令和７年度

高知県工業技術センター報告

THE REPORT ON WORKS OF
KOCHI PREFECTURAL INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER

No.57（2026）

令和８年10月

高知県工業技術センター

目　　次

Ⅰ　令和７年度高知県工業技術センター研究報告

１．食品開発課

回帰分析手法を組み合わせた清酒のもろみ発酵管理に関する

　データの予測精度と重要度に関する考察 …… 1

ミョウガのアントシアニン色素解析と安定性評価…… 5

ユズ果汁の品質管理基準の最適化支援（第３・４報）

　2025 年産ユズ果汁の品質調査…… 12

　冷凍によるユズ果汁中の微生物への影響 …… 16

酢酸イソアミル高含有土佐酒の開発（第２報）

　酢酸イソアミルの高生産化に向けた酵母育種 …… 19

地域のえいもん作り支援事業（第１報）

　地域特産品を利用した肉味噌の商品開発 …… 24

水産加工品図鑑への寄稿 …… 28

令和７酒造年度高知県新酒鑑評会における出品酒の分析 …… 30

海洋深層水の低溶存酸素特性が珪藻の動態に与える影響【学会要旨】 …… 34

実際の運用における官能評価の比例尺度データを収集するための課題抽出【学会要旨】 …… 35

懸濁結晶法凍結濃縮装置を用いた清酒の濃縮【学会要旨】 …… 36

２．生産技術課

溝加工溶着爪の開発（第２報）

　溶着素材の改良 …… 37

代掻き爪の開発（第２報）

　3D プリンタで試作した代掻き爪による模型実験…… 39

スマートものづくり導入支援事業による取組（第２報） …… 41

オープンソースソフトウェアを活用した設備監視システムの構築 …… 46

エクセルを用いた進捗管理及び実績収集の効率化に関する支援事例 …… 50

水銀リレー式と半導体式による方形波インパルス試験結果について …… 53

ポータブル３D スキャナの技術概要 …… 56

高知県溶接技術コンクールの競技課題変更について ····· 58

３．資源環境課

カーボンニュートラルのための触媒開発

触媒性能評価方法の検討 ····· 60

未利用バイオマス資源の有効活用のための低コスト･高効率マイクロ波炭化技術の開発 ····· 68

二軸延伸ポリプロピレンフィルムの溶断シール袋におけるシール強度と高分子モルホロジーの関係性 ··75

地域野菜ハマアザミの機能性を利用した製品開発研究

ハマアザミ(Cirsium maritimum Makino)のトゲ処理および粉砕試験に関する研究報告書 ·····81

繊維配合樹脂の物性について（第１報） ·····86

UV 検出器を用いた燃焼-イオンクロマトグラフ法による海藻中のヨウ素の定量 ·····88

カーボンニュートラルセミナー開催報告 ·····91

Ⅰ　令和７年度高知県工業技術センター研究報告

食品開発課

回帰分析手法を組み合わせた清酒のもろみ発酵管理に関するデータの予測精度と重要度に関する考察

下藤 悟　　甫木 嘉朗　　土居 睦卓　　森山 洋憲　　山脇 朋泰*

Predictive Accuracy and Feature Importance in Sake Mash Fermentation Management via Regression Modeling

Satoru SHIMOFUJI　Yoshiro HOKI　Tomotaka DOI　Hironori MORIYAMA　Tomoyasu Yamawaki*

もろみの発酵工程の管理データを用いて、目的変数への寄与を可視化する方法を検討した。酔鯨酒造株式会社で令和3、令和4酒造年度に製造された清酒163品のデータを用い、上槽直後の清酒の酸度とアミノ酸度、製成実績として粕の量の3項目を目的変数とした回帰分析を行った。説明変数として、もろみの発酵管理の指標となる332個のデータをすべて用いた。9つの回帰分析手法で、すべての訓練データを用いてモデル作成を行い、予測精度を比較したところ、酸度ではridge，アミノ酸度ではextratrees，粕の量ではplsがR^2、nMAEともに最良となった。R^2の推移から酸度は100件、アミノ酸度、粕の量は130件ほどで精度の上限となること、nMAEの結果からは酸度、アミノ酸度は誤差10%、粕の量は誤差5%で予測できることが示された。

1　まえがき

清酒醸造において、もろみ発酵工程の管理は出来上がりである上槽酒の品質に大きく寄与するため重要である。十分な質と量のデータを収集することができれば、発酵工程管理にフィードバックできると考えられるが、実際の製造現場では完璧なデータ収集が難しい場合が多い。

そのため、目的とするデータを予測するために重要な項目が特定できれば、データ収集の優先順位をつけやすくなると考えた。

本研究では、実際のもろみの発酵工程の管理データを用いて、目的変数への寄与を可視化する方法を検討した。

2　方法

酔鯨酒造株式会社で令和3、4酒造年度に製造された清酒163品のデータを回帰分析に供した。概要は表1、2に示すとおりである。

目的変数として、上槽直後の清酒の酸度とアミノ酸度、製成実績として粕の量を用いた。説明変数として、もろみの発酵管理の指標となるデータのうち、留後5日までの332項目をすべて用いた。

データの蓄積を再現するために、データ収集順に整列した状態で末尾10%(17件)を学習に用いないように分離して予測精度の検証データに用い、残りを訓練データとした。

説明変数の前処理として標準化を適用した。なお、標準化は訓練データのみで行い、その処理を検証データに対して適用することで前処理の客観性を担保した。

回帰分析の手法には、Lasso(lasso)，Random Forest(rf)，Partial Least Squares(pls)，Support Vector Regression(svr)，k-Nearest Neighbors(knn)，Ridge(ridge)，Elastic Net(elasticnet)，Extra Trees(extratrees)，HistGradientBoosting(histgb)を用いた。

モデルの予測精度の指標として、10回の乱数シード反復による訓練及びホールドアウトデータに対する決定係数(R^2)、正規化平均絶対誤差(nMAE:MAEを値の範囲で除したもの)を算出した。

まず、すべての回帰分析手法で、すべての訓練データを用いてモデル作成を行い、予測精度を比較した。

予測精度が最も高い手法を選別し、そのモデルから変数の重要度を抽出し、符号付き

表1　上槽後の分析結果と指標の概要 (n=163)

項目	Mean	±	S.D.
酸度	1.662	±	0.217
アミノ酸度	1.045	±	0.219
粕の量	282.2	±	42.2

*酔鯨酒造(株)

表 2　予測モデルの作成に用いた説明変数の概要

カテゴリー	変数の例	変数の数
製成数量		1
原料の重量	重量	28
洗米・浸漬	吸水率	4
酵母の特徴	小仕込み試験結果	53
原料米の特徴	アルカリ崩壊	10
蒸米	重量、吸水率	11
米麹の特徴	分析値	69
酒母の特徴	分析値	12
もろみ発酵工程 (添・仲・留～留後 5 日まで)	温度管理、水関連、酵素剤関連、分析値、原料由来データ	144
合計		332

SHAP(SHapley Additive exPlanations)値により各変数の寄与方向を評価した。

さらに、データの蓄積と予測精度の向上の関係を確認するために、精度が最も高い手法を用いてデータ数を収集順に増加させて解析を行い、予測精度の推移（予測精度の学習曲線）を確認した。

なお、すべての解析には、Python v3.12.13、scikit-learn(v1.8.0)を用いた[1)]。

3　結果と考察

すべてのデータを用いた場合の各回帰分析手法の予測精度を表 3 に示す。

酸度では ridge, アミノ酸度では extratrees, 粕の量では pls が R^2、nMAE ともに最良となった。以降の学習曲線と変数の重要度の解析には、予測精度が最も高いこれらの手法を各目的変数に適用した。

学習曲線の結果を図 1 に示す。

R^2 の推移から酸度は 100 件、アミノ酸度、粕の量は 130 件ほどで精度の上限となること、nMAE の結果から酸度、アミノ酸度は誤差 10%、粕の量は誤差 5%で予測できることが示された。

予測精度の増加は一定のデータ数(n = 100 程度)から横ばいになっていることから、より予測精度を向上するためには、データの蓄積ではなく、収集するデータの種類や質といったデータの改良が必要と考えられる。

重要度が高かった変数の寄与を SHAP で得られた結果と組み合わせて確認を行った。上位 10 変数の結果を表 4、5、6 に示す。

これらの変数はもろみの製造工程管理において一般的に重要であることは知られているもの

表 3　すべての訓練データを用いた場合の回帰分析手法ごとの予測精度

回帰手法	酸度			アミノ酸度			粕の量		
	R^2	nMAE		R^2	nMAE		R^2	nMAE	
lasso	0.07	0.12		0.24	0.18		0.50	0.07	
rf	0.44	0.10		0.63	0.12		0.55	0.07	
pls	0.13	0.12		0.64	0.11		0.76	0.05	○
svr	0.39	0.09		0.73	0.10		0.16	0.10	
knn	0.33	0.11		0.63	0.10		0.62	0.06	
ridge	0.55	0.10	○	0.62	0.12		−0.25	0.11	
elasticnet	0.32	0.11		0.59	0.14		0.29	0.08	
extratrees	0.46	0.09		0.75	0.09	○	0.72	0.06	
histgb	0.42	0.10		0.66	0.11		0.68	0.06	

○:予測精度が最高となった回帰分析手法

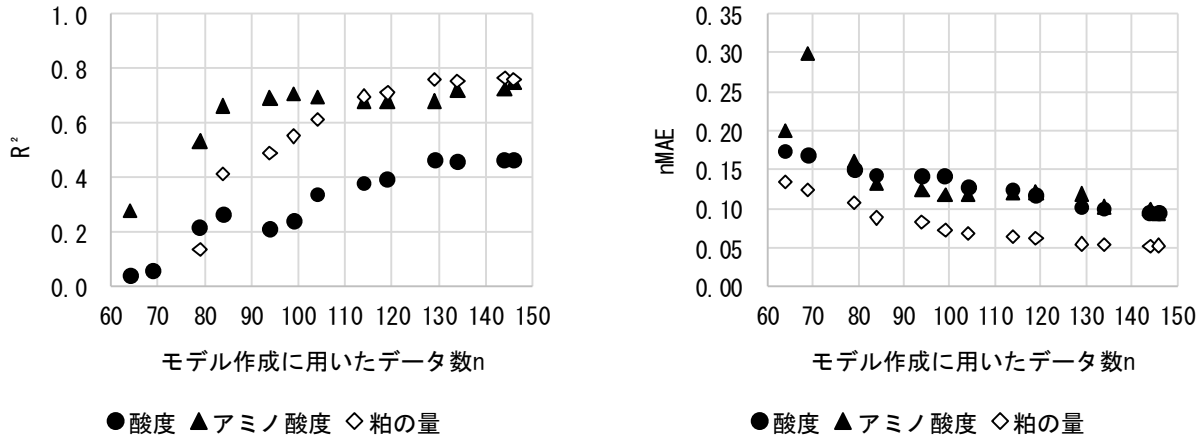


図1　モデル作成に用いたデータの推移と予測精度

表4　酸度の予測に重要な説明変数とその寄与

順位	変数	重要度	SHAP
1	酒母:酸度	0.035	0.003
2	Day5:酸度	0.031	−0.009
3	酒母:acetaldehyde	0.026	0.000
4	Day4:酸度	0.023	0.006
5	留麹:真の糖化力	0.016	−0.006
6	Day−2:品温	0.016	−0.001
7	Day4:四段水	0.015	−0.010
8	Day5:四段水 (前日との差)	0.015	0.001
9	Day5:アミノ酸度	0.014	0.005
10	仲麹:真の消化性	0.014	0.003

表5　アミノ酸度の予測に重要な説明変数とその寄与

順位	変数	重要度	SHAP
1	仲麹:真のアミノ酸度	0.130	0.006
2	添麹:真のアミノ酸度	0.068	0.003
3	真のアミノ酸度平均値	0.052	0.001
4	酒母:acetaldehyde	0.045	0.009
5	酛麹:真のアミノ酸度	0.044	0.002
6	全重量に対する 汲水歩合	0.041	0.004
7	汲水総量	0.029	0.004
8	留麹:真のアミノ酸度	0.028	0.001
9	四段水量	0.027	0.003
10	Day4:be	0.021	0.000

の、他の指標と比べてどの程度重要なのかは明確ではなく、製造条件ごとに異なるため捉えることが難しかった。

今回のように実際の製造データを用いて解析を行い、得られた重要度と SHAP を組み合わせることで、事業者の実情に応じた変数の寄与を確認することができる。

4　まとめ

今回得られた結果は一部のデータを使用したものである。この解析手法を基にして、データの蓄積、収集項目や方法の改善を行っている。さらに予測精度を向上するためのデータ前処理といった解析方法の検討を進めている。

表6　粕の量の予測に重要な説明変数とその寄与

順位	変数	重要度	SHAP
1	全重量に対する 仕込水割合	0.016	0.414
2	全重量に対する 四段水割合	0.015	1.490
3	四段水量	0.014	0.102
4	留麹:真の糖化力	0.013	2.863
5	Day4:酸度	0.011	1.360
6	酛麹:真の糖化力	0.010	0.982
7	原料米のアルカリ崩壊試 験(濁度)	0.010	2.968
8	仲麹:真の糖化力	0.010	−4.195
9	Day4:be	0.009	−2.820
10	Day4:alc	0.009	1.571

参考文献

1) F. Pedregosa et al.: Scikit-learn: Machine Learning in Python, *Journal of Machine Learning Research*, 12, (2011)2825-2830

ミョウガのアントシアニン色素解析と安定性評価

森山 洋憲　　下藤 悟

Analysis and Stability Estimation of Anthocyanin Pigments derived from Myoga (*Zingiber mioga* Roscoe)

Hironori MORIYAMA　Satoru SHIMOFUJI

ミョウガの花蕾及び茎から粗色素をそれぞれ調製し、LC-MS 装置を用いてアントシアニン色素を解析した。両素材ともに主成分としてマルビジン 3-ルチノシドを検出し、デルフィニジン、シアニジン、ペチュニジン、ペオニジンの配糖体も観測した。本研究で用いた試料については、花蕾の方が茎と比べて約 4.5 倍の主要色素成分を含むことが分かった。ミョウガ色素の pH 変化に対する安定性を調べたところ、4.0 以上で不安定化した。加熱に対する安定性も調べたところ、60℃、120 分間の加熱処理で吸光度 520nm の減少率はわずか 5.9%であった。温度上昇に伴って減少率は高くなる傾向を示し、90℃、120 分間の処理で減少率 35.3%に達した。加熱温度を上昇させた場合、色素減少によって淡色化するものの、同じ系統の色調を示した。低 pH、低温長時間での加熱処理が色素(色調)の保持の観点から適していることが分かった。

1　目的

ミョウガ(*Zingiber mioga* Roscoe)はショウガ科ショウガ属の多年草であり、国内の広い地域で自生している。さわやかな辛味と特徴的な紅色を有し、薬味や漬物などに利用されてきた。酢漬けで発色させて、寿司ネタにしたものが高知の郷土料理の一つとして紹介されている[1)]。農林水産省の地域特産野菜生産状況調査等(令和 6 年産)[2)]によると、全国の収穫量は約4,580 トンである。高知県はその約96.5%を占める全国 1 位の産地である。

ミョウガには有用な成分が含まれている。辛味関連化合物については阿部の報告がある[3)]。ミョウガジアール、ミョウガトリアール、ミョウガナールを同定し、これら辛味化合物の機能性及び調理による安定性を報告している。ミョウガの色素については Kato らが解析し、主要成分としてマルビジン 3-ルチノシドを同定した[4)]。

ミョウガの食用とされる部位は花蕾である。一方で収穫の際に花蕾の下部から切り取られる茎という部位がある。この部位は切除後に廃棄されていたが、花蕾と同様に利用できることから現在販売されており、量販店等で容易に入手できる。

以上のようにミョウガは本県の重要な園芸品目の一つであり、郷土料理にも取り入れられているように食文化を形成する食材でもある。しかしながら生鮮としての利用がほとんどであり、その特徴的な色調で付加価値を高められるものの、加工利用はわずかであるのが実状である。本研究ではミョウガの加工用途での利用拡大を進めるために、その色素成分に着目し、成分解析を進めることにした。花蕾だけでなく、これまで報告例がない茎についても解析を実施した。ミョウガ色素の pH 及び熱安定性についても分析し、加工特性に関連する評価も行った。

2　方法

2．1　試料

高知県内の量販店でミョウガを入手し、抽出及び粗精製用の試料として用いた。試料は入手後、直ちに冷凍庫で保管し、凍結乾燥を行う直前まで冷凍保存した。

2．2　粗色素の調製

凍結乾燥装置(共和真空技術(株)製 RLEⅡ-103)を用いてミョウガの花蕾と茎とをそれぞれ乾燥させた。既報[5)]を参考にして、両乾燥品から粗色素の抽出及び粗精製を行った。抽出及び粗精製の手順は次のとおりである。花蕾又は茎から得られた 5g の乾燥試料を 400mL の 10%ギ酸メタノールにそれぞれ浸漬し、一晩放置した。浸漬した両試料からろ紙ろ過によってろ液を得た。両ろ液をそれぞれ乾固させた後、10%ギ酸メタノール 100mL に溶解した。各溶液を純水で 2 倍に希釈後、合成吸着剤アンバーライト XADHP(オルガノ(株)製)にアプライし、色素を吸着させた。色素を 5%ギ酸で洗浄、続いて 5%ギ酸メタノールで溶出後、乾固させることによって花蕾及び茎の各粗色素を得た。両粗色素はギ酸溶液に溶解後、ポアサイズ

0.2μm のフィルターに通過させたものを各種実験に供した。

２．３　LC-MS 解析

フォトダイオードアレイ(PDA)検出器と四重極飛行時間型の質量分析計(MS)とを備えた LC-MS 装置を用いて色素の解析を行った。LC-MS 装置による分析は既報[5] を参考にした。

２．３．１　LC 部条件

装置:SCIEX ExionLC AC((株)エービー・サイエックス)、カラム:COSMOSIL 3C18-PAQ(φ2.00mm×150mm,3μm)、溶媒 A:0.2%ギ酸(v/v)、溶媒 B:0.2%ギ酸(v/v)を含むアセトニトリル、グラジエント条件:0 分(2%B)→3 分(2%B)→12 分(95%B)→20 分(95%B)、流速:毎分 0.2mL、PDA 検出波長:200～700nm、カラム温度:40℃、注入量:2μL

２．３．２　MS 部条件

装置:SCIEX X500R((株)エービー・サイエックス)、イオン化法:ESI positive、測定モード:IDA、イオンスプレー電圧:5500V、イオンソース温度:550℃、コーン電圧:80V、カーテンガス:30psi、イオンソースガス 1 と 2:60psi、コリジョンガス:7psi、スキャン範囲:m/z 100-1000

２．３．３　データ解析

LC-MS 装置で得られたデータの解析は、装置に付属する SCIEX OS ソフトウェア ver. 2.0((株)エービー・サイエックス)で行った。

２．４　pH 及び熱安定性試験

粗色素の 0.1%ギ酸溶液 20mL に微量の 1N 水酸化ナトリウム溶液を順次滴下した。滴下後の pH 及び吸光度 520nm を測定し、pH 変化に伴って変化した吸光度を測定した。

粗色素の 0.1%ギ酸溶液 20mL を振盪機能付き水浴中に設置後、60rpm で振盪した。温度設定として四つの条件(60℃、70℃、80℃、90℃)を用いた。振盪開始直前と 30、60、90、120 分間振盪後の吸光度 520nm をそれぞれ測定し、温度条件別の加温時間の経過に伴う吸光度変化を調べた。加熱前後の粗色素の色($L^*a^*b^*$表色系)の測定は前報と同様に行った[5]。

吸光度測定には Spectroquant Prove 300(メルク(株))、加熱処理にはサーマックス TM-1(アズワン(株))を取り付けたシェイキングバス SB-13(アズワン(株))、色測定にはビジュアルアナライザー IRIS(アルファ・モス・ジャパン(株))をそれぞれ使用した。

３　結果及び考察

３．１　花蕾と茎の粗色素

ミョウガの花蕾及び茎をそれぞれ凍結乾燥処理

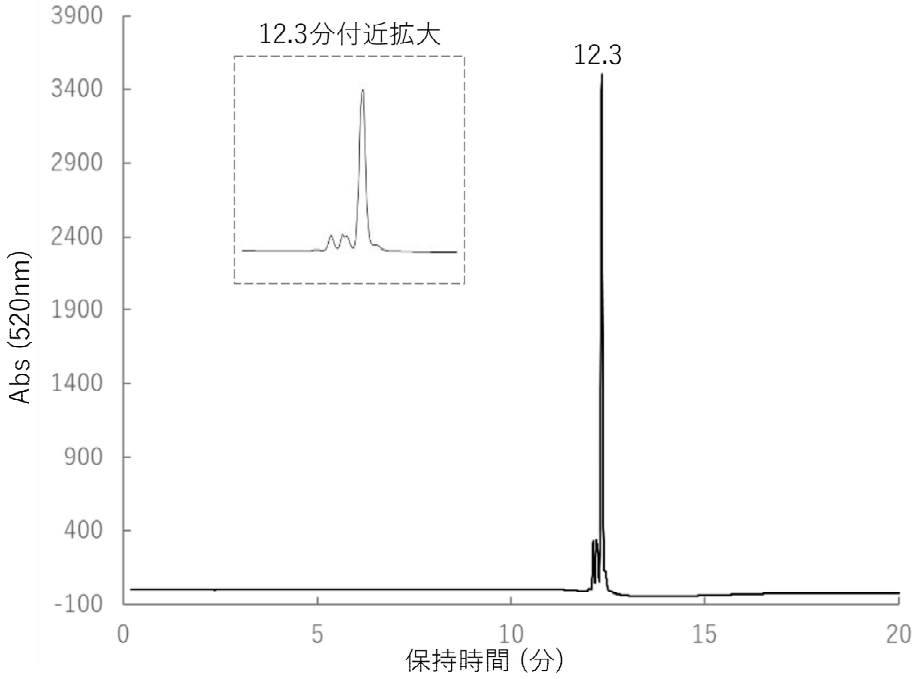


図１　ミョウガ粗色素の PDA クロマトグラム(抽出波長 520nm)

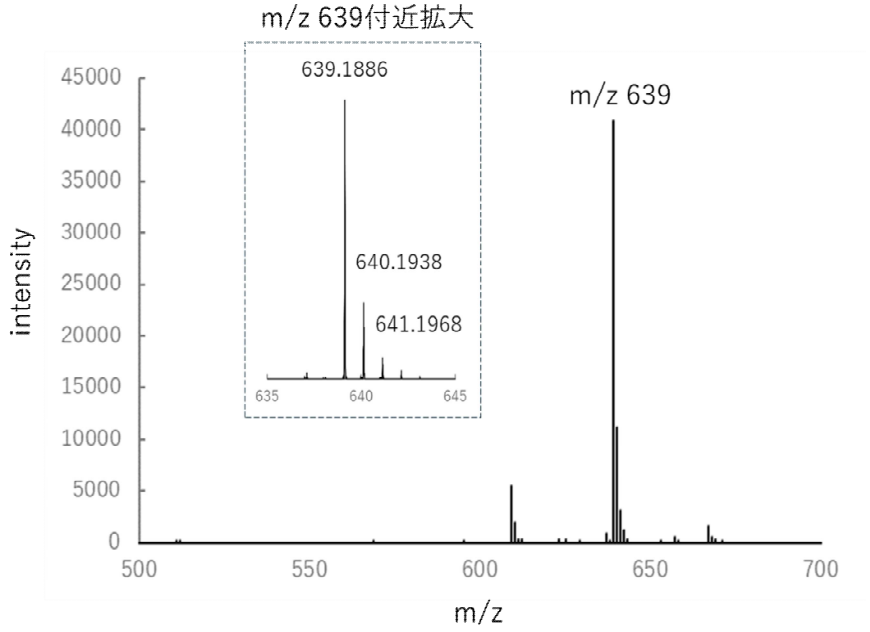


図２　ミョウガ粗色素の保持時間 12.3 分の MS スペクトル

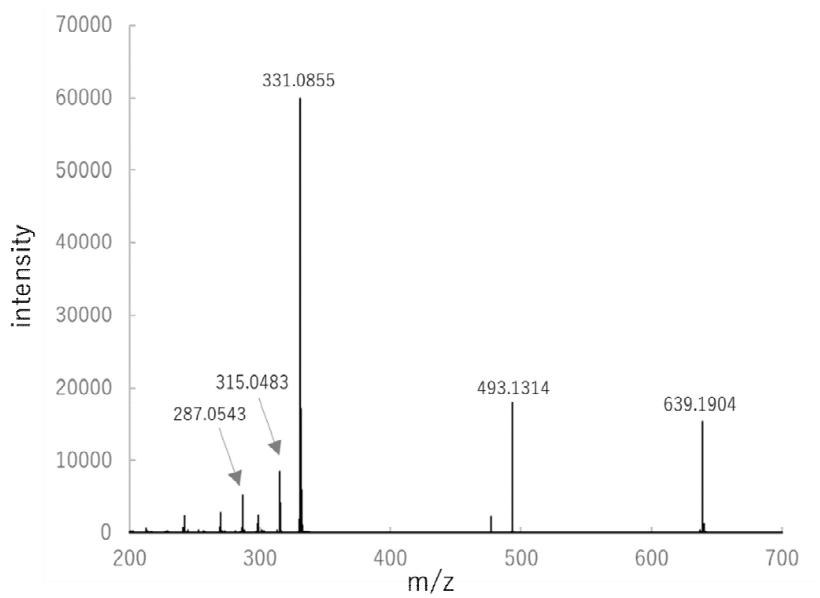


図３　ミョウガ粗色素の MS/MS スペクトル

m/z 639 をプリカーサーイオンとするプロダクトイオン

した。各試料 420g を凍結乾燥処理したところ、花蕾からは 14.1g、茎からは 10.6g の乾燥試料を得た。乾物重量の割合を百分率で算出すると、花蕾は 3.4%、茎は 2.5%であった。花蕾の乾物重量は茎の値に比べて約 1.4 倍高いことが分かった。花蕾と茎からの乾燥試料をそれぞれ 5.0g 用いて粗色素を得た。この粗色素を用いて、ミョウガに含まれているアントシアニン色素の解析を進めた。

３．２　花蕾の粗色素解析

花蕾由来の粗色素をギ酸メタノール溶液で調製し、LC-MS 装置に注入後、PDA 検出器と MS とを用いて分析した。波長 520nm で抽出した PDA クロマトグラムを図 1 に示す。このクロマトグラムを見ると、保持時間 12.3 分に最も高いピークが出現し、それよりも少し短い保持時間(12.0～12.3 分)の付近にいくつかの小さなピークが出現していた。

まず保持時間 12.3 分の最高ピークの解析を進めることにした。このピークの MS スペクトルを図 2 に示す。このスペクトルを観察すると、m/z=639 が最も高い感度を示し、ピークの主成分由来の質量荷電比であると判断した。Kato らはミョウガの色素を

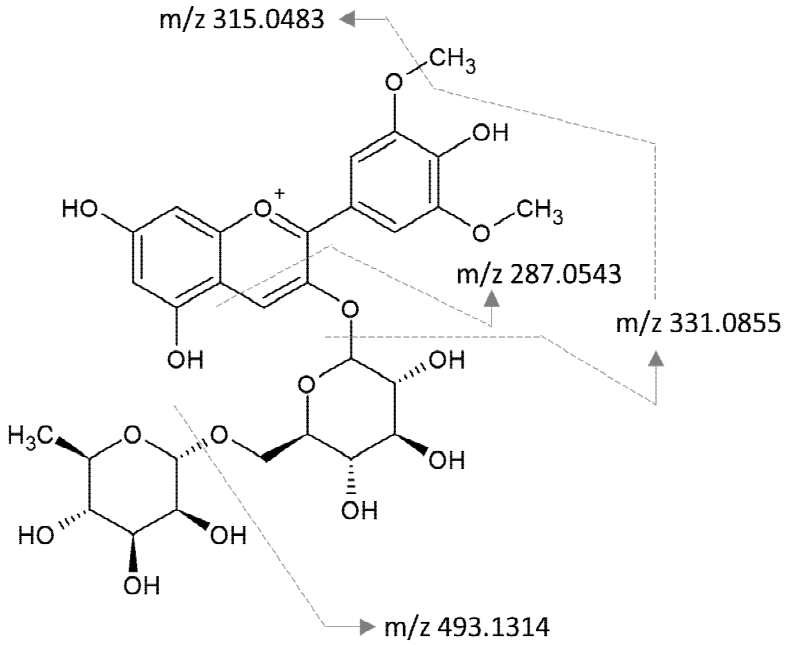


図4　m/z 639 の MS/MS スペクトルプロダクトイオンピーク帰属

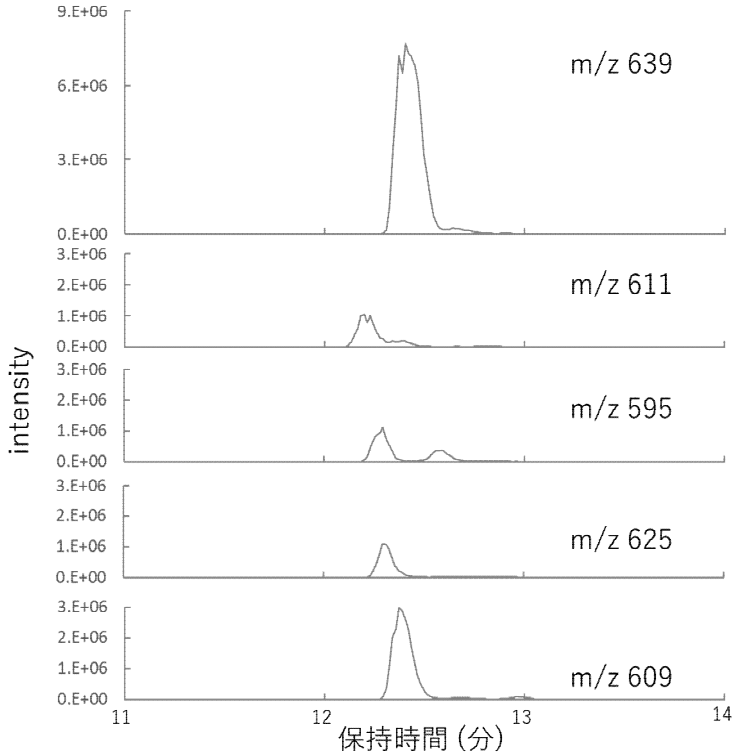


図5　ミョウガ粗色素の抽出イオンクロマトグラム

LC-MS 及び NMR で解析し、m/z=639 を示すマルビジン 3-ルチノシドが主成分であることを明らかにしている[4]。本研究で得られた m/z=639 のイオンを確認するために MS スペクトルを詳しく観察したところ、モノアイソトピックピーク m/z=639.1886 と同位体ピーク m/z=640.1938、641.1968 が観測された(図 2)。これら観測データを用いて元素組成を検索した。その結果、いくつかの検索結果が得られた中で、質量誤差が最小値(-5.3ppm)を示す最適な組成として $C_{29}H_{35}O_{16}^{+}$が得られた。この組成はマルビジン 3-ルチノシドの分子式と一致する。

続いて m/z=639 をプリカーサーイオンとする MS/MS スペクトルを取得したところ(図 3)、m/z=639、493、331、315、287 のプロダクトイオンが検出され

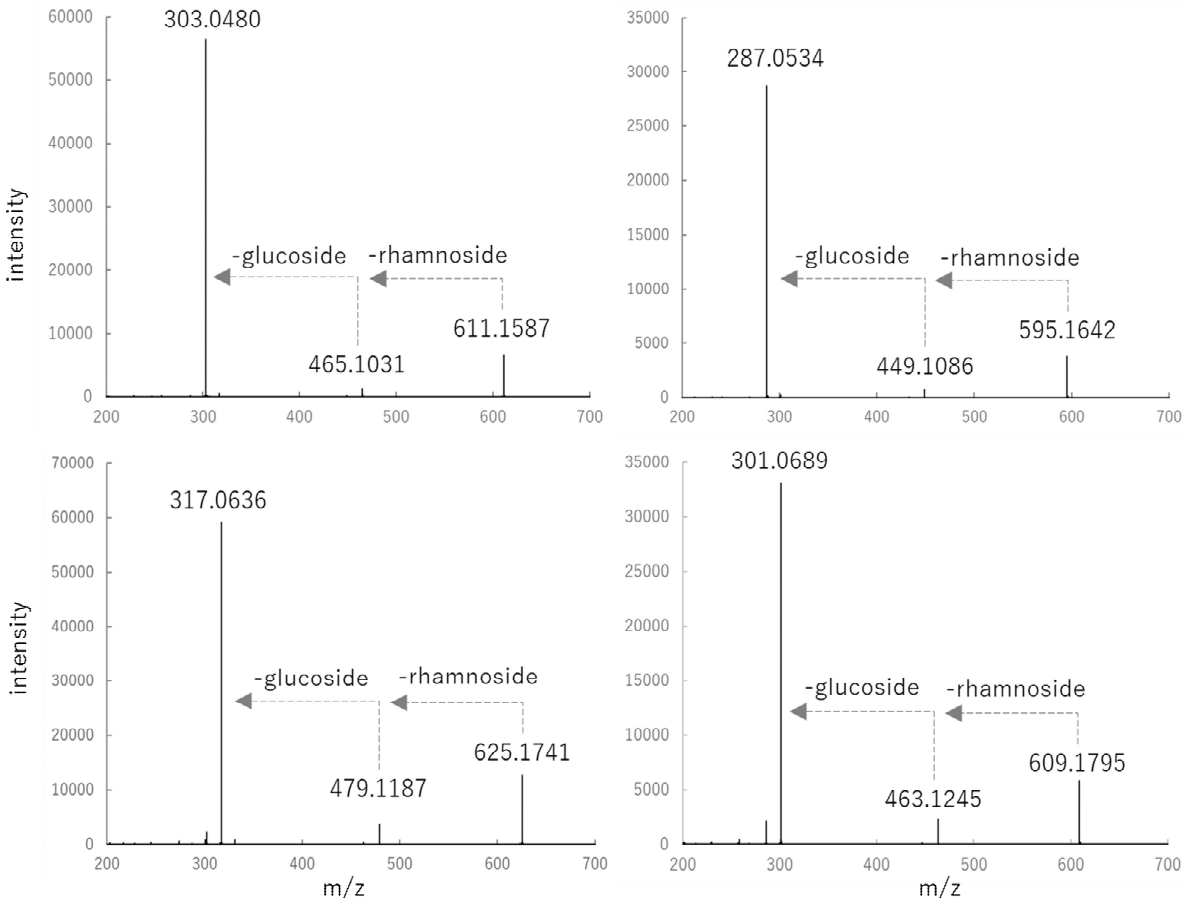


図6　プリカーサーイオン（m/z 611、595、625、609）のMS/MSスペクトル

た。これらフラグメントイオンの解析を行った。m/z=639のイオンはコリジョンガスで開裂しなかったマルビジン3-ルチノシドであると仮定し、他四つのフラグメントイオンを帰属させた。m/z=493はプリカーサーイオンからラムノースが開裂したもの、m/z=331はルチノースの開裂によってアグリコンであるマルビジンが検出されたもの、m/z=315はマルビジン骨格のB環からメチル基が開裂したもの、m/z=287はマルビジンのC環が開裂したという解析結果が得られた(図4)。MSスペクトルとMS/MSスペクトルの両解析結果は、m/z=639を示すイオンがマルビジン3-ルチノシドであると見なして矛盾なく、Katoらの報告[4]と同じ結果が得られたと考える。

PDAクロマトグラム上の最高ピーク解析に続いて、少し手前の保持時間(12.0～12.3分)のMSスペクトルも解析を行ったところ、m/z=625、611、609、595のイオンが検出された。これらイオンとm/z=639の抽出イオンクロマトグラムを図５に示す。各抽出イオンクロマトグラムを重ね合わせたものは、PDAクロマトグラム(図1)と類似のピーク形状を示していた。

保持時間が短いものから順番に解析を進めた。まずm/z=611のMSスペクトルを調べたところ、モノアイソトピックピークm/z=611.1592と同位体ピークm/z=612.1633、613.1658が観測された。これら値を用いて元素組成を検索した。その結果、$C_{27}H_{29}O_{16}^{+}$が最適な組成であること、その他検索結果と比べると質量誤差が最も小さくて-2.4ppmであることが分かった。続いてm/z=611をプレカーサーイオンとするMS/MSスペクトルを解析したところm/z=303、465が検出された(図6)。m/z=303はデルフィニジン($C_{15}H_{11}O_{7}^{+}$)の質量、465はデルフィニジンにグルコースが結合したものの質量、611はさらにラムノースが結合した質量とそれぞれ一致する。以上の解析によりm/z=611を示すイオンは、アグリコンが主成分(マルビジン3-ルチノシド)と異なるだけで類似の構造をもつデルフィニジンのルチノース配糖体であると推定した。

続いてm/z=595、625、609についても同様の解析を行った。その結果、MSスペクトルの同位体組成比とMS/MSスペクトルのフラグメントパターン(図6)はm/z=611と類似の傾向をすべて示したことから、アグリコンが異なる類似の配糖体であると予想した。したがってm/z=595はシアニジン($C_{15}H_{11}O_{6}^{+}$)、m/z=625

はペチュニジン($C_{16}H_{13}O_7^+$)、m/z=609 はペオニジン($C_{16}H_{13}O_6^+$)を骨格とするルチノースの配糖体であると推定した。

Kato らはマルビジン 3-ルチノシド以外にペオニジンをアグリコンとする物質が存在し、グルコースとラムノースが結合した配糖体である可能性を報告している[4]。一方で Liu らはペチュニジンのルチノース配糖体も検出している[6]。本研究ではデルフィニジンとシアニジンのルチノース配糖体の存在も新たに示唆された。

Liu らはデルフィニジンあるいはペチュニジンの骨格にグルコースとクマル酸が結合したアントシアニンも検出している。両アントシアニンのモノアイソトピック質量はルチノース配糖体の値と近似しているため、推定化合物を見誤っている可能性を慎重に検討した。上述のように元素組成を検索した結果からすると、アグリコン+グルコース+クマル酸である可能性は低く、したがって本研究で用いた試料についてはルチノース配糖体である可能性の方が高いと判断した。

３．３　茎の色素解析

ミョウガの茎から得られた粗色素についてもアントシアニン解析を進めたところ、花蕾からのものとほぼ同じ PDA クロマトグラムが得られ、LC-MS の解析結果も同様であった。すなわち主要色素成分としてマルビジン 3-ルチノシド、他四つのアントシアニンも観測されることが明らかになった。

検出波長 520nm によるミョウガの茎からの PDA クロマトグラムを解析し、マルビジン 3-ルチノシドのピーク面積値(保持時間 12.3 分)を求めた。次に花蕾からも同様に面積値を求めた。両面積値を比較したところ、茎よりも花蕾の方が 3.2 倍高い値であることが分かった。遡って乾物重量は花蕾の方が茎よりも 1.4 倍高かったことも併せて考えると、花蕾の色素含有量は茎よりも約 4.5 倍多いことが分かった。

３．４　ミョウガ粗色素の pH による変化

ミョウガ花蕾から得られた粗色素を用いて pH による変化を確認した。粗色素の 0.1%ギ酸水溶液の pH は 2.16 であった。この溶液に水酸化ナトリウム水溶液を滴下しつつ、分光光度計を用いて波長 520nm の吸光度を調べた(図 7)。粗色素溶液の吸光度は pH 値が高くなるのに従って低くなった。吸光度の低下傾向は pH 値 4.0 未満で著しく、4.0 以上で緩やかになった。

アントシアニン色素が pH の変化に伴って可逆的な構造変化をすることはよく知られている[7]。強酸性条件下では単一のフラビリウムカチオン型で安定しているが、弱酸性から中性の条件下ではアンヒドロ塩基となり退色が進行するため吸光度も低下する。構造的な変化が現れる pH は 4.5 付近であることが報告されている[8]。本研究で得られた結果はこれまでに報告されたものと同様であることを確認した。

３．５　ミョウガ粗色素の加熱処理による変化

ミョウガ花蕾から得られた粗色素を用いて加熱処理による変化を確認した。フラビリウムカチオン構造が安定的な pH2.16 の粗色素溶液を用いて実験を進めた。

60℃で加熱した場合、加熱時間 30 分で吸光度

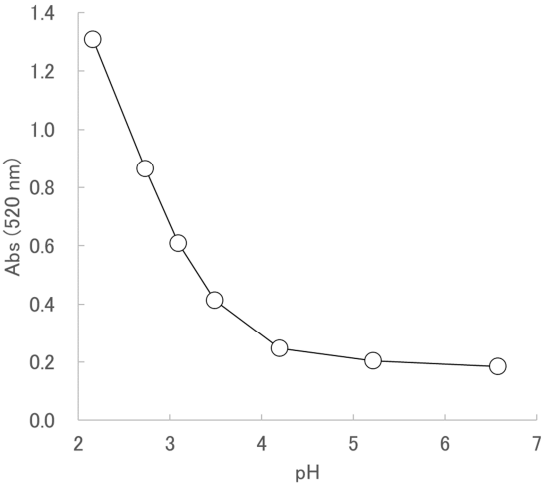


図７　ミョウガ色素の pH 安定性

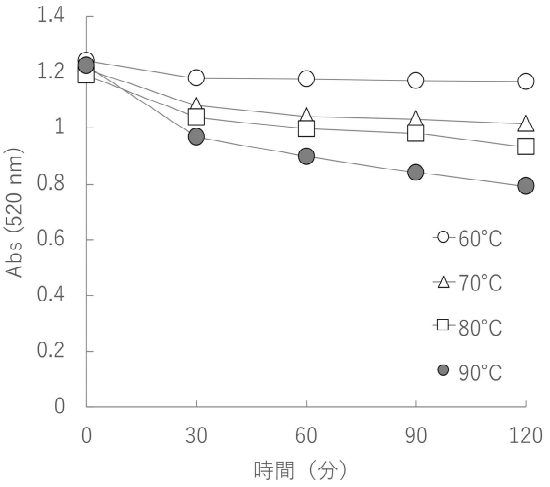


図８　ミョウガ色素の熱安定性

表１　加熱処理 120 分後のミョウガ色素の色

	L*	a*	b*	⊿E
加熱前	75.1	23.0	11.8	―
60℃	75.8	22.0	10.9	1.51
70℃	76.7	20.2	10.6	3.40
80℃	77.3	20.7	10.3	3.51
90℃	78.2	19.3	10.8	4.93

