

# 群馬県立産業技術センター 研究報告

令和4年度

Reports of

Gunma Industrial Technology Center

2022

群馬県立産業技術センター

## 目 次

### 試験分析高度化研究

キャリアガスに窒素を用いた GC/MS 分析による微量成分定量方法の検討 . . . . .	1
瀬賀悟史、恩田紘樹、川上亮英	
味覚センサーを活用した「群馬の酒」を連想させる味の言語化 . . . . .	7
渡部貴志、山田徹郎、柳澤昌臣、櫛田麻希、 石田一成	
プロトタイピング IoT 環境の構築 . . . . .	13
青柳大志、高橋慶行、小和瀬登	
製造プロセスにおける予知保全 . . . . .	17
新井宏章、青柳大志、狩野幹大	
群馬県産ぶどう果実より単離した酵母の発酵食品への利用 . . . . .	21
渡部貴志、柳澤昌臣、大和あゆみ	
高温地域における杜仲栽培並びに杜仲葉含有新規食材の開発 . . . . .	27
田島 創、吉野 功、瀬賀悟史、山田徹郎	
はんだ付部分における評価手法の確立 . . . . .	32
林 和、矢澤 歩、青柳大志	
管巻機（くだまきき）の長寿命化及び再生にかかる検証 . . . . .	36
小林興尚、中村哲也、小宅智史、齋藤 宏、 齋藤裕文	
味覚センサーを利用した「旨味」の「みえる化」 . . . . .	41
山田徹郎、大和あゆみ、川上亮英	
ローコード開発による簡易遠隔監視装置の構築 . . . . .	47
石黒 聡、遠藤庸弘、小和瀬登、町田晃平、 黒岩広樹、水沼一英、齋藤裕文、清水弘幸	

### 次世代産業創出研究

製造業におけるメタバース活用の基礎検討 . . . . .	52
三ツ木寛尚、小和瀬登、町田晃平、鏑木哲志、 荻野直彦、小島孔明	

## その他研究

- 発酵力の強い群馬G 1 酵母の泡無し化と高品質清酒の製造 . . . . . 5 6  
渡部貴志、吉野 功
- 群馬 KAZE 酵母のカナバニン感受性が抑えられている原因調査 . . . . . 6 2  
渡部貴志、田島 創

# 試験分析高度化研究

# キャリアガスに窒素を用いた GC/MS 分析による

## 微量成分定量方法の検討

瀬賀悟史・恩田紘樹・川上亮英\*

The preliminary attempt to quantifying trace components by GC/MS analysis  
using nitrogen as carrier gas

SEGA Satoshi, ONDA Kouki, KAWAKAMI Ryouei

群馬県立群馬産業技術センターに設置のガスクロマトグラフ質量分析装置(以下、GC/MS)において、微量成分定量分析における代表的な物質であるジェオスミン(以下、Geosmin)と2-メチルイソボルネオール(以下、2-MIB)を例にとり、キャリアガスに窒素を用いて定量分析を試みた。その結果、固相マイクロ抽出(以下、SPME)-GC/MSでヘッドスペース(以下、HS)-GC/MSよりも多くの成分をGC/MSに導入できた。さらにSPME-GC/MSによるGeosmin及び2-MIBの検出限界値は共に11 pptであったことから、110 ppt以上のGeosmin及び2-MIBであれば定量分析できることが示唆された。以上のことから、他の揮発性有機化合物についても同様の条件で定量分析できると推測された。

キーワード: ガスクロマトグラフ質量分析、キャリアガス、窒素、ジェオスミン、2-メチルイソボルネオール

The quantitative analysis of representative trace components such as geosmin and 2-methylisoborneol (2-MIB) was attempted by gas chromatograph mass spectrometer (GC/MS) using nitrogen as carrier gas in Gunma industrial technology center. As a result, larger amount of these components could be provided to solid-phase microextraction (SPME)-GC/MS compared with head-space (HS)-GC/MS. In addition, considering the detection limits of geosmin and 2-MIB were both 11 ppt in SPME-GC/MS analysis, it was suggested that these components could be quantified at more than 110 ppt level. From these results, it was assumed that other volatile organic components could be also quantified by similar analytical method.

Keywords: gas chromatograph mass spectrometry, carrier gas, nitrogen, geosmin, 2-methylisoborneol

### 1 まえがき

GC/MSは主として揮発性有機化合物の定性・定量に用いられる。GC/MSのキャリアガスとしては、不活性で、分析可能な線速度範囲が広いヘリウムが最も汎用的に用いられてきたが、昨今の世界的なヘリウムの供給不足により入手が困難な状況であり、今後も安定供給の見通しが立っていない。このため、

ヘリウム以外の不活性ガスをキャリアガスとして用いた分析条件の確立が急務となっているが、キャリアガスを変更した場合、分析対象物の検出感度が変化するため、特に微量成分の分析では検出限界値を把握する必要がある。

そこで本研究では、水道水のかび臭原因物質であり<sup>1、2)</sup>、水道法に基づく水質基準値<sup>3)</sup>が0.00001 mg/L (10 ppt)と極めて微量であるGeosminと2-MIBを例に、当センター保有のGC/MSにより窒素をキャリアガスとして分析

を試み、さらにこれらの分析対象物について検出限界値及び定量下限値を算出したので報告する。

## 2 実験方法

### 2.1 試薬

Geosmin 及び 2-MIB の標準試料としてかび臭物質 2 種混合標準液 (各 0.1 mg / L) JCSS 化学分析用 (水質試験用) (関東化学株式会社) を用いた。内部標準物質として 2,4,6-トリクロロアニソール-d3 (以下、TCA) 標準液 (1 mg / mL メタノール溶液) (水質試験用) (富士フイルム和光純薬株式会社) を用いた。

### 2.2 機器

ガスクロマトグラフ四重極型質量分析計の 7890B GC / 5977A MSD (アジレント・テクノロジー株式会社製) を使用し、GC カラムは DB-5HT (30 m × 0.250 mm, 0.10 µm) (アジレント・テクノロジー株式会社製) を使用した。また、オートサンプラーは Multi-Purpose Sampler MPS (GERSTEL 製) を使用した。GC 注入口には Cooled Injection System (以下、CIS) 及び Thermal Desorption Unit (以下、TDU) (いずれも GERSTEL 製) を接続した。CIS ガラスライナーは Tenax TA™ (GERSTEL 製) (以下、トラップ) を用いた。SPME ファイバーは 50/30µm StableFlex DVB/Carboxen/PDMS (GERSTEL 製) を用いた。CIS は液体窒素を用いて温度制御することで試料成分を捕集・吸着した。キャリアガスには純度 99.99995 % 以上の高純度窒素を用いた。

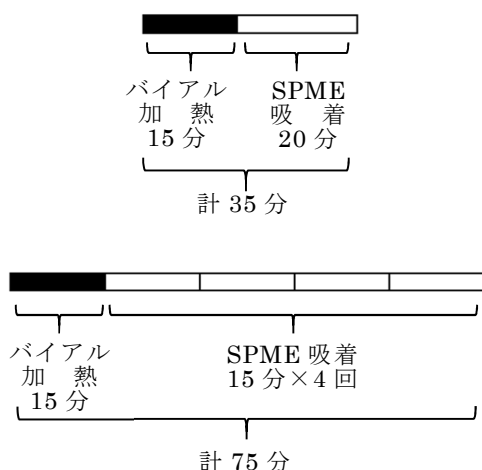
### 2.3 HS-GC/MS 分析

バイアルに Geosmin、2-MIB 及び TCA の濃度を 1000 ppt に調製した水溶液 10 mL を充填し、塩化ナトリウム 4.5 g を添加した。このバイアルを 80 °C で 20 分間加熱した後、ヘッドスペース部分のガスをサンプリングし、GC 注入口へ導入した。GC の試料注入法はプログラマブル温度気化 (以下、PTV) 注入 (スプリット比 1:40)、一回当たりの注入量は 2500 mL とした。CIS 温度 (以下、トラ

ップ温度) を検討する場合は、トラップ温度域を -50 から 100 °C、注入回数は 1 回とした。注入回数を検討する場合は、トラップ温度を 60 °C とした。CIS にセットしたトラップに捕集・濃縮された試料を脱離する際には、トラップ温度の設定温度から 300 °C まで 12 °C / sec で昇温させた。オープン温度は 40 °C で 2 分間保持した後、5 °C / min で 150 °C まで昇温させ、さらに 20 °C / min で 280 °C まで昇温させた後、280 °C で 5 分間保持した。質量分析は Selected Ion Monitoring (以下、SIM) 測定で行い、選択イオンは Geosmin で 111、112 及び 125、2-MIB で 95、107 及び 108、TCA で 195、213 及び 215 とした。

### 2.4 SPME-GC/MS 分析

トラップ温度を検討する場合は、まず、バイアルに Geosmin、2-MIB 及び TCA の濃度を 50 ppt に調製した水溶液 10 mL を充填し、塩化ナトリウム 4.5 g を添加してバイアルを 80 °C で 15 分間加熱した後、試料成分を SPME ファイバーに 20 分間暴露させて吸着させた。これを GC 注入口に設置の 250 °C に加熱してある TDU に挿入して試料成分を一旦脱着させた後、TDU 直下の CIS → PTV 注入 (スプリット比 1:40) により注入し、CIS にセットしたトラップで試料成分を再び捕集・濃縮させた。このとき、トラップ温度は 0 から 50 °C の温度域で検討した。トラップされた試料は、トラップ温度を設定温度から 300 °C まで 12 °C / sec で昇温させて脱離させ、GC/MS へ導入した。注入回数を検討する場合は、まず、バイアルに Geosmin 及び 2-MIB の濃度を 40 ppt、TCA の濃度を 50 ppt に調製した水溶液 10 mL を充填し、塩化ナトリウム 4.5 g を添加した。注入回数 1 回のときは、図 1 に示すようにバイアルを 80 °C で 15 分間加熱した後、試料成分を SPME ファイバーに 20 分間暴露させて吸着させ、これを GC 注入口に設置の 250 °C に加熱してある TDU に挿入して試料成分を一旦脱着させた後、TDU 直下の CIS → PTV 注入 (スプリット比 1:40) により注入した。トラップ温度 40 °C で試料成分を再び捕集・濃縮させた後、トラップ温度を 40 から 300 °C まで 12 °C / sec で昇温させて試料成分を脱離させ、GC/MS へ導入した。注入回数 4 回のときは、図 1 に示すよう



(※SPME 吸着中もバイアルは加熱保持)

図1 SPME-GC/MSにおける  
試料の吸脱着条件

にバイアルを 80 °C で 15 分間加熱した後、試料成分を SPME ファイバーに 15 分間暴露させて吸着させ、これを GC 注入口に設置の 250 °C に加熱してある TDU に挿入して試料成分を一旦脱着させた後、TDU 直下の CIS へ PTV 注入 (スプリット比 1:40) により注入し、トラップ温度 40 °C で試料成分を捕集・濃縮させた。これを 4 回繰り返して試料成分の捕集・濃縮を繰り返した後、トラップ温度を 40 から 250°C まで 12 °C/sec で昇温させて試料成分を脱離させ、GC/MS へ導入した。オープン温度は 40 °C で 2 分間保持した後、5 °C/min で 150 °C まで昇温させ、さらに 20 °C/min で 280 °C まで昇温させた後、280 °C で 5 分間保持した。質量分析は SIM 測定で行い、選択イオンは Geosmin で 111、112 及び 125、2-MIB で 95、107 及び 108、TCA で 195、213 及び 215 とした。

## 2.5 検出限界値の算出

Geosmin 及び 2-MIB の濃度が 12、16、20、24、28、32、36 及び 40 ppt、内部標準物質 TCA の濃度が 100 ppt の混合水溶液をそれぞれ調製し、これを SPME-GC/MS で測定した。質量分析は SIM 測定で行い、選択イオンは Geosmin で 111、112 及び 125、2-MIB で 95、107 及び 108、TCA で 195、213 及び 215 とした。Geosmin 及び 2-MIB の各濃度の分析結果について、x 軸を Geosmin 又は 2-MIB の濃度、y 軸を Geosmin 又は 2-MIB の各選

択イオンのマスクロマトグラムピーク面積を内部標準物質 TCA の選択イオン 215 のマスクロマトグラムピーク面積で除した相対強度としてプロットし、回帰直線を求め、その傾き  $a$  とブランクにおける相対強度の標準偏差  $\sigma$  から、式 1 により検出限界値  $D$  (ppt) を算出した<sup>4)</sup>。なお、 $t$  は測定回数により決まる値である<sup>5)</sup>。

$$D = \frac{t \cdot \sigma}{a} \quad \text{式 1}$$

## 3 結果と考察

### 3.1 分析条件の検討

分析法は当センターの分析機器で実施可能な方法である HS-GC/MS 及び SPME-GC/MS を採用し、水道法に基づく告示法<sup>6)</sup>を参考にし、感度よく分析できる条件を検討した。

#### 3.1.1 HS-GC/MS 分析条件の検討

分析対象試料の検出感度を高める方法の一つとして GC/MS への試料導入量を増やすことが挙げられる。そこで、トラップ温度を試料の沸点以下の温度に保持した状態で、複数回ヘッドスペースガスを注入してトラップに試料を濃縮すれば試料導入量を増やすことができると考えられた。以上をふまえ、まずは Geosmin 及び 2-MIB のトラップ温度について検討することにした。トラップ温度を -50 から 100 °C の範囲で設定し、各温度において § 2.3 に記載の方法で Geosmin 及び 2-MIB を分析して得られた SIM 測定のマスクロマトグラムにおける選択イオンの総ピーク面積 (以下、検出強度) をプロットした結果を図 2 に示す。ただし、-50 から 0 °C の温度域における分析 (以下、分析①) 及び 0 から 100 °C の温度域における分析 (以下、分析②) は異なる日に実施したため、分析①と分析②のそれぞれの 0 °C における分析結果から検出強度の比を求めて補正係数とし、これを分析①の分析結果に乗じて補正している。Geosmin は -50 から 90 °C までは検出強度に大きな変動が見られなかったが、それ以上の温度で低下がみられた。また、2-MIB では -50 から 70 °C までは検出強度にあまり変動が見られなかったが、それ以上の温度では低下し

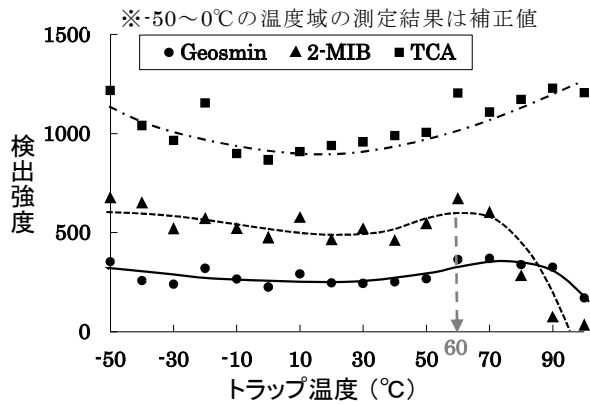


図2 検出強度とトラップ温度の相関 (HS-GC/MS)

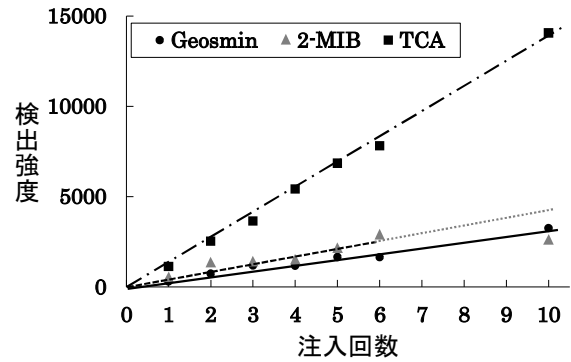


図3 検出強度と注入回数の相関 (HS-GC/MS)

た。一方、TCAについては-50 から 100 °C の範囲で検出強度の低下は見られなかった。このように Geosmin 及び 2-MIB ではそれぞれ 90 °C 及び 70 °C 以上の温度域でトラップによる捕集・濃縮が困難になると考えられたため、トラップ温度は 2-MIB の検出強度が低下する前の 60 °C とした。次に、検出感度上昇のための試料ヘッドスペースガスの複数回注入についての検討を行った。§ 2. 3 に記載の方法で Geosmin、2-MIB 及び TCA を 1~6 及び 10 回注入して分析を行ったところ、図 3 に示すように Geosmin 及び TCA では試料注入回数に比例して検出強度が大きくなったのに対し、2-MIB では注入回数が 5 回以下では注入回数に比例して検出強度が大きくなったが、それ以上では検出強度に大きな変化が見られなかった。この理由については現時点では不明であるが、トラップへの吸着量が飽和した可能性等が考えられる。以上の結果から、本研究で用いた試料を HS-GC/MS により分析する場合、適切な試料注入回数は 5 回とした。

### 3. 1. 2 SPME-GC/MS 分析条件の検討

HS-GC/MS と同様に SPME-GC/MS においても、§ 2. 4 に記載の方法で、まずはトラップ温度について検討することとした。なお、§ 3. 1. 1 におけるトラップ温度の検討では、0 °C 以下では Geosmin、2-MIB 及び TCA の検出強度のばらつきが 0 から 50 °C の範囲のばらつきよりもいずれも大きいこと、また、50 °C よりも高い温度域では特に 2-MIB で検出強度の急激な低下が起こると

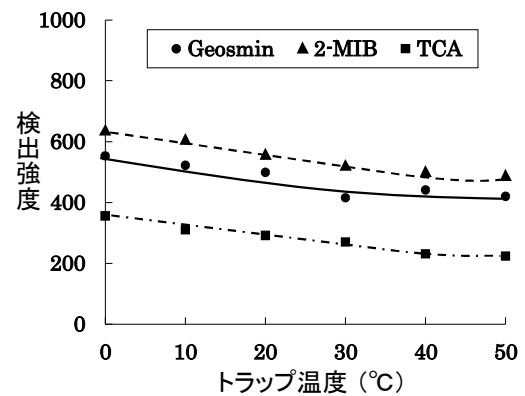


図4 検出強度とトラップ温度の相関 (SPME-GC/MS)

推測されることから、トラップ温度範囲は 0 から 50 °C とした。その結果、図 4 に示すように Geosmin、2-MIB 及び TCA のそれぞれの検出強度は、40 °C より低い温度域ではいずれも緩やかに低下したが、40 °C 以上で検出強度の変動が小さくなった。このことから、SPME-GC/MS の場合、分析に適したトラップ温度は 40 °C と考えられた。次に、§ 2. 4 に記載の方法で Geosmin、2-MIB 及び TCA を SPME に吸着させて、GC/MS に注入する回数が 1 回の場合と 4 回の場合における検出強度の比較を行った。その結果、図 5 に示すように Geosmin、2-MIB 及び TCA の注入回数 1 回の際の検出強度と比較して注入回数 4 回の際の検出強度は、それぞれ 2.3 倍、3.3 倍及び 1.3 倍となり、いずれの試料も注入回数 4 回の際の検出強度は注入回数 1 回の際の 4 倍より小さい値を示し、特に TCA では検出強度に大きな違いがみられなかった。この理由についても現時点では不明であるが、SPME ファイバーに 2 回目以降



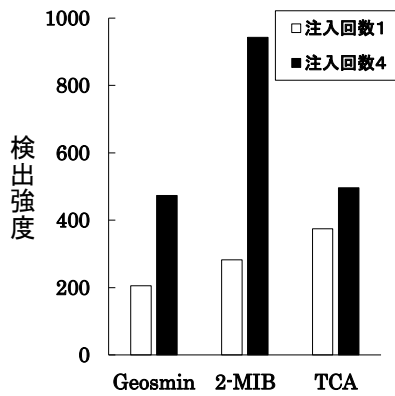


図5 注入回数と検出強度の比較 (SPME-GC/MS)

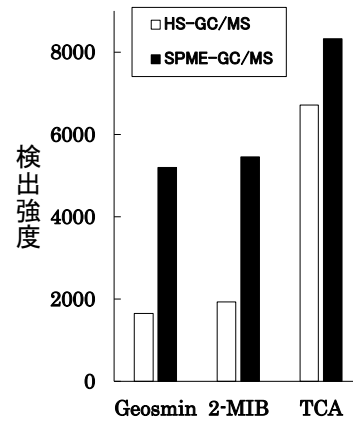


図6 HS-GC/MSとSPME-GC/MSの検出強度比較

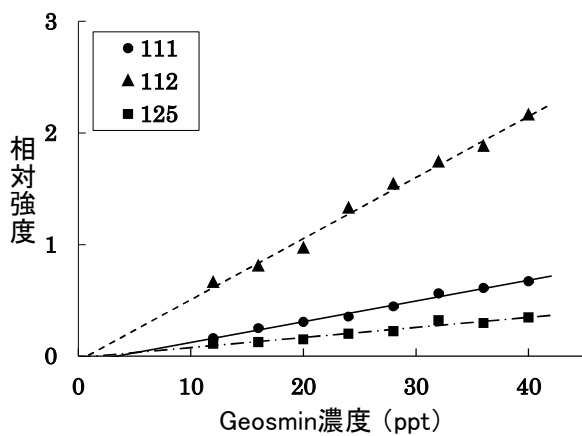


図7 Geosminの回帰直線

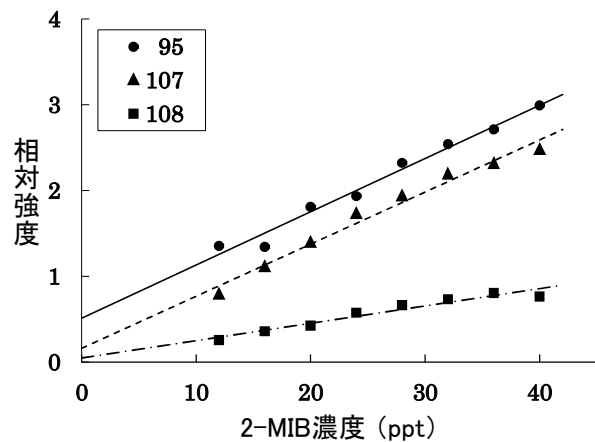


図8 2-MIBの回帰直線

吸着させる際、ヘッドスペースに Geosmin や TCA が十分量揮発していなかった可能性等が考えられる。以上の結果から、本研究における SPME-GC/MS では、分析に適する注入回数を 4 回としたが、今後さらなる調査が必要であると考えられる。

### 3. 2 HS-GC/MSとSPME-GC/MSの比較

本研究で決定した HS-GC/MS 及び SPME-GC/MS におけるトラップ温度及び試料注入回数を基にして、Geosmin、2-MIB 及び TCA の濃度 1000 ppt の水溶液（試料量 10 mL、塩析 NaCl 3.5 ~ 4.5 g）について、HS-GC/MS 及び SPME-GC/MS により分析したところ、図 6 に示すように SPME-GC/MS の方が高い検出強度を示した。このことから、本研究の分析対象試料の低濃度定量分析については、HS-GC/MS よりも SPME-GC/MS の方が適していることがわかった。

### 3. 3 SPME-GC/MS による検出限界値及び定量下限値の検討

§ 2. 5 に記載の方法で、種々の濃度の Geosmin 及び 2-MIB について SPME-GC/MS により分析を行い、回帰直線を作成した。Geosmin 及び 2-MIB の回帰直線を図 7 及び図 8 に示す。Geosmin の選択イオン 111、112 及び 125 の回帰直線の傾きは、それぞれ  $1.85 \times 10^{-2}$ 、 $5.47 \times 10^{-2}$  及び  $9.00 \times 10^{-3}$  であり、ブランクにおける相対強度の標準偏差はそれぞれ  $2.11 \times 10^{-2}$ 、 $2.11 \times 10^{-2}$  及び  $2.47 \times 10^{-2}$  であった。また、2-MIB の選択イオン 95、107 及び 108 の回帰直線の傾きは、それぞれ  $6.22 \times 10^{-2}$ 、 $6.07 \times 10^{-2}$  及び  $2.02 \times 10^{-2}$  であり、ブランクにおける相対強度の標準偏差はそれぞれ  $9.85 \times 10^{-2}$ 、 $9.67 \times 10^{-2}$  及び  $5.65 \times 10^{-2}$  であった。式 1 において測定回数 8 回のときの t 値は 3.79<sup>5)</sup> であることから、検出限界値を算出すると Geosmin の選択イオン 111、112 及び 125 ではそれぞれ 5 ppt、5 ppt 及び 11 ppt であり、2-MIB の選択イオン 95、107 及び 108 ではそれぞれ 7 ppt、7 ppt 及び 11 ppt であった。定

量下限値はおおむね検出限界値の 10 倍が妥当とされている<sup>5)</sup>ことから、Geosmin 及び 2-MIB の SIM 測定で最も検出限界値の高かった選択イオンである 125 及び 108 を基準に考慮すると、その定量下限値は、共に 110 ppt であると考えられた。したがって、他の揮発性有機化合物の定量分析においても、100 ppt オーダー以上の分析であれば、利用できると推測された。

#### 4 まとめ

・SPME-GC/MS では、HS-GC/MS に比較して、より多くの試料を GC/MS に導入できると考えられた。

・キャリアガスに窒素を用いた GC/MS 分析において水溶液中の濃度が 110 ppt 以上の Geosmin 及び 2-MIB を定量できると考えられた。

・本研究の分析条件により、他の揮発性有機化合物も 100 ppt オーダー以上の定量分析が可能であると推測された。

#### 文 献

- 1) 眞柄泰基ほか：水道水質辞典増補版，日本水道新聞社，p. 62-63 (2005)
- 2) 菊池徹：分析化学，Vol. 22, No.11, 1530-1538, (1973)
- 3) 水質基準に関する省令（平成 15 年厚生労働省告示第 101 号）
- 4) 杉江謙一ほか：マイクロシリンジ試料導入法を用いた Direct Analysis in Real Time (DART)-TOF-MS による  $\alpha$ -PVP 含有危険ドラッグ分析における定量法の検討、分析化学，Vol. 65, No.8, pp. 439-446 (2016)
- 5) ガスクロマトグラフィー質量分析通則 JIS K 0123、日本規格協会，§12.6 (2018)
- 6) 水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法（平成 15 年厚生労働省告示第 261 号）

# 味覚センサーを活用した「群馬の酒」を連想させる味の言語化

渡部貴志・山田徹郎・柳澤昌臣\*・櫛田麻希\*・石田一成\*

Investigation of tasting image of “Gunma’s liquor” using a taste sensing system  
WATANABE Takashi, YAMADA Tetsuro, YANAGISAWA Masaomi  
KUSHIDA Maki and ISHIDA Kazushige

本研究では、群馬の酒の味の特徴を評価するデータを蓄積するため、日本酒とビール・発泡酒の官能評価と成分分析、味覚センサーの分析を行った。日本酒は、純米酒系を対象に群馬県内酒は20点、県外酒は32点を集めた。群馬県内の日本酒は、辛口で香りが控えめ、苦味雑味が特徴であることが分かった。ビール、発泡酒では群馬県内酒は12点、県外酒は4点を集めた。ビール、発泡酒は、酸味、苦味雑味、渋味刺激、塩味、苦味、渋味で分析値の差があり、特徴となっていることが分かった。

キーワード：群馬の酒、味覚センサー、分析

In order to accumulate data for evaluation tasting of Gunma’s liquor, we collected Japanese sakes, beers, and low-malt beers for sensory test, component analysis, and estimation by a taste sensing system. We collected 20 of Junmai sakes group produced in Gunma prefecture and 32 of them in other regions. It revealed that Japanese sakes of Gunma were dry, low *ginjyo* aroma and rich body. We also collected 12 of beer groups produced in Gunma prefecture and 4 of them in other regions. It revealed that beer groups varied the analysis value of acidic taste, rich body, astringent stimulation, salty, bitter, astringency.

