

ISSN 2759-1573

研究報告

第28号 (2026.3)

Reports of Iwate Industrial Research Institute
No. 28



地方独立行政法人岩手県工業技術センター

地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告

第 28 号

－ 目 次 －

- 1 ねずみ鋳鉄とマルエージング鋼積層造形体の鋳ぐるみ接合部の
組織及び機械的性質…………… 1
高川貫仁 黒須信吾 岩清水康二 園田哲也 池浩之
- 2 可搬式長尺測長器の誤差低減に関する考察（プロービング誤差
と誤差マップピッチ間隔）…………… 8
和合健
- 3 3D 治具を活用した木材 CNC 加工技術の開発（第 2 報）…………… 13
内藤廉二、長嶋宏之、永山雅大
- 4 岩手県産木質チップのワインにおける浸漬条件の検討と
フレーバー成分の分析…………… 18
菊池祥、晴山聖一、伊藤菜々、及川和宏、佐藤稔英
- 5 岩手県産醸造用ブドウ有望品種のワイン醸造適性評価…………… 27
菊池祥、平野高広、山下佑子
- 6 自然環境中からのマルトース資化性酵母の分離と麦汁様培地
での発酵力の評価…………… 39
玉川英幸、太田睦
- 7 塩麴製品における米粒の青緑色変色の原因調査と再発防止策…………… 46
晴山聖一、本宮啓

【再録】

- 8 コールドスプレー法を利用した海洋生物付着防止表面処理
技術の開発..... 51
【溶射技術, 45(3), p.22-31 (2026)】
園田哲也、佐々木龍徳、佐々木俊
- 9 AI アクセラレータを利用した工具損傷診断のマルチモーダル
「その場」診断システム開発..... 56
【先端加工技術, 127, p.19 (2025)】
二瓶貴之

ねずみ鑄鉄とマルエージング鋼積層造形体の 鑄ぐるみ接合部の組織及び機械的性質*

高川貫仁**、黒須信吾***、岩清水康二***、園田哲也***、池浩之***

ねずみ鑄鉄とマルエージング鋼積層造形体の鑄ぐるみ基礎技術の確立を目的に、鑄ぐるみ接合部の組織及び機械的性質を調べた。その結果、接合界面近傍の鑄鉄の黒鉛組織はD型黒鉛であり、これは冷却速度の影響と考えられた。また、基地組織は、パーライト、マルテンサイト及びオースフェライトになっており、マルテンサイト及びオースフェライトの生成要因は、マルエージング鋼由来のNiの拡散の影響と考える。引張試験の結果、鑄鉄母材で破断し、引張強さは262 N/mm²でありJIS規格を満足する値であった。

キーワード：ねずみ鑄鉄、金属積層造形、鑄ぐるみ

Microstructure and Mechanical Properties of Cast-in Bonding between Gray Cast Iron and Additive-manufactured Maraging Steel Objects

TAKAGAWA Takahito, KUROSU Shingo, IWASHIMIZU Koji,
SONODA Testuya, IKE Hiroyuki

Key words: gray cast iron, additive-manufacturing, cast-in bonding

1 緒言

近年、低炭素社会の実現に向けて機械部品の軽量化や高機能化、多機能化が求められている。鑄鉄部品においても同様の要求が高まっており、大幅な特性向上には高機能部品や異種材料との複合化が有効な手法となる。一方、金属積層造形は、複雑形状の造形が得意であるが、大型化が難しいという課題がある。鑄造の鑄ぐるみ技術を活用して金属積層造形体と鑄鉄を複合化できれば、鑄鉄材料の大幅な付加価値の向上に寄与できるとともに、金属積層造形体の大型化という課題を補うことができる。

前報¹⁾では、ねずみ鑄鉄とマルエージング鋼積層造形体の鑄ぐるみ基礎技術の確立を目的に、接合性に及ぼす鑄鉄の注湯温度及び体積比、積層造形体形状の影響について調べ、接合性は溶湯温度が高いほど向上し、また積層造形体の形状を溶湯の流れを乱さない形状にすることで向上することが分かった。本研究では、接合界面近傍の組織観察を行い、マル

エージング鋼成分の拡散に伴う鑄鉄基地組織の変化について調査及び考察するとともに、機械的性質について評価した。

2 実験方法

2-1 鑄ぐるまれる試料の形状及び材質

鑄ぐるまれる試料には、マルエージング鋼積層造形体と炭素鋼(S45C)の2種類を用いた。積層造形粉末及び条件は前報¹⁾と同様であり、平均粒径(D50)35 μmのマルエージング鋼粉末を粉体床型レーザー照射式の金属粉末積層造形装置(TRAFAM, 要素技術研究機)により造形した。マルエージング鋼積層造形体及び炭素鋼(S45C)の固体発光分光分析による成分分析結果を表1に示す。積層造形体は18%Niマルエージング鋼であり、Cは0.01 mass%以下と低く、時効硬化元素としてMoを5 mass%、その他Ti及びAlを含有している。また析出強化相の析出促進作用としてCoも9 mass%含有している。炭素

* 令和6年度技術シーズ創生・発展研究事業(発展研究)

** 素形材プロセス技術部(現・DX推進特命部)

*** 素形材プロセス技術部

鋼 (S45C) は C、Si 及び Mn 以外の合金元素はほとんど含有しておらず、マルエージング鋼積層造形体を鑄ぐるみした試料との組織を比較するために実験に用いた。なお、18%Ni マルエージング鋼の融点は 1427 ~ 1454°C²⁾、S45C の液相線温度 T_L ³⁾ は計算上 1487°C である。

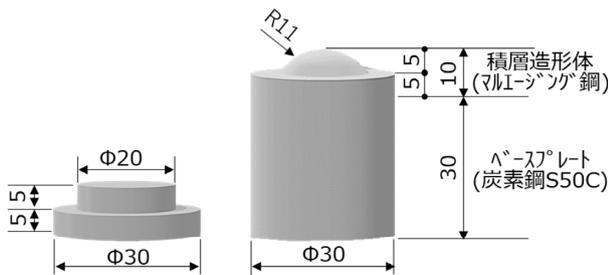
鑄ぐるまれる試料の形状及び寸法を図 1 に示す。図 1 (a) は異なる径の円柱を 2 段重ねた凸型形状であり、接合界面の組織観察用に用いた。図 1 (b) は引張試験用であり、前報の結果より凸型の上段を半球状にした方が接合性は向上したことから、上段を半球状にし、下段は引張試験時のつかみ部分を確保するために高さを 35 mm とした。ただし積層造形で造形した部分は上から 10 mm までの部分であり、下の 30 mm の部分は積層造形のベースプレート (炭素鋼 (S50C)) である。

2-2 鑄ぐるみ実験方法

鑄ぐるみの鑄造方案の概略図を図 2 に示す。図 2 (a) は組織観察用、図 2 (b) は引張試験用の試料を鑄

表 1 マルエージング鋼積層造形体及び炭素鋼 (S45C) の固体発光分光分析による成分分析結果 (mass%)

試料名	C	Si	Mn	Ni	Co	Mo	Ti	Al	Fe
マルエージング鋼積層造形体	0.01	0.05	0.05	17.6	9.0	4.9	0.8	0.2	残
炭素鋼(S45C)	0.44	0.12	0.70	0.03	-	0.01	0.01	-	残



(a) 組織観察用 (b) 引張試験用

図 1 鑄ぐるまれる試料の形状及び寸法 (mm)

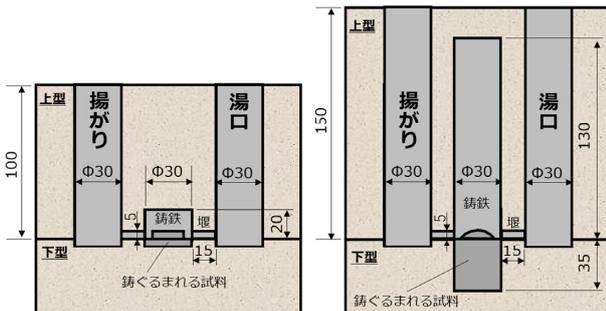


図 2 鑄ぐるみの鑄造方案概略図

ぐるむ鑄造方案である。いずれも、鑄ぐるまれる試料の下段を砂型に埋めて設置し、砂型から突出する上段が鑄鉄溶湯に鑄ぐるまれる。堰は板形状で、長さ 15 mm、幅 10 mm、高さ 5 mm である。鑄ぐるみ試料の鑄鉄部分の高さは、組織観察用は 20 mm、引張試験用は試験時のつかみ部分を確保するために 130 mm とした。鑄ぐるみ試料における鑄鉄と積層造形体の体積比は組織観察用では約 2.5、引張試験用では約 3.6 である。また、鑄ぐるまれる試料と接触した冷えた溶湯を吐き出すとともに、接触時間を長くするため、湯口の反対側に湯口と同じサイズの揚がりを設置した。

実験では、予め積層造形体を設置した CO₂ 鑄型に、高周波溶解炉で溶解した FC250 相当のねずみ鑄鉄溶湯を 1350°C ~ 1500°C で注湯し鑄ぐるみを行った。鑄鉄溶湯には注湯直前に Ba 系接種剤を 0.3 mass% 湯面添加した。鑄鉄の固体発光分光分析による成分分析結果を表 2 に示す。

組織観察用試料については試料中心を垂直方向に切断し、接合部断面の組織観察、マイクロビッカース硬さ試験及び SEM-EDS による元素分析を行った。基地組織の観察のための腐食液には 3 vol% ナイタルを用いた。マイクロビッカース硬さ試験の試験荷重は 100 g とした。引張試験用試料については、図 3 に示す引張試験片形状に加工し引張試験に供した。引張試験後、接合部断面の組織観察を行った。

表 2 ねずみ鑄鉄の固体発光分光分析による成分分析結果 (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Fe
3.1	1.9	0.8	0.04	0.07	残

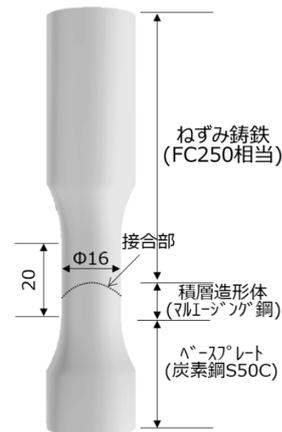


図 3 引張試験片の形状及び寸法

3 結果及び考察

3-1 铸ぐるみ接合界面近傍の組織観察結果

図 4 にマルエージング鋼積層造形体を铸ぐるみした試料の湯口側における接合界面近傍の組織写真を示す。黒鉛組織はいずれの温度においても D 型と呼ばれる共晶状黒鉛を呈していたが、温度によって形状が少し異なっていた。すなわち、1350°C 及び 1420°C では微細な黒鉛だけであったが、1500°C では若干長く成長した黒鉛も観察された。D 型黒鉛になる主な要因は冷却速度が速いためであり、過冷却により黒鉛が十分に成長できないまま共晶凝固するため、黒鉛は微細で初晶オーステナイト・デンドライトが目立った組織になる。過冷が小さい場合、黒鉛は十分に成長し長く伸びた A 型黒鉛になる。機械铸件部品の製造においては、同じ CE 値（炭素当量）であっても D 型黒鉛周辺の基地組織はフェライトになりやすいことから強度が低くなりやすく、A 型黒鉛がねずみ鑄鉄では最も望ましい黒鉛組織とされている⁴⁾⁵⁾。本実験において D 型黒鉛となった原因は、鑄鉄溶湯が常温の積層造形体と接触するこ

とにより冷却速度が速くなったためである。注湯温度が最も高い 1500°C では積層造形体の温度も上昇し、鑄鉄溶湯の冷却速度も若干遅くなり長い黒鉛も観察された。また、この冷却速度は初晶オーステナイト・デンドライトのサイズにも影響し、注湯温度が高くなるに従いデンドライトも大きく成長した。

図 5 にマルエージング鋼積層造形体を铸ぐるみした試料の中央部及び湯口側における接合界面近傍のナイタールで腐食させた組織写真を示す。中央部の界面近傍の鑄鉄側の基地組織は、注湯温度 1350°C 及び 1420°C ではパーライトであり、1500°C では界面から鑄鉄側に向かって細かい針状のマルテンサイト、マルテンサイト及びオースフェライトの混合組織であった。これに対して、湯口側の基地組織は、いずれの注湯温度においても界面にはマルテンサイト、次いでマルテンサイト及びオースフェライトの混合組織であった。また界面における帯状のパーライトやマルテンサイト部分には黒鉛組織は観察されなかった。

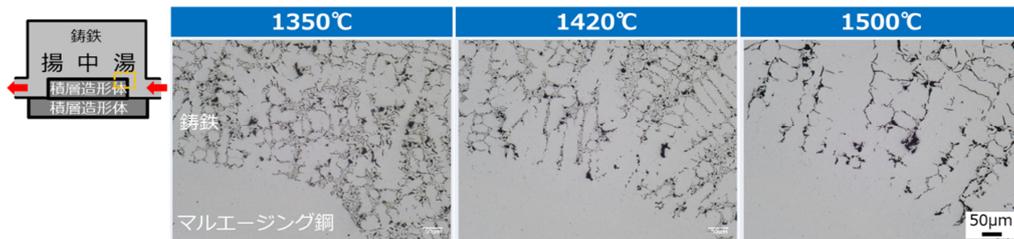


図 4 マルエージング鋼積層造形体を铸ぐるみした試料の中央部及び湯口側における接合界面近傍の組織写真

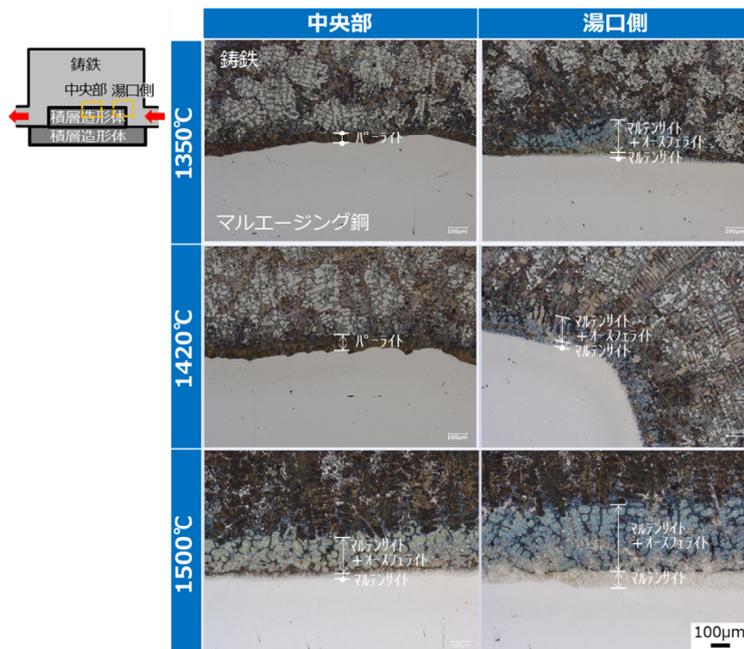


図 5 マルエージング鋼積層造形体を铸ぐるみした試料の中央部及び湯口側における接合界面近傍の組織写真 (ナイタール腐食)

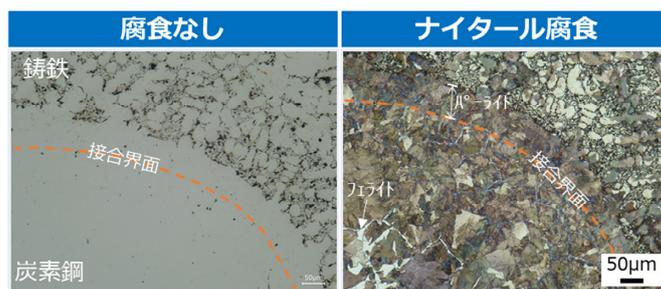


図6 炭素鋼を鑄ぐるみした試料の湯口側における接合界面近傍の組織写真（注湯温度 1420°C）

次に炭素鋼 (S45C) を注湯温度 1420°C で鑄ぐるみした試料の湯口側の接合界面近傍の組織写真を図6に示す。接合界面近傍の鑄鉄の黒鉛組織はD型黒鉛であり、これはマルエージング鋼積層造形体を鑄ぐるみした試料と同様に、冷却速度が速いことが原因と考えられる。基地組織はパーライトであり、接合界面に沿って帯状に観察され、またその帯状のパーライト部分には黒鉛は観察されなかった。炭素鋼の組織は接合界面から離れた場所では白いフェライトが観察されるが、界面近傍では全てパーライトとなっていた。これは鑄鉄中のCが炭素鋼側に拡散し、共析点（約0.8 mass% C）以上に浸炭され、鑄鉄側はC含有量が減少することにより黒鉛が晶出しなかったと考えられる。拡散接合は固相接合の場合に用いられるが、鑄ぐるみによる接合も拡散が支配的であるため、以降、鑄ぐるみ界面組織では、拡散と呼ぶこととする⁶⁾。

3-2 鑄ぐるみ接合界面近傍の元素分析及び硬さ試験結果

マルエージング鋼積層造形体を鑄ぐるみした試料の接合界面近傍の鑄鉄側の基地組織は「パーライト」及び「マルテンサイト及びオースフェライトの混合組織」の2パターンであった。そこで、基地組織が2パターン生じる要因を調べるために、それぞれの組織について元素分析を行った。また基地組織の機械的性質を調べるためにマイクロビッカース硬さ試験を行なった。その結果を図7及び図8に示す。また比較として炭素鋼の結果を図9に示す。なお、組織写真において黄色い点線で示した線上を硬さ試験及び元素分析を行った。

図7より、パーライト部分の硬さは300～390 HVであり、また鑄鉄側へのNiの拡散は確認され

なかった。一方、マルテンサイト及びオースフェライトの混合組織部分は、図8より硬さは300～650 HVと硬く、特に接合界面付近では組織観察結果からもマルテンサイトが主な組織になっていることが分かる。Ni含有量は接合界面では約7 mass%、界面から0.12 mm離れた場所でも3 mass%でありNiは広範囲に拡散していた。

炭素鋼を鑄ぐるみした界面近傍のパーライト部分の硬さは図9より300～390 HVでありマルエージング鋼積層造形体を鑄ぐるみした場合のパーライト部分の硬さとほぼ同じであった。

Niは鑄鉄の基地組織に影響を与える元素であり、4 mass%以下ではパーライト、ソルバイト及びオースフェライト、4～8 mass%でマルテンサイトが混在し、さらに14 mass%以上でオーステナイトが晶出するようになり、20 mass%以上で全オーステナイトになる³⁾⁷⁾。本実験においても、マルテンサイトが主の部分のNi含有量は7mass%であり、オースフェライトが主である部分のNi含有量は2～3%であった。このことから、マルエージング鋼積層造形体を鑄ぐるみした鑄鉄側の基地組織がマルテンサイト及びオースフェライトになった原因は積層造形体由来のNiの拡散によるものと考えられる。一方、パーライト部分はNiの拡散は確認されず、また炭素鋼を鑄ぐるみした試料もパーライトであり且つ鑄鉄側には黒鉛組織が観察されなかったことから、鑄鉄側から炭素鋼側にCが拡散しパーライトになったものと考えられる。

Niの拡散が進むに従い基地組織がパーライトからオースフェライト、マルテンサイトへと変化することから、基地組織からNiの拡散の度合い、つまり接合の度合いを知ることができる。

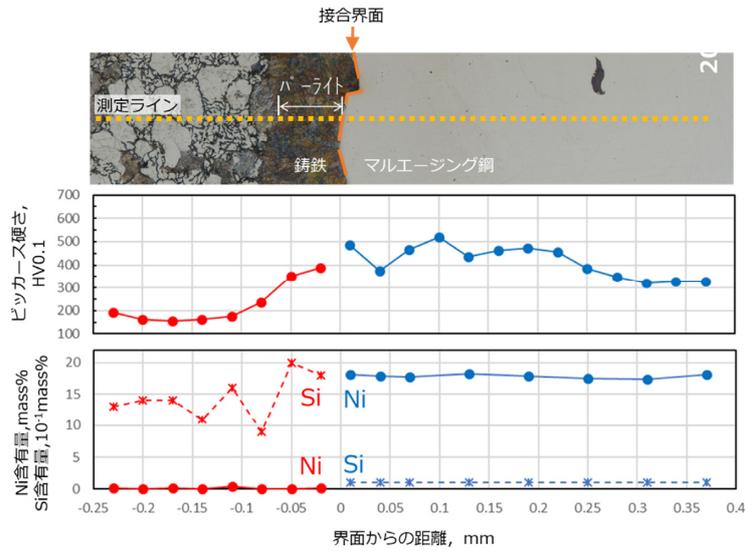


図 7 マルエージング鋼積層造形体を铸ぐるみした試料の接合界面におけるパーライト部近傍の元素分析及びマイクロピッカース硬さ試験結果 (注湯温度 1420°C)

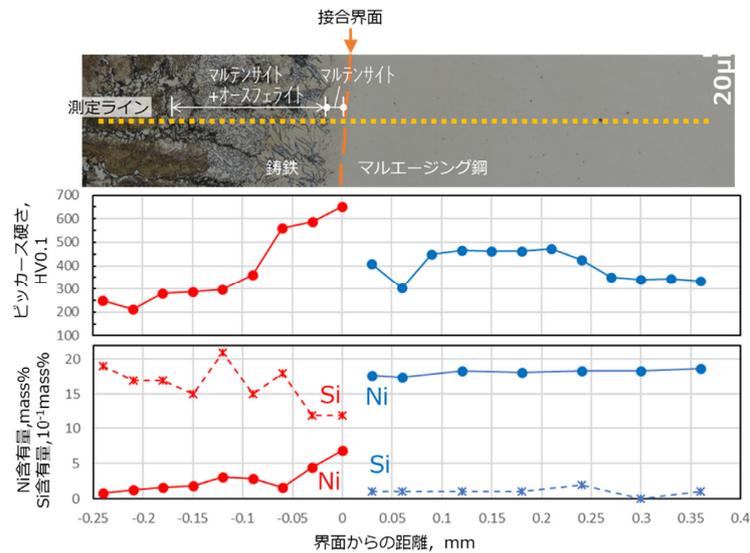


図 8 マルエージング鋼積層造形体を铸ぐるみした試料の接合界面におけるマルテンサイト及びオースフェライト部近傍の元素分析及びマイクロピッカース硬さ試験結果 (注湯温度 1420°C)

