

山口県産業技術センター

研究報告

REPORT OF
YAMAGUCHI PREFECTURAL INDUSTRIAL
TECHNOLOGY INSTITUTE

山口県産業技術センター研究報告 第37号 (2025)

目 次

技術報告

直接空気回収用二酸化炭素吸収材料の特性評価 前 英雄・山田誠治1

技術資料

レーザー3Dスキャナーによる測定に対する対象物表面色の影響 近藤拓郎4

積層造形物のための表面加飾法の提案 原 涼輔7

穀物の生育管理におけるデータ活用の検討 舩田栄次・森 信彰12

山口県オリジナルの酢酸イソアミル高生産酵母の開発 田中淳也・近藤美裕貴・有馬秀幸17

GC-0を使用した清酒のオフフレーバー成分の推定 ～「焦げ臭」と「硫黄臭」～ 種場理絵23

抄 録

ニッケル・スズ・鉄からなる電極を用いた高温アルカリ電解液中での水の電気分解
..... 中邑敦博・山口真穂・中山牙脚青28

ウォラストナイトの相変態に及ぼすマグネシウムの影響 細谷夏樹・藤森宏高28

ω -3系長鎖多価不飽和脂肪酸を含む鯨油の摂取によるマウスの脈絡膜新生血管の抑制
..... 柳井亮二・安永玄太・辻 竣也・本田 健・岩田在博・宮川英二・
吉田幸治・岸本充弘・酒井大樹・藤瀬良弘・朝霧成拳・三田村佳典29

**REPORT OF YAMAGUCHI PREFECTURAL
INDUSTRIAL TECHNOLOGY INSTITUTE
No.37 (2025)**

CONTENTS

TECHNICAL REPORT

Characterization of CO₂ Absorbent Materials for Direct Air Capture ----- Hideo Mae and Seiji Yamada -----1

TECHNICAL DATA

Effect of Object Surface Color on Measurements by Laser Triangulation 3D Scanners ----- Takuro Kondo -----4

A Proposal for a Surface Decoration Method for Additive Manufacturing Products ----- Ryosuke Hara -----7

Study on Application of Big Data Analysis for Grain Growth Management ----- Eiji Masuda and Nobuaki Mori -----12

Research of Yamaguchi Prefecture's Original Yeast for High Isoamyl Acetate Production
----- Junya Tanaka, Miyuki Kondo and Hideyuki Arima -----17

Estimation of Off-Flavor Components in Sake Using GC-0 ~Burnt Smell and Sulphur Smell~ ----- Rie Taneba -----23

ABSTRACTS

Water Splitting in Alkaline Electrolytes at Elevated Temperatures Using Nickel-, Tin-, and Iron-Coated Electrodes
----- Nobuhiro Nakamura, Maho Yamaguchi and Masaharu Nakayama -----28

Effect of magnesium on β - α phase transformation of wollastonite
----- Natsuki Hosoya and Hirotaka Fujimori -----28

Dietary intake of whale oil containing ω -3 long-chain polyunsaturated fatty acids attenuates choroidal neovascularization in mice
---- Ryoji Yanai, Genta Yasunaga, Shunya Tsuji, Takeshi Honda, Arihiro Iwata, Eiji Miyagawa, Koji Yoshida, Mitsuhiro Kishimoto, Hiroki Sakai, Yoshihiro Fujise, Masataka Asagiri and Yoshinori Mitamura -----29

直接空気回収用二酸化炭素吸収材料の特性評価

前 英雄*・山田誠治*²Characterization of CO₂ Absorbent Materials for Direct Air Capture
Hideo Mae and Seiji Yamada

A safe CO₂ absorbent material was developed for direct air capture, primarily composed of sodium carbonate, iron oxide, and sodium chloride. Thermochemical analysis showed that it releases CO₂ below 100°C and remains stable over 300 absorption-desorption cycles. The heat energy required for CO₂ release was approximately 8,200 kJ/kg when heated from room temperature to 125°C.

1. 緒 言

地球温暖化対策において、2050年カーボンニュートラルを実現するためにはCO₂排出量の削減に加え、大気中に既に放出されたCO₂を回収・固定化するネガティブエミッション技術(Negative Emission Technologies: NETs)が必要不可欠である¹⁾。中でも、直接空気回収(Direct Air Capture: DAC)は、排出源に依存せず大気中の低濃度CO₂を選択的に回収できる技術として注目されており、カーボンニュートラルの実現に向けた有力な手段とされている¹⁾。

DAC技術の実用化に向けては、CO₂を選択的にかつエネルギー消費量を可能な限り少なくして吸収・放出可能な高性能吸収材料の開発が不可欠である。特に、再生可能エネルギーとの親和性を高めるためには、100°C未満の低温でCO₂の放出が可能であること、吸脱着の繰り返しに対する高い耐久性を有すること、さらに安全かつ安価な構成材料を用いることが求められる。

そこで、一般に入手が容易で安全性の高い炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)、酸化鉄(Fe₂O₃)、塩化ナトリウム(NaCl)を主成分とする無機系CO₂吸収材料を開発した²⁾。本報告では、その構造的・熱的特性及びCO₂吸脱着挙動の評価結果を示す。

2. 実験方法

2・1 CO₂吸収材料の合成

CO₂吸収材料の原料として、炭酸ナトリウム一水和物(和光純薬製, 和光一級), 塩化鉄(II)四水和物(同, 試薬特級), 及び塩化ナトリウム(同, 和光一級)を使用した。合成は、文献²⁾の方法に従って行った。熱分析に使用する試料は、合成後にビーカーに移し、大気中、120°Cで1時間乾燥させたのち、湿度65%、温度15°Cの大気中に12時間暴露した。

2・2 材料の評価

CO₂吸収材料の加熱による重量変化は、示差熱一熱重量同時分析装置(リガク製 Thermo Plus Evo2)を使用した。反応

熱の測定には、示差走査熱量計(リガク製 DSC200)を使用した。

2・3 CO₂吸収サイクル試験

CO₂吸収材料の耐久性を評価するため、大気中からのCO₂吸収と加熱による放出を繰り返す試験を実施した。使用した試験装置の概念図を図1に示す。外気の供給量は100mL/minとし、加熱中も連続して空気を供給した。CO₂放出のための加熱温度は100°Cとした。植物工場での使用を想定し、植物が光合成するためにCO₂を必要とする所定時間CO₂吸収材料を加熱し、その後自然冷却させることを1サイクルとした。試料重量は、0.1gとした。CO₂濃度測定には、CO₂温湿度データロガー(ティアンドデイ製 TR-76Ui)を使用した。

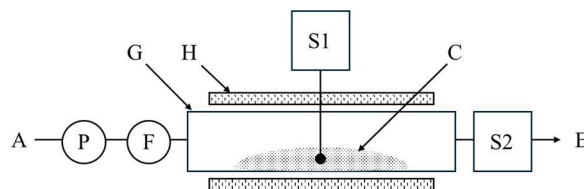


図1 サイクル試験装置の概念図

A:大気, C:CO₂吸収材料, E:排気, F:流量計,
G:ガラス管, H:ヒーター, P:ポンプ, S1:温度計,
S2:CO₂センサー

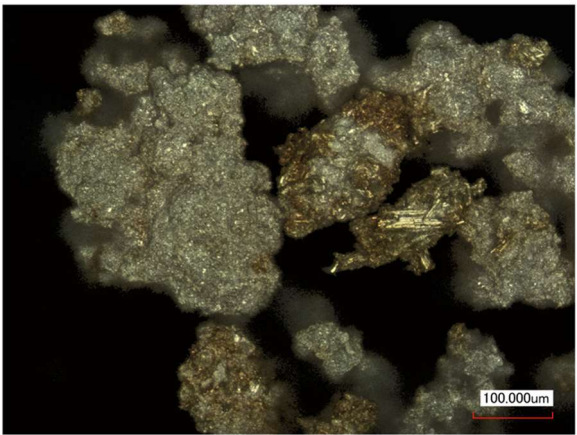
3. 実験結果

3・1 熱分析結果

図2にCO₂吸収材料の吸収前後の表面観察写真を示す。CO₂吸収材料は、図2(a)に示すように、吸収前は針状結晶が集積した表面構造を持つ。CO₂の吸収反応が進行するにつれて、表面にセスキ炭酸ナトリウム塩を含むナトリウム塩が析出した(図2(b))。この析出物の形態は、周囲の湿度及び温度条件によって異なる。セスキ炭酸ナトリウム塩は、100°C未満で式(1)のように分解し、1分子のCO₂及び2分子のH₂Oを生成して、これらは系外へ放出される。その他のナトリウム塩は正確な組成の特定には至っていないが、

* 技術支援部

*2 プロジェクト推進部

(a) CO₂ 吸収前(b) CO₂ 吸収後図2 CO₂ 吸収材料の表面観察写真²⁾

100~120℃で分解し、CO₂及びH₂Oを放出することが実験的に確認された。

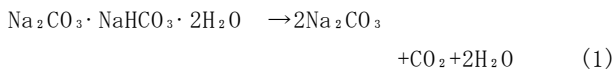


図3に試料のTG-DTA測定結果を示す。試料温度が約60℃に達すると、吸熱反応を伴う重量変化が観察された。DTAにおいては、第一の吸熱ピークが80℃付近、第二の吸熱ピークが120℃付近に確認された。第一のピークはセスキ炭酸ナトリウムの分解に起因し、第二のピークはその他のナトリウム塩の分解によるものと推察される。第一の分解反応で放出されたCO₂は、試料重量の約4%に相当し、全体の1/3を占めていた。

次に、DSC測定結果を図4に示す。CO₂吸収材料は、125℃までの加熱により、328mJ/mgの熱量を吸収してCO₂を放出した。これは、CO₂を1kg得るために約8,200kJの熱エネルギーを要することに相当する。この熱エネルギーを例えば石炭火力発電(CO₂排出係数:0.82kg-CO₂/kWh)³⁾によって供給した場合、新たに約2kgのCO₂が排出されることになるため、ネガティブエミッション技術として本材料を用いて回収したCO₂を利用(放出)するには、低温排熱や太陽光発電といった再生可能エネルギーを活用し、100℃以下で運転可能なシステムを設計することが求められる。

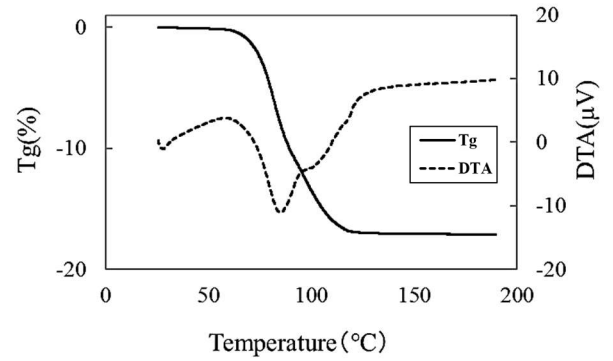


図3 TG-DTA測定結果

雰囲気:N₂;100ml/min, 昇温速度:10℃/min

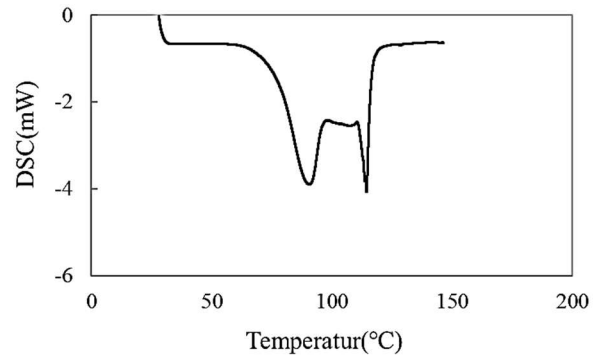


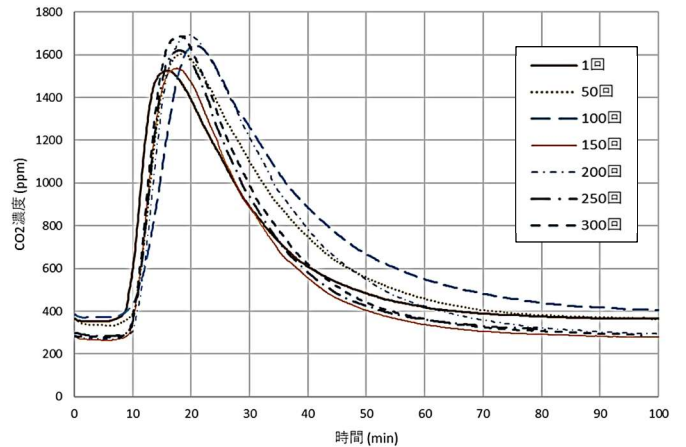
図4 DSC測定結果

試料:1.580mg, 昇温速度:10℃/min

吸収熱量(60~125℃):328mJ/mg

3・2 サイクル試験結果

図5に、耐久性を評価するために実施したサイクル試験の結果を示す。サイクル試験は300回実施した。試料の加熱開始とともに、セスキ炭酸ナトリウムの分解により試験装置のガラス管出口のCO₂濃度は1600ppm前後まで上昇し、分解が終了するとおおよそ400ppmまで低下した。測定当日の温度差に起因すると考えられるバラツキは見られたが、CO₂の吸収及び放出は概ね再現性良く行われており、本材料は安定して使用できる可能性が示された。

図5 サイクル試験結果²⁾

試料重量:0.1g

4. 結 言

直接空気回収用二酸化炭素吸収材料の特性評価を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 本材料は大気中のCO₂を吸収し、加熱による放出の耐久性は300回以上であった。CO₂吸収機構にはセスキ炭酸ナトリウムが関与しており、CO₂放出時にはCO₂の2倍モル量の水が同時に放出されることが分かった。本材料を加熱(120℃)することで得られるCO₂放出量を計算すると、本材料から1kgのCO₂を回収するのに約8,200kJの熱エネルギーを要することが分かった。この熱を外部のエネルギー(石炭火力発電等)で賄う場合、新たに約2kgのCO₂が排出されることになる。
- (2) より低温(約80℃)でCO₂を放出可能であるセスキ炭酸ナトリウムの分解反応のみを利用するようシステムを構築できれば、120℃の加熱は不要になり、120℃加熱と比較してCO₂排出量は約1kg程度に抑えることが可能である。
- (3) 本材料を用いたCO₂回収システムの実用化にあたって

は、低温排熱や太陽光発電などの再生可能エネルギーを活用し、100℃以下で運転可能なシステムを設計することが求められる。

参考文献

- 1) 産業技術環境局:ネガティブエミッション技術について、第7回グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ開催資料3-2(2022)。
- 2) 猪野陽佳, 前 英雄, 山田誠治:二酸化炭素固定分離材と、その二酸化炭素固定分離材の製造方法と、その二酸化炭素固定分離材を用いた装置と、その二酸化炭素固定分離材を用いた二酸化炭素固定分離方法, 特許第7438582号(2024)。
- 3) Gancy, A. B. : Thermal Decomposition of Sodium Sesquicarbonate, *Journal of Chemical & Engineering Data*, **3**(8), p. 301-306(1963)。
- 4) 国立国会図書館 調査及び立法考査局:日本の石炭火力政策の動向, 調査と情報-ISSUE BRIEF-, No. 1207(2022)。

レーザー3D スキャナーによる測定に対する対象物表面色の影響

近藤 拓郎*

Effect of Object Surface Color on Measurements by Laser Triangulation 3D Scanners Takuro Kondo

1. 緒 言

レーザー光切断方式の3D スキャナー(以下、レーザー式3D スキャナー)は、測定物にレーザー光を照射し、受光した反射・散乱光を三角測量の原理に基づいて解析することで形状を測定する装置である。レーザー光が測定物の表面を細かく走査することで、微細な凹凸や曲面の形状を点群データとして取得できる。

一般に、測定物の表面色の違いが測定結果に影響を及ぼすことが報告されている^{1)~3)}。測定困難な表面色に対しては、レーザー光の露光時間の増減でデータ取得の安定化が図られる。しかし、露光時間を長くするとデータ欠落は減少する一方で、異常な点群データの発生が増える傾向にある。したがって、精度の高い測定を行うためには、表面色が測定データ群に与える誤差の傾向を把握しておくことが重要である。

そこで本研究では、明度及び色相環に基づいたカラーチャート⁴⁾を測定サンプルとして用い、表面色が点群データの取得状況に及ぼす影響を調査するとともに、平面度の測定に基づき、正確なデータを得るために適切なレーザー光の露光時間について検討を行った。