Keywords: Gunma’s liquor, a taste sensing system, analysis

## 1 はじめに

政府のクールジャパン輸出戦略や、日本産酒類輸出促進コンソーシアムなどの取り組みも功を奏し、2021年の日本産酒類輸出量は1,147億円、10年前の約5倍に達している。この変化の中で、日本酒は安価な大量生産の普通酒から、酒造会社が品質にこだわった吟醸酒・純米酒系の高級酒に消費者ニーズが変化し、ビール類も各地に個性のあるクラフトビール会社が増えている。また、ワインについても、日本国内で栽培されたぶどうを100%使用して日本国内で醸造されたものを「日本ワイン」と定義されるなど、盛り上がりを見せている。

食品化学開発係

\*食品・バイオ係

群馬県内においても、酒造会社の数は新規免許の交付がされないため、増えていないものの、製造割合は普通酒・本醸造酒が減少し、吟醸酒・純米酒系が増えている。また、クラフトビール会社については、ここ数年の新規参入により、13社まで増えている。しかしながら、多くの種類の商品が出れば出るほど、消費者に選択される機会は少なくなってくる。そこで、「群馬の酒」を連想する味の特徴を説明する、言語化することができれば、消費者が購入する判断材料になると考えられる。

味覚センサーは、食品・飲料・調味料などの呈味を種類（酸味・塩味・苦味・渋味・旨味・甘味）毎に数値化し、他のものと比較することができる装置である。令和元年度では<sup>1)</sup>、普通酒と本醸造酒を主体とし

た日本酒について、官能評価と成分分析値と味覚センサー分析値との相関性を調べた。その結果、各酒造会社の定番商品の特徴を視覚的に表すことができた。

そこで本研究では、群馬の酒の味の特徴を評価するデータの蓄積を目的とし、日本酒は純米酒系を対象として官能評価と各種成分分析を行った。また、クラフトビールについても調査を実施した。

## 2 実験材料と方法

### 2.1 調査対象酒の選定

群馬県内の日本酒については、一社一銘柄とし、20点を購入した。また、県外の日本酒については、東京都内の日本酒専門店に並べられている知名度の高いものを対象とし、32点を購入した。

群馬県卸酒販（株）で購入できる群馬県内外ビールまたは発泡酒を対象に購入した。群馬県内の企業については、ビールまたは発泡酒を提供して頂き、二銘柄を対象としている企業もある。このため、群馬県内が12点、県外は4点を対象とした。

### 2.2 官能評価

日本酒については、群馬県酒造組合技術委員会に協力して頂き、令和4年6月6日に市販酒研究会を実施した。官能評価は、関東信越国税局鑑定官、群馬県酒造組合技術委員、センター職員の8名により、プロファイル方式の審査用紙を用いて行った。品温は、約15℃となるように保冷し、酒を利き猪口に注いだ。利き猪口からスポイトでプラカップに採取して利き酒した。

ビールおよび発泡酒については、令和4年12月12日に市販酒研究会を実施した。官能評価は、国税庁鑑定企画官付酒類国際技術情報分析官、関東信越国税局鑑定官、センター職員の5名により、プロファイル方式の審査用紙を用いて実施した。品温は、約4℃ととなるように保冷し、瓶から直接プラカップに採取して利き酒した。

### 2.3 成分分析

酸度、アミノ酸度、着色度の分析は、国税庁所定分析法によった。着色度は波長430 nmの吸光度を1,000倍して表示した。日本酒度または比重（15/4）は、振動式密

度計DA-155（京都電子（株）製）を用いて測定した。アルコール分は、アルコメイトAL-3（理研計器（株）製）を用いて測定した。香気成分（酢酸エチル、酢酸イソアミル、イソアミルアルコール、カプロン酸エチル）は、ヘッドスペースガスクロマトグラフで分析した。E/A比は、酢酸イソアミルの値を酢酸エチルの値で除した値に100を掛けて算出した。糖類（グルコース、マルトース）は、高速液体クロマトグラフ、示差屈折率検出器を用い、分析を行った。

pHおよびBrixはそれぞれ、pH計と糖度計を用いて分析した。ガス圧（kgf/cm<sup>3</sup>）は、ガス圧測定器を用いて分析した。アミノ酸は、OPA(o-phthalaldehyde)ポストカラム誘導体化-蛍光検出法により分析した。17種類のアミノ酸であるアスパラギン酸（Asp）、スレオニン（Thr）、セリン（Ser）、グルタミン酸（Glu）、プロリン（Pro）、グリシン（Gly）、アラニン（Ala）、システイン（Cys<sub>2</sub>）、バリン（Val）、メチオニン（Met）、イソロイシン（Ile）、ロイシン（Leu）、チロシン（Tyr）、フェニルアラニン（Phe）、ヒスチジン（His）、リジン（Lys）、アルギニン（Arg）とその合計値を測定した。

### 2.4 味覚センサーによる分析

日本酒は、室温24℃に戻した後分析に供した。ビールおよび発泡酒は、ガラス容器に移して炭酸ガスを抜き、室温に戻した後分析に供した。味覚センサーは、味認識装置TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー（株）製）を用いた。センサーは、酸味・塩味・苦味・渋味・旨味・甘味の6種類を用い、分析した。なお、苦味、渋味、旨味センサーでは、先味（苦味・旨味・渋味刺激・旨味）と後味（苦味・渋味・旨味コク）の評価を行った。

## 3 結果と考察

### 3.1 日本酒の官能評価結果

審査結果は、総合酒質、色の濃淡、香りの高低、味の濃淡、味の甘辛、熟度についての評価の巾と平均値を県内外酒別で表1に示した。総合酒質は、県内酒の平均値が2.96、県外酒の平均値が2.54と県外酒の方

が評価が良かった。色の濃淡は、県内酒の平均が0.31、県外酒の平均が0.02と県内酒の方が濃い傾向だった。香りの高低は、県内酒の平均値が-0.13、県外酒が0.31と県外酒の方が高い傾向だった。味の濃淡は、県外酒の平均値が-0.11、県外酒が0.19と県内酒の方が淡麗の傾向だった。味の甘辛は、県内酒の平均値が0.07、県外酒が0.42と県内酒の方が辛口の傾向だった。熟度は、県内酒の平均値が0.17、県外酒が-0.17と県内酒の方がやや熟した傾向であった。

その他の特徴と指摘事項では、色沢の点で混濁が指摘されたものは、おりがらみのものであった（data not shown）。香りの点では老香、生老香が多く指摘された。火入れ酒で生老香が指摘されたものはなかった。味の点では酸味を指摘された試料がいくつか見られた。官能評価では、酢酸イソアミル、カプロン酸エチルともに県外酒

の方が多く評価されていた。

### 3. 2 日本酒の味覚センサーの分析結果

味覚センサーの分析結果は、酸味、苦味、雑味、渋味刺激、旨味、塩味、苦味、渋味、旨味コク、甘味についての評価の最小値と最大値、平均値を県内外酒別で表2に示した。県内酒は県外酒に比べ、酸味が低く、苦味雑味、渋味刺激、塩味が高いという結果であった。

### 3. 3 日本酒の一般成分、香気成分、糖分の分析結果

一般成分、香気成分、糖分の分析結果の平均値を県内外酒別で表3に示した。県内酒は県外酒に比べ、日本酒度が高く、酸度、グルコースが低めであり辛口の傾向であることが示され、官能評価の結果と同じ傾向であった。また、酢酸イソアミル、カプロン酸エチルともに低めであり、吟醸

表 1 群馬県内外日本酒別の官能検査結果

	県内酒			県外酒		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均
総合評価	1.63	3.88	2.96	1.50	3.75	2.54
色沢濃淡	-1.38	2.00	0.31	-0.88	1.88	0.02
香り高低	-0.88	0.88	-0.13	-0.50	1.38	0.31
味濃淡	-1.25	1.00	-0.11	-0.75	1.00	0.19
味甘辛	-1.25	1.13	0.07	-0.63	1.25	0.42
味熟度	-0.75	1.25	0.17	-0.75	1.25	-0.17

表 2 群馬県内外日本酒別の味覚センサー分析結果

	県内酒			県外酒		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均
酸味	-4.58	3.32	-0.20	-4.76	8.87	0.26
苦味雑味	-2.35	2.28	0.45	-1.47	1.83	-0.26
渋味刺激	-0.52	1.84	0.36	-0.65	1.14	-0.21
旨味	-1.66	1.15	-0.04	-2.88	1.81	-0.01
塩味	-1.64	2.21	0.35	-2.05	1.84	-0.17
苦味	-0.72	0.15	-0.02	-0.11	0.12	0.01
渋味	-0.21	0.35	0.06	-0.20	0.23	-0.04
旨味コク	-0.20	0.43	0.02	-0.40	0.33	-0.01
甘味	-2.23	1.73	0.02	-1.94	2.68	-0.05

表3 群馬県内外日本酒別の一般成分、香気成分、糖分の分析結果

	県内酒			県外酒		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均
日本酒度	-5.7	8.7	1.4	-12.7	8.7	-0.1
アルコール分	15.0	19.5	16.3	15.1	18.6	16.5
酸度	1.3	2.4	1.8	1.3	4.3	1.9
アミノ酸度	0.8	1.7	1.2	0.5	2.2	1.3
着色度	11.5	78.7	34.4	21.1	105.8	32.5
イソアミルアルコール	139.3	254.7	175.1	133.9	280.3	171.2
酢酸イソアミル	0.9	3.6	1.8	1.1	4.7	2.2
カプロン酸エチル	0.6	9.4	3.5	0.6	16.5	4.5
酢酸エチル	32.4	91.7	50.2	33.0	90.3	57.2
イソブチルアルコール	44.3	85.2	58.1	31.1	91.9	53.6
E/A	0.5	1.7	1.0	0.5	2.7	1.3
グルコース	1.0	4.4	2.6	1.0	4.8	2.8
マルトース	0.2	1.3	0.6	0.1	1.6	0.6

表4 群馬県内外日本酒別のアミノ酸分析の結果

	県内酒			県外酒		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均
Asp	28.0	92.1	52.6	16.9	132.1	57.0
Thr	34.6	104.0	68.7	29.0	176.2	76.6
Ser	26.6	67.2	46.7	18.5	104.9	49.9
Glu	95.2	192.6	138.6	87.3	292.5	160.7
Pro	83.4	177.6	121.5	67.3	157.7	121.5
Gly	73.0	135.2	99.7	55.0	150.8	99.4
Ala	120.6	300.3	175.3	81.1	602.1	186.3
(Cys)2	0.0	47.2	19.3	0.0	97.9	21.7
Val	39.4	120.5	72.3	21.5	155.1	73.2
Met	0.0	13.6	4.5	0.0	31.0	6.8
Ile	24.0	72.3	42.2	12.9	100.6	43.3
Leu	66.2	165.8	104.8	34.1	244.7	108.7
Tyr	42.0	145.3	80.8	27.6	184.2	82.8
Phe	38.6	104.1	65.2	27.6	151.3	70.3
His	40.4	90.6	67.2	36.4	112.6	69.2
Lys	11.9	89.8	43.8	11.7	151.5	58.4
Arg	0.0	350.8	129.1	30.1	465.0	178.3
Total	811.1	2175.5	1364.1	653.0	2830.4	1487.9

香が控えめであるという官能検査の結果と同じ傾向であった。その他の成分については平均値で大きな差は認められなかった。

### 3. 4 日本酒のアミノ酸分析結果

アミノ酸分析の結果の中と平均値を県内外酒別で表4に示した。

県内酒は県外酒に比べ、旨味成分のグルタミン酸（Glu）と甘み成分のアラニン（Ala）、苦み成分であるアルギニン（Arg）が低めであり、分析したアミノ酸の合計値も低かった。この結果は、味覚センサーの酸味が低く、苦味雑味が高く、渋味刺激が高いという結果とは反するものであった。

### 3. 5 日本酒分析値の相関性評価

各分析値の相関係数を調べたところ、各遊離アミノ酸間では、0.7以上の高い相関性が確認された（data not shown）。一方、官能評価の味の特徴と味覚センサーの結果についての相関係数は、高いもので0.37にとどまり、強い相関性は認められなかった。今回は装置の故障のため、有機酸を分析することができなかったが、清酒の味にはアミノ酸よりも有機酸の方が大きく影響を与えているのかもしれない。

### 3. 6 ビール、発泡酒の分析結果

ビール、発泡酒については、県外酒が集まらなかったため、平均値での評価は行わなかった。官能評価について、総合評価が良いとされる3.0より低い値のものが大半であり、3.0以上のものは1点のみだった。また、問題があると考えられる指摘をされた点数も少なかった（data not shown）。

味覚センサーの分析結果は、酸味、苦味雑味、渋味刺激、旨味、塩味、苦味、渋味、旨味コク、甘味についての評価をレーダーチャートにしたものを2グループに分けて図1に示した。全ての分析値の平均値を基準（0）として、各味の強弱を示しているが、酒毎に酸味、苦味雑味、渋味刺激、塩味、苦味、渋味で分析値の差があり、特徴となっていることが分かった。

アルコール分はラベル表示と分析値で1%以上違うものが8点あった（data not shown）。また、単純な比較は難しいが、酸度、Brix、香気成分には大きな差があった（data not shown）。分析した遊離

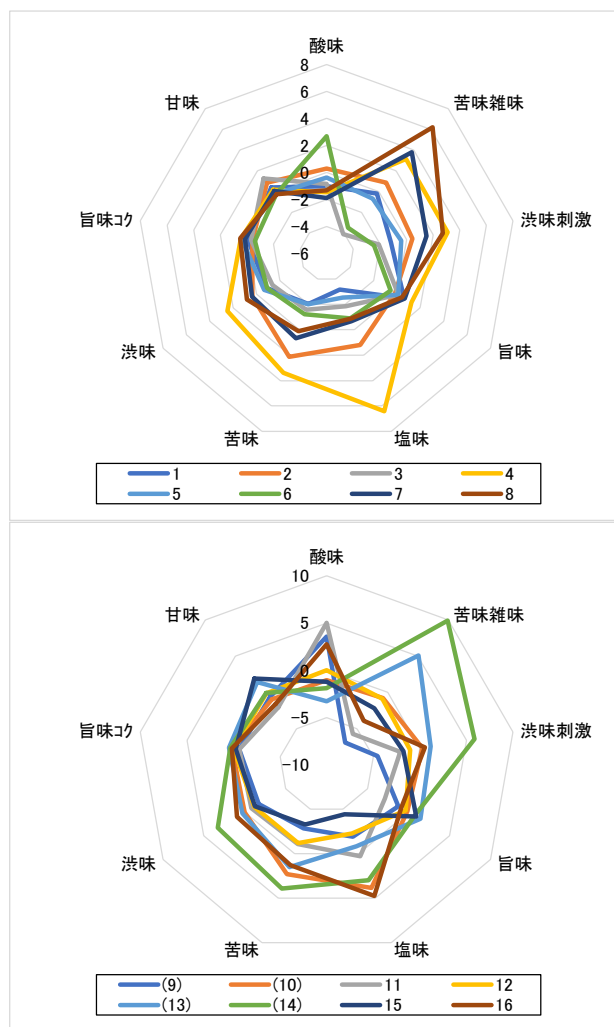


図1 味覚センサー分析結果

上図：暗番1～8、下図：暗番（9）～16、数字の（）は県外酒

アミノ酸の合計値を見ると、最小値が386.9 mg/Lであったのに対し、最大値が2726.4 mg/Lと約7倍の差があった（data not shown）。

続いて、官能検査の各項目と味覚センサーの値の相関係数を調べた。なお、相関係数の値について、図2のように色分けし、視覚的に相関性の有無を判断できるようにした（図3）。

■	0.7~1	強い正の相関あり
■	0.4~0.7	正の相関あり
■	0.2~0.4	弱い正の相関あり
■	-0.2~0.2	ほぼ関係ない
□	-0.4~-0.2	弱い負の相関あり
△	-0.7~-0.4	負の相関あり
○	-1~-0.7	強い負の相関あり

図2 相関係数の色分けの指標

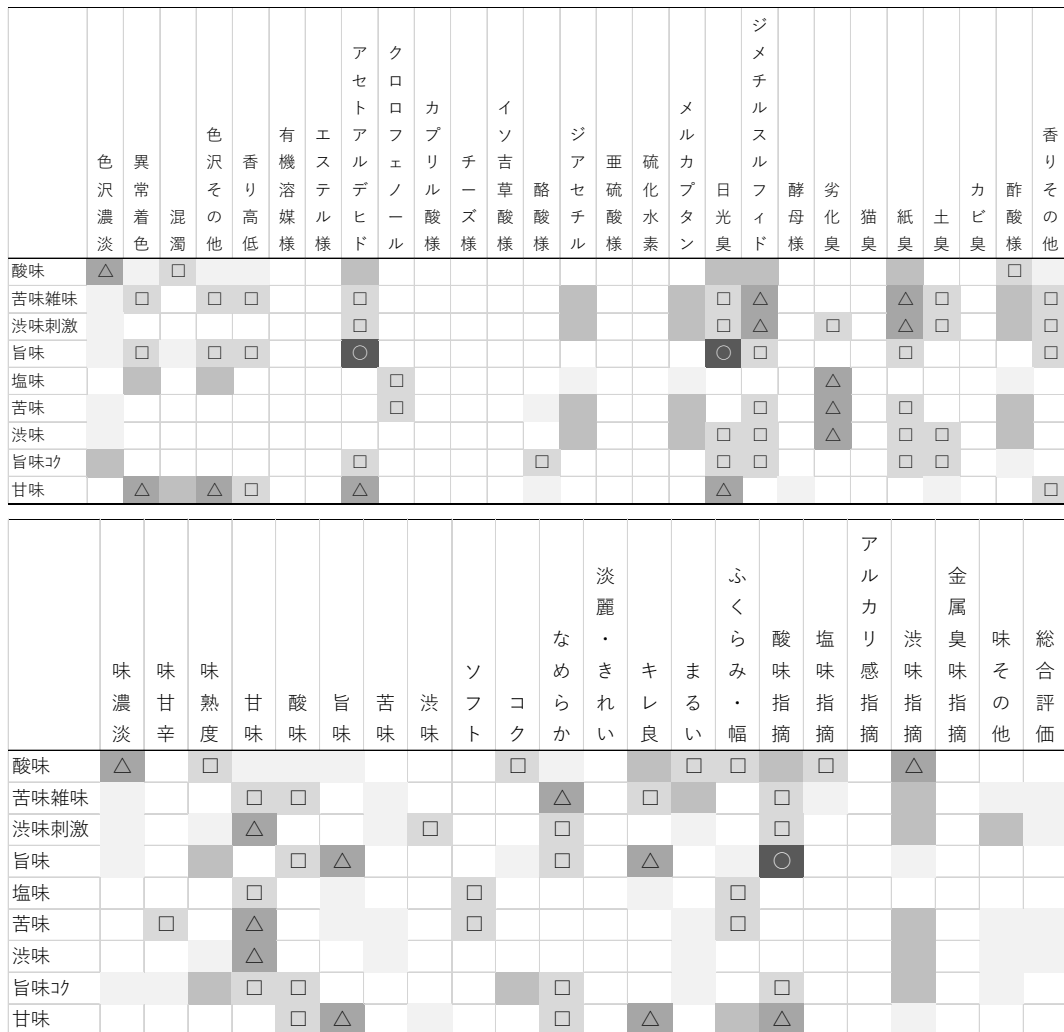


図3 官能検査と味覚センサーの相関係数の色分け

強い正の相関性があるものはなかったが、味覚センサーの酸味、苦味雑味、渋味刺激、苦味、渋味、旨味コクについては、官能検査の特徴評価である酸味、苦味、コクと指摘事項の渋味指摘とある程度の相関性が確認された。強い負の相関については、味覚センサーの旨味に対して、アセトアルデヒド、日光臭、酸味指摘の3つの指摘事項が該当していた。

#### 4 まとめ

本研究では、日本酒、ビール及び発泡酒を対象に、官能検査と成分分析、味覚センサー分析により、群馬県の酒の味の特徴を説明できるか検討した。群馬県の純米酒系は、辛口で香り控えめ、苦味雑味が特徴であることが分かった。また、純米酒系であっても食前酒で吟醸香を出すものとその種類、食中酒として吟醸香が控えめなもの、

火入れ酒や生酒など多種多様なため、一括りで評価することは難しいと考えられた。一方、ビールと発泡酒については、造り方が多様であるのに加え、企業のアアルコール分析技術に課題があった。

#### 謝 辞

国税庁および関東信越国税局、群馬県酒造組合には市販酒研究会の運営と審査に協力して頂いた。また、有限会社浅間高原麦酒、月夜野クラフトビール株式会社、合同会社オクトワン、株式会社田園プラザ川場、合同会社ブルーメン、マリハナファクトリー合同会社、株式会社夢麦酒太田の群馬県内クラフトビール各社には、ビール・発泡酒の提供をして頂いた。

#### 文 献

- 1) 柳澤昌臣ら：平成31年度群馬産業技術センター研究報告、36-40



# プロトタイピング IoT 環境の構築

青柳大志・高橋慶行\*・小和瀬登\*\*

## Development of IoT prototype for small and medium-sized companies

AOYAGI Hiroshi, TAKAHASHI Yoshiyuki, KOWASE Noboru

主に製造プロセスを対象として、中小企業がデジタル技術を円滑に導入するためのプロトタイピング環境を構築した。本格的に導入する前にこの環境を活用することによって、導入に必要な知識やスキルを身に付けるだけでなく、運用と検証を通じて現場の生産性を真に改善する仕様を見出すことが期待できる。

キーワード：プロトタイプ、IoT、デジタル技術、生産性、センサ、エッジ、クラウド

To introduce digital technologies to small and medium-sized companies smoothly, we developed IoT prototype system, mainly for manufacturing processes. It provides not only knowledge and skills necessary for constructing production environment, but also encourages to substantiate its spec genuinely effective to improve manufacturing productivity.

Keywords : prototype, IoT, digital technology, productivity, sensor, edge, cloud

### 1 はじめに

デジタル技術の恩恵にはさまざまなものがあるが、ここでは以下の4つに大別して考える。

1. データの蓄積と探索
2. 再現性
3. 空間制約の緩和
4. 時間制約の緩和

例えば、手作業で紙媒体に製造記録を取っているとしよう。記録を取る行為をすべて、または一部自動化することにより手間や記入誤り、記入漏れ等を減らすことができる。記録をデジタルデータとして記録すれば、過去の記録をすぐに検索することができ、台帳をめくって探す手間を省くことができる(1)。数値データであれば集計も容易である。センサを使用して製造中のデータを継続して取得しておけば、工程における再現性と追跡情報を担保し、トラブル発生時には取引先に示すことができる。ケースによっては問題の原因が自社にはないことを証明し、追加負担を減らすことにつながる(2)。作業者ごとにデータを取得すれば技術共有や人材育成にも活用できる。さらに、データをWeb等により確認できるようにすれば、離れた事業所からスマートフォン等により稼働状況を把握することができる。状況を確認するために現場と往復しないので済むようになる(3)。夜間等の無

人運転時についても同様の利点が得られるのは明らかだろう(4)。過去のデータを蓄積しておけば「どのような製造条件のときに不良が発生しやすいか」等といった分析に活用することができる。品質不良の発生原因を突き止めることができれば、歩留まりの向上や競合他社に対する優位性、新技術に関するヒントが得られる可能性もある(1)。このように製造に関わるさまざまな場面でデジタル技術の恩恵が期待できる。

一方、現実を目を向けるとデジタル技術の導入が進んでない実態がある。2021年度版中小企業白書のアンケート結果<sup>1)</sup>によれば、導入における問題は「アナログな文化・価値観の定着」「明確な目的・目標が定まっていない」「組織のITリテラシーが不足している」の3つが上位を占める。これは群馬産業技術センターで実際に支援している企業の実態にも概ね合致する結果である。「デジタル技術に関心があるが何かから手をつければいいのかわからない」「高いコストを払って導入してみたが当初期待した効果が得られない」「現場の負担を減らすものになっていないため、結局使われない」といった声が聞かれる。

このような問題を解決するために、デジタル技術を手軽に経験できるプロトタイプ環境があれば良いのではないかと考えた。本格導入に必要な知識やスキルを身に付け、現場で検証を行う過程を通じて自社のありたい姿を明確にするだけでなく、現場で真に役立つ仕様を具現化す

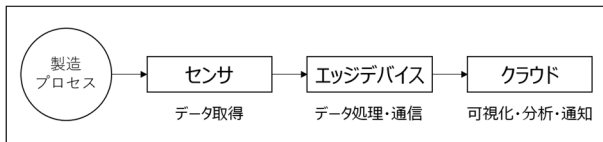


図1 プロトタイピング IoT 環境の基本構成

ることができる。社内文化については各企業で長い時間をかけて醸成されてきたものである。プロトタイプを導入をきっかけに、社風を見直す雰囲気を徐々に形成することができるかもしれない。このようなプロトタイプを本報告ではプロトタイピング IoT 環境と呼び、実際に企業等に適用したので報告する。

## 2 プロトタイピング IoT 環境の構築

### 2. 1 開発要件

プロトタイピング IoT 環境の構築に当たり次の4つの要件を設定した。

- コンセプト：シンプルかつ手軽であること

初めてデジタル技術を導入することを念頭に、手軽に手に取ることができ、システム全体や構成要素を把握しやすいことが求められる。

- 機能：汎用性と拡張性をもつこと

見かけには理解しやすいものであっても、さまざまな企業ニーズに対応できる汎用性が必要である。また、デジタル技術は発展が著しいため、先端技術を取り込める拡張性を兼ね備えていることが望ましい。

- リモート：リモート管理、閲覧および通知が可能なこと

1章でも述べたように時間や空間制約の緩和はデジタル技術の大きな恩恵であり、これを実現するリモート機能については必須である。

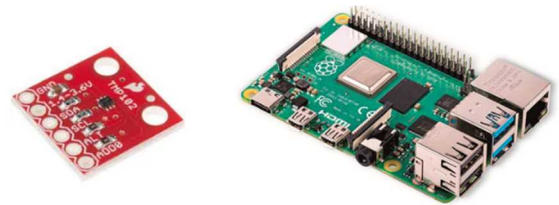
- コスト：5万円以下、高くとも10万円以下であること

プロトタイプの性質上、失敗と改善を繰り返して自社に合ったシステムを作り上げていくことを想定しており、安価にさまざまなことを試せる環境であることが望ましい。

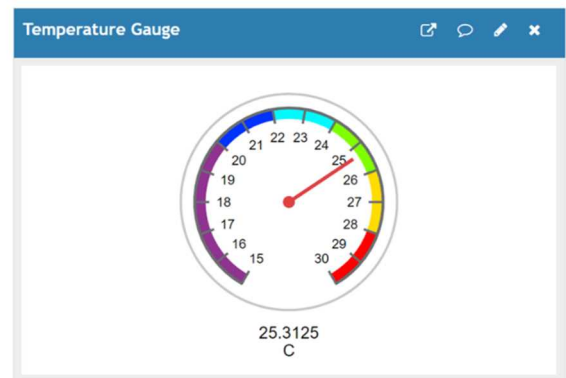
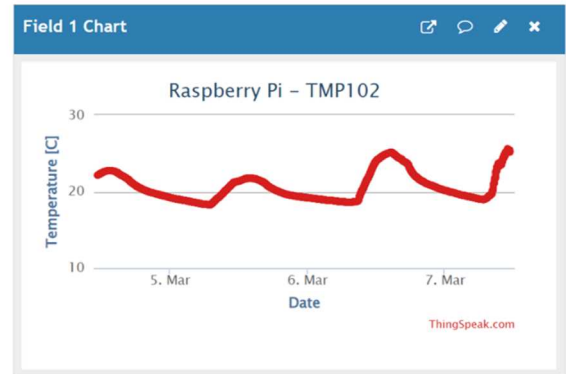
### 2. 2 基本構成

このような要件を考慮して決定したプロトタイピング IoT 環境（以下、システム）の基本構成を図1に示す。構成要素はセンサ、エッジデバイス、クラウドの3つである。

センサは製造プロセスからデータを取得する、システムの入口である。加速度、音、温度、圧力等さまざまな量を取得できるものがある。価



センサ：TMP102 エッジ：Raspberry Pi 4 Model B



クラウド：ThingSpeak

図2 システムの構成例

格は100円程度から数万円以上と機能によって幅が広い。後述のエッジデバイスへデータを渡す方法にもいろいろな方法（プロトコル）があり、目的に応じて選定する。

エッジデバイス（単にエッジとも言う）はセンサとクラウドをつなぐ中継役である。マイコンやPC、PLC等さまざまなものがある。一般的に、センサで取得したデータは一度エッジデバイスに渡された後、有線または無線通信（Wi-Fi等）によりクラウドに送信される。マイコンは1000円台から2万円程度で入手できるものが多く、近年では安価なものでも高度なデータ処理を行うことができるものも見られる。PLCは本格的なシステムで使用され、安価なものでも数万円以上である。エッジデバイスにはセンサとクラウドを接続するためのプログラムを書き込むことでデータ通信を機能させることができる。このプログラムを開発するための環境を開発環境と呼び、有償/無償で種々のものを利用することができる。無償のものではPythonやArduino IDE等がある。群馬産業技術センター

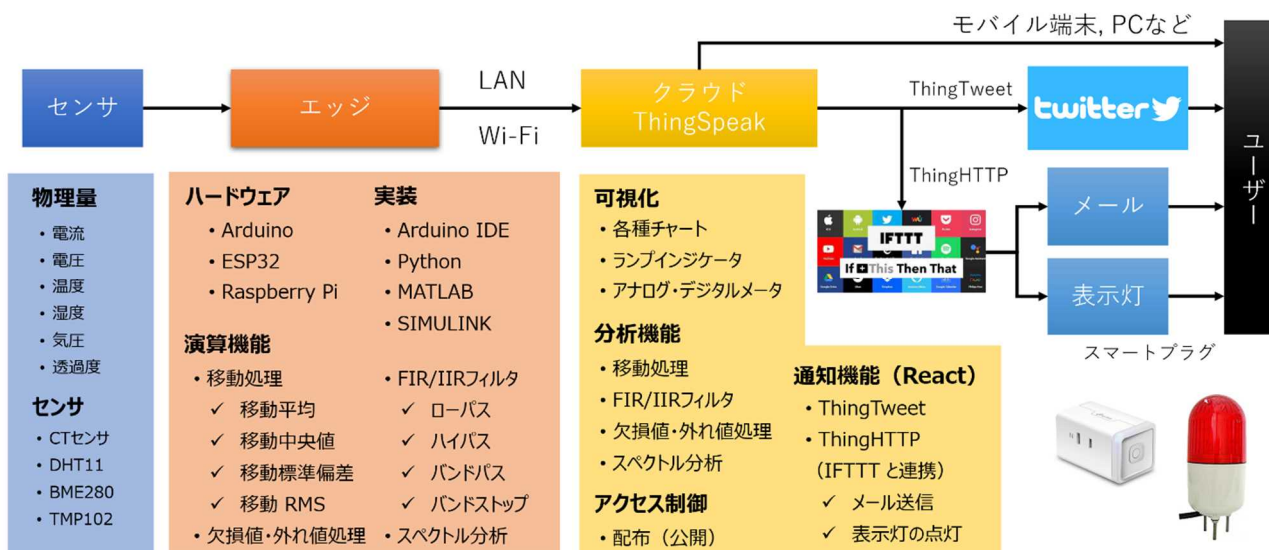


図3 システムの概要

ではこれらに加えて 2021 年度に導入した MATLAB/SIMULINK<sup>®1)</sup> を開発環境として利用している。

クラウドはリモートに関する機能を受け持つ。センサから得られたデータを人に見える形で可視化したり、データの値に応じて SNS 等により通知したりすることができる。他にも受け取ったデータの蓄積や、データの分析機能、他の Web サービスと連携する機能も備えることが一般的である。月額数百円程度からの有償利用のほか、非商用利用で無償のものもある。

### 2.3 システムの例

基本構成を元に実際に構築したシステムの一例を図2に示す。この例は工場内の環境温度を測定し、クラウド上で可視化することを想定したシンプルなシステムである。センサについてはデジタル温度センサ TMP102、エッジには主に学習用、産業用として広く使われる Raspberry Pi を使用した。クラウドは Mathworks 社が提供する Web サービスである ThingSpeak<sup>™2)</sup> を使用し、データを可視化した。クラウド上のページには URL が割り当てられるため、PC やスマートフォンで一般の Web ページにアクセスする要領で表示することができる。なお、ThingSpeak は非商用利用であれば無償で試すことができる (機能制限あり)。

例で示したシステムはセンサを変更することで異なるデータを監視するシステムへと容易に変更することができる。エッジデバイスについても Raspberry Pi ではなく他のエッジに変更することができる。市販されている高価なシステムや機器ではこれらの要素がパッケージされ、内部を見たり、取り替えたりすることが容易ではない。構成要素がわかりやすく、柔軟にトライ&エラーできる点が特徴である。

### 2.4 システムの概要

プロトタイプ IoT 環境の構築ではさらに、エッジデバイスとクラウド上でのソフトウェアによる処理に重点を置いた。概要を図3に示す。本報告ではデータ処理機能とクラウドによる通知機能について紹介する。

#### 2.4.1 データ処理機能

センサで取得したそのままのデータ (生データ) を可視化するだけで十分なこともあるが、現実的にはデータにノイズが載るため、真の情報が埋もれてしまうことが多い。このような場合には信号処理によりノイズを除去してから可視化することが望ましく、時には必須の処理になる。また、生データは意図したとおりに取得できないこともある。例えば通信の途絶により欠損が生じれば欠損値処理を行う必要がある。このような問題に対する処理を組み込む場所として、エッジまたはクラウドが考えられる。どちらを使うべきかは目的によるが、速い処理が求められる場合にはエッジ上で処理し、遅れが許容できる場合にはクラウド上で処理するという考え方が典型的と思われる。ThingSpeak 上では MATLAB によりこのような処理を実装できる。

#### 2.4.2 通知機能

クラウドにデータを送信し可視化できるのは便利であるが、閲覧する側はずっと閲覧しているわけにもいかない。すると現場の状態に応じて通知する機能が要求される。例えば機器の異常を検知して、自動的に通知されれば利便性が高まるだろう。