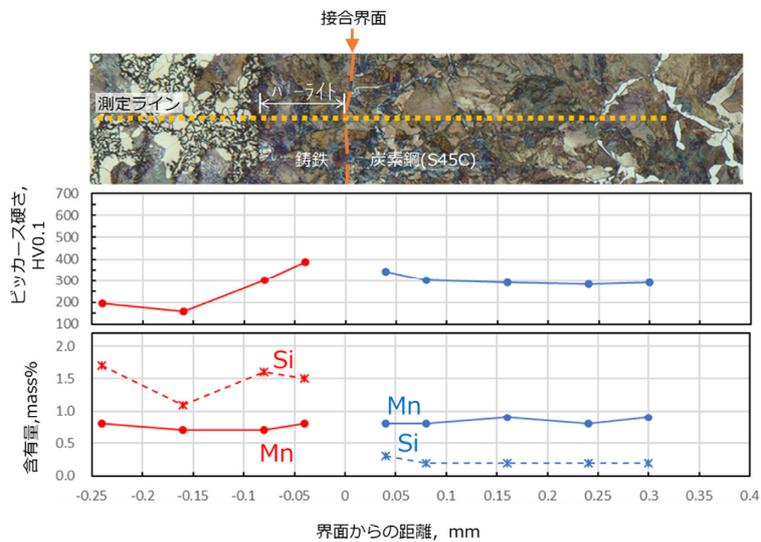


図 9 炭素鋼を铸ぐるみした試料の接合界面近傍の元素分析及びマイクロピッカース硬さ試験結果 (注湯温度 1420°C)

3-3 鋳ぐるみ材料の引張試験結果

マルエージング鋼積層造形体を注湯温度 1420°C において鋳ぐるみした試料の引張試験結果を表 3 に示す。破断は鋳鉄母材で生じ、接合部は鋳鉄母材以上の接合強さであった。引張強さは 262 N/mm² であり、目標材質 FC250 の JIS 規格 (引張強さ 250 N/mm² 以上) を満足する値であった。

図 10 に接合部近傍の組織写真を示す。黒鉛組織は D 型黒鉛であり、基地組織は中央部では接合界面から鋳鉄側に向かってマルテンサイト、オースフェライト、肩部ではパーライトも観察された。また肩部において接合界面から約 50 μm 以上離れた鋳鉄組織には遊離セメントイトが観察された。これは鋳ぐるまれる試料の体積が組織観察用試料に比較して増えたことにより注湯時の溶湯の冷却速度がより速くなったためと考えられる。

接合部近傍の黒鉛組織は D 型黒鉛であったが引張試験では接合界面では破断しなかった。これは基地組織がオースフェライトなどの硬い組織であったためと考えられる。ただし D 型黒鉛や遊離セメントイトの存在は靱性を損ない健全な組織とは言えないため、実用化の際は鋳造方案や接種などにより遊離セメントイトを晶出させない必要がある。

4 結 言

マルエージング鋼積層造形体を FC250 相当のねずみ鋳鉄で鋳ぐるみ、接合界面近傍の組織観察、元素分析及び引張試験等を行った。結果、以下のことが分かった。

- (1) 接合界面近傍の鋳鉄の黒鉛組織は D 型黒鉛であった。
- (2) 合界面近傍の鋳鉄側の基地組織は、パーライト、オースフェライト及びマルテンサイトであった。
- (3) パーライト部分からは Ni は検出されず、マルテンサイト及びオースフェライトの混合組織部分からは Ni の拡散が確認された。
- (4) 引張試験の結果、破断は鋳鉄母材で生じ、引張強さは 262 N/mm² であり、JIS 規格を満足する値であった。

表 3 鋳ぐるみ試料の引張試験結果

試料名	直径 (mm)	引張強さ (N/mm ²)
鋳ぐるみ材 (注湯温度1420°C)	16.0	262
本実験のFC250相当材	20.0	273
FC250 (JIS G 5501) 規格値	20.0	250以上

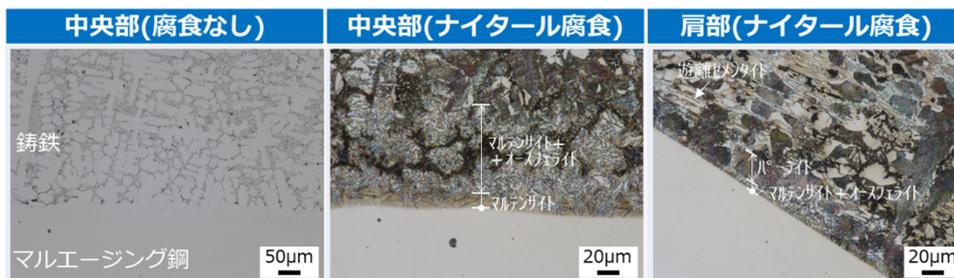


図 10 マルエージング鋼積層造形体を鋳ぐるみした試料の接合界面におけるパーライト部近傍の元素分析及びマイクロピッカース硬さ試験結果 (注湯温度 1420°C)

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、岩手大学大学院総合科学研究科の高島将大氏に多大な協力を頂きました。心から感謝申し上げます。

文 献

- 1) 高川貫仁, 黒須信吾, 園田哲也, 岩清水康二: ねずみ鋳鉄によるマルエージング鋼積層造形体の鋳ぐるみの接合性評価, 岩手県工業技術センター研究報告, 27, p.28-33 (2025)
- 2) 大和久重雄: マルエージング鋼, 日本金属学会会報, 3, p.719-728 (1964)
- 3) 社団法人日本鋳物協会 編: 鋳物便覧 改訂 3 版, 丸善 (1973)
- 4) 中江秀雄: 新版 鋳造工学, 産業図書 (2016)
- 5) 鋳鉄の生産技術教本編集部会 編: 鋳鉄の生産技術, 素形材センター (1993)
- 6) 堀川紀孝, 加野潤二, 伊藤高志, 野口徹: 一端面を接合面とする鋳鉄による軟鋼の鋳ぐるみ接合, 鋳造工学, 74, p.229-234 (2002)
- 7) 鋳造技術講座編集委員会 編: 特殊鋳鉄鋳物, 日刊工業新聞社 (1967)

可搬式長尺測長器の誤差低減に関する考察 (プロービング誤差と誤差マップピッチ間隔) *

和合健 **

可搬式長尺測長器は、自重による撓みによる測定誤差が課題となっている。この課題を解決できればゲージの線膨張係数の測定が行える。そこで本研究では、可搬式長尺測長器の測長誤差低減の方策としてプロービング誤差と誤差マップのピッチ間隔の対策に取り組んだ。その結果、ブロックゲージ 500 mm の測定で、測定数 $n = 18$ の平均値で標準値との差は -0.0085 mm、ばらつきは $\sigma 0.0033$ mm となり当初の問題点が改善され誤差が低減した。

キーワード：姿勢誤差、オフライン補正、プロービング誤差、誤差マップピッチ間隔、線膨張係数

Study on Reducing Deviation of Transportable type Long size Gauge Measuring Instrument

WAGO Takeshi

Key words: orientation error, offline compensation, probing deviation, pitch size of deviation map, CTE

1 緒言

半導体製造装置は大型化の傾向があり、その製造工程における部品段階の寸法検査では、長尺部品の測定に苦慮している。この場合の製品の寸法測定では、各メーカーから市販されているトラック式寸法測定器等を使用すれば良い。我々が開発している長尺測長器（以下、本器）は図1に示す一軸のみの測長器（測定範囲 3800 mm）で、図2のとおり筐体は鉄製アングル材と平板筋交で剛性を高め、図3のとおり目盛にレーザー干渉（レニショー、XL-80）を使用しているため温度補正により環境影響に頑健性が高い特長を有している。また可搬性を持たせるために軽量化に特化し、総重量は 110.4 kg であるが、筐体 (71.4 kg) と光学ベンチ等 (39.0 kg) に分解できる。本器の用途は、長尺標準器の寸法標準値と線膨張係数（以下、Coefficient of thermal expansion: CTE）の値付けである。長尺標準器の多くが軽量化のため筐体に CFRP、測定部は鋼材を使用するなど複数要素で構成されている。そのためこれらの標準器に

CTE を値付けするには、自ら実験により求める A タイプ¹⁾で直接個体を測定する必要があり、本器の高精度化を進めて来た²⁾⁻⁵⁾。本器で値付けした標準器を使用し、市販測定器での測定値に対して各種ドリフト誤差をユーザ補正で取り除くことで測定値の正確性が向上する。

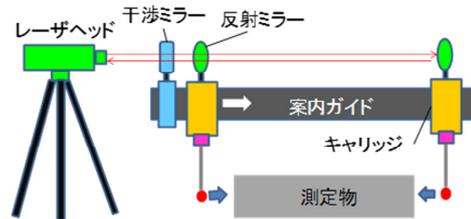


図1 装置構成



図2 筐体

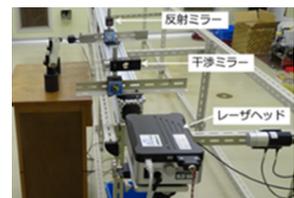


図3 レーザ干渉計の配置

* 令和5年度技術シーズ創生・発展研究事業（可能性調査研究）

** 素形材プロセス技術部（現・電子情報システム部）

これまで終了時点での長さ測定誤差として、CFRP 製端度標準器 (CB850, L=850 mm)³⁾ を測定した時の標準値との差が平均値 0.060 mm (n=5)、ばらつきは σ 0.027 mm (n=5) であった。本器は軽量化が必要であるため、通常の測長器とは異なる機構設計となったことに起因する問題点が発生している。以下に問題点と解決案を示す。主な問題点は、①キャリジ走行時の振動、②プロービング誤差、③誤差マップのピッチ間隔の3つである。①の対策として、すべり摩擦軸受による振動と長さ測定誤差の関係把握と転がり軸受への変更を実施し、案内方式に起因する誤差を取り除くことができた⁵⁾。本研究では、②と③について取り組んだ結果を報告する。

2 プロービング誤差 (問題点②)

キャリジが案内軸を移動するときの姿勢誤差補正は必須であり、補正することで誤差が低減できることを示した⁴⁾。姿勢誤差補正をレーザ干渉計制御プログラムに内挿するには制御プログラムのプログラムソースが公開されている必要があり、メーカーから提供された Renishaw SDK (Visual Basic6.0) と CARTO の二つの選択肢から、プログラムソースが公開されていた Renishaw SDK を選択して使用した。メーカーに確認した結果、Renishaw SDK のサン

プリング周期は 20 Hz (50 ms) でありプロービング速度に追従しない。一方で CARTO のサンプリング周期は 50 kHz (20 μ s) であり、十分にプロービング速度を上回ることが判明した。このことで、電気式トリガプローブ (TP1) から通電式タッチセンサ (PMC-20) に交換したことで測定誤差が大幅に低減した理由を明確にすることができた⁵⁾。つまり、図 4 のとおり方式 1 ではプロービングを微動ねじで測定部に接触させ、静止後にトリガスイッチを押す方式であるため、Renishaw SDK のサンプリング周期 20 Hz (50 ms) が排除されたが、測定誤差が作業者の技能に依存する問題点が残った。一方で方式 2 は単に測定物に当てるだけのプロービングであるため作業者の技能が測定誤差に関係しない。その結果、CARTO と電気式トリガプローブを組み合わせることでプロービング誤差が低減できることが分かった。

オフライン補正の模式図を図 5 に示す。プログラムソースが公開されていない CARTO を利用して姿勢誤差補正を行う方法は、CARTO での測定後に MS-Excel に測定値を入力して、VBA マクロにより姿勢誤差とワーク温度膨張を補正して最終結果を表示する方式とした。つまり、CARTO で測定を行い、次に手動で MS-Excel の Sheet1 に数値を入力する 2 工程での測定手順を要するが、測長器の必須制御である姿勢誤差補正とワーク温度膨張補正を与えることができた。



図 4 制御ソフトウェアとプローブ

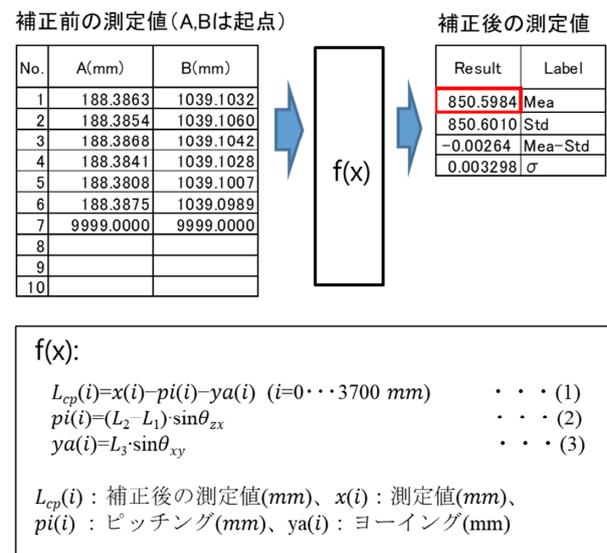


図 5 オフライン補正の模式図

3 誤差マップのピッチ間隔（問題点③）

最初に姿勢誤差補正の X 軸ピッチ間隔は 100 mm とし、測定範囲 0-3700 mm では測定点 37 点となった。100 mm 間隔で空白範囲が生じるが、その範囲は傾き一定の直線補間として計算した。しかしながらその空白範囲は推測域であるため、ピッチ間隔の影響を調べるためにピッチ 50 mm（測定点 74 点）とピッチ 10 mm（測定点 370 点）で誤差マップを作成して長さ測定誤差を比較した。

表 1 のとおり 3 水準のピッチ間隔で作成した誤差マップを利用して姿勢誤差補正を行い、標準器 CB850 を利用して長さ測定誤差（標準値との差）

表 1 ピッチの水準

	水準		
	1	2	3
ピッチ(mm)	100	50	10

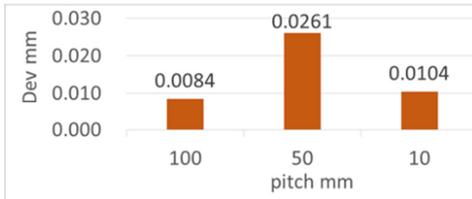


図 6 長さ測定誤差の平均値

を求めた。3 水準のピッチ間隔は水準 1 が 100 mm（測定点 37 点）、水準 2 が 50 mm（測定点 74 点）、水準 3 が 10 mm（測定点 370 点）である。その結果、長さ測定誤差の平均値は図 6 に示すとおり水準 1 の 100 mm で 0.0084 mm、水準 2 の 50 mm で 0.0261 mm、水準 3 の 10 mm で 0.0104 mm となった。ピッチ 100 mm とピッチ 10 mm でほぼ同等になり、ピッチ 50 mm で誤差が大きい。図 7 のとおりピッチ 50 mm で誤差が大きく、測定位置 1324-2175 mm で誤差が突出して大きい傾向が見られ、これはレールの繋ぎ目 2 か所がピッチ 50 mm の計測位置に丁度合致し、ガタの影響で正確な測定が行われなかったためと思われる。図 8 に 3 水準を重ねた誤差マップを示す。3 水準はほぼ同等に重なり推移しているが、急峻なグラフ形状箇所が目細かいピッチ 50 mm と 10 mm の集団に対して目の粗いピッチ 100 mm で差があるのが分かる。しかしながらキャリジの縦方向の転がり軸受間隔が 180 mm と十分に長く、急峻部のピッチ間隔の効果が消されていると思われる。つまり本器の設計においてピッチ間隔は 100 mm で十分であり、それより細かく設定しても効果が表れないと推測された。

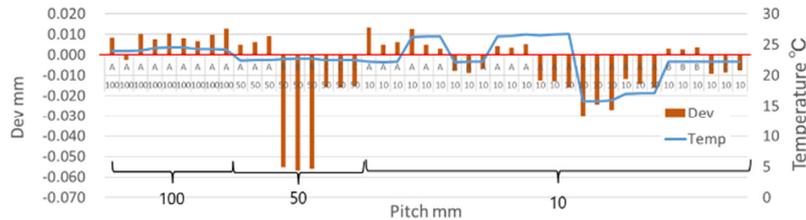


図 7 誤差マップピッチ毎の長さ測定誤差

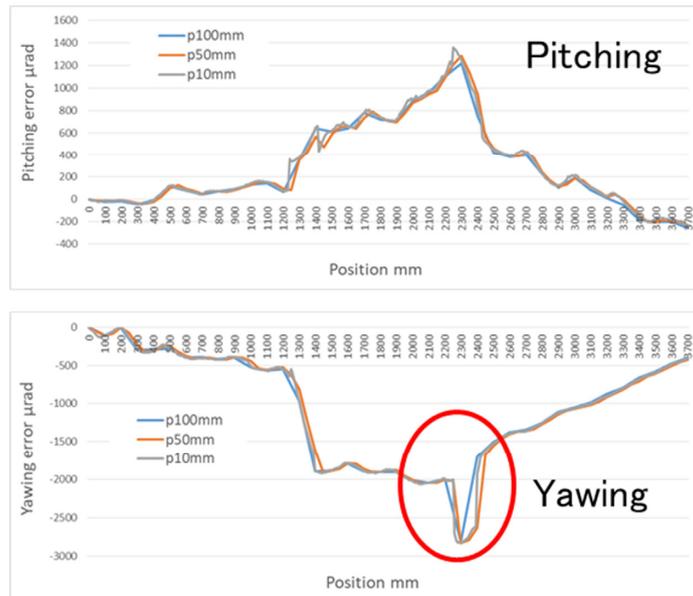


図 8 誤差マップ

4 改良後の確認実験

4-1 長さ測定誤差

表 2 と図 9 に改良後の長さ測定誤差を示す。測定物はブロックゲージ 500 mm (中央寸法差: -0.15 μm) で、Mea-Std が標準値との差 (誤差) で σ がばらつきを表す。測定数は n=18 として平均値を算出した結果、誤差の最大値は範囲 2666-3700 mm 時の -0.0085 mm、ばらつきの最大値は 0-1333 mm 時の 0.0033 mm となった。従来値は CB850 測定時で標準値との差は平均値 0.060 mm (n=5)、ばらつきは σ 0.027 mm (n=5) であり当初の問題点が改善され誤差が低減した。

$$CTE = \frac{\Delta L}{L \cdot (T - 20)} \quad \dots (4)$$

4-2 CTE の測定 (GB500 の場合)

図 10 に示す配置で長尺ブロックゲージ 500 mm の CTE を測定して、本器での CET 値付けの測定性能を検証した。測定条件は温度変動幅を 16.0 ~

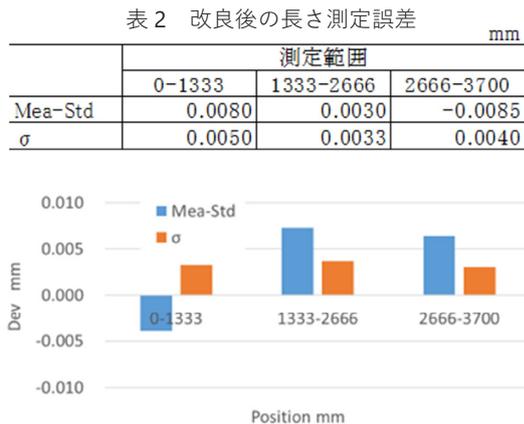


図 9 改良後の長さ測定誤差

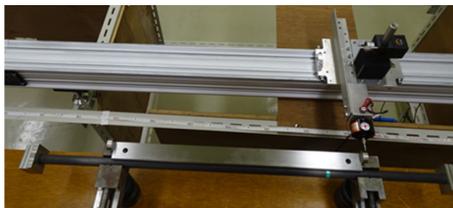


図 10 GB500 の配置

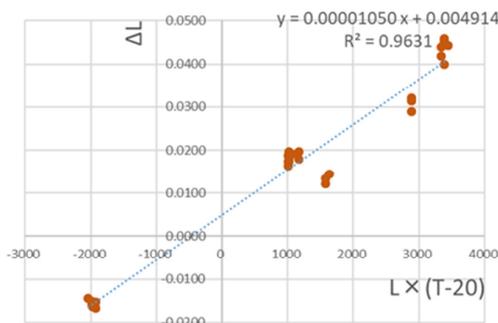


図 11 GB500 での CTE 測定

26.8°C、測定数は n=27、測定方向は一方向測定とし、CTE は式 (4) から求めた。Cos θ 誤差を考慮し Y 軸出入りは 0.05 mm 以下とした。その結果、図 11 のとおり CTE は 10.50×10^{-6} (/K)、相関係数 R=0.98 となり、メーカーの公称値 10.8×10^{-6} (/K) との差は -0.3×10^{-6} (/K) となり本測長器の信頼性が確認できた。

4-3 CTE の測定 (CB850 の場合)

図 12 に示す配置で GB500 と同様の手順で、複数要素で構成された標準器 Cb850 の CTE を測定した。温度変動幅は 17.0 ~ 26.2°C、測定数は n=15、測定方向は一方向測定とした。その結果、図 13 のとおり CTE は 3.15×10^{-6} (/K) と測定され、相関係数は R=0.95 となった。過去の文献値等を用いる B タイプ¹⁾による構成要素別の CTE は、CFRP がカーボン繊維の縫製方向で異なり、軸方向 0.2×10^{-6} (/K) となり径方向では 5.7×10^{-6} (/K)、SUS303 が 18.7×10^{-6} (/K) であり、この数値から測定された CTE を算出することは難しいと思われた。そこで CB850 の全長対端度測定部 (SUS303) 及び全長対筐体部 (CFRP) の長さ比率の複合則で CTE を B タイプで算出した。その結果、B タイプでの CTE は 1.51×10^{-6} (/K) となり、A タイプの結果との差は -1.64×10^{-6} (/K) となり一致しなかった。このことから複数要素で構成される標準器は、B タイプでの机上算出は困難であり、複合材の標準器は A タイプで CTE の値付けを行う必要があることが確認でき、本研究は当初の全目的を達成し問題点が収束した。



図 12 CB850 の配置

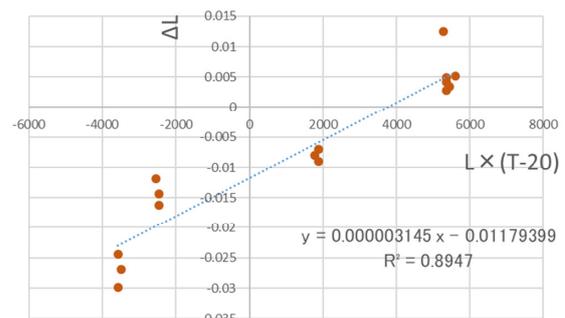


図 13 CB850 での CTE 測定

5 結 言

- (1) 可搬式長尺測長器の開発を進め、問題点となっているプロービング誤差、及び誤差マップのピッチ間隔の改善に取り組んだ。その結果、CB850での長さ測定誤差は最大値で -0.0085 mm（位置 2666-3700 mm）、 σ は 0.0050 mm（位置 0-1333 mm）となり、従来値の標準値との差 0.060 mm（平均値、 $n=5$ ）、ばらつき σ 0.027 mm（ $n=5$ ）と比較して改善が確認された。
- (2) 複合材で構成された標準器 CB850 の CTE を測定したところ、一方向測定での CTE は 3.15×10^{-6} (/K) となった。また B タイプで算出した CTE は 1.51×10^{-6} (/K) となり一致しなかった。複数要素で構成された標準器の CTE 算出において、単体材種の CTE 毎に B タイプで標準器全体の CTE を算出するのは困難であることから、複合材の標準器は A タイプで CTE の値付けを行う必要がある。

