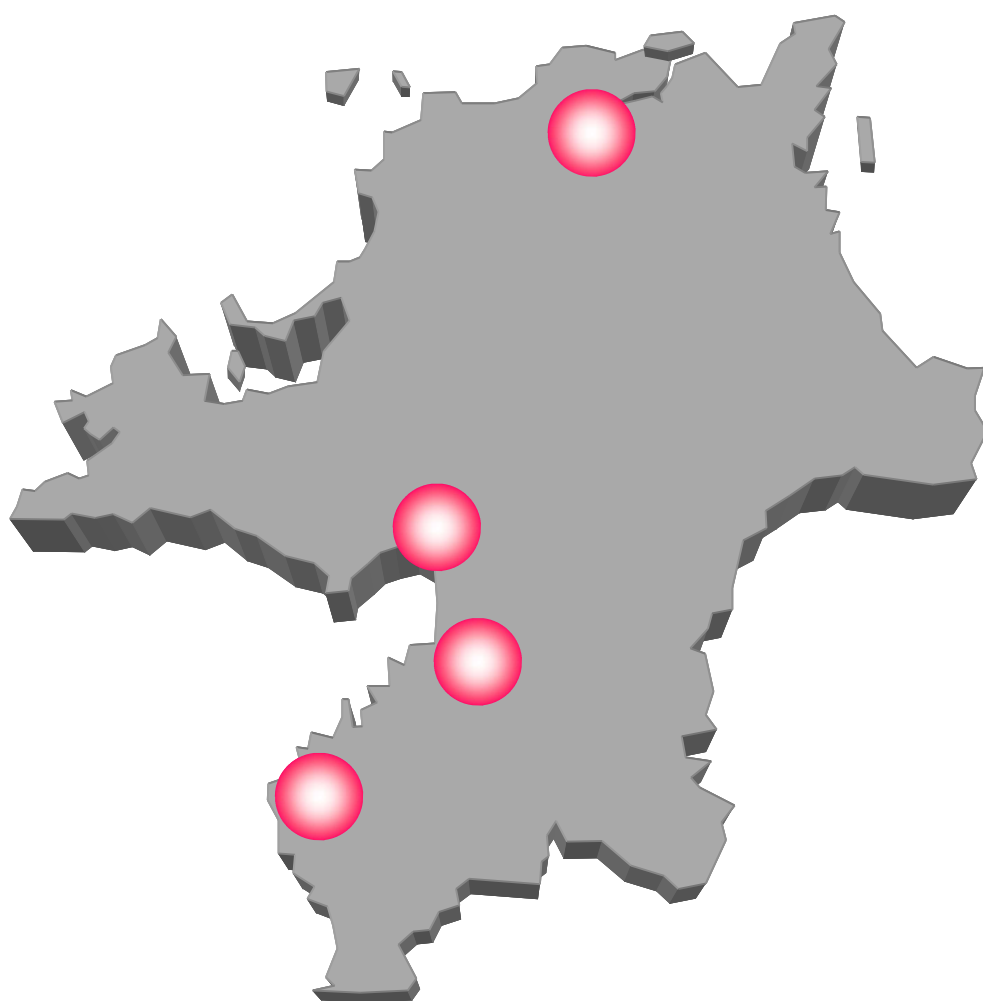


No.33 (2023)

# 研究報告



福岡県工業技術センター

## 福岡県工業技術センター研究報告 No.33 (2023) 目次

### ◆◆研究報告◆◆

新しい生活様式に対応した繊維製品の評価技術	1
泊 有佐 山本 圭一朗 田村 貞明 大島 雄三 藤田 祐史	
糸仕様変更による「肌触りの良い」久留米紬の素材開発	4
堂ノ脇 靖巳 大島 雄三 坂田 和生	
製造期間が短縮されたスクモのインジゴ定量と藍染めへの影響	7
大島 雄三 堂ノ脇 靖巳 甲斐 美由紀 吉田 博之 横溝 哲郎	
廃プラスチックの再生プロセスと物性に関する研究	10
齋田 真吾 田中 大策 中西 太郎 野見山 加寿子 津山 圭太 横地 佳彦	
木粉配合ゴムの調製および物性に関する研究	13
中西 太郎	
未利用アカモクの生理活性評価	16
—未利用アカモクからの化粧品・食品原料等の製品化を目指す取り組み—	
石川 智之 古賀 慎太郎 山川 雅之 川崎 孝治 寺本 充寛 正好 輝旭	
衛生状態「見える化」による食品の安全性・品質向上支援	20
川口 友彰 田崎 麻理奈 片山 秀樹	
保存性および嗜好性を両立した食品保存技術の開発（第1報）	24
—米粉焼きドーナツの賞味期限延長技術—	
田崎 麻理奈 片山 秀樹 堺 早恵子 吉武 麻子	
保存性および嗜好性を両立した食品保存技術の開発（第2報）	27
—草木饅頭の消費期限延長技術—	
田崎 麻理奈 川口 友彰 片山 秀樹 堺 早恵子 香山 真理子	
福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業における製品開発事例	31
—木を使ったモダンデザインのフロアライトの開発—	
隈本 あゆみ 友延 憲幸 石川 弘之 青木 幹太 酒見 達郎 鈴木 康洋	
福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業における製品開発事例	34
—収楽（しゅうらく）家具の開発—	
隈本 あゆみ 友延 憲幸 石川 弘之 青木 幹太 小早川 恒緒 白石 香波 板場 奈美	
福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業における製品開発事例	37
—年輪材の価値を感じることができるテーブルの開発—	
友延 憲幸 石川 弘之 青木 幹太 植木 正明 沖石 純子 久保 哲也	



センダン材家具に関する開発支援	40
	岡村 博幸 羽野 泰史 隈本 あゆみ 脇坂 政幸
炭素鋼におけるレーザ焼入条件の探索 (第1報) —走査速度が表面状態および硬化層へ与える影響—	44
	菊竹 孝文
炭素鋼におけるレーザ焼入条件の探索 (第2報) —出力が表面状態および硬化層へ与える影響—	48
	菊竹 孝文
サーメットチップ鑄ぐるみによる耐摩耗材料の開発	52
	島崎 良 小川 俊文 小野本 達郎 佐々木 誠 嘉屋 文康 森田 泰司 山本 郁
水モデルを用いた湯流れの観察及び改善	56
	島崎 良
レーザ肉盛における基礎技術の確立及び既存技術との比較検討	58
	島崎 良 小川 俊文 小野本 達郎 丸山 貴三 澤井 直久
ファイバーレーザを用いたステンレス鋼の溶接	61
	島田 雅博
SUS基材上の複合表面処理による耐食性機械特性の評価	63
	吉田 智博 山下 和章 山下 陵 山下 章子
甘夏みかんの自動外皮剥皮装置の開発	67
	在川 功一 永田 成敏 白木 政二
CAE及び振動試験システムを活用した現場の振動再現評価技術の開発	71
	高宮 義弘 内野 正和 木下 雅博
ふく射冷房パネルの流動可視化と熱交換量に関する研究	74
	村田 顕彦 山本 圭一朗 大内 崇史 岩崎 亨
金属粉末射出成形材料におけるVOF法を用いた熱流体解析	77
	山本 圭一朗 田尻 智基 中村 憲和 谷川 義博
カイゼンDXツール「YokaKit」の開発	81
	田口 智之 渡邊 恭弘 林 宏充 中野 貴敏 角 剛志 井上 隼佑
◆◆学協会誌掲載論文の概要◆◆	
電磁膜厚計による粗面基材上での膜厚測定	85
	古賀 義人

# 研究報告



# 新しい生活様式に対応した繊維製品の評価技術

泊 有佐\*1 山本 圭一朗\*2 田村 貞明\*1 大島 雄三\*1 藤田 祐史\*1

## Evaluation Technology for Textile Products Corresponding to New Lifestyle

Arisa Tomari, Keiichiro Yamamoto, Sadaaki Tamura, Yuzo Ohata and Yuji Fujita

国内で販売されるマスクの品質向上のため、新たに JIS T 9001「医療用マスク及び一般用マスクの性能要件及び試験方法」が制定されたが、当センターでは試験項目の圧力損失と捕集効率に対応できない。そこで、本研究では、圧力損失について簡易な測定装置と通気度試験による簡易換算、花粉粒子捕集効率について簡易な測定装置による評価を行い、それぞれ JIS 認証検査機関の結果と一致した値が得られた。

### 1 はじめに

新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、2020年6月に厚生労働省が「新しい生活様式」の実践例を公表し、感染防止としてマスクの着用を推奨した。国内ではマスク需要が急増し、県内繊維関連企業もマスクの製品開発に取り組んだ。一方、国内におけるマスクの試験項目と品質基準は2021年6月に日本産業規格 JIS T 9001<sup>1)</sup>で制定された。しかし、全ての試験項目を実施できる機関が国内で1か所しかなく、結果が得られるまでに時間を要するという課題がある。品質基準に合格しない場合は何度も素材開発や申請及び費用が必要となり、中小企業にとって大きな痛手となる。そこで、JIS 認証取得期間の短縮とコスト削減のため迅速かつ簡易な試験方法を検討した(図1)。

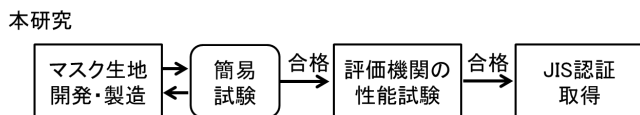
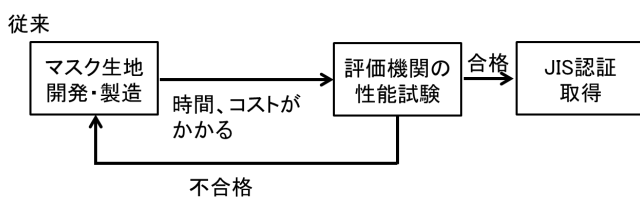


図1 簡易試験のスキーム

表1に JIS T 9001 の試験項目と品質基準を示す。マスクの安全衛生に関する試験項目である遊離ホルムアルデヒド、特定アゾ色素、蛍光は当センターで対応可能であるが、圧力損失と捕集効率については対応でき

ない。これらの装置は高額で入手困難であるため簡易な測定装置を試作した。

本研究では、圧力損失について簡易な測定装置、および生地の一般的な試験法である JIS L 1096「織物及び編物の生地試験方法」の通気度から JIS T 9001 に対応する圧力損失への簡易換算も検討した。捕集効率は、微小粒子、花粉粒子、バクテリア、ウイルスの少なくともどれか1つに適合しなければならない。ここでは一番粒子の大きい花粉粒子(30~40 μm)を対象として簡易な測定装置による評価を行った。

表1 JIS T 9001 試験項目と品質基準

試験項目	品質基準	
圧力損失(Pa/cm <sup>2</sup> )	<60	
捕集効率(%) 少なくともどれかひとつに適合すること	微小粒子	≥95
	花粉粒子	≥95
	バクテリア	≥95
	ウイルス	≥95
遊離ホルムアルデヒド(μg/g)	≤75	
特定アゾ色素(μg/g)	≤30	
蛍光	著しい蛍光を認めず	

表2 使用したマスク

素材	構造	材質	外観
不織布	フリース	ポリ乳酸(PLA) ポリプロピレン(PP) ポリエチレン(PE)	
布	立体	綿	

### 2 方法

#### 2-1 使用したマスク

表2に示すように素材や構造などが異なる2種類を用い、不織布マスクは静電フィルターを含む4層、布

\*1 化学繊維研究所

\*2 機械電子研究所

マスクは2層構造である。

## 2-2 素材評価

厚さ、目付、通気度試験は JIS L 1096「織物及び編物の生地試験方法」により行った。通気度試験は、8.26 通気性 A 法 フラジール形法に従い、通気性試験機 AP-360SM（株）大栄科学精器製作所）を用いた。

## 2-3 圧力損失

### 2-3-1 簡易な測定装置の試作

試作した装置を図2（左）に示す。差圧計 GC30（長野計器（株））、吸引ポンプ FTP-34A（KNF 社）、流量計 IDS-050（アイ・エイ・シー（株））を用い、試験片ホルダは、内径 25mm の塩ビ製パイプとフランジを加工して用いた。

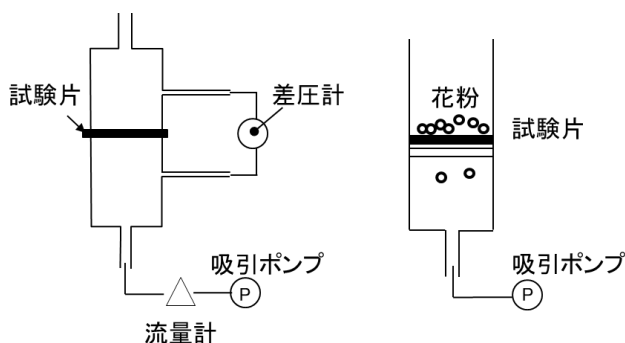


図2 試作装置(左:圧力損失, 右:花粉粒子捕集効率)

### 2-3-2 通気度試験による圧力損失の簡易評価

2-2 の方法で得られた通気度から JIS T 9001 でのマスクの圧力損失を簡易的に換算するため、補正方法の検討を行った。フラジール形法は、試験片の圧力損失が 125Pa となるように流量調整を行い、試験片の断面積と空気量より通気度 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ) を求めている。一方、JIS T 9001 では、流量 8.0L/min においてマスクの差圧を測定し、その差圧を試験面積  $4.9\text{cm}^2$  で割って、マスクの圧力損失 ( $\text{Pa}/\text{cm}^2$ ) を求めている。両者で試験時の流速が異なり、マスクの抵抗係数は流速に依存すると考えられる。このため、単純な流速による補正ではなく、流体解析を活用して、補正方法を検討することとした。

マスクの現物を解析対象とすることは、モデル化や計算に時間を要することから、マスクを薄い角孔の多孔板と見立て、解析を行った。解析は、熱は考慮せず、層流解析とし、解析に使用したソフトウェアは、

STREAM V2022.1（ソフトウェアクレイドル社）である。解析モデルを図3に示す。角孔1つのサイズは、0.01mm、0.1mm、1mm の3ケースとし、角孔1つの1/4を解析領域とし、Xmin 面と、Ymin 面に対象境界を与えた。角孔3ケースに対して、流入口と流出口のサイズを定める解析領域を変えることで、開口率を変えた計算を行った。流入口は全圧境界、流出口には流出速度を与え、マスクの壁面は滑りなしとした。角孔サイズ 0.1mm、1mm では、角孔の厚さを 0.4mm とした。角孔サイズ 0.01mm においては、角孔の厚さ 0.4mm では、圧力損失が過大となるため、角孔の厚さは 0.01mm とした。

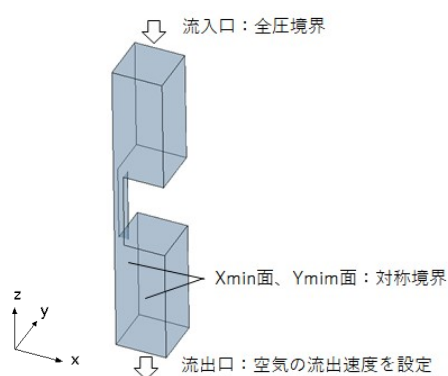


図3 流体解析モデル

解析手順として、まず、JIS T 9001 の流量 8.0L/min、試験面積  $4.9\text{cm}^2$  により算出される平均流出流速  $0.272\text{m/s}$  にて圧力損失を計算した。次に角孔での圧力損失が 125Pa となる流速を、流速変えた計算を複数回行うことで求め、得られた流速を通気度へ換算した。

## 2-4 花粉粒子捕集効率

試作した装置を図2（右）に示す。花粉粒子捕集率は、一般財団法人ボーケン品質評価機構の花粉粒子通過試験（ボーケン規格 BQE A 030）に準じ、得られた花粉粒子通過率から花粉粒子捕集効率を算出した。

$$\text{花粉粒子捕集効率 (\%)} = 100 - \text{花粉粒子通過率}$$

## 3 結果及び考察

### 3-1 素材評価

表3に結果を示す。一般的に繊維製品では、厚さと目付が小さいと通気性が高い。しかし、不織布マスクは布マスクより厚さと目付が小さいが、布マスクより通気度が低くなった。これは、不織布マスクが静電フ

フィルターを含む4層構造であるためだと考えられる。

表3 素材評価

	単位	不織布マスク	布マスク
厚さ	mm	0.52	1.13
目付	g/m <sup>2</sup>	112.2	358.7
通気度	cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> ・s	18.8	27.2

### 3-2 圧力損失

#### 3-2-1 簡易測定装置

試作した簡易測定装置と JIS 認証検査機関の結果を表 4 に示す。簡易測定装置から得られた圧力損失は、どちらも JIS 認証検査機関の測定値とほぼ一致し、JIS T 9001 で定められた品質基準の 60Pa/cm<sup>2</sup> より小さい値であった。

表 4 圧力損失結果

	不織布マスク	布マスク
	圧力損失 (Pa/cm <sup>2</sup> )	
簡易測定装置	33.6	28.4
JIS 認証検査機関	32.4	29.8

#### 3-2-2 通気度試験による圧力損失の簡易換算

角孔のサイズ 0.01mm, 0.1mm, 1mm における流体解析結果を図 4 に示す。横軸は通気度 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>・s)、縦軸は JIS T 9001 での圧力損失 (Pa/cm<sup>2</sup>) である。通気度 27.2cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>・s における流速が、JIS T 9001 の流速と一致している箇所となる。

マスクの通気度と試作装置 (図 2 (左)) による圧力損失の測定結果を図 4 に併せて示す。不織布マスクでは、角孔のサイズ 0.01mm の補正曲線と概ね一致したことから、角孔のサイズ 0.01mm の補正曲線を用いることで、通気度から JIS T 9001 での圧力損失を簡易的に推定することができると考えられる。一方、布マスクでは、圧力損失の測定結果が角孔のサイズ 0.01mm の補正曲線よりも高い値となった。布マスクは不織布マスクよりも繊維径が太いためによる影響と考えられ、布マスクでは、サンプル数が少ないものの、角孔のサイズ 1mm の補正曲線を用いて、簡易的に推定できる可能性が示唆された。

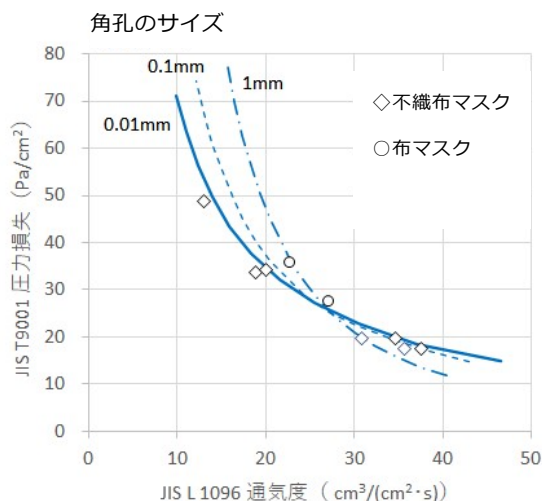


図 4 通気度から圧力損失への補正曲線

### 3-3 花粉粒子捕集効率

簡易測定装置 (図 2 (右)) を用いて布マスクを測定した結果、花粉粒子捕集効率は 98% で、JIS 認証検査機関の結果は、98.1% であった。このことから、簡易測定装置から得られた花粉粒子捕集効率が JIS 認証検査機関の測定値とほぼ一致した。

## 4 まとめ

本研究では、マスクの性能評価である JIS T 9001 の圧力損失について、簡易な測定装置と通気度試験による簡易評価を行った。その結果、JIS 認証検査機関の結果とほぼ一致し、通気度試験による簡易評価からも同程度の数値 (図 4) が得られることがわかった。また、花粉粒子捕集効率においても、簡易測定装置と JIS 認証検査機関の結果と一致した。

## 5 参考文献

- 1) 日本規格協会：JIS T 9001「医療用マスク及び一般用マスクの性能要件及び試験方法」(2021)

# 糸仕様変更による「肌触りの良い」久留米緋の素材開発

堂ノ脇 靖巳\*1 大島 雄三\*1 坂田 和生\*2

## Development of Kurume-gasuri Material that is "Pleasant to the Touch" by Changing Yarn Specifications

Kiyoshi Donowaki, Yuzo Ohata and Kazuo Sakata

綿織物である久留米緋の更なる「肌触りの良さ」を追求するため、異素材であるレーヨンを積極的に導入した。糸の太さ、撚り方向、撚り回数を変化させた試作糸を、緯（よこ）糸のみに導入して試織し、主観評価と客観評価を行った。この結果、「肌触りの良さ」にはレーヨン導入が有効であり、特にせん断剛性が起因したドレープ性の向上、また経時的吸放湿試験から放湿速度の向上による肌の調湿効果も寄与することが示唆された。

### 1 はじめに

久留米緋は、福岡県筑後地域のみで生産されている国の重要無形文化財かつ伝統的工芸品である。素材は綿の平織織物で、柄に特徴があり、予め糸束を括って染め分けて織ることで緋柄を浮き出させている<sup>1)</sup>。織元の特徴はその柄にあるが、地域に根付いた糸商から綿糸を仕入れることが多いために、糸は画一であり、素材の風合いや肌触りには特徴が現れにくい一面がある。

久留米緋のメーカーである有限会社坂田織物は企画、括り、染め、織り、縫製、販売まで一貫して製造販売を行っている。令和3年度に福岡県伝統的工芸品リーディングカンパニー創出事業で緋商品のコンセプト作りを行った。この中で、肌に触れるシャツやパンツ用途として「肌触りの良さ」にこだわった新しい緋生地を目指していた。一方、工業技術センターでは異素材や異なる太さ（以下、「異番手」と略す）の繊維を撚糸複合することにより特徴ある繊維製品作りのための素材開発を行っている<sup>2)</sup>。そこで、従来の綿糸以外の異素材（レーヨン）、異番手、撚り方向（右撚り、左寄り（以下、それぞれ「S撚り」「Z撚り」と略す））、撚り回数を変化させ、試織した生地の各種物性評価を行い、久留米緋における「肌触りの良さ」の要因を調査した。

### 2 方法

今回、報告する生地仕様を表1に示す。経（たて）糸は太さ30番手/双糸のS撚り（以下、30/2Sと略

す）に統一して、緯（よこ）糸を6種類変化させて、小幅用シャトル織機を用いて同じ条件で試織を行った。試織した生地サンプルは一度、80℃のお湯で湯通しを行って各種物性試験を行った。

主観評価は「肌触りの良さ」という観点で行い、上位2種類を選別した。客観評価は表2の物性項目を採用し、それぞれ既報<sup>3)</sup>に従って測定した。

表1 試作生地の仕様

No.	経（たて）糸		緯（よこ）糸		
	素材	番手	素材	番手	撚り数(回/m)
1	綿	30/2S	レーヨン	20/2S	472
2				30/2S	556
3				30/2Z	308
4				20/2S	1880
5	綿			20/2S	428
6				40/2S	600

表2 繊維物性評価項目

大区分	小区分	単位
嵩	目付	g/m <sup>2</sup>
	薄さ	mm
	圧縮仕事量	gf・cm/cm <sup>2</sup>
強度	引張強さ（よこ）	N
	引裂き強さ（よこ）	N
	摩耗強さ	回
快適性	通気し易さ	cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> ・sec
	吸水し易さ	%
	保温し易さ	%
ドレープ性	滑らかさ（摩擦係数）	—
	表面凹凸（平滑さ）	μm
	曲げ剛性	gf・cm <sup>2</sup> /cm
	せん断剛性	gf/cm・deg.

\*1 化学繊維研究所

\*2 有限会社坂田織物

水分移動の評価は JIS L 1954 生地を経時的吸放湿性試験方法に従って行った。温度は 20±2℃に固定し、事前調湿は 33±2%rh で 1 時間行い、吸湿過程は 85±2%rh で 1 時間行った。その後、放湿過程は 33±2%rh で 1 時間行い、各過程での質量変化を 0.1 mg まで測定して水分率 (%) として換算した。

### 3 結果及び考察

#### 3-1 繊維物性評価

主観評価で最も高い評価が得られた生地は緯糸に異素材のレーヨンを導入した生地であり、表1のNo.1, 2の順であった。これらの違いは緯糸レーヨン糸の太さのみであるが、太い方が肌触り良く感じている。表3に繊維物性評価の結果を示す。No.2は糸が細いためNo.1よりも生地のたるみ(以下、「ドレープ性」と略す)が大きく、軽くて薄い、圧縮し難い底付き感があり、保温性が低い結果であった。このためNo.1が2よりも優位に評価したと考察した。

次に、同じ太さ、撚り方向、撚り回数で従来用いて

いる綿と比較した。表3のNo.1と5を比較すると、No.1は軽く、薄く、保温性、通気性、吸水性が向上した。逆に、せん断剛性、曲げ剛性は、緯糸を変化させたヨコ方向だけでなく、タテ方向も半減することが明らかとなった。このことから「肌触りの良さ」にはせん断剛性、曲げ剛性から起因するドレープ性が大きく寄与すると考えられる。上述したNo.1と2の比較では、ドレープ性についてNo.2が優位であったことから、せん断剛性と曲げ剛性には最適な範囲があることが示唆された。また、「肌触りの良さ」指標の一つと考えられる「滑らかさ」、「表面凹凸(平滑さ)」では優位な結果は得られておらず、逆に、タテの表面凹凸はNo.5の8.1 μmよりも11.4 μmと1.4倍大きくなった。このことから、「肌触りの良さ」には滑らかさや平滑さの依存性は低いことが示唆された。この表面凹凸の増加現象は綿とレーヨンの湯通しによる変形が起因していると考えられる。表3の織密度を見るとNo.5のタテ183、ヨコ186に対してNo.1は166、192とタテは粗に、ヨコは密になっていることから、No.1

表3 繊維物性評価結果

小区分	No. 単位	1(20/2S)		2(30/2S)		3(30/2Z)		4(20/2S 強)		5(20/2S)		6(40/2S)	
		タテ	ヨコ	タテ	ヨコ	タテ	ヨコ	タテ	ヨコ	タテ	ヨコ	タテ	ヨコ
織密度	本/100 mm	166	192	167	197	181	196	164	182	183	186	179	193
軽さ	g/m <sup>2</sup>	187.5		155.6		164.6		218.6		200.6		137.7	
薄さ	mm	1.1		1.0		1.0		2.0		1.2		1.1	
圧縮し易さ	gf·cm/cm <sup>2</sup>	0.403		0.338		0.384		1.628		0.406		0.408	
引張強さ	N	243.5	357.4	264.7	248.4	259.8	251.4	248.7	209.5	256.8	384.8	241.9	177.0
伸び率	%	18.7	24.8	13.7	25.8	19.3	24.0	30.4	22.5	29.2	12.2	16.6	12.8
引裂き強さ	N	59.3	61.4	58.9	59.2	45.5	55.4	35.0	23.5	54.4	66.9	54.1	45.4
摩耗強さ	回	213		139		161		190		237		121	
乾燥し易さ	sec	118		112		67		188		97		95	
寸法変化	%	-1	-0.8	0	-1.3	-1.1	-0.7	-1.5	-34.1	-1.1	-0.8	-0.5	-0.7
通気し易さ	cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> ·sec	35.1		39.6		53.6		71.8		25.5		50.5	
吸水し易さ	%	140.7		152.3		122.8		91.4		109.6		96.5	
保温し易さ	%	20.0		17.2		14.9		21.4		18.0		22.7	
伸縮性	%	0.597	0.553	0.595	0.507	0.597	0.531	0.653	0.496	0.655	0.713	0.598	0.580
滑らかさ (摩擦係数)	—	0.235	0.077	0.230	0.051	0.224	0.082	0.266	0.062	0.239	0.072	0.245	0.089
表面凹凸	μm	11.4	6.87	9.0	5.75	10.2	8.31	7.1	8.81	8.1	6.95	5.9	8.20
曲げ剛性	gf·cm <sup>2</sup> /cm	0.065	0.103	0.070	0.054	0.064	0.055	0.393	0.121	0.080	0.202	0.068	0.059
せん断剛性	gf/cm·deg.	0.83	0.69	0.68	0.58	0.89	0.76	0.89	0.75	1.41	1.52	0.78	0.73



の経糸は蛇行することとなり、タテ方向の表面凹凸が増加したと考えられる。図1に生地から取り出した経糸の顕微鏡写真を示すが、No.1の経糸が大きく蛇行していることが分かる。この織密度と表面凹凸の傾向は同じS撚りのNo.2, 4でも観られた。

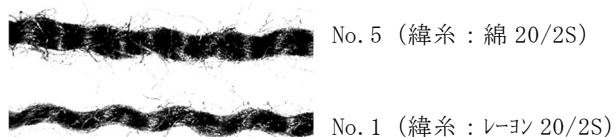


図1 織り込んだ経糸の形状

より細かい緯糸レーヨン糸 No. 2 (30/2S) と綿糸 No. 6 (40/2S) の比較も行った。No. 6の方が細かい糸であるものの、No. 2は同じようにせん断剛性が低く、タテ表面凹凸も増加した。この他、同じ太さの緯糸レーヨン糸 No. 2 (30/2S) と 3 (30/2Z) で撚り方向を比較したところ、ここでもせん断剛性が低いことが明らかとなった。しかし、タテ表面凹凸の増加は観られないことから、S撚り特有の現象であると考えられる。

### 3-2 水分移動

図2にNo.1と5の33%rhから85%rh、および85%rhから33%rhへの吸湿、放湿による水分率変化を示す。この図から吸湿、放湿の速度と開始時の水分率を求めた(表4)。この結果、No.1はNo.5よりもそれぞれの条件で水分率が大きく、吸放湿速度も大きいことが明らかとなった。特に、No.1は放湿速度が優れており、吸湿速度はNo.5の1.4倍に対して、放湿速度は1.8倍であった。この挙動から、レーヨンを導入することで肌の湿度状態を素早く調湿できることが考えられ、肌触りに寄与していると考えられる。

## 4 おわりに

以上の結果から、「肌触りの良さ」にはドレープ性と吸放湿性が寄与していることが示唆された。特に、ドレープ性ではせん断剛性の依存が大きく、上述したレーヨンと綿との比較、細番手での比較、レーヨン同士の撚り方向での比較共にせん断剛性に特徴が現れていた。しかし、主観評価ではせん断剛性が低いNo.2より太番手のNo.1が優位であったことから、せん断剛性にも最適範囲があることが示唆された。また水分

移動では、特に放湿速度が優れていることから肌の調湿効果が考えられ、これも「肌触りの良さ」に起因していると推察している。

さらに、表3には撚り回数を比較したNo.1とNo.4の結果も示した。No.4の緯糸レーヨン糸は強撚しているため湯通しによって「シボ」が発生して「ちりめん生地」となり、No.1とは全く風合いが異なった。この効果は寸法変化が40倍以上、通気性が2倍以上、圧縮し易さが4倍以上大きくなっていることから判断できる。これも新しい緋生地として有用な素材の一つであると考えられる。

今後の課題として染色性がある。レーヨンは綿と同じ染料を使うことができるものの、久留米緋は括りで染め分けする必要がある。今後、レーヨンの括り、括り染めを検討する必要がある。

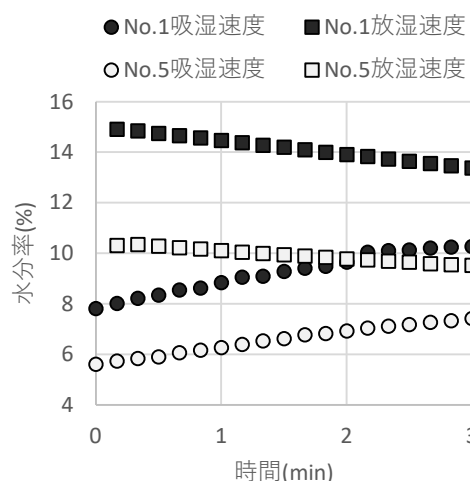


図2 試作生地の経時的吸放湿挙動

表4 吸放湿速度と各湿度における水分率

No.	吸湿(33→85%rh)		放湿(85→33%rh)	
	速度(%/min)	開始時の水分率(%)	速度(%/min)	開始時の水分率(%)
1	0.861	7.9	0.549	15.0
5	0.616	5.6	0.306	10.4

## 5 参考文献

- 1)久留米緋協同組合(オンライン)  
<https://kurumekasuri.jp/参照> (2023-03-31)
- 2)堂ノ脇靖巳ら:福岡県工業技術センター研究報告書, No. 32, pp. 1-3(2022)
- 3)堂ノ脇靖巳ら:福岡県工業技術センター研究報告書, No. 29, pp. 1-4(2019)

# 製造期間が短縮されたスクモのインジゴ定量と藍染めへの影響

大島 雄三\*1 堂ノ脇 靖巳\*1 甲斐 美由紀\*2 吉田 博之\*2 横溝 哲郎\*2

## Analyses and Dyeing Indigo Properties Using *Sukumo* Produced in the Novel Short Period

Yuzo Ohata, Kiyoshi Donowaki, Miyuki Kai, Hiroyuki Yoshida and Tetsuro Yokomizo

福岡県内では、繊維製品の藍染めを行う中小企業が多数存在するものの、藍染めの原料であるスクモは、県外産の製品を購入している状況にある。近年、福岡県内で藍草の栽培およびスクモの製造を行う久留米藍草生産者協同組合では、高速堆肥化水を用いた機械攪拌により、製造期間を従来の半分以下である約1か月と短縮させたスクモを開発した。この新しく開発したスクモは、従来の製法で作られた徳島県阿波地方産のスクモと比較して、染色性が低く、藍色成分「インジゴ」の含有量が少ないことが明らかとなった。

### 1 はじめに

藍染めは、日本の伝統産業として江戸時代に発展した染色方法であり、ジャパンプルーと呼ばれるほど日本の特徴的な色である。この藍染めに用いられる染料として、藍の生葉と比較して長期保存が可能であり、より濃色に染色できる「スクモ」が古くから用いられている。スクモの製造は図1上段に示すように、タデ藍の葉を茎から分離して乾燥させた後、約100日間かけて堆肥化することで製造される。堆肥化の工程では、数百～数千kgに堆積した藍の葉に水をかけ、人の手で混ぜる作業があり、葉の発酵により室温が70℃にもなること<sup>1)</sup>、アンモニア臭がすることから、スクモの製造は過酷な環境における手作業である。

福岡県内では、藍草の栽培は江戸時代に実施されていたが<sup>2)</sup>、現在はほとんど行われておらず、藍染めを行う県内企業は、県外産のスクモを購入している状況にある。このような状況において、福岡県内で藍草の栽培およびスクモの製造を行う久留米藍草生産者協同組合は、スクモの製造工程を見直し、高速堆肥化水を用いた機械攪拌およびたい肥化後の葉茎分離による手法を開発している（図1下段）。これにより、スクモの製造期間を従来の約100日から約1か月と大幅に短縮することが可能となった。

今回の研究では、久留米藍草生産者協同組合によって機械化により短期間で製造されたスクモの染色性を、従来のスクモと比較した。染色性の評価は、綿布の藍

染めをして色濃度を測定するとともに、藍色成分「インジゴ」の定量分析を行った。

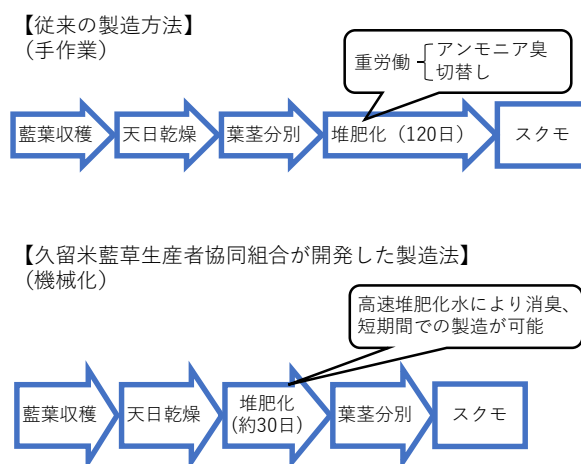


図1 スクモの製造手法（上段：従来の製造法，下段：久留米藍草生産者協同組合が開発した製造法）

### 2 実験方法

#### 2-1 スクモの乾燥、粉碎

今回の実験に用いた試料は、久留米藍草生産者協同組合が新たな手法で製造したスクモ（KS，図2左側），対照試料として従来の手法により徳島県阿波地方で製造されたスクモ（AS，図2右側），および市販のインジゴ粉末（I）を用いた。

これらのスクモを100℃で乾燥した後にボール状粉碎機（SPEX Sample Prep(同)製8000M Mixer/ Mill）により粉碎し、以下の実験に用いた。

\*1 化学繊維研究所

\*2 久留米藍草生産者協同組合



図2 スクモ (左:KS, 右:AS)

## 2-2 スクモを用いた藍染めによる綿布染色

藍染めに用いる試料や薬品の分量は、表1に示す通りとした。まず、スクモとアルカリの炭酸ナトリウムをイオン交換水に混合し、40℃で1時間振とうさせた。次に、還元剤のヒドロサルファイトナトリウムを添加してすべて溶解した後、綿布(約5 cm四方)を投入して1時間ゆっくりと攪拌した。その後、綿布を取り出して水洗、乾燥した。染色した綿布について、色差計(日本電色工業(株)製NF333)により白色綿布を基準とした色差( $\Delta E^*(ab)$ )を測定した。

表1 藍染めに用いたスクモや薬品の分量

薬品等	分量
スクモ	1 g
炭酸ナトリウム	1 g
ヒドロサルファイトナトリウム	1 g
イオン交換水	30 mL

※市販のインジゴ粉末の仕込み量は、0.03 gとした。

## 2-3 スクモのインジゴ定量分析

スクモに含まれるインジゴの抽出には、クロロホルム<sup>3)</sup>、ジメチルスルホキシド<sup>4), 5)</sup>、氷酢酸<sup>6)</sup>などが用いられているが、今回はインジゴ溶解度が高いN,N-ジメチルホルムアミド<sup>4), 7)</sup>(DMF、富士フィルム和光純薬(株)製)を用いてインジゴ抽出を行い、得られた抽出液の吸光度を紫外可視分光光度計(日本分光(株)製V-650)で測定しインジゴ濃度を算出した。

濃度算出に必要な検量線の作成に用いた標準溶液は、市販のインジゴ粉末(インド藍、(株)田中直染料店)をイオン交換水で精製・乾燥後、10 mgを量り取りDMFに溶解させて100 mLに定容した。さらに、この溶液を希釈して6つの標準溶液(0.2 mg/L, 0.5 mg/L, 1.0 mg/L, 5.0 mg/L, 10 mg/L, 20 mg/L)を作製した。これらの標準溶液を10 mm石英セルに入れ、610 nmの波長における吸光度を測定し、インジゴ濃度を算出する検量線を作成した。得られた検量線は、[インジゴ濃

度: mg/L] = 0.0825 × [吸光度] + 0.00339, 検量線の相関係数: 0.99995, 標準偏差: 0.590, 変動係数: 3.51であった。

続いて、スクモのインジゴ定量分析手順を記す。粉碎したスクモ50 mgをDMFに溶解して100 mLに定容した上澄み液を、検量線の濃度範囲(0.2~20 mg/L)に入るよう希釈して試料溶液とした。試料溶液の吸光度を標準溶液と同条件で測定し、検量線より試料溶液のインジゴ濃度を算出した。算出したインジゴ濃度と試料溶液の希釈倍率から、スクモ量に含まれるインジゴ量を重量%として算出した。

## 3 結果と考察

### 3-1 スクモを用いた藍染めによる染色濃度の比較

製造手法の異なるスクモの染色性を確認するため、スクモを用いた綿布の藍染め(薬品を用いた化学建て)を行い、染色した綿布を比較した。これらの染色綿布と色差値 $\Delta E^*(ab)$ を表2に示す。久留米藍草生産者協同組合が新たな手法で製造したスクモの色差値は48であり、従来の手法により製造されたスクモ(AS: 62)や市販のインジゴ粉末(I: 64)よりも低い色差値であった。スクモによる藍染め綿布の色差値が異なったのは、スクモ中の藍色成分「インジゴ」の含有量に由来すると考えた。

表2 染色後の綿布と $\Delta E^*(ab)$

スクモ	KS	AS	I
写真			
$\Delta E^*(ab)$	48	62	64

### 3-2 スクモのインジゴ定量

スクモに含まれるインジゴ量を表3に示す。スクモに含まれるインジゴ量は5%以下と言われており<sup>8)</sup>、藍草の堆肥化によりセルロースが分解され、インジゴ量は藍草よりも高い数値になることがわかっている。今回、久留米藍草生産者協同組合により新たな手法で製造されたスクモKSのインジゴ量は1.3%、従来の手法により製造されたスクモASは1.7%であった。短期間の製造工程においても藍草の堆肥化が進んだものの、

従来の手法により製造されたスクモASよりもインジゴ量は少なかった。これは、短期間での発酵であったためセルロースの分解が十分に進まなかったためと考えられる。このインジゴ量の差が、藍染め綿布の色差値に影響したと考えられる。

表3 スクモに含まれるインジゴ量

試料名	インジゴ量
KS	1.3 %
AS	1.7 %

### 3-3 染液中のアルカリ還元状態の観察

通常、染色とは染料を水や有機溶媒に溶かし、溶けた染料と繊維を化学結合させるものである。藍染めにおいては、インジゴは水だけでは溶けず染色できないが、染液をアルカリ還元状態にすることで、インジゴが水溶性の「ロイコインジゴ」に変換され、染色できるようになる。このため、染液がアルカリ還元状態であるか測定し、ロイコインジゴへ変換される条件が整っているか確認した。なお、藍染めに適したアルカリ還元状態とは、水素イオン濃度 (pH) が11.5~12、酸化還元電位 (ORP) が-750~-800 mV以下であるとされる<sup>9)</sup>。

藍染めに用いた染液のpHとORPを測定した結果を表4に示す。いずれの染液もpHが9.8~10.1と藍染めに適したpHよりも低かったものの、ORPが-795~-800 mVと十分な還元状態となっていた。このため、すべての染液において、還元状態にほとんど差はなく、インジゴからロイコインジゴへ変換される条件は揃っていたと考えられる。

表4 染液のインジゴ還元状態

試料名	pH(-)	ORP (mV)
KS	9.8	-795
AS	10.0	-800
I	10.1	-800

## 4 おわりに

久留米藍草生産者協同組合によって新たな手法で製

造された藍染め染料「スクモ」の染色性を、従来のスクモと比較した。染色した綿布は藍色に染まったものの、従来のスクモよりも色濃度が薄かった。これは、スクモに含まれる藍色成分「インジゴ」の含有量が少なかったためと考えられる。また、染液のアルカリ還元状態は、スクモの種類による変化はなく、藍染めに適した状態になっていた。

今後、インジゴ量を増加させたスクモを開発し、染色試験を行うとともに、染液中のロイコインジゴ定量手法を検討する予定である。

## 5 参考文献

- 1)NHK 美の壺制作班：NHK美の壺 藍染め(2007)
- 2)財団法人久留米絨技術保存会：久留米絨(1969)
- 3)皆川基：大阪市立大学生活科学部紀要，28巻，pp. 87-89(1980)
- 4)中西謙二，宮崎絵梨，武知博憲，村井恒治：徳島県工業技術センター技術報文，18巻，pp. 21-24(2009)
- 5)牛田智，太田真祈：日本家政学会誌，46巻(12号)，pp. 1167-1171(1995)
- 6)中村正子，村岡雍一郎：平安女学院短期大学紀要，9巻，pp. 67-72(1978)
- 7)川人美洋子，安川涼子：繊維と工業，63巻(2号)，pp. 48-53(2007)
- 8)坂川哲雄，広田昭治：加工技術，19巻(5号)，pp. 288-292(1984)
- 9)坂川哲雄，広田昭治：加工技術，19巻(10号)，pp. 660-666(1984)