ThingSpeak にはいくつかの通知機能があるが、Twitter とメールおよび表示灯による方法

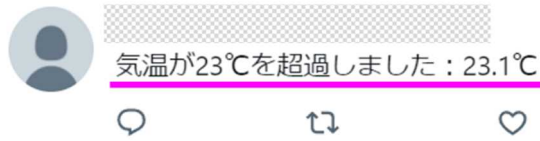


図4 Twitter による通知例

を実装した。いずれの場合もまず対象となるデータを選択し、判定基準を設定する。例えば「温度センサ1の温度が25℃以上になったとき」といった設定を行う。次に、通知を行う手段を選択する。Twitterの場合にはThingSpeakに組み込まれているサービスを用いて指定したアカウントにツイートすることができる。図4に例を示す。このアカウントをフォローしておけば関係者の間で通知を共有することができる。メールや表示灯の場合も基本的な考え方は同様であるが、WebサービスのIFTTT<sup>3)</sup>によりThingSpeakとメールアプリやスマートプラグアプリを連携する点異なる。表示灯は現場作業員への警報として用いることを想定したものである。スマートプラグは約2,000円、表示灯は通信機能のないシンプルなものでもこちら約2,000円のものを使用した。

## 2.5 実践

群馬県の中小企業であるスバル工業<sup>4)</sup>(敬称略)では医療用金属部品の切削加工による製造を行っている。対象がドリルによる小径深穴加工であることに加え、高精度が求められる。中でも難易度の高い径φ1深さ20mmの部品において寒冷期に不良が増加する傾向が見られ、工場内環境温度により材料や製造設備が影響を受け、品質不良と関係している可能性が考えられた。そこで今回構築したプロトタイプIoT環境を適用した。システムは図2に類似した構成で、温度に加えて湿度等も計測可能なセンサ(BME280)を用いた。図5に設置したシステム及びクラウド上での可視化状況を示す。リアルタイムでクラウドによる可視化を行うだけでなく、時々刻々のデータをファイルに記録し、後で分析できるようPCに記録するようにした。数値的に状態を把握できる点で好評を得ている。今後はデータを蓄積し、データ分析により不良の要因を特定することを目指す。

## 3 まとめ

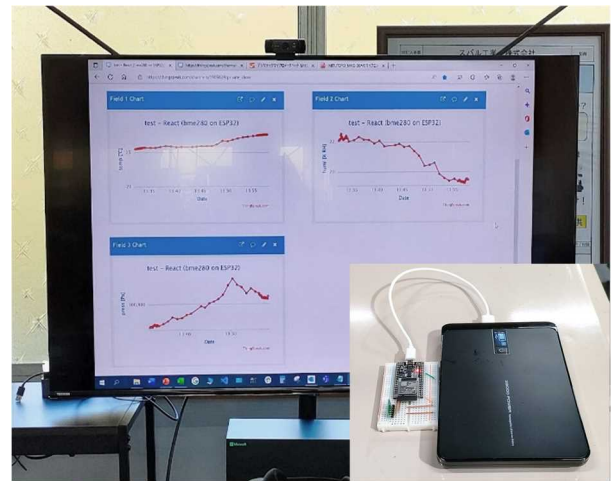


図5 スバル工業への適用

中小企業へのデジタル技術導入を支援するプロトタイプIoT環境を構築した。本研究で構築した環境は今後の土台として位置づけられるものであり、データ取得から可視化までの一連のデータ処理フローを確立することができた。実際の企業で運用を開始したところ、当初のねらいをある程度満足するものであった。また本文では触れなかったが、群馬産業技術センター内においても試験装置の稼働状況の監視等に取り入れており、業務の効率化に効果が出始めている。

プロトタイプの運用を通じて自社の目的を明確化し、どのようなセンサやエッジ、クラウドが適しているかを検討し、デジタル技術に関する知識やスキルを体得することができる。これは本格的に導入する際のシステム構成を判断する目を養うことに通じる。今後は企業を中心として現場への適用を増やしつつ、出てきた課題をフィードバックしていく方針である。企業の現場でデジタル技術導入の成果を感じてもらえるように継続的に進化させていきたいと考えている。

## 文献

- 1) 中小企業庁, 2021年度版中小企業白書, 図2-2-35, pp II-223 (2021)

## 参考文献

- 1) <https://jp.mathworks.com/>
- 2) <https://thingspeak.com/>
- 3) <https://ifttt.com/>
- 4) <https://subaru-industries.com/>

# 製造プロセスにおける予知保全

## 時系列データの異常検知技術の構築

新井宏章・青柳大志\*・狩野幹大\*

Predictive maintenance in the manufacturing process  
Construction of anomaly detection technology for time-series data  
ARAI Hiroaki, AOYAGI Hiroshi and KANO Motohiro

製造設備の予知保全を行うため、正常状態のデータから異常検知を行う技術を構築した。製造現場では様々なデータや不良の発生が考えられるため、代表的なデータに対して様々な異常検知モデルを適用した。その結果、データの性質に応じて適切なモデルを選択する必要があることが分かった。

キーワード：予知保全、異常検知、k近傍法、自己回帰モデル、特異スペクトル変換、ホテリングT<sup>2</sup>、混合ガウス分布、サポートベクターマシン、オートエンコーダ

In order to perform predictive maintenance of manufacturing equipment, we built technologies to detect anomalies from data of normal conditions. Since various data and defects can occur at factory, so we applied different models for anomaly detection to representative data. As a result, we found that it is necessary to select an appropriate model according to the nature of the data.

Keywords: predictive maintenance, anomaly detection, k-nearest neighbor method, autoregressive model, singular spectrum transformation, Hotelling's T-squared distribution, Gaussian mixture distribution, support vector machine, autoencoder

### 1 はじめに

故障などのトラブルにより製造設備が停止すると納期の遅延につながるため、時間とコストをかけても定期保全（メンテナンス）を行う必要がある。しかし、保全時期より前に故障することや、まだ使える部品を交換することから無駄が生じることが多い。

そこで本研究では予知保全システムを開発することを目的とする。予知保全は現在の状態から故障までの残存期間を算出し、事故や不良を未然に防止する方法である。

予知保全を行うには段階がある。

- ① 現在、正常に機能しているか把握する（異常検知）。
- ② 故障に至るまでの時間を予測する。

今年度は基礎技術である①について取組んだ。製造現場に異常検知を適用するにあたり、

異常状態のデータを収集することは時間及びコストの観点から現実的ではない。そのため、正常状態のデータから異常検知する技術構築を目標とした。また、本研究では既已取得したデータ（オフラインデータ）を用いた。

### 2 方法

本研究は製造現場に適用することを念頭に置いている。製造現場では様々なデータや不良の発生が考えられるため、網羅的に対応できるように表1に示すデータを題材とした。本稿ではこの内、一般家庭において使用するドライヤを稼働したときの異常検知について報告する。ドライヤを選定した理由は、1つ目にモータ、ファンやヒータなどの製造現場にありふれた構成部品から成り立っている点、2つ目に身近な家電であることから異常検知をイメージすることが容易な点である。

表 1 対象データ

データ	概要
ドライヤ	ドライヤを稼働した時の加速度や温度などを測定したデータ
ランダム振動試験	振動試験機に設置した試験片のひずみと加速度を測定したデータ
NASA のターボファンエンジン <sup>1)</sup>	NASA の公開しているターボファンエンジンの定期保全のデータ
風力発電タービン <sup>2)</sup>	風力発電機の加速度を測定したデータ
心拍波形 <sup>3)</sup>	心電図のデータ。一定間隔で周期性のあるデータ

2. 1 実験装置

ドライヤの稼働データを収集するための測定システムを図1に示す。固定の影響を可能な限り小さくするため、ドライヤは空中に吊り、ゴムひもで固定した。電源のオン/オフの制御はコンセントタイマを使用した。図1のタイムチャートに示すように、1周期を10分として、ドライヤのオンの最初の3分間をデータ収集対象期間とした。データはデータロガ（キーエンス製NR600）により収集した。

測定する物理量、センサごとのサンプリング周波数及びセンサごとの測定時間を表2に示す。熱電対以外は2分50秒から3分までの10秒間を測定した（以後、これを「1回分のデータ」と呼ぶ）。測定したデータの例としてCH1の加速度の波形を図2に示す。

表 2 測定する物理量

物理量	センサ	サンプリング周波数	測定時間
加速度	小野測器製 NP-3211	10 kHz	2分50秒 ~3分
電流	マルチ計測器製 CTF-50A		
流量	愛知時計電機製 TRX		
温度	K 熱電対	10 Hz	0秒~3分

9月から2月まで4400回分のデータを測定し、合計稼働時間は約220時間（毎日5分間使用した場合、約7年に相当）であった。執筆時点（2023年3月）では故障に至っていないが、新品の状態（9月）と稼働後（2月）のドライヤの音圧を測定したところ人の聴覚でも違いが分かる程度に稼働音が異なり、状態が変化していることを確認した。

2. 2 異常検知の流れ

データ分析の流れを図3に示す。収集したデータ（生データ）に対し、ノイズ除去等の前処理を行う。次に入力データの中から重要な情報（特徴量）を抽出した後、異常状態を検知するためのモデルを作成する。そのモデルを実装し、現場で運用する。次項から前処理、特徴抽出及び異常検知モデルの作成について詳細を報告する。

2. 2. 1 前処理

異常検知モデルは正常データから学習して作成した。その際、生データに含まれるノイズの影響によりモデルの学習がうまくいかないことがある。複数の物理量を使用する場合には物理量ごとのスケールの違いが問題になることもある。この問題を解決するために移動平均処理と標準化を行った。また、後に示すクラスタリングによる異常検知については、主成分分析<sup>5)</sup>による次元の削減を行った。

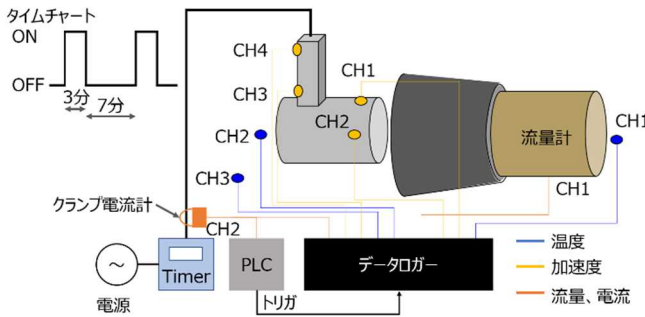


図 1 測定システム

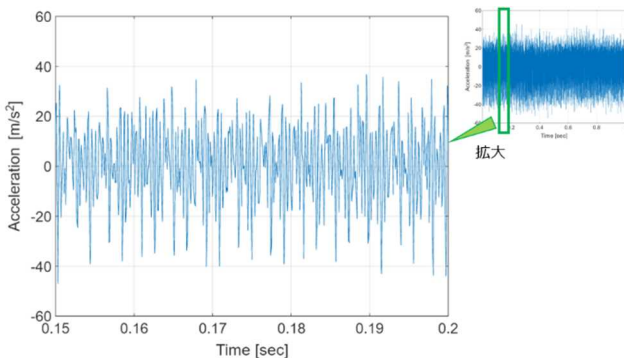


図 2 加速度



図 3 異常検知の流れ

表3 異常検知モデル

モデル	概要
k近傍法 (kNN)	訓練データと観測データの距離を異常度とする
自己回帰 (AR) モデル	訓練データに AR モデルを当てはめデータを予測し、観測データと比較したときのマハラノビス距離を異常度とする
クラスタリング	訓練データから確率密度関数を当てはめ、確率密度が小さいとき異常とする
オートエンコーダ	ネットワークへの入力データと一致するデータを出力し、それらの差（再構成誤差）を異常度とする。長短期記憶ネットワーク（LSTM）、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）、全結合層ネットワーク（FC）等がある。

### 2.2.2 特徴量抽出

前処理後のデータを用いて異常検知することができるが、データから重要な情報を表す量（特徴量）を使用すると異常検知の精度が向上する場合がある。特徴量の抽出にはMATLABの機能の診断特徴デザイナー<sup>4)</sup>を使用した。時間領域の特徴量である平均値、ピーク値、実効値など、周波数領域の特徴量であるパワースペクトル密度のピーク周波数、ピーク値など1回の測定に対し合計96(加速度4CH×24)の特徴量を算出した。

### 2.2.3 異常検知モデル

異常を検知するために訓練データからモデルを作成した。そのモデルと観測データを比較し、異常度を算出することで異常の判定を行う。図4に異常検知のイメージを示す。異常検知モデルには様々な手法があるが、本稿では製造現場で扱うことの多い時系列データに適すと考えられる表3に示すモデルを検証した。

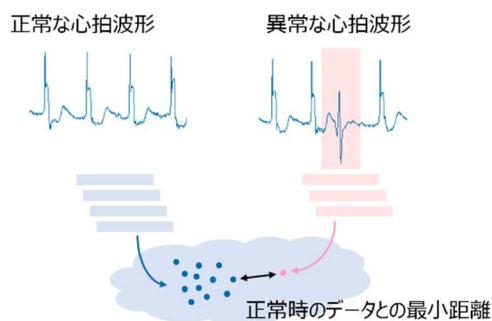


図4 異常検知のイメージ<sup>6)</sup>

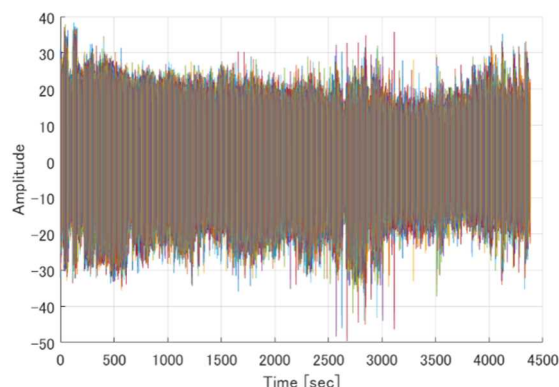


図5 加速度の時間波形

## 3 結果

加速度センサCH3のデータを図5に示す。データ量が多いため、1回の測定（10秒間）の内初めの1秒間のみ取り出し、色分けして連結した。時間経過とともに加速度の振幅が減少しているが、突発的に振幅が大きくなることもある。そのため、振幅のみから正常か異常状態かの判断は困難である。

各異常検知手法を適用した結果を図6から図9に示す。k近傍法（図6）では、生データに対して異常度の算出を行った。1回目の測定データを訓練データとした。試験時間の経過とともに異常度が上昇し、2800回目の測定から減少していることが伺える。仮に閾値を4.8に設定すると2800回目の測定で異常と判定することができる。

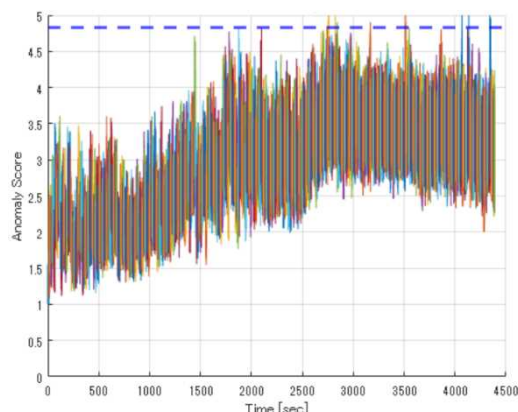


図6 k近傍法による異常検知

自己回帰モデル（図7）では、生データに対して異常度の算出を行った。1回目の測定データを訓練データとした。試験の中期や後期において大きく異常度が上昇したが、k近傍法と比較して増加の傾向は見られなかった。

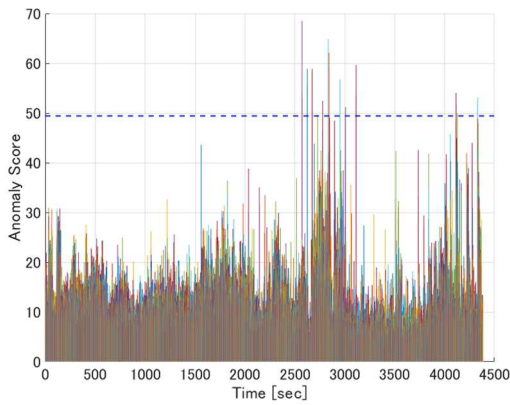


図7 自己回帰モデルによる異常検知

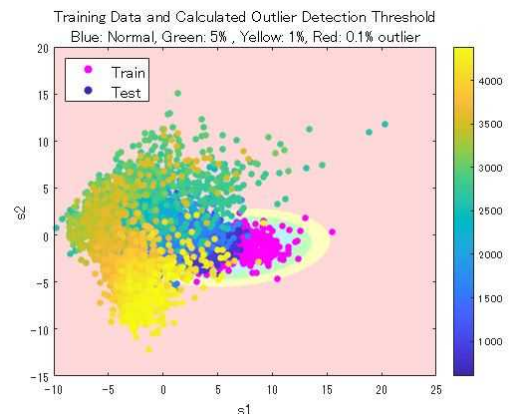


図8 クラスタリングによる異常検知

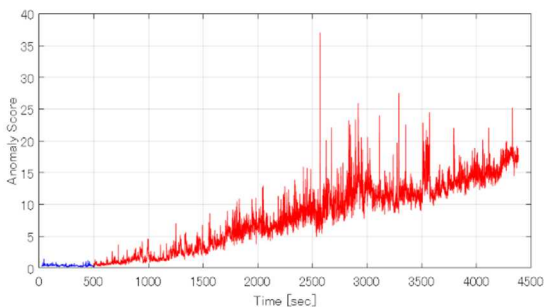


図9 LSTMによる異常検知

クラスタリング（図8）では、特徴量に対して標準化及び主成分分析を行った。横軸に第一主成分、縦軸に第二主成分を示し、測定時間（単位：秒）を色で表現した。試験が後半になるにつれ、左に推移している様子が伺える。初期の600回分のデータを訓練データとし、混合ガウス分布により正常状態の範囲を設定し、確率密度を閾値とすれば異常状態を判定可能な見通しが得られた。

LSTM（図9）では、特徴量を抽出後、さらに標準化を行い、オートエンコーダで訓練した。初期の500回分のデータを訓練データとした。試験時間の経過とともに異常度が上昇していることが分かった。

ドライヤのデータに対してk近傍法及びLSTMでは稼働時間の経過とともに異常度が上

昇し、クラスタリングでも正常状態からの推移が確認できた。これらは先述の9月と2月の稼働音の違いを反映したものと考えられ、各手法の妥当性を確認することができた。

#### 4 まとめ

表1の他のデータに対しても異常検知を実施した。現場への適用のしやすさの観点から評価した結果を表4に示す。この表から、データに応じて適切な手法を選択する必要があることが分かった。また、製造現場の様々なデータや不良の発生に対応可能な異常検知のノウハウを蓄積することができた。

今後の課題は異常状態を判定する閾値の設定である。製造現場ごとに解決したい問題は異なり、適切な閾値は異なる。企業の知見やノウハウを活用し、暗黙知を形式知化できるように今後取組みたい。

表4 対象データへの異常検知の適用

対象		ドライヤ	ランダム振動試験	ターボファン (NASA)	風力発電タービン	心拍波形 qtdbsel102
部分時系列	KNN	★★★★★	★★★★★	★	★★★★	★★★★★
	AR	★	★★★★★	★	★★★★	★
	SST	-	★★★★★	★★	★★	★★★★
Clustering	T <sup>2</sup>	★★★	★★★	★★★	★★★	-
	GMM	特徴量 (SVMで代用)	(SVMで代用)	★★★★	(SVMで代用)	↑
	SVM	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	↑
Deep Learning	FC	-	-	(適用不可) ※	-	★
	CNN	時系列	↑	★★★★	↑	★★★★
	LSTM	↑	↑	★★★★★	↑	★★★★
	FC	↑	★★★★★	-	★★★★★	-
	CNN	特徴量	↑	★★★★★	↑	★★★★
LSTM	↑	★★★★★	↑	★★★★★	↑	

※測定ごとにデータ長さが異なるため。

★★★★★：非常に良好  
 ★★★★：良好  
 ★★★：実用レベル  
 ★★：見込みあり  
 ★：見込みなし  
 -：実施せず

#### 参考文献

- 1) NASA Turbofan Jet Engine Data Set  
<https://www.kaggle.com/datasets/behrad3d/nasa-cmaps>
- 2) 風力タービン高速ベアリングの経過予測  
<https://jp.mathworks.com/help/predmaint/ug/wind-turbine-high-speed-bearing-prognosis.html>
- 3) 心電図データセット  
<https://www.cs.ucr.edu/~eamonn/discords/qtdbsel102.txt>
- 4) 診断特徴デザイナー  
<https://jp.mathworks.com/help/predmaint/ref/featuredesigner-app.html>
- 5) 井出 剛：入門 機械学習による異常検知-Rによる実践ガイド-, コロナ社, p. 124(2015)
- 6) 異常検知  
<https://jp.mathworks.com/discovery/anomaly-detection.html>



# 群馬県産ぶどう果実より単離した酵母の発酵食品への利用

渡部貴志・柳澤昌臣\*・大和あゆみ\*

Experimental production of fermentation foods brewed by Gunma grape yeasts  
WATANABE Takashi, YANAGISAWA Masaomi and YAMATO Ayumi

新たな産業用微生物を取得し、発酵食品へ利用することを目的とし、群馬県産ぶどう果実から120株の酵母を単離した。単離した酵母から22株の炭素源の資化性を評価したところ、様々な酵母がいることが分かり、病原性を持つものは無かった。さらにD1/D2領域とITS領域の塩基配列を利用した遺伝子解析により酵母を同定したところ、ワイン酵母 *Torulasporea delbrueckii* OGY15-3、OGY15-4、OGY15-5が得られた。これらの3株はマルトース資化性が無いため、ビール醸造は行えなかった。一方、パン製造では市販のパン酵母と同等に膨らみ、有用性が確認された。

キーワード：ぶどう、酵母、遺伝子解析、発酵食品

In order to utilize novel industrial microorganisms for fermentation food, we isolated 120 yeasts from grapes planted in Gunma prefecture. Investigated carbon assimilation abilities of 22 isolated yeasts revealed that they were several kinds of yeasts, and not identified as pathogen yeasts. OGY15-3, OGY15-4, and OGY15-5 were identified as wine yeast *Torulasporea delbrueckii* by genetic analysis. Because these three yeasts could not utilize maltose, they did not brew wort. On the other hand, they raised dough as high as commercial baker yeast.

Keywords: grape, yeast, genetic analysis, fermentation food

## 1 はじめに

発酵食品には、酵母や糸状菌、乳酸菌などの産業微生物が扱われている。その中でも、出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* (以下、*S. cerevisiae*) は、日本酒や焼酎だけでなく、ワイン、ビールなどの酒類、そしてパンに利用されている。同一属種の *S. cerevisiae* であっても、発酵食品毎に適した性質が異なり、人類は長い年月を経て酵母の選抜・利用をしてきた。このため、実験室酵母S288C株ときょうかい清酒酵母7号(K7株)の全ゲノム配列は、98%の相同性しかない<sup>1)</sup>。この数字は、ヒトとチンパンジーとの遺伝子相同性の値とほぼ同じである。

従来から用いられている産業微生物は、対象とする産業に適した性質となるよう進化したと考えられる。このような産業微生物を用いた場合、良質な発酵食品を造ることができるが、他者との違いを示しにくいという性質もある。一方で、自然界から独自性のある産業微生物を探索し、実用化する試みも従来から続けられている。独自の有用な微生物が得られた場合、他者とは明確な違いが示せるため、消費者が商品を選択するきっかけになりやすい。

自然界から微生物を探索する場合、病原菌や毒素生産菌など人体に悪影響を及ぼさないものであることを確認する必要がある。微生物は、目に見えないものであるため、その同定には顕微鏡による形態観察や利用可能な炭素源の種類を調べて行われてきた。現在は、ゲノムDNAの一部の塩基配列を

食品化学開発係

\* 食品・バイオ係

解析し、その相同性を調べることで簡易的かつ正確に同定することができる。また、微生物の所有権については、関係者間で事前に十分に協議しておく必要がある。我々は、群馬県独自ブランドいちごの「やよいひめ」から単離された「やよいひめ酵母」を用いた地ビール開発に成功している<sup>2)</sup>。しかしながら、本酵母は冷凍耐性がなくパン発酵の際のドライイースト製造には不向きである。

そこで本研究では、群馬県内から新たな産業用酵母を取得して発酵食品への利用することを目的とし、ぶどう果実から酵母の探索を行った。また、得られた酵母の微生物安全性を確保するため、遺伝子学的手法による菌の同定を行った。その結果得られたぶどう酵母を用いて実験室規模での発酵食品の製造を行ったので、報告する。

## 2 実験材料と方法

### 2.1 酵母の探索方法

集積培地は、麴エキス (Brix 7°) にクロラムフェニコールを 50 ppm 加えて作成した。集積培地 20 mL を入れた 50 mL チューブに、群馬県内ぶどう園のぶどう果実を採取して加え、30°C で 7 日間の集積培養を行った。発酵に伴う泡の発生が確認された培養液を滅菌水で適宜希釈し、単離用の YMS-C 寒天培地 (酵母エキス 3 g/L、麦芽エキス 3 g/L、ペプトン 5 g/L、スクロース 10 g/L、寒天 20 g/L、クロラムフェニコール 50 ppm) に塗布した。30°C で 2 日間培養後、寒天培地上に生育してきた酵母様のコロニーを新たな YMS-C 寒天培地に釣菌した。

### 2.2 供試酵母

ぶどう酵母 120 株に加え、やよいひめ酵母 *Torulasporea delbrueckii* (*T. delbrueckii*) PM13 株、(独) 酒類総合研究所より分譲して頂いた清酒酵母きょうかい 701 号 (K701)、(公財) 日本醸造協会から分譲して頂いたワイン酵母 3 号 (W-3)、群馬県独自吟醸用酵母、群馬 KAZE 酵母 (KAZE 酵母)、(株) 日清製粉製ドライイースト、スーパーカメラアを対照株として用いた。

### 2.3 炭素源資化性確認試験

酵母様真菌同定キット ID32C API (ピオメリユー・ジャパン社製) を用いて、31 種類の炭素源の資化性を評価した。YM 寒天培地 (酵母エキス 3 g/L、麦芽エキス 3 g/L、ペプトン 5 g/L、グルコース 10 g/L、寒天 20 g/L) で供試酵母を 30°C、静置培養を 2 日間行った。生えてきた酵母のコロニーを滅菌水 5 mL に懸濁し、ID32C API の C メディウム 7 mL に 250 µL 添加した。この混合液を ID32C API のウェル (32) に 135 µL ずつ加え、30°C で 48 時間静置培養を行い、接種株の増殖性 (炭素源の資化性) を調べた。

### 2.4 遺伝子解析による酵母の同定

ぶどう酵母の同定は、ribosomal DNA (rDNA) の internal transcribed spacer (ITS) 領域、および 26S rDNA の D1/D2 領域の塩基配列を解析し、アメリカ国立生物工学情報センサー (NCBI) のホームページで Blast 検索により行った。各酵母のゲノム DNA は、Gen とるくん™ 酵母用 (High Recovery) (タカラバイオ (株) 製) を用いて抽出した。D1/D2 領域増幅用のプライマーは、NL1 (5'-GCATATC-AATAAGCGGAGGAAAAG-3')、NL4 (5'-GGTCCGTGTTTCAAGACGG-3') を、ITS 領域増幅用プライマーは ITS5 (5'-GGAAGTAAAGTCGTAACAAGG-3')、ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATAATGC-3') を用いた。PCR 反応は、KOD-FX (東洋紡 (株) 製) を用い、説明書に準拠して行った。

ITS 領域および D1/D2 領域の PCR 産物を NucleoSpin Gel and PCR Clean-up (タカラバイオ (株) 製) を用いて精製した。BigDye Terminator Cycle Sequence V3.1 Kit (Applied Biosystem 社製) を用いて精製した PCR 産物に蛍光標識を付加した後、エタノール沈殿により精製し、ABI3100 automatic DNA sequencer directly (Applied Biosystem 社製) を用いて塩基配列の解析を行った。

### 2.5 濃縮麴エキスでの発酵試験

100 mL 容三角フラスコに濃縮麴エキス (Brix 20°) 40 mL を加え、酵母を一白金耳接種し、30°C で 100 rpm、48 時間回転

振盪培養を行った。菌体増殖量（OD<sub>660</sub>）は、分光光度計UV-1900（（株）島津製作所製）を用いて分析した。アルコール分は、遠心分離（10000 rpm×1 min）し、得られた上清を用い、アルコメイトAL-3（理研計器（株）製）で分析した。

## 2. 6 ビール小仕込み試験

試験管に麴エキス（Brix 5°）5 mLを加え、酵母を一白金耳接種し、30℃で150 rpm、24時間振盪培養を行った。ガラス容器（900 mL容）に500 mLの麦汁（Brix12.7°）を加え、100℃で10分間殺菌した。これに培養酵母5 mLを接種し、15℃で静置し、24時間毎に炭酸ガス発生による重量減少量を測定した。13日目に遠心分離（8000 rpm×15 min）して得られた上清を分析試料とした。

## 2. 7 分析方法

アルコール濃度、酸度は国税庁所定分析法に従い、分析を行った。pHおよびBrixはそれぞれ、pH計と糖度計を用いて分析した。糖類（グルコース、マルトース）は、高速液体クロマトグラフ、示差屈折率検出器を用い、分析を行った。香気成分（酢酸エチル、酢酸イソアミル、イソアミルアルコール）は、ヘッドスペースガスクロマトグラフで分析した。

## 2. 8 製パン試験

パナソニック（株）製ホームベーカリーSD-SB4を用い、食パンを試作した。強力粉は、星野物産（株）製の吟嶺を、業務用無塩バターとスキムミルクは、森永乳業（株）製のものを用いた。上白糖と食塩は、スーパーなどで購入できる一般的なものを用いた。

ホームベーカリーの取扱説明書に従い、表1に示す原料配合を基本として、ドライイーストの添加量、培養酵母の培地の種類や添加量、酵母の種類の違いによるパンの膨らみに与える影響を調べた。

培地の種類については、希釈麦汁（Brix 3°）と市販の食品添加物用のミーストP1G（アサヒフードアンドヘルスケア（株）製）を用いた2×YS培地（2% 酵母エキス、4%スクロース）を用いた。また、得られた試作パンの試食による官能評価も実施した。

表 1 製パン試験の基本配合

原材料	一斤分
強力粉	250 g
バター	10 g
砂糖	17 g
スキムミルク	6 g
塩	5 g
水	180 mL
酵母*	2.8 g

\* ドライイーストでない場合は、培養酵母を回収し、水で懸濁して添加した。

## 3 結果と考察

### 3. 1 県内果実からの酵母の単離

東京農業大学では、麴エキスを用いて花から清酒酵母を単離する試みを行っている<sup>3)</sup>。そこで、*S. cerevisiae*を集積培養できるのでとは考え、麴エキスにクロラムフェニコールを加えた培地を集積培養に用いることにした。また、*S. cerevisiae*の単離の報告例が多い、ぶどう果実を単離源として用いることにした。

群馬県内のぶどう園から果実20点を培養液に直接入れ、静置培養を行ったところ、いずれも2日目には発酵に伴う泡の発生が確認された。7日目には糖の消費により発酵が収まり、酵母の増殖が十分に行われたと考えられたため、YMS-C寒天培地を用いて酵母の単離を試みた。1点辺り数百コロニーの形成が確認されたため、ランダムに6株ずつ単離し、単離源20点で計120株のぶどう酵母を単離した。

