

令和 3 年度

研究報告

大分県産業科学技術センター

令和 4 年 11 月発行

目次

【技術シーズ創出型研究】

製品の多面的評価による快適性評価指標の作成（第 2-1 報、第 2-2 報）	1
電磁推進機構の開発	8
新規カルサイト型球状炭酸カルシウムの用途開発	13
品種の異なる裸麦の醸造適性の評価に関する研究	18

【経常研究】

EMC 試験における AI の活用に関する研究	23
磁気特性測定装置の比較評価	28
複合薄膜光触媒材料の応用に関する研究	31
高糖度かんしょ「べにはるか」の加工特性評価について	36
県産畜産物のおいしさに関する研究	40
イチゴ新品種の品質向上に関する研究	44
県産カンキツ類の特性を生かした食品素材化	48

製品の多面的評価による快適性評価指標の作成（第2-1報）

—評価指標ソファの開発と評価—

兵頭敬一郎*, 佐藤幸志郎*, 疋田武士*, 佐藤寿喜*, 北嶋俊朗**, 濱名直美***, 野呂影勇****

*製品開発支援担当, **工業化学担当, ***大分県農林水産研究指導センター林業研究部, ****早稲田大学・エルゴシーティング株式会社

Creating comfort evaluation guidelines based on multi-evaluation of products (2nd Report-1)

—Development and evaluation of evaluation index sofa—

Keiichiro HYODO*, Koushirou SATOU*, Takeshi HIKIDA*, Hisaki SATOU*, Toshirou KITAJIMA**,
Naomi HAMANA***, Kageyu NORO****

*Product Design and Development Section, **Industrial Chemistry Section,

***Oita Prefectural Agriculture Forestry and Fisheries Research Center, Forestry Research Division,

****Waseda University・ErgoSeating Co.,Ltd

要 旨

仮説「ソファから受ける触知覚は、体格差、主に体重差により異なる」⁵⁾⁶⁾を確認するため、前後方向のクッションの硬さを任意に変更可能な評価用ソファを用いて、座り心地についての主観評価と、クッションの沈み込み深さ、クッションの等速荷重試験を実施した。体重の異なる被験者において適正なクッションの組み合わせが異なる可能性が示唆された。（本報は2021年12月17日に開催された日本人間工学会九州・沖縄支部会発表「体重差対応型ソファの設計-第三報 透触面の考えに基づく快適性の追求-」の抄録の内容に、口頭発表時の補足説明内容を追記して作成した。）

1. はじめに

大分県日田市周辺地域では、ソファが木製家具産業の主力製品である。人間工学により技術支援を行っている。

問題として、コロナ禍における外出自粛要請により、在宅時間が増加したことで「家具・家事用品」の消費支出額が増加している⁴⁾。今後、在宅勤務が一定の割合で定着し、ソファを在宅ワークで使用する機会が増えることによる健康上の問題が生じる可能性がある。

従来座り心地は、ふかふかが良いとか低反発が良いとか、あまり計測的根拠のないことが言われてきた。本研究では、物理的な計測を中心に座り心地を扱う。

本報告では、骨盤の傾きを防ぐ仙骨サポート他、複数の知見の総合により実現される高機能座面 high functioning seat pan concept (HFSP)¹⁾ のコンセプトに従ったソファを設計し評価した。

また、ソファのクッション部分の触知覚は、表面面、透触面、底着き面の三つに分類されると仮定した。このうち透触面²⁾³⁾は、着座時のtransientな過程での知覚現象を指すとされ、複数の材料を複合的に積み重ねて作られているソファのクッション部の座り心地は、透触面からの触知覚が大きな影響を与えている可能性がある。

本報では、ソファの透触面²⁾³⁾から受ける触知覚は、座

っている人間の体格差（体重差+下腿長）により異なると仮定し、下記の仮説について確認することを目指した。

(Fig.1)

仮説1 適度な沈み込みが、よりよい座り心地を生ずる。

仮説2 適度な沈み込みの範囲は、沈み込み変位量の0から直径の1/2までとする

上記に基づき、健康で快適にワークができるよう座る人間の体格差に対応した在宅ワーク用ソファの設計を行い評価した。

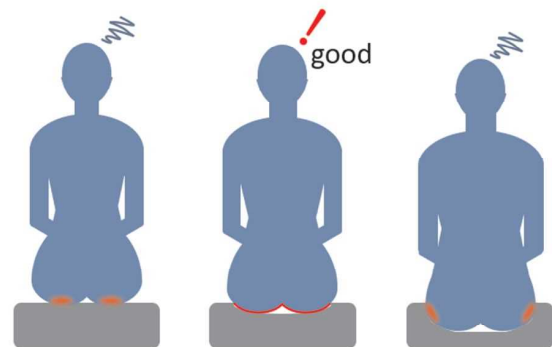


Fig.1 ソファの座り心地の三つのケース
左 臀部動揺 中 座り心地よい 右 挟まれ感

2. モデルと実験方法

実験用ソファは、利用者が体格に合わせて仕様の異なるクッションの好みの組み合わせを選択できる、フレームとクッションの分離仕様とした。

実験方法では、座面として利用するロール状(φ180mm)のクッションの中で、最も体圧が集中する座骨結節部が乗る部分のクッションのウレタン素材の硬さを変えた3種を試料とした。(Fig.2)(Fig.3)



Fig.2 実験用ソファ

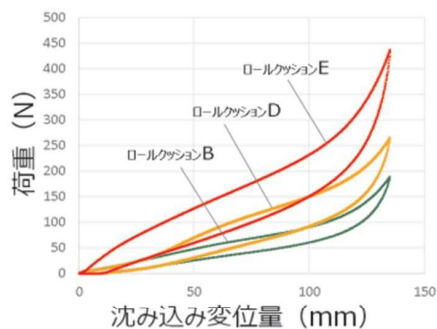


Fig.3 ロールクッションの沈み込み変位量

被験者は埼玉県内看護学校の学生女性71人、学生男性4人を選定した。

クッションの沈み込み変位量は、座骨結節部が乗る部分の中心から右に5cm離れた位置に、指し棒を貫通させその変位量を計測した。

計測時の着座姿勢を一定にするため、座骨結節部と仙骨部に貼り付けた1bitセンサーで確認した。

また、主観評価については、硬さの異なる平板クッション3種とロールクッションC(φ180mm)を手の平で押し下げた際の評価を数値化した。(Fig.4)

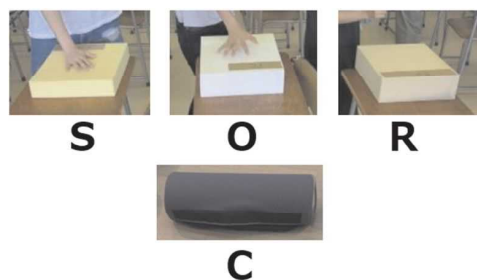


Fig.4 主観評価で使用したクッション

3. 結果

3.1 沈み込み変位量について

被験者75名の沈み込み変位量のうち異常値を除いた38名がロールクッションE(ハード)に座った場合の右臀部の沈み込み量の計測値はFig.5の通りとなり、被験者の体重を概ね反映する変位量であることが確認された。

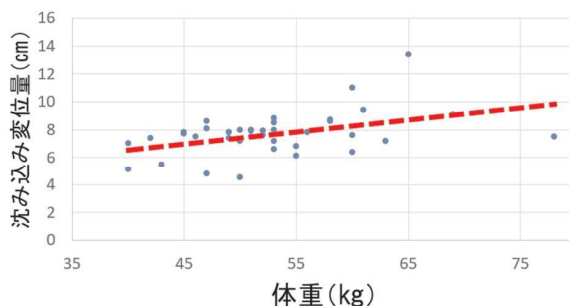


Fig.5 椅座時のクッション(E)沈み込み変位量

今回の実験では、ロールクッションB・D・Eの硬さの違いの差異が小さく、沈み込み変位量の平均値の差異はほとんど見られなかった。

3.2 主観評価について

主観評価は、11項目について5段階で評価し、75名の被験者を6グループに分けたうちの1グループの結果をFig.6に示す。

以下のとおり、平板状のクッション3種とロールクッション1種では透触面から受ける触知覚は異なることが示唆された。

- (1) ロールクッションCは、「跳ね返る感じ」と「蒸れる感じ」が高評価である。
- (2) ロールクッションCは、「包み込まれる感じ」と「締め付ける感じ」は低評価である。
- (3) 「ソフトなクッションは包み込まれる感じがあり、それは心地よいと感じ、反対にハードなものは包み込まれる感じがなくそれは心地よいと感じられないことがわかった。」との評価があった。

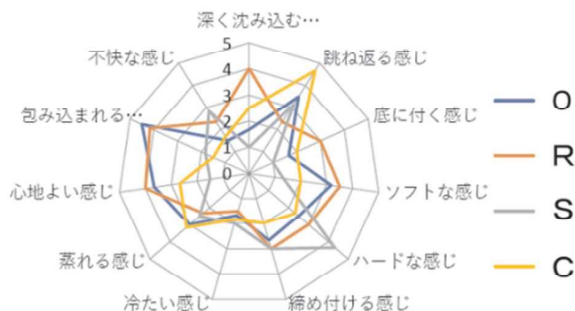


Fig.6 クッションの主観評価

4. 考察

4.1 沈み込み変位量について

実験用ソファの沈み込み変位量の測定では、身長の高い方が着座する際に測定する指し棒が多数破損し異常値が発生したため、座面の奥行き寸法と沈み込み変位量を測定する位置と方法を見直す。

本実験で使用したロールクッションの硬さの違いによる沈み込み量の違いはほとんどなかったことから、体重差に対応できる硬さを再検討する。

本実験においてロールクッションの沈み込み変位量は被験者の体重を概ね反映することが示唆された。体重の軽い方は沈み込み変位量が小さいため、着座時の座面高は高く、体重が重い方は沈み込み変位量が大きいため、着座時の座面高は低い。

椅子の座面高は座り心地に大きく影響するため、体重に合わせてクッションの硬さを選定できる、体重差対応型ソファの設計を進める。

4.2 主観評価について

形状や厚みが異なるクッションの主観評価は、硬さ、形状、厚みに大きく影響を受け、クッションの座り心地は、透触面からの触知覚が大きな影響を与えている可能性があることが示唆された。

謝 辞

本研究に多大なる支援を頂いた、エルゴシーティング株式会社 渡邊候子様、独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所 小山秀紀博士、早稲田大学理工学部理工学術院総合事務・技術センター 中川翔様、(株)アサヒ、埼玉県立高等看護学院のみなさま、大分県農林水産研究指導センター林業研究部のみなさまに心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Kageyu Noro¹, Rani Lueder², Shunji Yamada³, Goroh Fujimaki⁴, Hideki Oyama¹, Yuki Hashidate¹, Revisiting Sitting Cross-Cultural Aspects of Seating, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, vol. 50, 7: pp. 814-819. , First Published Oct 1, 2006.
- 2) D. Katz : Aufbau der Tastwelt, Z. Psychol. Erg., 11, (1925).
- 3) 吉田正昭 : 触覚及び自己受容知覚, 和田陽平(編)『感覚知覚ハンドブック』, 誠信書房(1969)777.
- 4) 総務省「家計調査」(2021年3月)
- 5) 佐藤幸志郎他:体重差対応型ソファの設計—第一報 透

触面の考えに基づく快適性の追求—, 日本人間工学会九州・沖縄支部会 第41回大会講演集(2020)

- 6) 野呂影勇他:体重差対応型ソファの設計—第二報 椅子と人が対話するシステムによる座り心地評価—, 日本人間工学会九州・沖縄支部会 第41回大会講演集(2020)

製品の多面的評価による快適性評価指標の作成 (第2-2報)

— 座り心地評価のためのボディースーツ型椅座姿勢計測 —

佐藤幸志^{*}, 兵頭敬一郎^{*}, 疋田武士^{*}, 佐藤寿喜^{*}, 北嶋俊朗^{**}, 濱名直美^{***}, 野呂影勇^{****}

^{*}製品開発支援担当, ^{**}工業化学担当, ^{***}大分県農林水産研究指導センター林業研究部, ^{****}早稲田大学・エルゴシーティング株式会社

Creating comfort evaluation guidelines based on multi-evaluation of products (2nd Report-2)

— A wearable pressure distribution sensor for comfort research —

Koushirou SATOU^{*}, Keiichiro HYODO^{*}, Takeshi HIKIDA^{*}, Hisaki SATOU^{*}, Toshirou KITAJIMA^{**},

Naomi HAMANA^{***}, Kageyu NORO^{****}

^{*}Product Design and Development Section, ^{**}Industrial Chemistry Section,

^{***}Oita Prefectural Agriculture Forestry and Fisheries Research Center, Forestry Research Division,

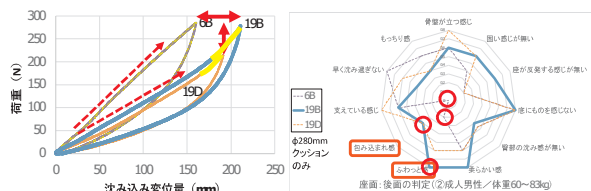
^{****}Waseda University・ErgoSeating Co., Ltd

要 旨

ソファの座り心地と関連する数値指標として、着座時の座面の体圧分布と骨盤傾斜角に着目し、体圧分布の計測結果を被験者の主観評価と対比したところ、複数の主観評価項目について、圧力分布最高値の大小順位の傾向に関連する可能性が示唆された。また仙骨サポートの有無で条件を変えたソファへの椅座姿勢における骨盤傾斜角を比較したところ、仙骨サポートが骨盤傾斜角の後傾を防ぐ機能を発揮している可能性が示唆された。(本報は2021年12月17日に開催された日本人間工学会九州・沖縄支部会発表「体重差対応型ソファの設計 -第四報 座り心地評価のためのボディースーツ型椅座姿勢計測-」の抄録の内容に、口頭発表時の補足説明内容を追記して作成した。)

1. はじめに

第1報¹⁾、第2-1報²⁾にて、ソファの座り心地の主観評価には、「座面の沈み込み量(クッションの沈み込み深さ¹⁾)」と「JIS_K_6400_2の試験方法を一部利用した等速静荷重試験によって作成されるクッションの弾性ヒステリシス曲線」の形状が数値指標として被験者の座り心地の主観評価に影響を与えている可能性と、体重の異なる被験者において適正なクッションの組み合わせが異なる可能性があることが示唆された(Fig. 1)。



ヒステリシス曲線 ⇔ 座り心地

Fig. 1 座面のヒステリシス曲線と座り心地の主観評価

本報告では体重差対応型ソファを多面的に評価するために、「座面の沈み込み量」以外に主観評価に影響を与える可能性がある新たな数値指標として、「仮説① 矢状

面方向から見た、座骨結節点と膝関節中心を結ぶ大腿部背面の直線上の体圧分布(以後、矢状面体圧と呼ぶ)が、座り心地や身体の負担と強く関連している。」と、「仮説② 上半身傾斜角と骨盤傾斜角の相対角度(以後、相対骨盤傾斜角と呼ぶ)が、座り心地や身体の負担と強く関連している。」を提案し、更にその①②を同時に計測するために作成した「ボディースーツ型椅座姿勢計測ツール」の有用性を評価する。

2. モデルと実験方法

提案した仮説①②の数値を同時に計測できるよう開発した「ボディースーツ型椅座姿勢計測ツール」により体重差対応型ソファに座る被験者の椅座姿勢を計測する。

2.1 矢状面体圧

椅座姿勢の体圧分布では一般に、座面や背面の最大圧力値や体圧変化の勾配の緩急等に注目して等圧線表示などによる面としての計測・分析が行われる。

本報告では、「仮説① 矢状面体圧が、座り心地や身体の負担と強く関連している。」との仮説を提案する。いわゆる、椅子に座った人体を横から見た場合の体圧変化と、座り心地や身体の負担との関連に着目している(Fig. 2)。



Fig. 2 面として計測される座面全体の体圧分布と、矢状面から見た座骨結節点前後の体圧分布

その確認のため、硬さや構造が異なる座面における椅座姿勢について、座骨結節点前後の矢状面体圧を計測する。

被験者への圧力センサの取り付けには、伸縮性のあるベルトやサポータを使い直線状のセンサユニットを体の中心線に沿って取り付けている (Fig. 3)。

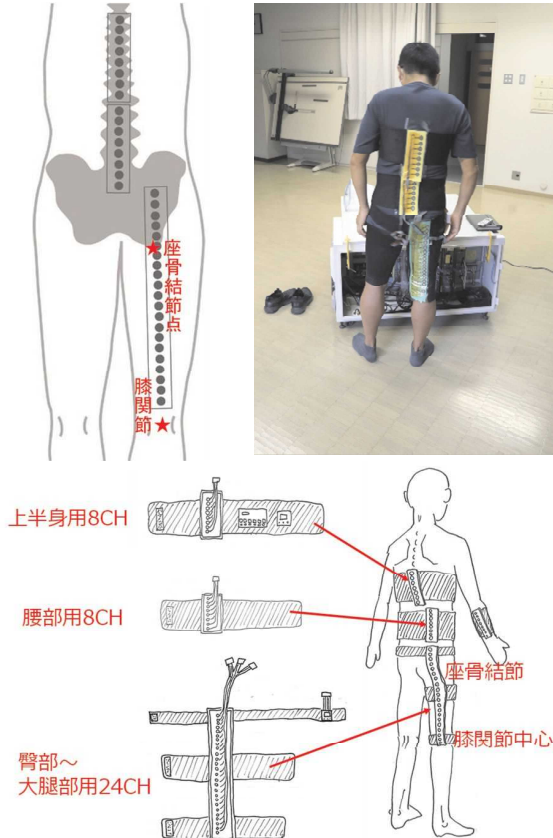


Fig. 3 大腿部背面の直線状の計測箇所

2.2 相対骨盤傾斜角

椅座姿勢の身体への負担を表す数値指標の一つに骨盤傾斜角があり、骨盤位置の皮膚または着衣外側に取り付けたIMU (慣性計測ユニット) の回転角度を骨盤の傾きとして計測するものである。

骨盤傾斜のみで通常大部分の椅座姿勢は評価できると思われるが、デスクワークや乗車等で長時間座り続ける際に安楽を求めて様々な椅座姿勢をとる変化の中には、骨盤傾斜角が同じでも上半身の傾きが異なる姿勢が少なからず観察される。(Fig. 4)

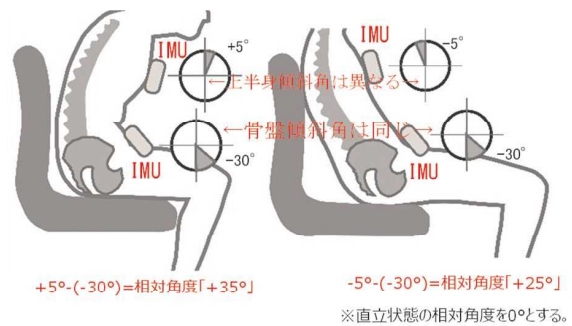


Fig. 4 相対骨盤傾斜角が異なる姿勢サンプル

上半身に対する骨盤の相対的な傾斜角は身体への負担に強く影響するとの仮説の元、これまでの骨盤用に追加して、上半身に2つ目のIMUを取りつけて上半身に対する相対的な骨盤傾斜を計測することで、これまでの1つのIMUの計測による骨盤傾斜だけでは計測できなかった腰部への負担等が確認できる手法の有用性を検討する。

計測のため肋骨中央前面と、骨盤の左右の上前陽骨棘を結んだ直線の中心に、6軸IMU(3軸加速度計と3軸ジャイロ計を内蔵)を固定し、上半身と骨盤のRoll(左右の傾斜)とPitch(前後の傾斜)を計測し、その相対角度を確認する。

写真は実際の被験者へのIMUの取り付け状況であり、被験者毎のIMU計測値を比較するために、計測開始前に壁を背にして直立した状態で2つのIMUのロール角とピッチ角を計測し、被験者毎の0°位置の確認を行っている (Fig. 5)。

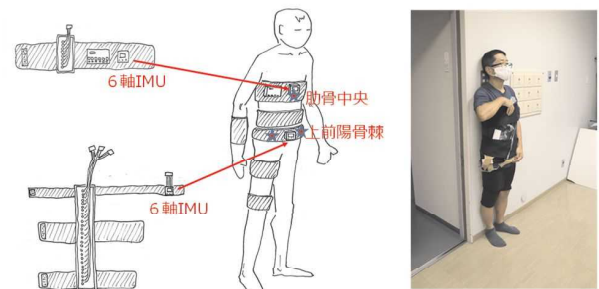


Fig. 5 上半身と骨盤の傾斜角計測用IMUの取り付け位置

2.3 ボディスーツ型椅座姿勢計測ツール

今回開発した計測ツールは、IMUが実装されたマイコンを、複数の圧力センサと共に被験者側に取り付ける「ボディスーツ」部と、ボディスーツからの計測データを表示・記録する「PC」部(Fig. 6)から構成される。

被験者の自然な動作を妨げることを極力防ぐために、無線通信によりボディスーツとPCのデータ入出力を行う。

- ・ボディスーツ部品：M5StackGray, FSR402 他
- ・PC ソフトウェア開発環境：Processing3.5.4



Fig. 6 計測データ表示・記録用ソフトウェア

2.4 実験用ソファ

第1報で使用した実験用ソファを元に動作負担軽減と動作速度調整が容易となるよう手すりを追加し、座面クッション配置は第1報の主観評価データと比較するために第1報と同じ5種類のクッションを使用し、配置も第1報に準じた。

また、相対骨盤傾斜角計測の有用性の確認のため、骨盤の後傾を防ぐ効果が期待されるHFSP/仙骨サポート³⁾を使用する(Fig. 7)。

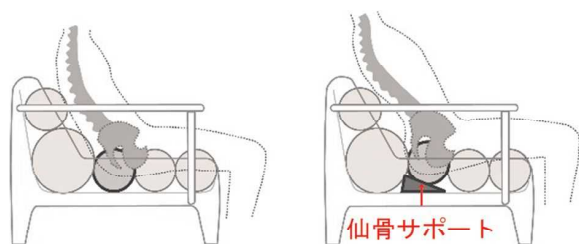


Fig. 7 仙骨サポート有無による骨盤傾斜角の変化

3. 結果

3.1 座骨結節点前後の体圧分布

硬さや座り心地が異なる複数のクッションについて、計測された矢状面体圧の線形グラフについては、座骨結節点の位置を揃え、重ねてプロットして比較する手法を提案する。

5種類のクッションについて、矢状面方向から見た座面の座骨結節点前後の体圧分布を、座骨結節点をそろえ

て重ねてプロットすると Fig. 8 のようになり、最も硬い 51c の最高圧力値は最も大きく、最も柔い 4a1 の最高圧力値は最も小さく、クッション材料の柔さを反映した結果となった。

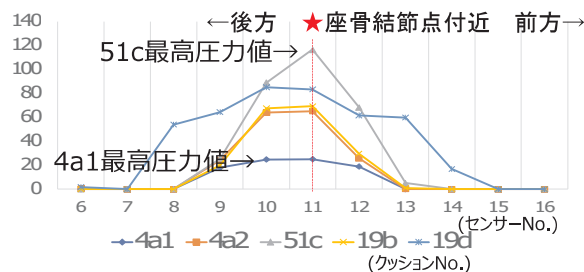


Fig. 8 矢状面から見た座骨結節点前後の体圧分布

第1報¹⁾の主観評価と対比したところ、「早く沈み込み過ぎない」、「固い感じが無い」「座が反発する感じが無い」は最高圧力値の大小順位の傾向に関連する可能性が示唆された(Fig. 9)。

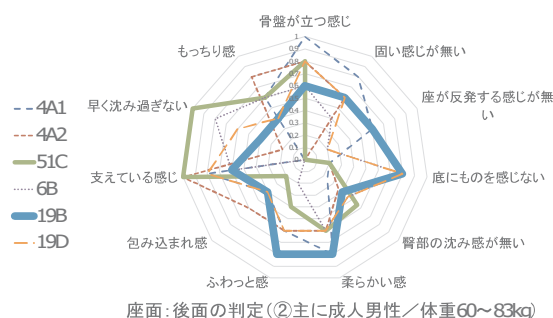


Fig. 9 5種類のクッションの座り心地の主観評価 (第1報)

また「包み込まれ感」については、体圧分布の勾配が急な 51c が最も低く、相対的に勾配が緩やかで長い距離で荷重を分散して支えていると思われる他のクッションの評価が高く、関連が示唆される結果となった(Fig. 10)。

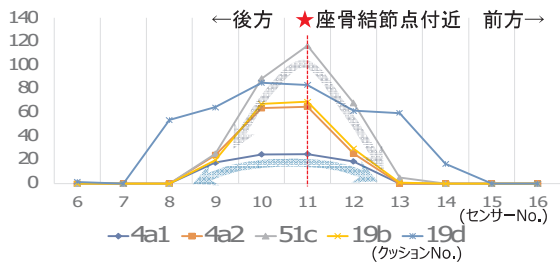


Fig. 10 5種類のクッションの矢状面体圧分布の勾配の緩急

3.2 相対骨盤傾斜角

仙骨サポートの有無による骨盤傾斜角と、相対骨盤傾斜角について、座骨結節点に乗るクッションを、φ180mmとφ280mmの2種類それぞれにおいて比較したところ、どちらも仙骨サポートの効果が傾斜角に現れている可能性と、クッションの薄いφ180mmの骨盤傾斜角が相対的に小さく、仙骨サポートの効果が大きい可能性が示唆される結果となった。

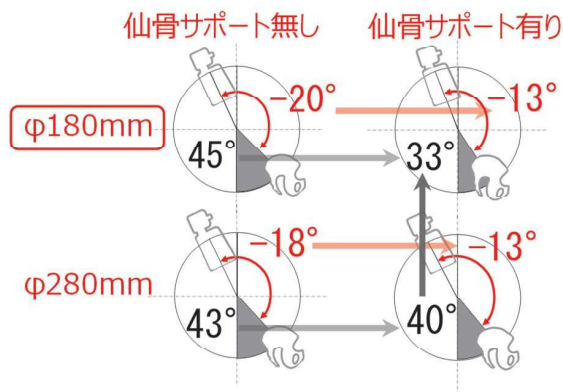


Fig. 11 仙骨サポートの有無と相対骨盤傾斜角

4. 考察

第1報、第2-1報の沈み込み変位量の計測(Fig. 12)に追加して、新たなツールにより坐骨結節周辺の圧力分布と相対骨盤傾斜角が計測可能となった。体重差対応型ソファの評価を万全とするための、より多面的な評価が可能となったと考えている。



Fig. 12 利用者の体格差や好みに合わせて、クッションの組み合わせを変更可能な体重差対応型ソファ(伸縮する指し棒を取り付け、沈み込み変位量を計測)

ポティスーツ型椅座姿勢計測ツールにより実現した骨盤傾斜と体圧分布の同時計測により、これまで困難だった姿勢変化と身体負荷の関連性を新たな快適性評価の数値指標として検討できる可能性が出てきたため、今後の取り組みとしたい。

謝辞

本研究に多大なる支援を頂いた、エルゴシーティング株式会社 渡邊候子様、独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所 小山秀紀博士、早稲田大学理工学部理工学術院総合事務・技術センター 中川翔哉、(株)アサヒのみみなさまに心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤幸志郎他 製品の多面的評価による快適性評価指標の作成(第1報). 大分県産業科学技術センター令和2年度 研究報告, 2020
- 2) 兵頭敬一郎他 快適性の多面的評価に基づくソファの設計(第2-1報). 大分県産業科学技術センター令和3年度 研究報告, 2021
- 3) Kageyu Noro1, Rani Lueder2, Shunji Yamada3, Goroh Fujimaki4, Hideki Oyama1, Yuki Hashidate1, Revisiting Sitting Cross-Cultural Aspects of Seating, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, vol. 50, 7: pp. 814-819. , First Published Oct 1, 2006.

