

ISSN 1345-5974
2025 - No. 70

令和 7 年度・第 70 号

研 究 報 告

Report of
Miyazaki Prefectural Industrial Technology Center &
Miyazaki Prefectural Food Research and Development Center
FY 2025



宮崎県工業技術センター

宮崎県食品開発センター

目 次

宮崎県工業技術センター

【報告】

太陽光パネルの基板ガラスを活用した新規素材の開発と特性評価……………	渡邊 利奈・富永 初美 赤崎 いずみ……………	1
油水混合液を利用した Ca-Mg 炭酸塩の合成……………	赤木 剛・永田 哲也 山本 建次……………	7
高濃度の工業用 X 線造影物質を含有した油中ナノ粒子分散体の調製及び造影能評価 ……………	藤本 晃己・松浦 靖 山本 建次……………	13
画像処理・機械学習等を用いた検査工程の自動化・省力化に関する研究…	宮路 紘輝・肥後 一彦…	17

【技術レポート】

3D プリンタを用いた低融点金属による金属モデルの性能評価……………	小八重 優真……………	23
------------------------------------	-------------	----

宮崎県食品開発センター

【報告】

官能評価を活用したたくあん味わいマップの開発とその効果検証 ～お客様に商品の味わいを迅速・的確にお伝えするために～……………	金井 祐基・木村 昭彦 藤藪 志保・木村 公紀 朝倉 麻衣・高橋 克嘉…	27
サーキュラーエコノミーの実現に向けた循環型食品加工技術の開発……………	加藤 あゆみ・永山 志穂 高橋 克嘉・有簾 真奈美 赤嶺 そのみ・荻原 英範…	35
中低温発酵酵母の酒類への応用 ……………	三枝 奈央・富山 裕規 越智 洋・福良 奈津子…	41

【再録】

新品種甘藷みちしずくの原料特性を活かす焼酎醸造法……………	越智 洋・水谷 政美 三枝 奈央・古市 佳代 山本 英樹……………	45
-------------------------------	---	----

Contents

Miyazaki Prefectural Industrial Technology Center

【Paper】

Development and Characterization of Innovative Materials Derived from Solar Panel Substrate Glass Rina WATANABE, Hatsumi TOMINAGA and Izumi AKAZAKI	1
Synthesis of Ca-Mg Carbonate Using Oil-Water Mixture as a Synthesis System Takeshi AKAKI, Tetsuya NAGATA and Kenji YAMAMOTO	7
Preparation and Contrast Enhancement Evaluation of Nanoparticle-in-Oil Dispersion Containing High Concentrated Industrial X-ray Contrast Substances Koki FUJIMOTO, Yasushi MATSUURA and Kenji YAMAMOTO	13
Study on Automation and Labor Saving of Inspection Processes Using Image Processing and Machine Learning Hiroki MIYAJI and Kazuhiko HIGO	17

【Report】

Performance Evaluation of Metal Models Made from Low Melting Point Metals Using 3D Printers Yuma KOYAE	23
--	----

Miyazaki Prefectural Food Research and Development Center

【Paper】

Development and Validation of a Sensory-Based Flavor Map for *Takuan*

Yuki KANAI, Akihiko KIMURA, Shiho FUJIYABU, Koki KIMURA, Mai ASAKURA
and Katsuyoshi TAKAHASHI 27

Development of Circular Food Processing Technologies for a Circular Economy

Ayumi KATO, Shiho NAGAYAMA, Katsuyoshi TAKAHASHI, Manami ARIKADO,
Sonomi AKAMINE and Hidenori OGIHARA 35

Application of Moderate- to Low-Temperature Fermenting Yeasts to Alcoholic Beverages

Nao MIEDA, Yuki TOMIYAMA, Hiroshi OCHI and Natsuko FUKURA 41

【Reprints】

A Shochu Brewing Method Utilizing the Raw Material Characteristics of New Sweet Potato Michishizuku

Hiroshi OCHI, Masami MIZUTANI, Nao MIEDA, Kayo FURUICHI and Hideki YAMAMOTO 45

太陽光パネルの基板ガラスを活用した新規素材の開発と特性評価

渡邊 利奈^{*1}・富永 初美^{*2}・赤崎 いずみ^{*3}

Development and Characterization of Innovative Materials Derived from Solar Panel Substrate Glass

Rina WATANABE, Hatsumi TOMINAGA and Izumi AKAZAKI

太陽光パネルから回収したガラスを用いて、多孔質体を作製した。基板ガラスを破碎して得た約1～2 mmのガラスを酸処理したところ、白色粒子が得られた。続いて、窒素吸着法により細孔特性を評価したところ、白色粒子はマイクロポアを持つ多孔質体であることが明らかとなった。BET比表面積（以下、比表面積）は約600 m²/gに達した。多孔質体のCs吸着試験を行ったところ、ゼオライトと同程度の吸着能を示した。また、触媒担体として用いた試験では、Pt触媒のエチレン分解能をゼオライトよりも大きく上昇させ、触媒担体としての有用性が示唆された。

1 はじめに

近年、太陽光発電は再生可能エネルギーの中でも特に急速な導入が進み、今後さらに拡大することが見込まれている。一方で、太陽光パネルの寿命は概ね20～30年とされており、使用済みパネルの発生量も増加すると予測される。推計によればピーク時の年間発生量は約45万tに達する見込みであり¹⁾、管理型最終処分場への負荷や資源循環の観点から、再資源化に向けた技術開発が重要な課題となっている。

太陽光パネルの構成部材のうち、ガラスは約9割を占めており、再資源化において極めて重要な位置にある。しかし、パネルから回収されるガラスを既存のリサイクルフローにそのまま組み込むことは容易ではない。これは、製造過程においてAs₂O₃やSb₂O₃等が添加される場合があり、安全性に懸念があることや、パネルからのガラス分離工程で金属電極やEVA、ガラス剥離材等の混入が避けられないことが主な要因である。

我々は、廃ガラスを原料とした高付加価値製品の開発研究を行う中で、ガラスの多孔質化に関する新たな特性を見出し、昨年、学術雑誌にて報告を行っ

た²⁾。本稿では、太陽光パネルのガラスを原料とし、当該技術を用いて多孔質体を製造する方法を概説するとともに、いくつかの追加実験結果を併せて報告する。

2 実験方法

2-1 ガラスの組成

CIS系薄膜太陽光パネルから基板ガラスを分離したのち、蛍光X線分析装置（XRF）（株式会社ZSX PrimusIV）を用いて元素分析を行った。XRFはRh端窓X線管を用いて、30～50 kV、48～80 mAで測定した。

2-2 多孔質化および細孔特性の評価

基板ガラスを粒径約1～2 mmに破碎したのち、得られたガラス粒子を3.7 M HClに浸漬した。続いて80℃で加温しながら約12時間かくはんし、白色粒子を得た。白色粒子は超純水で3回洗浄したのち、110℃で2時間乾燥を行った。

細孔特性の評価は、比表面積測定装置（マイクロメリティックス、3Flex）を用いて、窒素吸着法により行った。比表面積の算出は、BET法³⁾により行った。

2-3 酸溶出元素の確認

多孔質体の形成に関わる元素を調べるため、酸で溶出した元素を高周波誘導結合プラズマ発光分光分

*1 資源環境部（現 公益財団法人宮崎県産業振興機構）
*2 資源環境部
*3 資源環境部（現 宮崎県衛生環境研究所）

析装置（ICP-OES）（株式会社島津製作所，ICPS-7510）で測定した．酸処理後の酸溶液から，白色粒子をろ過により除去したのち，希釈して測定溶液とした．

2-4 ガラス粒径と多孔質化時間の評価

ガラス粒径の違いによる多孔質化時間の影響について評価するため，異なる二種類の粒径のガラス（53～75 μm ，1～2 mm）について，酸処理時間と比表面積値の関係をプロットした．酸処理条件および測定条件は2-2と同様にした．

2-5 吸着特性の評価

酸処理によって得た白色粒子にセシウム標準液（Cs 1000）（富士フイルム和光純薬株式会社）を吸着させ，吸着特性の評価を行った．サンプル約 25 mg を Cs 溶液に浸漬し，1 晩振とうしたのち，イオンクロマトグラフィー（IC）（サーモフィッシャーサイエンティフィック，Dionex ICS-5000）により定量測定を行った（ $n=5$ ）．測定条件を表 1 に示す．それぞれの測定値と初期濃度との差により，吸着量を算出した．比較として，ゼオライト（A4）も同様に処理した．

表 1 IC 測定条件

カラム	CS12A（4 mm×250 mm）
移動相	20 mM メタンスルホン酸
流速	1.0 mL/min
注入量	25 μL
カラム温度	40℃
検出器	電気伝導度
サブレッサー	Dionex CERS 600

2-6 触媒担体としての性能評価

酸処理によって得た白色粒子に硝酸テトラアミン白金（II）（富士フイルム和光純薬株式会社）を担持させ，エチレン分解能の評価を行った．担体無し（Pt 粉末），ガラス由来多孔質体（Pt 担持），ゼオライト（A4，Pt 担持）をそれぞれ 0.3 g 秤取り，2 L テドラーバックにエチレン 150 ppm 1.5 L と共に封入して 25.0℃で静置し，時間経過による濃度変化を検知管で測定した．なお，エチレンの希釈は混合ガス（ $\text{N}_2:\text{O}_2=4:1$ ）で行った．

3 結果および考察

3-1 ガラスの組成

基板ガラスは，太陽光パネル製造の過程で金属電極を焼結させるため，高温に耐え得る性能が求められる．基板ガラスの XRF 測定結果を表 2 に示す．実験に用いたガラスには Zr が含まれており，融点上昇への寄与が推察された．また，汎用ガラスに比べて Sr や Ba 等のアルカリ土類金属が多く含まれており， SiO_2 等のガラス骨格を形成する元素よりも網目修飾酸化物が比較的多いガラスであることが分かった．

表 2 ガラスの組成分析結果（XRF）

		(wt%)
SiO_2	48.945	
Al_2O_3	13.080	
SrO	13.040	
CaO	5.433	
ZrO_2	4.843	
Na_2O	4.839	
K_2O	4.413	
BaO	3.505	
B_2O_3	1.633	
Fe_2O_3	0.106	
MgO	0.036	

3-2 多孔質化および細孔特性の評価

実験フローを図 1 に示す．基板ガラスを 1～2 mm 程度に破碎したのち，酸処理を行った．基板ガラスの酸処理前後の外観を図 2 に示す．処理前は透明であったガラス粒子は，酸処理を進めるにつれて表面が白濁し，最終的に内部まで白色へと変化した．

得られた白色粒子の比表面積を測定したところ，約 600 m^2/g に達し，非常に大きな比表面積を有することが明らかとなった．さらに吸着等温線の形状および細孔径分布の解析から，得られたサンプルはマイクロポア（約 0.6 nm）の細孔を主として有する多孔質体であることが明らかとなった．

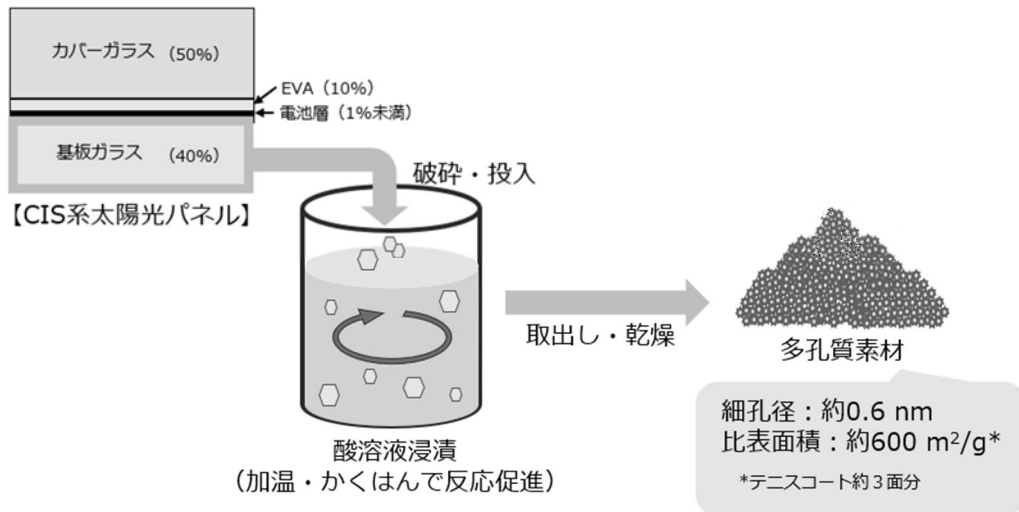


図1 実験フロー

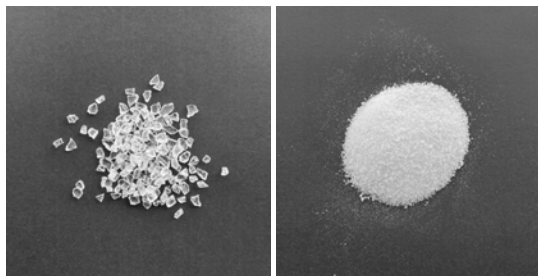


図2 基板ガラス粒子の写真
(左：酸処理前、右：酸処理後)

ていることで、トンネルを掘るように細孔形成が進行するためと推察される²⁾。

酸処理を開始して10分後と5時間後の元素溶出量を比較すると、各元素は概ね同じ比率で溶出していた。これは、特定の元素のみが速やかに溶出するわけではなく、複数の元素が同程度の速度で溶出していることを示している。この結果は、前述した細孔がトンネル状に発達するという推察を強く支持するものである。

3-3 酸溶出元素の確認

酸処理開始して10分後および5時間後の酸溶液を採取し、希釈を行ったのち、ICP測定により元素の定量を行った(図3)。その結果、Na、K、Ca等の網目修飾酸化物の元素に加えて、Al等の中間酸化物の元素も確認された。この結果は既報²⁾の結果とも一致している。

ガラスが酸に対して化学的に安定であることはよく知られている。正確には、表層の金属元素が酸と反応して溶出するものの、SiとOの緻密なネットワーク構造により酸が内部へ侵入できないため、その浸透深さは150 nm程度に制限されると報告されている^{4,5)}。

しかし、今回の実験で用いたガラスのように、酸に溶出可能な元素がSiと同等以上のモル比で含まれる場合は、酸処理のみで多孔質化が可能である。これは、酸溶出可能な元素同士が三次元的に密接し

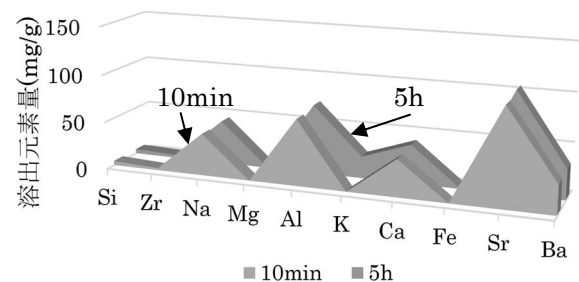


図3 酸処理溶液のICP測定結果

3-4 ガラス粒径と多孔質化時間の評価

酸処理による細孔形成は、種々の実験において、外側から徐々に内部へ進行する様子が見られた。このことから、ガラス粒子の多孔質化速度は、粒径が小さいほど速いと予想できる。

図4は異なるガラス粒径に対する酸処理時間と比表面積の関係を示したものである。比表面積の増加は、細孔形成が進んでいることを示している。

粒径約 53~75 μm のサンプルでは比表面積が速やかに上昇し、飽和値に達するまでの時間も早かった。また、粒径 1~2 mm のサンプルでは比表面積の増大がゆるやかであり、予想どおりの挙動を示した。しかしながら、比表面積はさらに増大し、最大値は 粒径約 1~2 mm のサンプルが約 53~75 μm の値を大きく上回る結果となった。これは粉砕処理の影響によるものと考えられる。ガラスを 100 μm 以下に粉砕する場合、ボールミル等による粉砕が必要である。その際、衝撃蓄積やクラック生成によりサンプル表面から内部にかけて無数の微細な結合欠損が生じる。このようなガラスでは、酸処理を含むその後の工程で、結合の弱くなった箇所の部分的な崩壊が容易に想像される。結果として、本来細孔となるはずの箇所が外部露出し、比表面積の増大が抑制された可能性が考えられた。

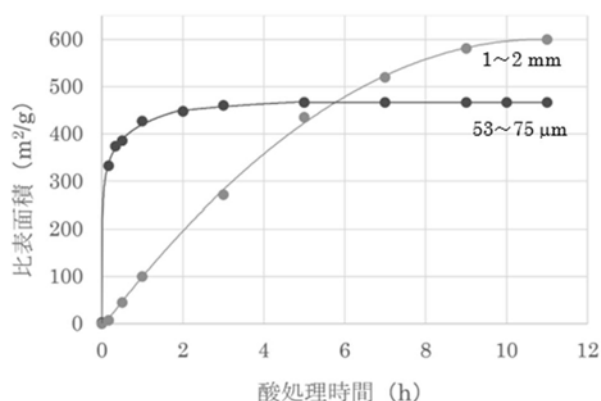


図4 ガラス粒径と比表面積増加速度

3-5 吸着特性の評価

細孔径が 1 nm 未満のマイクロポアを持つ吸着材として、ゼオライトが知られている。今回の実験で得られたガラス由来多孔質体も細孔径が小さく、似通った吸着特性が期待された。金属元素の吸着試験を行ったところ、ガラス由来多孔質体はゼオライトと同様にアルカリ金属類をよく吸着した。

Cs の吸着試験の結果を図 5 に示す。吸着量はサンプル 1 g あたり 88.1 mg であり、ゼオライトの吸着量 86.7 mg/g をわずかに上回る結果となった。これにより、ガラス由来多孔質体の吸着材としての有用性が示唆された。

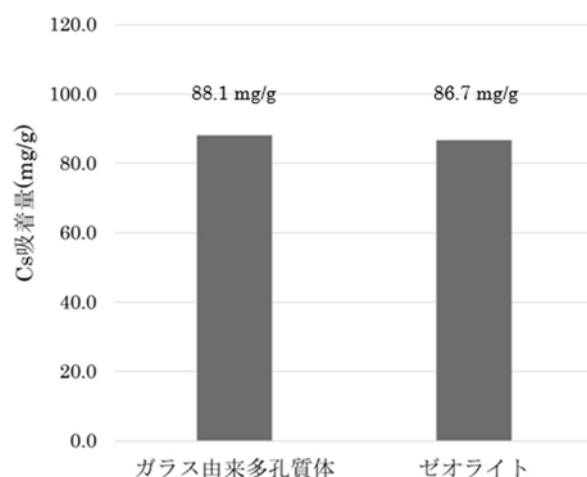


図5 Cs吸着試験 (IC測定結果)

3-6 触媒担体としての性能評価

触媒の効果は、一般的に反応物との接触頻度に依存するため、効率を高めるには担体の利用が有効である。本実験では、担体無し (Pt 粉末)、ガラス由来多孔質体 (Pt 担持)、ゼオライト (Pt 担持) を調製し、各種触媒をエチレンガスとともに封入し、濃度の経時変化をプロットした (図 6)。

Pt 触媒の効果を比較すると、担体なしの場合よりも、担体を用いた方が明らかにエチレン濃度の低下が速かった。さらに、ガラス由来多孔質体を担体とした方がゼオライトのそれよりもエチレン分解速度が大きかった。過去の報告においても、Pt を担持した多孔質シリカの優れたエチレン分解能が言及されており、0℃付近の低温でもエチレンを水と二酸化炭素に完全酸化できたとの報告もある⁶⁾。ガラス由来多孔質体は 90 wt% 以上が SiO_2 で構成されており、同様なメカニズムによって、高いエチレン分解能が付与できたものと推察される。

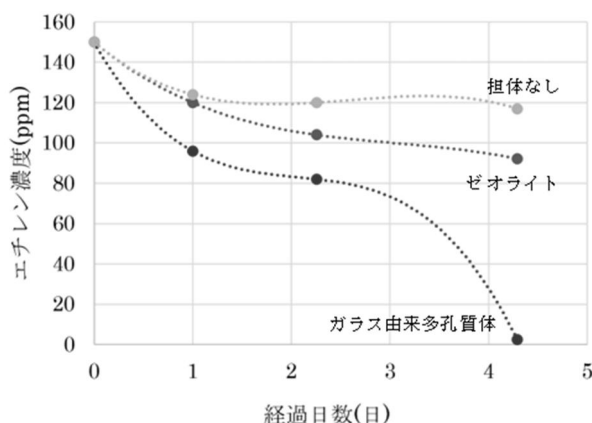


図6 Pt触媒への担体効果

この結果から、ガラス由来多孔質体はゼオライトとは異なる特性を持つ触媒担体として有望であり、触媒応用分野において活躍する可能性が示された。

4 まとめ

本稿では、太陽光パネルから回収したガラスの高付加価値化技術として、多孔質体の製造方法を紹介した。本技術は、バルクガラスを粉砕せずに酸処理可能であることや、酸処理工程のみで多孔質化が実現できることから、従来法に比べて簡便な方法と言える。

本報告の多孔質化手法は、シンプルな処理工程により工業現場への導入が比較的容易であり、廃ガラスの再利用促進に寄与すると期待される。また、得られた多孔質体は吸着剤や触媒担体として利用が可能である。今後は、コスト競争力のさらなる向上や実証試験の実施等により、社会実装および資源循環の実現に繋げたい。

5 参考文献

- 1) 中央環境審議会循環型社会部会太陽光発電設備リサイクル制度小委員会・産業構造審議会イノベーション・環境分科会資源循環経済小委員会太陽光発電設備リサイクルワーキンググループ 合同会議 (第10回) 資料
- 2) R. Watanabe, I. Akazaki, *J. Non-Cryst. Solids*, **668**, 123786 (2025)
- 3) S. Brunauer, P. H. Emmett, E. Teller, *Adsorption of gases in multimolecular layers*, *J. Am. Chem. Soc.*, **60**, 309-319(1938)
- 4) T. Geisler, A. Janssen, D. Scheiter, T. Stephan, J. Berndt, A. Putnis, *J. Non-Cryst. Solids*, **356**, 1458-1465(2010)
- 5) A.L. Ogrinc, Y. Zhou, S.H. Hahn, Y.T. Lin, S.H. Kim, *J. Non-Cryst. Solids*, **600**, 121989 (2023)
- 6) C. Jiang, K. Hara, A. Fukuoka, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **52**, 6265-6268(2013)

油水混合液を利用した Ca-Mg 炭酸塩の合成

赤木 剛^{*1}・永田 哲也^{*1}・山本 建次^{*1}

Synthesis of Ca-Mg Carbonate Using Oil-Water Mixture as a Synthesis System

Takeshi AKAKI, Tetsuya NAGATA and Kenji YAMAMOTO

油相（有機相）と水相の混合液を合成系として Ca（カルシウム）-Mg（マグネシウム）炭酸塩の合成を試みた。油相として Ca と Mg 成分を含む液体金属石けんを調製し、炭酸水溶液と室温で混合かくはんした後に 50℃で一定時間静置した結果、分離した油水相の境界付近などに Ca-Mg 炭酸塩の合成が確認された。また、油相（有機相）として有機酸 Ca と有機酸 Mg を含む水アルコール混合溶液やゲルを調製し、炭酸水溶液と 40℃で混合かくはんした後に同温度で一定時間静置した場合も、白濁した液中で Ca-Mg 炭酸塩の合成が確認された。ろ過や風乾などを経て回収された白色粉体からは、合成条件により 1 μm～10 μm 程度の多様な粒径および形状の粒子が観察され、合成粒子の Mg/Ca 組成は、油相（有機相）の仕込み原料の配合比（Mg/Ca）を調整することで、理想式の Mg/Ca 組成の比率を含む一定の範囲で段階的に調整できた。

1 はじめに

Ca-Mg 炭酸塩（ドロマイト：理想式 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ）は、セメントやガラス原料、化粧品、食品添加物など多くの用途で知られる工業材料であり、用途によっては高い品質と安全性が要求されるため、重金属などの不純成分を含まず、Mg/Ca 組成（以下、モル比）が理想式に示された 1 を含む幅広い範囲で調整できることが望ましい。これまで水溶液中での人工合成方法として、高温高压条件や超音波照射による方法などが報告されている¹⁾が、本研究では、より穏和な条件での合成技術の開発を念頭に、Ca と Mg 成分を含む油相（有機相）と炭酸塩水溶液を 100℃以下で混合かくはんして調製した油水混合液を合成系として利用した合成方法を検討した。

2 実験方法

2-1 油相に液体金属石けんを用いた場合（試験 1）

Ca と Mg を含む常温液体の金属石けんを用いて調製した油相と炭酸塩水溶液を混合かくはんし、油水混合状態を経由した合成系でのドロマイト合成を検討した。なお、合成系となる油水混合液は 50 mL ガラス瓶で試験可能なスケールの分量とした。

油相の調製にはナフテン酸カルシウムとナフテン酸マグネシウム（ともにキシダ化学㈱）を用いて、油相中の Mg/Ca 組成が 0.5, 1, 2, 3 相当となる溶液（油相量：6.5, 6.4, 6.3, 6.2 g）を調製した。室温で各油相をスターラーかくはんしながら、Ca および Mg 成分と等モル量の炭酸ナトリウム（富士フイルム和光純薬㈱；以降、記載のない試薬は同社製）を含む水溶液 3.8 g を滴下して 1 時間かくはんした。その後、50℃の恒温槽に 120 時間静置したところ、油水相の分離とともに油水境界付近や水相内に白色析出物が観察されたため（図 1）、ろ過、エタノール洗浄および風乾を経て当該析出物を回収した。

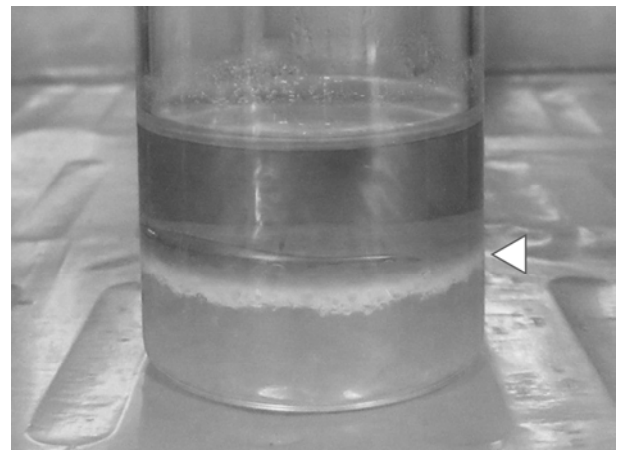


図 1 試験 1 の様子

（△ 油水相境界の析出物，上層：油相，下層：水相）

^{*1} 材料開発部

2-2 油相(有機相)にアルコールを用いた場合(試験 2)