### 3. 2 酵母の炭素源の資化性

単離したぶどう酵母から、病原性酵母を除外するため、まずは酵母様真菌同定キットID32C APIを用いて炭素源の資化性を調べることにした。単離した120株を冷蔵保存2ヶ月後、新たなYMS-C培地に接種したところ、22株だけが生育した。単離を試みている*S. cerevisiae*は、YMS-C培地での冷蔵保存2ヶ月間では死滅しないため、生育してこなかった98株はその他の酵母であると推定し、除外した。

用いた22株は、31種類の炭素源の資化性には多様性があり、複数種の酵母が混在

表 2 酵母の増殖性のまとめ

	OGY2-4	OGY4-4	OGY6-1	OGY6-3	OGY7-2	OGY7-5	OGY10-1	OGY10-3	OGY14-1	OGY14-3	OGY14-4
ガラクトース	w	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+
シクロヘキシミド	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+
スクロース	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
N-アセチル-グルコサミン	w	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+
乳酸	+	-	-	-	-	-	w	w	-	-	w
L-アラビノース	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+
D-セロビオース	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+
ラフィノース	+	w	+	+	+	+	+	+	+	+	+
D-マルトース	+	+	+	+	+	-	+	w	-	-	+
トレハロース	w	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+
2-ケート-グルコン酸カルシウム	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
α-メチル-α-D-グルコシド	+	w	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D-マンニトール	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+
ラクトース	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
イノシトール	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+
D-ソルビトール	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+
D-キシロース	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+
D-リボース	w	w	w	w	-	-	w	w	-	-	w
グリセロール	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+
L-ラムノース	-	-	+	w	w	-	w	w	-	-	+
バラチノース	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
エリスリトール	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D-メリビオース	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
グルクロン酸ナトリウム	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D-メレチトース	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
グルコン酸カリウム	+	w	+	w	w	-	w	w	-	-	w
レブリン酸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
グルコース	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
L-ソルボース	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+
D-グルコサミン塩酸塩	-	w	+	+	+	-	+	+	-	-	+
エスクリン	+	w	+	+	+	-	+	+	-	-	+
	OGY14-5	OGY14-6	OGY15-2	OGY15-3	OGY15-4	OGY15-5	OGY15-6	OGY16-4	OGY17-4	OGY17-5	OGY17-6
ガラクトース	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
シクロヘキシミド	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
スクロース	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
N-アセチル-グルコサミン	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
乳酸	-	-	-	+	+	+	-	w	-	w	-
L-アラビノース	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
D-セロビオース	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
ラフィノース	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
D-マルトース	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
トレハロース	-	-	-	w	-	-	-	+	+	+	+
2-ケート-グルコン酸カルシウム	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+
α-メチル-α-D-グルコシド	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	w
D-マンニトール	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+
ラクトース	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
イノシトール	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
D-ソルビトール	-	-	-	+	+	w	-	+	+	+	+
D-キシロース	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
D-リボース	-	-	-	-	-	-	-	+	+	w	+
グリセロール	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+
L-ラムノース	-	-	-	-	-	-	-	+	+	w	-
バラチノース	-	-	-	-	-	-	-	w	-	-	+
エリスリトール	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D-メリビオース	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
グルクロン酸ナトリウム	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D-メレチトース	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
グルコン酸カリウム	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
レブリン酸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
グルコース	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
L-ソルボース	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
D-グルコサミン塩酸塩	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
エスクリン	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-

+ : 増殖性あり、w : わずかに増殖、- : 増殖性なし

していることが示唆された（表2）。ぶどう酵母 OGY6-1、OGY6-3では、同じぶどう果実から単離した株であり、似通った炭素資化性ではあるが、増殖性にばらつきがあるなど、単離株毎に炭素源の資化性を評価することが重要だと考えられた。また、OGY7-5などは限られた炭素源しか利用できないことが確認された。

### 3. 3 酵母の同定

先のID32C APIでは、病原性酵母を推定するものであり、正確な同定を行うことは難しい。そこで、真菌の同定で扱われるD1/D2領域およびITS領域の塩基配列を解析した。全ての株において、D1/D2領域およびITS領域共に、100%一致となる同定結果を得ることができた（表3）。

残念ながら、*S. cerevisiae*と同定された一株も存在していなかった。一方で、OGY15-3株、OGY15-4株、OGY15-5株は、*T. delbrueckii*と同定された。本酵母は、*S. cerevisiae*以外のワイン発酵酵母として扱われることがあり、やよいひめ酵母

PM13株も本属種に同定されている。従って、これら3株のぶどう酵母を発酵食品の試作に用いることにした。

### 3. 4 発酵力の調査

比較対照としてワイン酵母W-3株を用い、ぶどう酵母の基本的な発酵力を調べた。その結果、Brix 20° という高密度条件でもぶどう酵母は増殖し、菌体数はW-3株よりも高くなり、得られたエタノール濃度はW-3株と同等で高い発酵力を有することが明らかとなった（表4）。

### 3. 5 ビールの試作

自然界から単離される *S. cerevisiae*には、清酒製造には好ましくない4-ビニルグアイアコール（4-VG）を産出するものがある。やよいひめ酵母 *T. delbrueckii* PM13株は、4-VGを産出したことから<sup>3)</sup>、同じ属種のぶどう酵母も4-VGを産出する可能性が高く、清酒製造には向かないと考えられた。そこでまず、やよいひめ酵母で実績があるビールの試作を、ぶどう酵母を用い行ってみることにした。

表3 遺伝子解析による酵母の同定結果

株名	属種	D1/D2	ITS	特徴
OGY2-4	<i>Wickerhamomyces anomalus</i>	100%	100%	酢エチ生産酵母、産膜酵母
OGY4-4	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	100%	100%	果物から単離例
OGY6-1	<i>Zygoascus meyerae</i>	100%	100%	サトウキビ、ジュースから単離例
OGY6-3	<i>Zygoascus meyerae</i>	100%	100%	サトウキビ、ジュースから単離例
OGY7-2	<i>Zygoascus meyerae</i>	100%	100%	サトウキビ、ジュースから単離例
OGY7-5	<i>Starmerella bacillaris</i>	100%	100%	ワインもろみから単離例
OGY10-1	<i>Zygoascus meyerae</i>	100%	100%	サトウキビ、ジュースから単離例
OGY10-3	<i>Zygoascus meyerae</i>	100%	100%	サトウキビ、ジュースから単離例
OGY14-1	<i>Starmerella bacillaris</i>	100%	100%	ブドウ園から単離例
OGY14-3	<i>Starmerella bacillaris</i>	100%	100%	ブドウ園から単離例
OGY14-4	<i>Zygoascus meyerae</i>	100%	100%	サトウキビ、ジュースから単離例
OGY14-5	<i>Starmerella bacillaris</i>	100%	100%	ブドウ園から単離例
OGY14-6	<i>Starmerella bacillaris</i>	100%	100%	ブドウ園から単離例
OGY15-2	<i>Starmerella bacillaris</i>	100%	100%	ブドウ園から単離例
OGY15-3	<i>Torulaspora delbrueckii</i>	100%	100%	花の蜜から単離例
OGY15-4	<i>Torulaspora delbrueckii</i>	100%	100%	花の蜜から単離例
OGY15-5	<i>Torulaspora delbrueckii</i>	100%	100%	花の蜜から単離例
OGY15-6	<i>Starmerella bacillaris</i>	100%	100%	ブドウ園から単離例
OGY16-4	<i>Zygoascus meyerae</i>	100%	100%	サトウキビ、ジュースから単離例
OGY17-4	<i>Zygoascus meyerae</i>	100%	100%	サトウキビ、ジュースから単離例
OGY17-5	<i>Zygoascus meyerae</i>	100%	100%	サトウキビ、ジュースから単離例
OGY17-6	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	100%	100%	果物から単離例

表4 発酵力試験のまとめ

	OD <sub>660</sub>	エタノール (%)
W-3	20.9	8.7
OCY15-3	32.2	8.5
OCY15-4	31.9	8.7
OCY15-5	33.8	8.7

表5 小仕込み試験の結果

	Blank	PM13	OGY15-3	OGY15-4	OGY15-5
重量減少量 (g)	-	18.3	5.0	4.9	5.5
アルコール (%)	-	4.5	0.7	0.8	0.7
酸度 (mL)	2.9	3.6	3.4	3.4	3.1
pH (-)	4.9	4.3	4.6	4.6	4.6
Brix (°)	12.7	7.3	11.3	11.1	11.2
Glucose (%)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Maltose (%)	5.2	0.1	5.5	5.5	5.3
イソアミルアルコール (ppm)	-	100.3	34.4	36.9	38.2
酢酸イソアミル (ppm)	-	0.8	0.1	0.1	0.1
酢酸エチル (ppm)	-	10.3	8.2	7.6	4.2

小仕込み試験ビールの分析を行ったところ、PM13株のものはマルトースが利用されて糖度が下がり、アルコールが増えているのに対し、ぶどう酵母はマルトースが利用されていない（表5）。糖の資化性を確認すると、ぶどう酵母はマルトース資化性が無く、ビール醸造への利用は不適であることが分かった。

### 3. 6 各種酵母でのパンの試作

現代のパン作りでは、ドライイーストが用いられている。しかしながら、これらの工程は費用がかかるため、液体培養した酵母でパン作りを行う条件を調べることにした。その結果、食品添加物の酵母エキスを用いたものでは、説明書のドライイースト添加量の2分の1を加えた程度までパンが膨らんだ（data not shown）。

上記の検討で条件が整ったので、各種酵母を用いたパンの試作を行うことにした。ぶどう酵母①は、*T. delbrueckii* OGY15-3株であり、対照として用いたスーパーカメラとほぼ同程度膨らんだ（図4）。一方で、酵母数がほぼ同じであってもやよいひめ酵母PM13株と清酒酵母K701株の膨らみは少なかった。また、官能検査を行ったところ、対照は一般的な食パンのふっくらとした味であるのに対し、ぶどう酵母はしっとりとしていた。一方、ぶどう酵母②（OGY7-5株）は、ワインもろみから単離

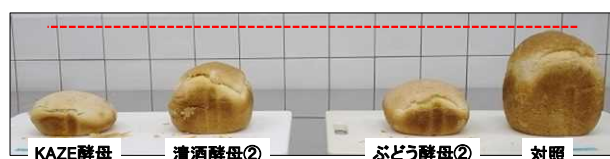
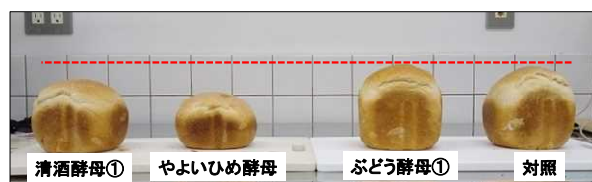


図1 各種酵母でのパンの試作

報告例がある *Starmerella bacillaris* であるが、発酵力が無くパンが膨らまなかった（図1）。なお、群馬KAZE酵母は、今回の培養条件では酵母の増殖速度が遅く、パン作りには向かないことが分かった。

## 4 まとめ

本研究では、群馬県産ぶどう果実から酵母の探索し、得られた酵母の微生物安全性の確保と遺伝子解析による酵母の同定、ビールとパンの発酵食品の試作を行った。最終的に得られたぶどう酵母OGY15-3株、OGY15-4株、OGY15-5株は、いずれも *T. delbrueckii* であると同定された。これらの酵母はやよいひめ酵母PM13株とは異なり、ビール醸造には向かなかったが、パン製造への利用の可能性があることが分かった。今回得られたぶどう酵母3株は、アルコール発酵能力は高いため、ワインなどの酒類製造にも向いているのかも知れない。

## 謝 辞

群馬県産ぶどう果実は、奥利根ワイン株式会社のぶどう農園から採取させていただいた。

## 文 献

- 1) Akao et al.: DNA Research, 18, 423-434 (2011)
- 2) 渡部貴志ら: 令和2年度群馬産業技術センター研究報告、29-33
- 3) 小室友花里ら: 日本醸造協会誌 100、454-460 (2005)

# 高温地域における杜仲栽培並びに杜仲葉含有新規食材の開発

田島 創・瀬賀悟史<sup>\*</sup>・山田徹郎・吉野 功<sup>\*</sup>

*Eucommia ulmoides* cultivation in high-temperature regions and development of new ingredients containing *Eucommia ulmoides* leaves

TAJINA So, SEGA Satoshi<sup>\*</sup>, YAMADA Tetsuro and YOSHINO Isao<sup>\*</sup>

杜仲は、杜仲目杜仲科を構成する唯一の植物であり、樹高が 20 m に達する落葉樹である。杜仲の樹皮は漢方薬として、その葉はゲニポシド酸やクロロゲン酸などの有用成分を含む食品として用いられる。近年の温暖化傾向に伴い、群馬県の南東部は、2022 年 6 月に気温 40 °C を連日観測するなど日本国内でも気温の高い地域の一つである。このような高温下でも杜仲を栽培ができ、有効成分の含有が認められれば、食材として利用できる。本研究では、群馬県南東部で杜仲を栽培し、その有効成分の含有量について測定、更に杜仲葉を含有するこんにゃくを新規食材として開発した。

キーワード：杜仲、こんにゃく、ゲニポシド酸、クロロゲン酸、ポリイソプレレン化合物

*Eucommia ulmoides* is only plant that constitutes the *Eucommia* order *Eucommia* family, which reaches a height of 20 m<sup>1)</sup>. The bark of *E. ulmoides* is used as an herbal medicine, and its leaves contain geniposidic acid and chlorogenic acid are used as food. With the recent global warming trend, the southeastern part of *Gunma prefecture* is one of the hottest regions in Japan, with temperatures of 40 °C observed every day in June 2022. Even under such a high temperature, if *E. ulmoides* can be cultivated and the content of its active ingredients is recognized, *E. ulmoides* can be used as a local foodstuff. In this study, we cultivated *E. ulmoides* in the southeastern part of *Gunma Prefecture*, measured the content of its active ingredients, and developed *Konnyaku* containing this *E. ulmoides* leaf as a new food ingredient.

Keywords : *Eucommia ulmoides*, *Konnyaku*, geniposidic acid, new food ingredient

## 1 まえがき

杜仲は、中国原産の落葉樹木であり、杜仲目杜仲科を構成する唯一の種である<sup>1)</sup>。杜仲の樹皮は、医薬品として指定されているが、葉は、杜仲茶などの食品としてより身近に親しまれている。杜仲には、機能性物質として、イリドリド類としてゲニポシド酸(図1)やアスペルロシド、フェノール化合物としてクロロゲン酸などが含まれることが知られている<sup>1-3,8)</sup>。一方、杜仲葉に含まれるこれら機能性物質の含有量は、収穫期である6月~11月で時期毎に異なり、6月~8月の夏期で多く、

9月~10月に夏期に比べ低下することが報告されている<sup>1-3)</sup>。更に、日射量が多く、雨量が少ない年では、他の年に比べ、ゲニポシド酸含有量が増加傾向にあることが報告されている<sup>2)</sup>。

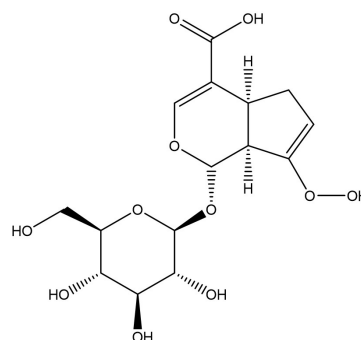


図1 ゲニポシド酸の化学構造式

また、栽培される地域によっても機能性成分の季節ごとの含有量に違いが認められる。

杜仲に含まれるもう一つの成分として、ポリイソプレン化合物がある。このポリイソプレン化合物は、杜仲の葉、樹皮及び果実に含まれており、その粘性の高さから杜仲を害虫から守るため、農薬を使わずに杜仲を栽培できるといわれている。このポリイソプレンは、自然由来の高分子材<sup>4)</sup>や消臭剤<sup>5)</sup>として利用されている。

群馬県南東部は、2022年6月において40℃以上の気温を連日記録するなど、日本国内における夏期の高温地域の一つである。また、日射量も多いことも知られている。もし、この群馬県において杜仲を好適に栽培できれば、特徴のある群馬県の食材の一つとできると考えられた。

本研究では、群馬県でも夏季の高温地域として知られる南東部において杜仲を栽培し、有効成分の一つであるゲニポシド酸を抽出すること、更に、この栽培した杜仲葉を用いて、群馬県の特産品であるこんにやくにこの杜仲を加えることで新しい食材を開発することを目的とした。

## 2 方法

### 2.1 杜仲栽培

杜仲は、令和4年2月に葉の無い状態の苗を購入した。杜仲の苗丈は、約50 cmで苗の直径は地面から上約100 mmの高さにおいて約10 mmだった。この杜仲苗3株を南面が開けている畑地3箇所へ植栽した。この畑地の土壌は、いずれも赤城山南麓から採取した黒色の火山性灰土、所謂黒ボク土を用いた。栽培に用いた畑地は、2016年から2021年まで無肥料、無農薬区であり、除草剤など化学的な薬品を一切用いない畑地を選んだ。

2月中旬に植栽した後は、4月と6月に手作業による周辺の除草を1度ずつ、5月末に草払い機による除草を1度した以外は、7月7日に行った杜仲葉の収穫まで杜仲苗を放置した。

### 2.2 杜仲葉の収穫

杜仲は、樹皮と葉にそれぞれ有効成分を含

むが、これら苗はまだ貧弱であったため、杜仲葉のみを採取することとした。杜仲葉は、群馬県南東部が記録的高温期だった6月25日から7月2日より約1週間経過した7月7日に収穫した。

杜仲葉は、それぞれの苗毎に採取した後、酵素の不活化並びに抽出作業を行った。酵素の不活化は、収穫した杜仲葉を密封した袋に入れ、75℃の湯浴中に3分間入れることで実施した。

### 2.3 ゲニポシド酸の抽出

ゲニポシド酸やクロロゲン酸の抽出は、瀬戸山らの方法を参考に行った<sup>1)</sup>。具体的には、酵素を失活した杜仲生葉20 gを沸騰したイオン交換水300 mLに入れ、10分間湯煎した。湯煎後、冷却し、吸引ろ過によりろ液を得た。ろ紙に残留した杜仲葉について、この抽出-吸引ろ過を更に2回繰り返し、ろ液を集めた。ろ液にイオン交換水を加え、全体を1 Lに調整し、抽出液とした。この抽出液100 mLをナスフラスコに入れ、凍結した後、凍結乾燥し、杜仲葉抽出物を得た。

### 2.4 分析方法

杜仲葉抽出物をメタノール水溶液に溶解した後、この上澄み液を回収し、飛行時間分解型質量分析装置（ウォーターズ社製 LCT Premier XE）によりゲニポシド酸の定量分析を行った。定量には、ゲニポシド酸標準品を検量線を作成した。杜仲葉に含まれるポリイソプレンについては、赤外線スペクトルを測定した。ゲニポシド酸の加熱による変化は、ゲニポシド酸標準品の小片をステンレス板に採取して赤外線吸収スペクトルを測定した後、105℃の恒温槽内で2時間放置した後、加熱前と同じ小片の赤外線吸収スペクトルを測定し、両スペクトルを比較することで分析した。

### 2.5 杜仲を用いた新規食品の開発

杜仲には前述したようにゲニポシド酸、アスペルロシド、クロロゲン酸、そしてポリイソプレン化合物などが含まれている。これらの成分を含むのに好適な食材として、こんにやくを選定し、杜仲入りこんにやくを作成した。この食品の製造方法は、グルコマンナンと、水と、凝固剤を混合した後に加熱凝固させる工程とした。具体的には、グルコマンナンと、水と、収穫した杜仲葉を混練し、混練物を作成した。この混練物を養生した後、加熱することでこんに



やくを得た。養生工程の後、この混練物に水酸化カルシウムを加えることでこんにやくの固さの制御を行った。製造したこんにやくの酸性度 (pH) は、pH メータを用いて測定した。こんにやくの固さは、25 % 圧縮時の最大荷重をクリープメータ (YAMADEN 社製 RE2-33005C) で測定した。製造したこんにやくの有効成分の分散は、こんにやく中でのクロゲン酸による変色反応を利用し、こんにやく全体のバラツキを確認した。

### 3 結果と考察

#### 3.1 杜仲栽培とゲニポシド酸含有量

群馬県南東部において栽培した杜仲の外観写真を図2に、7月7日に収穫した杜仲葉を図3にそれぞれ示す。また、群馬県伊勢崎市と桐生市の気象台における令和4年の月毎の最高気温と平均降水量の平均値<sup>6)</sup>を栽培地域の気象情報として図4に示す。



図2 栽培中の杜仲の外観写真 (上部から)

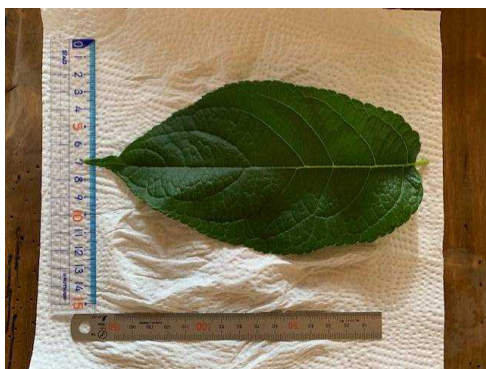


図3 収穫した杜仲葉の外観写真

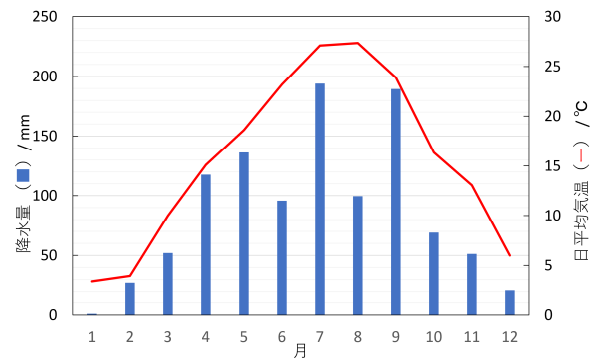


図4 杜仲栽培地域の気象情報

群馬県南東部の令和4年における日平均気温と、降水量とは、4.3 °C、24 mm (2月)、10.0 °C、44 mm (3月)、15.3 °C、110 mm (4月)、18.9 °C、119.5 mm (5月)、23.6 °C、84 mm (6月)、27.8 °C、177.5 mm (7月) だった。ゲニポシド酸含有量が多くなると推測される収穫前月である6月は、平均気温が上昇し降水量が低下したため、ゲニポシド酸の含有量については優位な気象条件と考えられた。

苗ごとに比較した杜仲葉の重さは、20枚の平均で、苗①が0.74 g、苗②が1.61 g、苗③が1.84 g だった。乾燥した杜仲葉の単位重量当たりに含まれるゲニポシド酸の含有量は、苗①で13.2 mg/g、苗②で14.7 mg/g、苗③で16.2 mg/g となり、杜仲葉の重さと正の相関が認められた。図5に葉の重さに対する葉の単位重量当たりゲニポシド酸含有量を示す。この結果から、杜仲葉の収穫時期の決定に、葉の重量を指標とすることは有効であることが考えられた。

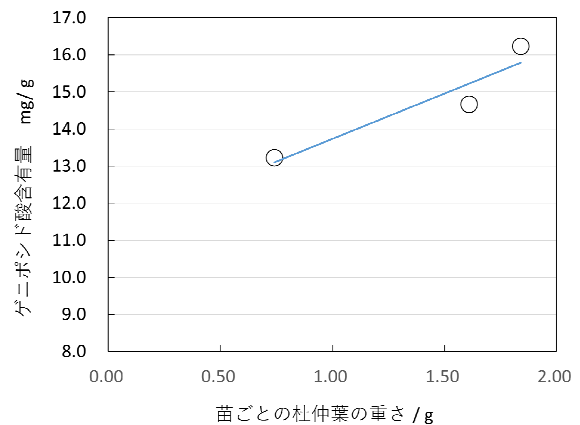


図5 杜仲葉の単位重さに対するゲニポシド酸含有量

この結果から、杜仲葉に含まれるゲニポシド酸含有量は、平均 14.7 mg/g となり、これまでの報告の 15 mg/g ~40 mg/g<sup>8)</sup> と比べ低かった。ゲニポシド酸の分解酵素を失活するための処理として、自然乾燥の天日干しと、加熱処理として蒸し器を使用した場合とを比べたると、蒸し器による処理がより効果が高いことが報告されている<sup>2)</sup>。天日干しで処理した場合、今回と同等の含有量の場合も報告されていることから、今回行った 75 °C の湯浴中に 3 分間の処理は、酵素失活に対しての効果が低い可能性が考えられた。

### 3. 2 杜仲葉を含むこんにゃくの製造

杜仲には、前述したように機能性成分の一つとしてポリイソプレン化合物を含むことが知られており<sup>4)</sup>、本研究で栽培した杜仲葉にも粘性物質が認められた。この粘性物質の赤外線吸収スペクトルを図 6 に示す。この赤外線吸収スペクトルから杜仲葉に含まれる粘性物質は、ポリイソプレン化合物<sup>7)</sup>であることが示唆された。杜仲に含まれるポリイソプレン化合物は、*trans*-体であることが指摘されているが、一般的な *trans*-1, 4-ポリイソプレンでは、波数 3400  $\text{cm}^{-1}$  付近に吸収極大を持つ水酸基 (-OH) は認められないことから、この粘性物質は、一部に OH 基を持つか、もしくは水分を含んでいることが示唆された。この結果は、この粘性物質が水に溶解することと矛盾しなかった。

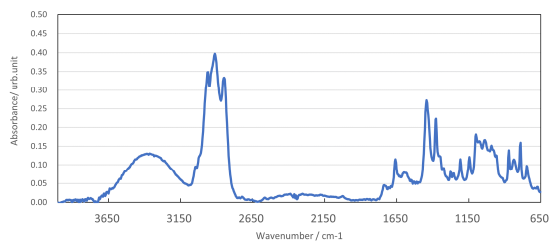


図 6 杜仲葉に含まれる粘性物質の赤外線吸収スペクトル

こんにゃくの一般的な製造方法は、温度 100 °C 程度での加熱工程を含む。このため、有効成分であるゲニポシド酸が温度 100 °C

で加熱した際に機能を失わないことを確認することは重要と考えられた。ゲニポシド酸を温度 105 °C で 2 時間加熱後（破線）と、加熱前（実線）と、にそれぞれ測定した赤外線吸収スペクトルを図 7 に示す。また、これらスペクトルの差スペクトルを図 7 に併記する。この赤外線吸収スペクトルでは、波数 1670 及び 1110  $\text{cm}^{-1}$  の吸光度を同じにして表記した。この分析の結果、105 °C の加熱により、波数 800~650  $\text{cm}^{-1}$  付近及び 1250~1300  $\text{cm}^{-1}$  付近の吸光度が低下した。波数 800~650  $\text{cm}^{-1}$  付近の低下は、水の蒸発によると考えられた。一方、波数 1250~1300  $\text{cm}^{-1}$  付近の吸収は、ゲニポシド酸が持つ二つの環構造を結ぶ >C-O-C< 結合の逆対象伸縮などに由来すると考えられた。このことから、加熱によりこの C-O 結合のいずれかが解離した可能性が示唆された。また、加熱後のスペクトルでは、OH 基に由来する波数 3400  $\text{cm}^{-1}$  及び CH 結合に由来する波数 2980  $\text{cm}^{-1}$  付近の吸光度が増加した。この吸光度の変化は、加熱によりゲニポシド酸に加水分解などが生じ、>C-O-C< 結合が解離したとする結果と矛盾しなかった。

一方、杜仲茶による抗酸化試験の報告<sup>8)</sup>は、杜仲葉を焙煎したものと焙煎しないものとで差は認められず、いずれも高い抗酸化性を示すことから、今回認められた加熱によるわずかな変化は、杜仲に含まれる成分の機能を失うものではないと考えられた。

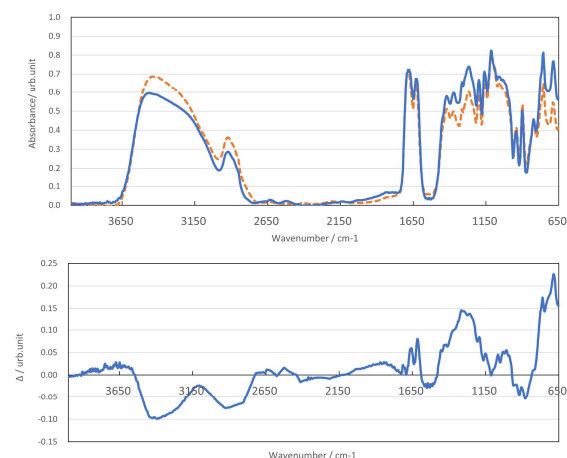


図 7 ゲニポシド酸の赤外線吸収スペクトル  
(上) 加熱前：実線、加熱後：破線  
(下) 加熱前後の差スペクトル

## 4 まとめ

杜仲葉を含むこんにやく（杜仲含有こんにやく）は、コンニャク粉としてグルコマンナンと、収穫した杜仲葉と、水とを混練した後、一定時間養生し、その後この混練物に水酸化カルシウムを添加して更に混練し、加熱処理することで作製した。作成した含杜仲こんにやくの外観写真を、杜仲を入れない以外はすべて同じ方法で作製したこんにやくの写真と共に図8に示す。



図8 新しく開発した杜仲含有こんにやくの外観写真（左）と、従来のこんにやく（右）

従来のこんにやくは半透明白色の外観だが、含杜仲こんにやくは、全体が茶色に変色した。クロロゲン酸は、こんにやくを着色する<sup>9)</sup>ため、今回作製した含杜仲こんにやくの着色は、杜仲に含まれるクロロゲン酸が含杜仲こんにやく全体に分散していることを示唆した。

水酸化カルシウム量を変化させ、杜仲含有こんにやくと、従来のこんにやくとの固さを同じにそろえた場合のそれぞれのこんにやくのpHは、杜仲含有で約pH8、従来のこんにやくでpH11以上となった。この結果から、杜仲含有こんにやくでは、酸性度が中性に近いこんにやくが製造できることを確認できた。この杜仲含有こんにやくの固化作用については、現時点では、杜仲に含まれるポリイソプレン化合物が寄与していると考えている。一方、この杜仲含有こんにやくの食感及び味は、従来のこんにやくとの違いが判らなかつた。このように酸性度が中性に近いこんにやくを製造できたため、今後は、杜仲含有こんにやくを用いた漬物など、発酵食品への展開を検討したい。

群馬県独自の新しい食材を開発することを目的として、研究を行った。この食材の原材料として、ゲニポシド酸などの機能性成分を含む杜仲に注目し、杜仲を栽培してゲニポシド酸の含有量を測定した。更に栽培した杜仲葉を入れた杜仲含有こんにやくを新しい食材として開発した。この杜仲含有こんにやくは、従来のこんにやくに比べ、酸性度が中性に近い条件でも十分な固さとなることが明らかとなった。この杜仲含有こんにやくについて新規性があると判断したため、特許として出願した<sup>10)</sup>。

## 文 献

- 1) 瀬戸山央ほか、日本食生活学会誌、第29巻第2号、105 (2018).
- 2) 矢崎廣久ほか、千葉衛研報告、第22号、5 (1998).
- 3) 廣川隆彦ら、神奈川県産業技術センター研究報告、16、31 (2010).
- 4) 特許第6487746号公報
- 5) 特許第5090617号公報
- 6) 国土交通省気象庁ホームページ.
- 7) 田中康之、日本ゴム協会誌、第43巻第12号、56 (1970).
- 8) 角橋明美ほか、山口県立大学大学院論集第9号、113 (2008).
- 9) 宮越俊一、化学と教育 64巻6号、292 (2016).
- 10) 特願2023-14322号

## はんだ付部分における評価手法の確立

林和・矢澤歩\*・青柳大志\*\*

Establishment of Evaluation Methods for Soldered Parts  
HAYASHI Yawara, YAZAWA Ayumu, AOYAGI Hiroshi

はんだ付部分の加速試験は 1～3 ヶ月という長期間を要する。それゆえシミュレーションを用いて破損箇所を事前に予測することで開発工数を大幅に削減可能である。そこで、はんだ付部分の実験的評価手法および有限要素法によるシミュレーション手法を構築することを最終目標とする。本報ではシミュレーションを行うための物性値取得方法の確立および適切なクリープモデルの選定について検討した結果を報告する。

キーワード：シミュレーション、FEM、ノートン則、クリープ試験、鉛フリーはんだ

Accelerated testing of soldered parts requires a long period of one to three months. Therefore, by predicting the damage location in advance using simulation, the development man-hours can be greatly reduced. However, some companies have not been able to conduct simulations of soldered parts due to reasons such as the time it takes to acquire physical property values for simulations and the lack of personnel who specialize in simulations. Therefore, the final goal is to construct an experimental evaluation method and a simulation method for the soldered part. In this report, establishment of the physical property acquisition method for simulation and selection of an appropriate creep model were investigated.