2. 実 験

2・1 測定装置

本実験には、Creaform 社製レーザー式3D スキャナー(図1)を使用した。携行型の3D スキャナーであり、光源には赤色レーザーが用いられている。



図1 使用したレーザー式3D スキャナー

2・2 測定試料

明度・色相環スケールチャートは、一般財団法人日本色彩研究所にて製作された JIS Z 8721(1993)準拠の標準色票⁴⁾(150×210mm)を使用した(図2)。明度・色相環スケ

ールチャートの L*a*b*色空間⁵⁾の値は、コニカミノルタジャパン製の分光測色計 CM-3600A を用いて測定した(図3)。

2・3 測定方法

レーザー式3D スキャナーの露光時間を 0.01msec から 0.80msec まで変化させて測定を行った。

2・4 データ解析

取得したデータを基にした画像に二値化処理を行い、印刷した画像を画像測定機で測定し、矩形全体に対する欠落部の面積比を算出した。欠落部が無い状態を以下の(1)式に示すようにデータ取得率 R=100%とした。また、各矩形領域における平面度を算出し、異常な点群データの発生状況を評価した。

$$R = \left(1 - \frac{A}{A_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

A: データの欠落部面積

A₀: 矩形領域の面積

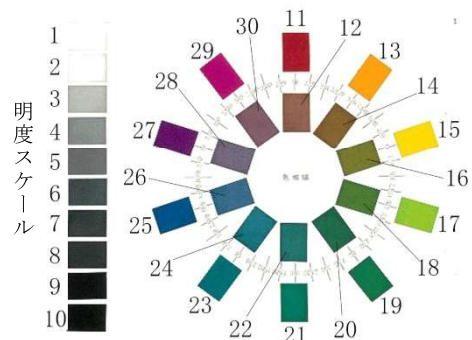


図2 明度・色相環スケールチャート



図3 分光測色計

3. 実験結果

3・1 点群データの取得

図4に露光時間に対する点群データの取得状況の変化を示す。図4より、露光時間 0.01~0.09msec までは点群デー

* 技術支援部

タの欠落が見られたが、機器固有の自動調整機能による推奨値である 0.10msec にて、概ね全ての矩形領域で点群データの取得が可能であった。

図 5 に明度スケール(矩形領域 No. 1~No. 10)における明度 L^* とデータ取得率 R が 100% に到達した際の露光時間との関係を示す。No. 5 以下の矩形領域では、露光時間が 0.02msec でデータ取得が可能であった。明度が高い、すなわち反射率が良いほど、短い露光時間で矩形領域全体にわたって点群データを取得できた。

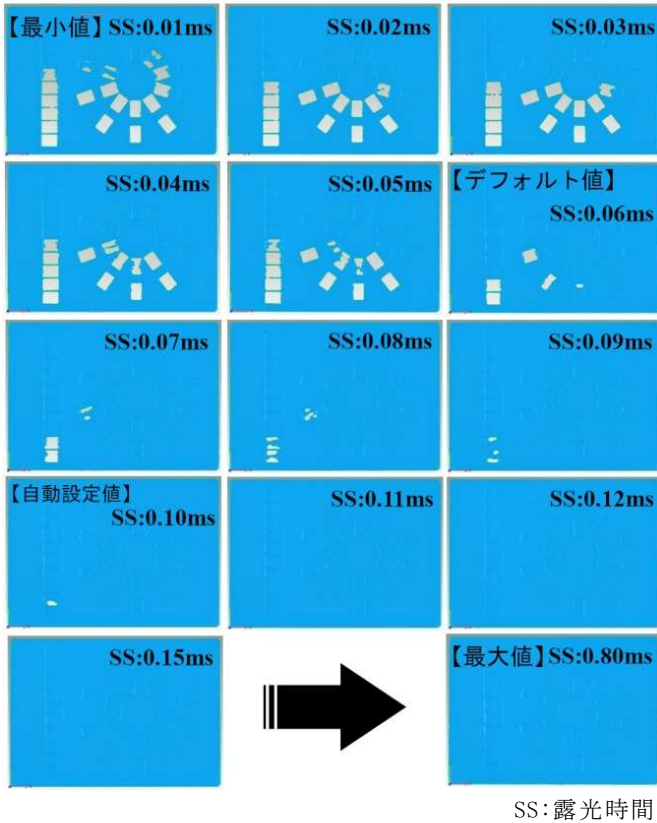


図 4 露光時間に対する点群データの取得状況

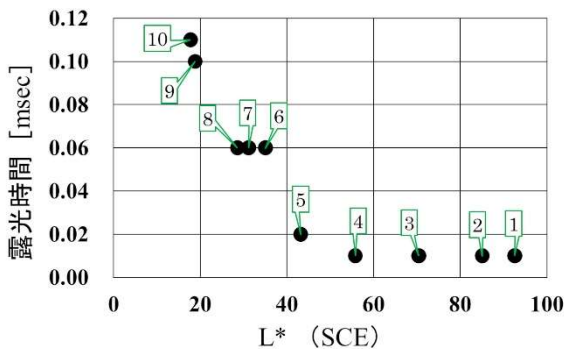


図 5 データ取得率 $R=100\%$ 到達時の露光時間 (明度スケール)

図 6 に色相環スケール(矩形領域 No. 11~No. 30)における $L^*a^*b^*$ 空間でのデータ取得率 $R=100\%$ 到達時の露光時間の関係をバブルチャートで示す。図中の各バブルにおいて、バブルサイズがデータ取得率 $R=100\%$ 到達時の露光時間を、白黒の濃淡差が明度 L^* の大きさを示している。また、ラベ

ルには矩形領域 No. とデータ取得率 $R=100\%$ 到達時の露光時間の数値を示している。図より、 a^* が + 側に近い、もしくは明度 L^* が比較的高い矩形領域において、バブルサイズが小さくなっており、より短い露光時間で矩形領域全体にわたって点群データを取得できた。

以上を踏まえて、チャート紙の各矩形領域における測定光源との色差及び露光時間の関係について比較を行った結果を図 7 に示す。明度スケール(No. 1~No. 10)については、 L^* のみ大きく、測定光で寄与度の高い a^* において矩形領域による違いがほとんど無いため、色差と露光時間の対応関係は見られなかった。一方で、色相環スケール(No. 11~No. 30)について、色差が大きいくほど露光時間を長く設定する必要があった。

これらの結果から、測定物の色で明度 L^* のみ寄与する場合は、 L^* が高い(反射率が高い)色ほど、 a^*b^* が寄与する場合は、使用機器の測定光源との色差 ΔE^*_{ab} が低い色ほど、点群データが取得しやすい傾向にあった。

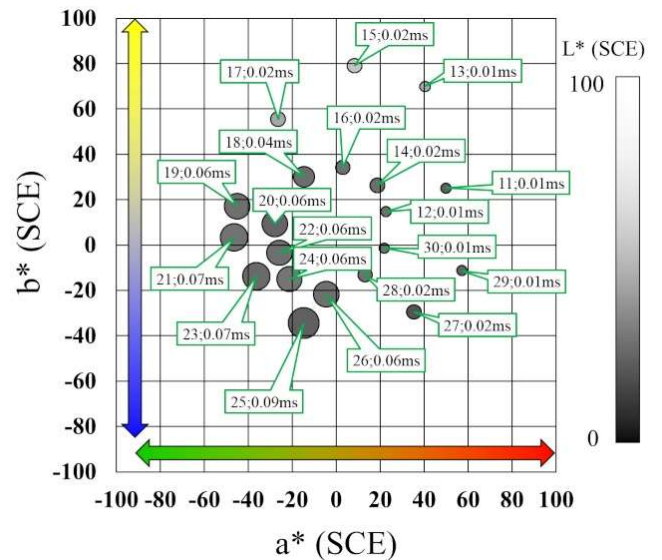


図 6 データ取得率 $R=100\%$ 到達時の露光時間 (色相環スケール)

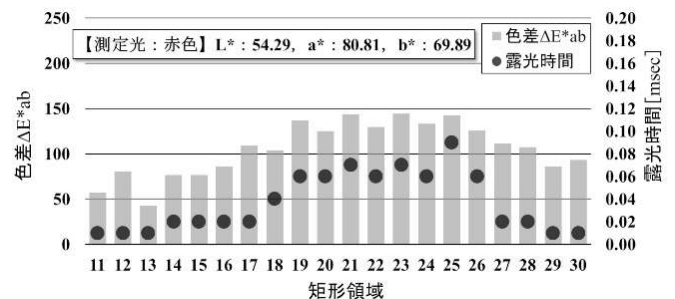


図 7 各矩形領域の光源との色差及び露光時間

3・2 矩形領域の平面度測定

3・1 の結果より、いずれの矩形領域でも十分な反射光が得られる露光時間を確保することで、データ取得が安定する傾向にあることから、データ取得率 R が 100% に到達した際の短い露光時間では、取得データに異常な点群データが

含まれていることが推測される。同一の矩形領域を測定する場合、平面度は本来変化しないと考えられる。そこで、平面度の変化は露光時間の影響によるものとみなし、各矩形領域において露光時間ごとの平面度を測定することで、その値の変化により異常な点群データの発生状況を評価した。

図8に、異常な点群データの発生が顕著であった矩形領域における平面度の推移を示す。図中で●プロットはデータ取得率 R が 100%に到達した際の露光時間と平面度を示す。図より、●プロットの平面度は他の露光時間での平面度に対して最大値を示し、平面度の変化は露光時間を長くするにつれて値が減少する傾向にあった。また、露光時間 0.80msec では、平面度は平均値以下となっていた。

このことから、データ取得率 R が 100%に到達した際の露光時間付近では、取得データに異常な点群データが多く含まれる傾向が確認された。

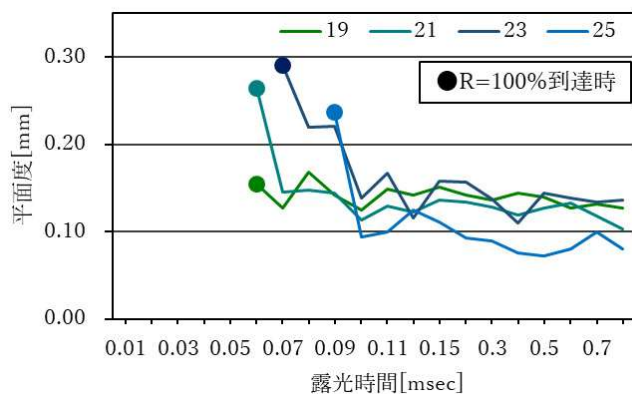


図8 各矩形領域における平面度の推移

また、露光時間を長くしても平面度の悪化はみられず終始減少傾向であることから、測定物から十分な反射光が得られる露光時間を確保することで、色の違いによらず安定したデータ取得が可能になると考えられる。一方、露光時間の増加により、測定物以外の周囲の物体が映り込み、異

常な点群データが生じる可能性があるため注意が必要である。

4. 結 言

レーザー式 3D スキャナーを用いて、明度及び色相環に基づくカラーチャートを試料として測定し、表面色が点群データに及ぼす影響と、適切な露光時間について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) L^* 成分のみが異なる色については、 L^* が高いほどデータの欠損が少ない傾向が見られた。一方、 a^*b^* 成分によって差異が生じる色では、色差 ΔE^*ab が小さいほどデータの欠損が少ない傾向が確認された。
- (2) データ取得率 R が 100%に到達した際の露光時間付近では、異常な点群データが多く含まれる傾向があった。
- (3) 測定物から十分な反射光が得られる露光時間を確保することで、色の違いによらず安定したデータ取得が可能となった。但し、測定物以外の周辺物なども取得しやすくなると考えられ、異物の映り込みによる異常な点群データ発生の可能性があり、注意が必要である。

参考文献

- 1) 阿部誠：非直交光学式三次元測定の動向と性能評価法の標準化，精密工学会誌，**85**(5)，388-391(2019)，DOI: <https://doi.org/10.2493/jjspe.85.388>。
- 2) 添田麻衣，関口文彦，他：散乱光と反射光スペクトルの色彩からの考察とその応用，日本女子大学紀要，**15**，1-7(2007)。
- 3) 隅田雅昭：非接触 3次元モデル測定の高精度化に関する研究，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，**46**，87-90(2001)。
- 4) JIS Z 8721:1993，色の表示方法—三属性による表示。
- 5) 日本色彩学会：新編色彩科学ハンドブック【第2版】，東京大学出版会，123-129(1998)。

積層造形物のための表面加飾法の提案

原 涼輔*

A Proposal for a Surface Decoration Method for Additive Manufacturing Products Ryosuke Hara

1. 緒言

3Dプリンターによる積層造形物には、製造工程に起因する特有の痕(積層痕)が生じる。そのため、最終製品として使用する際には、人の感性によって「簡易品」と受け取られる可能性があり、外観上の観点から適切な仕上げ処理が求められることがある¹⁾。これまでに筆者は、積層造形物の表面状態が人の感性に与える影響について調査を行ってきた。その結果、使用対象者の属性や目的に応じて、表面加工の有無や方法を最適化することが有効であることが明らかとなった²⁾。一方で、研磨や塗装などの表面加工には、時間やコストがかかるという課題があり、積層造形物を最終製品として活用するうえでの障壁となっていた。

そこで本研究では、3Dプリンターにおける表面加工の工程を省略する一手法として、造形前の3Dモデルに対してシボ状の凹凸形状を付加し、積層痕を目立たなくする方法について検討した。その一環として、既存のサーフェス系3DCADソフトウェア「RhinoCeros」と、そのプラグイン「Grasshopper」を活用した表面加飾手法を紹介する。開発手法による表面加飾が積層痕の印象変化に与える影響については、3Dプリンターで造形した評価モデルを用いた評定尺度法による印象評価実験にて分析を行った。その結果についても併せて報告する。

なお、本研究で使用したGrasshopperはビジュアルプログラミング言語(VPL: Visual Programming Language)で、GUI操作にてコンポーネントと呼ばれる要素をつなぎ合わせることで、3DCADの機能を拡張するプログラム生成が可能なノーコードツールである。通常の3DCADの機能では困難な立体的なパターン形状の大量配置や、複雑な三次元形状の生成機能等を容易に実装することが可能である。例えば、既存の3Dモデルの設計変更を主要な構成寸法の数値データ入力のみで完結させることができ、設計スキルに依存することなく三次元形状の作成や修正が可能である³⁾。

2. プログラムの概要

3DCADの多くは、曲線及び曲面を生成するための数学モデルとして、NURBS(Non-Uniform Rational B-Spline)を使用している⁴⁾。特にRhinoCerosのようなサーフェスベースでモデリングを行う3DCADでは、複雑な三次元曲面だけでなく、平面や円筒、球などのプリミティブ形状と呼ばれる単純形状についても、内部の形状情報データの処理では、

この数学モデルを使用している場合が多い。

この数学モデルでは、実空間におけるx-y-zの三次元座標で表現される曲面をU-Vの2変数空間として表現する。作成したプログラムではこの点に着目し、サーフェス形状に沿った表面加飾の凹凸形状を生成する機能を実装した。具体的には、表面加飾形状の高さ変化率を対象となるサーフェスのU-V空間上にグリッド状に配置し、それをモーフィング機能により、実空間の曲面上に变形配置させた。なお、高さ変化率データは、U-V空間の各グリッド点における高さ変化を画素の明度変化(0~1)に対応させた画像データとして入力する(図1)。この明度変化は実空間でのスケール変化に対応しており、生成する凹凸形状の高さのサイズに合わせて、写像の際のグリッド点の移動量を調整可能である。



図1 加飾形状の高さ変化率を示す画像データ

作成したプログラムの構成を図2に示す。本プログラムは①~⑦のデータ処理構成となっている。Grasshopperでの操作は、3Dモデルの読み込みから表面加飾を施したサーフェスの書き出しまでを行う。この段階では、3Dモデルと表面加飾を施したサーフェス(以下、表面加飾サーフェス)は結合していない状態である。3Dモデルとの結合によるソリッド化に関してはRhinoCerosの機能を使用して行った。

