

研究報告

第20号

平成29年12月



Journal of
Local Independent Administrative Agency
Iwate Industrial Research Institute

Vol.20

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

TEL: 019-635-1115

FAX: 019-635-0311

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

e-mail: 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 20 号

目 次

◆ 電子情報技術部

- 1 電磁誘導法を用いた水分量測定装置の開発
(研究事業名：平成 27 年度および平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 (発展ステージ))
千田 麗誉、箱崎 義英、高橋 強・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
- 2 X 線断層撮影 (CT) 装置を用いた寸法測定における誤差の低減
(研究事業名：平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 (プロジェクトステージ))
菊池 貴、和合 健、池 浩之・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10
- 3 BCI 試験の誤差要因調査と測定再現性向上の検討
(研究事業名：平成 27 年度 技術シーズ形成研究事業 (育成ステージ))
野村 翼・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 15
- 4 分子線エピタキシー法による c 面サファイア基板上への $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜成長
(研究事業名：平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 (育成ステージ))
遠藤 治之、高橋 強・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
- 5 ネットワークカメラによる遠隔データ収集システムの実用化評価
(研究事業名：平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 (育成ステージ))
長谷川 辰雄、檜山 稔・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22

◆ 機能表面技術部

- 6 COBARION の複合化による硬質肉盛り材料の開発
(研究事業名：平成 28 年度 公募型共同研究事業)
園田 哲也、桑嶋 孝幸、久保 貴寛、佐々木 雄大・・・・・・・・・・・・ 26
- 7 摩擦攪拌接合法による超伝導金属接合の可能性
(研究事業名：平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 (育成ステージ))
久保 貴寛、桑嶋 孝幸、園田 哲也、佐藤 裕・・・・・・・・・・・・ 32

◆ 素形材技術部

- 8 合焦点顕微鏡を利用したデジタルシボの形状検査
(研究事業名：平成 28 年度 事業化支援事業)
和合 健、浅沼 拓雄・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
- 9 樹脂 3D プリンタ造形器物の経年変化
(研究事業名：平成 27 年度 産業技術総合研究所地域連携戦略予算プロジェクト)
和合 健、長嶋 宏之、箱崎 義英、菊池 貴、黒須 信吾・・・・・・・・ 39
- 10 バレルエンドミルと 5 軸マシニングセンターを利用した仕上げ加工技術の開発
(研究事業名：平成 28 年度 中東北 3 県公設試技術連携推進会議 3 県共同研究)
飯村 崇、和合 健、堀田 昌宏、池 浩之・・・・・・・・・・・・・・・・ 42

◆ デザイン部

- 11 コンブウッド処理木材の曲げ加工性の向上
(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))
内藤 廉二、有賀 康弘、浪崎 安治・・・・・・・・・・・・・・・・ 46
- 12 デジタルシボ技術による南部鉄器の鑄肌作成
(研究事業名：平成 28 年度 研究開発型人材育成支援事業)
小林 正信、蒔田 伸昭・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51

◆ 食品技術部

- 13 高齢者市場を見据えた柔らか惣菜製造の検討(I)
(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))
武山 進一・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55
- 14 高齢者市場を見据えた柔らか惣菜製造の検討(II)
(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))
武山 進一、伊藤 晃、石川 千暁、阿部 英夫、西田 沙耶香、小野 昭男・ 59
- 15 大根塩漬けからの乳酸菌単離とスターターとしての検討
(研究事業名：平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 (プロジェクトステージ))
玉川 英幸・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 65

電磁誘導法を用いた水分量測定装置の開発*

千田 麗誉**、箱崎 義英**、高橋 強**

岩手県特産の塩蔵わかめ製品の品質化・高収益化のために、水分・塩分量の全数検査が望まれている。全数検査を実現するためには非破壊、非接触、リアルタイムの測定技術を適用して不良品の出荷を防止する必要がある。測定技術としてマイクロ波法が知られているが、高周波を使用するため装置コストが高く普及性に問題があった。そこで本研究では、低コストで普及性の高い装置製作が可能な電磁誘導法による水分量測定装置の開発を行った。その結果、塩蔵わかめの水分量及び塩分量が±2.0%の精度で測定可能であることが分かった。また、渦巻き状のセンサを用いることにより、測定面と対象物の間にエアギャップを設けても測定できる可能性があることが分かった。

キーワード：水分量測定、電磁誘導法、非接触、非破壊、リアルタイム測定

Moisture content measurement using an electromagnetic induction method

Yoshitaka Chida, Yoshihide Hakozaki, Kyo Takahashi

The total moisture and salt contents of “salted wakame” that is locally produced in Iwate prefecture should be evaluated to improve its quality and profitability. Non-destructive, non-contact, and real-time inspection methods are therefore necessary to prevent the shipping of defective products. Methods based on microwaves can be used to measure the moisture content; however, they are difficult to implement on a wide scale due to the requirement of ultra-high frequency, which increases the equipment cost. Therefore, a novel electromagnetic induction method has been introduced for water content measurement. The moisture contents and salt contents of “salted wakame” can be estimated with an accuracy of ±2.0% using the proposed method. Furthermore, it has been found that the measurement can be performed using a spiral coil sensor despite the air gap set between the sample and sensor.

Keywords: moisture content measurement, electromagnetic induction, non-contact measurement, non-destruction measurement, real time measurement

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する。この塩蔵わかめの品質管理項目の一つである含有水分量は、乾燥重量法を用いた抜き取り検査により管理されている。しかし、自然物のわかめは、抜き取り検査では品質を保証することは困難であり、生産者は全数検査による高品質製品の出荷を望んでいる。全数検査を実現するためには非接触・非破壊・リアルタイムの測定技術が必要とされる。測定技術としてマイクロ波法¹⁾が知られているが、高周波を使用するため装置コストが高く普及性に問題があった。

本研究では、低コストによる普及性を考慮した非接

触・非破壊・リアルタイム測定技術として、電磁誘導を用いた水分量測定技術の開発を行った。

漁協等関係機関への聞き取り調査では、測定精度が±4%以内で、かつ出荷可否判定が可能な小型・操作性の良い装置が望まれていることが判明したため、本研究では±4%以内の測定精度を目標とする。

2 実験方法

写真1に水分量測定の実験で用いた測定システムを示す。水分センサは励起コイルと検出コイルまた結合調整コイルで構成されるユニットである。その水分センサ上に試料設置治具を用いて測定試料を設置する。次いで発振器から交流電圧を励起コイルに印加する。なお測定周波数は検出コイルもしくは結合調整コ

* 平成 27 年度 技術シーズ形成研究事業 発展ステージ

* 平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 発展ステージ

** 電子情報技術部

イルのLC共振周波数付近の周波数とする。検出コイルの両端には誘導起電力が発生するがこの値は水分量によって変化する。実験では誘導起電力の振幅(以下、受信電圧と呼ぶ)と位相を測定する。振幅と位相はオシロスコープで測定した。

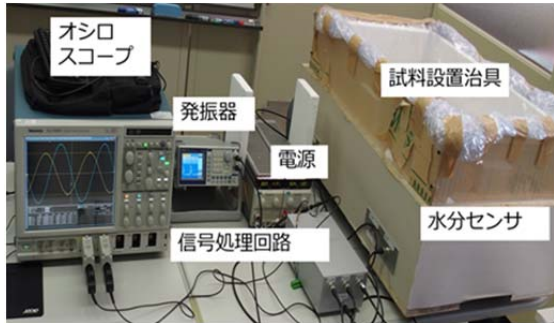


写真1 水分量測定システム

3 実験結果および考察

3-1 試作装置の構成と測定原理

3-1-1 装置構成

開発した水分センサを使用して2タイプの装置を試作した。図1に示すタイプ1は励起コイルと検出コイルを積層して配置する。また、図2に示すタイプ2は励起コイル、結合調整コイル、検出コイルの3枚のコイルを積層して配置する。両者とも、検出コイルの外側に測定対象物を近接させて測定する方式であり、試料サイズに依存せず測定が可能であることを特長としている。

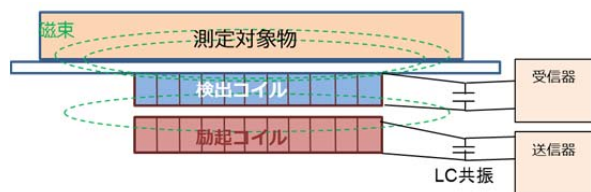


図1 タイプ1の構成

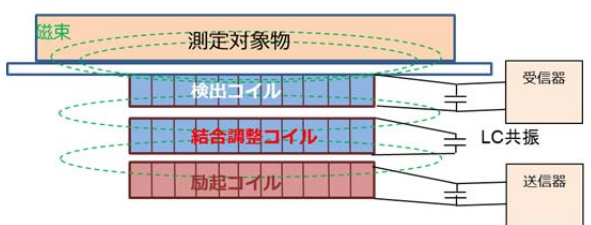
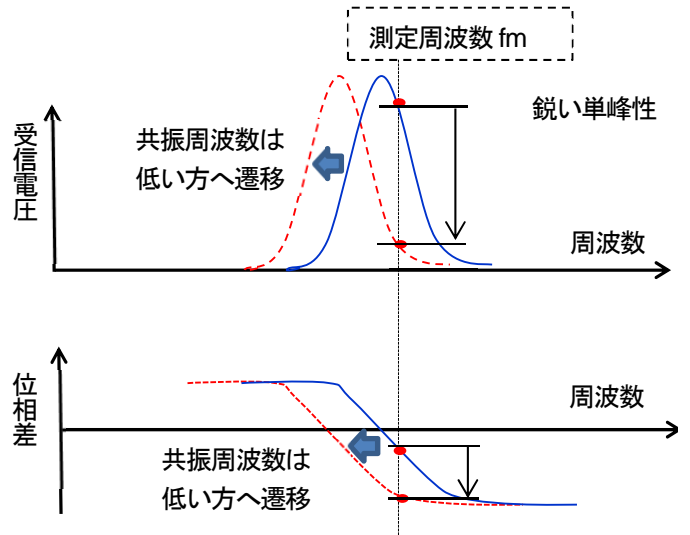


図2 タイプ2の構成

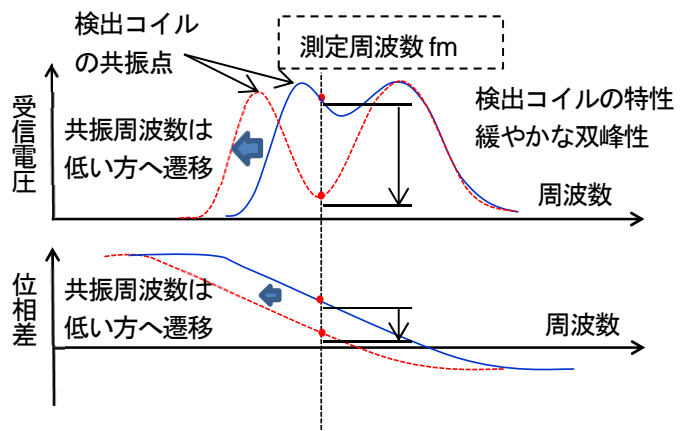
3-1-2 測定原理

励起コイルは、送信器から供給された周波数3.4[MHz]の交流電力により周囲に電磁場を発生する。この電磁場中に配置された検出コイルには、測定試料の水分量に依存する電圧が発生する。これは、検出コイルの共振周波数が変化するためである。水分量の算出は、検出コイルの電圧の振幅と位相を測定し、既知の検量線を用いて行う。また、励起コイル、検出コイルに加えて結合調整コイルを配置することにより、水分量の検出感度を変化させることも可能である。

図3に、検出コイルの受信電圧と位相差の周波数特性を示す。なお、位相差は空気の値を基準にした。図3(a)はタイプ1の検出コイルの周波数特性で鋭い単峰性の共振特性を示す。周波数の遷移量は水分量に依存しており、試料中の水分量が増加すると共振周波数は低周波側に遷移する。これにより測定周波数 f_m における受信電圧と位相差が変化し、これを用いて水分量を算出することができる。



(a) タイプ1の規格化受信電圧・位相差



(b) タイプ2の規格化受信電圧・位相差

図3 検出コイルの周波数特性

図3 (b) はタイプ2の周波数特性である。検出コイルが結合調整コイルと結合し、それぞれの共振点を持つ緩やかな双峰性を示す。また、位相差も緩やかに変化する。タイプ1と比較して測定周波数 f_m での受信電圧の変化量は小さく、測定感度は低下するが、一方で、水分量の僅かな増加でも受信電圧が変化するため広範囲の測定が可能となる。

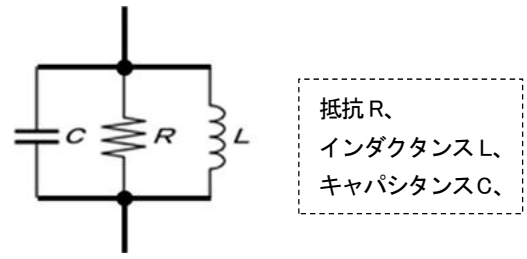


図5 RLC 並列等価回路

3-2 水分センサの共振特性

3-2-1 水分センサ

写真2に製作した水分センサを示す。本センサは板状のコイルであり、サイズは500mm×300mm×1.6mmである。測定では検出コイルもしくはそれに加えて結合調整コイルを式(1)の共振周波数 f_c で電氣的に共振させて使用する。

$$f_c = 1 / (2\pi \cdot \text{sqrt}(LC)) \quad [\text{MHz}] \quad (1)$$

ここで、L はコイルのインダクタンス、C はコイルの寄生キャパシタンスであり、sqrt () は平方根を表す。

Agilent 4294A

プレジジョン インピーダンスアナライザ

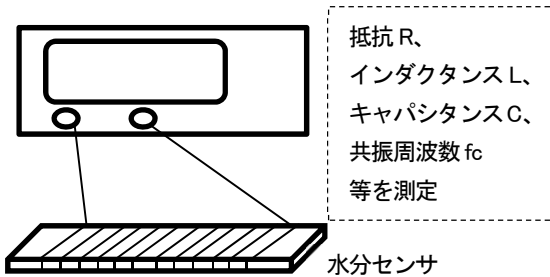


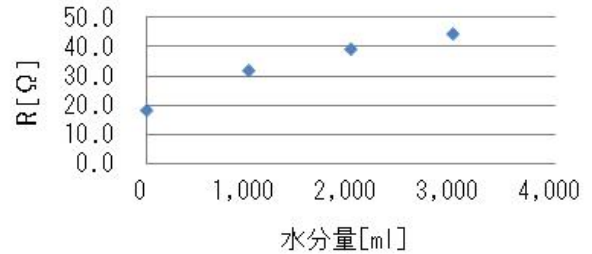
図4 LC 共振特性の測定構成



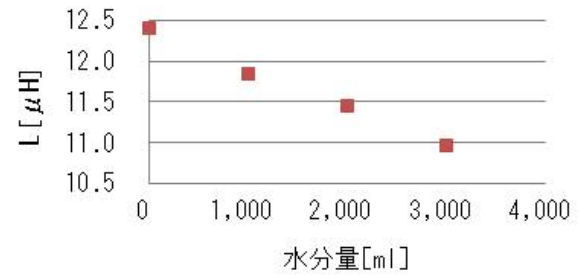
写真2 製作した水分センサ

3-2-2 水分量に対する共振周波数の遷移

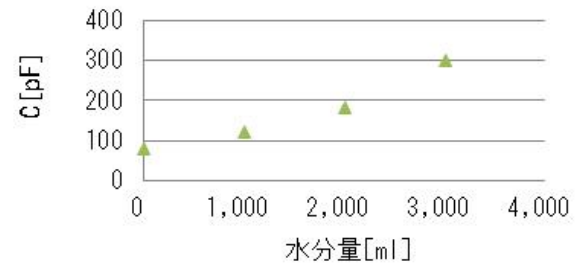
水分量に対する受信電圧の変化は検出コイルの周波数特性に依存するため、検出コイルの周波数特性を測定して、本測定法の動作原理を述べる。図4はそのための測定系である。本測定ではAgilent 4294A プレ



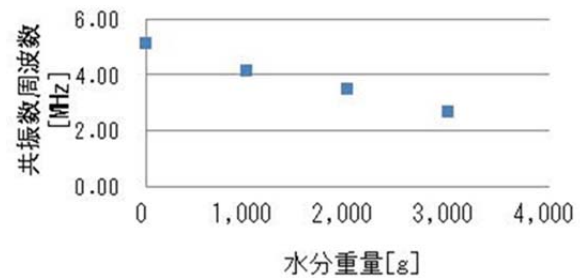
(a) 水分量の変化に伴う抵抗変化



(b) 水分量の変化に伴うインダクタンス



(c) 水分量の変化に伴う静電容量の変化



(d) 水分量の変化に伴う共振周波数の変化

図6 製作した水分センサの基礎特性

シジョン インピーダンスアナライザを用い、水分センサの共振周波数における等価回路解析を行った。等価回路には、図5に示すRLC並列回路を選択し、ここでの抵抗R、インダクタンスL、キャパシタンスC、共振周波数 f_c を求めた²⁾。試料は工業用紙ウエス400gに水を0から3,000ccまで1,000ccステップずつ加えて水分量を調整した。

図6(a)～(d)は水分量に対する検出コイルの電気的パラメータの変化を示している。(a)は抵抗R、(b)はインダクタンス、(c)はキャパシタンス、(d)は回路の共振周波数である。同図より、水分量の増加に対して抵抗Rは $18\Omega \sim 44\Omega$ 、キャパシタンスCは $78\text{pF} \sim 300\text{pF}$ までそれぞれ増加し、インダクタンスLは $12\mu\text{H} \sim 11\mu\text{H}$ に減少している、共振周波数は、式(1)に示す通りLとCの積により決まるため、水分量に対する共振周波数の変化はキャパシタンスが大きく寄与し、水分量の増加に対して共振周波数は低下することが分かる。

以上より、水分量に依存した受信電圧の振幅と位相を測定することにより、水分量の推定が可能になる。

3-3 塩蔵わかめの測定

3-3-1 水分量に対する基礎特性

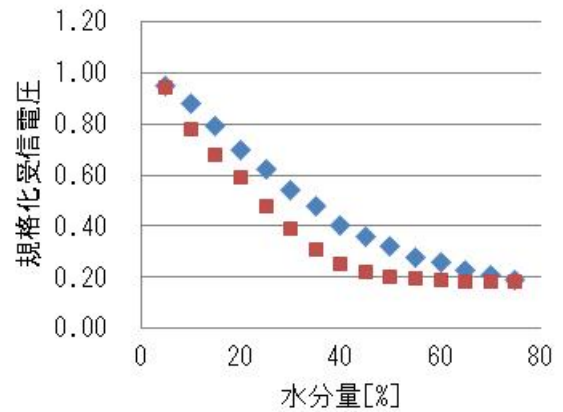
対水食塩濃度が25%の塩蔵わかめについて、タイプ1とタイプ2のそれぞれの装置での基礎特性を調査した。なお、空気の影響を最小限に抑えるため、試料を水分センサ面に極力近接させて測定を行った。図7(a)に水分量変化に対する規格化受信電圧、(b)に位相差の変化を示す。ここで、規格化は受信電圧の最大振幅で行った。また、グラフ内の赤のデータプロットはタイプ1、青のデータプロットはタイプ2の測定結果を示している。同図より、タイプ1は規格化受信電圧、位相差ともに領域0%～40%においては水分量の測定が可能であるが、40%を超える水分領域では規格化受信電圧も位相差も変化せず水分量の測定が困難である。これに対して、タイプ2は規格化受信電圧、位相差とも水分量全域に対して変化している。これは、水分量が50%～70%の塩蔵わかめを測定する場合、タイプ2が有効であることを意味している。

3-3-2 水分量と塩分量に対する基礎特性

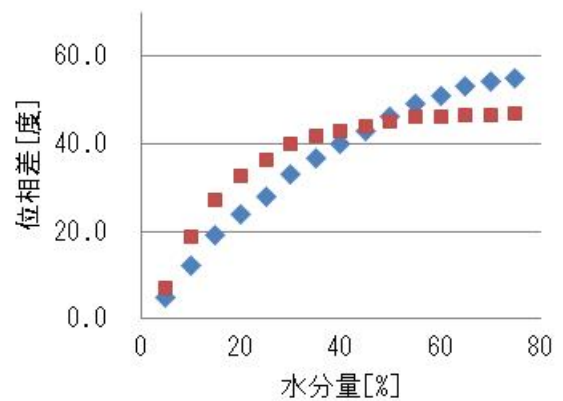
水分センサとしてタイプ2を用い、規格化受信電圧と位相差を測定し、水分量[kg]と塩分量[kg]との関係を求めた。塩蔵わかめは、乾燥わかめ1kgに対して、水分量は50%～80%の範囲で10%ステップで調製し、対水食塩濃度は20～26%の範囲で1.5%ステップで調製した。なお、水分量[%]および対水食塩濃度[%]をそれぞれ以下の式(2)および式(3)のように定義する。

図8に塩蔵わかめの水分量および塩分量を、規格化

受信電圧と位相差の測定から推定した結果を示す。また、これらより求めた検量線を式(4)～(7)に示す。こ



(a) 水分量に対する規格化受信電圧の変化



(b) 水分量に対する位相差の変化

図7 対水食塩濃度25%の塩蔵わかめの検出コイルの基礎特性

$$\text{水分量}[\%] = \frac{\text{水}(\text{kg})}{\text{わかめ}(\text{kg}) + \text{水}(\text{kg}) + \text{塩}(\text{kg})} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{対水食塩濃度}[\%] = \frac{\text{塩}(\text{kg})}{\text{水}(\text{kg}) + \text{塩}(\text{kg})} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{水分量}W_e[\text{kg}] = 303821e^6 - 546661e^5 + 401277e^4 - 153927e^3 + 32695e^2 - 3708.20e + 187.01 \quad (4)$$

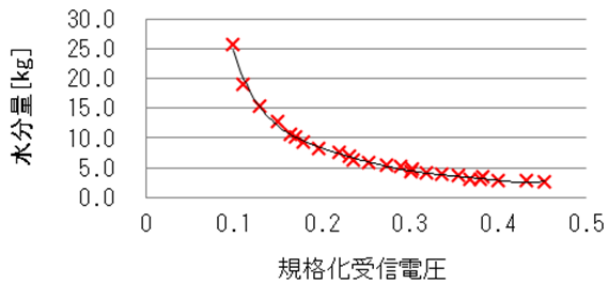
$$\text{塩分量}S_e[\text{kg}] = 144631e^6 - 263905e^5 + 196311e^4 - 76155e^3 + 16266e^2 - 1827.30e + 87.48 \quad (5)$$

$$\text{塩分量}S_c[\text{kg}] = 0.0000001c^5 - 0.0002c^4 + 0.0139c^3 - 0.46c^2 + 7.71c - 51.17 \quad (6)$$

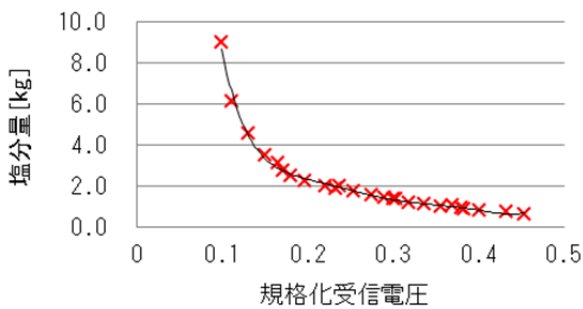
$$\text{水分量}W_c[\text{kg}] = 0.0000001c^5 - 0.0002c^4 + 0.0096c^3 - 0.27c^2 + 3.90c - 20.29 \quad (7)$$

ここで、検量線はマイクロソフトエクセルの関数近似機能により求めた。また、表1に水分量と塩分量の推定精度を示す。タイプ2の推定精度は、水分量[kg]と塩

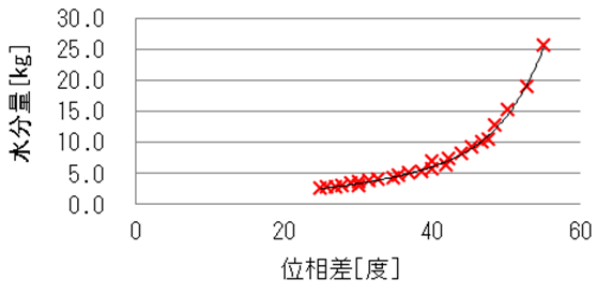
分量[kg]ともに±2.0以内であることが分かった。よって、本測定条件においては、塩蔵わかめの測定要求精度±4%以内を十分に満たしている。



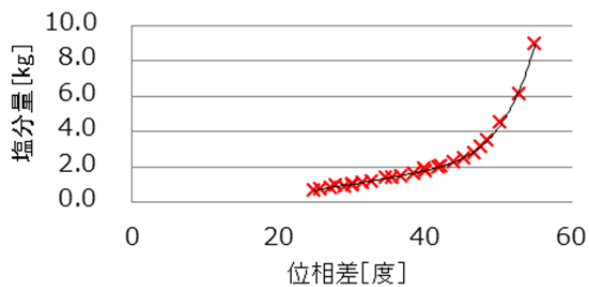
(a) 規格化受信電圧による水分量推定



(b) 規格化受信電圧による塩分量推定



(c) 位相差による水分量の推定



(d) 位相差による塩分量の推定

図8 塩蔵わかめの水分量と塩分量の推定

表1 塩蔵わかめの水分量・塩分量の推定精度

推定項目	平均推定精度 [%]
水分量 We[g]	0.45
塩分量 Se[g]	-0.93
水分量 Wc[g]	-1.52
塩分量 Sc[g]	0.84

3-4 エアギャップの影響

3-4-1 タイプ2による測定

塩蔵わかめ製品は厚さ約 5 mmの段ボール箱に梱包されて出荷される。そのためここでは、段ボール箱入り塩蔵わかめの測定法を検討した。

タイプ2の装置について水分センサの測定面と試料間に 0~15 mmのエアギャップを挿入したときの規格化受信電圧の変化を調べた。試料は水 500 gをセンサ全面を覆う大きさの発砲スチロール容器に水 500 gを入れ、その深さは 2mmとした。

図9はエアギャップ長の変化に伴う規格化受信電圧の変化を示している。規格化受信電圧の値 1.0は空気の測定電圧である。同図より、ギャップ長が 3mmを超えると急激に受信電圧が減少することが判る。

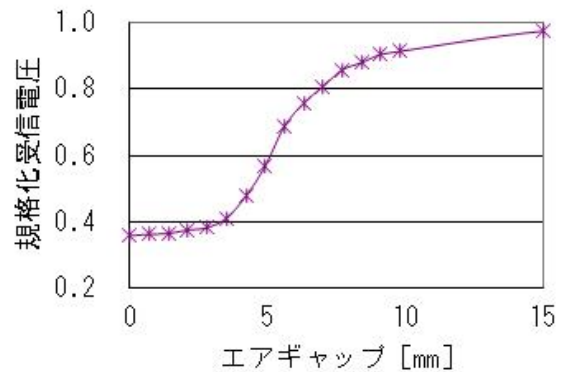


図9 エアギャップの変化に伴う規格化受信電圧の変化

タイプ2において測定の困難な理由は検出コイルと試料の電磁的な結合が弱いことである。そこで、更に電磁的な結合の大きい水分センサを製作し、水分測定可能性の調査を実施した。

3-4-2 渦巻き状水分センサによる測定

写真3、図10に新たに製作した渦巻き状の水分セ

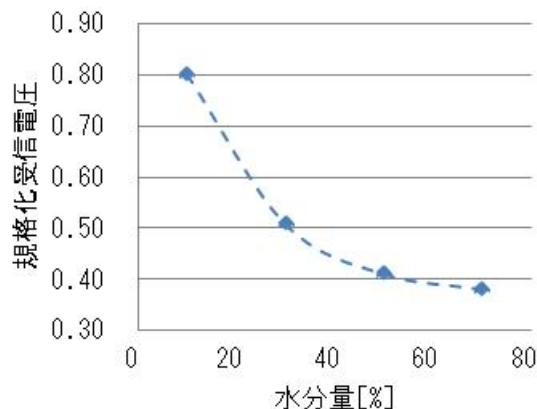
ンサと、それを用いた測定方法を示す。タイプ2は、水分センサの測定面と平行つまり試料の横方向から磁束が貫くのにに対し、渦巻き状水分センサは測定面全体から垂直に試料を磁束が貫く。これより、渦巻き状センサは試料を貫く磁束数が多くなるため試料との電磁的結合がより大きくなると考えられる。



写真3 渦巻き状の水分センサ

※ 磁束は裏面から表面へ貫く

め、今後の課題としたい。



(a) 水分量変化に伴う規格化受信電圧の変化

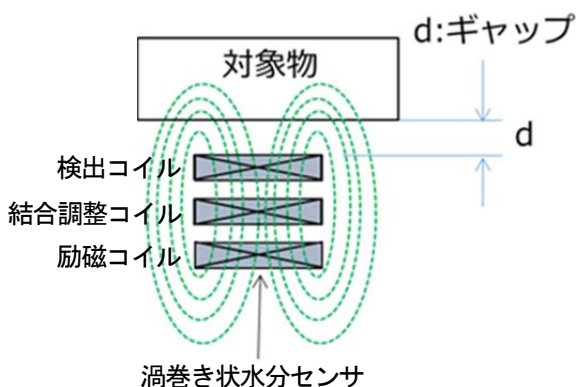


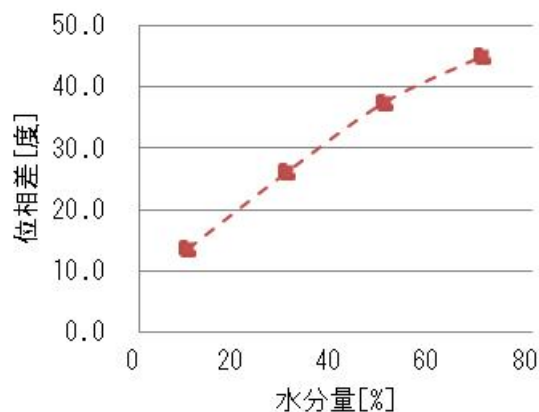
図10 測定方法

実験は、測定試料と水分センサの検出面のエアギャップ d を段ボール厚と同等の 5mm に設定し、水量に対する検出コイル両端の電圧の振幅と位相の特性を調査した。なお、実験で使用した周波数は 2.3MHz である。

図11は、工業用紙ウエスを水に含ませた試料の水分量を $10\% \sim 70\%$ に変化させたときの規格受信電圧および位相差の変化を示している。

図11(a)において水分量が 40% を超えるとやや分解能は低下するものの、全域において測定は可能である。図11(b)において位相差と水分量の相関はほぼ線形であり、水分量の全域域において測定が可能である。

これらの結果から、測定面と対象物の間にエアギャップを設けても測定できる可能性のあることが分かった。しかし、推定精度の向上などの課題は残るた



(b) 水分量変化に伴う位相差の変化

図11 渦巻き状コイルの基礎特性

4 結言

本報告では電磁誘導法による水分量測定技術を開発したことについて述べた。水分センサは板状コイルを送信コイルと検出コイルとして使用するタイプ1、タイプ1の構成に結合コイルを付加したタイプ2、さらに渦巻き状コイルを用いたタイプ2について検討した。板状コイルのタイプ1は、水分量が 40% 未満において測定感度が良く、タイプ2は水分量 $0 \sim 70\%$ に亘り感度を有することが分った。また、渦巻き状コイルの場合には、検出コイルと測定対象の間に 5mm のエアギャップが存在する場合においても比較的良好的感度を有することが確認できた。

また、推定精度は $\pm 2.0\%$ であり、目標の $\pm 4.0\%$ 以下を達成した。本技術は、塩蔵わかめの他、広範囲の応用が考えられるため、新たなセンサ形状、専用の信号処理回路等の開発を進め実用化を目指したい。

最後に、本研究で開発したタイプ1、タイプ2による水分量測定技術は特許出願中である³⁾。

文 献

1) 山角達也：マイクロ波透過法による木材水分量の

測定、鹿児島県工業技術センター研究報告
No15(2001)

2) プレジジョン・インピーダンス・アナライザ Agilent 4294A
取扱説明書

3) 特願 2017 - 71222 号 「物体の成分量測定装置」

X線断層撮影（CT）装置を用いた寸法測定における誤差の低減*

菊池 貴**、和合 健**、池 浩之**

X線断層撮影（CT）装置を用いた寸法測定は、内部構造も測定できるので、期待が高まっている。しかし、X線の入射角度のずれやX線の減衰といった特有の誤差要因があり、測定精度の向上が求められている。本研究では、測定物の取り付け角度による寸法測定誤差への影響を実験により明らかにし、測定誤差を最大81%低減出来ることを示す。

キーワード：X線CT装置、寸法測定、コーンビームアーチファクト

Error reduction in dimensional measurement using x-ray computed tomography system

Takashi Kikuchi, Takeshi Wago, Hiroyuki Ike

Dimensional measurements using X-ray computed tomography (CT) systems are expected to increase in popularity because we can additionally measure the internal configurations. However, an X-ray CT system contains specific error factors such as deviations of the incident angle and attenuations of the X-ray strength. Therefore, an improvement in measurement accuracy is required to enhance the utility of the system. In this study, we have experimentally clarified the influence of mounting angle of measured objects on dimensional measurement errors. Finally, we observe that the measurement errors have been reduced by up to 81%.

