

4G 周波数帯等の 5G への転用に対応した電波吸収材の開発

清家 翼 浦元 明 柳 大介* 西内正樹*

Development of radio wave absorbers for 5G

SEIKE Tsubasa, URAMOTO Akira, YANAGI Daisuke and NISHIUCHI Masaki

高速かつ低遅延での移動通信が可能な 5G（第 5 世代移動通信システム）を活用したサービスが開始され、自動運転や遠隔医療などの多分野での普及が進んでいる。そのような中、安定的な通信環境の維持のために 5G 周波数帯域に対応した電波吸収材の開発が望まれている。

本研究では鉄をベースとした材料をもとに、5G への転用が進む、4G 周波数帯（3.5GHz 帯）や移動体通信への活用が期待されている 40GHz 帯の吸収特性を有する電波吸収材を試作し、電磁波の入射角度や環境温度の変化、劣化に対する電磁波吸収特性を明らかにした。結果、鉄をベースとする材料が電磁波吸収材として有効であることを確認した。

キーワード：5G、電波吸収材、電波干渉、鉄系、温度特性、加速劣化

はじめに

電波吸収材は、ミリ波レーダーを搭載した自動車、家電やスマホ内部における電波干渉によるノイズ対策として広く利用されている。近年、高速かつ低遅延での通信が可能な 5G の利用が始まり、安定的な通信環境の維持のために 5G 周波数帯域に対応した電波吸収材の開発が望まれている。

本研究では、5G への転用が進む周波数帯（3.5GHz 帯、40GHz 帯）に対応する鉄を混練した電波吸収材を試作し、電波の入射角度に対する吸収特性を評価した。吸収特性は暗室内でスタンダードガイドホーンアンテナを用い測定評価を実施した。また、温度変化に対する吸収特性や、加速劣化させた電波吸収材の吸収特性を計測したので報告する。

実験方法

1. 電磁波吸収材料

実験に供する材料として、本研究で試作した、カルボニル鉄粉とシリコンを混練した電波吸収材を使用した。

2. 電波の斜入射に対する吸収特性評価

電波吸収材の吸収特性を評価するために、図 1 に示す測定系により吸収特性を測定した¹⁾。

送受信アンテナに直線偏波アンテナであるスタンダードガイドホーンアンテナを使用して、入射角度を 10 度～50 度まで変化させて TE 波および TM 波における吸収特性を評価した²⁾。測定周波数範囲を 3.0～5.0GHz、33GHz～52GHz とし、電波吸収材のサイズは、アンテナの放射パターンと測定距離（3.5GHz 帯は 1.4m、40GHz 帯は 0.3m）から 3.5GHz 帯は 1000mm×1000mm、40GHz 帯は 200mm×200mm とした。入射角度が広がると測定対象である電波吸収材からの反射波と送受信アンテナからの直接波とを分離する必要があり、ネットワークアナライザ（Keysight 社 E4991A）のタイムゲート機能により、測定対象からの反射波のみを選択する手法で測定した。なおタイムゲートは、1ns に設定して測定評価を行った。

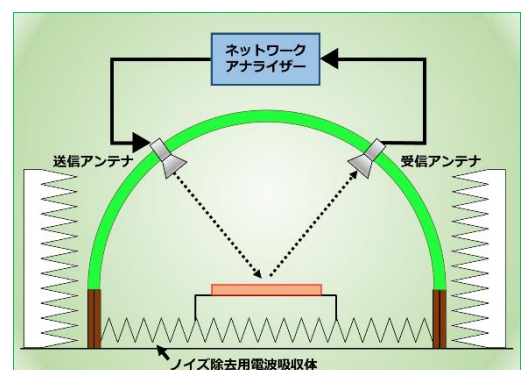


図 1 斜入射特性の評価測定図

*株式会社タケチ

この研究は、「5G 活用イノベーション創出事業」の予算で実施した。

3. 吸収特性の理論計算

本研究で評価した電波吸収材の構造は単層型電波吸収材に分類され、その基本構造は図2のとおりである。ここで電波吸収材の吸収特性を表す反射係数 $\dot{S}$ は以下の式で求めることができる。

$$\dot{S} = \frac{(\dot{Z}_{in}-1)}{(\dot{Z}_{in}+1)} \quad (1)$$

また、図2について電磁波吸収理論³⁾により、電波が吸収材表面に対して垂直に入射し、その入射方向に反射する場合、吸収材の複素比誘電率 $\dot{\epsilon}_r$ 、複素比透磁率 $\dot{\mu}_r$ で表した特性インピーダンス $\dot{Z}_{in}$ (Ω) は以下の式で表すことができる。

$$\dot{Z}_{in} = \sqrt{\frac{\dot{\mu}_r}{\dot{\epsilon}_r}} (\tanh j \frac{2\pi d}{\lambda_0} \sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r}) \quad (2)$$

ただし、 d : 吸収層厚 (m)、 λ_0 : 自由空間の波長 (m)

斜入射の場合、入射波の偏波によって異なる。そのため、TM波とTE波に分けて考える (図3)。

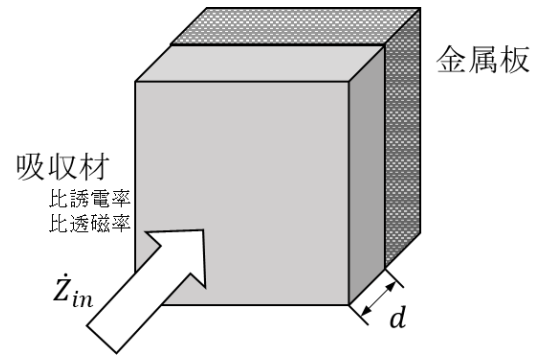


図2 電波吸収材の基本構造

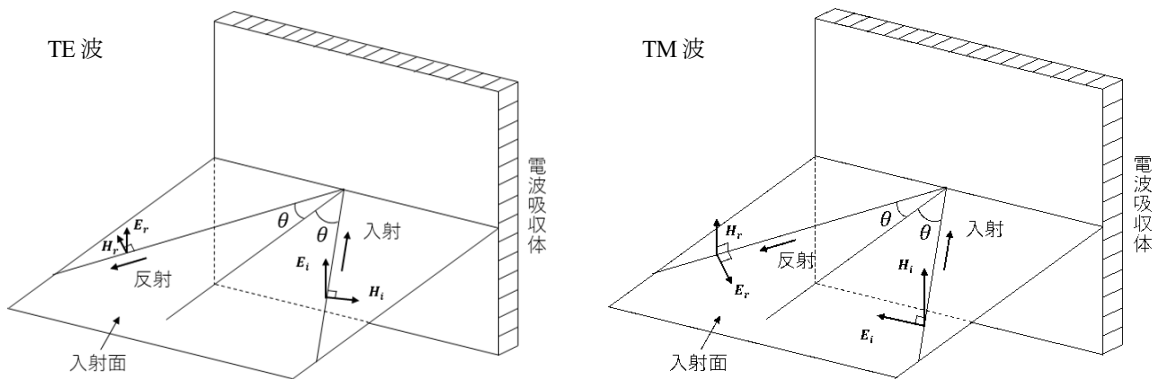


図3 入射電波の偏波の違い

<TE波>

$$\dot{S}_{TE} = \frac{(\dot{Z}_{TE}-1)/\cos\theta}{(\dot{Z}_{TE}+1)/\cos\theta} \quad (3)$$

$$\dot{Z}_{TE} = \frac{\dot{\mu}_r}{\sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2\theta}} (\tanh j \frac{2\pi d}{\lambda_0} \sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2\theta}) \quad (4)$$

<TM波>

$$\dot{S}_{TM} = \frac{\dot{Z}_{TM}-\cos\theta}{\dot{Z}_{TM}+\cos\theta} \quad (5)$$

$$\dot{Z}_{TM} = \frac{\sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2\theta}}{\dot{\epsilon}_r} (\tanh j \frac{2\pi d}{\lambda_0} \sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2\theta}) \quad (6)$$

式(1)～式(6)より、反射係数が零になるよう設計することで最適な吸収特性が得られる。そこで、電波吸収体に混合する磁性体の混合比や厚さを最適化し、最も吸収量に優れたシートサンプルの吸収特性を評価した。

4. 電波吸収材の温度特性評価

電波吸収材の温度特性を評価するために、図1の測定法に温度制御装置を加えた測定系を図4に示す⁴⁾。3.5GHz帯の電波吸収材について、図2の金属板の裏面に150mm×150mmおよび100mm×100mmのラバーヒーター (スリーハイ社SR100) を5箇所貼り付けて加熱した。制御温度は常温から20、30、40、60、80℃とし、各温度での吸収特性を測定した。吸収材の温度は放射温度計 (CUSTOM社CT2000N) で吸収材表面の中心部分を測定した。

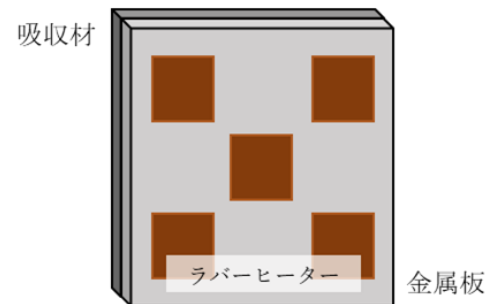


図4 温度制御装置を加えた測定系

5. 加速劣化させた電波吸収材の吸収特性評価

40GHz 帯の電波吸収材について、劣化による吸収特性を評価するために、加速寿命試験により高温高湿下で加速劣化させた電波吸収材の吸収特性を図1の測定方法で調査した。

加速寿命試験はアイリング・モデル⁵⁾から電波吸収材の寿命を推定し、110℃85%RH 環境下で 50 時間毎に外観の劣化具合を観察した後、さらに吸収特性を測定することとした。加速寿命試験器 (ESPEC 社 TPC-411D) の槽内に電波吸収材を図5のように設置し、試験後は定位置で同条件の撮影環境において外観を観察した。吸収特性の測定環境は図1と同手法で、垂直入射の S11 を測定することとした。



図5 加速寿命試験の様子

結果と考察

1. 電波の入射角度に対する吸収特性

電波吸収材の吸収特性を図1の測定系により電波暗室内で測定した。吸収特性の測定手順は、測定対象である吸収材と同じサイズの金属板をサンプル台に設置し、次に吸収材を同じ位置に設置して同様の測定を行い、金属板と吸収材との反射波の差から吸収特性を求めた。この測定法では、測定対象である金属板と吸収材からの反射波のみを正確に測定することが重要であり、タイムゲート機能により測定対象からの反射波のみを選択し測定した。入射角度が変更しても変化しないピークが測定対象からの反射であり、送受信アンテナ間での干渉波によるピークや多重反射などの不要な反射波を除くために、今回の測定では 1ns のゲート幅を設定し、吸収特性を評価した。

各入射角度における TE 波、TM 波の測定結果を図6、7に示す。

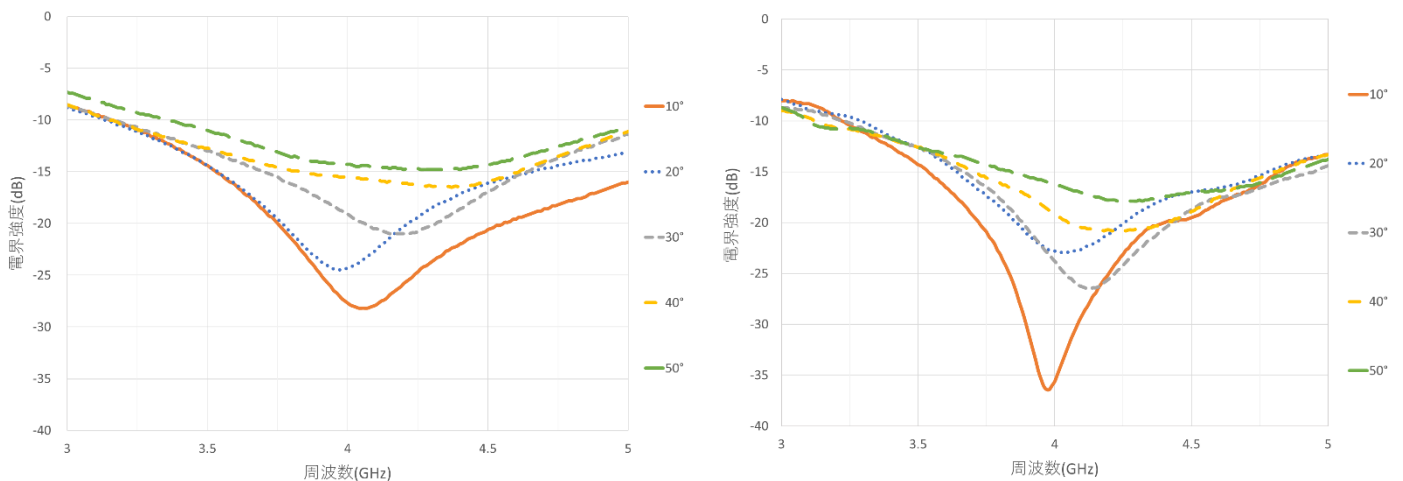


図6 3.5GHz 帯対応電波吸収材の各入射角度に対する吸収特性 (左: TE 波、右: TM 波)

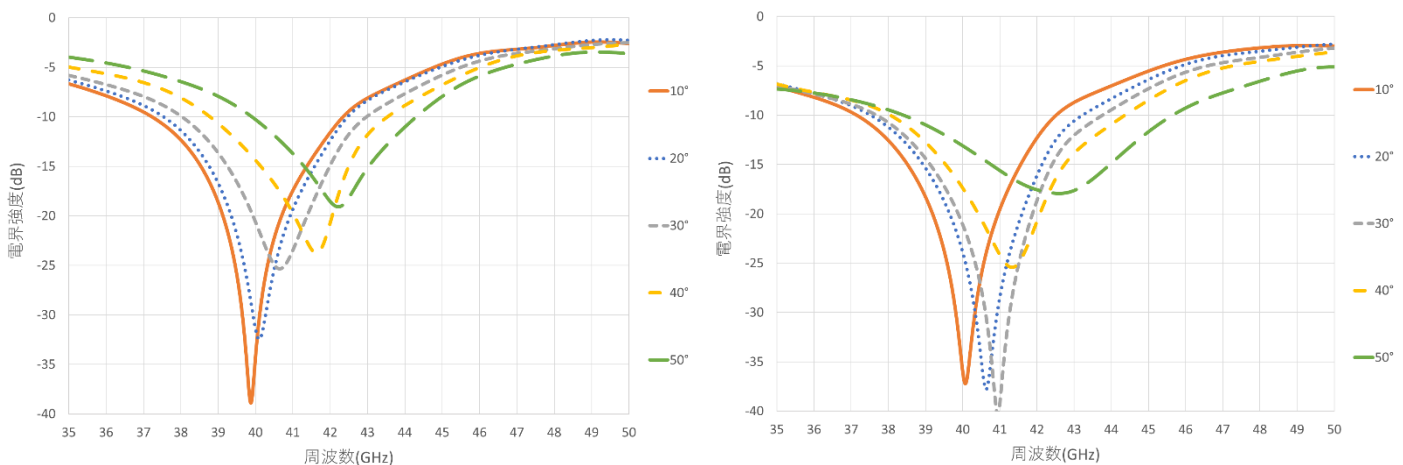


図7 40GHz 帯対応電波吸収材の各入射角度に対する吸収特性 (左: TE 波、右: TM 波)

図6、7の結果より、3.5GHz帯、40GHz帯ともに10dB(電力比90%)以上の吸収量を確保していることを確認した。またTE波とTM波ともに、角度が大きくなるにつれて概ね吸収量は減少する傾向にあり、TM波はTE波より吸収量が数dB程度大きいことが確認された。

2. 電波吸収材の温度特性評価

図8の結果より、温度特性については、吸収量曲線のピーク位置を追ってみると、常温から加熱した場合は、40℃までは吸収量は減少するが15dB以上の十分な吸収量が確認できており、その後ピークは高周波へ遷移し、吸収量は回復する傾向が得られた。この結果、加熱により温度が変わる場合でも5GのSub-6帯(周波数3.6GHz～4.9GHz)において効果的なサンプルであることが確認できた。さらに、温度変化を与えた吸収材を常温に戻した場合、元の吸収特性に戻ることを確認した。また、本測定は吸収量が多い入射角度が10°の時のTE波で実施した。

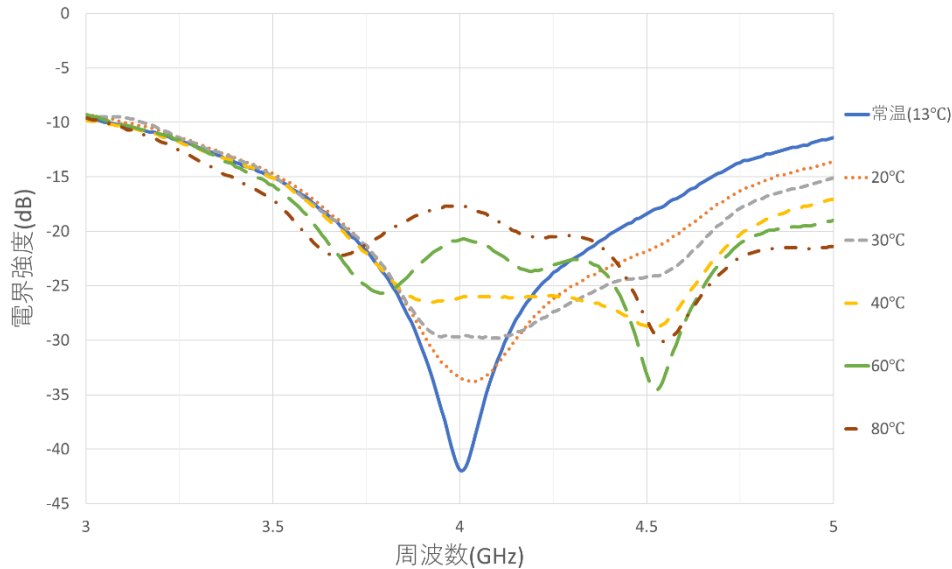


図8 3.5GHz帯対応電波吸収材の温度変化に対する電波吸収特性

3.5GHz付近では温度変化による影響は殆どみられず、常温(13℃)と比較して60℃、80℃の高温域では吸収量が3dB程度増加しており、高温環境下でも15dB以上の優れた吸収性能を有することを確認した。

3. 加速劣化させた電波吸収材の吸収特性評価

図5の試験で加速劣化させた40GHz帯対応電波吸収材について、外観を観察した後、図1のとおり電波暗室内にて自由空間法の測定系を構築し、垂直入射におけるS11パラメータ(反射減衰量)での吸収特性を評価した。ゴム製の電波吸収材は寿命推定モデルと予備実験によって、110℃85%RH環境下では約250時間後に吸収特性が大幅に劣化することが確認されている。そこで、特性の変化を詳細に調査するために、今回開発した40GHz帯対応電波吸収材は50時間毎の外観と吸収特性を測定した。その結果を図9、10に示す。

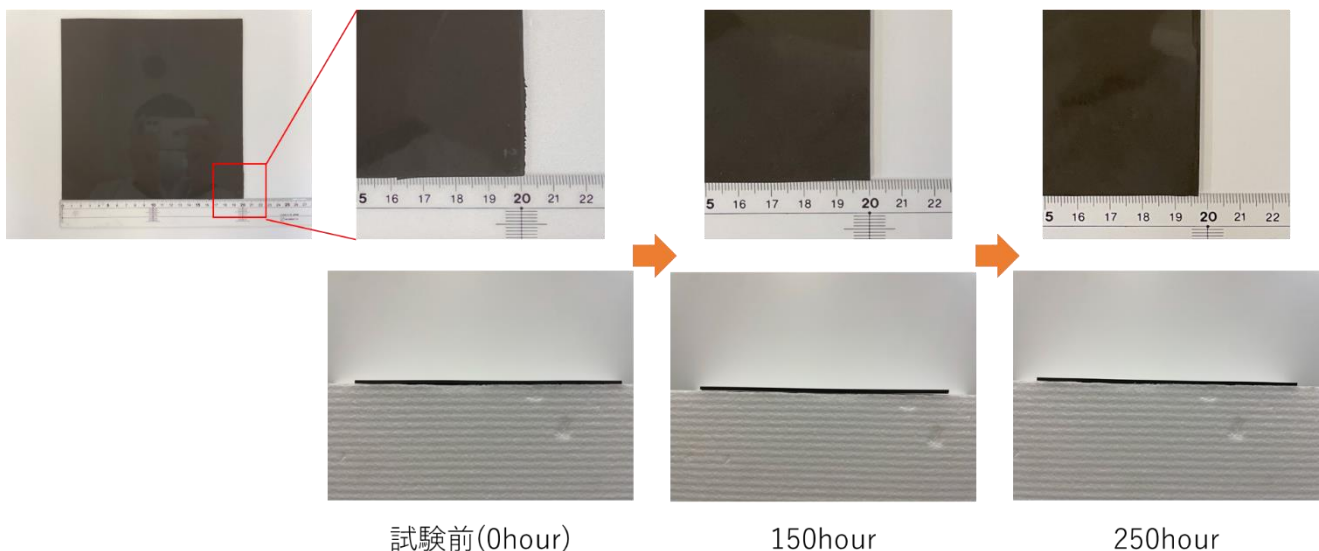


図9 加速劣化させた電波吸収材における試験時間-吸収特性

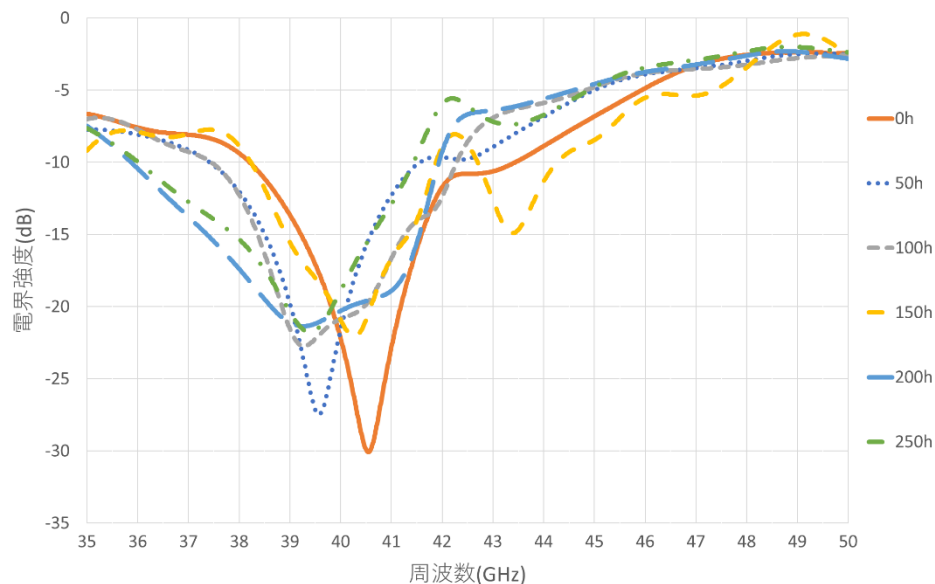


図 10 加速劣化させた電波吸収材における試験時間-吸収特性

図 9 より電波吸収材の外観について、250 時間後の正方形のシートの辺の長さは 3mm 程度圧縮し、歪みが生じていることを確認した。これにより、図 10 の吸収特性の測定結果では、電波吸収材と金属板を貼り合わせる際に空気の層が生じやすく、時間毎で波形のピーク位置にズレが生じた。一方で図 10 の 40GHz 付近の吸収量において、試験 250 時間後の吸収量は試験開始前の吸収量と比較して 5dB 程度の劣化にとどまり、その吸収量は 18dB（電波のエネルギーを 98%以上吸収できる）程度と十分な吸収特性が確認された。これにより、本研究で開発した電波吸収材は基材成分が圧縮することで歪みは生じるが、高い吸収特性を持続できる電波吸収シートであることが示唆された。

ま と め

本研究では 5G に対応した電波吸収材の開発とその特性評価及び実環境での有効性について検討し、以下の結果が得られた。

1. 鉄系の材料を混練した吸収材は、3.5GHz 帯、40GHz 帯の吸収特性に有効であることが分かった。電波の入射角度に対して、10 度～50 度のいずれの角度においても、3.4GHz～5.0GHz および 40GHz 付近 では 10dB(90%)以上の吸収量を確認できた。
2. 温度特性評価の結果、電波吸収材は常温（13℃）から 80℃と高温になるに従って最大吸収量は減少する傾向が確認された。これは、先行研究²⁾や実験時の様子から、温度の変化によって材料定数の変化やシートの厚みの変化が電波吸収量に影響していることが考えられる。一方で、3.5GHz 帯の周波数帯域では殆どが 15dB(97%)以上の吸収量であり、温度変化に対する優れた吸収特性を有することが分かった。
3. 加速寿命試験の結果、40GHz 帯対応の電波吸収材は加速劣化させると圧縮歪みは生じるが、90%以上の吸収量は持続することが確認され、恒温恒湿環境下における高い耐候性が示唆された。

文 献

- 1) 倉橋真司,重松博之,加藤秀教,堀内健太郎,西内正樹,松永真由美：UHF 帯 RFID 対応電波吸収材の開発, 愛媛県工業系研究報告, 46, 17-22(2008).
- 2) 倉橋真司,加藤秀教：ミリ波帯域電波吸収材の性能安定化に関する研究, 愛媛県工業系研究報告, No.45, 24-28(2007).
- 3) 清水康敬,杉浦行,石野健：最新電磁波の吸収と遮蔽, 日経技術図書, 第 2 版, 128-130(1999).
- 4) 清家翼,浦元明：5G に対応した電波吸収材の開発, 愛媛県産業技術研究所研究報告, 60, 6-13(2022).
- 5) Eric V. Ansley, Dennis A. Dougherty：Transition State Theory and Related Topics, Modern Physical Organic Chemistry, University Science Books, 65-145(2004).

アオノリの陸上養殖における AI を活用した生育管理システムの開発（第1報）

清家 翼 浦元 明

Development of a growth management system using AI for terrestrial cultivation of blue laver
SEIKE Tsubasa and URAMOTO Akira

近年、アオノリ養殖の生産量は、収穫期（秋冬）の水温が高いことや台風等の水害、栄養塩の減少等の影響を受け、海面漁業生産統計調査（農林水産省）によると2016年以降の生産量は前年比の8割減と激減しており、販売価格が高騰している。河口汽水域でのアオノリ養殖が適さなくなった現在、安定した生産を求めて養殖域を陸上へと移す事業者が増え始めている。

普及が進むアオノリの陸上養殖の管理には熟練のノウハウが必要であり、人材不足や監視コストの問題がある。養殖業者からは、ノウハウをデータで見える化し、生育効率の向上や管理の負担を軽減できる自動化技術の開発が期待されている。そこで本年度は、アオノリの生育管理に必要なデータを各種センサーを使用して収集、可視化するシステムを構築し、実証地に設置した。

キーワード：産業DX、AI、IoT、LPWA、OSS、アオノリ、陸上養殖

はじめに

近年、アオノリの養殖業界は様々な課題に直面している。収穫期の高水温や自然災害による被害、さらには栄養塩の減少などがその一例である。農林水産省の調査では2016年以降のアオノリの生産量は前年比で80%も減少し、その結果として販売価格が急騰していることが報告されており、河口の汽水域での養殖がますます困難となる中、新たな展望が陸上にある。

井戸海水を利用した陸上養殖は、従来の海洋環境による問題を回避し、高品質な「甲殻類アレルギーフリー」のアオノリ生産が可能であることから注目を集めている^{1),2)}。このような新たな可能性が注目されている中で、養殖業界は労働量の負担軽減が求められている。特に、データの活用や自動化技術の導入は今後の養殖業の発展に不可欠であり、さらには安価なシステムの構築が望まれている。そこで本研究では、アオノリの養殖管理におけるデータ収集と可視化を行い、AIによる給餌量の自動判定および自動給餌器の開発を目指す。

実験方法

1. データ収集システムの構成

アオノリの育成管理を行うために必要な各種データを収集するために、温湿度、水温、紫外線量（光量）、pH等のセンサーおよびカメラを使用することとし、取得したデータはTCP/IP通信でシングルボードコンピュータに収集する。その後、収集したデータはLPWA通信を介してクラウドにアップロードしておくことで遠隔地からデータを管理できる構成とした（図1）。主要なハードウェアは各種センサー、小型マイコン（M5stickC Plus）、シングルボードコンピュータ（RaspberryPi4）、LPWAネットワーク通信端末を使用した。また、ソフトウェアは開発環境

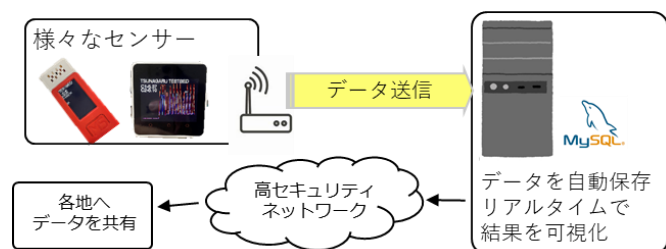


図1 データ収集システムの概要イメージ

この研究は、「アオノリの陸上養殖におけるAIを活用した生育管理システムの開発」の予算で実施した。

(ArduinoIDE、PyCharm)、画像処理ライブラリ (HALCON)、データ通信用ミドルウェア (Node-RED、Grafana、phpMyAdmin、MariaDB)、LPWA の通信サービス (ZETA DRIVE) を使用した (図 2)。

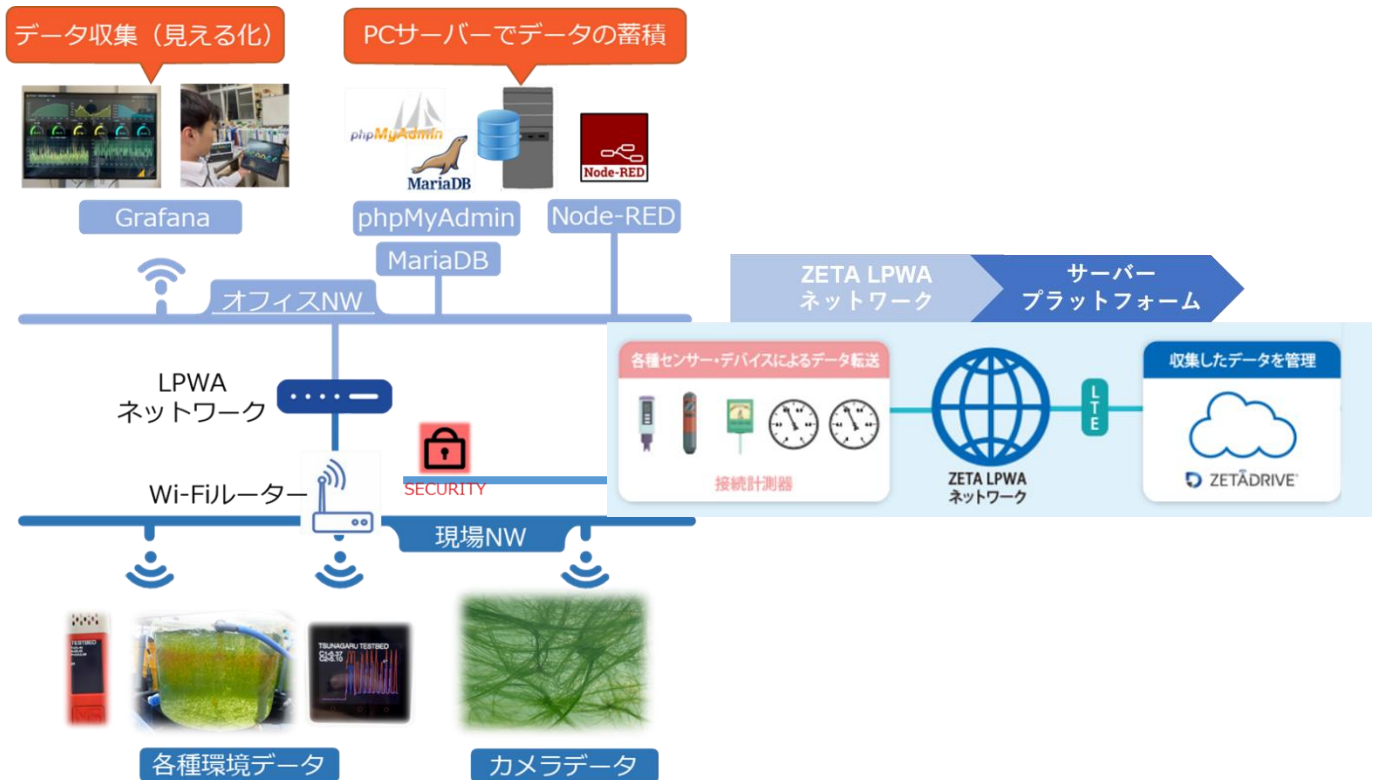


図2 ソフトウェア構成と LPWA ネットワークの概要イメージ

2. プログラムの作成

上記のソフトウェアで、各機能のプログラムを作成した。ArduinoIDE 環境で、各種センサーにデータの取得頻度やデータ形式、Wi-Fi 通信情報を設定するためのプログラムを作成した (図 3)。また、取得したセンサーデータをデータベースに送信するための環境として Node-RED を使用し、各種センサーデータを適当なデータベースサーバーに格納するためのプログラムを java により作成した (図 4)。加えて、取得したデータをグラフ等で表示するためのプログラムを Grafana 環境下で SQL 言語により作成した (図 5)。これらはすべてオープンソースソフトウェア (無償提供されているライセンスフリーのソフトウェア。通称: OSS) を選定しており、他ソフトウェアとの連携面も考慮して拡張性の高い構成とした。作成したプログラムについて改良し、ソフトウェアの連携およびデータ取得のシステムが正常に動作することを検証した。

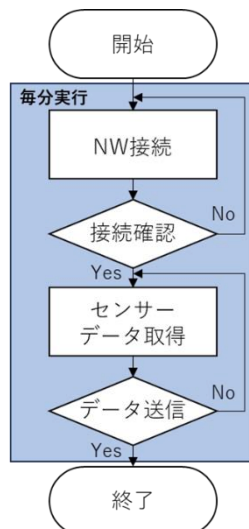


図3 センサー用プログラムのフロー

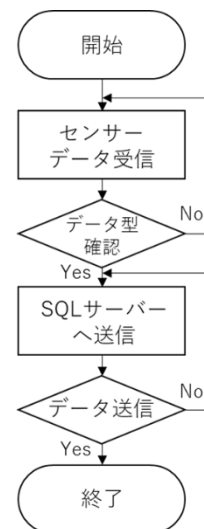


図4 データ送受信プログラムのフロー



図5 グラフ表示するためのプログラム作成環境

結果と考察

1. データ収集システムの動作検証

各種センサーデータを取得し、データベースへ保管、グラフ化するシステムを作成し、動作検証を行った。取得したセンサーデータが RaspberryPi4 で送受信できていることを検証するために、Node-RED のプログラムにデバッグ機能を追加することで、各種センサーデータを毎分取得し、データベースへ送信されていることを確認した結果を図6に示す。

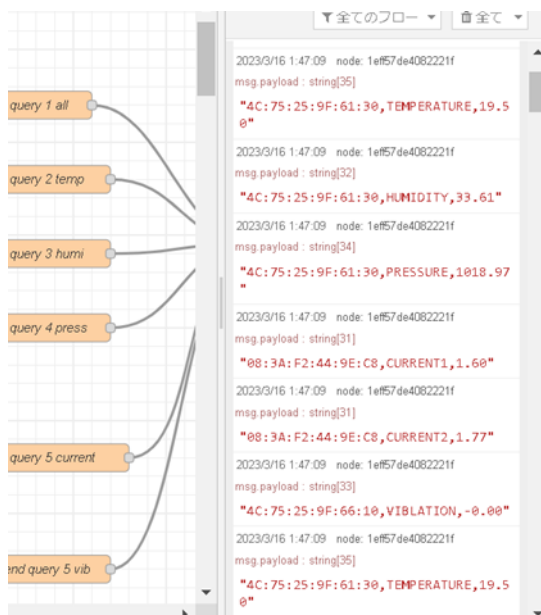


図6 データ送受信のデバッグ結果

id	time	source	type	value
62726	2023-03-15 15:02:57	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.09
62727	2023-03-15 15:03:58	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.12
62728	2023-03-15 15:04:59	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.12
62729	2023-03-15 15:06:00	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.13
62730	2023-03-15 15:07:01	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.13
62731	2023-03-15 15:08:02	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.12
62732	2023-03-15 15:09:02	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.12
62733	2023-03-15 15:10:03	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.11
62734	2023-03-15 15:11:04	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.11
62735	2023-03-15 15:12:05	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.11
62736	2023-03-15 15:13:06	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.09
62737	2023-03-15 15:14:07	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.12
62738	2023-03-15 15:15:08	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.09
62739	2023-03-15 15:16:09	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.11
62740	2023-03-15 15:17:10	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.11
62741	2023-03-15 15:18:11	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.13
62742	2023-03-15 15:19:12	4C:75:25:9F:61:30	TEMPERATURE	24.13

図7 データベースに格納されたデータ一覧

図6のデバッグメッセージに、毎分データが格納されていることを確認したほか、比較的容量の大きい画像データや複数のセンサーが同時刻に送信される場合に生じることが想定されるコリジョンについても現状のデータ取得頻度であれば確認されないことが分かった。

次に、データがデータベースに格納されているかを確認するために、データベースのテーブルを GUI で表示することができるソフトウェア phpMyAdmin をサーバーPC に導入し、表示した結果を図7に示す。図6のデバッグメッセージに記載された送信予定の毎分のデータが抜けることなく、データベースに適切に格納されていることを確認した。

データベースに格納したデータを表示するために、データの見える化ツールである Grafana および e-Platch (TOPPAN 社が提供する有償サービス) を使用してデータを可視化した結果を図8に示す。無償のソフトウェアである Grafana と有償のソフトウェアである e-Platch では、GUI の配置や操作画面

が日本語対応である部分では **e-Platch** に優位性がある一方で、取得したセンサーデータの時間遷移を確認するには無償の **Grafana** の方が、グラフの種類も任意に選択が可能である点から、拡張性の面で利点があることを確認した。

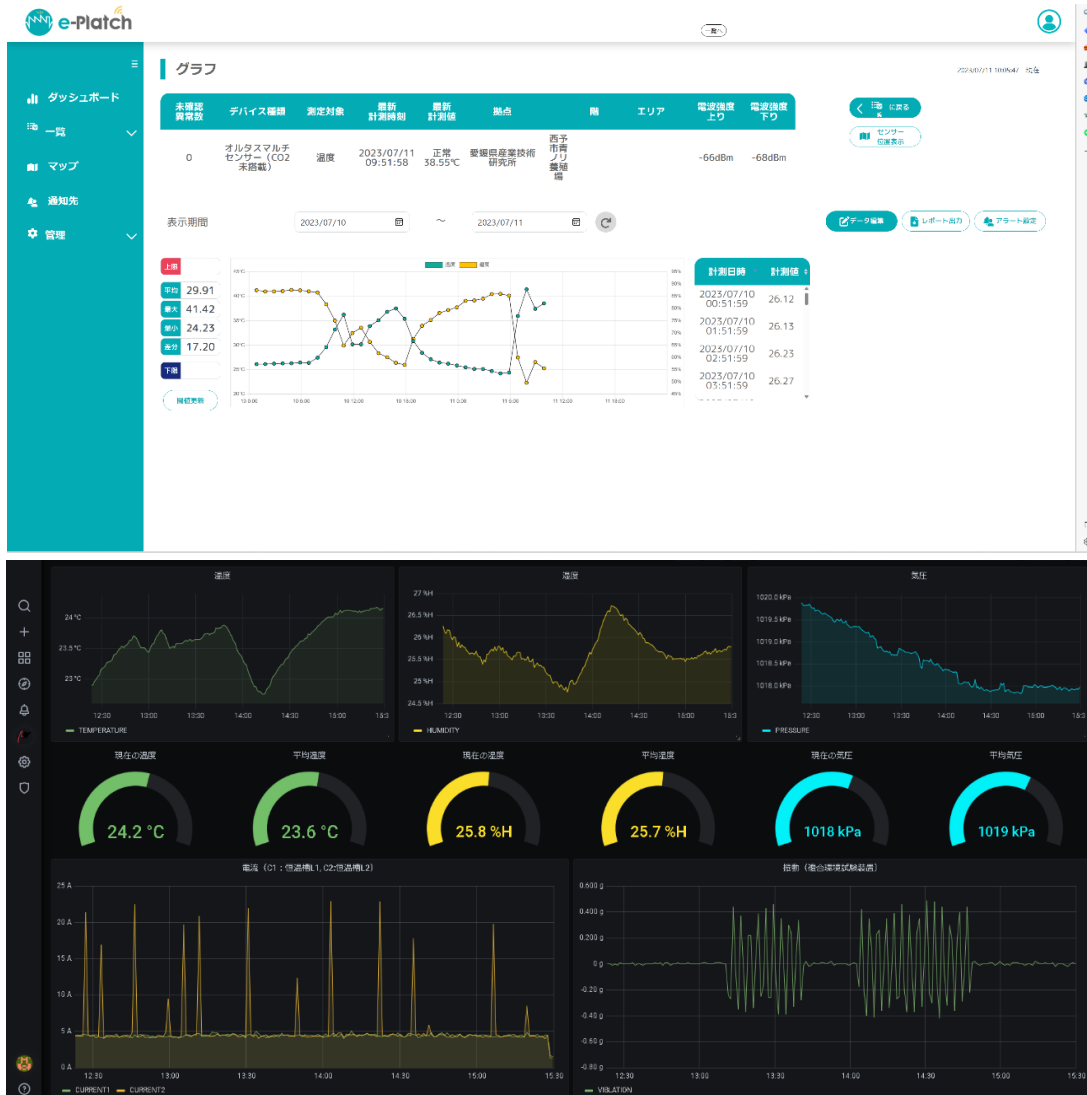


図8 データの見える化ツールの比較結果（上：e-Platch、下：Grafana）

2. 実証地での設置

実証地（佐藤真珠株式会社）に設置したデモ機を図9に示す。アオノリの陸上養殖は水槽が屋外で、沿岸部に位置しており、雨風や塩害の対策を考慮する必要がある。そこで、図9のような防塵防水BOXを採用し、センサーの稼働状況を容易に確認できるように、クリアケースとした。また、太陽による輻射熱で機器が誤動作しないよう排熱のためのマイコン制御用ファンクーラーヒートシンクを取り付けた。

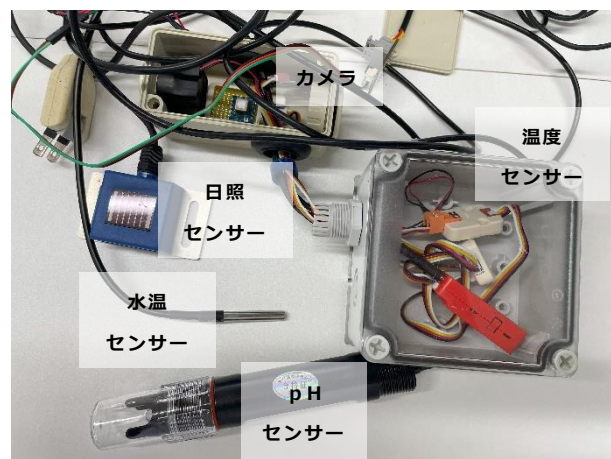


図9 作製したデモ機

ま と め

アオノリの養殖管理におけるデータの収集、保存および可視化システムの開発について、以下の成果を得た。

1. 各種データを毎分正確に取得し、データベースに格納するシステムを構築し、さらにライセンスフリーで API が公開されているソフトウェアで構成したことで、高い機能拡張性を有することを確認した。
2. データのグラフ化に使用するソフトウェアについて無償と有償のソフトウェアを比較した結果、無償のソフトウェアは操作性が劣る一方でグラフの選択が多様であり、養殖管理に十分な機能を有することを確認した。
3. システムのパッケージに防塵防水対策を施し、太陽の輻射熱の影響を考慮した排熱用ファンを取り付けた状態で実証地に設置し、データの蓄積を開始した。

文 献

- 1) 日刊工業新聞社：図解よくわかるスマート水産業, 90-91(2020).
- 2) 土谷宜弘：一次産業の課題解決へ地域 IoT, テレコミュニケーション編集部, 218-232(2020).

ウェーブレット解析を活用した 音や振動データの見える化機器開発

竹田真之介* 清家 翼

Development of a Visualization Device for Sound and Vibration Data using Wavelet Analysis

TAKEDA Shinnosuke and SEIKE Tsubasa

中小企業では、音を利用した検査が広く用いられている。職人の経験に頼らず音を用いた解析が可能な、小型・安価な音響解析装置が求められているが、需要を満たすような装置は少ない。そこで本研究では、ウェーブレット解析を用いた音響解析機器（音や振動データの見える化機器）の開発を行った結果、プログラムの制作とシングルボードコンピュータへの組み込みを行い、バッテリーで駆動する音響解析結果の見える化できる機器が試作できた。

キーワード：ウェーブレット解析、産業 DX、IoT、見える化

はじめに

工場設備等の故障や建造物の劣化は、重大な事故に発展する可能性があるため、故障につながる経年劣化を簡易的に診断する手法が求められている。音や振動には、製品の品質管理や設備保全に役立つ様々な情報が含まれているが、作業者が適切に音を聴き分けることは難しく、また FFT 等の解析機器結果の解釈も難しいため、音や振動データは十分に活用されていないのが現状である。

このような現状の元、計測機器メーカーやソフトウェアベンダーが様々な解析装置や AI を組み込んだサービスを提供しているが、最新の AI やクラウドサービス等を組み込んだ商品となっているため高価な使用料が定期的に必要であり、小規模な県内企業の需要には適さない場合が多い。また、セキュリティの観点からも、社内の情報を外部に出さずに処理できる装置が求められている。

そこで、本研究は、音や振動データの変化を画像に変換して表示（見える化）できるウェーブレット解析プログラムを作成し、小型・安価なマイコンボードに組み込むことで、県内の様々な企業の現場で活用できる音や振動の見える化機器を開発することを目標とする。

実験方法

1. プログラムの構成¹⁾

音声ファイルを読み込んで、ウェーブレット解析を行い画像に変換するプログラムを Python で作成した。数学計算に NumPy、音声ファイルの入力に PySoundFile、グラフ可視化に PyQtGraph を使用した。マザーウェーブレットとしてモルレーウェーブレットを採用し、周波数ごとに分解能が異なるウェーブレット解析の特性を生かすため、解析対象となる周波数を、あらかじめ指定した分割数の等比数列となるように準備して、順次畳み込み演算を行った。図 1 に、図 2、3 に示すようなギアボックスの作動音に対してウェーブレット解析した結果を示す。ギアの歯かけによる低周波振動音が可視化されているのが見

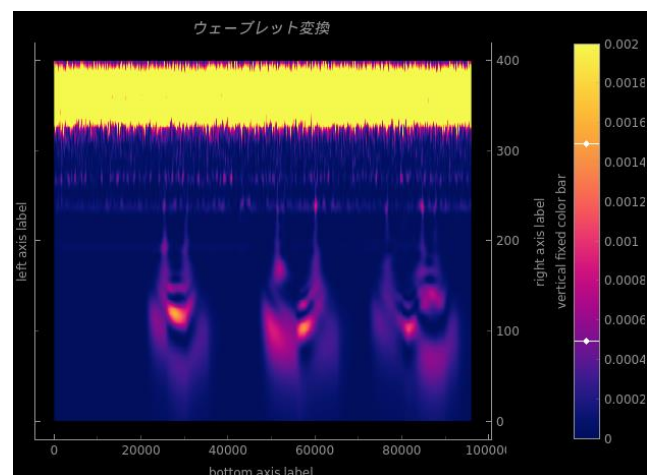


図 1 歯車動作音のウェーブレット解析

*（現）愛媛県庁経済労働部産業創出課

この研究は、「ウェーブレット解析を活用した音や振動データの見える化機器開発」の予算で実施した。

て取れる。なお、解析結果については、音の大きさの違いを色で表現し、周波数・時間分布の違いを形状で表現している。

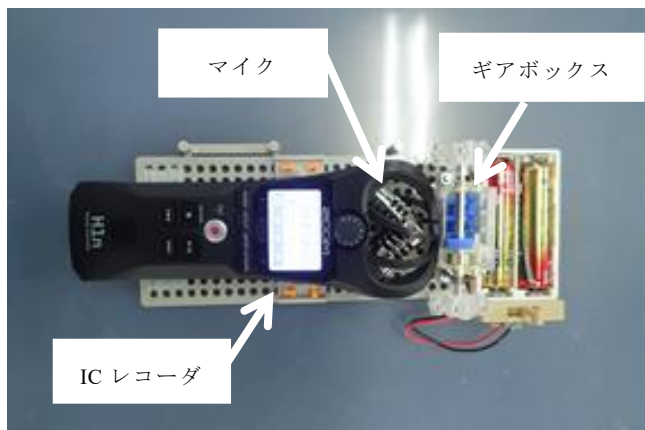


図2 音声収録の様子



図3 傷をつけた歯車

2. 機器の構成

以下のような構成で機器を製作した。プログラムを実行するコンピュータとして Raspberry Pi 4 model B を採用した。プログラム・機器構成図を図4に示す。

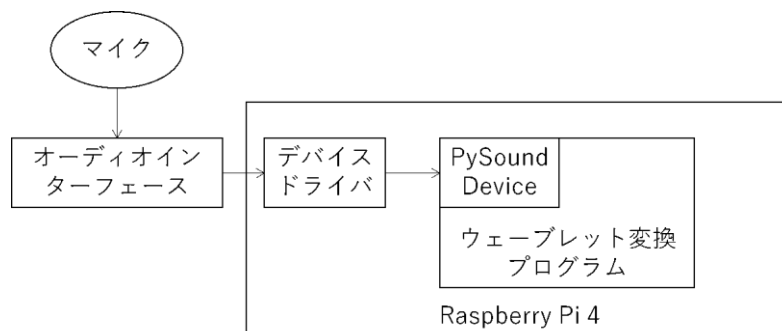


図4 Raspberry Pi を用いた、音声収録・解析プログラム・機器構成図

Raspberry Pi はシングルボードコンピュータであり、単体では入出力装置を持たない。そこで、タッチパネルを搭載した 5 型ディスプレイを表示機器として追加した。また、音声入力装置として、オーディオインターフェース内蔵の PC 用 USB マイクを採用した。これらの機器を、携帯電話向けモバイルバッテリーを用いて駆動させることで、工場等の現場でも使用できる可搬式の“音や振動の見える化機器”を実現した（図5）。

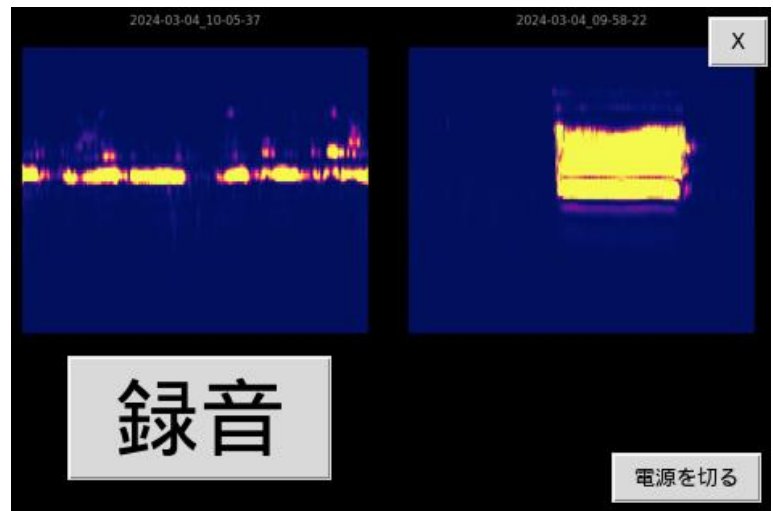
機器の操作は、小型タッチパネルを用いて操作することを想定し、Python の Tkinter を用いて GUI（グラフィカルユーザーインターフェース）の操作画面を作製した。（図6）。

また、現場で複雑な操作を行うことは困難なことから、操作ボタンは「録音」「電源を切る」「アプリケーションの終了」のみとし、録音ボタンのタップで音声録音（2 秒間）から解析・結果表示と保存まで自動で行うこととした。また、機器の動作状態（待機中・録音中・解析中）は、LED ランプの点灯状態で示すこととした。

ウェーブレット解析の結果は、図6に示すように、直前 2 回分が画面に表示され、同時に、録音した音声と解析結果画像をタイムスタンプをファイル名として、接続した USB メモリに自動保存することとした。



図5 見える化機器

図6 見える化機器の操作画面
(左側：今回の解析結果、右側：前回の解析結果)

結果と考察

1. コンクリート打音検査による実証

コンクリート構造物の健全性評価には、様々な非破壊検査手法が用いられている。その中でも打音検査は、構造物の表面を叩いて発生する音から欠陥の有無を判断する比較的簡便な方法である。この検査は長い歴史を有し現場で広く活用されてきたが、検査員の経験と技術に依存する側面も指摘されている。よって、打音検査を題材として、本研究で開発した見える化機器の実証試験を行った。

