

ISSN 1883-2350

CODEN : SKGKBP

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE
No.11 OCTOBER 2018

静岡県工業技術研究所研究報告

第 11 号
平成30年10月

静岡県工業技術研究所
静岡市葵区牧ヶ谷2078番地

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE
2078 Makigaya, Aoi-ku, Shizuoka city, Shizuoka, 421-1298 Japan

目次

静岡県工業技術研究所（静岡）

I 報 告

1	ドイツ・フラウンホーファー研究機構調査報告 ー研究マネジメントおよび人材開発ー鈴木敬明	1
2	オーダーメイドマットレス設計に活用できる人体体幹部質量測定手法の検討船井 孝、袴田恭正、前嶋文明、横田秀夫	6
3	回折レンズを用いた投影光学系における色収差の評価志智 亘	11
4	レンズ表面上の微細構造が投影像の鮮明度を与える影響豊田敏裕、鈴木敬明	15
5	樹脂製積層造形器物を対象とした非接触三次元測定機の精度評価柳原 亘	20
6	ビッグデータ分析技術に関する研究 ー農業関連データの活用法検討ー岩崎清斗、望月建治、斉藤和巳	26
7	醤油醸造に向く微生物の選抜と醤油の試作袴田雅俊、松野正幸、油上 保、鈴木邦明	30
8	釜揚げシラス缶詰試作品の保存における品質変化渡瀬隆也、三宅健司、袴田雅俊、油上 保、松村英功	37
9	CTC製法を利用した食品・飲料原料用に特化した緑茶の開発浅沼俊倫、三宅健司、油上 保、杉山甲斐、九島祥弘	43
10	食品加工バンドソー用グローブの開発 ー保護部分の設計ー小松 剛、大賀久美、易 強、多々良哲也、塚本富雄、小口郁哉、宮田なつき	48
11	セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化 ー化粧品への利用ー石橋佳奈、山下里恵、前田研司、上野千恵	52

Ⅱ 研究ノート

- 1 プラスチックペレットに適した水分測定法の検討
ーカールフィッシャー測定法の適用事例ー
.....本間信行、田邊賢二 57
- 2 顕微赤外分光イメージングを用いた樹脂製品の評価
.....菅野尚子、渥美博安 59
- 3 地域食材を活用しイミダゾールジペプチドとカルシウムを強化した食品の開発
.....渡瀬隆也、三宅健司、油上 保、本多 真、前田幸生、秋山 衛、原 藤晃 61
- 4 イヌリン配合ヨーグルトソースの開発
.....松野正幸、浅沼利倫、渡瀬隆也、池ヶ谷篤、新井映子、原健二郎、小鍋彰久 64
- 5 水産加工工場排水のメタン発酵
ーラボスケール試験によるメタン発酵適性評価ー
.....室伏敬太、中島大介、太田良和弘、杉本芳邦、加藤雄成、向江範征、勝亦正浩 66
- 6 セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化
ー建材（漆喰・コンクリート・モルタル）へのCNF添加試験ー
.....村松重緒、前田研司、渡邊雅之、田中伸佳 68
- 7 セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化
ー接着剤への応用ー
.....前田研司、石橋佳奈、田中伸佳、伊藤拓哉、藤代 薫、山田雅章 70
- 8 静岡茶を使った介護用品『にぎるっ茶』の開発
ー茶の香り・消臭・調湿機能の活用ー
...上野千恵、山下里恵、多々良哲也、古川睦子、小杉思主世、山梨宏之、大村昌良、松坂 孝 72

Ⅲ 抄 録

- 1 燃焼法と熱重量分析法による熱可塑性炭素繊維強化複合材料の繊維含有率に関するラウンドロビンテスト
.....船橋正弘、二宮扶実、大石晃広、国岡正雄、水野 渡、田平公孝、田中翔悟 74
- 2 捕獲方法の異なるニホンジカ（Cervus nippon）における食肉特性の比較
.....藤原朋宏、渡瀬隆也、松井繁幸、相原和真、佐野文美、市川陽子 75

沼津工業技術支援センター

Ⅰ 報 告

- 1 静岡県オリジナルのビール酵母の開発
ー微生物ライブラリー候補株を用いたビールの試作ー
.....鈴木雅博、勝山 聡、岩原健二、稲村浩宣 77

Ⅱ 研究ノート

- 1 チタン合金の切削性に及ぼす工具表面処理の影響
.....是永宗祐、植松俊明、伊藤芳典 82
- 2 金属工作機械の伸縮式カバーに用いるゴムワイパーの劣化分析
.....橘川義明、飯野 修 84

Ⅲ 抄 録

- 1 チタン合金のエンドミル加工における工具逃げ面摩耗の予測に関する研究
ー各種切削条件における切削抵抗と工具摩耗の関係ー
.....是永宗祐、植松俊明、大澤洋文、伊藤芳典、静 弘生、酒井克彦 86

富士工業技術支援センター

Ⅰ 報 告

- 1 セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化
ーCNF塗工紙の透気抵抗度、耐油性及び印刷特性の評価ー
.....白井 圭、齊藤将人、山口智久 87
- 2 牛の分娩検知システムの開発（第1報）
.....中山 洋、井出達樹、長谷川茂、赤松裕久、小林信明、一言貴則 95

Ⅱ 研究ノート

- 1 セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化
ー薬品レスタオルペーパーの開発ー
.....齊藤将人、白井 圭、山口智久、佐野浩之 99
- 2 水に解けないトイレットペーパーの原因追及と対策（第1報）
.....齊藤和明、深沢博之、木野浩成、齊藤将人、白井 圭、山口智久 102
- 3 異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発（第1報）
.....高木 誠、稲葉彩乃、井出達樹、長谷川茂 106
- 4 異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発（第2報）
ープラズマ照射装置試作機を用いた樹脂材料接着に対するプラズマ照射効果の確認ー
.....稲葉彩乃、高木 誠、井出達樹、長谷川茂 108

浜松工業技術支援センター

I 報 告

- 1 屈折率分布測定による透明樹脂製品の品質評価
.....中野雅晴、太田幸宏 111
- 2 電波識別技術を応用した携帯電話通話検知装置の開発
.....山田浩文、上野貴康、増田康利、松田 稔、田内正治、犬塚 博 117
- 3 半溶融成形法により製造したAl-7%Si-0.5%Mg合金の曲げ特性
...岩澤 秀、長津義之、針幸達也、長澤 正、上久保佳則、高橋正詞、山本健介、杉浦泰夫 120
- 4 TMAによる汎用非晶質プラスチック材料の熱履歴と熱的挙動の解析
.....吉岡正行、伊藤芳典 126
- 5 注染用防染糊材料の作用について
.....森田達弥、山崎利樹、鈴木悠介、鈴木一之、武藤真和 132

II 研究ノート

- 1 金属線材のレーザー加工
.....山下清光、大石仁一 138
- 2 成形限界の簡易測定法の開発
.....長津義之 140
- 3 製品バリエーションを考慮したパラメータ設計
ー熱変形シミュレーションによる軸受けモデルの事例ー
.....針幸達也、長津義之、岩澤 秀、長澤 正 142
- 4 撥水処理における成膜条件の最適化に関する研究
.....鈴木智英子、田光伸也、谷口 諒、仲山昌宏 144

III 抄 録

- 1 超短パルスレーザーピーンフォーミングによる薄板曲げにおける曲率半径の微小化
.....鷺坂芳弘、山下清光、植田浩安 146
- 2 静岡県および浜松工業技術支援センター光科の取組み
.....鷺坂芳弘、高木一泰 147
- 3 超短パルスレーザーピーンフォーミングによる薄板のダイレス曲げ
.....鷺坂芳弘 148

分野別目次

バイオ分野

I 報告

- 1 静岡県オリジナルのビール酵母の開発
ー微生物ライブラリー候補株を用いたビールの試作ー
.....鈴木雅博、勝山 聡、岩原健二、稲村浩宣 77

食品分野

I 報告

- 1 醤油醸造に向く微生物の選抜と醤油の試作
.....袴田雅俊、松野正幸、油上 保、鈴木邦明 30
- 2 釜揚げシラス缶詰試作品の保存における品質変化
.....渡瀬隆也、三宅健司、袴田雅俊、油上 保、松村英功 37
- 3 CTC製法を利用した食品・飲料原料用に特化した緑茶の開発
.....浅沼俊倫、三宅健司、油上 保、杉山甲斐、九島祥弘 43

II 研究ノート

- 1 地域食材を活用しイミダゾールジペプチドとカルシウムを強化した食品の開発
.....渡瀬隆也、三宅健司、油上 保、本多 真、前田幸生、秋山 衛、原 藤晃 61
- 2 イヌリン配合ヨーグルトソースの開発
.....松野正幸、浅沼利倫、渡瀬隆也、池ヶ谷篤、新井映子、原健二郎、小鍋彰久 64

III 抄 録

- 1 捕獲方法の異なるニホンジカ (*Cervus nippon*) における食肉特性の比較
.....藤原朋宏、渡瀬隆也、松井繁幸、相原和真、佐野文美、市川陽子 75

環境分野

I 研究ノート

- 1 水産加工工場排水のメタン発酵
ーラボスケール試験によるメタン発酵適性評価ー
.....室伏敬太、中島大介、太田良和弘、杉本芳邦、加藤雄成、向江範征、勝亦正浩 66

光分野

I 報告

- 1 屈折率分布測定による透明樹脂製品の品質評価
.....中野雅晴、太田幸宏 111

II 研究ノート

- 1 金属線材のレーザー加工
.....山下清光、大石仁一 138

Ⅲ 抄 録

- 1 超短パルスレーザーピーンフォーミングによる薄板曲げにおける曲率半径の微小化
.....鷺坂芳弘、山下清光、植田浩安 146
- 2 静岡県および浜松工業技術支援センター光科の取組み
.....鷺坂芳弘、高木一泰 147
- 3 超短パルスレーザーピーンフォーミングによる薄板のダイレス曲げ
.....鷺坂芳弘 148

材料分野

Ⅰ 報 告

- 1 TMAによる汎用非晶質プラスチック材料の熱履歴と熱的挙動の解析
.....吉岡正行、伊藤芳典 126

Ⅱ 研究ノート

- 1 プラスチックペレットに適した水分測定法の検討
ーカールフィッシャー測定法の適用事例ー
.....本間信行、田邊賢二 57
- 2 顕微赤外分光イメージングを用いた樹脂製品の評価
.....菅野尚子、渥美博安 59
- 3 撥水处理における成膜条件の最適化に関する研究
.....鈴木智英子、田光伸也、谷口 諒、仲山昌宏 144

Ⅲ 抄 録

- 1 燃焼法と熱重量分析法による熱可塑性炭素繊維強化複合材料の繊維含有率に関するラウンドロビンテスト
.....船橋正弘、二宮扶実、大石晃広、国岡正雄、水野 渡、田平公孝、田中翔悟 74

機械電子分野

Ⅰ 報 告

- 1 ドイツ・フラウンホーファー研究機構調査報告
ー研究マネジメントおよび人材開発ー
.....鈴木敬明 1
- 2 オーダーメイドマットレス設計に活用できる人体体幹部質量測定手法の検討
.....船井 孝、袴田恭正、前嶋文明、横田秀夫 6
- 3 回折レンズを用いた投影光学系における色収差の評価
.....志智 亘 11

4	レンズ表面上の微細構造が投影像の鮮明度を与える影響	豊田敏裕、鈴木敬明	15
5	樹脂製積層造形器物を対象とした非接触三次元測定機の精度評価	柳原 亘	20
6	ビッグデータ分析技術に関する研究 ー農業関連データの活用法検討ー	岩崎清斗、望月建治、斉藤和巳	26
7	牛の分娩検知システムの開発（第1報）	中山 洋、井出達樹、長谷川茂、赤松裕久、小林信明、一言貴則	95
8	電波識別技術を応用した携帯電話通話検知装置の開発	山田浩文、上野貴康、増田康利、松田 稔、田内正治、犬塚 博	117
9	半溶融成形法により製造したAl-7%Si-0.5%Mg合金の曲げ特性 ...岩澤 秀、長津義之、針幸達也、長澤 正、上久保佳則、高橋正詞、山本健介、杉浦泰夫		120

II 研究ノート

1	チタン合金の切削性に及ぼす工具表面処理の影響	是永宗祐、植松俊明、伊藤芳典	82
2	金属工作機械の伸縮式カバーに用いるゴムワイパーの劣化分析	橘川義明、飯野 修	84
3	異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発（第1報）	高木 誠、稲葉彩乃、井出達樹、長谷川茂	106
4	異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発（第2報） ープラズマ照射装置試作機を用いた樹脂材料接着に対するプラズマ照射効果の確認ー	稲葉彩乃、高木 誠、井出達樹、長谷川茂	108
5	成形限界の簡易測定法の開発	長津義之	140
6	製品バリエーションを考慮したパラメータ設計 ー熱変形シミュレーションによる軸受けモデルの事例ー	針幸達也、長津義之、岩澤 秀、長澤 正	142

III 抄 録

1	チタン合金のエンドミル加工における工具逃げ面摩耗の予測に関する研究 ー各種切削条件における切削抵抗と工具摩耗の関係ー	是永宗祐、植松俊明、大澤洋文、伊藤芳典、静 弘生、酒井克彦	86
---	--	-------------------------------	----

製紙分野

I 報 告

- 1 セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化
ーCNF塗工紙の透気抵抗度、耐油性及び印刷特性の評価ー
.....白井 圭、齊藤将人、山口智久 87

II 研究ノート

- 1 セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化
ー薬品レスタオルペーパーの開発ー
.....齊藤将人、白井 圭、山口智久、佐野浩之 99
- 2 水に解けないトイレットペーパーの原因追及と対策 (第1報)
.....齊藤和明、深沢博之、木野浩成、齊藤将人、白井 圭、山口智久 102

繊維高分子材料分野

I 報 告

- 1 注染用防染糊材料の作用について
.....森田達弥、山崎利樹、鈴木悠介、鈴木一之、武藤真和 132

ユニバーサルデザイン・工芸分野

I 報 告

- 1 食品加工バンドソー用グローブの開発
ー保護部分の設計ー
.....小松 剛、大賀久美、易 強、多々良哲也、塚本富雄、小口郁哉、宮田なつき 48
- 2 セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化
ー化粧品への利用ー
.....石橋佳奈、山下里恵、前田研司、上野千恵 52

II 研究ノート

- 1 セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化
ー建材 (漆喰・コンクリート・モルタル) へのCNF添加試験ー
.....村松重緒、前田研司、渡邊雅之、田中伸佳 68
- 2 セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化
ー接着剤への応用ー
.....前田研司、石橋佳奈、田中伸佳、伊藤拓哉、藤代 薫、山田雅章 70
- 3 静岡茶を使った介護用品『にぎるっ茶』の開発
ー茶の香り・消臭・調湿機能の活用ー
.....上野千恵、山下里恵、多々良哲也、古川睦子、小杉思主世、山梨宏之、大村昌良、松坂 孝 72

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE

静岡県工業技術研究所研究報告

静岡県工業技術研究所
静岡市葵区牧ヶ谷2078番地

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE
2078 Makigaya, Aoi-ku, Shizuoka city, Shizuoka, 421-1298 Japan

ドイツ・フラウンホーファー研究機構調査報告

— 研究マネジメントおよび人材開発 —

機械科 鈴木敬明*

Survey Report of Fraunhofer-Gesellschaft

— Management of research and development of human resources —

Taka-aki SUZUKI

Management of research and project funding, development of human resources, administration, and relations with Japan of Fraunhofer-Gesellschaft were investigated. These investigations were based on the interviews with persons in charge for each item. This report shows conducts and structures of management of research and funding, programs of human resources development, and their business conditions with Japanese enterprises.

Keywords : Fraunhofer-Gesellschaft, research management, human resources development, public project funding

キーワード：フラウンホーファー研究機構、研究マネジメント、人材育成、公的研究資金

1 はじめに

ドイツは、技術革新を促進するため、産学連携による産業クラスター政策を積極的に推進しており、その中でフラウンホーファー研究機構（以下機構と記す^{*1}）が大きな役割を果たしている。産業化のための研究を重点的に実施する同機構の運営方法は、「フラウンホーファーモデル」として注目されている。機構は、69の研究所から構成されている。機構の概要や組織などについては、多くの報告¹⁻⁵⁾がされているので、それらを参照いただきたい。

今回、静岡県工業技術研究所の機能強化に向けた取組の一環として、機構の詳細な運営体制、研究マネジメント、人材育成、研究開発、連携体制等を調査し、県研究所における研究成果の事業化と外部資金の獲得を促す仕組等を構築するための検討材料を収集することとした。その目的のため、平成29年5月～6月に機構を訪問し、調査を行った。調査期間中には、機構の11ヶ所の研究所を訪問して成果の調査等を行ったが、今回の報告では機構のマネジメント部分についてのみ報告する。

2 方法

調査内容、訪問先は表1のとおりである。各担当者にヒアリング調査を行った。

3 結果および考察

3.1 研究助成金の獲得およびマネジメント

（1）EUプロジェクト助成金のマネジメント^{*2}

EUプロジェクト助成金は、本部にある公的助成研究プロジェクト課EUプロジェクト管理部門で管理される。同部門は9名で構成されている。

欧州委員会は、「ホライゾン2020」と銘打って、2014～2020年まで7年間で、700億ユーロ（約9.5兆円）の科学技術予算の支出を決めている。現在、2021年からの次期7カ年計画を策定しているが、現在より多い1000億ユーロ（13.5兆円）を予定しており、中堅企業支援も視野に入っている。

機構はEUからの研究プロジェクト助成金として年間約1億ユーロ（約135億円）の額を獲得している。これは機構の運用予算の約6%を占める。EU研究プロジェクト助成金を獲得するには、EU内の3カ国以上の

*) 現 研究調整監

*1 フラウンホーファー研究機構は、調査した平成29年5月時点で本部と69の研究所から構成される（平成30年1月時点では72研究所に増えている）。本報告では、本部と69の研究所を合わせて「機構」と呼び、本部は「本部」、69ヶ所ある各研究所については「研究所」と記載する。「機構」＝「本部」＋69「研究所」と理解いただきたい。

表1 調査項目と訪問先

調査項目	調査訪問先
研究助成金の獲得・マネージメント	本部、公的助成研究プロジェクト課
人材獲得・人材育成	本部、人材開発課
研究室マネージメント	EMFT（マイクロシステム・固体技術研究所） IWS（材料・ビーム技術研究所）
日本との関係	国際事業開発課

研究者の参加が必要であり、研究者のネットワークづくりが大切である。また、助成のルールに則った申請が必要であり、EUプロジェクト管理部門と法務部門のサポートが非常に重要である。

EUは7カ年計画で科学技術予算を決めており、社会情勢に伴わずに安定した研究資金が確保されている。EU研究者の興味（研究対象）集中している分野は、EUの重点施策である場合があることを理解しておく必要がある。EUの研究者は、助成に申請するために、国をまたいだネットワークづくりが必要であり、これは欧州でオープンイノベーションが進んでいることの一因かもしれない。

（2）州、ドイツ連邦政府、国際プロジェクト助成金のマネージメント^{*3}

EU以外の公的研究助成を扱うプロジェクト管理部門は12名で構成される。機構全体でのEUを除く公的プロジェクトの研究助成は、2016年3,100件 5億ユーロ（675億円）である。

予算額が決まってい研究内容が審査される公募と、決められた研究内容に対して入札を行う公募の2つのタイプがある（入札はドイツ国外の案件もある）。少額は1000ユーロ（13.5万円）から、多額ものは数百万ユーロ（数億円）まで多種多様なプロジェクトを扱っている。2016年は、ドイツ連邦政府からの研究プログラムが約4億ユーロ（約540億円）、各州からの研究プログラムが約1.5億ユーロ（約203億円）であった。EUの公募と異なり、助成要項が案件で異なるので、公募の必要

条件を満足しているか申請段階でチェックすることが非常に大変（法務の支援がとても重要）である。監査も助成元（ドイツ連邦、各州、他国）に合わせるので、費用の積算方法にも神経を使う。国や分野にはとらわれず、ノルウェー、スイス、オーストラリアの防衛技術に関する研究も委託されている。

3.2 人材の獲得および育成

（1）人材獲得^{*4}

人材開拓プログラムは、幼稚園、小学校、中・高校、大学の各段階で行っている。16-19才が対象のものでは400名の参加がある科学技術イベントを企画している。大学入学直前には、タレントテイクオフというネットワーク構築を目的としたパーティーを行い、才能のある子供と機構の関係を継続させるようにしている。

有能な外部研究者にはATTRACTという招聘プログラムがある。春と秋の年2回の公募があり、博士号を持ち、かつ大学で講義ができる資格があれば、国籍、年齢等の制限なく誰でも応募は可能である。採択者には5年間で2.5百万ユーロ（約3.1億円）の研究費が与えられ、この予算を装置、人件費など何に使ってもよい。採択者は最初の3年で基礎的な技術研究を行い、残りの2年で応用分野を開拓しなくてはならない。そのため、研究アイデアだけでなく、マネージメント能力のある人材が求められる。このプログラムで、採用された後に研究所長になった人材も出ている。

（2）人材開発および評価^{*5}

人材開発の考え方は、「個人の能力」＋「組織の

*2 2017.5.23に実施した、本部、公的助成研究プロジェクト課、EU担当マネージャー Mr. Kraus, Ms. Delanoffとの面談に基づく

*3 2017.5.23に実施した、本部、公的助成研究プロジェクト課、公的資金担当マネージャーDr. Schmekel, Ms. Ruthとの面談に基づく

*4 2017.6.2に実施した、本部、人材開発課 Ms. Cumiaとの面談に基づく

*5 2017.5.24に実施した、本部、人材開発課 Ms. Koosとの面談に基づく

【報告】

要求」＋「ライフステージ」を考慮して各自のキャリアプランニングを行うことである。機構の中のキャリアだけでなく、企業や他の研究機関への転出、スピノフもキャリアパスとして考慮されたプログラムである。実際、研究者の約50%は外部に転出する。

スペシャリストは「研究」「開発」「応用」の分野に分けてキャリアアップさせる。それ以外に「マネジメント」「キャリアアップ」が並列して実施される。マネジメントの最初の段階は、博士号取得後2年ほど経過した者に博士課程の学生を指導させる事から始める。

研究者に対する人材育成のプログラムは年間約200講座、受講者は2,100人程度である。特別なプログラムとしては「新人教育（2日間）」「若手研究者キャンプ（少数のエリート研究者の育成）」等がある。ポリシーやプログラムは本部で設計し、トレーナー、コーチ、コンサルタントは外部人材への委託である。

雇用について、新規採用の研究員は博士課程の学生と博士号を取得した学生がほとんどである。最初は任期つき（2年程度）で、契約更新が必要である。終身契約になるのは、およそ35～40歳位であり、各研究所に残る割合はおよそ半分くらい。終身契約にする場合には、その時点での研究プロジェクトや空きポストによるところも大きい。研究所との契約が切れても、企業が欲しい人材なので、再就職に困ることはない。そういった意味で、各研究所に就職したい博士課程の学生は多い。給料自体は高くないので外部に出る人もいる。

人材評価について、評価項目は「仕事の成績（目標に対する数値）」「働き方」「仕事量」「外部対応」「事業の獲得実績」「仲間との協業」の6点であり、上司が1年に1回、数値で評価する。評価は、過去1年の成果だけではなく、その後の1年の目標も含めている。評価方法は、文書化された明確な「人事評価ガイドライン・個人インタビュープロセス」にまとめられており、その文書に基づき評価が行われる。評価結果は、ボーナスに反映されるが大きいわけではない。それよりも、その後の契約更新、大型プロジェクトへの登用、責任のある仕事への登用（必然的に給与も上がる）に反映される。

（3）女性研究者への支援^{*6}

2017年時点で、機構の研究者で女性が占める割合は、22%、そのうちチームリーダーは12.5%、ディレク

タ（幹部クラス）で4.2%である。目標としては、研究者全体で25%までにしたいと考えているが、数値目標とすると、能力のない人材を採用、登用する可能性があるなので、絶対的な目標としていない。

女性研究者を支援するために、TALENTAという支援プログラムがある。このプログラムは2013－2017年の5年計画で実施された（現在2018年以降のプログラムを計画中）。プログラムには3つの段階があり、採用初期の「start」、中堅研究者のキャリア向上を促す「speed up」、リーダーへの移行を促進する「excellence」の3つである。1人の研究者に支援が集中しないよう、この3つ支援プログラムを続けて受けることは避けている。採択人数は、「start」40名、「speed up」30名、「excellence」20名である。研究所が69ヶ所あることを考えると採択人数は多くはない。申請者は、研究所長の推薦が必要であり、申請書内容に基づいて審査される。採択されると、各研究所に24,000ユーロ（324万円）の人件費が割り当てられる。各研究所は、この人件費を使ってプログラム採択者に自由な研究時間を与えることが求められる。上記の人件費に加えて、資質向上用の研究費が与えられる。研究費は、「start」は2,000ユーロ（27万円）、「speed up」は3,000ユーロ（40.5万円）、「excellence」は6,000ユーロ（81万円）である。

（4）スピノフ支援プログラム^{*4}

研究者の半分は、他の組織に転職、または、起業（スピノフ）する。スピノフは推奨されており、支援プログラムとして以下の4つのプログラムが用意されている。

- ・事前検討プログラム「Business Ideation」は、想定しているアイデアがビジネスとして可能性があるかを、機構として判断、助言するプログラムである。
- ・ビジネスモデル開発プログラム「FDays[®]」は、起業を加速するためのプログラムであり、12週間で行う。市場、起業チーム、テクノロジーについて、ビジネスモデルがテストされる。具体的には、「将来のテクノロジーの情勢を顧客のメリットと適合させられるか」「持続可能なビジネスモデルが作れ、実際の市場でその確認が取れるか」「具体的な起業コンセプト（ライセンス、プロジェクト）を持っているか」「起業チームを作れるか」が問われる。
- ・ビジネスプラン開発プログラム「FFE」では、与え

^{*6} 2017. 5. 24に実施した、本部、人材開発課（女性研究者支援担当）Ms. Fuchsとの面談に基づく

られた予算で事業計画を作り、最終的な起業活動に利用できる。この過程では、関連した各研究所の技術に対し、機構が投資することでスピノフが成功するのかを評価する。

- ・マネージメント加速プログラム「FFM」では、起業後の財政面を支援する。機構から、最高で10万ユーロ（1,350万円）の投資を受けることが可能である。

3.3 研究室マネージメント

- (1) フラウンホーファーEMFT（マイクロシステム・固体技術研究所）、マイクロポンプシステム開発部の場合^{*7}

フルタイムの職員は約11名（7人はパーマネント雇用、4人は期間雇用でPhDコースに在籍の学生）である。上記以外に大学生のアルバイトが12名ほど在籍している。研究費が少なくなった場合は、期間雇用の職員（博士課程在籍の学生）を減らして調整する。

研究室の予算は人件費も含めて年約2百万ユーロ（2.7億円）の規模である。そのうち、9%は政府からの基盤予算、外部の公的助成金が約50%、企業からの委託研究費が約40%、それ以外に政府からの委託研究がある。

大学での研究と比べて、開発品の産業応用へのクオリティ、信頼度、完成度が高いことが特徴である。ただし、受託研究の際に要求する人件費は大学より高い。これは、設備の維持管理費などのオーバーヘッドが含まれるためである。その分、信頼性が高い研究成果、製品を作り出すことを信条としている。現在、35の特許を持っており、実施収入を得ている。

日本に、研究室で個別に契約したコーディネーターを1名置いており、これまでも5、6社との研究実績があり、現在も1社から委託研究を受けている。

- (2) フラウンホーファー IWS（材料・ビーム技術研究所）、PDVナノコーティング研究室の場合^{*8}

研究室は29名で構成される。半分がパーマネント職員、半分が任期付職員。任期付職員はドレスデン工科大学などの博士課程の学生が多く、2～3年の任期である。

研究室の予算は約5百万ユーロ（約7億円）の規模である。約50%が企業から委託研究、約20%が基礎予算、約30%が公的競争資金である。

小さいプロジェクトは2、3日で終わる数千ユーロのものから、大きいプロジェクトは2年間で20万ユーロ（2.7千万円）のものもある。

当然、毎年予算は変動し、予算が減れば任期付職員は継続雇用できないが、研究所は企業と強い結びつきがあるので、就職先に困ることはない。

- (3) 研究室マネージメントに関する所感

数十人規模の研究室を維持するには、少なくとも数億円の予算を確保する事が必要である。研究室単位で人件費も含めた予算管理がされており、マネージャーに対する予算獲得も含めたマネージメントのプレッシャーは非常に大きい。

ただし、ドイツの大学の学費が無料なことと、ドイツの学校（高校以上）が在学時に必ず職業体験を義務付ける「デュアルシステム」を採用していることから、博士課程の学生が雇用され、研究室に必要な人材となっている。この博士課程の学生が期間雇用者として、雇用の調整弁になっていることも運営の柔軟性を支えている一つの要因と考えられる。また、ドイツでは、企業が研究を外部委託するオープンイノベーションの意識が大きく、かつ、その期待に答えられる受け皿、研究成果がある。大学との連携と企業からの要望（研究委託）がないと、このような研究室運営は難しいと感じられた。

3.4 日本との関係^{*9}

東京に日本代表部を置いている。現在、日本企業からの委託研究案件は、年100件程度であり、委託研究費の合計は年約16百万ユーロ（約22億円）である。委託研究費は、最小で約2万ユーロ（約270万円）、最大で約150万ユーロ（約2億）である。10万ユーロ（約1.4千万円）～50万ユーロ（約6.8千万円）での契約が最も多い。契約については、日本代表部で一括して相談、受け付けをしている。委託研究を希望する企業側から技術的な要求項目を出提示すれば、日本代表部が適切な研究所を探して紹介することは可能で

*7 2017. 5. 31に実施したフラウンホーファーEMFT（マイクロシステム・固体技術研究所）、マイクロポンプシステム開発部部長 Dr. Richterとの面談に基づく

*8 2017. 6. 13に実施したフラウンホーファー IWS（材料・ビーム技術研究所）、PDVナノコーティング研究室長 Dr. Lesonとの面談に基づく

*9 2017. 5. 23、2017. 6. 21に実施した本部、国際事業開発課、日本担当マネージャー Ms. Hoffmannとの面談に基づく

【報告】

ある。

3.5 考慮すべきドイツの社会システム

機構の運営体制を考えるには、それを支えるドイツの社会システムを合わせて考える必要がある。一つは、ドイツの大学のシステムである。ドイツの大学は無償であり、働きながら大学に通う学生も少なくない（大学も働きながら通えるようなカリキュラムを持っている）。博士課程に在学する学生にとっては、研究をしながら給料を得られる機構での仕事はメリットがあり、機構は博士課程の学生を人材として有効活用している。もう一つは、研究機関の運営の自由度が法的に保証されていることである。2012年に成立した連邦法「Freedom of Science Act」では、大学以外の公的資金の入った研究機関に対して、「予算の年度繰越（それまでの20%の限度の廃止）」「予算費目間の流用」「外部資金を原資とした高額給与での外部人材を獲得」を認め、「職員定数の廃止」「一定額以下の建設工事を行う際の政府調整の廃止」を決めている。このような法的な裏付けの上で、研究活動をしていることに留意する必要がある。

4 まとめ

フラウンホーファー研究機構は、本部と69研究所の職員が約26,000人おり、管理部門の職員が1,000人以上在籍する。特に、外部資金（公的プロジェクト、企業からの委託研究）の獲得については、支援体制が充実していることが分かった。また、各研究室単位でも、研究室長が人件費を含めた予算の管理、獲得に注力しており、外部資金で運営をしていくという意図が明確に一致しており、それに対する組織や運営の柔軟性も大きい。このような意思統一された研究機関の運営は参考になるところが非常に多い。

一方で、外部資金による運営は、EU、ドイツ連邦政府、州政府からの助成金の規模、企業の公的研究

機関への研究委託費の規模によるところが大きい。また、大学博士課程の学生の人材の活用は、日本とも大きく異なる。そのような社会システムの上で、機構が運営されていることも理解しておく必要がある。日本の社会システムや考え方はドイツと異なることも多く、日本の社会システムを考慮した研究機関の運営システムを考える必要があると感じられた。

謝辞

調査に協力頂いたフラウンホーファー研究機構のMs. Hoffmannをはじめとする担当者の皆様、日本代表部三木代表、林田様に感謝いたします。また、調査にあたり多くのご助言を頂き政策研究大学院大学、永野博先生に感謝いたします。

参考文献

- 1) 岩本 晃一：「独り勝ち」のドイツから日本の「地方・中小企業」への示唆ードイツ現地調査からー。RIETI ポリシー・ディスカッション・ペーパー，Series 15-P-002，1-59（2015）。
- 2) 中村 吉明：産総研の今後の研究戦略ーフラウンホーファー型研究機関への脱皮。研究・技術計画学会2014年第29回年次学術大会講演要旨集，p.213-217，滋賀（2014）。
- 3) 国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター：海外調査報告書主要国における橋渡し研究基盤整備の支援。CRDS-FY2015-OR-03（2015）。
- 4) 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社：平成24年度産業技術調査事業海外主要国の国家プロジェクトに関する調査報告書。（平成25（2013）年3月発行）
- 5) 永野博：ドイツに学ぶ科学技術政策，（榊近代科学社，東京），（2016）。

オーダーメイドマットレス設計に活用できる人体体幹部質量測定手法の検討

機械科

ソフトプレシ工業株式会社

国立研究開発法人理化学研究所

船井 孝*

袴田恭正 前嶋文明

横田秀夫

Study of a technique to measure the mass of the trunk of the human body that can be utilized in designing of custom made mattress

Takashi FUNAI, Yasumasa HAKAMATA, Fumiaki MAEJIMA, and Hideo YOKOTA

Previously, the authors have established a custom-made mattress design technique which utilized three-dimensional body shape data of the user. The mattress has been demonstrated to have better dispersion of body pressure in the supine position compared to that of conventional products. The trunk mass of the user is needed to design a mattress using the technique. The trunk mass have been calculated based on the body weight of the user by using the percentage of the trunk mass to the body weight cited from a past research report. For this reason, if the body shape of a user deviated from that assumed in the research report, it was likely that a designed mattress would not have offered good performance for the user. To allow us to design mattresses for users with various body shapes, the trunk mass of the body of the user needs to be measured. Furthermore, it is desirable that the trunk mass of the body to be measured should be a value that will enhance the designing effect. In this study, trunk mass that provides the most preferable dispersion of body pressure, i.e., optimum trunk mass, usable in the established design technique was determined for each type of body shape: normal, overweight, and underweight. Next, a measurement technique for the determined optimum trunk mass was studied. The results indicated that the optimum trunk mass can be obtained using body pressure data measured in the prone position.

Keywords : mattress, human trunk part, weight, measurement, made to order

キーワード：マットレス、体幹部、質量、測定、オーダーメイド

1 はじめに

著者らはこれまでに、3D (3 Dimensional) デジタイザで計測したマットレス使用者の体幹部形状と、その質量に基づいたマットレス設計手法を考案した^{1, 2)}。このマットレス設計には、マットレス使用者の体幹部質量が必要となる。体幹部の質量については、これまでに行われた様々な研究でその値が示されている³⁻¹²⁾。これらが示す体幹部の質量は、死体切断法等で求めた値であるため、純粋な体幹部の質量を示すと考えられる。これまでは、阿江らが示す体幹部質量³⁾に基づいて体圧分散型マットレスを設計してきた^{1, 2)}。しかしながら、使用者がマットレスに臥床した際の体幹部には、頭部を含む四肢が接続しているため、臥床時に体幹部をマットレスに押し付ける力は、頭部および四肢の質

量の影響で純粋な体幹部の質量とは異なる可能性がある。また、阿江らはアスリートを対象とした値を示しているため、その想定から外れた体型の使用者の場合、効果的な設計を行えない可能性がある。

本研究では、設計効果が最も高い、すなわち使用者が想定寝姿勢である仰臥位で臥床した際に、最大体圧値が最も低くなるように設計できる体幹部質量（最適体幹部質量）を測定する手法について検討した。そのために、まず、仰臥位で臥床した際に最大体圧値を最も小さくできる最適体幹部質量を体型ごとに求めた。具体的には、設計に使用する体幹部質量（設計体幹部質量）を変えて設計したマットレスを使用者ごとに複数作成し、マットレスごとの最大体圧値を取得した。得られた最大体圧値と設計体幹部質量の相関グラフを

*) 現 ユニバーサルデザイン科

作成し、被験者ごとに設計効果が最も高くなる最適体幹部質量を求めた。続いて、最適体幹部質量の測定手法について検討した。マットレス設計を行う際に、簡単な測定でこの最適体幹部質量が測定できれば、最も設計効果が高い、すなわち最大体圧値を低くできるマットレスの設計が可能となる。そこで、体圧分布測定機を用いて最適体幹部質量を測定する手法を検討した。

2 方法

2.1 体型ごとの最適体幹部質量導出

(1) 被験者の選定

体型ごとの最適体幹部質量を求めるため、体型の異なる3名の被験者を選定した。選定は体重(kg)/身長(m)²で示されるBMI (Body Mass Index)に基づいて行った。表1に各被験者の身長、体重、およびBMIを示す。一般的に22.0が理想体重とされ、18.5未満が低体重、25.0以上が肥満と判定される。すなわち、被験者1は標準体型、被験者2は肥満、被験者3は低体重となる。

表1 被験者の身体情報

	被験者 1	被験者 2	被験者 3
年齢	39	42	51
性別	男性	男性	男性
身長 (cm)	173	171	184
体重 (kg)	71	90	62
BMI (kg/m ²)	23.7	30.8	18.3
判定	標準	肥満	低体重

(2) マットレスの設計

選定した被験者に対してマットレスの設計を行った。これまでのマットレス設計は、阿江ら³⁾の示した体重に対する体幹部の質量割合に基づいて算出した値を体幹部質量として設計してきた。本研究においても同様にこの値を用いた。阿江らは前述の質量割合だけでなく、標準偏差も示している。そこで、被験者1（標準体型）に対しては文献記載の値（0σ）に加え、±2σ、±4σのマットレスも設計・製造した。また、被験者2（肥満）に対しては、最適体幹部質量がプラス方向にシフトすると予想し、0σに加え、-3σ、+3σ、+7σのマットレスを設計・製造した。同様に、被験者3（低体重）に対しては、最適体幹部質量がマイナス方向にシフトすると予想し、-3σ、+1.5σ、+3σのマットレスを設計・製造した。

(3) 最大体圧値測定実験

製造したマットレスを用いて、被験者による体圧測定実験を行った。体圧測定には、住友理工株式会社製SRソフトビジョンの全身版を使用した。測定風景を写真1に示す。測定は各マットレスに対して8回実施し、各回の最大体圧値を取得した。8回の測定のうち、最初の1回と残り7回中最大と最小を除いた残り5回の平均値を、そのマットレスの最大体圧値とした。測定で得た各マットレスを使用した際の最大体圧値と、各マットレスの設計に使用した体幹部質量の関係を示すグラフを作成した。被験者ごとの相関グラフを図1～3に示す。いずれの被験者の結果も、下に凸の二次曲線的な挙動を示したため、各グラフに横軸をx、縦軸をyとした二次曲線近似結果も併せて示した。



写真1 最大体圧値測定風景

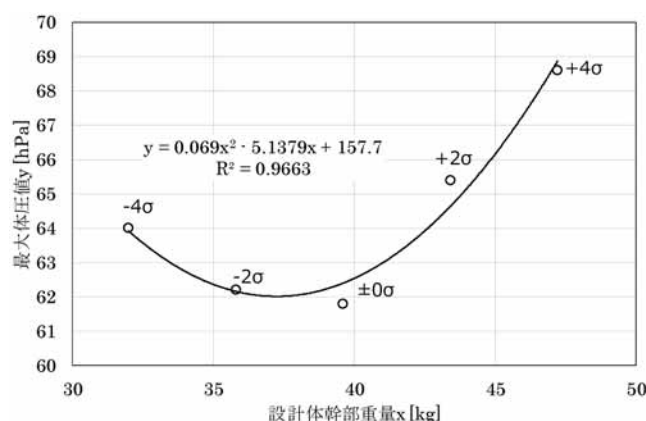


図1 設計体幹部質量と最大体圧値の関係（被験者1）

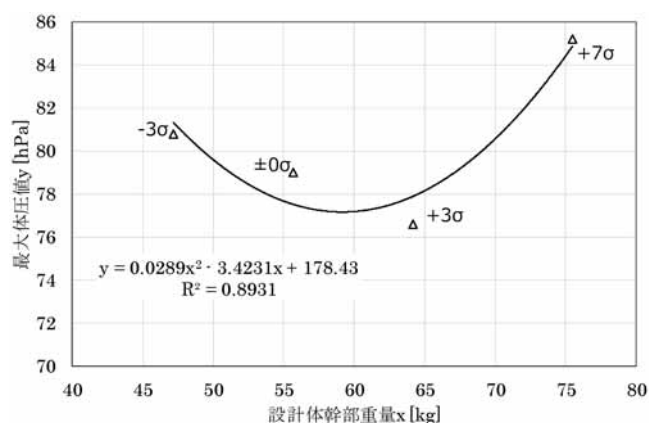


図2 設計体幹部質量と最大体圧値の関係 (被験者2)

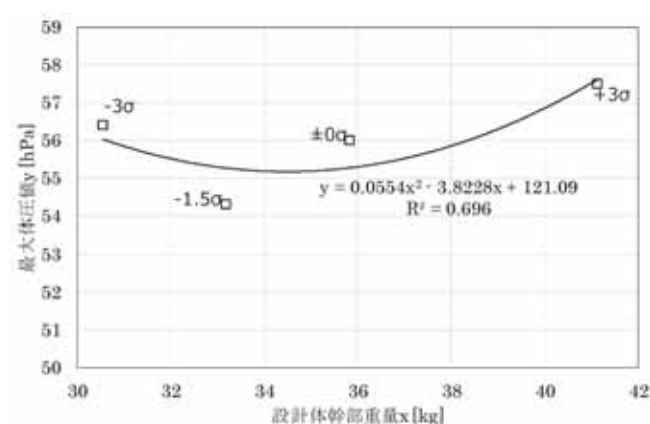


図3 設計体幹部質量と最大体圧値の関係 (被験者3)

(4) 体型ごとの最適体幹部質量

図1～3より、体幹部質量と最大体圧値の関係は下に凸の二次曲線に近似される。そのため、最大体圧値が最も低くなる体幹部質量、すなわち最適体幹部質量が近似式から計算できる。近似式から得た各体型の最適体幹部質量を表2に示す。また、体重に対する最適体幹部質量の割合も併せて示す。

2.2 最適体幹部質量測定手法の検討

各被験者に対して、表2に示す最適体幹部質量を用いることで、最大体圧値が最も低い、すなわち設計効果が最も高いマットレスが設計できる。そのため、最適体幹部質量の測定手法を検討した。測定は、マッ

レスの設計ごとに実施する必要があるため、先行研究³⁻¹²⁾のような死体切断法や写真撮影法は適さない。本研究では、より容易に測定するため、2.2節で使用した体圧測定機による方法を検討した。

体圧測定機は、圧力センサセルを格子状に配置し、各センサセルで検出される圧力値を測定する機器である。そのため、体幹部に相当する範囲にあるセンサセルの圧力値と、センサセルの面積がわかれば、その範囲の質量が算出できる。そこで、マットレス設計時に想定している寝姿勢である仰臥位での体圧分布測定を実施し、設計対象部となる体幹部に相当する範囲の圧力値から、体幹部質量を算出した。また、伏臥位による測定も併せて実施した。

3 結果

被験者1、2、3に対する仰臥位の体圧測定結果を図4に示す。また、伏臥位の結果を図5に示す。各図に示す矩形範囲内が設計対象となる体幹部であり、この範囲内の圧力値から体幹部質量を算出した。体幹部質量算出に当たっては、矩形範囲外を含む全身の圧力値から算出される質量が被験者の体重と異なったため、この値が体重と等しくなるように圧力値の線形補正を行った。表3に得られた体幹部質量を示す。

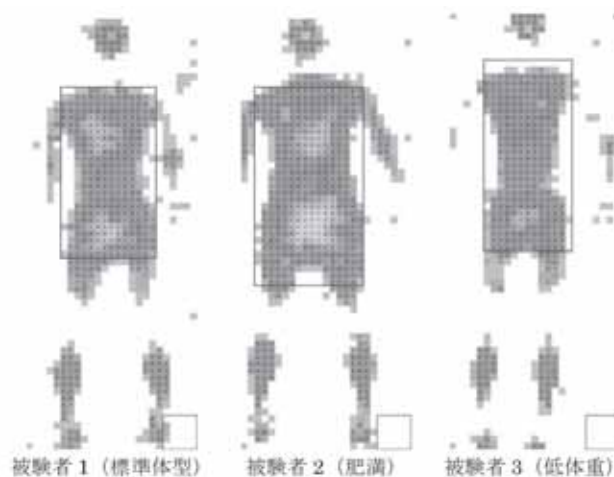


図4 仰臥位における体幹部質量測定

表2 体型ごとの最適体幹部質量及び体重に対する割合

	被験者1 (標準体型)	被験者2 (肥満)	被験者3 (低体重)
最適体幹部質量 (kg)	37.2	59.2	34.5
体重に対する割合 (%)	52	66	56

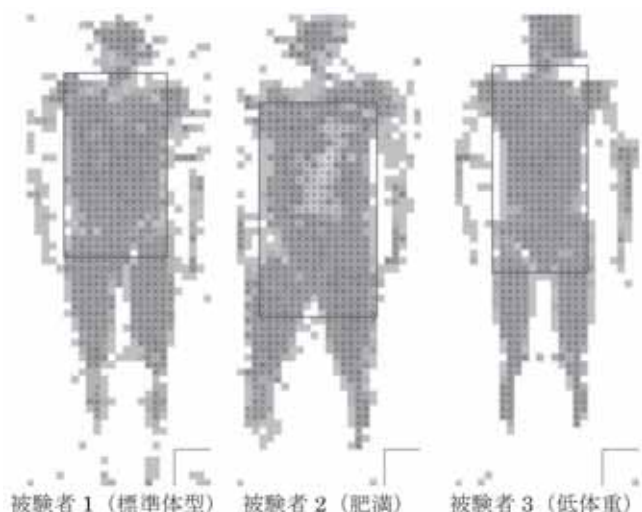


図5 伏臥位における体幹部質量測定

4 考察

本研究では、オーダーメイドマットレス設計に必要な使用者の体幹部質量を測定する手法について検討した。測定される体幹部質量は、その値で設計したマットレスを使用した際の最大体圧値が最も低くなる、すなわち設計効果が最も高くなる最適体幹部質量であることが望ましい。そのため、設計体幹部質量を変えた複数パターンのマットレスを設計・製造し、各マットレス使用時の最大体圧値を求め、設計体幹部質量との相関から、表2に示す最適体幹部質量を得た。簡易的にこの値を測定する手法として、体圧測定装置を使った体幹部質量測定を試みた。表3が仰臥位、伏臥位で体幹部質量を測定した結果である。この結果と表2の最適体幹部質量を比較すると、仰臥位は全ての体型で約10kgの差が確認できる。これに対して伏臥位では、最大で0.4kgの差であり、ほぼ正確に最適体幹部質量が測定できている。

図6に、ヒューマンシミュレーションシステムJackによる人体腕部の可動範囲を示す。この図より、人体腕部は、人体正面方向への可動範囲が広く、背中側の範囲は極めて狭い。脚部についても人体の構造上ほぼ同様の傾向を示すと考えられる。オーダーメイドマットレスを設計する際の臥床姿勢は、仰臥位を想定してい

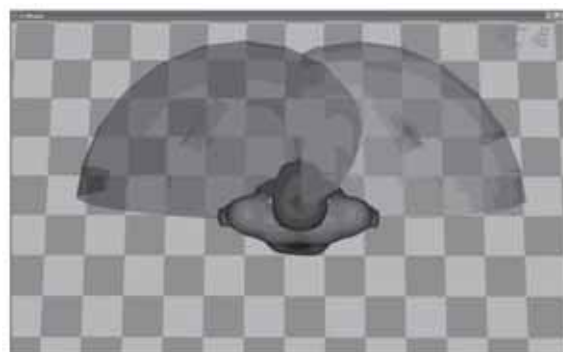


図6 ヒューマンシミュレーションソフトJackによる人体腕部可動範囲

る¹⁻²⁾。前述の通り腕部、脚部は背中側に動きにくいいため、仰臥位で臥床した際には腕部、脚部の質量が少なからず体幹部質量に加算され、体幹部をマットレスに押し付ける力は、阿江らが示す純粋な体幹部の質量より大きくなると予想された。このことは、図4に示す体圧測定結果において脚部や腕部に圧力が計測されていない部分が確認できることや、表3に示す体幹部質量が、すべての体型で体重の70%を超えていることからうかがえる。阿江らが示す体幹部の質量は体重に対して約59%であるため、70%はかなり大きい値といえる。しかしながら、表2に示す最適体幹部質量は、平均で57%程度と阿江らの値にかなり近い。このことから、最適体幹部質量は純粋な体幹部の質量に近いことが示された。この値を測定するためには、体幹部に腕部、脚部の質量が加算されると考える仰臥位による測定は不適切と考えられる。これに対して、腕部、脚部の可動範囲が広い身体前面を体圧測定装置側とした姿勢、すなわち伏臥位による測定を行うことで、仰臥位に比べて人体各部の質量を個別に測定できると考えられる。これは、表3に示す伏臥位の結果が最適体幹部質量、すなわち純粋な体幹部質量に近い値を示していることからうかがえる。このことから、最適体幹部質量は、伏臥位による体圧測定から得られることが示された。オーダーメイドマットレスは使用者の体型に合わせて設計するため、一般的なマットレスより体圧分散性が高く、人体各部を個別に支えることができるため、

表3 体圧測定に基づいた体幹部質量

	被験者 1 (標準体型)	被験者 2 (肥満)	被験者 3 (低体重)
仰臥位による測定 (kg)	50.5	69.2	45.6
伏臥位による測定 (kg)	37.4	58.8	34.6

最適体幹部質量は純粋な体幹部の質量に近い値になったと考えられる。

5 まとめ

本研究で得られた知見をまとめると、以下のようになる。

- ・本研究が対象とするオーダーメイドマットレスの設計効果が最も高くなる最適体幹部質量は、腕部や脚部を含まない純粋な体幹部質量に近い値である。
- ・最適体幹部質量は、伏臥位による体圧測定結果から得ることができる。

マットレス設計に本研究が提案する体幹部質量測定手法を適用することで、体型の制約なく体圧分散効果の高いマットレス設計が可能となり、オーダーメイドマットレスの商品性向上が見込まれる。

倫理面への配慮

本研究は、国立研究開発法人理化学研究所倫理委員会の承認（Wako3 27-9）に基づき実施された。

参考文献

- 1) 船井 孝 他：マットレスの製造方法及びマットレスの設計方法．特許第6048639号（2016.12.2）．
- 2) 船井 孝 他：弾性構造体および弾性構造体の製造方法．特開2017-176539（2017.10.5）
- 3) 阿江通良 他：日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定．バイオメカニズム，11，23-33（1992）．
- 4) Cheng, C. et al. : Segment inertial properties of Chinese adults determined from magnetic resonance imaging. Clinical Biomechanics, 15 (8), 559-566 (2000).
- 5) Jensen, R.K. : Body segment mass, radius and radius of gyration proportions of children. Journal of Biomechanics, 15 (4), 347 (1982).
- 6) Jensen, R.K. : Body segment mass, radius and radius of gyration proportions of children. Journal of Biomechanics, 19 (5), 359-368 (1986).
- 7) Jensen, R.K. : Changes in segment inertia proportions between 4 and 20 years. Journal of Biomechanics, 22 (6-7), 529-536 (1989).
- 8) Jensen, R.K. et al. : Distribution of mass to the segments of elderly males and females. Journal of Biomechanics, 27 (1), 89-96 (1994).
- 9) Se, J. P. et al. : Anthropometric and Biomechanical Characteristics on Body Segments of Koreans. APPLIED HUMAN SCIENCE Journal of Physiological Anthropology, 18 (3), 91-99 (1999).
- 10) 岡田英孝 他：日本人高齢者の身体部分慣性特性．バイオメカニズム，13 (0), 125-139 (1996).
- 11) Pearsall, D. J. et al. : Inertial properties of the human trunk of males determined from magnetic resonance imaging . Annals of Biomedical Engineering, 22 (6), 692-706 (1994).
- 12) Yokoi, T. et al. : Body segment parameters of Japanese children . Taiikugaku kenkyu (Japan Journal of Physical Education, Health and Sport Sciences), 31 (1), 53-66 (1986).

回折レンズを用いた投影光学系における色収差の評価

機械科 志智 亘*

Evaluation of chromatic aberration in a projection optical system using a diffractive lens

Wataru SHICHI

Color blur of the image, which projected from an LED automotive headlight optical system using the hybrid lens, has evaluated. In the experiments, the spectral irradiance at the points surrounding a border of white light and dark on the projected image was measured. The measurements show that the border projected using hybrid lens is sharper than that using convex lens. In order to evaluate the color changing of the border, the colorimetric values u' , v' (CIE1976 color space) have been calculated from the measurements. These calculations show that the color change of the border using a hybrid lens is smaller than that using a convex lens. On the other hand, the blue flare occurs around the border due to the diffraction phenomenon by using hybrid lens were confirmed based on the experimental results and the colorimetric analysis. This report clarifies the problems to use a hybrid lens for the illumination system.

Keywords : diffractive lens, chromatic aberration, pattern projection

キーワード：回折レンズ、色収差、パターン投影

1 はじめに

近年、白色LED光源を用いた多くの照明システムにおいて樹脂レンズが使用されている。樹脂レンズはガラスレンズに比べて軽量化で成形性に優れているため、照明光学系の軽量化やコンパクト化が可能となる。照明システムにおいて光線を集光・発散させるための樹脂レンズは通常屈折現象が利用されている。屈折は光がレンズなどの物質を通過すると、光線の進行方向が変化する現象である。光線がどの程度屈折するかは、材料の屈折率に依存する。屈折率は材料により異なり、また波長依存性を持っている。このため、白色光の様な多数の波長で構成されている光が樹脂レンズを通過すると、レンズ材料の屈折率の波長依存性により、波長によって集光される距離（焦点距離）が異なる。このことにより白色光を用いて白黒のパターンを投影した際には、その輪郭付近に色ずれが生じる。このような現象は色収差と呼ばれる。これは設計した照明システムに意図しない色を生じさせるとともに、鮮鋭な白黒のパターンの投影を難しくすることを意味する。したがって、より正確に照明システムの光の投影性能を制御するためには色収差が少ないレンズを用いる必要がある。特に、集光能力が高い大口径かつ焦点距離が短い樹

脂単レンズはレンズ形状の曲率が大きいため色収差が顕著に生じる。ガラスレンズにおいては屈折率の波長依存性が異なる硝材を複数使用して色収差を補正するアクロマートレンズやアポクロマートレンズなどが存在する。一方の樹脂レンズにおいては色収差を補正することができる組み合わせが硝材と比べて非常に少なく、樹脂レンズにおけるアクロマートレンズやアポクロマートレンズはほとんど存在しない。一方で、樹脂レンズの色収差の補正方法として回折現象を用いる手法が知られている¹⁻⁴⁾。回折現象は光が障害物を通過した際に、その障害物の後ろ側に光が回り込む現象である。この性質を用いることで、屈折と同様に光を集光することができる。回折によって集光するレンズ（回折レンズ）は、微細な段差構造によって光を回折させて、その方向を変化させるため非常に薄い。回折レンズの焦点距離は材料と段差構造のパラメータによって決まる。また、屈折レンズでは長波長の方が短波長より焦点距離が長くなるが、回折レンズでは長波長の方が短波長より焦点距離が短くなるという屈折レンズとは逆の色収差を持つ。つまり、屈折レンズのレンズ曲面上に回折レンズの構造を付与することにより、屈折レンズで生じる色収差を回折レンズの色収差で補正することができる（これをハ

*) 現 照明音響科

イブリッドレンズと呼ぶ)。このレンズは既にカメラレンズや照明用レンズの一部に使用されている^{4, 5)}。ただし、回折レンズによる集光では、屈折とは異なる回折現象特有の問題点が生じることが知られている¹⁾。したがって、照明システム用途に応用する際には、その特性を十分に検討する必要がある。

これまでに我々は、白色LED光源を用いて白黒のナイフエッジパターンを投影する光学系における投影像の輪郭付近の色の変化が、投影レンズにハイブリッドレンズを使用することで、屈折レンズよりも小さくなることを報告した⁶⁾。今回我々はハイブリッドレンズの照明光学系への応用を目的とし、上記ハイブリッドレンズを自動車ヘッドライトの投影レンズに応用した際の投影像の色収差について調べた。

2 方法

本取り組みでは、照明システムへの応用として、白色LED光源を用いて白黒のパターンを投影する自動車のヘッドライトに着目し、その投影レンズにハイブリッドレンズを適用した際の、投影パターンの色収差について調べた。ヘッドライト光学系は市販の自動車ヘッドライトから光源・リフレクター・投影レンズからなる部分を取り出した(図1)。投影レンズには非球面ハイブリッドレンズ(68995, Edmund Optics Inc.)と、比較のための非球面プラスチックレンズ(66011, Edmund Optics Inc.)を用意した(型番は2016年に公開されていたもの)。図2はヘッドライト光学系の光源から20m前方のスクリーンに投影された像である。像は図中の明暗境界(カットライン)の中央の段差部分が結像する

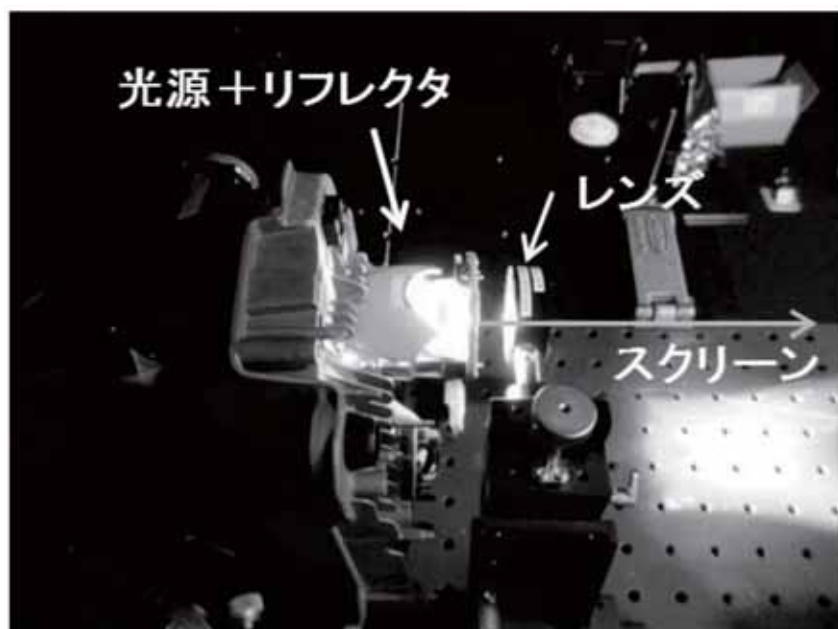


図1 上から見た自動車ヘッドライト光学系

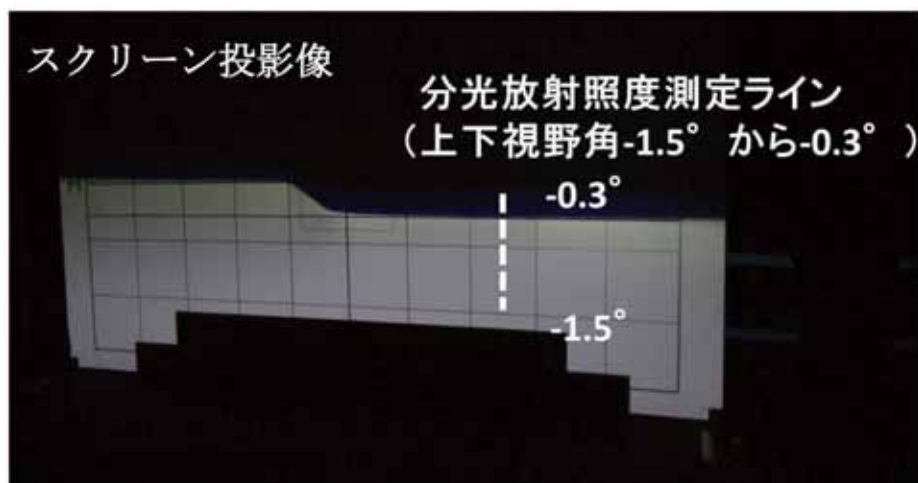


図2 自動車ヘッドライト光学系の投影像

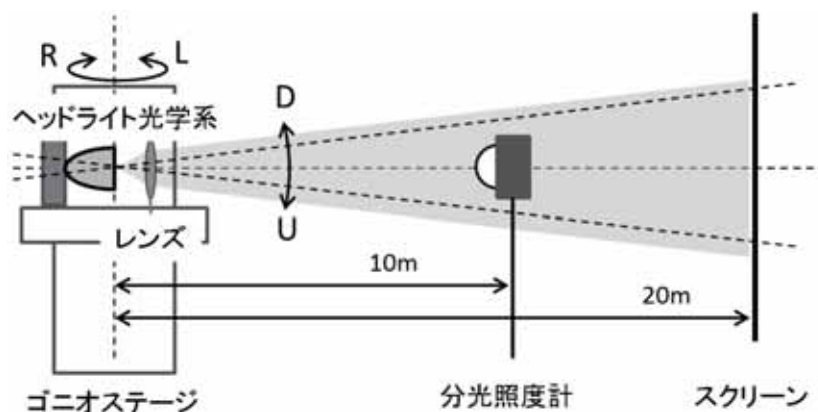


図3 測定光学系の概念図

ようにヘッドライト光学系の投影レンズの位置を調整した。カットラインの色のにじみの評価は、図中の破線部（光源からの上下視野角が -1.5° から -0.3° まで）の分光放射照度を 0.01° 刻みで測定し、その値からCIE 1976色度座標（ u' , v' ）（JIS Z8781-5）を求めた。（ u' , v' ）は人間が知覚する色と色の差（色差）に比例するように考案された量であるため、この値の変化を調べることでカットラインの色のにじみを定量的に評価することができる。分光放射照度は光源から10m前方（スクリーンから10m光源側）に配置した分光放射照度計で測定した。測定光学系の概念図を図3に示す。

3 結果および考察

図4に波長450nm、550nm、650nmの放射照度における測定結果を示す。図の（a）は投影レンズに非球面ハイブリッドレンズを使用した結果で、（b）は投影レンズに非球面プラスチックレンズを使用した結果である。図4（a）、（b）において放射照度が急激に変化している領域がカットライン付近である。図4（a）、（b）から非球面ハイブリッドレンズを使用した投影像のカットライン付近の放射照度は非球面プラスチックレンズに比べてどの波長もほぼ同じ視野角で変化している。一方で非球面ハイブリッドレンズの測定結果においては波長450nmの放射照度が投影像暗部（上下視野角が -0.5° 以上）においても値が下がりきっていないことなどが確認できた。

図5は各投影レンズを用いた際の測定領域におけるCIE 1976 均等色度図上での色の変化を示している。図において u' が小さく v' が小さい領域は青色の割合が高く、 u' が小さく v' が大きい領域は緑色の割合が高い。また u' と v' の両方の値が大きい領域は赤色の割合が高い。（ u' , v' ）が約（0.20, 0.46）の点が 2°

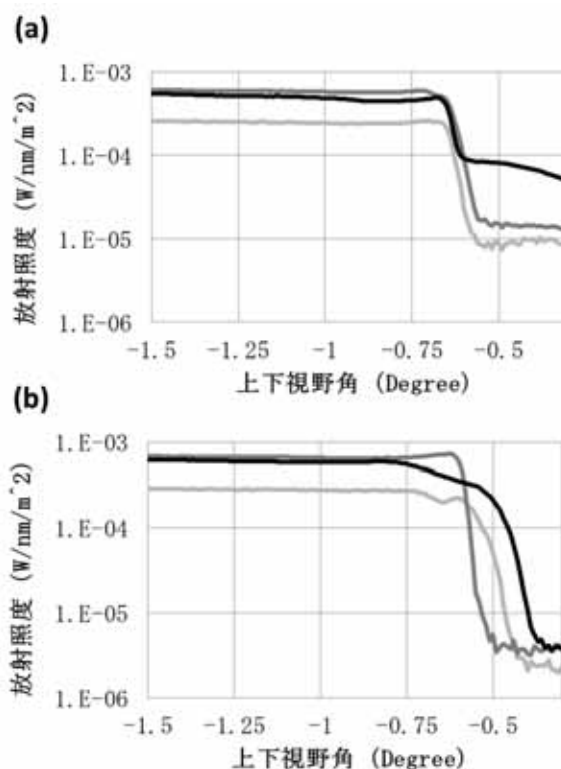
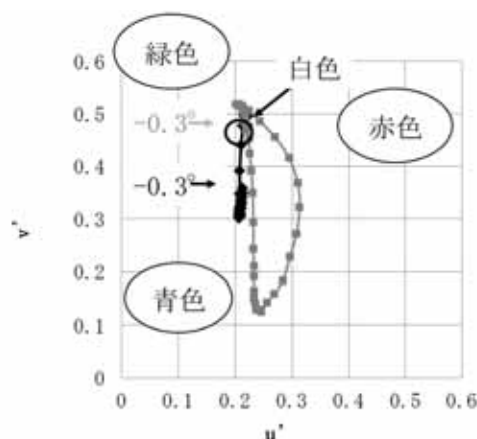


図4 測定上下視野における450nm, 550nm, 650nmの分光放射照度

(a)：非球面ハイブリッドレンズを用いてカットラインを投影したもの。
(b)：非球面プラスチックレンズを用いてカットラインを投影したもの。

図5 測定上下視野位置における色度値(CIE1976 u' v')の色度図上の軌跡

●：非球面ハイブリッドレンズを用いてカットラインを投影したもの。
■：非球面プラスチックレンズを用いてカットラインを投影したもの。

標準観測者における標準光源Cの白色点となっている。図より非球面ハイブリッドレンズにより投影されたカットラインの色度図上の軌跡は非球面プラスチックレンズにより投影されたそれよりも小さいことがわかる。ただし、非球面ハイブリッドレンズの色度座標上の軌跡は測定した上下視野の暗部上限（ -0.3 度）においても青色の割合が高い領域であった。これらの傾向は前回の取組みで行った白色光源を用いたナイフエッジ投影像の色収差評価⁶⁾で行った測定と同様であった。

今回使用したハイブリッドレンズの回折効率にはメーカーカタログによると波長587.5nmで最大になるように設計されており、波長450nmでは波長587.5nmの70%程度となっている。回折効率は、回折構造により光を集光できる割合を示している量である。集光されない光はスクリーン上で結像しないため、バックグラウンド光となる。したがって、波長450nm 付近の青色領域に相当する短波長側において回折効率が低いため、この波長領域の光は投影スクリーン上（結像面）で結像せずにバックグラウンド光となり、フレア現象が生じており、このためナイフエッジ投影像の暗部領域の青色光が他の色の光よりも高くなったと考えられる。

4 まとめ

自動車ヘッドライト光学系の投影レンズに非球面ハイブリッドレンズを使用した際の投影像におけるカットラインの色収差について、分光放射照度を測定し色度値を求め評価した。非球面ハイブリッドレンズを使用することによりカットライン投影像の色の变化が非球面プラスチックレンズに比べて抑えられることがわかった。一方で、回折レンズの回折効率によるフレア現象が生じることが確認できた。

今回の取組では照明システムにハイブリッドレンズを

適用した際の、投影像における輪郭の色の变化がプラスチックレンズに比べてどの程度低減するか、また回折効率によるフレア現象について、分光放射照度の値や色度値などの定量的な値を用いて議論した。これらの知見は回折レンズを用いた照明システムを設計するための有用な情報であると考えられる。

謝辞

この取組の一部は静岡大学電子工学研究所の共同研究プロジェクトの支援を受けて行われた。

参考文献

- 1) 小野雄三 他：回折光学の基礎「回折光学素子入門」，増補改訂版（オプトロニクス社，東京），（社）応用物理学会日本光学会光設計研究グループ 監修，pp. 9－23（2006）
- 2) Ebstein, Steven M. : Nearly index-matched optics for aspherical, diffractive, and achromatic-phase diffractive elements. Optics Letters, 21(18), 1454-1456 (1996).
- 3) 鈴木等 他：回折光学素子を用いた光学設計. 光学, 25 (12) , 8-13 (1996).
- 4) 中井武彦 他：積層型回折光学素子の研究と光学系への適用方法. 日本写真学会誌, 65 (3), 180-185 (2001).
- 5) 是永継博 他：回折レンズの設計手法およびナノコンポジット材料による回折効率向上. 光学, 42 (7), 332-338 (2013).
- 6) 志智亘：回折現象を用いたレンズの照明用途応用に向けた検討. 静岡県工業技術研究所研究報告, 10, 9-10 (2017).

レンズ表面上の微細構造が投影像の鮮明度を与える影響

機械科 豊田敏裕* 鈴木敬明**

Method for estimating the influence of the microstructure of the lens surfaces on the sharpness of the projected image

Toshihiro TOYOTA and Taka-aki SUZUKI

Dark and light area are in the image projected by the headlamps, and a light and dark boundary are called a cutoff line. The sharp cutoff line makes the drivers and/or pedestrians uncomfortable when a vehicle is shaking and a tilt of the vehicle change. This is why it is necessary to make the cutoff line blur.

In the projector type headlamp, although the sharpness of the projected image can be controlled by adjusting the optical arrangement, chromatic aberration (color bleeding) occurs near the cutoff line due to wavelength dispersion of the refractive index of the lens. The color occurred this chromatic aberration largely differs according to slight differences in optical arrangement and lens shape.

Some headlamp products, which apply a micro-structure to the lens surface and diffuse light to adjust sharpness of projected image, have been developed.

The lighting simulation is effective to investigate the relationship between the micro-structure and the sharpness of the projected image. However, a 3D modeling of a lens with a micro-structure pattern on its surface gives limitations on the size of data and the amount of calculation in lighting simulation.

In this research, a convenient method to predict the sharpness of the projected image, which convolute a light diffusion property caused by one micro-structure and a projected image formed by a lens without micro-structure, are proposed.