Keywords: x-ray CT system, dimensional measurement, corn beam artifact

1 緒言

X線断層撮影装置（以下、X線CT装置）は製品内部の非破壊観察に用いられているが、最近では寸法測定への応用が期待されている。X線CT（Computed Tomography）装置は非破壊で内部の形状を取得できるため、三次元測定器では測定できない内部構造の測定が可能である。そのため、外観形状と内部構造の同時計測が可能な装置として期待されている¹⁾²⁾³⁾。しかし、X線CT装置による測定では形状の歪みや、アーチファクトと呼ばれる実在しない画像が発生するなど特有の誤差があり、その解消が課題となっている。

岩手県工業技術センターでは平成28年7月に次世代ものづくりラボを開所し、デジタルデータを活用した三次元ものづくりの支援を進めている。X線CT装置は測定データから3Dの形状データを自動生成することが可能であることから、3Dプリンタが得意とする複雑な内部構造をもつ製品の評価やリバースエンジニアリングへの活用が期待されている。そのため、X線CT装置におけ

る誤差要因の解明と測定精度の向上が求められている。

本研究ではX線CT装置を用いた寸法計測における誤差要因の調査と誤差の低減手法について検討した。

2 実験方法

2-1 使用機器

使用したマイクロフォーカスX線CT装置の主な仕様を表1、外観を図1、CT撮影用テーブルを図2に示す。本装置は経済産業省平成25年度成長産業・企業立地促進等施設整備費補助金により導入されたものである。本装置のX線CT撮影では、測定サンプルの高さ位置は固定し、X線管及び検知器の高さ位置は任意に変えられる。そして、縦方向にX線を照射し、図2の赤枠に示す回転部が測定サンプルを横軸周りに回転させ撮影する。CT再構成、3D形状データへの変換、座標計測、設計値/測定値比較にはVG Studio Max2.2⁴⁾を利用した。

* H28年度 技術シーズ創生研究事業 プロジェクトステージ

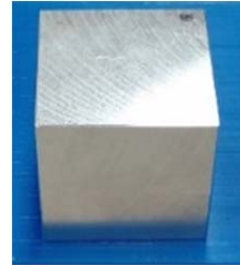
** 電子情報技術部

*** 素形材技術部

表1 マイクロフォーカスX線CT装置の主な仕様

型式	Y.Cheetah uHD
メーカー	エクスロン・インターナショナル
出力管電圧	25-160kV
出力管電流	0.01-1.0mA
最大X線管出力	64W
最大ターゲット出力	15W
認識解像度	0.5 μ m
センサー斜角	$\pm 70^\circ$ (140 $^\circ$)
最大サンプルエリア	800 \times 500mm
最大検査エリア	460 \times 410mm
最大幾何学倍率	3,000倍
CTスキャン時間	(最短) 60秒

(40 \times 40 \times 40mm) 及び円柱 (径 10mm、長さ 20mm) のサンプルを用いた。また、撮影の際に固定用の治具が写り、治具の像とサンプルの像とが一体化することを防ぐため、固定用の治具の素材はアクリル樹脂、サンプル素材はアルミ合金 (A5052) とした。



(a) 測定サンプル 1
(40 \times 40 \times 40mm)



(b) 測定サンプル 2
(ϕ 10mm \times 20mm)

図3 測定サンプル



図1 マイクロフォーカスX線CT装置の外観

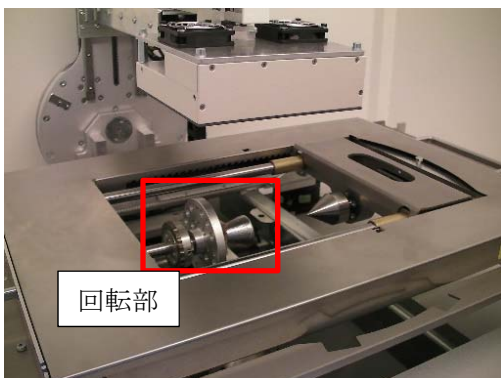


図2 CT撮影用テーブル

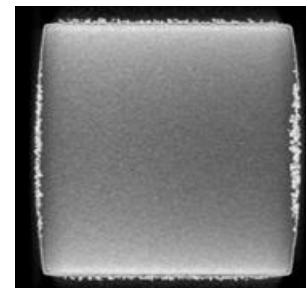
3 実験結果および考察

3-1 CT撮影におけるノイズの例

サンプル1を測定した際の条件を表2、結果を図4に示す。同図より本来は平面であるはずの面が、回転軸方向(z方向)に膨らんでいることが分かる。この部分を拡大したものを図5に示す。本来は平面であるはずの面に、実際には粒状のノイズが発生し細かな凹凸が形成されている。

表2 測定条件

設定項目	数値
出力管電圧	70kV
出力管電流	0.1mA
X線管高さ	-199.8mm
検知器高さ	90.0mm
撮影画像枚数	720
回転角度	360 $^\circ$
解像度	1,024

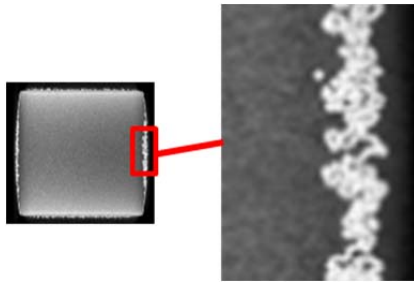


※本来は平面であるはずが膨らんでいる

図4 サンプル1の測定結果

2-2 測定サンプル

使用した測定サンプルを図3に示す。本研究では、外観形状の評価を容易にするために、立方体



※サンプル表面に微小な凹凸が発生している
図5 測定結果の拡大図

X線CTの撮影結果は白黒濃淡値のVoxelデータである。この濃淡値に対して閾値を設定し、面を定義することで3次元形状データを作成する。しかし、測定対象物と背景との境界が曖昧な場合、適切な閾値が設定できず、ノイズを含む形状データが作成される。そのため、平面が形成されなかったと考えられる。

3-2 測定誤差の要因

X線CTにおける測定誤差の主な要因として、コーンビームアーチファクト⁵⁾とビームハードニングアーチファクト⁶⁾の2つが挙げられる。

コーンビームアーチファクトは、現在主流であるコーンビーム型のX線源とフラットパネル方式の検知器を組み合わせたX線CT装置特有の課題である。図6に示すようにX線源から照射されたX線が測定対象を通過し検知器に到達する際に、検知器に垂直に入射するのが理想である。しかしコーンビーム型の場合、X線は放射状に照射されるため、検知器には斜めに入射し、検出位置にずれが生じる。このずれが生じたX線画像を元にCT画像を再構成されるため表面形状が正確に取得できず、図4に示したようにサンプルの形状の歪みが発生した。

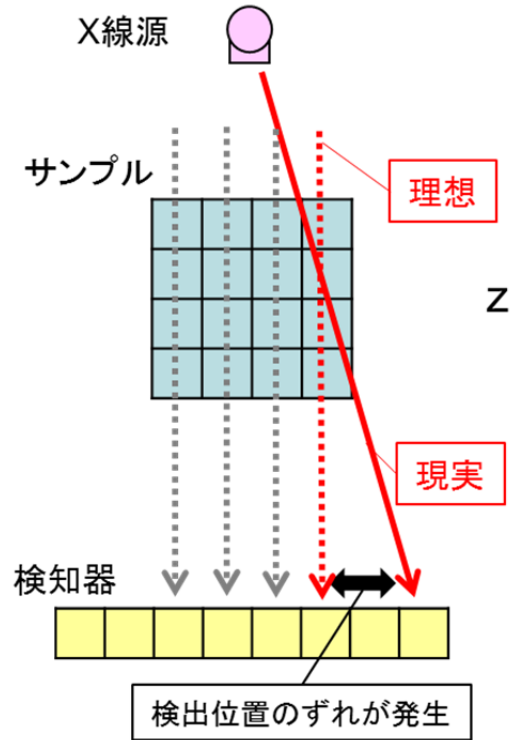
ビームハードニングアーチファクトはX線の吸収量が測定対象物の厚みに比例しないために発生する。X線源から照射されたX線にはさまざまな波長のものが含まれているが、波長の長いものは吸収されやすく、短いものは吸収されにくい。そのためX線が測定対象物を通過していく際に徐々に波長の短いものだけになっていき、図7に示すように減衰しにくくなる。X線が物質を通過する際の、吸収による強度の低下は(1)式で表される。

$$I = I_0 \exp(-\mu t) \quad (1)$$

ここで、 I_0 は物質に入射したX線の強度、 μ は吸収係数、 t は物質の厚さ、 I は物質を透過したX

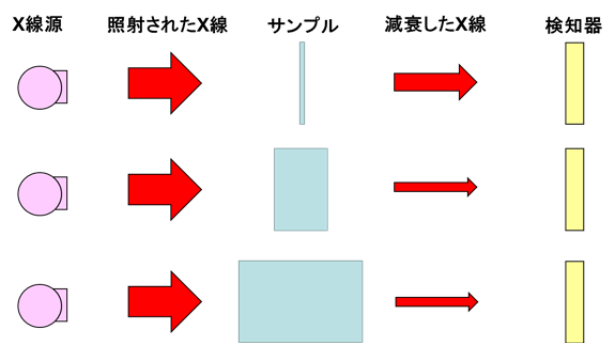
線の強度である。

このように物質の厚みと吸収されるX線の関係が線形ではないため、検知器が検出したX線強度と測定対象物の実際の厚みとの間にずれが生じ、それが測定誤差となる。



※X線が検知器に垂直に入射するのが理想だが、実際は斜めに入射するため検出位置にずれが生じる

図6 検出位置のずれの模式図



※X線には複数の波長が含まれ、波長の長いものは吸収され易く、短いものは吸収され難い。そのためX線の吸収量とサンプルの厚みが比例しない。

図7 X線がサンプルを通過する際の模式図

4 測定方法の改善

4-1 測定対象物の取り付け角度の改善

本研究では前述の2つの誤差要因のうち、形状の歪みに対して影響が大きいと考えられるコーンビームアーチファクトに注目し、この影響を調べるために、測定対象物の取り付け角度を変えながらX線CT測定を行った。

コーンビームアーチファクトは、X線が測定対象物に対して斜めに入射することによって発生するため、検知器に直交する面において顕著に発生する。そのため、測定対象物自体を傾け、検知器と直交する面をつくらずに撮影することで、アーチファクトの発生を低減できる。そこで、測定対象物の取り付け角度を変化させて測定を行い、測定誤差について比較した。取り付け角度は回転部の回転軸に直交する面について、0度（従来）、15度、30度、45度と傾けたものについて比較した。測定対象物の取り付け状態を図8、9に示す。

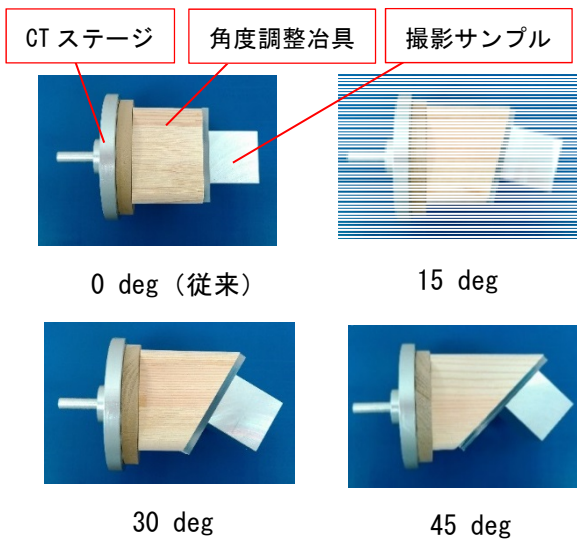


図8 サンプル1（立方体）の取り付け状態

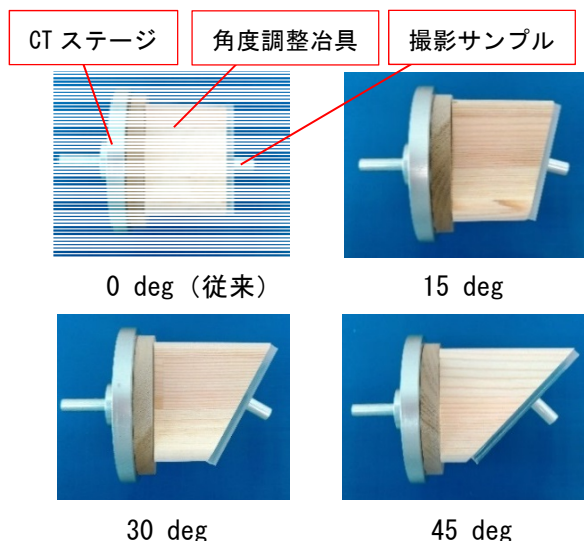


図9 サンプル2（円柱）の取り付け状態

4-2 3次元測定器との比較結果

次に3次元測定器 Crysta-Apex C776(ミットヨ)を用いた測定結果との比較を表3、4及び図10、11に示す。サンプル1については、図12に示すX、Y、Zの各方向の長さを比較し、サンプル2については、径φと長さZを比較した。X線CT装置の寸法測定は、VG Studio Max⁴の寸法測定機能を用いた。差の計算を(2)式に示す。

$$\text{差} = C - X \quad (2)$$

ここで、CはCrysta-Apexの測定値、XはX線CT装置の測定値である。

表3 3次元測定器との比較結果（サンプル1）

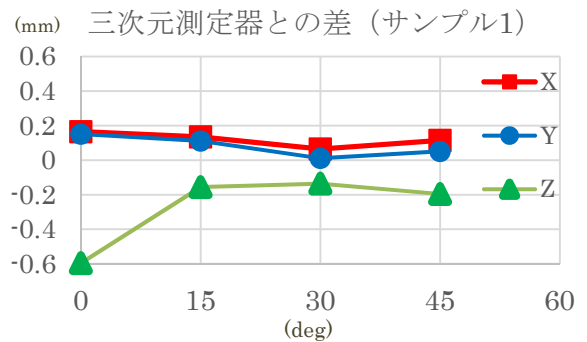
角度 (deg)	3次元測定器との差 (mm)			
	X	Y	Z	合計 (絶対値) X + Y + Z
0	0.16	0.15	-0.59	0.9
15	0.13	0.11	-0.15	0.39
30	0.06	0.01	-0.13	0.2
45	0.11	0.05	-0.19	0.35

※サンプル1の場合、30 deg傾けて測定することで差が最小となる。

表4 3次元測定器との比較結果（サンプル2）

角度 (deg)	3次元測定器との差 (mm)		
	径φ	長さZ	合計 (絶対値) φ + Z
0	-0.4	0.21	0.61
15	0.34	0.12	0.46
30	0.32	0.09	0.41
45	0.06	0.05	0.11

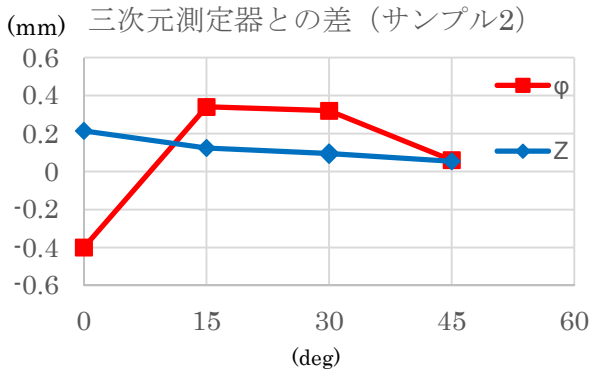
※サンプル2の場合、45 deg傾けて測定することで差が最小となる。



※0 degの場合の差が最大となり、30 degの場合が最小。X、Y方向に比べてZ方向の差が大きい。

図10 3次元測定器との比較結果（サンプル1）

図 10、11 からサンプル 1 については、X、Y、Z の全てについて 0 度の場合の差が最大であり、30 度傾けた場合の差が最小であった。いずれの角度においても X と Y 方向と比べて Z 方向の差が大きいが、サンプルを傾けることによる改善効果も大きいことを確認した。サンプル 2 については 45 度傾けた場合が最も誤差が小さかった。また、サンプル 1 の場合、回転軸方向である Z 方向は差が大きかったが、サンプル 2 の場合は径方向に比べて Z 方向の差が小さいことを確認した。



※0 deg の場合の差が最大となり、45 deg の場合が最小。径と比較して長さ方向の差が小さい。

図 11 三次元測定器との比較結果 (サンプル 2)

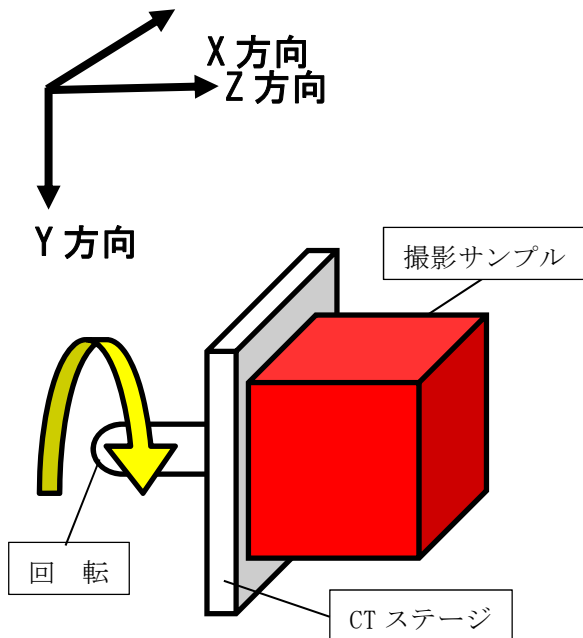


図 12 サンプル 1 の測定方向と取り付け状態

本実験においてサンプル 1 とサンプル 2 では最適な角度が異なった原因として、検知器の有効範囲の違いが考えられる。コーンビームアーチファクトの発生は検知器の中央付近は小さく、端は大

きい。そのため、サンプルの大きさや形状によってコーンビームアーチファクトの傾向が変化する。このことから、X線CT装置を用いた寸法測定では、サンプルの形状や大きさによって誤差の傾向が変化するため、サンプル毎に最適な取り付け角度を明らかにする事が必要である。

5 結 言

本報告では、X線CT装置を用いた寸法測定における誤差の要因調査及び誤差の軽減方法について検討した。

実験では、コーンビームアーチファクトに注目し、測定対象物の取り付け角度を変化させながら寸法測定を行った。その結果、サンプル 1 については最大で 77%、サンプル 2 については最大で 81% 誤差を低減した。また、誤差が最小になる取り付け角度はそれぞれ 30 度、45 度と異なることから、サンプルの形状、大きさによってコーンビームアーチファクトの傾向が変化する事を明らかにした。

今後は、測定対象物毎に異なる最適な取り付け角度についてのデータを蓄積していく。また、もう 1 つの主要な誤差要因であるビームハードニングアーチファクトに起因する誤差の軽減手法を検討し、X線CT装置を用いた測定技術の改善に取り組む。

謝 辞

本研究の実施にあたり、国立研究開発法人産業技術総合研究所工学計測標準研究部門幾何標準研究グループの藤本弘之様、佐藤理様から貴重な助言を頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

文 献

- 1) 藤本弘之・佐藤理・佐藤真・岸武人：X線CT装置の精度評価法標準化と高度化、精密工学会誌、Vol. 82、No. 6、pp502-505 (2016)
- 2) 三和田靖彦：X線CTによる形状計測とボリュームモデリングの現状と課題、精密工学会誌、Vol. 82、No. 6、pp497-501 (2016)
- 3) 紋川亮・千葉浩行・富山真一・谷口昌平：X線CT装置の運用事例、精密工学会誌、Vol. 82、No. 6、pp518-522 (2016)
- 4) VG Studio MAX2.2 マニュアル、ボリュームグラフィクス株式会社
- 5) Richard Mather：コーンビームへの取り組み、INNERVISION(21・2)別冊付録、pp10-16(2006)
- 6) 木村仁・小関道彦・伊能教夫：X線CTの精度向上のためのアーチファクト低減手法、精密工学会誌、Vol. 82、No. 6、pp523-528 (2016)

BCI 試験の誤差要因調査と測定再現性向上の検討*

野村 翼**

車載電装品の BCI 試験において、試験セットアップの違いが試験結果に及ぼす誤差要因の調査と、測定結果の再現性向上について検討した。その結果、ハーネス長及び束ね方、BCI プローブの設置位置及びハーネスの通し方が誤差要因であることが明らかとなり、対策を講じることで測定再現性も向上できることが分かった。

キーワード：EMC、BCI 試験、車載電装品

Investigation of the error factors and examination for the improvement of measurement reproducibility in bulk current injection test

Tsubasa Nomura

The error factors that are encountered while performing the Bulk Current Injection (BCI) test, which depends on the test setup methodology, are investigated. Further, we examine the various methods to improve the measurement reproducibility. The results demonstrate that the main error factors are the lengths and bundling methods of harnesses, installation position of the BCI probe, and passing method of harnesses. Additionally, it is verified that the measurement reproducibility can be improved by preparing jigs as a countermeasure.

Keywords: EMC, BCI test, automotive electrical component

1 緒言

ハーネス励磁法(BCI: Bulk Current Injection)試験(以降 BCI 試験と呼ぶ)は、主にラジオやトランシーバ、アマチュア無線、携帯電話等から発せられる無線電波を脅威対象として、車載電装品のハーネス(電源線、信号線)に対し BCI プローブを用いて規定の周波数及びレベルの電磁ノイズを誘起し、耐性を評価する試験である。

BCI 試験の試験方法は国際規格 ISO11452-4 にて規定されているが¹⁾、実際に試験を行うと、測定再現性に課題があることが分かってきた。そこで本研究では、試験結果に及ぼす誤差要因の調査と測定結果の再現性向上方法について検討し、対策とその効果確認を行った。

りに設置できない場合がある。今回は、機器貸出時に EUT 側の理由により規格通りにセットアップができないことがあった以下の状況を誤差要因として推定した。

- ハーネス長
EUT によりハーネス長が異なり、切断や継ぎ足しにより規定に合わせられない場合がある。
- BCI プローブ設置位置
規格では BCI プローブの設置位置を EUT から 150mm と定めているが、場合により 450mm/750mm で実施しても良いと記載されており、EUT からの距離が変わる可能性がある。
- BCI プローブへのハーネスの通し方
BCI プローブ内径は 23mm であるが、ハーネスが細い場合等にプローブの中心を通ったり内壁に接したりするなど通る位置が毎回同一とは限らない。

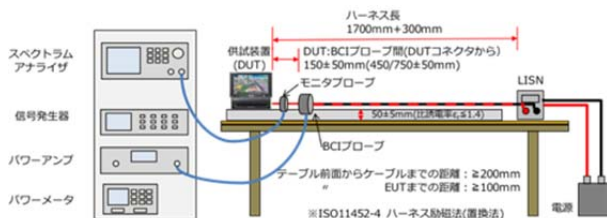


図 1 BCI 試験セットアップ (規格準拠)

BCI 試験では試験対象製品 (EUT: Equipment Under Test) のハーネス長や印加する BCI プローブの設置位置などが細かく規定されているが、実際の現場ではその通

2 実験方法

2-1 同一条件での再現性確認

まずは、試験器自体の誤差要因を排除するため、セットアップを全く同一条件として試験を複数回実施し、再現性を確認した。

確認方法は、同一セットアップで 3 回試験を実施し、電流プローブにより注入されたノイズ電流量を測定、比較することとした。試験結果を図 2 に示す。グラフは X 軸が周波数 (MHz)、Y 軸が注入電流値 (mA) である。

* H27 年度 技術シーズ形成研究事業 育成ステージ

** 電子情報技術部

確認の結果、同一条件であれば試験結果にほぼ誤差が出ないことを確認できた。

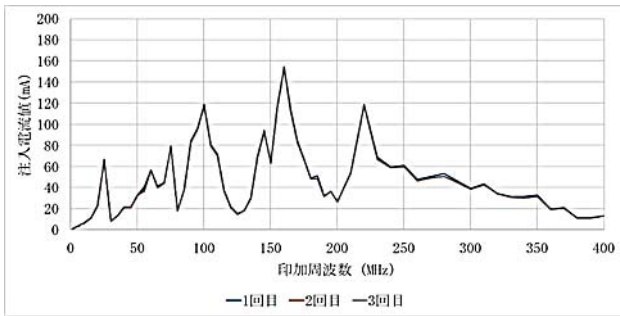


図 2 同一条件での再現性確認結果

2-2 ハーネス長及び束ね方の違いによる測定結果比較

BCI 試験では規格によりハーネス長は170cm(+30cm)と規定されている。EUT のハーネスが短い場合は継ぎ足して試験を実施するが、長い場合は切断することが必要となる。しかし、製品の都合により切断できない場合が多く、その際は LISN 直前で束ねることとなる。この場合の試験結果への影響について検証を実施した。

実験は、規格準拠であるハーネス長170cmに対し150cmの追加ハーネスを用いて延長した場合を想定し、余ったハーネスを無造作に束ねた場合と、無誘導巻きをした場合の2通り(図3)の測定を実施した。さらに規格準拠のセットアップで測定した結果と比較し、それらを図4にまとめた。

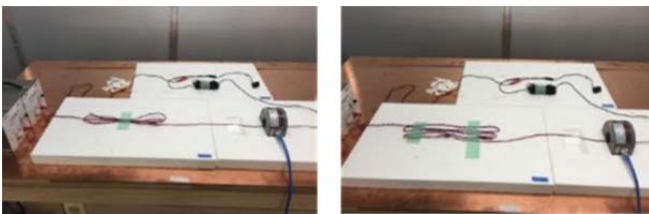


図3：ハーネス長/束ね方の違うセットアップ

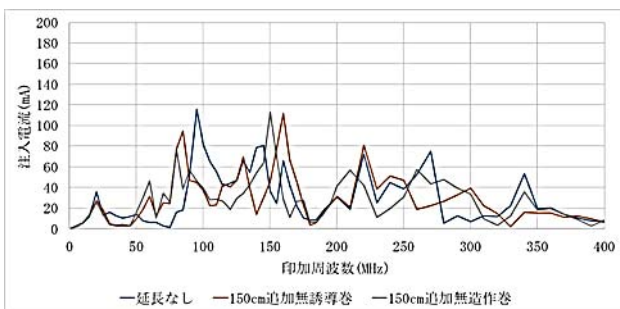


図 4 ハーネス長/束ね方の違いによる測定結果比較

2-3 BCI プローブ設置位置の違いによる測定結果比較

ISO11452-4では、BCI プローブの設置位置をEUT から150mmと定めているが、450mm/750mmで実施しても良いと記載されている。但し450mm/750mmで試験をする条件の

記載はなく、試験実施するハーネスのコネクタ等の関係により150mmで実施できない際にその他の位置で試験実施するものと推定される。

ここでは、クランプするハーネスは変えずにプローブ位置を変更した場合の注入電流量の違いについて確認を実施し、結果を図5にまとめた。

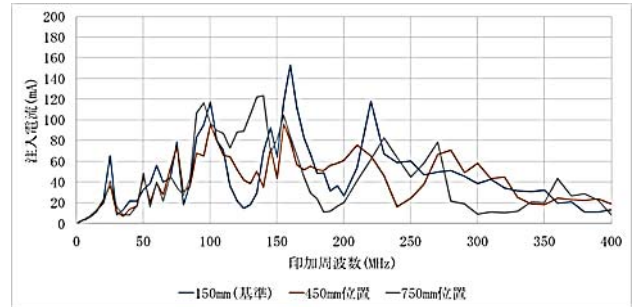


図 5 プローブ設置位置の違いによる測定結果比較

2-4 BCI プローブへのハーネスのクランプ方法の違いによる測定結果比較

ハーネスをこのプローブに通す際、特にハーネスが細い場合は、図6のように、プローブ内のどこをハーネスが通っているかで、図7のように印加される電流に違いが発生する可能性がある。

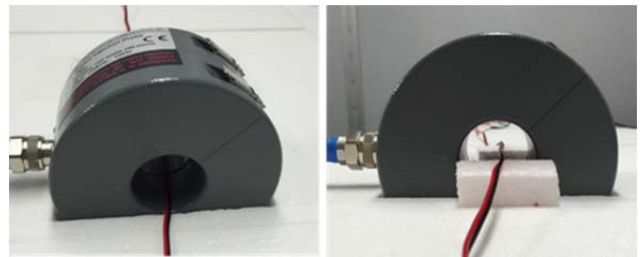


図 6 BCI プローブへのハーネスの通し方の違い

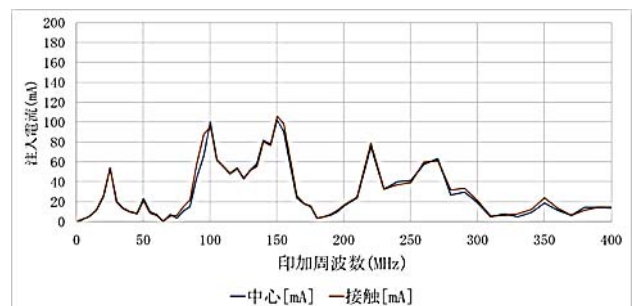


図 7 ハーネスの通し方の違いによる検証結果

3 実験結果

第2項で実施した実験により、ハーネス長および余剰ハーネスの束ね方を変化させた場合、注入電流量の差は同一周波数にて最大82.724mA発生したことを確認した。また同様にBCIプローブ位置を変化させた場合は92.709mA、ハーネスのプローブへの通し方を変化させた場合は21.474mAの差が発生することも確認した。

ハーネス長および余剰ハーネスの束ね方を変えた実験では、ハーネス長自体の変化や、無造作な束ね方ではハーネスに寄生インダクタンスが発生する。このことにより EUT 側のインピーダンスが変わることから、注入されやすい周波数や注入される電流量が大きく変化する。

次に BCI プローブ設置位置の違いによる結果の差異については、位置が変わることにより見かけ上ハーネスの長さ(アンテナ長と考えてよい)が変わり、このことから共振する周波数が変わって、結果に非常に大きな影響が出ることになる。このことから、試験計画時にハーネスの状況とプローブ位置を明確に決定する必要のあることが明らかになった。

ハーネスのプローブへの通し方の違いについては、他の誤差要因ほど大きな違いとはならなかったが、測定再現性を高める上では固定できることが望ましい。

4 対策

4-1 再現性向上対策

実験の結果、緒言にて推定した誤差要因について、実際に測定結果に違いが出ることを確認できた。

ここで、特にハーネス長が規定より長く、事情により切断できない場合については、無造作に試験セットアップを実施すると複数回の試験において条件を一定にすることが困難であり、再現性を下げる要因となる。

そこで、試験セットアップを複数回実施した場合でも同一のセットアップが再現できるよう治具を作成し、治具を使った場合と使わなかった場合の試験再現性について検証を行った。

作成した治具は、ハーネス長が長い場合のための木製無誘導巻きガイド(図 8)と、プローブへのハーネスの通し方の改善のための発泡スチロールガイド(図 9)の 2 種類である。

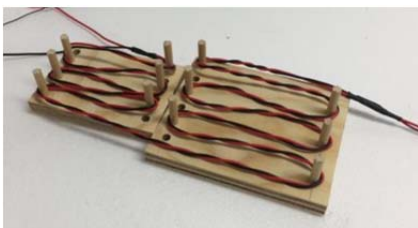


図 8 木製無誘導巻きガイド

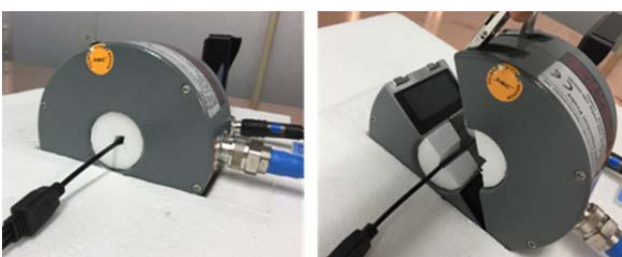


図 9 発泡スチロールガイド

木製無誘導巻きガイドは、ハーネスを束ねる際に磁界により発生する寄生インダクタンスを打ち消すために無誘導巻きが推奨されること、様々なハーネス長に対応すること、試験に影響を及ぼしにくい非金属製で、ある程度の強度が必要なことから図 8 のような形状とした。

図 9 の発泡スチロールガイドは、主に細いハーネスをできる限りプローブ中心に配すること、試験に影響を与えにくい素材である必要があったため、試験用絶縁台と同じ比誘電率 $\epsilon_r \leq 1.4$ の発泡スチロールで作製した。

4-2 対策の効果確認

この治具を使用せずセットアップを行なった場合と、使用してセットアップを行なった場合の試験再現性について検証を実施した。検証はそれぞれ完全に EUT を撤去した状態からの試験セットアップを 3 回ずつ実施し、注入される電流量の誤差の平均値を比較した。

作成した治具を使わずにセットアップした場合の結果(図 10)と治具を使ってセットアップした場合の結果(図 11)を以下に示す。

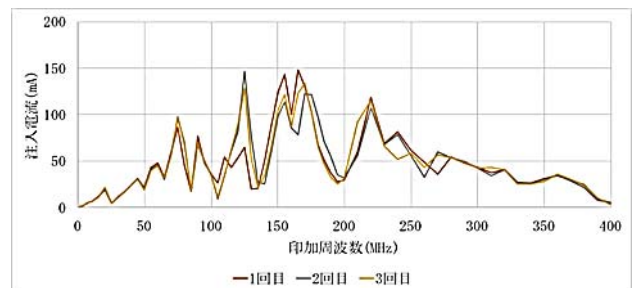


図 10 治具を用いずにセットアップした場合

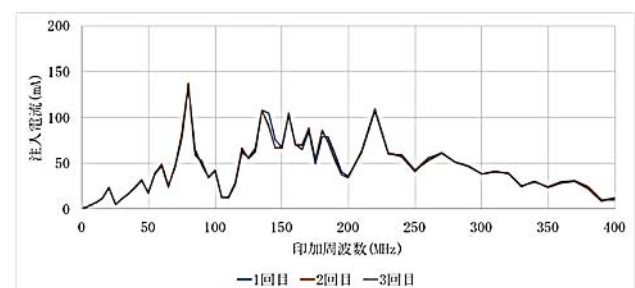


図 11 治具を用いてセットアップした場合

検証の結果、治具を使わずにセットアップした場合の注入電流量の差の平均値は 11.30mA、使用してセットアップした場合の注入電流量の差の平均値は 2.10mA となり、注入電流量で約 81%の誤差低減が可能となった。

4 結言

本研究では、BCI 試験について誤差要因の検証を実施し、特にハーネスが規定より長く無造作に束ねた場合、BCI プローブの設置位置、プローブへのハーネスの通し方が異なる場合に、試験結果および再現性に大きな影響

を及ぼすことを確認した。また、試験再現性向上のため
セットアップ用治具を作製、これを用いることで約 81%
の誤差低減につながり、再現性を向上することができた。

文 献

- 1) ISO11452-4 Road vehicles - Component test methods for electrical disturbance from narrowband radiated electromagnetic energy Part:4 Harness excitation methods

分子線エピタキシー法による c 面サファイア基板上への $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜成長*

遠藤 治之**、高橋 強**

紫外線センサ開発のための要素技術開発として、 c 面サファイア基板上への $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜成膜を行った。成膜方法として分子線エピタキシー法を使用し、Mg と Zn の組成比を変えることで $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜のバンドギャップを制御した。成膜された $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜は基板との格子定数ミスマッチが大きいため結晶性は良くないが、低温バッファ層を導入することでバンドギャップ 4.2 eV の $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜を成膜することができた。

キーワード： $Mg_xZn_{1-x}O$ 、分子線エピタキシー法、紫外線センサ

Deposition of $Mg_xZn_{1-x}O$ thin films on c -face of sapphire substrates by molecular beam epitaxy method

Haruyuki Endo and Kyo Takahashi

For the development of an ultraviolet sensor, $Mg_xZn_{1-x}O$ thin-films deposited by a molecular beam epitaxy method on c -face sapphire substrates have been investigated. The bandgap of $Mg_xZn_{1-x}O$ films has been controlled by altering the composition ratio of Mg and Zn. The deposited $Mg_xZn_{1-x}O$ films have been observed to contain low crystallinities because of the lattice mismatch between the film and substrate. However, the $Mg_xZn_{1-x}O$ thin films of 4.2 eV in bandgap have been obtained by introducing the buffer layer deposited at a low substrate temperature.