実証方法は、打音検査用ハンマー（図7）で2回打撃を加え、見える化機器で解析を行った。



図7 打音検査用ハンマー

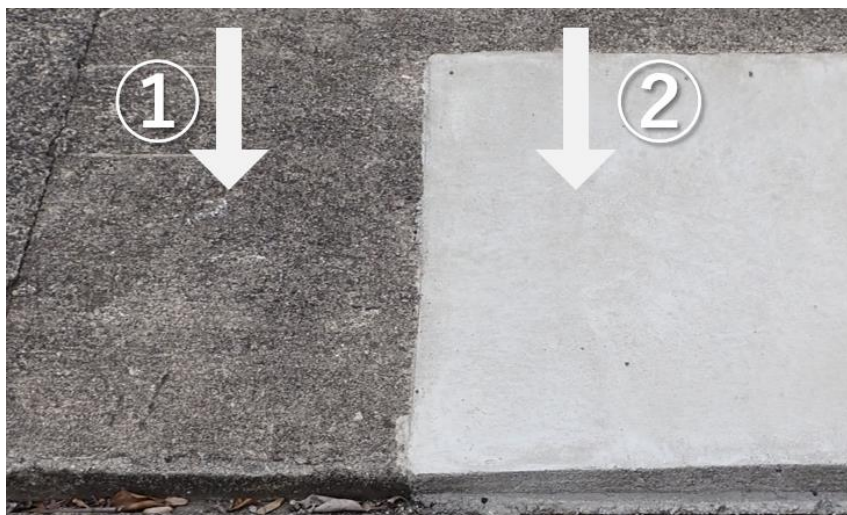


図8 舗装コンクリート

まず、図8に示した打設時期が異なる舗装コンクリートに対して、打音検査を行った。経年劣化により空隙が多くなっているものと思われる左側①に対して、右側②は比較的最近打設させたものである。これらをハンマーで打撃した音のウェーブレット解析結果を図9に示す。①と②の両図を比較した結果、上部ハンマー図で示す2か所の明部において、劣化が進んだコンクリート①の打撃後の残響が大きくなっており、①と②の違いの可視化を確認することができた。なお、画面下部にみられる定常音は、エアコン室外機の騒音に由来するものである。

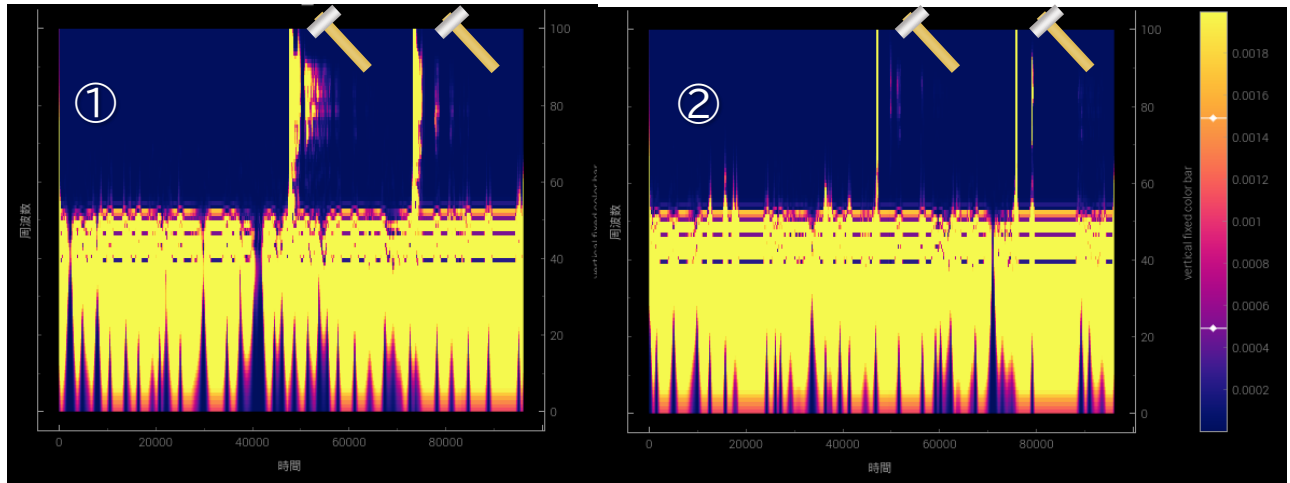


図9 舗装コンクリート打音のウェーブレット解析
(左図①劣化の進んだコンクリート、右図②比較的新しいコンクリート)

2. 外壁打音検査による実証

次に、コンクリート建造物の外壁（図10）でも同様の打音検査を行った。

本実証試験における打音検査は、図10の点①において点②より劣化が進行していることが、打音検査の熟練者にとっては明らかだが、未熟練者では微妙な違いの感じ取りに経験を要するような点であることから、ウェーブレット解析による比較を実施した。

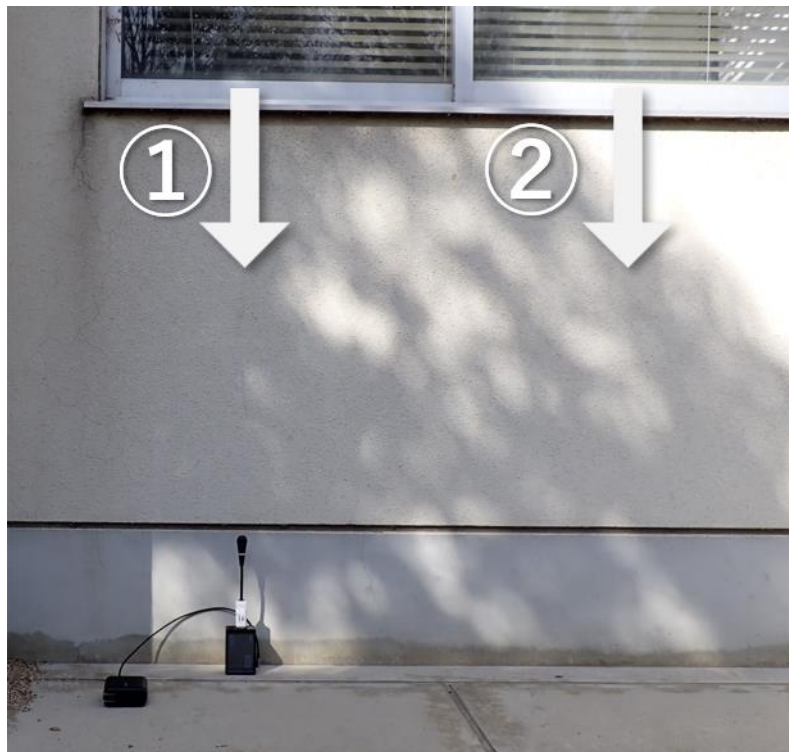


図10 コンクリート建造物（愛媛県産業技術研究所 電子研究棟）外壁

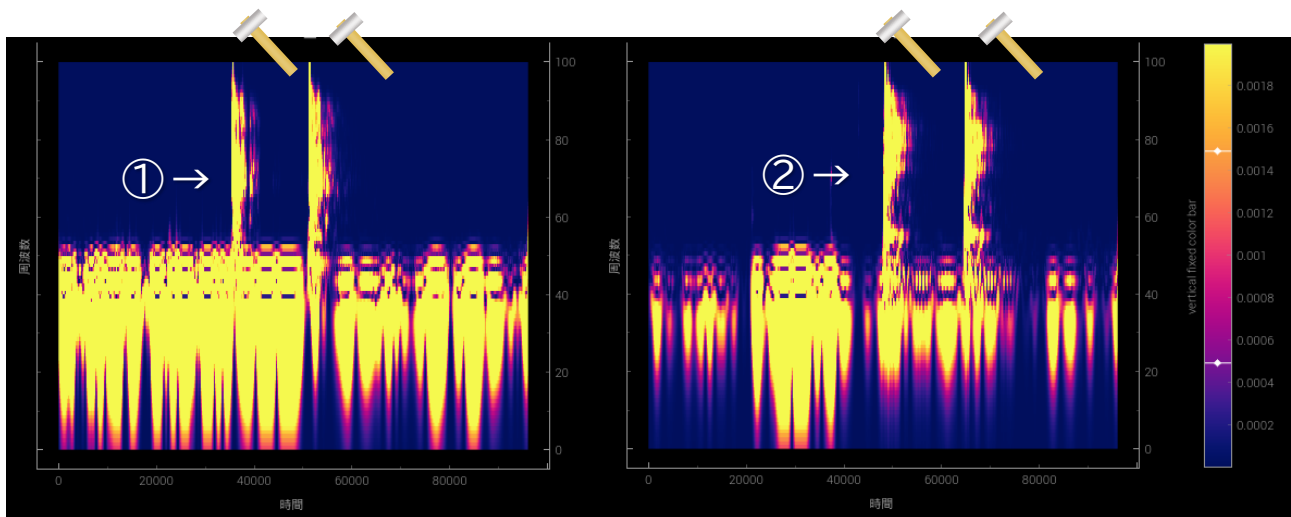


図 11 コンクリート建造物打音のウェーブレット解析

本実証試験のウェーブレット解析結果を図 11 に示す。2 回の打撃それぞれにおいて、劣化が認められる外壁のウェーブレット解析結果では周波数・時間分布を示す明部の形状がわずかに異なっており、打音検査結果の解析に活用できることが示唆された。

今回試作した見える化機器において、経験に頼らず客観的な音響診断が可能となった。今後は、AI の適用や他の分野への展開により、さらなる高度化と適用範囲の拡大を検討したい。

ま と め

中小企業の保全・管理等に活用できる音や振動データの見える化機器の開発を行った結果、以下の成果を得た。

1. ウェーブレット解析による高精度な音声データの可視化を、安価なシングルボードコンピュータである Raspberry Pi 4 とその周辺機器を用いることで実現できた。
2. タッチパネル GUI を備えた操作性の良い設計により、現場で手軽に利用可能な機器が開発できた。

文 献

- 1) 竹田真之介, 清家翼: ウェーブレット解析を活用した音や振動データの見える化機器開発, 愛媛産技研研究報告, p80-82, (2023).

UV 反応塗料による照射量の可視化技術の開発（第 1 報）

井上寛之 竹田真之介*

Development of irradiation amount visualization technology using UV reactive paint

INOUE Hiroyuki and TAKEDA Shinnosuke

県内食品産業の海外展開や販路開拓を支援するため、UV-LED 技術を用いた食品の消費・賞味期限の延長技術を開発する一環として、本研究では、UV-LED を照射した際に UV によって脱色される色素を使用した照射量の可視化について検討した。

UV 照射量の可視化には、ウコンから抽出されるクルクミンを主成分とした色素を用い、コロジオンとクルクミン色素を使用して UV 照射を行った結果、クルクミン色素が脱色されることを明らかにした。また、照射量によって脱色具合が変わることから、UV 照射前後の色差によって照射量を可視化できる可能性が得られた。

キーワード：UV-LED 殺菌、色素脱色、可視化

はじめに

コロナ禍や人口減少などにより国内における食品市場が低迷する中、県内食品業界からは、海外展開や販路開拓の強化が望まれている。しかしながら、海外展開や新規販路の開拓においては、従来よりも長期間の消費・賞味期限の保証が必要となる。

そこで、県内企業の商機・販路を拡大し、国際競争力を強化するため、UV-LED 技術を用いた食品の消費・賞味期限の延長技術の開発を行っている。

本研究では、UV-LED 技術を用いた食品の消費・賞味期限の延長技術の一環として、照射量によって食品の消費・賞味期限延長効果が異なる UV-LED の照射量を簡易的に確認できるよう UV-LED 照射量の可視化を目的に、UV-LED を照射した際に UV によって脱色される色素の脱色性について検討した。

実験方法

1. UV 反応塗料の調製

(1) クルクミン色素の抽出

天然の食用色素として用いられ、光に対して応答性が高く、変退色度合いが大きい^{1),2)}クルクミン色素をウコン（GABAN ターメリックパウダー(株)ギャバン製）からエタノール抽出し、上澄み液を UV 反応塗料とした。

(2) UV 反応塗料の調製及びろ紙へ色素の固定

ろ紙表面を平滑にするため、一液目にコロジオン液を使用した。シャーレ（ガラス製）に、コロジオン（5 mass%）を 8 ml、エタノールを 12ml 混合した。更に別のシャーレ（ガラス製）に二液目として、クルクミン色素 5000 μ l、エタノール 4600 μ l、0.5M 水酸化ナトリウム 400 μ l を混合した。ろ紙は、5 B、55mm（ADVANTEC 製）を使用し、一液目のコロジオン液に浸して、乾燥した後、クルクミン色素に浸して乾燥したろ紙を UV-LED 照射の試料とした。

(3) UV 反応塗料におけるコロジオン濃度及びクルクミン色素希釈倍率の検討

UV 反応塗料におけるコロジオン濃度及びクルクミン色素希釈倍率を検討するため、表 1、2 のとおり、試薬を調製した。ろ紙は 5 B、55mm（ADVANTEC 製）を使用し、一液目のコロジオン液に浸して、乾燥した後、クルクミン色素に浸し、乾燥したろ紙を UV-LED 照射の試料とした。

*（現）愛媛県経済労働部産業創出課

この研究は、「えひめ食品賞味期限延長技術開発事業」の予算で実施した。

表1 コロジオン液（一液目）の調製条件

	コロジオン 2.0 mass %	コロジオン 1.0 mass %	コロジオン 0.5 mass %
コロジオン(5.0mass%)	4ml	2ml	1ml
エタノール	6ml	8ml	9ml

表2 クルクミン色素（二液目）の調製条件

	2倍希釈	3倍希釈	4倍希釈
クルクミン色素(10 倍抽出)	5000 μ l	3000 μ l	2500 μ l
エタノール	4600 μ l	5760 μ l	7300 μ l
0.5mol/l 水酸化ナトリウム	400 μ l	240 μ l	200 μ l

(4) UV 反応塗料におけるコロジオン及びクルクミン色素を混合した一液での検討

UV 反応塗料におけるコロジオンとクルクミン色素混合溶液での UV-LED 照射による脱色を検討するため、表3のとおり、試薬を調製した。ろ紙は5 B、55mm（ADVANTEC 製）を使用し、コロジオン及びクルクミン色素の混合液に浸し、乾燥したろ紙を UV-LED 照射の試料とした。

表3 コロジオン及びクルクミン色素混合液の調製条件

	4倍希釈
コロジオン(5.0mass%)	2000 μ l
クルクミン色素(10 倍抽出)	2500 μ l
エタノール	5300 μ l
0.5mol/l 水酸化ナトリウム	200 μ l

2. UV-LED 照射による脱色試験

塗料を固定したろ紙に紫外線照射装置（東芝ライテック㈱製）（写真1）を用いて、表4の条件で紫外線を照射した。UV-LED 照射の際、ろ紙一枚で UV 照射前後の色を確認できるように、ろ紙の上半分をアルミホイルで覆い UV-LED を照射した（写真2）。

表4 紫外線照射条件

照射波長 (nm)	照射距離 (mm)	照射時間 (s)	積算照射エネルギー (mJ/cm ²)
280	80	15	66
		30	130
		60	260
		90	400
		120	530

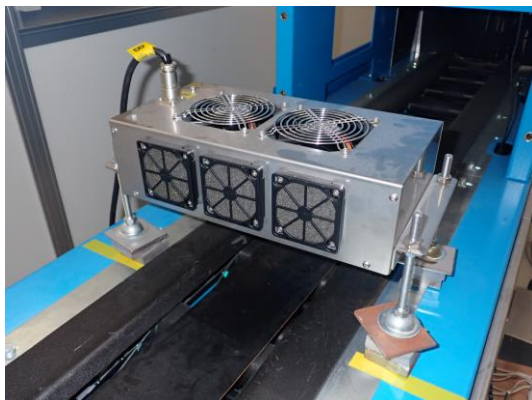


写真1 紫外線照射装置

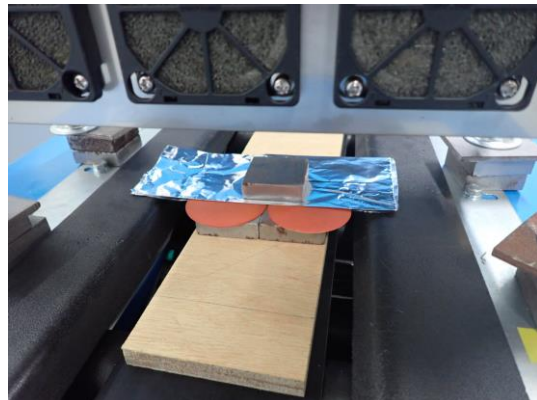


写真2 UV-LED 照射時の試料

3. 脱色前後の色差評価

UV-LED 照射前後の色を測定するため、分光測色計（コニカミノルタ(株) CM-5）（写真3）で測定した。L*は明度を、a*、b*は色相と彩度を示している。測定は、ろ紙の上半分をアルミニウムで覆った UV-LED 照射されていない箇所と照射された箇所をそれぞれ測定し、UV-LED 照射されていない箇所から照射された箇所の差を ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* で示した。色差 ΔE^* を下記式(1)にて算出した。

$$\Delta E^* = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2} \quad (1)$$



写真3 分光測色計

結果と考察

1. ろ紙に固定した色素の UV-LED による脱色試験

脱色にコロジオンが必要かを調べるため、クルクミン色素（2倍希釈）のみ固定したろ紙とコロジオン（2.0mass%）とクルクミン色素（2倍希釈）を固定したろ紙に UV-LED 照射を行った結果を図1に示す。この結果から、クルクミン色素の脱色にはコロジオンが必要であり、クルクミン色素のみでは脱色されないことが確認された。また、照射エネルギーが上がるにつれて、より脱色されていることが目視で確認された。

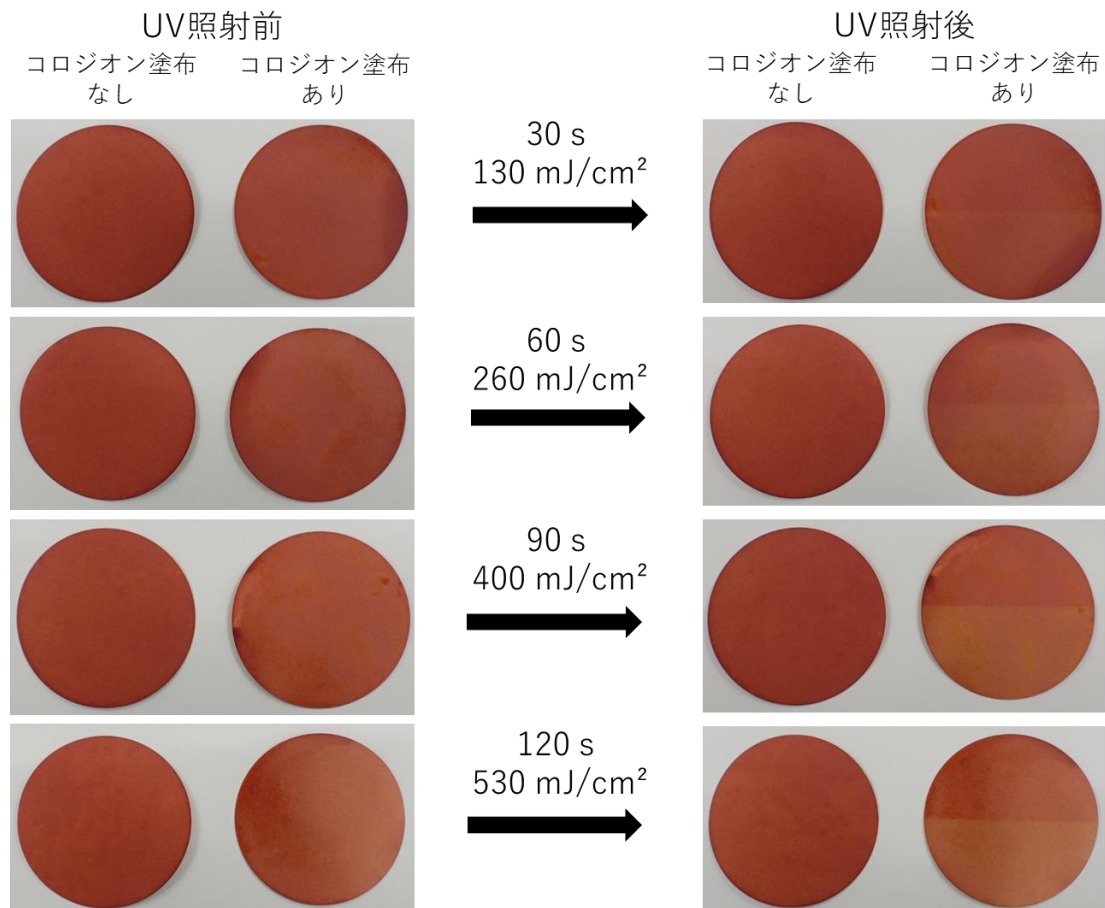


図1 コロジオンの有無によるクルクミン色素の UV-LED 脱色試験結果

2. コロジオン濃度とクルクミン色素の希釈倍率の違いによる脱色試験

コロジオン濃度とクルクミン色素の希釈倍率の違いによる脱色具合を確認するため、一液目のコロジオン濃度を 2.0、1.0、0.5mass%、二液目のクルクミン色素を 2、3、4 倍希釈で調製し、コロジオンとクルクミン色素を固定したろ紙に UV-LED 照射を行った。UV-LED 照射は、照射距離 80mm、照射時間 30s の条件で行った。その結果、図2に示すとおり 0.5mass%コロジオンは他の条件よりも脱色されにくく、一定量のコロジオンが必要であることが確認された。また、クルクミン色素は濃いと赤

みが強く、目視での脱色が確認しづらかった。脱色をよりはっきり確認するためには、さらに薄くした色素でも検討する必要があることが分かった。

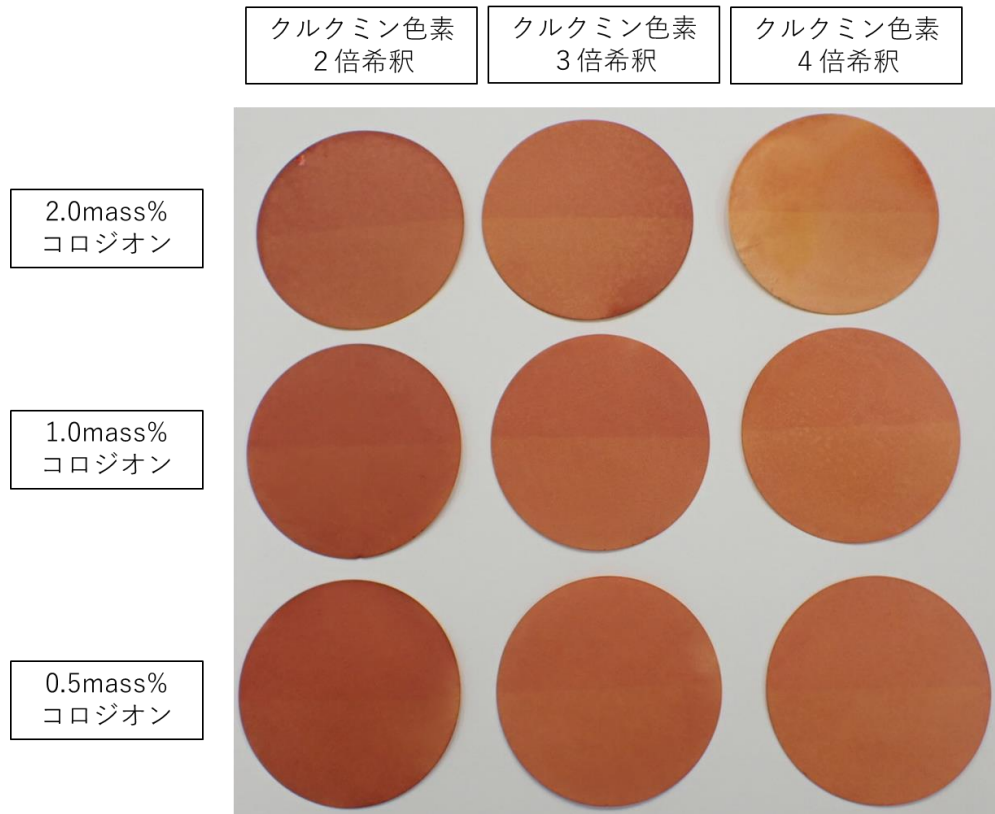


図2 クロジオン濃度とクルクミン色素の希釈倍率の異なる条件での UV-LED 照射試験結果

3. クロジオンとクルクミン色素を混合した一液での脱色試験

試薬調製簡略化のため、クロジオンとクルクミン色素を混合した一液での脱色試験を行った。図2の結果から、1.0mass%クロジオン、クルクミン色素4倍希釈の条件で試薬を調製した。UV-LED 照射は、照射距離 80mm、照射時間 15s、30s、60s の条件で行った。その結果、図3に示すとおり、混合液においても脱色が確認され、照射時間が長くなるにつれて、より脱色されていることが確認された。

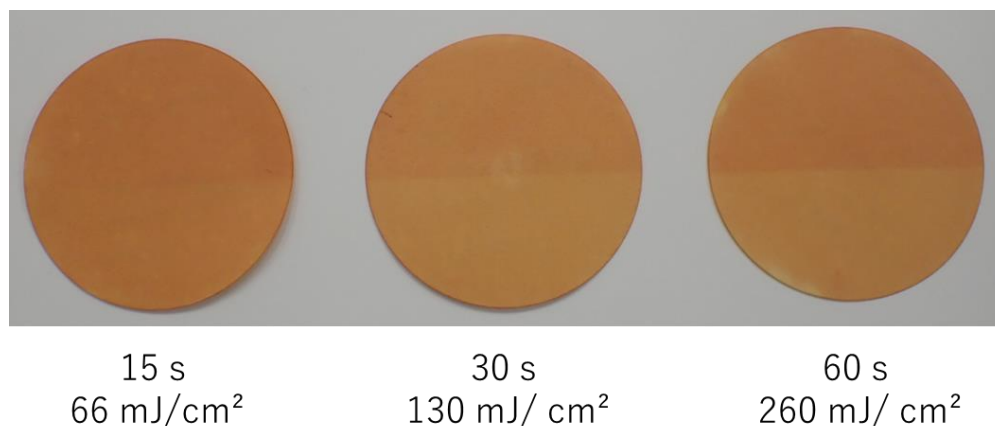


図3 1.0mass%クロジオンとクルクミン色素4倍希釈混合液での脱色試験結果

4. クロジオンとクルクミン色素を混合した一液での脱色前後の色差の評価

図3に示した脱色試験について、脱色されていない部分と脱色された部分を分光測色計で測定した。その結果、表5に示すとおり明度 ΔL^* は照射時間が長くなるほど増加しており、 Δa^* の値も照射時間が長くなるほど減少していることから、照射時間、積算照射エネルギーが大きくなるほど色差 ΔE^* は大きくなっていった。これは、目視で確認した結果と同様に相関性があり、照射量の定量化への可能性が示された。

表 5 脱色前後の色差の評価

照射時間 (s)	15	30	60
積算照射エネルギー (mJ/cm ²)	66	130	260
ΔL^*	-1.45	-3.22	-3.98
Δa^*	1.72	4.57	5.00
Δb^*	-0.60	-0.01	-0.89
ΔE^*	2.71	15.63	20.82

ま と め

UV-LED を照射した際に UV によって脱色される色素の脱色性について検討し、以下の知見を得た。

1. クルクミン色素を UV-LED で脱色するためには、一定量のコロジオンが必要であることが確認された。
2. コロジオン濃度、クルクミン色素の希釈倍率を検討することによって脱色具合を調整できることが確認された。
3. コロジオンとクルクミン色素を混合した試料において、分光測色計で測定した色差と目視で確認した退色量に相関性が見られ、どちらも UV-LED の照射量が多くなるほどより脱色するという変化を示した。

文 献

- 1) 石井美恵, 齊藤昌子, 河本康太郎: 黄色系天然染料染色布の展示照明による変退色挙動と CIE 美術・博物館照明基準による評価, 照明学会誌, **90**, p.281-287(2006).
- 2) 相馬静乃, 吉田直人, 佐野千絵: 特定波長域を遮光した光照射下における黄色系染料を主とした有機染料の変退色挙動, 保存科学, **60**, p.51-60(2021).

地域共有型ローカル 5G ネットワーク利用システム開発

浦元 明 高橋祐二*

Data sharing platform utilizing local 5G network
URAMOTO Akira and TAKAHASHI Yuuji

株式会社愛媛CATVが進めている、ローカル5Gを用いた「地域共有型ネットワーク」を有効活用すれば、多くの企業間や事業所間で効率的に共同作業を進めることができると期待される。そのため、多者間でデータを共有するプラットフォームづくりを行った。本研究では一例として、

- ① 工場の稼働状況などを把握するための環境データ
- ② 作業者等の指定エリア内の人数を把握するためのカメラデータの共有方法の確立を試みた。

キーワード：ローカル5G、映像伝送、エッジAI

はじめに

ローカル5Gは超高速・超低遅延・多数同時接続の3つの主要性能を有し、主に建物内や敷地内での利活用について個別に免許される5Gシステムである¹⁾。さらに、令和5年8月には、一定の条件下において他社土地を自己土地相当とみなすことができる「共同利用」の概念等の制度が整備されている²⁾。このように普及に向けての制度整備も進みつつあるローカル5Gのさらなる展開を目指して、これまでに映像伝送やAIカメラの利用などに取り組んできた。一方で中小規模の製造工場では、製造ライン上での異常検知や工作機械に関するモニタリング等において無線の活用が進んでいる³⁾。そこで、本研究では、中小規模工場でのローカル5Gの利用を念頭にローカル5Gを工場のモニタリングに使用することとした。

実験方法

1. センサーデータのモニタリング

データ収集を行い、モニタリングを実施するため、図1に示すようにマイコンボードにM5StickC PLUS、環境センサーにENV Hat IIIを用いて、温度、湿度、気圧のデータを取得した。M5StickC PLUSへプログラムの書き込みを行う開発環境はUIFLOWを用いた。センサーで取得した各種データは、M5StickC PLUSでテキスト形式に変換した後、JavaScriptのオブジェクト記法を用いたデータ交換フォーマットであるJSONデータへ変換した。変換したJSONデータは、TCP/IPによるPub/Sub型データ配信モデルの軽量なデータ配信プロトコルであるMQTTによるデータ送信を行った。データ送信はWi-Fi通信を用いて実施し、サーバーでデータ受信後にディスプレイにダッシュボードを表示することでモニタリングを実施した。

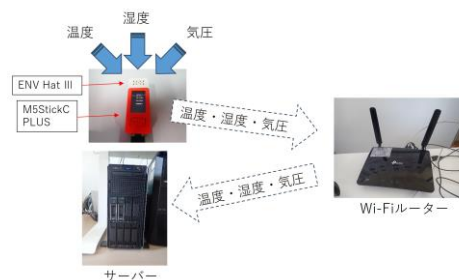


図1 温湿度・気圧データの取得方法

* (株)愛媛CATV

この研究は、「5G活用イノベーション創出事業」の予算で実施した。

サーバーは図 2 に示すように、OS に Ubuntu20.04 を使用した。モニタリングデータ蓄積用のデータベースには MariaDB を使用し、データベースの管理には phpMyAdmin、ハードウェアデバイスと Application Programming Interface (API)、オンラインサービスの接続には Node-RED を使用した。

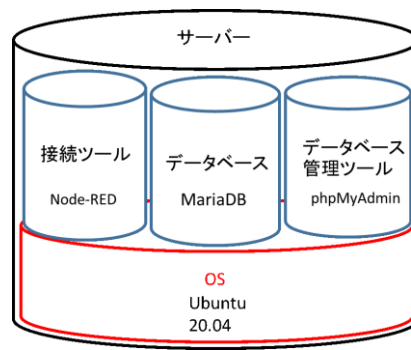


図 2 サーバー

2. AI カメラ

ネットワークカメラとして i-PRO (株) 製 WV-S7130UX (写真 1) を使用した。



写真 1 WV-S7130UX

AI アプリケーションとして株式会社レスターエレクトロニクス製の混雑検知サービスを利用した。混雑検知サービスはバウンディングボックスを 4 つまで指定することが可能である。指定したバウンディングボックス内に人が侵入すると検知し、複数人侵入した場合には人数をカウントする。カウントした人数は HTTP 又は MQTT のプロトコルを使用してネットワーク経由でデータを送信することが可能である。

AI カメラのバウンディングボックス設定は、図 3 のように設定画面の表示部分に設定箇所を指定することで行う。



図 3 AI カメラのバウンディングボックスの設定画面

AI カメラでの検出結果は MQTT でサーバーへ送信し、データベースに結果を保存すると共に Node-RED のダッシュボードで検出結果を表示することとした。

3. 工場での利用とローカル 5 G 経由でのデータ蓄積

(株) 愛媛 CATV が、ローカル 5 G を接続した地域共有型ネットワーク（以下ネットワーク）を構築している。このネットワークを活かして工場間でのデータ共有を試みた。愛媛県内の食品製造工場（以下工場 A）に AI カメラを設置し、人数カウントを行ったデータを、ネットワークを介して愛媛県産業技術研究所に設置したサーバーに送信した。データ送信のイメージ図を図 4 に示す。



図 4 データ送信のイメージ

結果と考察

1. センサーデータのモニタリング検証

センサーデータのモニタリングを実施するため、Node-RED を用いてダッシュボードを図 5 のように表示した。

温度・湿度は折れ線グラフを用いて表示し、横軸を時間軸、縦軸を温度（℃）・湿度（％）とした。気圧の表示はゲージチャートを用いて行った。

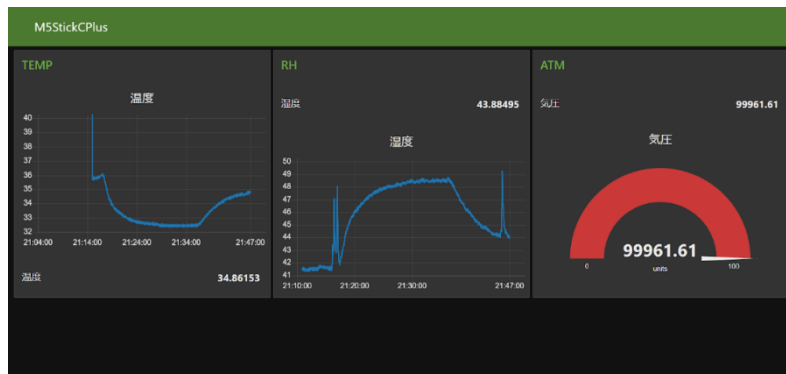


図 5 ダッシュボード

データはリアルタイムでダッシュボードへ表示するとともに、MariaDB に蓄積され、過去のデータを呼び出し確認することも可能であった。

2. AI カメラの利用

Wi-Fi ルーターを用いてサーバーと AI カメラをローカル接続して AI カメラの検証を実施した。AI カメラの指定位置に滞在した人数記録について、データベースへの保存状況を管理ツールの phpMyAdmin で表示した様子を図 6 に示す。また、Node-RED を用いたダッシュボードの表示結果を図 7 に示す。

図 6 から、人の往来があり、検出された際に人数のカウントが記録されていることが確認できる。また、カウントされた検出結果は図 7 のダッシュボードで確認することが可能であった。

3. ローカル 5 G 経由でのデータ蓄積とモニタリング検証

AI カメラを工場 A に写真 2 のように設置し、指定エリア内の人数をカウントした。エリア指定を行うバウンディングボックスは図 8 のとおりとした。それぞれのエリアで検出される人数をカウントし、有線接続したローカル 5 G 受信器から、愛媛県産業技術研究所に設置したサーバーへデータを送信した。

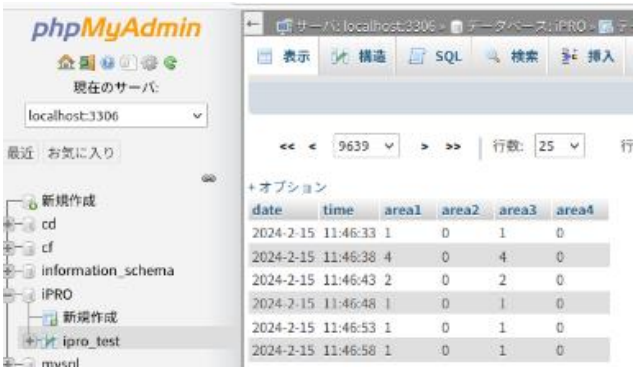


図6 AIカメラ検出結果の phpMyAdmin による表示

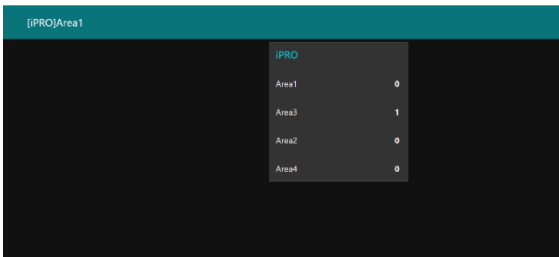


図7 AIカメラ検出結果のダッシュボードへの表示



写真2 工場 A への AI カメラ設置状況

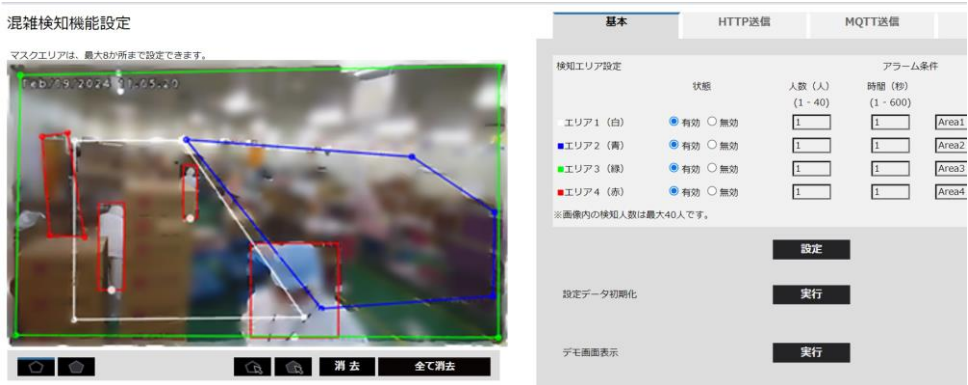


図8 工場 A でのバウンディングボックス設定画面

検知結果をリアルタイムで愛媛県産業技術研究所のモニターに映した結果を写真3に示す。カウント数と時間軸を横軸にとった折れ線グラフで混雑状況を監視できていることが確認できた。また、このデータはデータベースで保存されているため、後から csv 形式等で出力し分析することも可能である。

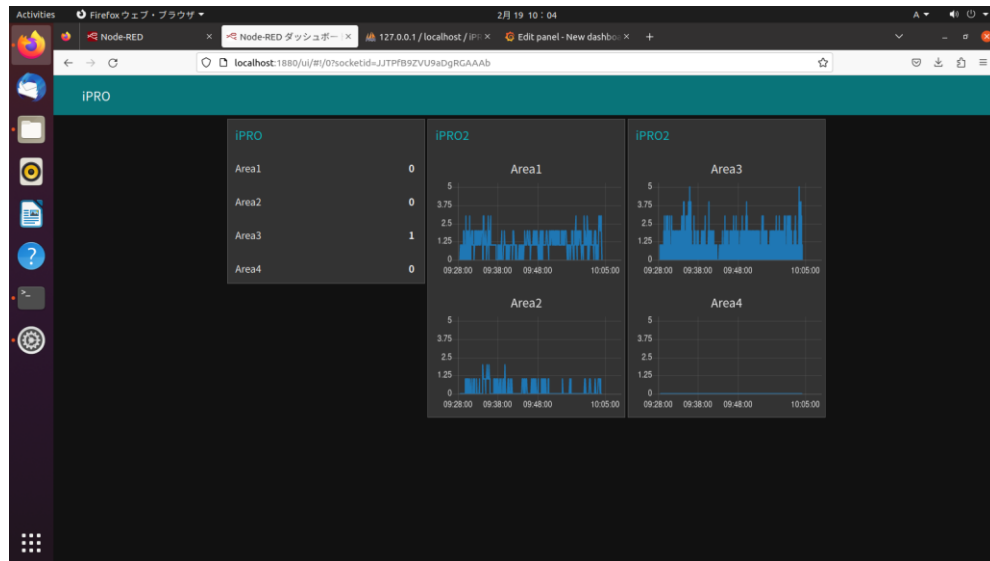


写真3 モニターに表示した人数カウントの検知結果

遠隔でのモニタリングについて、地域共有型ローカル 5 G ネットワークを用いて実施できたため、今後、同ネットワークを用いた様々なデータ共有と展開が期待される。

ま と め

「地域共有型ローカル 5 G ネットワーク利用システム」を活かして、遠隔からのデータ共有と可視化に取り組んだ結果、以下の成果を得た。

1. 地域共有型ローカル 5 G ネットワークを活かして、センサーデータのモニタリング結果をダッシュボードで表示することができた。さらに、遠隔の工場での AI カメラで指定エリア内の人数をカウントし、産業技術研究所で表示したダッシュボードでリアルタイムに確認することができた。

文 献

- 1) 総務省：ローカル 5 G 導入に関するガイドライン,5-6,(2019).
- 2) 総務省：ローカル 5 G 導入に関するガイドライン,2,(2019).
- 3) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：製造現場における無線通信技術の導入ガイドライン,9,(2023).

AI 物体検出技術を用いた遠隔での物体ハンドリング

浦元 明 大野栄一*

Remote object handling of robot using AI object Detection
URAMOTO Akira, OHNO Eiichi

生産性の向上や人手不足の解消に大きく貢献することが期待されているアーム付きロボットの社会実装を推進するため、本研究では、AI（人工知能）とステレオカメラを活用したアーム付きロボットの遠隔制御試験を実施した。その結果、カメラ画像から AI により物体を判別させるとともに、ステレオカメラによる深度情報を活用して対象物との距離を取得し、取得した情報をもとに、遠隔からアームを操作して対象物を移動させることができた。

キーワード：ロボット、AI、遠隔制御、ステレオカメラ

はじめに

近年、ロボット技術の進歩は目覚ましく、その活用範囲は工業用からサービス業、医療、農業等へと広がっている。特に、遠隔地からのロボット制御は、人間が直接関与することが困難または危険な状況において重要な役割を果たすとともに、生産性の向上や人手不足の解消に大きく貢献することが期待されている。このため、自動制御と AI 判別を組み合わせたアーム付き走行ロボットについては、農作業用の収穫ロボットなどの研究が活発に行われており^{1) 2)}、カメラ画像等により周囲環境を把握し、遠隔制御 PC で作業状況を把握することで遠隔からの操作を可能としている。

本研究では、アーム付き走行ロボットの遠隔制御を行った。AI とステレオカメラを活用し、物体を認識するとともに周囲の状況、物体との距離情報を収集した。これらの情報を活用することで、遠隔地からロボットアームを操作して物体を把持し、移動させることができた。

実験方法

1. アーム付き走行ロボット

ロボットは ROBOTIS 製の TURTLEBOT3（以下ロボット）を用いて試験を行った（写真1）。また、ロボットは Lidar を装備し、Lidar を用いた地図作成とナビゲーションができる仕様となっている（表1）。ロボットの SBC（Single Board Computer）は NVIDIA 製の Jetson Nano を使用した。Jetson Nano は、高性能な GPU を搭載した小型のコンピュータで、AI や機械学習の処理を高速かつ効率的に行うことができる。上面には表2に示す仕様の OpenManipulatorX（以下ロボットアーム）を装着した。また、ロボットのアーム先端には映像伝送及び深度情報を得ることができるステレオカメラ intel 製 RealsenseD435（以下カメラ）を設置した。

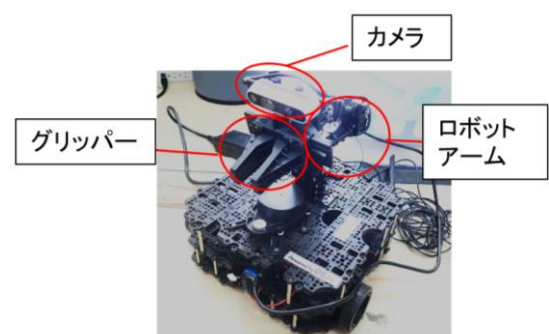


写真1 ロボットとロボットアーム

2. オペレーションシステム

ロボットのオペレーションシステムには ROS noetic を使用した。ROS noetic は、Python 3 に対応している ROS 1 の最新バージョンで、Ubuntu 20.04 LTS と完全に互換性がある。シミュレーションによる動作検証には 3D 可視化ツール Rviz を使用した。Rviz は、センサーデータや姿勢情報を 3次元で可視化することができる。これによりロボットの動作や環境の把握をリアルタイムで行うことができる。また、実際のハードウェアを使用せずにシミュレーションを行うことが可能であるため、開発段階でのロボットの動作検証に有用である。ロボットアームの動作は、自由空間

* (株)ディースピリット

この研究は、「5G 活用イノベーション創出事業」の予算で実施した。

表1 ロボットの主な仕様

土台形状	281mm x 306mm x 141mm
レーザー距離センサー	Lithium polymer 11.1V 1800mAh / 19.98Wh 5C
カメラ	RealsenseD435
メインコントローラー ボード	OpenCR1.0
マイクロコントローラー ユニット	32-bit ARM Cortex®-M7 with FPU (216 MHz, 462 DMIPS)
駆動用モーター (2 輪)	DYNAMIXEL (XM430-W210-T)× 2 for Wheels

表2 ロボットアームの主な仕様

電源	12V
自由度	5
可搬重量	500g
ジョイント回転数	46RPM
重量	700g
長さ	380mm
グリップストローク	20～75mm

動作計画フレームワークである **MoveIt** を用いて実施した。**MoveIt** は、ロボットアームの動きを生成し、制御するためのソフトウェアであり、3次元空間内での複雑な動作も簡単に計画することが可能である。また、**MoveIt** は、衝突検出や運動計画、運動制御などの機能を提供し、これにより安全で効率的なロボットアームの運用が可能となる。

3. AI 判別

ロボットアーム先端についたカメラで取得した映像を利用して、物体認識を実施した。また、カメラの深度情報を利用して、物体認識した結果と共に物体までの距離情報を同時に取得した。物体認識を行う AI モデルは、高速かつ高精度な物体認識を可能にする深層学習モデルで、リアルタイムの物体認識に広く利用されている YOLO (You Only Look Once) v8 を使用した。また、物体検出する物体としては、ロボットアームでの把持が可能な外径 25mm、高さ 100mm、質量 40g のスティックのりを用いた。スティックのりの認識は、写真2のようなスティックのりの画像を 50 枚用いて YOLOv8 の再学習を実施した。再学習のデータのラベル付けにはアノテーションツールとして CVAT を用いた。



写真2 AI 学習に用いたスティックのり画像

4. 遠隔操作

物体認識の情報と深度情報を用いた遠隔操作による物体の移動を試みた。ロボット操作の順序を図1に示す。カメラ映像と物体までの深度情報を参考にスティックのりの近くまで移動し、ロボットアームでスティックのりを持ち上げ、場所を移動した後再度置くという動作で検証した。

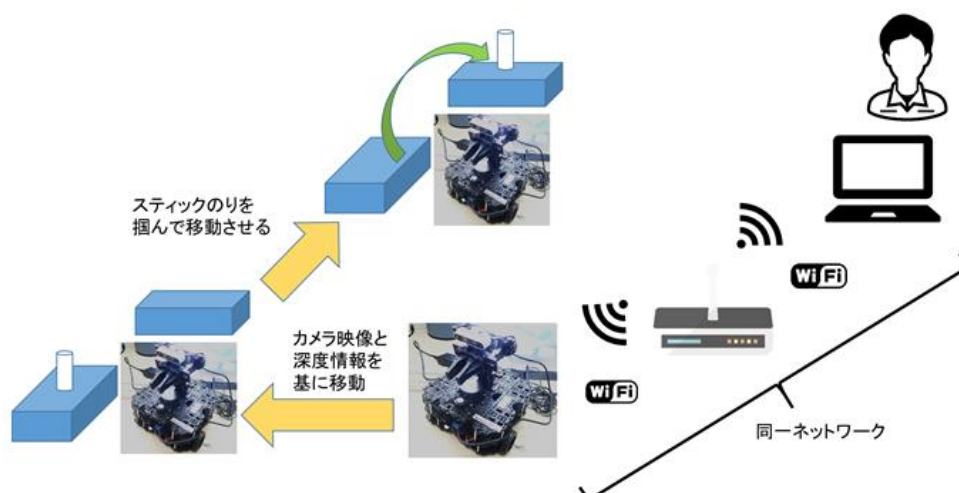


図1 ロボットの遠隔操作順序

結果と考察

1. アームの動作検証

ロボットアームを駆動させるため、MoveIt を用いて、Rviz 上での動作検証を実施した。Rviz でのシミュレーションは、ロボット構造を記述するためのフォーマットである Unified Robot Description Format ファイルを用いて、ロボットとロボットアームのモデル（図 2）を作成して実施した。動作検証は、前後左右上下の稼働に対する物理的な可否について、ロボットアームのモデルを動作させて確認した。

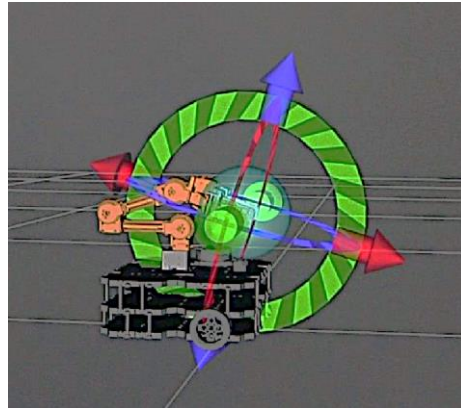


図2 ロボットとロボットアームのシミュレーションモデル

ロボットアームは、写真3に示す状態が初期位置である。この位置から前方へロボットアーム動作させる検証を行ったところ、一度ロボットアームを上方へ持ち上げた後に前方へと動作させる必要があった。この動作は、ロボットアームを斜め前方へ動作させる際にも必要であるため、ロボットアームで前方の物体を把持する動作を行う際には一度ロボットアームを持ち上げる必要があることがわかった。そのため、写真4に示すロボットアームを持ち上げた状態を物体把持のための準備位置とした。

ロボットアームで物体を把持する動作の検証を行った。ロボットアームは、写真5のとおりのグripperを開けた状態で前方と下方への動作を組み合わせることで物体位置まで動作させた。物体位置まで動作させた状態でグripperを閉じて物体を把持した後、ロボットアームを持ち上げて準備位置まで戻り、写真6のとおりの物体を持ち上げる事ができた。

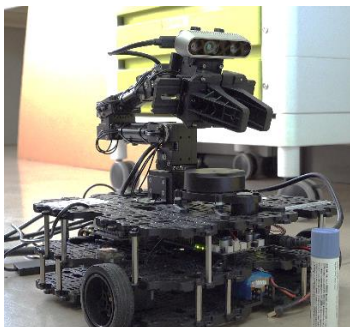


写真3 ロボットアーム（初期位置）

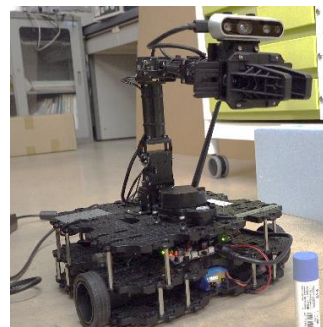


写真4 ロボットアーム（準備位置）



写真5 ロボットアーム（物体位置）



写真6 ロボットアーム（物体持ち上げ時）

2. 物体認識と深度情報の検証

スティックのり画像を用いて YOLOv8 の再学習を行い、ロボットアームに設置したステレオカメラによる物体認識と深度情報の検証を実施した。物体認識結果を表示した画像を写真7に示す。スティックのりを認識し、「Stick」と表示されている事が確認できる。また、同時に実施している深度情報の取得結果を写真8に示す。スティックのりとの距離が深度情報として表示されており、ロボットが物体との相対的な距離を把握することができていることが確認できる。また、深度情報は1秒間に10回程度更新されており、今回実施したロボットアームによる物体把持に使用する距離情報として十分な頻度で取得できていることが確認できた。



写真7 スティックのりの物体認識



写真8 取得した深度情報

3. 遠隔操作の検証

遠隔操作を実施した結果を図3に示す。遠隔操作は台車の移動についてはキー入力で画像と深度情報を確認しながら実施し、深度情報が0.22m程度になったことを確認した段階で、ロボットアームを稼働させるプログラムを実行する方法で実施した。

図3で示すとおり、ロボットアームに取り付けたカメラから得られた画像と深度情報を基にロボットを制御し、物体を持ち上げて別の場所へ移動させるという操作を実施する事ができた。

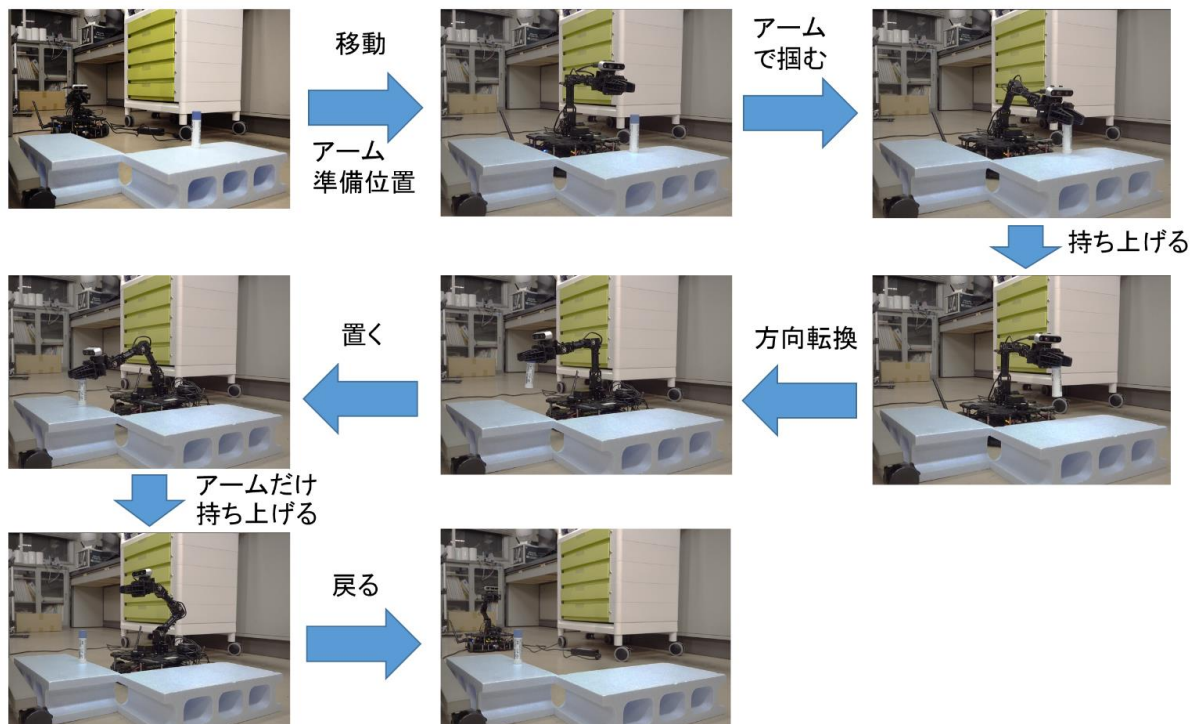


図3 ロボットの遠隔操作

ま と め

アーム付きの走行ロボットについて、AI やステレオカメラを利用して遠隔からのロボット制御試験を実施した結果、以下の成果を得た。

1. ロボットアームを操作し物体を把持することができた。
2. カメラ画像から物体を判別し、判別した物体との距離をカメラの深度情報を利用して得ることができた。
3. カメラ映像と物体認識後に得た深度情報を基に遠隔からアームを操作して物体を移動することができた。

文 献

- 1) 西野，深尾：果実収穫ロボットの開発，日本ロボット学会誌 **Vol.39** No.10,pp892-895(2021)
- 2) 荒木，戸島：トマト収穫ロボット，日本ロボット学会誌 **Vol.39** No.10,pp911-916(2021).