Ca と Mg を含む水アルコール混合溶液またはゲルを用いて調製した有機相と、炭酸塩水溶液を混合かくはんして、混合液内でのドロマイト合成を検討した。なお、合成系となる水アルコール混合液の分量は 2 L 程度となるように調製した。

有機相のアルコールにはエタノール（キシダ化学㈱）を用い、①酢酸カルシウムと酢酸マグネシウムを含める場合と、②プロピオン酸カルシウムと酢酸マグネシウムを含める場合の 2 通りについて、有機相中の Mg/Ca 組成が 0.67, 1, 1.5 相当となるものを各々調製した。①では、酢酸マグネシウム四水和物（86, 108, 130g）をエタノール 675 g に加えた溶液をウォーターバスで 40℃ に加温しながら、酢酸カルシウム一水和物（106, 88, 71 g）を水 413 g に加えた溶液を混合かくはんしたところ、ゲル状の有機相が得られた。一方、②では、酢酸カルシウム一水和物の代わりに、プロピオン酸カルシウム（112, 94, 75 g）を用いて①と同様に調製したところ、有機相として溶液を得た。①、②の各有機相を引き続きウォーターバスで 40℃ に加温した状態で、Ca および Mg 成分と等モル量の炭酸アンモニウムを含む水溶液 539 g を滴下して 1 時間かくはんしたところ（図 2）、①ではゲル状の有機相が混合液に溶け込みながら白濁が進み、かくはん後に白色の懸濁液を得た。また、②でも滴下直後から白濁が進み、白色の懸濁液を得た。得られた白色懸濁液は、40℃ の恒温槽に 24 時間静置した後に、液内で観察された白色析出物をろ過および風乾により回収した。



図 2 試験 2 の様子

2-3 析出物の評価

析出物の評価は、粉末 X 線回折分析や電子顕微鏡観察および同顕微鏡付属のエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置による Mg/Ca 組成の分析により実施した。

2-3-1 粉末 X 線回折分析

X 線回折装置（㈱リガク, SmartLab）を用いて分析した。X 線源は Cu 管球（Cu K α 線）で、測定条件は、管電流、管電圧がそれぞれ 200 mA および 45 kV、測定角度範囲 $2\theta = 5^\circ \sim 60^\circ$ 、ステップ幅 0.01° 、スキャンスピード $30^\circ/\text{min}$ とした。

2-3-2 電子顕微鏡

電子顕微鏡（㈱日立ハイテク, S-4800）および同顕微鏡付属のエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（EDAX 社, EDAX Genesis APEX2）を用いて、析出物を構成する粒子の観察および主要元素組成の分析を実施した。試料は前処理としてイオンスパッタによる Pt-Pd コーティングを行い、二次電子像により観察した。前述の粉末 X 線回折分析で Ca-Mg 炭酸塩の合成が示唆された試料については、1 水準につき任意の構成粒子 20 点の Mg/Ca 組成を測定して平均値を求め、同様に市販のドロマイト標準試料（BAS 社）について任意の構成粒子 20 点を測定して求めた平均値を基に補正した値を評価に用いた。

3 結果および考察

3-1 油相に液体金属石けんを用いた場合（試験 1）

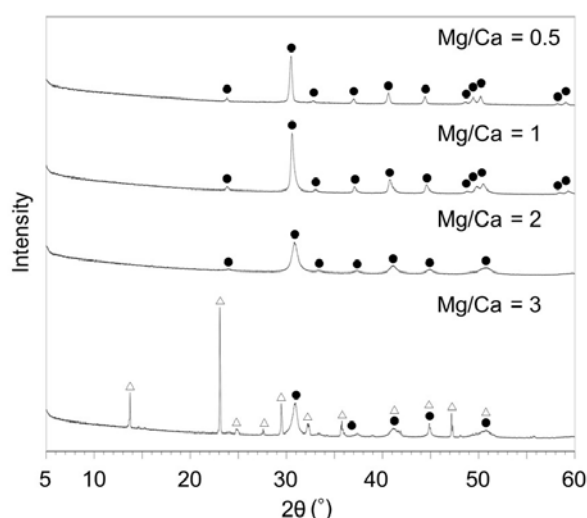


図 3 試験 1 の X 線回折分析
（● ドロマイト, △ ネスケホン石）

試験 1 で回収した 4 水準の白色析出物各々の粉末 X 線回折分析結果を図 3 に示す。油相中の Mg/Ca 組成を 0.5, 1 および 2 相当に調整した 3 試料からはドロマイトに相当する回折ピークが検出され、油相中の Mg/Ca 組成が増えるにつれて高角度側にシフトした。一方、油相中の Mg/Ca 組成を 3 相当に調整した場合は、ドロマイトに加えてネスケホン石 ($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) に相当する回折ピークが検出された。

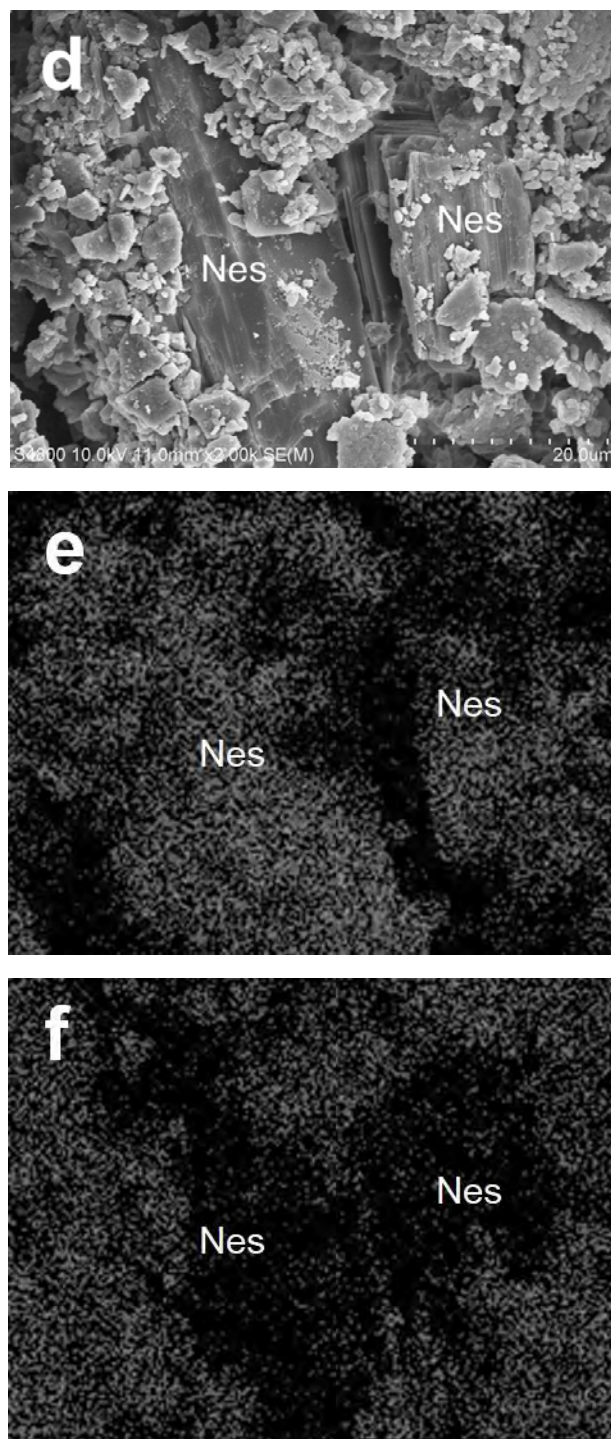
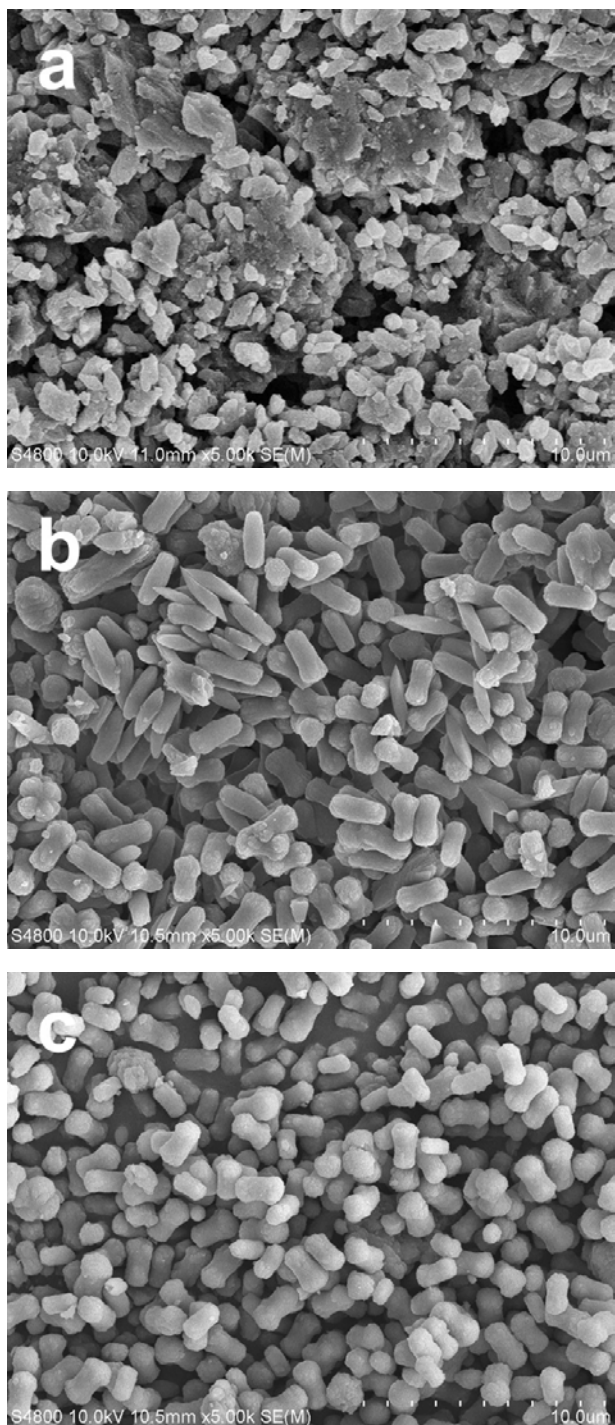


図 4 試験 1 の析出物の電子顕微鏡観察および元素マッピング像

a : 油相 Mg/Ca=0.5, b : 油相 Mg/Ca=1,
c : 油相 Mg/Ca=2, d : 油相 Mg/Ca=3 の場合
e : d の Mg マッピング, f : d の Ca マッピング
(図 4d, 4e, 4f 中の Nes はネスケホン石を示す)

次に電子顕微鏡観察について、結果を図 4 に示す。油相中の Mg/Ca 組成が 0.5, 1, 2 の場合は、おもに数 μm の粒子が一様に観察され (図 4a, 4b, 4c), 主たる構成元素として Ca, Mg, C, O (および微

量の Na) が検出された。一方、油相中の Mg/Ca 組成が 3 の場合は、数 μm ~ 10 μm 程度の不定形粒子に数 10 μm ~ 1 mm 程度の角状組織が混在していた (図 4d)。先述の X 線回折分析の結果を踏まえると、主要元素組成の分析や元素マッピング (図 4e, 4f) から、主たる構成元素として Ca, Mg, C, O (および微量の Na) が検出された前者の不定形粒子はドロマイト, Mg, C, O (および微量の Ca) が検出された後者の角状組織はネスケホン石に対応することが推察された。

合成粒子の Mg/Ca 組成は、用いた油相中の Mg/Ca 組成が 0.5, 1, 2 と高くなるにつれて増大した (0.6, 1.0, 1.6)。一方、油相中の Mg/Ca 組成を 3 まで引き上げた場合は、合成された不定形粒子の Mg/Ca 組成が 1.5 に高止まったことから、油相に加えた Mg 成分の一部はドロマイトに取り込まれず、ネスケホン石の副生に寄与したことが示唆された。

3-2 油相(有機相)にアルコールを用いた場合(試験 2)

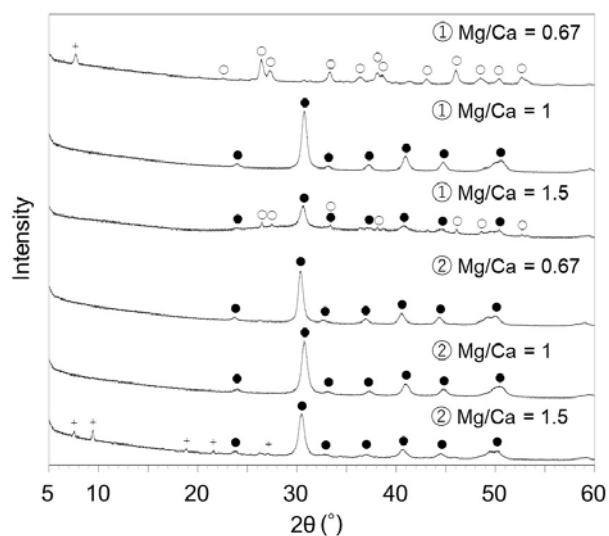


図 5 試験 2 の X 線回折分析

① 酢酸 Ca, ② プロピオン酸 Ca を用いた場合
(● ドロマイト, ○ アラゴナイト, + 不明)

合成実験で回収した 6 水準の白色析出物の粉末 X 線回折分析結果を図 5 に示す。①酢酸カルシウムを用いた場合、有機相中の Mg/Ca 組成が 1 の条件ではドロマイトの回折ピークが検出されたが、0.67 の場合はアラゴナイト (CaCO_3) の回折ピーク (一部不明な回折ピークを含む) が検出された。また、1.5

の場合は、ドロマイトとアラゴナイトの回折ピークが混在して検出された。一方、②プロピオン酸カルシウムを用いた場合、有機相中の Mg/Ca 組成が 0.67 および 1 の条件では、ドロマイトの回折ピークが検出されたが、1.5 の場合は、ドロマイトに加えて不明な回折ピークが混在して検出された。

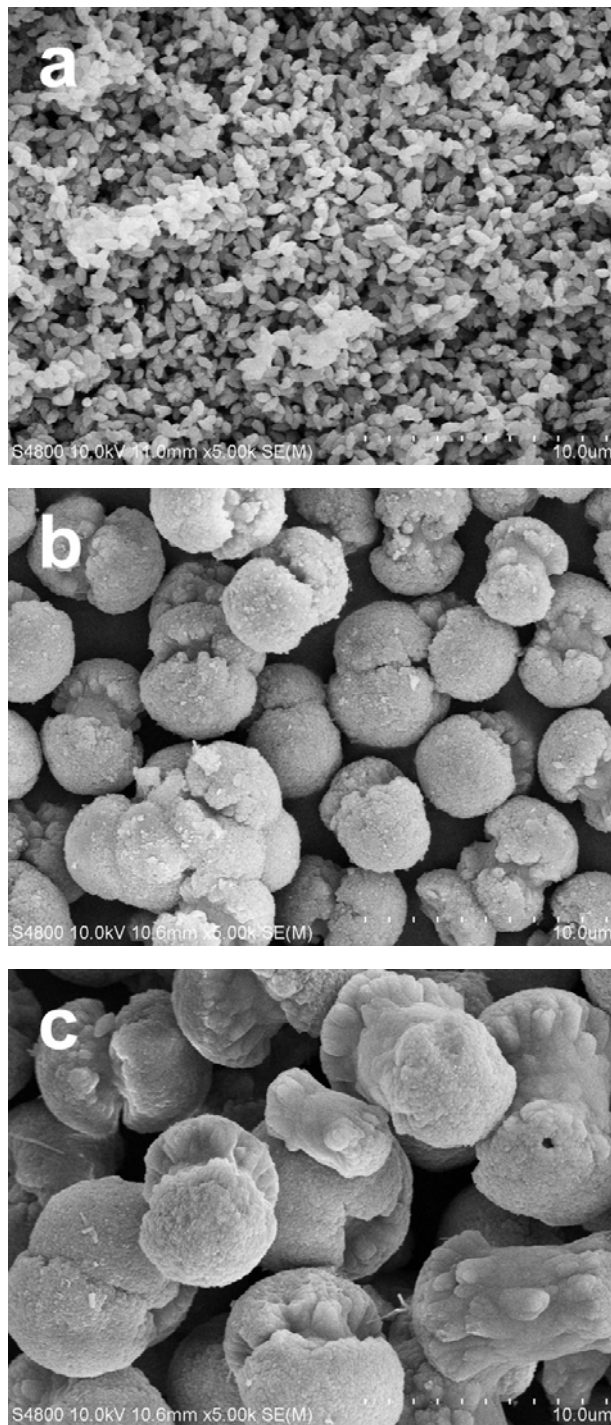


図 6 試験 2 の析出物の電子顕微鏡観察像

a : ①酢酸 Ca を用いて 有機相 Mg/Ca=1,
b : ②プロピオン酸 Ca を用いて有機相 Mg/Ca=1,
c : ②プロピオン酸 Ca を用いて有機相 Mg/Ca=0.67

次に電子顕微鏡観察について、結果の一部を図 6 に示す。用いた有機相中の Mg/Ca 組成が 1 の条件では、①酢酸カルシウムを用いた場合（図 6a）は、主に 1 μm 程度の一部やや角張った粒子が一様に観察されたが、②プロピオン酸カルシウムを用いた場合（図 6b）では、主に 5～10 μm 程度のくびれのある俵型粒子が観察された。両者の合成粒子の大きさや形状は異なるが、元素組成は互いに類似しており、主たる構成元素として Ca, Mg, C, O が検出され、Mg/Ca 組成の値はともに 1.0 であった。また、②プロピオン酸カルシウムを用いて有機相中の Mg/Ca 組成を 0.67 で調整した場合の合成粒子（図 6c）も、図 6b と同様に 5～10 μm 程度のくびれのある俵型粒子が観察され、主たる構成元素として Ca, Mg, C, O が検出されたが、Mg/Ca 組成の値は 0.6 となり、用いた有機相の Mg/Ca 組成に応じた変化が確認された。

4 まとめ

Ca と Mg 成分を含む油相（有機相）と炭酸塩水溶液の混合液を合成系として利用することで、高温高圧条件などを要せずに 100℃以下で Ca-Mg 炭酸塩（ドロマイト）の白色粉体を合成できた。合成品からは、合成条件によって 1 μm ～10 μm 程度の多様な粒径および形状の粒子が観察され、合成粒子の Mg/Ca 組成は、油相（有機相）の仕込み原料の配合比（Mg/Ca）を調整することにより、Mg/Ca 組成が理想式の 1 を含む一定の範囲で段階的に調整できた。

当該合成品は土壌由来の不純成分を含まず、Mg/Ca 組成の段階的な調整も可能となるため、この特長が有効となる可能性のある高付加価値品として、例えば、セラミックス原料や化粧品、食品添加物などの用途が期待できる。

5 参考文献

- 1) 松田恵三, *Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan*, **13**-323, 253-260 (2006)

高濃度の工業用 X 線造影物質を含有した 油中ナノ粒子分散体の調製及び造影能評価*

藤本 晃己*1・松浦 靖*1・山本 建次*1

Preparation and Contrast Enhancement Evaluation of Nanoparticle-in-Oil Dispersion Containing High Concentrated Industrial X-ray Contrast Substances

Koki FUJIMOTO, Yasushi MATSUURA and Kenji YAMAMOTO

本研究では油中ナノ粒子分散体製造技術を応用し、高濃度の工業用 X 線造影物質を含有した造影剤の調製および造影能を評価した。X 線造影物質として硫酸セシウムを用い、大豆油中の濃度を 20, 30 および 35 wt%にした分散体を調製し、外観および平均粒径から分散安定性を評価した。なお、造影能は X 線分析顕微鏡による透過 X 線像を用いて評価した。その結果、30 wt%濃度の分散体において、分散安定性と優れた造影能を有することが分かった。さらに、本造影剤を用いて、樹脂および金属材料にクラック（亀裂）等を含むモデル検体の X 線 CT 撮影を行い、微細な構造を可視化する造影事例を作成した。本成果は工業分野における新たな造影剤として、非破壊検査等への利用可能性が示唆された。

1 はじめに

当県が独自に開発した油中ナノ粒子分散体の製造方法（特許第 6582283 号）は、油に不溶の水溶性物質を油の中にナノメートルオーダーで分散・配合させる特許技術である。本技術は、所望の水溶性物質が溶解した水溶液と界面活性剤が溶解した油剤を分散させた W/O エマルションを前駆体として調製する乳化工程と、気泡発生が伴う温度・圧力条件下で前駆体から水を除去する沸騰脱水工程を経ることにより、ナノオーダーの分散状況を実現することができる。この技術は既に化粧品分野での実用化に成功しており、今後も幅広い分野での活用が期待されている。

前報¹⁾では新たな活用を見出すため、工業製品の不良解析等を目的とした透過 X 線像撮影に用いる工業用造影剤の調製を検討した。透過 X 線像は検体内部を非破壊で撮影することが可能であり、X 線を照射して検体を透過させる際の X 線吸収率や透過性の違いが濃淡差で表現された像が取得できる。この X 線吸収率は、物質の厚さや密度（原子番

号）の増加に比例して高くなる。前報では、造影用物質として原子番号が大きいセシウムに着目し、数種類のセシウム塩を用いて油中ナノ粒子分散体を調製した結果、硫酸セシウムを用いた分散体が最も安定性および造影能が高いことを明らかにした。また、前報では、9 wt%濃度の分散体調製にとどまっていたが、硫酸セシウムの溶解度²⁾は 64.1 wt%と非常に高いため、分散相濃度をさらに高めることにより、造影能を向上できる可能性を残していた。

こうした状況を踏まえ、本研究では、20, 30 および 35 wt%の高濃度の硫酸セシウム油中ナノ粒子分散体（以下、分散体）を調製し、各分散体の安定性および造影能を評価するとともに、造影事例の作成を検討したので報告する。

2 実験方法

2-1 濃度別分散体調製法および安定性評価

造影用物質として硫酸セシウム（Cs, 原子番号 55, 株式会社高純度化学研究所）を用いて、各分散体中の硫酸セシウム濃度が 20, 30, 35 wt%となるように、25, 43, 54 wt%の硫酸セシウム水溶液を調製し、水相とした。

* 油中ナノ粒子分散体の調製技術に関する研究（第6報）

*1 材料開発部

油剤として大豆油（富士フイルム和光純薬（株）），界面活性剤としてヘキサグリセリン縮合リシノレイン酸エステル（日光ケミカルズ（株），NIKKOL Hexaglyn PR-15）を用い，これらを重量比 1 : 1 で混合したものを油相とした．

乳化条件を表 1 に示す．スターラー（アズワン（株），HPS-100）によるかくはん下で油相に水相を滴下し，予備乳化を行った．その後，ホモジナイザー（IKA，T25 digital ULTRA-TURRAX，シャフトジェネレーター S25N-25F）を用い，乳化を行った．

次に，乳化で得られた前駆体を PTFE 製沸騰石（Saint-Gobain）とともにナスフラスコに移し，ロータリーエバポレーター（IKA，RV10）を用いて表 2 の条件で脱水した．

表 1 乳化条件

水相	25, 43, 54 wt%硫酸セシウム水溶液
油相	大豆油 : PR-15 = 1 : 1（重量比）
水相 : 油相	1 : 1（重量比）
乳化	①スターラーかくはん（予備乳化） 1.6 krpm ②ホモジナイズ処理 15 krpm, 1 min → 24 krpm, 0.5 min

表 2 脱水条件

回転数	120 rpm
水浴温度	60°C
減圧脱水	①常圧 → 8 kPa, 段階的に減圧 ②8 kPa → 5 kPa, 気泡発生終了まで

また，造影剤として応用を図る上で，分散粒子が短期間で沈降しない安定な分散体であることが要求されるため，得られた分散体の安定性については，前報と同様，外観変化の有無および平均粒径により評価した．

外観変化の有無については，調製直後および 10 日後の各分散体をデジタルカメラで撮影して画像上で比較する方法により確認し，両者に差異が見られないことを良好な安定性の評価基準とした．

平均粒径については，調製直後および 10 日後の各分散体を動的光散乱光度計（大塚電子（株），ELSZ-2）により測定した．供試試料は，1 wt%濃度とな

るよう，分散体に油相を加えて希釈し，ポリスチレン製ディスポーザブルセルに注ぎ入れた．調製後は，分散体を 25°C で 1 測定 70 回積算を 3 回繰り返して解析用のデータを得た．測定により得られた散乱強度分布の 50% 径を平均粒径とし，その値が 195 nm 以下であることを良好な粒径の評価基準とした．

2-2 X 線透過像撮影による造影能評価

毛細管現象によりポリプロピレン製ピペットチップ（1 mL）の先端部に各種濃度の分散体を導入したモデル検体を作製し，X 線透過像を撮影した．撮影には X 線分析顕微鏡（（株）堀場製作所，XGT-7200）を使用し，管電圧 50 kV－管電流 1.0 mA の条件で撮影を行った．

2-3 造影事例の作成

被検体は無数のクラックが入ったアクリル樹脂円板（φ 50 mm），ドリルで孔（φ 0.5, 0.7 mm）を開けたアルミ合金（A5052 片 : 5 × 15 mm）を用意した．それぞれの検体を 30 wt% 濃度分散体中に 1 日浸した後，X 線 CT 装置（（株）島津製作所，inspeXio SMX-225CT FPD HR Plus）を用いて，管電圧 200 kV－管電流 70 μA の条件で X 線透過像撮影を行った．

3 結果および考察

3-1 濃度別分散体の安定性評価

硫酸セシウムを用いて調製した，濃度別分散体の調製直後および 10 日後の外観変化の様子を表 3 ならびに図 1, 2 に示す．

20 wt% 濃度分散体は調製直後と調製 10 日後において，両者の均一性に差異は見られず，沈殿もほぼ認められなかったことから，安定性が高いものと判断した．30 wt% 濃度分散体は両者において均一な外観を示し，かつ沈殿量も少量であったため，比較的安定性が高いと判断した．一方で，35 wt% 濃度分散体は，均一な外観を示したもの