電磁推進機構の開発

城門由人・沓掛暁史・池田哲
電磁力担当

Development of the electromagnetic side thruster for pleasure boats

Yukihito KIDO・Akifumi KITSUKAKE・Tetsu IKEDA
Electromagnetic Section

要 旨

小型船舶（プレジャーボートなど）は、海流に流されず海洋上の定位置に停まる、漁港やマリーナ内で安全に航行するために、主推進機とは別に姿勢制御のための補助推進装置（電動スラスタ）を備えることが増えている。本研究では、モータ・ギヤ・スクリューがなく、ギヤの摩耗や振動、海藻のスクリューへの絡まりなど電動スラスタでの課題を解決する新たな電磁推進機構を考案し、その基本特性を評価したので報告する。

1. はじめに

都心等での移動手段として渋滞や混雑緩和、災害時の緊急搬送手段や陸上交通の代替移動手段などの観点から水上タクシーなど海上輸送が注目されている。しかし、水上タクシーなどの小型船舶（プレジャーボートなど）は、桟橋への離着岸が困難であることから船舶操作の経験が必要であり人材確保が困難な状況となっている。また、小型船舶は風や海流の影響を受けやすく、海洋上で定位置に停まることができないなどの問題がある。

一部の小型船舶では、主推進機以外に補助推進装置（電動スラスタ）を備え姿勢制御を行うことで、上記問題に対応している。電動スラスタは、モータ直結小型スクリューでモータの動力をギヤを介して小型スクリューに伝達して推進力を得る機構であり、正反転を頻繁に繰り返すことからギヤの摩耗による定期的なメンテナンスが必要となっている。また、スクリューへの藻の絡まりや貝類の付着により推進力が得られないなどの課題もある。

これらの課題を解決するため、電動スラスタの代替技術として、磁気を応用したモータ・ギヤ・スクリューがない電磁推進機構を考案した。本稿では、電磁推進機構の評価モデルの構築とその基本特性を評価したので報告する。

2. 電磁推進機構の評価モデル

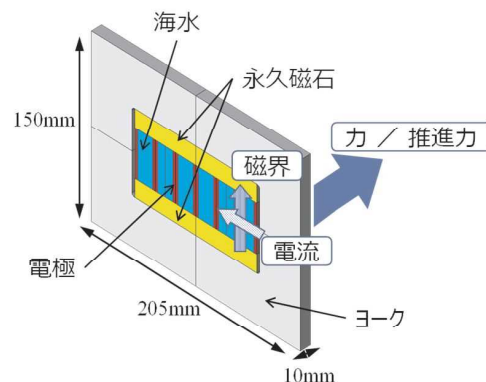
2.1 評価モデルと推進力発生原理

Fig.1 に電磁推進機構のイメージモデルを示す。中央 6

個のスロットに海水を通し、スロット上下に配置した永久磁石により上下方向の磁界を発生し、スロット左右に配置した電極で海水に電流を流すことでローレンツ力に



(基本ユニットを連続配置したもの)
(1) 電磁推進機構のイメージモデル



(2) 基本ユニットとローレンツ力（推進力）

Fig.1 電磁推進機構

Table 1 電磁推進機構の構成材料

	材質記号	サイズ[mm]	備考
ヨーク	構造用鋼 SS400	長さ 205 幅 10 高さ 150	表面处理: 無電解ニッケルメッキ
永久磁石	ネオジウム 磁石 N45	長さ 60 幅 10 高さ 15	磁化方向:15mm 方向 ※4 個(ノ基本ユニット)
電極	銅 C1100	厚さ 1	電極面:10×36mm ※12 極(ノ基本ユニット) ※電極面以外絶縁被膜

より推進力が得られる。ローレンツ力は以下の式から求まる。

$$F = I \cdot B \cdot l \sin\theta \quad (1)$$

ただし、 F : ローレンツ力、 I : 海水に通す電流、 B : 磁束密度、 l : 電極間距離、 θ : 磁界の向きと電流の向きのなす角である。

例えば、Fig.1(2)で磁界の向きが下から上で、右から左に電流を流すことで、フレミング左手の法則によりスロット奥方向の力を発生する。

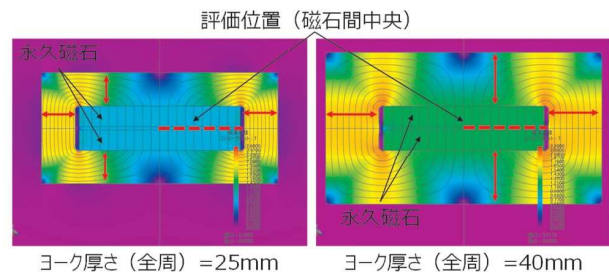
電磁推進機構の主な構成は、磁界を発生する永久磁石、磁気回路を構成するヨーク、海水に電気を流す電極から成る。表1に電磁推進機構を構成する材料を示す。

2.2 磁気回路

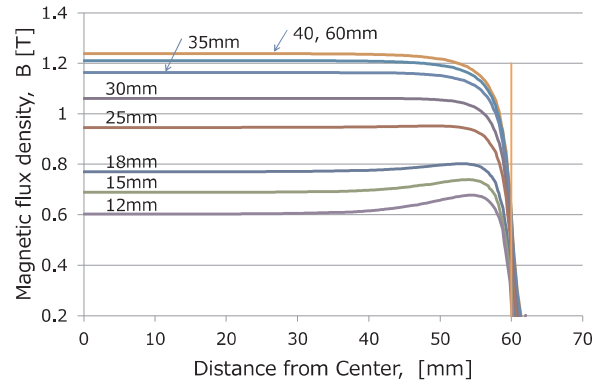
磁気回路を設計するため、磁界解析ソフト JMAG (株式会社 JSOL) を使用してヨーク部の幅、及び、磁石間距離を検討した。

ヨーク部の幅を検討した結果をFig.2に示す。磁石間距離を固定し、ヨーク部の幅を変更した場合の磁石間中央の磁束密度をシミュレーションした。グラフは、磁束線図の点線で示す評価位置の磁束密度分布であり、ヨーク部の幅 35mm を超えると磁束密度への影響は小さくなることから、磁気推進機構は小型であることが望ましく、かつ、磁石間の磁束密度は高くなるほうがよいことから、磁束密度が 1.2T を超えるヨーク部の幅 40mm を採用した。

次に、磁石間距離を検討した結果をFig.3に示す。ヨーク部の幅を 40mm 固定とし、磁石間距離を変更した場合の磁石間中央の磁束密度をシミュレーションした。グラフは、磁束線図の点線で示す評価位置の磁束密度分布である。磁石間の磁束密度が高いほど推進力は大きくなることからできるだけ磁石間距離を小さくする方がよいが、電極面積が小さくなるため海水に大きな電流が流せなくなり、結果として推進力を得にくくなる。このことは、

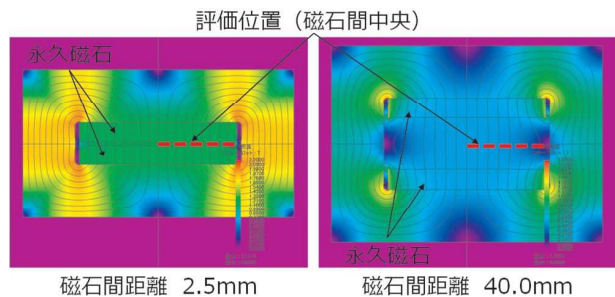


(1) 磁束線図と評価位置

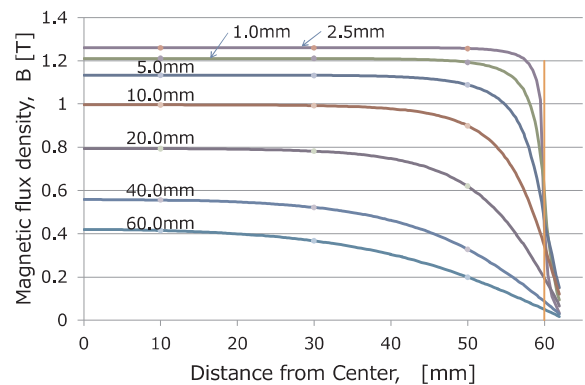


(2) 評価位置の磁束密度分布

Fig.2 ヨーク幅の検討



(1) 磁束線図と評価位置



(2) 評価位置の磁束密度分布

Fig.3 磁石間距離の検討

以下の関係式から分かる.

海水を流れる電流 (I_w) は, 式(2)から電極面積 (S) に比例する. また, 海水の電気抵抗 (R_w) は式(3)となる.

$$I_w = E/R_w = \frac{E}{\rho l} \cdot S \quad (2)$$

$$R_w = \rho l/S \quad (3)$$

1 スロットあたりのローレンツ力 (F_s) は, 式(1)に式(2), (3)を代入して式(4)となる.

$$F_s = \frac{1}{\rho} \cdot E \cdot S \cdot B \sin\theta \quad (4)$$

ただし, E : 電圧, ρ : 電気抵抗率 (海水), l : 電極間距離, B : 磁束密度, θ : 磁界の向きと電流の向きのなす角である.

ここで, 磁石間距離と推進力の関係を Fig.4 に示す. 磁束密度は, 磁石間距離との関係を示した Fig.3 の各磁石間距離の磁束密度分布における中心からの距離(X 軸)が, 10mm, 30mm, 50mm の平均値をプロットしており, 磁石間距離が大きくなるにつれ小さくなる.

評価モデルの磁気推進機構の基本ユニットは6 スロットで構成(Fig.1 参照)するので, 基本ユニットあたりの推進力 (F_{unit}) は式(5)から算出でき, その結果を Fig.4 に示す.

$$\begin{aligned} F_{unit} &= 6 \cdot F_s \\ &= 6 \cdot \frac{S}{\rho} \cdot E \cdot B \end{aligned} \quad (5)$$

$$S = \{ \text{電極幅} \} \times \{ \text{磁石間距離} \}$$

ただし, F_s : 1 スロットあたりのローレンツ力, S : 電極面積, E : 電圧, B : 磁束密度, ρ : 電気抵抗率 (海水の場合 $0.2[\Omega\text{m}]$) である. ここでは, 電圧 (E) を 36V, 磁界の向きと電流の向きのなす角 (θ) は 90° , 電極幅は 10mm として算出した.

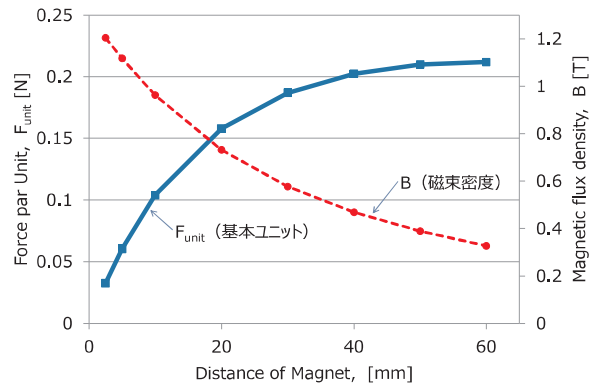
Fig.4 より推進力の増加率が低下しはじめる磁石間距離 40mm を設計値とした.

3. 試作モデルによる評価

上記の磁界解析の結果に基づき, 試作モデルを製作した. 製作した基本ユニットを Fig.5 に示す.

3.1 磁気回路 (磁石間の磁束密度)

製作した基本ユニットの磁石間の磁束密度を測定した結果を Fig.6 に示す. 磁束密度の測定は, ガウスメータ(Lake Shore Cryotronics 製 475 型)を使用した.



磁石間距離, [mm]	2.5	10	20	40
推進力, F_{unit} [N]	0.033	0.10	0.16	0.20
磁束密度, B [T]	1.20	0.96	0.73	0.47

Fig. 4 磁石間距離と推進力の関係

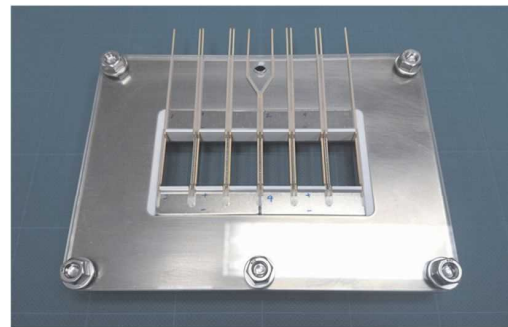


Fig. 5 試作モデル (基本ユニット)

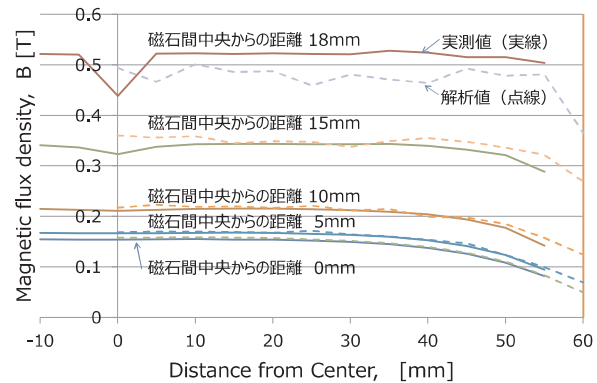
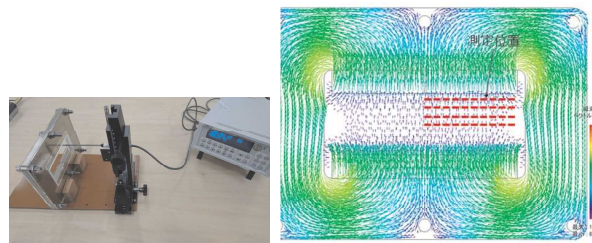


Fig. 6 磁石間の磁束密度分布

実測値と解析値はほぼ同じ結果となっていることが分かる。磁石に近い磁石間中央からの距離 18mm における実測値と解析値のずれは、XZ ステージのメモリによる位置合わせのため測定位置の僅かなずれによるものと推測される。また、中心(X軸 0mm)付近で実測値が下がるのは、並べた磁石の僅かな間隙のためである。

3.2 推進力評価

電磁推進機構の基本的特性を評価するため、基本ユニット 2 個を用いた推進力評価ユニット(Fig. 7)による推進力評価を実施した。推進力評価では、基本ユニット 1 個での特性評価も

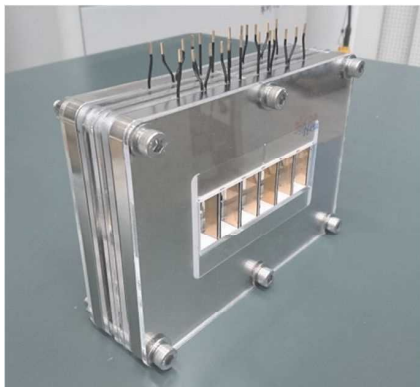
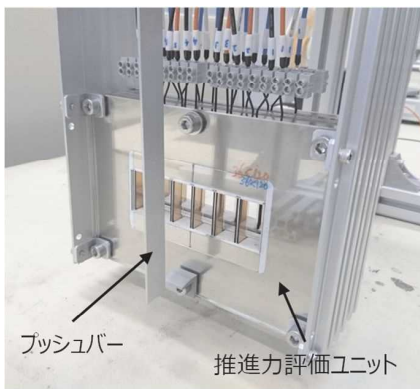
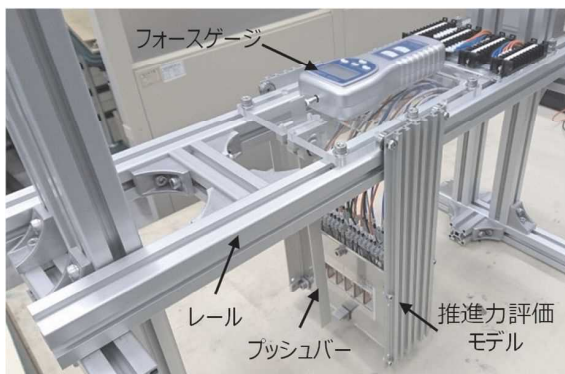


Fig. 7 推進力評価ユニット



(1) 推進力評価モデル



(2) 推進力評価装置

Fig. 8 推進力評価モデルと推進力評価装置

実施するため、2 個の基本ユニットが互いに磁気的な影響を及ぼさないように一定の間隔で配置した。また、電極は、海水への通電部分以外は絶縁被膜した。

推進力評価モデルの重さは、5.44kg、基本ユニット 1 個の重さは、2.48kg であった。

推進力評価モデルを推進力評価装置にセットした様子を Fig. 8 に示す。推進力評価モデルは、レール上を自由に移動することができ、プッシュバーを押すことでフォースゲージ(サトテック FG-5005)により推進力を計測することができる。基本ユニットの各スロットは、独立に電気回路が組まれており、スロット毎に海水への通電を制御できる。

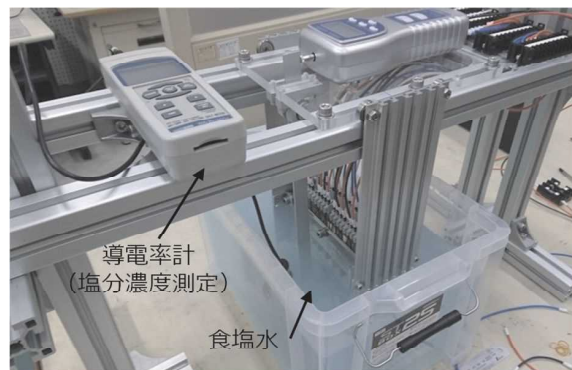
海水を模した食塩水に推進力評価モデルを浸した試験の様子を Fig. 9 に示す。海水は、96.6%の水と 3.4%の塩分で構成される⁽¹⁾ことから、本試験で使用する食塩水の塩分濃度は、約 3.4%とした。塩分濃度は、導電率計(サトテック WA-2017SDJ-CD)を用いて計測した。

推進力評価では以下の内容を確認した。

- ①基本ユニット単体での推進力(スロット並列配置)
- ②基本ユニットを連続配置した場合の推進力(スロット連続配置)



(1) 水槽内の様子



(2) 試験の様子

Fig. 9 推進力評価装置による試験の様子

評価では、Fig.6 より磁束密度の低下がみられる両サイドのスロットは使わずに試験した。

Fig.10 に評価対象のスロット位置を示す。①の評価では基本ユニットの中央4個のスロットを、②の評価では2個の基本ユニットの各2個の同じ位置のスロットを用いて、いずれの試験も4個のスロットで配置の違いによる差異について評価した。

4個のスロットの電極間電圧を12V, 24V, 36Vとした場合の①と②での推進力の実測値と、式(6)で算出した4スロットでの推進力 (F_{4slot}) の計算値をFig.11 に示す。

$$F_{4slot} = 4 \cdot \frac{S}{\rho} \cdot E \cdot B \quad (6)$$

$$S = 36 [mm] \times 10 [mm] = 0.00036 [m^2]$$

$$\rho = 0.2 [\Omega m]$$

$$B = 0.1634 [T]$$

ただし、 S : 電極面積, E : 電圧, B : 磁束密度 (ここでは、磁石間中央付近の実測平均値), ρ : 電気抵抗率 (海水の場合 $0.2 [\Omega m]$) である。

スロットを並列配置 (①) した場合と、連続配置 (②) した場合とでその差はなく、ほぼ同じ推進力が得られることが分かった。このことから、以下のことが確認できた。

1. スロットの配置位置に関係なく各スロットからの推進力が全体の推進力に作用すること
2. 基本ユニットを複数連続配置することで、その数に乗じて推進力を大きくすることができること

実測値と計算値とを比較すると、実測値は計算値より小さくなっている。これは、スロット中の食塩水に流れる電流の大きさによるものと推測される。食塩水への通電は、水に食塩を溶かすことで電離したイオンの移動によるものでその制御は困難である。実際、電流計でモニタしていたが変動が激しく、再現性も得られないため今回の試験での計測は断念した。このように、電流が安定して流れないために計算値ほどの推進力が得られない結果になったと考えられる。

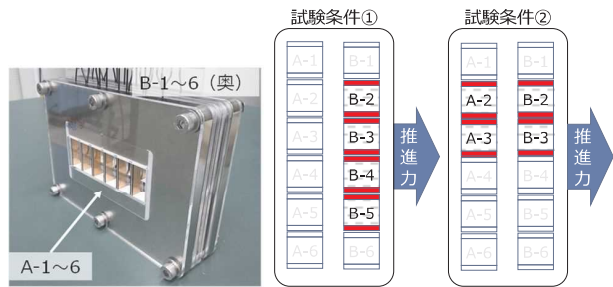


Fig.10 試験条件

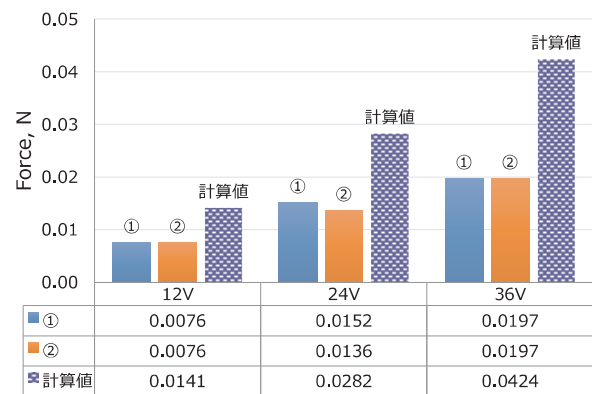


Fig.11 推進力測定結果

4. まとめ

本稿では、小型船舶の姿勢制御を行う新しい機構の開発を目指して、永久磁石を用いた電磁推進機構の考案と、その基本的特性の評価結果について報告した。

理論計算で得られるほどの推進力は見込めないが、基本ユニットを連続配置することで推進力を増大できることを本研究により確認した。今後、基本ユニットの連続配置により実用レベルを目指した研究に取り組んでいく予定である。

参考文献

- (1) 「海水」『フリー百科事典 ウィキペディア日本語版』. 2022年3月1日(火) 05:20 UTC, URL: <https://ja.wikipedia.org/wiki/海水>

新規カルサイト型球状炭酸カルシウムの用途開発

—光拡散用途のための光学特性評価—

谷口秀樹・江田善昭・安友政登

工業化学担当

Light diffuser plates using novel calcite-type spherical calcium carbonate

Hideki TANIGUCHI・Yoshiaki EDA・Masato YASUTOMO

Industrial Chemistry Section

要 旨

県内石灰企業が開発した新規カルサイト型球状炭酸カルシウムの新用途としてLED照明カバーやディスプレイなどに使用される光拡散板を試作した。ポリカーボネートに粒子径の異なる球状炭酸カルシウムをそれぞれ混練した後にシート状に成形しヘーズ度（曇り度）や分散度を評価した。その結果、粒子径は小さいものが全光線透過率は高くヘーズ度も大きくなることがわかった。しかしながら市販の光学機能グレードとは性能差があるので、引き続き検討を行う。

1. はじめに

1.1 本県の石灰製造産業

多くの鉱物資源を輸入する我が国であるが、石灰石は自給可能な数少ない鉱物資源の一つであり、全国で産出される。石灰石の主な用途はセメント、コンクリート骨材、鉄鋼などである。生産量は142,211千トン(平成30年)であり、このうち大分県が生産量は27,040千トン(同年)で全国の19%を占めて全国一であり、津久見市を中心に石灰石、生石灰、消石灰、炭酸カルシウム、漆喰、石灰乾燥剤などの石灰製造産業・セメント産業が集積している。