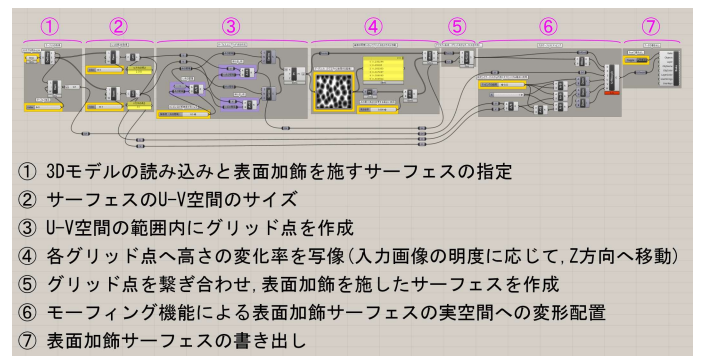


図2 作成したプログラムの構成

* 技術支援部

3. 本プログラムによる表面加飾の実装

本プログラムの表面加飾機能について、図3に示す曲面形状を有する3Dモデル(以下、3Dサンプル)を用いて説明する。

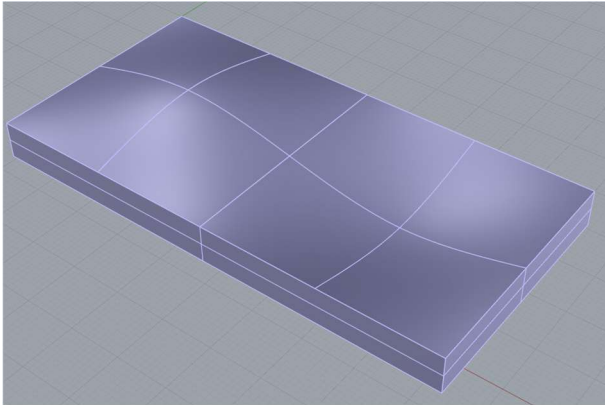


図3 曲面形状を有する3Dモデル(3Dサンプル)

図2の①～⑥の各データ処理において、モデル形状がどのように変化するかを図4に示す。⑦の工程後にRhincerosへ出力されたサーフェス形状を図5に示す。

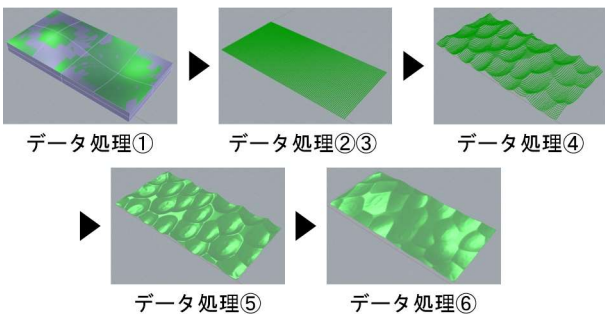


図4 3Dサンプルへの表面加飾サーフェス生成工程

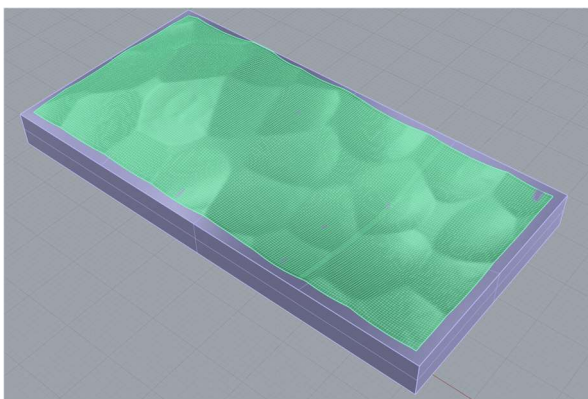


図5 出力したサーフェス

この時点で表面加飾サーフェスは単一のサーフェスとなっており、ソリッド化できていない。そのため、Rhincerosのモデリング機能を使用して、元の3Dモデルとの結合によるソリッド化を行う(図6)。最初に、元の3Dモデルから元サーフェスの分離を行い、元サーフェスを消去(非表示)する。続いて、表面加飾サーフェスと3Dモデルのエッジを結合し、表面加飾3Dモデルとしてソリッド化する。このソ

リッド化された3Dモデルを使用することで、3Dプリンターにて表面加飾された造形品の作製が可能となる。

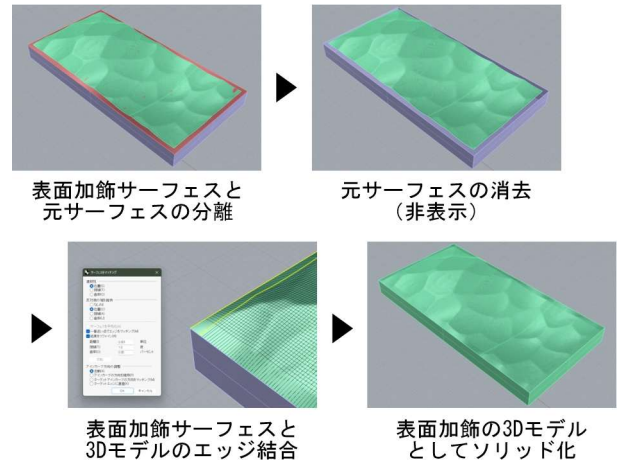


図6 表面加飾サーフェスを含むソリッド化した3Dモデル

4. 表面加飾を施したモデルの印象評価

本手法により作製した評価モデルを用いて、人が受ける印象の変化について調査を行った。

4・1 評価モデル

図7に示す花瓶の3Dモデルを基準とし、表面加飾を施した3Dモデルを4種類作成した。次にMEX方式の3Dプリンターを用いて作製を行い、評価モデルとした。表1に造形の概要、図8に作製した評価モデルを示す。なお、表面加飾で用いた画像データは、アプリケーションのWEBサイトで公開されている触感サンプル⁵⁾から得られた画像データを使用した。

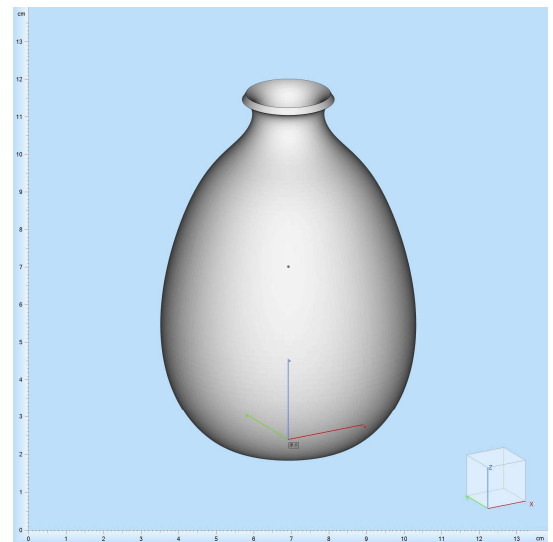


図7 花瓶の3Dモデル

表1 造形の概要

3Dモデル寸法	68.16×68.16×98.23(mm)
使用機器	Stratasys製Fortus 400mc-L
造形材料	ポリカーボネート(PC)
積層ピッチ	0.254(mm)

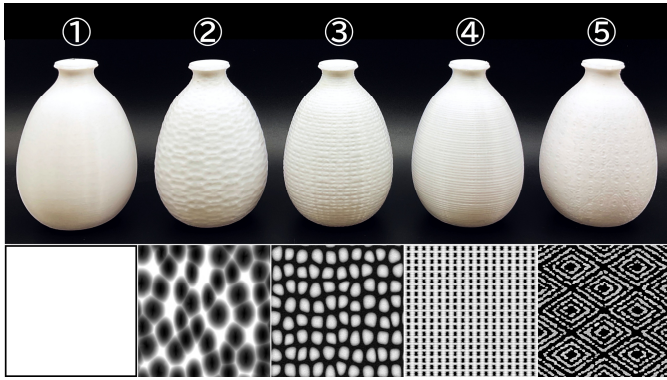


図8 作製した表面加飾モデルと画像データ
(①:加飾なし, ②~⑤:加飾あり)

4・2 評価方法

評価者には、4・1 で作製した各評価モデルを横一列に並べた状態で観察させ、視覚的及び触覚的な刺激を受けた時の印象について、評定尺度法によるアンケート調査を行った。評価軸は5種類の形容詞対を使用し、7段階の評価尺度で評価した。印象評価実験の概要を表2に、評価に使用した形容詞対を表3に示す。

表2 印象評価実験の概要

評価方法	評定尺度法によるアンケート用紙への記入
評価モデル	5種類(①オリジナル, ②~④表面加飾)
評価時期	2022年12月~2023年2月
評価者	山口県産業技術センター職員
評価人数	11名

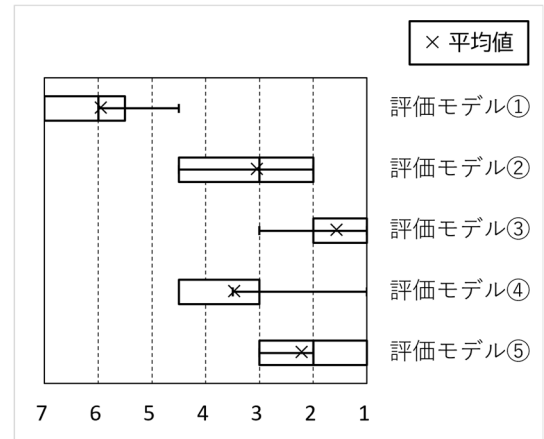
表3 評価に使用した形容詞対

Smooth-Rough (すべすべな-ざらざらな)
Flat-Uneven (たいらな-おうとつな)
Slippery-Sticky (すべりのよい-ひっかかりのある)
Soft-Hard (やわらかい-かたい)
Comfortable-Uncomfortable (こちよいい-ふかいな)

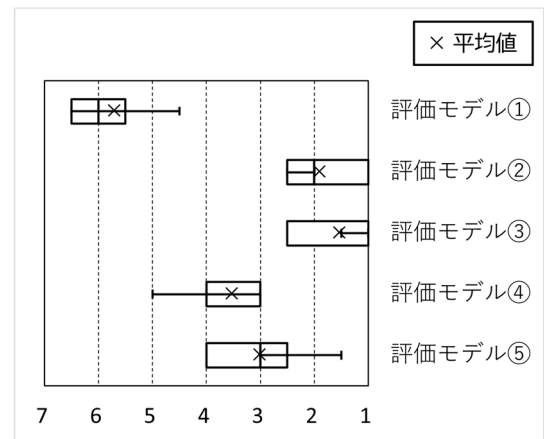
4・3 評価結果

アンケート調査結果を評価軸毎にボックスチャートで示したものを図9に示す。評価軸の内、「Smooth-Rough」「Flat-Uneven」「Slippery-Sticky」はモデル間の差が大きく、「Soft-Hard」「Comfortable-Uncomfortable」はモデル間の差が小さい結果となった。

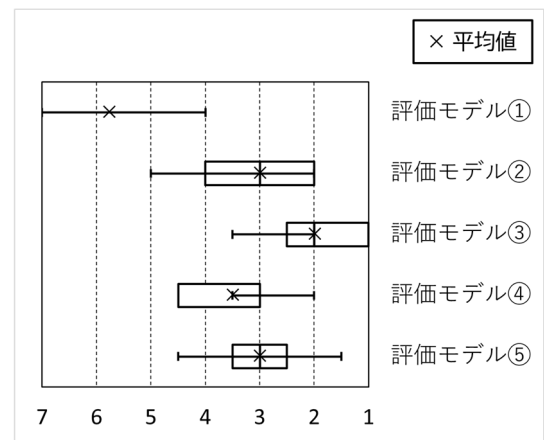
アンケート調査で得られたデータに対し、統計解析ソフトウェア「R」を使用し、主成分分析を行った。主成分分析の結果を表4に示す。また、主成分分析の結果を第1主成分(PC1)と第2主成分(PC2)で軸を取り、主成分負荷量と主成分得点をプロット(biplot)したものを図10に示す。



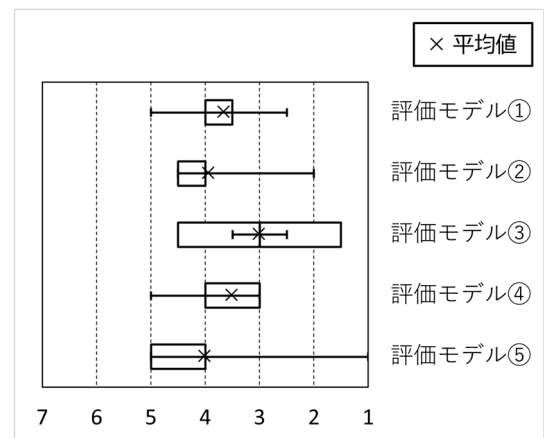
(a) Smooth-Rough



(b) Flat-Uneven



(c) Slippery-Sticky



(d) Soft-Hard

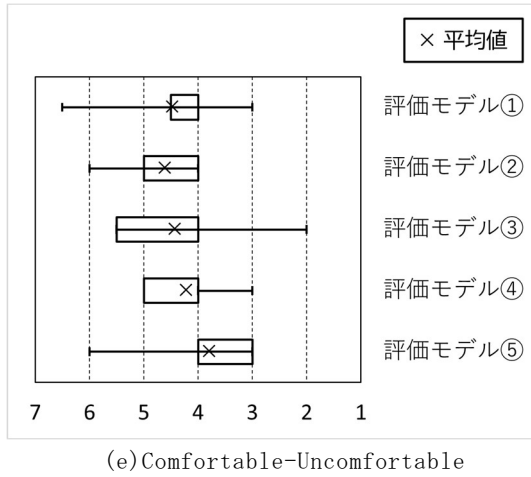


図9 アンケート調査結果

表4 主成分分析結果

(a) 寄与率			
	PC1	PC2	PC3
寄与率	0.613	0.269	0.117
累積寄与率	0.613	0.882	0.999
(b) 主成分負荷量			
	PC1	PC2	PC3
Smooth-Rough	-0.554	-0.205	0.045
Flat-Uneven	-0.545	0.050	-0.377
Slippery-Sticky	-0.568	-0.072	-0.072
Soft-Hard	-0.268	0.573	0.760
Comfortable-Uncomfortable	-0.034	-0.789	0.523
(c) 主成分得点			
	PC1	PC2	PC3
評価モデル①	-2.746	-0.588	-0.279
評価モデル②	0.477	-0.400	1.323
評価モデル③	2.073	-1.050	-0.664
評価モデル④	-0.203	0.099	-0.220
評価モデル⑤	0.400	1.939	-0.160

表4より、累積寄与率はPC1とPC2で0.882となるため、全体の88.2%の情報を集約できている。一般的に累積寄与率が70~80%に達すれば、元データの大部分を代表する主成分が抽出されたとみなされる⁶⁾ことから、今回の実験結果は、PC2までで十分に説明できる内容だと考えられる。

表4及び図10より、PC1は「Smooth-Rough(-0.554)」「Flat-Uneven(-0.545)」「Slippery-Sticky(-0.568)」の寄与度が高いことから、表面の平滑性を表す指標と考えられる。この実験結果では、PC1が負の方向に大きいほど滑らかな印象を示している。次に、PC2は「Comfortable-Uncomfortable(-0.795)」の寄与度が高いことから、快適性を表す指標と考えられる。この実験結果では、PC2が負の方向に大きいほど心地よい印象を示している。

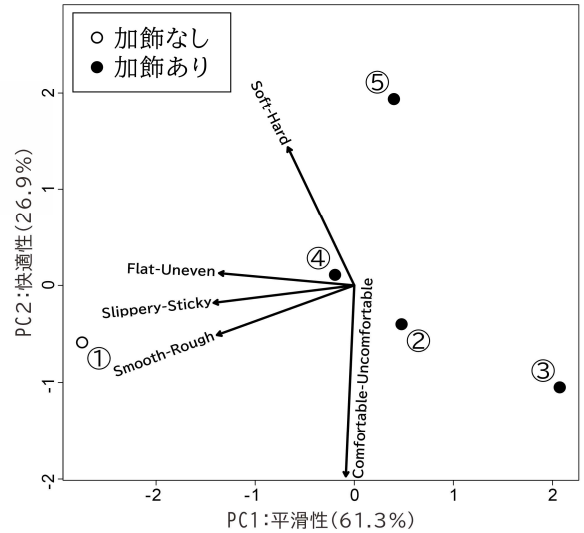


図10 主成分分析結果(biplot)

以上の分析結果から、今回行った評価実験で得られた各評価モデルの印象を表5に示す。

表5 各評価モデルの印象

	PC1 (滑らかさ)	PC2 (心地よさ)	備考
評価モデル①	滑らかな	やや快適	加飾なし (積層痕のみ)
評価モデル②	やや凹凸がある	やや快適	
評価モデル③	凹凸がある	快適	積層痕の印象 が改善
評価モデル④	僅かに滑らか	僅かに不快	
評価モデル⑤	やや凹凸がある	不快	

図10及び表5より、まず、PC1(平滑性)の印象については、評価モデル①に比べて、評価モデル②~⑤は、正の方向もしくは“0”に近い値に位置しており、加飾により積層痕と異なる印象を持った凹凸形状を付与できていることが分かる。次にPC2(快適性)の印象については、評価モデル①に比べて、評価モデル②は同程度の印象、評価モデル④、⑤は不快な印象であり、評価モデル③のみが快適さを示す結果となった。

このことは、評価モデル③の加飾形状が、積層方向に加えて直交方向にも、積層痕より大きな凹凸差を規則的な間隔で感じやすい形状となっているためと推察される。評価モデル②、④、⑤については、3Dプリンターの造形性能による加飾形状の再現度も含めて、積層方向の直交方向への形状変化を感じ難く、積層痕が有する印象を打ち消す効果が十分に得られなかったと考えられる。

以上の結果から、表面加飾を施すことにより積層痕の印象を改善する効果が見込めるものの、加飾形状には、積層方向と直交する方向への変化をより感じる可以选择する必要があると考えられる。

5. 結 言

本研究では, Grasshopper を用いた 3D モデルへの表面加飾を施す方法について紹介するとともに, 加飾による積層痕の印象変化について評価した. その結果について, 以下に示す.