520nm がやや低下した(図 8)。それから加熱時間 120 分までほぼ一定の値を示した。加熱開始時の吸光度に対する加熱時間 30 分の値の割合を百分率で算出すると 95.1%、減少率は 4.9%であった。120 分についても算出するとその割合は 94.1%、減少率は 5.9%であった。加熱時間 30 分の減少率と 120 分の値との差はわずか 1.0%であった。

60℃よりも高い温度で加熱した場合、加熱時間 30 分の減少率が高くなるだけでなく、その後の加熱による減少傾向も高くなった。70℃で加熱した場合、吸光度の減少率は加熱時間 30 分で 11.0%、120 分で 16.2%、その差は 5.1%であった。80℃の場合、30 分で 12.5%、120 分で 21.6%、その差は 9.1%であった。90℃の場合、30 分で 21.1%、120 分で 35.3%、その差は 14.2%であった。

各温度別に 120 分間加熱した後の粗色素液の色を調べた(表 1)。加熱前の L*値、a*値、b*値は 75.1、22.9、11.8 であった。加熱すると L*値は高く、a*値と b*値は低くなる傾向を示した。加熱温度を高くした処理条件では淡色化はある程度進むものの、同じ系統の色調(ベビーピンク)を示すことが分かった。

ナスの色素については熱安定性の報告例[9]がある。ナス色素は 60℃で 120 分間の加熱で約 18%減少した。これに対しミョウガは同じ加熱条件で 5.9%の減少であった。一見するとナス色素よりもミョウガ色素の方が高い熱安定性を示しているが、色素以外の成分、例えばポリフェノールといった成分による影響である可能性を検討する必要がある。

４　まとめ

ミョウガの花蕾及び茎から粗色素を調製し、この粗色素に含まれているアントシアニン色素を解析した。LC-MS 装置で花蕾からの粗色素の解析を行った結果、主成分としてマルビジン 3-ルチノシドを検出した。デルフィニジン、シアニジン、ペチュニジン、ペオニジンの配糖体も検出された。茎からも同成分が観測された。花蕾は茎と比べて約 4.5 倍の主要色素成分を含むことが分かった。

ミョウガの粗色素の pH 変化に対する安定性を調べた。粗色素溶液の吸光度 520nm の低下傾向は pH 値 4.0 未満で著しく、4.0 以上で緩やかになった。温度変化に対する安定性も調べた。60℃で加温処理した場合、吸光度 520nm の減少率は開始前に比べて 30 分後は 4.9%であり、120 分後でも 5.9%であった。加熱温度の上昇に伴って吸光度の減少率も高くなった。90℃の場合、30 分処理で 21.1%、120 分処理で 35.3%の減少率に達した。加熱温度を高くして処理すると淡色化は否めないが、同じ系統の色調を維持することが分かった。

茎は花蕾と同じ色素成分を有し、含有量は花蕾の約５分の１であることが分かった。含有量が見劣りするものの、安価で容易に入手できることから加工用途の素材として十分に有用である。また加工品づくりを行う場合、加熱処理は高温短時間よりも低温長時間の方が色合いを生かしたものになると考える。

参考文献

1) 農林水産省、“土佐の田舎寿司”、うちの郷土料理、https://www.maff.go.jp /j/keikaku/syokubunka/traditional-foods/menu/tosainakazusi.html、(参照 2026.7.31)
2) 農林水産省、“地域特産野菜生産状況調査”、作物統計、https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_yasai、(参照 2026.7.31)
3) 阿部雅子：調理科学、52(1)、(2019)1-7
4) Y. Kato *et al.*：*Foods Food Ingredients J. Jpn.*, 197, (2002) 1-7
5) 森山洋憲他：高知県工業技術センター研究報告、54、(2023)1-9
6) Huijuan Liu *et al.*：*J. Food Composition Anal.*, 123, (2023)123
7) 津久井亜紀夫：日食生誌、9, (1998)9-14
8) M. Monica Giusti *et al.*：*Food Anal. Chem.*, 2, (2001) 1-13
9) 石井智恵美他：食科工誌、37(12), (1990)984-987

ユズ果汁の品質管理基準の最適化支援（第３報）

2025 年産ユズ果汁の品質調査

近森 麻矢　　阿部 祐子　　竹田 匠輝　　岡本 佳乃

Assistance in Optimizing Quality Control Standards for Yuzu Juice (Part 3)

Quality Survey of Yuzu Juice produced in 2025

Maya CHIKAMORI　Yuko ABE　Naruki TAKEDA　Yoshino OKAMOTO

県内の搾汁施設で行われているユズ果汁の自主検査について、現状の課題や品質の実態を把握するためにユズ果汁の品質調査を行った。2025 年産ユズ果汁は、pH、可溶性固形分及び比重については前年とほぼ変わらず、酸度は全体的に前年よりも高い傾向であった。また精油と油性浮上物は試料による差が大きかった。

１　まえがき

高知県で生産されるユズは全国の 53%を占め、そのうち約 76%が加工向けとして出荷されている[1)]。県内の搾汁施設においては製品品質を確保するために現場での自主検査が実施されているが、検査項目、実施頻度、サンプル採取の時期及び判定基準などに統一された基準は設定されておらず、施設ごとに運用にばらつきが見られる状況にある。

これらの課題を踏まえ、前年度に実施した 2024 年産ユズ果汁の品質調査(以下、前年調査)[2)]で確認した検査手順に基づき 2025 年産ユズ果汁の品質調査を行った結果について報告する。

２　ユズ果汁の分析

２．１　試料

2025 年秋に搾汁されたユズ果汁について、前年に調査対象とした 3 搾汁場を含む合計 5 施設から 11 月初旬、11 月中旬、11 月下旬のユズ果汁合計 15 試料を冷凍状態で入手し用いた。

２．２　分析項目及び試験方法

(1) 物理化学性状検査

・pH：pH メーター((株)堀場製作所製 D-71)
・可溶性固形分(Brix)：糖用屈折計((株)アタゴ製 PAL-BX/R1)
・酸度：0.1N NaOH を用いた指示薬による中和滴定(クエン酸換算)
・比重：比重計(浮ひょう型)
・精油：蒸留法
・油性浮上物：共栓シリンダーで一夜放置後、浮上物量を測定

(2) 微生物検査

試料果汁を滅菌リン酸緩衝生理食塩水にて 10 倍に希釈したもので検査を行った。

・一般生菌：標準寒天培地を用いて、35℃で 48 時間培養を行った。
・真菌：ポテトデキストロース寒天培地を用いて、24℃で 5 日間培養を行った。

３　ユズ果汁の分析結果

搾汁場ごとのユズ果汁分析結果の平均値を表 1 に示す。前年にも調査を行った 3 搾汁場(搾汁場 A、B、C)については、前年調査で確認した 11 月初旬、11 月中旬、11 月下旬のユズ果汁の平均値も併せて示した。

また、図 1 には搾汁時期別の結果を示した。当センターでは、2010～2014 年度にも高知県産冷凍ユズ果汁の品質調査(以下、過去調査)を実施しており[3)～6)]、図中の点線は過去調査に基づく県産ユズ果汁の品質範囲[7)]を上限値及び下限値で示している。この品質範囲は各搾汁場の実際の規格値とは異なる。

表 1 において、pH、可溶性固形分、比重については前年調査の値と同程度であった。搾汁時期別に見ると pH は期間を通して安定しており、搾汁場間の差も少ない。比重は 1.033～1.040 で推移し、前年と同様に搾汁時期が進むにつれてやや高くなる傾向が認められた。可溶性固形分の変動は小幅だが、比重の変動傾向と概ね一致していた。

酸度は前年度との比較が可能な 3 搾汁場すべてで前年値を 0.2～0.6%上回った。図 2 に示し

た2024年産と2025年産のユズ果汁の酸度比較結果を見ても、搾汁場A及びCでは全期間で前年の値を上回り、搾汁場Bでも11月下旬を除き前年より高い値を示した。酸度については過去調査の5年間でも隔年で上下の変動を繰り返す現象が見られている。

精油は0.52%～1.65%、油性浮上物は4%～13%でいずれも搾汁場間での差異が大きく、搾汁期間中の変動に一定の傾向は見られなかった。搾汁場Cの油性浮上物の平均値は他に比べて低い傾向があるものの、11月中旬は他搾汁場と同程度であった。精油と油性浮上物は類似した傾向を示すことが多い一方で、一致しない試料も見られた。搾汁場間の差はろ過工程の違いによるものと考えられる。また、精油や油性浮上物は比重が軽いため、サンプリング時の試料の均一性が測定値に影響している可能性もある。

微生物検査については、すべての試料で一般生菌数は300CFU/mL以下、真菌数は1000CFU/mL以下でコロニーの発生はほぼ認められなかった。

4　まとめ

搾汁施設におけるユズ果汁の自主検査について、現行検査の課題や品質の実態把握を目的として、昨年に引き続き2025年産ユズ果汁の品質調査を行った。

2025年産ユズ果汁は、pH、可溶性固形分及び比重については概ね安定しており、前年と同様の品質が維持されていることを確認した。また比重は前年と同様に搾汁時期が進むにつれてやや高くなる傾向が認められた。酸度は全体的に前年よりも高かった。

精油量と油性浮上物は試料による差が大きかった。各搾汁場のろ過工程の違いだけでなく、果汁サンプリング時の試料の均一性が測定値に影響している可能性も考えられる。果汁の撹拌や採取位置など、サンプリング時の手順も確認する必要がある。

今後もユズ果汁の品質動向確認を継続し、適切な管理基準の設定の支援と品質管理の継続的な改善に活用していく。

謝辞

本調査を行うにあたり、ユズ果汁の試料提供にご協力いただいた高知県農業協同組合の皆さまに感謝いたします。

参考文献

1) 農林水産省、“令和5年産特産果樹生産動態等調査”、作物統計、https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_yasai/index.html、（参照2026.7.31）
2) 近森麻矢他：令和6年度高知県工業技術センター報告、56,(2025)25-28
3) 久武陸夫他:平成23年度高知県工業技術センター報告、43,(2012)30-34
4) 竹田匠輝他:平成24年度高知県工業技術センター報告、44,(2013)7-13
5) 岡本佳乃他:平成25年度高知県工業技術センター報告、45,(2014)13-17
6) 岡本佳乃他:平成26年度高知県工業技術センター報告、46,(2015)19-22
7) 岡本佳乃他:平成27年度高知県工業技術センター報告、46,(2016)5-8

表1　ユズ果汁の分析結果(前年調査との比較)

	搾汁場A		搾汁場B		搾汁場C		搾汁場D		搾汁場E	
	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
pH	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5		2.5		2.5
可溶性固形分(%)	8.6	8.7	8.8	8.8	8.1	8.1		8.3		8.7
酸度(%)	5.0	5.6	4.7	5.1	4.9	5.1		5.3		5.3
比重	1.038	1.037	1.037	1.037	1.036	1.035		1.036		1.037
精油(%)	1.25	1.12	1.29	1.32	0.65	1.19		1.24		1.43
油性浮上物(%)	10	9	10	11	5	7		10		10
一般生菌(1mL当たり)		<300		<300		<300		<300		<300
真菌(1mLあたり)		<1000		<1000		<1000		<1000		<1000

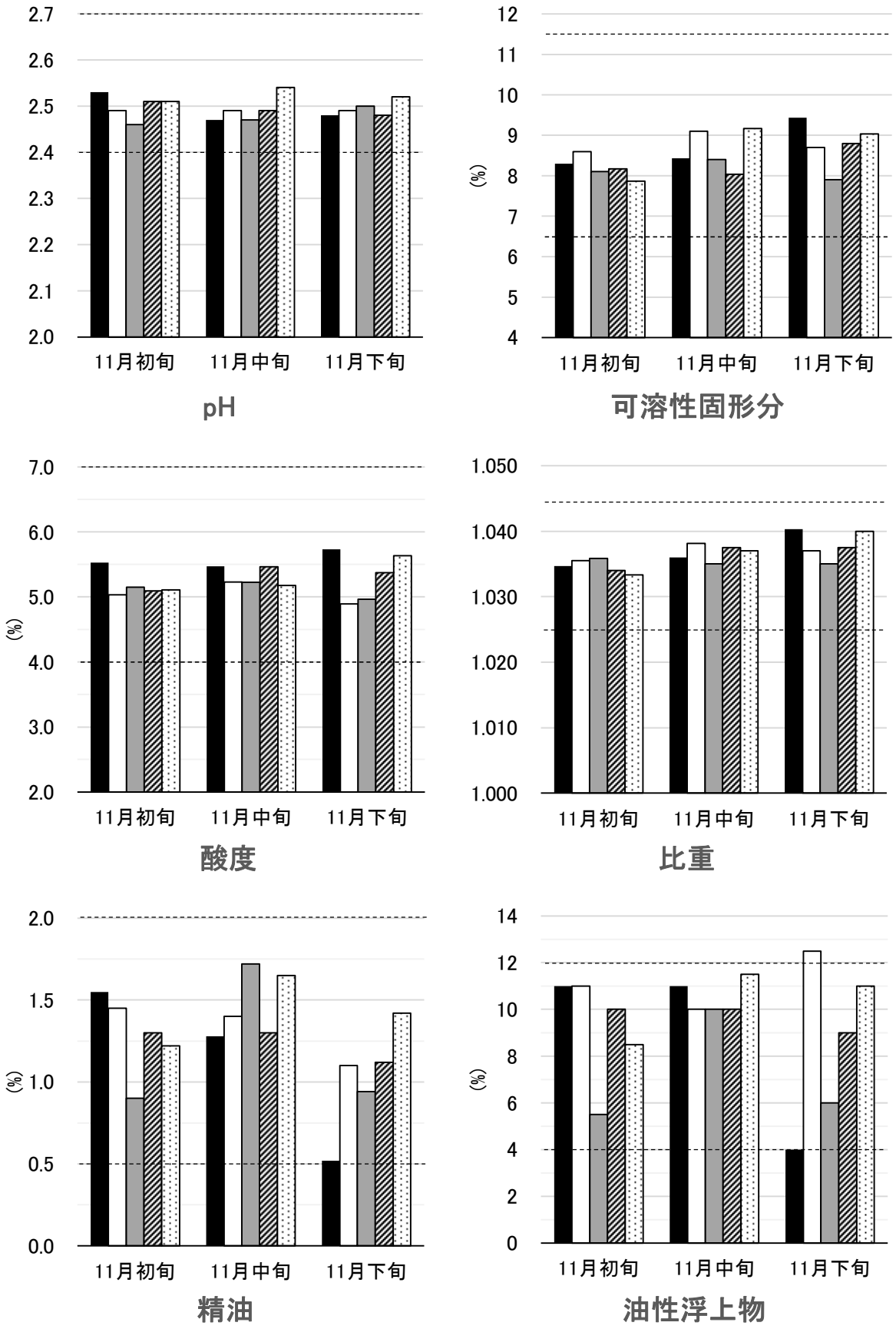


図1　ユズ果汁の分析結果（搾汁時期別）

■搾汁場A　□搾汁場B　▩搾汁場C　▨搾汁場D　⊡搾汁場E

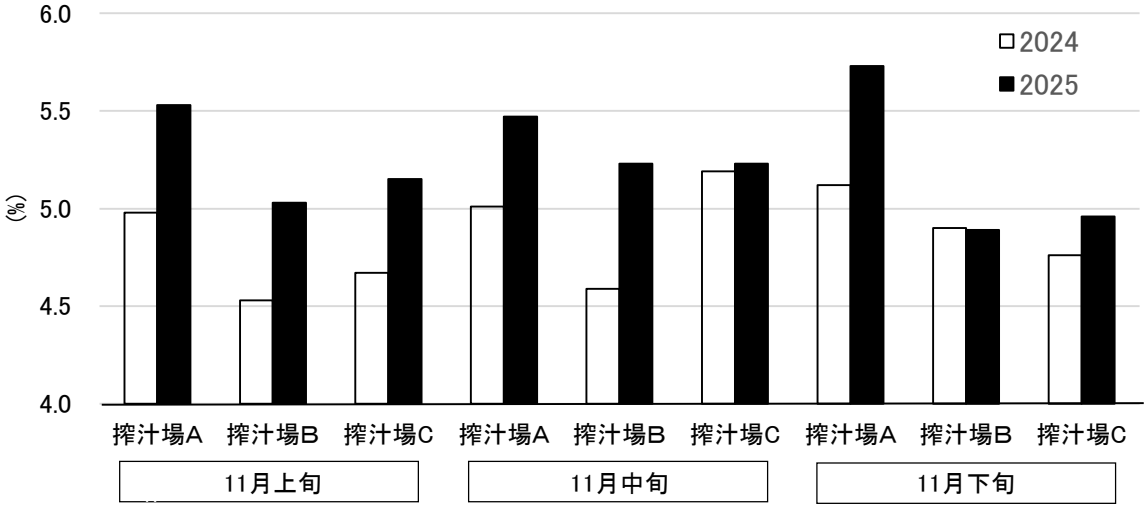


図2　ユズ果汁の酸度比較(搾汁時期別)

ユズ果汁の品質管理基準の最適化支援（第４報）
冷凍によるユズ果汁中の微生物への影響

阿部 祐子　　近森 麻矢　　竹田 匠輝　　岡本 佳乃

Assistance in Optimizing Quality Control Standards for Yuzu Juice(Part 4)
Effect of Freezing on Microorganisms in Yuzu Juice

Yuko ABE　Maya CHIKAMORI　Naruki TAKEDA　Yoshino OKAMOTO

ユズ果汁に存在する微生物が凍結保管中に減少することが、当センターの研究報告[1,2]により報告されているが、その詳細についてはまだ十分に調査がなされていない。そのため凍結温度と保管期間によるユズ果汁中の微生物への影響を明らかにするため、試験を行った。一般生菌については、-20℃で凍結保管したところ１週間で検出されなくなったが、-30℃より低い温度では１週間以降も検出された。真菌では温度による違いは見られたが、どの凍結温度においても検出された。また、食塩を添加して凍結したユズ果汁については添加していない果汁と比較して一般生菌数、真菌数ともに少なくなる傾向が見られた。

１　目的

ユズは高知県を代表する柑橘であり、高知県内での収穫量は全国の約半数を占める[3]。高知県で生産されるユズの約 76%は、果汁等の加工品として利用されている。県内にあるユズ果汁搾汁施設では、加工品原料としてのユズ果汁の品質管理をそれぞれ実施しており、微生物に関しても自主規格に基づき、各ロットごとに検査を実施するなど、検査コストをかけて確認を行っている。当センター報告にて既報[1,2]のユズ果汁の冷凍による殺菌効果については、これまで経験的に認知されてきたものの、その詳細な情報やメカニズムに関する十分な調査はなされていないのが現状である。

本研究では、搾汁後のユズ果汁における微生物危害リスクを低減するための管理方法を検討することで、各加工場の検査負担軽減と、安定した品質の果汁販売に資することを目指した。

２　実験方法

２．１　試料

2025 年 11 月に県内の搾汁場にて搾汁されたユズ果汁を試験に用いた。果汁は搾汁した当日に氷蔵で当センターまで輸送し、50mL 容量の滅菌済遠沈管に分注した。当日検査分以外の果汁は-20℃、-40℃、-50℃にてそれぞれ４週間保管した。-20℃では試験開始から３日後までは毎日、その後は１週間ごとに４週間後まで、-40℃と-50℃では１週間おきに４週間後まで各凍結温度で保管したものを水道水にて流水解凍し、菌検査に供した。

また、果汁重量の 10%の食塩を加えた有塩果汁を作成し、50mL 容量の滅菌済遠沈管に分注したものを-20℃にて凍結・保管し、同様に菌検査を行った。

２．２　菌検査

各温度で凍結保管されたユズ果汁及び有塩ユズ果汁試料について、一般生菌及び果汁における微生物事故の原因としてよく見られる真菌について菌数の測定を行った[4]。なお、菌数の単位には CFU(Colony Forming Unit：集落形成単位)を用い、試料 1mL 当たりの集落数(CFU/mL)として算出した。

一般生菌数：試料を滅菌リン酸緩衝生理食塩水にて段階希釈後、標準寒天培地を用いて混釈培養法により培養した。35℃で 48 時間培養後、形成されたコロニー数を計数し、一般生菌数とした。

真菌数：試料を滅菌リン酸緩衝生理食塩水にて段階希釈後、クロラムフェニコール添加ポテトデキストロース寒天培地を用いて塗抹培養法により培養した。24℃で５日間培養後、形成されたコロニー数を計数し、真菌数とした。

３　結果と考察

３．１　ユズ果汁凍結保管中の菌数変化

ユズ果汁の凍結保管中における一般生菌数及

び真菌数の変化を、図1、2に示した。搾汁直後のユズ果汁の一般生菌数は2.8×10³CFU/mL、真菌数は6.5×10³CFU/mLであった。

-20℃で凍結保管した場合、一般生菌数は1日後には10分の1以下となり3日後ではさらにその10分の1程度にまで急激に菌数が減少した。1週間以降では一般生菌は検出されなかった。真菌では、1日後に急激に菌数が減少した後、緩やかに減少を続け4週間後には10CFU/mL程度となった。

一方、-40℃及び-50℃で凍結保管したユズ果汁では、1週間後の一般生菌数は、-40℃では5.0×10²CFU/mL、-50℃では1.1×10³CFU/mL、真菌数は、-40℃では1.9×10³CFU/mL、-50℃では2.6×10³CFU/mLが残存していた。4週間後においても-50℃では1週間後からほぼ変化が見られず、-40℃でも依然として高い生存数が見られた。

-20℃付近の温度帯では、低温の-50℃や-40℃と比べ、時間をかけて緩やかに凍結する。そのため未凍結部分に残る酸や可溶性物質が濃縮され、ユズ果汁特有のクエン酸等による強酸性や濃縮された外液による高浸透圧という厳しい環境に微生物が長期間曝されることとなり、菌数の減少につながったのではないかと考えられた[5)]。

3．2　食塩の添加による微生物への影響

-20℃における有塩ユズ果汁と無塩ユズ果汁の微生物検査について比較した(図3、4)。その結果、有塩のユズ果汁では無塩と比較して一般生菌数及び真菌数ともに減少傾向が見られた。一般生菌数では凍結保管3日後にはほぼ不検出となり、真菌についても同じ保管期間の試料において有塩果汁では無塩果汁よりも常に少ない菌数で推移した。これは、添加された食塩による浸透圧ストレスが、凍結時の未凍結部分での濃縮効果によりさらに増強された結果、通常の凍結保管を上回る微生物の減少につながったのではないかと考えられた。

4　まとめ

ユズ果汁の凍結保管中の微生物の動態について試験を行った。その結果、一般生菌及び真菌の減少が見られたのは-20℃にて凍結保管を行った試験区のみであった。また、食塩を加えて有塩の果汁とすることで菌数の減少が促進されることが明らかになった。

今回の試験において、-20℃で1週間保管することで一般生菌は検出不能となったことから、搾汁後の凍結保管がユズ果汁の衛生管理に利用できる可能性が考えられた。さらに詳細な条件等の検証を行うことで技術的知見を蓄積し、ユズ果汁の微生物制御方法の開発を目指す。

謝辞

本調査を行うにあたり、ユズ果汁の試料提供にご協力いただいた高知県農業協同組合の皆さまに感謝いたします。

参考文献

1) 杉本篤史：高知県工業技術センター研究報告、No.37,(2006)1-4
2) 岡本佳乃他：高知県工業技術センター研究報告、No.41,(2010)13-15
3) 農林水産省、“令和5年産特産果樹生産動態等調査”、作物統計、https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_yasai/index.html、(参照2026.7.31)
4) 宇田川俊一他：微生物汚染事例・現場検査法Q&A集,サイエンスフォーラム、(2005)53-54
5) 藤井建夫：食の科学、79 ,(1984)26-32

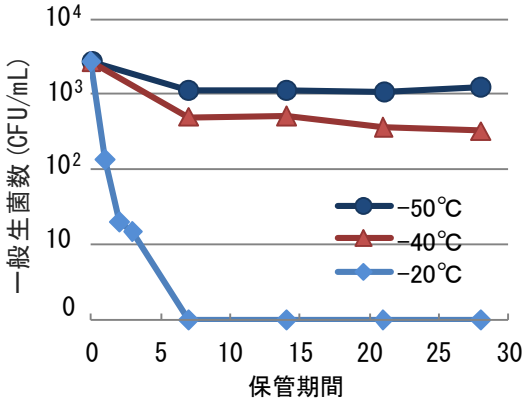


図１　各温度における凍結保管後のユズ果汁中の一般生菌数の変化

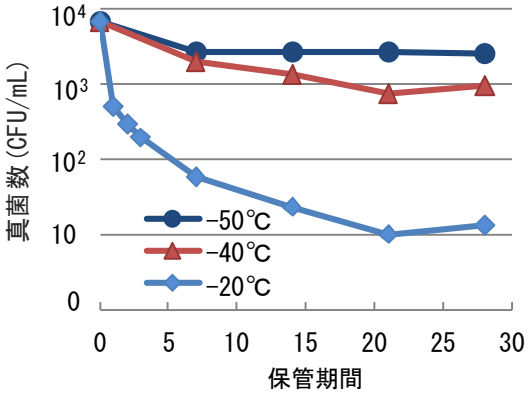


図２　各温度における凍結保管後のユズ果汁中の真菌数の変化

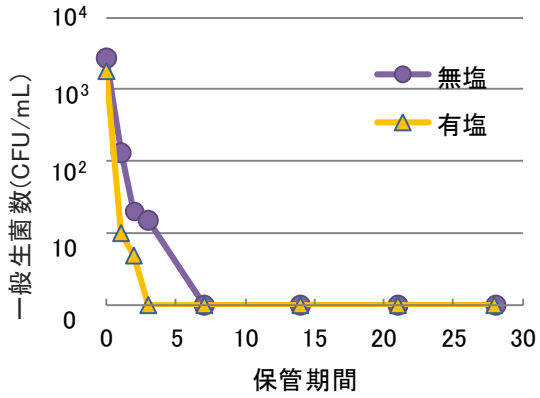


図３　−20℃凍結保管ユズ果汁中の一般生菌数の塩添加の影響

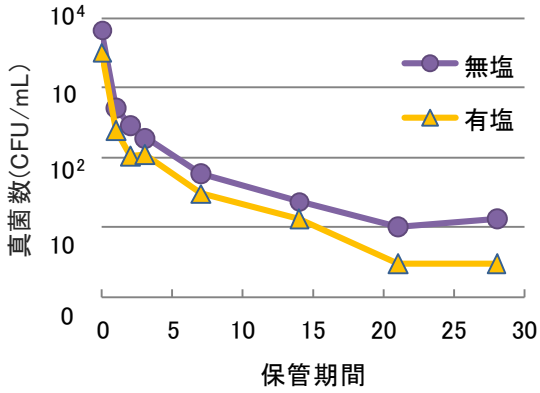


図４　−20℃凍結保管ユズ果汁中の真菌数の塩添加の影響

酢酸イソアミル高含有土佐酒の開発（第２報）

酢酸イソアミルの高生産化に向けた酵母育種

土居 睦卓　　甫木 嘉朗　　武市 幸代　　岡本 佳乃

Research for the Development of Tosa Sake with High Content of Isoamyl Acetate (Part 2)

Breeding sake yeast for high isoamyl acetate production

Tomotaka DOI　Yoshiro HOKI　Sachiyo TAKECHI　Yoshino OKAMOTO

第１報では酢酸イソアミル高生産とイソアミルアルコールの低減を両立させた新規酵母の育種に取り組み、新たに高知酵母AT10及びAT16を育種した。これらの株は、従来の酢酸イソアミルを高生産するAA41と比較し、2倍以上の酢酸イソアミル生成能を有している。本報では、酢酸イソアミル生成能のさらなる向上を目的として、酵母5種類に薬剤による変異処理を行った後に、エコナゾール、5,5,5-トリフルオロ-DL-ロイシン、L-カナバニンや*p*-フルオロ-DL-フェニルアラニンといった抗真菌剤やアミノ酸アナログに耐性を得た株を分離し、醸造試験による選抜を実施した。その結果、親株と比較し、*i*-ブタノールや酢酸イソアミル、βフェネチルアルコールの生成能が向上した株が得られた。そのうち、AT10由来の耐性株No.487は酢酸イソアミルをAT10の5.5倍、AA41の2.6倍生成した。

１　まえがき

清酒は並行複発酵による複雑な香味が特徴である。販路拡大を目指し、市場の清酒との差別化を図る上で、香りは重要な要素である。特に、果実様である吟醸香の増減は使用する酵母の影響が大きいため、酵母の育種は吟醸香を操作する上で有効な手段である。

第１報では県内の酒造会社から、吟醸香としてバナナ様の香りである酢酸イソアミルをより多く出したいという要望に基づき、高知酵母AT10及びAT16を育種した[1)]。この酵母は従来のAA41と比較し2倍以上の酢酸イソアミルを生成することが可能である。

本報は、前報を超える酢酸イソアミルの高生産化を目的とした。既存の高知酵母3種及び第１報で育種した2種の酵母を親株とし、薬剤による変異処理、複数の選択培地における耐性株の分離、醸造試験による選抜を実施した結果を報告する。

２　実験方法

２．１　供試菌株

高知酵母のKU1-A1[2)]、ロ1[3)]、宇宙AA41[4)]、AT10及びAT16[1)]の5株を親株として用いた。各酵母の性質は下記に示す。

KU1-A1[2)]：高知県内の酒造場のもろみから分離された泡あり酵母を泡なし化した株

ロ1[3)]：KU1-A1に薬剤変異を行い、カナバニンへの耐性を指標にスクリーニングされ、親株よりも酢酸イソアミルを高生産する株

宇宙AA41[4)]：高知酵母AA41を宇宙空間にて培養し、地球帰還後に選抜され、親株よりも酢酸イソアミルを高生産する株

AT10、AT16[1)]：高知酵母TFL18、TFL10より分離され、AA41と比較して2倍以上酢酸イソアミルを高生産する株

２．２　供試培地

変異処理や醸造試験に使用する酵母はYM液体培地（グルコース5%、ハイポリペプトン0.5%、酵母エキス0.3%、マルトエキス0.3%）により培養した。

また、耐性株を分離する選択培地にはYNB培地（グルコース2%、Yeast Nitrogen Base w/o Amino Acids 0.67%、寒天2%）をベースに、エコナゾール硝酸塩（ECZ）、5,5,5-トリフルオロ-DL-ロイシン（TFL）、L-カナバニン硫酸塩（CAN）及び*p*-フルオロ-DL-フェニルアラニン（FPA）を適宜添加して表1の通り5種類を調製した。

表１　各選択培地の組成

	ECZ (mg/L)	TFL (mg/L)	CAN (mg/L)	FPA (mg/L)
ETC培地	10	200	40	−
ET培地	10	200	−	−
EC培地	10	−	40	−
ECZ培地	20	−	−	−
FPA培地	−	−	−	200

２．３　変異処理と耐性株の分離

変異原にはエチルメタンスルホネートを使用し、Ashida らの方法により変異処理を行った[5]。２．２で調製した選択培地に変異処理後の菌液を塗布し、30℃で5日間培養した。生育したコロニーを滅菌つまようじを用いて、同一種類の選択培地へ再び植菌した。30℃で5日間培養し、生育したものを耐性株とした。

２．４　醸造試験による選抜

総米 12.4g、155g 及び 600g の醸造試験を行い、親株と比較して香気成分や発酵力などが優れた株を選抜した。

２．４．１　醸造試験

各醸造試験は添と留の２段仕込みで実施した。添は麹米のみの水麹とし、踊りは1日間行った。もろみの品温は添及び踊りの期間は 18℃、留時は 7℃に設定し、留後は1週間かけて 10℃まで徐々に昇温し、10℃で3週間維持した。上槽は高速冷却遠心機 Model 7000（久保田商事株式会社製）を用い、4℃で 20 分間、18,890 ×g の遠心分離により行った。

麹米は、全ての醸造試験で精米歩合 50%の令和６年産「吟の夢」を使用した。掛米は、総米 12.4g 及び 155g の試験では、精米歩合 60%のα化米 AA-60（徳島製麹株式会社製）を、総米 600g の試験では、精米歩合 50%の令和５年産「土佐麗」を使用した。

２．４．２　上槽酒の分析

各醸造試験で得られた上槽酒について、香気成分（アセトアルデヒド（AA）、酢酸エチル（EtAc）、*n*-プロパノール（*n*-PrOH）、*i*-ブタノール（*i*-BuOH）、イソアミルアルコール（*i*-AmOH）、酢酸イソアミル（*i*-AmAc）、カプロン酸エチル（EtCapr）、カプリル酸エチル（EtCapl）、酢酸（Ac）、カプロン酸（Capr）、βフェネチルアルコール（PhEtOH））を分析した。加えて二次選抜以降では、日本酒度、アルコール、エキス分、酸度及びアミノ酸度、三次選抜では酵母菌数、酵母死滅率、グルコース及びピルビン酸を追加で分析した。

香気成分、アルコール、日本酒度、酸度、アミノ酸度、グルコースは既報の通り測定した[1]。

エキス分は、卓上型密度計 DMA 4501（Anton Paar GmbH）を用いて測定した。

酵母菌数と死滅率は、ガーゼにて荒ろ過したものをメチレンブルー溶液により死菌体を染色し、血球計算盤を用いて測定した。

ピルビン酸は、ピルビン酸簡易測定キット（新洋技研工業株式会社）を用いて上槽酒を呈色反応させ、ダブルビーム分光光度計 UH5300（株式会社日立ハイテク）により吸光度を測定した。

３　結果及び考察

３．１　耐性株の分離

5種の親株と5種の選択培地から耐性株を分離した結果を表2に示す。なお、FPA 培地については、AT10 と AT16 のみ実施した。合計で 487 株の耐性株が分離され、内 356 株は AT16 に由来した。

表２　選択培地ごとの耐性株の分離数

	KU1-A1	口１	宇宙 AA41	AT10	AT16
ETC 培地	0	29	0	0	69
ET 培地	7	6	15	1	45
EC 培地	7	2	5	1	69
ECZ 培地	34	0	6	16	139
FPA 培地	－	－	－	2	34
合計	48	37	26	20	356

３．２　総米 12.4g の醸造試験（一次選抜）

一次選抜として、耐性株 487 株を対象に総米 12.4g の醸造試験を実施した。

一次選抜の通過数を表3に示す。全体の約2割にあたる 84 株が通過し、第1報で育種した AT10 や AT16 を親株とする耐性株がほとんどであった。

表３　一次選抜における耐性株の通過数

	KU1-A1	口１	宇宙 AA41	AT10	AT16
ETC 培地	0	2	0	0	33
ET 培地	0	0	0	1	12
EC 培地	0	0	0	1	4
ECZ 培地	1	0	0	3	2
FPA 培地	－	－	－	2	23
合計	1	2	0	7	74

３．３　総米 155g の醸造試験（二次選抜）

二次選抜として、耐性株 84 株を対象に総米 155g の醸造試験を実施した。

二次選抜の通過数と通過した耐性株の上槽酒の分析結果を表4と5に示す。一次選抜と同様に、二次選抜に通過した親株の内訳は AT16 に由来した耐性株が大半を占めていた。

KU1-A1 から ECZ 培地により分離された No.447 では、

対照の AA41 より *i*-AmAc の生成量が低減していたが、ほかの株と比較し 2 倍以上の *i*-BuOH を生成していた。

TFL や ECZ 及び CAN への耐性を得ることで酢酸イソアミルの生成量が増加することが報告されている[5)-7)]。本報では、TFL や ECZ 及び CAN を含む培地により分離された耐性株と比較し、FPA 培地により分離された耐性株で、*i*-AmAc の生成が良好な株が多数得られた。また、FPA 培地では PhEtOH の生成量が増加することが報告されている[8)]。しかし、今回分離された FPA の耐性株では *i*-AmAc が増加していた。そして、親株の種類によって、増加する香気成分が異なった。AT16 由来の FPA 耐性株では、*i*-AmAc と PhEtOH の両成分が増加していた。一方で、AT10 由来の FPA 耐性株 No.486 や 487 では、PhEtOH は増加しなかったが、*i*-AmAc が親株の 2 倍から 4 倍程度生成しており、ほかの由来に比べ増加率が高かった。このことから、FPA が PhEtOH だけでなく、*i*-AmAc の生成量の増加に寄与していることが示唆された。

表 4　二次選抜における耐性株の通過数

	KU1-A1	ロ 1	宇宙 AA41	AT10	AT16
ETC 培地	−	0	−	−	3
ET 培地	0	−	−	0	0
EC 培地	0	−	−	1	0
ECZ 培地	1	−	−	0	0
FPA 培地	−	−	−	2	16
合計	1	0	0	3	19

表 5　二次選抜に通過した耐性株の分析結果

酵母	試験番号	選択培地	日本酒度	アルコール (%)	純アルコール収得量 (L/t)	酸度 (mL)	*i*-BuOH (mg/L)	*i*-AmAc (mg/L)	PhEtOH (mg/L)	E/A*
KU1-A1	447	ECZ 培地	−7.0	15.4	248	2.57	105.5	6.1	120.8	3.6
AA41	対照	−	+1.2	16.1	257	2.13	47.5	8.3	145.9	6.5
AT10	18	EC 培地	−3.9	15.5	253	2.50	10.2	17.2	75.1	6.9
	486	FPA 培地	−12.3	15.9	266	3.88	18.5	47.6	135.2	11.8
	487	FPA 培地	−0.3	17.6	319	3.54	15.8	72.7	103.5	15.4
	親株	−	−4.2	15.7	262	2.35	12.1	19.6	149.3	7.8
AT16	436	ETC 培地	−3.6	15.6	253	2.17	27.7	23.9	127.4	7.0
	437	ETC 培地	−25.0	12.2	178	1.81	19.0	29.2	104.9	9.7
	439	ETC 培地	−1.1	15.5	243	2.57	26.1	23.7	161.4	7.2
	454	FPA 培地	−4.8	17.2	308	2.49	40.4	30.0	129.1	9.1
	457	FPA 培地	−20.3	15.1	258	2.25	20.6	31.3	374.5	8.9
	459	FPA 培地	−20.6	15.0	260	2.37	27.1	32.2	319.9	10.1
	460	FPA 培地	−10.4	16.4	286	2.11	30.0	28.8	243.4	10.9
	461	FPA 培地	−18.4	15.3	259	2.08	22.4	29.4	453.3	8.6
	464	FPA 培地	−5.3	17.0	294	2.13	48.5	13.7	194.2	7.6
	471	FPA 培地	−14.3	15.7	267	2.31	32.0	35.9	230.3	11.1
	473	FPA 培地	−24.4	14.6	243	2.49	25.0	25.2	786.3	8.0
	475	FPA 培地	−19.0	15.0	249	1.91	21.9	32.5	635.8	9.1
	476	FPA 培地	−20.6	15.1	259	2.24	20.4	33.3	391.6	9.5
	477	FPA 培地	−1.1	17.7	331	2.43	27.6	30.3	152.2	10.5
	478	FPA 培地	−6.2	16.9	303	2.41	34.9	21.9	284.2	7.0
	479	FPA 培地	−6.0	16.8	311	2.60	36.2	22.8	220.5	7.1
	482	FPA 培地	−15.0	15.7	270	2.25	23.9	28.2	315.5	9.6
	483	FPA 培地	−2.8	17.3	308	2.37	31.8	32.7	131.9	11.1
	485	FPA 培地	−12.9	15.8	269	2.28	28.2	26.3	294.3	7.9
	親株	−	−0.2	15.8	251	1.80	25.6	17.9	99.6	5.7

*E/A = （*i*-AmAc）/（*i*-AmOH）×100

３．４　総米 600g の醸造試験（三次選抜）

三次選抜として、耐性株 23 株を対象に総米 600g の醸造試験を実施した。

三次選抜を通過した耐性株の上槽酒の分析結果を表 6 に示す。また、AT10 より分離された No. 487 と既存の高知酵母の *i*-AmAc と *i*-AmOH の生成量を図 1 に示す。No. 487 の *i*-AmAc の生成量は、親株の 2.6 倍、対照である AA41 の 5.5 倍であった。一方で、*i*-AmOH の生成量は、親株の 1.9 倍、AA41 の 3.1 倍程度であり、実地での醸造に適用しにくいと考えられる。

AT16 より分離された No. 461、471、473 は、親株より *i*-AmAc は増加したが、純アルコール収得量が低下した。

今回の選抜では、実地での醸造に適したものは、得られなかったが、選抜された株を親株とし、育種を継続する。

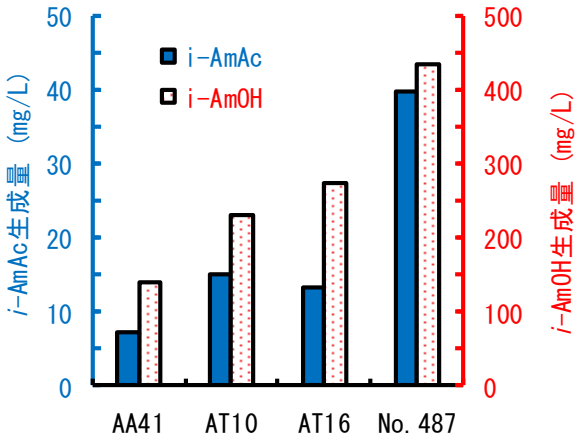


図１　各酵母の *i*-AmAc と *i*-AmOH の生成量

４　まとめ

本研究では、酢酸イソアミルの生成量の向上を目的に、エコナゾール、5,5,5-トリフルオロ-DL-ロイシン、L-カナバニンや *p* -フルオロ-DL-フェニルアラニンなどに耐性を得た株を分離した。その結果、*p* -フルオロ-DL-フェニルアラニンを含む培地で分離した AT10 由来の耐性株から、酢酸イソアミルを AT10 の 5.5 倍、対照である AA41 の 2.6 倍生成する株が得られた。