文 献

- 1) 飯塚幸三 監修：計測における不確かさの表現のガイド，日本規格協会 (1996)
- 2) 和合健，竹原英樹，辺見誠雄：レーザ干渉計を利用した大型構造体の高精度寸法計測技術の構築，岩手県工業技術センター研究報告，23，p.35-40 (2021)
- 3) 和合健，生内智，磯部和夫：可搬式長大寸法測定器用長さ標準器の開発，岩手県工業技術センター研究報告，24，p.18-21 (2022)
- 4) 和合健：長尺測長器の幾何学誤差補正方法の確立，岩手県工業技術センター研究報告，25，p.21-25 (2023)
- 5) 和合健：長尺測長期のばらつき低減に関する考察，岩手県工業技術センター研究報告，26，p.35-39 (2023)

3D 治具を活用した木材 CNC 加工技術の開発（第 2 報）*

内藤廉二**、長嶋宏之**、永山雅大**

基準平面をもたない複雑な形状の CNC 加工を行うため、3D プリンターを活用した 3D 治具を考案した。昨年度の試験結果をもとに、木製スプーンの CNC 加工を可能にする 3D 治具と加工方法を検討し、高精度な加工と生産性の向上が可能になった。

キーワード：3次元 CNC 加工、CNC 加工機、木材、3D プリンター、3D 治具、スプーン

Development of CNC Processing Technology of Wood Using 3D Jigs (Second Report)

NAITOU Yasuji, NAGASHIMA Hiroyuki, NAGAYAMA Motohiro

Key words: 3D automatic machining, CNC processing machine, Wood, 3D Printer, 3D jig, Spoon

1 はじめに

近年、工芸産業の従事者（後継者）は減少しており、産業の継続性の観点からも機械加工を取り入れ、生産性向上や効率化をはかっていくことが必要と考えられる。

そこで、先行研究¹⁾²⁾では漆工芸製品のスプーンを目標として木材 CNC 加工の活用とその効率化を進めてきた。その結果、平面をもたない複雑な形状であるスプーンに対し、形状を支えるためのサポートを付与することで CNC 加工機による両面加工を達成した（図 1）。

本研究における令和 6 年度の第 1 報³⁾では、熱溶解積層法 3D プリンター（以下、3D プリンター）を活用し、複雑形状でも安定的に真空吸着固定が可能な治具、「3D 治具」を考案し、スプーンに近似した形状による CNC 加工を行った（図 2）。その結果、3D 治具は曲面で構成された被削材を安定的に固定し、サポートの不要な CNC 加工が可能であることが分かった。本報告では目標形状であるスプーンのカNC 加工を可能にする 3D 治具の開発を行った。



図 1 目標のスプーンと先行研究の CNC 加工



図 2 第 1 報（令和 6 年度）の 3D 治具と加工結果

* 令和 6 年度技術シーズ創生・発展研究事業（発展研究）

** 産業デザイン部

2 実験方法

2-1 加工形状と加工工程の設計

本研究の目標は先行研究で対象としてきた漆工芸製品のスプーンの完全再現である。目標形状は全面が曲面で構成されているため、平面定盤に被削材を直接固定する CNC 加工機では最低でも 2 方向からの加工が必要となる。そこで、本実験では最初の加工を第 1 加工、2 番目の加工を第 2 加工と定義した。3D 治具は第 2 加工で使用し、第 1 加工した面を真空吸着固定する設計とした。

形状データは 3DCAD (Robert McNeel & Associates 製、Rhinoceros7) で設計した。設計したスプーンはツボ (掬う凹み) 部分側をオモテ面とし、反対側をウラ面とした(図 3)。加工には CNC 加工機(平安コーポレーション製、NC-151MC1508)を使用し、加工順はオモテ面からウラ面、ウラ面からオモテ面の 2 通りを比較することとした。また、3D 治具は被削材の密着性を高めるパッキンを貼り付けたものと、貼り付けないものの 2 種類で、それぞれ 2 回実験を行った。(図 4)。

被削材は幅 42 mm × 長さ 204mm × 厚さ 18mm の直方体に加工した国内産のブナを使用した。

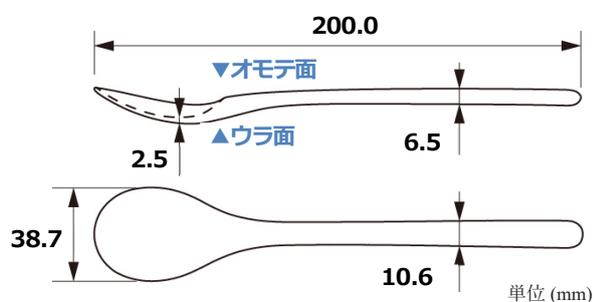


図 3 スプーンの形状と設計寸法

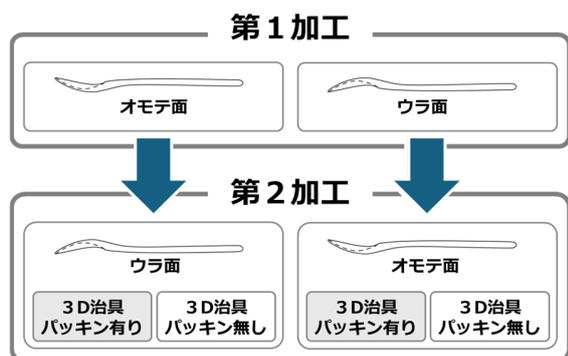


図 4 加工工程の設計

2-2 第 1 加工用治具の製作

第 1 加工用治具は被削材の位置決めとズレ止めのために、被削材の 4 辺にコマを配置して固定する構造とした (図 5、図 6)。

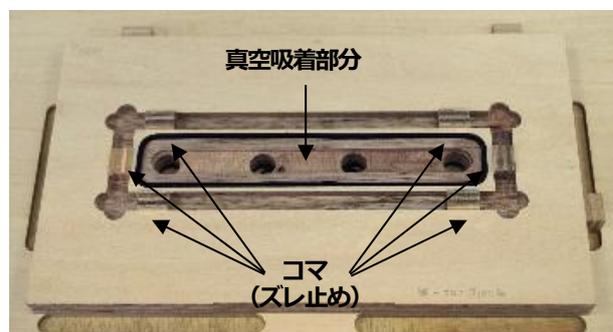


図 5 第 1 加工用治具



図 6 第 1 加工用治具に固定した被削材

2-3 第 2 加工用治具 (3D 治具) の製作

3D 治具は樹脂部品と合板部品で構成される。樹脂部品は 3D プリンター (Stratasys 製、Fortus450mc) を用いて ABS 樹脂で造形した。その後樹脂部品を合板部品に接着した。また、パッキンは、厚さ 0.5 mm の粘着付きスポンジゴムテープを貼り付けた (図 7 ~ 図 12)。

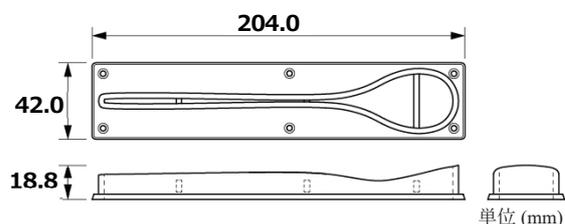


図 7 3D 治具の樹脂部品図 (オモテ面加工用)

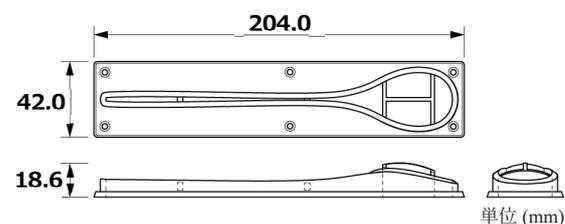


図 8 3D 治具の樹脂部品図 (ウラ面加工用)

2-4 加工条件と加工設計

工具は既製品のビットから選択した。CNC 加工のツールパスは CAM (Hexagon Manufacturing Intelligence 製、AlphaCAM) で作成した。加工工程は第 1 加工、第 2 加工ともに荒加工、仕上げ加工の順とした。使用する工具と加工条件を表 1 に示す。

表 1 工具と加工条件

加工	使用工具	工具形状	工具径	回転数	送り速度
			mm	rpm	mm/min
荒加工	ストレートビット		Φ12	18000	1000
仕上げ加工	R面ビット		Φ20	18000	3000



図 9 3D 治具 (オモテ面加工用)

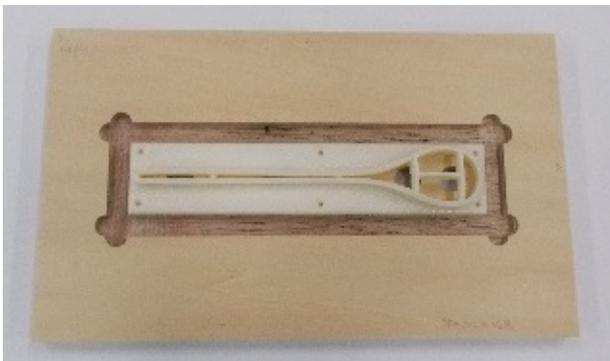


図 10 3D 治具 (ウラ面加工用)

2-5 加工した被削材の評価

CNC 加工した被削材について、加工寸法と加工時間を評価した。加工寸法は、図 13 に示す各箇所でのデジタルノギスによる測定値と、表 2 に示す設計寸法の差分を、誤差許容値と比較評価した。被削材の加工時間は、CNC 加工試験の実測値と手加工で要する時間を比較評価した。

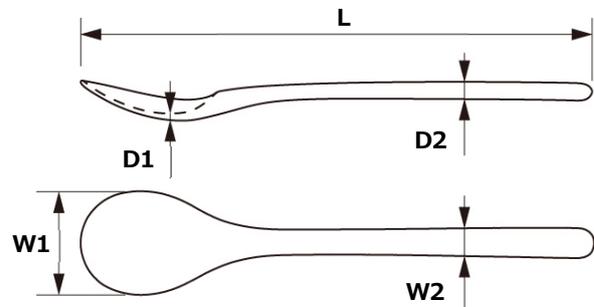


図 13 被削材の寸法測定箇所



図 11 パッキン貼り付け後 (オモテ面加工用)



図 12 パッキン貼り付け後 (ウラ面加工用)

表 2 設計寸法と誤差許容値 単位 (mm)

測定箇所	設計寸法	誤差許容値
L	200.0	±1.0
D1	2.5	±0.4
D2	6.5	±0.5
W1	38.7	±0.5
W2	10.6	±0.5

3 結果および考察

3-1 第 1 加工

第 1 加工を行った結果、オモテ面の加工は良好であったが、ウラ面の加工では被削材の寸法と工具径の関係によりツボ部分先端に削り残しが発生した（図 14、図 15）。



図 14 第 1 加工結果

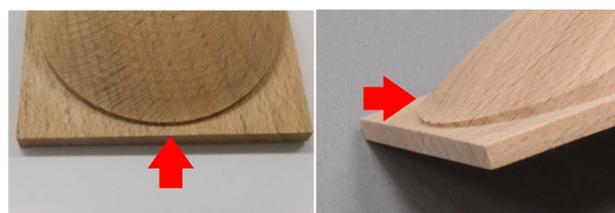


図 15 ウラ面加工時の削り残し

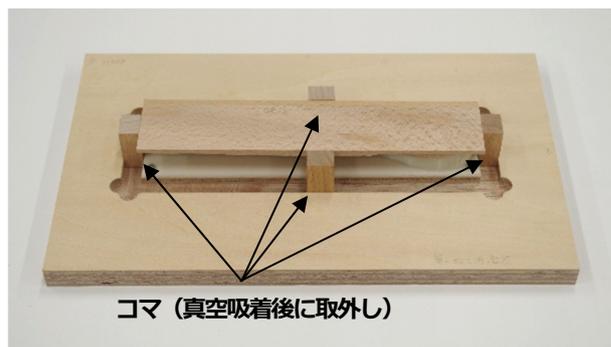


図 16 被削材の位置出し

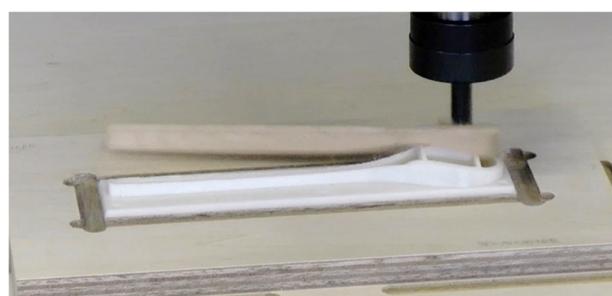


図 17 加工中の被削材が脱落した瞬間（パッキンなし）

3-2 第 2 加工

第 2 加工はパッキンを貼り付けない 3D 治具とパッキンを貼り付けた 3D 治具で行った。被削材は加工座標に配置できるように合板部にコマを取り付けて位置決めを行った（図 16）。コマは真空吸着固定後（加工前）に取り外した。

パッキンを貼り付けない 3D 治具での加工は、オモテ面、ウラ面の両治具において加工中に被削材が脱落したため加工を中止した（図 17）。原因は、真空吸着時に吸気音が発生していたことから、吸気漏れが発生し吸着力が低下したこと、加えて樹脂表面の摩擦抵抗が低いため被削材が滑り、脱落したためと考える。

パッキンを貼り付けた 3D 治具での加工はオモテ面、ウラ面共に被削材のズレや破損等は発生せず、加工を完了できた。3D 治具の破損や変形等も発生しなかった（図 18）。



図 18 第 2 加工後の被削材（パッキン有り）

3-3 加工した被削材の評価

3-1 および 3-2 の結果より、加工精度の評価対象はオモテ面からウラ面加工、パッキン有りの加工工程の被削材とした（図 19）。

評価対象の被削材 2 本について、加工寸法と設計寸法との誤差を比較して加工精度を評価した。その結果、各測定箇所の誤差は許容値内に収まった（表 3）。なお、D1、D2 の誤差が比較的大きいが、パッキンの有無による高さ方向の誤差であり、CAM の再設定により誤差は低減できると考える。

第 1 加工、第 2 加工に要した CNC 加工時間を測定し、従来の手加工に要する時間と比較した結果、

約 2 分の 1 まで加工時間を短縮することが可能になった (表 4)。なお、第 1 加工から第 2 加工に切り替える際に、治具の交換とコマの配置作業が発生するが、1 分～2 分程度の作業であり、今後、生産を考慮した 3D 治具の改良等で更に短縮も可能であると考える。

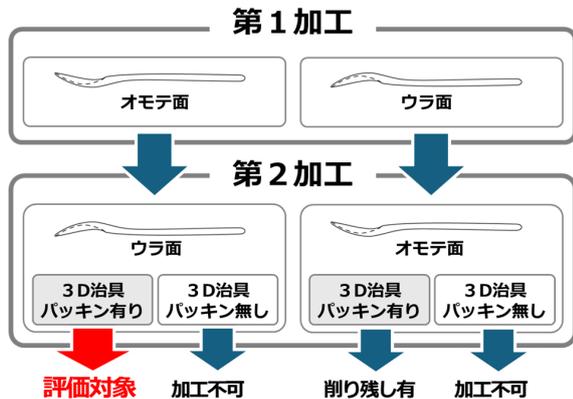


図 19 評価対象とした被削材の加工工程

表 3 設計寸法と加工寸法の誤差

測定箇所	設計寸法	許容値	設計寸法との誤差	
			サンプル1	サンプル2
L	200.0	±1.0	0.0	0.0
D1	2.5	±0.4	-0.2	-0.2
D2	6.5	±0.5	-0.4	-0.5
W1	38.7	±0.5	0.0	0.0
W2	10.6	±0.5	0.1	0.1

表 4 加工時間比較

	第1加工 (オモテ)	第2加工 (ウラ)	総加工時間
CNC加工	12分20秒	7分50秒	20分10秒
手加工	—	—	48分

4 まとめ

3D プリンターを活用した 3D 治具により、木製スプーンの完成形状での CNC 加工に成功した。このことにより従来、手加工でしか生産できなかった木製スプーン生産性の向上を可能にするとともに、手加工ゆえに発生する製品ごとの寸法や形状の誤差を無くし、安定的な生産品質維持に貢献できることが分かった。

また、CNC 加工機による自動加工は、高齢化や少子化等による技能工不足への対応や、高度な木工技術を有しない企業での木地の内製化への活用等も期待できる。

今後は、3D 治具を用いた CNC 加工技術を県内企業に周知するとともに、当センターの CNC 加工機の活用も進めていく予定である。また、当該技術をスプーン以外の木製品加工にも広く展開していく予定である。

文 献

- 1) 内藤廉二, 有賀康弘: Fusion360 を活用した木材 3 次元自動加工の検討, 岩手県工業技術センター研究報告, 24, p.31-37 (2022)
- 2) 内藤廉二, 有賀康弘, 茨島明: 3 次元自動加工による木工製品製造の効率化, 岩手県工業技術センター研究報告, 22, p.43-47(2020)
- 3) 内藤廉二, 長嶋宏之, 永山雅大: 3D 治具を活用した木材 CNC 加工技術の開発 (第 1 報), 岩手県工業技術センター研究報告, 27, p.34-37(2024)

岩手県産木質チップのワインにおける 浸漬条件の検討とフレーバー成分の分析*

菊池祥**、晴山聖一***、伊藤菜々****、
及川和宏*****、佐藤稔英*****

岩手県産木質チップ(コナラ、ミズナラ、オオヤマザクラ、イタヤカエデ、スギ)をエタノール溶液に浸漬し、浸漬期間の検討およびフレーバー成分の分析を行った。最適浸漬期間は総フェノールの抽出量が飽和する2～3週間が妥当とした。ガスクロマトグラフ質量分析装置(GC-MS)および液体クロマトグラフ質量分析装置(LC-MS/MS)による分析結果から、海外産オークチップに代表的な6つのフレーバー成分(フルフラール、オークラクトン、グアイアコール、オイゲノール、バニリン、シリングアルデヒド)の多くがスギ以外の県産チップにも含まれていた。木質チップの加熱強度を強くするとオークラクトン濃度が減少し、シリングアルデヒド濃度は増加した。加えて、木質チップを浸漬したワインの官能評価を行い、木質チップ毎のフレーバーの特徴(スモーキーやバニラ香など)を明らかにした。スギ以外の県産チップを浸漬したワインの官能評価の評点は、チップ無添加および海外産チップよりも概ね高かったことから、県産チップはワインの高付加価値化の方法として推奨できる。

キーワード：木質チップ、ポリフェノール、加熱強度、岩手県

Examination of Steeping Conditions and Analysis of Flavor Components in Wine for Wood Chips Produced in Iwate Prefecture

KIKUCHI Shou, HAREYAMA Seiichi, ITO Nana,
OIKAWA Kazuhiro, SATO Naruhide

Key words: wood chips, polyphenol, heating intensity, Iwate

1 緒言

ワインなどの酒類への風味付けのため、一般的に木樽への貯蔵やオークチップの浸漬が行われている¹⁾。オークチップは、木樽と比較して管理が容易であることや低コストであるといった利点があり、小規模メーカーでも導入しやすい。また、木樽と同様にワインの香味に深みと複雑性を与えることができる¹⁾ため高付加価値化が期待される。現在、流通しているオークチップは主に海外産のフレンチオークおよびアメリカンオークである¹⁾。

当センターでは、令和2年度に岩手県内のスモー

クチップメーカーである株式会社昭林と共に岩手県産木質チップを使用した「燻製用ローストチップ」(特許第7309139号)²⁾を開発しており、その新規用途として、酒類へのフレーバー付与に着目した。本研究ではエタノール溶液およびワインを用いて、県産チップの最適浸漬期間およびフレーバー特性を明らかにし、県内酒類メーカーにおける高品質かつ個性的な酒類の開発や地域性の獲得に有益な情報を得ることを目的とした。

* 令和5,6年度技術シーズ創生・発展研究事業(発展研究)

** 醸造技術部(現・食品技術部)

**** 食品技術部(現・岩手県宮古保健福祉環境センター)

***** 醸造技術部

*** 食品技術部

***** 食品技術部(現・企画支援部)

2 実験方法

2-1 供試木質チップ

木質チップ（株式会社昭林）は、県産のコナラ (*Quercus serrata*) の加熱強度「ライト」、「ミディアム」および「ストロング」、ミズナラ (*Quercus crispula*) の「ミディアム」、オオヤマザクラ (*Cerasus sargentii* var. *sargentii*) (以下「サクラ」とする) の「ミディアム」、イタヤカエデ (*Acer pictum*) (以下「カエデ」) の「ミディアム」、スギ (*Cryptomeria japonica*) の「ライト」の計 7 種類、比較対照として市販の海外産フレンチオークおよびアメリカンオークの「ミディアム」の計 2 種類、全 9 種類を供試した(表 1)。木質チップの大きさは、県産チップが 2～6 mm 角、海外産チップが 2～7 mm 角であった。

2-2 浸漬期間の調査

木樽への貯蔵においては、フレーバー成分である揮発性フェノールの他に、エラジタンニンなどの不揮発性フェノールが酒類に抽出される¹⁾³⁾⁴⁾。県産チップからも、同様に揮発性および不揮発性フェノールが抽出されると考え、これらの抽出成分の指標として、木質チップ浸漬液の総ポリフェノール量を測定することとし、その測定値を目安として浸漬期間を検討した。

チップを浸漬することの多いワインの一般的なアルコール度数 (12%) を参考に、抽出溶媒として 12% エタノール溶液を調整した。添加量は実用的な範囲を考慮し、3.0 g/L または 10.0 g/L とし、12% エタノール溶液に 1～4 週間、4°C で浸漬したのち、チップを除去して得た浸漬液の総ポリフェノール量を Folin Denis 法で測定した⁵⁾。すなわち、浸漬液 20 μ L を試験管にサンプリングし、蒸留水 4.8 mL、フェノール試薬 (MP Biomedicals, LLC) 200 μ L、10% (W/V) 炭酸ナトリウム溶液 1 mL を加え、暗所で 1

時間反応させた。その後、吸光度 (A760) を測定し、定量した。総ポリフェノール量は没食子酸に換算して表した。すなわち、没食子酸 (ナカライテスク株式会社) 10 mg をジメチルスルホキシド (富士フィルム和光純薬株式会社) 10 mL に溶解し、その溶液を用いて、検量線を得た。

2-3 浸漬期間の調査

当センターの先行研究により、エタノール 25% の焼酎に木質チップを浸漬することで、フレーバーを液体中に移行できることがわかっている⁶⁾。県産チップによって付与されるフレーバー成分が未知であることから、より検知しやすく分析するため、25% エタノール溶液に木質チップ 30.0 g/L を 3 週間、4°C で浸漬した。チップを除去して得た浸漬液を用いて、GC-MS のヘッドスペース SPME 法で測定した。なお、本実験のみ木質チップからのフレーバー成分の抽出量を増やすため、エタノール濃度と木質チップ添加量を増やした。

(1) 分析試料および設備

20 mL バイアル管に浸漬液 10 mL を加え、直ちにセプタム付きキャップをして分析試料とした。装置は GC-MS (GC7890A, MSD5975C, Agilent Technologies)、カラムは HP-INNOWAX (30 m \times 0.25 mm i.d., 膜厚 0.25 μ m)、ファイバーは SPME ファイバー (DVB/CAR/PDMS, 50/30 μ m, 1 cm) を用いた。