1.2 炭酸カルシウムの用途

炭酸カルシウムは産業に不可欠の材料であり、道路舗装材、ガラス、鉄鋼、冶金、排煙脱硫黄・中和、土壌改良、ゴム・プラスチック用フィラー、食品添加物、製菓など多くの産業に用いられている。

炭酸カルシウムを製造方法で大きく分類すると、石灰石を機械粉砕した天然炭酸カルシウムと化学反応によって合成した合成炭酸カルシウムとに分けられる。前者を重質炭酸カルシウム、後者を軽質炭酸カルシウムと呼んでいる。

合成炭酸カルシウムは軽微質炭酸カルシウムとコロイド状炭酸カルシウムとに分けられ、例えばゴム用途では、前者は未加硫ゴムの増容充填材（増量剤）として用いられ、ゴムに適度な可塑性を与え、加工性に優れ、縮みや型崩れが小さく、仕上がり表面が良好なゴム製品が得ら

れる。一方、後者は表面を脂肪酸などで改質し補強充填材として用いられ、表面処理によってゴムへの分散性が良好で加硫ゴムの引張強さや引裂強さ、耐摩耗性などの補強性を持ちつつ、多く配合しても伸びの大きいゴム製品が得られる。

プラスチック用途では、機能性向上や加工性改善、コスト削減の目的でポリ塩化ビニル(PVC)やポリプロピレン(PP)、ポリエチレン(PE)などの汎用樹脂に多く使用され、PVCでは加工性やコスト削減のために重質炭酸カルシウムが広く利用されている一方、合成炭酸カルシウムはゴム用途同様に表面改質によって、耐衝撃性の向上や揺変性付与効果などの特性が発現されるため、機能性フィラーとして使用されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

最近では表面処理によって表面を中性化した中性化炭酸カルシウムによってポリエステル系樹脂の加水分解抑制効果や、樹脂成型品の白色度向上効果、平滑性向上効果、摺動特性向上効果が見いだされ炭酸カルシウムの新しい用途が広がっている⁽⁴⁾。

1.3 新規カルサイト型球状炭酸カルシウム⁽⁵⁾

県内N社では化粧品原料用として安定なカルサイト結晶構造でありながら球状形状した炭酸カルシウムを開発して上市している。球状炭酸カルシウムNL-QCシリーズは医薬部外品原料グレードとしてファンデーションと使用されている。また工業用グレードのカルグレインシリーズは艶消し、アンチブロッキング、感触改良、研磨な

どに使用されている⁽⁶⁾。

本研究ではこの炭酸カルシウムの新しい用途開発として球状形状から期待できる光拡散性に着目し液晶ディスプレイやLED照明カバーを構成する光拡散板用フィラーとして用いることを目的に研究を行った。

光拡散板はマトリックスとなる透明樹脂に光拡散剤と呼ばれる微粒子を添加することによってあるいは表面に塗布することによって光拡散性が発現する。この光拡散性はマトリックス樹脂と光拡散剤の屈折率差と光拡散剤の粒子径に大きく依存する⁽⁷⁾。

2. 実験方法

2.1 試料

光拡散用フィラーとして県内N社製カルサイト型球状炭酸カルシウムCG10と開発品のCG5, CG3, CG2を用いた。中心粒子径はそれぞれ10 μm と5 μm , 3 μm , 2 μm

である。この他、N社から提供された光拡散用の他社製のアクリル粒子及び炭酸カルシウム粒子も比較用に評価した。

このうちCG10の走査電子顕微鏡像(SEM)をFig.1に示す。

混練する樹脂は汎用グレードのポリカーボネート(PC)を用いた。また比較対照として光学機能グレードPCの高拡散率品と低拡散率品を用いた。PCは混練前に120 $^{\circ}\text{C}$ 6時間の予備乾燥したものを用いた。

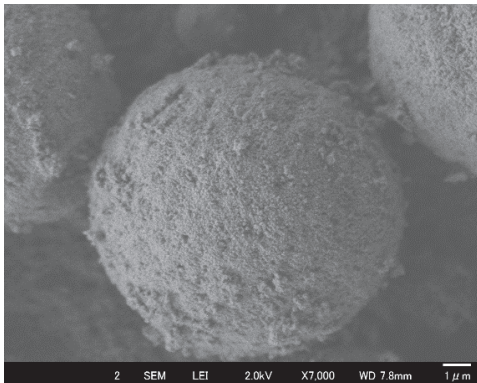


Fig.1 カルサイト型球状炭酸カルシウムCG10

2.2 試験片作製

(1) 混練

PCと炭酸カルシウムの混練には東洋精機製作所製混練性・押出性試験機ラボプラストミル10C100を用い、ミキシング部にはチャンバー容積60mLのR60を用いた。混練条件をTable 1に示す。

Table 1 混練の諸条件

No.	項目	条件
1	混練温度	250~270 $^{\circ}\text{C}$
2	ミキサ回転速度	50~100rpm
3	樹脂予熱時間	1分
5	混練時間	2~5分
6	投入量(CC/PP)	5~20%

(2) t=0.5mm シート作製

得られた混練物を井元製作所製小型加熱プレス IMC-1817によってシートを作製した。

Table 2 シート成形条件

No.	項目	条件
1	成形温度	250~290 $^{\circ}\text{C}$
2	プレス時間	10~30秒
3	スペーサ厚	0.5mm

(3) t=1.0mm, 1.5mm シート作製

得られた混練物をいったん井元製作所製小型射出成形機TMC-18D1によってJISK7139タイプB1試験片を成形した後に前記小型加熱プレスによってt=1.0mmとt=1.5mmのシートを作製した。

Table 3 射出成形およびシート成形条件

No.	項目	条件
1	射出成形温度	280 $^{\circ}\text{C}$
2	金型	JISK7139タイプB1
3	スペーサ厚	1.0mm, 1.5mm

2.3 ヘーズ評価

ヘーズ測定は日本電色工業製濁度計NDH5000を用いた。ヘーズ値は全光線透過率と拡散透過率から次式によって求める⁽⁸⁾。

$$\text{ヘーズ}(\%) = \frac{\text{拡散透過率}}{\text{全光線透過率}} \times 100$$

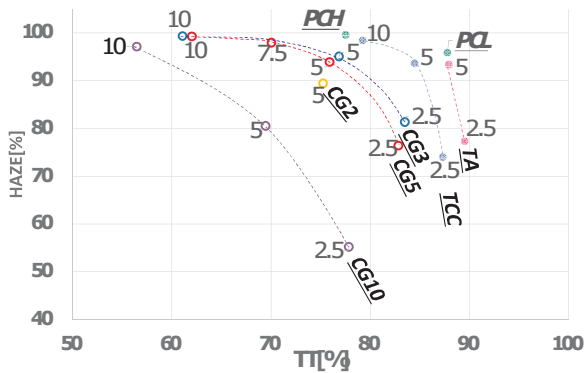
2.4 透過光角度強度分布測定

透過光角度強度分布測定は村上色彩技術研究所製変角光度計(ゴニオフォトメータ)GP-200を用いた。測定は試料ごとに予備測定による感度チェックをして照射光量を調整する方法にした。また、透過光角度強度分布結果から0度における輝度が50%に減少する角度を分散度として全光線透過率と分散度の関係を求めた。

3. 結果と考察

3.1 混合割合と全光線透過率とヘーズ

CG10, CG5, CG3, CG2, 他社炭酸カルシウム(TCC)及び他社アクリル粒子(TA)を2.5%~10%混練したシート



フィラー

CG10, CG5, CG3, CG2 : N 社球状炭カル

TCC : 他社炭酸カルシウム

TA : 他社アクリル粒子

フィラー混合率 : 2.5~10%

(プロットの数字はフィラー混合率(%))

PCH, PCL : 光拡散グレード PC (高・低拡散)

シート厚さ : 0.5mm

Fig. 2 フィラー混合率と全光線透過率 (TT) [%] とヘーズ [%] の関係

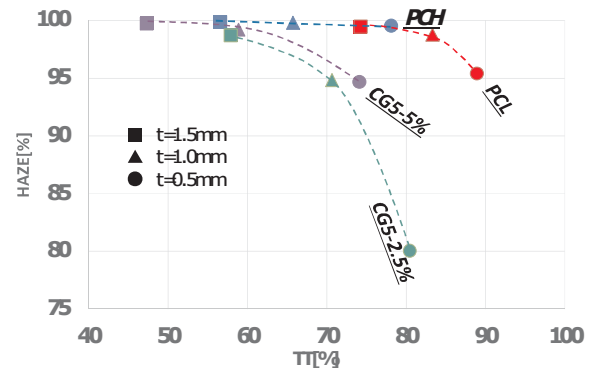
及び比較のための光学機能グレードの高拡散率品 (PCH) と低拡散率品 (PCL) をシートにしたものの全光線透過率 (TT) とヘーズの関係を図. 2 に示す。このプロットでは TT が高くヘーズの高い右上の位置が光拡散材として性能がよい。

いずれのフィラーも混合率を上げるとヘーズ高くなるが TT は下がる。光学機能グレードの PCH, PCL はアクリルなどの有機マイクロ粒子が混合されているもので、PCH は TT 77.5%/ヘーズ 99.6%, PCL は TT 87.8%/ヘーズ 95.6% だった。

CG シリーズでは CG3 と CG5 はほぼ同じ TT/ヘーズでありわずかに CG3 が CG5 よりも光拡散材として優れているのは粒子径によるものと考えられる。粒子径の大きな CG10 は CG3, CG5 に比べて光拡散性能は一段下がる。これら CG のうち PCH に近い位置にあるものは CG3-5% 混合品で TT 76.9%/ヘーズ 95.0% であり、次が CG5-5% 混合品で TT 75.9%/ヘーズ 93.9% だった。次に PCL に最も近い位置には CG はなく、CG 以外では PCH, PCL と同じアクリル粒子の TA-5% であり TT 87.9%/ヘーズ 93.4% だった。CG と同じ炭酸カルシウムである TCC は CG3 よりも優れている。

3.2 シート厚とヘーズ

CG5 について 5% と 2.5% 混合品についてシートの厚さを 0.5mm から 1.0mm, 1.5mm に増加させたときの TT/ヘー



フィラー : N 社球状炭カル CG5

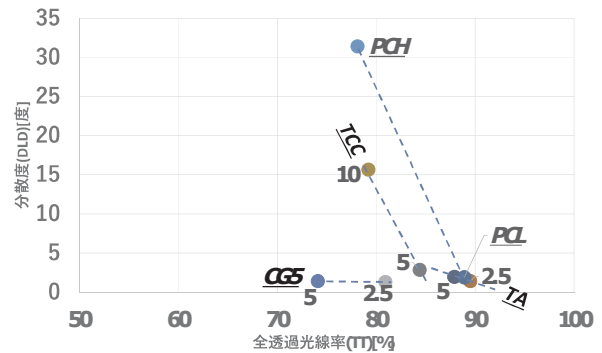
混合率 : 2.5%, 5%

PCH, PCL : 光拡散グレード PC (高・低拡散)

シート厚さ : 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm

Fig. 3 シート厚さと全光線透過率 (TT) [%] とヘーズ [%] の関係

ズを評価した結果を図. 3 に示す。比較として PCH, PCL についてもシート厚を変化させてプロットした。いずれもシート厚を増加させるとヘーズは高くなるが TT は下がる。PCH は t=0.5mm が 99.6% であるためにヘーズは高止まりのまま変化せずに TT のみ下がる。PCH の t=1.5mm は CG5-2.5% の t=1.5mm とほぼ同じ位置になる。ただし PCL を用いれば同じ 1.5mm でヘーズは高いまま TT が高い製



フィラー

CG10, CG5, CG3, CG2 : N 社球状炭カル

TCC : 他社炭酸カルシウム

TA : 他社アクリル粒子

フィラー混合率 : 2.5~10%

(プロットの数字はフィラー混合率(%))

PCH, PCL : 光拡散グレード PC (高・低拡散)

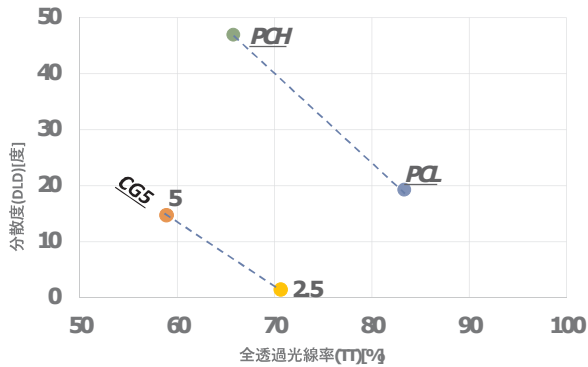
シート厚さ : 0.5mm

Fig. 4 分散度と全光線透過率 (TT) [%] の関係

品が得られるため、CG5-2.5%-t=1.5mmの優位性が限定的と思われる。

3.3 分散度と全光線透過率及び透過光角度分布強度

分散度と全光線透過率の関係を Fig. 4 及び Fig. 5 に示す。分散度は拡散性の簡易的な指標になる⁽⁹⁾。Fig. 2, Fig. 3 と同様にグラフの右上に行くほどが透過性と拡散性に優れていると言える。Fig. 4 (t=0.5mm) では PCH は分散度 31.4/TT 78.1 であり他のフィラー混合物よりも拡散性に優れている。TCC-10% は Fig. 2 では PCH に近い位置であるが分散度は 1/2 であった。厚さが 2 倍の Fig. 5 (t=1.0mm) では PCH は分散度 47.0/TT 65.8 となり Fig. 2 と同じように分散度は上がるものの TT は下がる。



フィラー
CG5 : N 社球状炭カル
 フィラー混合率 : 2.5, 5%
 (プロットの数字はフィラー混合率(%))
PCH, PCL : 光拡散グレード PC (高・低拡散)
 シート厚さ : 1.0mm

Fig. 5 分散度と全光線透過率 (TT) [%] の関係

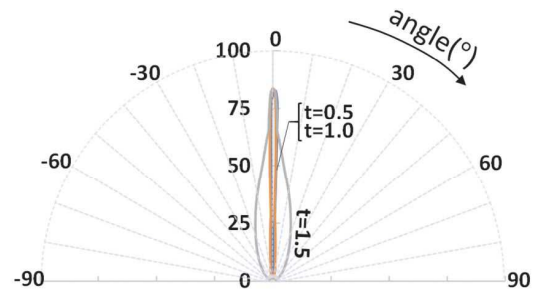
CG5 は t=0.5mm では混合量が 2.5% でも 5% でも分散度は 1.3 と 1.4 であり変化しないが、t=1.0mm では 2.5% では 1.5 であるが、5% では 14.8 に上昇する。

分散度の詳細について検討するために、透過光角度分布強度を測定した。結果を Fig. 6-1~6-4 に示す。

シート前面に幅広い角度に光が拡散されると分布は円形になる。また透過率が大きいと円の大きさが大きくなる。今回の測定方法では 2.4 に記載したとおり、測定試料ごとに照射光量を調整させているので試料間の円の大きさを単純に比較することはできない。なお、照射光量を一定にして比較する測定方法もある。

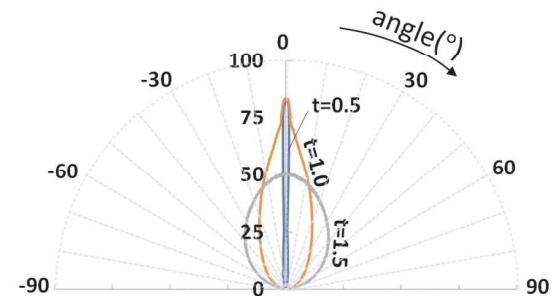
Fig. 6-1 と Fig. 6-2 には CG5 の 2.5% 及び 5% 混合の厚さが 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm の透過光角度分布強度を示す。

2.5% 混合では 0.5mm と 1.0mm では 0 度の直進方法にししか光が進んでいないため形状はつぶれた形状となる。1.5mm



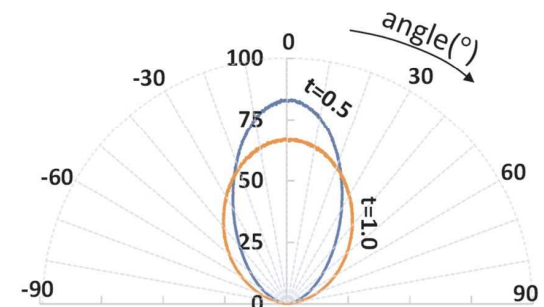
フィラー : CG5 : N 社球状炭カル
 フィラー混合率 : 2.5%
 シート厚さ : t=0.5mm, 1.0mm, 1.5mm

Fig. 6-1 透過光角度分布強度



フィラー : CG5 : N 社球状炭カル
 フィラー混合率 : 5%
 シート厚さ : t=0.5mm, 1.0mm, 1.5mm

Fig. 6-2 透過光角度分布強度



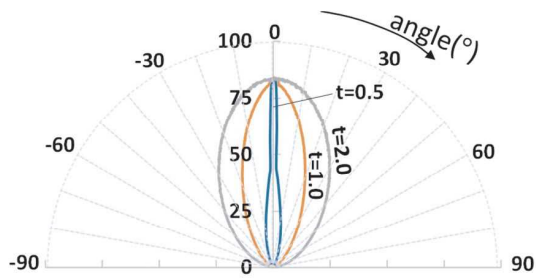
PC : PCH
 シート厚さ : t=0.5mm, 1.0mm

Fig. 6-3 透過光角度分布強度

にすると広い角度に光が分散し出している。5% 混合では 0.5mm では直進のみであるが、1.0mm, 1.5mm では広い角度に拡散していることがわかる。

Fig. 6-3 に PCH の透過光角度分布強度を示す。CG5 に比べて 0.5mm でも広い角度に拡散し、1.0mm ではより広い角度に拡散している。Fig. 6-4 は PCL の透過光角度分布

強度を示す。0.5mm では一部拡散しているものの直進しているが 1.0mm では拡散性が向上している。1.0mm を 2



PC : *PCL*

シート厚さ : t=0.5mm, 1.0mm, 2.0mm (1.0mm × 2)

Fig. 6-4 透過光角度分布強度

枚重ねて測定した 2.0mm は 1 枚で 2.0mm とは異なるとは考えられ参考値とであるが拡散性は向上する。

4. まとめと今後の方針

昨年度に引き続き新規カルサイト型球状炭酸カルシウムの用途拡大のために PC に混練し光拡散性能評価した。本年度は比較のために他社製の 2 種類の光拡散粒子を加えて検討した。また、これまでプレス成形では気泡が生じていたことからシート厚さを 0.2~0.5mm 程度の厚さのものしか作製できなかったが、新たに簡易射出成形機を導入して厚さ 4mm の短冊試験片を作製してからプレス成形で 1.0mm や 1.5mm のシートを作製できるようになったので、シート厚とヘーズ、全光線透過率の関係を検討することができた。さらに、変角光度計による分散度及び透過光角度分布測定により新規カルサイト型球状炭酸カルシウムの光拡散性能や光拡散材の適用用途を検討することができた。これまでの検討では、先行する光拡散粒子や光学機能グレード PC の光拡散性能とは性能差があることがわかってきた。今後は、PC と並んで光拡散用途に用いられているアクリル樹脂 (PMMA) との混練品の性能評価、曲げや引張強さなどの力学特性について検討を行い、引き続きカルサイト型球状炭酸カルシウムの用途開発を目指す。

謝辞

本報告で用いた炭酸カルシウムやその他の拡散粒子は株式会社ニューライムから提供を受けた。透過光角度強度分布測定は岡山県工業技術センターの指導を受けて機器を借用した。ここで謝意を表します。

参考文献

(1) 炭酸カルシウム添加によるポリプロピレンの衝撃特

性の改善, 安田篤司ら, 愛知県産業技術センター報告 (2002)

- (2) 炭酸カルシウム添加によるポリプロピレン耐衝撃性の向上—混練方法が衝撃強さに与える影響について—, 今西秀明ら, 高分子論文集, Vol. 58, No. 9, P. 480-485 (2001)
- (3) 自動車用ポリプロピレン複合材料, 森富悟ら, 住友化学技術誌, 2010-I, P. 4-17 (2010)
- (4) 炭酸カルシウムの樹脂用途への新しい展開, 江口健一郎ら, 無機マテリアル学会, 26, 35-40 (2019)
- (5) 日本国特許 6242583
- (6) (株)ニューライムホームページ
<https://www.newlime.jp/>
- (7) 液晶 TV 用光拡散板の開発, 金光昭佳ら, 住友化学技術誌, 2007-I, P. 4-12 (2007)
- (8) JIS K7136 プラスチック—透明材料のヘーズの求め方
- (9) LED 照明用光拡散材の開発, 斉藤直彦, 東亜合成グループ年報 TREND, 第 16 号, P16 (2013)

品種の異なる裸麦の醸造適性の評価に関する研究

山本優・後藤優治・松田みゆき・佐野一成・江藤勸

大分県産業科学技術センター 食品産業

Evaluation two types of naked barley to suitable for brewing

Yu YAMAMOTO・Yuji GOTO・Miyuki MATSUDA・Kazunari SANO・Susumu ETO

Food industry section in Oita industrial research institute

要 旨

六条裸麦は味噌・焼酎などの醸造利用が多く、原料麦の吸水率を調節することはそれら醸造製品の品質に影響を与える重要な要素である。本研究は従来品種「トヨノカゼ」と新品種「ハルアカネ」についてそれぞれの吸水特性に注目し、醸造利用における両品種の適性について調べた。

搗精試験の結果、ハルアカネはトヨノカゼに比べて搗精時間を長く要した。搗精にかかる時間が長いことは麦の硬度に起因すると考えられ、麦の硬度もトヨノカゼよりハルアカネの方が硬いと考えられた。吸水特性としてトヨノカゼはハルアカネに比べて吸水速度が速いことが明らかになった。一方、吸水時間が長くなるにつれてハルアカネの吸水率がトヨノカゼを上回り、ハルアカネはトヨノカゼよりも最大吸水率が高い特徴が認められた。これらの吸水特性は両品種の硬度の違いに由来するのではないかと推察された。

両品種を使って焼酎用麴を試作したところ麴の品質自体に明瞭な違いは認められなかったが、試作したそれぞれの麴を用いて麦焼酎を仕込んだ場合、ハルアカネのもろみでは発酵の遅れが確認された。この現象について引き続き原因を調査し改善するよう検討する。

1. はじめに

六条裸麦は麦ごはんとして食されるほかに、味噌・麦焼酎の原料としても利用されている。現在大分県では醸造利用にトヨノカゼが用いられているが、2020年にハルアカネが奨励品種として認定され、今後大分県内においてハルアカネの醸造利用が予想される。本研究では、トヨノカゼとハルアカネについて搗精・吸水・製麴・焼酎仕込みについて両品種を比較することで、ハルアカネの味噌・焼酎の利用に役立てることを目的とした。

2. 実験材料

本研究には、大分県農林水産研究指導センター農業研究部水田農業グループから提供された2018～2020年産トヨノカゼ・ハルアカネと大分県味噌醤油組合から提供された2021年産トヨノカゼ・ハルアカネを用いた。

3. 実験方法

3.1 搗精試験

搗精にはサタケ製テストミル TM05B(装置条件：ロール#40, 1100rpm)を使用した。一回につき玄麦150gを投入し、搗精した麦を1.7mmメッシュのふるいにかけて破砕粒や糠分を除去後に重量を測定した。搗精前の重量に対して60～65%になるまでこの操作を繰り返し、要した時間を比較した。¹⁾

3.2 吸水試験

精麦した麦10gを底面が多孔状の金属製遠心管に入れ、25℃の恒温水槽に浸漬した。目標時間に達したところで容器ごと水槽から引き上げ、遠心分離(TOMMY RX200, ロータ：TS-39H, 2800rpm, 2分間)にて水切りした。遠心分離後に重量を測定し、重量の増加率を吸水率としてそれぞれを評価した。^{2), 3)}

3.2.1 時間ごとの吸水率の変化

2018年から2021年産の両品種の麦を15分・30分・45分・60分・90分・120分・180分間それぞれ吸水させ、一定時間における両品種の吸水率を比較した。

3.2.2 最大吸水率

3.2.1と同じく、時間を6時間・24時間・27時間・29時間吸水させ両品種の最大吸水率を調べた。

3.3 製麴

2021年産の両品種の麦を用いて標準的な焼酎製麴法に準じて⁴⁾ 焼酎用白麴を試作した。種麴にはピオック K 型菌を使用した。試作した麴の評価に際して、一般的に焼酎製造に用いられる二条皮麦白麴を加えて並行試験を行った。

3.3.1 Brix・pH 測定

麴 100g を 300ml フラスコにとり、70℃の湯 200ml を加えて 56℃で 1 時間糖化させた。糖化液を No. 2 ろ紙（東洋濾紙）にてろ過し、ろ過した糖化液について Brix と pH を測定した。Brix はデジタル屈折計（ATAGO DBX-55）、pH は pH メーター（東亜 DKK MM-60R）を使用した。⁵⁾