Keywords : light simulation, micro-structure, micro-lens, image processing, head lamp

キーワード：照明シミュレーション、微細形状、マイクロレンズ、画像処理、ヘッドランプ

1 はじめに

LEDなどの高輝度・微小発光体を光源とするヘッドランプ設計においては、効率的な集光と配光を実現するために樹脂製のレンズが使用されている。対向車がある場合のすれ違い用ビームの配光設計では、走行車線の路面を最大限に明るくしながら、対向車に幻惑感を与えないことが重要視される。そのため、上半分が暗く、下半分を明るい、カットオフラインと呼ばれる明暗部境界を持つ投影像が形成される。鮮明なカットオフラインは、車両の揺れにより投影像にブレが生じた際に、不快なちらつきを感じさせる原因となる。それを排除する目的で、法規¹⁾によりカットオフラインの鮮明度が規定されている。

明暗部境界を不鮮明にする（暈す）ことは、投影像を鮮明に結像させない（焦点を外す）ことで容易に

実現可能であるが、樹脂レンズを用いたヘッドランプでは色収差と呼ばれる現象により、カットオフラインに色のにじみが生じることになる。色収差は、樹脂レンズのわずかな形状誤差や、取り付け誤差により容易に変化してしまうことから、焦点調節によるカットオフラインの色味や不鮮明度の制御は困難である。一方で、樹脂レンズの表面にマイクロレンズと呼ばれるミクロンオーダーの微細な凹凸形状を施すことで、投影像の鮮明度を制御する取り組みがある。しかしながら、形状と不鮮明度との対応付けはトライアンドエラーで行われている。照明シミュレーションは、製品の性能予測には有効な手段であるが、マイクロレンズを含むモデルは計算量が膨大となる。

そこで本研究では、マイクロレンズによる光の広がりを照明シミュレーションで予測した結果を点拡がり関数

*) 現 照明音響科 ***) 現 研究調整監

とみなし、マイクロレンズ形状が付与されていない樹脂レンズを用いた投影像予測結果に畳み込みを行う画像処理により、特定のマイクロレンズ形状を、対象とする樹脂レンズの前面に付与した際の投影像を予測する技術を開発した。

2 方法

2.1 マイクロレンズによる投影像の照明シミュレーション

図1に示す照明シミュレーションモデルを作成した。照明シミュレーションには、視認性評価CGシステムLumicept Ver.9.73 x64 (インテグラ社製)を用いた。照明シミュレーションモデルの詳細は次に述べる通りである。

(1) マイクロレンズの形状定義とマイクロレンズ形状モデルの生成

マイクロレンズは、凸部と平坦部から成る平凸形状とした。凸部側の形状は、複数の三角関数から成る設計式 $z=M(x, y)$ で定義した。ここで、 x 、 y 、 z は空間座標に対応しており、それぞれ縦、横、高さであり、単位はmmである。縦 x [mm]、横 y [mm]の座標に依存

して、高さ z が Z_{min} [mm]~ Z_{max} [mm]の範囲で変化するような設計式とした。マイクロレンズの大きさ縦0.5[mm]×横0.5[mm]とし、高さの範囲は、 $Z_{min}=0.0$ [mm]、 $Z_{max}=3 \times 10^{-3}$ [mm]とした。また、平坦部側は光軸を法線とする平面とし、凸部の Z_{min} から1.0[mm]離れた位置に配置した。よって、マイクロレンズの厚さ(高さ)は、空間的に $Z_{min}+1.0$ [mm]~ $Z_{max}+1.0$ [mm]の範囲で変化する。

照明シミュレーション対象のマイクロレンズ形状モデルは、上述の設計式で記述されたものに加えて、設計式に基づいて実際に成形された樹脂レンズ(以下、成形品という)から実測した形状2種類の計3種類とした。

加工条件が異なる金型2種類による成形品の凸面側の形状を非接触三次元形状測定機CCI HD (アメテック製)を用いて測定し、空間解像度横： 4.09×10^{-4} [mm/px]×縦： 4.09×10^{-4} [mm/px]×高さ： 0.01×10^{-6} [mm]で点群データとして取得した。図2は、設計式に基づく点群データと、非接触三次元形状測定機で取得した点群データに基づき、マイクロレンズの高さ方向を等高線で表示したものである。マイクロレンズの形状は、中心部から周辺部にかけて、等高線の形状

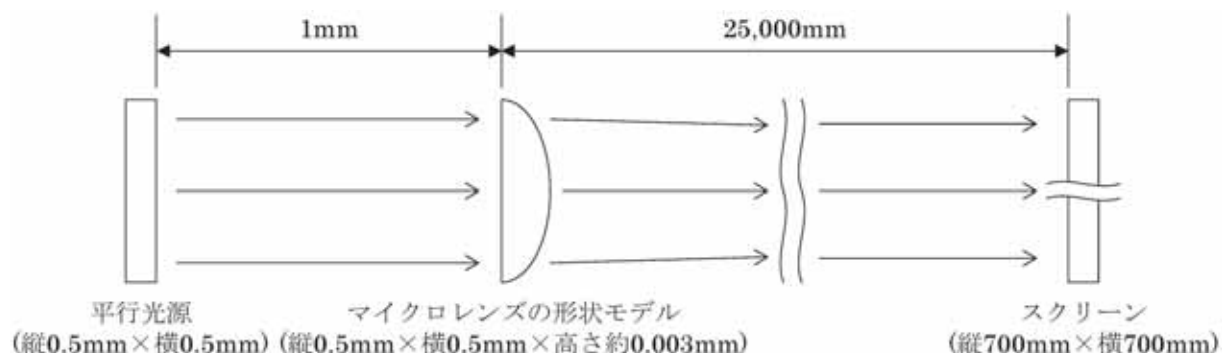


図1 照明シミュレーションモデルの概要

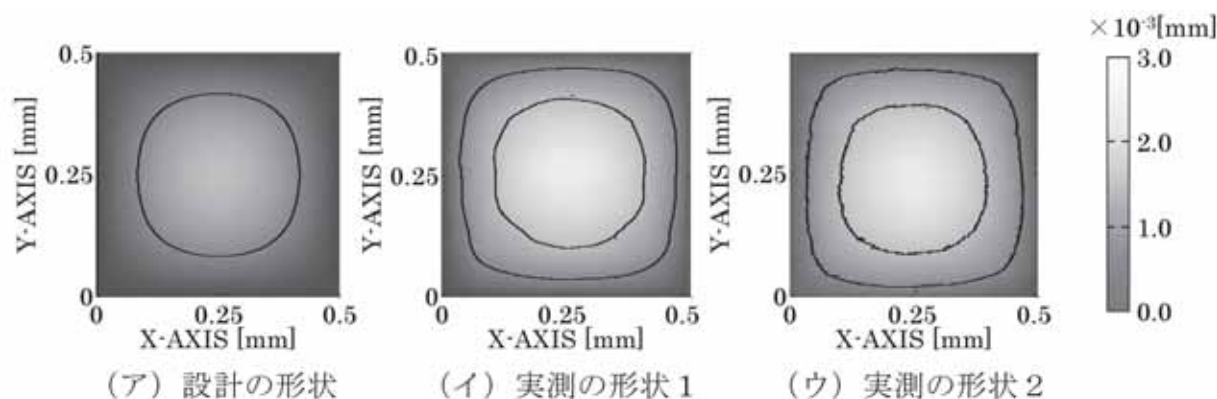


図2 照明シミュレーション対象のマイクロレンズの形状

設計形状及び実測したマイクロレンズの高さを濃淡と等高線で示している。

が円から矩形に変化するような設計（図 2（ア））であり、成形品（図 2（イ）及び（ウ））もこの傾向に従った形状であることがわかる。これらの点群データを視認性評価CGシステムに取り込んで曲面を生成し、同システムで作成した平坦部側と組み合わせてマイクロレンズ形状モデル 3 種類を作成した。

（２）照明シミュレーションのモデル構成

照明シミュレーションモデル（以下、照明源という）は、光源とマイクロレンズ形状モデルから構成した。

マイクロレンズ形状モデルは、高さ方向に対応する Z 軸が光軸（投影方向）に一致するよう配置した。マイクロレンズは樹脂製を想定し、屈折率は 1.49、樹脂による光の吸収は起きないものとした。

光源は、縦 0.5[mm]×横 0.5[mm]の平面光源とし、マイクロレンズ形状モデルの平坦部から光軸に沿って 1.0[mm]後方に離れた位置に配置した。配光特性は光軸に平行な平行光、全光束は 1 [lm]とした。照明シミュレーションでは、0.5[mm]×0.5[mm]の範囲のランダムな位置から平行光が生成される。

なお、レンズを用いた光学系では、色収差と呼ばれる屈折率の波長依存性による色むらが発生するが、本研究では、検討の対象外とした。したがって、照明シミュレーションで得られる投影像は、前述の通り、樹脂（PMMA）製のマイクロレンズの屈折率が 1.49 となる波長における投影像に等しく、照明シミュレーション結果は無彩色（グレースケール）の画像として得られることになる。

投影像は、照明源から 25,000[mm]の位置に配置した、光軸を法線とする縦 700[mm]×横 700[mm]（視野角で縦 1.6[deg]×横 1.6[deg]）の仮想スクリーンを通過する光線として取得した。仮想スクリーンの画素数は縦 700[px]×横 700[px]とした。投影距離とスクリーンの大

きさから、空間解像度は縦 1.0[mm/px]、横 1.0[mm/px]（縦 0.016 [deg/px]、横 0.016 [deg/px]）であった。

照明シミュレーションの収束条件は、誤差 5 % 以下とした。ここで、誤差とは、照明シミュレーション結果の真値に対する評価ではなく、評価（発生）した光線に通し番号を付して奇数番号と偶数番号の光線群に分けた際の評価対象の差異を指している。本研究では、誤差の評価対象は 25,000[mm]先に設置された仮想スクリーンに対する投影像とした。

2.2 畳み込みによる投影像の鮮明度予測

処理の概要を図 3 に示す。右側通行用の車両に装着されるヘッドランプが形成する投影像を想定した、カットオフラインを有する 2 値画像を原画像 $f(x, y)$ とした。原画像の画素数は、縦 801[px]×横 1,601[px]（視角で縦 8.0[deg]×横 16.0[deg]）とした。

本研究では、マイクロレンズのような微小領域に入射した光が空間内に拡散することを点拡がり関数として表現した。つまり、2.1 の照明シミュレーションで取得した投影像を点拡がり関数 psf (point spread function) と見なした。そして、空間領域において、現画像 $f(x, y)$ の各画素に点拡がり関数 $p(x, y)$ を適用する、すなわち周波数領域で原画像 $F(\omega)$ を点拡がり関数 $P(\omega)$ で畳み込むことで、マイクロレンズによる投影像の鮮明度制御の効果を予測した。

まず、事前処理として、原画像 $f(x, y)$ と点拡がり関数 $p(x, y)$ の空間解像度が一致するよう点拡がり関数 $p(x, y)$ の画素数を調整し、原画像 $f(x, y)$ と点拡がり関数 $p(x, y)$ の空間解像度を縦 4.48[mm/px]、横 4.48[mm/px]（視角で縦 0.01[deg/px]、横 0.01[deg/px]）に揃えた。

次に、周波数領域での画像演算のため、原画像 $f(x, y)$ と点拡がり関数 $p(x, y)$ を各々フーリエ変換し、

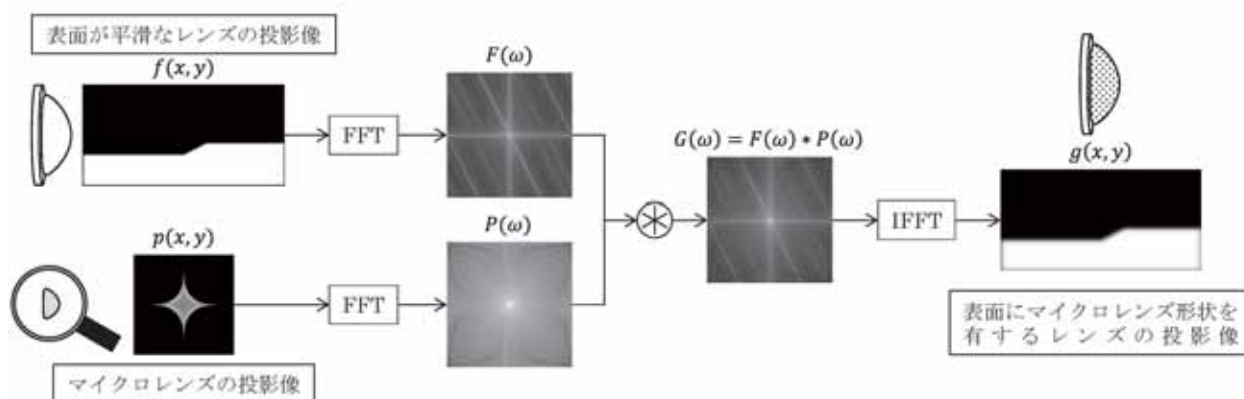


図 3 畳み込みによるフィルター処理の流れ

原画像 $f(x, y)$ のパワースペクトル $F(\omega)$ と点拡がり関数 $p(x, y)$ のパワースペクトル $P(\omega)$ に変換した。そして、原画像 $f(x, y)$ のパワースペクトル $F(\omega)$ と点拡がり関数 $p(x, y)$ のパワースペクトル $P(\omega)$ を畳み込み、鮮明度低下画像 $g(x, y)$ のパワースペクトル $G(\omega) = F(\omega) * P(\omega)$ を得た。最後に、鮮明度制御画像 $g(x, y)$ のパワースペクトル $G(\omega)$ を逆フーリエ変換することで、シャープな投影像（原画像 $f(x, y)$ ）の鮮明度を、マイクロレンズ（点拡がり関数 $p(x, y)$ ）を用いて制御した結果を予測する画像を取得した。なお、一連の処理はMATLAB® R2013b (MathWorks® 社製) を用いた。

3 結果と考察

3.1 マイクロレンズによる投影像の照明シミュレーション

各モデルでは、誤差 5 % の収束条件に達するまでに 69,000,000 本以上の光線が評価された。

もし、照明シミュレーションに用いたマイクロレンズが配光制御の機能を果たさない（集光等の光学的な役割がない）と考えられる場合、光源の形状がそのまま投影像として得られる、すなわち、25,000[mm]先の仮想スクリーンには横 0.5[mm] × 幅 0.5[mm] の矩形の発光面が投影されることになるか、いわゆる焦点外れにより、明暗部境界が不鮮明な矩形状の投影像が得られるものと考えられる。照明シミュレーションの結果、設計式に基づくマイクロレンズを用いた照明シミュレーションモデルは、鮮明な明暗部境界を有するダイヤモンド状の投影パターンを呈した（図 4（ア））。また、成形品においても、明暗部境界の鮮明度の違いはあるが、同様に異方性のある投影パターンを呈する傾向がみられた（図 4（イ）及び（ウ））。この傾向は、マイクロレンズの形状が頂点を中心とする回転対称の形状でないことに由来すると考えられる。以上の結果から、照明シミュレーションに用いたマイクロレンズは、縦 0.5[mm] × 横 0.5[mm] の矩形範囲から出た平行光を、25,000[mm]先で縦 470[mm] × 横 470[mm] の範囲にダイヤモンド状の特徴的な投影像のパターンを形成する機能を有することがわかった。

3.2 畳み込みによる投影像の鮮明度予測

図 5（ア）に示す原画像 $f(x, y)$ に、図 4（ア）～（ウ）に示す点拡がり関数 $p(x, y)$ を畳み込むことで、図 5（イ）～（エ）に示すような、不鮮明な明暗部境界を持つ画像が得られた。これは、図 5（ア）に示

すような投影像を形成する光学系の樹脂レンズの表面に、図 2（ア）～（ウ）で示すマイクロレンズの形状を並置して転写した場合、図 5（イ）～（エ）に示すような投影像が形成されると予測されることを示している。

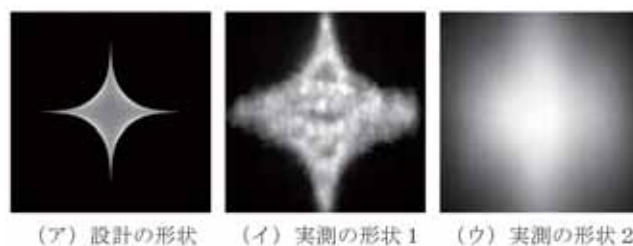


図 4 マイクロレンズが形成する投影像の照明シミュレーション結果

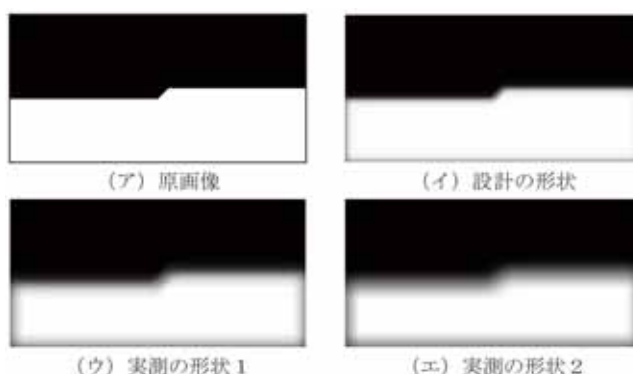


図 5 マイクロレンズを付与したレンズによる投影像の予測

3.3 G値に基づくカットオフラインの鮮明度評価

図 6（イ）は、部品の光学配置を調整し、意図的に焦点外れを発生させることによりカットオフラインを不鮮明にした状況を想定し、同様の手順で、原画像 $f(x, y)$ （図 5（ア））に等方性（ガウス状）の点拡がり関数 $p(x, y)$ （図 6（ア））を適用した結果である。以上の予測結果に基づき、光の広がり（異方性の有無）が投影像にどのような影響を与えているかを調査するために、投影像の鮮明度を評価する自動車用ヘッドランプの国際規格（UN/ECE R112）を参考に、2.0L（画像の中心を視角 0[deg]とし、左側に視角 2.0[deg]）の垂直断面における明るさを抽出し、G値を評価した。G値は、カットオフラインの鮮明度を評価する指標であり、 $G(\beta) = \log_{10}(I_{\beta}) - \log_{10}(I_{\beta+0.1})$ と定義されている。ここで β は、2.0L の断面における垂直方向の視角（単位は[deg]）、 I_{β} は視角 β [deg] における明るさである。G値の式は、 $G(\beta) = \log_{10}(I_{\beta} / I_{\beta+0.1})$ と表すこともできることから、この指標は空間的な明るさの変動割合を評価するものである。

図 7 に、2.0L の垂直断面における明るさ変化を示す。

鮮明な明るさ変化を示す原画像（実線）に対し、点拡がり関数に依存して、空間的な明るさ変化に違いが見られ、その違いが明るさ変化の傾きとして現われている。明暗部境界付近の明るさ変化が緩やかになる（傾きが小さくなる）と、明暗部境界が不鮮明になることがわかる（点線、破線、一点鎖線、二点鎖線）。

図8は、図7で抽出した明るさ変化に基づきG値を評価した結果である。G値は、その評価式の定義から、明るさ変化が生じない場合は0、明るさ変化が大きくなるほど値が大きくなる。よって、図8の実線で示している原画像のように、急激な明暗変化が生じる場合は、明暗部境界で無限大、それ以外の部分では0となる。図7において、焦点外れ（破線）と成形品1（一点鎖線）の明るさ変化は類似しているが、その変化をG値として評価すると、G値にはその違いが顕著に表れている（図8の破線及び一点鎖線）。焦点外れのような等方性のボケでは、局所的な明るさ変化が単調に変化しているのに対し、マイクロレンズをレンズ表面に付与してボケに異方性を持たせることで、局所的な明るさ変化を投影位置に依存して変化させられることが分かる。これは、異方性のあるボケを生じさせることにより、投影像の鮮明度を局所的に制御できることを示している。

4 まとめ

本研究では、集光レンズを用いた照明光学系における投影像の鮮明度制御に有効な手段である、集光レンズ表面へのマイクロレンズ形状の付与について、マイクロレンズの形状設計を効率化するための、投影像予測技術を開発した。本研究で対象としたような、異方性のある投影像を形成するマイクロレンズを用いることで、特定の方位の鮮明度を選択的に制御でき、投影像の品質を向上させることができる。

今後、本技術の実用化に向けて、投影像の実測に基づく解析や、集光レンズの表面にマイクロレンズ形状のパターンを形成する場合のマイクロレンズの法線決定（ベース曲面の法線に一致させるか、光軸に一致させるか）など、検討を進めていく予定である。

参考文献

[1] UN/ECE R112: Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting an asymmetrical passing-beam or a driving-beam or both and equipped with filament lamps and/or light-emitting diode (LED) modules.

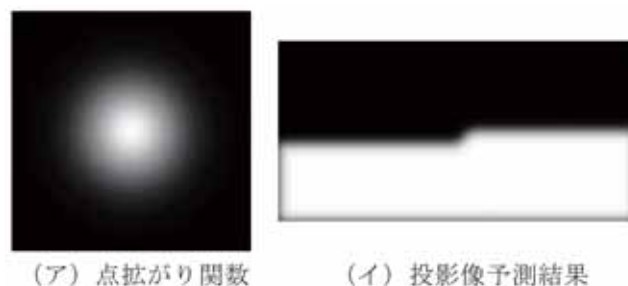


図6 焦点外れを想定した投影像の予測結果

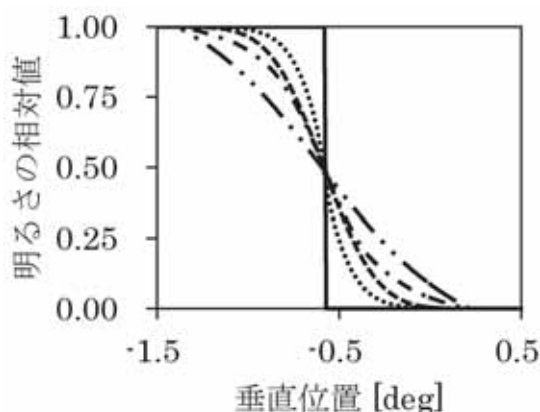


図7 カットオフライン付近の明暗変化

実線：原画像（鮮明な明暗境界）、点線：設計形状、一点鎖線：成形品1、二点鎖線：成形品2、破線：焦点外れ

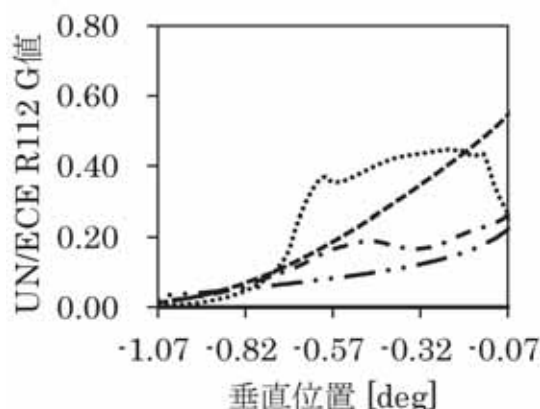


図8 G値の解析結果

実線：原画像（鮮明な明暗境界）、点線：設計形状、一点鎖線：成形品1、二点鎖線：成形品2、破線：焦点外れ

樹脂製積層造形器物を対象とした非接触三次元測定機の精度評価

機械科 柳原 亘*

Accuracy evaluation of CMM with a non-contacting probing system for resin models by FDM

Wataru YANAGIHARA

Using resin models by FDM (Fused Deposition Modeling) as measurement samples, the measurement accuracy of a CMM (Coordinate Measuring Machine) with a non-contacting probing system has been evaluated, comparing with a CMM with a contacting probing system. The measurement results of the CMM with a non-contacting probing system has indicated that the sphericity and the flatness are up to 0.210mm and 0.586mm, respectively, comparing with a contacting probing system. The spherical diameter and the distance between spheres are up to 0.078mm and 0.117mm, respectively, comparing with a contacting probing system. In the case of a dumbbell-shaped standard staying two spheres with a smooth and matte white surface on both sides as a measurement sample, the sphericity is up to 0.064 mm comparing with respect to the reference value, but the errors between the sphere diameters and the sphere distances are within 0.005 mm. This research clarifies the measurement accuracy when measuring resin models by FDM with a CMM with a non-contacting probing system.

Keywords : resin models by FDM, CMM with a non-contacting probing system, measurement accuracy

キーワード : 樹脂製積層造形器物、非接触三次元測定機、幾何公差、寸法、測定精度

1 はじめに

独立行政法人産業技術総合研究所の地域連携戦略予算プロジェクトとして、「3D3プロジェクト（平成28年度～平成30年度）」という取り組みが行われている。本プロジェクトの目的は、3Dプリンタと3Dスキャナの連携により、ものづくりの工程においてPDCAを効率的に回すことで生産性を向上し、より高精度なデジタルものづくりに資することである。プロジェクトの主な内容は、3Dプリンタで造型した器物を3Dスキャナ等の座標測定機で測定し、測定データから解析した補正值等を3Dプリンタの造形プログラムにフィードバックすることで、造形誤差を低減することである。

我々はプロジェクトの目的に賛同し、当研究所が所有している非接触三次元測定機で3Dプリンタの造形器物を測定するという形で参加し、これまで測定に関する知見を得てきた。本報では、これまでに我々が担当した非接触三次元測定機の測定における検証（平成28年度～平成29年度）について報告する。

2 方法

2.1 測定試料

測定試料を写真1と写真2に示す。熱溶解積層方式の3次元樹脂造形装置（Stratasys社製FORTUS 400mc-L）を用いて造形した樹脂製積層造形器物である。材質はABS樹脂で、積層ピッチは0.254mmである。器物の形状は、造型装置の造形精度の検証や形状変形等の傾向把握、及び接触式と非接触式による測定が可能な形状とした。写真1の器物（以下 器物1）は、端に球（φ22mm）を、球と球の間に円柱（φ14mm）と直方体（L18mm）を配置した最大寸法100×100×100mmの形状である。写真2の器物（以下 器物2）は、直方体（L30mm）の各端に球（φ15mm）の中心を配置した最大寸法45×45×65mmの形状である。なお、器物1は、サイズが大きいことや測定箇所及び測定点数が多いという課題があった。そこで、造形時間の短縮と汎用測定機による測定を容易とすることで計測評価時間もあわせて短縮を図るという意図で器物2が考案された。

*) 現 照明音響科

2.2 測定方法

(1) 接触式

測定機を写真3に示す。(株)ミツトヨ製のCNCマイクロコード H503を使用した。空間測定精度は $(0.8+2L/1000) \mu\text{m}$ (L: 任意2点間の寸法mm)である。測定にはプローブ径4mmのマルチスタイラスを使用した(写真4)。

器物1は、写真5のように固定し、座標系を設定した。切欠きのある直方体に最も近い球をS111、S111から切欠き方向にある球をS211とし、S111とS211の中心をX軸上に配置する。S111、S211、S121の中心でなす平面を基準面(XY面)、S111の中心を原点($X=Y=Z=0$)とした。球の測定は、写真6のように頂点1点とその頂点を北極点と見立てた場合の赤道線上5点の計6点とした。平面の測定は、写真7のように中央1点と4隅1点ずつの計5点とした。球と平面は最小二乗法により計算した。本測定から各球の球径、球間



写真3 接触式三次元測定機



写真4 マルチスタイラス

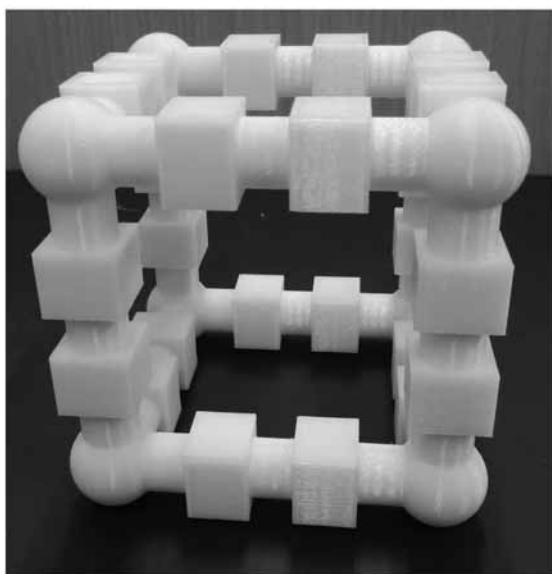


写真1 樹脂製積層造形器物1

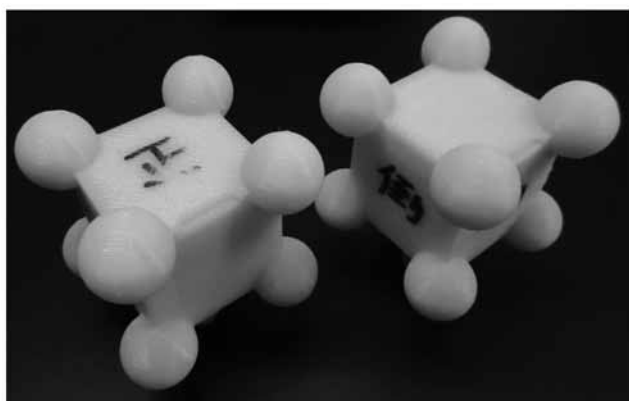


写真2 樹脂製積層造形器物2

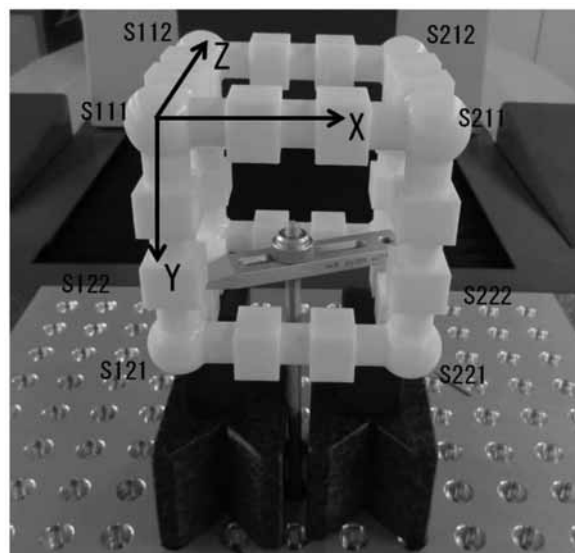


写真5 器物1の固定と座標系の設定

距離、真球度と平面度（直方体上の8面でなす平面：XY面、YZ面、ZX面）を求めた。

器物2は、写真8のように固定し、座標系を設定した。球111から球211の方向をX軸、球111から球121の方向をY軸、そして球111から球112の方向をZ軸とした。器物1の球測定は6点であり、積層造形器物の測定には点数が少なかったことが検証で分かったため、器物2の球測定は、写真9のようにJIS B7440-5 (2013) 6.2.4.4項に従った計25点を測定した。本測定から各球の球径、球間距離、真球度を求めた。

(2) 非接触式

測定機を写真10に示す。東京貿易テクノシステム(株)製のCOMET5-11Mを使用した。カメラレンズは、写真1の器物にエリアサイズ350（平均点間ピッチ0.085mm）、写真2の器物に150（平均点間ピッチ0.038mm）を使用した。測定の際、反射防止スプレーは塗布しなかった。



写真8 器物2の固定と座標系の設定

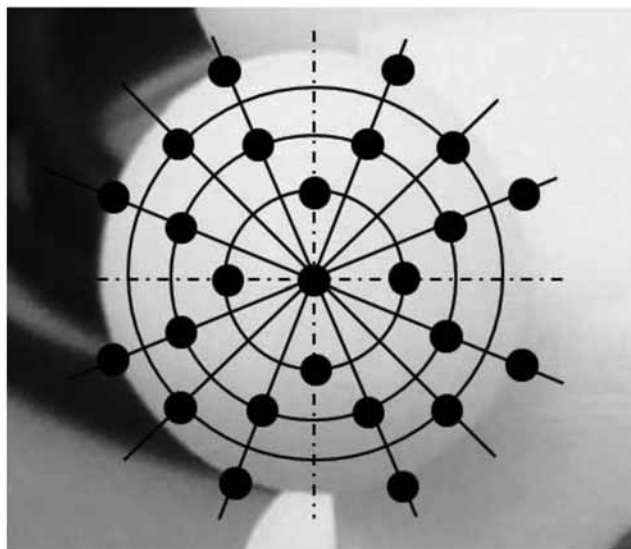


写真9 球の測定点（器物2）

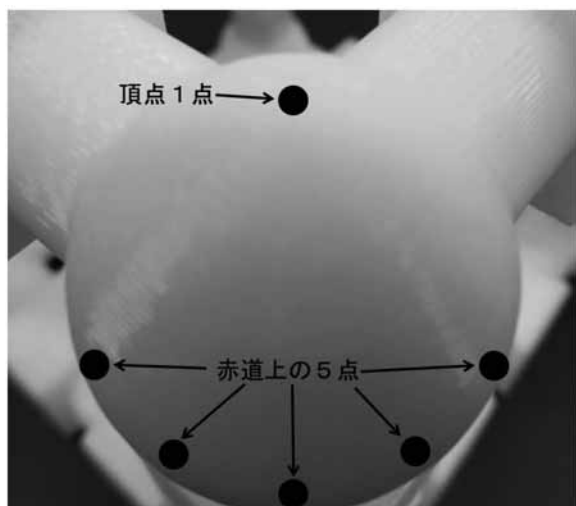


写真6 球の測定点（器物1）

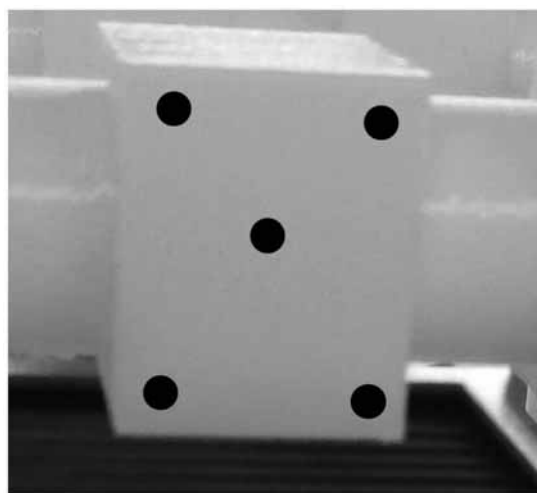


写真7 平面の測定点（器物1）

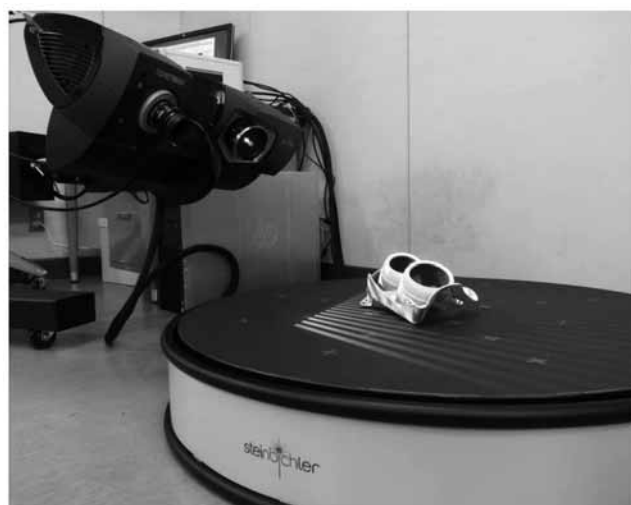


写真10 非接触式三次元測定機

器物 1 は、写真11のように置き、回転テーブルによる自動測定を行った。センサを下向き45°と水平に向けた2姿勢で、45度ずつの回転ピッチで計16ショットの測定を行った。測定データの解析には株式会社アルモニコスのspGauge2016.1を用いた。接触式の評価と同様に、各球の球径、球間距離、真球度と平面度を求めた。

器物 2 は、写真12のように置き、上記と同様に回転テーブルによる自動測定を行った。接触式の評価と同様に、各球の球径、球間距離、真球度を求めた。

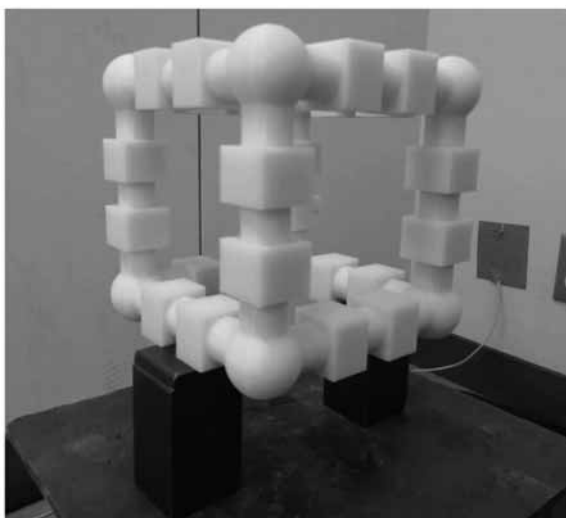


写真11 器物 1 の設置

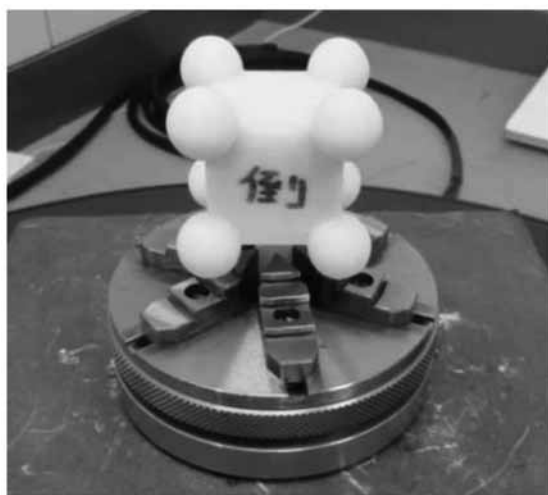


写真12 器物 2 の設置

3 結果および考察

3.1 器物 1 の測定結果について

各測定項目において、接触式と非接触式の測定結果を図1～図4に示す。球径については、接触式に比べて非接触式が最大で0.173mm大きく測定された。真球度について、非接触式が最大0.684mm大きく測定された。非接触式測定ノイズにより、測定点のばら

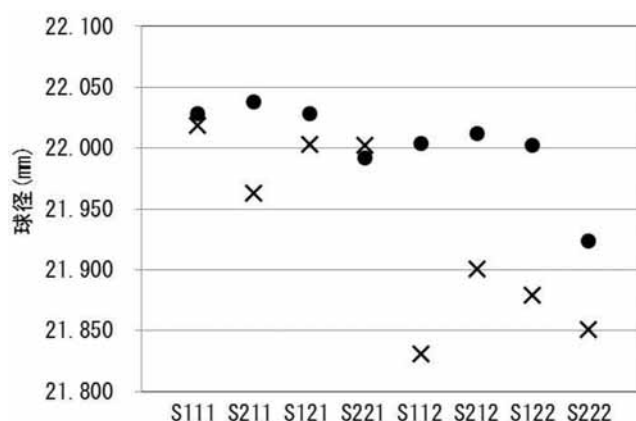


図1 球径の測定結果 (器物 1)

●：非接触式、×：接触式

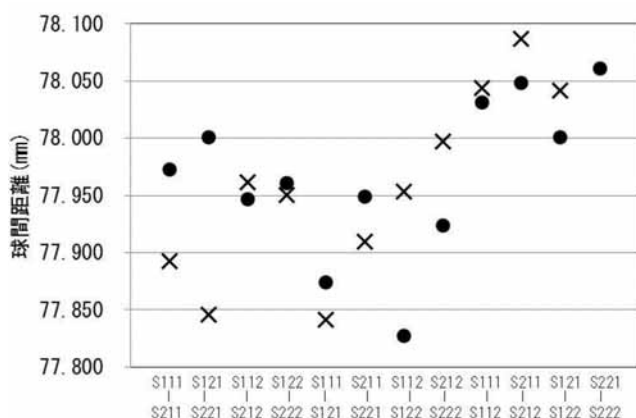


図2 球間距離の測定結果 (器物 1)

●：非接触式、×：接触式

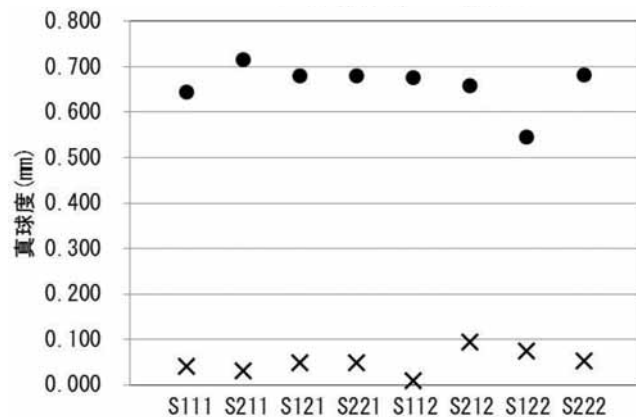


図3 真球度の測定結果 (器物 1)

●：非接触式、×：接触式

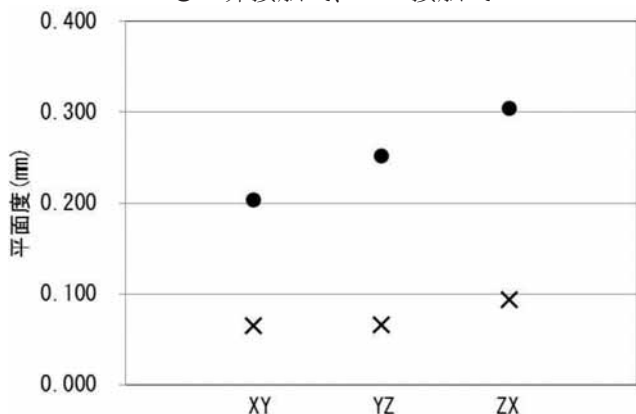


図4 平面度の測定結果 (器物 1)

●：非接触式、×：接触式

つき（計算した球に対する各点の偏差）が大きくなったことが原因と考えるが、これが球径の結果にも影響したと考える。平面度については、最大で0.210mm大きく測定された。真球度と同様にノイズが原因と考えるが、平面はセンサに対する測定面の向きが測定範囲でほぼ同様であるため、球に比べて差分が小さかったと考える。球間距離については、プラス側で最大で0.155mm、マイナス側で最大0.126mmの差分であった。樹脂製積層造形器物自体が、反射防止スプレー無しでは測定点が欠落しやすく測定しにくい材質であるため、単ショットの測定データを重ねる際にずれが生じたことが主な原因と考える。

3.2 器物2の測定結果について

各測定項目において、接触式と非接触式の測定結果を図5～図7に示す。球径については、器物1と同様にほぼ非接触式の方が大きく測定され、最大で0.078mm大きく測定された。真球度については、非接触式が最大で0.586mm大きく測定された。球間距離については、全ての結果がプラス側であり、最大で0.117mmの差分であった。

3.3 寸法標準器について

プロジェクトの一環で、表面が滑らかで艶消しの白で塗装された球体が両端にあるダンベル型の寸法標準器（写真13）を非接触三次元測定機で測定した。エリアサイズ350（平均点間ピッチ0.085mm）のカメラレンズを用いて、センサを下向き45°に向けた姿勢において90度ずつの回転ピッチで計4ショットの測定を行った。球径、球間距離と真球度を算出した。基準値に対して真球度は最大0.064mm大きく測定されたが、球径は最大0.001mm、球間距離は最大0.005mmの誤差となった。本標準器は非常に測定しやすい表面状態であり、測定点の欠落がほぼ無いため、重ね合わせも高精度に行うことができた。ノイズの影響で真球度は1/100mm台の大きさであるが、球径と球間距離は最小二乗法で算出した球により求めるため、結果として1/1000mm台の誤差で収まったと考える。



写真13 寸法標準器

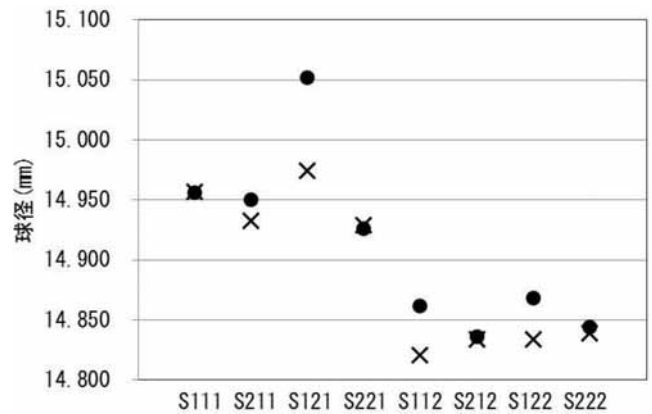


図5 球径の測定結果（器物2）

●：非接触式、×：接触式

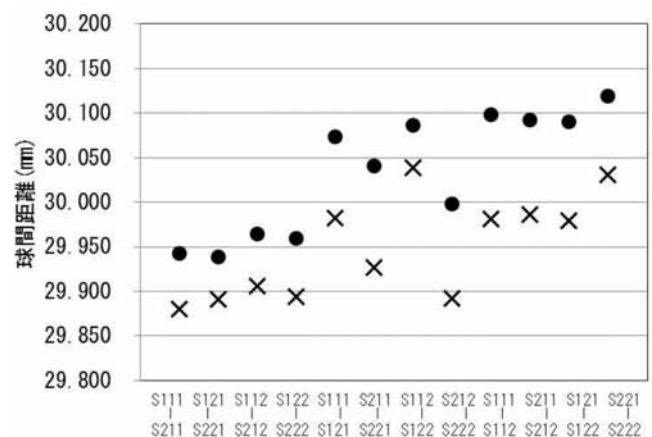


図6 球間距離の測定結果（器物2）

●：非接触式、×：接触式

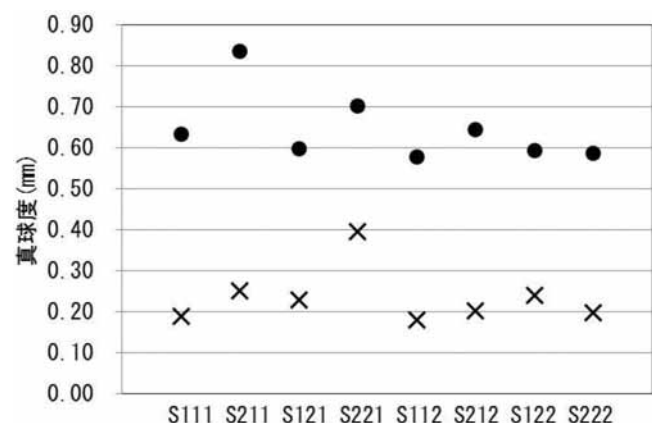


図7 真球度の測定結果（器物2）

●：非接触式、×：接触式

【報告】

4 まとめ

樹脂製積層造形器物を測定試料とし、接触式三次元測定機による測定結果と比較することで、非接触三次元測定機の精度評価を行った。その結果、以下のことが分かった。

- (1) 非接触三次元測定機による測定は、接触式三次元測定機に比べて、幾何公差の結果が、真球度で最大0.586mm、平面度で最大0.210mm大きく測定された。また、球径では、最大0.078mm、球間距離では最大0.117mm大きく測定された。
- (2) 表面が滑らかで艶消しの白で塗装された球体が両端にあるダンベル型の寸法標準器を、非接触三次元測定機で測定した結果、基準値に対して真球度は最大0.064mm大きく測定されたが、球径と球間距離は0.005mm以内の誤差となった。
- (3) 非接触三次元測定機による測定はノイズが発生しやすく、計算した幾何形状に対する各点のばらつきが大きいことで、幾何公差が悪くなったと考える。樹脂製積層造形器物自体が、反射防止スプ

レー無しでは測定点が欠落しやすく測定しにくい材質であるため、単ショットの測定データを重ね合わせる際にずれが生じ、球径と球間距離については誤差が大きくなったと考える。

本研究により、樹脂製積層造形器物を非接触三次元測定機で測定する際の測定精度が明らかになった。本プロジェクトで得た知見を今後の機器使用や技術指導に活かしていく。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター：産総研地域連携戦略予算プロジェクト「3Dスキャナと3Dプリンタの連携によるクローズドループエンジニアリングの実証」ガイドライン Final, 11-19 (2015).
- 2) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター：産総研地域連携戦略予算プロジェクト「3D計測エボリューション」(3D3プロジェクト) 実施ガイドライン, 12-16 (2017).

ビッグデータ分析技術に関する研究

— 農業関連データの活用法検討 —

電子科 岩崎清斗* 望月建治*
静岡県立大学 斉藤和巳**

Study on Big-Data Analysis Technology

— How to utilize data for agriculture —

Kiyoto IWASAKI, Kenji MOCHIZUKI and Kazumi SAITO

Big-data analysis technology is expected to increase the utility value of data and contribute to economic growth. In recent years, the agricultural IoT for collecting data, such as environmental information and the working records, have been spreading to agricultural corporations. However, big-data analysis technology is indispensable to connect the collected data with the environmental control methods and the optimization of agricultural works.

In this study, we analyzed the big-data collected in agricultural field such as environmental information and entry-exit records of workers, and examined how to use them. Firstly, we calculated the humidity deficit, which serves as an index of the wilting condition of the plant, from the temperature and the humidity in the greenhouse. Secondly, we defined the ideal state of the humidity deficit: it does not change more than 10g/m^3 within one hour, the median for a day is within $3\sim 6\text{g/m}^3$, and the lower quartile and the upper quartile are less than 3g/m^3 and more than 6g/m^3 respectively. As a result, we found that the ideal state can be determined by visualizing the humidity deficit in the greenhouse using a box plot. In addition, from the analysis of the environmental information around the greenhouse and the entry-exit records of workers using the classification tree of machine learning, it was found that the entry-exit time of the workers was not affected by the environmental information.

Keywords : big-data, IoT (Internet of Things) , agriculture

キーワード : ビッグデータ、IoT (Internet of Things)、農業

1 はじめに

IoT (Internet of Things) やインターネットの普及により、日々膨大なデータが収集、蓄積されている。それらビッグデータの分析技術は、データの利用価値を高め、経済成長に貢献するものと期待されている。

このような状況下、農業分野では、作業合理化による生産性向上、熟練技術やノウハウの継承が大きな課題となっている。近年、環境情報や作業記録等のデータ収集を目的に、農業法人等で農業IoTの普及が進んでいるが、課題の分析、解決策の発見等の成果に結びつけるためには、生育環境の情報を含めたビッグデー

タ分析技術が必要不可欠である。

本研究では、農業分野で収集、蓄積した生育環境情報等について統計処理言語であるR^{*1}を用いたデータ可視化等の処理を行い、得られた分析結果の活用法について検討した。

Rは、オープンソースの統計解析向けプログラミング言語及びフリーソフトウェアである。充実したライブラリ、マルチプラットフォーム対応等の理由から、ビッグデータ処理ツールとして広く利用されている。

*) 現 機械電子科 **) 現 神奈川大学

* 1) The R Project for Statistical Computing : Getting Started. <https://www.r-project.org/> (2017.4.5アクセス)

【報告】

2 方法

2.1 生育環境データの収集及びクレンジング

御前崎市で葉物野菜の温室栽培を営む農業法人（写真）の協力により、温室内生育環境情報を収集した。協力先は、10分間隔で温室内の温度と湿度を収集する農業IoTサービスを利用しており、本研究では平成29年8月3日～9月13日までのデータを用いた。



写真 葉物野菜の温室栽培

また、作業者が携帯するビーコンの信号を温室内に設置した記録装置が受信することにより、作業者の温室への入退室記録の収集を行った（図1）。

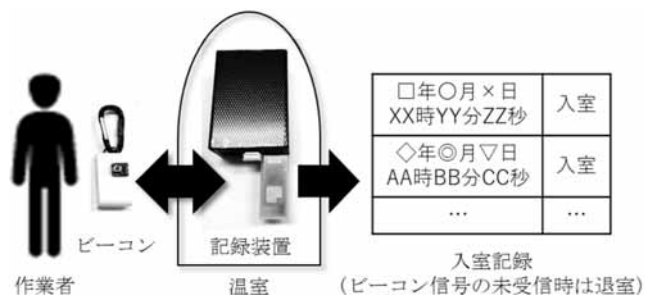


図1 温室入退室記録方法

表1のソフトウェアの構成により、温度、湿度、飽差（空気中にあとどれくらいの水分を含むことができるかを表す指標）、表2に示す生育環境情報と入退室記録より時系列データの作成を行った。温度を $T^{\circ}\text{C}$ 、湿度を $H\%$ 、飽差を HDg/m^3 とすると、Tetensの実験式¹⁾より、 $\text{HD} = (1 - H/100) (1,325.3926 \times 10^{(7.5T/(T+237.3))}) / (T + 273.15)$ から求めることができる。

表1 ソフトウェアの主な構成

OS	Microsoft Windows 10 Pro (64bit)
使用言語	R・3.3.3
使用したRライブラリ	rgl、rpart、partykit
開発環境	RStudio-1.0.136

2.2 理想状態の定義

植物の萎れを抑制するためには、

- ・急激な飽差の変化を避ける
 - ・飽差の最適値（ $3 \sim 6 \text{ g/m}^3$ ）を維持、かつ定常（常に $3 \sim 6 \text{ g/m}^3$ を維持した）状態を避ける
- といった飽差管理が効果的であるといわれている²⁾。ここでは、作成した時系列データから、次のa～cの条件を満たす日を理想状態と定義し、判別を行った。

- 一時間以内の変化量が 10 g/m^3 未満：第 m 日目の時刻 $t = \{1, \dots, 144\}$ の飽差を $x_{m,t}$ 、 $n = \{1, \dots, 6\}$ ステップ前との差分を $d_{m,t}(n) = ((x_{m,t} - x_{m,t-n})) / 2$ （ただし、 $m \geq 2$ かつ $t - n \leq 0$ ならば、 $x_{m-1, 144+t-n}$ となる。また、 $d_{1, 1 \leq t \leq 6} (1 \leq n \leq t)$ は、欠損値とする）とすると、 $\max\{d_{m,t}(n)\} < 10$ を満たす。
- 中央値が $3 \sim 6 \text{ g/m}^3$ 以内：aの条件を満たす第 m' 日目について、時刻 t の飽差 $x_{m',t}$ の代表値が $3 \sim 6 \text{ g/m}^3$ を満たす。この代表値として、外れ値の影響を受けにくい中央値（母集団 $x_{m',t}$ を小さい順に並び替えたときの中心となる値。ただし、母集団が偶数のとき、中心の二値の平均を取る）を用

表2 生育環境情報の詳細

データ名	入手先	変数名	項目	詳細
温室内環境情報	協力先より提供	Temp Humi HD	温度($^{\circ}\text{C}$) 湿度($\%$) 飽差(g/m^3)	協力先が利用する農業IoTサービス（インターネット上で閲覧可）
温室周辺環境情報	気象庁HP	O_Temp O_Humi O_HD		気象庁が公表する御前崎市の環境情報
入退室記録	ビーコン履歴	Stay	入室：1 退室：0	記録装置がビーコンの信号を受信することにより入退室を管理

いる。

- c. 第1四部位～第3四分位が $3 \sim 6 \text{ g/m}^3$ の範囲外：
bの条件を満たす第 m 日目について、飽差 $x_{m,t}$ の50%以上が $3 \sim 6 \text{ g/m}^3$ のとき、飽差が定常状態であったと定義し、理想状態の対象から除外する。

なお、b、cについては、箱ひげ図 (box plot) を用いた判別を行う。箱ひげ図は、データの中央値や分散、異常値等を、図2のように可視化することができる。ここでは、Rのboxplot関数を用いて箱ひげ図を作成した。

2.3 分類木による入退室記録の分析

作業者の温室滞在時は、どのような傾向があるかを把握すべく、入退室記録について分類木³⁾ (classification tree) を用いた分析を検討した。分類木とは、機械学習による非線形判別手法の一種であり、変数を何らかの基準で分岐させ、判別や予測モデルの構築を行う。モデルの理解が容易であることから、データ構造を捉える目的で広く利用されている。ここでは、Rのrpart関数を用いたモデルの作成と分類木の可視化を行った。

3 結果および考察

3.1 生育環境データの収集及びクレンジング

2.1より作成した時系列データの一部を表3に示す。また、温室内と温室周辺の温度、湿度、飽差の関係を表した三次元プロットを図3に示す。飽差は、温度上昇と共に増加、湿度上昇と共に減少し、全体的に

温室内の方が、飽差が高いことが分かった。

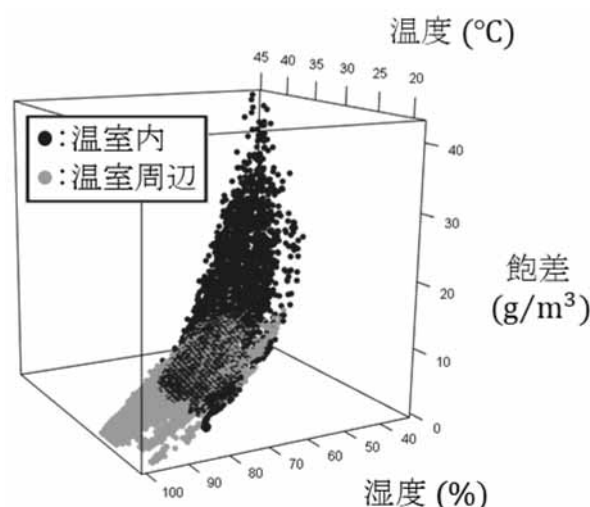


図3 環境情報の三次元プロット

3.2 理想状態の定義

差分 $d_{m,t}(n)$ を計算した結果を図4に示す。同日内の差分は、全て重ねて表示され、2.2aを満たす日が十六日間確認された。2.2aを満たした日の飽差について、箱ひげ図を用いた結果を図5に示す。2.2b、cより、8/16、8/29、9/3、9/4、9/7の五日間が理想状態であったと考えられる。8/7、9/12の二日間は、飽差の変化が小さいことから2.2cを満たしており、理想状態から除外した。

3.3 分類木による入退室記録の分析

結果を図6に示す。分類木は、複雑さのパラメータ cp の値を調整することで、データ構造をシンプルに表

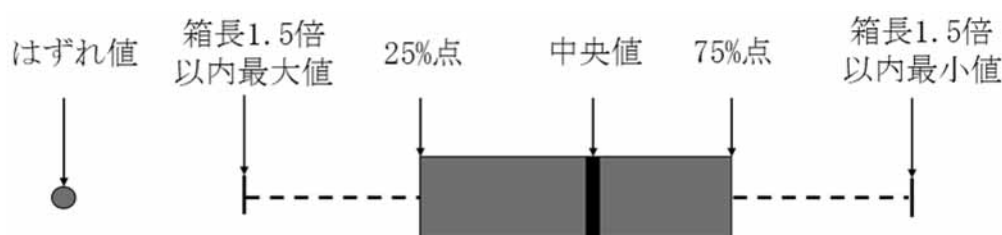


図2 箱ひげ図の概要

表3 時系列データの一部

Date	Time	Temp	Humi	HD	O_Temp	O_Humi	O_HD	Stay
8/3	0:10	23.6	80.6	4.132153	24.3	82	3.989123	0
8/3	0:20	23.6	79.7	4.323851	24.5	83	3.810301	0
8/3	0:30	23.6	79.1	4.451649	24.2	83	3.746262	0
8/3	0:40	23.6	78.8	4.515549	24.4	81	4.234598	0
8/3	0:50	23.6	78.3	4.622047	24.3	81	4.210741	0

現することができる。これを分類木の剪定といい、print cp関数を用いた交差確認法により、最適なcpは0.103743であった。この結果より、作業者は周囲の環境情報よりも、時間帯や日付（曜日）を軸に規則的な作業を行っていることが考えられる。

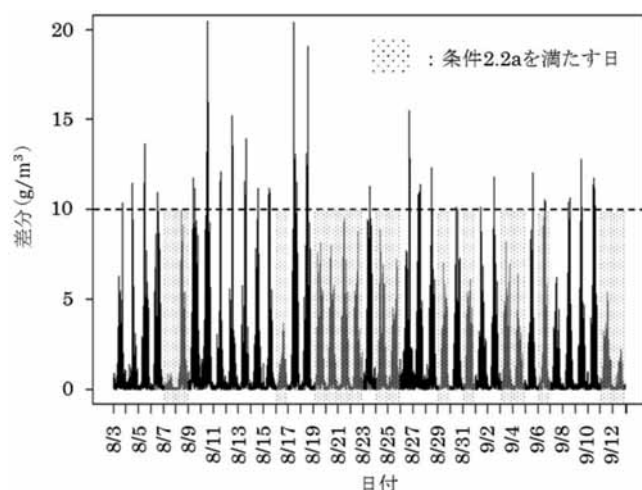


図4 飽差の差分

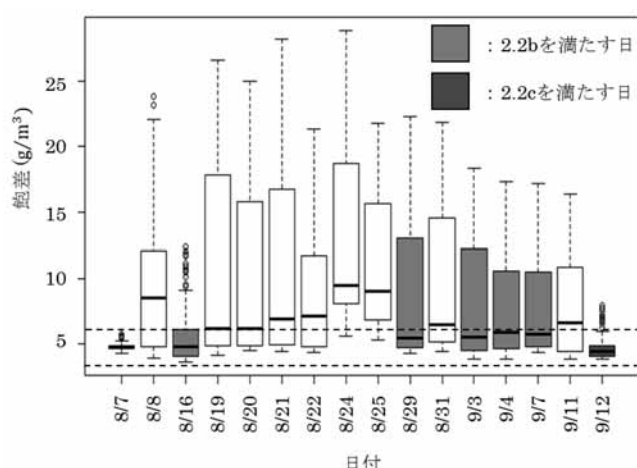


図5 飽差の箱ひげ図

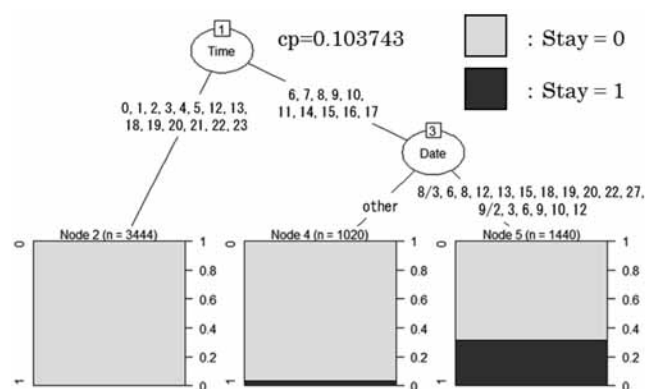


図6 入退室記録の分類木

4 まとめ

温室内環境情報について分析した結果、定義した温室の理想状態の判別が可能となった。また、作業者の温室への入退室記録を分析した結果、決められた時間帯や日付で作業を行うといった規則性の抽出が可能となった。

Rによる指標変換や差分、箱ひげ図、分類木等のビッグデータ分析技術を農業関連データに適用し、データを可視化することで、データの隠れた構造を捉えることが可能となった。その結果、栽培管理の最適化や生産性の向上が期待できる。また、これらの手法は、データ量や変数が増加した場合でも同様の手順で分析可能であるため、今後、IoTの普及が進み、農業分野に限らず分析対象となるデータが膨大となった場合でも、データ可視化手法としての活用が可能である。

謝辞

本研究を行うにあたり、データを御提供いただいた株式会社菜彩ファーム、iway.jpの皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 岩崎泰永：CO₂施用と湿度管理，「最新農業技術野菜vol.7」，第1版（一般社団法人農山漁村文化協会，東京），農山漁村文化協会 編集，pp.59-61（2014）
- 2) 斉藤章：オランダに学んだ環境制御の取り入れ方，「最新農業技術野菜vol.7」，第1版（一般社団法人農山漁村文化協会，東京），農山漁村文化協会 編集，pp.76-79（2014）
- 3) 金明哲：樹木モデル，「Rによるデータサイエンス」，第1版第4刷発行（森北出版(株)，東京），森北博巳，pp.234-240（2009）

醤油醸造に向く微生物の選抜と醤油の試作

食品科 袴田雅俊 松野正幸 油上 保*
静岡県産醤油株式会社 鈴木邦明

Selection of microorganisms suitable for soy sauce brewing and trial production of soy sauce

Masatoshi HAKAMATA, Masayuki MATSUNO, Tamotsu YUGAMI and Kuniaki SUZUKI

Moromi (mash) was sampled at a soy sauce brewing company in Shizuoka prefecture, and yeast was isolated. Further, 13 strains of yeast were selected using salt tolerance, film-forming characteristics, and alcohol production ability as indicators. Trial production of soy sauce was performed with selected yeast strains, and the components were analyzed. There was a difference in the content of 4-hydroxy-2(or5)-ethyl-5(or2)-methyl-3(2H)-furanone (HEMF), an aroma component known to be important for soy sauce.

Strains with a gradual pH decrease rate were selected from types of lactic acid bacteria that do not produce histamine or tyramine, with 10 strains being obtained out of 62 strains. A trial production of soy sauce brewing was conducted on an actual production scale using the selected lactic acid bacteria. Due to the improvement of the equipment at the production site and cleaning operation, in combination with the addition of lactic acid bacteria, the number of tanks capable of reducing histamine or tyramine gradually increased.

