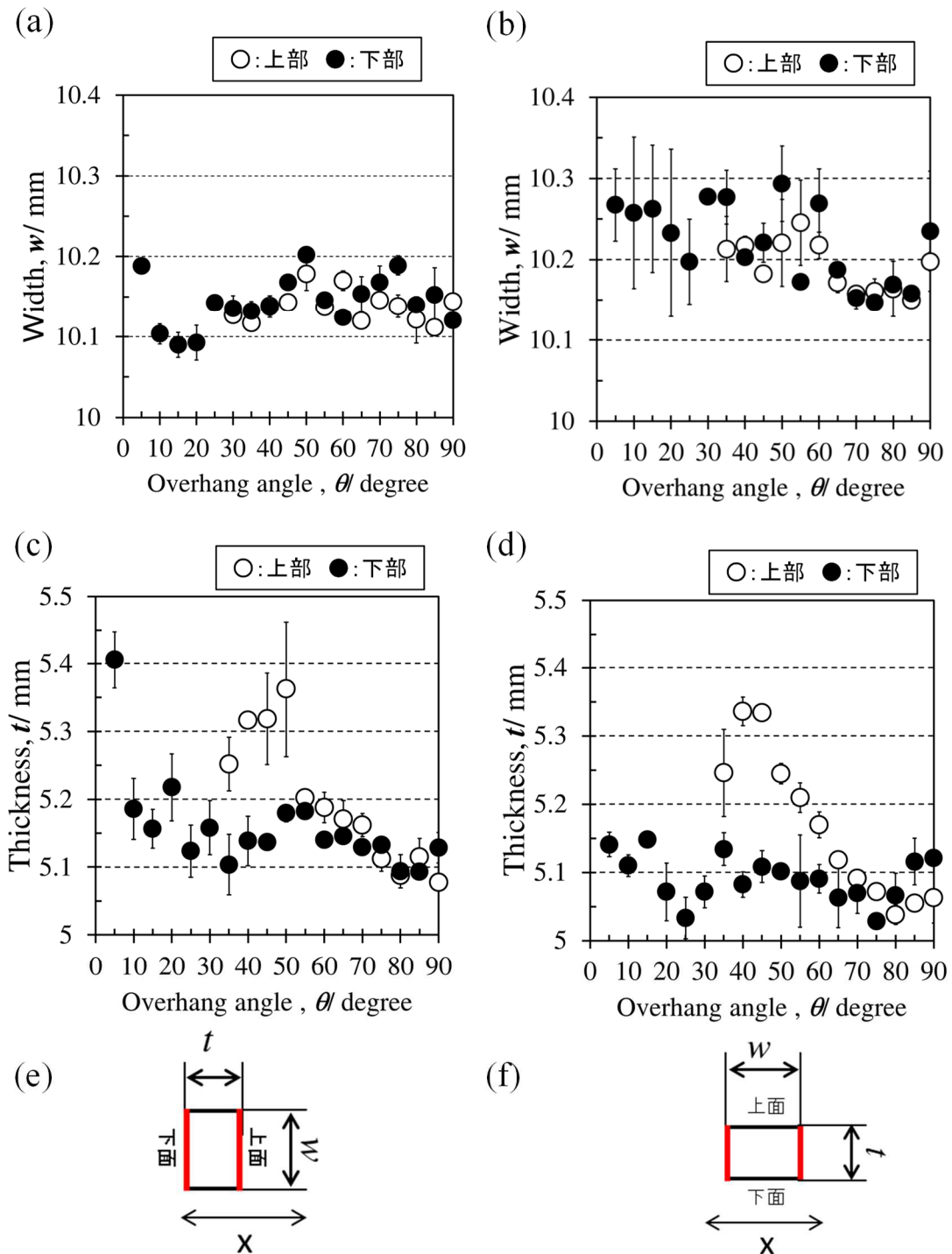


図4 造形品の寸法測定結果

(a) A配置サンプル 幅、(b) B配置サンプル 幅

(c) A配置サンプル 厚さ、(d) B配置サンプル 厚さ

(e) A配置サンプルと粉末敷布方向(x)の関係、(f) B配置サンプルと粉末敷布方向(x)の関係

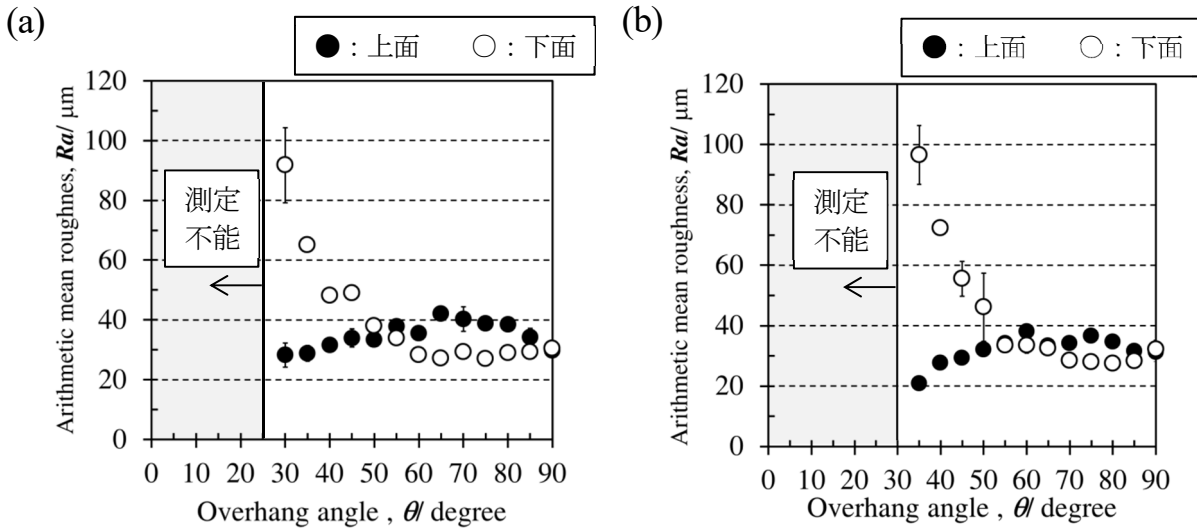


図5 造形品の平均表面粗さ (a) A配置サンプル (b) B配置サンプル

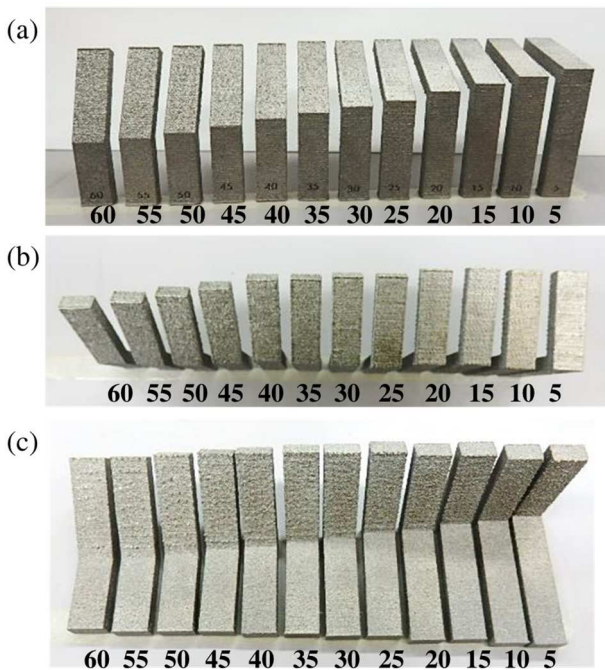


図6 A配置造形品(サポートあり)の各方向から見た外観写真
(a)側面側、(b)上面側、(c)下面側

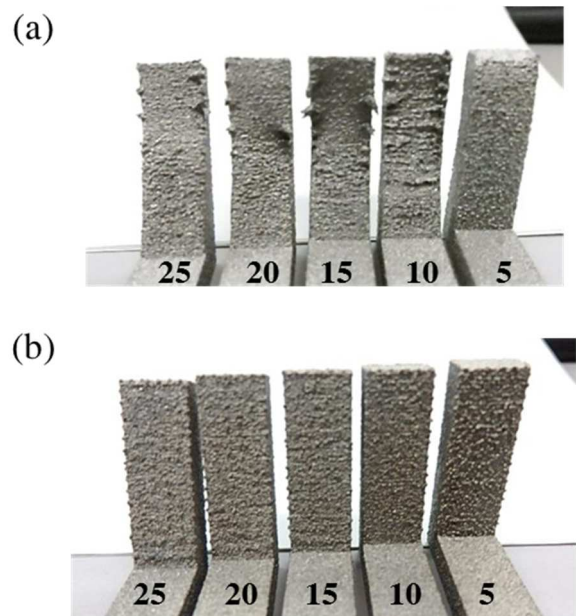


図7 A配置造形品の下面側の外観写真
(a)サポートなし、(b)サポートあり

示した。一方、下面においては、オーバーハング角度が 50° を境に挙動が大きく異なる。 50° より大きな領域では、平均表面粗さは上面と同等もしくは小さく、 $25\sim 40\mu\text{m}$ の値を示すが、 50° よりも小さくなると急激に増加する傾向を示した。またA配置では 25° 以下、B配置では 30° 以下は、大きな変形により測定不能であった。

図6にサポートを付加させたA配置造形サンプルの外観写真を示す。このサンプルはサポートを除去した後の外観写真である。また、図7にサポート付加なし造形サ

ンプルで大きな変形が確認されたオーバーハング角度 $5\sim 25^\circ$ の造形サンプルの比較写真を示す。サポートを付加させることにより、大きな変形も確認されず、健全な形状であることがわかる。

図8に、サポートの有無による造形サンプルのオーバーハング角度と平均表面粗さ(Ra)の関係を示す。サポートを付加させた場合は、 60° から 50° までは、サポートなし造形サンプルと同等の値を示しているが、 45° 以下の角度では、サポートなし造形サンプルよりも低い値

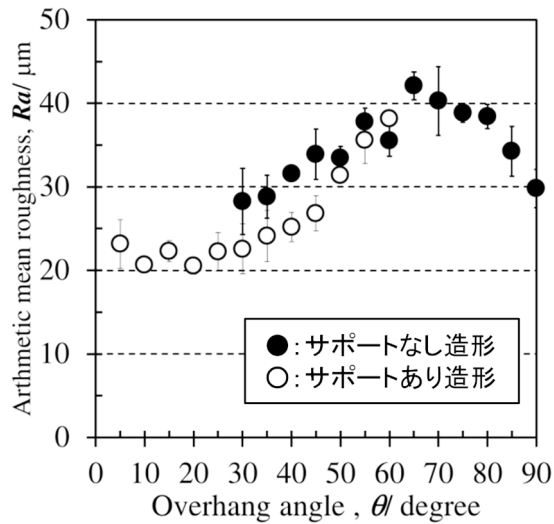


図8 サポートの有無による表面粗さ測定結果の比 (A配置 上面)