# 廃プラスチックの再生プロセスと物性に関する研究

齋田 真吾\*1 田中 大策\*1 中西 太郎\*1 野見山 加寿子\*1 津山 圭太\*2 横地 佳彦\*2

## Research on recycling process and physical properties of waste plastics

Shingo Saita, Daisaku Tanaka, Taro Nakanishi, Kazuko Nomiyama, Keita Tsuyama and Yoshihiko Yokochi

脱炭素社会の実現や地球温暖化抑制に向けて、プラスチックのマテリアルリサイクルの推進が必要とされている。しかし、プラスチックのマテリアルサイクルによって得られたリサイクル材は、未使用のバージン材と比較して物性が低下する傾向にあることから、リサイクル材の活用にあたっては物性の把握が非常に重要である。本研究では、成形端材を粉砕するなどして得られたリサイクル材の機械的物性について各種検証を行うことで、リサイクルに伴う物性の低下が比較的小さいことを確認することができた。

### 1 はじめに

プラスチックは、成形の容易さや軽量といった特徴を活かして自動車部品や日用品、包装用品、雑貨、機械部品など非常に多くのものに使用されている。プラスチックは生活に欠かすことができない化学製品であるが、二酸化炭素排出抑制の観点から、プラスチック廃棄物を取り巻く状況は年々厳しくなりつつある。そのため、リデュース、リユース、リサイクルといった3R等を含めたプラスチック資源循環体制を強化していくことが重要と考えられている。国内では、2019年5月に「プラスチック資源循環戦略」が策定され、これに基づき、2020年7月にはレジ袋の有料化が開始されるなど、身近なところでも具体的な取り組みが浸透しつつある。また、2022年4月には「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律（プラスチック資源循環促進法）」が施行され、プラスチックのライフサイクル全体において関わりのある全ての事業者、自治体、消費者が相互に連携しながら、再資源化等に取り組むことが必要とされている。回収したプラスチック製品を粉砕や熔融するなどして再び製品として成形するリサイクル方法として、マテリアルリサイクルがある。プラスチック廃棄物の排出抑制が求められている中で、プラスチックのマテリアルリサイクルの促進は益々重要になってきている。しかし、プラスチック廃棄物から再生したリサイクル材は、未使用のバージン材と比較して、物性が低下する傾向にあることが課題

の一つといわれている<sup>1)</sup>。そのため、リサイクル材の活用にあたってはバージン材との比較を行うなど、物性の変化について把握しておく必要があると考えられる。本研究では、生産工程で発生する成形端材から良好な物性を有するプラスチック成形品を得る再生プロセスの検証を目的として、異なる再生プロセスにて得られたサンプルの物性について検討を行った。

### 2 実験方法

#### 2-1 材料

成形端材は西日本モダンパッケージ（株）にて真空成形後に製品を打ち抜くことで発生するポリプロピレン系成形端材を用いた。

#### 2-2 再ペレット化

パワーカッターで投入口の大きさ以下に切断した端材を図1に示すように、粉砕機（（株）ホーライ製、U-210）にて粉砕した後、二軸押出機（東洋精機製作所（株）製、ラボプラストミル2D25S（L/D=25））を用いてシリンダー温度（H1：200℃、H2：210℃、H3：220℃）及びスクリー回転数（50 rpm）の条件で再ペレット化した。

#### 2-3 試験片作製

本研究では、熱プレスを使用した圧縮成形により作製したシート及びTダイ付二軸押出機を使用した押出成形により作製したシートを用いて、シート成形方法による物性への影響について比較した。また、端材を粉砕して得られたフレークを直接シート化したものとフレークを再ペレット化した上でシート化したものに

\*1 化学繊維研究所

\*2 西日本モダンパッケージ株式会社

ついて比較することで、再ペレット化による物性への影響についても比較を行った。さらに、真空成形で得られた製品平面部から打ち抜いた試験片をバージン材相当品（サンプル1）として比較のため試験に用いた。

なお、フレークを直接シート化の際は、西日本モダンパッケージ（株）が協力企業で粉碎したフレークを用いた。

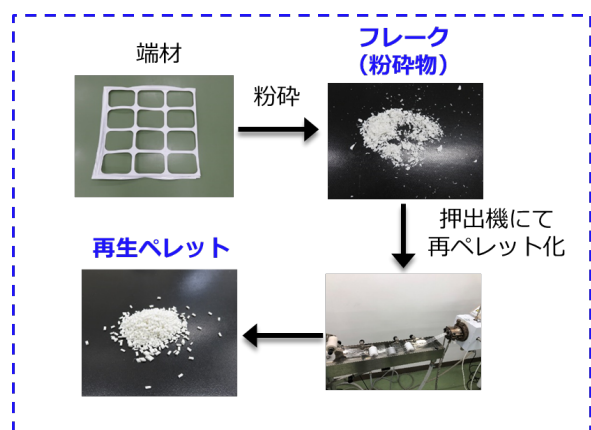


図1 再生ペレットの作製概略

### 2-3-1 圧縮成形によるシート作製

圧縮成形によるシート作製は、熱プレス（東洋精機製作所（株）製、ミニテストプレスMP-SCH）を使用した。ポリイミドシートに挟んだ試料約15 gを、加圧をせずに220℃で2分間余熱し、次に2 MPa（装置の指針値）にて2分間加圧を行い、最後に5 MPa（同）で8分間加圧したのち、ポリイミドシートに挟んだまま熱プレスから取り出し、室温下で徐冷してからサンプルのシートを取り出した。圧縮成形にてフレークから直接作製したシートをサンプル2、再生ペレットから作製したシートをサンプル3とした。

### 2-3-2 押出成形によるシート作製

押出成形によるシート作製はTダイ付二軸押出機（東洋精機製作所（株）製、ラボプラスミル2D15W（L/D=17））を用い、シリンダー温度（H1：200℃、H2：210℃、H3：220℃）及びスクルー回転数（30 rpm）の条件でシート状に吐出させた後、冷却ロール（70℃）にて冷却しながら巻き取りを行った。押出成形にてフレークから直接作製したシートをサンプル4、再生ペレットから作製したシートをサンプル5とした。

各サンプルの作製条件と平均厚さを表1にまとめた。

## 2-4 引張試験

各サンプルからJIS（日本産業規格）K 7127にて規定されている試験片タイプ5の形状に打ち抜いた試験片を、万能試験機（島津製作所（株）製、AG-50kNXplus）を用い、クロスヘッド速度50 mm/minにて引張試験を行った。

表1 各サンプルの作製条件

サンプル	作製条件		平均厚さ (mm)
	成形方法	材料	
1	製品平面部		0.70
2	圧縮成形	フレーク	0.55
3	圧縮成形	再生ペレット	0.53
4	押出成形	フレーク	0.25
5	押出成形	再生ペレット	0.34

## 3 結果と考察

### 3-1 圧縮成形によるシートの評価

引張試験の結果を図2及び表2に示す。降伏点については、圧縮成形により作製したサンプル2及びサンプル3は、製品平面部から得たサンプル1と比較して引張降伏応力が小さくなる傾向にあることが確認できた。また、破断点についても、圧縮成形により作製したサンプル2及びサンプル3は、製品平面部から得たサンプル1と比較して引張破壊応力及び破断点変位が小さくなる傾向にあることが確認できた。

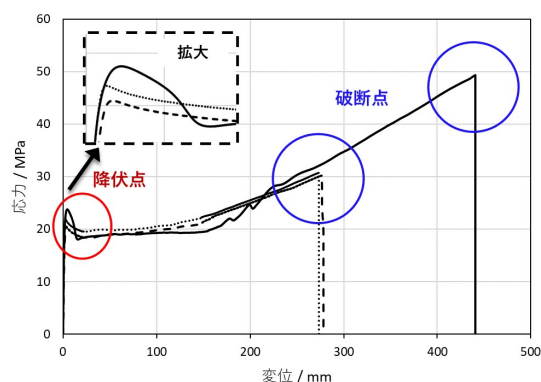


図2 圧縮成形により作製したサンプルの引張試験の比較例（実線：サンプル1、点線：サンプル2、破線：サンプル3）



表2 引張試験の各物性値

圧縮成形 サンプル	引張降伏 応力 (MPa)	破断点 変位 (mm)	引張破壊 応力 (MPa)
1(製品打抜)	23.7	441	49.3
2	22.6	264	30.5
3	20.6	278	30.0

### 3-2 押出成形によるシートの評価

引張試験の結果を図3及び表3に示す。降伏点については、押出成形にて作製したサンプル4及びサンプル5は、製品平面部から得たサンプル1よりも大きい引張降伏応力を有する結果となった。また、破断点については、押出成形にて作製したサンプル4及びサンプル5は、製品平面部から得たサンプル1と引張破壊応力が比較的近い数値になることが確認できた。さらに、押出成形にて作製したサンプル4及びサンプル5は、圧縮成形により作製したサンプル2及びサンプル3と比較して試験片の厚さが薄いにも関わらず、破断点変位が製品平面部から得たサンプル1に比較的近い結果となった。

押出成形により作製したサンプルのほうが圧縮成形により作製したサンプルと比べて、製品平面部のサンプルに近い物性を示すのは、真空成形に用いる原反シートが押出成形で作製されていると推察されることから、成形方法が大きな要因であると考えられる。また、サンプル4の物性値が製品平面部の物性値に非常に近いことから、成形端材のフレークについては物性低下を極力抑えた再生利用が可能であると考えられる。サンプル5の引張破壊応力がサンプル4及び製品平面部から得たサンプル1と比べて約5%程度小さい点については、再ペレット化に伴う物性低下の可能性が考えられるが、この点については、再ペレット化の回数を増やすなどして、影響がより顕著になるかなどを検証していく必要がある。

以上のように、成形方法の違いにより引張挙動に違いが見られることから、物性の比較を行うにあたっては、試験片の成形方法に留意しておく必要があると考えられる。

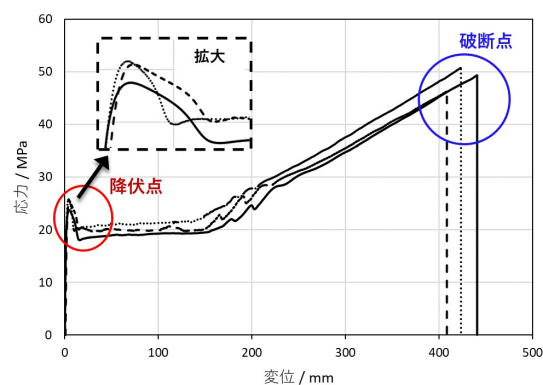


図3 押出成形により作製したサンプルの引張試験の比較例（実線：サンプル1，点線：サンプル4，破線：サンプル5）

表3 引張試験の各物性値

押出成形 サンプル	引張降伏 応力 (MPa)	破断点 変位 (mm)	引張破壊 応力 (MPa)
1(製品打抜)	23.7	441	49.3
4	25.3	424	49.8
5	25.2	408	47.1

## 4 まとめ

今回の検討に使用した真空成形の成形端材については、成形端材を粉砕して得られたフレークを用いて押出成形にて再生利用するケースでは物性の低下を非常に小さく抑えることが可能であると考えられる。今後は、フレークのまま活用可能な用途を検討するとともに再ペレット化による物性低下についてもメカニズムを明確にし、物性低下抑制が可能か検討を行う必要がある。

## 5 文献

- 1) 高取永一：日本ゴム協会誌，87巻，pp. 441-446，(2014)

# 木粉配合ゴムの調製および物性に関する研究

中西 太郎\*1

## Study on Preparation and Properties of Wood Powder Reinforced Rubber

Taro Nakanishi

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、バイオマス材料の活用が求められており、加硫ゴム材料についても、将来的なバイオマス活用に向けた知見の蓄積が必要である。本研究では、木粉を天然ゴムに配合したゴム材料を調製・物性評価し、ゴム用フィラーとして木粉が利用可能かを検討した。木粉は、150 phr以上の大量配合（phr:ゴム100に対する重量部）が可能で、加硫ゴムの硬さを増加させるフィラーとして利用可能であった。また、本研究の結果、木材特有の芳香・風合いを有し、ほぼ完全バイオマス由来であるゴム材料が得られた。

### 1 はじめに

カーボンニュートラル、持続可能な社会の実現に向け、プラスチック業界ではバイオマス・生分解性材料へ注目が集まっており、新技術・製品開発が活発であるが、ゴム業界ではこのような取り組みは進んでいない。ゴム材料は、ベースとなるゴムポリマーおよびフィラーで主に構成され、ゴムポリマーにはバイオマス由来の天然ゴムが古くから利用されている。だが、フィラーについては、その性能の良さから、鉱物・石油由来のシリカ・カーボンブラックが主流であり、バイオマスについて検討はなされていなかった。しかし、ゴム業界についてもプラスチック業界と同様の取り組みを今後求められる可能性があり、ゴム業界の持続的な発展のためにも、バイオマス活用に関する知見の蓄積が重要である。実際に先行研究<sup>1,2)</sup>では、農業廃材をフィラーに活用した例が示されており、ゴム材料へのバイオマスフィラーの展開は可能と期待される。本研究では、国内で調達容易な木粉がゴム用フィラーとして利用可能かを検討することを目的として、木粉をフィラーとする加硫ゴムを調製し、配合量と加工性・物性の関係を明らかにした。

### 2 実験方法

#### 2-1 材料

木粉は、スギ新材由来の市販品を、ふるい分けによって粒径 150  $\mu\text{m}$  以下へ調整してそのまま用いた。水分量は約 7%で、調湿は行わなかった。ゴムは天然ゴム (CV60) をそのまま用いた。加硫用薬剤は、富士フ

ィルム和光純薬(株)および東京化成工業(株)から購入したものをそのまま用いた。

#### 2-2 混練・成形

ラボプラストミル (株東洋精機製作所製) R60 ミキサー)を用い、ゴムと木粉を混練した。ゴム・木粉混練 (A 練り) の後、加硫薬剤追加 (B 練り) を行った。混練条件は 40  $^{\circ}\text{C}$ /15 rpm で、混練時間は、A 練り最大 19 分間、B 練り 5 分間とした。配合表を表 1 に示す。加硫特性は、JSR キュラストメーターⅢ (JSR トレーディング(株)製) を用い、140  $^{\circ}\text{C}$  における加硫によるトルク上昇と加硫時間の関係を求めた。プレス加硫 (140  $^{\circ}\text{C}$  × 10~20 分間) して、物性試験用ゴムシート (2 mm 厚) を得た。

表 1 配合表

	配合量 (phr)
天然ゴム (CV60)	100
木粉	0, 50, 100, 150
酸化亜鉛 (二種)	5.0
加硫促進剤 D	0.5
加硫促進剤 M	1.0
油処理硫黄	2.5

#### 2-3 物性評価

・引張試験：JIS K 6251 に準拠し、(株)島津製作所製オートグラフ AG-50kNXplus を用いて、ダンベル状 3 号形、試験速度 500 mm/min で試験を実施した。

・硬さ：JIS K 6253 に準拠し、(株)テクロック製 GSD-917 を用いて、デュロメータ硬さを測定した。

\*1 化学繊維研究所



### 3 結果と考察

#### 3-1 混練特性

A練りにおける、混練時間ートルクの関係を図1に示す。一般に、ゴムにフィラーを加えると、混練トルクが大きく増加して発熱が激しくなるため、配合できる量には上限がある。しかし、木粉をフィラーとした場合、配合量を増やすほど最大トルクが減少した。配合量の増加によって実ゴム分が減少することに加え、木粉の粒径が大きく、カーボンブラックのように配合物の粘度を上昇させないためと考えられる。この結果より、木粉は少なくとも150 phrまでは容易にゴムと混練できることが確認された。また、混練開始からトルクの最大点に至る時間（ゴムにフィラーが取り込まれ一体化するまでの時間）も増加したが、トルクが減少してせん断力が不足しているためと考えられ、実機では混練条件の最適化が必要である。

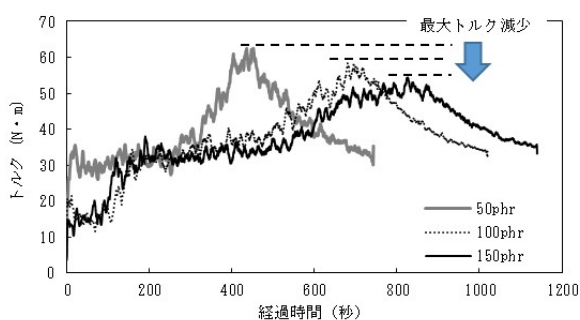


図1 混練トルクと配合量の関係

表2 配合量と加硫特性の関係

配合量(phr)	tc10 (分)	tc90 (分)
0	3.5	8.1
50	4.1	10.1
100	4.9	13.7
150	5.7	17.8

#### 3-2 加硫特性

B練り後の木粉配合ゴムのtc10（加硫開始点）およびtc90（最適加硫点）を表2に示す。木粉の配合量を増加すると、tc10およびtc90が増加し、加硫の立ち上がりの遅延および加硫速度の減少が認められた。これは加硫薬剤の木粉への吸着が原因と考えられる。木粉をフィラーとして利用する場合は、加硫時間の延長または加硫薬剤の増量が必要である。

#### 3-2 配合量と物性の関係

木粉配合ゴムの引張強さおよび硬さを表3に示す。また比較対照として、一般的なゴム用フィラーの一つである炭酸カルシウム50 phr配合ゴムの結果も共に示す。配合量の増加に伴って、硬さ・モジュラス（一定伸び時の応力を表し、例えば100%伸びに対してM100と表記する）は顕著に増加した。一方、引張強さ・破断伸びは急激に減少したが、150phr配合であってもゴム弾性は保持されていた。50 phr配合で比較すると、ゴム材料の実用領域である低伸び域（M100）で炭酸カルシウム配合ゴム以上の性能を発揮した。木粉は、炭酸カルシウムと比較して密度が小さいため同じ配合量であれば体積充てん率は2倍以上となり、硬さ・モジュラスへの寄与が大きくなったと考えられる。

表3 木粉配合量と物性の関係

配合量 (phr)	硬さ (—)	引張強さ (MPa)	破断伸び (%)	M100 (MPa)
0	A43	18.9	570	0.94
50	A72	8.24	460	2.89
100	A85	5.01	140	5.00
150	A93	5.07	40	—
炭酸カルシウム 50	A48	28.6	670	1.32

### 4 まとめ

ゴム用フィラーとしての木粉の利用可能性を検討した。木粉は、ゴムへ大量配合可能で少なくとも150 phrまで問題なく混練成形でき、また実用上重要な硬さおよびモジュラスを大きく向上させた。さらに、木粉配合ゴムは加硫後も木材特有の芳香と風合いを保持していた（図2）。以上より、木粉はゴム用フィラーとして利用できる特性を備えていると考えられる。



図2 木粉50phr配合ゴム

## 5 参考文献

- 1) Komethi Muniandy et al.: *Bioresources*, Vol.7, No.4, pp.4640-4657 (2012)
- 2) Hassarutai Yangthong et al.: *Industrial Crops and Products*, Vol.171, pp.113922-113924 (2021)

# 未利用アカモクの生理活性評価

## —未利用アカモクからの化粧品・食品原料等の製品化を目指す取り組み—

石川 智之\*1 古賀 慎太郎\*1 山川 雅之\*2 川崎 孝治\*2 寺本 充寛\*2 正好 輝旭\*3

### Assessment of Biological Activities of Unutilized Sargassum Horneri

- Efforts to commercialize cosmetics, food ingredients, etc. from unutilized Sargassum horneri -

Tomoyuki Ishikawa, Shintaro Koga, Masayuki Yamakawa, Koji Kawasaki, Mitsuhiro Teramoto  
and Teruaki Masayoshi

アカモクはフコイダンやフコキサンチン等の栄養成分を豊富に含有している食用の海藻であることが既に知られているが、軸の硬い部分や色の悪い部分は廃棄されており課題となっている。そこでこの未利用のアカモクを化粧品や食品等の原料として新たに利活用する方法を探索するために、アカモクエキスの生理活性評価、並びにフコキサンチンの定量を行った。その結果、アカモクエキスは強いヒアルロニダーゼ阻害活性を示すとともに、弱いながらもSOD様活性、チロシナーゼ阻害活性、細胞増殖効果を有することを確認した。また、フコキサンチンの大部分はエキス抽出後の残渣中に残存していることが推察された。

#### 1 はじめに

アカモク (*Sargassum horneri*) はヒバマタ目ホンダワラ科に属し、最大10 mくらいまで育つ食用の海藻である。日本列島全土の浅海に分布しており、フコイダンやフコキサンチン等の栄養成分を豊富に含有していることが既に知られている。しかしながら、軸の硬い部分や色の悪い部分は廃棄されており課題となっている。この未利用のアカモクについて、新たな利活用方法を探索し、廃棄される量を減らすことが望まれている。また、このことはSDGsにおける目標12「持続可能な消費と生産」のターゲット12.5「廃棄物の発生防止、削減、再生利用及び再利用により、廃棄物の発生を大幅に削減する。」とも方向性が合致する。

そこで本研究では、未利用アカモクの化粧品や食品等の原料としての活用、付加価値を高めた製品開発を目的として、アカモクエキスの生理活性評価、及びフコキサンチンの定量を行ったので、その結果について報告する。

#### 2 研究, 実験方法

##### 2-1 試料

未利用アカモクの乾燥・粉碎は(株)マサエイ水産

加工と佳秀工業(株)が共同で実施した。5種類のアカモクエキス(熱湯処理液, 解凍時ドリップ液, 粉碎抽出液(室温), 粉碎抽出液(加温), ろ過処理液), 及び粉碎抽出液(加温)の抽出残渣についても,(株)マサエイ水産加工と佳秀工業(株)が準備した。

##### 2-2 アカモクエキスの生理活性評価

###### 2-2-1 SOD様活性

SOD様活性の測定は、SOD測定キット-WST(同仁化学研究所)を用いて行った。4倍希釈した各アカモクエキスサンプルと調製した試薬を混合し、37℃で20分反応させ、450 nmの吸光度を測定した。SOD様活性はプロトコールの計算方法にしたがって算出した。測定は各アカモクエキスサンプルについて2回ずつ行った。

###### 2-2-2 チロシナーゼ阻害活性

各アカモクエキスサンプル(終濃度10%), チロシナーゼ from mushroom(シグマ)(終濃度16.7 U/ml), 基質であるL-DOPA(シグマ)(終濃度0.4 mg/ml)を50 mMリン酸バッファー(pH 6.8)中において37℃で20分反応させ、492 nmの吸光度増加量を測定した。ポジティブコントロールとしてビタミンC(和光純薬)(終濃度1 mg/ml)を使用した。チロシナーゼ阻害活性は以下の式(1)により阻害率を算出した。式中の $\Delta PB$ はポジティブブランク(チロシナーゼ+基質)の吸光度増加量,  $\Delta NB$ はネガティブブランク( $\Delta PB$ の基質なしのコントロール)の吸光度増加量,  $\Delta S$ は各アカモク

\*1 生物食品研究所

\*2 佳秀工業株式会社

\*3 株式会社マサエイ水産加工

エキスサンプル（チロシナーゼ+基質+サンプル）の吸光度増加量である。測定は各アカモクエキスサンプルについて2回ずつ行った。

阻害率 (%) =

$$(\Delta \text{PB} - \Delta \text{NB} - \Delta \text{S}) / (\Delta \text{PB} - \Delta \text{NB}) \times 100 \quad \dots (1)$$

### 2-2-3 ヒアルロニダーゼ阻害活性

前田らの報告<sup>1)</sup>を参考にして測定を行った。まず、各アカモクエキスサンプル100  $\mu\text{l}$ （終濃度20%）とヒアルロニダーゼ from bovine testes（シグマ）の酵素溶液50  $\mu\text{l}$ （終濃度1.3 mg/ml in 0.1 M酢酸緩衝液(pH 4.0)）を混合し、37  $^{\circ}\text{C}$ で20分反応させた。

次にヒアルロニダーゼの活性化剤であるコンパウンド48/80（シグマ）の0.1 M酢酸緩衝液(pH 4.0)を100  $\mu\text{l}$ （終濃度0.5 mg/ml）添加して37  $^{\circ}\text{C}$ で20分反応させ、続いてヒアルロニダーゼの基質である鶏冠由来のヒアルロン酸ナトリウム（和光純薬）の0.1 M酢酸緩衝液(pH 4.0)を250  $\mu\text{l}$ （終濃度0.8 mg/ml）添加して37  $^{\circ}\text{C}$ で30分反応させた。その後、0.4 N水酸化ナトリウム水溶液を100  $\mu\text{l}$ 添加してヒアルロニダーゼの反応を停止させ、0.8 Mホウ酸水溶液(pH 9.1)を100  $\mu\text{l}$ 添加して100  $^{\circ}\text{C}$ で3分加熱、氷上で冷却後、上記の反応溶液を70  $\mu\text{l}$ と10 mg/mlのp-ジメチルアミノベンズアルデヒド(p-DAB)（ナカライテスク）溶液600  $\mu\text{l}$ （100 mg/mlのp-DAB in 10 N 塩酸:酢酸=6:44を酢酸で10倍希釈した溶液）を混合し37  $^{\circ}\text{C}$ で20分反応させた後、585 nmの吸光度を測定した。ヒアルロニダーゼ阻害活性は以下の式(2)により阻害率を算出した。式中のPBはポジティブブランク（アカモクエキスサンプルの代わりに水を入れたコントロール）の吸光度、NBはネガティブブランク（PBのヒアルロニダーゼなしのコントロール）の吸光度、Sは各アカモクエキスサンプル（サンプル+ヒアルロニダーゼ）の吸光度、SBはサンプルブランク（Sはヒアルロニダーゼなしのコントロール）の吸光度である。測定は各アカモクエキスサンプルについて2回ずつ行った。

阻害率 (%) =

$$\{(\text{PB}-\text{NB})-(\text{S}-\text{SB})\} / (\text{PB}-\text{NB}) \times 100 \quad \dots (2)$$

### 2-2-4 細胞増殖試験

正常ヒト真皮線維芽細胞（NHDF）を48ウェルプレートに $1.25 \times 10^4$  cells/wellの細胞数で撒き、各アカモクエキスサンプルを添加した。37  $^{\circ}\text{C}$ 、5%  $\text{CO}_2$ 濃度

で2日間培養後、細胞増殖/細胞毒性アッセイキット（Cell Counting Kit-8）（同仁化学研究所）を用いて450 nmと620 nmの吸光度を測定した。各アカモクエキスサンプルに対する細胞増殖効果は、サンプルを添加していない細胞の増殖を100%とし、以下の式(3)により相対比を算出して評価した。式中のPBはポジティブブランク（アカモクエキスを添加していない細胞）の吸光度、NBはネガティブブランク（PBの細胞なしである培地のみコントロール）の吸光度、Sはサンプル（各アカモクエキスサンプルを添加した細胞）の吸光度、SBはサンプルブランク（Sの細胞なしである培地+各アカモクエキスサンプルのコントロール）の吸光度である。測定は各アカモクエキスサンプルについて3回ずつ行った。

$$\text{相対比 (\%)} = (\text{S}-\text{SB}) / (\text{PB}-\text{NB}) \times 100 \quad \dots (3)$$

### 2-3 アカモクエキス及び抽出残渣のフコキサンチン定量

エキス抽出前の乾燥・粉碎後の未利用アカモク、及び粉碎抽出液（加温）の抽出残渣は、Micro Smash MS-100（TOMY）、2 mmのジルコニアのビーズを用いて、5,000 rpmで5分間粉碎後、重量の20倍量のエタノールを添加して、4  $^{\circ}\text{C}$ で24時間かけて残成分の抽出を行い、遠心後の上清についてフコキサンチン定量を行った。粉碎抽出液（加温）及びろ過処理液のアカモクエキスは凍結乾燥後、重量と同量のエタノールを添加して、4  $^{\circ}\text{C}$ で24時間かけて成分抽出後、遠心後の上清についてフコキサンチン定量を行った。フコキサンチン定量は高速液体クロマトグラフ Waters 製 600S Controller/616 Pump/486 Tunable Absorbance Detectorを用いて、SymmetryShield RP18（5  $\mu\text{m}$ 、4.6 x 250 mm I. D.）を使用し、移動相はアセトニトリル：水 = 75:25で流速1 ml/min、450 nmの吸光度による検出法で行った。

## 3 結果と考察

### 3-1 アカモクエキスの生理活性評価

#### 3-1-1 SOD様活性

各アカモクエキスについてSOD様活性を測定した結果を図1に示す。

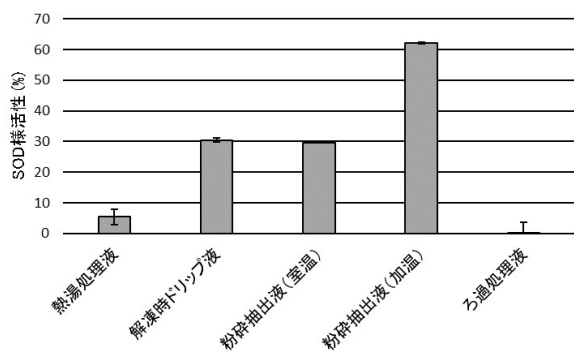


図1 5種類のアカモクエキスのSOD様活性

粉碎抽出液（加温）が最もSOD様活性が高かったが、その活性は2 U/ml程度、ビタミンC（330 U/mg）に換算すると24 μg/ml程度であり、それほど強くなかった。

また、ろ過処理液においては全くSOD様活性が見られなかった。ろ過処理前の粉碎抽出液（加温）においてはSOD様活性が認められることから、ろ過処理により活性成分が除去されたか、あるいはろ過処理中に活性が失活したものと考えられる。

### 3-1-2 チロシナーゼ阻害活性

各アカモクエキスについてチロシナーゼ阻害活性を測定した結果を図2に示す。

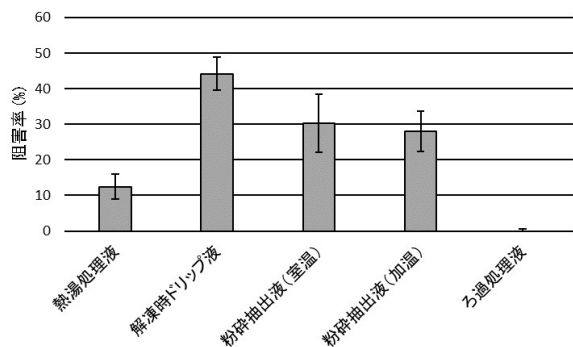


図2 5種類のアカモクエキスのチロシナーゼ阻害活性

解凍時ドリップ液の阻害率が約40%で最もチロシナーゼ阻害活性が高かったが、ポジティブコントロールとして用いたビタミンCの阻害率がほぼ100%であることと比較すると、あまり強い活性ではなかった。

また、ろ過処理液においては全くチロシナーゼ阻害活性が見られなかった。ろ過処理前の粉碎抽出液（加温）においてはチロシナーゼ阻害活性が認められることから、SOD様活性と同様にろ過処理により活性成分が除去されたか、あるいはろ過処理中に活性が失活したものと考えられる。

### 3-1-3 ヒアルロニダーゼ阻害活性

各アカモクエキスについてヒアルロニダーゼ阻害活性を測定した結果を図3に示す。

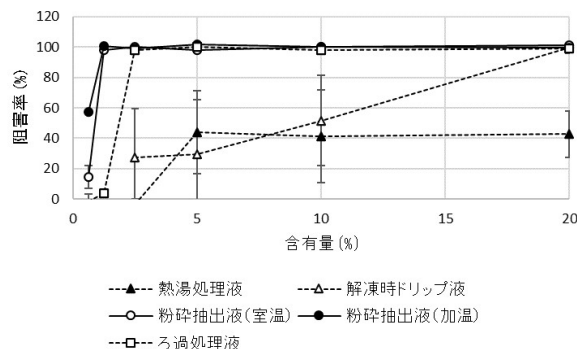


図3 5種類のアカモクエキスのヒアルロニダーゼ阻害活性

粉碎抽出液（室温）及び粉碎抽出液（加温）においては、含有量が1.25%以上で阻害率がほぼ100%であり、強いヒアルロニダーゼ阻害活性を示した。ろ過処理液においては含有量が2.5%以上で阻害率がほぼ100%であった。なお、ろ過処理液は粉碎抽出液（室温）及び粉碎抽出液（加温）よりも濃度が2倍薄い条件で抽出を行っていることから、ヒアルロニダーゼ阻害活性は粉碎抽出液（室温）及び粉碎抽出液（加温）の阻害活性と同等と見なされる。したがって、SOD様活性やチロシナーゼ阻害活性と異なり、ろ過処理後のエキスが強いヒアルロニダーゼ阻害活性を維持していることが確認できた。

### 3-1-4 細胞増殖試験

各アカモクエキスについて、細胞の培養液に対して最大2%まで添加して細胞増殖効果を測定した。その結果を図4から図6に示す。

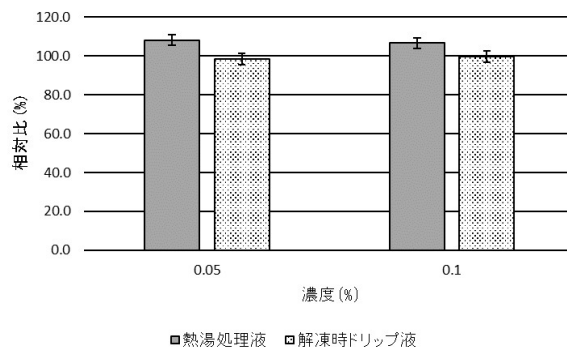


図4 熱湯処理液及び解凍時ドリップ液の細胞増殖効果

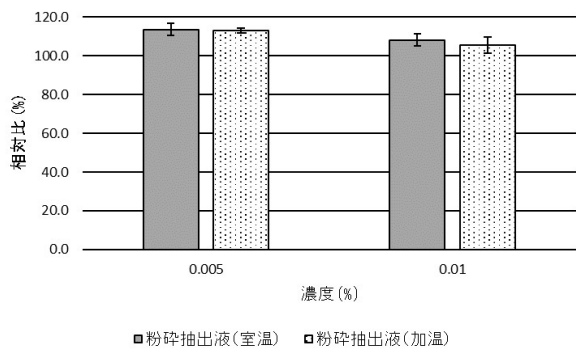


図5 粉砕抽出液（室温及び加温）の細胞増殖効果

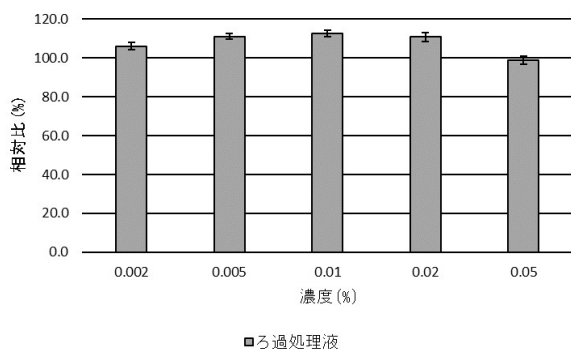


図6 ろ過処理液の細胞増殖効果

熱湯処理液では0.05%~0.1%、粉砕抽出液（室温及び加温）では0.005%~0.01%において弱いながらも細胞増殖促進効果が見られた。一方で、解凍時ドリップ液ではいずれの濃度においても細胞増殖効果は見られなかった。また、ろ過処理液では0.005%~0.02%において細胞増殖促進効果が見られたことから、ろ過処理後も細胞増殖促進効果を維持していることが確認できた。

### 3-2 アカモクエキス及び抽出残渣のフコキサンチン定量

アカモクエキス及び抽出残渣のフコキサンチン定量を行った結果を表1に示す。

表1 アカモクエキス及び抽出残渣のフコキサンチン定量

	フコキサンチン量 (mg/100 g) <sup>※1</sup>
加温水抽出前	54.8
粉砕抽出液（加温）	4.4
ろ過処理液	0.0184
加温水抽出残渣	60.2 <sup>※2</sup>

※1 乾燥アカモク 100 g 当たりの量  
（加温水抽出残渣を除く）

※2 抽出残渣 100 g 当たりの量

加温水抽出前のアカモクのフコキサンチン量が54.8mg/100gであったのに対して、粉砕抽出液（加温）に含有するフコキサンチン量は4.4 mg/100gと少なく、大部分のフコキサンチンは抽出されなかったことが確認できた。また、ろ過処理液はほとんどフコキサンチンを含有していなかった。

一方で、加温水抽出残渣については、乾燥アカモクではなく抽出残渣100 g当たりのフコキサンチン定量を行っているため単純に比較することはできないが、60.2 mg/100gのフコキサンチンが含まれていることが確認できた。

## 4 まとめ

本研究により、未利用アカモクから抽出したエキスについて、強いヒアルロニダーゼ阻害活性が認められた。また、弱いながらもSOD様活性、チロシナーゼ阻害活性、細胞増殖促進効果も確認された。ヒアルロニダーゼ阻害活性については、粉砕抽出液（室温及び加温）において特に高い活性が認められた。ろ過処理液では生理活性の多くが消失していたが、ヒアルロニダーゼ阻害は活性が維持されていた。ヒアルロニダーゼは皮膚（真皮）の構成成分であるヒアルロン酸を分解することから、その阻害活性には抗しわや肌弾力維持の効果が期待できる。このことから、アカモクエキスは有望な化粧品素材になり得ると考えている。

一方で、フコキサンチン定量においては、抽出エキスの含有量は少なく、その大部分は抽出残渣に残存していることが推察された。フコキサンチンは抗肥満効果や抗炎症効果の生理活性を有していることが既に知られており、この残存しているフコキサンチンの新たな利活用法については今後の課題である。

## 謝辞

本研究は、公益財団法人福岡県リサイクル総合研究事業化センター研究開発事業（研究会）により実施しました。

## 5 参考文献

1)前田有美恵ら：食衛誌，Vol. 31，No. 3，pp. 233-237(1990)

# 衛生状態「見える化」による食品の安全性・品質向上支援

川口 友彰\*<sup>1</sup> 田崎 麻理奈\*<sup>1</sup> 片山 秀樹\*<sup>1</sup>

## Support for Improving Food Safety and Quality through "Visualization" of Sanitary Conditions

Tomoaki Kawaguchi, Marina Tasaki and Hideki Katayama

食品中の微生物は腐敗・変敗や食中毒をもたらす危険性がある。そのため、食品の安全性・品質を確保するためには、微生物制御をはじめとする衛生管理が極めて重要である。一方、県内食品製造中小企業では衛生管理の基礎となる一般的衛生管理の徹底も自社単独では困難な場合があり、その主な要因は、微生物が「見えない」ことにあると考えられた。そこで本研究では、県内企業の商品の安全性・品質向上さらには歩留改善による収益向上を目指し、製造現場に存在する微生物の「見える化」を通じた食品衛生管理の意識付けと指導を行った。その結果、自社従業員や設備に実際に付着している微生物を、コロニーとして直観的に認識できる形で提示することが意識付けに特に有効で、その後の衛生状態改善・歩留向上につながるということがわかった。

### 1 はじめに

食品における微生物の生育は、色調や香り、外観やテクスチャの変化等により食品の商品価値さらには可食性を失わせる主な要因である。また、食中毒等の健康被害につながる場合もあることから、企業及び消費者にとって、食品微生物の制御をはじめとする衛生管理は極めて重要である。これら腐敗・変敗等の原因微生物は、原料に由来するもの、加工工程や保蔵中に混入・増殖したものが考えられる。そのため、汚染源となる原料・器具・設備・作業者の洗浄、加熱・冷却時の適切な温度管理による微生物の殺菌・増殖抑制が食品衛生管理では必要不可欠となる。

食品衛生法の改正に基づき、2021年6月1日から全ての食品等業者が取り組むHACCP(Hazard Analysis and Critical Control Point; 危害要因分析重要管理点)に沿った衛生管理は、腐敗・変敗といった不良製品の出荷を効率的且つ効果的に未然に防ぐことができる手法である。従来の衛生管理では、微生物を「持ち込まない」「付けない」「増やさない」「やっつける」といった一般的衛生管理及び出荷前の抜き取り検査で安全性を確認していたが、未検査製品については微生物汚染の可能性が排除できないこと、不合格の場合は全量出荷停止措置を取らざるを得ないという課題があった。一方、HACCP方式の衛生管理<sup>1)</sup>では、一般的衛生管理の徹底に加え、あらかじめ危害要因(主に微生物

や異物)を分析し、危害を防止するために重要な管理点(加熱や冷却工程等)を特定して監視・記録を行う。監視の結果、異常が認められたらすぐに対策を取って解決することで製造ロット全体の安全性を確保できる優れた手法である。一方で、これまで一般的衛生管理が不十分であった企業については、HACCP方式対応のために、新たな作業となった温度等の監視・記録に注意が偏り、前提となる一般的衛生管理が不十分なままで品質向上に結びつかない課題があった。そのような状況下、新型コロナウイルスの感染拡大により「家庭で食する利便性・即食性・保存性の高い食品」への需要が拡大<sup>2)</sup>したこと等から、県内食品製造企業や飲食店さらには新規参入企業から、賞味期限の長い加工食品を開発したいという相談が増加した。これらの企業においては、微生物汚染に対する理解・危機意識・管理技術が不十分であることが多いため、賞味期限の長い食品の開発や製造をすることは、売上増大よりむしろ食品事故の発生が懸念されるものであった。そのため、これらの企業が賞味期限の長い食品を安定的に製造するために必要不可欠となる一般的衛生管理への意識と技術の向上が喫緊の課題であると考えられた。そこで本研究では、商品の安全性及び品質の向上さらには歩留改善による収益向上を目指し、県内企業の微生物汚染・危害に対する意識付けと衛生管理技術向上を図ることとした。

\*1 生物食品研究所

## 2 研究, 実験方法

### 2-1 設備表面汚染(付着菌)

フードスタンプ「ニッスイ」生菌数用標準寒天, 食品真菌用CP加ポテトデキストロース寒天(日水製薬(株)製)を検査面に押しつけ, メーカーマニュアルに従い培養した。

### 2-2 浮遊菌

標準寒天培地またはポテトデキストロース寒天培地に, エアコン吹き出し口の場合は風を直接, エアコン風下の浮遊菌の場合は空中浮遊菌サンプラー(株)アイデック製, IDC-500B)で50 L採集し培養した。

### 2-3 手指汚染

付着菌は, 標準寒天培地を充填したハンドシャールを用い, 手を直接押しつけた後, 培養した。生物を含む多くの有機物に含まれるATP(アデノシン三リン酸)を汚れの指標として検査する手法であるATP拭き取り検査は, ルミテスターSmart及びビルシパックA3Surface(キッコーマンバイオケミファ(株)製)を使用し, メーカーマニュアルに従いサンプリング及び測定を実施した。手洗いにおける洗い残しは, 手洗いチェッカー(サラヤ(株)製)を使用し, 汚れに見立てた蛍光物質入りローションを手に均一に付け, 手洗い後, ブラックライトで洗い残し由来の蛍光を目視で確認した。