Keywords : soy sauce, yeast, lactic acid bacteria

キーワード : 醤油、酵母、乳酸菌

1 はじめに

近年、醤油業界では醤油醸造時に生じるヒスタミンおよびチラミンを低減する対策を進めている^{1, 2)}。ヒスタミンおよびチラミンは醤油醸造で重要となる耐塩性乳酸菌 *Tetragenococcus halophilus* の一部の株により作られるため、低減化対策として現場の徹底した洗浄による蔵付き乳酸菌の除去と、ヒスタミンおよびチラミンを生成しない *T. halophilus* の添加が必要となる¹⁾。我々は、以前にヒスタミンおよびチラミン非産生の醤油乳酸菌を選抜して、洗浄したタンクに選抜乳酸菌を添加することによりヒスタミンおよびチラミンを低減化できたことを報告した³⁾。その際に、①洗浄により蔵付き酵母も失われてしまう、②乳酸菌の添加量が多いと醤油の品質に問題が生じる、③ヒスタミンおよびチラミンが継続して低減できるかわからないという問題が生じた。

そこで、今回は現場から醤油酵母を単離、選抜し、その酵母を用いた醤油の試作を行い、香味の良い醤油を製造できる酵母の取得を試みた。また、醤油の品質に悪影響を与えないヒスタミンおよびチラミン非産生の乳酸菌を選抜した。さらに製造現場の継続的な洗浄

と乳酸菌添加を行い、長期的なヒスタミンおよびチラミン量の変遷を調べたので報告する。

なお、本研究は、静岡県新成長戦略研究「食の都しずおかの微生物を用いた新しい発酵食品ビジネスの創出」の中の一課題として取り組んだ。

2 方法

2.1 酵母の単離および選抜

(1) 試料および酵母の単離と単離酵母の同定

県内の醤油企業 5 社から全31種類の醤油もろみを、滅菌済み50mLチューブに採取した。採取したもろみは実験室に持ち帰り、デイスポートザブループを用いて5%NaClを含むYPD寒天培地平板に塗抹した。5%NaCl含有YPD寒天培地の組成を表1に示す。塗抹後、シャーレを倒置して30℃で1週間培養した。

生じたコロニーを再度5%NaCl含有YPD寒天培地平板に画線塗抹して酵母を単離した。単離した菌株は、5%NaCl含有YPD液体培地(表1)を用いて30℃で1週間培養し、10%グリセロールを含む保存液として-80℃で保存するとともに、MALDI-TOFMS分析又

*) 現 企画調整部

は遺伝子解析を外部機関に依頼して菌種を同定した。

(2) 耐塩性試験

単離した菌株について、1白金耳量を10%NaCl含有YPD液体培地（表1）5mLで培養した。30℃で1週間静置培養を行い、培地に濁りが生じたものを発育が良好な耐塩性株として選抜した。

(3) 産膜性試験

醤油醸造において、産膜性酵母は醤油の香りを悪くするとされている⁴⁾ことから、醤油もろみを模した培地（以下、「もろみ様培地」）に接種して産膜性を持たない株を選抜した。もろみ様培地の調製方法は図1に示す。

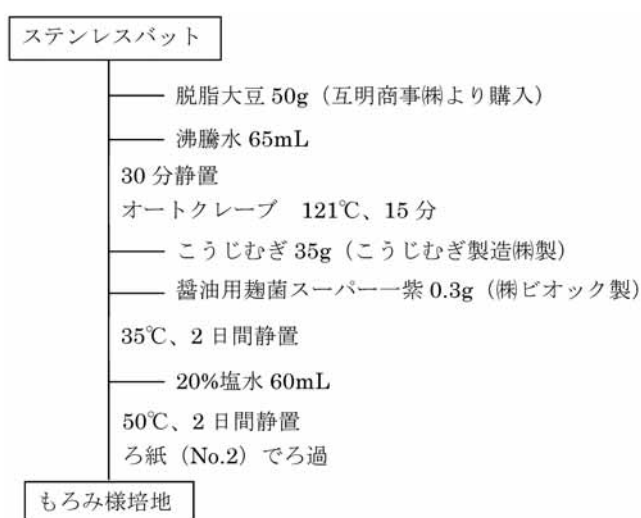


図1 もろみ様培地の調製方法

表1 YPD寒天培地の組成

成分	製造元および等級	重量(g) (培地1Lあたり)		
		5% NaCl含有 YPD寒天培地	5% NaCl含有 YPD液体培地	10% NaCl含有 YPD液体培地
酵母エキス	日本BD(株)	5	5	5
ハイポリペプトンN	日本製薬(株)	5	5	5
グルコース	和光純薬(株) 特級	20	20	20
KH ₂ PO ₄	和光純薬(株) 特級	1	1	1
MgSO ₄ ・7H ₂ O	和光純薬(株) 特級	0.5	0.5	0.5
NaCl	和光純薬(株) 特級	50	50	100
寒天	和光純薬(株) 細菌培地用	20	—	—

表2 エタノール分析条件

使用機器	GC9870/5975MSD (Agilent)					
	MP2 (Gerstel)					
カラム	DB-5MS (60 m×0.25 I.d., 0.25 mm thickness)					
オープン温度	時間(min)	0	1	5	6.7	10
	温度(℃)	40	40	80	250	250
サンプル量	1mL					

(4) アルコール生成能試験

耐塩性かつ非産膜性の酵母については、2.1 (2) で得られた培養液中のエタノール濃度をガスクロマトグラフ質量分析法により分析した。分析条件を表2に示す。生成したエタノール量をもとに、発酵力の強い株を選抜した。

2.2 酵母および醤油評価の指標となる香気成分の分析

酵母の選抜や醤油の評価において、香気成分に着目した指標を設定するためのガスクロマトグラフ質量分析を行った。試料には、スーパーマーケットで市販されている醤油を使用した。分析装置は、2.1 (4) と同じものを用い、Dynamic Head Space (DHS) 分析およびFull Evaporated DHS (FEDHS) 分析を行った。分析条件を表3に示す。

同時ににおい嗅ぎ (GC-O) 分析を行い、香りの強い成分を推定した。

2.3 酵母添加条件の検討と醤油試作試験

酵母の添加量を検討するために、乳酸発酵後半の醤油もろみ200gに市販の醤油用酵母を 1.0×10^4 、 1.0×10^6 、 1.0×10^8 個/ (もろみ1g) となるように接種し、2.1 (4) と同様の方法でエタノール生成量を測定した。

次に、選抜した酵母の性質を調べるために、乳酸発酵後半の醤油もろみ200gに選抜した酵母を $1.0 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^7$ 個/ (もろみ1g) となるように接種して

30℃で4か月間発酵した。試作した醤油については、アミノ酸分析および香気成分分析を行った。アミノ酸分析は高速液体クロマトグラフ分析法により行った。HPLC (LC-9A) ((株)島津製作所製)を用い、OPA試薬によるポストカラム法で分析した。香気成分分析は2.2と同様の方法で行った。

2.4 乳酸菌の選抜、添加条件の検討

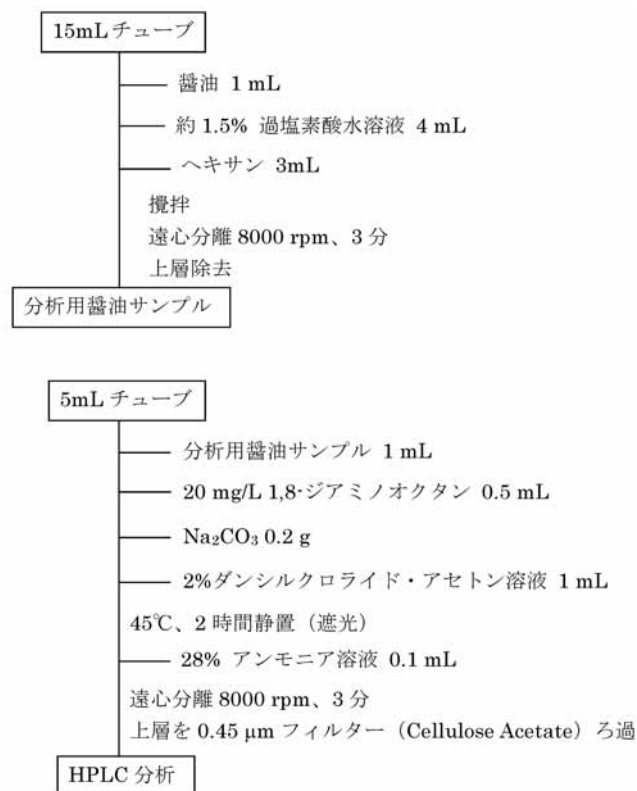
選抜には、これまでに既に当研究所で単離していたヒスタミンおよびチラミン非産生菌62株を用いた。5% NaClを添加したトリプトンソーヤブイヨン培地 (OXOID社製) で30℃、7日間この乳酸菌を培養した。醤油もろみの急激なpH低下を避ける目的から、培養5日目にpH5.5以上で、7日目にpHが十分低下している株を選抜した。

添加条件の検討では、麴320gと塩水180gを混ぜ合わせてもろみを調製し、そこに乳酸菌を 1.0×10^3 、 1.0×10^4 、 1.0×10^5 、 1.0×10^6 個/ (もろみ1g) となるように添加して、pHを測定した。

2.5 長期的なヒスタミンおよびチラミンの動向調査

工場において、継続的に配管と醤油醸造用タンクを洗浄し、選抜した乳酸菌を用いて醤油を醸造した。乳酸発酵が終わった段階の醤油もろみをNo. 2のろ紙でろ過し、ヒスタミンおよびチラミン量を測定した。測定は試料を図2に示すように処理し、表4に示す条件にて高速液体クロマトグラフ分析法により行った。

測定サンプルは、ヒスタミンおよびチラミン非産生乳酸菌添加を開始する以前の旧来法で醸造した醤油7サンプル、ヒスタミンおよびチラミン非産生乳酸菌添加による平成28年9月～12月仕込み分の22サンプル、



試薬はいずれも和光純薬工業㈱の特級試薬を使用

図2 ヒスタミン・チラミンの分析方法

表3 香気成分分析条件

使用機器	GC9870/5975MSD (Agilent)				
	MP2 (Gerstel)				
カラム	DB-5MS (30 m×0.25 I.d., 0.25 mm thickness)				
オープン温度	時間 (min)	0		42	60
	温度 (℃)	40	5℃/minで昇温	250	250
サンプル	DHS法: 1mL、FEDHS法: 100μLをバイアルに入れ、ヘリウムを40℃で20分間通気し、テナックス管に捕集				

表4 ヒスタミンおよびチラミン測定条件

使用機器	HPLC Prominence (株)島津製作所							
カラム	InertSustain C18 (粒子径5μm、内径4.6mm×長さ250mm)							
カラム温度	40℃							
検出波長	254 nm							
サンプル注入量	20 μL							
移動相流量	1 mL/min							
移動相	時間 (min)	0	4	8	35	38	42	52
	A: 水 (%)	65	55	40	25	10	65	65
	B: アセトニトリル (%)	35	45	60	75	90	35	35

【報告】

平成29年1月～6月仕込み分の23サンプル、平成29年7月～10月仕込み分の11サンプルについて測定した。

3 結果および考察

3.1 酵母の単離、選抜、同定

酵母候補株は全140株単離した。単離した140株は、*Zygosaccharomyces rouxii*が58株、*Bucillus*属菌が23株、その他*Debaryomyces*属菌、*Candida pelliculosa*、*Pichia farinosa*、*Staphylococcus carnosus*等が含まれていた。なお、同定できなかったものが48株あった。

この140株のうち、耐塩性を示した株が112株得られ、

さらに非産膜性の株を81株得た。その中から、エタノール生成量が0.3%以上の株を選び、13株を醤油醸造に向く菌株として選抜した（図3）。選抜した株の内訳は、12株が *Zygosaccharomyces rouxii*、1株が *Debaryomyces*属菌であった。

3.2 酵母および醤油評価の指標となる香気成分の分析

GC-O分析とGC-MS分析の結果を表5に示す。香りの強い成分を推測したところ、表5に示す15成分を検出した。

300以上あるとされる醤油香気成分⁵⁾から香りの強いものを選ぶことができた。

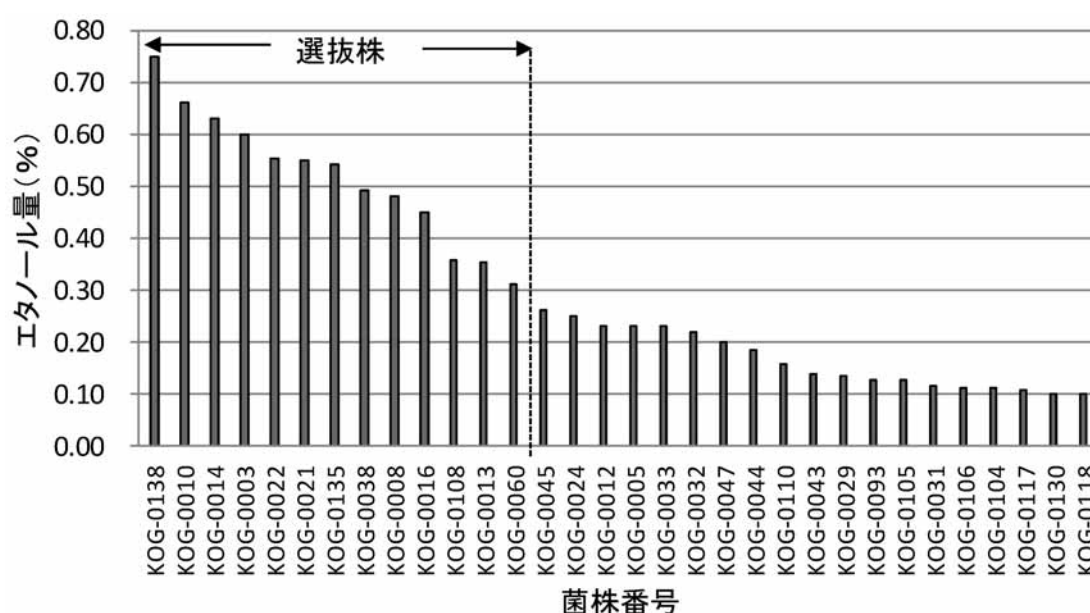


図3 酵母のエタノール生成

全81株中エタノール生成量が0.10%以上の株を記載した。

表5 GC-O分析およびGC-MS分析の結果

DHS	FEDHS	RT (min)	強度	成分名	香調
○	—	6.58	2	酢酸エチル	甘い、アルコール
○	○	8.30	1	アセトイン	香ばしい、うまみを感じさせる
○	○	8.96	2	イソアミルアルコール	甘い、ポテト
○	○	9.28	3	イソ酪酸エチル	果実、サイダー
△	—	11.25	2	(2-メチル酪酸エチル)	果実、サイダー
○	○	11.75	3	(フルフルアルコール)	ピーナッツ
○	○	12.60	2	(3-メチルチオプロパナール)	香ばしい、パンのよう
△	○	13.92	2	メチオノール	カビ臭い、乳酸菌様
△	○	15.18	2	フェニルアセトアルデヒド	菊花
—	○	15.55	2	2-アセチルピロール	古い木材、腐葉土
△	○	15.89	3	4-Hydroxy-2(or5)-ethyl-5(or2)-methyl-3(2H)-furanone (HEMF)	醤油様、香ばしい
△	○	16.30	1	フェニルエチルアルコール	花
△	○	17.25	3	(安息香酸エチルエステル)	ピーナッツ
△	△	18.68	2	(4-エチルグアイアコール)	中濃ソース
—	△	20.13	2	(4-オクタノン)	甘い、蜂蜜

DHS : Dynamic head space法、FEDHS : Full evaporated DHS法

検出強度が強いものは○、検出強度が弱いものは△、検出されなかったものは—で表示

RT : Retention time

強度 : GC-O分析をした際に弱く感じたものを1、強く感じたものを3として3段階で表示

成分名 : 括弧で表示した成分は、一致率が低かった成分

3.3 酵母添加条件の検討と醤油試作試験

酵母添加量の検討の結果は、図4に示す。それぞれの試料で酵母を添加して7日ほどはエタノール生成が見られなかったが、14日目には1～1.6%程度のエタノール生成が観察された。エタノール生成開始時期には、菌数の影響は見られなかったが、添加菌数が多いほど、14日目のエタノール生成量は多かった。また、21日目以降は、添加菌数によるエタノール生成量に有意な差は見られなかった。一方、酵母を添加していないもろみについても少量のエタノール生成が見られた。これは、乳酸発酵途中のもろみに野生の酵母が生息し、その酵母による発酵によるものと考えられた。醤油醸造の現場では、初期になるべく多くのエタノール生成を期待するとのことから、酵母の添加条件は、もろみ1gに対して $10^6 \sim 10^8$ 個とした。

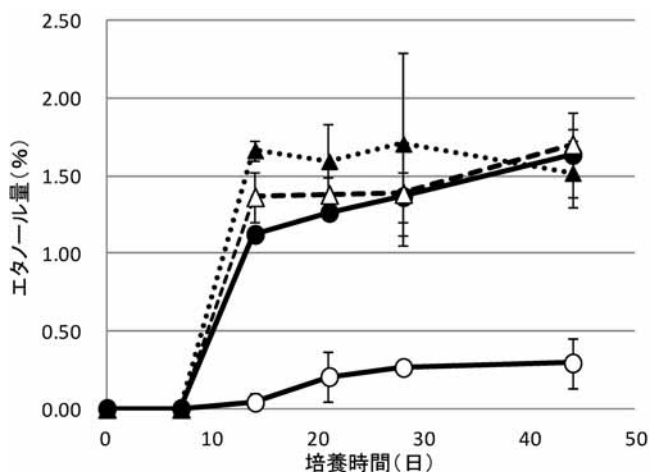


図4 酵母添加によるエタノール生成

○：酵母無添加、●：酵母 1.0×10^4 個/（もろみ1g）添加
 △：酵母 1.0×10^6 個/（もろみ1g）添加、▲：酵母 1.0×10^8 個/（もろみ1g）添加
 エラーバーは標準偏差 n=3
 14日目については、○、●、△、▲のそれぞれの間に $p < 0.05$ で有意差有り

次に、選抜した13株の酵母を用いて醤油を試作した。アミノ酸と香気成分を分析し、各成分を比較したところ、アミノ酸ではグルタミン酸が、香気成分では4-Hydroxy-2(or5)-ethyl-5(or2)-methyl-3(2H)-furanone (HEMF) について含有量の違いが見られた（図5、6）。HEMFは醤油酵母 *Zygosaccharomyces rouxii* がD-Xylose 5-phosphateを代謝して生成されることが報告されており⁶⁾、選抜した酵母の中ではKOG-0138株がHEMF生産能力の高い菌株と考えられた。

なお、HEMFは、醤油香気の重要成分として報告⁷⁾

もされており、3.2の結果においても、醤油の評価指標として選抜した15種類の成分の中にも含まれていた。

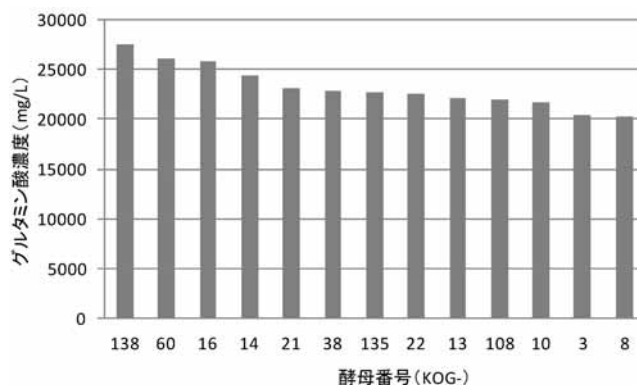


図5 選抜酵母による試作醤油中のグルタミン酸濃度

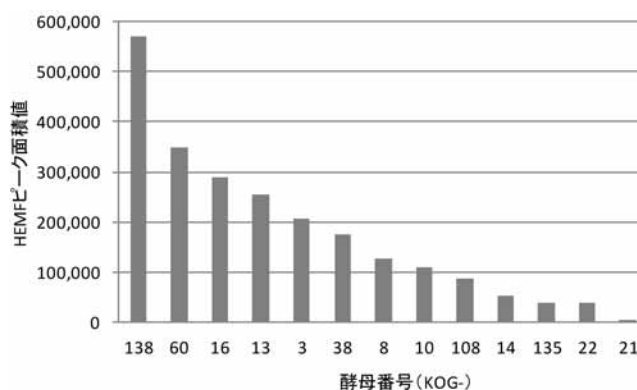


図6 選抜酵母による試作醤油中のHEMF量

3.4 乳酸菌の選抜、添加条件の検討

乳酸菌の選抜では、供試した62株中、培養5日目にpH5.5以上で、7日目にpHが十分低下している株は、10株あった。pH低下の代表的事例を図7に示す。乳酸菌を培地で1週間培養すると、初発pH7.0からpH5.0前後まで低下した。その途中経過を見てみると、図7の菌株KOG-0152やKOG-0161のように7日間かけて緩やかにpHが低下していくグループと、KOG-0181やKOG-0203のように培養初期に急激にpHが低下するグループの二つのグループに分かれた。もろみのpHが急激に低下すると、麹菌の生成した酵素の働きが弱くなってしまふことから、7日間かけて緩やかにpHが低下していく乳酸菌を選抜することとし、図8に示すKOG-0145、0152、0156、0161、0165、0166、0173、0183、0192、0200の10株を選抜した。

乳酸菌の添加条件の検討では、 1×10^3 個/（もろみ1g）でも十分な乳酸発酵が確認された（図9）。乳酸菌を多く添加すれば確実な乳酸発酵が期待できるが、乳酸菌が多すぎるともろみのpH低下が早まる恐れがあることから、 $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ 個/（もろみ1g）の

乳酸菌を添加することとした。

3.5 長期的なヒスタミンおよびチラミンの動向調査

長期的なヒスタミンおよびチラミンの動向調査の結果を表6に示す。ヒスタミンは、対策前および対策直後では、半数近くの仕込みタンクの醤油で1,000ppmを超えていたが、対策が進むにつれて減少し、H29年7月～10月に仕込んだ醤油では四分の三を超えるタンクで400ppmを下回るようになってきた。同様にチラミンは、対策前では約四分の三のタンクで1,000ppmを超えていたが、対策が進むにつれて減少しており、H29年7月～10月に仕込んだ醤油では半数近いタンクで400ppm

を下回るようになった。

現場の装置を洗浄しやすくするための改造等の工夫もあり、ヒスタミンおよびチラミン量は共に低減してきている。しかし、現状では醤油を仕込むたびにヒスタミンやチラミン量が確実に低いとは言えず、安定した低減化が求められている。また、醤油醸造中の乳酸発酵が若干弱い傾向もみられている。今後は、乳酸菌培養設備を整え、乳酸菌添加量を品質の許容範囲内で増やすことで、安定した低減化を検討する予定である。

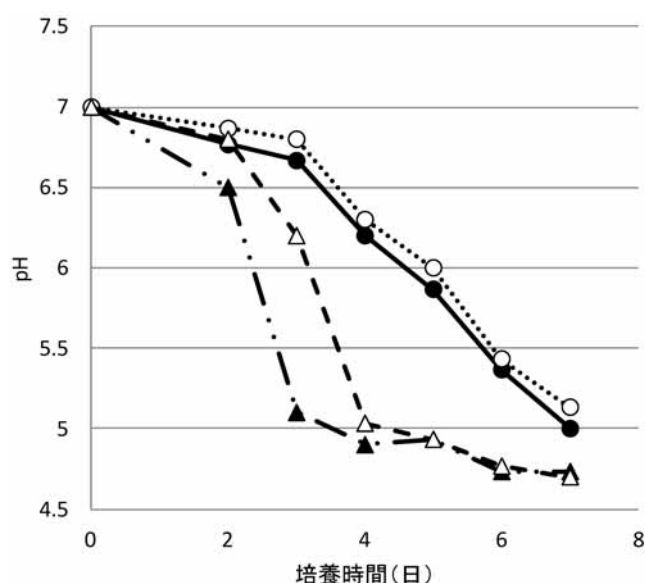


図7 乳酸菌培養による培地のpH変化

● : KOG-0152、○ : KOG-0161、▲ : KOG-0181、△ : KOG-0203

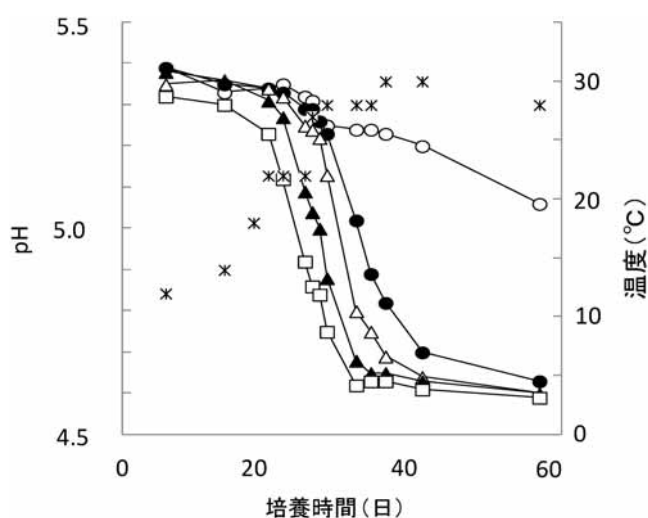


図9 乳酸菌の添加量によるpH変化の違い

○ : 乳酸菌未添加、● 乳酸菌 1.0×10^3 個/ (もろみ 1 g) 添加、△ : 乳酸菌 1.0×10^4 個/ (もろみ 1 g) 添加、▲ : 乳酸菌 1.0×10^5 個/ (もろみ 1 g) 添加、□ : 乳酸菌 1.0×10^6 個/ (もろみ 1 g) 添加
* : もろみの温度変化 (右軸)。もろみの温度は恒温槽で管理した。

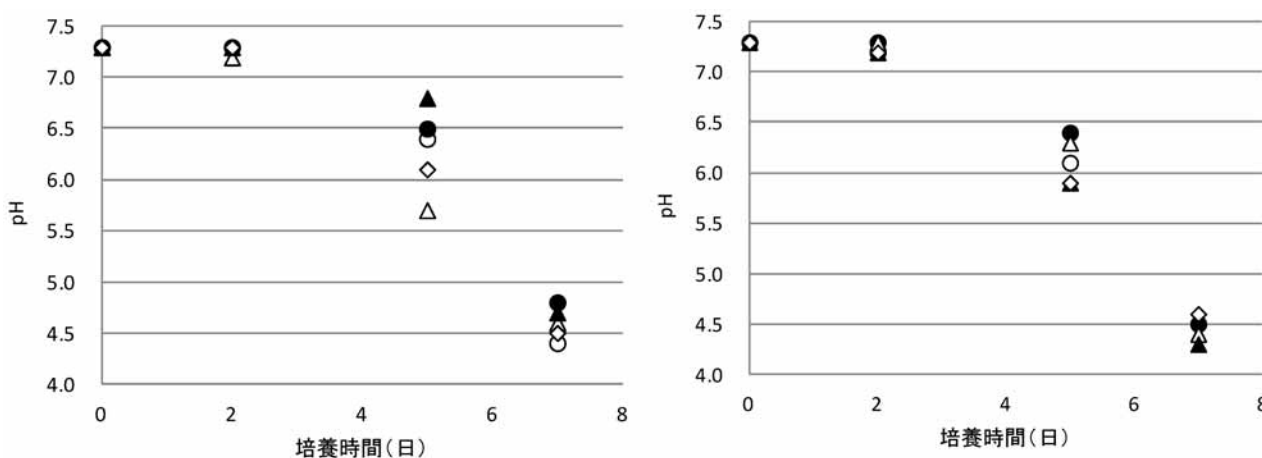


図8 選抜した乳酸菌のpH変化

選抜した乳酸菌10株のpH変化を5株ずつにわけて示す。

(左) ○ : KOG-0145、● KOG-0152、△ : KOG-0156、▲ : KOG-0161、◇ : KOG-0165

(右) ○ : KOG-0166、● KOG-0173、△ : KOG-0183、▲ : KOG-0192、◇ : KOG-0200

現状の醤油のヒスタミンやチラミン含有量でも、健康被害が生じる可能性は低い*が、引き続き対策を継続していくことでより良い商品の提供を目指していく。

4 まとめ

- ・県内の醤油もろみから酵母140株を単離し、13株を醤油醸造に有用な酵母として選抜した。
- ・選抜した13株の酵母を比較すると、醤油の香気成分の一つであるHEMFの生成量に違いが見られた。
- ・pH低下速度が緩やかな醤油乳酸菌を10株選抜した。
- ・現場の洗浄と有用乳酸菌の添加により、醤油中のヒスタミンとチラミンの含有量の低減化が進んだ。

参考文献

- 1) 田上秀男 他：醤油工場におけるアミン低減の検証．醤油の研究と技術，41(5)，327-338(2015)．
- 2) 植木達朗 他：凝集性乳酸菌の利用による醤油

中の不揮発性アミン類の低減，42(2)，155-160(2016)．

- 3) 袴田雅俊 他：現場洗浄と乳酸菌添加による醤油中不揮発性アミンの低減．醤油の研究と技術，42(1)，61-66(2016)．
- 4) 富田実 他：耐塩性酵母*Zygosaccharomyces rouxii*の生理特性(2)．日本醸造協会誌，92(12)，853-859(1997)．
- 5) 内田一生：成分，「醤油の科学と技術」，新增補版(公益財団法人日本醸造協会，東京)，栃倉辰六郎 編著，pp. 285-288(2012)．
- 6) 柳沼淳夫 他：醤油酵母による香味成分(HEMF)の生成とその環境因子．日本醸造協会誌，97(9)，608-614(2002)．
- 7) 佐々木正興 他：醤油の香り立ち(Top Note)を構成する成分．日本化学会誌，1981(5)，736-745(1981)．

表6 各仕込み時期におけるヒスタミン、チラミン濃度別タンク数

仕込み開始時期	分析サンプル(個)	タンク数(個)						
		濃度(ppm)	ND-200未満	200-400未満	400-600未満	600-800未満	800-1000未満	1000以上
平成28年前半	7	ヒスタミン	0	0	1	2	1	3
		チラミン	0	0	1	0	1	5
平成28年後半	22	ヒスタミン	4	3	2	1	1	11
		チラミン	5	1	2	4	3	7
平成29年前半	23	ヒスタミン	10	4	6	1	0	2
		チラミン	10	1	2	1	1	8
平成29年後半	11	ヒスタミン	4	4	1	0	0	2
		チラミン	3	3	1	1	1	2

* 厚生労働省：平成23年度農林水産省有害化学物質リスク管理基礎調査事業 第106回日本食品衛生学会学術講演会発表ポスター。
http://www.mhlw.go.jp/j/syoutan/seisaku/papers_posters/pdf/106th_eisei3.pdf (2018. 3. 26アクセス)

釜揚げシラス缶詰試作品の保存における品質変化

食品科 渡瀬隆也 三宅健司 袴田雅俊 油上 保*
山梨罐詰株式会社 松村英功

Quality change during storage of canned boiled whitebait

Takaya WATASE, Kenji MIYAKE, Masatoshi HAKAMATA, Tamotsu YUGAMI
and Hidenori MATSUMURA

Chilled boiled whitebait lasts only for six days when kept at 4° C. This study evaluated the quality of boiled whitebait up to six months after production to aim to develop new, high quality products of chilled boiled whitebait that can be kept chilled for a long period of time.

A trial product of canned boiled whitebait was analyzed in terms of color, amino acid content, hardness and aroma to investigate the difference in pasteurization conditions of temperature and pressure, as well as quality during a long storage period. The results suggested that a pasteurization temperature of 85° C or higher is required from the standpoint of aroma components in order to commercialize canned boiled whitebait that can be kept for long period of time.

Keywords : boiled whitebaite, chilled can

キーワード：釜揚げシラス、チルド缶

1 はじめに

静岡県における重要な地場産品の一つである釜揚げシラスは、チルド状態（4度保持）で賞味期限が6日間と非常に短い。そのため、販売・流通規模の拡大および市場への安定供給が困難となっている。また、過剰量の釜揚げシラスを市場に供給すると価格に低下を招くことから、シラスの漁獲量を制限しているのが現状である。もし、釜揚げシラスの賞味期限を長期化できれば、輸出も視野に入れた市場の拡大を図ることができ、また釜揚げシラスを過剰量生産しても市場への供給量を調整することで価格の低下を防ぐことができる。

山梨罐詰株式会社では、「静岡県産釜揚げシラスのためのパイロットスケール殺菌装置の開発」について公益財団法人静岡県産業振興財団の地域活性化事業助成金産学官連携研究開発助成事業を受け、高品質で6か月程度チルド保存可能な釜揚げシラス缶詰の開発を行っている。

本研究では、山梨罐詰より委託を受け缶詰シラスの品質（製品の色の变化、アミノ酸、香気成分の評価）について受託研究にて実施した。

2 方法

2.1 分析用試料

山梨罐詰株式会社で試作した釜揚げシラス缶詰を分析に用いた。未殺菌チルド、未殺菌冷凍、65℃常圧殺菌、65℃減圧殺菌、75℃常圧殺菌、75℃減圧殺菌、85℃常圧殺菌及び85℃減圧殺菌の8種類について、0ヶ月から6ヶ月まで毎月1回、同社にてチルドまたは冷凍保存したサンプルを試験に供した。

2.2 色彩色差測定

測色計（CM-5：コニカミノルタ光学株式会社）を用いて測定した。サンプルを専用ガラスシャーレ（ガラスシャーレCM-A128：コニカミノルタ光学株式会社、ガラスシャーレ用ターゲットマスクCM-A203：コニカミノルタ光学株式会社）に充填し、測定直径30mm、L a * b * 表色系、D65光源、視野角10°、平均測定回数5回とした。

2.3 遊離アミノ酸と関連物質測定

高速液体クロマトグラフ（LC-9Aアミノ酸分析システム：島津製作所製）により、ポストカラム誘導体化法にて36成分を測定した。標準品はアミノ酸混合標準液AN-2型とB型、L-グルタミン（試薬特級）、L-ア

*) 現 企画調整部

スパラギン一水和物（試薬特級）を用いた。分析サンプルは、50ml遠沈管に釜揚げシラス缶詰試作品を約2g精秤し、70%エタノールを10ml加え、機械式ホモジナイザー（NS-50、シャフトNS-10：池本理化㈱）で1分間粉碎した。50mlメスフラスコへ移し、シャフトを供洗いした蒸留水と、追加の蒸留水を加えて50mlにメスアップ後、遠沈管に全量戻し、遠心分離機（05P-21：㈱日立製作所）で3,000rpm、10分間固液分離し、表面の油層を避け水層をシリンジで約5ml取り、0.45 μ mメンブランフィルターでろ過して分析用1mlディスポバイアルへ分取して用いた。1つの缶詰から2回サンプリングを行い（N=2）、平均値を比較した。

2.4 貫入応力測定

クリープメータ（RE33005：㈱山電製）を用いて突き刺し試験により、応力を測定した。ポリアセタール樹脂製の直径2mm長さ20mmの円柱状の冶具（山電No.14）を用い、テーブル速度は1mm/secとした。試料温度（20 $\pm$ 2） $^{\circ}$ Cで測定した。

1匹ごと、胸部最厚部の厚さを同装置にて測定後、厚さの90%まで突き刺した際の50%通過点応力を比較した。試料台に乗せた際に台とサンプルの間に隙間ができるものと、目視で全体の10%未満と思われた極端に大きさが異なるものは除外した。各15回測定し平均値を比較した。

2.5 香気分析

ダイナミックヘッドスペース法を用いてガスクロマトグラフ質量分析計（GC7890-5975MSD：AgilentにオートサンプラーMPS2：Gerstelとダイナミックヘッドスペースサンプリング装置DHS（以下DHS）：Gerstel、加熱脱着装置TDU（以下TDU）：Gerstel、クライオフォーカス装置CIS4（以下CIS）：Gerstelを搭載）を用いて香気成分を分析した。成分はMSスペクトルの類似度がデータベースのNISTライブラリと90%以上であることで同定とした。

3 結果および考察

3.1 測色計によるL* a* b*値の測定

釜揚げシラス缶詰の保存期間と明度L*の変化について、測定結果を図1に示した。

未殺菌チルドの明度が高く、未殺菌冷凍の明度が低かった。密閉加熱した試作品は、常圧、減圧、温度の条件の違いによる明度の差はみられない傾向だった。

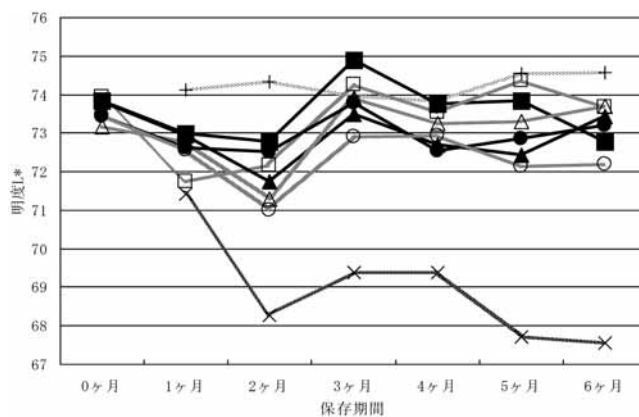


図1 釜揚げシラス缶詰の保存期間と明度L*の変化

○85 $^{\circ}$ C減圧加熱処理、●85 $^{\circ}$ C常圧加熱処理、△75 $^{\circ}$ C減圧加熱処理、▲75 $^{\circ}$ C常圧加熱処理、□65 $^{\circ}$ C減圧加熱処理、■65 $^{\circ}$ C常圧加熱処理、×未殺菌冷凍保存、+未殺菌チルド保存

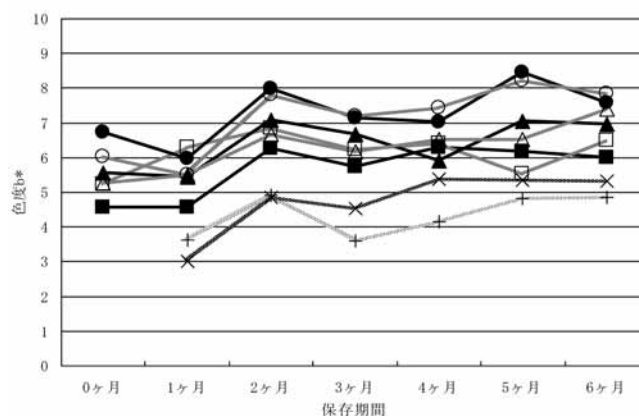
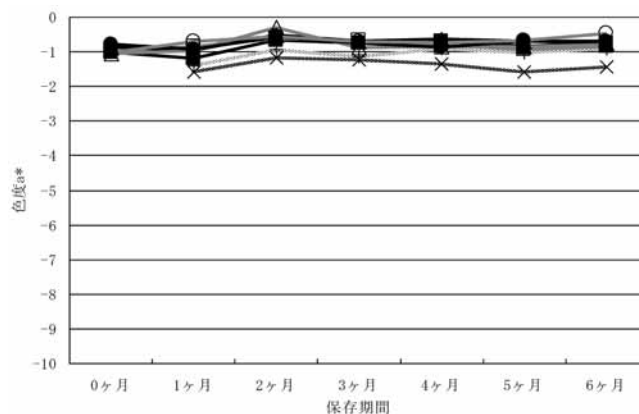


図2 釜揚げシラス缶詰の保存期間と色度a*、b*の変化

○85 $^{\circ}$ C減圧加熱処理、●85 $^{\circ}$ C常圧加熱処理、△75 $^{\circ}$ C減圧加熱処理、▲75 $^{\circ}$ C常圧加熱処理、□65 $^{\circ}$ C減圧加熱処理、■65 $^{\circ}$ C常圧加熱処理、×未殺菌冷凍保存、+未殺菌チルド保存

図2に、釜揚げシラス缶詰の保存期間と色度a*、b*の変化を示した。未殺菌冷凍の色度a*が若干低く、色度b*は未殺菌チルドが低く、次いで未殺菌冷凍、65 $^{\circ}$ C、75 $^{\circ}$ C、85 $^{\circ}$ Cの順に高くなっていた。加熱処理

の影響が現れていると考えられた。

3.2 遊離アミノ酸と関連物質測定

釜揚げシラスに含まれる遊離アミノ酸について分析した。対象としたアミノ酸は36成分（ホスホセリン、タウリン、ホスホエタノールアミン、アスパラギン酸、ヒドロキシプロリン、スレオニン、セリン、アスパラギン、グルタミン酸、グルタミン、ザルコシン、 α -アミノアジピン酸、プロリン、グリシン、アラニン、シトルリン、 α -アミノ酪酸、バリン、シスチン、メチオニン、イソロイシン、ロイシン、チロシン、フェニルアラニン、 β -アラニン、 β -アミノイソ酪酸、 γ -アミノ酪酸、ヒスチジン、3-メチルヒスチジン、1-メチルヒスチジン、カルノシン、アンセリン、ヒドロキシリジン、オルニチン、リジン、アルギニン）とした。釜揚げシラスの主に含まれるアミノ酸はタウリン、プロリンおよびヒスチジンであり、それぞれ61.8mg/100g、47.7mg/100g、35.9mg/100gであった。（全部の合計値は275.2mg/100gであった）。遊離アミノ酸等については未殺菌チルドと比較して、いずれの試作品も殺菌条件による差は見られなかった。長期保存の影響と思われる成分変動は見られなかった。

3.3 貫入応力測定

シラス最厚部への50%貫入応力を測定した結果を図3に示した。

提供されて保存サンプルのうち、保存期間が長くな

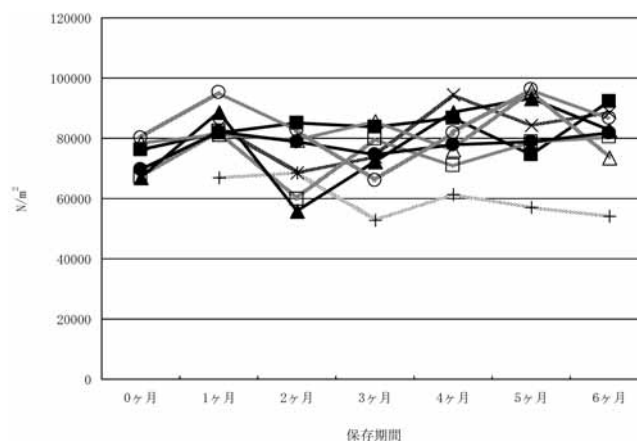


図3 シラス最厚部への50%突き刺貫入にかかる応力

○85℃減圧加熱処理、●85℃常圧加熱処理、△75℃減圧加熱処理、▲75℃常圧加熱処理、□65℃減圧加熱処理、■65℃常圧加熱処理、×未殺菌冷凍保存、+未殺菌チルド保存

るに従い未殺菌チルドの貫入応力低下傾向が観察された。65℃減圧と75℃常圧の2ヶ月保存で貫入応力の低下が見られたものの、概ね80,000N/m²の応力を保持した。未殺菌チルドは保存により強度が低下する傾向が見られた。

3.4 香気分析

釜揚げシラス特有の香気成分を調べた。生シラスと釜揚げシラスのGCMS分析によるトータルイオンクロマト（TIC）結果を図4に示した。生シラスにはほとんど含

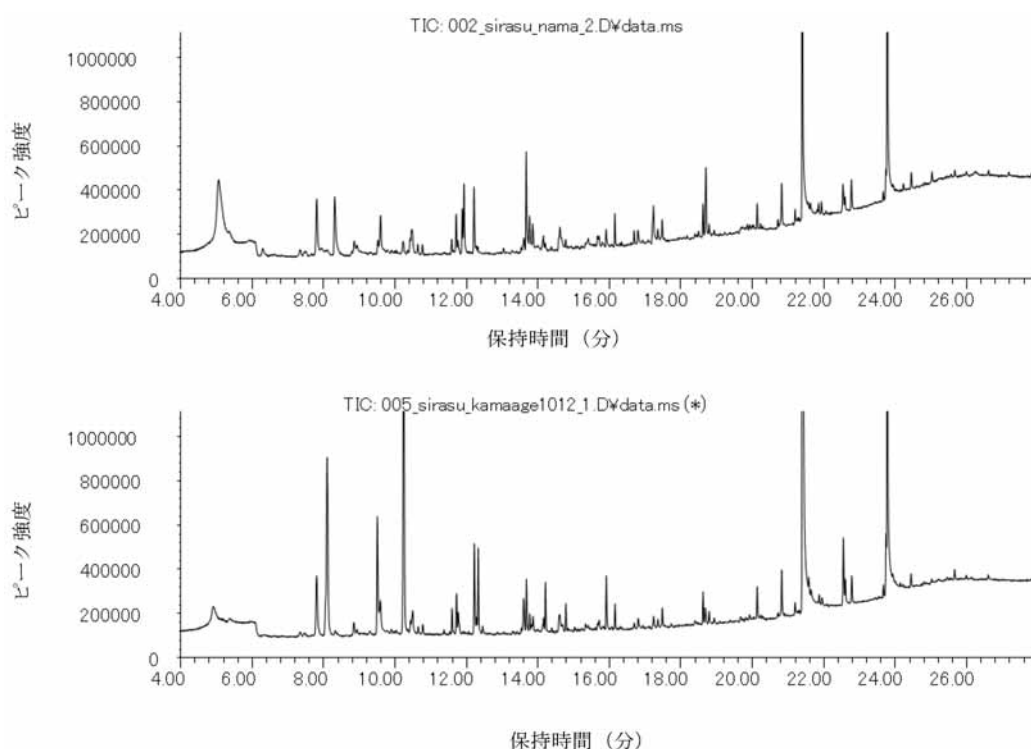


図4 生シラスと釜揚げシラスのGCMSクロマトグラム
(上：生シラス 下：釜揚げシラス)

まれず、釜揚げシラスに多く含まれる香気成分5成分を検出した(表1)。特に多く釜揚げシラスに含まれていたのは1-PentanolとHexanalであった。

表1 釜揚げシラスに多く含まれる香気成分

成分名	保持時間(分)
Pentanal	8.10
1-Pentanol	9.51
Hexanal	10.23
Heptanal	12.31
Methional	12.44

次に腐敗による香気成分の変化を調べた。未殺菌の釜揚げシラスの腐敗による香気成分(TIC)の変化を図5に示した。製造後0日から腐敗することにより増加する成分を表2に示した。製造後1日室温に放置すると主に2-Pentanone、3-Methyl 1-butanol、Indoleが増加し、2日後にDimethyl disulfide、Phenylethyl Alcoholが増加した。一方、Indoleは2日後から減少していた。

表2 腐敗すると増加する香気成分

成分名	保持時間(分)
2-Pentanone	7.96
3-Methyl 1-butanol	8.95
Dimethyl disulfide	9.22
2-Heptanone	12.16
Dimethyl trisulfide	13.91
Phenylethyl Alcohol	16.27
Indole	19.03

殺菌後長期保存期間における香気成分の変化を調べた。殺菌温度の異なる缶詰釜揚げシラスの長期保存期間における香気成分として、保存1ヶ月と保存6ヶ月のTICの変化を図6～図9に示した。

未殺菌(図6)については、保存期間1ヶ月で既に3-Methyl-1-butanol、2-Heptanone、Phenylethyl Alcoholが多く検出され、チルド保存状態でも腐敗が進行していると示唆された。一方、釜揚げシラス特有の香気成分である1-Pentanol、Hexanalは保存期間6

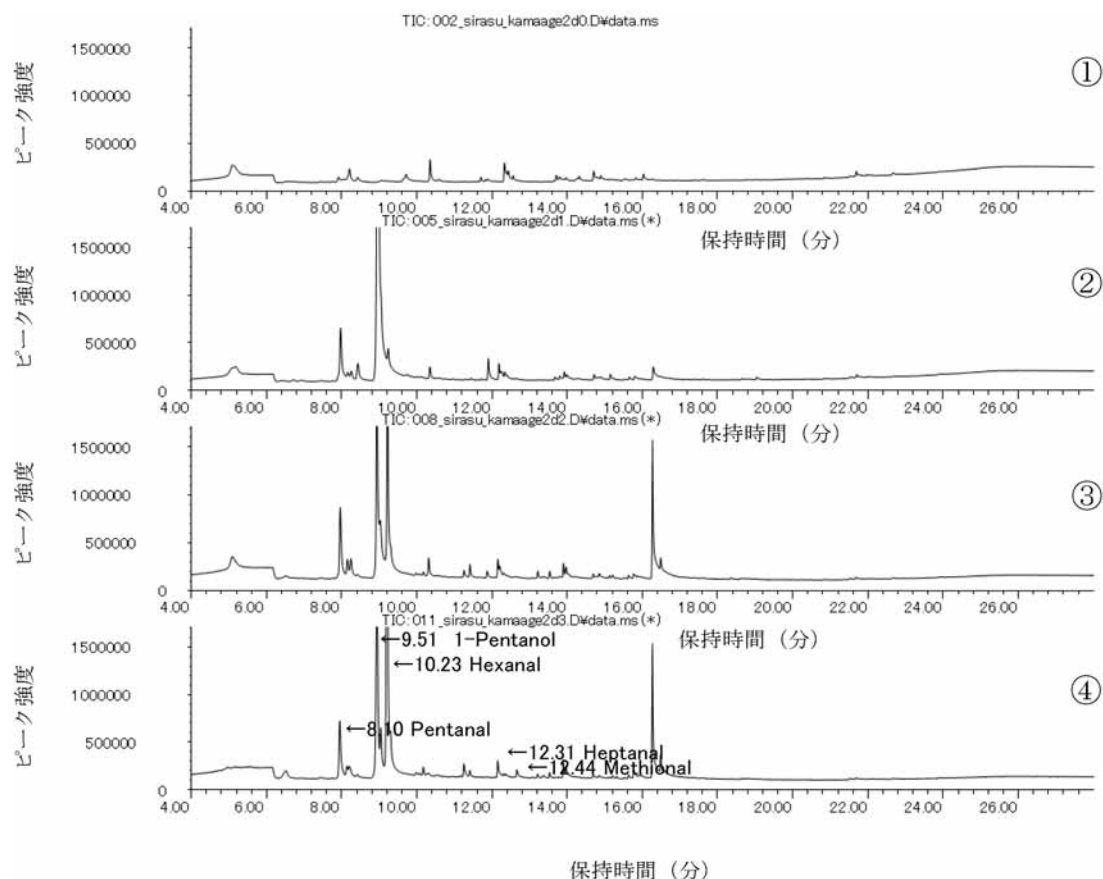


図5 腐敗による香気成分変化(TIC)

(①: 製造後0日、②: 1日後、③: 2日後、④: 3日後)

【報告】

ヶ月の間、同程度（ピーク面積値）残存していた。

65℃常圧殺菌（図7）については、未殺菌と同様に保存期間1ヶ月で3-Methyl-1-butanolが検出され、チルド保存状態でも腐敗の進行が示唆された。しかし、未殺菌のものとは異なり2-Heptanone、Phenylethyl Alcoholは下限値以下であった。一方、1-Pentanol、Hexanalは未殺菌と同様に、保存期間6ヶ月の間、同程度（ピーク面積値）残存していた。

75℃殺菌の結果を図8に示した。65℃殺菌と異なり保存期間1ヶ月で3-Methyl-1-butanolが下限値以下であったが、2-Heptanoneは増加していた。また、保存期間6ヶ月では、逆に2-Heptanoneは下限値以下であったが、3-Methyl-1-butanolが増加していた。

Phenylethyl Alcoholについては65℃殺菌と同様に下限値以下であった。一方、1-Pentanolは65℃殺菌と同様に、保存期間6ヶ月の間、同程度（ピーク面積値）残存していたが、Hexanalは保存期間が長く（6ヶ月）なるとのものについてはピーク面積が減少する傾向が見られた。

85℃殺菌の結果を図9に示した。65℃、75℃殺菌とは異なり保存期間1ヶ月、6ヶ月ともに3-Methyl-1-butanolは下限値以下であった。2-heptanoneについては保存期間1ヶ月では、クロマトグラム上では存在を確認できなかった。また、Phenylethyl Alcoholについては65℃、75℃殺菌のものと同様に確認されなかった。一方、釜揚げシラス特有の香気成分である1-Pentanol

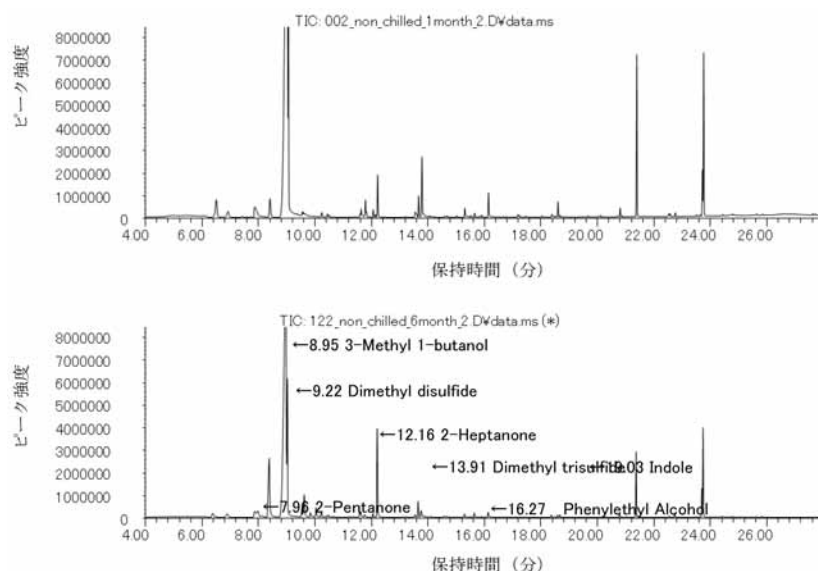


図6 未殺菌の釜揚げシラスの香気成分
(上：保存1ヶ月 下：保存6ヶ月)

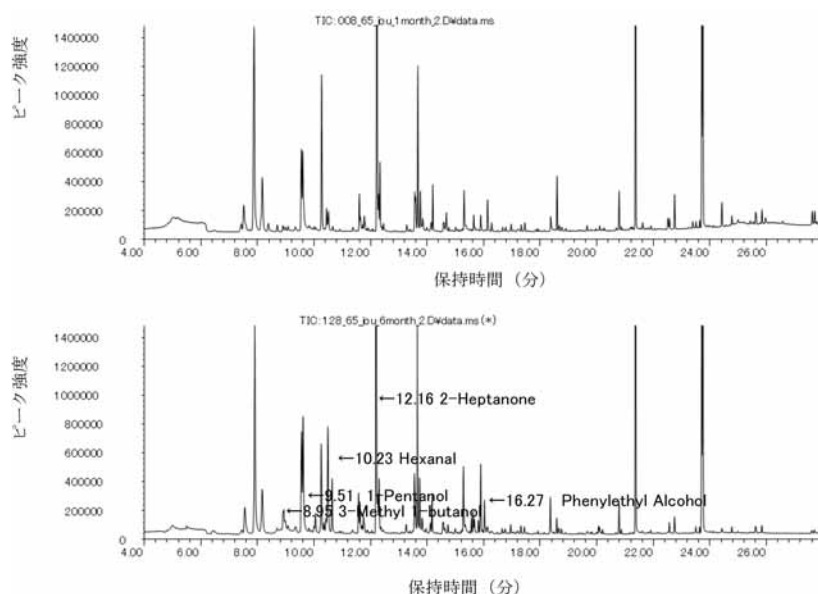


図7 殺菌（65℃）釜揚げシラスの香気成分
(上：保存1ヶ月 下：保存6ヶ月)

とHexanalは保存期間中の変化はほとんど見られなかった。また全体的なクロマトグラム (TIC) の変化も他の2温度試験と比べ変化が少なかった。

4 まとめ

今回、釜揚げシラス缶詰試作品の殺菌条件の違いと長期保存における品質について、色、アミノ酸、硬さ及び香りについて分析した。色についてはb*の測定結果から加熱温度が高くなるほどやや黄色くなっていることを確認したが、6ヶ月の長期保存による変化はほとんどなかった。遊離のアミノ酸等については未殺菌チルドと比較して、いずれの試作品も殺菌条件による

差は見られなかった。長期保存中のアミノ酸等の変化については、保存の影響とみられる成分変動は見られなかった。香り成分については釜揚げシラスに特徴的な成分、腐敗による変化、殺菌缶詰釜揚げシラスの長期保存における変化を比較した結果、長期保存可能な釜揚げシラス缶詰製品の実用化のためには、85℃以上の殺菌温度条件を要することが示唆された。

謝辞

本研究は、公益財団法人静岡県産業振興財団の地域活性化事業助成金産学官連携研究開発助成事業の一環として実施したものです。

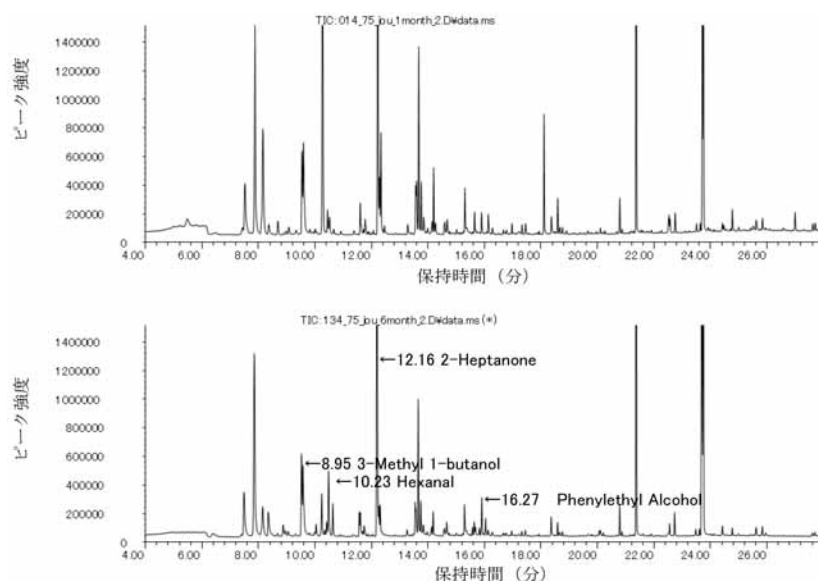


図8 殺菌 (75℃) 釜揚げシラスの香り成分
(上: 保存1ヶ月 下: 保存6ヶ月)

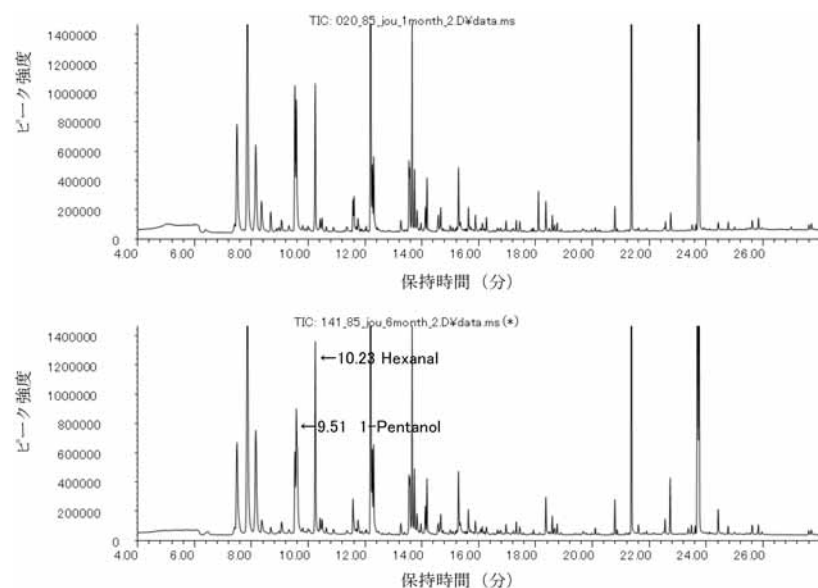


図9 殺菌 (85℃) 釜揚げシラスの香り成分
(上: 保存1ヶ月 下: 保存6ヶ月)

CTC製法を利用した食品・飲料原料用に特化した緑茶の開発

食品科 浅沼俊倫 三宅健司 油上 保*
日研フード株式会社 杉山甲斐 九島祥弘

The development of green tea specialized for food and beverage ingredients using the CTC method

Toshimichi ASANUMA, Kenji MIYAKE, Tamotsu YUGAMI, Kai SUGIYAMA and Yoshihiro KUSHIMA

Recently, manufacturing methods using CTC machines, a type of crusher for black tea production, has caught much attention in green tea manufacturing. Although the shape of tea leaves processed using the CTC machine is different from that of orthodox tea, the CTC method can greatly simplify the tea manufacturing process. In addition, utilizing the geographical advantages of Shizuoka Prefecture, where all the production, primary processing and final processing industries are closely located, and setting the moisture content of tea leaves at a high level—a technique quite impossible in the conventional method due to logistics considerations—reduces costs and allows the development of high-quality tea leaves with low thermal degradation for use in processed food and beverages. This study examined the effects of moisture content on CTC tea through component analysis.

The results showed that amino acids and total polyphenols did not change with moisture content. On the other hand, bitter components, namely catechins and caffeine, tended to increase depending on moisture content. In addition, the aroma component analysis suggested that, by processing tea leaves to exceed a certain level of moisture, it was possible to manufacture tea leaves with aroma properties different from orthodox tea for use in food and beverages.

Keywords : CTC, tea polyphenol, aroma analysis

キーワード : CTC、茶ポリフェノール、香気分析

1 はじめに

従来、緑茶は伝統的に茶葉の状態で消費者に販売されることを前提とした加工法が採用されてきた。緑茶を加工する上では、茶の味や香りなどは当然重要視されるが、合わせて色や形状といった外観も重要な品質要素となる。しかし、近年になって飲料や菓子などの加工原料としての需要が増え、消費者が直接茶葉に触れることなく茶を楽しむ機会が増えてきた。このような場合においては茶葉が直接消費者の目に触れないため、日本茶独特の茶葉を撚った針状の形状が必ずしも必要とされない。

そのような中、海外で紅茶の加工に用いられてきたCTCが国内で注目されつつある。CTCとは、主にティーバッグ用の紅茶の製造に用いられる破碎機で、装置内にステンレス製の2本のローラーが僅かな隙間をあけて

並行に設置されており、双方が内側方向に回転し、隙間に茶葉を巻き込む構造になっている。ローラーには細かな刃が刻んであり、茶葉を押しつぶし（Crush）、引き裂き（Tear）、丸める（Curl）ことで、破碎機と揉捻機を兼ねたような役割を果たす。CTCを用いることで、製茶後の茶葉の形状は従来と大きく異なるものの、従来の製茶工程を大幅に簡略化することができる。

上記に加え、生産・一次加工・最終加工の各産業が集積する静岡県の地の利を活かし、本来であれば流通の都合上考えづらい程に茶葉の水分含有率を高く設定することで、乾燥工程におけるコストを抑え、熱劣化の少ない高品質な加工原料用茶葉の開発が行われている。

本研究では、茶時期及び乾燥状態が異なるCTC加工茶葉の成分分析を通して、水分含有率がCTC茶葉

*) 現 企画調整部

に与える影響を調査した。

2 方法

2.1 試料

茶葉は静岡市産のやぶきた種で、平成29年度の二番茶及び秋冬番茶を用いた。従来と同様の方法で蒸熱により殺青した後、ローターベインにより一次破碎を行い、そのままCTC処理を行った。CTC処理後の茶葉は流動層乾燥機により乾燥を行い、これをCTC加工茶葉としたが、この際に乾燥条件を調整することで、水分含有率がそれぞれ約5%、20%、40%、60%となる茶葉を製造した。

さらにそれらの茶葉を元に加工原料サンプルとして緑茶エキスを調製した。上記の茶葉8種（茶時期2水準、水分含有率4水準）を用いてそれぞれ60℃、30分、20倍加水の条件で抽出を行い、得られた抽出液に対して水溶性固形分量あたり50%となるように賦形剤を加え、スプレードライにより乾燥・粉体化したものを緑茶エキスとした。

試料である茶葉及び緑茶エキスは全て上記の加工が施された状態で日研フード株式会社より提供されたものを分析に用いた。

なお、上記茶葉の水分含有率はあくまでも目標値であり、実際の水分含有率は正確に目標値と一致していないことから、分析値の算出に際しては水分含有率を別途測定した上でその実測値を用いて計算した。緑茶エキスに関しては、乾燥粉末であることから水分含有率は0%として扱った。

2.2 分析内容

分析は、水溶性成分として旨味成分であるアミノ酸類（グルタミン酸：以下Glu、テアニン）、苦渋味成分であるカテキン類（エピカテキン：以下EC、エピガロカテキン：以下EGC、エピカテキンガレート：以下ECG、エピガロカテキンガレート：EGCG）、カフェイン、総ポリフェノールについて行った。

また、揮発性成分分析として茶香氣成分の分析を行った。

2.3 分析方法

アミノ酸類の分析は以下の方法で行った。手で一掴み程度の茶葉を破碎機（大阪ケミカル株式会社製ワンダーブレンダー）に投入し、約10秒間破碎した。破碎した茶葉はそれぞれ一定量（約500～1200mg程度）正確に秤量した。サンプル量は水分含有率を考慮し、固形分当たりの量で同程度となるよう調整した。秤量し

た茶葉を100ml容量の三角フラスコに投入し、そこへ約80ml程度の沸騰水（イオン交換水）を入れ、ウォーターバス中で80℃に保ちながら30分間抽出を行った。抽出後は水浴により常温まで冷却した後、メスフラスコへ移してイオン交換水にて100mlまで正確にメスアップした。こうして得られた抽出液をポアサイズ0.2μmの親水化PTFE製ディスクフィルターでろ過し、バイアル瓶に移したものをHPLC分析に供した。また緑茶エキスに関しては、以下の方法で調整した。緑茶エキス約20mgを正確に秤量し、秤量値を記録したのちに15ml容量の遠心管に投入し、そこへ約8ml程度の沸騰水（イオン交換水）を加えて完全に溶解させた。その後は茶葉と同様の条件で処理を行い、HPLC分析（株式会社島津製作所製CR-9A）に供した。HPLCの分析条件は渡瀬¹⁾らの方法に従った。

カテキン類及びカフェインは以下の方法に従って分析を行った。アミノ酸分析と同様に茶葉を破碎・秤量（約100～25mg程度）した。秤量した茶葉は100ml容量の三角フラスコに投入し、そこへ約80ml程度のメタノールを入れ、15分間抽出を行った。抽出中はマグネティックスターラーで茶葉が沈殿しない程度に攪拌した。抽出後はメスフラスコへ移してメタノールで100mlまで正確にメスアップした。こうして得られたメタノール抽出画分1mlに対し、2mMアスコルビン酸水溶液1mlを加えボルテックスミキサーでよく攪拌したのちポアサイズ0.2μmの親水化PTFE製ディスクフィルターでろ過し、バイアル瓶に移したものをUHPLC分析（Waters社製Acquity UPLC）に供した。緑茶エキスに関しては、約30mgを正確に秤量し、メスフラスコを用いて10mlにメスアップし、以降は茶葉と同様の操作を行った。UHPLCの分析条件は佐藤²⁾らのテアフラビン類の分析方法と同様の条件を用いた。

総ポリフェノール分析は、緑茶タンニン量の工程分析法である酒石酸鉄法³⁾を用いて分析を行った。茶葉の破碎はアミノ酸分析と同様の方法で行った。また、緑茶エキスの場合は、約100mgを正確に秤量し、約80ml程度の沸騰水（イオン交換水）を加えて完全に溶解させ、室温まで冷却した後メスフラスコを用いて100mlにメスアップしたものをサンプルに用いた。

香氣成分分析は以下の条件で行った。各茶葉を原料にペットボトル飲料を作成し、その飲料をサンプルとして用いた。茶の抽出は水分含有率5%の茶葉を基準として、総量20倍加水（水は全てイオン交換水を使用、以下同様）、60℃、30分の条件で行った。茶葉

【報告】

の水分含有率がそれぞれ異なるため、茶葉の使用量及び加水量は固形分が上記と同量になるよう調整した。抽出は総量10kgのスケールで行い、ステンレスタンクを用いてウォーターバス中で保温しながら行った。また、抽出中は茶葉が沈殿しないよう投げ込み式攪拌機で攪拌した。抽出後はステンレス篩を用いて茶葉を大まかにろ過した後、約25kg程度まで一次加水を行い、清澄化工程に供した。清澄化は膜ろ過装置（旭化成株式会社製マイクロザ）を使用し、精密ろ過膜（細孔径0.45 μ m）を用いて、インバータ60Hz、ろ過時間1800秒につき逆洗5秒間の条件でろ過を行った。得られた清澄化液に、調合量に対し300ppmとなるようにアスコルビン酸を加え、重曹水溶液を添加してpHを6.2に調整したのち、メスアップしてBrixを0.3%に調整したものを調合液とした。調合液はUHT殺菌機を用いて136℃、40秒の条件で殺菌を行い、280ml容量のペットボトルに充填した。充填後は直ちに容器を横倒しにして30秒以上転倒殺菌を行い、水溶にて常温まで冷却し、PETボトル飲料とした。香気成分分析においては、茶葉の分析は上記飲料を開封したものをそのまま用い、緑茶エキ스는0.6% (w/v)となるようイオン交換水に溶解したものをサンプルとして用いた。分析は、GC-MS（アジレント社製GC7890A/5975C＋ゲステル社製DHS）を用いて行った。装置への導入はダイナミックヘッドスペース法を採用した。20 mlバイアルに上記サンプル5mlを加えて、40℃で5分間インキュベートした後、更に40℃で20分間加熱して揮発した香気成分を吸着剤（TenaxTA）に吸着し（50ml/min.）、ドライパージを15分間（50ml/min.）したものを加熱脱着装置を利用してGCに注入した。GCの分析条件は以下の通り。カラム：DB-5ms（0.25mm×60m、膜厚0.25m）、昇温条件：40（5分ホールド）－250℃（10℃/分）。

3 結果と考察

3.1 アミノ酸分析

アミノ酸分析の結果を図1及び2に示した。分析の結果、茶葉・緑茶エキス共に二番茶に比べ、秋冬番茶のアミノ酸含有率が高いという結果になった。一般的には茶時期が遅くなるに従ってアミノ酸含有量が減少すると言われており、それとは逆の結果となった。緑茶のアミノ酸は茶時期の他、芽が伸び始めてから摘採までの時間の長さ、摘採する部位、土壌や気候といった要素の影響を受けることが知られている。二番茶は秋冬番茶に比べアミノ酸が多いとは言われているが、そ

の差は一番茶と比較すると大きくはなく、茶時期以外の要素により逆転した可能性が考えられた。また、各茶時期での水分含有率の影響を見てみると、加工日や畑の違い等もあるため多少の濃度の高低はあるものの、茶葉及び緑茶エキス共に水分含有率に依存した変化は見られず、乾燥状態の違いがアミノ酸含有率に与える影響は少ないものと推測された。

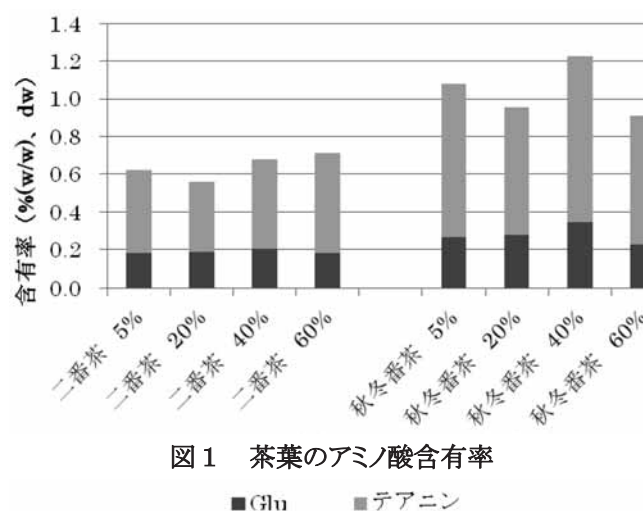


図1 茶葉のアミノ酸含有率

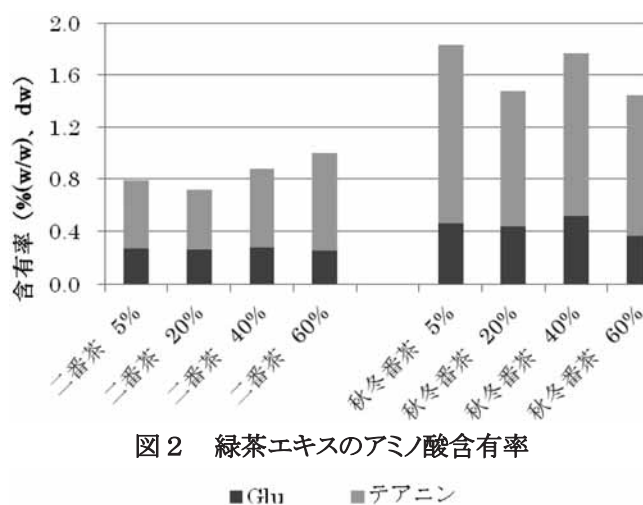


図2 緑茶エキスのアミノ酸含有率

3.2 カテキン類分析

カテキン類分析の結果を図3及び4に示した。その結果、秋冬番茶に比べ二番茶のカテキン類含有率が高いという結果になった。また、茶葉において水分含有率が高くなるにつれカテキン類含有率が高くなる傾向が見られた。この原因について詳細は不明だが、カテキン類は熱に弱い性質があることから、乾燥のための加熱により減少している可能性が考えられる。一方、緑茶エキスにおいてはこの傾向はみられなかった。これは粉体化工程における加熱が強いために、カテキン類の大きな減少が生じ、茶葉の乾燥条件の違いによるカテキン類含有率の差が埋没した可能性が考えられた。

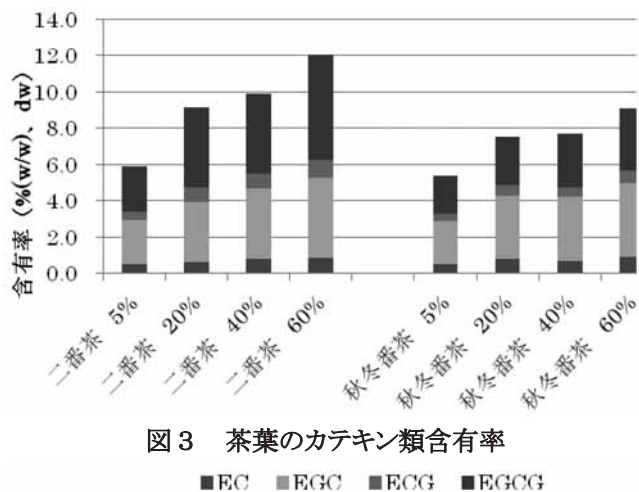


図3 茶葉のカテキン類含有率

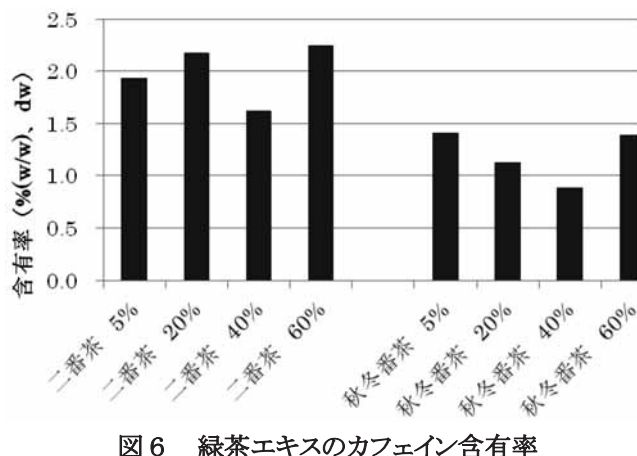


図6 緑茶エキスのカフェイン含有率

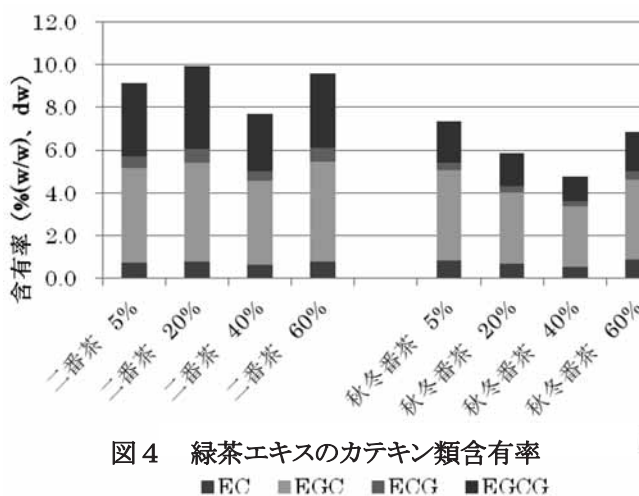


図4 緑茶エキスのカテキン類含有率

3.3 カフェイン分析

カフェイン分析の結果を図5及び6に示した。分析の結果、カテキン類と同様、秋冬番茶に比べ二番茶で含有率が高く、また茶葉において水分含有率が高くなるにつれカフェイン含有率が高くなる傾向が見られた。この原因について詳細は不明だが、カフェインは昇華性を持つため、カテキン類同様、乾燥のための加熱により減少している可能性が考えられる。一方、緑茶エキスにおいてはこの傾向はみられなかったがこれもカテキン類と同様の理由が考えられた。

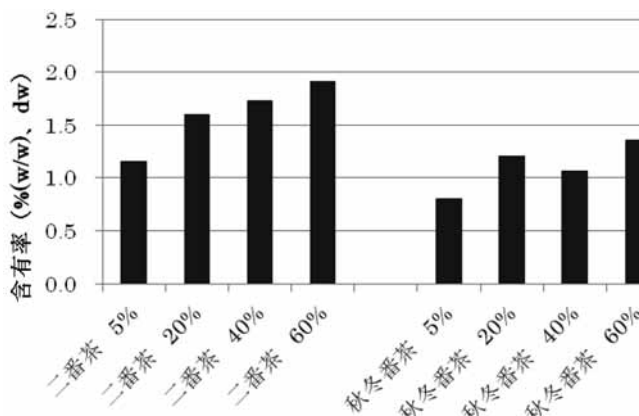


図5 茶葉のカフェイン含有率

3.4 総ポリフェノール分析

総ポリフェノール分析の結果を図7及び8に示した。茶葉及び緑茶エキスのどちらにおいても、秋冬番茶に比べ二番茶の総ポリフェノール含有率がやや高いという結果になった。また、加工日や畑の違い等もあるため多少の濃度の高低はあるものの、水分含有率依存した変化は見られず、乾燥状態の違いが総ポリフェノール含有率に与える影響は少ないものと推測された。

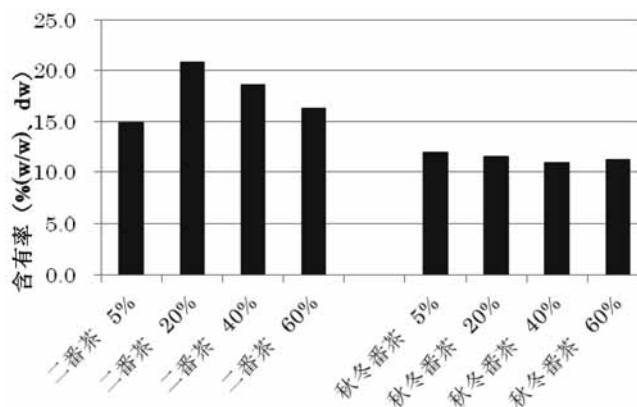


図7 茶葉総ポリフェノール含有率

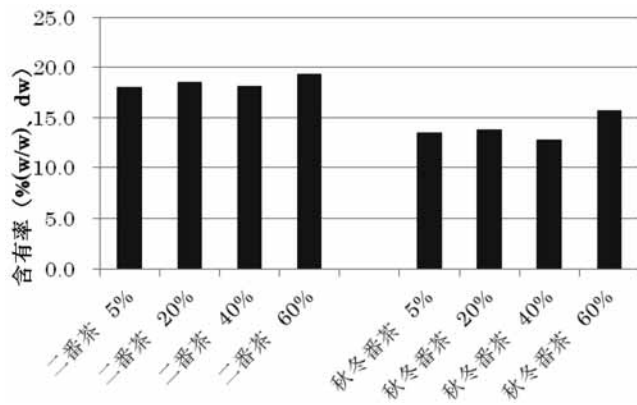


図8 緑茶エキスの総ポリフェノール含有率

【報告】

3.5 香気成分分析

香気成分の分析の結果、茶葉から製造したPETボトル飲料においては、香気を有する成分として20成分が同定されたが、そのうち水分含有率依存した変化が見られた成分を表1に示した（n=3）。二番茶の水分含有率60%のみに検出されたacetoinはバター様あるいはヨーグルト様の香気とされ、主に発酵食品に多く含まれることが知られており、発酵などの成分変化を生じている可能性が示唆された。また、3-Hexen-1-ol、(E)-1-Hexanolは青葉様の香りとされ、水分含有に依存して多く検出された。これらの結果から、水分含有率を高く加工することで、従来とは異なる香気特性を持つ茶葉を製造できる可能性が示唆された。一方、緑茶エキスの香気成分分析の結果、3種類の香気成分が同定された。表2にその全てを示すが、これは茶葉で同定された成分数に比べ大幅に少なかった。粉体化の工程で揮発性成分の多くが失われるためだと思われ、粉体化されたエキスには香気は残りにくいことがわかった。

4 まとめ

水分含有率及び茶時期の異なる8種のCTC処理茶葉及びそれを元に抽出・粉体化した緑茶エキス8種をサンプルとして、アミノ酸類、カテキン類、カフェイン及び総ポリフェノールの分析を行った。また、上記8種の茶葉を用いてペットボトル飲料を試作し、緑茶エキス8種と併せて香気成分の分析を行った。

アミノ酸含有率及び総ポリフェノール含有率に関して

は、茶時期による影響はみられたものの、水分含有率に依存した成分変化はみられず、加工条件がこれらの成分に与える影響は小さいと思われた。

カテキン類・カフェイン含有率に関しては水分含有率に依存して高くなる傾向が見られた。

香気成分に関しては、二番茶の様な比較的酵素活性が高い茶葉を一定以上の水分含有率にした場合、従来と異なる香気特性を有する茶葉となる可能性が示唆された。また、それ以外の条件であれば、加工条件が香気特性に与える影響は小さく、品質は安定であると思われた。

謝辞

本研究は、平成29年度（公財）静岡県産業振興財団 産学官連携研究開発助成事業の一環として行われました。

参考文献

- 1) 渡瀬隆也 他：フジ小軍鶏と肉用鶏の理化学特性の比較．静岡県工業技術研究所研究報告．2．17-21（2013）
- 2) 佐藤文彦 他：テアフラビン類の製造方法、及びテアフラビン類を含む飲料．特開2015-122992（2015.7.6）
- 3) 池ヶ谷 他：茶の分析法．茶業研究報告．71．43-74（1990）

表1

化合物	茶時期	ピーク面積値											
		5%			20%			40%			60%		
acetoin	二番茶	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	9,975,457	10,306,742	8,322,474
	秋冬番茶	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
3-Hexen-1-ol , (E)-	二番茶	251,473	244,360	267,480	176,653	199,730	167,430	383,373	389,953	393,254	2,439,210	2,292,479	2,417,475
	秋冬番茶	100,187	105,891	83,552	646,561	610,221	667,186	294,427	326,246	288,861	746,998	732,845	755,971
1-Hexanol	二番茶	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	52,769	53,837	46,658
	秋冬番茶	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

表2

化合物	茶時期	ピーク面積値											
		5%			20%			40%			60%		
acetoin	二番茶	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	415,662	382,855	488,156
	秋冬番茶	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Toluene	二番茶	198,653	250,330	195,336	204,500	196,407	180,914	205,591	193,824	178,203	N.D	87,986	N.D
	秋冬番茶	119,218	130,665	117,761	128,395	125,151	103,916	N.D	N.D	125,356	184,346	147,512	144,631
Nonanal	二番茶	98,785	109,327	96,670	N.D	57,785	63,194	61,320	72,332	61,890	101,498	74,888	89,799
	秋冬番茶	N.D	N.D	33,855	48,906	39,623	42,747	88,386	83,526	N.D	N.D	70,565	36,832

食品加工バンドソー用グローブの開発

— 保護部分の設計 —

ユニバーサルデザイン科

株式会社秋山機械

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

小松 剛* 大賀久美 易 強 多々良哲也

塚本富雄 小口郁哉

宮田なつき

Development of safety glove for handling of food processing band saw

— Design of metal protection part —

Takeshi KOMATSU, Kumi OGA, Tsuyoshi Yi YOTO, Tetsuya TATARA, Tomio TSUKAMOTO,
Ikuya OGUCHI and Natsuki MIYATA

The number of industrial accidents due to food processing machines is extremely large compared with that due to the other industrial machines. In those accidents, there are a lot of cases that patients may remain seriously disabled. Accordingly, safety measures of food processing are strongly demanded. Primary processing of small frozen tuna or bonito using a band saw tends to be dangerous, since the work is often performed at the slippery place on ice and oil.