リサイクル炭素繊維と多様な樹脂との複合化技術の開発

安達春樹 井上寛之 井門良介

Development of composite technology for recycled carbon fiber and various resins

ADACHI Haruki, INOUE Hiroyuki and IMON Ryosuke

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）のリサイクルを進めるため、リサイクル炭素繊維(rCF)と幅広い樹脂との複合化条件について検討した。バッチ式の混練機で検討した結果、rCF を 5 mass%及び 10mass%複合化する場合、混練時間は 5 分程度で良いことが確認できた。物性試験の結果、rCF をポリブチレンサクシネート(PBS)、ポリ乳酸(PLA)といった生分解性樹脂と 10mass%複合化した場合、曲げ強度は 1.4~2.9 倍、引張強度は、1.4~2.0 倍、衝撃強度は 0.98~2.0 倍となることが分かり、特に PBS へ複合化した場合、強度上昇率が高いことが分かった。rCF の単価を 1000 円/kg としてコスト試算を行ったところ、rCF を 10mass%配合するとバイオ PE(マリコン 2mass%)はコストが 1.52 倍、PBS は 1.08 倍、PLA は 1.10 倍となることが分かった。

また、菊間瓦を焼成する大型の強制循環式いぶし窯の窯内部の温度変化を調査した結果、上下における温度差は小さいことが分かった。

キーワード：炭素繊維強化プラスチック(CFRP)、リサイクル炭素繊維(rCF)、炭素繊維(CF)、生分解性樹脂、ポリブチレンサクシネート(PBS)、ポリ乳酸(PLA)

はじめに

CFRP は、軽量・高強度、さびないなどの機能を有する高機能素材として注目されており、近年では航空機や自動車の構造材、高圧ガスボンベなどに使用されている。CFRP の使用量が増加する一方で、2023 年度現在、世界の CFRP 廃棄物量は年間 8 万トン以上、2030 年には 15 万トン以上になると推計されているものの、大部分が埋め立て処理されており、CFRP 廃棄物の処理が問題となっている¹⁾。これらの問題解決のため、愛媛県産業技術研究所では、令和 3~4 年度に愛媛県単独でいぶし窯(菊間瓦を焼成する特殊な窯)を活用し、CFRP 廃材から付加価値の高い rCF を回収する技術を開発した。

この技術を活用し、回収した rCF を樹脂強化剤として活用するためには、樹脂との複合化技術が必要であるが、その条件については炭素繊維メーカー等の大手民間企業が独自の知見を有しているのみで公開されているデータがほとんどない。

そこで、本研究では、環境への影響を配慮し、カーボンニュートラルな植物由来の原料から製造されたポリエチレン(バイオ PE)と環境中に排出されても分解する PBS 及び PLA について、rCF との複合化条件について検討した。また、CFRP リサイクル時に使用を想定している菊間瓦を焼成する商業用の大型いぶし窯について、昇温時の窯内部の温度変化について実測を行った。

実験方法

1. 各樹脂と混練条件等について

使用する樹脂は、バイオ PE(Braskem 社製)、PBS(三菱ケミカル(株)製)、PLA(安徽豊原福泰来聚乳酸有限公司製)を用いた。仮想 rCF として東レ(株)の T300 を 400℃で約 30 分熱処理しサイジング剤を除去したものを実験に用いた。作製した仮想の rCF は、繊維長を約 10 cm にそろえ、樹脂との混練に用いた。混練は混練機(TDR100-3 トーシン(株))を用いて行い、rCF 含有量が 5 mass%及び 10mass%となるよう複合化を実施した。混練温度は、バイオ PE は 170℃、PBS 及び PLA は 200℃、ニーダーの回転速度は 60rpm とし、混練時間は 5 分とした。また、バイオ PE については、相溶化剤としてマリコン(大阪ガスケミカル(株)製)を 2 mass%添加した試料についても作製した。

この研究は、「起業化シーズ育成支援事業」の予算で実施した。

複合化した試料中の rCF 平均繊維長は、マッフル炉(S-90 ㈱デンケン)を用い 400～450℃で約 6 時間熱処理し、残った rCF をデジタルマイクロスコープ(KH-8700 ㈱ハイロックス)で 100 本測定することで算出した。

2. 射出成形機での成形条件及び物性試験について

混練機を用い作製した試料を、粉碎機(SX-160 ㈱シュトルツ)により粉碎後、射出成形機(J50ADS-60U ㈱日本製鋼所)を用いダンベル試験片(全長 170 mm、平行部長さ 80 mm、平行部幅 10 mm、厚さ 4 mm、つかみ部幅 20 mm)及び短冊試験片(全長 80 mm、幅 10 mm、厚さ 4 mm)を作製した。射出成形機のノズル温度は、ノズル先端から、NH 1, 2 は 200℃、NH 3, 4 は 195℃、NH 5 は 190℃、NH 6 は 180℃とした。金型温度は約 30℃とし、射出速度は 50mm/s 及び 100 mm/s とした。射出速度は速度差により繊維の配向へ影響があるとの報告があることから、速い条件と遅い条件の 2 パターン設定した²⁾。

引張試験は JIS K 7161-1:2014、曲げ試験は JIS K 7171:2016、シャルピー衝撃試験は JIS K 7111-1:2012 に準拠し実施した。装置は、恒温槽付き万能試験機(AG-X plus100kN(㈱島津製作所)、万能衝撃試験機(No.258-L ㈱安田精機製作所)を用いた。

3. 強制循環式（強制バーナー式）いぶし窯の昇温時の内部温度変化の調査

CFRP のリサイクルの際に使用するいぶし窯について、強制循環式の窯の温度変化について調査を行った。先行研究では、愛媛県産業技術研究所窯業技術センターが所有する自然対流式（ベンチュリーバーナー式）のいぶし窯でデータを取得していたものの、商業用の大型かつ強制的に内部を対流させることができるいぶし窯の温度変化についてはデータ取得ができていなかった。そのため、本研究では、県内いぶし瓦関連企業協力のもと、大型の強制循環式いぶし窯の昇温中の窯内部の温度データについて熱電対を用い実測を行った。熱電対を設置した箇所は図 1 の 3 か所とした。昇温条件は 2 時間 15 分で 600℃まで昇温し、その後、温度を保持した。

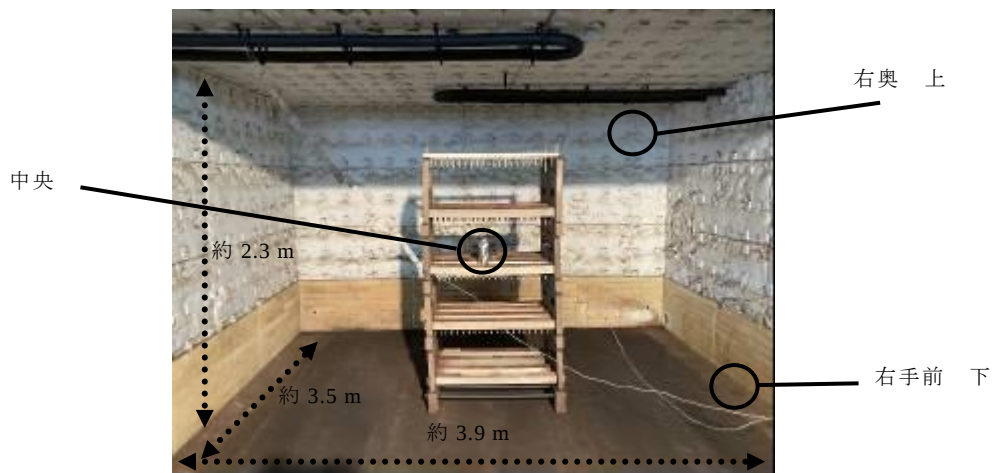


図 1 強制循環式いぶし窯内部の熱電対の設置位置

結果と考察

1. rCF と各種樹脂との混練条件の検討

3 種の樹脂(バイオ PE、PBS、PLA)の混練条件検討のため、混練後の rCF の繊維長をマイクロスコープで測定した(図 2)。測定の結果、rCF の平均繊維長は 201～218 μm であった(表 1)。rCF は混練時間が長くなるにつれ平均繊維長が短くなり³⁾、繊維長が 100 μm 以下となると補強効果が著しく低下することが知られている⁴⁾。各樹脂と rCF を 5 分間混練したが、rCF の繊維長が 100 μm 以上の割合は、すべての樹脂において 70%以上であり、分散性についても良好であったことから、本研究で用いた混練機で複合化を行う場合、混練時間は 5 分間程度で問題ないことが確認できた。



図2 マイクロスコップでの繊維長測定(rCF10mass% PLA)(左：測定前画像 右：測定後画像)

表1 混練条件及び混練後の平均繊維長

項目 単位	平均繊維長 μm	最大繊維長 μm	最小繊維長 μm	繊維長が100μm 以上の割合 %	混練条件
バイオPE rCF 10%	201	663	14.8	71	170℃ 5分
PBS rCF 10%	218	587	25.4	80	200℃ 5分
PLA rCF 10%	205	577	27.9	79	200℃ 5分

2. 射出成形機での成形及び物性試験

射出成形機でダンベル試験片及び短冊試験片を作製し(図3)、曲げ試験、引張試験、シャルピー衝撃試験を実施した。5回試験を行った平均値を表2に示す。ベース樹脂と比較した場合、rCFを複合化することで、バイオPEの衝撃強度を除き、rCFの濃度が高くなるにつれ強度は上昇することが分かった。また、他の樹脂と比べPBSはrCFを複合化することによる強度上昇効果が高く、10%複合化した場合、曲げ強度は約2.9倍、引張強度は約2.0倍、衝撃強度は約1.7倍になることが分かった(表3)。

一般的に樹脂へ充填剤を混練すると曲げ強度及び引張強度は上昇し、衝撃強度は下がると言われている⁵⁾。衝撃強度が下がる理由は、充填剤に応力が集中することに起因する⁵⁾。衝撃強度の低下を改善する手法として、樹脂と充填剤の密着性を上げる相溶化剤を添加する方法があり、本研究においてもバイオPEに相溶化剤(マリコン)を2%添加することで、衝撃強度を約2.0倍に改善することができた。

射出速度と各強度の関係を比較したところ、関連性はほとんどなかった。これは、射出速度50mm/s及び100mm/sではrCFの繊維の方向がランダム配向のままであるため、各強度に影響がなかったと推測される。

PBS及びPLAについて衝撃強度が上昇した理由は、rCFに微量に残存しているエポキシ樹脂由来のOH基とPBS及びPLAのC=O基との間に水素結合が生じ、rCFと各樹脂との密着性が上がったためであると推察された。また、熱処理時の加熱によりrCF表面が一部酸化劣化したことにより、rCF表面と樹脂との間に同様の水素結合が生じている可能性も推察された。類似の原理で、マレイン酸変性PPのC=O基とシリカフィラーの水酸基との間に水素結合が形成されることが報告されており⁶⁾、生分解性樹脂とrCF表面に微量に存在している官能基との間で同様の現象が生じている可能性が推察された(図4)。



図3 射出成型機で成形した短冊試験片

表 2 物理試験結果

項目 単位	射出速度 mm/s	曲げ強度 N/mm ²	曲げ弾性率 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	引張弾性率 N/mm ²	衝撃強度 kJ/m ²
バイオPE	50	26.0	1080	18.1	1020	3.39
	100	26.2	1140	18.7	1210	3.36
PE rCF5%	50	31.5	2280	21.5	3210	2.73
	100	31.6	2280	21.1	3290	2.69
PE rCF10%	50	46.8	4060	26.9	4280	3.47
	100	46.5	4040	26.2	4220	3.30
PE rCF5% マリコン2%	50	46.3	2370	29.7	2580	4.44
	100	45.6	2320	30.0	3310	4.39
PE rCF10% マリコン2%	50	61.7	3640	40.5	4120	6.63
	100	56.7	3610	39.8	3960	6.68
PBS	50	35.0	623	38.2	802	6.80
	100	38.2	665	38.2	878	4.63
PBS rCF5%	50	86.3	2330	58.3	3560	6.74
	100	85.6	2240	58.0	3300	6.12
PBS rCF10%	50	112	3760	76.0	6250	8.60
	100	111	3760	76.1	5350	8.00
PLA	50	95.8	3310	62.2	3960	1.83
	100	99.4	3320	62.9	4010	1.68
PLA rCF5%	50	118	5540	76.0	7110	2.09
	100	118	5720	76.6	7410	2.15
PLA rCF10%	50	137	8050	87.3	10600	2.90
	100	136	8110	90.7	9560	2.73

表 3 各物理試験での強度上昇比

項目	曲げ強度		引張強度		衝撃強度	
単位	N/mm ²	強度上昇比	N/mm ²	強度上昇比	kJ/m ²	強度上昇比
バイオPE	26.2	-	18.7	-	3.36	-
PE rCF5%	31.6	1.2	21.1	1.1	2.69	0.80
PE rCF10%	46.5	1.8	26.2	1.4	3.30	0.98
PE rCF5% マリコン2%	45.6	1.7	30.0	1.6	4.39	1.3
PE rCF10% マリコン2%	56.7	2.2	39.8	2.1	6.68	2.0
PBS	38.2	-	38.2	-	4.63	-
PBS rCF5%	85.6	2.2	58.0	1.5	6.12	1.3
PBS rCF10%	111	2.9	76.1	2.0	8.00	1.7
PLA	99.4	-	62.9	-	1.68	-
PLA rCF5%	118	1.2	76.6	1.2	2.15	1.3
PLA rCF10%	136	1.4	90.7	1.4	2.73	1.6

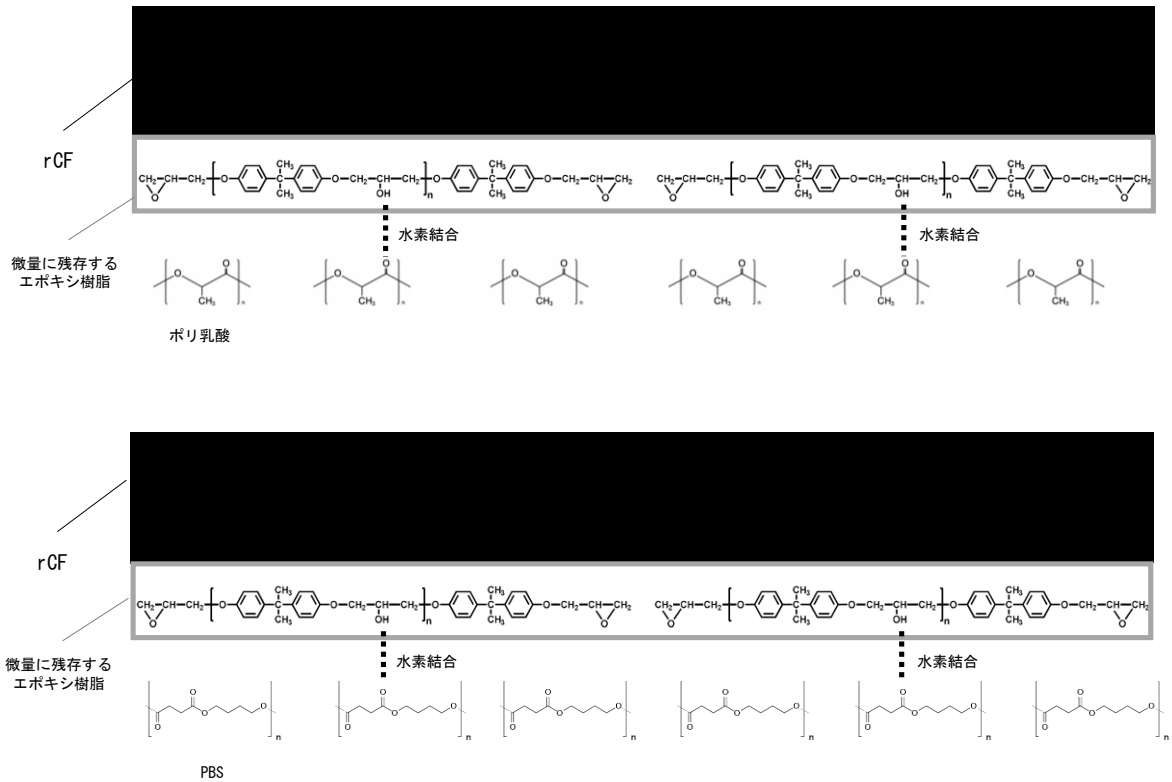


図4 rCFに残存したエポキシ樹脂と生分解性樹脂との間の補強効果イメージ

3. 強制循環式（強制バーナー式）いぶし窯の昇温時の内部温度変化

CFRP をリサイクルする際に使用する菊間瓦を焼成する商業用の大型いぶし窯の昇温時の温度変化について実測を行った。これは、菊間瓦の焼成が 1000℃以上で実施されるため、600℃付近の低温時の窯内部の温度分布が不明であることから実施した。

測定結果を図5に示す。窯内部の温度変化の測定の結果、先行研究⁷⁾である自然対流式（ベンチュリーバーナー式）のいぶし窯では、窯の上下で温度差が 300℃以上あり、温度制御可能な上部にサンプルを置く必要があったが、強制循環式のいぶし窯では、上部及び下部において温度差は小さいことが分かった。しかし、窯の上部は、中段及び下段と比較し、温度が 40℃程度高いことから、実際にリサイクル処理する際は、中段より下(地面より 1m20cm 以下程度)にサンプルを設置するほうが良いことが分かった。

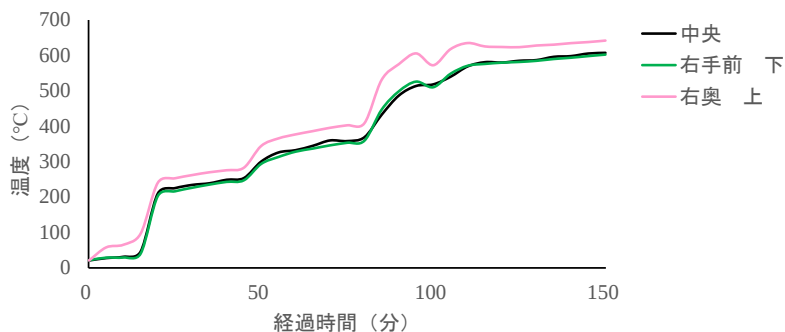


図5 強制対流式いぶし窯内部の昇温時の温度変化

4. rCF を複合化した場合のコストと強度変化

rCF を複合化した場合のコストと強度変化について算出した。各樹脂の単価は、バイオ PE : 180 円/kg、PBS : 550 円/kg、PLA : 500 円/kg、マリコン : 770 円/kg とし、rCF についてはリサイクル手法により単価に幅があるため 1000 円/kg 及び 2000 円/kg とした(表 4)。

rCF の単価が 2000 円/kg の場合、rCF を 10mass%配合するとバイオ PE(マリコン 2mass%)はコストが 2.08 倍、PBS は 1.26 倍、PLA は 1.3 倍となった。rCF の単価が 1000 円/kg の場合、rCF を 10%配合するとバイオ PE(マリコン 2mass%)はコストが 1.52 倍、PBS は 1.08 倍、PLA は 1.10 倍となった。生分解性樹脂へ rCF を複合化した場合、もともとの樹脂の価格が高いため、コストの増加率は低くなる。そのため、生分解性樹脂へ rCF を複合化した実用化製品を設計する際は、コストの増加率は比較的抑えることができることを意識し、強度増加率との兼ね合いを考え、出口となる製品を考えていく必要がある。

表 4 コスト試算と各樹脂の強度上昇比

	rCF単価		物性変化率		
	1000円/kg	2000円/kg	曲げ強度 上昇率 (%)	引張強度 上昇率 (%)	衝撃強度 上昇率 (%)
バイオPE	180	180	-	-	-
PE rCF5%	221	271	20.5	13.2	-19.9
PE rCF10%	262	362	77.3	40.6	-1.75
PE rCF5% マリコン2%	233	283	74.3	60.6	30.7
PE rCF10% マリコン2%	274	374	116	113	99.0
PBS	550	550	-	-	-
PBS rCF5%	573	623	124	51.9	32.3
PBS rCF10%	595	695	191	99.4	74.0
PLA	500	500	-	-	-
PLA rCF5%	525	575	18.8	21.9	27.8
PLA rCF10%	550	650	36.9	44.2	62.1

ま と め

rCF をバイオ PE、PBS、PLA に複合化し、強度試験を行った結果、以下のことが分かった。

1. バイオ PE、PBS、PLA へ rCF を 10mass%複合化した場合、曲げ強度は 1.4～2.9 倍、引張強度は 1.4～2.0 倍、衝撃強度は 0.98～2.0 倍となることが分かり、特に PBS へ複合化した場合、強度上昇率が高いことが分かった。
2. PBS 及び PLA へ rCF を複合化した際に衝撃強度が上昇する理由は、rCF 表面に存在する微量の官能基と樹脂との間に水素結合が生じ、密着性が向上することにより生じている可能性が推察された。
3. 菊間瓦を焼成する大型の強制循環式のいぶし窯では、上下における温度差は小さいことが分かった。
4. コスト試算を行ったところ、rCF の単価が 1000 円/kg の場合、rCF を 10%配合するとバイオ PE(マリコン 2mass%)はコストが 1.52 倍、PBS は 1.08 倍、PLA は 1.10 倍となることが分かった。

文 献

- 1) 株式会社矢野経済研究所:リサイクル炭素繊維の評価手法や採用状況に関する国際動向調査,p.53 (2022).
- 2) 小倉翔吾:繊維強化樹脂射出成型品の強度予測技術の研究,カヤバ技報第 67 号 p.23(2023).
- 3) 村山正樹:短繊維型 CFRTF の物性に及ぼすリサイクルの繰り返しの影響,三重県工業技術研究所研究報告,No.44,p.80(2020).

- 4) 森亮介:射出成型における金型内の炭素繊維折損挙動解析,生産研究,65 巻,6 号,p.126(2013).
- 5) 相馬勲:フィラーデータ活用ブック,株式会社工業調査会,p.36-39(2004).
- 6) 渡邊亮太:顕微赤外分光法による高分子とフィラー界面構造の可視化,日本ゴム協会,Vol.95,(12),p.347-352(2022).
- 7) 安達春樹:いぶし窯を活用した効率的なリサイクル炭素繊維回収技術の開発,愛媛県産業技術研究所研究報告,No.61,p.3(2023).

愛媛県産ジビエの品質評価及び加工法の研究（第2報）

八塚愛実* 渡部将也 永田洋子 西村理子 開 俊夫

Study on Quality evaluation and Processing of game meat from Ehime (Part 2)

YATSUZUKA Manami, WATANABE Masaya, NAGATA Yoko, NISHIMURA Satoko and HIRAKI Toshio

県内で捕獲されたイノシシ肉、シカ肉の有効活用を目的に季節ごとの品質評価及びペット用ドライフードの試作、成分分析等を行った。イノシシ肉、シカ肉ともに抗疲労効果をもつイミダゾールジペプチドを豊富に含むことが分かった。愛媛県産ジビエの特徴として、シカ肉の鉄分含有量が特に多いことが分かった。

また、ペット用ドライフードは、成分分析を行った結果、市販品と比較し、高たんぱく質、低脂肪、低食物繊維、低炭水化物であることが分かった。

キーワード：ジビエ、品質評価、アミノ酸、脂肪酸

はじめに

全国的に鳥獣被害が深刻な問題となっており、愛媛県も例外ではない。県内の獣類の捕獲数は、平成5年の約5,200頭に対し、平成30年は約40,200頭であり、約8倍に増加している¹⁾。捕獲した獣類は解体後廃棄処分していたが、処分費用や労力の負担が大きく、捕獲をビジネスとするために各地でジビエ活用を検討している。捕獲した獣類（イノシシ、シカ）のジビエ活用率は年々高まりを見せているが、それでも全体の約9%²⁾であり、十分に有効活用されているとは言い難い。

捕獲獣類の有効活用には、獣肉品質を把握し、特性を活かした加工品を開発することにより、一般市場に受け入れられやすい各種の取組みが必要である。

本研究では、ジビエの普及の壁となっている「用途拡大」と「調理法の普及」の一助とするため、捕獲した獣類を対象に捕獲時期、部位別の品質評価を行うとともに、食用に適さない獣肉の有効活用として、ペットフードへの展開も検討した。

実験方法

1. 試料

愛媛県内獣肉加工施設からイノシシ肉、シカ肉のロース、モモを入手し、本研究における試料とした。年間を通じた品質評価を行うことを目的に6月、11月、1月、3月の時期別、試料を用いた。猟期設定が11月から3月であることから、猟期初期（11月）、中期（1月）、終期（3月）と分類した。物性評価用として試料を分析法により指定された形状、重量とし、成分分析用にはフォースミル（大阪ケミカル(株) FM-1）を使用して粉碎した。

2. 各種品質評価

品質評価を行うために、栄養成分分析、pH、遊離アミノ酸・イミダゾールジペプチド分析、脂肪酸組成、加熱損失、香気成分分析の評価を行った。各評価方法を以下に説明する。

(1) 栄養成分分析：七訂日本食品標準分析表の分析法に準拠して分析を行った。各成分の分析法は表1の方法にて実施した。

(2) pH：突き刺し型 pH メーター（サトテック YK-21SP）を使用し、数ヶ所の値を測定した。

(3) 遊離アミノ酸およびイミダゾールジペプチド分析：試料約5gを採取し、超純水10mlを加え2分間振とうし、10%（v/v）トリクロロ酢酸溶液15mlを加えさらに10分間振とうした。1時間静置し

* 愛媛県衛生環境研究所

この研究は、「愛媛県産ジビエの品質評価及び加工法の研究」の予算で実施した。

表 1 栄養成分の分析法一覧

水分	常圧加熱・乾燥助剤法 135℃ 2時間
タンパク質	マクロ改良ケルダール法
脂質	ソックスレー法
灰分	直接灰化法
炭水化物	差引法
鉄	直接灰化法で得られた灰分を原子吸光法にて測定

7,000rpm で 10 分間遠心分離処理後、上清を 5 ml 採取し、n-ヘキサン 5 ml を加え 1 分間振とうした。7,000rpm で 3 分間遠心分離処理を行い、上清を除去した。この操作を 3 回繰り返した後に、水層をナスフラスコに移し、ロータリーエバポレーターを使用し濃縮乾固させ、クエン酸リチウム緩衝液で 10ml に定容、0.2 μm フィルターでろ過し、測定用試料とした。試料を高速アミノ酸分析計（（株）日立ハイテクノロジーズ L-8900）を使用し生体液分析法により分析した。

(4)脂肪酸組成：七訂日本食品標準分析表の分析法に準拠し、分析を行った。クロロホルム-メタノール混液抽出物に対し、水酸化ナトリウム-メタノール溶液で加熱けん化し、三フッ化ホウ素・メタノール試薬をメチルエステル化した後、ガスクロマトグラフ装置（（株）島津製作所 GC-2014）にて分析を行った。

(5)加熱損失³⁾：試料を約 50g、立方体状に採取し、耐熱性ポリ袋に入れ 70℃の水浴で 1 時間加温し、加温後流水で 30 分間冷却した。その後、試料を取り出し、表面の肉汁の固まり等を流水で落とし、表面水分を軽く取り除き試料重量を測定し、以下の数式のとおり、加熱損失（％）を算出した。

$$\text{加熱損失（％）} = \{ (\text{加熱前試料重量} - \text{加熱後試料重量}) / \text{加熱前試料重量} \} \times 100$$

(6)香気成分分析：加熱損失評価用に加熱した試料を 1 cm 角に切り分け、5 g 採取し、ガスクロマトグラフ質量分析計（GCMS-QP2020NX （株）島津製作所）を使用し、以下の条件で香気成分測定を行った。

○GCMS分析条件	○HS分析条件
装置名: GCMS-QP2020 NX	オープン温度: 70 °C、バイアル保温時間: 30 min
カラム: SH-WAX(0.25 mm I.D.×30 m, d.f.= 0.25 μm)	サンプリング温度: 150 °C、トランスファーライン温度: 150 °C
オープン: 40 °C (2 min) - 10 °C/min - 220 °C (6 min)	バイアル攪拌: Off、バイアル体積: 20 mL、バイアル加圧時間: 0.5 min
注入モード: スプリット 1:20、キャリアガス: He	バイアル加圧平衡化時間: 0.1 min、ロード時間: 0.5 min、ロード平衡化時間: 0 min
線速度: 48.1mL/分、カラム流量: 1.78mL/分	マルチインジェクション回数: 3、バイアル加圧圧力: 0 kPa(He)
インターフェイス温度: 230 °C、イオン源温度: 200 °C	トラップ 冷却温度: -10 °C、トラップ 加熱温度: 250 °C、注入時間: 5.0 min
スキャン範囲:m/z 35-500	ニードルフラッシュ時間: 5.0 min

3. 加工品の検討及び試作

シカ肉は脂質が少なく、加熱により硬化しやすい。今回、肉の軟化を目的に塩麴およびマイタケを使用してシカ肉軟化処理試験を実施した。

厚さ 1 cm にスライスしたシカロース肉 200g に対し、塩麴試験区では、30g の塩麴を全体にもみ込み、4 時間静置した。マイタケ試験区では、マイタケと同重量の水を加えミキサー処理し、マイタケ液を調製後、厚さ 1 cm にスライスしたシカロース肉 200g に対し、マイタケ液 100g を全体にもみ込み 4 時間静置した。

その後、各試験区の肉を取り出し、キッチンペーパーでぬぐい、200℃に設定したホットプレートで軽く焼き色がつくまで両面焼き、アルミ蒸着レトルト袋に入れ、121℃で 30 分間レトルト処理を行い、常法により破断強度を測定した。また、シカ肉とイノシシ肉を用いたハンバーグの試作を行い、官能評価を実施した。

4. ジビエを活用したドライフードの実設備での試作及びモニター試験

愛媛県鬼北町役場農林課森林対策室、岡山理科大学獣医学部と連携し、鬼北町にあるペットフード製造施設の実機を使用し、ドライフード試作開発および約 50 頭の犬を対象にしたモニター試験を実施した。（配合や製造方法は、試作品の特徴を示す内容であることから、本報告内での記載を控える。）試作品は栄養成分分析、および安全性試験を経てモニター試験に供した。

結果と考察

1. 一般栄養成分分析結果

県内2ヶ所（東予地区、南予地区）の獣肉加工施設から入手したイノシシ肉を対象に一般栄養成分分析を行った（図1）。（産地Bにおける3月分イノシシモモ肉は入手できなかったため、データは空欄。）

脂質については秋から冬に高くなると言われているが、本結果ではそのような傾向は確認されなかった。イノシシ個体としての脂肪層は猟期である秋から冬にかけて厚くなることが経験的に知られており、これには季節的に主な餌がどんぐり等の木の実となることが影響しているとされているが、実際に分析に供したイノシシ肉の写真（図2）より、トリミングによってどこまで脂肪層を除去するかが分析結果に大きく影響すると考えられた⁴⁾。脂身が多く含まれると脂質の割合が増え、水分やタンパク質の割合が減少するが、それ以外の成分の割合はほぼ変化は見られないことが分かった。

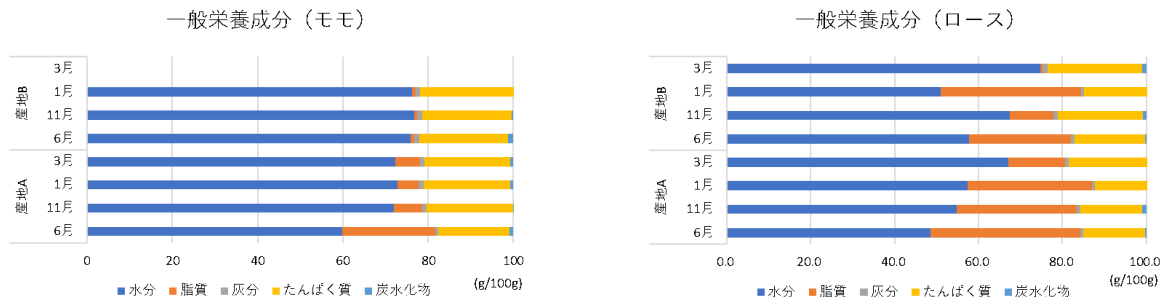


図1 イノシシ肉の一般栄養成分の推移



図2 分析に用いたイノシシモモ肉の写真

次に、シカ肉を対象に一般栄養成分分析を行った結果を図3に示す。（3月分ロースは入手できなかったため、空欄。）シカ肉は全般的に脂質が非常に少ないことが知られている。外観はイノシシ肉と比較し、トリミングによる差は確認できなかった。分析の結果、水分割合が非常に高く、次にタンパク質が多く、脂質、灰分、炭水化物の割合は少ないことが分かった。

また、水分およびたんぱく質は季節を通じてほぼ一定であった。これはシカの餌が通年、植物の葉や樹皮であり、イノシシのように種子類を食べる季節が存在しないことが関係していると考えられる。脂質はモモよりロースの方が多く、モモは11月、ロースは1月が最も多く含まれていた。鉄は季節、部位を問わず、約4～6 mg/100gの値を示し、食品成分表2020に記載されているシカ肉の鉄含有量値（3.1～3.9mg/100g）と比較し、県内産シカ肉には鉄分が多く含まれていることが分かった。

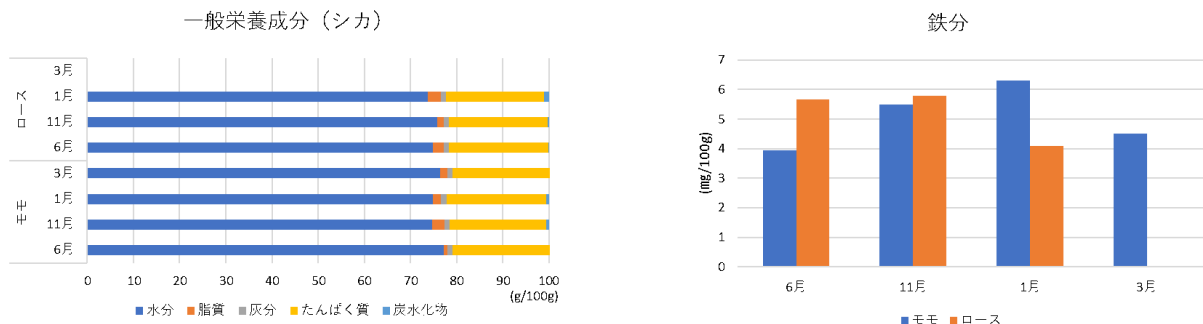


図3 シカ肉の一般栄養成分及び鉄分の推移

2. pH 及び加熱損失評価結果

イノシシ肉、シカ肉を対象に pH 測定を行った。その結果を図 4 に示す。一般的に畜肉（牛肉）は、pH 6 を超えると異常と判断され、市場には流通しないが³⁾、今回、評価したイノシシ肉、シカ肉はどの季節も pH 6 を超えているものが多かった。加熱損失と pH の相関を図 5 に示す。愛媛県産ジビエの品質評価及び加工法の研究（第 1 報）と同様にイノシシ肉、シカ肉は脂質の多いモモは加熱損失が高まる傾向が確認された。一般に加熱損失と粗脂肪含量は負の関係にあり、粗脂肪含量が少ないと多汁性の評価も下がる³⁾。また、pH が 6 を超えると加熱損失が低く、6 より低いと加熱損失が高くなった。pH 低下によりタンパク質変性が生じ、加熱時に水分や脂質を保持することが困難になり、食感の悪化、歩留の低下が生じること及び¹¹⁾、pH の差異は、イノシシ、シカ等の個体栄養状態のほか、止め刺し時に発生したストレスが要因となることが知られている¹⁰⁾。今回の結果を踏まえ、pH 測定は肉質モニタリングとして有効な手段であることが分かった。

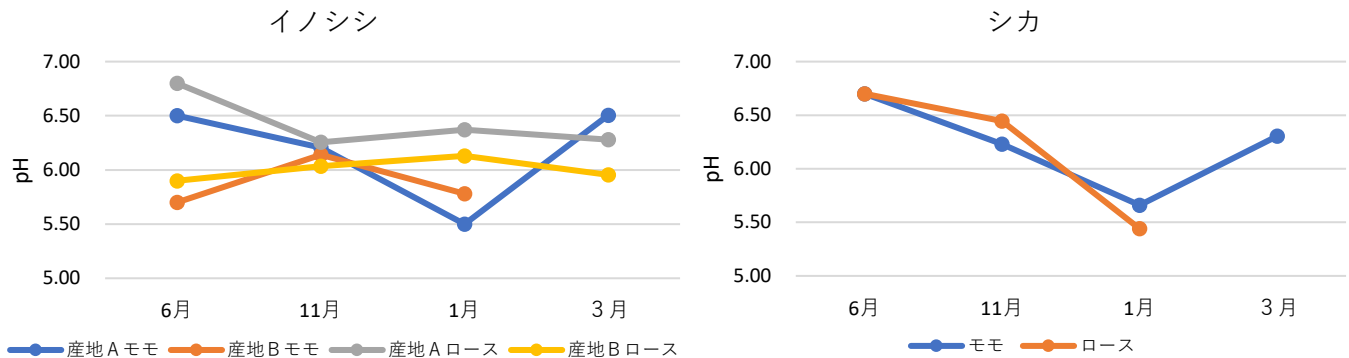


図 4 獣肉の pH 推移

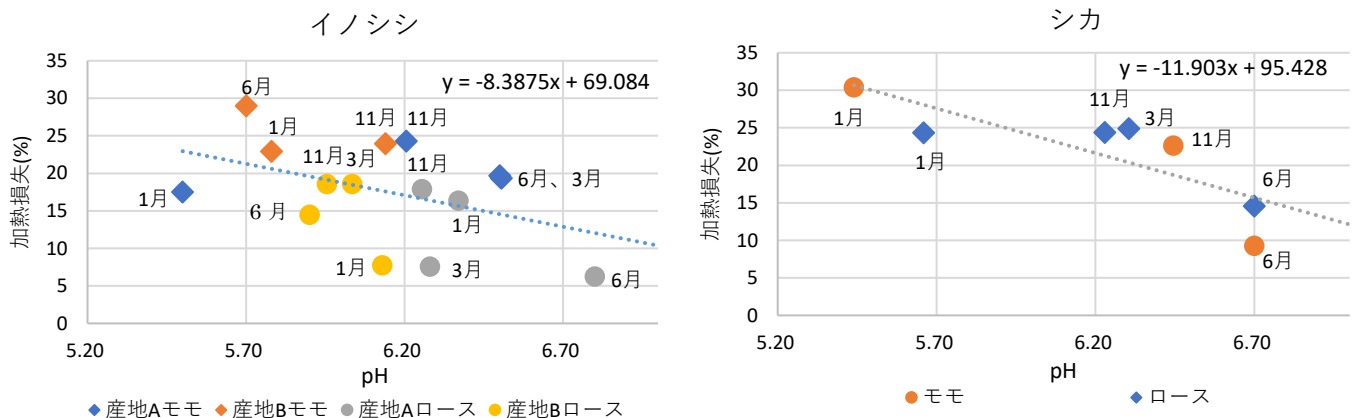


図 5 獣肉の pH と加熱損失の相関

3. 遊離アミノ酸及びイミダゾールジペプチド測定結果

遊離アミノ酸測定結果を図 6 に示す。遊離アミノ酸総量はイノシシ、シカともに 6 月が最も高い結果であったが、季節による顕著な傾向は見られなかった。

イノシシ肉、シカ肉ともに遊離アミノ酸総量の季節による差はみられないという報告¹⁰⁾があり、イノシシ肉やシカ肉は家畜と異なり個体差が非常に大きいことから、本試験結果は個体差による影響が大きいと考えられた。

疲労低減効果や抗酸化作用があるイミダゾールジペプチド^{6) 7)}であるアンセリン、カルノシン含有量の分析結果を図 7 に示す。イノシシ肉にはカルノシンが多く含まれ、アンセリンは豚ロース^{6) 7)}と同等もしくは 2 倍程度の含有量であり、季節や部位による傾向は確認できなかった。シカ肉はカルノシン、アンセリンの含有量は、豚ロース^{6) 7)}の 10 倍程度であり、アンセリンは 6 月から緩やかに含有量が増え 3 月が最も高く、カルノシンは 6 月が最も高く 3 月に向けて緩やかに減少していくことが確認できたが、既報¹⁰⁾によると冬季の方がイミダゾールジペプチドの含有量が高いという報告があり、本結果は、遊離アミノ酸と同様個体差による影響が大きいと考えられた。

4. 脂肪酸組成

イノシシの総脂肪酸量及び脂肪酸組成の推移を図 8 に示す。近年、脂質中の脂肪酸組成は食味に大きく影響することが分かってきた。脂肪酸は飽和脂肪酸、一価不飽和脂肪酸、多価不飽和脂肪酸に分

類でき、豚肉は、多価不飽和脂肪酸の割合が高いと「オフフレーバー」を感じやすくなり、これは多価不飽和脂肪酸が酸化されやすいため、酸化臭が発生することに関係していると考えられている⁸⁾。また、豚肉において飽和脂肪酸のうちパルミチン酸の割合が高くなると、「オフフレーバー」強度が減少する傾向にあり⁸⁾、牛肉において一価不飽和脂肪酸であるオレイン酸の割合が増えると、良い香りの強度が向上する可能性についても報告されている⁹⁾。牛肉及び豚肉における脂肪酸組成による食味影響は、イノシシ肉、シカ肉についても同様に作用しているが、シカ肉は脂質量が非常に低いことから脂肪酸組成による食味影響は小さいと予想された。

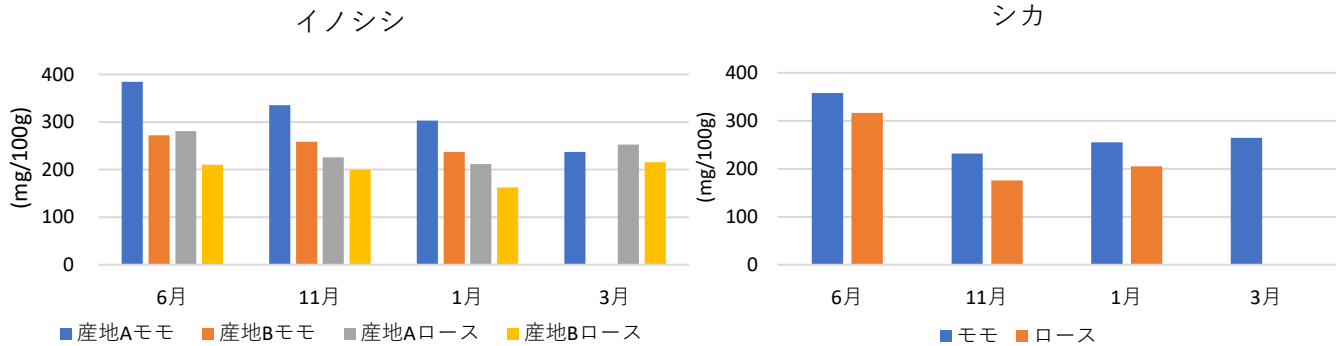


図6 獣肉の遊離アミノ酸総量推移

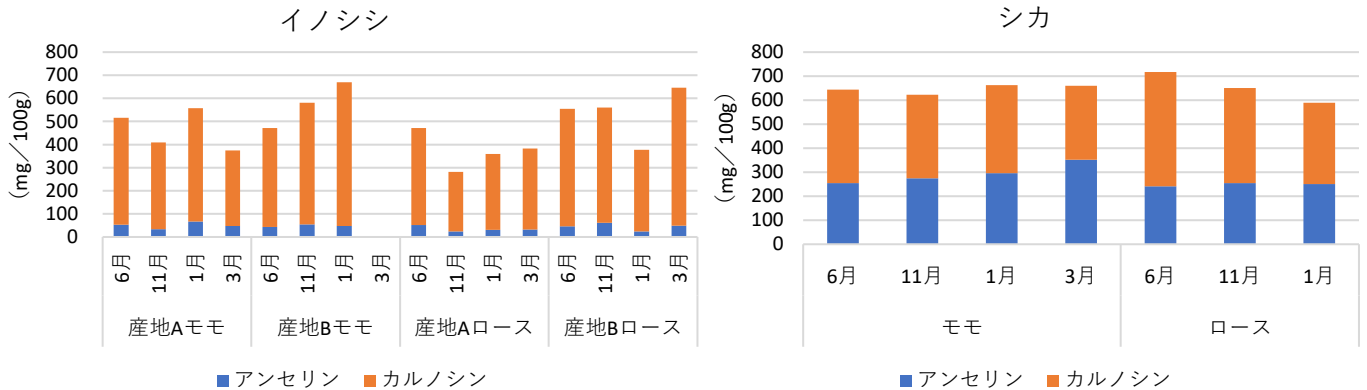


図7 獣肉中のアンセリン及びカルノシン量の推移

イノシシ肉の総脂肪酸量は先に述べた脂質量と相関があり、脂質が多いロースには脂肪酸が多く含まれていた。脂肪酸割合については、モモ肉に着目すると、産地Aはパルミチン酸が2割以上、オレイン酸が4割以上と香りとしては良い可能性が高いと考えられた。産地BはAと比較してオレイン酸の割合が低く、ステアリン酸及びリノール酸の割合が高いことが分かった。ロース肉は、産地、季節問わずパルミチン酸を2割以上、オレイン酸を4割以上含んでいるが、3月は両産地ともリノール酸が高い割合で含まれていることが分かった。

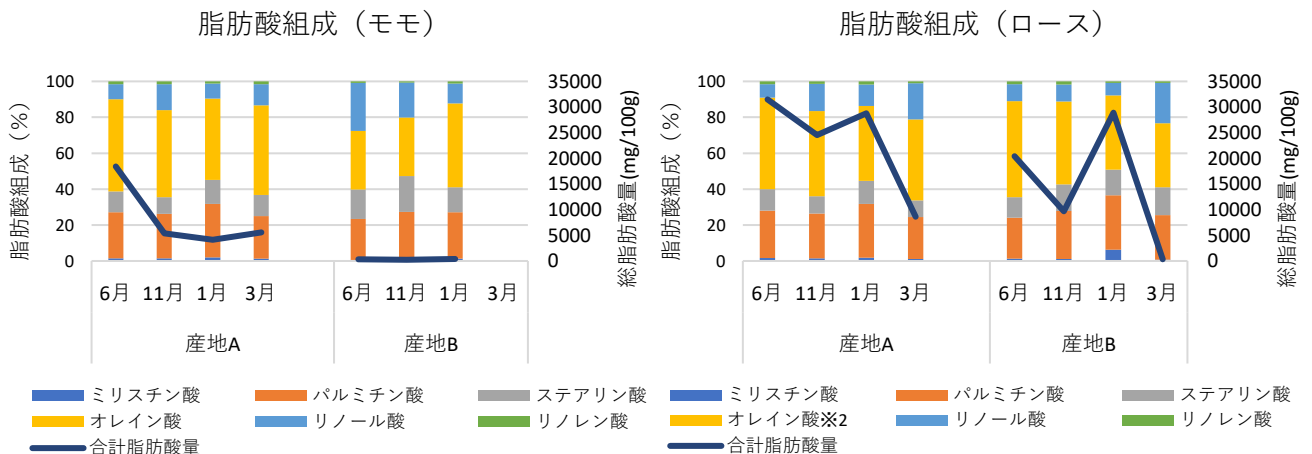


図8 イノシシ肉の部位脂肪酸組成の推移

産地により脂肪酸組成に違いが見られる理由としては、1.で述べた餌により脂肪層が厚くなるという傾向と同様、産地により餌となる木の実類等が異なることが影響していると考えられた。

シカ肉はグラフを割愛するが、イノシシと比較すると非常に少ないながら 11 月のものが最も脂肪酸を多く含んでいた。脂肪酸組成割合については、6 月のモモ肉を除くすべてで、パルミチン酸が 3～4 割、オレイン酸が 3 割程度と季節を通じて共通の組成を示した。6 月のモモ肉のみステアリン酸、リノール酸の割合が高かった。

5. 香気成分分析

香気成分分析結果として、GCMS の総ピーク面積値の推移を図 9、10 に、主要香気成分割合を表 2、3 に示す。イノシシ、シカ共に 1 月より 11 月の方が、総ピーク面積が著しく大きいことが分かった。また、主要香気成分割合に着目するとヘキサナール（青臭い香り）やアセトイン（バター様香気）、ペンタナール（汗様臭）等、食肉の香気成分として知られているものが高い割合で含まれていたが、1 月分の獣肉においては、11 月分の獣肉には見られないエタノールがイノシシ、シカに共通して高い割合で観測された。エタノールは食肉の香気成分より臭気強度が低いことと、1 月分の獣肉は総ピーク面積が小さいこと、ヘキサナール、アセトイン、ペンタナールの割合が減少していたことより、1 月の獣肉は 11 月のものと比較して香りが弱くなる傾向が確認された。

香りの強度については、止め刺しから血抜きまでの時間が影響することが知られているが、発情期には個体の匂いが強くなることが経験的に知られている。11 月はイノシシ、シカともに発情期にかかること¹²⁾から、このことが今回の分析結果に影響している可能性が考えられた。

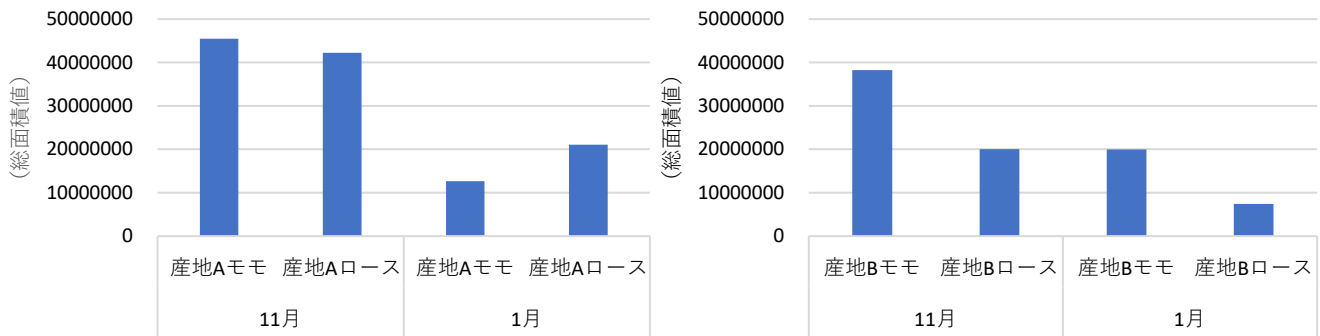


図 9 産地別イノシシ肉の GCMS の総ピーク面積の推移

表 2 産地別イノシシ肉の主要香気成分割合 (単位%)

主要香気成分	11月		1月		11月		1月	
	産地Aモモ	産地Aロース	産地Aモモ	産地Aロース	産地Bモモ	産地Bロース	産地Bモモ	産地Bロース
エタノール	-	-	35.53	71.29	-	-	3.72	13.31
酢酸エチル	1.24	1.41	-	-	-	-	-	-
ペンタナール	12.35	13.90	5.06	1.97	6.11	8.98	5.55	5.97
2-ペンタノン	-	-	-	0.57	-	-	-	1.62
ヘキサナール	68.73	64.89	49.27	20.57	70.33	69.37	79.54	60.80
ヘプタナール	2.42	2.21	1.96	0.98	1.31	1.14	1.51	3.47
1-ペンタノール	3.56	4.15	2.04	0.61	3.66	4.58	2.20	2.29
アセトイン	0.54	1.16	-	2.25	5.12	6.26	-	7.34
オクタナール	1.32	1.06	-	0.38	0.60	0.66	1.00	-
n-カプロン酸ビニルエステル	1.36	1.37	-	-	1.27	1.23	-	-
1-ヘキサノール	0.22	0.25	-	-	0.25	0.31	0.14	0.14
ノナール	1.26	1.00	1.05	0.45	1.30	1.08	1.20	0.90
酢酸	-	0.49	0.54	-	-	-	0.26	0.68
1-オクテン-3-オール	-	1.25	0.69	-	2.83	1.94	1.75	-

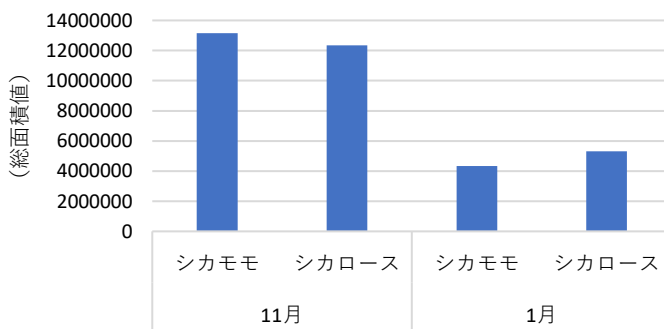


図 10 シカ肉の GCMS の総ピーク面積の推移

表 3 シカ肉の主要香気成分割合 (単位%)