Keywords: magnesium zinc oxide ($Mg_xZn_{1-x}O$), MBE (Molecular Beam Epitaxy), ultraviolet sensor

1 はじめに

紫外線（波長 1 nm～380 nm）は可視光（波長 380 nm～780 nm）より波長が短く X 線（波長 1 pm～1 nm）より波長の長い電磁波である¹⁾。工業用途では水の殺菌、光硬化樹脂の硬化および半導体製造工程の露光等に使われている。また、物質が燃焼した際に生じる炎からもわずかながら波長の短い紫外線が放射されており、その紫外線を検出することで炎検知が可能となる事が知られている。

本研究ではこれまで火災警報器等に使用される光電管式炎センサの半導体化を目指し、ZnO 基板上へスパッタ法や分子線エピタキシー（MBE）法で成膜した $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜を受光部とするショットキーフォトダイオードを開発してきた²⁻⁴⁾。受光部に使用される $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜は安全で資源的にも豊富な材料であり、Mg と Zn の組成比を変えることで吸収する紫外線の波長域を制御可能であるという特長を持っている。また、ZnO 基板上に成膜された $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜は Mg 組成比 ($x=0.59$) までは ZnO 基板と同様の六方晶系ウルツ鉱型構造を保つ事が確認されている⁵⁾ことから、ZnO 基板を使用することで結晶性の良い $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜の成膜が可能である。しかし ZnO 基板は高

価であることから、安価で入手性の良い基板材料が必要となってきた。そこで本報告では、紫外線の吸収が少なく、 $Mg_xZn_{1-x}O$ との格子定数マッチングが比較的良い c 面サファイアを成膜用基板として選定し、 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜の成膜方法として分子線エピタキシー法を使用して基礎的な成膜実験を行ったので報告する。

2 実験方法

2-1 c 面サファイア基板

サファイア ($\alpha-Al_2O_3$) は菱面体晶系の酸化物絶縁体で、六方晶系近似をした場合、格子定数は $a=0.4763$ nm、 $c=1.3003$ nm である⁶⁾。透明で機械的強度が高いことから腕時計のガラスとして使用され、近年では白色発光ダイオードの基板として大量に使用されていることから、比較的安価に入手が可能な材料である。

本研究では直径 3 インチの c 面サファイアウェハ（結晶方位 (0001)、両面研磨、厚さ 0.3 mm）をダイシングソーで 10 mm×10 mm サイズにダイシングし、有機溶剤で超音波洗浄後、 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜成膜用基板として使用した。図 1 に分光光度計（V-550; 日本分光株式会社）で測定したサファイア基板の透過・反射スペクトルを示す。

* 平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ

** 電子情報技術部

透過率は紫外から可視領域にわたり広い範囲で 80%以上の透過率を示し、光吸収の少ないことが分かる。図2には、原子間力顕微鏡 (SPA-500;セイコーシステム株式会社) で測定した *c* 面サファイア基板の表面粗さ測定結果を示す。スキャンエリアは $2\ \mu\text{m} \times 2\ \mu\text{m}$ である。基板表面の二乗平均粗さは $0.3\ \text{nm}$ と小さいが原子ステップは観察されないことから、洗浄方法の改善やサファイア基板へのオフ角の付与などが必要と考えられる。

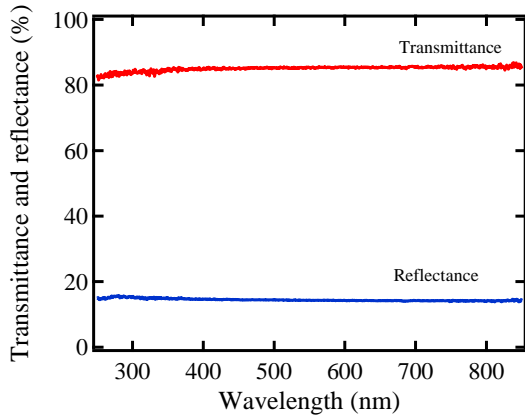


図1 *c* 面サファイア基板の透過・反射スペクトル

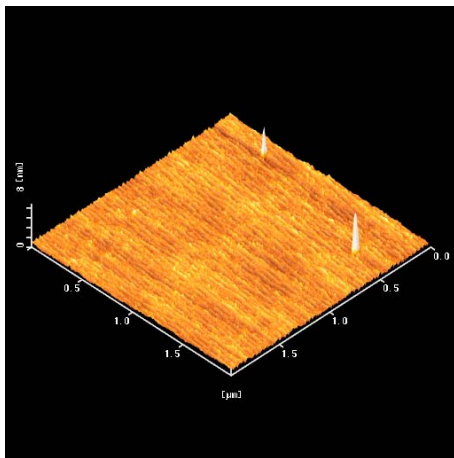


図2 *c* 面サファイア基板の原子間力顕微鏡像

2-2 分子線エピタキシー法による $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 薄膜の成膜

図3に成膜に使用した MBE 装置 (UMB-200;株式会社ユニバーサルシステムズ) の外観を示す。MBE 法は真空蒸着法の一つであり、超高真空 (真空度 10^{-8} Pa 台) のチャンバー内においてクヌーセンセル (K セル) から成膜原料を蒸発させ、蒸発した分子が他のガス分子等に衝突せず分子線となって基板に到達することで薄膜が形成される手法である。原子を一層ずつ成膜するため高精度な膜厚制御が可能で不純物の混入が少ないという特長をもち、材料開発等に広く使用されている成膜方法である。

本研究では、原料としてマグネシウム (Mg、純度 99.99%;株式会社高純度化学) と亜鉛 (Zn、純度 99.9999%;株式会社高純度化学) を使用した。酸化するためのガスとして高純度酸素ガス (G1 グレード、純度 99.99995%;大陽日酸株式会社) を使用し、ラジカルガンで酸素ラジカルを生成して基板へ照射することで Zn と Mg を酸化させ $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 薄膜を成膜した。 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 薄膜の成膜は MBE 装置において、*c* 面サファイア基板を基板ホルダに搭載後、真空中 850°C で 1 時間サーマルクリーニングを行う。次に基板温度を 400°C まで降温させ、原料蒸発用の Mg-K セル温度を 357°C 、Zn-K セル温度を 300°C とし、低温バッファー層として $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 薄膜を 60 分間成膜した。その後基板温度を 750°C まで昇温後、本成膜として $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 薄膜を 3 時間成膜した。

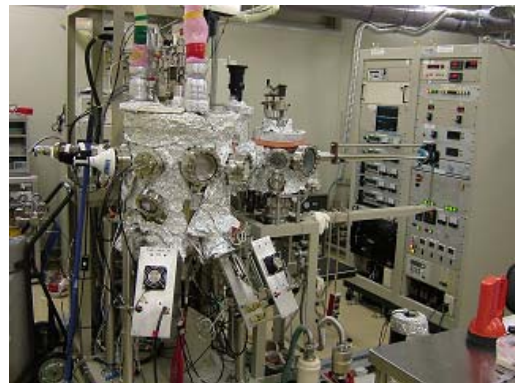


図3 MBE 装置の外観

3 実験結果および考察

3-1 透過・反射スペクトル

図4に分光光度計で測定した $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 薄膜の透過・反射スペクトルを示す。透過スペクトルにおいて波長 $300\ \text{nm}$ 付近で透過率が 0% になっており、この波長より短い波長の紫外線は吸収することが分かる。

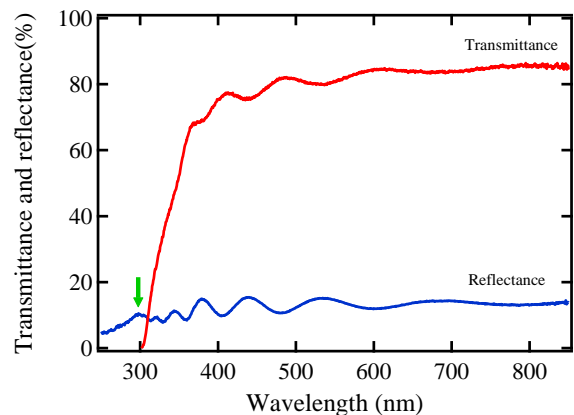


図4 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 薄膜の透過・反射スペクトル

また反射スペクトルにおいて、波長 $298\ \text{nm}$ ($4.16\ \text{eV}$)

に微小なピークがあり、これは成膜した $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜の励起子からの反射によるもので⁷⁾、 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜における励起子束縛エネルギーを 60 meV とすると、成膜された $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜のバンドギャップは約 4.2 eV と見積もられた。

3-2 原子間力顕微鏡による表面粗さ評価

図 5 に $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜の原子間力顕微鏡 (AFM) 像を示す。成膜された膜は粒状に三次元成長し平均二乗粗さは 11.2 nm と大きく粗さが粗いことが判明した。原因として酸素流量に比較し Mg や Zn の供給量が多すぎることや基板温度が低いことが主な原因として考えられ、これらの条件の改善が必要であることが分かった。

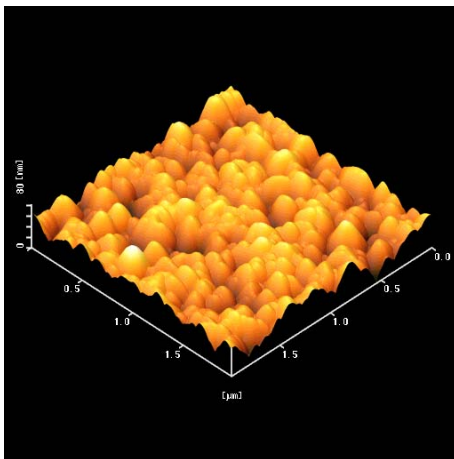


図 5 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜の原子間力顕微鏡像

3-3 X 線回折装置による結晶性評価

成膜した $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜の結晶性は X 線回折装置 (D8 Discover;ブルカーAXS) を使用して評価した。図 6 に 2Theta-Omega スキャン測定結果を示す。34.74° に $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜の (0002) からの回折ピークが観測され、 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜は c 軸に配向していることが分かった。しかし、この $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜 (0002) のロックンクカーブ測定を行ったところ、その半値幅は 1.6° と大きいことから、成膜された $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜は結晶性が悪いことが分かった。原因として、成膜用基板として使用した c 面サファイア基板の洗浄が不十分であることやオフ角が無いことに加え、 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜とサファイア基板の格子定数や熱膨張係数の不整合が大きいことなどが考えられる。また成膜条件としては、低温バッファー層の膜厚や本成膜

の際の条件が最適化されていないことが考えられる。

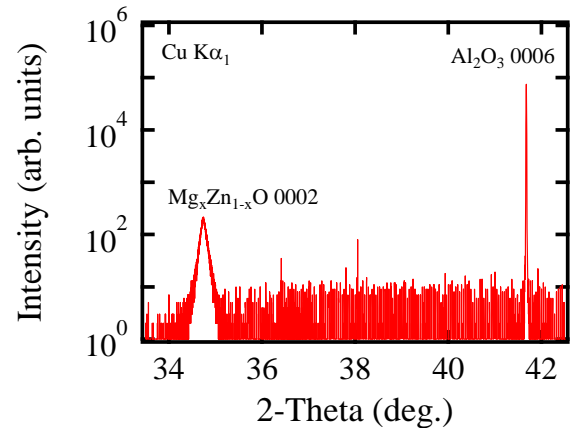


図 6 X 線回折装置による 2Theta-Omega スキャン結果

4 まとめ

$Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜成膜用基板として c 面サファイア基板を使用し、 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜の初期的な成膜実験を行った。成膜された $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜のバンドギャップは約 4.2 eV で波長 300 nm 以下の紫外線を吸収可能な膜を成膜することが出来た。しかし結晶性はまだ良くないため、今後は成膜条件の改善と共に、格子定数のマッチングのため a 面サファイア基板等を使用するなどして特性改善を行う予定である。

文 献

- 1) 日本工業規格：JIS B 7079-2015 光学及びフォトニクス-スペクトル帯域 (2015).
- 2) 遠藤治之、高橋強、柏葉保兵衛、2016 年第 63 回応用物理学会春季学術講演会予稿集、20p-S222-13.
- 3) 遠藤治之、高橋強、柏葉保兵衛、2017 年第 64 回応用物理学会春季学術講演会予稿集、17a-502-5.
- 4) H. Endo, M. Sugibuchi, K. Takahashi, S. Goto, K. Hane and Y. Kashiwaba, Phys. Stat. Sol. (C)、5(9), 3119-3121 (2008).
- 5) H. Endo, M. Kikuchi, M. Ashioi, Y. Kashiwaba, K. Hane and Y. Kashiwaba, Appl. Phys. Express、1(5), 051201-051203 (2008).
- 6) 日本セラミックス協会：セラミックス、NO.6、42、(2007) .
- 7) H. Tampo, H. Shibata, K. Maejima, A. Yamada, K. Matsubara, P. Fons, and S. Niki, Appl. Phys. Lett. 91, 261907 (2007).

ネットワークカメラによる遠隔データ収集システムの実用化評価*

長谷川 辰雄**、檜山 稔***

養鶏場の飼料タンク内の残量測定は目視確認のため、飼料の発注量が不正確となる問題があった。そこで、ネットワークカメラを用いて、自動的に正確な残量を把握できるシステムを目標に試作を行った。本報告では、飼料タンク内に設置する電子機器の防塵、耐久性及びネットワークカメラの無線接続の可否について、5日間連続(夜間停止)の実地評価を実施し、安定稼働と防塵性を確認したことを述べる。

キーワード：養鶏場、飼料タンク、ネットワークカメラ

Feasibility evaluation for the practical use of a remote data collection system using a network-camera

Hasegawa Tatsuo, Hiyama Minoru

Because of visually confirming the leftover within feed supply tanks at poultry farms, it was problem that the quantity of feed could not order accurately. Therefore, a system capable of automatically and accurately measuring the amount of the leftover feed has been experimentally produced. In this report, we have described the dust proofing and durability of electronic devices used within the feed-supply tank and evaluated the connectivity of a wireless network camera system in the field over a period of five consecutive days (except at night). Our results confirm the stable operation and dust-resistance of this system.

Keywords : chicken farm, feed tank, network-camera

1 はじめに

養鶏場の飼料タンクの残量把握は、目視で行われているため正確な量が分からず、ユーザが発注した飼料の量がタンクに入りきらず、配送業者の輸送コストの無駄が問題となっていた。現状では、遠隔で飼料タンク残量を把握する実用的製品が無いので、ネットワークカメラを活用した遠隔監視の研究^{1, 2, 3)}を参考に、カメラの画像処理で残量を把握するマイコン・システムを試作した。これまでに試作したシステムは、①12時間連続稼働、②夜間停止、③間欠運転、④画像伝送の機能を実現し、その基礎的な動作検証は完了していたが、耐久性などの実用化評価が未検証であった。そこで、本研究では、飼料タンク内に設置する電子機器の防塵、耐久性及びネットワークカメラの無線接続の可否について、5日間連続(夜間停止)の実地評価を実施した。

2 実験方法

2-1 試作システムの構築

平成 27 年の試作システムは、図 1 の通りブレッドボードでマイコン基板(ラズベリー財団の RaspberryPI2 及びマイクロチップ・テクノロジー社の PIC18F4553)とリチウムバッテリー(cheero 社製, 13400mAh)で構成した

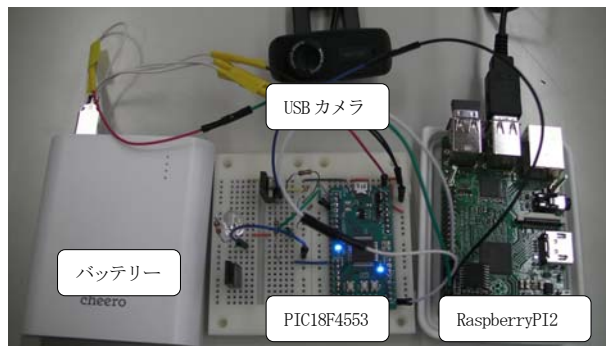
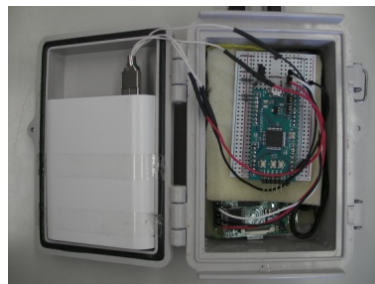


図 1 試作システムの外観図



(a) 蓋側に電池、本体側にマイコンを設置

図 2 防塵ケースへのマイコン設置

* 平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ
** 電子情報技術部 *** 有限会社ホロニックシステムズ



(b) 蓋を閉じた状態

図2 防塵ケースへのマイコン設置

が、平成28年はユニバーサルボードで再構築し小型化を図った。電子基板の防塵対策は、図2に示す通り、市販の防塵ケースに試作マイコン基板を配置し、USBカメラは、防塵ケースにケーブル孔を貫通させてマイコン基板と接続した。ケーブル孔の防塵は粘質のシール材で隙間を埋める工夫を行った。耐久性向上の対策では、駆動電源にリチウムイオン電池を防塵ケース内に設置した。

2-2 試作システムのタンク取付け

(合資)住田交運様と住田フーズ(株)様の協力を得て、実稼働中の養鶏場の飼料タンク投入口に試作システムを設置した。取り付け方法は、本体を固定したアルミ板をタンク投入口にフックさせて固定し、落下防止用のコードを蓋の金具に結び付けた。試作システムのネットワーク接続は、飼料タンク投入口から約30mの見通しが利く管理棟にWiFiルータを設置し、本体のraspberrypi2と無線で接続することでインターネット通信を可能とした。カメラ画像の配信は、メールのファイル添付により、特定のメールアドレスに20分間隔で行った。

2-3 遠隔監視

タンク蓋からの内部画像の画角が、使用したカメラの画角に入り切らず、タンク内部の全体画像が撮影できなかったが、タンク壁と飼料の境界線が把握できるように撮影角度を設定した。試作システムの稼働は昼間の6時~15時とし、夜間の16時~5時は撮影せずに省電力の待機モードで稼働した。本装置とWiFiルータの通信を確立後に、システムを稼働させ評価試験を開始した。以下に実験条件を示す。

- ①場所：住田フーズ(株) 養鶏場
- ②撮影期間：6月1日12時25分~5日16時3分
(16時~5時は撮影停止)
- ③撮影間隔：約20分
- ④遠隔監視：Webメールへの画像添付(全124枚)

3 実験結果

3-1 タンク内画像の送受信

図3はタンク内部のカメラ画像を、遠隔地の端末で受

信した画像の抜粋である。左上から右方向に右下まで順次時系列で並べており、飼料の増減が画像から把握できた。タンク内全体の画像でなくても、タンク壁面と飼料の境界を確認することができた。また、5日間の連続運転では、途中で飼料の搬入もあったが、動作不良などのトラブルもなく、短期間ではあるが耐防塵性も確認できた。

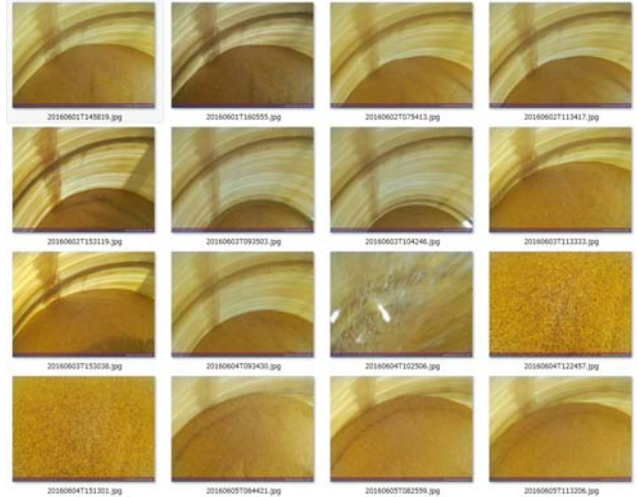


図3 ネットワークカメラのタンク内画像の抜粋

3-2 残量把握の画像処理

飼料残量を計測する画像処理を、ネットワークカメラ側で行うか、管理者側(受信クライアント側)で行うかの議論^{4,5)}があるが、飼料タンク監視はリアルタイムで処理する必要が無い場合、クライアント側で処理する方法を採用した。クライアント側の画像処理は出来るだけシンプルに処理できるように、3種類の画像フィルタの検討を行った。1種類目は図5(a)元画像に対し、式1の「ヒストグラムイコライズ」で画像を強調し、次にRGB色空間の各画素値(濃度値)を大きい順に並べ、各画素の総数が半分になる位置で分割(下半分をカット)してノイズ除去する「メディアンカット」を行った結果が図5(b)である。2種類目は1種類目の処理に、図4に示すソーベル処理を加えてエッジを強調した結果が図5(c)

$$Pix = (v(u) - v_{min}) \times (256-1) / (1 - v_{min}) \quad (1)$$

Pix : ヒストグラムイコライズ処理後の画素値

v(u) : 画素値uに対する累積度数÷画面の総画素数

v_{min} : v(u)の最小値

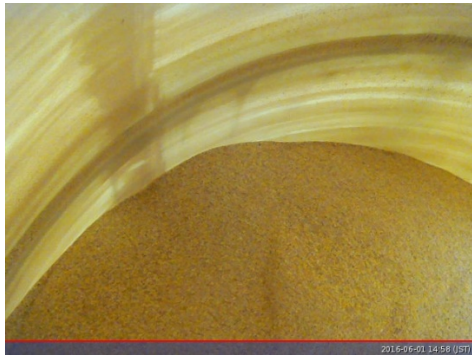
-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

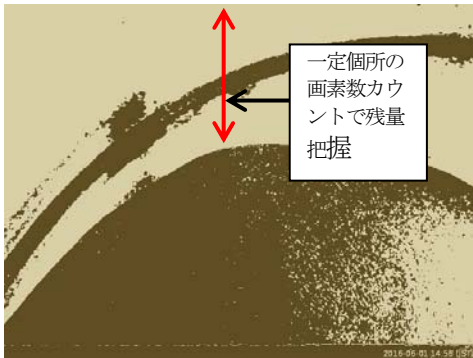
(1) 縦方向微分

(2) 横方向微分

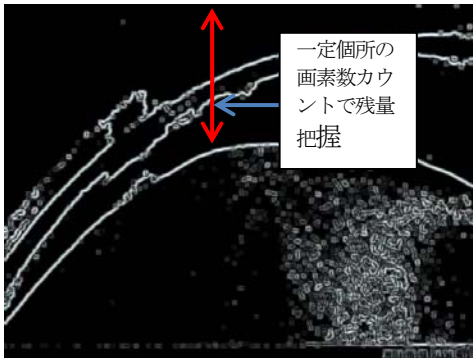
図4 ソーベル処理



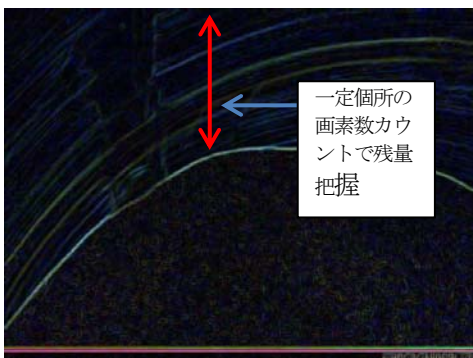
(a) 元画像



(b) ヒストグラムイコライズ+メディアンカット



(c) ヒストグラムイコライズ+メディアンカット
+ソーベル



(d) ソーベルのみ

図5 元画像に対する3種類の画像処理結果

である。3種類目は図5(d)に示すように、ソーベル処理のみの結果である。これら3種類の実験結果から、タンク壁面と飼料の境界がさらに明確になったことが分かる。赤矢印に示す一定個所の画素数をカウントすることで、飼料の残量把握を算出可能であることが分かったが、どの画像処理が安定して正確な残量計測が可能かを今後の実験で検証する予定である。

4 考 察

実験では試作装置をタンク飼料投入口の壁面にシステムをフックさせて固定し、落下防止のワイヤーも備えたが、実用性を考慮すると安全性、耐久性、飼料搬入などのユーザの使いやすさ等が不足しており、実用化には幾つかの課題が残っている。今後は、現状の蓋構造と装置の形状、重量を検討し、安全性・耐久性・搬入容易性の向上を図る。今後、稼働時間の延長に関しては、鉛蓄電池と太陽発電パネルの組合せを検討する。ユーザビリティの向上に関しては、飼料の投入が運搬専用のトラックから専用ノズルを利用して行われるため、飼料投入作業の障害にならないように、システム装置の取り付け方法をさらに工夫する必要がある。また、残量や撮影画像の表示方法についても、ユーザの管理し易さに取り組む予定である。

5 結 言

飼料タンク内に設置する電子機器の防塵、耐久性及びネットワークカメラの無線接続の可否について5日間の実地評価の結果、短期間での安定稼働と耐防塵性を確認できた。しかし、実用化のためには、長期間の耐久性と電源の安定供給が課題として残っており、太陽パネルと鉛蓄電池で稼働時間の延長を図る予定である。さらに飼料タンク内部は、粉塵、高温などの劣悪な環境が予想される。そこで、粉塵や発熱に対応できる筐体を選択・改良し、安全性・耐久性を評価する予定である。また、これまで飼料残量の把握に可視光カメラを用いてきたが、赤外線センサやレーザ距離計でも計測できることが分かった。カメラでは夜間計測出来ないデメリットがあるため、夜間計測が可能な他のセンサの適用可能性を詳しく調査する予定である。ユーザの使いやすさに関しては、録画間隔、Webによる監視方法など、ユーザの要望を検討しながら実用性を高める予定である。

文 献

- 1) 萩原洋一, 古谷雅理, 大島浩太, 櫻田武嗣, 瀬川 大勝, 萩原洋一, 並木美太郎, 中森眞理雄: ネットワークカメラを用いた監視システムの拡張, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 4, pp. 1665-1673, 2006.
- 2) 古谷雅理, 櫻田武嗣, 萩原洋一: PDA を利用した監視画像検索システムの構築, 情報処理学会 DSM 技報, 2005-DSM-36, pp. 55-59. 2005.

- 3) C. Jacinto and M. Jorge. :Performance Evaluation of Object Detection Algorithms for Video Surveillance, IEEE Transaction on Multimedia, Vol. 8, No. 4, pp. 761-774, 2006.
- 4) 波部 斉, 大矢 崇, 松山 隆司:動的環境における頑健な背景差分の実現法, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会画像の認識・理解シンポジウム MIRU'98, pp. 467-472, 1998.
- 5) F. Gian, M. Lucio, and R. Carlo. :Automatic Detection and Indexing of Video-Event Shots for Surveillance Application, IEEE Transaction on Multimedia, Vol. 4, No. 4, pp. 459-471, 2002.

COBARION の複合化による硬質肉盛り材料の開発*

園田 哲也**、桑嶋 孝幸**、久保 貴寛**、佐々木 雄大***

いわて発高付加価値コバルト合金「COBARION」は、高延性、高強度、高耐食性の優れた特徴を持つ材料である。本研究では、海水による腐食が課題とされる水産加工用刃物材料への適応を目的とし、プラズマ粉体肉盛り溶接法を用いて、COBARION と炭化物との複合化による硬質肉盛り材料の開発を行った。COBARION 粉末に B₄C 粉末をコーティングした複合粉末を用い、B₄C の添加量を最適化することで、600Hv を超える硬さの肉盛り層を形成することに成功した。

キーワード：コバリオン、プラズマ粉体肉盛り、複合化、コバルト合金

Development of a hardfacing material using COBARION Matrix Composites

Testuya sonoda, Takayuki Kuwashima, Takahiro Kubo and Takehiro Sasaki

“COBARION”, which is an Iwate-sourced alloy based on cobalt, exhibits high ductility, mechanical strength, and corrosion resistance. To realize the usage of cutlery materials for seafood processing which contains a risk of damage due to exposure to seawater, a hardfacing material using COBARION matrix composites containing carbide was developed using plasma transfer arc (PTA) welding. By optimizing the added amount of B₄C, a hardfacing layer having a hardness of more than 600 Hv was successfully obtained using a COBARION matrix composite powder that is coated with B₄C.