- (1) 本研究で作成したプログラムは, パラメーターによる設計が可能であり, 設計者のスキルに依存することなく表面加飾形状を生成することが可能である.
- (2) 表面加飾を施すことにより, 3D プリンターで造形した際の積層痕を目立たなくするだけでなく, 見た目や触り心地の印象を変化させることが期待できる.
- (3) 本研究で作成したプログラムを活用することで, 製品外装に用いられる革シボ模様や滑り止め加工のような機能性表面の設計が可能であり, 幅広い分野での製品開発に適用できると考えられる.

参考文献

- 1) 高岸賢輔, 梅津信二郎 :3D プリンタ造形物改質処理の画像による評価, 日本画像学会誌, **56**(1), p. 10-15 (2017), DOI: <https://doi.org/10.11370/isj.56.10>.
- 2) 原涼輔:階層分析法(AHP)を用いた積層造形物の感性評価, 山口県産業技術センター研究報告, **36**, p. 19-24 (2024).
- 3) 印南小冬, 川島圭太, 公益財団法人日本軽種馬協会: 馬の症状に合わせた 3D プリント蹄鉄の設計支援, https://www.hro.or.jp/upload/53570/2025_k.pdf (参照日 2025 年 6 月 27 日).
- 4) 中嶋孝行, 大野敏則 : CAD・CG 技術者のための NURBS 早わかり, 株式会社工業調査会, p. 170-174 (1994).
- 5) Grasshopper による高付加価値・触感デジタルデザイン 2022-広島大学大学院先進理工系科学研究科・栗田雄一研究室・株式会社アPLICRAFT 共同プロジェクト-, https://www.applicraft.com/syokkan_sample2022/ (参照日 2025 年 7 月 1 日).

穀物の生育管理におけるデータ活用の検討

舛田 栄次*・森 信彰*²

Study on Application of Big Data Analysis for Grain Growth Management Eiji Masuda and Nobuaki Mori

1. 緒 言

近年のIoT技術の進展により、データの収集が容易に行える環境が整いつつある¹⁾。また、気象データをはじめとした様々なデータのオープン化も進んでおり²⁾、ビッグデータとして自由に活用できる事例も増えている。一方で、データ解析に関するライブラリもオープンソースとして充実してきており³⁾、これらを活用して新たな価値を創出することが求められる。

農業分野においても、データを活用した新たな農業への変革、いわゆる農業DXが推進されている⁴⁾。作物の中でも、麦は自給率が低く国内生産の安定化が望まれており⁵⁾、農業DXによる生産性向上への期待は大きい。関連研究として、収量の安定化と増大を目指した気象変動との関係の解析や⁶⁾、管理作業の実施性を判断するための発育モデルの構築⁷⁾も行われており、今後ますますデータ活用が進むと考えられる。

麦の栽培においては、高収量を目指すため、適切に茎数を管理することが重要となる。そのためには、例えば、生育が早い場合に踏圧の時期を早め、回数も増やすなど、適切なタイミングで適切な作業を実施する必要がある。このとき、将来の茎数が事前に予測できれば、はやい段階で作業の実施性を判断でき、より高度な麦生産が可能になると考えられる。本研究では、苗立数および気象データを活用して4種類の茎数回帰モデルを構築し、それぞれの予測精度について比較を行った。

2. 解析方法

本研究では、茎数を目的変数、苗立数および気象データを説明変数としたモデルの構築を目的とする。

2.1 利用データ

本研究では、以下の2種類のデータを利用する。

- 山口県内ほ場の定点調査データ
- 1kmメッシュ気象データ

山口県内ほ場の定点調査データは、山口県農林総合技術センターが取りまとめたデータで、山口県内数十地点における播種後1ヶ月程度(12月頃)の苗立数、それ以降の1月から3月にかけての茎数のデータである。1kmメッシュ気象データは、農業・食品産業技術総合研究機構が提供して

いる⁸⁾。本研究では、2019年度産の6地点、2020年度産の5地点、2021年度産の23地点、2022年度産の18地点の計52地点分の調査データを利用した。茎数は初回の調査(播種後2か月程度の1月頃)のものを利用した。

2.2 説明変数の選択方法

茎数を目的変数とする回帰モデルの説明変数を決定するため、茎数と苗立数および気象(気温、降水量、および日長)に関する基本統計量(積算、平均、最大、および最小)に対する相関分析を行った。ここで、これらの基本統計量は播種日から茎数計測日までの日別時系列データに対して算出したものであり、積算は播種日から茎数計測日までの日別平均値の総和を意味する。相関分析において、最少降水量は無視した。また、前処理として正規化を行った。

2.3 回帰モデル

本研究では、苗立数および気象データを説明変数、茎数を目的変数とする以下の4種類の回帰モデルの構築を行った。

- 重回帰モデル⁹⁾
- ニューラルネットワーク(NN: Neural Network)¹⁰⁾
- LSTM(Long Short-Term Memory)¹¹⁾
- マルチモーダルNN(MNN: Multimodal Neural Network)¹²⁾

重回帰モデルおよびニューラルネットワークは、説明変数としてスカラ多変量を扱うことができ、LSTMは可変長の時系列を扱うことができる。MNNはスカラ多変量と可変長の時系列の双方を扱うことができる。ここで、NN、LSTM、およびMNNでは、予測精度に影響するノード数、学習率、バッチサイズなどのハイパーパラメータや活性化関数および最適化手法について、ベイズ最適化¹³⁾を用いて最適な組合せを探索した。このとき、目的関数は訓練誤差と評価誤差の和とし、探索範囲は表1に示すとおり設定した。アルゴリズムの反復回数は50回とした。

また、本研究では、2020年度産から2022年度産の46地点分のデータを訓練データとし、2019年度産の6地点分のデータをハイパーパラメータ調整のための検証データとした。ただし、重回帰モデルに対しては、ハイパーパラメータ調整が不要であるため、すべてを訓練データとした。

2.4 開発環境

データ分析およびモデルの構築にはLinux(Ubuntu 20.04.4 LTS)を利用した。回帰モデルの構築はPython(Ver. 3.9.12)上で行い、機械学習ライブラリとして重回帰モデルにはscikit-learn(Ver.1.2.2)、NN、RNN、およびMNNには

* 技術支援部

*2 プロジェクト推進部

TensorFlow(Ver. 2.12.0)を用いた。ベイズ最適化には、bayesian-optimization(Ver. 1.4.3)を用いた。

ノード数	[1, 20]上の整数
活性化関数	ReLU Sigmoid tanh
最適化手法	SGD RMSprop Adagrad Adadelta Adam
学習率	[0.001, 0.1]上の実数
バッチサイズ	[1, 32]上の整数

表1 ベイズ最適化によるハイパーパラメータ、活性化関数、および最適化手法の探索範囲

3. 解析結果と考察

3.1 相関分析の結果と説明変数の選択

図1に、茎数に対する苗立数および気象に関する基本統計量の散布図を、表2に、これらの相関係数を示す。苗立数、積算気温、最高気温、積算日長、および最長日長に対してはやや大きい正の相関があることがわかる。一方、平均降水量および最多降水量に対してはやや大きい負の相関があることがわかる。

表3に、本研究で検討した回帰モデルと用いた説明変数を示す。重回帰モデルおよびNNはスカラ多変量を扱うため、相関係数の絶対値が0.3以上となる項目、すなわち、苗立数、積算気温、最高気温、平均降水量、最多降水量、積算日長、および最長日長を説明変数として採用した。これらの説明変数を用いて推定した重回帰モデルの回帰係数を表4に示す。LSTMは可変長時系列データを扱えるため、播種日から茎数計測日までの気温、降水量、および日長の日別時系列データを説明変数とした。MNNはスカラ多変量と時系列といった複数のモダリティを説明変数として扱うため、苗立数および播種日から茎数計測日までの気温、降水量、および日長の日別時系列データを説明変数とした。ただし、苗立数を入力とする部分にはNN、時系列データを入力とする部分にはLSTMを用いた。

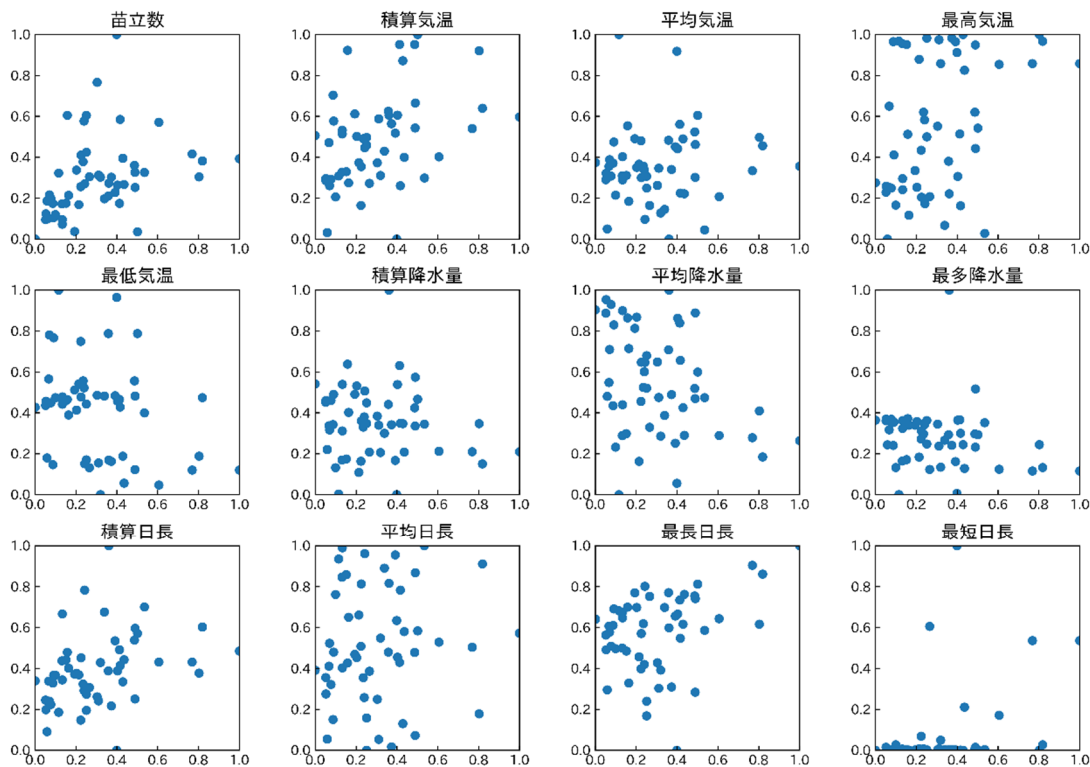


図1 茎数(横軸)に対する苗立数および気象に関する基本統計量(縦軸)の散布図

表2 茎数に対する苗立数および気象統計量との相関係数

苗立数	気温				降水量				日長			
	積算	平均	最高	最低	積算	平均	最多	最少	積算	平均	最長	最短
0.53	0.42	0.08	0.33	-0.25	-0.09	-0.33	-0.31	-	0.45	0.16	0.31	0.27

表3 本研究で用いた回帰モデルと説明変数

モデル	初期生育量に関する説明変数	気象に関する説明変数
重回帰	苗立数	積算気温 最高気温 平均降水量 最多降水量 積算日長 最長日長
NN	苗立数	積算気温 最高気温 平均降水量 最多降水量 積算日長 最長日長
LSTM	-	日別気温 日別降水量 日別日長
MNN	苗立数	日別気温 日別降水量 日別日長

表4 重回帰モデルの回帰係数

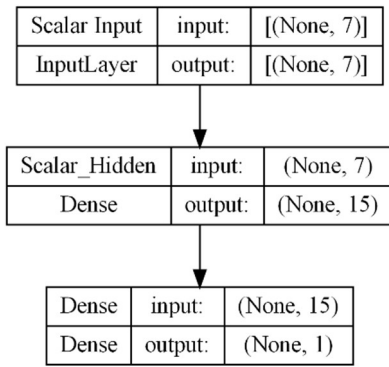
説明変数	回帰係数
苗立数	0.49
積算気温	0.24
最高気温	0.09
平均降水量	-0.2
最多降水量	-0.06
積算日長	0.27
最長日長	0.33

3・2 ハイパーパラメータ最適化および各種モデル

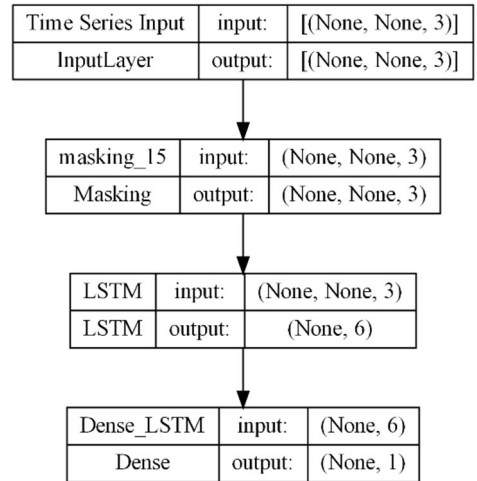
表5に、ベイズ最適化に基づいて求めたNN, LSTM, およびMNNそれぞれのモデルのハイパーパラメータを示す。ただし、各モデルの中間層数は1層とした。図2に、これらのハイパーパラメータを用いて構成したNN, LSTM, およびMNNのネットワーク構造を示す。

表5 ハイパーパラメータ最適化の結果

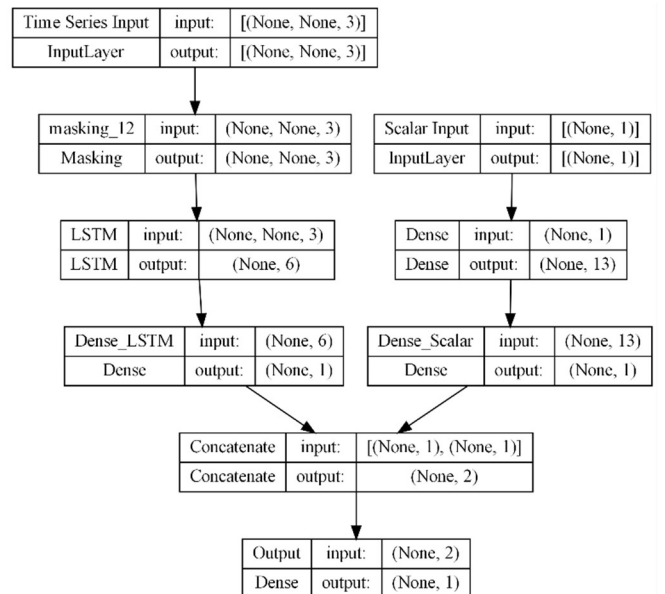
	NN	LSTM	MNN
ノード数	15	6	13 (NN部) 6 (LSTM部)
活性化関数	ReLU	tanh	Sigmoid (NN部) tanh (LSTM部)
最適化手法	SGD	RMSprop	SGD
学習率	0.014	0.018	0.014
バッチサイズ	1	8	19