For the reason given above, we have begun to develop the safe and easy-handling glove for the food processing band saws. Although a stainless mesh glove is used conventionally as a safety glove, it isn't made for band saws, and is loose and poor-workable. We devised the special glove of which a metal protection part was attached to a cloth glove-part. The wider the metal part covering the glove-part is, the higher the safety level will be, however the more difficult to move the joints of fingers is. Consequently, design for the shape and the size of the metal part to balance its volume against workability is important.

In the simulation based on the digital human model technology, the dangerous area on the hand was indicated with the colors according to the probability of being injured on the displayed model. It was possible to design the shape of the protection part appropriately considering the complicated shape of the hand.

Keywords : food processing, band saw, safety, protector, glove

キーワード：食品加工、バンドソー、安全、保護具、手袋

1 はじめに

食品加工機械による死傷災害（休業4日以上）は年間約2,000件で、他の産業用機械と比べて特に多い。身体障害が残る災害も多く発生しているため、安全対策が強く求められている^{1) 2)}。平成25年から食品加工用の切断機・切削機の安全対策について作業内容に適した保護具（耐切創手袋）を使うことが法律で義務付けられている³⁾。

静岡県は、遠洋マグロ・カツオの漁獲量が全国1位で、水産加工業が盛んである⁴⁾。冷凍されたマグロやカツオの1次加工（板・サク取り）の段階で、血合

い取り・中骨外しの作業は、小型バンドソーを使用し、人間の手で行われている（図1）。氷や油で滑りやすい作業環境で小さい食品を切断する作業は大きなリスクを伴うため、安全性の高い保護具に対する需要は高い。現状、既存の安全手袋製品として、ステンレス・メッシュ・グローブがあるが、バンドソーの専用品ではなくダブついて作業性が悪いという欠点があった（図2）。

そこで、食品加工機械メーカーと、安全性と作業性に優れた「食品加工バンドソー用グローブ」の開発を行うこととした。本報告では、安全性を検討した設計手

*) 現 浜松工業技術支援センター 光科

【報告】

法について紹介する。



図1 食品加工用小型バンドソー



図2 ステンレス・メッシュ・グローブ

2 方法

「食品加工バンドソー用グローブ」は、ゴム手袋の内側に装着するインナー手袋で、布製手袋に金属製保護部を組み合わせるものとした(図3)。

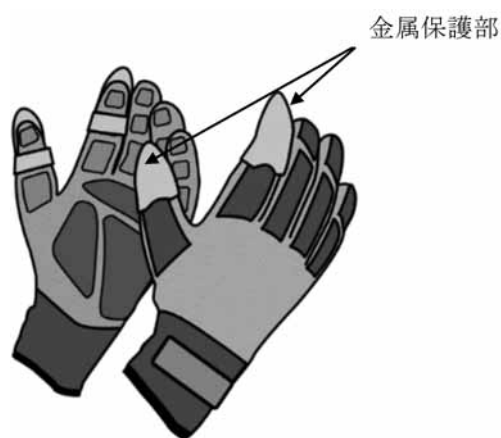


図3 開発品のイメージ

素材については、設計の前にバンドソーの刃に接触させる安全性評価の実験を行い選定した。布部は巻き込まれにくい繊維を、保護部は刃をはじくステンレス板

を、それぞれ採用した。金属製保護部を大きくするほど、安全性は高くなるが、その分重く、硬くなり指関節の可動域が制限されて、作業性が悪くなることが予想される。そのため、保護部の適切なサイズや形状を設計する手法が重要である。

バンドソー作業中での切創・切断の事故は、メーカーとユーザーからの聞き取りから、親指・人差し指・中指の3本指で起こり易いことは分かっていたが、それ以上の具体的な情報はなかった。そこで、作業中の危険箇所を調査するために、設計支援プラットフォームソフトウェアDhaibaWorks（ダイバワークス）を活用することにした(図4)。これは、(国研)産業技術総合研究所が開発を進めている身体動作シミュレーションソフトウェアであり、デジタルヒューマンモデルを用いて、人と製品の適合性を考慮した製品設計を支援するツールである。今回は、DhaibaWorksの手のモデルであるDhaibaHand（ダイバハンド）を活用した⁵⁾。個人における手の各部寸法値から、その人の手による三次元立体形状を生成することが可能である。

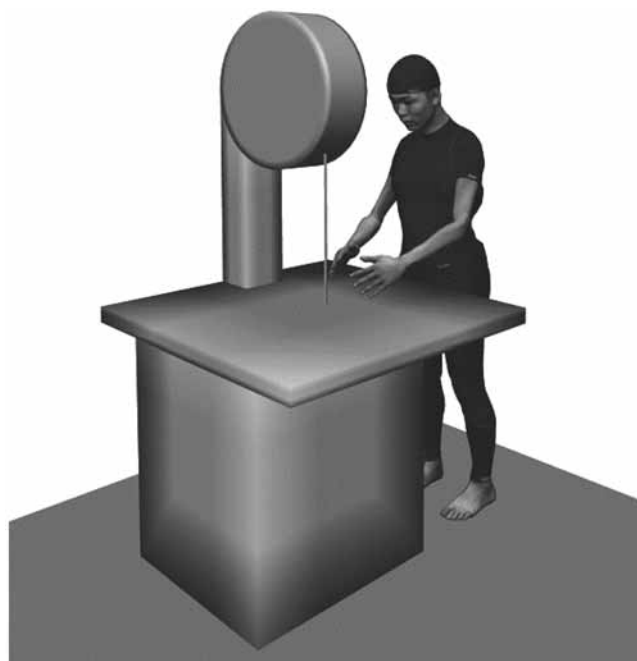


図4 DhaibaWorksによるイメージ

最初に、バンドソーでの現場作業の様子をビデオで観察し、危険性が高いシーンを抽出した(図5)。左手の作業が多く、両手作業の時もほとんど左右対称であることから、左手のモデルで検討することにした。左手の特徴点に反射マーカを28個貼っておき、危険性が高い姿勢と動作を実験室で模擬した。その様子を、モーションキャプチャー（VICON社製 光学式三次元

動作分析装置VICON)で撮影した(図6)。生成された姿勢の三次元データをDhaibaHandのテンプレートにフィッティングさせることで、ハンドモデルの三次元立体形状を作成した。



図5 現場作業の様子



図6 動作の模擬実験

ハンドモデルの例として、横から押さえている姿勢の例を示す(図7)。「もの」の切断を行う時、手はY軸方向へ繰り返し移動する。この作業中、手を少しずつX軸方向へ移動させると、どこかで刃に接触することになる。X=0, Y=0の座標上にある刃に対して、 $X < 0$ の位置に手があれば事故は発生しない。X方向へ予期しない移動があり、危険領域($X \geq 0, Y \geq 0$ の範囲)に手が侵入すると事故の危険がある。この時、ハンドモデル表面上のどの点が、刃に接触するかを確定した。X軸方向への移動量を少しずつ変えながら、怪我の可能性のある箇所とその回数を調査した。

この際、巻き込みによる姿勢の変化は考慮していない。また、ハンドモデルを最初にセットする位置座標において、X軸方向で0に近いほど危険であり、Y軸方向では刃までの移動距離が大きいほど侵入の可能性は高いと予想されるため、移動開始の位置に応じて、接触の回数に重みをつけることで、ある程度の危険度の大きさも推定できるようにした。

ハンドモデルの姿勢として、12パターンを調査した。これらの姿勢は、作業中に想定される3種類の押さえ方を基本モデルとして決定した。モデルの傾きを0度から、30度、60度、90度と変えることで、上から押さえる姿勢から、横から押さえる姿勢までを段階的に示している。

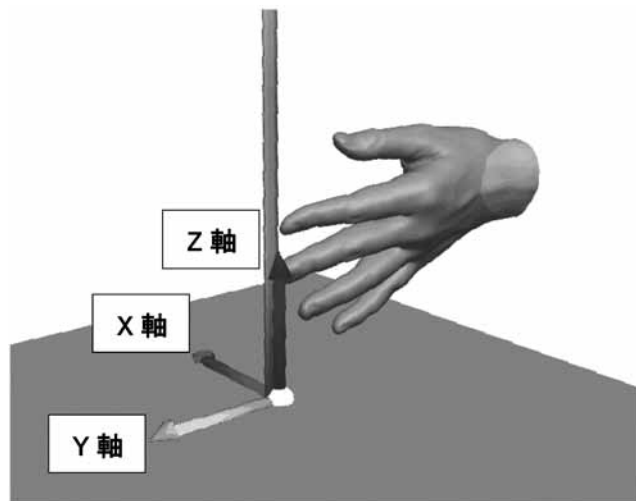


図7 DhaibaWorksのハンドモデル

3 結果および考察

DhaibaHandを使って、バンドソー作業で怪我をする可能性が高い箇所を調査した。12パターンの姿勢でのシミュレーション結果を示す(図8)。



図8 姿勢による危険箇所の違い

危険と予測された箇所を、ハンドモデル上に明度で示した。さらに12枚のデータを合成することで、最低限、保護すべき箇所を示すことができた（図9）。



図9 危険箇所（12枚の合成データ）

特に危険な指は親指と中指であり、5本指すべての先端も保護しないといけないことになる。この結果は、現場の方の意見とほぼ一致していて妥当であると推定できる。

危険箇所を確定後に、保護部の形状データを3D-CAD（SolidWorks®）で設計した。その保護部データをハンドモデルの骨格データと関連づけることによって、指関節の曲げ伸ばしの解析が可能である（図10）。



図10 関節を考慮した保護部の設計

4 まとめ

デジタルヒューマンモデル技術は、設計段階における安全性評価に有効である。今回の開発では、手の複雑な形状を考慮した保護部分の設計に利用している。設計をもとに製作した試作品で、安全性と作業性の評価を行っている（図11）。今後、保護部の形状やサイズを調整しながら、違うサイズの手袋の設計に利用していく計画である。硬い金属部分があることから、サイズの適合は非常に重要な要素である。



図11 試作したグローブ

謝辞

本研究は、平成29年度国立研究開発法人産業技術総合研究所地域産業活性化人材育成事業を利用して実施したものです。御協力いただいたすべての皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 厚生労働省：労働災害統計（2017.5.19発表）.
- 2) 梅崎重夫 他：食品機械を対象とした労働災害分析，労働安全衛生総合研究所安全資料 JNIOH-SD-NO.27, 1-47(2010) .
- 3) 厚生労働省：改正「安全衛生規則」（2013.4.12公布） .
- 4) 農林水産省：海面漁業生産統計調査/確報 平成28年漁業・養殖業生産統計（2017.12.22公開） .
- 5) 宮田なつき：製品設計のためのデジタルハンド，バイオメカニズム学会誌，38(1).25-30(2014).

セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化

— 化粧品への利用 —

工芸科 石橋佳奈 山下里恵 前田研司 上野千恵

Development of utilization technology of cellulose nanofiber for revitalization of regional industry

— Use for cosmetics —

Kana ISHIBASHI, Rie YAMASHITA, Kenji MAEDA and Chie UENO

Cellulose nanofibers (CNFs), which have a width of several to a few dozen nanometers, are a biomass material obtained from plant fibers such as wood pulp. CNFs are a new material attracting widespread interest, because they are light, with to one-fifth the weight of steel, and possess strength five times to that of steel. In addition, CNFs have various features such as water retention, gas barrier and thickening properties, emulsion stability, and thixotropic nature. These properties are beneficial in developing cosmetics. We prepared various CNF-added skin lotions to evaluate their moisture retention and feeling in use.

The evaluation testing revealed the following:

- (1) Skin lotion samples containing a small amount of CNF and one with a small amount of sodium hyaluronate were applied to a person's skin separately, and after 60 minutes, the moisture value of the skin were about the same for both cases.
- (2) For a skin lotion where carboxymethylated CNF (CM-CNF) was added, the amount of water evaporated during a time interval of 55 minutes starting at five minutes after applying the lotion was less than that of other skin lotions where CNFs were added.
- (3) TEMPO-oxidized CNF indicated higher viscosity than xanthan gum and guar gum did. Also, TEMPO-oxidized CNF and CM-CNF both had high thixotropy.

These results suggest that adding CNFs to a skin lotion improves its moisture retention and feeling in use. In addition, as different types and concentrations of CNFs provide different effects, selecting various CNF types and concentrations may aid in developing various cosmetics.

Keywords : CNF, cosmetics

キーワード : セルロースナノファイバー、化粧品

1 はじめに

静岡県は、平成29年度の化粧品生産金額が1,689億円¹⁾と、全国3位であり、トップクラスとなっている。OEM生産やPB製品の開発を手掛ける中小企業をはじめとして、製造販売業者数も増加傾向にあり、化粧品産業の一大集積地となっている。

他方、セルロースナノファイバー (CNF ; Cellulose Nano Fiber) は、木材などの植物繊維から得られるバイオマス素材で、幅が数nm~数十nm程度の繊維状物質であり、鋼鉄の1/5の軽さでありながら同じ程度 (300~400MPa) の強度を有し、またガラスの約50分

の1の低膨張率という特性から様々な分野への応用が期待されている²⁾。またCNFは、保水性や保湿性が高いという報告もある³⁾。他にもチキソトロピー性、乳化安定性のほか、セルロースナノファイバーフィルムは、ガスバリア性を示すなど化粧品開発にとって有利な特長がある⁴⁻⁶⁾。

そこで、高付加価値な化粧品開発を行うため、化粧品の訴求項目である肌の潤いを保つこと (保湿性) や塗り心地 (使用感) の向上を目的とし、CNFの添加効果について研究を行った。本研究では、CNFの保湿性の指標となるCNFの水分保持性についてヒト試験に

【報告】

より評価した。使用感については、CNFの粘度測定により評価した。

2 方法

2.1 CNFによる水分保持性評価方法

(1) 対象者、試薬、使用機器、測定条件及び方法

ア 対象者

20代から50代の女性16名にて行った。施行前に、本研究の説明を試験参加者の方々に行い、同意を得た。また本実験は、一般社団法人人間生活工学研究センターの倫理審査による承認（H29-2-1e）を得て実施した。

イ 試薬

CNF添加化粧水の調製に用いた基本成分と添加物、および使用したCNFの種類を表1に示す。

表1 使用した基本成分と添加物

基本成分	機能
精製水	基材
グリセリン	保湿剤
PEG-30水添ひまし油	界面活性剤
添加物	
機械的解繊CNF	保湿剤
TEMPO酸化CNF	
CM化CNF	
ヒアルロン酸原液 (ヒアルロン酸Na1%配合)	保湿剤

また、以下の手順で試料の化粧水を調製した。表2に示す濃度になるように化粧水成分を配合し、ホモジナイザー（IKA製：T18 digital）を用いて、回転数6000rpmで30分間撹拌した。なお、CNFとの比較対象として、一般的に化粧水に添加されているヒアルロン酸Naを用いた。以後、化粧水の名称として、対照となる添加物なしの化粧水、機械的解繊CNF、TEMPO酸化CNF、カルボキシメチル化CNF添加化粧水、及びヒアルロン酸Na添加化粧水をそれぞれCont.、M-CNF、

T-CNF、CM-CNF、およびHAと示すこととする。

ウ 使用機器

皮膚表面の水分測定には、水分計（インテグラル製：CM825MP）を使用した。

エ 測定条件

20℃、65%R.H.に保った恒温恒湿室内で測定を行った。

オ 方法

試験参加者は、測定室内で15分間馴化時間を過ごしてから測定を行った。この15分間で、皮膚の清浄、測定範囲の書き込み、化粧水塗布前の水分値を測定した。消毒用エタノールを前腕部に塗布し、清浄した。消毒用エタノールは、無水エタノール（健栄製薬㈱製）を精製水で希釈し、80%にしたものを使用した。測定範囲は、前腕部に3cm×3cmの正方形を眉ペンで書き込んだ。書き込んだ正方形は、後に試薬塗布及び測定を行う目安位置とした。

化粧水を一定量（1ml）コットンに浸み込ませ、前腕部の所定の測定範囲の1ヶ所に軽く塗布した。化粧水塗布1分後から、5、10、15、30、60分経過時における皮膚表面の水分値を測定した。測定方法は水分計のプローブを、基材を塗布した測定範囲において、正方形の角4つと中央1つの5点分を当て、5点分の水分値を測り、値を記録した。この方法で全ての化粧水を塗布し、水分値の比較を行った。

2.2 CNFの粘性評価方法

(1) 試薬、使用機器及び方法

ア 試薬

TEMPO酸化CNF、カルボキシメチル化CNFを用いた。また、一般的に化粧品に使われている増粘剤である天然多糖類のグアーガム、キサンタンガムもCNFとの比較対象として用いた。

濃度は0.8 wt%になるように配合し、ホモジナイザー（IKA製：T18 digital）を用いて十分に撹拌した。

イ 使用機器

粘度計（レオシス社製：Merlin VR）を使用した。

表2 化粧水成分の配合濃度

サンプル名	化粧水中の各成分濃度			単位：wt%
	グリセリン	PEG-30水添ひまし油	CNF	
Cont.	6	1	—	—
M-CNF	6	1	0.05、0.1、0.15、0.2	—
T-CNF	6	1	0.05、0.1、0.15、0.2	—
CM化CNF	6	1	0.05、0.1、0.15、0.2	—
HA	6	1	—	0.05、0.1、0.15、0.2

ウ 方法

粘度測定には、コーンプレートを用いた。プレートに各試料を滴下し、測定温度を25℃に設定し、スピンドルの回転数1～230rpmで測定した。チキソトロピー性については次式によりthixotropy index (TI値)を算出し、評価した。

$$TI = \eta_a / \eta_b$$

η_a は20rpm時の粘度であり、 η_b は200rpm時の粘度を用いて算出した。

3 結果および考察

3.1 CNFによる水分保持性

Cont.、M-CNF、T-CNF、CM-CNF、及びHA全ての化粧水において、塗布60分後の水分値は、化粧水塗布前の水分値より高い値を示しており、水分が保持されていることが確認された。更に、化粧水塗布60分後の水分値を指標として、CNFを添加することでCont.より高い水分値を示すか比較を行った。表3に塗布60分後、Cont.より高い水分値を示した人数の割合を示す。CNFを0.05及び、0.1wt%添加することで、6～7割の人がCont.より水分値が高くなる傾向が見られた。0.15wt%からは、CM-CNFを除き、Cont.より水分値が高くなる人数の割合が低くなった。つまり、CNFは少量の添加において効果があることが分かった。

表3 塗布60分後、Cont. の水分値より高い値を示した人数の割合

試料	添加量			
	0.05 wt%	0.1 wt%	0.15 wt%	0.2 wt%
M-CNF	63	69	56	50
T-CNF	69	56	31	50
CM-CNF	63	63	81	38
HA	75	69	44	44

水分値の比較を行うため、図1に添加物の濃度0.05wt%、塗布60分後の水分値を示す。CNFの添加は、HAとほぼ同等の水分値を示した。図2に添加物の濃度0.1wt%、塗布60分後の水分値を示す。M-CNF、T-CNF、CM-CNFにおいて、0.1wt%添加することで、0.05wt%添加するより高い水分値を示したが、HAの水分値より低かった。

時間が経った後でも高い水分値を示すためには、水分が出ていくのを抑制するのが重要な点となる。前腕部に化粧水を塗布し1分後から5分後、前腕部に多く残っている試料が急激に蒸発する。塗布5分後から塗布60分後にかけては、穏やかに蒸散していき水分値は

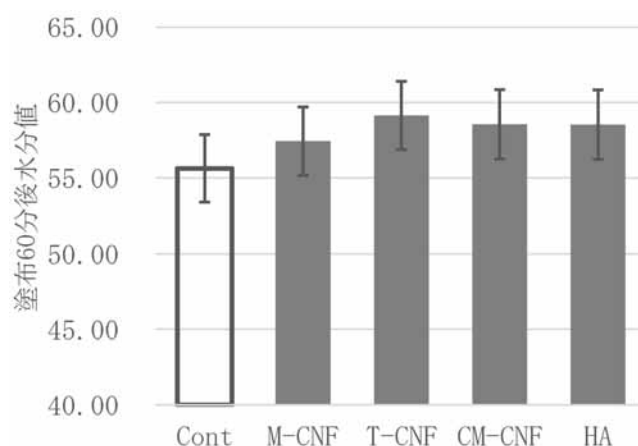


図1 添加濃度0.05wt%化粧水塗布60分後の水分値

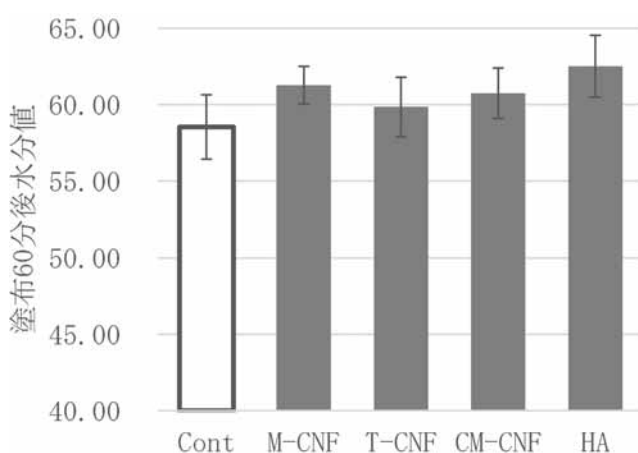


図2 添加濃度0.1wt%化粧水塗布60分後の水分値

少しずつ下がっていく。つまり、化粧水を塗布することで、急激な蒸発と緩やかな蒸散が起きるが、蒸発や蒸散を抑えることが保湿に繋がる。そこで、添加物濃度0.05wt%の時、塗布5分後の水分値、及び塗布5分後から塗布60分後の蒸発量を水分値の差で表したもの(以下、 Δ 水分値)を図3、及び図4に示す。塗布5分後の水分値は、CNFを添加することで、Cont.より水分値が高いことが分かった。 Δ 水分値では、Cont.より値が低かった。このことから、急激に蒸発が起きた際も、徐々に蒸発が起きた際もCNFを添加することで水分が保持されることが分かった。また、CM-CNFについては、 Δ 水分値が特に低い傾向にあった。

保湿剤は作用のメカニズムから、エモリエントとヒューメクトantの2つに大別される。エモリエント剤は、水分を保持する能力は低い、閉塞性に優れ、皮膚からの水分蒸散を抑制することで角層水分量を高めるものである。ヒューメクトant剤は、それ自体に水分を補足する作用があり、閉塞性は弱い⁷⁻⁸⁾。グリセリンは後者として働くが、CNFは、三次元ネットワークによる被膜性や、構造に—OH基や—COONaを有しているため水

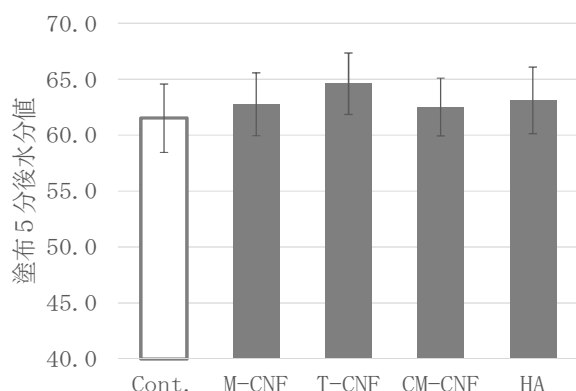


図3 添加濃度 0.05 wt%化粧水、塗布 5 分後の水分値

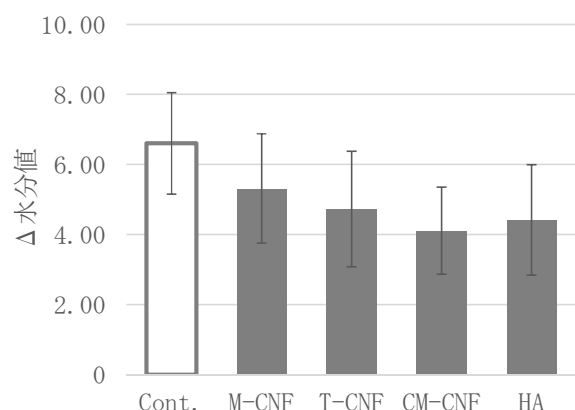


図4 添加物濃度 0.05 wt%化粧水、塗布 5 分後から塗布 60 分後の水分値を引いた値

との親和性が高いため、両方として働いている可能性が考えられる。そのため、本結果はグリセリンによる水分の補足と CNF による被膜性と水分の補足によって水分保持性が現れたのだと考えられる。

3.2 CNF の粘性評価

CNF 及び比較対象であるキサンタンガム、グアーガムの粘度測定を行った。その結果を図 5 に示す。TEMPO 酸化 CNF 0.8 wt%は、比較対象より増粘性が高く、CM 化 CNF 0.8 wt%は、増粘性が高いと言われているグアーガムと同等の粘度を示した。また、チキソトロピー性については、TI 値を指標とし評価した。結果を表 4 に示す。TEMPO 酸化 CNF、CM 化 CNF は共に比較対象より高い値を示した。このことから、CNF を高い流動性を付与する天然由来の増粘剤として化粧品に展開することが可能だと考えられた。

4 まとめ

高付加価値な化粧品開発を行うため、CNF の添加によって保湿性や使用感の向上を目指した。保湿性

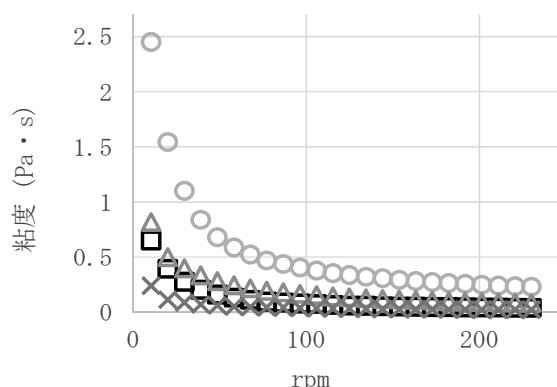


図5 CNF 及び増粘剤の粘度

○TEMPO 酸化 CNF □CM 化 CNF △グアーガム
×キサンタンガム

表4 CNF 及び増粘剤の TI 値

種類	TI値
TEMPO酸化CNF	6.17
CM化CNF	8.80
グアーガム	5.34
キサンタンガム	4.56

の評価には、CNF の水分保持性を指標とし、ヒト試験により評価した。使用感は、CNF の粘度を測定し、増粘性とチキソトロピー性により評価した。

その結果、以下のことが明らかになった。

(1) CNF を 0.05 wt%~0.1 wt%添加する事で、6~7 割の試験参加者で水分値が上がる傾向が見られた。また、CNF を少量添加することで化粧水塗布 60 分後の水分値は、ヒアルロン酸 Na とほぼ同等な値を示した。

(2) CM-CNF は、試料塗布 5 分後から試料塗布 60 分後にかけて蒸発した水分量が、他の CNF に比べて低いことが分かった。

(3) TEMPO 酸化 CNF は、キサンタンガム、グアーガムより増粘性が高いことが分かった。また、チキソトロピー性に関しては、TEMPO 酸化 CNF、CM 化 CNF 共に高いチキソトロピー性を示した。

以上により、CNF の添加によって保湿性や使用感が向上できることが示唆された。また、CNF の種類や濃度によって効果が異なり、種類や濃度条件を選択することで様々な化粧品開発が期待できる。

参考文献

1) 経済産業省「生産動態統計年報化学工業統計編」

- (平成30年7月公表).
- 2) 矢野浩之: セルロースナノファイバーとその利用. 日本ゴム協会誌, 85 (12), 376-381 (2012).
 - 3) 小瀬亮太, 松下明裕, 岡山隆之: 浸透圧を利用したセルロースナノファイバー分散水の濃縮. 繊維学会論文誌 (JFST), 73 (12), 368-372 (2017).
 - 4) 後居洋介: 化粧品原料としてのセルロースシングルナノファイバーの研究. 第一工業製薬社報拓人, No577, 11-14 (2016夏).
 - 5) Fukuzumi H. Saito T. Iwata T. Kumamoto, Y. and Isogai A.: Transparent and high gas barrier films of cellulose nanofibers prepared by TEMPO-mediated oxidation. *Biomacromolecules*, 10 (1), 162-165 (2009).
 - 6) セルロース学会編: 期待のセルロース編, 「セルロースのおもしろ科学とびつくり活用」, 第二刷 (講談社, 東京) セルロース学会 編集, pp134-152
 - 7) 沼上克子, 田上八朗: 卵殻・膜末水溶液入り化粧水の角層保湿能におよぼす影響について. 皮膚, 41 (3) 387-390 (1999).
 - 8) 平尾哲二: 〈教育セミナー〉シワのサイエンス〜成因から改善アプローチまで〜皮膚の保湿メカニズム. 日本化粧品学会誌, 37 (2) 95-100 (2013).

プラスチックペレットに適した水分測定法の検討

— カールフィッシャー測定法の適用事例 —

化学材料科 本間信行
美光産業株式会社 田邊賢二

Investigation of suitable moisture measurement for plastic pellets

— Application example of Karl Fischer moisture measurement —

Nobuyuki HONMA and Kenji TANABE

Keywords : plastic pellets, moisture content, Karl Fischer, moisture meter for plastics

キーワード：プラスチックペレット、水分率、カールフィッシャー、ポリマー用水分計

1 はじめに

プラスチックの射出成形におけるシルバーやボイド等の不良は、ペレットの吸湿が主要な原因の一つとされている。成形現場ではペレットの乾燥条件を管理することで間接的に水分率を制御しているが、設備性能や季節変動、材料の切り替えなど、工程を不安定にする要素が多い。そのため水分率を直接把握する必要があるが、測定機器の未整備や精度不足、運用知識の不足など、課題が多い。そこで、ペレットでの適用事例は少ないが、水分測定法として広く普及しているカールフィッシャー法（KF法）について、その実用性を検討した。

2 方法

測定には水分気化装置つきカールフィッシャー水分計MKC-710S、ADP-611（京都電子工業(株)製、写真1）を使用し、電量滴定を実施した。標準試薬は酒石酸ナトリウム2水和物 特級（和光純薬製）を使用し、デシケーターで常温乾燥したものを使用した。加熱温度はペレットの成形条件（シリンダ温度）を目安に昇温測定し、終点付近の温度を採用した。また、試料量は予め測定した水分量から1,000 μ g程度になる試料量を逆算して調整した。KF法と別法との比較では、ポリマー用水分計 アクアトラック3E（アイティーエスジャパン(株)製、写真2）で測定した。

3 結果および考察

3.1 機器の測定精度

JIS K 7251(2002) 4.5.3.2 には装置の確認として、

標準試薬を使った方法が記載されている。今回はこの方法を低水分量範囲に適用し、重量を変えて繰り返し測定を行った結果を表1に、図1にその回収率を示した。今回の結果からは、直線性の確認で決定係数0.999、最低水分量での変動係数1.8%と算出された。回収率では1,000 μ gより低い水分量で低下が見られ、結果に負の誤差が生じることが分かった。



写真1 水分気化装置つきカールフィッシャー水分計



写真2 ポリマー用水分計

3.2 製造現場での調査

調査の前に、試料を採取して輸送する方法の確認を、ポリエーテルスルホン (PESU) 試料の水分を時間経過を追って測定したところ、耐熱ガラス瓶とアルミチャックバッグで乾燥保存することで約 1 か月は±10%程度の範囲で保存できた。製造現場での調査結果を表 2 に示した。1 試料あたり 3 本を採取して、条件出しを行い、別に計 5 回の測定を行った。試料採取に問題があった試料もあるが、概ね良好な再現性で結果が得られた。

3.3 妨害反応の確認

KF法には妨害反応があり¹⁾、プラスチックから妨害成分が発生する可能性があるため、強い臭気が発生するPESUで、反応原理の異なる別法と比較した。結果を表 3 に示した。同時採取した 3 本の試料をそれぞれ測定した結果、両者の差は 5 %未満であり、PESU については妨害の影響は無い、無視できる結果であった。

表 1 標準試薬 (酒石酸ナトリウム 2 水和物) による精度確認

	重量(g)	水分量 (μg)	理論値 (μg)	水分率 (ppm)	回収率 (%)	平均 回収率 (%)
BL	0	10	—	—	—	—
STD1-1	0.0035	501	548	143114	91.4	92.0
STD1-2	0.0037	524	579	141703	90.5	
STD1-3	0.0036	527	564	146417	93.5	
STD1-4	0.0034	484	532	142206	90.8	
STD1-5	0.0035	515	548	147257	94.0	
STD2-1	0.0068	1047	1065	153926	98.3	97.0
STD2-2	0.0068	1018	1065	149632	95.6	
STD2-3	0.0070	1066	1096	152229	97.2	
STD3-1	0.0206	3148	3226	152830	97.6	97.9
STD3-2	0.0198	3044	3101	153732	98.2	
STD4-1	0.0348	5321	5450	152897	97.6	97.6
STD4-2	0.0347	5297	5434	152663	97.5	

※ 水分量と重量の一次回帰における決定係数 $R^2 = 0.999$

最小重量 STD1 の水分量 (5測定) から算出される変動係数 CV = 1.8%

表 2 製造現場での調査結果

種類 試料	ポリエーテル スルホン(PESU)		ポリカーボネート (PC)		ポリフェニレンスルフィド (PPS)		
	乾燥前	乾燥炉 出口	乾燥前	乾燥炉 出口	混合前 新材	混合前 再生材	乾燥炉 出口
No.1	3484	※1	1118	270	647	540	238
No.2	3375	152	1128	237	644	545	247
No.3	3377	165	1135	254	629	524	222
No.4	3005	177	886※2	250	613	521	207
No.5	2990	163	898※2	235	611	563	228
試料量平均(g)	0.343	4.241	0.844	2.535	1.449	1.430	2.501
水分率平均(PPM)	3246	164	1033	249	629	538	228
水分率CV(%)	7.1	6.2	12.5	5.7	2.7	3.2	6.7

※1 試料採取時の気密不良により結果不採用

※2 試料採取時の採取バラツキの可能性あり

4 まとめ

KF法の精度を確認したところ、直線性や再現性は実用に十分であったが、1,000μgより低い水分量では、回収率の低下が見られ、結果に負の誤差が生じることが分かった。また、KF法への妨害反応の有無をPESUで別法と比較測定した結果、影響は無視できる結果だった。

謝辞

本検討にあたり多大なご協力を頂いた、京都電子工業株式会社吉田雅彦氏、アイティーエスジャパン株式会社 齋藤香織氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 三菱化学㈱編：三菱化学のカールフッシャー試薬マニュアル，三菱化学株式会社 (1998)．

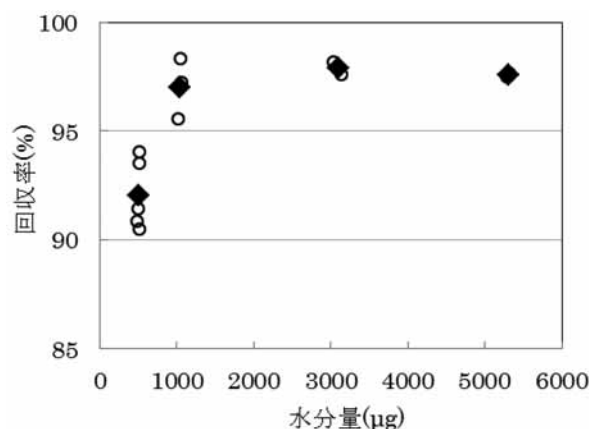


図 1 水分量と回収率

○測定データ ◆平均

表 3 KF法と別法の比較測定結果

試料 測定法	ポリエーテルスルホン (PESU)	
	別法	KF法
No.1	234	249
No.2	226	206
No.3	209	238
平均 (PPM)	223	231
変動係数 (%)	5.7	9.8

※ 試料は同時採取後、別法は5日後、カールフッシャー法は6日後に測定した結果の平均値。

顕微赤外分光イメージングを用いた樹脂製品の評価

化学材料科 菅野尚子 渥美博安*

Evaluation of molded Products by means of infrared microscopic imaging analysis

Naoko KANNO and Hiroyasu ATSUMI

Keywords : infrared microspectroscopic imaging, resin additive, coating structure

キーワード：顕微赤外分光イメージング、添加剤、塗膜構造

1 はじめに

当研究所ではイメージングデータを解析する場合、主成分分析（PCA）により複数の未知成分を仕分けする「成分解析^{*1}」と、指定の官能基の分布を見る「ケミイメージ^{*1}」の2つの手法を主に用いている。前報¹⁾では、顕微赤外分光イメージングを用いて、樹脂の接着不良に関する解決事例を報告した。今回は、上述した2つの解析法を用いて技術相談の解決に役立てた2事例を紹介する。

2 方法

2.1 試料

県内企業から成分調査を目的として持ち込まれた材質が不明の黒色チューブと、同じく製品不良の原因究明を目的として持ち込まれた樹脂塗装品（アクリル系塗料が塗装されたABS樹脂製品）の2試料について試験に供した。

2.2 ATRイメージング測定及び解析

試料から断面試料を調整し（図1）、ATRイメージング測定（装置PerkinElmer社製Frontier-Spotlight400、スペクトルの分解能 4 cm^{-1} 、積算回数4回、ピクセルサイズ $1.56\text{ }\mu\text{m}$ 、測定領域 $300\text{ }\mu\text{m}\times 100\text{ }\mu\text{m}$ ）を行った。なお、黒色チューブについては成分解析を行い、樹脂塗装品についてはケミイメージによる解析を行った。

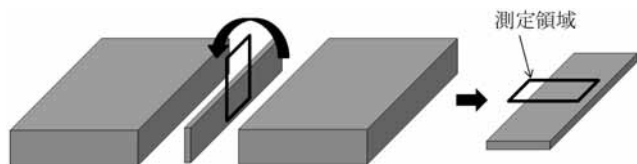


図1 試料の調整

3 結果及び考察

3.1 黒色チューブについて（成分調査）

黒色チューブ断面の可視画像（図2）から、チューブは2層構造であることが推察されたので、四角で囲んだ領域についてイメージング測定を行い、成分解析を行ったところ、これらの層が2色に色分けされた（図3）。各層の赤外吸収スペクトル（図4）はともにポリエチレンの吸収を有するが、主な違いは 1698 cm^{-1} （ $\text{C}=\text{O}$ ）ピークの有無であった。内側層はこのピークがなく、純度の高いポリエチレンであると考えられた。一方、外側層はこのピークを有しており、添加剤の配合や有機酸との共重合体の可能性が示唆された。

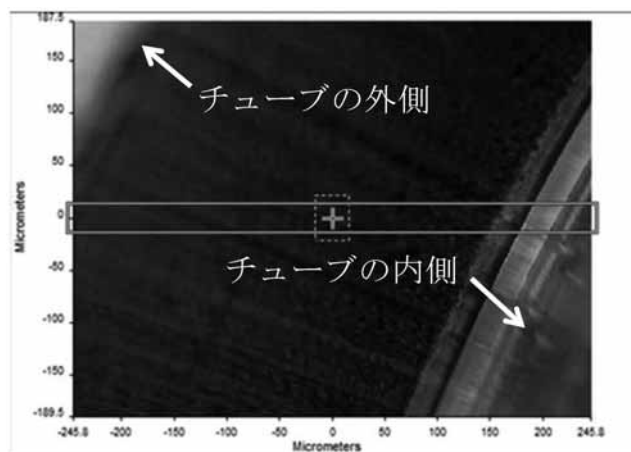


図2 黒チューブの可視画像

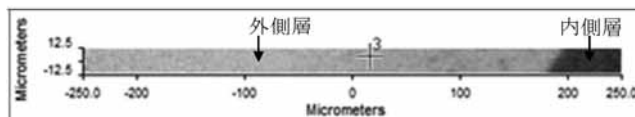


図3 図2において□で囲んだ領域のイメージング画像

*) 現 浜松工業技術支援センター 機械電子科

* 1 PerkinElmer社装置における解析用語

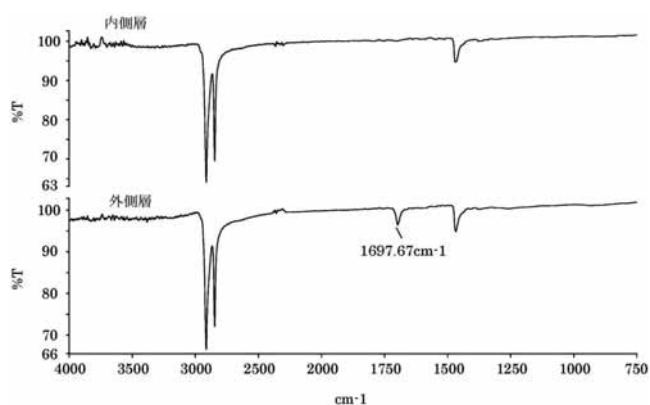


図4 内側層及び外側層の赤外吸収スペクトル

3.2 樹脂塗装品について (不良原因調査)

本事例の試料も塗膜が積層構造を有し、成分解析が可能であったが、今回はケミメージによる解析を試みた。樹脂塗装品断面の可視画像 (図5) では、ベース樹脂上に塗膜2層が積層している様子が観察され、ベース樹脂のA B Sは、 2234cm^{-1} ($\text{C}\equiv\text{N}$) の分布により確認することができた (図6)。また、塗膜2層の赤外吸収スペクトル (図7) における違いは、 1690cm^{-1} ($\text{C}=\text{O}$) ピークの大きさと 1150cm^{-1} ($\text{C}-\text{O}$ 伸縮) のピーク形状であった。そこで、ピーク面積の比較が可能な 1690cm^{-1} を指標として解析を行ったところ、2種のアクリル系塗膜の違いをイメージング画像として捉えることができた (図8)。さらに、この塗装品にはベース塗料層の一部に剥離が生じていることがイメージング結果から明らかとなった。

4 まとめ

上記2事例から、顕微赤外分光イメージングの測定データにおいて、目的に応じ成分解析またはケミメージによる解析を行うことにより、樹脂製品内部の構造や成分の分布を画像化できることがわかった。本年度はこの手法を利用して解決した県内企業からの技術相談が5件あったが、今後も活用の機会が増えると思われる。

参考文献

- 1) 菅野尚子 他：顕微IRイメージングを用いた樹脂接着不良の原因究明. 静岡県工業技術研究所報告, 第10号, 7-8 (2017)

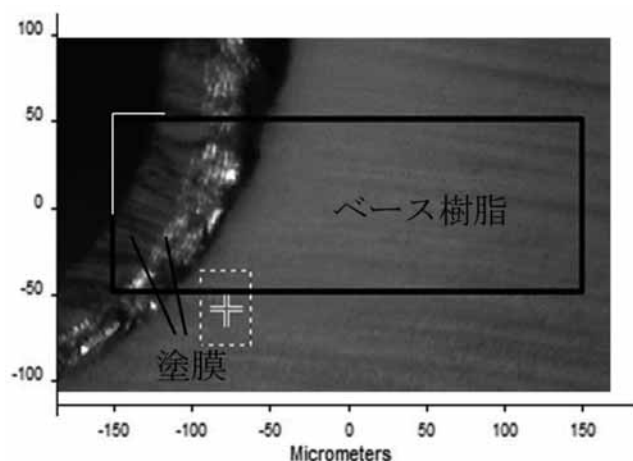


図5 樹脂塗装品断面の可視画像

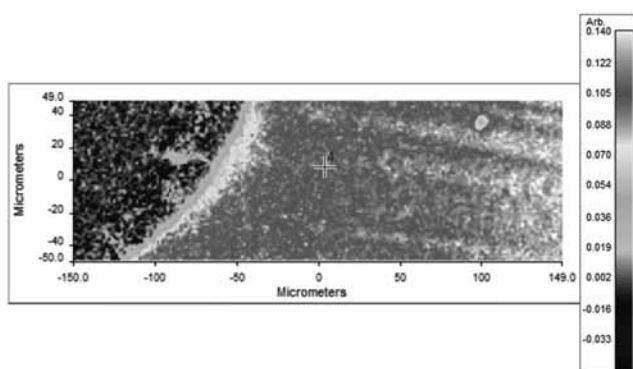


図6 2234cm^{-1} のイメージング画像 (ベース樹脂)

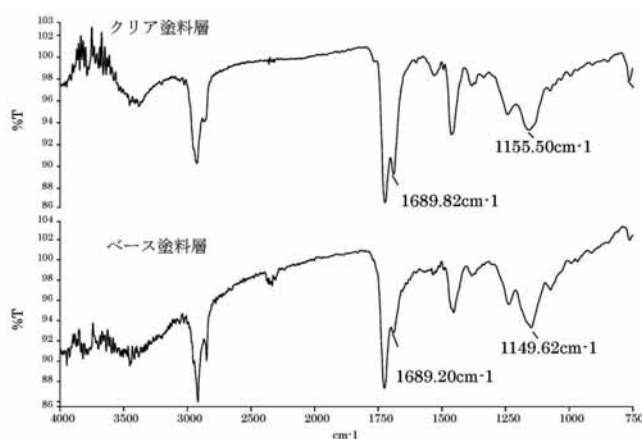


図7 塗膜2層の赤外吸収スペクトル

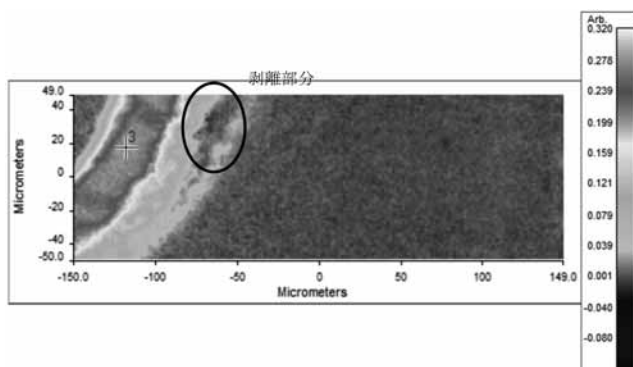


図8 1690cm^{-1} のイメージング画像 (塗膜)

地域食材を活用しイミダゾールジペプチドとカルシウムを強化した食品の開発

食品科 渡瀬隆也 三宅健司 油上 保*
 株式会社いちまる 本多 真 前田幸生 秋山 衛
 原藤商店 原 藤晃

Development of calcium and imidazole dipeptide rich foods from domestic ingredient

Takaya WATASE, Kenji MIYAKE, Tamotsu YUGAMI, Makoto HONDA, Yukio MAEDA,
 Mamoru AKIYAMA and Toko HARA

Keywords : domestic foods, imidazole dipeptide, calcium
 キーワード : 地域食材、イミダゾールジペプチド、カルシウム

1 はじめに

超高齢化社会を迎え、厚生労働省が推進する「健康日本21」では運動と食事で筋肉と骨を丈夫にして健康寿命を延ばすロコモティブ シンドローム（運動器症候群；日本整形外科学会が2007年に提唱）予防を呼びかけている。静岡県内企業で製造される食材の中には筋肉の成分であるイミダゾールジペプチド（カルノシン、アンセリン）や骨の成分であるカルシウムなどを多く含む食材がある。イミダゾールジペプチドは老化防止効果が報告されている¹⁾。またカルシウムは日本人のほぼ全ての年代で不足している栄養素^{2,3)}である。そこで我々は地域食材を活用してイミダゾールジペプチド等の栄養成分、機能性成分を摂取できる、食品の開発を検討した。

2 方法

県内企業を訪問し、イミダゾールジペプチドやカルシウム等を含む食材について調査した。入手した素材に含まれるアミノ酸成分を高速液体クロマトグラフ、ミネラル成分をICP発光分光分析装置で定量し、加工食品の処方を検討した。

3 結果および考察

静岡県内で収集したイミダゾールジペプチドやカルシウム等を含む食材を表1に示した。そのうち主なものと比較用の食材の分析結果を表2にアミノ酸を、表3にミネラルを示した。

いわしすり身は、骨ごとすり身になっている。カルシウムが106mg/100g含まれていた。発芽玄米ペーストは精

表1 静岡県内で収集したイミダゾールジペプチドやカルシウム等を含む食材

食材(製造または提供者)	特徴
いわしすり身(丸又ほか)	いわしを骨ごとすり身にする。
発芽玄米ペースト(いちまる)	県内で生産された玄米を湿式粉碎。
鶏肉エキス(東海物産)	鶏肉から抽出して精製。
かつお未利用部位(いちまるほか)	冷凍かつおをバンドソーで切断等する際に副産物として得られる。酵素処理したエキスもある。
まぐろ角煮(いちにんべん大畑食品)	焼津の特産品で、まぐろの角切りを佃煮にしたもの。
地鶏・銘柄鶏(青木養鶏場)	品種や飼育方法にこだわって生産された鶏肉。
貝殻未焼成カルシウム(カルシン)	ホタテ貝の貝殻を粉碎。県内で加工。
さくらえびヒゲ(原藤商店ほか)	さくらえびの水揚げ時や冷凍時に折れたヒゲ。
抹茶(小栗農園ほか)	県内産抹茶。

*) 現 企画調整部

表2 静岡県内で収集したイミダゾールジペプチドやカルシウムを含む食材に含まれるアミノ酸

	いわし り身	発芽玄米 ペースト	米ペー スト	鶏肉エキ ス粉末	まぐろ角 煮	駿河シャ モ胸肉	青木ドリ 胸肉	国産若鶏 胸肉	さくらえ びヒゲ粉 末	抹茶
タウリン	80	0	0	0	18	217	225	128	2099	6
アスパラギン酸	13	4	1	0	69	32	24	27	47	400
グルタミン酸	18	6	0	0	349	65	26	47	157	338
テアニン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1478
バリン	13	2	0	0	33	4	3	5	61	7
イソロイシン	5	1	0	0	58	6	4	6	86	15
ロイシン	13	2	0	0	96	12	8	12	169	13
GABA	1	4	0	10	0	0	0	2	6	25
カルノシン	0	0	0	18276	6	440	367	159	0	16
アンセリン	0	0	0	27395	422	616	996	670	0	0
アルギニン	0	0	0	0	11	8	5	13	490	133

表3 静岡県内で収集したイミダゾールジペプチドやカルシウムを含む食材に含まれるミネラル

	いわし すり身	発芽玄米 ペースト	米ペー スト	鶏肉エキ ス粉末	まぐろ角 煮	駿河シャ モ	青木ドリ リ	国産若 鶏	貝殻未 焼成粉 末	さくらえ びヒゲ粉 末	抹茶
ナトリウム	378	2	2	142	1286	59	52	48	393	2644	16
カリウム	166	78	4	24	514	439	364	423	16	2677	3430
カルシウム	106	8	10	14	18	8	6	7	46315	10743	568
マグネシウム	14	39	1	1	55	38	31	35	202	1297	385
鉄	2	0	0	1	2	1	2	2	0	2	20
亜鉛	2	2	2	19	1	3	2	4	1	11	6
銅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2
マンガン	0	1	0	0	1	0	0	0	11	5	183

白米の米ペーストにはほとんど含まれないアミノ酸は少ないもののGABAを4.1mg/100g含んでいた。ミネラル成分は精白米と比較してマグネシウムを30倍以上含んでいた。鶏肉エキスはカルノシン約18,000mg/100g、アンセリン約27,000mg/100gと非常に多くに含んでいた。まぐろ角煮はアンセリンを約420mg/100g、グルタミン酸約350mg/100g、分岐鎖アミノ酸のバリン約33mg/100g、イソロイシン約60mg/100g、ロイシン約100mg/100g含んでいた。地鶏・銘柄鶏はカルノシンが400mg/100g前後で国産若鶏の約160mg/100gよりも多く含んでいた。貝殻未焼成粉末はカルシウムを約46,000mg/100g含んでいた。さくらえびヒゲはタウリン約2,100mg/100g、アルギニン約490mg/100g、カルシウム約10,000mg/100g、マグネシウムを約1,300mg/100g含んでいた。抹茶はテアニン約1,500mg/100g、カルシウム約570mg/100g、マグネシウムを約390mg/100g含んでいた。これら地域食材を活用した加工食品として、まぐろ角煮入り発芽玄米ペーストういろ、かつお入り黒はんぺん、鶏肉エキス入り黒はんぺん、まぐろと鶏肉のグラタンの処方を開発した。試作品の写真を写真1から4に示した。

4 まとめ

イミダゾールジペプチドやカルシウムを含む地域食材を活用することで、栄養成分、機能性成分を摂取でき

る新たな地域食品を開発した。今後県内企業と連携して商品化を目指したい。

謝辞

各素材を提供していただいた各社に感謝いたします。

参考文献

- 1) 柳内延也：技術用語解説イミダゾールジペプチド (Imidazol dipeptides). 日本食品科学会誌, 61 (1), 45 (2014).
- 2) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準 (2015年版) の概要. (2014.3.28公表)
- 3) 厚生労働省：平成28年国民健康・栄養調査結果の概要. (2017.9.21公表)



写真1 マグロ角煮入り発芽玄米ペーストういろ

発芽玄米ういろに、まぐろ角煮を配合することでマグネシウムとアンセリンを含む。



写真2 かつお入り黒はんぺん

カルシウムを含むいわしすり身に、アンセリンを含むかつおを配合した。



写真3 鶏肉エキス入り黒はんぺん用すり身および黒はんぺん

カルシウムを含むいわしすり身に、イミダゾールジペプチドを含む鶏肉エキスを配合。

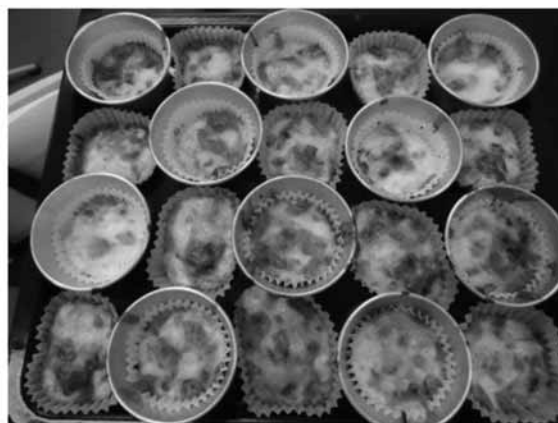


写真4 まぐろと鶏肉の一口サイズグラタン

乳製品を多く使用するためカルシウムが豊富なグラタンに、イミダゾールジペプチドを含むまぐろ角煮と地鶏を配合した。

イヌリン配合ヨーグルトソースの開発

食品科 松野正幸 浅沼利倫 渡瀬隆也
 農林技術研究所 池ヶ谷篤
 静岡県立大学 新井映子
 フジ日本精糖株式会社 原健二郎
 マコジャパン株式会社 小鍋彰久

Development of yogurt sauces containing inulin

Masayuki MATSUNO, Toshimichi ASANUMA, Takaya WATASE, Atsushi IKEGAYA, Eiko ARAI,
 Kenjiro HARA and Akihisa KONABE

Keywords : inulin, foods with function claims

キーワード：イヌリン、機能性表示食品

1 はじめに

平成28年度、沼津市南部に位置する戸田地区特産のタチバナ（戸田香果橘）を活用し、ノビレチンを含むヨーグルトソースを開発した。¹⁾ また、この際配合したイヌリン素材について、フジ日本精糖(株)が国の機能性表示を取得し、「イヌリンは善玉菌として知られているビフィズス菌を増やすことで、おなかの調子を整えることが報告されています。」といった表示をパッケージ等に記載しての販売が可能となった。これらの背景から今回は、静岡市特産品（イチゴ、アマナツ、ブルーベリー、抹茶）を活用しつつ、イヌリンの機能性表示を目指したヨーグルトソースを開発することとした。マコジャパン(株)を中心に、静岡県立大学、工業技術研究所および農林技術研究所が共同で商品開発を行った。本稿では主にヨーグルトソースの保存試験結果を報告する。

なお、本研究は静岡市産学交流センター「平成29年度地域課題に係る産学共同研究委託事業」の一環として行った。

2 方法

農林技術研究所および静岡県立大学が開発したレシピに沿って、両者と共同でヨーグルトソースを試作した。まずはイヌリンとショ糖を十分に混合し、そこへ熱水を加え、ダマがなくなるまで攪拌した。そこへ各種低温濃縮ソースまたは抹茶を加え、十分に攪拌した。表1、2に配合比を示す。また、イヌリンはpHが酸性に傾きすぎると分解が促進されるため、試作品の一部に重曹またはアスコルビン酸を添加してpHを3.9に調整し

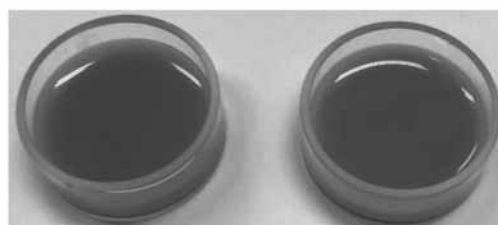


図1 イチゴヨーグルトソース試作品
 (左：pH未調整、右：pH調整済。)

表1 イチゴ、アマナツ、ブルーベリーヨーグルトソースの配合比

原料名	配合量 (g)	配合比 (%)
各低温濃縮ソース	600	24
ショ糖	435	17
イヌリン	675	27
熱水	822	32
合計	2,532	100

表2 抹茶ヨーグルトソースの配合比

原料名	配合量 (g)	配合比 (%)
抹茶	50	3
ショ糖	530	31
イヌリン	450	27
熱水	668	39
合計	1,698	100

た（表3）。これらの試作品に加熱処理（85℃、10分間）を施し完成させた。イチゴ風味のソースは小豆色に近いピンクで、pH調整済の方がより白っぽい色調になった。（図1）

次に、これらの試作品を25℃で2ヶ月間保存し、イヌリン濃度および色調の経時変化を追った。イヌリン濃度は、フラクタン測定キット（メガザイム社製）により測定した。色調は、分光測色計CM-5（コニカミノルタ製）により測定した。

3 結果および考察

イヌリン濃度の測定結果から算出した同成分のヨーグルトソース中残存率を図2に示す。抹茶風味以外の試作品は、pH調整によりイヌリン濃度の低下を抑制することができた。抹茶風味の試作品は、調整前のpHが5.4であったため、pH調整サンプルと比べてイヌリン残存率の差があまりなかった。

次に、保存前のサンプルと、保存後のサンプルとの色差（ ΔE^*_{ab} ）について、図3に示す。2ヶ月目の時点で、試作品は4種類ともpH調整により色差が小さくなっているため、色調変化が抑えられていることが確認された。

表3 ヨーグルトソースのpH調整

ヨーグルトソース名	pH(未調整)	pH(調整後)	備考
イチゴ	3.34	3.94	重曹添加
ブルーベリー	3.15	3.91	
アマナツ	3.09	3.95	
抹茶	5.42	3.95	アスコルビン酸添加

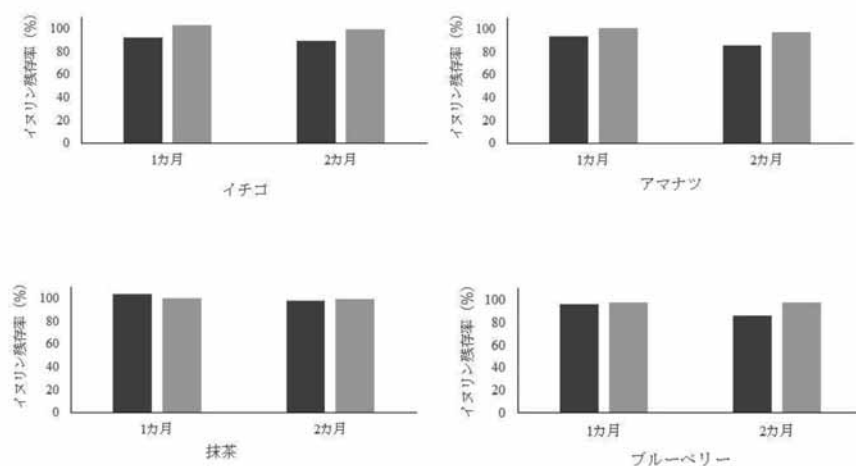


図2 各種ヨーグルトソース中のイヌリン残存率

（保存温度25℃、保存前のイヌリン濃度を100%として算出。各棒グラフの左側（黒色）：pH未調整、右側（灰色）：pH調整済）

4 まとめ

イチゴ、アマナツ、ブルーベリーおよび抹茶のイヌリン配合ヨーグルトソースを開発した。pH調整により、イヌリン濃度の低下および色調変化を抑制することができた。

参考文献

- 1) 松野正幸 他：機能性を有する戸田香果橘（へだたちばな）ヨーグルトソースの開発、静岡県工業技術研究所研究報告、第10号、19-20（2017）

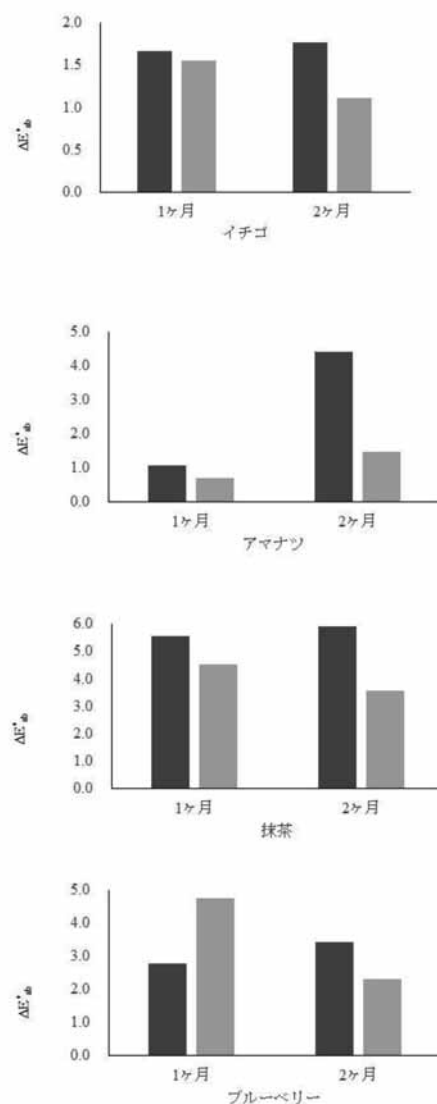


図3 各種ヨーグルトソースの色差変化

（保存温度：25℃。各棒グラフの左側（黒色）：pH未調整、右側（灰色）：pH調整済）

水産加工工場排水のメタン発酵

— ラボスケール試験によるメタン発酵適性評価 —

環境科 室伏敬太* 中島大介* 太田良和弘* 杉本芳邦**
はごろもフーズ株式会社 加藤雄成 向江範征 勝亦正浩

Methane fermentation of wastewater from fish processing factory

— Evaluation of methane fermentation efficiency by laboratory scale test —

Keita MUROFUSHI, Daisuke NAKASHIMA, Kazuhiro OHTARA, Yoshikuni SUGIMOTO,
Takanari KATO, Noriyuki MUKAE and Masahiro KATSUMATA

Keywords : methane fermentation, fish processing wastewater

キーワード：メタン発酵、水産加工排水

1 はじめに

メタン発酵は、食品廃棄物を微生物に分解処理させて、更に発生したバイオガスはエネルギーとして利用できる技術である。しかし、食品廃棄物の種類ごとの実際の処理効果が明確でないため、食品工場はメタン発酵プラントの導入を検討することも容易ではない。そこで、本研究では静岡県特有の水産加工排水を対象として実験室規模のメタン発酵試験を行い、メタン発酵適性を評価したので報告する。

2 方法

水産加工工場の代表的な排水として、ツナ缶製造工場で発生するまぐろ血水排水を採取した。血水排水に超音波処理を施して浮遊懸濁物を分散させ、全有機体炭素・全窒素計を用いて、血水排水の炭素および窒素濃度を分析した。

振とう恒温槽、三角フラスコおよびメスシリンダーを用意して、最大20検体の試験に対応した回分式メタン発酵試験装置を構築した（写真1）。フラスコに、メタン発酵消化汚泥50mLと血水排水10mLを加えて密栓し、35℃で20日間振とうした。メスシリンダーに捕集されたバイオガス量を定期的に記録することで、メタン発酵適性を簡易評価した。

円筒型フラスコ、加温用ヒーター、血水排水投入およびメタン発酵処理液（以下、消化液）抜き取り兼用のペリスタポンプを用意して、連続式メタン発酵試験装

置を構築した（写真2）。フラスコにメタン発酵消化汚泥を1L加えて温度を35℃に保ち、蒸留水で希釈した血水排水を100mL／日の速度で投入すると同時に同量の消化液を抜き取ることで、処理日数10日の連続メタン発酵実験を行った。血水排水と消化液の炭素および窒素濃度、バイオガス発生量及びガス成分組成を定期的に分析することで、ガス発生効率や血水中の有機物分解率を算出した。



写真1 回分式メタン発酵試験装置



写真2 連続式メタン発酵試験装置

*) 現 環境エネルギー科 ***) 現 食品科

3 結果および考察

分析の結果、血水排水は窒素濃度が高い排水であることが分かった（表）。そこで、本研究ではアンモニア阻害に強い35℃の中温メタン発酵を選択した。

表 血水排水の炭素および窒素濃度

	全有機体炭素濃度 mg-C/L	全窒素濃度 mg-N/L	C/N (炭素/窒素比)
最小	6,598	1,860	3.5
最大	14,174	3,944	3.6
平均※	8,457	2,444	3.5

※検体数 n=9

メタン発酵回分試験結果を図1に示す。試験開始直後からバイオガスが発生し、6日経過時には頭打ちとなった。安全性を考慮して10日間の処理日数で制御すれば血水排水を十分に分解できることが示された。

メタン発酵連続試験結果を図2に示す。段階的に発酵槽へ投入する血水排水の負荷を上げたが、良好なバイオガス発生効率および血水排水分解率が確認された（上グラフ）。また、バイオガス中のメタン濃度は約68%で安定していた。但し、硫化水素濃度は血水投入負荷に合わせて3,000ppm程度まで上がることが確認された（下グラフ）ので、水産加工工場にメタン発酵プラントを導入する際には適切な脱硫機構を設ける必要がある。

4 まとめ

水産加工排水の代表例として血水排水のメタン発酵試験を行ったところ、35℃で10日間処理することで、良好なバイオガス回収と有機物分解処理が可能であることを確認した。

謝辞

本研究は、資源エネルギー庁「平成29年度エネルギー構造高度化・転換理解促進事業」の一部として実施した。

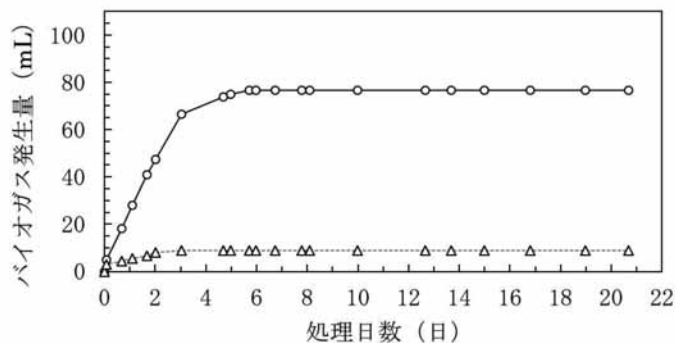


図1 メタン発酵回分試験結果

○：血水排水、△：対象（血水排水添加なし）

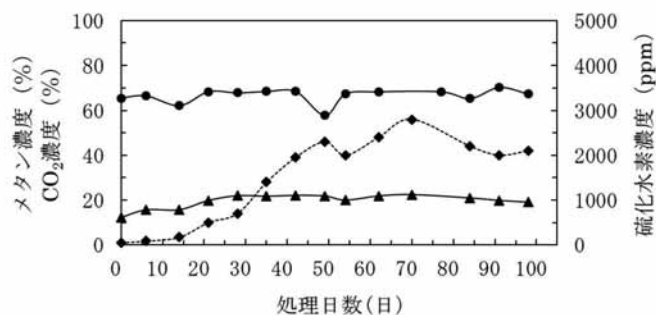
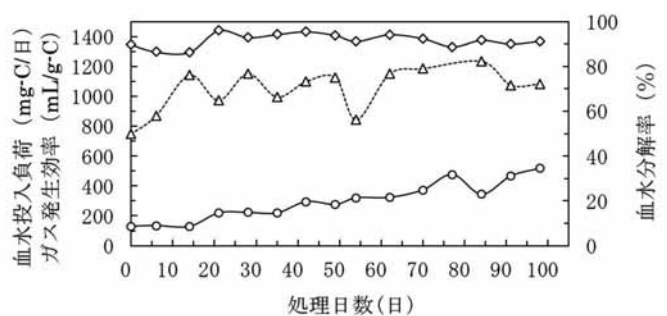


図2 メタン発酵連続試験結果

○：血水投入負荷、△：ガス発生効率、◇：血水分解率
●：メタン濃度、▲：CO₂濃度、◆：硫化水素濃度

セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化

— 建材（漆喰・コンクリート・モルタル）へのCNF添加試験 —

工芸科 村松重緒 前田研司 渡邊雅之 田中伸佳*

Development of utilization technology of cellulose nanofiber for revitalization of regional industry

— Addition tests of cellulose nanofiber for building materials (plaster, concrete and mortar) —

Shigeo MURAMATSU, Kenji MAEDA, Masayuki WATANABE and Nobuyoshi TANAKA

Keywords : cellulose nanofiber, CNF, plaster, concrete, mortar

キーワード：セルロースナノファイバー、CNF、漆喰、コンクリート、モルタル

1 はじめに

木材などの植物繊維から得られるセルロースナノファイバー（以下、CNFと略記する）は、昨今、バイオマス由来の新規ナノ材料として注目されており¹⁾、静岡県でもCNFの様々な分野への用途開発に取り組んでいる。