となり、表面粗さの改善効果が認められ、Ra 20~25 μm となった。

4 結 論

本研究では Ti-6Al-4V 合金粉末を用いて、電子ビーム金属積層造形法により種々のオーバーハング角度を有する造形体を作製し、オーバーハング角度が及ぼす造形品

質 (寸法精度、表面粗さ) への影響について調査した。以下に得られた知見を列記する。

- (1) サポートの無い状態で、オーバーハング角度 35° 以下の造形サンプルで大きな変形が認められた。
- (2) オーバーハング角度を付加させた造形サンプルにおける寸法 (幅、厚さ) は、オーバーハング角度が小さくなるに伴い、徐々に値が増加し、オーバーハング角度 55° よりも小さくなると急激に値が変化した。
- (3) オーバーハング部上面の表面粗さは、オーバーハング角度が小さくなるに伴い、小さくなっていく傾向を示した。
- (4) 一方、下面の表面粗さは、オーバーハング角度が 50° を境に挙動が大きく異なり、50° より大きな領域では、表面粗さは、上面と同等もしくは小さい値を示し、平均表面粗さ 25~40 μm であったが、50° よりも小さくなると急激に表面粗さが増加する傾向を示した。
- (5) サポートを付加させた造形サンプルの表面粗さは、オーバーハング角度 60° から 50° までは、サポートなし造形サンプルと同等の表面粗さを示し、45° 以下の角度では、表面粗さが改善され、平均表面粗さ 20~25 μm となった。

漆オブジェ制作への3次元デザインツールの活用*

小林 正信**、富士原 文隆***、松倉 幸道****

岩手県が企画する漆塗りオブジェの制作のため、3次元デザインツールの活用を検討した。3DCAD データから大型造形物を製作する方法について検討し、3Dプリンタによる構造体を製作した。さらに、構造体に漆塗装を行い、漆塗装性も良好であることを確認した。完成した漆オブジェ「SANSА」は本県漆産業のPRのために、様々な催事等で展示活用される予定である。

キーワード：漆、オブジェ、3Dプリンタ、安比塗

Three Dimensional Design Tools for Lacquered Object Modeling

KOBAYASHI Masanobu, FUJIWARA Fumitaka and MATSUKURA Yukimichi

Key words : Japanese Lacquer, Object, 3D Printer, Appi Urushi Works

1 緒言

岩手県では平成30年度いわての漆産業新時代開拓事業の一環として、本県漆産業のPRに活用する目的で、漆オブジェ制作を企画した。事業は株式会社ジェイアール東日本企画が実施業者となり、岩手県漆器協同組合が制作を請け負う形で進められた。一般公募により選考された作品「SANSА」はさんさ踊りをモチーフとし、3DCADで設計された有機的形狀のデザインを特徴とする(図1)。最終的に制作する漆オブジェは高さ120cmで黒及び朱色の2体となったが、岩手県漆器協同組合では、この大きさの相似造形物を製作することが困難であった。

本文では、岩手県工業技術センターが所有する3次元デザインツール(デザインCADや光造形装置等)を活用した構造体の製作方法を検討し、設計形状に忠実かつ効率的な漆オブジェ制作を達成することを目的に実施した過程と結果を報告する。



図1 「SANSА」の3DCG

2 制作方法

2-1 構造体の製作

表1に示す工程中で、黒及び朱色の構造体2体を製作する条件を検討した。

工程1から3にはデザインCAD(AUTODESK社製Alias AutoStudio)とSTL編集ソフト(Materialise社製Materialise Magics)を用いた。工程4及び5は、光造形装置(CMET社製NRM-6000)で行った。

表1 構造体の製作工程

No.	工程名	内容
1	データ加工	3DCADデータの面状態を確認し、面の穴埋めなどの修整を行う。また、光造形可能な大きさにデータ分割し、部品化する。
2	接合部設計	部品をピン及び結束バンドで接合するため、必要なリブ設計を行う。
3	肉厚設計	部品の肉厚(1mm及び2mm)を検討する。
4	試作	強度とモデル品質確認のため試験造形により確認する。
5	造形	すべての部品の光造形(積層ピッチ0.15mm)を行う。
6	組み立て	部品の組み立てと内部補強を行う。
7	2次硬化	太陽光(紫外線)照射(3時間)により、光硬化樹脂の硬化促進を行う。
8	底板取り付け	構造体補強と低重心化のため、底面に21mm厚のベニヤ板を接着する。

* 平成30年度 共同研究

** デザイン部(現 産業デザイン部)

*** 岩手県漆器協同組合

**** 株式会社ジェイアール東日本企画盛岡支店

2-2 構造体への漆塗装

構造体への漆塗装は表2の工程で行った。塗装作業は八幡平市安代漆工技術センターで実施した。

表2 構造体への漆塗装工程

No.	工程名	内容
1	素地調整	研磨紙やポリパテ塗布等で構造体の表面や接合部の調整を行う。
2	下地付け	地の粉錆(じのこさび)を付け、表面の凹凸を整える。 ※地の粉錆は、地の粉(珪藻土粉)と生漆(きうるし、うるしの木から採取しえゴミをろ過したもの)を混合したパテ状のもの。
3	布着せ	麻布等を糊漆(のりうるし)で表面に4重に貼り重ね、構造体強度を高める。 ※糊漆は、米糊と生漆を混合したもので、接着剤として用いる。
4	目摺り	地の粉錆を布目に摺り込み平滑にする。
5	錆付け・錆研ぎ	地の粉錆、砥の粉錆(とのこさび)、切子錆(きりこさび)を付けて硬化後に研磨し、表面を更に平滑にする。 ※砥の粉錆は、砥の粉と生漆を混合したパテ状のもの。 ※切子錆は、地の粉錆と砥の粉錆を混合したもの。
6	下塗り	精製漆(せいせいうるし)を刷毛塗りする。 ※精製漆は、生漆を精製(成分分散と水分調整)したもの。
7	中塗り	精製漆を刷毛塗りする。
8	化粧錆	砥の粉錆で表面の凹凸を整える。
9	上塗り	上塗り漆(うわぬりうるし)を刷毛塗りする。 ※上塗り漆は、顔料などを調整して調整したもの。

各工程間に行う研磨工程は省略。

3 結果及び考察

3-1 構造体の製作

まず始めに3DCADデータの面を整え、光造形するための分割条件の検討を行った。今回は、接合部を多くすることで構造体の歪みを抑える目的から、最終的に31分割とした(図2)。

部品接合部の構造を図3に示す。リブが付いている部分がCADモデルの分割切片である。リブには対照となる位置に穴を多数配置し、ピンで接合面のズレを防ぎ、結束バンドで縛ることでリブの開きを抑える構造とした。ピンは光造形した樹脂製で、結束バンドは一般に流通しているナイロン製の製品を使用した。

部品の肉厚は、1mmでは造形テーブルから剥がす時の破損や形状のたわみが生じた。肉厚2mmでは破損や変形が見られなかったため、最終的に肉厚2mmで造形することとした。また、肉厚1mmと2mmの場合で造形時間は差がないことがわかった。

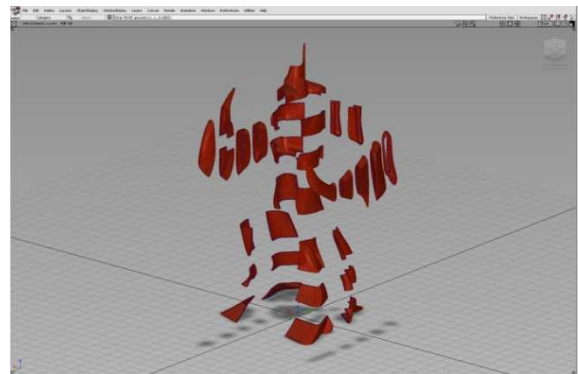


図2 分割したCADデータ

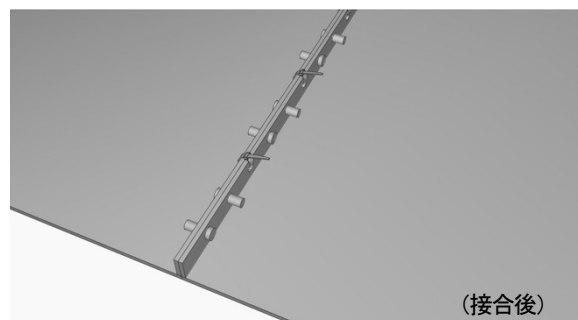
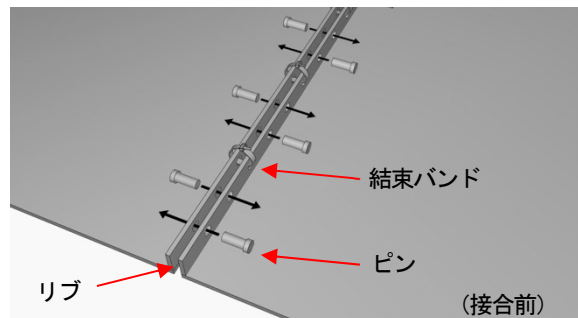


図3 部品接合部の構造



図4 光造形した部品

光造形では、1体分の部品造形に造形回数3回、造形時間7日間を要した。今回は、造形時間を短縮するため、図4のように鉛直方向の高さを抑えるよう造形テーブルに配置し、光硬化樹脂の積層ピッチも3段階(0.05、0.1、0.15mm)のうち、一番大きい0.15mmとした。結果とし

て、造形物の積層粗さについては、当センターで通常行っている0.1 mmピッチの造形と比べて、目視では判断できない程度の差であった。造形時間については、0.15 mmピッチの造形は、0.1 mmピッチの造形に対して約半分であった。0.15 mmピッチの造形は、大型造形や制作時間を優先したい造形時に有効であると考えられる。

部品の組み立ては、部品表面の未硬化樹脂を拭き取った後に行った。光造形のサポート材は、通常は造形後にすべて除去するが、今回は補強材として機能させる目的で、組み立てに支障がある箇所のみ除去した。

組み立て順は、まず両腕を先端部から胴に向かって接合した。次に両腕を頭部に接合し、その後、胴から足側に向かって接合した。さらに、たわみを生じさせないように補強したい箇所には、造形時に生じた不要なサポート材を充填した(図5)。