表 3 濃度別分散体の外観変化

分散体濃度 (wt%)	調製直後	調製 10 日後
20	白濁、沈殿なし	白濁、沈殿少量
30	白濁、沈殿なし	白濁、沈殿少量
35	白濁、沈殿あり	白濁、沈殿顕著

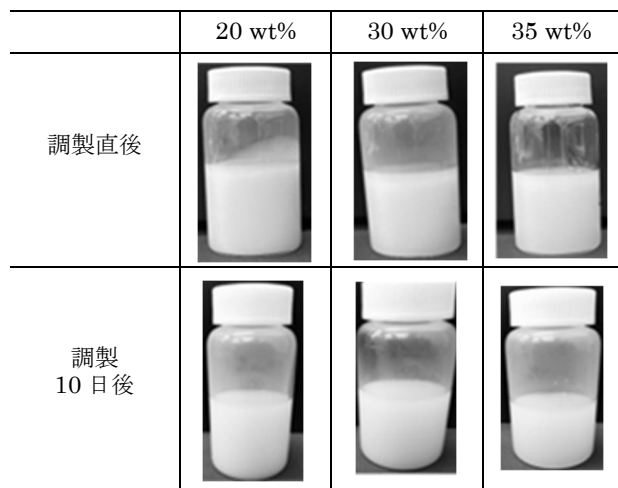


図 1 外観の変化

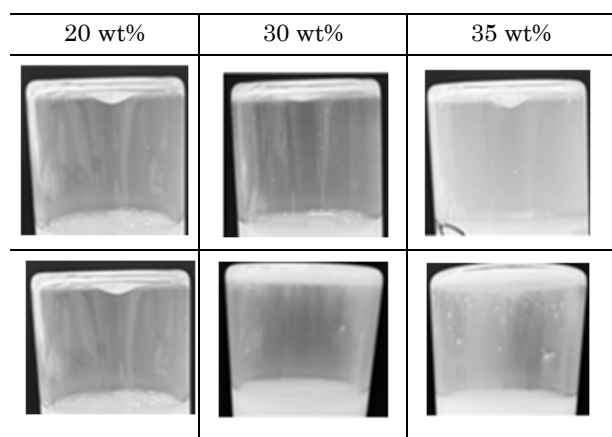


図 2 沈殿の様子

(上段：調製直後，下段：調製 10 日後)

の，調製直後の早い段階で沈殿物が生じ始め，調製 10 日後では沈殿物が顕著に現れており，安定性がやや低下した．これらの安定性低下は，分散相の濃度上昇に伴い，粒子密度が高まり，また，界面活性剤の配向比率低下が要因と推察された．

次に，各分散体の粒径測定結果を表 4 に示す．

20，30 wt%濃度分散体の平均粒径はそれぞれ，調製直後で 143.2 nm，171.2 nm，10 日後においても 125.6 nm，162.1 nm であり，小さな粒径を維持した良好な結果を示した．一方で，35 wt%濃度分散体の平均粒径については，調製直後は 195 nm をやや超えていたが，10 日後は 175.1 nm であった．いずれの濃度においても，時間の経過により平均粒径が小さくなる傾向が認められた．

なお，35 wt%濃度分散体で確認された前述の沈

殿物は肉眼で認識可能なレベルの大きさであったため，レーザードップラー法に基づく本粒径測定では検出されなかったものと考えられる．

表 4 濃度別分散体の平均粒径測定結果

分散体濃度 (wt%)	調製直後 (nm)	調製 10 日後 (nm)
20	143.2	125.6
30	171.2	162.1
35	198.5	175.1

3-2 X 線透過像撮影による造影能評価

分散相濃度の違いが造影能に及ぼす影響を確認するため，分散体を導入したピペットチップ検体を X 線分析顕微鏡で撮影した透過像を図 3 に示す．

全ての検体において，分散体導入部とピペットチップ壁部との間に濃淡差が確認され，造影を認めた．特に 30，35 wt%濃度分散体では，濃淡差が強く生じ，造影能に優れていた．

これらの結果を踏まえ 30 wt%濃度分散体は安定性と造影能の両方を兼ね備えており，工業用造影剤としての適性が非常に高いことが見いだされた．この分散体を用いて造影事例の作成を検討した．

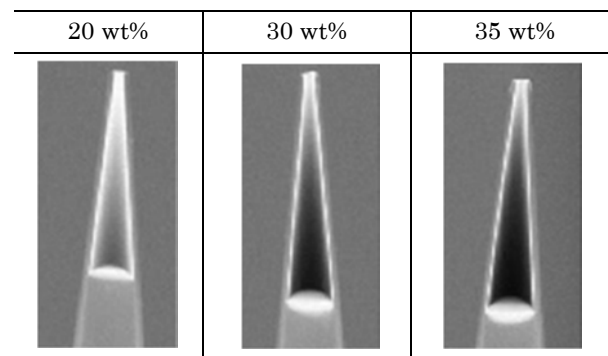


図 3 濃度別分散体の X 線透過像

3-3 造影事例の作成

クラック等を有する樹脂円板や金属板を 30 wt%濃度の分散体に浸した後，X 線 CT による透過像を撮影した結果を図 4 および図 5 に示す．

クラックが入ったアクリル樹脂円板の X 線透過像撮影を試みたところ，クラックの内部まで分散体が入り込み，クラックの様子が造影された透過像を取得することができた．

また、ドリルで孔を開けたアルミ合金板の透過像については、分散体導入無しの検体は造影用物質が存在せず、X 線が吸収されないため、画像のように貫通孔が淡く映し出された。一方で、分散体導入有りの検体は、アルミ合金と分散体間で濃淡差が認められた。これらの結果から、30 wt%濃度の分散体は、クラックや孔の検出に有用であることが示唆された。

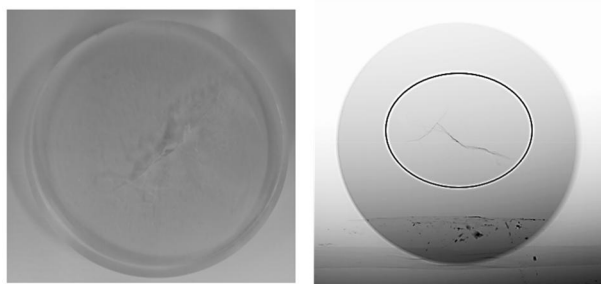


図4 アクリル樹脂円板の X 線透過像
(左：現物，右：分散体導入後の透過像)

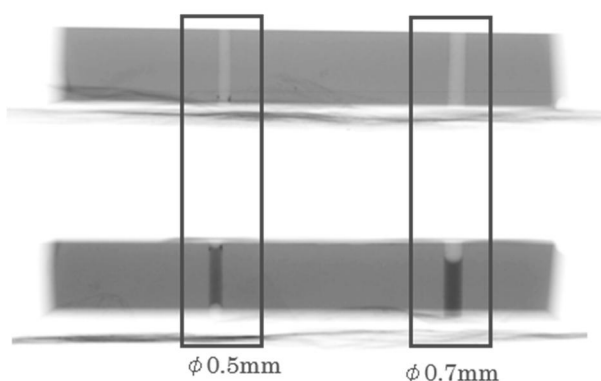


図5 アルミ合金の X 線透過像
(上段：分散体導入無し，下段：分散体導入有り)

4 まとめ

油中ナノ粒子分散体製造技術を用いた工業用造影剤としての応用可能性を検討するために、硫酸セシウム油中ナノ粒子分散体の安定性および造影能を評価し、造影剤としての適性を評価した。その結果、分散相濃度が高くなるにしたがい、平均粒径は増大する傾向にあり、30 wt%濃度以下の分散体では、195 nm を下回る良好な結果を得た。また、外観観察でも分散相濃度が高くなるに従い、沈殿量もやや多く、特に 35 wt%濃度で顕著であることから、30 wt%濃度以下の分散体で安定性が高いことが確認された。

また、X 線透過像撮影による造影能評価を行った結果、分散相濃度が 30 wt%以上で造影能が高まることが確認された。これらの結果から、30 wt%濃度分散体は工業用造影剤としての適性が非常に高く、造影事例作成においてもクラック等に対して、十分な造影能が発揮された。

本研究結果より、高濃度条件下においても比較的安定性の高い工業用 X 線造影物質を含有した分散体を調製でき、油中ナノ粒子分散体を工業用造影剤として応用できる可能性が得られた。今後も特許技術の普及を進め、新たな独自技術の開発に取り組む計画である。

5 参考文献

- 1) 那須成裕，松浦靖，山本建次：宮崎県工業技術センター・食品開発センター研究報告，**69**，13-16(2024)
- 2) (社)日本化学会：化学便覧基礎編Ⅱ，丸善(株)，780(1975)

画像処理・機械学習等を用いた検査工程の 自動化・省力化に関する研究

宮路 紘輝^{*1}・肥後 一彦^{*1}

Study on Automation and Labor Saving of Inspection Processes Using Image Processing and Machine Learning.

Hiroki MIYAJI and Kazuhiko HIGO

本研究では、少量多品種の製造が多い県内製造業での検査工程における外観検査自動化の普及を目的に、既存の製品用 AI モデルを別製品へ適合させるため、検出対象の部品が取り付けられていない状態の製品画像を追加データとして活用し、モデルの最適化を図る手法を提案した。結果、学習用画像へのアノテーション（画像へのラベル付け）作業を低減させることに成功した。

さらに、本手法を用いて作成した改良版の AI モデルを安価なシングルボードコンピュータへ実装することにより、導入しやすく、製品変更に伴うシステム改修の作業コストが低い外観検査システムを構築したので報告する。

1 はじめに

近年の人手不足や働き手の高齢化により、当センターに対して、目視検査の負担軽減や自動化といった課題に関する県内中小製造業からの相談が増えている。

これまで、一般的な外観検査システムの多くはパターンマッチングやテンプレートマッチングといった、ルールベースのシステムであったが、検査ルールの設定に高度な専門知識と時間を要し、部品の微妙な個体差や照明環境の変化などで誤判定が生じ、その都度熟練作業員によるシステム微調整などのメンテナンス作業を要していた。さらに、少量多品種の製造ラインでは製品毎に検査機を構築する必要があり、その都度発生するシステム構築の費用回収が見込めず、県内中小製造業において外観検査システムの導入は限定的なものに留まっていた。

近年は AI 技術の進展により、ディープラーニングなどの機械学習を利用した画像検査システムが登場し、検査精度の向上と専門性の排除が期待されている。しかし、ディープラーニング用のモデルの構築には一般的に数千枚規模の大量の学習データを必要とするが、少量多品種の製造ラインでは製品毎に学習データが必要になり、データ収集とアノテー

ション作業が導入の負担となっている。

そこで、本研究では、中小企業が導入しやすい AI 検査システムの開発を目指し、アノテーション作業の簡略化と多品種対応が可能な独自 AI モデルの構築手法を検討した。

その結果、当初製品用に作成した AI モデルを別製品に適用させる場合において、検査対象部品の取り付けられていない画像を用いて追加学習を行うことで数枚～数十枚程度の少量データによる汎化性能の向上を図った。また、本手法を適用し、安価で導入の簡単な外観検査装置を試作したので報告する。

2 実験環境の構築

2-1 アルゴリズムの選定

本研究では、リアルタイム物体検出アルゴリズムとして YOLO(You Only Look Once)¹⁾を使用した。物体検出では、画像内の対象物を矩形で囲むバウンディングボックスにより対象物の位置とクラスを予測する。YOLO は、単一の畳み込みニューラルネットワークを使用して、バウンディングボックスの位置とクラス確率を直接予測するため、R-CNN などの物体検出モデルと比較して計算処理が少なく、非常に高速であることが特徴である。

*1 機械電子部

YOLO には多数の派生モデルが存在するが、本研究では AI やプログラミングの初心者においても扱いやすい Ultralytics 社開発の YOLOv8 を用いた。YOLOv8 はモデルサイズに応じて 5 種類のバリエーションが提供されているが、今回は安価なシングルボードコンピュータ(Raspberry Pi 5 等)でのリアルタイム推論を想定し、最も軽量なモデルである YOLOv8n(nano)を採用した。

2-2 検証対象と独自の AI モデルの構築

本研究では、ネジを使用した製品の組み立て工程において、ネジの取り付け不良を判定することを検証対象とした。

ネジが所定の位置に取り付けられているかどうかの判定は、AI モデルの検出結果に依存する。今回、少量の学習データにおいても効率的な特徴抽出を可能とするため、大規模データセット

(COCO) で事前学習された YOLOv8n の重みを基に転移学習 (Transfer Learning) を行うことで、製造ワークの撮影画像からネジを検出する独自の AI モデルを構築し、モデルの有用性を評価した。

2-3 評価指標

外観検査システムにおける最優先事項は不良流出の阻止である。本研究にて提案するシステムはねじを検出対象とし、その取り付け忘れ (欠品) を防止することを目的とするため、第一に存在しないネジを検出する誤検出 (False Positive) を抑制する必要がある。さらに、製品に取り付けられたネジの存在および位置を可能な限り正確に検出しなければならないため、誤検出の少なさを示す Precision (適合率)、見逃しの少なさを示す Recall (再現率) および検出位置の正確性を含む総合的な評価指標である mAP@50-95 を評価指標とした。

2-4 学習、評価用サンプル

学習および評価にはスチレンボードにネジ 25 個を等間隔に配置したもの (以下、ネジパネル) およびネジ 6 個を使用する既製品 (基板 A と基板 B) の 3 種の画像を用い、ネジの頭に対しバウンディングボックスを付与するアノテーション作業を行った。

図 1 に学習に使用した画像およびアノテーションの例を示す。画像の撮影には FA カメラ (オムロンセンテック (株), STC-MCS163U3V) を使用

し、製品姿勢を基板 A および基板 B は固定、ネジパネルは回転させて、照明の位置や明るさを変化させながら撮影を実施した。

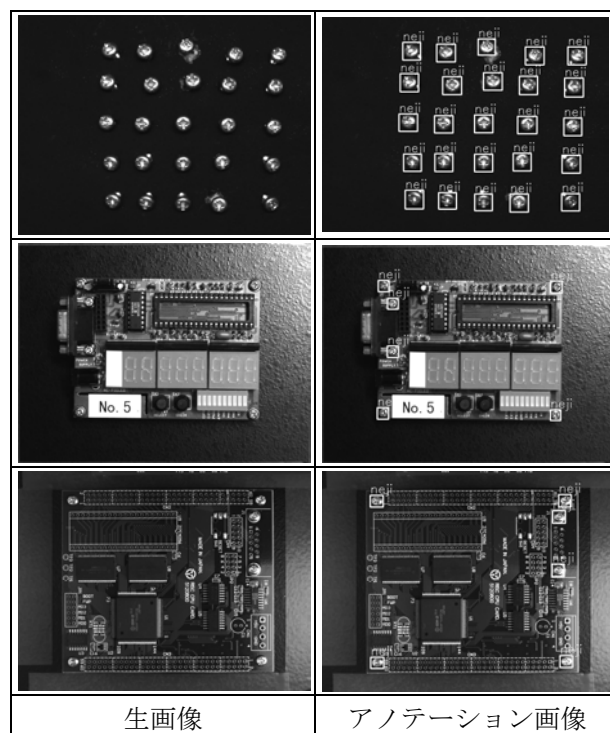


図 1 使用した画像およびアノテーションの例
(上段：ネジパネル、中段：基板 A、下段：基板 B)

3 実験方法および結果

3-1 基本モデルによる実験

3-1-1 実験方法

まず、当初製品として、基板 A に対するネジ検出用として、基本モデルを作成する。基本モデルには検査対象の製品と検出対象のネジ、それぞれの外観的特徴を学習させるため、ネジパネルおよび基板 A の画像を使用し、学習を行った。

基本モデルのネジ検出性能確認には、ネジパネルおよび基板 A の未知画像をテストデータとして用意し、ネジ検出実験を行った。表 1 に学習およびテストデータ構成を、表 2 に基本モデルの学習条件を示す。さらに、基本モデルを別製品に適用できるかどうかを確認するために、モデルにとって未知の特徴を含む基板 B の画像 50 枚をテストデータとして、ネジ検出実験を行った。

表 1 学習およびテストデータのデータ構成

項目	ネジパネル	基板 A
学習用[枚]	80	91
検証用[枚]	20	30
テスト用[枚]	20	15

表 2 基本モデルの学習条件

項目	条件
バッチサイズ[枚]	10
エポック数[回]	100
学習率	0.01
凍結層 ²⁾	10 層まで

3-1-2 実験結果および考察

表 3 に基本モデルを用いてネジ検出実験を行った結果を示す。

表 3 基本モデルによるネジ検出結果

評価指標	ネジパネル	基板 A	基板 B
Precision	0.997	0.999	0.942
Recall	1.0	1.0	1.0
mAP@50-95	0.926	0.908	0.627

ネジパネルおよび基板 A では全ての値が 0.9 以上と良好な値であり、学習したサンプルに対して誤検出せず見逃しも少ない検出モデルを作成できたことが確認できた。一方、基板 B では Recall は 1.0 で見逃しはなかったものの、Precision と mAP@50-95 の低下が見られた。各画像の推論結果

を確認したところ、全ての画像において図 2 に示すように基板上の他の部品や回路パターンをネジと誤認する誤検出が発生していた。これは、検出対象以外の部品や回路パターンなどの特徴（以下、背景特徴）が基板 B に含まれていたことから、モデルがこれら背景特徴とネジとを十分に識別できなかったためと考えられる。

3-2 改良モデルによる実験

3-2-1 実験方法

前項により、基本モデルでは基板 B で誤検出が多発することが確認されたことから、基本モデルに対し基板 B に含まれる新たな背景特徴を学習させ、基板 B に適応したモデル（以下、改良モデル）を作成する必要がある。改良モデルの学習データ作成にはネジに一つずつバウンディングボックスを付与するため、検出対象の多い製品では大量のアノテーション作業が必要である。そのため、検出対象が別製品に切り替わる度に、当該製品の画像について追加学習用のアノテーション作業を行うことは、製品切り替え頻度の高い現場において大きな負担となる。そこで、ネジの取り付けられた製品画像（以下、ネジあり画像）に加え、アノテーション作業が不要な、ネジが取り付けられていない基板の画像（以下、ネジなし画像）を学習データに活用することで、新しい背景特徴への適応を省力化する手法を検討した。

表 4 のような 3 つの組み合わせで学習させ、共通のテストデータとして基板 B の画像 20 枚を用いて評価を行った。

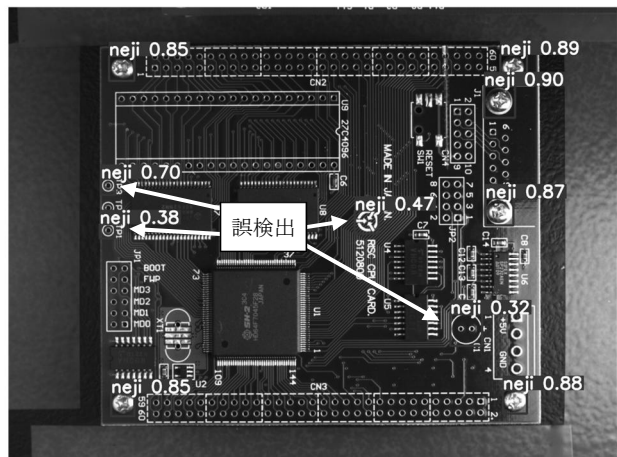
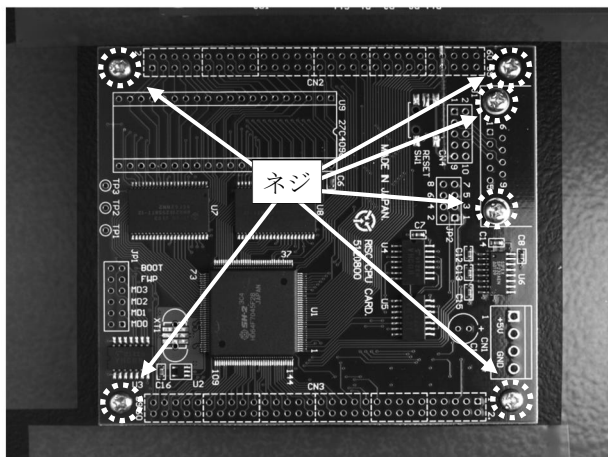


図 2 製品 B における正確なネジ位置と背景の誤検出例

なお、改良モデルは基本モデルの微調整となり、学習用データも少ないため、表 5 に示す条件にて学習を行った。

表 4 実験条件毎のデータ構成

項目	条件①	条件②	条件③
ネジあり画像[枚]	30	15	2
ネジなし画像[枚]	0	15	15

表 5 改良モデルの学習条件

項目	条件
バッチサイズ[枚]	8
エポック数[回]	20
学習率	0.005
凍結層 ²⁾	10 層まで

3-2-2 実験結果および考察

表 5 に記載した各条件にて追加学習を行った改良モデルによるネジ検出の実験結果を表 6 に示す。

表 6 各学習条件におけるネジ検出結果

テストデータ構成と評価	条件①	条件②	条件③
学習枚数[枚]	30	30	17
ネジの総数[個]	180	90	12
Precision	0.998	0.999	0.999
Recall	1.0	1.0	1.0
mAP@50-95	0.815	0.848	0.761

いずれの条件においても、Precision および mAP@50-95 にて追加学習前から大幅な改善が見られ、さらに提案手法においては条件②で条件①（従来手法）以上に改善が可能ということがわかった。また、条件②は、条件①に比べて学習に使用したネジあり画像が半分のため、アノテーション対象となるネジの数も半分である。このことから、検出対象を含まない画像を使用することでアノテーション負荷を大幅に削減しつつ、未知の背景特徴に起因する誤検出の抑制も可能であることが明らかとなった。

ただし、条件③ではネジの総数は最も少ないものの、mAP@50-95 が悪化していることから、極端にネジなし画像の割合を多くするとモデル性能の悪化に繋がると考えられる。

3-3 簡易外観検査システムの試作と動作検証

3-3-1 実験方法

本研究で使用した YOLOv8n は物体検出タスクを行う AI アルゴリズムであることから、実際の現場への実装のため、検出結果に対する判定を行う機能を追加し、簡易的な外観検査システム（以下、簡易外観検査システム）の構築を行った。

システムは工場での検査を想定し、ワークが治具によって既定の位置に配置され、撮影した画像中に現れる部品の検出位置が一定であることを前提とした。

試作した装置を図 3 に、システムの動作の様子を図 4 に示す。装置はシングルボードコンピュータ（Raspberry Pi 5）およびカメラ（Raspberry Pi カメラモジュール V3）を使用し、カメラスタンドに固定した。

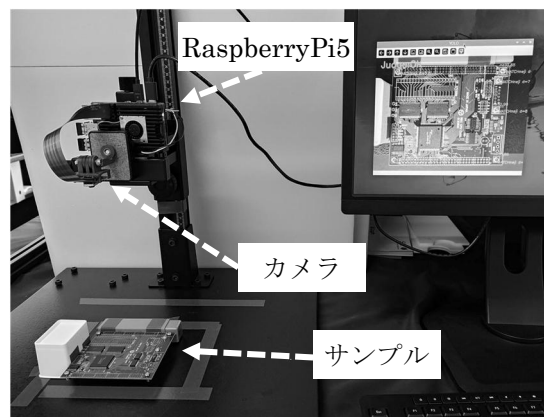


図 3 簡易外観検査システム

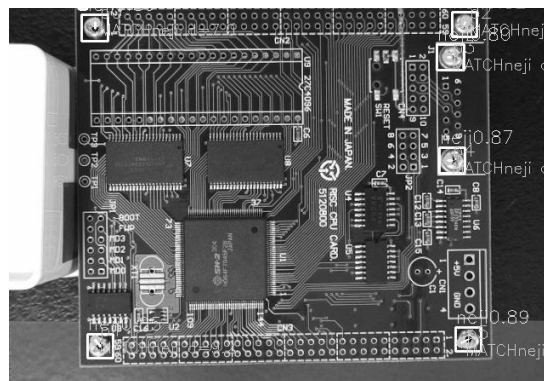


図 4 システムの動作の様子（検査合格の場合）

本システムでは、Raspberry Pi 5に取り付けられたスイッチを押すことにより、YOLOv8nによって検出された物体の座標と予め登録された正常品における検出対象の座標（以下、定義済み座標）を照合し、部品の取付け忘れを検査する。

具体的には、YOLOv8nの検出結果として出力されるネジの座標と定義済み座標の距離を算出し、定義済み座標の一定距離内であればネジが存在すると判定する。全ての定義済み座標にてネジが存在することが確認された場合に検査合格とする。

なお、YOLOv8nは軽量であることから、Raspberry Pi 5においてもリアルタイムで判定を実行することが可能であるが、製造ラインで製品を一つずつ検査する場面を想定し、システムに接続されたスイッチを押すことで都度検査を実施する形態とした。

試作した簡易外観検査システムにて実際の製造工程を模して検査が正しく行えるか実験を行った。AIモデルは、3-2-1にて条件②で作成した改良モデルを使用し、基板Bのネジが全て揃った良品と、ネジが不足した不良品にて室内照明や検査用照明の有無を変化させて50回（良品：25回 不良品：25回）の検査を実施した。

3-3-2 実験結果および考察

表7に簡易検査システムを用いたネジ検出実験の結果を示す。

表7 簡易検査システムによるネジ検出結果

検査対象	良品	不良品
ネジの誤検出数[箇所]	0	0
ネジの未検出数[箇所]	0	0
正答率[%]	100	100

実験の結果、実際には存在しないネジを検出する誤検出はなく、ネジを検出できない未検出（見逃し）も発生しないことを確認した。

このことから、本検査システムにてネジ有無の外観検査が可能である事が確認できた。

4 まとめ

本研究では製造工程における外観検査の省力化として、AI物体検出アルゴリズムを用いた外観検査システムの試作とAIモデルの新製品への適応時における学習画像作成の省力化手法を提案し、その有効性を検証した。結果として、追加学習において検査対象部品の取り付けられていない製品画像を用いることで効率的かつ、非常に少ない工数で学習用データを作成することができた。さらに、AIやプログラミングの初心者においても扱いやすいYOLOv8nを用いたことで、安価なシングルボードコンピュータを採用でき、導入および運用にかかるコストの低い簡易外観検査システムを構築することができた。このことから、外観検査の自動化、省力化を検討している県内製造業に対し、低予算かつ簡単なメンテナンスで運用可能な外観検査システムを提案することが可能となった。