参考文献

1) 土居睦卓ら：令和 6 年度高知県工業技術センター報告、56,(2025)19-24
2) 上東治彦ら：平成 3 年度高知県工業技術センター研究報告、23,(1992)59-65
3) 上東治彦ら：平成 4 年度高知県工業技術センター研究報告、24,(1993)83-90
4) 上東治彦：伝統食品の研究、42,(2015)31-38
5) S. Ahida, *et al.*:*Agric. Biol. Chem.*, 51(8),(1987)2061-2065
6) T. Asano, *et al.*:*J. Biosci. Bioeng.*, 87(5),(1999)697-699
7) A. KANDA, *et al. J. Brew. Soc. Japan*, 85(6),(1990)417-421
8) O. Akita, *et al. J. Brew. Soc. Japan*, 85(7),(1990)501-505

表６　三次選抜において良好であった耐性株の分析結果

酵母	No.	日本酒度	アルコール (%)	エキス分 (%)	液量 (mL)	純アルコール収得量 (L/t)	酵母菌数 (×10^8cell/mL)	酵母死滅率 (%)	酸度 (mL)	アミノ酸度 (mL)	グルコース (%)	ピルビン酸 (mg/L)
KU1-A1	447	+11.4	16.7	3.6	1008.9	281.2	2.2	10	2.40	0.84	0.8	91
	親株	+15.4	17.4	3.0	1041.4	301.1	2.9	6	2.12	1.05	0.7	88
AA41	対照	+18.2	17.7	2.6	1028.7	303.0	3.9	33	1.89	0.96	0.4	20
AT10	487	+11.5	16.4	3.5	1003.0	273.8	2.8	12	2.87	0.66	0.4	96
	親株	+7.5	16.3	4.1	994.7	270.1	3.2	10	2.38	0.86	1.1	77
AT16	461	+6.0	16.5	4.5	1018.4	279.7	3.1	18	1.79	1.14	1.4	26
	464	+17.4	17.9	2.8	1084.1	322.9	2.2	27	1.98	1.16	0.6	20
	471	+5.7	16.3	4.5	1042.8	283.8	2.9	6	1.92	0.92	1.3	69
	473	+9.4	16.9	4.0	1045.3	293.9	2.4	19	1.79	1.09	1.1	16
	479	+7.1	16.4	4.3	1023.0	280.3	3.1	12	2.08	0.92	1.1	74
	483	+14.4	17.6	3.2	1084.8	317.3	2.1	33	2.08	1.04	0.6	42
	親株	+13.8	17.4	3.3	1052.2	304.2	2.9	30	1.84	1.10	0.7	12

酵母	No.	AA (mg/L)	EtAc (mg/L)	*n*-PrOH (mg/L)	*i*-BuOH (mg/L)	*i*-AmAc (mg/L)	*i*-AmOH (mg/L)	EtCapr (mg/L)	EtCapl (mg/L)	Ac (mg/L)	Capr (mg/L)	PhEtOH (mg/L)	E/A*
KU1-A1	447	28.6	97.8	84.6	81.7	5.2	169.4	1.8	1.3	44.5	5.8	91.6	3.1
	親株	30.1	108.6	83.6	42.6	3.5	131.5	1.6	1.1	39.6	4.5	80.4	2.6
AA41	対照	39.3	133.2	79.1	50.7	7.2	139.4	1.5	1.0	30.9	15.9	84.4	5.1
AT10	487	30.9	183.4	40.4	7.7	39.8	434.3	1.1	0.5	<30.0	25.3	90.1	9.2
	親株	33.3	95.0	68.8	10.3	15.1	230.4	4.0	1.2	<30.0	14.4	87.4	6.6
AT16	461	42.8	96.9	97.8	18.1	16.8	271.3	1.4	0.9	61.8	4.8	177.6	6.2
	464	44.9	58.6	63.6	41.8	3.6	134.3	8.0	2.3	53.8	35.9	95.5	2.7
	471	36.1	113.1	114.9	27.2	16.5	268.9	1.4	0.9	<30.0	4.5	107.7	6.1
	473	36.8	105.6	92.8	26.1	16.2	291.1	1.4	0.9	<30.0	5.4	197.9	5.6
	479	32.1	96.8	78.9	19.2	11.0	310.3	1.0	0.7	<30.0	3.4	108.4	3.6
	483	40.8	108.5	94.9	23.7	14.0	293.1	1.0	0.6	53.0	10.6	100.2	4.8
	親株	32.5	106.7	77.9	23.1	13.2	274.0	1.5	1.0	<30.0	10.8	100.6	4.8

*E/A = （*i*-AmAc）/（*i*-AmOH）×100

地域のえいもん作り支援事業（第１報）

地域特産品を利用した肉味噌の商品開発

岡本 佳乃　　近森 麻矢　　阿部 祐子　　竹田 匠輝

Support for Local Special Product Development (Part 1)

Development of Niku Miso Seasonings Using Local Specialty Products

Yoshino OKAMOTO　Maya CHIKAMORI　Yuko ABE　Naruki TAKEDA

大川村集落活動センターのびん詰め商品「土佐はちきん地鶏担々肉味噌」の開発支援を行った。当センターでは製造工程の見直しや配合変更、技術研修を行った。原料の配合を変更することで水分活性を 0.94 以下に下げ、加熱殺菌条件を 100℃以下にすることができた。さらに、技術研修によるスチームコンベクションオーブンを活用した製造工程の省力化や、殺菌工程のマニュアル化を行った。これらの商品化につながる支援により、地域の特産品である「はちきん地鶏」を活用した常温流通可能な製品が開発され、大川村集落活動センターによる製造販売が行われている。

１　まえがき

高知県の中山間地域では高齢化と人口減少が進んでいる。そのため高知県では地域住民が主体となってそれぞれの地域の課題やニーズに応じて総合的に地域ぐるみで取り組む集落活動センターの活動を通じて地域社会の活性化に取り組んでいる。また、市町村と連携しながら地域の振興や活性化に向けた取り組みを支援する職員である地域支援企画員を県内に50名程度配置し、平成15年より県内各地で活動する取り組みも併せて行っている。

令和6年度に大川村地域支援企画員を通じて、大川村集落活動センター「結いの里」運営協議会が特産品である「はちきん地鶏」の知名度を向上させるため加工品の開発に取り組みたいとの相談が寄せられた。内容としては「結いの里」の飲食コーナーにて既に提供され好評を得ていた、はちきん地鶏のミンチ肉を使った担々麺風うどんの具を製品化し、常温で賞味期限3ヶ月以上の製品として店頭販売したいとの意向であった。

この報告では、本商品開発事例について報告する。

２　現状と課題

２．１　製造工程

結いの里では製造設備として一般的な調理器具に加えて、業務用の冷凍冷蔵設備とスチームコンベクションオーブン（以下、スチコンという。）を保有している。担々麺風うどんの具については、従来の製造工程では、加熱作業（炒め）を行うコンロ口数は限られており、量産しようとすると加熱作業を繰り返し行う必要があり、従業員の負担となっていたため、1 回の製造量は 1kg に限定されていた。また、一旦製造を始めると途中で作業を中断することができず、解凍した原料の鶏肉が処理できるまで人員がかかりきりになるため、調理や販売など他の業務との両立が困難で製造作業のための人員の確保が課題となっていた。

２．２　製品性状

結いの里での加工品製造は、そうざい製造業の許可を既に取得し、蕗の佃煮、椎茸の佃煮について JA 女性部での経験があるため、佃煮のようなレトルト殺菌が不要な加工品であれば現在の体制で対応可能であった。

容器詰加熱殺菌食品でレトルト殺菌されるものと 100℃以下の低温殺菌（湯殺菌）されるものとの違いは、重大な食中毒事故になるボツリヌス菌によるものであり、pH4.6 および水分活性値 0.94 を基準にしている[1)]。そこで商品化を希望している担々麺風うどんの具について常温流通するための殺菌条件を決める指標となる pH と水分活性を測定したところ pH4.93、水分活性 0.95 であった。これは pH4.6 を超え、かつ水分活性 0.94 を超える値であるため、現在のレシピのままでは 100℃以下の殺菌での常温流通はできない製品性状であった。

３　課題の解決

３．１　製造工程の見直し

変更前の製造工程では、作業者 1 名がフライパ

ン調理を手作業で30分間つきっきりで行う炒め作業があり、それに伴う暑さや疲労の蓄積は作業者への大きな負担となっていた。そこで、スチコンを用いる製造工程を提案し、この作業をスチコンでの加熱途中に数回攪拌する作業に変更した。また、工程を一次加工と二次加工に分離した。これらの製造工程の見直しにより1回の製造量は1kgから約6倍まで増加した（図1）。

３．２技術研修の実施

結いの里では焼成調理や製パンなどにスチコンは活用されていたが、炒め作業や殺菌という目的では使用されていなかった。従来とは異なる使用目的となるため、具体的な設定や利用方法についての知識が必要であった。

そのため、令和7年6月に結いの里会員4名、大川村役場職員1名を対象として、スチコン現地研修を当センター職員により実施した。この際、歩留まり管理が重要であるため、製造の手順書を作成した。はちきん地鶏1kgを用いてはちきん地鶏担々肉味噌11瓶を、結いの里調理担当者3人で4時間かけて現地で試作し、製造手順とスチコン操作方法を説明した。手順書を利用することで加熱工程や殺菌工程を全員が理解して行えるようになった。次いで、結いの里会員4名と大川村役場職員1名は令和7年7月に当センターで開催したスチコンメーカー講師による実習型の集合研修に参加した。ここでは原理や活用方法などの理解が深まった。これらの研修によりスチコンを活用することの心理的や技術的なハードルが下がったと考えている。

３．３　配合見直しと水分量の管理

担々麺風うどんの具の配合をベースとし、水分活性値が0.94以下になるように食塩や砂糖などの調味料を増量するように配合を変更した。これによりレトルト殺菌装置がなくとも湯殺菌で殺菌が可能となったことから、本製品を高級感のあるびん詰め製品「土佐はちきん地鶏担々肉味噌」として製造することとした（詳細な配合は企業秘密のため未記載）。

この製品では水分活性が品質に大きく影響することから、製造工程中の水分量の管理が重要となる。そのため一次加工では、ミンチ肉等の水分を除去する加熱工程後に、歩留まり75%以下になったことを重量測定で確認し、製品の水分活性が上振れしないように管理することとした。

二次加工ではこれまでより調味料を増加させた。本製品を3～4倍濃縮タイプとするため、市販鍋スープの塩分量1.6%を参考にして、塩分量を6%以上に変更した。はちきん地鶏担々肉味噌はうどんの具としてそのままで食してもよいが、3～4倍量の豆乳を加えると手軽に担々麺風スープが作れる商品となっている。

これらの工程の変更により安定して水分活性を0.94以下に制御することができ100℃以下の加熱殺菌条件でも一般生菌数の増加を抑制することができた。

また、ミンチ状の調理した肉をそのままびん詰

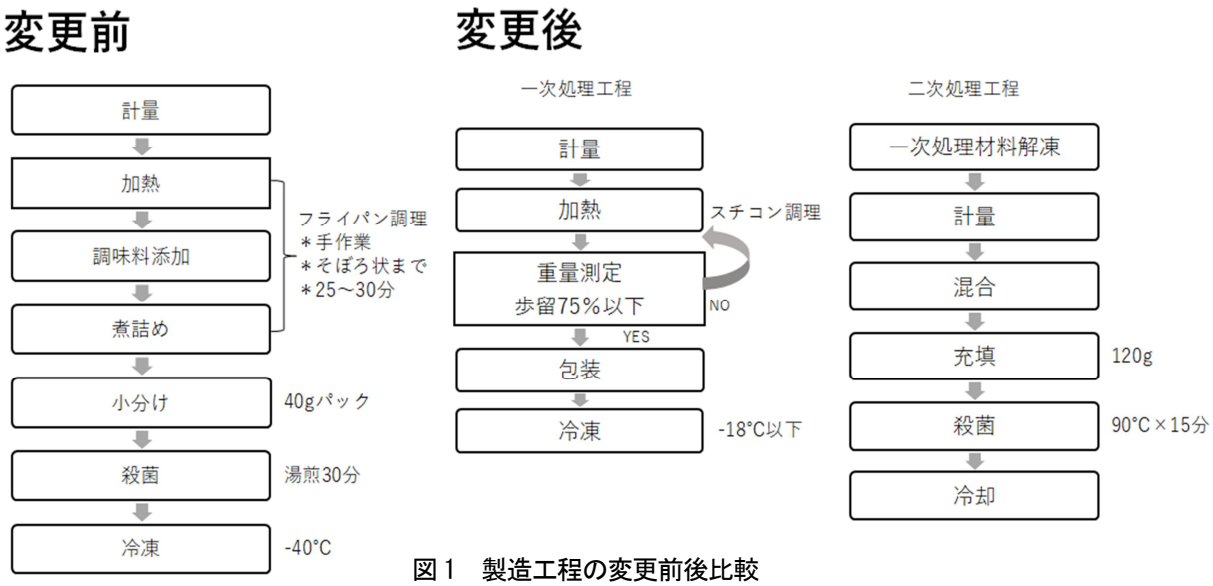


図１　製造工程の変更前後比較

めした場合には、空隙が発生し空気が断熱材となるために熱伝導が悪くなることが考えられたが、配合の見直しにより調味料の液体部分を増やし、空隙をなくしたことで加熱殺菌への影響を抑えることができた。

4　殺菌条件の検討

当センターにて「土佐はちきん地鶏担々肉味噌」びん詰め120gサンプルを試作し、中心温度85℃×15分から90℃×60分までの６段階に殺菌条件を変えスチコンで殺菌した。これらのサンプルについては、製造直後と36℃で14日間保存後の一般生菌数を標準寒天培地で測定した(n=2)。サンプルについて、製造直後と36℃で14日間保管した場合の一般生菌数測定結果を表1に示す。表中では300個以下/gを’－’として表記している。今回の配合では、すべての加熱殺菌条件で一般生菌数は300個以下/gとなった。また、36℃で14日経過後も一般生菌数は増加していなかった。

表１　加熱殺菌条件と一般生菌数(個/g)
＊参考として出現コロニー数を()で記載

加熱殺菌条件	製造直後	36℃×14日後
85℃×15分	－（35）	－（10）
85℃×30分	－（10）	－（0）
85℃×60分	－（5）	－（0）
90℃×15分	－（10）	－（25）
90℃×30分	－（40）	－（10）
90℃×60分	－（10）	－（5）

5　テストマーケティングの実施

これまでの結果を基に結いの里では、製造した商品の保存試験とテストマーケティングに取り組んだ。

製品の加熱殺菌条件は原料や製造環境により変わるため、実際の製品で複数回保存試験を行った結果から、加熱不足が起こらないように安全を見て90℃×15分以上の条件で製造した物を保存試験に用いた。

また、ラベル表示や商品仕様書を作成するために、外部の食品検査機関で水分活性、一般生菌数、栄養成分の検査を行った。食味試験の結果とあわせて、水分活性値0.91以下、一般生菌数も1000個以下/gであることが確認できたため、賞味期限4ヶ月とした。

令和8年1月に実施した県のアンテナショップ「まるごと高知」での約200名アンケートでは、味の評価が高く、1000～1100円の価格設定が妥当であるとの結果が得られた。その後、大川村集落活動センターでの店頭販売を開始した(図2)。



図２　製品

結いの里では大川村地域創生推進事業補助金でこの商品開発を行っている。また、高知県地産外商公社の令和７年度テストマーケティング推進事業で「まるごと高知」のテストマーケティングを行っており、公的支援をうまく活用することができた。原価の高いはちきん地鶏を使っていることから、販売価格が課題の一つであったが、テストマーケティングで高評価を得たことは販売の後押しとなった。この製品がはちきん地鶏の知名度向上につながれば幸いである。

6　まとめ

本報告では大川村集落活動センター結いの里からの依頼を受けて行った、特産品であるはちきん地鶏の加工品開発について紹介した。

製造工程と配合の変更を行うことで、常温流通で賞味期限4ヶ月の加工品を完成させた。製造工程を二つに分けることにより、一次加工工程では加熱により原料に含まれる水分が蒸発した量を歩留まりで管理できるようになった。二次加工工程では、配合を塩分6%以上となるように変更した。これらによって製品の水分活性を0.91以下に維持できた。試作品での殺菌条件を検討した結果、中心温度85℃×15分以上の条件で一般生菌数が300個以下/gとなった。

これらの商品開発支援を行った結果、結いの里での安定した製品の製造と販売へとつながった。

謝辞

本研究を行うにあたりご協力いただいた大川村集落活動センター結いの里運営協議会の長瀬尚子様、岩﨑緑様、川村文子様、大川村集落支援員山中珠里様、大川村役場米津葵様、大川村地域企画支援員各位に感謝いたします。

参考文献

1) 公益社団法人日本缶詰びん詰レトルト食品協会、“低温殺菌される容器詰加熱殺菌食品（殺菌温度が100℃以下の実封食品）HACCPマニュアル「HACCPの考え方を取り入れた衛生管理」”、厚生労働省、2019年11月21日、https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000179028_00003.html、(参照2026.7.10)

水産加工品図鑑への寄稿

竹田 匠輝　　阿部 祐子

Contributed to Japanese Aquatic Food Products and Processing

Naruki TAKEDA　Yuko ABE

水産加工品図鑑は全国で各種の魚介藻類から生産される数々の水産加工品についての情報をとりまとめ、水産加工製品開発や伝統的な水産加工品の継承、製品紹介の場とすることを目的とした情報サイトである。当センターからは高知県で製造される「そうだ節」「かつおのたたき」「酒盗」「かつお類調味加工品」「焼き板かまぼこ」の五つについて寄稿した。全国各地の約 200 品目の水産加工品について紹介されているのでぜひ一度ご覧いただきたい。

1　水産加工品図鑑について

水産加工品図鑑[1)]は全国の魚介藻類から生産される数々の水産加工品についての情報をとりまとめ、水産加工製品開発や伝統的な水産加工品の継承、製品紹介の場とすることを目的とした情報サイトである。この図鑑は７名の専門家による編集委員会で図鑑全体の監修を行い、大学、企業関係者や全国の都道府県試験研究機関が協力し、約 200 品目の水産加工品についての情報を取りまとめている。

当センターからは高知県で製造される「そうだ節」「かつおのたたき」「酒盗」「かつお類調味加工品」「焼き板かまぼこ」の五つについて寄稿した。

2　製品の紹介

寄稿した原稿より、製品の概要について抜粋して紹介する。

(1) そうだ節：高知県内で生産される節はかつお節よりもそうだ節が多く、中でも南西部の土佐清水市でその大半が製造され、その量は全国生産量の 7～8 割を占めているといわれる。この節の多くは蕎麦屋などの業務用のだしとして用いられる。令和 5 年度には「土佐宗田節」として文化庁の 100 年フードに認定されている。



図 1　そうだ節

(2) かつおのたたき：かつおのたたきとは、カツオを 3 枚におろした半身を背と腹に切り分け、わらなどを燃やして表面だけを焼いて刺身のように切ったものに塩やタレを振ってたたき、味をなじませたものである。高知県の郷土料理で土佐造りとも呼ばれる。近年では冷凍商品の普及もあり、全国的に食べられている。



図 2　かつおのたたき

(3) 酒盗：酒盗とはカツオの内臓を使った塩辛のことで、かつお節等を製造する際に除かれる内臓（胃、幽門垂、腸）を塩蔵、熟成したものである。伝統的に製造されていた辛口のほかに、塩分を下げて調味加工した甘口や、胃と腸だけで熟成させた商品もある。



図 3　酒盗

(4) かつお類調味加工品：カツオとマルソウダの味付け節は、生節(なまぶし)を醤油やみりんなどで調味し加熱したものであり、角煮は生節を輪切り等にして甘辛く煮付けたものである。はらんぼ加工品は、はらも(腹部の脂の乗った腹の部分)を塩や醤油で味付けし焙焼したものなどがある。



図4　マルソウダ味付け加工品



図5　はらんぼ加工品

(5) 焼き板かまぼこ：魚肉に塩を加えて練った肉糊を板に付け、蒸しと焼きを併用した方法で製造したかまぼこで、主に関西地方以西で生産されている。板付きの形は地方によって異なるが、この製品は、両端が高く、中央が低い形をしている。また、すり身を下にして焙焼するときに電熱製の焙焼機に引っかけやすくするために板の両端1～2cmにはすり身を付けないという特徴がある。



図6　焼き板かまぼこ

3　謝辞

原稿の作成に当たり、製造工程の取材や写真の提供などにご協力いただいた有限会社ヤマア、株式会社たけまさ商店、土佐清水食品株式会社、明神水産株式会社、有限会社土佐佐賀産直出荷組合、有限会社竹内商店、株式会社土佐まなべ商店、有限会社浜吉ヤ、有限会社松岡かまぼこ店の皆さまに厚く御礼申し上げます。

4　参考文献

1)　水産研究・教育機構水産技術研究所、全国水産加工業協同組合連合会、“水産加工品図鑑”、水産加工品図鑑、2026年5月25日、https://k-zukan.jp/、(参照2026.7.15)

令和７酒造年度高知県新酒鑑評会における出品酒の分析

甫木 嘉朗　　土居 睦卓　　岡本 佳乃　　武市 幸代　　加藤 麗奈

Analysis of Entries in the Kochi Prefectural New Sake Competition for the 2025 Brewing Year

Yoshiro HOKI　Tomotaka DOI　Yoshino OKAMOTO　Sachiyo TAKECHI　Reina KATOH

令和７酒造年度高知県新酒鑑評会の出品酒 44 点を対象に、一般・発酵関連成分、品質関連指標及び香気成分を分析し、各分析値の範囲と分布を整理した。アルコール及び酸度は比較的狭い範囲に分布した一方、日本酒度、グルコースには広がりがみられた。ピルビン酸は 4～112 mg/L と出品酒間の差が大きく、残存糖化力は多くの出品酒で低値を示した。香気成分では同一製造場由来の酒が近接する傾向を示した。本結果は個別技術支援、出品酒選定及び経年比較に活用できる。

１　はじめに

当センターでは、高知県酒造組合が毎年３月に主催する「高知県新酒鑑評会」に出品された清酒について、成分値の分析と審査員として官能評価を実施している。県新酒鑑評会は、県内酒造会社が製造した新酒の品質を評価し、県産清酒の品質向上および酒造技術の向上に資することを目的として実施されている。そのため、出品酒については、一般・発酵成分、品質関連指標、香気成分を分析し､その結果を酒造会社へ情報提供している。

本報では、令和７酒造年度の出品酒の分析結果を整理し、当該年度の出品酒における各分析値の範囲と分布を記録することを目的とした。なお、出品点数は１製造場当たり 1～5 点と製造場間で均等ではなく、同一仕込みに由来する斗瓶違い等の関連する出品酒も含まれている。このため、全出品酒から算出した平均値は、出品点数の多い製造場の影響が相対的に強くなる可能性があることは留意する必要がある。この取り組みにより、成分値の分布や製造場ごとの成分値を把握することで、個別の技術支援や経年比較に用いる資料となる。

２　鑑評会の概要

鑑評会の概要を表１に示す。

３　試料および分析方法

３．１　試料

令和７酒造年度高知県新酒鑑評会に出品された清酒 44 点を試料とした

３．２　一般・発酵関連成分・品質関連指標

清酒の成分値として、日本酒度、アルコール、酸度、アミノ酸度、グルコース、ピルビン酸を分析した。品質関連指標として残存糖化力を分析した。新甘辛度は酸度とグルコースの値から算出した。

表１　鑑評会の概要

	内容
開催日	2026 年 3 月 18 日(水)
開催場所	高知県酒造組合
出品製造社数	11 社
出品製造場数	13 場
出品点数	44 本
出品酒の並び	3 区分(カプロン酸エチル濃度) 各区分ごとにグルコース順
審査員数	13 名
審査方法	プロファイル法(図 1)

日本酒度、アルコール、酸度、アミン酸度、グルコース、ピルビン酸は既報と同様に測定した[1)]。

残存糖化力は糖化力測定キット(キッコーマンバイオケミファ株式会社)を用いて反応させ､吸光度を測定し、算出した。

３．３　香気関連成分

酢酸エチル、酢酸イソアミル、イソアミルアルコール、カプロン酸エチルを既報の方法で分析した[1)]。

４　各成分の分析結果

一般・発酵関連成分、品質関連指標の分析結果を表２と図２に、香気成分の分析結果を表２と図３に示す。

一般成分では、アルコール、酸度は第１四分位数(Q1)と第３四分位数(Q3)の値から比較的狭い範

図１　プロファイルを記入する審査表

R7BY高知県新酒鑑評会　　1:すばらしい　1.5:良好　2:普通　2.5:やや難点　3:難点　　審査員名

暗番1 ( ) コメント	〔総合評価〕	□ 1	□ 1.5	□ 2	□ 2.5	□ 3
	□ 香味調和	□ 香り過熟・老香	□ カビ臭・埃香	□ 若い	□ 適熟	□ 過熟
	□ 香りおだやか	□ 香り離れる	□ 酸臭	□ きれい	□ 雑味	□ 甘味良
	□ 個性的( )	□ 木香様・ｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	□ 香辛料様・4VG	□ キレ	□ 味ダレ	□ 甘うく
	□ カプロン酸エチル	□ 酸化臭	□ ろ過様臭・紙臭	□ なめらか	□ 荒い	□ 酸味(良・不)
	□ 酢酸イソアミル	□ 生老香・ムレ香	□ 粕臭・フクロ臭	□ 濃醇	□ うすい	□ うま味
	□ 酢酸エチル	□ つわり香	□ 硫化臭・ｶﾌﾟﾋﾈ	□ 味軽快	□ 味重い	□ 渋味(良・不)
	□ 高級アルコール	□ 甘臭・焦臭	□ 脂肪酸臭	□ 後味良	□ 後味難	□ 苦味(良・不)

囲に分布していることがわかり、最小値、最大値も大きく逸脱するものはなかった。一方、日本酒度、グルコースおよびアミノ酸度はＱ１－Q3 の値はまとまっているものの、最大値や最小値をみると､分布から大きく離れる清酒も出品されていた。ピルビン酸は 4～112mg/L と出品酒間の差が大きく、発酵経過や上槽時期等の違いが影響した可能性があるが、その要因については個別の製造情報から考察する必要がある。

残存糖化力は多くの出品酒で低値を示したことから、適切に火入れができていることがわかったが、残存している清酒もあり、火入れ条件を調査する必要がある。

香気成分について、鑑評会の審査区分に関連するカプロン酸エチルは平均値 7.11ppm、Q1－Q3 が 6.07－8.15ppm であり､全国平均値である 5.9 ppm を上回っていたことから、ほとんどの出品酒はカプロン酸エチルを主体とするお酒であった。一方で、酢酸イソアミルやカプロン酸エチルのどちらも 2ppm 以下の低濃度の出品酒が 1 点､酢酸イソアミルとカプロン酸エチルがどちらも 4ppm 程度の出品酒も 1 点あった。オフフレーバーの指摘となり、審査点数に影響がでる酢酸エチルやイソアミルアルコールの濃度は、金賞率が高いとされる濃度域(酢酸エチル：40-60mg/L、イソアミルアルコール 90-110mg/L)に近い出品酒がほとんどであり、品質の高さが数値でも裏付けられた。

５　まとめ

令和 7 酒造年度高知県新酒鑑評会における出品酒 44 点を分析した。成分値の範囲、分布および製造場ごとの成分値を把握できたことで、全国新酒鑑評会へ出品酒の選定や製造上の考察や振り返り、次年度の製造での指標として活かすことができる。

今後は OMR による各審査員の指摘項目の集計に向けた整備と、得られた指摘項目と成分値の対応を解析することで、より情報を得られる取り組みとしていきたい。さらに、年度ごとの記録として蓄積していき、横断的な比較を検討している。

謝辞

試料を提供いただいた高知県酒造組合と県内酒造会社の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

1) 土居睦卓ら：令和 6 年度高知県工業技術センター研究報告、56,(2025)19-24

表２　各成分値の範囲一覧

区分	分析項目	単位	平均値	±	標準偏差	中央値	Q1	Q3	最小値	最大値
一般成分	日本酒度	−	3.2	±	2.3	3.0	1.6	4.1	-1.6	12.1
	アルコール	%	17.6	±	0.7	17.8	16.9	18.0	15.6	18.8
	酸度	mL	1.4	±	0.2	1.4	1.3	1.4	1.1	1.8
	アミノ酸度	mL	1.1	±	0.2	1.0	1.0	1.2	0.8	2.0
発酵関連成分	グルコース	%	2.56	±	0.58	2.75	2.31	2.92	0.81	3.54
	ピルビン酸	mg/L	53	±	37	48	25	95	4	112
品質関連指標	新甘辛度	−	1.2	±	0.7	1.4	0.9	1.6	-1.0	2.2
	残存糖化力	U/mL	0.03	±	0.04	0.01	0.00	0.04	0.00	0.15
香気成分	酢酸エチル	mg/L	53.3	±	10.1	54.7	48.6	57.8	22.9	83.8
	酢酸イソアミル	mg/L	1.69	±	0.42	1.64	1.48	1.81	0.80	3.82
	イソアミルアルコール	mg/L	105.9	±	17.4	99.5	94.4	115.0	88.2	172.9
	カプロン酸エチル	mg/L	7.11	±	2.08	6.93	6.07	8.15	1.69	11.26
	E/A比	−	1.62	±	0.41	1.62	1.48	1.75	0.72	3.52

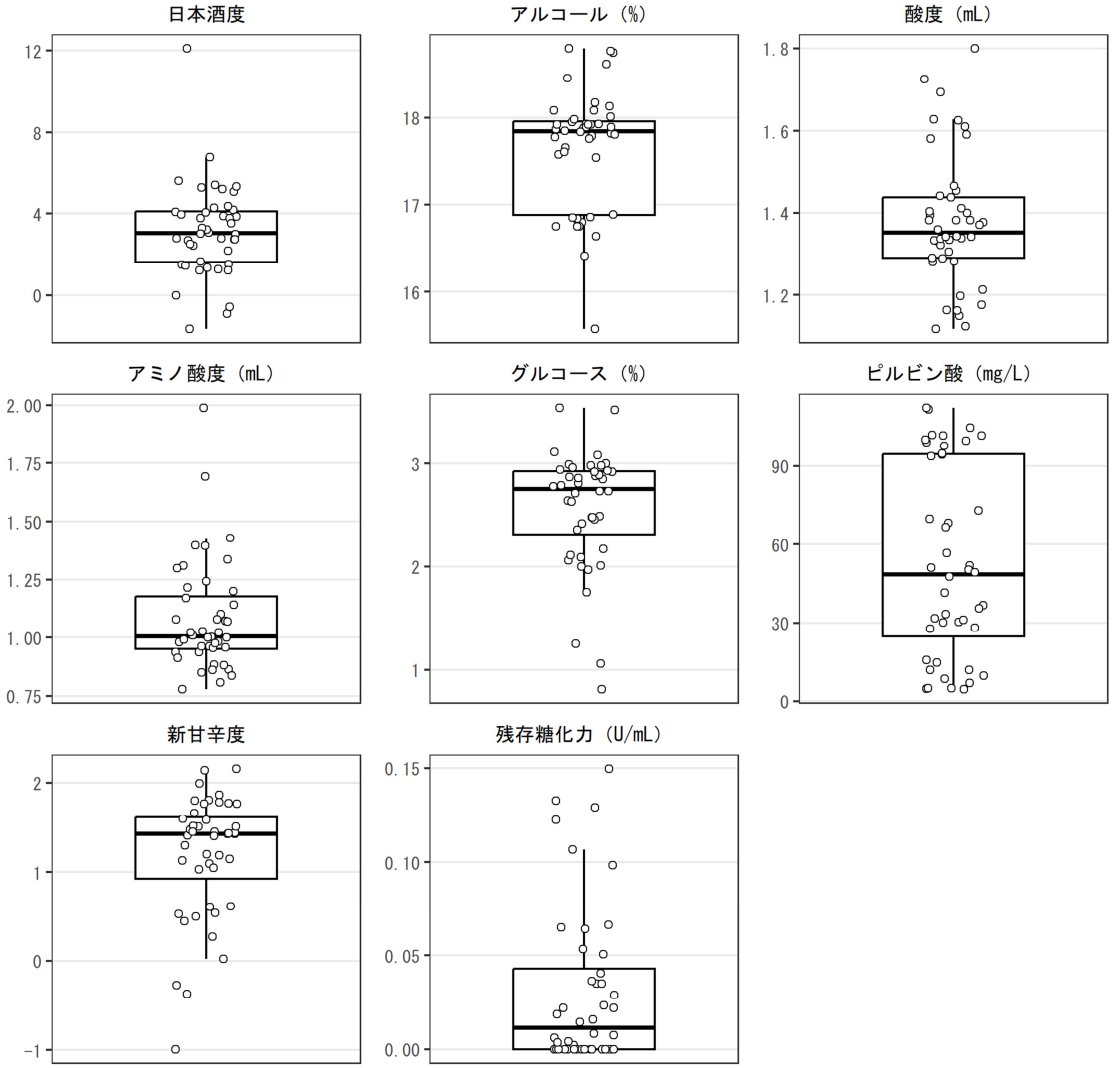


図２　清酒の一般・発酵関連成分の分布

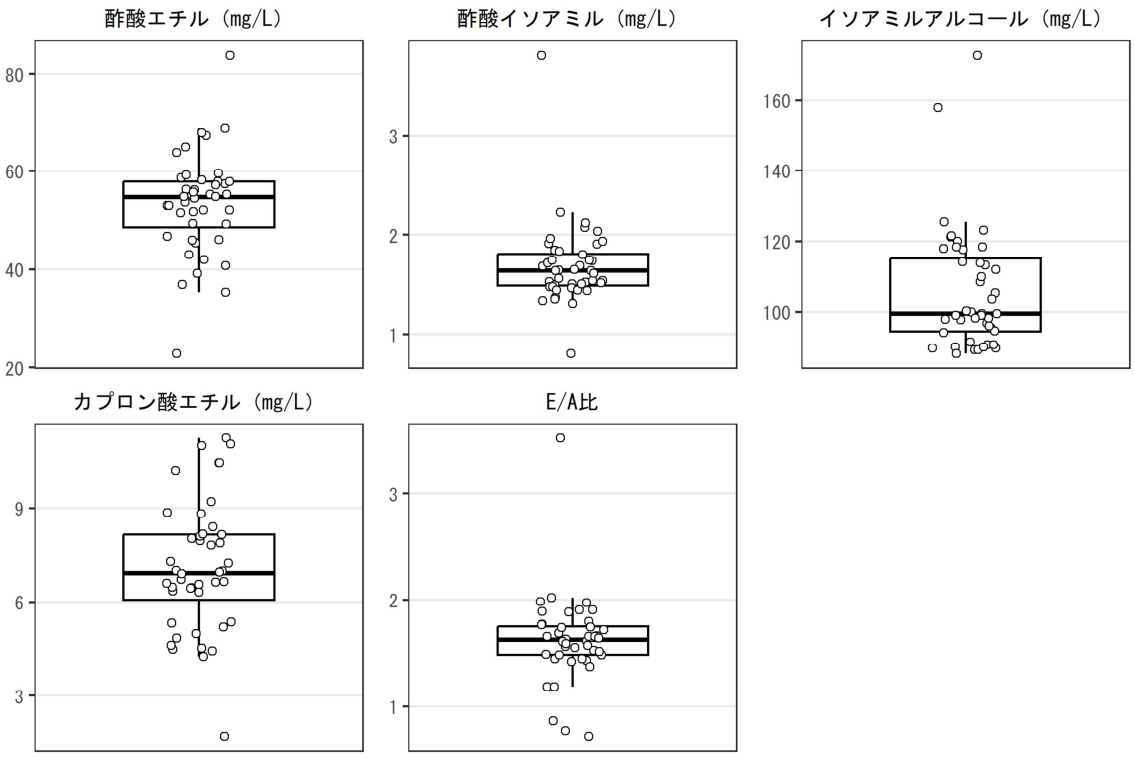


図３　清酒の香気成分の分布

海洋深層水の低溶存酸素特性が珪藻の動態に与える影響

秋田 もなみ* 阿部 祐子 竹田 匠輝 伊吹 哲*
堀田 敏弘* 山本 浩*

The Impact of Low Dissolved Oxygen Characteristics of Deep Sea Water on Diatom Dynamics

Monami AKITA* Yuko ABE Naruki TAKEDA Satoru IBUKI*
Toshihiro HOTTA* Hiroshi YAMAMOTO*

１ 背景と目的

「海洋深層水（以下、深層水）は、清浄性・低温安定性・富栄養性に加え、表層水に比べて溶存酸素（Dissolved Oxygen、以下DO）が相対的に低いという特徴を持つ。これまで深層水の利用研究では、前述の3 つの特性に着目したものが多く、低DO については基礎・応用の両面において十分に評価されてこなかった。一般的に水域における低DO は水生生物に対してネガティブな影響を与えることが知られているが、二枚貝や甲殻類において一部研究例ではポジティブな影響を与えうることが示唆されている。 本研究では、これまであまり注目されてこなかった深層水における低DO 特性が、水産業やその他分野における有用な資源特性となり得るか否かを検討するため、珪藻に与える影響に着目した。珪藻は、アワビやウニ等の人工種苗生産における初期餌料として重要であり、大量の種苗を水槽内で効率よく生産するには、付着珪藻の効率的な増殖手法の確立が求められる。本研究では、増殖速度を始めとした珪藻の動態に対する深層水の低DO 特性の影響を評価することを目的とした。

２ 方法

ろ過槽に入る前の深層水原水区(以下、原水低DO 区; DO 約5 mg/L)と、原水をバブリングしてDO を上げた深層水原水高DO 区(以下、原水高DO 区; DO 約9 mg/L)、ろ過槽を通過した高DO の深層水ろ過槽区(以下、ろ過高DO区; DO 約9 mg/L)の3 試験区で実施した。 30L 水槽を用いて各海水をかけ流し、開始15 および11 日後に水槽内に付着する珪藻の種類を観察した。また各水槽に50ml 遠沈管を沈め、試験終了後に管内に付着する珪藻の数を計測した。

３ 結果と考察

顕微鏡による形態観察の結果、3 試験区全てで *Tabularia* 属が優占種として見られた。加えて原水低DO 区では *Navicula* 属、ろ過高DO 区では *Craspedostauros* 属が多く観察された。また低DO 区では高DO 区の2 試験区に比べて、珪藻の総個体数が多くなる傾向が見られた。さらに今回の結果からは、ろ過槽通過の有無が珪藻の増殖量に与える影響はほぼ無いと考えられた。これらの結果は、深層水の低DO 特性が珪藻の増殖を促進する可能性を示唆し、新たな資源特性になり得ることを示している。

（第29 回海洋深層水利用学会全国大会、令和7 年11 月）

＊ 高知県海洋深層水研究所

実際の運用における官能評価の比例尺度データを収集するための課題抽出

下藤 悟　　甫木 嘉朗　　森山 洋憲　　明神 真[*1]　　山脇 朋泰[*1]

Identifying issues for collecting ratio scale data of sensory evaluation in practical operation.