すべての部品を接合した後に、光造形樹脂の2次硬化として太陽光に約3時間晒した。今回、光造形樹脂の2次硬化を利用して部品を接着したが、接着剤を塗布しないため作業性は良好だった。ただし、組み立て中に太陽光に暴露しないよう、作業環境には注意が必要である。

2次硬化完了後に、構造体底面に厚さ21 mmのベニヤ板を2液性エポキシ接着剤で接着し、構造体の完成とした(図6)。

3-2 構造体への漆塗装

八幡平市安代漆工技術センターで実施した漆塗装工程を図7~10に示す。布着せ(図7)は、1枚の布では覆えないため、構造体の形状にあわせて裁断した麻布を糊漆で貼り合わせた。1枚貼る毎に糊漆を硬化させ、4重に貼り重ねた。布着せの糊漆では麻布の布目の凹凸が完全に埋まらないため、目摺り工程で布目を埋めた(図8)。なお、安比塗の汁椀等の制作では、布着せを行っていないが、今回は経年変化による樹脂の変形や外力による破損等を防ぐ目的で布着せを行った。この工程により構造体の変形もなく、耐久性が向上したと考える。図9は硬化後の錆をサンドペーパーで研磨する錆研ぎの様子である。構造体の滑らかな曲面を損なわないように配慮した。



図5 底部から見た構造体内部



図7 布着せ



図8 目摺り



図6 完成した構造体



図9 錆研ぎ

図10は朱漆の上塗り作業の様子である。上塗り膜厚が厚すぎると塗料垂れや発色不良が起こり、薄すぎる場合は粒状のゴミが見えやすく、下地色の隠蔽力も落ちる。細心の注意を払って塗装を進めた。

図10が上塗りを終え、完成した漆オブジェである。ゴミの付着も少なく、漆本来の光沢と発色を発現する仕上がりとなった。

漆塗装工程を実施した結果、漆塗料は光造形樹脂に付着性良く塗装でき、硬化不良も起こらないことが確認できた。今回使用した光造形樹脂は、耐熱温度が50～60℃と低いことや耐水性が低い点もあるが、構造物や漆器等の意匠確認には十分活用できると考える。



図10 上塗り



図11 完成した漆オブジェ

4 結 言

本研究の結果、漆オブジェ制作に3Dデザインツールの活用が有効であることが確認できた。本研究では3DCADデータからの構造物製作に光造形装置を活用したが、同一データから木材等の切削加工等へも展開することができるため、機会があれば研究成果の応用展開について検討したい。

完成した漆オブジェ「SANSU」は除幕式(図12)を経て、岩手県庁の県民室で一般公開を行った。3DCADデータに忠実な形状と美しい漆塗りは高い評価を得た。その後6ヶ月経過しても構造物の変形や塗装剥離等を生じていないため、オブジェとしての十分な耐久性を有していると考えられる。

制作した漆オブジェは、令和元年11月に本県で開催されたKOUGEI EXPO IN IWATE(第36回伝統的工芸品月間国民会議全国大会)を始めとした催事等で展示公開され、本県漆産業のPRのために活用されている。



図12 除幕式

(平成31年4月15日 於エスポワールいわて)

謝 辞

漆塗装制作への八幡平市安代漆工技術研究センターの指導員と研修生の皆様のご協力に感謝申し上げます。

南部鉄瓶のデザイン支援ツールの開発*

長嶋 宏之**、高橋 正明**、小林 正信**

伝統工芸品「南部鉄瓶」の製造において職人の技能に依っていた従来工程の生産性を向上させるため、デジタル機器を利用した「たねもの」原型の拡大・縮小ツールと文様押しツールの2工程を開発した。この「デザイン支援ツール」により作業時間の大幅な効率化が図られた。

キーワード：IT、CAD、伝統工芸

Design Support Tools for *Nanbu Tetsubin*

NAGASHIMA Hiroyuki, TAKAHASHI Masaaki and KOBAYASHI Masanobu

Key words : Information Technology, CAD, Traditional Craft

1 緒言

日本を代表する伝統工芸である「南部鉄器」は、400年あまりの歴史があり、その重厚な魅力から現在も根強い人気を持つ岩手県の重要な特産品である。

その「南部鉄器」の製法の一つで、茶釜の製法由来である惣型法（焼型法）は、製作者の技能に依るところが大きく、習得するまでにある程度の経験と期間を要する。また、惣型法では熟練の職人でも工数を多く要する工程もあり、生産性を妨げている。

今回は上記のような工程課題の解決のために、「南部鉄瓶」の製法を対象とするIT技術を利用した支援手法を開発した。本センターではこの手法を「デザイン支援ツール」の一つとして提案しており、以下、この開発について述べる。

2 製作工程の見直しと提案

企業ニーズに基づいて、南部鉄瓶の製作工程から後述の2-1と2-2で述べる2工程を抽出し、それぞれ支援ツールを開発した。

2-1 「たねもの」原型の拡大・縮小ツール

鉄瓶の商品化に当たり、容量違いのバリエーションを用意する機会が多い。その際、注ぎ口や蓋のつまみといった「たねもの」の原型は、相似形で寸法の違う複製をバリエーション毎に用意しなければならない。職人はこれを目見当で見事に製作するが、苦勞も多いという。そこで3Dデジタルデザイナー、3DプリンターといったIT技術を使って、形状をデジタル化して形態を変えずに寸法の違う原型を製作した。

2-1-1 手順

手順は以下の通りである。

- (1) 標準寸法となる原型サンプルを定める
- (2) 原型サンプルの形状を3Dデジタル化する

- (3) デジタル化した原型サンプルの形状データを基に、拡大原型と縮小原型のそれぞれの形状データを作成する

- (4) 拡大、縮小した形状データを3Dプリンターによって実体化する

2-1-2 原型サンプル

原型サンプルには本センターで保有する鉄瓶の注ぎ口の原型（たね）を使用した（図1）。

2-1-3 形状の3Dデジタル化

形状のデジタル化は、前述の原型サンプルから3DデジタルデザイナーCOMET 6 16M (Carl Zeiss社) を使用して入力し、3D形状メッシュデータを作成した。

2-1-4 拡大・縮小処理

原型サンプルの寸法に合わせ標準とする鉄瓶の容量を設定し、拡大と縮小のそれぞれの容量違いの鉄瓶を再設計した。各容量を標準は0.8L、縮小鉄瓶は0.3L、拡大鉄瓶は1.8Lと設定し、拡大および縮小率をそれぞれ0.75倍、1.25倍とした（図2）。次に、3DプリンタソフトMagics RP (Materialise社) を使用し、前述の比率で、縮小と拡大原型の両形状データを生成した。



図1 原型サンプル（左：前方、右：後方）

* 平成30年度 技術シーズ創生研究事業（発展ステージ）

** デザイン部（現 産業デザイン部）

2-1-5 実体化

光造形装置 NRM-6000 (シーメット社) を使用し、拡大と縮小原型、および、それらの比較対象として原寸原型をそれぞれエポキシ樹脂製モデルとして実体化した。

2-2 文様押しのデジタル支援ツール

「南部鉄器」の製作で鉄瓶や茶釜の表面に施された美しい文様は、職人の技能の見せ所である。「下図(したず)」を基に絵杖やへらなどを駆使して、左右、奥行を逆さにして仕上げる文様は、技術力、表現力、根気などの複合的で高度な技能を要求される。そこで IT 技術を使って、技能の未熟な職人でも加飾が可能な、または熟練者の工数軽減が可能な、文様押しの代替法を検討した。

2-2-1 手順

手順は以下の通りである。

- (1) 文様となる図案サンプルを用意する
- (2) 図案サンプルを加工機が対応するグレースケール画像に変換する
- (3) 加工機により押し型原型を実体化する
- (4) 鋳型模擬型により文様の仕上がりを評価する

2-2-2 図案サンプル

「岩工試 鋳造試作資料書類綴」³⁾に収録された「鳥と桜」文様を、フラットベット型スキャナーによりビットマップデータとして入力した (図3)。

2-2-3 画像処理

上述の図案サンプルデータから、画像補正ソフト Photoshop CC (Adobe 社) を使用して、後述する加工機である光造形装置、およびレーザーカッターが必要とする 256 階調グレースケールの画像データを生成した。

2-2-4 押し型 1 : 光造形装置による製作

押し型原型 (以下押し型) を光造形装置とレーザーカッターを使う二つの方法で製作した。前者の手法は以下のとおりである。はじめにデザインモデリングソフト Alias Design (Autodesk 社) により押し型の台データ (1/4 球形の 3D データ) を制作した。次に 3D 形状データ編集ソフト Geomagic Freeform (3D Systems 社) のエンボス機能を使用して、前述の画像データを台データに転写した。この押し型データから光造形装置 NRM-6000 (シーメット社) でエポキシ樹脂製モデルとして押し型を実体化した。

2-2-5 押し型 2 : レーザーカッターによる製作

レーザーカッターによるものは、まず光造形装置の手法と同様にスタンプのような押し型を製作した。押し型の「台」は前項で制作したデータを使い、熱溶解積層式 3D プリンター FORTUS 360mc (Stratasys 社) により文様の無い状態で実体化した。次にレーザーカッター Speedy 300flexx (trotec 社) を使用し文様の彫刻を施したゴム板を、3D プリンター製の台に貼り付けた。なお、レーザー彫刻でも前項で使用した同じ画像データを使用し、「リリースモード」で浮彫彫刻を行なった。

2-2-6 評価

最後に、油土により評価用模擬鋳型を製作し (図4)、作製した二種の押し型によって文様押しを施した。その模擬鋳型を石膏で型取りし、転写された文様を目視で評価した。

3 結果及び考察

3-1 「たねもの」原型の拡大・縮小ツール

3-1-1 形状データ

3D デジタイザーにより正確な 3D 形状データを生成できたが、メッシュ処理も含め測定から 30 分ほどの短時間であった (図5)。また、拡大、縮小形状データの生成作業も 3D プリンタソフトの「スケール変更」機能によって 10 分程度で終わることができた (図6)。