主要香気成分	11月		1月	
	シカモモ	シカロース	シカモモ	シカロース
エタノール	-	-	9.51	6.32
酢酸エチル	-	-	5.78	-
2-ペンタノン	6.97	5.81	6.45	3.58
ヘキサナール	36.06	52.32	27.03	57.99
ヘプタナール	0.65	-	-	0.84
1-ペンタノール	2.06	3.04	1.18	2.44
アセトイン	42.42	25.58	42.52	17.01
1-ヘキサノール	0.1	0.47	-	-
ノナール	0.65	0.62	-	-
酢酸	0.39	0.25	3.12	1.16
1-オクテン-3-オール	0.79	1.81	-	-

6. 加工品の検討及び試作

シカ肉軟化試験の結果を図 11 に示す。対照として、軟化処理をしていない同条件レトルト加工シカ肉を用いた。対照と比較して、塩麴群は破断点エネルギー値がおおよそ半減している一方、マイタケ群は対照とほぼ同値であったことから、軟化処理には塩麴が有効であることがわかった。また、マイタケより塩麴の方が食味として塩味のみを付与するため、他の風味を邪魔しにくく、幅広く加工品に用いることができると考えられた。

また表 4 の配合で試作を行ったハンバーグ（図 12）について、評価者 5 名で官能評価を実施した。評価項目は、うま味、柔らかさ、ジューシーさ、臭み、脂っこさ、食感、総合評価の 7 項目である。結果はうま味、柔らかさ、ジューシーさは普通との評価が最も多かったが、臭み、脂っこさは全員感じないという評価であり、総合評価はおおむね高評価であった。

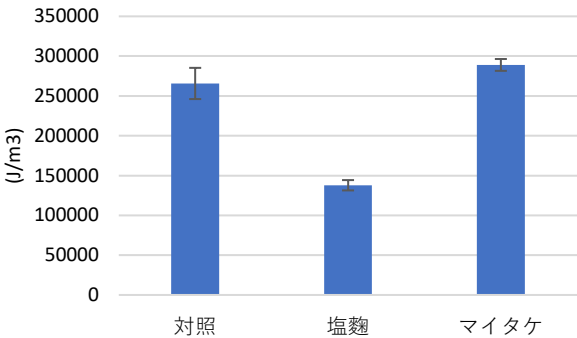


図 11 軟化処理シカ肉の破断点エネルギー値



図 12 試作ハンバーグ写真

表 4 試作ハンバーグの配合

ハンバーグ（5個分）	
イノシシモモ、ロース混合	250g
シカモモ、ロース混合	250g
玉ねぎ	100g
卵	1個
パン粉	50g
牛乳	30mL
ニンニク（すりおろし）	少々
ナツメグ	少々
塩	5g
黒コショウ	適量
デミグラスソース（市販品）	290g
玉ねぎ	100g
マイタケ	100g

7. 試作ドライフードの成分分析及びモニター試験結果

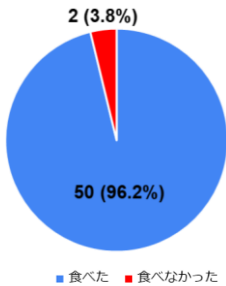
実設備で試作したドライフードの成分分析結果を表 5 に示す。本試作品は市販品と比較して高たんぱく質、低脂肪、低食物繊維、低炭水化物であることが分かった。また、様々な犬種によるモニター試験では、非常に食いつきがよく、食後の消化トラブルも少なくおおむね高評価であった（図 13）。今回の試作は無添加フードというコンセプトで実施したため、「全米飼料検査官協会（以下 AAFCO）」が定める栄養基準¹³⁾を満たしておらず、総合栄養食としては販売できないが、おやつとして与えることは可能なフードであるため、2024 年中に販売を開始する見込みである。

さらに総合栄養食として販売可能なドライフードの開発に取り組む予定であり、今後も開発に協力していく。

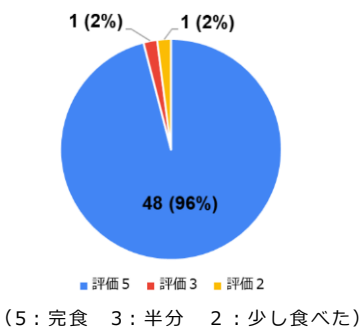
表 5 試作品ジビエドライフード及び市販ドライフード成分値（単位：g/100g）

	試作品	AAFCO基準 ¹³⁾	市販品避妊・去勢後向け	市販品減量向け
水分	3.8	-	-	-
粗たんぱく質	56.4	18以上	28.8	33.6
粗脂肪	9.29	5.5以上	15.3	11.3
粗繊維	2.22	-	12.3	13.2
粗灰分	5.41	-	-	-
可溶性無窒素物(NFE)	22.88	-	38	35.7
総エネルギー(GE)(kcal/100g)	518	-	-	-
代謝エネルギー(ME)(kcal/100g)	356	-	333.6	311.8

試食フードを食べたかどうか？
【N=52】



どのくらい食べたか？
（5段階評価【N=50】）



普段のフードとの食いつき比較
（5段階評価【N=52】）

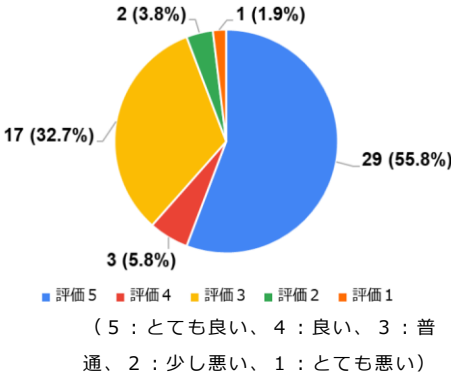


図 13 ジビエドライフードのモニター結果

ま と め

県内産イノシシ肉、シカ肉を対象にした品質評価及び加工法の検討を行い、以下の結果が得られた。

1. イノシシ肉は脂肪部のトリミングの加減にもよるが脂質が豊富である。シカ肉は低脂質で鉄分を多く含み、特に鉄分は食品成分表の値より多いことが分かった。なお、季節による傾向は確認されなかった。
2. 物性はモモと比較しロースの方が加熱損失が小さい傾向が確認され pH の値と負の相関があることが分かった。脂肪酸組成は、産地や季節による傾向が確認できた。香気成分は、産地を問わず 11 月のものは香りが強く、1 月のものは香りが弱い傾向が見られた。
3. 加工法は脂質の少ないシカ肉の軟化には塩麴が有効であることが分かった。また、試作加工品（ハンバーグ）の官能評価を行ったところ、臭みや脂っこさを感じないという評価であった。
4. ペット用ドライフードを鬼北町内の実設備で試作し、成分分析を行ったところ、市販品と比較して高たんぱく質、低脂肪、低食物繊維、低炭水化物であることが分かった。約 50 匹の犬を対象にしたモニター試験を実施した結果、半数以上が食いつきがよいという評価であり、令和 6 年度中に販売を開始する見通しとなった。

謝 辞

鬼北町ジビエペットフードプロジェクトを主催された鬼北町役場 農林課 森林対策室の皆様、プロジェクトに参画され、モニター試験に協力いただいた岡山理科大学 獣医学部 松田彬准教授、佐伯香織准教授、手島玲子教授、江藤真澄教授、今治明德短期大学ライフデザイン学科 渡邊陽子講師に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 愛媛県：野生鳥獣による農作物等被害の概況（2023.6.30 確認）.
<https://www.pref.ehime.jp/h35500/ninaitetaisaku/documents/r03higaigaikyoku.pdf>
- 2) 農林水産省：野生鳥獣資源利用実態調査【平成 28 年～令和元年】（2023.6.30 確認）.
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/jibie/>
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/jibie/>
- 3) （独）家畜改良センター：技術マニュアル 21 食肉の理化学分析及び官能評価マニュアル.
- 4) 藤光洋志, 本多美恵, 加藤愛, 小谷幸敏：鳥取県で捕獲されたジビエ肉の成分とその品質（第 3 報）鳥取県産業技術センター研究報告 No. 20, (2017).
- 5) 山崎慎也, 金子昌二, 高橋佑汰, 吉川茂利：長野県産鹿肉の成分及び物性に関する分析調査. 長野県工技センター研報 No11, pF17-F21, (2016).
- 6) 藤光洋志, 遠藤路子, 本多美恵, 加藤愛, 小谷幸敏：鳥取県で捕獲されたジビエ肉の成分とその品質（第 2 報）鳥取県産業技術センター研究報告 No. 19, (2016).
- 7) 西村敏英：日本調理科学会誌 Vol. 41, No. 4, 221～226, (2008).
- 8) 奥村 寿章, 窪田 朋代, 手嶋 哲矢, 松本 和典, 入江 正和： *Japanese Journal of Sensory Evaluation*, Vol. 26, No. 1, 7-16, (2022).
- 9) 鈴木啓一, 横田祥子, 塩浦宏陽, 島津朋之, 飯田文子：日本畜産学会報 84 (3), 375-382, (2013).
- 10) 農林水産省【改訂版】野生鳥獣被害防止マニュアル 第 3 章 衛生的な捕獲と運搬方法（令和 4 年 8 月版）.
- 11) 一般社団法人 食肉科学技術研究所 ジビエ加工品品質評価推進事業報告書（令和 5 年 3 月）
- 12) 環境省 認定鳥獣捕獲等事業者 講習テキスト 第 11 版（令和 4 年 12 月）
- 13) 迫田順哉：ペット栄養学会誌、9(2):105-110 (2016)

はだか麦及びはだか麦加工品の香気成分特性の調査

渡部将也 田中八壽子

Investigation of aroma component characteristics of naked barley and processed barley products
WATANABE Masaya and TANAKA Yasuko

愛媛県の主力農産物であるはだか麦は、機能性表示食品届出における機能性関与成分である β -グルカンを含む、健康志向の高まりから昨今注目されている食品素材であるが、独特の風味や香りを有しており、消費者の好みに大きな影響を与えている。

本研究では、はだか麦の風味や香りを生かした加工品への応用に向け、香気成分分析を行い、はだか麦の有する香気特性の調査を行った。その結果、はだか麦を特徴づける独特の風味や香りは高い香気成分割合を示すアルデヒド類や、加熱時に特徴的に生成されるフラン類に起因することが分かった。

キーワード：はだか麦 香気成分分析 香り

はじめに

愛媛県のはだか麦生産量は4,590t（2023年）¹⁾であり、36年間生産量日本一を誇る愛媛県の主力農産物である。はだか麦は穀皮が容易に外れるため加工適性が高く、整腸作用や血糖値上昇抑制効果等が報告されている水溶性食物繊維である大麦 β -グルカンを含むことが知られている²⁾。そのため、昨今の健康志向等の意識の高まりから注目を集めている食品素材の一つであるが、はだか麦を活用した製品開発における課題は多い。

その中でも、はだか麦は一般的な小麦とは異なる独特の風味や香りを有しており、消費者の好みに分かれることなどがさらなる需要拡大のための課題の一つに挙げられる。これまでにものはだか麦を用いた加工法等については、既報においてパンや菓子、麺類への活用の検討を行ってきた³⁾が、風味や香りに着目した研究は行っていない。

そこで本研究では、はだか麦及びはだか麦を用いた加工品について香気成分分析を行い、はだか麦の有する独特な香気成分特性の調査を行ったため報告する。

実験方法

1. 試料

県内農業法人にて生産・精麦・粉碎されたはだか麦（丸麦、全粒粉）を用いた。またパン試作に用いたはだか麦試料は、県内企業にて加工された「パン用はだか麦粉」を用いた。

2. はだか麦加工品の加工法

(1) 炊飯試験

はだか麦（丸麦）140g に対し二倍量の水 280g を加え、30 分浸漬後、炊飯器にて炊飯した。その後、すみやかに香気成分分析へと供試した。

(2) 焙焼試験

はだか麦（丸麦）100g をフライパンに移し、中火にて 5 分間加熱し焙焼した。その後、すみやかに香気成分分析へと供試した。

(3) パン加工試験

使用した材料は以下の通り。

ドライイースト：S. I. Lisaffre 社製インスタント・ドライイースト赤

脱脂粉乳：全国酪農業協同組合連合会製脱脂粉乳

砂糖：DM 三井製糖（株）製上白糖

この研究は、「愛媛県産はだか麦のフードペアリング特性解明と加工品の開発」の予算で実施した。

食塩：精製塩

小麦粉（強力粉）：（株）ニッポン製強力粉（イーグル）

マーガリン：（株）ADEKA 製マーガリン（リスブルー）

既報⁴⁾に従い、はだか麦パンについては一次発酵を行わないストレート法、対照区となる小麦パンについては一次発酵を行うストレート法にて作製を行った。基本配合及び製パン条件については表 1 及び表 2 のとおり。

表 1 パンの基本配合

材料名	はだか麦パン (ベーカーズパーセント%)	食パン (ベーカーズパーセント%)
パン用はだか麦粉	100	—
強力粉	—	100
ドライイースト	1.5	1.5
脱脂粉乳	3	3
砂糖	5	5
食塩	2	2
マーガリン	8	8
水	85	65

表 2 製パン条件

製造工程	はだか麦パン製造条件	食パン製造条件
混捏	すべての材料を投入後、低速で 3 分混捏、次いで生地の状態を見ながら高速で 5～15 分混捏した。	油脂以外の材料を投入後、低速で 3 分、高速で 2 分混捏し、油脂を投入後、低速で 2 分混捏した。次いで生地の状態を見ながら高速で 5～15 分混捏した。
分割・丸め	分割量 200 g	分割量 200 g
ベンチタイム	30℃、湿度 75%、20 分	30℃、湿度 75%、20 分
一次発酵	なし	30℃、湿度 75%、60 分
二次発酵	35℃、湿度 85%、パウンドケーキ型の上 1.5cm まで（約 50 分）	35℃、湿度 85%、パウンドケーキ型の上 1.5cm まで（約 50 分）
焼成	上部 180℃、底板 160℃	上部 180℃、底板 160℃
焼成時間	16 分	16 分

ミキシングには（株）ダルトン製の万能混合攪拌機（5 DM-03-P）、生地が発酵やベンチなどは（株）マルゼン製キャビネットホイロ（FH-32-1-2）を用いて行った。作製した生地はワンルーフ型に形成を行い、パウンドケーキ型（170×80×60mm）に入れて、（株）マルゼン製デッキオーブンホイロ（PJT-22H）で二次発酵・焼成を行った。

焼成後のパンについて、室温で放冷後フードプロセッサーにて粉碎し、すみやかに香気成分分析へと供試した。

(4) 麺加工試験

基本配合は表 3 のとおり。万能混合攪拌機にて混合した生地を製麺機（田中製作所製）の一次ロールで麺体にした。この麺体を二つ折りにし同ロールにて複合、圧延をさらに 2 回行った。1 時間室温にて静置後、さらに厚さ約 1.0mm まで圧延し、切刃 #16 で麺線とした。完成した麺線を 2 分間茹で、包丁にて細断後、すみやかに香気成分分析へと供試した。

表 3 麺の基本配合

原材料名	はだか麦麵 (%)	小麦麵 (%)
はだか麦粉	100	—
中力粉 ((株) ニップン製麺匠)	—	100
10%食塩水	46	37

3. 香気成分分析

(株) 島津製作所製ガスクロマトグラフ-質量分析計 (GCMS-QP2020NX) を用い、ヘッドスペース法で試料バイアル中のヘッドスペースガスの組成を分析した。分析条件は表 4 のとおり。得られたスペクトルについては、NIST (National Institute of Standards and Technology) データベースとの比較から推定した。

表 4 香気成分分析条件

	条件
ガスクロマトグラフ	GC-2030
質量分析計	GCMS-QP2020NX
ヘッドスペースサンプラー	HS-20NX
GC オープン温度	60℃
バイアル保温時間	30 分
トラップ冷却温度	-10℃
カラム	SH-WAX 長さ 30.0m、内径 0.25mmID、膜厚 0.25 μ m
昇温時間	45℃、10 分保持 5℃/分 昇温
イオン源温度	220℃、10 分保持 200℃

結果と考察

1. はだか麦の香気成分

はだか麦粉及び小麦粉を香気成分分析に供試した。推定された香気成分及びスペクトル全体に占める面積割合は図 1 のとおりである。

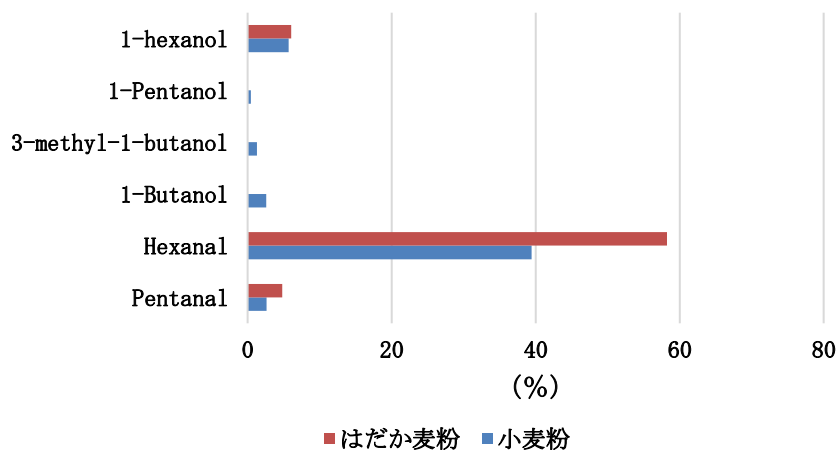


図 1 はだか麦粉及び小麦粉の香気成分割合比較

得られた結果からはだか麦粉の有する香気成分の割合は Pentanal や Hexanal などのアルデヒド類の寄与が大きく、小麦粉ははだか麦粉に対して 1-Butanol や 1-Pentanol、3-methyl-1-butanol など、はだか麦粉からは未検出であったアルコール類の寄与が大きいことが示唆される。中でも 3-methyl-1-butanol はイソアミルアルコールとも呼ばれ、微量でウイスキーのような豊かな香気を示し、香料（食品添加物）としても幅広く利用されている⁵⁾。一方、はだか麦でより寄与率の高い Hexanal は大豆の青臭さの原因物質ともされており、油っぽい草様の匂いを示すことが知られている。はだか麦への寄与率が高いアルデヒド類は、一般に短鎖のもので緑葉的な香気（Green、Grassy な香り）を示すことが多く⁶⁾、これらがはだか麦の独特な香りを構成する物質であると考えられる。

2. はだか麦の炊飯及び焙焼による香気成分の変化

炊飯及び焙焼したはだか麦を香気成分分析に供試した。推定された香気成分及びスペクトル全体に占める面積割合は図 2 及び図 3 のとおりである。

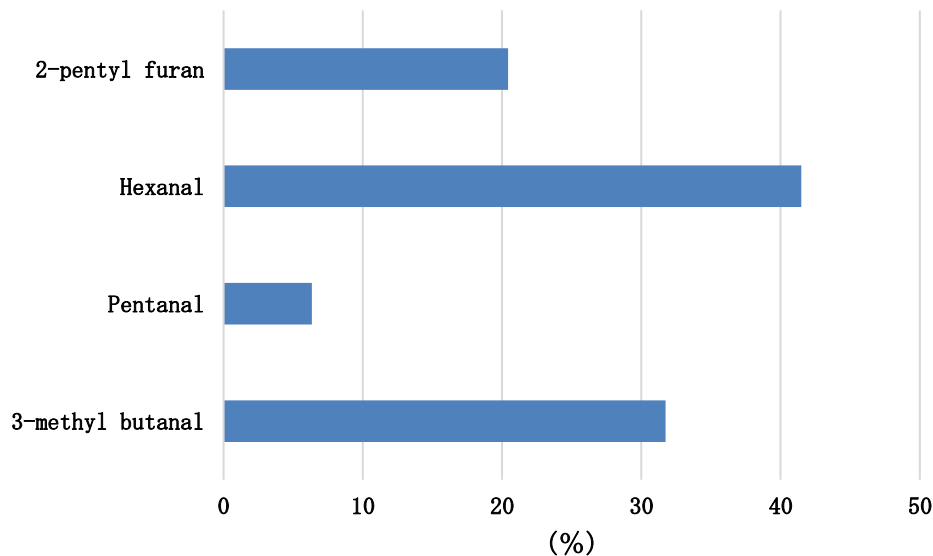


図 2 炊飯したはだか麦の香気成分割合

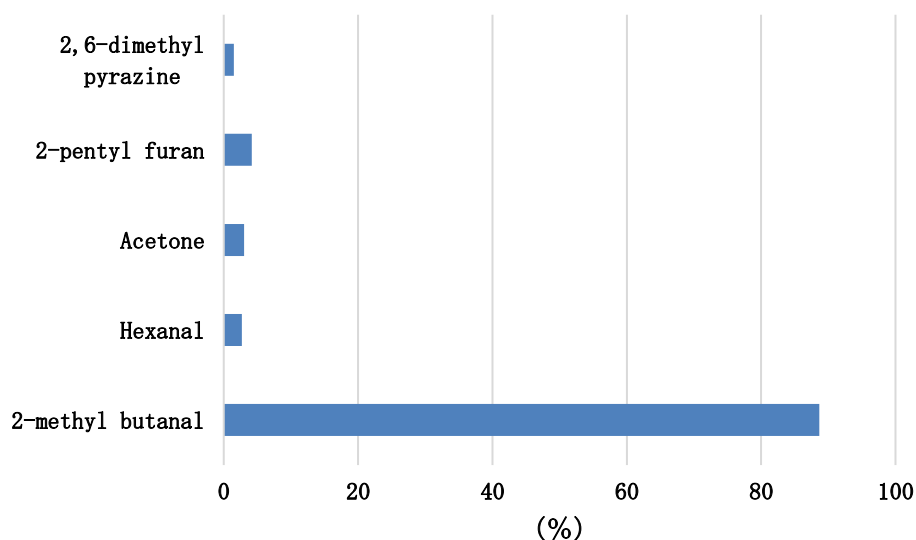


図 3 焙焼したはだか麦の香気成分割合

炊飯過程を経ることではだか麦の主香気成分であったアルデヒド類に加えて、2-pentyl furan が生成されていることがわかった。このようなフラン類は加熱工程によるメイラード反応や脂肪酸の酸化等により生成されることが知られており⁷⁾、緑葉的な香気を示すアルデヒド類と異なり、甘い香りを示す。また、焙焼を行った際には、炊飯時と同様にフラン類（2-pentyl furan）が生成される一方、新たにピラジン類（2,6-dimethyl pyrazine）が生成されていることが分かった。ピラジン類は（火香

とも呼ばれる) 焙焼等の乾燥を伴う加熱工程を経た際に生成される香ばしい焙煎香を有する香気成分である。同じ加熱工程でも、炊飯及び焙焼などによる加水の有無で生成される香気成分には差異があるため、加工方法によってどのように香気成分が変化するかを注意する必要がある。

3. はだか麦加工品の香気成分

(1) はだか麦パンの香気成分

はだか麦パン及び小麦パンを香気成分分析に供試した。推定された香気成分及びスペクトル全体に占める面積割合は図4のとおりである。

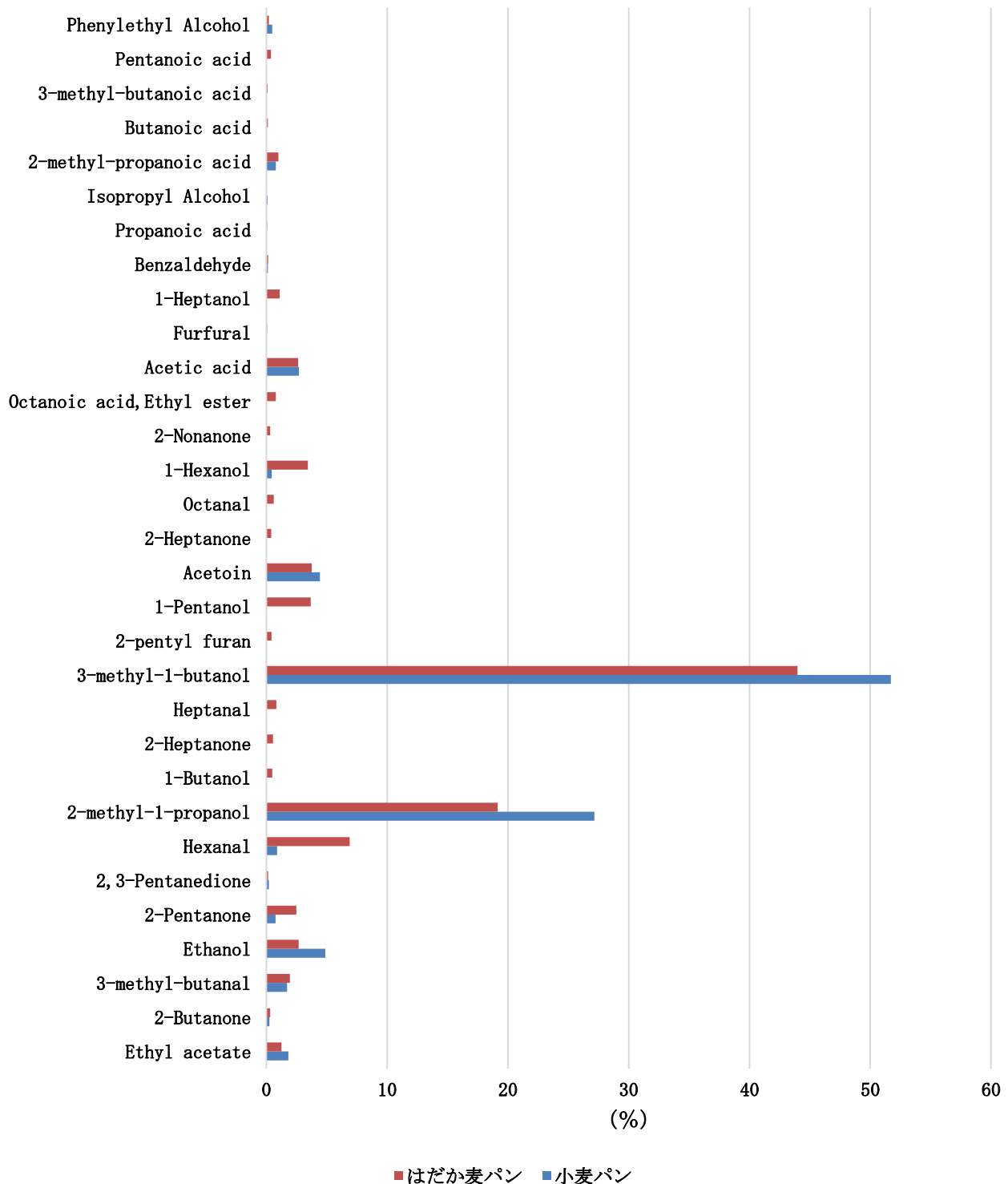


図4 パン加工品の香気成分割合比較

はだか麦パンでは31種、小麦パンでは17種の香気成分が検出された。はだか麦パンで多種の香気成分が検出された要因として、全粒粉を用いているために、小麦粉に比べて脂肪酸量が多く、加熱過程で脂肪酸が分解し新たな香気成分の生成がされたと考えられる。小麦粉(強力粉)の脂質量は

1.5g/100g⁸⁾ であり、はだか麦粉の脂質量は 3.2g/100g である。また、小麦パンと異なる特徴的な点としては、2-pentyl furan 及び Furfural などのフラン類の生成、Hexanal を主としたアルデヒド類の寄与率が高い点が挙げられる。Furfural はカラメルやアーモンドの様な香ばしい香りを有する芳香族化合物であり、2-pentyl furan 同様、メイラード反応等によって生成する。フラン類による甘いあるいは香ばしい香り、小麦よりも強く感じる Hexanal を主とした油っぽいあるいは緑葉様の香りがはだか麦の独特な風味や香りに大きく寄与していることが示唆される。

(2) はだか麦麵の香気成分

はだか麦麵及び小麦麵を香気成分分析に供試した。推定された香気成分及びスペクトル全体に占める面積割合は図 5 のとおりである。

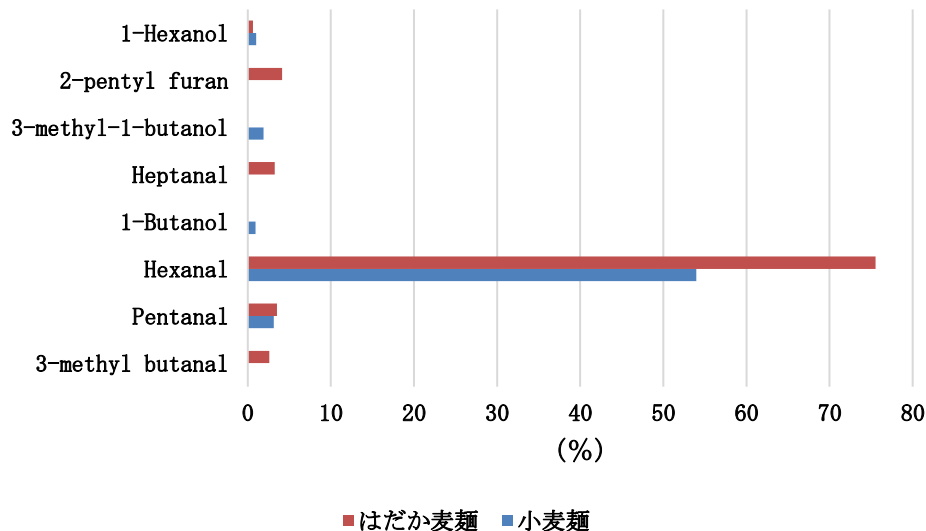


図 5 麵の香気成分割合比較

麵についてもこれまでの結果と同様に、はだか麦麵では小麦麵と比較して Hexanal を主としたアルデヒド類の寄与が高く、2-pentyl furan が特徴的に検出された。以上の結果から、はだか麦を特徴づける独特の風味や香りは、高い香気成分割合を示すアルデヒド類及び加熱時に新たに生成されるフラン類に起因する可能性が高いことが示唆された。

ま と め

はだか麦及びはだか麦加工品の有する独特の風味や香りを調査するため、香気成分分析を行い、以下の結果が得られた。

1. はだか麦は一般的な小麦に比べてアルデヒド類の香気成分割合が高く、短鎖アルデヒド類の緑葉様の香りを示すことが分かった。
2. はだか麦を炊飯した場合には、アルデヒド類に加え、新たに甘い香りを有するフラン類 (2-pentyl furan) が検出された。
3. はだか麦を焙焼した場合には、アルデヒド類及びフラン類に加え、さらにカラメルやアーモンド様の香ばしい香りを有するピラジン類 (2,6-dimethyl pyrazine) が検出された。
4. パンや麵に加工した場合でも、はだか麦を用いたものではアルデヒド類の割合が高く、フラン類が特徴的に検出された。

文 献

- 1) 農林水産省：令和 5 年産麦類（子実用）の作付面積及び収穫量(令和 5 年 11 月 29 日公表) (2023).
- 2) 青江誠一郎：大麦 β -グルカンの機能性について (2015) .
- 3) 大野一仁, 菅忠明, 松長崇, 首藤喬一, 佐野和夫：裸麦粉の加工方法に関する研究 (2005).
- 4) 逢阪江理, 田中八壽子, 武士末純夫, 開俊夫, 西村理子, 玉井敬久:大麦（はだか麦）粉の特性と大麦パンの開発 (2015).
- 5) （公財）日本食品化学研究振興財団 指定添加物リスト.
- 6) Bernard Lahousse, Peter Coucquyt, Johan Langenbick : The Art & Science of Food-pairing.
- 7) 加藤俊二 他 : Determination of triacylglycerol oxidation mechanisms in canola oil using liquid chromatography-tandem mass spectrometry, *npj Science of Food* (2018).
- 8) 文部科学省：日本食品標準成分表 2020 年版（八訂） .

UV-LED 照射による食品への影響

渡部将也 石井佑治

Effects of UV-LED irradiation on food

WATANABE Masaya and ISHII Yuji

食品賞味期限の延長により県内食品産業の海外展開や販路開拓を支援するため、UV-LED 照射技術を用いた食品の消費・賞味期限延長技術開発に向け、本研究では UV-LED 照射が与える影響について調査した。

食肉加工品（ウインナー、ベーコン）を対象に UV-LED 照射を行ったところ、脂質酸化を示す酸価及び過酸化値や、脂肪酸組成、旨味成分である遊離アミノ酸量に大きな影響はなく、食品の栄養素や風味を劣化させずに殺菌可能であることが分かった。

キーワード：紫外線殺菌、UV-LED、賞味期限

はじめに

コロナ禍において県内企業の食品が行き場を失う中、県内企業からは海外展開や販路開拓の強化の要望がある。海外展開や販路拡大に向けては、長時間の輸送等に対応するため食品の消費期限及び賞味期限の延長が非常に重要な課題である。

そこで本研究では、県内企業が基幹技術を有する UV-LED 技術を用いた食品の消費・賞味期限延長技術の開発に向け、UV-LED を食品に照射した際の食品に与える影響について調査を行ったので報告する。

実験方法

1. UV-LED 照射と照射後の保存による食肉加工品（ウインナー・ベーコン）の酸価・過酸化値への影響

UV 照射及び保存による食肉加工品の脂質の酸化等の影響を調査するため、積算光量 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ の照射を行い、ウインナーで 0 日及び 42 日、ベーコンで 0 日及び 60 日間 10°C にて保存した食肉加工品の酸価（AV）及び過酸化値（POV）の測定を行った。

UV-LED 照射は（株）東芝ライテック製の UV-LED 照射デモ機（図 1）を用いて行った。また、食品への UV 照射量は、（株）東芝ライテックとの共同研究から積算光量 $50\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上で約 90% の殺菌効果が確認されている。そのため、本試験ではフィルム包装等による UV の減衰率を考慮し、 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ を照射することとした。

酸価の測定は以下の手順で実施した。200mL ビーカーに脂質量約 1 g のサンプルを分取し、無水硫酸ナトリウム及び 100~150mL のジエチルエーテルを加えた後、一晚冷暗所に静置し脂質を抽出、秤量した 100mL 共栓付き三角フラスコにジエチルエーテルをろ過回収し、エバポレーターで濃縮した後、脂質量を測定した。その後、ジエチルエーテルとエタノールを 1 : 1 で混合した溶媒 100mL 及び指示薬としてフェノールフタレイン溶液を数滴加え、 $0.1\text{mol}/\text{L}$ 水酸化カリウムを滴下し中和した。中和に要した水酸化カリウムの mg 数から、酸価を算出した。

過酸化値の測定は以下の手順で実施した。酸価と同様にジエチルエーテルで静置抽出した脂質を秤量したナスフラスコにろ過回収し、エバポレーターで濃縮した後、脂質量を測定した。次に、クロロホルム 10mL、酢酸 15mL を加え、10 分間ナスフラスコ内部を窒素置換した後、飽和ヨウ化カリウム水溶液を 1 mL 添加し、暗所で 5 分間静置後、水 75mL、1 (w/v) % でんぷん指示薬を加え、 $0.01\text{mol}/\text{L}$

チオ硫酸ナトリウム水溶液でヨウ素でんぷん反応による青紫色が見えなくなるまで滴定し、得られた滴定値から過酸化価を算出した。

+



図1 UV-LED 照射デモ機の構成及び照射状況

2. UV-LED 過剰照射による食肉加工品（ウインナー・ベーコン）の脂肪酸への影響

UV 照射による食肉加工品の脂肪酸酸化の影響を調査するため、食肉加工品に積算光量約 $2000\text{mJ}/\text{cm}^2$ の過剰照射した食肉加工品の脂肪酸組成を分析するため、 300mL ナスフラスコにサンプル約 10g を分取し、クロロホルム-メタノール混液（ $1:1\text{v/v}\%$ ）を 100mL 加え、冷却管上部から窒素ガスを吹き込み水浴上で 1 時間加熱還流し脂質を抽出した。抽出液をろ過回収し、エバポレーターで濃縮後、ジエチルエーテルに溶解し、秤量した 50mL 共栓付き三角フラスコに脂質量が 50mg から 100mg をホールピペットにて分取、水浴上で窒素ガスを吹き込み、ジエチルエーテルを蒸発し、脂質量を算出した。同様の操作で脂質を分取した共栓付き三角フラスコを用意し、片方に内部標準物質としてヘプタデカン酸を分取した脂質量の約 $1/5$ 倍量正確に加えた。それぞれに、 0.5mol/L 水酸化ナトリウム-メタノール溶液を 2mL 加え 10 分間加熱還流を行い、けん化した。その後、三フッ化ホウ素-メタノール試薬を 2.5mL 加え 2 分間加熱還流し、冷却管の上からノルマルヘキサン 5mL を加えさらに 1 分間加熱還流を行った。放冷後、飽和食塩水をフラスコの首まで加え、ヘキサン層をパスツールピペットで分取し、無水硫酸ナトリウムで脱水し、脂肪酸のメチルエステル化物が溶解したヘキサン溶液を得た。得られたヘキサン溶液 $2\mu\text{L}$ をガスクロマトグラフへ注入し、得られた各脂肪酸ピーク面積と内部標準で用いたヘプタデカン酸の面積から各脂肪酸濃度を算出した。その際の感度補正係数は 1 とした。ガスクロマトグラフの分析条件は表 1 のとおり。

表 1 ガスクロマトグラフ条件

装置	SHIMADZU GC-2014
カラム	ULBON HR-SS-10(信和化工(株)) 内径 0.25mm , 長さ 30m , 膜厚 $0.25\mu\text{m}$
検出器	FID
注入量	$2\mu\text{L}$
恒温槽昇温条件	150°C (5min) $\rightarrow 2^\circ\text{C}/\text{min} \rightarrow 180^\circ\text{C}$ (3min)
注入口温度	230°C
注入口	スプリット(スプリット比 20)
キャリアガス	He, $1.3\text{mL}/\text{min}$ (const. flow)

3. UV-LED 照射による食肉加工品の遊離アミノ酸への影響

UV-LED 照射による旨味成分への影響を調査するため、積算光量 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ の照射を行い、ウインナーで 0 日、 27 日及び 42 日、ベーコンで 0 日、 42 日及び 60 日間 10°C にて保存した食肉加工品の遊離

アミノ酸量の測定を行った。50mL 遠沈管に粒状ビーズ約 10 g とサンプルを約 2 g 正確に測り取り、5% (w/v) トリクロロ酢酸 (TCA) 溶液を 10mL 加え、縦振り型振とう機で 10 分間振とうした。その後、4℃で 30 分間静置し、遠心分離 (4℃、7000rpm、10 分間) し、上清を 15mL 遠沈管に分取した。脱脂のため、分取した上清にヘキサン 2 mL を加え振とうし、遠心分離後、ヘキサン層をパスツールピペットで除去した。脱脂操作を 3 回行った後、50mL ナスフラスコへ移し、消泡剤を数滴加え、エバポレーターにて濃縮乾固した。残留する TCA 除去のため、超純水を加えて洗浄後、エバポレーターで濃縮乾固する操作を 3 回繰り返した。最後に、内容物を pH2.2 クエン酸リチウム緩衝液で洗いこみながら 5 mL メスフラスコに移し、定容後、0.20 μ m メンブレンフィルターでろ過し試料溶液とした。得られた試料溶液について、自動アミノ酸分析装置 (日立ハイテクノロジーズ製 L-8900) により遊離アミノ酸量を分析した。

結果と考察

UV-LED 照射及び保存による食品成分への影響

1. UV-LED 照射と照射後の保存による食肉加工品 (ウインナー・ベーコン) の酸価・過酸化物価への影響

ウインナー及びベーコンの酸価結果、過酸化物価結果を図 2、図 3、図 4 及び図 5 に示す。

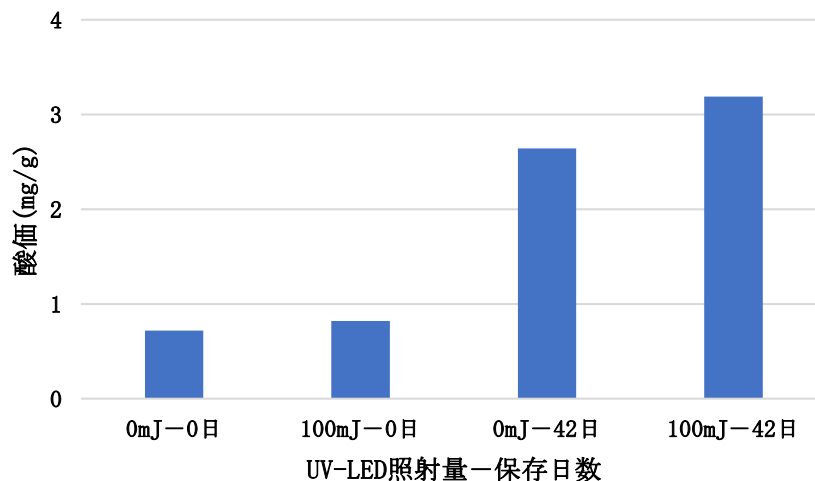


図 2 UV-LED 照射によるウインナーの酸価への影響

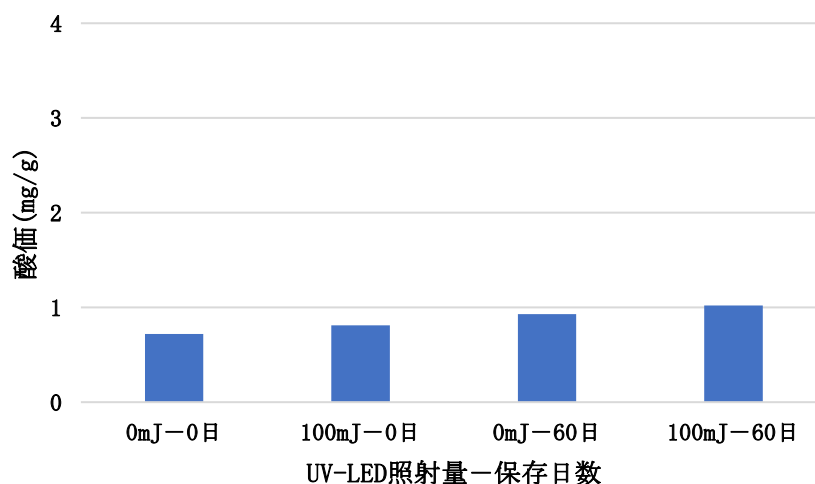


図 3 UV-LED 照射によるベーコンの酸価への影響

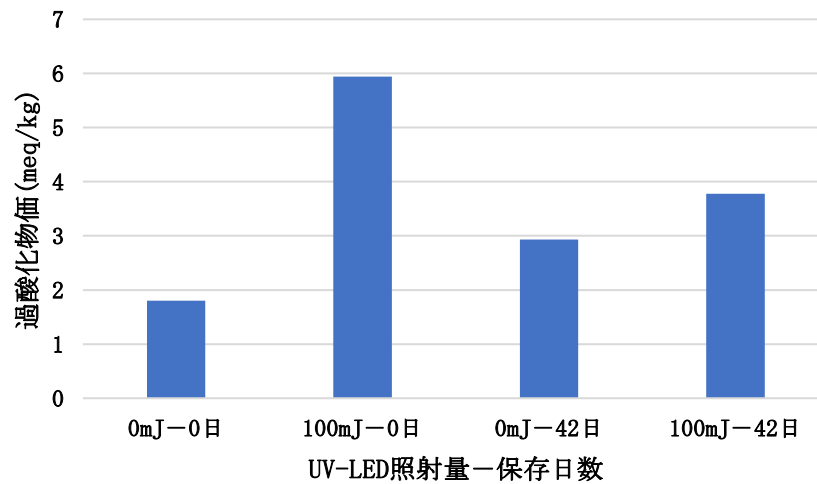


図4 UV-LED 照射によるウインナーの過酸化物価への影響

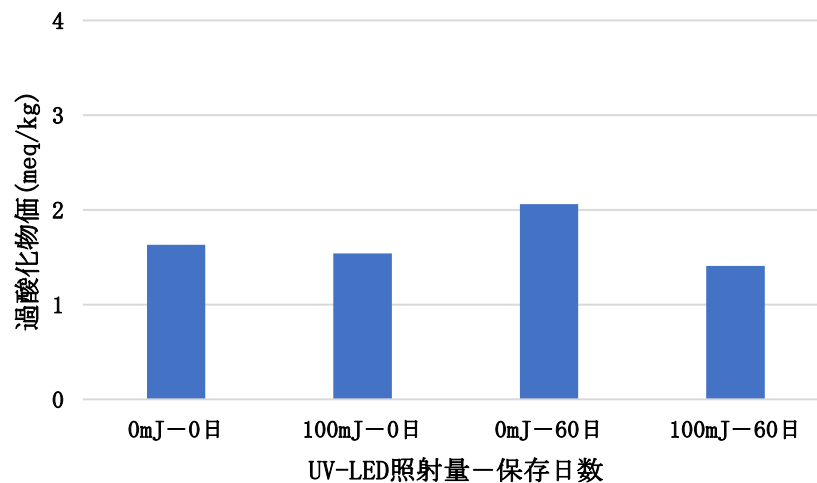


図5 UV-LED 照射によるベーコンの過酸化物価への影響

ウインナーを対象に UV-LED 照射を行った結果、酸価及び過酸化物価の微増が確認された。酸価は、UV-LED 照射の影響よりも保存日数が経過することによる脂質酸化の影響が大きく、照射の影響は小さいことが分かった。また、過酸化物価においても照射による影響はあるが、正常値（＝10 以下¹⁾）内での変化にとどまっていることが分かった。ウインナーは製造過程で豚脂を混合しており、原材料由来の脂質酸化度に大きな差があるため注意が必要であることが分かった。

ベーコンを対象に UV-LED 照射を行った結果、酸価及び過酸化物価とも UV-LED 照射の影響をほとんど受けないことが分かった。これは、UV がベーコンの極表層にしか作用しないため、影響を受ける脂質部分が少なく、サンプルの均一化の際に赤身部分等に希釈されることで過酸化物価がほぼ変化しなかったと考えられる。

2. UV-LED 過剰照射による食肉加工品（ウインナー・ベーコン）の脂肪酸への影響

ウインナー及びベーコンの UV-LED 照射による脂肪酸組成分析の結果を図 6 及び図 7 に示す。

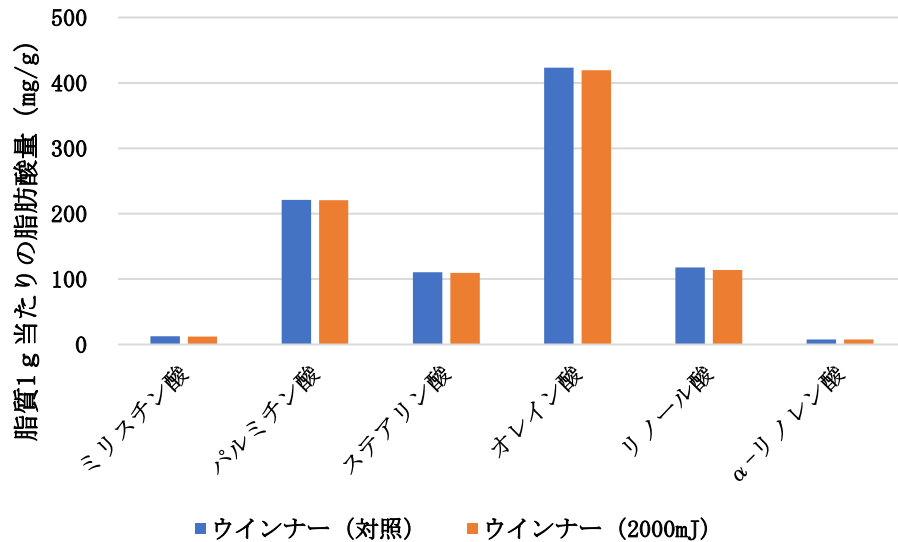


図6 UV-LED 照射によるウインナーの脂肪酸組成への影響

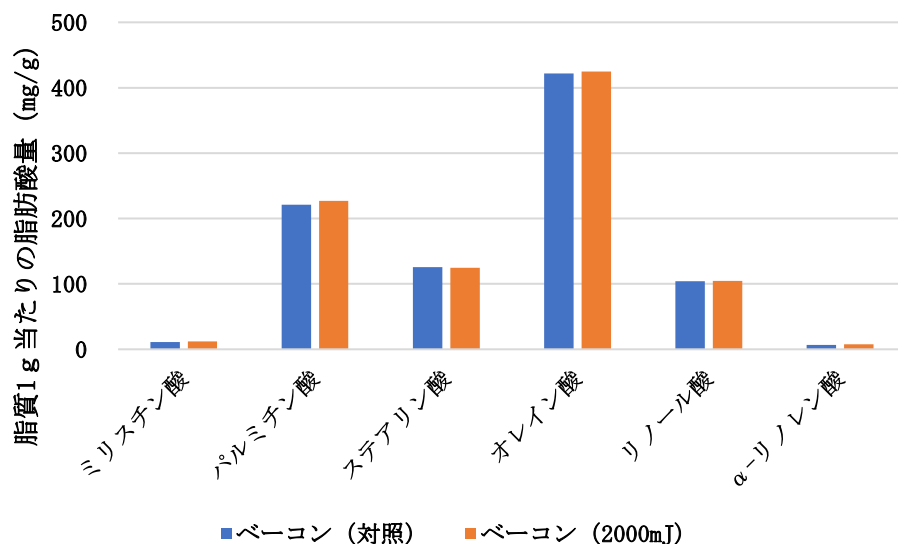


図7 UV-LED 照射によるウインナー及びベーコンの脂肪酸組成への影響

ウインナー及びベーコンのいずれにおいても、UV-LED 照射による脂肪酸への影響はほとんどないことが分かった。食用油等では紫外線照射による不飽和脂肪酸の劣化が知られている²⁾ものの、食肉加工品では極表層部にしか UV が作用しない点に加え、UV-LED 照射が短時間であるために脂肪酸酸化が見られなかったと考えられる。

3. UV-LED 照射と照射後の保存による食肉加工品の遊離アミノ酸への影響

ウインナー及びベーコンの遊離アミノ酸分析の結果を図8及び図9に示す。

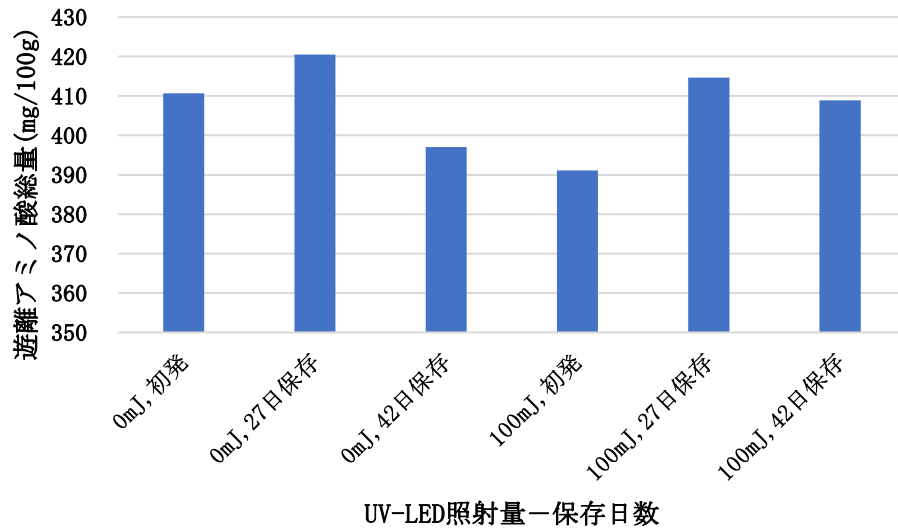


図 8 UV-LED 照射によるウインナーの遊離アミノ酸量への影響

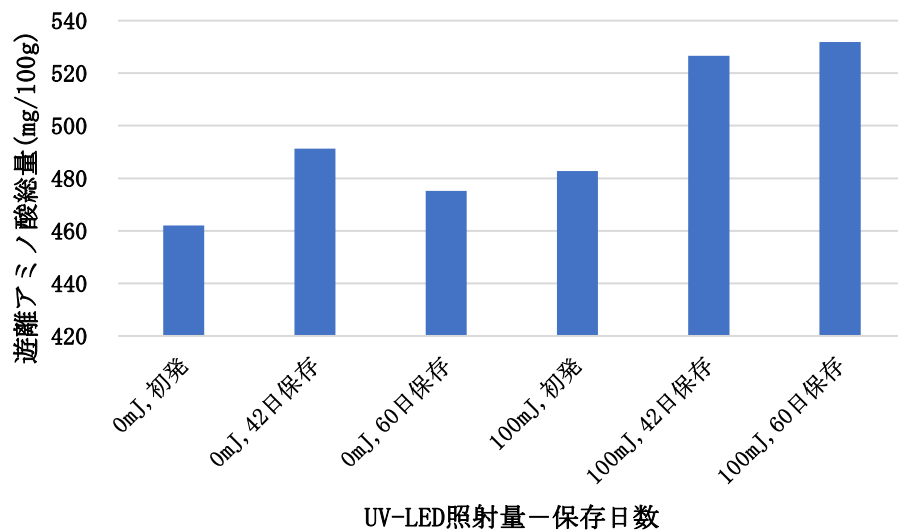


図 9 UV-LED 照射によるベーコンの遊離アミノ酸量への影響

ウインナーは、UV-LED 照射による遊離アミノ酸総量への影響はほとんど示されなかった。これは、ウインナー表面部分が腸膜により覆われているため、内部でのたんぱく質分解等が発生せずアミノ酸総量に顕著な変化は見られなかったと思われる。一方、ベーコンは、UV-LED 照射により遊離アミノ酸総量の増加が見られた。さらに、照射後に保存期間を経ることで、未照射のものと比較して遊離アミノ酸総量がさらに増加する傾向が見られた。代表的な旨味成分であるグルタミン酸に注目した結果を図 10 に示す。