本実験では、CNFの用途先として、利用量が見込める建材（漆喰・コンクリート・モルタル）へのCNF添加試験を行ったので、結果について報告する。

2 方法

建材（漆喰・コンクリート・モルタル）に、CNF（機械的解繊A・化学的解繊B）または微小繊維状パルプCを添加し、JIS A1132²⁰¹⁴ コンクリートの強度試験用供試体の作り方に準じ、圧縮強度試験用供試体（φ50mm×100mm）を作製した。養生は20℃の室内で行い、48時間後に型枠から取り出し、漆喰以外の供試体は水中に移した。材齢7日と28日（漆喰は56日）の試料を、圧縮試験機（株式会社島津製作所）にて圧縮強度を測定した。

3 結果および考察

供試体作製時の練り作業中、化学的解繊Bを添加したスラリーの混合には力を要した。CNFの特徴である保水性の高さが、セメントへの水の移行に影響を及ぼしたものと思われる。

供試体の圧縮強度試験結果を図1～図3に示す。

図1より、漆喰は、CNFを添加するにつれ、圧縮強度が低下し、CNF添加効果が発現しなかった。図2・図3より、コンクリート・モルタルは、CNF添加による明確な傾向は見いだせなかった。バラツキが大きく、供試体作製に問題があった可能性がある。コンクリートの供試体作製に用いた粗骨材は約20mm前後で、供試体サイズに比べて大きかったことも、強度のバラツキに影響したと思われる。

CNF溶液の調製を攪拌機（300rpm・20分間）またはハイマージャー（攪拌10分間－脱泡10分間）で行い、作製した供試体のCNF添加モルタルの圧縮強度試験結果を図4、図5に示す。図4、図5より、CNF添加部数を増やすにつれ、圧縮強度は増加する傾向が確認された。こちらも強度のバラツキがあり、供試体作製方法の検討が必要と思われる。CNFの分散方法による差異は少なく、ハイマージャー分散の方がわずかにバラツキを抑えられた。



写真1 圧縮強度試験中の供試体

*) 現 研究調整監

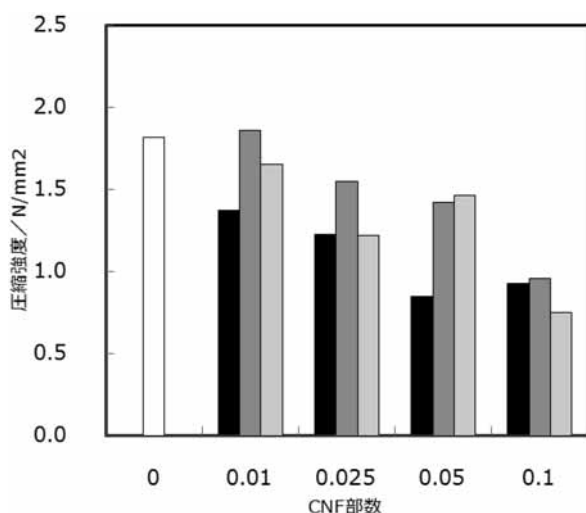


図1 圧縮強度試験結果

(CNF添加漆喰)

■: 機械的解繊A ■: 化学的解繊B □: 微小繊維状パルプC

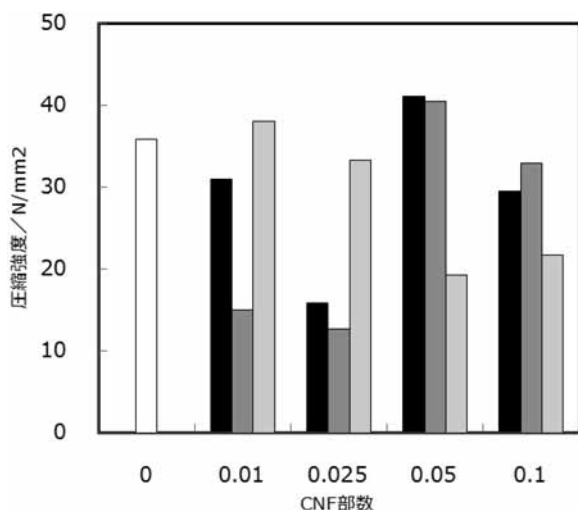


図2 圧縮強度試験結果

(CNF添加モルタル)

■: 機械的解繊A ■: 化学的解繊B □: 微小繊維状パルプC

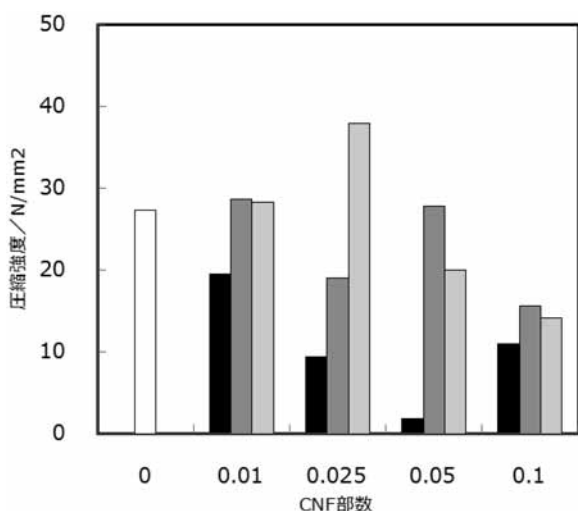


図3 圧縮強度試験結果

(CNF添加コンクリート)

■: 機械的解繊A ■: 化学的解繊B □: 微小繊維状パルプC

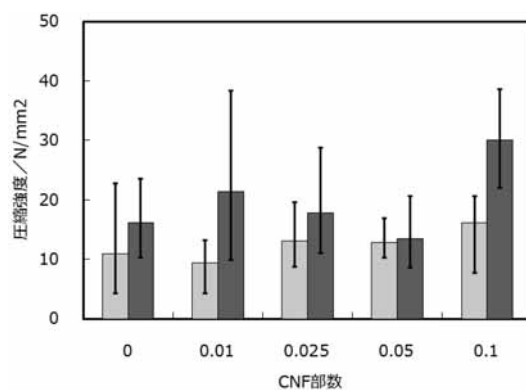


図4 圧縮強度試験結果

(CNF添加モルタル・攪拌機・再実験)

□: 材齢7日 ■: 材齢28日

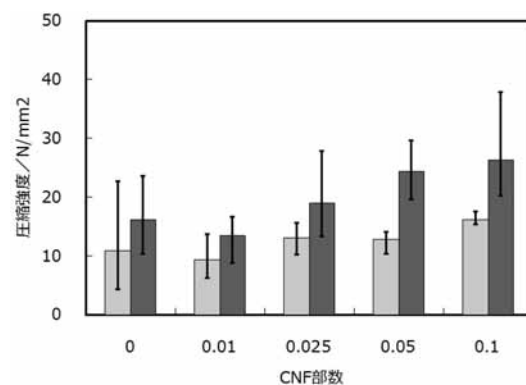


図5 圧縮強度試験結果

(CNF添加モルタル・ハイマージャー・再実験)

□: 材齢7日 ■: 材齢28日

4 まとめ

建材へのCNF添加実験を行った。本実験条件下では、漆喰は圧縮強度が減少した。コンクリート・モルタルはバラツキが大きく、明確な傾向は見いだせなかった。供試体作製に問題があった可能性があり、手順への留意が必要と思われた。今後、強度以外の有用な効果も確認し、建材へのさらなるCNF利用可能性を探る予定である。

謝辞

一部の試験原料提供と、実験方法・結果に対する提言を、ワシロック工業株式会社にごいただいた。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 磯貝明：ナノセルロースとは、「図解よくわかるナノセルロース」、初版（日刊工業新聞社、東京）、ナノセルロースフォーラム 編集, pp.20-21 (2016)。

セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化

— 接着剤への応用 —

工芸科 前田研司 石橋佳奈 田中伸佳*
静岡大学 伊藤拓哉 藤代 薫 山田雅章

Development of utilization technology of cellulose nanofiber for revitalization of regional industry

— Application to adhesive —

Kenji MAEDA, Kana ISHIBASHI, Nobuyoshi TANAKA, Takuya ITO, Kaoru FUJISHIRO
and Masaaki YAMADA

Keywords : cellulose nanofiber, adhesive

キーワード：セルロースナノファイバー、接着剤

1 はじめに

本研究では、酢酸ビニル樹脂接着剤 (PVAc) とセルロースナノファイバー (CNF) の複合化について検討している。CNFは、高強度・高弾性率といった特長を有するため、樹脂強度の向上が期待できる。本報告では、CNFを添加したPVAcフィルムの膜強度試験の結果と木材引張せん断試験による接着強度試験の結果について報告する。

2 方法

2.1 膜強度試験

PVAc (接着剤メーカーによる特注品) に対して、CNF (機械的解繊 7 社 化学的解繊 1 社) を種々の割合で添加し、自公転攪拌脱泡機 HM-200WD (共立精機(株)製) で所定時間、攪拌脱泡を行った。その後、テフロン型にキャストし、40℃で24時間乾燥させた。乾燥後、ダンベルカッター SDK-300D (株)ダンベル製) で型抜きし、テンシロン U-1160 (株)A&D製) で引張強度試験を行った。測定は恒温恒湿室内 (20℃・65%RH) で行い、引張速度は50 mm/minとした。

2.2 木材接着試験

PVAcの樹脂分に対して、CNF (機械的解繊 1 社 化学的解繊 1 社) の固形分添加量が 5 部となるよう調製し、自公転攪拌脱泡機で所定時間攪拌脱泡を行った。供試材として、スギ材 (平均気乾比重0.37、含水率13%) を使用した。接着面にPVAc/CNF混合試料

を300 (g/m²) となるよう片面塗布し、引張せん断型シングルラップ試験片を作製した。接着試験は、常態および20℃室温水3時間浸せき処理の2条件とした。オートグラフ AG-Xplus (株)島津製作所製) を用いて引張せん断試験を、引張速度 1 mm/minの条件で行った。

3 結果および考察

3.1 膜強度試験

図 1 にCNFの添加量と引張強度及び伸度の関係を示す。機械的解繊CNF (以下、M-CNF) では、CNFの添加量増加にともない強度が高くなるが、化学的解繊CNF (以下、C-CNF) では強度の上昇が少なかった。一方で、伸びについては、両CNFとも添加量の増加にともない低下した。これはCNFを添加することにより弾性率が向上したためと考えられる。

次に、図 2 にCNFの固形分添加量が12部における各社CNFの引張強度及び伸度の関係を示す。同じM-CNFであっても、強度が 2 倍以上異なることが明らかとなった。

3.2 木材接着試験

膜強度を大きく向上させたM-CNFを用いて木材引張せん断試験を行った。図 3 に木材接着引張せん断試験の結果を示す。常態強度、耐水強度ともに向上し、特に耐水強度は5倍以上向上することが明らかとなった。

*) 現 研究調整監

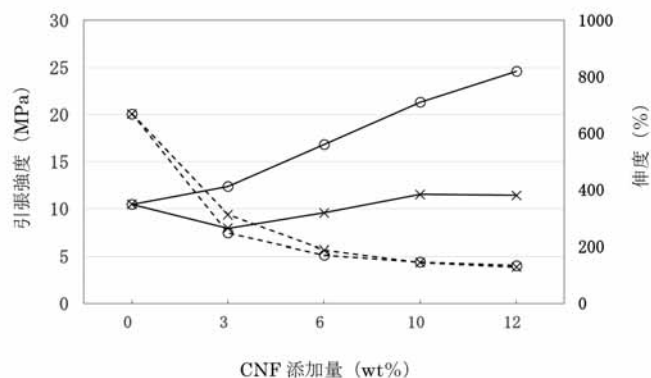


図1 CNF添加量と引張強度および伸度の関係

○: M-CNF (引張強度)、×: C-CNF (引張強度)
 ○: M-CNF (伸度)、×: C-CNF (伸度)。

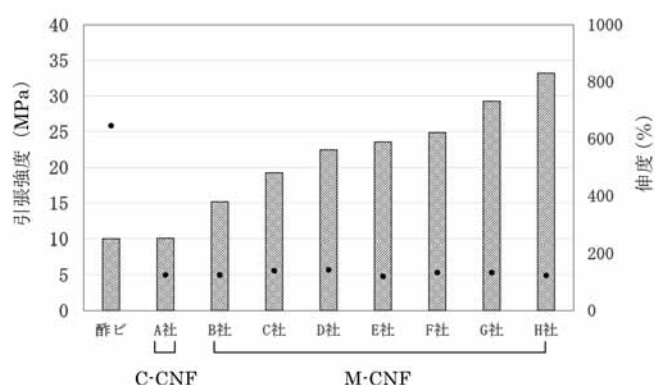


図2 各社CNFの引張強度および伸度の関係

■: 引張強度、●: 伸度。

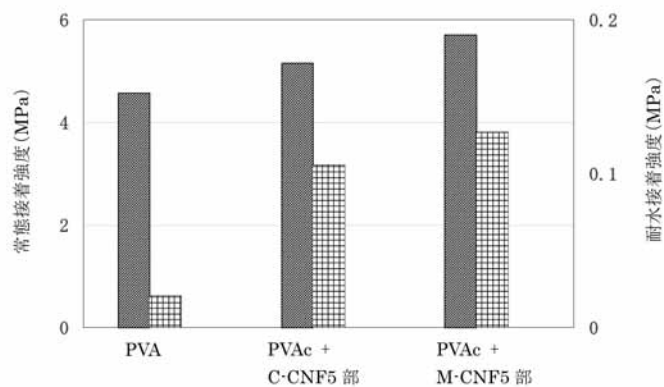


図3 木材接着引張せん断試験

■: 常態接着強度、田: 耐水接着強度。

4 まとめ

PVAcの物性向上を目的にCNFとの複合化を検討した。膜強度試験の結果、M-CNFの添加で最大2倍以上強度が向上することが明らかとなった。一方でCNFの種類によらず、延性が低下することも明らかとなった。また、木材接着試験の結果、M-CNFの添加で常態強度が2割、耐水強度は5倍以上向上することが明らかとなった。

静岡茶を使った介護用品『にぎるっ茶』の開発

— 茶の香り・消臭・調湿機能の活用 —

工芸科	上野千恵 山下里恵
ユニバーサルデザイン科	多々良哲也
看護師	古川睦子
柴屋せんい技術士事務所	小杉思主世
株式会社製茶問屋山梨商店	山梨宏之
ロボセンサー技研株式会社	大村昌良
公益財団法人静岡県産業振興財団	松坂 孝

Development of Nursing care products "Nigiruttya" using tea made in shizuoka

— tea of fragrance・deodorize・Humidity control function —

Chie UENO, Rie YAMASHITA, Tetsuya TATARA, Mutsuko HURUKAWA, Shizuyo KOSUGI,
Hiroyuki YAMANASHI, Masayoshi OMURA, Takadhi MATSUZAKA

Keywords : joint contracture, tea, moisture absorption, deodorize

キーワード：拘縮手、茶、吸湿、消臭

1 はじめに

県内中小企業の福祉・介護機器事業の参入支援として、(公財)静岡県産業振興財団では、福祉・介護機器スタートアップ支援事業を行っている。その一環として、手指関節に拘縮が生じる要介護者の掌の湿潤によるただれや悪臭緩和ができることを目的とし、県内産のお茶と綿織物(遠州綿紬)を使った機能性を持つ握り袋『にぎるっ茶』の開発が行われた。当研究所では、その製品開発に向けて、機能性として吸湿性、消臭性及び香りの評価を行った。

2 方法

遠州綿紬(外袋)、お茶パック(ほうじ茶と煎茶各10g)(中材)、それらを合わせた試作品(中材：ほうじ茶)について機能性評価を行った。

2.1 吸湿性

試料を20℃の環境下で湿度59.1%RHの標準状態で2日間静置し、その質量を測定した。次に、湿度97.6%RHの高湿度下に移し、一定時間後の質量を測定した。

2.2 消臭性

汗臭として代表的なアンモニア及び酢酸を消臭対象として、検知管法により試験を行った。

2.3 香り成分分析

煎茶、ほうじ茶、ブレンド茶についてGC-MSのDynamic Head Space法により茶葉の揮発性成分の分析を行った。

3 結果及び考察

3.1 吸湿性

茶葉の比較では、煎茶の方が吸湿率はやや高かった。綿紬は、24時間後までに急速に吸湿し、その後の変化は緩やかだった。一方、茶葉は10時間までは綿紬より低かったが、その後逆転し、150時間後でも吸湿量が増加していた。(図1) 試作品は、吸湿速度が速い綿と吸湿量が多い茶葉を組合せることにより優れた吸湿性が得られた。(図2)

3.2 消臭性

ほうじ茶、煎茶ともに、アンモニア、酢酸に対して消臭性があり、アンモニアについては、ほうじ茶の方が高かった。(図3) 試作品も同様にどちらも消臭性があり、特にアンモニアについては、優れた消臭性を示した。(図4) 試験終了後に取り出した試料は、綿紬のみは臭気を感じたが、試作品は臭気を感じず、お茶の香りが残っていた。

3.3 香り成分分析

煎茶に代表されるグリーン香は、煎茶が最も多く、

【ノート】

ブレンド茶はほうじ茶と大きく変わらなかった。一方、ほうじ茶に代表される焙煎香は、ほうじ茶が最も多く、煎茶には検出されず、ブレンド茶はほうじ茶の3分の1程度検出された。(図5) ほうじ茶は、グリーン香が含まれているものの焙煎香が非常に多いため、ほとんど焙煎香しか感じられないが、ブレンド茶は、焙煎香がほうじ茶より抑えられたため、焙煎香とグリーン香がほどよく感じることができたと考えられる。

4 まとめ

茶葉の種類で比較すると、吸湿性は煎茶、消臭性

(アンモニア) はほうじ茶がより優れていることがわかった。香りについては、グリーン香と焙煎香を活かすためにはブレンド茶が良いと考えられた。

綿にも吸湿性、消臭性があるが、試作品は、お茶を加えることで綿のみでは得られない優れた吸湿性、消臭性と茶の心地よい香りをもつ握り袋となった。

参考文献

池ヶ谷篤他：「緑茶の香り」の医療現場での活用.
AROMA RESEARCH No.69, 15-19 (2017)

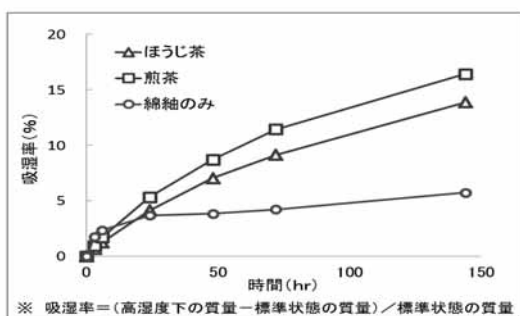


図1 各素材の吸湿率

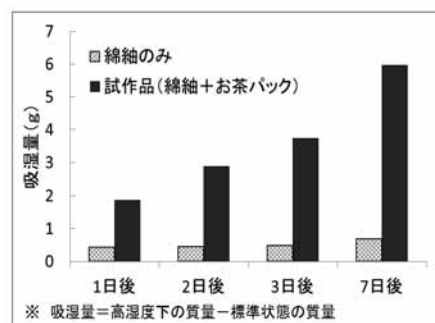


図2 試作品の吸湿性

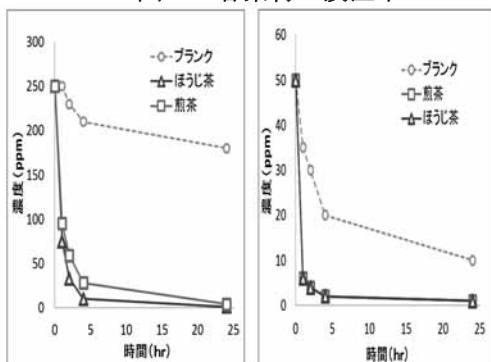


図3 茶葉の消臭性 (左：アンモニア、右：酢酸)

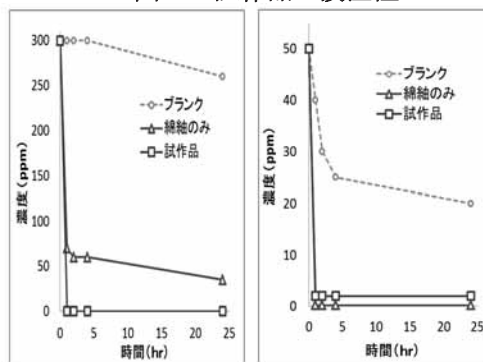


図4 試作品の消臭性 (左：アンモニア、右：酢酸)

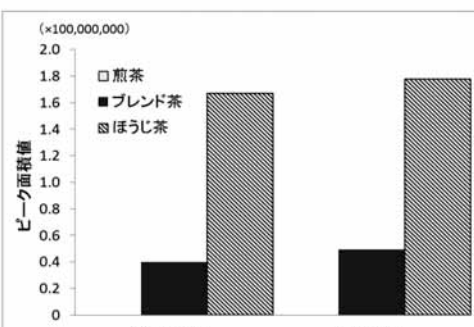
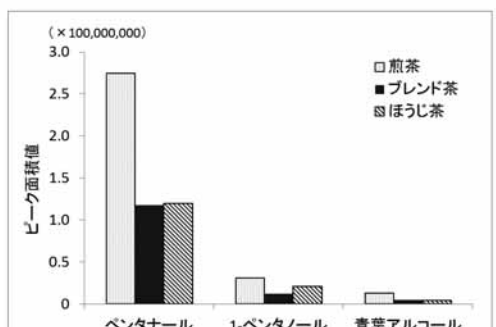


図5 検出された主な香り成分のピーク面積値 (左：グリーン香、右：焙煎香)



写真 にぎるっ茶装着の様子 (左：うさぎ型、右：かめ型)

Round Robin Tests to Determine Fiber Content of Carbon Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites by Combustion and Thermogravimetry

Masahiro Funabashi, Fumi Ninomiya, Akihiro Oishi, Masao Kunioka, Wataru Mizuno,
Kimitaka Tahira and Shogo Tanaka

燃焼法と熱重量分析法による熱可塑性炭素繊維強化複合材料の 繊維含有率に関するラウンドロビンテスト

産業総合技術研究所

富山県工業技術センター生活工学研究所^{*2}

広島県立総合技術研究所西部工業技術センター

静岡県工業技術研究所

船橋正弘^{*1} 二宮扶実 大石晃広^{*1} 国岡正雄^{*1}

水野 渡^{*1}

田平公孝^{*1}

田中翔悟^{*1*3}

Journal of Polymers, Volume2017, ArticleID 4253181, <https://doi.org/10.1155/2017/4253181>
(電子ジャーナル)

Keywords : Carbon Fiber-Reinforced Thermoplastic Composite (CFRTP), fiber content, combustion method,
thermogravimetry method, round robin test

キーワード : 熱可塑性炭素繊維強化複合材料 (CFRTP)、繊維含有率、燃焼法、熱重量分析法、ラウンドロビンテスト

国際標準化機構(ISO)に炭素繊維強化樹脂(CFRP)の繊維含有率を測定する方法を提案するために、ポリアミド6のCFRPの繊維含有率を、ISO 14127に準拠した燃焼法とISO 9924-3を一部変更した熱重量分析法を用いて、産業技術連携推進会議高分子分科会によるラウンドロビンテストとして測定した。燃焼法では、熱可塑性炭素繊維強化複合材料(CFRTP)(およそ0.3g)の繊維含有率は燃焼後に残留した炭素繊維の重量により測定した(ISO 14127)。8、9及び10層からなるCFRTPの繊維含有率(重量)は、それぞれ5

5.720%、61.088%及び65.326%と測定された(17機関による測定)。熱重量分析法では、熱重量分析装置を用いてCFRTP(およそ10mg)を窒素ガス中で600℃まで加熱し、残留した炭素繊維の重量により繊維含有率を測定した(ISO 9924-3を一部変更)。8、9及び10層からなるCFRTPの繊維含有率は、それぞれ56.908%、61.579%及び64.819%と測定された(8機関による測定)。このことにより熱重量分析法は、ISO 14127に準拠した燃焼法と同程度の精度を持つことが確認できた。

*1) 産業技術連携推進会議高分子分科会

*2) 現 富山県産業技術研究開発センター生活工学研究所

*3) 現 新産業集積課

捕獲方法の異なるニホンジカ (*Cervus nippon*) における食肉特性の比較

静岡県立大学大学院	藤原朋宏
静岡県工業技術研究所	渡瀬隆也
静岡県中部農林事務所	松井繁幸
伊豆市役所	相原和真
静岡県立大学大学院	佐野文美
静岡県立大学大学院	市川陽子

Comparison of meat quality characteristics
for Sika deer (*Carvus nippon*) obtained by different capturing methods

Tomohiro FUJIWARA, Takaya WATASE, Shigeyuki MATSUI, Kazuma AIHARA, Ayami SANO
and Yoko ICHIKAWA

日本畜産学会報 (2017. 3. 13 受付, 2018. 1. 9 受理) 89(2) : 219—226, 2018

Keywords : capturing methods, meat quality characteristics, shear force, Sika deer, venison.

キーワード : イズシカ問屋、シカ肉、食肉特性、ニホンジカ、捕獲方法

捕獲方法の異なるシカの食肉特性を比較検討することを目的に、巻き狩りとくくり罠で捕獲され、伊豆市食肉加工センター「イズシカ問屋」にて処理されたニホンジカの背最長筋を用い、水分含量、保水性、テクスチャー、肉色、遊離アミノ酸関連物質の分析をした。捕獲方法間で水分含量、保水性、遊離アミノ酸関連

物質に有意な差はみられなかった。剪断力価については、くくり罠捕獲で有意に低値を示した ($P < 0.05$)。色については、生肉の a^* 値がくくり罠で巻き狩りよりも有意に高値であり ($P < 0.05$)、加熱肉では差がみられなかった。本研究より、シカは捕獲方法で食肉特性が異なることが明らかとなった。

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE
NUMAZU TECHNICAL SUPPORT CENTER

静岡県工業技術研究所
沼津工業技術支援センター研究報告

静岡県工業技術研究所
沼津工業技術支援センター
沼津市大岡3981番地 1

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE
NUMAZU TECHNICAL SUPPORT CENTER

3981-1 Ohoka, Numazu city, Shizuoka, 410-0022 Japan

静岡県オリジナルのビール酵母の開発

— 微生物ライブラリー候補株を用いたビールの試作 —

バイオ科 鈴木雅博 勝山 聡 岩原健二
株式会社蔵屋鳴沢 稲村浩宣

Development of the craft beer yeast original of Shizuoka

— Trial production of the beer using the microbe library candidate strain —

Masahiro SUZUKI, Satoshi KATSUYAMA, Kenji IWAHARA and Hironori INAMURA

In general, the beer is brewed from wheat, hops, water and other sub-ingredients through fermentation processes of the yeast. The yeast play important roles for creating the various tastes of beer. The medium or small scaled breweries have taken every effort to develop new topical products to differentiate from products of other breweries.

Therefore, in this research, we have focused on developing new beer yeast producing new flavor. Three yeast strains, NMZ-0688, NMZ-0717, and NMZ-1096 were selected as appropriate for producing traditional ale beer that being manufactured in many breweries from the microbe stock which the Shizuoka prefectural government holds.

By using those three strains respectively, two of each prototype of beers, pale ale type and wheat ale type were made. The prototype of wheat ale beer using NMZ-0688 produced the concentration of isoamyl acetate three times higher than that of the other similar commercial products. NMZ-0688 strain could be useful for producing new taste of wheat ale beer as commercial products which have characteristic with its fruity flavor. This strain can be expected to differentiate from products of other breweries.

Keywords : beer yeast, fermentation, brewing

キーワード：ビール酵母、発酵、醸造

1 はじめに

一般的に地ビールとは、一つの製造場でのビールの年間の製造見込数量が2,000kl以下の中小規模のビール製造場が製造するビールのことである。日本では、平成6年（1994年）の酒税法改正により、ビールの製造免許を取得する際の要件である最低製造数量基準が、2,000klから60klに引き下げられ、多くの地ビール製造場が各地に誕生した¹⁾²⁾。

これまで日本国内では、主に大手メーカーが製造するピルスナータイプのビールが流通量の大半を占めていたため、小規模な地ビール製造場は大手メーカー商品との差別化を図るために、ペールエールタイプやウィートエールタイプなど様々なタイプのビールを製造してきた³⁾。

近年では、小規模地ビール製造場が製造する個性豊かで特徴的な香味を呈する地ビールを嗜好する消費

者も増えてきている。また日本各地で、ビアフェスティバルが定期的開催されるなどしており、地ビールは非常に注目を集めている。

本県は、平成30年3月現在16場の地ビール製造場が存在しており、全国でも有数の製造場数を誇っている。これまで、本県の地ビール製造場では他の製造場と差別化を図るために、地元で採れる米などを一部副原料として用い、特徴ある地ビール開発が行われてきた。しかし、発酵に用いる酵母については、一般的に市販酵母が使用されており差別化が図られていなかった。酵母は、発酵過程においてアルコールや炭酸ガスだけでなく様々な副産物を作り出しており、ビールの香味形成に非常に重要な役割を果たしている⁴⁾。

一方本県では、平成27年度より県内の豊かな地域資源から分離した微生物や食品製造や酒類製造に未利用である既存保有微生物からなる有用微生物ライブ

ラリーの構築に取り組むとともに、このライブラリー微生物を用いて、地域性を生かした特色あるビジネスの創出に取り組んでいる。そこで本研究では、県産地ビールの更なる差別化及び商品幅の拡大を図るために、この微生物ライブラリー候補株を活用し、本県独自のビール酵母を開発することとした。今回は、微生物ライブラリー候補株を用いて麦汁発酵試験及びビールの試作を行ったので報告する。

2 方法

2.1 供試菌株

現在構築中の本県独自の有用微生物ライブラリー候補株のうち、食品製造現場から分離された酵母や、MALDI分析により食品利用が可能な属種であると推定された計137株の酵母を用いた。なお、対照株には London Ale III (Wyeast社) を用いた。

2.2 麦汁モデル培地を用いた選抜試験

培地には、ホップ無添加の麦汁モデル培地もしくはホップを添加した麦汁を用いた。ホップ無添加の麦汁モデル培地は、SPRAY MALT medium (Muntions社製) 90gを蒸留水600mlに溶解し、オートクレーブ滅菌して作製した。ホップを添加した麦汁は、モルトにマリスオッター (Crisp社製) を使用し、ホップには英国産のChallengerを用いた。麦汁モデル培地もしくはホップ添加麦汁10mlに対して、YPD液体培地で前培養した酵母の前培養液を100μl添加し、20℃で14日間静置した。試験期間中、継時的に培地の重量を測定し、その重量減少量と14日目のアルコール度数を酵母の麦汁発酵能の指標とした。アルコール度数の測定は、アルコメイトAL-3 (理研機器㈱製) にて行った。また職員により香りの簡易的な評価を行い、最終アルコール度数が3.5%以上、かつオフフレーバーが少ない、もしくは感じられなかった酵母をベンチスケール試作に供する株として選抜した。

2.3 ベンチスケールによる地ビール試作

試作するビアタイプは、多くの地ビール製造場で製造されており、比較的に高温で発酵を行うことで香味が豊かな酒質となるエールタイプとした。ホップ無添加の麦汁モデル培地で培養した酵母の前培養液50mlを、ホップ添加麦汁450mlに添加し、20℃で主発酵を行った。主発酵期間は、最大で14日間とし、麦汁モデル培地による選抜試験において、最終アルコール度数が3.5%以上で、香りが良好であると思われる8株を用い

て、一般的なエールタイプビールの製造方法を参考にベンチスケールの試作品を計15点試作した。試作品15点のうち、7点は一般的なアルコール度数 (約4.5%) タイプ、8点は低アルコール度数 (約3.5%) とした。主発酵後、上清のみをデカンテーションにより330ml容ビール瓶に詰め、打栓し、後発酵として12℃で5日間、さらに熟成として5℃で14日間静置した。熟成終了後に、アルコール分の分析を国税庁所定分析法^{5) 6)}に従い行った。また、試作品のうち香味が良好であると思われる5点を選択し、県内地ビール製造場の製造担当者らを評価者として、官能評価を行った。なお、官能評価試験は「苦味」、「コク」、「キレ」等を3点法により評価するとともに、オフフレーバー等の指摘事項をチェックした。これらをふまえて総合評価を3点法で行い、その平均点により順位付けをした。

2.4 パイロットスケールによる地ビール試作

ベンチスケール試作品に対する官能評価試験で香り味のバランスが良好であると評価を受けた酵母を用いて、1仕込み容量約150l規模のパイロットスケールによるビールの試作を行った。ビアタイプはベンチスケール試作と同様の「エールタイプ」と原料の一部に小麦を使用した「ウィートエールタイプ」の2タイプとした。パイロットスケール試作品についてもベンチスケール試作品と同様に、県内地ビール製造場の製造担当者らによる官能評価試験を行った。パイロットスケール試作品についても、ベンチスケール試作の官能評価試験と同様の項目について評価をし、総合評価を3点法で行い、その平均点により順位付けを行った。対照酒には、試作したビールと同様のビアタイプの市販酒を用いた。試作ビールの成分分析として、有機酸組成及び香気成分の分析をそれぞれ表1、表2の条件で実施した。

3 結果および考察

3.1 麦汁モデル培地を用いた酵母の選抜試験

酵母は、自然界からの分離株や既存保有株等を登録した現在構築を進めている本県独自の微生物ライブラリーの137株を用いて試験を行った。このうち、14日間の発酵期間終了後のアルコール度数が一般的なビールと同等の3.5%以上となった株は28株であった (表不掲載)。またこれら28株の発酵後モデル培地について、特に香味が良好であった8株をベンチスケール試作株として選抜した (表3)。

【報告】

3.2 ベンチスケールによる地ビール試作

麦汁モデル培地による試験で選抜した酵母 8 株を用いて、アルコール度数が約 3.5% の低アルコール度数タイプと約 4.5% の一般的なアルコール度数タイプの 2 タイプを作製した。それぞれの試作品について、アルコール度数及び発酵期間を表 4 に示す。いずれの株も対照株と比較して、やや発酵能が弱く、アルコール度数が約 4.5% に達するまでに、14 日間程度を要した。低アルコール度数タイプについては、対照株による一般的なアルコール度数タイプの発酵に要する期間とほぼ同等の日数にて製造することができた。

本研究では一般的なビール製造に利用可能な酵母

を選抜するために、アルコール度数約 4.5% の試作品 7 点のうち、特に香味が優れていた 5 点について、県内地ビール製造場の製造担当者を評価員とした官能評価試験を行った。その結果、NMZ-0688 及び NMZ-1096 を用いた試作品が同点で最も高い評価を得た (表 5)。特に、NMZ-0688 を用いた試作品は、評価者から「エステル香を強く感じる」や「果実様の香りがする」など香りの特徴が非常に強く出る酵母であると評価された。そこで、NMZ-0688 をパイロットスケール試作における第一候補株として選抜した。また、NMZ-0688 と同点であった NMZ-1096 及び低アルコールタイプで良好な香味を示した NMZ-0717 についても、パイロ

表 1 有機酸組成分析装置と条件

装置：液体クロマトグラフ (アジレント・テクノロジー(株)製、1100 シリーズ)
カラム：Rspack KC-811 (昭和電工(株)製、8 mm I.D.×300 mm)
ガードカラム：Rspack KC-G (昭和電工(株)製、8 mm I.D.×50 mm)
カラムオープン：55℃
溶出液：4.8 mM HClO ₄ (流速 1 ml/min)
反応液：0.1 mM B.T.B、30 mM Na ₂ HPO ₄ ・12H ₂ O
検出器：UV-VIS (440 nm)
注入量：20 µl

表 2 香気成分分析装置と条件

装置 1：ヘッドスペースサンプラー (アジレント・テクノロジー(株)製、7697A)
装置 2：ガスクロマトグラフ (アジレント・テクノロジー(株)製、7820A)
装置 3：質量分析計 (アジレント・テクノロジー(株)製、5977B)
カラム：HP-5ms Ultra Inert (アジレント・テクノロジー(株)製、30 m×250 µm×0.25 µm)
キャリアガス：ヘリウム (流速 1.1 ml/min)
カラムオープン：40℃ (5 min) → (10℃/min) → 200℃ (5 min)
注入量：1.1 µl

表 3 ベンチスケール試作株の麦汁モデル培地におけるアルコール度数

酵母名	アルコール度数
NMZ-0685	4.75%
NMZ-0687	4.85%
NMZ-0688	5.00%
NMZ-0697	4.65%
NMZ-0717	5.20%
NMZ-0721	3.65%
NMZ-1096	5.25%
NMZ-1098	5.10%

トスケール試作を行うこととした。

表4 ベンチスケール試作のアルコール度数と発酵日数

酵母名	低アルコール度数タイプ アルコール度数	一般的なアルコール度数タイプ アルコール度数
対照株*	—	4.70%
NMZ-0685	3.60%	4.35%
NMZ-0687	3.60%	4.55%
NMZ-0688	3.65%	4.80%
NMZ-0697	3.90%	4.65%
NMZ-0717	3.55%	4.80%
NMZ-0721	3.40%	—
NMZ-1096	3.80%	4.90%
NMZ-1098	3.65%	4.60%

*) 対照株にはLondon Ale IIIを用いた。

表5 ベンチスケール試作の官能評価

順位	総合評価*	酵母名
1	1.90	NMZ-0688
1	1.90	NMZ-1096
3	2.00	NMZ-1098
4	2.30	NMZ-0717
5	2.40	NMZ-0697

*) 3点法による評価の平均点

1点：良い、2点：普通、3点：悪い

3.3 パイロットスケールによる地ビール試作

ベンチスケール試作の結果をもとに、NMZ-0688及び1096、0717株を用いて、1仕込み容量150lのパイロットスケールによるビール試作を実施した。NMZ-0688を用いた試作は、ベンチスケールと同様のエールタイプの仕込みの他、官能評価時の評価員のコメントを参考に、酵母が生成するエステル様の香りを活かせるウィートエールタイプの仕込みの2仕込みを実施した。また、NMZ-1096はエールタイプの仕込み、NMZ-0717は低アルコール度数のウィートエールタイプの仕込みとした。その結果、いずれの試作もベンチスケール試作と同等のアルコール度数のビールを製造可能であることを確認した(表6)。

このうち、特に香味が良好であったNMZ-0688を用いたウィートエールタイプ試作品について、これと類似したタイプの市販ビール4点を対照として用いた官能評価試験を実施した。その結果、NMZ-0688による試作品は同点で2位の評価を得た(表7)。また、試作品は香りが特徴的であり、バナナやパインのようなフルーツ様の香りやバニラ様の香りがすると評価された。

この試作品について有機酸及び香氣成分分析を行ったところ、有機酸については対照市販酒と差は見られ

表6 パイロットスケール試作品のビアタイプとアルコール度数

	酵母名	ビアタイプ	初期糖度 (°P*)	最終糖度 (°P)	理論アルコール度数
試作ビール1	NMZ-0688	ペールエールタイプ	11.5	2.4	5.4%
試作ビール2	NMZ-0688	ウィートエールタイプ	14	2.7	6.0%
試作ビール3	NMZ-1096	ペールエールタイプ	12	2.3	5.2%
試作ビール4	NMZ-0717	ウィートエールタイプ	9.9	2.7	3.8%

*) plato：糖度の単位

表7 パイロットスケール試作品の官能評価結果

順位	総合評価	ビール名
1	1.82	市販酒**1
2	1.91	試作品*
2	1.91	市販酒2
4	2.27	市販酒3
5	2.45	市販酒4

*) NMZ-0866を用いたウィートエールタイプのビール

**) 試作品と類似したビアタイプの市販酒

なかったが、香気成分については市販酒と比べて約3倍以上の酢酸イソアミルが検出された（表8）。ウィートエールタイプのビールにおいて、酢酸イソアミルは品質を決定づける特徴香のひとつであり、NMZ-0688はウィートエールタイプのビール製造に適した酵母であることがわかった。今後は、NMZ-0688だけでなくNMZ-1096及びNMZ-0717株についても、最適なビアタイプやその製造方法について検討を進めていく予定である。

4 まとめ

本研究において、ビール醸造に適した性質を有する酵母、NMZ-0688及び1096、0717の計3株を取得した。酵母の選抜は、麦汁モデル培地を用いて行い、麦汁発酵能の有無を指標とした。選抜試験を通過した8株の酵母を用いて、低アルコール度数（約3.5%）タイプと一般的なアルコール度数（約4.5%）タイプ、計15点ベンチスケール試作品を製造した。これらベンチスケール試作品の官能評価試験において高評価であった3株の酵母を用いて、パイロットスケールにて計4点の地ビールを試作した。今回のパイロットスケールによる地ビールの試作は、「ペールエールタイプ」と「ウィートエールタイプ」の2タイプのみであったが、その他のタイプのビール製造にも利用できる可能性があり、今後詳細な酵母の特性について解析を行うことで、開発した酵母の使いやすさを向上させることができると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、麦汁の提供やパイロットスケールにおけるビールの試作にご協力いただきました（株）蔵屋鳴沢 稲村秀宣様、山田隼平様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 国税庁課税部酒税課：酒のしおり（平成29年3月公表）。
- 2) 黄金井康巳：地ビール業界の現況と展望．日本醸造協会誌，107（1），11-18（2012）。
- 3) 徳田宏晴 他：日本における地ビール会社の現状と意識調査．日本食品保健科学会誌，26（1），29-35（2000）。
- 4) 藤原ヒロユキ：原料，「BEER HAND BOOK」，第二刷（株）ワイン王国，東京），pp. 15-34（2016）。
- 5) （財）日本醸造協会：清酒、合成清酒，「第四回改正国税庁所定分析法注解」，第四回改正版（（財）日本醸造協会，東京），注解編集委員会 編集，pp. 14-20（1993）。
- 6) （財）日本醸造協会：ビール，「第四回改正国税庁所定分析法注解」，第四回改正版（（財）日本醸造協会，東京），注解編集委員会 編集，pp. 58（1993）。

表8 官能評価を行ったパイロットスケール試作品と市販酒の香気成分分析の結果

サンプル名	酢酸イソアミル (ppm)	カプロン酸エチル (ppm)	イソアミルアルコール (ppm)
試作ビール	13.34	0.69	49.3
市販酒 1	3.00	0.35	57.4
市販酒 2	1.65	0.44	23.3
市販酒 3	3.32	0.45	33.7
市販酒 4	3.66	0.40	34.6

チタン合金の切削性に及ぼす工具表面処理の影響

機械電子科

是永宗祐

浜松工業技術支援センター

植松俊明 伊藤芳典

Effects of tool coating on flank wear in end milling of Ti-6Al-4V alloy

Sosuke KORENAGA, Toshiaki UEMATSU and Yoshinori ITOH

Keywords : Ti-6Al-4V alloy, end milling, tool wear, tool coating

キーワード：チタン合金、エンドミル加工、工具摩耗、工具表面処理

1 はじめに

チタン合金は、高比強度、高生体適合性等の優れた特性から、航空産業や医療、福祉等の成長分野で利用拡大が期待されている。一方、チタン合金は難加工材として知られており、切削加工においては、工具刃先温度の上昇や工具への切りくず溶着等によって工具寿命が短くなることが問題となっている。

これを防ぐためには、切削条件の選定時に切削速度や切込み等の条件だけでなく、工具の形状や材質、表面処理についても詳細に検討する必要がある。そこで本研究では、チタン合金のエンドミル加工において工具表面処理が工具摩耗の進行に及ぼす影響について検討した。

2 方法

実験装置の概略を図1に示す。工具には超硬エンドミルにTiAlN系コーティングを施したもの（コーティングあり）と、施していないもの（コーティングなし）の2種類を用い、表1に示す条件で加工した。加工中の切削抵抗は多成分動力計9129AA（日本キスラー(株)製）で測定し、3成分の合力で評価した。工具摩耗は外周刃逃げ面の最大摩耗幅で評価した。

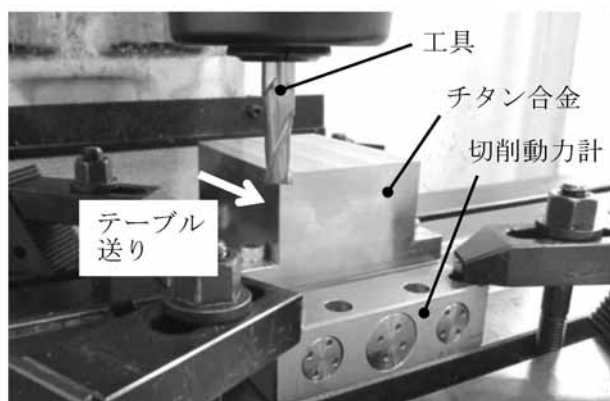


図1 実験装置概略

3 結果および考察

切削距離の伸長に伴う工具摩耗と切削抵抗の変化を図2及び3に示す。コーティングありの工具摩耗幅は、切削距離2mまで初期摩耗の進行により急激に増加したが、切削距離2m以上では工具摩耗の進行が緩やかとなり、定常摩耗へ移行した。その後、切削距離14m以上では工具摩耗の進行速度が増加する終期摩耗となった。コーティングなしでは、初期摩耗においては工具摩耗がほとんど進行せずに定常摩耗に移行し、切削距離6m以上で終期摩耗となり、工具摩耗が急激に進行した。工具摩耗幅が0.2mmに達したときの切削距離はコーティングありで34m、コーティングなしで16mであった。

切削抵抗は、いずれの工具でも工具摩耗の進行と共に増加する傾向が見られ、初期摩耗で急激に増加した後、定常摩耗では切削距離の伸長に伴って緩やかに増加し、終期摩耗に達すると増加率が大きくなっ

表1 加工条件

工作機械	NCフライス盤	
	大隈豊和機械(株)	
切削工具	2V-NC	
	超硬ソリッドエンドミル	
	コーティングあり及びなし	
	工具径	12mm
切削速度	ねじれ角	30°
	刃数	2枚
切込み	工具径方向	1mm
	工具軸方向	2mm
送り	0.07mm/tooth	
切削方向	ダウンカット	
切削雰囲気	乾式	

た。一般的に、工具摩耗の進行によって切削抵抗が増加することで切削点温度が高くなり、化学反応性が増大することで酸化摩耗や拡散摩耗が助長され、終期摩耗に移行すると言われている。コーティングなしでは切削距離 6 m で切削抵抗が 300N となったときに終期摩耗に移行したのに対し、コーティングありでは切削抵抗が 300N になっても終期摩耗に移行せず、定常摩耗で切削距離 14m まで加工できた。酸化開始温度が高いとされている TiAlN 系コーティングを工具に施すことで、酸化摩耗等の熱的摩耗が抑制され、終期摩耗に移行しにくくなり、工具寿命が伸長されたと考えられる。

4 まとめ

本研究では、チタン合金のエンドミル加工において工具表面処理が工具摩耗の進行に及ぼす影響について検討した。コーティングを施すことで、切削抵抗が増加しても終期摩耗に移行しにくく、工具寿命が伸長されることがわかった。

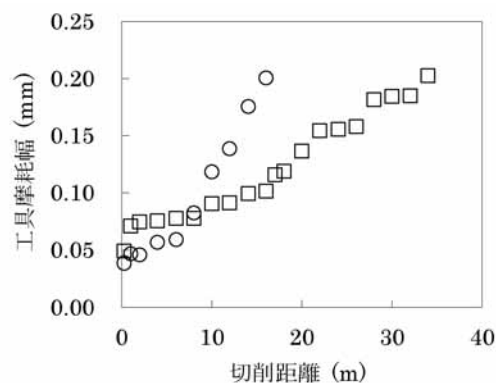


図2 切削距離の伸長に伴う工具摩耗の変化

□コーティングあり、○コーティングなし。

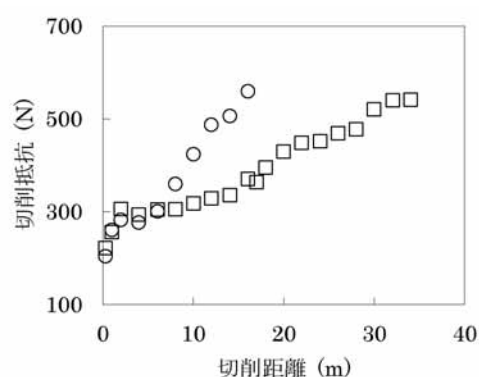


図3 切削距離の伸長に伴う切削抵抗の変化

□コーティングあり、○コーティングなし。

金属工作機械の伸縮式カバーに用いるゴムワイパーの劣化分析

機械電子科 橘川義明* 飯野 修

Degradation analysis of rubber wiper for telescopic cover of metal machine tool.

Yoshiaki KITSUKAWA, and Shuu IINO

Keywords : rubber, degradation analysis

キーワード : ゴム、劣化分析

1 はじめに

金属工作機械には可動部保護のために筒を重ねた伸縮式カバーがあり、ゴムワイパーにより筒と筒の隙間に切屑・切削油等が侵入することを防止している。コスト削減や金属工作機械の高速化に対応したワイパーの開発も踏まえ、ワイパーの耐久性について科学的根拠に基づく数値的な評価方法が求められている。そこで検討にあたり、ワイパーにはどのような劣化が起こっているかを調べるため使用前のワイパーと約2年使用したワイパーの比較を行った。

2 方法

2.1 硬さ試験

ワイパーゴムについてデュロメータ硬さ測定機TYPE A (株)上島製作所)で硬さを測定した。

2.2 熱分析

ワイパーゴムについて熱重量変化を熱重量/示差熱同時測定装置STA2500 (ネッチ・ジャパン(株))で測定した。測定条件は、窒素雰囲気下30～600℃、昇温速度10℃/minで行った後、空気雰囲気下300～800℃、昇温速度10℃/minで行った。熱分析の結果から、JIS K6226-2 (2003)の変換方法によりゴム成分の割合に変換した。

2.3 エネルギー分散型X線分析 (EDX)

熱分析試験後の残渣を走査型電子顕微鏡JSM-6010 LA (日本電子(株)製)により、加速電圧20kV、スポットサ

イズ60、倍率1,000倍、測定時間30秒で元素分析を行った。

2.4 フーリエ変換赤外分光分析 (FT-IR)

フーリエ変換赤外分光分析装置Spotlight400 (株)パーキンエルマー)により、ATR法にて、分析を行った。

3 結果および考察

3.1 硬さ試験

ワイパーゴムのゴムの硬さは使用前79.6 (デュロメータA)、使用后86.1 (デュロメータA)であった。試用後のゴムは硬くなっていることがわかった。

3.2 熱分析

熱分析を行った結果からゴム成分の重量割合に変換したものを表1に示す。使用したゴムは、無機系添加物が減少していることがわかった。

3.3 エネルギー分散型X線分析 (EDX)

熱分析後の残渣をEDX分析した結果を図1 (使用前のゴム)、図2 (使用後のゴム)に示す。使用したゴムは、カルシウムの割合の減少が確認できた。

3.4 フーリエ変換赤外分光分析 (FT-IR)

フーリエ変換赤外分光分析した結果を図3に示す。波数1400、870、710 [cm⁻¹]にピークがあり、これは炭酸カルシウムのピークを示していると考えられる。

表1 ゴム成分の重量割合 [%]

	ゴム	無機系添加物	有機系添加物	カーボンブラック
使用前	39.95	11.79	3.79	44.47
使用后	42.21	6.93	3.21	47.65

*) 現 工業技術研究所 機械電子科

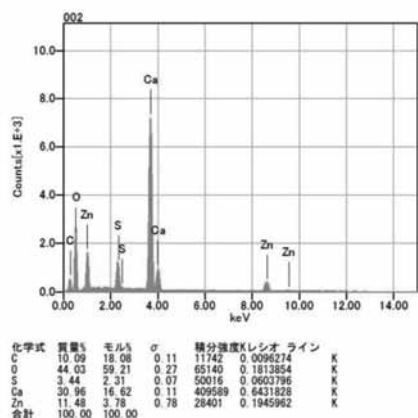


図1 使用前ゴム残渣のEDX分析

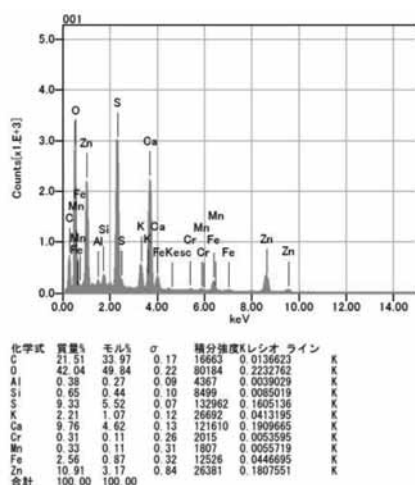


図2 使用後のゴム残渣のEDX分析

4 まとめ

熱分析とEDXの結果から無機添加物の減少していること及び、無機添加物の中でカルシウムが減少していることがわかった。FT-IRの結果から、ゴムには炭酸カルシウムが含まれていることが推察された。炭酸カルシウムは、ゴムの無機添加剤として、ゴムの補強性やゴム状弾性の維持に使用されている¹⁾。ゴムが硬くなった原因は、炭酸カルシウムの減少によるものと推察した。

参考文献

- 1) 筒井昌一：ゴム用フィラーとしての微粒炭酸カルシウムの役割．日本ゴム協会誌，78（6），32-37（2005）

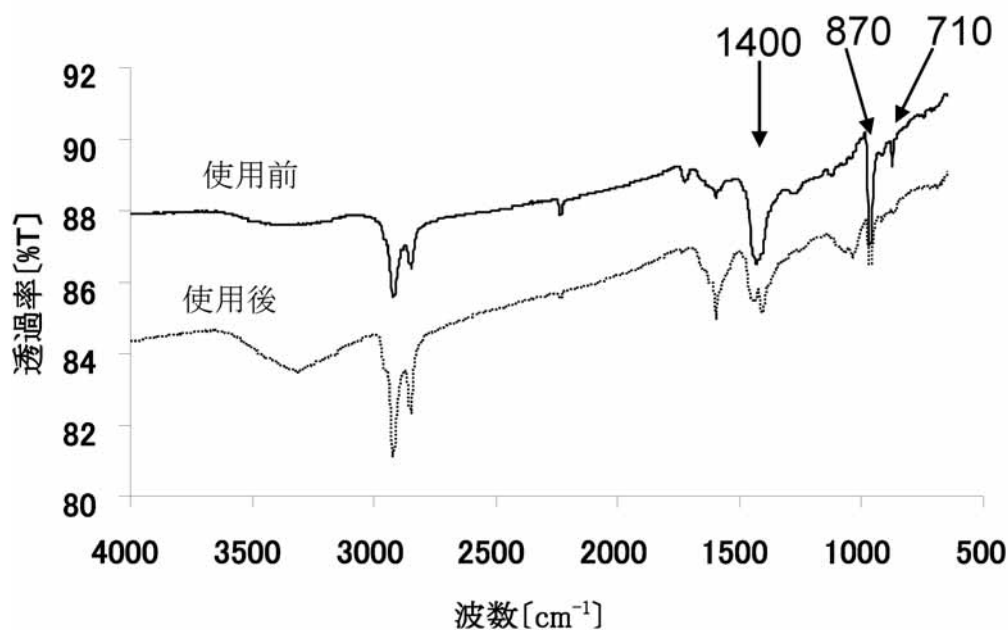


図3 赤外分光分析の結果

チタン合金のエンドミル加工における工具逃げ面摩耗の予測に関する研究

— 各種切削条件における切削抵抗と工具摩耗の関係 —

沼津工業技術支援センター 是永宗祐
浜松工業技術支援センター 植松俊明 大澤洋文* 伊藤芳典
静岡大学大学院 静 弘生 酒井克彦

Evaluation of Tool Wear in End Milling of Ti-6Al-4V Alloy Using Cutting Force Analysis

— Relationship between Cutting Force and Tool Wear on Various Cutting Conditions —

Sosuke KORENAGA, Toshiaki UEMATSU, Hirofumi OHSAWA, Yoshinori ITOH, Hiroo SHIZUKA
and Katsuhiko SAKAI

【精密工学会誌, 第83巻, 第5号, 439-444 (2017)】

Keywords : end milling, titanium alloy, tool wear detection, flank wear, cutting force

キーワード : エンドミル、チタン合金、工具摩耗予測、逃げ面摩耗、切削抵抗

チタン合金は難加工材として知られており、切削加工においては工具摩耗の進行が助長され、加工精度や仕上げ面粗さが悪化することで、製品の品質が低下する等の問題が発生する。これを防ぐためには、工具摩耗の進行を把握し、切削工具を適正な時期に交換する必要がある。これらはチタン合金以外の切削加工においても重要であることから、鉄鋼材料やアルミニウム合金等の切削加工では工具摩耗量を直接測定することなく、切削抵抗等の切削状態の変化から工具摩耗の進行を把握する研究が多く行われている。

しかし、チタン合金を被削材とした研究は少なく、主に単一の工作機械や潤滑条件で検討されている。また、エンドミル加工では、簡易的に切削抵抗の最大値を工具摩耗の指標にした研究が多く行われているが、ねじれ角が付与された工具が回転して切削を行っているた

め、切削抵抗の大きさや方向が常に変化することを正しく反映することは困難である。

本研究では、工業用途で広く活用可能な指標の確立を目指し、潤滑の有無や工作機械の種類も含めて計20条件でエンドミル加工を行った。さらに、切削抵抗については大きさだけでなく方向も評価し、工具逃げ面の垂直分力に相当する指標である垂直分力値を求めた。工具逃げ面摩耗幅との関係を調査した結果、工具逃げ面摩耗幅は垂直分力値の増加に伴って増加する傾向が見られた。工具逃げ面摩耗幅と垂直分力値の関係を示す回帰直線の決定係数は0.94で、工具逃げ面摩耗幅の実測値との差は0.06mm以下であった。このことから、垂直分力値は工具摩耗を精度良く推定するための指標として生産現場で広く活用できると期待される。

*) 現 研究開発課

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE
FUJI TECHNICAL SUPPORT CENTER

静岡県工業技術研究所
富士工業技術支援センター研究報告

静岡県工業技術研究所
富士工業技術支援センター
富士市大淵2590番地 1

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE
FUJI TECHNICAL SUPPORT CENTER
2590-1 Ohbuchi, Fuji city, Shizuoka, 417-8550 Japan

セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化

— CNF塗工紙の透気抵抗度、耐油性及び印刷特性の評価 —

製紙・CNF科 白井 圭* 齊藤将人* 山口智久**

Activation of regional industry by utilizing cellulose nanofiber

— Evaluation of air resistance, oil resistance and printability on CNF coated papers —

Kei SHIRAI, Masato SAITO and Tomohisa YAMAGUCHI

Cellulose nanofiber (CNF) is made from cellulosic material such as wood pulp, and it is biomass materials with a fiber width of several tens nanometer or less. CNF has the specific properties such as high strength and low thermal expansion, and it is expected as one of new materials.

In order to provide technical information on CNF, we investigated the characteristics of utilizing CNF for coated papers. Oil resistance and print density were improved by coating CNF. And applying to inkjet printing paper, drying time and bleeding of ink were improved with silica and ink fixing agent.

Keywords : cellulose nanofiber, coated paper, air resistance, oil resistance, printability, inkjet printing paper

キーワード：セルロースナノファイバー、塗工紙、透気抵抗度、耐油性、印刷適性、インクジェット印刷用紙

1 はじめに

静岡県紙・パルプ産業の製品出荷額は全国1位であり、本県の主要産業の一つである¹⁾。しかし、紙の出荷額は近年減少傾向にあり、新製品の開発や高付加価値化など競争力を高める必要がある。こうした状況の中、主に製紙用パルプを原料とするセルロースナノファイバー（以下、「CNF」と記載する。）が注目を集め、紙・パルプ産業の新たな起爆剤として期待されている。

CNFは木材などの植物繊維から得られるバイオマス素材で幅が数nmから数十nm程度で繊維長が直径の100倍以上の繊維状物質で高い強度や低線熱膨張率という特性を持つ新素材として期待されている²⁾。一方で、CNFは新素材であることからその性質や製品へ応用するための技術情報が不足している。また、紙への応用に関する特許³⁾は多く報告されているが、詳細な実験データを記載した論文⁴⁾は多くない。このためCNFを県内の地域企業に普及させるためには必要な技術情報と用途開発につながる基礎データを県が提供する必要がある。

そこで、当センターではCNFの基礎的な特性の把握とともにCNFの紙への応用に向けた研究を進めることと

した。本報告ではCNFを紙へ塗工した際の特性と印刷用紙にCNFを利用した際の特徴について報告する。

2 方法

2.1 塗工紙の作製方法

(1) 試料

微細セルロース試料は第一工業製薬(株)のレオクリスタ[®]（以下、「CNF-A」と記載する。）及び(株)スギノマシンのBiNF-i-s[®]WMA（以下、「CNF-B」と記載する。）の2種類のCNFとマイクロフィブリルセルロースであるダイセルファインケム(株)のセリッシュ[®]KY100G（以下、「MFC」と記載する。）の合計3種類を用いた。使用したCNF及びMFCの粘度等の基礎物性を表1に示す。

また、添加剤としてシリカ及びインク定着剤を使用した。シリカには東ソー・シリカ(株)製NIPGEL AZ-6A0を、インク定着剤には星光PMC(株)製のポリアミン樹脂のIJ耐水化剤DK6854（以下、「定着剤」と記載する。）を用いた。

(2) 塗工カラーの調製

・CNF塗工紙

2%(w/w)（CNF-B及びMFC）若しくは0.5%(w/w)（CNF-A）に調製した微細セルロース試料を自転公転

*) 現 CNF科 **) 現 製紙科

式攪拌機Hi-Merger HM-200WD（共立精機(株)製）で攪拌（1,800rpm、10分間）・脱気（2,200rpm、10分間）することで、塗工カラーを調製した。

・CNF/添加剤塗工紙

CNF塗工紙で調製した各塗工カラーに20%(w/w)シリカ水分散液若しくは定着剤を添加剤として所定量添加した。これを自転公転式攪拌機で攪拌（1,800rpm、10分間）・脱気（2,200rpm、10分間）することで、塗工カラーを調製した。なお、20%(w/w)シリカ水分散液は回転式分散機（(株)島崎エンジニアリング製）を用いて、十分攪拌している蒸留水にシリカを少しずつ添加することで調製した。各CNF/添加剤塗工紙の水準

を表2に示す。

(3) 塗工紙の作製

上記の手順に従い調製した塗工カラーを用いて、塗工原紙（日本製紙(株)製上質紙しらい [坪量：104.7 g/m²]）にバー塗工を行った。塗工後、105℃の送風定温乾燥機FC-610（アドバンテック東洋(株)製）内で5分間（耐油性・サイズ性評価用塗工紙では5～10分間）乾燥させた後、3段テストスーパーカレンダー（由利ロール機械(株)製）にて平滑化处理（50℃、49kN/m、1回）を行うことで、CNF塗工紙若しくはCNF/添加剤塗工紙を作製した。塗工器具にはワイヤーバーとアプリーケーターバー（耐油性・サイズ性評価用

表1 使用した微細セルロース試料

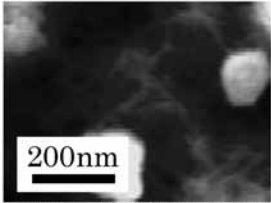
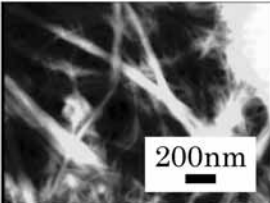
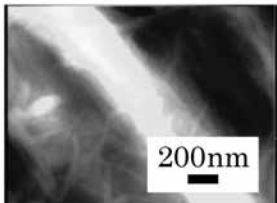
	CNF-A	CNF-B	MFC
サンプル画像			
(固形分濃度)	(2%(w/w))	(2%(w/w))	(10%(w/w))
製品名 (製造会社)	レオクリスタ® (第一工業製薬(株))	BiNFi-s® WMa ((株)スギノマシン)	セリッシュ® (ダイセルファインケム(株))
種類	化学的解繊CNF	機械的解繊CNF	マイクロフィブリルセルロース
解繊方法	TEMPO酸化反応	ウォータージェット	高圧ホモジナイザー
繊維幅	3～10nm	数nm～80nm	数十nm～数μm
重合度	360	550	980
原子間力顕微鏡観察画像			
* 粒子状物質は防腐剤			

表2 CNF/添加剤塗工紙の水準

	CNF/シリカ 塗工紙	CNF/定着剤 塗工紙
CNF* : 添加剤 混合比率**	1 : 0、5 : 1、1 : 1、1 : 5	1 : 0、5 : 1、2 : 1、1 : 1

* CNF-A、CNF-B、MFCの3種使用。

** 乾燥重量での混合比率。

【報告】

塗工紙のみに使用)を用いた。

2.2 塗工紙の評価方法

(1) 物性評価

・透気抵抗度

JIS P 8117²⁰⁰⁹の王研式透気抵抗度の操作手順に従い、CNF塗工紙の透気抵抗度を測定した。

・プリント・サーフ (PS) 表面粗さ

JIS P 8151²⁰⁰⁴の操作手順に従い、CNF塗工紙のPS表面粗さを測定した。

・引張強さ及び伸び

JIS P 8113²⁰⁰⁶の操作手順に従い、CNF塗工紙の引張強さ及び伸びを測定した。

・白紙光沢

JIS P 8142²⁰⁰⁵の操作手順に従い、CNF塗工紙の白紙光沢を測定した。

・耐油性

簡易試験法としてマイクロシリンジ用いてCNF塗工紙の塗工面へサラダ油を1滴滴下し、サラダ油の浸透の有無(油シミの発生の有無)から耐油性を評価した。

その後、耐油性を有するCNF塗工紙について更に、JAPAN TAPPI No.41¹⁹⁸⁴の操作手順に従い、CNF塗工紙のはつ油度を測定した。

・サイズ度

JIS P 8122²⁰⁰⁴の操作手順に従い、CNF塗工紙のサイズ度を測定した。今回試験では塗工面(CNF側)を上にして試験を行ったものを表、塗工面を下にして試験を行ったものを裏として各5枚ずつ評価した。

(2) 印刷適性評価

・印刷濃度 (オフセット印刷)

万能印刷試験機MPT8000(熊谷理機工業(株)製)を用いて、CNF塗工紙に版上インク量 $2.2\text{g}/\text{m}^2$ 及び $4.7\text{g}/\text{m}^2$ で東洋インク(株)製TOYO KING[®] NEX NV 墨を墨ベタ展色し、24時間乾燥後の色濃度をマクベス濃度計RD-918(㈱阪田商会製)でそれぞれ測定した。印刷前に予め測定した白紙時の色濃度を印刷後の色濃度から減算することで、各版上インク量での印刷濃度を算出し、展色時に測定した各版上インク量でのインク転移量から、インク転移量 $1.5\text{g}/\text{m}^2$ 相当時の印刷濃度を算出し、これをCNF塗工紙の印刷濃度とした。

・印刷濃度 (インクジェット印刷 [顔料])

インクジェットプリンタPX-S740(セイコーエプソン(株)製)(以下、「顔料インク専用プリンタ」と記載する。)を用いて、CNF塗工紙及びCNF/添加剤塗工紙に網点100%の墨ベタ印刷を行い、前項と同様に印刷前後

の色濃度から印刷濃度を算出した。

・印刷濃度 (インクジェット印刷 [染料])

インクジェットプリンタEP-306(セイコーエプソン(株)製)(以下、「染料インク専用プリンタ」と記載する。)を用いて、CNF塗工紙及びCNF/添加剤塗工紙に網点100%の墨ベタ印刷を行い、前項と同様に印刷前後の色濃度から印刷濃度を算出した。

・印刷光沢 (オフセット印刷)

印刷濃度(オフセット印刷)にて墨ベタ展色したCNF塗工紙を24時間乾燥後、デジタル精密光沢度計GM-26D(㈱村上色彩研究所製)を用いて、各版上インク量での光沢度(60度)を測定した。また、印刷前に測定した白紙時の光沢度を印刷後の光沢度から減算することで、印刷光沢(60度)を算出した。また、印刷濃度(オフセット印刷)と同様にインク転移量 $1.5\text{g}/\text{m}^2$ 相当時の印刷光沢を算出し、これをCNF塗工紙の印刷光沢とした。

・にじみ (インクジェット印刷 [顔料・染料])

顔料インク専用プリンタ若しくは染料インク専用プリンタを用いて、CNF塗工紙及びCNF/添加剤塗工紙に0.25pt(=88.2 μm)の水平な線を印刷し、光学顕微鏡で線の拡大画像を取得し、画像解析ソフトImageJ⁵⁾を用いて、画像をグレースケール変換後、二値化を行うことで、インク面積(μm^2)を算出した。更に、画像の幅(μm)をインク面積から除することで、平均の線の太さ(μm)を算出し、この線の太さからにじみの評価を行った。

・インク乾燥時間 (インクジェット印刷 [顔料・染料])

顔料インク専用プリンタ若しくは染料インク専用プリンタを用いて、CNF塗工紙及びCNF/添加剤塗工紙に網点100%の墨ベタ展色を行い、印刷後コート紙を貼り付けた金属ロールで加圧(0.49kN)し、コート紙への色移りの有無からインク乾燥時間を評価した。加圧は印刷15秒後から15秒毎に行い、最大で3分間までとした。

(3) 観察評価

・走査型電子顕微鏡観察

走査型電子顕微鏡S-3400N(㈱日立ハイテクノロジー製)(以下、SEMと記載する。)を用いて、作製したCNF塗工紙の塗工面の二次電子観察画像を取得した。観察条件は加速電圧が3若しくは5kV、プローブ電流が60~70mAである。

・光学顕微鏡観察

デジタルマイクロスコープKH-8700(㈱ハイロックス製)を用いて、CNF塗工紙及びCNF/添加剤塗工紙

の印刷面の観察画像を取得した。

3 結果及び考察

3.1 CNF塗工紙

(1) 物性評価

CNFを塗工することにより透気抵抗度、PS表面粗さ及び白紙光沢の向上効果があった(図1、2)。また、SEMでの原紙及びCNF塗工紙の表面観察を行った結果、塗工によりパルプ繊維間を埋めており、これらの状態が透気抵抗度や平滑度の向上の一因になるものと推察された(写真1)。透気抵抗度では、CNF-Aを 2.5g/m^2 以上塗工することにより原紙の800倍以上に増加し、PS表面粗さではMFCよりもCNFを塗工する方が表面粗さを低下(平滑度を増加)させる効果が大きかった。白紙光沢は、CNF-Aでは塗工により著しく増加したが、CNF-BではMFCと差が見られなかった。引張強さではMFCの塗工により増加したが、CNFの塗工では低下した。伸びではCNF及びMFCいずれも塗工により低下した(図3)。

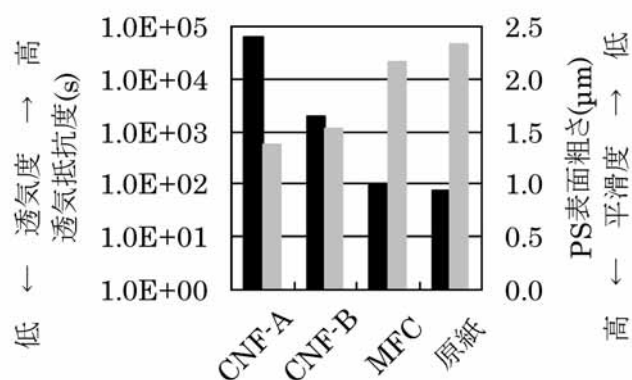


図1 CNF塗工紙の透気抵抗度及びPS表面粗さ

塗工量は約 2.5g/m^2 。

■：透気抵抗度、■：PS表面粗さ。

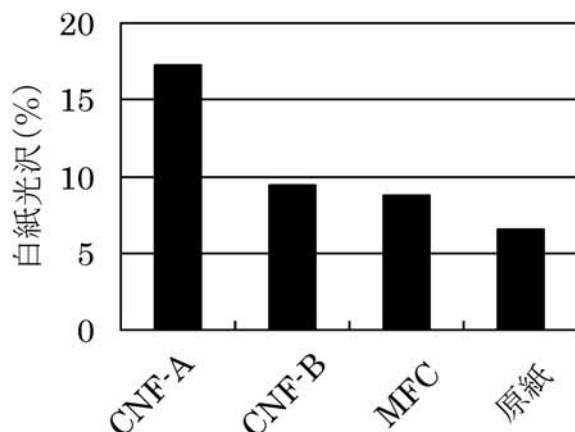


図2 CNF塗工紙の白紙光沢

塗工量は約 2.5g/m^2 。

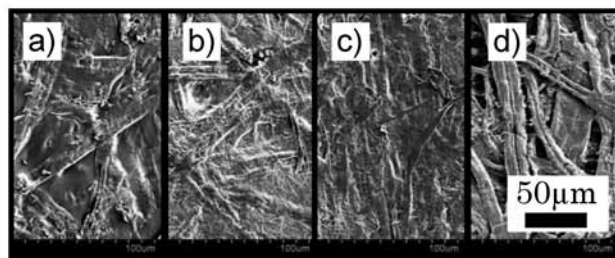


写真1 CNF塗工紙SEM表面観察画像

a)CNF-A、b)CNF-B、c)MFC、d)原紙。

a～cの塗工量はいずれも約 3g/m^2 。

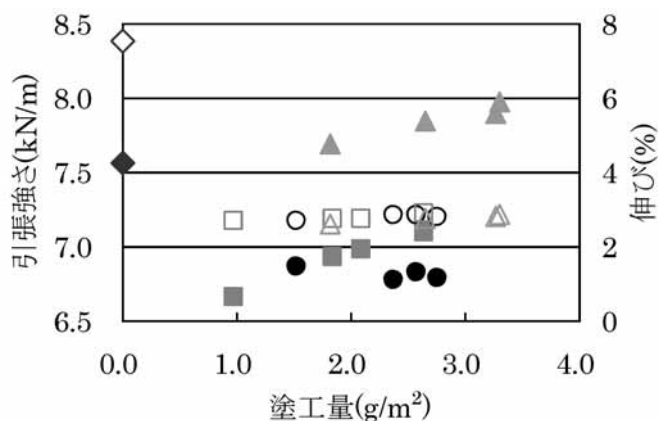


図3 CNF塗工紙の引張強さ及び伸び

●：CNF-A(引張強さ)、■：CNF-B(引張強さ)、
▲：MFC(引張強さ)、◆：原紙(引張強さ)、
○：CNF-A(伸び)、□：CNF-B(伸び)、
△：MFC(伸び)、◇：原紙(伸び)。