Satoru SHIMOFUJI　Yoshiro HOKI　Hironori MORIYAMA　Makoto MYOUJIN[*1]　Tomoyasu YAMAWAKI[*1]

【目的】食品加工事業者では品質管理や商品開発を目的とした官能評価が行われているが、より高解像度な解析を行うためには信頼性の高い比例尺度データを収集したい。そこで、実際の現場で行われた官能評価の評価傾向を数値化することで、データ活用のための課題を明確にすることを目的とした。

【方法】試験は酔鯨酒造株式会社にて実施した。対象試料は清酒である。評価者は9名とした。まず、パネリスト選抜試験を行った。項目は3種類の順位法(日本酒度、酢酸イソアミル、酸度について5検体ずつ)、五味＋金属味の判別、Open Essence による香りの判別とし、正答率で評価者を3つに分類した。続いて製品評価のデータを収集し、評価傾向をランダムフォレストによる重要度と重回帰分析による重回帰係数で判定した。試料は201品(ただし評価者で評価数が異なる)、評価は2024年1月~9月までの間に実施した。評価項目は0-100のLAM尺度法(香り・甘味・酸味の強さ)とした。試料の特徴は清酒の一般的な成分値（香気成分8成分、グルコース量、酸度、アミノ酸度、日本酒度、アルコール濃度）を分析した。評価結果を目的変数、標準化した成分値を説明変数として回帰分析を行い、決定係数を算出した。

【結果・考察】香りと甘味の強さについて、選抜試験の正答率が高い評価者は決定係数が0.50～0.94と高く、分析値に基づいた評価をしていることが示された。しかし、評価傾向はいずれの項目も正答率と関係性が見られなかった。選抜試験の正答率が高く、評価傾向が揃っていることが事業者にとってデータの信頼性が高い状態といえるため、それに向けた課題を決定係数と評価傾向を数値比較することで明確にできた。

（日本調理科学会2025年度大会、令和7年9月）

*1　酔鯨酒造(株)

懸濁結晶法凍結濃縮装置を用いた清酒の濃縮

森山洋憲　下藤悟　甫木嘉朗　粂野敦志*　松本泰典**

Verification of a Freeze Concentration Apparatus for Suspension Crystallization with Japanese Sake

Hironori MORIYAMA　Satoru SHIMOFUJI　Yoshirou HOKI　Atsushi KUMENO　Yasunori MATSUMOTO

【目的】我々はこれまでに多品種少量生産に適した懸濁結晶法による凍結濃縮装置の開発を検討してきた。種々の液体食品を用いた各濃縮試験によって、本装置がそれら試料の濃縮に有効であることを確認した。本報では清酒の濃縮を実施し、官能評価機器等を用いて濃縮清酒の各種成分も分析することにより、その特性を調べることにした。

【方法】供試品として土佐鶴酒造(株)（高知県安田町）から提供された清酒を用いた。高知工科大学の凍結濃縮装置を用いて、1 時間又は 2 時間の濃縮試験を行った。濃縮前の清酒、1 時間又は 2 時間の濃縮品を適宜調製し、各種分析に供した。HPLC 装置を用いて遊離アミノ酸を分析した。LC-MS システムを用いて遊離糖、ジペプチド、有機酸を解析した。味覚センサー及び電子嗅覚システムによる風味評価も行った。

【結果】凍結濃縮された清酒のエタノール濃度は濃縮前のものに比べて高くなり、2 時間の濃縮によって約 1。5 倍になった。酸度、アミノ酸度、エキス分、Brix 値も同様に高くなった。HPLC 装置を用いて遊離アミノ酸を調べたところ、各成分は濃縮時間に応じて濃度が高くなることが分かった。LC-MS を用いて遊離糖、ジペプチドについても調べたところ同様の結果が得られた。有機酸についても一部の成分を除いて同様の傾向を確認した。エタノール濃度が濃縮前のものと同じになるように濃縮品を希釈し、味覚センサーを用いて評価した。その結果、濃縮品は濃縮前とほぼ同等の味のバランス強度を示していた。電子嗅覚システムによる評価もの行ったところ、成分組成の変化は僅かであった。

（日本食品科学工学会第 72 回記念大会、令和 7 年 8 月）

＊土佐鶴酒造株式会社　＊＊高知工科大学

生産技術課

溝加工溶着爪の開発（第２報）
溶着素材の改良

眞鍋 豊士　土方啓志郎　山崎 優二*　行宗 詳規*

Development of Cultivation Claws with Groove Processing and Welding(2nd Report)

Toyoshi MANABE　Keishirou HIJIKATA　Yuji YAMASAKI*　Mitsuki YUKIMUNE*

農業機械であるトラクターの後部作業機に取り付けられ、回転することにより田畑を耕す耕うん爪は、世界的に大規模農業への転換が加速する中、メンテナンス頻度を格段に減らせる高耐久爪の開発が求められている。そこで、共同研究企業が長年培った溶着工法と圧延技術の組み合わせをベースに新たな『溝加工溶着爪』の開発を行った。前回の報告では、一部の溶着原料及び製造工程について改良を行い、良好な結果を得た。今回の報告では前回とは異なる溶着素材について評価・検討を行った内容について報告する。

１　はじめに

本報告は、農業機械の耕うん爪製造においてトップシェアを誇る企業との共同研究の第２報である[1),2)]。前回の報告で、溶着層の原料の一部について、従来は行われていなかった加熱処理をすることで、溶着層の強化(長寿命化)を図ることができた。また、溶着層の有効厚みを増大させることが可能な溝形状を見出し、CAE(Computer-Aided Engineering)連成解析により溶着爪への製造工程の生産効率、加熱ムラの低減を図る方法を見つけることができた。今回は、溶着素材の粒度に着目して、更なる長寿命化、生産の効率化を目指し開発を行った。

２　溶着素材について

図１は、現行の複数ある溶着素材の一部の電子顕微鏡像である。図のように溶着素材の粒度は、大小様々である。この粒度を素材ごとにある程度整えられれば、粒度による素材の分離を抑えられ、生産効率を向上させるだけでなく、溶着層の均一化、性能向上を図れるのではないかという考えのもと今回の開発を行った。

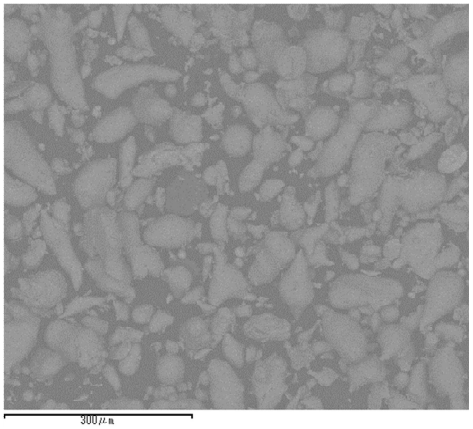


図１　溶着素材(一部)

３　溶着素材粒度の調整による評価試験

まず、数種の溶着素材について、粒度分布測定だけでなく、TG-DTA(熱分析装置)を用いた熱特性、分光色差計を用いた素材の混合状態の確認等を行い、数種類の粒度調整を行った試験サンプルを用意した。このサンプルについて、図２の管状炉を用いた基礎実験を行った。



図２　溶着素材粒度調整試験に用いた管状炉

図３に実験後の溶着層の一例を示す。実験後の溶着層については、外観上の検査だけでなく、複数箇所で切断を行い顕微鏡観察、硬度試験等の評価を行った。次に、この評価をもとに絞り込んだ条件で、ガス炉による溶着爪の実生産に近い状態での評価試験にも取り組んだ(図４)。

＊(株)太陽



図３　管状炉試験後の溶着層

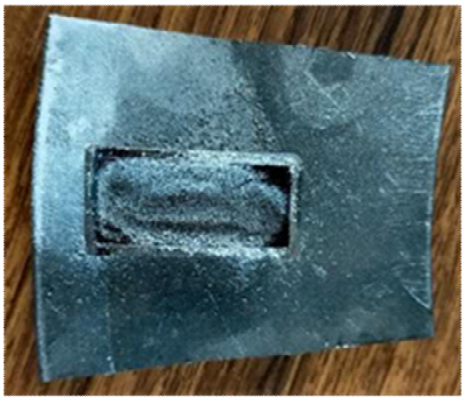


図４　ガス炉での生産疑似試験後の溶着層

４　溶着爪実生産設備での試作試験について

溶着素材粒度の調整による評価・検討結果をもとに溶着爪の実生産設備での試作も行い、図５にその試作例を示した。実生産品に近い形で行った試作品についても外観検査、複数個所の切断による顕微鏡検査、素材の分布調査、硬度試験等による評価を実施した。



図５　溶着爪実生産設備による試作例

５　結果

・管状炉による基礎実験では、条件によって溶着層の性能による差異がみられた。
・ガス炉による生産疑似試験では、溶着層の性能向上が確認できる条件を見出すことができた。
・溶着爪の実生産設備試作試験では、現行品と同等以上の性能を有する試作品も見られたが、全体として品質の安定性に課題が残る結果となった。

６　まとめ

溶着素材の粒度に着目した評価・検証を行い様々な知見を得ることができたが、実生産設備試作において品質が安定しなかったため、現時点では、改良製品としての採用は困難であると考えられる。

前報では溶着素材の加熱処理を、本報では粒度調整を検討したが、前報の加熱処理の方が長寿命化、製造品質の安定という面で優れていた。

近々これを採用した長寿命化製品が市場投入される予定である。

参考文献

1)　眞鍋豊士他：高知県工業技術センター研究開発＆企業支援成果報告書、No. 18, (2022) 34-35
2)　眞鍋豊士他：高知県工業技術センター報告、56, (2025) 37-38

代掻き爪の開発（第２報）

3D プリンタで試作した代掻き爪による模型実験

村井 正徳　　小笠原太一　　眞鍋 豊士　　土方啓志郎　　三宮 豊章*

Development of Claws for Puddle Devices to Plough Paddy Fields before Transplanting Rice Seedlings (Part 2)

Model Experiments of Puddle Claws Prototyped with a 3D Printer

Masanori MURAI　Taichi OGASAWARA　Toyoshi MANABE　Keishirou HIJIKATA　Toyoaki SANNOMIYA*

農業用トラクターに取り付ける代掻き専用の回転機械用の攪拌爪（代掻き爪）の開発は、手間と時間のかかる圃場実験が中心であったが、3D プリンタで試作した模型を使用した実験で特性を把握し、圃場実験の回数を減らす方法を提案した。

１　はじめに

水田に水を入れた後、田植え前に土塊を砕き、表面を水平にならす作業が代掻きである。近年では大規模農業への転換が加速しており、農業用トラクターの後部に取付ける代掻き専用の回転機械も普及している。本報の共同開発企業は、農業用トラクターに取付ける耕うん爪の製造において日本のトップシェアを誇る企業で、これまでも共同で耕うん爪の改良に取り組んできた[1)]。同社は耕うん爪の生産技術を基に、代掻き専用の回転機械用の攪拌爪（以下、代掻き爪）の開発にも取り組んでいる。後発の製品のため、既存製品と比べ、明確な技術的優位性が求められる。代掻き爪の開発は農閑期の水田を利用した実験が主体であり、多大な労力を要する。確立された設計基準がないため、既存メーカーの製品形状に統一性がなく、各社とも最適形状を模索中である。

第１報では、CFD（Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学）を利用した数値解析により、実験の回数を減らす方法を提案した[2)]。本第２報では、数値解析を補完する実験的手法として、3D プリンタで試作した模型を用いた水槽実験の方法を提案し、解析結果との定性的な対比により有効性を確認する。

２　実験装置の製作

２．１　回転軸と代掻き爪の模型

一般に、代掻き専用の回転機械では多数の代掻き爪を回転軸に設置して使用する。前報の数値解析では、代掻き爪周りの流れが形状と配置の両方の影響を受けることが示されている[2)]。代掻き爪の形状１種類に対して、配置を複数のパターンで検討すると、多数の爪を考慮する必要が生じるため、数値計算に要する時間が増加する。そこで、数値解析を補完する手段として模型実験を追加した。

模型実験用に 3D プリンタ（(株)キーエンス製、AGILISTA-3200）で製作した回転軸の例を図１に示す。代掻き爪の回転軸への取付けをボルトとナットで固定する交換式とし、代掻き爪形状の変更に対応可能とした。さらに、回転軸上の代掻き爪の取付け位置を変えた複数の軸を製作することで、配置の変更にも対応できるよう設計した。

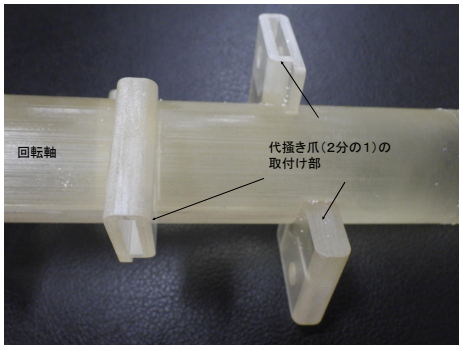


図１　回転軸の例

２．２　回流式の水槽

実際の代掻き作業では、代掻き爪を回転させながら機械が進んでいく。これを実験で直接再現することは困難であるため、前項で述べた回転軸の位置は固定し、機械の進行を水流で再現する。内部に壁を設置し、ポンプで流れを起こす回流式の水槽内に回転軸を設置した実験装置を図２に示す。

＊(株)太陽

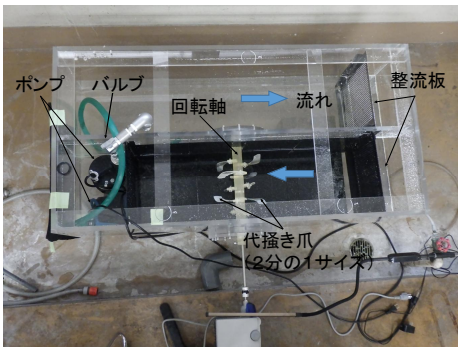


図２　回流式の水槽

ポンプの出口をできるだけ回転軸から離し、整流板を設けることで、回転軸付近での一様な流れを実現した。流速の調節はポンプの稼働台数とバルブで行う。

流れを可視化するため、水と比重の近い樹脂粉（可視化粒子）を水槽内の水に添加した。また、この可視化粒子が視認しやすいように、回転軸の背景となる部分には、黒色のプレートと整流板を配置した。

代掻き作業時の回転軸と圃場の水面との関係は、圃場の状態や農家の有する知見などで変わる。図２に示した装置では回転軸と水面の位置関係は自由に変えられるため、より実際に近い条件で実験が可能である。

３　実験

前報で報告した代掻き爪が完全に水中に浸かった状態で回転する条件の解析結果を図３に示す[2)]。本実験では、解析結果との定性的な傾向を比較検証するため、図３に示した解析と同じく、代掻き爪が完全に水没する条件下で回転軸を駆動させた。

前章で述べた実験装置を使用し、可視化粒子の動きを動画記録により追跡して、流れのパターンを定性的に把握した。

４　結果及び考察

実験中の様子を図４に示す。静止画では把握が難しいが、動画記録では可視化粒子の追跡が可能である。

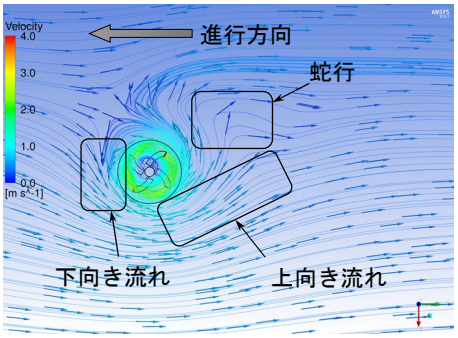


図３　CFD による解析結果の例[2)]

主な流れの傾向は図４(a)、(b)の矢印で示したとおりである。図４(a)に示したように代掻き爪の上流側では、回転軸からある程度離れた場所でも、下向きの流れが観察された。また、図４(b)に示したように、代掻き爪の下流側では、回転軸の近くから斜め上向きの流れが発生した。

実験により観察された流れの傾向は、図３に示した解析結果とほぼ一致した。解析と同様に最適形状の検討方法として有効なことを示している。

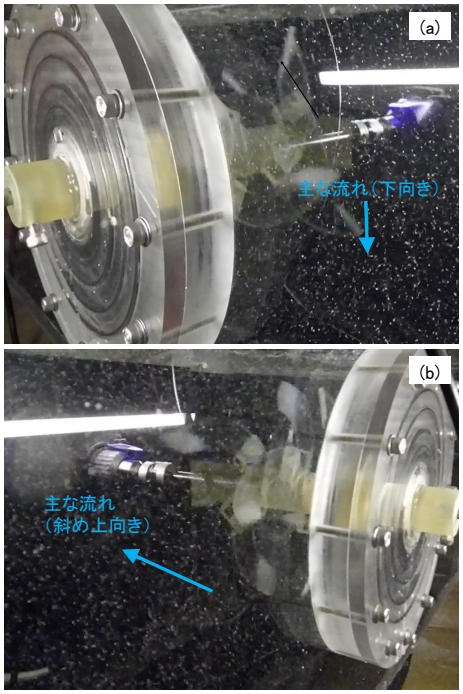


図４　回転中の様子
(a)上流側、（b）下流側

５　まとめ

代掻き爪の最適形状の検討方法として、模型実験を利用する方法を提案した。

上流側での下向きの流れ、下流側での斜め上向きの流れなど、実験により観察された流れの傾向は解析結果と実験結果が一致したことから、本手法の妥当性が確認された。

参考文献

1)　眞鍋豊士他:高知県工業技術センター　2022 研究開発&企業支援成果報告書、No. 18, (2022) 34-35

2)　村井正徳他：　高知県工業技術センター報告、No. 56, (2025) 39-41

スマートものづくり導入支援事業による取組（第２報）

毛利 謙作　　島内 良章　　中澤 亮太　　小笠原太一
村井 正徳　　今西 孝也　　眞鍋 豊士

Activities of the Smart Manufacturing Support Project (Part 2)

Kensaku MOHRI　Yoshiaki SHIMANOUCHI　Ryota NAKAZAWA　Taichi OGASAWARA
Masanori MURAI　Koya IMANISHI　Toyoshi MANABE

近年、県内製造業では人手不足の深刻化と生産性向上の必要性が高まっており、業務効率化やデジタル技術の活用が重要な課題となっている。このような状況を踏まえ、AI・IoT、ロボット等のデジタル技術に関する基礎的理解の促進と人材育成を目的として、令和６年度から令和９年度までの４年間で「スマートものづくり導入支援事業」を実施している。

本事業は、セミナー、ハンズオン研修、導入支援の三つのプログラムで構成されている。セミナーとハンズオン研修では企業がデジタル技術の導入を検討するための基礎知識を習得する機会を提供し、導入支援では実際の導入をサポートしている。本稿では、令和７年度に実施したセミナー5 回及びハンズオン研修５回の実績について報告する。

１　はじめに

近年、全国的な人手不足が深刻化する中、県内製造業においても労働力の確保は喫緊の課題となっている。このような背景から、限られた経営資源で成果を最大化するため、生産性向上に向けたデジタル技術の導入が強く求められている。

これらを踏まえ、AI・IoT・ロボット等のデジタル技術を活用した生産プロセスの効率化、人手不足解消及び人材育成を目的として、令和６年度から９年度までの４年間で「スマートものづくり導入支援事業」を実施している。

本事業は、セミナー(講義形式)、ハンズオン研修(実習形式)、導入支援(個別企業支援)の３つのプログラムで構成される。

本稿では、令和７年度に実施したセミナー5 回及びハンズオン研修５回の成果について報告する。

２　セミナー

令和７年度は、先進的な技術動向や活用事例の普及を目的として計５回の技術セミナーを開催し、延べ62 社・109 名の参加を得た。

２．１　「失敗しない！ロボット導入の進め方」

生産工程へのロボット導入において、目的や事前準備が不十分なままシステムインテグレータ(SIer)へ一任し、期待した効果を得られない事例が散見される。これらを防ぐため、導入を成功へ導くための事前準備を体系的に学ぶセミナーを開催した(図 1)。

講師には高丸工業株式会社の高丸正氏を迎え、SIer の視点から「作業内容や生産目標の事前整理」の重要性、導入企業自らが行うべき「地ならし作業」、及び具体的な導入プロセスについて解説がなされた。具体的には、溶接工程における成功・失敗事例をもとに、薄物と厚物溶接における事前整理の視点の違いや、中小企業が多品種少量生産において溶接ロボットを有効活用するためのポイント、さらには溶接ロボットの最新技術動向まで、実務に即した多角的な視点から要点が示された。

受講者アンケートの結果、多くの企業が「SIer への一任を避け、ロボットに適した生産プロセスへ自ら変革する(地ならし作業)」という本セミナーの核心を主体的に捉えていることが確認された。以上より、当初の開催目的は十分に達成されたものと総括できる。



図１　セミナー会場

２．２　「現場課題の明確化で生産性向上!!～社内の仕組みと意識を変えるデジタル化～」

生産性向上を進めるには、単なるツール導入ではなく、まず社内の問題に気づき現場課題を明確にすることが不可欠である。このため、人手不足やコスト上昇への対策として、現場課題の明確化とデジタル化をテーマにセミナーを開催した。受講者が課題解決のプロセスを学び、身近なツールの活用スキルを習得できる内容を目指している。

第1部では、田村IE技術事務所の田村豊氏を講師に迎え、属人化やアナログ管理による非効率を解消する手段として、Excelを活用した改善事例が紹介された。問題の見える化の要点、手書き日報の省力化、生産計画・在庫管理など、自社でアレンジ可能な実務直結の手法が示された。

第2部では、当センター職員より、Excelマクロでの構築やアレンジが困難な企業への代替案として、プログラミング知識が不要なノーコードツール「kintone(キントーン)」を用いた記録作業(日報、設備保全、メンテナンス記録など)の効率化事例について、デモを交えた解説を行った(図2)。

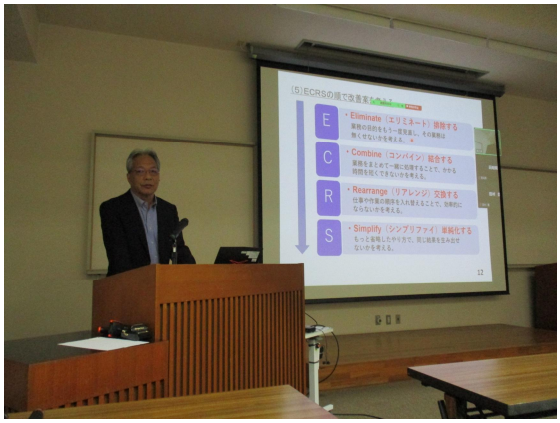


図2　セミナー会場

2．3　「「AIセミナー」～「エッジ×分散生成AI」の技術と変わる産業～」

生成AIの可能性と産業活用を学ぶため、株式会社DigiDockConsultingの森正和氏を講師に迎えセミナーを開催した(図3)。

生成AIの活用事例や使いこなすための要点に加え、即時判断が求められる製造現場等で活用が進むエッジAIの課題、及び複数のローカル機器でAIを協調・稼働させる「エッジ×分散型生成AI」の最新技術概要について解説がなされた。



図3　セミナー会場

2．4　「スマートものづくりフォーラム」

県内製造業の人手不足対策、生産性向上、技術力向上を目的に、AI・IoT・ロボット分野の最新技術や活用事例を紹介する展示発表会を開催した。

講演会場では、高知工科大学の菊池豊特任教授による基調講演「オープンソースで挑む地域でのハード開発・ソフト開発」を含む、計10件の講演を実施した(図4)。

展示会場では、講演で紹介された技術への理解をさらに深め、自社へのスムーズな導入や技術活用を具体的にイメージできるよう、講演内容に関連する実際の製品や技術の展示、及び実演を行った。



図4　講演会場

2．5　「QC7つ道具入門セミナー」

製造業の持続的な発展において、生産性や品質の向上に向けた継続的な取り組みは不可欠である。そのためには、現場の問題発見や改善、情報の整理や関係性の分析に極めて有効な「QC(品質管理)手法」の習得が重要となる。

このような背景から、実績ある管理技術を学び、現場での活用を支援することを目的に本セミナーを

開催した(図5)。

講師には田村IE技術事務所の田村豊氏を迎え、工場における管理技術の重要性やQC活動の本来の目的が提示された。

セミナーでは、パレート図や特性要因図、ヒストグラムなどの「QC7つ道具」に加え、「新QC7つ道具」から情報の整理に役立つ親和図法や、目的達成の手順を明確にする系統図法などを抜粋した実践的な演習が実施された。

さらに、日本規格協会主催「QC検定3級」の試験内容に沿った受験ポイントの解説も行われ、受講企業の技術力向上と人材育成を多角的に支援する内容となった。



図5　セミナー会場

3　ハンズオン研修

実践的な技術習得を目的として、計5回のハンズオン研修を開催し、延べ24社・36名の参加を得た。

3．1　「オリジナルパーツを自分で作ろう ～ 3Dモデリング&造形ハンズオン研修 ～」

機械部品や新製品の試作開発において、3Dプリンタの活用は開発期間の短縮やコスト削減に極めて有効である。また、製造現場における生産治具やテスト部品を自社で設計・製作(内製化)することは、業務効率化や技術力向上に直結する。このような背景から、デジタル技術を駆使したものづくりの基礎を習得し、開発・生産プロセスの迅速化を図ることを目的に本ハンズオン研修を開催した(図6)。

研修では、無料の3D CAD「DesignSpark Mechanical」を用いた3Dデータの作成(モデリング)から、3Dプリンタによる造形までの一連のプロセスについて、当センター職員が解説を行った。その中で、インクジェット方式、ならびに装置や材料が安価な熱溶解積層方式や光造形方式について、それぞれの方式ごとに特長や操作方法、造形ノウハウを説明した。その後の造形実習ではインクジェット方式の3Dプリンタ((株)キーエンス製 AGILISTA-3200)を使用し、作成した3Dデータを実際に造形した。

また、造形時間を利用してリコージャパン（株）の神原正幸氏による特別講演が行われ、造形の高速化や量産部品への適用が進む3Dプリンタの最新技術について紹介された。



図6　ハンズオン研修会場

3．2　「ラズベリーパイで始める現場点検デジタル化入門 ～AIカメラと画像処理による設備点検自動化～」

製造現場において、各種メータの目視点検や記録作業は今なお多くの時間と人手を要する課題となっており、アナログかつ労働集約的な業務の改善が求められている。この解決策として、小型コンピューター「Raspberry Pi」とカメラを組み合わせた、低コストかつ自社主導での「設備点検の自動化・省力化」を提案することを目的に本研修を開催した(図7)。

研修では、プログラミング未経験者を対象に、当センター職員よりAIカメラの仕組みや画像処理の基礎を解説し、実機を用いたハンズオン実習を行った。

具体的には、アナログメータや7セグメント表示器の数値を自動読み取りするデモや実習を通じ、「読み取る・確認する・記録する」という定型作業の自動化ノウハウを提供した。

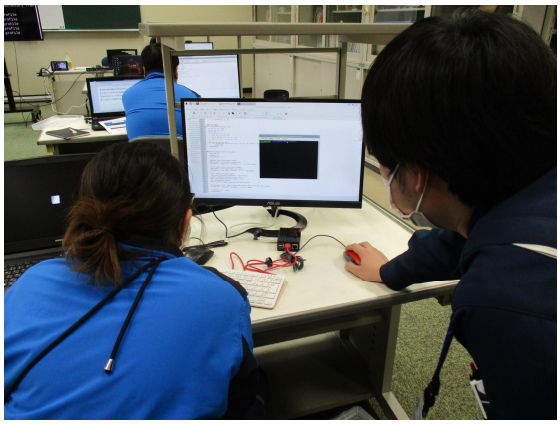


図７　ハンズオン研修会場

３．３　「ポータブル 3D スキャナ導入セミナー ～寸法検査レベルの 3D スキャナ～」

県内機械・金属関連事業者の地産強化や迅速な製品開発を目的に、最新の光学式三次元測定機及びリバースエンジニアリングソフトの導入に伴う本セミナーを開催した。

セミナーでは、アメテック(株)の織田源太氏より、優れた携帯性と広い測定範囲を備えた「HandySCAN 3D」の技術概要について解説がなされた。

また、リバースエンジニアリングソフト「Geomagic Design X」の技術概要については当センター職員が説明を行い、その後の体験セッションを通じて、最新機器の特長や具体的な活用方法について実習した。これにより、参加者が自社への導入イメージを具体化できる環境を提供した(図８)。

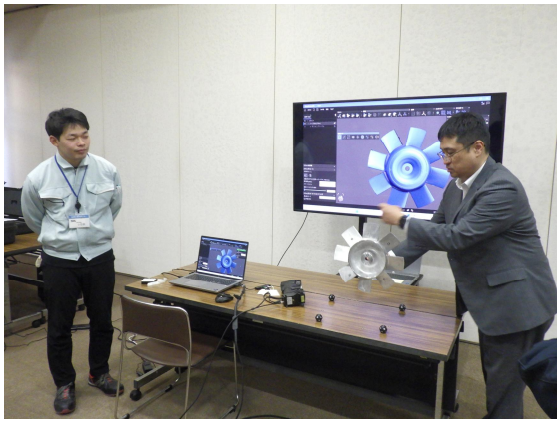


図８　セミナー会場

３．４　「PC で始める生成 AI 開発　～ローカル LLM でアプリを自動生成しよう～」

近年、業務効率化やプログラム開発における生成 AI の活用が注目されているが、クラウド型 AI の利用には機密情報や設計データが外部に漏洩するセキュリティリスクが伴い、導入を躊躇する企業も少なくない。

このような背景から、データが外部に出ず安全性が高い「ローカル LLM (大規模言語モデル)」に着目し、クラウドに依存しないスタンドアロンでの安全な生成 AI 開発手法を普及させることを目的に本研修を開催した(図９)。

研修では、Windows 11 環境とコードエディタ「Visual Studio Code」を用い、手元の PC のみで動くコード生成 AI の実装から、センサアプリの自動生成・データ分析にいたるまでの一連の流れについて、当センター職員が解説及びハンズオン実習を行った。

本研修を通じて、参加企業に対して機密性を保持したまま安全に生成 AI の恩恵を享受できる実践的なアプローチを提示し、デジタル活用の体制づくりを支援した。



図９　ハンズオン研修会場

３．５　「小型コンピューター「Raspberry Pi」の操作実習」

当センターでは、県内企業の技術相談に基づき開発・導入した「Raspberry Pi」による工場設備 IoT システムの技術概要の解説、及びその導入効果を企業幹部に体感してもらうことを目的に本実習を実施した。

実習では当センター職員が講師を務め、「Raspberry Pi」のハードウェア特性を解説した。その上で、ノーコード・ローコード開発ツール「Node-RED」の機能と活用方法を提示し、従来のプログラミング手法と比較して「開発期間の短縮」や「仕様変更への柔軟性」といった利点を解説した。受講者は、実際の IoT システム構築を通じて、センサデータ取得→Node-RED でのデータ処理から可視化(ダッシュボード化)までの一連のプロセスを実習した。これにより、複雑なコーディングを必要とせず、「Raspberry Pi」と Web ブラウザ環境のみで実現可能な IoT 化の

具体的アプローチを提示することができた(図 10、11)。



図 10　ハンズオン研修会場



図 11　ハンズオン研修会場

4　まとめ

令和 7 年度は、AI・IoT 及びロボット等のデジタル技術に関するセミナー及びハンズオン研修を計 10 回実施し、県内企業に対して最新技術の基礎理解と導入検討に必要な初期知識を提供した。参加企業は、ロボット導入の事前整理、業務デジタル化の考え方、3D 技術やエッジ AI の基礎など、各テーマに応じた基礎的な知見を習得した。

次年度も同様の研修を継続し、テーマの深化や実習内容の充実を図ることで、企業が自社の課題に応じてデジタル技術を活用できるよう支援を継続する。

オープンソースソフトウェアを活用した設備監視システムの構築

中澤 亮太　　毛利 謙作

Development of an Equipment Monitoring System Using Open-Source Software

Ryota NAKAZAWA　Kensaku MOHRI

本報では、中小製造業における低コストなIoT導入を目的として、オープンソースソフトウェア(OSS)とRaspberry Pi、Arduino Uno R4 WiFiを活用した設備監視システムを構築した。設備のリレー接点信号をRaspberry Piで取得するとともに、既設センサからの出力信号をArduino Uno R4 WiFiで収集し、HTTP通信によりNode-REDへ送信した。収集したデータはMariaDBへの保存及びCSV形式での出力を行い、Node-RED Dashboardによりリアルタイムに設備状態を可視化した。本システムは、既存設備を大規模に改修することなく低コストで導入を目指して、中小製造業におけるIoT化・DX化の第一歩として活用可能な設備監視システムを構築しており、実際の企業現場で運用中である。

1　はじめに

近年、製造業では人手不足への対応や生産性向上を目的として、IoTやAIを活用したデジタル化・DX(デジタルトランスフォーメーション)の推進が求められている。一方で、中小製造業では、「導入効果が不明な段階で高額な投資は難しい」「既存設備を大規模に改修することは困難である」といった理由から、デジタル技術の導入に踏み切れない企業も少なくない。このような背景から、デジタル化への第一歩として、まずは既存設備に対して、小規模かつ低コストで導入可能なシステムを検討し、設備の稼働状況やセンサ情報を収集・可視化することが有効であると考える。

そこで本報では、オープンソースソフトウェア(以下、OSS）)と低価格なマイコンボードであるRaspberry Pi及びArduino Uno R4 WiFi（以下、Arduino）を実際の企業の現場で活用した、設備監視システムを運用した事例について紹介する。

2　システム構成

中小企業において低コストで導入可能な設備監視システムを実現することを目的として、本システムを構築した。そのため、設備の稼働状況及び既設センサの情報を一元的に収集・可視化できる設備監視に特化したシステムを既存設備に並列構築する構成とした。システム全体の構成を図1に示す。

システムの中核となるサーバにはRaspberry Piを採用した。Raspberry PiにはMariaDBを構築し、設備の稼働情報及びセンサ情報を時系列データとして保存するとともに、Node-REDを用いてデータ収集及び監視画面を表示した。また、収集したデータはCSV形式での出力を行い、Excel等による分析にも利用可能である。

設備の稼働状態については、既設のリレー接点信号をRaspberry PiのGPIO端子へ入力し、一定周期で接点状態を取得することで、設備の運転・停止状態を記録した。この方法により、既存設備の制御プログラムに影響なく、設備の稼働状況を把握することができる。

また、既設センサの情報取得には、Arduinoを用いた。センサのアナログ出力をArduinoへ入力し、Wi-Fi機能によりネットワークに接続するとともに、Webサーバを動作させることで、センサ情報をHTTP通信により提供する構成とした。Raspberry Piは一定周期でHTTPリクエストを送信してセンサ情報を取得し、データベースへ保存する。この方式により、センサからサーバまでの信号配線を必要とせず、ネットワーク経由で容易にデータ収集を行うことができる。

設備の稼働状態を表示する監視画面はNode-RED Dashboardを用いて作成した。Node-REDは専門的なプログラミングを行うことなく、フローベースでアプリケーションを構築できるため、データ収集機能や監視画面の追加・変更を容易に行える。

本システムは、既存設備の制御系とは独立した設備監視システムとして構成し、既存設備へ並列構築することで設備監視機能を追加する方式とした。この方式により、既存設備の制御プログラムや既存設備の構成に影響を与えることなく、設備の稼働状況及び既設センサの情報を一元的に収集・可視化でき

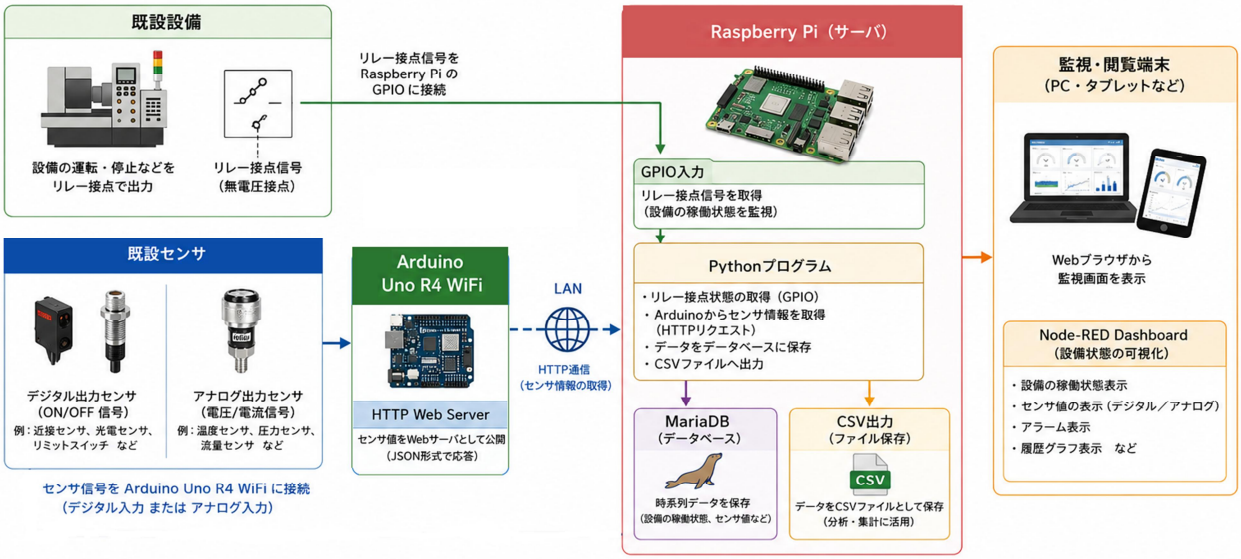


図１　システム構成図（全体）

る。

３　システムの実装

３．１　Raspberry Pi を用いた設備稼働データの収集

設備の稼働状況を把握するためには、PLC や設備コントローラから通信により情報を取得する方法が一般的である。しかし、工場内には複数の設備があり、設備メーカーや機種によって通信仕様が異なるほか、通信機能を備えていない設備も多く存在する。そのため、新たに稼働データを一元管理するには制御プログラムの変更や通信ユニットの追加が必要となる場合もあり、中小製造業においては導入コストや技術的なハードルが課題となる。

そこで本システムでは、多くの設備で利用されているリレー接点信号を活用し、既存設備の制御系とは独立した設備監視システムを並列構築する方式を採用した。既設リレー接点信号を活用することで、PLC の制御プログラムの変更や通信設定を必要とせず、既存設備の制御系に影響を与えることなく導入できる。

本方式の実装では、既設のリレー接点信号を設備監視を行う Raspberry Pi の GPIO へ入力し、一定周期で接点状態を監視することで、設備の稼働状況を記録している。GPIO からのデータ取得及びデータの保存には、Python でプログラムを作成した。本プログラムは接点状態の変化検出、取得時刻の付与、MariaDB への保存及び CSV ファイルへの出力を一連の処理として実行する。取得したデータは時系列データとして MariaDB へ保存するとともに、CSV 形式でも出力するため、Excel 等を用いた設備稼働時間や停止回数の集計、稼働率の分析などに活用できる。

３．２　Arduino Uno R4 WiFi を用いた既設センサ情報の収集

製造現場では、設備ごとに近接センサや光電センサなどの既設センサがあり、設備の状態を把握するためには、リレー接点信号から得られる運転・停止などの状態情報だけでなく、既設センサから得られる測定値情報も重要である。また、これらのセンサは工場内に分散して設置されているため、センサ信号を直接 Raspberry Pi まで配線することは難しい。

さらに、既設設備では接点信号だけでなく、電圧や電流を出力するセンサも使用されており、これら複数種類の信号を容易に伝送、収集できる仕組みが求められる。

そこで本システムでは、Arduino をセンサ情報収集用のインターフェースとして利用した。システムの構成を図 2 に示す。採用した Arduino はデジタル入力及びアナログ入力に対応するとともに、Wi-Fi 機能を搭載している。取得したセンサ情報は、Arduino 上で動作する Web サーバにより HTTP 通信を介して提供する。Raspberry Pi では Node-RED を用いて 10 秒ごとに Arduino へ HTTP リクエストを送信し、返されたセンサ値（JSON 形式）を取得する。取得したデータには設備名や取得時刻などの情報を付加し、MariaDB へ保存するとともに、CSV ファイルへ出力するフローを構築した。Node-RED を用いること

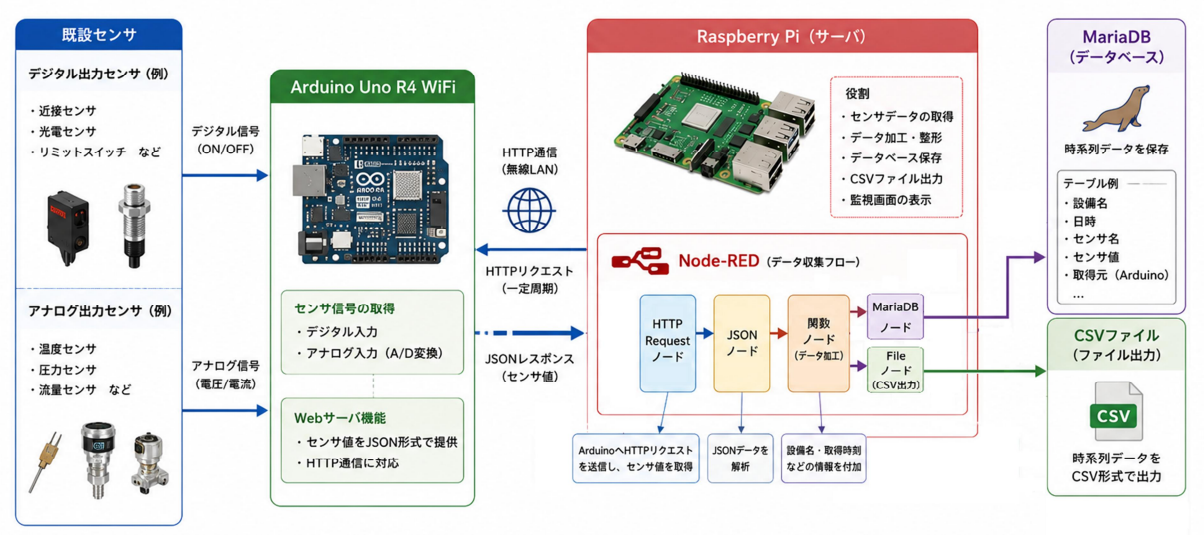


図２　Arduino を用いたセンサ情報収集の構成

で、HTTP 通信、データ加工、データベースへの保存及びCSV ファイルへの出力をフローベースで実装でき、センサの追加や取得間隔の変更にも容易に対応できる。また、Arduino をセンサ近傍へ設置することで、センサから Arduino までの短距離配線のみで済み、Raspberry Pi との通信は Wi-Fi 経由で行われるため、長距離のセンサ信号配線は不要である。さらに、Arduino が Web サーバとしてセンサ情報を公開するため、Raspberry Pi 以外の機器からも HTTP 通信によるデータ取得が可能であり、システムの拡張性にも優れている。

３．３　Node-RED による設備監視画面の構築

実証先の工場では、各現場の作業者が担当設備を確認していたが、設備異常の早期発見や設備の運転状況の確認を容易にするためには、収集したデータを直感的に確認できる監視画面が求められていた。そこで、Node-RED Dashboard を用いて設備監視を一元管理できる画面を構築した。

Node-RED Dashboard は、Web ブラウザ上で動作するダッシュボードを容易に作成できる OSS であり、ランプ表示、数値表示、ゲージ、グラフなどの部品を組み合わせることで、設備監視画面を構築できる。構築した設備監視画面を図３に示す。本画面では、設備の運転状態をランプ表示により視覚的に示すとともに、既設センサの測定値を数値及びゲージで表示した。また、蓄積したデータを折れ線グラフとして表示することで、設備稼働状況やセンサ値の推移を時系列で確認できる構成とした。