3.3.2 酸度測定

国税庁所定分析法^{6), 7)}に従って各麴の酸度を測定した。

3.3.3 糖化力測定

キッコーマンバイオケミファ社製糖化力測定キットを用いて測定手順に従い各麴の糖化力を調べた。

3.4 麦焼酎の小仕込み試験

3.3 で試作した 2 種類の麴と、二条皮麦白麴を用いて焼酎の小仕込み試験を行った。酵母は大分酵母（dry）を使用し、100 mg/kg になるように復水したものを一次仕込み時に添加した。一次もろみの状態で 6 日間発酵させ、6 日目に使用した麴と同じ品種の蒸麦を加え二次仕込みを行った。一次仕込みから合計 17 日間発酵させた。一次もろみ・二次もろみともに発酵容器の上部にメイセル管を取り付け、気相トラップ部分には濃硫酸を入れた。仕込み配合を Table 1 に示した。

容器ごと重量を測定し各もろみの一日当たりの減少量から発酵経過を調べた。

発酵日数の 13・15・17 日目に二次もろみの一部を採取してアルコール度数を調べた。^{6), 7)}

Table 1 麦焼酎仕込み配合

	一次仕込み	二次仕込み	合計
麦麴 (g)	100	-	100
掛け麦 (g)	-	200	200
汲み水 (ml)	120*	330	450
総量 (g)	220	530	750

*・・・汲み水の一部で乾燥酵母を復水した

4. 実験結果および考察

4.1 搗精試験結果

搗精試験の結果を Table 2 に示した。すべての年度でトヨノカゼに比べてハルアカネの搗精時間が長く、平均値で比較したところ両品種の間で 30 秒程度の差が確認された。裸麦に関する研究報告⁸⁾によると穀粒硬度はトヨノカゼよりハルアカネの方が高く、穀粒硬度が高いハルアカネは搗精時間も長くなると報告されており、本搗精試験の結果とも一致していた。

Table 2 各年度の搗精歩合と搗精時間

年度	ハルアカネ		トヨノカゼ	
	搗精時間 (秒)	搗精歩合 (%)	搗精時間 (秒)	搗精歩合 (%)
2018	200	63.8	180	64.5
2019	200	65.0	160	62.8
2020	225	61.5	210	62.5
2021	207	64.5	147	62.7
平均値	208	63.7	174	63.1

4.2 吸水における両品種の特徴

吸水結果を Fig. 1~4 に示した。2018 年産ではすべての区でトヨノカゼの吸水率が高い結果となった。2019・2020 年産の 60 分以下ではトヨノカゼが高く、120 分を超えるとハルアカネの方が高くなっていった。2021 年産では 60 分までは両品種とも同程度だったが、90 分を超えたところでハルアカネが高くなっていった。以上の結果をまとめると、60 分以下の吸水時間では、吸水速度はハルアカネよりトヨノカゼが速い傾向があった。一方、2019・2020・2021 年産において吸水時間が長くなるにつれてハルアカネの吸

水率上回っていたことに注目し、両品種の最大吸水率について調べた。

最大吸水率について Fig. 5~8 に示した。各年度に共通してハルアカネはトヨノカゼに比べて最大吸水率が高い特性があることが明らかとなった。⁹⁾

また、各年度において 24 時間付近で最大吸水率に到達した後に吸水率が減少しているのは、麦に含まれる水溶性成分が溶出して重量が減少したためと考えられた。

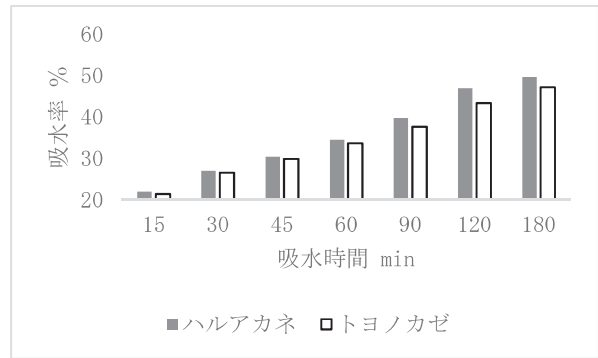


Fig. 4 2021年産裸麦吸水率の変化

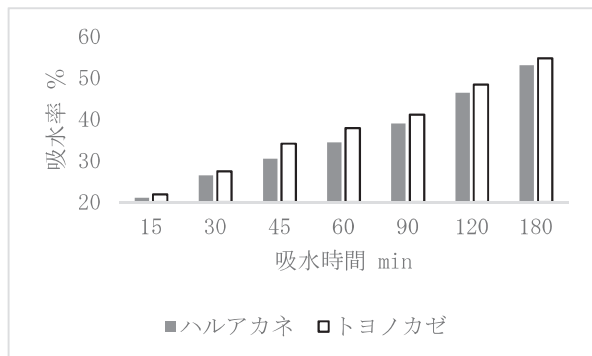


Fig. 1 2018年産裸麦吸水率の変化

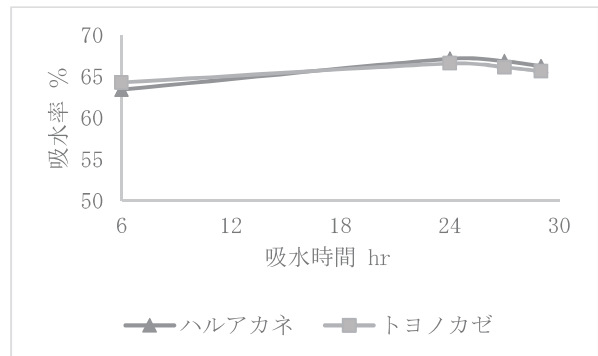


Fig. 5 2018年産裸麦最大吸水量

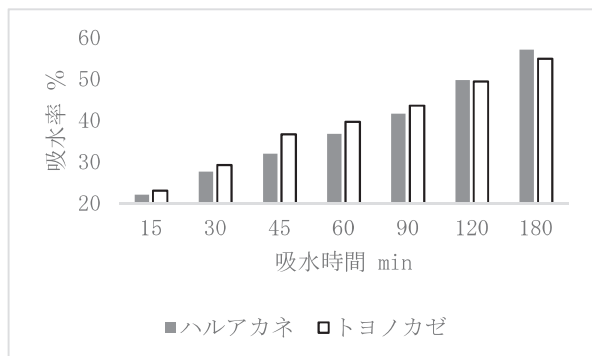


Fig. 2 2019年産裸麦吸水率の変化

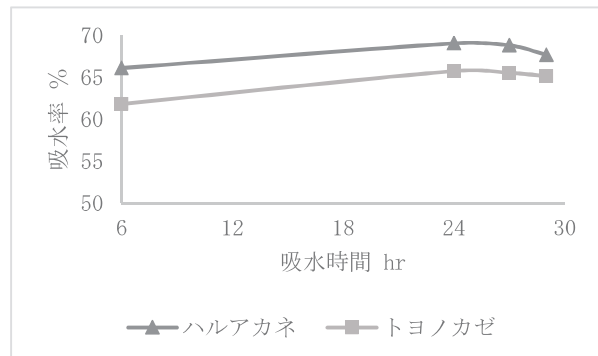


Fig. 6 2019年産裸麦最大吸水量

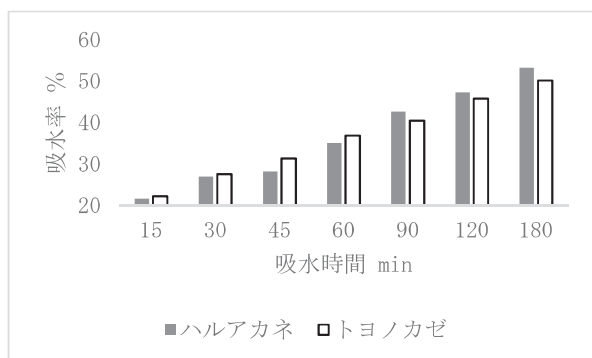


Fig. 3 2020年産裸麦吸水率の変化

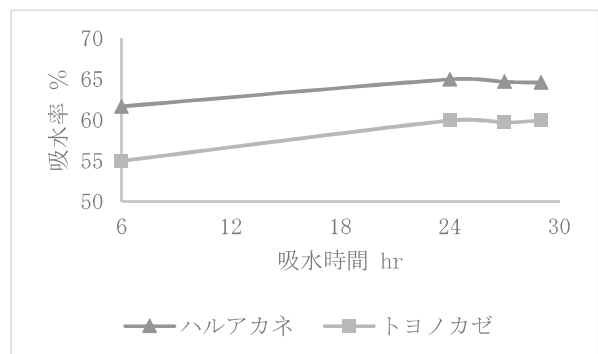


Fig. 7 2020年産裸麦最大吸水量

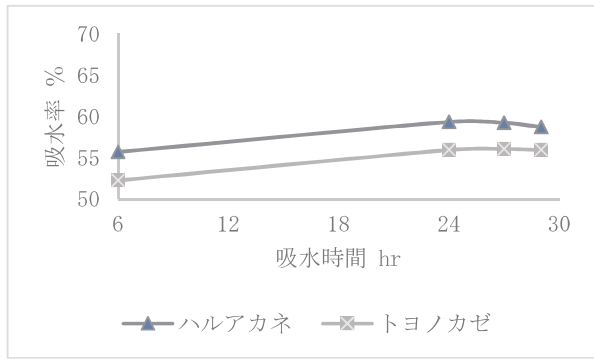


Fig. 8 2021年産裸麦最大吸水量

4.3 製麴および麦焼酎仕込み試験結果

各麴についての分析結果を Table 3 に示した。焼酎麴には酸の生成が必要であるがハルアカネ・トヨノカゼとも酸度は十分であり、pHについても大きな差はみられなかった。糖化力の最も高かったトヨノカゼは Brix も最も高い値を示した。しかし、もろみのアルコール度数 (Table 4) では、トヨノカゼは対照よりも低くハルアカネと同程度となっていた。つまり、焼酎の仕込みにおける糖化力は3以上あれば十分であると考えられた。

Table 3 麴の品質評価

	Brix	糖化力 (U/g 麴)	pH	酸度
ハルアカネ	14.8	3.03	3.08	5.34
トヨノカゼ	16.0	5.25	3.14	5.98
対照	12.4	3.01	3.01	4.89

Table 4 各もろみのアルコール度数

	13日目	15日目	17日目
ハルアカネ	12.5	13.6	14.0
トヨノカゼ	13.7	14.4	14.1
対照	15.1	15.2	15.1

単位はすべて%

小仕込み試験についてもろみ発酵経過を Fig. 9 に示した。3種類のもろみのうちハルアカネの減少量が最も少ない結果となっていた。さらに、二次仕込み後の7日目から10日目にかけてハルアカネは明らかに他に比べて減少量

が小さいことが確認された。これはもろみのアルコール度数 (Table 4) の数値とも相関があり、13日目と15日目のアルコール度数が他と比べて低い結果となっていた。つまりハルアカネで仕込んだもろみでは発酵が他よりも遅れる特徴があることが分かった。

最終的にはハルアカネのアルコール度数もトヨノカゼと同程度になっているが、発酵の遅れによるもろみの低アルコール状態は雑菌汚染のリスクが高くなるため、この現象は改善されることが望まれる。

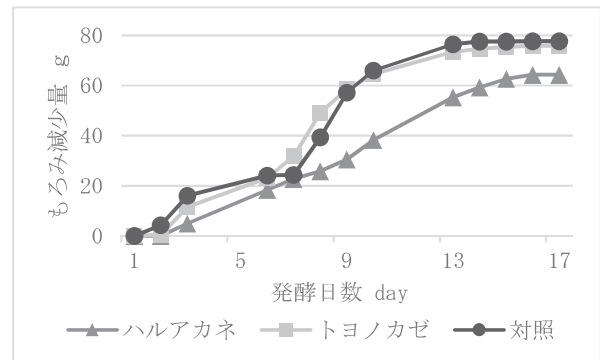


Fig. 9 もろみ発酵経過

5. まとめ

ハルアカネはトヨノカゼよりも搗精にかかる時間が長く、ハルアカネの穀粒硬度が高いことに関係していた。また、ハルアカネは麦が硬いためトヨノカゼに比べて吸水速度が遅くなるのではないかと推測された。一方、最大吸水率を調べたところハルアカネはトヨノカゼよりも最大吸水率が高い特徴があることが明らかとなった。

麴について、トヨノカゼとハルアカネの間で明確な差は見られず、麴原料として両品種を用いた場合では同程度の麴ができるものと考えられた。しかし、品種別に麦焼酎の仕込みを行った場合、ハルアカネで仕込んだもろみは二次仕込み後の発酵経過に顕著な遅れが確認された。麴の持つ糖化力は十分であると考えられることから、発酵の遅れは麦のデンプンあるいは発酵中の糖組成に原因があるものと推測された。

6. 今後の展開

年度ごとの栽培条件により醸造適性が変化する可能性も考えられるため、新年度のサンプルについても確認試

験を行う。

今回、焼酎の仕込み試験において確認されたハルアカネの発酵の遅れについて原因を明らかにするとともにトヨノカゼと同様の発酵経過になるように改善する。関連して発酵途中の糖組成の変化についても注目し両品種の違いについて調べる。

引き続き焼酎だけでなく、味噌についても役立てられるよう製麹試験・仕込み試験を実施し両品種の醸造適性を調べる。

参考文献

- (1) 塔野岡ら 九州農業研究報告第59号平成9年5月
- (2) 奥田将生・上用みどり・福田央・玉村隆子 「泡盛用原料米の白米水分及び碎米化が吸水性に及ぼす影響と二度蒸しによる蒸米吸水率の向上」 醸協, **112** (9), 629 (2017)
- (3) 大森俊郎・長野壮一・手島菜奈子・下田雅彦 「精麦歩合が異なる焼酎原料大麦の成分分析および吸水性」 醸協, **87** (7), 527 (1992)
- (4) 日本醸造協会 本格焼酎製造技術
- (5) 石田莉菜・小坂忠之 栃木県産業技術センター 平成30年度研究報告
- (6) 第三回改正 国税庁所定分析法
- (7) 酒類総合研究所標準分析法注解
- (8) 西日本農業研究センター2019年報告 吉岡藤治・杉田知彦 「「早生・多収で高品質の六条裸麦新品種「ハルアカネ」」
- (9) 大森俊郎・下田雅彦 「焼酎原料大麦の吸水に関する研究」 醸協, **87** (5), 373 (1992)

EMC 試験における AI の活用に関する研究 (第 1 報)

浜野遼太郎・首藤高德・後藤和弘
電子・情報担当

Research on the use of AI in EMC testing (1st Report)

Ryotaro HAMANO, Takanori SHUTO, Kazuhiro GOTO
Electronics and Information Technology Section

要 旨

放射イミュニティ試験中の試験者の負担軽減と、AI のシーズ蓄積を目的とし、今年度は、先行研究事例の検証、録音環境の構築、音からの誤動作検知手法の検証に取り組んだ。

1. はじめに

電波暗室で行う規格試験の中に、電子機器に妨害波を照射し、誤動作が発生しないことを確認する放射イミュニティ試験がある。この試験では、試験者が長時間にわたり電子機器の状態を監視しておく必要があり、試験者への負担が大きい。

これに対し、山梨県産業技術センターの中村らは、電波暗室内カメラからのモニタリング映像に画像処理を施し、誤動作を検知・通知するアルゴリズム・システムの開発を行った⁽¹⁾。これにより、映像監視の負担の軽減と試験の支援が可能となった。

一方で映像の他に、誤動作時の音が監視対象として挙げられ、本研究では AI によりこの問題の解決に取り組む。同時に、近年急速に発展する AI 技術についてのシーズを蓄積し、企業支援への利活用を目指す。

今年度は、先行研究の映像から誤動作を検知・通知するシステムを導入・検証した。また、放射イミュニティ試験で利用可能な録音環境の特性評価の実施、および、電子機器の誤動作音をパターン分けし、疑似的な誤動作音を作成して AI での誤動作検知を行った。

2. 映像の誤動作検知システム

2.1 誤動作検知システムのアルゴリズム

動作の流れを説明する。概要図を Fig.1 に示す。

1. カメラ映像から 1 フレーム画像を取得。
2. 切り抜き、グレースケール化、モザイク化。
3. 2 の画像を、窓の幅 Δn 枚分蓄積。
4. 蓄積した画像のモザイクセル毎に、FFT をかけた結果を保持。

5. 次のフレームでも 1~4 を行い FFT の結果を得る。
6. モザイクセル毎に FFT の結果を比較し、大きく異なるセルをカウント。
7. カウント数が閾値を超えた場合、誤動作を検知し試験者に通知。

フーリエ変換した結果を比較することにより、例えば、電子機器の表示の周期点滅状態が、消灯状態へ遷移するなどの誤動作を検知可能になることが期待される。

2.2 環境構築

山梨県産業技術センターより、先行研究のサンプルコードを頂き、改良と環境構築を行った。システム構成を Fig.2 に示す。動作には、Intel i5-3470 3.20GHz, RAM8GB, システム SSD 512GB, Windows10 Professional の PC を用いた。動作時の画面を Fig.3 に示す。図の右上のウィンドウ中の赤色部が変化を検知した領域となる。

2.3 検証結果

当所での過去の放射イミュニティ試験から、誤動作のパターンとして代表的なものを 3 つ列挙し、誤動作を模擬する映像をそれぞれ作成し、誤動作検知システムの動作を検証した。

- A) LED の常時点灯 ⇄ 消灯
- B) LED の 1Hz の周期点滅 ⇄ 消灯
- C) LED の 1Hz の周期点滅 ⇄ 点灯

その結果、全てについて状態の変化を検知することができた。アルゴリズムの仕様上、電子機器の挙動に応じて適切にパラメータを選ぶ必要があるが、試験での活用が期待できる。

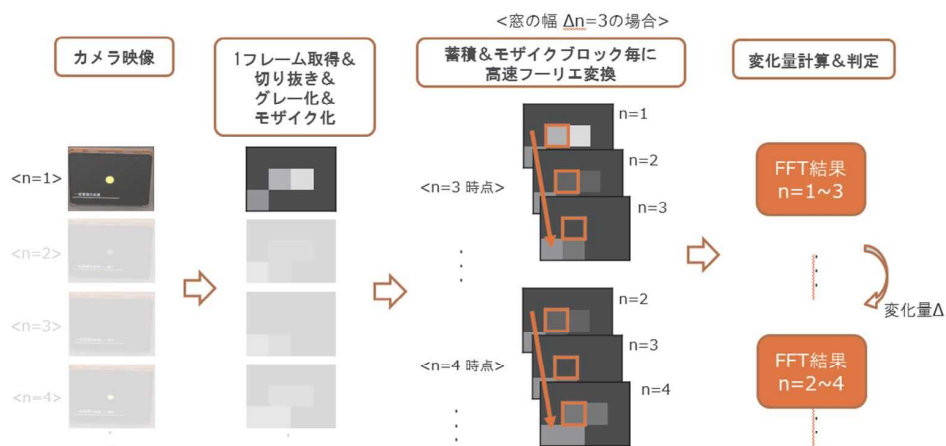


Fig. 1 先行研究の誤動作検知アルゴリズムの概要図



Fig. 2 映像の誤動作検知システムのシステム構成

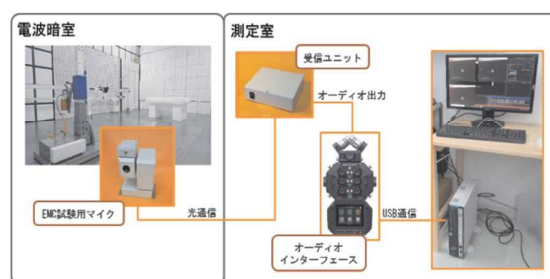


Fig. 4 録音環境



Fig. 3 映像の誤動作検知システム動作画面

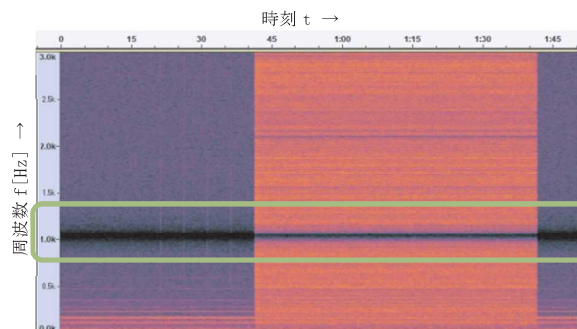


Fig. 5 放射イミュニティ用マイクのスペクトログラム

3. 音の誤動作検知システム

3.1 録音環境の特性評価

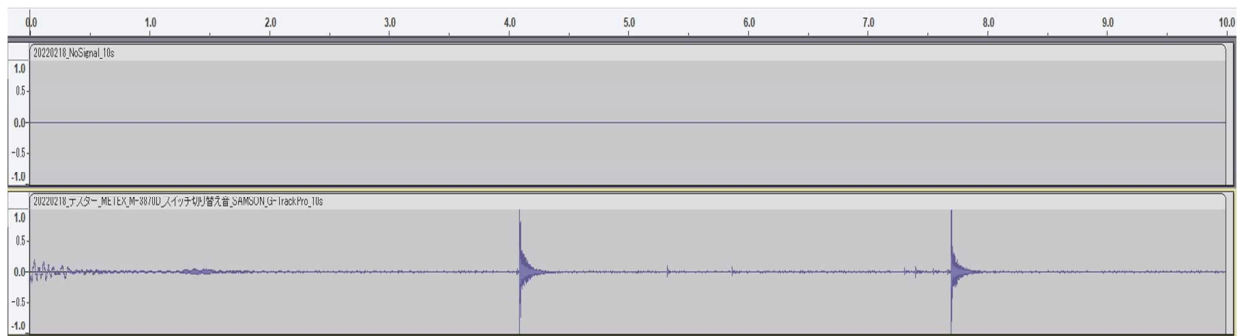
放射イミュニティ試験中の電波暗室内の音を PC へ取り込み AI で判定させる際、録音環境が試験へ影響を与えず、かつ、妨害波が録音環境へ与える影響が小さいものが望ましい。そこで、放射イミュニティ試験用のマイクである、コロナ電子工業株式会社製の COS-006 のデモ機を取り寄せ、録音環境を構築した。システム構成を Fig. 4 に示す。そして、①妨害波が録音に与える影響、②マイクの周波数特性を確認した。

①は、妨害波あり/なしでの録音データを聞き比べて確認し、聴覚上差を感じることはなかった。

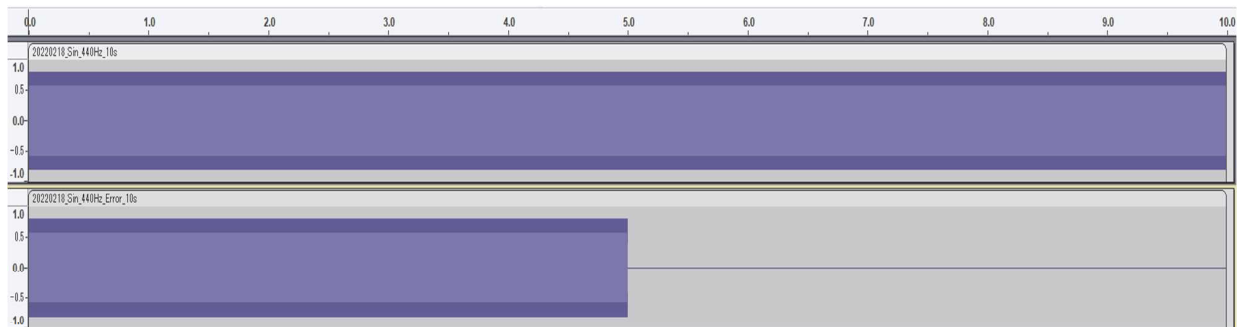
②は、ホワイトノイズをスピーカーから再生し、放射

イミュニティ試験用マイクで録音することで評価した。

Fig. 5 に録音データのスペクトログラムを示す。枠で囲う 1kHz の帯域のレベルが極端に落ちていることが分かった。放射イミュニティ試験では、妨害波に 1kHz の AM 変調をかける。この変調信号がマイクの信号へ重畳することを防ぐために、1kHz のバンドリジェクションフィルタが入っている可能性がある。試しに、検証したデモ機以外のマイクで録音したところ、妨害波の出力中に 1kHz の大きなノイズが録音された。この点については、今後の検討事項の 1 つである。



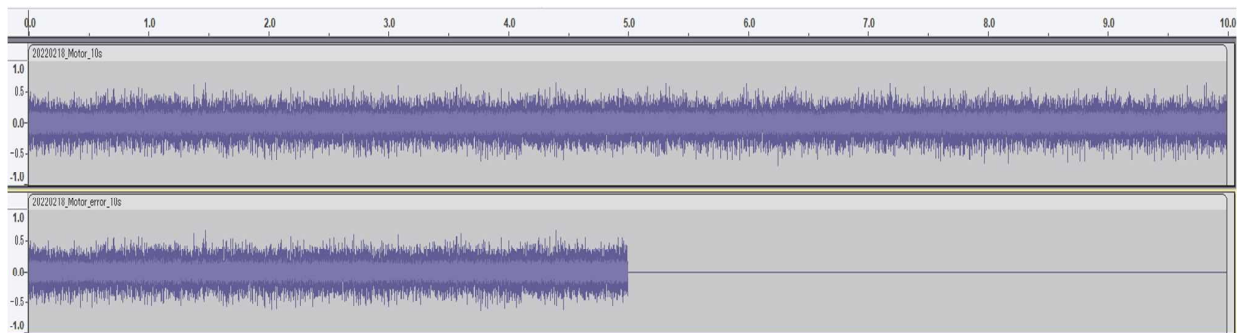
(a) 正常動作：音が出ない → 誤動作時：インパルスが生じる



(b) 正常動作：周期波が鳴り続ける(正弦波 440Hz) → 誤動作時：音が止まる



(c) 正常動作：心電図音のような音 → 誤動作時：音が止まる



(d) 正常動作：モーターが一定速度で動作 → 誤動作時：モーターが止まる

Fig. 6 誤動作の疑似的な合成音データ 4 パターン (上段：正常動作時の音, 下段：誤動作時の音)