Keywords : COBARION, PTA(Plasma Transfer Arc Welding), Composite, CCM alloy

1 緒言

いわて発高付加価値コバルト合金「COBARION」は、産学官連携の取組で株式会社エイワ(釜石市)により事業化された医療用生体材料 Co-Cr-Mo 合金(以下 CCM と表記)である。COBARION は、その高延性、高強度、高耐食性という特徴から、生体材料のみでなく一般産業用途への応用も大いに期待でき、ダイカスト用金型パーツや接合ツール等への応用が検討されている。

一方で高価な合金であるため、現行材料とのリプレイスを行う際、材料コストが大きなハードルとなることから、溶射法による表面処理での利用についても検討されている¹⁾。

本研究では、COBARION の海水に対する優れた耐食性に着目し、海水による腐食が課題とされている、水産加工用刃物材料としての適応を検討する。COBARION を刃物材料として適応するには、材料硬度が足りず、炭化物等との複合化による硬さの向上が必要となる。また前述のとおり、材料コストの課題もあり、この両課題を解決する手法として、プラズマ粉体肉盛り溶接(PTA: Plasma Transfer Arc)

法による硬質肉盛り材料の開発を行う。本手法により、必要な部位のみに肉盛り層を形成することで材料コストの低減を図ることの他、肉盛り材料に粉末を用いるため、炭化物、酸化物等との複合化も、容易に行うことが可能である。

以上の背景から本研究は、プラズマ粉体肉盛り溶接法を用い、刃物材料として必要となる硬さを満足する COBARION を母合金とした、硬質肉盛り材料の開発を目的としている。

2 実験方法

2-1 プラズマ粉体肉盛り溶接法

PTA 法の装置概略図を図 1 に示す。PTA 法とは移行型プラズマアークにより、基材表面を加熱溶融し、そこに金属やセラミックスおよびこれらの混合粉末を投入し、基材表面に 0.5mm～数 mm 程度の肉盛り層を形成する技術である。本研究では、PTA 装置 (NW-300ASR、日鐵溶接工業(株)製) のトーチを 6 軸多関節ロボットに取り付け、表 1 の条件で SUS304 基材上にウィービング動作により肉盛り層を形成した。

* 平成 28 年度 公募型共同研究事業

** 機能表面技術部

*** 株式会社エイワ

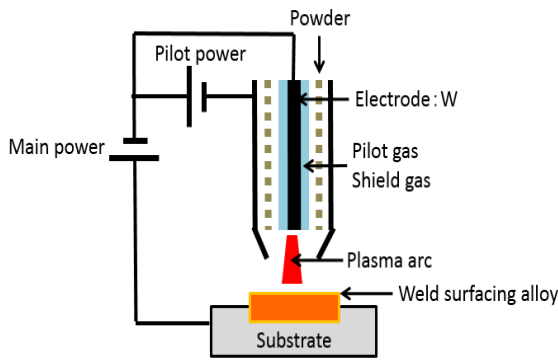


図1 プラズマ粉体肉盛り溶接概略図

表1 プラズマ粉体肉盛り溶接条件

パイロットガス流量(アルゴン)	1.5L/min
シールドガス流量(アルゴン)	20L/min
溶接電流	100A
溶接距離	約10mm
溶接速度	5cm/min

2-2 原料粉末

本研究で使用した粉末組成を表2に示す。CCM粉末を母合金とし、複合化材料として、 Cr_3C_2 、アセチレンカーボン(以下Cと表記)、 B_4C の3種類を選定し、表2に示す添加量の粉末を作製し試験に供した。 Cr_3C_2 については、CCM粉末と Cr_3C_2 粉

表2 原料粉末組成

母材料	複合化材料	添加量mass% (vol%)	添加方法
COBARION (LC)	Cr_3C_2	13~34%(15%~40%)	ブレンド
	C	0.5%~6%(2%~25%)	コーティング
	B_4C	0.5%~6%(1.7%~20%)	コーティング

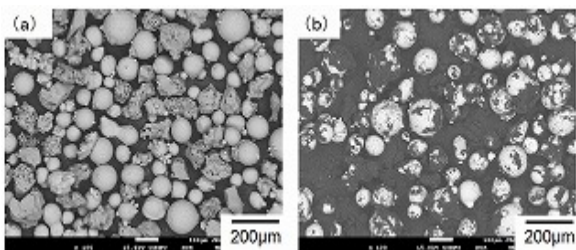


図2 粉末外観 (a) CCM-21mass%Cr3C2 混合粉末
(b) CCM-4mass%B4C コーティング粉末

末をVブレンダーで約30分混合し原料粉末を作製した。C、および B_4C については、添加粉末を分散させたバインダー入り溶液中で、CCM粉末と混錬することで、母材両であるCCM粉末表面に添加粉末をコーティングする手法により作製した。各粉

末の代表的な粉末外観写真を図2に示す。

2-3 肉盛り層組織観察及び硬さ測定

精密切断機にて所定のサイズに切断した試料を埋込樹脂に包埋後、自動研磨機にて鏡面加工を行い、フィールドエミッション電子プローブマイクロアナライザ(日本電子(株)製FE-EPMA、JXA-8530F)を用いてPTA肉盛り層の断面組織観察及び面分析を行った。肉盛り層の硬さは、鏡面研磨した試料を用い、断面方向の硬さをビッカース硬度計(株ミットヨ社製HM-221)を用い、試験力2kgf、保持時間10sの条件で5点測定して、それらの平均値で評価した。

2-4 耐食性評価

肉盛り層の耐食性は、電気化学測定による分極特性で評価した。分極曲線はSolartron社製のModulabを使用して測定した。測定にはPrinceton Applied Research社製のK0235型フラットセルを使用し、硬化層表面のみ電解液中に露出させて行った。図3に電気化学セルの概略図を示す。参照電極にはAg/AgCl電極を、対極にはPt電極を、試験液には3.4%NaCl溶液を、それぞれ使用し、電位掃引速度0.5 mV/sで、-1000mV~1000mVの範囲で分極曲線を測定した。

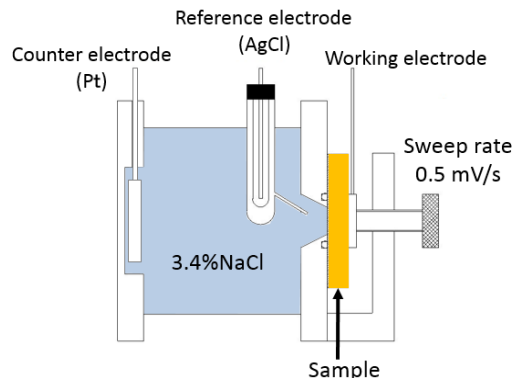


図3 電気化学セル概略図

3 結果及び考察

3-1 各種肉盛り材料の硬さ

3-1-1 Cr_3C_2 添加肉盛り層

図4にCCM粉末のみ及びCCM- Cr_3C_2 混合粉末により作製したPTA肉盛り材の硬さ測定結果を示す。一般的に刃物材料として使用されているSUS420の焼き入れ焼き戻し硬度は600Hv(HRC55)程度である。それに対しCCM粉末のみの肉盛り層硬さは

300Hv 以下であり、刃物材料として適応するには明らかに硬度不足であることがわかる。CCM-Cr₃C₂ 混合粉末の硬さを見ると、Cr₃C₂ 粉末の添加量増加に伴い硬さも増加し、混合比 21%以上で刃物材料として適応可能な 600Hv 以上の硬さを得られることがわかった。

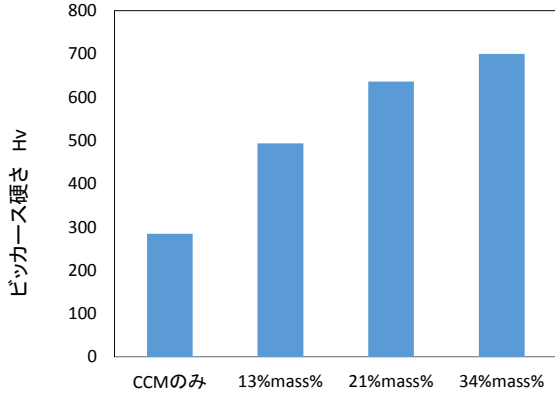


図 4 CCM-Cr₃C₂ 肉盛り層硬さ測定結果

図 5 に各混合粉末により作製した肉盛り層の断面組成像を示す。各組織ともに、炭化物と思われるコントラストの濃い部位が形成されていることがわかる。また、13mass%Cr₃C₂ では炭化物層がデンドライト状に形成されているのに対し、21mass%Cr₃C₂ 以上の組織では、塊状の炭化物層が分散した組織となっていることも判る。

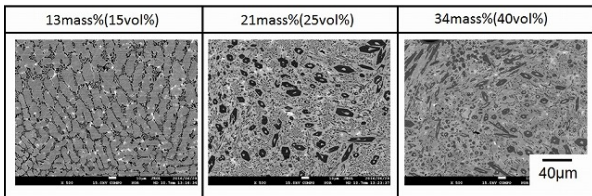


図 5 CCM-Cr₃C₂ 肉盛り層の断面組織組成像

図 6、7 に EPMA (Electron Probe Micro-analyzer) により分析した各肉盛り層の断面マッピング画像を示す。分析結果より 13mass%肉盛り組織中にみられたデンドライト組織は、Cr と Mo の複合炭化物層であるのに対し、21mass%以上の組織でみられた塊状の析出層は、Cr 炭化物であることがわかる。この炭化物層について X 線回折により分析した結果、Cr₇C₃ であることを確認した。

以上のことから、Cr₃C₂ の添加により作製する PTA 肉盛り層において、刃物材料としての硬さを満足する肉盛り層を得るためには、Cr 炭化物層を析出させる必要があり、そのためには 21mass%以上の Cr₃C₂ を添加する必要があることがわかった。一方で、得られた組織は大小サイズの異なる塊状

の Cr₇C₃ が偏析しており、比較的大きな炭化物の脱落が生じた場合、刃こぼれに繋がる可能性が懸念される。

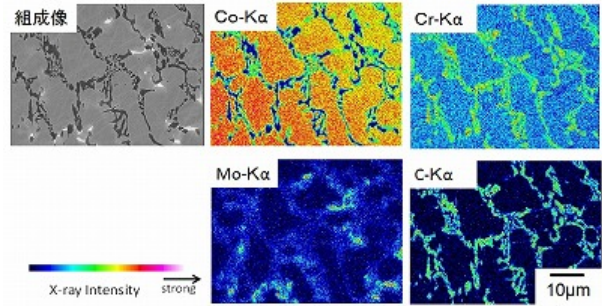


図 6 CCM-13mass%Cr₃C₂ 肉盛り層の断面マッピング画像

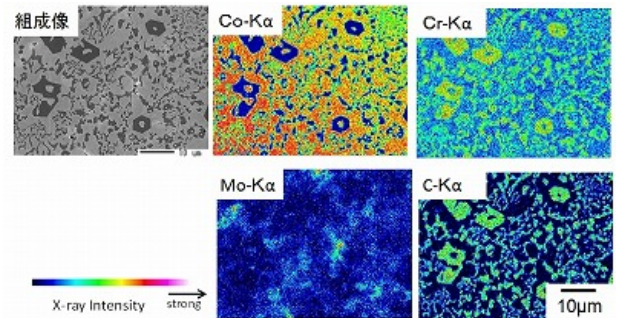


図 7 CCM-21mass%Cr₃C₂ 肉盛り層の断面マッピング画像

3-1-2 C・B₄C 添加肉盛り層

図 8 に C コーティング粉末により作製した肉盛り材硬さ測定結果を示す。C コーティング粉末 4% 混合において 580Hv と高い値を示したが、5%、6% 添加の粉末では硬さが低下しており、添加量と硬さの値に相関が見られない結果となった。この原因は明らかではないが、PTA プロセス中における C の飛散や、CCM 粉末へのコーティング過程での C の脱落等が考えられる。

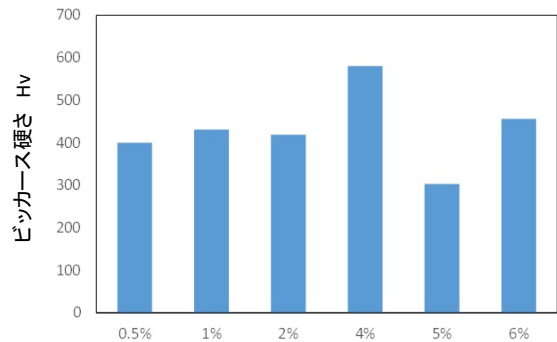


図 8 C コーティング粉末肉盛り材硬さ測定

図 9 に B₄C コーティング粉末により作製した肉盛り材硬さ測定結果を示す。図より添加量の増加に伴って硬さも増加していることがわかる。4%添加した肉盛り材の硬さは 637Hv であり目標とする

600Hv を超える硬さを得ることができる。また炭化物の添加量も Cr_3C_2 混合粉末に比べ少量の添加で目標とする硬さが得られることもわかる。

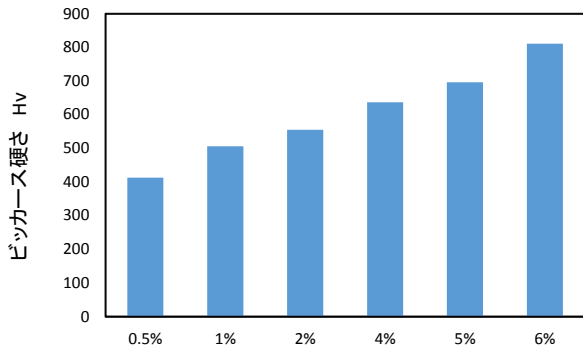


図9 B₄C コーティング粉末肉盛り材硬さ測定

図10にB₄Cコーティング粉末により作製した肉盛り層の断面組成像を示す。B₄C添加率の増加にともない、母材マトリックス中の炭化物と思われる析出層の面積率が増加しており、この析出層の増加が硬さの増加に寄与していると考えられる。

図11に、4mass%B₄Cを添加したPTA肉盛り層の

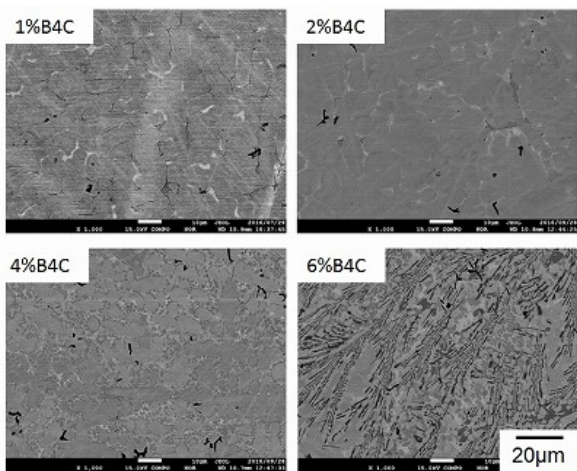


図10 B₄Cコーティング粉末加肉盛り層の断面組織

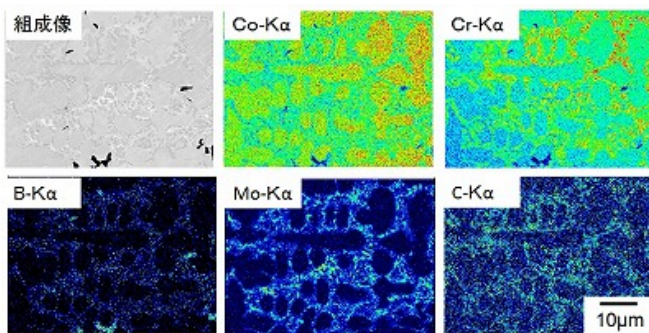


図11 4mass%B₄C添加肉盛り層の断面マッピング画像

断面マッピング画像を示す。図よりCr, B, Moの複合炭化物がデンドライト状に形成された組織であることがわかる。また Cr_3C_2 混合粉末を用いた肉盛り材の組織中に確認されたような塊状の炭化物の形成は認められず、炭化物が均一に分散された組織を得ることが出来た。

3-2 肉盛り材料の耐食性評価

図12に600Hvを超える硬さの肉盛り層が得られた肉盛り組成3種類と、比較材としてCCM板材、CCM単独のPTA肉盛り材、及びSUS304板材のそれぞれの分極曲線を示す。評価材料全てにおいて不動態化領域が確認され、またCCM板材の不動態保持電流密度が最も小さいことがわかる。材料組成は同様でも、PTA処理により作製したCCM材料は板材に比べ不動態保持電流密度が低下することもわかった。これは、溶液中でイオン化し易いこと、すなわち耐食性の低下を意味するものであるが、耐食材料として知られているSUS304と比較すると、不動態化領域が格段に広く、耐食性に優れた材料であることがわかる。

次にCCM単独のPTA肉盛り材と、炭化物を添加した肉盛り材を比較すると、21% Cr_3C_2 及び4%B₄Cにおいては不動態化を保持する電位領域はほぼ同様で、0.8V付近まで不動態化を維持しているが、5%B₄C肉盛り材は、0.3V付近で過不動態領域に入り電流値が急激に増加していることがわ

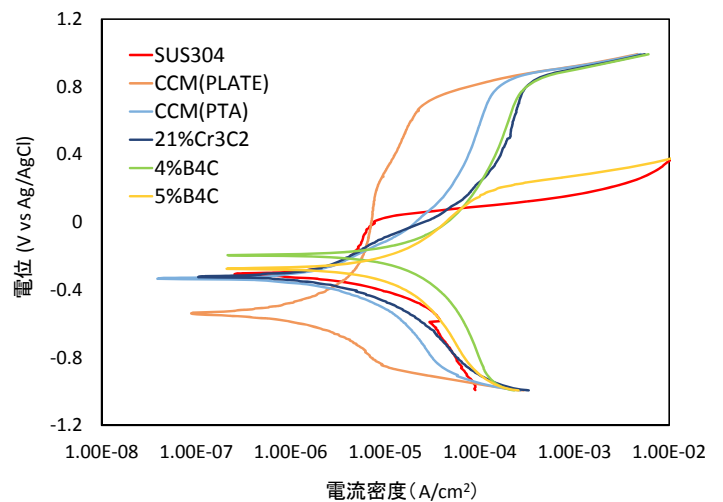


図12 各種肉盛り材及び比較材の分極曲線測定結果

かる。B₄Cの添加量を増やすことで硬さは向上するが、4%が上限であり、それ以上の添加は耐食性を大きく低下させる可能性があることがわかった。それに対し、 Cr_3C_2 を添加した肉盛り材は、B₄Cに比べ添加量が多いにも関わらず、広い電位

領域で不動態化状態を維持していることがわかる。不動態皮膜は Cr の酸化皮膜であり、材料中の Cr 含有量が多いほど不動態皮膜中の Cr 酸化物も多くなり、強固な不動態皮膜を形成すると考えられる。Cr₃C₂ の添加は、炭化物の生成のほか、材料中の Cr 濃度を増加させる効果もあるため、B₄C に比べ多くの量を添加しても、安定した不動態皮膜が形成され、耐食性を維持することが出来るのではないかと考えられる。

4 水産加工用刃物の試作

PTA による肉盛りは、粉末を用いた溶接手法であるため、棒やワイヤーを用いた溶接法での肉盛りに比べ、基材への溶け込みが浅く平滑なビードが得られる等多くのメリットがある。しかし、他の溶接法と同様に基材への入熱が高いため回転刃物等薄い刃物への施工は、基材の熱変形の問題があり施工が難しく、厚みのある大型の刃物へ適応することが望ましい。そこで、本研究では、厚みのある魚や、冷凍のイカをカットする際に使用されるギロチン刃をターゲットとし、PTA 肉盛り刃物の試作を試みた。

刃物作製プロセスを図 13 に示す。基材の一部を数 mm の深さで彫り込み、彫り込み部分に PTA により肉盛りを行う。その後、刃先となる先端部が肉盛り層となるよう基材の両面及び端面を加工した後、刃先加工を行う。基材は、板厚 10mm の SUS440C を使い、肉盛り部の掘り込み深さ 1.5mm とし、掘り込みコーナー部の溶け込み不良を抑制するため、両サイドに 60 度の勾配を設けた。

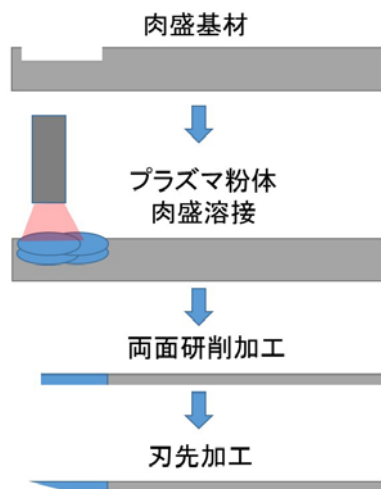


図 13 PTA 肉盛り刃物作製プロセス

図 14 に肉盛り後の外観及び加工後の刃物外観を示す。肉盛り溶接条件は、表 1 と同様で、肉盛り材料は 21mass%Cr₃C₂-CCM 粉末を使用し、ウィービング幅を 18mm として、2Pass 施工で掘り込み部全面を肉盛りすることができた。その後研削加工で、10mm の板厚を 5mm まで削り刃先加工を行った。刃先加工における刃こぼれも無く、鋭利な刃物を作製することができた。

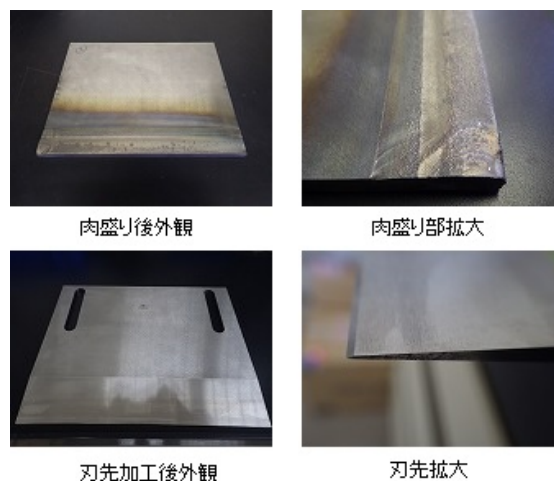


図 14 PTA 肉盛後及び刃先加工後刃物外観

5 結言

COBARION (CCM 合金) の水産加工用刃物材料としての適応を目的に、プラズマ粉体肉盛り溶接を利用した炭化物との複合化硬質肉盛り材料の開発を行い、以下の結論を得た。

1. CCM 粉末に Cr₃C₂ 粉末を 21mass% 以上添加することで、600Hv を超える肉盛り材料を作製することができた。得られた組織は炭化物が塊状に偏在する組織となった。
2. C コーティング粉末を用いて作製した肉盛り材料は、C の添加量と肉盛り材の硬さに相関がみられなかった。
3. B₄C 粉末を用いて作製した肉盛り材料は、B₄C 添加量の増加に伴い、肉盛り材の硬さも増加し、添加量 4% 以上で 600Hv を超える肉盛り材を作製可能であることがわかった。
4. Cr₃C₂ 粉末の混合粉末に比べ、B₄C コーティング粉末による PTA 肉盛り材は、少ない添加量で 600Hv を超える硬さとなり、炭化物が一樣に分散した組織となった。
5. 21mass%Cr₃C₂ 添加粉末と、4mass%B₄C 添加粉末を用いて作製した肉盛り材の 3.5%NaCl 溶液中での耐食性はほぼ同様であるが、5mass%B₄C 添加粉末を用いた肉盛り材は、耐

食性が大きく低下することがわかった。

6. 開発した肉盛り材を用いて、水産加工用の刃物を試作し刃こぼれの無い、鋭利な刃物を作製することができた。

文 献

- 1) 桑嶋孝幸、柳原圭司、飯村崇、園田哲也、岩淵明、千葉晶彦：溶射、第50巻、p7-13 (2013)

摩擦攪拌接合法による超伝導金属接合の可能性*

久保 貴寛**、桑嶋 孝幸**、園田 哲也**、佐藤 裕***

超伝導加速空洞等で使用されるニオブは活性金属のため、酸化抑制する溶接には不活性ガス雰囲気が必要である。固相で接合できれば酸化を抑制しやすいと考えられるため、固相接合法の一つである摩擦攪拌接合法で接合を試みた。コバルト合金系およびタングステン合金系の接合ツールを用いて試験した結果、酸化は抑制できず、また、接合ツールは大きく損耗し、接合部内にツール破片が混入し、良好な接合が出来なかった。

キーワード：ニオブ、摩擦攪拌接合 (FSW)、超伝導金属、国際リニアコライダー (ILC)

Feasibility investigation of the bonding of superconducting metals using friction stir welding

Takahiro Kubo, Takayuki Kuwashima, Tetsuya Sonoda and Yutaka Sato

An inert gas atmosphere must be introduced for the antioxidant welding of Niobium (Nb) used for a superconductive accelerating cave and so on, because Nb is an active metal. For that, we have been expected that a solid-phase bonding should be useful to suppress oxidation of Nb, and then a friction stir welding has been examined by using cobalt-based and tungsten-based tools for the junction. However, the better welding results could not realize because the oxidization of Nb could not suppress, the welding tools have been damaged, and the debris of the tool have been mixed in the junction area.

Keywords: Niobium, FSW (Friction Stir Welding), superconducting metals, ILC (International Linear Collider)

1 緒言

国際リニアコライダー (ILC; International Linear Collider) は、全長 31~50km の直線トンネルの両端から、電子と陽電子のビームを加速・衝突させ、電子・陽電子の物理現象を観測するための施設である。現在、ILC の国内誘致が検討されており、岩手県と宮城県にまたがる北上山地が建設候補地として挙げられている。ILC において、電子および陽電子のビームの加速は、超伝導加速器によって行われ、その最小構成単位は、約 1m の超伝導 9 セル加速空洞である。加速空洞は高純度ニオブ材料で製作され、設置に必要な超伝導加速空洞は 16,000~18,000 台と言われている。

一方、ILC の建設には、巨額な建設費用が課題となっており、資材調達から設計、製造、組立等の範囲まで、様々なコスト低減策が求められている¹⁾。

筆者らはコスト低減のために、加速空洞の溶接工程に着目し、現状の電子ビーム溶接 (EBW) 法の代替方法として、真空チャンバー内での作業が必要無く、より迅速かつ安価に溶接が行えるレーザ

ビーム溶接 (LBW) 法の適用可能性について調査した²⁾。その結果、ニオブの溶接は可能であるが、超伝導特性が電子ビーム溶接より若干低下することが分かった。その原因は、ニオブは活性金属のため、溶接時に大気と反応し、溶接部の酸素および窒素濃度が上昇するためと推察された。

一方、摩擦攪拌接合 (FSW) 法は固相接合法の一つであり、接合部の熔融を伴わない接合方法である。固相で接合できれば、酸化を防止しやすいと考えられる。しかし、ニオブの FSW 法による接合研究例はない。

そこで本研究では、FSW 法によるニオブの接合実験を行い、接合の可能性について調査した。本報では、2 種類の接合ツールを用いて接合試験を行った結果を報告する。

2 実験方法

2-1 供試材料

板厚 3mm のニオブ (純度 99.8%) を試験片として用いた。ニオブ板の開先は、開先面に隙間が生じないように 5 軸マシニングセンタにて I 型開先

* 平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ

** 機能表面技術部 *** 東北大学大学院工学研究科

に加工した。

接合ツールには、コバルト合金系（(株)日立メタルプレジジョン製）とタングステン合金系（MegaStir 製 M20152-Q60）の2種類のツールを用いた。ツールの仕様を表1に示す。被接合材と接触するプローブおよびシールド部の材質は、コバルト合金系ではCo₃(Al, W)を微細析出させたCo基合金、タングステン合金系ではcBNとW-Re合金の複合材料である。

表1 接合ツールの仕様

	コバルト合金系	タングステン合金系
材質	Co基合金 (Co ₃ (Al, W))	cBN-W-Re
シールド径[mm]	15	25
プローブ長[mm]	1.8	2.0

2-2 接合方法

使用した摩擦攪拌装置は、自動摩擦攪拌接合装置（日東制機(株)製 FT-2 型）である。

シールドガスとしてアルゴンガスを用いて、ガス流量 20L/min、接合速度 60mm/min、主軸の前進角 0° で、ツール回転数 150~500rpm の範囲で接合を行った。接合距離は、約 170mm である。

また、コバルト合金系ツールの接合時には、開先面のズレを防止するため、TIG による開先の仮付けを 40mm 間隔で 4 点行い、放熱抑制を目的として熱伝導率の低い SUS304 (板厚 15mm) を裏当て金として使用した。

2-3 評価方法

接合した試験片は、樹脂で埋め込み研磨して、組織観察を行った。接合部の分析は、EPMA 装置（日本電子(株)製 JXA-8900M）を用いて、金属組織観察を行った。

接合部の酸素・窒素分析は、接合部を約 3×3×10mm に切り出し、表面研磨後、アセトンにて超音波洗浄し、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 実験結果及び考察

3-1 接合部外観

図1に接合部外観を示す。ツールは反時計方向に回転しながら、左から右向きに送られている。図の上方が後退側、下方が前進側となる。ツール回転数 150~300rpm の条件では、ツール材質に関係なく、接合部外観が荒れ、大きくバリが発生したが、500rpm の条件では、減少する傾向が見られ

た。これは、ツール回転数が高くなることで、入熱量が増加して、材料の流動が進行しているためと考えられる。しかし、本試験の条件では、アルミ合金等をFSW法で接合した際に見られるような平滑な接合部外観とはならなかった。良好な接合を行うためには、ツール回転数を増加させる等、入熱量を増やす条件で接合を行う必要があると考えられる。

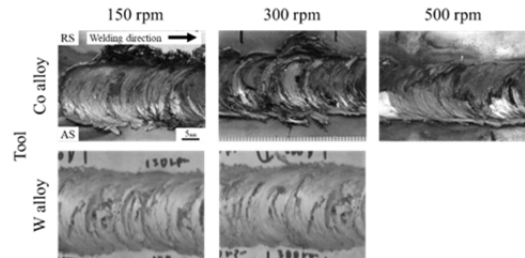


図1 接合部外観写真

3-2 接合ツールの損耗

接合実験前後の接合ツール先端部の外観写真を図2に示す。本試験条件では、ツール材質にかかわらず、一回の接合試験でプローブは消失し、シールドも大きく損耗した。これは、本試験条件では入熱量不足で、材料の軟化が進まず、攪拌の際に大きな抵抗が生じたためと考えられる。この接合ツールの損耗は、実用の際には高価な接合ツールを頻繁に交換することになり、コスト増加の要因となるため、ツール材質の検討等が課題となる。



図2 接合実験前後の接合ツール先端部の外観写真

3-3 接合部断面

図3に、接合部断面のマクロ組織写真を示す。ツール回転数 150rpm の条件では、トンネル状欠陥が見られた。ツール回転数が増加すると欠陥は、見られなくなったものの、流動不良が生じており、良好な接合状態ではないことが分かる。図4に、攪拌部の SEM 写真を示す。ツール回転数 150rpm の場合は、材料の流動が進行していないが、ツ

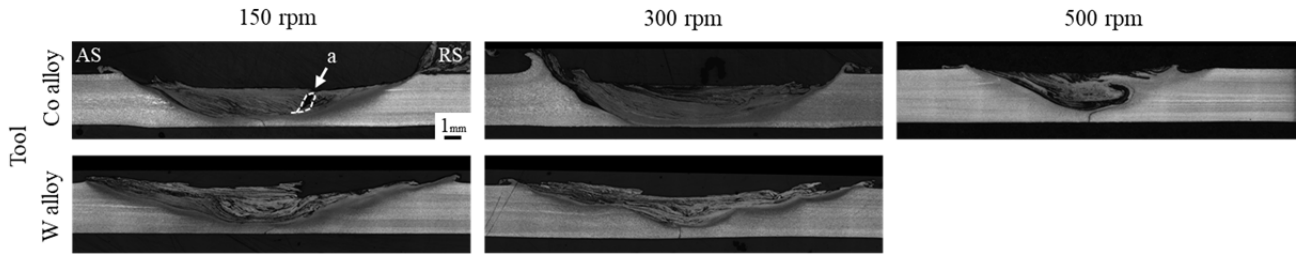


図3 接合部断面のマクロ組織写真
(a : トンネル状欠陥)

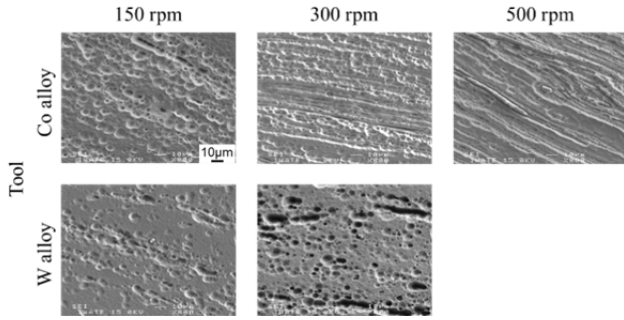


図4 攪拌部のSEM写真

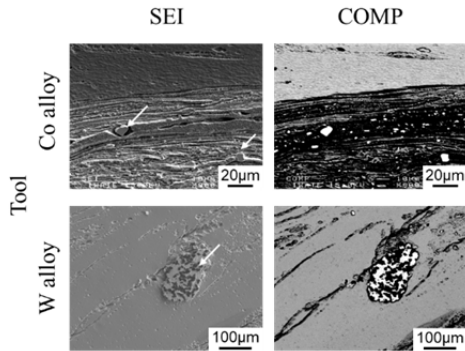


図5 攪拌部のツール破片混入のSEM写真

ル回転数が増加することにより入熱量が増え、流動が促進され、縞状の組織となった。また、ツール回転数 300rpm では、ツール条件により組織に差が見られた。これは、コバルト合金系ツールの条件では、熱伝導率の小さい SUS304 を裏当て金に使用したため、放熱が抑制され、塑性流動が促進されたためと考えられる。本試験では、ツール材質のみが異なる条件で実験を行っていないため、ツール材質の違いが接合に与える影響については追加の実験が必要である。

また、接合部内には、多くのツール破片の混入が見られた。図5に、混入したツール破片のSEM写真を示す。このように、ニオブ以外の元素が混入すると、加速空洞製造に使用した際、超伝導特性が低下する原因となる^{1,3)}。今後、ツール材質の検討が必要となる。

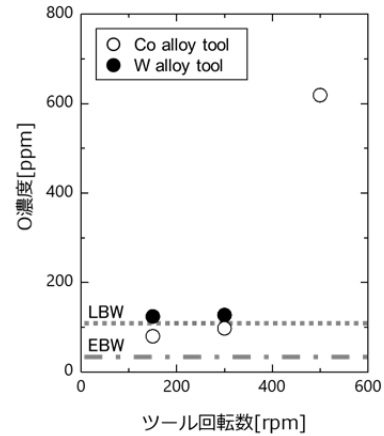


図6 ツール回転数と接合部の酸素濃度の関係
(LBW : レーザ溶接、EBW : 電子ビーム溶接²⁾)

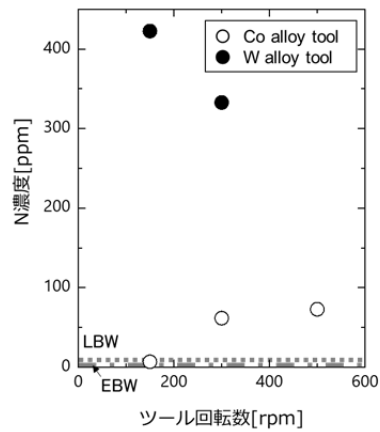


図7 ツール回転数と接合部の窒素濃度の関係
(LBW : レーザ溶接、EBW : 電子ビーム溶接²⁾)

3-4 接合部の酸素・窒素濃度

ツール回転数と接合部の酸素および窒素濃度の関係を図6、図7に示す。図中のLBWおよびEBWの結果は、筆者らが以前に報告したレーザー溶接および電子ビーム溶接の溶接部の酸素・窒素濃度である²⁾。酸素濃度は、ツール材質に関わらず、ツール回転数 300rpm 以下の条件では、100ppm 程度となり、LBW と同程度の値となった。しかし、ツ

ール回転数500rpmでは、酸素濃度は増加し600ppm以上の大きな値となった。一方、窒素濃度は、ツール材質により大きな差が生じ、タングステン合金ツールを用いた条件では窒素濃度が著しく上昇した。これは、タングステン合金系ツールには窒化ホウ素が使用されており、それが混入したためである。コバルト合金系ツールでは、ツール回転数150rpmの条件にて6ppm程度と、LBWと同程度の窒素濃度となった。しかし、ツール回転数が増加するとともに、増加する傾向が見られた。酸素および窒素濃度が、ツール回転数増加するとともに増加したのは、入熱量が増加し、高温になったニオブと大気が反応したためと推察される。

以上のことから、本試験の条件では、ツール回転数が低い条件では、LBWと同程度の酸素・窒素濃度で接合はできたが、EBW並みに酸化を抑制した接合が出来なかった。よりツール回転数を低下させて入熱量を減らした条件では、酸化を抑制できる可能性はあるが、接合状態は悪化すると予想される。そのため、酸化を抑制しながら接合させるには、接合時のシールド方法の工夫が必要になると思われる。

4 結 言

本研究では、固相接合法の一つであるFSWによって、2種類の接合ツールを用いて、外観と接合部のガス濃度によって、ニオブの接合の可能性を調査した。得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- (1) ニオブのFSW接合は可能だが、本試験の条件では、(2)以下の課題があり、実用的な接合が得られなかった。
- (2) 本試験の条件では、用いた2つの接合ツールは大きく損耗し、ツール破片が接合部内に混入した。
- (3) 接合部の酸素濃度は、レーザ溶接時と同程度またはそれ以上となり、電子ビーム溶接時並みの酸化抑制はできなかった。
- (4) タングステン合金系ツールを使用した際は、接合部の窒素濃度が高くなった。これはツール破片が混入したためである。

謝 辞

本研究におけるFSW法による接合実験は、東北大学大学院工学研究科 材料システム工学専攻 佐藤裕教授のご支援により実施いたしました。ここにお礼申し上げます。

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, pp178-184 (2013)
- 2) 桑嶋孝幸, 久保貴寛, 園田哲也, 目黒和幸：ニオブ溶接の種々の分析紹介, 第28回溶接学会東北支部溶接・接合研究会配布資料
- 3) 梅澤裕明：純ニオブに含有される不純物に関する研究, 低温工学, Vol. 52, No. 2, pp79-84 (2017)

合焦点顕微鏡を利用したデジタルシボの形状検査*

和合 健**、浅沼 拓雄**

従来の有機溶剤のエッチングに代わるシボ性状加工法としてデジタルシボが注目されている。デジタルシボの特性は、偶然性を排除した再現性の高いシボ性状が生成できる点である。合焦点顕微鏡は、その測定原理による鮮明さを追求する画像処理操作を活用することで、高能率かつ高安定性の形状測定を実現している。ここでは、デジタルシボの特性を生かした形状検査に対する合焦点顕微鏡の適用性について検証した。その結果、デジタルシボにおけるビット高さが数 10 μm 程度のスケール領域では、合焦点顕微鏡の誤差領域は共焦点顕微鏡と同等であり、更に測定能率では共焦点顕微鏡よりも優れていることが分かった。

キーワード：デジタルシボ、合焦点顕微鏡、共焦点顕微鏡、高能率、形状検査

Geometric check of digital surface texture

using focus variation microscope

Takeshi Wago, Takuo Asanuma

DIGITAL SHIBO has received considerable attention as an alternative to standard SHIBO, which uses surface textures that are manufactured by an etching method using an organic solvent. One of the significant features of DIGITAL SHIBO is a high reproducibility without accidentalness. Further, highly efficient and stable measurements can be achieved by performing geometric check using the sharp image processing function of a focus variation microscope. The applicability of a focus variation microscope to perform geometric check is investigated by taking advantage of the DIGITAL SHIBO. The results depict that the range of measurement deviation of a focus variation microscope is comparable to that of a confocal microscope in the scale range of several 10 μm in bit height. Furthermore, we observe that the measurement efficiency of a focus variation microscope is considerably better than that of a confocal microscope.