Keywords : Simulation, Norton law, Creep test, Lead-free solder

### 1 まえがき

近年、自動車は HEV、BEV などの電動化が急速に進んでいる。そのような車両に使用される電子部品の開発段階において、はんだ付部分が走行中の振動や熱疲労により破損しやすいという課題がある。

従来の評価手法は基板を冷熱衝撃試験にて評価し、破損がないことを確認しているが、冷熱衝撃試験は 1～3 ヶ月という時間がかかる。

それゆえシミュレーションを用いて破損箇所を事前に予測することで開発工数を大幅に削減することが可能である。しかし、シミュ

レーションを行うためには物性値取得に時間がかかることやシミュレーションを専門に行う人材の不足により、はんだ付部分のシミュレーションを実施できていない企業がある。

そこで群馬産業技術センターにてはんだ付部分の実験的評価手法および有限要素法 (Finite Element Method、以下 FEM) によるシミュレーション手法を構築し、これまで対応が難しかった問い合わせに対応することを本研究の最終目的とする。本報では物性値取得方法の確立および適切なクリープモデルの選定し、FEM にてクリープ試験を再現することについて検討した結果を報告する。

応用機械係

\* 材料解析係

\*\* 生産システム係

## 2 微小試験片を用いた物性値取得

### 2.1 微小試験片作製

本研究では Sn-3.0Ag-0.5Cu (mass%) を使用し、微小試験片を作製した。微小試験片の寸法を図 1、微小試験片作製過程を図 2 に示す。リール状に巻かれた  $\phi 1.2\text{mm}$  の線はんだを 6mm 程度の長さに切出した。その後、切出したはんだを金型に入れ、230°C のホットプレートにて溶融させて直径 0.5mm、平行部長さ 2.0mm のダンベル型試験片を作製した。

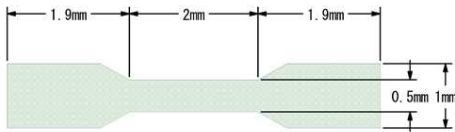


図 1 微小試験片寸法

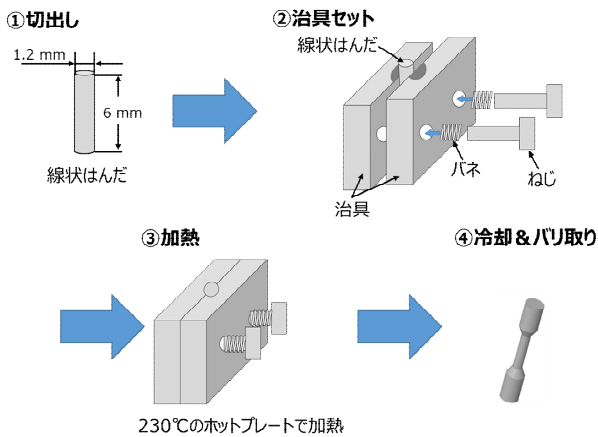


図 2 微小試験片作製方法

### 2.2 引張試験

作製した微小試験片を微小荷重試験機（鷺宮製作所製、LMH-207-10）にて、歪み速度 3 条件 ( $1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、 $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 、 $5.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ )、温度 3 条件 (25°C (室温)、80°C、120°C) にて測定を行った。歪み速度はクロスヘッドの変位にて制御を行った。

### 2.3 引張試験結果

図 3~5 に引張試験より求めた応力-ひずみ線図を示す。応力-ひずみ線図より温度が上がるほど最大応力は小さくなる傾向が確認された。

### 2.4 クリープ特性

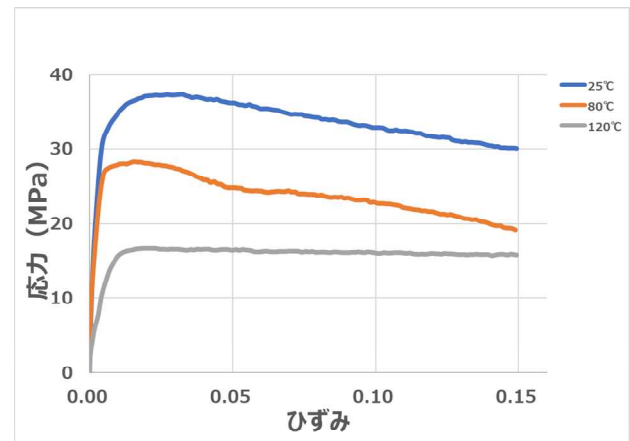


図 3 応力-ひずみ線図  
(ひずみ速度： $1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

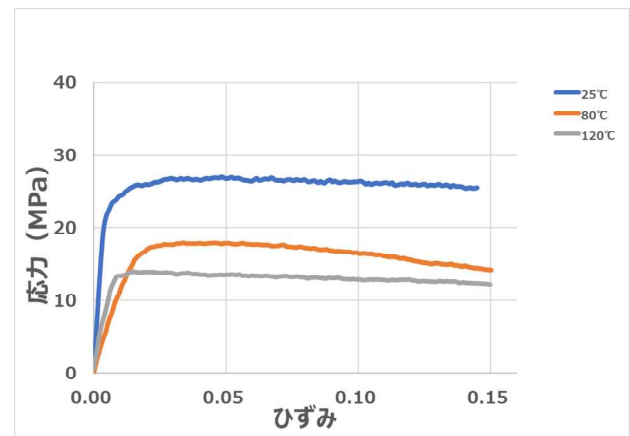


図 4 応力-ひずみ線図  
(ひずみ速度： $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

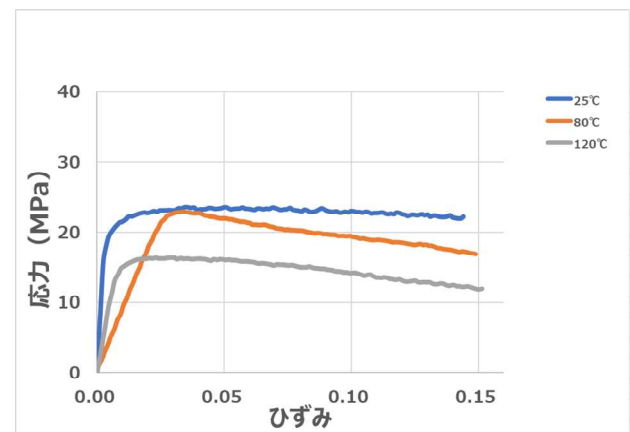


図 5 応力-ひずみ線図  
(ひずみ速度： $5.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ )

### 2.4 クリープ特性

クリープとは外部から一定の荷重が長時間加わることで永久に変形し続け破断に至る現象で

あり、高温環境で発生しやすい現象である。また、はんだは低融点のためクリープが発生しやすい材料である。クリープを時間と伸びのグラフに示すと図 6 のようになる。

ここで、第 2 次の領域に注目すると、温度、荷重の変化はないが一定の割合でひずみが増加している。これは時間経過によりはんだ付部が破損する恐れのある現象であることから、第 2 次クリープを求めることは、クリープ特性を検証するうえでとても重要である。第 2 次クリープを表す式は主に一般化 Garofalo、指数関数、ノートン則がある。その中でノートン則は荷重、時間経過、温度変化が考慮され、かつ応力のべき乗で計算が単純であることから本報ではノートン則を使用する。

$$\dot{\epsilon} = A\sigma^n \quad (1)$$

ここで  $\dot{\epsilon}$  は真歪み速度、 $A$  は係数、 $\sigma$  は真応力、 $n$  は応力指数である。FEM を行うために必要な物性値は係数  $A$  および応力指数  $n$  である。図 7 は引張試験結果から真ひずみ速度と真応力の関係を算出し、両対数グラフに示したものである。各温度でプロットした点より近似直線を求め、係数  $A$  と応力指数  $n$  を求めた。表 1 に各温度での係数  $A$  と応力指数  $n$  を示す。応力指数  $n$ 、係数  $A$  とともに温度の上昇とともに増加する傾向は確認されなかった。温度上昇とともに係数  $A$ 、応力指数  $n$ 、どちらも増加すると想定していたが、今回の結果は予想に反した結果となった。この要因については今後の研究にてさらに調査する必要がある。

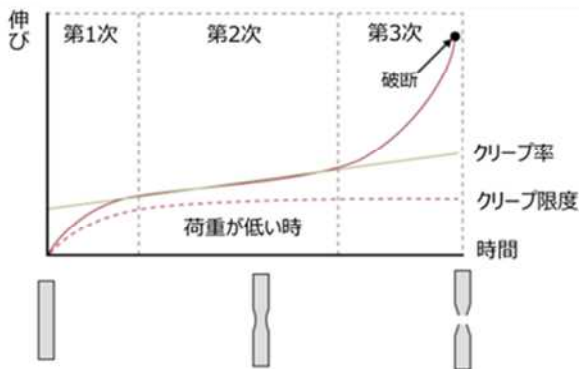


図 6 クリープ曲線

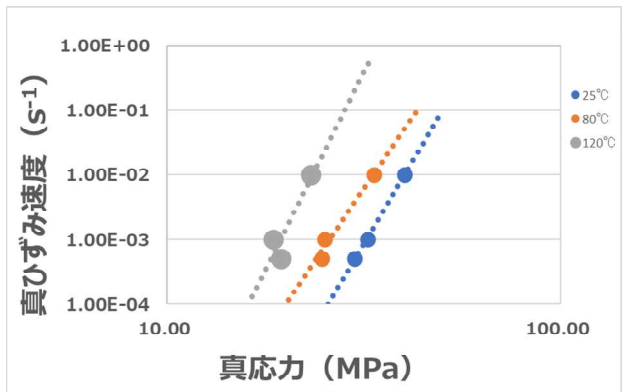


図 7 真応力-真ひずみ線図

表 1 クリープ物性値

温度 (°C)	係数 A (MPa/s)	応力指数 n
25	$3.0 \times 10^{-19}$	10.3
80	$2.0 \times 10^{-16}$	9.0
120	$2.0 \times 10^{-19}$	12.3

### 3 FEM

#### 3. 1 解析モデル

前節で得られた係数  $A$  と応力指数  $n$  を用いて 2.1 で作製した試験片と同一の寸法にてモデルを作製し、2.2 と同一の条件にて FEM を実施した。使用した解析ソフトは ANSYS Mechanical 2022 R2 である。図 8 に解析で使用したモデルを示す。解析の条件として固定は左側掴み部、右側掴み部に変位を与えて解析を行った。

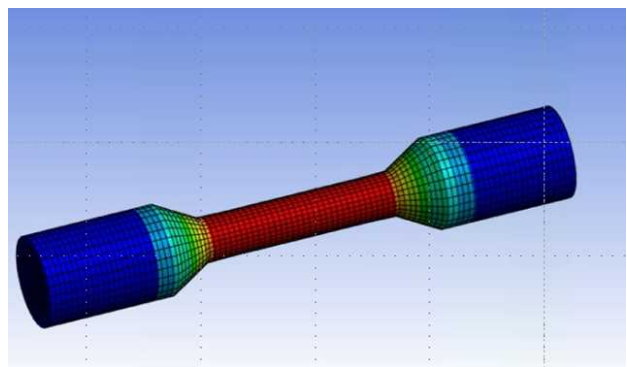


図 8 シミュレーションモデル

### 3. 2 解析結果

図9～11に2.3にて求めた応力-ひずみ線図に解析結果を加えた図を示す。同じ温度の引張試験結果と解析結果を比較すると応力-ひずみ線図の傾向が異なっている。現段階において、このことを論じるためのデータが不足しているため、今後追加の試験を行いながら検討を進めていきたい。

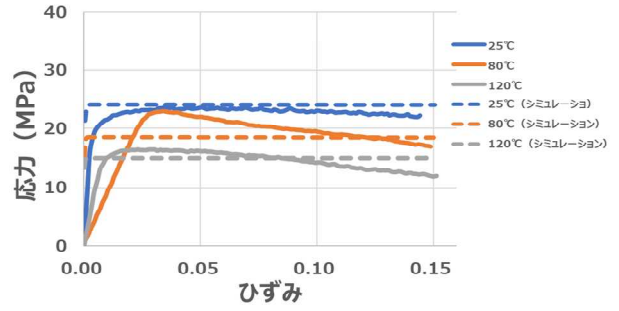


図11 応力-ひずみ線図  
(ひずみ速度： $5.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ )

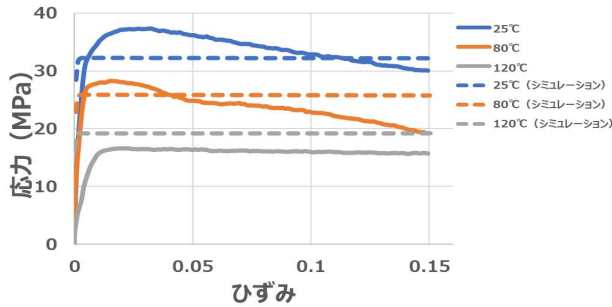


図9 応力-ひずみ線図  
(ひずみ速度： $1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

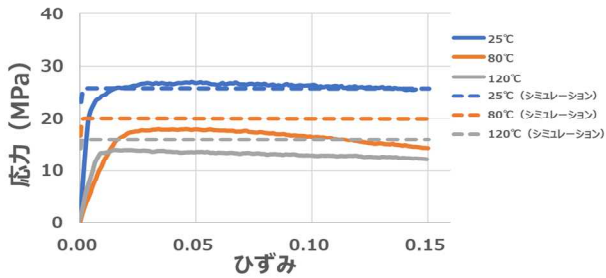


図10 応力-ひずみ線図  
(ひずみ速度： $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

### 4 まとめ

本研究では、シミュレーションを行うための物性値取得方法の確立および適切なクリープモデルの選定について検討した。その結果、物性値は引張試験で取得し、シミュレーションは計算が単純なノートン則で解析することで実測データと解析データを得ることができた。

今後は解析条件の見直しを行うとともに実際にクリープ試験を実施して実測データと解析結果との整合性を向上させたい。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり貴重な御助言、微小荷重試験機の借用いただきました群馬大学大学院理工学府知能機械創製部門 荘司郁夫教授に感謝申し上げます。

## 管巻機の長寿命化及び再生にかかる検証

小林興尚・中村 哲也・小宅 智史

齋藤 宏\*・齋藤 裕文\*

Verification of extending the mechanical lifespan of bobbin winder and investigation of necessary measures for regeneration.

Okihisa KOBAYASHI, Tetsuya NAKAMURA, Satoshi OYAKE  
Hiroshi SAITOH, Hirohumi SAITOH

伝統織物製造にかかる機器の一部では、メーカーが撤退していることが原因で、消耗部品・交換部品の入手や機器修繕が困難な現状がある。本研究の対象とする管巻機も修繕や更新の目途は立たないが、シャトル織機での織物生産のためには必須の機械であり、運用停止した場合、織機のシャトルにヨコ糸を設置することができなくなり、連鎖的にシャトル織機も運用停止してしまう。このことから、本研究では管巻機を運用し続けるために長寿命化または再生を行うことを最終目的とし、三次元 CAD、三次元測定機、X線 CT 等を活用して、手段の検討を実施した。

キーワード：管巻機、シャトル織機、三次元 CAD、三次元測定機、X線 CT

Some of the equipment used in traditional textile manufacturing is currently facing difficulty in obtaining replacement and repair parts due to the manufacturer's withdrawal. The pipe winding machine, which is the subject of this research, also has no prospects for repair or upgrade, but it is an essential machine for textile production using shuttle looms. If it stops operating, it becomes impossible to install weft threads on the shuttle of the loom, resulting in a chain reaction of the loom's shutdown. Therefore, this research aims to prolong the lifespan or regenerate the pipe winding machine to continue its operation. To achieve this goal, the means were verified using 3D CAD, 3D measurement machines, X-ray CT, and other methods.

Keywords : Bobbin winder, Shuttle loom, 3D CAD, Coordinate Measuring Machine, X-ray CT

### 1 まえがき

近年、織機製造企業は、織物生産の高速化に対応するため、エアージェット織機などの高速運転が可能な洋装用織機の製造に力を入れているが、一方で和装用シャトル織機をはじめとする伝統的工芸品生産にかかる機器は利用減少によって製造中止になっており、市場流通しない交換部品が年々増え続けている。そのため、織機に不具合を生じた場合にその入手が困難

になり、将来的に伝統的な和装織物の製造ができなくなるおそれがある。

群馬県立産業技術センターでは、県内ものづくり企業発展のための技術支援を行っているが、令和3年4月1日から群馬県繊維工業試験場を統合し、群馬産業技術センター（前橋）、東毛産業技術センター（太田）および繊維工業試験場（桐生）の3拠点新体制としたことで支援範囲の拡大、支援体制の拡充を進め、相互に連携することで多分野の知識、技術が必要となる内容の繊維産業支援にも取り組んでいる。昨年度は群馬産業技術センターの多様な試験機と、繊維工業試験場の伝統的工芸品生産にかかる機器や技



術を活用しながら連携し、伝統的工芸品生産者と共同でシャトル織機の部品を再生する研究を行い、図面のない機構部品の再生（リバースエンジニアリング）技術を培ってきた。本研究ではこの技術を応用し、新体制の群馬県立産業技術センター独自の取り組みとして、装置を長期運用できる状態にすることを目的として、管巻機（きだまきき）の長寿命化及び再生にかかる検証を行った。

繊維工業試験場は古くから繊維産業の支援を行っており、織物を生産するために必要な様々な機器を所有している。そのうちの一つに管巻機があり、昭和50年頃から稼働している。管巻機はシャトル織機で織物を生産する際の準備に必要な専用機械で、ヨコ糸を管（くだ）と呼ばれる部品に巻き付ける作業を行うために使用される。準備するヨコ糸の長さは生産ごとに異なるが、目安としては700mほどの糸を一定の張力で一定の太さに巻き上げることが必要であるため、専用機以外での作業や人力での作業は不可能となっている。しかしながら、管巻機のメーカーは全社が製造から撤退しているため、消耗部品や交換部品の供給は絶たれており、メーカーによる修理も不可能な状態にある。繊維工業試験場では管巻機を3台所有しており、このうち2台は故障なく稼働状態のため、シャトル織機での織物生産が可能な状態にあるが、1台は主に装置上半分の糸を繰り出す機構が欠損し稼働できないため保管されている状態ある。今後、この2台も稼働停止した場合には連鎖的にシャトル織機も停止することとなり、織物製造技術の研究・支援の範囲を狭めることになってしまう。

管巻機の安定的稼働はシャトル織機の運用と企業支援に必要不可欠であることから、管巻機を研究の対象とし、長期的に運用するための手段を検討することとした。検討は、現行機器の形を変えずに長く運用するための「長寿命化の検討」と、機能を継承した新しい機器への更新するための「再生の検討」に分けて行った。

## 2 方法

### 2.1 使用機器

本研究に使用した管巻機を図1、三次元測定

機(LEGEX9106、ミットヨ株式会社)を図2、産業用X線CT(Phoenix v|tome|x m 240/180、日本ベーカーヒューズ株式会社)を図3に示す。断面画像のボリュームデータ化およびSTL形式への変換に使用したソフトウェアはVG Studio MAX3.2(ボリュームグラフィックス株式会社)、STLデータの編集とソリッドデータへの変換に使用したソフトウェアはQuicksurfaceFull(KVS社)、ソリッドデータの編集にはSolidworks(ダッソー・システムズ株式会社)を使用した。管巻機の機能を継承した新しい機器への更新を検討するために使用した巻線機(TAK-01A、NITTOKU株式会社)の写真を図4に示す。また、管の写真を図5に示す。管の構造について、本研究では、径の細い左側を先端、径の太い右側を根本とよぶ。なお、後述する寸法計測に当たってはマイクロメータ等の汎用測定機も使用した。



図1 稼働中の管巻機



図2 三次元測定機



図3 X線CT



図4 巻線機



図5 管

### 2.2 長寿命化の検討

長寿命化の検討では、現行機器の形を変えずに長く運用することを目的として検討を行った。前述の通り、故障した場合のメーカーからの部品供給は不可能なため、リバースエン

エンジニアリングにより部品を作製することで部品供給を行うこととした。本研究では、管に糸を巻き付ける部分の部品5点について、形状の複雑さに応じて手法を変更してデータ化までを実施した。部品の写真を図6に示す。なお、長寿命化にあたっては、失われている糸を繰り出す機構の再構築も必要であるが、これについては今後の課題とし、本研究では取り扱わない。



図6 データ化した部品

上段3部品：簡易形状部品

下段2部品：複雑形状部品

### 2. 2. 1 簡易形状部品のデータ化

三次元測定機および汎用測定機による実物の寸法計測、Solidworks によるソリッドデータ化の手順で実施した。

### 2. 2. 2 複雑形状部品のデータ化

X線CTとVGSTUDIOMAXでのSTLデータ（表面形状のポリゴンデータ）の取得、QuicksurfaceFullによるSTLデータの修正と自由局面によるソリッドデータへの半自動変換、Solidworksによる軽微な修正の手順で実施した。X線CTによりSTLデータを作成する際、形状の一部に実際にはない穴が開いてしまう等のエラーが発生することがあるため、QuicksurfaceFullはこのエラーを解消するためにも使用した。

X線CTでのX線照射条件は、管電圧200kV、管電流100 $\mu$ A、X線焦点と測定対象物の間に挿入した金属フィルタは厚さ1.0mmの銀、ボクセルサイズは91 $\mu$ m、投影画像取り込み数720枚、FOD（Focus to Object distance）を368mm、FDD（Focus to Detector distance）を808.543mmとした。画像再構成の際には、ビームハードニング補正等のフィルタ処理は行わず、中心軸補正のみ行った。

## 2. 3 機器再生の検討

再生の検討では、機能を継承した新しい機器への更新を目的として検討を行った。前述の通り、メーカーは市場から撤退していることから、機器更新の目途は立たない。そこで本研究では、金属線をボビンに巻き付けてコイルを生産するための巻線機と呼ばれる機械を転用することを検討した。

管巻機と巻線機について簡単に比較すると、管巻機は糸を機械的な設定で一定の太さに巻くのに対して、巻線機は金属線をプログラムで指定の回数巻く仕様となっている。図5で提示の通り、管はテーパ形状を持っていることから、外径太さを検知せずに制御すると図6のような一定の外径には仕上がらないことが予想され、プログラムを精巧に作りこむ必要があると認識しているが、本研究の段階では、管への糸の巻き付けを巻線機でも簡易的に実施可能であることを確認した。

## 3 結果及び考察

### 3. 1 長寿命化の検討

#### 3. 1. 1 簡易形状部品のデータ化

簡易形状部品について、ソリッドデータを得ることができ、部品再生の可能性を示すことができた。データ化する際には図7に示すように採寸結果を入力し、これをもとにソリッドデータ化を実施した。部品のソリッドデータを図8に示す。

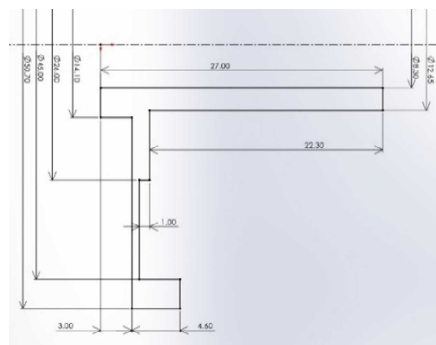


図7 データ化の一例

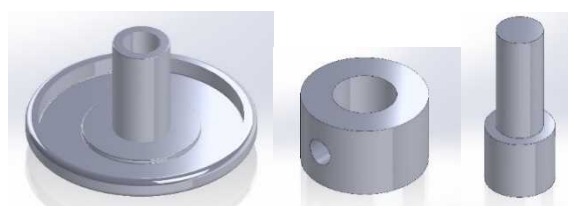


図8 簡易形状部品のソリッドデータ

ただし、リバースエンジニアリングにおいて重要なことは部品の形状を単純に再現することではなく、組み合わせの相手部品と適切に勘合するよう最終調整を行うことにある。作製時には、はめ合い等を考慮して加工公差を決定し、必要であれば追加での実物採寸やソリッドデータの調整を行う必要がある。

### 3. 1. 2 複雑形状部品のデータ化

複雑形状部品について、ソリッドデータを得ることができ、部品再生の目的を立てることができた。STLデータの修正を行っても、ほとんどの箇所で0.02mm未満の偏差であり、かつ自動変換によりSTLデータからソリッドデータへの変更まで約2時間で完了することができた。データ化した部品の一つについて、X線CTで取得したデータの表面形状を図9に示す。また、QuicksurfaceFullにてデータを修正した結果、元のSTLデータと形状が異なっていないことの確認のため、QuicksurfaceFullにより両データを使用した偏差解析を行った。この結果を図10に示す。自動変換により作成したソリッドデータを図11に示す。

複雑形状部品は鋳造で作製されたものがほとんどであるが、リバースエンジニアリングの際に鋳造で作製することはコスト面の問題で不可能に近い。作製にあたっては、形状と用途、コストを勘案し最適な加工方法を検討する必要がある。

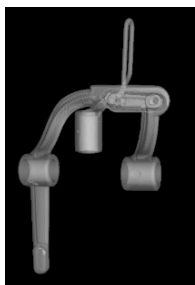


図9 X線CTでの取得データ

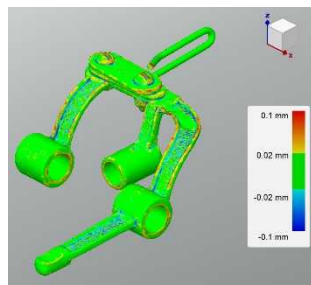


図10 偏差解析結果



図11 複雑形状部品のソリッドデータ

### 3. 1. 3 糸線機構の再生検討

巻線機で糸の巻き付けを行う際、管を回転軸に固定する必要があるが、既存の治具では対応できなかったため、本研究では簡易的な固定で巻き付けを行った。このことから、容易な設置と安定した回転をさせるためには、管を巻線機に取り付けるための治具の開発が必須であることがわかった。糸を巻き付ける様子を図12に示す。また、巻線機で糸を巻いた管の写真を図13、管巻機で糸を巻いた管の写真を図14に示す。



図12 巻線機での巻き付け



図13 巻線機で巻き付けた管



図14 管巻機で巻き付けた管

図5に示した通り、糸を巻く部分の径は根本側から先端側に径が小さくなり、波打つような形状になっている。このような形状に対し、端から端まで単調に往復する動作で糸を巻くと一定の外径は得られないが、図14に示すように、管巻機で巻いたものは外径が整っている。これは、管の根本側から外径を検知しながら巻き始め40mm程度の区間を往復し、根本側が指定の外径まで巻き上がったなら、5mm程度先端側にスライドし、同様の動作を繰り返しているためである。図13に示すように、簡易的なプログラムにて巻線機で糸を300mほど巻くと、外径が乱れた結果となったものの、巻き付け動作中の糸の切断や管の破損はなかったことから、巻線機のプログラム最適化を行うことで、転用できる可能性があることを示すことができた。巻き上げはできたものの糸の張力調整は実施していないので、最適な張力付与の方法は今後継続して検討す

る必要がある。また、プログラムの最適化に当たっては、管巻機の正確な動作条件を把握する必要があることから、今後継続して検討を行うにあたっては、管巻機の動作解析とプログラムの最適化を並行して実施する必要がある。

#### 4 まとめ

部品のソリッドデータ化を実践したことで、管巻機の部品のリバースエンジニアリングの可能性を示すことができ、長寿命化の検討を進めることができた。また、巻線機での糸の巻き付けを実践したことで、管巻機更新の可能性を示すことができ、機器再生の検討を進めることができた。

今後の展開として、長寿命化の検討では、部品の公差、加工方法の検討を適宜実施してのリバースエンジニアリングの実践、糸を繰り出す機構の再構築を実施したい。また、機器再生の検討においては、主軸と管を繋ぐ治具の開発、張力調整方法の検討、管巻機の動作解析、プログラムの最適化を実施したい。

#### 参 考 文 献

- 1) 戸田裕之：X線CT－産業・理工学でのトモグラフィー実践活用－
- 2) 田中俊敬ほか：産業用X線CTの理解と活用、軽金属学会誌、第71巻、第9号、417(2021)

# 味覚センサーを利用した「旨味」の「みえる化」

山田徹郎・大和あゆみ\*・川上亮英\*

"Visualization" of "Umami" Using Taste Sensing System  
Tetsuro YAMADA, Ayumi YAMATO, and Ryouei KAWAKAMI

味覚センサーを用いて、サンプルを測定すると同時に、既存のグルタミン酸溶液を測定することで検量線を求めた。サンプルの測定値から、それに対応するグルタミン酸の濃度を求め、「旨味相当量」として表わす測定方法を確立した。また、うまみの相乗効果について味覚センサーで測定し、官能評価によらず、混合系での相乗効果が高い配合比を求める方法を検討した。昆布と鰹節を配合し、9段階のサンプルを作成した。旨味の相乗効果が特に高くなったのは、鰹節の配合比が50%から70%の間であった。

キーワード：味覚センサー、旨味、旨味の相乗効果

A calibration curve was obtained by using a taste sensing system to measure existing glutamate solutions when measuring samples. From the measured values, the corresponding concentration of glutamic acid was determined, and a measurement method was established to express it as "amount equivalent to umami". The synergistic effect of umami was measured by a taste sensing system. And a method was studied to find a blending ratio with high synergistic effect in a mixed system without sensory evaluation. Nine levels of samples were prepared by blending dried kelp and dried bonito flakes. The synergistic effect of umami was particularly high when the ratio of dried bonito flakes in the mixture was between 50% and 70%.