### 2-4 シール不良

エージレスシールチェックスプレー(三菱ガス化学(株)製)を使用した。

## 3 結果と考察

### 3-1 衛生状態の「見える化」による意識付け

「稀に製品不良が発生して困っている」, 「賞味期限を延長したいが菌検査の値がすぐ高くなる」等の相談を受けた企業の製造現場視察及び聞き取りを実施した。その結果, 多くの企業において, 殺菌工程の温度管理に関しては注意しているものの, その前後が管理不十分になっていることがわかった。すなわち, 作業者の手洗い不足・手袋未着用・肌や毛髪の露出, 器具・設備の洗浄不足, はね水対策不足, 清潔区と汚染区の区画化・動線確保が十分でない等のほとんどまたは全てが認められ, 食品の二次汚染が懸念された。さらに, 加熱殺菌後の食品を, 冷却処理や屋根・蓋等の落下菌対策をしない状態で長時間放置している場合や,

埃やカビが付着した扇風機・エアコン等で送風冷却している等のほとんどまたは全てが認められ, 微生物の混入や危険温度帯での微生物増殖も懸念された。このような状況であるものの, 微生物や汚れを肉眼で確認できないことや, 従来の製造環境・製造方法で重大事故が発生していないことへの過信等から自社の衛生状態を過大評価している事例も多くみられた。そのような場合, 現場で確認した衛生管理上の問題点を指摘するのみでは, 改善に向けた行動にはつながらないことが多かった。

そこで, 誰にでも容易に作業員自身や自社の実態を認識できるかたちで提示すれば問題意識を喚起できるのではないかと考え, 汚染が疑われる箇所の微生物あるいは汚れの可視化を図1のように行った。手(図1A左)及び設備(図1B)の付着菌をコロニーとして「見える化」して企業に提示した結果, 作業員自身及び自社の衛生状態に対する問題意識喚起に大きな効果が認められた。その上で, 衛生管理で特に重要である手洗いについてはさらに, 洗い残しの目視確認(図1A右: 明るい部分)と適切な洗浄方法指導をすることで改善意識の喚起につながるということがわかった。

図1Cはヒートシール部分のシール不良に見える化したものである。相談企業から聞き取った製品不良の発生状況, 包材の強度, 充填量からシール不良による微生物汚染の可能性が高く指摘したものの, その後もシール不良の確認・対処はされず, 製品不良の発生も続いた。そのため, シール不良を色素で見える化し, 企業担当者にも一目瞭然なものとしたところ, 直ちにシールチェック訓練等の改善行動につながった(図1F)。

このように, 目視可能なかたちで自身・自社の汚染状況を提示することは, 衛生管理への意識付けに極めて有効な手段の一つであることがわかった。

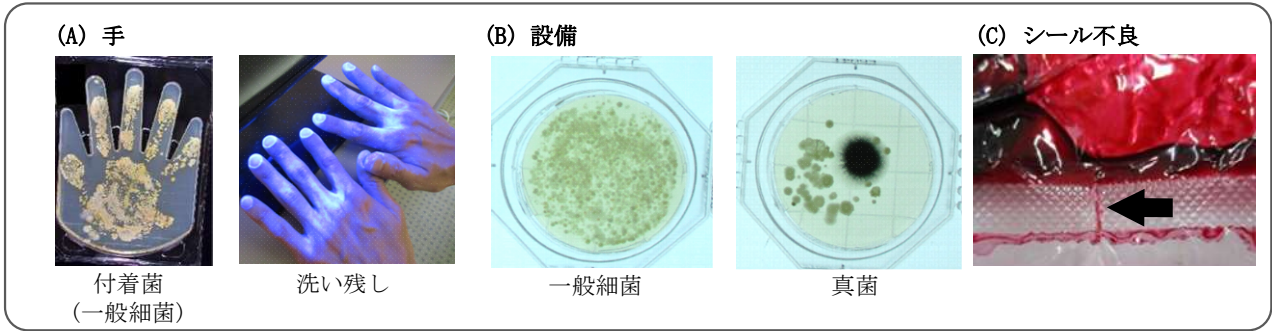
次に, 意識付けできた企業のさらなる技術向上を図るべく, 一般的衛生管理・HACCPに関する講習会(図1D), 無菌操作・菌検査実習(図1E), シールチェック実習(図1F)を集団または企業の製造現場で開催した。その結果, 受講者の意欲も高く, 意識付けの効果及び受講による技術向上を確認することができた。

### 3-2 衛生状態の改善

見える化による意識付け及び技術指導の結果, 企業製造現場で様々な改善が認められた。図2に一例を示す。作業員の手については図2Aに示すように, 指導前



見える化による意識付け



指導 (技術向上)

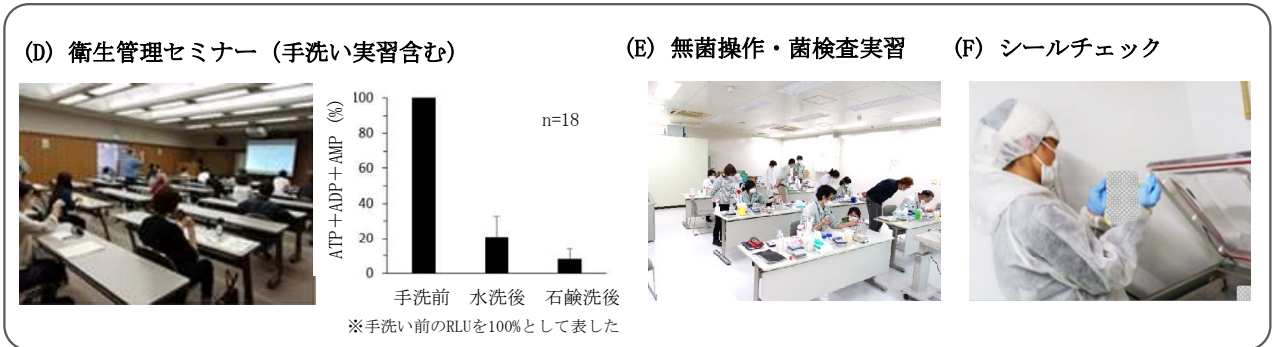
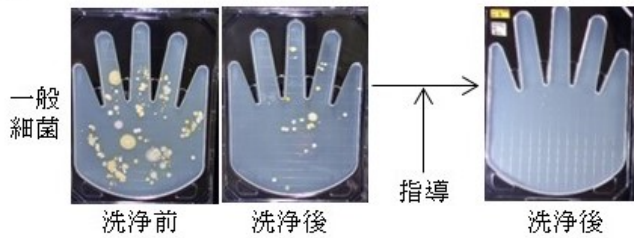
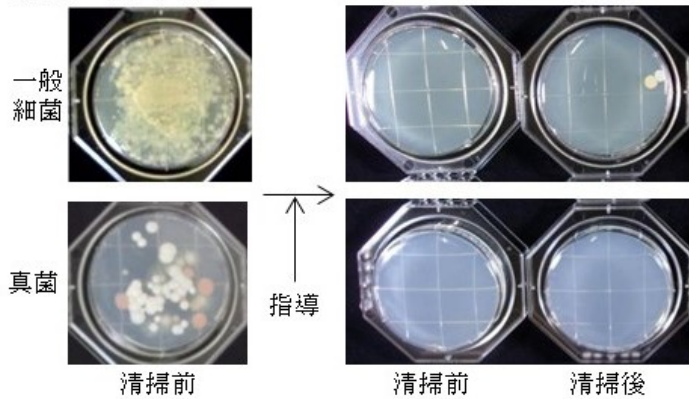


図1 汚染状況の見える化による意識付けと指導

(A) 手



(B) 設備 (作業台)



(C) 空中浮遊菌 (真菌)

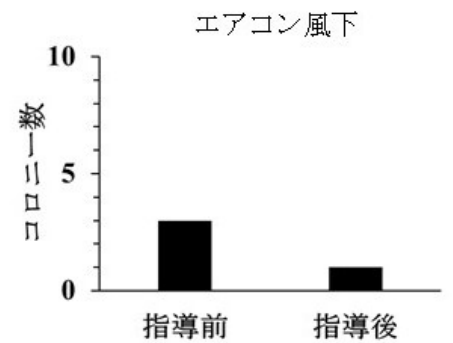
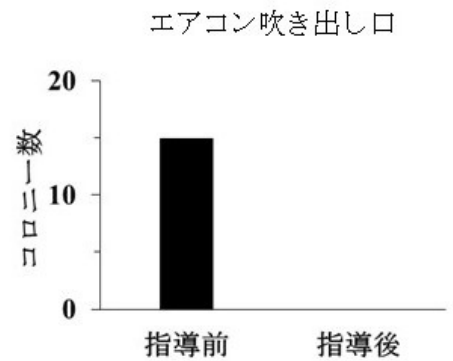


図2 製造現場の衛生状態改善

は手洗い後も微生物の残存が認められたが、指導後はコロニーが検出されなくなった。作業台についても、指導前は一般細菌が計測不能な程度多く、真菌も検出する重度な汚染状況であったが、指導後は清掃前後ともコロニー数0~2個と清浄な状態が保たれていた(図2B)。また、目視でカビの発生が確認されたエアコン吹き出し口については、清掃指導後は真菌が検出されなくなった。その結果、エアコン風下における浮遊菌も減少していた(図2C)。これらの他、指導した企業において改善につながるが多かった内容を表1に示す。このような製造現場の意識及び衛生状態の改善がみられた企業では、製品不良の発生低下(歩留向上)や賞味期限の長い食品開発にもつながった。

表1 指導後にみられた改善点

内容
・手洗いの徹底、自動水栓・ペーパータオル導入
・手袋の着用・交換頻度の見直し
・水栓・ドアのノブをレバーに変更
・清掃・消毒方法の見直し
・区画化(ビニルカーテン、簡易ブース等設置)
・動線見直し、不要物品撤去
・冷却工程の管理
・落下菌対策(蓋・屋根導入等)
・掲示物の貼り替え、老朽品交換

#### 4 まとめ

商品の安全性及び品質の向上さらには歩留改善による収益向上を目指し、県内企業の微生物汚染・危害に対する意識付けと衛生管理技術向上を試みた。その結果、意識付けには自社従業員や設備に実際に付着している微生物を、コロニーとして直観的に認識できる形で提示することが有効であることを明らかにした。意識付け後の改善指導により衛生状態改善及び歩留向上につながる事がわかった。

#### 5 謝辞

本研究は、大牟田商工会議所の井上壮一郎氏の相談に端を発し、大牟田市地域活性化センターの武末定則

氏による相談でさらに発展させることができたものである。これまで新製品に係る研究開発支援に偏っていた当所業務を、衛生管理等の製造管理に拡げ、企業活動全体にわたり支援できる体制構築に大きなきっかけを与えていただいた。この場を借りて深く御礼申し上げます。

#### 6 文献

- 1) 福島和子：日本調理科学会誌，52巻(3号)，pp. 222-224(2019)
- 2) 新谷弘人，高島浩，長谷川晃生，北原克彦，堀内芳彦，一瀬裕一郎，石田一喜，植田展大，齋藤真一：随時発信レポート，農林中金総合研究所(2020)

# 保存性および嗜好性を両立した食品保存技術の開発(第1報) —米粉焼きドーナツの賞味期限延長技術—

田崎 麻理奈\*1 片山 秀樹\*1 堺 早恵子\*1 吉武 麻子\*2

## Development of Food Preservation Technology Combining Shelf Life and Palatability ( I )

- Technology to Extend Shelf Life of Baked Rice Flour Donuts -  
Marina Tasaki, Hideki Katayama, Saeko Sakai and Asako Yoshitake

食品の変質を防ぎ保存性を高めるためには、「温度」「酸素」「水分」「pH」などを制御し、微生物の増殖や化学的変化を抑制する必要がある。しかし、人員や設備に限られる県内中小企業においてはこれらの検討そのものが困難である場合が多いため、食品の組成や製法を変えることなく簡便且つ効果的に保存性を向上できる技術が求められていた。そこで本研究では、殺菌後の食品の保存条件を容易に制御可能である鮮度保持剤封入包装に着目し、県内企業の製品に適用可能な保存性向上（賞味期限延長）技術の開発を試みた。米粉焼きドーナツに対して検討した結果、アルコール蒸散剤封入包装により、脱酸素剤封入包装であった従来の賞味期限2週間を8週間に延長可能であることを明らかにし、嗜好性及び微生物学的により保存性の高い食品として製品化に導くことができた。

### 1 はじめに

食品の賞味・消費期限を延長するためには、微生物による腐敗や、味・風味・食感などの嗜好性に関する品質低下の抑制が重要である。食品の変質は、微生物による腐敗・変敗などの生物学的要因、光や熱の刺激による酸化や退色などの化学的要因、乾燥や吸湿などの物理的要因などが組み合わさることで起こる<sup>1)</sup>。いずれも「温度」「酸素」「水分」「pH」などが共通して関与することから、食品の変質を防ぐためには、これらの共通因子の制御が有効である。しかしながら、微生物による腐敗を抑制するため、食品を過度に加熱すると色味や食感などが変化し、商品価値の逸失に繋がってしまうなど、単一因子の制御では、微生物制御と、嗜好性に寄与する化学・物理的要因制御の両立は難しいことが多い。そのため、これらの因子を複数組み合わせ、個々の条件をより穏やかに設定することで、微生物制御と嗜好性保持を図ることが広く行われている（ハードル技術）<sup>2)</sup>。これらの原理と自社製品特性を理解した上で条件検討するには高度な専門知識を要し、人員や設備に限られる中小企業の開発現場においては検討困難な場合が多い。したがって、より簡便で効果的な保存性向上技術が求められる。県内企業の多くは、殺菌工程の温度については注意深く管理していること

から、さらなる保存性向上には殺菌後の微生物制御等が重要であると考えられた。

そこで本研究では、簡便且つ効果的に殺菌後の保存条件を制御可能な鮮度保持剤封入包装に着目し、米粉焼きドーナツを研究対象として、保存性と嗜好性の両立が可能な保存技術の検討を行った。

### 2 研究, 実験方法

#### 2-1 試料

製造日にもぐもぐぼけっと（株）（宗像市）から入手した米粉焼きドーナツを使用した。米粉焼きドーナツの重量は1個あたり約50 gであった。鮮度保持剤は脱酸素剤（アイリス・ファインプロダクツ（株）、サンソカット）、アルコール蒸散剤（フロイント産業（株）、アンチモールド）および脱酸素アルコール蒸散剤（フロイント産業（株）、ネガモールド）の3種類を使用した。

ガスバリア性を有する三方シール袋（クリロン化成（株））にドーナツを1個入れ、鮮度保持剤を1個封入したものを試料とした。なお、従来製品である脱酸素剤封入包装品をコントロールとした。

#### 2-2 保存試験

いずれの試料も30℃の恒温器で4週間保存し、1週間経過ごとに一般生菌数、水分含有率および水分活性を調べた。併せて、実際の味や風味、食感を確認する

\*1 生物食品研究所

\*2 もぐもぐぼけっと株式会社

ため官能評価も実施した。

### 2-3 一般生菌数

試料10 gをストマッカー袋に採取し、滅菌生理食塩水90 mLを加え、1分間ストマッカー（アズワン（株）、E-Mix primo）で均質化した。一般生菌数は、リン酸緩衝生理食塩水で希釈した試料1 mLをフィルム培地（キッコーマンバイオケミファ（株）、Easy Plate AC）に接種し、35℃で48時間培養後、出現コロニー数を計測し試料1 gあたりの一般生菌数を算出した。

### 2-4 水分活性

電気抵抗式水分活性測定装置（Novasina社、LabSwift-aw）で測定した。

### 2-5 水分含有率

加熱乾燥式水分計（（株）A&D、MS-70）で測定した。

### 2-6 官能評価

各種鮮度保持剤を同封したことによる米粉焼きドーナツの味や風味、食感への影響を確認するため、もぐもぐぼけっと（株）および当所職員からなるパネリスト5人以上により官能評価を行った。なお、商品記載の喫食方法に従い、600W40秒で電子レンジ加熱を行い、官能評価を行った。

## 3 結果と考察

### 3-1 微生物増殖抑制効果

和洋菓子類に使用される鮮度保持剤のうち、脱酸素剤は、包装内の酸素を吸収し、カビなどの好気性菌の生育抑制に有効であるほか、酸素を起因とする油脂の酸化や変色による嗜好性低下を防止できる<sup>3)</sup>利点があるが、乾燥が進行しやすい短所もある。また、アルコール蒸散剤においては、乳酸菌や酵母などの嫌気性菌に対する生育抑制効果やデンプン老化を抑制できる<sup>4)</sup>利点があるが、食品によってはアルコール臭を強く感じる場合がある。このように、鮮度保持剤の種類によって特徴や機能が異なるため、食品（に求める品質）ごとに鮮度保持剤の有効性を評価する必要がある。

そこで、米粉焼きドーナツを脱酸素剤、アルコール蒸散剤あるいは脱酸素アルコール蒸散剤と封入包装後、30℃で4週間保存し、一般生菌数の経時変化を調べた（図1）。

その結果、コントロール（脱酸素剤封入包装品；●）では、2週目で $1.5 \times 10^6$ cfu/gまで菌数が増加していた。脱酸素アルコール蒸散剤封入包装品（□）においても、

2週目で $5.5 \times 10^5$ cfu/gまで菌数が増加していた。一方、アルコール蒸散剤（▲）では、4週経過後も一般生菌数は検出限界以下であった。これは、アルコール蒸散剤封入包装した米粉焼きドーナツのアルコール臭が脱酸素アルコール蒸散剤に比べ強かったことから、アルコール蒸散量が多く、脱酸素アルコール蒸散剤よりも高い静菌作用を示したためと考えられる。詳細なメカニズムは現在検討中である。なお、いずれの包装条件においてもカビの発生は確認されなかった。

以上の結果から、米粉焼きドーナツの微生物制御には、アルコール蒸散剤が有効であることがわかった。

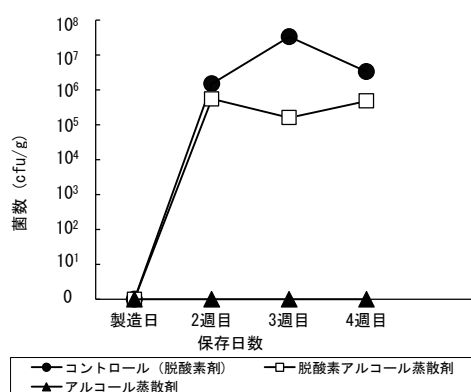


図1 一般細菌増殖に対する鮮度保持剤の影響

### 3-2 水分活性および水分含有率への影響

いずれの包装条件においても、時間経過とともに水分活性および水分含有率が低下傾向を示したものの、鮮度保持剤による差は見られなかった（図2）。このことから、鮮度保持剤による、米粉焼きドーナツの水分活性および水分含有率への影響はないことがわかった。

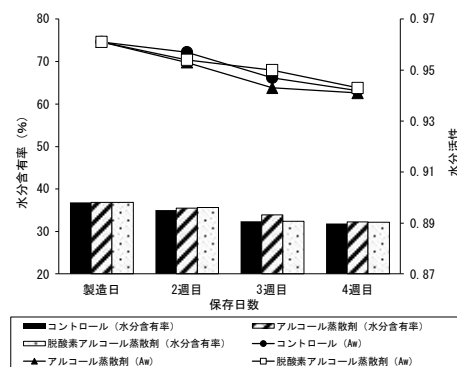


図2 水分活性 (Aw)、水分含有率に対する鮮度保持剤の影響

### 3-3 官能評価

鮮度保持剤封入包装した米粉焼きドーナツの味や風味、食感を調べるため、もぐもぐぼけっと（株）および当所職員により官能評価を行った。その結果、いずれの包装条件においても、食感に差は感じられなかった。一方、アルコール蒸散剤および脱酸素アルコール蒸散剤封入包装品では、コントロールと比較して若干のアルコール臭が感じられたが、商品品質として許容できる範囲内であった。アルコール蒸散剤封入包装品は、30℃保存条件下で4週間経過後も腐敗およびカビの発生は確認されず、脱酸素アルコール蒸散剤封入包装品よりも優れた微生物増殖抑制作用を示した（図1）。さらに、もぐもぐぼけっと（株）が実施した15週間室温保存試験の結果、アルコール蒸散剤封入包装品は、15週間経過後も一般生菌数は検出限界以下且つ官能評価結果も商品品質として許容できる範囲内であった。

以上の結果にもとづき、アルコール蒸散剤を封入包装した場合の賞味期限を従来の2週間から4週間（令和4年10月製品化）、8週間（令和5年5月製品化）と段階的に延長することができた（図3）。賞味期限を大幅に延長できたことにより、新規販路の拡大が期待される。



図3 製品化したアルコール蒸散剤封入包装の米粉焼きドーナツ

### 4 まとめ

米粉焼きドーナツを各種鮮度保持剤で封入包装し、賞味期限延長を試みた。その結果、アルコール蒸散剤封入包装により、米粉焼きドーナツの嗜好性を保持し、且つ微生物の増殖を抑えられることを明らかとし、賞味期限2週間から8週間へ延長した製品の上市に繋がった。適切な鮮度保持剤選択により、県内企業の製品の保存性を簡便に向上させることができることがわかった。

### 5 参考文献

- 1)久田 孝：日本食品微生物学会雑誌，Vol. 32，No. 1，pp. 29-33（2015）
- 2)Leistner L.，Gorris L.G.M.：Trends Food Sci. Tech.，Vol. 6，pp. 41-46（1995）
- 3)遠山良，関沢憲夫，荒川義行，石谷幸佑：日本食品工業学会誌，Vol. 27，No. 5，pp. 221-226（1980）
- 4)石谷幸佑：農林水産技術研究ジャーナル，Vol. 12，No. 9，pp. 21-29（1989）

# 保存性および嗜好性を両立した食品保存技術の開発(第2報) — 草木饅頭の消費期限延長技術 —

田崎 麻理奈\*1 川口 友彰\*1 片山 秀樹\*1 堺 早恵子\*1 香山 眞理子\*2

## Development of Food Preservation Technology Combining Shelf Life and Palatability (II)

### - Technology to Extend Shelf Life of Kusaki-manju -

Marina Tasaki, Tomoaki Kawaguchi, Hideki Katayama, Saeko Sakai and Mariko Kohyama

「新しい生活様式」の浸透に伴う通販やお取り寄せ需要の拡大から、おいしさはそのままに、従来よりも長く日持ちする食品の需要が高まっている。(有)江口栄商店では、全国発送に対する顧客からの要望が高まっていたものの、主力商品である草木饅頭(蒸し饅頭)の消費期限が3日と短く対応できない課題があった。そこで本研究では、鮮度保持剤を用いた消費期限延長効果を、一般生菌数・真菌数・水分活性・水分含有率・テクスチャー・官能評価を行うことにより評価した。その結果、脱酸素剤封入包装により、草木饅頭の組成や製法を変えることなく消費期限3日を賞味期限8日に延長可能であることを明らかにし、製品化に至った。

#### 1 はじめに

「新しい生活様式」の浸透に伴い、店内飲食や土産品購入が減少する一方、調理済み食品の持ち帰りや通販、お取り寄せ需要が増加する等、消費行動が変化している。そのため、このような消費者ニーズに対応すべく、おいしさはそのままに、従来よりも長く日持ちする食品の需要が高まっている。

大牟田市の(有)江口栄商店が製造する草木饅頭は白餡を包んだ1口大の蒸し饅頭であり、長年地元の銘菓として親しまれている。蒸し饅頭は水分活性が高く、微生物による変敗の影響を受けやすいことから、消費期限は短く、草木饅頭においても3日に設定されている。また、デンプン老化による生地の硬化から、嗜好性も低下しやすい上、低温流通によりその影響は顕著となる。したがって、遠方地域への発送が困難であり、顧客ニーズが多いものの、全国発送に対応できない課題があった。

和洋菓子類における鮮度保持技術のうち、現在広く普及している方法の一つに鮮度保持剤の利用がある。鮮度保持剤は食品包装内に同封することにより、包装内の雰囲気制御し、食品の保存性を向上させることができる。脱酸素剤では、包装内の酸素を吸収し、カビなどの好気性菌の生育抑制に有効であるほか、酸素を起因とする油脂の酸化や変色による嗜好性低下を防

止できる<sup>1)</sup>利点があるが、乾燥が進行しやすい短所もある。また、アルコール蒸散剤においては、乳酸菌や酵母などの嫌気性菌に対する生育抑制効果やデンプン老化を抑制できる<sup>2)</sup>利点があるが、食品によってはアルコール臭を強く感じる場合がある。このように、鮮度保持剤の種類によって特徴や機能が異なるため、食品(に求める品質)ごとに鮮度保持剤の有効性を評価する必要がある。

そこで本研究では、草木饅頭の消費期限延長を目的として、各種鮮度保持剤が草木饅頭の保存性および嗜好性に与える影響を評価した。

#### 2 研究, 実験方法

##### 2-1 試料

製造日に(有)江口栄商店から入手した草木饅頭を使用した。草木饅頭の重量は1個あたり約18gであった。鮮度保持剤は脱酸素剤((株)鳥繁産業, エパーフレッシュ), アルコール蒸散剤(フロイント産業(株), アンチモールド)および脱酸素アルコール蒸散剤(フロイント産業(株), ネガモールド)の3種類を使用した。

ガスバリア性を有する合掌貼ガゼット袋(福助工業(株))に饅頭を10個入れ、鮮度保持剤を1個封入したものを試料とした。また、鮮度保持剤未封入包装品をコントロールとした。なお、試料とコントロール品は製造日が異なるものを使用した。

\*1 生物食品研究所

\*2 有限会社江口栄商店

## 2-2 保存試験

いずれの試料も30℃の恒温器で14日間保存し、製造0, 3, 7, 10, 14日後に一般生菌数, 真菌数, 水分含有率, 水分活性およびテクスチャーを調べた。ただし, テクスチャーは5日目も測定を実施し, 併せて, 実際の味や風味, 食感を確認するため官能評価も実施した。

## 2-3 一般生菌数および真菌数

饅頭1個をストマッカー袋に採取し, 滅菌生理食塩水180 mLを加え, 1分間ストマッカー (アズワン (株), E-Mix primo) で均質化した。一般生菌数は, リン酸緩衝生理食塩水で希釈した試料1 mLをフィルム培地 (キッコーマンバイオケミファ (株), Easy Plate AC) に接種し, 35℃で48時間培養後, 出現コロニー数を計測し試料1 gあたりの一般生菌数を算出した。真菌数も同様に, リン酸緩衝生理食塩水で希釈した試料1 mLをフィルム培地 (3M, ペトリフィルム YMプレート) に接種し, 25℃で72時間培養後, 出現コロニー数から試料1 gあたりの真菌数を算出した。

## 2-4 水分活性

饅頭の水分活性は電気抵抗式水分活性測定装置 (Novasina社, LabSwift-aw) で測定した。

## 2-5 水分含有率

饅頭の水分含有率は加熱乾燥式水分計 ((株) A&D, MS-70) で測定した。

## 2-6 テクスチャー

クリープメータ ((株) 山電, RE2-33005C型) を用いて, 饅頭のかたさおよび付着性を測定した。直径30 mmの円筒状のプランジャーを用い, 条件は, 測定歪率10%, 測定速度5 mm/sec, サンプルの厚さ実平均20 mm, 接触面直径30 mm, 格納ピッチ0.02 sec, ロードセル20 Nとした。測定は1つの試料につき5回以上行い再現性を確認し, 平均値および標準偏差を算出した。

## 2-7 官能評価

各種鮮度保持剤を同封したことによる草木饅頭の味や風味, 食感への影響を確認するため, (有) 江口栄商店および当所職員からなるパネリスト5人以上により官能評価を行った。なお, 官能評価は腐敗やカビの発生が確認されたものを除き, 毎日実施した。

## 3 結果と考察

### 3-1 微生物増殖抑制効果

一般生菌数の経時変化を図1に示す。コントロール (鮮度保持剤未封入包装品; ◇) では, 3-7日目で菌数が増加し, 饅頭皮部分にカビの発生を認めた。アルコール蒸散剤封入包装品 (▲) においても, 10日目で  $1.4 \times 10^7$  cfu/g に菌数が増加し, カビの発生を認めた。一方, 脱酸素剤 (●) および脱酸素アルコール蒸散剤封入包装品 (□) では, 14日目も菌数は  $1.7 \sim 2.0 \times 10^4$  cfu/g であり, カビの発生も認められなかった。

真菌数の経時変化を図2に示す。コントロール (◇) では7日目, アルコール蒸散剤封入包装品 (▲) では10日目で菌数の増加が認められ, いずれにおいてもカビの発生が観察された。これらの結果は, 図1の一般生菌数の結果と同様であった。一方, 脱酸素剤 (●) および脱酸素アルコール蒸散剤 (□) 封入包装品では, 14日目も真菌数は検出限界以下を示した。

以上の結果から, 草木饅頭の一般生菌数および真菌数の制御には, 脱酸素剤および脱酸素アルコール蒸散剤が有効であることがわかった。

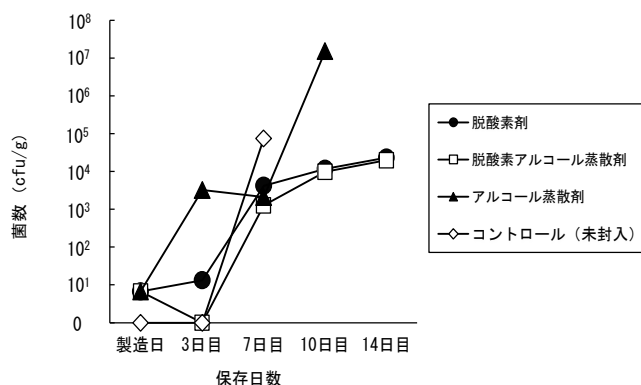


図1 一般細菌増殖に対する鮮度保持剤の影響

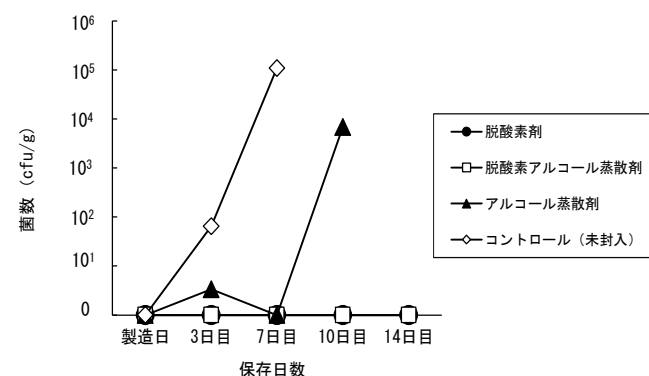


図2 真菌増殖に対する鮮度保持剤の影響

### 3-2 水分活性および水分含有率への影響

コントロールおよび鮮度保持剤封入包装品のいずれ



においても、14日経過後も水分活性、水分含有率ともに変化が見られなかった(図3)。このことから、鮮度保持剤による、草木饅頭の水分活性および水分含有率への影響はないことがわかった。

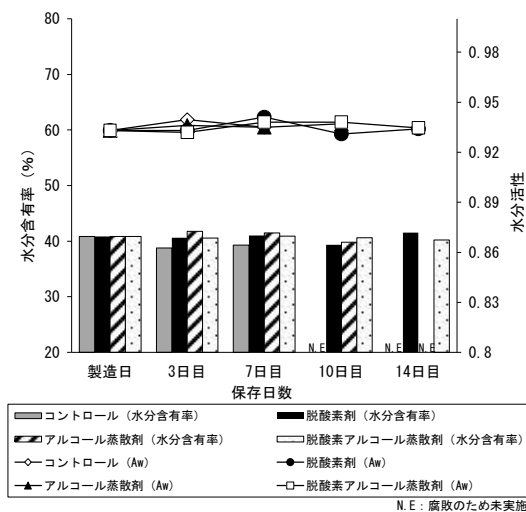


図3 水分活性 (Aw), 水分含有率に対する鮮度保持剤の影響

### 3-3 テクスチャーへの影響

饅頭表面の付着性(ペタペタ感)およびやわらかい食感が草木饅頭の特徴であり、商品品質上、重要な指標である。そこで、鮮度保持剤による草木饅頭のテクスチャーへの影響を調べるため、30℃14日間保存し、かたさおよび付着性の経時変化を調べた(図4, 5)。

その結果、図4に示すように、いずれの包装条件においても経時的事にかたさが増加する傾向を示したものの、アルコール蒸散剤封入包装品のかたさの変化は、その他よりも緩やかであった。詳細な検討は必要であるが、アルコール蒸散系の鮮度保持剤はデンプンの老化抑制作用があることから、アルコール蒸散剤封入包装により、デンプンの老化が抑制され、かたさの増加を抑制した可能性が考えられる。一方、脱酸素アルコール蒸散剤封入包装では、かたさの増加抑制が認められなかった。これは、脱酸素アルコール蒸散剤封入包装した草木饅頭のアルコール臭がアルコール蒸散剤に比べ感じにくかったことから、アルコール蒸散量が低いためと考えられる。

付着性の経時変化を図5に示す。いずれの包装条件においても、日数経過とともに付着性の低下が認められた。鮮度保持剤の違いによる顕著な差は見られなかった。

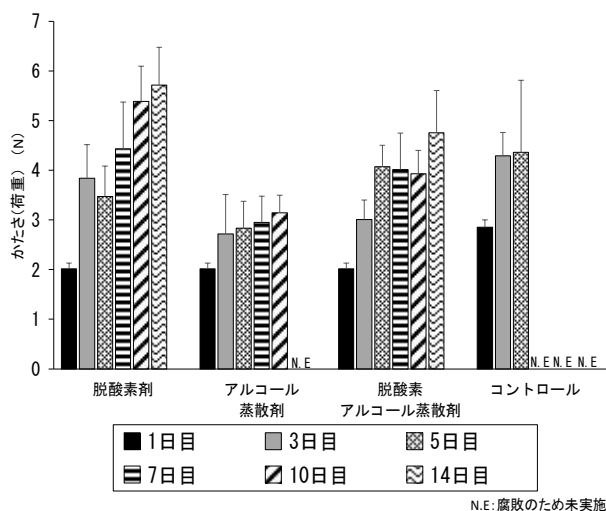


図4 かたさへの鮮度保持剤の影響

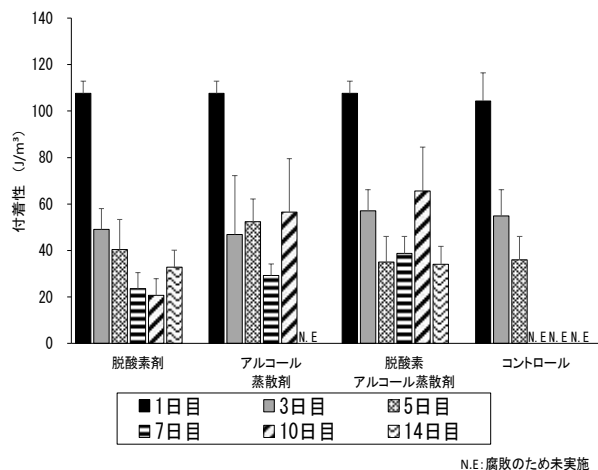


図5 付着性への鮮度保持剤の影響

### 3-4 官能評価

鮮度保持剤封入包装した草木饅頭の味や風味、食感を調べるため、(有)江口栄商店および当所職員により官能評価を行った。その結果、アルコール蒸散剤および脱酸素アルコール蒸散剤封入包装品では、食感良好であるものの、アルコールの風味が気になるとの評価であった。一方、脱酸素剤封入包装品では、かたさ及び付着性測定において、保存日数経過とともに製造日より品質低下を示唆する結果が得られたもの(図4, 5)、官能評価の結果においては、保存8日目まで風味や食感が良好で、商品品質を保持しているとの評価が得られた。脱酸素剤封入包装品はまた、微生物試験の結果においても、30℃保存条件下で14日経過後も腐敗およびカビの発生は確認されなかった(図1, 2)。以上の結果から、脱酸素剤で封入包装した場合の賞味期限を8日に決定した。なお、従来は“消費期



限”表記であったが、本研究により5日以上の日持ちが確認されたことから、脱酸素剤封入包装品については“賞味期限”表記とした。令和4年7月に製品化（図6）し、これまで困難だった遠方地域への発送が対応可能となったことで、百貨店催事等への出店の増加やふるさと納税返礼品にも採用され販路拡大に繋がっている。



図6 製品化した脱酸素剤封入包装の草木饅頭

#### 4 まとめ

草木饅頭を各種鮮度保持剤で封入包装し、消費期限延長を試みた。その結果、脱酸素剤封入包装により、草木饅頭の嗜好性を保持し、且つ微生物の増殖を抑えられることを明らかとし、消費期限3日から賞味期限8日へ延長した製品の上市に繋がった。

#### 5 参考文献

- 1) 遠山良，関沢憲夫，荒川義行，石谷幸佑：日本食品工業学会誌，Vol. 27，No. 5，pp. 221-226（1980）
- 2) 石谷幸佑：農林水産技術研究ジャーナル，Vol. 12，No. 9，pp. 21-29（1989）

# 福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業における製品開発事例 -木を使ったモダンデザインのフロアライトの開発-

隈本 あゆみ\*1 友延 憲幸\*1 石川 弘之\*2 青木 幹太\*3 酒見 達郎\*4 鈴木 康洋\*5

## The Project with which it's Supported to Improve the Furniture Branding The Example Product Development by The Project with which it's Supported to Advance The Product Planning capability

- Development of a modern design floor light using wood -

Ayumi Kumamoto, Noriyuki Tomonobu, Hiroyuki Ishikawa, Kanta Aoki,  
Tatsuro Sakemi and Yohei Sasaki

株式会社丸庄（以下、丸庄）は、チェスト、テレビボード等の箱物家具、ソファ等の脚物家具を製造販売している企業である。箱物、脚物共に製造できる高い技術力を有する丸庄は、空間をトータルで演出し提案できる家具メーカーに成長したいと考えていた。そこで、「福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業」に参加し、製品開発に取り組んだ。開発アイテムを照明に絞り、空間全体を演出できる、アートの要素を備えたデザインのフロアライトというコンセプトを構築し、ペリクラークアンドパートナーズジャパン株式会社にデザインを担わせ、木を使ったモダンデザインのフロアライトを開発し製品化した。

### 1 はじめに

本報では、「福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業」（以下、本事業）における株式会社丸庄（以下、丸庄）の製品開発の取り組みを報告する。本事業の目的や概要については、令和2年度研究報告掲載「福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業における製品開発事例（その1）」内の「1 はじめに」と「2 方法」を参照していただきたい。また、本事業において丸庄の製品開発に関わった製品開発グループおよびデザイン事業者のメンバーを表1に示す。

表1 製品開発グループとデザイン事業者

製品開発グループ	デザイン事業者
・九州産業大学 芸術学部 青木幹太教授 ・株式会社丸庄 ・インテリア研究所	・ペリクラークアンドパートナーズジャパン株式会社

### 2 事業の取り組み内容

#### 2-1 製品開発の目的

丸庄は、北米原産の広葉樹を中心とした無垢材を用いて、チェスト、テレビボード等の箱物家具、ソファ等の脚物家具を製造販売している従業員 20 名（事業参加当時）の企業である。無垢材を用いた重厚感高級感のある家具テイストが持ち味である。特に実用新案を取得した「ウェーブ加工」（木の節目や杣目の流れに沿って凹凸を彫り込み節目を浮き出させる加工）を施した製品群は、差別化が難しい箱物家具市場において存在感を示している（図1参照）。自社製品が市場に認知される中、空間をトータルで演出し提案できる家具メーカーに成長したいと考えていた。そこで、本事業に参加し商品開発を行うこととなった。



図1 丸庄製品ソファ（左）とウェーブ加工を施した箱物家具の前板（右）

\*1 インテリア研究所  
\*2 公益財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団  
\*3 九州産業大学 芸術学部  
\*4 株式会社丸庄  
\*5 ペリクラークアンドパートナーズジャパン株式会社

## 2-2 製品コンセプトの構築とデザイン事業者の選定

製品コンセプトの構築は丸庄が中心となり、適宜、製品開発グループがフォローをする体制で行った。

まず、本事業の開発アイテムとして選定した照明について、使用場所と用途を明確にする必要があった。そこで、本事業に参加する丸庄内の開発グループ5名が「丸庄に置きたい照明」という視点で製品アイデアをイラスト化した(図2)。また、5名のアイデアから、「アートの要素をもつ」「時間の経過を感じる」「既存の製品との調和」といったキーワードが挙がった。これらのことから、空間へ気軽に設置でき、自社の製品と一緒に使用してもらいやすい“フロアライト”を開発することとした。

製品開発グループのフォローはデザイン事業者に依頼する内容の仕様書の作成にまで及び、主に丸庄が仕様書の作成を行った。仕様書にも上記のキーワードを活用し、“ウェーブ加工”の陰影を魅力的に表現して空間全体を演出しできる、アートの要素を備えたデザインのフロアライト”というコンセプトを記載した内容となり、これに基づきデザイン事業者を全国から募集した。

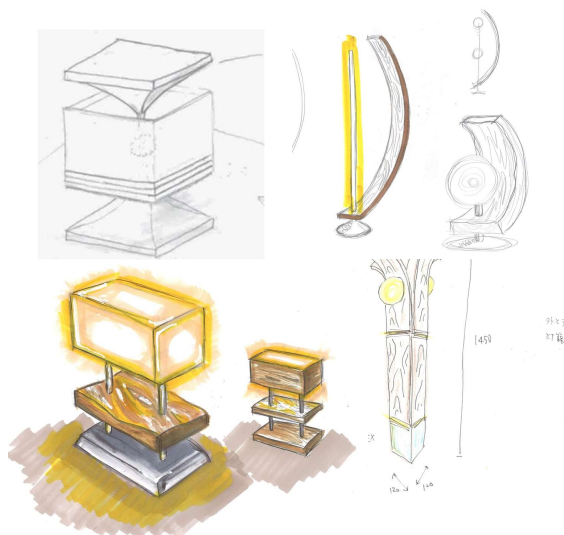


図2 丸庄の開発グループがデザインした「丸庄に置きたい照明」案

(基本コンセプト)

- ・丸庄独自の木材加工技術「ウェーブ加工」を、より魅力的に表現するフロアライト。
- ・丸庄の家具がある空間に置くことで互いに魅力を引き立て合う、上質なアートの要素を持つデザインのフ

ロアライト。

(デザイン仕様書の主な仕様)

- ・他の家具や、照明自体のウェーブ加工に光を当てることで、加工面を魅力的に見せる間接照明デザインであること。
- ・インテリアやオブジェとしての役割を重視した間接照明デザインであること。
- ・金属や石材などの異素材を組み込んだモダンアートの間接照明デザインであること。

公募の結果、複数のデザイン提案の中から、造形が美しく「製品コンセプトに基づくデザイン開発方針・方向性の妥当性」と「コミュニケーション能力」などの観点において評価が高かったペリクラークペリアーキテクトジャパン株式会社(現在、ペリクラークアンドパートナーズジャパン株式会社)以下、ペリクラーク(東京都)の「ROTINI(ロティーニ)」(図3)を採択した。



図3 採択した「ROTINI」

## 2-3 デザインの具現化(製品の製作)

丸庄、九州産業大学および当所で構成する製品開発グループとペリクラークは、「ROTINI」開発において、4つの課題を解決し具現化した(図4,5)。

### ①台座の素材・塗装・構造の検証

台座は本体である木部と、木部を覆う様に取り付けるカバーから成る。カバーの素材は経年変化を感じられる真鍮とした。コストを抑えるため真鍮板の既製サイズから加工が可能になるようカバーサイズを検討し、塗装は自社で行うこととなった。