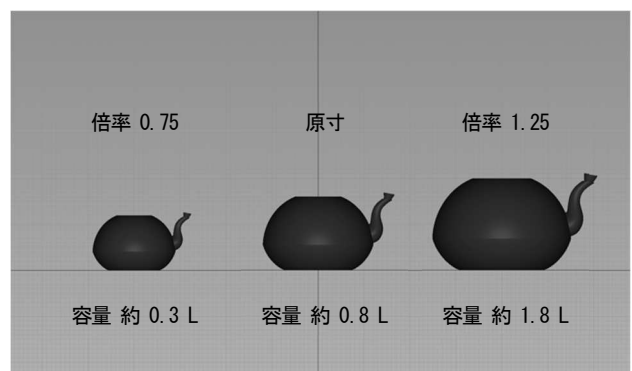


図2 縮小・拡大鉄瓶の設定



図3 スキャンした図案サンプルデータ



図4 評価用模擬鋳型

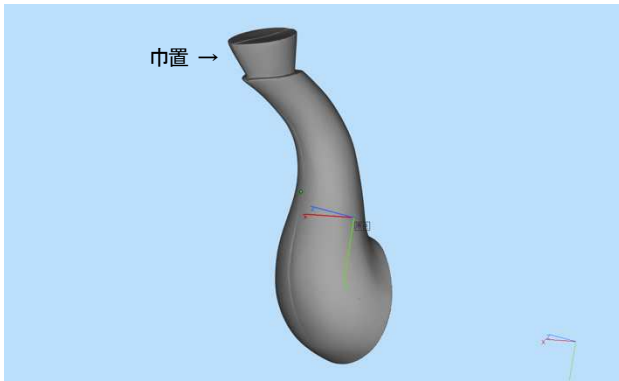


図5 原型サンプルのメッシュデータ

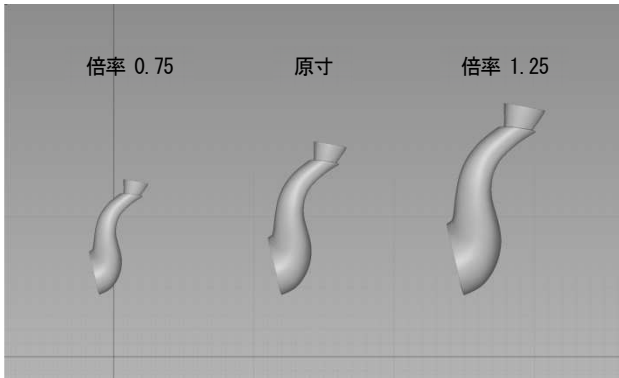


図6 縮小原型、拡大原型データ

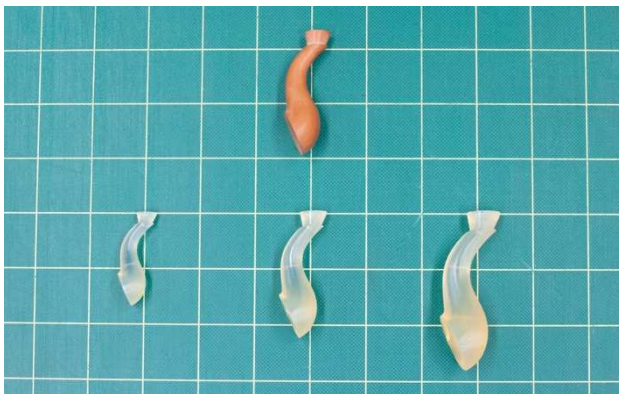


図7 光造形装置による縮小原型、拡大原型
(上：サンプル、下左：縮小、下中：実寸、下右：拡大)



図8 加工用データ

3-1-2 樹脂製モデル

拡大、縮小形状データから、光造形によるエポキシ樹脂製の注ぎ口原型を製作した。目視にて、形状、比率、寸法を評価したが、異常は見られなかった(図7)。

3-1-3 考察

本提案ツールにより、比率、形状の正確な拡大・縮小原型を得ることは比較的容易に可能である。

作業効率に関わる製作時間は、リードタイムでは大きな短縮に至らなかった。しかし本提案ツールの工程時間で約2/3を占める光造形の工程は、職人の手に関わらない時間であることから、実質の作業時間は3時間弱となり効率の向上は可能と考える(表1)。

課題は注ぎ口原型の先端に「巾置(はばき)」と呼ばれる部分があるが、本方法で注ぎ口と巾置を同比率で拡大・縮小すると、巾置は不適切なサイズになる可能性がある。その場合はモデリングソフトなどで巾置の再設計を要するので工程が増えることとなる。

また、モデル表面には3Dプリンター特有の積層段差が現れるので、従来法では要しない表面処理の工程に時間を取られることとなる。

表1 製作時間の比較

	本提案ツール	従来法(推測時間)
形状測定	30分	粘土原型製作 2時間×2個
データ整形	10分	型取り 30分×2個
光造形	4時間30分	石膏置換 30分×2個
表面処理	2時間	巾置追加 1時間×2個
合計	7時間10分	合計 8時間

3-2 文様押しのデジタル支援ツール

3-2-1 加工用画像データ

スキャンした「鳥と桜」文様の画像サンプルデータから画像補正ソフトの画像処理を使うことで、加工用の白黒反転済み256階調グレースケール画像データを作成することができた(図8)。画像処理は、写真の補正などで使用される一般的な処理の組み合わせで行うことが可能であった(表2)。

表2 画像処理一覧

順	処理	コマンド	コマンド補足
1	モード	グレースケール/8bit	カラー情報の破棄
2	文様抽出	レイヤーマスク、	切り抜き
3	文様整形	選択ツール、移動ツール	
4	白黒反転	階調の反転	
5	色調補正	トーンカーブ	

3-2-2 押し型1：光造形装置による製作

上述の加工用画像サンプルデータを転写した原型3Dデータを作成し(図9)、光造形装置によって押し型原型

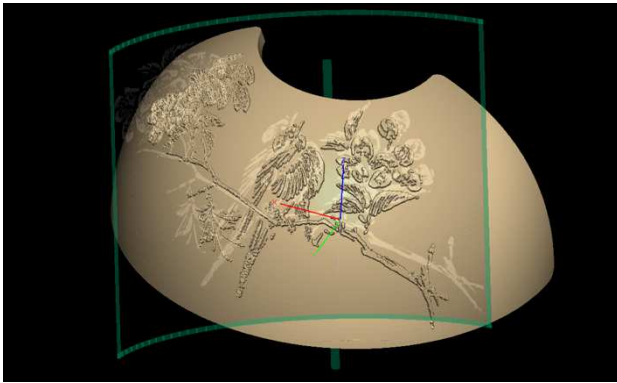


図9 光造形装置用原型 3D データ



図13 文様押し作業の様子

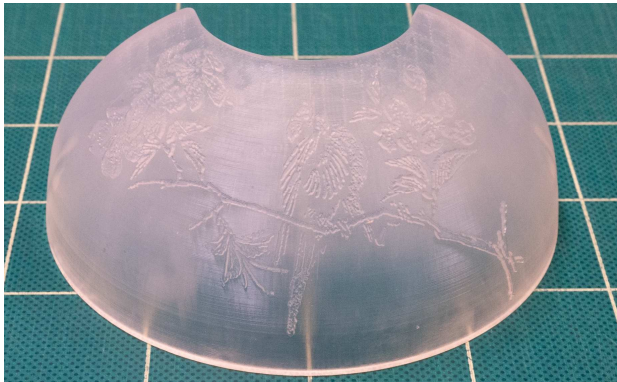


図10 光造形装置による押し型

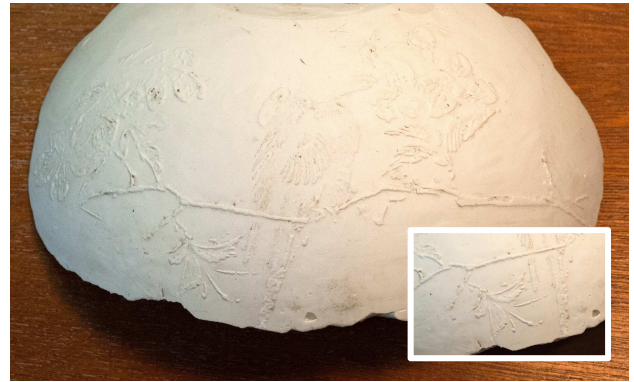


図14 レーザーカッターによる押し型の文様の転写



図11 光造形による押し型の文様の転写



図12 レーザーカッターによる押し型

を製作した(図10)。

原型 3D データは FreeForm のエンボス機能を使って、画像データの明度諧調を凹凸に変換し作成する。その際は画像を曲面に投影し転写するため、画像の端部が歪曲し、かつ縦横比率も変わる。さらに作業中は画像の縮尺も随時変わるため、実寸を保つことができない。このためデータ作成作業に1時間程度かかった。

また、製作した押し型の形状を1/4球形にしたため(図10)、模擬鋳型を使用した文様押し作業を行うと、一息で、しかも広い範囲を同時に押す必要があり、刻印のブレや押圧不足が多発した。この形状で商品レベルの文様を得るには習練が必要である。

しかし、押印が成功した模擬鋳型を石膏で転写した文様の印象は、ディテールがシャープではっきりした仕上がりととなった(図11)。

3-2-3 押し型2：レーザーカッターによる製作

グレースケール画像をそのまま彫刻加工データとすると、ゴム製の押し型はレーザーカッターによって製作はできる(図12)。

当初、模擬鋳型の文様押し作業の評価として、光造形同様1/4球状の「台」を用意し、その表面に文様を彫刻したゴム板を貼り付ける予定であった。しかし、光造形による押し型の使いづらさが判明したので断念し、そのままゴム板を模擬鋳型の表面に乗せ、指で直に文様押しをすることにした(図13)。その結果、位置決めが容易になり、位置の直しも可能になった。このことで作業性

が飛躍的に良くなり、さらに指の触感で刻印の深さ（＝文様の高さ）も確認できるようになり、習練を要せずに文様が押せるようになった。

なお、模擬鋳型を使い文様を石膏転写したものは、光造形による型と比べ文様の印象は柔らかく、細部の表現は少々甘い仕上がりになった（図 14）。

3-2-4 考察

押し型の文様の高さは、加工機用の図案データの作成とそれぞれの装置加工法との関係で、原型 3D データ作成ソフトウェア、レーザーカッターの加工ドライバーともに、グレースケールの 256 段階の階調情報で決定される。しかしどちらも何度かデータを調整し加工をやり直すなどの「トライアンドエラー」を要するため、「x 階調での高さは y mm」といった明確なフィードバックが得られるまでには至らなかった、

さらに、階調の再現具合も、画像の階調の度合いと加工機での階調再現に隔たりがあり、今回の文様の彫刻は平面的な印象の仕上がりになった。よって、それぞれ装置で、さらに加工を繰り返し、画像の階調と加工された文様の階調の関係を明らかにすることも今後の課題と言える。

表 3 光造形による型とレーザーカッターによる型の特徴

	光造形装置	レーザーカッター
図案制作時間	約 1 時間（スキャン、トリミング、色調補正）	
押し型原型 製作時間	3D データ制作：約 1 時間 装置造形時間：7 時間 01 分 モデル後処理：約 1 時間	彫刻時間：26 分 洗浄：約 5 分
特徴	図案比率の維持が難しい 押圧による変形が少ない シャープな文様 押し直しが不可	図案比率をほぼ維持可能 鋳型の形状に追従 柔らかい文様 位置の直しが可能