(2) 分析条件

分析条件は Rosso, M. D. らの報告⁷⁾を参考に設定した。すなわち、分析試料は 70°C で 10 分間加温、その後気相に 30 分間 SPME ファイバーを露出させて揮発性成分を吸着した。注入口はスプリットレスモードで、温度は 230°C とし、SPME ファイバーを 5 分間加熱して揮発性成分を脱離した。カラムの昇温条件は 40°C で 5 分間保持後、230°C まで 3°C/min で昇温、230°C で 10 分間保持とした。流量は 1.2 mL/min とした。MS 条件は EI、m/z=40-350、スキャンモードとした。

(3) フレーバー成分の定性

クロマトグラムからピークを検出し、ピークから得られた MS スペクトルを基に、解析ソフト (Agilent ChemStation) を用いてライブラリデータ (NIST2008 質量スペクトルライブラリ) と照合し、候補化合物の推定を行った。その後、推定した化合物の分析用試薬を用いて、同様の手順で分析を行い、推定した化合物の MS スペクトルと分析

表 1 供試木質チップ

木質チップの樹種・産地		加熱強度		
		ライト	ミディアム	ストロング
コナラ	県産	○	○	○
ミズナラ			○	
サクラ			○	
カエデ			○	
スギ		○		
フレンチオーク	海外産		○	
アメリカンオーク			○	

※ ○のチップを供試

用試薬のMSスペクトルを照合し、定性した。分析用試薬にはオーク由来の代表的なフレーバー成分であるフルフラール、オークラクトン (β -メチル- γ -オクタノラクトン)、グアイアコール、オイゲノール、バニリンおよびシリングアルデヒド (東京化成工業株式会社) に加え、5-メチルフルフラール、2-メトキシ-4-メチルフェノール、ベンズアルデヒドおよびサリチルアルデヒド (富士フィルム和光純薬株式会社) を用いた。

2-4 フレーバー成分の定量分析

2-2と同様の操作を行い、木質チップ浸漬液を得た。LC-MS/MSにより、フルフラール、オークラクトン、オイゲノール、バニリン、シリングアルデヒドの定量を行った。なお、グアイアコールはイオン化しないため測定していない。

(1) 前処理方法

不純物除去のため、浸漬液をエタノール沈殿した後に限外ろ過 (10 kDa) を行った。

(2) 装置および分析条件

装置はLC-MS/MS (LC: Waters社、MS/MS: SCIEX社、3200QTRAP)、カラムはCORTECS T3 Column (1.6 μ m, 2.1 \times 100 mm) を用いた。分析条件は小松ら⁸⁾の報告を参考に設定した。すなわち、カラム温度は40°C、グラジエント溶離とし溶離液は0.1%ギ酸水および0.1%ギ酸アセトニトリルを用いた。送液速度は0.3 mL/min、注入量は10 μ Lとした。分析用試薬はGC-MSで使用したものと同一フルフラール、オークラクトン、オイゲノール、バニリン、シリングアルデヒドを用いた。これらの一斉分析を行い、検量線を得た。

2-5 木質チップを浸漬したワインの官能評価

岩手県産醸造用ブドウ4品種 (リースリング・リオン (RL)、シャルドネ (CH)、メルロー (ME)、ヤマブドウ (YB)) を供試し、表2の条件で品種ごとにワインを醸造した。酵母、発酵助成剤およびマロラクティック発酵 (MLF) 用乳酸菌の使用方法はメーカー (Lallemand社) の取扱説明書に従った。果実の状態は、腐敗果、裂果および病果が見られず良好であった。

(1) 白ワインの試験醸造 (RLおよびCH)

除梗・破碎し、亜硫酸濃度が果汁重量に対して50 mg/kgとなるようにピロ亜硫酸カリウムを添加した。アルコール発酵を品温約15°Cで行った。Brixを定期的に分析し、低下しない時点でアル

コール発酵を終了した。発酵が完了したワインは品温約4°Cまで冷却し、澱引き、ろ過および瓶詰めを行った。発酵終了後は、分子状亜硫酸濃度が常に0.8 mg/kg以上になるようピロ亜硫酸カリウムを添加した。

(2) 赤ワインの試験醸造 (MEおよびYB)

除梗・破碎後、果実重量に対し亜硫酸濃度が45 mg/kgになるようピロ亜硫酸カリウムを添加した。かもし仕込みによるアルコール発酵 (かもし発酵) を品温約23°Cで行った。MLFはコイノキュレーション法にて行った。Brixを定期的に分析し、低下しない時点でアルコール発酵を終了した。発酵が完了したワインは品温4°Cまで冷却し、澱引き、ろ過および瓶詰めを行った。発酵終了後は、分子状亜硫酸濃度が常に0.6 mg/kg以上になるようピロ亜硫酸カリウムを添加した。

(3) 果汁およびワインの成分分析

比重、総酸 (酒石酸換算)、アルコール分およびエキス分は国税庁所定分析法⁹⁾に準じて、資化性窒素量 (Yeast assimilable nitrogen: YAN) は『エタノールを使用したブドウ果汁の資化性窒素 (アミノ酸) 分析法 (暫定法) について』¹⁰⁾に準じて、Brixはポケット糖度計APAL-1 (株式会社アタゴ)、pHはAT-420 (京都電子工業株式会社) を用いて分析した。

(4) 木質チップの浸漬

試験醸造した4品種のワインに対し、前述した木質チップ9種を浸漬した。これらに無浸漬 (対照) も加え計10種、全40種のワインを製造した。木質チップの浸漬条件は、10.0 g/L、3週間とした。

(5) 官能評価

官能評価は、コメントおよび評点 (0不可、5良、10優) で行った。品種毎のブラインドテイスティングとし、独立行政法人酒類総合研究所認定清酒専門評価者2名および一般社団法人日本ソムリエ協会認定ソムリエ1名を含む当センター醸造技術部および食品技術部の職員9名で実施した。

表2 ワインの試験醸造条件

品種	産地	ワインのタイプ	酵母	発酵助成剤	MLF用乳酸菌
RL	花巻市	白	ICV D254	ゴーフーム・ステロール・フラッシュ、フェルメイドO	-
CH	紫波町		ICV D254		
ME	花巻市	赤	RP15		MBR VP41
YB	野田村		71B		

※ 酵母、発酵助成剤およびMLF用乳酸菌はLallemand社製

3 結果および考察

3-1 浸漬期間の調査

図 1 に加熱強度「ミディアム」における県産チップ浸漬液の総ポリフェノール量変化を示す。総ポリフェノール量は、浸漬量や樹種にかかわらず、浸漬 2 週間目まで急激に増加し、2～3 週間以降は横ばいとなり、抽出量が飽和した。この結果から、県産チップの浸漬期間は 2～3 週間ですと十分だと考えられる。

3-2 フレーバー成分の定性分析

表 3 に樹種別の GC-MS の分析結果を示す。加熱強度「ライト」のスギではバニリン、ベンズアルデヒド、十数種のテルペン類を検出した。テルペン類

は化合物の候補が多く同定には至らなかったが、ライブラリの MS スペクトルとの類似性からテルペン類と判断した。スギは他のチップとフレーバー成分が大きく異なった。スギは供試したチップで唯一の針葉樹である。樹木の香りの中で針葉樹はモノテルペンの放出が多い¹¹⁾ことから、加熱強度が弱い「ライト」では顕著に多数のテルペン類が検出されたと推測される。

加熱強度「ミディアム」では、カエデで 8 種類、その他の県産チップで 9 種類、海外産チップでも 9 種類のフレーバー成分が検出された。これらは前述したオーク由来の 6 成分に加え、5-メチルフルフラール、2-メトキシ-4-メチルフェノール、ベンズアルデヒド、サリチルアルデヒドおよびテルペン類であった。チップ由来の多くのフレーバー成分は、木材を構成する主要な成分のヘミセルロース、セルロースおよびリグニン¹²⁾が熱分解することによって生成される¹⁾。例えば、セルロースの熱分解によりフルフラール¹²⁾、リグニンの熱分解によりグアイアコール、オイゲノール、バニリンおよびシリンガルデヒドが生成するとされる^{1) 12) 13)}。また、オークラクトンはオーク材の中にタンニンに結合する形で存在し、タンニンの分解と共に酒類に溶出するとされる¹⁴⁾。木材の組成成分は樹種によって構成比率が異なるため¹⁵⁾、検出されたフレーバー成分は樹種による違いが出たと考えられる。

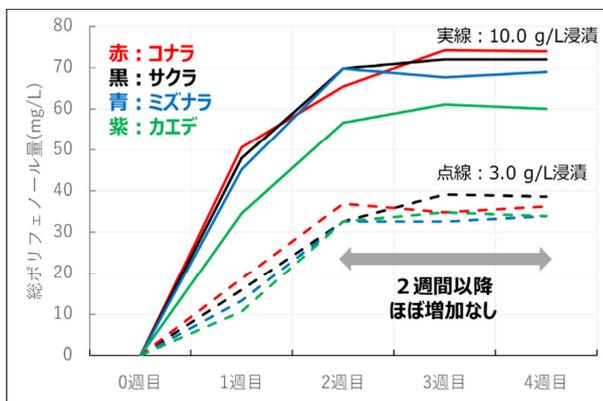


図 1 県産チップ（ミディアム）浸漬液の総ポリフェノール量の変化

表 3 木質チップ浸漬液の GC-MS 分析結果：樹種の影響

フレーバー成分	香りの特徴	加熱強度：ライト 県産 スギ	加熱強度：ミディアム					
			県産				海外産	
			コナラ	ミズナラ	サクラ	カエデ	フレンチ オーク	アメリカン オーク
(1)フルフラール	アーモンド	N.D.	+	+	+	+	+	+
(2)オークラクトン	ココナッツ	N.D.	+	+	N.D.	N.D.	+	N.D.
(3)グアイアコール	スモーキー	N.D.	+	+	+	+	+	+
(4)オイゲノール	スパイス	N.D.	+	+	+	N.D.	N.D.	+
(5)バニリン	バニラ	+	+	+	+	+	+	+
(6)シリンガルデヒド	甘い スモーキー	N.D.	N.D.	N.D.	+	+	+	+
5-メチルフルフラール	キャラメル	N.D.	+	+	+	+	+	+
2-メトキシ-4-メチル フェノール	スモーキー	N.D.	+	+	+	+	+	+
ベンズアルデヒド	アーモンド	+	+	+	+	+	+	+
サリチルアルデヒド	アーモンド	N.D.	+	+	+	+	+	+
テルペン類	森林 木様	+	+	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

※ +：検出 N.D.：検出限界未満
※ (1)～(6) オーク由来の代表的なフレーバー成分

表4に加熱強度によるフレーバー成分の変化を示す。加熱強度「ライト」と「ミディアム」では、ココナッツ様香であるオークラクトン、森林を思わせる香りであるテルペン類が検出されたが、これらの成分は「ストロング」では検出限界未満(N.D.)であった。一方、甘い・スモーキーな香りであるシリンガアルデヒドは、加熱強度「ライト」と「ミディアム」ではN.D.であったが、「ストロング」では検出された。木材を構成する主要な成分が熱分解される温度は、ヘミセルロースが180～300°C、セルロースが240～400°C、リグニンが280～550°C¹²⁾とそれぞれ異なるため、加熱強度により生成したフレーバー成分に違いが出たと考えられる。

表4 木質チップ浸漬液のGC-MS分析結果：加熱強度の影響

フレーバー成分	香りの特徴	県産オーク(コナラ)		
		ライト	ミディアム	ストロング
(1)フルラル	アーモンド	+	+	+
(2)オークラクトン	ココナッツ	+	+	N.D.
(3)グアイアコール	スモーキー	+	+	+
(4)オイゲノール	スパイス	+	+	+
(5)バニリン	バニラ	+	+	+
(6)シリンガアルデヒド	甘いスモーキー	N.D.	N.D.	+
テルペン類	森林木様	+	+	N.D.

※ +：検出 N.D.：検出限界未満

※ (1)～(6) オーク由来の代表的なフレーバー成分

3-3 フレーバー成分の定量分析

図2～5に木質チップ浸漬液(3週間浸漬)のLC-MS/MS分析結果を示す。

フルフラールは県産チップよりも海外産チップの濃度が高かったが、酒類におけるフルフラールの嗅覚閾値は15 µg/mL¹⁶⁾とされ、ともに閾値未満であった(図2)。

オークラクトンは県産チップが海外産チップよりも濃度が高かった(図3)。酒類におけるオークラクトンのtrans型の嗅覚閾値は0.14～0.37 µg/mL¹⁶⁾、cis型は0.020～0.046 µg/mL¹⁶⁾とされている。本研究ではtrans型とcis型を合わせて分析を行った。trans型の嗅覚閾値と各チップの濃度を比較すると、10.0 g/L浸漬したコナラの「ライト」は0.15 µg/mL、「ミディアム」は0.17 µg/mL、ミズナラは0.17 µg/mLで閾値付近であった。cis型の嗅覚閾値と比較すると、コナラ、ミズナラおよび10.0 g/L浸漬したフレンチオークは閾値以上であった。

オイゲノールは全ての樹種でN.D.であった(図省略)。なお、酒類におけるオイゲノールの嗅覚閾値は0.006 µg/mL¹⁶⁾とされている。

バニリン(図4)およびシリンガアルデヒド(図5)は海外産チップよりも県産チップの濃度が低かったが、アメリカンオークとカエデは同等の濃度であっ

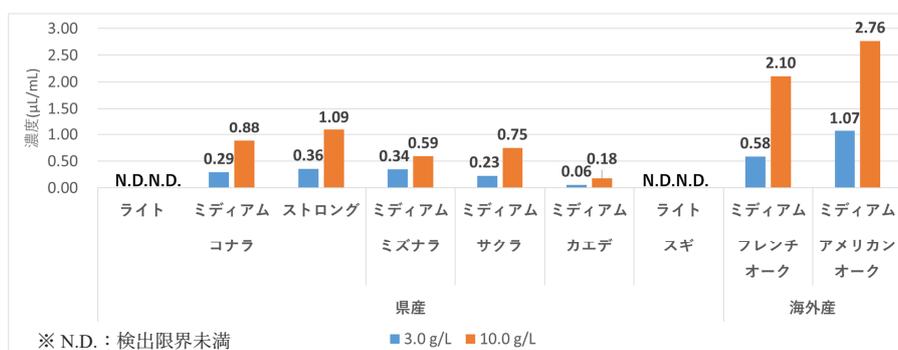


図2 LC-MS/MSによる木質チップ浸漬液のフルフラール濃度

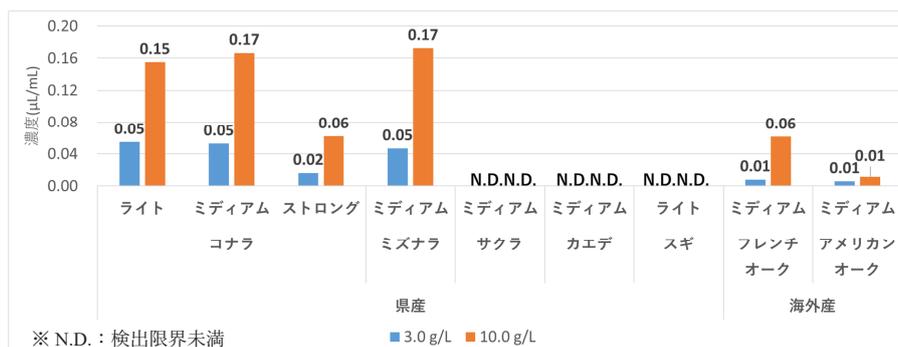


図3 LC-MS/MSによる木質チップ浸漬液のオークラクトン濃度

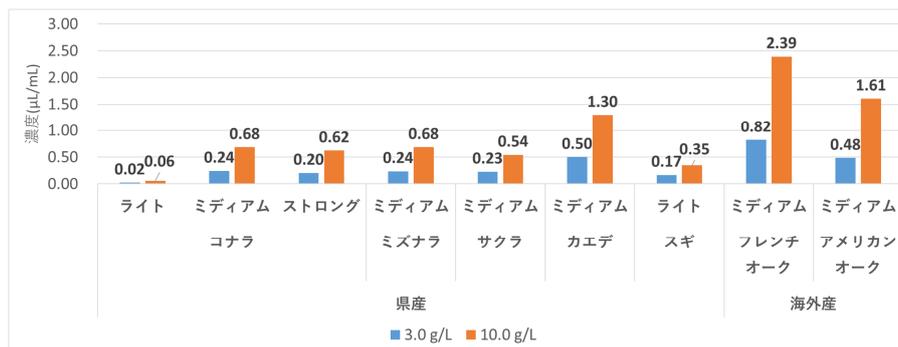


図 4 LC-MS/MS による木質チップ浸漬液のバニリン濃度

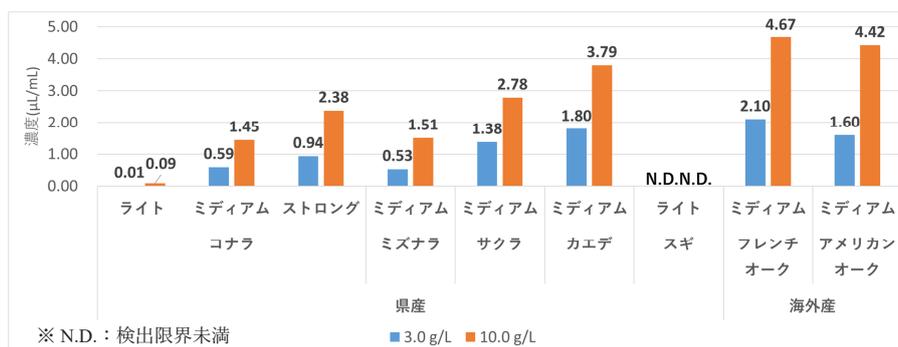


図 5 LC-MS/MS による木質チップ浸漬液のシリングアルデヒド濃度

た。酒類におけるバニリンの嗅覚閾値は $1 \mu\text{g/mL}$ ¹⁶⁾ とされ、10.0 g/L 浸漬したカエデと海外産チップは閾値以上であった。シリングアルデヒドの嗅覚閾値は $50 \mu\text{g/mL}$ ¹⁶⁾ とされ、県産チップおよび海外産チップともに閾値未滿であった。加熱強度「ライト」のコナラとスギを比較するとスギのバニリン濃度が高かった。バニリンはリグニンの熱分解で生じるため¹³⁾、リグニン含量が高いスギ¹⁵⁾ではバニリンが多くなったと推測される。コナラに着目すると、加熱強度が強くなるにつれ、GC-MS の分析結果と同様、オークラクトンは「ストロング」で減少 (図 3)、シリングアルデヒドは増加の傾向を示した (図 5)。バニリンは「ライト」よりも「ミディアム」が増加したが、「ストロング」では減少した。バニリンはリグニンの熱分解で生成する¹³⁾ため、 $280\text{-}550^\circ\text{C}$ ¹²⁾間で生成されると考えられる。「ストロング」は、熱分解におけるバニリンの生成温度以上の加熱となったため、揮発や分解などにより減少したと推測される。

3-4 木質チップを浸漬したワインの試験醸造および官能評価

ブドウ果汁の一般成分分析結果を表 5、ワインの一般成分分析結果を表 6 に示す。なお、チップの浸漬前後でワインの一般成分値に変化はなかった。

供試したブドウは、酵母が健全にアルコール発酵を行うために必要な YAN の最低量約 140 mg N/L ⁴⁾を上回っており、順調にアルコール発酵した。

官能評価結果から、木質チップの種類に起因すると思われるコメントを表 7 にまとめた。ブドウ品種の異なるワインにおいても、木質チップの種類ごとに共通するコメントが確認でき、木質チップのフレーバーの特徴が明らかとなった。例えば、コナラの「ライト」では木様香やハーブ様香とのコメントがあり、これは GC-MS で検出されたテルペン類に由来すると考えられる。なお、「ミディアム」では木様香があるが、ハーブ様香のコメントはなかった。また、「ストロング」ではバニラ香やスモーキーとのコメントがあった。バニラ香はバニリン由来であり、スモーキーは GC-MS および LC-MS/MS 分析にて「ストロング」で多かったシリングアルデヒド由来と考えられる。

表5 果汁の一般成分

品種	ワインのタイプ	搾汁率 (%)	比重 (15/4°C)	糖度 (Brix)	pH	総酸 (g/L)	YAN (mg N/L)
RL	白	73.1	1.081	19.5	3.3	7.9	157
CH		72.1	1.080	19.1	3.6	6.4	182
ME	赤	72.4	1.086	20.6	3.6	5.7	174
YB		66.2	1.089	21.3	3.0	17.1	189

※ 赤ワインはかもし発酵後の搾汁率

表6 ワインの一般成分

品種	ワインのタイプ	発酵日数	アルコール (%)	エキス分	pH	総酸 (g/L)
RL	白	23	12.5	2.0	3.3	8.6
CH		15	12.1	1.9	3.6	6.9
ME	赤	12	11.0	2.1	3.8	5.6
YB		16	10.9	3.1	3.1	12.5

※ 発酵日数はアルコール発酵および MLF が完了した日数

表7 官能評価のコメント

産地	チップの樹種	加熱強度	各ワインで共通するコメント
県産	コナラ	ライト	木様香、果実香、ハーブ様香
		ミディアム	木様香、果実香、香りに複雑性
		ストロング	果実香、少しバニラ香、スモーキー、香りの調和
	ミズナラ	ミディアム	木様香、バニラ香、木樽様香、上品
	サクラ		木様香、少しバニラ香、スモーキー、スパイシー
	カエデ		バニラ香、メープルシロップ様香、香りの調和
	スギ	ライト	強い木様香、特徴的な香り
海外産	フレンチオーク	ミディアム	木様香、バニラ香、強い木樽香
	アメリカンオーク		強い木様香、強いバニラ香、強い木樽香

スギ以外の県産チップを浸漬したワインの官能評価の評点は、木質チップ無添加と比較して概ね高く、これらの木質チップがワインの高品質化・高付加価値化に貢献できることが明らかとなった(図6～9)。なお、スギは木様の香味が強いため評価は低くなったが、チップ浸漬量の低減や浸漬期間の短縮により評価が高まる可能性がある。

コメントから県産チップは海外産チップと異なる特徴を有することが明らかになった。また、県産チップの評点は海外産チップに劣らない結果であった。そのため、県産チップは海外産チップと同様に利用

できると考えられる。なお、海外産チップは県産チップよりも濃度が高いフレーバー成分が多いにもかかわらず、県産チップと同条件で浸漬したことにより木樽香などチップ由来の香りが強くなり香味のバランスが崩れたため、シャルドネを除いて無添加よりも評価が低くなった可能性があり、チップの浸漬条件を変更することで、評価が高まると推測される。