3.2 疑似的な誤動作音の作成

放射免疫試験に持ち込まれる電子機器の挙動は様々である。そこで、Fig. 6 に示す通り、想定される誤動作の代表例を4つ挙げ、誤動作の疑似的な合成音データを作成した。上段は正常時の録音データであり、AI の学習に用いる。下段は、誤動作時の録音データであり、誤動作時点を AI が検知できるかテストデータとする。Fig. 6(a)では、無音状態を正常動作とする。そして、インパルス状の音が生じるのを誤動作とし、検知することを目標とする。Fig. 6(b)では、常に一定の周波数の音(正弦波 440Hz)が鳴り続けている状態を正常動作とする。Fig. 6(c)では、心電図のような音が鳴り続けているのを正常動作とする。Fig. 6(d)は一定速度で動作するモーターの音である。そして、Fig. 6(b)~(d)のいずれも途中で音が鳴らなくなるのを誤動作とし、これを検知することを目標とする。学習データ、テストデータ共に、441000 サンプル(サンプリング周波数 44.1kHz, 10秒)、32bit浮動小数点のwavファイルである。

3.3 AI による誤動作検知の検証

誤動作検知のアルゴリズムには、時系列データの教師無し学習を用いた。具体的には、正常動作時の音を入力し、出力に同じ波形が出るよう学習した AI モデルの、入力データと出力データの差の2乗を取り0~1に正規化し、0.8を超える点を誤動作として検知した。

時系列データの教師無し学習の AI モデルとして Auto Encoder と LSTM を試した。学習・推論には Google Colaboratory 上で、Keras を利用した。GPUは一貫して、Tesla K80, GPU メモリは12GBを選んでいる。

AutoEncoder の条件は次の通りである。全5層、入力層から出力層までのノード数は 250→200→100→50→100→200→250、活性化関数は中間層 ReLu, 出力層 Sigmoid, 誤差関数は平均二乗誤差, 最適化手法は Adam 法, ミニバッチサイズ100, エポック数10。

LSTM の条件は次の通りである。Units 数4, 窓の幅 lookback250, 損失関数は平均二乗誤差, 最適化手法は Adam 法, ミニバッチサイズ100, エポック数10。

3.4 検証結果

誤動作検知判定の時系列データを Fig. 7 に示す。誤動作を模擬したテストデータと、AutoEncoder・LSTM 両手法で誤動作検知判定のグラフを並べている。

Fig. 7(a)と(b)では、両手法とも良好な結果が得られた。Fig. 7(c)については、両手法とも音の立ち上がりを誤動作として判定しており、音が止まったことを検知

することができなかった。これは、どちらのモデルも入力窓の幅が250サンプルと、動作音の周期よりも小さく、音と音の間の無音の区間を正常として学習しているため、音が途切れた後の無音区間を正常と判断していると考えられる。窓の幅を動作音の周期より大きくすれば改善する可能性はあるが、窓の幅を広くすると計算時間が大きくなる問題がある。

Fig. 7(d)のケースでは、LSTM のみ変化をとらえることができた。これは、LSTM の持つモデルの表現能力の高さがもたらす結果だと考えられる。

また、Table 1 に判定の結果と学習時間・推論時間を示す。Table 1 の推論時間を見ると、両手法共に10秒のデータに対して2倍以上要しており、このままではリアルタイムでの誤動作検知が難しい。計算時間を短くする点も今後の課題である。

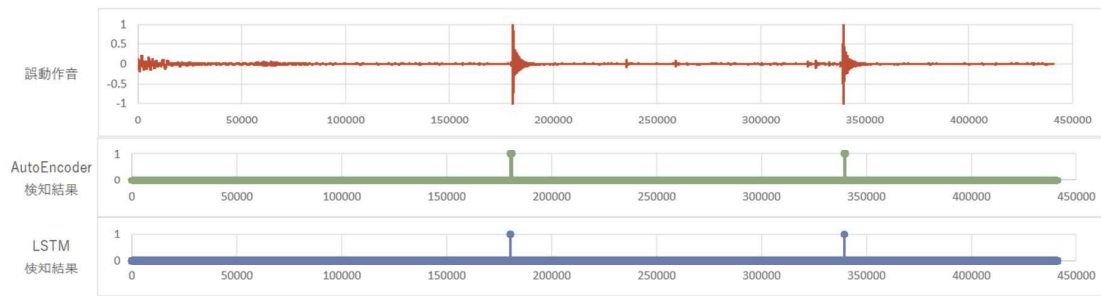
4. まとめ

映像からの誤動作検知については、先行研究事例の導入・検証し、代表的な誤動作を映像から検知できることを確認した。

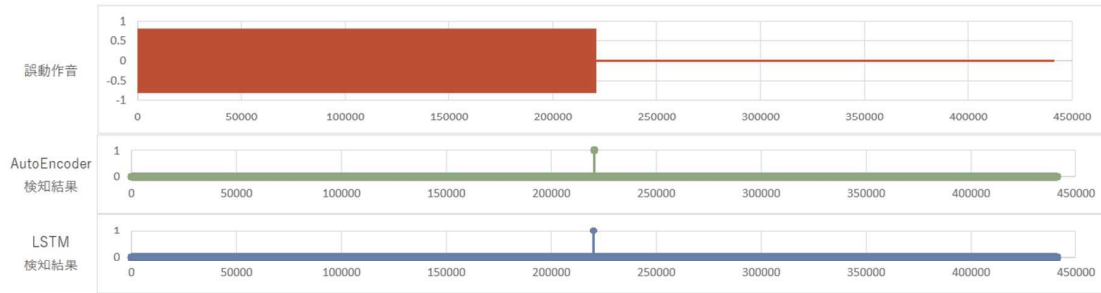
音からの誤動作検知については、録音環境の構築と検証を行い専用の録音機材に制約があることを確認した。また、疑似誤動作音を作成し、AI での異常検知を試みた。今後は、録音機材についての検討と、AI モデルの最適化や別手法の適用に取り組む。

参考文献

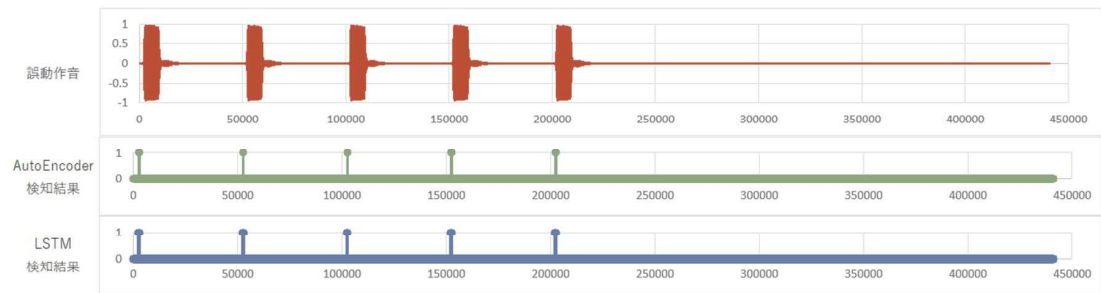
- (1) 中村卓, 木島一広, 清水章良, 河野裕. イミュニティ試験における誤動作判断支援システムの開発. 平成28年度山梨県工業技術センター研究報告, pp. 74-77 (2017)



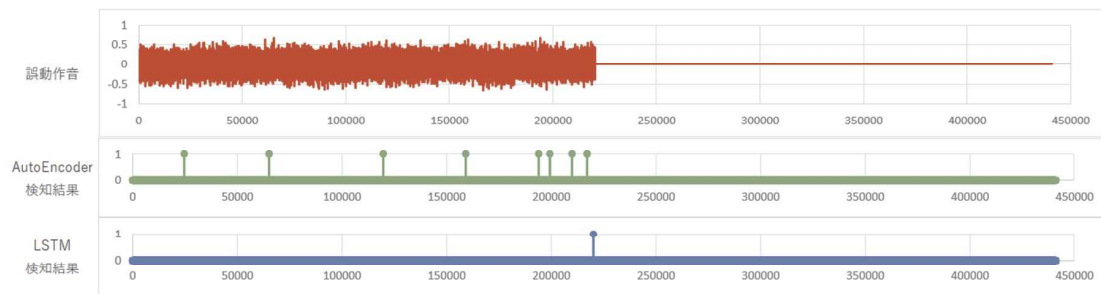
(a) 正常動作：音が出ない → 誤動作時：インパルスが生じる



(b) 正常動作：周期波が鳴り続ける(正弦波 440Hz) → 誤動作時：音が止まる



(c) 正常動作：心電図音のような音 → 誤動作時：音が止まる



(d) 正常動作：モーターが一定速度で動作 → 誤動作時：モーターが止まる

Fig.7 誤動作検知判定の時系列データ (上段：テストデータ, 中段：AutoEncoderの結果, 下段：LSTMの結果)

Table 1 誤動作検知結果

正常動作時の挙動	誤動作時の挙動	AutoEncoder			LSTM		
		結果	学習時間	推論時間	結果	学習時間	推論時間
(a) 音が出ない	インパルスが生じる	○	3min	21sec	○	21min	2min
(b) 周期波が鳴り続ける	音が止まる	○	3min	21sec	○	21min	2min
(c) 心電図音のような音	音が止まる	×	3min	21sec	×	21min	2min
(d) モーターが一定速度で動作	モーターが止まる	×	2min	22sec	○	21min	3min

磁気特性測定装置の比較評価

佐竹幸栄・下地広泰・沓掛暁史・城門由人・池田哲
電磁力担当

Evaluation of magnetic property measurement systems

Yukiharu SAYAKE・Hiroyasu SHIMOJI・Akifumi KITSUKAKE・Yukihito・KIDO・Tetsu IKEDA
Electromagnetic Section

要 旨

モータやトランスなどの電磁力応用機器に用いる最適な磁性材料を選定するため、正確な磁気特性を測定し、評価する試験器が必要である。測定装置には IEC, JIS の標準規格であるエプスタイン試験器や単板磁気試験器と、当センターでこれまで独自開発してきた応力負荷型単板磁気試験器がある。本稿では、AD/DA 変換器 HIOKI MR8827, 制御プログラム LabVIEW を用いて新しい測定制御システムを構築したうえで、同一電源制御系と同一ロットの電磁鋼板 50A1300 を用いて、各種標準測定器と応力負荷型単板磁気試験器の磁気特性測定結果を、試料サイズ、測定方法の観点から比較評価し、H コイル法による応力負荷型単板磁気試験器の優位性を明らかにした。

1. はじめに

電磁鋼板（けい素鋼板）は、モータや変圧器等の電気機器の鉄心材料として多く利用される軟磁性材料である。電磁鋼板の磁気特性は、これら電気機器の性能や体格に強く影響するため、正確な磁気特性を測定し、評価する試験器が必要である。IEC や JIS で規格されたエプスタイン試験器や単板磁気試験器では簡便性と再現性を重視しているため、正確性に欠ける。よって正確な測定法が必要である。そこで、当センターではそれぞれのニーズに応じて、これまで各種高精度磁気特性測定装置を独自開発してきた。しかし、これらの測定装置を同一条件下で比較しておらず、明確な差を示せていなかったため、本稿で比較評価した結果を報告する。

2. 測定装置

比較対象試験器は、Fig. 1 に示すエプスタイン試験器、単板磁気試験器（30mm 幅 SST₃₀、100mm 幅 SST₁₀₀、500mm 幅 SST₅₀₀）などの標準測定器と、Fig. 2 に示す当センターで独自開発した応力負荷型単板磁気試験器（S-SST₃₀）とする。

現在当センターにある試験器の測定システムで使用される AD/DA 変換器は YOKOGAWA WE7000 は販売が終了したため、新たに HIOKI の MR8827 を採用する。また使用している測定制御プログラムは MATLAB であるが、新たに National Instruments の LabVIEW を使用する。Power

amplifier はエヌエフ回路設計ブロック社のバイポーラ電源 BP4610 を、任意波形発生装置は HIKOI の U8793 を使用する。LabVIEW, HIOKI MR8827 を使用した新しい測定制御システムを Fig. 3 に示す。AD/DA 変換器と PC との通信は LAN ケーブルを通じて、すべて LabVIEW を使用して、測定制御する。Fig. 4 に測定制御画面を示す。

使用する電磁鋼板は 50A1300 で、同一ロットからワイヤ放電加工で切り出し、試料サイズは 30 mm×305mm, 100 mm×500mm, 500 mm×500mm とする。

測定制御システムは同一として試験器のみ変更しながら電磁鋼板の磁気特性を測定する。



Fig. 1 標準測定器



Fig. 2 独自開発した測定装置

3. 測定方法

完成した測定制御システムは測定法として励磁電流法を用いる。励磁電流法による磁気特性測定は、PC から LabVIEW を用いて U8793 での任意波形を発生させ、DA 信号を送る。アナログ変換後 Power amplifier によって信号を増幅させる。その信号により試験器の励磁コイルを励磁する。励磁周波数は 50Hz である。この磁界の変化によって発生する誘起電圧を測定し、AD 変換を行う。AD 変換後、磁束密度に変換し、所定の磁束密度が設定した振幅率、ひずみ率を満足する正弦波波形に収束するまで、制御を行う。U8793 の仕様により、DA 信号を一度に MR8827 に送信できるデータ数は 4000 点と決められているため、一回の測定時間短縮のため、測定データ数を 4000 点に決め、一度正弦波波形に収束させる。その後、データ数を 20000 点に補充し、もう一度収束し直す。測定条件は磁束密度 $B=0.4\sim 1.6\text{T}$ とし、収束条件は振幅率 0.1%、歪率 0.1% として測定した。

4. 測定結果

4.1 試料サイズによる比較

比較対象試験器として、SST₃₀、SST₁₀₀、SST₅₀₀ を用い、試料サイズ 30 mm×305mm、100 mm×500mm、500 mm×500mm による比較評価を行った。Fig. 5 に試料サイズによる比較評価を示す。(a)は最大磁束密度 0.4~1.6T までの磁界強度 H の変化を表したグラフである。(b)は比透磁率 μ_s の変化を表したグラフである。(c)は鉄損 P_w の変化を表したグラフである。鉄損が大きければ大きいほど磁気特性は悪い。この鉄損を中心として考え、(d)は SST₅₀₀ で測定した鉄損を基準とした時のそれぞれの試験器で測定した鉄損値との差分率を表したグラフである。(d)から SST₃₀ で測定した鉄損値は SST₅₀₀ に比べて全磁束密度で大きく、SST₁₀₀ では、磁束密度 B=1.4, 5, 6 では鉄損値が SST₅₀₀ に比べて小さくなっている。この結果から SST₅₀₀ を基準として試料サイズを小さくするほど鉄損値が大きくなることから、磁気特性が悪化していることが分かる。

4.2 測定方法による比較

比較対象試験器として、SST₃₀ と S-SST₃₀ を用い、試料サイズ 30 mm×305mm による比較評価を行った。磁界強度 H の測定法は励磁電流法 (MC 法) と H コイル法があり、S-SST₃₀ は、励磁電流法と H コイル両方同時に測定可能である。Fig. 6 に測定方法による比較評価を示す。(a)では、SST₃₀ は MC 法で、S-SST₃₀ は MC 法と H コイル法のそれぞれで測定した鉄損値を表したグラフである。(b)は、H コイル法で測定した鉄損値を基準とした時の MC 法で測定した鉄損値との差分率を表したグラフである。(b)から測定した全磁束密度で H コイル法より MC 法で測定した鉄損値が

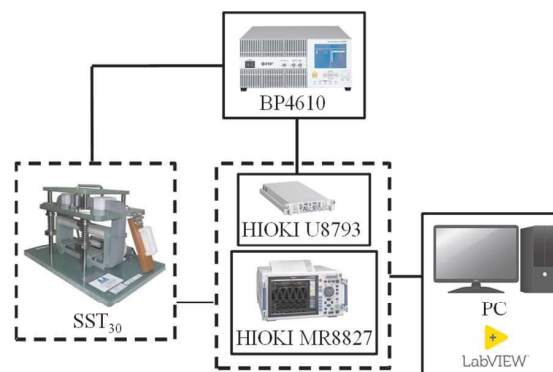


Fig. 3 測定制御システム

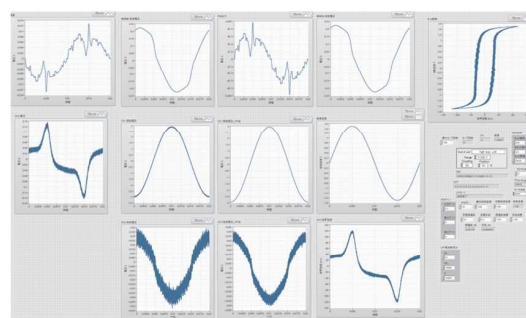


Fig. 4 測定制御画面

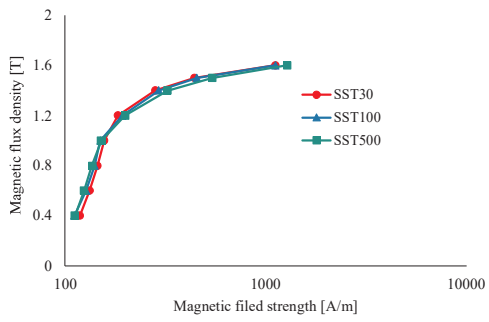
大きいことから H コイル法の方が高精度に測定可能であるため、結果的に磁気特性が良好と得られる。

4.3 試験器評価

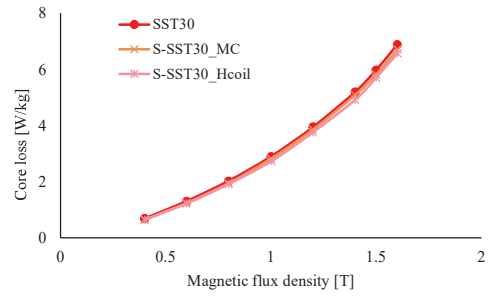
Fig. 7 に H コイル法で測定した鉄損を基準として MC 法による各試験器で測定した鉄損値との差分率を示す。Fig. 7 から、全磁束密度で試料サイズや枚数などに関係なく、MC 法より高精度に測定可能である H コイル法で測定した磁気特性は良好である。

5. まとめ

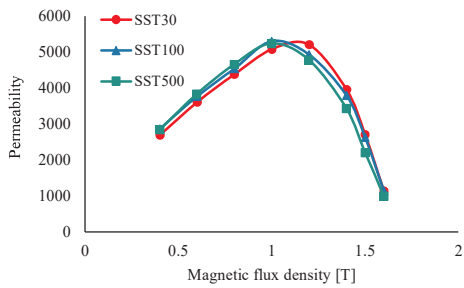
本稿では、HIOKI MR8827、制御プログラム LabVIEW を用いて新しい測定制御システムを完成させた。同一ロットから切り出した電磁鋼板の磁気特性を測定制御システムは同一としたまま試験器のみを変更しながら測定した。その結果から各試験器を比較評価し、当センターが開発した磁気特性装置の優位性を定量的に明らかにした。



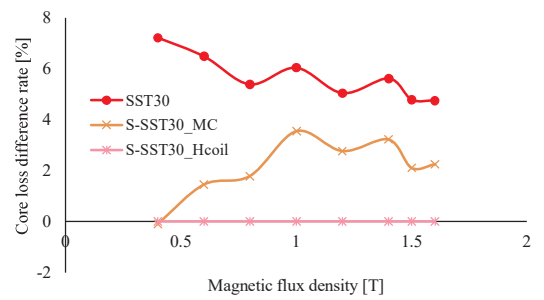
(a) 磁化曲線 (50A1300RD_50Hz)



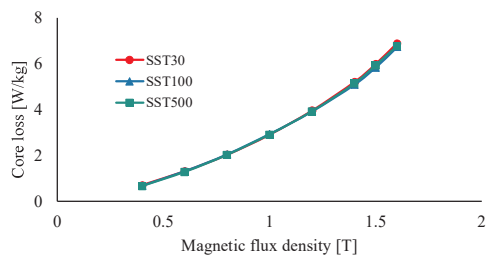
(a) 鉄損曲線 (50A1300RD_50Hz)



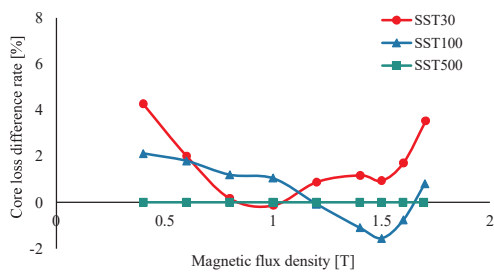
(b) 比透磁率曲線 (50A1300RD_50Hz)



(b) 鉄損差分率



(c) 鉄損曲線 (50A1300RD_50Hz)



(d) 鉄損差分率

Fig. 5 比較評価_試料サイズ

Fig. 6 比較評価_励磁電流法 (MC 法) と H コイル法

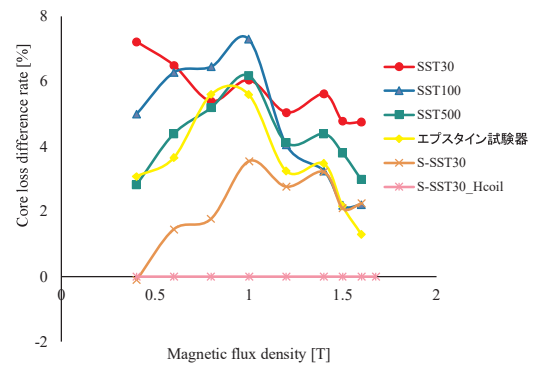


Fig. 7 鉄損差分率_全試験器

複合薄膜光触媒材料の応用に関する研究(第2報)

宮城友昭*・高橋芳朗*・園田正樹*・真有康孝*・水江宏**・秋本恭喜***

*金属担当・**機械担当・***企画連携担当

Research of the application of the composite photocatalytic thin films (2nd Report)

*Tomoaki MIYAGI・*Yoshiro TAKAHASHI・*Masaki SONODA・*Yasutaka MAARI・

Hiroshi MIZUE・*Yasuki AKIMOTO

*Metallurgy Section

**Machinery Section

***Planning and Coordination Section

要 旨

当センターで作製した複合薄膜光触媒材料($\text{TiO}_2/\text{WO}_x/\text{WO}_x\text{-SiO}_2$ の3層膜)の更なる機能向上と実製品への応用を目指すため、本研究に取り組んだ。本年度は、成膜時の基板温度と光触媒活性の関係およびアンモニア分解試験について調べた。また、本研究で得た結果や知見を基にして、県内企業との受託研究に取り組んだ。

1. はじめに

光触媒材料は、防汚・防曇をはじめ様々な機能を有しており、従来からの建築材料だけでなく、自動車や食品、医療機器部品などにも利用されている。また、抗菌・抗ウイルス性を持つことから、近年世界的に流行しているコロナウイルスへの感染防止技術の1つとして注目されている。その一方で技術的課題も残されており、可視光下での触媒作用の効率向上や基材表面への密着性の向上など、まだまだ改良の余地は多い¹⁾。我々はこれまで、スパッタリング法により TiO_2 薄膜をベースに可視光応答型光触媒として期待されている WO_x 薄膜と、親水性の向上を目的とした SiO_2 薄膜を組み合わせた薄膜光触媒材料の作製・評価を行ってきた。その結果、Fig.1 に示す TiO_2 薄膜と WO_x 薄膜と $\text{WO}_x\text{-SiO}_2$ 混合薄膜で構成される複合薄膜光触媒材料を開発して、 TiO_2 薄膜の場合と比べて3倍以上光触媒活性が向上していること、可視光下でも機能すること、そして高い親水性を示すことを確認した²⁾⁻⁴⁾。

本研究はその続きとして、光触媒としての機能の更なる向上や製品への応用を目指す。昨年度は、複合薄膜光触媒材料の $\text{WO}_x\text{-SiO}_2$ 混合薄膜の WO_x と SiO_2 の混合比が3:1の時に光触媒活性が最大になることや、成膜時の基板温度が低いとメチレンブルー分解試験時に剥離が見られたことを報告した⁵⁾。本年度は、その基板温度と光触媒活性の関係およびアンモニア分解試験について調べたので、以下に報告する。

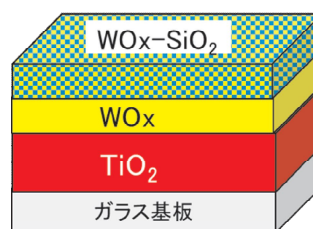


Fig.1 複合薄膜光触媒材料の構造図

2. 実験方法

2.1 基板

複合薄膜光触媒材料を作製する基板として、SUS304およびA5052(寸法: $\phi 2\text{inch} \times t1\text{mm}$)を用いた。まず、ダイヤモンド研磨紙で#240まで研磨したものを用意した。そして、成膜前にブロワーで表面の付着物を除去した。

2.2 スパッタリング装置

$\text{TiO}_2/\text{WO}_x/\text{WO}_x\text{-SiO}_2$ の3層膜をアルバック社製ヘリコンスパッタMUE-201C-HC3を使用して作製した。この装置の写真を図2に示す。MUE-201C-HC3は、成膜チャンバーにRFカソードが3台あり、試料ホルダーはそれらの上にセットする。また、チャンバー外部よりアルゴンガスや酸素ガスを導入できるようになっている。ガス流量はマスフローメータで調整する。