耐油性ではサラダ油による簡易的な評価からCNF-A及びCNF-Bの塗工により油滴下後24時間経過しても油の浸透を抑制し、MFCの塗工では滴下十数秒で油が浸透した。このことからナノレベルまで解繊したCNFを用いることで耐油性を付与できることがわかった。以上のことからCNF塗工紙は耐油紙として応用できる可能性があることがわかった。

そこで、より詳細な評価を行うため、キット法による耐油性の評価を行った。図4にキット法での耐油性評価結果を示す。CNFの塗工量の増加に伴い、はつ油度(耐油性)が増加し、CNFを 3g/m^2 以上塗工することで一般的な耐油紙(はつ油度：4～7)以上の耐油性を示した。以上の結果からCNF塗工紙は耐油紙として応用できる可能性が高いことがわかった。

サイズ度ではCNF塗工紙の表裏で異なる結果が得られた(図5)。CNF塗工紙を表にした場合では塗工量の増加に伴い、サイズ度が減少した。一方、CNF塗工紙を裏にした場合では塗工量の増加に伴い、サイズ度は増加傾向にあった。以上の結果から、CNF塗工

紙は水の浸透を抑制する効果が小さいことがわかった。

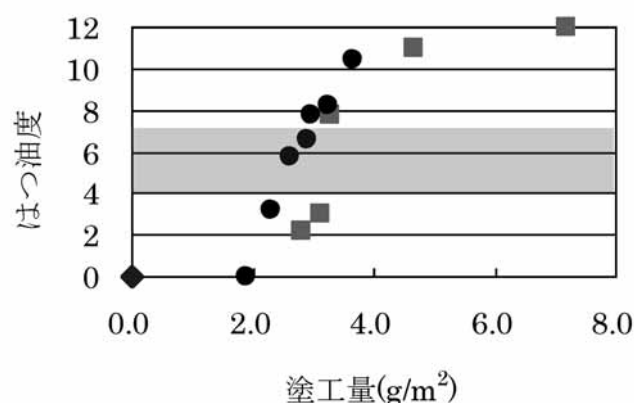


図4 CNF塗工紙のはつ油度

網掛け部は一般的な耐油紙のはつ油度の範囲 (はつ油度: 4 ~ 7)。

●: CNF-A、■: CNF-B、◆: 原紙。

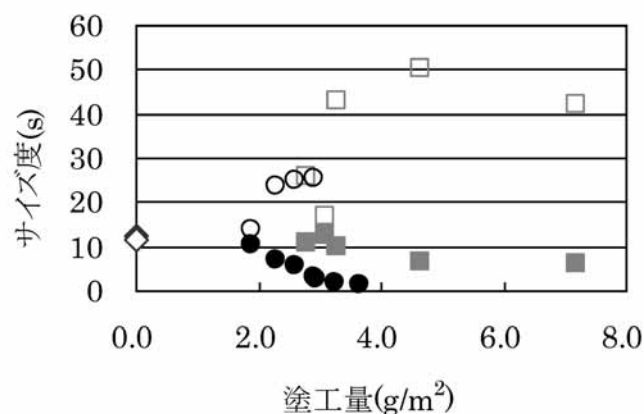


図5 CNF塗工紙のサイズ度

表は塗工面が上側、裏は塗工面が下側で試験。

●: CNF-A (表)、■: CNF-B (表)、◆: 原紙 (表)、○: CNF-A (裏)、□: CNF-B (裏)、◇: 原紙 (裏)。

(2) 印刷適性評価

・オフセット印刷

図6に印刷濃度及び印刷光沢の測定結果を示す。印刷濃度及び印刷光沢ともにCNFの塗工量の増加に伴い、増加し、特に印刷光沢では、CNF-Aを用いた塗工紙で著しく増加し、CNF-Bとは明らかな違いがあった。一方で、CNF塗工紙では印刷後、4時間経過しても完全に乾燥せず、CNF塗工紙では乾燥時間に課題があることがわかった。

・インクジェット印刷

図7に印刷濃度及びにじみ測定結果を示す。印刷濃度は顔料インク及び染料インクともにCNF塗工量の増加に伴い、増加した。にじみは顔料インクではCNFを塗工しても線の太さはあまり変化しなかったが、染料

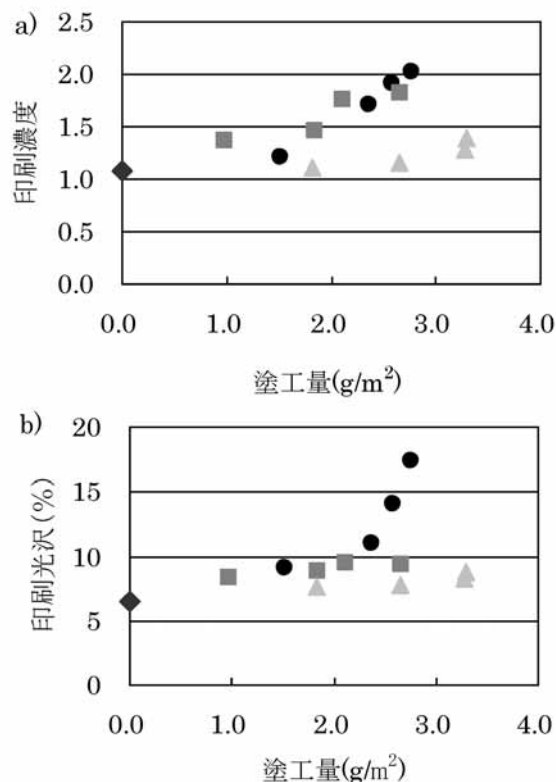


図6 CNF塗工紙のオフセット印刷での印刷濃度及び印刷光沢

a)印刷濃度、b)印刷光沢。

●: CNF-A、■: CNF-B、▲: MFC、◆: 原紙。

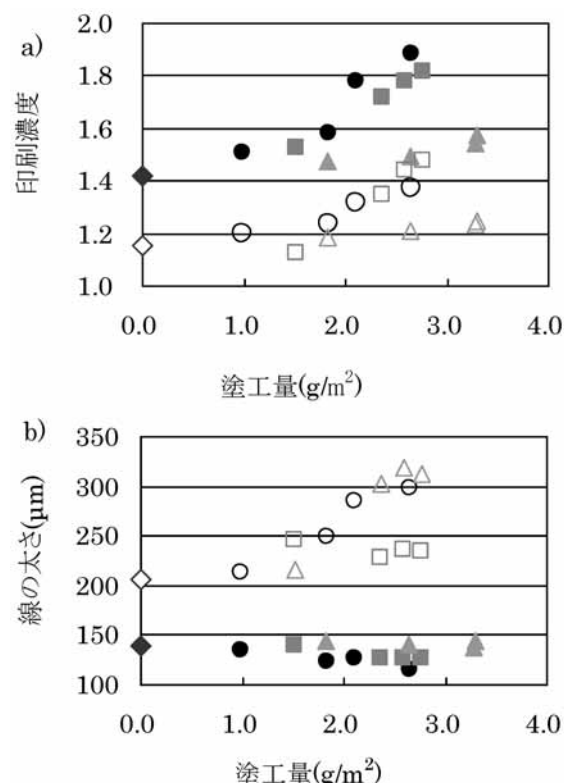


図7 CNF塗工紙のインクジェット印刷での印刷濃度及びにじみ

a)印刷濃度、b)にじみ (線の太さ)。

●: CNF-A (顔料)、■: CNF-B (顔料)、▲: MFC (顔料)、◆: 原紙 (顔料)、○: CNF-A (染料)、□: CNF-B (染料)、△: MFC (染料)、◇: 原紙 (染料)。

インクではCNFの塗工量の増加に伴い、線の太さが拡大した。また、インク乾燥時間はCNFの塗工により顔料インク及び染料インクともに増加し、乾燥時間に課題があることがわかった。

CNF塗工紙の物性評価及び印刷適性評価結果のまとめを表3に示す。以上の結果から、例えば、透気抵抗度の増加からガスバリア性包装用紙、耐油性の向上から耐油紙、オフセット印刷及びインクジェット印刷の印刷濃度の向上から印刷用紙への応用が期待できる。そこで、CNF塗工紙の印刷用紙への応用に向けて、検討を進めることにした。

3.2 印刷用紙への応用の検討

印刷用紙において、塗工（インク受理）層のインクの吸収性は乾燥時間のコントロールやにじみの抑制など重要な要因である。3.1（1）物性評価の耐油性及びサイズ度の評価結果からCNF塗工紙は水を浸透させるが、油は浸透させないことが明らかとなった。また、印刷手法によるインクの違いとして、インクジェット印刷では水性インクが、オフセット印刷では油性インクが主に使用されている。以上のことから、CNFを印刷用紙へ応用する際には水性インクを使用するインクジェット印刷用紙の方が期待できることが示唆された。

一方で、CNF塗工紙の印刷適性評価結果からインクジェット印刷用紙へ応用する際には2点ほど課題があることがわかっている。1つ目がインク乾燥時間の増加、2つ目がにじみの拡大である。これらの解決はCNFのみの塗工では困難であるため、CNFにシリカ等の添加剤を添加することによりこれらの改善を図ることとした。

3.3 CNF/添加剤塗工紙

CNFを利用したインクジェット印刷用紙への応用に向け、CNFに添加剤を添加した際の効果について調査した。

（1）CNF/シリカ塗工紙

インクジェット印刷用紙への応用時の課題であるインク乾燥時間改善のため、CNFに多孔質顔料であるシリカを添加した結果、図8に示すとおり染料インクでの評価ではシリカの添加量の増加に伴い、乾燥時間が減少した。また、顔料インクでも同様に乾燥時間が減少した。

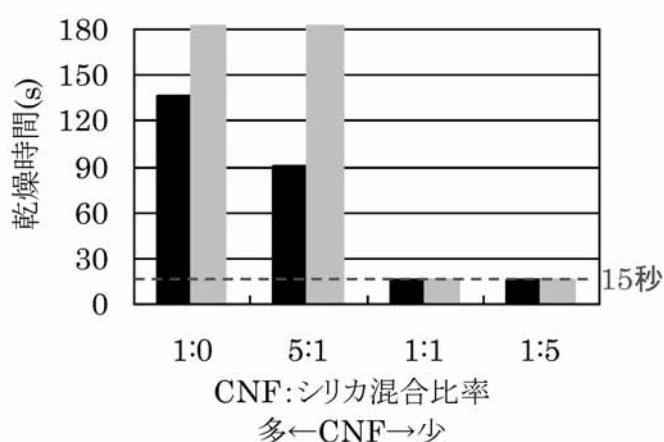


図8 CNF/シリカ塗工紙の乾燥時間（染料インク）

グラフ中の15秒は乾燥時間が15秒以下のことを指す。塗工量は約4g/m²。

■：CNF-A、■：CNF-B。

表3 CNF塗工紙評価結果まとめ

透気抵抗度	PS表面粗さ	白紙光沢	引張強さ	伸び	耐油性	サイズ度	
						表	裏
↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑
オフセット印刷				インクジェット印刷			
印刷濃度	印刷光沢	印刷濃度		にじみ		乾燥時間	
		顔料	染料	顔料	染料	顔料	染料
↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑

CNFの塗工により測定値が増加した項目は↑、低下した項目は↓。

さらに、シリカの添加はインクのにじみも抑制した(図9)。にじみは顔料インクではシリカの添加量の増加に伴い、線の太さが縮小した。また、染料インクでもシリカを多量添加することで、線の太さが縮小した。

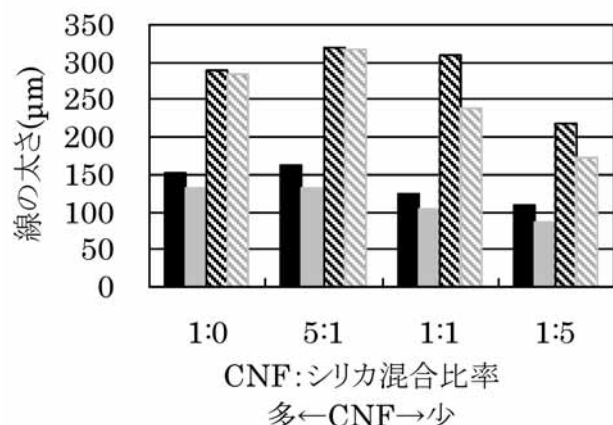


図9 CNF/シリカ塗工紙のにじみ

塗工量は約4g/m²。

■ : CNF-A (顔料)、■ : CNF-B (顔料)、
 ▨ : CNF-A (染料)、▨ : CNF-B (染料)。

図10にシリカを添加した際の印刷濃度を示す。CNF-Aではシリカを添加しても顔料インク・染料インクともに印刷濃度があまり変化しなかった。一方、CNF-Bでは顔料インクではシリカ添加量の増加に伴い、大きく印刷濃度が減少し、染料インクでは添加量増加に伴い、印刷濃度が増加した。

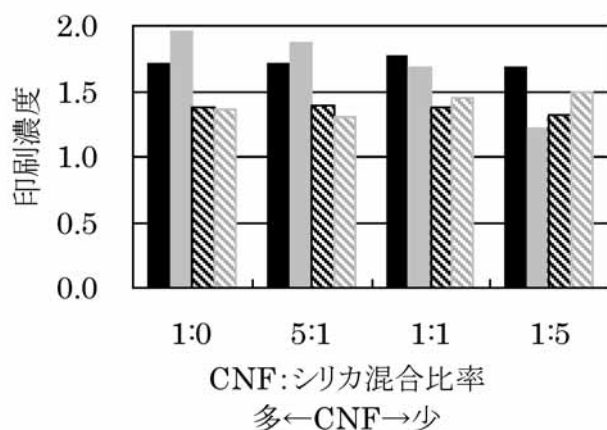


図10 CNF/シリカ塗工紙の印刷濃度

塗工量は約4g/m²。

■ : CNF-A (顔料)、■ : CNF-B (顔料)、
 ▨ : CNF-A (染料)、▨ : CNF-B (染料)。

MFCとシリカを混合した塗工紙では、顔料インクでの印刷により印刷部に色むらが発生した。印刷部の光学顕微鏡画像での観察から、MFC繊維の凝集部によりインクがにじんでいることがわかった(写真2-a)。

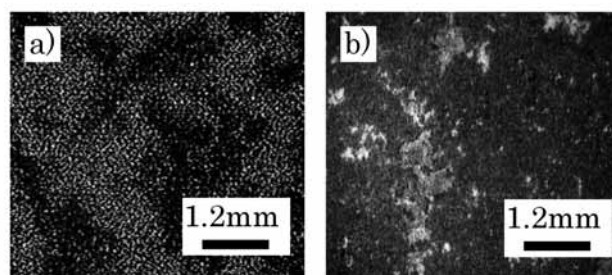


写真2 MNF/添加剤塗工紙の色むら観察画像

a)MFC/シリカ塗工紙 (MFC:シリカ=1:5)、
 b)MFC/定着剤塗工紙 (MFC:定着剤=1:1)。
 塗工量はa)3.9g/m²、b)4.7g/m²。

(2) CNF/定着剤塗工紙

にじみ改善のためCNFに定着剤を添加した結果、図11に示すとおりCNF-Bでは定着剤の添加量増加に伴い、顔料インク・染料インクともに線の太さが縮小した。一方、CNF-Aでは定着剤との混合によりゲル状の凝集物が発生し、塗工紙を作製できなかった。CNF-AではセルロースのC6位の水酸基がカルボキシ基に置換されているため、アニオン性が高くなっている。そのため、アニオン性の高いCNF-Aとカチオン性の定着剤がイオンの相互作用により凝集したと考えられる。このことからCNF-Aでは特にカチオン性の物質との混合の際には注意が必要であることがわかった。MFCと定着剤を混合した塗工紙では、染料インクにおいて、色むらが発生した。光学顕微鏡による観察からMFCの分散状態が悪いことが原因であることがわかった(写真2-b))。

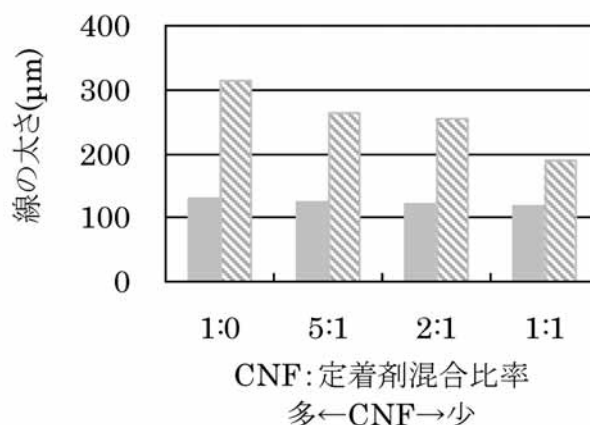


図11 CNF/定着剤塗工紙のにじみ

塗工量は約4.5g/m²。

■ : CNF-B (顔料)、▨ : CNF-B (染料)。

4 まとめ

CNF塗工紙ではCNFを塗工することで、透気抵抗度、平滑度、白紙光沢、耐油性、印刷濃度及び印刷光沢

が向上した。以上の結果から、透気抵抗度の向上からガスバリア性包装用紙、耐油性の向上から耐油紙、平滑度及び印刷適性の向上から印刷用紙への応用が期待される。

CNF/添加剤塗工紙ではシリカの添加によりインク乾燥時間の減少及びにじみの縮小効果があった。定着剤の添加でもにじみを縮小する効果があった。但し、化学的解繊CNF (CNF-A) では定着剤との混合により凝集が発生し、カチオン性物質の混合時には注意が必要であることがわかった。

以上の結果から、CNFにシリカや定着剤を添加した塗工紙を作製することで良好なインクジェット印刷適性を示す塗工紙の可能性があることがわかった。

謝辞

IJ耐水化剤DK6854を御提供いただいた星光PMC株式会社に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 経済産業省：工業統計調査 平成26年工業統計表 産業編. (2016. 3. 11公表)
- 2) ナノセルロースフォーラム：注目素材のナノセルロースと日本の政策展開, 「図解よくわかるナノセルロース」, 初版 (日刊工業新聞社, 東京), 磯貝明 他編集, pp.20-40 (2015).
- 3) 宮脇正一 他：セルロースナノファイバーを含有する紙. 特開2010-242286 (2010.10.28)
- 4) H. Hamada. Et al. : Nanofibrillated cellulose as a coating agent to improve print quality on synthetic fiber sheet. TAPPI Journal, 9 (11), 25-29(2010).
- 5) Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Helth, Bethesda, Maryland, USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>, 1997-2007.

牛の分娩検知システムの開発（第1報）

機械電子科

静岡県畜産技術研究所

株式会社メディカルプロジェクト

中山 洋 井出達樹 長谷川茂*

赤松裕久

小林信明 一言貴則

Development of a Labor Detection System in Cows during Delivery (1st Report)

Hiroshi NAKAYAMA, Tatsuki IDE, Shigeru HASEGAWA, Hirohisa AKAMATSU,
Nobuaki KOBAYASHI and Takanori HITOKOTO

Unrestrained monitoring system for detecting respiration and pulse and staying/leaving on bed without physical restraint has been developed. The method for detecting labor in a cow by applying the developed system was investigated.

Mat with air pressure sensor (Sensor-mat) was placed on the floor of the calving pen. Output signals obtained by Sensor-mat depended on movements of the cow. The method of measuring time interval of the signal on particular voltages was useful for detecting labor in the cow. The method for detecting labor was applied to 9 parturient cows. As a result, the labor in 9 parturient cows were detected before parturition.

The cow monitoring system for detecting labor before parturition without physical restraint was produced. This system will be able to send a text message and picture to mobile phone when a cow is in labor.

Keywords : cow, delivery, labor, unrestraint, detection

キーワード：牛、分娩、陣痛、無拘束、検知

1 はじめに

当センターでは、これまでにマットレスの下に設置できる「呼吸脈拍センサ」と「離床センサ」を開発し、それを用いて要介護者の状態（呼吸、脈拍、離床、在床等）を無拘束で見守ることのできる新たなシステムを開発し、商品化した¹⁻³⁾。開発した技術は、介護分野だけでなく、他の分野にも応用可能であり、要望も寄せられている。その中で、静岡県畜産技術研究所から「夜間監視等の労働時間短縮と分娩事故低減のために、牛の分娩兆候である陣痛を自動検知したい」との要望があった。そこで開発技術を基に、無拘束で牛の分娩を検知できるシステムの開発に取り組んだ。

2 方法

2.1 試作センサマットの牛分娩房への設置

チューブ構造を有するマットとチューブの片端に「呼吸脈拍センサ」で用いた特殊な空圧センサ¹⁾を接続したセンサマットを試作し、牛分娩房の床に設置した(写真1(a))。そしてビデオカメラを用いて牛の動きを



(a) センサマット



(b) データ収集装置

写真1 牛分娩房に設置したセンサマットとデータ収集装置

*) 現 工業技術研究所 機械電子科

録画する装置とセンサマットから得られる出力信号を記録する装置を設置し、時間的に同期したデータを収集した（写真 1 (b)）。

2.2 分娩検知方法の検討

収集した牛のビデオ映像とセンサデータを基に、分娩時の特徴的な動きを選び、その信号出力を抽出した。抽出データを用いて、分娩兆候である陣痛時のいきみを選択的に検知できる方法を検討した。

2.3 牛分娩検知システムの試作と設置

得られた分娩検知方法を用いて、離れた場所においても牛の分娩兆候を報知できるシステムの検討及び試作を行った。この試作したシステムを牛の分娩房に設置した。

3 結果および考察

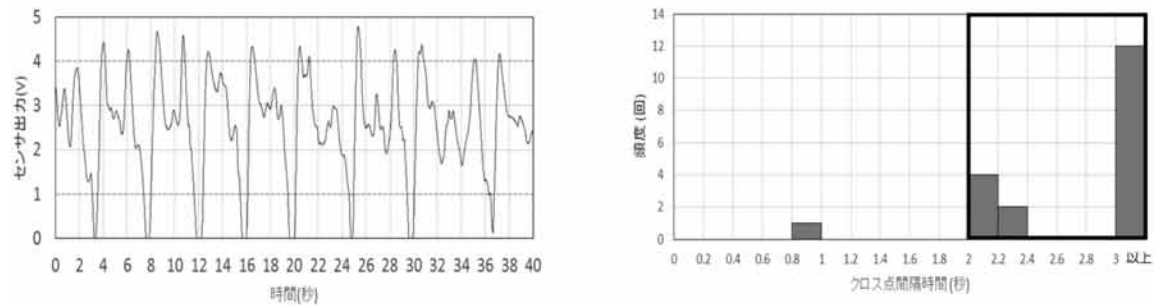
分娩房の床に設置したセンサマットが牛の動きを検出し、牛の動きに応じたセンサ出力が得られた。牛の特徴的な動きから得られるセンサ出力とビデオ映像を基に検討した結果、牛の動きの時間間隔を計測・解析する方法（クロス点解析）により、陣痛時のいきみを選択的に検知できることが分かった。これは一定時間サンプリングしたセンサ出力波形に 2 つの基準電圧を設け、センサ信号が基準電圧をクロスした時の時間

間隔を計測し、ヒストグラム分布を作成し、時間間隔と頻度を特徴量とすることにより検知する方法である。特徴的な動きから得られたセンサ出力とクロス点解析によって得られたヒストグラムの結果を図 1 に示す。分娩の兆候を示す陣痛（横臥）時には、クロス点間隔時間が 2 秒以上に多く出現し、それ以下では少ない出現傾向であることが分かった。これは陣痛時には下腹部に力を入れる特有の大きな動きを示し、時間的なばらつきはあるものの 2 秒以上の間隔で繰り返す行うことに起因している。一方、移動時や横臥～起立等の体位変更時には、クロス点間隔時間は大きな偏りを示さず、分散する傾向であった。これは移動時や体位変更時には、大きな動きを継続して行いが、規則的な動きを示さないことに起因している。また動き（横臥）時には、クロス点間隔時間は分散し、出現回数も少なくなる傾向であった。これは動き（横臥）時には体を動かす動きをするが、規則性も無く、また少ない傾向であることに起因している。

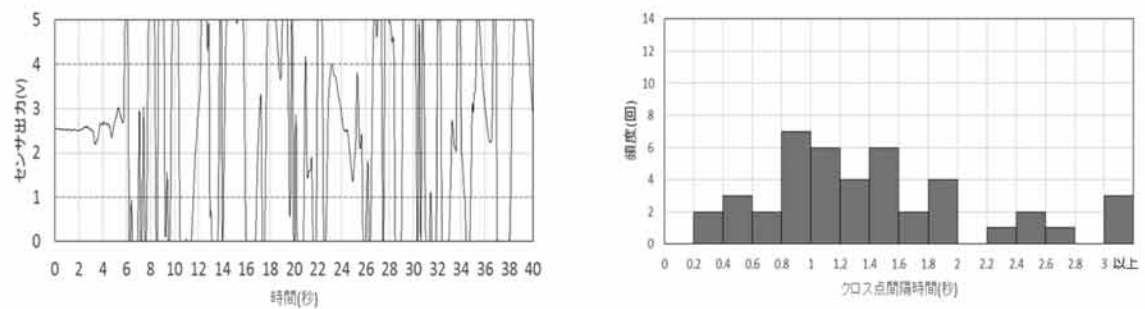
これらを基に、クロス点間隔時間と頻度を特徴量として分娩検知アルゴリズム及びプログラムを作成し、これまでに得られた 9 頭分の牛の分娩実証データに適用した。その結果を表 1 に示す。牛の個体差によって陣痛時の動きに違いが見られ、いきみの時間間隔にばら

表 1 牛分娩検知プログラムの分娩実証データへの適用

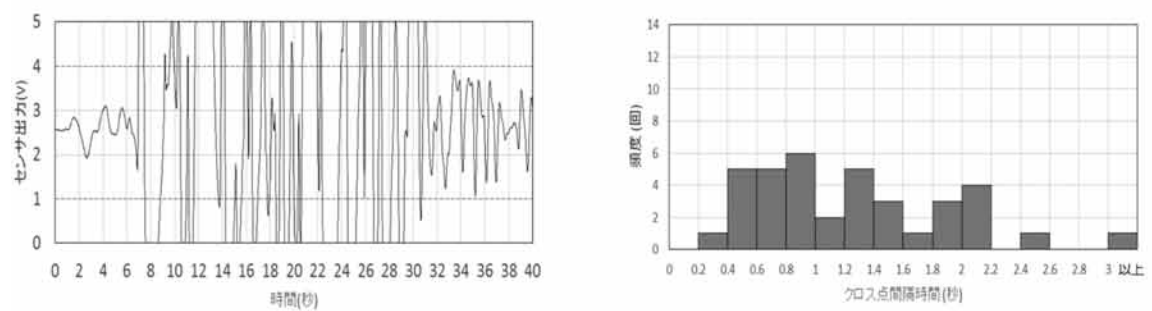
牛 No.	分娩の状況	分娩／センサ陣痛検知の時刻	
1	自然分娩	分娩	9:10:00
		センサ陣痛検知	8:34:40
2	自然分娩	分娩	5:27:00
		センサ陣痛検知	5:24:20
3	自然分娩	分娩	1:07:00
		センサ陣痛検知	0:56:00
4	介助分娩	分娩	13:14:00
		センサ陣痛検知	12:21:40
5	介助分娩	分娩	17:19:00
		センサ陣痛検知	17:05:00
6	自然分娩	分娩	11:40:00
		センサ陣痛検知	11:36:40
7	立位分娩	分娩	23:27:30
		センサ陣痛検知	20:39:20
8	介助分娩	分娩	22:29:00
		センサ陣痛検知	18:56:40
9	自然分娩	分娩時	5:42:10
		センサ陣痛検知	5:36:00



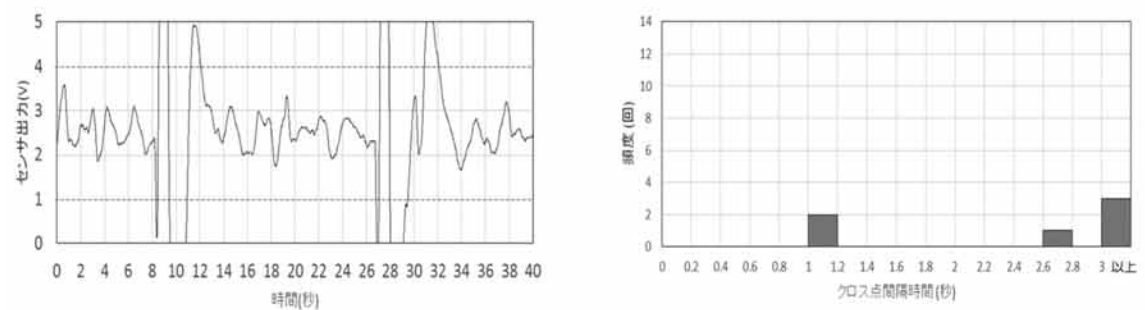
(a) 陣痛（横臥）



(b) 移動



(c) 体位変更（横臥～起立）



(d) 動き（横臥）

図1 センサ出力とクロス点解析によるヒストグラム

(サンプリング周波数：100Hz、サンプリング数：4000点、基準電圧：1Vと4V)

つきが見られたり、いきみの間に細かく体を動かしたりする場合もあったが、すべての症例で分娩前に陣痛の検知が可能となった。また分娩までの時間にばらつきが見られたが、これは陣痛の長さが牛によって異なることが大きく起因していると考えられる。

得られたアルゴリズムを用いて、牛分娩検知システムを試作した。分娩房に設置した試作システムの概要を図2に示す。分娩房の床に設置したセンサマットからの信号を、コントロール装置内でクロス点解析処理を行い、陣痛の判別を行う。陣痛と判断した場合には送信機より、登録したスマートフォンにメール送信が可能となる。メールには陣痛を検知した時刻とネットワークカメラで撮影した写真が添付される。またスマートフォンから現在の牛の動きを動画で確認することもできる。

4 まとめ

分娩房の床にセンサマットを設置することで、牛の動きに応じたセンサ出力が得られた。クロス点解析を行うことにより、分娩兆候である陣痛を無拘束で検知できることが分かった。

クロス点解析による手法により、得られた9頭分のすべての分娩症例において、分娩前に陣痛の検知が可

能となった。

得られた結果を基に、陣痛を検知した時にスマートフォンにメール送信可能な牛分娩検知システムを試作した。これにより陣痛があった場合には、酪農従事者はどこにいても陣痛の報知を受けることが可能となり、夜間監視等の労働時間短縮と分娩事故の低減に貢献できると考えられる。

今後、試作システムを用いて実証試験を行い、得られた結果の検証・解析を行い、アルゴリズムやシステム構成等の改良を行う予定である。

参考文献

- 1) 岡田慶雄 他：無拘束見守りセンサシステムの開発（第1報），静岡県工業技術研究所研究報告，第9号，64-66（2017）。
- 2) 白井圭 他：無拘束見守りセンサシステムの開発（第2報），静岡県工業技術研究所研究報告，第9号，67-70（2017）。
- 3) 中山洋 他：無拘束見守りセンサシステムの開発（第3報），静岡県工業技術研究所研究報告，第9号，71-74（2017）。

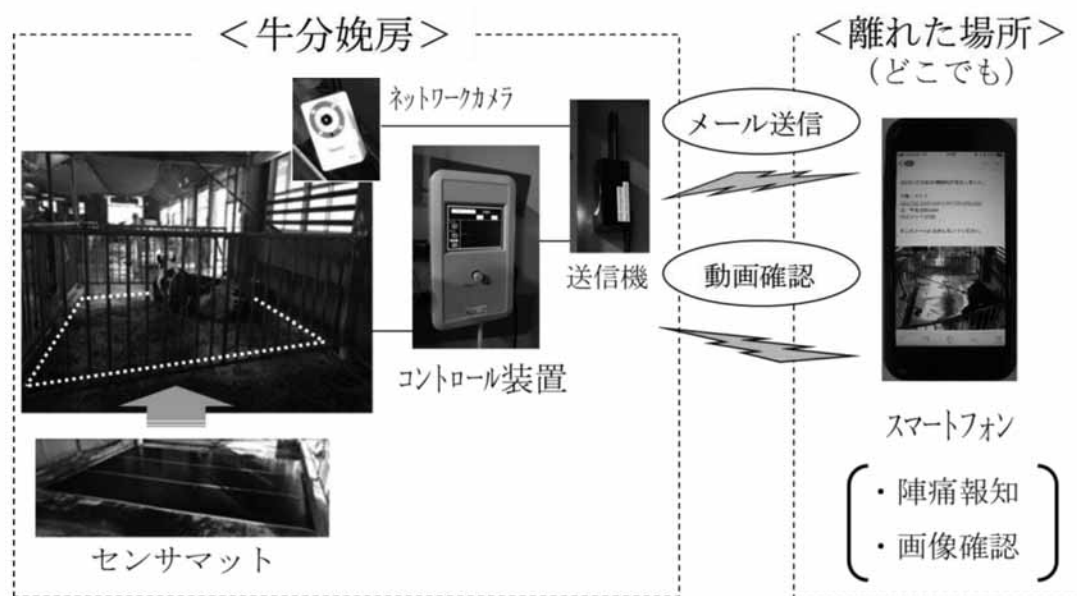


図2 牛分娩検知システムの試作概要

セルロースナノファイバーによる地域産業の活性化

— 薬品レスタオルペーパーの開発 —

製紙・CNF科 齊藤将人* 白井 圭* 山口智久**
大興製紙株式会社 佐野浩之

Activation of regional industry by utilizing cellulose nanofiber

— Trial production of chemical-free towel paper —

Masato SAITO, Kei SHIRAI, Tomohisa YAMAGUCHI and Hiroyuki SANO

Keywords : cellulose nanofiber, towel paper, chemical-free, wet tensile strength

キーワード：セルロースナノファイバー、タオルペーパー、薬品レス、湿潤紙力

1 はじめに

我々はセルロースナノファイバー（以下、「CNF」という。）を用いた紙の開発の検討を進めてきた。

今回、紙へのCNFの添加により湿潤紙力が発現することを明らかにし、その機能を活かすことで抄造時に製紙用薬品を全く使わないタオルペーパーを開発することに成功した。

2 方法

CNFは針葉樹及び広葉樹クラフトパルプを原料にウォータージェット法により微細化处理することで作製した。さらに、処理回数を変化させることで解繊度の異なるCNFをCNF製造企業で試作した。原子間力顕微鏡による観察と粘度、分子量の測定を行った。

角形シートマシンを用いて試作CNFとクラフトパルプを原料に坪量50g/m²の手すき紙を作製した。

手すき紙による実験で得た結果から最適なCNF製造条件を見出し、CNF製造企業でCNFを製造した。製造したCNFを抄紙原料に添加して製紙会社抄紙機で試作抄造を行った。

タオルペーパーの重要な物性である湿潤引張強さと

吸水性とともに、ほぐれやすさ等の評価をJIS法及びJ.TAPPI試験法に従って行った。

3 結果および考察

微細化处理回数を変えて試作した解繊度の異なるCNFの原子間力顕微鏡像を図1に示す。解繊度が低いと数百nm以上の太い繊維も存在するが、解繊度が高くなると、数十nmに微細化した繊維が増え、粘度が上昇し、分子量が下がることが確認できた（図2、3）。

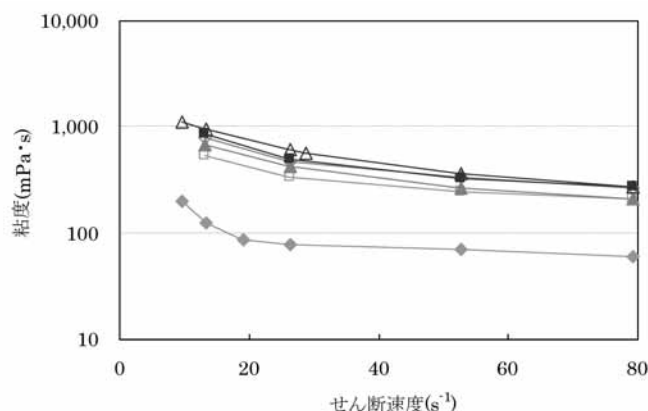


図2 微細化处理回数と粘度（1% (w/w)）

◇:2回、□:4回、▲:6回、◇:7回、■:8回、△:10回。

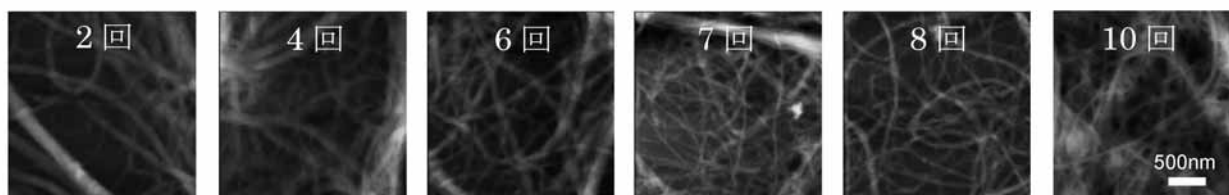


図1 微細化处理回数と原子間力顕微鏡像

*) 現 CNF科 ***) 現 製紙科

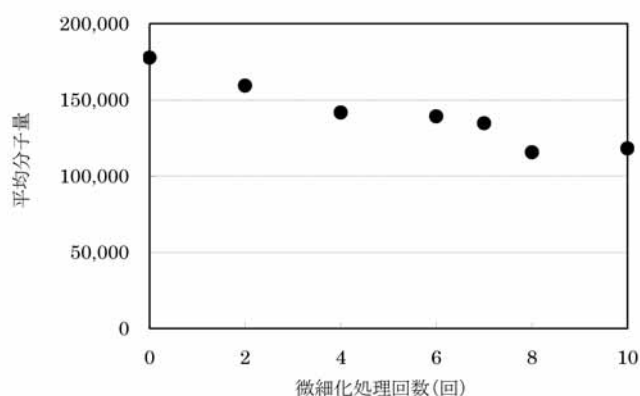


図3 微細化処理回数と平均分子量

CNFの解繊度が高くなると内添紙中のCNFの歩留まりが下がることが確認され（図4）、CNF内添紙は乾燥紙力だけでなく、湿潤紙力も増加することがわかった。さらに、湿潤引張強さが最大となる解繊度が存在することが明らかになった（図5）。この条件のCNFを試作抄造に用いた。

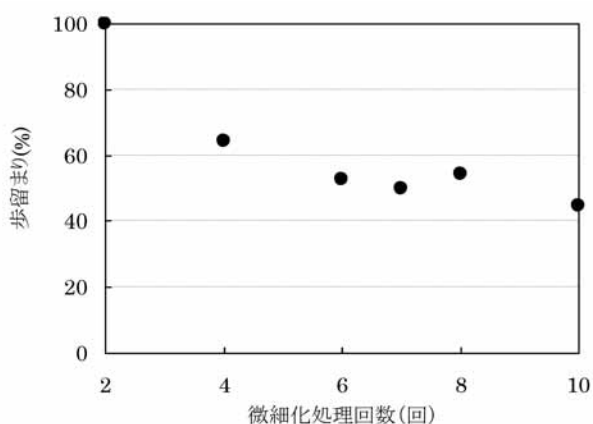


図4 微細化処理回数と紙中のCNF歩留まり

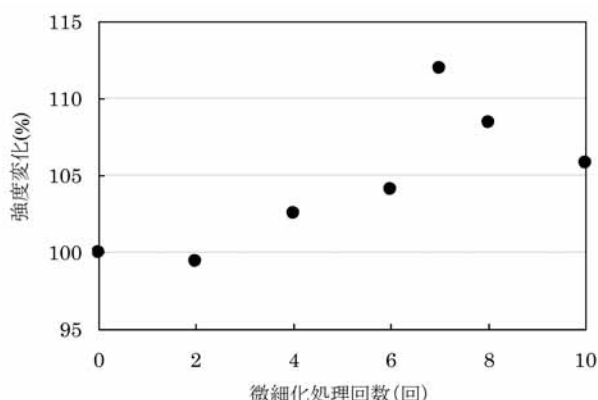


図5 微細化処理回数と湿潤引張強さの強度変化
(微細化処理回数0回の湿潤引張強さを100とする)

CNF添加量が多いほど、湿潤引張強さが増加するが、吸水性がやや下がり、また、工場実機では抄紙ワイヤーでのろ水性や毛布、ドライヤーへの貼り付きなど

が懸念された。そこで、必要な強度増加が期待できるCNF添加量で、製紙会社抄紙機（写真1）によるタオルペーパーの試作抄造を行った。その結果、マシントラブルなくCNF添加タオルペーパーを抄くことができた（写真2）。

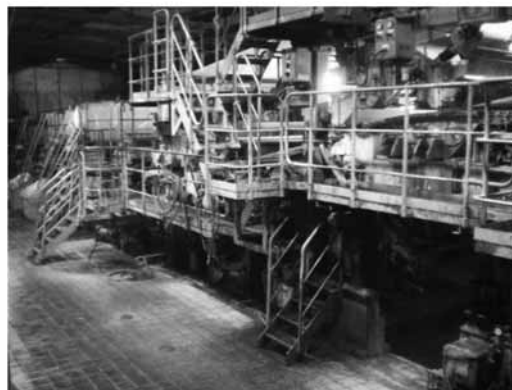


写真1 製紙会社抄紙機



写真2 試作したタオルペーパー

試作品の湿潤引張強さは同社市販品よりやや低かったが、他社水解性タオルペーパーより強く、使用に十分な強度があると考えられる（図6）。また、吸水性は市販品より良好で（図7）、ほぐれやすさは市販品より大幅に高くトイレトペーパーに近いレベルであった（図8）。

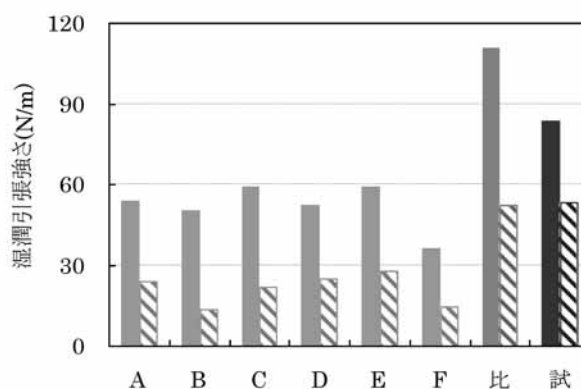


図6 試作品と市販品及び他社品の湿潤引張強さ
A・B・C・D・E・F：他社水解性タオルペーパー、比：同社市販品、試：試作品。
(■：縦、▨：横)

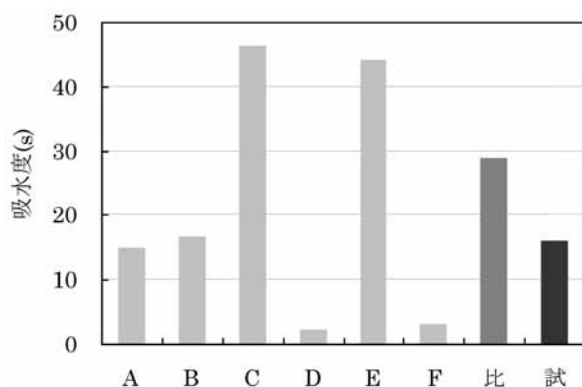


図7 試作品と市販品及び他社品の吸水度

(数値小ほど吸水が早い)

A・B・C・D・E・F:他社水解性タオルペーパー、比:同社市販品、試:試作品。

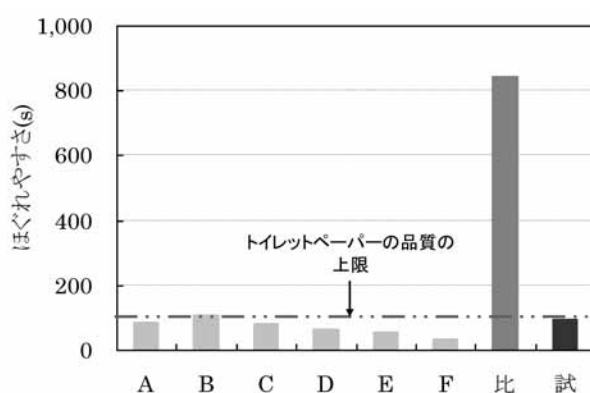


図8 試作品と市販品及び他社品のほぐれやすさ

(数値小ほど良好)

A・B・C・D・E・F:他社水解性タオルペーパー、比:同社市販品、試:試作品。

4 まとめ

ほぐれやすいことから古紙リサイクルという環境面での付加価値が期待でき、湿潤紙力増強剤等の製紙用薬品を全く使わずに実用的な強度を持つ、CNF添加薬品レスタオルペーパーを開発することができた。

謝辞

CNF製造においては株式会社スギノマシンの、商品企画検討においては富士市産業支援センターの御協力をいただきました。感謝の意を表します。

水に解けないトイレットペーパーの原因追及と対策 (第1報)

製紙・CNF科 齊藤和明* 深沢博之* 木野浩成* 齊藤将人** 白井 圭** 山口智久*

Study on the toilet paper hard to decompose into water (1st Report)

Kazuaki SAITOH, Hiroyuki FUKASAWA, Hironari KINO, Masato SAITO, Kei SHIRAI
and Tomohisa YAMAGUCHI

Keywords : toilet tissue paper, alkyl ketene dimer sizing agent, rosin sizing agent, dry strengthening agent,
decompositivity into water

キーワード：トイレットペーパー、AKD系サイズ剤、ロジン系サイズ剤、乾燥紙力増強剤、ほぐれやすさ

1 はじめに

静岡県はトイレットペーパーの全生産量の50%にも及ぶ一大生産地であり、その生産量の9割程度は再生紙トイレットペーパーという特徴がある^{1, 2)}。再生紙トイレットペーパーは、従来は上質古紙を用いて生産されてきたが、近年は原料古紙の品質が低下し、様々なトラブルが発生している。その中で、原因不明な現象として水に解けないトイレットペーパーについて技術的な対策を要望されている。これらの原因を追及し、工場における対策を提案することを目的として研究を実施した。

本研究では、水に解けにくくする（ほぐれにくくする）製紙薬品、その影響を除去する古紙処理方法等を検討したので報告する。

2 方法

2.1 広葉樹さらしクラフトパルプ（以下、「LBKP」という。）への製紙薬品の添加実験

手すき紙の調製方法を簡単に図1に示す。調製条件などは表1のとおり。

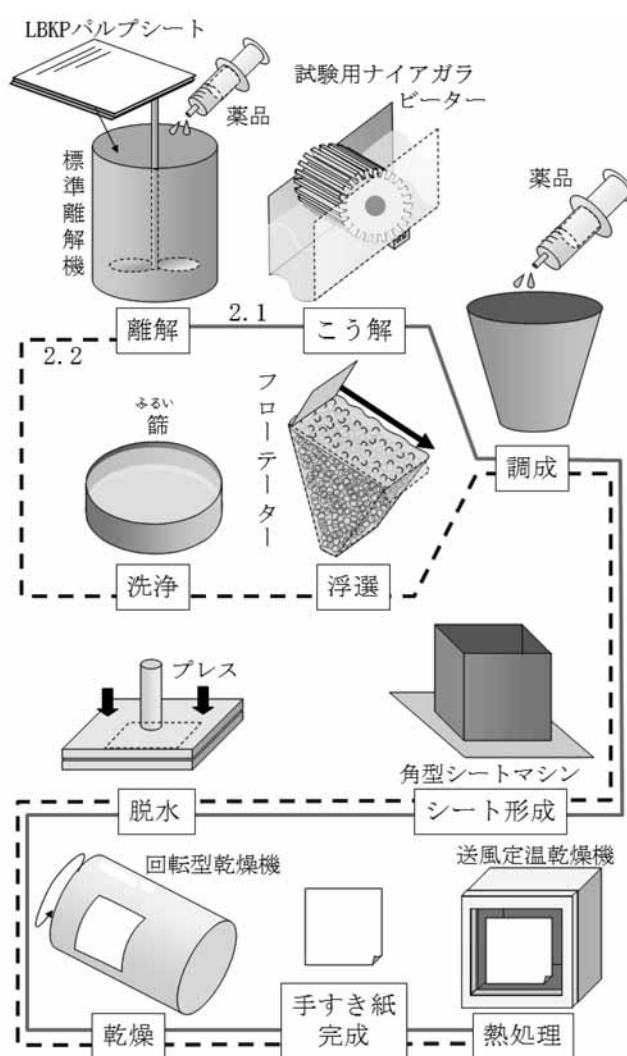


図1 手すき紙の調製方法

*) 現 製紙科 ***) 現 CNF科

表1 手すき紙の調製条件と方法

製紙原料 こう解			LBKP 試験用ナイヤガラピーター（熊谷理機工業(株)製）にて、400mLCSFまでこう解
調成	添加薬品と添加量	硫酸	手すき前の抄紙原料（以下、「原質」という。）が目標のpHになるまで添加
		硫酸アルミニウム	原質が目標のpHになるまで添加
		サイズ剤※（AKD系／ロジン系）	メーカーの標準的な処方量
		乾燥紙力増強剤※	メーカーの標準的な処方量
抄紙	シート形成	シート形成	JIS P 8222に準じ、角型シートマシン（熊谷理機工業(株)製）にて、目開き180μm（80mesh）の金網を使用 目標坪量は18、64g/㎡
		乾燥	回転型乾燥機（熊谷理機工業(株)製）にて、約90℃で4分間
熱処理			送風定温乾燥機FC-610（アドバンテック東洋(株)製）にて、105℃で60分

※ 協力製紙薬品会社から一般的な銘柄を提供

水に解けにくくする製紙薬品を調べるため、手すき紙及び原質に対して、表2の試験項目につき各試験方法に準じて測定した。

表2 手すき紙の調製条件と方法

試験対象	試験項目	試験方法
原質	ろ水度	JIS P 8121-2
手すき紙	坪量※	JIS P 8124
坪量64g/m ²	比引張強さ	JIS P 8113
坪量64g/m ²	サイズ度	JIS P 8122
坪量18g/m ²	ほぐれやすさ	JIS P 4501

※ 試料数は10未満として試験に供した

2.2 手すき模擬古紙に対する古紙処理等実験

手すき模擬古紙の調整条件などは表3のとおり。

表3 手すき模擬古紙の調製条件と方法

製紙原料 こう解			LBKP 試験用ナイヤガラピーター（熊谷理機工業㈱製）にて、400mLCSFまでこう解
調成	添加薬品と添加量	硫酸アルミニウム	対パルプ1.0%（w/w）
		サイズ剤（AKD系／ロジン系）	メーカーの標準的な処方量
		乾燥紙力増強剤	メーカーの標準的な処方量
		抄紙	シートの形成 JIS P 8222に準じ、角型シートマシン（熊谷理機工業㈱製）にて、目開き180 μ m（80mesh）の金網を使用 目標坪量は107g/m ²
抄紙	乾燥	乾燥	回転型乾燥機（熊谷理機工業㈱製）にて、約90℃で4分間
		熱処理	送風定温乾燥機FC-610（アドバンテック東洋㈱製）にて、105℃で60分

水に解けにくくする製紙薬品を添加した手すき模擬古紙に対して、表4の古紙処理等条件により再生手すき紙を得た。

表4 手すき模擬古紙に対する古紙処理等条件

古紙 処 理	洗浄 1 回	離解した試料を、目開き106 μ m（150 mesh）の篩で、約9.2%（w/w）まで手絞りする
	洗浄 2 回	1 回洗浄した試料を、再離解してから、もう 1 回洗浄する
	洗浄 1 回 +NaOH	離解時に、水酸化ナトリウムを約0.44%（w/w）添加し、離解したものを 1 回洗浄する
	浮選	離解時に、水酸化ナトリウムを約0.44%（w/w）・脱墨剤（花王㈱製DI-7020）を約0.17%（w/w）添加し、離解したものを 1 回洗浄した後、再離解して実験用フローテーター（熊谷理機工業㈱製）にてフローテーションを行う
調 成	古紙処理した原質をそのまま抄紙する（中性抄紙）	
	古紙処理した原質に、硫酸をpH5.0～5.6になるように添加してから抄紙する（酸性抄紙）	
抄 紙	シート の形成	JIS P 8222に準じ、角型シートマシン（熊谷理機工業㈱製）にて、目開き180 μ m（80mesh）の金網を使用 目標坪量は107g/m ²
	乾燥	回転型乾燥機（熊谷理機工業㈱製）にて、約90℃で4分間
熱処理	送風定温乾燥機FC-610（アドバンテック東洋㈱製）にて、105℃で60分間	

製紙薬品の影響がどの程度除去できたか評価するため、再生手すき紙に対して、表5の試験項目につき各試験方法に準じて測定した。

表5 試験項目と試験方法

試験対象	試験項目	試験方法
再生手すき紙	坪量※	JIS P 8124
坪量64g/m ²	比引張強さ	JIS P 8113
坪量64g/m ²	サイズ度	JIS P 8122
坪量18g/m ²	ほぐれやすさ	JIS P 4501

※ 試料数は10未満として試験に供した。

3 結果

3.1 LBKPへの製紙薬品の添加実験結果

原質と手すき紙のろ水度及び坪量を表6に示す。

表6 原質のろ水度と手すき紙の坪量

添加薬品	ろ水度※ (mLCSF)	坪量 (g/m ²)
無し (LBKPのみ)	363	17.8、63.4
硫酸	399	17.7、68.7
硫酸アルミニウム (以下、「バンド」という。)	399	18.2、70.2
AKD系サイズ剤 (以下、「AKD」という。)	363	17.7、64.4
ロジン系サイズ剤 (以下、「ロジン」という。)	363	18.2、63.5
乾燥紙力増強剤 (以下、「紙力剤」という。)	363	18.0、64.2

※ ろ水度は薬品添加前に測定した。

手すき紙の比引張強さを図2、サイズ度を図3、ほぐれやすさを図4にそれぞれ示す。

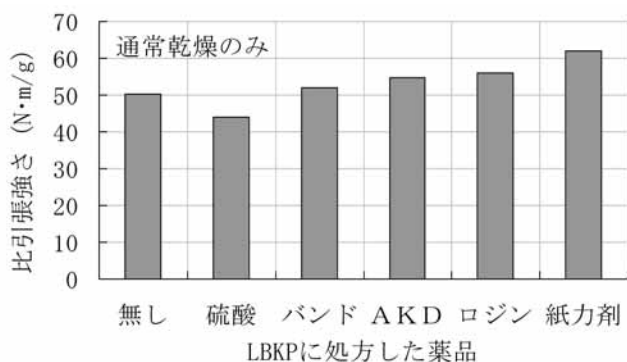


図2 手すき紙の比引張強さ

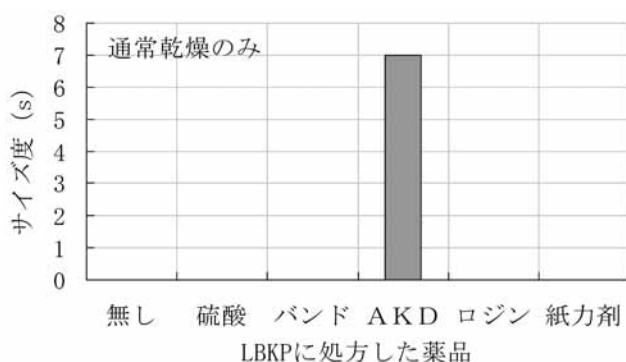


図3 手すき紙のサイズ度

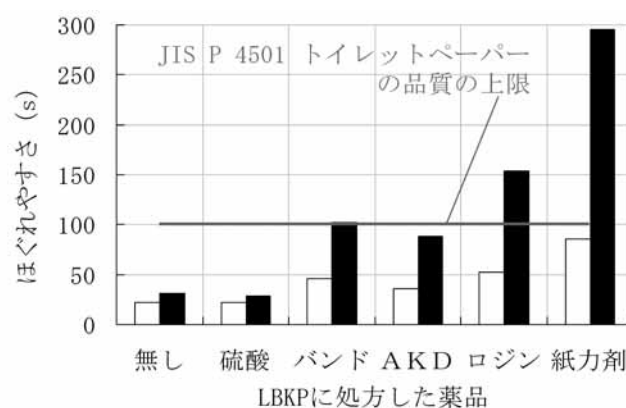


図4 手すき紙のほぐれやすさ

□：通常乾燥、■：熱処理。

紙力剤やサイズ剤がほぐれにくくなるものの、比引張強さとサイズ度はほぐれやすさと直接関係しないことが分かった。

3.2 手すき模擬古紙に対する古紙処理等実験結果

手すき模擬古紙を古紙処理して得た再生手すき紙の坪量、比引張強さ、ほぐれやすさを表7に示す。サイズ度は全て0sだった。

AKDは簡単な洗浄で熱処理してもほぐれやすいが、ロジンや紙力剤は熱処理すると古紙処理しても顕著にほぐれにくくなった。

表7 手すき模擬古紙に対する古紙処理方法・抄紙条件等を変えたときの坪量、比引張強さ、ほぐれやすさ

手すき模擬古紙 (添加薬品)	古紙処理方法	坪量 (g/m ²)				比引張強さ (N・m/g)				ほぐれやすさ (s)			
		通常乾燥		熱処理		通常乾燥		熱処理		通常乾燥		熱処理	
		中性抄紙	酸性抄紙	中性抄紙	酸性抄紙	中性抄紙	酸性抄紙	中性抄紙	酸性抄紙	中性抄紙	酸性抄紙	中性抄紙	酸性抄紙
無し	洗浄1回	18.1, 64.3	17.8, 63.8	18.1, 64.3	17.8, 63.8	37.8	41.2	39.5	39.0	12.0	12.4	15.8	16.8
	洗浄2回	18.1, 64.5	17.8, 64.2	18.1, 64.5	17.8, 64.2	39.4	38.0	38.9	40.3	12.0	13.2	16.6	16.4
	洗浄1回+NaOH	18.1, 64.7	17.8, 63.7	18.1, 64.7	17.8, 63.7	38.0	39.1	40.0	38.5	11.0	9.4	14.0	13.6
	浮選	17.8, 64.3	17.5, 64.2	17.8, 64.3	17.5, 64.2	35.5	37.7	37.9	36.4	10.0	10.4	11.6	12.6
バンド	洗浄1回	18.1, 65.0	18.0, 65.1	18.1, 65.0	18.0, 65.1	37.4	36.6	36.8	39.3	18.6	17.4	39.6	35.0
	洗浄2回	18.3, 64.9	18.2, 64.7	18.3, 64.9	18.2, 64.7	39.0	38.9	38.5	38.0	19.0	18.0	36.2	34.8
	洗浄1回+NaOH	18.0, 64.3	18.0, 64.4	18.0, 64.3	18.0, 64.4	40.0	40.2	39.2	39.4	15.2	16.4	28.2	31.0
	浮選	17.5, 65.1	17.5, 64.8	17.5, 65.1	17.5, 64.8	35.8	36.4	36.6	36.3	13.0	16.2	22.8	30.6
AKD	洗浄1回	18.1, 63.6	18.0, 63.8	18.1, 63.6	18.0, 63.8	33.6	32.0	34.7	33.4	13.0	13.4	24.3	25.6
	洗浄2回	18.3, 64.5	18.2, 64.3	18.3, 64.5	18.2, 64.3	33.6	32.5	33.3	32.3	14.6	15.0	24.4	21.4
	洗浄1回+NaOH	18.5, 64.6	18.2, 64.2	18.5, 64.6	18.2, 64.2	34.5	34.9	34.2	34.4	11.6	11.8	16.4	18.4
	浮選	18.3, 64.3	18.3, 64.5	18.3, 64.3	18.3, 64.5	27.2	27.0	27.1	26.5	10.2	9.8	14.4	15.0
ロジン	洗浄1回	18.3, 65.4	18.1, 64.9	18.3, 65.4	18.1, 64.9	37.5	35.7	36.1	35.9	16.4	17.2	34.2	33.4
	洗浄2回	18.0, 64.4	17.6, 64.3	18.0, 64.4	17.6, 64.3	35.1	35.1	37.3	35.1	17.2	18.6	40.2	43.6
	洗浄1回+NaOH	18.1, 65.3	17.6, 64.5	18.1, 65.3	17.6, 64.5	36.9	39.2	36.6	37.7	14.8	17.0	25.6	34.2
	浮選	18.6, 64.3	18.4, 64.2	18.6, 64.3	18.4, 64.2	33.6	35.0	34.4	34.1	13.4	16.4	21.6	34.6
紙力剤	洗浄1回	17.9, 64.7	18.0, 64.3	17.9, 64.7	18.0, 64.3	36.8	39.8	39.6	39.7	26.0	24.6	61.8	65.6
	洗浄2回	18.6, 64.9	18.2, 64.3	18.6, 64.9	18.2, 64.3	40.4	40.4	40.1	41.1	23.2	24.6	75.6	91.4
	洗浄1回+NaOH	18.4, 64.8	18.3, 64.6	18.4, 64.8	18.3, 64.6	39.0	39.9	39.2	41.8	17.6	19.2	50.8	57.6
	浮選	18.0, 64.9	17.8, 65.1	18.0, 64.9	17.8, 65.1	36.7	37.6	35.7	37.5	19.4	19.2	49.8	53.2

4 まとめ

トイレットペーパーがほぐれにくくなる原因の一つとして、ロジンと紙力剤があることが分かった。これまで、トイレットペーパーの原料古紙はAKDが添加された上質古紙が使われていたが、ロジン・紙力剤が添加された低級古紙も使われるようになった。原料古紙に対する低級古紙の量、抄紙pH、乾燥状態など悪条件が重なった時に、水に解けないトイレットペーパーができてしまうと考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり御意見をお聞かせいただいた静岡県紙パ技術研究フォーラムの会員の皆様に感謝いたします。また、添加薬品を御提供いただいた製紙薬品会社の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) ㈱日刊紙業通信社：平成27年版静岡の紙・パルプ。(2015.11.13発行)
- 2) 富士市：富士市の工業。(2016.6公表)

異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発 (第1報)

機械電子科 高木 誠 稲葉彩乃 井出達樹 長谷川茂*

Development of the new-style plasma irradiation equipment for bonding dissimilar materials 1st Report

Makoto TAKAGI, Ayano INABA, Tatsuki IDE and Shigeru HASEGAWA

Keywords : plasma, EV, adhesive, dissimilar materials

キーワード : プラズマ、電気自動車、接着、異種材料

1 はじめに

輸送機器関連産業の振興は静岡県の重要政策課題と位置づけられているが*、今後EV化が進む中では車体重量の大幅軽量化が必要で、複合材料の研究開発が望まれている。接着は安価で早く面接合が可能なため複合材料の接合手段として注目されているが、複合材料利用の信頼性が充分ではない¹⁾。そこで簡便な接着強度向上手段と、その強度検証データが希求されている。この課題に取り組み、県内企業が複合材料部品開発を行うリスクを減らし、EV製造の優位性を得る事が期待できる。

我々が注目したプラズマ照射は、各分野で表面改質手段として利用され、自動車分野でもインライン利用可能な「大気圧プラズマ照射」が部品の接合・接着に利用されている。しかし、大気圧プラズマ照射にはロボットアーム等が必要で、中小企業では普及が進んでいない。そこで、我々は山梨県のワイエス電子工業株式会社が開発した「双極子プラズマ発振器」²⁾に注目した。マグネトロン不使用の全固体素子型発振器のため、単純構成で高速起動が可能、発振器と独立した直流電源でプラズマ出力制御が可能という特徴を持つ。また広い真空中で稼働するのでターボ分子ポンプが不要である。既にプラズマ照射装置を試作し、稼働と表面改質効果を確認している。当研究では、プラズマ照射装置の製品化を見据え、実用的プラズマ処理能力を得るための実証装置開発と、その試験データを企業へ提供するライブラリ構築を目的とした。

2 方法

試作機のデータを基に実証装置の仕様を検討し、製作した。仕様では装置構造、性能、処理条件、操

作性、コスト等の検討が必要である。低圧プラズマが、インライン利用される大気圧プラズマ照射装置に対抗するには、低コスト化以外にプロセスタイムの短縮化と大容量化が必要である。このため実証機の基本仕様を次に定めた。発振器は電波法対象外の低出力 (50W 未満)、発振器と独立した直流印加電源、大容量チャンバー (φ 850×800mm)、高速排気系 (10l/s)、多様なガス利用 (Air、N₂、O₂、H₂O) が可能、等である。

3 結果

照射装置を完成させてセンターへ設置した。写真1、2が装置である。現在、装置はプラズマ照射実験や表面改質効果分析、企業のテスト処理に向けた稼働試験を進めている。现阶段で、Air、N₂、O₂、H₂Oのプラズマ照射が可能である。

4 考察

完成後は作動実証実験を行い、データは再度プラズマ照射装置の仕様検討に用いて装置を改良する。さらにプラズマ照射を各種材料に行い、接着強度改善効果を確認する。このデータを包括的なライブラリとして県内企業へ提示、異種材料接合を用いた複合部材開発を提案してテストを行い、県内企業の製品開発を支援する。

5 まとめ

今後、装置性能の最適化を進め、各種サンプルのテスト処理を検討していく。

*) 現 工業技術研究所 機械電子科

【ノート】

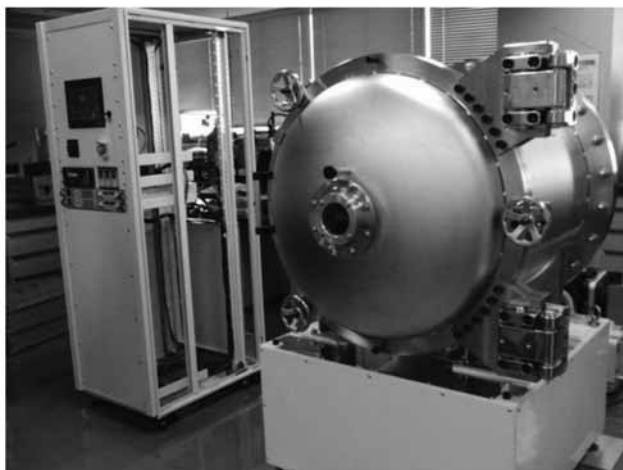


写真1 実証用プラズマ照射装置
左が制御系 右が真空チャンバー本体



写真2 実証用プラズマ照射装置での窒素プラズマ発生状態
圧力10Pa 高周波出力30W 印加電圧400V

参考文献

- * 静岡県：静岡県産業成長戦略2017.
<http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-120/documents/h28sangyou-senyaku2-05.pdf> (2018. 3. 2. アクセス)
- 1) 原賀康介, 佐藤千明：第4章 自動車の材料多様化に対応する接着技術の課題 1.接着接合に何を期待するか 2.組立用接着剤に必要な性能と接着剤の現状 3.車体組立における接着接合活用の方
向性 「自動車軽量化のための接着接合入門」, 初版(日刊工業新聞社,) , P109-118 (2015).
 - 2) 阿部治 他：2MHz自励発振器によるプラズマ処理技術に関する研究(第1報). 山梨県工業技術センター研究報告, 第24号, P110-112 (2010).