Keywords: taste sensing system, umami, synergistic effect of umami

## 1 はじめに

味覚センサーでは、呈味を相対値として数値化し、結果をレーダーチャートで示するのが一般的である。その測定方法は、相対比較であり、測定毎に共通の標準試料が必要となる制約がある。一方で、制約なしに味覚の数値化が求められている。そこで、五味のうち旨味に限定し、制約なしに旨味を数値化する試験方法の確立を試みた。

また、2種類の旨味成分を混合すると、単独よりも旨味を強く感じる「相乗効果」が存在する<sup>1)</sup>。それを味覚センサーで数値化することで「みえる化」し、うまみ成分の混合系において、相乗効果が高くなる配合比の求められないか検討した。

## 2 実験

### 2.1 旨味相当量の測定方法の確立

味覚センサーは、呈味（塩味、酸味、旨味、苦味、渋味、甘味）を数値化する装置である。呈味にそれぞれ対応する膜センサーの応答電圧(mV)を測定し、標準試料との電位差を呈味ごとの標準物質の濃度差に変換して、その強弱を「推定値」として算出する。旨味の評価は、その推定値を用い、その値を【旨味】と表記する。

いくつかの既存濃度のグルタミン酸溶液の【旨味】を求め、応答曲線を作成し、サンプルの【旨味】から、応答曲線に対応するグルタミン酸の濃度を求め、これを「旨味相当量」とした。このことで旨味の数値化が可能であると考えた。

具体的には、グルタミン酸濃度の薄い部分では、応答曲線が直線に近似できるため、その部分を検量線として、サンプルの【旨味】から、旨味相当量を求めた。

旨味相当量を求めるサンプルとして、昆布を用いた。その理由は、可食部100gあたりグルタミン酸量（総アミノ酸量、削り昆布参照）が1400mg<sup>2)</sup>と多いためである。

## 2. 1. 1 試料

### (1) グルタミン酸標準液

グルタミン酸標準品は、L(+)-グルタミン酸水素ナトリウム一水和物（富士フィルム和光純薬(株)製造 分子量187.13)を用いた。

#### i) 味覚センサー

グルタミン酸標準品を200 mLメスフラスコに0.749 g精確に秤量し、超純水でメスアップし、濃度20 mMのグルタミン酸原液を調製した。この原液を超純水で希釈し、検量線作成のためのグルタミン酸液

(2.0, 1.0, 0.80, 0.50, 0.26, 0.18, 0.10, 0.06 mM)を作成した。

#### ii) 液体クロマトグラフィー

グルタミン酸標準品を100 mLメスフラスコに12.7 mg精確に秤量し、pH2.2くえん酸ナトリウム緩衝液（以下「希釈液」とする）でメスアップし、濃度100 mg/Lのグルタミン酸原液を調製した。この原液を希釈液で希釈し、検量線作成のためのグルタミン酸液(10, 4, 2, 1 mg/L)を作成した。

### (2) 昆布サンプル

市販のだし用の昆布粉末を調査したところ、添加物として、アミノ酸等と表記されており、添加物が入っていない商品を見つけることができなかった。この添加物により旨味の相乗効果が生じる可能性があるため、旨味相当量を求める実験には適さないと考え、添加物を含まない乾燥した昆布（日高昆布 北海道産(株)都平昆布海藻製造）を試料に供した。

上述の昆布を食品用破砕機（大阪ケミカル(株)販売 ワンダーブレンダー）で1分処理し、粉末状にした。その昆布粉末を2 g/Lとして、遠心分離(3,500rpm 10分)し、その上澄み液を採取し、昆布サンプルとした。

## 2. 1. 2 試験方法

### (1) 旨味相当量

旨味相当量は、味覚センサー（インテリジェントセンサーテクノロジー(株)製 TS-5000Z）を用いた。測定手順は、五味（塩味、酸味、旨味、苦味、渋味）と甘味を分けて行う。今回の実験では、五味を測定する場合と同様な運転プログラムを用いた。旨味を測定する「AAEセンサー」だけを本体に取り付けて測定した。尚、分析は3反復で行い、その平均値で評価した。写真1に味覚センサーを示す。また、1回の測定可能個数は10検体である。



写真1 味覚センサー

予備試験として、グルタミン酸標準品から約6 mMの溶液を調製し、それを超純水で2倍希釈を繰り返した試料10点を測定した。

また、予備試験の応答曲線から直線近似可能な範囲で2.1.1試料 i) に示すグルタミン酸の溶液8点と昆布サンプルについて、味覚センサーで【旨味】を測定し、検量線を求めた。

### (2) 液体クロマトグラフィー

グルタミン酸の定量には、島津LC-VPアミノ酸分析システムを用いた。調製したグルタミン酸液(10, 4, 2, 1 mg/L)と、希釈液で5倍希釈して測定した。

- ・分析条件 : Na型迅速
- ・試料導入量 : 10  $\mu$ L
- ・カラム : Shim-pack Amino-Na
- ・流速 : 0.6 mL/min
- ・オープン : 60  $^{\circ}$ C
- ・励起波長 : 350 nm
- ・蛍光波長 : 450 nm
- ・溶出時間 : 10.3 min(グルタミン酸)

## 2. 1. 3 結果

図1に予備試験におけるグルタミン酸濃

度による【旨味】の応答曲線を示す。

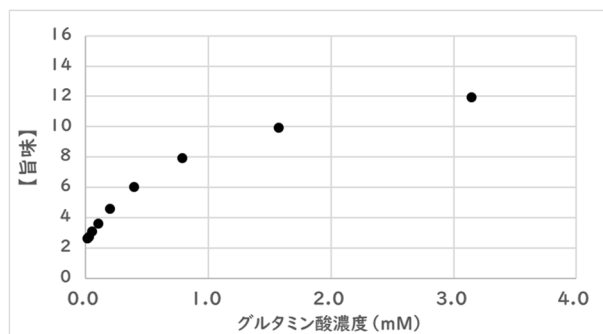


図1 グルタミン酸濃度による応答曲線

また、2.1.1試料 i) に示すグルタミン酸で応答曲線を求めた。0.06 mMから1.0 mMの範囲で、直線に近似ができた。これを検量線として、直線の式及び決定係数を付して図2に示す。決定係数 $R^2$ が0.9952と強い相関が得られた。

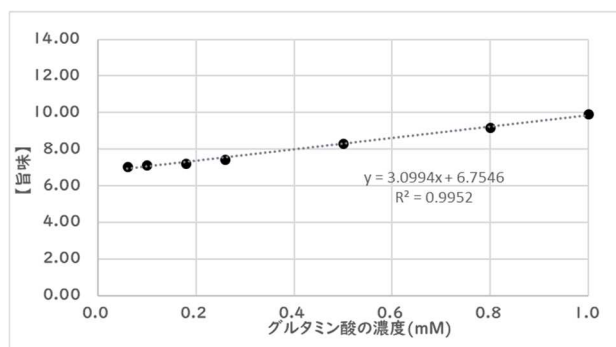


図2 グルタミン酸濃度による検量線

この検量線から昆布サンプルの旨味相当量を求めたところ、0.59 mMであった。

また、液体クロマトグラフィーで同じ昆布サンプルのグルタミン酸濃度を求めたところ、0.14 mMであった。

#### 2. 1. 4 考察

味覚センサーが測定した【旨味】から旨味相当量を求めるためには、測定毎に検量線を求める必要があるが、旨味の数値化が可能である。

今回のデータ処理においては、応答曲線の直線部分を検量線として用い数値を算出した。応答曲線の形状を考えると1.0 mMから3.0 mM程度の範囲では、応答曲線が直線で近似できないため、求めるサンプルを希釈して、直線近似できる0.06 mMから1.0 mMの範囲内で計算する必要がある。

測定サンプルのグルタミン酸の概算値が不明であると、直線近似できる範囲に入るようにサンプルの希釈濃度調整を繰り返す

必要がある。

そのため、測定手順として、サンプルの概算値をパックテストなど別の方法（例えば、文献3）で求めるか、1回の測定可能個数は10検体であるために、希釈したサンプル数を増加させ、一方で、検量線用のグルタミン標準液を減少させて試験を行うことが望ましいと考えられる。

また、今回は直線近似できる部分を用いたが、応答曲線を多次元式と考え、濃度を算出する方法も有効であると考えられる。その検討は今後の課題である。

また、昆布サンプルについて、液体クロマトグラフィーで測定したグルタミン酸(0.14 mM)よりも味覚センサーでは測定した旨味相当量(0.59 mM)の方が大きい理由は、グルタミン酸のみを定量する液体クロマトグラフィーでの測定値に比べ、AAEセンサーは昆布サンプルと中のグルタミン酸以外の物質にも応答した可能性が考えられる。

AAEセンサー応答する物質は、グルタミン酸の他に、イノシン酸、グアニル酸及びコハク酸であり<sup>4)</sup>、これらの応答物質は、表1の示す様に旨味として官能評価に対応しており、味覚センサーの旨味の評価は官能評価と相関があると考えられる。尚、昆布には、表1に表示される物質のうちグルタミン酸以外は含まれていない。

表1 AAEセンサーに反応する物質名と旨味成分の例

物質名	旨味成分の例
グルタミン酸	昆布の旨味成分
イノシン酸	鰹節の旨味成分
グアニル酸	キノコ類の旨味成分
コハク酸	貝類の旨味成分

相当量とは、同様の効果を持つ物質を1種類の物質に代表させ、その物質に換算させる。値は正確ではないが、目安として食品業界では広く使用されている概念である。

相当量の問題として、旨味を感じなくてもグルタミン酸と同様にAAEセンサーに反応すれば、相当量は大きくなってしまいう可

能性がある。この様な事例は、相当量では生じることである。例えば、相当量のひとつである食塩相当量の場合、ナトリウムイオンの定量から食塩相当量を算出するため、重曹（ナトリウムを含む）の様に塩味を強めるためでなく添加した成分により、食塩相当量が大きくなる。

AAEセンサーに応答し、官能評価では旨味を感じない物質が含まれている可能性がある。この場合、相対評価を行う味覚センサーでは、それらの影響は表れず、議論できなかった問題である。

このことから、旨味相当量を利用するにあたっては、旨味を呈さない物質に対するAAEセンサーの応答性の調査が課題として残った。

## 2. 2 旨味の相乗効果の見える化

昆布に含まれるグルタミン酸と鰹節に含まれるイノシン酸を混合した場合、旨味の相乗効果が生じることが古くから知られている<sup>1)</sup>。文献1では、①0.04%のグルタミン酸、②0.04%のイノシン酸、③0.02%のグルタミン酸と0.02%のイノシン酸の1:1混合物について、旨味を官能評価し、③が顕著に強くなった結果が示され、混合すると、旨味が強くなる相乗効果を示している。しかし、だしなどの新商品開発では、旨味の相乗効果が高い配合比を精度高く知りたいという要望がある。そこで、その方法として、配合比を変化させた昆布と鰹節の混合物を作成し、その旨味を味覚センサーで測定し、応答電圧から旨味の相乗効果が高い配合比を求める方法を検討した。

また、混合した各々のサンプル中のグルタミン酸濃度及びイノシン酸濃度を液体クロマトグラフィーで測定した。

### 2. 2. 1 試料

#### (1) イノシン酸標準液

イノシン酸標準品は、イノシン5'-モノリン酸（シグマアルドリッチジャパン合同会社製造 分子量392.2）を用いた。

イノシン酸標準品を100 mLメスフラスコに10 mg精確に秤量し、超純水でメスアップし、濃度100 mg/Lのイノシン酸原液を調製した。この原液を超純水で希釈し、検量線作成のためのイノシン酸液（50, 20, 10,

5 mg/L）を作成した。

### (2) 昆布サンプル

混合比を求める試料として、実際に使われるだしの濃度を参考に前述の粉末状にした昆布を用いて20 g/Lとし、遠心分離（3,500rpm 10分）後、その上澄み液を昆布サンプルとした。

### (3) 鰹節サンプル

市販のだし用の鰹節粉末を調査したところ、添加物として、アミノ酸等が加えられていない鰹節の粉末（かつおのふし ヤマキ（株）製造）を試料に供した。

混合比を求める試料として、実際に使われるだしの濃度を参考にし、上述の鰹節を30 g/Lとし、遠心分離（3,500rpm 10分）後、その上澄み液を鰹節サンプルとした。

### (4) 昆布—鰹節混合サンプル

この実験系では、実用に即すため、試薬を用いず、だしに使われる昆布サンプルと鰹節サンプルを用いて、昆布—鰹節混合サンプルとした。表2に示す配合比で混合し、9段階の配合比の昆布—鰹節混合サンプルを作成した。

表2 昆布—鰹節混合サンプルの配合比

サンプルコード	昆布サンプル添加量 (mL)	鰹節サンプル添加量 (mL)	鰹節サンプルの割合 (%)	昆布サンプルの割合 (%)
A	50	0	0	100
B	40	10	20	80
C	35	15	30	70
D	30	20	40	60
E	20	25	56	44
F	20	30	60	40
G	15	35	70	30
H	10	40	80	20
I	0	50	100	0

## 2. 2. 2 試験方法

### (1) 旨味の数値化

旨味の数値化は、2.1.2と同様に味覚センサーを用いた。旨味の測定は、先味（食べた時に感じる呈味）と後味（舌に残る呈味）の2種類が測定可能である。ここで、旨味の先味を【旨味】、旨味の後味を【旨味コク】と表記する。

後味の測定方法は、測定前にサンプルを基準液（人工的な唾液に相当）で2分間洗浄を2回繰り返した後に測定される。



後味は、洗浄により旨味物質のセンサー膜への残存具合で評価する。つまり、洗浄により、センサー膜から旨味物質が脱落しにくく、多くが残存していれば、後味は強くなり、また、洗浄により、センサー膜から旨味物質が容易に脱落し、殆どが残存してければ、後味は弱くなる。

だし類においては、うま味物質の濃度が高い場合、AAEセンサーの旨味物質に関する応答電圧が飽和に達し、AAEセンサーで測定される【旨味】からうま味物質の濃度が計算できない状態になる<sup>5)</sup>。そのため、【旨味コク】を測定することとした。

【旨味コク】は、測定前に洗浄するので旨味物質の濃度が薄くなり、上記の問題が生じない。

## (2) 液体クロマトグラフィー

### i) グルタミン酸の定量

前述の2.1.2と同様の条件で分析した。昆布サンプルは50倍希釈、昆布一鰹節混合サンプルはそれぞれ5倍、希釈液で希釈して測定した。

### ii) イノシン酸の定量

イノシン酸の定量には島津高速液体クロマトグラフィー-フォトダイオードアレイ検出器を用いた。イノシン酸液(50, 20, 10, 5 mg/L)と、昆布一鰹節混合サンプルを適切に希釈したものを測定した。各サンプルのそれぞれの希釈倍率を下記に示す。

A : 希釈なし(原液)

B : 2倍

C, D, E, F : 5倍

G, H, I : 10倍

・移動相 : 0.05 mol/Lトリメチルアミン水溶液(pH5.0、リン酸) : メタノール = 100:1

・試料導入量 : 10  $\mu$ L

・カラム : TSKgel ODS-100Z 3 $\mu$ m (4.6 mm I.D.  $\times$  25 cm)

・流速 : 0.6 mL/min

・オーブン : 40  $^{\circ}$ C

・検出波長 : 260 nm

・溶出時間 : 23.8 min(イノシン酸)

## 2. 2. 3 結果

味覚センサーによる配合比ごとの【旨味コク】を図3に示す。【旨味コク】の応答

曲線は、上に凸であった。この様に旨味の相乗効果を数値化することができた。

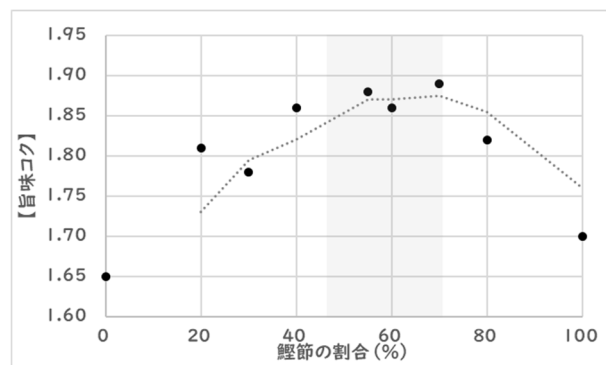


図3 鰹節の割合による【旨味コク】

液体クロマトグラフィーによる配合比ごとのグルタミン酸の濃度を図4に、イノシン酸の濃度を図5に示す。

液体クロマトグラフィーの結果から、配合比通りに、グルタミン酸、イノシン酸が含有されていることが確認できた。

鰹節サンプル100% (サンプルI) ではグルタミン酸が0.1 mM確認された。

また、鰹節サンプル0% (サンプルA) では、イノシン酸のピークは現れなかった。

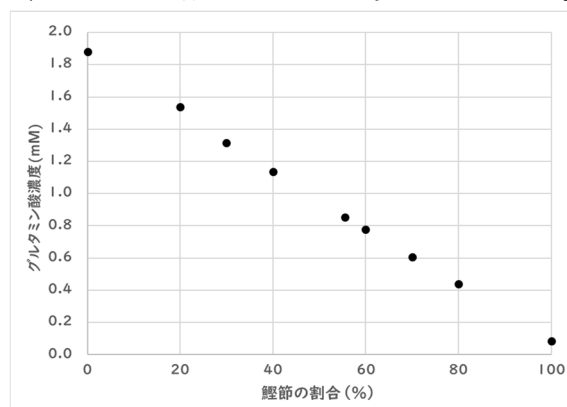


図4 混合サンプルのグルタミン酸の濃度

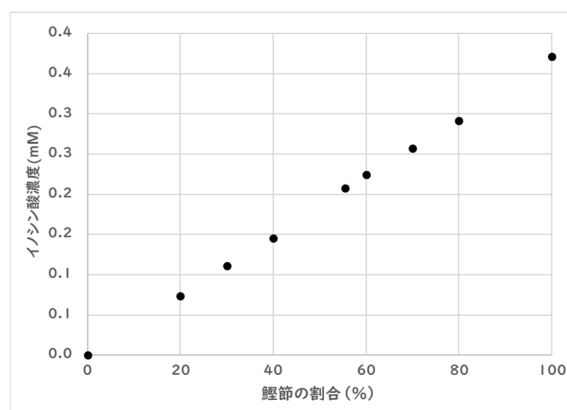


図5 混合サンプルのイノシン酸の濃度

## 2. 2. 4 考察

図4において、サンプルIから鰹節にグルタミン酸が存在することを示している。文献6でも分析方法が異なるが、グルタミン酸が検出されている。

図5において、サンプルAから昆布にイノシン酸は検出されないことが示している。文献6でも分析方法が異なるが、イノシン酸は検出されていなかった。

また、図3において、鰹節100%（サンプルI）の【旨味コク】は1.70であり、鰹節0%（サンプルA）の【旨味コク】の1.65よりも【旨味コク】が強い。これは鰹節100%（サンプルI）では、イノシン酸に加えて、グルタミン酸が0.1 mM検出されていることから、旨味の相乗効果により強くなったと考えられる。

図3に灰色で示した様に相乗効果が高くなる配合比は、50%から70%の間であった。この様に配合比が重要となる商品開発においては、今回の実験方法は有効だと思われる。

一方で、今回の実験結果の【旨味コク】の測定値の差は小さかった。この差を大きくする条件があれば、適した配合比をもっと細かい範囲で求めることができると予想される。そのためには、電解液を加えることで、応答電圧の絶対値を上げ、差を大きくすることが考えられる。また、【旨味コク】（後味）の運転プログラムは、測定前の洗浄が過剰で、測定値が小さくなってしまった可能性も考えられる。そのため、今回の実験系に適する運転プログラムへの改良は今後の課題である。

また、旨味相当量について再度、考察すると相乗効果により、2種類の旨味成分を含む混合系では、味覚センサーで求めたグルタミン酸やイノシン酸の濃度（相当量）は、液体クロマトグラフィーで求めた濃度よりも高くなることが予想される。この様に相乗効果をも評価できる点で、味覚センサーによる「旨味相当量」は、新しい旨味の尺度になりうると期待できる。

## 3 まとめ

味覚センサーを用いて、標準試料が必要

となる制約なしに旨味を数値化する試験方法を確立した。いくつかの既存濃度のグルタミン酸溶液の【旨味】から、応答曲線を作成し、それをサンプルの【旨味】と対応させてグルタミン酸の濃度を求めた。これを「旨味相当量」として、旨味を数値化することができた。

旨味の「相乗効果」について、昆布サンプルと鰹節サンプルの混合系において、味覚センサーを用いて数値化し「みえる化」することができた。相乗効果が高くなる配合比は、鰹節の配合比が50%から70%の間であった。

## 文 献

- 1) 高木美代子 イノシン酸の分離 食物学会誌第12号、p56 (1962)
- 2) 香川明夫監修 八訂食品成分表2021 資料編 女子栄養大学出版部、p148 (2021)
- 3) 「つくば食品評価センター、グルタミン酸を簡便測定 エンザイム・センサと開発」日本食糧新聞 2022.11.21
- 4) 株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー 「味認識装置中級講習会説明資料」メーカー資料コード：IST-S0011A06001 (2016)
- 5) 株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー 「うま味センサ(AAE)の問題（先味評価）に対する暫定的なご対応のお願い」メーカー資料コード：IST-SS020A03004 (2020)
- 6) 神田知子ら 和風だしおよびインスタントスープに含まれる遊離アミノ酸とその類縁体および拡散関連物質の組成の違い 同志社女子大学学術研究年報第61巻、p141 (2010)

## ローコード開発による簡易遠隔監視装置の構築

石黒聡・遠藤庸弘・小和瀬登\*  
町田晃平\*・黒岩広樹\*\*・水沼一英\*\*\*  
齋藤裕文\*\*\*\*・清水弘幸\*\*\*\*

Construction of a simple remote monitoring device by Low-code development  
ISHIGURO Satoshi, ENDO Nobuhiro, KOWASE Noboru, MACHIDA Kohei,  
KUROIWA Hiroki, MIZUNUMA Kazuhide, SAITO Hirofumi, SHIMIZU Hiroyuki

繊維工業試験場に設置されている試験機で、試験機の状態を何度も確認している作業を減らすためにローコード開発ツール「Node-RED」を利用して、簡易遠隔監視装置を構築した。

整経機または人工気象室に停止を検知するセンサーを取り付けて、停止を検知したときに簡易遠隔監視装置から Slack に通知をすることで、試験機を直接見に行かなくても停止していることがわかるようになり、試験機の状態を確認する時間が削減され、試験機の稼働率を向上することができた。

キーワード：ローコード、遠隔監視装置

A simple remote monitoring device was constructed using the Node-RED low-code development tool to reduce the workload of repeatedly checking the status of testing machines installed at Textile Industry Experiment Station.

By installing a sensor that detects the stoppage of the warping machine or the artificial weather room and notifying Slack from the simple remote monitoring device when the stoppage is detected, it was possible to know the stoppage without going to see the test machine directly. As a result, the time to check the status of the testing machine was reduced, and the operating rate of the testing machine was improved.

Keywords : Low-code, remote monitoring device

### 1 はじめに

群馬産業技術センターでは、IoT を活用した業務の効率化について検討し、実施している。その中で、試験機の状態を1日に何度も確認している業務があることがわかり、遠隔で監視できる仕組みを構築することで、業務を効率化できることが明らかになった。

繊維工業試験場に設置されている試験機についても同じように確認している作業があり、特に停止していることがすぐにわかると、試験機の稼働率の向上と確認時間の削減が図れることが予想された。

そこで本研究では、繊維工業試験場の試験機の停止を検知して、通知することができる簡易遠隔監視装置の構築を行った。

### 2 方法

#### 2.1 簡易遠隔監視装置の概要

装置本体は、Raspberry Pi 4 を使用した。試験機に応じて停止を検知するセンサーを取り付けて、LTE や Wi-Fi を利用して、ビジネスチャットツール「Slack」に通知するようにした。簡易遠隔監視装置を制御するためのプログラムは、プログラムの知識があまりなくても開発することができるローコード開発ツール「Node-RED」を利用して開発した。

Node-RED は、様々な機能が用意されているノードをワイヤーでつなぎ、処理をフローで簡単に作成することができる。

試験機は、整経機と人工気象室を対象とした。

## 2. 2 整経機

### 2. 2. 1 簡易遠隔監視装置の構成

整経機の外観を図 1 に示す。整経機は、経糸を整える機械で、制御用 PC で糸の種類を設定するようになっている。試験機が停止するとパトライトが点灯するので、パトライトの点灯を光センサーで検知するようにした。また、停止したときの制御用 PC の画面を送信するため、HDMI を Raspberry Pi の標準カメラインターフェースである CSI-2 に変換するボードを取り付けて、画面をキャプチャーできるようにした。

装置本体の構成を表 1 に、センサー部の構成を表 2 に示す。また、装置の外観を図 2 に、設置した状態を図 3 に示す。



図 1 整経機の外観

表 1 装置本体の構成

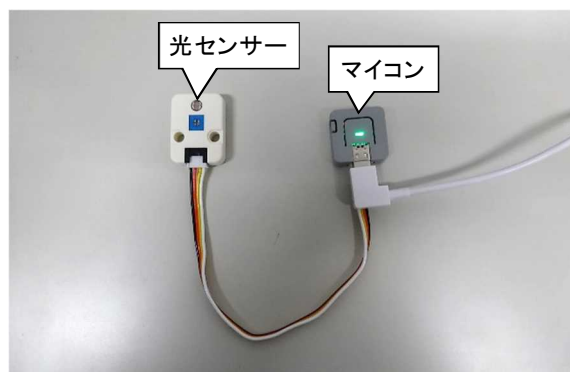
シングルボードコンピュータ	Raspberry Pi 4 Model B (ラズベリー財団)
HDMI to CSI-2 変換ボード	X630 拡張ボード (Geekworm)
無線ドングル	Onyx LTE (ソラコム株)
デュアルボタンユニット	U025 (M5Stack)

表 2 センサー部の構成

光センサーユニット	U021 (M5Stack)
マイコン	ATOM Lite (M5Stack)



(a) 装置本体



(b) センサー部

図 2 簡易遠隔監視装置の外観



(a) 装置本体



(b) センサー部

図 3 簡易遠隔監視装置の設置

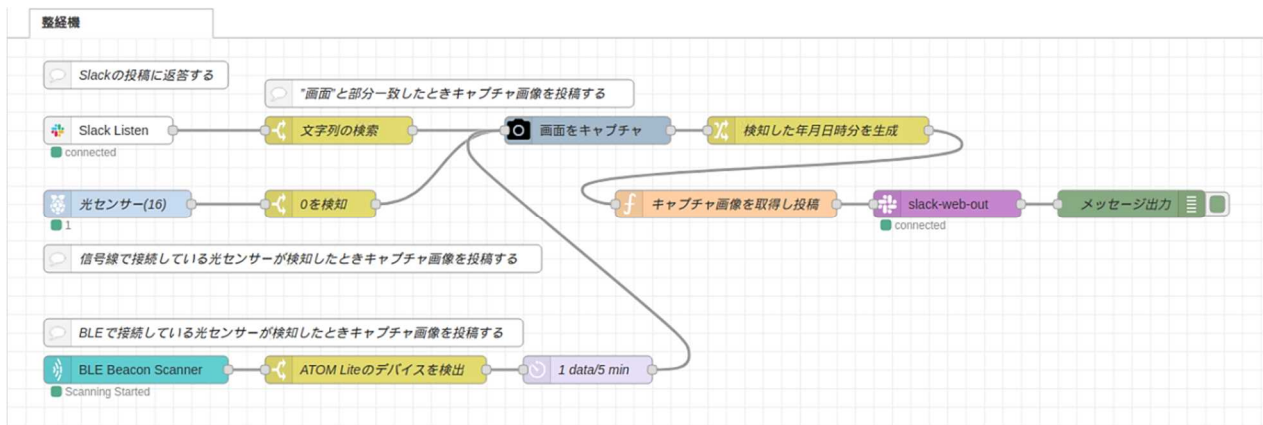


図4 Node-REDのフロー

なお、パトライトは制御用PCと5m程度離れているため、光センサーでの検知は、マイコンを介してBLE通信で装置本体にデータを送信するようにした。また、無線ドングルを利用してLTEで直接外部ネットワークに接続し、Slackに通知するようにした。

### 2.2.2 通知プログラムの開発

Node-REDで開発したフローを図4に示す。次の3つの何れかを受信したときに、制御用PCの画面をキャプチャーして、Slackにメッセージと画像を送信するようにした。

- ① Slackアプリから画像を要求
- ② 光センサーを有線で接続した場合に光を検知
- ③ 光センサーをBLE通信で接続した場合にマイコンからのデータを受信

表3のノードを利用することで、通信などの処理をプログラムで記述することなく、簡単に実行することができる。

表3 利用したノード

機能	ノード
Slackアプリからの受信	Slack Listen
BLE通信の受信	BLE Beacon Scanner
Slackへの送信	slack-web-out
画面のキャプチャー	camerapi-takephoto

## 2.3 人工気象室

### 2.3.1 簡易遠隔監視装置の構成

人工気象室の外観を図5に示す。人工気象室は、衣料品やインテリア製品の性能評価に使用する機械である。チラー（冷却水循環装置）が停止すると試験機が停止するため、チラーの電流値を測定して、停止を検知するよう

にした。



図5 人工気象室の外観

装置本体の構成を表4に、センサー部の構成を表5に示す。また、装置の外観を図6に、設置した状態を図7に示す。

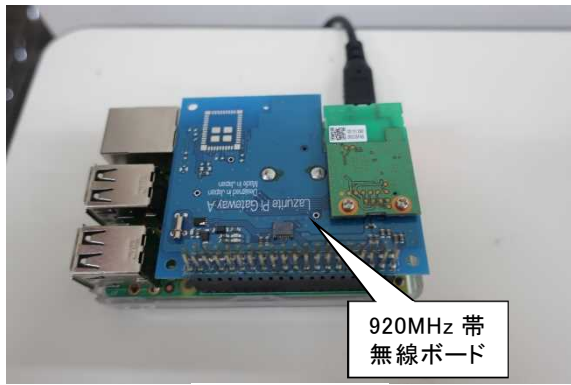
チラー電源の主幹ブレーカ二次側ケーブルに電流センサーをクランプして測定した電流値は、電流センサーモジュールを介して920MHz帯通信で装置本体に送信するようにした。そして、繊維工業試験場内のWi-Fiを利用して、Slackに通知するようにした。

表4 装置本体の構成

シングルボードコンピュータ	Raspberry Pi 4 Model B (ラズベリー財団)
920MHz帯無線ボード	Lazurite Pi Gateway (ラピステクノロジー(株))