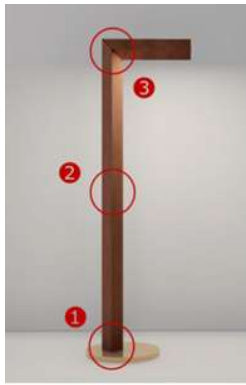


図4 具現化するための課題箇所①～③

#### ②木部の寸法・内部構造

台座のサイズが決定した段階で、全体のバランスを取りながら寸法を検討した。木部内にコードを通すため、厚み30mmの角材を2枚重ねに継ぐ方法を採用し、内部にNCルーターによるくりぬき加工を施した。

#### ③回転部の形状・機構・素材

回転部はコードを通すため空洞が必要であった。コードを通しつつ灯具設置部が回転するよう、ダンパーなど既製品を探したが、条件に合うものが見つからなかったため、オリジナルの金具を製作することとなった。試作にはペリクラーが保有する3Dプリンターを活用しプロトタイプを作成、検証を重ねた。

#### ④灯具の仕様・PSE・配光

灯具は調光機能を有し、台座に収まる形状のものを採用した。PSEマークを表示できるよう自主検査体制の整備を行った(図5参照)。

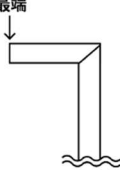
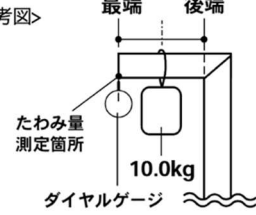


図5 具現化するための課題箇所④

完成した製品は、インテリア研究所で安全性評価のための強度試験を実施した。試験内容、目的、結果は表2に示す通りで安全性に問題がないことが確認された。

「ROTINI」は意匠権の保護を目的として、丸庄と福岡県の共同出願という形で、全体意匠を出願した<sup>2)</sup>。

表2 実施した試験項目とその結果

試験内容	試験の目的	結果
<b>垂直力に対する安定性試験</b> <方法>ねじった状態の試験体を剛性のある水平な床面状に設置する。可動部の最端の位置へ垂直力を加える。試験体が倒れるまで少しずつ力を大きくしていき、最大力を記録する。 <参考図> 	ねじった状態で、上からどのくらいの力が加わると転倒するかを調べる	105Nで浮き上がりが認められた
<b>垂直方向への持続荷重試験</b> <方法>ねじった状態の試験体を剛性のある水平な床面状に設置する。可動部の最端から後端までの中央位置に10.0kgのおもりを吊り下げる。その状態で168時間(7日間)放置する。試験体最端において、168時間後のたわみ量を測定する。 <参考図> 	回転部分がおもりの負荷に耐えられるか、どの程度たわむかを調べる	異状なし たわみ量：2.4mm

### 3 まとめ

丸庄は本事業に参加し、製品開発グループや外部有識者の協力を得て、自社製品を引き立たせるフロアライトの製品コンセプトを構築した。更にそのコンセプトに基づいたデザインをペリクラーが担当することで、「ROTINI」を製品化した。

製品化後は、展示会へ出展するなど精力的な販促活動に努めている。

### 4 参考文献

- 1) 石川弘之, 隈本あゆみ, 西村博之, 青木幹太, 酒見史裕, 酒見典広, 田中敏憲: 福岡県工業技術センター研究報告, No. 30, pp. 21-24 (2020)
- 2) 著作者: 意匠登録1731687 (2022)

# 福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業における製品開発事例

## -収楽(しゅうらく)家具の開発-

隈本 あゆみ\*1 友延 憲幸\*1 石川 弘之\*2 青木 幹太\*3 小早川 恒緒\*4 白石 香波\*4 板場 奈美\*5

### The Project with which it's Supported to Improve the Furniture Branding The Example Product Development by The Project with which it's Supported to Advance The Product Planning capability

- Development of SHURAKU Furniture -

Ayumi Kumamoto, Noriyuki Tomonobu, Hiroyuki Ishikawa, Kanta Aoki,  
Tuneo Kobayakawa, Kanami Shiraisi and Nami Itaba

株式会社アルファタカバは、ディズニー等のキャラクターライセンス家具を中心とした箱物家具の製造・販売を得意としている。今後、タンス類の生産販売数は減少していくことが予測される中、箱物家具を製造してきた技術を生かし、キャラクターライセンス家具とは別に、元気で活発な高齢者をターゲットとした収納家具を開発し、新しい箱物家具の価値を見出したいと考えていた。

そこで、外部の力を借りて開発ができる「福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業」に参加し、製品開発に取り組んだ。

#### 1 はじめに

本報では、「福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業」(以下、本事業)における株式会社アルファタカバ(以下、アルファタカバ)の製品開発の取り組みを報告する。本事業の目的や概要については、令和2年度研究報告掲載「福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業における製品開発事例(その1)」内の「1 はじめに」と「2 方法」を参照していただきたい<sup>1)</sup>。また、本事業においてアルファタカバの製品開発に関わった製品開発グループおよびデザイン事業者のメンバーを表1に示す。

表1 製品開発グループとデザイン事業者

開発開発グループ	デザイン事業者
<ul style="list-style-type: none"> <li>・九州産業大学 芸術学部 青木幹太教授</li> <li>・株式会社アルファタカバ</li> <li>・インテリア研究所</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一級建築士事務所 もりのわ設計室</li> </ul>

\*1 インテリア研究所

\*2 公益財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団

\*3 九州産業大学 芸術学部

\*4 株式会社アルファタカバ

\*5 一級建築士事務所 もりのわ設計室

#### 2 事業の取り組み内容

##### 2-1 製品開発の目的

アルファタカバは、図1に示すようにディズニー等のキャラクターライセンス家具を主力製品に箱物家具製造を行う企業である。キャラクターライセンス家具においては全国でも著名なメーカーであり、キャラクターライセンス家具事業と別の柱として、箱物家具を作ってきた技術を生かした「収育(しゅういく)<sup>®</sup>」<sup>2)</sup>を取り入れた製品開発を行っている。収育<sup>®</sup>がキッズに向けた収納家具であるのに対し、新たに「収楽(しゅうらく)」というキーワードで、介護を必要としない元気で活発な高齢者(以下、アクティブシニア)に向けた収納家具の開発を検討していた。しかし、開発に必要な専門知識を有しておらず、開発に取り組めていなかった。本事業活用することで開発に着手できるため、専任者を立てて参加することとなった。



図1 アルファタカバの既存製品  
ディズニー家具(左) 収育シェルフ(右)



## 2-2 製品コンセプトの構築とデザイン事業者の選定

製品コンセプトの構築にあたって、まず、アルファタカバが中心となり、参入する市場の分析や社会的な傾向の洗い出しなどを行った。更に、ターゲットとして設定したアクティブシニアにグループインタビューを行った（表 2）。その結果、アクティブシニアは身体的な衰えが原因で、普段から日常生活に少しでも不便を感じる可能性があることが分かった。これらの意見を元に、デザイン事業者へ依頼する内容を記した仕様書の作成をアルファタカバが行った。仕様書では、社会背景とアクティブシニアをターゲットとする理由を明確にし、人間工学に則ったデザインを実施できるデザイン事業者へ応募してもらうことを目指した。こうして仕様書は、“片づけの時に感じる「ちょっとした辛いこと」をサポートする家具”というテーマで完成し、これに基づきデザインするデザイン事業者を公募した。

表 2 グループインタビューでアクティブシニアから聞かれた日常生活で生じる困りごと

<p>・握力が弱くなった</p> <p>→扉や引き出しが開けにくい</p> <p>→丸いつまみやハンドルは開けにくい要因</p> <p>→幅のある引き出しが引き出しづらくなった</p>
<p>・もの忘れが増えた</p> <p>→収納物の場所を忘れる</p> <p>→鍵の場所を忘れる</p>
<p>・立ち上がりがつらい</p> <p>→床座がつらく、ほぼ椅子で過ごす</p> <p>→椅子もダイニングチェア程度の高さがないとつらい (膝の角度が最低でも 90 度以上ないとつらくなる)</p>
<p>・立ちっぱなしがつらい</p> <p>→膝や腰に負担がかかる</p>

(基本コンセプト)

シニア世代の「ちょっとした辛いこと」を軽減できる機能がある収納機能付き家具

(デザイン仕様書の主な仕様)

北欧家具に見られるナチュラルな色味や無駄のない

シンプルな形状で、「身体的な困りごと」(表 2)をサポートしたり、収納物をスムーズに片づけられるなどの機能を付与した家具のデザイン

公募の結果、複数のデザイン提案の中から、生活者目線に立ったデザインであり、福祉関係のデザイン設計の経験がある一級建築士事務所 もりのわ設計室(大分県)(以下、もりのわ設計室)の「ダブルチェア一収納」(図 2)を採択した。



図 2 採択した「ダブルチェア一収納」

## 2-3 デザイン事業者によるデザインと製品

アルファタカバ、九州産業大学および当所で構成する製品開発グループともりのわ設計室は、アルファタカバによる試作品を基に、安定性と安全性が最適となるよう検討を重ねた。特に「ダブルチェア一収納」のA部(図 3)は、手すりとして使用者の身体を支えるような利用を想定しているため(図 4)、横揺れを完全に防止し、安定性を保つ必要があった。

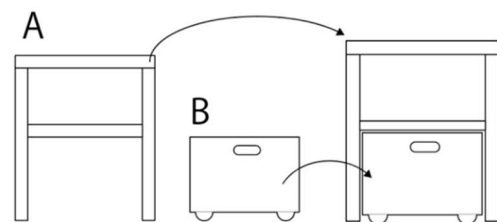


図 3 ダブルチェア一収納の構成

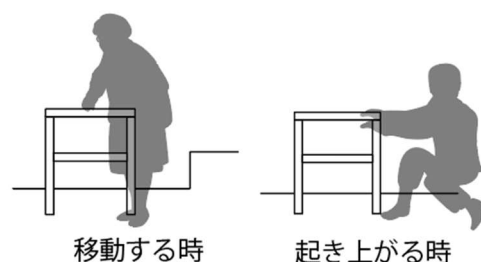


図 4 ダブルチェア一収納Aの使用シーン

そこで、初期試作品へ使用していたアルミパイプを廃し、補強のためA部の中間付近に面材を取り付けた。完成した製品は図5のとおりである。



図5 製品（商品名「SOERU」）

完成した製品（図3に示すA部およびB部）は、安全性評価のため、JIS試験<sup>3)4)</sup>に則った強度試験をインテリア研究所が実施した。試験結果は表3に示す通り全て「異状なし」で安全に使用できることが確認された。

表3 実施した試験項目とその結果

	JIS	試験名	区分	結果
A部	JIS S 1203:1998	7.1 座面の静的強度試験	区分3 (1,300N 約 132.7kgf)	異状なし
	JIS S 1200:2012	6.1.3 棚板のたわみ試験	レベル2 [1.5kg/dm <sup>2</sup> ]	異状なし たわみ量： 0.5mm たわみ率： 0.1%
	JIS S 1203:1998	7.8 脚部の側方強度試験	区分3 (座面1,100N、 390N 39.8kgf)	異状なし
B部	JIS S 1203:1998	7.1 座面の静的強度試験	区分3 (1,300N 約 132.7kgf)	異状なし

さらに、商品開発と平行して販売戦略を考えた。まず、販売する際に「ダブルチェア収納」を表すネーミングとして、使用している人にそっと寄り添い、生活し易くするという意味を込め「SOERU（ソエル）」という商品名を採用した。

次に、自宅のどんな場所で使用され、どんな物を収納するかアルファタカバを中心に議論し、1日の行動の流れに注目し、朝から晩まで家庭のあらゆる場所で

使用できるという販売促進用のチラシを作成した。

「SOERU」は意匠権の保護を目的として、アルファタカバと福岡県の共同出願という形で、全体意匠を出願した<sup>3)</sup>。

### 3 まとめ

アルファタカバは本事業に参加し、製品開発グループや外部有識者の協力を得て、市場やターゲットの分析を行い、製品コンセプトを構築した。更にそのコンセプトに基づいたデザインをまりのわ設計室が担当することで、安全性とデザイン性を反映させた「SOERU」を製品化した。

製品化後、アルファタカバは「SOERU」をwoodデザインアワードに応募するなど、意欲的にPR活動を行っている。

### 4 参考文献

- 1) 石川弘之、隈本あゆみ、西村博之、青木幹太、酒見史裕、酒見典広、田中敏憲：福岡県工業技術センター研究報告、No. 30, pp. 21-24(2020)
- 2) 一般社団法人日本収納検定協会HP（オンライン）  
<https://shu-ken.or.jp/shuiku01/>（参照2023-03-31）
- 3) JIS S 1203:1998家具-いす及びスツール-強度と耐久性の試験
- 4) JIS S 1200:2012家具-収納ユニット-強度及び耐久性試験
- 5) 著作者：意匠登録1731926(2022)

# 福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業における製品開発事例 -年輪材の価値を感じることができるテーブルの開発-

友延 憲幸\*1 石川 弘之\*1 青木 幹太\*2 植木 正明\*3 沖石 純子\*3 久保 哲也\*4

## The Project with which it's Supported to Improve the Furniture Branding The Example Product Development by The Project with which it's Supported to Advance The Product Planning capability

- Development of a table that allows you to feel the value of the annual ring wood -

Noriyuki Tomonobu, Hiroyuki Ishikawa, Kanta Aoki,  
Masaaki Ueki, Junko Okiishi and Tetsuya Kubo

株式会社ウエキ産業(以下、ウエキ産業)は、原木の調達から、乾燥・加工・製品化まで一貫して自社で行い、製材と木製品を販売する企業である。ウエキ産業が調達する原木には、利用が困難な部位もあるが、中でも樹木の根に近い部分(地際部)について、薬剤の注入等で家具の部材として利用できるように改良を行ってきた。今回、改良に成功した地際部材(輪切りにした年輪材)を天板としたテーブルの開発を行うために、「福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業」に参加し、製品開発に取り組んだ。

### 1 はじめに

本報では、「福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業」(以下、本事業)における株式会社ウエキ産業(以下、ウエキ産業)の製品開発の取り組みを報告する。本事業の目的や概要については、令和2年度研究報告掲載「福岡県家具ブランド力向上支援事業 製品企画力高度化支援事業における製品開発事例(その1)」内の「1 はじめに」と「2 方法」を参照していただきたい。また、本事業においてウエキ産業の製品開発に関わった製品開発グループおよびデザイン事業者のメンバーを表1に示す。

最も多いスギであるが、その中には利用が困難な地際部も含まれる。地際部は輪切りにすると大型の円盤材として採取でき、この円盤材を家具材料として取り扱うことを検討してきた。地際部を円盤材として利用する際に最も大きな問題として挙げられるのが、乾燥時に発生する大きなV字型の割れ(図1)である。そこで、ウエキ産業は近年、割れの発生を抑える技術を開発し、地際部の円盤材(以下、円盤材)を家具材料として扱える品質とすることに成功した。本事業では、家具材料として扱えるように開発された円盤材を天板として利用したテーブルの開発を行った。

表1 製品開発グループとデザイン事業者

製品開発グループ	デザイン事業者
・九州産業大学 芸術学部 青木幹太教授 ・株式会社ウエキ産業 ・インテリア研究所	・KUBO DESIGN STUDIO

### 2 事業の取り組み内容

#### 2-1 製品開発の目的

ウエキ産業が調達する主要な原木は国内で蓄積量が



図1 V字割れした円盤材(左)と割れを抑えた円盤材(右)

\*1 インテリア研究所

\*2 九州産業大学 芸術学部

\*3 株式会社ウエキ産業

\*4 KUBO DESIGN STUDIO

#### 2-2 製品コンセプトの構築とデザイン事業者の選定

製品コンセプトの構築はウエキ産業が中心となり、適宜、製品開発グループがフォローを行う体制をとつ



た。

まず、今回の開発でウエキ産業がこだわった点は企業ポリシーでもある木材の有効利用や地球環境の保全などに配慮することであり、従来利用できなかった地際部を材とした製品づくりである。さらに、地際部を利用することで大径の材の採取が可能となり、その材を輪切りにすれば年輪が表情を見せる。製品の中で年輪をどのように見せるかという点にもこだわった（年輪材は一般的に直径 500mm 程度の材が流通するが、地際部を年輪材にすると直径 1,000mm 以上の材の採取が可能となる）（図 2）。また、木を材として扱う企業として、年輪の存在を際立たせることで、ユーザーには木の生長に触れてもらい、自然の歴史を感じて欲しいという思いがあった。

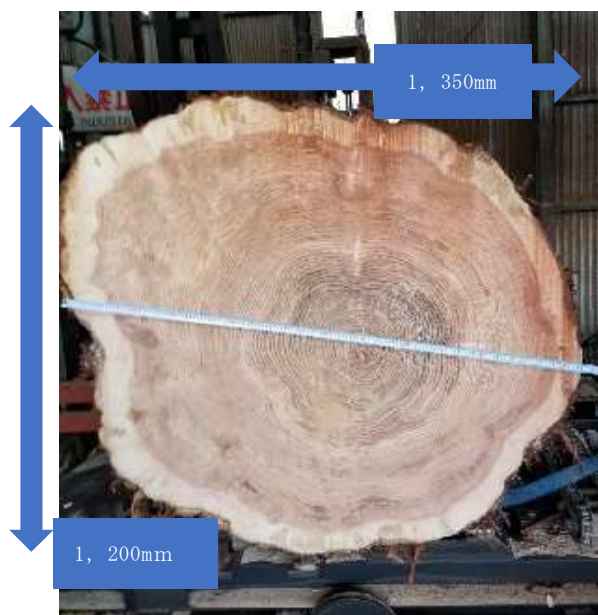


図 2 大径の地際部の年輪材

同社のこだわりや思いを実現するために、年輪がより人目や手に触れることができる家具をコンセプトとして、年輪材を天板としたテーブルを開発することとした。製品開発グループのフォローはデザイン事業者に依頼する内容の仕様書の作成にまで及び、「どのように記載することで自分たちの意図する内容が伝わるか、理想のデザイン案が出てくるか」ということを踏まえながら、ウエキ産業が主体となり仕様書の作成を行った。

こうして“年輪材の価値を感じることができるテーブルの開発”というテーマの仕様書が完成し、これ

に基づきデザインする事業者を公募した。

（基本コンセプト）

年輪をデザインのアクセントとした重厚感と存在感のある質感を生かして、家では主役となり、また永く使用できるテーブルの開発。

（デザイン仕様書の主な仕様）

地際部を輪切りにした杉の年輪材を天板とし、その天板の存在を引き立たせるデザインの脚部を有すること。

公募の結果、複数のデザイン提案の中から、大径の年輪材の存在を際立たせる脚部デザインが優れていることや大径のみに留まらず様々なサイズの年輪材に対応できる数種の脚部をデザインしていたことに加え、「製品コンセプトに基づくデザイン開発方針・方向性の妥当性」、「コミュニケーション能力」などの観点において最も評価が高かった KUBO DESIGN STUDIO（福岡県）の「MONUMENTAL（モニュメンタル）」（図 3）を採択した。



図 3 採択した「MONUMENTAL」シリーズ（一部）  
上から Moneo criff(open), Moneo  
café(side)table, Moneo low table

### 2-3 デザインの具現化(製品の製作)

ウエキ産業、九州産業大学および当所で構成する製品開発グループとKUBO DESIGN STUDIOは、「MONUMENTAL」シリーズの数種の脚部において、材料の選定、また内製するか外注とするかを協議した。

Moneo Criffはシリーズの主力製品と位置づけ、自社で加工できる材料と設計方法を検討し脚部を内製することで、安定したコスト管理と受注に対する迅速な対応を可能とした。Moneo caféの脚部は、デザイン事業者の要望から材料をスチール材としたことにより、外注による製作となった。Moneo low tableの脚部は、陶器の利用も検討したがコスト面から断念し、木材とした。デザインされた脚部を曲面加工する方法に苦慮したが、カービング技術による加工に辿り着き、カービング職人への外注で製作が可能となった。

主力製品となるMoneo criffは意匠の保護を目的として、ウエキ産業と福岡県との共同出願という形で、全体意匠を出願した<sup>2)</sup>。

### 3 まとめ

本事業への参加により、製品開発グループや外部有識者の協力を得て、ウエキ産業の企業ポリシーを表現することを念頭においた製品コンセプトを構築した。さらに、そのコンセプトに基づいたデザインをKUBO DESIGN STUDIOが担当することで、「MONUMENTAL」シリーズを製品化した。

製品化後は、展示会への出展(図4)、福岡市内に営業活動拠点を新設するなど、精力的な販促活動に努めている。



図4 展示会出展の様子

### 4 参考文献

- 1) 石川弘之, 隈本あゆみ, 西村博之, 青木幹太, 酒見史裕, 酒見典広, 田中敏憲: 福岡県工業技術センター研究報告, No30, pp. 21-24(2020)
- 2) 著作者: 意匠登録1744068(2023)

# センダン材家具に関する開発支援

岡村 博幸\*<sup>1</sup> 羽野 泰史\*<sup>1</sup> 隈本あゆみ\*<sup>1</sup> 脇坂政幸\*<sup>1</sup>

## Development support for Sendan furniture

Hiroyuki Okamura, Yasusi Hano, Ayumi Kumamoto and Masayuki Wakisaka

近年、県内の家具製造業社によりセンダン材家具が開発されているが、これまで家具用材としての利用実績が少ないことから物性データが不足しており、その特性を活かした製品開発ができないこと等が課題となっている。そこで、センダン材積層曲げ部材を用いたテーブル用脚部の開発支援を行い、テーブル製品としての製品性能試験を実施した。その結果、垂直力試験及び水平力試験において使用上支障がない強度の部材であることを確認した。更にセンダン材椅子の製品性能試験5項目を実施し使用上の支障がないことを確認した。

### 1 はじめに

早生樹であるセンダン (*Melia azedarach* L.) は15～20年の比較的短伐期で収穫が可能であることから<sup>1)</sup>、森林保全や林業振興の観点等の理由により期待が高まっている。県内でも協同組合福岡・大川家具工業会が「SOUSEI (早期循環型地域材活用プロジェクト)」としてセンダン材を使用した家具等を商品化している<sup>2)</sup>。しかし、センダン材はこれまで家具用材としての利用実績が少ないことから物性データが不足しており、その特性を活かした製品開発ができないこと等が課題となっている。そこでテーブル用脚部として、センダン材の積層曲げ部材の開発、及びセンダン材椅子の製品性能試験による強度の確認を行った。

### 2 実験方法

#### 2-1 積層曲げ部材の試作

県内の家具製造企業よりセンダン材の積層曲げ加工技術を用いたテーブル用脚部の開発相談があり、L字型脚部材の試作品を製作した。当所のこれまでの知見により<sup>3), 4)</sup>、単板厚さ2 mm、積層枚数12枚または14枚、酢酸ビニル系接着剤の製造条件で木型を用いて粗加工品を製作した。同社では、リビングテーブルを想定した脚が短いLowタイプ及びダイニングテーブルを想定した脚が長いHighタイプの2タイプの製品を企画していたため、それらの仕様を検討するため木型で製作した粗加工品を切削して寸法の異なる試作品を製作した (図1)。積層曲げ加工は無垢板を曲げたような外観

の部材を得ることができるが、今回試作した脚部材は非常に意匠性の高いものであった (図2)。

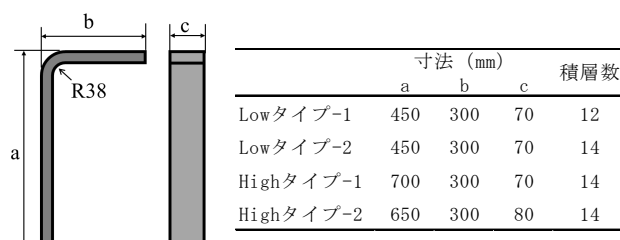


図1 試作品の寸法



図2 試作品の外観

#### 2-2 L字型脚部材の強度試験

2-1で試作した試作品の強度性能を把握するため材料試験機 ((株) 島津製作所, AG-100kNX) を用いて荷重試験を行った。試験方法については日本産業規格のテーブルの垂直力試験<sup>5)</sup>の試験区分3を参考とした。同規格ではテーブル天板に1,000 Nの荷重を10秒間、10回加えることが規定されている。よって、本研究では4本脚テーブルを想定して1,000 (N) / 4 (本) = 250 (N) の荷重を10秒間、10回加えた (図3)。

\*1 インテリア研究所

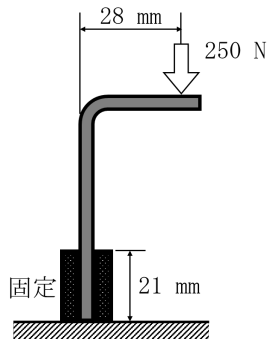


図3 L字型脚部材の強度試験の概要

### 2-3 L字型脚部材を用いたテーブルの製品性能試験

Highタイプ-2の脚部材を取り付けたテーブル製品に対して、製品性能試験を実施した。試験方法は家具試験機（(株)東京試験機, SFDC-0010/300-01）を用いて、日本産業規格のテーブルの垂直力試験と水平力試験<sup>5)</sup>とした。垂直力試験については家具製造企業が製品の脚本数を3本と4本で企画していたことから、脚本数が3本と4本の試験体について製品性能試験を行った。天板には製品化を想定している丸太の輪切り材を用いた。本材は天然材料であるので天板外周は非対称の円形であった。また厚みは非常に厚く剛性があるものであった。荷重箇所は天板の中心とし、荷重は同規格の試験区分5を参考に1,800 Nとした。なお、同規格では試験区分1~4は1点負荷で、試験区分5はこれらと異なり中心間距離が560 mmの2点負荷となっているが、本研究では装置の仕様から2点負荷が困難であったことから1点負荷で実施した。水平力試験の概要は図4の通りであるが、脚本数が3本の試験体では構造上試験不能であったため、脚本数が4本の試験体のみを試験

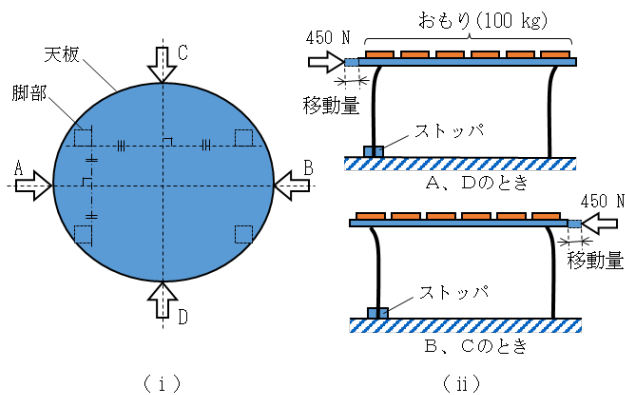


図4 水平力試験（試験区分3）の概要

所定荷重を10秒間、10回（i）のA方向から加え、移動量を測定する。その際（ii）に従い所定の脚先を固定する。順にB, C, Dも同様の操作を行う。

した。試験区分については試験区分5の実施も検討したが、試験中に脚部の脚先を抑えるストッパーを逸脱して試験不能であったため、試験区分3のみで実施した。

### 2-4 センダン材椅子の製品性能試験

県内の家具製造企業が製作したセンダン材椅子製品について製品性能試験を実施した。本製品はセンダン無垢材で製作され、デザインはホワイトオーク材等で生産されている既存製品と同一である（図5）。試験項目は日本産業規格のいすの強度試験方法<sup>9)</sup>のうち①座面の静的強度試験、②背もたれの静的強度試験、③脚部の静的前方強度試験、④脚部の静的側方強度試験及び⑤背もたれの耐衝撃性試験をいずれも試験区分5で実施した。



図5 センダン材椅子製品の外観

## 3 結果と考察

### 3-1 L字型脚部材の強度性能

図6にL字型脚部材の強度試験結果の例を示す。1回から10回の負荷まで荷重に伴う変位に顕著な変化はなかった。いずれの試作品も同様の傾向が見られたことから、すべての試作品において材料の破壊等はなかつ

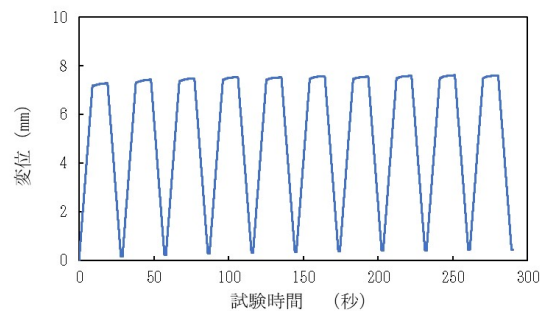


図6 L字型脚部材の強度試験結果の例

(Lowタイプ-1)

たと考えられる。また目視による確認においても破壊等の異状は見られなかった。本試験方法はテーブル製



品の垂直力試験（試験区分3）を想定したものであり、本結果から、すべての試作品の強度が十分に確保されていることが推察された。一方、製作した4種類の試作品は寸法の違いによって最大たわみが相違しており（図7）、このたわみがテーブル製品の安定性や使い心地に影響すると考えられた。Lowタイプ-1では最大たわみ7.56 mmであったが、積層数14に増加したLowタイプ-2では最大たわみを5.70 mmに低減できることが確認された。ただし、14を超える積層数については意匠性の問題により検討しなかった。HighタイプについてはLowタイプでたわみの小さかった積層数14で作製した。初めに試作したHighタイプ-1のたわみは7.26 mmで、Lowタイプ-1と同程度となった。そのためHighタイプ-2では幅（c）や脚の長さ（a）を変えることにより最大たわみを改善した。

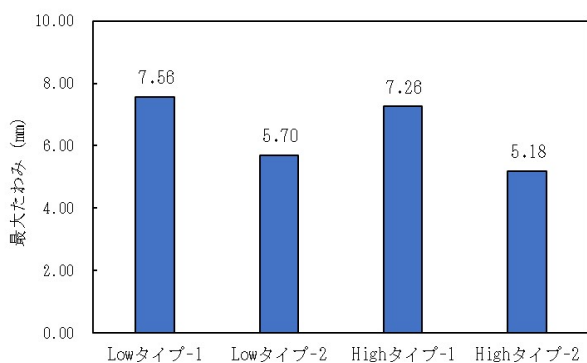


図7 L字型脚部材の最大たわみの比較

### 3-2 L字型脚部材を用いたテーブルの製品性能

3-1で検討したHighタイプのうち、最大たわみが小さいHighタイプ-2を取り付けたテーブル製品に対して、製品性能試験を実施した。垂直力試験（試験区分5）の結果、脚本数が3本と4本の製品どちらにおいても、脚部材を含めた製品全体において異状は見られなかった。脚本数が3本と4本の製品の最大たわみはそれぞれ4.85 mm、4.02 mmであった。本製品においてもたわみがテーブル製品の安定性や使い心地に関係すると考えられるため、製品としては脚数4本がより安定していると考えられた。水平力試験（試験区分3）は脚数4本の試験体のみ実施した。その結果、脚部材を含めた製品全体において異状は見られなかった。A～D方向からの試験においてサイクル数1～10を通して移動量の顕著な変化も確認できなかった（図8）。このことから試験体に荷重による異状は生じないことを確認できた。

B及びC方向の移動量はA及びD方向に比べ大きくなるのが試験方法から推察されたが、本試験ではB方向のみが特に大きな値を示した。この理由として天板が天然の切り株製で真円でなかったことが影響したものと推測されたため、水平方向の移動量を減少させるために天板と脚部材の接合位置等を検討する必要があると考えられた。このように、製品形状に応じた検討は必要であるものの、今回試作した脚部材は、垂直力試験と水平力試験において使用上支障がない強度の部材であることを確認できた。

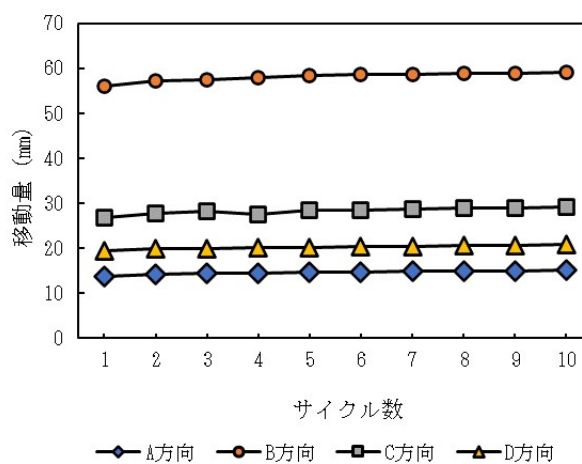


図8 水平試験における移動量の比較

### 3-3 センダン材椅子の製品性能

2-4で記載した①～⑤の試験項目の終了後に試験体を確認したところ、いずれの試験項目においても破壊等の異状は認められなかった。また①～④に関しては1回目と10回目の負荷において荷重に伴う変位に顕著な違いはなく、試験体に異状がないことを確認できた。本研究のセンダン材椅子は日本産業規格で規定される最も厳しい試験である試験区分5を満足する結果となった。試験体数（n=2）が限定されていたため材質のばらつき等は検討できなかったが、家具製造企業のセンダン材椅子製品に使用上の支障はないことを確認できた。同社は他樹種で同一デザインの椅子製品を生産しており、今後それらを評価すれば従来の家具用材に対するセンダン材の特徴を見出すことも期待できる。

## 4 まとめ

本研究ではセンダン材家具に関する開発支援を行った。センダン材積層曲げ部材を用いたテーブル用脚部

材の開発支援を行い、テーブル製品としての製品性能試験を実施した。その結果、垂直力試験及び水平力試験において使用上支障がない強度の部材であることを確認できた。更にセンダン材椅子の製品性能試験5項目を実施した。材質のばらつき等は検討できなかったが、当該製品に使用上の支障がないことを確認できた。

## 5 文献

- 1) 熊本県林業研究指導所：センダンの育成方法H27改訂版，pp. 11（2015）
- 2) （協）福岡・大川家具工業会HP（オンライン），  
<http://www.okawa.or.jp/member/3489.html>（参照2023-03-31）
- 3) 竹内和敏，岡村博幸，羽野泰史：福岡県工業技術センター研究報告，No. 31，pp. 13-16（2021）
- 4) 羽野泰史，竹内和敏，岡村博幸：第70回日本木材学会大会研究発表要旨集，I17-P2-18（2020）
- 5) 日本産業規格「JIS S 1205：1998 家具-テーブル-強度と耐久性の試験方法」
- 6) 日本産業規格「JIS S 1203：1998 家具-いす及びスツール-強度と耐久性の試験方法」

## 6 謝辞

本研究の実施にあたって植木林業株式会社及び有限会社貞苧椅子製作所から試験体製作に関するご協力を頂きました。

# 炭素鋼におけるレーザー焼入条件の探索(第1報)

## ー 走査速度が表面状態および硬化層へ与える影響ー

菊竹 孝文\*1

### Exploring Laser Hardening Conditions for Carbon Steel ( I )

#### - Effect of scanning speed on surface state and hardened layer -

Takafumi Kikutake

近年レーザー光を使った焼入方法が注目されている。本研究では、「ディスクレーザ」を用いて、炭素鋼におけるレーザー焼入時の走査速度が表面状態および硬化層へ与える影響を調査した。その結果、表面状態によって各条件を分類すると、走査速度と出力には累乗の良い相関が得られた。また、硬化深さにおいて、硬化幅と硬化深さのどちらも走査速度と対数の良い相関があった。出力が1kW、走査速度が5mm/secでは、約1mmの硬化深さが得られたが、表面の一部が熔融した。

#### 1 はじめに

近年急速に「ものづくりのデジタル化」が求められている。ものづくり基盤となる金属加工（溶接、肉盛、熱処理、切断等）に数kW級の高出力のレーザー光を用いる技術がすでに実用化され、急速に普及しつつある。

また、このレーザー加工技術と産業用ロボットとの親和性が非常に高く、産業用ロボットの先端にレーザー加工機を取り付け、デジタル制御を行うことで、生産性向上、品質の安定化、技能伝承、人手不足解消といった、昨今中小企業が直面している様々な課題解決に繋がることが期待されている。

レーザーを熱処理に適用する場合、最も多い用途が「焼入」である。「レーザー焼入」は、局所加熱と自己冷却によって、主に鉄鋼材料の表面を硬化する技術である。同様に局所加熱が可能な「高周波焼入」に比べ、デジタル制御の効果に加えて、加熱用のコイルや冷却剤が不要という経済的、環境負荷低減の利点もある。

レーザー焼入に関する研究例は少なくないが、レーザーの種類が異なると、レーザー光の波長やビーム品質等が異なるため、加工条件等をそのまま適用することは難しい。これまでの報告は、いずれも「CO<sub>2</sub>レーザー」や「YAGレーザー」を用いた報告が多い<sup>1)</sup>。近年では、低出力の「ファイバーレーザー」<sup>2)</sup>やビーム品質がやや低い「半導体レーザー」<sup>3)</sup>を用いた研究報告は複数あるものの、最新の高出力かつ高品質な「ディスクレーザ」

や「ファイバーレーザー」を用いた報告は少ない<sup>4)</sup>。そこで今回「ディスクレーザ」を用いて、炭素鋼のレーザー焼入における走査速度が表面状態および硬化層へ与える影響を調査した。

#### 2 実験方法

##### 2-1 レーザ加工機およびレーザー焼入方法

本試験で用いたレーザー加工機の発振器はトルンプ(株)製のディスクレーザ (TruDisk 5000) であり、最大出力は5kW、ロボットは安川電機(株)製のMOTOMAN-MC2000 IIを用いた。レーザー焼入時の様子を図1に示す。

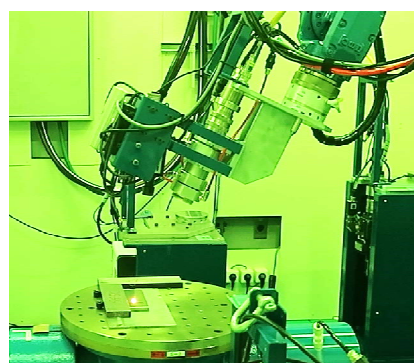


図1 レーザ焼入時の様子

発振機より出力されたレーザー光は、光ファイバーを通して伝送され、ロボットアームの先端に取付けた熱処理用加工ヘッドから試料表面に照射される。レーザー光を照射された試料表面は急速に加熱され、その後試料自身の自己冷却によって急冷されることで焼入（硬化）される。また、照射されるレーザー光は、トップハ

\*1 機械電子研究所

ット型と呼ばれる幅方向に均一なエネルギー密度分布が得られる。レーザー焼入の模式図を図2に示す。

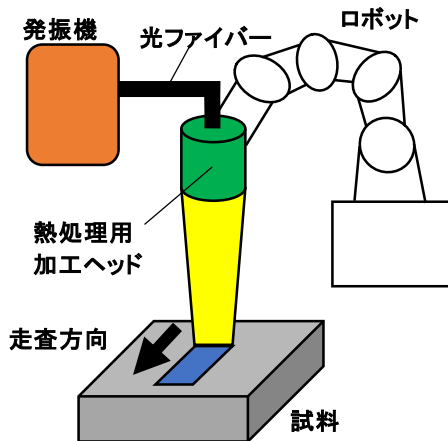


図2 レーザ焼入の模式図

### 2-2 加工条件および供試材料

照射領域は、縦1mm、横8mmのライン形状とし、長さは40mmとした。今回は走査速度の影響を大略的に調査するため、出力は0.5～4kW、走査速度は1～50mm/secの範囲で変化させた。焦点距離は300mmとし、戻り光対策として進行方向とは逆に25度傾斜させた(温度測定器があるため)。照射ガラスが汚れる事によって出力が低下する可能性があるため、試験開始と終了時にパワーメータを使って、1kWの出力時の実測値が0.95kW以上(出力の低下が5%以内)である事を確認した。

供試材料は市販のS50Cを用い、幅150mm、長さ50mm、厚み10mmに切断した。レーザーを照射する試料表面は、WA-46-Iの砥石による研削仕上げ面とした。

### 2-3 評価方法

実体顕微鏡を用いて表面を観察し溶融の有無を確認した。断面組織は、長さ方向中央の断面を鏡面研磨後、3%ナイトル液でエッチングし観察した。断面のマクロ組織観察には実体顕微鏡、ミクロ組織観察には光学顕微鏡を用いた。マクロ組織観察後、母材から変化した組織の最大幅と最大深さを評価した。

機械的性質は、マイクロピッカース硬さ試験機(株式会社ミットヨ製 HM-100)により評価した。測定面は、マクロおよびミクロ組織観察を行った断面とし、試験荷重は2.94N (300gf)とした。また、JIS G 0559の「鋼の炎焼入及び高周波焼入硬化層深さ測定方法」に準拠し、450HV以上を硬化深さとした。

## 3 実験結果

### 3-1 外観および表面観察結果

図3に示す様に、レーザー焼入後の試料を出力(縦)、走査速度(横)毎に並べた。走査方向は、左から右である。5～20mm/secの範囲では、長さ方向の焼入幅は概ね一定であった。1mm/secではレーザー照射開始から終了に向けて徐々に焼入幅が広がった。50mm/secではレーザー照射開始直後のみ焼入幅が広がった。

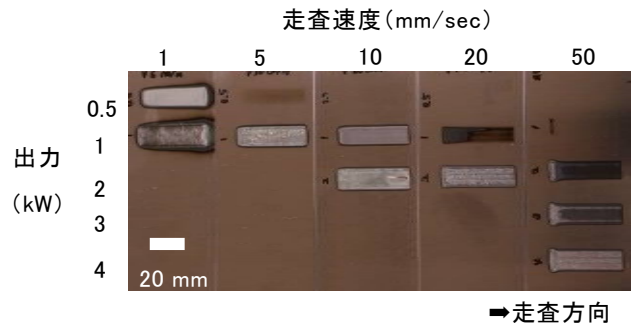


図3 レーザ焼入後の外観

実体顕微鏡を用いてレーザー照射した試料表面を観察した。出力が1kW、走査速度が1～20mm/secの観察結果を図4に示す。走査速度が1mm/secでは完全に溶融状態、5mm/secでは部分的に溶融状態、10mm/secでは均一な焼入肌、20mm/secではテンパーカラーが観察された。出力が1kW、走査速度が50mm/secでは、レーザー照射直後以外は金属光沢のままだった。

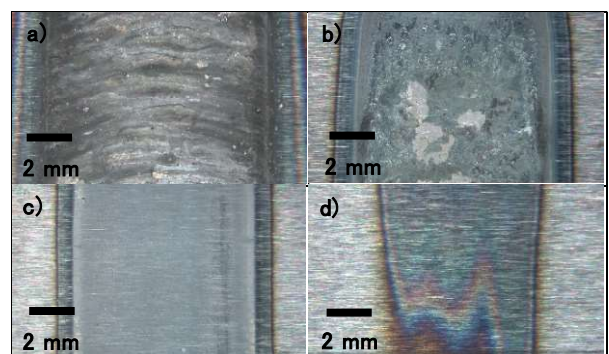


図4 レーザ焼入した試料表面の実体顕微鏡観察結果(出力1kW、走査速度 a) 1, b) 5, c) 10, d) 20mm/sec)

図5に断面のマクロ組織観察結果を示す。出力が1kW、走査速度が1～10mm/secにおいて、レンズ形状の組織が観察されたが、20mm/secでは、組織の変化が観察されなかった。また、走査速度が1mm/secにおいて表面



が完全に熔融し、深さ方向に0.5mm程度の大きな凹凸が観察された（点線は熔融前の表面の位置を示している）。変化した組織の最大幅と最大深さは、速度が低下するにつれてどちらも大きくなった。