(a) NN



(b) LSTM



(c) MNN

図2 ネットワーク構造

3・3 予測結果

図3に、表3で示した各回帰モデルによる予測値と実測値の比較を示す。ここで、青の点は訓練データに対する予測値、橙の点は検証データに対する予測値である。図3か

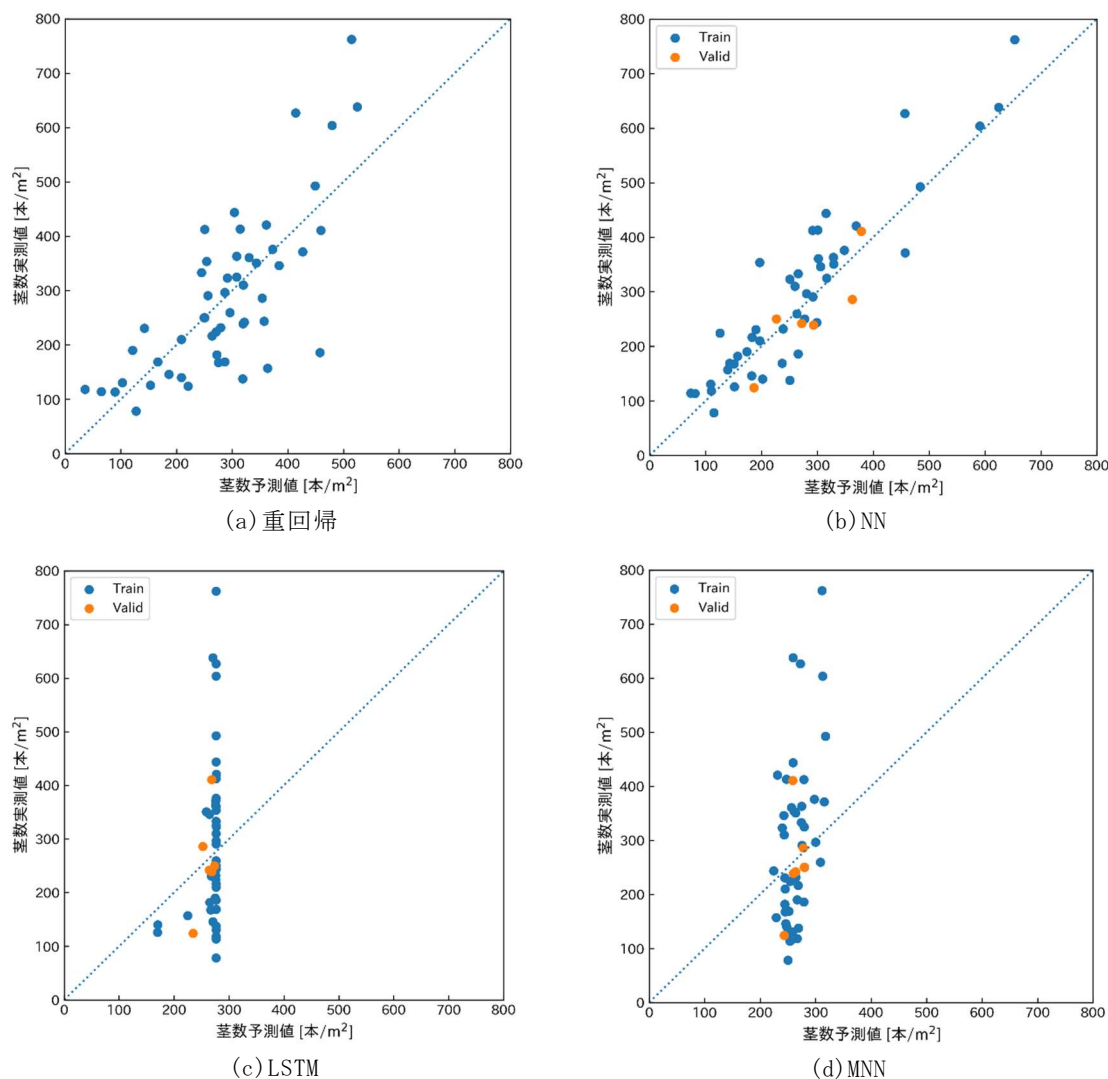


図3 茎数予測値と茎数実測値の比較

ら、重回帰モデルおよびNNは、50-600 本/m²内で広く予測されているのに対し、LSTMは100-300 本/m²、MNNは200-300 本/m²と予測範囲が狭く、入力に関わらず同じような予測を行っていることがわかる。また、重回帰モデルおよびNNによる予測は、*RMSE*がそれぞれ97.1と63.2、*R²*がそれぞれ0.57と0.82であった。一方、LSTMおよびMNNによる予測は、*RMSE*がそれぞれ144.5と140.7、*R²*がそれぞれ0.04と0.09であり、時系列データを用いたモデルはスカラ多変量を用いたモデルよりも予測精度が低かった。

これらの結果から、LSTMおよびMNNは気象時系列データの特徴を十分に学習できていないと推察される。この要因として、気象時系列データが播種日から茎数計測日までの約50日分のデータであるのに対し、データセットが46地点分と少なかったため、学習に必要なバリエーションデータを十分に含んでいなかったことが考えられる。これを解決するためには、サンプリング地域や年次の拡充、前処理による気象時系列データ長の削減などの工夫が考えられる。

4. 結 言

本研究では、苗立数および気象データを活用した茎数回

帰モデルの構築について検討した。重回帰モデルおよびNNに基づくモデルは、苗立数および気象データに関する基本統計量(積算, 平均, 最大, および最小)を説明変数とした。一方、LSTMは日別気象時系列データを、MNNは、苗立数および日別気象時系列データの双方を用いた。その結果、重回帰モデルおよびNNによる基本統計量を用いた予測に対し、LSTMおよびMNNによる時系列データを用いた予測の方が精度が低かった。ただし、この差はモデル性能の違いではなく、学習データ数が少なかったことが原因だったと考えられる。今後は、学習データの増加や前処理等による必要学習データ数の低減などの工夫を行い、より高精度なモデルを検討する必要がある。さらに、具体的な管理作業へ反映させられる情報提供の仕組みを検討していくことも必要である。

本研究で使用したデータは、各農林事務所で作業者により計測され山口県農林総合技術センターが取りまとめたものである。計測者および山口県農林総合技術センター(現山口県農林水産部農業振興課)の河村剛英氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 鈴木一哉, 他:IoT 技術の最新動向, 電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン, **12**(1), p. 12-20(2018), DOI:<https://doi.org/10.1587/bplus.12.12>.
- 2) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部: オープンデータ基本指針, <https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/kihonsisin.pdf>(参照日 2025 年 6 月 29 日).
- 3) 新村正明:JupyterLab による Python 学習のはじめかた, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, **15**(4), p. 333-338(2022), DOI: <https://doi.org/10.1587/bplus.15.333>.
- 4) 農林水産省:「農業 DX 構想」と今後のデジタル戦略の推進について, https://www.maff.go.jp/j/kanbo/dx/attach/pdf/nougyou_dxxkousou-64.pdf(参照日 2025 年 6 月 29 日).
- 5) 農林水産省:麦・大豆生産技術向上事業の概要, https://www.maff.go.jp/j/syouan/keikaku/soukatu/attach/pdf/mugimame_kokusanka-33.pdf(参照日 2025 年 6 月 29 日).
- 6) 箕田豊尚, 他:埼玉県におけるコムギの生育, 収量および収量構成要素と気象変動の関係—畑作試験圃場におけるコムギ「農林 61 号」の 45 年間の栽培試験に基づく解析—, 日作紀, **84**(3), p. 285-294(2015).
- 7) 中園江, 他:コムギの発育段階の推定モデル, 日作紀, **83**(3), p. 249-259(2014).
- 8) 農研機構:農研機構メッシュ農業気象データ, https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/doku.php?id=start2(参照日 2025 年 6 月 29 日).
- 9) 阿部真人:データ分析に必須の知識・考え方 統計学入門 仮説検定から統計モデリングまで重要トピックを完全網羅, ソシム, p. 187-191(2021).
- 10) 岡谷貴之:深層学習, 講談社, p. 7-21(2015).
- 11) Hochreiter S. and Schmidhuber J.: Long Short-Term Memory, *Neural Computation*, **9**(8), p.1735-1780(1997), DOI:<https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>.
- 12) 柳井啓司, 中鹿亘, 稲葉通将:深層学習, オーム社, p. 234-252(2022).
- 13) Shahriari B., et al.: Taking the Human Out of the Loop: A Review of Bayesian Optimization, *Proceedings of the IEEE*, **104**(1), p.148-175(2016), DOI:<https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2494218>.

山口県オリジナルの酢酸イソアミル高生産酵母の開発

田中 淳也*・近藤 美裕貴*・有馬 秀幸*

Research of Yamaguchi Prefecture's original yeast for high isoamyl acetate production Junya Tanaka, Miyuki Kondo and Hideyuki Arima

1. 緒 言

清酒に含まれるエステル類は香りに影響するため、製品を特徴付ける上で重要視されている。中でも、リンゴ様の香りを呈するカプロン酸エチルとバナナ様の香りを呈する酢酸イソアミルはともに「吟醸香」と呼ばれ、清酒にフルーティさ、華やかさを付与している。この2つの吟醸香のうち、カプロン酸エチルを香りの主体とする清酒がこれまで多く製造されてきたが、近年では、他製品との差別化や吟醸酒の多様化を図るため、酢酸イソアミルを香りの主体とする清酒も注目されている。山口県では、カプロン酸エチルを高生産する独自酵母はすでに開発されているが、酢酸イソアミルを高生産する酵母はなく、清酒業界からその開発が求められていた。

そこで、酢酸イソアミルを高生産する山口県独自の吟醸用酵母の開発を実施したので報告する。

2. 試験方法

2・1 使用菌株

酵母の親株には、山口県独自の酵母「山口 9E(以下, 9E)」¹⁾及び生酏系清酒用酵母「やまぐち山麩酵母(以下, Y)」²⁾を使用した。

2・2 変異処理

9E 及び Y を YPD 液体培地(1%酵母エキス, 1%ポリペプトン, 2%グルコース)を用いて 30℃で 24 時間培養した後、培養液 1ml を遠心分離して酵母を集菌した。集菌した酵母を滅菌水で 2 回洗浄し、0.1M リン酸緩衝液を用いて 5%に調製したエチルメタンサルホン酸(以下, EM)を 1ml 加え、室温で 1 時間振盪して変異処理を行った。その後、7%チオ硫酸ナトリウム 1ml 加えて中和し、再び滅菌水で 2 回洗浄した。

2・3 変異株の選択

変異処理後、滅菌水で洗浄した酵母菌体に 5ml の滅菌水を加えて懸濁し、選択培地³⁾0.019%5, 5-トリフルオロロイシンプレート(0.019%5, 5-トリフルオロロイシン, 0.67%イーストナイトロジェンベース w/o アミノ酸, 2%グルコース, 2%寒天)に 100 μ L 塗布した。28℃で 5 日間培養し、生育したコロニーを選抜した。

2・4 発酵試験

α 化米(精米歩合 60%: 徳島製麴)80g, 乾燥麴(精米歩合 60%: 徳島製麴)20g, 汲水 140g の一段仕込みで行った。発酵は 12℃で 30 日間行い、遠心分離機(Avanti HP-25I: ベック

マンコールター: 6,000rpm, 20 分)によって上槽した。

2・5 泡なし株の選抜

2・5・1 泡なし株の分離

泡なし株の選抜は大内らの方法⁴⁾に従った。選抜株を YPD 液体培地で 24 時間培養し、その培養液に 0.25%に調製したシュガーエステル(P-1570: 三菱ケミカル)を 1ml 加えて激しく振盪した。その後、遠心分離機(1,000rpm, 5 分)により凝集菌体を沈殿させ、上部液を 1ml 採取して新たな YPD 液体培地で 24 時間培養した。この培養液に対して、シュガーエステルを添加し、以降、同様の作業を繰り返した。最終的に、上部液 100 μ L を YPD プレート(1%酵母エキス, 1%ポリペプトン, 2%グルコース, 2%寒天)に塗布し、生育したコロニーを釣菌して泡なし株の候補とした。

2・5・2 高泡形成能の判別

高泡形成能の判別は布川らの方法⁵⁾に従った。泡なし株の候補として選抜した株を生理食塩水に懸濁し、等量のベンゼンと混合して激しく振盪した後、静置して液相が分離した混合液の水相の濁度を紫外可視分光光度計(V-730BI0: 日本分光)を用いて測定し、濁度が 1.0 を超えた菌株を泡なし株と判別した。

2・5・3 泡なし株の酢酸イソアミル生成能力による選抜

2・4 と同様の方法により泡なし株の発酵試験を行い、製成酒の酢酸イソアミル濃度を測定した。

2・6 小仕込み試験

小仕込み試験の仕込みは、 α 化米(精米歩合 60%: 徳島製麴)及び乾燥麴(精米歩合 60%: 徳島製麴)を使用し、表 1 に示す仕込み配合により三段仕込みで行った。仕込み時の品温は、初添 13℃, 仲添 10℃, 留添 7℃とし、もろみ 10 日目に最高品温 12℃に達するよう昇温した。最高品温を維持し、アルコール濃度が 16%に達した時点で遠心分離機により上槽した。得られた製成酒の一般成分は国税庁所定分析法⁶⁾, 香气成分はガスクロマトグラフ(7890B: アジレント・テクノロジーズ)を用いて測定した。

表 1 小仕込み試験の仕込み配合

	初添	仲添	留添	合計
総米(g)	150	300	550	1,000
蒸米(g)	110	230	460	800
麴米(g)	40	70	90	200
汲み水(ml)	200	400	700	1,300

* 技術支援部

表 2 パイロット試験の仕込み配合

	酒母	初添	仲添	留添	合計
総米(kg)	4	7	15	24	50
蒸米(kg)	3	5	12	20	40
麴米(kg)	1	2	3	4	10
汲み水(L)	5	7	20	33	65

2・7 醸造試験

2・7・1 パイロット試験

総米 50kg のパイロット試験は、山田錦(精米歩合 60%)を使用し、表 2 に示す仕込み配合により三段仕込みで行った。酒母は中温速醸で製造した。酒母の仕込み時の品温は 20℃とし、3 日目まで 25℃を維持した。4 日目に 20℃、5 日目に 10℃、6 日目に 5℃と段階的に温度を下げ、8 日目に初添で使用した。もろみの仕込み時の品温は、初添 13℃、仲添 10℃、留添 6℃とし、もろみ 8 日目に最高品温 11℃前後に達するよう調整した。最高品温を 5 日間程度維持した後、徐々に温度を下げ、アルコール濃度が 16%に達した時点で上槽した。

得られた製成酒の一般成分は国税庁所定分析法⁶⁾、香气成分はガスクロマトグラフ(7890B: アジレント・テクノロジーズ)を用いて測定した。

2・7・2 酒造会社における醸造試験

県内の酒造会社 3 社の協力を得て、実製造規模における醸造試験を実施した。

A 社では、E12 及び E17 を使用し、雄町(精米歩合 65%)を原料とした総米 300kg の醸造試験を表 3 に示す仕込み配合により実施した。さらに、E12 を使用し、山田錦(精米歩合 65%)を原料とした総米 1,000kg の醸造試験を表 4 に示す仕込み配合により実施した。

B 社では E11, E12, E17, E23 を使用し、山田錦(精米歩合 40%)を原料とした総米 1,180kg の醸造試験を表 5 に示す仕込み配合により実施した。

C 社では E12 を使用し、山田錦(精米歩合 50%)を原料とした総米 400kg の醸造試験を表 6 に示す仕込み配合により実施した。

表 3 A 社総米 300kg の仕込み配合

	酒母	初添	仲添	留添	水	合計
総米(kg)	15	50	90	145		300
蒸米(kg)	10	35	70	120		235
米麴(kg)	5	15	20	25		65
汲み水(L)	25	55	110	230	75	495

表 4 A 社総米 1,000kg の仕込み配合

	酒母	初添	仲添	留添	水	合計
総米(kg)	60	170	275	495		1,000
蒸米(kg)	40	120	210	420		790
米麴(kg)	20	50	65	75		210
汲み水(L)	60	160	350	830		1,400

表 5 B 社の仕込み配合

	酒母	初添	仲添	留添	水	合計
総米(kg)	75	190	350	565		1,180
蒸米(kg)	50	140	290	475		955
米麴(kg)	25	50	60	90		225
汲み水(L)	85	200	470	880	150	1,785

表 6 C 社の仕込み配合

	酒母	初添	仲添	留添	水	合計
総米(kg)	24	65	123	188		400
蒸米(kg)	16	48	99	160		323
米麴(kg)	8	17	24	28		77
汲み水(L)	28	62	155	230	適宜	475+α

得られた製成酒の香气成分はガスクロマトグラフ(7890B: アジレント・テクノロジーズ)を用いて測定した。

2・8 官能評価

製成酒の官能評価は酒造関係者を対象として実施した。官能評価は、酢酸イソアミルの香りについては「1=感じない, 2=わずかに感じる, 3=感じる, 4=強く感じる」、イソアミルアルコールについては「1=感じない, 2=感じるが許容範囲, 3=強く感じる, 4=問題あり」の 4 段階で評価した。