表5 センサー部の構成

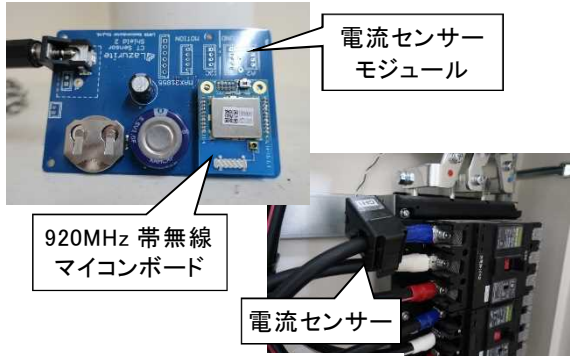
電流センサー	CTF-200A (マルチ計測器(株))
電流センサーモジュール	CT Sensor Shield 2 (ラピステクノロジー(株))
920MHz帯無線マイコンボード	Lazurite 920J (ラピステクノロジー(株))



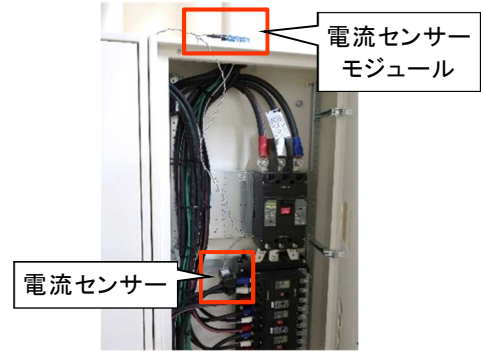
(a) 装置本体



(a) 装置全体の配置の様子



(b) センサー部



(b) センサー部

図6 簡易遠隔監視装置の外観

図7 簡易遠隔監視装置の設置

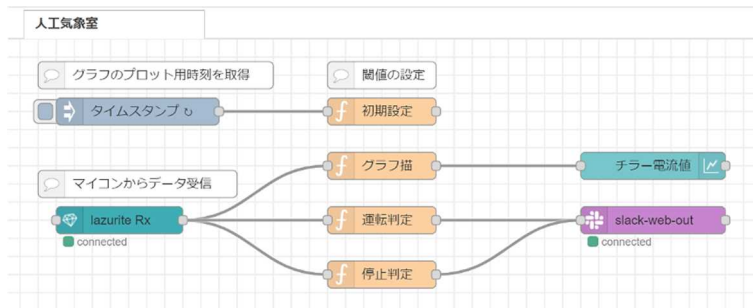


図8 Node-RED のフロー

### 2. 3. 2 通知プログラムの開発

Node-RED で開発したフローを図8に示す。表6のノードを利用して、920MHz帯通信で電流値を受信し、グラフへの値の追加やSlackに運転または停止のメッセージを送信するようにした。また、試験機の運転または停止を判定する電流値のしきい値は任意に設定できるようにした。

Node-REDのグラフ機能を利用して、ブラウザでトレンドグラフを表示した画面を図9に示す。電流値が設定したしきい値を上回ったときに運転したと検知し、しきい値を下回ったときに停止したと検知するようにした。

表6 利用したノード

機能	ノード
920MHz帯通信の受信	lazurite Rx
Slackへの送信	slack-web-out

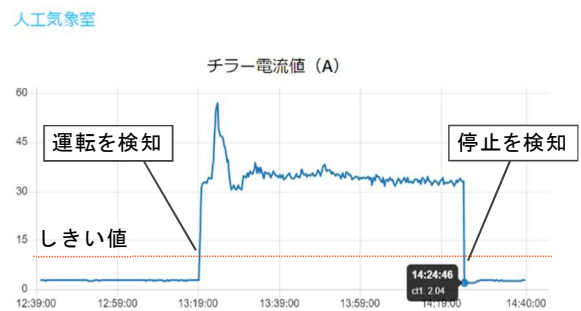


図9 電流値のトレンドグラフ

### 3 結果

#### 3.1 整経機での Slack の通知

パトライトの点灯を検知し、停止の通知をした Slack アプリの画面を図 10 に示す。検知した時刻と制御用 PC の画面をキャプチャした画像が表示されている。パトライトが点灯したままの状態のときは、5 分間隔で通知が行われる。

画像は拡大表示できるので、停止した状況と停止した原因を確認することができる。



図 10 整経機の Slack の通知

#### 3.2 人工気象室での Slack の通知

電流値がしきい値を上回り運転したことを検知したときとしきい値を下回り停止したことを検知したときに通知した Slack アプリの画面を図 11 に示す。



図 11 人工気象室の Slack の通知

### 4 まとめ

Node-RED を利用して、試験機の停止を検

知して、Slack に通知する簡易遠隔監視装置を構築した。整経機では、パトライトに光センサーを取り付けて、BLE 通信で停止を検知したことを送信し、LTE で Slack へ通知できるようになった。また、人工気象室では、チラーの配線に電流センサーを取り付けて、920MHz 帯通信で運転または停止を検知したことを送信し、試験場内の Wi-Fi で Slack へ通知できるようになった。

試験機ごとに適したセンサーや無線通信を選定したが、Node-RED で用意されているノードを利用することで、プログラムの開発工数が大幅に減らせることがわかった。

簡易遠隔監視装置を各試験機に設置したことで、試験機の停止が Slack で通知できるようになり、直接確認する作業を大幅に減らすことができた。また、本装置を設置する前は、試験機が数十分から数時間停止していた場合があったが、停止したことがすぐわかるようになったため、対応を早くすることで停止時間を少なくすることができ、試験機の稼働率も向上することができた。

### 参考文献

- 1) uepon 日々の備忘録 (2019) 「【Raspberry Pi】Node-Red でカメラを使用する (Camera モジュール・USB カメラ)」, <https://uepon.hatenadiary.com/entry/2019/10/08/081435> (参照 2022 年 5 月 16 日)
- 2) ものもののテック (2022) 「Raspberry Pi から Slack へ画像投稿」, <https://monomonotech.jp/kurage/raspberrypi/slack.html> (参照 2022 年 5 月 23 日)
- 3) デジタルライト (2020) 「ラズパイに Node-RED を入れて EnOcean(BLE)の環境センサーを接続する 2/2」, <https://digital-light.jp/2020/08/17/tutorial-install-node-red-to-raspberry-pi-and-make-flow-with-enocean-sensor-2/> (参照 2022 年 6 月 24 日)
- 4) Appliot (2019) 「複数の CT センサのデータをグラフとメールでお知らせ」, <https://www.appliot.co.jp/lazurite-jp/lazurite/13827.html> (参照 2022 年 7 月 25 日)

# 次世代産業創出研究



# 製造業におけるメタバース活用の基礎検討

三ツ木寛尚・町田晃平・小和瀬登  
小島孔明\*・荻野直彦\*・鏑木哲志\*

## Basic Study of Metaverse Utilization in the Manufacturing Industry

MITSUGI Hironao, MACHIDA Kohei, KOWASE Noboru,  
KOJIMA Kohmei, OGINO Naohiko, KABURAGI Tetsushi

本研究では、製造業におけるメタバースの活用に向け、工場見学及び産業用ロボットトレーニングをテーマとしたメタバース上の実証実験を実施した。さらに、メタバース空間構築に向けた基礎検討を実施するため、Unityを用いた空間構築検討を実施した。本検討により、3Dモデルデータと点群データをVRデバイスで表示可能なアプリケーションの作成を行うことができた。

キーワード：メタバース、VR、Unity

In this study, we conducted a demonstration experiment on the Metaverse with the theme of factory tours and industrial robot training for the utilization of the Metaverse in the manufacturing industry. In addition, we conducted a study of space construction methods using Unity in order to conduct a basic study for the construction of a metaverse space. Through this study, we were able to create an application that can display 3D model data and point cloud data on a VR device.

Keywords : Metaverse、VR、Unity

### 1 はじめに

現在、日本社会が目指す未来社会の姿としてSociety5.0と呼ばれる社会システムの構築が提唱されている<sup>1)</sup>。Society5.0ではフィジカル空間とサイバー空間を高度に融合させた社会システムの実現により、AI、IoT、5G等の技術を活用した膨大な情報の解析と、解析結果のフィードバックによりもたらされる新たな価値創造が期待されている。その中で注目されている技術の1つとして、メタバースが挙げられる。メタバースとはインターネット上に構築された仮想空間を指す用語であり、ゲーム業界等のエンターテインメント分野をはじめとした様々な分野で活用が広がっている<sup>2)</sup>。

製造業においては、デジタルツイン等の技術開発が検討されている中、メタバース

はその技術との親和性を有しており<sup>2)</sup>、今後製造業における活用も見込まれると考えられる。しかし製造業におけるメタバース活用事例の報告は少なく、メタバースの有効的な活用法に関しては検討が必要であると考えられる。

そこで本研究では、製造業におけるメタバースの有効性を明らかにすべく、調査を行った。

### 2 研究方法

#### 2.1 メタバース実証実験

本研究では製造業におけるメタバースの有効性を調査するため、メタバースを活用した実証実験を開催した。本実証実験の概要を表1に示す。今回は製造業の業務事例として考えられる、工場見学と産業用ロボ

ットトレーニングをテーマとした実験コンテンツを用意した。本実証実験はセミナー形式で開催し、参加者は製造業関連業務に携わる企業技術者8名及び本県職員11名の計19名である。本実証実験後に参加者に対するアンケート調査を行い、メタバースの有効性及び活用が想定されるシーンの調査を実施した。図1に実際の実施風景を示す。本実証実験は群馬県庁NETSUGENセミナースペースにて実施した。

表1 実証実験概要

タイトル	VR技術を活用した産業用 ロボットトレーニングの実証実験
参加者	19名
実施内容	メタバース上での工場見学及び ロボットトレーニング
調査方法	参加者へのアンケート調査



図1 実証実験の実施風景

## 2.2 メタバース空間構築技術の基礎検討

製造業でのメタバース活用を見据えた基礎検討として、VRデバイスで確認可能な空間構築技術の検討を実施した。本検討では、空間構築ノウハウの開発をより低コストで実施可能なオープンソースゲームエンジンUnityを活用したVR空間構築を行った。

## 3 研究結果

### 3.1 メタバース実証実験結果

本実証実験にて参加者に対して実施したアンケート項目を表2に示す。本アンケート調査では、メタバースで実施したセミナーの理解度を評価するため、従来型のセミナー形式との理解度の比較調査を行った。

工場見学においては、従来の対面型、オンライン型と比較した理解度を調査し、産業用ロボットトレーニングにおいては、紙のマニュアル、対面型、オンライン型と比較した理解度を調査した。

次に、アンケート調査により得られた結果を図2及び図3に示す。図2より、メタバース上での工場見学の理解度は従来型の工場見学の理解度と比較して、同等以上の理解度を得られることが確認された。メタバースでの実施により、自身が工場内にいるような高い臨場感を得られたことが、理解度向上に繋がったと考えられる。また、通常人が立ち入ることができない工場内の危険区域内の見学が行えたことも、理解度向上に寄与したと考えられる。図3より、メタバース上でのロボットトレーニングに関する理解度は、従来の紙のマニュアル形式やオンライン型のセミナーと比較して高い理解度を示す傾向を示すことが確認された。しかし、対面型のセミナーと比較した際は、一定の理解度を得られたものの、理解度は劣る傾向であることが確認された。メタバース上のロボットを操作するためには、VRデバイスに付属したコントローラの操作が必要であり、コントローラ操作の習得に時間がかかったため、セミナー開催時間内での具体的なロボット操作の理解度に結び付かなかつたと考えられる。しかし図4に示す通り、ティーチングペンダントの操作画面やロボットの稼働軸をVRデバイス画面に表示することで、作業者の理解度向上につながられる点や、誤操作によるロボット破損リスクを除去できる点に優位性を見出すことができた。

次に、アンケート調査により得られた製造業において考えられるメタバースの活用シーンを表3に示す。アンケート結果から、メタバースは製造業における設計・生産工程、人材育成、及び広報活動といった大きく3つの業務シチュエーションで有効性が考えられることが示唆された。

また本実証実験により得られたメタバース活用に向けた課題として、下記内容が挙げられた。

課題①：メタバース空間構築手法及び構築に係るコスト面

課題②：VRデバイス着用時の課題

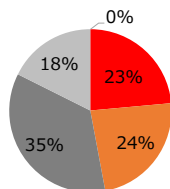
(身体への疲労感、コントローラ  
操作方法、画面ピント合わせ)

本研究ではセンターで早急に取り組むことが可能であると考えられる、課題①に関する検討を3.2にて実施した。

表2 アンケート調査項目

アンケート項目
1. メタバース上で実施した工場見学の理解度
2. メタバース上で実施したバーチャルロボットトレーニングの理解度
3. メタバースの活用場面、課題

対面型工場見学よりも、  
内容が理解できる



オンライン型工場見学よりも、  
内容が理解できる

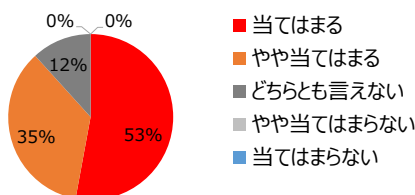
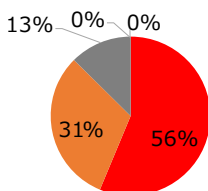
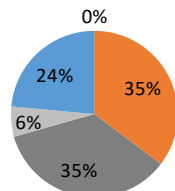


図2 メタバース工場見学の理解度に関するアンケート結果

紙のマニュアル  
よりも理解できる



対面型セミナー  
よりも理解できる



オンライン型セミナー  
よりも理解できる

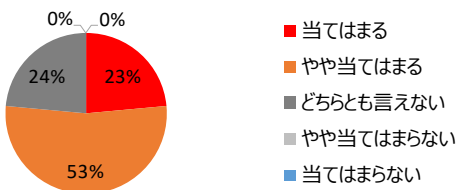


図3 メタバースロボットトレーニングの理解度に関するアンケート結果



図4 メタバースロボットトレーニングの様子

表3 製造業でのメタバース活用シーン

活用シーン	メタバースの具体的な活用例
設計・生産工程	・設計段階での稼働シミュレーション ・新規生産ラインのレイアウト検討
人材育成	・高リアリティを有する業務トレーニング (安全教育等)
広報活動	・工場見学会、自社商品展示会

3.2 メタバース空間構築技術の基礎  
検討結果

本検討フローについて図5に示す。今回は、3Dモデルと点群データをUnity上へインポートした後に、VRデバイスで閲覧可能なデータ作成を実施した。本検討におけるVRデータ開発環境を表4、実際に作成したVRデータを図6、図7に示す。本検討により、3Dモデル及び点群データをVRデバイスで閲覧可能なアプリケーションを開発することができた。

本アプリケーションには、企業で保有する3Dデータや点群データのインポートも可能であるため、VRデータを活用した企業支援が可能になると考えられる。本研究での知見を活かして得られた、株式会社キンセイ産業との共同研究成果事例を図8に示す。本共同研究では、プラント見学用アプリケーションを開発した。プラントの3DモデルをVRデータ化することで、VRデバイスを通してプラント内部の見学を行うことがアプリケーション上で可能である。今後更なるアプリケーション開発を進めることで、新規設備のレイアウト検討、メンテナンス作業のトレーニングコンテンツ化、展示会や商談における自社製品の紹介等の更なる活用事例が見込まれる。



図5 VR空間構築における検討フロー

表4 VRデータ開発環境

Unityバージョン	2021.3.12f1
VRデバイス	Meta Quest2
SDK	Oculus Integration
プレイヤー情報	OVR Player Controller
Unityへの インポート形式	3Dモデル：OBJ形式 点群データ：PLY形式

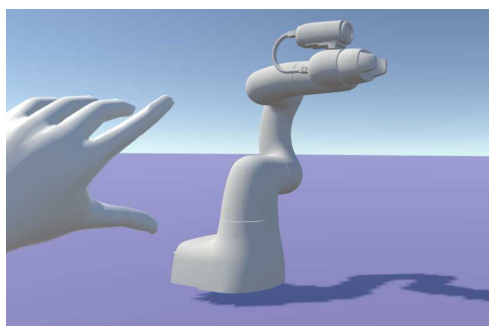


図6 3Dモデルを用いたVRデータ  
(ロボットアームモデル)

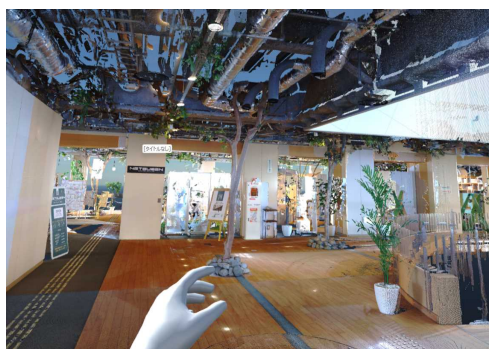


図7 点群データを用いたVRデータ  
(群馬県庁32F)



図8 プラント見学用アプリケーション  
(株式会社キンセイ産業との共同  
研究成果事例)

## 4 まとめ

本研究で得られた知見を下記に示す。

- (1) メタバース実証実験から、工場見学やロボットトレーニングにおいて、メタバースでのセミナーは従来型のセミナーと比較して一定の理解度が得られることが確認された。
- (2) メタバース実証実験から、製造業の業務における設計・生産工程、人材育成、広報活動における場面での活用が見込まれた。
- (3) オープンソースゲームエンジンUnityを用いて3Dモデルと点群データをVR空間で確認可能なアプリケーションを作成した。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、株式会社デンソーウェーブ 三浦徹郎様、内藤佑太様、関翔太郎様に実証実験の企画から実施に関して多大なるご協力を頂いた。また株式会社キンセイ産業 金子啓一様、永島拓海様、パタコンタオチアン様より、3Dモデルデータ提供にご協力頂いた。ここに記して深く感謝申し上げます。

## 参考文献・資料等

- 1) 内閣府：第6期科学技術・イノベーション基本計画 概要  
<<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/6gaiyo.pdf>>
- 2) 加藤直人：メタバース-さよならアトムの時代-、集英社、pp. 60-69 (2022)
- 3) 野村淳一ほか：メタバースにおけるデジタルツイン・シミュレーションの可能性、日本情報経営学会第84回全国大会予稿集、pp. 49-52 (2022)

## その他研究

# 発酵力の強い群馬G1酵母の泡無し化と高品質清酒の製造

渡部貴志・近藤雄一郎\*・吉野 功\*\*

Breeding of non-foaming Gunma G1 yeasts to produce high-quality sake  
WATANABE Takashi, KONDOU Yuichirou, and YOSHINO Isao

群馬G1酵母（G1）は、発酵力が強く普通酒や本醸造酒向けの群馬県独自の酵母である。しかしながら、G1はもろみ発酵中の炭酸ガスの泡に吸着し、高泡を形成する性質をもつ泡有り酵母であり、酒造りの際に泡消しの作業が必要であった。このため、今から約30年前にはG1の頒布を中止していた。一方、近年の地酒ブームに伴い、独自性が示しやすい群馬県独自の発酵力の高い酵母の開発が酒造業界から求められてきた。そこで本研究では、G1から優れた醸造特性を維持した泡無し株を取得し、実用化を行ったので報告する。

キーワード：清酒、群馬清酒酵母、発酵、泡無し株

Gunma G1 yeast whose fermentation ability is strong enough for *Standard-sake* and *Honjyozo-sake* making, is a Gunma original sake yeast. However, G1 attaches CO<sub>2</sub> gas and produces layer foam that covers the surface of *moromi*. Thus, when G1 is used, the brewery workers need to clean foam off their tank walls. Therefore, distribution of G1 for sake-maker stopped about thirty years ago. On the other hand, because recent local sake trend, an original sake yeasts whose fermentation ability was strong, was required from sake factory of Gunma prefecture. In this study, we attempt to obtain a non-foaming G1 stain.

Keywords: Japanese sake, Gunma sake yeast, fermentation, non-foaming strain

## 1 はじめに

近年の地酒ブームに伴い、各酒造会社は独自性が高い清酒の開発に取り組んでいる。例えば、酒母造りで食品添加物の乳酸を入れる速醸もとではなく、昔ながらの蔵付きの乳酸菌を利用した生もと、山廃もとにしていることや、醸造アルコールを添加しない純米酒などがある。また、清酒の消費が落ち込む夏季は、のどごしが良いビールが好まれることに着目し、低アルコールで発泡性のあるスパークリング清酒も開発されている。

清酒の酒質の要となるものが清酒酵母であり、普通酒や本醸造酒向けの発酵力の強

食品化学開発係

\*近藤酒造株式会社

\*\*環境・エネルギー係

い酵母、リンゴ酸などの有機酸を高生産する純米酒向けの酵母、バナナ様の香り成分である酢酸イソアミルを高生産する吟醸酒向け酵母、リンゴ様の香り成分であるカプロン酸エチルを高生産する吟醸酒向け酵母など様々なものがある。これまで各酒造会社は、（公財）日本醸造協会が頒布している優良清酒酵母を利用してきた。一方で、静岡県では静岡酵母と呼ばれる県独自酵母を持ち、静岡県内酒造会社はほぼ全量静岡酵母で酒造りをしており、地域性に特化している。また、酒造りの先進地域である東北では、各県ともに県独自酵母の開発が盛んであり、全国新酒鑑評会に出品する清酒も県独自酵母で造られている。

群馬県の独自酵母には、カプロン酸エチルを高生産する群馬KAZE酵母<sup>1)</sup>と、酢酸イソアミルを高生産する群馬G2酵母<sup>2)</sup>が開

発されているが、利益率の高い普通酒や本醸造酒向けの発酵力の強い酵母が頒布されていない。今から約30年前までは、発酵力が強い群馬G1酵母が頒布されていたが、もろみ発酵中に高泡を形成する性質をもつ泡有り酵母であったため、日本醸造協会が泡無し酵母を頒布するようになると、県内酒造会社で使われなくなった。泡無し酵母を用いるメリットは、泡消しの操作が必要なくなるだけでなく、泡の噴きこぼれ防止のために必要であった空間容積を利用することで一度に造れる酒の量が多くなることである。

そこで本研究では、発酵力が強い群馬G1酵母に着目し、優れた醸造特性を維持した泡無し化と開発株の実用化に取り組むことにより、群馬県内地酒の高付加価値化による競争力強化を目的とした。また、近藤酒造株式会社で実地醸造試験を行い、得られた製成酒について、各成分解析、官能評価を行い、最終的に令和4年度に群馬県内酒造会社の共通財産として実用化されたので報告する。

## 2 実験材料と方法

### 2.1 供試酵母

平成5年に群馬産業技術センターで冷凍保存していたG1を親株として用いた。G1の泡無し候補株は、親株を用いて後述するFroth Flotation法<sup>3)</sup>により育種したものをを用いた。

### 2.2 Froth flotation法による泡無し候補株の育種

300 mL容三角フラスコに泡無し化用培地（濃縮麴エキス500 mL/L、酵母エキス10 g/L、グルコース 20 g/L）を200 mL加え、親株を一白金耳接種し、30℃、100 rpmで24時間回転振盪培養を行った。培養液を全量200 mL用メスシリンダーに入れ、エアーストーンにより通気を行い、泡に付着する泡有り酵母を培養液から取り除く作業を行った。残りの培養液が20～40 mLになった時点で通気を止め、残った培養液1 mLを新たな泡無し化用培地に植え継ぐことによって一連の作業の反復を行った。泡無し株が培養液中に優占化し、通

気後の培養液の濁りが濃くなってきた8反復後、残った培養液を滅菌蒸留水で10<sup>7</sup>倍希釈し、クロラムフェニコール入りのYM寒天培地に100 μL塗布した。寒天培地上に生えてきたコロニー（候補株）をランダムに釣菌した。

### 2.3 水-ベンゼン混濁による簡易泡無し判定試験

15 mL容ファルコンチューブに濃縮麴エキスを5 mL加え、候補株を一白金耳接種し、30℃で24時間静置培養を行った。培養液を遠心分離（3000 rpm×1 min）し、得られた菌体ペレットを5 mLの蒸留水で再懸濁した。ネジ付き試験管に懸濁液1 mLとベンゼン 1 mLを加え、蓋を閉めた後にvortexで10秒間激しく混合した後、水相に菌体が残っているものを泡無し株として判定した<sup>4)</sup>。

### 2.4 α化米を用いた小仕込み試験

G1と泡無し候補株13株の合計14株について、α化米と乾燥麴を用いて表1に示す条件で総米200 gの小仕込み試験を行った。麴エキス（Brix 5°）2.5 mLに酵母を一白金耳接種し、23℃で4日間静置培養を行った。この培養液1 mLに滅菌酒母用汲み水 mLを加えたものを酒母の代わりとして用いた。また、汲み水は水道水を用い、4、7、10日目に10 mLずつ追水を行った。仕込み温度15℃、19日後に上槽を遠心分離（7000×g, 15 min）で行った。なお、発酵経過途中の瓶の泡立ちの様子を目視し、泡無し株かどうかの最終判定も行った。

表1 α化米を用いた仕込み配合

	酒母	1段	2段	追水	計
		目	目		
総米(g)			200		200
麴米(g)		40			40
掛米(g)			160		160
汲水(mL)	12	68	252	30	362

### 2.5 分析方法

酸度、アミノ酸度、日本酒度、エタノールは国税庁所定分析法に従い、分析を行った。グルコース、マルトースは、高速液体クロマトグラフ、示差屈折率検出器を用い、分析を行った。香気成分（酢酸エチル、イ

表2 総米1 kgの仕込み配合

	酒母	一段	二段	三段	追水	計
総米(g)		100	400	500		1000
掛米(g)			400	400		800
麴米(g)		100		100		200
汲水(mL)	61	69	560	660	200	1550
温度(℃)	-	20	15		-	-

ソアミルアルコール、酢酸イソアミル、カブロン酸エチル、イソブチルアルコール)は、ヘッドスペースガスクロマトグラフで分析した。

## 2. 6 総米1 kgの小仕込み試験による再選抜試験

2. 4の $\alpha$ 化米を用いた小仕込み試験で選抜した2株と親株G1に対し、仕込み配合が表2に示す平成30年産群馬県独自酒米舞風50%精米を用いた総米1 kgの小仕込み試験を行った。麴エキス (Brix 5°) 2.5 mLに酵母を一白金耳接種し、23℃で4日間静置培養を行った。この培養液1 mLに滅菌酒母用汲み水60 mLを加えたものを酒母の代わりとして用いた。麴米は、ハイG (樋口松之助商店) を種麴として製麴したものをを用いた。掛米は、洗米後に35%吸水率となるように浸水し、蒸籠で蒸したものをを用いた。汲水は水道水を用い、7、10、13、16日目に50 mLずつ追い水を行った。仕込み温度は8~20℃で経日的に変化させた。

## 2. 7 パイロットプラント試験醸造

2. 6で選抜したG1-227および親株G1に対し、令和元年産群馬県産舞風 (60%精米) を用い、表3に示す配合で総米60 kgの試験醸造を行った。酵母の拡大培養は、麴エキス (Brix 5°) 15 mLで23℃、4日間静置培養により行った。麴米は、ハイG (樋口松之助商店) を種麴として製麴した

ものを用いた。掛米の吸水率は酒母が32%、添が33%、仲留が32%になるよう調整した。

なお、酒母の汲水は水道水を加工し (リン酸二水素カリウム1.0 g/L、硫酸マグネシウム・七水和物0.2 g/L、塩化ナトリウム3.0 g/L)、乳酸24 mL加えて5日間の中温速醸を行った。また、もろみの汲水は水道水を用いた。

## 2. 8 官能検査

2. 7でパイロットプラント試験醸造を行った製成酒について、群馬産業技術センター職員2名で官能検査を行った。品温は20℃に保ち、利き猪口を用いて5点法の総合評価と短評を評価した。

## 2. 9 実地醸造試験

2. 7のパイロットプラント試験醸造で用いた候補株 (G1-227) を用い、令和2年度新潟県産五百万石、長野県産美山錦を用いた総米1800 kgの実地醸造試験を行った。群馬産業技術センターで酵母の拡大培養を行い、冷蔵の宅配便で近藤酒造株式会社に輸送した。酒母は、速醸もと造り、もろみは三段仕込みの通常の市販酒を造る方法で行った。

## 3 結果と考察

### 3. 1 群馬G1酵母の泡無し化

清酒酵母が高泡を形成するのは、発酵による二酸化炭素ガスの泡に吸着するタンパ

表3 パイロットプラントでの仕込み配合と試験条件

	酒母	初添	仲添	留添	追水	計
総米 (kg)	3.0	10.0	19.0	28.0		60.0
掛米 (kg)	2.0	7.0	15.0	24.0		48.0
麴米 (kg)	1.0	3.0	4.0	4.0		12.0
汲水 (L)	4.0	11.0	24.0	42.0	15.0	96.0
温度 (℃)	18	12	8	6~12		



ク質Awalを菌体表面に産出させるためであることが知られている。このため、純粋培養が可能な液体培養で増殖させた泡有り酵母をエアレーションによる泡に付着させて除去し、残った培養液中に泡無し株を蓄積させる手法が、Froth flotation法である（図1）。反復の操作が6回目には、目視で濁りが観察されてきたので、泡無し株の確実な優占化を促すためにさらに2回反復（8反復目）し、塗布した寒天培地の中から240コロニーの単離を行った。

得られたコロニーの中で泡無し株かどうかを判別するため、Awalタンパク質が疎水性を持つことを利用した手法が水-ベンゼン混濁による簡易識別法である（図2）。泡有り株はベンゼン相に移行するために水相が透明になるのに対し、泡無し株は水相が白濁している。この方法により、240コロニーの中から13コロニーを泡無し候補株として選抜した。

Froth Flotation法で得られた240株の中には、わずか13株しか泡無し株が含まれていなかったが、これは群馬G1酵母の発酵力が高く、泡有り株の排除が難しかったためと考えられる。



図1 Froth flotation法の様子



図2 水-ベンゼン混濁を用いた簡易識別



図3 小仕込み試験での泡形成の様子

### 3. 2 $\alpha$ 化米の小仕込み試験による一次選抜

先に行った水-ベンゼンの混濁による簡易的手法では、酵母の遺伝子発現状態によってはAwalを産出していないことがあるので、誤判定をしている可能性が残ってしまう。このため、泡無し株の確認と醸造特性を粗く確認するために $\alpha$ 化米を用いた小仕込み試験を行うことにした。

供試した13株の候補株は、いずれも泡無し株であることが確認できた（図3）。また、既往の報告にあるとおり、小仕込み試験では泡無し候補株は親株よりも発酵力が高く、重量減少量が多くなる傾向を示した（表4）。一方で、株間の香气成分の変動が大きく、泡無し化過程の継代培養で醸造特性が変わりやすいことも確認された。親株G1と同様の醸造特性を示すG1-79、G1-227を選抜した。

### 3. 3 群馬県独自酒米舞風を用いた小仕込み試験による二次選抜

先に選抜した2株と親株G1を用いて舞風を用いた小仕込み試験を行った。これまでセンターでは、総米1 kgの小仕込み試験の実施例がないため、5 Lと8 L容のガラス瓶を用いて実験方法を検討した。なお、一段目の仕込みでは、酒母と添え前の水麴を意識し、300 mL容のガラス容器で行い、二段目に当該ガラス容器へ移して実施した。