異種材料接合のための新型プラズマ照射装置の開発 (第2報)

— プラズマ照射装置試作機を用いた樹脂材料接着に対するプラズマ照射効果の確認 —

機械電子科 稲葉彩乃 高木 誠 井出達樹 長谷川茂*

Development of new-style plasma processing system for dissimilar materials bonding

— Confirng the efficacy of plasma treatment with prototype plasma processing system for plastics bonding —

Ayano INABA, Makoto TAKAGI, Tatsuki IDE and Shigeru HASEGAWA

Keywords : plasma processing system, dissimilar materials bonding, surface process

キーワード：プラズマ処理、異種材料接着、表面処理

1 はじめに

異種材料の接着・接合技術は自動車の軽量化等様々な分野で必要とされている。中でも接着剤による接合は容易な手法であることから注目を集めているが、材料によっては十分な接合強度を得るため表面処理等の工程が欠かせない。今回、有望な表面処理方法のひとつとして知られているプラズマ照射に着目し、少量多品種を扱う生産現場向けの新型プラズマ照射装置の開発に取り組むこととした。装置の性能評価を行うにあたり、効率的な試料の接着手順や接着強度試験手順、適切な試験条件を確認するため、以前作製した試作機¹⁾を用いて予備実験を行った。今回は、装置の性能を評価する基準を求めるため、実験で用いる予定の各樹脂材料に対するプラズマ照射効果の傾向を調査した。

2 方法

ポリプロピレン (PP)、ポリエチレン (PE)、ポリ塩化ビニル (PVC)、アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合合成樹脂 (ABS) の試験片 (2×25×100mm) にプラズマ照射した。照射条件は表 1 に示す。照射後 1 分以内に、ウレタン系、エポキシ系、アクリル系の接着剤を用いて 2 枚の試験片をそれぞれ接着した。接着面積は312.5mm²、約59gのおもりを乗せ固定して接着剤厚さを10 μ m程度に調節した (写真 1)。また、比較のため未照射の試験片を接着したサンプルも用意した。接着したサンプルは 6 日間室温で保管し、その後、材料強度試験機 (株島津製作所：UH-500kNA) を用いてJIS K 6850に準拠し剛性被着材の引張せん断接着強さ試験を行った。それぞれのサンプル数は 3

表 1 樹脂試験片のプラズマ照射条件

照射条件	
プロセスガス	空気
チャンバー内気圧	20Pa
発振器出力	50W
照射時間	180 秒

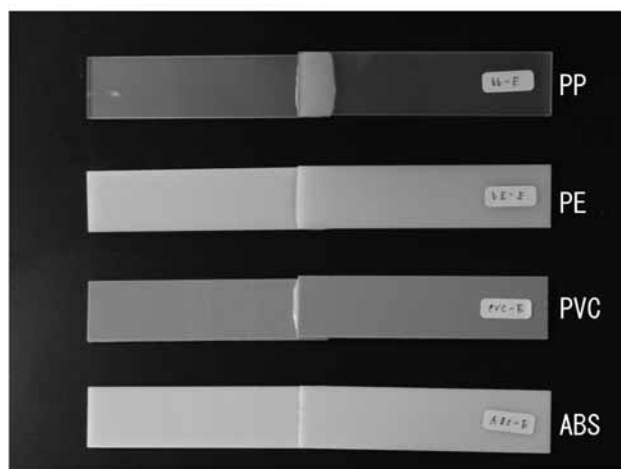


写真 1 樹脂材料接着サンプル
上からPP, PE, PVC, ABS,

であり、データはその平均とした。

3 結果および考察

照射と未照射のサンプルの引張せん断接着強さ試験結果を図 1 及び 2 に示す。PVC-ウレタン系接着剤の組合せ以外、照射により接着強度が増し、PEをアクリル系接着剤で接着したとき最大で 8 倍まで向上した。

*) 現 静岡県工業技術研究所 機械電子科

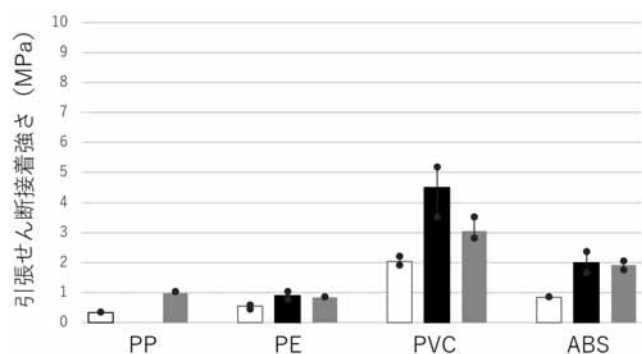


図1 プラズマ未照射サンプルの引張せん断接着強さ（エラーバー併記）

□アクリル系接着剤 ■ウレタン系接着剤 ■エポキシ系接着剤

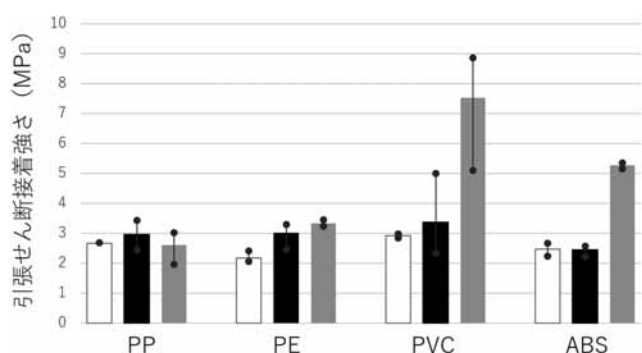


図2 プラズマ照射サンプルの引張せん断接着強さ（エラーバー併記）

□アクリル系接着剤 ■ウレタン系接着剤 ■エポキシ系接着剤

また、未照射のサンプルではPVC以外は全て界面破壊（写真2上 接着剤と樹脂材料の界面で剥離する状態）であったが、照射後のサンプルでは凝集破壊（写真2下 接着剤の層内部が破壊し剥離する状態）や材料破壊（材料そのものが破損する状態）のケースが増えた。照射により、界面での結合力が接着剤や材料の強度を上回るようになったためと考えられる。

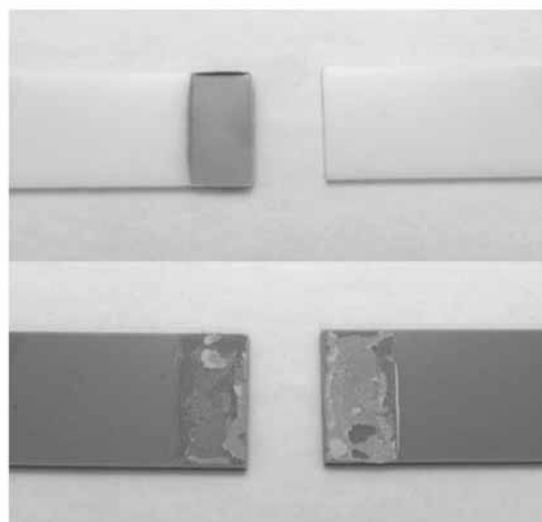


写真2 接着サンプル破断面
界面破壊（上）、凝集破壊（下）

4 まとめ

試作機でのプラズマ照射による接着強度向上が確認できたので、上記の条件を標準のサンプル作成条件とし、引張強度試験方法を標準の評価方法として今後の検討を行うこととした。

謝辞

実験にご協力いただいた株式会社三弘の川瀬隆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 高木誠 他：高度コーティング膜への特性付与技術の開発．静岡県工業技術研究所研究報告，第9号，79-80（2017）．

REPORTS
OF THE
INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
OF SHIZUOKA PREFECTURE
HAMAMATSU TECHNICAL SUPPORT CENTER

静岡県工業技術研究所
浜松工業技術支援センター研究報告

静岡県工業技術研究所
浜松工業技術支援センター
浜松市北区新都田 1 丁目 3 番 3 号

INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE OF SHIZUOKA PREFECTURE
HAMAMATSU TECHNICAL SUPPORT CENTER

1-3-3 Shin-miyakoda, Kita-ku, Hamamatsu city, Shizuoka, 431-2103 Japan

屈折率分布測定による透明樹脂製品の品質評価

光科 中野雅晴 太田幸宏

Quality evaluation for transparent plastics using the measurement of refractive index distribution

Masaharu NAKANO and Yukihiro OHTA

We have developed a quantitative evaluation system to measure refractive index distribution for transparent optical components of lighting. The refractive index was estimated from the wavefront of transmitted light through an object. Stitching measurement, in which all divided wavefronts by a sensor area were connected after measurement, made it possible to measure with high precision over a large area and large amount of phase distortion.

In this study, we evaluated the measurement precision of the developed system. In the stitching measurement, increased measuring point made precision better, but scanning process deteriorated precision because the temperature of the wavefront sensor changed during increased measuring time. The deterioration was improved by removing the wavefront component appeared the effect of temperature fluctuation from measured data. Wavefront measurement with an accuracy of 6nm was achieved. The refractive index distribution of a thick plastic lens was measured using the developed system. In this paper, we also introduce an application to the quality evaluation of laser welding for transparent plastics.

Keywords : refractive index distribution, wavefront measurement, stitching measurement, transparent plastics, plastic welding

キーワード：屈折率分布測定、波面計測、スティッチング計測、透明樹脂、樹脂溶着

1 はじめに

LED光源は熱線が少ないことから、ガラスに代わり樹脂が照明用光学部品に使われ始めている。樹脂は、軽量、安価で、デザイン自由度が高い特長を有する。しかし、成形加工時の熱変形が大きく、設計値どおりに製造することが難しいことが課題となっている。このため、部品の形状、内部で発生するひずみや屈折率分布を評価する技術が求められている。特に、屈折率分布測定は、製造条件の最適化や光学性能評価に必要となる。

本研究では、測定対象を透過した光の波面変化量を測定することで屈折率分布を定量測定するシステムを開発した。波面とは、電磁波である光の位相が同じ面である。また、測定領域を分割計測して、これらをつなぎ合わせるスティッチング計測を適用することにより、高精度な大面積測定と、屈折率分布の大きな乱れの測定を可能にした。本報告では、スティッチング計測が測定精度に与える影響を検討して、システムの精度を評価した結果と、厚肉樹脂レンズの屈折率分布を測定した事例について示す。

さらに、開発したシステムを透明樹脂のレーザー溶着の品質評価に応用した事例について報告する。樹脂部品の接合界面をレーザーにより溶融するレーザー樹脂溶着では、溶着強度、隙間や異物の有無といった溶着状態を検査する方法が求められている。これまでに、溶着中の温度計測により溶着状態を評価する方法が提案されている¹⁾。温度計測では、溶着中に物体が放出する赤外線強度を放射温度計で測定する。有色樹脂と透明樹脂といった吸収の分光特性が異なる樹脂間の溶着では、有色樹脂では吸収し、透明樹脂では透過する波長の赤外線を選択して測定することで、溶着界面での温度を推定できる。しかし、吸収の分光特性が同様な透明樹脂同士の溶着では、このような方法を用いて直接溶着界面の温度を測定することは困難である。そこで、レーザー溶着時に発生した溶着部の屈折率変化を測定することにより、溶着状態を評価する方法について検討した。

透明樹脂同士のレーザー溶着には、光吸収剤を接合部に塗布して界面のみを加熱して溶着する方法と、樹脂が吸収する波長のレーザーを用いて、光照射した

領域全体を加熱して溶着する方法がある²⁾。これまでに、光吸収剤による溶着方法について、溶着部の屈折率分布を測定することにより、溶着状態の均質性や溶着強度を非接触で評価できることを確認している³⁾。本報告では、透明樹脂に適度な吸収があるレーザーを用いた溶着における、溶着状態の評価について報告する。

2 方法

2.1 屈折率分布計測システム

図1に、システムの光学系を示す。測定対象を光が透過すると、内部の屈折率分布に比例して波面が変化する。よって、測定対象を透過する前後での波面変化量を測定すれば、屈折率分布を推定できる。波面の測定には、シャックハルトマン波面センサを用いた⁴⁾。また、レンズのように、空気との界面で光が屈折する測定対象では、その形状によっても波面が変化する。そこで、レンズの評価では、レンズと屈折率が同じマッチング液に浸して測定することで、形状による波面変化を抑制した。ステッチング計測では、測定対象をxy方向に走査して、測定領域を波面センサの受光部面積(6.9mm角)で分割計測した。

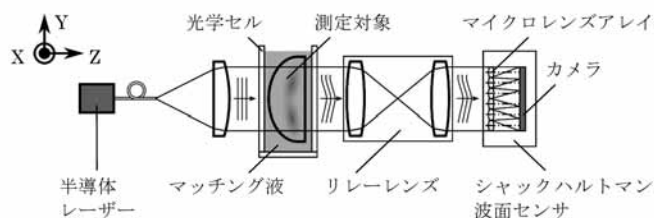


図1 屈折率分布計測システムの光学系

計測用光源として、波長444nm、光出力1mWのシングルモードファイバ出力の半導体レーザーを用いた。シャックハルトマン波面センサのxy面における空間分解能は0.15mmである。最大有効測定領域は6.9mm角であり、縦46×横46個のマイクロレンズで構成されている。

2.2 レーザー樹脂溶着の溶着状態評価方法

透明樹脂同士を溶着した試験片の作製方法について説明する。試験片は、図2に示す樹脂平板を重ね合わせ溶着ができるレーザー加工システムで作製した。平板間の隙間が溶着状態に影響するため、エアシリンダーで圧力を加えることで、重ねた平板同士の密着性を上げた。レーザーは平行光でスリット(2mm×22mm)を通し、図3のように重ね合わせた部分に照射した。透明なポリカーボネート平板(25mm×50mm、板厚3mm)を、適度な光吸収(吸収率23%⁵⁾)がある

波長1.94μmのファイバーレーザーTLR-120(IPG Photonics社製)で溶着した。

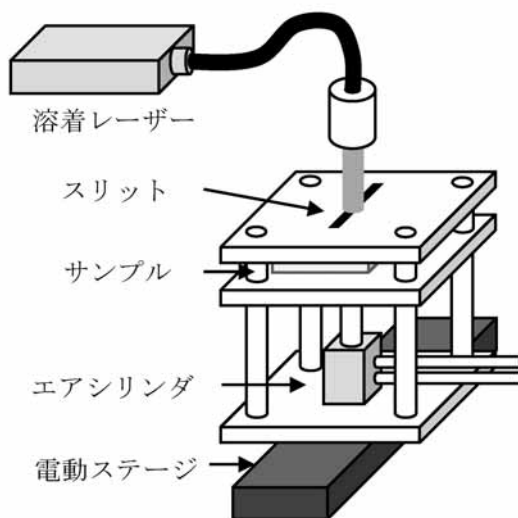


図2 レーザー加工システムの概略図

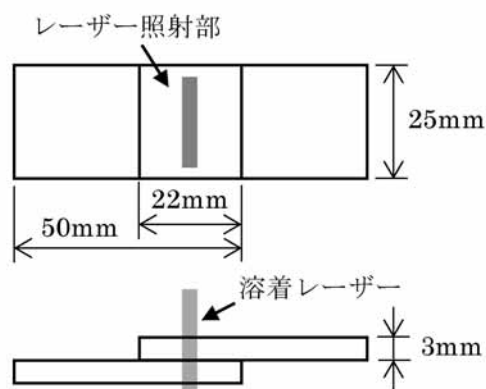


図3 作製した溶着試験片(ポリカーボネート)

作製した試験片に対して、透過光波面計測と引張試験を行い両者の関係性を評価した。はじめに、図1に示したシステムで溶着部の透過光波面を測定した。測定対象は平板であるため形状による波面変化量が小さいことから、マッチング液は使わなかった。次に、オートグラフAG-50kNIS(株島津製作所製)にて引張速度1mm/minで引張試験を行い、破断する試験力を測定した。引張試験では、図4に示すような、重ね合わせた樹脂の界面に対して平行方向に力が加わる治具を用いた。ネジの締結力を利用して、引張試験時の垂直方向に対する変形を抑制した。また、引張試験後に破断面をデジタルマイクロスコープVHX-1000(株キーエンス製)で観察して溶着面積を測定した。溶着強度は、測定した破断力を溶着面積で除算して求めた。

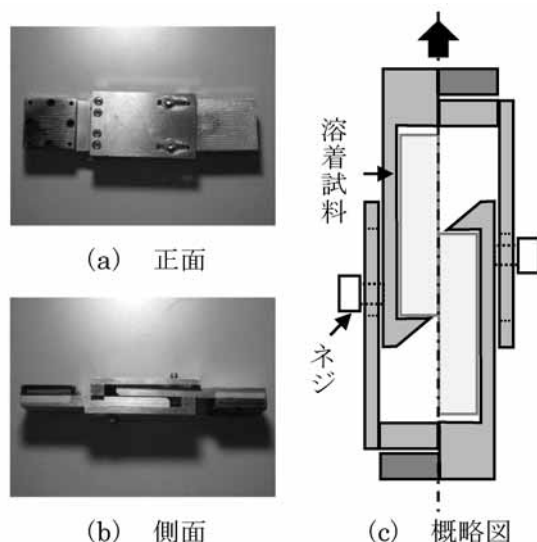


図4 製作した引張試験用治具

3 結果および考察

3.1 システムの精度評価

波面センサより大きな測定対象の評価は、センサ面積に波面を縮小して一括計測する方法でも可能である。しかし、ステッチング計測の方が、測定点数が増加するため、測定精度を向上させることができる。そこで、図5に示すように、測定点数と波面の測定精度との関係を数値解析により評価した。評価した波面は、一般的なレンズで評価される3次収差までの波面歪みを含むと仮定した。波面センサでは、波面の傾き量を検出するので、直接波面を測定することができない。傾き量から波面を復元する演算法として、Southwellが提案する方法（以下、Southwell法）⁶⁾と、Zernike多項式近似法（以下、Zernike法）を用いた。Southwell法では、局所的に変化する波面を復元できる点で有利であるが、演算精度が劣るという特徴がある。一方、Zernike法は、波面をZernike多項式で近似するので、多項式で表現できない波面の復元は苦手だが、レンズ収差など多項式で表現できる波面を復元する場合は演算精度が高い。測定精度は、波面センサを用いて測定点数で分割計測したことを想定して復元した波面と、分割前の評価

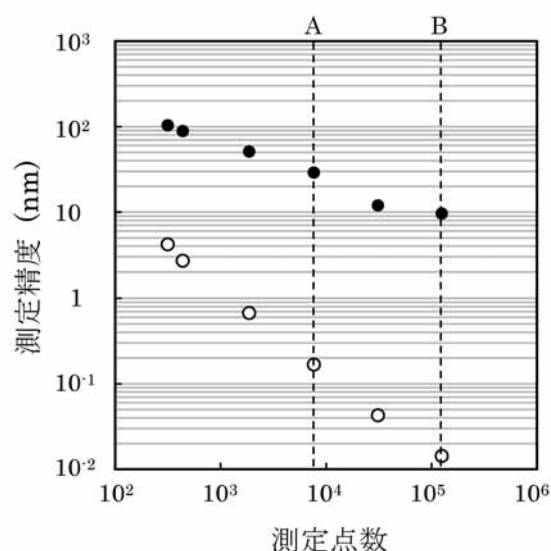


図5 波面計測における測定点数と測定精度との関係

●：Southwell法、○：Zernike法。Aは一括計測の測定点数7,660点、Bはステッチング計測の測定点数125,028点である。

波面との差分における標準偏差とした。図5から確認できるように、測定点数が増加すると測定精度が改善する。レンズの直径を60mmと仮定すると、測定点数は、1/6に縮小した波面を波面センサで一括計測した場合にはAの7,660点となり、等倍でステッチング計測した場合にはBの125,028点となる。AとBの測定精度を比較すると、ステッチング計測の方が、Southwell法では3倍、Zernike法では12倍精度が高い。

一方、ステッチング計測では測定対象を走査する工程が測定精度を悪化させる。その要因は、測定中の温度変化と、走査機構の位置決め誤差にある。我々のシステムでは、温度変化により波面センサ内部の光学部品が僅かに位置ずれすることが、測定精度を悪化させる主要因であった。この対策として、測定波面から温度変化の影響が現れる波面成分を抽出して取り除いた。これにより、測定精度と再現性を改善させ、5 nmのステッチング計測精度を実現した⁷⁾。

以上の検討結果から見積もったシステムの測定精度を表1に示す。波面センサの精度は、干渉計との測

表1 屈折率分布計測システムの測定精度

総合測定精度 (nm)	ステッチング計測		一括計測	
	15	6	30	1
位相復元演算 (nm)	Southwell 法 9.65	Zernike 法 0.01	Southwell 法 28.99	Zernike 法 0.17
ステッチング (nm)	5		—	
波面センサ (nm)	0.6		0.6	

定比較により求めた値である。レンズ収差の評価であればZernike法を適用できるので、スティッチング計測を用いたシステムの総合測定精度は6 nmとなる。これは、厚さ3 mm以上のレンズであれば 10^{-4} の屈折率差を測定できることに相当する。また、局所的な乱れがある波面を測定する場合に用いるSouthwell法では、一括計測に比べてスティッチング計測の方が15nm高い精度である。

3.2 厚肉樹脂レンズの屈折率分布測定

開発したシステムを用いて、厚肉樹脂レンズの屈折率分布を測定した。レンズ形状による屈折が大きいため、マッチング液に浸して透過光波面を測定した。理論上はマッチング液の温度を25℃に制御できれば、レンズとの屈折率差をなくすることができる。しかし、実際に測定したときのマッチング液温度は26.3℃であった。このため、レンズ形状による波面変化成分が、測定した透過光波面に含まれている。そこで、レンズ形状を測定⁸⁾することにより、26.3℃においてレンズ形状で発生した波面変化量を算出して、測定した波面から取り除いた。

図6に、波面計測と形状計測から推定した厚肉樹脂レンズの屈折率分布を示す。屈折率は、レンズ中心部が低く、外周部に向けて増加している。これは、成形加工における冷却速度の違いによって発生した密度分布むらに起因すると考える。

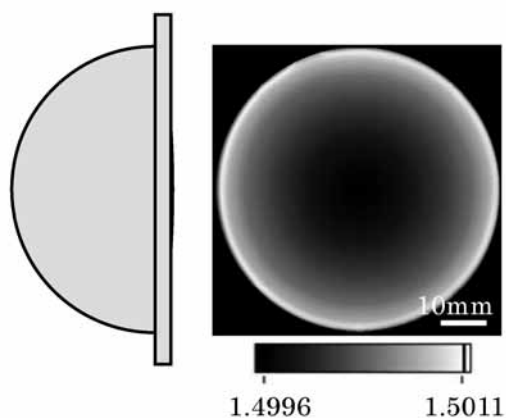


図6 厚肉樹脂レンズの屈折率分布

3.3 波面計測と引張試験による溶着状態評価

図7に、溶着レーザーエネルギー（＝レーザー光強度／溶着速度）に対する溶着強度を評価した結果を示す。溶着強度が突出して大きい点線丸で囲んだ2点は、引張試験の不具合に起因すると推察する。引張試験で用いた治具において、引張方向に対して垂直方向の動きを制限しているネジの締結力が強いと、

治具同士が干渉して破断力が大きくなることがあった。

一般に、溶着状態として3つの領域に分割することができる⁹⁾。1つ目は、入熱の増加に伴い、熔融面積が増加することで溶着強度が徐々に増加していく領域、2つ目は、レーザーを照射した面全体が熔融することで安定的な溶着強度が得られる領域、3つ目は、入熱が過大となり樹脂の分解、発泡などの熱劣化が始まることで溶着強度が低下していく領域である。図7も同様に領域分割するならば、レーザーエネルギーが11 J/mmと15 J/mm付近が領域の境界となる。

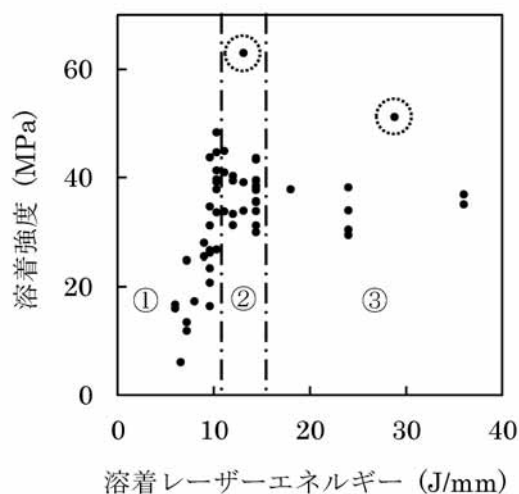


図7 溶着レーザーエネルギーと溶着強度との関係

①は溶着強度が増加する領域、②は安定的な溶着強度が得られる領域、③は入熱が過大となり溶着強度が低下する領域である。

そこで、レーザーエネルギーが7.2、12、18 J/mmの試験片について、溶着部を切断して観察した断面光学像と、透過光波面形状を比較した（図8）。レーザーエネルギー7.2 J/mmでは、光学像において、溶着レーザーを入射した側の樹脂にのみ入熱による変化を確認でき、波面形状はV字型となる。レーザーエネルギー12 J/mmでは、重ね合わせた樹脂界面を越えて楕円状に入熱した様子を光学像で確認でき、波面形状はW字型となる。レーザーエネルギー18 J/mmでは、光学像で表面付近まで入熱による変化を確認でき、波面形状はM字型になる。このことから、波面形状を測定することで3つの溶着状態を判別することが可能となる。

次に、引張試験で破断した試験力と、溶着部を透過した波面変化量との関係について評価した。レーザーエネルギーが増加すると、図8中段に示したように波面形状が複雑化することに着目して、波面形状を周波数解析した。溶着レーザーの走査幅において、波面

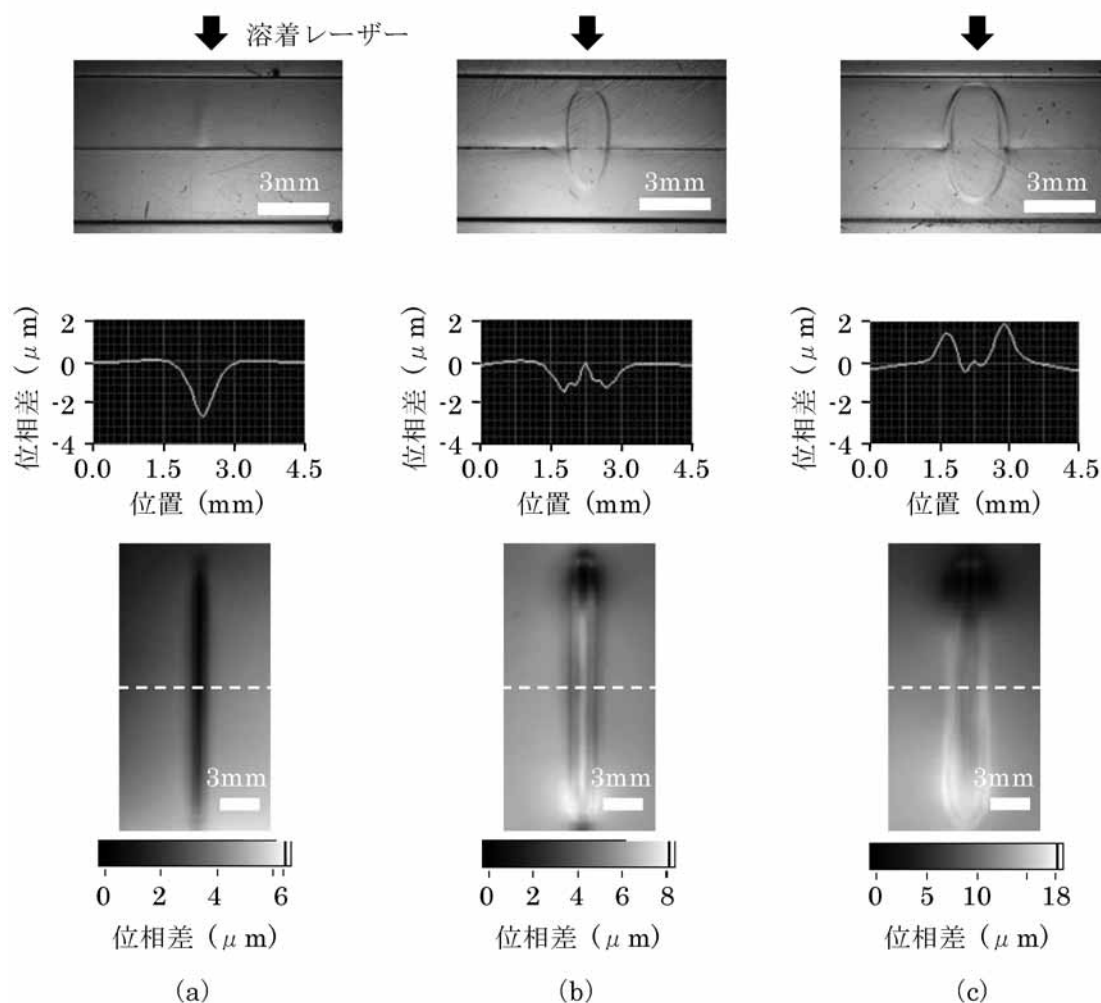


図8 各溶着エネルギーにおける溶着断面光学像（上段）と透過光波面（中段、下段）

波面計測では、溶着レーザーと同じ方向から光を入射させて溶着部を透過したときの波面変化量を測定した（下段）。中段は、下段の点線部における波面形状である。溶着レーザーエネルギーは、(a) 7.2 J/mm、(b) 12 J/mm、(c) 18 J/mmである。

形状をフーリエ変換して求めた周波数帯域を波面変化量とした。図9に示すように、引張試験で破断したときの試験力と波面変化量との間には、スピアマンの順位相関係数 $r_s=0.80$ ($p<0.01$) の高い相関性が認められ、非破壊で破断力を推定できることを確認した。

4 まとめ

測定対象を透過した光の波面変化量を測定することにより、内部の屈折率分布を定量測定するシステムを開発した。

- (1) スティック計測を用いることにより、高精度な大面積測定と、大きな屈折率差の測定を可能にした。測定点数の増加による測定精度の改善と、走査工程における温度変化の影響を抑制することにより、6 nmの波面測定精度を実現した。

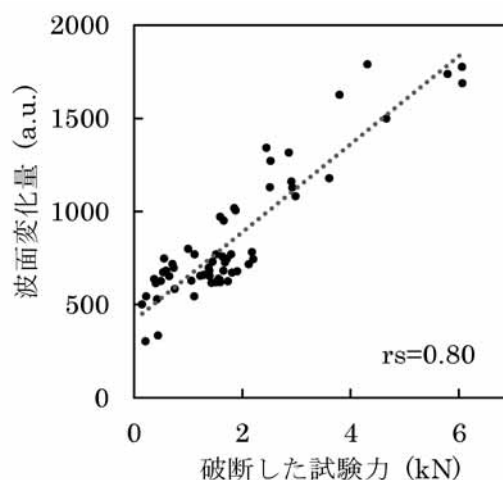


図9 波面計測による溶着部の破断力推定

r_s は、スピアマンの順位相関係数。

(2) 波面計測と形状計測を組み合わせて、厚肉樹脂レンズ内部の屈折率分布を評価した。

(3) 開発したシステムを、レーザー樹脂溶着の品質検査に応用した。溶着状態の均質性や、溶着強度を非破壊で推定できることを確認した。

このような屈折率分布の測定は、製造条件の最適化や光学特性評価に利用できる。また、開発したシステムは、光の位相変化量を測定できるので、微小な厚みむら、内部の欠陥や密度むらなどの目視では確認が困難な透明体の品質評価に有効である。

参考文献

- 1) 松本聡：プラスチックのレーザー溶着におけるインプロセスモニタリング，「高出力レーザーによる加工技術とインプロセスモニタリング・加工状態の評価」，第1版（㈱技術情報協会，東京），高薄一弘 発行，pp.323-338（2004）。
- 2) 山下清光：2 μ mレーザーによる透明プラスチックの溶着事例．静岡県工業技術研究所研究報告，第10号、69-71（2017）。
- 3) 中野雅晴 他：波面計測を用いた透明樹脂溶着の品質評価．静岡県工業技術研究所研究報告，第10号，67-68（2017）。
- 4) 中野雅晴 他：シャックハルトマン波面センサを用いた透明体の均質性評価．静岡県工業技術研究所研究報告，第8号，57-62（2016）。
- 5) 山下清光：透明プラスチックの光吸収率の測定．静岡県工業技術研究所研究報告，第8号、73-74（2016）。
- 6) Southwell W. H.: Wave-front estimation from wave-front slope measurements. Journal of the Optical Society of America, 70(8), 998-1006 (1980).
- 7) 中野雅晴：シャックハルトマンセンサを用いたステッチング波面計測の精度評価．静岡県工業技術研究所研究報告，第9号，89-90（2017）。
- 8) 船井孝：光学部品の高精度形状測定に向けた接触式三次元測定機の測定子径補正手法の検討．静岡県工業技術研究所研究報告，第6号，29-30（2014）。
- 9) 三瓶和久：レーザーによる樹脂の溶着技術．レーザー加工学会誌，14(4)，211-215（2007）。

電波識別技術を応用した携帯電話通話検知装置の開発

電子科

アールエフネットワーク株式会社

静岡大学大学院総合科学技術研究科工学専攻電気電子工学コース

山田浩文* 上野貴康* 増田康利* 松田 稔**

田内正治

犬塚 博

Developments of cellular phone call detection devices using radio communication wave identification technologies

Hirofumi YAMADA, Takayasu UENO, Yasutoshi MASUDA, Minoru MATSUDA, Masaharu TANAI
and Hiroshi INUZUKA

Cellular phone call detection devices using radio communication wave identification technologies have been developed. The background and situation of these developments are explained in this report.

Keywords : cellular phone call detection devices, radio communication wave identification

キーワード：電波識別技術、携帯電話通話検知装置

1 はじめに

高齢者を狙った「振り込め詐欺」が社会問題化されてから久しい。しかしながら、様々な対策が取られているにも関わらず、相変わらず被害は減少していない。対策の例として、振り込め詐欺の常套手段として携帯電話が利用されることが多いことから、簡易な検出装置を使って銀行ATM周辺での携帯電話の利用を検出する方法が検討されたが、従来の方式では誤動作が多く、効果を上げていない。

一方、我々は、非線形関数を用いた周波数解析技術などを応用した電波識別技術について研究開発を行ってきた。この技術は通話内容を復調するなど情報セキュリティを侵害することなく、無線LAN等の電波を識別することができる¹⁾。この技術を応用することで、小型・低コストで信頼性の高い携帯電話通話検知装置の開発を進めてきた。本報では、その開発の経緯や状況について解説する。

Excel上のシミュレーションにて生成できるようにした。また、生成したデータ列を信号発生器MG3700（アンリツ株式会社）の内部形式に変換し、様々な評価用信号を簡単に生成することができる「評価用信号生成システム」を構築した。



写真1 評価信号生成システムによる試作機の評価

2 方法

2.1 評価環境の構築及び評価用信号設計・生成

これまでの電波識別技術の研究で構築した写真1の評価環境において、第3世代（3G）携帯電話方式のW-CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）に加えて¹⁾、第4世代（4G）方式のLTE（Long Term Evolution）に準拠した評価用信号を

2.2 識別アルゴリズムの検討

無線LAN、BluetoothやZigBeeなどの電波を識別する際には非線形スペクトル解析による識別アルゴリズムが有効であった²⁾。一方、LTE携帯電話方式の識別では、複素数領域に拡張した自己相関演算に着目した。この演算を用いてLTE携帯電話方式特有の一定間隔ごとに同じデータを繰り返すCP（Cyclic Prefix）領域

*）現 機械電子科 **）現 浜松工業技術支援センター 研究統括監

を検出する方法を検討した³⁾。

2.3 電波暗室における疑似実環境評価

3 G、第3.5世代 HSPA (High Speed Packet Access) のW-CDMA方式の他 4 G (LTE) のOFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) やSC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access) 方式などについて、1次及び2次変調方式や帯域幅を変更して20種以上の評価信号を設計・生成した。この生成した信号を電波暗室内にて実際にアンテナから放射し、携帯電話通話検知装置試作器にて識別可能の可否を評価した (写真2)。



写真2 電波暗室における疑似実環境評価の様子

3 結果および考察

3.1 電波暗室における疑似実環境評価結果

図1は電波暗室における疑似実環境評価における4 GのFC-FDMA方式 (左) と3 GのW-CDMA方式 (右) の複素自己相関結果の一例を示す。W-CDMA方式については非線形スペクトル解析により、W-CDMAのチップレートに相当する周波数である3.84 MHzに周波数ピークが現れるかどうかでほぼ判別が可能であった。しかし、複素自己相関による特定の周期ピーク値検出は、OFDMやSC-FDMA方式以外の場合にもCyclic Prefixに相当する特定の周期 (67 μ s) の

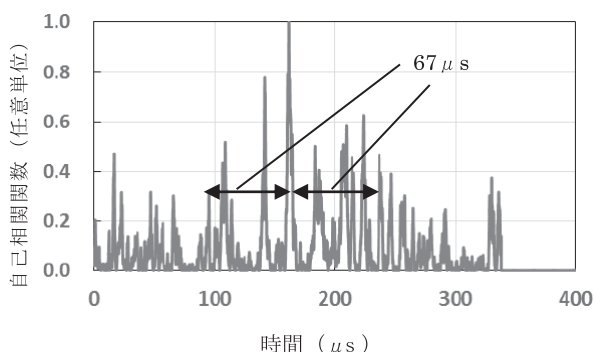
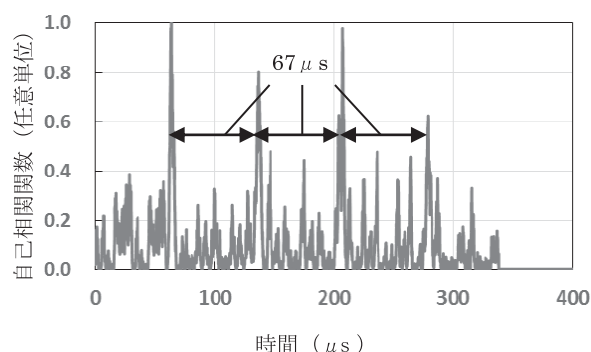


図1 SC-FDMA(左)とW-CDMA(右)の複素自己相関結果

ピークが現れる場合があり、より正確な判別のためには、識別アルゴリズムをさらに検討する必要がある。

3.2 RFレベルモニタの製品化

アールエフネットワーク株式会社は、これまで開発してきた電波識別の技術で培った高周波測定技術を活用して、広帯域な高周波信号を高速にスキャンが可能な信号強度モニタ (製品名「RFレベルモニタ」) の製品化を進めた。

携帯電話の周波数は700MHz帯～3.5GHz帯の広範囲に分散しており、携帯電話通知検知装置ではこれらの周波数を高速スキャンする必要がある。同社はこの技術を活かし安価で高速スキャンが可能なRFレベルモニタ (写真3) を製品化した。

この装置は、20MHz～6GHzの広い周波数帯域を最小25kHzのステップで高速にスキャンすることができる装置である。例えば、通信機器を設置しようとしている場所において、通信に使用する周波数帯域やその他の帯域で、通信に妨害を与えるような電波の有無や、電波の使用状況などをモニタできるもので、電波の種類 (通信方式) を判別する機能はない。



写真3 RFレベルモニタ

4 まとめ

携帯電話通知検知装置の試作機について電波暗室における疑似実環境評価を行った。その結果、4G (LTE) のOFDMやSC-FDMA方式については、識別アルゴリズムをさらに検討する必要があることが分かった。

また、この開発の過程で培われた技術により、RFレベルモニタが製品化された。今後、このRFレベルモニタに高速でサンプリングと演算をする機能を組み込むことによって、携帯電話通話検知装置の開発を進めていく。

参考文献

- 1) 杉森正康 他：電波識別装置の実用化開発－電波識別のための評価用信号の生成－. 静岡県工業技術研究所研究報告, 第8号, 79-80 (2016).
- 2) 杉森正康 他：電波識別装置の識別性能評価. 静岡県工業技術研究所研究報告, 第9号, 81-86 (2017).
- 3) 杉森正康 他：LTE方式携帯電話信号の識別アルゴリズム. 静岡県工業技術研究所研究報告, 第10号, 74-76 (2018).

半溶融成形法により製造したAl-7%Si-0.5%Mg合金の曲げ特性

機械科 岩澤 秀* 長津義之* 針幸達也* 長澤 正**
株式会社浅沼技研 上久保佳則 高橋正詞 山本健介 杉浦泰夫

Bending properties of Al-7%Si-0.5%Mg alloys produced by semi-solid forming process

Shigeru IWASAWA, Yoshiyuki NAGATSU, Tatsuya HARIKOH, Tadashi NAGASAWA,
Yoshinori KAMIKUBO, Masashi TAKAHASHI, Kensuke YAMAMOTO and Yasuo SUGIURA

Semi-solid process shows a great promise for high strength, high ductility and superior internal quality parts of applications including the transportation, automotive and aerospace industries. In this study, we investigated bending characteristics of hypo-eutectic Al-7%Si-0.4%Mg (A356) alloys produced by semi-solid process. The three-point bending test were performed for evaluating bending stress and bending displacement of semi-solid process, gravity and ADC12 high pressure die-castings. The bending stress and displacement in as-cast T5 and T6 heat-treated semi-solid forming specimens were superior than those in gravity die-castings with the same heat treatment and also showed the greater bending displacement than in ADC12 high pressure die-castings. Thus it was found that the semi-solid process castings have noticeably toughness properties compared with conventional casting alloys. The excellent bending properties of the semi-solid process castings were characterized by their microstructures such as particle α -Al phases, fine eutectic Si phases and Al-Fe compounds. They led to the enhanced stress of crack initiation and inhabitation of crack propagation, thereby provided superior bending characteristics.

Keywords : aluminum alloy, semi-solid process, bending test, heat treatment, microstructure

キーワード : アルミニウム合金、半溶融成形、曲げ特性、熱処理、ミクロ組織

1 はじめに

半溶融成形法は、完全な溶湯を鋳型に流し込んで固化させる従来の鋳造法とは異なり、固-液共存温度領域の金属材料を金型に挿入して、加圧成形するプロセスである¹⁾。この方法は、鋳造時の冷却速度が著しく速いために、ガス欠陥の消滅、緻密な鋳造組織、Feなどの有害元素の無害化などが達成され、それによって機械的性質が向上する。これまで我々は、半溶融成形法により製造したアルミニウム合金鋳物の組織および機械的性質を系統的に調べ、一般の重力鋳造材およびダイカスト材に比べて、高い強度・延性特性が得られることを明らかにしてきた²⁾。

アルミニウム合金鋳物は、自動車などの車体構造部材に多く用いられてきている。最近では、部材の軽量化が進む中で、鋳物の薄肉化、高強度、高延性化が強く望まれており、鋳物の特性向上、とくに伸びや曲げ特性などの延性の向上が求められている。しかしな

がら、アルミニウム合金鋳物において、曲げ特性のような延性評価は、これまであまり報告例が無く、半溶融成形により製造した鋳物の曲げ特性について検討した例は、ほとんど無いものと推察される。

本研究では、半溶融成形法で成形した亜共晶Al-Si-Mg系のAC4CH (Al-7mass%Si-0.4mass%Mg) 合金の曲げ特性を調べ、比較材として同組成の重力鋳造材並びに高圧鋳造したADC12合金と比較・検討した。

2 方法

2.1 鋳物作製および熱処理

半溶融成形材および重力鋳造材の製造では、Al-7mass%Si-0.4mass%Mg (以下mass%は%) -A356アルミニウム合金を用い、高圧鋳造材では、Al-12%Si-2.5%Cu-0.3%Mg-ADC12合金を用いた。半溶融成形材の製造には、直径100mm、高さ120mmの円柱状の丸棒を用いて高周波誘導加熱装置にて半溶融温度まで加熱

*) 現 機械電子科 ***) 現 工業技術研究所 工芸科

した半溶融金属を、高圧鋳造材においては、ADC12合金の溶湯を、350トンダイカストマシンを用いて縦100mm、横120mm、厚さ5mmの板状金型に成形した。重力鋳造材は、AC4CH合金溶湯を型温100℃および300℃の舟形形状した鋳鉄鋳型に鋳込んだ金型鋳造材と実部品から切出した砂型鋳造材（以後、砂型材）とした。100℃および300℃に鋳込んだ金型鋳造材をそれぞれGD（100）並びにGD（300）と称する。

供試材は、鋳造後そのまま放置した鋳造まま（as-cast）材と強度を高めるためT5およびT6処理を施したものを用意した。T5処理は、鋳造まま材を160℃×6時間保持した後、徐冷し、T6処理は、540℃×6時間保持した後、水冷し、室温に16時間保持後、160℃×6時間の人工時効を施した。それぞれの鋳物について、幅20mm、長さ90mm、厚さ3.2mmの板状試験片を切出した後、表面を#1000までペーパー仕上げした。

2.2 曲げ試験

写真1に曲げ試験外観を示す。試験機は、オートグラフ（島津製作所製AG-IS 50kN）を用いた。支点間距離を75mmとして、表面に引張曲げ力が働く方の試験片表面を下側に向けてセットした。曲げ治具の直径Dは10mmである。曲げ速度は、6mm/minとした。また、鋳肌の影響を調べるために、半溶融成形したAl-7%Si-0.4%Mg合金と高圧鋳造したADC12合金の鋳造まま材について、片面を鋳肌のまま残した試験片を用意し、反対側の面を機械加工して所定の寸法にした。それぞれの試験片寸法は、ノギスで測定した。各試験では、試験片を2～3本用意した。

試験は、曲げ治具の移動距離が試験片に接してから25mmに達するか、または試験片に亀裂が入り、急

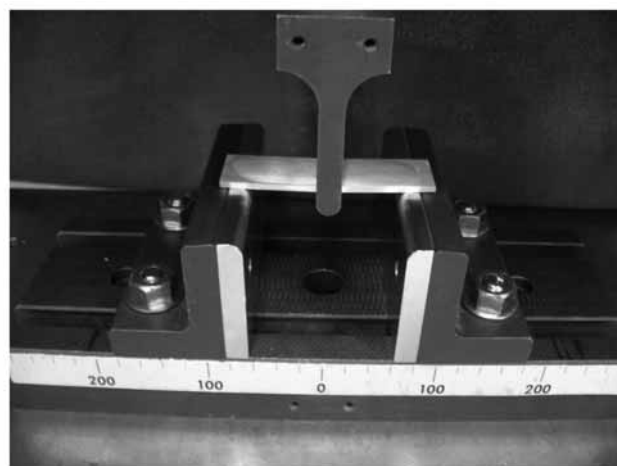


写真1 曲げ試験外観

激に曲げ荷重が低下したところで停止した。得られた曲げ荷重から、曲げ応力 σ (N/mm²) を次式によって求めた。

$$\sigma = 3FLb^{-1}h^{-2}/2$$

ここで、F：曲げ荷重（N）、L：支点間距離(mm)、b：試験片幅(mm)、h：試験片厚さ(mm)。

また、どこまで変形するか見るために、支点間距離を30mmにして再び試験片に荷重を負荷し、試験片が破断し、負荷荷重がほとんど0になったところで停止させた破断試験を行った。

試験後の試験片について、外観写真とマイクロ組織観察を行った。

3 結果および考察

3.1 鋳物組織

半溶融成形材、金型鋳造材の鋳造まま（as-cast）材とT6材、高圧鋳造材の鋳造まま材および砂型鋳造T6材の試験片中央部のマイクロ組織を図1に示す。半

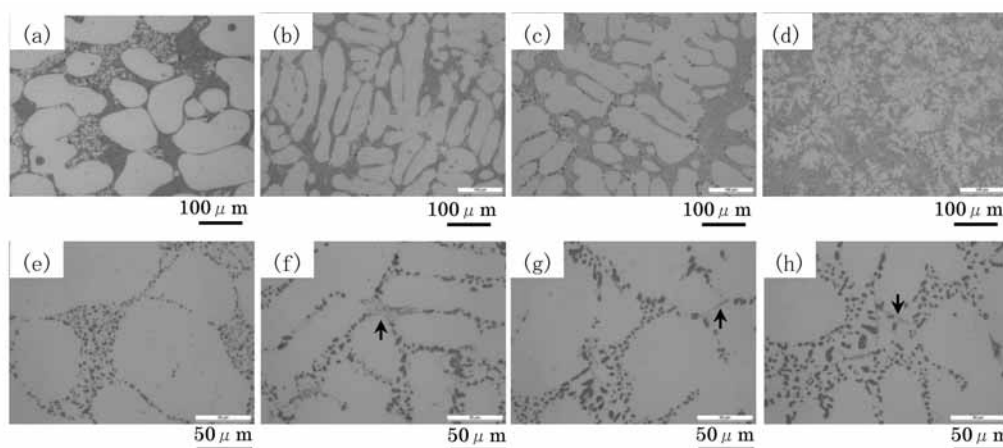


図1 供試材のマイクロ組織

(a)半溶融成形 鋳造まま材、(b)GC(100) 鋳造まま材、(c)GC(300) 鋳造まま材、(d)高圧鋳造材 鋳造まま材、(e)半溶融成形 T6、(f)GC(100) T6、(g)GC(300) T6、(h)砂型 T6。

溶融成形の鋳造まま材では、粒状の α -Al相粒子とそれらを取り囲むような共晶相から構成されるのに対して、金型鋳造材では、デンドライト状の初晶 α -Al相とその間隙を埋める共晶相からなる。金型温度の高いGD(300)の方が、GD(100)に比べてデンドライトの2次枝間隔は広い。これは、凝固時の冷却速度が遅いためである。共晶組織は、半溶融成形の方が、金型鋳造材GD(100)およびGD(300)に比べて極めて微細であることがわかる。これは、金型鋳造材に比べて半溶融成形の速い冷却速度に起因する。Al-Si共晶組成に近い高圧鋳造材ADC12合金では、微細な初晶 α -Al相と共晶相から構成されている。T6処理を施した半溶融成形と金型鋳造材および砂型鋳造材では、共晶反応により晶出した共晶Si（珪素）の形状が変わっているのを見てとれる。鋳造まま材で観察された針状または板状の共晶Si相が丸みを帯びるようになる。これらの粒状化した共晶Si相の大きさを比較すると、最も小さいのが、半溶融成形材となり、次いでGC(100)、GC(300)であり、砂型鋳造材のそれが最も大きく観察された。また、金型鋳造および砂型鋳造のT6材では、セル間隙に薄い灰色の針状のAl-Fe系化合物相が観察されるようになる（図中矢印）。このAl-Fe系化合物相も冷却速度が遅い砂型材で最も粗大であった。

3.2 曲げ特性

図2に曲げ試験結果を示す。ここで、最大点変位は、押し治具が試験片に当たってから最大曲げ荷重点に達した時の押し治具の変位量を示している。半溶融成形材、金型鋳造材では、鋳造まま材に比べてT5およびT6処理したものほど高い曲げ応力を示し、最大点変位は低下した。これは、熱処理に伴う母相強度

が高まったためである。半溶融成形材と金型鋳造材を比較すると、いずれの処理材ともに、半溶融成形材の方が、良好な曲げ応力および最大点変位を示した。T6処理した砂型材は、最も低い最大点変位を示した。高圧鋳造材では、曲げ応力は、鋳造まま材とT5材では、曲げ応力は、ほとんど同じ値であるが、最大変位量は鋳造まま材の方が低値であった。

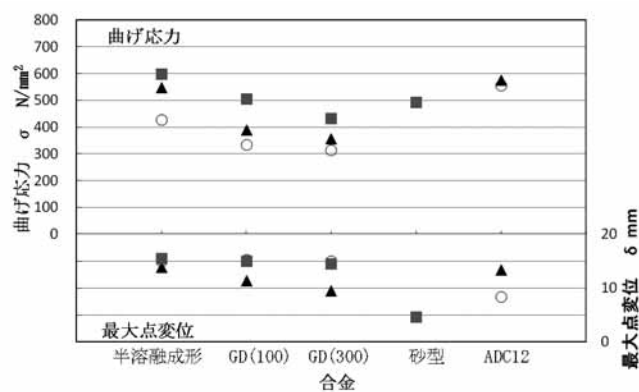


図2 曲げ試験結果

○：鋳造まま材、▲：T5、■：T6。

写真2には、試験後の試験片表面（最も変形した部分）の外観写真の一例を示す。高圧鋳造材では、いずれも亀裂が直線的に入っており、亀裂周辺の試験片表面は、綺麗な金属光沢となっており、塑性変形した痕跡が認められなかった。半溶融成形材、重力鋳造材GC(100)および砂型の試験片表面は、凸凹した塑性変形領域が観察され、半溶融成形材のそれは、いずれの重力鋳造材に比べて凸凹が小さく、均一に観察された。

図3には、支点間距離30mmにして負荷をかけて破断させた試験片の破断変位、写真3に破断した試験

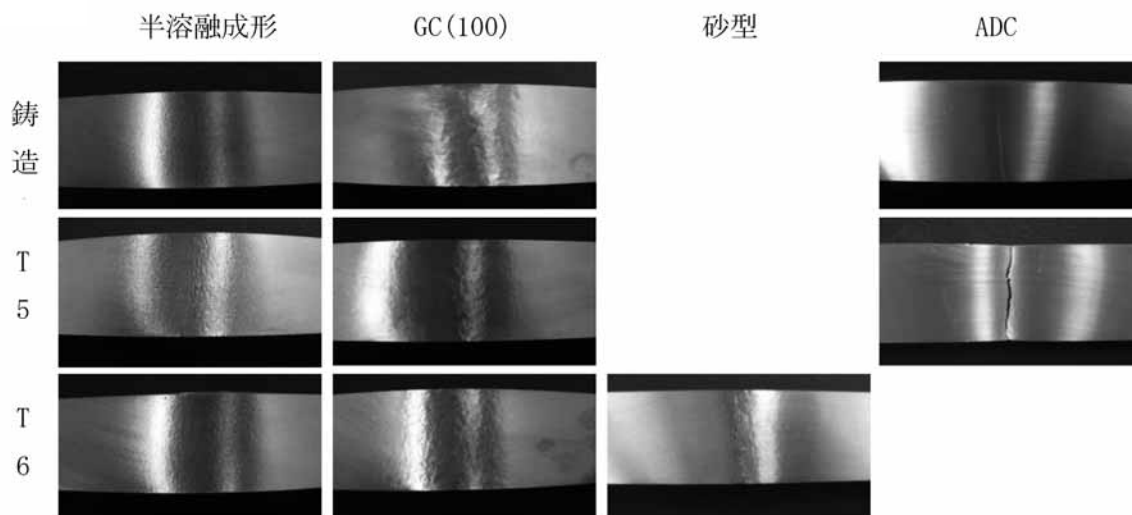


写真2 試験後の試験片表面

【報告】

片の外観写真を示す。破断変位は、V字に変形した試験片の山-谷間の実測値である。いずれも図2と同様な傾向を示すが、図2の最大点変位に比べて、半溶融成形材と重力铸造材の破断変位の差が大きくなっ

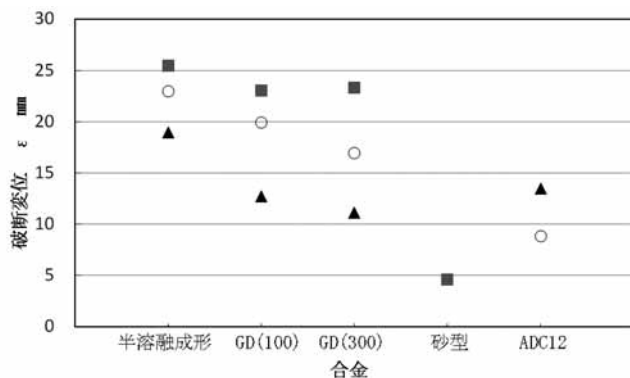


図3 破断変位

○：铸造まま材、▲：T5、■T6。

た。これは、半溶融成形材の方が、最大応力に達した後、破断するまで延性を維持できたものと考えられる。また、半溶融成形材および金型铸造材では、T6処理により破断変位が、顕著に大きくなった。このことは、T6処理することで図1に見られるように共晶Si相の粒状化が進み、亀裂が導入されても、亀裂の進展に対する変形抵抗が高まったためと考えられる。半溶融成形材は、金型、砂型铸造材および高压铸造材に比べて高い破断変位を示すことがわかる。これらの結果から、半溶融成形材は、重力铸造材や高压铸造材に比べて、曲げ応力が高く、亀裂の伝播に対する抵抗力が強い、じん性の高い材料といえる。

曲げ破断した試験片の横断面のマイクロ組織写真の一例を図4に示す。いずれも亀裂は、主に軟らかい α -Al相と共晶Si相の界面近傍を伝播している。半溶融成

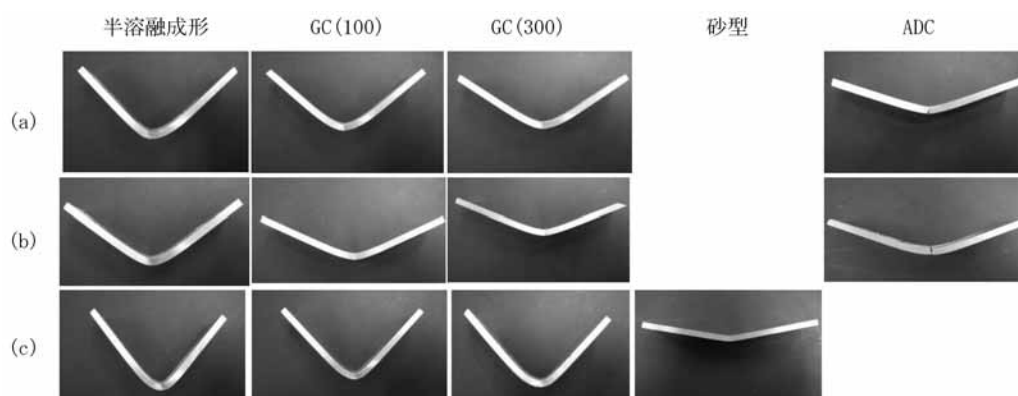


写真3 破断した試験片の外観写真

(a)铸造まま材、(b)T5、(c)T6。

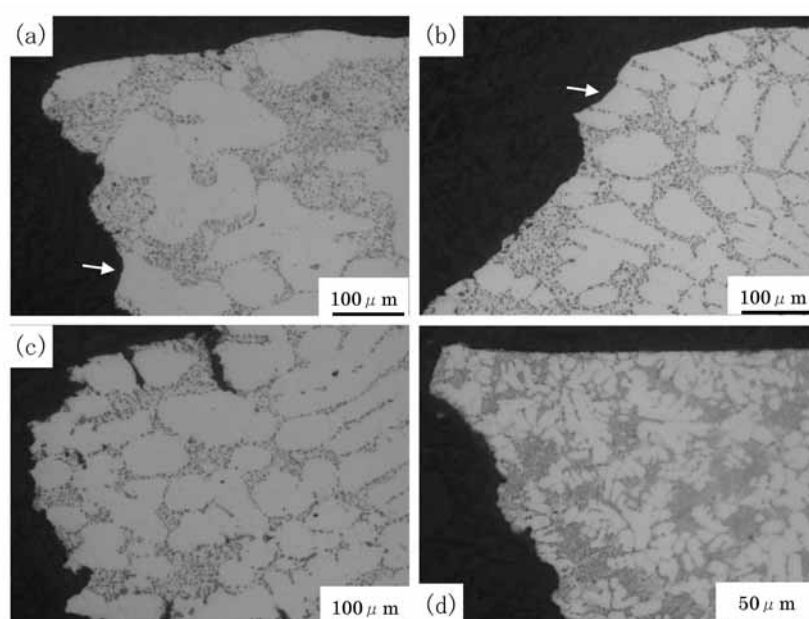


図4 破断した試験片の横断面のマイクロ組織

(a)半溶融成形 T6、(b)GC(100) T6、(c)GC(300) T6、(d)高压铸造 铸造まま材。

形およびGC(100)のT 6 材では、一部 α -Al相を貫いている部分も観察された（図中矢印）。本系合金のような亜共晶アルミニウム合金の機械的性質は、凝固時に晶出する共晶化合物相の性状、つまり大きさ、分布、量により影響される³⁾。共晶化合物相が大きいと、変形時に母相との界面近傍の応力集中が高まり、亀裂発生および亀裂進展が容易になり、伸びや延性が低下する。半溶融成形材の高い曲げ応力と変位は、共晶Si相およびAl-Fe系化合物相が微細であることから応力集中が生じ難くなること、亀裂の進展に対して組織中の軟らかい α -Al相が障害となるためと推察される。重力铸造材においても同様に共晶化合物相が大きいものほど、亀裂伝播が容易になるため、共晶化合物相の最も小さいGD(100)の特性が良く、冷却速度の最も遅い砂型材が、低い曲げ特性を示した。高压铸造材では、共晶組織が小さいものの、亀裂進展方向に対して障害となる初晶 α -Al相があまり存在せず、加えて亀裂の伝播経路となる共晶Si相の間隔も短く、一回亀裂が入ると、伝播が容易となり、最終的に破断に至る。そのため、半溶融成形材に比べて曲げ応力が高いものの曲げ変位量は

は小さくなると考えられる。

3.3 鑄肌の影響

図5は、曲げ強度に及ぼす鑄肌の影響を試験した結果である。試験は、半溶融成形材とADC12高压铸造材の鑄造まま材を用いた。いずれも曲げ応力は、曲げ表面を鑄肌面にする事で増加した。しかしながら、最大点変位は、半溶融成形材では加工面、高压铸造材では鑄肌面の方が高くなった。この要因は、図6に示す破断横断面のマイクロ組織から次のように考察される。高压铸造材では、試験片中央部（図1(d)）に比べて鑄肌近傍組織は、 α -Al相および共晶Si相とも微細に晶出している。これは、金型に流入した溶融金属は、鑄肌面から抜熱されるため、肉厚中央部に比べて鑄肌付近では凝固時の冷却速度が速まるためである。上述したように、これらの合金では、亀裂の発生は、母相と共晶相の界面近傍から生じ、共晶化合物相が大きいほど、界面近傍の応力集中が高まり、亀裂の進展が容易になると推測される。高压铸造材では、鑄肌面の方が、大きい変位を示すのは鑄肌付近の共晶相が微細であることから、亀裂発生および伝播に対する抵抗

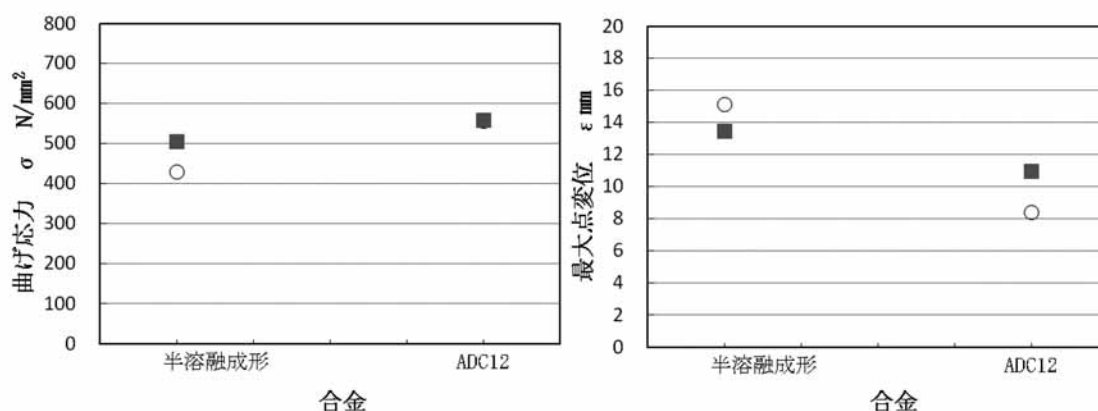


図5 曲げ特性に及ぼす鑄肌の影響

○：加工面、■：鑄肌面。

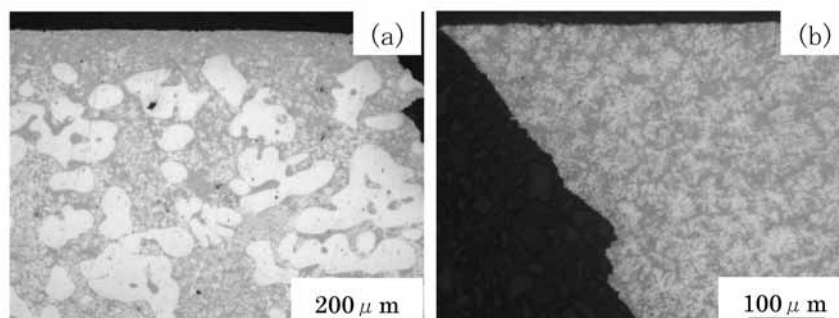


図6 鑄肌部近傍のマイクロ組織

(a)半溶融成形 鑄肌部近傍、(b)高压铸造 鑄肌部近傍。

【報告】

力が高まったためと考えられる。

一方、半溶融成形材では、鑄肌面近傍は、試験片中央部（図1(a)）に比べて共晶組織の割合が若干多く観察される。変形は、主に軟らかい α -Al相が担うため、鑄肌面近傍組織は、肉厚鑄造部に比べて亀裂伝播に対して、その抵抗力が小さいと見積もられる。そのため、半溶融成形材では、鑄肌面よりも加工面の方が、大きい変位を示したものと考えられる。

4 まとめ

半溶融成形した亜共晶Al-7%Si-0.4%Mg合金の曲げ特性を調べた。

- (1) 半溶融成形材の曲げ応力および曲げ変位量は、同組成の金型、砂型鑄造材およびADC12高压鑄造材に比べて大きい。このことは、本製法で製造した鑄物は、じん性が高いことを示している。
- (2) 半溶融成形材の組織は、粒状の α -Al相と微細な共晶組織から構成される。微細な共晶組織は、

亀裂の発生を妨げ、軟らかい α -Al相は、亀裂進展の障害となる。このことが曲げ特性を向上させた要因と考えられる。

本研究は、公益財団法人静岡県産業振興財団 平成29年度事業化推進助成事業の委託として(株)浅沼技研、東京工業大学、豊田工業大学および国立研究開発法人産業技術総合研究所との共同研究の一部として行われた。

参考文献

- 1) 鎌土重晴：軽合金の半凝固・半溶融加工, 軽金属, 50, pp.682-688 (2000).
- 2) 山本他：半溶融成形したAl-Si-Mg系合金の機械的性質に及ぼすCu添加量の影響, 第170回日本鑄造工学会全国講演大会概要集, p43, 広島(2017).
- 3) 神尾彰彦他：Al-Si合金, 「アルミニウムの組織と性質」, 初版 ((社)軽金属学会, 東京), pp.231-255 (1991).

TMAによる汎用非晶質プラスチック材料の熱履歴と熱的挙動の解析

材料科 吉岡正行 伊藤芳典

Analysis of thermal influence and thermal behavior of general-purpose amorphous plastic materials by TMA

Masayuki YOSHIOKA and Yoshinori ITOH

Recently, the demand for various plastic materials is increasing and the importance of evaluation and analysis of physical properties is increasing in the trend of worldwide weight-saving.

Troubles of destruction and breakage of plastic materials are often caused by "influence of thermal attack" that does not involve changes in appearance and hue.

Thermal analysis includes DSC (Differential Scanning Calorimetry), DTA (Differential Thermal Analysis), TGA (Thermal Gravimetric Analysis), TMA (Thermal Mechanical Analysis), etc. DSC is effective method to analyze thermal behavior especially. However, it is difficult to obtain useful and effective knowledge except "crystalline" plastic materials by DSC.

PS, ABS, PMMA, PVC, and PC are plastic materials that have been widely used because of their excellent cost performance, but they are representative "amorphous" plastics materials.

In this research, we investigated the usefulness and effectiveness of TMA as a method to obtain knowledge on "amorphous" plastic materials that have been received influence of thermal attack at the temperatures above the T_g .

As a result, in all of the five types of amorphous plastic materials subjected to the preheating treatment at the temperatures above the T_g , which showed shrinkage or very gentle expansion, in spite of the slope of the coefficient of linear expansion that becomes several times to several tens of times generally.