3. 結果及び考察

3・1 酢酸イソアミル高生産酵母の取得

酢酸イソアミルは、イソアミルアルコールとアセチル CoA が結合して生成されるため、その高生産酵母を得るためにはイソアミルアルコールの生合成が旺盛な酵母を選抜する必要がある。イソアミルアルコールは、酵母がロイシンを代謝する過程において生合成されるが、最終生産物が蓄積すると代謝が抑制されるフィードバック阻害が発生する。そのため、酢酸イソアミル高生産酵母の育種には、ロイシンのアナログ耐性株を取得することが有効である³⁾。そこで、ロイシンアナログである 5,5,5-トリフルオロロイシン耐性のある酵母の取得を試みた。

親株 9E 及び Y に対し、EMS による変異処理を施し、ロイシンアナログ含有培地で培養したところ、9E の変異株から

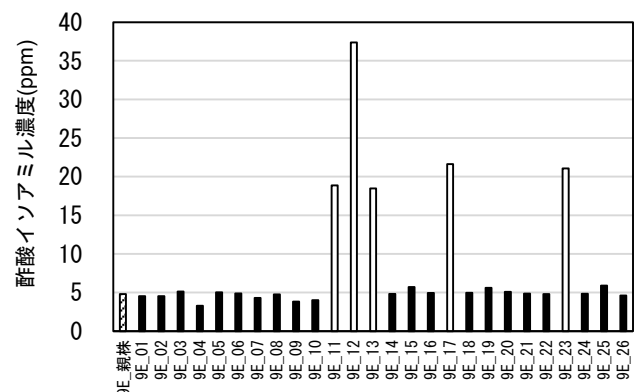


図 1 9E 変異株の酢酸イソアミル濃度

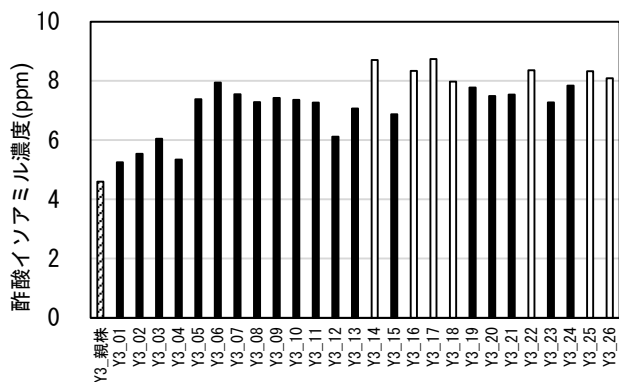


図2 Y変異株の酢酸イソアミル濃度

26株, Yの変異株から26株のアナログ耐性株が得られた。これらの変異株を用いて総米100gの発酵試験を行い, 醸成酒の酢酸イソアミル濃度を測定したところ, 9Eの変異株では親株の酢酸イソアミル濃度を大きく上回る5株を得た(図1)。また, Yの変異株では取得したすべての株において親株よりも高い値を示した(図2)。これらの結果から, 酢酸イソアミル濃度が8ppm以上である9Eの変異株から5株, Yの変異株から7株の計12株を酢酸イソアミル高生産候補酵母として選抜した(グラフ内の白抜きで示した株)。

3・2 泡なし株の取得

3・2・1 泡なし株の選抜

泡なし酵母は高泡を形成しないため, 高泡を形成する泡あり酵母よりも仕込量を増やすことができ, また, タンク内壁に付着した泡の残渣の清掃作業が減るため, 経済性や作業性, 衛生面の観点から近年の清酒製造において広く使用されている。そのため, 本研究において開発する酵母も泡なし株を取得することとした。

酵母の培養液に界面活性剤であるシュガーエステルを添加すると泡あり酵母は凝集体を形成するが, 泡なし酵母は凝集体を形成しないことが見出されている⁴⁾。これは酵母の細胞壁構造の違いに起因しており, 界面化学的な性質により泡への付着性に差異が生じていると考えられている。この性質を利用したシュガーエステル凝集法により, 変異株12株からそれぞれ8~13株, 合計111株の凝集性が低いと推定される株を取得した。

3・2・2 高泡生成能の判別

泡への付着性が高い酵母の細胞表面は疎水的であり, 有

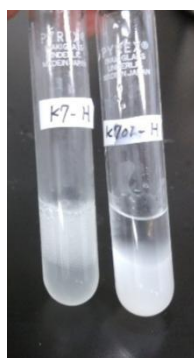


図3 有機溶媒による泡なし酵母の識別 (左: 協会7号(泡あり) 右: 協会701号(泡なし))

機溶媒と混合すると泡あり酵母は有機溶媒相へ移行するが, 泡なし酵母は水相へ移行することが見出されている⁴⁾(図3)。そこで, 取得した凝集性が低いと推定される菌株について, その懸濁液とベンゼンを混合し, 水相の濁度(OD660)を測定した結果, 111株のうち23株の水相濁度が1.0以上であった。この23株について, 培養と識別試験を繰り返し, いずれの試験においても水相濁度が1.0を超えた20株を泡なし株として選抜した(表7)。

3・2・3 泡なし株の酢酸イソアミル生産能力による選抜

選抜した20株について, 総米100gの発酵試験を再度行い, 酢酸イソアミルの生成能力を検証した。醸成酒の香气成分を測定した結果, すべての株において, 酢酸イソアミル濃度が親株に比べて高い値を示した(図4)。中でも, 2回の発酵試験において安定して10ppm以上の酢酸イソアミル濃度を生成した5株を最終候補として選抜した。

3・3 小仕込み試験

選抜した5株について, 総米1kgの小仕込み試験を実施し, 香气成分の生成能力や発酵特性, 高泡形成を検証した。5株の選抜株のうちY17については対照株としたK-701やK-901よりも旺盛な発酵経過をたどり, もろみのアルコール濃度が16%を超えた25日目で上槽した。その他の候補株については, もろみ後半で発酵が緩慢になり, E17は35日目, E11, E12及びE23は37日目に上槽した(図5)。E12については, アルコール濃度が16%に達しなかった。

表7 判別試験における水相の濁度

記号	泡なし前	No.	濁度	No.	濁度	No.	濁度	No.	濁度
Y14	0.21	11	1.62	13	1.22				
Y16	0.64	5	1.64	6	1.64	7	1.64	8	1.59
Y17	0.61	6	1.16	8	1.43				
Y18	0.18	8	1.01						
Y22	0.20	8	1.03						
Y25	0.27	3	1.20						
Y26	0.24	1	1.70	5	1.77				
E11	0.67	1	1.17	2	1.09				
E12	0.67	5	1.02						
E13	0.71	9	1.13	13	1.18				
E17	0.56	7	1.15						
E23	0.59	12	1.20						

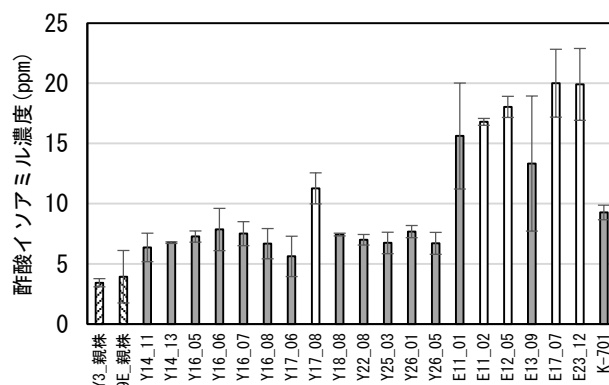


図4 選抜した泡なし株の酢酸イソアミル濃度

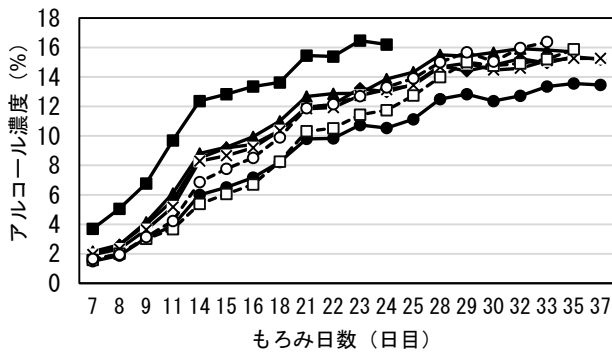


図5 小仕込み試験におけるアルコール濃度の推移
Y17 (■), E11 (◆), E12 (●), E17 (▲),
E23 (×), K-701 (○), K-901 (□)

表8 小仕込み試験における製成酒の成分

	Y17	E11	E12	E17	E23	K-701	K-901
アルコール (%)	16.5	16.0	14.4	16.2	15.9	16.6	16.5
日本酒度	-19	-23	-36	-22	-22	-13	-16
酸度	2.1	2.4	2.5	2.5	2.3	1.7	2.0
アミノ酸度	1.3	2.4	2.9	2.3	2.5	1.1	2.1
酢酸イソアミル (ppm)	11.9	11.5	9.6	16.1	11.6	6.1	3.9
イソアミルアルコール (ppm)	362	288	276	367	280	157	134
カブロン酸エチル (ppm)	2.0	2.2	2.0	2.5	2.2	1.3	1.1

やまぐち山麴酵母は生醗系酒母で使用することを想定した酵母であり、仕込み初期におけるアルコール生成能力の高さを指標として選抜していることから、Y17の発酵力の強さは親株の性質が引き継がれた結果と考えられる。一方、9Eを親株とした選抜株では、もろみ初期のアルコール生成は親株や協会酵母と同程度であったが、E12については、もろみ中期以降の発酵が緩慢になった。EMSによる突然変異では、複数の遺伝子にランダムに変異が起きていると考えられ、E12においてはアルコール生成に関わる遺伝子に変異し、発酵が弱まった可能性が考えられる。また、高泡の形成については、いずれの選抜株も泡なし株であるK-701やK-901と同程度の形成状態であった。

製成酒の一般成分及び香気成分の測定結果を表8に示す。アルコール濃度については、発酵が旺盛だったY17株は16.5%、次いで上槽が早かったE17は16.2%であった。発酵が緩慢であったE12は14.4%であった。いずれの選抜株も一般的な清酒製品のアルコール濃度である15%前後となっており、清酒製造で使用できる発酵能力を有することが確認された。

一方、酢酸イソアミル濃度について、選抜株では9~16 ppmの範囲で検出されており、いずれも対照としたK-701やK-901よりも高い値であり、仕込み規模を拡大しても高い酢酸イソアミル生成能力が再現されることを確認した。

3・4 醸造試験

3・4・1 パイロット試験

選抜酵母を用いて総米50kgの醸造試験を実施した結果、Y17以外の選抜株については、K-901と概ね同等の発酵経過をたどり、23日目前後で上槽目標としたアルコール濃度16%に到達した(図6)。E12については、もろみ後半のアルコー

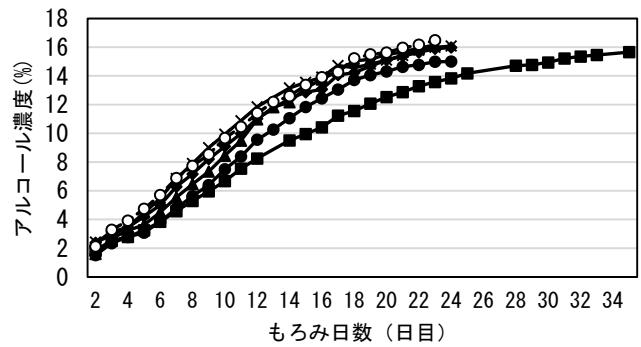


図6 パイロット試験におけるアルコール濃度の推移
Y17 (■), E11 (◆), E12 (●), E17 (▲),
E23 (×), K-701 (○)

表9 パイロット試験における製成酒の成分

	Y17	E11	E12	E17	E23	K-901
アルコール (%)	15.7	16.1	15.8	16.1	16.2	16.4
日本酒度	-2.3	-3.5	0.2	0.2	-2.3	-0.2
酸度	3.4	2.2	2.4	2.3	2.3	2.2
アミノ酸度	1.6	1.1	1.4	1.5	1.4	1.4
酢酸イソアミル (ppm)	7.4	9.8	9.9	11.2	10.8	4.6
イソアミルアルコール (ppm)	619	237	252	278	233	126
カブロン酸エチル (ppm)	0.8	2.6	4.9	4.5	3.4	2.1

ル濃度の推移が停滞したため、小仕込み試験と同様に16%に到達しないまま上槽した。Y17については、もろみ初期から発酵が緩慢であり、上槽までに35日を要した。小仕込み試験では発酵が旺盛であり、選抜株の中では最も早く上槽目標のアルコール濃度に達していたため、パイロット試験では何らかの発酵不良が生じたと考えられた。また、高泡の形成については、いずれの候補株もK-901と同等であることを確認した。

製成酒の酢酸イソアミル濃度は、E17が最も高い11.2 ppm、Y17が最も低い7.4 ppmであったが、いずれの候補株もK-901より高い値を示した(表9)。これらの結果は、小仕込み試験と比較するとやや低くなっているものの、製成酒を官能評価したところ、Y17以外の選抜株では酢酸イソアミルが呈するバナナ様の香りが感じられた。しかしながら、前駆体であるイソアミルアルコールが呈するインク様の臭いも感じられた。

3・4・2 酒造会社における醸造試験

A社における醸造試験では、E12のもろみにおいて粘稠な高泡(図7)がみられ、センターにおけるパイロット試験に比べてアルコール生成に遅れがみられた。この原因として、泡



図7 総米300kg試験におけるもろみの状態
左: E12 右: E17

の表面には酵母が付着しており、泡が高く上がっている間はもろみ中の酵母数が減るため発酵が遅くなり、アルコールの生成が遅れたものと考えられる。E12株を使用した総米1,000kgの試験においても同様の傾向がみられた。本試験において高泡が形成された要因については検証が必要である。

B社及びC社における醸造試験においても、E12のもろみ経過は他の選抜株や通常の製造で使用している酵母に比べて緩慢な傾向がみられた。パイロット試験でも他の選抜株に比べてE12の発酵経過は緩慢であったことから、E12はもろみ後半において発酵力が弱まり、アルコールの生成が遅れる性質があると考えられる。なお、B社及びC社の醸造試験では高泡の形成はみられなかった。

酒造会社における醸造試験の醸成酒の香気成分を表10に示す。製清酒の酢酸イソアミル濃度は、いずれの選抜株もパイロット試験と比較して低かった。特に、E12については3社で試験を実施したが、1.8~7.3ppmと大きくばらつき、製造方法や仕込量の違いによって酢酸イソアミルの生成量に差が生じることが確認された。一方、イソアミルアルコール濃度は、パイロット試験と比較して減少したものの、200ppm前後の濃度で検出された。醸成酒の官能評価では、酢酸イソアミル濃度が低いものやE/A比(酢酸イソアミル濃度÷イソアミルアルコール濃度×100)の値が低いものは、酢酸イソアミルの香りを「感じない」とする評価者の割合が高かった(図8)。

一方、イソアミルアルコールの香りに対する評価では、多くの評価者が「感じない」「許容範囲」と評価したが、イソ

表10 小仕込み試験における醸成酒の成分

使用酵母	製造者	仕込総米(kg)	酢酸イソアミル(ppm)	イソアミルアルコール(ppm)	E/A比
E11	センター	50	9.8	237	4.1
	B社	1,200	7.3	219	3.3
E12	センター	50	9.9	252	3.9
	A社	300	1.8	161	1.1
	A社	1,000	4.1	183	2.2
	B社	1,200	7.3	181	4.0
	C社	400(普通)	4.2	166	2.6
	C社	400(低アル)	4.0	154	2.6
E17	センター	50	11.2	273	4.1
	A社	300	2.1	181	1.2
	B社	1,200	6.8	214	3.2
E23	センター	50	10.8	233	4.6
	B社	1,200	6.0	170	3.5
901	センター	50	4.6	126	3.7