監視画面は Web ブラウザから利用できるため、専

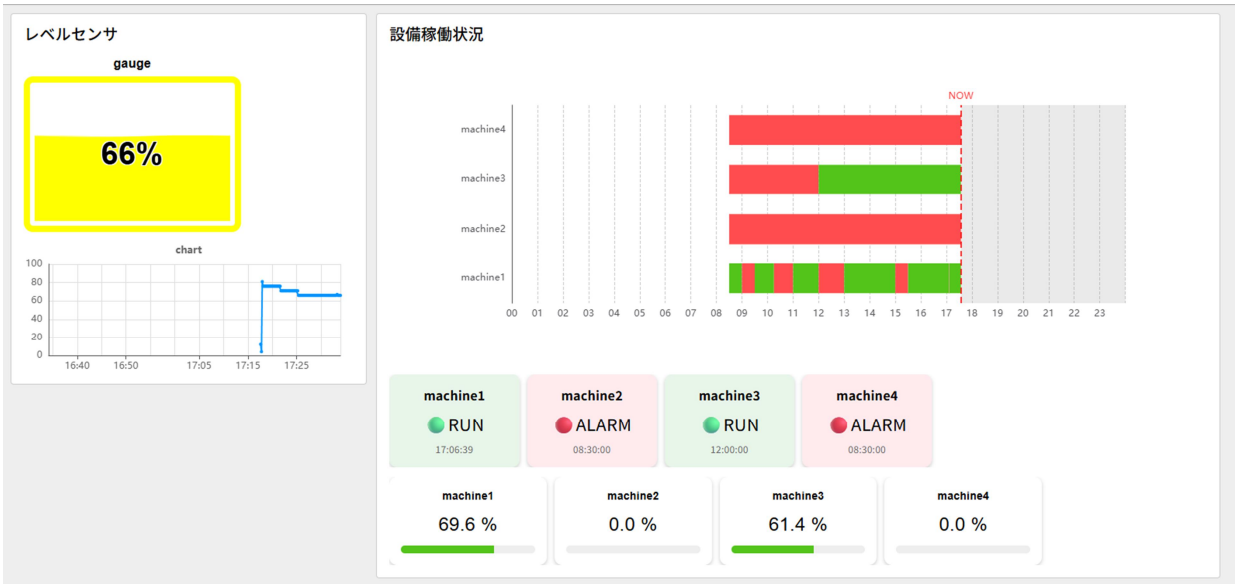


図３　Node-RED Dashboard による設備監視画面

用ソフトウェアをインストールすることなく、パソコンやタブレットなど複数の端末から設備の状態を確認できる。また、設備の追加や監視項目の変更についても、Node-RED Dashboard の画面を編集することで容易に対応できるため、中小製造業における継続的な改善活動にも適したシステムとなっている。

4　まとめ

本報では、中小製造業における既存設備の IoT 化を目的として、設備の稼働情報及び既設センサの情報を一元的に収集・可視化できる設備監視システムを構築した。本システムにより、設備の運転状態やセンサ情報を継続的に収集・蓄積し、Web ブラウザからリアルタイムに監視できる環境を実現した。

構築したシステムは、実際の企業の製造現場でも運用されており、具体的には、搬送装置の稼働状態に加え、原料供給タンクに設置されたレベルセンサの情報を取得し、それぞれの状態を監視している。このように、設備の稼働状態と既設センサの情報を組み合わせることで、製造現場の状況を把握するための情報を収集・可視化できることを確認した。

本システムは､既存設備に並列に構築することで、既存設備の制御プログラムを変更することなく導入できるため、既存設備に影響を与えず IoT 化を進めることができる。また、OSS と比較的安価なハードウェアによる監視システムを活用することで、導入コストの低減ができ、中小製造業におけるデジタル化への第一歩として適した構成である。

本システムによって蓄積された設備稼働データ及びセンサデータは、単なる稼働状況の可視化にとどまらず、収集データを活用することで、設備稼働率の分析、停止要因の把握、異常検知などへの活用が可能である。製造現場では近年、設備データを活用した生産性向上や予防保全への関心が高まっており、本システムはこのような現場ニーズに応えるための基盤を提供する。

今後は、本システムを基盤として設備データの分析や異常検知などへの展開を進めるとともに、中小製造業が小規模な設備から段階的に IoT 化･DX 化へ取り組むための導入事例として活用していきたい。また、本報で紹介した OSS や低価格なデバイスを活用した手法が、企業における継続的な改善活動やデジタル化推進の一助となることを期待する。

エクセルを用いた進捗管理及び実績収集の効率化に関する支援事例

島内 良章　　刈谷 学　　香川 博昭*

A Case Study on Improving Progress Management and Production Data Collection Using Excel

Yoshiaki SHIMANOUCHI　Manabu KARIYA　Hiroaki KAGAWA*

本稿では、手書き日報での実績収集や進捗管理に課題を持っていた県内企業に対し、表計算ソフトのエクセルを用いて業務改善を支援した事例を報告する。現場のパソコンでの実績登録は、現場負担を考慮し、バーコードリーダのみで操作等、試行と修正のサイクルを回しながら改良を進めた。その結果、運用から約1年経って社内に定着し、A社からは月あたり約40時間程度の削減につながったと評価いただいた。エクセルによる構築のため、他企業への適用も可能であり、同様な課題を持つ企業への業務改善の参考となる事例であると考える。

1　はじめに

製造業では、原材料価格の高騰、人手不足で経営の厳しさが増す中、賃上げや設備投資等の原資の確保のためには、一層の生産性向上が必要となっている。県内では機械加工業をはじめ、多品種少量の受注生産が多く、製造工程や工程数が都度異なるなど、納期に対する進捗管理や採算検証のための実績収集が重要である。これらの部分は、市販パッケージやシステム外注でIT化している企業も増えてきたが、依然として紙日報と表計算ソフトで対応し、データ反映するための入力作業など、紙のアナログデータとデジタルデータの連携を人手に頼る企業も多く、生産性向上への障壁となっており、効率化が求められている。

本稿では、県内モデル企業（以下、A社）における進捗管理及び実績収集業務の効率化を目的として、高知県生産性向上推進アドバイザーの香川氏と連携し、エクセルを用いてシステムの試作と導入支援を行った結果、企業での定着に成功した事例について報告する。

2　A社の現状と課題

今回支援したA社は、機械加工業で顧客の設計図面を元に生産している。顧客からFAXやメールで来る加工依頼に対して、工場長が図面を確認して、工程設計や加工時間を積算し、見積額を回答している。受注時に、受注リストへ入力することにより納期順に一覧で管理し、エクセルを用いて指示書の様式に受注情報を転記し、現場へ作業指示していた。現場では、指示書が回覧され、作業者が指示書の実績欄に工程作業開始、終了、加工時間を手書きで記し、出荷完了後に事務所に返却する。事務所では、返却された指示書を元に受注リストの完了欄にチェックを入れている。また、全体共有として納期遅れを防ぐため、現場にその都度受注リストを印刷配布し、納期遅れがないよ

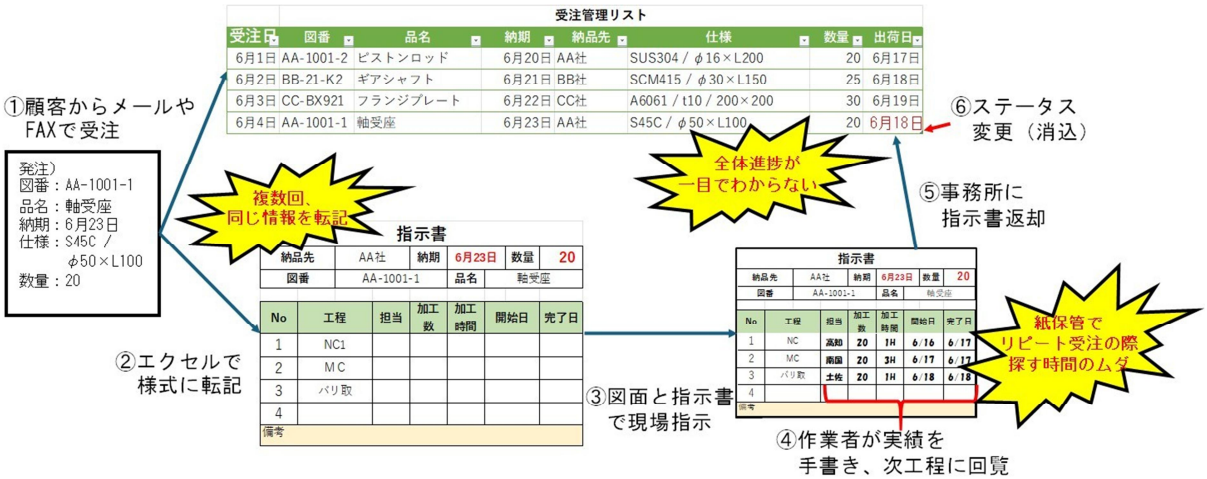


図1　A社の現状と課題

＊　香川改善オフィス

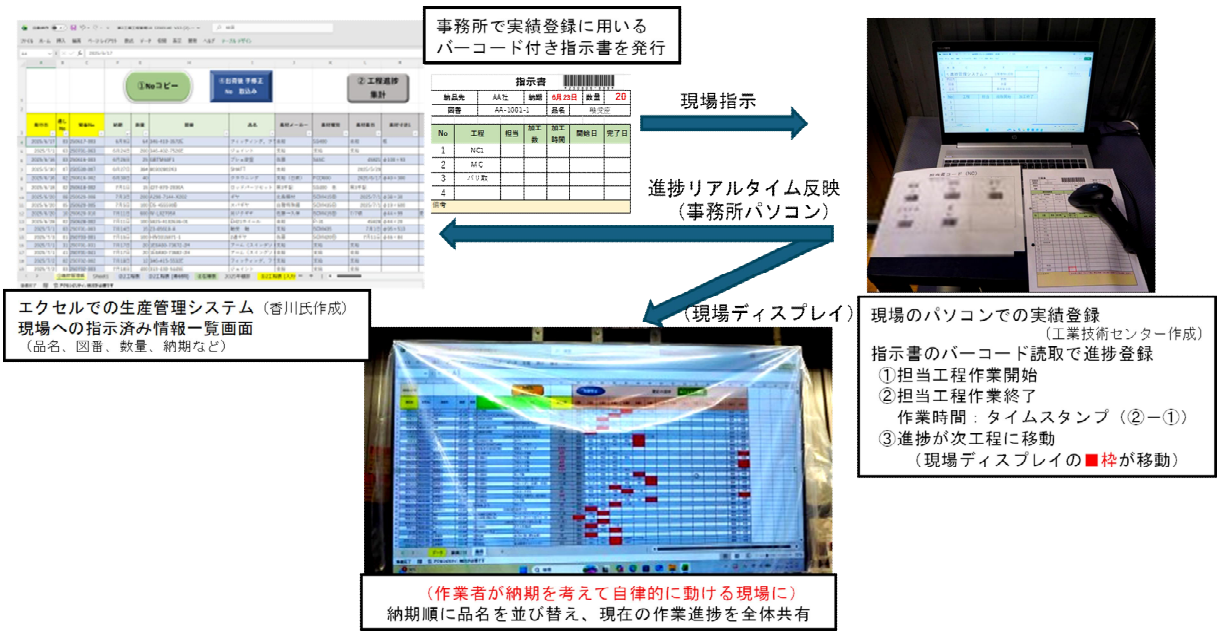


図２　支援でＡ社に構築した仕組み

うに注意を促していた。

Ａ社の担当者は、次の課題に課題意識を持っていた。図１に示すように、受注情報の転記作業に加え、指示書が出荷まで事務所に戻らないという課題から、工場長が納期に対する現在進捗を作業者に直接ヒアリングして管理していた。また、紙の指示書はデータ化されておらず、リピート注文の際、採算確認のため前回の工程計画や時間記録の帳簿を探すことに時間を要していた。

３　支援内容

３．１　経緯

当初、香川氏の支援のもと、Ａ社は受注情報の転記作業の削減と再利用を目的に取り組みを開始した。受注リストのデータから指示書に自動転記する部分を、エクセルのマクロで作成し、事務所側の作業の省力化につなげた。指示書が紙と電子で自動発行できるようになり、次の段階として現場での実績入力の方法を検討していた際、当センターがその課題の支援に加わった。

３．２　支援した全体の仕組み

図２は、Ａ社に構築支援した全体の仕組みである。現場での実績収集は、現在の環境で取り組みを進めるために、エクセルのマクロを用いてプログラムを試作した。また、現場の作業者がキーボード操作なしで、バーコードリーダでの読み取りのみで実績登録できるようにした。紙の指示書に指示書番号に対応したバーコードを新たに追加し、同番号をファイル名としたデータを共有サーバに保管した。自工程に指示書がくると、作業者が指示書番号と担当者番号のバーコードを順に読み取ることで、実績登録がされ、共有サーバの指示書データに同時に反映される。事務所側は、受注リストから、共有サーバ上の指示書データを参照することで、現在、どの工程で誰が担当しているかなどの進捗を把握できる。

４　現場実証及び改善

上記の仕組みとなるまでに、現場で試作したシステムを実証しながら、作業者からのフィードバックを得て仕様の見直しを繰り返した。検討当初は、原価計算の精度向上を目的として、各工程の作業（段取、加工、工程内検査）の開始と終了の際にバーコードで実績登録をする仕組みを担当者と検討していた。しかし、現場の各エリアごとのパソコン配置となったため、登録の都度、パソコンまで移動しての登録は負担が大きいという意見が出た。そのため、まずは作業者の負担が少ない進捗管理を優先して、指示書番号と担当者番号の読み取りのみで登録できる仕組みとした。

試作段階では、事務所側の視点で必要な情報を表示していたが、現場作業者からは指示書には現場には不要な情報が多く、分かりにくいといった意見があった。そこで、現場作業に必要な情報だけ表示し、作業者が入力する内容を一目で確認できる画面構成とした。また、現在作業中の工程まで自動スクロールと強調表示するように改善した。

A社は外国人労働者も多く、本格的な運用の前に、試験運用で慣れてもらい定着を図った。また、システム導入によって生産活動に支障が生じないように、実績登録が困難な場合は、これまでどおり手書きや代理入力を認める運用をした。

５　社内定着

運用開始から約1年が経過し、この仕組みが月あたり数百件の製品の進捗管理に活用されている。現場に大型ディスプレイを設置して、受注リストの納期が近い品名の進捗を表示し、作業者が現場でも納期を意識した進捗の確認ができるようになり、作業者が自律的に動ける仕組みとなった。また、現場負担を増やさないために、全てデジタル化せず、手書き部分を残した指示書としたため、開始と終了日時、担当者以外の項目については、事務所側が手書き指示書を確認して入力している。今後は、現場作業者の負担にも考慮しながら、入力項目や実績収集の高度化を段階的に検討し、同社の別工場へも横展開をする予定である。

今回の取り組みにより、A社の担当者にヒアリングした結果、以下の業務の効率化が実現し、全体で月あたり約40時間程度の削減ができたとの評価をいただいた。その内訳は以下のとおりである。

・指示書の発行時間の短縮（2分/件×200件/月=400分/月）

・進捗について事務所と作業者に相互確認する時間の短縮（5分/件×20件/日×20日/月=2000分/月）

６　まとめ

A社の生産管理上の課題であった進捗管理及び実績収集の業務について、エクセルを用いてシステム試作し、運用支援を行った。現場に定着した要因としては、事務所と現場の両方の業務に精通した社内人材がおり、その担当者が強い課題意識を持っていたこと。そして、その担当者と我々の間で活発な議論をしながら要件定義ができ、試行と修正のサイクルを回すことで、A社の仕事の進め方に合ったシステムをコストをかけずに構築することができ、社内での受入れが進んだと考える。

機械加工業をはじめ、他の企業においても、管理項目の違いはあるが、紙日報での管理など、同様の課題を持っている企業も多いと思われる。エクセルを利用している企業であれば、今回のプログラムの改変で対応でき、本稿と同様の取り組みを始めることが可能である。

社内にデジタル技術に詳しい人材がいない場合、自社の課題が分かっていても、ITベンダー等、社外でも分かるレベルで自社の業務課題を整理し伝えることは難しい。また、導入費用が捻出できず、取り組みが困難なケースもある。そのため、今回のように課題を持っている担当者にインタビューしながら、エクセルで完成イメージを共有し、できる方法で担当者と取り組みを進めていくような、支援が重要であると考える。

水銀リレー式と半導体式による方形波インパルス試験結果について

刈谷 学　　島内 良章

Comparison of Square Wave Impulse Tests between Mercury Relay and Semiconductor Switch Method

Manabu KARIYA　Yoshiaki SHIMANOUCHI

方形波インパルス試験のパルス発生機構が異なる水銀リレー式および半導体式の2つの試験器を用いて、同一のEUTに対してノイズ試験を実施した。EUTには技能検定試験に用いられるプリント基板を使用した。両方式ともに、一般的な機器の試験と同様に、寄生容量の影響が大きいコモンモードの方が耐性が低いという結果が得られた。誤動作電圧は半導体式の方が大きくなる傾向を示しており、これまで使用してきた水銀リレー式に比べ、試験電圧をより大きく設定する必要があることが示唆された。

1　はじめに

ノイズイミュニティ試験は、電子機器が周囲の電磁ノイズに対してどの程度の耐性を持つかを定量的に評価する試験であり、想定するノイズの発生機構などにより試験方法が定められている。その中で、モータなどの誘導負荷を開閉するスイッチやリレーなど電源系のスイッチに発生する逆起電力の影響を模した試験は、国際規格IEC 61000-4-4のファスト・トランジェント/バースト(EFT/B)試験として規定されている。しかし、日本ではこの国際規格が制定される以前の1970年代から、電源系のイミュニティ試験として方形波インパルス試験が行われてきた。現在も多くのメーカが、EFT/B試験に加えて、業界団体によるガイドラインであるNECA-TR28[1)]やJEM-TR177[2)]で規定される方形波インパルス試験を実施しており、イミュニティ試験の中でも重要な試験である。

しかし、水銀リレー式の試験機の供給および保守が困難になっているため、半導体式への置き換えが必要となっている。[3)]これまでの水銀リレー式は理想スイッチに近く、試験波形の立上りが急峻で、スペクトル成分が高い周波数領域まで存在するという特徴を有していた。しかし、水銀リレー式の立上り時間が1nsであるのに対し、半導体式では3ns以下となっており、周波数スペクトルも異なる。両者の差異を検討するため比較試験を実施した。

2　実験方法

被試験機器(EUT)に対する方形波インパルス試験の様子を図1に示す。EUTは技能検定試験の実技課題である省エネコントローラ回路で、ACプラグはPEのない2端子仕様である。照度センサと焦電センサにより

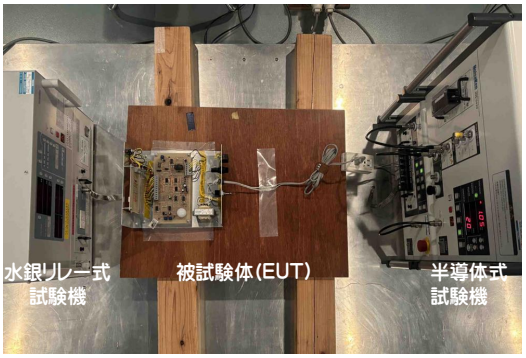


図1　インパルス試験のセットアップ

周囲の明るさと人の検知状況から、リレー接点を介して外部機器をオン/オフする。図1の水銀リレー式試験器はセンター所有のINS-AX2-420、半導体式試験器はノイス研究所(株)から借用したINS-S420であり、それぞれの試験器でEUTに方形波インパルス試験を実施した。

インパルス試験対象とした回路部分を図2に示す。焦電センサが人を検知するとPYRO_SIGがLとなり、U1(NE555)が単安定マルチバイブレータとして動作し、OUT端子が約3秒間Hを出力する。後段のU2A(74HC74)のD端子にHが入力される。C端子には、非安定マルチバイブレータとして動作するU3(NE555)から約4 Hzのクロック信号が入力される。R端子には照度センサからの信号LUMI_SIGが接続され、照度が閾値より小さければHが入力され、Q端子はHを出力し、D2(LED-BG)が点灯する。このときSW2をオンしてU3の発振を停止させる。参考のため、Dフリップフロップである U2(74HC74)の真理値表を表1に示す。SW2をオンしたことでU2の動作は保持となり、その結果、D2(LED-BG)の点灯を保持する。

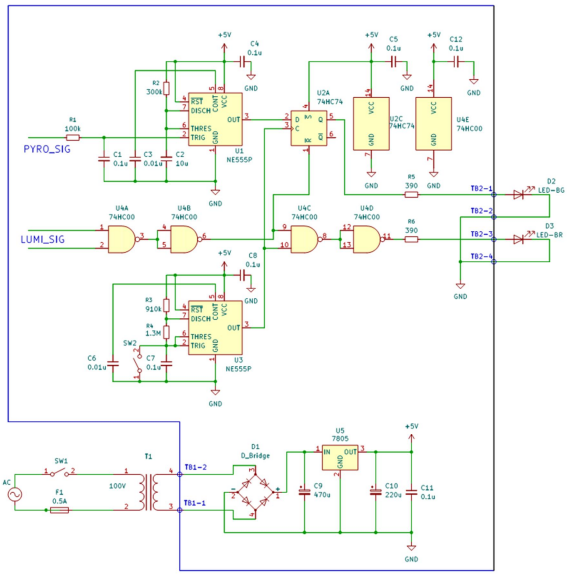


図２　EUT の誤動作確認回路部分

表１　D フリップフロップ　真理値表

入力				出力		動作
R	S	C	D	Q	Q	
L	H	×	×	L	H	非同期クリア
H	L	×	×	H	L	非同期プリセット
L	L	×	×	H	H	禁止
H	H	L	×	q_n	q_n	保持
H	H	H	×	q_n	q_n	
H	H	↓	×	q_n	q_n	
H	H	↑	L	L	H	読取り
H	H	↑	H	H	L	

実験では、インパルス幅 200ns および 1000ns の 2 波で、ノーマルモード L 相-N 相間、コモンモード L 相-基準面グランド(RGP)、N 相-RGP 間にノイズを印加した。印加条件は、正負とも、繰返し周期 20ms、試験時間 20s、インターバル時間 3s で、50V ステップで増加させ、D2（LED-BG）の状態が変化するまで試験し、LED 状態が変化した電圧を誤動作電圧とした。なお、両方式ともに同一条件で 3 回試験を実施した。

３　結果

両試験器の試験電圧 2kV のインパルスノイズ波形とスペクトラムの実測結果を図 3、4 に示す。同図より、水銀リレー式では立上り時間 1ns、半導体式では 3ns 以下であり、スペクトラムは水銀リレー式の方が高い周波数領域までスペクトラム成分を有している。

パルス幅 200ns での試験結果を図 5 に、1000ns での結果を図 6 に示す。この EUT では両方式ともに各モードで誤動作を生じた。誤動作電圧は半導体式の試験器の方が大きい傾向を示した。しかし、EUT の耐性が最

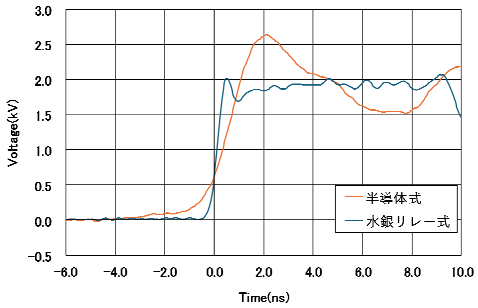


図３　パルス幅 1000ns の立上り

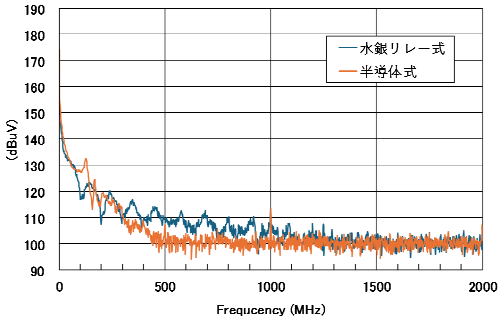


図４　パルス幅 1000ns のスペクトラム成分

も低いパルス幅 1000ns の負側コモンモード試験では、両方式とも-0.5(kV)でほぼ同等である。誤動作電圧が大きくなるにつれて、半導体式の誤動作電圧が水銀リレー式よりも大きくなった。

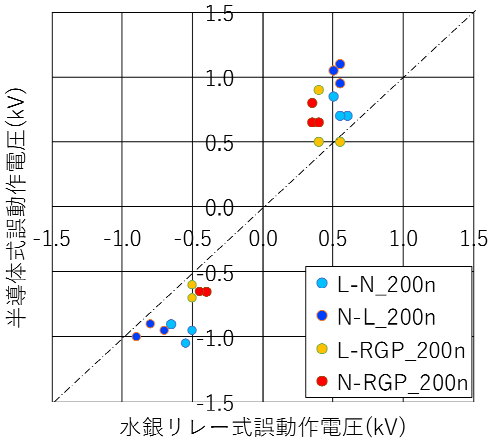


図５　パルス幅 200ns の対比

同じ電源系のノイズ試験である EFT/B 試験をセンター保有の FNS-AX3-A16A を用いて、同じ EUT に対して実施した結果を図 7 に示す。試験はパルス周波数 5kHz、バースト時間 15ms およびパルス周波数 100kHz、バースト時間 0.75ms の 2 つの条件とした。それぞれ、パルス数 75、バースト間隔 300ms、印加時間 20s で正負とも 500V から 50V ステップで誤動作まで増加させ、同一条件で 3 回試験を実施した。

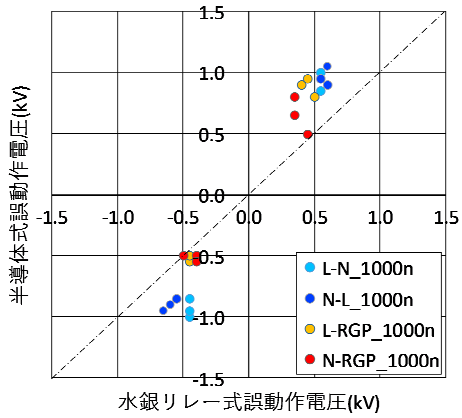


図 6　パルス幅 1000ns の対比

それぞれ、パルス数 75、バースト間隔 300ms、印加時間 20s で正負とも 500V から 50V ステップで誤動作まで増加させ、同一条件で 3 回試験を実施した。規格にある全相一括印加のコモンモード試験と、L 相、N 相それぞれに印加した結果、印加相で大きな差は見られず、正側では 0.5kV 付近、負側では-1kV 付近で誤動作となっており、方形波インパルス試験とは異なる傾向を示した。

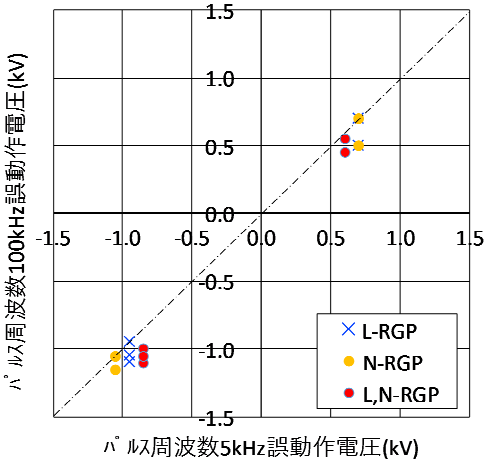


図 7　EFT/B 試験結果

最後に、EUT の状態を確認するために、水銀リレー式方形波インパルス試験器で再度 4 回目の試験を行った。先に行った 3 回の試験結果と乖離した結果を示したのは L 相-N 相間印加で誤動作電圧が+0.85kV、L 相-RGP 間で-0.6kV となり、それぞれ、250V、150V 大きくなった。他の条件では 100V 以内となり同等の結果であった。

4　まとめ

本稿で対象とした EUT は市販の機器ではなく、技能検定試験課題である。PCB は両面基板でレジスト塗布がなく、ほとんどのパターンのコーナー配線は 90°であり、平行配線も多く、ノイズフィルターなど誤動作対策はされていない。このシンプルな回路の一部分の動作を抽出した形で、水銀リレー式と半導体式による方形波インパルス試験の比較をした。光電圧プローブなどによる IC の端子での波形観測および混入ラインの特定などは行わず、単に LED 状態の変化という現象のみで誤動作を評価した。

その結果は、一般的な機器の試験と同様に、寄生容量の影響が大きいコモンモードの方が耐性が低いという結果であり、誤動作電圧は半導体式の方が大きくなる傾向を示した。

また、同じ電源系のノイズ試験である EFT/B 試験結果とは異なる傾向であった。方形波インパルス試験は EFT/B 試験に比べて結合モードの選択肢が多い試験であり、市場トラブルに備えての誤動作モードの探査および対策という観点では、依然として有用な試験方法である。ノイズ試験は EUT の持つ特性により結果が大きく変わる試験であるため一概には言えないが、本実験からは同レベルの誤動作を確認するには、半導体式試験器は水銀リレー式よりも高めの試験電圧となることが示唆された。

謝辞

株式会社ノイズ研究所には、半導体式の方形波インパルス試験器およびアッテネータなどをお貸しいただきました。本実験の実施にあたり、多大なご協力をいただきましたことを、この場をお借りしてお礼申し上げます。

参考文献

1)　(一社) 日本電気制御技術工業会：工業用に使用される電気制御機器の方形波インパルス・ノイズに対するイミュニティ試験ガイドライン、NECA-TR28

2)　(一社) 日本電機工業会：産業用に用いる電気機器の方形波インパルスノイズイミュニティ試験指針、JEM-TR177

3)　石田武志：電源線の高周波ノイズ試験について NoiseKen News Letter、(2019)

ポータブル３D スキャナの技術概要

小笠原太一

Technical Overview of 3D Scanner

Taichi OGASAWARA

本研究では、当センターに導入したポータブル３Dスキャナを用いて、測定対象表面の視覚的特性が測定に及ぼす影響について評価した。表面の視覚的特性が異なる二種類のブロックゲージを測定した結果、白色表面を有する試料では高い測定精度が得られた。一方、光沢表面を有する反射率の高い試料では、測定誤差が大きくなることが確認された。以上より、ポータブル３Dスキャナによる測定では、測定対象表面の視覚的特性が測定に影響を及ぼすことが示唆された。

１　まえがき

当センターでは光学式三次元測定技術の県内企業への普及及び研究への活用を目的として、ポータブル３Dスキャナ(以下スキャナと略記)及びリバースエンジニアリング用ソフトを導入した。光学式三次元形状測定装置は接触式では測定の難しい自由曲面や鋳物などの凹凸の製品の測定に有効である。主な用途は、大きく二つに分類される。一つ目は、測定対象を基準となる値と比較し、その差異が要求仕様を満たしているかを評価する検査である。二つ目は、対象物を測定し、取得したデータを基にCADモデルを生成するリバースエンジニアリングである。いずれの用途においても、測定によって取得したデータを活用するためには、そのデータの精度が重要となる。今回導入した機器は、当センターに既設の測定機と比較して、光沢を有する反射率の高い表面など、従来機では測定が困難であった測定対象についても測定が可能であるという特徴を有している。本研究では、当センターに導入したスキャナを対象として、測定対象表面の視覚的特性が測定に及ぼす影響について評価を行う。

２　実験方法

スキャナの技術仕様を表１に示す。測定は温度及び湿度が管理された精密測定試験室において実施した。測定時の室温は20±1℃とした。測定の様子を図１に示し、測定手順を以下に示す。スキャナは、使用する日の最初に一回キャリブレーションを実施する。その後、測定対象の周囲にポジショニングターゲットを適切な間隔で配置し、ポジショニングターゲットの測定を行う。ポジショニングターゲットは、測定対象に対するスキャナの位置を決定するために用いられる。本手法では、外部の位置決めシステムを使用することなく、ポジショニングターゲットを用いた三角測量により、スキャナの位置が算出される。続いて、測定対象を測定し、測定データを取得する。測定データは、スキャナから照射されたレーザーラインが測定対象の形状に応じて変形し、それをスキャナ内のカメラで撮影することにより取得される。なお、測定時のシャッターパラメーターは自動シャッターとした。

表１　技術仕様

メーカー	アメテック(株)
型式	Creaform HandySCAN BLACK+Elite LIMITED
精度	0.012mm
容積精度	0.012mm + 0.015mm/m
測定解像度	0.025mm
メッシュ解像度	0.100mm
光源	レーザーライン30本（青）
測定範囲	200～750mm
被写界深度	550mm
測定対象物サイズ範囲（推奨）	0.05～4m
動作温度範囲	5～40℃
動作湿度範囲	10～90%

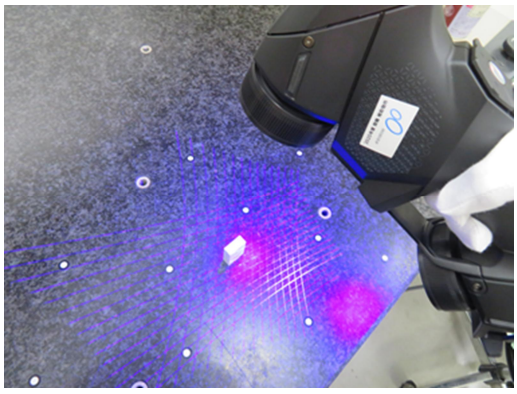


図１　測定の様子

測定対象として、呼び寸法20㎜で表面の視覚的特性が異なる二種類のブロックゲージを使用した。使用したブロックゲージの外観を図2に示す。本研究では、ミツトヨ製0級ブロックゲージを試料A、黒田精工製2級ブロックゲージを試料Bとした。日本産業規格（JIS）に基づく呼び寸法20㎜のブロックゲージの寸法許容差は、0級で±0.14μm、2級で±0.60μmである[1)]。表面は試料Aが白色、試料Bは光沢があり、視覚的特性が異なる。

試料に対して、右測定面を基準面として設定し、左測定面中央に測定点を選定した。測定点と基準面との距離を算出し、各試料について五回の測定をした。ブロックゲージの寸法許容差はスキャナの精度に比べ十分に小さいため、ブロックゲージの呼び寸法を基準値として測定精度の評価を行う。また、各試料の測定結果を比較することで、測定対象表面の視覚的特性が測定に及ぼす影響を評価する。

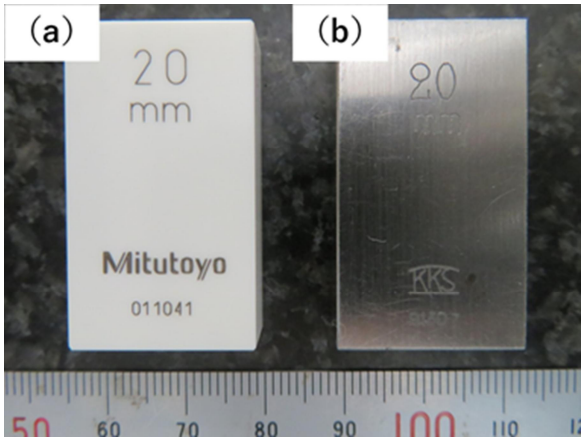


図2　ブロックゲージ
(a) 試料A　(b) 試料B

3　結果及び謝辞考察

試料A及び試料Bの測定結果を表2に示す。本研究で用いたブロックゲージの呼び寸法は20㎜であることから、メーカーが示す容積精度は±0.012㎜となる。試料Aでは、測定値の平均は20.000㎜であった。測定値は19.998～20.003㎜の範囲であり、いずれもメーカの示す精度の範囲内であった。このことから、白色表面を有する試料Aではメーカーが示す測定精度よりも小さいばらつきで安定した測定結果が得られた。一方、試料Bでは、測定値の平均は20.007㎜となり、呼び寸法に対する平均誤差は+7μmであった。測定値は20.004～20.010㎜の範囲であり、試料Aと同様にいずれもメーカーが示す測定精度の範囲内であった。

表2　測定結果（㎜）

	試料A	試料B
1回目	20.002	20.010
2回目	19.998	20.004
3回目	20.003	20.007
4回目	19.998	20.007
5回目	20.000	20.008

しかし、試料Aと比較すると平均誤差は大きく、呼び寸法より大きい値を示す傾向がみられた。試料A及び試料Bはいずれも呼び寸法20㎜のブロックゲージであり、測定条件も同一であることから、測定結果の違いは表面の視覚的特性に起因するものと考えられる。試料Bにおいて測定誤差が増加した要因として、光沢表面の影響によりレーザーラインの可視性が低下し、測定データの取得が不安定になった可能性が考えられる。反射率の高い測定対象ではレーザーラインの読み取りが困難となることから、測定誤差が増加したものと考えられる。その結果として、試料Bでは試料Aよりも平均誤差が大きくなったものと考えられる。

以上の結果から、白色表面を有する試料Aでは、スキャナの性能を十分に発揮した高精度な測定が可能であった。一方、光沢表面を有する試料Bでは、測定値はメーカーが示す測定精度の範囲内であるものの、光沢表面であるという視覚的特性の影響により測定誤差が増加する傾向が確認された。

4　まとめ

本研究では、当センターに導入したスキャナを用いて、表面の視覚的特性の異なるブロックゲージの測定を行い、視覚的特性が測定に及ぼす影響について評価した。測定の結果、白色表面を有する試料Aは高い精度を示した。一方、光沢表面を有する試料Bでは測定誤差が増加した。

以上の結果から、測定対象表面の視覚的特性が測定に影響を及ぼすことが示唆された。そのため、スキャナを用いた測定では測定対象表面の視覚的特性を考慮することが必要である。

謝辞

本装置は、JKA(競輪)の補助を受けて導入しました。

参考文献

1)　JIS B7506：2004, ブロックゲージ

高知県溶接技術コンクールの競技課題変更について

土方啓志郎

Changes to the Competition Tasks for the Kochi Prefectural Welding Competition

Keishirou HIJIKATA

1　はじめに

高知県では、高知県、一般社団法人高知県溶接協会及び一般社団法人高知県工業会を主催とし、公益財団法人高知県産業振興センター並びに一般社団法人日本溶接協会四国地区検定委員会を後援とする、高知県溶接技術コンクール(以下 県溶接コンクール)と称する溶接技能競技会を毎年実施している。

令和８年度に一般社団法人日本溶接協会が全国溶接技術競技会（以下 全国溶接競技会）の競技課題を変更するのに合わせて、県溶接コンクールの競技課題も変更することから、県溶接コンクール競技課題の変更の概要について報告する。

2　県溶接コンクールについて

県溶接コンクールの趣旨は大きく二つあり、一つは高知県の産業の基盤となる溶接の技術向上と、もう一つは全国溶接競技会の高知県代表選手の選考である。

始まりに関して明確な記録がないが、昭和 26 年度に全国溶接競技会が始まったことから、同年度から県代表選手を選考する何らかの溶接技能競技会が開催され今日に至っていると思われる。

全国溶接競技会は競技課題に基づき手溶接と半自動溶接の２部門で競われる。県溶接コンクールも全国溶接競技会の競技課題に倣って行うが、費用、会場設備及び時間の都合から、使用する治具、溶接機及び競技の進行方法等は全国溶接競技会とは異なっている。

3　競技課題の変更

薄板は立向上進から横向溶接（図 1）、中板は横向から立向上進溶接（図 2）への変更になった。競技中は強制的に溶接を中断させる邪魔板（図 3）を、最終層の溶接が終了するまで、取付位置に常に固定する。

薄板の邪魔板取付け位置は、競技材長手方向の中心から 40㎜ 離れた位置への変更となった（図 4)。

初層の溶接については、競技材端から溶接を始めた場合は、邪魔板取付け位置を中心とする幅 30㎜ の溶接中断位置の範囲内で溶接を中断し、審査員へ中断位置確認の申告をする。また、その範囲内から溶接を始めた場合は競技材端で、審査員へ申告をしなければならない。

中板は立向上進溶接で、競技材、邪魔板の取付け向きが薄板とは異なるが（図 5)、邪魔板の取付け位置や初層の中断位置確認の申告は、薄板と同様である。

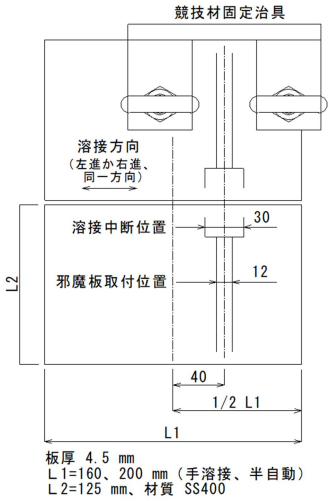


図１　薄板の溶接方法

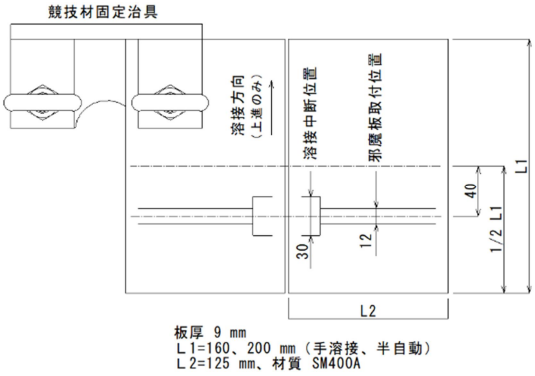


図２　中板の溶接方法

4　おわりに

令和８年度県溶接コンクール競技課題の変更点の概要について説明した。詳細については以下の参考文献でご確認いただきたい。また今後５年間は同じ競技課題で実施予定であるので、気持ちを新たに県代表としてふさわしい技能をこれまで以上に磨き上げ、全国の舞台で高知県の存在感を示していただきたい。



図３　邪魔板(薄板、中板共用)



図４　薄板の競技材、邪魔板の取付け例



図５　中板の競技材、邪魔板の取付け例

参考文献

1)　高知県商工労働部工業振興課、“【参加者募集】令和８年度高知県溶接技術コンクールの開催について”、高知県、2026 年４月、https://www.pref.kochi.lg.jp/doc/2026040700166/、(参照 2026.4.16)

資源環境課

カーボンニュートラルのための触媒開発

触媒性能評価方法の検討

矢野 雄也　　丁野 知憲*　　結城 夏帆*

Development of Catalysts for Carbon Neutrality

Study of Catalyst Performance Evaluation Methods

Yuya YANO　Tomonori CHONO*　Naho YUKI*

近年国際的に問題視されている地球温暖化に対して、温暖化ガスを利用するDRM反応及びSRM反応に着目し、これら反応に必要な触媒の性能を評価するための装置を作製した。分析精度を上げるため、ガス流量計を用いた混合ガス作製や内部標準法の採用を行った。