試験の結果、容量が小さい方が香气成分は高かった。醸造特性（表5）や官能評価から、選抜株G1-227の方が、親株G1に近い性質を維持できていると判断した。

### 3. 4 パイロットスケールでの試験醸造酒の評価

G1のもろみについて、留後6日目にはpHが低下しており、舞風が溶けにくいこ



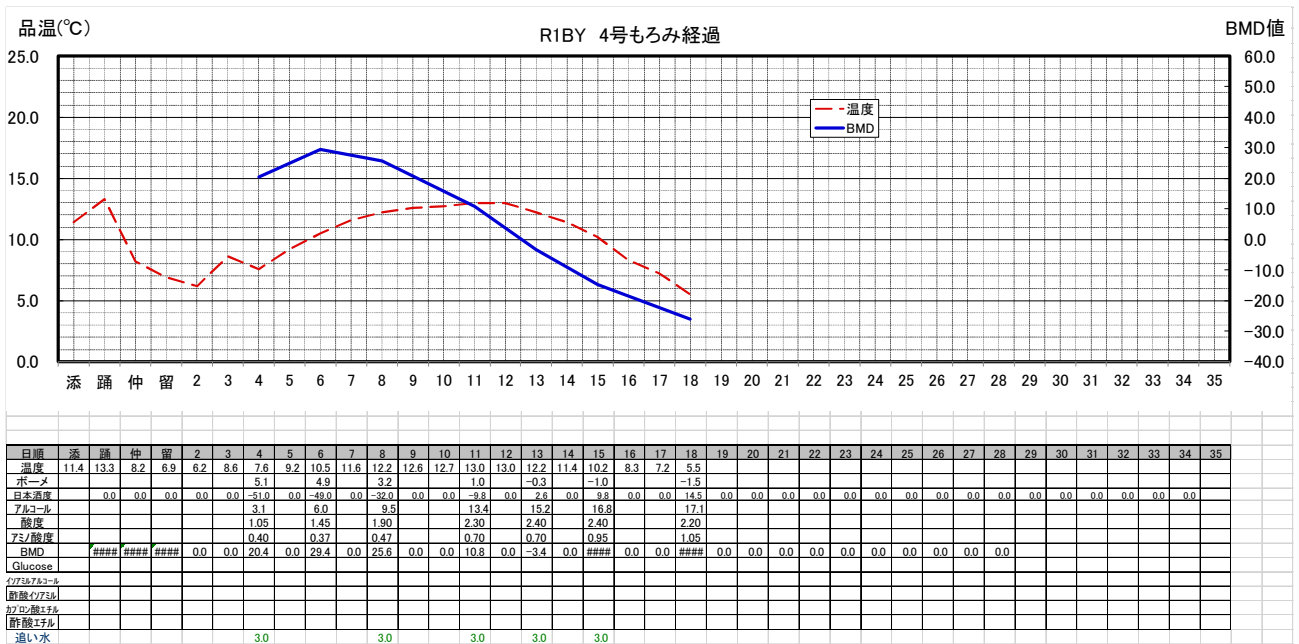


図4 パイロットスケール試験醸造のG1のもろみ経過

表6 試験醸造酒の各種成分

製成酒	G1-227	G1
日本酒度(-)	14.8	14.4
酸度(mL)	1.9	1.8
アミノ酸度(mL)	1.1	1.1
エタノール(%)	17.0	16.8
グルコース(g/100 mL)	0.9	0.8
マルトース(g/100 mL)	0.1	0.1
マル+グル(g/100 mL)	1.0	0.8
イソアミルアルコール(ppm)	152.9	162.0
酢酸イソアミル(ppm)	2.5	2.5
カプロン酸エチル(ppm)	0.7	0.7
酢酸エチル(ppm)	81.8	79.1
イソブチルアルコール(ppm)	48.4	49.9
E/A比(-)	1.7	1.6

表7 実地醸造試験酒の成分分析のまとめ

	本醸造酒 (五百万石)	純米酒 (美山錦)
日本酒度(-)	5.9	-1.4
酸度(mL)	1.8	2.2
エタノール(%)	19.5	17.8
グルコース(g/100 mL)	1.3	1
マルトース(g/100 mL)	0.5	0.7
イソアミルアルコール(ppm)	171	202
酢酸イソアミル(ppm)	3.3	3.9
カプロン酸エチル(ppm)	1.2	1.9
酢酸エチル(ppm)	94.4	119.9
イソブチルアルコール(ppm)	66.3	70.6
E/A比(-)	2	1.9

4 まとめ

本研究では、発酵力が強い群馬G1酵母に着目し、優れた醸造特性を維持した泡無し化と開発株の実用化に取り組んだ。最終選抜株G1-227は、パイロットスケールでの試験醸造、近藤酒造株式会社の実地醸造試験でも、親株と遜色なく強い発酵力を示し、実用上問題ないことが認められた。これらの結果を踏まえ、群馬県酒造組合との協議により、G1-227は、G101と命名して令和4年度より実用化し、県内酒造会社に頒布することになった。

謝 辞

本研究の一部は、近藤酒造株式会社との令和2年度群馬産業技術センター公募型共同研究により実施した

文 献

- 1) 上山 修ら：平成13年度群馬県工業試験場研究報告、39-43
- 2) 増渕 隆ら：平成24年度群馬産業技術センター研究報告、38-41
- 3) 布川弥太郎ら：日本醸造協会誌 67、968-979 (1972)
- 4) 布川弥太郎ら：化学と生物 11、216-224 (1973)

## 群馬KAZE酵母のカナバニン感受性が抑えられている原因調査

渡部貴志・佐藤勝也\*・大野 豊\*・田島 創

Study on the mechanism to repress the canavanine sensitivity of Gunma KAZE yeast  
WATANABE Takashi, SATOH Katsuya, Oono Yutaka and TAJIMA So

清酒中のカルバミン酸エチルは、発がん性が疑われているため、その前駆物質である尿素を生産しない酵母の育種が進められている。尿素非生産性酵母は、カナバニン耐性を指標に選抜されるが、群馬KAZE酵母はカナバニン感受性が抑制されている。そこで本研究では、群馬KAZE酵母のアルギニン代謝遺伝子とアルギニン取り込み、硫黄代謝関連遺伝子について解析した。また、セルレニン耐性株が多剤耐性にならないようにグリセロールを炭素源に用いられることに着目し、群馬KAZE酵母3号に適したCAO培地を作成した。

キーワード：清酒、カナバニン、尿素非生産性酵母、アルギニン

Because ethyl carbamate, included in sake, is considered as probably the cause of cancer, breeding yeasts which do not produce urea, a precursor of ethyl carbamate, are being promoted. Although, non-urea producing yeast strains can be selected as canavanine resistant yeast, the growth of Gunma KAZE yeast cannot be repressed on the CAO medium. In this study, we investigated the arginine and sulfur metabolite genes and arginine uptakes of the Gunma KAZE yeast. By focusing the use of glycerol as a carbon source to prevent cerulenin resistant yeasts acquiring multi-drug resistant, we improved a CAO medium suitable for KAZE3.

Keywords: Japanese sake, canavanine, non-urea producing yeasts, arginine

### 1 はじめに

群馬KAZE酵母は、(公財)日本醸造協会の清酒酵母きょうかい901号(K901)を親株とし、セルレニン耐性により育種したカプロン酸エチル高生産性株であり<sup>1)</sup>、群馬県内の酒造会社に広く頒布している。ところで、清酒中に含まれるカルバミン酸エチルは、発がん性が疑われているため、清酒の海外輸出促進の妨げになると考えられている。カルバミン酸エチルは、酵母細胞内でアルギニンをオルニチンと尿素に分解し、その尿素と清酒中のアルコールから縮合して生成する。清酒中のカルバミン酸エチル含量を下げるためには、尿素非生産性酵母を用いることが有効である。

食品化学開発係

\*量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所

以前我々は、北本らの報告<sup>2)</sup>による、アルギニンのアナログ物質であるカナバニンを含むCAO培地を用いた選抜方法により、群馬KAZE酵母2号(KAZE2)の尿素非生産性を試みた。しかしながら、報告の組成では生育抑制がかかりにくく、カナバニン硫酸塩を用いたときは、生育抑制のかかり難さがより顕著であった<sup>3)</sup>。検討の結果、前培養菌体を無窒素YNB培地で培養して窒素飢餓状態にし、アルギニンとオルニチンの添加量を半分にした改変CAO培地を用いることで、KAZE2の生育を抑えることが可能となった<sup>3)</sup>。また、自然変異によるKAZE2の尿素非生産性株は、発酵力が下がった<sup>3)</sup>。そこで、イオンビームを用いた変異誘発処理により、発酵力の低下しないKAZE2の尿素非生産性株を取得<sup>4)</sup>し、実用化に成功している。

一方、群馬県独自酵母は、群馬KAZE酵母1号～4号だけでなく、群馬227酵母(No. 227)<sup>5)</sup>、群馬G2酵母<sup>6)</sup>などがある。群馬KAZE酵母のカナバニン感受性が抑えられている原因を解明することは、他の群馬県独自酵母の尿素非生産性を推進するだけでなく、各県の独自酵母の尿素非生産性に重要な情報提供となり、清酒の海外輸出の促進に繋がると考えた。

これまでの検討結果や既存の報告から、群馬KAZE酵母のカナバニン感受性が抑えられている原因として、以下の2つのことが仮説として考えられた。

仮説①カプロン酸エチル高生産化の過程で行ったEMS処理によって、脂肪酸合成遺伝子*FAS2*の変異だけでなく、アルギニン代謝関連遺伝子にも変異が入っている。

仮説②カナバニン耐性化には窒素飢餓とは直接的には関係なく、セルレニン耐性化と共通の遺伝子が関与している。

本研究では、上記2点の仮説の検証を行った。また、イオンビーム照射により群馬KAZE酵母3号(KAZE3)の尿素非生産性化に取り組んだので報告する。

## 2 実験材料と方法

### 2.1 供試酵母

群馬県独自酵母であるKAZE1～KAZE4、No. 227は、県内酒蔵に頒布しているスラントのものを使用した。KAZE1の親株は、平成4年度に頒布していたK901-H4BYであるため、冷凍保存していたものを用いた。また、(独)酒類総合研究所から分譲していただいたK901-RIB、K10-RIBおよびK1701-RIBを用いた。

### 2.2 遺伝子の配列解析

KAZE1～KAZE4、K901-RIBのゲノムDNAは、GenとるくんTM酵母用(High Recovery)(タカラバイオ(株)製)を用いて抽出した。K701の公開ゲノム情報を基に、アルギニントランスポーター遺伝子*CAN1*とアルギナーゼ遺伝子*CAR1*の上流600 bp、下流300 bpを含む遺伝子断片を増幅できるようにプライマーを設計した(表1、2)。PCR反応は、KOD-FX(東洋紡(株)製)を用いて行った。

表1 *CAN1*用プライマー

NAME	Nucleotide
CAN1 F -600	5'-GCAAAGGCCACAGAACCGTATTCATG-3'
CAN1 F -50	5'-TCTTCAGACTTCTTAACCTCCTGTAATAA-3'
CAN1 F +500	5'-CGGCCAATGGTTACATGTATTGGTTTT-3'
CAN1 F +1050	5'-TTCCAAGAGCCATCAAAAAAGTTGTTTT-3'
CAN1 F +1600	5'-ATTTTCCTGTTCTTAGCTGTTGGATC-3'
CAN1 R +2073	5'-ACGAAAAATGAGTAAAAATTATCTTC-3'
CAN1 R +1523	5'-GATCGTCATAAATGTGGCCGCATAATA-3'
CAN1 R +973	5'-ACAACTTTTTTGTATGGCTCTTGGAACG-3'
CAN1 R +423	5'-CACCCAAGGACTGCGTGACAGAATATG-3'
CAN1 R -127	5'-TTCTGTTCCAGATATATACGTAAAAAA-3'

表2 *CAR1*用プライマー

NAME	Nucleotide
CAR1 F -600	5'-GATTTTTACATACCGTATATCCAATT-3'
CAR1 F -100	5'-AAGATCTAAGACTGTTTCTCTCTCTT-3'
CAR1 F +400	5'-TTGACAAATACCCCGATGCTGGTCTT-3'
CAR1 F +900	5'-TGAATGTAACCCGTGATCTGGCATTTCA-3'
CAR1 R +1302	5'-AAAGGCCCCACCGTTGGTGCAGTGG-3'
CAR1 R +802	5'-GTAGCAGGAATGTATAATGGGTCTACA-3'
CAR1 R +302	5'-CAACTTGGTGGCTTCCACCAACCAATC-3'
CAR1 R -198	5'-ATTGCCATTAGCAGCACGGTGGCTTTC-3'

PCR産物は、NucleoSpin Gel and PCR Clean-up(タカラバイオ(株)製)を用いて精製した。精製したPCR産物にBigDye Terminator Cycle Sequence V3.1 Kit(Applied Biosystem社製)を用いて蛍光標識を付加した後、エタノール沈殿により精製し、ABI3100 automatic DNA sequencer directly(Applied Biosystem社製)を用いて塩基配列の解析を行った。

### 2.3 アルギニン取り込み試験

前培養では、試験管に5 mLのYM培地(酵母エキス3 g/L、麦芽エキス3 g/L、ペプトン5 g/L、グルコース10 g/L)を加え、酵母を一白金耳接種し、30℃にて24時間、150 rpmの振盪培養を行った。

本培養は、AO培地(YNB w/o amino acids and ammonium sulfate 1.7g/L、オルニチン塩酸塩0.84g/L、アルギニン塩酸塩0.21g/L、グルコース20g/L)、またはYD培地(酵母エキス10 g/L、グルコース20 g/L)30 mLを300 mL容三角フラスコに加え、滅菌蒸留水に置換した前培養液30 µLを接種し、30℃で200 rpmの振盪培養を行った。培養12、24、32時間後に培養液を1 mL採取し、菌体増殖量をOD<sub>660</sub>で測定した。また、遠心上清(10,000 rpm×1分間)のアルギニン濃度をOPA(o-phthalaldehyde)ポストカラム誘導

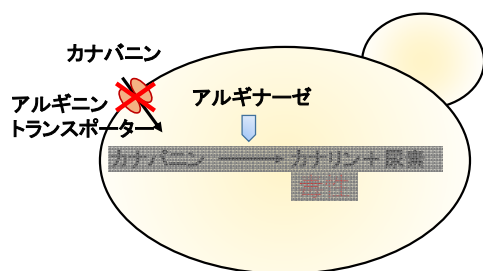
体化-蛍光検出法により分析した。

## 2. 4 尿素非生産性株の選抜方法

酵母菌体を酢酸セルロースメンブランフィルターに固定化後、滅菌済みシャーレ内に設置し、カプトン膜で上面を覆ったものをイオンビーム照射用試料とした。量研機構高崎量子応用研究所TIARAにて、AVFサイクロトンをを用いて加速した炭素イオンビーム ( $^{12}\text{C}^{5+}$ , 220MeV) を200~300 Gyの線量で照射した。

10 mLのYPD培地 (酵母エキス10 g/L、ペプトン20 g/L、グルコース20 g/L) を照射試料に加え、室温で静置による回復培養を3時間行った後、遠心分離 (3,000 rpm × 1分間) により菌体を回収した。窒素飢餓処理は、無窒素YNBD培地 (YNB w/o amino acids and ammonium sulfate 1.7 g/L、グルコース20 g/L) を5 mL加えて菌体を懸濁し、30°Cで150 rpmの振盪培養を3時間行った。得られた培養液をKAZE3用改良CAO培地 (YNB w/o amino acids and ammonium sulfate 1.7 g/L、カナバニン5 mg/L、カナバニン硫酸塩7.5 mg/L、アルギニン塩酸塩0.105 g/L、オルニチン塩酸塩0.42 g/L、グリセロール20 g/L、寒天20 g/L) に塗布した。

カナバニン耐性となり改良CAO培地に生育した候補株について、Arg培地 (YNB w/o amino acids and ammonium sulfate 1.7 g/L、アルギニン塩酸塩0.105 g/L、グルコース20 g/L、寒天20 g/L) で生育できず、且つOrn培地 (YNB w/o amino acids and ammonium sulfate 1.7 g/L、オルニチン塩酸塩0.42 g/L、グルコース20 g/L、寒天20 g/L) で生育できるものを尿素非生産性酵母として選抜した。



仮説1  
アルギニントランスポーター (*CAN1*) が不活性化 (発現が低下) している

図1 仮説①のイメージ

## 3 結果と考察

### 3. 1 アルギニン代謝遺伝子の解析

酵母細胞外のアルギニンは、アルギニントランスポーター*Can1p*により細胞内に取り込まれ、アルギナーゼ*Car1p*によりオルニチンと尿素に分解され、窒素源として利用される。カナバニンは、同じく*Can1p*により菌体内に取り込まれ、*Car1p*によりカナリンと尿素に分解されるが、カナリンには毒性があるため、酵母細胞が死滅する。このことから、群馬KAZE酵母のカナバニン感受性が抑えられている原因の仮説①として、アルギニン代謝関連遺伝子に変異が生じている可能性を考えた (図1)。

そこでまず、群馬KAZE酵母の*CAN1*、*CAR1*の配列解析をしてみたところ、KAZE1~KAZE4の各遺伝子配列は、上流下流領域含めて全て親株K901-H4と同じ配列であり、変異は生じていなかった。なお、カナバニンはジェネラルアミノ酸トランスポーター*Gap1p*やもう一つのアルギニントランスポーター*Alp1p*からは取り込まれにくいことが知られている。

### 3. 2 アルギニン取り込みの解析

遺伝子配列には変異が入っていなかったが、*CAN1*の発現を制御する遺伝子群に何らかの変異が入っており、*CAN1*の発現が抑制されている可能性は残されている。

そこで、それぞれの株の*CAN1*の発現解析を行うため、アルギニンとオルニチンのみを窒素源としたAO培地で培養したところ、親株K901-H4に比べてKAZE酵母はいずれも増殖の遅延があった (図2)。

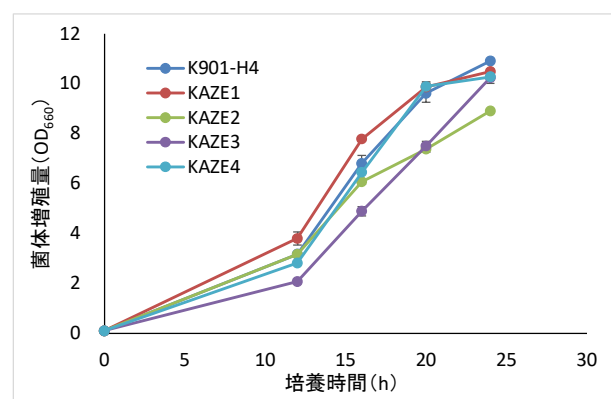


図2 AO培地での酵母の増殖曲線  
3回の独立した試験の平均値を示す。

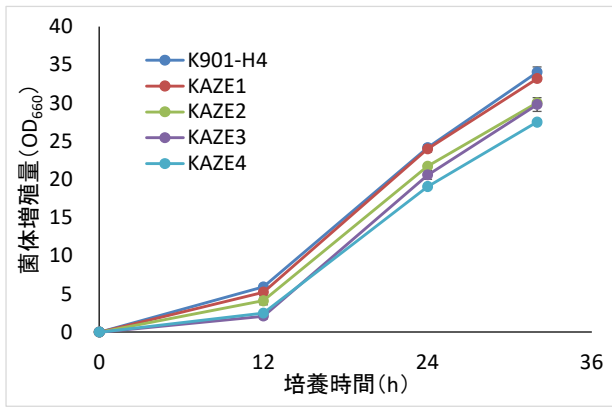


図3 YD培地での増殖曲線

3回の独立した試験の平均値を示す。

表3 KAZE酵母のアルギニン取り込み量

	Arginine ppm/OD <sub>660</sub>	
K901-H4	4.9 ± 0.3	
KAZE1	5.0 ± 0.4	
KAZE2	5.9 ± 0.3	
KAZE3	6.3 ± 0.2	
KAZE4	6.8 ± 0.3	

3回の独立した試験の平均値を示す。

一方、AO培地での培養で、12時間から16時間の菌体増殖とアルギニン取り込み量の比は、株間で差は認められなかった（データ省略）。そこで富栄養培地であるYD培地で培養を行ったところ、群馬KAZE酵母3号と4号の増殖が培養初期に遅れがちであり、32時間後の2~4号の菌体量は親株K901-H4より2割程度低くなっていた（図3）。また、12時間から24時間の菌体増殖とアルギニン取り込み量の比は、親株K901-H4が一番低かったことから（表3）、KAZE酵母のアルギニン取り込みは抑制されていないことが分かった。これは、親株の方がKAZE酵母より増殖速度が速く、12時間後までのアルギニン取り込み量も多くなり、培地中に残存するアルギニンの量が少なくなり、24時間後との差分が少なくなったためと考えられる。KAZE酵母のCAN1の発現量は、RT-PCRなどで解析してはいない。しかしながら、以上のことから、CAN1の発現が弱くなってアルギニンの取り込み活性が下がり、カナバニン感受性が下がっているという仮説①は成り立たないことが分かった。

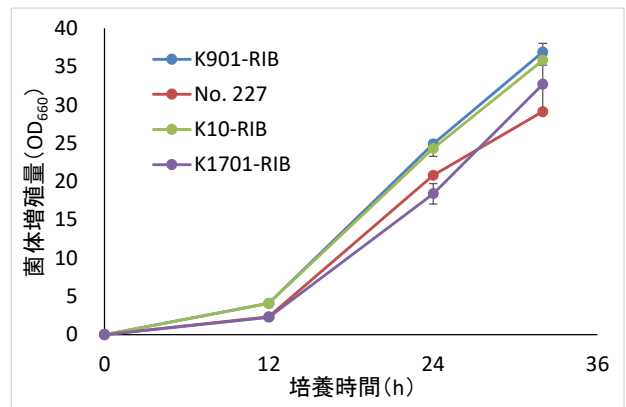


図4 他の酵母での増殖曲線

3回の独立した試験の平均値を示す。

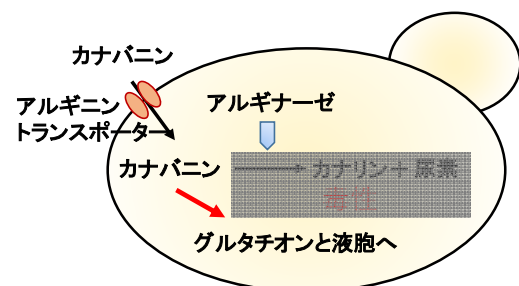
表4 他の酵母のアルギニン取り込み量

	Arginine ppm/OD <sub>660</sub>	
K901-RIB	6.7 ± 0.3	
No. 227	7.8 ± 0.8	
K10-RIB	6.7 ± 0.3	
K1701-RIB	8.9 ± 0.3	

3回の独立した試験の平均値を示す。

### 3.3 カプロン酸エチル高生産性が増殖に与える影響

先の3.2の検討で、カプロン酸エチル高生産性（カプエチ高生産性）株は、親株に比べて菌体増殖が下がっていることが推測された。そこで、カプエチ高生産性株No. 227と親株K901-RIB、カプエチ高生産性株K1701-RIBとその親株の泡あり株K10-RIBをYD培地で培養した。その結果、群馬KAZE酵母と同様にカプロン酸エチル高生産性株は親株より菌体量が低くなっており（図4）、12時間から24時間の菌体増殖とアルギニン取り込みの比は親株の方が低くなっていた（表4）。



仮説2

硫黄成分がグルタチオンに変換され、カナバニンを液胞へ輸送して無害化  
図5 仮説②のイメージ

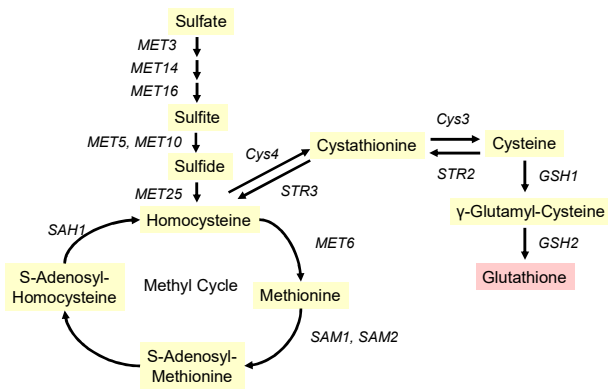


図6 酵母の硫黄代謝とグルタチオン合成

### 3. 4 硫黄代謝に着目した解析

以前の我々の研究<sup>3)</sup>では、KAZE酵母に対するカナバニン感受性の抑制は、カナバニン硫酸塩を用いたときの方が顕著であった。酵母は、硫黄を含むグルタチオンにより、有害物質を液胞へと輸送し、無害化することが知られている<sup>7)</sup>。そこで、カナバニン耐性化には窒素飢餓とは直接的には関係なく、セルレニン耐性化と共通の遺伝子が関与しているという仮説<sup>2)</sup>の中で、グルタチオンがカナバニンを液胞に輸送して無害化していることを考えた(図5)。

そこで、KAZE1~KAZE4、K901-H4に加え、No. 227、K901-RIB、K1701-RIB、K10-RIBを用い、酵母の硫黄代謝とグルタチオン合成(図6)に関わる3つの遺伝子(SAH1、GSH1、GSH2)の配列解析を行ってみたが、変異はなく全て一致していた(データ省略)。各遺伝子の発現解析

は行っていないため、グルタチオンの合成が促進され、カナバニン感受性が抑制されたという仮説は、まだ確認できていない。

### 3. 5 選抜培地の炭素源の検討

一方、3. 3までの検討で、カプエチ高生産性株は、親株に比べて菌体増殖が下がっていることが分かった。さらに、後藤らの報告<sup>8)</sup>によると、セルレニン耐性株は多剤耐性になりやすいことや、呼吸欠損による多剤耐性株の分離を避けるために炭素源をグリセロールに変えることがあることが分かった。このことから、カプロン酸エチル高生産性であるセルレニン耐性株は、呼吸欠損の多剤耐性株に変異しやすく、カナバニン耐性の擬陽性株が出現しやすいという新たな仮説<sup>3)</sup>が考えられた。

そこで、CAO培地の炭素源をグルコースからグリセロールに変えてKAZE3号塗布したところ、擬陽性株が出てこなくなった。しかしながら、イオンビーム照射による変異処理をしてもKAZE3のカナバニン耐性株は得られなかった。この要因は、選択圧が強くなりすぎたためと考え、カナバニンの半量をカナバニン硫酸塩に置換し、イオンビーム照射した群馬KAZE酵母3号を塗布したところ、尿素非生産性候補株を17株取得することができた(図7)。

一方で、グルコースを炭素源とした場合に生えてくる擬陽性株が呼吸欠損であるか確認しておらず、今後、上記仮説<sup>3)</sup>についての検証を行う必要がある。

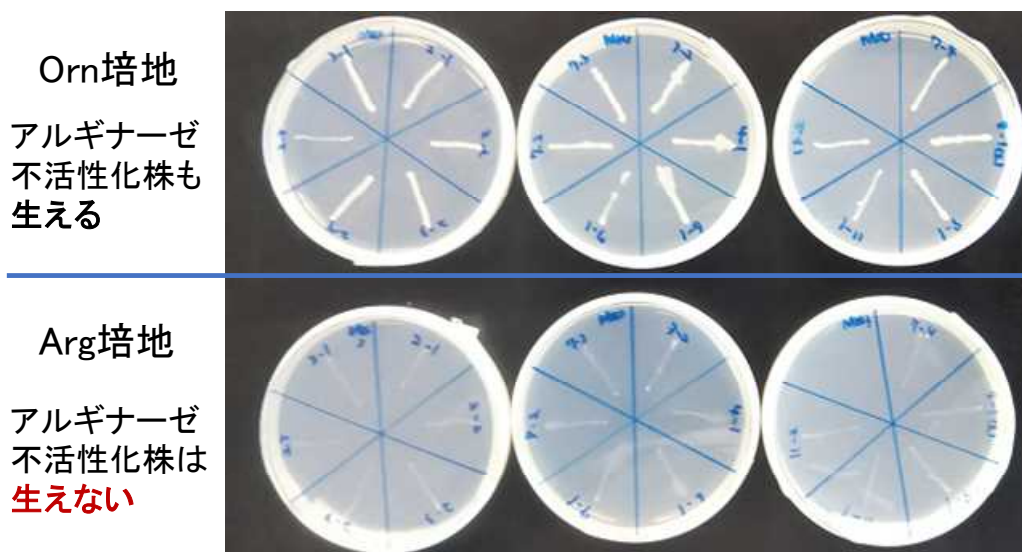


図7 群馬KAZE酵母3号の尿素非生産性(アルギナーゼ不活性)候補株の選抜の様子



#### 4 まとめ

清酒の海外輸出量は平成20年から毎年平均10%の増加が続いており、特に地方の酒造会社が製造する地酒に対する人気が高い。一方、発がん性が疑われているカルバミン酸エチルの清酒中の含有量を規制する国が今後増え、好清酒の海外輸出の阻害要因となることが懸念されている。カルバミン酸エチルは、清酒酵母が排出する尿素とエタノールから生成する。本研究では、尿素非生産性化の選択に用いられているカナバニンに対し、群馬KAZE酵母の感受性が抑えられている原因を解明することを目的に検討を行った。

まず、群馬KAZE酵母のアルギニン代謝系遺伝子に変異が入っている可能性について検討を行ったところ、*CAN1*や*CAR1*遺伝子に変異は入っておらず、アルギニン取り込み速度も親株より下がっているということではなかった。次に、セルレニン耐性株は呼吸欠損の多剤耐性株に変異しやすく、カナバニン耐性の擬陽性株が出てきやすいという新たな仮説を考え、CAO培地の炭素源をグルコースからグリセロールに変えてみた。その結果、KAZE3の生育を抑えることができ、尿素非生産性候補株を17株取得することができた。

今後は、これらの候補株の醸造特性を評価し、KAZE3の尿素非生産性株の実用化を進めたい。また、今回得られた知見は、群馬KAZE4号の他にK1601、K1701、K1801などの（公財）日本醸造協会が頒布するカプエチ高生産性株の尿素非生産化につなげられると期待される。

#### 謝 辞

本研究の一部は、2019年度NPO 法人酵母細胞研究会地神芳文記念研究助成金により行った。

#### 文 献

- 1) 上山 修ら：平成13年度群馬県工業試験場研究報告、39-43
- 2) 北本勝ひこら：日本醸造協会誌、106-114（1993）
- 3) 渡部貴志ら：平成28年度群馬産業技術

センター研究報告、11-14

- 4) 渡部貴志ら：平成29年度群馬産業技術センター研究報告、10-14
- 5) 増淵 隆ら：平成21年度群馬産業技術センター研究報告、12-14
- 6) 増淵 隆ら：平成24年度群馬産業技術センター研究報告、38-41
- 7) 渡辺文太ら：化学と生物、354-351（2015）
- 8) 後藤奈美ら：本醸造協会誌、533-539（2000）

---

---

群馬県立産業技術センター研究報告  
令和4年度（2022）  
令和5年5月印刷

発行 群馬県立群馬産業技術センター  
〒379-2147 前橋市亀里町 884 番地 1  
電 話 (027) 290-3030(代)  
F A X (027) 290-3040

---

---