なお、本研究では、検査対象を1種類に絞って実験を行ったが、YOLOv8nは複数のクラスを検出することが可能なアルゴリズムであることから、検査対象を2種類以上とした場合の本手法の有効性や、チップ部品に代表される微小部品（ねじ以外の部品）に対する検出精度について、引き続き検証が必要と考えられる。

今後は、システムのUIの改良や検査を合格した製品のカウント機能、検出失敗時の画像保存機能等を実装し、より現場の運用に則した装置として開発を進めていくとともに、本システムの普及に努める。

5 参考文献

- 1) J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi, You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, *CVPR*, 779-788(2016)
- 2) V. Gandhi, S. Gandhi, Fine-Tuning Without Forgetting: Adaptation of YOLOv8 Preserves COCO Performance, *arXiv preprint*, arXiv: 2505.01016(2025)

3D プリンタを用いた低融点金属による金属モデルの性能評価

小八重 優真^{*1}

Performance Evaluation of Metal Models Made from Low Melting Point Metals Using 3D Printers

Yuma KOYAE

本報告では、高価な金属 3D プリンタの代替手法として、樹脂用 3D プリンタで製作した鋳型に低融点金属（㈱大阪アサヒメタル、U-アロイ）を鋳込む「モデル造形」の可能性を調査した。4 種類の樹脂用 3D プリンタと融点の異なる 5 種類の低融点金属を組み合わせモデルを造形し、その寸法精度および表面粗さを評価した。実験の結果、融点 102.5℃以下ではインクジェット方式（㈱キーエンス、AGILISTA-3200）、それ以上の融点では熱溶解積層方式（Markforged 社、Mark Two）を用いることで、良好な精度の金属モデルが製作可能であることを明らかにした。

1 はじめに

製造業の設計・開発プロセスにおいて、製品イメージを具体化するための「モデル造形」は不可欠な工程である。従来、金属モデルの製作には鋳造や切削加工が用いられてきたが、近年普及が進む金属 3D プリンタは装置価格が極めて高く、導入可能な企業は限られている。また、外注を利用する場合も、試作と修正の反復により多大なコストと時間を要するという課題がある。

当センターでは、県内企業の試作プロセスの高速化と内製化の実現、試作コストの低減を支援するため、安価な樹脂用 3D プリンタを活用した金属モデル製作手法の確立を目指した。本報告では、樹脂製鋳型が金属の熱によって変形や損傷を起こしやすく、精度維持のためには適切な材料選定が不可欠となるため、樹脂製鋳型に低融点金属を流し込む手法に着目し、実用的な金属モデル製作の可能性と、適切な樹脂と金属の組み合わせについて調査した。

2 実験方法

2-1 装置仕様および材料の選定

本実験では、方式の異なる 4 種類の樹脂用 3D プリンタ Mark Two（Markforged 社）（図

1）、Fortus250mc（Stratasys 社）（図 2）、AGILISTA-3200（㈱キーエンス）（図 3）、Ender-3 V3 SE（Creality 社）（図 4）を使用して鋳型を造形した。表 1 に 3D プリンタの仕様を示す。



図 1 Mark Two



図 2 Fortus 250mc



図 3 AGILISTA-3200



図 4 Ender-3 V3 SE

^{*1} 機械電子部

表 1 樹脂用 3D プリンタの仕様

名称	樹脂	耐熱温度	方式
Mark Two	ナイロン + 炭素粉末	約 145℃	熱溶解積層方式
Fortus 250mc	ABS 樹脂	約 96℃	熱溶解積層方式
AGILIS TA-3200	透明樹脂	約 40℃	インクジェット方式
Ender-3 V3 SE	PLA 樹脂	約 60℃	熱溶解積層方式

これらの装置は、デスクトップ型の安価な FDM（熱溶解積層）方式から高精度なインクジェット方式、高強度な複合材料に対応した方式まで、幅広く網羅している。鋳型に流し込む低融点金属には、16℃から 183℃まで多様な融点を持つ U-アロイを用いた。U-アロイとは低融点で加工が容易かつ強度が高く、幅広い用途に対応可能な合金である。本実験では融点 58℃ (U-58)、70℃ (U-70)、102.5℃ (U-102.5)、138℃ (U-138)、183℃ (U-183) の 5 種類を選定した。

2-2 造形試料および造形条件

樹脂製鋳型の形状は 30 mm×30 mm×10 mm の正方形とし、成形後の型抜きを考慮して型は図 5 のような分割構造とした。鋳型の内部密度は 100%に設定した。

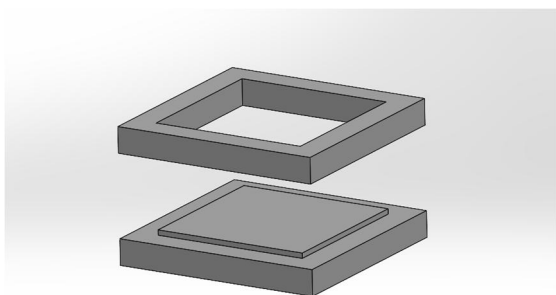


図 5 鋳型（分割構造）

2-3 金属モデル造形の作業工程

作業工程は次のとおり。

- 1) 3D プリンタにより樹脂製鋳型を造形する（図 6）。
- 2) 電気コンロとヒートガンを用いて U-アロイを溶解させ、樹脂製鋳型へ流し込む（図 7）。
- 3) 冷却後、樹脂製鋳型から金属モデルを取り出す（図 8）。

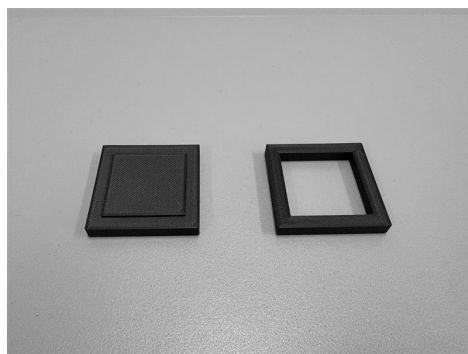


図 6 樹脂製鋳型

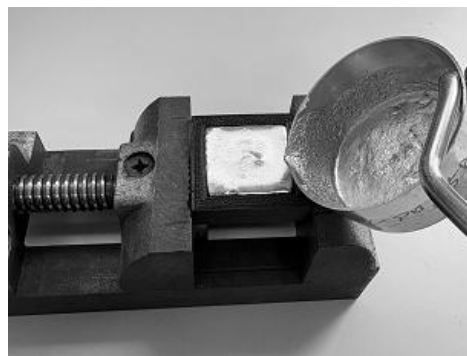


図 7 U-アロイを流し込む様子

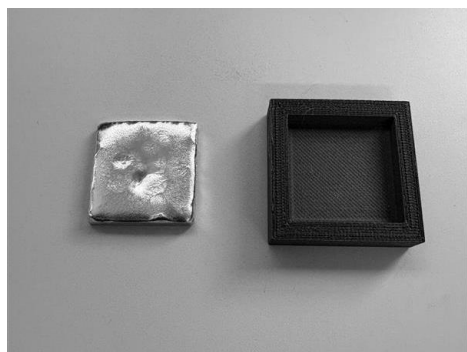


図 8 樹脂製鋳型から取り外した金属モデル

3 結果および考察

3-1 寸法精度と算術平均粗さの評価

2-3 のモデル造形の作業工程で作製したサンプルを、ノギス（株式会社ミットヨ, ABSOLUTE DIGIMATIC）を用いて寸法測定（mm）を行い、表面粗さ計（株式会社ミットヨ, SV-C634）を用いて算術平均粗さ（Ra）を測定した。各樹脂と U-アロイの組み合わせによる測定結果は表 2 のとおりである。

金属モデルの寸法は全条件において実測値が設計値より大きい値となった。これは、熔融金属の熱影響により樹脂鋳型の内側寸法が広がったためと考えられる。

各 3D プリントにおける考察は次のとおり。

Mark Two（炭素粉末入りナイロン）では、高耐熱性を活かし、最高融点の U-183 においても Ra10.48 μm と、他機種に比べ良好な表面粗さを維持した。

Fortus 250mc（ABS 樹脂）では、U-138 までは Ra 7.48~16.25 μm 程度であったが、U-183 では Ra 33.19 μm と低下した。

AGILISTA-3200（アクリル系透明樹脂）では、U-58~U-102.5 において Ra1.67~2.01 μm と極めて良好な値であった。しかし、U-183 では樹脂が溶け Ra 72.03 μm と著しく悪化した。

Ender-3 V3 SE（PLA 樹脂）では、最も安価な装置であるが、U-102.5 までは Ra5.92~10.16 μm 程度の精度を維持したが、U-138 では Ra36.36 μm 、U-183 では Ra34.29 μm と低下した。

3-2 発生した現象と対策

融点の低い U-58 や U-70 を用いた場合、目視にて表面に図 9 のような鋳巣が確認される箇所があり、これが表面粗さを悪化させる要因となった。また、融点 183℃の U-アロイと耐熱性の低い PLA 樹脂等の組み合わせでは、鋳型の溶損が激しく、精度の維持が困難であった（図 10）。そのため、耐熱温度に見合った樹脂を選定する必要がある。

表 2 設計値と実測値の差(平均), 算術平均粗さ測定値

	型式 U-アロイ	MarkTwo	Fortus 250mc	AGILISTA-3200	Ender-3 V3 SE
設計値 ^{※1} と 実測値の差 (平均) [mm]	U-58	+0.16	+0.13	+0.20	+0.17
	U-70	+0.27	+0.24	+0.34	+0.27
	U-102.5	+0.18	+0.12	+0.30	+0.31
	U-138	+0.20	+0.12	+0.22	+0.07
	U-183	+0.06	+0.02	+0.05	+0.30
算術平均粗さ Ra [μm]	U-58	28.52	9.00	1.67	5.92
	U-70	— ^{※2}	16.25	2.01	10.16
	U-102.5	8.48	7.48	1.64	8.30
	U-138	4.70	9.47	5.40	36.36
	U-183	10.48	33.19	72.03	34.29

※1 設計値は 30×30[mm]

※2 U-70 は測定範囲外

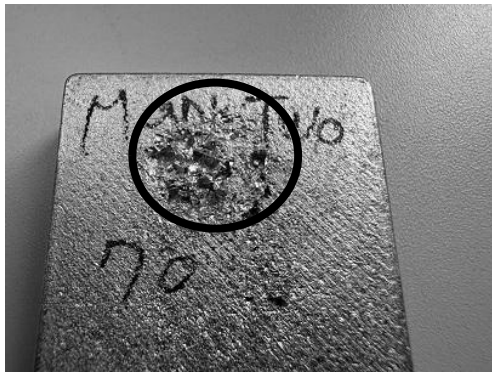


図 9 鋳巣



図 10 溶損した樹脂製鋳型

4 まとめ

本実験により、以下の知見を得た。

- 1) 融点 102.5°C 以下の場合、AGILISTA-3200 によるインクジェット方式の鋳型が、寸法精度・表面粗さともに最も優れている。
- 2) 融点 102.5°C 超の場合、耐熱性の高い Mark Two を用いることで、鋳型の損傷を抑えた成形が可能である。
- 3) 簡易的なモデル製作においては、シンプルな形状であれば、安価な FDM 方式プリンタ（Ender-3 V3 SE）と U-102.5 までの組み合わせで十分に実用的なモデル製作が可能である。

今後は、さらに融点の高いすずなどの材料を用い、モデル造形に留まらない実製品製作への応用可能性を探究していく。

官能評価を活用したたくあん味わいマップの開発とその効果検証 ～お客様に商品の味わいを迅速・的確にお伝えするために～

金井 祐基^{*1}・木村 昭彦^{*2}・藤藪 志保^{*3}・木村 公紀^{*2}・朝倉 麻衣^{*1}・高橋 克嘉^{*4}

Development and Validation of a Sensory-Based Flavor Map for *Takuan*

Yuki KANAI, Akihiko KIMURA, Shiho FUJIYABU, Koki KIMURA,
Mai ASAKURA and Katsuyoshi TAKAHASHI

キムラ漬物宮崎工業株式会社は、製造方法の異なる6種類のプレーンたくあんを製造・販売している。対面販売や商談会において、これら商品の味わいの違いを説明する際、一つずつ製造方法を説明し、試食してもらうなど、説明に時間を要していた。そこで本研究は、プレーンたくあんの味わいの違いを見える化した販売促進ツールの開発を目的とした。はじめに、官能評価によって各商品の風味、食感等の特徴を明らかにした。次に、評価データの主成分分析を行い、得られた散布図にデザインを加えることで「味わいマップ」を開発した。このマップを使用して対面販売等で商品説明を行い、その有用性を検証した結果、官能評価を活用し、味わいの違いを見える化することで、迅速・的確な商品説明が可能となることが示唆された。

1 はじめに

当県において、漬物製造業は主要な産業の一つである。令和6年度の加工・業務用向け大根の生産量は47,540 tと全国1位であり^{1,2)}、令和5年の野菜漬物製造業（缶詰、瓶詰、つぼ詰を除く）の製造品出荷額等は全国14位（996,066万円）と上位に位置する³⁾。また、収穫された大根を10日間から2週間天日で干し、塩や米ぬか等に漬け込んで生産される「干したくあん」は当県の伝統的な漬物であり、大根を天日干しするための「大根やぐら」は日本農業遺産に認定されている。

当県の漬物製造事業者であるキムラ漬物宮崎工業株式会社は、干したくあんを中心に多様なたくあんを製造・販売している。その中でも主要商品6種類は、味噌味やシソ味などのフレーバーを添加せず、大根の種類、漬け原材料、漬け込み期間、調味液、殺菌方法などの違いによって味わいの差別化を図っている。本稿では、これら6種類を「プレーンたく

あん」と呼ぶ。プレーンたくあんは、販売において商品説明に時間を要することが課題であった。明確なフレーバー付けをしていないため味わいの違いを言葉で説明することが難しく、対面販売やバイヤーとの商談会等において、一つずつ製造方法を説明し、試食してもらうなど、説明に多くの時間を費やしていた。

一方、当センターでは、平成29年度に官能評価の実施体制を整備し、飲むヨーグルト⁴⁾、宮崎ブランドポーク⁵⁾、菓子類⁶⁾など、QDA (Quantitative Descriptive Analysis) 法⁷⁾を中心とした様々な食品の官能評価を実施していた。さらに、官能評価を商品の販売促進につなげるため、QDA法を活用した販売促進ツールの開発支援にも取り組んでいた⁸⁾。QDA法は、サンプルに対して専門的な知識を有しない者をパネリスト（官能評価の評価者）として用いる⁷⁾。パネリストがサンプルを味わい、認識した全ての特徴を消費者が日常的に用いる用語で記述し、パネル（パネリストの集団）で同意が得られたものを評価用語とする⁷⁾。消費者に由来する用語を用いて評価用語を作成することで、消費者が感じる特徴のより良い表現が得られる可能性が高く、得られる定量データは、消費者の嗜好や商品のイメージ情報

*1 食品開発部
*2 キムラ漬物宮崎工業株式会社
*3 公益財団法人宮崎県産業振興機構 みやざきフードビジネス相談ステーション
*4 食品開発部（現 宮崎県中央保健所）

と関連することが知られている^{7,8)}。したがって、QDA法は、評価データを消費者向け販売促進ツールに直接活用し得る利点がある。味わいを見える化(文言、数値、図表等を用いて可視化)した販売促進ツールを作成し、味わいの特徴を伝えることは、消費者が好みの商品を選択する際に役立つ。さらに、情報に基づく商品選択は、消費者満足度を高め、商品価値の向上、さらに食品ロスの削減にも寄与する可能性がある⁹⁾。

そこで本研究では、プレーンたくあんの課題解決の手段として「QDA法を活用した味わい見える化」に着目した。プレーンたくあん6種類の味わいの違い見える化した販売促進ツール開発を目的とし、(1)QDA法によって各プレーンたくあんの味わいの特徴を明らかにすること、(2)QDAデータを基に販売促進ツールを開発すること、(3)開発した販売促進ツールの商品説明における有用性を検証することに取り組んだ。

2 実験方法

2-1 プレーンたくあんの特徴評価

2-1-1 供試サンプル

キムラ漬物宮崎工業株式会社が製造・販売する6種類のプレーンたくあん(サンプルNo.1-6)をサンプルとした。各サンプルについて、表1にたくあんの形状と製造方法の主な特徴を示した。一本状のNo.1-4および6は、定規を使って中央の膨らみのある部分を厚み4mmでスライスした後、半月型にカットした。No.5は、丸型にスライスされたものからノギスを使って厚み 4 ± 0.2 mmを基準に選抜し、半月型にカットした。成形したサンプルは、匂いのない透明プラスチックカップに盛り付け、冷蔵庫で保存した。試験前にサンプルを冷蔵庫から取り出し、室温に平衡化した上で試験に供した。

2-1-2 パネリスト

当センターでは、一般消費者から募集・選考した者が、約5年間にわたりQDA法を中心とした様々な食品の官能評価試験にパネリストとして従事していた。過去の試験には、本サンプルとは異なるたくあんを用いた識別試験およびQDA試験も含まれていた。これらの試験結果を参考に、12名(30代から70代まで、女性11名、男性1名)を選抜し、QDAパネルとした⁷⁾。選抜した12名は、QDA法の評価プロセスを理解し、感覚を用語として表現することや、パネルで協力して試験に取り組むことなど、QDAパネルとしての訓練を受けていた。一方で、たくあんに関して専門性の高い者(製造や開発の担当者など、豊富な知識や高い技術を有する者)¹⁰⁾は含まれていなかった。試験前に、ヘルシンキ宣言に基づき、宮崎県工業技術センターおよび宮崎県食品開発センター倫理審査委員会の承認(承認番号:2023-3)を得た上で、全パネリストから書面によるインフォームドコンセントを得た。

2-1-3 QDA試験

QDA試験は、ISO 8589¹¹⁾に準拠して設計された当センターの官能評価専用施設「おいしさ・リサーチラボ」(個室の官能評価室を12室配置)⁶⁾で実施した。室温は23℃に設定し、照明は昼光色とした。

パネリスト12名は、訓練されたパネルリーダーの指示の下、用語開発、定量評価の訓練および本評価を行った。パネルリーダーは、自身の意見がパネルの判断に影響を及ぼすことがないように努めた⁷⁾。用語開発では、はじめに用語出しを行った。パネリストにサンプルを一つずつ提供し、白紙に評価項目(香り、外観、風味、食感および後味)ごとにサンプルから認識した全ての感覚を用語として記述するよう指示した⁷⁾。用語は消費者が日常的に用いるものとし、専門的な用語(エステルのような匂い等)

表1 供試サンプル

サンプルNo.	たくあんの形状	製造方法の主な特徴
1	一本	原材料: 天日干し大根。1年漬け込み。
2	一本	原材料: 天日干し大根。3年漬け込み。調味料はNo.1と同じ。
3	一本	原材料: 天日干し大根。8カ月漬け込み。調味料は不使用。
4	一本	原材料: 天日干し大根。カツオエキス入り。
5	丸型スライス	原材料: 天日干し大根。スライス後に加熱殺菌。
6	一本	原材料: 塩押し大根。調味料はNo.1と同じ。

や嗜好に関する用語は含まないように注意を促した⁷⁾。次に、パネリスト間で討議し、記述された用語の整理や定義付けを行い、評価用語を作成した。定量評価には、評価用語ごとに定義と目盛のない 15 cm のラインスケールを表記した評価シートを用いた⁷⁾。ラインスケールには両端から 10% の位置にアンカーを設け、強い方に「強い」、弱い方に「弱い」など、尺度の傾向を示すラベルを付けた⁷⁾。定量評価の訓練においては、評価結果をパネルで確認し、サンプルの強度順がパネリスト間で異なった場合に、その評価用語のコンセンサスが取れていないと判断し、パネルで評価用語とその定義について討議した。そして、必要に応じて評価シートを修正した。訓練の際、パネリストは、感覚の強度に対する尺度の位置をパネルで合わせることは求められず、個々において一貫した評価を行うように指示された⁷⁾。試験の最後に、決定した評価シートを用いて 6 サンプルの定量評価（本評価）を反復して行った⁷⁾。反復回数は 3 回とした。サンプルには 3 桁のランダムコードを付し、サンプルの提示順はラテン方格法によりバランス化した。室温の飲用水（アサヒグループ食品㈱、赤ちゃんの純水）を提供し、サンプルを味わった後に口をすすがせた。QDA 試験は、1 日当たり午前 9 時から正午までの 3 時間以内とし、連続した 5 日間で実施した。

2-2 販売促進ツールの開発

デザイナーと連携し、QDA 試験結果を基に販売促進ツールを開発した。

2-3 販売促進ツールの効果検証

令和 6-7 年度に開催されたイベント 1 件、展示会 4 件および合同商談会 3 件において、開発した販売促進ツールを使用して商品販売または商談を行い、商品説明時の使用感を評価した。また、イベントにおいては、無作為に選んだ来場者 62 名に対して販売促進ツールに関するアンケートを実施した。来場者にアンケート用紙（図 1）を配布し、その場で回答を得た。

2-4 データ解析

QDA 試験のラインスケールによる評価結果は、左端から選択された位置までの距離を 0-100 点で数値化し、官能得点とした。

官能得点の解析は、FIZZ Calculations

Q 1 マップについて、当てはまるものにチェックをしてください。
（複数選択可。全て選択なしでも OK です）

- ☐ 味の違いが分かりやすい
- ☐ 商品を選びやすい
- ☐ 商品を購入したくなった
- ☐ マップを見ながら食べ比べてみたい

Q 2 たくあんを食べる頻度を教えてください。
（1つ選択）

ほとんど食べない ときどき食べる よく食べる ほぼ毎日食べる
☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

↓以下、マップを見ながら、たくあんを試食された方にうかがいます。

Q 3 「食べた時の味わい」と「マップの内容」は合致していましたか？
（1つ選択）

合っていない おおむね合っている 合っている とても合っている
☐ ————— ☐ ————— ☐ ————— ☐

図 1 販促促進ツールに関するアンケート用紙

（BIOSYSTEMES, ver.2.61）を用いた。はじめにサンプルおよびパネリストを固定効果とした固定モデルを適用し、交互作用（サンプル × パネリスト）を考慮した二元配置分散分析を行った。その結果、全ての評価用語において交互作用の効果が有意であったため、サンプルを固定効果、パネリストを変量効果とした混合モデルを適用した^{7,8)}。

XLSTAT (Lumivero, ver.2026.1) を使用し、以下の解析を行った。サンプル間の特徴の違いを一元的に把握するため、官能得点の平均値を用いて主成分分析（分散共分散行列）を行った。2 パターンの主成分分析結果（サンプルの主成分得点）の類似性は、RV 係数を用いて評価した。評価用語間の相関関係は、官能得点の平均値を用いて Pearson の相関係数 (r) を計算して確認した。

全てのデータ解析において、統計的な有意差は、 $p < 0.05$ の場合と定義した。

3 結果および考察

3-1 プレーンたくあんの特徴評価

プレーンたくあん 6 種類について、それぞれの味わいの特徴を客観的に評価するため、QDA 試験を実施した。用語出しの結果、合計で 132 語（香り 30 語、外観 20 語、風味 29 語、刺激 3 語、食感 26 語および後味 24 語）が記述された。Stone ら⁷⁾は、QDA 試験における用語出しの典型的な状況として、80-100 語が記述されることを述べている。このた

表 2 QDA 試験結果：開発した評価用語およびサンプルの F 値

評価項目	評価用語	ラインスケールのラベル		定義	F値
		低い方	高い方		
香り：カップのフタを開けて鼻で嗅いだ時の香り (8語)	全体的な香り	弱い	強い	香りの種類に関わらず、たくあん全体の香り	22.51 ***
	酸っぱい香り	弱い	強い	ツンとする酸っぱい香り	29.93 ***
	甘い香り	弱い	強い	全体的な甘い香り	7.79 ***
	干し大根の香り	弱い	強い	干した大根、千切り大根のような香り	1.96
	発酵した様な香り	弱い	強い	古漬けのような発酵したたくあんの香り	26.29 ***
	味噌の様な香り	弱い	強い	味噌を思わせる香り	21.75 ***
	だしっぽい香り	弱い	強い	カツオ節や昆布などの和風だしを思わせる香り	12.14 ***
	カツオ節の香り	弱い	強い	カツオ節の香り	27.74 ***
外観：カットされたたくあんを見た時の外観 (4語)	茶色	薄い	濃い	茶色の度合い	59.14 ***
	黄色	薄い	濃い	黄色の度合い	31.02 ***
	皮のシワ	少ない	多い	皮表面にシワが見られる程度	15.94 ***
	みずみずしさ	弱い	強い	断面を見た時に水分を含んでいるように感じられる程度	18.27 ***
風味：咀嚼始めに感じる味と口から鼻に抜ける香り (11語)	全体的な風味	弱い	強い	風味の種類に関わらず、たくあん全体の味と口から鼻に抜ける香り	21.28 ***
	塩味	弱い	強い	塩の味	33.94 ***
	甘味	弱い	強い	甘い味	24.49 ***
	酸味	弱い	強い	酸っぱい味	31.03 ***
	うま味	弱い	強い	うま味。舌がジワジワとする感覚	14.31 ***
	苦味	弱い	強い	苦い味	10.24 ***
	干し大根の風味	弱い	強い	干した大根、千切り大根のような風味	3.24 *
	発酵した様な風味	弱い	強い	古漬けのような発酵したたくあんの風味	29.83 ***
	味噌の様な風味	弱い	強い	味噌を思わせる風味	9.04 ***
	だしっぽい風味	弱い	強い	カツオ節や昆布などの和風だしを思わせる風味	12.86 ***
	カツオ節の風味	弱い	強い	カツオ節の風味	12.74 ***
食感・刺激：奥歯で咀嚼した時の食感または口内で感じる刺激 (5語)	かたさ	やわらかい	かたい	咀嚼始めに、咀嚼するのに必要な力	22.59 ***
	音の響きやすさ	弱い	強い	パリパリ、ボリボリなど、咀嚼始めに音が響く程度	24.92 ***
	細かくなりやすさ	なりにくい	なりやすい	咀嚼することで、塊が細くなる早さ	12.93 ***
	水分	少ない	多い	水分を感じる程度	23.38 ***
	辛み	弱い	強い	舌に感じるピリピリとした辛み。大根の辛みや香辛料による刺激	10.68 ***
後味：飲み込んだ後に残っている感覚 (8語)	塩味の後味	弱い	強い	塩味が残る	31.73 ***
	甘味の後味	弱い	強い	甘味が残る	24.28 ***
	酸味の後味	弱い	強い	酸味が残る	30.09 ***
	うま味の後味	弱い	強い	うま味が残る	20.26 ***
	干し大根の後味	弱い	強い	干した大根、千切り大根のような風味が残る	6.65 ***
	発酵様の後味	弱い	強い	古漬けのような発酵したたくあんの風味が残る	31.71 ***
	だしっぽい後味	弱い	強い	カツオ節や昆布などの和風だしを思わせる風味が残る	13.92 ***
	風味の余韻	短い	長い	たくあん全体の味と口から鼻に抜ける香りが後引く長さ	11.09 ***