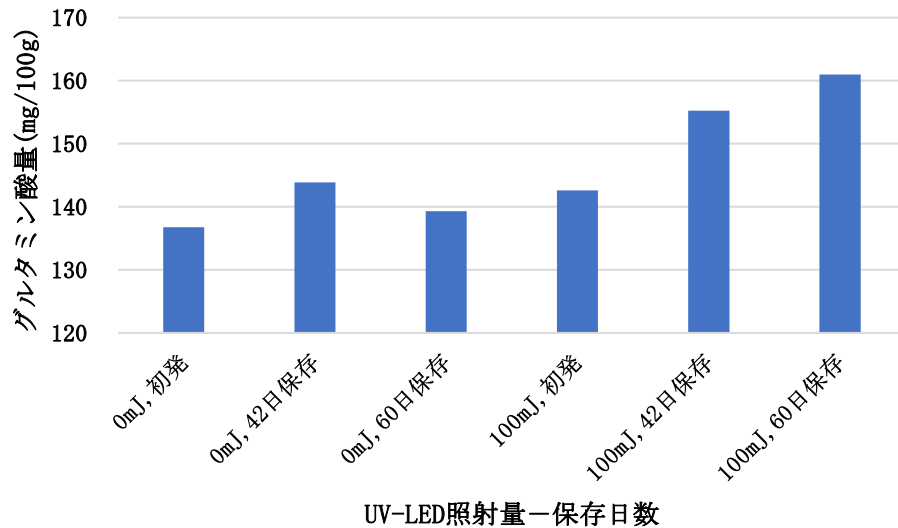


図 10 UV-LED 照射したベーコンのグルタミン酸量

ベーコンはグルタミン酸が UV-LED 照射及び照射後に保存することによってグルタミン酸量が増加する傾向が示された。主にたんぱく質から構成される赤身肉部分に UV-LED が照射されることにより、たんぱく質が分解され遊離アミノ酸が増加したと考えられる。たんぱく質を主とする食品への UV-LED 照射による副次効果として、遊離アミノ酸量の変化については検討する必要があることが分かった。

ま と め

UV-LED 照射が食品に与える影響について調査し、以下の結果が得られた。

1. UV-LED 照射を食肉加工品に行ったところ、脂質酸化を示す酸価及び過酸化値への大きな影響は確認されなかった。また、脂肪酸組成にも大きな影響は確認されなかった。
2. UV-LED 照射により、遊離アミノ酸総量は大きく変化しないことが確認された。また、UV-LED 照射後に保存することで、遊離アミノ酸総量やグルタミン酸量が増加した。

文 献

- 1) 厚生労働省：弁当及びそうざいの衛生規範，環食第 161 号(1979)。
- 2) 清水瞭，田中裕之：ラマン分光法による不飽和脂肪酸の紫外線劣化評価，第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿(2015)。

高圧処理による殺菌技術の開発

— 緑色果実及び鶏肉への高圧加工の影響 —

朝倉将斗 開 俊夫

Development of sterilization method by high pressure treatment

ASAKURA Masato and HIRAKI Toshio

食品を対象にした高圧処理による殺菌技術は、加熱殺菌技術と比較して温度変化が小さいことから、素材の風味や外観を維持した商品開発への使用が期待されている。一方で、対象とする食品によって、高圧処理特有の物性の変化等が生じる可能性があり、高圧処理の実用化にはその影響を評価する必要がある。

そこで、本研究では緑色果実（シャインマスカット、キウイ）や鶏肉に対する高圧処理の影響を検証した。その結果、緑色果実を高圧処理した場合、300MPa以上の圧力では退緑が発生したが、果汁等に対して高圧処理時に銅酵母添加することで退緑抑制することが分かった。また、鶏肉に対して高圧処理を行うと、色調は100～200MPa、食感（破断強度）は300～400MPaで大幅な変化が発生することが分かった。

キーワード：高圧処理、殺菌、シャインマスカット、キウイ、鶏肉

はじめに

高圧処理による殺菌は、対象とする食材状態（糖、pH、浸透圧、水分活性、食品添加物等）によって、効果に影響があることが知られている。高圧処理は加熱殺菌と比較して温度の変化が小さい殺菌工法であり、食材の風味や成分を保持した加工食品の製造を可能とすることが期待される一方、圧力により食材の外観や物性等に影響を与える可能性がある。

そこで、高圧処理による退緑現象やタンパク質の変性が報告されている緑色果実と鶏肉を対象として、殺菌と食品の望ましい性質保持の両立を目的とした処理方法を検討した。

実験方法

1. 緑色果実への高圧処理の影響

(1) 高圧処理果実試料

県内小売店で購入した愛媛県産シャインマスカット果実を房から外し、流水で洗浄後、透明レトルトパウチに2果ずつ入れた。その後、0.5%L(+)-アスコルビン酸水溶液を、L(+)-アスコルビン酸当量が果実重の0.1%となるように加え、真空包装して果実試料とした。

(2) 高圧処理方法

高圧処理は、高圧加工装置（株式会社東洋高圧製：まるごと殺菌 TFS6-5）で行った。処理条件は、表1の7条件とした。No. 1～No. 3の処理条件は中温中圧処理に関する先行研究¹⁾を参考に設定した。No. 4～No. 7は、10分間、20℃（常温）を基準として、500MPa以上の場合は装置の圧力ごとの処理上限時間に従って処理時間を設定した。処理後は室温条件で保管した。

(3) 評価方法

処理24時間後及び処理1週間後の果実外観および包装の状態を目視で評価した。

表1 シャインマスカット果実の高圧処理条件

	処理圧力	処理時間	処理温度
No. 1	100MPa	30 分	50℃
No. 2	150MPa	30 分	50℃
No. 3	200MPa	30 分	50℃
No. 4	300MPa	10 分	20℃
No. 5	400MPa	10 分	20℃
No. 6	500MPa	5 分	20℃
No. 7	600MPa	3 分	20℃

2. 緑色果汁・ピューレの銅酵母を利用した緑色保持方法の検討

(1) シャインマスカット果汁試料

県内小売店で購入した愛媛県産シャインマスカット果実を房から外し、流水で洗浄後、スロージューサー（HURON 社製：H2H）により搾汁した。搾汁後、酸化防止のため果汁に対して 0.1%（w/w）の L(+)-アスコルビン酸を速やかに加えた。果汁に対して 0.06%（w/w）の 5%銅酵母（メディエンス社製）を加え、段階希釈して 0.04%（w/w）、0.02%（w/w）の銅酵母入り果汁を得た。果汁を透明レトルトパウチに 30 g 入れ、真空包装して果汁試料とした。

(2) キウイピューレ試料

愛媛県果樹研究センターから提供されたキウイフルーツ果実を包丁で剥皮後、ジューサーによりピューレ化した。その後、酸化防止のため果汁に対して 0.1%の L(+)-アスコルビン酸を速やかに加えた。ピューレに対して 0.1%（w/w）の 5%銅酵母を加え、段階希釈して 0.05%（w/w）、0.03%（w/w）の銅酵母入りピューレを得た。ピューレを透明レトルトパウチに 30 g 入れ、真空包装してピューレ試料とした。

(3) 高圧処理方法

果汁およびピューレの高圧処理は、高圧加工装置で 400MPa、10 分間、20℃の条件で行った。処理後は室温条件で保管した。

(4) 評価方法

シャインマスカット果汁に対しては、処理 24 時間後および処理 4 週間後に果汁の外観を目視により評価した。キウイピューレに対しては、処理 24 時間後、処理 3 日後、処理 2 週間後にレトルトパウチから取り出し、茶こしにより種子を取り除いた後、分光測色計（コニカミノルタ社製：CM-5）により測定した。測定は、果汁 3.5 g を測定用シャーレに分取し、反射光測定で行った。測定された数値について、 $-a^*/b^*$ の値を緑色度として評価した。

3. 高圧処理の鶏肉への影響

(1) 試料への影響

10mm 程度にスライスした愛媛県産鶏肉を真空包装し、100MPa～600MPa まで 100MPa 刻みで、処理温度 10℃、処理時間 15 分で高圧処理を行った。対照として、無処理の鶏肉と沸騰水中で 10 分間加熱した鶏肉を用いた。

処理後、色調と破断強度を測定した。色調は分光測色計（コニカミノルタ社製：CM-5）により反射測定を行った。破断強度は、レオメーター（パーカーコーポレーション製：PC-200N）を用い、直径 6mm の金属製プランジャーで圧縮速度 1.00 mm/秒、測定ひずみ 70%で貫入試験を行い、破断点試験力（N）を求めた。

結 果 と 考 察

1. 緑色果実への高圧処理の影響

高圧処理 24 時間後では、100MPa～300MPa で処理した果実には退緑が認められなかった一方で、400MPa 以上で処理した場合には明確な退緑が認められた（図 1）。処理 1 週間後には、100～200MPa で処理した果実は若干の退緑が認められたが、はっきりと緑色を維持していた。また、300MPa の処理では処理 24 時間後と比較して明らかな退緑が認められ、400MPa 以上の処理では処理 24 時間後と比較してさらに退緑が進行していた。また、200MPa 以下の処理では、包装内部に膨張が認められた（図 2）。

シャインマスカットのシロップ漬け果実に対しては、100MPa、30 分間、50℃の中温中圧処理が保存性の向上に有効であると報告されている¹⁾が、本試験結果から、生果実に対する応用は困難であると考えられた。したがって、緑色

果実の生の風味とその鮮やかな緑色を両立するためには、300MPa 以上の圧力による処理と緑色の維持を両立する手法を検討する必要がある。



図1 高圧処理による果実の色調変化（24 時間後）

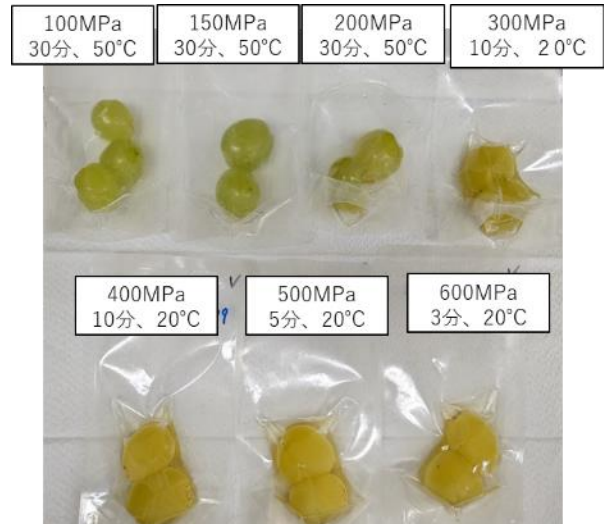


図2 高圧処理による果実の色調変化（7 日後）

2. 緑色果汁・ピューレの銅酵母を利用した緑色保持方法の検討

高圧処理 24 時間後のシャインマスカット果汁は、添加した銅酵母の濃度が高いほど、鮮やかな緑色を維持していた。また、0.02%（w/w）銅酵母添加果汁は、無添加の果汁とほぼ同等の緑色程度であった（図3）。処理4週間を経過すると、0.02%（w/w）、0.04%（w/w）銅酵母添加果汁で、緑色程度の回復が認められ、銅酵母添加果汁はその濃度に関わらずほぼ同様の緑色を呈した。また、無添加果汁では、酸化によるものと推測される褐色化が認められた（図4）。

銅酵母添加量を変えたキウイピューレの高圧処理24時間後～2週間後までの緑色度の変化を図5に示す。どの時点においても緑色度は銅酵母添加濃度が高いほど大きかった。また、緑色度の値は肉眼による感覚とよく一致していた。銅酵母を添加したピューレの緑色度は、0.1%添加ピューレの処理3日後から2週間後の変化を除き、全て経時的に高まっていた。

高圧処理によってシャインマスカットやキウイフルーツなどの緑色果実に退緑が発生する原因として、高圧処理によって緑色の色素であるクロロフィルがタンパク質と分離し、植物体中の有機酸によりフェオフィチンへと変化することが挙げられる²⁾。クロロフィル中のマグネシウムが銅に置換されると、鮮やかな緑色かつ光や酸に対して安定した銅クロロフィルへと変化する。この銅クロロフィルへの変化によって高圧処理に対しても安定して緑色を呈する果汁を作出できると考え、食品原料として利用可能な銅酵母を用いてその利用可能性を検討した。試験結果から、銅酵母の添加により高圧処理後の緑色果実の果汁・ピューレの緑色保持が可能であり、その効果は添加濃度が高いほど大きいと考えられた。また、低濃度で添加した場合も時間の経過により徐々に緑色程度が回復し、時間が経過するほどに濃度による差は小さくなるものと推測された。このことから、高圧処理から実際に使用するまでの期間を考慮して添加量を調整することで、銅酵母を使用するコストを低減できると考えられた。

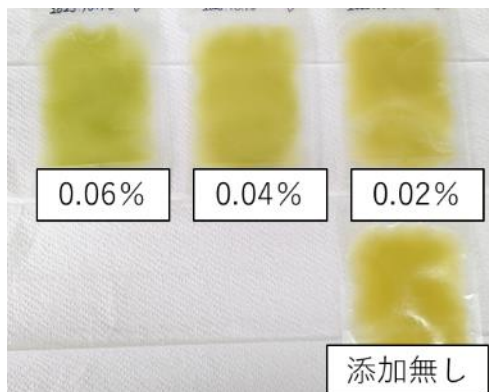


図3 高圧処理による果汁の色調変化（24 時間後）

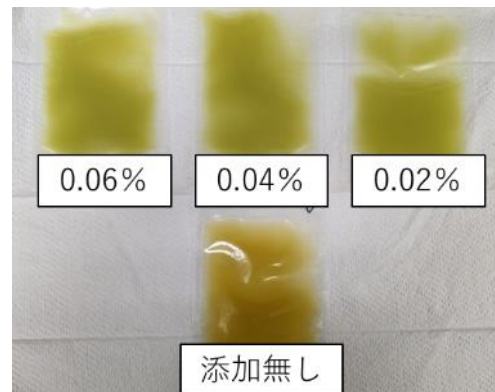


図4 高圧処理による果汁の色調変化（4 週間後）

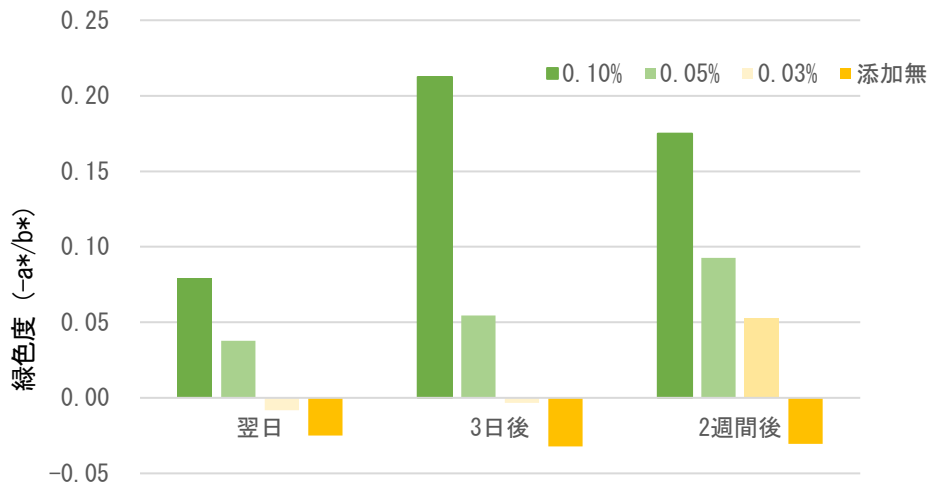


図5 銅酵母添加量の異なるキウイピューレの緑色度の推移

3. 高圧処理の鶏肉への影響

色調および破断点試験力の測定結果を図6～9に示す。明度を示すL*値は処理圧力が200MPa以上になると非加熱と比較して大きくなり、600MPaでは加熱した場合とほぼ同等であった。また、黄色－青色を表すb*値も同様に200MPa以上の処理で若干大きくなる傾向がみられ、黄色寄りの色度へと変化した。緑色－赤色を表すa*値は、処理圧力の大きさによる一定の傾向は認められなかった。これらの結果は、処理圧力が高まると白っぽく変化しているように見える肉眼の感覚とよく一致していた（図10）。破断強度については、処理圧力が高まると大きくなる傾向が認められ、特に400MPa以上の圧力で処理した場合、加熱処理試料と同等以上の破断強度を示した。これらの結果から、200MPa未満の圧力で処理であれば、生の外見、食感を維持できる可能性があると考えられた。

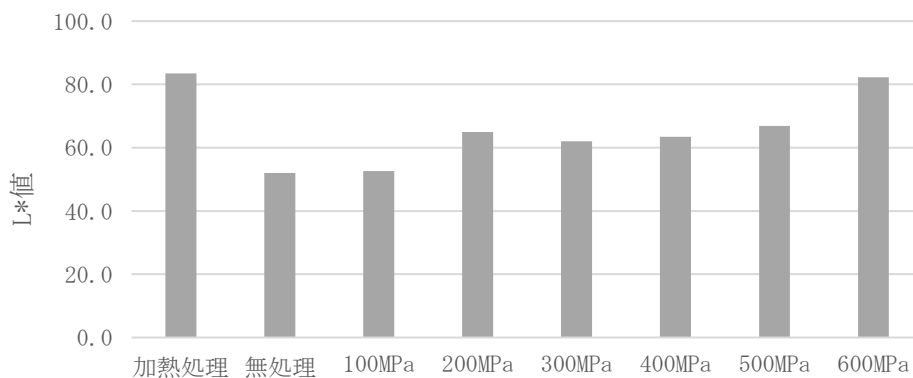


図6 鶏肉の処理条件とL*値の関係

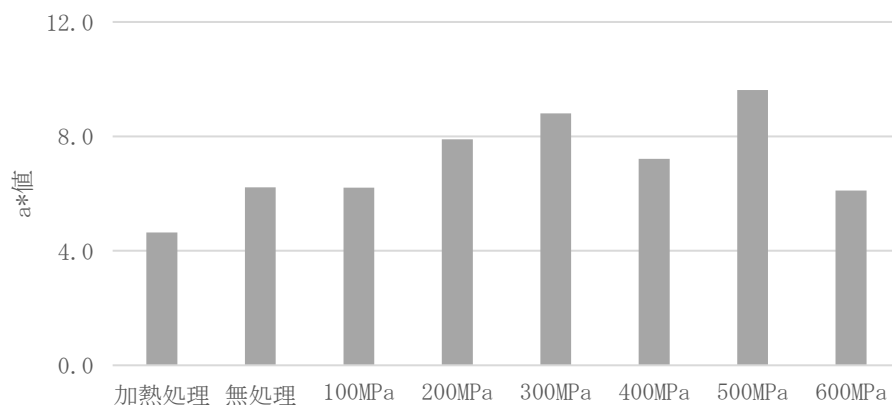


図7 鶏肉の処理条件とa*値の関係

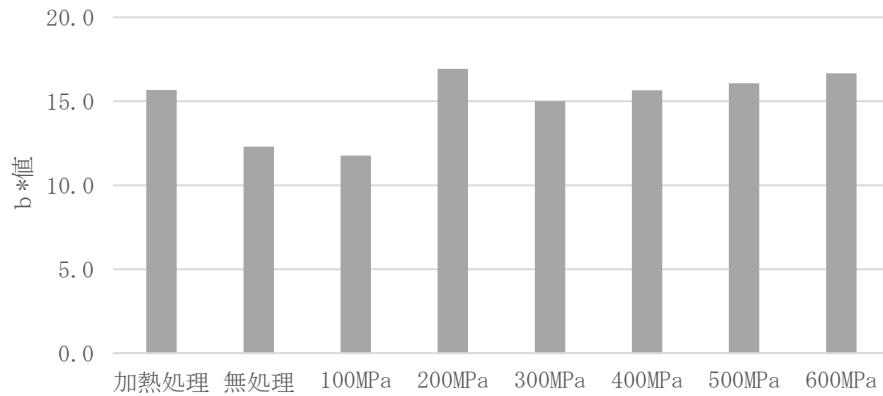


図8 鶏肉の処理条件とb*値の関係

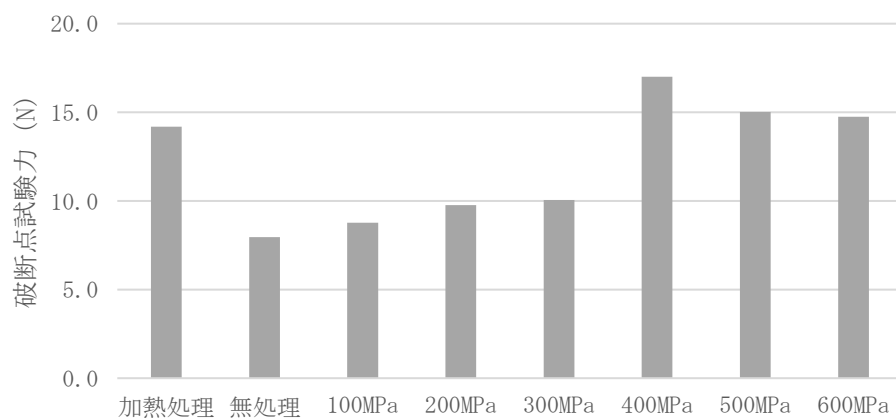


図9 鶏肉の処理条件と破断強度の関係



図10 高圧処理を行った鶏肉の外観

まとめ

緑色果実や鶏肉に対する高圧処理の影響を検証した結果、以下のことが分かった。

1. 緑色果実の保存性向上には 300MPa 以上の高圧処理が有効であり、銅酵母の利用により高圧処理による風味の維持と外観の維持が両立できると考えられた。
2. 鶏肉に対して高圧処理を行った場合、外観は 100～200MPa、食感は 300～400MPa で大きな変化が生じることが明らかになった。

文 献

- 1) 山崎慎也：高圧処理による色調に優れた加工食品の開発. 長野県工技センター研報, No.13, p.F27-F31 (2018).
- 2) 山崎彬, 杵淵美倭子: 高圧食品開発物語 (その 4) 高圧処理による低菌化緑色野菜の開発. 高圧力の科学と圧力, 8(1), pp.57-62 (1998).

親芋の有効活用に資する製品の開発（第2報）

－愛媛農試 V2 号親芋の成分及び製麺加工方法の検討－

朝倉将斗 渡部将也 西村理子 田中八壽子

Development of products that contribute to the effective use of taro mother corms (Part2)

ASAKURA Masato, WATANABE Masaya, NISHIMURA Satoko and TANAKA Yasuko

サトイモは、株元の親芋、そこから生育する子芋、孫芋に形態識別され、子芋・孫芋を食べる品種である「愛媛農試 V2 号」の親芋は 1 t/10a 以上が圃場廃棄されている。未利用資源の有効活用に向けて親芋の栄養成分及び加工適正を調査した結果、栄養成分は子芋・孫芋と明確な差はないこと及び製麺加工に利用した場合、小麦粉や水との置換割合が増加するにシテがって麺の破断強度が低下することが明らかになった。

キーワード：サトイモ、愛媛農試 V2 号、親芋

はじめに

愛媛県の令和 4 年産サトイモ出荷量は 7,190t で全国 4 位であり¹⁾、右肩上がりに伸びている主要品目である。サトイモは、主に県東部で産地化されていたが、平成 20 年に品種登録された「愛媛農試 V2 号」（商標：伊予美人）を主品種として、その良好な食味が市場に評価され高い収益が見込めることから県下全域へと産地が拡大している。

これまでに他品種の親芋の加工に関する研究²⁾や愛媛農試 V2 号の子芋、孫芋の加工研究³⁾はされてきたが、愛媛農試 V2 号の親芋の加工に関する研究例はまだ少ない。

そこで、本研究では親芋を有効利用するために、炭水化物、タンパク質、カリウム等の栄養成分と、製麺加工に利用する方法について検証した。

実験方法

1. 試料

2023 年に県内産地 5 か所と愛媛県農林水産研究所（松山市上難波甲 311）計 6 か所の圃場で栽培・収穫した親芋と、愛媛県農林水産研究所圃場で栽培・収穫した子芋・孫芋を用いた（品種：愛媛農試 V2 号）。

2. 親芋の成分分析

(1) エネルギー、たんぱく質、脂質、ナトリウム（食塩相当量）

常法に従って行った。

(2) カリウム

試料約 5 g を 1 (w/w)% 塩酸で抽出定容し、原子吸光分光光度計（(株) 日立製作所製、Z-2310）により測定した。

(3) 食物繊維

Sigma 社製の食物繊維測定キットを用いて、プロスキー変法にて行った。

3. 製麺加工方法の検証

(1) 親芋試料

i) 親芋粉末

県内企業で加工されたものを用いた。

ii) 親芋摩砕物

愛媛県農林水産研究所で採取した親芋を剥皮後、沸騰水中で 10 分間ボイルし、フードプロセッサーで摩砕したものを利用した。

(2) 製麺方法

i) 親芋粉末利用

親芋粉末、小麦粉（めん匠：日本製粉）、水、食塩を用い、通常の配合（小麦粉 1000g、水 370g、塩 3.7g）から、小麦粉の一部を親芋粉末に代替して利用した。配合割合は親芋粉末と小麦粉の合計量に親芋粉末が占める割合が 0%、10%、20%、30%、40%、50%、100%となる 7 区とし、太さ約 3 mm のうどん様に製麺した。製麺後、10 倍量以上の沸騰水中で 14 分間ボイルして測定に供した。

ii) 親芋摩砕物利用

親芋摩砕物、小麦粉、水、塩を用い、通常の配合から水の一部を親芋摩砕物に代替して利用した。親芋摩砕物重量の 80% が水と仮定し、小麦粉に加える水の代替率が 0%、40%、80% となる 3 区とした。太さ約 3 mm に製麺後、10 倍量以上の沸騰水中で 14 分間ボイルして測定に供した。

(3) 破断強度測定方法

測定試料をレオメーター（パーカーコーポレーション製：PC-200N）を用い、歯形プランジャーで圧縮速度 1 mm/秒、測定ひずみ 90% で貫入試験を行い、破断点試験力（N）を求めた。

結果と考察

1. 親芋の成分

成分分析結果及び参考としてさといも球茎（生）の栄養成分⁴⁾を表 1 に示す。親芋、子芋・孫芋ともに水分と炭水化物で 97(w/w)% 以上を占めていた。また、炭水化物親芋と子芋・孫芋で水分と炭水化物が大きく異なっており、主に親芋は炭水化物量が多いことにより、エネルギーも親芋の方が大きかった。しかし、2022 年に同様の調査を行った際には親芋と子芋・孫芋の水分はそれぞれ 80.1g、77.8g、炭水化物は 15.5g、19.3g と今年度とは反対の結果であった（詳細データ省略）。このことから、親芋と子芋・孫芋の炭水化物量の分析結果の違いは主として球茎の状態（水分量）に起因するものであり、部位の違いによる一定の傾向は無いものと推察された。また、子芋・孫芋と比較して親芋のカリウム量が多かったが、日本食品標準成分表の数値と比較するとどちらも小さかった。

表 1 親芋と子芋・孫芋の成分（可食部 100 g あたり）

	親芋 (6 か所平均)	子芋・孫芋 (農林水産研究所)	(参考) さといも球茎（生）
エネルギー (kcal)	77	56	53
水分 (g)	78.7	84.4	84.1
たんぱく質 (g)	1.9	1.2	1.5
脂質 (g)	0.1	0.1	0.1
炭水化物 (g)	18.3	13.7	13.1
食物繊維量 (g)	2.5	2.2	2.3
灰分 (g)	1.0	0.6	1.2
食塩相当量 (g)	0	0	0
カリウム (mg)	448	297	640

※さといも球茎（生）の数値は日本食品標準成分表（八訂）増補 2023 年から引用

2. 製麺加工方法

親芋粉末で小麦粉を代替し製麺した場合の破断強度測定結果と外観を図 1、2 に示す。代替割合が高まるほど麺の破断点試験力は低下し、灰色がかかった色へと変化した。また、代替割合 100% の場合、生地がまとまらないため製麺することができなかった。50% の場合は裁断及びボイル工程で面が千切れてしまい、作業性、喫食の容易さ、外観の点で製麺に適さなかった。なお、試食したところ、40%

以下では破断点試験力が大きくなるにつれて食感が硬くなる傾向が認められたが、食事動作上は麺が千切れて食べづらいなどの問題はなかった。

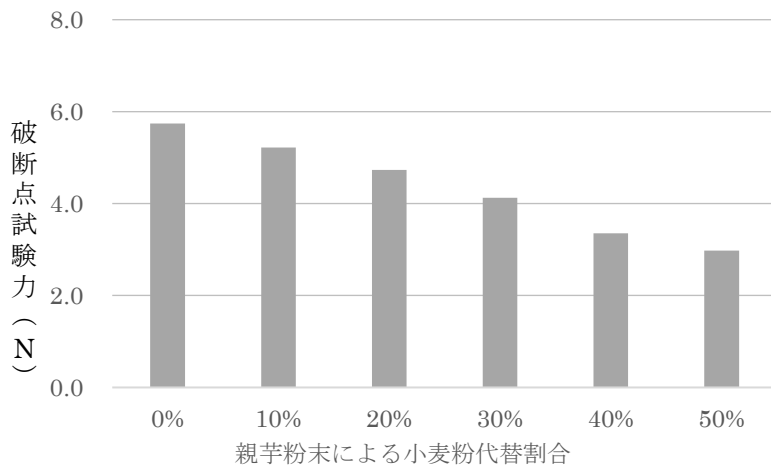


図1 親芋粉末麺の破断点試験力

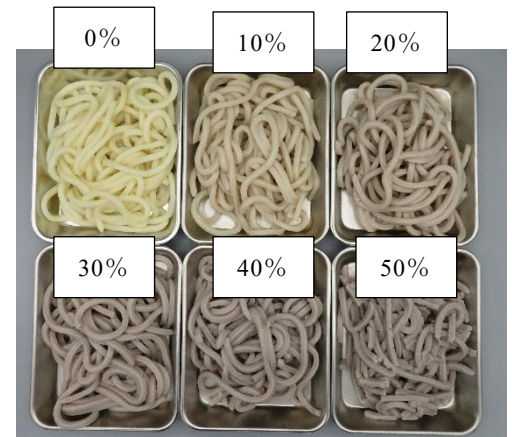


図2 親芋粉末麺

親芋摩砕物で水を代替した場合の測定結果と外観を図3、4に示す。代替割合が高まるほど麺の破断点試験力は低下し、灰色がかった色へと変化した。なお、試食したところ、破断点試験力が大きくなるにつれて食感が硬くなる傾向が認められたが、全ての配合割合（0、40、80%）で食事動作上は麺が千切れて食べづらいなどの問題はなかった。

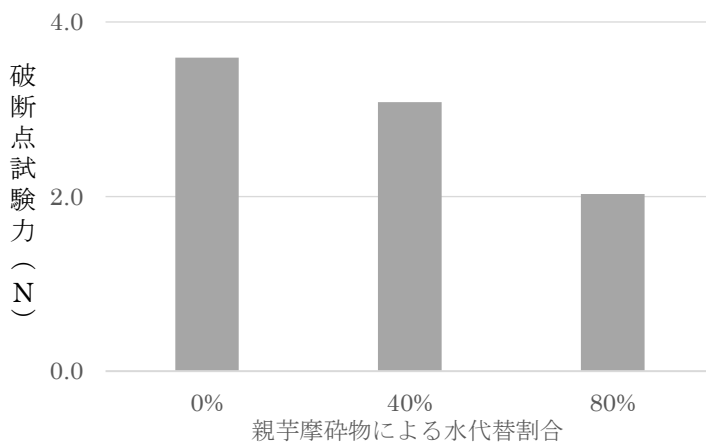


図3 親芋摩砕物麺の破断点試験力



図4 親芋摩砕物麺

麺の破断強度が低下した例として、アナアオサ粉が挙げられる。アナアオサ粉を小麦粉と置換した場合、その置換割合の増加に応じてグルテンの形成が阻害され、破断強度が低下することが報告されている⁵⁾。今回の試験においては、小麦粉の親芋粉末置換割合の増加に伴い破断強度が低下した。また、小麦粉の割合を一定にして、親芋摩砕物を水と置換してその割合を増加させた場合も同様であった。このことから、麺の全体重に占める小麦粉の割合の減少だけではなく、サトイモの添加そのものが麺の強度を下げる要因であることが示唆された。ただし、その置換割合を調整することで喫食に適した強度で製麺することは十分可能であり、食感の調整等に親芋を利用することも可能であると考えられた。

ま と め

親芋の有効活用に向け、成分分析及び製麺への利用方法の検討を行い、以下の結果が得られた。

1. 親芋の成分について、子芋・孫芋と同様に水分と炭水化物が大部分を占めており、その他の分析項目については、明確な違いは認められなかった。
2. 親芋粉末、親芋摩砕物を小麦粉または水と置換して製麺すると、置換割合の増加に従って破断強度が低下した。
3. 小麦粉と代替する場合は 40%以下、水を代替する場合は 80%であれば製麺上の問題は生じず、求める食味及び食感に合わせて用いることが可能であると考えられた。

文 献

- 1) 農林水産省：令和 4 年産野菜生産出荷統計(2023)。
- 2) 家壽多正樹, 星野徹也：未利用のサトイモ親芋を利用した加工食品の開発, 千葉県産業支援技術研究報告, **6**, p. 59-62(2008)。
- 3) 武田秀敏：サトイモの多面的利用に関する研究, 今治明德短期大学紀要, **32**, p. 21-40(2008)。
- 4) 文部科学省：日本食品標準成分表（八訂）増補 2023 年(2023)。
- 5) 山本淳子, 小出あつみ, 山内知子：うどん麺への凍結乾燥アナアオサ粉置換の影響, 日本家政学会誌, **65-8**, p.429-436(2014)。

不織布を活用したタオル製品の開発

小平琢磨* 橋田 充 結田清文

Development of Towel Products using Nonwoven Fabric

KOHIRA Takuma, HASHIDA Mitsuru and YUITA Kiyofumi

手触り感などで特徴のあるタオル製造技術の開発のため、市販の不織布を用いてスリット加工、撚糸加工して不織布糸を作製する技術及び、この不織布糸を用いて手触り感を制御するためのタオル製造技術の開発に取り組んだ。その結果、細幅にスリットした薄手の市販不織布を撚糸することで、タオル製造に用いる一般的な綿糸と同等の太さの糸を作製することができ、不織布のスリット幅を変えて糸の太さを変えることで、手触り感や通気性を変えることが可能であることが分かった。

キーワード：タオル製品、不織布、撚糸、シャリ感

はじめに

今治タオル産地では他産地・他社との差別化のため、特徴のあるタオル製造技術の開発が求められている。我々は以前、四国中央市の地場産業の一つである不織布の製造技術を活用し、機能性不織布糸の作製技術及びその不織布糸を用いた機能性タオル製品の製造技術の開発を行った¹⁾。その結果、サーマルボンド不織布をスリット加工、撚糸加工して不織布糸を作製し、タオル織機で製織することで、抗菌・消臭性能を持ち、通気性に優れた機能性不織布タオルの製造技術を確立した。

この不織布タオルを地元企業向けに発表したところ、ざらざらした手触り感（シャリ感）に対して非常に高い評価を得ることができたが、自作した不織布にムラがあり、強度が低かったため、不織布糸の太さがタオル製造に用いる一般的な綿糸より4倍程度太く、タオル織機で扱うには難易度が高いことが分かった。

そこで本研究では、市販の不織布を調査・選定し、スリット加工、撚糸加工して不織布糸を作製する技術及び、この不織布糸を用いて手触り感を制御するためのタオル製造技術の開発を行ったので報告する。

実験方法

1. 不織布糸の製造方法の検討

(1) 不織布の選定

不織布糸を製造可能な市販不織布を選定する条件として、次のとおり設定した。

- ・種類：サーマルボンド不織布又はспанボンド不織布。
- ・原料の種類：サーマルボンド不織布の場合、芯鞘繊維 90%以上。
- ・目付：20g/m²以下。
- ・寸法：長さ 2000m以上、幅 200～500mm まで。

不織布メーカーから候補不織布として、表1の3種類の不織布が提示された。

*（現）愛媛県庁経済労働部経営支援課

この研究は、（公財）えひめ産業振興財団 起業化シーズ育成支援事業「不織布を活用したタオル製品の開発」の予算で実施した。

表 1 候補不織布

No.	不織布の種類	原料	目付	寸法（幅×長さ）
①	спанボン	PP/PE 芯鞘繊維	20 g/m ²	480mm×2000m
②	サーマルボン	PP/PE 芯鞘繊維	16 g/m ²	190mm×2000m
③			13 g/m ²	

これらについて引張強度試験を行うとともに、スリット業者に不織布の強度等を確認してもらうことで、今回の試作に用いる不織布を選定した。

(2) スリット加工

タオル製造に一般的に用いられる綿糸（20 番単糸）の太さの 2 倍以下の不織布糸作製を目標とし、スリット幅 4 mm 以下でスリット加工可能か検討した。

(3) 撚糸加工

スリット加工した細幅の不織布を撚糸加工するため、ダブルツイスター（村田機械株式会社製、No.36M）を使用し、表 2 の条件で撚糸加工試験を行った。

通常ダブルツイスターで撚糸加工する際は、合糸機により合糸ボビンに巻き返しを行う必要があるが、今回スリット加工した不織布は紙管に巻かれているため、巻き返しを行うことなく、撚糸機にスパーサを利用し、スリットされた不織布を直接撚糸することとした（写真 1）。またスナール（撚り戻し）が発生するため、オートクレーブを用いてスチームセット（120℃・60 分）を実施した。

表 2 撚糸条件

No.	不織布の種類	スリット幅	撚り数	撚糸スピード
SB-2	① スパンボン (20 g/m ²)	2 mm	12 回/2.54 cm	4,500 rpm
SB-4		4 mm		
TB-2	③ サーマルボン (13 g/m ²)	2 mm	12 回/2.54 cm	
TB-3		3 mm	18 回/2.54 cm	
TB-4		4 mm	14 回/2.54 cm	



写真 1 撚糸風景

(4) 強度試験

作製した不織布糸について、番手計算及び強伸度測定を JIS L1095「一般紡績糸試験方法(2010)」に準拠し、引張速度：25cm/分、つかみ間距離：25cm（スパンボン）・50cm（サーマルボン）の条件で実施し、抱合力試験を蛭田式（荷重 147.1cN、回転速度 80rpm）で実施した。

2. 不織布糸を用いたタオル生地 of 製織条件検討

(1) 製織試験

各種不織布糸をパイル糸に使用し、小幅シャトル織機を用いて表 3 の条件で製織性実証試験を行った。タオルのサイズは縦 37cm×横 33cm で製織した。

表3 小幅シャトル織機の製織条件

パイル糸	各種不織布糸 綿糸 20/1 ^S
地たて糸	綿糸 40/2 ^S
よこ糸	綿糸 20/1 ^S
たて糸密度	50 本/3.79cm
よこ糸密度	48 本/2.54cm
箆引き込み	G P G P

(2) 物性評価試験

試作したタオルについて、手触り感の評価のための柔らかさ試験と、通気性試験を実施した。柔らかさ試験については、自作した試験機（図1）を用いて、次の手順にて試験を行った²⁾。

- ① 各タオル生地について、不織布糸が表側（装置の圧子と接する）になる場合と綿糸が表側になる2つの場合について測定。
- ② Zステージに取り付けた“片持ちはり”を下降させて圧子でタオル生地を押し込んだ。片持ちはりを下降し、片持ちはりの固定部近傍に取り付けた“ひずみゲージ”のひずみ値が $-50\mu\epsilon$ （荷重換算 0.24gf）を初期状態とした。この後、片持ちはりをひずみ値が $-600\mu\epsilon$ （荷重換算 2.84gf）となるまで下降させ、片持ちはりの下降量からタオル生地の変形量（圧縮量）を求め、バネ定数（g/mm）を算出した。
- ③ 10か所（10点）測定し、それぞれバネ定数を算出し、最大値と最小値を除いて平均値とした。

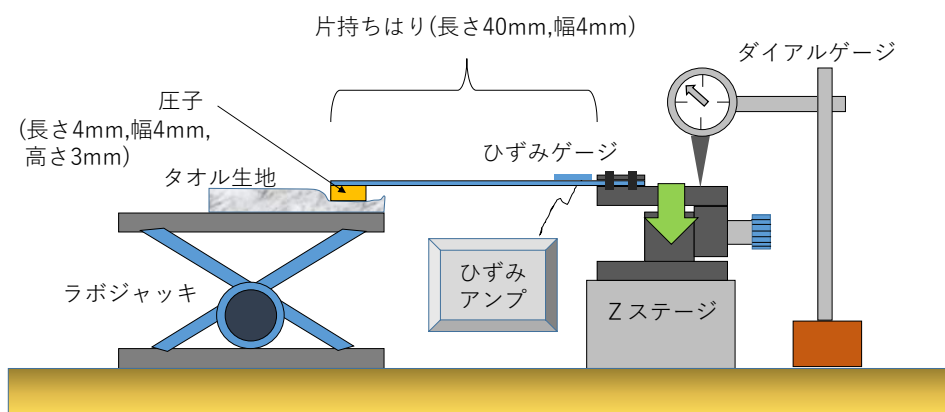


図1 柔らかさ試験機の模式図



写真2 通気性試験機

通気性試験は、通気性試験機（カトーテック株式会社 KES-F8-AP1、写真 2）を用いて、タオルの不織布糸面を上となるようにセットして通気抵抗を測定し、通気度に換算した。

(3) 試作品の作製

パイル糸に不織布糸を使用し、小幅シャトル織機及び革新織機でフェイスタオル等を試作した。

結果と考察

1. 不織布糸の製造方法の検討

(1) 不織布の選定

候補不織布の縦方向の引張強度試験を JIS L1096「織物及び編物の生地試験方法」に準拠し、実施した。その結果を表 4 及び図 2 に示す。

表 4 不織布の引張強度試験結果（平均値）

No.	不織布の種類	目付	引張強度	伸び率
①	спанボン	20 g/m ²	24.1 N	132.0%
②	サーマルボン	16 g/m ²	31.6 N	22.0%
③	サーマルボン	13 g/m ²	19.5 N	14.2%

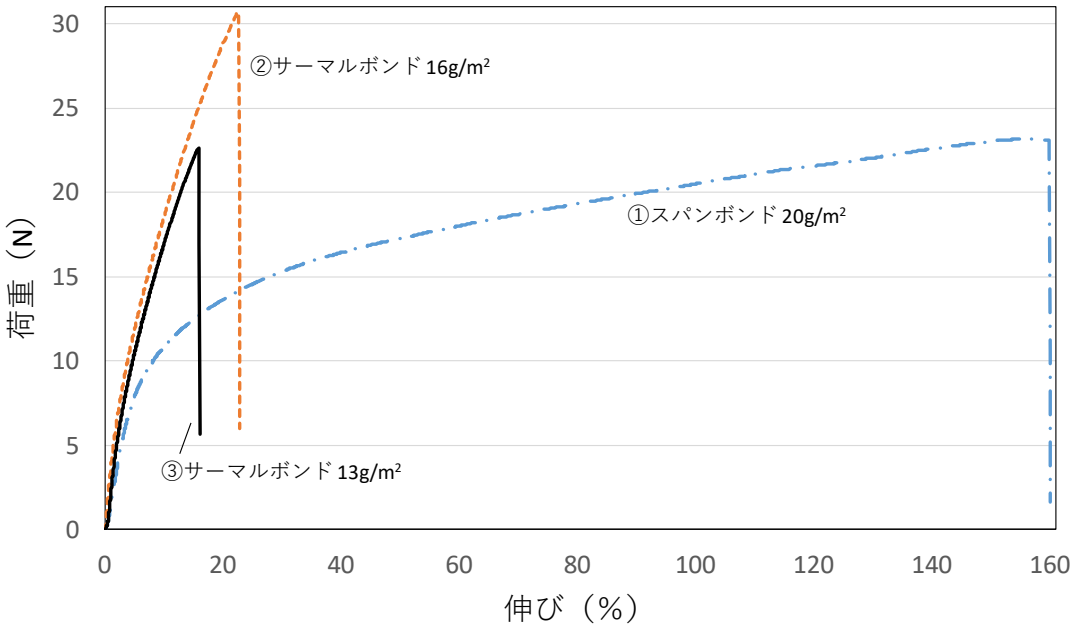


図 2 不織布の応力ひずみ曲線（①～③の代表例）

引張強度については、自作したムラのある不織布を用いた以前の研究において 25N 程度以上でスリット加工できた。今回の市販不織布はムラがないため、20N 程度あればスリット可能と考えられるが、спанボン不織布は非常に伸びるため、スリット加工が問題なくできるか懸念された。そのため、スリット業者にサンプルを送付して確認してもらったところ、「①はやや弱くて伸びるため、2 mm スリットできるか分からないが、4 mm スリットはおそらく可能。②③は 2 mm スリット可能。」との見解であった。

そのため、①と③の 2 種類を選定・調達し、スリット加工することとした。

(2) スリット加工

スリット加工後、撚糸加工するためには、細幅の不織布をレコード状に巻き取るのではなく、写真 3 のように紙管にボビン巻きにする必要があるため、専門業者に加工依頼した。その結果、①③の 2 種類の不織布とも、幅 2 mm でスリット加工することができた。①については 2 mm と 4 mm 幅で、③については 2, 3, 4 mm 幅でスリット加工した。



写真3 スリット加工のボビン巻き

(3) 撚糸加工

細幅の不織布をダブルツイスターで撚糸加工した。作製した不織布糸の拡大写真を写真4に示す。サーマルボンドのスリット幅3mm(TB-3)に関しては、糸切れ等のトラブルが発生したため、撚り数18回/2.54cmで不織布糸の作製を行った。

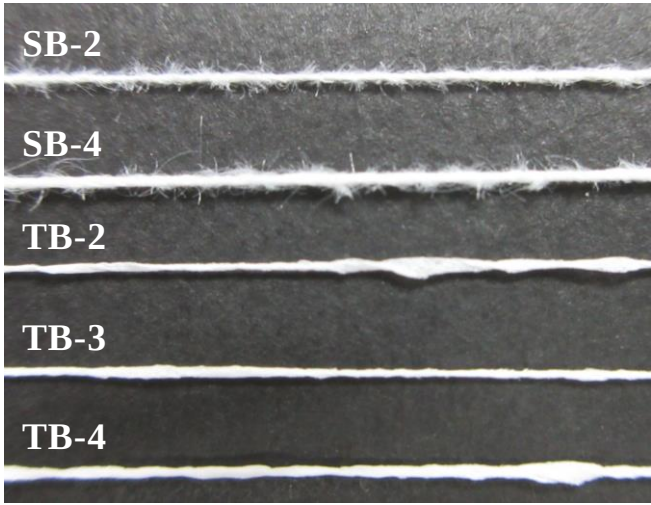


写真4 撚糸後の不織布糸の形状

(4) 強度試験

不織布糸の強度試験結果を表5に示す。2mm幅でスリットした不織布(TB-2)を撚糸することで、綿番手換算で20.2番手となり、タオル製造に用いる一般的な綿糸(20番単糸)と同等の太さの紙糸を作製することができた。また、不織布糸は綿糸と比べると伸び率が大きいことが分かった。スリット幅2mmの不織布糸(SB-2)は、抱合力試験の結果より、タオル織機での製織時に糸切れの可能性が高いことが判明したが、そのほかの不織布糸においては綿糸より大きい抱合力を示すことより織機での製織が可能な糸であることが確認できた。

表5 不織布糸の強度試験結果

不織布の種類	SB-2	SB-4	TB-2	TB-3	TB-4	比較用 綿糸
スリット幅	2 mm	4 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
撚り数 (回/2.54cm)	12	12	12	18	14	17
番手 (綿番手換算)	15.0/1 ^s	6.1/1 ^s	20.2/1 ^s	12.8/1 ^s	9.1/1 ^s	20/1 ^s
引張強度 (cN) (最低～最高)	94 (78～111)	422 (345～487)	254 (194～301)	182 (107～224)	415 (246～541)	430 (348～516)
伸び率 (%)	73.1	128.5	24.2	17.6	25.0	6.6
抱合力 (回)	測定不能	300 以上	220	300 以上	300 以上	59

2. 不織布糸を用いたタオル生地製の織条件検討

(1) 製織試験

表5の5種類の不織布糸をパイル糸に用いても、糸切れ等の発生もなく製織可能であることが確認できた。パイル糸として不織布糸及び綿糸を用いて、表面に不織布糸を、裏面に綿糸を出すように評価試験用タオルを製織した。

(2) 物性評価試験

(1)で製織したタオルについて、柔らかさ及び通気性の評価試験を実施した。

i) 柔らかさ試験（手触り感）

試作タオルの不織布糸面及び綿糸面の測定を行うとともに、比較として、手触りが柔らかいといわれている市販の無撚糸タオルと一般的なタオル（綿糸、20番単糸）を測定した。測定結果を表6及び図3に示す。ばね定数が小さいほうが柔らかいことを表している。

この結果から、スリット幅が小さく糸が細いほど柔らかく、またサーマルボンド不織布よりスパンボンド不織布のほうが柔らかいことが分かるが、これは手で触った感覚と良く合致している。不織布のスリット幅を変えて糸の太さを変えることで、手触り感を変えることが可能であることが分かった。

表6 柔らかさ試験結果（不織布糸面）

不織布の種類	SB-2	SB-4	TB-2	TB-3	TB-4	比較用 綿糸
スリット幅	2 mm	4 mm	2 mm	3 mm	4 mm	
番手（綿番手換算）	15.0/1 ^s	6.1/1 ^s	20.2/1 ^s	12.8/1 ^s	9.1/1 ^s	20/1 ^s
ばね定数（g/mm）	2.7	3.2	2.8	3.1	4.0	2.1

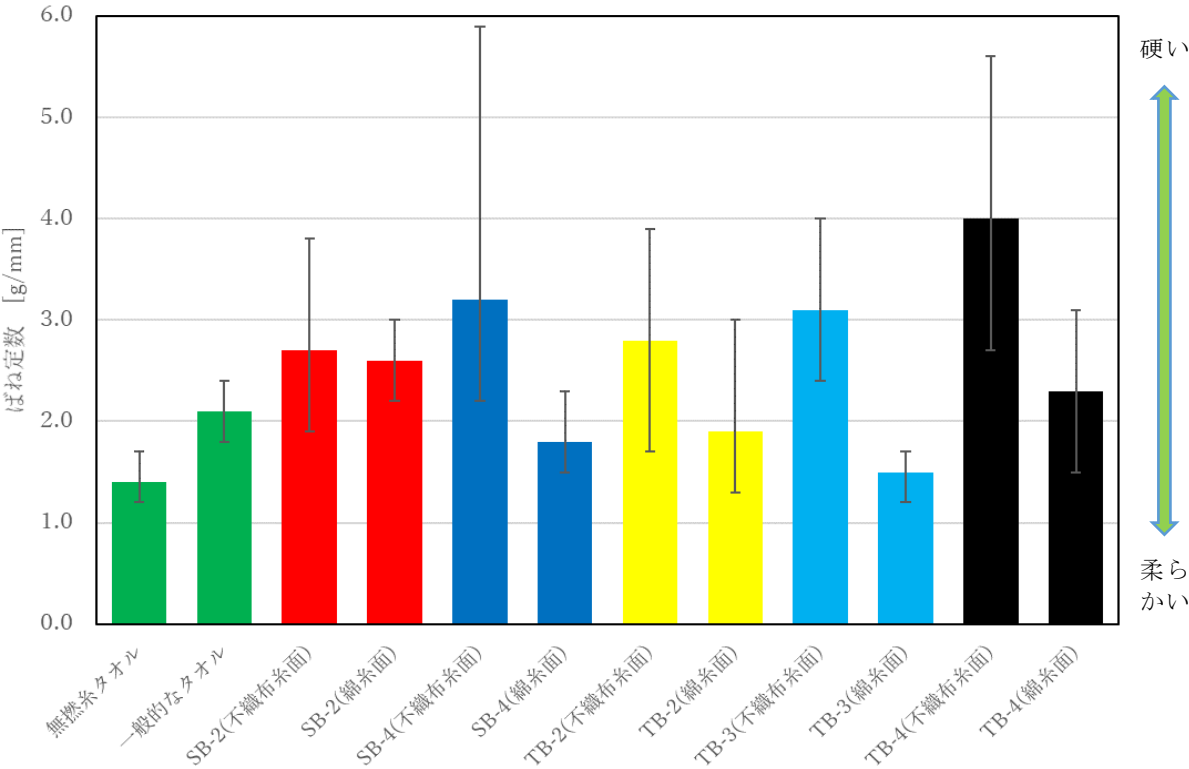


図3 タオル表面の柔らかさ測定データ

ii) 通気性試験

通気性試験結果を表7に示す。スリット幅が小さいほど糸が細いため、通気度が大きく、またスパンボンド不織布よりサーマルボンド不織布のほうが通気度が大きくなった。これはサーマルボンド不織布糸のほうが硬く柔軟性が低いため、空気が通る隙間が大きくなることが要因と考えられる。

表7 通気性試験結果

不織布の種類	SB-2	SB-4	TB-2	TB-3	TB-4
スリット幅	2 mm	4 mm	2 mm	3 mm	4 mm
番手（綿番手換算）	15.0/1 ^S	6.1/1 ^S	20.2/1 ^S	12.8/1 ^S	9.1/1 ^S
通気度（cm ³ /cm ² ・sec）	53.2	30.0	81.2	74.5	68.7
タオルの質量（g）	57.3	89.7	51.4	61.0	71.9

(3) 試作品の作製

パイル糸に不織布糸を使用したタオル製品の試織を行った。

i) 小幡シャトル織機での製織

スパンボンド不織布糸を用いたタオルの製織条件を表 8、試作タオルの外観を写真 5、サーマルボンド不織布糸を用いたタオルの製織条件を表 9、試作タオルの外観を写真 6 に示す。

表 8 製織条件

パイル糸	不織布糸 SB-4（スパンボンド 4 mm） 綿糸 30/2 ^S
地たて糸	綿糸 40/2 ^S
よこ糸	綿糸 20/1 ^S
たて糸密度	50 本/3.79cm
よこ糸密度	42 本/2.54cm
箆引き込み	G P G P



写真 5 スパンボンド使用試作タオル

表 9 製織条件

パイル糸	不織布糸 TB-3（サーマルボンド 3 mm） 綿糸 30/2 ^S
地たて糸	綿糸 40/2 ^S
よこ糸	綿糸 20/1 ^S
たて糸密度	50 本/3.79cm
よこ糸密度	42 本/2.54cm
箆引き込み	G P G P



写真 6 サーマルボンド使用試作タオル

小幡シャトル織機で製織するにあたり、糸切れ等の発生は見られなかった。ただし、ヘムの部分において地織を行ったとき、不織布糸がブツとして表面に現れたので、製品化を行うときには、不織布が表面に現れない組織等を利用する必要があることが分かった。

ii) 革新織機（P-7100）での製織

スパンボンド不織布糸を用いたタオルの製織条件を表 10、試作タオルの外観を写真 7、サーマルボンド不織布糸を用いたタオルの製織条件を表 11、試作タオルの外観を写真 8 に示す。

表 10 製織条件

パイル糸	不織布糸 SB-4 (スパンボンド 4 mm) 綿糸 10/1 ^S
地たて糸	綿糸 40/2 ^S
よこ糸	綿糸 20/1 ^S
たて糸密度	48 本/3.79cm
よこ糸密度	42 本/2.54cm
箆引き込み	P G P G



写真 7 スパンボンド使用試作タオル

表 11 製織条件

パイル糸	不織布糸 TB-3 (サーマルボンド 3 mm) 綿糸 20/1 ^S
地たて糸	綿糸 40/2 ^S
よこ糸	綿糸 20/1 ^S
たて糸密度	48 本/3.79cm
よこ糸密度	48 本/2.54cm
箆引き込み	P G P G

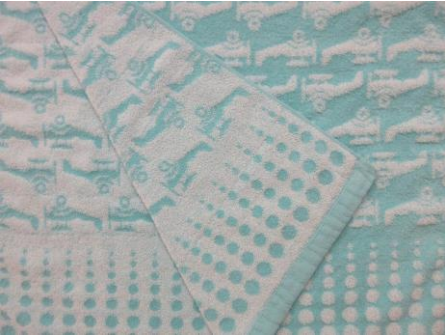


写真 8 サーマルボンド使用試作タオル

革新織機で不織布糸を試織した時、シャトル織機では現れなかった不織布糸と綿糸の伸度差による糸ダレ現象が現れ製織性が悪かった。革新織機はシャトル織機と比べると、バックローラから織前までの距離が長いため、少しの伸度の差が糸ダレ現象を起こしていると思われる。今回、不織布糸については糊付け等の加工を行っていないが、量産化を目指すためには、綿糸との伸度差を改善するための加工方法を検討する必要があることが分かった。

ま と め

市販不織布から不織布糸の作製及び、この不織布糸を用いたタオル製造に関する研究を実施した結果、次のことが分かった。

- 1. 細幅にスリットした、目付の小さいスパンボンド不織布及びサーマルボンド不織布を撚糸することで、タオル製造に用いる一般的な綿糸（20 番単糸）と同等の太さの糸を作製することができた。
- 2. 不織布のスリット幅を変えて糸の太さを変えることで、製織したタオル生地の手触り感や通気性を変えることが可能であることが分かった。

謝 辞

本研究は、公益財団法人えひめ産業振興財団の支援により実施することができました。また、本研究を実施するにあたり、四国中央市の不織布メーカーであるシンワ株式会社様にご協力いただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

文 献

1) 小平琢磨, 結田清文, 西尾俊文: 不織布を活用した高機能糸・高機能タオルの開発, 愛媛県産業技術研究所研究報告, 31-38(2022).