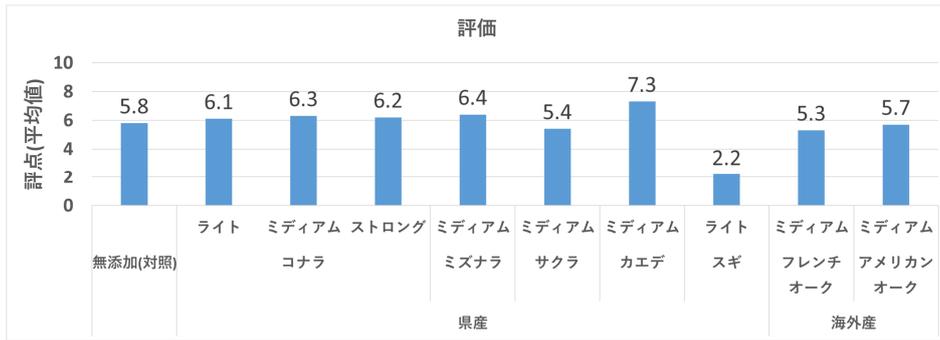


図6 リースリング・リオンワインの官能評価結果

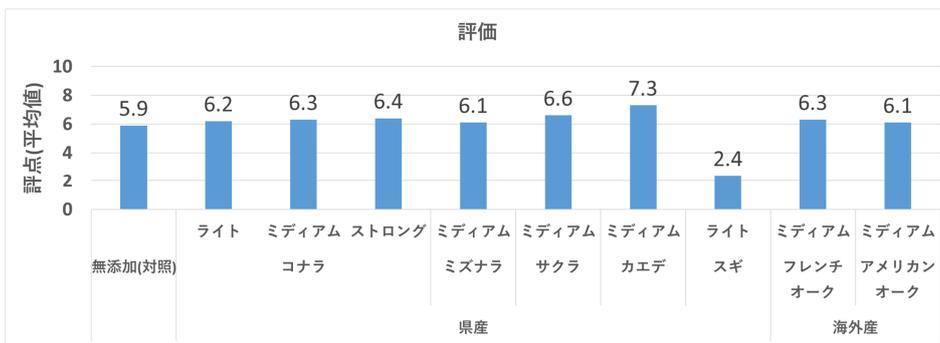


図7 シャルドネワインの官能評価結果

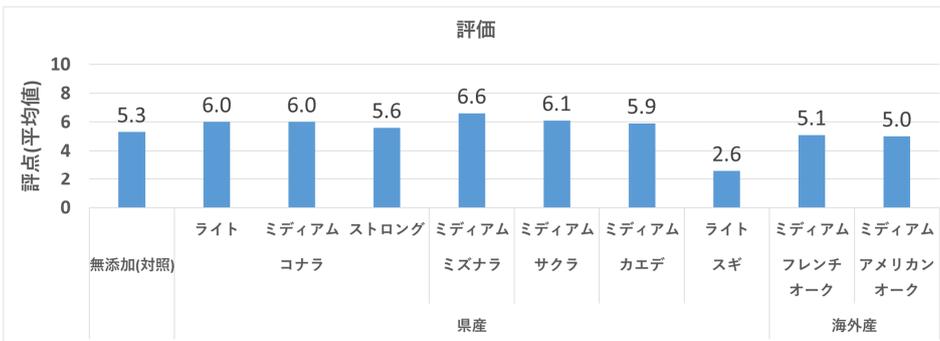


図8 メルローワインの官能評価結果

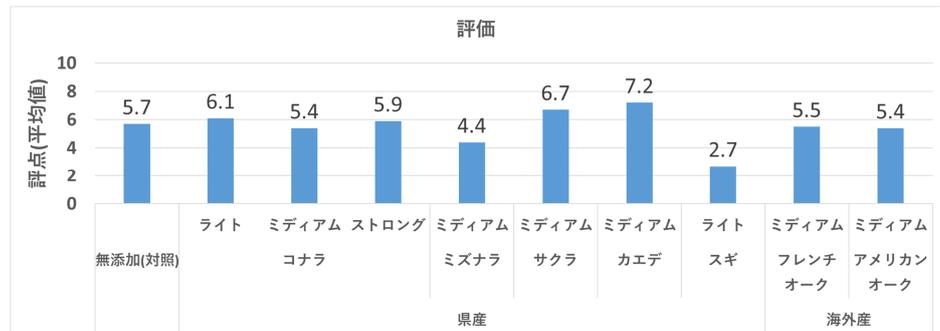


図9 ヤマブドウワインの官能評価結果

4 結 言

岩手県産木質チップ（コナラ、ミズナラ、オオヤマザクラ、イタヤカエデ、スギ）をエタノール溶液に浸漬して浸漬期間およびフレーバー成分の分析を行った。最適浸漬期間は浸漬液の総ポリフェノール量が飽和した2～3週間が妥当とした。

GC-MS および LC-MS/MS で分析した結果、樹種による違いはあるものの、スギ以外の県産チップからオーク由来の代表的なフレーバー成分（フルフラール、オークラクトン、グアイアコール、オイゲノール、バニリン、シリングアルデヒド）が海外産チップと同様に検出された。また、加熱強度「ライト」と「ミディアム」では、オークラクトンやテルペン類の成分が多く検出されたが、これらの成分は加熱強度「ストロング」ではN.D.であった。対照的に、加熱強度「ライト」と「ミディアム」でN.D.であったシリングアルデヒドは、加熱強度「ストロング」で検出された。

ワインの官能評価の結果から、品種の異なるワインにおいても、木質チップで共通のコメントが確認でき、木質チップのフレーバーの特徴が明らかとなった。スギ以外の県産チップを浸漬したワインの官能評価の評点は、無添加および海外産チップよりも概ね高く、県産チップがワインの高品質化・高付加価値化に貢献できること、および海外産チップと同様に利用できることが考えられる。

本研究で得られた最適な浸漬期間および樹種と加熱強度によるフレーバー特性を、酒類メーカーが県産チップを活用する際の具体的な指標として情報提供を進め、地域資源の利用拡大を図りたい。すでに、県内外の酒類メーカーへ情報提供しており、県内酒類メーカーでは商品化に至っている。

本研究では、浸漬実験の溶媒として、ワインで一般的なアルコール12%を指標としたが、酒類のアルコール濃度は数%から40%以上と品目などで大きく異なる。したがって、今後はワイン以外の酒類への展開を目的にアルコール濃度を変更してフレーバー成分分析などを行う予定である。

謝 辞

ご協力を頂きました株式会社昭林の皆様、果実をご提供頂きました葡萄が丘農業研究所の皆様、岩手県農業研究センター佐々木俊洋様に感謝申し上げます。

文 献

- 1) ヤイル・マーガリット 著, 酒類総合研究所 監訳: ワイン製造の基本 小規模ワイナリーのための製造技術, 酒類総合研究所 (2021)
- 2) 晴山聖一, 金林和裕, 鈴木三彦, 藤井信行, 尾上貴志: 燻煙材の製造方法及び燻煙材, 特許第7309139号 (2022)
- 3) 生駒元, ワイン醸造技術, 日本醸造協会 (2022)
- 4) 山梨県ワイン酒造組合: 山梨県ワイン製造マニュアル 2020年版, 山梨県ワイン酒造組合 (2021)
- 5) Folin, O. and Denis, W.: A colorimetric method for the determination of phenols (and phenol derivatives) in urine, *J. Biol. Chem.*, 22, p.305-308 (1915)
- 6) 晴山聖一, 伊藤良仁: 岩手県産木質資源の食品フレーバー原料としての活用検討, 岩手県工業技術センター最新成果集 2022, p.32 (2022)
- 7) Rosso, M.D., Panighel, A., Vedova, A.D., Stella, L., Flamini, R.: Changes in chemical composition of a red wine aged in acacia, cherry, chestnut, mulberry, and oak wood barrels, *J. Agric. Food. Chem.*, 57, 1915-1920 (2009)
- 8) 小松正和, 佐藤憲亮, 恩田匠: 甲州ワイン高品質化のための各種醸造技術の検証, 山梨県産業技術センター研究報告, 2, p.123-128 (2019)
- 9) 国税庁所定分析法, 国税庁ホームページ, <https://www.nta.go.jp/law/tsutatsu/kobetsu/sonota/070622/01.htm>
- 10) 藤田晃子, 塚本香, 藤井力, 後藤 (山本) 奈美: エタノールを使用したブドウ果汁の資化性窒素 (アミノ酸) の分析方法, *日本ブドウ・ワイン学会誌*, 26, p.133-140 (2015)
- 11) 谷田貝光克: 森の香り・木の香り その正体と働き, *におい・かおり環境学会誌*, 38, p.428-434 (2007)
- 12) 太田静行: *くん製食品*, 恒星社厚生閣 (1978)
- 13) 北尾弘一郎, 渡辺康光: リグニンの熱分解ガスクロマトグラフィー, *材料*, 169, p844-847 (1967)
- 14) 古賀邦正: 最新ウイスキーの科学 熟成の香味を生む驚きのプロセス, 講談社 (2018)
- 15) 飯泉新吾: 改訂3版 木材工業ハンドブック, 丸善 (1982)
- 16) Tomasz, T., Filip, K., Aleksandra, D. C.: The impact of compounds extracted from wood on the quality of alcoholic beverages, *Molecules*. 28,620 (2023)

岩手県産醸造用ブドウ有望品種のワイン醸造適性評価*

菊池祥**、平野高広***、山下佑子***

平成 29 年度から令和 6 年度にかけて、岩手県内で栽培した醸造用ブドウ 6 品種（アルモノワール、ソワノワール、ピノ・ノワール、モンドブリエ、アルバリーニョ、ヤマブラン）を供試してワイン 76 種類を試作し、醸造適性を評価した。官能試験の結果、総合評価は概ね良好であり、これらの品種が岩手県に適することが示唆された。また、摘葉試験では早期に摘葉することで糖度や着色を改善する効果が確認できた。

キーワード：ブドウ、ワイン醸造適性、摘葉試験、岩手県

Evaluation of Wine Using Promising Wine Grape Varieties Cultivated in Iwate Prefecture

KIKUCHI Shou, HIRANO Takahiro, YAMASHITA Yuko

Key words: grape, wine suitability, leaf removal examination, Iwate

1 緒言

近年の日本ワインブームの影響もあり、全国的にワイナリー数は増加しており、地理的表示 (GI) の取得などによる産地の差別化や個性化が重要視されている。岩手県のワイナリー数は全国 5 位であり、平成 27 年から令和 5 年で 7 場から 15 場と増加している¹⁾²⁾。ワイナリーは内陸地域だけでなく、沿岸地域を含めた県内各所に設立され、それに伴い醸造用ブドウの産地が拡大している。岩手県は県内市町村、県内ワイナリーとともに平成 29 年度に「いわてワインヒルズ推進協議会」、令和 5 年度からは「いわてワイン振興協議会」を立ち上げ、県産ワイン等の生産拡大や酒類の GI の申請の検討等に取り組んでおり³⁾、産地のブランド化を加速する動きが活発化している。

原料ブドウに着目すると、岩手県では、長年リースリング・リオン、ヤマブドウ、メルローなどが栽培されており、現在でも県内の主要品種として複数の県内ワイナリーが商品化している。その一方で、ワイナリーの増加や産地の拡大により、それぞれの産地に適した新しい品種が求められている。加えて、岩手県でも温暖化の影響があることから⁴⁾、温暖化

に対応できる新たな品種や栽培方法等が県内ワイナリーから求められている。

本研究では、県内における高品質ワイン生産や地域のブランド化に向け、有望な醸造用ブドウ品種および異なる条件で栽培された醸造用ブドウについて、醸造試験と官能評価を行ったので報告する。

2 実験方法

2-1 供試試料

平成 29 年度から令和 6 年度に岩手県内の圃場(野田村：株式会社のだむら・涼海の丘ワイナリー、花巻市大迫町：葡萄が丘研究所、北上市：岩手県農業研究センター、陸前高田市：有限会社神田葡萄園)で収穫した醸造用ブドウ 6 品種（アルモノワール：略称 HN、ソワノワール：SN、ピノ・ノワール：PN、モンドブリエ：MB、アルバリーニョ：ARB、ヤマブラン：YB）を供試した。この中でも HN、MB、SN は国内で育種され、それぞれ平成 21 年、平成 28 年、令和 4 年に品種登録された新しい品種である⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

* 平成 29～令和 5 年度 いわてワインヒルズ推進事業委託研究、平成 30～令和 2 年度 食料生産地域再生のための先端技術展開事業 (JPJ000418) のうち社会実装促進業務委託事業、令和 6 年度 技術シーズ創生・発展研究事業 (可能性調査研究)

** 醸造技術部 (現・食品技術部)

*** 醸造技術部

2-2 試験方法

次の方法で試験醸造、成分分析および官能評価を行った。

(1) 試験醸造

表1の条件を設け、下記の方法で3～10Lの小規模試験醸造を行った。ワイン酵母、マロラクティック発酵(MLF)乳酸菌および発酵助成剤の使用方法は各メーカーの取扱説明書に従った。

① 赤、ロゼおよびオレンジワインの試験醸造

除梗・破碎後、果実重量に対し亜硫酸が45 mg/kgになるようピロ亜硫酸カリウムを添加した。かもし仕込みによるアルコール発酵(かもし発酵)を品温約23°Cで行い圧搾した。Brixを定期的に分析し、低下しない時点でアルコール発酵を終了した。発酵が完了したワインは品温4°Cまで冷却後、澱引き、ろ過および瓶詰めをした。発酵終了後は、分子状亜硫酸濃度が常に0.6 mg/kg以上になるようピロ亜硫酸カリウムを添加した。

② 白ワインおよびブラッシュワインの試験醸造

除梗・破碎し、亜硫酸が果汁重量に対して50 mg/kgとなるようピロ亜硫酸カリウムを添加した。アルコール発酵を品温約15°Cで行った。Brixを定期的に分析し、低下しない時点でアルコール発酵を終了した。発酵が完了したワインは品温約4°Cまで冷却後、澱引き、ろ過および瓶詰めをした。発酵終了後は、分子状亜硫酸濃度が常に0.8 mg/kg以上になるようピロ亜硫酸カリウムを添加した。

(2) 果汁およびワインの成分分析

比重、総酸(酒石酸換算)、アルコール分およびエキス分は国税庁所定分析法⁸⁾に準じて、資化性窒素量(Yeast assimilable nitrogen: YAN)は『エタノールを使用したブドウ果汁の資化性窒素(アミノ酸)分析法(暫定法)について』⁹⁾に準じて、Brixはポケット糖度計APAL-1(株式会社アタゴ)、pHはAT-420(京都電子工業株式会社)、リンゴ酸はMERCK RQフレックス10(関東化学株式会社)を用いて分析した。

(3) 官能評価

ワインの官能評価は、ワインを醸造した年度に実施し、外観(0不可、1可、2良)、香り(0不可、3良、5優)、味(0不可、3良、5優)、総合評価(0不可、5良、10優)およびコメントで行った。評価は、独立行政法人酒類総合研究所認定清酒専門評価者2名および一般社団法人日本ソムリエ協会認定ソムリエ1名を含む工業技術センター醸造技

術部および食品技術部の職員4-6名で行った。また、平成29年度から令和1年度および令和4、5年度はいわてワイン研究会にて、ソムリエ等有資格者、ワイナリー製造担当者、関係者らが評点(0不可、5良、10優)およびコメントにて評価した。

3 結果および考察

3-1 果実

表2に供試ブドウの産地および収穫日を示す。果実の状態は、令和4年度のMBで花ぶるいによる着粒減がみられたものの、その他の年度および品種では、腐敗果や裂果、病果がみられず良好であった。

3-2 果汁成分

果汁成分を表3に示す。搾汁率は53.5-75.1%、平均は68.3%であった。糖度は13.8-22.9度、平均17.6度であり、最低値は令和5年度のHN7-8月摘葉の試験区であったが、同様に同年度の摘葉なしおよび6月摘葉の試験区のHNも糖度14-15度と糖度が低かった。さらに、令和6年度のHNも糖度が低い傾向にあった。この原因として、平成29年度から令和6年度の収穫時期は9月中旬から10月中旬であり、令和5、6年度は10月初旬から中旬のため、収穫時期の影響ではないと思われる。

図1に本研究のHNの産地である北上市、花巻市、陸前高田市圃場から近い大船渡市における平成29年度から令和6年度のブドウの成熟期である8-9月の半月別気象観測データを示す¹⁰⁾。

令和5、6年度の大船渡市の8-9月の平均気温は平年値よりも常に高かった。夜間の低温はブドウ樹体内の糖分の蓄積を促すとの報告があることから¹¹⁾、気温が高かったために糖度が十分に上がらなかったと考えられる。

総酸は5.7-13.5 g/L、平均は8.8 g/Lであった。総酸の最高値は令和4年度のYBであった。YBは農林水産省ホームページ品種登録データベースに「ヤマブドウの交配種(PN×{ヤマブドウ×PN})で、酸味が多いことが特徴」との記載がある¹²⁾。醸造試験を行った令和1-5年度のYBの総酸は9.1-13.5 g/Lと多く、岩手県においても特徴が表れていた。

YANは85-322 mg N/L、平均189 mg N/Lであり、酵母が健全にアルコール発酵を行うために必要な最低量約140 mg N/L¹³⁾を下回っているブドウも見受けられたが、その場合は、発酵補助剤(フェルメイドKまたはフェルメイドO)を添加したため、アルコール発酵は健全に進んだ。

表 1 試験醸造条件

年度	品種	試験区	産地	酵母	乳酸菌	発酵助成剤	その他
H29	HN	RX	北上市	RX60 ^{#1}	SD		-
		RX OAK					NS, 2 g/L, 8 週間
		X-PURE					-
	MB	X-PURE OAK		X-PURE ^{#1}			NS, 2 g/L, 8 週間
		EC					-
		EC MLF		EC1118 ^{#2}	CH35		-
		EC MLF OAK				NS, 3 g/L, 4 週間	
		OPALE		ICV OPALE2.0 ^{#2}			-
H30	HN	HK	北上市				-
		HK-MLF			VP41	GPE, Bac	
		HO				GPE	
	MB	HO-MLF	花巻市大迫町	ICV GRE ^{#2}	VP41	GPE, Bac	
		HR	陸前高田市			GPE	
		HR-MLF			VP41	GPE, Bac	
R1	MB	MK-EC	北上市	EC1118 ^{#2}			
		MK-EL		Elegance ^{#3}		GPE	
	MO	花巻市大迫町	EC1118 ^{#2}				
	MO Sweet					MO にシロ糖 3% 添加	
R2	HN	北上 R	北上市	RC212 ^{#2}			低温浸漬
		北上 F		Fusion ^{#4}	PN4	Bac	
	陸高 R	陸前高田市	RC212 ^{#2}				低温浸漬
	北上 MLF	北上市		CH35Co	Bac		
R3	MB	大迫	花巻市大迫町	EC1118 ^{#2}			
		辛口					
	大迫					大迫辛口にシロ糖 3% 添加	
	甘口						
R4	ARB	辛口	北上市	FLAVIA ^{#2}		GPE, FK	
		甘口		QA23 ^{#2}			辛口にシロ糖 2% 添加
	北上	北上市					
	北上 O					BA, 1 g/L, 6 週間	
R5	HN	大迫	花巻市大迫町	RB2 ^{#1}	VP41Co	GPE	
		大迫 O					BA, 1 g/L, 6 週間
	MB	北上	花巻市大迫町	X5 ^{#1}		SB	
		紫波		紫波町			
陸高	陸前高田市						
R6	YB	YB	北上市	EC1118 ^{#2}		GPE	
		北上摘葉なし					
	HN	北上 7 月摘葉	北上市	ICV D21 ^{#2}	VP41Co	GPE	
		北上 8 月摘葉					
R7	MB	922 収穫	北上市	X5 ^{#1}		SB	
		107 収穫					
	YB	YB	北上市				
		ロゼ					
R8	HN	ロゼ オークチップ	陸前高田市	ICE GRE ^{#2}	VP41	GPE	
				BM45 ^{#2}			IOC, 1 g/L, 3 週間
	PN	赤、摘葉なし	北上市	EC1118 ^{#2}	VP41Co	GPE	
		赤、7 月摘葉					
赤、8 月摘葉							
R9	SN	赤	北上市	EC1118 ^{#2}	VP41Co	GPE	
	MB	白	花巻市大迫町	228 ^{#2}		GPE	
R10	ARB	発泡性	陸前高田市	ICE GRE ^{#2}		GPE	瓶内二次発酵, ガス圧 3.4 GV
		オレンジ					
	YB	発泡性	野田村	EC1118 ^{#2}		GPE	瓶内二次発酵, ガス圧 2.7 GV
R11	HN	赤、摘葉なし	陸前高田市	CSM ^{#2}	VP41Co	GPF, FO	
		赤、6 月摘葉					
	赤、7-8 月摘葉						
	SN	赤	北上市	ICV GRE ^{#2}	VP41Co	GPF, FO	
R12	MB	白、9 月 8 日収穫	北上市	EC1118 ^{#2}		GPF, FO	
		白、10 月 6 日収穫					
	白、9 月 5 日収穫	花巻市大迫町					
	白、9 月 22 日収穫						
R13	YB	白	北上市	ICV OKAY ^{#2}		GPF, FO	
				野田村			
	HN	赤、無摘葉	陸前高田市	CLOS ^{#2}	VP41Co	GPF, FO	
		赤、6 月摘葉					
赤、7-8 月摘葉							
R14	SN	赤	北上市	RP15 ^{#2}	VP41Co	GPF, FO	
		ブラッシュ					
	MB	白、9 月 18 日収穫	北上市	EC1118 ^{#2}		GPF, FO	
		白、10 月 4 日収穫					
YB	白	北上市	ICV OPALE2.0 ^{#2}		GPF, FO		

SD: SB3 DIRECT^{#1} (アルコール発酵完了後)
 CH35: Viniflora CH35^{#3} (アルコール発酵完了後)
 NS: NOBILE Sweet^{#1}
 VP41: MBR VP41^{#2} (アルコール発酵完了後)
 GPE: ゴーフーム・プロテクト・エボリューション^{#2}
 Bac: Bactiv-aid2.0^{#3} (MLF 発酵助成剤)
 PN4: MBR PN4^{#2} (コイノキュレーション)
 CH35Co: Viniflora CH35^{#3} (コイノキュレーション)
 FK: フェルメイド K^{#2}
 VP41Co: MBR VP41^{#2} (コイノキュレーション)
 BA: BASE(NOBILE 社製)
 SB: SUPERSTART BLANC^{#1}
 IOC: 岩手県産オークチップ (株式会社昭林製)
 GSF: ゴーフーム・ステロール・フラッシュ^{#2}
 FO: フェルメイド O^{#2}
 ※ 1 Laffort 社製
 ※ 2 Lallemand 社製
 ※ 3 CHR. HANSEN 社製
 ※ 4 AB Mauri 社製