本評価装置を用いてDRM反応及びSRM反応、それに伴う副反応が確認できた。これら反応で課題とされる炭素析出の度合いについても、反応後の触媒を電子顕微鏡で確認し、TG-DTAで評価できることを確認した。また、DRM反応において反応温度が高いほど反応効率が上がり、800℃以上が良好であった。触媒量も多いほど反応効率が高いことも確認できた。

1　まえがき

地球温暖化は現代社会が直面する深刻な環境問題であり、その原因は温室効果ガスの増加にある。特に二酸化炭素(CO_2)やメタン(CH_4)の濃度上昇が気候変動を加速させている。この課題に対し、国連気候変動枠組条約やパリ協定に基づき、世界各国がカーボンニュートラルの実現を目指す取り組みを推進している。日本政府も2050年までに温室効果ガスの排出実質ゼロを宣言し、地域レベルでは高知県でも「脱炭素社会推進アクションプラン」を策定するなど、経済と環境の好循環創出に向けた活動が進められている。

こうした動きの中、温暖化ガスを有用な化学資源に変換する技術開発は重要な戦略的課題となっている。特に、合成ガスは主に一酸化炭素(CO)と水素(H_2)から構成され、メタノールやアンモニア、ガソリン、合成樹脂など多様な化学製品や燃料の原料として利用できるため、温暖化ガスを合成ガスに変換することで循環型社会の実現に寄与し、化石燃料依存の低減も期待される。

しかし効率的かつ選択的な変換には高度な触媒技術が不可欠であり、触媒の設計・最適化が合成ガス製造の成否を左右する。

そこで本研究では、温暖化ガスの合成ガス変換を促進する触媒の開発に焦点を当て、その性能評価手法の検討を行った。

*東洋電化工業(株)

2　実験方法

2．1　ドライリフォーミング反応

温暖化ガスを合成ガスに変換する反応として、メタンドライリフォーミング(DRM)反応(式(1))に着目した。本反応は、メタンと二酸化炭素を合成ガスに変換する温暖化問題の解決方法として理想的な化学反応であり、経済産業省が策定したカーボンリサイクルロードマップにおいても開発対象の技術の一つとなっている[1)]。

$$CH_4 + CO_2 \rightleftarrows 2H_2 + 2CO \qquad (1)$$

触媒性能を評価するため作製した固定流通床型の装置を、図1、2に示す[2,3,4)]。

各ガスボンベ(CH_4:99.9%、CO_2:99.995%、H_2:99.999%、CO:99.9%、He:工業、N_2:99.9%)のガスを、マスフローコントローラー((コフロック(株)製GB-4C-SS、以下MFC)を用いて、任意の濃度の混合ガスを作製し、反応ガスとして管状炉((株)アサヒ理化製作所製ARF-30K)に設置した石英管(内径5mm、長さ1,000mm)中の触媒に通気し、反応を起こした。その後、生成ガスをサンプリングバッグ(ジーエルサイエンス(株)製アルミニウムバッグAAK-1)で捕集し、ガスクロマトグラフ質量分析装置(GC-MS)(日本電子(株)製JMS-Q1500GC)にガスタイトシリンジで導入し定量した。

水素を伴う反応のため、配管はすべてステンレス配管にし、接続部はスウェジロック社製を用いた。

使用した触媒は粉末状で、ガスの短絡を防ぐため均一に充填され、反応中に石英管中を動かないよう、両側を石英綿で挟むように設置している。触媒量は 30～500mg とした。

反応温度制御は、管状炉に設置されている K 型熱電対を用いて行い、石英管の触媒設置箇所の外側に熱電対が接するように調整した。反応温度は 550～1,000℃で行った。

管状炉への石英管の設置は後段側を長くとり、高温の生成ガスを放冷し、接続部への熱ダメージを防いだ。この方式は、後段の生成ガスの GC-MS 分析時に水を含むと装置にダメージを与えるが、生成ガスから放冷により水を結露させ除く効果もある。

反応ガスは $CH_4/CO_2/He$(希釈ガス) = 20/20/7mL/min とし最大 6 時間の実験を行った。また必要に応じて、使用する触媒を反応前に H_2=100mL/min で 550℃、1 時間の還元処理を行った。

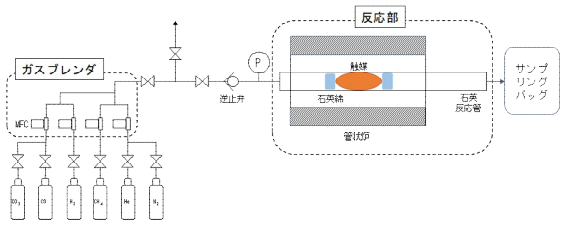
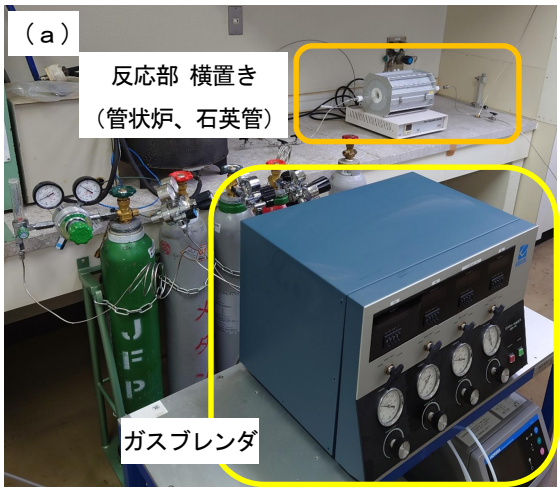


図 1　DRM 反応用触媒性能評価装置の構成図



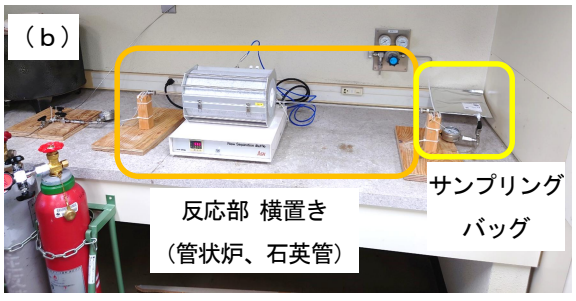




図 2　DRM 反応用触媒性能評価装置の写真
(a) 全体像　(b) サンプリング例　(c) 触媒設置例

(a) ガスボンベとガスブレンダ、反応部で構成される。
(b) サンプリングバッグを接続している様子。反応管は後側を長く設置している。
(c) 管状炉内に設置された石英管の中央に黒色の触媒が設置されている様子。

GC-MS を用いた定量分析において、検量線作製用の標準ガスは先述の触媒性能評価装置のガスブレンダを用いて任意の濃度で混合ガスをサンプリングバッグに調整し、検量線はガスタイトシリンジでの GC-MS への導入量を変えることで作製した。

2．2　スチームリフォーミング反応

DRM の炭素析出対策として最もメジャーな対策は、スチームリフォーミング(SRM)反応(式(2))に切替えることである。

$$CH_4 + H_2O \rightleftarrows 3H_2 + CO \qquad (2)$$

その実験に対応すべく図 1 の装置をベースに水蒸気導入機構を追加し、それに伴う改良を行った[2)]。(図 3、4)

水蒸気発生部として、枝付き丸底フラスコ中に純水を入れ、N_2 ガスバブリングにより実施した。フラスコはマントルヒータ(大科電器(株)製 AFR-5)で加温され、特定水温における水の飽和蒸気圧と N_2 流量から水蒸気の導入量が算出できる。フラスコの枝部から設置した K 型熱電対でマントルヒータを制御した。N_2 ガスは新たに MFC を設け流量制御した。

導入した水蒸気が配管内で結露し、ガスの流れや設定量どおりの水の反応部への導入を阻害しないために、水蒸気発生部から反応部までの配管にリボンヒーター(アズワン(株)製 JK-2、3)を巻き、アルミホイルで保温した。リボンヒーターは一緒にK型熱電対を巻き付け、200℃設定で温度制御した。(図3斜線箇所)

仮に反応管中で水蒸気が凝集した場合でも自重で系外に流出するよう、管状炉は縦置きとした。また成型した触媒に対応できるよう、内径12mmにスケールアップし、触媒を支えるため外径10mmの石英管を反応管内側下部に設置した。　更に反応中の触媒温度をモニターすべく、反応管上部から触媒部に外径3mmの片端封止石英管を挿入し、その内側にK型熱電対を設置し、触媒温度を測定した。

生成ガスに含まれる水蒸気は、後段のガス分析における定量精度の悪化を引き起こすことが懸念されるため、凝集トラップを設け、サンプリング前に氷冷にて除湿した。

触媒充填量を約1～2cm厚とし、反応温度800℃、CH_4/N_2=57.6/130mL/min(S/C=約3)で6時間実験を行い、1時間毎に生成ガスをサンプリングした。

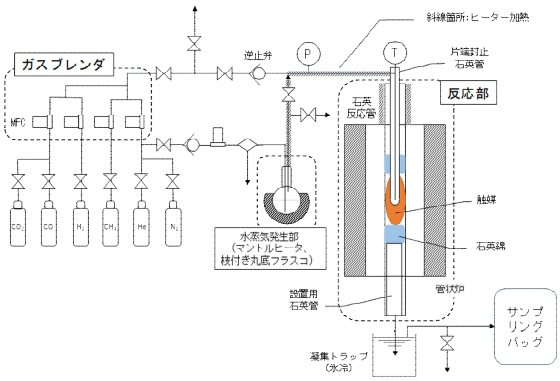


図3　SRM反応用触媒性能評価装置の構成図

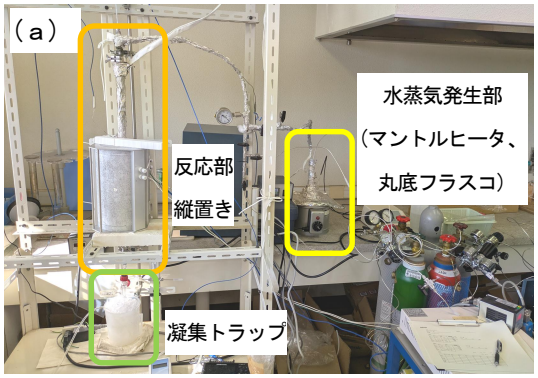




図4　SRM反応用触媒性能評価装置の写真
(a) 全体像　(b) 触媒設置例

(a) 管状炉を縦置きに変更し、凝集トラップを設けている。水蒸気発生部が接続される配管はリボンヒーターで加温できるようにしている。

(b) 石英管の中央に黒色の触媒が設置されている様子。

3　結果と考察

3．1　ドライリフォーミング反応

3．1．1　定量精度の向上

触媒性能評価装置を用いて生成したガスをGC-MSで評価した結果を図5に示す。反応によりCH_4とCO_2が減少し、H_2とCOが生じており、触媒によりDRM反応が生じていることが分かる。なお、N_2が検出されたことからサンプリングやGC-MSへの導入時に空気の混入が考えられる。

MFCを使う際に校正ガスと使用ガスが異なる場合、通常はガス種換算係数(CF)を用いて設定値及び流量を求める。しかし、本検討において、プロパンで校正されたMFCをCH_4に適用したところ、本来10mL/min流す設定量に対し、ガス流量計(ジーエルサイエンス(株)製GF1010)で実測すると3mL/minしか流れていないことが分かった。

従って、理論上の換算値と実測値との乖離を考慮し、混合ガス作製時の供給流量はガス流量計の実測値をもとに調整した。

GC-MSの定量操作において、ガスタイトシリンジを用いた手動注入を行った。同一ガスを2人の実験者が3回導入し、ピーク面積の繰返し精度を確認した結果を表1に示す。

絶対検量線法では実験者間での強度の違いや繰返し性の悪さから、シリンジの押込み速さやシリンジを抜くタイミングの微妙な違いによる「人

的誤差」が生じていることを示唆され、絶対検量線法による定量精度の課題が浮彫りになった。

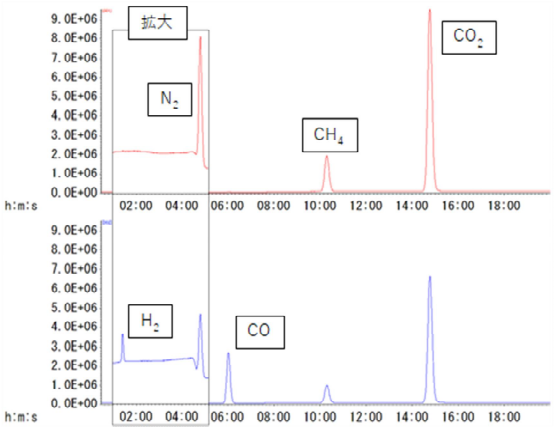


図5　DRM触媒性能評価装置のガスクロマトグラム
上段:反応ガス、下段:生成ガス

そこで本研究では、反応ガスにN_2を一定量混合する内部標準法を適用した[5]。

N_2ピーク面積比を用いた補正を行うことで、実験者間の測定値は極めて近い値を示した。

これにより、手動サンプリングにおける人的誤差による測定精度への影響を排除しつつ、検量線の相関係数も改善しすることができ、有効であることが実証された。

表1　ガスタイトシリンジによるガス導入における内標準補正の効果の確認

		実験者A	実験者B
絶対検量線法	1回目	836694	1090892
	2回目	862580	1075523
	3回目	1074308	1066649
	Ave.	924527	1077688
	RSD	14%	1%
内部標準法	1回目	1029031	1140813
	2回目	1114539	1129244
	3回目	1087993	1095204
	Ave.	1077188	1121754
	RSD	4%	2%

3．1．2　評価手法の検討

触媒性能評価装置を用いた生成ガスの試験結果を図6、7に示す。

触媒30mg、反応温度550℃で6時間実験を行い、1時間毎に生成ガスをサンプリングした。CH_4転換率及びH_2生成率は式(3)、(4)より算出した。$F_{CH4,in}$は原料ガスのCH_4のモル数を示し、$F_{CH4,out}$、$F_{H2,out}$は生成ガスのCH_4及びH_2のモル数を示す。

$$CH_4\text{転換率}(\%) = (F_{CH4,in} - F_{CH4,out}) / F_{CH4,in} \times 100 \quad (3)$$

$$H_2\text{生成率} = \text{モル流量}_{CH4,in} \times F_{H2,out} / F_{CH4,in} \quad (4)$$

図6及び7より、触媒の種類による反応の差が評価できていることが確認できた。図6からは、生成ガスの濃度バランス、図7からは反応時間経過による性能低下の度合いが分かる。

また反応式(1)より理想反応ではH_2とCOは同量生成されるはずだが、図6ではCOの方が多くなっている。このことから、DRM反応以外に副反応が生じていることが分かる。

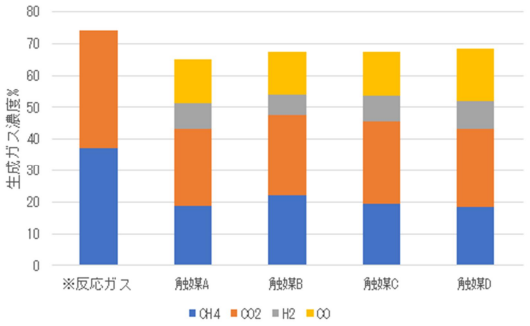
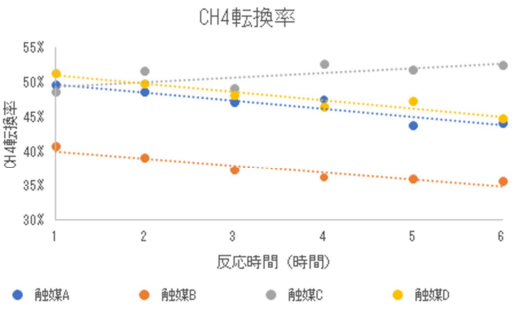


図6　反応1時間における生成ガス割合
(※参考として反応ガスを併記)

(a)



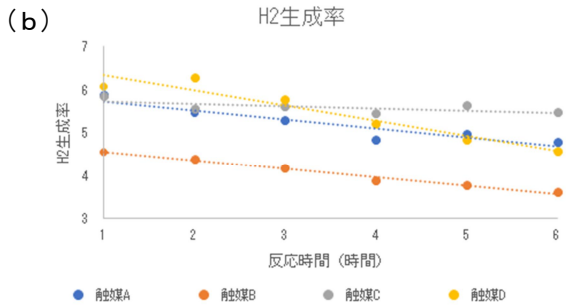


図 7　DRM 反応の CH_4 転換率及び H_2 生成率の時間推移　(a) CH_4 転換率　(b) H_2 生成率

DRM 反応後の触媒の電子顕微鏡像を図 8 に示す。その結果、反応前には無かった、ナノサイズの毛状の物質が表面を覆っていることが観察された。これは、DRM 反応の課題の一つである副反応による炭素析出の現象であり、析出物はカーボンナノチューブであるとされている[5]。

一般的に、炭素が析出すると DRM 反応効率の低下と、圧力上昇による装置ダメージにつながることが知られており、炭素析出の抑制が求められている。

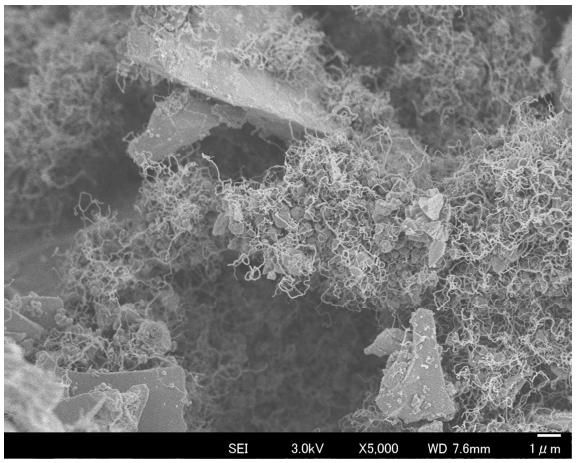


図 8　DRM 反応後の触媒例

この炭素の析出性を評価するために、熱重量示差熱分析装置(TG-DTA)を検討した。

触媒（A～D）30mg、反応温度 550℃で 6 時間反応後の触媒を評価した結果を図 9 及び表 2 に示す。600℃付近にみられる発熱（青線）を伴う質量減少（緑線）が析出した炭素によるものである。

この結果は、評価装置中の圧力推移及び電子顕微鏡像の見た目と傾向が合致しており、触媒の炭素析出性の評価に活用できることを確認した。

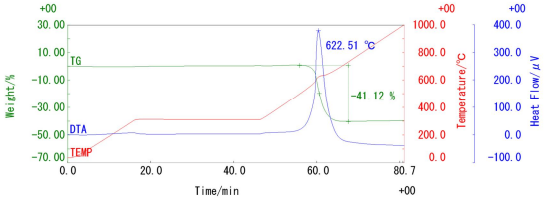


図 9　TG-DTA 結果例

表 2　触媒の種類による炭素析出量の違い

	触媒 A	触媒 B	触媒 C	触媒 D
炭素析出量(%)	0.46	0.47	0.36	0.05

H_2 より CO の生成割合が多いこと及び炭素析出が起こっていることから想定される副反応は反応式(5)～(7)などが予想されるが、実際どの反応が起こっているかについては、実験条件等により諸説あり解明には至らなかった。

逆水性ガスシフト反応

$$CO_2 + H_2 \rightleftarrows CO + H_2O \quad (5)$$

$$CO + H_2 \rightleftarrows C + H_2O \quad (6)$$

ブードワ反応

$$2CO \rightleftarrows C + CO_2 \quad (7)$$

3．1．3　試験条件の検討

反応温度について検討した。触媒 B 30mg を用いて、反応温度を 400～1,000℃とし 6 時間反応した結果を図 10 に示す。

反応温度が上がると反応率が上がっており、一般的に DRM 反応において推奨される 800℃以上では CH_4 転換率がほぼ 100%となっている。

炭素析出量は 800℃で多く、1,000℃ではほぼ無くなっている。また温度が高いほど石英管の結露が増え、H_2O の生成も増加していると思われる。反応温度上昇に伴い副反応も活性化し炭素析出が増加したが、炭素が分解する温度を超えると析出しにくくなったものと予想される。

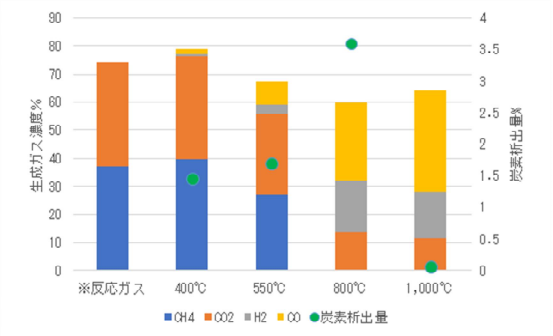


図 10　反応温度による反応 1 時間における生成ガス割合の違い　(※参考として反応ガスを併記)
●は反応 6 時間後の炭素析出量を示し、第 2 軸。

触媒量について検討した。触媒 B 30～300mg を用いて、反応温度を 550℃とし 6 時間反応した結果を図 11 に示す。

触媒量を増やすと反応率が上がっている。反応ガス量に対して触媒 30mg では不足しており、反応が平衡に達していないと考えられる。100mg 以上では反応率が高いため、それに伴い炭素析出も増加したと予想される。300mg では炭素析出による評価装置内の圧力が上昇し、0.2MPa を超えた。本評価装置は MFC が正常動作するための差圧及びシールパッキンによる石英管の密閉固定を考慮すると、0.2MPa 程度までしか評価できない特徴が明らかとなった。

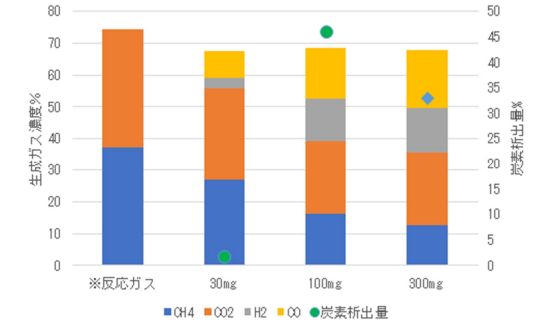


図 11　触媒量による反応 1 時間における生成ガス割合の違い　(※参考として反応ガスを併記)
●は反応 6 時間後の炭素析出量を示し、第 2 軸。但し、300mg では 5 時間で評価不能となったため 5 時間時点の析出量を示す◆。

3．2　スチームリフォーミング反応

触媒性能評価装置を使った GC-MS の結果のクロマトを図 12 に示す。CH_4 が減り、H_2、CO が増加していることから SRM 反応が生じていることが分かる。

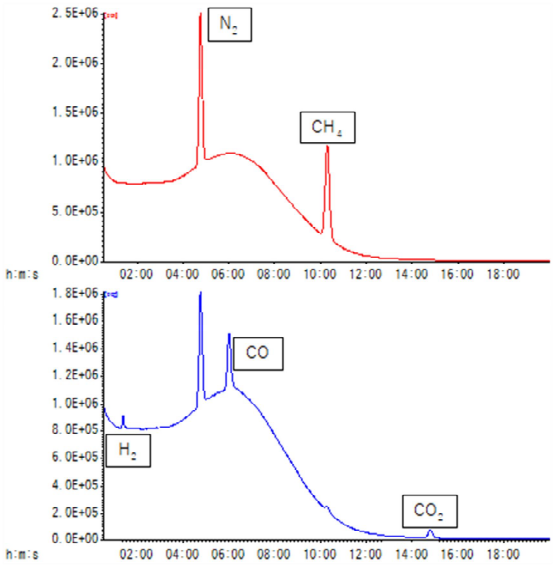


図 12　SRM 触媒性能評価装置のガスクロマトグラム
上段:反応ガス、下段:生成ガス

水蒸気導入量は一般的に水蒸気/炭素比(S/C)で決められる。今回の評価装置においては式(8)で算出できる。つまり CH_4 流量に対し、流通させる N_2 流量と水温で調整が可能である。

S/C が大きくなると炭素析出が抑えられ、生成ガスの H_2 量が増え、加熱に必要なエネルギーが増える傾向がある。SRM 反応においては S/C = 3.0 程度を基準に運用されている。

$$S/C = (\text{流通 } N_2 \text{ 流量} \times (\text{飽和水蒸気圧[atm]} / (1-\text{飽和水蒸気圧[atm]})) / CH_4 \text{ 流量} \quad (8)$$

触媒充填量を約 1cm 厚で触媒性能評価装置を用いた生成ガスの結果を図 13、14 に示す。なお、3.1.2 同様 CH_4 転換率及び H_2 生成率は式(3)、(4)より算出した。

図 13 及び 14 より、触媒の種類による反応の差が評価できていることが確認できた。図 13 からは、生成ガスの濃度バランス、図 14 からは反応時間経過による性能低下の度合いが分かる。

550℃の DRM 反応の結果と異なり、800℃の SRM 反応では多くの CH_4 が消費され、反応率の高さが分かる。同様に DRM 反応より SRM 反応の方が 6 時間の反応において、時間経過による反応率の低下が少なかった。また反応が異なるため、生成ガスの H_2 と CO のバランスが大きく異なることも注目すべき点である。反応式(2)より理想反応では H_2

/ CO = 3 になるはずだが、触媒により 3.5～6 程度となっており、SRM 反応からは生じないはずの CO2 が検出されている。このことから副反応が生じていることが分かり、加えて水蒸気の導入量の多さによると予想される。

なお、どの触媒においても炭素析出は確認されず、DRM 反応に比べ SRM 反応の炭素析出のしにくさがわかった。

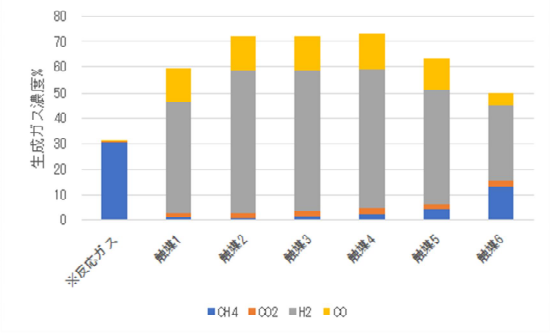


図 13　反応開始直後における生成ガス割合
（※参考として反応ガスを併記）

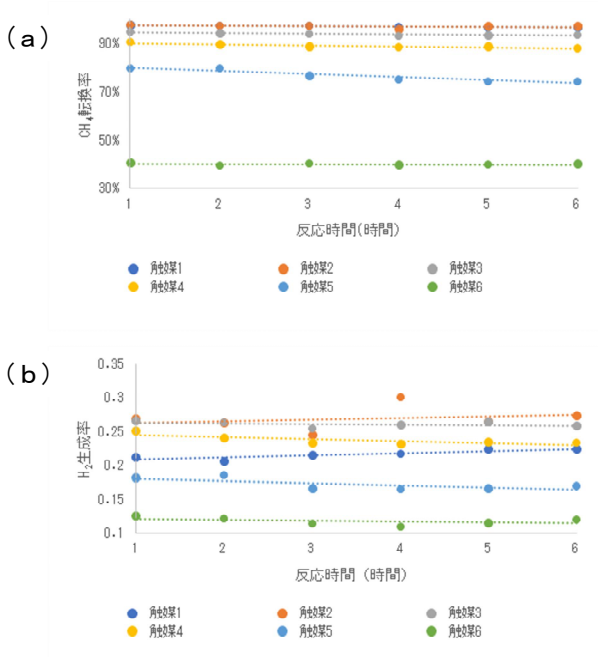


図 14　SRM 反応の CH_4 転換率及び H_2 生成率の時間推移　(a) CH_4 転換率　(b) H_2 生成率

触媒量について検討した。触媒 5 を約 1cm、2cm 厚にして評価を行った結果を図 15 に示す。

触媒量を増やすと未反応 CH_4 がほぼ無くなり、反応率があがっている。

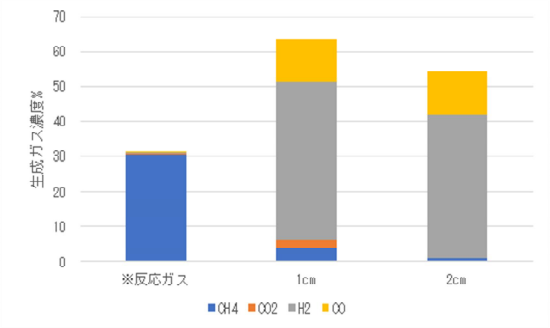


図 15　触媒量による反応開始直後における生成ガス割合の違い　（※参考として反応ガスを併記）

4　まとめ

カーボンニュートラルに向け DRM 反応と SRM 反応に着目し、その触媒開発のための性能評価装置を作製した。どちらも使用に足るものが完成し、TG-DTA や電子顕微鏡と併用することで炭素析出に関する評価や考察を深めることができた。

DRM 反応や SRM 反応において、反応温度を上げる又は触媒を十分量用いることで反応効率を上げ、副反応を抑える可能性が示唆された。

今後は事業化に向けた 6 時間以上の触媒寿命評価や触媒を改良する上での S/C を変えたときの影響、DRM 反応へのスチームの導入、SRM 反応への O_2 の導入、更に新たな触媒反応における評価系の構築を行っていきたい。

謝辞

本開発を行うにあたり、多くの助言をいただきました高知工科大学の藤田武志教授に心より感謝申し上げます。

参考文献

1)　“カーボンリサイクルロードマップ”、経済産業省、2023 年 6 月、https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_recycle_rm/20230623_report.html, (参照 2026.8.5).

2)　則定和志、茂田潤一：IIC REVIEW、No.57、(2017)36-41

3)　橋本典嗣他：三重県工業研究所研究報告、No.45、(2021)92-98

4)　橋本典嗣他：三重県工業研究所研究報告、No.47、(2023)61-66

5)　Knut Wittich et al.：*ChemCatChem*, 12(2020), 2130-2147

6)松田英樹、橋本典嗣：三重県工業研究所研究報告、No.40、(2016)105-110
7)　髙野裕之：北海道大学、平成27年度、博士学位論文“二酸化炭素のメタン転換用Ni/ZrO2触媒の開発研究”、2016年3月

未利用バイオマス資源の有効活用のための 低コスト･高効率マイクロ波炭化技術の開発

竹吉 優樹　　竹内宏太郎　　隅田 隆
山中 恭二*　　本久 和磨*

Development of Low-Cost and High-Efficiency Microwave Carbonization Technology for Effective Utilization of Unused Biomass Resources

Yuki TAKEYOSHI　Kotaro TAKEUCHI　Takashi SUMIDA
Kyoji YAMANAKA*　Kazuma MOTOHISA*

地域有機性廃棄物の分散型再資源化に向け、マイクロ波パイロット炭化装置の開発と製品の品質管理基準の構築を試みた。兼松エンジニアリング(株)が当該装置の開発、改良及び炭化試験を行い、得られた試作炭化物の物性を当センターが評価し、結果をフィードバックすることで開発を進めた。

あらかじめ市販炭 16 種の物性を評価した後、製作したパイロット試作機により乾燥生姜加工残渣で 20～30kg スケールの炭化試験を実施した。撹拌機構の改良と放電対策の導入により、炭化ムラとスパークの発生を抑制しつつ迅速な炭化が可能であることを確認した。これにより、炭化物 1kg の製造に必要なエネルギー量を、従来型のバーナー式に対し約 96%削減し、極めて省エネな急速炭化プロセスを確立した。

さらに、17 種のバイオマス汎用性試験に基づき、マイクロ波簡易炭化装置で作製する炭化物の物性を実機製品が目指すべき品質規格の上限値と位置づけ、実機のプロセス最適化や品質達成度の評価に活用する品質管理の手法を提案した。

１　まえがき

近年、持続可能な循環型社会の実現に向けて、農産物や食品残渣、木質バイオマスなど多種多様な未利用バイオマスの有効活用が急務となっている。現在、世の中ではこれらを燃料とするバイオマス発電やバイオガス発電などが実用化されているが、いずれも莫大な初期投資や一定規模以上の広域集積が必要であり、中小規模の事業者が個別に導入することは資金・規模面から極めて困難である。そこで、比較的導入が容易で、小規模分散型の処理に適し、廃棄物の減容化とエネルギー資源化を低コストで両立できる技術として「炭化」に注目した。しかし、工業的に炭化物をつくる従来型のバーナー式炭化は熱源に灯油等を用いるため、原油価格高騰によるコスト上昇や炭化時の化石燃料由来 CO_2 の排出が課題であった。

そこで本研究では、共同研究先である兼松エンジニアリング(株)が開発した、マイクロ波技術を応用した高効率・CO_2 排出削減を実現する炭化装置で試作した炭の物性を当センターが評価することで、装置の有用性を検討した。

＊　兼松エンジニアリング株式会社

２　実験方法

２．１　炭化装置

２．１．１　バーナー式炭化装置

炉内温度や灯油消費量などのモニタリングが可能なバッチ式の試験用バーナー式炭化装置を用いて、500℃で標準炭化品を作製した。

２．１．２　マイクロ波簡易炭化装置

後述のパイロット試作機の製作前に、少量サンプルをバッチ式で炭化処理可能な、マイクロ波簡易炭化装置を製作した。本装置は、加熱・炭化時に発生する水蒸気や熱分解ガス（乾留ガス）を排出できる構造としている。具体的には、原料を入れた 500mL の石英ビーカーにガス排出機構付きの蓋を載せることで、周囲の空気が流入しにくい構造とした。

２．１．３　マイクロ波炭化パイロット試作機

兼松エンジニアリング(株)が開発したマイクロ波炭化パイロット試作機(以下、パイロット試作機)の外観と概略図を図 1 に示す。

投入したバイオマスを撹拌羽根で撹拌しながらマイクロ波を照射することで、局所加熱や炭化ムラの防止を図った。また、マイクロ波加熱によって原料から発生する乾留ガスは、二次燃焼炉で燃焼・無

害化した後に排気する構造である。稼働開始後、原料中の水分が蒸発している間、二次燃焼炉はバーナーの炎で強制的に処理するが、乾留ガスが一定以上発生し始めると自燃し、排ガスの処理にかけるエネルギー(化石燃料)が不要となる。

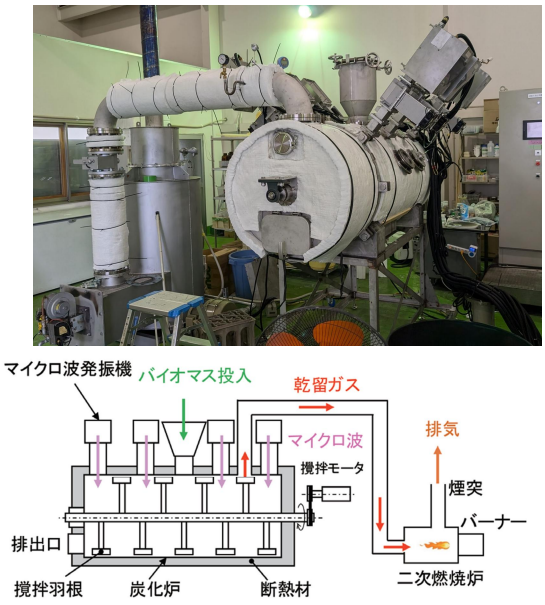


図１　パイロット試作機の外観及び概略図

２．２　分析試料

２．２．１　基準比較用市販炭及び試薬炭の選定

マイクロ波炭化装置で試作する炭化物の物性評価に先立ち、比較対象とする市販炭及び各種炭化物計 16 種類を選定した。

選定試料は、白炭(紀州備長炭、土佐備長炭など)、黒炭(しらおい木炭、四万十町産木炭など)、オガ炭、竹炭、粉炭、もみ殻くん炭、炭化鶏糞、及び試薬(活性炭、骨炭)である。これらを基準試料群として、後述の評価に用いた。

表１　基準比較用市販炭及び試薬炭の一覧

No.	種類※	銘柄	原料
1	白炭	紀州備長炭	ウバメガシ（広葉樹）
2	白炭	土佐備長炭	ウバメガシ（広葉樹）
3	白炭	日向備長炭	アラカシ（広葉樹）宮崎県産
4	白炭	ラオス備長炭	マイテュー
5	黒炭	しらおい木炭	なら（広葉樹）
6	黒炭	四万十町産木炭	広葉樹
7	黒炭	バーベキュー木炭	マングローブ（広葉樹）
8	オガ炭	オガ備長炭	木炭粉（カシ・ナラ）中国産
9	オガ炭	大黒オガ備長炭	－
10	オガ炭	高山備長炭（オガ炭）	－
11	竹炭	竹炭	竹
12	粉炭	粉炭	広葉樹・針葉樹
13	その他	もみ殻くん炭	もみ殻
14	その他	炭化鶏糞	鶏糞
15	その他	活性炭（試薬）	－
16	その他	骨炭（試薬）	動物の骨

※林野庁が設定した木炭の種類で分類し、該当しないものはその他とした。

２．２．２　マイクロ波炭化に供した試料

パイロット試作機の開発に際しては、生姜の乾燥加工残渣をベースに炭化試験を実施し、物性評価を行った。

撹拌効率を上げるための撹拌羽根の構造の見直しや稼働条件の変更、放電対策等の改良を加えた。

また、マイクロ波炭化の汎用性評価のため、農作物非可食部(レモン果皮、ジャガイモ加工残渣、トマト茎葉、酒粕など)を中心に、計 17 種のバイオマス資源を供試した。

２．３　試料調製

各炭化物は目開き 212μm のふるいを全量通過するまでアルミナ製乳鉢又は撹拌すり潰し機（(株)石川工場製、型式 AGA）で粉砕し、実験室内で重量が恒量になるまで放置して気乾試料を調製した。なお、備長炭などの堅い炭については、ジョークラッシャー(小川サンプリング(株)製、型式 A)で粗粉砕した後、遊星型ボールミル(フリッチュ・ジャパン(株)製、型式 P-5/4)にて微粉砕した。

２．３　分析項目

２．３．１　工業分析

気乾試料を用いて JIS M 8812 に準拠する方法で、水分、灰分、揮発分、固定炭素を測定した。

２．３．２　総発熱量

気乾試料を用いて JIS M 8814 に準拠する方法で、カロリーメーター(IKA ジャパン(株)製、C6000 isoperibol)で測定した。

２．３．３　比表面積

気乾試料を 190℃で 2 時間真空脱気(デガス処理)した後、比表面積測定装置(ユアサアイオニクス(株)、NOVA2000)で測定した。

液体窒素温度における窒素ガスの吸着等温線を測定し、得られた吸着等温線から BET 式を用いて、相対圧 0.05，0.10，0.15 の 3 点 BET により比表面積を求めた[1)]。

２．４　試作炭化物のデータベース化

市販炭やマイクロ波炭化品等の分析結果をまとめ、将来的に活用できるデータベースを構築することを目指した。

２．５　目標品質基準の設定

得られたデータベースに基づき、実機スケールで実用的なバイオ炭を製造する場合に、炭化物に求める品質管理基準を設定することを目指した。

３　結果と考察

３．１　基準比較用市販炭及び試薬炭の物性

表 2 に 16 種の基準試料群の工業分析、総発熱量及び比表面積の結果をまとめた。

紀州備長炭及び土佐備長炭に代表される白炭は、固定炭素(FC)がそれぞれ 93.7%, 93.4%と極めて高く、揮発分(VM)は 2.6%, 2.1%と高度に炭化が進行していた。無水ベース総発熱量も共に 32.8kJ/g と本試験群の中でも最高値を示した。

一方、比表面積は約 70㎡/g 以下と比較的低い値を示した。これは、白炭が 800～1000℃を超える炭化温度で製造されるため、炭素骨格が熱収縮し、緻密化が起こるという特異的物性を捉えている[2)]。

対照的に、オガ炭 3 種(No.8～10)は、FC が 69.6～85.8%、無水ベース総発熱量が 28.4～32.5kJ/g の極めて安定した高品質を示し、比表面積も 140～280㎡/g と良好な多孔質構造を有していた。また、もみ殻くん炭(No.13)や炭化鶏糞(No.14)は、灰分が 41.8%, 37.3%と極めて高く、FC は 34.5%, 37.5%、無水ベース総発熱量は 16.0kJ/g, 15.9kJ/g であった。

３．２　乾燥生姜加工残渣を用いたマイクロ波炭化装置の改良過程と評価

乾燥生姜加工残渣(乾燥品)を原料とし、従来型の外部加熱方式であるバーナー式(S-0)、簡易炭化装置(S-1)、及びパイロット試作機の各開発段階(S-2～S-5)における炭化試験結果を表 3 に示す。

また、炭化の効率性を評価するため、炭化物 1kg あたりの製造に要した使用エネルギー量を算出して比較評価を行った。なお、バーナー式及びマイクロ波式におけるエネルギー算出にあたっては、それぞれの使用量からエネルギー換算を行った。

３．２．１　従来型バーナー式及び簡易炭化装置の基礎特性

比較対象とした S-0 では、原料投入量 4kg、炭化温度 500℃において炭化時間は 82 分であった。炭化物 1kg あたりの使用エネルギー量は 261.7kJ/g と極めて大きく、得られた炭化物の VM は 22.1%、無水ベースの総発熱量は 19.7kJ/g であった。

一方、簡易炭化装置(S-1)では、100g の原料に対し出力 0.65kW、8 分の照射でムラなく炭化できた。S-1 の炭化物 1kg あたりの使用エネルギー量は 13.0kJ/g であり、VM は 13.8%、無水ベースの総発熱量は 22.5kJ/g と、S-0 に比べて良好な炭化品質を示した。これは、原料投入量が 100g と小スケールなために、熱分解によって発生する乾留ガスの排出が容易なことで、タール成分などの阻害要因を極限まで抑えることができるためと考えられる。