2) 田中克典, 檜垣誠司: 「柔らかい糸」の製造方法に関する研究, 愛媛県産業技術研究所研究報告, 104-108(2023).

タオル製造工程で発生する廃棄物の活用（第1報）

－再生綿糸を利用したタオル製品－

山口真美 檜垣誠司 橋田 充 石丸祥司 田中克典

Utilization of waste generated at towel manufacturing factories (Part1)

-Towel products made from recycled cotton yarn -

YAMAGUCHI Mami, HIGAKI Seiji, HASHIDA Mitsuru, ISHIMARU Shoji and TANAKA Katsunori

近年、タオル製造工程で発生する繊維くずから綿糸を再生する取組みが始まっているが、生産性や品質等への懸念から利用は限定的である。そこで、再生綿糸の物性試験及び製織性試験を行うことにより、再生綿糸利用における課題解決に取り組んだ。その結果、再生綿糸は一般的な綿糸と比べて毛羽が多く抱合力が弱かったが、サイジングワインダーによる糊付加工を行うことで大きく改善した。また、整経条件を工夫することで色の偏りを抑え、再生綿糸の特徴を活かしたバスタオルとショールを試作することができた。

キーワード：タオル、廃棄物、再生綿糸、SDGs

はじめに

タオル原料である綿糸の価格は高騰が続いているが、気候変動や食料への転換等による綿花耕作面積の減少や労働問題が関与するとも言われており、今後も世界的な綿花生産量の減少が想定されている。このような中、資源の有効活用¹⁾のため、綿糸製造工程で発生する未使用繊維（落綿）やタオルなど繊維製品の製造工程で発生する繊維くずから綿糸を再生活用する取組み²⁾が始まっているが、品質等の懸念から製品化は限定的である。そこで、地球環境に配慮したタオル産地としてブランド力を向上させるため、再生綿糸の利用における課題を抽出するとともに、活用技術の確立に取り組んだ。

実験方法

1. 再生綿糸の物性試験

落綿を再利用した綿糸（シキボウ(株)製 ヴィンテージヤーン・20/1^s・落綿割合：30%(w/w)・以下、落綿糸という。）、廃棄繊維製品から再生した綿糸（倉敷紡績(株)製 L ∞ PLUS・20/1^s・反毛繊維割合：30%(w/w)・以下、反毛綿糸という。）及び通常綿糸（KB ツツキ(株)製 TS・20/1^s・以下、比較用綿糸という。）について、表1に示す物性試験を行った。なお、抱合力は測定上限を500回として経糸抱合力試験機（蛭田理研(株)製）を用いた方法で行い、他はJIS L 1095 一般紡績糸試験方法で行った。

表1 物性試験項目

引張強さ (cN)	伸び率 (%)	より数 (回/2.54cm)
糸むら (%)	毛羽* (本/10m) * 3 mm 以上	抱合力 (回)

2. 再生綿糸の製織性試験

(1) 糊付加工条件の検討

表2に示す糊濃度1～3%_{ows}の糊液（糊剤：C-400L、油剤：サイジングワックス S-46Y、共に(株)松本油脂製菓製）を調製してサイジングワインダー（(株)ヤマダ製 YS-6型）による糊付試験を、表3に示す糊濃度4～6%_{owf}の糊液を調製してチーズ染色機（(株)日阪製作所製 HUHT-250/550）での糊付試験を常法にて行い、チーズ乾燥機（(株)日阪製作所製 HUHD-250/550）にて乾燥した。また、糊付加工糸に

この研究は、「タオル製造工程で発生する廃棄物活用技術の開発研究」の予算で実施した。

についても表 1 の物性試験を行って原糸と比較した。

表 2 糊液組成（サイジングワインダー）(%ows)

	条件①	条件②	条件③
糊濃度	1	2	3
油剤	1	1	1

表 3 糊液組成（チーズ染色機）(%owf)

	条件④	条件⑤	条件⑥
糊濃度（合計）	4	5	6
小麦澱粉	3.00	3.75	4.50
PVA	0.50	0.63	0.75
アクリル系糊剤	0.50	0.63	0.75
油剤	2.50	3.13	3.75
帯電防止剤	0.50	0.63	0.75

(2) 製織性の確認

パイル糸に糊付試験糸（条件③～⑥）を使用し、表 4 の条件でタオルの製織性試験を行った。

表 4 タオルの試織条件

織機	小幅シャトル織機
箆	50 羽/3.79cm
よこ糸密度	48 本/2.54cm
パイル糸	20/1 ^S （糊付試験糸）
地たて糸	40/2 ^S
よこ糸	20/1 ^S
箆引き込み	GP GP
パイル長	10mm

3. 製品試作

(1) 再生綿糸をパイル糸に用いたバスタオル

コンセプトは「循環する」、モチーフは「植物」とし、パイル糸に未漂白の反毛綿糸と落綿糸を組み合わせて、反毛綿糸の淡い色を活かしたジャカード柄を作成した（図 1）。ロットの異なる 2 種類の反毛綿糸と落綿糸をサンプル整経機（㈩スズキワーパー製 NAS140CS-2750）を用いて整経し、グリッパ一織機にて表 5 の条件でバスタオルを試作した。また、製織後のタオルについて、家庭用洗濯機を用いて 1 回洗濯した際の洗濯前後のタオルの絶乾質量を求めることにより、洗濯による脱毛率を測定した。

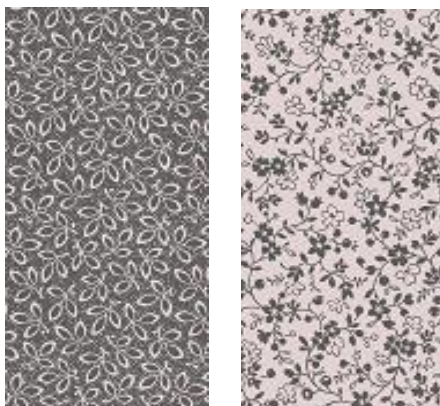


図 1 作成したジャカード柄

表 5 タオルの試織条件

織機	グリッパ一織機 P7100
箆	48 羽/3.79cm
よこ糸密度	48 本/2.54cm
パイル糸	20/1 ^S （再生綿糸）
地たて糸	40/2 ^S
よこ糸	20/1 ^S
箆引き込み	PG PG
パイル長	8 mm
織組織など	3 ピックパイル（2 色毛違い）

(2) 再生綿糸をよこ糸に用いたショール

漂白した再生綿糸をよこ糸に使用し、表 6 の条件でよこ糸が露出する割合の多いショールを試織した。

表6 ショールの試織条件

織機	レピア織機 G6200
箆	46 羽/3.79cm
よこ糸密度	56 本/2.54cm
パイル糸	20/1 ^S
地たて糸	40/2 ^S
よこ糸	20/1 ^S （再生綿糸）
箆引き込み	GGP GGP
ルーズピック距離	1 mm
織組織など	パイル 6 ピックパイル組織 地たて 6 枚よこ朱子

結果と考察

1. 再生綿糸の物性試験

物性試験結果を表7に示す。単糸引張強さやより数では大きな差はなかったが、落綿糸は糸むらが大きかった。比較用綿糸と比べて毛羽は落綿糸・反毛綿糸ともに約3倍、抱合力は落綿糸で約2分の1、反毛綿糸では約4分の1という結果から、タオル製織時に毛玉の発生や摩擦等による糸切れが多発しやすい綿糸であると予想される。

表7 物性試験結果

	落綿糸	反毛綿糸	比較用綿糸
引張強さ (cN)	448 (386～517)	424 (351～488)	430 (348～516)
伸び率 (%)	6.8	6.1	6.6
より数 (回/2.54cm)	18.4	17.8	17.0
糸むら (%)	15.5	12.0	13.0
毛羽 (本/10m)	237	298	86
抱合力 (回)	32	14	59

2. 再生綿糸の製織性試験

(1) 糊付加工条件の検討

サイジングワインダーで糊付した糸の物性試験結果を図2に示す。ここで、原糸はそれぞれの糸を精練・漂白したものである。原糸物性値が劣っていた反毛綿糸においても、糊濃度1%owsで毛羽が減少し、抱合力が大きく向上したので、タオル製織に耐えられる糊付が可能であると予想される。

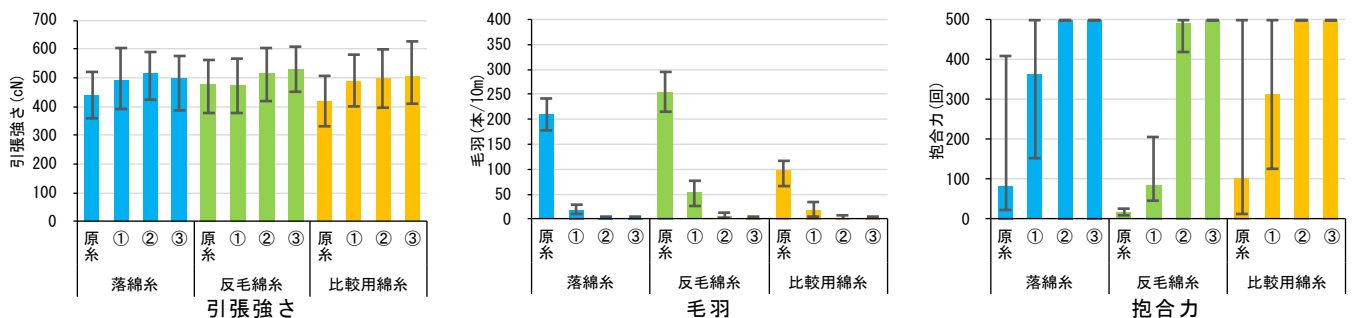


図2 物性試験結果（サイジングワインダーによる糊付）

チーズ糊付した糸の物性試験結果を図3に示す。反毛綿糸では糊濃度を高めても毛羽の改善がなく、抱合力も比較用綿糸の半分以下であったことから、タオルの製織は難易度が高いと思われる。落綿糸

は比較用綿糸よりは劣っているものの、反毛綿糸と比較すると毛羽が少なく抱合力が大きいいため、反毛綿糸より製織性は良いと考えられる。

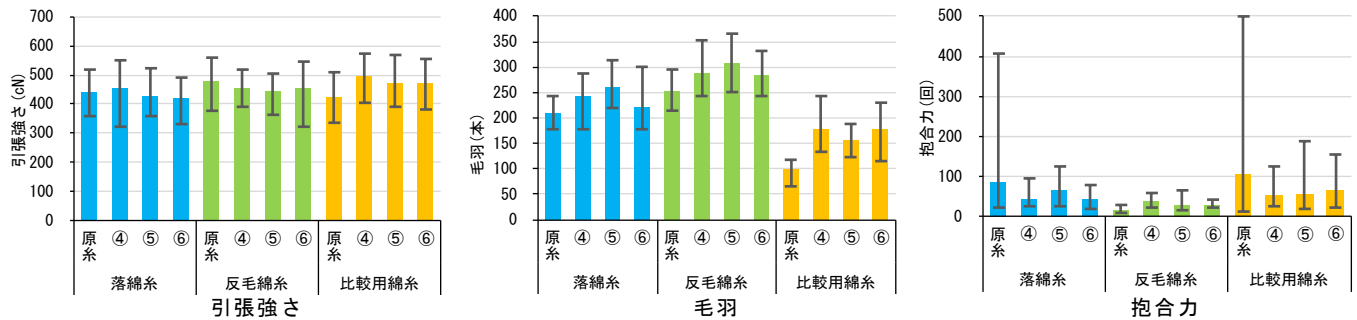


図3 物性試験結果（チーズ糊付）

(2) 製織性の確認

試作したタオルの一例を写真1に示す。サイジングワインダー糊付糸、チーズ糊付糸共にタオルを製織することが可能であったが、チーズ糊付糸では毛羽伏せが不十分で、糸巻返しや整経時に毛羽が多量に発生した。毛羽の多いチーズ糊付糸でも製織可能であったのは、落綿糸や反毛綿糸は極端に単繊維長が短いため、製織時に発生した毛羽が発生と同時に脱落することで、集合して毛玉とならなかったことに因ると推察される。



写真1 糊付条件⑥の再生綿糸で試作したタオル（左：落綿糸 右：反毛綿糸）

3. 製品試作

(1) 再生綿糸をパイル糸に用いたバスタオル

反毛綿糸はサイジングワインダーによる糊付（糊濃度 1.5%ows）、落綿糸はチーズ糊付（糊濃度 5%owf）したもので製品試作を行った。試作したタオルを写真2に示す。製織性に問題はなかったが、製織後のタオルは反毛綿糸の色の不均一性（同一ロットでも色の偏りがある）により、整経時の糸交換箇所で色相変化が顕著となった。

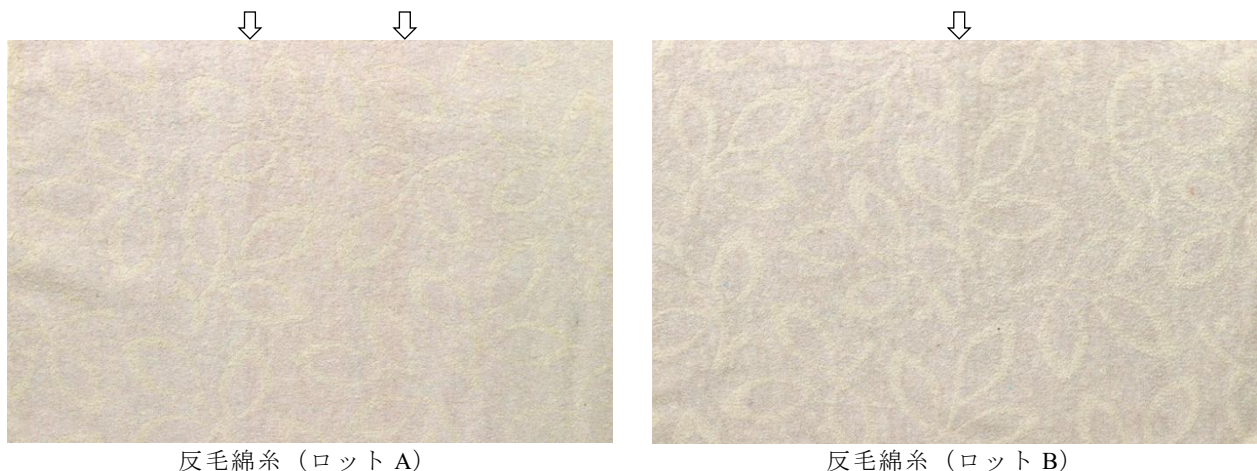
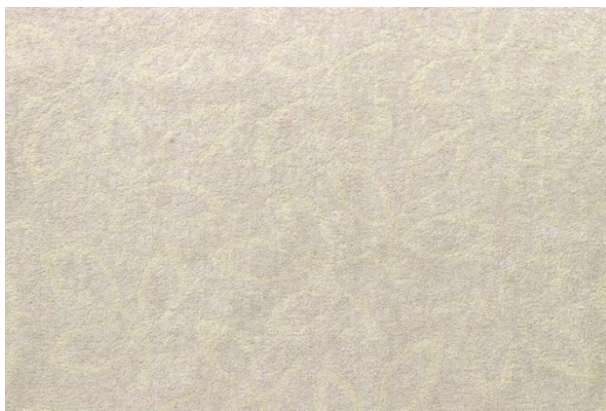
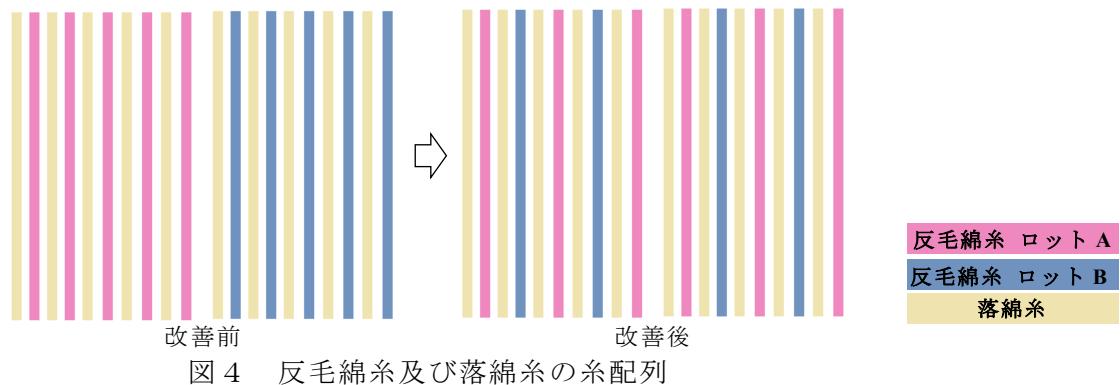


写真2 試作したタオル（矢印部分に色の切り替わり箇所が顕著に見られる。）

これを改善するために、図4のように2つのロットの反毛綿糸を交互に配置し、落綿糸を組み合わせたタオルを試織した。写真3に示すように、試織したタオルは不自然な色の切り替わりが見られなくなり、更に漂白した落綿糸を使用することで、反毛綿糸の淡い色を活かしながら柄を明瞭に表現したタオルとなった。また、洗濯による脱綿率は0.53%(w/w)であり、比較用綿糸を用いたタオル(0.55%(w/w))と同程度であった。



再生綿糸（ロットAB混合）



漂白した落綿糸を使用

写真3 試作したタオル（改良品）

(2)再生綿糸をよこ糸に用いたショール

再生綿糸をチーズ糊付（糊濃度6%owf）し、よこ糸に使用して試作したショールを写真4に示す。ルーズピック距離を短くすることで、よこ糸を多く露出させるとともにパイル糸がループを形成しない緩やかな立体感を持つ製品が得られた。

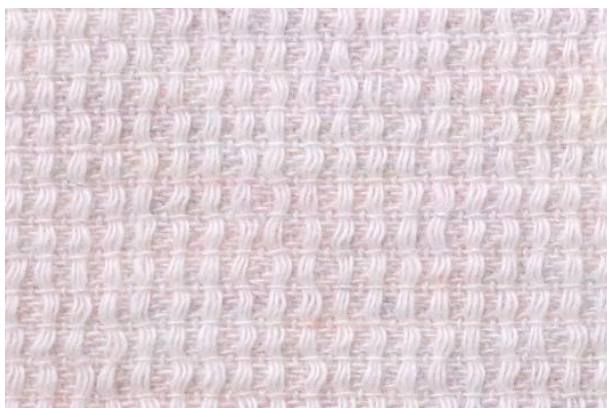


写真4 試作したショール

ま と め

再生綿糸を用いた製品開発のため、糸の物性試験及び製織性試験を行った結果、以下のことが分かった。

1. 再生綿糸は比較用綿糸と比べて、引張強さは大差なかったが、毛羽は約3倍、抱合力は落綿糸で約2分の1、反毛綿糸では約4分の1であった。
2. チーズ糊付では改善が見られなかったが、サイジングワインダーによる糊付では毛羽の減少が見られ抱合力も向上した。
3. サイジングワインダー糊付糸、チーズ糊付糸共にタオルを製織することは可能であったが、チーズ糊付糸は毛羽伏せが不十分で、整経や製織中に毛羽が多量に発生した。
4. 製織後のタオルは反毛綿糸の不均一性により整経時の糸交換箇所では色相変化が顕著となったが、整経時の糸の配置を工夫することで改善できた。

文 献

- 1) 木村照夫：衣類の消費と廃棄・循環の実態と課題, 廃棄物資源循環学会誌, **21**-3, 140-147(2010).
- 2) 島上祐樹：繊維リサイクル産業「反毛」について, 繊維と工業, **64**-7, 238-241(2008).

「柔らかい糸」の製造方法に関する研究（第2報）

ーカバーリング糸を用いた方法ー

田中克典 結田清文 橋田 充

Research on soft thread manufacturing method for towels (Part2)
- method using covering thread -

TANAKA Katsunori, YUITA Kiyofumi and HASHIDA Mitsuru

水溶性の化学繊維を使わずに無撚糸と同等の機能を有する糸を開発するために、綿糸をカバーリングした後に解撚する方法について検討した。

芯糸の綿糸に対して細番手のカバーリング用綿糸を用意し、カバーリング撚り数と解撚数をパラメータとして、「カバーリング解撚糸」を作製した。糸の物性評価とタオル製織後の柔らかさの評価を行ったところ、製織強度は十分だが、柔らかさと吸水性が無撚糸に及ばなかった。結果として、綿糸を糊付け後解撚する方法が、無撚糸と同等の柔らかさと吸水性を得るのに有効であることが分かった。

キーワード：無撚糸、撚糸、タオル、カバーリング、繊維素材、吸水性

はじめに

現在、タオルの風合いを柔らかくするために「無撚糸」が多用されているが、無撚糸は強度が低い、水溶性の化学繊維を巻き付けることで補強し、製織後に水溶性の化学繊維だけを溶解させている。このため、コストがかかるうえ、環境負荷が懸念されている。

また、タオル購入者に求められるタオルの機能として吸水性が挙げられるが、吸水性の高いタオルでは、沈降法などの試験方法において、試験片が水中に沈むまでの時間が非常に短いため、優劣の細かい比較ができない課題があった。

そこで、本研究では水溶性の化学繊維を使用しない解撚方法で、前報¹⁾とは異なる従来の無撚糸並みの柔らかさを持つ糸の加工方法を開発し、その解撚糸を用いてタオルを製織し、柔らかさや吸水性を評価したので報告する。

実験方法

1. カバーリングを用いた解撚糸の作製

図1に示すように通常番手の綿糸に対し、細番手の綿糸をZ方向にカバーリングし、次に出来上がったカバーリング糸に細番手糸をもう1本追加で引き揃え、ともにS方向に撚糸することで芯糸を解撚することができる。結果として2本のカバーリング糸が解撚された芯糸の周りに巻き付く「カバーリング解撚糸」となる。

アップツイスター（片岡機械工業㈱製 BS-SD-240）を用い、芯糸に通常綿糸 20/1^s、カバーリングに細番手の綿糸 100/1^sを用いて、表1の条件により2種類のカバーリング解撚糸を作製した。なお、Z方向にカバーリングした糸はS方向への撚糸でカバーリングが戻されるため、Z方向へのカバーリング撚り数はS方向撚り数の2倍とし、S方向撚り数は芯糸の解撚数となるため、芯糸が甘撚りとなる10回/2.54cmと完全に撚りがなくなる18回/2.54cmを選択した。

この研究は、「低コストで環境に優しい「柔らかい糸」の製造方法に関する研究」及び「地場産品イノベーション支援事業費（高吸水タオル開発）」の予算で実施した。

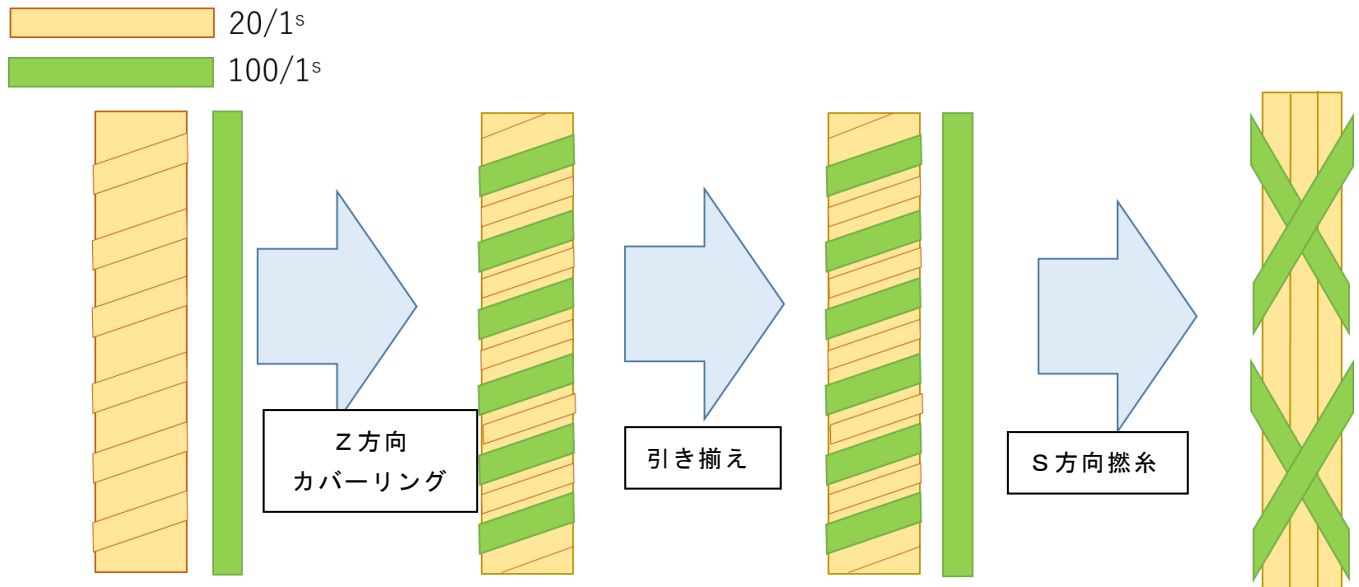


図1 カバーリングによる解撚糸作製方法の工程図

表1 カバーリング解撚糸の作製条件

		芯糸の元撚り数	Z方向カバーリング	S方向撚糸	芯糸の加工後撚り数
撚り数 (回/2.54cm)	(Z20-S10)	17	20	10	7
	(Z36-S18)		36	18	-1

(芯糸：20/1^s、カバーリング糸①、②：100/1^s)

2. カバーリング解撚糸の物性評価

試作したカバーリング解撚糸に対して強伸度（引張強さ）、抱合力（こすれに対する強さ）、毛羽数を測定した。

実施した物性試験方法は、(1)～(3)のとおりである。

(1)強伸度試験 ²⁾ JIS L1095 単糸引張強さ及び伸び率

(2)抱合力試験 抱合力試験機（蛭田理研株式会社製）による糸切断までの回転数

(3)毛羽数試験 ²⁾ JIS L1095 毛羽試験機によるB法

3. 作製した解撚糸を用いたタオルの試作

表1の条件で作製したカバーリング解撚糸を用い、表2の条件でタオルの製織試験を行った。

表2 カバーリング解撚糸を用いたフェイスタオルの製織条件

使用織機	小幅シャトル織機
糸素材	地たて糸：綿糸 40/2 ^s
	パイル糸： 20/1 ^s (100/1 ^s カバーリング)
	よこ糸：綿糸 20/1 ^s
よこ糸密度 (本/2.54cm)	48
たて糸密度 (本/3.79cm)	100
箆引き込み	G P

タオルの製織後、生地 of 精練漂白加工を常法にて行った。

4. 試作したタオルの柔らかさ評価

試作したタオルを評価するため、前報 ¹⁾の柔らかさの簡易測定装置を用いて、同様の評価方法によ

り市販の無撚糸タオルと柔らかさを比較した。

5. 解撚糸を用いたタオルの吸水性評価

前報で試作したサイジングワインダーによる糊付け後、12 回/2.54cm 解撚した糸¹⁾およびカバーリング解撚糸（Z20-S10、Z36-S18）をそれぞれパイル糸に用いたタオルを試作し、JIS L1907 繊維製品の吸水性試験方法 表面吸水法で 5 回吸水性を評価し、吸水量の経時変化の平均を評価パラメータとして市販の無撚糸タオルと比較した。

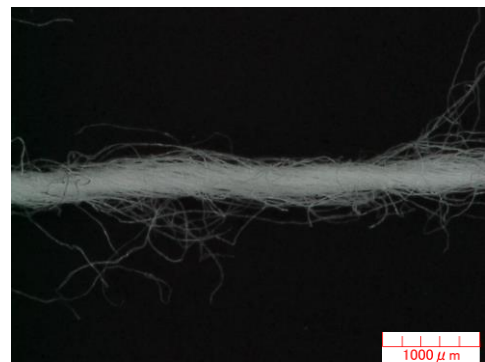
結果と考察

1. カバーリングを用いた解撚糸の作製

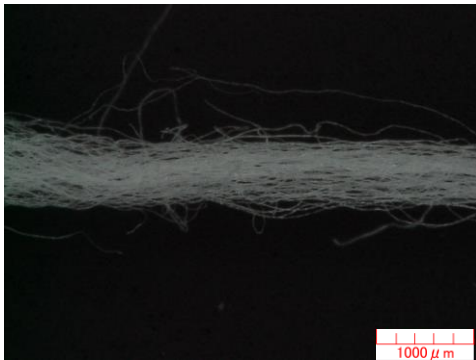
作製したカバーリング解撚糸（Z20-S10）の外観を写真 1 に示す。糊付け後に解撚する方法で作製した糸と市販の無撚糸タオルの糸を比較したところ、カバーリング解撚糸の芯糸の撚りは無撚りに近づいているが、2 本の細番手糸で締め付けられるため、糸の径は細いことが確認され、手触りは固いものとなった。



カバーリング解撚糸（Z20-S10）（生糸）



糊付け後解撚した糸（糊付き）



無撚糸タオルの糸
（PVAカバーリングによる方法）

写真 1 試作した解撚糸および無撚糸タオルの糸の拡大写真

2. カバーリング解撚糸の物性

カバーリング解撚糸の引張強度の測定結果を図 2、抱合力を図 3、毛羽数を図 4 にそれぞれ示す。

この結果から、カバーリング解撚糸の引張強度と抱合力は同番手の通常綿糸並みであるが、カバーリングの撚り数が増えると抱合力が増加することが分かった。また、毛羽数については、カバーリング糸の締め付けによって通常綿糸より少なくなった。このことから、カバーリング解撚糸は通常綿糸並みの強度を有し、製織可能といえる。

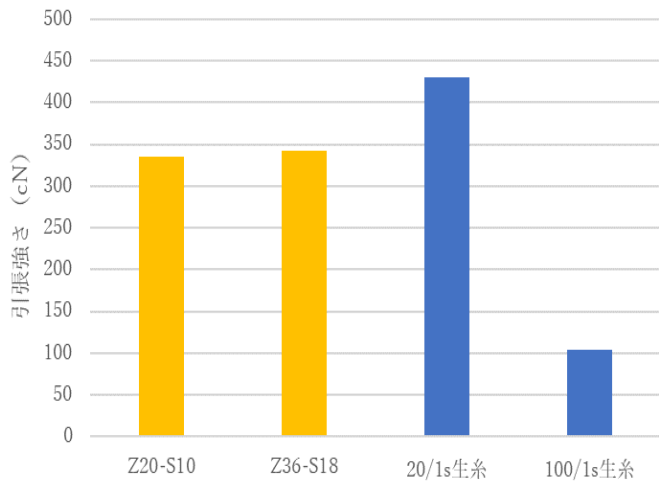


図2 引張強さ比較

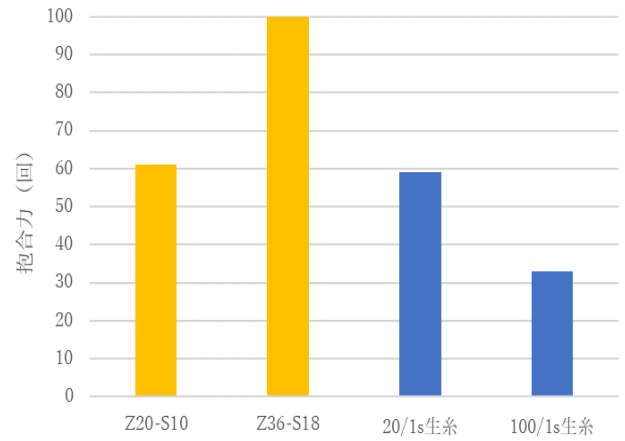


図3 抱合力比較

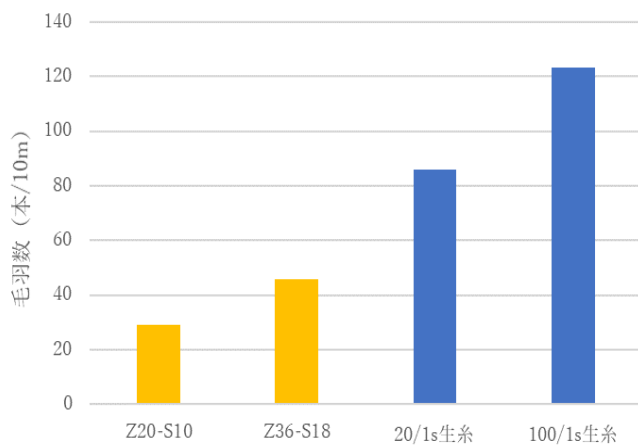


図4 毛羽数比較

3. 作製した解撚糸を用いたタオルの試作

作製したカバーリング解撚糸をパイル糸に用いて試作したタオル生地と市販の無撚糸タオルの表面を写真2に示す。

カバーリング解撚糸は無撚糸と比較すると糸の形が残っており、表面も綿（わた）のようにはならなかった。



写真2 タオルの表面の写真
(左：解撚糸を用いた試作タオル、右：無撚糸タオル)

4. 試作したタオルの柔らかさ評価

柔らかさの簡易測定装置を用いて、カバーリング解撚糸を用いて試作したタオルと市販の無撚糸タオルの柔らかさを比較した結果を図5に示す。

バネ定数が小さいほど、肌触りが柔らかいという評価であり、カバーリング解撚糸はZ撚り20回、S撚り10回の条件で通常綿糸と同程度の肌触りとなった。Z撚り36回、S撚り18回の条件では芯糸の元撚りが解撚されて無撚糸状になっているが、Z撚り20回、S撚り10回の解撚糸よりも固いことが分かった。これは芯糸が同じ条件で解撚されていてもカバーリング糸の撚り回数が増えることで、巻きつき回数が増えるため、柔らかさが低下したと考えられる。

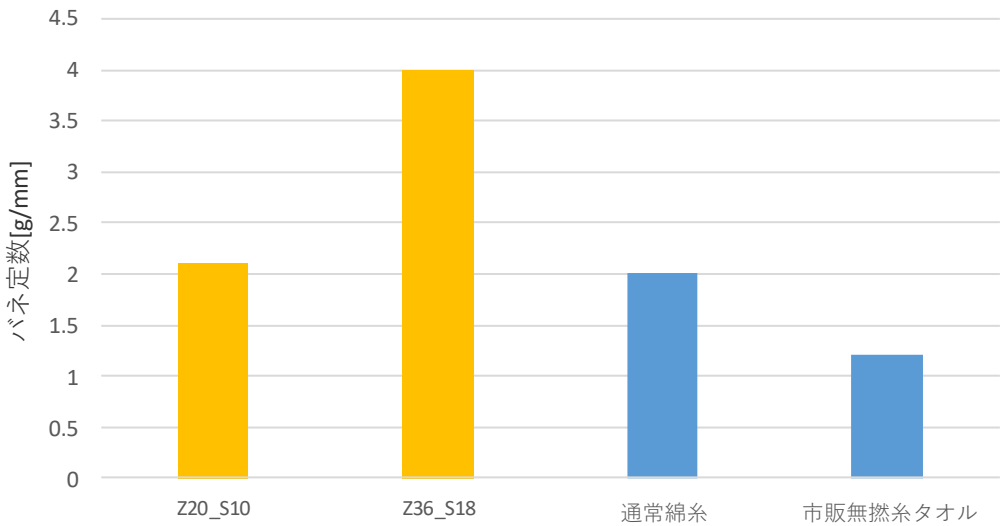


図5 試作したタオルの柔らかさ比較

5. 解撚糸を用いたタオルの吸水性評価

カバーリング解撚糸(2種類)、糊付け後に解撚した糸、通常綿糸 20/1^s をパイル糸に用いたタオル、無撚糸タオルそれぞれの吸水性を比較した結果を表3に示す。また、各タオルの10秒時点までの吸水量を吸水性のステータスとして評価したグラフを図6に示す。

撚りの少ない糸の方が吸水性に優れ、カバーリング解撚糸は通常綿糸程度の吸水性であり、糊付け後に解撚した糸は無撚糸と同等以上の吸水性を示した。カバーリング解撚糸は糊付け後に解撚する方法とは異なり、芯糸の撚りは甘くなっているが、繊維間の隙間が広がっていなかったことが、効率よく水分を吸収することができなかった原因と考えられる。

最大吸水速度は吸水開始数秒後に観測され、通常綿糸と糊付け後に解撚した糸は無撚糸より優れていた。また、時間が経過するごとに通常綿糸やカバーリング解撚糸の吸水速度は低下しているが、糊付け後に解撚した糸や無撚糸は吸水開始から10秒が経過しても吸水速度の衰えは見られなかった。これは狭い吸水面積であっても、吸水された水分が生地全体に拡散しやすいためだと考えられる。

表3 吸水性試験結果

	カバーリング 解撚糸(Z20_S10)	カバーリング 解撚糸(Z36_S18)	糊付け後 解撚糸	通常綿糸	無撚糸タオル (比較用)
最大吸水速度(ml/s)	0.16	0.12	0.19	0.19	0.15
最大吸水速度時点の吸水量 (ml)	0.23	0.22	0.35	0.30	0.75
最大吸水速度までの時間(s)	1.67	2.00	2.20	2.20	6.00
10 秒時点の吸水量(ml)	0.84	0.76	1.33	1.00	1.20

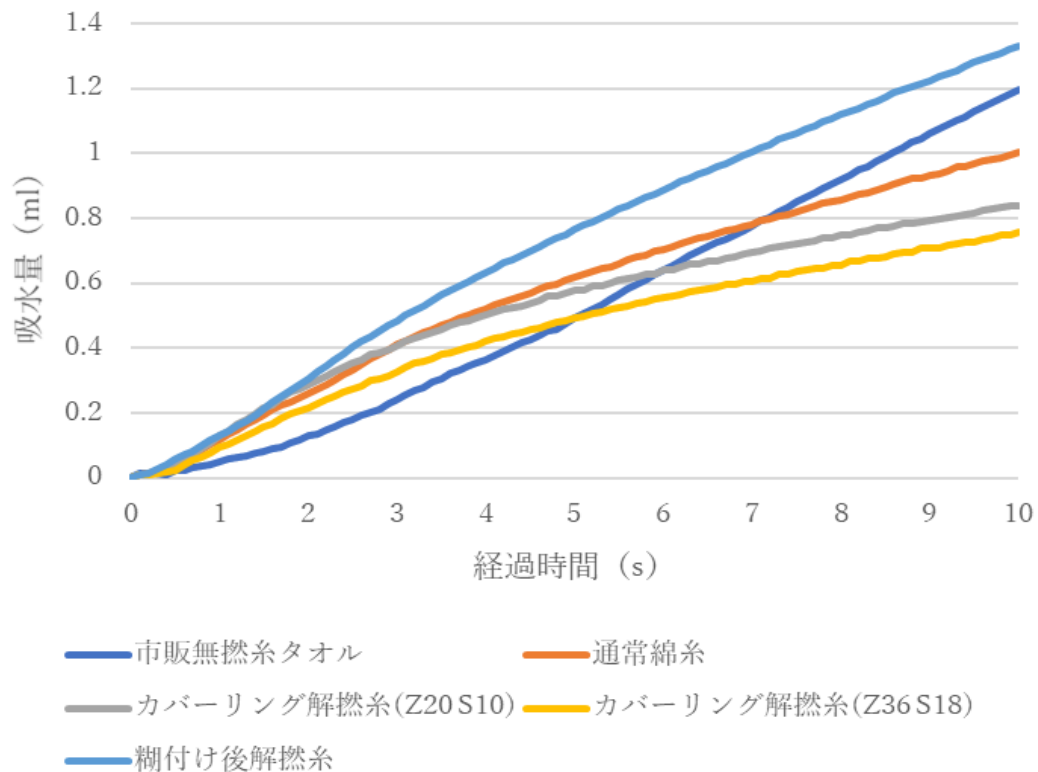


図6 各タオルの吸水量の経時変化

ま と め

芯糸となる綿糸に細番手綿糸をカバーリングして解撚する方法で解撚糸を作製し、解撚糸を用いたタオルの柔らかさおよび吸水性を評価した結果、以下のことが分かった。

1. カバーリングによる解撚方法は製織可能な強度が得られるが、製織したタオル生地 of 柔らかさは通常綿糸並みで、無撚糸ほどの柔らかさは得られないことが分かった。
2. 解撚糸を用いたタオルの吸水性について、撚りの少ない糸のほうが吸水性に優れ、糊付け後に解撚した糸を用いたタオルは、無撚糸タオルと同等以上の吸水性が得られた。

文 献

- 1) 田中克典, 檜垣誠司: 「柔らかい糸」の製造方法に関する研究, 愛媛県産業技術研究所研究報告, 104-108(2023).
- 2) JIS L 1095, 一般紡績糸試験方法(2021).

繊維系産業廃棄物を用いた高機能な再生紙の開発

藤本真人 遠藤 徹* 合田耕児*

Development of functional recycled paper using industrial waste
FUJIMOTO Manato, ENDO Toru and GODA Kouji

現在紙産業界では、パルプ原料・ボイラー燃料の価格高騰や古紙パルプの品質低下などに悩まされており、代替原料の模索や、繊維系廃棄物の有効利用の検討などを行っている。

このため、本研究では、繊維系廃棄物の製紙原料への利用を図るため、スライバー、微細綿、紙粉を調達し、製紙付加原料としての活用方法について検討した。その結果、それぞれの原料の特性に応じた薬品処理や叩解処理を施すことで、引張強度や吸油性などの性能を向上させることに成功した。

キーワード：産業廃棄物、スライバー、微細綿、綿繊維、紙粉、機能紙

はじめに

近年、パルプ及び古紙パルプの代替原料を目的とした繊維系廃棄物の利用検討が活発化している¹⁾。繊維系廃棄物として、紙の抄造中に発生する紙粉や損紙、また繊維や衣服を製造しているメーカーから発生する繊維くずがあるが、紙に抄造することが困難であったり、紙の強度不足となったりするケースが多い。

本研究では、産業廃棄物に対して薬品処理や叩解処理条件等を検討することで、廃棄物を原料とする、エコで機能的な再生紙を開発したので報告する。

実験方法

1. 繊維状廃棄物の調査及び評価

製紙原料に利用可能と思われる繊維系廃棄物を調査した結果、繊維メーカーからは「スライバー」と廃棄衣服から得られる「微細綿」、イトマン(株)から抄造時に発生する「紙粉」を調達できることがわかった。

「スライバー」は、ほぐした原綿が集束し紐状になったものであり、繊維長が長くそのままでは製紙原料に供せられない。そこで、ナイヤガラビーター（㈱東洋精機製作所）または電動断裁機 PC-450（ホリゾン・ジャパン(株)）を用いて短繊維化を試みた。ナイヤガラビーターでは、前処理としてスライバーを5cm長程度にカットし、スラリー濃度0.15mass%・23Lの条件で叩解処理を行った。また、電動断裁機では3mm長程度にスライバーをカットし製紙原料とした。

「微細綿」は、繊維長が異なるサンプルが2種類（微細綿①、微細綿②）あり、繊維長分布測定装置 FS-5（バルメット(株)）を用いて、それぞれの繊維長（JIS P 8226-2、繊維長0.2mm以上の繊維を測定）を評価した。

「紙粉」については、繊維の状態を確認するために Selleger 染色液を用いた顕微鏡観察を行った。顕微鏡は生物顕微鏡 EXLIPSE LV 100ND（㈱ニコン）を用いた。その結果ベッセル（導管）が多く確認できたため、繊維長分布測定装置を用いてベッセル数を評価した。

繊維の改質方法として、酵素剤によるセルラーゼ処理²⁾があるが、本研究においてもセルラーゼ処理を試みた。酵素剤として、ハーコボンド（理研グリーン(株)）、MAXIMYZE（三昌(株)）、GODO セルラーゼ F（合同酒精㈱、以下、セルラーゼ F）を調達した。

2. 繊維状廃棄物を用いたシートの試作

シートの試作は、シートマシン抄紙機（熊谷理気工業(株)）を用いて行った。古紙パルプ NFAP（AIPA(株)製）をシートの主原料とし、坪量は30g/m²とした。なお、古紙パルプは品質が安定しないため、シート試作毎にブランクとして NFAP100%のシートを試作することとした。

*イトマン株式会社

この研究は、「産学官連携共同研究開発事業」の予算で実施した。

まず、スライバーを叩解処理した繊維を使用してシートの試作を行った。試作条件は表 1 のとおりとし、叩解時間が物性へ及ぼす影響を調査した。

表 1 叩解処理を行ったスライバー繊維のシート試作条件

シート	1	2	3	4	5
原料	NFAP	NFAP・スライバー			スライバー
スライバー叩解時間 (min)	—	10	20	30	30
スライバー配合率(mass%)	0	20	20	20	100

スライバーを電動断裁機でカットした繊維については、繊維に油分が残っているため水への分散が悪く、地合良く抄紙することが困難であった。そこで、界面活性剤としてミリスチン酸カリウム（富士フィルム和光純薬(株)）溶解液をスラリーに適量添加し、繊維が水に分散した後に抄紙することとした。試作条件は表 2 のとおりとし、電動断裁機でカットした繊維はシート強度が低いため、補強用にバインダー繊維を添加した。

表 2 断裁機でカットしたスライバー繊維のシート試作条件

シート	6	7	8
原料	NFAP	スライバー・バインダー	スライバー・バインダー
バインダー繊維	—	PET/PET	PE/PP
スライバー配合率(mass%)	0	80	80

次に微細綿を用いたシート化の試作条件を表 3 に示す。微細綿の繊維長及び微細綿の配合量によるシート物性を評価した。

表 3 微細綿を用いたシート試作条件

シート	i	ii	iii	iv	v	vi	vii
原料	NFAP	NFAP・微細綿①			NFAP・微細綿②		
サンプル配合率(mass%)	0	10	20	30	10	20	30

紙粉を用いたシート化については、試作条件を表 4 のとおりとした。紙粉に叩解処理を行うと、ベッセルが多いためか原料が細かくなってしまい製紙原料としては使用できなかったため、紙粉は叩解処理ではなく酵素剤を用いたセルラーゼ処理を行うこととした。酵素剤の添加量は原料に対して 2,000ppm とし、常温で同様の攪拌時間 30 分の処理を行った。また、酵素剤の NFAP に対する効果を確認するために、原料 NFAP のみの場合にも同様にセルラーゼ処理を行いシートを試作した（シート①～④）。

表 4 紙粉を用いたシート試作条件 A

シート	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
原料	NFAP				NFAP・紙粉			
酵素剤	—	ハーコボ ンド	MAXI MYZE	セルラー ゼ F	—	ハーコボ ンド	MAXI MYZE	セルラ ーゼ F
紙粉配合率 (mass%)	0	0	0	0	20	20	20	20

また、セルラーゼ処理の効果を増大させるために、酵素剤の添加量を増量し攪拌時間を 3 時間に延長して試作を行った（表 5）。セルラーゼ F は 2,000ppm を超えると、繊維と急激に反応し、繊維を分解するためにシートの強度低下を引き起こしたため、添加量は 2,000ppm のままとした。

表5 紙粉を用いたシート試作条件 B

シート	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
原料	NFAP				NFAP・紙粉		
酵素剤	—	ハーコボ ンド	MAXIMYZE	セルラー ゼ F	ハーコボ ンド	MAXIMYZE	セルラー ゼ F
酵素剤添加量 (対原料)		3,000ppm	3,000ppm	2,000ppm	3,000ppm	3,000ppm	2,000ppm
紙粉配合率 (mass%)	0	0	0	0	20	20	20

3. 試作したシートの評価試験

試作したシートについて、各種物性を評価した。評価項目は、引張強さ（JIS P 8113）、クレム吸水度（JIS P 8141）、破裂強さ（JIS P 8112、試験枚数は 10 枚）、及び柔らかさ（JAPAN TAPPI No.34）とした。

シート 6～8 については、吸油性を評価した。測定方法は、重量を測定したシートをバット内の 20℃のキャノーラ油の油面に 5 分間浮かべた後、シートを金網の上に取り出し 5 分間放置した後に再度重量を測定し、シート 1 g あたりの吸油量を評価した。比較サンプルとして、油吸水バット（主原料は綿やパルプ）の市販品を 3 種類入手し、同様の測定方法で吸油性を調査した。

また、セルラーゼ処理した紙粉の様子を確認するため、紙粉を用いたシート（シート⑤～⑧）を低真空走査型電子顕微鏡 JSM-IT300LA（日本電子株）にて観察した。

結果と考察

1. 繊維状廃棄物の評価

微細綿について、繊維長を評価した結果を図 1 に示す。結果、微細綿②のほうが繊維長は長いことが分かった。ただし、繊維長分布のピーク幅が広く微細綿②でも短い繊維が多いのがわかる。また、両方の微細綿ともに繊維幅は 16～18μm で、ほぼ同程度であることが確認できた。

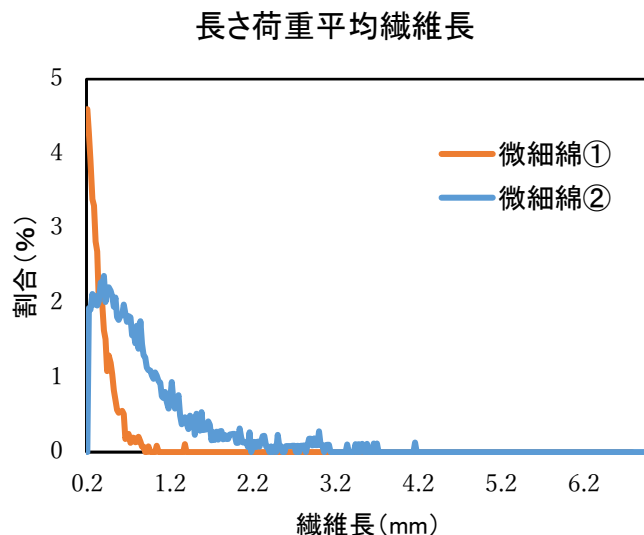


図1 微細綿の繊維長測定結果

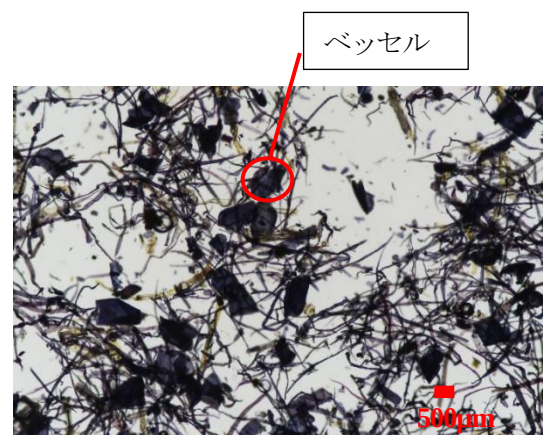


図2 紙粉の染色観察

紙粉について、Selleger 染色液で染色した顕微鏡画像を図 2 に示す。結果、ベッセルが多いことが確認できた。そこで、ベッセルの数を繊維長分布測定装置を用いて調査した結果、古紙パルプ NFAP 中にはベッセルが 100 個未満であるのに対して、紙粉は 500～1600 個程度であった。紙粉にベッセルが多い理由として、ベッセルが紙層内にあると繊維間の結合が阻害され紙の強度が低下してしまうが、紙粉は紙力が弱い箇所から発生すると推測されるため、紙粉にベッセルが多くなったと考えている。なお、紙粉の長さ荷重平均繊維長は約 0.560mm であり、ベッセル以外の繊維は