最後に今回得られた 2 種の原型製作法のそれぞれの特徴を表 3 に示す。

光造形による型については、生成した 3D データの品質と材料の樹脂の物性が刻印にシャープな印象を与える。しかし、データ作成時の画像の比率維持、型の位置決めと位置直し、押し具合の確認がほぼ不可能であるため、習練の必要な要素が多い。

一方、レーザーカッターによる型は、位置決め修正、深さの確認が可能など、使い勝手が非常に良く、比較的スキル習得が容易である。刻印の印象が柔らかく、ディテールが甘く感じられるのは、材質であるゴムの変形が起因していると推測される。

4 結 言

今回は数多くある南部鉄瓶の製造工程において、「たねもの」原型の製作と文様押しに関わる工程 2 案を、IT 技術を利用し提案することができた。

今後の課題は、拡大と縮小原型、および文様押し型とともに、評価のために製造現場で実際に試用し、使いやすさやコストなども含めた企業への導入可能性を検討することである。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、田山鉄瓶工房様、株式会社 南部鉄器販売 虎山工房様、ならびに関係各位に大変お世話になり厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 南部鉄器協同組合：南部鉄器 その美と技，（1990）
- 2) 村上洋一：盛岡・南部鉄器の今，織研新聞社，（2013）
- 3) 岩工試 鋳造試作資料書類綴，地方独立行政法人岩手県工業技術センター，

3次元自動加工による木工製品製造の効率化*

内藤 廉二**、有賀 康弘**、茨島 明***

手加工を主とした県内の木工製品製造業者には、3次元自動加工による生産の高效化を図りたいという要望がある。本センターでは、保有の技術シーズを活用することで、モデリングから加工設計、3次元自動加工までをシームレスに行う方法を検討し、効率的な3次元自動加工技術の確立が可能であることを確かめた。

キーワード： 3次元自動加工、3次元スキャン、CNC加工機、木製スプーン

Efficient Manufacturing of Wood Products by 3D Automatic Machining

NAITOU Yasuji, ARUGA Yasuhiro and BARAJIMA Akira

key words : 3D automatic machining, 3D scan, CNC processing machine, Wooden spoon

1 はじめに

機能性を重視したデザインの生活用品が注目されている。さらに環境や安全性への配慮から、木材のような天然素材を用いた製品が見直されてきている。なかでも、木製スプーンなどのカトラリー類の人気も高まっている。

カトラリーは持ちやすさや食べやすさなどを考慮し、3次元自由曲面で構成されていることが多い。そのような木製品は従来の加工方法に加え CAD/CAM 及び NC 加工機械等を活用しデザイン・設計・部品加工をシームレスに行うことが一般的になっている。

岩手県内にもこれらの小木工品を製造している木工製品製造事業者は多い。しかしながら、県内の木工製品製造事業者の多くは従来の加工技術を用いた手作業により製品を製造しているため、生産数に限度があり作業の安全性にも不安がある。また、顧客からの要望に対しても対応することが困難な状況にある。そのことから NC 加工機を活用した、自動加工による加工の効率化や、加工精度の向上に対する支援が求められている。

本センターでは、県内で漆器木地として生産されている木製スプーンを加工例に取り上げ、センターが保有している木材加工用 NC 自動加工装置（株）平安コーポレーション製 NC-151MC1508、NC 装置：FANUC Series 15-MA（以下 NC ルーター）とその他の様々な技術シーズを活用することで、既存製品の 3D データ化から加工設計、3次元自動加工までをシームレスに行うための手法を検討した。以下にその結果を報告する。

2 試験方法

加工例とした木製スプーン（図 1）について、立体形状の 3D データ化から 3次元自動加工までを、当センターのシーズを活用してシームレスに行う工程を図 2 の様に仮定し、それぞれの工程ごとに作業内容を検証した。



図 1 木製スプーン

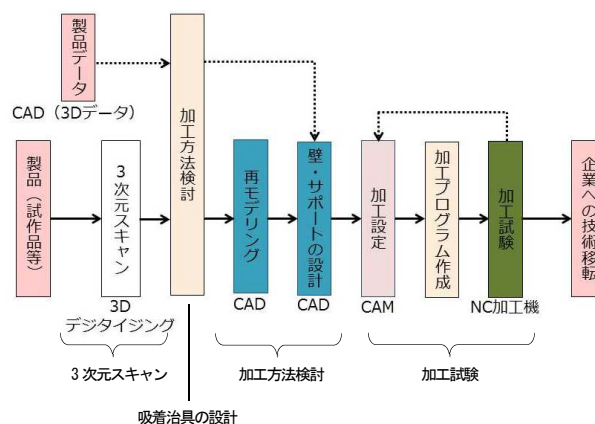


図 2 工程図

2-1 3次元スキャン

3次元自動加工を行うには、木製スプーンを 3D モデルとしてデジタルデータ化する必要がある。そのため、非接触式 3D デジタイジング装置により 3次元スキャンを行い、操作性、スキャンデータのノイズ等の品質を比較した。3D デジタイジング装置には、Carl Zeiss 製 T-SCAN CS、及び Carl Zeiss 製 COMET6_16M を用いた。

2-2 3D-CAD によるモデリング

三次元スキャンで得られたデータを基に、3D-CAD (Rhinoseros ver5.0、McNeel 社) を用いて、木製スプーンの 3D サーフェスモデル化を試みた。

* 平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業（発展ステージ）

** デザイン部（現 産業デザイン部）

*** 企画支援部

2-3 CAMによるNCデータの作製

同じスキャンデータをそのままCAM (CraftMILL V10、C&GSYSTEMS inc.) にインポートし、CAMの機能を使用してツールパスの検討を行い、NCデータを作成した。

2-4 NC加工試験

CAMによって生成された上述のNCデータからNCルーターを用いて実材加工試験を行った。

3 結果及び考察

3-1 3次元スキャン

前述の2種類の3次元スキャン装置で得られた点群データを、それぞれシェーディング表示して比較した。

(1) T-SCAN CSによる3次元スキャン

T-SCAN CS (図3) は、スプーンの形状の中でも曲率の大きな部分のスキャンが難しく、データの欠損が生じた。また、実際には存在しない凹凸がスキャン時のノイズとして生じた。



図3 T-SCAN CS

(2) COMET6_16Mによる3次元スキャン

COMET6_16M (図4) は、スキャン対象物の表面に光沢があるとスキャンが困難なため、パウダー (ED-ST、(株)マークテック) を塗布して行った。

COMET6_16Mでも曲率の大きい部分の一部に欠損が生じたが、ノイズは生じなかった。

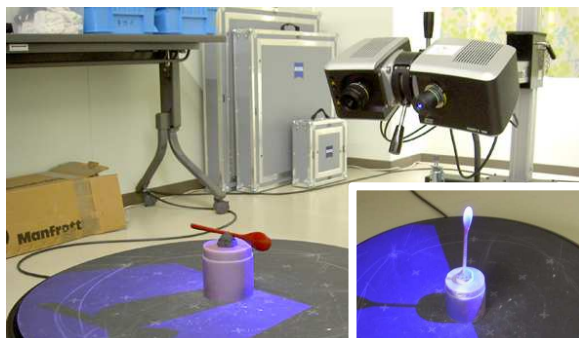


図4 COMET6_16M

これら3次元スキャンで得られたデータのシェーディング画像を、図5及び図6に示す。

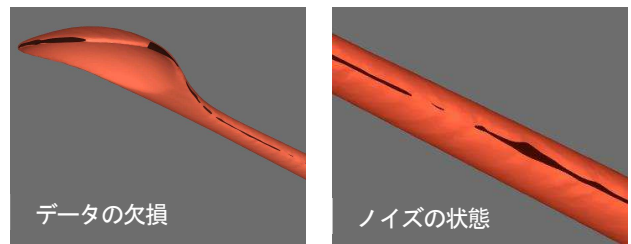


図5 T-SCANによる3次元スキャン

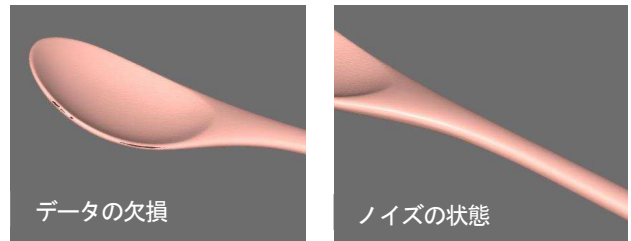


図6 COMET6_16Mによる3次元スキャン

COMET6_16Mでのスキャンデータの欠損は範囲が狭く、3D-CAD等での修正は短時間で可能である。一方、T-SCAN CSでのスキャンデータは欠損範囲が大きく、ノイズも多く、修正に時間がかかる。そのため、COMET6_16Mによる測定データをもとに加工試験を行うこととした。

3-2 3D-CADによるモデリング

スキャンデータは点群データであり、CADやCAMでの使用が困難なことから、ポリゴンデータ (STL形式) に変換して出力した。

スキャンデータはポリゴン数が多く (表1)、処理速度の低下を招くほか、STL形式ファイルのため、CAMによっては対応していない場合もある。また木製スプーンは手加工で製作されており、加工形状にバラつきが生じる。そこで、スキャンデータを基に、データ容量の小さい3D-CADによるサーフェスデータで、正確な加工形状の再モデリングを試みた。

スキャンデータから主要な断面形状を抽出し、それに沿った断面曲線を新たに作成し (図7)、その断面曲線から曲面を生成した (図8)。スキャンデータと再モデリングしたデータの比較を、図9に示す。