Keywords: digital surface texture, focus variation microscope, confocal microscope, high efficiency measurement, geometry check

1 緒言

自動車の内装や家電製品の外装に与える凹凸模様、いわゆるシボは、従来有機溶剤を使用したエッチング法で製作されてきたが、それに代わるデジタルシボが注目されている。従来のエッチング法によるシボ金型製造方法は、目隠しマスクでパターン模様を与え、エッチング液の濃度、時間、その他独自方法により溶融深さや溶融広さを制御している。このようにエッチング法によるシボの凹凸は、偶然性による形状生成が排除できず、明確な設計値を持ちえなかった。一方、デジタルシボは、CADにより凹凸形状の指示を与え、NC 工作機械により製造する方式で、明確な設計値を持たせられる。

従来のエッチング法によるシボ性状の形状検査方法は、シボのビットの大きさ・かたち及び単位面積当たりの個数を光学顕微鏡による寸法検査や計数カウント、目視に

よる官能検査により参照ワークと比較する方法で行われていた。デジタルシボは設計時の CAD モデルが設計値となるため、検査時の誤差算出において設計値照合検査が適用できる。

我々は今までにデジタルシボの設計値照合検査への適用性について接触式輪郭測定機と共焦点顕微鏡で検証してきた。接触式輪郭測定機は ZX 面の 1 ラインの測定に制限されるが凹凸の激しい面（急勾配面）での測定や測定能率で有効であり、特に測定結果の信頼性が高い優位性があった。共焦点顕微鏡は測定原理が明確であるためトレーサビリティが確立し、測定結果の信頼性が高いが、高精度測定を行うためには高倍率、例えば $\times 20$ 対物レンズ等の高倍率を使用する必要があり、1 ショットの測定範囲が狭く測定能率に難点を有していた。

一方、合焦点顕微鏡は低倍率の対物レンズ、例えば $\times 2.5$

* 平成 28 年度 事業化支援事業

** 素形材技術部

で形状測定が行えるため一度に $\square 5\text{mm}$ 程度の広いエリアの測定が行える高能率測定の利点を有するが、測定原理が各社で異なるため、ユーザによる測定誤差の検証が必要になっている。

ここでは、従来のエッチング法とは異なる製造方法となるデジタルシボで生成されたシボ形状に適する検査方法を求めるため、合焦点顕微鏡のデジタルシボ検査への適用性を検証した。

2 実験方法

2-1 実験装置

実験に使用した合焦点顕微鏡 (INFINITE FOCUS、alicon) と共焦点顕微鏡 (OPTELICS HYBRID L7、レーザテック株) の主な仕様を表1に示す。両者の大きな違いは測定原理であり、合焦点顕微鏡が移動焦点法¹⁾、共焦点顕微鏡が共焦点法である。

分解能は垂直方向で共焦点顕微鏡は 0.1nm であり対物レンズの倍率に依存しない。合焦点顕微鏡は対物レンズ倍率に依存し $\times 2.5$ で 2300nm である。指示誤差は共焦点顕微鏡には明記されているが、ここでの合焦点顕微鏡には明記されていなかった。

一方、合焦点顕微鏡の利点は、比較的低い倍率の対物レンズを使用した測定で形状測定が対応でき、測定範囲は $\times 2.5$ で、1ショットで $5.72 \times 4.35\text{mm}$ を測定できる。対物レンズが $\times 20$ の共焦点顕微鏡と比較すると1ショットで 44.2 倍の測定範囲がある。そのため測定能率で比較すると、合焦点顕微鏡では1ショット測定で $5.72 \times 4.35\text{mm}$ の測定範囲を 48 秒で測定できるのに対して、共焦点顕微鏡 ($\times 20$) で同等範囲を測定するには、ステッチング機能を利用して 29.4 分を要する。

表1 主な仕様

Element	Focus Variation Microscope	Confocal Microscope
Light source (λ)	White light	White light
Principle	Focus Variation method	Confocal optical system
Resolution	Height	2300 nm ($\times 2.5$ Objective)
	Wide	$7.04\text{ }\mu\text{m}$ ($\times 2.5$ Objective)
Error of indicated	—	$0.11 + L/100\text{ }\mu\text{m}$ (L mm)
measurement area	$4.35 \times 5.72\text{ mm}$ ($\times 2.5$ objective)	$\square 0.75\text{ mm}$ ($\times 20$ objective)
measurement time	48 sec	54 min (case of 9×9 stitching)
Working distance	8.8 mm	10 mm
Table stroke (mm)	(X, Y, Z)=(100, 100, 100)	(X, Y, Z)=(150, 150, 100)
NA	—	0.45 ($\times 20$ Objective)

2-2 ワーク座標系の設定

形状測定機は相対測定で形状評価する測定原理であるからワーク座標系 (WCS : Work Coordinate System) 設定の必要性は小さい。しかし両顕微鏡とも、測定時の位置決め の簡便性や繰り返し測定のための簡易的な WCS 設定機能は有している。共焦点顕微鏡では回転軸と X、Y 軸ゼロ点設定の機能を有し、合焦点顕微鏡は X、Y 軸ゼロ点設定だけを有している。合焦点顕微鏡での回転軸設定

は測定物上の手前側面の2点を利用して角度を計算し、手動直動式回転テーブルで機械座標系 (MCS: Machine Coordinate System) に合わせた。

2-3 デジタルシボの測定方法

荒加工で $R1.5\text{ mm}$ ボールエンドミル、仕上げ加工で $R0.5\text{ mm}$ ボールエンドミルを使用して、デジタルシボ製造方法で加工したシボ性状に対して二つの測定機で測定した。対象としたシボ性状は、自然由来の木の葉模様となる不規則模様と、球と長穴リブを規則的に CAD で配置した幾何学模様であり、広さは二つとも $\square 45\text{ mm}$ 程度である。

合焦点顕微鏡では対物レンズを $\times 2.5$ として1ショットで位置指示した5箇所を測定した。1ショットあたりの測定範囲は $4.35 \times 5.72\text{mm}$ であった。共焦点顕微鏡では、対物レンズ20倍とした場合の視野は $\square 0.75\text{ mm}$ である。ステッチング機能を利用して縦横 9×9 の計81個による $\square 6.75\text{ mm}$ の走査範囲として、位置指示した4箇所を測定した。

3 実験結果及び考察

二つの測定機で得られた測定値を CSV 形式でエクスポートし、Excel VBA により様式を整えて設計値照合を行う解析ソフトウェア (Focus InspectionV8.3、Nikon Metrology) にデータを渡した。設計値照合方法は、設計値に STL 形式モデル、測定値に CSV 形式の点群モデルを配置した。

形状測定機での設計値照合検査で必須となる設計値と測定値のベストフィットには4つの方法を試した。それらは、①ベストフィット無し、②ベストフィットによる回転無し、直動移動Zのみ、③ベストフィットによる回転X、Y、Z軸、直動移動Zのみ、④ベストフィットによる回転X、Y、Z軸、直動移動X、Y、Z軸である。4種類

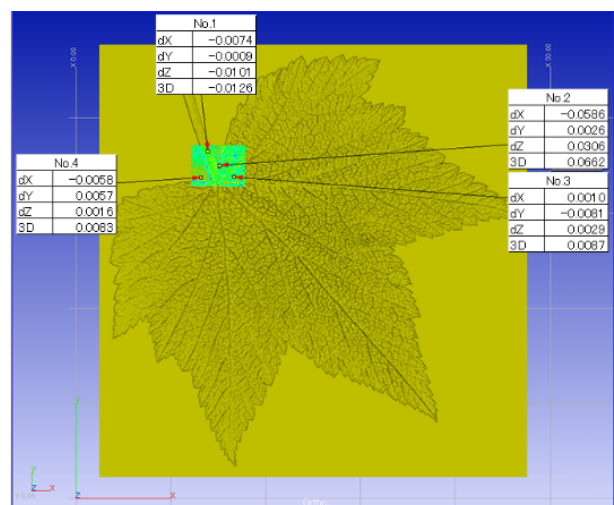


図1 合焦点顕微鏡によるランダムシボの測定誤差 ($\times 2.5$ objective non stitching)

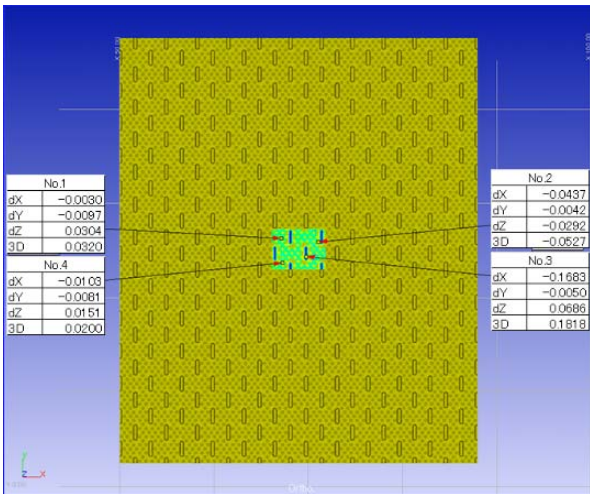


図2 合焦点顕微鏡による幾何学シボの測定誤差 (×2.5 objective non stitching)

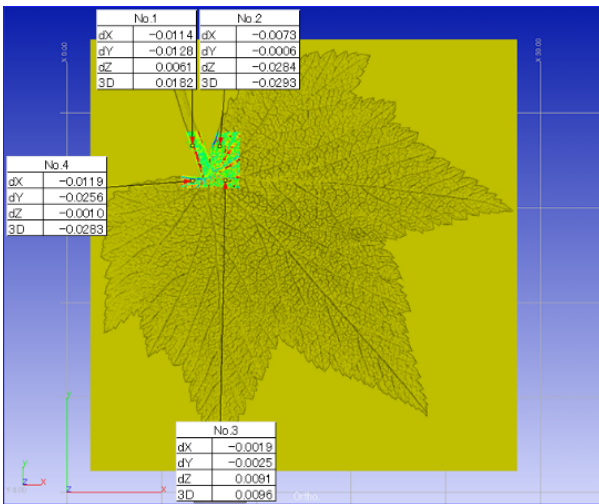


図3 共焦点顕微鏡によるランダムシボの測定誤差 (×5 objective applied stitching 9×9)

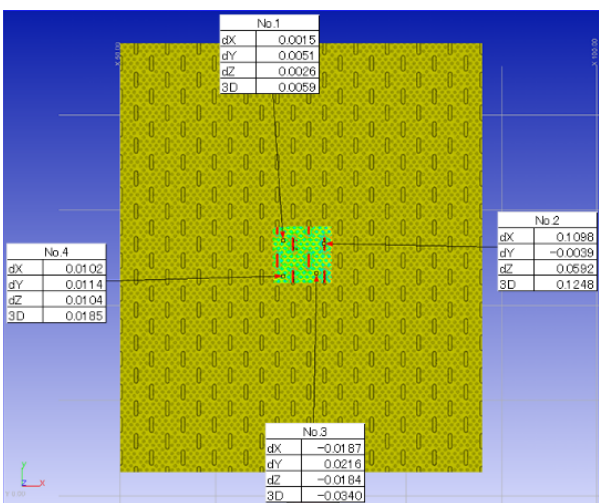


図4 共焦点顕微鏡による幾何学シボの測定誤差 (×5 objective applied stitching 9×9)

を設定した理由は、ベストフィットによる回転及び直動

移動が誤差計算での悪さの影響を及ぼしている事例が日常測定で多々見受けられるため、4種類の誤差傾向を比較した。ここではベストフィット④の場合の設計値照合検査結果を表2及び図1～図4に示す。

表2より、木の葉模様の標準偏差σは、共焦点顕微鏡が0.0292 mm、合焦点顕微鏡が0.0236 mm、幾何学模様

表2 形状誤差

Parameter	Leaf		Geometric	
	Focus variation	Confocal	Focus variation	Confocal
Number of valid points	500150	1048569	499912	1048569
Maximum Deviation	0.1145	0.1484	0.2263	0.2196
Minimum Deviation	-0.0701	-0.1020	-0.1068	-0.1757
Range	0.1846	0.2504	0.3332	0.3953
Mean Deviation	0.0002	-0.0011	0.0067	0.0055
Sigma	0.0236	0.0292	0.0462	0.0513
Root Mean Square	0.0236	0.0292	0.0462	0.0513

※Focus variation: ×2.5 objective, non stitching

※Confocal: ×20 objective, applied stitching 9×9

では、共焦点顕微鏡が0.0513 mm、合焦点顕微鏡が0.0462 mmとなった。両顕微鏡で得られたσの差はシボ形状が木の葉模様の場合0.0056mm、幾何学模様で0.0051mmとなり、ほぼ同等であった。

測定能率で比較すると合焦点顕微鏡は対物レンズ×2.5を使用していることから1ショットで広域測定が行え、24.88mm²の面積走査を48秒で行えた。一方、共焦点顕微鏡は対物レンズ×20を使用しているため1ショットの測定面積は0.56mm²となり、広域面積を測定するためにはステッチング機能を利用する必要があり、縦横9×9の計81個の場合、走査面積は45.56mm²となり54分を要した。

測定精度の検証のために、接触式輪郭測定機で幾何学模様のリブ穴部を測定したZ軸方向の形状誤差dZの平均値0.067mmを標準値として利用して各測定機の結果を比較した。その結果、合焦点顕微鏡ではdZ0.0686mm、共焦点顕微鏡ではdZ0.0592mmとなり両者とも接触式輪郭測定機にトレーサブルな値を示した。

4 結言

明確な設計値を持つデジタルシボ検査への適用性について、合焦点顕微鏡を対象に共焦点顕微鏡を参照として比較して調べた。その結果、デジタルシボのスケール領域(ピットの高さで数10μm程度)では、合焦点顕微鏡の測定値は誤差領域が共焦点顕微鏡と同等であり、測定能率では共焦点顕微鏡よりも優れていることが明らかになった。

文献

- 1) Reinhard Danzl et al.: Focus Variation – a Robust Technology for High Resolution Optical 3D Surface Metrology、Journal of Mechanical Engineering、57、3(2011) pp245-256.

樹脂 3D プリンタ造形器物の経年変化*

和合 健**、長嶋 宏之***、箱崎 義英****、菊池 貴****、黒須 信吾**

樹脂 3D プリンタで製造した器物の経年変化をレーザプローブ式座標測定機で測定した。その結果、レーザプローブ式座標測定機で得られた球位置の経年変化の平均値は、FDM 法で 68.4 μ m、光造形法で 117.2 μ m であり、両者を比較すると光造形法によるものの経年変化が大きいことが明らかになった。

キーワード：樹脂 3D プリンタ、レーザプローブ式座標測定機、経年変化

Secular changes in the moldings of a resin 3D printer

Takeshi Wago, Hiroyuki Nagashima, Yoshihide Hakozaki,
Takashi Kikuchi and Shingo Kurosu

The secular changes that are produced in the moldings of a resin 3D printer are measured using a laser-probe assisted coordinate measuring machine. The measured mean values of the secular changes are observed to be 68.4 and 117.2 μ m for the moldings that are produced using fused deposition modeling (FDM) and laser beam lithography (LBL), respectively. Therefore, it can be confirmed that the secular changes that are produced in the moldings using LBL is larger than that produced using FDM.

Keywords: resin 3D printer, coordinate measuring machine equipped non-contact laser probe, secular change

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 プリンタが相互連携す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。これにより製品製造の高精度かつ高能率化が達成できる。クローズドループエンジニアリングを実現するためには、個々の工程の技術蓄積が必要であり、ここでは樹脂 3D プリンタで造形した器物の経年変化を調べた。

2 樹脂 3D プリンタによる造形器物の製作

樹脂 3D プリンタ（以下プリンタと呼ぶ）には、図 1 に示す光造形法（以下、Laser beam lithography : LBL）と熱溶解積層法（以下、Fused deposition modeling : FDM）がある。前者にはシーメット(株)製 NRM-6000 を、後者には Stratasys Ltd 製 FORTUS 360mc S を使用した。造形条件は表 1 の通りである。プリンタ内の配置を、LBL と FDM のそれぞれについてレイアウト 1、レイアウト 2 として、図 2 に示す計 4 個の造形物を製作した。ここで、レイアウト 1 はプリンタの X、Y、

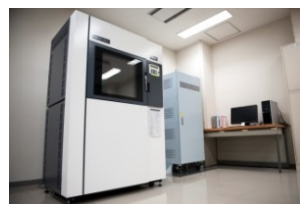
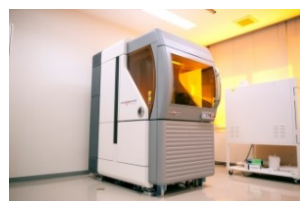


図 1 光造形装置（上図）、FDM 装置（下図）

表 1 造形条件

レイアウト	LBL		FDM	
	L1	L2	L1	L2
積層ピッチ	0.1 mm		0.127 mm	
造形時間	10時間22分 36秒	23時間52分 49秒	49時間4分	70時間34分

L1:レイアウト1, L2:レイアウト2

* 平成 27, 28 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
*** デザイン部
**** 電子情報技術部

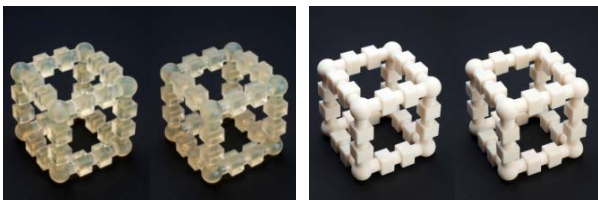


図2 LBL (左), FDM (右)
(各造形法の左: L1, 右: L2)

Z軸に平行に器物を設置した場合、レイアウト2は器物をX、Y、Z軸からそれぞれ45°傾けた場合である。

3 レーザプローブ CMM による経年変化の測定

3-1 実験装置

経年変化に使用した測定機はレーザプローブ式座標測定機 (以下、レーザプローブ CMM)、評価ソフトウェアは Focus Inspection Ver8.3 (Nikon Metology 製、以下 FI8.3) である。経年変化測定の前後で同一の測定機及びソフトウェアを用いた。

3-2 実験方法

経年変化として1年間の形状変化を見た。測定番号は表2に示した測定テーブルに従い、因子の組み合わせを8水準とした。ここで切り欠けの位置とは、器物の向きを決めるために器物の辺に位置する正立方体に切り欠けを付けたもので、その正立方体は前面の下部に位置している。測定手順及び機器操作方法は経年変化前後で同一になるように注意を払ったが、1年後には測定者の技能が必然的に向上している。特に、図3.1に示したプローブが下向きの場合と同様に、図3.2の横向きの場合においても、操作技能が向上したことにより、面に対してほぼ1回のスキニングで測定が行え、重ねてスキニングすることが避けられた。

表2 測定テーブル

試験No.	1	2	3	4	5	6	7	8
製造方法	FDM				LBL			
製造での置き方	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
切り欠けの位置	X軸	X軸	Y軸	Y軸	X軸	X軸	Y軸	Y軸

※ L1:レイアウト1, L2:レイアウト2

レーザ強度はFDM及び光造形法ともにモニター画面で確認し、操作者が適正と判断する範囲で適宜調整した。レーザプローブ CMM の測定定盤上の温度は平均値 20.4℃、変動範囲 0.7℃であった。

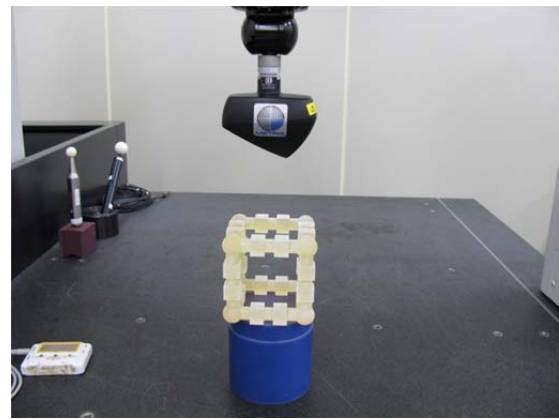


図3.1 レーザプローブ CMM による測定
(プローブ姿勢 A 軸 0deg、C 軸 0deg)

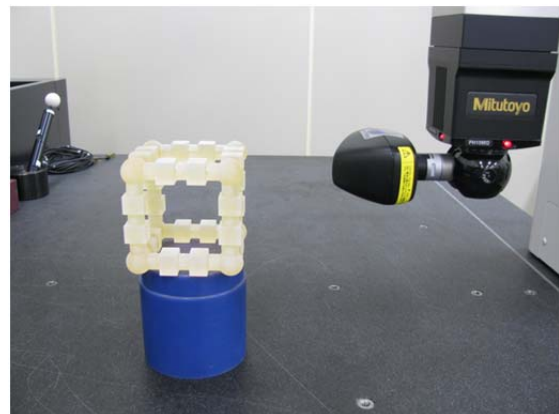


図3.2 レーザプローブ CMM による測定
(プローブ姿勢 A 軸 90deg、C 軸 -90deg)

3-3 結果及び考察

設計値と測定値の位置合わせは最小二乗法によるベストフィットコマンドを利用した。また実験番号の名称は以下の法則に従って与えた。例えば FDM_L1_X は、製造方法が FDM、製造時の配置がレイアウト1、レーザプローブ CMM による測定時の切り欠け位置が X 軸上であることを意味している。また LBL_L2_Y は、製造方法が LBL で、製造時の配置がレイアウト2、切り欠け位置が Y 軸上であることを意味する。測定で得られた経年変化前後の値を利用し、設計値照合によるそれらの差を算出した。設計値照合時の設計値は経年変化前の測定値とした。

図3.3、3.4に経年変化の結果を示す。この図は角部に位置する8球の球中心座標を設計値からの差を算出し、誤差倍率40倍で誇張表示したものである。また、各図右下の黒枠で囲まれた数値は経年変化後の測定値から変化前の測定値を引いた数値である。その計算式は1球あたり X、Y、Z 軸の3個の情報を持ち8球では24個で、基準合わせ3-2-1で基準とした球では0の座標値が6個あるため、24-6=18個の平均を取った数値であり、各実験番号の経年変化の大きさを示している。

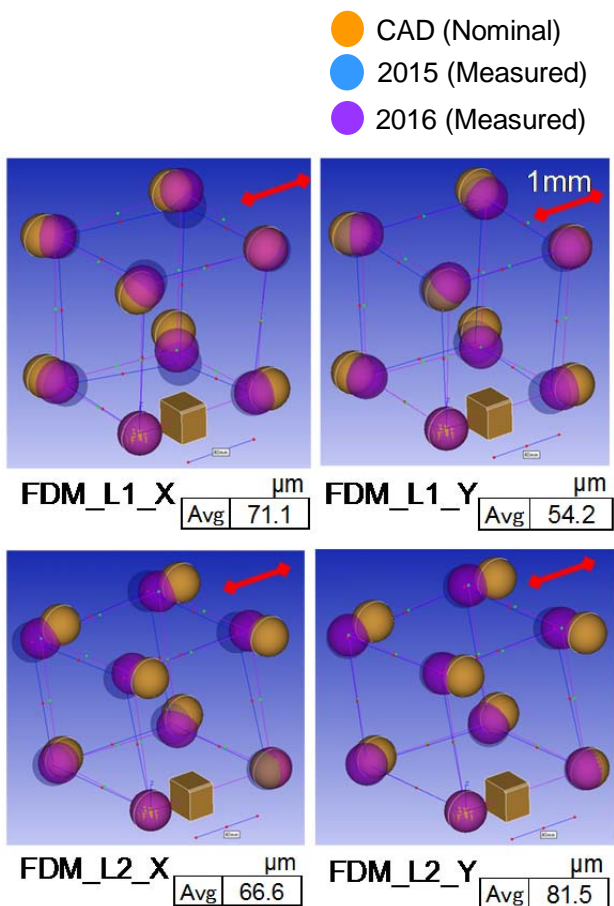


図 3.3 FDM の場合の経年変化

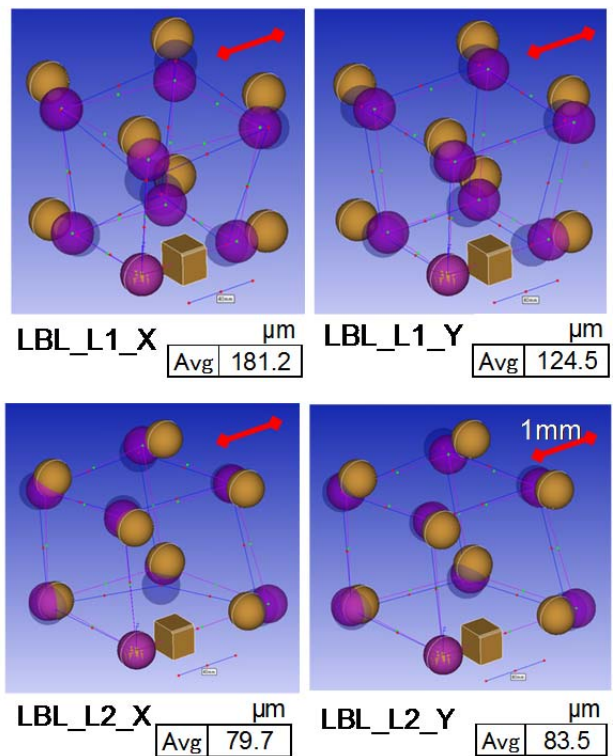


図 3.4 LBL の場合の経年変化

経年変化の大きさと方向の傾向は、FDM と LBL の同じレイアウト番号と切り欠け位置の軸で傾向が類似している。しかし予想通り、レイアウトの違いでは、経年変化の大きさと傾向が大きく異なっている。これは積層方向の違いによって残留応力の開放される大きさと方向が異なるためと推測される。

一方で予想に反した結果として、切り欠け位置を X 軸と Y 軸とした CMM 上での測定で、配置姿勢の差によって測定値の差が大きく、X と Y の差は FDM_L1 で 16.9μm、FDM_L2 で 14.9μm、LBL_L1 で 56.7μm、LBL_L2 で 3.8μm となった。これは CMM の測定誤差と考えられる。CMM プローブの走査方向は X 軸上を X 軸の正方向に稼働するようにプログラミングし、その点間ピッチは 0.6mm とした。

一方、切り欠け位置を 90°回転することで造形物表面にある筋模様の方向が変わり、筋模様とラインレーザの交差方向が平行または垂直に切り替わることで測定誤差が発生することも測定誤差の原因の一つになっていると推測された。言い換えれば、走査方式の測定機を利用する場合は反転法を適用することで測定誤差が容易に抽出できたため、反転法は必須であると思われる。最終的な経年変化の結果は、各造形法での平均値として FDM で 68.4μm、LBL で 117.2μm となり、LBL が FDM より 48.8μm 大きくなった。

4 結 言

樹脂 3D プリントによる造形物の経年変化を、レーザプローブ式座標測定機で、測定開始時とその 1 年後の変動値を球中心座標により測定し、以下の結果を得た。

- (1) 熱溶解積層法(Fused deposition modeling:FDM)では経年変化の平均値が 68.4μm、光造形法 (Laser beam lithography:LBL) では経年変化の平均値が 117.2μm となった。
- (2) 測定誤差を表す切り欠け位置の X 軸と Y 軸の違いが、Lbl_L1 で 56.7μm と大きくなった。これは、造形物表面にある筋模様の方向がラインレーザプローブの走査方向に影響を及ぼしたためと考えられ、ラインレーザプローブによる測定時には反転法を利用した測定誤差の確認が必須である。

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) で実施した。本共同研究に携わったすべての共同研究者の方々に感謝します。

バレルエンドミルと 5 軸マシニングセンターを利用した 仕上げ加工技術の開発*

飯村 崇**、和合 健**、堀田 昌宏**、池 浩之**

バレルエンドミルと 5 軸マシニングセンターを用いて仕上げ加工を行うにあたり、バレル工具に非対応の CAM により加工プログラムを作成する方法を開発した。

バレルエンドミルをテーパエンドミルに近似してプログラムを作成することで、バレルエンドミルを使用した仕上げ加工が可能となり、加工時間の大幅な短縮が可能となった。また、加工後の表面粗さや形状精度について評価を行い、従来のボールエンドミル等で仕上げる場合と遜色のない加工面の得られることがわかった。

キーワード：バレルエンドミル、5 軸マシニングセンター、CAM

Development of a finish processing technology using a barrel end mill and five axis machining center

Takashi Iimura, Takeshi Wago, Masahiro Hotta and Hiroyuki Ike

To perform finish machining using a barrel end mill and five axis machining center, we have developed a method by creating a processing program using CAM which is observed to be noncompliant with a barrel end mill. It became possible to implement a finish machining program with a barrel end mill by creating a program in which the barrel end mills are approximated by a taper end mill. Further, the machining time is shortened. Furthermore, it is confirmed from the evaluations of surface roughness and shape accuracy that the machining surface is comparable to the one that was implemented using a traditional ball end mill.