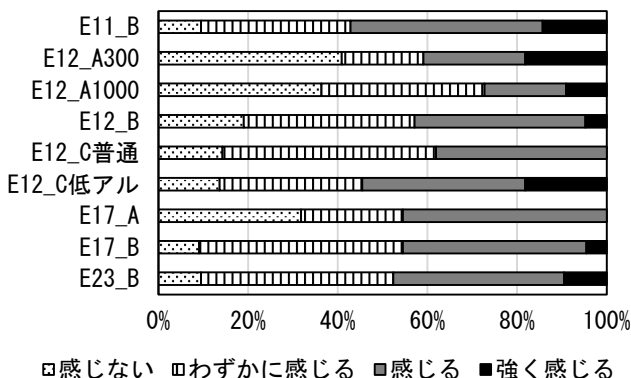


図8 醸成酒の酢酸イソアミルの香りに対する評価

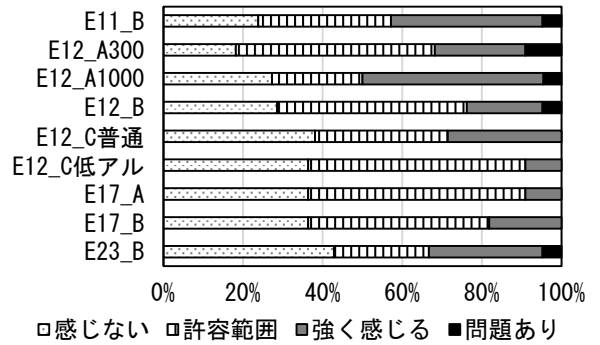


図9 醸成酒のイソアミルアルコールの香りに対する評価

アミルアルコール濃度が200ppmを超えるものやE/A比の値が低いものでは、「強く感じる」「問題あり」とする評価者の割合が増加した(図9)。これらの結果から、E/A比が高いほどイソアミルアルコールの呈するインク様のオフフレーバーに対する感受性が緩和されるものと考えられる。また、カプロン酸エチル等の他の香気成分の濃度が高かったものもあり、それらもオフフレーバーの感受性に影響を及ぼしたのと考えられる。

以上の結果から、実地試験に供した4株を実用化するためには、酢酸イソアミル生産性の安定化、イソアミルアルコール濃度の低減、非高泡形成の再現性が課題として残った。

4. 結 言

吟醸酒の多様化が進む近年、従来のカプロン酸エチルではなく酢酸イソアミルを高生産する酵母の開発が求められており、山口県の独自酵母を使用した酢酸イソアミル高生産酵母の育種を試みた。突然変異処理を施した酵母のうち、酢酸イソアミルの前駆物質であるイソアミルアルコールの生産量が増加する変異株を取得し、酢酸イソアミルの生成量を指標に選抜した。これらの選抜株から、凝集性が低く、醸造時に高泡を形成しにくい「泡なし株」を選抜し、最終候補として5株の酵母を得た。この5株を使用して総米50kgのパイロット試験を実施したところ、山口9Eを親株とした変異株4株について、協会901号酵母と同等の発酵経過を示す一方で、酢酸イソアミルを高生産することが確認された。これら4株のうち任意の株を用いた実製造規模の醸造試験を県内酒造会社3社の協力により実施したところ、酢酸イソアミルの生成量や高泡の形成にばらつきがあり、求める能力を安定的に発揮できない点やイソアミルアルコールのインク様のオフフレーバーが残る点などの課題が明らかとなった。今後、県独自の酵母としてブランド化を図るためには、選抜株の改良が必要であると考えられる。

本研究の遂行にあたり、実製造規模での醸造試験にご協力いただいた酒造会社の皆様に感謝いたします。また、官能評価へご協力いただきました酒造関係者の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 有富和生：山口県産業技術センター技術報告, **11**, p. 33-34(1999).
- 2) 田中淳也：山口県産業技術センター技術報告, **28**, p. 33-38(2016).
- 3) 市川英治：日本醸造協会誌, **84**, p. 166-170(1989).
- 4) 大内弘造：日本醸造協会誌, **67**, p. 54-57(1972).
- 5) 布川弥太郎：化学と生物, **11**, p. 216-224(1973).
- 6) 第四回改正国税庁所定分析法注解, p. 7-33(1993).

GC-0 を使用した清酒のオフフレーバー成分の推定 ～「焦げ臭」と「硫黄臭」～

種場 理絵*

Estimation of Off-Flavor Components in Sake Using GC-0 ～Burnt Smell and Sulphur Smell～ Rie Taneba

1. 緒言

清酒の官能評価は、清酒業界ならではの評価用語を用いて行っているが、評価者によって感じ方(表現)や閾値が異なるため、評価者の結果を第三者(酒造関係者等)に的確に伝えることは難しい。例えば、アルデヒド臭、脂肪酸臭(吟老、吟醸香変化)、酵母臭、硫化物様臭などの評価用語は、抽象的な官能表現であるが故に、評価用語と物質名が一致していないものも多い。その結果、成分の推定が困難であり、オフフレーバーの発生原因を特定できないため、製造工程の改善に繋げにくいのが現状である。

そこで本研究では、酒造現場におけるオフフレーバー発生抑制のための具体的な技術的フィードバックを目的として、官能評価と機器分析結果を関連づけて解析できるにおい嗅ぎシステム(GC-0)を用い、オフフレーバー成分を特定するとともに、香り表現と原因成分との関係を明確にすることとした。

2. 実験方法

2・1 清酒試料

山口県新酒鑑評会にて「焦げ臭」及び「硫黄臭」の指摘を受けた清酒 5 点を選定した(表 1)。なお、指摘事項「きのこ」は、硫黄様としても表現されることがあり、本研究では「硫黄臭」に分類した。

表 1 選定した清酒と指摘事項

番号	種類	指摘事項
1	大吟醸	袋香、粕臭、樹脂臭、カビ、きのこ
2	大吟醸	焦げ臭、硫黄臭、きのこ
3	純米吟醸	焦げ臭、硫黄臭、コーンスープ、グアイアコロール臭
4	純米吟醸	焦げ臭、硫黄臭、粕臭、老香
5	純米吟醸	硫黄臭、粕臭、老香 (DMTS)

2・2 におい成分の抽出方法の検討

本研究では、官能評価の指摘の原因となった成分を同定するために、既知のオフフレーバー成分に限定することなく分析する必要がある。そこで、清酒のにおい成分を幅広く抽出及び濃縮するための条件検討を行った。また、清酒のにおい成分の抽出は、一般的に溶媒又は捕集剤を用いて行われることから、溶媒と捕集剤の抽出効率を比較した。

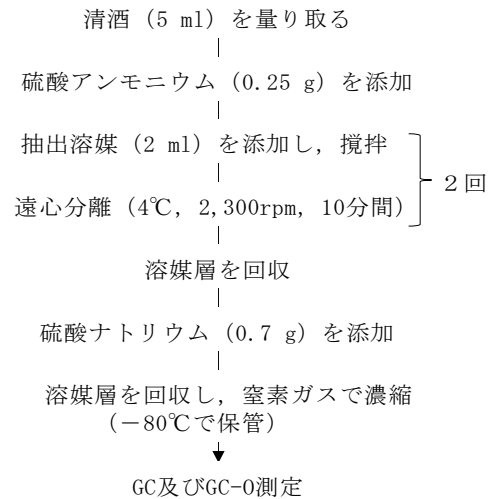


図 1 溶媒抽出法

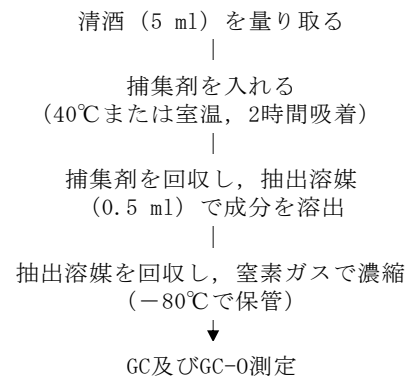


図 2 捕集剤を用いた抽出法

2・2・1 溶媒を用いた抽出及び濃縮

抽出溶媒には、におい成分の抽出に一般的に用いられるジクロロメタン、ジエチルエーテル、またはペンタンを使用した(図 1)。まず清酒 5ml に硫酸アンモニウム 0.25g 及び抽出溶媒 2ml をそれぞれ添加し、3 分間攪拌した。遠心分離機(ベックマン・コールター製, Avanti J26S XP)を用いて 2,300rpm で 10 分間処理し、分離した溶媒層を回収した。残りの水層に再度同量の溶媒を添加し、同じ作業を 2 回繰り返した。回収した溶媒に、無水硫酸ナトリウム

* 技術支援部

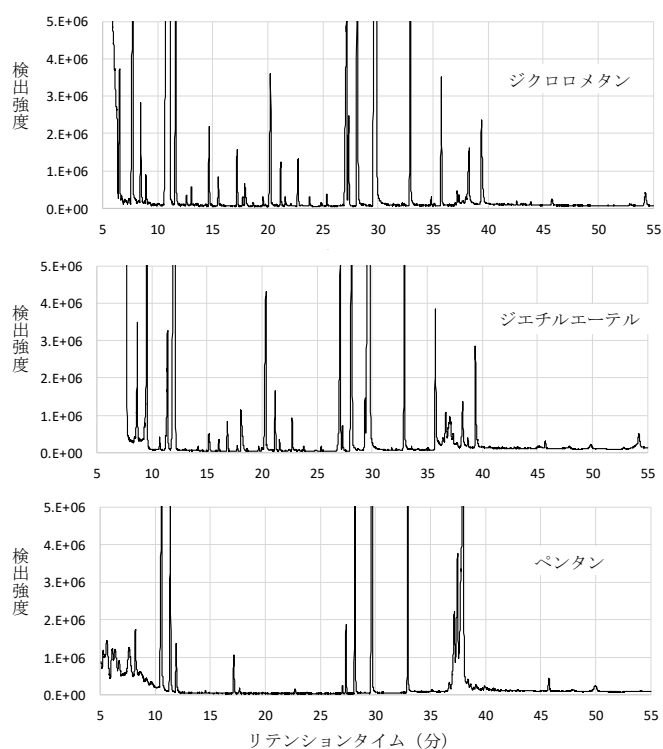


図3 抽出溶媒の検討

0.7g を添加して脱水処理し、窒素ガスを用いて溶媒層を約 30 μ l になるまで濃縮し、測定用サンプルを調製した。測定用サンプルは-80 $^{\circ}$ C で保管し、香りの変質が少ないとされる 1 カ月以内に使用した。

2・2・2 捕集剤を用いた濃縮

捕集剤として、清酒等のにおい嗅ぎ分析を行った報告等で使用される機会が多い MonoTrap (GL サイエンス製, DCC 18) 及び Twister (ゲステル製, 長さ 10 mm 膜厚 0.5mm) を検討した (図 2)。抽出溶媒には、ジクロロメタンを使用した。MonoTrap について、10ml 容量ガラスバイアルに清酒 5ml と MonoTrap を 1 枚入れ、40 $^{\circ}$ C で 2 時間攪拌し、成分を吸着させた。次に、MonoTrap の水分をふき取り、抽出用容器に MonoTrap と溶媒 0.5ml を入れ、超音波で 5 分間溶出させた。Twister について、10ml 容量ガラスバイアルに清酒 5ml と Twister を 1 個入れ、室温で 2 時間攪拌し、成分を吸着させた。超純水で軽く洗浄した Twister の水分をふき取り、10ml 容量ガラスバイアルに Twister と溶媒を 0.5ml 入れ、室温で 30 分間攪拌し成分を溶出させた。抽出溶媒は、バイアルに移し約 30 μ l になるまで窒素ガスで濃縮した。

2・3 におい嗅ぎ分析

におい嗅ぎ分析は、ガスクロマトグラフ質量分析装置 (以下, GC/MS) (日本電子製, JMS-Q1600GC) ににおい嗅ぎ装置 (GL サイエンス製, OP275Pro II) を接続して行った。分析条件として、InertCap Pre-WAX カラム (GL サイエンス製, 0.25mm \times 30m \times 0.25 μ m) を使い、キャリアガスとしてヘリウムを 2.0ml/分 で流した。注入口の温度は 230 $^{\circ}$ C、カラム温度は 40 $^{\circ}$ C で 0.5 分間保持後 5 $^{\circ}$ C/分 で昇温し 240 $^{\circ}$ C に達したところで 15 分間保持した。試料 2 μ l をスプリットレスで

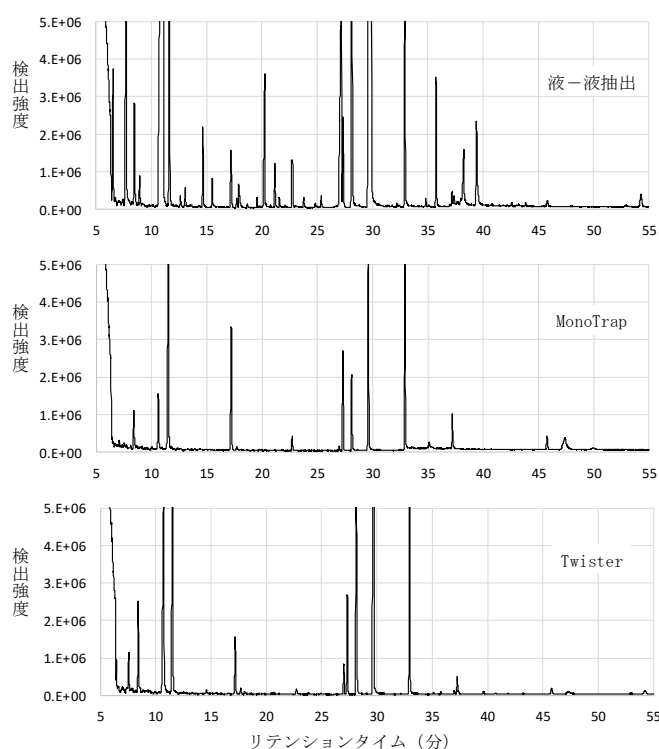


図4 捕集剤の検討

注入し分析した。

におい嗅ぎは、新酒鑑評会にて審査に関わった職員 3 名で実施した。解析における保持指標 (以下, RI) には、混合アルカン (レステック製 Qualitative Retention Time Index Standard) を測定し算出した。におい成分の推定は、ライブラリー (日本電子製, Escripme) 及び NIST を用いて行った。なお、官能表現と成分のすり合わせは、においライブラリ (アルファモス製, AroChemBase) で官能記述子を確認した。

3. 実験結果

3・1 におい成分抽出条件の検討

3・1・1 におい成分抽出効率に及ぼす抽出溶媒の影響

選定した清酒を用いて、抽出溶媒の違いが及ぼすにおいの検出強度への影響をガスクロマトグラム (以下, GC) にて比較した。その結果、ジクロロメタンを使用した抽出液は、ジエチルエーテル及びペンタンに比べ、多数のにおい成分が高い強度で検出できることが確認できた (図 3)。また、ペンタンは清酒に添加すると粘性が高くなり、ガラス器具等に付着し操作性が悪くなる場合があるため、溶媒回収時等でサンプルのロスが発生しやすく、抽出成分にも影響していると推察された。

3・1・2 におい成分抽出効率に及ぼす捕集剤の影響

捕集剤を用いて濃縮した溶液について、GC/MS 分析によるクロマトグラムのピーク数及び検出強度を比較した (図 2)。その結果、捕集剤を使用した場合、何れも溶媒抽出と比べ、検出される成分数が少なかった (図 4)。その理由として、捕集剤の性質により吸着される成分に偏りがあることや、捕集量が限られるためと考えられた。本研究では、

表2 におい嗅ぎ分析の結果

官能的特徴に対するコメント 【焦げ臭】	RI	化合物名	ArochemBase
ナッツ	1338	Methyl 2-hydroxypropanoate	官能記述子無し
ポップコーン、ナッツ様、 スナック菓子	1370	Ethyl 2-hydroxypropanate	エーテル、バター様、 バタースコッチ、フルーティ
ナッツ、ポップコーン、 スナック菓子	1373	Ethyl(L)-(-)-lactate	官能記述子無し
珈琲様、焙煎臭	1457	1-Hydroxy-4-methylpentan-2-one (若しくは不検出)	官能記述子無し
焙煎臭、カラメル、綿菓子	1614	Propylene glycol	アルコール、カラメル様
溶剤、甘い、ナッツ、 古い木、カフェオレ、焙煎臭	1649	Butyrolactone	甘い、カラメル様、クリーム様、 脂肪、芳香、油脂様
焦げ臭、甘い、綿菓子	1981	Heptanoic acid	脂肪、酸っぱい、チーズ、腐敗臭、
甘い、綿菓子、溶剤	1986	δ -Octalactone	甘い、ココナッツ、脂肪、乳製品、 トロピカル、トンカラマメ、ピーチ
綿菓子、甘い、焦げた砂糖	2048	Dihydro-3-hydroxy-4,4-dimethyl- 2(3H)-furanone	官能記述子無し
甘い、黒糖、綿菓子、カラメル	2054	N-Acetyl-DL-valine ethyl ester	化合物登録なし
綿菓子、甘い、カラメル	2092	n-Caprylic acid	汗臭い、コケ臭、脂肪、脂肪酸、 石鹸、チーズ、腐敗臭、フルーティ、フ レッシュ、野菜、油脂、ワックス様
キャラメル、カレー、スパイシー、 芳香剤	2215	δ -Nonalactone	甘い、クマリン、クリーム様、 ココナッツ、ミルク様
キャラメル味のスナック菓子、 ローストナッツ	2219	S-Methyl 3-methylbutanethioate	えぐい、刺激的な、チーズ、トマト、 発酵、マッシュルーム
甘い、フルーティ、古い木、 チョコレート、ユリの花粉、 甘いシチュー、ハチミツ	2582	Benzeneacetic acid	甘い、花粉、キャンディ、酸っぱい、 尿、ハチミツ様、バニラ、バラ、 フローラル、ワックス様
焦げた砂糖、綿菓子	-	不検出	-
焦げ臭、古い木引き出し	-	不検出	-
チョコレート	-	不検出	-
官能的特徴に対するコメント 【硫黄臭】	RI	化合物名	ArochemBase
硫化物様臭、酵母エキス	1338	Methyl 2-hydroxypropanoate	官能記述子無し
コーンスープ	1370	Ethyl 2-hydroxypropanate	エーテル、バター様、 バタースコッチ、フルーティ
薄い醤油、味噌、乾いた匂い、 漬物（酸っぱい古漬け）	1740	Methionol	甘い、硫黄臭、オニオン、肉の様な、 ニンニク、ポテト、野菜（調理）
スープ	2215	δ -Nonalactone	甘い、クマリン、クリーム様、 ココナッツ、ミルク様