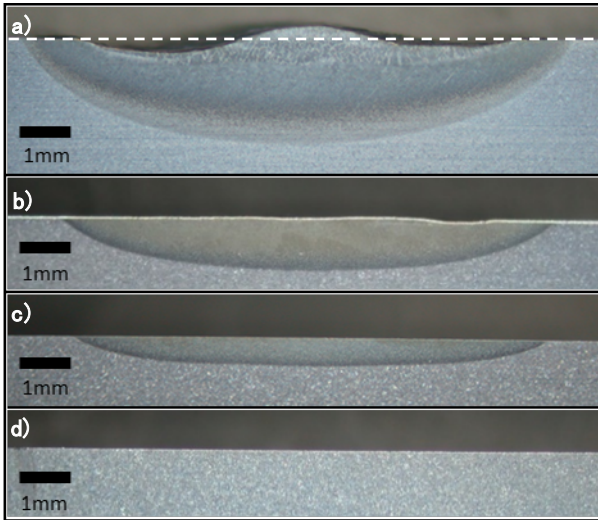


図5 レーザ焼入した試料の断面マクロ組織観察結果（出力1kW，走査速度 a) 1, b)5, c)10, d)20mm/sec)

図5で観察されたレンズ形状組織のマイクロ組織観察を行った。図6に出力1kW，走査速度10mm/secにおける表層近傍のマイクロ組織観察結果を示す。観察の結果，表層の組織は，マルテンサイト相（硬化層）であることがわかった。

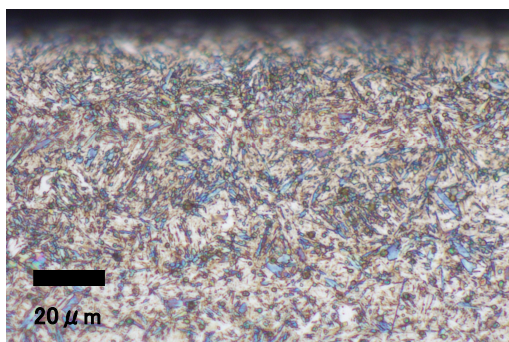


図6 レーザ焼入した試料の断面マイクロ組織観察結果（出力1kW，走査速度10mm/sec)

マクロ組織観察で観察された硬化層の最大幅（硬化幅）と最大深さ（硬化深さ）を測定した。図7に出力1kWにおける硬化幅と硬化深さの測定結果を示す（1mm/secでは表面に大きな凹凸があるため，図5中の点線に示す様に，焼入されていない表面を基準に最大

深さを測定した）。横軸に走査速度（対数スケール），縦軸に硬化幅と硬化深さを示し，図中のプロット形状は図4で評価した表面状態を示す。対数近似を取ると $R^2$ 値（相関係数の二乗）はそれぞれ0.995，0.979となり，表面状態に関わらず走査速度と硬化幅および硬化深さは，良い相関が得られた（硬化深さは20mm/secの硬化層が無い場合も良い相関が得られた）。

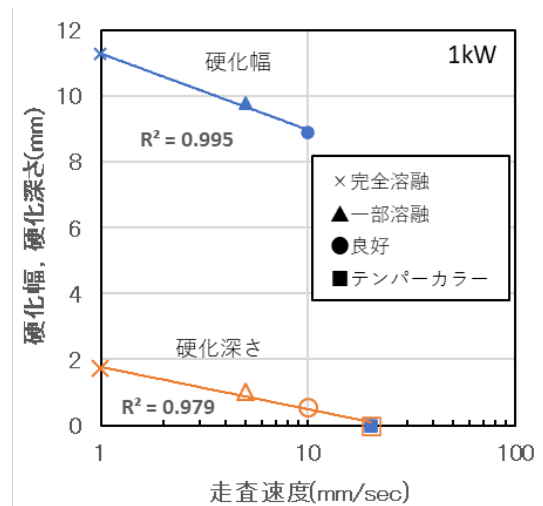


図7 出力1kW時のレーザ焼入における走査速度と硬化幅および硬化深さの関係（×▲●■は表面状態を示す）

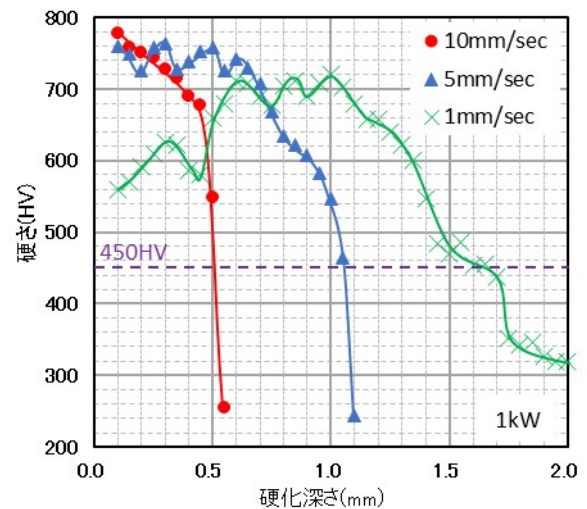


図8 ビッカース硬さ試験結果（出力1kW，走査速度1, 5, 10mm/sec)

図8に出力が1kW，走査速度が1~10mm/secにおける断面の硬さ試験結果を示す。硬化深さは10mm/secが0.52mm，5mm/secが1.06mm，1mm/secが1.65mmであった。いずれも図7のマクロ組織観察による硬化深さの

測定結果と良く一致した。最高硬さは10mm/secが約780HV、5mm/secが約760HV、1mm/secが約720HVであった。また、1mm/secにおいて表層から深さ約0.6mmまで最高硬さより硬さが低い領域が見られた。この要因は凝固組織である点が考えられるが、今後組織および機械的性質を詳しく調査する必要がある。

#### 4 考察

図6のマイクロ組織と図8の硬さ試験結果から、レーザー焼入によって、炭素鋼 (S50C) の表面がマルテンサイト相へ変態し硬化したことがわかった。しかしながら、高出力かつ高ビーム品質である「ディスクレーザ」は、条件によって試料表面が一部あるいは完全に溶融した (図4)。図9にレーザー焼入後の表面状態を走査速度と出力毎に整理した。一部溶融とテンパーカラーについて累乗近似曲線をそれぞれ図中の点線で示す。レーザー照射後の表面状態において、走査速度と出力には累乗の関係があり、それぞれ $R^2$ 値が0.999と0.986と良い相関が得られた。この2つの曲線間に表面が溶融しない最適条件範囲があると考えられる。

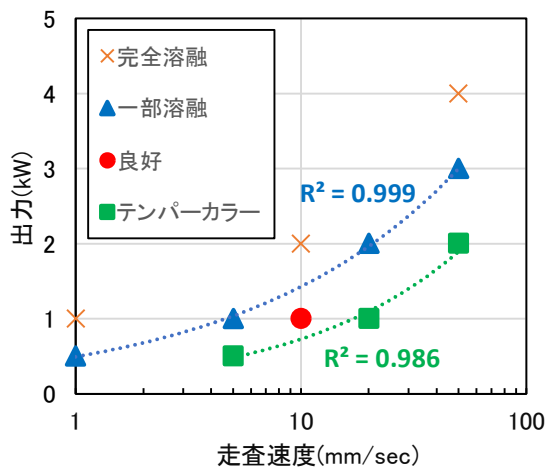


図9 レーザ焼入後の表面状態における走査速度と出力の関係

図9の一部溶融条件における、走査速度と硬化深さの関係を図10に示す。走査速度が5~50mm/secの範囲において、速度を低下させると硬化深さが大きくなった。同範囲において対数近似を取ると $R^2$ が0.996と良い相関が得られた。また、出力が1kW、走査速度が5mm/secにおいて約1mmの硬化深さが得られた。一般的な高周波焼入の硬化深さは1mm以上得られるため、本

実験結果は高周波焼入に比べて、硬化深さが同等以下といえる。一方、出力0.5kW、走査速度1mm/secでは良い相関が得られなかった。これは、低速のために硬化幅が走査方向に対して広がる (図3) ため、幅方向の伝熱が影響していると考えられる。

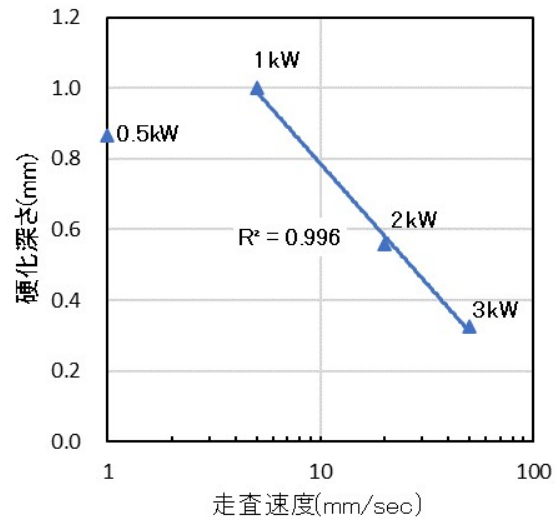


図10 一部溶融するレーザー焼入条件と硬化深さの関係

#### 5 まとめ

高出力かつ高ビーム品質である「ディスクレーザ」を用いて、レーザー焼入時の走査速度が表面状態および硬化層へ与える影響を調査し、以下の知見が得られた。

- (1) レーザ照射後の表面状態を走査速度と出力によって整理すると、累乗の良い相関があった。
- (2) 硬化幅と硬化深さのどちらも走査速度と対数の良い相関があった。
- (3) 出力が1kW、走査速度が5mm/secでは約1mmの硬化深さが得られたが、表面の一部が溶融した。
- (4) 組織観察と硬さ試験による硬化深さの測定結果は、良く一致した。

#### 5 参考文献

- 1) 大村悦二, 難波義治: 日本機械学会論文集(A編), 51巻(469), pp. 2231-2238(1985)
- 2) 安田武司等: 鉄と鋼, 108巻(7), pp. 405-416(2022)
- 3) 萩野秀樹, 宮田良雄: 大阪府立産業技術総合研究所報告, No.22, pp. 33-38(2008)
- 4) 津本宏樹等: あいち産業科学技術総合センター研究報告, pp. 22-25(2015)

# 炭素鋼におけるレーザー焼入条件の探索(第2報) －出力が表面状態および硬化層へ与える影響－

菊竹 孝文\*1

## Exploring Laser Hardening Conditions for Carbon Steel ( II ) - Effect of power on surface state and hardened layer -

Takafumi Kikutake

第1報では、「ディスクレーザー」を用いて、炭素鋼 (S50C) における走査速度が表面状態および硬化層へ与える影響を調査した。第2報では走査速度が10mm/secにおいて、出力を0.25kW刻みで変化させて出力の影響を調査した。その結果、出力と硬化深さには線形の良い相関があり、出力が1kWでは硬化深さが約0.5mm, 1.25kWでは約0.8mm得られた。ただし、出力が1.25kWでは表面の一部が熔融した。

### 1 はじめに

近年急速に「ものづくりのデジタル化」が求められている。ものづくり基盤となる金属加工（溶接，肉盛，熱処理，切断等）に数kW級の高出力のレーザー光を用いる技術がすでに実用化され，急速に普及しつつある。また，このレーザー加工技術と産業用ロボットとの親和性が非常に高く，産業用ロボットの先端にレーザー加工機を取り付け，デジタル制御を行うことで，生産性向上，品質の安定化，技能伝承，人手不足解消といった，昨今中小企業が直面している様々な課題解決に繋がる事が期待されている。

レーザーを熱処理に適用する場合，最も多い用途が「焼入」である。「レーザー焼入」は，局所加熱と自己冷却によって，主に鉄鋼材料の表面を硬化する技術である。同様に局所加熱が可能な「高周波焼入」に比べ，デジタル化の効果に加えて，加熱用のコイルや冷却剤が不要という経済的，環境負荷低減の利点もある。

レーザー焼入に関する研究例は少なくないが，レーザーの種類が異なると，レーザー光の波長やビーム品質等が異なるため，加工条件等を直接適用することは難しい。これまでの報告は，いずれも「CO<sub>2</sub>レーザー」や「YAGレーザー」を用いた報告が多い<sup>1)</sup>。近年では，低出力の「ファイバーレーザー」<sup>2)</sup>やビーム品質がやや低い「半導体レーザー」<sup>3)</sup>を用いた研究報告は複数あるものの，最新の高出力かつ高ビーム品質である「ディスクレーザー」や「ファイバーレーザー」を用いた報告は少ない<sup>4)</sup>。

第1報では「ディスクレーザー」を用いて，炭素鋼 (S50C) における走査速度が表面状態および硬化層へ与える影響を調査した。本報では，出力値を0.75～2.0kW(0.25kW毎)の範囲で，硬化層に与える影響を調査した。

### 2 実験方法

#### 2-1 レーザー加工機およびレーザー焼入方法

本試験で用いたレーザー加工機の発振器はトルンプ(株)製のディスクレーザー (TruDisk 5000) であり，最大出力は5kW，ロボットは安川電機(株)製のMOTOMAN-MC2000 IIを用いた (レーザー焼入時の様子は第1報を参照)。

発振機より出力されたレーザー光は，光ファイバーを通して伝送され，ロボットアームの先端に取付けた熱処理用加工ヘッドから試料表面に照射される。レーザー光を照射された試料表面は急速に加熱され，その後材料自身の自己冷却によって急冷されることで焼入 (硬化) される (レーザー焼入の模式図は第1報を参照)。また，照射されるレーザー光は，トップハット型と呼ばれる幅方向に均一なエネルギー密度分布が得られる。

#### 2-2 加工条件および供試材料

照射領域は，縦1mm，横8mmのライン形状とし，長さは40mmとした。走査速度は10mm/secのみとし，出力は0.75～2.0kWの範囲において0.25kW刻みとした。焦点距離は300mmとし，戻り光対策として進行方向とは逆に25度傾斜させた (温度測定器があるため)。照射ガラ

スが汚れる事によって出力が低下する可能性があるため、試験開始と終了時にパワーメータを使って、1kWの出力時の実測値が0.95kW以上(出力の低下が5%以内)である事を確認した。

供試材料は市販のS50Cを用い、幅150mm、長さ50mm、厚み10mmに切断した。レーザを照射する試料表面は、WA-46-Iの砥石による研削仕上げ面とした。

### 2-3 評価方法

実体顕微鏡を用いて表面を観察し溶融の有無を確認した。断面組織は、長さ方向中央の断面を鏡面研磨後3%ナイトル液でエッチングし観察した。断面のマクロ組織観察には実体顕微鏡、ミクロ組織観察には光学顕微鏡を用いた。マクロ組織観察後、母材から変化した組織の最大幅と最大深さを測定した。さらに電解放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM, 株式会社日本電子製 JSM-7001F) およびエネルギー分散型X線分光法 (EDX) を用いて詳細に組織観察および成分分析を行った。

機械的性質の評価は、マイクロビッカース硬さ試験機(株式会社ミツトヨ製 HM-100)により評価した。測定面は、マクロおよびミクロ組織観察を行った断面とし、試験荷重は2.94N (300gf) とした。また、JIS G 0559の「鋼の炎焼入及び高周波焼入硬化層深さ測定方法」に準拠し、450HV以上を硬化深さとした。

## 3 実験結果

### 3-1 外観および表面観察結果

図1にレーザ焼入後の試料外観を示す。出力が0.75~2.0kWでレーザ焼入した試料を2列で並べた。走査方向は左から右である。出力が1.0~2.0kWにおいて焼入幅は走査方向に対して概ね一定であった。0.75kWは照射直後に表面酸化は見られなかったが、走査方向に対して徐々に酸化したことが観察された。

実体顕微鏡を用いてレーザ焼入した試料表面を観察した。走査速度が10mm/sec, 出力が0.75~1.5kWの観察結果を図2に示す。1.5kW以上では完全に溶融状態, 1.25kWでは一部溶融状態, 1.0kWでは均一な焼入色, 0.75kWではテンパーカラーが観察された。

図3に断面のマクロ組織観察結果を示す。走査速度が10mm/sec, 出力が1.0~1.5kWにおいて、レンズ形状の組織が観察された。0.75kWにおいては、組織の変化が観察されなかった。また、1.5kWでは表面が完

全に溶融し、深さ方向に0.3mm程度の凹凸が観察された(点線は溶融前の表面の位置を示している)。変化した組織の最大幅と最大深さは、出力が大きくなるにつれてどちらも大きくなった。

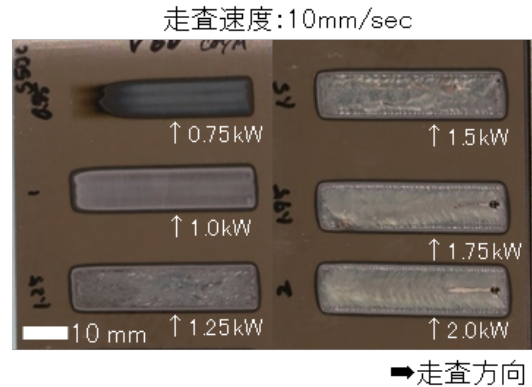


図1 レーザ焼入後の外観

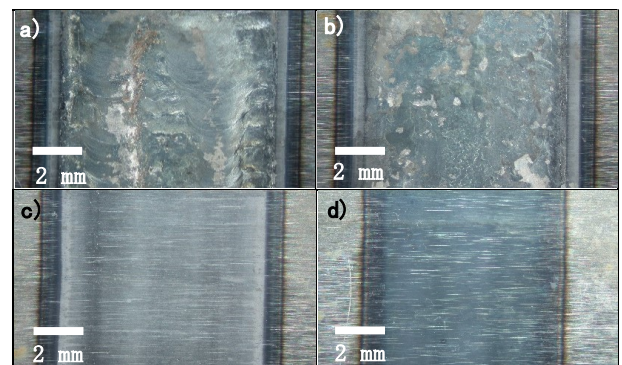


図2 レーザ焼入した試料表面の実体顕微鏡観察結果 (走査速度10 mm/sec, 出力 a) 1.5, b)1.25, c)1, d)0.75 kW)

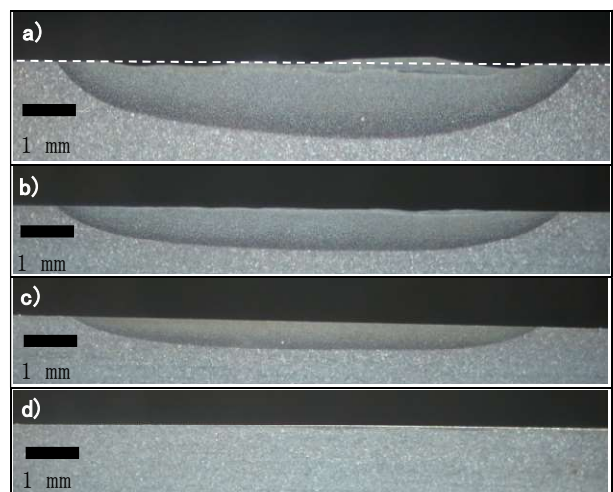


図3 レーザ焼入した試料断面のマクロ組織観察結果 (走査速度10mm/sec, 出力a) 1.5, b)1.25, c)1.0, d)0.75kW)



第1報では、レーザ照射によって変化した組織はマルテンサイト相（硬化層）であり、マクロ組織観察結果と硬さ試験から測定した硬化深さが、良く一致することを報告した。そこで本報も同様に、マクロ組織観察結果から硬化層の最大幅（硬化幅）と最大深さ（硬化深さ）を測定した。図4に走査速度10mm/secにおける硬化幅と硬化深さの測定結果を示す（1.5kWでは表面に大きな凹凸があるため、図3中の点線で示す様に、焼入されていない表面を基準に硬化深さを測定した）。横軸に出力、縦軸に硬化幅および硬化深さを示す。図中のプロット形状は図4で評価した表面状態を示す。線形近似を取るとR<sup>2</sup>値（相関係数の二乗）はそれぞれ0.974, 0.937となり、表面状態に関わらず出力と硬化幅および硬化深さは、どちらも良い線形の相関関係が得られた（硬化深さは出力0.75kWの硬化層が無い場合も良い相関が得られた）。

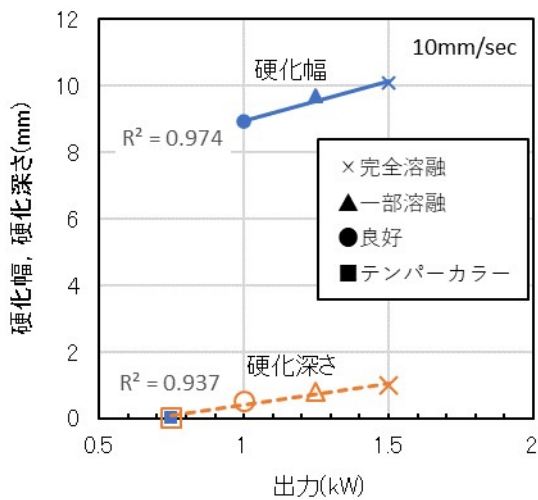


図4 走査速度10mm/sec時のレーザ焼入における出力と硬化幅および硬化深さの関係(×▲●■は表面状態を示す)

図5に走査速度が10mm/sec, 出力が1.0~1.5kWにおける断面の硬さ試験結果を示す。硬化深さは1kWが0.52mm, 1.25kWが0.76mm, 1.5kWが0.90mmであった。図4のマクロ組織観察による硬化深さの測定結果と良く一致した。最高硬さは、いずれも約800HVであり、表面から深くなるにつれて硬さが低下した。ただし、1.25kWと1.5kWの場合、硬化深さが0.4~0.6mm辺りでわずかに硬さの上昇が見られた。この要因については、今後組織および機械的性質を詳しく調査する。

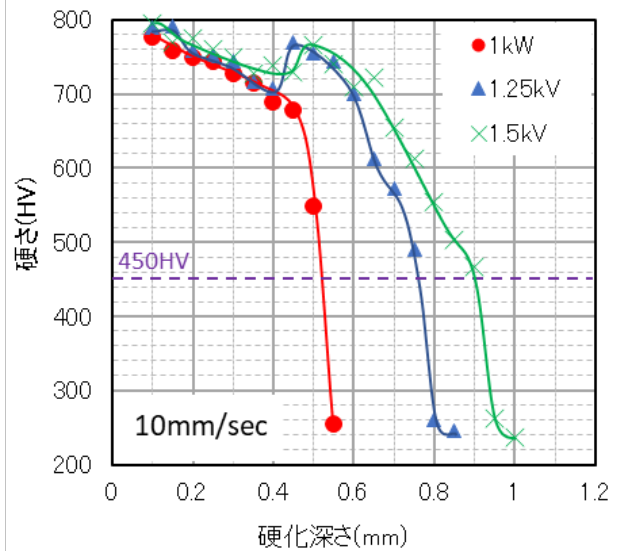


図5 ビッカース硬さ試験結果（出力1.0kW, 走査速度 1, 5, 10mm/sec）

図6に出力1.0kW, 走査速度10mm/secにおけるマイクロ組織観察結果を示す。表面から深さ方向にかけてマルテンサイト相から母材のフェライト相およびパーライト相に変化していることがわかった。

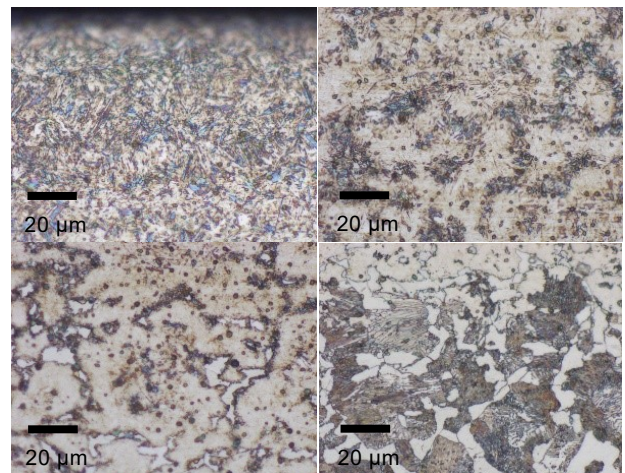


図6 出力1.0kW, 走査速度10mm/secにおけるマイクロ組織観察結果 (a) 表層近傍, b) 深さ0.25mm近傍, c) 深さ0.45mm近傍, d) 深さ0.55mm近傍)

レーザ照射した複数の試料において、硬化層およびその近傍で割れが観察された。FE-SEMを用いて詳細に観察したところ、割れ近傍には数ミクロンサイズの細長い粒子が観察された。図7にその粒子のEDX分析結果を示す(右上の写真は分析点を示す)。分析の結果、Fe以外にMn, S等の強い強度が得られた。

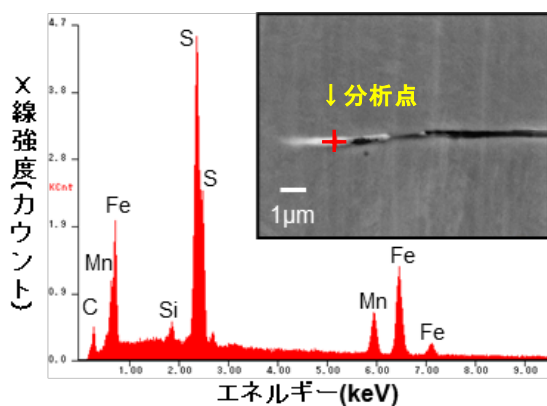


図7 割れ近傍の粒子におけるEDX分析結果（右上の写真は分析点を示す）

#### 4 考察

第1報では、走査速度と出力毎の表面状態を評価し、両因子には累乗の相関が得られた。その関係図に、今回の結果を追加したものを図8に示す（点線で囲んだ部分が今回追加したデータである）。走査速度を10mm/secとし、出力を0.25kW刻みで実施したところ、1.25kWにおいて一部熔融した。よって図中の一点鎖線で示す様に一部熔融する境界はより低出力側に存在すると考えられる。また、出力が0.75kWの表面はテンパーカラーであり硬化していなかった。よって、走査速度が10mm/secにおいて、表面が熔融せず焼入が可能な最適条件は、0.75~1.25kWの範囲に存在すると考えられる。今回表面が熔融しない最適条件は、出力が1.0kWのみであり、その硬化深さは約0.5mmであった。一般的に高周波焼入の硬化深さは1mm以上であるため、高周波焼入の硬化深さと比べると浅かった。

硬化深さにおいて、第1報では走査速度、本報では出力との関係を示した。一部熔融する条件において、走査速度との関係では約1mm、出力との関係では約0.8mm以上の硬化深さが得られることがわかった。ただし、走査速度は対数スケール、出力は実スケールであるため、出力よりも走査速度の方が制御できる範囲が広いと考えられる。また、出力および走査速度以外にも、レーザーの照射領域、板厚、強制空冷方法等焼入深さに影響を与える因子が存在すると考えられる。今回明らかにできなかった最適条件範囲やその他の影響因子については、今後調査する必要がある。

硬化層やその近傍で発生した割れは、図7の分析結果からMnS等の非金属介在物が起点になったと考えられる。レーザー焼入は他の焼入方法よりも入熱量は少な

いが、急速な加熱・冷却現象であるため、割れが生じた可能性が考えられる。

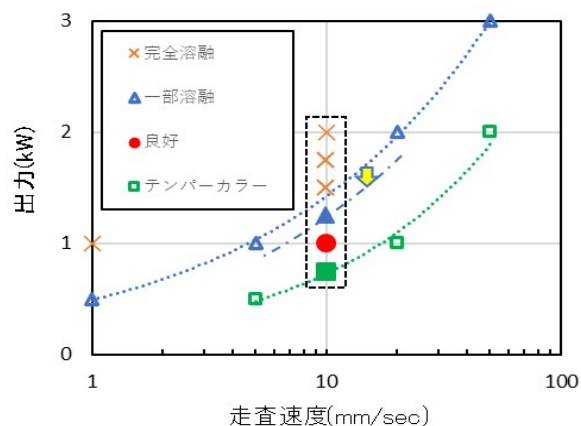


図8 レーザ焼入後の表面状態における走査速度と出力の関係（第1報で報告した図に追加）

#### 5 まとめ

「ディスクレーザ」を用いて、走査速度が10mm/secにおける出力が表面状態および硬化層へ与える影響を調査し、以下の知見が得られた。

- (1) 硬化幅と硬化深さのどちらも出力と線形の良い相関がある。
- (2) 出力が1kWでは約0.5mm、出力が1.25kWでは約0.8mmの硬化深さが得られた。ただし、出力が1.25kWでは表面の一部が熔融した。
- (3) 出力が1kWにおいて、試料表面から深さ方向へかけて、徐々にマルテンサイト相からフェライト相およびパーライト相の混合組織に変化し、硬さが低下した。
- (4) 硬化層やその近傍において、非金属介在物が起点となり割れが生じた。

#### 5 参考文献

- 1) 大村悦二，難波義治：日本機械学会論文集(A編)，51巻(469)，pp. 2231-2238(1985)
- 2) 安田武司等：鉄と鋼，108巻(7)，pp. 405-416(2022)
- 3) 萩野秀樹，宮田良雄：大阪府立産業技術総合研究所報告，No. 22，pp. 33-38(2008)
- 4) 津本宏樹等：あいち産業科学技術総合センター研究報告，pp. 22-25(2015)

# サーメットチップ鑄ぐるみによる耐摩耗材料の開発

島崎 良\*<sup>1</sup> 小川 俊文\*<sup>1</sup> 小野本 達郎\*<sup>2</sup> 佐々木 誠\*<sup>3</sup> 嘉屋 文康\*<sup>3</sup> 森田 泰司\*<sup>4</sup> 山本 郁\*<sup>5</sup>

## Development of Wear Resistant Materials by Cermet Throwaway Tip Insert Casting

Ryo Shimasaki, Toshifumi Ogawa, Tatsuro Onomoto, Makoto Sasaki, Fumiyasu Kaya, Yasushi Morita  
and Kaoru Yamamoto

サーメットは、超硬合金と並んで非常に高硬度で、工具刃先のインサートチップとして広く使用されているが、その使用済みチップのほとんどが廃棄されている。そこで、本研究では、サーメットのリサイクル促進のため、使用済みチップを鉄鋼材料に鑄ぐるむことで、新たな耐摩耗材料とする方法を検討した。また、サーメットは鉄鋼材料との親和性が低いため、サーメットの設置方法と母材組成の2つの観点からその改善を試みた。

### 1 はじめに

サーメットは超硬合金と並んで非常に高硬度であるため、工具刃先のインサートチップとして広く使用されている。超硬合金は、W、Co等の希少金属を多く含有しているため、多くの使用済みチップが回収、リサイクルされている。一方、サーメットは希少金属の含有量が少なく、使用済みチップのほとんどがそのまま廃棄されている。そのため、使用済みチップの活用が強く望まれている。

これまで、使用済みサーメットチップ活用のための様々な試み<sup>1)</sup>がなされてきた。しかし、サーメットを鑄ぐるむにあたり、粉碎や予備成形等に手間がかかることなどから量産化されず、活用がほとんど進んでいない。そこで、本研究では、できるだけ簡素な方法でサーメットを鑄ぐるむ方法を検討した。また、鑄ぐるみ後のサーメットと基地の接合状態を調査し、耐摩耗材料としての使用可能性を検討した。

### 2 実験方法

本研究で用いた鑄ぐるみ試験用鑄型の概要を図1に示す。本鑄型は、実体部がφ65×100mmのCO<sub>2</sub>鑄型であり、鑄型の底部に所定の方法でサーメットチップを設置した。次に、高周波溶解炉で、アルミナるつぼを用いて約1kgの材料を溶解し、所定の温度で鑄型に鑄造

した。その後、試料を円柱の縦断面（観察面）で切断し、さらに15mm角程度の大きさに切り出して鏡面研磨後、実体顕微鏡（Nicon SMZ-10）にて断面観察を行った。次に、EPMA（日本電子 JXA-8200SP）による面分析を行い、サーメットと基地の接合状態を確認した。また、マイクロビッカース硬度計（Mitutoyo HM-102 荷重0.98N, 10sで測定）によりサーメットと基地の界面付近の硬さ分布を測定した。

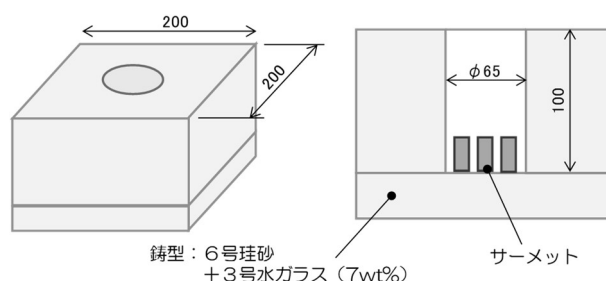


図1 鑄ぐるみ試験用鑄型の概略図

### 3 結果と考察

#### 3-1 サーメット設置方法の検討

低炭素鋼（S25C）を基地とし、サーメット破碎粒（粒径約2mm）を鑄ぐるんだ結果を図2に示す。破碎粒を鑄ぐるんだ場合、粒が鑄型の隅に偏り、粒同士の隙間に溶湯が入り込まず、容易に脱落した。EPMA分析においても、基地とサーメットの間でごく一部に反応が見られるものの、多くの範囲で反応や拡散は見られなかった。よって、結合力は弱いと考えられ、耐摩耗材料としては不適であった。

次に、サーメットをチップのままステンレス鋼棒で保持し、鑄ぐるんだ結果を図3に示す。破碎粒の場合

\*1 機械電子研究所  
\*2 公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団  
\*3 株式会社丸和技研  
\*4 大成建設株式会社  
\*5 久留米工業高等専門学校

と同様、チップの配置に偏りができることで、隙間に溶湯が入り込んでいなかった。また、基地とサーメット間の反応や拡散はほとんど見られなかった。よって、基地とサーメットの結合力は弱く、容易に脱落すると考えられ、これも耐摩耗材料としては不適であった。

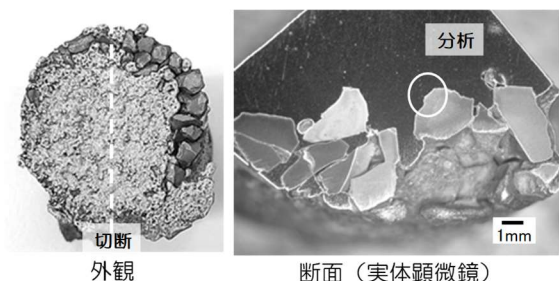


図2 サーマット破砕粒（粒径約2mm）の  
鑄ぐるみ結果

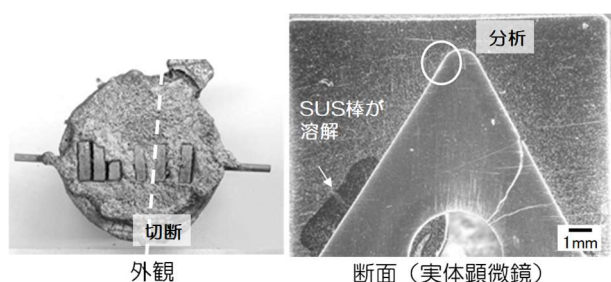


図3 サーマットチップをステンレス鋼棒で保持した  
場合の鑄ぐるみ結果

次に、溶湯を隙間に入り込ませるため、チップ間にスペーサを挿入し、さらにステンレス鋼棒でチップを保持し、鑄ぐるんだ。その結果を図4に示す。溶湯がチップの隙間に十分に入り込んでおり、全体が包まれることで、チップが固定されていた。また、EPMAによる分析では、サーメット側に約20 $\mu$ mの拡散層が生じ、生地とサーメットが結合していることが確認できた。よって、チップが脱落しにくく、耐摩耗材としての使用に耐え得ると考えられるため、この設置方法を基準として採用した。

サーメットチップをスペーサとステンレス鋼棒で鑄込んだ場合の界面付近の硬さ分布を図5に示す。基地硬さは150~200HV0.1、サーメット硬さは1500~1600HV0.1程度であり、それぞれの硬さが維持されていた。しかし、基地の硬さが低く、使用中に基地が減肉することでサーメットが脱落する恐れがある。よっ

て、基地には、より硬い材料を使用する必要がある。

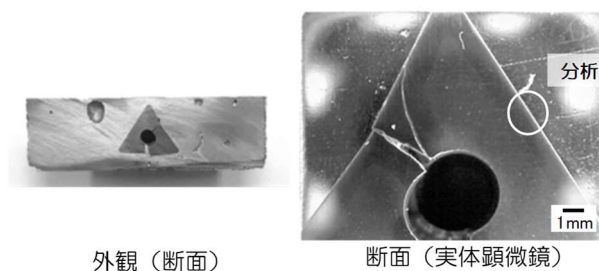


図4 サーマットチップをスペーサとステンレス鋼棒  
で保持した場合の鑄ぐるみ結果

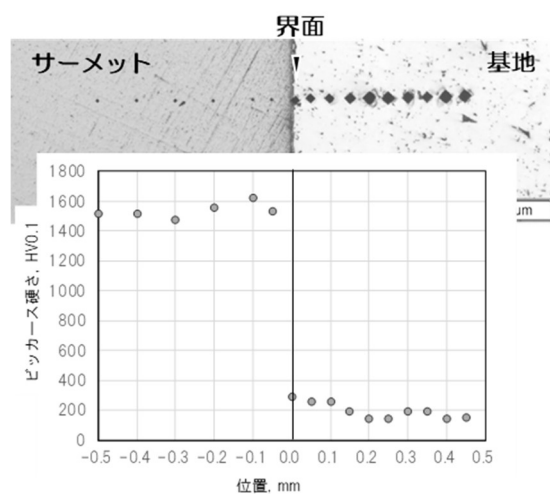


図5 サーマットチップをS25Cで鑄ぐるんだ場合の  
硬さ分布

### 3-2 基地組成の検討

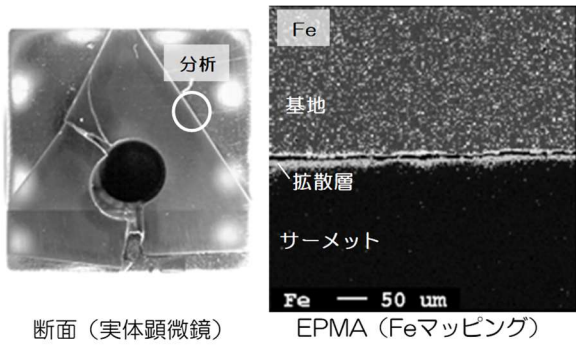
基地硬さ向上のため、高Cr 鑄鉄による鑄ぐるみを行った。その基地組成を表1に示す。高Cr 鑄鉄は、Cr 炭化物が分散しているため、高い基地硬度が得られる。また、低炭素鋼と比較して融点が数百 $^{\circ}$ C低く、湯回り性向上の効果も期待できる。

表1 高Cr 鑄鉄鑄ぐるみの基地組成

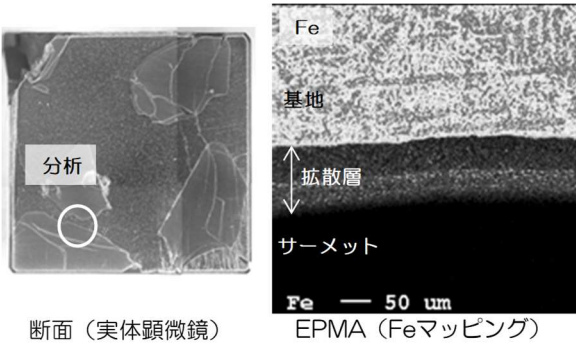
試料	組成, wt%							鑄込温度 $^{\circ}$ C
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	
参考(S25C)	BaL.	0.22	0.04	0.23	0.017	0.015	0.13	1605
12Cr鑄鉄	BaL.	2.96	1.31	0.42	0.041	0.017	13.11	1507
25Cr鑄鉄	BaL.	3.11	0.90	0.54	0.062	0.021	23.85	1473

サーメットを基準の方法で設置し、高Cr 鑄鉄で鑄ぐるんだ断面及びEPMA分析結果を図6に示す。

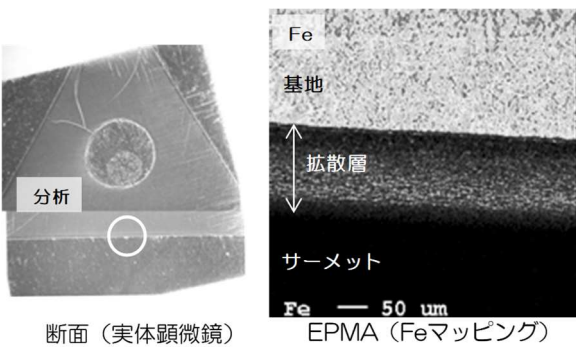




(a) S25C 鋳ぐるみ (参考)



(b) 12Cr 鋳鉄鋳ぐるみ



(c) 25Cr 鋳鉄鋳ぐるみ

図6 高Cr鋳鉄による鋳ぐるみ断面

いずれの試料でも、溶湯がサーメットの隙間に十分に回り込み、鋳ぐるむことができた。一方で、注湯時のチップの破損も見られた。これは、サーメットと溶湯が接触した際に溶湯の熱が急激にチップに伝わり、熱衝撃によって割れたと考えられる。EPMA分析によると、サーメット側に基地成分であるFeの拡散層が生じ、Cr量が多いほど拡散層の厚さが増大していた。その関係を図7に示す。Crの入っていないS25Cでは拡散層は約20 $\mu$ mだが、25%Crでは約150 $\mu$ mまで拡大していた。Crが入ることで基地とサーメットの親和性が良くなり、拡散が促進された。また、拡散層の拡大により、基地とサーメットの結合が強化されたと考えられる。

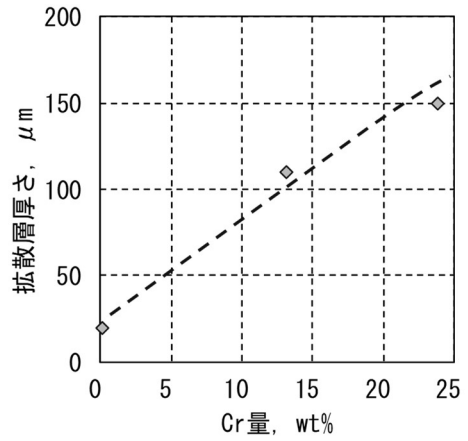


図7 Cr量と拡散層厚さの関係

次に、高Cr鋳鉄鋳ぐるみ試料の界面付近の硬さ分布を図8及び図9に示す。

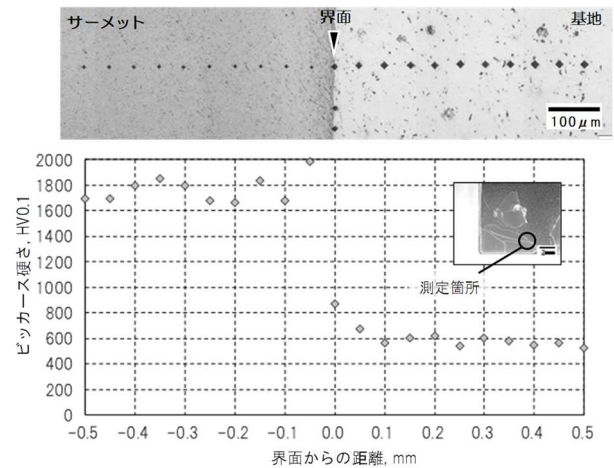


図8 12Cr 鋳鉄鋳ぐるみ試料の硬さ分布

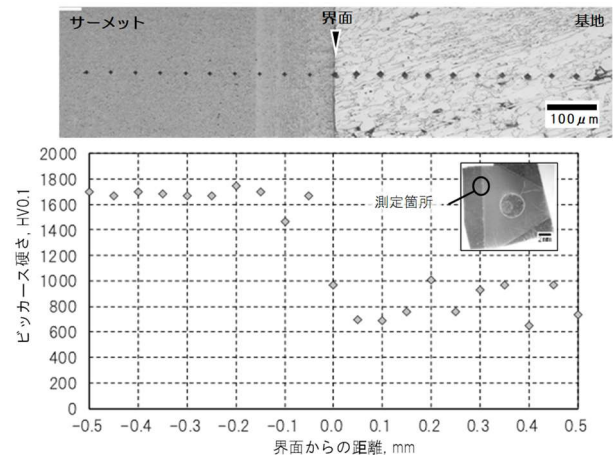


図9 25Cr 鋳鉄鋳ぐるみ試料の硬さ分布

基地硬さは12Cr鋳鉄で600HV0.1程度、25Cr鋳鉄ではバラツキが大きい、600~1000HV0.1程度で、耐

摩耗材料として十分な硬さが得られた。基地硬さの差は、析出する Cr 炭化物量の違いによるものと考えられる。サーメットの硬さは概ね 1600HV0.1 以上を維持していたが、拡散層内ではわずかに硬さが上昇していた。これは、高 Cr 鋳鉄がサーメット内に侵入し、サーメットに含まれる Ni バインダと置換されたためと考えられる。