岩手県産醸造用ブドウ有望品種のワイン醸造適正評価

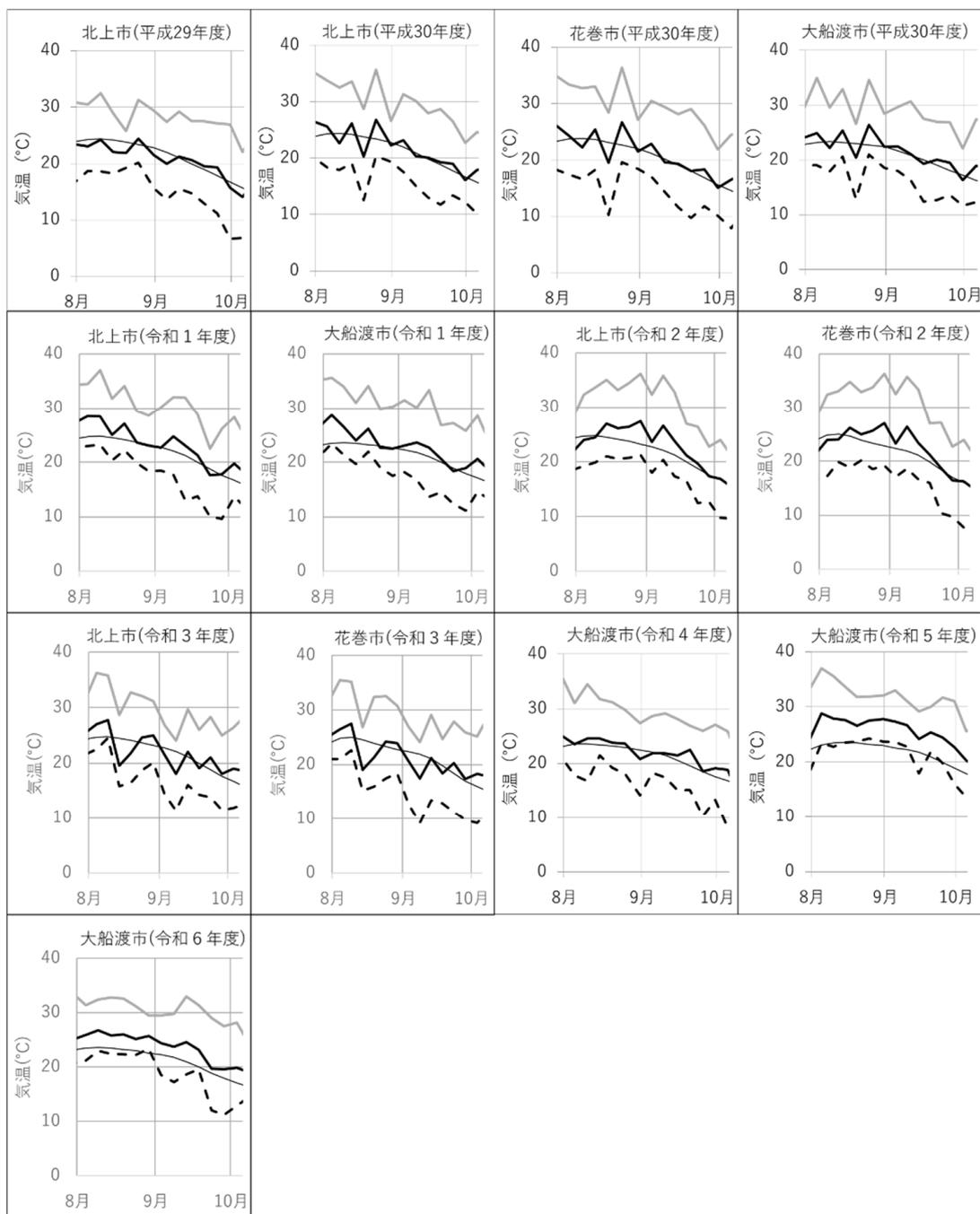
表 2 供試ブドウの産地および収穫日

年度	品種	産地	収穫日	備考
H29	HN	北上市	9月13日	-
	MB		9月22日	-
H30	HN	北上市	9月7日	-
		花巻市大迫町	9月26日	-
	MB	陸前高田市	10月16日	-
		北上市	9月12日	-
R1	HN	花巻市大迫町	9月26日	-
		北上市	9月12日	-
	MB	陸前高田市	10月3日	-
		北上市	9月19日	-
R2	HN	花巻市大迫町	9月24日	-
		北上市	9月18日	-
	MB	北上市	9月14日	-
		花巻市大迫町	9月17日	-
R3	HN	北上市	10月1日	-
		花巻市大迫町	9月13日	-
	MB	紫波町	9月24日	-
		陸前高田市	9月24日	-
R4	YB	北上市	10月16日	-
		北上市	9月17日	摘葉なし
	HN	北上市	9月15日	7月摘葉
		花巻市大迫町	9月15日	8月摘葉
R5	MB	北上市	9月28日	-
		北上市	9月22日	-
	YB	北上市	10月7日	-
		北上市	10月4日	-
R6	HN	陸前高田市	10月18日	-
		北上市	9月9日	-
	SN	北上市	9月6日	摘葉なし
		北上市	9月6日	7月摘葉
R7	PN	北上市	9月6日	8月摘葉
		北上市	9月20日	-
	MB	花巻市大迫町	9月16日	-
		紫波町	10月7日	-
R8	ARB	陸前高田市	10月2日	-
		野田村	9月21日	-
	YB	野田村	9月21日	-
		陸前高田市	10月12日	摘葉なし
R9	HN	陸前高田市	10月12日	6月摘葉
		陸前高田市	10月12日	7-8月摘葉
	SN	北上市	8月31日	-
		北上市	9月8日	-
R10	MB	北上市	10月6日	-
		花巻市大迫町	9月5日	-
	YB	花巻市大迫町	9月22日	-
		北上市	10月17日	-
R11	YB	野田村	10月18日	-
		陸前高田市	10月2日	無摘葉
	SN	陸前高田市	10月2日	6月摘葉
		陸前高田市	10月2日	7-8月摘葉
R12	SN	北上市	9月4日	-
		北上市	9月18日	-
	MB	北上市	10月4日	-
		北上市	10月11日	-

表 3 供試ブドウの果汁成分

年度	品種	試験区	搾汁率 (%)	比重 (15/4°C)	糖度 (Brix)	pH	総酸 (g/L)	YAN (mg N/L)	
H29	HN	RX RX OAK X-PURE X-PURE OAK	73.4-74.4	1.074	17.2	3.3	12.2	207	
		MB	EC EC MLF EC MLF OAK OPALE	57.6-60.6	1.081	18.9	3.2	10.1	148
			HN	HK HK-MLF HO HO-MLF	70.7 66.3	1.076 1.084	17.9 19.7	3.3 3.2	9.1 6.7
H30	MB	HR HR-MLF MK-EC MK-EL		65.2 61.6	1.082 1.074	19.3 17.5	3.4 3.0	7.3 10.0	224 210
		MO MO-Sweet		70.2	1.080	19.0	3.1	7.2	140
R1	HN		北上 R 北上 F 陸高 R	74.1 69.4	1.075 1.084	18.1 19.7	3.2 3.2	9.7 7.9	198 147
		MB	北上 大迫辛口 大迫甘口	65.6 75.0	1.074 1.080	18.2 19.3	3.1 3.0	8.1 7.2	160 147
			ARB	辛口 甘口	62.4	1.064	15.5	3.4	6.5
R2	HN	北上 北上 O 大迫 大迫 O	65.4 67.7	1.078 1.079	18.6 18.7	3.6 3.1	5.8 8.6	223 235	
		MB	北上 大迫 紫波 陸高	68.7 71.4 70.7 72.0	1.079 1.078 1.077 1.078	18.4 18.7 18.4 18.4	3.4 3.2 3.3 3.1	6.2 8.1 7.3 10.0	183 232 214 274
			YB	YB	57.7	1.069	16.1	3.1	12.1
	R3	HN	北上摘葉なし 北上 7 月摘葉 北上 8 月摘葉 大迫	69.3 65.6 68.3 70.9	1.077 1.068 1.068 1.092	18.8 16.4 16.2 21.3	3.1 3.2 3.2 3.1	9.5 9.8 10.5 8.0	218 280 322 175
			MB	9/22 収穫 10/7 収穫	69.9 71.4	1.078 1.089	18.9 20.6	3.1 3.1	9.8 8.7
YB				YB	66.5	1.085	20.4	3.1	9.6
R4			HN	ロゼ ロゼ オークチップ	62.3	1.081	19.3	3.3	8.7
		SN		赤 摘葉なし	70.2 71.8	1.059 1.061	14.7 15.2	3.3 3.3	8.9 10.6
PN	MB		7 月摘葉 8 月摘葉 北上市 花巻市大迫町	70.5 71.5 64.5 73.2	1.062 1.060 1.078 1.075	15.4 14.7 18.7 18.2	3.2 3.1 3.1 3.1	11.5 12.5 10.8 10.8	260 232 274 220
		ARB	紫波町 発泡性 オレンジ	61.9 60.0 53.5	1.082 1.074 1.081	19.6 18.0 19.3	3.3 3.2 3.3	8.2 11.1 8.7	210 182 167
R5	YB		発泡性 白	62.4 62.3	1.072 1.081	17.5 19.3	3.0 3.3	13.5 8.7	191 167
		HN	赤、摘葉なし 赤、6 月摘葉 赤、7-8 月摘葉	75.1 74.6 73.9	1.059 1.062 1.057	14.3 14.8 13.8	3.3 3.3 3.3	6.7 6.9 6.5	92 101 97
R6	SN		赤	67.4	1.075	18.6	3.5	6.5	129
		MB	北上市、白、 9 月 8 日収穫 北上市、白、 10 月 6 日収穫	70.6 65.8	1.067 1.082	16.3 19.6	3.3 3.5	8.4 6.4	126 149
			花巻市大迫町、白、 9 月 5 日収穫 花巻市大迫町、白、 9 月 22 日収穫	62.4 71.2	1.071 1.079	17.0 19.1	3.3 3.5	8.5 5.9	116 116
		YB	北上市、白 野田村、白	70.2 65.1	1.076 1.076	18.1 18.1	3.3 3.2	9.8 11.9	153 223
			HN	赤、無摘葉 赤、6 月摘葉	73.9 73.1	1.062 1.072	15.0 17.3	3.5 3.4	5.7 7.1
R6	SN	赤、7-8 月摘葉 赤		72.2 72.0	1.066 1.066	16.0 16.4	3.4 3.5	6.5 5.8	189 126
		MB	ブラッシュ 白、9 月 18 日収穫 白、10 月 4 日収穫	71.3 68.1 68.8	1.065 1.073 1.078	15.2 17.7 18.8	3.4 3.3 3.4	6.1 8.0 6.6	157 221 199
	YB		白	72.0	1.076	18.0	3.3	9.1	227

※ 発酵日数はアルコール発酵および MLF が完了した日数



灰色実線：最高気温 実線：平均気温 点線：最低気温 細線：平均気温平年値

図1 平成29年度から令和6年度のアルモノワール産地の半旬別平均気温

3-3 ワインの成分

ワインの成分を表 4 に示す。ワインの発酵日数は 6-88 日間であった。発酵および貯蔵中に問題となる欠陥臭の発生は確認されなかった。最も時間を要したのは平成 29 年度のモンドブリエであり、アルコール発酵は 13 日で終了したが、MLF の完了までに 75 日を要し、合計の発酵日数が 88 日となった。これはワインの pH が 3.2 と低いことに加え、MLF 発酵助成剤を使用していないことが原因と考えられる。

アルコールは 9.7-13.8%、平均 11.5%、エキス分は 1.6-5.2、平均 2.4、pH は 2.9-4.0、平均 3.4 であった。総酸は 3.7-12.8 g/L、平均 7.6 g/L であった。総酸の最高値は令和 4 年度の YB であり、ワインにおいても YB の総酸は 8.0-12.8 g/L と高かった。

3-4 官能評価

官能評価の結果(◎ 6 以上、○ 5 以上、△ 3.5 以上)を表 5 に示す。総合評価は平均 6 点以上と良(5 点)を上回り、概ね良好な評価であった。

令和 3-6 年度は HN または PN にて、摘葉試験区を設けた。山梨県ワイン製造マニュアル 2020 年度によると、摘葉は果実への日当たりをよくすることで糖度の上昇や着色を改善する効果があるとされる¹³⁾。令和 3 年度は違いが確認できなかったが、令和 4 年度は摘葉によって未熟香の減少がみられ、評価が高くなった。令和 5、6 年度は早期である 6 月摘葉が最も効果が高く、果実の着色も良かったことから(データ未記載)、摘葉による効果があったと考えられる。以上の結果から、摘葉は糖度の上昇や着色を改善する効果があり、特に 6 月摘葉の効果が高いことが確認できた。

SN はメルロー×PN の交配品種であり、ブドウの特徴として早生種で糖酸のバランスが良く着色良好、ワインの特徴として色が濃く酸とタンニンのバランスが良いとされている⁷⁾。官能評価の結果、令和 4、5 年度の結果では、総合評価は 6.0 点以上(◎)と高評価であった。一方、令和 6 年度は「味が薄め」と評価され評点が低かった。図 2 に本研究の SN の産地である北上市の半旬別平均気温、図 3 に半旬別降水量を示す。令和 4 年度の平均気温は概ね平年並みであり、令和 5、6 年度は平年値よりも常に高かった。令和 4、5 年度の収穫時期の降水量は 50 mL 以下であったが、令和 6 年度は 100 mL 以上であった。令和 6 年度のみ「味が薄め」と評価されたため、味が薄い原因は気温の影響ではなく、降雨の影響を受

けた可能性が考えられる。

MB はマスカット香とも表現されるライチ様の香りが特徴とされるが⁶⁾、その特徴香が少ない事例があり問題となっている。果汁の糖度(Brix)、総酸および特徴香の関係について調べた結果(図 4)、①糖度が 17 度以下と低い場合、②総酸が約 10 g/L と高い場合、③糖度が 19 度以上と高く、総酸が 7 g/L 未満と低い場合に特徴香が少ない事例がみられた。ただし、②では同様の成分値でも特徴香が出ている事例もあり、他の成分や栽培方法も含めた検討が必要と考えられる。

ABR は試験醸造を実施した令和 1、4 年度の官能評価の結果、総合評価 5 点以上(○)と評価が良かったことから、本県に適していることが示唆された。ARB の主要産地はリアス式海岸であるスペインのリアス・バイシャス地域である。岩手県内の主要産地は同じくリアス式海岸である陸前高田市などの三陸沿岸地域であり、その共通点から ARB ワインのブランド化が期待される。

YB は前述の通りヤマブドウと PN の交配種で、酸味が多いことが特徴とされている¹²⁾。果汁およびワインの成分は総酸が高く、官能評価では「はっきりとした酸」「豊かな酸」など酸味が多いコメントがみられた。総合評価は、試験醸造を実施した令和 3-6 年度で 5 点以上(○)または 6 点以上(◎)と評価が高く、本県に適していることが示唆された。岩手県はヤマブドウの収穫量が全国 1 位であり¹⁴⁾、特に県北部において栽培が盛んである。その理由として寒冷な気候からヤマブドウ以外のブドウの生育が困難であることが挙げられる。YB はヤマブドウ交配種であるため、耐寒性に優れている可能性が高く、県北部での生育・普及が期待される。なお、県北沿岸部の株式会社のだむら・涼海の丘ワイナリーは、近隣町村産のヤマブドウのみを原料とした赤・ロゼワインを商品化しており、YB を原料とした白ワインの商品化によりラインナップの充実を目指している。

本研究では、産地、栽培条件、醸造条件などを変え、醸造適性を評価した。試験醸造が少ない品種や年間差が見受けられる品種については引き続き試験が必要と考えられる。

岩手県産醸造用ブドウ有望品種のワイン醸造適正評価

表4 ワインの成分

年度	品種	試験区	発酵日数	アルコール (%)	エキス分	pH	総酸 (g/L)	
H29 ^{*1}	HN	RX	26(6)	10.1	2.8	3.5	11.7	
		RX OAK	26(6)	10.1	2.8	3.7	7.9	
		X-PURE	26(6)	10.1	2.8	3.5	10.8	
		X-PURE OAK	26(6)	10.1	2.8	3.7	7.3	
		EC	13	11.8	2.4	3.2	10.5	
	MB	ECMLF	88(13)	11.8	2.4	3.2	8.9	
		ECMLF OAK	88(13)	11.8	2.4	3.2	8.9	
		OPALE	13	11.9	2.0	3.2	9.4	
		HK	7	11.4	3.0	3.5	9.2	
		HK-MLF	12(7)	11.4	2.6	3.8	5.6	
H30 ^{*1}	HN	HO	13	11.2	2.7	3.4	9.1	
		HO-MLF	15(13)	11.2	2.1	3.5	7.7	
		HR	9	11.0	2.8	3.4	8.3	
		HR-MLF	13(9)	11.0	2.4	3.7	6.3	
		MK-EC	13	11.2	2.2	3.0	11.3	
	MB	MK-EL	13	11.2	2.4	3.0	11.1	
		MO			2.2	3.0	8.6	
		MO-Sweet	21	11.6	5.2 ^{*4}	3.0	8.6	
		北上R	22	12.8	2.7	3.7	5.3	
		北上F	18	11.9	2.9	3.7	6.4	
R1 ^{*2}	HN	陸高R	13	9.9	2.5	3.4	5.9	
		北上	16	11.6	2.2	3.0	8.5	
		北上 MLF	35	11.9	2.3	3.2	7.2	
		大迫辛口			2.2	3.1	8.1	
		大迫甘口	19	10.5	5.2 ^{*4}	3.1	8.1	
	ARB	辛口			2.3	3.4	6.9	
		甘口	15	11.5	4.3 ^{*4}	3.4	6.9	
		北上			2.6	4.0	3.7	
		北上 O	11	10.6	2.6	4.0	3.8	
		大迫			2.9	3.2	7.0	
R2 ^{*2}	HN	大迫 O	12	11.6	2.9	3.2	6.9	
		北上	23	12.2	2.1	3.3	6.4	
		大迫	24	12.8	2.0	3.1	7.6	
		紫波	22	12.7	2.2	3.2	7.2	
		陸高	28	13.8	2.2	2.9	9.1	
	YB	YB	15	12.5	2.6	3.1	10.6	
		北上摘葉なし	15(8)	11.0	2.4	3.4	7.0	
		北上7月摘葉	15(7)	10.7	2.5	3.6	6.0	
		北上8月摘葉	15(6)	10.4	2.5	3.6	6.3	
		大迫	14(10)	11.9	2.4	3.3	7.2	
R3 ^{*1}	MB	9/22 収穫	27	12.2	1.9	3.0	8.3	
		10/7 収穫	25	12.0	2.1	3.1	8.1	
		YB	18	12.3	2.2	3.2	8.1	
		HN	ロゼ			3.7	5.2	
		ロゼ オークチップ	42(24)	13.0	2.2	3.7	5.3	
	R4 ^{*3}	SN	赤	14(7)	11.1	2.1	3.6	5.4
			摘葉なし	13(7)	10.0	1.8	3.6	4.6
			7月摘葉	13(7)	9.7	1.7	3.5	5.1
			8月摘葉	13(7)	10.0	1.8	3.6	5.1
			北上市	20	11.8	2.6	3.1	10.1
MB		花巻市大迫町	23	12.0	2.4	3.1	10.8	
		紫波町	24	11.8	2.1	3.2	8.7	
		発泡性 ^{*5}	49(18)	12.9	2.1	3.5	7.0	
		オレンジ	13	10.4	2.2	3.6	7.1	
		発泡性 ^{*6}	46(17)	12.9	2.4	3.1	12.5	
R5 ^{*2}	YB	白	17	12.7	2.6	3.1	12.8	
		赤、摘葉なし	11	10.8	2.6	3.5	5.3	
		赤、6月摘葉	11	11.3	2.5	3.4	6.2	
		赤、7-8月摘葉	11	11.8	2.4	3.5	5.7	
		SN	赤	10	10.3	1.9	3.8	4.2
	MB	北上市、白、9月8日収穫	15	12.5	2.0	3.2	8.1	
		北上市、白、10月6日収穫	13	12.0	1.6	3.4	6.3	
		花巻市大迫町、白、9月5日収穫	15	12.5	2.3	3.3	8.1	
		花巻市大迫町、白、9月22日収穫	14	12.3	2.0	3.4	6.1	
		YB	北上市	14	12.1	1.9	3.3	8.2
R6 ^{*2}	HN	野田村	9	12.0	2.4	3.3	10.9	
		赤、無摘葉	12	10.5	1.7	3.6	5.9	
		赤、6月摘葉	12	10.8	1.8	3.5	6.4	
		赤、7-8月摘葉	12	11.4	2.0	3.7	5.8	
		赤	16	11.4	2.2	3.7	5.9	
	SN	ブラッシュ	18	12.2	1.7	3.4	6.7	
		9月18日収穫	15	12.2	1.7	3.3	7.4	
		MB	白、10月4日収穫	17	12.2	1.7	3.4	6.2
		YB	白	17	11.9	1.9	3.4	8.0

※1 発酵日数は、アルコール発酵およびMLFが完了した日数。()内はアルモノワールではかもし発酵日数。

※2 発酵日数は、アルコール発酵およびMLF発酵が完了した日数。

※3 発酵日数は、アルコール発酵およびMLFが完了した日数、または瓶内二次発酵が完了した日数。()内は赤ワインではかもし発酵日数、発泡性では一次(アルコール)発酵日数。