表1 出力データ

ファイル形式	ポリゴン数	データ容量
STL形式	559,002	24MB

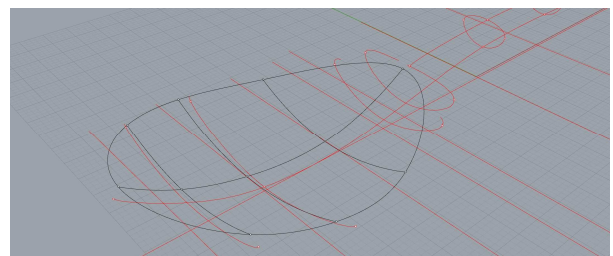


図7 断面形状の抽出と新たな断面曲線の作成

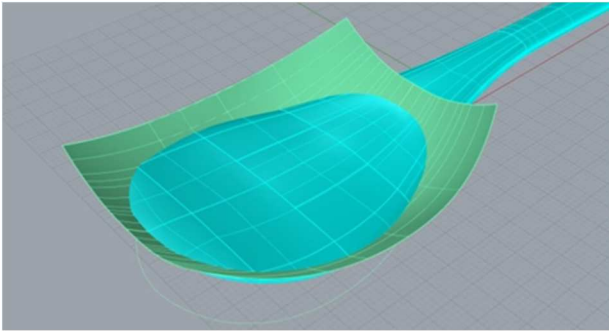


図8 曲面の作製

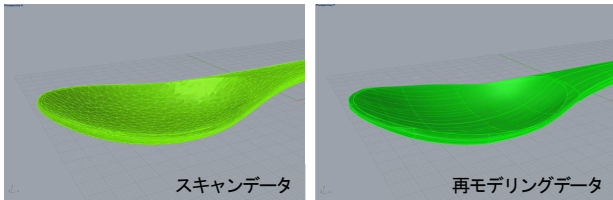


図9 スキャンデータとの比較

このように実物に近似した形状を作成できたが、面と面の接続がスムーズに繋がっていないなど、まだ改良の余地がある。自然な曲面を製作するには3D-CADでの検討がさらに必要である。

3-3 CAMによるNCデータの作製

スキャンデータは再モデリングとしての利用の他に、同形状の複製加工にも活用できる。ここで使用したCAMは3次元スキャンで得られたSTL形式ファイルからNCデータを作成することができる。また、このCAMには表面、裏面の両面を加工するための機能が備わっており、加工物を支持するための「サポート」と「壁」を生成する機能もある。

この機能を利用して、直方体の材料の範囲(249 mm×89 mm×16 mm)とスプーンの形状の配置、サポートの配置を、図10のように決定した。しかし切削部分が多くなり、材料の歩留まりは悪くなることがわかった。歩留まり向上のためには、切削範囲の少ないサポートと壁の設計をさらに検討する必要がある。

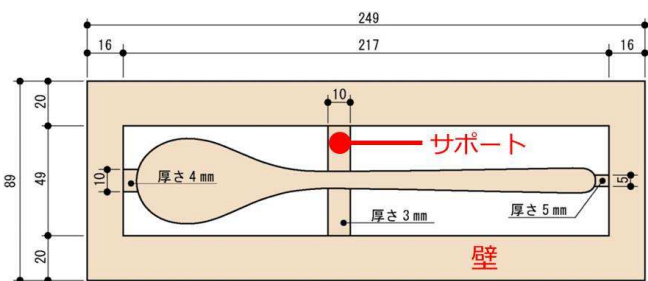


図10 CAMによるサポートと壁の設計

つぎに工具の設定とツールパスの設定を行った。図11に加工の工程、表2に切削条件、図12及び図13にツールパスのシミュレーションを示す。

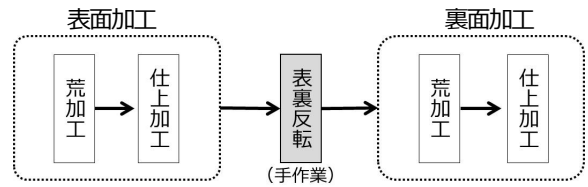


図11 加工の工程図

表2 切削条件

加工内容	使用刃物	回転速度 (rpm)	送り速度 (mm/min)	平面方向ピッチ (mm)	垂直ピッチ高さ (mm)
荒加工	ラフィングビット (Φ4 mm)	15000	500	2	3
仕上加工	ボールエンドビット (Φ4 mm)	15000	500	0.4	0.2

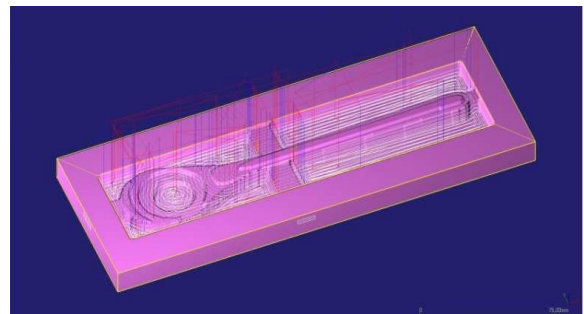


図12 荒加工のツールパス (表面)

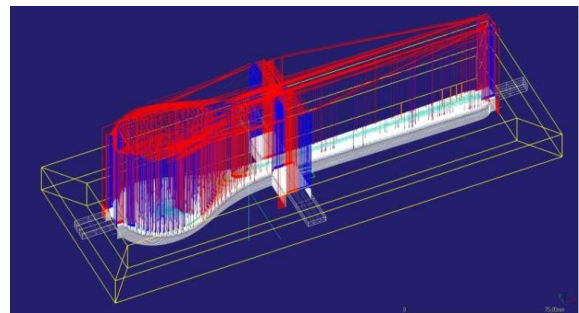


図13 仕上加工のツールパス (裏面)

3-4 NC加工試験

3-4-1 固定治具の製作

NC加工を行うため、材料を固定する治具を製作した。材料はNCルーター定盤中央に配置し、材料外周に掘った溝にコマ木を置いて位置決めした後、真空吸着で固定した(図14及び図15)。

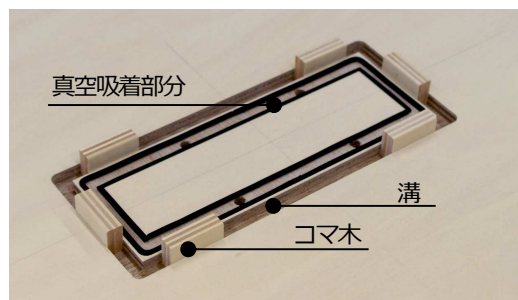


図14 固定治具外観

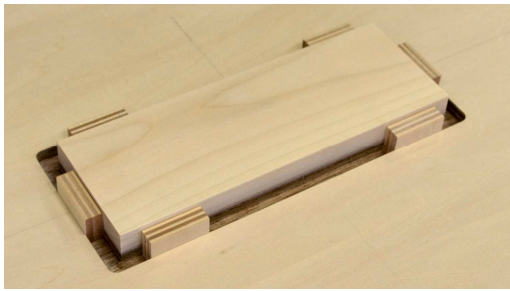


図15 材料固定方法



図18 表面加工終了

3-4-2 NC ルーターによる加工試験

3-3 で述べたCAM には、加工に用いたNC ルーター (図16) に対応するポストプロセッサが用意されていない。そのためCAM によって自動生成されたプログラムを、テキストエディタを用いてNC ルーターでの加工に対応できるように修正した。修正項目はつぎのとおり。

- (1) 加工前準備プログラム(各種G コードの初期化)の追加
- (2) 工具交換指令と工具長補正をNC (FANUC Series 15-MA) 指令コードに修正
- (3) 工具回転数安定のための待機時間追加
- (4) 原点復帰コードの追加

修正したプログラムをデータ転送装置 (P-530、タクテックス (株)) を経由してNC ルーターに転送し、自動運転で加工を行った (図17 及び図19)。材料にはカツラを用いた。



図16 NC ルーター



図17 表面の荒加工の様子



図19 商品との比較

加工例とした既存商品の木製スプーンを選んだが、加工試験の結果、設計通り既存商品と同等の形状を加工できた。しかしながら、全加工時間が約5時間かかっており、加工の効率化という点で課題が残った (表3)。

表3 加工時間

	表面	裏面
荒加工	35分	40分
仕上加工	120分	100分
全加工	295分	

3-4-3 加工時間短縮とNC データの再設計

生産性を考慮した加工時間とするため、NC データの再設計を試みた。加工時間が長くなった要因として、次の問題点が考えられる。

- (1) 仕上面性状を良くするために、平面方向、高さ方向とも刃物移動ピッチを小さくしすぎた。
- (2) 精細な曲面の再現性と材料の歩留まり向上の目的で工具径の小さな刃物を使用したために、送り速度を速くできなかった。

生産時においては、NC ルーターでの自動加工後に手加工でサポートの除去作業が必須であり、サポート除去後のサンディング作業も必須になる。このことから、全体の仕上がりの面性状についてサンディングを前提とした粗さを目標として再度NC データの設計を行った。

また、効率的な3次元加工を行うため、φ12 mmの刃物による荒加工工程を追加し、さらに仕上加工での平面、及び垂直方向の加工ピッチを変更した。切削条件は表4の通りである。

表4 切削条件

加工内容	使用刃物	回転速度 (rpm)	送り速度 (mm/min)	平面方向ピッチ(mm)	垂直ピッチ高さ(mm)
荒加工1	ストレートビット (Φ12mm)	15000	1000	4	5
荒加工2	ラフィングビット (Φ4mm)	15000	500	2	4
仕上加工	ボールエンドビット (Φ4mm)	15000	500	0.8	1

3-4-4 NC加工試験 (2回目)

見直した切削条件に基づいてNCデータを生成・修正して加工を行った。なお、加工試験は表面のみ行い、加工時間を比較した。加工後の仕上がり面性状の比較を図20に、表面の加工時間の比較を表5に示した。



1回目の加工試験結果 2回目の加工試験結果 (表面のみ)

図20 加工試験結果の比較

表5 表面の加工時間比較

	1回目	2回目
荒加工	35分	22分
仕上加工	120分	27分
合計	155分	49分

その結果、一回目の加工試験に比べて加工時間を約7割削減できた。φ4mmの刃物を使用する場合、速い送り速度は工具破損の危険性があるが、工具径を見直せば、さらに加工の効率化が図れる。

3-4-5 工程図の再検討

これらの結果から、スキャンデータの形状変更が不要な場合は、CAMの機能による壁・サポートの設計工程もシームレスな3次元加工には有効であることが明らかになり、工程図を再検討し、追加することとした (図21)。

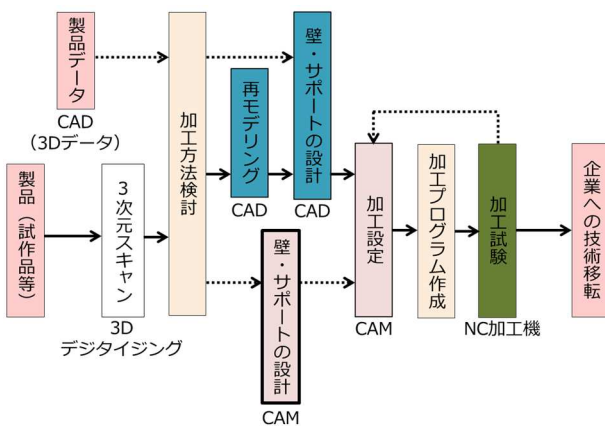


図21 再検討した工程図

4 まとめ

本センターが保有する技術シーズを活用することにより、本センターのNCルーターを用いて3次元自動加工が可能であることがわかった。また、3次元スキャナーを利用することにより、加工する立体データ作成の効率化をはかることができた。