#### 4 まとめ

炭素鋼 (S25C) はサーメットとの親和性が低く、鋳ぐるむにはスペーサによる隙間の確保が必要であり、また、硬さも低く耐摩耗材料の製造には適していなかった。基地材料に高 Cr 鋳鉄を用いることで、基地とサーメットの親和性が改善され、界面に拡散層ができることで、基地とサーメットが強固に結合された。また、基地に分散した Cr 炭化物により硬さも向上し、耐摩耗材料への適用が期待できる。

#### 5 参考文献

- 1) 東北経済産業局環境資源部循環型産業振興室：使用済みサーメットチップのリサイクル・システム調査報告書，東北経済産業局 (2006)

# 水モデルを用いた湯流れの観察及び改善

島崎 良<sup>\*1</sup>

## Observation and Improvement of Flow Ability using Water Model

Ryo Shimasaki

鋳造は、金属の加工方法として広く普及しているが、様々な鋳造欠陥を生じることがある。中でも、ガス欠陥は原因の特定が難しい。そこで今回は、鋳造時の熔融金属の「流れ」に着目し、ガス欠陥への影響を調査した。金属の流し方によって、ガスの巻き込みは大きく異なるが、実際には「流れ」以外の要因も大きく、それらを複合的に抑える必要があることがわかった。

### 1 はじめに

鋳造は、複雑形状の金属製品を量産する加工法として広く普及している。金属の熔融・凝固過程を経るため、様々な欠陥を生じやすいが、その中でもガス欠陥は原因の特定が難しい。今回は、原因の一つである、熔融金属の「流れ」によるガス巻き込みに着目し、その改善方法を検討した。

鋳造では、流し込む金属が高温かつ鋳型が不透明であることから直接観察が難しく、数値シミュレーションによる流れの予測が広く行われている。しかし、物性データや初期条件のわずかな差異により、実際と大きく異なる結果になることも多い。また、X線透過撮影による直接観察<sup>1)</sup>も行われてはいるが、容易には実施できない。そこで、より簡便な方法で流れを模擬できる水モデルを用いて、流れの観察を試みるとともに、実際の鋳造結果と比較を行った。

### 2 実験方法

#### 2-1 PIV(Particle Image Velocimetry)による流れ観察

流れ観察のため、アクリル樹脂製の透明鋳型を作製した。その概要を図1に示す。本研究では、鋳造における代表的な方案として、上から流し込む「落とし込み」と下から流し込む「押し上げ」の2種類の方案を比較した。落とし込みでは湯道を塞いで押し湯上部から、押し上げでは湯道から水を流し込むことで、これらの方案を再現した。この鋳型に、レーザシートを照射しながらトレーサ粒子（ポリアミド12、粒径 $50\mu\text{m}$ ）を混ぜた水を流し込み、高速度カメラ（1000fps）で撮影

した。その様子を図2に示す。撮影した映像からトレーサ粒子の動きを解析し、流速を測定した。

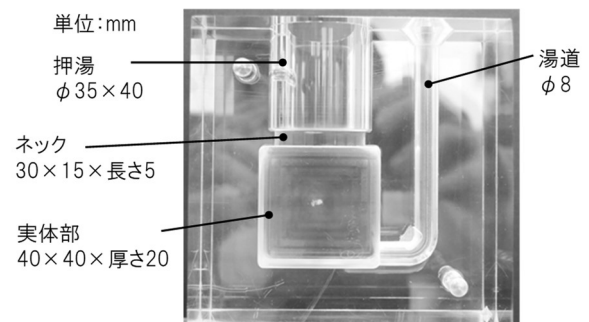


図1 透明樹脂模型の概略

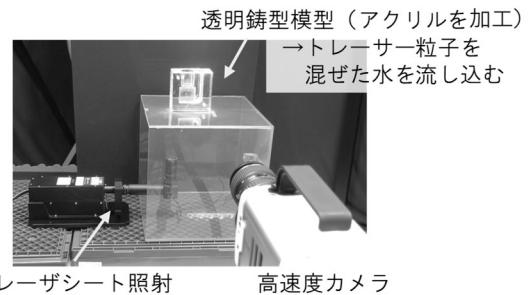


図2 水モデルのPIV測定

#### 2-2 実際の鋳造品との比較

PIV で使用した透明鋳型と同形状の砂型を作製するため、樹脂 3D プリンタ装置で鋳造用模型を出力し、砂型を作製した。その例を図3に示す。砂型は、珪砂に7wt%の水ガラスを混練し、模型に込めた後、炭酸ガスを通じることで硬化させた。その後、バーナーで砂型表面を乾燥し、組立てて鋳型とした。次に、高周波溶解炉で、アルミナるつぼにて炭素鋼（S45C 相当）を溶解し、約 $1650^{\circ}\text{C}$ で鋳造した。得られた試験片は

<sup>\*1</sup> 機械電子研究所

縦断面で切断し、目視で欠陥の発生状況を確認した。

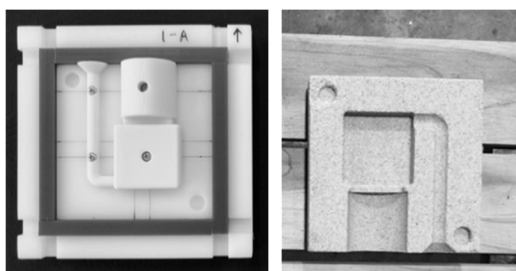


図3 鋳造用模型（左）と造型した砂型（右）

### 3 結果と考察

落とし込み方案及び押し上げ方案について、水モデルをPIVで測定した結果をそれぞれ図4及び図5に示す。

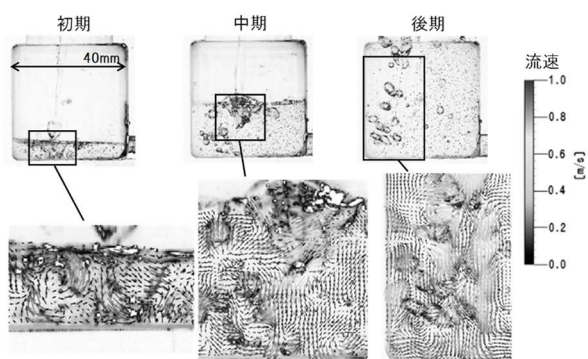


図4 落とし込み方案のPIV測定結果

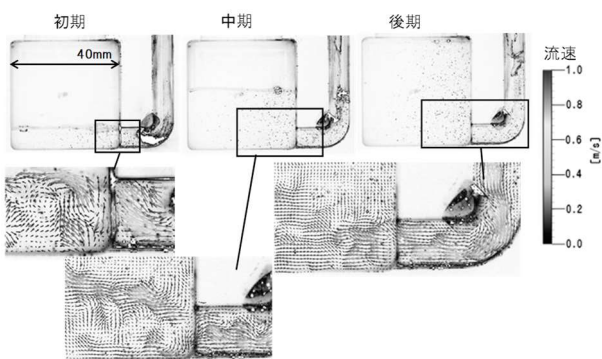


図5 押し上げ方案のPIV測定結果

落とし込み方案では、注ぎ込まれる水の周囲に強い下降流が生じ、数mmの大きな気泡が多数巻き込まれていた。流速は0.6~0.8m/sで、激しい乱流が見られた。一方、押し上げ方案ではゆるやかな上昇流となり、1mm以下の小さな気泡が見られるのみで、流速は0.3m/s以下となった。従って、気泡の巻き込みは押し上げ方案の採用により、大幅に抑制できることがわかった。

また、PIVで測定したモデルと同形状の鋳型について、実際に鋳造した。その外観及び断面を図6及び図7に示す。

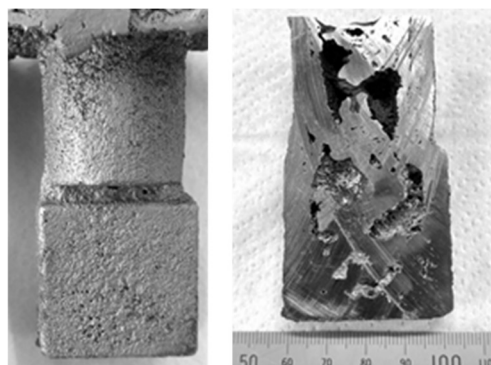


図6 落とし込み方案の鋳造結果

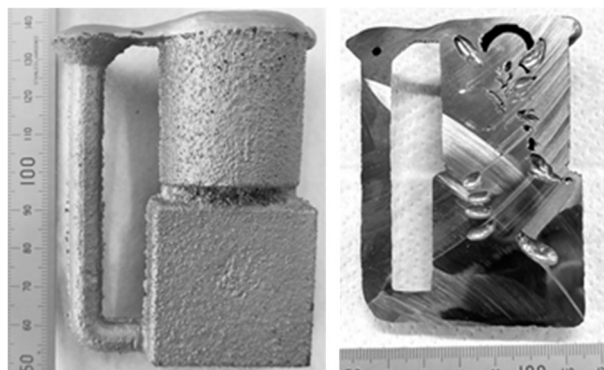


図7 押し上げ方案の鋳造結果

いずれの方案でも、内部に多くのガス欠陥が発生していた。押し上げ方案の方が軽微ではあるものの、水モデルとは大きく異なっていた。これは、金属の凝固時に発生したガスや高温による鋳型からの発生ガス等、流れによるガス巻き込みとは別要因で欠陥が発生したためと考えられる。

### 4 まとめ

- 1) 水モデルで流れを模擬することで、鋳造時の流れを観察することができた。
- 2) ガス欠陥の発生には、流れによるガス巻き込みの影響もあるが、それ以外の要因も大きく、複合的に対策をとる必要がある。

### 5 参考文献

- 1) 杉山明, 大中逸雄, 岩根潤, 安田秀幸: 鋳造工学, 78巻(12号), pp. 691-697(2006)

# レーザー肉盛における基礎技術の確立及び既存技術との比較検討

島崎 良\*<sup>1</sup> 小川 俊文\*<sup>1</sup> 小野本 達郎\*<sup>2</sup> 丸山 貴三\*<sup>3</sup> 澤井 直久\*<sup>3</sup>

## Establishment of Basic Technology for Laser Metal Deposition and Comparison with Conventional Method

Ryo Shimasaki, Toshifumi Ogawa, Tatsuro Onomoto, Takamitsu Maruyama and Naohisa Sawai

製鉄用プラント向け機械部品には耐摩耗性・耐食性が要求されるため、肉盛溶接による表面改質が行われている。従来のアークによる肉盛では、入熱が大きく溶け込みが大きいため、母材との希釈による被膜性能低下や熱歪みが問題となっていた。そこで、本研究では、局所加熱が可能なレーザーを用いて、希釈や歪みの少ない、高品質な肉盛被膜を作製するための条件を検討した。また、従来のアーク肉盛と比較し、レーザー肉盛の優位性を確認した。

### 1 はじめに

製鉄用搬送ロールをはじめ、製鉄プラント向け機械部品は過酷な摩耗・腐食環境で使用されるため、部品寿命向上のために表面改質処理を施して使用される。肉盛溶接はその表面改質プロセスの1つであり、従来、アーク溶接による肉盛が行われてきたが、近年では、レーザーを熱源に用いたレーザー肉盛が注目されつつある。レーザー肉盛は、希釈や熱歪みが小さく、条件次第で希釈率数%台の高品質な肉盛も可能<sup>1), 2)</sup>である。しかし、この技術を保有し、実践している企業は少なく、加工条件等の基礎技術から確立していく必要がある。

本研究では、レーザー肉盛を行うための適正な加工条件の探索を行うとともに、既存のアーク肉盛との比較を行った。目標値はレーザーの優位性を示すため、希釈率10%以下、歪み量70%以下（アーク比）とした。

### 2 実験方法

#### 2-1 肉盛試験片の作製

本研究で使用したレーザー肉盛装置（発振器:TRUMPF TruDisk5000, 加工ロボット:安川電機 MOTOMAN-MC2000 II, 加工ヘッド:PRECITEC YC-52）の外観を図1に、加工の概略を図2に示す。本装置は、波長1030nmのYAGディスクレーザーを母材に照射し、加熱することで熔融池を形成、そこに粉末を投射して肉盛加工を行うものである。

肉盛条件は、レーザーの照射スポット径をφ4mmとし、

出力、加工速度、粉末投射量、ウィービング有無を様々に変化させた。試験片の母材には、大きさ200×300mm、板厚19mmの低炭素鋼（SS400）の板を使用した。また、肉盛粉末にはマルテンサイト系ステンレス鋼（SUS420J2, 粒径50～150μm）のガスアトマイズ粉末を使用した。



図1 レーザ加工装置外観

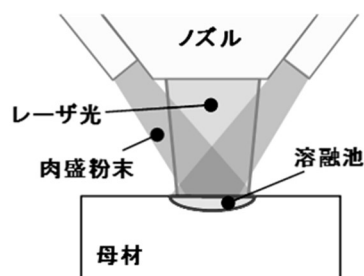


図2 レーザ肉盛加工の概略

作製した試験片は、外観及び染色浸透探傷検査（PT）にて欠陥の有無を確認した。その後、ビードの横断面で切断、研磨し、ピクラル腐食液でエッチング後、

\*1 機械電子研究所

\*2 公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

\*3 株式会社黒木工業所



断面の組織観察を行った。また、得られた溶接金属の断面積から希釈率を測定した。

## 2-2 肉盛による残留応力及び歪み量の測定

試験片に同じ仕様の肉盛を行うことで、各種肉盛方法の比較を行った。その試験片（以下、歪み TP と記す）の仕様を図 3 に示す。

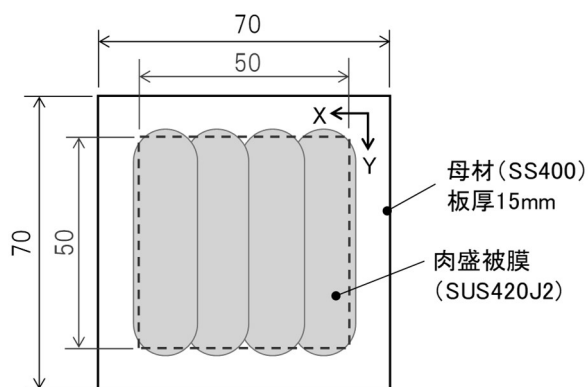


図 3 残留応力・歪み測定用試験片（歪み TP）の仕様

歪み TP は、材質 SS400、板厚 15mm の板を 70×70mm の正方形に切り出し、板上中央部 50×50mm の範囲に 1 層のみ肉盛を行ったものである。肉盛方法は、MIG（消耗電極式不活性ガスアーク溶接）、PTA（プラズマ粉体肉盛）、SMAW（手棒溶接）、TIG（非消耗電極式不活性ガスアーク溶接）の 4 種類のアーク肉盛に、LMD（レーザー肉盛溶接）を加えた 5 種類とした。

歪み TP は、母材の歪み状況を調べるため、肉盛面裏側の残留応力及び歪み量を測定した。残留応力は、XRD (Bruker D8 DISCOVER) を用いて X 線管球に Co、検出器側に Ni フィルタを使用し、2D 法にて測定した。この方法は、2 次元検出器により回折リングを取得し、リングの歪み形状から残留応力を計算する方法である。測定に用いる結晶面は  $\alpha(2\ 1\ 1)$  とした。歪み量は、各歪み TP の裏側形状を 3D デジタイザ (Steinbichler COMET 5-11M) で取得し、解析ソフトにより凹凸量を平面度として算出することで定量した。

## 3 結果と考察

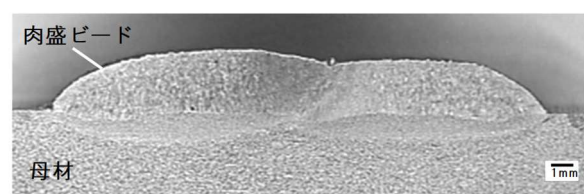
### 3-1 肉盛加工条件の選定

作製した肉盛試験片について、外観及び PT 検査を実施した結果の例を図 4 に示す。いずれの条件においても目視で確認できるサイズの欠陥は見られず、外観

は良好であった。次に、試験片の断面を観察し、肉盛ビードの形状・はく離等に問題のない条件のうち、最も希釈率が小さいものを適正条件として選定した。その断面を図 5 に示す。



図 4 肉盛試験片の PT 検査結果（例）



条件：出力 3.5kW、加工速度3.5mm/s、粉末量50g/min

図 5 基準条件におけるレーザー肉盛ビードの断面

適正条件は、レーザー出力 3.5kW、加工速度 3.5mm/s、粉末量 50g/min である。希釈率は 5.6% で、目標である希釈率 10% 以下をクリアしていた。

### 3-2 歪み TP による残留応力及び歪み量の評価

選定した適正条件を用いて、図 3 に示す仕様の歪み TP をレーザー肉盛にて作製した。その外観を図 6 に示す。外観は非常に良好であり、目視においては割れ等の欠陥は見られなかった。

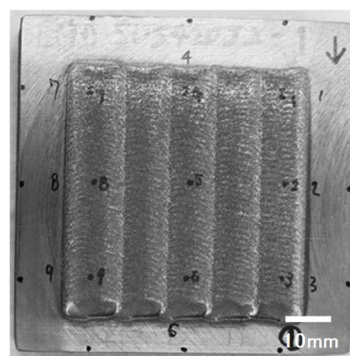


図 6 レーザ肉盛により作製した歪み TP

次に、歪み TP 裏側の残留応力を各肉盛方法で比較

した結果を図7に示す。残留応力は、測定点ごとのバラツキが大きく、1点での比較が困難であるため、歪み TP2 ケ×5 ケ所の計 10 点を測定し、その平均により比較を行うこととした。

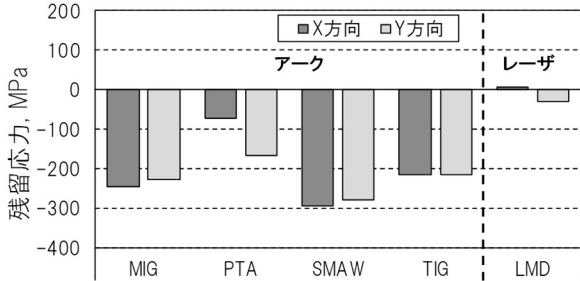


図7 歪み TP 裏側の残留応力比較  
(歪み TP2 ケ×5 ケ所の平均)

MIG, SMAW, TIG ではいずれも 200MPa 以上、PTA では 100MPa 程度の強い圧縮残留応力が見られた。これは、肉盛被膜が冷却時にマルテンサイト変態し、膨張することで、母材に圧縮応力が加わったと考えられる。一方で、レーザー肉盛による残留応力は 30MPa 程度の弱いものであった。これは、他の方法と比べて熱影響が非常に小さいためと考えられる。

次に、歪み TP 裏側の歪み量を平面度として評価した。その結果を図8に示す。

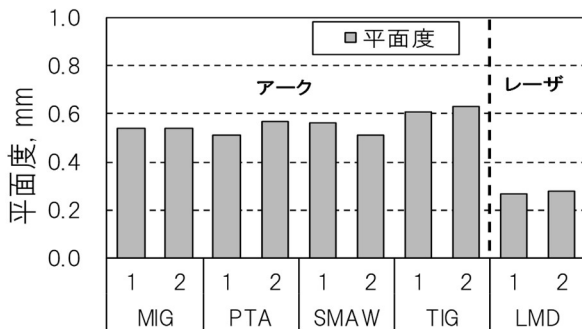


図8 歪み TP 裏側の平面度比較

アーク肉盛である MIG, PTA, SMAW, TIG の平面度は 0.51~0.63mm であった。一方、レーザー肉盛は 0.27~0.28mm と、歪みが小さかった。このことから、レーザー肉盛は熱影響が小さいことが明らかである。また、レーザー肉盛の歪み量は、アーク肉盛に対して約 50%であり、目標の 70%以下をクリアすることができた。

#### 4 まとめ

レーザー肉盛技術確立のため、種々の加工条件を検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) レーザ肉盛は、外観上欠陥が非常に少なく、条件次第で希釈率の低い高品質な肉盛が可能である。
- 2) レーザ肉盛は、アーク肉盛と比べて残留応力や歪み等への熱影響が非常に小さい。
- 3) 適正条件では、希釈率10%以下、歪み量50%（対アーク肉盛）程度となる。

#### 5 参考文献

- 1) 牧野吉延, 本多啓三: 溶接学会誌, 64巻(3号), pp. 154-160(1995)
- 2) 徐国建, 沓名宗春, 山田勝重: 溶接学会論文集, 23巻(2号), pp. 286-295(2005)

# ファイバーレーザーを用いたステンレス鋼の溶接

島田 雅博\*1

## Welding of stainless steel with fiber laser

Masahiro Shimada

レーザー溶接はアーク溶接と比べて優れた特徴を持つが、レーザー溶接を実践している企業数は未だ少ないのが現状である。そのため福岡県内企業にレーザー溶接を広めていく上で、弊所で加工条件等の基礎技術から確認していく必要がある。本研究では、ファイバーレーザーを用いて厚さ1mmのSUS304板に1枚板のビードオンプレート溶接及び突合せ溶接を実施した。ビードオンプレート溶接の結果、溶込み深さは溶接条件により0.04mmから1mmの範囲で変化した。また、突合せ溶接後の角変形量は1°以下で、JIS G4305に規定されている耐力及び引張強さを満たしていることを確認した。

### 1 はじめに

レーザーは溶接の熱源としてアークやプラズマに比べて、溶接金属部と熱影響部の幅を狭くできることから、低変形で機械的特性に優れた溶接接手が作製できる<sup>1)</sup>。またレーザー溶接はハンドトーチを用いた手溶接やロボット等に加工ヘッドを搭載した自動溶接など複数の施工形態を持つが、この溶接技術を保有し、実践している県内企業は中部地方などのレーザー先進地域と比べて少ない。そのため県内企業にレーザー溶接を周知していくには、弊所で加工条件等の基礎技術から確認していく必要がある。本研究では、レーザー溶接の加工条件を探索するため1枚板のビードオンプレート溶接と既存のアーク溶接と同様以上の溶接が出来ることを示すため突合せ溶接を行った。突合せ溶接後、角変形量は1°以下<sup>2)</sup>、耐力、引張強さはJIS G 4305に規定している強度を満たすことを目標とした。

### 2 実験方法

#### 2-1 加工条件および供試材料

本研究で使用したファイバーレーザー発振器はIPGフォトリクス社製YLR-500 MM-ACである。本発振器を使用したファイバーレーザー溶接機を図1に示す。

加工条件は試験片を焦点位置に合わせ、出力460W（固定）とし、溶接速度を2~200mm/sの範囲で変化した。また供試材料は市販の厚さ1mmのSUS304を用いた。

#### 2-2 評価方法

溶融部の溶込み深さを確認するために、王水とグリ

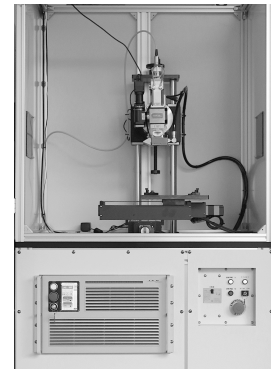


図1 ファイバーレーザー溶接機

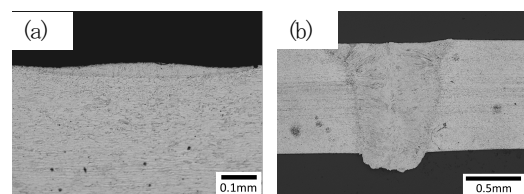
セリンの1:1混合溶液でエッチングを行った後、光学顕微鏡にて観察を行った。

突合せ溶接後、(株)エビデント製レーザー顕微鏡OLS5100-EATによる角変形量測定及び(株)島津製作所製AG-100kNX万能試験機を用いて引張試験を実施した。引張試験片の形状はJIS Z 2201「金属材料引張試験片」の13B号試験片に準拠し、試験速度は10mm/minとした。

### 3 結果と考察

#### 3-1 1枚板のビードオンプレート溶接による溶込み深さ

加工速度200mm/s及び10mm/sの断面組織を図2に示す。



(a) 加工速度200mm/s, (b)加工速度10mm/s

図2 ビードオンプレート溶接の断面組織



加工速度200mm/sでは溶込み深さ0.04mmであったが、加工速度が遅くなるにつれて溶込み深さは増加し、10mm/sでレーザー照射の反対側まで溶融部が到達する、いわゆる溶落ちとなった。本報ではこの状態を溶込み深さ1mmとする。加工速度2~200mm/sの溶込み深さの変化を図3に示す。

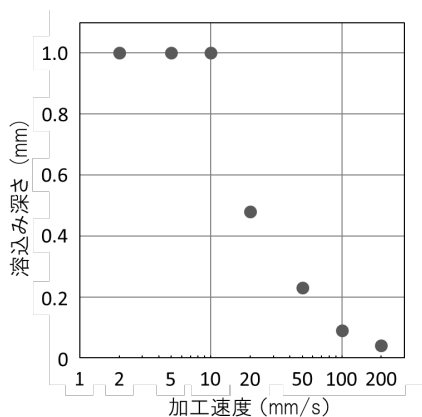


図3 加工速度と溶け込み深さ

### 3-2 突合せ溶接の溶込み深さ

加工速度10mm/sで実施した突合せ溶接の断面組織を図4に示す。ビードオンプレート溶接と同様にレーザー照射の反対側まで溶融部が到達した。



図4 突合せ溶接の断面組織

### 3-3 突合せ溶接の角変形量

加工速度10mm/sで溶接長さ99mmの突合せ溶接を実施した。始点から24mm (①), 49mm (②), 終点から24mm (③) の3箇所における角変形量を図5に示す。3箇所における角変形量はいずれも0.3°以下で、目標値である角変形量1°以下をクリアした。

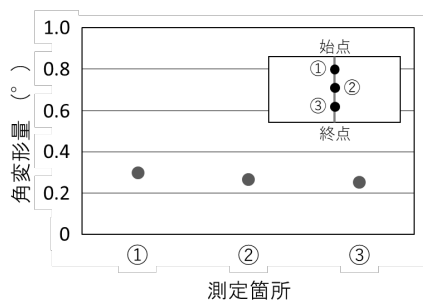


図5 溶接部の角変形量

### 3-4 突合せ溶接の引張強度

加工速度10mm/sで突合せ溶接後の応力-ひずみ曲線を図6に示す。溶接後の試験片は溶接部で破断したが、JIS G 4305「冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」にて規定されている耐力、引張強さをクリアした。一方で、供試材料の引張強さは1400MPaであり、強度の高さから供試材料は冷間圧延により厚さ1mmに加工されたものと考えられる。

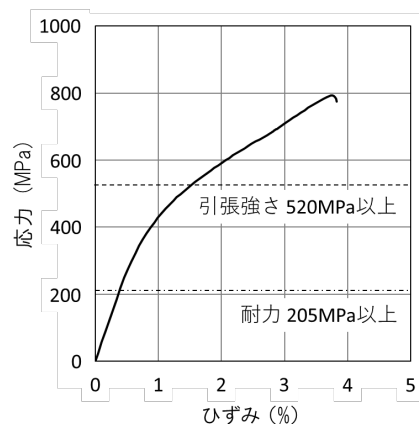


図6 突合せ溶接後の応力-ひずみ曲線

## 4 まとめ

レーザー溶接技術確立のため、加工条件と金属組織、機械的性質を調査し、以下の知見が得られた。

- 1) 加工速度の違いにより、溶込み深さは0.04mmから1mmに変化した。
- 2) 突合せ溶接はビードオンプレート溶接より速い速度でもレーザー照射の反対側まで溶融部が到達した。
- 3) 突合せ溶接後の角変形量は1°以下だった。
- 4) 突合せ溶接後の引張試験はJISに規定されている耐力、引張強さを満たしていた。

## 5 参考文献

- 1) 片山聖二：トコトンやさしいレーザー加工の本，pp. 50-51，日刊工業新聞社(2019)
- 2) 接合・溶接技術Q&A / Q01-04-02 Q角変形はなぜ生じるのですか。また、角変形は溶接入熱や板厚でどのように変わるか教えて下さい。、溶接情報センター（オンライン）[http://www-it.jwes.or.jp/qa/details.jsp?pg\\_no=0010040020](http://www-it.jwes.or.jp/qa/details.jsp?pg_no=0010040020)（参照2023-05-10）

# SUS基材上の複合表面処理による耐食性機械特性の評価

吉田 智博\*1, 山下 和章\*2, 山下 陵\*2, 山下 章子\*2

## Anti-corrosion and Mechanical Properties of Combined surface preparations on SUS substrate

Tomohiro Yoshida, Kazuaki Yamashita, Ryo Yamashita and Fumiko Yamashita

樹脂プラントに用いられる金属部品は、樹脂材料の高機能化に伴い高耐久性、高耐食性が求められており、複数の表面処理を組み合わせた複合表面処理による金属部品の長寿命化が図られている。本研究では、熱処理、窒化、ショットピーニング、CrAlNコーティングの組み合わせを変えたサンプルに対して、耐食性、表面硬度、摩擦係数の評価を行った。窒化を含む条件では若干の耐食性向上がみられた。表面硬度は表面処理の組み合わせによる大きな差はみられなかった。摩擦係数は摺動距離が長くなるとともに増加し、摩擦係数の増加は樹脂相手材がサンプル表面に付着したことによるものと推察される。

### 1 はじめに

労働人口の減少や国際競争力の向上を背景に、製造現場では生産性の向上が求められている。自動化が進んだ生産ラインでは、消耗品の部品交換や点検に要するダウンタイムの縮減のため、設備を構成する金属部品の長寿命化が必要である。樹脂製品の製造ラインでは樹脂の高機能化に伴い、機械的特性、熱的特性、機能性付与のために種々の酸化物系、窒化物系、炭素系フィラーが充填され<sup>1)</sup>、製造ライン中の金属部品には高い硬度、耐摩耗性、耐食性が求められている。長寿命化の試みでは、ピーニングと窒化の組み合わせや、イオン注入による表面改質と製膜の組み合わせなどの報告がある<sup>2,3)</sup>。本報告では、焼入れ硬化が可能でバルブや刃物、樹脂金型などに用いられるSUS420J2基材上に、窒化、ショットピーニング、CrAlN系ハードコーティングの複数の表面処理を複合的に組み合わせたサンプルに対して、耐食性、機械特性の評価を行った。

### 2 実験方法

表1に評価に用いた表面処理サンプルの組み合わせを示す。基材には1025 °Cで焼入れ、500 °Cで焼戻しを行ったSUS420J2を用いた。表面処理には窒化、ショットピーニング、CrAlN系のハードコーティングを用い、組み合わせを変えたサンプルを作製した。窒化には低温ガス窒化のEH処理<sup>4)</sup>を用いた。ショットピーニ

表1 複合表面処理の組み合わせ  
（「ピーニング」と「CrAlN系」）

No.	基材	熱処理	窒化	ショットピーニング	CrAlN系コーティング
1	SUS420J2	○	-	-	○
2	SUS420J2	○	○	-	○
3	SUS420J2	○	○	○	○
4	SUS420J2	○	-	○	○

ングはWPC処理<sup>5)</sup>を用い、CrAlN系のコーティングはPVDを用い膜厚目標約3 μmで製膜した。

耐食性の評価は塩水噴霧試験（スガ試験機(株)STP-120）を用いた。試験は噴霧室温度 35 °C、pH 6.5～7.2、塩水濃度 5 %、設置角度 20 °、噴霧量 1.5±0.5 mL/h の環境で行った。サンプル下部での液溜まり防止のため、サンプルをφ6 mm のガラス管の上に設置した。サンプルの側面および裏面はテープで保護した。耐食性は、試験時間 51 時間までのサンプルの外観で評価した。機械特性は、摩擦係数と硬度で評価した。摩擦係数は摩擦摩耗試験機（(株)レスカ FRP-2100）を用い、ピンオンディスク摩耗試験を行った。摩擦係数測定の場合は、無潤滑環境下において荷重 2050 gf、摺動速度 50 rpm、摺動直径 30 mm、摺動距離 157m（試験時間 2000 sec.）である。表面硬度の測定にはナノインデンテーション（(株)エリオニクス ENT-NEXAS）を用いた。表面硬度測定の場合の負荷荷重は 4 mN とした。押し込み深さが CrAlN 目標膜厚 3 μm の 1/10 を満足するように負荷荷重を調整した。サンプルの断面および摩擦摩耗痕の観察には、レーザー顕微鏡（(株)エビデント OLS-5100）を用いた。

\*1 機械電子研究所

\*2 東亜精工株式会社

### 3 結果と考察

図1に塩水噴霧試験を行った複合表面処理サンプルの外観を示す。横方向に各サンプル番号、縦方向に経過時間を示す。5時間経過した各サンプルの外観に違いはみられなかった。20時間経過後は、窒化処理を含むNo. 2とNo. 3の条件で若干赤サビの発生量が少なかった。51時間経過後は、全てのサンプルで全面が腐食したが、No. 3 (CrAlN/ピーニング/窒化処理) のサンプルは素地が若干残っていた。

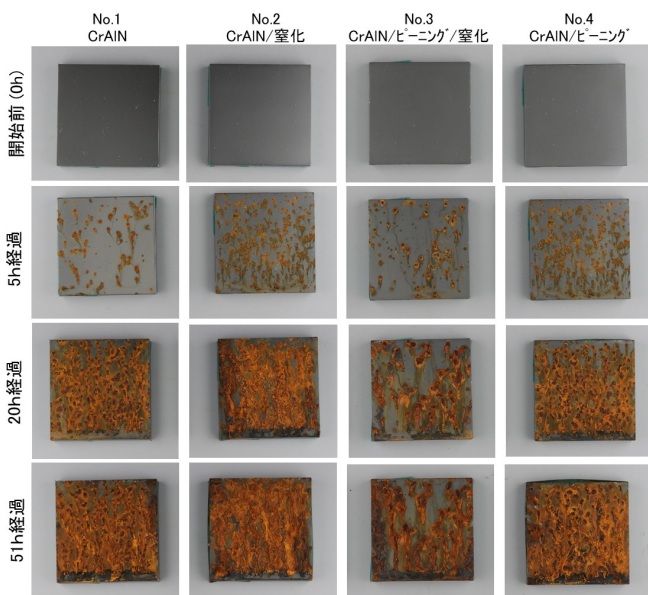


図1 各複合表面処理の組み合わせサンプルの塩水噴霧試験時間におけるサンプル外観

図2に各複合表面処理サンプルの表面SEM像を示す。比較的耐食性が良かったNo. 3のサンプルは、他のサンプルと比較して均一なCrAlN膜が形成された。均一な膜が保護層となり、赤サビの発生量が少なかった可能性がある。全てのサンプル表面にCrAlN原料のCrAlターゲットの溶滴であるドロップレットとみられる数 $\mu\text{m}$ サイズのパーティクルが堆積していた。今回のサンプル条件ではCrAlNコーティングのドロップレットが欠陥となり、SUS基材が腐食したと考えられる。また、基材に用いたSUS420J2は室内等の穏やかな環境下では耐食性を有するが、酸環境や塩水環境のような厳しい環境下では腐食を起こす場合があると記されている<sup>6)</sup>。保護層となる被膜に欠陥があるため、赤サビの発生は妥当な結果だと考えられる。

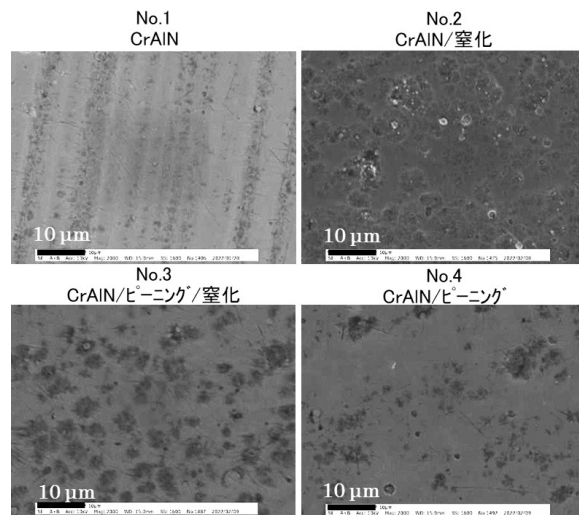


図2 各複合表面処理の組み合わせサンプルの表面SEM像の比較

図3に各複合表面処理サンプルの断面光学像を示す。窒化を含む条件のNo. 2とNo. 3のサンプルでは、窒化層の上にCrAlN膜が観察された。各サンプルのCrAlN膜および窒化層の厚みをスケールバーとの比率で計算した値を表2に示す。CrAlN膜の膜厚は1.5~2.0  $\mu\text{m}$ 、窒化層の厚みは約15  $\mu\text{m}$ でサンプル間の差はなかった。一方で、CrAlNの目標膜厚3  $\mu\text{m}$ に対して、サンプル上のCrAlN膜は1/2~1/3程度薄かった。

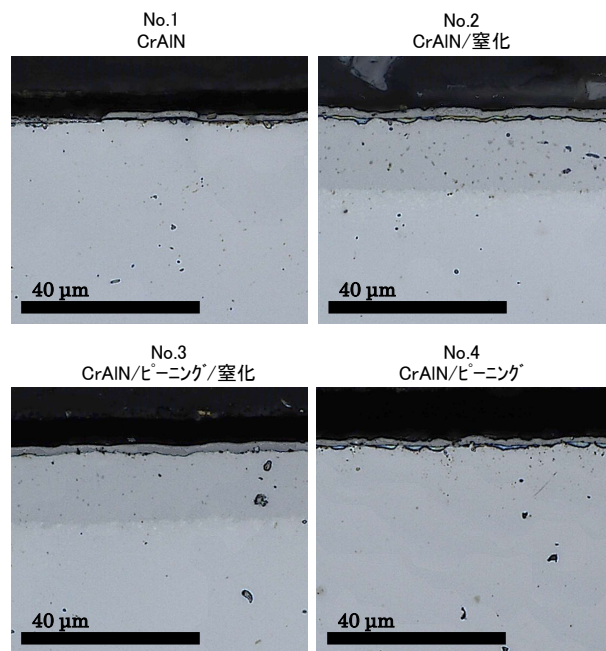


図3 各複合表面処理の組み合わせサンプルの断面光学像の比較

表2 各複合表面処理の組み合わせサンプルの窒化層およびCrAINコーティング膜厚

No.	窒化層	CrAIN系コーティング
1	-	1.5 $\mu\text{m}$
2	14.8 $\mu\text{m}$	1.9 $\mu\text{m}$
3	15.4 $\mu\text{m}$	2.0 $\mu\text{m}$
4	-	1.7 $\mu\text{m}$

図4に各複合表面処理サンプルの摩擦係数を示す。縦軸に摩擦係数，横軸に摺動距離を示す。No. 3のサンプルは他のサンプルと比較して，摺動距離35 mを過ぎたところで摩擦係数が大幅に増加した。No. 4のサンプルは摺動距離130 mで摩擦係数が低下した。ピンオンディスク摩耗試験は相手材のピンがサンプルに面で接触するため，当たり方が変化した可能性が考えられる。

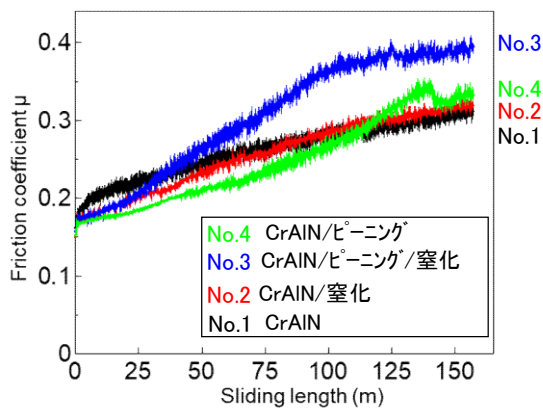


図4 各複合表面処理の組み合わせサンプルの摩擦係数の比較

図5にピンオンディスク摩耗試験に用いた相手材ナイロン6の摩擦面の外観写真を示す。丸破線で示す相手材表面の位置に黒く変色した接痕がみられた。摩擦係数が低下したサンプルNo. 4の相手材は，他の相手材に比べて接触面が少なかった。このため，No. 4における摺動距離130 mでの摩擦係数の低下は，試験中に相手材との接触面積が減少したことによるものと推察される。

図6に各複合表面処理サンプルの摩擦摩耗痕の光学像とレーザー顕微鏡像を示す。光学像中に黒丸で示す虹色の干渉色は，相手材のナイロン6の付着と考えられる。全てのサンプルで摩擦係数が増加した理由は，相手材の付着に由来すると推察される。また，No. 3の表面は微細孔が多く存在していた。他のサンプルと比

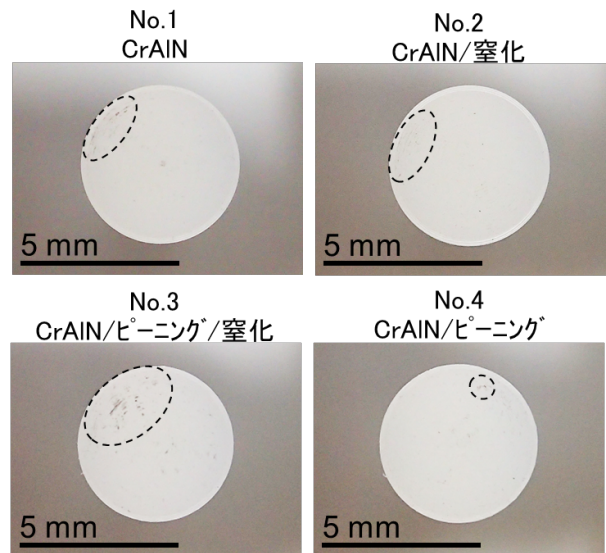


図5 ピンオンディスク摩耗試験に用いた相手材の摩擦面の写真

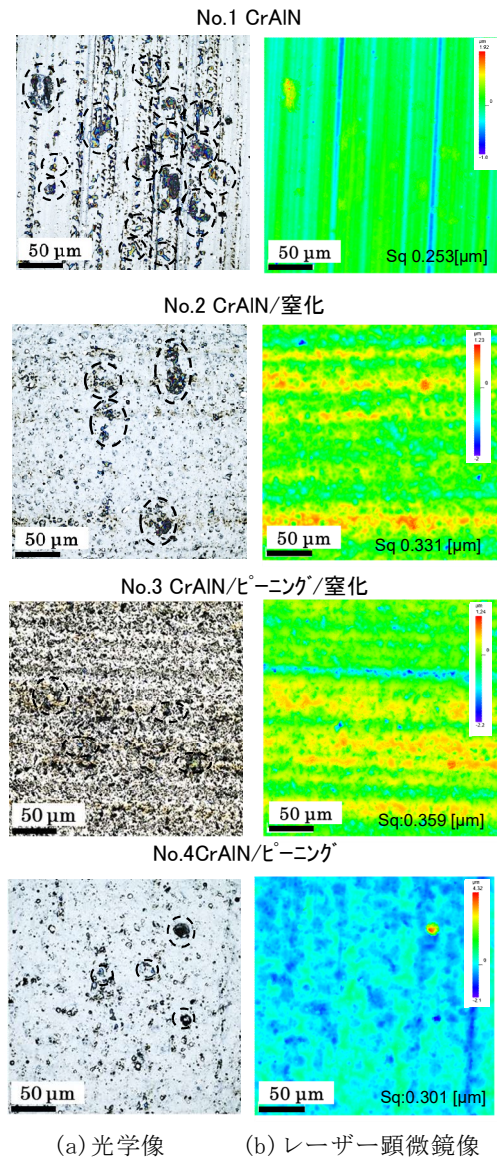


図6 各複合表面処理の組み合わせサンプルの摩耗痕の光学像とレーザー顕微鏡像



べて微細孔が多いことで、摺動距離の増加とともにナイロン6の付着量が増加し、サンプルNo. 3の摩擦係数が増加した可能性が考えられる。カラーマップで示したレーザー顕微鏡像では、全てのサンプルで線状の加工痕がみられた。面粗さの二乗平方根平均粗さSqは最小値がNo. 1の0.25  $\mu\text{m}$ 、最大値がNo. 3の0.36  $\mu\text{m}$ 程度でサンプル間の摩耗痕の粗さに差はなかった。このため、サンプルNo. 3の摩擦係数増加に及ぼす表面粗さの影響は少ないと考えられる。

図7に各複合表面処理サンプルの表面硬度の比較を示す。縦軸に押し込み硬度、横軸にサンプル番号を示す。測定は14回行い、4点の外れ値を除いた10点の測定値を白丸、平均値を黒丸で示した。アーキイオンプレーティングを用いたCrAlNの硬度は、約37 GPa程度と報告されており<sup>7)</sup>、サンプルNo. 2以外のCrAlNは同程度の硬度である。CrAlN/窒化を組み合わせたNo. 2の硬度は平均22.5 GPaで、他のサンプルの硬度31~32 GPaよりも低かった。低い硬度の理由は、10点の測定値が約15~30 GPaの間で広く分布しているためである。

図8に各複合表面処理サンプルの硬度測定を行った視野の光学像を示す。No. 1の表面は線状の加工痕がみられた。No. 2からNo. 4のサンプルは丸みを帯びた凹凸形状が形成されていた。No. 2の条件では、微細な凹凸が高密度で形成されており、この凹凸が広く分布した表面硬度の原因と考えられる。

#### 4 まとめ

SUS基材に対して熱処理、窒化、ショットピーニング、CrAlNコーティングを組み合わせたサンプルに対して、塩水噴霧試験、表面・断面観察、摩擦係数測定、表面硬度測定を行った。塩水噴霧試験では、窒化を含む条件で若干耐食性が向上した。表面形状は窒化を含むサンプルが粗く、全てのサンプルでナノパーティクルが観察された。断面光学像では、膜厚1.5~2.0  $\mu\text{m}$ のCrAlN膜と、約15  $\mu\text{m}$ の窒化層が観察された。摩擦係数は摺動距離が長くなることに伴い増加した。摩擦係数の増加は相手材のナイロン6の付着によるものと推察される。表面硬度は20~30 GPa程度であり、表面処理の組み合わせの影響はなかった。

#### 5 参考文献

1)永田員也, 真田和昭: ネットワークポリマー, Vol.