※4 エキス分は計算値。

※5 ガス圧 295kPa

※6 ガス圧 210kPa

ロゼワインのかもし日数は1日。

表5 官能評価結果

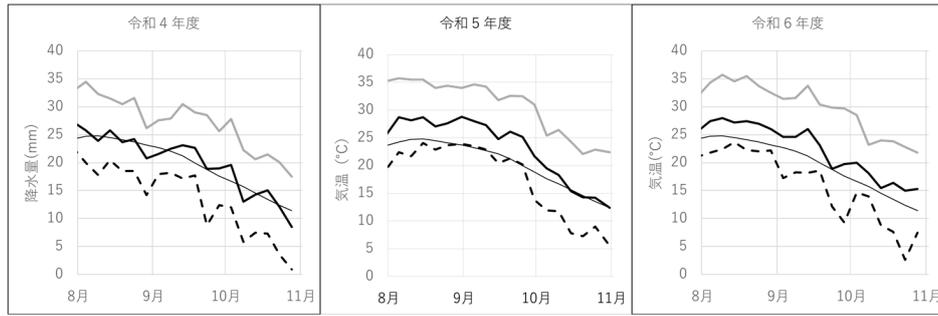
年度	品種	試験区	外観	香り	味	総合評価	研究会での評価	コメント	
H29	HN	RX	○	○	○	◎	—	フレッシュな香味、ほど良い酸味、やや味薄い、渋味	
		RX OAK	○	△	△	○	—	味のバランスは良いが、オーク由来のバニラ様の甘い香りが強い	
		X-PURE	○	◎	○	◎	◎	味に厚みがあり香味のバランスが良い	
		X-PURE OAK	○	◎	○	○	○	オーク由来のバニラ様の甘い香り、酸味がやや強い、渋味、香味のバランス良いがやや味が薄い	
	MB	EC	○	◎	△	○	—	ライチ様の香り、やや酸味が強め、少し苦味	
		EC MLF	○	○	◎	◎	◎	ヨーグルトやライチ様のまろやかな香り、酸味少なく口あたり柔らか、複雑性あり	
		EC MLF OAK	○	△	○	△	—	木樽の香り、バニラや粘土様の香りが強い	
	H30	HN	OPALE	○	◎	○	◎	◎	ライチや花様の香り良好、味の厚み、しっかりした酸味、後味良好
			HK	○	○	◎	◎	—	果実様の香りが良い、豊かな酸味、ボディがある、バランス良い
			HK-MLF	○	○	◎	◎	○	HK に似ているが酸味が少なめで飲みやすい
HO			○	△	○	△	—	ピーマン様臭、豊かな酸味	
MB		HO-MLF	○	△	◎	○	◎	HO に似ているが、HO よりも香味が良い	
		HR	○	△	◎	○	—	おだやかな香り、軽快な味わい	
		HR-MLF	○	△	○	○	○	HR に似ているが、香味がわずかに変化した	
MB		MK-EC	○	△	△	△	○	香りが少ない、酸味が強い	
		MK-EL	△	△	△	△	—	穏やかな香り、酸味が強い	
		MO	○	◎	◎	◎	◎	ライチ様の華やかな香り、豊かな酸味、軽やかな味わい	
	MO-Sweet	○	◎	◎	◎	—	MO と似ているが、甘口にすることでバランスが良くなった		
R1	HN	北上R	○	○	○	○	◎	穏やかな果実様の香り、穏やかな酸味、ドライな味わい、やや苦味（色が濃い）	
		北上F	○	○	○	○	◎	穏やかな果実様の香り、豊かな酸味、やや渋味（色が濃い）	
		陸高R	○	○	△	○	—	やや香りが大人しい、軽やかな味わい、やや渋味	
	MB	北上	○	○	○	◎	◎	華やかな花や果実様の香り、酸味が強い	
		北上MLF	○	○	△	○	—	すっきりとした香り、酸味がやや強い、軽やかな味わい	
		大迫辛口	○	○	○	◎	◎	華やかなライチなどの果実様の香り、酸味がやや強い、少し渋味	
		大迫甘口	○	◎	◎	◎	◎	華やかなライチなどの果実様の香り、甘味がやや強いが酸味とのバランスが良い	
	ARB	辛口	○	○	○	○	—	白い花やグレープフルーツ様の優しい香り、すっきりとした味	
		甘口	○	○	○	○	—	白い花様の穏やかな香り、甘味と酸味のバランスが良い	
	R2	HN	北上	○	○	◎	◎	—	穏やかな花や果実様の甘い香り、香味のバランスが良い、渋味
北上O			○	○	○	○	—	穏やかな花や果実、スパイス、樽様の甘い香り、少し味の厚み、渋味	
大迫			○	◎	◎	◎	—	豊かな果実様の香り、やや強めの酸味	
大迫O			○	○	○	○	—	穏やかな果実や樽様の香り、やや強めの酸味	
MB		北上	○	◎	○	◎	—	華やかな花や果実、ハーブ様の香り、フレッシュな酸味、若干苦味	
		大迫	○	◎	◎	◎	—	華やかな花や果実、ハーブ様の香り、フレッシュな酸味、バランスの良いすっきりとした味、若干苦味	
		紫波	○	◎	◎	◎	—	華やかなライチなどの果実や花様の香り、フレッシュな酸味、バランスが良く、なめらかな味	
YB		陸高	○	△	△	△	—	穏やかな草様の香り、やや酸味が強い、渋味	
		YB	○	○	△	○	—	穏やかなグレープフルーツなどの柑橘様の香り、しっかりとした酸味	
		北上摘葉なし	○	◎	◎	◎	—	花やベリー系果実様の華やかな香り、フレッシュ感で、やや渋味があるが厚みがありバランスの良い味わい	
R3	MB	北上7月摘葉	○	○	△	○	—	ベリー系果実様の穏やかな香り、豊かな酸味、渋味が若干強く感じられる、軽やかな味わい	
		北上8月摘葉	○	◎	○	◎	—	ベリー系果実様の穏やかな香り、若干ハーブや草様の香り、豊かな酸味、軽やかな味わい	
		大迫	○	◎	◎	◎	—	ベリー系果実やスパイス様の華やかな香り、若干ピーマン様の香り、豊かな酸味と心地よい渋味の濃い味わい	
YB	北上市(9/22)	○	◎	◎	◎	—	ライチなどの果実や花様の華やかな香り、酸味がありフレッシュな印象の味わい		
	北上市(10/7)	○	◎	◎	◎	—	ライチなどの果実や花様の華やかな香り、豊かな酸味でなめらかな味わい		
YB	YB	○	◎	◎	◎	—	白い花やグレープフルーツなど柑橘のような華やかな香り、しっかりとした酸味		

岩手県産醸造用ブドウ有望品種のワイン醸造適正評価

年度	品種	試験区	外観	香り	味	総合評価	研究会での評価	コメント
R4	HN	ロゼ	○	◎	◎	◎	-	ベリーなど赤い果実様の華やかな香り、酸味と味の厚みのバランスが取れたしっかりとした味わい
		ロゼ オークチップ	○	◎	◎	◎	-	果実やローストしたオーク様の華やかな香り、若干渋味があるものの厚みのあるバランスの良い味わい
	SN	赤	○	◎	◎	◎	◎	豊かなベリーの香り、優しいスパイス様の香り、穏やかな渋味、バランス良い
	PN	摘葉なし	○	△	△	△	-	赤い果実様の穏やかな香り、少し緑の野菜様の香り、若干渋味のある軽やかな味わい
		7月摘葉	○	△	○	○	-	赤い果実の穏やかな甘い香り、わずかに緑の野菜様の香り、若干渋味を感じる味わい
		8月摘葉	○	○	○	○	-	花やイチゴなどベリー様の穏やかな香り、豊かな酸味のしまりのある味わい
	MB	北上市	○	△	○	○	-	果実やハーブ様の優しい香り、はつらつとした酸味
		花巻市大迫町	○	◎	◎	◎	-	ライチなどの果実様の華やかな香り、はつらつとした酸、バランス良い
	ARB	紫波町	○	◎	◎	◎	-	ライチや少し若草のような穏やかな香り、適度な酸味、軽やかな味わい
		発泡性	○	○	○	○	-	柑橘など果実様の華やかな香り、穏やかな酸味、バランス良い
	YB	オレンジ	○	○	○	○	-	オレンジピールなど柑橘様の穏やかな香り、はつらつとした酸、軽やかな味わい
		発泡性	○	○	○	○	○	りんごや草様の香り、しまりのある酸味、適度な渋味
R5	HN	白	○	○	◎	○	○	果実や炒ったナッツのような香り、しっかりとした酸味
		赤、摘葉なし	○	◎	○	◎	-	ピンク色がかった赤紫色、華やかな香り、あっさりとしているがタンニンと甘味酸味がまろまろしており飲みやすい
		赤、6月摘葉	○	◎	◎	◎	-	淡い赤紫色、赤い果実の香り、ボディ感あり、甘酸バランスが良い、少しタンニンがあり深みがある
	SN	赤、7-8月摘葉	○	○	◎	◎	-	淡い赤紫色、赤い果実の香り、ボディ感あり、甘酸バランスが良い、少しタンニンがあり深みがある
		赤	○	◎	◎	◎	◎	濃い赤紫色、黒い果実の香り、スパイス香、香り豊か、タンニンのボディ感、バランスが良い
		白、北上市、9月8日収穫	○	○	○	○	-	淡いレモンイエロー、柑橘・マスカットなどの果実香、しっかりとした酸
	MB	白、北上市、10月6日収穫	○	◎	◎	◎	-	淡いレモンイエロー、花様香、フルーティーで華やかな香り、香り豊か、ボディ感あり、甘酸のバランスが良い
		白、花巻市大迫町、9月5日収穫	○	◎	◎	◎	-	淡いレモンイエロー、グリーンな香り、果実香、フレッシュではっきりとした酸
		白、花巻市大迫町、9月22日収穫	○	◎	◎	◎	-	淡いレモンイエロー、花様香、柑橘香、なめらかでバランス良い味
	YB	北上市	○	◎	◎	◎	◎	レモンイエロー、花様香、柑橘香、香り豊か、味に奥行き有り、はっきりとした酸
		野田村	○	○	○	○	◎	淡いレモンイエロー、花様香、柑橘香、ハーブ香、豊かな酸
	R6	HN	赤、無摘葉	○	○	○	○	-
赤、6月摘葉			○	○	○	◎	-	淡い赤紫色、フルーティー、赤い果実香、黒い果実香、味バランス良好、ボディ有
赤、7-8月摘葉			○	○	○	○	-	淡い赤紫色、フルーティー、赤い果実香、黒い果実香、味薄い
SN		赤	△	△	△	△	-	褐色がかった淡い赤紫色、赤い果実香、木様香、苦味、味薄い
		ブラッシュ	△	△	○	○	-	褐色がかった淡い黄色、黄色い果実香、柑橘香、味薄い、酸少し強め
MB		白、9月18日収穫	○	◎	◎	◎	-	透明に近い淡いライトイエロー、柑橘香、白い花、ライチ、フレッシュ、爽やかな酸
YB	白、10月4日収穫	○	◎	◎	◎	-	透明に近い淡いライトイエロー、フローラル、柑橘香、ライチ、スッキリした酸	
YB	白	○	○	◎	◎	-	レモンイエロー、黄色い花、柑橘、黄桃、豊かな酸	

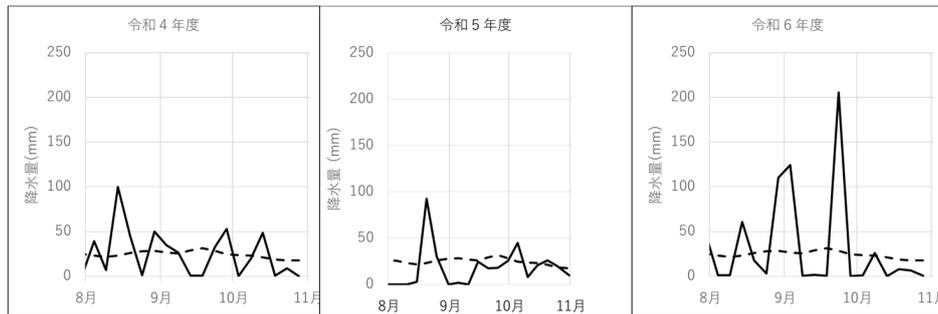
SD: SB3 DIRECT^{※1}(アルコール発酵完了後)
 CH35: Viniflora CH35^{※3}(アルコール発酵完了後)
 NS: NOBILE Sweet^{※1}
 VP41: MBR VP41^{※2}(アルコール発酵完了後)
 GPE: ゴーフーム・プロテクト・エボリューション^{※2}
 Bac: Bactiv-aid2.0^{※3}(MLF発酵助成剤)
 PN4: MBR PN4^{※2}(コイノキュレーション)
 CH35Co: Viniflora CH35^{※3}(コイノキュレーション)
 FK: フェルメイドK^{※2}
 VP41Co: MBR VP41^{※2}(コイノキュレーション)
 BA: BASE(NOBILE社製)
 SB: SUPERSTART BLANC^{※1}
 IOC: 岩手県産オークチップ(株式会社昭林製)
 GSF: ゴーフーム・ステロール・フラッシュ^{※2}
 FO: フェルメイドO^{※2}

※1 Laffort 社製
 ※2 Lallemand 社製
 ※3 CHR. HANSEN 社製
 ※4 AB Mauri 社製



灰色実線：最高気温 実線：平均気温 点線：最低気温 細線：平均気温平年値

図 2 令和 4-6 年度の北上市の半旬別平均気温



実線：降水量 点線：降水量平年値

図 3 令和 4-6 年度の北上市の半旬別降水量

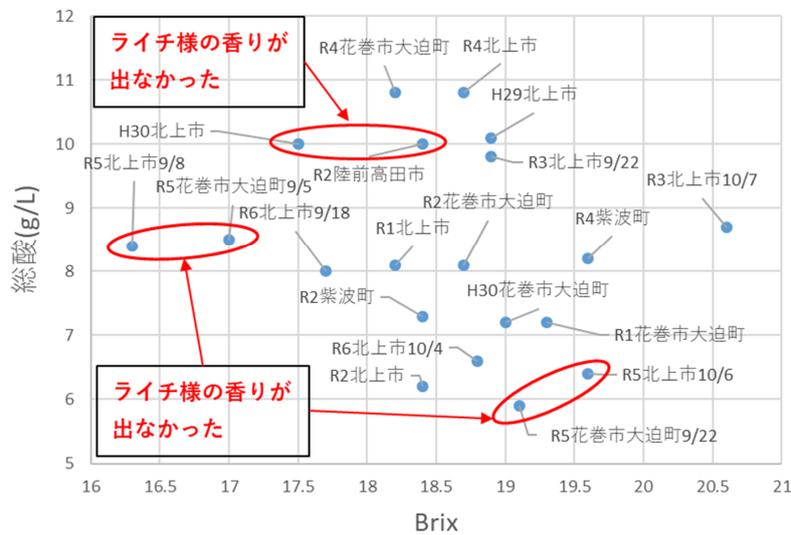


図 4 平成 29 年度から令和 6 年度のモンドブリエ果汁の Brix と総酸

4 結 言

平成 29 年度から令和 6 年度にかけて、岩手県内で栽培した醸造用ブドウ 6 品種 (HN、SN、PN、MB、ARB、YB) を供試してワイン 76 種類を試作し、醸造適性を評価した。その結果、官能試験の総合評価は平均 6 点以上と良 (5 点) を上回り、概ね良好な評価であることから、これらの品種は本県に適することが示唆された。

摘葉試験では、令和 3 年度は違いが確認できなかったが、令和 4-6 年度では摘葉による糖度の上昇および果実の着色改善の効果が確認された。

従来、岩手県に適さなかった品種が気温の変化等により適するようになる場合が考えられる。また、近年の温暖化により糖度や着色に問題が出る品種も散見される。そのような品種の醸造適性評価や、栽培条件・収穫時期を改善したブドウの評価等について、今後も県内ワイナリーや農業研究センター等と連携し、県産ワインの品質や付加価値の向上に繋がる試験として実施したい。

本研究成果の一部 (R1 陸前高田市産 HN 及び R2 陸前高田市産 MB) は、復興庁・農林水産省 食料生産地域再生のための先端技術展開事業 (JPJ000418) により得られた成果であり、過去に報告したデータを引用した¹⁵⁾。

文 献

- 1) 国内製造ワインの概況 (平成 27 年度調査分), 国税庁ホームページ, <https://www.nta.go.jp/taxes/sake/shiori-gaikyo/seizogaikyo/kajitsu/kajitsu27.htm>
- 2) 酒類製造業及び酒類卸売業の概況 (令和 5 年アンケート), 国税庁ホームページ, https://www.nta.go.jp/taxes/sake/shiori-gaikyo/seizo_oroshiuri/r05/index.htm
- 3) いわてワイン振興協議会, 岩手県ホームページ, <https://www.pref.iwate.jp/sangyoukoyou/nougyou/seisan/yasai/1007642.html>
- 4) いわての気候の現状, 岩手県ホームページ, <https://www.pref.iwate.jp/kurashikankyou/gx/1067444/1067478.html>
- 5) 登録品種データベース (アルモノワール), 農林水産省品種登録ホームページ, https://www.hinshu2.maff.go.jp/vips/cmm/apCMM112.aspx?TOUROKU_NO=17797&LANGUAGE=Japanese
- 6) 登録品種データベース (モンドブリエ), 農林水産省品種登録ホームページ, https://www.hinshu2.maff.go.jp/vips/cmm/apCMM112.aspx?TOUROKU_NO=24866&LANGUAGE=Japanese
- 7) 登録品種情報 醸造用ブドウ, 山梨県ホームページ, https://www.pref.yamanashi.jp/kajushiken/103_015.html
- 8) 国税庁所定分析法, 国税庁ホームページ, <https://www.nta.go.jp/law/tsutatsu/kobetsu/sonota/070622/01.htm>
- 9) 藤田晃子, 塚本香, 藤井力, 後藤 (山本) 奈美: エタノールを使用したブドウ果汁の資化性窒素 (アミノ酸) の分析方法, 日本ブドウ・ワイン学会誌, 26, p.133-140 (2015)
- 10) 気象庁ホームページ, <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 11) 萩原健一: 新ワイン学, ガイアブックス (2018)
- 12) 登録品種データベース (ヤマブラン), 農林水産省品種登録ホームページ, https://www.hinshu2.maff.go.jp/vips/cmm/apCMM112.aspx?TOUROKU_NO=8290&LANGUAGE=Japanese
- 13) 山梨県ワイン酒造組合: 山梨県ワイン製造マニュアル 2020 年版, 山梨県ワイン酒造組合 (2021)
- 14) 特産果樹生産動態等調査, 農林水産省ホームページ, https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_kazyu/
- 15) 平野高広, 山下佑子: 岩手県陸前高田市産ブドウのワイン醸造特性, 岩手県工業技術センター研究報告, 24, p.61-65 (2021)

自然環境中からのマルトース資化性酵母の分離と 麦汁様培地での発酵力の評価 *

玉川英幸 **、太田睦 ***

本研究では岩手県内の自然環境中からマルトース資化能のある *Saccharomyces cerevisiae* の分離および麦汁様培地での発酵力の評価を実施した。2024年4月から9月にかけて岩手県遠野市内4カ所で合計934の植物試料を採取し、マルトースを唯一の炭素源とする培地で集積培養を行ったところ、9つ植物試料からのマルトース資化能のある *S. cerevisiae* が分離された。9つの試料から分離された各2コロニー、合計18株について、初期比重1.05に調整した麦汁様培地で発酵試験を実施し、比較的发酵力が高い3株を選抜した。初期比重1.07に調製した麦汁様培地で発酵試験を実施したところ、そのうち2株は途中で発酵が停止したものの、1株は対照として使用した酵母と同等の発酵度まで比重が低下した。

キーワード：野生酵母、*Saccharomyces cerevisiae*、マルトース資化、ビール醸造

Isolation of Maltose-Assimilable *Saccharomyces cerevisiae* from the Natural Environment and Evaluation of Fermentability in Wort Like-Medium

TAMAKAWA Hideyuki, OHTA Mutsumi

Key words: wild yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, maltose assimilation, beer brewing

1 緒言

日本にクラフトビールが誕生してから2025年で30年を迎えた。全国地ビール醸造者協議会はこの30年を10年ずつに区切り、それぞれを創業期、停滞期、成長期と振り返っている¹⁾。創業期は、いわゆる1994年の「地ビール解禁」と呼ばれるビール製造数量の規制緩和を発端とする爆発的な地ビールブームであり、観光目玉、レストラン併設型など主に地域おこしを目的としたブルワリーが日本各地に誕生した。しかし、当時の日本においてビール醸造は未知の世界であり、醸造技術の未熟さ、あるいは地元の特産品を無理に使い過ぎたことによる品質の低い地ビールの乱立により、“地ビール=美味しくない”という認識が広まることとなった。その結果、撤退が参入を上回る長い停滞期へと繋がる。しかし、その間もブルワリーでは醸造技術が研鑽され

続け、品質の高いビールが多く製造されるようになってくる。また、国内では東日本大震災やコロナ禍を経て、マスから個へと価値観が変化し、大量生産大量消費の時代からいわゆる“推し文化”の時代へと変革し、地ビールを受け入れる地盤が形成される。2019年にはビールに使用できる副原料が拡大となる酒税法改正が実施され、それに伴う製造免許の駆け込み申請をきっかけに、国内のブルワリー数は一気に増加傾向に転じる。昨今では毎年100社単位で事業者が増加しており、きた産業株式会社の報告によれば2024年末段階でビールもしくは発泡酒の醸造所の数は日本国内で907箇所となっている²⁾。現在、地ビール産業はクラフトビールと名前を変え、地方創生の一翼を担える存在として、各地における雇用の創出や、地域資源・観光資源として再び注目を集めている³⁾。

* 令和6年度 研究開発型人材育成事業

** 醸造技術部

*** 株式会社遠野醸造

クラフトビールは、個性豊かな味わいはもちろん、その商品が持つ地域ならではの特性や文化、ストーリー性も大きな価値のひとつと見なされている。その商品のストーリー性に寄与する要素として、いわゆる地域の「野生酵母」が存在する。野生酵母とは枝や葉、花、果実、樹液など地域の自然環境中に元々存在していた酵母のことであり、地元の植物試料から分離された野生酵母を用いた酒類の開発は度々報告がされている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。このような野生酵母を利用する場合、多くの場合は最も一般的な醸造用酵母と同種である *Saccharomyces cerevisiae* を分離することを目標として実施されるものの、最近では *Lachancea* 属酵母を利用した例も散見されるようになり⁷⁾⁸⁾、野生酵母のビール醸造への利用が拡大している。

ビールの原料である麦汁に含まれる主要な糖類はマルトース（麦芽糖）であり、マルトースを利用できない酵母は単独でビールを製造することは難しい。本研究では、岩手県内の自然環境中からマルトース資化性のある *S. cerevisiae* の単離を試みた。得られた分離株のマルトース資化能および初期比重の異なるモルトエキスでの発酵能の評価を行い、ビール醸造の可能性を検討した。

2 実験方法

2-1 菌株

対照としてマルトリオース資化性のないエール酵母 ALE514 (AB Mauri Food Inc, St. Louis, MO, USA)、岩手県吟醸酵母ジョバニの調べ F2 株から分離したマルトース資化性変異株 OG8 を用いた。

2-2 植物試料からの *S. cerevisiae* の分離と同定

植物試料の採取は、事前に管理者から採取および研究の許可を得て、遠野市内 4 箇所（遠野森のがっこう、遠野ふるさと村、鍋倉山公園、個人宅敷地）で実施した。滅菌された 50 mL コニカルチューブに植物試料を採取し、完全に浸漬するように培地を添加した。培地には殿内らが報告した培地⁷⁾を一部改変して用いた。すなわち 3 g 酵母エキス、3 g 麦芽エキス、5 g ペプトン、20 g マルトースを溶解させた後、乳酸で pH4.0 に調整し 920 mL にメスアップし、オートクレーブ後に 100 mg のクロラムフェニコールを溶解させたエタノール 80 mL を添加した。培地を添加したサンプルは 30°C で静置培養した。培養開始から 1-3 週間後に確認を行い、微生物の増殖と思われる沈殿が生成したサンプルのうち産膜性を示さなかったものを上下反転によりよく

懸濁した後、0.05 mL を 5 mL の同じ培地に接種して 30°C で 1 週間培養を行った。再度沈殿が生成したサンプルのうち産膜性を示さなかったものをアンチマイシン - マルトース培地 (6.7 g/L Yeast Nitrogen base w/o amino acid, 20 g/L マルトース、0.6 mg/L アンチマイシン A、20 g/L 寒天) に塗布して 30°C で 5 日間培養し、シングルコロニー化を行った。コロニー形状を確認し、コロニーが小さすぎる (1 mm 以下) もの、糸状菌や細菌様のコロニー形状を示したもの、塗布した培地の混濁量に対して極端にコロニー数が少ないものを除き、1 シャーレから 4 コロニーをピックアップした。YPD2 寒天培地 (10 g/L 酵母エキス、20 g/L ペプトン、20 g/L グルコース、20 g/L 寒天) に塗布して 30°C で 2 日間培養し、マスタープレートとした。得られた酵母株はギ酸 - アセトニトリル法でタンパク質抽出を行い、 α -シアノ -4- ヒドロキシケイ皮酸をマトリックスとして用いたマトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間質量分析 (MALDI TOF-MS ultraflex, Bruker, Massachusetts, USA) で分析およびライブラリーサーチを実施して酵母菌種の同定を行った⁸⁾。