このことにより、手加工で製作した試作品からの3次元データ化や、技術継承者がいなくなり製作困難となった製品の再現などへの応用も可能になる。

NCルーターによる自動加工は、従来の手加工に比べ加工精度の向上と加工時間の短縮ができ、加工安全性も向上する。加工範囲内に複数個の材料を配置すれば、より効率的な加工が可能になる。

様々な木製品を自動加工する場合、材料の固定を考慮した加工方法の検討が重要になり、材料の歩留まりまで考慮した治具設計が必要である。また、生産性の向上には自動加工を行う時間だけではなく、材料の固定や加工前準備など、トータルの作業時間を考慮した加工方法の検討や適切な工具選定などのノウハウの蓄積が必要である。さらに、3Dスキャンデータをもとに再モデリングを行うためには、3D-CADのノウハウの蓄積も必要となる。

今後、木製カトラリーの他、再現困難な木彫製品の復元や木製アクセサリ等の自動加工化の技術支援の要望などに応えるため、得られた成果の技術移転を積極的にすすめる予定である。

文献

- 1) 中島淳雄: Rhinoceros 逆引きコマンド・リファレンス, 株式会社ラトルズ, (2017)
- 2) 有賀康弘, 浪崎安治, 横沢忠志, 高橋民雄: 岩手県工業技術センター研究報告, 2, P31-36 (1995)
- 3) 有賀康弘, 浪崎安治, 横沢忠志, 高橋民雄: 岩手県工業技術センター研究報告, 4, P157-161 (1997)
- 4) 有賀康弘, 浪崎安治, 高橋民雄, 町田俊一: 岩手県工業技術センター研究報告, 6, P137-140 (1999)
- 5) 有賀康弘, 浪崎安治, 横沢忠志, 高橋民雄: 岩手県工業技術センター研究報告, 7, 54 (2000)

白ワイン用ぶどう品種の醸造試験*

山下 佑子**、平野 高広***、大野 浩****、佐々木 真人****、米倉 裕一***

白ワイン用ぶどう 2 系統 (モンドブリエ、山梨 48 号) について、シャルドネ、甲斐ブランの 2 品種を対照として 2015 年と 2016 年の 2 年間醸造適性試験を行った。その結果、モンドブリエと山梨 48 号は安定した品質であった。さらに、モンドブリエの酵母別醸造試験や、甘口ワインと発泡性ワインの評価試験を行った。その結果、酵母の種類や糖度を変えること、発泡性を付与することにより、様々な商品開発が可能であることが明らかになった。

キーワード：2015 年、2016 年、モンドブリエ、山梨 48 号

Wine Making Test for White Wine Grape Cultivar

YAMASHITA Yuko, HIRANO Takahiro, ONO Hiroshi,
SASAKI Makoto and YONEKURA Yuichi

Key words : 2015 year, 2016 year, Monde Brillier, Yamanashi 48

1 緒 言

現在、岩手県で白ワイン用品種として奨励されている品種は、リースリング・リオンと S-9110 の 2 品種であり、特にリースリング・リオンは岩手県の主要な白ワイン用品種となっている¹⁾。しかし、県内果実酒メーカーからは、この 2 品種以上に味や香りに個性があり、県内で栽培可能な品種の要望が高い。そこで、県では 2008 年より国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹茶業研究部門が主催するブドウ第 12 回系統適応性検定試験に参加し、岩手県でも栽培可能な白ワイン向け新品種の栽培・醸造適性試験を実施してきた。

その結果、栽培性、果実品質及びワイン品質に優れ、白ワイン向け品種として有望であると認められた山梨 54 号が 2016 年に「モンドブリエ」として品種登録され²⁾、山梨 48 号が「コリーヌヴェルト」として品種登録出願された。この 2 品種は寒冷地での栽培に適しているとともに、県内果実酒メーカーからの評価も良好であり、早急な普及を望む声が多い。

一方で、新品種であるため年次間の品質の差や適した醸造条件についての知見が少ないことから、今後の商品化に向けた試験が必要とされている。そこで本報では、2015 年産及び 2016 年産の白ワイン用品種について醸造試験を行い年次差等について検討し、新品種モンドブリエについては甘口や発泡性ワインの試作試験を実施したので報告する。

2 実験方法

2-1 試験樹について

岩手県農業研究センター（北上市）に植栽されている山梨県果樹試験場で醸造用として育成された 2 系統（モンドブリエ、山梨 48 号）と、対照としてシャルドネ及び甲斐ブランを用いた。

これらの試験樹は、2008 年に植栽され、植栽時樹齢は 1 年生である。

表 1 交配組み合わせ

試験品種	交配
モンドブリエ	シャルドネ×カユガ・ホワイト (山梨 54 号)
山梨 48 号	シャルドネ×ケルナー
シャルドネ	グーエ・ブラン×ピノ・ノワール
甲斐ブラン	甲州×ピノブラン

2-2 果汁、ワインの一般分析

果汁及びワインの一般成分は国税庁所定分析法に基づいて分析した。有機酸はサンプルを蒸留水で 20 倍希釈後、キャピラリー電気泳動装置（エービーサイエックス製）を用いて分析した。

2-3 ワインの醸造

2015 年および 2016 年に収穫した各系統のぶどうを除梗・破砕機にかけ、メタ重亜硫酸カリウム 60 ppm を添加後、翌日、乾燥酵母を 0.2 g/L となるよう添加し、発酵を開始した。補糖は、結晶ブドウ糖を初期糖度が 20.2 % となるように発酵 1 日目に行った。発酵温度は 15 °C とした。発酵終了後、遠心分離にて澱引きし pH を測定後、メタ重亜硫酸カリウムを必要量添加した。その後、ゼラチン 30 ppm、ベントナイト 300 ppm となるように添加し清澄濾過を行った。

* 平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業（発展ステージ）

** 醸造技術部（現 食品技術部）

*** 醸造技術部

**** 岩手県農業研究センター

2-4 使用酵母及び栄養剤

使用酵母は、年次間差比較試験及び甘口ワイン評価試験、発泡性ワイン評価試験では EC1118 (ラルバン社製) を使用した。モンドブリエ酵母別醸造試験では、EC1118 のほか、X5、デルタ (どちらも LAFFORT 社製) を使用した。また、デルタ使用時には発酵開始後 Brix 16.0 % 程度となった時点で酵母用醗酵栄養剤 NUTRISTART 及び NUTRISTAT OrganiQ (どちらも LAFFORT 社製) をそれぞれ 400 ppm となるように添加した。

2-5 甘口ワイン評価試験

モンドブリエの甘口ワインは、2015 年産のモンドブリエワインに残留糖分が 1.5 %~5.5 % までの 5 段階となるように結晶ブドウ糖を添加し、官能評価を行った。

2-6 発泡性ワイン評価試験

モンドブリエの発泡性ワインは、2015 年度は製成後のワインに炭酸ガスを注入し、官能評価を行った。2016 年度は田舎方式を用いて発泡性を付与した。すなわち、醗酵中のワインを残留糖分 0.7 % の時点で瓶詰し、瓶内での発酵を継続させ、発酵終了後に官能評価を行った。

2-7 官能評価

官能評価は、10 点満点 (0 : 不可、5 : 良、10 : 優) で評価した。パネルは、年次間差比較試験及び酵母別醸造試験、甘口ワイン評価試験については岩手県工業技術センター醸造担当職員 4 名 (官能評価の有資格者)、発泡性

ワイン評価試験については、岩手県内のワインメーカー及びソムリエ等による評価とした (2015 年は 16 名、2016 年は 20 名)。

3 実験結果

3-1 原料果汁

仕込みに供した果汁処理および成分を表 2 に示す。全ての品種で搾汁率 70 % を目標として処理したところ、対照の甲斐ブランがやや低く、その他の品種は同程度であった。糖度は、モンドブリエ、山梨 48 号共に対照のシャルドネより高く、2 年とも安定した糖度となった。総酸は、モンドブリエ、山梨 48 号共に対照のシャルドネや甲斐ブランよりもやや低めであり、この傾向は 2 年とも同様であった。

3-2 ワインの醸造試験 (年次間差比較試験)

2015 年産および 2016 年産それぞれのアルコール発酵の経過を糖の減少量で示す (図 1、図 2)。2015 年産はやや甘口 (Brix 7.5 %, 残留糖分 1 % 程度) を目標とした。発酵期間は 12~25 日と品種によりばらつきがあった。2016 年産は発酵が完全に停止するまで継続し、辛口のワインとした。発酵経過は 4 系統ともほぼ同じ経過を取り、15~18 日でアルコール発酵が終了した。2 年間とも、発酵が途中で停止するなどの問題は見られなかった。

表 2 果汁成分

	仕込 年次	仕込量 (kg)	搾汁率 (%)	糖度 (Brix%)	総酸 (%)	pH	アミノ態 窒素 (mg/l)
モンドブリエ	2015	10.0	75.7	17.9	0.75	3.31	82
	2016	14.6	69.7	18.0	0.77	3.41	70
山梨 48 号	2015	11.1	73.7	17.0	0.69	3.39	71
	2016	6.5	69.2	18.4	0.67	3.43	84
シャルドネ	2015	10.7	70.3	15.7	0.88	3.41	109
	2016	6.7	69.7	15.7	0.82	3.42	82
甲斐ブラン	2015	7.1	62.3	19.8	1.26	3.25	123
	2016	7.0	61.0	16.4	1.11	3.34	128

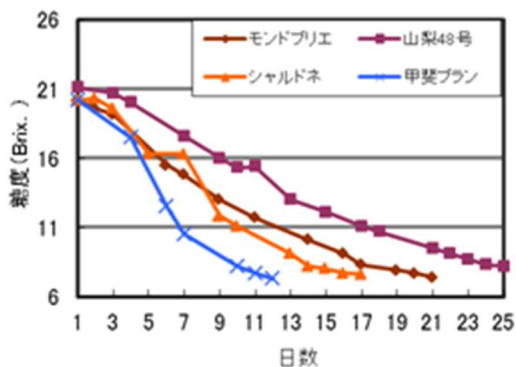


図 1 アルコール発酵の経過
(2015 年産 : 年次間差比較)