Keywords: barrel end mill, five axis machining center, CAM

1 緒言

近年、機械加工への要望として難削材加工・高精度・短納期といった内容が増えてきている。このような要望に対応するために、加工機械メーカーや工具メーカーは様々な開発を行ってきている。例えば、工具メーカーの場合、工具を加工する工作機械の精度が向上したこと、加工機械の NC 化により複雑な形状の工具が加工可能になったことである。また、加工機械メーカーの場合、5 軸マシニングセンターに代表されるように多軸化を図り複雑形状の加工を実現したり、加工機に計測装置を載せることで、機上計測を実現し加工精度の向上を図ったりしている。

このような取り組みをもとに新しい形状の工具と機械の多軸化・高精度化を合わせることで初めて可能になる新しい加工方法も開発されてきている。

そこで本報告では、そのような新しい加工方法としてバレルエンドミルを利用した仕上げ加工に着目し、バレルエンドミルに対応していない CAM を使用した仕上げ加工技術を開発したこと、また実際に加工を行い、加工時間や加工後の表面粗さ、形状精度について評価した結果を述べる。

2 実験方法

図 1 に示す形状について加工を行い、加工時間、表面粗さ、形状精度について評価した。

仕上げ加工に使用する工具は、図 2 に示すエムゲ・フランケン社の 3540L.08250A (テーパバレルエンドミル)、加工条件は、表 1 に示す通りである。

被削材は、アルミ合金 (A5052)、使用する CAM は TOPcam Ver. 6.16 (バレルエンドミルに非対応)

* 中東北 3 県公設試技術連携推進会議 3 県共同研究 精密加工グループ「精密 5 軸加工に必要な基盤技術の確立」
** 素形材技術部

である。

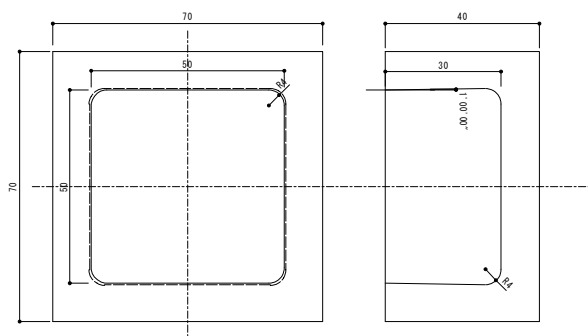


図1 加工形状

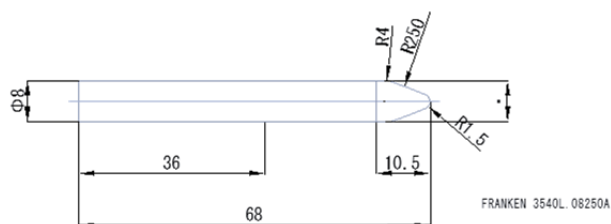


図2 テーパーバレルエンドミル

表1 使用工具と加工条件

工具名称 (仕上げ)	テーパーバレルエンドミル 3540L.08250A (エムゲ・フランケン社)
主軸回転数	6000rpm
送り速度	1440mm/min
切込み量 (Z)	最大 4mm
切込み量 (Y)	0.1mm

工具名称 (粗取り)	ラジラスエンドミル EPP4100-10-TH (日立ツール)
主軸回転数	5800rpm
送り速度	1044mm/min
切込み量 (Z)	最大 10mm
切込み量 (Y)	0.5mm

2-1 バレルエンドミル非対応の CAM における加工方法の検討

TOPcam Ver6.16 はバレルエンドミルに非対応であるため、バレル形状を使用してスキヤロップ値から送りピッチなどを計算することができない。そこで本研究では、あらかじめバレル R を考慮したうえでテーパーバレルエンドミルを単純なテーパーエンドミルとして CAM に登録し、工具側面を使用したスワーフ加工によって仕上げ加工を行うツールパスを

作成することとした。その場合のテーパーエンドミルの形状決定方法について図3に示す。

バレル R 開始点を起点にテーパの直線を引く。今回使用するバレル R250 の工具では先端から 20.4122° 直線を引いた場合、バレル R が 8μm テーパー直線よりも外側に来ることになる。つまり、先端角 20.4122° のテーパーエンドミルを CAM 上で定義し、スワーフ加工を行うことで側面のスキヤロップ値を 8μm に抑えた加工が可能になる。その場合、実際に工具が当たるのは先端から 4mm までとなることから、工具の Z 方向切り込みを 4mm 以下に設定する必要がある。

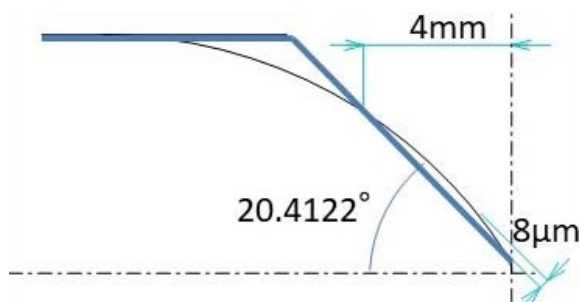


図3 テーパーエンドミルへの近似方法

3 実験結果及び考察

3-1 CAM によるツールパス作成

2-1 に示す方法で、CAM を用いてツールパスを作成するにあたり、以下のコマンドを使用した。

- ① ポケット加工 (2 軸) : ポケット形状の大きな加工。底面 R に関係ない部分 (Z の値が変わっても XY 方向の加工範囲が変わらない部分) を大きめに加工する。今回は、工具負荷の変動を抑えるために、円筒形状のポケットを加工。(図 4-1)
- ② 荒取り加工 1 (3 軸) : 側面の荒加工。底面 R があるために、3 軸のコマンドを使用。円筒形状のポケットを最終形状に近いところまで広げる。(図 4-2)
- ③ 荒取り加工 2 (3 軸) : 底面の荒加工 + 仕上げ加工。本研究では、底面は測定対象ではないことから、荒加工用の工具で仕上げまで行う。(図 4-3)
- ④ スワーフ加工 (5 軸) : バレルエンドミルによる側面加工。バレルエンドミルをテーパーエンドミルに見立てて、エンドミルの側面を加工形状に沿わせて加工を行う。エンドミルの側面を加工形状に沿わせるため 5 軸動作が必要である。(図 4-4)
- ⑤ 5 軸面沿い (5 軸) : 底面 R の仕上げ加工。逆テーパのある側面の隅を加工するため、5 軸動作が必要である。(図 4-5)

作成したバレルエンドミル用のツールパスと、同じ径 (φ8mm) のボールエンドミル用のツールパス

を作成し、加工時間を比較した結果を表2に示す。側面仕上げの加工時間がボールエンドミル43分に対しバレル工具4分でおおよそ1/10に短縮されている。全体の加工時間で考えた場合も、ボールエンドミル64分に対してバレル工具が26分であり、1/2.5に短縮可能であることが確認できた。

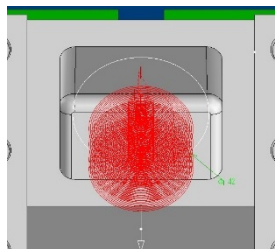


図4-1 ポケット加工

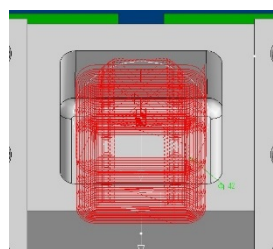


図4-2 荒取り加工1

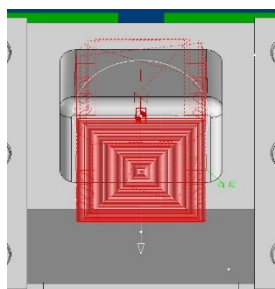


図4-3 荒取り加工2

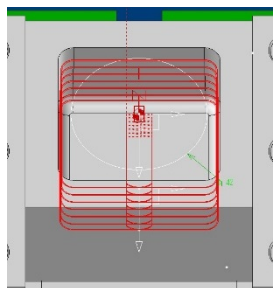


図4-4 スワーフ加工

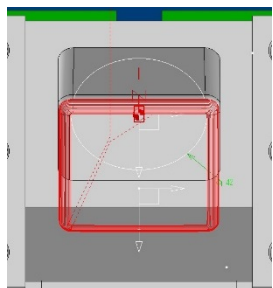


図4-5 5軸面沿い加工

ボールエンドミルの場合、バレル工具の A_p 値(Z方向切り込み量)が4mm以下であるのに対し、ボールエンドミルの場合 A_p 値0.5mm以下と1/8になってしまうことから、切削回数が増えて、加工時間が長くなる。本研究においては、Z方向の切り込み量が減少する分、Y方向の切り込み量を増やして、加工時間の短縮を図ったパスを作成したが、それでも加工時間の差は大きい。

表2 CAM上の加工時間比較

工程番号	①	②	③	④	⑤	total
バレル	6:52	7:28	4:14	4:17	2:53	25:44
ボール				43:14	3:07	64:54

3-2 加工品の形状評価

加工した被削材について表面粗さ、輪郭形状、形状精度を測定した。その結果を以下に示す。

3-2-1 表面粗さ

図5は加工したポケット側面について、表面粗さを測定した結果である。 $Rz1.3\mu\text{m}$ 、 $Ra0.2\mu\text{m}$ と一般的な切削による粗さと同程度であり、バレルエンドミルを用いた加工時間の短縮による表面状態への悪影響は見られない。

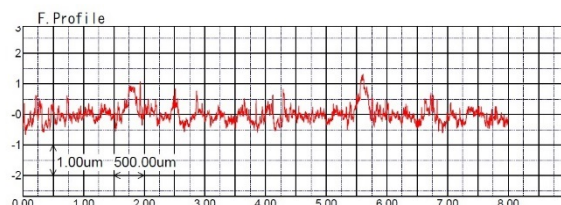


図5 表面粗さ測定結果

表3 表面粗さ測定結果

表面粗さ (μm)	1	2	3	4	Ave.
Rz	1.31	1.22	1.3	1.34	1.29
Ra	0.2	0.19	0.2	0.2	0.20

3-2-2 輪郭形状

工具のバレルRが設定した仮想テーパ線より $8\mu\text{m}$ 突き出すように設定したことから、凹凸も $8\mu\text{m}$ 程度になることが予想されたが、実際は図6のように $10\mu\text{m}$ を若干超えており、2割程度凹凸が大きくなることが確認できた。原因としては工具の振動や材料の変形などが考えられる。

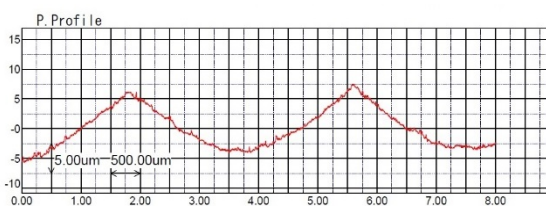


図6 輪郭形状測定結果

3-2-3 形状精度 (三次元測定機)

測定するポケット側面が 1° の逆テーパとなっていてXY方向の座標を容易に測定することができない。そのため、本研究においては図7に示すように、①ポケット側面を構成する4つの平面を測定し、②平面同士の交線を求め、③②の交線と底面($Z=0$)が交わる点を三次元測定機で測定によって求め、左下の点aを原点として、モデルの設計値と実測値のずれを比較した。

表4は図7の各点における実測値と設計値のずれ

を表している。点bとcを含む面がX方向で約10 μm 、点cとdを含む面がY方向で約30 μm ずれていることがわかる。

表5より点aとdを含む面(面adとする)と点bとcを含む面(面bcとする)の角度誤差を合わせると約30 μm の誤差になることから、点cとdの誤差30 μm はこの面adと面bcの傾きに原因があると考えられる。これは、温度変化などによる機械の首振り軸の中心位置のずれなどが原因として考えられることから、温度変化の大きい冬季などの加工においては、機械のキャリブレーションをこまめに行う必要があると考えられる。

一方、点aとbを含む面(面ab)と点cとdを含む面(面cd)のY方向の傾きによる誤差は1 μm であり、こちらの傾きには問題がなかった。また、今回各面を12点ずつで測定しているが、いずれも標準偏差で2 μm 程度のばらつきがあることから、測定箇所によっては10 μm 程度の誤差が発生する可能性がある。これについては今回の加工設定が、表面に10 μm の凹凸をつけるようにしていることから、妥当なばらつきであり、点bとcのX方向のずれはこれらが原因であると考えられる。

以上のことから、バレルエンドミルを用いたために発生したと考えられる形状誤差は、機械のキャリブレーションや加工設定による誤差よりも小さいことがわかった。

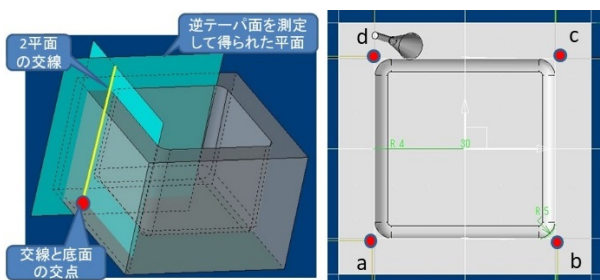


図7 形状精度測定位置

表4 形状精度測定結果

	測定値と設計値との差		設計値からの距離
	X	Y	
a(原点)	0.000	0.000	0
b	-0.010	-0.001	0.010
c	-0.011	-0.034	0.036
d	0.001	-0.031	0.031

表5 面の測定値

	傾き(設計値1°)	ばらつき(標準偏差)
面ab	1.0068	0.0024
面bc	1.0121	0.0018
面cd	0.9951	0.0022
面da	1.0333	0.0021

4 結言

バレルエンドミルに非対応のCAMでもバレルエンドミルをテーパエンドミルに置き換えてスワープ加工を行うことで、バレルエンドミルと5軸加工を組み合わせた仕上げ加工が可能であることが明らかとなった。その場合、仕上げ加工時間の短縮が可能であることも明らかとなった。また、バレルエンドミルを使用することにより表面粗さや形状精度が悪くなるなどのデメリットが無いことも併せて確認することができた。これらをまとめると以下のようになる。

- ① 加工時間: 平面の場合、同じスキヤロップ値でも、工具の軸方向送りピッチを大きくすることができ、本研究においては加工時間を1/10にまで短縮することができた。
- ② 表面粗さ: Rz, Raについては、ボールエンドミルによる加工とほぼ同じであり、加工時間の短縮によって加工面の仕上がりが悪くなることはない。
- ③ 加工精度: バレルエンドミルを用いたことによって発生したと考えられる精度の低下は他の要因と比べ小さい。

コンプウッド処理木材の曲げ加工性の向上*

内藤 廉二**、有賀 康弘**、浪崎 安治***

コンプウッドシステムによる圧縮処理時の圧縮保持時間を長くするとより小さい加工半径で曲木加工が可能となることを検証した。その結果、圧縮保持時間 10 分とした場合より圧縮保持時間 360 分とした方が曲げ加工時の最小曲げ半径が小さくなることがわかった。また、曲げ加工での成功率も高くなった。

キーワード：コンプウッドシステム、曲木、木材加工、圧縮保持時間

Improvement of the bending workability of woods compressed

by Compwood-system

Yasuji Naitou , Yasuhiro Aruga and Yasuji Namizaki

It has been examined that the bending wood processing becomes possible in a smaller radius when the holding time of a compression is lengthened in Compwood-system. Then it has been found that the minimum radius of bending becomes smaller when the compression-holding time is set for 360 minutes than 10 minutes in the compression process of wood. Furthermore, the success rate in the bending wood processing has become higher.

Keywords: Compwood-system, bent wood, wood processing, compression-holding time

1 緒言

木を曲げる技術として、現在一般的に用いられている方法は、蒸煮法やトーネット法と呼ばれる木材を高温の蒸気で軟化した直後に速やかに曲げる技術である。しかし、この技術は木材を蒸煮する装置や帯鉄といった専用治具が必要となる。それらを使いこなすには熟練を必要とすることから、小規模な木工房では容易に技術導入ができない。

コンプウッドシステム¹⁾は、木材を縦圧縮することで常温での曲木加工を可能にし、帯鉄を使用しなくても従来方法と同等の曲木加工が可能になる。(地独)岩手県工業技術センターではこのシステムを導入し、岩手県内の木製品製造業者に対して曲木を活用した製品の開発、技術支援を行っている²⁾³⁾⁴⁾。

平成 27 年度に実施した「コンプウッドシステムによる木材の弾性変化の研究」⁵⁾において、コンプウッドシステムで圧縮処理(コンプウッド処理)した後、乾燥させた木材の弾性係数は小さくなった。また、圧縮保持時間が10分のものより360分としたものはさらに弾性係数が小さくなることがわかった。

このことから、コンプウッドシステムでの圧縮保持時間を長くすることは、木材の弾性が大きくなるだけでなく、曲木加工工程において、より小さい加工半径で曲木が可能になる仮説を立て、圧縮保持時間の異なるコンプウッド処理材の曲げ加工時における最小曲げ半径を比較した。

2 試験方法

国産の広葉樹 4 樹種(散孔材 2 樹種、環孔材 2 樹種)について圧縮保持時間の異なるコンプウッド処理を行った後、試験体を作製し曲げ加工試験を行った。

曲げ加工試験は、大小異なる加工半径の曲げ加工型を製作し、半径の大きい型から順に曲げ加工を行い、各半径での曲げ加工の成功率を比較した(図 1)。

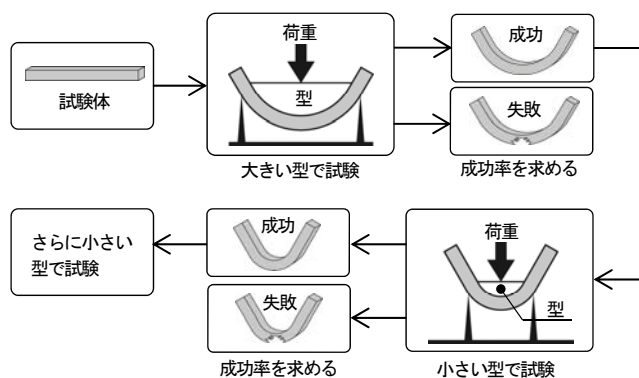


図 1 曲げ加工試験方法

2-1 供試材料

試験に供した広葉樹は、ブナ、カエデ(散孔材)及びケヤキ、セン(環孔材)の 4 樹種とした。それぞれ断面寸法 90 mm×130 mm、長さ 1600~2400 mmに製材後 1 年以

* 平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 発展ステージ

** デザイン部 *** 元(地独)岩手県工業技術センター企業支援コーディネーター

上屋内で積み重ねて保管したものを用いた(表1)。

表1 供試材

樹種	含水率(%)	密度(g/cm ³)	年輪巾(mm)
ブナ	12.0	0.69	4.3
カエデ	11.5	0.71	3.7
ケヤキ	10.5	0.62	5.8
セン	9.0	0.46	2.8

2-2 供試材のコンプウッド処理

供試材は、コンプウッド処理に必要な含水率にするため、あらかじめ約70℃の温水に浸漬して吸水処理を行った(表2)。コンプウッド処理のため断面寸法が80mm×120mm、長さ寸法500mmとなるように木取りし、表3に示したように圧縮保持時間を変えてコンプウッド処理を行った。コンプウッド処理した供試材は、乾燥を防ぐためにラッピングして室内に7日間静置した。

表2 吸水処理後の重量変化

樹種		重量増加率(%)
ブナ	供試材1	56
	供試材2	61
カエデ	供試材1	51
	供試材2	52
ケヤキ	供試材1	43
	供試材2	44
セン	供試材1	53
	供試材2	56

表3 コンプウッド処理条件

	圧縮保持時間(分)	圧縮率(%)	圧縮速度(mm/min)
条件1	10	20	120
条件2	360	20	120

2-3 試験体

供試材からの試験体の取り数を表4に示した。試験体の寸法は、断面寸法20mm×20mm、長さ400mmとした。

表4 試験体の数と含水率(%)

樹種	圧縮保持時間(分)	試験体数(本)	含水率(%)
ブナ	10	11	58.0
	360	12	60.0
カエデ	10	12	64.5
	360	10	63.5
ケヤキ	10	12	45.0
	360	10	60.0
セン	10	12	61.0
	360	11	66.5

2-4 曲げ加工試験

2-3に示した試験体の曲げ加工試験を行った。試験の

方法及び様子を図2、図3に示す。試験は、精密万能試験機(株東洋ボールドウィン製UTM-10T)を用いて、毎分30mmの速度で試験体が曲げ加工型に沿うように試験体の板面に荷重を与えた。試験体が曲げ加工型の曲げ加工終了位置に接した時点で荷重を止め、曲げ加工の成否を判定した。

曲げ加工型は加工半径160mm~60mmまで20mmごとに6種類用意し、加工半径の大きい型から曲げ加工を行い、曲げ加工が成功した試験体は、より小さい半径の曲げ加工型で曲げ加工を行った。加工の成否の判定は目視で行い、試験体外周部に少しでも割れや裂けなどが発生したものは曲げ加工失敗と判定し、その試験体の曲げ加工は終了とした。

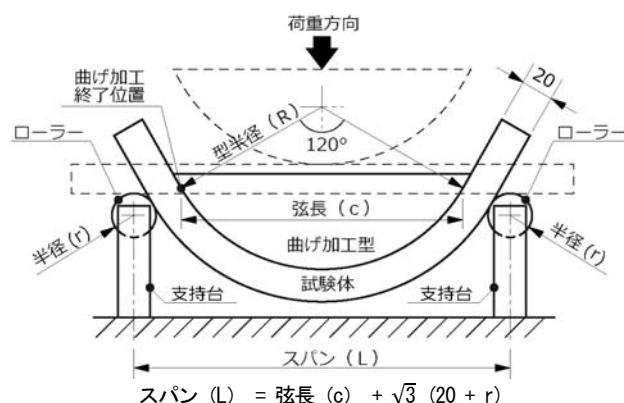


図2 曲げ加工試験



図3 曲げ加工試験の様子

2-5 残留圧縮率の測定

コンプウッド処理直後に減少した木材の繊維方向の長さの割合を残留圧縮率⁶⁾とし、それを比較した。残留圧縮率は、(1)のように求めた。

$$\text{残留圧縮率}(\%) = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

L_0 = コンプウッド処理前の木材長

L_1 = コンプウッド処理後の木材長

3 結果

3-1 曲げ加工試験

各樹種の圧縮保持時間ごとの曲げ加工試験の結果を表5～表12、成功率の比較を図4～図7に示す。

各樹種ともに、圧縮保持時間360分のコンプウッド処理材は、圧縮保持時間10分のものと比較し、最小曲げ半径が小さくなった。

表5 曲げ加工試験（樹種ブナ 圧縮保持時間10分）

型半径 (mm)	試験体No.											成功率 (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		—
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	100
140	×	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	—	82
120	—	○	○	×	○	○	×	○	○	—	○	—	64
100	—	×	×	—	○	×	—	○	×	—	×	—	18
80	—	—	—	—	×	—	—	×	—	—	—	—	0
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(○：成功、×：失敗)

表6 曲げ加工試験（樹種ブナ 圧縮保持時間360分）

型半径 (mm)	試験体No.												成功率 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
140	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
120	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
100	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	○	83
80	×	○	○	×	×	×	○	—	×	—	×	×	25
60	—	×	×	—	—	—	×	—	—	—	—	—	0

(○：成功、×：失敗)

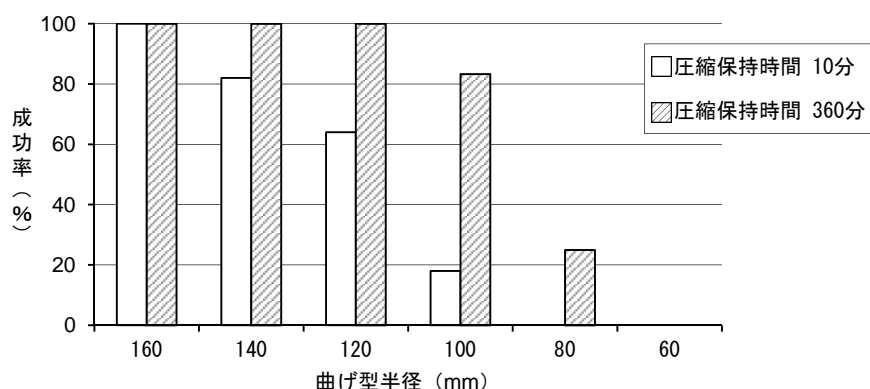


図4 曲げ加工成功率比較（樹種ブナ）

表7 曲げ加工試験（樹種カエデ 圧縮保持時間10分）

型半径 (mm)	試験体No.												成功率 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
140	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
120	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
100	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	17
80	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	8
60	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0

(○：成功、×：失敗)

表8 曲げ加工試験（樹種カエデ 圧縮保持時間360分）

型半径 (mm)	試験体No.												成功率 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	—	—	
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	100
140	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	100
120	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	100
100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	100
80	○	×	×	○	×	×	×	×	○	○	—	—	40
60	×	—	—	×	—	—	—	—	○	○	—	—	20

(○：成功、×：失敗)

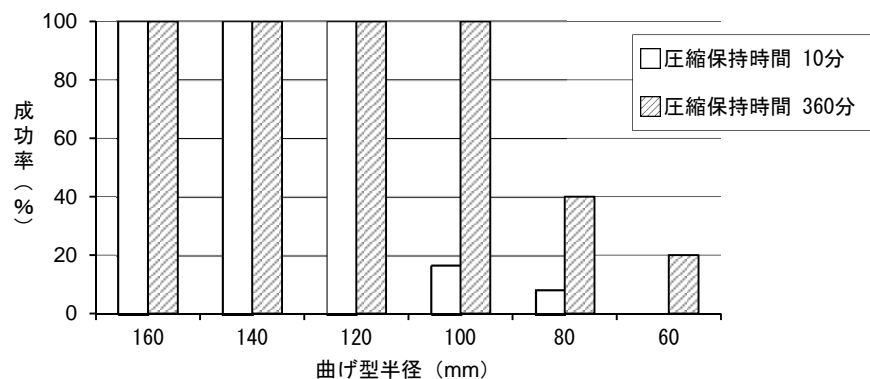


図5 曲げ加工成功率比較（樹種カエデ）

表9 曲げ加工試験 (樹種ケヤキ 圧縮保持時間 10分)

型半径 (mm)	試験体No.												成功率 (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100
140	○	×	○	○	×	○	○	○	×	×	×	○	58	
120	×	—	○	○	—	○	×	○	—	—	—	○	42	
100	—	—	○	○	—	×	—	×	—	—	—	○	17	
80	—	—	×	×	—	—	—	—	—	—	—	×	0	
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

(○ : 成功, × : 失敗)

表10 曲げ加工試験 (樹種ケヤキ 圧縮保持時間 360分)

型半径 (mm)	試験体No.												成功率 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	—	—	
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	100
140	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	100
120	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	100
100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	100
80	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	90
60	×	—	×	×	×	×	×	×	×	×	—	—	0

(○ : 成功, × : 失敗)

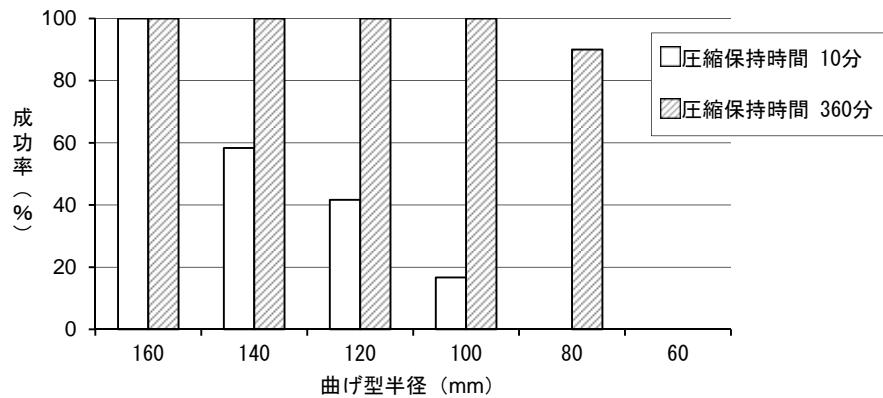


図6 曲げ加工成功率比較 (樹種ケヤキ)

表11 曲げ加工試験 (樹種セン 圧縮保持時間 10分)

型半径 (mm)	試験体No.												成功率 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	92
140	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	92
120	○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	×	—	50
100	○	○	—	○	—	×	—	—	×	○	—	—	33
80	×	×	—	×	—	—	—	—	—	×	—	—	0
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(○ : 成功, × : 失敗)

表12 曲げ加工試験 (樹種セン 圧縮保持時間 360分)

型半径 (mm)	試験体No.												成功率 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	—	
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	100
140	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	100
120	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	100
100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	100
80	×	×	○	×	○	○	×	×	○	○	×	—	45
60	—	—	×	—	×	○	—	—	×	×	—	—	9

(○ : 成功, × : 失敗)

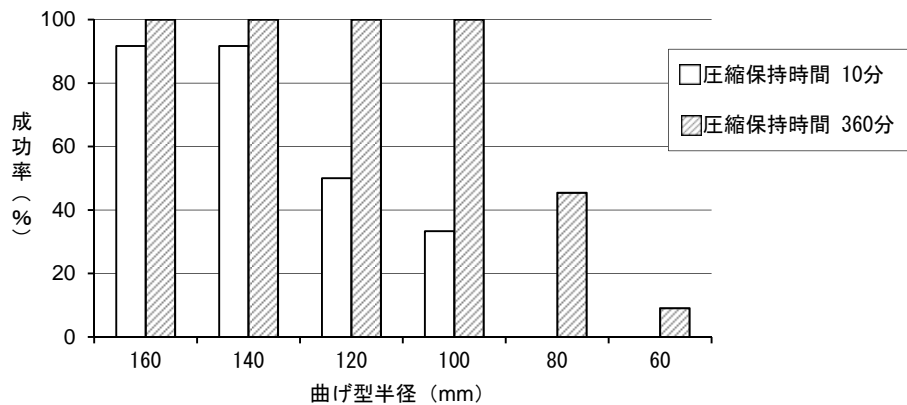


図7 曲げ加工成功率比較 (樹種セン)

3-2 残留圧縮率

コンプウッド処理後の供試材長と残留圧縮率を表 13 に示す。圧縮保持時間が長くなると供試材長は復元するものの圧縮量は大きくなり、圧縮保持時間 360 分のもものが 10 分のものより残留圧縮率が大きかった。

表 13 コンプウッド処理後の残留圧縮率

樹種	圧縮保持時間 (分)	供試材長 (mm)		7日経過後の残留圧縮率 (%)
		圧縮直後	7日経過後	
ブナ	10	485	489	2.2
	360	446	477	4.6
カエデ	10	483	488	2.4
	360	440	466	6.8
ケヤキ	10	477	485	3.0
	360	437	442	11.6
セン	10	456	471	5.8
	360	433	440	12.0

4 考 察

圧縮保持時間を長くしたコンプウッド処理材は、全ての樹種において残留圧縮率が大きくなっていることから、残留圧縮率が大きいほど曲げ加工可能な半径は小さくなると思われる。また、コンプウッド処理後 7 日経過したコンプウッド処理材は、処理直後のものと比較して残留圧縮率が小さくなっていることから、コンプウッド処理材は、処理後なるべく早いうちに曲げ加工した方が、より小さい半径で曲げ加工できる可能性がある。今後は、これらを明らかにするとともに、曲げ加工性を向上させ

る最適かつ効率的な圧縮保持時間についても検証したい。

5 まとめ

木材をコンプウッド処理するとき、圧縮保持時間を長くすると曲木加工の最小曲げ半径を小さくすることができた。また、曲木加工での成功率を上げることもできた。このことによりコンプウッドシステムを活用することで曲木加工が容易に行えるようになるだけでなく、従来の曲木では困難な曲率を用いた製品設計が可能になり、さらに曲木製品の製造において木材の歩留まりの向上も期待できる。

文 献

- 1) Compwood Machines Ltd. : Industriskellet 15 DK-2635 Ishøj Denmark
- 2) 浪崎安治, 有賀康弘, 高橋民雄: 岩手県工業技術センター研究報告, 9, P83-86 (2002)
- 3) 浪崎安治, 有賀康弘: 岩手県工業技術センター研究報告, 10, p55-58 (2003)
- 4) 有賀康弘, 内藤廉二, 浪崎安治: 岩手県工業技術センター研究報告, 18, p6-14 (2015)
- 5) 内藤廉二, 有賀康弘, 浪崎安治: 岩手県工業技術センター研究報告, 19, p51-53 (2016)
- 6) 山田順治, 住友将洋, 安永真也: 徳島県立工業技術センター研究報告, 13, p21-24 (2004)
- 7) 石井信義, 大内成司, 北嶋俊郎: 大分県日田産業工芸試験所研究報告, 4, p135-142 (1993)
- 8) 大内成司, 北嶋俊郎: 大分県日田産業工芸試験所研究報告, 5, p120-122 (1993)

デジタルシボ技術による南部鉄器の鑄肌作製*

小林 正信**、蒔田 伸昭***

量産向け南部鉄器の製造にはマッチプレートが用いられる。デジタルシボ技術を活用し、マッチプレートへの鑄肌模様の切削加工を試みた。その結果、従来よりも高精度なマッチプレートを半分の期間で製造できることがわかった。加工したマッチプレートを用いて高品質の鑄造品を製品化した。

キーワード：デジタルシボ、マッチプレート、南部鉄器

Fabrications of casting surfaces of NANBU Ironware using digital embossing

Masanobu Kobayashi, Nobuaki Makita

To produce a NANBU Ironware in large quantities, match plates are used in a casting process. For that, the numerical control machining of casting surface patterns has been made to a match plate by a digital embossing in an attempt. As a result, it has been confirmed that a highly accurate match plate is able to manufacture in a half of the traditional manufacturing period. Using a match plate processed by this method, a high quality NANBU Ironware having a highly accurate casting surface has been commercialized.