(合計36語)

6 サンプルの官能得点について、サンプルを固定効果、パネリストを変量効果とした混合モデルによりサンプルの F 値を算出した。
 F 値： $p < 0.001$ ***, $p < 0.01$ **, $p < 0.05$ *

め、本 QDA パネルは、感覚を用語化するのに十分な能力を有すると考えられた。用語出しの後、用語の整理や定義付けを行い、最終的に香り 8 語、外観 4 語、風味 11 語、食感・刺激 5 語および後味 8 語の合計 36 語が評価用語として決定された (表 2)。これにより、プレーンたくあんが有する特徴を香りから後味にわたって用語化することができた。

36 語の評価用語を用いて 6 サンプルの定量評価を 3 反復で行い、官能得点を得た。官能得点を混合モデルにより解析し、得られたサンプルの F 値を表

2 に示した。サンプルの効果は「干し大根の香り」を除く 35 語において有意であり、これらの特徴がサンプル間で異なることが示された。その後、官能得点の事後比較を行い、サンプル間の官能特性の違いを詳しく解析することで、各サンプルの特徴が明らかになった (解析結果は省略)。

次に、有意なサンプルの効果が認められた 35 語を用いて主成分分析を行った。得られた散布図 (図 2) は、全分散の 84.8%を説明した。60.89%を説明する第一主成分 (PC1) は、「発酵した様な風味・

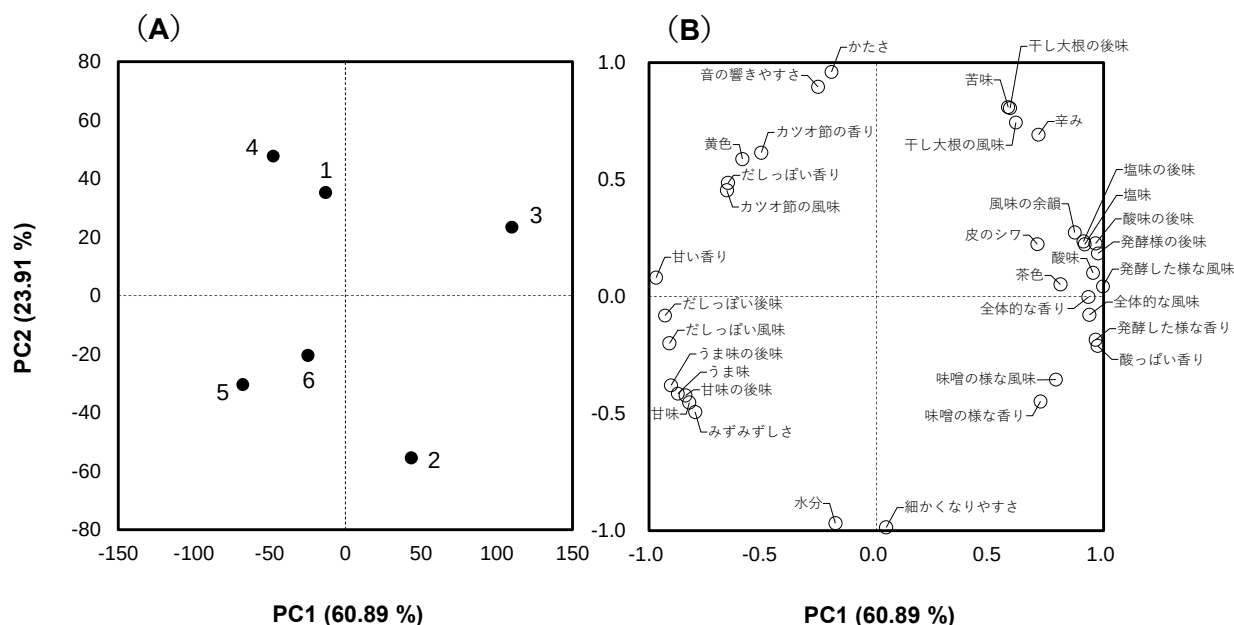


図2 官能得点による主成分分析結果

(A) 主成分得点プロット。番号はサンプル No.を示す。

(B) 評価用語 (35 語) のローディングプロット

香り」,「発酵様の後味」,「酸っぱい香り」,「酸味の後味」,「酸味」,「全体的な風味・香り」等の因子負荷量が高く,正方向に「発酵・酸味」の軸と解釈した。一方で,低い因子負荷量を示したのは「甘い香り」,「だしっばい風味・後味」,「うま味の後味」,「うま味」,「甘味の後味」,「甘味」等であったことから,PC1の負方向は「和風だし・甘み」の軸と解釈した。第二主成分(PC2)は全分散の23.91%を説明した。因子負荷量は「かたさ」,「音の響きやすさ」等が高い値,「細かくなりやすさ」,「水分」等が低い値を示し,PC2は食感の違いを区別した。各サンプルが特徴の違いによってポジショニングされ,サンプル間の特徴の違いを一元的に把握することができた。

3-2 販売促進ツールの開発

QDA試験で明らかとなった特徴の違いを用いて販売促進ツールの開発を行った。販売促進ツールのコンセプトは,「プレーンたくあんの味わいの違いを分かりやすく伝える」と設定した。このコンセプトに対し,主成分分析で得られた散布図(図2)は有用であると考えた。一方で,特徴の違いをシンプルに分かりやすく伝えるためには情報量の圧縮が必要と判断し,評価用語の絞り込みを行った。はじめに35語の評価用語の中から,コンセプトに従って

風味,食感・刺激および後味に属する24語を選抜した。次に,24語間の相関関係と,これまでのプレーンたくあんの販売において消費者等からよく質問された項目を考慮し,16語,すなわち「甘味」,「酸味」,「苦味」,「干し大根の風味」,「発酵した様な風味」,「味噌の様な風味」,「だしっばい風味」,「カツオ節の風味」,「かたさ」,「音の響きやすさ」,「細かくなりやすさ」,「甘味の後味」,「酸味の後味」,「干し大根の後味」,「発酵様の後味」および「だしっばい後味」を選抜した。選抜した16語で主成分分析を行った結果,PC2までに92.22%の情報が集約された(散布図は省略)。35語の場合[図2(A)]と16語の場合の主成分得点プロットを比較すると,RV係数は0.971($p = 0.002$)を示した。RV係数は1に近いほど主成分得点行列が類似し, $p < 0.05$ はRV係数が0(相関なし)と有意に異なることを示している¹²⁾。したがって,35語から16語に絞り込んでも同様のサンプル分布パターンが得られることが確認された。この要因としては,35語間において複数の相関関係があるためと考えられた。官能評価では,評価用語間で相関関係がみられることは珍しいことではない¹³⁾。以上の結果から,16語を用いた主成分分析結果を販売促進ツールの基盤として採用した。

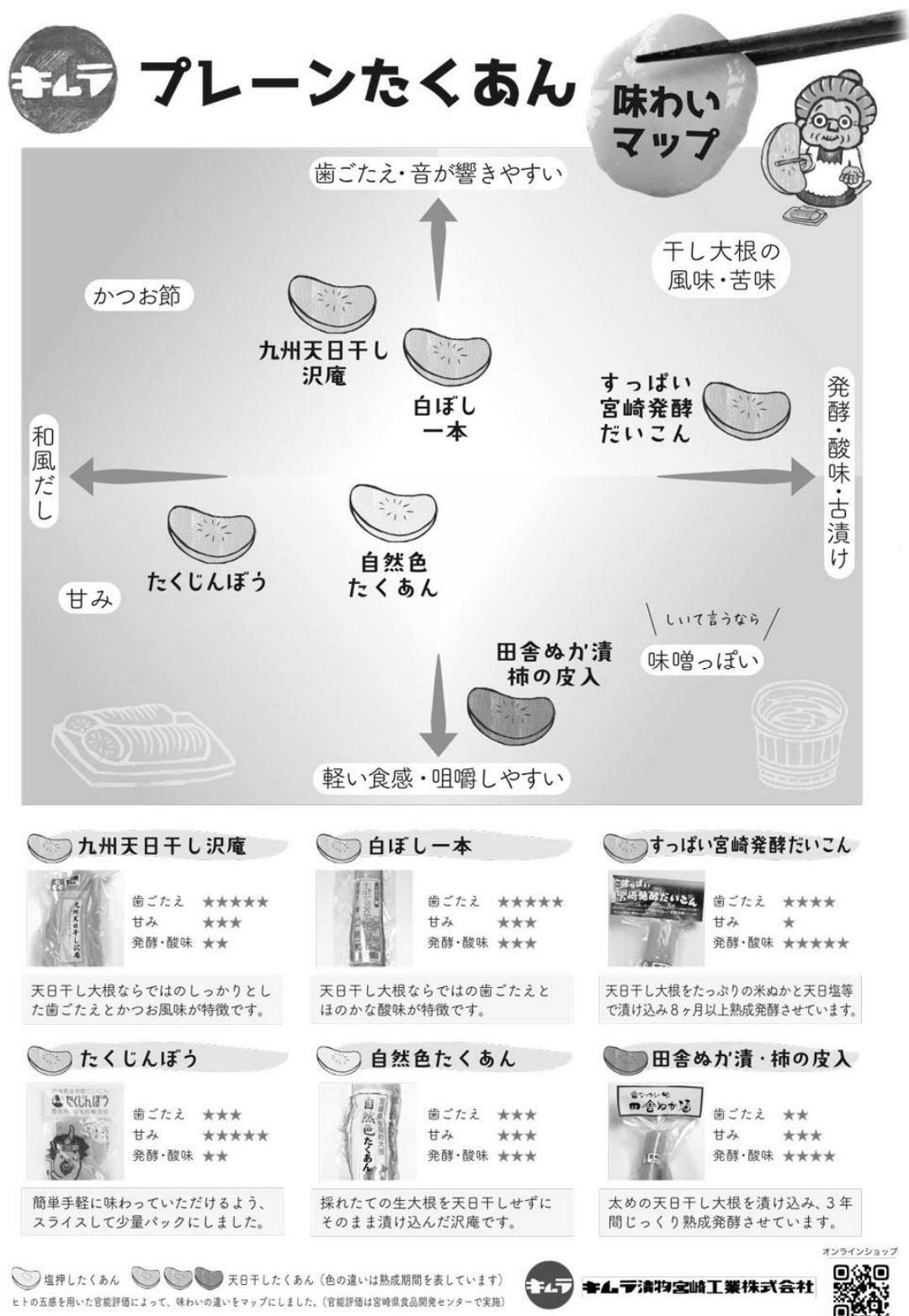


図3 開発したプレーンたくあん味わいマップ

16 語による主成分分析で得られた散布図を消費者向けにデザインし、販売促進ツール（図3）を開発した。タイトルはコンセプトに基づき「プレーンたくあん味わいマップ」（味わいマップ）と名付けた。図上の商品は主成分得点プロット、特徴を表す

用語（発酵・酸味・古漬けなどの特徴用語）はローディングプロットに基づき配置した。商品はスライスしたたくあんの形にデザインし、たくあんを色分けすることで、干したくあんと塩押したくあんとを区別した。さらに、干したくあんは、漬け込み期間が

表 3 商品説明における味わいマップの有用性検証結果

回答者の属性	商品説明で味わいマップを使用した所感
対面販売において、味わいマップを使用して商品説明を行った販売員 (n = 6)	・口頭で説明するよりも、マップを使った方が明らかに説明時間を短縮できた。 ・商品の味わいの違いを説明しやすかった。 ・好みの商品を提案しやすかった。 ・好みとは異なる特徴の商品も試食を勧めやすく、試食したら「おいしい」との反応もあった。 ・味わいの違いを説明することで、複数の商品を買っていただいた。 ・来場者にマップを見せ、食べ比べができることを伝えると、興味を持つ方が多かった。 ・味わいの違いと製造方法の違いを一つのストーリーとして説明することができた。 ・味わいの違いを伝えることで、製造方法の違いも理解してもらいやすかった。
	・プロモーションビデオと味わいマップを使用することで、冒頭の挨拶を含めて10分程度で会社概要と商品を説明することが可能であった。 ・味の違いを説明することで、商品の詰め合わせギフトも提案しやすかった。 ・異なる味わいのプレーンタイプが6種類もあることを示せたことで、老舗のたくあん製造事業者とのイメージを持ってもらうことができた。

各回答者から得られた所感を要約して示す。

表 4 味わいマップに関するアンケートの結果

(A)

回答者の属性	回答者の人数 (人)	たくあんを食べる頻度 (%)				味わいマップを見ての感想 (%)			
		ほとんど食べない	ときどき食べる	よく食べる	ほぼ毎日食べる	味わいの違いが分かりやすい	商品を選びやすい	商品を購入したくなった	マップを見ながら食べ比べしてみたい
アンケートの全回答者	62	13	48	24	15	77	66	47	47
回答者のうち、たくあんを「よく食べる」または「ほぼ毎日食べる」と回答した者	24	0	0	63	38	88	63	46	33
回答者のうち、たくあんを「ほとんど食べない」または「ときどき食べる」と回答した者	38	21	79	0	0	71	68	47	55

(B)

回答者の属性	回答者の人数 (人)	味わいマップと試食結果の合致度 (%)			
		合っていない	おおむね合っている	合っている	とても合っている
回答者のうち、マップを見ながらプレーンたくあんを試食した者	60	0	28	38	33

(A)の「たくあんを食べる頻度」および「味わいマップを見ての感想」ならびに(B)の「味わいマップと試食結果の合致度」の各欄は、項目ごとに選択した回答者の割合 (%) を示す。回答形式は、「たくあんを食べる頻度」と「味わいマップと試食結果の合致度」を単一回答、「味わいマップを見ての感想」を複数回答可 (全て選択なしも可) とした。なお、値は四捨五入しているため、単一回答の項目においても合計が 100%にならない場合がある。

長い商品ほど色を濃くして熟成度の違いを表現した。特徴用語は、評価用語の定義 (表 2) をもとに分かりやすさと親しみやすさに配慮し、かつ、定義の示す感覚から乖離することがないように注意して作成した。また、QDA 試験における用語集約の過程やパネルによるディスカッションの内容も参考とし、特徴用語を作成した。特徴用語は縦軸と横軸の方向だけでなく、第一象限の中央付近に「干し大根の風味・苦味」と配置するなど、斜め方向にも配置し、中心から全方向への広がり表現するため背面色は中心からのグラデーションとした。

散布図のみでは不足する情報 (製造方法のこだわりなど) を補足するため、図下に商品ごとの紹介欄を設けた。商品紹介欄は、小さなポップ広告として

も個別に利用できるものとし、商品名、商品写真、短い商品説明を表記した。また、消費者からよく質問される歯ごたえ、甘みおよび酸味の違いをそれぞれ 5 段階で表記した。歯ごたえと甘みは、「かたさ」と「甘味」の官能得点をそれぞれ 5 段階に換算して用いた。「酸味」は「発酵した様な風味」との強い相関 ($r = 0.961$) が認められたことから、これら 2 つの官能得点を平均し、その値を 5 段階に換算することで、発酵・酸味の項目とした。

3-3 味わいマップの効果検証

開発した味わいマップの商品説明における有用性を検証するため、プレーンたくあんの対面販売と商談において味わいマップを使用した。味わいマップの使用感について、対面販売で商品説明を行った販

売員 (n = 6) と商談会の商品説明者 (n = 2) による所感を表 3 にまとめた。これらの結果から、味わいマップを使用することで、味わいの違いを視覚的に説明でき、説明時間の短縮が可能であることが示された。特に、短い時間で会社概要と商品を説明する必要がある商談会において有用であった。また、好みの商品や食べ比べの提案にも利用できることが示された。なお、検証を行った商談会には、令和 5-7 年度の 3 年間連続で参加した。味わいマップを使用していない令和 5 年度は、13 件商談して 1 件成約であった。これに対して、味わいマップを使用した令和 6 年度は 14 件商談で 4 件成約、令和 7 年度は 14 件商談で 7 件成約であった。商談会の商品説明者の所感に加え、3 年間の成約実績からは、味わいマップの利用が成約数向上の一因となった可能性が示唆された。

イベントにおいてアンケートを実施し、味わいマップに対する消費者の反応を確認した。味わいマップを見ての感想 [表 4(A), n = 62] では、77%が「味わいの違いが分かりやすい」、66%が「商品を選びやすい」、47%が「商品を購入したくなった」および「マップを見ながら食べ比べてみたい」と回答した。さらに、回答者 (n = 62) をたくあんをよく食べる者とあまり食べない者に分け、それぞれのアンケート結果を表 4(A) に示した。たくあんをよく食べる者 (n = 24) は、「マップを見ながら食べ比べてみたい」と回答した者が 33%であった。これは既に好みのたくあんがあるためと推察された。一方、たくあんをあまり食べない者 (n = 38) は、あまり食べないにもかかわらず、47%が「商品を購入したくなった」、55%が「マップを見ながら食べ比べてみたい」と回答した。これらの結果から、味わいマップは、消費者の購買意欲や興味関心の喚起に寄与する可能性が示唆された。

味わいマップを見ながら試食した時の合致度 [表 4(B), n = 60] については、「合っている」または「とても合っている」と回答した者の合計が 71%であった。QDA 法を用いてプレーンたくあんを評価し、得られたサンプル間の違いを販売促進ツールに反映させたことで、消費者の実感と合致し得る販売促進ツールの開発につながり、的確な商品説明に資する可能性が示唆された。

4 まとめ

味わいの違いを表現することが難しく、商品説明に時間を要していたプレーンたくあん 6 種類について、QDA 法を活用し、味わいの違いを見える化した販売促進ツール「プレーンたくあん味わいマップ」を開発した。開発した味わいマップは、迅速な商品説明に有用であった。また、的確な商品説明に資することが示唆され、さらに商談における成約数向上の一助となるとともに、消費者の購買意欲・興味関心の喚起を通じて販売促進に寄与する可能性が示唆された。今後は、商品説明の的確さや消費者反応について引き続き検討を行い、QDA 法を活用した販売促進ツールの有用性をさらに検証していく。

5 参考文献

- 1) 宮崎県：宮崎の園芸 2026
- 2) 農林水産省：作物統計調査，令和 6 年産野菜生産出荷統計
- 3) 経済産業省：2024 年経済構造実態調査，製造業事業所調査
- 4) 金井祐基，朝倉麻衣，永山志穂，高橋克嘉，河原聡，山崎正夫：日本食品科学工学会誌，**72**-8，267-277 (2025)
- 5) 金井祐基：畜産技術，**1**，24-26 (2022)
- 6) 宮崎県食品開発センター：官能評価等の取組紹介パンフレット第 5 版 (2025)
- 7) Stone, H., Bleibaum, R.N., & Thomas, H.A. : Sensory Evaluation Practices Fifth Edition, Elsevier Academic Press, 235-295 (2020)
- 8) 吉田浩一，和田有史 編：実践事例で学ぶ官能評価，日科技連，13-36 (2016)
- 9) Jürkenbeck, K., & Spiller, A. : *Food Quality and Preference*, **90**, 104155 (2021)
- 10) 今村美穂：化学と生物，**50**, 818-824 (2012)
- 11) International Organization for Standardization, ISO 8589: Sensory analysis - General guidance for the design of test rooms (2007)
- 12) Chapko, M. J., & Seo, H. S. : *Food Research International*, **121**, 612-621 (2019)
- 13) Castura, J. C., Varela, P., & Næs, T. : *Food Quality and Preference*, **107**, 104843 (2023)

サーキュラーエコノミーの実現に向けた循環型食品加工技術の開発*

加藤 あゆみ^{*1}・永山 志穂^{*1}・高橋 克嘉^{*2}・有簾 真奈美^{*3}・赤嶺 そのみ^{*4}・荻原 英範^{*5}

Development of Circular Food Processing Technologies for a Circular Economy

Ayumi KATO, Shiho NAGAYAMA, Katsuyoshi TAKAHASHI, Manami ARIKADO,
Sonomi AKAMINE and Hidenori OGIHARA

現在、食品加工会社から排出される残渣の大部分は再利用されず、産業廃棄物として処理している。そこで、食品加工残渣の削減と資源循環を目的とし、コオロギの飼料としての有用性を検証する試験を実施した。本研究では、食品加工残渣を乾燥粉末化し、コオロギに給餌することで、廃棄物の削減および機能性が付与された高付加価値コオロギの開発に取り組んだ。具体的には、排出状況、一般成分分析および選抜試験に基づき3種類の残渣を選定した。選抜した残渣を用いた給餌試験を行い、コオロギの体重増加率、一般成分、無機成分およびアミノ酸量を測定した結果、コオロギの飼料としての高い適性が認められた。

1 はじめに

当県の農業産出額（2024年）は3,725億円と全国7位の国内でも上位の農業県である¹⁾。一方、県内で1年間に排出される産業廃棄物量は、食料品製造業で約22万トン、飲料・飼料製造業で約27万トンである。そのうち、再生利用されているものは食料品製造業が401トンとなっており、排出される量のわずか0.2%、飲料・飼料製造業も、1.2万トンであり、4.6%にとどまっているのが現状である²⁾。

近年、新たなタンパク質源としてコオロギが注目されている。人口増加によるタンパク質危機が予測されるなか、肉類や魚類にも劣らないタンパク質を有していること、飼育面積が畜産業と比べて小さいこと、飼育に必要な水や飼料が少ないこと、さらに温室効果ガスの排出が少ないことなど、環境負荷が低いことが注目されている理由である³⁾。また、コオロギの高タンパク質、低脂質という栄養価の高さから爬虫類の餌としても人気が高い。

本研究では、宮崎県内の食品加工会社から排出される食品産業廃棄物をコオロギの飼料として有効活

用することにより、産業廃棄物量の削減および資源循環の構築を目指している。そこで、本研究では、食品加工残渣に含まれる栄養成分をコオロギ体内に効率よく移行・蓄積させ、栄養価が向上した高付加価値コオロギとしての有用性を検証したので報告する。

2 実験方法

2-1 試料

県内食品加工会社の工場から排出される食品加工残渣（野菜）の発生時期および発生量について調査し、加工残渣の提供を受けた。食品加工残渣は、小松菜、ほうれん草、サトイモ、にんじん、紫芋、さつまいも、もやし、えのき菌床の8種である。入手した試料は1kgずつ袋詰めしたのち、真空包装後冷凍保管した。分析に用いる試料については、熱風乾燥機（アドバンテック㈱、FV-1000）を用い乾燥させた。その後、超遠心粉碎機（Retsch、ZM 200）を用い、0.5 mm フィルターで粉末化し、各種分析に用いた。

2-2 一般成分分析

2-2-1 水分含量

乾燥粉末化した野菜残渣（以下、野菜残渣とする）の水分含量を、常圧加熱・直接法により測定した。あらかじめ恒量したアルミ容器に野菜残渣5.0 gを

* 宮崎県産業廃棄物税基金充当事業

*1 食品開発部

*2 食品開発部（現 宮崎県中央保健所）

*3 食品開発部（現 宮崎県環境森林部環境管理課）

*4 食品開発部（現 宮崎県男女共同参画センター）

*5 株式会社宮防

精秤し、常圧条件下にて 105℃で 5 時間加熱した。その後、デシケーター中で 45 分間放冷し、重量を測定して水分含量を算出した⁴⁾。

2-2-2 灰分量

野菜残渣 3.0 g をるつぽに精秤し、電気炉にて 600℃で 5 時間加熱し灰化した。デシケーター中で 1 時間放冷後、重量を測定して灰分量を算出した⁴⁾。

2-2-3 粗タンパク質含量

粗タンパク質含量は、ケルダール法により測定した。分解管に野菜残渣約 0.5 g を精秤し、分解促進剤 (ACTAC) と硫酸 (富士フィルム和光純薬㈱, 特級) 10 mL を加え分解装置で約 3 時間加熱分解した。その後、ケルダール分析装置 (㈱アクタック, 1500 型) を用いて窒素量を測定し、タンパク質換算係数 (6.25) を乗じて粗タンパク質含量を算出した。

2-2-4 粗脂肪含量

粗脂肪含量は、酸分解法により測定した。野菜残渣約 1.0 g をマジョニア管に精秤し、エタノール (関東化学㈱, 特級) 2 mL および塩酸溶液 (富士フィルム和光純薬㈱, 特級) (25:11) 10 mL を加えて 80℃で 40 分間加熱分解した。放冷後、エタノール (関東化学㈱, 特級) 8 mL, ジエチルエーテル (関東化学㈱, 特級) 25 mL, 石油エーテル (富士フィルム和光純薬㈱, 特級) 25 mL を順次加えて抽出し、静置分離した。

得られたエーテル層を分液漏斗に移し、水洗浄により不純物を除去した。その後、無水硫酸ナトリウム (キシダ化学㈱, 特級) により、脱水・ろ過を行い、あらかじめ恒量しておいた脂肪びんに回収した。溶媒をロータリーエバポレーターで留去後、105℃の乾燥機で 1 時間乾燥させた。デシケーター中で冷却後、抽出物重量を測定し、粗脂肪含量を算出した⁴⁾。