Fig.2 MUE-201C-HC3 の写真

2.3 成膜条件

スパッタリング装置で成膜する時の各パラメータを Table 1 に示す。

Table 1 成膜条件

	TiO ₂ 薄膜	WO _x 薄膜	WO _x -SiO ₂ 混合薄膜
チャンパー圧力	0.1 Pa	0.1 Pa	0.1 Pa
スパッタガス	Ar	Ar, O ₂	Ar, O ₂
ターゲット-試料間の距離	150 mm	150 mm	150 mm
RF 電力	50W	100 W	WO _x :50 W SiO ₂ :100 W
基板温度	300°C	室温 , 100°C , 200°C , 300°C	室温 , 100°C , 200°C , 300°C

2.4 分光光度計による光学特性評価

分光光度計(島津製作所 SolidSpec-3700)を使用して、作製した複合薄膜光触媒材料の光学特性(透過率および反射率)を測定した。測定した波長の範囲は、200~800nm である。

2.5 メチレンブルー溶液による光触媒活性の評価

複合薄膜光触媒材料の光触媒活性を評価するために、25μmol/L に希釈した 15mL のメチレンブルー溶液を用意した。この中に試料を浸し、紫外線もしくは可視光を照射して、3 および 6 時間経過後のメチレンブルー溶液を採取した。そして分光光度計により吸光度を測定し、初期のメチレンブルー溶液の濃度と吸光度の比から各経過時間後のメチレンブルー溶液の濃度を算出して濃度 - 時間プロットを作成した。プロットの傾きは、単位時間当たりに減少するメチレンブルー溶液の濃度を示しており、この絶対値が大きいほど光触媒活性は高いことを意味する。本研究では、この傾きの値の絶対値を反応速度

k : μmol/L/h とし、光触媒活性の大きさを示す数値として以降の図中に表記する。

2.6 アンモニア分解試験による光触媒活性の評価

複合薄膜光触媒材料の光触媒活性を評価するもう一つの方法として、アンモニア分解試験を行った。実験に使用したアンモニア水は、原液を蒸留水で 1% に希釈することで作製した。200×200mm のビニール袋の中に試料とアンモニア水 1mL を入れて封止し、アンモニア水を蒸発させて袋全体に充満させた。その後、袋外部から紫外線を照射し、3 および 6 時間経過後に検知管を挿入して、アンモニアの濃度を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜の基板温度と光触媒活性の関係

昨年度の研究結果より、最表層の WO_x-SiO₂ 混合薄膜の WO_x と SiO₂ の混合比が 3:1 の時に光触媒活性が最大になることを見出した。しかし、基板温度を室温にして中間層の WO_x 薄膜および最表層の WO_x-SiO₂ 混合薄膜を成膜した時、メチレンブルー分解試験後の試料表面を観察したところ、ピット状の剥離が見られた⁴⁾。その一方で、基板温度を 300°C にした時は剥離が見られなかったが、光触媒活性の低下が見られた。そこで、これら WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜を成膜した時の基板温度をより細かく調整して、基板温度と光触媒活性の関係性について段階的に調べた。

Fig. 3 に、SUS304 基板の温度を変化させて WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/WO_x/WO_x-SiO₂ の 3 層膜のメチレンブルー溶液による光触媒活性の評価(紫外線光源)の結果を示す。薄膜の構成は、TiO₂ 薄膜の膜厚が 200nm, WO_x が 100nm, WO_x-SiO₂ 混合薄膜が 20nm である。WO_x と SiO₂ のスパッタ電力の比率は 50W, 100W とした。この結果より、基板温度が低い時ほど光触媒活性が高く、WO_x 単層膜の光触媒活性と同様の傾向を示すことが分かった。

Fig. 4 に、SUS304 基板の温度を変化させて WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/WO_x/WO_x-SiO₂ の 3 層膜の光触媒活性の評価(LED 光源)の結果を示す。この結果より、紫外線光源の時と同様に、基板温度が低い時ほど光触媒活性が高いことが分かった。

また、Table 2 に SUS304 基板の温度を変化させて WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/WO_x/WO_x-SiO₂ の 3 層膜の水との濡れ性を示す。ブランクとは、何も成膜していない SUS304 基板である。この結果より、メチレンブルー溶液による光触媒活性の評価と同

様に、基板温度が低い時ほど親水性は向上することが分かった。

一昨年度の研究報告⁴⁾の中で、W_{0x}-SiO₂混合薄膜はアモルファスのW_{0x}とSiO₂の微粒子が交互に3次元的に混在するナノポーラス構造になっており、SiO₂の親水性によってメチレンブルー溶液が混合薄膜の内部に浸透して、混合薄膜の表面だけでなく内部でも光触媒反応が起こるといふ考察を述べた。SiO₂の親水性は、表面のシラノール基(Si-OH)に水分子が引き寄せられることに由来する。しかし、基板温度が高いと成膜している時に不安定なシロキサン結合(Si-O-Si)が形成されてしまうため、シラノール基の数が減少し、水の濡れ性が低下する。それ故に、混合薄膜中にメチレンブルー溶液が浸透しにくくなり、結果的に光触媒活性が低下したと考えられる⁶⁾。

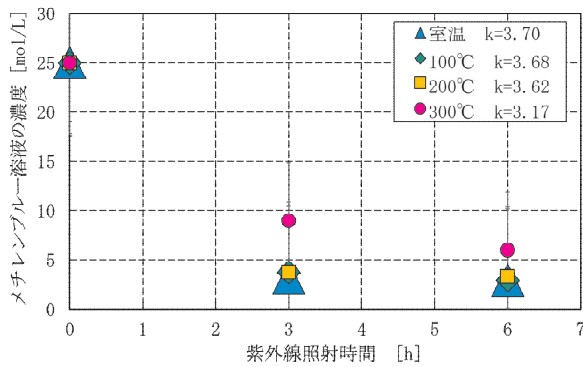


Fig. 3 SUS304 基板の温度を変化させて W_{0x} 薄膜および W_{0x}-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/W_{0x}/W_{0x}-SiO₂ の 3 層膜の光触媒活性評価(紫外線光源)

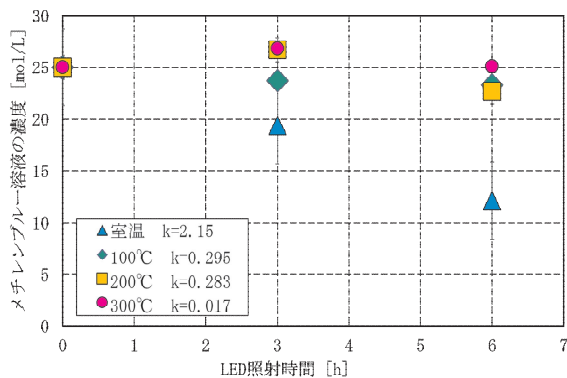


Fig. 4 SUS304 基板の温度を変化させて W_{0x} 薄膜および W_{0x}-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/W_{0x}/W_{0x}-SiO₂ の 3 層膜の光触媒活性評価(LED 光源)

Table 2 SUS304 基板の温度を変化させて W_{0x} 薄膜および W_{0x}-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/W_{0x}/W_{0x}-SiO₂ の 3 層膜の水との濡れ性

基板温度	水の接触角(deg)
ブランク	70
室温	10 未満
100°C	45
200°C	50
300°C	60

3.2 アンモニア分解試験による光触媒活性の評価

Fig. 5 に、SUS304 基板の温度を変化させて W_{0x} 薄膜および W_{0x}-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/W_{0x}/W_{0x}-SiO₂ の 3 層膜の光触媒活性の評価(紫外線光源)の結果を示す。ブランクとは、何も試料を入れていない状態で紫外線の照射のみを行ったものである。この結果より、基板温度が高い時ほどアンモニア分解性能が高く、メチレンブルー分解試験の結果と全く逆の傾向を示すことが分かった。

また、Fig. 6 に、SUS304 基板の温度を変化させて W_{0x} 薄膜および W_{0x}-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/W_{0x}/W_{0x}-SiO₂ の 3 層膜のアンモニア分解試験を 8 回行った後の表面の走査電子顕微鏡観察結果を示す。この結果より、基板温度が室温の時のみ、表面に太さ 3μm 程度の直方体状の副生成物が形成されていることが分かった。基板温度が 100°C および 200°C の時に表面に 1μm 以下の微細な副生成物が様に付着しているが、これは室温の時に現れた直方体状の副生成物の前駆体ではないかと考えられる。しかし、基板温度が 300°C の時に副生成物は見られなかった。また、基板温度が室温および 100°C の時に薄膜の剥離と見られる部分が観察されたが、200°C および 300°C の時に剥離は見られなかった。

次に、Fig. 7 に、SUS304 基板上に室温で W_{0x} 薄膜および W_{0x}-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/W_{0x}/W_{0x}-SiO₂ の 3 層膜の表面に形成された直方体状の副生成物の EDS によるマッピング元素分析結果を示す。この結果より、副生成物は N, O および W で構成されていることが分かった。これは、W_{0x}-SiO₂ 混合薄膜の W_{0x} とアンモニアから固相反応によって生成したパラタングステン酸アンモニウム ((NH₄)₁₀[H₂W₁₂O₄₂]_xH₂O) であると考えられる⁷⁾。この副生成物が表面を部分的に覆うことで、基板温度が低い時の光触媒活性が低下しているのではないかと考えられる。

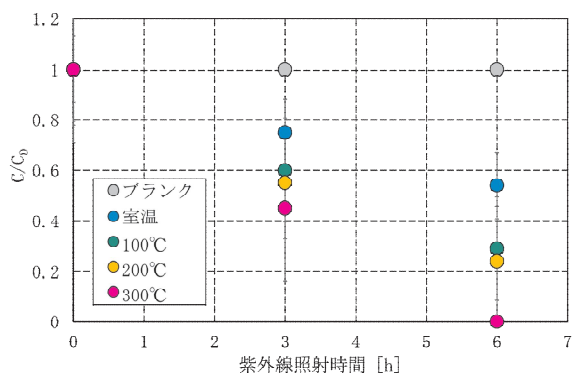


Fig. 5 SUS304 基板の温度を変化させて WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/WO_x/WO_x-SiO₂ の 3 層膜の光触媒活性評価 (紫外線光源)

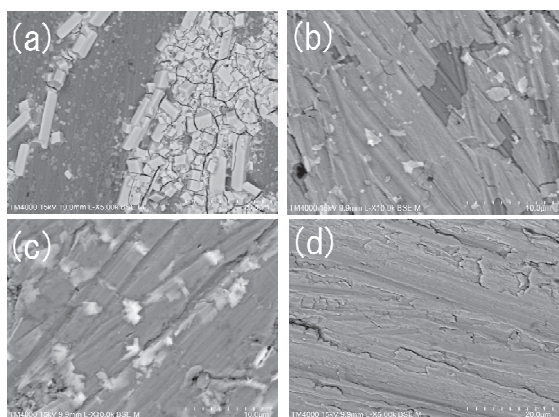


Fig. 6 SUS304 基板の温度を変化させて WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/WO_x/WO_x-SiO₂ の 3 層膜のアンモニア分解試験を 8 回行った後の表面の走査電子顕微鏡観察 (基板温度: (a) 室温, (b) 100°C, (c) 200°C, (d) 300°C)

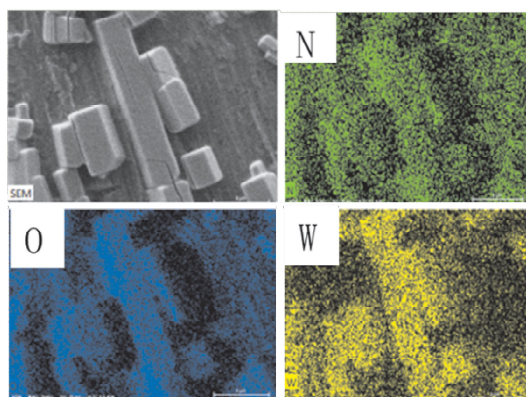


Fig. 7 SUS304 基板上に室温で WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜を成膜した TiO₂/WO_x/WO_x-SiO₂ の 3 層膜の表面に形成された直方体状の副生成物の EDS によるマッピング元素分析

4. まとめ

当センターで作製した複合薄膜光触媒材料 (TiO₂/WO_x/WO_x-SiO₂ の 3 層膜) の更なる機能向上と実製品への応用を目指すため, 本研究に取り組んだ. 本年度は, 成膜時の基板温度と光触媒活性の関係およびアンモニア分解試験について調べた.

(1) WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜の基板温度と光触媒活性の関係

- ・紫外線光源および LED 光源のいずれの光源でも, WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜を作製した時の基板温度が低い時ほど, 光触媒活性は向上することが分かった.
- ・親水性も, 基板温度が低い時ほど向上することが分かった.

(2) アンモニア分解試験による光触媒活性の評価

- ・メチンブルー分解試験とは逆に, WO_x 薄膜および WO_x-SiO₂ 混合薄膜を作製した時の基板温度が高い時ほど, アンモニア分解性能が高いことが分かった.
- ・基板温度が室温の時のみ, 直方体状の副生成物が形成されていることが分かった. 基板温度が 100°C および 200°C の時には, 表面に 1μm 以下の微細な副生成物が一様に付着していることが分かった. EDS による元素分析の結果, タングステン酸アンモニウムではないかという結論に至った.
- ・基板温度が室温および 100°C の時, 薄膜の剥離と見られる部分が観察された. 基板温度が 300°C の時は, 副生成物も剥離も一切見られなかった.

参考文献

- 1) 橋本和仁, 藤嶋昭: 図解 光触媒のすべて, オーム社, p75-77
- 2) 宮城友昭, 高橋芳朗, 園田正樹, 秋本恭喜: 機能性表面処理技術および評価に関する研究, 平成 29 年度大分県産業科学技術センター研究報告, p22-26
- 3) 宮城友昭, 高橋芳朗, 園田正樹, 秋本恭喜: 機能性表面処理技術および評価に関する研究, 平成 30 年度大分県産業科学技術センター研究報告, p7-11
- 4) 宮城友昭, 高橋芳朗, 園田正樹, 秋本恭喜: 機能性表面処理技術および評価に関する研究, 令和元年度大分県産業科学技術センター研究報告, p1-6
- 5) 宮城友昭, 水江宏, 園田正樹, 真有康孝, 高橋芳朗, 秋本恭喜: 複合薄膜光触媒材料の応用に関する研究, 令和 2 年度大分県産業科学技術センター研究報告, p1-6

- 6) 東保男, 田島義巳, 大島信男, 末廣建介: 球状シリカの合成とその熱的挙動, 窯業協会誌(1986), 94(6), p561
- 7) David Hunyadi, Imre Szilagyi, Attila Toth, Eszter Drotar, Tamas Lgrics and Gyorgy Pokol: Investigation the solid-gas phase reaction between WO_3 powder, NH_3 and H_2O vapor to prepare ammonium paratungstate, *Inorganica Chimica Acta* (2016), 444, p30

高糖度かんしょ「べにはるか」の加工特性評価について（第2報）

徳田正樹
食品産業担当

Evaluation of processing characteristics of
high sugar content sweet potato 'Beniharuka' (2nd Report)

Masaki TOKUDA
Food Industry Section

要 旨

高糖度、粘質系サツマイモの加工品開発に多くの食品企業が取り組む中、その技術相談に対応するため、当センターで加工利用に関する知見を蓄積し、その情報を県内企業に提供することを目的として、「べにはるか」の加熱加工特性について検討した。

焼成温度と時間について検討した結果、170℃、90分加熱が、焼きいも品質の安定性、作業時間の点から最も推奨できる方法であると判断した。また、中心温度の解析結果から、温度上昇が直線的である30℃から75℃までの所要時間が、140℃では、直径（以下サイズ）50mmサイズのものより60mmサイズが9分長くなった。170℃では8分、200℃では7分、それぞれ長くなった。このことから、焼成時間をサツマイモのサイズにより、適宜増減することで、安定的に良好な品質の焼きいもを製造できることがわかった。事業者が詳細な製造条件を決定する際の目安として利用可能と考えられる。

170℃、60～80分加熱、その後200℃まで昇温後10分加熱する2段階加熱法により、焼きいもの品質向上が可能であった。

さらに、糊化温度に近い65℃までの加熱を電子レンジで行うことで、加熱時間の短縮が可能であることが確認された。電子レンジの200Wで3～4分加熱することにより、170℃での焼成時間を30分程度短縮することが可能であった。

1. はじめに

サツマイモは、青果用以外にも焼酎用、デンプン用、加工用など様々な用途があり、用途別の品種育成も盛んに行われている。^①最近では、焼きいもや干しいも、スイーツなどが人気で消費も伸びている。特に、焼きいもはスーパーやコンビニでも販売され、専門店もできるなどブームとなっており、スイーツとしての地位を確立している。

その要因として、昔ながらのほくほくした食感ややさしい甘さの焼きいもからねっとりした食感で甘みの強い焼きいもへと変わってきたことが考えられる。高糖度で粘質系のサツマイモの消費は拡大しており、今後もしばらくは続いていくものと予想される。

九州沖縄農業研究センターが育成し、2010年3月に品種登録された「べにはるか」は高糖度、粘質系のサツマイモである。当県では、収穫後40日以上貯蔵し、甘みを十分に引き出した「べにはるか」を「甘太くん」（全農おおいの商標）のブランドで販売しており、生産拡大を進めている。

高糖度、粘質系サツマイモを使用した加工品開発が盛んに行われる中、その加工特性を評価し、加工利用の知見を得ることで適切な加工技術情報を県内企業に提供す

ることは重要な課題である。

昨年度は、「べにはるか」の糊化特性について検討し、品種、貯蔵期間等によって異なることが確認された。

そこで、本年度は「べにはるか」の加熱加工特性について検討することとした。

2. 実験方法

2.1 供試材料

農林水産研究指導センター農業研究部で栽培された「べにはるか」を収穫直後および44日貯蔵後に入手し、試験に供試した。

「べにはるか」は試験に供するまで、室温で保管した。

2.2 加熱方法

焼成は乾熱殺菌器（GRAVITY OVEN LG-122, TABAI）（以下オープン）を用いた。

庫内温度が設定温度（140℃、170℃、200℃）に到達後、焼成を行った。焼成後、常温で1時間放置後、分析に供した。

電子レンジ（JM-17E, Haier）による加熱についても検討した。

2.3 温度測定

熱電対温度ロガー (TR-75wb, ティアンドデイ) を使用して、サツマイモの中心温度、オープンの庫内温度を測定した。

2.4 糖度

焼成後の焼きいもの中央部を切り出し、ペースト状にすりつぶした試料 10g に蒸留水 20ml を加え、ろ過したろ液を、デジタル糖度計 (PR-201α, アタゴ) で測定した。

140℃, 170℃, 200℃いずれの設定温度でも、上段, 中段, 下段で温度上昇速度に差は見られなかった。

設定温度への到達時間は、140℃が 28 分, 170℃が 36 分, 200℃が 55 分であった。設定温度までほぼ直線的に昇温することが確認された。

また、オープンの扉の開閉時の温度変化は下段が最も大きかった。

以上の結果より、焼成は庫内温度が最も安定している上段で行うこととした。

3. 結果及び考察

3.1 オープン内部の温度分布

オープン庫内 (Fig. 1) の設定温度ごとの温度変化を測定した結果を Fig. 2 に示した。



Fig. 1 オープン庫内

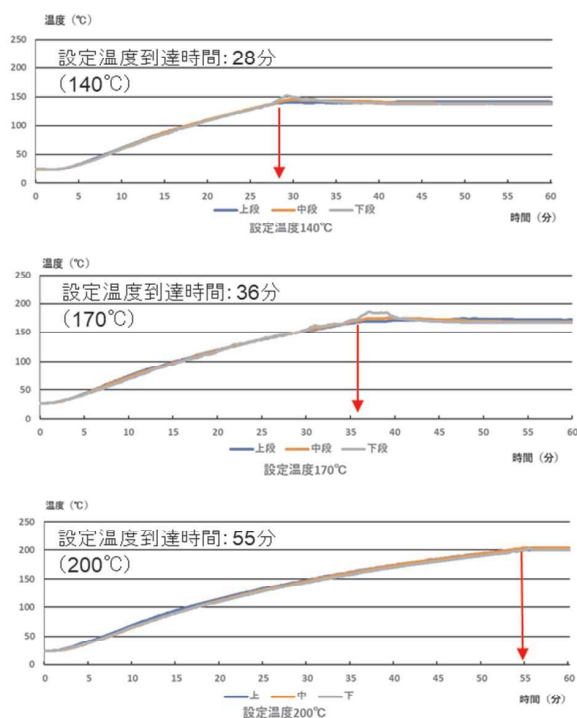


Fig. 2 オープン庫内の温度変化

3.2 焼成温度と時間

設定温度で一定時間焼成を行った焼きいもの品質を調査した結果について、Table 1 に示した。

収穫直後のサツマイモは試験に供するまで室温で保管していたため、44 日貯蔵後に入手したサツマイモと焼成後の品質にほとんど差がなく、併せて評価しても問題ないと判断した。

また、サツマイモの重量よりも太さ (サイズ) により、品質に差が見られたので、サイズごとに評価を行った。

Table 1 焼成条件と焼きいもの品質

焼成条件	直径 (mm)	減量率 (%)	糖度 (°)	評価	備考	
140℃	60分	<50	11.4	38.0	×	小さいサイズでも加熱不足
	90分	<50	15.8	33.4	△	わずかに固さ残る
		<60	12.3	30.3	×	中心部に固さ残る
	120分	<50	17.6	34.2	◎	ねっとり、クリーム状、甘み強い
		<60	16.0	35.4	◎	ねっとり、しっとり感も残る、甘み強い
	150分	<60	18.7	34.1	○	ねっとり、焦げなし
180分	<60	18.3	31.8	×	焼きすぎ部分あり	
170℃	60分	<40	22.1	45.9	◎	しっとり、甘み強い、90分と同等
		<50	14.5	38.9	○	しっとり、甘み強い
		<60	14.1	42.0	△	しっとり、やや加熱不足
	90分	<50	22.9	41.5	◎	ねっとり、蜜状、甘み強い、香りよし
		<60	17.2	37.2	◎	ねっとり、蜜状、甘み強い、香りよし
	120分	<50	31.5	44.1	○	周辺部こげ、わずかに固い部分あり
	<60	-	39.2	○	周辺部こげ、わずかに固い部分あり	
200℃	30分	<40	17.2	43.5	○	しっとり、甘み強い
		<50	14.1	40.2	○	しっとり、甘み強い
		<60	11.8	36.0	△	一部固い部分が残る
	60分	<40	28.8	47.7	◎	ねっとり、甘み強い、香りよし
		<50	21.7	43.8	◎	ねっとり、甘み強い、香りよし
	90分	<50	29.4	41.3	◎	ねっとり、甘み強い、香りよし
	<60	19.0	37.8	◎	ねっとり、甘み強い、香りよし	
	<70	23.9	36.3	○	ねっとり、香り強い、固い部分あり	

140℃では、120 分加熱した焼きいもの品質が良かった。60 分, 90 分では、40mm サイズでも中心部に固い部分が残ったり、生煮えの部分があり、明らかに加熱不足であった。150 分では、ねっとり感が増し、周辺部に焦げが生じた。しっとり系よりもねっとり系を好む消費者には、評価が高いのではないかと考えられる。180 分では、明らかに焼きすぎて固くなる部分があった。

170℃では、90 分加熱した焼きいもの品質が良かった。40mm サイズでは、60 分でも 90 分のものと同等の品質となった。また、50mm サイズでは、90 分加熱よりしっとりとした焼きいものとなり、水分多めが好みの消費者には十分満足できる品質であった。60mm サイズでは、やや加

熱不足であった。120分では、ねっとり感が増し、周辺部に焦げが生じた。しっとり系よりもねっとり系を好む消費者には、評価が高いと考えられる。

200℃では、60分加熱したものの評価が高かった。30分でも、50mm サイズではしっとりとした焼きいもとなり、水分多めが好みの消費者には十分満足できる品質であった。60mm サイズでは、加熱不足と判断した。90分では、ねっとり感が増し、周辺部に焦げが生じた。しっとり系よりもねっとり系を好む消費者には、評価が高いと考えられる。

減量率は、15%前後ではしっとりとした食感、18%前後ではしっとりとなっりの中間の食感、20%を超えるとねっとりとした食感になった。

糖度は、34度以上であれば、十分甘く感じられた。40度を超えると、少ししつこさを感じる消費者も居るかもしれないレベルであった。

以上の結果、焼成温度は140℃では加熱時間が長くなり、作業性が劣ること、200℃ではサイズによって加熱時間の微妙な調整が必要となり、加熱し過ぎの可能性のあることから、170℃、90分加熱が、焼きいも品質の安定性、作業時間の点から最も推奨できる方法であると判断した。

ただし、商品として目指す品質やサイズにより焼成時間にはある程度の幅があるため、最適な製造条件については、各事業者で追加の検討が必要になるものと考えられる。

3.3 焼きいもの中心温度

焼成中のサツマイモの中心温度の変化と焼きいも品質の関係について検討するため、サツマイモの中心部に熱電対温度ロガーのセンサー部分を差し込み、中心温度を測定した。各設定温度で焼成した焼きいもの中心温度の推移を Fig. 3 に示した。75℃位までは直線的に昇温し、その後昇温速度が低下、100℃付近で一定となった。品質の良かった加熱条件におけるサツマイモの中心温度について解析した結果を Table 2 に示した。