この結果から、簡易炭化装置を用いて試作した炭の各物性値（脱揮発分や固定炭素濃縮）は、この方式を用いて製造する炭の品質規格の上限値又は基準となりうると考えられる。

表 2　基準比較用市販炭及び試薬炭の物性

No.	試料名	備考	種類	総発熱量(kJ/g)		工業分析（気乾ベース）				比表面積 (m^2/g)
				気乾ベース	無水ベース	水分 (%)	灰分 (%)	揮発分 VM(%)	固定炭素 FC(%)	
1	紀州備長炭	市販炭化物	白炭	32.0	32.8	2.3	1.4	2.6	93.7	69
2	土佐備長炭	市販炭化物	白炭	31.8	32.8	3.2	1.4	2.1	93.4	26
3	日向備長炭	市販炭化物	白炭	29.0	32.0	9.3	2.4	3.1	85.2	49
4	ラオス備長炭	市販炭化物	白炭	28.4	31.2	9.1	4.0	3.6	83.3	40
5	しらおい木炭	市販炭化物	黒炭	32.6	33.8	3.4	0.9	5.3	90.3	380
6	四万十町産木炭	市販炭化物	黒炭	29.1	30.7	5.2	3.3	15.9	75.6	134
7	バーベキュー木炭	市販炭化物	黒炭	27.7	29.2	5.3	2.1	28.0	64.7	<10
8	オガ備長炭	市販炭化物	オガ炭	27.4	28.4	3.5	13.4	13.5	69.6	146
9	大黒オガ備長炭	市販炭化物	オガ炭	31.1	32.5	4.2	6.1	4.8	84.9	280
10	高山備長炭（オガ炭）	市販炭化物	オガ炭	31.0	32.1	3.4	5.1	5.6	85.8	270
11	竹炭	市販炭化物	竹炭	31.5	33.2	5.0	1.9	7.9	85.2	110
12	粉炭	市販炭化物	粉炭	27.8	29.4	5.5	5.6	18.7	70.2	76
13	もみ殻くん炭	市販炭化物	その他	15.4	16.0	3.8	41.8	19.9	34.5	<10
14	炭化鶏糞	市販炭化物	その他	14.9	15.9	6.1	37.6	18.9	37.5	<10
15	活性炭	試薬	その他	29.6	32.1	7.9	0.7	23.8	67.7	1500
16	骨炭	試薬	その他	2.8	2.9	3.6	82.3	7.1	7.0	100

３．２．２　パイロット試作機における段階的改良プロセスと定量的挙動

パイロット試作機製作後、処理量 52.6kg、出力 21kW にて炭化試験を行った(S-2)。炭化所要時間は 150 分、炭化物 1kg あたりの使用エネルギー量は 10.4kJ/g で、前述の簡易炭化装置と同様にバーナー式よりも大幅に低減されたが、得られた炭化物には目視レベルで明らかな炭化ムラが認められた。これは、大容量化に伴って原料の深さが格段に増し、撹拌も不十分となってマイクロ波が原料全体に均一に浸透しなかったためと考えられる。

そこで、炭化ムラを解消するため、撹拌羽根の構造と稼働条件を修正し、原料 20kg に対して、出力 21kW と 12kW の 2 パターンで試験した(S-3 及び S-4)。高出力条件の S-3 では炭化ムラが解消し、炭化所要時間も 60 分に短縮できた。VM は 14.9%、無水ベース総発熱量は 22.9kJ/g まで上昇し、S-1 に迫る物性を達成した。低出力条件の S-4 では炭化所要時間は 100 分とやや増加したものの、目視レベルでは S-3 同様にムラなく炭化できた。VM は 18.1%で、無水ベース総発熱量は 22.5kJ/g を維持しており、S-2 及び S-3 より省電力条件でも十分に炭化が可能であることが確認された。

しかしながら、マイクロ波照射中に炭化炉内部でスパークの発生が確認されたため、導波管窓部周辺に放電対策を施し、原料 30kg で炭化試験を行った(S-5)。

その結果、処理量が増大したにもかかわらず、150 分の全運転時間において放電トラブルが完全に防止され、安定した運転を継続した。得られた炭化物は炭化ムラなしを維持しており、VM は 20.2%、無水ベース総発熱量は 21.0kJ/g と、バーナー式(S-0)以上の品質を安定して満たすことが確認された。

３．２．３　製造エネルギー効率(省エネルギー性)に関する考察

本改良プロセスにおいて最も顕著な成果は、炭化物 1kg を製造するために投入したエネルギーの圧倒的な削減効果である。

従来型バーナー式(S-0)が 261.7kJ/g を要しているのに対し、パイロット試作機の改良条件(S-3～S-5)では、いずれも 10.3～11.6kJ/g と、約 25 分の 1 のエネルギー消費量で炭化を達成している。

これは、バーナー式が炉体及び炉内空間全体を灯油燃焼により外部から加熱し、多大な輻射熱損失を伴うのに対し、マイクロ波式は誘電体である生姜残渣自体にマイクロ波が直接作用し、周囲への熱拡散損失を最小限に抑えて選択的に昇温熱分解させたためである。

表 3　マイクロ波炭化の優位性評価結果

No.	炭化方法	炭化装置	備考	炭化ムラ	炭化温度 (°C)	使用エネルギー	
						灯油 (L)	マイクロ波 (kW)
S-0	バーナー	バーナー式炭化装置	マイクロ波炭化の比較対象	無し	500	8.7	−
S-1	マイクロ波	簡易炭化装置	パイロット試作機との比較対象	無し	−	−	0.65
S-2	マイクロ波	パイロット試作機	パイロット試作機初期炭化品	有り	−	−	21
S-3	マイクロ波	パイロット試作機	撹拌羽根構造及び撹拌条件変更	無し	−	−	21
S-4	マイクロ波	パイロット試作機	撹拌羽根構造及び撹拌条件変更	無し	−	−	12
S-5	マイクロ波	パイロット試作機	放電対策後	無し	−	−	12

No.	原料投入量 (g)	原料回収量 (g)	原料収率 (wt%)	炭化所要時間 (min)	炭化物1kg当たり使用エネルギー量 (kJ/g)	総発熱量(kJ/g)		工業分析（気乾ベース）			
						気乾ベース	無水ベース	水分 (%)	灰分 (%)	揮発分 VM(%)	固定炭素 FC(%)
S-0	4,000	1,220	30.5	82	261.7*	18.2	19.7	7.4	23.0	22.1	47.4
S-1	100	24	24.0	8	13.0	20.5	22.5	8.7	20.1	13.8	57.3
S-2	52,600	18,200	34.6	150	10.4	18.6	20.0	6.9	27.3	20.2	45.6
S-3	20,000	6,800	34.0	60	11.1	20.9	22.9	8.6	21.6	14.9	54.9
S-4	20,000	6,200	31.0	100	11.6	21.1	22.5	6.3	21.5	18.1	54.2
S-5	30,000	10,500	35.0	150	10.3	20.1	21.0	4.5	31.1	20.2	44.2

＊灯油発熱量を36.7MJ/Lとして算出

さらに、撹拌改良(S-3)により加熱ムラが解消されたことで、熱分解反応全体の進行が最適化され、無駄な過加熱時間の削減((S-2 の 150 分から S-3 の 60 分への時間短縮)に直結し、エネルギー効率を高水準で維持できた。

放電対策を施した実機実用化モデル(S-5)においても、炭化物 1kg あたりのエネルギー量は 10.3kJ/g と極めて省エネルギーであり、マイクロ波炭化装置が化石由来排出削減やランニングコストの観点からみても、優れたエネルギー優位性を有していることが確認された。

３．３　マイクロ波炭化の汎用性評価

マイクロ波炭化技術の多様なバイオマス種に対する適応性を実証するため、食品系、木質系、農作物系、穀類系及び汚泥系にわたる計 17 種類の原料について、パイロット試作機(V-1)及び簡易炭化装置(V-2～V-18)を用いて炭化特性評価を行った。その結果を表 4 に示す。

また、得られた汎用性試験炭化品の物性をベンチマークとして評価した市販炭 16 種(表 2)の実測データと比較し、各バイオマスのマイクロ波適正と炭化品質について考察を行う。

３．３．１　食品系及び木質系原料の炭化挙動と市販炭との物性比較

食品系廃棄物の代表例であるコーヒー滓(V-1、V-2)は、マイクロ波に対して極めて優れた適正を示した。

V-1 は 59kg という大量処理において、炭化時間は 275 分を要したものの、得られた炭化物の FC は 68.8%、無水ベース総発熱量は 29.4kJ/g に達した。

V-2 は FC が 80.8%、無水ベース総発熱量は 29.4kJ/g を示し、これらは市販オガ備長炭や黒炭と同等かそれ以上の物性であった。

その他、レモン果皮抽出残渣や米ぬかも極めて良好に炭化が進行した。しかし、白米は炭化する際に体積膨張が著しかったため、実機レベルの試験を行う場合は注意が必要と考えられた。また、ヤシガラ培地(V-8)は、灰分が53.5%と非常に高く、FCは30.0%に留まったが、これは市販のもみ殻くん炭(No.13)に近い物性であり、土壌改良材としての利用が期待される。

３．３．２　農作物系及び穀類・汚泥系原料の炭化特性

農作物系原料においては、デンプンや糖類及び繊維質の組成比によって炭化特性及びマイクロ波適正に明確な差異が観察された。

廃棄種子混合品(V-9)、ソルゴー種子(V-12)及びレモン果皮抽出残渣(V-15)は、いずれも市販の一般木炭以上の炭化度合い(FC 60～70%)を示した。

また、ジャガイモ加工残渣(V-13)は原料自身の水分過多により時間がかかるという炭化処理上の課題はあるものの、最終炭化物の FC は 73.8%、無水ベース総発熱量は 28.7kJ/g であり、燃料用途にも使える物性を示した。

表 4　マイクロ波による炭化特性評価結果

No.	原料	ジャンル	マイクロ波装置	マイクロ波出力 (kW)	原料投入量 (g)	原料回収量 (g)	原料収率 (wt%)	炭化所要時間 (min)	炭化物1kg当たり使用エネルギー量 (kJ/g)	総発熱量(kJ/g) 気乾ベース	総発熱量(kJ/g) 無水ベース	工業分析（気乾ベース） 水分 (%)	灰分 (%)	揮発分 VM(%)	固定炭素 FC(%)
V-1	コーヒー滓	食品	パイロット試作機	18	59000	6400	10.8	275	46.4	28.0	29.4	4.6	8.5	18.1	68.8
V-2	コーヒー滓	食品	簡易炭化装置	0.65	–	–	–	–	–	29.2	29.4	0.8	7.5	11.0	80.8
V-3	レモン果皮抽出残渣	食品	簡易炭化装置	0.65	–	–	–	–	–	24.8	26.4	6.2	15.6	17.2	61.0
V-4	米ぬか	食品	簡易炭化装置	0.65	142	30	21.1	60	78.0	19.7	20.3	3.1	32.2	4.1	60.6
V-5	白米	食品	簡易炭化装置	0.65	200	35.5	17.8	50	54.9	21.8	22.2	2.0	1.2	44.8	52.1
V-6	酒粕	食品	簡易炭化装置	0.65	102	19	18.8	26	52.7	26.9	27.7	3.1	1.7	44.7	50.6
V-7	食パン	食品	簡易炭化装置	0.65	50.3	16	32.2	10	24.1	24.0	24.5	2.1	2.5	43.4	52.0
V-8	ヤシガラ培地	木質	簡易炭化装置	0.65	50	10	20.1	13	50.5	10.6	11.4	6.8	53.5	9.7	30.0
V-9	廃棄種子（混合品）	農作物	簡易炭化装置	0.65	251	54	21.5	55	39.7	26.4	27.2	3.1	15.2	12.0	69.6
V-12	ソルゴー種子	農作物	簡易炭化装置	0.65	200	51	25.5	40	30.6	28.9	29.9	3.3	4.6	17.8	74.3
V-10	そら豆	農作物	簡易炭化装置	0.65	100	22	22.0	15	26.6	25.3	26.1	2.9	11.4	28.3	57.5
V-11	枝豆	農作物	簡易炭化装置	0.65	100	19	19.0	16	32.8	29.4	30.0	2.1	11.7	46.9	39.3
V-13	ジャガイモ加工残渣	農作物	簡易炭化装置	0.65	200	9.0	4.5	45	195.0	26.2	28.7	8.7	8.2	9.3	73.8
V-14	トマト茎葉	農作物	簡易炭化装置	0.65	200	15.5	7.7	40	100.8	9.8	10.5	7.0	43.0	28.3	21.7
V-15	栗皮残渣	農作物	簡易炭化装置	0.65	134	26	19.4	21	31.5	29.4	31.8	7.4	4.2	9.9	78.4
V-16	焙煎殻（穀類ベース）	穀類	簡易炭化装置	0.65	50	10	20.0	11	42.8	14.3	15.3	6.6	46.8	6.2	40.4
V-17	焙煎殻（穀類＋茶ベース）	穀類	簡易炭化装置	0.65	100	27	26.9	13	18.8	25.5	27.0	5.4	10.7	7.8	76.1
V-18	乾燥製紙スラッジ	汚泥	簡易炭化装置	0.65	13	7.4	57.2	15	78.6	18.8	19.7	4.6	12.2	45.2	38.0

枝豆(V-11)はFC 39.3%(VM 46.9%)、トマト茎葉(V-14)はFC 21.7%(灰分 43.0%)と、熱分解が若干抑制された特性を示した。特にトマト茎葉(V-14)は、ジャガイモ同様に高水分により炭化所要時間を要することに加え、無水ベース総発熱量が10.5kJ/gと極めて低かった。これは、元々の原料に無機塩類が多く含まれるためと考えられる。しかし、この灰分の多さは土壌改良剤として用いたときに無機塩類の補給源として有利に作用する可能性があるため、目標用途に応じた製造管理が必要である。

焙煎殻(V-16、V-17)では、穀類ベースの灰分が46.8%と非常に高く、無水ベース総発熱量も15.3kJ/gと低い値を示したが、茶を混合したV-17においてFCが76.1%、無水ベース総発熱量が27.0kJ/gと大きく向上した。これにより、無機塩類の少ない原料とのブレンドによって炭化品質向上の有効性が確認された。

一方、乾燥製紙スラッジ(V-18)はマイクロ波を照射し続けても未炭化部分が残るなど、自己発熱が弱かった。これは製紙スラッジの主成分であるセルロースが構造的にマイクロ波の吸収効率が低いためと考えられる。そのため、スラッジ類をマイクロ波で炭化する場合は、別の炭化物を発熱体として混合してマイクロ波炭化を行う必要があると考えられる。

３．３．３　使用エネルギー量の比較

簡易炭化装置における、炭化物1kgあたりの使用エネルギー量は18.8～195.0kJ/gの広範囲に分布した。

焙煎殻(穀類＋茶ベース)(V-17)、食パン(V-7)、そら豆(V-10)、レモン果皮抽出残渣(V-15)などは、比較的少ないエネルギー消費量で炭化が可能であった。一方で、ジャガイモ加工残渣(V-13)は195.0kJ/g、トマト茎葉(V-14)は100.8kJ/gと、エネルギー消費量が著しく増大した。これは、試験に供した原料がウェット状態であり、この自由水の蒸発にマイクロ波のエネルギーが多大に消費(潜熱消費)された結果である。マイクロ波炭化は高含水試料に対して乾燥機を別途用意せずとも、乾燥から炭化までの工程を1台で比較的短時間に行えるメリットがあるが、全体の処理量と経済性を考慮すると、別途安価な乾燥工程を設けた方がよい場合もあると考えられる。

３．４　目標品質基準の設定

本研究において構築した多種バイオマスの炭化データベース(表4)を詳細に解析すると、簡易炭化装置(V-2～V-18)により得られる炭化品質は、スケールアップしたパイロット試作機や将来的な実機が目標とすべき品質の設計基準として有用であることが明らかとなった。

３．４．１　スケールアップによる品質差の要因

生姜残渣における比較(表3)が示すとおり、簡易炭化装置(S-1)で得られた炭化物のFCは57.3%であったのに対し、放電対策を施したパイロット試作機(S-5)の実機製造モデルではFC 44.2%と、やや低い値に収束した。また、コーヒー滓における比較(表4)においても、簡易炭化装置(V-2)ではFC 80.8%に達したのに対し、パイロット試作機による大容量処理(V-1)ではFC 68.8%と、同様に固定炭素比率が低下する傾向が確認された。この現象は、熱分解プロセスにおけるバルク効果に起因する。

100g未満の少量バッチである簡易炭化装置では、原料に対する単位質量あたりのマイクロ波のエネルギー照射密度が極めて高く、また発生した乾留ガスが層内に滞留することなく、速やかに外部へ脱出できる。

一方で、数十kgを一度に処理するパイロット試作機においては、原料層の厚みが著しく増大するため、撹拌機構は備えているものの、内部から発生したタールや水蒸気などのガスが外部へ抜ける際に生じる拡散抵抗が簡易炭化装置に比べて大きくなる。このガス滞留が局所的な平衡反応を引き起こし、また内部加熱のわずかな不均一性を生むため、パイロット試作機で作った炭の固定炭素比率は簡易炭化装置よりも相対的に小さくなる。

３．４．２　上限品質指標としての活用提案

この物理的特性差を踏まえ、本研究では新規バイオマス原料をパイロット試作機や将来的に実機で処理する際の品質管理スキームを提案する。

すなわち、任意のバイオマス原料を、簡易炭化装置を用いて過剰熱量下で完全熱分解させて得た炭化物の物性値(固定炭素比率及び発熱量)を、その原料から得られる炭化品質の上限品質指標と定義する。この上限品質指標は、以下のような実機運転における重要なガイドラインとなる。

・製造目標値の迅速な策定

新規に処理を試みるバイオマスについて、事前に数分～数十分の簡易炭化装置による処理を行うだけで、実機が原理的に目指すことのできるFCや発熱量の極限値を把握できる。

・実機プロセスの最適化指標

実機で得られた炭化物の物性が、この上限品質指標にどれだけ肉薄できているかを評価することで、実機側の「撹拌速度」「照射出力」「滞留時間」などの稼働条件や装置の構造に改良の余地があるかを判断するための指標として活用できる。

本手法は、個々のバイオマスに対してパイロット試作機や実機を用いた大規模かつ長時間の炭化試験を行うことなく、ラボレベルの簡易試験から実機にスケールアップした際の品質を予測・管理することを可能にし、マイクロ波炭化装置の実用展開において実用性の高い評価方法になると考える。

4　まとめ

乾燥生姜加工残渣を基準原料としたマイクロ波パイロット炭化装置の開発・機能改良プロセス及び多種のバイオマスを用いたデータベース評価から、以下の知見を得た。

・市販炭及び試薬炭(計 16 種類)の物性を評価してデータベース(表 2)を構築し、開発するマイクロ波炭化装置が目指すべき生成炭化物の品質ベンチマークを定量的に規定した。

・パイロット炭化装置開発において、撹拌機構の最適化及び放電対策の適用により、炭化ムラと放電スパークの解消を達成した。これにより、炭化物 1kg あたりの製造エネルギー消費量をバーナー式(261.7kJ/g)の約 25 分の 1 となる 10.3～11.6kJ/g まで低減でき、省エネかつ迅速な炭化プロセスを確立した。

・多種バイオマスの汎用性評価より、小スケールの簡易炭化装置で試作した炭の各物性値（脱揮発分や固定炭素濃縮）は、この方式を用いて製造する炭の品質規格の上限値又は基準となりうると考えた。実機で作製する炭がこの上限値にどれだけ肉薄できているかを比較評価することで、実機側の稼働条件(撹拌条件や照射出力)の妥当性を迅速に検証・追究できるようになると考えられる。

謝辞

本研究における炭化装置の開発及び炭化試験は、兼松エンジニアリング株式会社との共同研究として実施されたものであり、関係各位に感謝いたします。

参考文献

1) 阿部郁夫、岩崎訓、岩田良美、古南博、計良善也: *炭素*, No.185, (1998)277-284.

2) 谷田貝光克：多孔性の魅惑の素材，炭，*化学と教育*, 62(1), (2014)8-11

二軸延伸ポリプロピレンフィルムの溶断シール袋における シール強度と高分子モルホロジーの関係性

堀川 晃玄　　濵﨑 義弘[*1]　　比江嶋祐介[*2]

Relationship between Seal Strength and Polymer Morphology in Sideweld Sealed Bag of Biaxially Oriented Polypropylene Film

Kogen HORIKAWA　Yoshihiro HAMAZAKI[*1]　Yusuke HIEJIMA[*2]

溶断シール法で製造された二軸延伸ポリプロピレン(BOPP)フィルム製の袋のシール強度を調べた。シール部の引張強度は、シール部の結晶度の増大に伴い下方偏位した。シール部の微視的な結晶度分布はほぼ均一であることから、結晶度の増大に伴う引張強度の下方偏位は、引張中の巨視的な欠陥の発生を示唆した。シール部周辺の欠陥は引張試験中の光弾性実験により可視化され、引張方向に垂直な収縮応力によってフィルムに生じる波状の変形によって誘起される、シール部周辺のひずみの不均一性が観察された。引張試験後の溶断シール試験片の断面観察では、シール部の破壊は初期においては延性的であるが、それに引き続く破壊過程は強度の低い試験片ほどよりぜい性的であった。これはおそらく高い結晶度によるものと思われる。結晶度が冷却速度により制御可能であることを、製袋加工条件を模した高速冷却実験で確認した。シール部のX線構造解析により、高結晶度のシール部ほどポリプロピレンのラメラ晶の厚みが大きい傾向が見られ、高結晶性の溶断シール部が容易にぜい性破壊するのは、ラメラ晶の厚化に由来することが示唆された。

1　緒言

プラスチックを用いた包装材料は1950年代後半から1960年代にスーパーマーケットでの陳列販売が主流になったことから需要が高まり、現在ではプラスチックが主要な包装材料としての地位を確立し、用途に応じた多様なプラスチック包装材料が販売されている。プラスチック包装材料のうち、2軸延伸ポリプロピレン(BOPP)フィルムを用いた袋は高い透明性と光沢を示し、かつガスバリア性が高いという特長を有する。このため、食品用の包装を中心に、内容物をはっきりと見せ、袋の光沢感による高級感を演出したい場合などに使用される。

BOPP袋の主たる製造法として、高温の金属刃を重ねたフィルムに押しつけ、フィルムの切断と溶着を同時に行う溶断シールが挙げられる。溶断シールにおいては、シールされた部位の強度が十分に高いことが品質管理の上で重要であるが、溶断シールに関する学術的研究例は極めて少なく、製造現場が長年にわたり蓄積した経験に依存したトラブルシューティングが行われている場合も多い。製造時の環境負荷低減や原燃料費高騰への対応として、生産性のさらなる向上が要求されるが、このためには「フィルムを焼いて切るだけ」に見える溶断製袋を工学的な観点から眺め、わずか250μm程度の太さしかないシール部にどのような構造が潜んでいるのか、どうやって破壊されるのかといった学術的知見が必要である。本研究ではBOPPフィルムの溶断シール製袋プロセスにおいて、ポリプロピレンの結晶化やシール部のモルホロジーがシール強度に与える影響について検討した。また、溶断シール袋の生産技術的観点から、熱刃温度がシール強度に対して与える影響についても検討した。

*1　(株)精工

*2　金沢大学

2　研究内容

2．1　溶断シールにおける強度とBOPPの結晶化の関係

2．1．1　実験

Scientex Berhad製のBOPPフィルムであるSO20Bを袋の原料として用いた。フィルムの厚みは20及び25μmを用いた。溶断シールは袋の商用生産に使用されている製袋機（トタニ(株)製、HK-65V）を用いて行った。BOPPフィルムは半折装置により、フィルムの走行方向(MD方向)と平行に折りたたまれ、溶断シール工程に投入した。熱刃は先端角度120°、温度は410℃とした。シールは200mmの間隔で160shot/minの頻度で行った。熱刃による1回のショットで、熱刃の前後に2つのシール部ができるが、これらをそれぞれFront及びBackと呼ぶ。

溶断シールの力学的強度は引張試験により評価した。Front 側と Back 側の両側にそれぞれ 3 箇所ずつ、幅 5mm、長さ 100mm の帯状試料を採取した。中央にシール部を有する帯状試料に対して、引張試験機（(株)エー・アンド・デイ製、RTF-1310）を用い、クロスヘッド速度 50mm/min で引張試験を行った。溶断シール試料の強度は、応力－変位曲線における最大応力とした。

引張試験後試料の破断面を電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM、日本電子(株)製、JSM-6701F)で観察した。破断した試料に白金を蒸着し、FE-SEM を使用して二次電子像を撮影した。

引張中のシール部周辺のひずみ分布を観察するために光弾性法[1)]を用いた。幅 5mm の溶断シール試料を小型のバイスで 10mm 延伸した。延伸されたシール部領域をクロスニコル配置の偏光板と 570nm における鋭敏色板を備えたデジタル顕微鏡（(株)キーエンス製、VHX-6000）で撮影し、ひずみ分布を観察した。落射照明画像をズームレンズとリングイルミネータ(株)キーエンス製、VH-ZST)を使用して取得し、試料の外観を観察した。

溶断シールされた試料を紫外線硬化樹脂に埋め込み、実体顕微鏡での観察下、約 45μm の厚さに切断した。シール部の中心付近の透過スペクトルは、赤外顕微鏡（日本分光(株)製、IRT-7200）を用いて取得した。結晶度（χ_c）は 998cm^{-1} のピーク強度 I_{998} と 973cm^{-1} のピーク強度 I_{973} から、$\chi_c = I_{998}/I_{973}$ として算出した[2),3)]。ラマンスペクトルは、レーザーラマン顕微鏡（(株)堀場製作所製、XploRA PLUS）を用いて取得し、800cm^{-1} 領域のラマンバンド強度から算出した結晶度[4)]を 300×300μm^2 の領域でマッピングした。

フィルムの結晶化速度を求めるため、示差走査熱量計（DSC、(株)リガク製、DSC8231）を用いて等温結晶化測定を行った。BOPP フィルムを数枚重ねて 4mm の直径に打ち抜き、DSC 用のアルミニウムパンに密封した。これを DSC を用いて、200℃で熱履歴を消去した後、140℃における等温結晶化実験を行った。結晶化ピーク時間（T_{peak}）は等温結晶化曲線のピーク位置から決定した。

溶融フィルムの冷却速度と結晶度の関係を得るため、高速冷却実験を行った。ポンチで直径 4mm に打ち抜いた約 0.5mg の BOPP フィルムを、直径 0.1 mm の K 型熱電対の先端とともに DSC 用のアルミニウムパンに入れた後、クリンパーで密封した。このサンプルセルを 220℃まで加熱し、その後一定流量の空気流で冷却した。セル内の温度は、高速温度測定装置（(株)中山電機製、CTM-5001K）を用いてモニターした。冷却後のアルミニウムパンは氷冷した 10M 塩酸に入れてアルミニウムを溶解し、フィルムを回収した。なお、フィルムの結晶度を算出するために、赤外分光光度計（日本分光(株)製、FT/IR-6600）を用いて透過スペクトルを測定し、回収したフィルムの結晶度を 998cm^{-1} のピーク強度の、973cm^{-1} のピーク強度に対する強度比として算出した。

サンプルセルに集中熱容量系を仮定すると、セル内温度の時間変化は式(1)で表される。

$$\ln\left(\frac{T-T_{\infty}}{T_0-T_{\infty}}\right) = -hKT \qquad \text{式(1)}$$

ここで T はセルの温度は、熱平衡温度、t は冷却時間、h は熱伝達係数である。セル定数 K=A/ρCV において、A は伝熱面積、ρは密度、C は比熱容量、V は試料の体積である。係数 hK は冷却速度の指標であり、式(1)の左辺を t に対してプロットした傾きとして求められる。

２．１．２　結果と考察

図 1 にフィルムの T_{peak} とシール強度の平均値およびその変動係数(CV)の関係を示す。フィルムの結晶化速度の増加に伴い、シール強度の平均値は大きく変化しなかったが、フィルム厚みや Front/Back に関わらずシール強度の CV 値が有意に増大した。

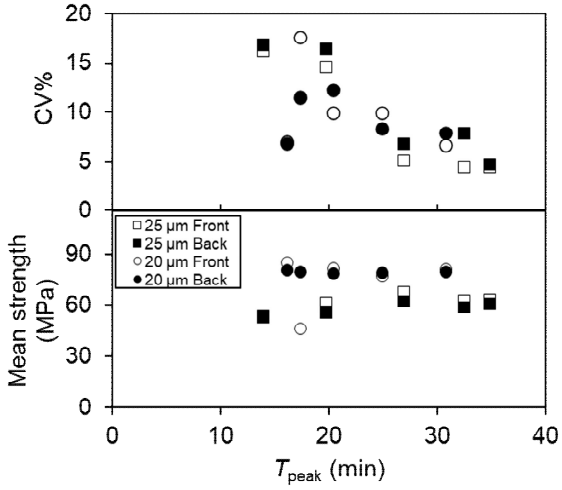


図 1 シール強度の平均値および変動係数(CV)の T_{peak} 依存性
文献 11)の図を一部改変
Copylight©2026　Wiley

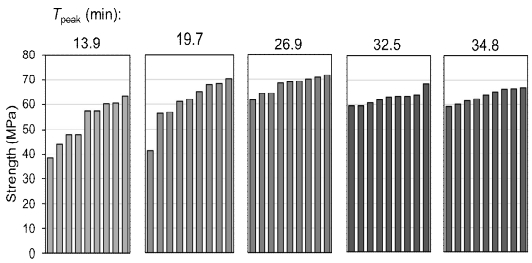


図 2 厚さ 25 μm フィルムのシール強度
(*N* = 9, Front 側), 文献 11)の図を一部改変
Copylight©2026 Wiley

図 2 に示すように、結晶化速度の増加に伴い、シール強度は低強度側に偏位したが、最大強度はほぼ変化しなかった。BOPP フィルムの力学的特性がほぼ変化しないことを考慮すると、結晶化速度の増加に伴う、シール強度の低強度側への偏位は、シール欠陥によるものと説明できる。

図 3 は、シール部の結晶度に対してシール強度の平均値と CV 値をプロットしたものである。結晶度が 0.81 未満ではシール強度がほぼ一定であったが、高結晶度領域では平均強度がわずかに低下し、CV 値が上昇した。結晶度が上昇するにつれて応力レベルは一般的に増加し[5]、シール強度の上昇が起きる[6),7)]ことから、強度のわずかな低下は結晶度の増加に伴うシール欠陥の増加によるものと考えられる。

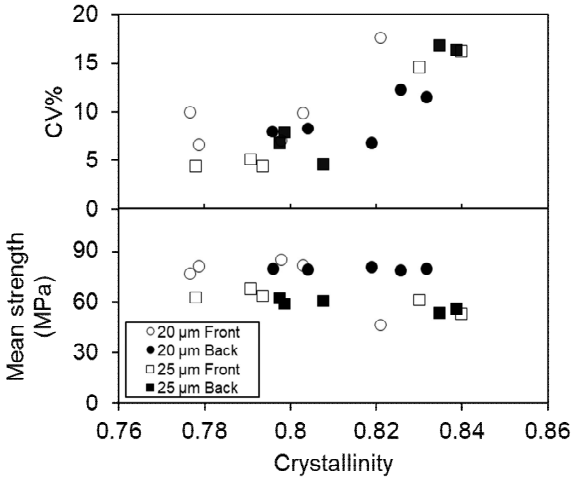


図 3 シール強度の平均値および CV 値のシール部結晶度依存性
文献 11)の図を一部改変
Copylight©2026 Wiley

図 4(a)に示すように、シール部の断面は微視的には均一であり、小さな球晶で満たされていた。また、図 4(b)に示すようにシール部断面の結晶度はシール部全体で均一であった。シール部の根元にある、未溶融の BOPP フィルムには球晶が存在せず、結晶度はシール部に比べて著しく低かった。したがって、

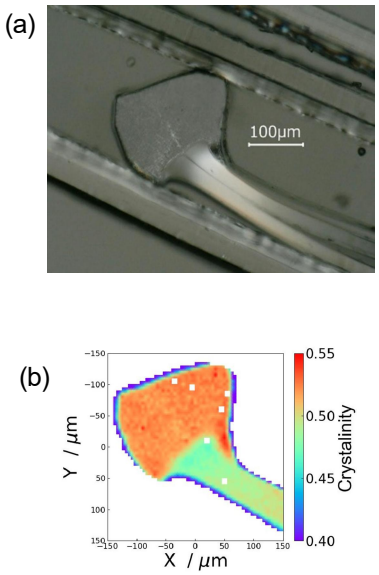


図 4 (a) シール部断面の偏光顕微鏡像,(b) ラマン顕微鏡によるシール部断面の結晶度分布
文献 11)の図を一部改変
Copylight©2026 Wiley

シール部は溶着により完全に溶融され、冷却時にはシール領域内で均一な結晶化が起きたと考えられる。シール部におけるモルホロジーの均一性を考慮すると、高結晶度におけるシール強度の下方偏位は、マクロレベルでの不均一性を示唆する。

低強度のシール部の破断面にはぜい性破壊の特徴であるリバーパターンが観察された(図 5(b))。結

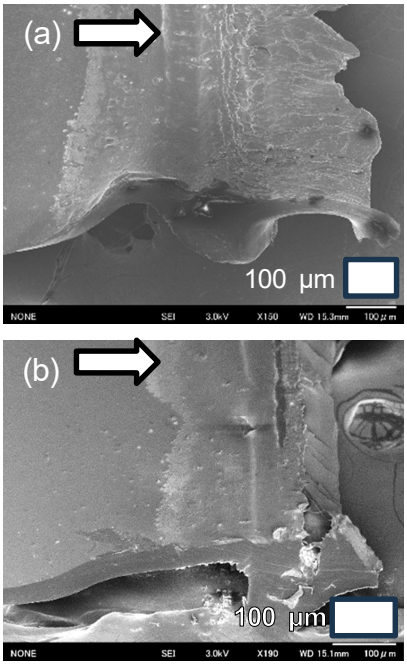


図 5 (a) 高強度および(b) 低強度 シール部の破断面(FE-SEM 像)
文献 11)の図を一部改変
Copylight©2026 Wiley

晶性が高いポリプロピレンはシングルエッジノッチ(SEN)引張試験において、き裂の生成や成長に要するエネルギーが低下することが報告されている[8]。したがって、高結晶度のシール部は、き裂が容易に生じて成長し、ぜい性破断するものと考えられる。

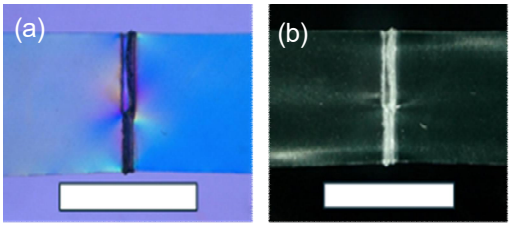


図 6 延伸したシール部の(a)光弾性および(b)落射照明像。延伸量は 10mm。白い長方形は 5mm のスケールバー
文献 11)の図を一部改変
Copylight©2026 Wiley

図 6 は、溶断シール試料の引張試験中の光弾性観察により、シール部周辺のひずみ分布を可視化した結果を示す。シール領域は明らかに伸長し、シール部周辺に不均一なひずみ分布が観察された。落射像における波状のパターンは、薄く柔らかいフィルムの引張り変形において、延伸方向と垂直方向のポアソン収縮によって生じる、波板状の変形であるトラフ[9]の形成を示している。このような巨視的な不均一性は局所的な破壊を引き起こし、結晶性がより高いシール部ではより脆い破断が発生する原因となる。

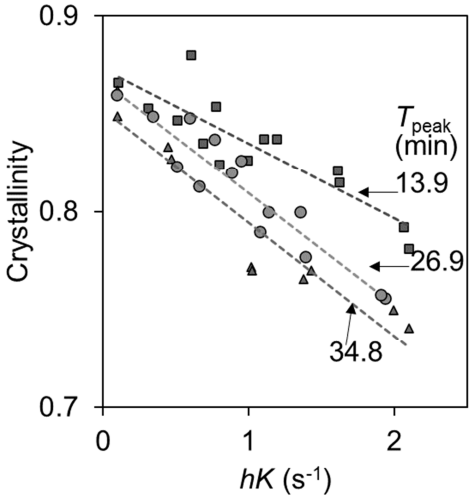


図 7 フィルムの結晶度と *hK* の関係
(フィルム厚さ 25μm)
文献 11)の図を一部改変
Copylight©2026 Wiley

図 7 にフィルムの結晶度を冷却速度の指数である hK に対してプロットしたものである。冷却速度が大きいほど結晶度が低下した。このことから溶断シール直後のシール部を冷却してシール部のぜい性破壊を生じにくくすることで低強度のシール部の出現を抑制可能であることが示唆される。

２．２　溶断シール部における高分子モルホロジー解析

２．２．１　実験

(株)リガク製の Nano-Viewer を用いて広角 X 線回折(WAXD)および小角 X 線散乱(SAXS)測定を行った。採取したシール部を 8 本束ねたものを試料とした。

試料の取り付け方向はシールの幅(TD)方向が垂直方向、フィルムの流れ(MD)方向が水平方向とした。X 線源として CuKα線を用いて、管電圧は 40 kV、管電流は 30mA とした。カメラ長は WAXD では 136mm、SAXS では 460mm とし、検出器には(株)リガク製の 2 次元検出器 HyPix-3000 を用いた。

得られた 2 次元 SAXS 像の方位角 60～120° 及び 240～300° の範囲で 1 次元化を行い、散乱強度と散乱ベクトルの関係を得た。フーリエ変換により電子密度相関関数を計算し、周期長、ラメラ晶および非晶部の厚みを求めた。

２．２．２　結果と考察

WAXD の測定から、シール部のポリプロピレンの結晶形態はα晶であり、一部メソ相が含まれていることが分かった。図 8 にシール部の 2 次元 SAXS 像を示す。フィルムでは観察されなかったラメラ構造の形成を示す散乱像が認められ、子午線方向に強い散乱強度が観測されることから、TD 方向にラメラ構造が配向していることが示唆される。SAXS の測定結果から求めたラメラ晶の厚みはシール部の結晶度の増加と共に増大した(図 9)。

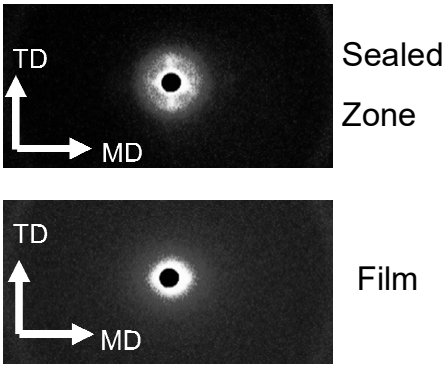


図 8 シール部の 2 次元 SAXS 像

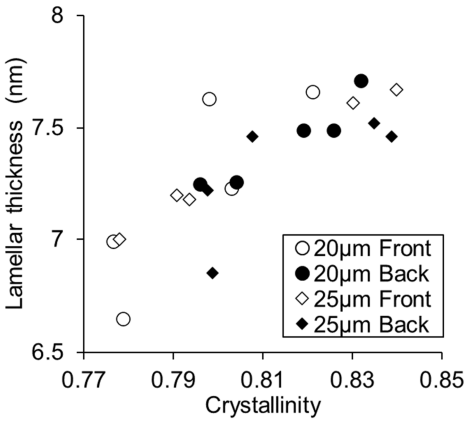


図 9 シール部のラメラ厚みと結晶度の関係

Zhang はポリプロピレンのラメラ晶の厚みが薄いと、変形が生じた際に結晶のせん断変形が容易に生じ、ボイドの生成が起きにくくなる結果、ぜい性破壊しにくくなると結論づけており[10]、高結晶性の溶断シール部が容易にぜい性破壊するのは、ラメラ晶の厚化に由来することが示唆される。

２．３　熱刃温度の変化がシール強度に与える影響

２．３．１　実験

Scientex Berhad 製の BOPP フィルムである SO20B を袋の原料として用いた。フィルムの厚みは 20, 25, 40μm として、T_{peak} が 11～16min のものを用いた。溶断シールは、製袋機（トタニ(株)製、HK-65V）を用いて行い、熱刃の先端角度を 120°、温度を 390～410℃とした。シールは 200mm の間隔で 160shot/min の頻度で行った。シール強度を引張り試験から、シール部の結晶度をは紫外線硬化樹脂に包埋して約 45μm の厚みにスライスし、赤外顕微鏡（日本分光(株)製、IRT-7200）で測定したシール部の赤外吸収スペクトルから、998cm^{-1} のピーク強度の 973cm^{-1} のピーク強度に対する比として算出した。延伸後のシール部破断面は、走査電子顕微鏡(SEM、(株)日立ハイテクサイエンス製、TM-3030)を用いて観察した。

２．３．２　結果と考察

図 10 にシール強度測定の際の応力-変位曲線を示す。厚さ 20μm のフィルムでは、最大強度や熱刃温度の影響を受けなかった。厚さ 25μm のフィルムでは、熱刃温度が高いと破断伸びが大きな試料が観察されるようになり、最大強度が向上した。厚さ 40μm のフィルムでも最大強度の向上が見られるが、厚さ 25μm のフィルムほど顕著ではなかった。これらのことから、熱刃から与えられる熱量が増加するとシール強度は上昇するが、厚いフィルムほど熱量の増加に対するシール強度の変化が生じにくくなることが示唆される。一方シール強度のばらつきは、熱刃温度によってあまり変化しなかった。

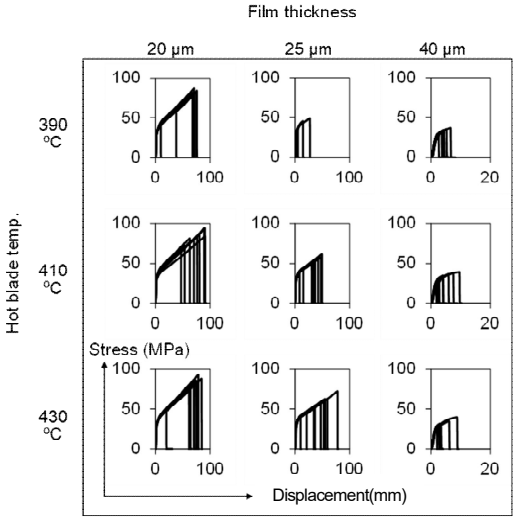


図 10　熱刃温度とフィルム厚みによる、サイドウェルドシール試料の応力-変位曲線の変化（Front 側）

図 11 にシール部の結晶度と熱刃温度の関係を示す。シール部の結晶度は熱刃温度にかかわらずほぼ一定であった。このため、図 10 に示した応力-変位曲線のばらつきはフィルムの厚みによらず、熱刃温度に対してほとんど影響されなかったものと考えられる。厚さ 20μm のフィルムのシール部結晶度は、厚さ 25, 40μm のフィルムに比べて低かった。これは図 7 に示したようなフィルムの結晶度が hK の増大に伴い減少する際の傾きが、フィルムによって異なっていることに由来すると考えられる。