2-3 選抜試験

各試験区 200 匹のコオロギを用い、同一条件下で、4 週間の給餌試験を 2 回繰り返した。試料の配合割合を、表 1 に示す。試験期間中、1 週間ごとに個体重量および生存個体数を測定し、体重増加率および生存率を算出した。これらの結果と、食品加工残渣の供給安定性を総合的に評価し、機能性成分の付与が期待できる残渣を選抜した。

表 1 給餌試験における配合割合

	鶏の餌	パン粉	乾燥野菜残渣
対照区	50	50	—
試験区	25	25	50

2-4 給餌試験

選抜試験において選抜された野菜残渣を用い、㈱宮防の養殖施設において 2 回の給餌試験を実施した。本試験では、飼料配合を変更した試験および選抜試験時と同一条件で行う試験を実施した。飼料の配合割合を、表 2 に示す。各試験終了後、コオロギを乾燥粉末化し、無機成分分析および酸分解アミノ酸量の測定を行った。

表 2 給餌試験における配合割合

		鶏の餌	パン粉	乾燥野菜残渣
1 回目	対照区	60	40	—
	試験区	30	20	50
2 回目	対照区	50	50	—
	試験区	25	25	50

2-4-1 無機成分分析

試料またはコオロギ粉末 5.0 g を専用容器に精秤し、硝酸 (富士フィルム和光純薬㈱, 特級) 6 mL および過酸化水素 (富士フィルム和光純薬㈱, 特級) 1 mL を加えた。高速試料分解装置 (マイルストーンゼネラル㈱, ETHOS900-MG) を用いて分解処理を行った後、純水で 100 mL に定容した。これを分析用試料として分取し、高周波プラズマ発光分析装置 (㈱島津製作所, ICPS-7510) を用いて測定した。

2-4-2 酸分解アミノ酸量

タンパク質 5 mg/100 g となるよう、野菜残渣またはコオロギ粉末をバキュームリアクションチューブに精秤し、6 mol/L 塩酸 (キシダ化学㈱) を 1 mL を加えた。脱気・密閉後、ブロックヒーターを用いて 110℃常圧下で 22 時間加熱し、酸加水分解を行った。加熱後の試料をエバポレーターで乾固させ、0.02 mol/L 塩酸 (キシダ化学㈱) で希釈した。0.2 mm フィルターバイアルでろ過した液を、高速アミノ酸分析計 (㈱日立製作所, L-8900 型) によるニンヒドリン発色法にてタンパク質構成アミノ酸を測定した。

3 結果および考察

3-1 水分量、灰分量、粗タンパク質量、粗脂肪量

各乾燥野菜残渣粉末の一般成分（水分、灰分、粗タンパク質および粗脂肪量）の測定結果を表3に示す。灰分量は、えのき菌床が最も多く、次いでほうれん草残渣の順となった。また、粗タンパク質量は小松菜残渣が最大であり、ほうれん草残渣、もやし残渣がこれに続いた。粗脂肪量は、えのき菌床が最も高く、ほうれん草残渣、小松菜残渣の順であった。

コオロギの飼育において、コオロギ同士の共食い抑制のために、飼料のタンパク質含有量が重要である。この観点から、小松菜残渣、ほうれん草残渣お

よびもやし残渣はタンパク質源として高い有用性が認められた。しかし、産業廃棄物としての排出状況を考慮すると、小松菜残渣は通年での安定的な調達に困難である。したがって、タンパク質含量および供給安定性の両面を考慮し、コオロギの飼料としてほうれん草残渣およびもやし残渣が適していると考えられた。

3-2 選抜試験

選抜試験の結果を表4に示す。試験開始時および終了時のコオロギ数と重量から、1匹あたりの平均重量、体重増加率および生存率を算出した。

体重増加率については、紫芋残渣およびさつまいも残渣を除く試験区において対照区を上回った。特に増加率が400%を超えた試験区が多く、中でも「もやし残渣」給餌区では900%近い大幅な増加が確認された。生存率においても、小松菜、ほうれん草、にんじんおよびもやしの各残渣給餌区で対照区と同等以上の成績を示した。特に「もやし残渣」給餌区の生存率は75.5%と最も高く、成長・生存の両面においてコオロギの飼料として極めて高い適性を有することが示唆された。

以上の結果に加え、産業廃棄物としての残渣の供給安定性を総合的に考慮し、「ほうれん草」、「にんじん」、「もやし」の3種類の残渣給餌区を選抜し成分分析を実施した。具体的には、給餌試験後

表3 野菜残渣の一般栄養成分

	(g/100g)			
	水分	灰分	粗タンパク質	粗脂肪
小松菜	7.71	5.22	41.68	5.46
ほうれん草	9.54	13.20	32.30	5.47
サトイモ	9.62	4.20	10.14	1.04
にんじん	7.95	4.16	7.89	1.80
紫芋	9.42	1.48	5.33	1.03
さつまいも	10.45	1.84	2.37	0.29
もやし	9.03	2.31	19.84	3.33
えのき菌床	7.33	14.10	9.99	6.78

表4 選抜試験結果

		開始時			終了時					
		コオロギ (匹)	全体 (g)	1匹 (g)	コオロギ (匹)	全体 (g)	1匹 (g)	対照区との 差 (匹)	増加率 (%)	生存率 (%)
1回目	小松菜	200	14.7	0.074	101	52.0	0.515	20	596.0	50.5
	ほうれん草	200	12.2	0.061	93	37.0	0.398	12	552.5	46.5
	サトイモ	200	15.2	0.076	69	27.5	0.399	-12	425.0	34.5
	にんじん	200	15.1	0.076	81	31.5	0.389	0	411.8	40.5
	紫芋	200	18.2	0.091	71	26.5	0.373	-10	309.9	35.5
	対照区	200	17.5	0.088	81	33.0	0.407	—	362.5	40.5
2回目	さつまいも	200	12.8	0.064	66	25.5	0.386	-52	503.1	33.0
	えのき菌床	200	13.0	0.065	100	53.0	0.530	-18	715.4	50.0
	もやし	200	13.5	0.068	151	100.5	0.666	33	879.4	75.5
	対照区	200	13.5	0.068	118	62.0	0.525	—	672.1	59.0

増加率：(終了時1匹重量 - 開始時1匹重量) / 開始時1匹重量 × 100

生存率：終了時コオロギ数 / 開始時コオロギ数 × 100

のコオロギを粉末化し、栄養成分および残渣由来成分の体内への移行・蓄積について検討した。

3-3 給餌試験

選抜試験と同様の指標に基づき、給餌試験の結果を表5に示す。

本試験では、1回目は、選抜試験と飼料配合を変更して実施した。ほうれん草およびにんじん残渣給餌区においては、増加率および生存率が対照区を上回ったものの、選抜試験と比較し、生存率の著しい低下が確認された。この要因を特定するため、給餌配合を選抜試験と同一条件に戻し、2回目の給餌試験を実施した。しかし、2回目の結果では、すべての残渣給餌区において、体重増加率・生存率ともに選抜試験を下回った。選抜試験および給餌試験の結果の乖離について、使用したコオロギの個体群に変化がないことから、飼育環境が大きく影響していると考えられる。本試験の飼育施設は外気温や湿度

の影響を受けやすかった可能性が高く、これがコオロギの成長および生存に影響した可能性が高い。コオロギの飼育において、温度および湿度の安定的な管理は不可欠である。今後は、外的要因が受けにくい施設において再試験を行い、適正な飼育環境の整備を進める必要がある。

3-3-1 無機成分分析

コオロギパウダーおよび野菜残渣の無機成分分析の測定結果を表6に示す。

分析の結果、無機成分の蓄積には明確な一貫した傾向はみられなかったものの、1回目の給餌試験の方が、2回目よりも各ミネラルの含有量が高い傾向があった。ほうれん草およびもやし残渣給餌区において、マグネシウムの増加やカルシウムの減少といった傾向は確認されたが、リンやカリウムについては、給餌試験の条件によって増減が逆転する結果となった。

表5 給餌試験結果

		開始時			終了時					
		コオロギ (匹)	全体 (g)	1匹 (g)	コオロギ (匹)	全体 (g)	1匹 (g)	対照区との 差 (匹)	増加率 (%)	生存率 (%)
1回目	ほうれん草	250	20.9	0.084	51	32.1	0.629	7	648.8	20.4
	にんじん	250	20.5	0.082	59	36.8	0.624	15	661.0	23.6
	もやし	250	23.7	0.095	34	21.3	0.626	-10	558.9	13.6
	対照区	250	21.0	0.084	44	27.1	0.616	-	633.3	17.6
2回目	ほうれん草	200	39.7	0.199	26	19.2	0.738	-11	270.9	13.0
	にんじん	200	39.4	0.197	28	16.2	0.579	-9	193.9	14.0
	もやし	200	39.3	0.197	27	20.0	0.741	-10	276.1	13.5
	対照区	200	37.4	0.187	37	23.3	0.630	-	236.9	18.5

増加率：(終了時1匹重量 - 開始時1匹重量) / 開始時1匹重量 × 100

生存率：終了時コオロギ数 / 開始時コオロギ数 × 100

表6 無機成分分析結果

(g/100g)

	対照区				ほうれん草			にんじん			もやし		
	給餌飼料		コオロギ		コオロギ			コオロギ			コオロギ		
	1回目	2回目	1回目	2回目	残渣	1回目	2回目	残渣	1回目	2回目	残渣	1回目	2回目
Mg	135.8	115.3	108.0	82.9	582.6	112.1	99.8	65.3	100.3	80.0	143.1	108.1	97.7
P	427.4	376.4	1187.9	1016.4	550.2	1189.9	1148.1	200.6	1139.6	1083.3	242.2	1179.0	1156.0
K	420.5	371.4	1197.5	1038.9	4240.0	1179.2	1208.3	1386.0	1164.7	1157.7	276.1	1189.2	1140.7
Ca	3791.6	3160.8	664.0	332.4	982.8	399.1	284.8	466.6	346.1	262.7	538.8	488.0	292.1

特に、爬虫類等の飼料として重要視される「Ca : P 比 (2 : 1)」に関して、対照区と比較していずれの残渣給餌区においてもカルシウム値の低下がみられた。このことから、野菜残渣の利用のみで理想的な栄養バランスを構築するのは困難であることが示唆された。したがって、理想値に近づけるためには、カルシウム源の添加が不可欠であると考えられる。

3-3-2 酸分解アミノ酸量

コオロギパウダーおよび野菜残渣のタンパク質構成アミノ酸量の測定結果を表 7 に示す。コオロギの必須アミノ酸は、ヒトの必須アミノ酸にアルギニンを加えたものであるため、本表ではそれらを含むアミノ酸と非必須アミノ酸組成を示す。なお、トリプトファン (Trp) については、分析手法の特性上、分解されるため測定不能であった。

2 回目に実施した給餌試験では、全ての残渣において、対照区と比較してアミノ酸総量が増加する傾向が確認された。特にほうれん草残渣給餌区では、1 回目の給餌試験においても増加がみられた。また、コオロギ特有の必須アミノ酸であるアルギニン (Arg) においても、アミノ酸総量と同様の結果が見られた。このことから、ほうれん草残渣給餌区において、残渣の成分が蓄積した可能性が示唆された。

4 まとめ

本研究は、食品加工残渣をコオロギの飼料へ有効活用することで、産業廃棄物の削減と新たな資源循環の構築を目指したものである。本試験を通じて得られた成果は以下のとおりである。

初めに、各野菜残渣の成分および供給安定性を精査し、コオロギの成長に有効な飼料源として

表 7 アミノ酸量の分析結果

(mg/100g)

	対照区		ほうれん草			にんじん			もやし		
	1 回目	2 回目	残渣	1 回目	2 回目	残渣	1 回目	2 回目	残渣	1 回目	2 回目
Val	2,933	2,899	1,590	3,186	2,971	397	2,548	2,880	861	2,537	3,299
Ile	2,148	1,892	1,191	2,250	2,067	311	1,782	2,027	698	1,775	2,334
Leu	4,161	3,719	2,482	4,249	4,116	514	3,318	3,856	1,192	3,462	4,581
Met	922	776	215	813	954	23	633	881	173	767	1,111
Lys	3,280	2,729	1,772	3,180	3,018	374	2,457	2,911	967	2,632	3,526
Phe	1,967	1,596	1,542	1,940	1,903	283	1,509	1,698	804	1,577	2,122
Trp	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Thr	2,145	1,913	1,522	2,188	2,107	306	1,685	2,040	674	1,773	2,438
His	1,245	1,095	652	1,273	1,201	140	1,005	1,117	407	1,059	1,338
Arg	3,770	3,120	1,641	3,801	3,618	290	2,931	3,579	711	3,119	4,176
Asp	5,392	4,367	2,805	5,156	5,235	737	3,954	4,582	1,695	4,350	5,629
Ala	4,384	4,729	1,707	4,935	4,632	494	3,827	4,757	917	3,909	5,287
Cys	452	318	180	444	399	7	347	365	73	333	461
Glu	6,487	5,636	3,627	6,507	6,319	1,145	5,089	5,907	1,657	5,344	7,207
Gly	2,838	2,738	1,737	3,083	2,786	302	2,379	2,964	817	2,416	3,278
Pro	3,021	3,210	1,327	3,276	3,244	290	2,512	3,108	686	2,659	3,706
Ser	3,297	2,857	1,356	3,080	3,373	339	2,367	2,729	818	2,699	3,583
Tyr	2,687	2,572	1,113	2,860	2,745	113	2,196	2,403	504	2,325	2,983
合計	51,129	46,166	26,459	52,221	50,688	6,065	40,539	47,804	13,654	42,736	57,059

「ほうれん草」「にんじん」「もやし」の3種を選抜した。

次に、給餌試験の結果から、これらの残渣を給餌飼料に混合させることで、コオロギへアミノ酸の移行・蓄積の可能性が示唆された。アミノ酸分析の結果より、ほうれん草残渣には、栄養の蓄積において、高い有用性がみられた。環境整備された施設において、再度同様の給餌試験を実施することで、より正確な体重増加率や生存率、栄養成分の移行・蓄積を検討する必要がある。

最後に、本研究は産業廃棄物削減という環境的側面と、高付加価値な昆虫原料の供給という経済的側面を両立する手段として期待できる。今後、飼育環境の安定化と飼料配合の最適化技術を確立し、本知見の社会実装を目指す。

5 謝辞

本研究の成果は、令和5年度～7年度の宮崎県産業廃棄物税基金充当事業の研究成果である。ここに記して謝意を表す。

6 参考文献

- 1) 宮崎県農政水産部，統計でみる宮崎県の農畜産業 2025，2-5(2025)
- 2) (株)グリーンエコ，令和7年度 宮崎県産業廃棄物情報収集・分析事業に係る実態調査報告書（令和6年度実績），2026
- 3) 川崎淨教，日本畜産学会報，92-3，265-278（2021）
- 4) 安井明美，渡邊智子，（一財）日本食品分析センター：日本食品標準成分表 2020 年版（八訂）分析マニュアル・解説，(株)建帛社，11-24，34-53，79-80（2023）

中低温発酵酵母の酒類への応用*

三枝 奈央^{*1}・富山 裕規^{*2}・越智 洋^{*2}・福良 奈津子^{*3}

Application of Moderate- to Low-Temperature Fermenting Yeasts to Alcoholic Beverages

Nao MIEDA, Yuki TOMIYAMA, Hiroshi OCHI and Natsuko FUKURA

アルコール飲料における消費者嗜好の多様化に対応した酒質のワインの開発技術支援を行うため、中低温発酵酵母における研究に取り組んだ。前報では、当センターが保有する宮崎県微生物データベースにある約1,500株の *S.cerevisiae* において、選抜条件を複数設定することで、4株までスクリーニングを行った。そこで本研究では、得られた選抜株に対して、遺伝子解析や試験醸造、香気成分および有機酸の分析ならびに官能評価を行うことで最終選抜株を選定した。最終選抜株は一般に醸造に使用される *S.cerevisiae* であることが確認され、市販株を含む他の株と比較して、カプロン酸エチルの産生が多く、酢酸が少ない特徴も確認され、ワインの官能評価では原料特性やエステルが際立ち、香りの欠点がなく、味のバランスが良好であることを確認した。

1 はじめに

近年、ワインの市場は拡大傾向にあり、2021年度の課税数量は10年前と比較すると約2割増加している¹⁾。これらは、アルコール飲料に対する消費者嗜好の多様化と新型コロナウイルスの影響による家飲み需要の増加等によるものと考えられる。また、純国産ワイン、いわゆる「日本ワイン」の品質向上を背景に、製法品質表示基準が定められたことから、県内ワイナリー6社を含め、日本ワインの更なる成長が期待されている。特に、多様な自然環境から酵母を分離することで、テロワールと呼ばれる地域特性を感じさせるワインが生まれると考えられており、その土地ならではの個性を追求する動きが活発化している。当センターでは、これまで焼酎用酵母の開発を中心に行ってきたが、今回、本県ワイナリーの増加に伴い、消費者ニーズに対応した酒質のワインの商品化技術の支援を行うため、中低温発酵酵母における研究開発に取り組んだ。本報では、中低温発酵酵母の選抜と酒類への応用において選抜した株を現場で使用するための遺伝子解析、試験醸造、特性評価を行ったので報告する。

2 実験方法

2-1 選抜酵母の遺伝子解析

前報で選抜した4株(129Y3, 172Y7, 208Y10, GF1)の酵母について、rRNA遺伝子D2領域塩基配列による遺伝子解析は、次の手順で実施した。酵母をYPD培地(酵母エキス10g, ペプトン20g, グルコース20g, 蒸留水1L)で28℃, 24~48時間培養した。次に、酵母菌体からPrepMan™ Ultra Sample Preparation Reagent (Applied Biosystems)のキットを使用して酵母DNAの抽出を行った。得られた試料をFast MicroSEQ™ D2 Fungal rDNA PCR Kit (Applied Biosystems)のプロトコルにしたがってPCR増幅・精製処理した。得られた試料についてMicroSEQ™ D2 rDNA Fungal Sequencing Kit (Applied Biosystems)のプロトコルにしたがってサイクルシーケンシング法により、シーケンス反応を行い、反応物を精製した。得られた試料について、3500/3500xL Genetic Analyzer (Applied Biosystems)により塩基配列を決定した。決定した塩基配列の相同性検索を、MicroSEQ ID Microbial Identification Software (Applied Biosystems)を用いて行った。

* 中低温発酵酵母の選抜と酒類への応用(第2報)

*1 応用微生物部(現 宮崎県高鍋保健所)

*2 応用微生物部

*3 応用微生物部(現 宮崎県総合農業試験場)

2-2 ワインの試験醸造と一般分析

キャンベルアーリーを徐梗・破碎したのち、ショ糖により補糖して糖分 24%とし、SO₂ 濃度が 100 mg/L になるようピロ亜硫酸カリウムを添加した。全容量 10 L の円筒のステンレスタンク 5 本に 6.3 kg ずつ分注し、各々に選抜株 4 株および市販株 1 株の液体培養酵母 120 ml を加えて、20℃で 8 日間発酵させた。発酵中の様子を図 1 に示す。発酵終了後、圧搾を行い、遮光したガラス瓶に移して 15℃で 15 日間静置した。その後、遠心分離によるおり引き、瓶詰めおよび火入れ処理を行った。製造したワインの一般分析は国税庁所定分析法²⁾により行った。

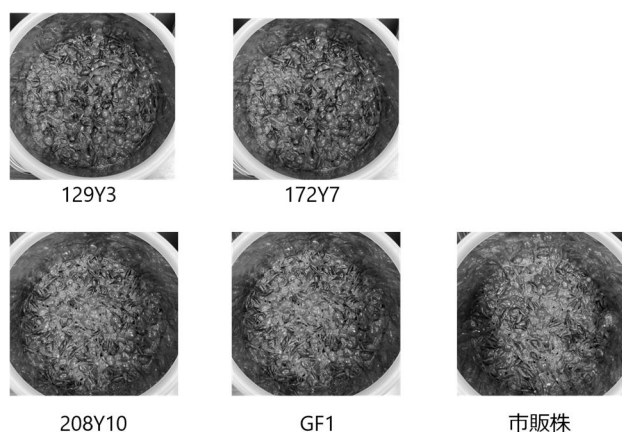


図 1 各酵母を使用したマスト（果汁）の発酵の様子

2-3 試験醸造ワインの官能評価

ワインの官能評価は、当センター職員 5 名が 4 点法（1：秀，2：優，3：良，4：可）で行った。

2-4 試験醸造ワインの香り成分分析

試験醸造ワインの香り成分濃度については、ワイン 5 ml および内部標準液（1-ペンタノール 250 mg/L）0.1 mL を 20 mL 容ガラス製バイアルに入れて密栓したものを試料とし、ヘッドスペースーガスクロマトグラフ分析システム（パーキンエルマー社，TurboMatrix HS-（株島津製作所，GC-2010 Plus）を用いて測定した。分析条件を表 1 に示す。

2-5 試験醸造ワインの有機酸分析

試料を 100 倍希釈後、0.45 μm メンブランフィルターでろ過し、有機酸分析システム（株島津製作

所，LC-10A）を用いて測定した。分析条件を表 2 に示す。

表 1 香り成分分析条件

使用カラム	DB-WAX
	φ0.53 mm×30 m, 1.00 μm
カラム温度	50℃(5 min) to 225℃(5 min) at 4℃/min
キャリアーガス	He, 7.10 mL/min
全流量	10.1 mL/min
検出方法	FID

表 2 有機酸分析条件

使用カラム	Shim-packSCR-102H (2 本直列)
移動相	5 mM p-トルエンスルホン酸
緩衝液	5 mM p-トルエンスルホン酸 20 mM Bis-tris, 100 mM EDTA
流速 (mL/min)	0.8
注入量 (μL)	20
カラム温度 (℃)	40
検出方法	電気伝導度検出

3 結果および考察

3-1 選抜酵母の遺伝子解析

選抜株 4 株の塩基配列を解析し、MicroSEQ ID Microbial Identification Software (Applied Biosystems) を用いて塩基配列の相同性検索を行った結果、データベースに登録された公知の *Saccharomyces cerevisiae* との相同性は 100%であった（表 3）。

3-2 ワインの試験醸造と一般分析

選抜株 4 株および市販株 1 株を使用した計 5 試験区により試験醸造したワインについての一般分析の結果を表 4 に示す。結果からすべての選抜株及び市販株において良好な発酵が確認できた。

3-3 試験醸造ワインの官能評価

選抜株 4 株および市販株 1 株を使用した計 5 試験区により試験醸造し、官能評価を行った結果を表 5 に示す。選抜株および市販株で最も評価のよかった 129Y3 では、全体の香りが華やかで花様の香りも認められた。また、ブドウ由来の原料特性が際立つとともに果実様のエステルも感じられ、甘味と全

体のバランス・ハーモニーも良好であった。さらに、ジアセチルや酸臭といった指摘事項も確認されなかった。

表 3 遺伝子解析結果

株	相同性[%]	配列登録データ
129Y3	100	<i>S.cerevisiae</i> (ATCC=18824)
	100	<i>S.cerevisiae</i> (C)
	100	<i>S.cerevisiae</i> (ATCC=18824)
172Y7	100	<i>S.cerevisiae</i> (C)
	100	<i>S.cerevisiae</i> (ATCC=18824)
	100	<i>S.cerevisiae</i> (ATCC=18824)
208Y10	100	<i>S.cerevisiae</i> (C)
	100	<i>S.cerevisiae</i> (ATCC=18824)
	100	<i>S.cerevisiae</i> (ATCC=18824)
GF1	100	<i>S.cerevisiae</i> (C)
	100	<i>S.cerevisiae</i> (ATCC=18824)
	100	<i>S.cerevisiae</i> (ATCC=18824)

表 4 試験醸造ワインの一般分析結果

株	Brix	pH	Alc.(vol%)	エキス分
129Y3	8.7	3.4	11.8	5.25
172Y7	7.1	3.5	13.1	3.05
208Y10	7.8	3.5	13.0	3.00
GF1	7.7	3.4	12.3	3.34
市販株	7.1	3.6	12.4	2.30

3-4 試験醸造ワインの香気成分分析

選抜株 4 株および市販株 1 株を使用した計 5 試験区により試験醸造し、香気成分濃度の定量を行った結果を表 6 に示す。官能評価のよかった 129Y3 では、選抜株で製造したワインの酢酸エチル濃度は低く、カプロン酸エチル濃度は高かった。129Y3

におけるカプロン酸エチルの高濃度生成は、リンゴのような華やかな果実様のエステル香を付与し、全体の香りが華やかで花様の香りも認められたことおよびブドウ由来の原料特性が際立つとともに果実様のエステルも感じられたことへ寄与したと考えられる。また、過剰になると除光液様の刺激臭を呈する酢酸エチルの生成が低く抑えられていたことは、良好な官能評価の要因であると推察された。

3-5 試験醸造ワインの有機酸分析

選抜株 4 株および市販株 1 株を使用した計 5 試験区により試験醸造し、有機酸濃度の定量を行った結果を表 7 に示す。官能評価のよかった 129Y3 では、酒石酸、乳酸が多く、酢酸が少ない結果となった。酒石酸と乳酸はワインに酸味と骨格を与える成分であり、これらが豊富であることは酒質のバランスやハーモニーの向上に寄与したと考えられる。また、酢酸は過剰になると刺激的な酸臭や雑味の原因となるため、その生成が低く抑えられたことが、官能評価において特段の指摘事項がなかった要因であると推察される。

4 まとめ

選抜株について遺伝子解析を実施し、一般に醸造に使用される *S.cerevisiae* であることが確認された。選抜株と市販株での試験醸造を実施し、官能評価、香気成分分析、有機酸分析を実施した。その結果、129Y3 が他の選抜株や市販株と比較して官能評価での評価が高いうえに指摘事項がなく、カプロン酸エチル等の香気成分が豊富で、かつ酢酸の生成量が少ないという優れた特性が確認された。

今後は 129Y3 を最終選抜株とし、各ワイナリーの製造条件への落とし込みや実製造設備を使用した醸造試験を行い、本酵母を使用した商品開発を目指す。併せて、焼酎醸造への応用を見据え、耐酸性および高温耐性試験を確認していく。

5 参考文献

- 1) キリンホールディング株式会社:メルシャンワイン参考資料, 4(2022)
- 2) 注解編集委員会編:第四回改正国税庁所定分析法注解, (公財)日本醸造協会, 28 (2000)

表5 試験醸造ワインの官能評価結果（アロマ，特性，指摘および味の数値は指摘した審査員の数を示す）

株	評点 平均	アロマ (全体の香り)				香り特性						香り指摘						味					
		弱い	大人しい・穏やか	華やか	強い	原料特性 (品種特性)	マスカット	グレープフルーツ・柑橘様	エステル (果実様)	花様	スパイス様	亜硫酸臭 (刺激臭)	くき臭	ジアセチル	酸臭	アルデヒド	還元臭 (硫黄臭)	バランス・ハーモニー	甘味	薄い	酸味過多	苦味	渋味・収斂味
129Y3	1.2			4	1	5	1	1	5	2								3	5				1
172Y7	1.8		2	3		4	1	1	3					1	1			2	2	1	1	1	1
208Y10	2.0		1	3	1	4		1	3	2				1	1			2	3	1	1		3
GF1	2.0		2	1	2	3	2		3				1	1	1			1	2		1		2
市販株	2.4	1	2	2		3	2		3				1		1				3		1		3

※ 評点平均は審査員5名の評点（1：秀，2：優，3：良，4：可）を平均したもの

表6 試験醸造ワインの香気成分分析結果

(mg/L)

株	酢酸エチル	酢酸 イソアミル	カプロン酸 エチル	カプリル酸 エチル	デカン酸 エチル	酢酸β フェネチル	β-フェネチル アルコール
129Y3	71.6	1.3	0.53	0.42	0.31	1.66	55.1
172Y7	73.9	1.8	0.48	0.43	0.27	1.96	65.0
208Y10	77.3	1.8	0.51	0.45	0.29	1.99	58.9
GF1	89.9	2.0	0.52	0.37	0.20	0.51	58.2
市販株	86.2	1.9	0.63	0.67	0.34	1.62	48.9

表7 試験醸造ワインの有機酸分析結果

(mg/L)

株	クエン酸	酒石酸	コハク酸	リンゴ酸	乳酸	酢酸
129Y3	183	2764	884	1850	581	40
172Y7	180	2444	946	1691	546	110
208Y10	170	2508	856	1505	567	147
GF1	171	2608	1080	1996	387	308
市販株	178	2197	946	1642	360	128

再録

J. Brew. Soc. Japan. Vol. 120, No. 9, p. 511~522 (2025)

研究報文

新品種甘藷みちしずくの原料特性を活かす焼酎醸造法

越智 洋^{1*}・水谷政美²・三枝奈央¹・古市佳代¹・山本英樹¹

(¹宮崎県食品開発センター, ²宮崎県味噌醤油工業協同組合)

令和6年12月23日受付/令和7年6月27日受理

A Shochu Brewing Method Utilizing the Raw Material Characteristics of New Sweet Potato Michishizuku

Hiroshi OCHI^{1*}, Masami MIZUTANI², Nao MIEDA¹, Kayo FURUICHI¹, Hideki YAMAMOTO¹

(¹Miyazaki Prefectural Food Research and Development Center, 16500-2 Higashikaminaka, Sadowara-cho, Miyazaki city, Miyazaki 880-0303, Japan, ²Misosyoyu Industrial cooperative association, 2-12-10 Hiroshima Miyazaki city, Miyazaki 880-0806, Japan)

Received 23 December 2024 ; accepted 27 June 2025

In a test brewing of *Imo-shochu* using MICHISHIZUKU, the ratio of sweet potatoes used, the use of enzymes, the brewing conditions, and the quality of *shochu* were investigated. Results showed that the higher the sweet potato ratio, the higher the viscosity of the *moromi*, but the use of cellulase resulted in a decrease in viscosity. The use of enzymes made it possible to reduce viscosity. Increased alpha-terpineol was observed when cellulase was used, while citronellol, nerol, and geraniol increased when lipase was used. In other words, the use of enzyme agents increased the production of monoterpene alcohols, suggesting the possibility of improving *shochu* quality.