「べにはるか」の糊化温度に近い 65℃からβ-アミラーゼが失活する 75℃までの時間（以下糖化進行時間）は、焼きいもの糖度に大きく影響を及ぼすと考えられる。

糖度を十分に引き出すには、50mm サイズのサツマイモの場合、140℃では8分以上、170℃では5分以上、200℃では4分以上の糖化進行時間が必要であると推察された。

さらに、75℃から焼成終了までの時間は、50mm サイズの場合、140℃では90分以上、170℃では50分以上、200℃では30分以上の焼成時間が必要であると推察された。

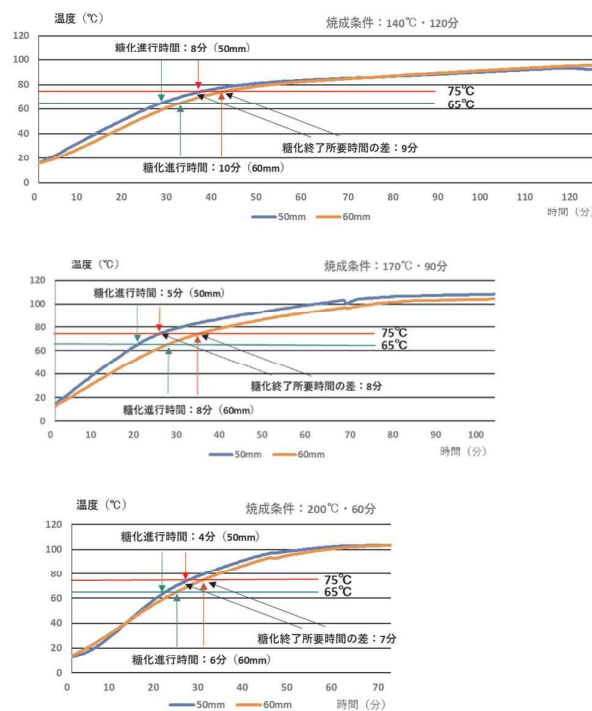


Fig. 3 焼きいもの中心温度の推移

Table 2 中心温度の解析結果

焼成条件 (温度)	直径 (時間)	糖化進行時間 (65~75℃)	糖化後焼成時間 (75℃~終了)	糖化終了までの所要時間 (30~75℃)	
140℃	120分	<50	8分	90分	23分
		<60	10分	-	32分
170℃	90分	<50	5分	50分	17分
		<60	8分	-	25分
200℃	60分	<50	4分	30分	13分
		<60	6分	-	20分

加えて、サイズ毎に詳細に焼成時間を決定する目安とするため、温度上昇が直線的である 30℃から 75℃までの所要時間を調査した結果、140℃では、50mm より 60mm サイズが9分長くなった。170℃では8分、200℃では7分、それぞれ長くなった。このことから、焼成時間をサツマイモのサイズにより、適宜増減することで、安定的に良好な品質の焼きいもを製造できることがわかった。事業者が詳細な製造条件を決定する際の目安として活用できると考えられる。

3.4 2段階加熱法

焼きいもの品質向上を目的として、焼成温度を途中で変える2段階加熱法について検討した結果を Table 3 に示した。

最も品質の安定している170℃で1段階目の加熱を行った。その後、オープン庫内を200℃まで昇温し、200℃で10分焼成を行った。その結果、170℃で60分、200℃ま

Table 3 2段階加熱法による焼きいも品質

焼成条件		減量率	糖度	評価	備考
1段階目	2段階目	(%)	(°)		
170°C 45分	200°C 10分	17.9	41.4	△	しっとり、甘み強い
	20分	20.0	38.7	×	焼きすぎ部分あり
	60分	21.9	38.7	◎	ねっとり、蜜状、甘み強い、香りよし
	90分	26.1	41.7	○	周辺部こげ、わずかに固い部分あり

で昇温後、10分焼成することで、香ばしさがプラスされ、周辺部にほどよい焦げ目がついて焼きいもらしきが増した。170°C加熱 90分では、さらにねっとり感が増したが、部分的に固くなる箇所があった。消費者の好みにもよるが、1段階目の170°Cでの焼成時間は、60~80分程度が最適であると考えられる。また、2段階目の200°C加熱は、10分以上だと焼きすぎて固くなる傾向が見られた。

実際に焼きいもを大量に製造する際には、作業効率が落ちるが、2段階加熱により品質向上が可能であることがわかった。今後、作業効率を落とさずに製造する条件について、検討する必要があると考える。

3.5 短時間加熱法

焼成時間の短縮を目的として、オープンでの焼成前の電子レンジによる加熱の有効性について検討した結果をTable 4に示した。

糊化温度に近い65°Cまでの加熱を電子レンジで行うことで、加熱時間の短縮が可能であることが確認された。電子レンジの200Wで3~4分加熱することで、中心温度は60°C前後まで上昇した。その後、170°Cで60分焼成することで、品質の良い焼きいもが得られた。オープンのみで焼成するよりも、肉質がとろっとした感じになった。焼成時間を30分程度短縮することが可能であった。

電子レンジを活用することで、焼成時間の短縮が可能となり、作業効率は良くなった。2段階加熱、電子レンジの活用などの手法を組合せ、最適な加工法を検討していくことも今後の課題であると考えられる。

Table 4 電子レンジ活用法による焼きいも品質

焼成条件		直径	減量率	糖度	評価	備考
電子レンジ	オープン	(mm)	(%)	(°)		
200W 3分	170°C 30分	<50	8.1	34.5	×	中心部に固さ残る
	4分	<60	9.8	37.2	×	中心部に固さ残る
	3分	60分	<50	16.7	◎	ねっとり、とろとろ
	4分	<50	18.6	42.9	◎	ねっとり、とろとろ

4. まとめ

本研究では、消費が伸びており、本県でも生産の拡大が続いている高糖度、粘質系のサツマイモ「べにはるか」

の加工特性を評価し、加工利用の知見を得るため、加熱加工特性について検討した。

オープンを用いた焼成試験により、良好な品質の焼きいもを得るための焼成温度、時間をサイズ別に明らかにすることができた。

また、焼成中の中心温度を解析することで、事業者が詳細な製造条件を決定する際の目安となる数値を導くことができた。

さらに、品質向上のための2段階加熱法や焼成時間短縮のための電子レンジ活用法などの検討もを行い、いくつかの知見を得ることができた。

今回得られた結果を参考として、作業効率なども考慮した最適な加工方法を開発していくことが今後求められる。

焼きいも以外の加工品開発も盛んに行われていることから、「べにはるか」の加工利用の知見の蓄積は益々重要な課題となるものと考えられる。

参考文献

- (1) 狩谷明男, かんしょの需要動向と品種の動向, 野菜情報, 11 (2016)

県産畜産物のおいしさに関する研究

鶴岡克彦・佐野一成・後藤優治・江藤勲
食品産業担当

Study on Tastes of Livestock Products in Oita Prefecture

Katsuhiko TSURUOKA・Kazunari SANÔ・Yuji GOTOH・Susumu ETOH
Food Industry Section

要 旨

和牛のおいしさについては様々な研究が行われているものの、そのおいしさに影響する要因は多く、少数の成分や測定項目を指標として客観的に評価する技術は確立されていない。一方で、ブランド力向上のためには、「おおいた和牛」の特徴を明確にする必要がある。そこで、おおいた和牛および県外産和牛の成分分析等を行い、血統とおいしさに影響する成分の関連について検討した。

各種成分を説明変数とした主成分分析の結果、粗脂肪含量、遊離アミノ酸含量、および脂肪酸組成や脂肪の融点などの脂肪の質により、特徴づけられることが確認された。3代大分県の血統とそれ以外の血統を目的変数とする判別分析の結果、3代大分県の血統の牛肉を成分から特徴付けできる可能性が示唆された。

1. はじめに

公益社団法人日本食肉格付協会は、全国統一基準となる「牛枝肉取引規格」を策定しており、これにより枝肉の歩留まりと肉質の格付けが行われている。肉質格付では脂肪交雑の影響が大きいことから、脂肪交雑を重視した育種改良が進み、近年、枝肉の脂肪交雑割合は高くなっている。一方で、消費者の健康に対する意識の高まりなどから、比較的脂肪交雑が少ない牛肉が求められる傾向がある。

肉の食味性に関しては、黒毛和牛に特異な香り成分（和牛香）⁽¹⁾や、脂肪酸組成⁽²⁾、特にオレイン酸などの一価不飽和脂肪酸割合（MUFA）が関連しているとの報告⁽³⁾がある。一方で、脂肪含量が36%を超えると官能評価の評点が低下することや⁽⁴⁾、MUFAが高すぎると官能評価において評点が低下する項目があり、適切なMUFA割合があることなども報告されている⁽⁵⁾。

大分県でも、脂肪交雑を重視した育種改良が進み、オレイン酸含量の高い牛肉をブランド化するなどの取り組みが行われてきたが、その他のうま味成分や香り成分などを含めた各種成分と官能評価による総合的な大分県産和牛の評価は行われていない。

大分県では、2018年から豊後牛のうち4、5等級以上のものを新ブランド「おおいた和牛」として、首都圏等での認知度向上を図っている。ブランド力向上のために

は、おおいた和牛のおいしさを消費者に分かりやすく示していくことが必要である。

そこで、おおいた和牛等のおいしさに関連する成分等の分析を行った。

2. 方 法

2.1 分析試料

令和2年度は、3代大分県種雄牛であるおおいた和牛、3代県外産種雄牛であるおおいた和牛、県外産和牛それぞれ5頭の牛肉を用いた。令和3年度は、おおいた和牛14頭の牛肉を用い、3頭が3代大分県種雄牛であるおおいた和牛であった。牛肉は、第7胸椎から第11胸椎の間の胸最長筋のロース芯を用いた。牛肉は、屠畜、格付け後、真空パックし、屠畜日から28日後まで2℃で保管した。水分、粗脂肪、加熱損失、せん断力価、および肉色は28日経過日に測定し、それ以外の分析サンプルは、それぞれの分析用に真空パックして-30℃で保管した。牛肉の格付けおよび枝肉形質は、Table 1に示した。

2.2 理化学分析

水分は135℃で2時間乾燥させ、加熱乾燥前後の重量差により算出した。粗脂肪含量は、ソックスレー抽出法により算出した。タンパク質は、ケルダール法により算出した。加熱損失は、袋で密封した約50gのサンプルを

Table 1 供試牛肉の格付けおよび枝肉形質

	格付け (C1~A5)	BMS No. (1~12)	枝肉重量 (kg)	ロース芯 (cm)	歩留まり
①	A5	11	447.5	69	76.0
②	A4	7	556.7	56	73.0
③	A5	8	547.4	70	75.5
④	A4	6	479.5	55	72.6
⑤	A4	6	429.1	62	73.9
⑥	A5	8	439.8	61	75.1
⑦	A4	6	348.1	42	72.8
⑧	A5	8	502.9	70	74.9
⑨	A5	10	439.3	63	75.7
⑩	A5	9	464.5	64	74.6
⑪	A5	8	586.8	79	76.2
⑫	B5	8	555.8	52	71.1
⑬	A5	8	553.0	71	74.3
⑭	A5	11	559.2	75	74.5
⑮	A5	11	594.1	76	76.5
⑯	A4	7	472.8	57	74.3
⑰	A4	7	484.4	67	74.9
⑱	A4	7	499.4	68	74.7
⑲	A4	7	404.9	62	74.2
⑳	A5	9	447	74	77
㉑	A4	6	446.6	44	72
㉒	A4	7	470.3	54	75.2
㉓	A5	9	466	71	76.6
㉔	A5	9	536.3	71	75.5
㉕	A4	5	448.5	51	72.8
㉖	A4	7	445.6	61	74.8
㉗	A5	9	469.4	63	75.6
㉘	A4	5	556.7	72	75.4
㉙	A4	5	429.6	57	74.5

70°Cの温湯で1時間加温し、加熱前後の重量差により算出した。剪断力価は、加熱損失測定後のサンプルを筋線維に対して平行に1cmの厚さにし、垂直断面が1×1cmとなるように切り出し、剪断速度を1mm/secとしたクリップメータ(RE2-33005C, 山電)により測定し、最大荷重を剪断力価とした。アタッチメントは、剪断用 P-21 にナイフカッターの背をサンプル側に装着して用いた。肉色は、13mm程度の厚さに切り出してから1時間後に、分光色彩計(SD6000, 日本電色工業)により測定した。脂肪融点は、105°C、4時間で加熱抽出した脂肪を毛细管に10mm吸引し、-30°Cで一晩冷凍後、ピーカー内で5°Cから1°C/2minで昇温させる上昇融点法により測定した。グリコーゲン含量は、30%KOHで抽出し、定量はアントロン硫酸法で行った。イノシン酸は、水で抽出し、ヘキサンで脱脂、過塩素酸で除タンパク後、KOH溶液で中和したものを、HPLCで定量した。カラムはCAPCELL PAK C18 AQ(資生堂)を用いた。遊離アミノ酸は、同様に抽出、脱脂後、限外ろ過により除タンパクした。Acc-Tag Ultra Derivatization Kit(waters)により誘導体化を行い、HPLCで定量した。カラムは、ACQUITY UPLC ACC・Tag Ultra C18, 1.7μm, 2.1×100mm Column(waters)を用いた。単糖類は、同様に抽出、脱脂後、アセトニトリルで除タンパクした。凍結乾燥後にN-trimethylsilylimidazole-Hを加え、トリメチルシリ

ル化を行い、ガスクロマトグラフィ(GC)により定量した。カラムは、キャピラリーカラム SH-rtx-1701 (0.25mm i. d. ×30m, df=0.25μm; 島津製作所)、検出器は水素炎イオン化検出器(FID)、キャリアガスはヘリウムガスを用いた。脂肪酸組成は、Folchら⁽⁶⁾の方法により抽出し、ナトリウムメトキシドメタノールによりメチルエステル化処理を行い、GCにより測定した。カラムは、キャピラリーカラム CP-Sil188 for FAME(0.25mm i. d. ×100m, df=0.25μm; Agilent Technologies)、検出器は水素炎イオン化検出器(FID)、キャリアガスはヘリウムガスを用いた。香気成分は、3×3cm、厚さ10mmにカットした試料50~60gを焼成後、水を加えてミルで粉碎し、ジクロロメタン500mlを加えて、攪拌しながら一晩抽出した。ジクロロメタン層をSolvent Assisted Flavor Evaporator(SAFE)蒸発装置により蒸留し、グデルナダニッシュ濃縮装置で100μlまで濃縮したものをGC-MSで分析した。カラムは、キャピラリーカラム DB-WAX(0.25mm i. d. ×30m, df=0.25μm; Agilent Technologies)を用いた⁽⁷⁾。香気成分は、マススペクトル、保持指標(RI)を標品と比較することにより同定した。定量値は、ノナン酸メチルを用いた内部標準法にて、各成分と内部標準物質のレスポンスファクターを1として算出した。分析値は、平均値±標準誤差で示した。解析には、統計処理ソフトR(version 4.1.2)を用いた。

3. 結果と考察

供試牛肉の成分等の分析値をTable 2, 3, 4, 5, および6に示した。Fig.1に主成分分析の結果、Fig.2に判別分析の結果を示した。主成分分析および判別分析は、加熱損失、せん断力価、L*, a*, b*, および香気成分を除いた52の成分等を説明変数とし、判別分析の目的変数は、血統(3代大分県の血統およびその他の血統)とした。主成分分析の結果、第一主成分の寄与率は37%、第二主成分の寄与率は14%であった(Fig.1)。Loading plotの結果から、第一主成分は脂肪含量および遊離アミノ酸含量等、第二主成分は、脂肪酸組成および脂肪融点などの脂肪の質を意味づけしていると考えられた(Fig.1)。Scores plotには、大分県およびその他の血統に分類してプロットしたが、血統間の違いは確認されなかった(Fig.1)。次に、血統を目的変数とした判別分析を行った。判別分析の結果をFig.2に示した。R²Yは、モデルの精度を表しており、0.79は用いた29サンプルの説明変数の差異の74.9%を説明していることを意味する。Q²Yは、モデルの予測性を表しており、未知のサンプルに対する予測性能を意味する。いずれも1に近いほど良い予測モデルであり、R²Yは0.65、Q²Yは0.

5以上あれば、良好な予測モデルとされる⁽⁸⁾。Q²Yは0.26であり、モデルの予測性はやや低く、さらなる検証が必要であるが、R²Yは十分高く、3代以上大分県の血統の牛肉を成分で特徴づけられる可能性が示唆された。

Table 2 牛肉の成分, 肉色, 物理的性質

水分	(%)	46.2 ± 0.79
粗脂肪	(%)	39.5 ± 1.02
粗たんぱく質	(%)	14.1 ± 0.34
脂肪融点	(°C)	28.0 ± 0.92
加熱損失	(%)	19.4 ± 0.44
せん断力価	(kg/cm ²)	2.2 ± 0.08
L*		51.5 ± 0.51
a*		15.8 ± 0.25
b*		16.0 ± 0.23
イノシン酸	(μmol/g)	0.6 ± 0.05
グリコーゲン含量	(mg/100g)	147.1 ± 12.37

Table 3 牛肉の単糖類含量 (mg/100g)

グルコース	88.3 ± 3.03
フルクトース	27.8 ± 1.39
マンノース	21.1 ± 1.14
リボース	14.0 ± 0.67
イノシトール	9.2 ± 0.28
合計	160.4 ± 5.83

Table 4 牛肉の遊離アミノ酸含量 (mg/100g)

Asp	1.5 ± 0.14
Glu	11.8 ± 0.37
Gln	25.7 ± 1.25
Asn	4.3 ± 0.20
gly	10.8 ± 0.71
Ala	28.1 ± 0.96
Thr	5.9 ± 0.30
Ser	9.1 ± 0.47
Pro	3.3 ± 0.11
Met	6.0 ± 0.20
Lys	9.1 ± 0.37
Ile	6.9 ± 0.27
Leu	12.5 ± 0.43
Phe	8.1 ± 0.28
Tyr	7.8 ± 0.27
Val	8.2 ± 0.31
His	4.1 ± 0.13
Arg	8.2 ± 0.40
Tau	10.1 ± 0.56
Orn	0.8 ± 0.05
Car	216.6 ± 6.55
Ans	34.2 ± 1.45
旨味呈味アミノ酸	43.3 ± 1.42
甘味呈味アミノ酸	57.2 ± 2.01
風味・苦味アミノ酸	70.8 ± 2.41
機能性アミノ酸	10.9 ± 0.57
遊離アミノ酸総量	182.2 ± 5.46
ジペプチド	250.8 ± 7.34

旨味呈味(Asp, Glu, Gln, Asn), 甘味呈味(Gly, Ala, Thr, Ser, Pro), 風味・苦味(Met, Lys, Ile, Leu, Phe, Tyr, Val, His, Arg), 機能性(Tau, Orn), ジペプチド(Car, Ans)

Table 5 牛肉の脂肪酸組成(%)

14:0	3.0 ± 0.10
14:1	1.0 ± 0.05
16:0	27.5 ± 0.27
16:1	4.0 ± 0.09
17:0	1.2 ± 0.03
18:0	11.2 ± 0.26
18:1	49.0 ± 0.45
18:2	2.0 ± 0.07
SFA	43.3 ± 0.44
USAF	56.7 ± 0.44
MUFA	54.4 ± 0.45
PUFA	2.3 ± 0.08

SFA:飽和脂肪酸, USAF:不飽和脂肪酸, MUFA:一価不飽和脂肪酸, PUFA:多価不飽和脂肪酸

Table 6 牛肉の香気成分 (μg/kg)

2,3-butanedione	4.0 ± 2.7
hexanal	153.3 ± 46.7
octanal	139.2 ± 12.6
nonanal	366.0 ± 26.7
E-2-octenal	47.9 ± 4.8
methional	17.0 ± 2.2
decanal	68.0 ± 5.6
E-2-nonenal	78.2 ± 4.7
isobutyric acid	3.5 ± 0.7
butyric acid	62.0 ± 7.1
(2E,4E)2,4-nonadienal	8.5 ± 2.2
2-undecenal	181.2 ± 12.4
(E,E)-2,4-decadienal	10.1 ± 3.0
hexanoic acid	56.9 ± 4.5
γ-octalactone	3.1 ± 1.3
γ-nonalactone	13.5 ± 1.9
decanoic acid	24.5 ± 2.6
vanillin	19.0 ± 2.4

R2年度の15サンプルの平均値

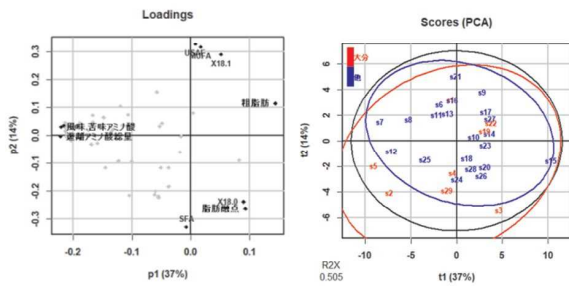


Fig.1 主成分分析
左:Loading Plot, 右:Score Plot

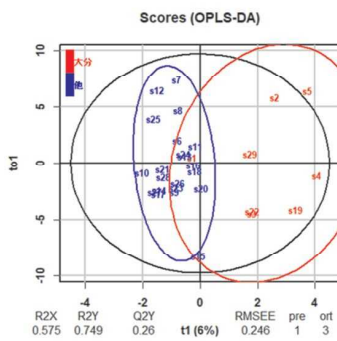


Fig.2 判別分析の Score Plot

参考文献

- (1) 松石昌典, 久米淳一, 伊藤友己, 高橋道長, 新井正純, 永富宏, 渡邊佳奈, 早瀬文孝, 沖谷明紘, 和牛肉と輸入牛肉の香气成分, 日本畜産学会報 (2004)
- (2) 鎌田丈弘, 米内美晴, 村元隆行, 黒毛和牛牛肉における脂肪酸組成とテクスチャーおよび肉色との関係, 日本畜産学会報 (2019)
- (3) 佐久間弘典, 齋藤薫, 曾和拓, 浅野早苗, 小平貴都子, 奥村寿章, 山田信一, 河村正, 黒毛和種肥育牛の胸最長筋における官能特性に及ぼす粗脂肪含量と脂肪酸組成の影響について, 日本畜産学会報 (2012)
- (4) Iida F, Saitou K, Kawamura T, Yamaguchi S, Nishimura T, Effect of fat content on sensory characteristics of marbled beef from Japanese Black steers. Animal Science Journal (2015)
- (5) 鈴木啓一, 横田祥子, 塩浦宏陽, 島津明之, 飯田文子, 試食パネルによる黒毛和牛牛肉の食味性に及ぼす肉質等級, 性と脂肪酸組成の影響の評価, 日本畜産学会報 (2013)
- (6) Folch J, Lees M, Stanley GHS, A simple method for the isolation and purification of total

lipids from animal tissues, Journal of Biological Chemistry (1957)

- (7) Ueda S, Yamanoue M, Sirai Y, Iwamoto E, Exploring the Characteristic Aroma of Beef Japanese Black Cattle (Japanese Wagyu) via Sensory Evaluation and Gas Chromatography-Olfactometry, Metabolites (2021)
- (8) Eriksson L, Byrne T, Johansson E Trygg J, Vikstrom C, Multi- and megavariate data analysis, basic principles and applications. 3st ed. UMETRICS ACADEMY (2013)

イチゴ新品種の流通加工品質向上に関する研究

高藤紗世・佐野一成・徳田正樹・鶴岡克彦・櫛野智也
食品産業担当Study to Improve Distribution and Processing Quality
of Strawberry New CultivarSayo TAKAFUJI・Kazunari SANÔ・Masaki TOKUDA・Katsuhiko TSURUOKA・Tomoya KUSHINO
Food Industry Section

要 旨

イチゴ‘ベリーツ’の春期品質安定を目的として、時期別の果実品質を調査した。収穫時期別に、糖度・糖組成・硬度を明らかにした。糖度は品種間で差がある時期などは、判然としなかった。‘ベリーツ’は、‘さがほのか’と比べ50%着色から100%着色になるまでに、果皮硬度の減少幅が大きかった。果実の貯蔵日数毎の、糖度・硬度を明らかにした。

1. はじめに

大分県の育成したイチゴ‘ベリーツ’（品種名‘大分6号’）は、平成29年産から本格的に栽培が始まり生産量は増加している。これまでの主力品種‘さがほのか’と比較すると食味と着色に優れるが、気温の上昇する3月以降は食味と果実硬度が低下するため、市場評価の低下に繋がりブランド化に支障が出ていることから、生産者だけでなく流通関係者（JA、市場等）からも品質向上の要望は多い。

この問題を解決するために、冬期と春期のイチゴ品質を比較し、春期の‘ベリーツ’の品質向上に関与する要因を検討した。

2. 方法

2.1 植物材料

農林水産研究指導センター農業研究部で栽培したイチゴ‘ベリーツ’、‘さがほのか’を2020年12月、2021年2~5月に採取した。採取後直ちに予冷し、損傷を抑制するためにソフトトレイに詰めて運搬した。

2.2 硬度測定

クリープメーターR byE2-33005C(山電)、直径3mm円形プランジャーを用いて貫入速度1mm/sで測定した。イチゴ果実の赤道部に対し、瘦果を避けるようにプランジャー先端を貫入させた。遠藤(飛川)ら⁽¹⁾の方法に従い、果皮硬度(a)、果肉硬度(b)、真の果皮硬度(c)、芯の硬度(d)を算出した(Fig. 1)。