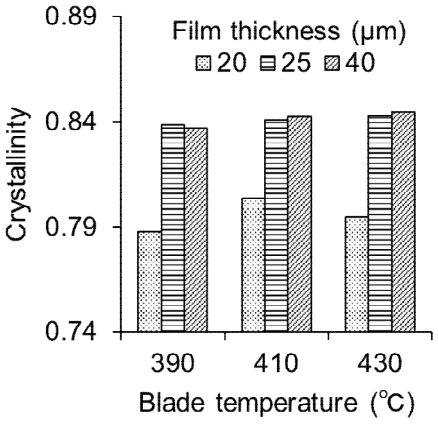


図 11　熱刃温度とシール部結晶度の関係（Front 側）

高結晶度のシール部は40MPa程度の強度が低い試料が多く見られ、図5にあるようなリバーパターンやフラットな界面といった、ぜい性破壊の痕跡が認められた。しかしながら、熱刃温度によって低強度試料の破壊状態はほとんど変化しなかった。このことから、フィルムの結晶度と*hK*の関係でシール部の結晶度が決まり、高結晶度のシール部が生じやすいフィルムでは、フィルム厚みが薄い場合は熱刃温度の増加でシール強度向上効果が見込めるが、シール部の急冷による結晶度の低減がシール強度の向上と安定化に有効であることが示唆される。

３．結言

結晶化速度の異なるBOPPフィルムで溶断シールによる袋を製造し、そのシール強度とフィルムの結晶化速度及びシール部の結晶度の関係を調べた。シール部の結晶度が高いほど低強度の試料が現れやすくなるために、平均強度のわずかな低下とCV値の増大が見られた。この原因はぜい性破壊しやすい高結晶度のシール部が、引張時のポアソン効果によって生じるトラフから生じる、ひずみ分布の不均一性の影響をうけているためであることを見いだした。冷却速度を上げることでシール部の結晶度を低下させられることを実験的に確認した。シール部のラメラ晶厚みは高結晶度になるほど増大しており、引張時にラメラ晶の変形が生じにくくなる結果、ぜい性破壊しやすくなることが示唆された。これらの結果は溶断シール製袋におけるシール強度の変動要因を明らかにするものであり、製袋装置の改良やフィルム開発といった産業利用の観点から極めて重要であると言える。

生産技術の観点から、熱刃温度がシール強度に与える影響を検討した結果、熱刃温度を上げることはシール強度改善に一定の効果があるが、フィルムの厚みや冷却特性によってはその効果は十分ではなく、シール部の冷却を併用することが有効な場合があることを明らかにした。この結果は溶断シール製袋の生産現場において科学的根拠に基づいたトラブルシューティングの実施につなげることができる、大変重要な知見である。

参考文献

1) Kishii T. : Opt. Laser Technol., 15, (1983) 253
2) Lanyi F. J. *et al.* : Polym. Test., 71, (2018) 49.
3) Lanyi F. J. *et al.* : Adv. Eng. Mater., 22, (2020) 1900796.
4) Nielsen A. S. *et al.* : Polymer, 43, (2002) 2671
5) Nitta K. and Yamaguchi N. : Polym. J., 38, (2006) 122
6) Moreira A. C. F. *et al.* : Polym. Eng. Sci. , 57, (2017) 52
7) Nicastro, L. C. *et al.* : J. Plast. Film Sheet, 9, (1993) 159
8) van der Wal A. *et al.* : Polymer, 39, (1998) 5477
9) Hashimoto H. : Theory and application of web handling, Converting Technical Institute: Tokyo,(2015)
10) Zhang X *et al.* : Polym. Int., 48, (1999) 1173
11) K. Horikawa *et al.*: J. Appl. Polym. Sci., 143, (2026) e70221

地域野菜ハマアザミの機能性を利用した製品開発研究

ハマアザミ（*Cirsium maritimum* Makino）のトゲ処理及び粉砕試験に関する研究報告書

鈴木 大進　岡﨑 由佳

Research on Product Development Utilizing the Functional Properties of the Local Vegetable '*Cirsium maritimum* Makino'

Report on Thorn Removal and Grinding Tests for *Cirsium maritimum* Makino

Masanobu SUZUKI　Yuka OKAZAKI

ハマアザミ（*Cirsium maritimum* Makino）は、高い健康機能性を有しているが、トゲに起因する加工時のハンドリング性の悪さが、産業利用における課題となっている。前処理によるトゲの軟化・除去効果の検証の結果、冷凍及び加熱蒸気処理等の特定の前処理がトゲの軟化に有効であることを確認した。また、冷凍試料の加水粉砕により、トゲの残存やざらつきを抑え、食味を飛躍的に向上させることを確認した。

１　はじめに

ハマアザミ（*Cirsium maritimum* Makino、図 1）は、別名ハマゴボウとも呼ばれ、西日本以西の海岸近傍に広く分布する植物である。高知県内でも広く自生しており、また、室戸地方では根茎部や若芽等を食用とすることから、高知県における地域野菜の一種と言える。



図 1　ハマアザミ

前報[1,2]までに、本植物の有する抗アレルギー効果や腸管免疫系への好影響、ならびに主要な機能性成分である cirsimaritin の同定など、健康機能性素材としての優位性を明らかにしてきた[1,2]。しかし、ハマアザミの葉部には非常に強固で鋭利なトゲが存在し、これが収穫時及び加工時におけるハンドリング性を著しく損なう要因となっている。産業的な一次加工及び食品への応用展開を推進するためには、効率的かつ安全にトゲを低減・除去する手法、あるいはトゲを感じさせない最適な粉砕手法の確立が不可欠である。そこで本報では、各種前処理によるトゲの制御試験、及びニューパワーミルを用いた実用的な粉砕加工試験を検討した結果を報告する。

２　実験材料と方法

２．１　実験材料

試験に供したハマアザミの葉及び茎は、高知県海洋深層水研究所敷地内より採集した。植物体は水道水による洗浄後、冷蔵、または冷凍保管し、適時裁断して実験に供した。また、乾燥植物体が必要な試験については、水道水洗浄した植物体を 40℃で 48 時間乾燥し、含水率 8%以下としたものを保存し、適時裁断して実験に供した。

２．２　トゲ除去・軟化の検討（トゲ試験）

ハマアザミの生葉及び乾燥葉を対象とし、以下の方法に従って前処理を行った。

(1)冷凍→解凍処理

4℃、-4℃、もしくは-20℃で 1 日以上静置後、常温にて解凍した。

(2)加熱処理

ホットプレート上（約 200℃）で 5 分、もしくは 15 分間震とう加熱、または電子レンジ（700W）で 300 秒間加熱処理を行った。各処理後、室温にて放冷または洗浄を行ったサンプルについて、複数名の評価者によりトゲの有無、触感及び痛みの軽減度合いを評価した。

(3)加熱蒸気処理

300mL ビーカーに 100mL の純水を入れた後、加熱し沸騰させたビーカー内に設置したザルに、植

物体を入れ密閉状態で 10 分間蒸気接触した。

(4)物理摩擦

ジップロック内に植物体と海砂 5g を封入し、1～5 分間振とう処理後に水で洗浄した。

(5)塩析

飽和食塩水に植物体を完全に浸し、半日浸漬、または食塩を直接まぶして静置後に水で洗浄した。

(6)水浸漬

水中に植物体を完全に浸し、3～6 時間静置した。

(7)火炙り

ガスバーナー上にてピンセットで保持した植物体を 3～5 秒間軽く振って処理した。

２．３　粉砕試験

植物体を水道水にて洗浄後、4℃冷蔵保存品及び-10℃冷凍保存品の 2 種の試料を用意し、各試料を 1～2cm 程度にハサミで細断して試験に供した。粉砕機器としてニューパワーミル（PM-2005）を使用した。植物体 50g を用いて、加水条件（水道水 50mL 添加）及び加水無しの比較を行った。軸回転数は低速（約 900rpm）、中速（約 8000rpm）、高速（約 15000rpm）の 3 段階とし、粉砕時間は 2 分間とした。処理後の試料について、外観、触感によるトゲの残存判定、及び食味（苦み・えぐみ）の評価を行った。

３　結果と考察

３．１　トゲ除去・軟化の検討（トゲ試験）

各種前処理を施したハマアザミ葉のトゲの状態について、外観観察及び指触確認により評価した。

(1)冷凍→解凍処理

乾燥葉ではすべて処理前と差がなかった。生葉では、－4℃冷凍物でかなりトゲ自体が軟化し、痛み軽減あり、－20℃では軽減効果が薄かった。これは、氷点の膨張率の差によるものと考えられる。

解凍物をさらに 45℃、2 日間乾燥させたサンプルでも、トゲの状況はそれほど変化はないものの、生葉の再乾燥物ではややトゲがマイルドになり、痛みがやや軽減した。乾燥葉の再乾燥物は、乾燥させたキムタオル上に葉の成分が浸出している様子が確認され、実用上問題があることが確認された。

(2)加熱処理

200℃、5 分処理では、生葉、乾燥葉ともにトゲの有無に差はなく、どちらの試料でも加熱により含水率が下がって同様の形態となった（図 2）。200℃、15 分処理では、乾燥葉でトゲが消失し、痛みはほぼなくなった。全体が脆くパラパラになってトゲが目立たなくなったと考えられる。ただしほぼ枯れ葉状に植物体が脆弱化し、トゲ以外への影響が多大であった。200℃、15 分処理の生葉でも、乾燥葉と同様に、トゲが比較的目立たなくなり、全体的に乾燥葉ほどではないものの、植物体が全体的に脆弱化することが確認された。



図 2　200℃、5 分加熱処理後のハマアザミ葉（左：生葉　右：乾燥葉）

(3)加熱蒸気処理

乾燥葉では、完全にトゲの感覚が消失した。トゲ自体は存在するが軟化していると考えられる。生葉では、コントロールである未処理の葉に比べてやや柔らかくなった印象だが、トゲはそこまで軟化しなかった。なお、生葉は処理による変色具合が大きく、さらに生葉の再乾燥物は、葉の部分がほぼ縮んでなくなり、トゲのみが残り悪化した（図 3）。



図 3　蒸気処理後のハマアザミ葉（左：生葉　中：乾燥葉　右：生葉再乾燥）

(4)物理摩擦

生葉ではほぼ未処理のコントロールと比べ変化がなかった。乾燥葉では、２～３分程度の振とう処理でほぼ葉先端のトゲが落ち、ほぼトゲによる痛みが消失した（図 4）。



図４　物理摩擦処理後のハマアザミ葉（左：生葉　右：乾燥葉）

(5)塩析

乾燥葉、生葉ともに、塩そのものをまぶした状態では未処理のコントロールと比較してほぼ変化がなかったが（図5）、飽和食塩水への漬け込みでは、生葉、乾燥葉ともに明らかにトゲ部分が軟化し、痛みが軽減されることを確認した（図6）。両サンプルともに、トゲ自体は消失せずに存在していたことから、再乾燥（45℃、2日）して再確認したところ、葉部が白変し、かつ縮んでおり、内容物が侵出したと考えられる（図7）。

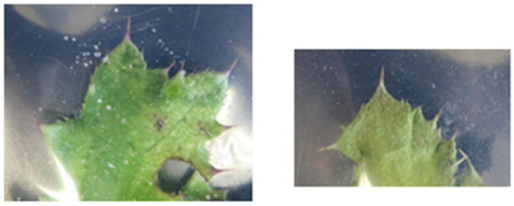


図５　塩漬け込み後のハマアザミ葉（左：生葉　右：乾燥葉）

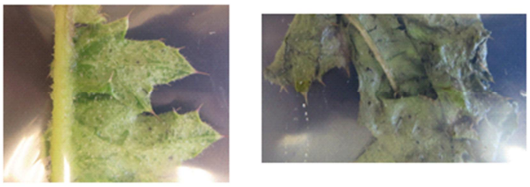


図６　飽和食塩水漬け込み後のハマアザミ葉（左：生葉　右：乾燥葉）



図７　食塩水漬け込み後、再乾燥したハマアザミ葉（左：生葉　右：乾燥葉）

(6)水浸漬

3時間浸漬では、生葉では未処理のコントロールと比較してほぼ差がなく、非常にトゲが目立ち痛みが強かった。乾燥葉では、トゲがやや軟化したが、痛みの程度はほぼ同程度であった。

6時間浸漬では、生葉、乾燥葉ともにあきらかにトゲが軟化し、痛みが軽減した（図8）。また、浸漬後に再乾燥（45℃、2日間）させた試料を比較した結果、生葉3時間浸漬の試料のみ、ややトゲが軟化していたが、未処理のコントロールと比較して明らかな差は確認できなかった。

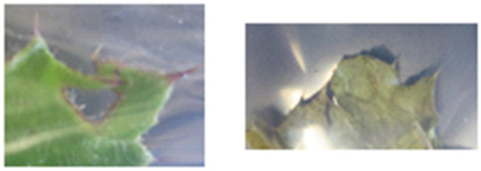


図８　水浸漬6時間後のハマアザミ葉（左：生葉　右：乾燥葉）

(7)火炙り

乾燥葉では完全に外縁のトゲが焼け落ちて消失した。ただし、乾燥葉は少し長くあぶると着火してしまうため、調整が困難であった。生葉でも、ある程度トゲの先端部が潰れ、痛みは軽減されていることを確認したが、こちらも長時間の暴露が困難で、時間調整が困難であることから、産業的なトゲの処理への適用は困難と考えられる。

それぞれの処理方法における評価結果をまとめたものを表1に示す。痛みの軽減については、軽減効果があったものを○、やや効果が見られたものを△、痛み軽減効果のなかったものを×とした。また、葉体への影響として、処理後に葉体の変化がなかったものを○、変色や脆弱化などのマイナス影響がやや見られたものを△、葉体が処理によって完全に変質してしまったものを×として評価した。

今回の評価では、葉体に大きな影響を与えず、かつ痛みを軽減できた処理方法は、生葉における冷凍→解凍処理、もしくは乾燥葉における加熱蒸気処理のみであった。その他の処理方法では全体的に、処理によるトゲの形態変化に伴って痛みが軽減されても、トゲ自体の消失のみならず葉体自体に影響が出るケースが多かった。

３．２　粉砕試験

各条件における粉砕加工試験後の写真を図9～12に示す。

冷蔵試料を用い、加水を行わなかった条件（図

表１　処理方法による評価結果まとめ

生葉	冷凍	加熱	加熱蒸気	物理摩擦	塩析	水浸漬	火炙り
トゲの外観	変化なし	消失	変化なし	消失	変化なし	変化なし	消失
痛みの軽減	○	○	△	×	○	×	○
葉体の状態	○	×	×	○	×	○	×

乾燥葉	冷凍	加熱	加熱蒸気	物理摩擦	塩析	水浸漬	火炙り
トゲの外観	変化なし	消失	変化なし	消失	変化なし	変化なし	消失
痛みの軽減	×	○	○	○	○	×	○
葉体の状態	×	×	○	△	×	○	×

9）では、高速条件でも破砕が終了しなかった。最終的に、加水及びミキサー処理することにより粉砕自体は完了したものの、微細な残留物が残存し、ざらつきが感じられた。食味・官能評価では、かなり強い苦みとエグ味が目立つ結果となった。同様に、加水ありで冷蔵試料を粉砕した条件（図 10）では、高速条件で粉砕自体は完了するものの、やはりざらつきが感じられる結果となり、官能評価の結果も苦み、エグ味が残る結果となった。

冷凍試料を用い、加水を行わなかった条件（図 11）では、冷蔵試料と同様に、加水がないため高速条件でも十分に粉砕が完了しなかった。ただし、トゲ自体は中速条件以上でほぼ消失していることも確認された。十分に粉砕が完了しなかったため、官能評価は困難であった。

最後に、冷凍試料に加水を行った条件（図 12）では、高速条件で完全に粉砕が完了し、残存物がほぼなく、他の条件で見られたざらつきもほぼ解消された。官能評価では、苦みが他の条件に比べて大幅に少なく、エグ味もほぼ無く、かすかに甘みを感じる良好な食味となった。



図 9　冷蔵試料＋加水無し条件（左：低速処理　中：中速処理　右：高速処理）



図 10　冷蔵試料＋加水有り条件（左：低速処理　中：中速処理　右：高速処理）



図 11　冷凍試料＋加水無し条件（左：低速処理　中：中速処理　右：高速処理）



図 12　冷凍試料＋加水有り条件（左：低速処理　中：中速処理　右：高速処理）

上記の結果から、粉砕処理においては、単に機械的な回転数を上げるだけでは粉砕には不十分で、試料の冷凍とある程度の加水の組み合わせが重要であることが確認できた。また、4℃冷蔵品では高速粉砕を行っても特有の強い苦みやエグ味が現れるのに対し、−10℃冷凍品での粉砕物では、苦み・えぐみが低減することが明らかとなった。これは、粉砕開始時に冷凍で低温状態で粉砕が開始することにより、粉砕中の温度上昇が比較的マイルドになり、また細胞が凍結した状態で粉砕が行われることで、結果的に植物体の内容成分の溶出が比較的少なくなったことが原因として考えられる。これらの結果は、今後のハマアザミの食品や飲料等への応用展開において、有利な知見であると考えられる。

４　まとめ

本研究では、ハマアザミの産業利用における障壁である「トゲによるハンドリング性」の改善について、前処理及び粉砕技術の両面からアプロー

チした。前処理としては、生葉に対する冷凍（-4℃）や乾燥葉に対する加熱蒸気処理がトゲの軟化に有効であった。さらに加工においては、原料を一度冷凍（-10℃）した上で、加水粉砕することにより、トゲに由来する口当たりのざらつきを完全に排除できることが確認された。加えて、この冷凍粉砕工程は、ハマアザミ特有の強い苦みやえぐみを抑制し、かすかな甘みを引き出すなど、風味面での改善効果をもたらすことが判明した。今後は、本加工プロセスを用いた食品・飲料への配合試験やさらなる加工方法の検討、及び加工方法の差異による機能性成分の含有量変化等を分析することにより、ハマアザミの産業利用の検討を進めてゆきたい。

参考文献

1）鈴木大進ほか：令和5年度高知県工業技術センター研究報告，55，（2024）15-22）
2）鈴木大進ほか：平成29年度高知県工業技術センター研究報告，49，（2018）37-43）

繊維配合樹脂の物性について（第１報）

鶴田　望

Research on the physical properties of fiber-reinforced resins (Part I)

Nozomu TSURUTA

耐衝撃性樹脂の強度を向上させるためにセルロースの短繊維を配合し、強度の変化や破壊の形態を比較した。引張試験のような静的破壊においては、樹脂が応力に応じて引き延ばされ、耐衝撃性樹脂の挙動が支配的であったが、衝撃試験のような動的破壊においては、挙動が異なっていた。それぞれの試料の動的粘弾性を評価したところ、損失弾性率、貯蔵弾性率に差を生じており、材料としての性質が異なっていた。

１　はじめに

高分子の物理強度の向上には、母材に対しゴム成分のようなエネルギーを吸収する成分を添加したり、ガラス繊維のような繊維軸方向に高い強度を示す物質を配合して強度を発現する手法がある[1)]。

今回、母材としての耐衝撃性を活かしつつ、強度向上が見込めるかを踏まえて、耐衝撃性の母材に繊維物を配合した場合、どのような挙動を示すかを観察した。

２　実験方法（試作）

セルロース繊維をクロスビーターミルで粉砕し、フィルター0.5㎜を通過したものを配合用繊維として使用した。耐衝撃用PP((株)プライムポリマー製、J-466HP)に15%、30%、55%配合して、ラボプラストミル((株)東洋精機製作所製)で混合し、ペレットとして回収した。各試料は、射出成形機(日精樹脂工業(株))でダンベル試験に成形した。J-466HP単体(以下ニート材)も同様に成形し、物性測定に使用した。

引張試験は、オートグラフ((株)島津製作所　AG-50kNISD MS形)を使用し、引張速度1㎜/minで試験を行った。衝撃試験は、(株)東洋精機製作所製衝撃試験機(IT型)を使用し、ハンマー容量0.5Jでシャルピー試験を行った。

３　結果

引張試験の結果として、図１に試験片の変形状況、図２に荷重変位曲線を示す。

繊維を配合していないニート材は、図１(a)のようにネッキングを生じており、このネッキング部分が伸びていくことで応力を担っている。繊維を配合した試料(以下Fb材)は、図２に示すように配合率が上昇するにつれ、伸びが減少し、破壊に至っている。

ただし、引張による変形は、ダンベル型試料の平行部分が均一に伸びており、局所的な変形によるものではないと思われる。

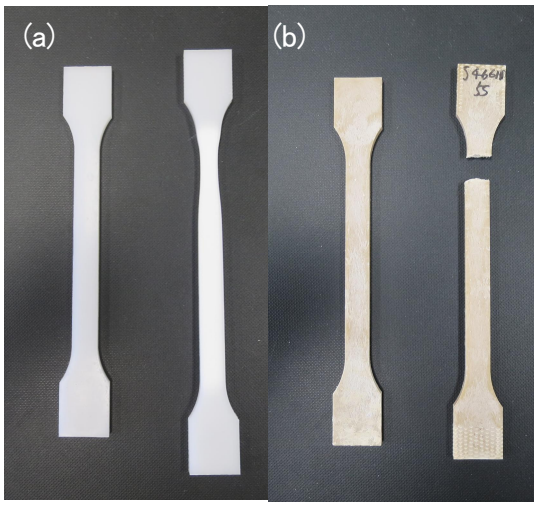


図１　引張試験に供した試験体
(a)耐衝撃性PP（ニート材）
(b)繊維を55%配合した試料（Fb材）

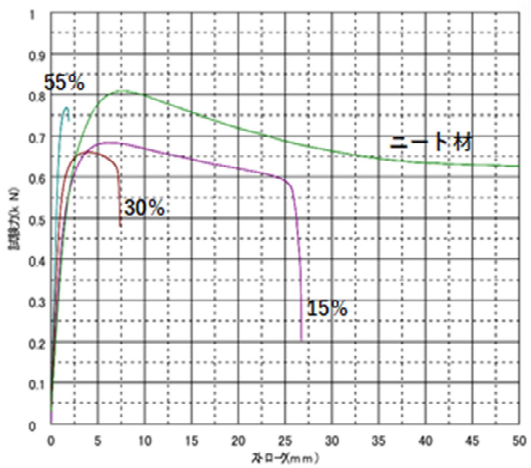


図２　各試料の荷重変位曲線

各試験片の衝撃試験後の状態を図３に示す。ニート材は破断せず、ノッチ先端部が白化した状態になっているが、Fb 材の場合は、衝撃を吸収せず、破断に至っている。

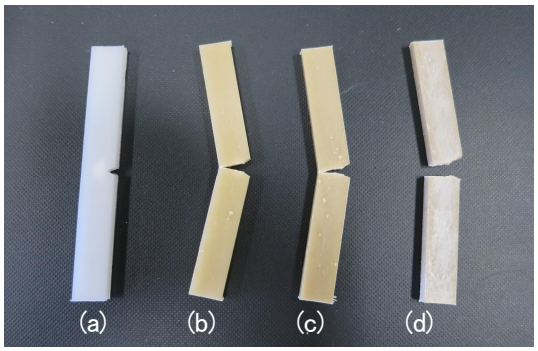


図３　各試料の衝劇試験片（試験後）
(a)ニート材、(b)Fb15%材、(c)Fb30%材、(d)Fb55%材

表１　各試験片の衝撃強度

	ニート	Fb15	Fb30	Fb55
シャルピー	15.550	8.894	7.333	4.894

単位：kJ/㎡

４　追加の検証と結果

衝撃試験での破壊挙動が異なっていたため、ニート材と Fb 材（配合率 55%）の動的粘弾性を測定した。動的粘弾性は、動的粘弾性測定装置（パーキンエルマージャパン(合)製、DMA8000）を使用し、昇温速度 10℃/min で 160℃までの条件で測定した。各試料の貯蔵弾性率と損失弾性率を図４に示す。ニート材と Fb 材とでは、両弾性率に差があり、Fb 材のほうが剛直であることが示唆された。

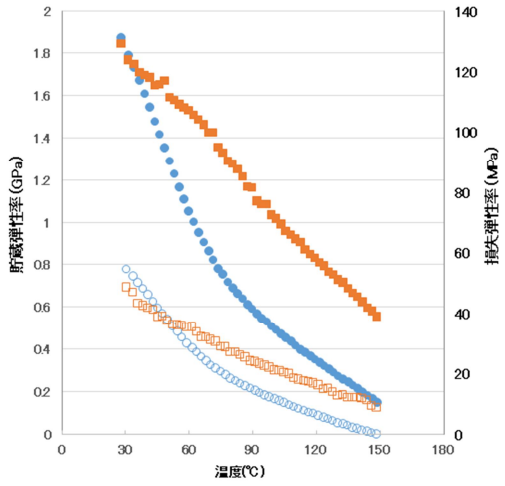


図４　ニート材と Fb 材(55%)の貯蔵弾性率と損失弾性率の違い
ニート材の貯蔵弾性率(○)、損失弾性率(□)
Fb 材の貯蔵弾性率(●)、損失弾性率(■)

５　考察

プラスチックの破壊挙動は、静的破壊と動的破壊の２つに分けることができる。静的破壊の挙動は、高分子鎖がゆっくりとほどけて応力方向に配向し、ほどく高分子鎖がなくなると破壊に至る。それに対し、動的破壊は、瞬間的に荷重がが加わわることで、高分子鎖がほどけることなく、主鎖結合が直接切断される破壊である。[2)]

本研究で用いたニート材は、PP の耐衝撃性を補うためにゴム成分（エチレンプロピレンゴムなど）をミクロレベルで相分散させた「海島構造」を利用しており、瞬間的な衝撃を受けても、そのエネルギーを吸収・転移できる組成である。つまり、荷重が集中するノッチ先端において、ゴム粒子が変形してエネルギーを吸収・分散し、き裂の進展を防ぐことで高い強靭性を発揮する。

一方、Fb 材は、繊維を配合したことによって、配合する繊維の大きさが構造欠陥となったり、高分子鎖が繊維に拘束されることで、PP 本来の柔軟性が失われるとともにエネルギー吸収性が低下することが示された。

このことから、ニート材は、静的破壊プロセスが支配的であるのに対し、Fb 材の方は、動的破壊プロセスが支配的であると言える。

６　まとめ

引張試験では、どの試料であっても母材は、伸展しており、静的な分子挙動は示すものの、動的な破壊時の挙動はニート材と Fb 材では大きく異なった。Fb 材であっても母材のエネルギー吸収、転移機能を活かすことができるかと考えていたが、配合した繊維の母材樹脂への影響が大きく、瞬間的なエネルギー吸収性が失われていると示唆される。また、母材である PP に対し、繊維が構造的欠陥として機能していると考えられる。

参考文献

1)　藤木榮、萩原利哉：100 事例でわかるプラスチック材料の破壊・破断面の見方，日刊工業新聞社，(2015) 10

2)　大石不二夫、成沢郁夫：プラスチック材料の寿命，日刊工業新聞社，(1987) 148

UV 検出器を用いた燃焼-イオンクロマトグラフ法による海藻中のヨウ素の定量

隅田 隆

Determination of Iodine in Seaweed by Combustion Ion Chromatography with UV Detection

Takashi SUMIDA

海藻中のヨウ素をUV検出器を用いた燃焼-イオンクロマトグラフ法で定量した。ヨウ素測定の妨害となる硫酸イオンがUV検出器を用いることで影響を受けずに測定可能となった。UV検出器のヨウ素測定の最適波長は226nmだった。実試料としての青のり、わかめ、昆布の測定において、ヨウ化物標準溶液添加回収率は95%以上と良好な結果を得た。

1 はじめに

ヨウ素は生体内の甲状腺ホルモンに多く含まれており、正常な心身の発達に欠かせない成分の一つである。その一方で、過剰の摂取では甲状腺機能低下が報告されている[1)2)]。我が国でのヨウ素の耐容上限量は3,000μg/day[1)]であるのに対し、米国では1,100μg/day[3)]、欧州では600μg/day[4)]と、より低い値が設定されている。海藻類はヨウ素を比較的多く含むことから、海外への輸出に際してヨウ素含有量の把握が求められる場合があり、当センターにも分析に関する相談が寄せられている。

固体試料のハロゲンの定量は、試料の前処理を行い水溶液として、イオンクロマトグラフ、滴定、分光光度計、ICP発光分析装置等で測定する方法がある。当センターにおいては、以前より試料を燃焼後、その発生するガスを吸収液に吸着させてイオンクロマトグラフでの測定を実施している[5)6)]。

しかしながら、海藻類には、塩素や硫黄などの無機成分が多量に含まれているため、イオンクロマトグラフでは電気伝導度検出において、硫酸イオンのピークがヨウ化物イオンのピークと接近し、定量を妨害することが懸念される。一方、硫酸イオンは紫外域(280nm以下)における吸収が小さいことから、UV検出器を用いることでこの影響を低減できると考えた。

そこで、本研究では、紫外線検出器を用いての燃焼-イオンクロマトグラフ装置による海藻中のヨウ素の定量を検討したので報告する。

2 実験方法

2．1 測定装置及び試薬

ヨウ素の測定には、燃焼イオンクロマトグラフ装置(日東精工アナリテック(株)/サーモフィッシャーサイエンス(株)製 AQF-2100H-ICS1600)、UV検出器(サーモフィッシャーサイエンス(株)製 DIONEX UWD)を用いた。紫外域測定での最適波長は、分光光度計((株)島津製作所製 UV-1800)で求めた。燃焼-イオンクロマトグラフ装置での測定条件を表1に示す。

表1 燃焼-イオンクロマトグラフ装置測定条件

燃焼部	
分解温度	1,000℃
吸収液	40mM KOH、900mg/L H_2O_2
吸収液量	5mL
イオンクロマトグラフ	
検出器	UV
カラム	IonPacAS22
溶離液	4.5mM Na_2CO_3、 1mM $NaHCO_3$
流量	1.2mL/min
注入量	25μL

2．2 試薬及び試料

試験に用いたヨウ化物イオン標準溶液は、ヨウ化カリウム(富士フィルム和光純薬、特級)を精製水で溶解し調製し[7)]、検量線(0.1mg/L～10mg/L)を作成することでヨウ素量濃度を算出した。また、陰イオン混合標準溶液(IV)(関東化学)を用い紫外域での各種陰イオンの吸収を調べた。混合陰イオン標準液では、フッ化物イオン(5mg/L)、塩化物イオン(10mg/L)、亜硝酸イオン(15mg/L)、臭化物イオン(10mg/L)、硝酸イオン(30mg/L)、リン酸イオン(30mg/L)、硫酸イオン(40mg/L)の7種のイオンが含まれている。海藻類の試料として、市販している青のり、わかめ、昆布を用いた。

３　結果と考察

３．１　電気伝導度 vs. UV 検出器

図１に海藻試料のヨウ素を電気伝導度の検出器で測定した時のイオンクロマトグラムを示す。図１より、試料に含まれるリテンションタイム 10.5 分の硫酸イオンと 11.2 分のヨウ化物イオンのピークとの重なりがみられ、ヨウ化物イオンの定量が難しいことがわかる。図２に混合陰イオン標準溶液にヨウ化物イオン標準溶液(10mg/L)を添加したものを UV 検出器で測定した結果を示す。図２より、フッ化物、塩化物、リン酸、硫酸の各イオンについては UV 検出器による応答がほとんど認められなかった。一方、亜硝酸、臭化物、硝酸及びヨウ化物の各イオンではピークが検出された。この要因としては、フッ化物、塩化物の各イオンは電気陰性度が高く、電子を強く引きつけて放さない閉殻構造であり、リン酸、硫酸の各イオンは構造的に分子の対象性が高いため電子が安定化しており、励起（吸光）するためには高いエレルギーを要するためと考えられる。この結果から、本測定条件では UV 検出器を用いることにより、電気伝導度検出でヨウ化物イオンの定量を妨害した硫酸イオンの影響を低減できることが確認された。

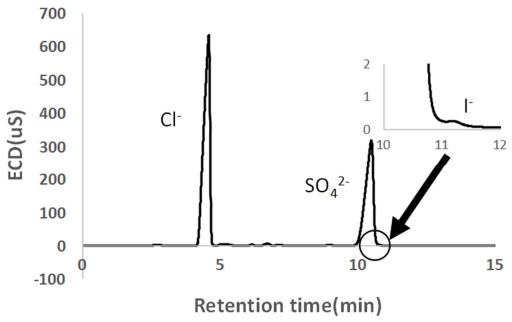


図１　海藻試料の燃焼-イオンクロマトグラフ装置(電気伝導度検出器)による測定結果

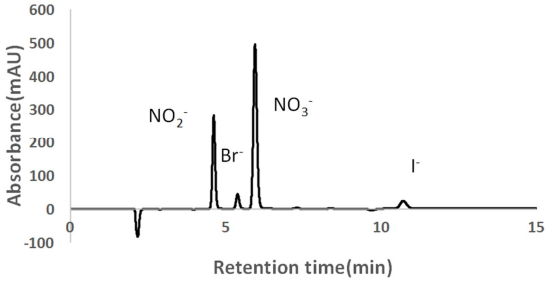


図２　紫外域(210nm)での検出イオン

３．２　UV 検出波長の検討

分光光度計を用いてヨウ化物イオン標準溶液 10mg/L の 200nm～260nm における吸収スペクトルを測定した。その結果、図３に示すように 226nm 付近吸収極大が認められた。このことより、UV 検出器の測定波長を 226nm とすることとした。

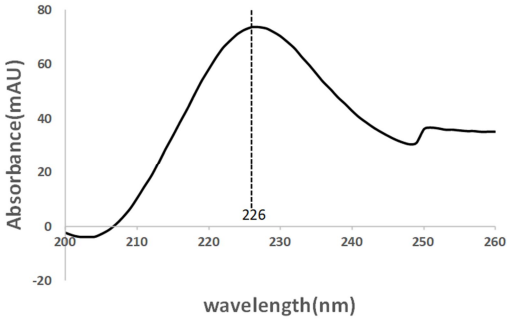


図３　紫外域での波長に対する吸光スキャン

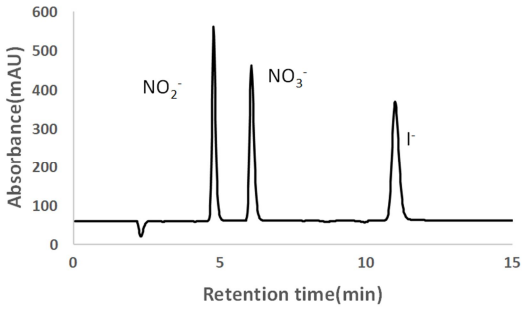


図４　紫外域(226nm)での検出イオン

また、測定波長 226nm での混合陰イオン標準溶液及びヨウ化物イオン標準溶液(10mg/L)を測定した結果を図４に示す。硫酸イオンに関しては、ピークが認められずヨウ化物イオンの定量には影響を受けないことが確認できた。その他のイオンに関しては、図２の検出ピークと比較して臭化物イオンでの検出が認められなかった。これは、210nm の波長で見られた吸収帯が 226nm に波長が移動することで吸収帯域が外れたものと考えられる[8]。

３．３　実試料への適用

表２に青のり、わかめ、昆布の実試料中のヨウ素測定結果を示す。同時に、ヨウ化物標準溶液を添加しての回収率を表した。各試料とも添加回収率が 95%～99%となり良好な結果を得ることができ、海藻類の測定では UV 検出器を用いた燃焼-イオンクロマトグラフ法が有効であった。

また、海藻試料の測定後には燃焼管の白濁（失透）が認められた。海藻類にはアルカリ金属やアルカリ

土類金属等の無機成分が多く含まれることから、これらの成分が失透に関与していることが考えられる。多数の試料を連続して測定する場合では、燃焼管の劣化や破損に注意する必要がある。

表 2 海藻試料の測定結果

試料	結果 (mg/kg)	添加回収率 (%)
青のり	57.9	98
わかめ	56.7	99
昆布	1920	95

結果は 3 回測定の平均値を示す。添加回収率は各試料に 50mg/L ヨウ素標準溶液を用いてヨウ素として 5μg 添加することで求めた。

4 まとめ

UV 検出器を用いた燃焼-イオンクロマトグラフ法による海藻中のヨウ素を定量について検討した。電気伝導度検出では硫酸イオンヨウ素イオンのピークが接近し、ヨウ素イオンの定量が困難であった。一方、UV 検出では硫酸イオンの応答がほとんど認められず、ヨウ素イオンのピークを明瞭に検出することができた。ヨウ素イオン標準溶液の吸収スペクトルを測定した結果、226nm 付近に吸収極大がみとめられたことから、測定波長を 226nm とした。

青のり、わかめ及び昆布に本法を適用した結果、ヨウ素標準溶液添加回収率は 95～99%であり、今回の検討した 3 試料について本法によるヨウ素定量が可能であることを確認した。

一方、海藻試料の測定後には燃焼管の失透が認められた。海藻類には多く含まれる幹成分が関与している可能性があり、多数の試料を測定する場合には燃焼管の劣化に注意する必要がある。

参考文献

1) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準(2025 年版) 策定検討会報告書, (2025) 313-318
2) Angela M Leung, Lewis E Braverman：*Current Opinion in Endocrinology*, 19(5)(2012) 414-419
3) Institute of Medicine.: Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. National Academies Press Washington D.C.(2001) 258-289
4) European Food Safety Authority:Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals, (2006) 135-150
5) 森田康子、 岡崎由香、 川北浩久、 隅田 隆：分析化学, 61,5,(2012)367-370
6) 隅田 隆 (分担執筆)：キャピラリー電気泳動法・イオンクロマトグラフィーの分析テクニック, 技術情報協会, 7(1),(2023) 393-399
7) 日本産業規格：JIS K0102-2 工業用水/工場排水試験法-ヨウ化物イオン, 日本規格協会, (2022) 26-31
8) Mingzhang Lin, Pierre Archirel, Nguyen Thi Van-Oanh, Yusa Muroya, Haiying Fu, Yu Yan, Ryuji Nagaishi, Yuta Kumagai, Yosuke Katsumura, Mehran Mostafavi: J. Phys. Chem. A, 115(2011) 4241-4247

カーボンニュートラルセミナー開催報告

竹内宏太郎　　瀧石 朋大　　山下 実

Report on Holding the Carbon Neutral Seminar

Kotaro TAKEUCHI　Tomohiro TAKIISHI*　Minoru YAMASHITA

1　はじめに

高知県では脱炭素社会推進アクションプラン（第Ⅱ期）を策定し、各分野における脱炭素化を目指した取り組み（以下「グリーン化」という。）を支援している。工業技術センターでは、令和２年度のプラスチック代替素材利用促進分科会における活動を皮切りに、県内製造業におけるグリーン化を支援してきた。

令和７年度は「環境技術開発支援事業」において、県内製造業のグリーン化を促すため、カーボンニュートラルセミナーを実施したので報告する。

2　カーボンニュートラルセミナー開催の背景

国内においてカーボンニュートラルを目指す様々な取り組みが進められている。そうした中、当センターでは、これまで開催してきた製造業向けセミナーや研究会にはのべ760名が参加し、カーボンニュートラルに関する認知度や関心の高さが示されているものの、一般財団法人省エネルギーセンターが実施する『省エネ最適化診断』を利用するなどの具体的な取り組みや行動に移す意識が十分に高まっていない。

こうした状況を踏まえ、県内製造業向けに足下の省エネからカーボンニュートラルにつながるツールを紹介した。また、省エネに資する設備投資等の支援策を併せて紹介することで、カーボンニュートラルを意識した県内製造業の省エネの取り組みや行動に結びつけられるよう後押しするセミナーを開催した。

3　セミナー概要

セミナーは、第１回を令和７年６月26日に、第２回を令和８年２月６日に、第３回を令和８年３月10日に開催した。

第１回は「製造業向け省エネから始めるカーボンニュートラル」、第２回は「製造業のためのカーボンニュートラル入門～省エネ実践と活用できる支援メニュー～」と題して開催した。セミナーでは、独立行政法人中小企業基盤整備機構四国本部及び一般財団法人省エネルギーセンターから講師を招き、カーボンニュートラルを取り巻く国内外の動向や、中小企業が脱炭素に取り組む意義を解説した。

また、国等の各種支援策を紹介するとともに、現場の省エネ推進を支援する「省エネ最適化診断」について、製造業における具体的な診断事例を交えて紹介した（図１）。



図１　第１回セミナーの様子

第３回は、「川上から川下まで徹底サポート！確実なカーボンニュートラルプロセスを実現する実践的支援」と題し、一般財団法人省エネルギーセンターが行っている、実践的なカーボンニュートラルソリューションプログラムを具体事例とともに紹介したセミナーを開催した（図２）。



図２　第３回セミナーの様子

４　おわりに

当センターでは、こうしたセミナーによる情報提供のほか、「カロリーメーターを用いた発熱量測定セミナー」を開催し、実際に装置を使用した具体的な測定や活用方法を紹介し、カーボンニュートラルに資する装置の利用促進や技術普及を図っている。

加えて、環境負荷の低減に資する製品や技術の開発に関する技術相談や技術支援も行っているため、関心がある方は 当センターまでお気軽にお問い合わせいただきたい。

令和７年度高知県工業技術センター報告第 57 号
令和８年 10 月 20 日　　発行

〒781-5101 高知市布師田 3992－3

編集兼
発行所　　高知県工業技術センター

Kochi Prefectural
Industrial Technology Center