The *shochu* using MICHISHIZUKU had a higher evaluation than Kogane Sengan in all test plots except for test plot (1), which had a sweet potato ratio of 1 : 1. Especially, when the sweet potato ratio was 1 : 3 and steamed rice was used, the sake had a sweet and clean sweet taste with the highest sensory evaluation, and was characterized by Michishizuku. Furthermore, the addition of cellulase at this ratio is expected to reduce viscosity.

Key words : みちしずく (michishizuku), 芋焼酎 (*Imo-shochu*), 官能評価 (sensory evaluation)

緒言

芋焼酎の原料に使われる甘藷のうち多くの割合を占めるコガネセンガンは、芋焼酎製造に欠かせない存在である。現在、甘藷の産地ではサツマイモ基腐病が蔓延しており、芋焼酎の主原料であるコガネセンガンにおいても感染が広がり、安定的な原料供給が危惧され

ている。このような中、毎年宮崎県食品開発センターは、宮崎県総合農業試験場畑作園芸支場で試験栽培された甘藷のうち収量や病害虫抵抗性の高い甘藷を使用して、焼酎の試験醸造を行っている。その中で、コガネセンガンと比べてサツマイモ基腐病に強くデンプン価が高い新品種甘藷「みちしずく」を使用した焼酎は、コガネセンガンの酒質に近いとの評価を得た¹⁾。

*責任著者のメールアドレス ochi-hiroshi@pref.miyazaki.lg.jp

みちしずくは、九州沖縄農業研究センターで育種され、令和元年度に「九系 359」、令和2年度に「九州 200 号」の系統名を付けられ、令和3年度に品種登録されたことから、原料特性を生かせる醸造条件はこれまで十分に検討されていない。一方、コガネセンガンについては、これまで様々な検討がなされ、麴米とコガネセンガンの使用割合が1:5の焼酎が最も芋焼酎らしいと評価されている²⁾。そこで、本研究では、みちしずくの特徴を活かす芋焼酎製造を行うために、みちしずくの醸造条件を検討した。試験の前段は、コガネセンガンとみちしずくのもろみ粘性の比較、みちしずくの二次もろみ粘性を下げる酵素剤の選抜、みちしずくの二次もろみの香気成分の分析と統計解析を行った。試験の後段は、芋焼酎の仕込み配合の基準である麴米:甘藷=1:5に対し、みちしずくのもろみ粘性を下げるため甘藷比率を変え小仕込み試験を行った。甘藷比率を変えた小仕込み試験は、みちしずくの特徴を引き出し、酒質の多様性を見いだすことと、アルコール取得量の向上を期待して麴の半量を蒸米に置き換えた試験も合わせて行った。加えて、麴米:みちしずく=1:5の仕込み配合に酵素剤を添加した小仕込み試験を行った。それから、小仕込み試験による二次もろみと焼酎の成分分析および焼酎の官能評価を行った。試験の結果から、みちしずくを使用した芋焼酎の醸造条件と酒質に関する新しい知見が得られたため報告する。

実験材料と方法

1. 原料

用いた甘藷は、コガネセンガン及びみちしずくの2品種であり、いずれも令和5年に宮崎県総合農業試験

場畑作園芸支場で栽培したものである。麴原料は国産米を、種麴は焼酎用白麴菌 (*Aspergillus luchuensis* mut. *kawachii*) (株式会社河内源一郎商店) を用い、常法により製麴を行った。酵母は宮崎酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) を用いた。酵素剤は、Table 1 に示す10種を用いた。

2. 麴の分析方法

麴の酵素抽出、麴酸度及び酸性プロテアーゼ活性測定は、国税庁所定分析法に従った³⁾。また、 α -アミラーゼ、グルコアミラーゼ及び酸性カルボキシペプチダーゼ測定は、醸造分析キット (キッコーマンバイオケミファ(株)) を用いた。

3. 酵素剤を用いた発酵試験

みちしずくを使用し、通常の仕込み配合 (麴米:みちしずく=1:5) で発酵試験を行い、二次仕込み時に酵素剤を甘藷重量の0.1%分添加し、発酵終了後に粘度を測定した。なお、対照としてコガネセンガンを用いた。発酵は、総もろみ量300 mLのフラスコスケールで行い、28℃に設定した恒温室で一次もろみは5日間、二次もろみは9日間の発酵を行った。

3-1. もろみの粘度測定

粘度は、乳鉢で二次もろみ (9日目) をすり潰したものの200 gを300 mLのトルビーカーに取り、30℃の恒温槽にて、B型粘度計 (DV1M, 英弘精機(株)) を用いて測定した⁴⁾。

3-2. 二次もろみの香気成分

香気成分分析は、9日目の二次もろみをろ過し、ろ液を測定した。一般香気成分は、ガスクロマトグラフ (GC-2010Plus, (株)島津製作所) を用いたヘッドスペース法で分析し、内部標準法により定量した。ヘッドスペース法では、試料5 mLと内部標準物質である

Table 1 Enzymes used in fermentation

No	Enzyme	company
①	Cellulase <i>Aspergillus</i> sp.	sigma-Aldrich
②	Cellulase from <i>Trichoderma reesei</i>	sigma-Aldrich
③	HemiCellulase from <i>Aspergillus niger</i>	sigma-Aldrich
④	Pectinase from <i>Aspergillus niger</i>	sigma-Aldrich
⑤	Pectinase from <i>Rhizopus</i> sp.	sigma-Aldrich
⑥	Lipase from <i>Rhizopus oryzae</i>	sigma-Aldrich
⑦	Lipase from <i>Aspergillus oryzae</i>	sigma-Aldrich
⑧	Xylanase from <i>Trichoderma viride</i>	sigma-Aldrich
⑨	End-1,4- β -D-glucanase from <i>Acidothermus cellulolyticus</i>	sigma-Aldrich
⑩	Protease from <i>Aspergillus oryzae</i>	sigma-Aldrich

Table 2 Test Case

No.	Sweet potato	Ratio (koji rice : sweet potato : rice)	Enzyme	Ratio of water (%)			
				First	Second	Third	Total
BL	Koganesengan	1 : 5 : 0	-	120	68	0	76
1	Michishizuku	1 : 1 : 0	-	120	54	0	85
2	Michishizuku	0.5 : 1 : 0.5	-	120	180	54	100
3	Michishizuku	1 : 2 : 0	-	120	54	0	76
4	Michishizuku	0.5 : 2 : 0.5	-	120	180	54	86
5	Michishizuku	1 : 3 : 0	-	120	54	0	70
6	Michishizuku	0.5 : 3 : 0.5	-	120	180	54	78
7	Michishizuku	1 : 4 : 0	-	120	54	0	67
8	Michishizuku	0.5 : 4 : 0.5	-	120	180	54	73
9	Michishizuku	1 : 5 : 0	-	120	68	0	76
10	Michishizuku	0.5 : 5 : 0.5	-	120	180	54	70
11	Michishizuku	1 : 5 : 0	Cellulase	120	68	0	76
12	Michishizuku	1 : 5 : 0	Lipase	120	68	0	76

The ratio of water is a percentage by weight of the raw materials used in each process.

1-pentanol (200 mg/L) 0.1 mL を 20 mL 容ガラスバイアルに入れて 50℃ で 30 分間加温し、ヘッドスペースガスをニードルで 12 秒間引き抜いて GC の注入口に 4.8 秒間インジェクションした。モノテルペンアルコール（リナロール、 α -テルピネオール、シトロネロール、ネロール、ゲラニオール）と β -ダマセノンについては、ヘッドスペース固相マイクロ抽出（Solid Phase Micro Extraction : SPME）し、ガスクロマトグラフ質量分析計（GCMS-QP2010Plus, 株式会社島津製作所）で分析し、内部標準法により定量した。SPME では、試料 5 mL と内部標準物質である 1-pentanol (200 mg/L) 0.1 mL を 20 mL 容ガラスバイアルに入れて、密栓し、40℃、500 rpm で攪拌しながら 5 分間加温した後、SPME ファイバー（85 μ m ポリアクリレート、SUPELCO）を露出して 30 分間攪拌しながら抽出を行い、脱離は SPME ファイバーを GC-MS 装置の注入口内で 5 分間露出して行った。

3-3. 香気成分の統計解析

XLSTAT を使用した多変量解析を行った。香気成分を変数として、クラスター解析を行い、類似性を確認した。

4. 小仕込み試験

4-1. 仕込み方法

小仕込みは二次もろみ量を約 4 L とし、28℃ に設定した恒温室で一次もろみは 5 日間、二次もろみは 9 日間の発酵を行った。蒸留は、ステンレス製の蒸留器を

使用し、直接蒸気吹き込みによる常圧蒸留を行った。なお、蒸留時間は 20 分前後であり、製造現場での蒸留時間と比べて著しく短い時間であった⁵⁾。通常の芋焼酎の仕込み配合である 1 : 5 を基準に甘藷の比率を変えた試験区を設定した（Table 2）。麴の半量を蒸米に置き換えた試験区では、二次仕込みに米を、翌日に三次仕込みとして甘藷を使用し、一次仕込みは汲水歩合 120% とし、二次仕込みは汲水歩合 180%、三次仕込みは汲水歩合 54% とした。蒸米を使用しない試験区では、一次仕込みは汲水歩合 120% とし、二次仕込みは 1 : 5 では汲水歩合 68% とし、1 : 5 以外では 54% とした。仕込み全体での汲水歩合は、約 70~100% となった。なお、二次仕込みで添加した酵素剤は、甘藷重量の 0.1% とし、セルラーゼは食品添加物として使用可能なセルラーゼ TP5（協和化成㈱）を、リパーゼは酵素剤試験の No. ⑦を使用した。酵素剤の使用量は、酒税法及び酒類行政関係法令等解釈通達第 86 条の 5「酒類の品目等の表示義務」に、本格焼酎について、穀類又は芋類のこうじと併用する水以外の原料の重量の 1,000 分の 1 以下に相当する量の酵素剤は原料として取り扱わないとあり、この点を考慮して 0.1% で試験を行った。

4-2. 二次もろみの分析

もろみの pH、酸度、アミノ酸度、還元糖、全糖及びアルコール分は所定分析法注解に従い行った³⁾。もろみの遊離アミノ酸量は、アミノ酸分析計（LA8030、

(株)日立製作所)により、溶離液にMCI緩衝液PFキット(三菱ケミカル(株))を使用し、ポンプ1の流速を0.35 mL/min、ポンプ2の流速を0.35 mL/minとし、135℃の反応温度でニンヒドリン発色法により検出した。有機酸量は高速液体クロマトグラフ(Prominence, (株)島津製作所)により、Shim-pack SCR-102H(φ8 mm×300 mm, 2本直列)のカラムで移動相に5 mM p-トルエンスルホン酸を反応液に0.1 mM EDTAを含む20 mM Bis-trisを使用し、カラム温度40℃、流速0.8 mL/minで電気伝導度検出器により検出した。粘度は二次もろみ(9日目)について、前述のとおり分析した。

4-3. 焼酎の香気成分分析

焼酎はアルコール濃度25%に調整後、濾過したものを用い、前述のとおり、一般香気成分の分析は、ガスクロマトグラフを用いて、モノテルペンアルコール、β-ダマセノンについては、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて、測定を行った。

4-4. 焼酎の官能評価

当センター職員6名と県内焼酎製造業技術者の合計

44名で官能評価を行った。評価は試験品が分からないようにブラインドで実施し、点数は4点法で行い、点数が小さいほど評価が高いこととした。評価点数については、ANOVA (analysis of variance, 分散分析)により、有意水準5%で評価を行った。また、香りの特性5項目および指摘8項目、味の特性4項目及び指摘5項目について、該当すると感じた項目にチェックをしてもらい、その人数を集計した。

結果および考察

1. 酵素剤を用いた発酵試験

1-1. 麴の分析結果およびコガネセンガンとみちしずくのもろみ粘度測定結果

発酵試験に使用する麴の分析結果をTable 3に示す。酸度を含め各種酵素活性は焼酎製造に十分な活性であった。二次もろみの粘度測定結果をFig. 1に示す。みちしずくの粘度は51,000 mPa・sで、コガネセンガンの16,000 mPa・sと比べて約3倍高かった。もろみ粘度が高い場合は、もろみをポンプ移送する際にもろみがポンプに詰まるなどの問題が起こるため、みちしず

Table 3 Acidity and enzyme activities of *koji*

	Acidity	Enzyme activities (U/g dry <i>koji</i>)			
		α -Amylase	Glucoamylase	Acid Carboxypeptidase	Acid Protease
<i>Kawachii</i>	7.4	66	1,383	18,649	21,379

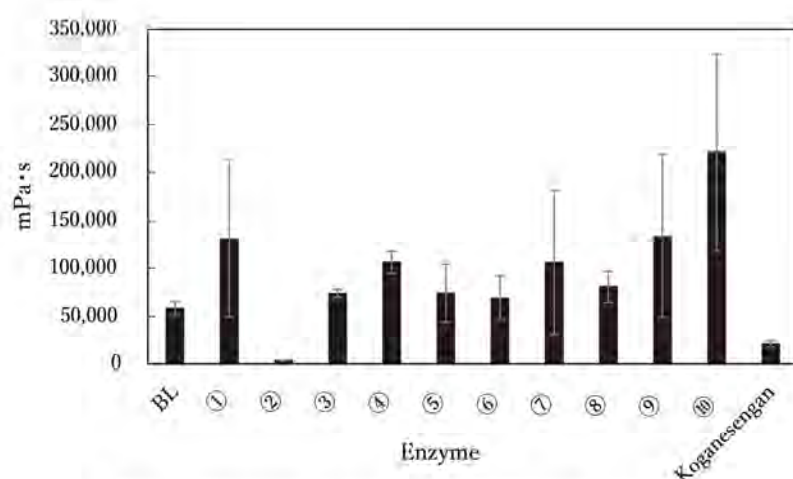


Fig. 1 Viscosity of Imo-shochu secondary moromi

BL : Michishizuku

①~⑩ : Addition of each enzyme to Michishizuku

The data show the average value of 5

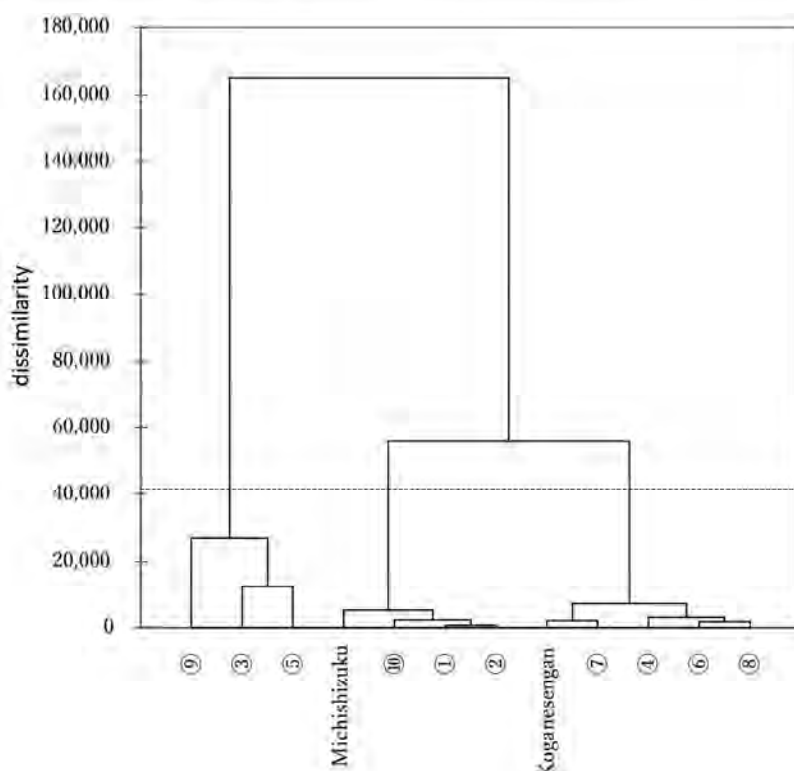


Fig. 2 Cluster analysis *Imo-shochu* secondary *moromi*

①～⑩：Addition of each enzyme (①～⑩ of Table 1) to Michishizuku.
The analysis was performed using the complete linkage method and the dissimilarity was determined by standardized Euclidean distance.

くもろみの粘度低下について検討した。芋焼酎蒸留粕の粘度が高い原因は不溶性画分にあり⁶⁾、その不溶性画分の42%は繊維であった^{4),7)}。また、三上ら^{8),9)}は、市販酵素剤のリパーゼを使用することで清酒もろみにおける蒸米溶解率が向上することを報告した。これらの知見から、みちしずくもろみの粘度の低減を目的として繊維分解酵素とリパーゼの選抜を行った (Fig. 1 ①～⑩)。使用した酵素剤によっては、粘度が上昇するものもみられたが、トリコデルマ由来のセルラーゼ (Fig. 1 ②) で顕著に粘度が低減した。これは繊維が分解されたためと考えられた。一方、リパーゼ (Fig. 1 ⑥, ⑦) によるみちしずくもろみの粘度低下は確認されなかった。

1-2. もろみの香気成分と統計解析

もろみの香気成分のクラスター解析の結果、非類似度約 50,000 で3つのクラスターに分類された。みちしずくとコガネセンガンは別のクラスターに分類され、リパーゼを使用した試験区⑦が、コガネセンガンと同

じクラスターで非類似度が小さく、類似性が最も高かった (Fig. 2)。この結果から、リパーゼを使用することで、コガネセンガンに近い酒質になることが想定された。

2. みちしずくを使用した小仕込み試験醸造

もろみ粘度を下げるため甘藷比率を変え、各比率において、麴の半分の量を蒸米に置き換えた試験区も設定し、試験醸造を行った。また、粘度低下に効果が認められたセルラーゼと酒質改善効果が期待されたリパーゼを用いた試験醸造を行った。なお、セルラーゼについては、より実用性を考慮し、同様の効果が認められたトリコデルマ由来のセルラーゼを含むセルラーゼ TP5 (共和化成㈱) を用いた。

2-1. みちしずくを使用したもろみの粘度

通常の芋焼酎の仕込み割合の1:5から甘藷比率が低くなるに従って、もろみ粘度が低下する傾向はみられたが、蒸米の有無でも差がみられた (Fig. 3)。蒸米の有無で比較すると、1:1, 1:2, 1:3 では、汲水歩

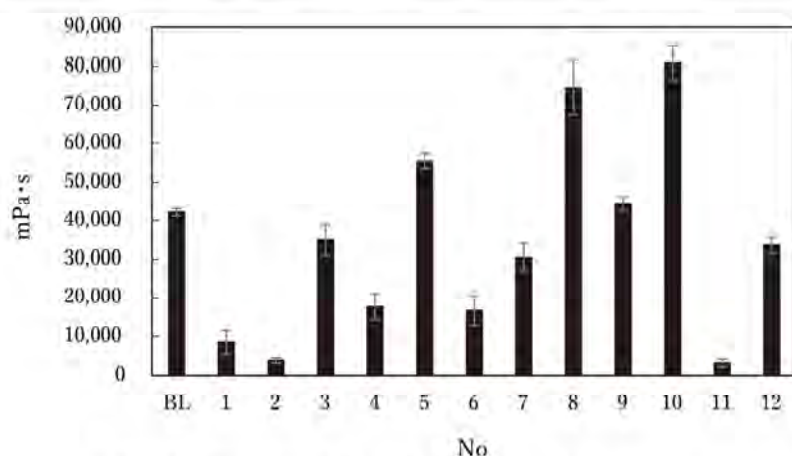


Fig. 3 Viscosity of *Imo-shochu* secondary *moromi*

BL : koganesengan

1-12 represent the test numbers in Table 2.

The data show the average value of 5.

合が低い蒸米無しの粘度が高く、1:4, 1:5では蒸米有りで粘度が高い傾向が確認された。食品分析表¹⁰⁾によると甘藷の繊維量は2.8 g/100 gで、米の0.5 g/100 gの5倍以上であり、1:4, 1:5は甘藷比率が高く、甘藷が増えることで甘藷からの繊維量が増え粘度が上昇したことが考えられる。麴に含まれるセルラーゼ活性を測定していないが、1:1, 1:2, 1:3では、甘藷の繊維分解に必要なセルラーゼがある程度あり、麴の半分を蒸米に置き換えても影響はなく、1:4, 1:5の蒸米有りでは、麴由来のセルラーゼが蒸米無しと比べて半減したため粘度が高くなったと考えられ

る。高峯ら¹¹⁾の、繊維分解酵素剤を二次仕込み時に添加すると、もろみ粘度が酵素剤無添加の50%以下になるとの報告同様、セルラーゼを使用した試験区ではもろみ粘度は大きく低下し、二次仕込みの翌日からもろみがさらさらとなり、固形物はほとんどなく、甘藷の皮が表面に浮遊した。

2-2. みちしずく製二次もろみ分析結果

二次もろみの分析結果をTable 4に示す。もろみ酸度は、甘藷比率が低いほど高い傾向にあった。アミノ酸度も同様の傾向がみられた。これは、甘藷比率が低いほど麴歩合が高いため、麴由来のクエン酸やアミノ

Table 4 Analysis of *Imo-shochu* secondary *moromi*

No	pH	Acidity	Amino Acidity	Reducing sugar (%)	Total sugar (%)	Alcohol (%)
BL	4.2	5.8	2.3	0.2	1.0	13.8
1	3.7	14.0	7.5	5.5	10.7	13.3
2	4.1	7.0	5.1	0.3	2.3	16.3
3	4.0	11.0	6.0	0.4	1.9	16.7
4	4.2	5.7	3.7	0.3	1.9	16.0
5	4.1	9.0	5.0	0.4	1.8	16.2
6	4.4	4.9	1.7	0.4	0.8	15.3
7	4.3	6.8	3.6	0.4	1.4	15.9
8	4.4	4.6	1.6	0.4	1.4	14.7
9	4.4	6.1	2.5	0.4	0.7	14.3
10	4.4	5.5	0.7	0.2	1.1	14.3
11	4.3	5.5	2.3	0.4	1.8	14.0
12	4.4	5.2	2.2	0.3	1.3	14.2

BL : koganesengan

1-12 represent the test numbers in Table 2.