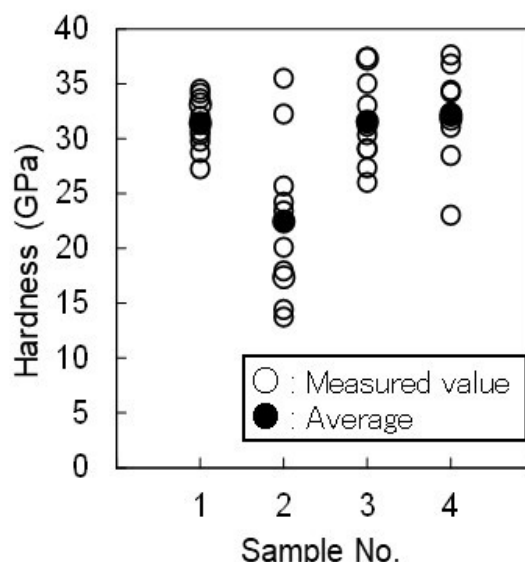


図7 各複合表面処理の組み合わせサンプルの表面硬度の比較

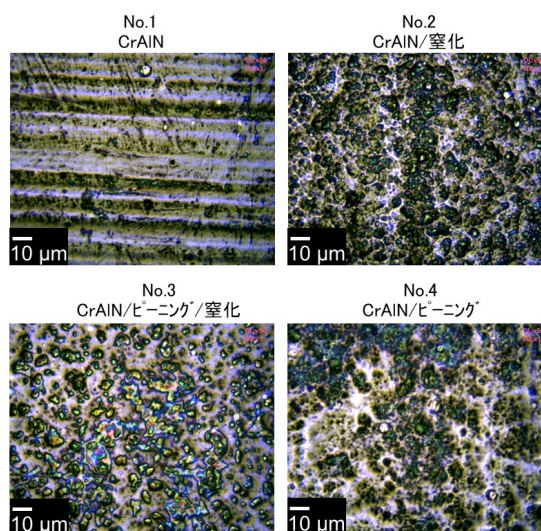


図8 各複合表面処理の組み合わせサンプルの表面硬度測定視野の光学像

36, No. 6, 299-308 (2015)

- 2) 菊池将一, 亀山雄高, 深沢剣吾, 小茂鳥潤: 砥粒加工学会誌, Vol. 50 No. 3, 134-137 (2006)
- 3) 滝川浩史, 電気学会誌, 121巻 5号, 312-315 (2001)
- 4) 竹居正美, 藤田英人, 藤野良治: 複合拡散窒化方法及び装置並びに窒化物の生産方法, 特許番号 第2693382号 (1997)
- 5) 熊谷正夫: 油空圧技術, Vol. 50, No. 9, 20-23 (2011)
- 6) 岸本耕司: 山陽特殊製鋼技報, Vol. 5, No. 1, 91-104 (1998)
- 7) 嶋村公二, 他: 砥粒加工学会誌, Vol. 57, No. 8, 536-541 (2013)

# 甘夏みかんの自動外皮剥皮装置の開発

在川 功一\*1 永田 成敏\*2 白木 政二\*2

## Development of automatic exocarp peeling machine for Amanatsu

Koichi Zaikawa, Naritoshi Nagata and Masaji Shiraki

缶詰や加工食品については需要の拡大が続いており、中でもみかん等柑橘類の缶詰については流通数も多く、売上も非常に高い。一方で原料における柑橘類の中でも甘夏みかんについては、外皮剥皮の難しさから人手による処理が一般的であり、自動化事例は見当たらない。また、高齢化による人員不足や剥皮処理を行う農家への移送・回収時の原料劣化による供給量の低下、燃料費の高騰による輸送コストの増大など多くの課題を抱えている。そこで本研究では甘夏みかんの外皮を自動で剥皮可能な装置を開発し、これらの課題解決を図った。

### 1 はじめに

缶詰や加工食品については昨今の新型コロナウイルス感染拡大による巣ごもり需要から拡大が続いており、中でも柑橘類の缶詰加工品は流通数も多く、売上が非常に高い<sup>1)</sup>。一方、原料における柑橘類の中でも甘夏みかんは一般的な温州みかんと比較して外皮が固く、自動での剥皮が困難であるため、人手による剥皮が一般的である。しかし、近年は作業者である農家の高齢化による人手不足や燃料費高騰による輸送コストの増大、輸送中の原料劣化などの課題が発生しており、需要に対して供給が追いつかない状況となっている。

そこで本研究では、甘夏みかんの外皮剥皮の自動化に向けた剥皮方法の検討、ならびに原料処理能力の向上と処理コスト低減を同時に実現可能な自動外皮剥皮装置の開発を行った。

### 2 研究、実験方法

甘夏みかんの特徴としては温州みかんに比べ、外皮が固く、中果皮（アルベド）が厚いという特徴から内皮を傷つけることなく剥皮することは困難である。そこで以下の4つの剥皮方法について自動化の可能性を調査した。

#### ①自動爪方式

この方式は人手での剥皮作業をイメージした方法であり、図1に示すように果実を押し上げながら外皮とアルベドの間に爪を引っ掛け、外側に開くように剥皮する方法である。

#### ②ピーラー方式

回転する果実にピーラーを押し当て、外皮を連続して剥皮する方法である。りんご、梨などの果実の効率的な処理方法として、一部では自動化され販売されている。

#### ③スパイラルシャフト方式

温州みかんの自動剥皮方法として実用化されている方法であり、内側方向へ回転する2本1対の溝付きシャフト上に果実を滑らせ、外皮を削って巻き込みながら剥皮する（図2）。

#### ④吸引方式

果実中央部の円周方向にアルベドの深さまで切れ目を入れ、上下をカップで挟み、吸引しながらカップを捻って外皮を引き剥がす方法である（図3）。

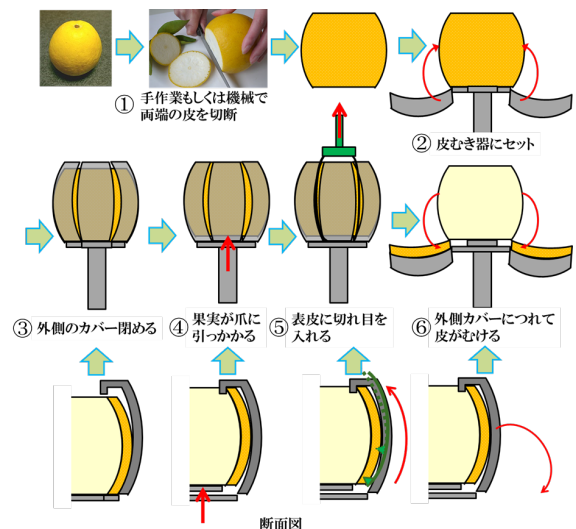


図1 自動爪方式

\*1 機械電子研究所

\*2 株式会社マルミツサンヨー



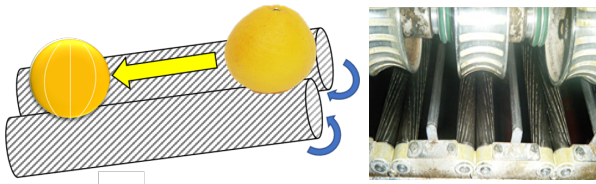


図2 スパイラルシャフト方式

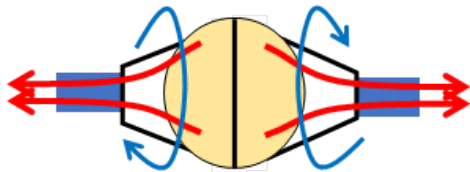


図3 吸引方式

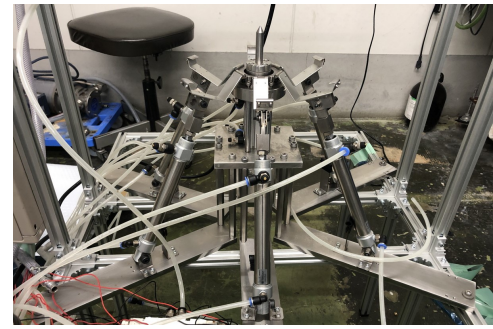


図4 自動爪方式実験機

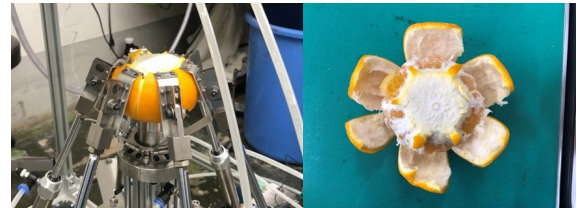


図5 自動爪方式での剥皮状態



図6 ピーラー方式での剥皮状態



図7 スパイラルシャフト方式での剥皮状態

### 3 結果と考察

#### 3-1 各剥皮方法の評価

①自動爪方式については、エアシリンダ駆動方式の実験機を作製（図4）した上で実験を実施した。果実を突き上げながら外皮とアルベドの間に爪を引っ掛け、外側へ開くような機構で外皮を剥皮した。結果としては果実を傷つけることなく剥皮可能であったが、最大でも果実全体の2/3程度の剥皮に留まる結果（図5）となり、果実下側の剥皮が困難であるという結果に至った。

②ピーラー方式については、外皮は剥皮可能であるものの、切込みの設定によってアルベドが残存するか内皮を傷つけてしまう結果（図6）となった。内皮を傷つけてしまうと後工程で果肉が原型を留められず、バラバラになってしまうことから、自動化における本方式の採用は困難と判断した。

③スパイラルシャフト方式では、外皮が固いことが影響してシャフトに設けられた溝に噛みこまず、剥皮困難であることが確認された（図7）。前処理として外皮に浅く傷を付けた場合も同様の結果となったことから、採用は困難と判断した。

④吸引方式では、果実を傷つけることなく外皮のみを剥皮することが可能であったが、切れ目を入れた上下どちらかのみが剥皮され、約1/2の外皮が残存する結果に至った。各剥皮方式の結果と評価を表1に示す。

表1 各剥皮方式の比較

剥皮方法	結果	評価
①自動爪	1/3 が残存するが、剥皮状態は良好。	○
②ピーラー	内皮を傷付けてしまい、後工程に支障をきたす可能性が高い。	×
③シャフト	ほぼ剥皮できず、複数回の処理でも目途が立たない。	×
④吸引	1/2 が残存するが、剥皮状態は良好	○

### 3-2 吸引方式と爪掛下げ方式による剥皮方法の確立

各剥皮方法の結果から①自動爪方式と④の吸引方式での結果が良好であったことから2つの方式を組み合わせることで完全な剥皮が可能かどうかを検討した。吸引による上部剥皮の前工程として外皮の円周方向に切れ目を入れるが、その割合によって次工程の爪の掛下げに影響が及ぶため、実験にて最適な割合を導出した。その結果、上側吸引剥皮時に40～50%の割合において、良好な結果が得られることが確認された(図8)。この割合を反映し吸引方式にて上半分を剥皮した後、ばね鋼を用いた爪を掛下げ、下半分を剥皮することによって完全な剥皮が可能であることを確認した(図9)。

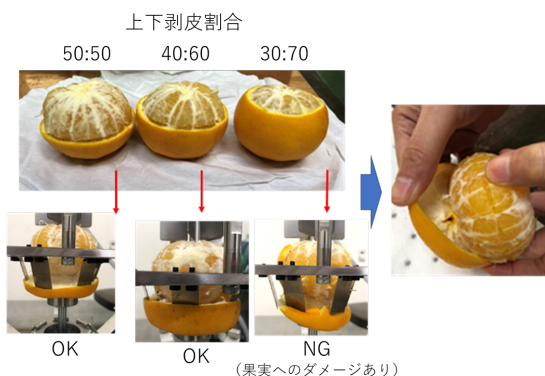


図8 上下剥皮割合の変化による剥皮状態比較

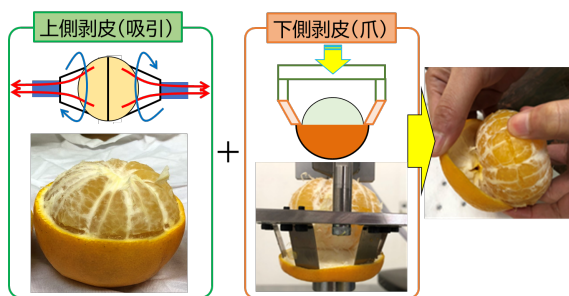


図9 吸引方式と爪掛下げ方式を組み合わせた剥皮

### 3-3 外皮自動剥皮装置の開発および製作

得られた結果をもとに、完全自動で外皮剥皮が可能な装置開発を実施した。ロータリーインデックステーブルを採用し、果実の投入から外皮剥皮、果実の取り出し、外皮排出までを7工程に分割し、45度ずつ回転しながら処理が進行する装置を設計した(図10)。製作した装置(図11)にて外皮剥皮実験を繰り返し実施し、制御の最適化を実施したところ、タクトタイム5～7sで1工程が処理可能なことが確認された。これに

よって、以下の効果もたらされた。

- ・処理能力約30%向上(従来の手剥きと比べ処理時間が約1/5に短縮)
- ・処理コスト約40%低減
- ・剥皮した外皮の2次利用が可能(処理依頼先への輸送が発生せず、内製化で新鮮な外皮を得られるため食品や香料としての利用が可能となる)

なお、本研究にて開発した剥皮方法や製作した装置については特許出願中(特願2020-165141)である。

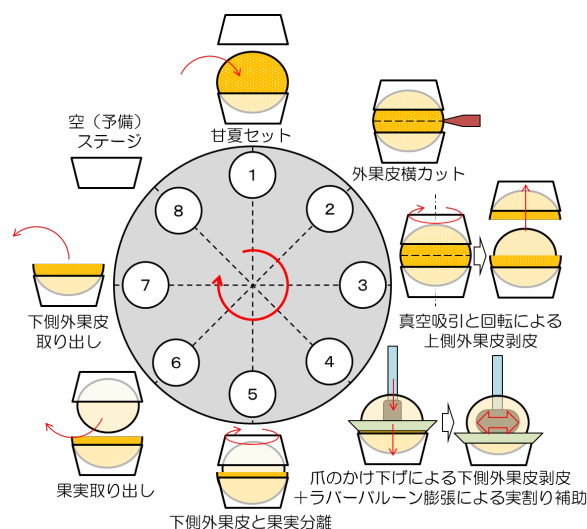


図10 外皮自動剥皮装置設計模式図



(a) 装置外観

(b) 剥皮工程



(c) 果実取り出し

(d) 外皮取り出し

図11 自動外皮剥皮装置

#### 4 まとめ

甘夏みかんの外皮剥皮工程の自動化を検討した結果、吸引と爪の掛下げによる剥皮方式を採用した国内初の甘夏みかん自動外皮剥皮装置を開発した。このことにより、従来の手作業での剥皮と比べ処理能力の大幅向上と処理コストの削減を同時に達成することが確認された。今後は他のデコポン、八朔等、別の柑橘類への適用を検討するとともに、JAや缶詰加工企業への販売等を予定している。

#### 5 謝辞

本研究は令和元年度（公財）福岡県産業・科学振興財団の可能性調査事業によって実施し、装置化については（公財）市村清新技術財団の新技术開発助成を活用して実施いたしました。ここに感謝申し上げます。

#### 6 参考文献

- 1) (公財)日本缶詰びん詰レトルト食品協会：果実缶詰びん詰生産数量の推移，国内生産数量統計(2021) (オンライン) <https://www.jca-can.or.jp/data/pdf/kajitsu.pdf> (参照2023-05-11)



# CAE及び振動試験システムを活用した現場の振動再現評価技術の開発

高宮 義弘\*1 内野 正和\*1 木下 雅博\*2

## Development of on-site vibration reproduction evaluation technology using CAE and vibration testing systems

Yoshihiro Takamiya, Masakazu Uchino and Masahiro Kinoshita

輸送環境を反映した製品の振動評価方法は多いが、製品特有の振動条件における評価事例は少ない。また部品単体での評価が難しく、構造全体として実際に稼働しなければ評価できず、且つ振動の影響が表れるには時間がかかるため評価が不十分となり、市場で故障することもある。このように再現が困難で、評価に時間がかかる振動評価には、実験やCAE解析による事前の評価技術が求められている。そこで本研究では、現場の振動特性の計測手法及びCAEによる解析及び振動試験システムによる振動再現実験評価技術を開発した。

### 1 はじめに

包装貨物が流通過程において受ける振動、衝撃及び圧縮に対する包装の保護が適正であるかどうかを評価するための試験方法として、JIS Z 0200が規定されている<sup>1)</sup>。ただし同時にJIS Z 0232では、加速度パワースペクトル密度は、路面状況、使用する車両の種類など、輸送条件に大きく依存するため、測定されたデータに基づく加速度パワースペクトル密度及び試験時間が利用できる場合には、このデータを用いて試験するのがよい、とされている<sup>2)</sup>。これらのことからJISにおける輸送環境試験は、多種多様な輸送環境の平均的な試験としては有用だが、ある程度限定された環境下における構造体に振動が与える影響をより正確に評価検討する場合は、現場での振動計測結果を基に振動条件を決定することが望ましいと考えられる。

そこで本研究では、ものづくり企業の振動課題を開発早期に評価対策できる環境を整備することを目的に、現場の振動計測、再現手法及びCAE解析による不規則振動再現評価手法を確立した。試験体のサンプルは、和新工業株式会社が開発した主に工場内で使用するフォークリフト用ブラケットとした。工場内を走行するフォークリフトという限定された振動環境において、ブラケット固定用のボルトが緩まないかを評価するため、現場の振動計測、振動試験システムによる振動再現、加速及び高度解析システムによる振動解析を実施したので結果を報告する。

### 2 研究, 実験方法

#### 2-1 現場計測

図1に現場で振動計測を行った際の機器の取り付け状況を示す。フォークリフト屋根梁部にブラケットと上下方向の加速度を計測する加速度ピックアップを取り付けた。フォークリフト後部に計測用のロガー、PC及びバッテリーを固定した。計測条件は加速度計測方向を上下方向とし、サンプリング時間 0.5 msec、フィルタ処理無し、アース接続有りとした。現場は一般的な工場を想定しており、高負荷がかかるように計測ルート上にグレーチングによる3回の段差を設けた。

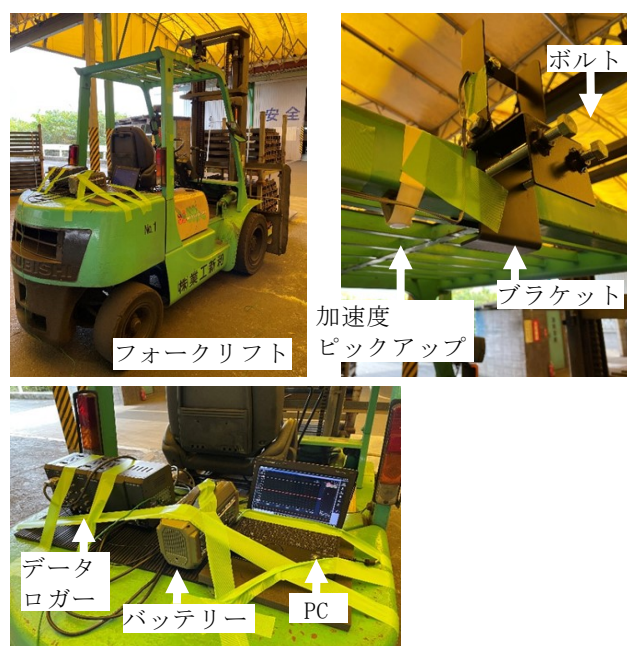


図1 振動計測機器取り付け状況

\*1 機械電子研究所

\*2 和新工業株式会社

## 2-2 振動再現

図2に振動試験システム（IMV株, A30/EM3HM）を活用したブラケットの振動再現試験の様子を示す。振動試験システムが保有する六面体加振治具の梁にフォークリフト同様にブラケットを固定した。

図3に再現する振動波形を示す。再現する振動は現場計測結果において、最大最小の加速度を示した波形前後の振動とした。振動の再現には、振動試験システムの実測波形定義機能を使用した。実測波形定義ではデジタル化された波形データを目標波形に設定する機能である。

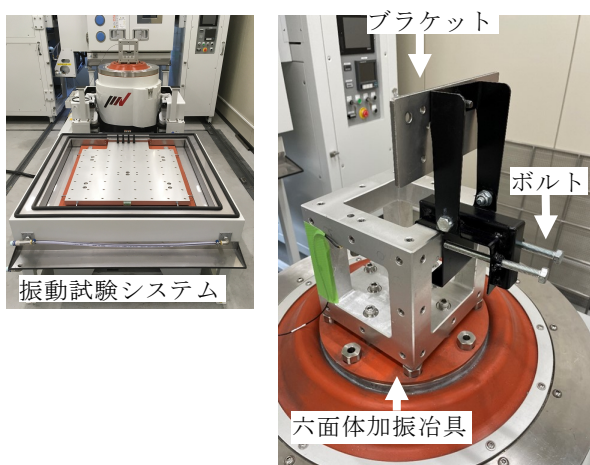


図2 ブラケットの振動再現試験の様子

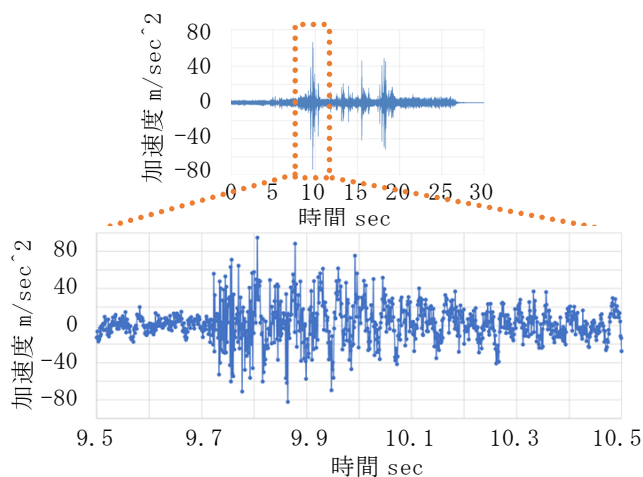


図3 再現する振動波形

## 2-3 解析

図4に構造解析で使用したブラケットモデルを示す。ブラケットは開発過程にて構造改善を行っており、解析では、構造改善前後モデルの振動による変位を比較する計算を実施した。構造改善では本体にリブを追加したが、リブの追加は、本体がより変位しにくいこと、

リブが補助プレートに干渉しないこと、ボルトの締め付けにより本体が変形しないこと、を考慮し設定した。構造解析は、高度解析システムが保有するANSYS Mechanical Enterpriseで使用した時刻歴解析を実施した。振動の再現時と同様に実測値のCSVデータを時刻歴応答加速度として入力データとした。

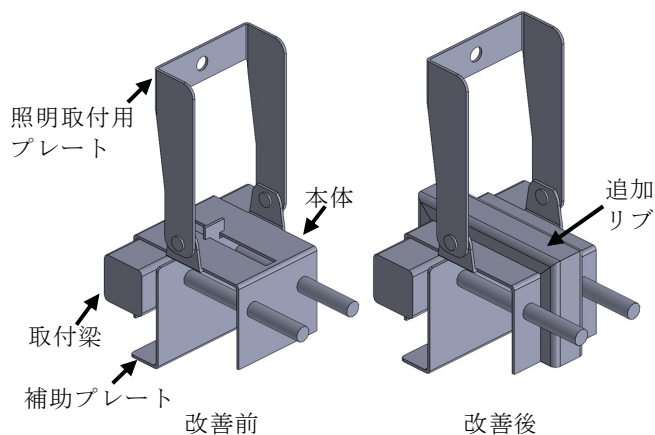


図4 ブラケット構造解析モデル

## 2-4 解析の検証

解析の精度検証のため、構造改善前後のブラケットの変位量を振動試験システムにて確認した。図5にブラケット変位実験の様子を示す。六面体加振治具にブラケットを固定し、六面体加振治具及びブラケット本体のボルトと直交に接合する部材の上下方向変位をレーザー変位計にて計測した。

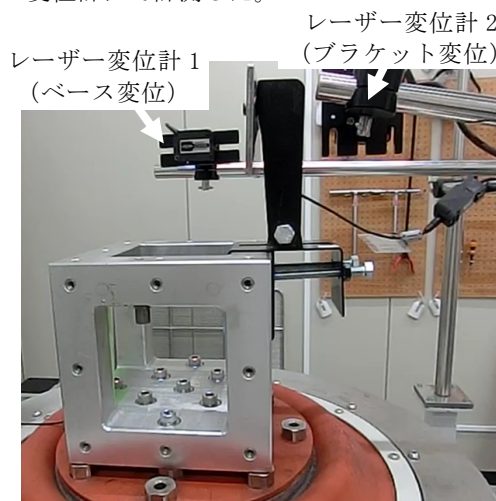


図5 ブラケットの変位実験

## 3 結果と考察

### 3-1 現場計測

図6に計測結果の一例を示す。段差通過時に加速度が大きくなっていることを確認した。

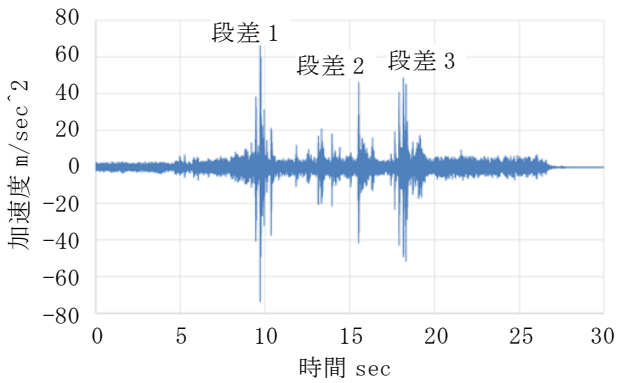


図6 振動計測結果

### 3-2 振動再現

振動再現試験の結果から、振動再現回数10万回以上でもブラケットが外れることがないことを確認した。

### 3-3 解析

解析の結果からボルトの緩みにくさを評価するため、ボルトに直交する本体部品の変位を出力した。図7にボルト直交部材の上下変位を示す。改善前の最大変位は3.2  $\mu$ mp-p, 改善後の最大変位は0.8  $\mu$ mp-pとなり、-76%変位が小さくなる結果となった。

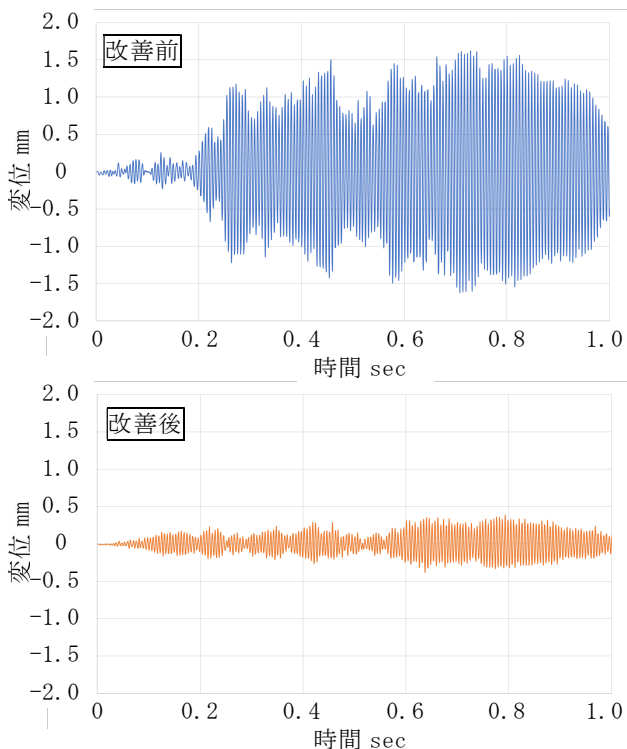


図7 ボルト直交部材の上下変位

### 3-4 解析の検証

図8に変位計測結果の一例を示す。ベースの変位に対して改善前と改善後の変位では、改善前の方が大き

くなっていることがわかった。

また改善前後のベース変位との標準偏差は、改善前が0.0792, 改善後が0.0287となり、63.8%標準偏差が小さくなる結果となった。これは解析における変位減ともおよそ一致する傾向を示したが、解析結果との統一的な比較となっておらず、評価手法については今後検討を行っていく予定である。

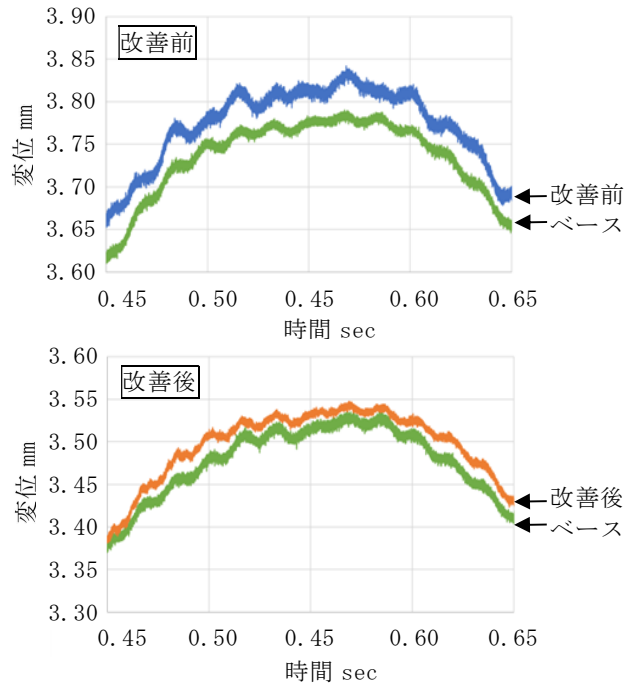


図8 変位計測結果例

## 4 まとめ

- 1) 和新工業株式会社のフォークリフト用ブラケットをサンプルに、現場における輸送時の振動を計測し、現場での時間と加速度を求めて、振動試験システムによる再現手法を蓄積した。
- 2) 現場の振動特性を条件として読み込み、高度解析システムを使用した構造解析によりブラケット固定ボルト周辺の定性的な変位の傾向を予測した。
- 3) 今後は、実験と解析の比較手法について改善を図ると共に現場の振動特性計測、振動試験システムによる再現及び高度解析システムによる評価の各プロセスの簡易化を検討する。

## 5 参考文献

- 1) JIS Z0200, 包装貨物-性能試験方法一般通則(2023)
- 2) JIS Z0232, 包装貨物-振動試験方法(2020)



# ふく射冷房パネルの流動可視化と熱交換量に関する研究

村田 顕彦\*1 山本 圭一朗\*1 大内 崇史\*1 岩寄 亨\*2

## Study on flow visualization and heat exchange rate of radiant cooling panels

Akihiko Murata, Keiichiro Yamamoto, Takafumi Ouchi and Toru Iwasaki

体育館など大型施設の室内空間を、ふく射と自然対流により温調する冷房パネルの設置が進んでいる。従来の冷房パネルよりも熱交換性能を向上させるために、CAEを活用した最適形状探索のニーズがあるが、CAEによる性能予測の妥当性を検証するためには、パネル周りの複雑な流れを可視化し、流動現象を把握する必要がある。そこで、当所に導入されている熱流体可視化システムを用いて、パネル周りに形成される流れを対象に粒子画像流速測定を実施し、CAEを用いた解析結果が、可視化実験の結果とおおよそ一致していることを確認した。また、CAEを用いてふく射冷房パネルを簡略化した鉛直平板を用いて、平板の全長を変化させた際の熱交換量の変化を調査した。

### 1 はじめに

体育館など大型施設向けに、ふく射冷房パネルの設置が進んでいる。通常のエアコンは、ファンによって強制的な対流を起こし、温度を調整する方式である。一方、ふく射冷房パネルは、ファンを使わず、ふく射と自然対流で温調する方式である。このため、ふく射冷房パネルには、ホコリ、ウイルスなどの飛散が生じにくい、バドミントンなどの風が問題になる競技に影響を与えないなどのメリットがある。

従来のふく射冷房パネルよりも熱交換性能を向上させるために、CAEを活用した最適形状探索のニーズがあるが、解析結果の妥当性を確認するためには計測を行う必要がある。当所では、これまで、機械装置の周囲又は内部に形成される流れ場を、レーザー光源及びカメラを用いた粒子画像流速測定（PIV：Particle Image Velocimetry）により、可視化する熱流体可視化システムを用いた研究を実施してきた<sup>1)</sup>。

本研究では、上記システムを用いて、パネル周りに形成される流れにPIVを実施し、可視化実験結果とCAEを用いた解析結果を比較評価した。また、ふく射冷房パネルを実際に設置する際の、効果的な配置を検討するために、ふく射冷房パネルを簡略化した鉛直平板を用いて、平板の全長を変化させた際の熱交換量の変化を調査した。

### 2 実験、解析方法

#### 2-1 ふく射冷房パネルの可視化実験と解析による検証

本研究で測定対象としたふく射冷房パネルを図1に、可視化実験の模式図を図2に示す。

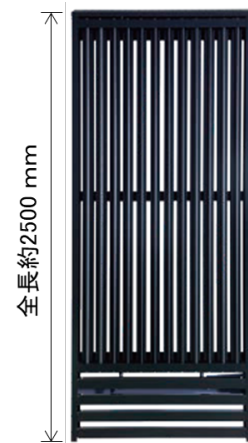


図1 ふく射冷房パネル（測定対象）

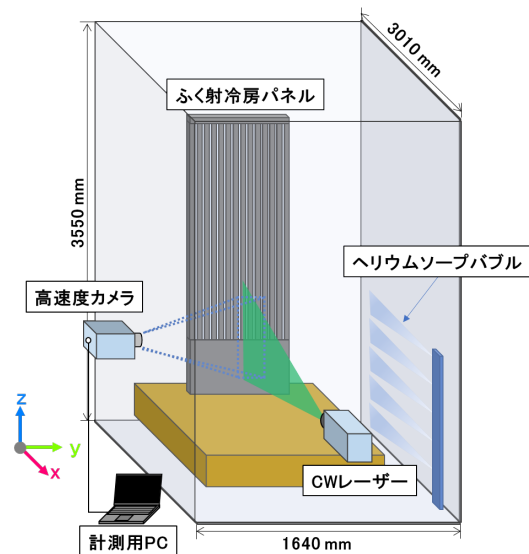


図2 可視化実験の模式図

\*1 機械電子研究所

\*2 株式会社エース・ウォーター

まず、暗幕で覆った可視化用の実験室内（幅：1640 mm，奥行き：3010 mm，高さ：3550 mm）にトレーサーを流量8 mL/hでおよそ5分間充填した。その後、ふく射冷房パネル前面から、CWレーザー（DPSS532-3W-CW）によってレーザーシートをパネルに対して垂直に照射し、可視化した気流を、パネルの側面から高速度カメラ（フォトロン社製：FASTCAM Nova S6）を用いて、撮影速度1000 Hzで1000枚（1秒間）撮影した。本測定では、トレーサーとしてヘリウムソーブバブル発生装置（LaVision社製）を用いて、複数のノズルから約300  $\mu\text{m}$ のシャボン玉<sup>2)</sup>を発生させた。可視化ソフトウェアとしてはDaVis10（LaVision社）を使用した。なお、実験時の室温は21  $^{\circ}\text{C}$ ，冷却水温度は9  $^{\circ}\text{C}$ であった。

上記の可視化実験との比較用解析モデルと解析範囲を図3に示す。ふく射冷房パネルは図1のように垂直な吸熱管とフィンを等間隔で並べた構造であるため、隣り合う吸熱管の中央で対称になると仮定して、本解析では、図3の右側に示すとおり、吸熱部1枚の半分を解析対象とした。解析範囲の横幅は、隣り合う吸熱管の中心間距離の半分である40 mmとし、高さは3550 mm，奥行きは3010 mmとした。乱流モデルにはAKN線形低レイノルズ数 $k-\epsilon$ モデルを使用した。境界条件は床面と背面を断熱面，解析領域の上面と前面は流体の出入りは無しの等温面（21  $^{\circ}\text{C}$ ），側面は対称面，ドレン部と台座は計算領域外とし，その表面は断熱面，ふく射境界条件はふく射率0.9とし，パネルの配管内部には温度9  $^{\circ}\text{C}$ ，管内熱伝達係数5000  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ を与えた。解析ソフトウェアにはscFLOW（ソフトウェアクレイドル社）を使用した。

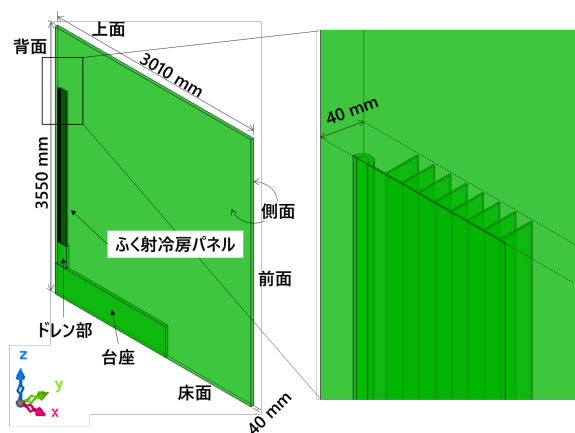


図3 ふく射冷房パネルの解析モデルと解析範囲

## 2-2 鉛直平板の全長と熱交換量の関係

本解析では、全長の影響を単純化して評価するために、ふく射冷房パネルの代わりに薄く長い鉛直平板を用いた。解析モデルと解析範囲を図4に示す。境界条件は床面と背面を断熱面，解析領域の上面と前面は、体育館のような広い空間に設置した場合を想定するために、空気（21  $^{\circ}\text{C}$ ）の出入りがある状態とし，平板表面は温度9  $^{\circ}\text{C}$ で固定した。平板底面と床面の距離を400 mmに固定した状態で，全長を200 mm～2000 mmの間で200 mmずつ変化させ，2次元解析を実施した。その他の条件は，2-1の条件と同様である。

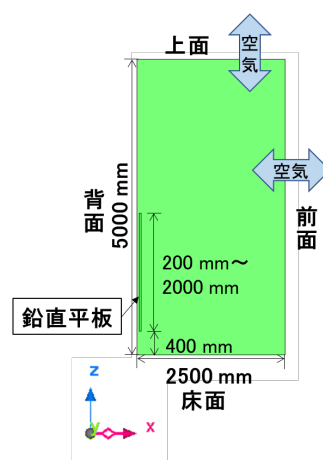


図4 鉛直平板の解析モデルと解析範囲

## 3 結果と考察

### 3-1 ふく射冷房パネルの可視化実験と解析による検証

ふく射冷房パネル前方周りの空気の流れのPIV結果を図5に，scFLOWの解析結果を図6に示す。それぞれ速度コンターとベクトルを示している。

PIVと解析ともに，パネルによって冷却された空気は，パネル上方から下方前面に流れており，流速もおおよそ一致していることを確認できた。

### 3-2 鉛直平板の全長と熱交換量の関係

鉛直平板の全長を変化させて解析した熱交換量の結果を図7に，単位長さ当たりの熱交換量を図8に示す。全長を長くするほど，熱交換量は増加するが，単位長さ当たりの熱交換量は減少していた。上部と比較し，下部では流速が速いため，局所熱伝達率は大きくなるが，それ以上に，平板と空気の温度差が縮小していることの影響が大きく，結果として局所熱流束が低下する。そのため，全長を長くしても熱交換量がそれほど増えず，単位長さ当たりの熱交換量が減少していると