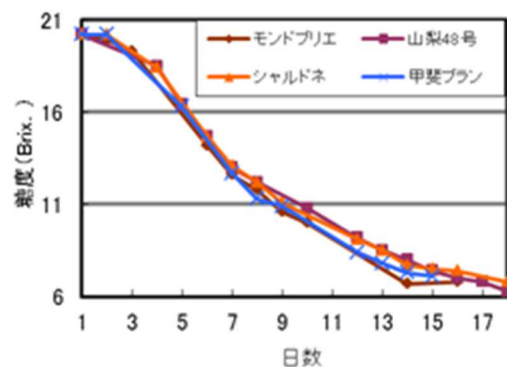


図 2 アルコール発酵の経過
(2016 年産 : 年次間差比較)

表3 ワイン成分 (年次間差比較試験)

	仕込年次	アルコール (%)	比重	総酸 (%)	エキス (%)	残糖分 (g/l)	pH	色調		亜硫酸		アミノ態窒素 (mg/l)	酒石酸 (%)	リンゴ酸 (%)	乳酸 (%)	総フェノール (mg/l)
								430nm	530nm	遊離型 (mg/l)	結合型 (mg/l)					
モンドブリエ	2015	11.0	0.997	0.84	3.62	1.40	3.23	0.084	0.030	27.2	80.0	49.0	0.78	0.19	0.01	311
	2016	11.7	0.994	0.87	3.13	0.75	3.22	0.032	0.007	27.2	54.4	0.0	0.46	0.23	0.01	259
山梨 48 号	2015	11.4	0.999	0.69	4.25	2.40	3.27	0.064	0.064	24.0	104.0	0.0	0.41	0.26	0.01	421
	2016	11.9	0.993	0.77	2.84	0.70	3.39	0.015	0.002	41.6	60.8	0.0	0.22	0.36	0.01	334
シャルドネ	2015	11.1	0.997	0.77	3.74	1.50	3.35	0.055	0.033	33.6	112.0	22.0	0.36	0.37	0.00	350
	2016	11.9	0.993	0.76	3.00	0.60	3.36	0.017	0.001	38.4	57.6	0.0	0.19	0.45	0.01	204
甲斐ブラン	2015	10.8	0.998	1.18	3.66	1.00	3.17	0.077	0.023	20.8	64.0	90.0	0.71	0.19	0.02	411
	2016	11.5	0.995	1.02	3.29	0.52	3.20	0.054	0.009	22.4	51.2	0.0	0.52	0.46	0.01	199

表4 官能評価結果 (年次間差比較試験)

	仕込年次	評点	短評
モンドブリエ	2015	7.00	華やかな香り、酸味バランス良い
	2016	6.13	ハーブ様、甘い香り、ボディ感あり
山梨 48 号	2015	5.75	バランス良い、香り良好、やや苦味
	2016	5.00	バランス良い、華やかな香り
シャルドネ	2015	5.75	すっきり、香り穏やか、やや酸味
	2016	5.25	味バランス良好、香り穏やか
甲斐ブラン	2015	3.25	リンゴ様の香り、酸強い、味軽い
	2016	4.13	ミネラル感、酸強い、色調濃い

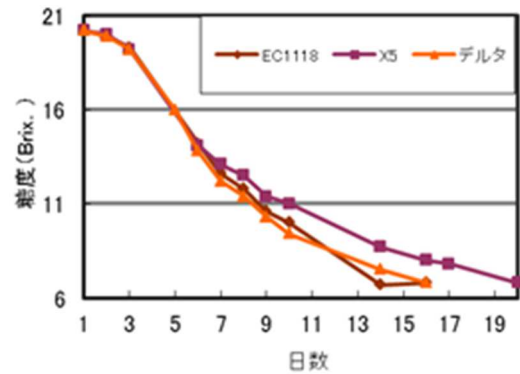


図3 アルコール発酵の経過 (モンドブリエ酵母別醸造試験)

3-3 ワイン分析および官能試験 (年次間差比較試験)

ワインの一般成分を表3に、官能試験結果を表4に示す。アルコール度数は全ての品種で11%前後となった。2015年産は残糖分1.0%以上のやや甘口に、2016年産は残糖分0.75%以下のやや辛口に仕上がった。総酸は、果汁の結果とは異なり、山梨48号はシャルドネと同程度、モンドブリエはこの2品種よりやや高く、甲斐ブランは4系統の中で最も高かった。この傾向は2年とも同様であった。有機酸含有量は、年次によって有機酸の組成に差が見られたが、有機酸の総量については山梨48号とシャルドネが同程度であるなど、酸度と同様の傾向を示した。

官能試験では、2年ともモンドブリエが最も高い評価を得た。山梨48号は、シャルドネと同程度であった。

3-4 ワインの醸造試験 (モンドブリエ酵母別醸造試験)

2016年産のモンドブリエを3種類の酵母で発酵させた。それぞれのアルコール発酵の経過を糖の減少量で示す(図3)。発酵期間はEC1118とデルタが16日、X5が20日で、発酵が途中で停止するなどの問題は見られなかった。

3-5 ワイン分析および官能試験 (モンドブリエ酵母別醸造試験)

3種類の酵母で醸造したモンドブリエのワインの一般成分を表5に、官能試験結果を表6に示す。アルコール度数は全て11%前後で、残糖分0.75%以下のやや辛口に仕上がった。その他の成分値については、3種類とも同様の傾向であった。

官能試験では、全てのワインで評点5.0以上という高い評価となった。中でも使用酵母デルタの評価が最も高く、次いでX5、EC1118となった。

表6 官能評価結果 (モンドブリエ酵母別試験)

使用酵母	仕込年次	評点	短評
EC1118		6.13	ハーブ様、甘い香り、ボディ感あり
X5	2016	7.25	熟した果実の香り、香味のボリューム有
デルタ		7.88	複雑な香り、酸バランス良好

表5 ワイン成分 (モンドブリエ酵母別試験)

使用酵母	仕込年次	アルコール (%)	比重	総酸 (%)	エキス (%)	残糖分 (g/l)	pH	色調		亜硫酸		アミノ態窒素 (mg/l)	酒石酸 (%)	リンゴ酸 (%)	乳酸 (%)	総フェノール (mg/l)
								430nm	530nm	遊離型 (mg/l)	結合型 (mg/l)					
EC1118		11.7	0.994	0.87	3.13	0.75	3.22	0.032	0.007	27.2	54.4	0.0	0.46	0.23	0.01	259
X5	2016	11.6	0.995	0.93	3.40	0.70	3.18	0.039	0.006	35.2	35.2	0.0	0.42	0.21	0.00	271
デルタ		11.8	0.994	0.92	3.20	0.70	3.18	0.036	0.004	30.4	28.8	0.0	0.46	0.23	0.00	251

3-6 甘口ワイン評価試験

2015年産のモンドブリエワインを用いて調整した甘口ワイン5点の官能評価結果を表7に示す。5段階の残糖分全てにおいて評点5.0以上という高い評価となった。

表7 官能評価結果 (甘口ワイン評価試験)

残糖分 (%)	評点	短評
1.5	6.38	まとまり良い、爽やかな酸味、しまりのある味わい
2.5	6.38	やわらかい、やや平坦、1.5%と味の差が少ない
3.5	7.00	なめらか、甘酸バランス良い。軽快
4.5	7.25	甘み強く飲みやすい、バランス良い
5.5	6.75	甘口らしい味わい、やや重いが良好

3-7 発泡性ワイン評価試験

2015年産のモンドブリエワインを用いて炭酸ガスを注入した発泡性ワインの官能評価結果を表8に、2016年産のモンドブリエを用いて田舎方式で醸造した発泡性ワインの官能評価結果を表9に示す。使用したブドウの生産年が異なるため単純な比較はできないが、全てのワインで評点7.0以上という高い評価となった。

表8 官能評価結果 (発泡性ワイン評価試験：ガス注入)

残糖分 (%)	評点	短評
1.5	7.06	バランス良くまとまりがある。個性が少ない
3.5	7.06	甘口だが甘すぎない。個性が少ない

表9 官能評価結果 (発泡性ワイン評価試験：田舎方式)

残糖分 (%)	評点	短評
0.7	7.20	リンゴや白い花の香り、しっかりした味わい、泡がきめ細かく口当たりが良い

4 考察

試験の結果、2015年と2016年の2年間でモンドブリエ及び山梨48号は糖度や酸度の変動が少なく、安定した果汁品質であった。また、醸造上の問題もなく、官能評価も良好であった。

モンドブリエの酵母別醸造試験では、これまで試験に使用してきた標準的な酵母であるEC1118に加えて、現在白ワイン用に広く採用されているX5と、アロマティ

ック白ワイン用に開発され2013年より販売開始されているデルタの3つのワインを評価した。その酵母でも醸造上の問題はなく、官能評価も良好であった。特に、X5とデルタの評価は高く、EC1118に比較して香りが華やかで、味のボリュームが出ていると評価され、酵母の種類を変えることでワインの差別化が可能であるとわかった。今回、デルタは高窒素要求性の酵母であることから発酵中に栄養剤を所定量添加したが、EC1118やX5には添加していない。X5の発酵期間はEC1118やデルタよりも4日ほど長い。栄養剤添加の有無が影響している可能性がある。栄養剤添加については各メーカーによって方針が異なることから、各メーカーの意見も聞き取りながら、今後の酵母や栄養剤の試験に反映させたい。

モンドブリエの甘口ワインは糖度1.5%から5.5%のまでのどの段階でも評価が高く、幅広い商品展開が可能であることがわかった。

モンドブリエの発泡性ワインは炭酸ガス注入によるもの場合は糖度によらず高評価であったが、個性が少ないという評価もあった。一方、田舎方式によるものは、評点が高いことに加えて、モンドブリエの特徴である華やかな香りについて評価するコメントが多くみられたことから、田舎方式の方がより品種の個性を引き出せたといえる。

5 結 言

本県で栽培可能な新品種モンドブリエと新系統である山梨48号について、年次間の品質の差を検討するために2015年と2016年の2年間について醸造試験を行った結果、両品種とも変動が少なく安定した品質であった。また、モンドブリエの商品化に向けた試験を行った結果、糖度や酵母の選択、発泡性の付与などを行うことで様々な商品が開発可能な品種であることがわかった。モンドブリエと山梨48号については、県内のワインメーカーからも採用の要望が高いことから、今後も商品化に向けた試験を継続していく。

文 献

- 1) 大澤純也：岩醸食試，10 (1976)
- 2) 上野俊人：山梨果試研報，15 (2017)

地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告

令和2年1月 第22号

Journal of Local Independent Administrative Agency
Iwate Industrial Research Institute
2020 January Vol.22

発行 令和2年1月15日

地方独立行政法人岩手県工業技術センター

〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡 2-4-25

電話 : 019-635-1115

FAX : 019-635-0311

ホームページ : <http://www2.pref.iwate.jp/~kiri/>

電子メール : CD0002@pref.iwate.jp