Table 5 Amino acid content of *Imo-shochu* secondary *moromi*

	BL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Asp	4.7	44.1	25.9	42.9	17.7	44.4	6.2	23.1	4.2	5.7	3.5	5.1	5.4
Thr	2.2	15.7	7.4	12.1	4.4	11.5	2.4	5.2	1.7	2.6	1.5	2.4	2.5
Ser	3.0	26.3	12.5	21.0	6.6	18.8	3.6	7.6	2.7	3.6	2.2	3.3	3.4
AspNH ₂	6.8	27.4	18.7	22.3	12.3	20.6	8.6	11.5	7.1	8.2	7.0	7.8	7.9
Glu	12.3	82.0	71.0	83.9	53.6	84.1	22.4	50.6	19.8	14.7	21.7	13.9	13.2
GluNH ₂	4.6	30.7	24.7	24.4	13.1	20.9	6.4	9.9	4.6	4.6	4.4	4.5	4.4
Gly	9.7	19.0	22.9	18.9	20.4	23.4	11.9	17.6	8.5	11.0	6.9	10.0	10.0
Ala	17.5	60.9	47.2	51.3	36.5	53.5	23.6	35.3	19.6	19.3	18.9	17.7	18.6
Val	4.7	36.5	22.6	27.7	13.7	24.8	5.2	14.2	3.7	5.5	3.2	5.1	5.4
Cys	5.5	5.8	3.1	4.5	6.8	3.0	5.5	5.6	5.4	4.9	5.8	4.8	4.6
Met	2.0	15.4	5.7	9.9	3.3	6.1	1.7	2.5	1.1	2.3	0.8	2.4	2.3
Ile	3.2	21.3	11.9	15.5	6.5	11.9	2.4	5.2	1.6	3.4	1.2	3.1	3.3
Leu	6.9	56.9	34.1	43.2	16.1	34.2	6.9	15.2	4.5	8.0	3.6	7.4	7.8
Tyr	4.4	47.9	32.3	38.2	19.4	34.0	5.1	19.2	3.4	5.3	2.7	4.7	4.9
Phe	4.8	48.3	30.3	38.6	15.9	32.8	5.0	15.2	3.8	5.7	3.5	5.6	6.5
Trp	0.1	6.4	5.3	5.3	3.2	4.9	0.8	2.7	0.1	0.1	0.1	0.9	1.0
Orn	6.3	3.3	3.3	3.0	3.2	2.4	6.2	2.1	4.0	3.7	1.8	3.5	4.5
Lys	10.6	42.4	22.5	33.0	13.5	23.1	11.0	11.6	7.7	12.1	6.7	10.9	11.8
His	6.2	24.8	17.9	20.5	11.7	18.0	6.7	10.9	4.2	6.8	3.3	6.3	6.3
Arg	17.9	107.4	87.6	89.2	60.9	81.3	27.2	50.8	9.0	28.3	7.1	27.0	24.2
Pro	17.6	21.9	23.0	21.3	19.8	26.6	18.1	17.5	21.3	15.6	20.0	15.2	17.6
total	151	744	530	627	359	580	187	333	138	171	126	161	166

BL : koganesengan

1-12 represent the test numbers in Table 2.

酸の濃度が高まった影響と考えられる。還元糖は試験区1が5.5%であった以外は0.4%以下であったため、試験区1以外についてはアルコール発酵が順調に進んだと判断された。全糖の値からも、還元糖と同様に試験区1以外は問題なく発酵したことが示唆された。試験区1の全糖は10%を上回っており、この理由は、pHが3.7と低く酸度も14と高いことから、酵母の増殖が抑制されて発酵不良となり、原料デンプンの分解が順調に進まなかったことと考えられる。アルコール濃度はコガネセンガンを使用した試験区は、原料のデンプン価が低いため、みちしずくを使用した試験区と比べて低くなったと考えられる。麹量を半減すると残糖が多く、アルコール度数が下がることも危惧されたが、試験区1以外は、全糖に大きな差はなく、アルコール度数も大きな違いはみられなかった。もろみ中の遊離アミノ酸量は、甘藷比率が低く米の使用量が多いほど、多かった (Table 5)。また、同じ比率では、蒸米無しが高いことから、麹由来の遊離アミノ酸及び、麹量が半減することでタンパク質分解酵素が半減したことがもろみ中の遊離アミノ酸量に影響したと考えら

れる。1:5:0におけるコガネセンガンとみちしずく及び、酵素剤使用もろみの遊離アミノ酸量に大きな差はなかった。

3. みちしずく製焼酎の蒸留歩合とアルコール取得量

焼酎の相対蒸留歩合とアルコール取得量を Table 6 に示す。相対蒸留歩合は、コガネセンガンの蒸留歩合を100%とした場合の値である。実際の蒸留歩合は、66%~79%であった。アルコール取得量は、原料1トン当たりに換算して求めた。ブランクのコガネセンガンと比較して、試験区10を除いていずれの試験区でも相対蒸留歩合、アルコール取得量共に高かった。甘藷比率が低い試験区1~4において、両方の値が高い傾向がみられたが、試験区1は残糖が多く、発酵が不十分であったため、アルコール取得量は試験区2と比較して約30%低い値であった。試験区2の蒸米有りにおいて相対蒸留歩合とアルコール取得量はどちらも最も高かった。試験区11のセルラーゼTP5を使用した試験区においては相対蒸留歩合が高く、同じ比率の試験区9と比較して約10%のアルコール取得量の向上が確認された。このことは、もろみ中の繊維がセル

Table 6 Distillation yield and alcohol yield of *Imo-shochu*

No.	BL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Relative distillation rate (%)	100	106	114	102	111	106	102	103	107	101	95	112	102
Alcohol yield (L/ton)	145	161	225	189	199	178	169	163	163	152	144	165	152

BL : koganesengan

1-12 represent the test numbers in Table 2.

Distillation yield is expressed as a relative value with BL as 100%.

Alcohol yield is expressed as net alcohol yield per ton of raw material.

ラーゼにより分解され、酵母が資化可能な糖類が増加したためと考えられる。蒸米の有無で比較すると、試験区1,2を除き、大きな差はなく、麴の半量を蒸米に置き換えることで、残糖が多くなり、アルコール取得が大きく減少することはなかった。

4. みちしずく製焼酎の香気成分分析

焼酎の香気成分の分析結果を Table 7, 8 に示す。

イソアミルアルコールは甘藷の比率が増えるほど、また、蒸米有りが多くなる傾向がみられ、アミノ酸分析ではそれらの試験区においてロイシンが少ないことから、酵母の代謝により生成したと考えられる。高級アルコールは酵母の代謝によりアミノ酸から変換¹²⁻¹⁴⁾され、アルギニンが高濃度に含まれる環境では、高級アルコール生成量が減少することが報告されており¹⁵⁾、

Table 7 Concentration of general aroma compounds in *Imo-shochu*

Compound	BLANK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n-propyl alcohol	176	130	99	110	127	96	189	115	193	181	203	183	189
Isobutyl alcohol	139	138	137	120	138	117	156	118	182	133	234	132	136
Isoamyl alcohol	421	206	315	239	363	288	436	323	518	392	634	398	421
β -phenethyl alcohol	44.8	25.7	42.2	32.1	57.1	32.9	62.9	37.5	51.1	46.4	54.8	47.4	58.8
Ethyl acetate	88.6	51.1	59.0	66.2	76.2	66.4	91.8	83.2	99.4	85.7	97.4	120	91.4
Ethyl caproate	0.19	0.16	0.16	0.18	0.18	0.17	0.19	0.19	0.20	0.18	0.19	0.20	0.21
Ethyl caprylate	0.34	0.28	0.33	0.33	0.37	0.31	0.34	0.34	0.35	0.31	0.29	0.42	0.34
Ethyl caprate	0.12	0.17	0.16	0.13	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.11	0.13	0.12
Isoamyl acetate	3.91	1.15	3.44	1.73	5.69	2.67	7.01	4.02	8.26	4.18	7.36	2.57	1.78
β -phenethyl acetate	1.57	0.33	1.19	0.47	2.16	0.70	2.28	1.23	2.00	1.56	1.79	0.31	n.d.

BL : koganesengan

1-12 represent the test numbers in Table 2.

n.d. : Not detected

Table 8 Concentration of small amount aroma compounds in *Imo-shochu*

Compound	BLANK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Linalool	14.9	10.2	9.7	10.5	9.8	10.5	9.7	10.5	9.0	10.5	10.1	13.1	10.9
Terpineol (α -)	14.6	11.2	9.9	12.8	13.9	13.1	14.9	16.0	17.1	20.9	17.6	147	32.4
Citronellol	49.3	17.4	34.1	24.7	37.8	35.9	40.7	41.0	43.9	46.0	39.8	56.2	59.5
Nerol	16.7	8.3	12.1	11.2	14.3	13.5	14.4	16.7	15.8	16.3	13.3	19.0	19.5
Damascenone (α -, β -)	7.0	3.1	7.8	10.4	8.2	7.7	6.6	7.8	6.7	7.7	6.0	8.7	7.7
Geraniol	37.7	20.5	40.1	31.5	44.3	44.2	42.5	48.5	45.3	41.8	36.8	45.6	51.0

BL : koganesengan

1-12 represent the test numbers in Table 2.

アルギニンの少ない、試験区 8, 10 において、イソブチルアルコール、イソアミルアルコールが多く生成したと考えられる。焼酎のボディ感になるといわれるフーゼル油である *n*-プロピルアルコール、イソブチルアルコール、イソアミルアルコールは¹⁶⁾、甘藷の比率が高いほど、蒸米有りが高くなることから、試験区 10 焼酎はボディ感のある酒質であると考えられる。バナナ様の香りの酢酸イソアミルは、甘藷比率が高いほど高く、また、蒸米有りで高くなっていた。リンゴ様の香りのカブロン酸エチル、果実様の香りのカプリル酸エチル、ぶどう酒様のカプリン酸エチルは、試験区間の大きな差はなかった。バラ様の香りの酢酸 β -フェネチル、 β -フェネチルアルコールは、蒸米有りでも多く確認され、蒸米無しでは、甘藷比率が高くなるほど多くなる傾向がみられた。 β -フェネチルアルコールの生成量は、もろみ中のフェニルアラニンの量が多いと増加することが確認されている¹⁷⁾。蒸米有りでは、熟成二次もろみ中のフェニルアラニンの量が少ないため、 β -フェネチルアルコールの生成に利用されたと考えられる。モノテルペンアルコールについては、コガネセンガンと試験区 9 では大きな差はみられなかった。試験区 1 と比較していずれの試験区でもシトロネロール、ネロール、ゲラニオールが多く、特に試験区 9 ではリナロール以外の成分は約 2 倍の量が含まれていた。芋焼酎の特徴香でもあり、はちみつ様の香りの β -ダマセノン試験区 1 以外では同程度含まれており、甘藷の使用量との相関は確認されなかった。セルラーゼ製剤を使用した試験区では、 α -テルピネオールが最も多かった。これは、セルラーゼにより繊維を分解することで甘藷の両端及び表皮部に多く含まれる未利用の α -テルピネオール配糖体がもろみ中に遊離したことで、 α -テルピネオールが多く生成したと考えられる。リパーゼ添加試験区の焼酎は、13 種類の焼酎においてシトロネロール、ネロールおよびゲラニオールの最高濃度を示し、酢酸イソアミル濃度が低かった。リパーゼ添加により酢酸イソアミルが減少する鯨鳥らの報告¹⁸⁾と同様の結果であった。

5. みちしずく製焼酎の官能評価

官能評価結果を Table 9 に示す。みちしずくは、コガネセンガンと比較して、試験区 1 を除き、どの試験区でも評価が高かった。最も評価が高い試験区 6 は、甘い、きれいと味の特性のコメントが多かった。最も

評価が悪かった試験区 1 は、油臭の香りの指摘が多かった。一方、試験区 2 では、原料特性、おだやかな香り特性が多く、きれい、なめらかとの味特性のコメントも多かった。原料特性を感じた評価者は、試験区 5 が最も多く 22 人で、次に試験区 2 は 19 人で、コガネセンガンの 13 人より多かった。エステル香は、試験区 10 が 24 人と最も多く、蒸米有りの試験区で多い傾向がみられた。試験区 10 は、香氣成分分析において、焼酎のボディ感になるといわれるフーゼル油が多かったが、官能評価の結果では、エステル香や柑橘香のコメントが多く、華やかな酒質であった。味特性の甘いについては、みちしずくを使用した試験区は 15~22 人でコガネセンガンの 12 人と比較して甘いと評価する人の数が多かった。きれいについては、試験区 1 を除き、コガネセンガンより多く、特に多かった試験区 2, 6 は評価が高かった。4 項目の味特性の合計が多い試験区 2, 5, 6 の官能評価が高かった。うすいでは、コガネセンガンが最も多く、12 人であった。荒いは試験区 2 が、渋味は試験区 1 が最も多く、米の比率が高いと熟成する必要性も考えられる。

酵素剤を使用した試験区において、セルラーゼは原料特性が 4 番目に高かったが、おだやか、うすいも多く、試験区 9 の酵素剤無しと比較して評価が悪かった。リパーゼは、エステル香が 21 人、柑橘香が 12 人と華やかな香りの評価が多かった。

最も評価が高かった試験区 6 は、エステル香、甘い、きれいの特性評価が多く、花様の香りを呈する酢酸 β -フェネチルと β -フェネチルアルコールが最も多く含まれていた。また、酢酸イソアミルも多く含まれており、エステル香もあり華やかな酒質になったと考えられる。2 番目に評価が高かった試験区 2 はで甘藷比率が 1:1 にも関わらず原料特性が 19 人と 2 番目に多く、味特性のきれいが 2 番目になめらかが 1 番目に多かった。

香氣成分の含有量を検知閾値で除した値である OAV は、香氣寄与度の指標であり、香氣成分特性の解析に用いられている。結果を Table 10 に示す。OAV が 1 以上となった場合に、含有量が検知閾値よりも高いことから品質への寄与があると考えられている^{19,20)}。酢酸イソアミルの OAV は蒸米有りの試験区で高く、そのため蒸米有りの試験区においてエステル香との評価が多かったと考えられる。また、甘藷の割

Table 9 Sensory evaluation of products made from small scale *Imo-shochu*

	BL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Total	113	131	100	104	108	101	95	103	108	102	110	106	105
Average	2.57 ^{ab}	2.98 ^a	2.27 ^b	2.36 ^b	2.45 ^b	2.30 ^b	2.16 ^b	2.34 ^b	2.45 ^b	2.32 ^b	2.50 ^b	2.41 ^{ab}	2.39 ^b
Raw material characteristics	13	12	19	14	11	22	14	14	12	18	15	17	14
Estery	9	2	10	7	15	10	18	11	15	12	24	12	21
Roast	6	4	4	8	9	6	3	4	5	4	2	4	0
Calm	13	9	17	12	11	13	6	8	5	8	4	12	5
Citrus	3	1	3	5	3	3	3	6	9	7	8	9	12
Sulfide	1	1	0	2	0	1	1	1	0	0	1	1	1
Aldehyde	2	3	1	1	2	0	2	1	2	1	4	3	2
Diacetyl	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0	0
Acetic smell	2	2	1	0	2	0	2	1	3	2	3	1	0
Oily	5	16	0	1	0	5	0	4	3	2	2	1	1
Ink	0	3	2	3	1	0	0	2	2	1	0	1	0
Burning smell	1	3	0	1	0	2	0	1	0	1	2	0	0
Defective raw materials	1	1	0	0	1	0	0	1	2	0	3	1	1
Sweet	12	17	15	19	17	22	22	20	20	18	18	17	18
Clear	5	4	18	10	9	12	19	8	11	8	11	11	11
Smooth	12	7	15	9	6	10	10	10	12	12	4	9	11
Umami	3	6	7	12	4	7	5	9	4	8	8	10	9
Dry	7	3	9	5	11	7	3	3	8	6	4	4	6
Light	12	6	10	9	9	7	11	9	11	9	4	11	8
Rough	2	6	10	2	2	3	3	4	3	2	6	4	3
Astringency	8	10	3	7	9	4	4	9	9	5	9	2	9
Bitter	4	6	3	5	8	7	4	5	2	6	10	7	7

BL : koganesengan

1-12 represent the test numbers in Table 2.

a, b, ab : Significant differences between different signs in samples ($p < 0.05$)

Raw material characteristics ~Defective raw materials : Aroma, Sweet~Bitter : Taste

4-level evaluation (1 : very good, 2 : good, 3 : usually, 4 : bad).

Values are the average for 44 panelists.

合が高くなるに従い酢酸イソアミルの OAV は高まる傾向にあった。 β -フェネチルアルコールについては、蒸米有りの試験区で OAV 値が高い傾向にあった。リパーゼ添加の試験区 12 は官能評価で柑橘香が最も多かったが、シトロネロール、ネロールの OAV は 1 を超えておらず、1 を超えたリナロール、ゲラニオールについては、他の試験区と大きな違いはみられず、他の成分に由来する可能性が考えられた。また、最も評価が高かった試験区 6 の OAV は酢酸 β -フェネチルが 3.5、 β -フェネチルアルコールが 2.7、酢酸イソアミルが 29.2 であり、いずれも高い値であったために華やかな酒質になったと考えられる。以上の結果から、みちしずくを使用した焼酎製造において、甘藷比率が

1 : 3 で、麴の半量を蒸米に置き換えることにより官能評価の高い特徴のある芋焼酎製造が可能であると考えられる。

6. みちしずく製焼酎の統計解析

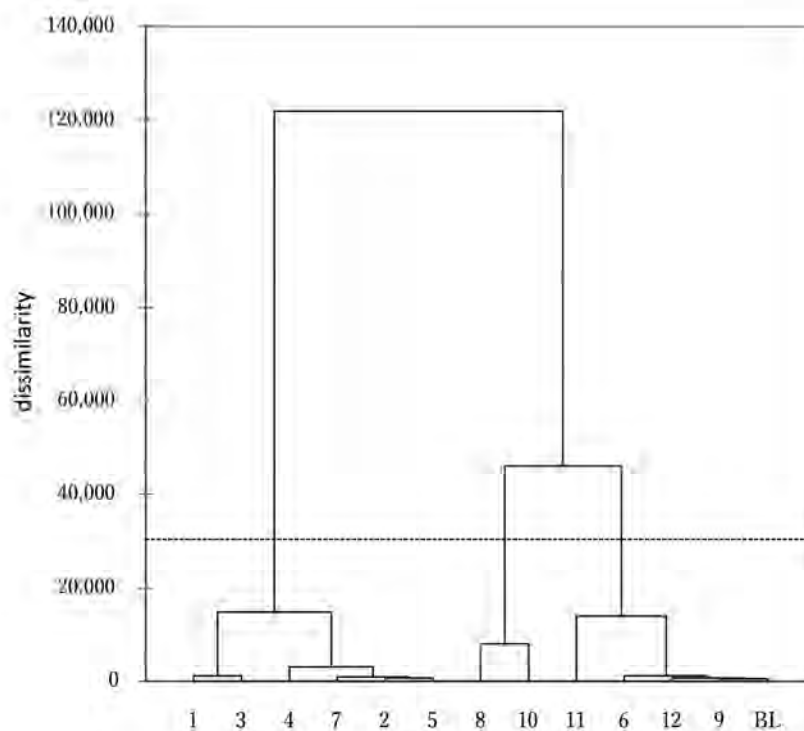
焼酎香気成分のクラスター解析の結果を Fig. 4 に示す。試験区 9 のみちしずくとコガネセンガンは類似度が最も高かった。また、試験区 12 のリパーゼと試験区 6 もコガネセンガンと同じクラスターに分類され、類似度は高かった。二次もろみの香気成分のクラスター解析では、みちしずくとコガネセンガンは別のクラスターに分類された一方で焼酎では類似度が最も高くなった理由は、蒸留中の熱と酸の影響で揮発性成分が大きく変化することと考えられる。蒸留工程でゲラニ

Table 10 Recognition threshold and odor activity values (OAV)

Compound	Detection threshold ^{19, 20)}	BLANK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n-propyl alcohol	950	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Isobutyl alcohol	150	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	1.2	0.9	1.6	0.9	0.9
Isoamyl alcohol	33	12.7	6.2	9.6	7.2	11.0	8.7	13.2	9.8	15.7	11.9	19.2	12.0	12.8
β -phenethyl alcohol	18	2.5	1.4	2.3	1.8	3.2	1.8	3.5	2.1	2.8	2.6	3.0	2.6	3.3
Ethyl acetate	29	3.1	1.8	2.0	2.3	2.6	2.3	3.2	2.9	3.4	3.0	3.4	4.1	3.2
Ethyl caproate	0.015	(mg/L)	12.6	10.9	10.6	12.0	11.7	11.6	12.3	12.7	13.2	12.0	12.3	13.1
Ethyl caprylate	0.29		1.2	0.9	1.1	1.1	1.3	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.5
Ethyl caprate	0.56		0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Isoamyl acetate	0.24		16.3	4.8	14.3	7.2	23.7	11.1	29.2	16.7	34.4	17.4	30.6	10.7
β -phenethyl acetate	0.83		1.9	0.4	1.4	0.6	2.6	0.8	2.7	1.5	2.4	1.9	2.2	0.4
Linalool	6.6		2.3	1.6	1.5	1.6	1.5	1.6	1.5	1.6	1.4	1.6	1.5	2.0
Terpineol (α -)	2900		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Citronellol	270		0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
Nerol	1100	(μ g/L)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Damascenone ($\langle$ (E)-, β -)	0.0083		848	376	946	1259	993	930	797	946	804	925	719	1045
Geraniol	26		1.5	0.8	1.5	1.2	1.7	1.7	1.6	1.9	1.7	1.6	1.4	1.8

BL : koganesengan

1-12 represent the test numbers in Table 2.

**Fig. 4** Cluster analysis of *Imo-shochu*

BL : koganesengan

1-12 represent the test numbers in Table 2.

The analysis was performed using the complete linkage method and the dissimilarity was determined by standardized Euclidean distance.

オール、ネロールからリナロールと α -テルピネオールが生成する。これらの蒸留前後の成分の変化がもろみと焼酎での類似性に差が出た原因と考えられる。解析結果から、試験区6は官能評価が最も高い上、コガネセンガンにも近い酒質であることが示唆された。更にその酒質がコガネセンガンに近いことは、コガネセンガンの代替として期待されるみちしずくの普及を後押しするものと考ええる。また、官能評価で高評価であった試験区2はクラスター解析ではコガネセンガンと類似度が低い。試験区12の結果からリパーゼを使用することでコガネセンガンに近い酒質になる可能性が示された。以上の結果から、原料の仕込み配合の検討や酵素剤の使用により、酒質の向上と多様化が期待される。

要 約

みちしずくを使用した芋焼酎の試験醸造において、甘藷の使用割合、酵素剤の利用を行い、醸造条件及び酒質について検討を行った。

1. 甘藷比率が高いほどもろみ粘度は上がるが、セルラーゼを使用することで粘度の低下が確認された。
2. セルラーゼを使用すると α -テルピネオールの増加がみられた。リパーゼを使用するとシトロネロール、ネロール、ゲラニオールが増加した。つまり、酵素剤を使用することで、モノテルペンアルコールの産生量が増加し酒質改善の可能性が示唆された。
3. みちしずく製焼酎は甘藷比率1:1の試験区1を除き、どの試験区でもコガネセンガンと比べて官能評価が高かった。特に甘藷比率が1:3で蒸米を使用した際にきれいで甘味を感じる酒質であり、最も官能評価が高く、みちしずくの特徴のある酒質であった。更に、この仕込み配合でセルラーゼを添加すると粘度の低下も期待できる。

参考文献

- 1) 山本英樹, 水谷政美, 祝園秀樹, 福良奈津子, 喜田珠光, 菊池祐一郎, 小林晃: 宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告,

- 65, 45-50 (2020)
- 2) 高峯和則: 醸協, **115** (11), 623-630 (2020)
- 3) 注解編集委員会編, 第四回改正国税庁所定分析法注解 (財団法人日本醸造協会, 東京) (1993)
- 4) 高峯和則: 鹿児島県工業技術センター研究報告, **15**, 11-15 (2001)
- 5) 財団法人日本醸造協会: 本格焼酎製造技術, 180 (1991)
- 6) 高峯和則, 瀬戸口真治, 木田建次: 日本生物工学会九州支部大会講演要旨集, 10 (1988)
- 7) 松久保好太郎, 長谷場彰, 水元弘二, 田畑一郎, 伊藤博雅, 新村孝善: 地域システム技術開発事業研究成果報告書, 108 (1991)
- 8) 三上重明: 醸協, **99** (1), 40-41 (2004)
- 9) 岩野君夫, 三上重明: 醸造用酵素剤及びそれを用いた醸造法, 特願平 09-074374
- 10) 女子栄養大学出版部: 七訂食品成分表, **14**, 22 (2018)
- 11) 高峯和則, 安藤義則, 亀澤浩幸, 下野かおり, 間世田春作: 鹿児島県工業技術センター研究報告, **15**, 11-15 (2001)
- 12) K. OUCHI, Y. YAMAMOTO, M. TAKAGISHI, and H. AKIYAMA: *J. Ferment. Technol.*, **58**, 301 (1980)
- 13) 大内弘造, 高岸正邦, 山本泰彦, 秋山裕一: 発酵工学, **59** (1), 9-16 (1981)
- 14) 秋田修, 蓮尾徹夫, 大場俊輝: 醸協, **81**, 626-632 (1986)
- 15) 白石洋平, 安藤有加, 奥津果優, 吉崎由美子, 二神泰基, 玉置尚徳, 和久豊, 高峯和則: 醸協, **112** (8), 563-568 (2017)
- 16) 福重智行: 醸協, **93** (1), 37-41 (1998)
- 17) 小金丸和義, 墨 利久, 神田康三, 加藤富民雄, 田代康介, 久原 哲: 醸協, **98** (3), 201-209 (2003)
- 18) 鮫島吉廣, 川野秋二: バイオサイエンスとインダストリー, **157** (9), 31-34 (1999)
- 19) 大石雅志, 猫垣加奈子, 梶原康博, 高下秀春, 下田雅彦, 岡崎直人: 醸協, **108** (2), 113-121 (2013)
- 20) 長船行雄: 醸協, **119** (12), 659-669 (2024)



令和7年度・第70号

宮崎県工業技術センター
宮崎県食品開発センター
研 究 報 告

令和8年9月発行

宮崎県工業技術センター／〒880-0303
宮崎県宮崎市佐土原町東上那珂16500-2
TEL 0985-74-4311
FAX 0985-74-4488

宮崎県食品開発センター／〒880-0303
宮崎県宮崎市佐土原町東上那珂16500-2
TEL 0985-74-2060
FAX 0985-74-4488