Keywords : thermal analysis, TMA, amorphous plastic materials

キーワード：熱分析、TMA、非晶質プラスチック材料

1 はじめに

輸送機器、産業用ロボット等をはじめとする各種産業分野における世界的な軽量化の流れを受け、各種プラスチック材料の需要は増加傾向にあり、新たなプラスチック材料の開発も積極的に行われている。それは同時に、プラスチック材料の物性評価・解析、とりわけ機器分析による不良不具合原因の解析の重要性も増すことに繋がると言える。

不良不具合原因は大きく分けて異物・異材の混入によるものと、材料自身の劣化・変質（製造時の残留歪みや熱ダメージ、経時に伴う配合剤の流露や溶剤・油剤の接触もしくは熱・紫外線によるダメージ）に分けられる。

前者については、近年当センターにおいてもフーリエ変換赤外分光分析（FT-IR）による分析・解析スキルの向上やオリジナルデータベースの充実により、原

因が特定できる場面が増えつつある¹⁾。

後者、特に熱による劣化・変質について、著者らは近年加熱劣化させた各種プラスチック材料の分析・解析結果のデータベース化を行い、褐色化・黒褐色化したプラスチック材料の同定も一部可能となった。しかしそのニーズは、目視でもわかるレベルで外観・色相の変化（褐色・黒褐色化）が生じる程度まで熱ダメージを受けた場合や状態に限られる。

このため、目視ではわからないレベルの熱履歴（成形時に受けた過剰な熱や、出荷後の使用環境下で受けた熱の痕跡）、とりわけガラス転移温度（ T_g ）以上の温度域で加熱を受け、熱ダメージを負ったか否か、劣化・変質が生じたか否かに関する知見を得る分析・解析手法が望まれている。

事実、材料の破壊・破損トラブルにおいて、強度低下をもたらす、成形時の残留応力や加熱による分子

【報告】

鎖の切断（分子量の低下）等は、外観や色相の変化を伴わない程度の熱ダメージによって生じるケースも多い。

一般に、プラスチック材料の熱履歴を知る手段としては、「熱分析」が最も有効とされており、広く用いられている。

熱分析には、Differential Scanning Calorimetry：示差走査熱量分析（DSC）、Differential Thermal Analysis：示差熱分析（DTA）、Thermal Gravimetric Analysis：熱重量分析（TGA）、Thermal Mechanical Analysis：熱膨張係数測定（TMA）等があり、中でもとりわけDSCによる融解・結晶化に伴う吸熱・発熱反応に関する熱的挙動の解析から熱履歴を知ることが有効とされている。しかし問題として、DSCでは融解挙動を呈するプラスチック材料、すなわち融点（ T_m ）を有する「結晶性プラスチック材料」でないと有用・有効な知見が得られにくいというデメリットがある。

PS（ポリスチレン）、ABS（アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン）、PMMA（ポリメタクリル酸メチル；代表的なアクリル樹脂の一種）、PVC（ポリ塩化ビニル）、PC（ポリカーボネート）は、その優れたコストパフォーマンスから幅広く利活用されているプラスチック材料であるが、これらは代表的な「非晶質プラスチック材料」である。

これらはDSCにおいて、 $60^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ あたりの温度域でガラス転移という二次の相転移を示す（分子の主鎖セグメントの結合軸まわりのミクロブラウン運動・回転運動が急激に活発になる）が、結晶性プラスチック材料の融解挙動ほどのドラスティックな分子運動を伴わない（流動しない）ためか、例えば T_g 以上の温度域で熱ダメージを受けたとしても、曲線の変化が小さく知見が得られにくいケースが多い。

そのため事実上、非晶質プラスチック材料の熱履歴、とりわけ T_g 以上の温度域で熱ダメージを負ったか否かについて調べる術は無かったが、著者らのグループにおける近年の取り組みにより、TMAで非晶質プラスチック材料においてもその知見が得られる可能性があることがわかってきた。

TMAとは、「試料に一定の荷重（圧縮or引張）を加えながら、雰囲気温度を変化させることで、熱膨張・熱収縮等の力学的性質（機械物性）や、ガラス転移挙動を評価・解析できる」機器分析手法である。そこにある通り、熱膨張・熱収縮という物性は、FT-IRやDSCでは熱履歴が現れない程度の熱量（温度×時間）を

受けた場合でも、敏感に変化・挙動を示す可能性がある。

そこで本研究では、非晶質プラスチック材料における熱履歴の解析手法としてのTMA測定の有用性・有効性について調べたので報告する。

DSCによる結晶性プラスチック材料の解析例

図1に、代表的な結晶性プラスチック材料の一つであるPP（ポリプロピレン； T_m =約 165°C ）に、低融点タイプのPP（ T_m =約 145°C ）がブレンドされていると思われるPP材のDSC曲線データを示す。

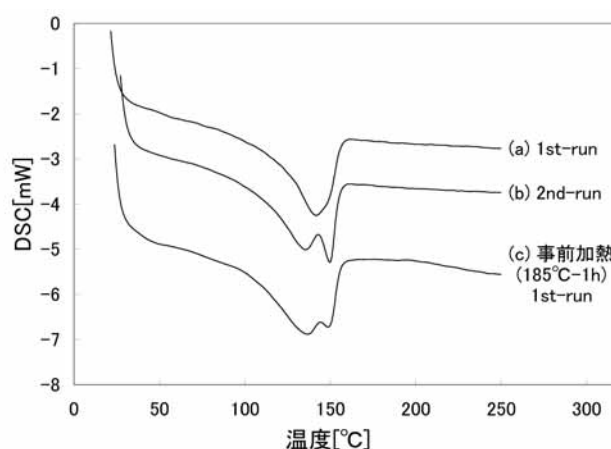


図1 PPブレンド材のDSCデータの例

(a)は熱分析で「First-run(1st-run)」と呼ばれる、そのサンプルについて初めて測定したデータであり、このPP材がDSC測定以前に最後に受けた熱履歴の情報を含むデータである。このFirst-runは極めて重要なデータであると同時に、これだけではこのサンプルの熱的性質に関する情報・知見は不十分ということになる。

(b)は、First-runを実施した結果、DSC装置内で融点以上の温度域にまで加熱された後、室温近くまで除冷された後、そのまま引き続き再測定したデータであり、「Second-run(2nd-run)」と呼ばれ、このPP材の「本来の熱的挙動」もしくは「熱履歴が消失した」データと言える。この測定によって、このPP材は明確に区別できる T_m の異なる2種のPPがブレンドされていることがわかったことになる。また同時にFirst-runで1本の幅広ピークが現れた理由として、通常、プラスチック材料であれば射出成型や押出成型の工程で溶融→急冷という履歴を受けるのが一般的であり、(a)はその急冷の影響によって融点の異なるPPがそれぞれ本来の結晶を形成するのに十分な時間と熱が与えられなかったためと説明できる。

そして(c)は、(a)と同一のPP材を、事前に電気炉で185℃-1h加熱後に徐冷したものをDSC測定したデータである。当然ながらこのサンプルは、DSC測定としてはFirst-runであるにもかかわらず、(b)のSecond-runと似た曲線となっている。

このことは、とある不良不具合品をDSC測定し、そのFirst-runの曲線がSecond-runと変わらない、もしくはOK品のFirst-runの融解挙動とは明らかに異なるということがわかった場合、 T_m 以上の温度に加熱され熱ダメージを受けたことが示唆されるといった有用な手がかりとなり得る。

しかし非晶質プラスチック材料では、たとえ予期せぬ熱ダメージを受けたとしても、DSC測定でFirst-runとSecond-runに顕著・有意な差異が無い、すなわちFirst-runから熱履歴に関する情報・知見が得られないケースが圧倒的に多いのである。

2 方法

本研究ではTMA測定の結果との比較のために、非晶質プラスチック材料のDSC測定についても実施した。

2.1 試料

市販のPS、ABS、PMMA、PVC、PCの板材 (t : 2 mm) から、DSCには3~4 mgになるよう採取したものを試料とし、専用のアルミパンに入れて測定に供した。TMAには5 mm×5 mmに切り出したものを試料とし、変位・ストローク測定用の石英棒との溶着を避けるため、共通のガラス板 (スライドガラスから5 mm×5 mmに切り出したもの) を乗せ、測定に供した。

2.2 装置及び測定条件

<DSC>

- ・熱分析装置DSC50 (株島津製作所)
- ・昇温速度: 10℃/min
- ・雰囲気: 窒素 (50mL/min)

<TMA>

- ・熱分析装置TMA50 (株島津製作所)
- ・測定モード: 圧縮荷重法 (荷重: 5 g)
- ・試料長(高さ): 全て 2 mm
- ・昇温速度: 10℃/min
- ・雰囲気: 窒素 (50mL/min)

今回、First-runデータから熱履歴を知ることが目的であることから、データは全てFirst-runとした。

2.3 事前加熱試験

2.1の5種類の試料について、磁性ルツボでそれぞれの T_g に対して-20℃、-10℃、+10℃、+20℃で

1時間ずつ加熱処理後徐冷したサンプルと未処理サンプルの計5点をTMA測定に供した。

3 結果

3.1 PSのDSC&TMA

図2、3に、種々の温度で加熱したPSのDSC曲線とTMA曲線を示す。

未処理品のTMA曲線は、温度が T_g を超えると、縦軸[μm]の傾きが数倍から数十倍になるという、典型的な非晶質プラスチック材料の挙動を示している。

DSC曲線では、 T_g 近傍やその前後の温度域で顕著・有意な差異は認められない。それに対しTMA曲線では、 T_g 以下の温度域で事前加熱処理したサンプルは未処理サンプル同様、試験温度が T_g を超えると顕著な膨張を示すのに対し、 T_g 以上の温度で事前加熱処理したサンプルは明らかな収縮を示した。

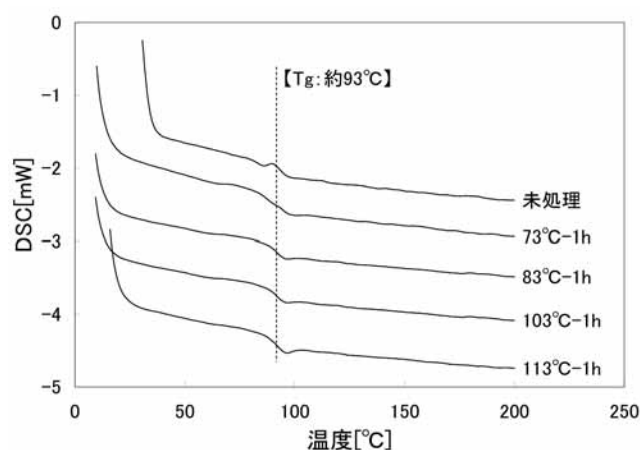


図2 PS材のDSCデータ

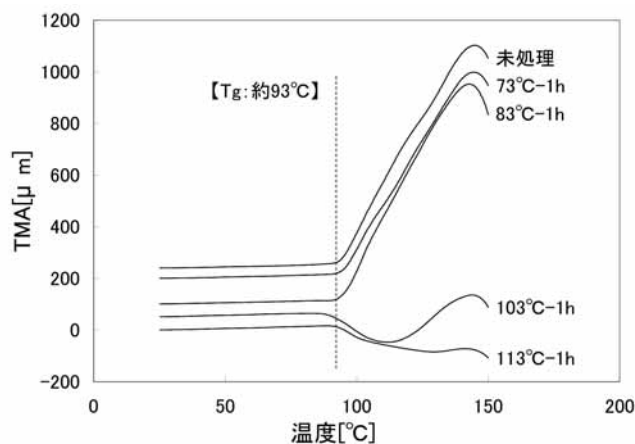


図3 PS材のTMAデータ

3.2 ABSのDSC&TMA

図4、5には、種々の温度で加熱したABSのDSC曲線とTMA曲線を示す。

【報告】

DSC曲線で、91℃-1h加熱サンプルの T_g 近傍での挙動と、121℃-1h加熱サンプルの120～130℃の挙動にわずかな特徴が認められる。しかし残念ながら融解挙動と異なり、ガラス転移挙動・メカニズムに関する情報や知見は極めて少ないため、これらの結果を考察し、材料の評価解析に活用することは現時点では困難である。

それよりも、TMA曲線ではPSと同様に、 T_g 以下の温度で事前加熱処理したサンプルは未処理サンプル同様、試験温度が T_g を超えると顕著な「膨張」を示すのに対し、 T_g 以上の温度域で事前加熱処理したサンプルは明らかな収縮を示した。

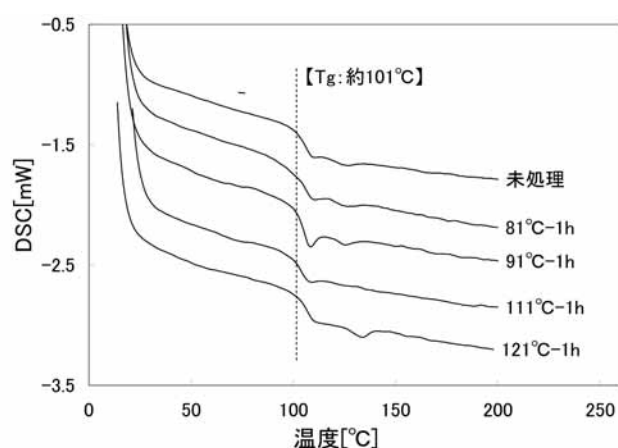


図4 ABS材のDSCデータ

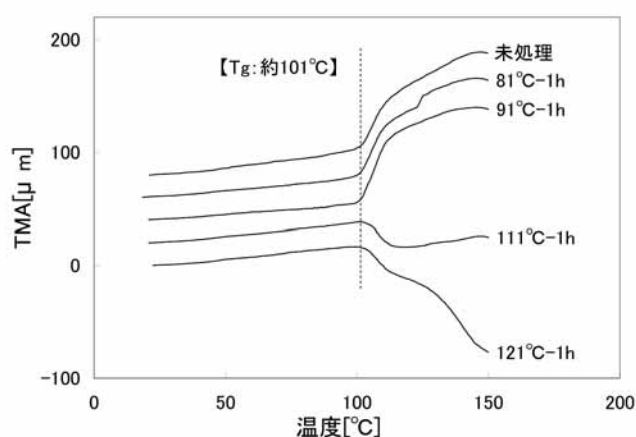


図5 ABS材のTMAデータ

3.3 PMMAのDSC&TMA

図6、7には、種々の温度で加熱したPMMAのDSC曲線とTMA曲線を示す。

DSC曲線では、顕著・有意な差異は認められない。

TMA曲線では T_g 以下の温度で事前加熱処理したサンプルは未処理サンプル同様、試験温度が T_g を超えると急激な膨張が続くが、 T_g 以上の温度域で事前加熱処

理したサンプルはPS、ABSとは異なり、わずかな収縮の後に緩やかな膨張を示すという特異的な挙動を呈した。いずれにしても、事前加熱処理温度が T_g を超えるか否かで有意な差異が現れることが確認できた。

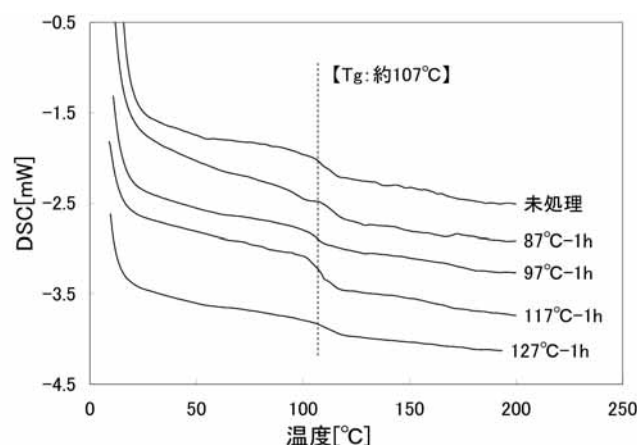


図6 PMMA材のDSCデータ

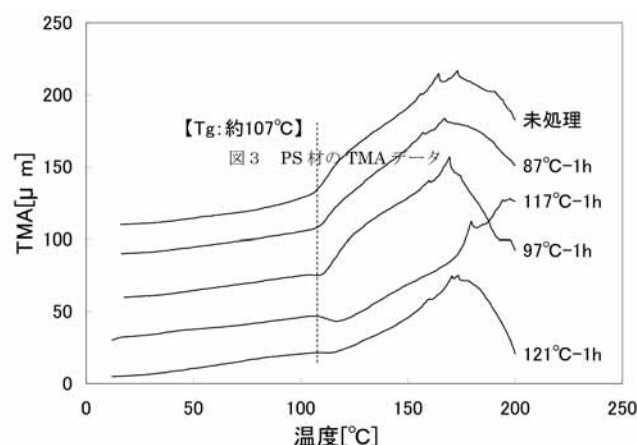


図7 PMMA材のTMAデータ

3.4 PVCのDSC&TMA

図8、9には、種々の温度で加熱したPVCのDSC曲線とTMA曲線を示す。

DSC曲線では、事前加熱処理サンプルのほとんどに、PS、ABS、PMMAでは認められなかった、約50℃での吸熱挙動が認められる。しかしABSと同様にこういった挙動に関する情報はなく、またその吸熱挙動は68℃-1hサンプルでは現れていないという再現性の乏しさからも、この結果を考察し、材料の評価解析に活用することは現時点では困難と考える。

TMA曲線では T_g 以下の温度域で事前加熱処理したサンプルは未処理サンプルと同様の膨張挙動を示すが、PS、ABS、PMMAほど顕著ではなく緩やかである。

それでも、 T_g 以上の温度域で事前加熱処理したサンプルは T_g を超えても一度も急激な膨張を示さず、わず

かではあるが収縮を示したことから、PVCでも事前加熱処理温度が T_g を超えたか否かについて知見が得られることが確認できた。

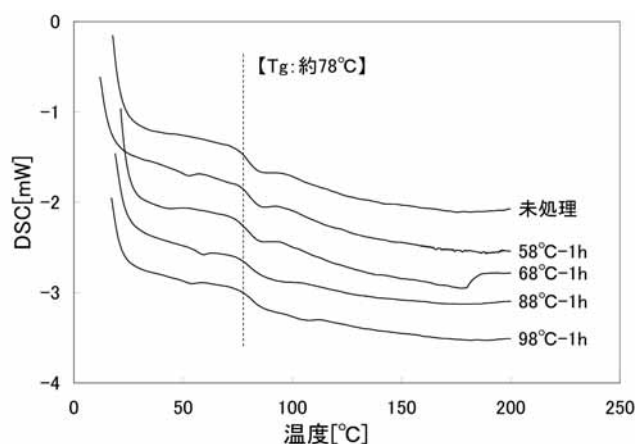


図8 PVC材のDSCデータ

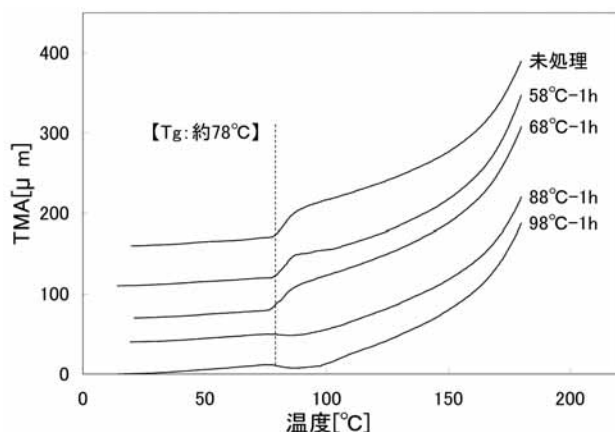


図9 PVC材のTMAデータ

3.5 PCのDSC&TMA

図10、11には、種々の温度で加熱したPCのDSC曲線とTMA曲線を示す。

DSC曲線では、顕著・有意な差異は認められない。

TMA曲線ではPS、ABSの場合と同様に、 T_g 以下の温度域で事前加熱処理したサンプルは未処理サンプル同様、試験温度が T_g を超えると顕著な膨張を示すのに対し、 T_g 以上の温度で事前加熱処理したサンプルは明らかな収縮を示した。

他の4種類のプラスチック材料と異なる点として、 T_g 以下（ -10°C ）の温度で事前加熱処理した $135^{\circ}\text{C}-1\text{h}$ サンプルの T_g を超えた後の膨張が未処理サンプルよりも顕著・有意に緩やかなことである。

さらにその $135^{\circ}\text{C}-1\text{h}$ サンプルそして $125^{\circ}\text{C}-1\text{h}$ サンプルについても、測定開始直後から T_g までの直線部分の傾きが未処理サンプルと区別できる程度の差異がある

ことから、このことも有用な知見となり得る。

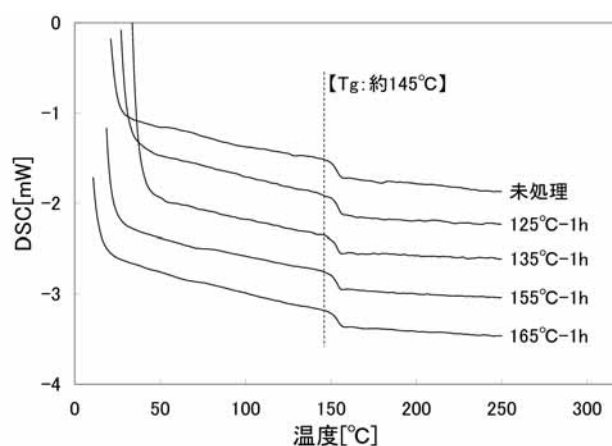


図10 PC材のDSCデータ

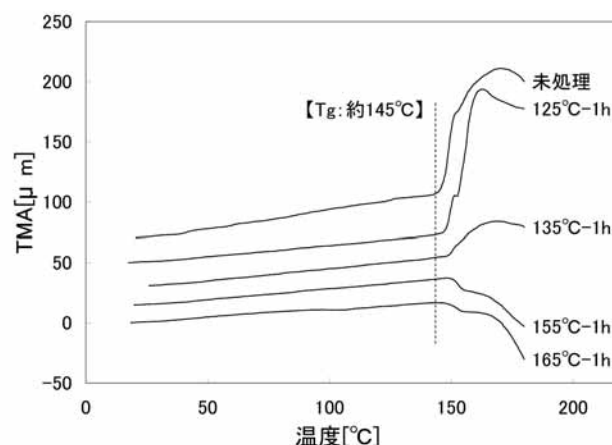


図11 PC材のTMAデータ

4 考察

5種類の非晶質プラスチック材料のTMA曲線における共通の挙動・事象として、事前に T_g 以上の温度で加熱処理&徐冷したサンプルは、TMA測定温度が T_g を超えると顕著な収縮もしくは緩やかな膨張を呈することを確認した。

一般的なプラスチック材料は前述のとおり、成形（射出成形や押出成形）された時の溶融→急冷工程において、程度の差はあれ必ず収縮しているため、TMA測定の T_g 以上では顕著な膨張を示すのに対し、事前に T_g 以上の温度域の加熱（→徐冷）を受けたサンプルは、当然ながら成形時の収縮によって生じていた応力が緩和されたり、緩和を乗り越えて膨張した状態になることも予想される。そのため、その後のTMA測定（First-run）において、 T_g 以上の温度域で顕著な収縮もしくは緩やかな膨張を呈すると考えられる。

その T_g 以上の温度域での挙動の違いは、主鎖や側鎖に「かさ高い」ベンゼン環を有するか否かによるとこ

【報告】

ろが大きいことが予想され、実際に分子鎖中にベンゼン環を有するPS、ABS、PCでは T_g を超えると顕著な収縮を、そして分子鎖中にベンゼン環を有さないPMMA、PVCが（若干の収縮の後の）緩やかな膨張を呈したことから説明できると考えている。

5 まとめ

これまで、目視では影響がわからないレベルの熱履歴に関する知見を得ることは、結晶性プラスチック材料のDSC測定以外は困難であると考えていたが、TMA測定を行うことで、非晶質プラスチック材料についても熱

履歴に関する知見が得られることがわかった。

今後は実際の材料において、TMAでわかる熱履歴と、実際の機械的強度の変化との相関・関連性について調べてみたい。

参考文献

- 1) 吉岡 他：金属材料・樹脂材料における不具合シミュレーションとデータ解析に関する研究[第5報]. 静岡県工業技術研究所研究報告，第5号，180-181(2012).

注染用防染糊材料の作用について

繊維高分子材料科 森田達弥 山崎利樹* 鈴木悠介 鈴木一之
武藤染工株式会社 武藤真和

On the effect of dyeing-resistant paste material for CHUSEN

Tatsuya MORITA, Toshiki YAMAZAKI, Yusuke SUZUKI, Kazuyuki SUZUKI and Masakazu MUTO

CHUSEN is a dyeing technology using a dyeing-resistant paste. The paste prevents dyeing reaction from dye injected. The paste is manufactured by adjusting blending of bentonite, rice flour, zinc salts and seaweed. But, it has two problems. First, zinc is an environmental regulation substance. Second, manufacturing cost of the paste is unstable due to fluctuation of seaweed harvesting amount. To solve these problems, we searched for alternative materials of zinc and seaweed. As a result, we found aluminum as an alternative material for zinc, polyvinyl alcohol as an alternative material for seaweed. We made dyeing-resistant paste blending these alternative materials, rice flour and attapulgite. It has good dyeing-resistant property.

Keywords : CHUSEN, dyeing-resistant paste

キーワード：注染、防染糊

1 はじめに

注染とは、布帛に型置きした防染糊で硫化染料等の染色反応を阻止する染色技法である。

防染糊は、職人の経験を基に、亜鉛塩、海藻、もち粉、上白粉、ベントナイト等の材料を配合し、防染性、糊置き作業性、脱糊性等が求められている。防染性は、亜鉛塩等が染料を凝集して染着を防ぐ化学防染性とベントナイトが染料の侵入を防ぐ壁を形成する物理防染性がある。糊置き作業性は、ヘラで防染糊を布帛にスムーズに塗布できることと、塗布した糊の形が崩れない性能が求められている。また、染色後の水洗で完全に防染糊を除去することから、脱糊性が必要である。

現行の防染糊は、環境規制物質である亜鉛が用いられていることや、海藻が収穫量の変動で価格不安定となり製造コストを圧迫していることから、新たな防染糊の開発が事業者から求められていた。

本研究では、亜鉛塩による染料の凝集性、ベントナイトの膨潤抑制作用、特定の材料を非配合とした糊による染色試験を行う等して材料が持つ防染作用を確認した。また亜鉛塩や海藻の代替材料の検索を行い、検索した代替材料を用いた防染糊を試作して、新たな防染糊の開発に取り組んだ。

2 方法

2.1 防染糊の評価について

防染糊の防染性と糊置き作業性の評価方法について検討した。

(1) 防染糊の作製

防染糊の作製は現行の配合により、硫酸亜鉛七水和物（和光純薬工業(株)製 特級 以下「Zn」とする。）、海藻（大曽根海藻工業(株)製）、もち粉（東海澱粉(株)製）、上白粉（安達糊料(株)製）等の材料を80℃の水に溶解し、温度を維持しながら30分混合した後、25℃まで下げ、ベントナイト（関ベン鉱業(株)製）を加えて、所定重量になるように加水調整した（表1）。

表1 現行の防染糊配合

材料	配合比(%)
硫酸亜鉛七水和物	1.3
海藻	3.4
ベントナイト	27.6
上白粉	2.6
もち粉	4.5
水	60.5

(2) 染色試験による防染性評価

染液は、硫化染料（旭染料製造(株)製 Pure Blue

*) 現 企業局西部事務所

2R)と水流化ナトリウム(株伊藤染料商店製)各10gを1000mLの水に溶解した。酸化液は100mLの水に過酸化水素(和光純薬工業(株)製 一級)1.6gと酢酸(和光純薬工業(株)製 特級)3.2gを加えて調製した。

染色試験には、ポリプロピレンフィルム($t=0.2\text{mm}$)を切り抜いて作製した型を用いて布帛(表2)に防染糊を塗布し、その上に布帛を重ねて防染糊の塗布する操作を繰り返して5枚1組の試験布を調製して用いた。染色試験は、試作した染色装置(図1)の漏斗に布帛を5枚、次に防染糊を塗布した試験布、その上に布帛1枚を順に重ねて置いた。60℃に加温した染液100mLを布帛の上から漏斗に注いで1分間静置後、1分間吸引し、次に吸引しながら酸化液200mLを注いだ。流水で試験布の防染糊を除去した後、常温で乾燥して試験布5枚の中央3枚の染色状態を目視で評価した。

表2 布帛

織物組織	糸番手		織密度(本/25.4mm)	
	タテ	ヨコ	タテ	ヨコ
平織	綿20 ^S	綿20 ^S	51	49

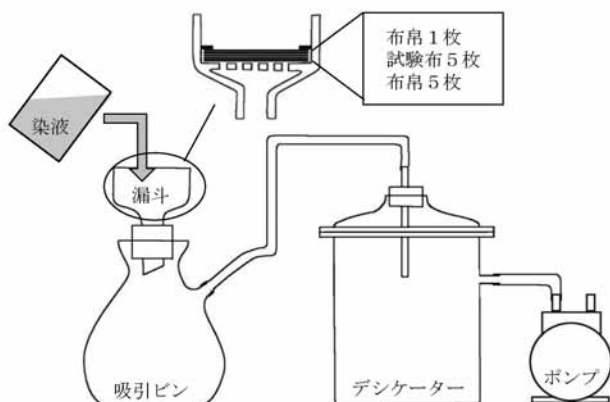


図1 染色試験装置模式図

(3) チキソトロピーインデックス(T.I.)による糊置き作業性評価

糊置き作業性は、ヘラで防染糊を布帛にスムーズに塗布できることと、塗布した糊の形が崩れない性能が求められるため、塗布する時は防染糊の粘度が低く、塗布後は形が崩れない粘度を維持することが望ましい。これは、せん断応力を受けた際に粘度が低下し、静置すると粘度が復元するチキソトロピー性と類似している。そこで、チキソトロピー性により評価するT.I.を糊置き作業性の評価とした。

T.I.を求めるため、表3に示した条件で粘度を測定

した。

表3 粘度測定条件

測定機器	VISCOMETER BL (東京計器株式会社製)
測定温度	24℃
ルータNo.	No.4
ルータの設置深さ	5 mm
試料口径	50mm

測定した粘度から、(1)式を用いてT.I.を算出した。
T.I.算出式

$$T.I. = (6 \text{ rpm時の粘度}) / (60 \text{ rpm時の粘度}) \cdots \cdots (1)$$

2.2 防染糊の材料の作用について

現行の防染糊の各材料と代替材料候補の防染作用を確認するため、各材料と代替材料候補による染料の凝集性とベントナイトの膨潤抑制作用を評価した。また、各材料の防染性、糊置き作業性との関係を確認するために、現行の防染糊から特定の材料を非配合とした糊を作製し、染色試験による防染性及びT.I.による糊置き作業性を評価した。

(1) 染料の凝集

現行防染糊の各材料の染料の凝集性を確認するため、Zn、海藻、もち粉、上白粉、ベントナイト等を1.0 wt%に調製し、80℃で30分間加熱した後、25℃まで冷却した。調整した溶液100gに硫化染料と水流化ナトリウム各0.2gを1Lの水に溶解した染液100mLを加えて混合して室温で2時間静置して染料の凝集状態を目視で確認した。

また、Znの代替材料候補とした硫酸アルミニウム14~18水和物(和光純薬工業(株)製 特級 以下「Al」とする。)、塩化カルシウム無水(和光純薬工業(株)製 一級 以下「Ca」とする。)、硫酸マグネシウム六水和物(和光純薬工業(株)製 特級 以下「Mg」とする。)は、静岡県浜松繊維工業試験場報告²⁾を参考に0.01、0.02、0.05、0.10wt%に調製して防染糊材料の試験と同様に染液を加え、Znによる染料の凝集状態と比較した。

(2) ベントナイトの膨潤抑制

現行防染糊の各材料、Znの代替材料候補としたAl、Ca、Mg、海藻の代替材料候補としたカチオンデンプン(日本食品(株)製 ネオタック40T)、グアガム(製造不明 LAMEPRINT DX-14)を水89mLに溶解して80℃で30分間混合した。25℃まで下げ、ベントナイト10.0gを分散して水で100gに調製し、室温下で2時間静置

して、ベントナイトの膨潤状態を目視で確認した。現行の防染糊材料は0.5、1.0wt%に調製し、Al、Ca、Mgは、0.05、0.10、0.20wt%に調製して同濃度のZnと比較した。カチオンデンプンやグアガムは海藻の配合量3.4wt%では粘度が高く評価しにくいことから、海藻の1/10、1/4配合量となる0.34、0.85wt%に調製し、同濃度の海藻と比較した。対照試料には、水100mLにベントナイト10.0gを分散させた試料を用いた。

(3) 防染糊における材料の作用確認

現行の防染糊において、特定の材料を非配合とした糊をそれぞれ作製し、染色試験及びT.I.を求めて材料の防染性、糊置き作業性を確認した。なお、ベントナイトは非配合と1.5倍量の糊を作製して評価した。なお、海藻はT.I.を低下させるため、海藻の代替材料にはT.I.の調整能力が求められる。そこで、海藻の代替材料候補であるグアガム、カチオンデンプンを水に分散し、T.I.を求めた。粘度測定は標準測定のルータ深さ、口径30mmの試料容器で測定した。なお、海藻は防染糊に配合している3.4wt%では粘度が低くT.I.が求めにくいことから5.0wt%で評価した。

2.3 代替防染糊について

Znと海藻の代替材料候補を用いた防染糊を作製し、防染性を評価した。

(1) 代替防染糊の作製と評価

代替防染糊は、現行の配合を基準に、Znの代替材料候補であるAl、Ca、Mgと海藻の代替材料候補であるグアガム及びカチオンデンプンにもち粉、上白粉を加え、80℃の水に溶解して温度を維持しながら30分間混合し、25℃まで下げベントナイトを加えて、所定重量になるように加水調整した。作製した代替防染糊を使用して染色試験を行い、防染性を評価した。また、布帛と糊の密着性を向上させるため、捺染糊に用いるポリビニルアルコール（和光純薬工業(株)製 重合度約1,500 以下「PVA」とする。）とメチルセルロース（信越化学工業(株)製 SM-25 以下「MC」とする。）を代替防染糊に添加して染色試験を行い、防染性を評価した。

(2) ベントナイトの代替材料の検索

新たな防染糊を作製するため、ベントナイトの代替材料の検索を行った。ベントナイトの代替材料候補としてゼオライト（カネサン工業(株)製 イズモゼオライト）、セピオライト（ネオライト興産(株)製 ミラクレーP-200W）、アタパルジャイト（ネオライト興産(株) MIN-U-GEL200）、珪藻土（ネオライト興産(株)製）を選定し、水に分散し

た際の膨潤性の確認とT.I.を求め、さらにベントナイトの代替材料候補を用いた防染糊を作製して染色試験を行い、防染性を評価した。水による膨潤性の確認は、ベントナイトとベントナイトの代替材料候補を5wt%に調製して室温条件下で2時間静置して、目視で膨潤状態を確認した。T.I.は、ベントナイトとベントナイトの代替材料候補を20wt%に調整して、口径30mmの試料容器を使用して標準測定のルータ深さで粘度を測定して求めた。対照試料にはベントナイト及び代替材料候補水溶液に膨潤抑制作用があるZnを1.0wt%配合した試料を用いた。ベントナイトの代替材料候補を用いた防染糊は現行の配合を基準にZnの代替材料候補であるAl、もち粉、上白粉を80℃の水に溶解して温度を維持しながら30分間混合し、25℃まで下げアタパルジャイトを加えて、所定重量になるように加水調整した。作製した防染糊を使用して染色試験を行い、防染性を評価した。また、防染糊の布帛との密着性及び保水力向上のためPVAを配合し、アタパルジャイトの分散性を向上させるため、事前に水に分散・ゲル化したプリゲルを用いた防染糊を作製して染色試験を行い、防染性を評価した。

3 結果および考察

3.1 防染糊の評価方法

(1) 染色試験による防染性の評価

図2に示したとおり、試作した染色装置で試験布に型どおりの染色をすることができた。

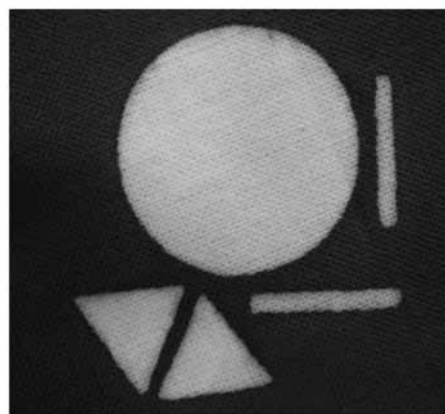


図2 染色した試験布

(2) T.I.による糊置き性の評価

現行の防染糊のT.I.を求めた結果、T.I.が 5.64 ± 0.51 であったことから、この数値を標準的な糊置き作業性のT.I.とした（表4）。

【報告】

表4 現行の防染糊の粘度とT.I. (n=8)

試料	粘度(mPa・s)		T.I.
	6rpm	60rpm	
測定値	21.5	3.88	5.64
標準偏差	±5.09	±1.12	±0.51

3.2 材料の防染作用の確認について

(1) 染料の凝集

図3及び4に示したとおり、Znは染料を凝集したが、もち粉や上白粉、海藻は染料を凝集しなかったことから、Znは防染性に寄与すると考えた。Alも染料を凝集したことから、Znの代替材料候補とした。



図3 各材料1.0wt%時の染料

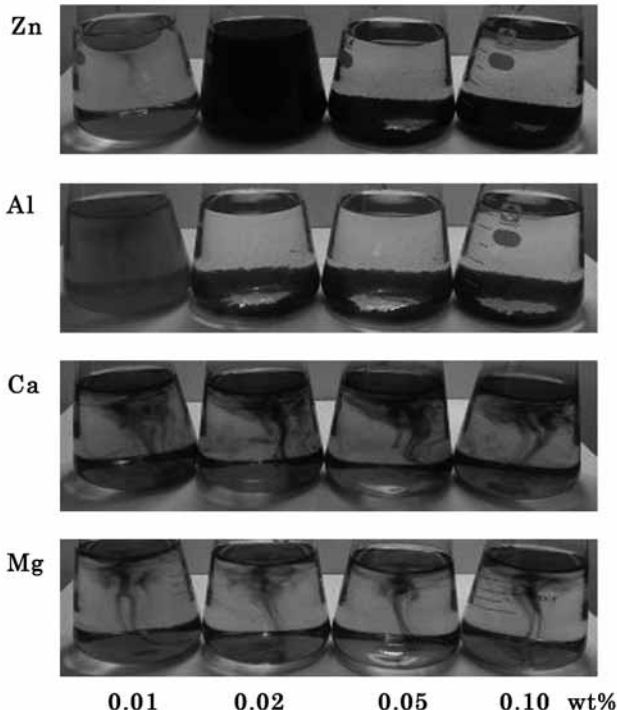


図4 Znの代替材料候補の染料凝集

(2) ベントナイトの膨潤抑制

図5～7に示したとおり、Znと海藻はベントナイトの膨潤抑制作用を確認できたが、もち粉と上白粉は確認できなかった。Al、Ca、Mg、グアガムもベントナイトの

膨潤抑制を確認できたことから代替材料候補とした。

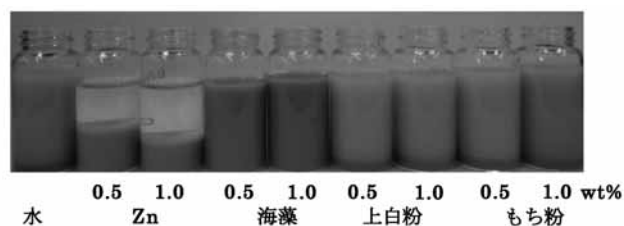


図5 各材料による弁とナイトの膨潤抑制

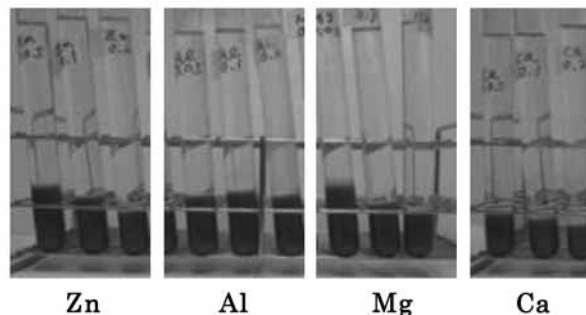


図6 Znの代替材料候補によるベントナイト膨潤抑制

左から0.05、0.10、0.20wt%

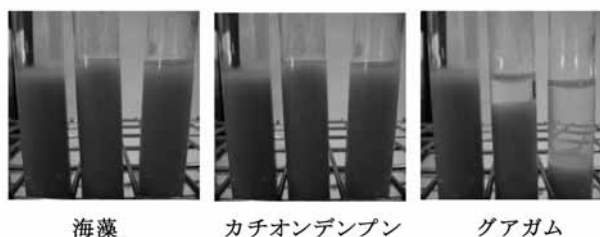


図7 Znの代替材料候補によるベントナイト膨潤抑制

左から0、0.17、0.43wt%

(3) 防染糊の材料の作用確認

染色試験の結果、Zn、海藻、もち粉が非配合の場合は防染性が低かったが、上白粉が非配合の糊は防染性に変化が見られなかった(図8)。また、ベントナイトが非配合の糊は防染性に変化は見られなかったが、ベントナイトの配合量を増加すると糊は防染性が低下した。このことから、Zn、海藻、もち粉、ベントナイトは防染性に作用し、上白粉は防染性に作用しないと考えた。ベントナイトが防染性を低下させる原因は、水でベントナイトが膨潤したことにより染料が侵入しやすくなったことが考えられた。

海藻、上白粉、もち粉が非配合の糊のT.I.は現行の防染糊より高い値を示したが、ベントナイトを非配合とした糊は現行の防染糊よりもT.I.が低かった。Znが非配合の糊は差がなかった(表5)。この結果から、海藻、もち粉、上白粉、ベントナイトが糊置き作業性に寄与していると考えられたが、T.I.を上昇させたのはベントナ

イトだけであったことから、糊置き作業性に影響しているのはベントナイトと考えた。

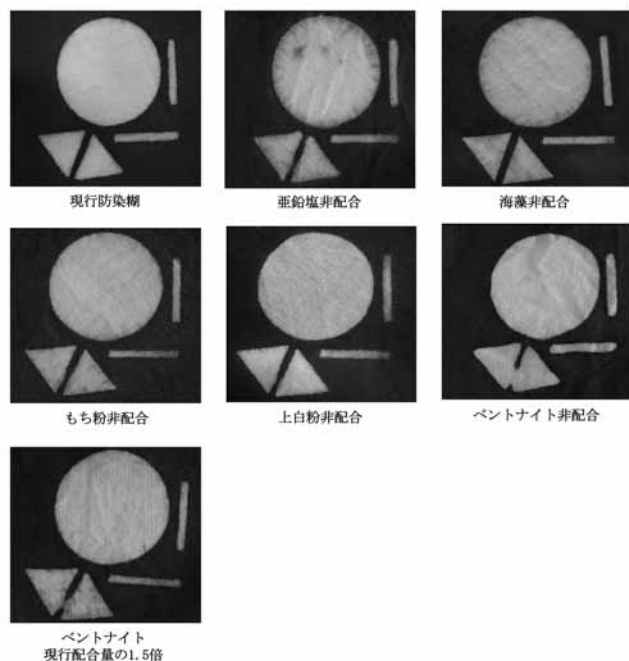


図8 各材料の防染作用の寄与

表5 各材料のT.I.への影響

糊	T.I.
現行の防染糊	5.64±0.51
Zn非配合	6.11
海藻非配合	7.39
ベントナイト非配合	3.00
上白粉非配合	6.23
もち粉非配合	6.21

グアガム、カチオンデンプンを水に分散し、T.I.を求めた結果、グアガムとカチオンデンプンを組み合わせることで、海藻と同程度のT.I.が得られたことから、グアガムとカチオンデンプンの組み合わせで防染糊のT.I.を調整することができると考えた(表6)。

表6 海藻と海藻の代替材料候補のT.I.

材料	配合比(wt%)	T.I.
海藻	5	2.63
カチオンデンプン	5	1.59
グアガム	5	2.96
カチオンデンプン	3.9	2.57
グアガム	2.3	

3.3 代替防染糊について

(1) 代替防染糊の作製と評価

ZnをAl、Ca、Mgに、海藻をグアガム及びカチオン

デンプンに代替した防染糊を作製して染色試験を行った結果、防染性は低かった(図9)。防染性が低かった原因は、布帛と糊の密着が悪く染料が侵入したためと考えた。PVAとMCを防染糊に添加して染色試験を行ったが、現行の防染糊の防染性までは改善しなかった(図10)。

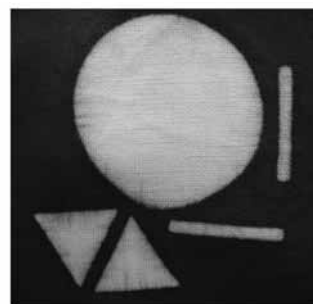


図9 Znと海藻を代替した糊の染色試験結果

ZnをAl、Ca、Mgに代替。海藻をグアガム、カチオンデンプンに代替。

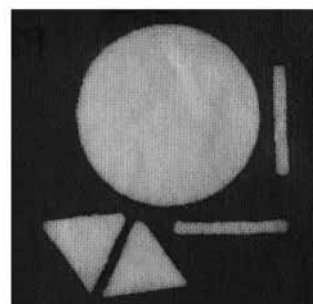


図10 PVAとMCを添加した糊の染色試験結果

ZnをAl、Ca、Mgに代替。海藻をグアガム、カチオンデンプンに代替。密着性を改善するためPVA及びMCを配合。

(2) ベントナイトの代替材料の検索

試験の結果、アタパルジャイトはベントナイトよりも高いT.I.を示したが、ゼオライトとセピオライト、珪藻土はT.I.が低かったことから、ベントナイトの代替材料候補から除外した(表7)。膨潤試験でアタパルジャイトは2時間静置しても膨潤しないことが確認されたことから、アタパルジャイトは海藻、グアガム、Ca、Mg等の膨潤抑制材料が不要であると考えた(図11)。

表7 ベントナイトの代替材料の候補水溶液T.I.

鉱物名	濃度(wt%)	T.I.
ベントナイト	20	6.31
ゼオライト	20	5.33
セピオライト	20	4.24
アタパルジャイト	15	7.74
	20	検出上限
珪藻土	20	検出下限

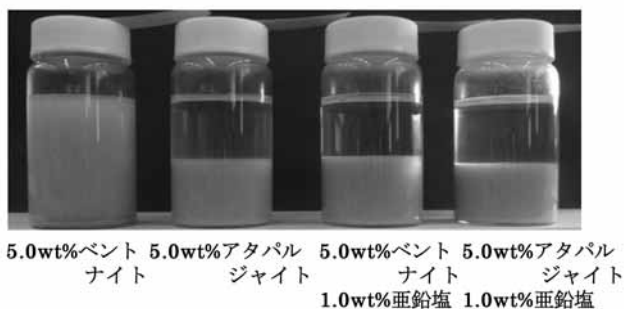


図11 アタパルジャイトの水膨潤性

Alとアタパルジャイトで海藻を配合しない防染糊を作製し染色試験を行った結果、「にじみ」が発生した(図12)。これは、アタパルジャイトが水に分散しにくいため、水が分離して防染性が低下したと海藻を配合しなかったことで、防染糊の密着性と保水力が低下したためと考えられた。

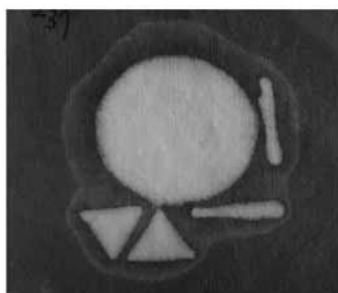


図12 アタパルジャイトを用いた染色試験

ZnをAlに代替。海藻非配合。ベントナイトをアタパルジャイトに代替。

防染糊の布帛との密着性及び保水力向上のためPVAを配合し、アタパルジャイトの分散性を向上させるため、事前に水に分散・ゲル化したプリゲルを用いて作製した防染糊は、染色試験で「にじみ」も確認されず防染性も良好でT.I.も現行防染糊と同程度の糊置き作業性を示していた(図13)。

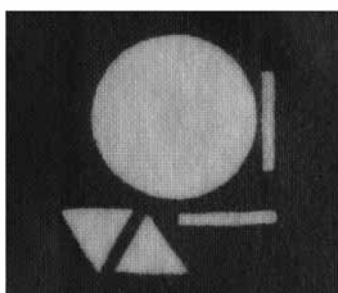


図13 開発品の染色試験結果

4 まとめ

亜鉛塩及び海藻の防染性への寄与が確認でき、Znと海藻、ベントナイトの代替材料を検索し、防染性が良好で糊置き作業性に優れた防染糊を開発することができた。

参考文献

- 1) 大場洋一 他：プリント配線板関連材料，「レオロジー工学とその応用技術」，初版（㈱フジ・テクノシステム，東京），中江利昭 監修，pp747-748（2001）．
- 2) 小杉敏巳：染色排水汚濁因子の低減に関する研究，静岡県繊維工業試験場報告，13，55-61（1975）．

金属線材のレーザー加工

光科 山下清光*
大石測器株式会社 大石仁一

Laser processing of metal wire

Kiyomitsu YAMASHITA and Niichi OHISHI

Keywords : guide wire, laser

キーワード：ガイドワイヤ、レーザー

1 はじめに

現在、カテーテルのガイドワイヤの先端成形加工は職人が一つ一つ、手作業で行っている。この方法は職人の経験と勘に頼るところが大きく、技術要素の数値化も難しいため、技術の継承が困難となっている。これらの課題を解決するため、先端成形加工の技術要素を数値化でき、専門性を必要としない、自動化できる新しい方法が求められている。しかし、新たな方法は、まだ、実用化されていない。

レーザーの制御は細かな条件を数値化可能であることと、一瞬で照射ができるという特徴があるので、加工時間の大幅な短縮が見込める。この長所に着目した業界の要望によりレーザーによる先端成形加工の予備実験を行ったところ可能性のある加工をすることができた。そこで、本研究ではレーザーで金属線材の先端成形加工を行い、新たな加工法としての可能性を検討した。

2 方法

実際に病院で使用されているガイドワイヤの金属線材を入手することが困難であったため、実験用の試料として直径0.2mmの金属線材（ステンレス）を使用した。レーザー装置は、レーザーの照射位置調整の1軸を省くことを目的として写真1に示すガルバノスキャナを搭載したファイバレーザー（中心波長1075nm）を使用した。実験構成を図1に示す。金属線材はその片側を治具で固定し、もう一方の片側を輪ゴムにより金属線材に引張力を加えることが出来る治具に固定した。金属線材の引張力の方向に対して垂直方向からレーザーを照射し、図1の紙面の奥から手前向きに走査した。金属線材がレーザーを吸収・溶融し、輪ゴムの引張力により切断される機構とした。



写真1 レーザー装置

左 ガルバノヘッド 右 レーザー本体とガルバノ制御装置

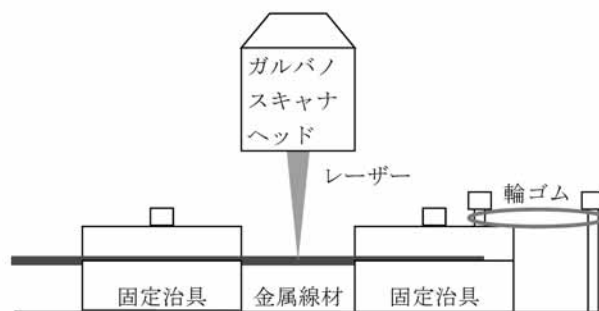


図1 実験構成図

照射条件は加工時間を短くするためレーザーパワーを本レーザー機器の最大出力の65Wとした。金属線材をレーザーの焦点位置に設置し、レーザー照射回数を1回とし、走査速度をパラメータにし、先端成形加工を行った。

*) 現 新産業集積課

3 結果および考察

写真2はレーザーの走査速度150mm/sで成形した金属線材の先端写真である。レーザーは写真の下から上へ走査したものである。半球状に成形できることを確認した。さらに、走査速度が加工状況に影響を与えることもわかった。例えば、走査速度が150mm/sより非常に高速に走査したとき金属線材の照射始まり側から屈曲することがわかった。また、走査速度を遅くした場合はレーザーによる入熱量が多くなるため、レーザー照射部が過度に酸化される状態になることがわかった。

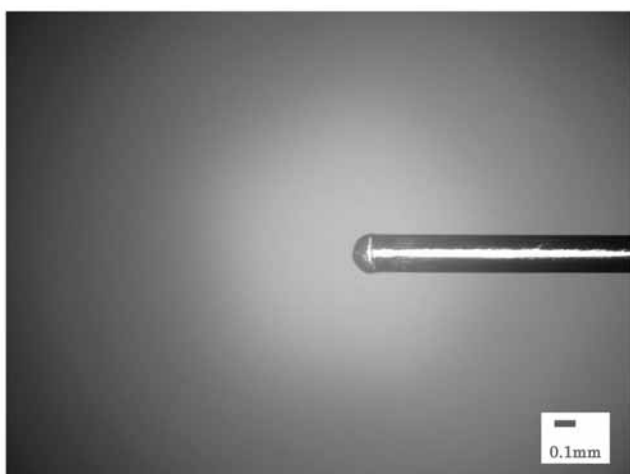


写真2 レーザーにより成形した金属線材

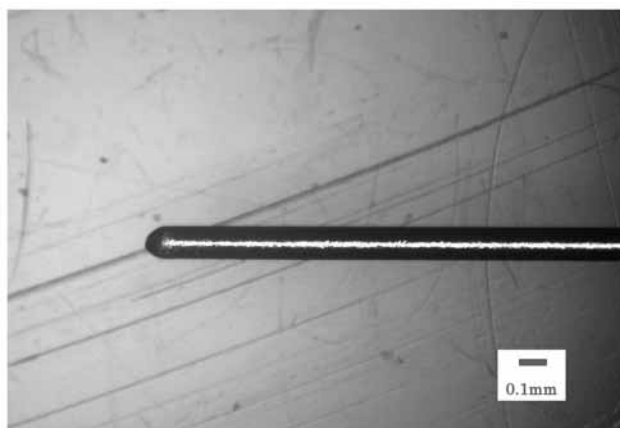


写真3 手作業により成形した金属線材

写真3は手作業で成形されたガイドワイヤの先端写真である。レーザーによる加工をこの形状にすることが目標となる。写真2と比べると写真3の方が尖がっていることがわかる。

4 まとめ

今回は、先端を半球状に成形できることを確認した。今後は、先端形状を目的の形状に制御する方法、再現性の向上、熱影響の低減の方法などを検討する必要があると考えている。また、今回の実験では擬似的に工業用の直径0.2mmのステンレス線材を使用したけど、実際に病院で使用されるガイドワイヤの金属線材での実験も行う予定である。

成形限界の簡易測定法の開発

機械科 長津義之*

Development of a Simple Measurement Method for Forming Limit Strains

Yoshiyuki NAGATSU

Keywords : high tensile strength steel sheet, sheet metal bending, sheet forming simulation, forming limit diagram
キーワード：ハイテン材、板曲げ加工、成形シミュレーション、成形限界線図、FLD

1 はじめに

自動車軽量化のために導入が進むウルトラハイテンは、伸びが小さく、プレス成形時に割れが発生しやすい難加工材である。そのため、現在多く用いられている板厚減少による割れ判定に替わり、より予測精度が高いといわれる、二次元的なひずみ限界を示す成形限界線図 (FLD) の活用が期待されている。FLD測定では、球または平頭パンチでサンプルを張り出して割り、割れ周辺の、予めサンプル表面に印したマークの形状変化によりひずみを測定する方法が用いられるが、大きな加工力のため、高額な専用設備を要するという問題がある。

本センターでは小型パンチと汎用的な材料試験機を用いた安価な測定法の開発を目指している。ここでは、まず軟鋼板を対象とし、サンプル形状及びその加工法並びにレーザーによるひずみ測定用マーキング法等について検証した結果を報告する。

2 方法

図1左の試験金型を精密万能材料試験機 (島津製作所製AG-250kN) に取り付け、パンチによってサンプルにひずみを与え、割れを発生させた。潤滑のため、パンチとサンプル間にPTFEシート (厚さ0.05mm) を用いた。サンプル形状は図1右で、くびれ部幅によりひずみ比を調整した。対象材料は引張強さ270MPa、厚さ0.8mmの軟鋼板 (0.2%耐力218MPa、一様伸び25%) を用い、サンプルの切り出しはワイヤカット放電加工及び炭酸ガスレーザーで行った。ひずみ測定用のマークは、サンプルの小型化にあわせ直径1mmの円形状とし、YAGパルスレーザー (ナビタス製ALFALAS SK-86) を用いた。マイクロスコープ (キーエンス製VHX-1000) で、割れ周辺の変形した円マークの長軸及び短軸長さ

を計測し、それぞれ最大主ひずみ、最小主ひずみとした。

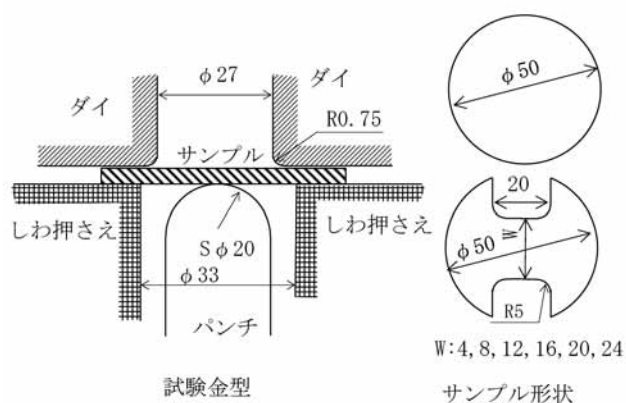


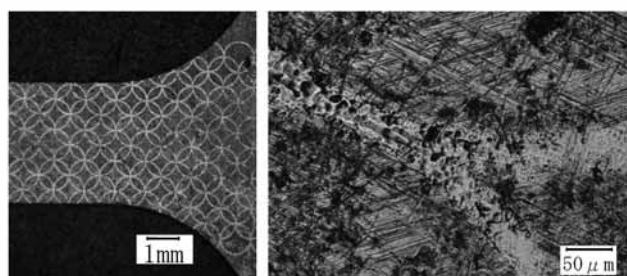
図1 試作金型及びサンプル形状

3 結果および考察

図2はレーザーマーキングのパターン及びマーク線の拡大図である。マーク線幅は30~50 μm 、深さは5 μm 以下と推測される。また、円形状サンプルの張り出し荷重を図3に示す。サンプルが割れた際の荷重及び押し込み量 (変形量) は、レーザーマークの有無による差がほぼなく、レーザーマーキングがサンプルの成形限界へ与える影響は微小と考えられる。また、PTFEシートが無い場合、摩擦によりひずみが局所的に集中し、早い段階で割れの発生が確認された。図4は、試験後のサンプルである。頂点付近が割れたサンプルは、割れ周辺のひずみの変化が小さいため、ひずみ測定が可能であったが、くびれ部幅が20mm及び24mmのサンプルは、ダイへの流れ込み部分で破断したため、測定不可能であった。測定したひずみに対する割れの発生を図5に示す。くびれ部幅が小さくなるほど、割れ発生時の最小主ひずみを小さく制御可能であること

*) 現 機械電子科

が確認された。また、サンプルの加工法では、ワイヤカットとレーザーで割れ発生の大きな差は見られなかった。



レーザーマーキング
で形成したパターン

マーク線

図2 レーザーマーキング外観

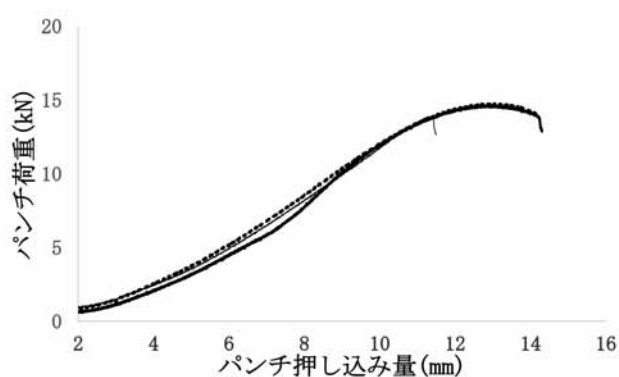


図3 ワイヤカット円形サンプル張り出し重荷

— 基準(レーザーマーク PTFE 使用)
- - - マークなし
— PTFE なし

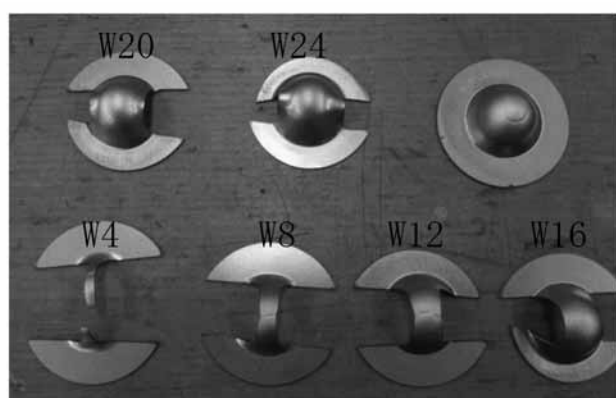


図4 割れを発生させたサンプル
Wはサンプルのくびれ部幅を示す

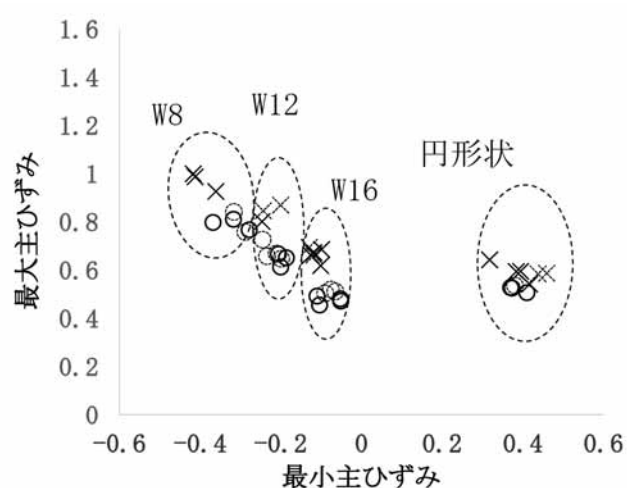


図5 最大及び最少主ひずみと割れの発生

× 割れ ワイヤカット
× 割れ レーザー
○ 割れなし ワイヤカット
○ 割れなし レーザー
○ サンプル形状 Wはくびれ部幅

4 まとめ

開発したFLD簡易測定法の検証を行った結果、決定したサンプル形状でひずみが制御可能であることと、レーザーマーキングによる割れ発生への影響が微小であることが示された。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご協力いただいたはままつ超ハイデン研究会の会員の皆様に深く感謝いたします。

製品バリエーションを考慮したパラメータ設計

— 熱変形シミュレーションによる軸受けモデルの事例—

機械科 針幸達也* 長津義之* 岩澤 秀* 長澤 正**

The Palameter Design Considering Product Variation

— The Case of Bracket Model by Simulation of Thermal Deformation —

Tatsuya HARIKO, Yoshiyuki NAGATSU, Shigeru IWASAWA and Tadashi NAGASAWA

Keywords : quality engineering, palameter design, product variation

キーワード：品質工学、パラメータ設計、製品バリエーション

1 はじめに

品質工学の最適化法であるパラメータ設計では通常機能をばらつかせる誤差因子の解析は行わない。誤差因子は有る物として受け入れ、誤差因子の存在下でも機能が発揮するように最適化を行うからである。しかし、経験のない新製品の開発初期段階ではどのような誤差がどの様に影響を及ぼすかは不明であることが多い。そこで今回、開発の初期段階を想定し、軸受けをモデルにして熱変形シミュレーションによるパラメータ設計を行い、最適化を行う設計パラメータである制御因子の解析だけでなく、誤差因子の解析も行い、製品バリエーションを増加させる手法を提案した。

2 方法

検討モデルとして軸を受けるホルダ部と取り付け部分のベース部からなる軸受けの3次元モデルを構造解析シミュレータSolidWorksによって作成した(図1)。25℃から125℃に昇温した時のホルダ部の熱変形による

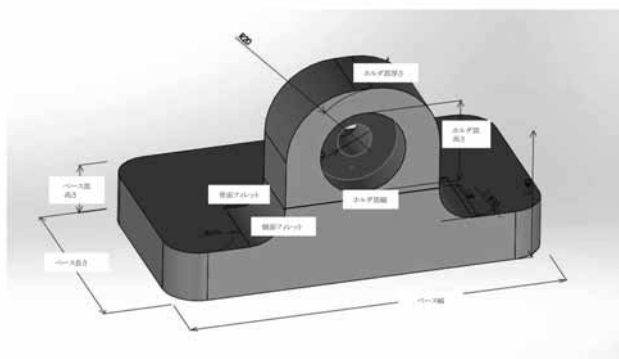


図1 検討した軸受けモデル

最大変位と倒れ量を評価項目としパラメータ設計を行った。その際、宇宙航空研究開発機構(JAXA)によって開発された品質工学の実験計画作成及び実験制御用ソフト(JIANT1)を用い、品質工学の手法を用いた実験と解析を行った。解析では通常のパラメータ設計のように制御因子を解析して熱変形に対する各寸法の寄与を求めた。さらに誤差因子の解析も行い、評価項目に影響がない誤差因子を求め、製品バリエーションを増加させるための因子とした。

3 結果

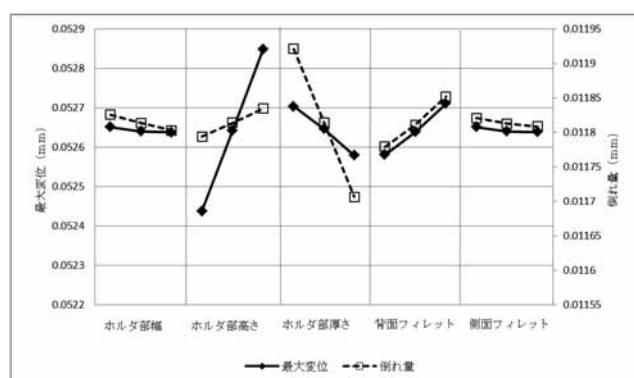


図2 制御因子の要因効果図

制御因子の解析の結果、図2の様な要因効果図が得られた。最大変位ではホルダ部高さ、倒れ量ではホルダ部の厚みが水準を変えたときの変化が大きく、寄与が大きいことが確認できた。また誤差因子の解析ではベース部の幅の寄与が小さく、水準を変化させても熱変形は小さいことが確認できた(図3)。

*) 現 機械電子科 **) 現 工業技術研究所 工芸科

【ノート】

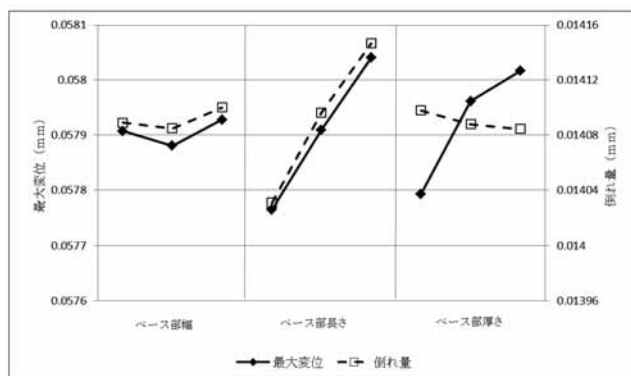


図3 誤差因子の要因効果図

4 考察

制御因子はホルダ部の幅と高さの寄与が大きく、わずかな寸法の違いでも熱変形が大きくなってしまので、製造時に厳しく管理する必要がある。また、誤差因子はベース部の幅の寄与は小さく、寸法を変えたとしてもホルダ部の熱変形量は小さい。このためベース部の幅の違う製品のバリエーションが可能であることが確認できた。

5 まとめ

軸受けをモデルとし、熱変形シミュレーションによる

パラメータ設計を行った。制御因子の解析では熱変形に対する寄与の大きい部分を特定し、重点管理項目を決定した。誤差因子の解析では熱変形に影響のない部分を特定し、製品のバリエーションとした。

謝辞

品質工学ツールJIAANTを提供していただいた宇宙航空研究開発機構（JAXA）安全・信頼性推進部の角有司様、解析結果の検討をしていただいた浜松品質工学会会員の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 角有司 他：製品情報と運用情報の組み合わせ探索による概念設計手法の研究（第3報：発散・収束プロセスによる最適設計システムの提案）、日本機械学会、第27回設計工学・システム部門講演会、2017.9.
- 2) 田口玄一：品質工学講座1、「開発設計段階の品質工学」、（日本規格協会、東京）、吉澤正孝編集pp.73-90（1988）

撥水処理における成膜条件の最適化に関する研究

材料科

鈴木智英子* 田光伸也

仲山貴金属鍍金株式会社

谷口 諒 仲山昌宏

Study on optimization of coating conditions in water repellent treatment

Chieko SUZUKI, Shinya TAKO, Satoru YAGUCHI and Masahiro NAKAYAMA

Keywords : water repellency, electroplating, water repellent finishing

キーワード：撥水、めっき、撥水加工

1 はじめに

撥水とは、水表面と物体表面の成す角（接触角）が90度以上を示す現象である¹⁾。撥水性を物体の表面に付与することは汚れや雪等の付着防止に役立つとされ、洗浄しなくて良い壁や雪掻きのいらぬ屋根、あるいは自動車や航空機におけるワイパーが必要ないウィンドウガラスの実用化が可能になるといわれている²⁾。

撥水性を付与する手法として、物体表面に金めっきをしたのちに撥水処理液に浸漬させることで、撥水化させる技術がある。しかしこの処理技術は未だ充分確立しているとはいえない。本研究では金めっきを利用した撥水処理条件の最適化を目的として、生産時に容易に変えられるパラメーターである浸漬時間、処理液濃度、浸漬後の洗浄方法の3項目に着目して最適条件の検討を行った。

2 方法

2.1 試料作製

銅のハルセル板にハルセル試験機 B-55（㈱山本鍍金試験器製）を用いて金めっきし、卓上光表面処理装置 PL16-110（セン特殊光源㈱製）を用いてUV照射を30分を行い、エタノールで洗浄した。この金めっき板を独自に調製した撥水処理液に浸漬させ、洗浄、乾燥を行い試料とした。

撥水処理における最適な浸漬時間、処理液濃度及び洗浄方法を検討するため、各項目における条件は表1のとおりとした。各項目において、浸漬時間20分、処理液濃度1倍、溶剤洗浄後に水洗することを基準条件とした。処理液温度は20℃一定とした。

表1 撥水処理の検討項目ごとの処理条件

項目	条件
浸漬時間	30秒, 1分, 5分, 20分(基準条件), 6時間, 24時間
処理液濃度*	0.25倍, 0.5倍, 1倍(基準条件), 5倍
洗浄方法	水洗, 溶剤洗浄, 溶剤洗浄+水洗(基準条件)

※仲山貴金属鍍金(株)により有効成分濃度を変えた処理液。通常用いている濃度を1倍(基準条件)とする。

2.2 接触角測定

調製した試料は液滴振動式撥水性評価システム（SAW&SPR-Tech(有)製）を用いて接触角を測定した。接触角の測定は全ての試料において金めっきの厚さが同じ位置で行い、表面粗さはフォームタリサーフインダクティブゲージ（アメティック(株)テラーボブソン製）で測定したところRa=0.13~0.22 μm であった。

3 結果および考察

浸漬時間と接触角の関係を図1に示す。いずれの条件でも接触角は110度を超え、浸漬時間が長くなると接触角が高くなる傾向にあった。しかし6時間と24時間

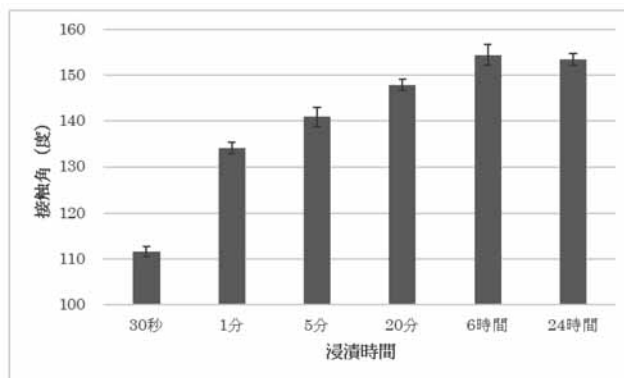


図1 浸漬時間と接触角の関係

各浸漬時間に対する接触角（mean ± SD）。処理液濃度は1倍とし、溶剤洗浄後に水洗を行った。

*) 現 沼津工業技術支援センター パイオ科

間の接触角に差はないため、浸漬時間は6時間で充分であると考えられる。

処理液濃度と接触角の関係を図2に示す。0.25倍から1倍にかけては濃度が高いほど接触角が高くなる傾向にあったが、5倍では接触角が低くなった。

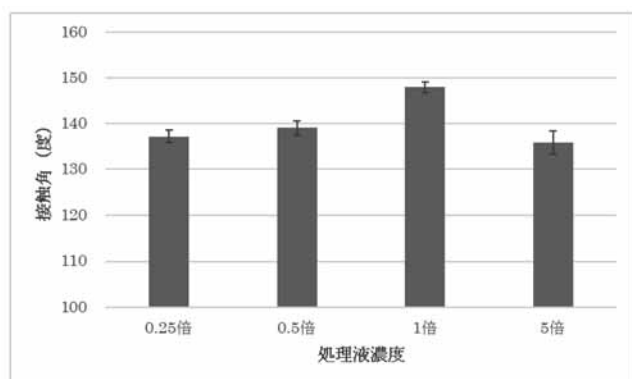


図2 処理液濃度と接触角の関係

各処理液濃度に対する接触角 (mean ± SD)。浸漬時間は20分とし、溶剤洗浄後に水洗を行った。

洗浄方法と接触角の関係を図3に示す。溶剤洗浄後に水洗を行った試料の接触角が最も高いが、水洗のみの試料との差はわずか3度であった。量産の際にはコストを重視して水洗のみの洗浄を用いることも考えられる。

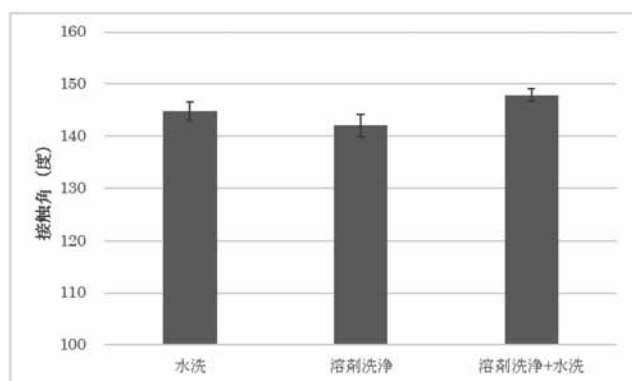


図3 洗浄方法と接触角の関係

各洗浄方法に対する接触角 (mean ± SD)。処理液濃度は1倍とし、浸漬時間は20分とした。

4 まとめ

金めっきを利用した撥水処理について、浸漬時間、処理液濃度、浸漬後の洗浄方法の3項目に関して最適条件を検討した。その結果、濃度1倍の処理液に6時間浸漬し、溶剤洗浄及び水洗を行った場合に最も高い接触角を示すことがわかった。

参考文献

- 1) 辻井薫：濡れはどのように決まるか？、「超撥水と超親水」，初版（米田出版，千葉），pp.23-34（2009）。
- 2) 辻井薫：超撥水表面実用化への道，「超撥水と超親水」，初版（米田出版，千葉），pp.161-167（2009）。

超短パルスレーザーピーンフォーミングによる薄板曲げにおける曲率半径の微小化

浜松工業技術支援センター 鷺坂芳弘 山下清光* 植田浩安

Reduction of Radius of Curvature in Thin-Sheet-Metal Bending by Ultrashort-Pulsed Laser Peen Forming

Yoshihiro SAGISAKA, Kiyomitsu YAMASHITA and Hiroyasu UETA

塑性と加工, Vol. 58, No. 679, 675-680(2017)

Keywords : bending, incremental forming, laser peen forming, ultrashort-pulsed laser, scanning velocity

キーワード : 曲げ、逐次成形、レーザーピーンフォーミング、超短パルスレーザー、走査速度

超短パルスレーザーピーンフォーミングはレーザー誘起衝撃波を利用した薄板成形法である。著者らはこの加工法を薄板微細部品の曲げ加工に適用した。曲げ加工は線走査を繰り返すことで行われる。しかし、急激な曲率を要求された場合、本法ではレーザーアブレーションによって無視できない板厚の減少が発生する。この板厚減少を抑制するには、曲げ効率を向上させ、必要な照射パルス数を減らす必要がある。そこで著者らは走査方法の改善によって曲げ効率の向上を試みた。総照射パルス数が一定という条件の下で、走査速度

と走査ピッチを変更した。得られた結果から、従来よりも速い走査速度の方が曲げ効率の点では望ましいことが判明した。さらに、曲率半径を小さくするために走査ピッチの縮小を試みた。曲げ効率への走査ピッチの影響は走査速度のそれよりかなり小さかった。曲げ効率と照射面の表面性状の評価結果から走査速度20mm/sが最適と判断された。最適な走査条件では従来より40%小さい曲率半径が達成できた。

なお、本稿はJ-Stageにて公開されている。

*) 現 新産業集積課

静岡県および浜松工業技術支援センター光科の取組み

浜松工業技術支援センター 鷺坂芳弘
静岡県 新産業集積課 高木一泰

Approach of Shizuoka Prefecture and Optics Division of Hamamatsu Technical Support Center

Yoshihiro SAGISAKA and Kazuyasu TAKAKI

レーザー加工学会誌, Vol. 24, No. 3, 143-147(2017)

Keywords : laser processing, optical measurement, public research organization, local government

キーワード : レーザー加工、光計測、公設試験研究機関、地方自治体

本稿は、静岡県西部地域の光関連産業を紹介する特集号に掲載された解説記事であり、静岡県および浜松工技支援センターの光産業振興への取組みについて紹介したものである。

静岡県では光産業を県西部地域の主要産業ととらえ、長年その振興に重点を置く政策をとってきた。平成29年には、光・電子産業への参入から世界展開までを一貫支援することを目的にフotonバレーセンターを開設した。これによりイノベーション創出と地域産業の活性化を目指していく。

一方、現地での県の技術支援機関である浜松工業技術支援センターには、光産業支援のための部署とし

て光科が設立されており、レーザー加工と光計測を中心に企業への技術支援を行っている。光のみを専門的に扱う部署は全国の公設試の中でも浜松にしかなく、当センターを特徴付けるものとなっている。

光科の技術支援の内容として、技術相談の実績、光関連の設備の紹介や設備使用の方法、さらには人材育成として光産業創成大学院大学主催のレーザー中核人材育成事業に参画していることについて解説した。光科の研究としては、樹脂のレーザーカラーマーキング、樹脂のレーザー染色、透明樹脂のレーザー溶着、超短パルスレーザーピーンフォーミング、透明体内部の均質性可視化技術について紹介した。

超短パルスレーザーピーンフォーミングによる薄板のダイレス曲げ

浜松工業技術支援センター 鷺坂芳弘

Die-less Bending of Thin Sheet Metals by Ultrashort-pulsed Laser Peen Forming

Yoshihiro SAGISAKA

ぶらすとす, Vol. 1, No. 3, 180-184(2018)

Keywords : laser peen forming, die-less bending, thin-sheet-metal, ultrashort-pulsed laser,
laser induced shock wave

キーワード : レーザーピーンフォーミング、ダイレス曲げ、薄板、超短パルスレーザー、レーザー誘起衝撃波

これまで塑性加工においては金型が不可欠とされてきた。しかし、近年、産業形態の変化や金型にまつわるコストの低減要求によって、金型の削減までもが課題と認識されつつある。著者らはこれまでレーザー誘起衝撃波を成形力とする塑性加工法を研究してきた。これらは金型を使わない塑性加工であり、金型削減の要求に対するひとつの回答となりうるものである。

本稿では、それらの中から超短パルスレーザーピーンフォーミングによる薄板曲げを取り上げた。本法は金型を全く用いない非接触な逐次曲げ加工であり、スプ

リングバックが生じないなど、既存の曲げ加工にはない興味深い特徴を有している。本稿ではその加工原理や特異な加工特性について解説した。

一方、本法の課題は、まだ用途探索に苦慮しており、実用化が出来ていないことである。その原因としては、レーザー発振器が高価なこと、加工出来る板厚が現在の主流の板厚に対して薄すぎるなどが挙げられる。しかし近年、安価で高エネルギーのレーザーが開発されつつあり、これらの適用によって実用化に近づけるのではないかと期待している。

静岡県工業技術研究所研究報告 第11号

平成30年10月（2018年）

編集・発行 静岡県工業技術研究所
企画調整部・編集委員会

〒421-1298 静岡県静岡市葵区牧ヶ谷2078番地

電 話（054）278-3028

FAX（054）278-3066