Keywords: digital embossing, match plate, NANBU Ironware

1 緒言

南部鉄器は溶鉄を鑄型に注ぐ「鑄造」と呼ばれる方法で製造される。鑄型の製法は二通りに大別され、一つは焼型（やきがた）と呼ばれる伝統的工芸品である南部鉄器の製法である。焼型は手制作のため、鑄型づくりに手間が掛かるが、緻密な形状や鑄肌模様が表現できる。

もう一つは生型（なまがた）と呼ばれる製法で、主に量産向けの工芸品や工業部品の製造に用いられる。焼型と比較すると、緻密な形状や鑄肌模様は表現しづらいが、短時間で鑄型づくりができるため、量産品には不可欠な製法である。

生型では、鑄型の原料である鑄物砂を成形するために、マッチプレートと呼ばれるアルミ金型が用いられる。従来のマッチプレートの製造は、図1に示すように、まず鑄造品の設計図面から石膏原型を製作する。さらに石膏原型からアルミ原型（アルミ鑄造品）を作り、マッチプレートに加工する。鑄造品の鑄肌模様は石膏原型に手作業で付けるため、デザイン変更等により石膏原型を修整する場合や、同じマッチプレートを複数製造する際に、同一の鑄肌模様の再現が極めて難しい。また、その作業の手間も非常に負担が大きいことが課題となっている。

本研究開発事業に取り組んだ有限会社ベルモデルでは、マッチプレートの設計製造を受注している。本研究

では、従来法の課題を解決するため、製品の3次元CADデータに鑄肌模様を付け、NC工作機で直彫り加工するマッチプレート製造を試みた。また、そのマッチプレートによる製品化を行い、従来法と比較検討した。

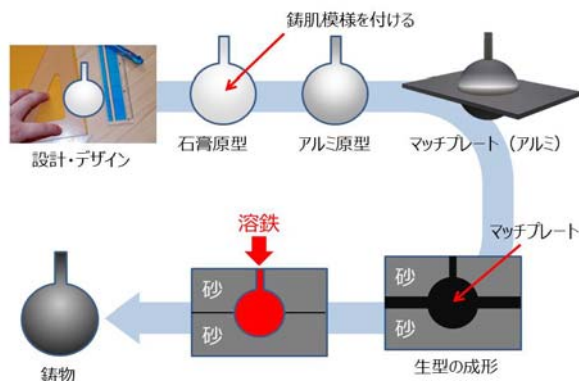


図1 生型製法による鑄物製造の流れ

2 研究方法

本研究では、製品設計からマッチプレート加工までの工程にデジタルシボ技術を活用した。本報告でのデジタルシボ技術とは、株式会社ケイズデザインラボの開発したD3テクスチャー技術を指す。ソフトウェア上でシボデータを作成し、切削加工や3Dプリンタによる造形を行う

* 平成28年度 研究開発型人材育成支援事業

** デザイン部

*** 有限会社ベルモデル

技術である。

デジタルシボ技術導入のため、当センターでは研究員を株式会社ケイズデザインラボに派遣して技術習得させた。また、デジタルシボ技術の関連設備として、CADデータに3次元テクスチャーを付与するためのツールとしてGiomagic Freeform (3D Systems 社製) を導入し、CADデータへの鑄肌模様の付与に使用した。

2-1 鑄肌作製

本研究では、有限会社ベルモデルが株式会社岩鑄から受注した急須を事例として、急須底部の「ゆず肌」と呼ばれる鑄肌模様のデジタルシボ作製を試みた (図2)。

急須底部の3次元CADデータは、有限会社ベルモデル所有のCADで設計し、Freeformでエンボス処理をした。

Freeformのエンボス処理とは、図3に示すように、CADデータ面上に投影されたグレースケール画像の階調情報から凹凸を生成する処理である。凹凸の深さは任意に設定できる。エンボス処理に用いた画像を図4に、エンボス処理条件を表1に示す。

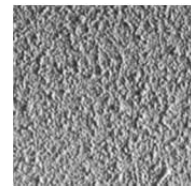


図4 使用した画像

表1 エンボス処理に用いた条件

項目	値 (mm)
画像サイズ	100×100、200×200、300×300
深さ	0.1、0.2、0.3

2-2 マッチプレート加工

Freeformで作成したデジタルシボデータをSTL形式で出力し、有限会社ベルモデルでマッチプレートデータを完成させ、金型加工用のツールパスを生成した。樹脂ブロック材で切削状況の確認を行ったうえで、アルミブロック材をNC加工機で切削加工した。

2-3 鑄造と仕上げ

完成したマッチプレートを用いて株式会社岩鑄で鑄造し、塗装工程等を経て完成品とした。

3 結果と考察

3-1 鑄肌作製

表2は生成した鑄肌模様のデジタルシボである。画像サイズでは、100×100が元画像イメージに近い凹凸密度となった。また、深さ0.1では画像サイズを変化させても処理結果の差があまり見られなかった。いずれの場合も元画像の画質の影響も大きいと考える。事前に画像処理ソフトウェアなどでコントラスト調整を行うなど、画像の準備が重要であることがわかった。なお、本結果はあくまで今回使用した画像に適したものであり、他の画像を使う場合にはその都度調整が必要である。

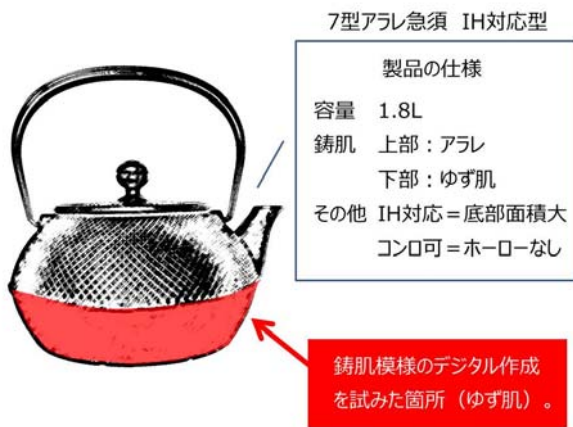


図2 事例とした急須

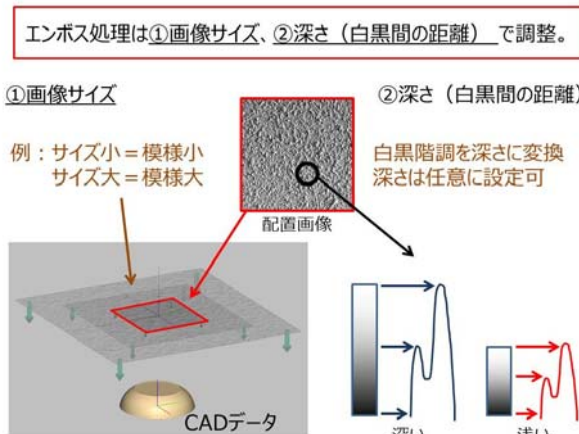


図3 Freeformのエンボス処理

表2 生成した鑄肌模様

		画像サイズ		
		100×100	200×200	300×300
深さ	0.1			
	0.2			
	0.3			

単位 (mm)

最終的に図5に示す急須底部（画像サイズ100×100、深さ0.3）のデジタルシボデータを用いてマッチプレート切削加工をすることにした。

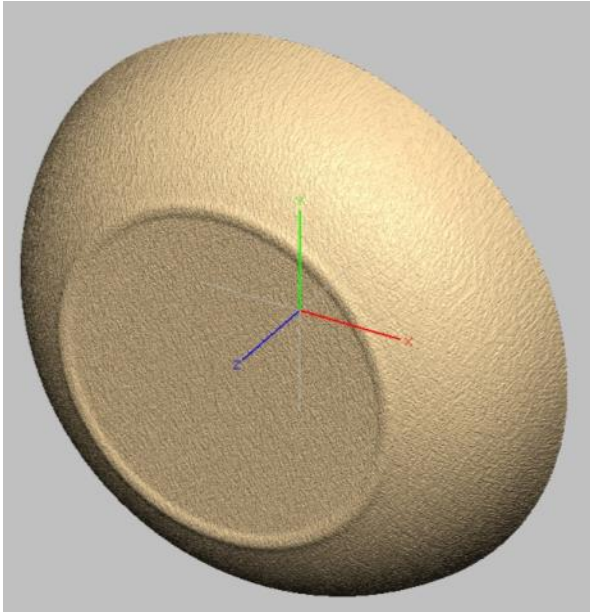


図5 完成した急須底部

3-2 マッチプレート加工

図6は樹脂ブロック材をNC加工機で切削加工したモックアップである。底形状はIH調理器に最適化されCADデータとは異なる。デジタルシボによる加工では製品モックアップの作製が容易で、マッチプレート加工前に切削データの確認やデザイン検討ができる点も利点であることがわかった。鑄肌模様などを変更が生じた場合は、Freeformで再度デジタルシボを生成すれば良く、従来の石膏原型の修整に比べると非常に容易である。



図6 樹脂ブロック材を切削加工したモックアップ

最終的に切削加工したマッチプレートを図7、図8に示す。デザイン決定後のマッチプレート製造期間を比較すると、従来法では約1ヶ月を要するが、本方法では約12日間であり、1/2以下となった。また、従来法では全て

手作業のため、工程毎に生じるズレや歪みが後工程に影響し、初期デザイン原型から寸法等が乖離する。本方法のマッチプレートは寸法公差約 $\pm 0.03\text{mm}$ であり、従来法によるマッチプレートより寸法誤差が少ないと言える。



図7 切削加工したマッチプレート

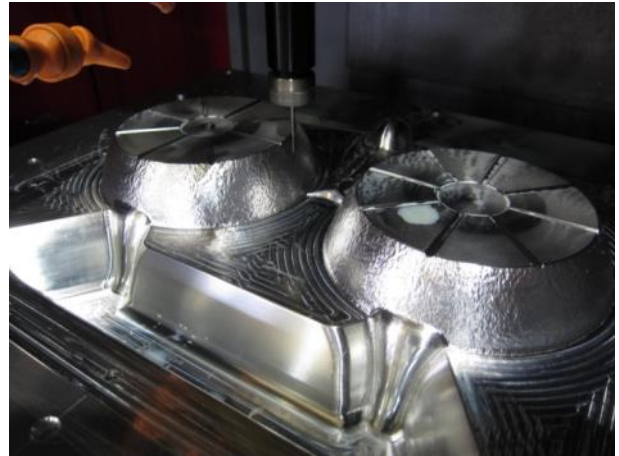


図8 切削加工したマッチプレート

3-3 鑄造と仕上げ

図9は完成したマッチプレートを使用した鑄造品である。

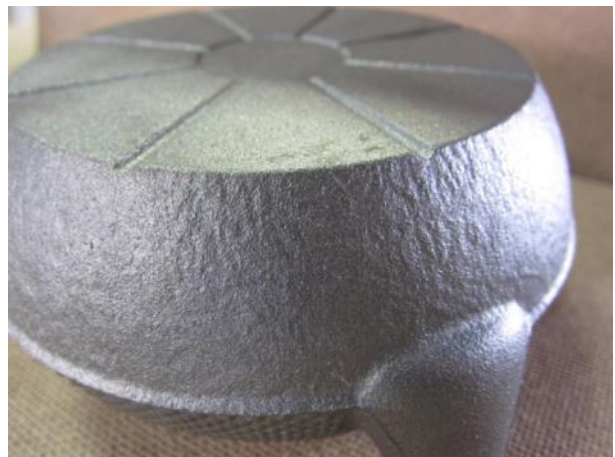


図9 完成したマッチプレートを使用した鑄造品



図10 完成した商品
(7型アラレ急須 IH対応型、株式会社岩鑄)



図13 完成した商品



図11 完成した商品



図12 完成した商品

る。鑄肌模様もFreeformで生成したイメージどおりであった。また、切削加工によりマッチプレートの精度が向上したことから、形のズレや歪みの少ない鑄造品が得られた。最終的に仕上げられた急須は、株式会社岩鑄から発売されている(図10~図13)。

4 結言

本研究では、南部鉄器の製造にデジタルシボ技術の活用を試みた。その結果、デジタルシボ技術を活用することで、マッチプレートの製造期間が大幅に削減できた。また、マッチプレートの精度が向上したことで、非常に品質の良い商品が得られた。

一方で、デジタルシボ技術は画像加工及びCAD操作技能や切削加工設備が必要であるため、商品デザインや鑄肌模様に合わせて、最適なマッチプレート加工方法を検討する必要がある。

有限会社バルモデルでは、鑄肌模様(種類と深さ)の規格化を行い、工期短縮や品質安定化、ユーザーニーズに即応できる環境構築などを検討し、これまでの製造工程では生み出せない新たな商品展開へアプローチする予定である。

当センターでは、広範囲の本県産業分野を対象に、デジタルシボ技術の応用を検討したいと考えている。

謝辞

本研究開発にご協力いただいた、株式会社岩鑄 飯岡工場 八幡洋永工場長様に感謝を申し上げます。

高齢者市場を見据えた柔らか惣菜製造の検討 (I)*

武山 進一**

高齢者向け介護食品開発のため、惣菜製品をスマイルケア食の枠組「容易にかめる」(黄5)に対応させることを目標とし、筑前煮食材対象に飽和蒸気調理機および酵素製剤を用いて、食材を柔らかくするための検討を行った。その結果、減圧操作を伴う酵素処理と飽和蒸気調理の組み合わせは、タケノコの軟化には限界があったが、根菜類(ゴボウ、レンコン)では目標値(5×10⁵ N/m²)まで軟化でき、一定の効果が確認できた。

キーワード：柔らか惣菜、介護食品、スマイルケア食、飽和蒸気調理機、酵素処理

Examination on fabrication of soft prepared dishes for senior markets (I)

Shinichi Takeyama

For nursing care foods of elderly persons, the softening method of ingredients in “Chikuzen-ni” has been examined by using “saturated steam cookers” and “enzyme preparations” as the goal of prepared foods for senior persons, which corresponds to “easily chewable” (“Yellow 5” in the framework of “Smile Care Food”). Consequently, we have confirmed that the combination of “enzyme treatment” with decompression operation and “saturated steam cooking” has been insufficient for softening of bamboo sheets but much effective for root vegetables (burdock, lotus root) because these harnesses have become below the standard value of 5 × 10⁵ N/m².

Keywords: soft prepared dishes, nursing care food, “Smile Care Food”, “saturated steam cooker”, “enzyme preparations”

1 はじめに

高齢化の進行に伴い高齢者を対象とする介護食品市場が拡大している。農林水産省は、有望な食産業の市場としてとらえ、食品物性に応じた分類を整理した新しい介護食品「スマイルケア食」¹⁻²⁾を発表し(H26. 11月)、その普及に取り組んでいる。我々は県内食品企業の高齢者向け介護食品市場への参入を支援するにあたり、将来的なスマイルケア食の普及を見据え、特に高齢者の日常生活に欠かせない惣菜製品での対応が必要と考えた。なお、噛む力が弱りはじめた段階の高齢者層のニーズを見込み、“弱い力がかめる”、“容易にかめる”かたさの惣菜製品開発の検討を実施することにした。

本研究では、加熱調理を伴う和食系の惣菜について、スマイルケア食「容易にかめる食品(黄5)」(黄：噛むことに問題のある方向け、数字：かたさを2～5の4段階に区分)への対応を目標とし、煮物類の加熱調理法として実績のある飽和蒸気調理機³⁻⁴⁾を用い、また酵素製剤による食材の軟化処理を併用した取り組みを実施したので報告する。なお、スマイルケア食「容易にかめる食品」

(黄5)の物性については、日本介護食品協議会のユニバーサルデザインフード(UDF)⁵⁾区分1と同等であることが示されているため、その規格値(かたさの上限値5×10⁵ N/m²)を目標に設定して検討を進めた。

2 方法

2-1 飽和蒸気調理機による筑前煮試作

惣菜の食材の軟化程度を評価するにあたっては、タケノコや根菜類の比較的にかたい食材の使用割合が多い筑前煮が適当と考えた。市販の筑前煮用水煮食材(神戸物産製で、れんこん、ごぼう、たけのこ、にんじん、こんにゃく、いんげんが乱切りされたもの)および鶏モモ肉(国内産)を原材料として、調味液としては濃縮つゆ(ヤマキ(株)製)を使用した。筑前煮試作の配合を表1に示す。

表1 筑前煮の配合割合

材料	配合量
筑前煮水煮(食材のセット)	1kg
鶏モモ肉(一口大にカット)	400g
濃縮つゆ(7倍希釈)	800ml

* 平成27年度 技術シーズ形成研究事業 発展ステージ
** 食品技術部

試作時の加熱調理には、飽和蒸気調理機 CK-20EL (三浦工業製) を用いた。筑前煮用食材は調味液と共に、ステンレス製容器 (ホテルパン) に入れ、通常は蓋をせず開放状態で調理した。尚、芯温測定は鶏肉で行った。

飽和蒸気調理システムは、槽内から空気を排除した後、飽和蒸気環境で蒸気の凝縮潜熱を利用して食材を加熱調理するものであり、これにより熱伝達能力が高まり、高速かつ均一な加熱(最高温度 120℃)が特徴である。精密な加熱温度コントロールが可能なことから、煮物や蒸し物料理の加熱調理に向いているものである。

2-2 酵素製剤を用いた食材の軟化試験

1) 酵素製剤と使用条件

タケノコ等の一部のかたい食材については、酵素を用いた軟化処理を検討した。酵素は、根菜類に対する軟化効果が期待される酵素製剤 AK アーゼ V⁶⁾ (青葉化成(株)製) を試験に用いた。この酵素製剤は、ペクチナーゼ (2.5%)、キシラナーゼ (1.0%)、および微量のプロテアーゼ、アミラーゼなどの配合物であり、調味液(濃縮タレの5倍希釈液)に2%溶解して用いた。

なお、この酵素製剤は、レンコン、ゴボウの場合には pH を酸性に調整することが推奨されており、pH 調整剤 (グルコン酸 50%#AK、ミールアップ CH3、いずれも青葉化成(株)製) を用い浸漬液を酸性 (pH4) に調整した。

2) 減圧処理効果の検討

酵素の食材への浸透効果を高めるため減圧処理を検討した。酵素製剤を溶かした調味液にタケノコ(水煮品)を浸し、真空デシケーター (イタリア・カルテル社製 No. 554)、ポータブルアスピレーター MDA-015 (アルバック工機(株)製) を用い、デシケーター内を 0.01MPa (0.1 気圧) まで減圧し一定時間保持させることで、酵素の食材内への浸透を促すこととした。このときの試験区は、減圧5分保持、減圧5分保持の2回繰り返し、減圧10分保持、の3試験区とし、対照区については酵素を含まない調味液を用い減圧5分を保持させた。

常圧に戻した後は、10℃16時間静置することで酵素を作用させ、その後レトルトパウチに移し 121℃20分の加熱処理にて酵素を失活させた。なお、対照区も同様の処理を実施した。

3) 飽和蒸気調理機の減圧機能を用いた酵素処理と製造試験

タケノコ、レンコン、ゴボウのかたい食材を対象に、酵素製剤(濃度2%)を溶解した調味液(食材に対し1.5倍量)に浸漬させ、飽和蒸気調理機で粗熱取り工程(保持時間10分、解除時間10分に設定)による減圧処理(約0.1気圧)により酵素を食材に含浸させた。取り出した後10℃で16時間静置することで酵素を作用させた。その後、

他の食材(鶏肉、ニンジン、インゲン)と調味液(食材の1.5倍量)を加え、飽和蒸気調理機で調理した(調理条件: 120℃・3分→105℃・40分→120℃・20分)。

なお、対照品は酵素処理せずに加熱調理したものとした。また、タケノコについては軟部位(スが入った状態のもの)を試験区に加えて酵素処理した。

2-3 かたさ測定

平成6年に厚生労働省(当時)が示した高齢者用食品の「かたさ」の測定法⁷⁾に従い、(株)山電クリープメーター RE-33005 を用いて測定した。直径3mm プランジヤーを用い、圧縮速度10mm/sec、クリアランスを試料の厚さの30%とした場合の単位面積あたりの最大力をかたさ [N/m²] とした。測定は、20±2℃の条件の下で行った。クリープメーターでの測定条件を、表2に示す。

表2 高齢者用食品の「かたさ」測定条件

ロードセル	2kgf	測定速度	10mm/sec
アンプ倍率	1倍	プランジヤーNO.	4
格納ピッチ	0.01sec	接触面直径	3mm
測定歪率	70%	サンプル厚さ	(実測値)

3 結果と考察

3-1 飽和蒸気調理機による筑前煮の試作

筑前煮の加熱調理条件については、加熱調理条件(3段階まで設定可能)を 120℃・3分保持→100℃・20分保持→120℃・15分保持、を基本条件として各段階について加熱温度、保持時間について検討を行なった。食材をより軟らかく仕上げるべく「鍋でじっくり煮る」ことを再現させる方向で試作を重ね、加熱調理条件を 120℃・3分→105℃・40分→120℃・20分とした。基本条件および検討後の条件で加熱調理した場合の食材のかたさ測定結果を図1に示す。

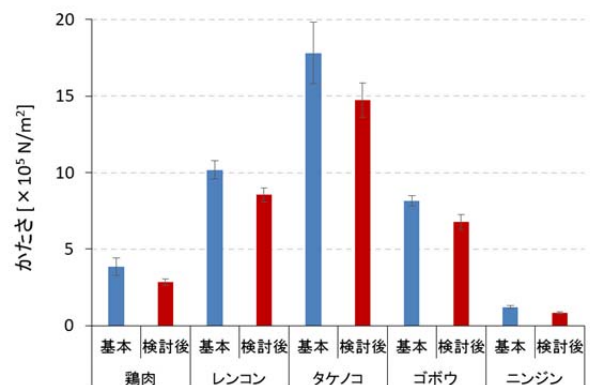


図1 筑前煮食材のかたさ測定結果

加熱調理条件の検討によりタケノコ、レンコン、ゴボウ等のかたい食材は、かたさが16~17%低下し軟化したが、目標とする5×10⁵ N/m²以下に達することは出来なかった。



写真1 飽和蒸気調理機で調理した筑前煮試作品

3-2 酵素製剤を用いた軟化試験

1) 減圧処理による食材への酵素浸透

かたい食材の代表格としてタケノコについて、市販の酵素製剤を用いた軟化試験を検討した。酵素液に浸漬させるだけでは、食材への酵素の浸透が不十分であることから、浸漬時に0.01MPa（0.1気圧）迄減圧処理した。タケノコのかたさ測定結果を図2に示す。

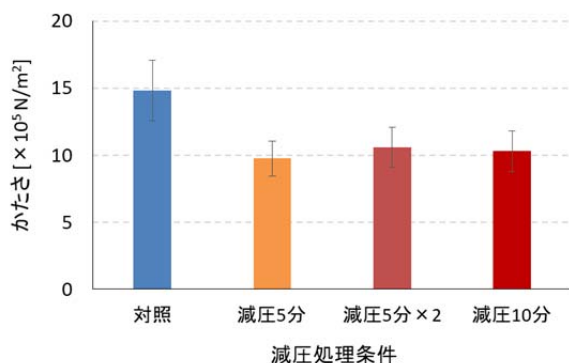


図2 酵素処理時に減圧含浸したタケノコのかたさ測定結果

減圧処理品のかたさは、対照品の0.66～0.71倍と効果は確認された。なお、減圧処理5分を2回繰り返し、処理時間を2倍とした減圧10分の試験区ともほぼ同じかたさであったことから、減圧処理は5分保持で十分であった。

2) 飽和蒸気調理機の減圧機能を用いた酵素処理と製造試験

飽和蒸気調理機には、食材のオーバークッキングを防止する目的から、粗熱取り機能(工程)が設けられている。処理槽内を0.01MPa（0.1気圧）程度迄減圧しその減圧状態を保持するものであるが、この過程で食材への煮汁の染み込みを促進させる(含浸効果)。この減圧処理を食材への酵素含浸の際に利用し、飽和蒸気調理機で、酵素処理時の減圧操作ならびに加熱調理を行う試作によるゴボウ、レンコン、タケノコのかたさ測定結果を図3に示す。

酵素処理とその後の加熱調理により、ゴボウは約60%、レンコンは約50%かたさが低下し、両者とも目標値の $5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ を下回ることが出来た。両食材とも浸漬液を酸性(pH4)に調整して酵素処理したものだが、pH調整することでかたさが28～29%低下(pH未調整品との比較)

することを確認しており、その効果は大きいものだった。

タケノコについては、酵素処理によりかたさを30%低下出来たが(かたさ値 $1.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$)、目標のかたさを大幅に上回る結果であった。今回の方法では、タケノコ組織内へ酵素含浸には限界があった。

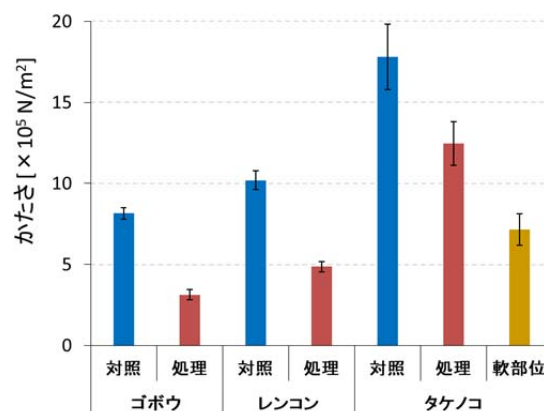


図3 酵素処理した飽和蒸気調理食材のかたさ測定結果

なお、試験に用意したタケノコ(水煮)のかたさは一様ではなく、中にはスが入ったような状態の部位も混在し、試験試料としてそれらは除いた。このような軟部位を選び試験したところ、かたさは $7.1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ になった(軟部位を除いた場合との比較でかたさが35%減少)。タケノコの場合、このような軟部位の利用や、形状(薄切り等)での工夫も必要と考えられる。

4 結言

惣菜製品をスマイルケア食の枠組「容易にかめる」(黄5、UDF区分1相当)に対応させるための検討として、筑前煮に用いられるかたい食材(タケノコ、レンコン、ゴボウ)を対象に、それらを柔らかくするために飽和蒸気調理機、および酵素製剤を用いた試験を行い、以下の結果を得た。

- 1) 飽和蒸気調理では、検討後の加熱調理条件(120℃・3分→105℃・40分→120℃・20分)で、鶏肉、ニンジンが目標とするやわらかさ(かたさ値 $5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 以下)になったが、かたい食材(タケノコ、レンコン、ゴボウ)の軟化には限界があった。
- 2) 酵素を用いた食材の軟化の検討において、減圧処理(0.1気圧、5分保持)によって、食材への酵素の含浸効果を高められることを確認した(タケノコでは、かたさが0.66～0.71倍に低下)。
- 3) 減圧操作を伴う酵素処理で軟化させた上で、他の食材とともに飽和蒸気調理することで、ゴボウは約60%、レンコンは約50%かたさが低下し、両者ともかたさの目標値 $5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ を下回ることが出来た。
- 4) タケノコについては、本法による軟化では、かたさ

の目標に達せられなかった。軟部位の利用や、形状(薄切り等)での工夫が必要と考えられた。

謝 辞

本研究の実施にあたり、飽和蒸気調理機を貸していただきました宮城県産業技術総合センター 畑中咲子様、また試験設計および試作時にご協力いただきました(株) マーマ食品社長 故伊藤恒利氏に深謝いたします。

文 献

- 1) 農林水産省：スマイルケア食（新しい介護食品），
<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/seizo/kaigo.html> (2017.8)
- 2) 農林水産省：スマイルケア食の取組について，

<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/seizo/attach/pdf/kaigo-19.pdf> (2017.8)

- 3) 三浦工業(株)：資料「食機商品説明 飽和蒸気調理機 CK, CL 編 Ver. 1.0(20120926)」
- 4) 相羽孝昭, 西出亨, 横山理雄著: 便利で美味しく安全な これからの高齢者食品開発, p193, 幸書房(2006)
- 5) 日本介護食品協議会：UDF 自主規格について，
http://www.udf.jp/about_udf/section_03.html (2017.8)
- 6) 青葉化成(株)：資料「根菜軟化用酵素製剤 AK アーゼ V」
- 7) 厚生省（当時）：高齢者用食品の表示許可の取扱いについて、平成6年2月23日衛新第15号厚生省生活衛生局食品保健課新開発食品保健対策室長通知(1994)

高齢者市場を見据えた柔らか惣菜製造の検討(Ⅱ)*

武山 進一**、伊藤 晃***、石川 千暁****、阿部 英夫****、
西田 沙耶香*****、小野 昭男*****

岩手県内の高齢者の食生活になじみ深い郷土料理の惣菜について、かたさの目標を“容易にかめる”(スマイルケア食・黄5)に設定し、医療機関専門家の協力のもと、その試食評価結果を反映することで改良を重ね、高齢者向け食品3製品(10アイテム)を開発した。なお、県北の郷土料理である「ひつつみ料理」については、湯煎等で簡単に食べられる為の検討を行い、冷凍およびチルド食品化への可能性を確認した。

キーワード：柔らか惣菜、スマイルケア食、郷土料理、ひつつみ

Examination on fabrication of soft prepared dishes for senior markets (II)

Shinichi Takeyama, Akira Ito, Chiaki Ishikawa, Hideo Abe,
Sayaka Nishida, Akio Ono

On the prepared food products of the local cuisine which are familiar with the eating habits of elderly peoples living in Iwate, we have set the target level of those hardness "easily chewable" (corresponding to "Yellow-5" in the framework of "Smile Care Foods") and have developed three kinds products (10 items) through the cooperation with and the evaluations by medical institution experts. For "Hittumi" which is a local cuisine in northern Iwate we have examined for easy eating method by warming in hot water and confirmed the possibility of a frozen or chilled food.

Keywords: soft prepared dishes, "Smile Care Foods", the local cuisine, "Hittumi"

1 はじめに

県内食品企業の高齢者向け介護食品市場への参入支援のため、農林水産省が進めるスマイルケア食¹⁻²⁾に対応する取り組みを行っている³⁾。スマイルケア食の展開については、地域産物を活用し地域ぐるみで介護食品開発が推進されており、特に高齢者の長年の食生活になじみある郷土料理は、介護食品として適している。今回、我々は県内企業と共に、岩手県内の地域ごとの代表的な郷土料理について、そのスマイルケア食対応に取り組むことにした。

岩手県の郷土料理については、県北及び県央部は小麦粉やソバ粉を用いた粉もの料理、一関市を中心とした県南はもち料理、奥羽山脈側の県西部では山菜を用いた料理、県東部では三陸沿岸の水産物を用いた料理が多い⁴⁾。これら郷土料理を対象に、スマイルケア食「容易にかめる(黄5)」(黄：噛むことに問題のある方向け、数字：かたさを2～5の4段階に区分)に対応する惣菜製品化の検討を行うこととし、基本的には参加企業の既存製品

(惣菜製品)をベースに改良を加える方向で進めた。

なお、粉もの料理については、県北の代表的な郷土料理である「ひつつみ料理」⁵⁾について取り組むこととした。小麦粉生地の「ひつつみ」と、鶏肉および野菜類からなる醤油味を基調とする鍋料理であるが、調理済みのものを湯煎等により容易に食べられるための検討を中心に実施した。これらの取り組みについて報告する。

2 方法

2-1 検討対象品

1) 山菜利用惣菜

山菜を利用した惣菜として「ぜんまい煮」、「ふきの鯖なまり煮」、これに「お煮しめ」を加え検討対象とした。いずれも(株) マーマ食品製の業務用チルド製品(賞味期限1ヶ月)。

2) もち料理

もち料理シリーズとして岩手阿部製粉(株)が市販し

* 平成28年度 技術シーズ創生研究事業 発展ステージ
** 食品技術部
*** 株式会社マーマ食品
**** 岩手阿部製粉株式会社
***** 小野食品株式会社

ている「あんもち」、「ごまもち」、「くるみもち」、「ずんだもち」を検討対象とした。いずれもパック詰 (1~2人用) された冷凍製品であり、常温解凍 (4~5時間) してから試食評価した。

3) 水産物利用惣菜

“具だくさんスープ”として小野食品 (株) が開発中の試作品「サンマのつみれ汁」、「鮭の石狩鍋風スープ」、「けんちん汁」を検討対象とした。いずれもパック詰 (1食分) された冷凍製品。冷凍状態のまま湯煎を行ない、温かい状態で試食評価した。

4) ひつつみ料理

「ひつつみ料理」は、「ひつつみ」生地を含め岩手県工業技術センター内で試作し、冷蔵および冷凍保存品ともに湯煎により再加熱し、温かい状態で試食評価した。

なお、「ひつつみ料理」は、「ひつつみ汁」や、単に「ひつつみ」と言われることがあるが、ここでは、小麦粉生地を「ひつつみ」、それを他の食材と併せた調理品を「ひつつみ料理」とする。

2-2 官能評価

高齢者向けの介護食品としての適性を高めるため、高齢者の摂食嚥下機能に詳しい専門家による評価が重要と考え、高齢者施設を有する医療機関である盛岡医療生活協同組合川久保病院 (栄養科) の協力を得て、開発対象品の試食評価を実施した。

1) 評価対象および方法

山菜利用惣菜 3種、もち料理 4種、水産物利用惣菜 3種。まず、現行品を対象とした評価を実施し (2回)、その評価を受けて改良を重ねるかたちをとり、改良品対象の評価は3回実施した。

2) 評価項目

「容易にかめる」を基準とした食材毎の評価、ならびに「今後への要望」をコメントで記入してもらった。なお、評価用紙には参考として食材毎に測定したかたさ値を記載した。

3) パネラー

病院の栄養士 (管理栄養士を含む)、言語聴覚士 (ST)、調理師および臨床検査技師で、8~12名で行った。

2-3 かたさ測定

スマイルケア食「容易にかめる食品」(黄5)の物性については、日本介護食品協議会のユニバーサルデザインフード (UDF)⁷⁾区分1と同等であることが示されているため、その規格値 (かたさの上限値 $5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) を目

標に設定して検討を進めた。かたさの測定は、前報³⁾と同様に(株)山電クリープメーターRE-33005を用い、表1の条件で測定した。

表1 高齢者用食品の「かたさ」測定条件

ロードセル	2kgf	測定速度	10mm/sec
アンプ倍率	1倍	プランジャーNO.	4
格納ピッチ	0.01sec	接触面直径	3mm
測定歪率	70%	サンプル厚さ	(実測値)

2-4 「ひつつみ料理」の試作

1) 「ひつつみ」生地

「ひつつみ」生地は、主原料である小麦粉に準強力~強力粉である“ゆきちから”(H27年県内産、府京製粉製)を用い、加水率29%で、ロール式製麺機で麺帯厚1.5mmに製麺し、9cm四方にカットした。

2) 「ひつつみ料理」

「ひつつみ料理」のレシピは、日本うま味調味料協会で紹介されている「ひつつみ」を参考にした⁸⁾。「ひつつみ」生地以外の食材は、鶏もも肉、ごぼう、にんじん、長ねぎ、干しいたけ、調味料としては酒、しょうゆ、食塩、うま味調味料とごく一般的なもので、食材のカット方法等も同レシピに従い、「ひつつみ」生地以外の食材はあらかじめ下茹でして用いた。

3) 加熱調理および保存条件 (試験区)

食材 (「ひつつみ」生地 25g、鶏肉・野菜類 95g、調味液 125g) 235g をレトルトパウチ (サイズ 200×300mm) に入れ、シールした後、100℃及び115℃で加熱調理 (20分間) した。氷水で冷却後、100℃加熱品は-30℃で冷凍保存、105℃加熱品は、冷蔵 (4℃)、冷凍 (-30℃) の2条件で保存した。保存は最長2ヶ月間行なった。

3 結果と考察

3-1 山菜利用惣菜

一般向け惣菜である現行製品の各食材のかたさの測定結果を表2に、試食評価結果 (まとめ) を表3に示す。現行製品の場合、タケノコ、ゴボウ等は目標上限値を大きく上回っていた。また、山菜 (ぜんまい、ふき) についてはかたさの上限値を下回っていたものの、高齢者にとってはかたくて食べ難い、という指摘があった。

これらの対策として、1) 加熱調理をレトルト (121℃・30分) で実施、2) 食材を薄切りし、繊維質の多い山菜は短くカット、3) 極端に硬い食材 (タケノコ) は不使用、とした。そして、高齢者にとって噛み切りにくいと指摘された食材 (コンニャク、油揚げ) は別の食材 (厚揚げ等) に置き換えることにした。また、味が濃く塩分が多過ぎる、という指摘については、天然ダシを増やし食塩使用量を抑える方向で調整した。

表2 山菜利用惣菜の食材毎のかたさ測定結果

惣菜名	食材	かたさ [$\times 10^6 \text{N/m}^2$]
ぜんまい煮	ぜんまい	2.0
	油揚げ	3.2
	ニンジン	2.7
ふきの鯖なまり煮	ふき	3.9
	さば	3.5
	油揚げ	2.9
お煮しめ	ゴボウ	15.3
	昆布(結び)	6.3
	コンニャク	2.9
	ニンジン	4.1
	シイタケ	4.5
	タケノコ	8.2
	厚揚げ	1.9

表4 もち料理製品中の餅のかたさ測定結果

かたさ [$\times 10^6 \text{N/m}^2$]	
あんもち	0.60
ごもち	0.70
くるみもち	0.84
ずんだもち	0.53

表5 もち料理・現行製品の評価結果（まとめ）

評価基準を“容易にかめる”としてのコメント
・弾力ありすぎ。噛み切りにくい。
・大きさも一口過ぎて丸飲みしそうで怖い
・タレの味が濃い（甘味が強い、塩分も多い）
・一番人気あるが、(元気な高齢者でも) 不安な食べ物

表3 山菜利用惣菜・現行製品の評価結果（まとめ）

評価基準を“容易にかめる”としてのコメント
・お煮しめ：食材の切り方が大き過ぎ
・かたさが $5 \times 10^6 \text{N/m}^2$ 以下でも、かたい食材あり
・全体的に味が濃く、食塩が多過ぎ
・お煮しめ：食材の切り方が大き過ぎ
・コンニャク、油揚げ等は噛み切りにくい

以上の検討を行ない、使用食材のかたさを全て目標上限値以内におさめ、かつ評価者の指摘に対応した惣菜製品を完成させた。それらの写真を写真1～3に示す。



写真1 ぜんまい煮
(60kcal/100g、食塩 1.1%)



写真2 ふきの鯖なまり煮
(51kcal/100g、食塩 0.92%)



写真3 お煮しめ
(65kcal/100g、食塩 0.64%)