上段:におい嗅ぎ分析において、評価者のコメントから判断し「焦げ臭」と分類した成分の一覧

下段:におい嗅ぎ分析において、評価者のコメントから判断し「硫黄臭」と分類した成分の一覧

官能評価の指摘の原因となった成分を、既知のオフフレーバー成分に限定することなく分析する必要があることから、以下の実験に用いる試料のにおい成分の抽出及び濃縮には、捕集剤は用いずにジクロロメタンを用いて行った。

3・2 清酒の「焦げ臭」及び「硫黄臭」の検出

清酒からのにおい成分の抽出液について GC-0 分析を行い、「焦げ臭」及び「硫黄臭」に着目し解析を行った。それぞれのおいを表現する官能コメントは広義に解釈し、「焦げ臭」は、砂糖が焦げたような甘いにおい、ローストナツ

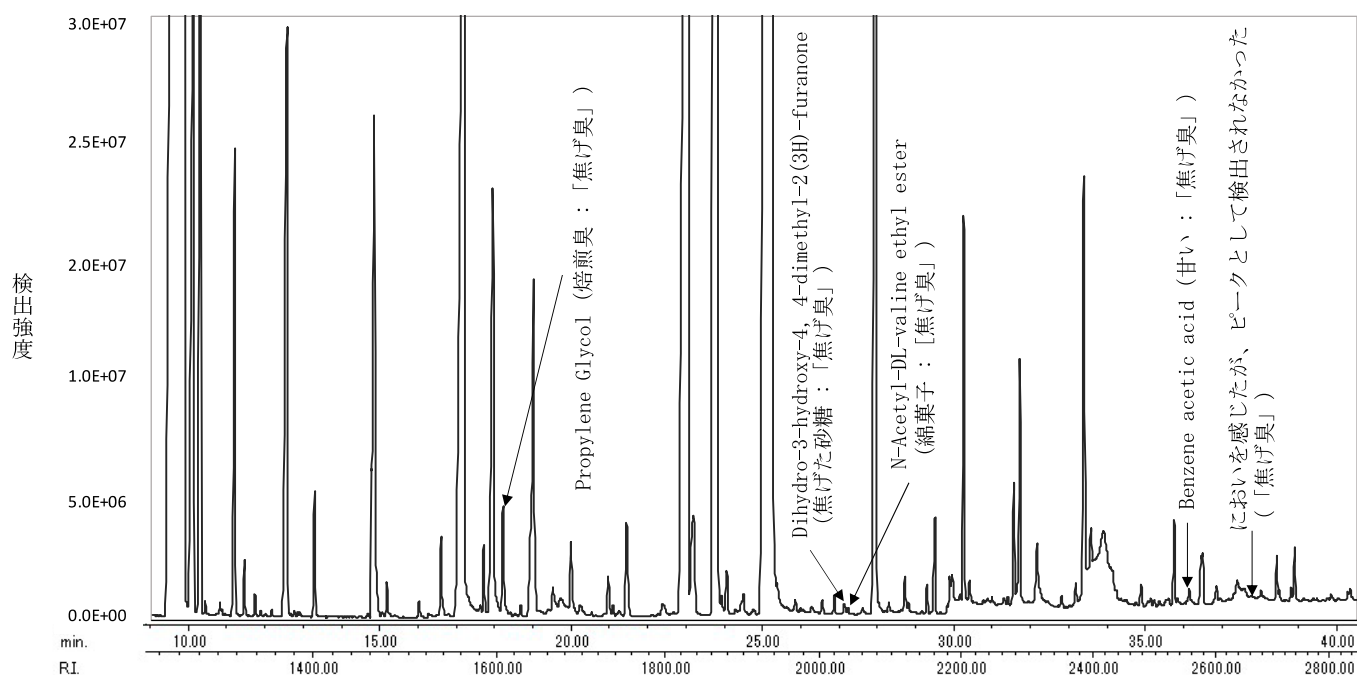


図5 におい嗅ぎクロマトグラムの例(清酒 3)

ツ様の香ばしいにおい及び単純に「甘い」と表現するコメントを採用した。一方、「硫黄臭」は、「酵母エキス」や「漬物」のような硫化物を含むガスの様なイメージを持たせるコメントを採用した。複数の評価者が同じタイミングで「焦げ臭」や「硫黄臭」を感じたピークについてMSで同定し、ライブラリーで照合した。その結果、「焦げ臭」を呈する成分として、いずれの評価者も類似した表現(甘い, 綿菓子, 又は焦げた砂糖)をしていた Dihydro-3-hydroxy-4, 4-dimethyl-2 (3H)-furanone を確認した(表 2, 図 5)。この成分は, 清酒の「甘臭」や「焦げ臭」として知られる Sotolon や Homofuraneol¹⁾にもあるフラン構造を持っている。その他にもカラメル様として感じられた Propylene glycol, 甘い香りとして δ -Octa lactone, 黒糖として N-Acetyl-DL-valine ethyl ester, ハチミツ様として Benzene acetic acid を確認した。また, Benzene acetic acid は, 同じ成分に対する評価者の表現(甘い, フルーティー, 古い木, チョコレート, ユリの花粉, 甘いシチュー, 又はハチミツ)が異なっており, においに対する官能表現に評価者の個性があることを確認した。本研究で確認した「焦げ臭」を呈する成分は, 清酒官能評価における代表的な「焦げ臭」の成分ではないが, 清酒の甘臭や焦げ臭として複合的に評価を下げる要因になり得る成分であると考えられる。次に「硫黄臭」を呈する成分として, Methionol を確認した。Methionol は一般に醤油等に含まれ, 硫黄臭を呈する代表的な成分である。

さらに「焦げ臭」と「硫黄臭」のどちらにも捉えられた成分として, Ethyl 2-hydroxypropanoate 及び δ -Nona lactone が確認された。Ethyl 2-hydroxypropanoate について, ポップコーン, ナッツ様, 及びスナック菓子と表現されたものを「焦げ臭」, コーンスープと表現されたものを「硫

黄臭」として定義した。コーンスープを「硫黄臭」に定義した理由は, 清酒評価において, コーンスープを連想させるにおい成分として「硫黄臭」の標準成分である Dimethyl sulfide が知られている²⁾からである。一方官能記述子では, エーテル, バター様, バタースコッチ, 及びフルーティーと表現されており, 本研究で定義した「焦げ臭」と解釈される内容であった。

次に δ -Nona lactone について, キャラメル, カレー, スパイシー, 及び芳香剤と表現されたものを「焦げ臭」, スープを「硫黄臭」として定義した。一方, 官能記述子は甘い, クマリン, ココナッツ, 及びミルク様であり, 評価者のコメントとは異なる性質のにおいを表現するものであった。このように官能記述子とにおい嗅ぎの評価コメントの性質が異なる成分が確認された理由として, においは感じるがクロマトグラム上にピークとして現れない香りと偶然に別のにおい成分のピークが出るタイミングが重なった可能性が考えられた。実際に, におい嗅ぎでは「焦げ臭」又は「硫黄臭」として感じるが, クロマトグラム上にピークとして現れず, 成分を推定できないものがあった。その原因として, 成分の閾値が低いため官能では確認できても, ピークとして検出できるほど成分が濃縮できていないことが推察された。このような成分については, その成分に適した捕集剤等を使用し, 抽出・濃縮方法を更に検討する必要がある。

今後も継続的に, におい嗅ぎによるオフフレーバー等の解析結果をライブラリーに追加しデータ数を増やすことが, 清酒の品質向上に向けた工程改善の糸口になると考える。

4. 結 言

官能評価と機器分析結果を擦り合わせるができる

GC-0 分析を行い、清酒における「焦げ臭」と「硫黄臭」を呈する成分を推定した。その結果、甘い、綿菓子、又は焦げた砂糖と表現された「焦げ臭」として、Dihydro-3-hydroxy-4, 4-dimethyl-2(3H)-furanone やカラメル様として感じられた Propylene glycol, 甘い香りとして δ -Octalactone, 黒糖として N-Acetyl-DL-valine ethyl ester, ハチミツ様として Benzene acetic acid を確認した。また、「硫黄臭」として、一般に硫黄臭の要因として知られる Methionol を確認した。

一方、におい嗅ぎでは「焦げ臭」又は「硫黄臭」として検出するが、クロマトグラム上にピークとして現れず、成分を推定できないものがあった。このような成分については、冒頭で行ったように捕集剤を使用し、個別に捕集剤による抽出法を検討する必要がある。

本研究で着目した「焦げ臭」及び「硫黄臭」の様に、成分から鑑みたさまざまな官能表現をまとめたライブラリー

を持つことは、感覚を共有する上で重要であると考えられる。官能評価者による多様な(個性や癖)官能表現と成分をライブラリーとして蓄積することにより、オフフレーバーに対する互いの認識を一致させることができる。この認識の一致がオフフレーバー発生原因究明の糸口になると考える。

参考文献

- 1) 磯谷敦子, 横野瑞希, 他: 全国新酒鑑評会出品酒の「甘臭・カラメル様」「焦臭」指摘に関与する成分とその生成要因の解析, 日本醸造協会誌, **117**(9), p.657-667(2022), DOI:<https://doi.org/10.6013/jbrewsocjapan.117.657>.
- 2) 独立行政法人酒類総合研究所, 清酒のにおいとその由来について, <https://www.nrib.go.jp/data/pdf/seikoumisan.pdf>(参照日 2024年3月25日).

Water Splitting in Alkaline Electrolytes at Elevated Temperatures Using Nickel-, Tin-, and Iron-Coated Electrodes

Nobuhiro Nakamura, Maho Yamaguchi and Masaharu Nakayama

ニッケル・スズ・鉄からなる電極を用いた高温アルカリ電解液中での水の電気分解

中邑敦博*・山口真穂*²・中山雅晴*²The Journal of Physical Chemistry C, 128, 14578-14586(2024), DOI:<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.4c02617>.

水の電気分解は、水素製造のための理想的なクリーンプロセスだが、4電子移動を伴うアノードでの酸素発生反応 (Oxygen Evolution Reaction 以下, OER) が、全体の反応効率を制限する。そのため、OER 活性の付与を目的とした電極開発が精力的に行われてきた。しかしながら、これらのほとんどは、室温でのみ評価されており、工業レベルに相当する昇温条件下での知見は限定的であった。本研究では、室温で高い OER 活性を示す Ni-Sn-Fe 電極の温度依存挙動を調べるため、指示温度 (25-50 °C) に保持した水溶液中で電気化学測定を実施した。この時、得られた結果に対し、熱力学と速度論に基づく温度補償を行い、昇温条件における真の OER 特性 (過電圧, 交換電流密度, 電荷移動抵抗) を求めた。交換電流密度を用い、アレニウスプロットを作図し、OER における見かけの活性化エネルギー ($G_{\text{OER}}^{\ddagger}$) を算出した。その結果、Ni-Sn-Fe 電極の $G_{\text{OER}}^{\ddagger}$ は、 12kJmol^{-1} と、これまで報告された電極の中で最も低い値を示し、高効率な OER 反応が進行していることを明らかにした。

* 技術支援部 *² 山口大学大学院創成科学研究科Effect of magnesium on β - α phase transformation of wollastonite

Natsuki Hosoya and Hirotaka Fujimori

ウォラストナイトの相変態に及ぼすマグネシウムの影響

細谷夏樹*・藤森宏高*²Journal of the Ceramic Society of Japan, 133, 145-149(2025), DOI:<https://doi.org/10.2109/jcersj2.25020>.

ウォラストナイトは主に樹脂や塗料・陶磁器製品の添加材として使用されるケイ酸カルシウム (CaSiO_3) であり、近年では骨形成を促進するバイオセラミックスとしても注目されている。このウォラストナイトは 1125°C で低温安定相 (β - CaSiO_3) から高温安定相 (α - CaSiO_3) に相転移することが知られているが、ウォラストナイトにマグネシウム (Mg) が固溶すると相転移温度が高温側にシフトする現象が観測された。そこで本研究では、水熱反応と固相反応を組み合わせ、0-3mol% の Mg を固溶した β - CaSiO_3 を作製し、焼成温度に対する相転移の挙動から Mg がウォラストナイトの相転移に与える影響を定量的に考察した。その結果、Mg を固溶した β - CaSiO_3 は α - CaSiO_3 に相転移する際に Mg を吐出し、この Mg が拡散してまだ相転移していない β - CaSiO_3 に固溶することで β - $\text{Ca}_{1-x}\text{Mg}_x\text{SiO}_3$ として安定化することを明らかにした。これは、焼成温度の上昇に伴って β - CaSiO_3 への Mg の固溶量が増加する β - α 相変態である。

* 技術支援部 *² 山口大学大学院創成科学研究科

Dietary intake of whale oil containing ω -3 long-chain polyunsaturated fatty acids
attenuates choroidal neovascularization in mice

Ryoji Yanai, Genta Yasunaga, Shunya Tsuji, Takeshi Honda, Arihiro Iwata, Eiji Miyagawa,
Koji Yoshida, Mitsuhiro Kishimoto, Hiroki Sakai, Yoshihiro Fujise, Masataka Asagiri and
Yoshinori Mitamura

ω -3 系長鎖多価不飽和脂肪酸を含む鯨油の摂取によるマウスの脈絡膜新生血管の抑制

柳井亮二*, 安永玄太*², 辻 竣也*³, 本田 健*³, 岩田在博*⁴, 宮川英二*⁵, 吉田幸治*⁶, 岸本充弘*⁷,
酒井大樹*², 藤瀬良弘*², 朝霧成拳*³, 三田村佳典*

The FASEB Journal, 39(4), 1-11(2025), DOI:<https://doi.org/10.1096/fj.202402041R>.

加齢黄斑変性 (AMD) は、西洋及び発展途上国で失明の主な原因の一つであり、現在の治療法である抗血管内皮増殖因子 (VEGF) 療法では、疾患の根本的な病態には効果がないことから、新たな治療法の開発が求められている。本研究では、鯨油が AMD モデルマウスにおいて脈絡膜新生血管 (CNV) の発生に与える影響を検討した。鯨油を摂取したマウスでは、レーザー凝固後 7 日目の CNV 面積が、 ω -3 系長鎖多価不飽和脂肪酸 (LCPUFA) を含まない食餌を摂取したマウスと比べて有意に小さかった。また、鯨油摂取群では、血漿中の ω -3 LCPUFA 濃度が増加し、 ω -6LCPUFA 濃度が減少していた。さらに、網膜及び脈絡膜における炎症性サイトカインやケモカインの濃度、そして VEGF の発現量にも差が見られた。特に、網膜における VEGF 濃度の低下が、鯨油による CNV 抑制効果に寄与している可能性が示唆された。

* 徳島大学大学院医歯薬学研究部 *2 一般財団法人日本鯨類研究所 *3 山口大学大学院医学系研究科 *4 技術支援部
*5 プロジェクト推進部 *6 株式会社吉田総合テクノ *7 下関市立大学経済学部

山口県産業技術センター研究報告／第37号

編集・発行 (地独) 山口県産業技術センター
宇部市あすとぴあ四丁目1-1
TEL(0836)53-5050
FAX(0836)53-5070
令和7年11月30日発行
<https://www.iti-yamaguchi.or.jp/>