形状を維持していた。

2. 試作シートの物性評価

叩解処理したスライバー繊維によるシート物性を表6に示す。叩解処理時間10分のシート2より、20分以上のシート3及び4のほうが引張強さは高いことが確認できた。また、叩解処理したスライバー繊維のみを原料とすると、古紙パルプNFAP100%と比べて非常に引張強さが高いことが分かった。

表6 叩解処理を行ったスライバー繊維のシートの物性

シート	1	2	3	4	5
原料	NFAP	NFAP・スライバー			スライバー
引張強さ (kN/m)	0.49	0.48	0.58	0.58	0.91
柔らかさ (mN/100mm)	196	195	187	205	195
クレム吸水度 (mm)	55	56	56	56	16

したがってビーター処理により、スライバー繊維の切断及びシート強度の向上が一度にできることが確認できた。また、シートの柔らかさ及び吸水度は、スライバー繊維を20%配合した場合でも、ほとんど変化はなかった（柔らかさは値が高いほど、紙が硬いことを示す）。一方、シート5の場合は吸水度が著しく低下した。これは、スライバー繊維表面に付着している油分が、シートの水の吸い上げを妨げていることが要因と考えられる。

次に、断裁機でカットしたスライバー繊維を用いた試作シート6～8の吸油性の結果を図3に示す。シート6（NFAP100%）と比べて、スライバー繊維を配合したシート7及び8は吸油量が大きく向上した。また、特にシート8は、市販品と比べても吸油量が大きいことが確認できた。シート7に比べてシート8の吸油量が大きいのは、補強用バインダー繊維がPET/PETよりもPE/PPのほうが吸油性に寄与したためであると考えられる。

スライバー繊維のカット幅の変更や、バインダー繊維の選定により、さらなる吸油性の向上が期待できる。

微細綿を用いたシートの物性を表7に示す。引張強さについては、微細綿を10%配合したシートii・vでは、微細綿①、②ともに大差はなかったが、配合率が20%以上では、繊維長が短い微細綿①のほうが、引張強さの低下が著しかった。したがって、微細綿の繊維長がシート強度に影響することが示唆された。

また、微細綿①の場合は配合率が多いほど柔らかさが向上した。一方で、吸水度については、微細綿を配合することで向上したが、配合率による差は認められなかった。

以上の結果から、繊維長が長い微細綿②を使用することで、強度低下の影響が少なく、吸水性の良いシートが試作可能であることが分かった。

1 gあたりの吸油量

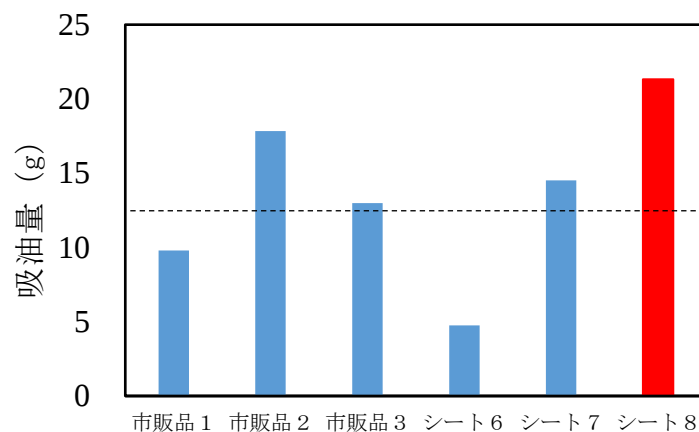


図3 断裁機でカットしたスライバー繊維の吸油性評価
破線は市販品の平均値

表7 微細綿を用いたシートの物性

シート	i	ii	iii	iv	v	vi	vii
原料	NFAP	NFAP・微細綿①			NFAP・微細綿②		
サンプル配合率(%)	0	10	20	30	10	20	30
引張強さ(kN/m)	0.44	0.42	0.31	0.23	0.41	0.40	0.34
クレム吸水度(mm)	65	69	75	73	69	80	77
柔らかさ(mN/100mm)	222	243	206	155	276	309	225

次に、紙粉を用いた表4の各シートの物性を図4に示す。紙粉を配合せず古紙パルプNFAPに酵素剤を添加した場合（シート②～④）には、セルラーゼ処理のないシート①と比較して、シート強度には影響していないことがわかる。一方で紙粉を添加した場合（シート⑤～⑧）では、酵素剤を添加することで、紙粉を添加し強度が低下したシート⑤よりも強度が向上した（シート⑥～⑧）。これは、セルラーゼ処理により紙粉に多いベッセルが改質したことによる影響と考えられる。

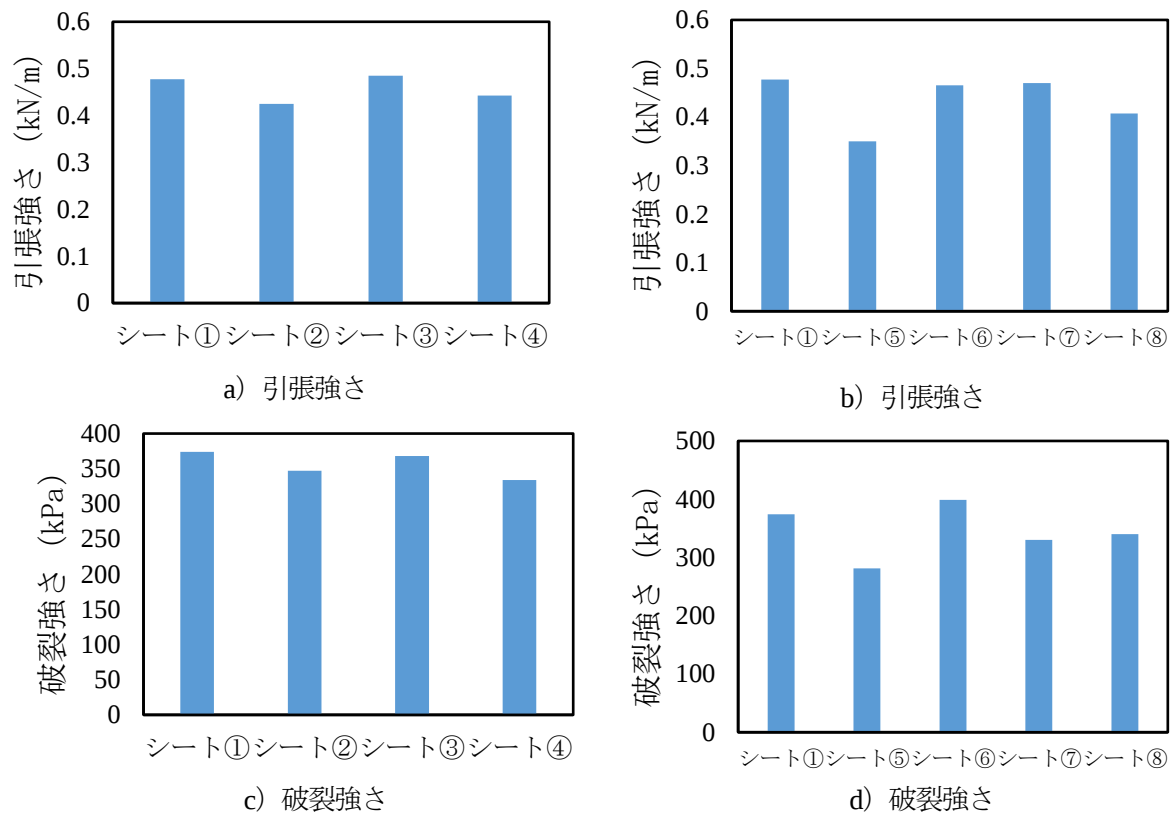


図4 紙粉を用いたシートの物性

電子顕微鏡でシート⑤～⑧のシート表面にあるベッセルを観察した結果を図5に示す。ベッセルは通常固くパルプ繊維との密着具合が弱い（シート⑤）、セルラーゼ処理によりベッセルが改質され繊維と密着している様子が確認できた（シート⑥～⑧）。このことから、セルラーゼ処理をすることで、ベッセルとパルプ繊維との密着具合が改善され、シート強度が向上したと考えられた。

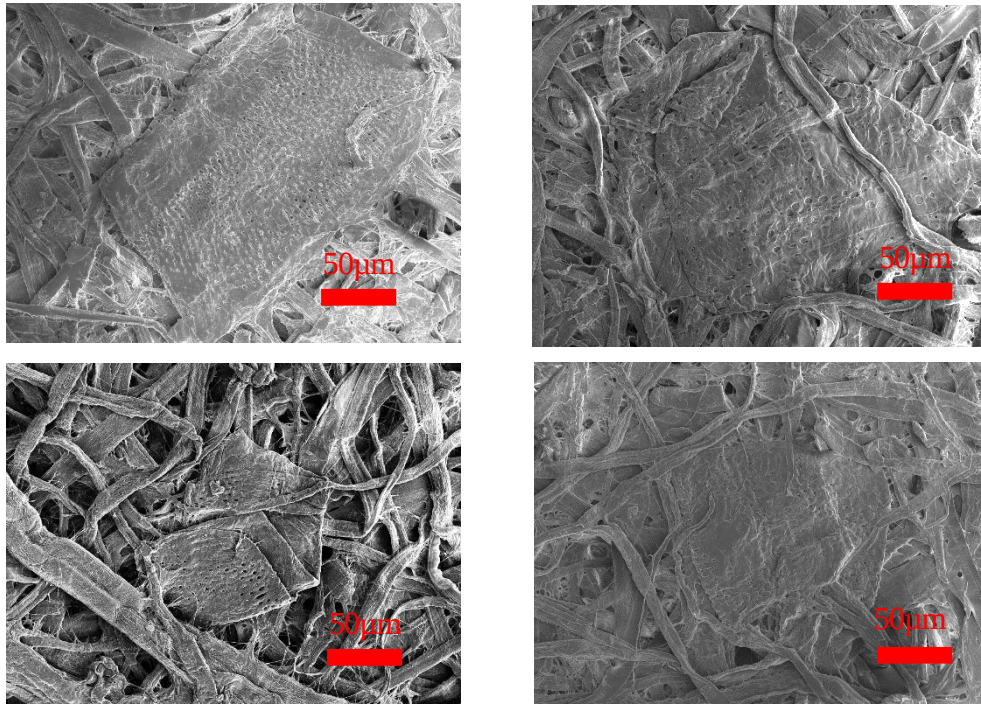


図5 ベッセルの電子顕微鏡写真
(左上：シート⑤、右上：シート⑥、
左下：シート⑦、右下：シート⑧)

次に、酵素剤の添加量を変更した表5のシートの引張強さの結果を図6に示す。セルラーゼ処理の効果を増大させると、古紙パルプ NFAP100%のシートにおいても強度の向上が確認できた(シート⑩～⑫)。一方で、紙粉を配合したシートでは強度向上への影響は確認できなかった(シート⑬～⑮)。

以上の結果から、紙粉を配合する場合は、酵素剤による強度向上への寄与は限定的であり、紙力剤などの異なる薬品の添加が必要であると考えられる。

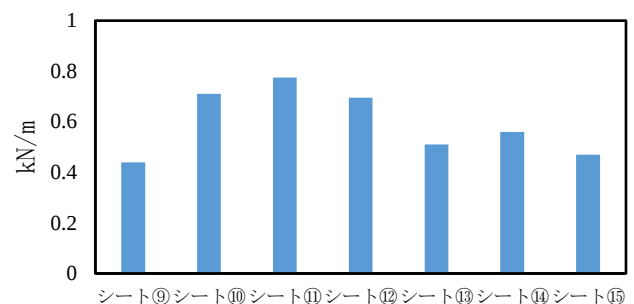


図6 紙粉を用いたシートの引張強さ

ま と め

調達した様々な繊維系廃棄物を利用することで、付加価値のある再生紙を試作することができ、以下の結果を得た。

1. 「スライバー」を短く断裁することで、撥水・吸油性のあるシートが得られた。また、ビーターで叩解処理することで、スライバー繊維の短繊維化とシートの強度向上を一度に行うことができた。
2. 「微細綿」を配合することでシートの吸水性の向上が認められ、さらに繊維長が長い微細綿を用いるとシート強度の低下を抑制できた。
3. 「紙粉」はそのまま配合するとシート強度が低下してしまうが、紙粉に酵素剤を用いたセルラーゼ処理をすることで、シート強度が向上した。

文 献

- 1) 伊藤彰,河部千春,深沢博之,井出茂貴:廃棄コットンを利用した製紙技術の開発,成果報告書第16号,静岡県工業技術研究所,71-73(2023).
- 2) 吉村光太,波多野正信:セルラーゼ系酵素剤による紙力向上, 紙パ技協誌,73-6,34-37(2019).

紙文化財補修用材料としての高機能化楮繊維の開発

藤本真人 稲葉政満*¹ 貴田啓子*² 半田昌規*³ 西田典由*¹

Development of highly functional kozo fiber as a material for repairing paper cultural properties

FUJIMOTO Manato, INABA Masamitsu, KIDA keiko, HANDA Masaki and NISHIDA Noriyoshi

虫食い文書の修理に用いられる漉嵌め法 (leaf casting) 用を開発した高度外部フィブリル化楮繊維は、接着性改善のために小麦粉デンプン糊などの虫菌害を呼ぶような材料を用いず、しかも作業工程を減らすことが可能であることから、本紙との接着性を高める新規な高機能材料として、紙本修理の改善が期待されている。

本研究では、マスコロイダーの条件を決定し、楮繊維の解繊維具合評価及び修復時の接着具合を評価した結果、紙文化財補修材料として適した高度外部フィブリル化楮繊維が得られ、紙との接着具合が向上した。

キーワード：高度外部フィブリル化、マスコロイダー、漉嵌め法

はじめに

高度外部フィブリル化楮繊維は虫食い文書の修理に用いる新規な高機能材料として期待されているが¹⁾、石臼式摩砕機 (マスコロイダー) を用いる製造方法には、石臼の状態や原料繊維の状態など影響する因子が多く²⁾、高度外部フィブリル化楮繊維の安定的な製造方法を確立する必要がある。

本研究では、高度外部フィブリル化楮繊維の製造方法を確立するとともに、楮繊維の解繊維具合評価及び修復時の接着具合を評価したので報告する。

実験方法

1. 楮繊維の高度外部フィブリル化及び評価

楮繊維の高度外部フィブリル化について、鋭意調査した結果³⁾、以下の方法で高度外部フィブリル化楮繊維を試作することができた。まず、楮繊維を 3mm 長に断裁し、煮熟・水晒し・解繊維する。次に、石臼式摩砕機スーパーマスコロイダー MKCA 6-5 JR (増幸産業(株)) を暖機運転した後、クリアランスを+10 μ m に調整し、楮スラリー (0.5mass%) を流し入れて、高度外部フィブリル化を行った。0、10、20、40pass のサンプルを取得し、繊維の様子を生物顕微鏡 EXLIPSE LV 100ND (株ニコン) を用いた位相差観察で、繊維長と外部フィブリル度は繊維長分布測定装置 FS-5 (valmet(株)) を用いて評価した。

2. 模擬的なリーフキャスティング試験の実施及びシート観察

模擬的なリーフキャスティング試験を、シートマシン抄紙機 (熊谷理機工業(株)) を用いて行った。シートマシンの金網の上に、修復させる試験体として図 1 のように穴を開けた楮紙 (坪量 32g/m²) を水に浮かべないよう重しとともに設置した。シートマシンの試料槽に水を溜めた後、修復箇所重量分の楮繊維と、粘剤 (PEO 0.05mass%) を 10ml 混ぜたスラリーを試料槽に流し入れて、エアー攪拌後脱水した。この際、楮繊維の配合は表 1 のとおりであり、高度外部フィブリル化楮が修復箇所を埋めているかを目視で調査することとした。

脱水後は、濾紙を用いて金網から剥がした後、さらに濾紙で湿紙を挟んだ後に湿紙乾燥装置 (株東洋精機製作所) で乾燥させシートを得た。高度外部フィブリル化楮の形状を詳細に確認するため、ミクロトーム HistoCore MULTICUT (ライカマイクロシステムズ(株)) で断面出しをした後、電子顕微鏡 S-3700N (株日立ハイテク) で断面観察を行った。

* 1 (独) 国立文化財機構東京文化財研究所 * 2 東京藝術大学 * 3 広島市立大学
この研究は、「科学研究費助成事業 基盤研究 B」の予算で実施した。

表1 楮繊維スラリーの配合量

マスコロイダー処理	0 Pass	10 Pass	20 Pass	40 Pass
ブランク	100mass%			
①	90mass%	10mass%		
②	50mass%	50mass%		
③		100mass%		
④	90mass%		10mass%	
⑤	50mass%		50mass%	
⑥	90mass%			10mass%
⑦	80mass%			20mass%

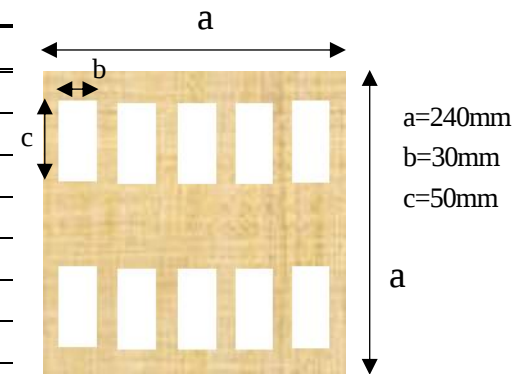


図1 修復紙の様子

3. 修復紙の評価

2で試作したシートについて、楮繊維の密着具合を調査するために、引張圧縮試験機 ストログラフ S（株東洋精機製作所）を用いて試験を行った。試験方法は、図2のように修復紙を裁断し、長軸方向の端をつかみ引張試験を行うことで、修復箇所での楮繊維の密着具合を評価した。

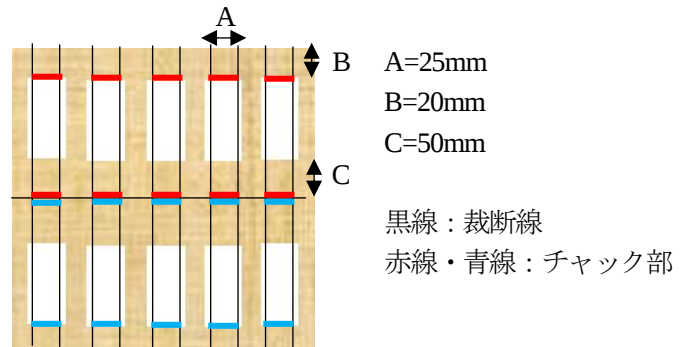


図2 修復紙の裁断の様子

4. 装演師による評価

実際に虫食い文書等を修理している装演師に高度外部フィブリル化楮繊維を使用してもらい、使い勝手を評価してもらうこととした。試験の原料配合は表2のとおりとし、地合と結合強度を評価するためブラインドテストを実施した。

表2 修復試験の原料配合条件

マスコロイダー処理	0 Pass	10 Pass	20 Pass	40 Pass
ブランク	100mass%			
i	90mass%	10mass%		
ii	90mass%		10mass%	
iii	90mass%			10mass%

結果と考察

1. 楮繊維の高度外部フィブリル化及び評価

楮繊維の外部フィブリル化の様子を図3に示す。マスコロイダーのパス回数が増えるにつれて繊維の毛羽立ち具合が顕著になっていることから、外部フィブリル化が進んでいることが分かった。一方、パス回数が増えるにつれて繊維の切断も発生していることも確認できた。

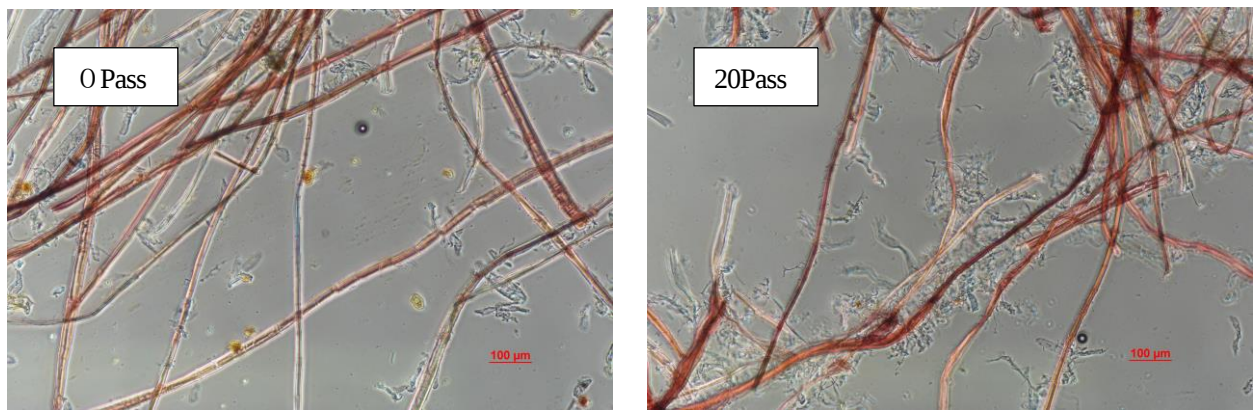


図3 顕微鏡による位相差観察

楮繊維の繊維長及び外部フィブリル化度を数値化するために、繊維長分布測定装置で評価した結果を図4に示す。パス回数が増えるにつれて、外部フィブリル化度が上昇するとともに繊維長が減少しているのが確認でき、顕微鏡で観察した結果と同様のデータを得られた。これらの繊維形状の変化が修復試験にどのように影響するか、実際に修復試験を行い評価することとした。

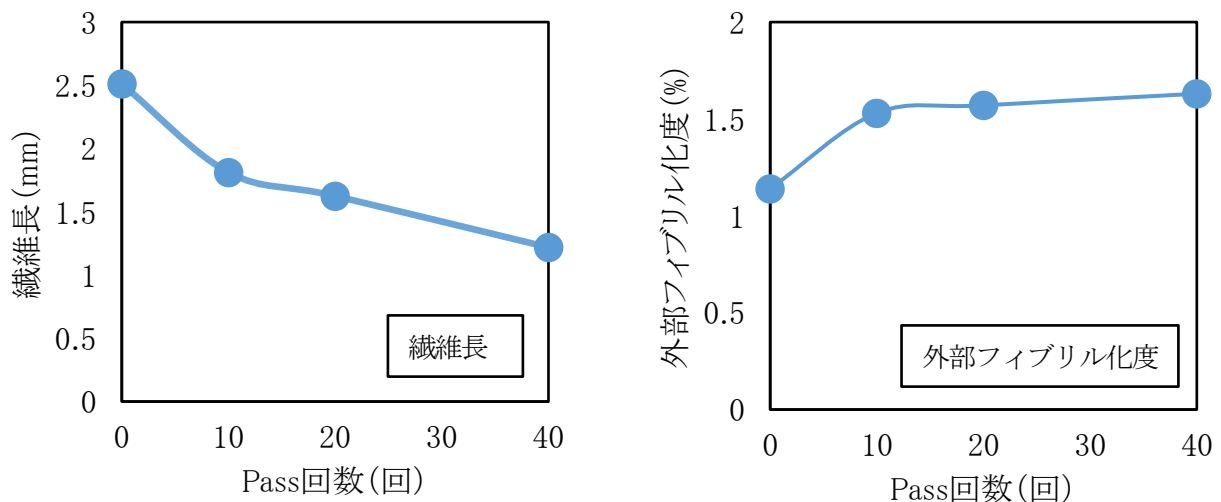


図4 繊維長分布測定装置による測定結果

2. 模擬的なリーフキャストリング試験の実施及びシート観察

模擬的なリーフキャストリング試験を実施した結果、穴が空いている箇所に繊維が積層されていることが確認できた。また、乾燥後は修復箇所に楮繊維が接着している様子が確認できた。

高度外部フィブリル化楮の形状を詳細に確認するために、断面観察を行った結果を図5に示す。パス回数によって異なる外部フィブリル化の様子が確認できた。10Passでは楮繊維にスポンジ状の構造が見られ、フィブリル化の進行が確認できた。20Passでは楮繊維の外層部が剥がれている様子が確認でき、外部フィブリル化が進行している結果が得られた。40Passでは外部フィブリル化が進行するとともに、内部フィブリル化も進行している様子であった。

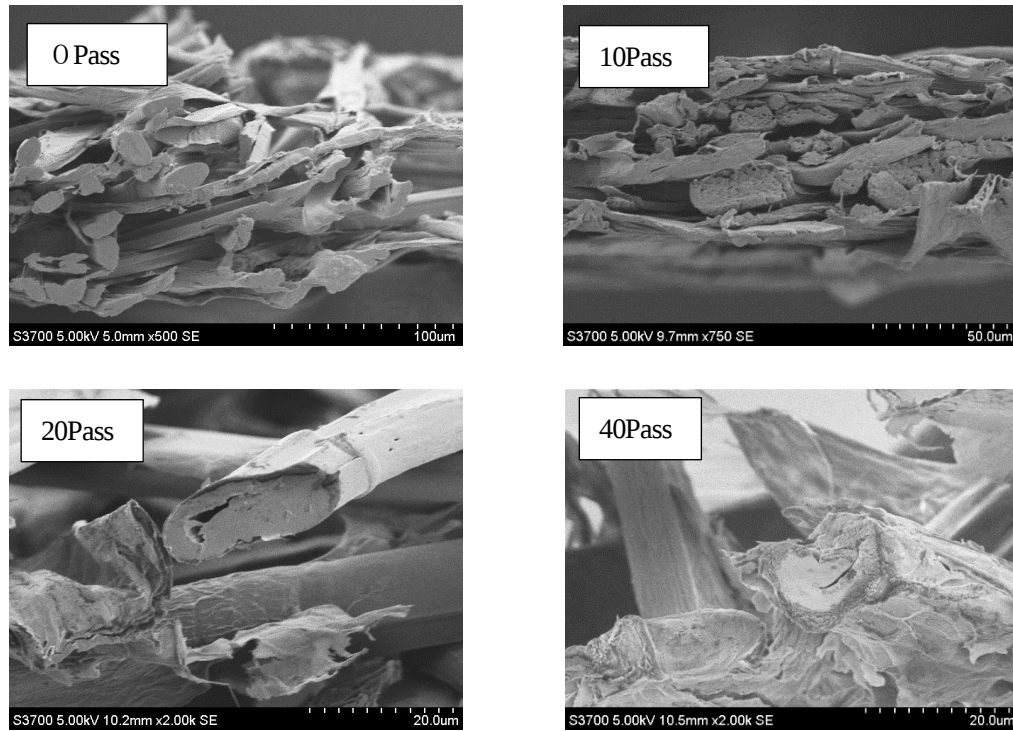


図5 電子顕微鏡による分析結果

3. 修復紙の評価

修復箇所の密着具合を評価するために、引張試験を行った結果を図6に示す。試料の破断は、修復材料が修復原紙から剥がれる際に検出されており、楮繊維の密着具合の評価が出来ていると考えられた。また、外部フィブリル化楮繊維を添加すると密着具合が向上すること、及びパス回数が多い楮繊維、つまり外部フィブリル化度が高い楮繊維を添加したほうが、密着具合が高いことが分かった。しかし40Passの楮繊維では、20Passの楮繊維を添加した試験に比べて、強度が低下する結果であった。これは40Passまで処理すると、繊維の切断が発生し繊維長が短くなってしまうため、強度が低下したと考えられる。

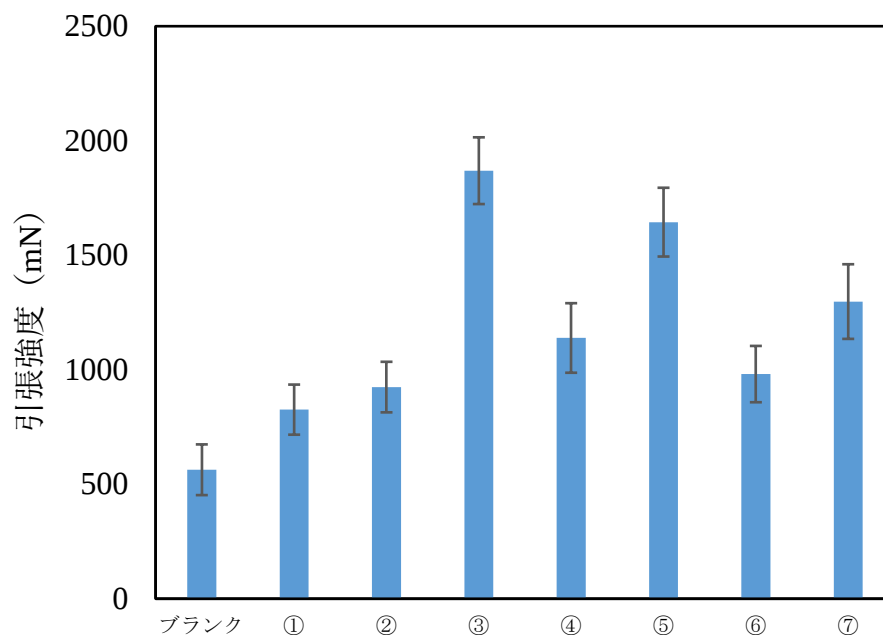


図6 引張試験の結果
エラーバーは標準誤差を示す

4. 装填師による評価

装填師による修復試験の結果、高度外部フィブリル化楮繊維を添加しても作業性、地合いは大きく変化せず、条件 ii（20Pass 処理の楮繊維を加えた場合）は結合強度の向上がみられると評価された。

このことから、適度な高度外部フィブリル化楮繊維を添加することで、作業性や地合いが損なわれることなく、密着具合の良い修復が実施できることが示唆された。

ま と め

高度外部フィブリル化楮繊維の製造方法を確立するとともに、楮繊維の解繊維具合評価及び修復時の接着具合を評価し、次の結果を得た。

1. マスコロイダーの運転条件を検討した結果、楮繊維の高度外部フィブリル化に成功した。
2. 楮繊維の外部フィブリル化について評価した結果、マスコロイダーのパス回数が増加するにつれて外部フィブリル化が進行している様子が確認できた。しかし、繊維が切れていることも確認できた。
3. 模擬的な修復試験の結果、高度外部フィブリル化楮繊維を添加することで、紙との接着具合が向上していることが確認できた。装填師による評価でも同様な結果が得られた。従って、高度外部フィブリル化楮繊維は、紙本修理の際の本紙との接着性を高める新規な高機能材料として期待できることが示唆された。

文 献

- 1) 稲葉政満: ナノセルロース製造法を応用した高度外部フィブリル化楮繊維調製への挑戦, 科学研究費助成事業 成果報告書, 日本学術振興会(2020).
- 2) 加瀬谷優子: 紙文化財補修用材料としての高機能化楮繊維の調製方法の検討, 第 44 回文化財保存修復学会, 23, 熊本 (2022).
- 3) K, Keiko., H. Masaki., O. Takayuki., K. Ryota., N. Noriyoshi., F. Manato., K. Yuko., T. Mao. and I. Masamitsu.: Preparation of a Novel Adhesive from Highly Fibrillated Kozo Fibre for Paper Conservation, De Gruyter., 45, 17-34 (2024).

接触冷感紙の開発およびその用途開発（第1報）

－接触冷感紙の試作および紙糸への接触冷感性の付与－

高橋雅樹 橋田 充 中村健治 續木康広 藤本真人 安達春樹 井上寛之

Development of contact cooling paper and considering its application case
Preparing contact cooling paper and adding contact coolness to paper yarn

TAKAHASHI Masaki, HASHIDA Mitsuru, NAKAMURA Kenji, TUZUKI Yasuhiro, FUJIMOTO Manato,
ADACHI Haruki and INOUE Hiroyuki

紙製品の新たな市場開拓のために、接触冷感性に着目した。パルプと接触冷感繊維で抄紙した紙について、熱伝導率を測定し、接触冷感性の発現を確認した。また、熱カレンダー処理で接触冷感性がより向上した。さらに、紙糸を用いた織物への接触冷感性の付与のため、既存の紙糸に接触冷感性を付与する方法も検討した。紙糸へ冷感粒子の固定および接触冷感繊維のカバーリングを実施したのち、綿織物のよこ糸に使用して q_{max} を評価したところ、接触冷感性を確認できた。この際の q_{max} は、織り方による差異が大きく、織物表面の平滑性に依存していると考えられた。

キーワード：接触冷感、紙、紙糸、織物

はじめに

ペーパーレス化により、紙の需要は減少し、新たな市場開拓が課題である。そこで接触冷感性に着目した。近年、接触冷感性を付与した寝具やスポーツインナーなどが市販されているが、これらは合成繊維製であり、通気性や吸水性に乏しく「蒸れ」が生じる問題がある。

一方、紙糸は硬いため、紙糸を使用した織物は通気性が期待できる。さらに、接触冷感性を付与することで、新たな紙製品の市場を開拓できると考えた。

このために、パルプに接触冷感繊維を混ぜて抄紙することで、紙への接触冷感性の付与を試みた。さらに、既存の紙糸に冷感粒子の固定及び接触冷感繊維のカバーリングを実施し、綿織物のよこ糸として使用した際の接触冷感性を評価した。

これにより、紙及び紙糸を使用した織物に接触冷感性が付与できたので報告する。

実験方法

1. 接触冷感機能を持つ紙の開発

(1) 接触冷感繊維の配合率の検討

パルプ繊維として針葉樹パルプ（以下、NBKP）、接触冷感繊維としてポリエチレンスパンである PE 繊維（帝人フロンティア㈱製、繊維長 3 mm）を用いた。

NBKP を水で離解した後、PFI ミル（熊谷理機工業㈱社製 No.2511-B）を用いて叩解処理を行い JIS P 8121 に基づいて、カナディアン型濾水度試験機（㈱東洋精機製作所製）で測定して CSF 約 560ml に調整した。叩解したパルプ繊維と冷感繊維を表 1 に示す割合で混合し、シートマシン抄紙機（熊谷理機工業㈱製 KRK2558）を用いて、坪量約 20g/m² のシートを作製した。シートの乾燥は、回転型乾燥機（熊谷理機工業㈱製 KRK2575）を用いて、120℃で 2 分間行った。また、迅速熱伝導率計（京都電子工業㈱製 QTM-500）で薄膜測定法にて熱伝導率を測定した。

表 1 繊維組成	
パルプ (mass%)	PE (mass%)
100	—
90	10
70	30
50	50
30	70

この研究は、「冷感紙関連技術創出事業」の予算で実施した。

(2) 熱カレンダー処理

接触冷感繊維配合紙の熱カレンダー処理を実施した。前述の接触冷感繊維の配合率の検討において、紙の強度が弱く、接触冷感繊維の脱落が目立ったため、パルプ繊維を NBKP から繊維長が長いマニラ麻に変更した。マニラ麻を試験用ビーター（㈱大昌鉄工所社製）で離解した後、叩解処理を行い CSF 約 450ml に調整した。叩解したパルプ繊維と PE 繊維を 1 : 1（重量比）の割合で混合し、多目的テスト抄紙機（㈱大昌鉄工所・川之江造機㈱製）を用いてシートを作製した。抄紙方法は円網とし、坪量は 20g/m²、乾燥温度は 120℃とした。

試作した冷感繊維配合紙は、熱カレンダー（㈱大昌鉄工所製 D22LACA-00-001）を用いて、表 2 の条件で処理を行った。熱カレンダー処理を行った接触冷感繊維配合紙は、電子顕微鏡（日本電子㈱製 JSM-IT300LA）を用いて表面状態を観察した。

表 2 熱カレンダー処理条件

処理速度 (m/min)	温度 (℃)	圧力 (MPa)
5	110～140	5～15

(3) 吸水性評価

試作した接触冷感繊維配合紙について、クレム吸水度を測定した。クレム吸水度試験は、JIS P 8141 に準拠し、クレム式吸水度測定器（テスター産業㈱製 PU-802）を用いて実施した。吸水時間は 10 分間とした。

(4) 物性評価

試作した接触冷感繊維配合紙について、引張強さを測定した。引張強度測定は、JIS P 8113 に準拠し、横型引張試験機（熊谷理機工業㈱製 No.2000-C）を用いて実施した。

2. 紙糸へ接触冷感性の付与

(1) 紙糸の撚糸加工

紙糸と接触冷感繊維を組み合わせる撚糸加工を行った。このために、表 3 に示す条件で撚糸の可否を検証した。紙糸は OJO+1515 スタンダード糸（王子ファイバー㈱製、1/41Nm（綿番手 24.2S 相当、下撚り回数 12.7 回/2.54cm、Z 撚）、接触冷感繊維には PE 繊維（帝人フロンティア㈱製、ポリエチレンフィラメント） 110dtex（綿番手 53.1S 相当）を用いた。

撚糸は冷感繊維が肌に触れる表面積が大きくなるよう、カバーリングマシンを用い、紙糸を芯糸として、接触冷感繊維を周囲に巻き付ける、カバーリング撚糸を行った。

表 3 紙糸と接触冷感繊維の撚糸（カバーリング）条件

撚方向と回数 (回/2.54cm)	スピンドル 回転数(rpm)	素材及びカバーリング方法
S6	4,000	紙糸 芯×冷感繊維 シングルカバーリング
Z6/S6	4,000	紙糸 芯×冷感繊維 ダブルカバーリング
Z12/S12	6,000	
Z18/S18	8,000	

(2) 撚糸加工糸の引張試験

カバーリング撚糸加工糸について引張試験を行った。引張試験条件は JIS L 1095 一般紡績糸試験方法に準拠し、単糸引張強さ及び伸び率を測定した。このときのつかみ間隔は 50cm で、引張速度は 25cm/分とした。

(3) 紙糸への塗工液の作製と塗工

冷感粒子およびバインダーを水に分散させることで、紙糸への塗工液を作製した。塗工液の組成は、冷感粒子（三木理研工業㈱製、AMC-28SP）が 6 mass%、繊維加工用バインダー（大和化学工業㈱製、バインテックス S-200L）が 14 mass%とした。塗工にはサイジングワインダーを使用した。

なお、AMC-28SP は融点が高いパラフィンを内包したマイクロカプセルで、体温でパラフィンが溶けた際に冷感を感じる材料である。

(4) 撚糸加工糸の製織試験

カバーリング撚糸加工糸を用いた製織試験を表4に示す条件で行った。よこ糸に比較目的として標準的な綿糸、及び紙糸に接触冷感繊維をカバーリングした糸（2種）を用いた。織組織（織り方）は比較目的としての平織と、よこ糸が多く生地表面に露出する8枚よこ斜文織、及び8枚よこ朱子織を用いた。

表4 撚糸加工糸の製織試験条件

織機仕様	愛知ドビー(株)製シャトル織機 Z-HTE 型、織機幅約 40cm		
箆	50 羽/3.79cm		
打込み本数	48 本/2.54cm		
上経糸	綿糸 20/1 ^S		
下経糸	綿糸 40/2 ^S		
よこ糸	綿糸 16/1 ^S 紙糸+冷感繊維ダブルカバーリング糸 Z12/S12 冷感粒子付与紙糸+冷感繊維ダブルカバーリング糸 Z12/S12		
箆引き込み	GP GP P : 上経糸、G : 下経糸		
組織	平織、斜文織、朱子織		

(5) 接触冷感性の測定

KES-F7 サーモラボⅡ試験機（カトーテック(株)製）で $q_{\max}$ を測定した。この装置は、温度を一定とした熱源板をサンプルに接触させることで、熱源板からサンプルへの熱流を生じさせ（図1）、このときの熱源板の温度変化から熱移動速度 $q(t)$ を算出する。

実際に $q(t)$ を測定すると、図2のように、接触から数秒までに最大値を取り、これを $q_{\max}$ と称している。これは、科学的根拠は乏しいが、人が物体に触れた際に感じる温度の感覚（冷感および温感）の程度とよく一致するとされており、接触冷感性の指標として用いられている²⁾。

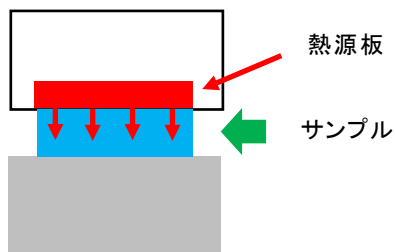
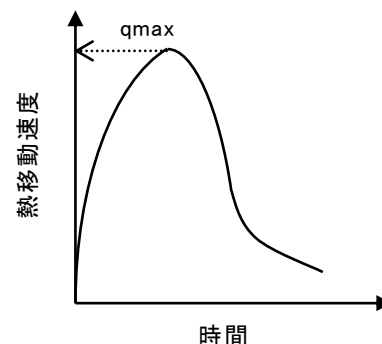
図1 $q_{\max}$ 測定の概念図

図2 熱移動速度と時間の関係

結果と考察

1. 接触冷感機能を持つ冷感紙の開発

(1) 接触冷感繊維配合率の検討

シートマシンで試作した接触冷感繊維配合紙の熱伝導率を表5に示した。接触冷感繊維を配合することでわずかに熱伝導率が向上していた。しかしながら、PE 繊維の配合量と熱伝導率に相関は見られなかった。これは、紙が層間に多くの空隙を含むため¹⁾、空隙が断熱層となり、熱伝導率向上を妨げたためと推測される。

(2) 熱カレンダー処理

抄紙機で試作したシートの熱カレンダー処理の結果を表6に示す。130℃以下の温度では、熱カレンダー処理が可能であった。140℃では、PE 繊維が熔融し、カレンダーロールへの張り付くとともに、シート強度が低下し、加圧部で破断した。表5と比較し、冷感繊維の配合比が 50mass% の条件において、熱伝導率の向上が見られた。これは、ラボスケールのシートマシンに比べ、抄紙機では、プレス

圧が高く、紙の空隙が減少したためと考えられる。

表5 冷感繊維の配合割合と熱伝導率

パルプ (mass%)	PE (mass%)	熱伝導率 (W/ (m・K))
100	—	0.090
90	10	0.13
70	30	0.12
50	50	0.10
30	70	0.10

表6 カレンダー条件と熱伝導率

温度 (°C)	圧力 (MPa)	熱伝導率 (W/ (m・K))
—	—	0.18
110	5	0.22
110	10	0.19
110	15	0.18
120	5	0.29
120	10	0.27
120	15	0.25
130	5	0.20
130	10	0.27
130	15	0.28

また、熱伝導率の測定結果から、120℃以上の温度で熱カレンダー処理により、熱伝導率の向上が見られた。図3に示す熱カレンダー処理を行った試料の表面の様子から、未処理のサンプルと比較し、120℃以上で熱カレンダー処理を行った試料では、空隙の減少が見られた。このことから、熱カレンダー処理によって、PE 繊維の1部が熔融し、断熱層となる空隙を埋めたため、熱伝導率が向上したものと推測される。

一方で、加圧条件の変化による熱伝導率の向上は見られなかった。このことから、熱カレンダー処理における熱伝導率の向上には、温度条件の寄与が大きいことがわかった。

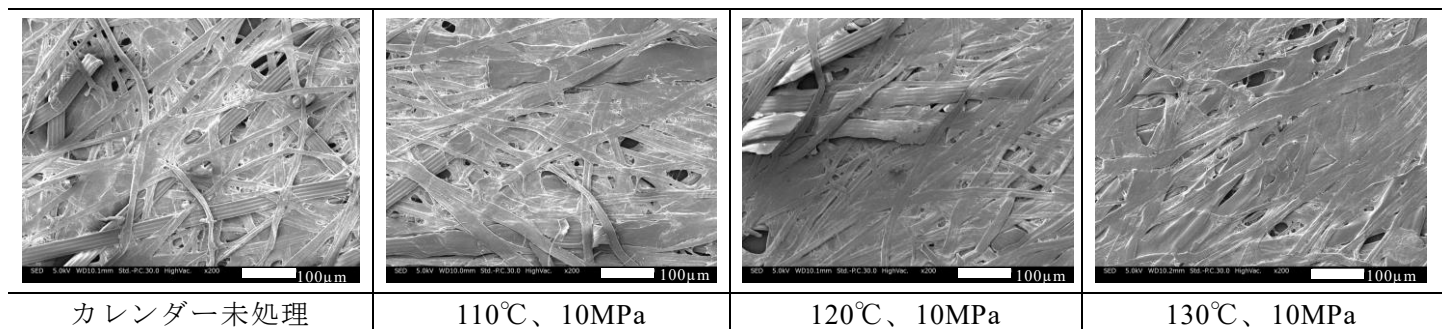


図3 冷感繊維配合紙の表面 SEM 像

(3) 吸水性評価

測定結果を表7に示す。クレム吸水度は130℃の処理条件で大きく低下し、未処理の試料の約1/2であった。

クレム吸水試験は、短冊状に切り出した試験片の下端を水中に浸漬し、毛細管現象によって上昇した水の高さを読み取っている。処理条件130℃の試験片では、図3で示すとおり、熔融したPE繊維がパルプ繊維間を埋めているため、パルプ繊維間で起こる毛細管現象を阻害したと考えられる。

一方で、120℃処理においては、吸水度の低下は、10%未満であった。これにより、PE 繊維の熔融が、冷感繊維配合紙表面でのみ起こっており、内部においては繊維形状が保たれていることが推察される。

(4) 物性評価

引張試験の結果を表8に示す。結果から、130℃、10MPa及び130℃、15MPaで熱カレンダー処理を行った試料で引張物性の向上が見られた。これは、図3で見られたPE繊維の熔融が、接触冷感繊維配合紙の内部まで及んでいるためであると推測される。一方で、130℃、5MPaで熱カレンダー処理した試料では、ロール方向の引張強度が低下しており、原因解明のため引き続き検討を行う。

表 7 冷感繊維配合紙の吸水性能

処理温度 (°C)	圧力 (MPa)	クレム吸水度 (mm) (ロール方向)	クレム吸水度 (mm) (ロール直角方向)
—	—	44	32
110	5	43	31
110	10	42	33
110	15	42	33
120	5	40	29
120	10	40	30
120	15	41	30
130	5	18	18
130	10	21	19
130	15	24	20

表 8 接触冷感繊維配合紙の引張強さ

処理温度 (°C)	圧力 (MPa)	引張強さ (kN/m) (ロール方向)	引張強さ (kN/m) (ロール直角方向)
—	—	1.67	0.413
110	5	1.61	0.351
110	10	1.66	0.413
110	15	1.68	0.383
120	5	1.62	0.392
120	10	1.57	0.343
120	15	1.67	0.372
130	5	1.43	0.466
130	10	1.81	0.485
130	15	1.92	0.436

2. 紙糸への冷感性の付与

(1) 紙糸の撚糸加工

カバーリング撚糸試験において、表 3 のすべての条件において、撚糸可能であることがわかった。各条件でカバーリングした糸の外観を写真 1 に示す。写真 1 はカバーリングの状況の視認性を良くするため、紙糸に変えて赤色綿糸を芯糸としたモデル図である。撚り回数が 6 回の条件では、カバーリングに不均一なムラが目立ち、12 回以上ではカバーリングのムラがほとんど見られなかった。

同様に冷感粒子を付着させた紙糸についても、良好にカバーリング撚糸が可能であった。

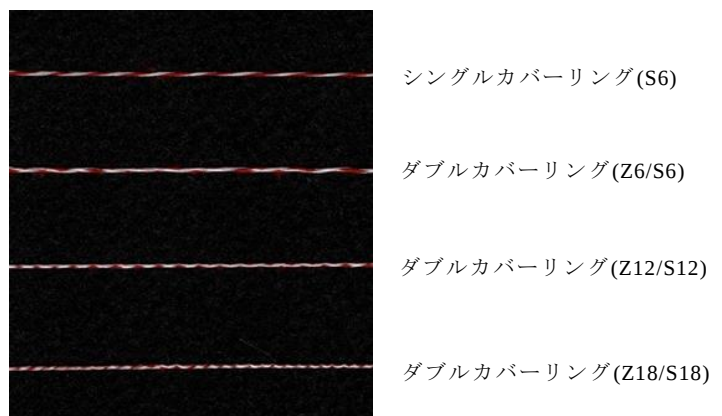


写真 1 カバーリング糸外観

(2) 撚糸加工糸の引張試験

カバーリング撚糸加工糸、及びカバーリング加工前の紙糸、接触冷感繊維の引張試験結果を表 9 に示す。撚り回数が増えるほど糸が弱くなることが分かった。伸び率も撚り回数が増えるほど少な

くなっているため、撚り回数が多くなると糸が硬くて脆くなっていることが考えられる。写真1の外観と引張試験結果から、製織試験においては糸の強さと撚りムラの少なさにバランスの取れた撚り回数 Z12/S12 のダブルカバーリング糸を用いることとした。

表9 引張試験結果

撚方向と回数 (回/2.54cm)	素材及びカバーリング方法	引張強さ (cN)	伸び率 (%)
-	紙糸(カバーリング加工前の原糸)	340	4.1
-	紙糸(カバーリング加工前の原糸)冷感粒子付与	318	2.4
-	冷感繊維(カバーリング加工前の原糸)	355	17.5
S6	紙糸 芯×冷感繊維 シングルカバーリング	580	4.9
Z6/S6	紙糸 芯×冷感繊維 ダブルカバーリング	785	11.2
Z12/S12		585	9.3
Z18/S18		455	5.7
Z12/S12	紙糸 冷感粒子付与 芯 ×冷感繊維 ダブルカバーリング	765	24.3

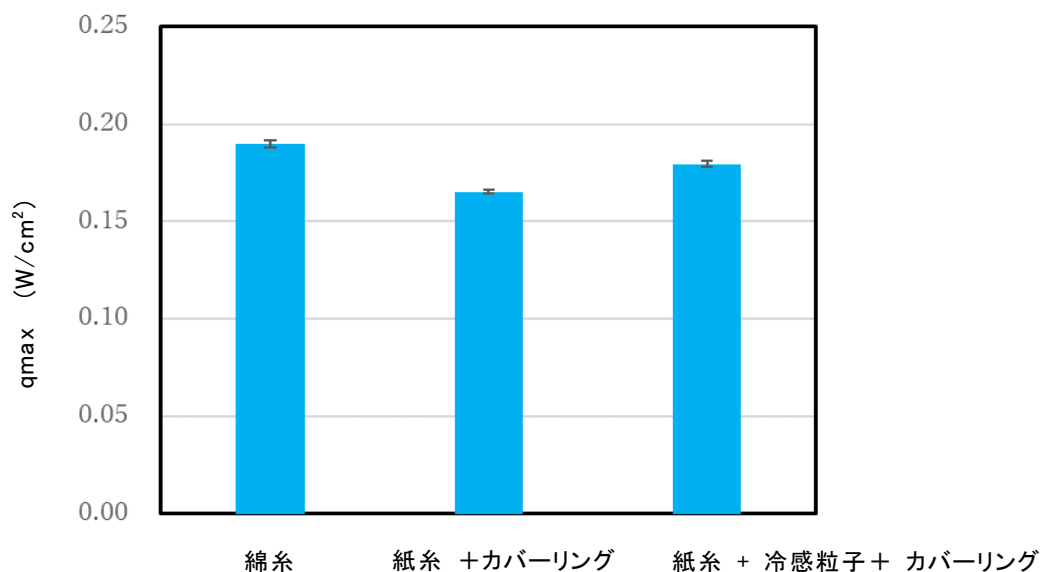
(3) 撚糸加工糸の製織試験

製織試験について、全般に上経糸やよこ糸の一部が生地表面に少し飛び出る、ブツ現象が発生した。上経糸のブツについては上経糸張力を適切に調整することで解消した。よこ糸については、シャトルからよこ糸が吐出する位置の変更や、シャトル内部によこ糸の吐出量を調整する毛皮を貼るなどの工夫でブツを軽減することができた。

織組織(織り方)について、斜文織がその組織の特徴である規則的な斜文線(斜め線)がくっきりと表れており、生地が肌に触れる際の表面積が少なくなることが考えられる。朱子織については製織性、生地表面の凹凸の変化とともにバランスよく製織できた。

(4) カバーリングおよび冷感粒子の付与の効果

よこ糸として、綿糸を用いた場合と紙糸を用いた場合の生地の $q_{\max}$ 測定結果を図4に示した。紙糸については、カバーリングを実施した場合および冷感粒子を付着させたのちカバーリングを実施した場合について測定した。生地の織組織(織り方)は斜文織である。

図4 よこ糸を変えた生地(斜文織)の $q_{\max}$ 測定結果

カバーリングした場合および冷感粒子を付着させたのちにカバーリングした場合は、綿糸の場合と比較して $q_{\max}$ が低下した。ただし、よこ糸に関しては、冷感粒子を付与すると $q_{\max}$ が向上しており、冷感粒子を付与した効果が確認できた。

後述するが、カバーリングで $q_{\max}$ が低下することや、冷感粒子の付着で $q_{\max}$ が向上することは、表面形状の変化によるものと考えている。

(5) 織組織(織り方)の違いの検証

斜文織、朱子織および平織の場合について $q_{\max}$ を測定した結果を図 5 に示した。いずれの場合も、よこ糸としてカバーリングした紙糸を使用した。

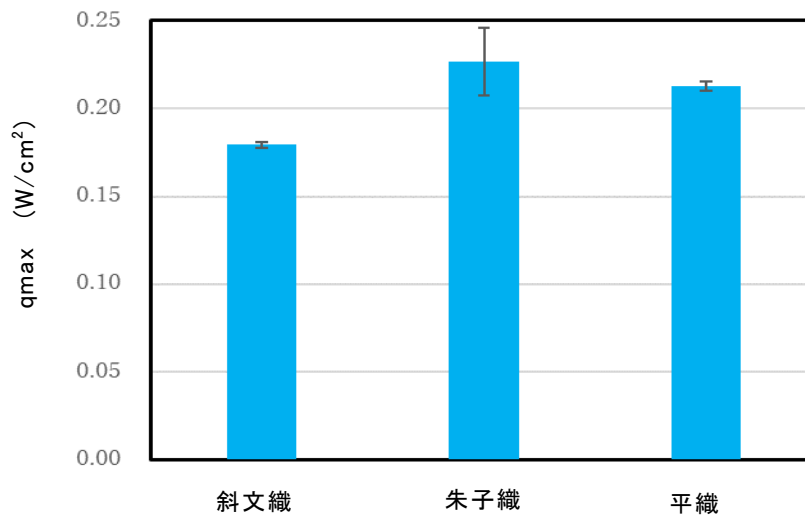


図 5 冷感加工したよこ糸を使用して織り方を変化させた場合の $q_{\max}$ 測定結果

織り方により $q_{\max}$ が異なり、朱子織の $q_{\max}$ がもっとも高かった。この違いは、測定方法に起因すると考えている。 $q_{\max}$ 測定に使用した熱源板は平面であるため、対象の表面が平滑な場合には熱流束が大きくなり、熱吸収速度 ($q_{\max}$) が大きくなる、しかし、表面に凹凸がある場合、熱源板に接触している部分のみが熱吸収速度に寄与し、 $q_{\max}$ は低下する。