2.3 糖組成分析

硬度測定後の果実は分析までの間-30℃にて保存した。冷凍果実から熱水抽出により糖を抽出し、高速液体クロマトグラフを用いてスクロース(ショ糖; Suc)、グルコース(ブドウ糖; Glc)、フルクトース(果糖; Fru)を測定した。

2.4 鮮度保持試験

イチゴ果実の硬度測定後、ソフトトレイに詰めたのち、ポリラップで覆い、4つの温度条件(0℃・5℃・12.5℃・20℃)で貯蔵した。3~6日間貯蔵後、前述の方法で硬度および糖含量を分析した。

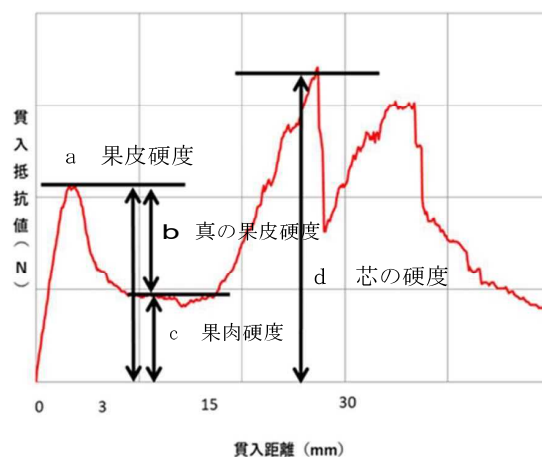


Fig. 1 クリープメーター測定における測定項目



Fig. 2 貯蔵試験開始前のイチゴ

3. 結果及び考察

3.1 品種ごとの硬度の差異 (収穫月 R1-R3)

R1-R2年産, R2-R3年産の‘さがほのか’および‘ベリーツ’の果実硬度の推移をFig. 3, 4に示した。

クリーブメーターで測定できるイチゴ果実硬度には、表面果皮硬度、果肉硬度、芯の硬度の三つがあり、今回は表面果皮硬度から果肉硬度を引いた値を真の果皮硬度とし、果実硬度の指標として用いた。⁽¹⁾R2-R3年産の‘ベリーツ’は、着色度50%から100%へ着色していく過程で、果皮硬度の減少度が4月を除き‘さがほのか’と比べ大きかった(Fig. 4, Table 1)。R1-R2年産の3月, 5月においては3月の50%から100%着色における真の果皮硬度の減少度は同等, 5月は‘ベリーツ’の方が大きかった(Fig. 3)。R1の研究において、真の果皮硬度が、果実硬度とは相関が大きくない可能性に言及している⁽²⁾。収穫時期と着色度が同じ‘ベリーツ’および‘さがほのか’を咀嚼評価した際、同年同月において真の果皮硬度が高かった‘ベリーツ’よりも、‘さがほのか’の方がしゃっきりとした食感が感じられるサンプルが多かった。これは、市場で問題になっている‘ベリーツ’の春先の軟化具合が影響していると推察された。真の果皮硬度が、咀嚼時に感じる硬さとの相関が大きくないと仮定した場合に、‘ベリーツ’は着色が進むにつれ、果実構造内でなんらかの化学的・物理的变化があったため、着色度が上昇するごとに、真の果皮硬度が減少したと考えられる。一方‘さがほのか’は、着色度50%時の真の果皮硬度こそ、‘ベリーツ’よりも低い傾向にあるが、着色中

に真の果皮硬度の下落幅は大きくなく、‘ベリーツ’よりも化学的・物理的な変化が起きていないと推察された。このことから、いちごの食感の優劣を判断する指標としては、クリーブメーター以外の評価指標も考慮すべきであると考えられ、物理量で測定する以外の指標を用いることも考えられた。より人間の咀嚼に近いブランジャーの導入により、人間の官能評価と近い評価ができる可能性も考えられた。

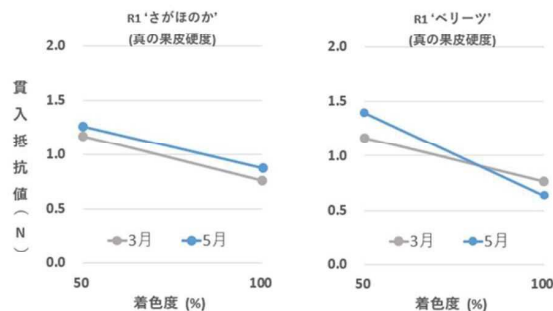


Fig. 3 果皮硬度の推移 (R2. 3-R2. 5)

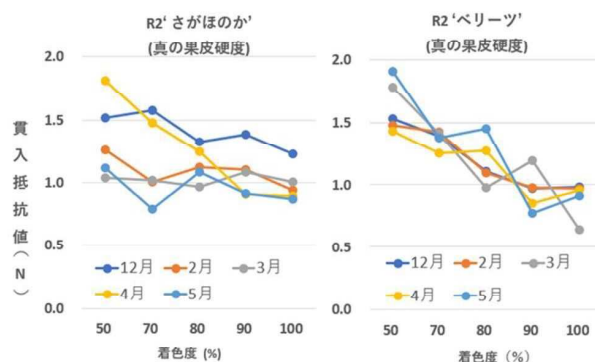


Fig. 4 果皮硬度の推移 (R2. 12-R3. 5)

Table 1 果皮着色による硬度の減少度 (50%着色⇒100%着色)

	R1		R2				
	3月	5月	12月	2月	3月	4月	5月
ベリーツ	0.41	0.76	0.54	0.51	1.14	0.47	1.00
さがほのか	0.41	0.39	0.29	0.32	0.04	0.92	0.25

3.2 品種ごとの糖度の差異 (収穫月 R2-R3)

令和2年12月から令和3年5月までの‘さがほのか’の全糖量をFig. 5に、‘ベリーツ’の全糖量をFig. 6に示した。R1-R2年産の結果(Fig. 7, 8)と同様に、どちらの品種も着色度が増すごとに糖含量は概ね上昇した。糖含量の上下動は個体差や気象条件などの外部要因に左右されたものと推察され、品種間の差を明らかに示すものではないと考えられた。スクロース・グルコース・フルクトースの組成比はどの着色度においても大きく変化することはないと、令和1年と同様な傾向を示した(デー

夕省略) .

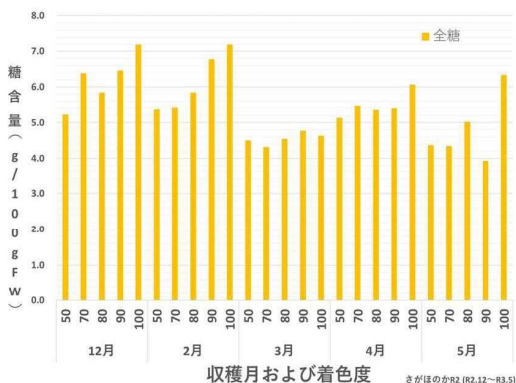


Fig. 5 R2 ‘さがほのか’の全糖含量 (R2. 12~R3. 5)

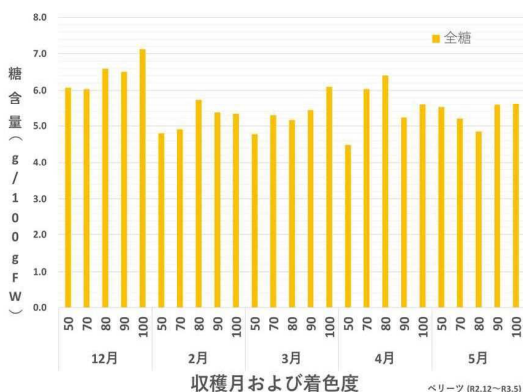


Fig. 6 R2 ‘ベリーズ’の全糖含量 (R2. 12~R3. 5)

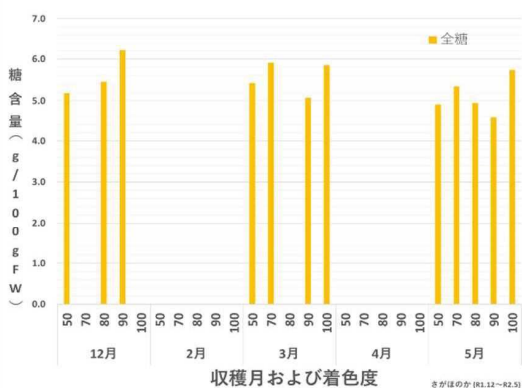


Fig. 7 R1 ‘さがほのか’の全糖含量 (R1. 12~R2. 5)

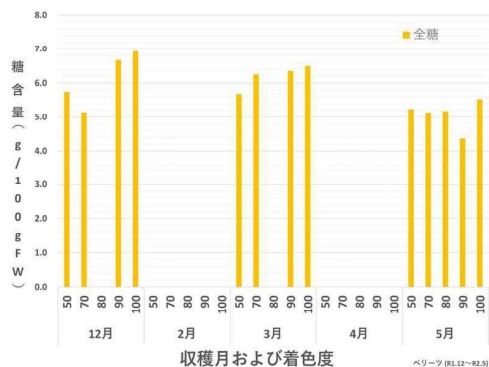


Fig. 8 R1 ‘ベリーズ’の全糖含量 (R1. 12~R2. 5)

3.3 貯蔵後の果実硬度の推移

令和2年3月および、令和3年3月のイチゴ青果の貯蔵中の硬度を Fig.9 に示した. 令和2年は 5℃, 令和3年は 0℃・5℃・12.5℃・20℃の温度で貯蔵した. 果実は 100%着色した ‘ベリーズ’を用いた. 令和2年は, 貯蔵6日後に, 貯蔵前より硬度が上昇した. 令和3年は, 貯蔵3日後に, どの温度帯も一度硬度が上昇したが, 6日後に貯蔵前と同程度に減少した. 貯蔵終了後に 12.5℃と 20℃にて果実の発酵臭や果肉部分の変色などの外観の変化が認められた. 貯蔵中の果実硬度の変化は, 貯蔵場所の湿度等, 様々な要因が考えられる. 貯蔵条件を見直し, 流通現場での調査など必要と思われた.

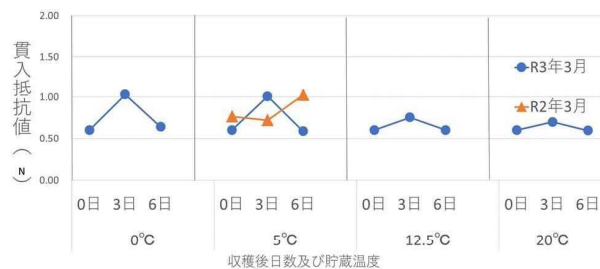


Fig. 9 ‘ベリーズ’の貯蔵中の真の果皮硬度 (R2年3月, R3年3月) ※100%着色果実を使用

3.4 貯蔵後の糖含量

令和2年および令和3年3月の ‘ベリーズ’の貯蔵中の全糖の推移を Fig.10, Fig.11 に示した. R2年は, 貯蔵中はほぼ変化が無く, R3年は貯蔵日数が増えるごとに全糖量は減少した.

糖含量の年次変動は個体差や気象条件などの外部要因に左右されたもの, 分析者が途中交代し分析値に差が出た可能性があり, 貯蔵条件の差を明らかに示すものでは

ないと考えられた。

び分析にご協力いただいた花きグループ花きチームにお礼申し上げます。

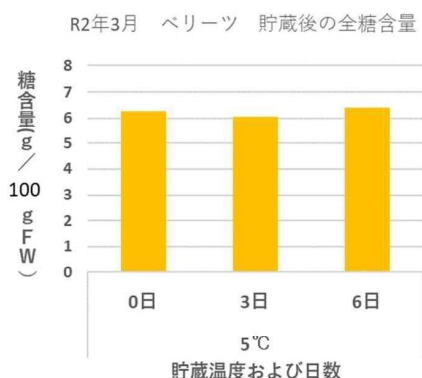


Fig. 10 R2年3月‘ベリーツ’の貯蔵中の全糖



Fig. 11 R3年3月‘ベリーツ’の貯蔵中の全糖

参考文献

- (1) 遠藤(飛川)ら, イチゴ果実における見かけ弾性率の貯蔵, 収穫時期による変化および遺伝資源評価. 農研機構研報九沖農研 67:1-14 (2018)
- (2) 安部ら, イチゴ新品種の流通加工品質向上に関する研究. 大分県産業科学技術センター研究報告書 (2019, 2020)

4. まとめ

熟度進行による硬度変化量を比較すると, ‘さがほのか’と‘ベリーツ’には品種によって特徴がある可能性が示唆された. 3月は‘ベリーツ’の硬度変化が大きく, 4月は‘さがほのか’の硬度変化が大きいため, 各時期に合わせて, 早採り(熟度70%以下)を行うことが, 流通現場において軟弱化対策になる可能性がある. また着色度50%の‘ベリーツ’の硬度が‘さがほのか’より高い傾向があったため着色50%での早採りが流通上の課題解決につながるか今後検討をする必要がある. 50%や70%着色での収穫後の貯蔵中における硬度や糖含量の変化について, 確認が必要と思われる. さらに短いスパンでの確認や, 急速に冷却した場合の硬度の挙動についても検討が必要と考えられた.

謝辞

本研究を行うにあたり, 試料を提供いただいた大分県農林水産研究指導センター農業研究部果菜類チームおよ

県産カンキツ類の特性を活かした食品素材化

櫛野智也
食品産業担当

Preparation for food material of citrus fruits

Tomoya Kushino
Food Industry Section

要 旨

県産カンキツ類の香気特性を調査し、乾燥を主体とした加工方法について検討した。果皮乾燥について、乾燥温度は40℃、切片サイズは4mm短冊状の条件で、青果物由来の色調・香気を残存し、乾燥ムラを抑制することが可能であった。乾燥果皮の色は、常温・冷凍ともに1年間保存した場合に緑色果実の色調は保たれた。青果らしい香りは冷凍保存では、乾燥後の品質と同等であったが、常温保存では香気の変化が生じた。乾燥果皮は、粉末粉碎後に香気品質が低下しやすいため、利用前粉碎が適すると考えられた。

1. はじめに

本県は「The・おおいた」ブランドとして、香酸柑橘類やハウスみかんを掲げている。安心安全な食や健康志向などから防カビ剤・防腐剤フリーの国産レモンの需要は増加し、県南でも企業の農業によるレモンの新植が進んでいる。また食品業界では、地域農林水産物の機能性成分や原料の持つ香気・色調を活かした食品の素材化ニーズが高まっている。その中でも保存性が高く調製が容易な乾燥原料の需要は増加しており、近年の研究により香りが食品の美味しさに大きく影響することがわかってきている。消費者においても、フレッシュさを感じさせる青果物由来の色調を残した加工品のニーズは高い。以上の背景より、県産カンキツ類の更なる利用用途の拡大と企業・消費者のニーズに対応するために、各カンキツ類の時期別の香気特性を調査し、青果物由来の香気・色調を残すことのできる加工方法を検討した。

2. 調査方法

2.1 供試品種

供試品種はカボス「大分1号(有核品種)」, ユズ「徳島・山根系」レモン「アレンユーレカ」(大分県農林水産研究指導センター農業研究部果樹グループ津久見圃場より提供を受けた), 市場流通品の不知火を用いた。

2.2 果皮の処理

各果実を8分割後、果肉から果皮を剥皮し、概ね4mm幅になるように垂直にカットし、乾燥試験に供した。

2.3 果皮精油の抽出

各果実を8分割後、果肉から果皮を剥皮し、果皮切片を用意した。用意した果皮切片を氷冷した100mlビーカーへ向け弧状に折り、果皮表面の油胞から噴霧された精油を粗精油として回収した(Fig. 1①)。粗精油に対して、等量の飽和食塩水を加え2500Gで30分間遠心分離をした。得られた上層に脱水処理として硫酸アンモニウムを加え、さらに2500Gで30分間遠心分離を行い、上清を精製精油とした¹⁾²⁾。精製した果皮精油は褐色バイアルに入れ、香気を嗅ぎ官能評価を行った(Fig. 1②)。

① 精油の抽出



② 評価方法



Fig.1 精油の抽出と官能評価法

2.4 乾燥方法の検討

乾燥方法の検討は、通風乾燥および赤外線乾燥で行った。通風乾燥機はTABAI社パーフェクトオープン(PS-

222)を用いて、赤外線乾燥は、間欠照射タイプの東明テック社マレングイプレミアム(D5)を用いた。

2.5 乾燥果皮の粉碎

高速粉碎ミルは、山本電気社よめっこさん(Y-308B・20, 000 回転/分)、電動ペッパーミルとして KYOCERA 社セラミック電動ミル(CMD-50)を用いた。

3. 結果と考察

3.1 カンキツ青果の果皮香气特性

カンキツ果実は収穫直後の重量から 95~98%程度の重量になるよう自然乾燥予措を行い、5~6℃冷温室にて、ポリエチレン包装を行い貯蔵した。カボス・ユズの香气特性について 2.3 に従って果皮精油を抽出して官能評価を実施した。令和 2 年の結果と同様に収穫時期ではなく、収穫時の果皮の着色度により香气特性が変化した。ただし、貯蔵期間中に緑色果実の果皮表面が退色し、黄色に変化していった果実と樹上完熟により果皮が黄色になった果実とでは、香气特性は大きく異なった。貯蔵中の果実は成熟による変化ではなく、果皮表面の乾燥により果皮退色と精油が揮発したものを考えられた。果皮表面の乾燥を抑えるために、鮮度保持包装をしたサンプルにおいては、果実の呼吸によって、包装内の湿度は 100%に達し、結露が発生する。そのため、果皮表面が傷む果実も増えるが、果皮の退色は抑えられる。両サンプルの精油を抽出し、香气を官能評価したところ、果皮色が退色した果皮の香气は全体的に弱くなっており、一部果皮が傷んだ果実であっても緑色を維持していた果実は、新鮮な緑色果実の香りに近い香气であった。既報³⁾より、カボス果皮の緑色保持には、MA 包装が有効であると示されているが、フレッシュな緑色果実の香气成分の保存についても、低温および包装貯蔵は有効であると考えられた。

3.2 果皮の乾燥方法

令和 2 年の試験において、40℃以下の乾燥にて、緑色果実および完熟果実の青果由来の色調と香气は残存させることができた。各柑橘類によって異なるが、果皮が薄いカンキツ類である不知火や温州ミカンは、常温の自然乾燥でも十分乾燥が進み、32℃の温風乾燥、赤外線乾燥において乾燥ムラが少なかった。しかし香酸柑橘類であるカボス、ユズは果皮構造が厚く、4mm 幅の短冊状にした切片を 32℃、7 時間乾燥する条件において、温風乾燥、赤外線乾燥ともに乾燥ムラが散見された。そのため、令和 3 年度ではまず切片のサイズを小さくすることや乾燥時間を延ばすことで乾燥ムラの改善を試みた。

はじめに 4mm 短冊状切片と、さらに小さくした切片 (Fig. 2 右)である細切片での乾燥試験を 32℃の温風乾燥および赤外線乾燥にて実施した。細切片での乾燥は、4mm

短冊切片と比べ、乾燥速度はやや短縮されたが、どちらの乾燥条件においても乾燥ムラは発生した。

次に、40℃での温風乾燥と赤外線乾燥の比較試験を行った。どちらの切片でも乾燥ムラは改善され、温風および赤外線乾燥間において、乾燥ムラや乾燥果皮の香りの強度に大きな差は感じられなかった (Fig. 3, Fig. 4)。

以上の結果から、令和 3 年の乾燥条件は、果皮切片は 4mm 幅の短冊果皮切片、温度は 40℃、機器は温風乾燥機を用いることとした。繰り返し同条件で乾燥試験を行ったが、40℃での乾燥は、32℃での乾燥よりも乾燥時間は概ね 1~2 時間短縮し、乾燥ムラも低減した。また乾燥ムラの更に低減のために、40℃で 7 時間乾燥を行った場合では、製造した乾燥果皮の香气強度がやや低下した。これは果皮の過乾燥であり、精油の揮発が促進されたと考えられた。

また、緑色カンキツ類の香りを残すことを目的とした場合では、生乾きで油胞の揮発が極力抑えられた状態ではないと、緑色カンキツらしい香りを残すことが難しかった。概ね 50%重量減の乾燥程度では、品種ごとの香りは残るが、保存において冷凍保存が必要になってくる可能性や高い水分含量による劣化が懸念される。色調、香气など、加工品に残存させたい性質に応じて、乾燥度を変える必要があると考えられた。



Fig. 2 乾燥前果皮 (左. 4mm 幅短冊切片 右. 細切片)



Fig. 3 緑色果実の乾燥果皮 (4mm 幅短冊切片)



Fig. 4 緑色果実の乾燥果皮(細切片)

3.3 乾燥果皮の粉碎条件と香気の変化

乾燥果皮の粉碎を高速ミルで行った。本試験で用いたミルでの粉碎では粒度がばらついたため、粉碎物の粒度を揃える場合は別途ふるい操作などが必要と思われた。乾燥果皮の香気保持性を確認するため、無粉碎果皮と粉末状に粉碎した果皮（以下、粉碎果皮）を各々ポリカップに入れ、常温で一週間保存試験を実施した(Fig. 5)。粉碎果皮は、粉碎後2~3日程度で香気に変化した。無粉碎果皮は、1週間保存後に粉碎した際に、果実由来の香気を感じられた。このことから、乾燥果皮は利用前に破碎するのが適していると考えられた。

上記の結果から、粉末化後のバック保存などでは香気品質が低下するリスクを考慮し、乾燥果皮を食事の際に即時粉碎可能か、市販の電動セラミックミルにて粉碎試験実施した(Fig. 6)。電池稼働の電動ミルにおいても、乾燥果皮は粉碎可能であり、粉碎果皮は青果物らしい香気を感じられた。市販の電動ミルによる粉碎が容易なことから、本研究の方法で製造された乾燥果皮を用いることで、カンキツ七味やシーズニングのような既存の粉末果皮製品よりも、青果物らしさを印象付ける香りづけが可能であると考えられた。



Fig. 5 乾燥果皮の短期貯蔵(右. 粉碎前 左. 粉碎後)

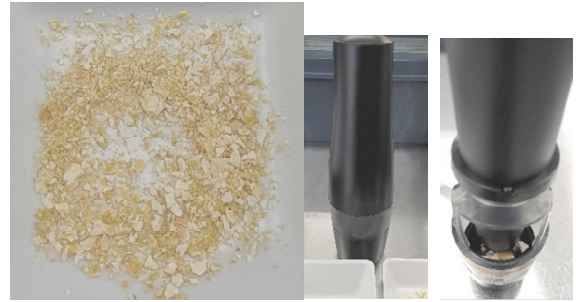


Fig. 6 左. 粉碎果皮 右. 電動セラミックミル

3.4 貯蔵による乾燥果皮の品質変化

乾燥させた4mm幅短冊切片について、冷凍および常温で保存試験を行った。保存は、試料を密封袋内に乾燥材とともに封入した。保存1年後の緑色果実の乾燥果皮の色調は、冷凍、常温どちらも鮮やかな緑色が維持できた。現在、緑色を維持した青ネギ、キャベツ等の乾燥野菜も常温流通しており、カンキツ果皮の乾燥品においても、適切な乾燥および保存方法により、長期間の色調保持ができると考えられた。香気においては、冷凍保存ではほぼ変化がなかった。常温保存では、各カンキツ類に差異はあるが、青果物由来の香気を感じることは難しかった。また、完熟果実の乾燥果皮については、色調は冷凍、常温ともに大きな変化は確認されなかった。香気品質については冷凍したものは緑色果実と同様変化がほぼなかった。常温保存においては、変化はあるものの香気の変化が大きい緑色乾燥果皮と比べると変化度がやや小さく、レモンでは変化はあるが青果物らしさは確認できた。

4. まとめ

乾燥果皮の原料となるカンキツ青果の果皮着色度によるカンキツ香気の変化を確認できた。特に緑色果皮で収穫した場合には、包装貯蔵による湿度管理により、退色抑制が可能であり、それに伴う香気成分の維持も可能であった。令和2年度の試験において課題であった乾燥ムラについて、果皮切片の最適化と乾燥温度の検討を行い、4mm短冊切片において、乾燥温度40℃の5~6時間で乾燥ムラの少ない乾燥果皮が製造可能であった。乾燥果皮の粉碎方法については、高速ミルおよび家庭用の電動ミルでも破碎可能であり、利用用途の拡大が可能であると考えられた。貯蔵については、色調は常温、冷凍どちらも乾燥直後の色調の保持が可能であった。香気品質維持を考えた場合、脱酸素剤を用いた密封包装や冷凍貯蔵が必要であると考えられた。

謝 辞

柑橘サンプルを提供頂いた農林水産研究指導センター農業研究部果樹グループカボス・中晩柑チーム（津久見市），に心より御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 沢村正義，ユズの香り-柚子は日本が誇れる柑橘-，フレグランスジャーナル社(2008)，36-37
- (2) 中村仁，新谷智吉，柑橘類精油を用いた機能性アロマオイル効果検証に関する研究，愛媛県産業技術研究所研究報告 No. 51 (2013)，1-2
- (3) 佐藤隆，三股正，佐藤瑞穂，白石利雄，秋田忠夫，カボスの貯蔵に関する研究—グリーンカボスの低温貯蔵技術の確立—，大分県柑橘試験場研究報告 第4号(1988)，35-43

令和4年11月発行
編集 大分県産業科学技術センター

〒870-1117 大分市高江西1丁目4361-10
TEL: 097-596-7101
FAX: 097-596-7110
URL: <https://www.oita-ri.jp/>
E-mail: info@oita-ri.jp