考えられる。

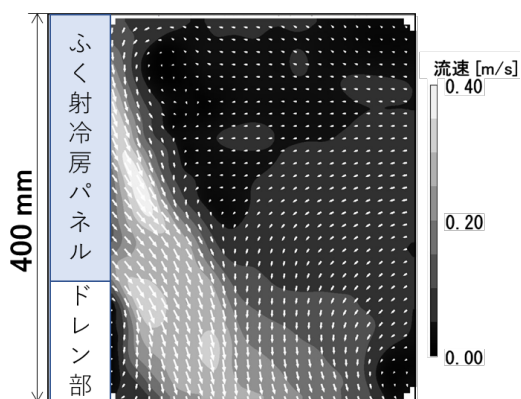


図5 PIV結果（速度コンターとベクトル，1秒間平均）

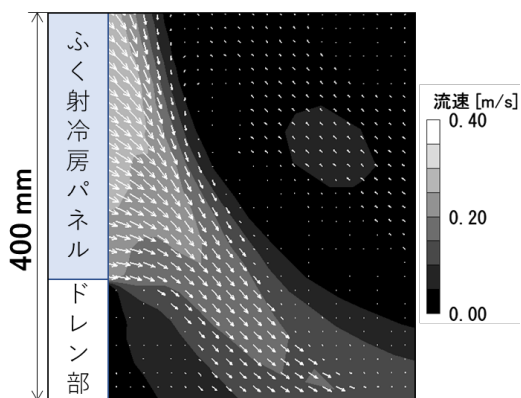


図6 scFLOW解析結果（速度コンターとベクトル，定常解析）

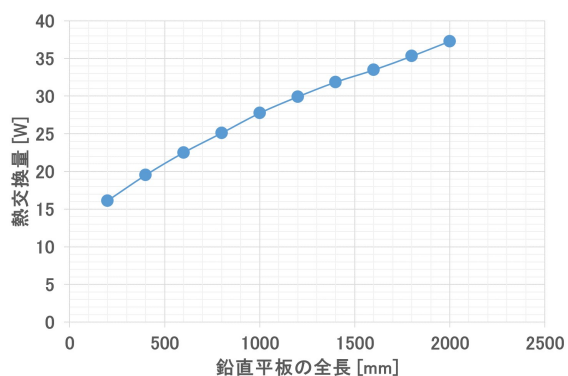


図7 鉛直平板の全長と熱交換量の関係

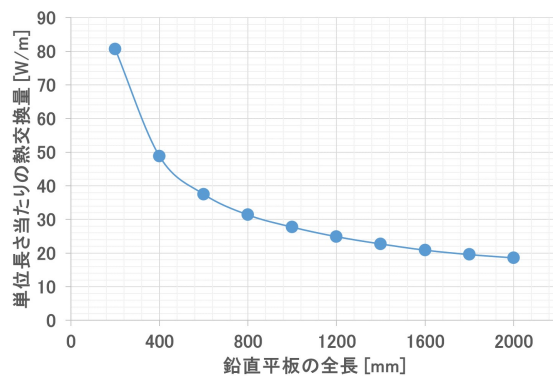


図8 単位長さ当たりの熱交換量の変化

#### 4 まとめ

ふく射冷房パネル周りの流れについて、熱流体可視化システムを用いて可視化し、PIVによって速度の空間分布を得ることができた。また、CAEを用いた解析結果が可視化実験結果とおおよそ一致していることを確認した。さらに、CAEを用いてふく射冷房パネルを簡略化した鉛直平板を用いて、平板の全長を変化させた際の熱交換量の変化を調査した。これらの結果は、ふく射冷房パネルを体育館などに設置する際の、効果的な配置の検討に活用していく。

#### 5 謝辞

本研究は、R1年度(公財)JKA補助物品熱流体可視化システムを用いて行った。

#### 6 参考文献

- 1) 村田顕彦：福岡県工業技術センター研究報告，No. 32，pp. 49-50(2022)
- 2) 一般社団法人可視化情報学会：PIVハンドブック（第2版），pp. 451（2018）

# 金属粉末射出成形材料におけるVOF法を用いた熱流体解析

山本 圭一朗\*1 田尻 智基\*1 中村 憲和\*2 谷川 義博\*1

## Computational Fluid Dynamics using VOF Method in Metal Powder Injection Molding Materials

Keiichiro Yamamoto, Tomoki Tajiri, Norikazu Nakamura and Yoshihiro Tanigawa

金属粉末射出成形 (Metal Injection Molding : MIM) は、ニアネットシェイプで製造プロセスにおけるコスト競争力強化に有効であり、更なる競争力強化には、射出成形時の流動を解析上で予測し、成形時のウェルド等の成形不良を事前に把握することが重要と考えられる。そこで、本研究では、MIM材料の射出成形時の流動解析を行うことを目的に、粘性係数を測定する装置を試作した。測定で得られた粘性係数をせん断速度と温度に依存するカラーモデルで近似し、VOF法による射出成形時の流動解析を行った。解析結果の最高充填圧力は144.3 MPaに対し、実測値は146.25 MPaであった。解析結果の方が実測値に対し、1.3 %低い値となったが、よく一致する結果が得られた。MIM材料の充填時の流動把握には、VOF法を用いた熱流体解析は有効な手法と考える。

### 1 はじめに

航空機部品に用いられるチタン合金等は、高価な材料であり、製造プロセスにおけるコスト競争力強化が重要となっており、原料ロスが少ないニアネットシェイプであるMIMが有効と考えられる。MIMで用いられる市販の材料(チタン合金, SUS304L等)は、図1のように、数mmサイズのペレットとして入手することができる。MIM材料は、成形時の熔融状態では非ニュートン流体であるため、流動特性を示す粘性係数はせん断速度に依存する。しかし、材料メーカより提示されるデータシートは、限られた条件下での粘性係数を示したものであり、流動解析を行う上で十分なデータが提供されていない。



図1 市販の金属粉末成形材料

そこで、本研究では、フローマスターによりMIM材料の粘性係数を測定するのではなく、装置を試作し、せん断速度や温度をパラメータとして粘性係数を取得

した。得られた粘性係数から流動解析を行うにあたって、MIM材料は金属粉末とバインダーを混合したものであり、離散要素法 (Discrete Element Method : DEM) と数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics : CFD) を連成させることで、射出成形時の金属粒子の分布を予測できる可能性が考えられることから、樹脂流動解析ソフトウェアではなく、熱流体解析ソフトウェアを使用した。使用する熱流体解析ソフトウェアは、粘性係数を温度もしくはせん断速度のどちらか一方の依存性しか考慮できなかったため、ソフトウェアのカスタマイズを行い、VOF法 (Volume of Fluid 法)<sup>1)</sup>を用いて、射出成形時の流動解析を行い、成形実験の最高充填圧力との比較を行った。

### 2 研究, 実験方法及び解析方法

#### 2-1 粘性係数の測定

試作したMIM材料の粘性係数を測定する装置を図2に示す。

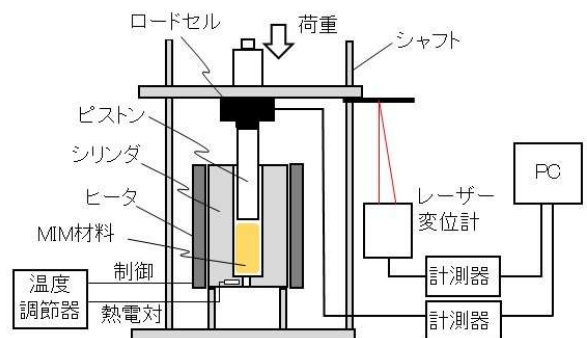


図2 試作した粘性係数測定装置構成

\*1 機械電子研究所

\*2 株式会社久留米リサーチ・パーク

シリンダの周囲に取り付けたヒータで加熱し、測定温度に到達した後、シリンダ内にMIM材料を入れ、荷重をかけた外径6 mmのピストンで、直径1 mm、厚さ1 mmのダイより、MIM材料を押し出す。その際の荷重をロードセルで測定し、ピストンの変位をレーザー変位計で測定した。測定では、図3のように、荷重と変位が時間とともに変化する。荷重が安定し、変位の傾きが一定となった範囲を測定データとして用いた。

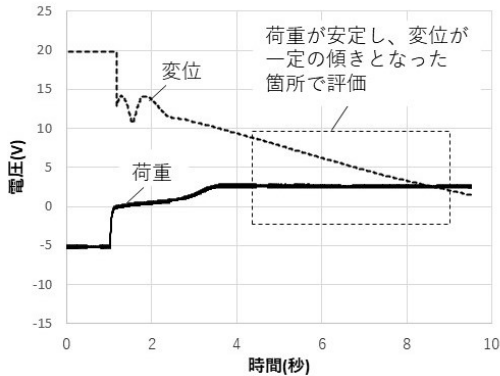


図3 測定時の変位と荷重の時間変化

ロードセルで測定した荷重及びシリンダ径と変位から容積流量を求め、式(1)、式(2)を用いてせん断応力、せん断速度を算出し、粘性係数を式(3)にて見積もった。

$$\tau = \frac{Pd}{4L} = \frac{Fd}{4LS} \quad (1)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi d^3/8} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (3)$$

ここで、 $\tau$ はせん断応力[Pa]、 $\dot{\gamma}$ はせん断速度[1/s]、 $P$ は圧力[Pa]、 $d$ はダイの直径[mm]、 $L$ はダイの長さ[mm]、 $F$ はピストンの荷重[N]、 $S$ はシリンダの断面積[mm<sup>2</sup>]、 $Q$ は容積流量[mm<sup>3</sup>/s]、 $\mu$ は粘性係数[Pa·s]である。

測定対象は、SUS304LのMIM材料とし、温度、荷重を変えて測定を行った。

## 2-2 熱流体解析による流動解析方法

MIM材料の流動解析を行う熱流体解析ソフトウェアには、scFLOW V2022.1 (ソフトウェアクレイドル社)を用いた。粘性係数は式(4)のカローモデル<sup>2)</sup>を用いることとし、粘性係数の式を、ユーザー関数として作成し、出力されたDLLファイルをソルバー計算時に

読み込むことで、温度とせん断速度に依存した粘性係数が扱えるように、カスタマイズを行った。

$$\mu = \frac{\mu_0 e^{-b(T-T_r)}}{[1 + (\lambda\dot{\gamma})^2]^{\frac{1-n}{2}}} \quad (4)$$

ここで、 $\mu$ は粘性係数[Pa·s]、 $\dot{\gamma}$ はせん断速度[1/s]、 $\mu_0$ は $\dot{\gamma}=1$ のときの標準粘性係数[Pa·s]、 $b$ は温度定数[1/°C]、 $T$ はMIM材料の温度[°C]、 $T_r$ は参照温度[°C]、 $\lambda$ は時間パラメータ[s]、 $n$ は流れ指数である。せん断速度 $\dot{\gamma}$ は、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向の流速をそれぞれ $u$ 、 $v$ 、 $w$ を用いて、式(5)、(6)となる。

$$\dot{\gamma} = \sqrt{\Pi} \quad (5)$$

$$\Pi = 2 \left\{ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right\} + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \quad (6)$$

MIM材料を変更した場合の解析に対応するため、カローモデルの係数 $\mu_0$ 、 $T_r$ 、 $b$ 、 $\lambda$ 、 $n$ については、scFLOWのプリプロセッサにおける粘性係数の入力画面により、任意に入力できるようにした。

次に、カローモデルを用いた粘性係数の近似式を用いて、MIM材料の射出成形時の流動解析を行った。解析モデルは、図4に示す成形実験でMIM材料が流れる流路とした。成形実験は、JIS Z 2551「金属粉末射出成形材料—仕様」のB型引張試験片を成形するものであり、射出成形機には、(株)ソディック製TR20EHVを用いた。

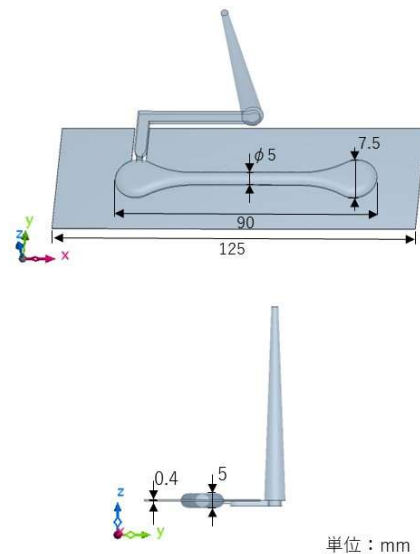


図4 解析モデル (上:斜視図, 下:側面図)

成形実験での成形条件をもとに、解析条件の設定を行った。実験での射出成形では、充填完了直前に射出



速度を下げているが、解析では、射出速度の設定値から流量に換算した一定流量 $3.016 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ とし、射出温度は $190 \text{ }^\circ\text{C}$ とした。解析領域は、MIM材料が充填されるキャビティのみとし、成形時の金型温度は $60 \text{ }^\circ\text{C}$ であることから、キャビティ表面に $60 \text{ }^\circ\text{C}$ を与え、熱伝導により解析領域外へ熱移動するとした。MIM材料の充填挙動を解析するため、非定常のVOF法を用い、せん断発熱を考慮する条件とした。気相は非圧縮の空気、液相はバインダーが35 vol%，SUS304Lの金属粉末が65 vol%から構成されるものとし、液相の密度はバインダーと金属粉末の体積平均である $556 \text{ kg}/\text{m}^3$ とした。液相の熱伝導率と比熱は、フラッシュ法（ネッチ製LFA447）にて常温で測定した $2.9 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、 $591 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ を用いた。パーティング面から空気を逃がすこととし、一般的なエアベント隙間である $10 \text{ }\mu\text{m}$ 程度の流路<sup>3)</sup>にて解析を行うと、その隙間により、クーラン数の観点から時間刻みを小さく取ることになり、解析に時間を要することになる。そこで、パーティング面に厚さ $0.4 \text{ mm}$ の流路を設け解析を行った。キャビティ部分は、メッシュサイズ $1 \text{ mm}$ のポリヘドラルメッシュで分割し、境界層は $0.2 \text{ mm}$ 、変化率 $1.1$ で3層とした。パーティング面の厚さ $0.4 \text{ mm}$ の流路には厚さ方向に3層の薄板状のメッシュを挿入した。

### 3 結果と考察

#### 3-1 粘性係数の測定結果

SUS304LのMIM材料を測定した結果を図5に示す。横軸にせん断速度、縦軸は粘性係数である。測定結果をもとに、式(4)のカローモデルの各係数を、エクセルのソルバー機能を用いたフィッティング<sup>3)</sup>により求めた値も併せて示す。

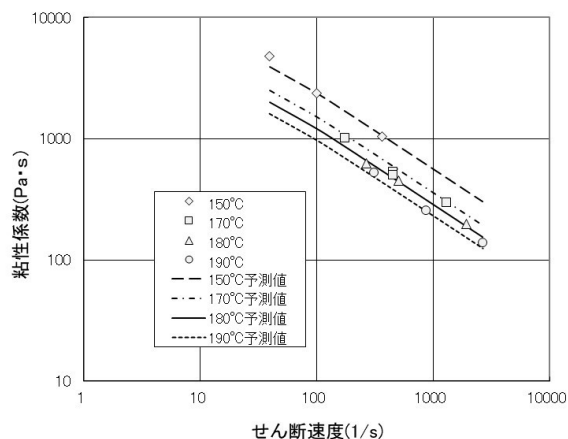


図5 SUS304LのMIM材料の測定結果

#### 3-2 熱流体解析による流動解析結果

射出成形時における流動先端の解析結果を図6に示す。液相率0.5の表面を流動先端として示したものであり、射出開始より0.050秒、0.075秒、0.100秒、0.125秒後の流動先端の流動状況と表面温度を示す。

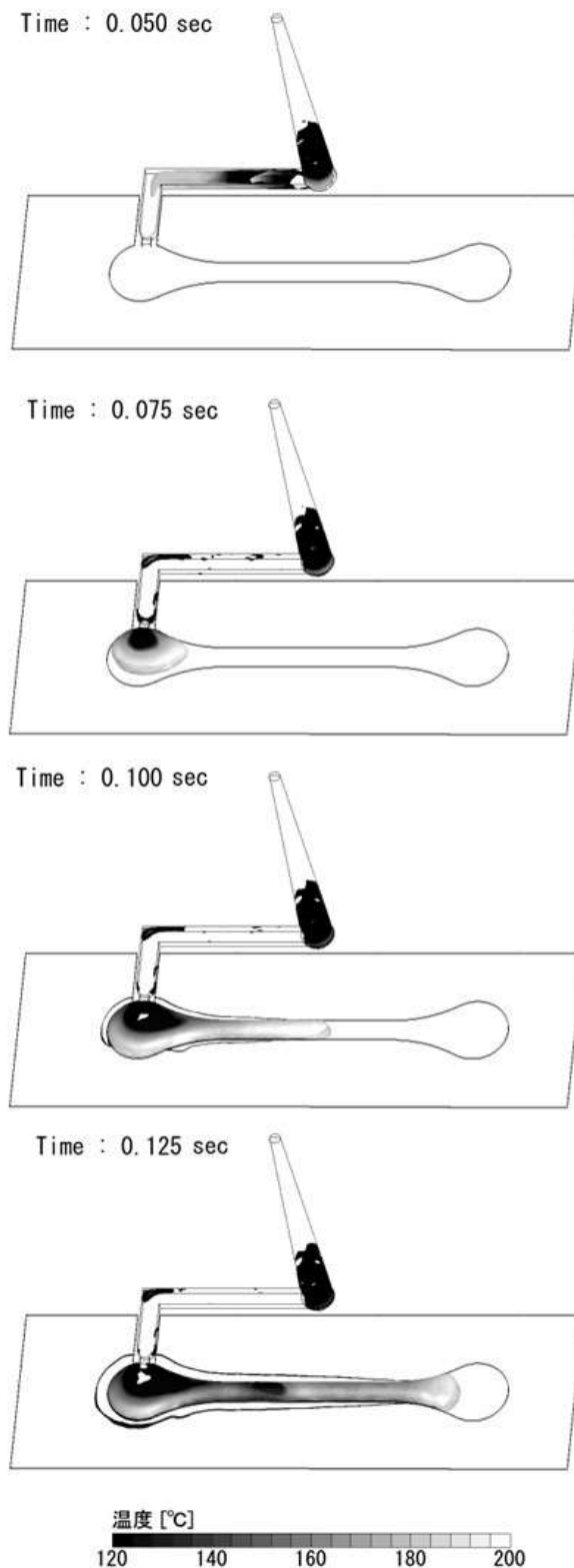


図6 解析における流動先端の状況と表面温度（上から0.050秒、0.075秒、0.100秒、0.125秒後）



MIM材料は金型の壁面に触れ、冷却されることで金型壁面近傍の粘性係数が高くなり、スキン層が形成されたような流動が模擬され、後から流れてきたMIM材料は、壁面の粘性係数が高い層間を通過し、流動先端は高温を維持したままの流動となっている様子が確認できた。

次に、流動解析結果の入口圧力の時間変化を図7に示す。解析での充填が完了した時点の圧力は159.1 MPaとなり、実測の最高充填圧力146.25 MPaに対して、8.8 %高い結果となった。成形実験では、充填完了に近づくと射出速度を下げているため、解析では、充填完了直前の時間に対する圧力の傾きが変わる0.135秒を最高充填圧力とすると、144.3 MPaとなり、実測に対し-1.3 %と、よく一致する結果が得られたと考える。

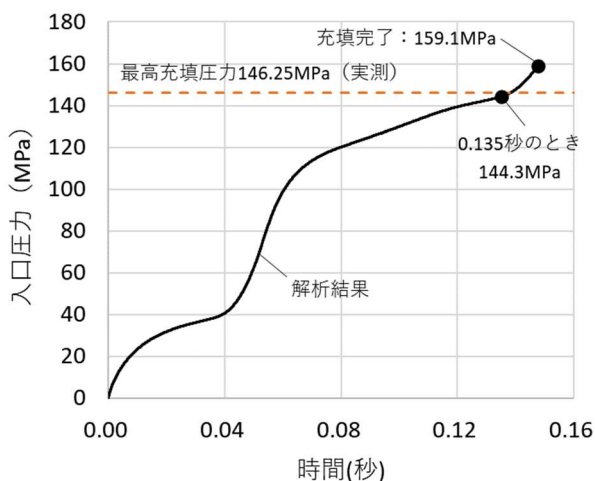


図7 成形時の圧力と解析結果の比較

#### 4 まとめ

試作した粘性係数測定装置により、粘性係数を測定した。得られた粘性係数を近似するカラーモデルが扱えるよう、熱流体解析ソフトウェアのカスタマイズを行った。VOF法を用いて射出成形時の流動解析を行い、最高充填圧力の解析結果は144.3 MPaに対し、実測は146.25 MPaとなり、解析の方が1.3 %低いものの、よく一致する結果となった。MIM材料の充填時の流動を把握するためには、VOF法を用いた熱流体解析は有効な手法と考える。今後は、金属粉末粒子の挙動を解析できるよう、解析手法の構築に取り組んでいき、熱流体解析により、成形時の成形不良を事前に把握することを目指していく。

#### 5 参考文献

- 1) C.W. Hirt et al. : Journal of Computational Physics, Volume 39, pp. 201-225 (1981)
- 2) 吉川秀雄 : エクセルによる樹脂流動解析, pp. 18-25, 東京図書出版(2014)
- 3) 伊藤 英樹 : 新人製品設計者と学ぶ プラスチック金型の基礎, pp. 135, 日刊工業新聞社(2011)

# カイゼンDXツール「YokaKit」の開発

田口 智之\*1 渡邊 恭弘\*1 林 宏充\*1 中野 貴敏\*2 角 剛志\*2 井上 隼佑\*3

## Development of Kaizen DX Tool YokaKit

Tomoyuki Taguchi, Yasuhiro Watanabe, Hiromitsu Hayashi, Takatoshi Nakano, Takeshi Sumi and Shunsuke Inoue

中小企業製造業では、生産性向上のためにデジタルツールを活用したDX化が求められている。しかし、DX化にはIoT技術が必要であり、高額な初期費用やIoT技術に関する知識不足等がデジタルツール導入の障壁となっている。本研究では、多くの中小企業で活用可能なデジタルツール「YokaKit」を開発した。本ツールは、製造業のDX化に向けたスタートアップのための生産進捗管理システムであり、生産数・サイクルタイム・稼働率等の指標を可視化し、設備の異常をアンドン表示することが可能である。本ツールのソフトウェアをオープンソースとして無償で利用可能とし、ツールの導入を希望する企業への配布・展開体制を構築することで、DX化に必要な障壁が低減され、カイゼンによる生産性向上につながることを期待できる。

### 1 はじめに

近年、日本においては少子高齢化が進展しており、労働人口が減少するという問題が指摘されている。2050年にはこれまで10人で行っていた業務を、約7人でこなさなければならない状況に陥ることが予想<sup>1)</sup>されている。この状況に対応するためには、デジタル技術を活用して業務を効率化することが必要不可欠であり、デジタルツールを活用したDX化による生産性の向上が求められている。製造業のDX化にはIoT技術が必要であるが、初期費用が高い・何から始めたら良いかわからない等を理由に、IoT技術を活用できていない企業が多い。特に中小企業においては導入が進んでおらず、導入予定をも含めても3割弱に留まる<sup>2)</sup>。

そこで、機械電子研究所では、県内中小企業がIoTを気軽にはじめることができるための支援ツールとして小型コンピューターであるRaspberry Pi をベースとした「IoT 導入支援キット」<sup>3)</sup>を開発した。これにより、各種センサーによる生産設備のセンシングが可能となった。一方、(公財)北九州産業学術推進機構と(株)戸畑ターレット工作所は、トヨタ生産方式<sup>4)</sup>の考えを取り入れた生産進捗管理システム「HiBiKit」<sup>5)</sup>を共同開発した。本研究では、さらなる生産性の向上に向けて、「HiBiKit」と「IoT導入支援キット」を連携させ、機能を強化したカイゼンDXツール

「YokaKit」を開発した。本ツールは、生産進捗の管理や、設備の異常通知が可能な、製造業のDX化に向けたスタートアップツールである。本報告では「YokaKit」の仕様及び配布・展開について述べる。

### 2 カイゼンDXツール「YokaKit」

#### 2-1 概要

カイゼンDXツール「YokaKit」は、生産状況をグラフで視覚的に確認でき(図1)、複数の生産装置の状況を把握することで、生産現場の改善に役立て、生産ライン全体のカイゼンをすることができるシステムである。設備に異常が発生したことを早急に知らせるためのアンドン画面(図2)を備えるとともに、生産ラインの担当者のPCやスマートフォンへSlackにより通知する機能を備えており、異常が発生した際に迅速に対応を行うことが可能である。

また、本ツールはユーザーの管理機能を備えており、ユーザー毎にアカウントを作成し、権限を付与することができる。これにより、管理者は全ての機能を使用できるが、作業者は必要最低限の機能しか使用できないように制限され、不正な操作を防止することができる。

さらに、本ツールはGUIによるシステムのパラメーター設定や確認が可能である(図3, 図4)。設定項目は多岐にわたり、管理者や作業者が簡単に設定をすることが可能であり、システムでは入力パラメーターの不正チェックを行いデータの矛盾を回避している。

\*1 機械電子研究所

\*2 株式会社戸畑ターレット工作所

\*3 株式会社ちよっとメーション

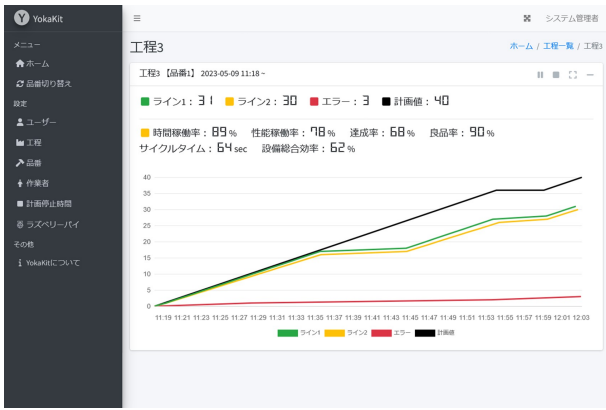


図1 生産進捗画面



図2 生産ラインのandon表示画面



図3 生産する品番と作業者の切り替え画面



図4 工程毎の生産ライン管理画面

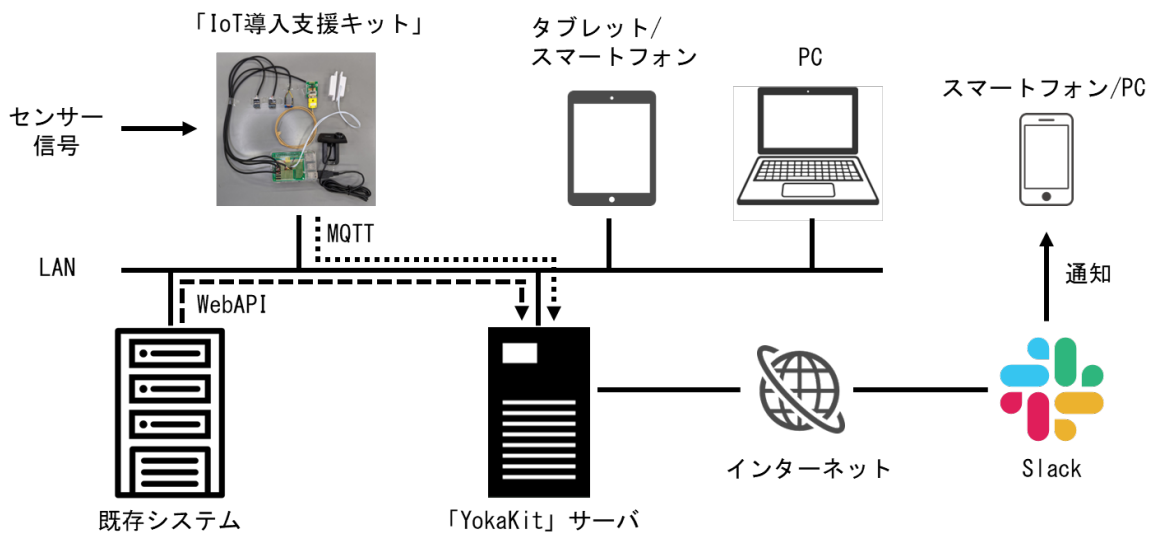


図5 システム構成

## 2-2 機能

システム構成を図5に示す。本ツールは1台のサーバーPCにインストールし、同一ネットワーク内に接続されたPCやタブレット・スマートフォンのWebブラウザから生産状況の閲覧・パラメーターの設定・製造する品番の切り替え等が可能である。

本ツールは生産設備のリレーからON/OFFが変化する信号を取り出しサーバーへ通知することで、製品の生産状況を記録している。また、「IoT導入支援キット」に取り付けられた温度センサーや照度センサーを活用して、生産設備のモーター温度やシグナルタワーの点灯を監視し、異常が発生した場合に同様にサーバーへ

通知することで、アンドン画面への表示やSlackによる通知も可能となる。

サーバーへの通知にはTCP/IP通信の一種であるMQTT通信を使用しており、製品の生産数・異常信号・時刻等を送信している。本ツールにはMQTTブローカー及びWebSocketサーバーを構築しており、記録された生産状況や設備の状態を同一ネットワーク内のPC・タブレット・スマートフォンへWebSocket経由で通知することで、Webブラウザからリアルタイムで生産状況の確認が可能である。生産進捗画面では、生産数のグラフ表示とともに、生産時のサイクルタイムや稼働率などの指標を可視化し、生産設備の稼働状況をアンドン画面で確認することが可能である。

また、本ツールが既存のシステムと連動する上で使用されることも想定し、設備の生産状況を外部から取得・設定可能なWebAPIを備えている。その場合、事前にWebAPI用のトークンを発行し、そのトークンをHTTP通信ヘッダーに付与することで、不正なユーザーによる使用を防ぎつつ、アカウントを持つユーザーがWebAPIを利用可能となる。

### 2-3 ソフトウェア構成

構成するソフトウェアを表 1 に示す。本ツールはPHPの開発環境であるXAMPPを使用し、WebアプリケーションフレームワークのLaravelを採用している。Laravelは、PHPを使用したWebアプリケーション開発に便利な機能をまとめたものであり、効率的な開発が可能である。ユーザーの認証機能や入力パラメーターの不正のチェック機能もLaravelに含まれる。

また、本ツールではMQTTブローカーの構築やWebSocketサーバーの起動・監視といったOS毎に異なる処理が必要な仕組みを、Node-REDで共通化している。

### 2-4 ソフトウェアライセンス

カイゼンDXツール「YokaKit」はオープンソースソフトウェアを使用して構成されており、本ツール自身もオープンソースソフトウェアライセンスの一種であるApache License, Version 2.0<sup>6)</sup>を適用しているため、誰でも無償で使用でき、改変・再配布・商用利用が可能である。

表1 主なソフトウェア構成

項目	ソフトウェア
開発環境	XAMPP (8.1.6)
	Node-RED (3.0.1)
DB	MariaDB (10.4.24)
フレームワーク	Laravel (9.52.5)
ライブラリ (Laravel)	jeroennoten/laravel-adminlte
	beyondcode/laravel-websockets
	pusher/pusher-php-server
	php-mqtt/laravel-client laravel/slack-notification-channel
ライブラリ (Node-RED)	node-red-contrib-aedes
	laravel-echo laravel-mix axios bootstrap
ライブラリ (Webブラウザ)	chart.js
	jquery
	moment
	pusher-js
	slick
	toastr

### 2-5 インストーラー

システムを管理するユーザーが高度なITスキルを所持していない場合、システムに必要なソフトウェアやライブラリを自身でインストールし実行環境を構築することは非常に困難である。そこで、本ツールの動作に必要なソフトウェア・ライブラリのインストールに加え、開発資源の配置や自動起動等の環境設定を自動で行うインストーラーをRaspberry Pi OS用とWindows OS用に開発した。

Raspberry Pi OS用のインストーラーは、汎用プログラミング言語であるシェルスクリプトで開発し、Windows用のインストーラーは、Windows標準環境で使用できるバッチスクリプトで開発した。サーバーのOSがWindowsではなくLinuxで稼働する場合、開発したイ

ンストーラーはLinux (Debian) で動作する仕様で開発されているため、本インストーラーをそのまま転用可能である。インストール用のスクリプトをダブルクリックすることですべての作業が完了するため、容易にインストールすることが可能である。

### 3 配布・展開

カイゼンDXツール「YokaKit」は、製造業のDX化に向けたスタートアップツールとして広く普及に務める。福岡県工業技術センターでは、ホームページにて本ツールを公開するとともに、本ツールを使用するためのセミナーの開催や個別のレクチャーを通して、企業自身が本ツールを導入するための支援を実施する。

また、(株) 戸畑ターレット工作所では、本ツールの導入支援だけでなく、現場のカイゼンまで深く踏み込んだコンサルタントを行うビジネスを展開する。

さらに、(株) ちよつとメーションでは、本ツールを企業自身の業務に合わせた機能追加や修正を希望する企業に対してカスタマイズを行うビジネスを展開する。

### 4 まとめ

生産数・サイクルタイム・稼働率等の指標を可視化でき、DX化に向けたスタートアップツールである「YokaKit」を開発した。本ツールは製造業の生産現場において、生産状況の把握や異常対応、生産ライン全体の効率化に貢献することができるツールである。また、オープンソースソフトウェアライセンスを付与しており無償で使用可能であるため、DXを手軽に始める第一歩としてのツールとして、多くの企業でのカイゼンが期待できる。

### 5 文献

- 1)内閣府：令和4年版高齢社会白書，内閣府(2022)  
(オンライン) <https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/zenbun/pdf/mokuji.pdf> (参照2023-03-31)
- 2)総務省：令和3年通信利用動向調査，総務省(2023)  
(オンライン) [https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/220527\\_1.pdf](https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/220527_1.pdf) (参照2023-03-31)
- 3)渡邊恭弘，林宏充，田口智之，川畑将人：福岡県工

業技術センター研究報告，No.32，pp.59-62

- 4)トヨタ自動車(株)：トヨタ生産方式，トヨタ自動車(株)(2016)(オンライン) <https://global.toyota/jp/company/vision-and-philosophy/production-system/> (参照2023-03-31)
- 5)(公財)北九州産業学術推進機構：生産進捗管理システムHiBiKit，(公財)北九州産業学術推進機構(2020)(オンライン) <https://www.ksrp.or.jp/fais/mic/news/727d6879b570cec95beaee99f142aaf5.Pdf> (参照2023-3-31)
- 6)The Apache Software Foundation: Apache License, Version 2.0, The Apache Software Foundation(2004)(オンライン) <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0> (参照2023-03-31)

学協会誌  
掲載論文の概要





# 電磁膜厚計による粗面基材上での膜厚測定

古賀 義人\*<sup>1</sup>

## Measurement of Thickness on Rough Substrate by Electromagnetic Thickness Gauge

Yoshito Koga\*<sup>1</sup>

一般に電磁膜厚計は溶射皮膜、塗膜などの品質管理に多用されている。このとき基材が平滑であれば比較的正確な測定が手早く行えるが、粗い基材の上では誤差が生じる。本研究ではこの誤差の状態を明らかとするために、粗い基材上で電磁膜厚計による測定を行い、この測定結果からヒストグラム、散布図、回帰直線、予測区間を求めた。粗い基材上の測定値の分散は表面粗さRaとある程度の相関を持つとともに、基材と電磁膜厚計の測定素子の間にスペーサを挟んだ場合の測定値は回帰直線周辺の予測区間付近に分布することが確認できた。

### 1 はじめに

電磁膜厚計は簡便に比較的正確な膜厚が測定可能であるため、溶射皮膜、塗膜などの広い分野で利用されている。しかし、基材に凹凸がある場合はその影響を受けて、測定値がばらつくとともに、本来の膜厚からずれた値を示すことが知られている<sup>1),2)</sup>。このため、ISO 19840には塗膜を測定する際の補正方法が規定されている。しかし、この補正の根拠になる文献は明示されておらず、また、測定値がどのような分布を示すのかななどの情報も確認できない。そこで本研究では、軟鋼板にブラスト処理による粗面化を施し、この粗面上での電磁膜厚計の挙動を調査した。

### 2 実験方法

試料として軟鋼板SS400 (70 mm×50 mm×6 mm)を4枚準備し、表面を鏡面研磨およびスチールグリッドによるブラスト処理した。表1に各試料のブラスト処理条件と試料表面粗さを示す。表面粗さはミットヨ社製SURFTEST SJ-310において先端角度60°、先端径2 μmの触針を用い、速度0.5 mm/sec、カットオフλ<sub>c</sub> 2.5 mm、λ<sub>s</sub> 8 μmの条件で、評価長さ2.5 mm×5 (区間数5)を1回として20回の測定を行い、平均値と標準偏差(SD)を示した。この後、平滑な軟鋼板で校正を行った電磁膜厚計(Defelsko社製,PosiTector®6000)を用いて各鋼板に直接電磁膜厚計のプロープを当てた状態で膜厚測定を行った。測定に用いた電磁膜厚計はJIS H 8401の電磁式測定装置(単極式)に相当する装置で、

先端部の直径が28 mmのプロープを用いて測定を行った。このとき試料の縁からプロープがはみ出ない様に測定を行うために測定は軟鋼板の中央部直径22 mmの円の範囲内で無作為に126点で測定することを1セットとして実施した。

表1 ブラスト条件と軟鋼基材の表面粗さ

試料	ブラスト材	空気圧 [MPa]	表面粗さ Ra [μm]
a	(鏡面研磨)	—	0.016
b	スチールグリッド#50	0.1	4.00
c	スチールグリッド#70	0.5	11.0
d	スチールグリッド#70	0.6	18.4

### 3 実験結果

試料a~dのスペーサを設置しない状態で膜厚測定した結果のヒストグラムを図1(a-d)に示す。また、このデータを元に、横軸を表面粗さRa、縦軸を膜厚計の測定値とした散布図を図2に示す。この図2の散布図において通常のプロットを用いると測定点の重なりにより測定点の分布が確認しにくいことから、点を直接プロットするのではなく、一旦バイオリンプロット<sup>3)</sup>したのち、この確率密度を示す図形を散布図に配置した。なお、バイオリンプロット中に示されている白点は各試料の測定値の平均値である。図1,2より各試料での測定値は、表面粗さが粗いほど平均値が上昇するとともに、測定値の分散も大きくなることが判る。Raと測定値の相関係数はr=0.903であり、明確に相関は認め

\*1 機械電子研究所

られるものの、散布図を見る限りRaから測定値を予測するのは困難であり、試料a～dの電磁膜厚計による測定値は表面粗さRa以外の要因も影響していると思われる。

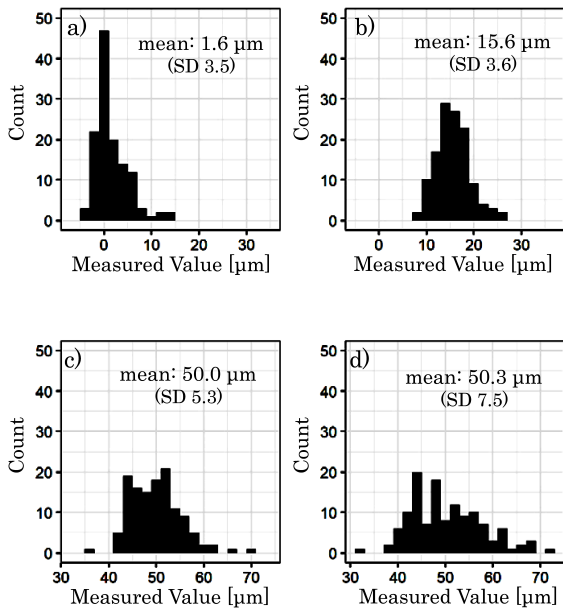


図1 電磁膜厚計による測定値のヒストグラム  
a) 試料a, b) 試料b, c) 試料c, d) 試料d

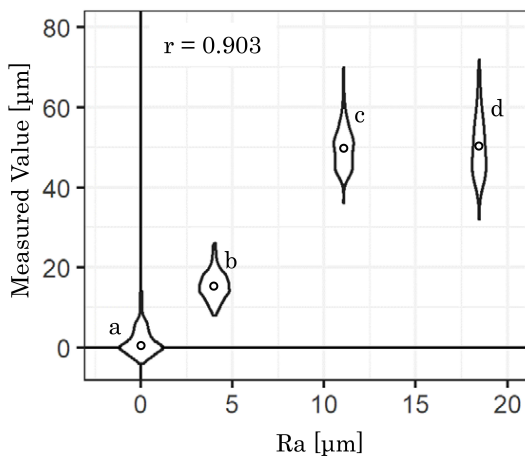


図2 表面粗さと電磁膜厚計による測定値の散布図

#### 4 まとめ

ブラスト処理した軟鋼板表面でスペーサを挟んだ状態で電磁膜厚計による測定を行い、電磁膜厚計の示す値とスペーサ厚さの関係から以下の結論を得た。

- 1) 電磁膜厚計を用いて、ブラスト面上で膜厚測定を行った場合、本来の膜厚よりも大きな値が得られ、

その本来の膜厚との差は基材の表面粗さと相関がある。

- 2) 測定により得られた値と膜厚として想定される値の差は一定ではなく、分散を伴う。

#### 5 文献

- 1) 栄幸雄, 原田良夫: 塗膜膜厚精度に関する研究, 金属表面技術, 9, 11(1958), pp. 416-421.
- 2) I. C, Sellars: The Dangers of Single-Point Calibration for Electronic Coating Thickness Gauges, Metal Finishing, 93, 7(1995), pp. 26-28, 30
- 3) Winston Chang 著, 石井弓美子, 河内崇, 瀬戸山雅人, 古島敦 訳: Rグラフィッククックブック, (株)オライリー・ジャパン(2013), pp. 138-141

#### 6 掲載論文誌

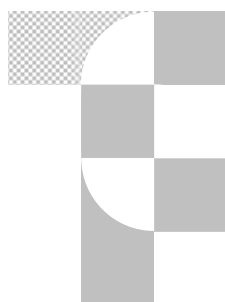
- 日本溶射学会誌 溶射 59, 4(2022), pp. 237-239



## 連絡先

研究報告の内容の他、技術的な課題は各研究所【技術総合支援室】までお問い合わせください

福岡県工業技術センター	
企画管理部 (情報交流課)	〒818-8540 筑紫野市上古賀 3-2-1 代表 TEL:092-925-7721 【問合せ TEL:092-925-5977】 FAX:092-925-7724
化学繊維研究所 (技術総合支援室)	〒818-8540 筑紫野市上古賀 3-2-1 代表 TEL:092-925-7721 【問合せ TEL:092-925-7402】 FAX:092-925-7724
生物食品研究所 (技術総合支援室)	〒839-0861 久留米市合川町 1465-5 代表 TEL:0942-30-6644 【問合せ TEL:0942-30-6213】 FAX:0942-30-7244
インテリア研究所 (技術総合支援室)	〒831-0031 大川市上巻 405-3 代表 TEL:0944-86-3259 【問合せ TEL:0944-86-3259】 FAX:0944-86-4744
機械電子研究所 (技術総合支援室)	〒807-0831 北九州市八幡西区則松 3-6-1 代表 TEL:093-691-0260 【問合せ TEL:093-691-0231】 FAX:093-691-0252



<https://www.fitc.pref.fukuoka.jp/>

ISSN 0916-8230

### 福岡県工業技術センター研究報告

No.33 (2023)

令和5年10月発行

発行：福岡県工業技術センター  
〒818-8540 福岡県筑紫野市上古賀 3-2-1  
TEL 092-925-5977 FAX 092-925-7724

印刷：株式会社ジェイ・ピー



無断複写・転載を禁じます。