3-2 もち料理

もち料理・現行製品中の餅のかたさの測定結果を表4に、その試食評価結果（まとめ）を表5に示す。

現行品の餅のかたさは、目標上限値を大きく下回るもので、かたさの数値には問題が無かったものの、評価結果は、咀嚼嚥下機能が低下した高齢者が咽喉に詰まらせることを危惧する回答が多かった。

評価結果を受け、1)餅の歯切れ良さを向上させるための原料配合を変更(牛皮粉の一部を細粒・道明寺粉(=α化したもち米)に置換)、2)餅の大きさを半分(10g → 5g)に変更、3)タレの味に関しては、砂糖の一部を水飴に置換し、醤油使用の配合を少なくする、等の改良を実施した。その結果、咽喉への詰まりにくさや、タレの味付けに配慮した餅料理を完成できた。

3-3 水産物利用惣菜

水産物利用惣菜として検討対象とした、具だくさんスープ製品のかたさの測定結果を表6に、その試食評価結果（まとめ）を表7に示す。

表6 具だくさんスープ（改良前）のかたさ測定結果

惣菜名	食材	かたさ [$\times 10^6 \text{N/m}^2$]
サンマつみれ汁	つみれ(さんま)	1.5
	ゴボウ	9.7
	ニンジン	4.7
	大根	3.9
	しめじ	1.7
鮭の石狩鍋風スープ	鮭	3.3
	ゴボウ	9.2
	コンニャク	4.8
	しめじ	1.5
	玉ねぎ	2.8
けんちん汁	豆腐	0.3
	鶏肉	4.0
	レンコン	6.5
	サトイモ	2.8
	大根	1.3
	ニンジン	1.6
	シイタケ	3.3
油揚げ	0.6	

表7 具だくさんスープ(改良前)の評価結果(まとめ)

評価基準を“容易にかめる”としてのコメント
<ul style="list-style-type: none"> ・根菜類にかたいもの多い ・鮭の骨は取った方がよい ・鮭の皮は食べ難い ・鮭の身がパサつくのは良くない

結果より、根菜類をはじめとする野菜食材のかたさが目標上限値をオーバーしているものが多く、試食評価においてもこの点が指摘されていた。また、鮭の切身については、その骨と皮は高齢者にとっては食べ難いという指摘があった。



写真4 サンマのつみれ汁
(51kcal/100g、食塩0.5%)



写真5 鮭の石狩鍋風スープ
(78kcal/100g、食塩0.6%)



写真6 けんちん汁
(36kcal/100g、食塩0.5%)

表8 具だくさんスープ(改良後)のかたさ測定結果

惣菜名	食材	かたさ [×10 ⁹ N/m ²]
サンマつみれ汁	つみれ(さんま)	1.0
	ニンジン	1.4
	大根	0.7
	シイタケ	1.7
鮭の石狩鍋風スープ	鮭のつみれ	2.9
	ニンジン	0.6
	シイタケ	2.1
	玉ねぎ	0.4
	豆腐	0.2
けんちん汁	鶏肉	4.1
	サトイモ	5.0
	大根	0.7
	ニンジン	1.3
	シイタケ	1.6
	油揚げ	0.7

以上の評価を受け、1)根菜類のかたさ対策として、加熱調理時間を2倍(40分加熱)とし、食材の薄切り(ニンジンの場合7mm→4mm厚)した。また、2)鮭の切身につ

いては、骨と皮を除去した上で、“つみれ”に加工したものをを用いることとした。その他、3)食材見直し(シメジをシイタケに変更、レンコン、ゴボウは不使用)を行い、目標とするかたさに対応させた。この改良品を写真4～6に、それらのかたさ測定結果を表8に示す。

3-4 ひつつみ料理

加熱調理温度(100℃、115℃)を変えて試作した「ひつつみ料理」の食材のかたさ測定結果を図1に示す。これを保存温度-30℃と4℃保存し2週間後に試食評価した結果を表9に示す。なお、4℃保存品は2か月後にも評価している。

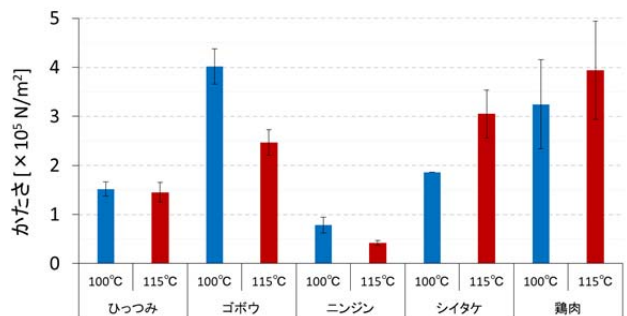


図1 ひつつみ料理食材のかたさ測定結果

表9 ひつつみ料理の評価結果

	冷凍用①	冷凍用②	チルド用
調理加熱温度	100℃	115℃	
保管時温度	-30℃		4℃
食材のかたさ	△ 一部の根菜類で若干硬さが残る	○ 但し、鶏肉がパサつきあり	
美味しさ	◎ 旨味を感じられ、良好	○ (比較すれば)加熱によるダメージ感あり	
ひつつみの状態	◎ 変色せず出来たてに近い	○ 加熱によるダメージあり	○ 吸水によるフヤケあり
評価	実用化の可能性充分	実用化の可能性充分	2ヶ月保存でも、ひつつみにツルツル感あり。
	ひつつみ生地同士がくっついてしまう問題あり(試験区共通)	“冷チル”流通が期待出来る	ひつつみは、汁を吸い変色しているが、その分美味しい

結果より、「ひつつみ」は100℃、115℃加熱調理の場合でも、そのかたさに問題はなかった。他の食材については、100℃加熱調理品で“根菜類がかため”という評価については、加熱時間を長めにとることで対応可能と判断した。

今回の試験は、湯煎等の簡単調理で「ひつつみ料理」を手軽に食べられるようにする為の検討として、調理済み品中の「ひつつみ」の保存流通中の状態変化の確認を目的としている。冷凍流通を想定した「冷凍用①」試験区では、「ひつつみ」は汁を吸水することもなく、湯煎加熱により出来たての「ひつつみ料理」が再現された状態となった。汁についても加熱し過ぎによる味の劣化が見られず、この点でも満足できる出来であった(写真7)。



写真7 ひつつみ料理試作品（湯煎後）

左：冷凍保存1カ月、右：冷蔵保存2カ月

「冷凍用②」試験区は冷チル流通（冷凍流通し販売時に解凍し、以後チルド品扱い）を想定したもので、この場合には、「ひつつみ」、汁ともに115℃加熱による劣化がやや感じられるものであった。ただ「冷凍用①」試験区との比較で違いが判るといふもので、十分許容できる出来であった。

「チルド」試験区では、4℃環境で「ひつつみ」は周囲の汁の吸水が進行するため、ふやけた状態となり、また汁の色による着色も進行した。この点の評価を得るため「ひつつみ料理」の事業化を考える企業関係者にも評価していただいた。その評価結果を表10に示す。

表10 「チルド」試験区の試食評価結果

関係者を対象とした「チルド」試験区の評価
<ul style="list-style-type: none"> ・「ひつつみ」がふやけているのは、むしろ高齢者向き ・「ひつつみ」が美味しい。スープとして製品化したい ・作った翌日の「ひつつみ」の味に近く、これはこれで美味しい

結果より、4℃保存中での「ひつつみ」の状態変化（ふやけ、着色）は、評価を下げる程のものでないと考えられた。また、4℃保存2か月保存品でも、「ひつつみ」のつつつした食感が維持されていた。115℃加熱はロングライフチルドを考慮した調理条件であり、「ひつつみ料理」の場合には、若干の加熱による品質低下は認められたものの、チルド流通および冷チル流通が可能と判断された。

以上により、湯煎によって簡単に食べられる「ひつつみ料理」について、冷凍流通、チルド流通、およびその組み合わせである冷チル流通に対応した製品化の可能性を確認出来た。

なお、その実用化にあたっては、「ひつつみ」同士のくっつきが大きな問題となる。加熱時に「ひつつみ」の生地同士で重なっていると、1) 生地同士でくっついて剥がれなくなってしまう、2) 生地の吸水が阻害され内部まで茹でが進行しない（芯が残る場合あり）こととなる。また、「ひつつみ」の生地が袋（パウチ）に密着した場合には、同様の吸水阻害が起きるとともに、過加熱による褐変も進行した。これらは「ひつつみ」の品質低下を招くもので、生地同士のくっつき防止対策は、今後の課題である。

4 結言

高齢者市場を見据えた柔らか惣菜製造の検討として、高齢者の食生活になじみ深い郷土料理をとりあげ、農林水産省が推進するスマイルケア食（新しい介護食品）の枠組「容易にかめる」（黄5）に対応する惣菜製品の開発に取り組んだ。

なお、官能評価については、高齢者施設を伴う医療機関の専門家の協力のもとに実施し、その評価をフィードバックすることで、高齢者向け食品として完成度を高めた。実施結果を以下に示す。

- 1) 山菜利用惣菜については、繊維質が多い山菜は短く切る、野菜類は薄切りする等の変更と、レトルト調理により、減塩にも配慮した3アイテムを開発した。
- 2) もち料理については、もちの歯切れ良さを向上させ、大きさについても半分にする等の改良を実施し、咽喉に詰まりにくい製品4アイテムを開発した。
- 3) 水産物利用惣菜については、切身で用いていた鮭を、食べ易さを考慮し“つみれ”にして用いる等の変更を行い、具だくさんスープ3アイテムを開発した。
- 4) 「ひつつみ料理」については、湯煎等で簡単に食べられる為の検討を行い、冷凍およびチルド食品化への可能性が確認出来た。但し、実用化にあたっては、「ひつつみ」生地のくっつき防止対策が必要であり今後の課題である。

なお、スマイルケア食・黄マーク（＝噛むことに問題のある方向け）の利用許諾については、そしやく配慮食品 JAS⁹⁻¹⁰（H28.8 制定）認定が前提であり、本研究の参加企業とともに、スマイルケア食の今後の普及に応じた対応を検討している。

謝辞

本研究の実施にあたり、官能評価にご協力していただきました盛岡医療生活協同組合 川久保病院栄養科の皆様へ感謝いたします。

文献

- 1) 農林水産省：スマイルケア食（新しい介護食品），
<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/seizo/kaigo.html> (2017.8)
- 2) 農林水産省：スマイルケア食の取組について，
<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/seizo/attach/pdf/kaigo-19.pdf> (2017.8)
- 3) 武山進一：岩手工技セ研報，**20**，（2017）
- 4) 高橋秀子，魚住恵：日本調理科学会誌，**253**，49 (2016)
- 5) 岩手の食事：農山漁村文化協会 (1984)
- 6) 日本介護食品協議会：UDF 自主規格について，
http://www.udf.jp/about_udf/section_03.html (201

- 7.8)
- 7) 厚生省 (当時) : 高齢者用食品の表示許可の取扱いについて、平成6年2月23日衛新第15号厚生省生活衛生局食品保健課新開発食品保健対策室長通知(1994)
- 8) 日本うま味調味料協会 : ひつつみ,
<https://www.umamikyoko.gr.jp/recipe/recipe/1058.html> (2017.8)
- 9) 農林水産省 : そしゃく配慮食品の日本農林規格, 平成28年8月17日農林水産省告示第1568号,
http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/attach/pdf/kikaku_itiran-7.pdf (2017.8)
- 10) 農林水産省 : そしゃく配慮食品についての製造業者等の認定の技術的基準, 平成28年8月17日農林水産省告示第1569号,
http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/attach/pdf/gijutu_itiran-7.pdf (2017.8)

大根塩漬けからの乳酸菌単離とスターターとしての検討*

玉川 英幸**

大根の一本漬は自然に起こる発酵を通して製造される日本の伝統漬物である。本研究では、塩漬け大根より乳酸菌の単離を試みた。乳酸菌菌叢の変化を解析した結果、漬込みの初期の発酵は *Leuconostoc mesenteroides* によって開始され、その後 *Lactobacillus curvatus* と *Lactobacillus sakei* が次いだ。各単離株をスターターとして大根塩漬の試作試験を行ったところ、*Leu. mesenteroides* 分離株と *Lb. curvatus* 分離株を用いた場合には良好な発酵が行われた。特に *Leu. mesenteroides* 分離株を用いた場合には酢酸に起因する強い酸味が感じられた。

キーワード : 乳酸菌、大根塩漬け、*Leuconostoc mesenteroides*、*Lactobacillus curvatus*、*Lactobacillus sakei*

Isolations of lactic acid bacteria from pickled daikon (Japanese white radish) and effect as inoculation of starter cultures on the fermentation.

Hideyuki Tamakawa

Daikon ippon-zuke is a traditional pickled white radish from Japan. Such radish was produced via spontaneous fermentation. In this study, we attempted to isolate, characterize, and identify lactic acid bacteria (LAB) in such pickled daikon. The analysis of changes in LAB flora indicated that the fermentation process was initiated by *Leuconostoc mesenteroides*, and followed by *Lactobacillus curvatus* and *Lactobacillus sakei*. Using these isolates as the initiation of fermentation process, the trial production of pickled daikon was demonstrated. As the result, improved fermentation was efficiently made using the isolates of *Leu. mesenteroides* and *Lb. curvatus*. A strong acid taste due to acetate, however, was felt by inoculation of isolated *Leu. mesenteroides*.

keywords : Lactic acid bacteria, pickled white radish from Japan,

Leuconostoc mesenteroides, *Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus sakei*

1 緒言

漬物とは、様々な野菜を漬け込み材料とともに漬け込むことで、保存性を高めるとともに熟成させ、風味を良くした食品の総称である。漬物には醤油漬けや酢漬けのように微生物の発酵を伴わないタイプの漬物と塩漬けや粕漬けのように発酵を伴うタイプの漬物が存在する。後者においては、主に野菜に付着している乳酸菌が野菜自体の糖분을代謝して風味の変化が起こっていることが知られており、Pederson が報告したザワークラウトの漬込み試験においては、漬込み初期に *Leuconostoc* 属、*Enterococcus* 属、*Pediococcus* 属などの乳酸球菌が増殖し、後期には *Lactobacillus plantarum* などを中心とした *Lactobacillus* 属の乳酸桿菌が増殖すると報告されている¹⁾。こうした前半に乳酸球菌、後半には乳酸桿菌が増殖するという菌叢変化は漬物の製造において、極めて一般的なものと考えられているものの、実際には様々な外的要因によって容易に変化する。すなわち、漬込み前の野

菜の洗浄状況、漬込み時の気温、またそもそもの野菜原料に付着している微生物種によっては、発酵が不十分だったり、逆に過発酵に至ったりすることは珍しくない。こうした状況を改善する目的として有望な乳酸菌菌株をスターターとして接種することが効果的と考えられている。

本研究においては、岩手県内メーカーが製造する大根塩漬け製造工程の主要な菌叢変化を確認するとともに、分離された乳酸菌のスターターとしての機能を検討したので報告する。

2 実験方法

2-1 使用菌株

実験に使用した乳酸菌株を Table 1 に示す。

* 平成 28 年度 技術シーズ創生研究事業 プロジェクトステージ

** 食品技術部

Table 1 Strain used in this study.

Strain	Relevant genotype	Reference
<i>Lactobacillus sakei</i>		
NBRC15893 ^T	Wild type (Type strain)	NBRC
NW34625	Wild type	This work (from Tank 46 in day 20)
<i>Lactobacillus curvatus</i>		
NW33915	Wild type	This work (from Tank 39 in day 22)
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>		
NBRC100496 ^T	Wild type (Type strain)	NBRC
NW24612	Wild type	This work (from Tank 46 in day 20)
NW33920	Wild type	This work (from Tank 39 in day 22)
NW35418	Wild type	This work (from Tank 54 in day 18)

2-2 漬液の生菌数、代謝物の測定および乳酸菌の分離

県内漬物メーカーの大根漬込み槽から経時的に漬液をサンプリングした。一般生菌数はサンプリングした漬液を適宜希釈し、標準寒天培地(Nissui Pharmaceutical, Tokyo, Japan) に塗布し、35°C で3日間培養後、塗布漬液 1 ml あたりのコロニー数を計測することで算出した (colony formation unit; cfu)。また、乳酸菌数は同じサンプルを 10 g/L 炭酸カルシウム、10 mg/L アジ化ナトリウム、10 mg/L シクロヘキシミドを含む MRS 液体培地 (Merck, Darmstadt, Germany) に塗布し、30°C、2-7 日間培養後にハローを形成したコロニー数を計測することで算出した。ハローを形成したコロニーは同じ培地に塗布し、再度ハロー形成を確認した後、各種増殖試験、菌種の同定試験、漬込み試験に供した。

2-3 機器分析

グルコース、フルクトース、マンニトール、酢酸、乳酸、エタノールの定量は Shi らの高速液体クロマトグラフィによる方法を一部改変して行った²⁾。60°C で保持した IC-Sep-ION-300 カラム(Tokyo Chemical Industry, Tokyo)を用い、溶媒として 0.01 N 硫酸(流速 0.4 mL/min)を使用した。検出には示差屈折率検出器(RID-10A, Shimadzu, Kyoto, Japan)を用いた。

2-4 乳酸菌種の同定

乳酸菌種の識別、同定には PCR-RFLP 法を用いた³⁾。MRS 培地で培養した乳酸菌菌体から PrepMan Ultra Sample Preparation Reagent (Thermo Fisher Scientific, San Jose, CA, USA)を用いてゲノム DNA の抽出を行った。PCR には SimpliAmp Thermal Cycler (Thermo Fisher Scientific)を用いた。各乳酸菌の 16S rDNA 配列は、それぞれの乳酸菌のゲノム DNA を鋳型として 27FC(5'-AGTTTGATCCTGGCTCAG-3') と 1490RC(5'-GTTACCTTGTACGACTTC-3')のプライマーセットを用いて EX Taq HS (Takara)で増幅した。反応は 94°C 30 秒、50°C 30 秒、72°C、90 秒の 3 ステップ 35 サイクルとし、サイクル終了後は 4°C に保持した。PCR

産物はフェノール/クロロホルム抽出を行った後、エタノール沈殿で精製した後、*MboI* と *XspI* (Takara)で 37°C、24 時間処理した。制限酵素処理溶液は 2.5%アガロース S (Nippon Gene, Tokyo, Japan)を用いてゲル電気泳動し、文献 3 に示された DNA の断片化パターンを照合することで乳酸菌種の同定を行った。

2-5 増殖試験

増殖試験には大根破砕液もしくは MRS 液体培地を用いた。大根破砕液は市販の大根をジューサーで破砕することで調製した。破砕液は 121°C、15 分間オートクレーブ処理を行った後、ガラス繊維ろ紙で吸引ろ過した。ろ液は 30°C で凍結、20°C で融解した後、1.0 μm フィルター、0.22 μm フィルターを用いた吸引ろ過を段階的に行うことにより、無菌化を行った。

各乳酸菌を MRS 液体培地、もしくは大根破砕液に接種後、30°C、静置条件で培養を行い、72 時間後の OD₆₆₀ と代謝物を測定した。

2-6 漬込試験

乳酸菌の前培養には大根破砕液を用いた。大根は 100 ppm の次亜塩素水に 15 分間浸漬した後、アルコール消毒したまな板と包丁を用いてカットした。

真空包装用の袋で 500 g 大根、12.5 g 食塩、0.4 g 醸源 (87.9% 炭酸カルシウム、5.5% サッカリン Na、6.6% 食品素材;大和食品工業)、0.5 g 新砂糖 (93% グルコース、5% サッカリン Na、2% クエン酸;株式会社三幸)、57.1 ml 滅菌水を混合した。乳酸菌培養液を初発 OD₆₆₀=0.001 となるように添加し、減圧条件下でヒートショックを行い、10°C で 40 日間漬込みを行った。

3 結果と考察

3-1 大根漬液中の代謝物と菌叢解析

3 つの塩漬け大根漬樽から経時的に 3 回のサンプリングを行い、各種生菌数および代謝物測定を行ったところ、乳酸菌数の増加と発酵に起因すると思われる乳酸と酢酸の生成が認められた (Table 2)。特に樽番号 46 と 54 に関

Table 2 Biochemistry of salted radish.

Tank No.	Storage period (day)	pH	Brix	Salt (%)	cfu		Substrates and products (g/L)					
					Plate Count Agar	MRS	Glucose	Fructose	Lactate	Acetate	Ethanol	
39	8	5.77	4.50	3.20	4.80 x 10 ⁴	0.00	2.8	0.5	0.1	0.1	1.2	
	22	5.52	4.80	2.63	6.70 x 10 ⁶	6.30 x 10 ⁶	4.3	1.7	1.0	0.3	2.2	
	43	4.50	2.50	1.55	ND ¹⁾	ND ¹⁾	0.9	0.1	1.5	0.2	0.8	
46	6	5.88	4.40	3.10	5.25 x 10 ⁴	1.32 x 10 ⁴	3.4	0.6	0.1	0.1	1.2	
	20	4.18	4.30	2.71	3.46 x 10 ⁸	3.24x10 ⁸	1.2	0.4	2.1	0.4	2.5	
	41	3.93	3.20	1.69	ND ¹⁾	ND ¹⁾	1.7	0.3	1.1	0.5	1.8	
54	4	5.80	4.70	3.50	2.22 x 10 ⁴	4.00 x 10 ²	2.0	0.4	0.1	0.0	0.5	
	18	4.33	4.50	2.69	2.31 x 10 ⁸	1.69 x 10 ⁸	2.9	0.6	1.8	0.4	1.9	
	39	4.18	2.50	1.38	ND ¹⁾	ND ¹⁾	2.6	1.0	1.8	0.3	1.2	

¹⁾No data

しては、漬込み 20 日前後のサンプリングにおいて、乳酸菌数(MRS 培地によって検出される)が 10⁶~10⁸ cfu まで増加していた。これらの結果は、今回サンプリングを行った 3 つの樽に関しては健全な発酵が行われていることを示している。一方、グルコースやフルクトースについては樽間で増減に差が認められた。また、樽番号 46 の乳酸濃度は漬込み 41 日目より 20 日目の方が高かった。

野菜は塩漬けにすることにより、脱水に伴う原形質分離によって細胞が死滅し、細胞内の成分が漬液中へ浸出する⁴⁾。通常の野菜の漬込みにおいては、こうした野菜の細胞内成分浸出と漬液中での微生物の発酵が同時に起こっている。したがって、発酵が速ければ糖類は減少し、発酵が遅ければ糖類は増加するとともに乳酸菌が生成した乳酸は希釈され減少する。樽番号 39 に関しては、漬込み 8 日目では乳酸菌は検出されず、漬込み 22 日目でグルコースとフルクトース濃度が増加したことから漬込み初期の発酵は遅かったものと想定される。しかし、43 日目の漬込みでは各糖濃度は大きく減少し、乳酸濃度も増加し続けたことから漬込みの後半は発酵が活発になっていることが示唆される。樽番号 46 については、漬込み 20 日の乳酸濃度が高いものの、43 日目では減少していること、グルコース濃度も増加していることから漬込み初期は活発な発酵が行われたものの、後半は乳酸菌の活性が低下していたことが想定される。樽番号 54 については、樽番号 39 と 46 の間程度の速度で発酵が進んだものと思

樽番号 39 と 46 の間程度の速度で発酵が進んだものと思われる。

3 つの漬樽から 3 回行ったサンプリングのうち、それぞれ最初の 2 回について乳酸菌の分離と PCR-RFLP 法を用いた乳酸菌種の識別と同定を行った。今回、PCR-RFLP 法で乳酸菌の識別を行ったところ、乳酸菌種が検出されたすべてのサンプリングにおいて *Leuconostoc mesenteroides* が検出された(Table 3)。また、それぞれの樽の 2 回目のサンプリングにおいては、*Lactobacillus curvatus* もしくは *Lactobacillus sakei* が検出された。漬込み初期に乳酸球菌が増加し、中期から後期に乳酸桿菌が増殖するという現象は、漬物の乳酸菌菌叢を解析した過去の報告と矛盾ないものである¹⁾。なお、引用文献 3 によれば、評価に用いた 99 種のうち 52 種の乳酸菌については、制限酵素断片化パターンが特異的であり、同定し得る可能性があることと示されているが、今回検出した 3 つの菌種については特異的な制限酵素断片化パターンを示すものであり、同定し得る菌種である。*Lb. curvatus* と *Lb. sakei* は 16S rDNA 配列の相同性が 98.2%であり、系統分類学的には極めて近い菌種である^{3,5)}。

乳酸菌の系統分類学的な報告を行った Felis と Dellaglio の報告では、どちらも *Lactobacillus sakei* グループに属する菌種として分類されている。3 つの樽において同様の微生物種が似たような増殖パターンを示したことから、少なくとも今回分離を行った加工場においては、こうした菌叢変化がどこでも起こっているのかもしれない。

Table 3 Identification of isolates.

Tank No.	Storage period (day)	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	<i>Lactobacillus curvatus</i>	<i>Lactobacillus sakei</i>	Total analyzed
39	8				0
	22	5	2		7
46	6	19			19
	20	6		1	7
54	4	4			4
	18	4		3	7

Table 4 Fermentation of LAB in MRS and radish juice.

Inoculated LAB	Medium	OD ₆₀₀	Substrates and products (g/L)					
			Glucose	Fructose	Lactate	Acetate	Ethanol	
without strain	MRS	0.000	18.9	0.0	0.1	4.0	0.2	
<i>Lb. sakei</i>	NW34625	MRS	4.800	4.3	0.0	12.9	5.1	0.2
<i>Lb. curvatus</i>	NW33915	MRS	4.440	3.7	0.5	13.3	4.3	0.2
<i>Leu. mesenteroides</i>	NW24612	MRS	2.040	0.7	0.0	9.3	4.4	4.1
<i>Leu. mesenteroides</i>	NW33920	MRS	3.820	0.2	0.2	10.2	4.4	2.4
<i>Leu. mesenteroides</i>	NW35418	MRS	2.780	0.6	0.3	8.5	4.6	2.9
without strain	Radish juice	0.000	21.8	18.2	0.1	0.1	0.2	
<i>Lb. sakei</i>	NW34625	Radish juice	0.042	19.0	18.0	1.9	0.1	0.2
<i>Lb. curvatus</i>	NW33915	Radish juice	0.039	19.3	17.8	1.8	0.1	0.2
<i>Leu. mesenteroides</i>	NW24612	Radish juice	0.158	14.3	6.2	3.6	2.2	0.2
<i>Leu. mesenteroides</i>	NW33920	Radish juice	0.211	14.3	6.4	3.6	2.1	0.2
<i>Leu. mesenteroides</i>	NW35418	Radish juice	0.159	13.8	6.7	2.7	2.0	0.2

Table 5 Fermentation of salted white radish by inoculated LAB.

Inoculated LAB	OD ₆₀₀	pH	Brix	Salt (%)	Gas	Substrates and products (g/L)						
						Glucose	Fructose	Mannitol	Lactate	Acetate	Ethanol	
without strain	0.41	5.62	6.4	2.23	+/-	12.9	9.6	0.5	0.1	0.1	1.2	
<i>Lb. sakei</i>	NBRC15893T	0.78	4.13	6.5	2.21	+	11.7	9.8	0.5	3.2	0.1	1.3
<i>Lb. sakei</i>	NW34625	0.41	5.67	6.5	2.15	+/-	13.9	10.3	0.6	0.1	0.1	1.3
<i>Lb. curvatus</i>	NW33915	1.79	3.95	6.4	2.19	+	10.5	9.1	0.4	4.1	0.2	1.2
<i>Leu. mesenteroides</i>	NBRC100496T	0.94	3.94	6.1	2.20	+++	6.8	0.0	9.9	3.4	1.7	1.4
<i>Leu. mesenteroides</i>	NW24612	1.78	3.70	6.1	2.20	+++	5.4	0.0	10.1	4.2	1.7	2.0
<i>Leu. mesenteroides</i>	NW33920	1.38	3.76	6.0	2.18	+++	N.D. ¹⁾	N.D. ¹⁾	N.D. ¹⁾	N.D. ¹⁾	N.D. ¹⁾	N.D. ¹⁾
<i>Leu. mesenteroides</i>	NW35418	1.61	3.83	6.0	2.17	+++	5.8	0.8	9.2	3.5	1.6	1.9

¹⁾Not Detected

3-2 分離乳酸菌の増殖特性

Leu. mesenteroides は乳酸の他に酢酸やエタノールを生成するヘテロ型発酵を示す菌種である。*Lb. curvatus* と *Lb. sakei* は糖濃度が高い環境では乳酸を主に生成する条件付きヘテロ型発酵を示す菌種である(糖濃度が低くなると乳酸以外の代謝物も生成する)。今回、単離・同定された乳酸菌の特性を確認するために MRS 培地と大根破砕液中での増殖、発酵能を解析した。なお、解析は各漬樽から分離された乳酸菌種のうち代表的な 1 株を用いて行った(Table 2)。

分離されたいずれの菌株においても MRS 培地に接種した場合は良好な増殖を示した (Table 4)。特に *Leu. mesenteroides* に分類された菌種についてはグルコースをほぼ完全に消費し切っており、約 10 g/L の乳酸と 2-4 g/L のエタノールが生成された。*Lb. curvatus*、*Lb. sakei* に分類された菌種については主要な生産物として主に乳酸を生成し、その濃度はおおよそ 12 g/L であった。これらの結果は、菌種の特徴を反映していることから、同定結果と矛盾ないものである。

しかし、一方でいずれの菌株も大根破砕液中での増殖性は乏しかった (Table 4)。*Leu. mesenteroides* に分類された菌種については OD₆₀₀ が 0.2 程度まで増加したものの、*Lb. curvatus*、*Lb. sakei* では 0.05 程度までしか増加しなかった。大根漬液中で優勢だった菌種が破砕液中で増殖性が乏しかった理由は不明ではあるが、調製時の加熱処理で必要な栄養素が失活した可能性、物理的破碎によって抽出される成分と原形質分離によって抽出される成分に差異がある可能性、培養初期に生育した微生物の代謝物を生育に要求する可能性が考えられ、これらについては今後詳細な調査が必要である。

3-3 乳酸菌スターターを用いた塩漬け大根の発酵

単離した乳酸菌の大根塩漬けにおける性質を確認するため、大根の漬込みを行った際の発酵パラメーターの解析を行った。

漬込み 40 日目の主要な発酵パラメーターについて Table 4 に示した。乳酸菌を接種しなかった群においては、乳酸生成は認められず、発酵によるガス産生も認められ

なかったものの、*Lb. curvatus* もしくは *Leu. mesenteroides* をスターターとして接種した群においては有意な乳酸生成と pH の低下が認められた。それぞれの試作品について官能評価を行ったところ、*Leu. mesenteroides* をスターターとして接種した群においては強い酸味が感じられた一方で、*Lb. curvatus* 摂取群の酸味は穏やかであった。

これら菌株の摂取群で乳酸濃度こそ 3-4 g/L と同程度であったが、*Leu. mesenteroides* では 1.6 g/L の酢酸を含んでいた。これは一般的なストレートタイプの果実酢飲料と同レベルの酢酸含有量である。各有機酸と酸味の関係は、これまでに種々の検討がなされており、同じ pH であれば乳酸より酢酸の方が酸味に与える影響は大きいとされている^{6,7)}。これらの結果は大根塩漬けにおける酸味が、*Leu. mesenteroides* のような酢酸を生成するヘテロ発酵型乳酸菌に起因している可能性が考えられる。なお分離株の 1 種である *Leu. mesenteroides* NW33920 については粘性物質を生成するため、代謝物の分析が不能であった。

このように塩漬け大根に接種された *Lb. curvatus* と *Leu. mesenteroides* については良好な発酵が認められた。また、*Lb. sakei* 標準株である NBRC15893 接種群では乳酸生成は認められたものの、分離株である NW34625 の増殖は認められなかった。先の大根破碎液での増殖性も同様ではあるが、分離後の増殖試験で増殖が乏しい菌種がなぜ製造現場で優勢となっているのかは今後調査が必要と思われる。

4 結 言

本研究では、大根塩漬けより乳酸菌種の単離を行い、*Lb. sakei*、*Lb. curvatus*、*Leu. mesenteroides* の単離に成功した。単離株のうち、*Lb. curvatus* と *Leu. mesenteroides* は大根の漬込み環境下で良好な増殖を示したのに対して、分離した *Lb. sakei* 株の増殖性は乏しかった。また、

Leu. mesenteroides の生成する酢酸は最終商品に強い酸味をもたらす可能性が考えられる。

謝 辞

本試験を実施するにあたり製造現場からの乳酸菌分離を快く提供していただいた西和賀産業公社株式会社様に深く感謝いたします。また、分離に関わる実験補助にご協力いただいた阿部敏之氏、小笠原唯氏に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) Pederson CS: Floral changes in the fermentation of sauerkraut, *New York State Agricultural Experiment Station*, 1930.
- 2) Shi NQ, Cruz J, Sherman F, Jeffries TW: SHAM-sensitive alternative respiration in the xylose-metabolizing yeast *Pichia stipitis*, *Yeast*, 19, 1203–1220 (2002).
- 3) Tamakawa H, Ito Y: 16S rDNA genotyping using PCR-RFLP analysis among lactic acid bacteria, *J Jpn Soc Food Sci* (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi), 64, 355-364, 2017 (Japanese).
- 4) 小川敏男: 最新漬物製造技術, 食品研究社, 1986.
- 5) Felis GE, Dellaglio F: Taxonomy of lactobacilli and bifidobacteria, *Curr issues intestinal microbial*, 8, 44-61, 2007.
- 6) Harvey RB: The relation between the total acidity, the concentration of the hydrogen ion, and the taste of acid solutions, *J Am Chem Soc*, 42, 712–714, 1920.
- 7) Johanningsmeier SD, McFeeters RE, Drake MA: A hypothesis for the chemical basis for perception of sour taste, *J Food Sci*, 70, 44-48, 2005.

地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告
平成 29 年 12 月 第 20 号

Journal of Local Independent Administrative Agency
Iwate Industrial Research Institute
2017 December Vol.20

発行 平成 29 年 12 月 28 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

TEL: 019-635-1115

FAX: 019-635-0311

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

E-mail: CD0002@pref.iwate.jp