これに対して、人間の皮膚は柔軟性があり、織り方により接触面積が大幅に変化するとは考えにくい。この場合、実際の接触冷感と $q_{\max}$ は乖離することになる。一般には、測定対象の表面積が大きいほど $q_{\max}$ が大きくなることが知られている³⁾。

斜文織が、朱子織および平織と比較して $q_{\max}$ が低下した原因は、熱源板が斜文織の凸部のみに接触し、結果として熱吸収速度が下がったためと考えられる。

ま と め

接触冷感繊維を配合した紙の試作、及び紙糸に冷感性を付与した織物の作製を検討した結果、以下の知見が得られた。

1. PE 繊維とパルプ繊維を配合し、PE 繊維配合率が 10～70% の冷感繊維配合紙を試作できた。
2. PE 繊維を用いた接触冷感繊維配合紙では、120℃ 以上の熱カレンダー処理により、熱伝導率が約 1.5 倍に向上した。
3. さらに、130℃ 未満の熱カレンダー処理により、吸水性の低下を抑制することができた。
4. 既成の紙糸に冷感粒子を付着させ、接触冷感繊維でカバーリングした織物を試織できた。
5. 斜文織、朱子織、平織を比較すると、朱子織の $q_{\max}$ が最も高かった。これは、 $q_{\max}$ の測定に用いる熱源板と織物の接触状態に依存していると考えられた。

文 献

- 1) 牧 栄伸：紙の空孔構造の研究，紙パルプ技術協会誌，Vol.32, No.2, 84-98 (1978)。
- 2) S.KAWABATA, Y.AKAGI：繊維機械学会誌，Vol.30, No.1, 13-22 (1977)。
- 3) M.ISHI：化学と教育，Vol.60, No.6, 270-271 (2012)。

ペット用消臭紙の開発

明賀久弥 續木康広 星川幸久*¹ 野原正勝*²

Development of Pet Deodorant Paper

MYOGA Hisaya, TSUZUKI Yasuhiro, HOSHIKAWA Yukihiisa and NOHARA Masakatsu

現在、ペットの飼育環境の改善やストレス軽減のため、各種消臭用品が用いられている。そこで愛媛県の主要産業である紙を使ったペット用消臭用品の製品開発を目指し、試作した銀セルガイア紙及びミネルパ紙について、アンモニア標準ガスにより吸着性能を評価した。ミネルパの配合量を増やすことで、銀セルガイアと同等の消臭効果となることが分かった。また、これら消臭紙について、ペット臭の消臭効果の検証として、ペット用ゴミ箱に消臭紙を設置し、内部の臭気への影響を評価した。その結果、ゴミ箱の各種臭気成分の測定では明確な差異は見られなかったが、官能的な評価では臭気の低下が認められた。

キーワード：ペット、消臭、紙、活性炭、銀セルガイア、ミネルパ

はじめに

ペットの飼育環境の改善やストレス軽減のため、各種消臭用品が用いられているが、ペットのみならず実験動物においてもストレス緩和のための研究が求められている。そこで、愛媛県の主要産業である紙を使った製品開発を目指し、脱炭素を目指したペット用消臭用品に適した紙素材として、前年度検討した素材に加えて、ミネルパ紙を使った消臭紙についても性能を評価した。

今年度は、消臭紙のペット飼育環境での消臭効果について検証したので報告する。

実験方法

1. 消臭紙の試作

実験に使用する消臭紙は、有効成分比は比較のため昨年度実施分¹⁾と同じとし、銀セルガイアと針葉樹パルプが重量比1:1の銀セルガイア紙(①)、ミネルパと針葉樹パルプが重量比1:1のミネルパ紙(②)、ミネルパを100%使用した高配合ミネルパ紙(③)の3種類を試作した。なお、コントロールには消臭成分を含まない針葉樹パルプ100%で作製したシートを用いた。

銀セルガイア(レンゴー㈱)は、銀イオンを担持させたゼオライトをセルロース繊維に結晶化させたパルプ原料で消臭や抗菌などの機能を持つ。①は乾燥重量で銀セルガイアと針葉樹パルプが1:1となるように量り取り¹⁾、水を加えてミキサーで離解させた後にシートマシン抄紙機(熊谷理機工業㈱)で250×250 mmのシートを作製した。ミネルパ(日本製紙㈱)は銅イオンをパルプに担持させたパルプ原料で、同様に消臭や抗菌などの機能を持ち紙の綿落ちが少ないなど扱いやすいパルプ原料である。②は乾燥重量でミネルパと針葉樹パルプが1:1となるように量り取り、アニオン系歩留剤であるパムオール(明成化学工業㈱)0.1v/v%と水を添加してミキサーで離解させた後にシートマシン抄紙機でシートを作製した。③はミネルパの配合比を2倍に増やしミネルパのみで②と同様にシートを作製した。

2. 消臭紙の消臭性評価試験

消臭性能の評価は、10×10 cmの消臭紙サンプルを10Lのテドラーバッグに入れて熱シールで密封し、シリンジを使って中の空気を吸い出した後、アンモニア標準ガス100ppmを3L注入し²⁾、23℃の恒温室内で30分静置した時点のアンモニア濃度を測定し、消臭性能を評価した。なお、アンモニア濃度の測定には気体採取器(㈱ガステック GV-100)とアンモニア検知管(㈱ガステック 検知管No.3L)を使

*1 星高製紙株式会社 *2 岡山理科大学獣医学部

この研究は、「ペット等関連産業参入支援事業」の予算で実施した。

用した。

3. ペット飼育施設での消臭評価

ペット臭の消臭試験では、昨年度までのマウス試験³⁾では消臭機能の差異が見られなかったため、今回はペット臭が高くなりやすい、犬の飼育施設（15m²の部屋2室で各8頭・5頭を飼育）で廃棄ペットシートなどを捨てるゴミ箱での消臭試験を行った。

消臭試験に使用するシートは金網に挟みゴミ箱内にクリップ止めて、ゴミ箱の上部空間で空気と接触する形で固定したのち、ゴミ箱の蓋を閉めた状態で1週間使用してもらい試験を行った（写真1）。



写真1 紙の設置状況
（左：金網に挟んだシート 右：ゴミ箱内での固定状況）

本環境下における臭気の測定は、気体採取器（㈱ガステック GV-100）を使用し、アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、ホルムアルデヒド、アセトン、酢酸について測定を行った。測定箇所は、ゴミ箱の上部空間に、検知管を一定の長さ（約11cm）挿し込んだ状態で行った。

結果と考察

1. 消臭紙の消臭性能評価

各消臭紙サンプルの消臭効果を評価した結果を図1に示す。

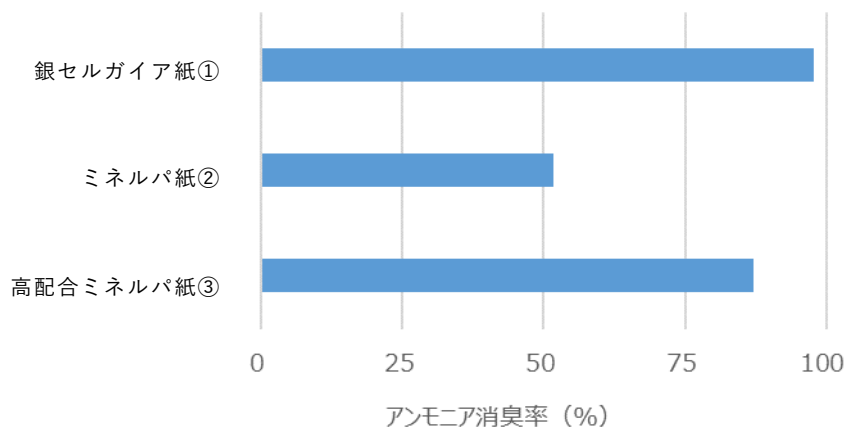


図1 消臭紙のアンモニア消臭効果

図1から、昨年度まで使用していた銀セルガイア紙と比較して、ミネルパ紙の消臭率は、1：1の配合比では50%程度となった。銀セルガイアと比較して同等の消臭率を持たせるため、配合率を増やしたところ、銀セルガイアとの比較で80%以上の消臭率を示した。ミネルパを活用した紙は銀セルガイア紙と比べ繊維が抜けにくく紙表面の品質が良いことから、銀セルガイアと同等のミネルパ消臭紙として、ペット環境での消臭試験には、高配合ミネルパ紙を使用することとした。

2. ペット飼育施設での消臭評価

消臭紙をペット用ゴミ箱に設置した消臭試験では、設置したゴミ箱に施設で普段通り廃棄物を投入

した後に各種ガス濃度を測定した。

その結果、アンモニアについては図2に示すとおり5 ppm 前後であったが、消臭紙とコントロール紙による濃度の差は見られなかった。また、硫化水素、メチルメルカプタン、ホルムアルデヒド、アセトン、酢酸は検出限界以下であった。

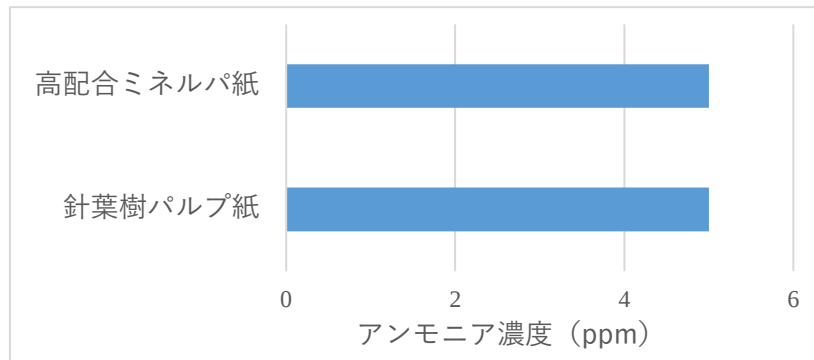


図2 ペット用ゴミ箱のアンモニア濃度

以上のとおり、検知管による差は認められなかったが、施設での飼育担当者2名から消臭紙を設置したゴミ箱で臭気が低減されたとの意見が得られたことから、検知管で検出限界以下の臭気成分がミネルパ紙に吸着されたのではないかと推察される。また、実験後の消臭紙の外観について、銀セルガイア紙、ミネルパ紙について使用後に薄く褐変が見られたが、コントロール紙には変色は見られなかった。

ま と め

ペット用消臭紙に関する試験を行い、以下の結果を得た。

1. ミネルパ消臭紙でも、銀セルガイア紙と同等の消臭性能を持つ消臭紙を作製できた。ミネルパ紙の消臭効果は銀セルガイアと比較して80%以上の性能を示した。
2. ペット飼育施設のゴミ箱における消臭試験では、官能的な評価では臭気の低減があったが、ガステック検知管による成分測定ではアンモニア濃度に差が見られなかった。このため、検知管では検出限界以下であった他の臭気成分がミネルパ紙に吸着された可能性が考えられた。

文 献

- 1) 明賀久弥, 續木康広, 野原正勝, 佐伯香織: ペット用消臭紙に適した素材の検討, 愛媛県産業技術研究所研究報告, **60**, p.100-103 (2022).
- 2) JEC301, SEK マーク繊維製品認定基準 (2012).
- 3) 西尾俊文, 明賀久弥, 續木康広, 星川幸久, 野原正勝: ペット用消臭紙の開発, 愛媛県産業技術研究所研究報告, **61**, p.109-113 (2023).

UV 殺菌に適応した包装資材（第 2 報）

續木康広 渡邊雅也 藤本真人 渡部将也

Package materials for UV-LED sterilization

TSUZUKI Yasuhiro, WATANABE Masaya, FUJIMOTO Manato and WATANABE Masaya

県内食品産業の海外展開や販路開拓を支援するため、UV-LED 技術を用いた食品の消費・賞味期限の延長技術を開発する一環として、本研究では、UV-LED 殺菌技術に適応した包装資材について検討した。

UV 殺菌技術では、食材に照射する紫外線波長（280nm）を透過するとともに、ガスバリア性に優れたフィルム素材を検討した結果、ガスバリアポリエチレンフィルムを用いることで、紫外線透過性とガスバリア性を両立できることを明らかにした。

キーワード：UV 殺菌、ガスバリア、ポリエチレン

はじめに

コロナ禍や人口減少などにより国内における食品市場が低迷する中、県内食品業界からは、海外展開や販路開拓の強化が望まれている。しかしながら、海外展開や新規販路の開拓においては、従来よりも長期間の消費・賞味期限の保証が必要となる。

そこで、県内企業の商機・販路を拡大し、国際競争力を強化するため、UV-LED 技術を用いた食品の消費・賞味期限の延長技術の開発を行った。

その一環として、本研究では UV-LED 殺菌技術に適応した包装資材について検討した。

実験方法

1. UV-LED 殺菌技術

(1) 素材の検討

紫外線透過及びガスバリア性を有する素材の探索として、ガスバリア層を塗工したポリエチレンフィルム（酸素ガス透過度 $10\text{cc}/\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$ ）（ガスバリア PE フィルム）について、紫外線透過率を測定した。紫外線透過率測定には、分光光度計（日本分光㈱製 V-570）を用い波長範囲 200～400nm で測定を行った。

(2) 殺菌効果試験

ガスバリア PE フィルムについて、殺菌効果に与える影響を調査した。ガスバリア PE フィルムを約 10 cm 角に切り出した後、2 枚のシートを重ね 3 辺をヒートシールすることで袋状に加工した。袋状に加工したガスバリア PE フィルムに、3cm×5cm 角に切った鶏むね肉サンプルを封入し、真空包装した後、それぞれ 0、50、100、200mJ/cm² の強度で UV 照射を実施した（写真 1）。その後、一般生菌数を測定し、下記の式から殺菌率を算出した。また、対照区として通常のレトルトパックを用い、同様の手順で鶏むね肉を真空包装した後、照射強度 100mJ で UV を照射し、一般生菌数を測定した。なお、UV 殺菌の特徴として光の当たった箇所の表面殺菌に限られることが知られているため¹⁾、本試験においては鶏むね肉に対し、上下から UV 照射し、分析に供した。



写真 1 UV 照射装置

$$\text{殺菌率} = \text{UV 照射後の鶏むね肉の一般生菌数} / \text{UV 照射前の一般生菌数} \times 100$$

結果と考察

1. UV-LED 殺菌技術

ガスバリア PE フィルムについて、200～400nm の紫外線透過率を測定した結果を図 1 に示す。分光光度計による紫外線透過率測定の結果、280nm における紫外線透過率は約 77%であった。

前報²⁾において、ガスバリア性を有する ONY/PE の 280nm における紫外線透過率が約 70%であったことから、ガスバリア層を塗工したポリエチレンフィルムは、ONY/PE フィルムと比べ、280nm の紫外線透過率が高く、UV-LED 殺菌効果の向上が期待される。

次に、ガスバリア PE フィルムを用いた殺菌効果試験の結果を図 2 に示す。

結果から、ガスバリア PE フィルムを用い、UV 照射を行った鶏むね肉では、照射強度 50mJ 以上において、90%以上の殺菌効果が確認できた。一方で、UV 照射強度を 50mJ から 200mJ に変更しても、殺菌効果に大きな向上は見られなかった。このことから、UV 照射を行った鶏肉の上下面では、強度 50mJ で十分な殺菌効果が得られたのに対し、鶏むね肉の側面では、殺菌に十分な UV 強度が得られていない可能性があり、さらなる殺菌効果の向上のためには、UV が鶏肉全体に当たるようにする必要があると考えられる。

また、表 1 に示す結果から、ガスバリア PE フィルムを包装資材として用いることで、既存のレトルトパックと比較して、高い UV 殺菌効果が確認できた。

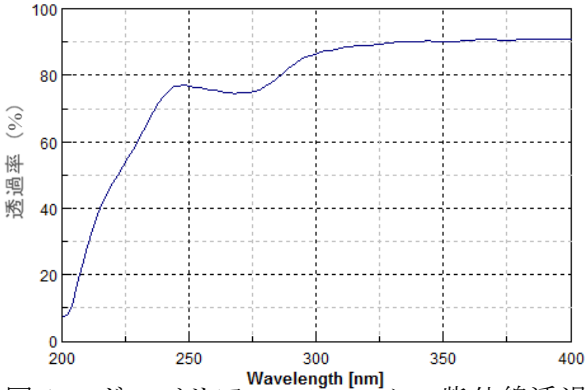


図 1 ガスバリア PE フィルムの紫外線透過率

表 1 UV 殺菌効果の比較

包装資材	ガスバリア PE フィルム	レトルトパック
UV 照射前 一般生菌数 (CFU)	2.3×10^5	2.3×10^5
UV 照射後 一般生菌数 (CFU)	9.4×10^4	1.2×10^4
殺菌率 (%)	95%	59%

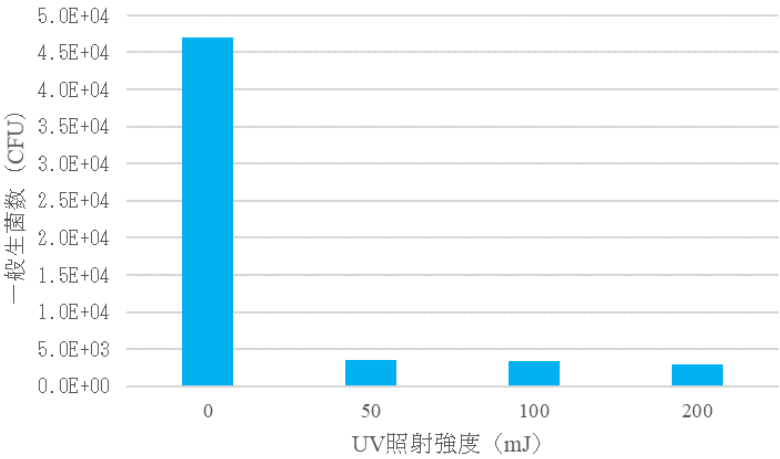


図 2 ガスバリア PE フィルムの UV 殺菌試験結果

ま と め

- UV-LED 殺菌技術に適用できるフィルム素材について検討し、以下の知見を得た。
1. 包装資材としてガスバリア PE フィルムを用いることで、ONY/PE フィルムと比べて、280nm の紫外線透過率を向上させることができた。UV-LED 殺菌効果の向上が期待できる。
 2. ガスバリア PE フィルムを用いて UV 殺菌試験を行った結果、殺菌率は約 90%以上であった。

文 献

- 1) 東堯,白石啓文:紫外線殺菌灯とその応用,食品衛生学雑誌, **2**,10-17(1961).
- 2) 續木康広,渡邊雅也,藤本真人:UV 殺菌・超高压殺菌技術に適応した包装資材,愛媛県産業技術研究所研究報告,**61**,114-118(2023).

レトロモダンな砥部焼坏土の開発（第1報）

首藤喬一* 雁木邦之

Development of retro-modern tobe-ware clay

SUTOU Kyoichi and GANGI Kuniyuki

古砥部の風合いや民芸調の表現に適している、灰色や茶色がかった素地（以下、着色素地）を作製するため、既存砥部焼坏土に使われる1級陶石よりも鉄分が多く、豊富に採掘され安価に入手可能である2級陶石を使用して坏土開発を行った。

その結果、通常の白地の砥部焼と同程度の物性を有し、既存釉薬の共用や同温度帯による焼成が可能であり、酸化チタンや鉄粉の添加により、素地の色や風合いをアレンジすることができる坏土を開発することができた。

キーワード：砥部焼、陶石、レトロモダン、坏土

はじめに

陶磁器業界では、近年の民芸ブームによりレトロモダンな製品に人気があり、砥部焼業界でもレトロモダンを意識した着色素地の砥部焼を製造する窯元が増えてきている。しかしながら、砥部では着色素地となる坏土が製造されておらず、窯元独自で通常の白い砥部焼坏土に鉄分等を多く含む原料を混ぜる必要があり、手間やコストがかかっているという状況である。

そこで本研究では、組合や民間事業者による製造を想定し、既存砥部焼坏土に使われる1級陶石よりも豊富に採掘され安価に入手可能であり、古砥部の風合いや民芸調の表現に適している2級陶石を使用した着色坏土の開発を行った。

実験方法

1. 原料及び試験坏土作製

現在、砥部地方で唯一採掘されている上尾陶石には、通常の白地砥部焼坏土に使用される1級陶石と県外碍子等に使用される2級陶石があり、鉄の含有量で分けられている。これらを蛍光X線分析装置（ZSX Primus、(株)リガク製）にて測定した化学組成の一例を表1に示す。

表1 各陶石の化学組成（mass%）

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig.Loss
1級陶石	77.70	15.16	0.70	0.08	0.11	0.07	1.00	0.14	4.90
2級陶石	75.00	15.80	1.80	0.09	0.10	0.10	1.42	0.44	5.24

ロットにより多少の上下はあるが、2級陶石は1級陶石と比較して鉄分が多い以外に、アルカリ分が若干多い傾向があったものの、1級陶石と同様の扱い方で問題はないと考えられた。

開発に取り掛かるにあたり、着色坏土の使用を希望する窯元から改めて聞き取りを行ったところ、「ロクロ成形可能な範囲で2級陶石の割合は多い方がよい」「白地砥部焼坏土と釉薬を共用したい」「貫入を入れやすくしたい」「鉄粉や粗い雰囲気は後から調整できるため無地の坏土がよい」「配合はできる限りシンプルな方がよい」等の要望があった。焼成素地の色の濃淡については、とりあえずは坏土中の鉄分を1.5～2.0mass%程度に調整し、窯元の反応を見ることとした。これらを踏まえて、2級陶石について、成形性に懸念があるものの80%配合して成分調整した坏土、65%配合し白地砥部焼坏土に近い物性を想定して成分調整した坏土、60%配合し貫入をやや入れやすく成分調整した坏土の

*（現）愛媛県経済労働部産業創出課

この研究は、「レトロモダンな砥部焼坏土の開発」の予算で実施した。

3種類の原料配合案を考案し、2級陶石、インド長石、蛙目粘土を適宜配合したものを50kg ボールミルで湿式粉碎し、200 メッシュの振動ふるい、フィルタープレス、真空循環式土練機を通して試作坏土を作製した。

3種類の試作坏土を任意の窯元に配布し、成形性、試作品の質感等の感想を聞き取った結果、2級陶石60%、インド長石17%、蛙目粘土23%の割合で配合した坏土にて各種試験を行うこととした。また、今後の坏土試作は、開発坏土の製造販売を予定している(有)伊予鉱業所の実機にて行うこととした。

実機による試作では、ボールミル粉碎過程で適宜サンプリングを行い、レーザー式粒度分布測定装置（マスターサイザー3000、スペクトリス(株)製）にて粒度分布測定を行った。通常の白地砥部焼坏土と同等の粒度分布（Dv(90)が32 μ m程度）の坏土（以下、実機試作坏土1）を作製したところ、少し粉碎時間を短くした坏土も試したいとの要望があり、Dv(90)を46 μ mとした坏土（以下、実機試作坏土2）を追加で作製した。

2. 各種試験

(1)試験体成形

試作坏土を用いて、鋳込み成形により寸法70×8.0×4.5mmの曲げ強度試験体、寸法100×50×5.5mmの測色試験体、手成形により ϕ 20×100mm程度の熱膨張試験体（焼成後切削）、ろくろ成形により鉢等試作試験体を作製した。

試作坏土のアレンジ例として、試作坏土に酸化チタンを1.0、2.0、3.0mass%及び、鉄粉を0.5、1.0mass%添加した試験体を作製した。

(2)試験体焼成

必要に応じて素焼、絵付け、施釉を行い、ガス炉（0.1m³単独焼成炉、高砂工業(株)製）によるsk8（1250℃）及びsk9（1280℃）還元焼成、高性能マッフル炉（HPM-2N、アズワン(株)製）による1250℃及び1280℃酸化焼成を行った。

(3)曲げ強度試験

sk8及びsk9還元焼成試験体について、万能試験機（島津オートグラフAGS-5kNH、(株)島津製作所製）にて、支点間距離40mm、試験速度1mm/minの条件で3点曲げ試験を行った。

(4)熱膨張試験

sk8及びsk9還元焼成し ϕ 5.0×20mmに切削加工した試験体を作製し、熱分析装置（TMA-60H、(株)島津製作所製）にて熱膨張測定を行った。

(5)測色試験

sk8還元焼成、1250℃酸化焼成試験体について、分光色彩計（SE7700、日本電色工業(株)製）にてL*a*b*値を求めた。

(6)試験体観察

実体顕微鏡（SMZ18、(株)ニコン製）にて任意の倍率による観察及び目視を行った。

結果と考察

1. 各種試験

(1)曲げ強度試験及び熱膨張試験

各実機試作坏土焼成素地の曲げ強度試験及び熱膨張試験結果を表2に示す。

実機試作坏土1は白地砥部焼坏土（約80MPa）と同程度の曲げ強度であった。実機試作坏土2は粒径の荒さによる強度低下が懸念されたものの若干の低下に留まり、実用不可と判断する程の大きな影響はなかった。

熱膨張係数については、白地砥部焼坏土と釉薬を共用できると貫入の入れやすさを考慮して坏土設計しており、実機試作坏土1、2ともに白地砥部焼坏土（sk9還元焼成では5.8程度、sk8還元焼成では6.6程度）より低い数値を示しながら、当センターで使用している下記ゼーゲル式(1)の石灰釉では貫入が発生しておらず、窯元の要望に沿った結果が得られた。

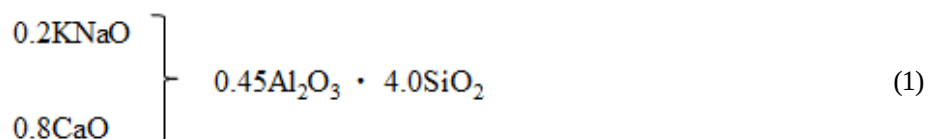


表2 各実機試作坏土の曲げ強度及び熱膨張係数

坏土	焼成条件	曲げ強度 (MPa)	700°Cの熱膨張 係数 ($\times 10^{-6}/K$)
実機試作坏土 1	sk9還元	83	5.1
	sk8還元	82	6.0
実機試作坏土 2	sk9還元	76	5.2
	sk8還元	81	5.8

(2)焼成試験体観察

曲げ試験に使用した試験体を実態顕微鏡で観察した様子を写真1及び2に示す。焼成前の目視において、違いは見られなかったが、焼成後素地に数 μm ～数 $10\mu\text{m}$ の無数の黒い点が現れ、その現象は、実機試作坏土2に、より多く見られた。これは、粉碎時間の違いによる鉄分の粒径の違いによると思われ、窯元が坏土を選択する判断材料のひとつになる。



写真1 sk8還元焼成曲げ強度試験体
(左：実機試作坏土1、右：実機試作坏土2)



写真2 sk9還元焼成曲げ強度試験体
(左：実機試作坏土1、右：実機試作坏土2)

次に、sk8還元焼成、1250°C酸化焼成した測色試験体を写真3に、それぞれの $L^*a^*b^*$ 値を表3に示す。なお、表3は写真3の試験体の位置に対応させている。写真3は、左から実機試作坏土1、実機試作坏土2、実機試作坏土2に酸化チタンを1.0、2.0、3.0mass%添加した試験体で、上部は還元焼成、下部は酸化焼成したものである。また、釉薬の厚みによる違いを確認するため、施釉部分の上部は0.2mm程度、下部は0.4mm程度に施釉している。釉薬の厚みは、光断層トログラフイー（santec(株)製、IVS-300）を使用し、屈折率1.5として計測した。

実機試作坏土1、2について、無釉部分は還元焼成で薄い茶色、酸化焼成で灰色を呈している。また、石灰透明釉施釉部分は還元焼成で素地の鉄分により釉薬が薄い青に発色し、釉薬が薄い部分は素地の色が透けて見え、釉薬が濃い部分は釉薬の色のみに見え、酸化焼成で釉薬の濃淡に関わらず透明であった。さらに、実機試作坏土に酸化チタンを混合することで素地の色をアレンジできることが分かった。

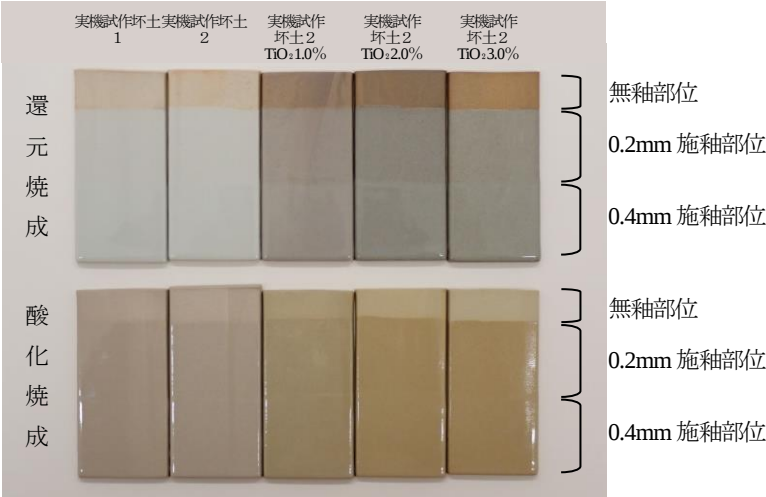


写真3 測色試験体

表3 測色試験体のL*a*b*値

		実機試作坏土 1				実機試作坏土 2				実機試作坏土 2 + TiO ₂ 1.0%				実機試作坏土 2 + TiO ₂ 2.0%				実機試作坏土 2 + TiO ₂ 3.0%			
		疑似色	L*	a*	b*	疑似色	L*	a*	b*	疑似色	L*	a*	b*	疑似色	L*	a*	b*	疑似色	L*	a*	b*
sk8還元	無釉		72.71	0.90	12.58		72.55	1.21	13.04		56.37	4.00	13.21		52.27	2.99	13.32		58.43	5.78	20.75
	0.2mm		71.70	-1.42	3.31		71.96	-1.45	3.08		56.94	0.92	5.13		55.37	-0.56	5.05		58.41	-0.78	7.56
	0.4mm		68.55	-1.88	2.32		68.15	-1.81	2.56		55.52	0.15	3.88		54.51	-1.09	3.98		56.28	-1.17	6.47
1250℃酸化	無釉		69.46	1.88	10.95		71.13	1.22	10.51		66.75	1.13	18.69		69.83	0.91	21.34		72.40	0.26	19.56
	0.2mm		64.24	1.49	9.42		65.08	0.93	8.78		62.61	0.91	15.49		61.53	1.74	21.01		61.45	2.07	21.80
	0.4mm		62.73	1.26	8.89		63.61	0.76	8.17		60.66	0.84	15.06		60.00	1.49	19.36		59.93	1.76	20.04

また、着色素地に鉄粉がある場合の風合いを確認するため、鉄粉を添加した試験体を作製した。鉄粉は、入手し易さから使用済みの使い捨てカイロから採取した。使い捨てカイロの内容物をふるいで 0.5mm 未満、0.5～1.0mm、1.0～1.4mm、1.4mm 以上に分級して予備試験を実施したところ、1.0mm 以上では斑点が大きくなりすぎるため、0.5mm 未満、0.5～1.0mm 程度が適当と判断した。鉄粉を添加したテストピースを写真4に、試作品を写真5に示す。

写真4は、左から 0.5mm 未満の鉄粉を 0.5、1.0mass%、0.5～1.0mm の鉄粉を 0.5、1.0mass%実機試作坏土 2 に練り込みテストピースを作製し、上部は還元焼成、下部は酸化焼成したものである。還元焼成では鉄粉が釉薬に溶け込んで滲み大きな斑点が目立つが、酸化焼成では練り込んだ鉄粉にほとんど変化が見られず、明確な違いが表れた。写真5は 0.5～1.0mm の鉄粉を 1.0mass%練り込み、還元焼成した試作品である。還元焼成では 0.5mm 未満と 0.5～1.0mm を混ぜる、酸化焼成ではより大きな粒径の鉄粉を添加する等の工夫をすることで、素地の風合いを調整することが可能である。

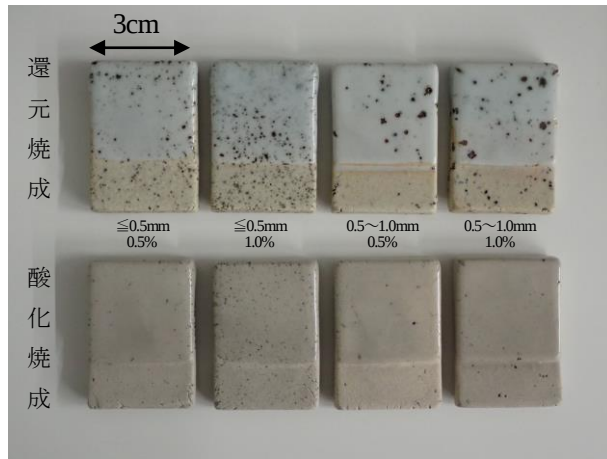


写真4 鉄粉を練り込んだテストピース

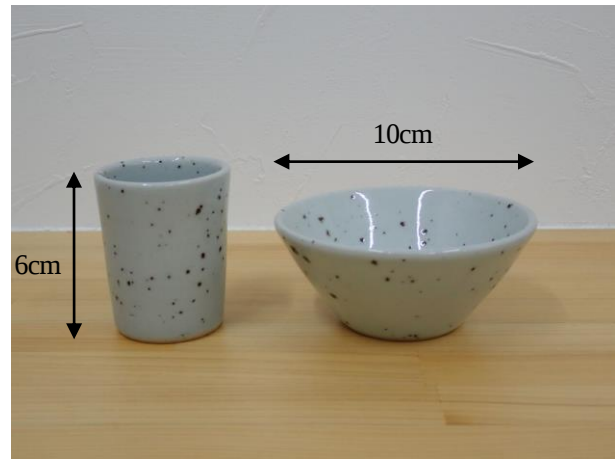


写真5 鉄粉を練り込んだ試作品

最後に、実機試作坏土1、2の窯元による試作品を写真6に示す。3種類の呉須や鉄巻きによる風合いを確認した。窯元からの聞き取りでは、実機試作坏土1、2ともに、成形性に問題はない、焼き上がりは希望していた色合いである、既存釉薬を使える等、良好な評価を得ることができた。



写真6 窯元試作品

ま と め

レトロモダンな砥部焼坏土の開発について検討し、以下の結果を得た。

1. 2級陶石を使用し、古砥部の風合いや民芸調の表現に適している着色素地となる坏土を開発できた。
2. 通常の白地の砥部焼と同程度の物性を有し、釉薬の共用や同温度帯による焼成が可能であることが分かった。
3. 酸化チタンや鉄粉を添加し、素地の色や雰囲気のアレンジすることができた。

謝 辞

当研究を行うにあたり、試験坏土の実機による試作にご協力いただきました有限会社伊予鉾業所及び試作坏土の官能評価にご協力いただきました砥部焼協同組合関係各位に深く感謝いたします。

吸放湿性と脱臭機能を持ついぶし瓦タイル開発（第2報）

雁木邦之 首藤喬一*

Development of smoked roof tiles with moisture absorbing and deodorizing properties (Part2)

GANGI Kuniyuki and SUTO Kyouichi

いぶし瓦の屋根材以外の用途として、いぶし瓦タイル（以下、瓦タイル）がある。本研究では、瓦タイルの更なる需要拡大を目的に、瓦土に水酸化アルミニウムを 30mass%配合したものを原料に用いて、タイル表面形状及び粒度を変えた瓦タイルを作製し、吸放湿性と脱臭機能を評価した。その結果、瓦タイルの表面形状を変えることにより、吸放湿性が 14%向上し、脱臭速度が 1.5 倍になることが分かった。また、水酸化アルミニウム配合瓦土の $D_v(90)$ を $80\mu\text{m}$ から $13\mu\text{m}$ に調整すると、吸放湿性が 5.2%向上することが分かった。

キーワード：いぶし瓦、吸放湿性、脱臭機能

はじめに

金属瓦などの軽量の屋根素材の普及により、全国的にいぶし瓦需要は低迷している。そのため、菊間瓦産地においては、いぶし窯でいぶすことにより形成される銀色の炭素膜を意匠として利用し、建材の開発を行っているが、更なる需要拡大には、快適性に関する機能の向上が必要である。

そこで、本研究では、土の粒度及び、タイル表面の形状を変えることで、吸放湿性と脱臭機能を付与した瓦タイルの更なる機能性向上を図った。

実験方法

1. 機能性タイルの試作

酸化焼成する瓦タイルの原料として、菊間瓦工業組合製瓦土（以下、瓦土）、瓦土に水酸化アルミニウムを 30mass%配合したもの、水酸化アルミニウム配合瓦土をポットミルで粉砕し粒度を調整した土の 3 種類を用意し、マッフル炉（アズワン株式会社製 HPM-2N）を用いて、昨年度の研究を踏まえ²⁾最高温度 800°C 、保持時間 1 時間で酸化焼成を行った。

次に、酸化焼成後にいぶし処理する瓦タイルの原料として、瓦土、瓦土に水酸化アルミニウムを 30mass%配合したものを用意し、いぶし窯（高砂工業株式会社製ベンチュリーバーナー式、容量 0.4m^3 ）を用いて、3 種類の瓦タイルを試作した。なお、原料に水酸化アルミニウムを配合したものについては、表面形状を変えた 3 種類の瓦タイルを試作した。

いぶし処理については、昨年度の研究を踏まえ最適条件の最高温度 800°C 、保持時間 1 時間で酸化焼成後、20 分間工業用ブタンガスを用いて行った。

2. 物性評価試験

(1)比表面積・細孔分布測定

比表面積及び、細孔分布を比表面積・細孔分布測定装置(マイクロトラック・ベル社(株)製 Belsorp-max-32-N-VP-NK)を用いて測定した。吸着質は窒素ガスを使用し、吸着温度は -196°C で測定した。

(2)幾何学的表面積測定

3D スキャナ (Artec Europe 製 Space Spider) を用いて、瓦タイルの表面をスキャンしてポリゴンモデルを作成し、空気と一次的に接触する瓦タイル外部の表面積（以下、幾何学的表面積測定）の算出を行った。なお、ポリゴンの 1 辺の長さは 0.05mm とした。

(3)粒度分布測定

原料の粒度分布をレーザー回折式粒度分布測定装置（Malvern Panalytical 社製 Mastersizer 3000）を用いて測定した。

* (現)愛媛県庁経済労働部産業創出課

この研究は、「機能性と意匠性を両立したいぶし瓦タイルの開発研究」の予算で実施した。

3. 機能性評価試験

(1)吸放湿性試験

「調湿建材の吸放湿性試験方法(JIS A1470-1)」に準じ、約 10cm 角の試験片を、恒温恒湿器(エスペック(株)製 PL-3KPH)内で温度を 23℃に一定で、湿度を 50%(RH)から 70%(RH)、70%(RH)から 50%(RH)に、24 時間ごとに繰り返し変化させ、質量を測定し吸放湿性を評価した。

(2)脱臭機能試験

約 5cm 角の試験片を 5L のガスバッグに入れ、切口をシールした後、アンモニア標準ガス (97.2ppm) を 3L 導入し、10 分、30 分、60 分、120 分、180 分経過時のアンモニア濃度を検知管 (株)ガステック製 No. 3L、No. 3La) を用いて測定した。

結果と考察

1. 機能性瓦タイルの物性試験

瓦タイルの作製条件、比表面積の測定結果及び、幾何学的表面積の算出結果を表 1 に示す。また、表面形状を変えた瓦タイルを写真 1 ～ 3 に、各瓦タイルの寸法及び質量を併せて示す。なお、未粉碎の水酸化アルミニウム 30mass% 配合瓦土の 90%粒子径 (以下、Dv(90)) は 80μm であるのに対して、微粉碎した原料は Dv(90) 13μm であった。また、原料を微粉碎することにより、比表面積は 2 %増加することが分かった。

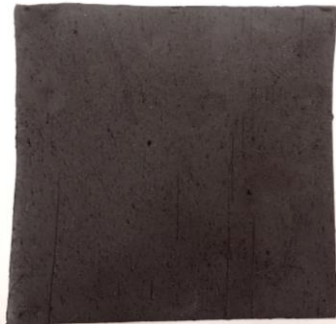
表 1 瓦タイルの物性試験結果

焼成条件	原料	表面形状	Dv(90) (μm)	比表面積 (m ² /g)	幾何学的 表面積 (mm ²)
酸化焼成 (800℃)	瓦土	平面	102	9.03	-
	水酸化アルミニウム 30 mass%配合瓦土		13	39.7	
			80	38.8	
酸化焼成後 いぶし処理 (800℃)	瓦土		102	-	
	水酸化アルミニウム 30 mass%配合瓦土	平面 (写真 1)	80	-	9789
		格子 (写真 2)			13092
		鱗 (写真 3)			26088



100mm×100mm×7mm 146g

写真 1 平面タイル



100mm×99mm×7mm 153g

写真 2 格子タイル



100mm×98mm×19mm 210g

写真 3 鱗タイル

2. 機能性評価試験

(1) 吸放湿性試験

表面形状を変えた瓦タイルの吸放湿性試験結果を図1に示す。なお、瓦タイルの質量差を補正するため、 10kg/m^2 として測定値を整理した。図1のいずれの瓦タイルも、湿度の変化に応じて吸湿量が増減していることから、吸放湿性が確認された。24時間経過後の吸湿量は格子鱗及び、鱗タイルが最も多く、 167g/m^2 吸湿した。次いで、平面タイルとなり、吸湿量は 147g/m^2 であった。このことから、瓦タイルの表面形状を変えることにより、吸放湿性が14%向上することが分かった。

次に、図2に原料の粒度を変えた瓦タイルの吸放湿性試験の結果を示す。図2のいずれの瓦タイルも、湿度の変化に応じて吸湿量が増減していることから、吸放湿性が確認された。試験開始から24時間経過後の吸湿量を比較すると、水酸化アルミニウム配合瓦土のDv(90)が $80\mu\text{m}$ 、 $13\mu\text{m}$ 、瓦土の順に大きくなった。また、水酸化アルミニウム配合瓦土のDv(90)が $13\mu\text{m}$ と $80\mu\text{m}$ の瓦タイルを比較すると、吸湿量が5.2%増加することが確認できた。このことから、平均粒子径が小さくなると、吸放湿性が向上することが分かった。

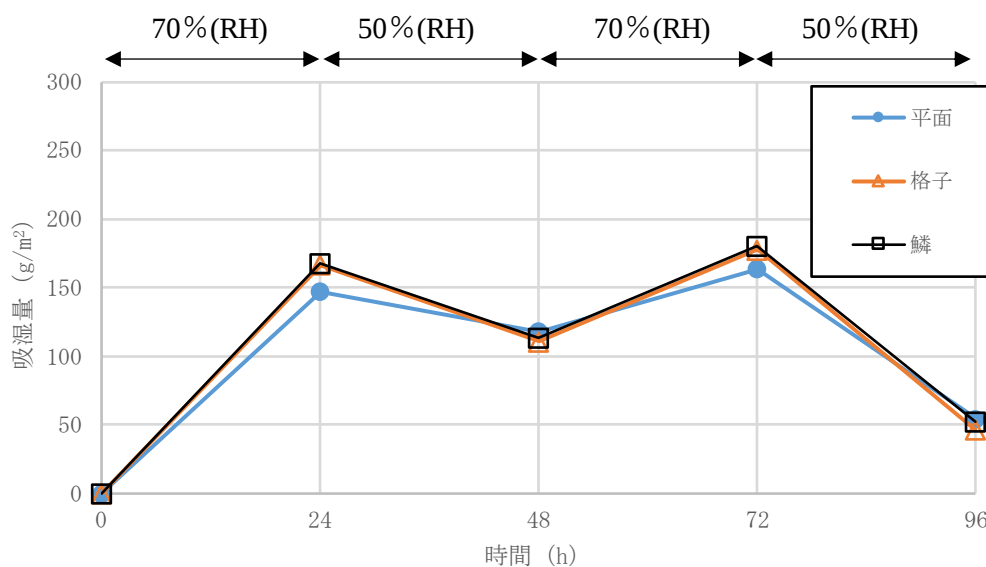


図1 表面形状を変えた瓦タイルの吸放湿性

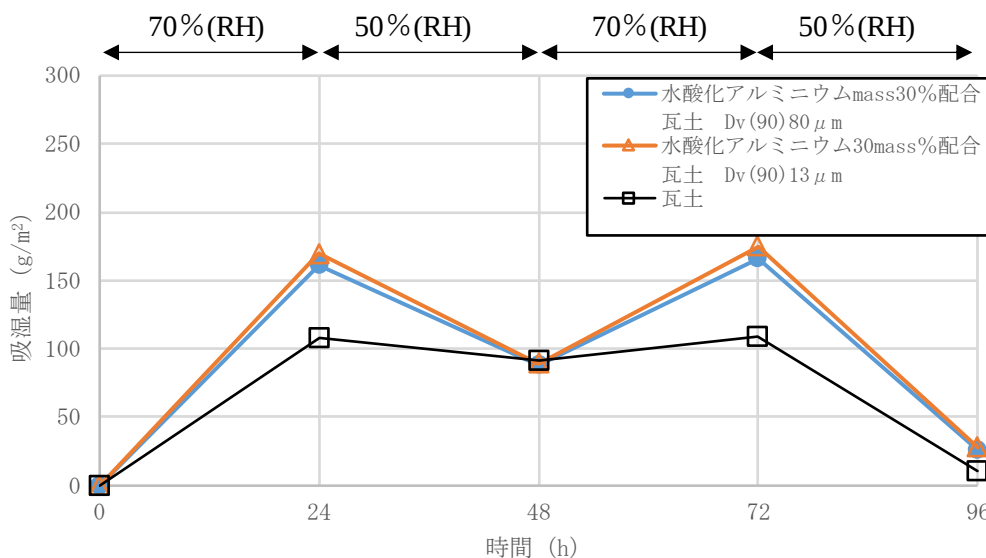


図2 土の粒度を変えた瓦タイルの吸放湿性

(2)脱臭機能試験

表面形状を変えた瓦タイルのアンモニア脱臭機能試験結果を図3に示す。格子や鱗形状の瓦タイルを入れたガスバッグのアンモニアガス濃度は、試験開始から120分後、臭気強度1（0.1ppm：人がやっと感知できる程度の匂い）³⁾に近い0.2ppm未満（使用した検出管（検出限度0.2ppm）で検出できなかった。）まで脱臭することができた。一方で、平面タイルを入れたガスバッグのアンモニアガス濃度は、0.2ppm未満までの脱臭に、180分かかることが分かった。このことにより、瓦タイルの表面形状を変えることで、アンモニアガス濃度0.2ppm未満までの脱臭速度が1.5倍に向上することが分かった。このことから、表面形状を変えることにより幾何学的表面積が増加し、それに伴い脱臭速度が向上することが分かった。また、3つの瓦タイルで比較すると、鱗形状のものが最も脱臭能力が高く、試験開始から60分後のアンモニアガス濃度は、0.5ppmであり、同時刻の平面タイルを入れたガスバッグのアンモニアガス濃度と比較して、1/3の濃度に脱臭されていることが分かった。なお、この時アンモニアガスはガス分子が分子間力によって固体表面に吸着する物理吸着⁴⁾により脱臭していると考えられる。

また、市販品の陶磁器タイルで、同試験を実施したところ、試験開始から180分後、75ppmの脱臭に留まったことから、いずれの瓦タイルも、市販品の陶磁器タイルよりも脱臭能力が優れていることが分かった。

次に、原料の粒度を変えた瓦タイルのアンモニア脱臭特性を図4に示す。Dv(90)が13 μ mの瓦タイルを入れたガスバッグのアンモニアガス濃度は、試験開始から180分後、1ppmまで脱臭することができた。一方で、Dv(90)が80 μ mのタイルを入れたガスバッグのアンモニアガス濃度は、試験開始から180分後、1.5ppmまでの脱臭に留まった。

このことから、水酸化アルミニウムの粒子径は小さい方が脱臭速度は向上することが分かった。

前述から、瓦タイル原料の粒度を変えることにより、アンモニアガス濃度2ppm未満までの脱臭速度が1.5倍に向上することが分かった。また、Dv(90)が80 μ mと13 μ mの瓦タイルを比較すると、13 μ mの瓦タイルの方が脱臭能力が高く、試験開始から180分後のアンモニアガス濃度は1ppmであり、同時刻では80 μ mの瓦タイルを入れたガスバッグのアンモニアガス濃度と比較して、2/3の濃度に脱臭されていることが分かった。

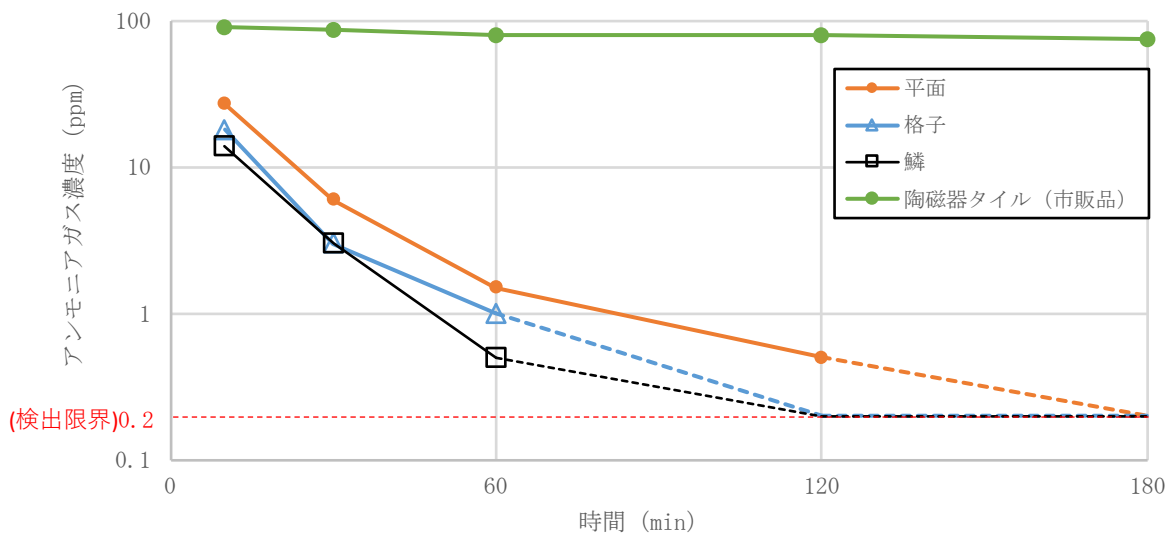


図3 表面形状を変えた瓦タイルのアンモニア脱臭機能

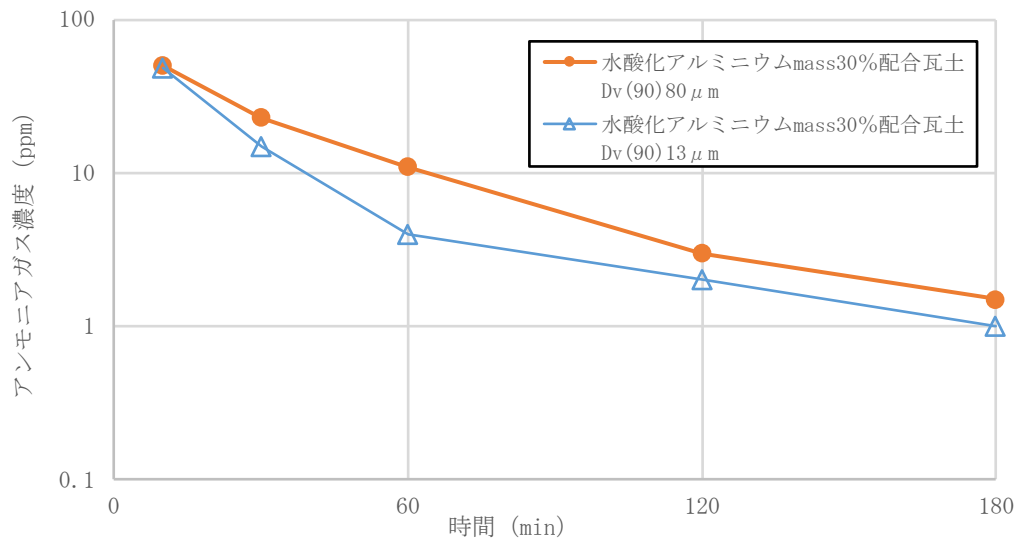


図4 原料の粒度を変えた瓦タイルのアンモニア脱臭機能

ま と め

タイル表面の形状及び、原料の粒度を変えた瓦タイルを試作し、以下の結果を得た。

1. 瓦タイルの表面形状を平面から格子または鱗形状に変えることにより、吸放湿性が14%向上し、アンモニアガス濃度0.2ppm未満までの脱臭速度が1.5倍になることが分かった。
2. 水酸化アルミニウム配合瓦土のDv(90)が13μmの瓦タイルは、80μmのものと比較して、吸湿量が5.2%増加することが分かった。

文 献

- 1) 茂木弘卓:屋根材 2022 データ, 日本屋根瓦経済新聞, 1699, 16 (2022).
- 2) 雁木邦之, 首藤喬一:吸放湿性と脱臭機能を持ついぶし瓦タイル開発, 愛媛県産業技術研究所報告書, 60, 39-44 (2022).
- 3) 環境省環境管理局大気生活環境室: 臭気対策行政ガイドブック, 1-3, (2002).
- 4) 小林聡:多孔質材料の表面物性評価における比表面積・細孔分布測定について, 長野県工業技術センター研究報告書, 14, 64-67, (2019).