2-3 分離した *S. cerevisiae* の AWA1 遺伝子座の多型解析

文献 9 に従った。すなわち酵母菌体からのゲノム DNA の抽出には PrepMan Ultra Sample Preparation Reagent (Thermo Fisher Scientific, San Jose, CA, USA) を用い、付属のプロトコールに従い行った。PCR は SimpliAmp Thermal Cycler (Thermo Fisher Scientific) と EX Taq HS (Takara Bio, Shiga, Japan) を用いて行った。プライマーには AWA1Fw (ATGTTCAATCGCT TTAATAAACTTCAAGCC) と AWA1Rv (TTAGTTAA AGAAAGCAAGAACGAAAATACC) を用いた。反応液は 1.0% アガロース S (Nippon Gene, Tokyo, Japan) を用いてゲル電気泳動した。

2-4 発酵試験

分離した酵母の合成培地での発酵能力評価のために以下のような簡易発酵試験を行った。2 mL 容 96 穴深底プレートに分注した 0.5 mL YPD2 培地 (10 g/L 酵母エキス、20 g/L ペプトン、20 g/L グルコース) に評価菌株を接種し、30°C、静置条件で 24 時間前培養した。次に 1 mL の YPM10 (10 g/L 酵母エキス、20 g/L ペプトン、100 g/L マルトース) を分注した 2 mL 容 96 穴深底プレートに前培養液 50 μ L を接種して 30°C、静置条件で培養を行った。培養 48 時間

後、培養液の Brix を測定して各酵母株の発酵能力を評価した。

分離した酵母の麦汁様の培地での発酵能力評価のためにドライモルト エクストラライト (Muntions Plc, Stowmarket, England) を用いて調製したドライモルト培地を用いた。初期比重 1.05-1.07 (t/t) となるように蒸留水に溶解し、オートクレーブで 105°C、60 分間加熱処理した。加熱によって生成した凝集物を無菌的に遠心して除去し、発酵試験用の培地とした。発酵容器には 180 mL の培地を入れた 225 mL 容ピオラモビグコニカル (As one, Osaka, Japan) を用いた。酵母は 1 mL YPD2 に接種し、30°C で 1 日間静置した。前培養液は 30 mL の YPD2 に植え継ぎ、30°C で 2 日間静置培養した。培養液から遠心で菌体を回収し、初期 OD600=0.2 となるように培地に接種し、20°C で静置培養を行った。経時的にサンプリングして遠心上清の比重を測定した。各サンプルは比重低下が停止して 24 時間経過してから 4°C に移し、7 日間静置した後、上清の香気成分を分析した。

2-5 分析方法

発酵液の Brix 測定はポケット糖度計 PAL-J (Atago, Tokyo, Japan) を用いた。マルトース、マルトトリオース、エタノールの分析は Shi らの高速液体クロマトグラフィーによる方法¹⁰⁾を一部改変して行った。60°C で保持した ICsep-ION-300 カラム (Tokyo Chemical Industry, Tokyo, Japan) を用い、溶媒として 0.01 N 硫酸 (流速 0.4 mL/min) を使用した。検出には示差屈折率検出器を用いた。4-ビニルグアイ

アコール (4VG)、4-ビニルフェノール (4VP) の分析は Stefan らの方法にしたがい、励起波長 280 nm、蛍光波長 320 nm で蛍光検出した¹¹⁾。比重は密度比重計 DA-505 (Kyoto Electronics Manufacturing Co. Ltd., Kyoto, Japan) を用いて測定した。香気成分はエタノール 5% (v/v) を含む標準物質を用いて清酒用の国税庁所定分析法を用いて行った。

3 結果及び考察

3-1 植物試料の採取、集積培養と酵母菌種の同定

採取数および選抜状況は Table 1 に示した。合計 934 の植物試料を採取し、最終的に 9 個の植物試料からマルトース資化性のある *S. cerevisiae* を分離することに成功した。分離源は木の皮 4、枯葉 3、枯枝 2 であった。著者らは過去に *S. cerevisiae* が高効率で取得できると殿内らが報告した培地⁷⁾を用いて自然環境中からの *S. cerevisiae* の分離を試みたことがある。殿内らの方法は確かに *S. cerevisiae* を高効率で分離することはできるものの、分離された 33 株の *S. cerevisiae* はいずれもマルトース資化性を有していなかった¹²⁾。自然環境中に存在する *S. cerevisiae* においてマルトースの資化能はマイナーな形質であると考えられるため、今回、炭素源をマルトースへと変更した培地を用いることでマルトース資化性 *S. cerevisiae* を選抜段階で集積培養することとした。炭素源をマルトースへと変更したことで、マルトース資化能がある酵母が特異的に分離されると思われたが、研究開始当初、集積培養用の培地の炭素源はマルトースしかないにも関わらずマルトース資化性のない *S. cerevisiae* ばかりが分離され

Table 1 Number of sampling and isolate yeasts.

Sampling date	Number of samples						
	Collection	Growth on			Identification		
		1st cultivation	2nd cultivation	Maltose medium containing AA ¹⁾	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Lachancea fermentati</i>	the other ²⁾
2024/4/22	100	5	3	1			1
2024/5/12	100	27	7	1	1		
2024/5/26	100	35	13	6	2	4	
2024/6/17	80	24	23	5	2	3	
2024/6/27	120	59	50	13	3	6	4
2024/7/14	100	41	31	1		1	
2024/8/14	100	48	42	6		5	1
2024/8/22	110	72	63	10	1	3	6
2024/9/18	112	42	30	6		5	1
2024/12/7	12						
Total	934	353	262	49	9	27	13

1) AA: Antimycin A

2) Including unidentifiable samples

た (data not shown)。集積培養の工程を鋭意検討した結果、2回目の集積培養の希釈率を 1/100 以下にすることで、マルトースとアンチマイシンを含む培地でシングルコロニー化を行うことでマルトース資化性のある *S. cerevisiae* を分離できることが明らかとなった。これらの結果は、集積培養の際、自然環境中に存在していた酵母が採取した植物試料から持ち込まれたわずかな炭素源を基質として増殖した可能性を示唆するものであり、マルトース資化性のある *S. cerevisiae* を自然環境中から分離するためには強い選択圧で選抜をかける必要があることと思われた。

マルトース資化性のある *S. cerevisiae* を分離できる方法を確立できた一方で、本手法でも多く分離されたのは *Lachancea fermentati* であり、27 個の植物試料から分離された (Table 1)。*Lachancea* 属酵母は *S. cerevisiae* が持たない乳酸デヒドロゲナーゼ (EC 1.1.2.5) 遺伝子を有しており、アルコールと乳酸を同時に生成する能力を持っていることから、昨今サワービールの製造において大変注目を集めている酵母である^{13) 14) 15)}。ベルリーナヴァイセやゴーゼのように酸味の強いスタイルのビールは、歴史的には乳酸菌の乳酸発酵との組み合わせによって製造されていたものであるが、製造場で乳酸菌を使用することは他商品への汚染の大きなリスクが伴う。乳酸生成能の高い *Lachancea* 属酵母でビールを製造することはこの課題を解決する有効な手段であると考えられている。すでに Lallemand 社より実用化されている株も存在するが¹⁶⁾、本研究で確立した分離方法は自然環境中に存在する *Lachancea* 属の探索にも有用であると考えられる。

植物試料の採取時期と *S. cerevisiae* の分離数を比較すると 5 月、6 月に集中していることが見て取れる (Table 1)。数岡らの報告¹⁷⁾においても、自然環境中からの *S. cerevisiae* の分離は 5 月、6 月、9 月に集中していること、平均気温 15 ~ 25°C の時期に採取すると目的の酵母が取得できる可能性が高いことが記載されている。自然環境中からの *Lachancea* 属酵母の分離傾向についてはこれまで報告されていないようであるが、7 月から 9 月にかけても分離されてくるため、自然環境中での存在形態が *S. cerevisiae* とは異なるものと思われる。

3-2 分離した *S. cerevisiae* の *AWA1* 遺伝子座の多型解析

次に自然環境中から分離された *S. cerevisiae* の遺伝的な差異を確認することとした。野生酵母の多様性を簡易的に調べることができる遺伝子座は報告されていないため、清酒酵母で多型が報告されている *AWA1* 遺伝子座を用いて多型解析を実施した。その結果、対照として使用したエール酵母 ALE514 では 3 kbp よりやや大きいバンドとやや小さいバンドの 2 本が検出された (Figure 1)。また、マルトース資化性を獲得した清酒酵母変異株である OG8 では 5 kbp 付近に 1 本のバンドが検出された。この結果は OG8 の親株である F2 と同じ結果であった⁹⁾。一方、今回分離した野生酵母 18 株では幾つかの株で明瞭なバンドが検出されなかったものもあるが、検出された株ではいずれも 3 kbp 付近 1 本のバンドしか検出されなかった。菌株によって若干の分子量差はあるもののかかなり似通っており、野生酵母では *AWA1* 遺伝子座の多型に乏しいことが明らかとなった。

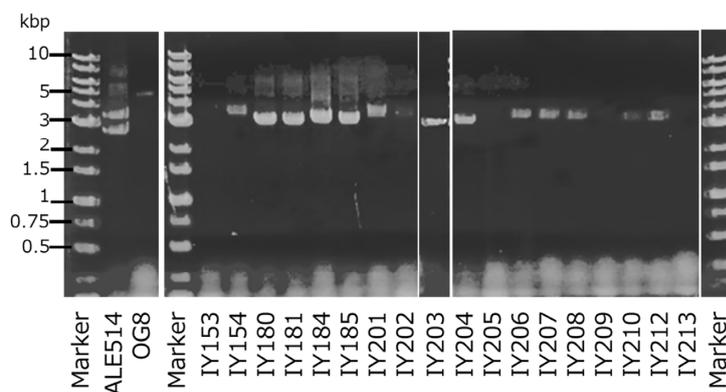


Figure 1 PCR amplification patterns of *AWA1*.

3-3 マルトース培地での発酵力評価

分離した *S. cerevisiae* のビール醸造適性を評価することを目的としてマルトースを炭素源とした合成培地 (YPM10 培地) で簡易発酵試験を実施した。培養 48 時間後の培養液 Brix を測定した結果を Figure 2 に示した。陽性対照として用いた ALE514、OG8 は資化性が高く、初発 Brix14.5 の YPM10 培地の Brix は培養によって 6.5 および 6.7 まで低下した。一方、今回自然環境からマストース資化性がある株として分離した *S. cerevisiae* は全体的に発酵力が低く、今回の培養時間では Brix7.9 ~ 10.7 までしか低下しなかった。その中でも植物試料 379 から分離した IY203、IY204 および植物試料 732 から分離した IY212、IY213 は比較的发酵力が高かった。

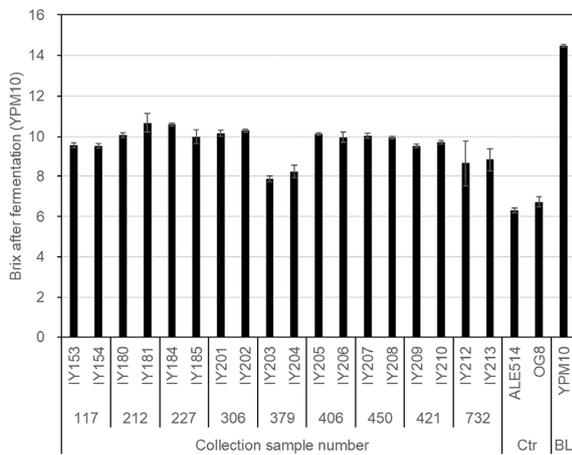


Figure 2 Brix value after micro-scale fermentation test by isolate yeast strains in YPM10 medium. Data are means for four independent fermentation experiments; error bars indicate SD values.

3-4 ドライモルト培地での発酵力評価

麦汁に近い条件で評価することを目的としてドライモルト培地での発酵試験を実施した。マルトリオース資化性のない酵母の外観発酵度目標値は一般的に 65% 程度であることから¹⁸⁾、今回外観発酵度が 60% に達するのに要した日数と 10 日間発酵させた発酵液の分析値を Table 2 に示した。自然環境から分離された *S. cerevisiae* 株の多くは極めて発酵が遅く、10 日間の発酵でも外観発酵度が 60% に達しなかった。発酵度が低かった株ではマルトースが多く残存しており、マルトース資化性の低さがドライモルト培地での発酵性に影響したものと考えられた。また、いずれの株もマルトリオースの資化性は認められなかった。

酢酸イソアミルはイソアミルアルコールを前駆体としており、一般的にこの 2 つの香気成分は相関するとされている¹⁹⁾。しかし、自然環境から分離された *S. cerevisiae* 株は概して比較的高いイソアミルアルコール生成量を示したにも関わらず、酢酸イソアミル量はそれほど高くなく、エステル生成量は高くないことが示された。カプロン酸エチルは清酒酵母を親株に持つ OG8 を除くと生産量が低いものが多かった。香気成分の大きな特徴として、今回自然環境から分離された *S. cerevisiae* 株はすべて高い 4VP、4VG 生成能を示した。データには示さないが、いずれの株も最終発酵液中では 4VP、4VG の前駆体であるクマル酸、フェルラ酸が完全に消失しており、麦汁中でのフェノール変換能が極めて高いことが明らかとなった。

Table 2 Analysis of dry malt medium (initial specific gravity=1.05) fermented with isolate-yeasts.

Collection sample number	Strain	day Fermentation period ¹⁾	g/L			ppm						4VP	4VG
			Maltose	Maltotriose	Ethanol	n-Propanol	Isobutanol	Isoamyl alcohol	Ethyl acetate	Isoamyl acetate	Ethyl caproate		
117	IY153	10<	3.7	15.0	32.0	19.3	17.9	77.3	19.0	1.44	ND	0.27	1.73
	IY154	10<	9.0	15.0	29.4	16.2	18.8	74.9	22.0	1.61	ND	0.28	1.76
212	IY180	5	0.9	14.6	34.7	15.4	19.5	79.0	17.0	1.20	0.60	0.28	1.80
	IY181	6	1.1	14.7	34.6	15.8	22.0	84.9	19.6	1.31	0.66	0.29	1.85
227	IY184	10<	5.2	14.8	32.0	14.9	16.4	72.6	16.0	1.08	ND	0.28	1.80
	IY185	10<	6.8	14.7	31.1	13.7	16.0	70.4	16.3	1.06	0.55	0.28	1.82
306	IY201	10<	2.2	15.0	32.7	20.5	18.3	82.1	20.0	1.42	ND	0.27	1.73
	IY202	10<	1.3	14.8	31.3	19.5	18.0	76.2	23.5	1.53	ND	0.28	1.77
379	IY203	7	1.9	14.8	33.5	19.8	20.1	89.1	21.3	1.47	0.59	0.28	1.80
	IY204	10<	5.9	14.9	31.5	18.0	21.1	83.2	24.0	1.49	0.60	0.28	1.81
406	IY205	10<	1.2	14.8	31.1	18.2	17.7	75.5	20.7	1.29	ND	0.27	1.73
	IY206	10<	1.2	14.8	31.4	19.8	15.4	71.5	19.3	1.42	ND	0.27	1.76
450	IY207	10<	6.3	15.0	30.8	19.2	19.4	77.3	23.1	1.65	ND	0.28	1.74
	IY208	10<	5.6	15.0	31.1	19.0	19.9	80.2	25.7	1.81	ND	0.28	1.76
421	IY209	10<	3.7	15.0	32.2	20.0	19.4	79.8	25.7	1.80	ND	0.28	1.72
	IY210	6	1.3	15.0	33.6	20.7	17.2	82.8	23.0	1.70	ND	0.27	1.73
732	IY212	5	1.2	15.0	33.8	23.9	13.4	76.5	24.9	2.00	ND	0.28	1.81
	IY213	4	1.2	15.0	33.8	24.0	12.5	81.0	21.5	1.89	ND	0.28	1.80
Ale yeast	ALE514	2	1.2	15.0	34.8	21.1	11.6	62.5	15.9	1.34	ND	ND	0.18
Sake yeast	OG8	3	1.2	15.0	34.8	23.4	12.8	55.8	13.8	1.98	1.67	ND	0.18

1) Fermentation days whose attenuation reach 60%

ND: not detectable

3-5 初期比重の異なるドライモルト培地での発酵力評価

比較的発酵力の高かった株のうち、分離源の異なる IY180、IY210、IY213 を用いて初期比重の異なるドライモルト培地での発酵力を評価した。

Figure 3 に発酵経過、Table 3 に発酵液の分析値を示した。いずれの培地条件においても対照株である OG8 は高い発酵速度を示し、IY213、IY210、IY180 の順で発酵が速かった。IY213 はいずれの培地条件においても評価を行った期間内に対照株と同等の比重まで発酵をすすめることが可能であり、健全なビールが製造できる可能性が示唆された。しかし、IY210、IY180 については初期比重 1.07 とした条件では 14 日間の発酵で外観発酵度が 60% に達しなかった。これらの株では比較的少量のマルトース (8.9 g/L、7.8 g/L) が残存しており、高比重の麦汁では最後まで資化性糖を発酵できない可能性が示唆された。すべての株において、すべての香り成分は培地の初期比重に依存して増加した。n-プロパノール、イソブタノール、イソアミルアルコール、4VP、4VG は培地に含まれる基質を変換して生成さ

れるため、培地の濃度に依存して生成量が増加したものと思われた。また、酢酸エチル、酢酸イソアミル、カプロン酸エチルなどのエステル類は前駆体の供給量と細胞内のエネルギーレベルに依存して生成量が増えるため¹⁹⁾、これも培地の濃度に依存したものと思われた。

今回評価を行った IY180、IY210、IY213 は OG8 と比較するといずれの培地条件においてもイソアミルアルコールの生成量が高く、また酢酸エチルの生成量も高い傾向が認められた。過去にも野生酵母は酢酸エチル生成量が高いという報告がされている⁵⁾。イソアミルアルコールと酢酸エチルは、フーゼルアルコール様、シンナー様と形容される香りの成分で、一般的には酒類に多分に含まれることが望ましくないとされる成分であり、醸造用酵母はこうした望ましくない香り成分生成量が低い株が選ばれてきた歴史がある。したがって野生酵母がイソアミルアルコールや酢酸エチル生成量が高いというよりは、*S. cerevisiae* そのものはこの程度生成するのが普通であり、醸造用酵母で生成量が低いと考える方が妥当なのかもしれない。

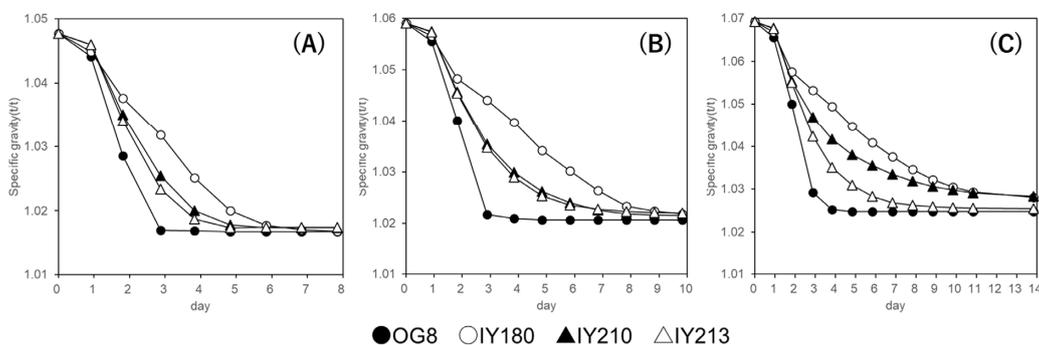


Figure 3 Time-dependent fermentation profiles of IY180, IY210, IY213 and OG8 in dry malt medium adjusted to an initial specific gravity of 1.05 (A), 1.06 (B) and 1.07 (C), respectively.

Table 3 Analysis of dry malt medium (initial specific gravity=1.05-1.07) fermented with isolate-yeasts.

Strain	Initial specific gravity(t/t)	day Fermentation period ¹⁾	g/L		ppm							
			Maltose	Ethanol	n-Propanol	Isobutanol	Isoamyl alcohol	Ethyl acetate	Isoamyl acetate	Ethyl caproate	4VP	4VG
IY180	1.05	6	1.2	33.5	15.9	18.7	86.8	16.8	1.68	0.75	0.28	1.83
	1.06	8	2.3	41.3	18.9	24.9	99.0	25.3	1.76	0.78	0.35	2.12
	1.07	14<	8.9	44.6	20.5	25.7	105.5	33.1	1.94	0.84	0.39	2.34
IY210	1.05	5	1.4	32.6	22.5	13.3	81.9	20.9	1.86	ND	0.28	1.85
	1.06	7	1.7	40.8	28.9	18.1	96.0	34.3	2.66	0.59	0.34	2.12
	1.07	14<	7.8	44.8	30.1	23.1	112.7	41.9	3.09	0.66	0.40	2.42
IY213	1.05	4	1.5	32.4	27.4	10.8	80.8	18.7	1.84	ND	0.27	1.73
	1.06	6	1.3	40.7	33.5	15.5	88.9	33.0	2.78	ND	0.35	2.09
	1.07	7	2.0	47.9	39.9	17.5	104.2	41.9	3.30	0.58	0.39	2.27
OG8	1.05	3	1.4	33.2	24.5	13.0	68.5	13.9	2.77	2.79	ND	0.24
	1.06	3	1.8	41.7	28.3	16.1	75.5	18.9	3.86	4.64	ND	0.24
	1.07	4	2.1	48.8	29.9	17.9	85.7	24.9	4.59	4.77	ND	0.26

1) Fermentation days whose attenuation reach 60%

ND: not detectable

4 結 言

本研究では岩手県内の自然環境中からマルトース資化性の *S. cerevisiae* の分離およびビール醸造への可能性を検討した。924 の植物試料を採取し、発酵試験等で段階的な選抜の結果、ビール醸造の可能性のある野生酵母株として IY213 を選抜した。野生酵母でビール醸造を試みた研究は幾つか報告がされているが、採取、選抜状況について詳細に集計した報告は少ない。本研究が次なる挑戦者への良品道標となり、高付加価値なクラフトビールの開発につながることを期待したい。

文 献

- 1) 国税庁令和 6 年度ビール・発泡酒醸造技術研修資料
- 2) 全国醸造所リスト クラフトビール（地ビール・地発泡酒醸造所）リスト, きた産業, <https://kitasangyo.com/beer/MAP.html>
- 3) 日本ビール文化研究会：知って広がるビールの世界, 翔泳社 (2024)
- 4) 鈴木成宗, 坂宮章世, 金澤春香, 栗田修, 矢野竹男, 苅田修一：樹液から単離した香気生産野生酵母のビール香気特性および実用性の評価, 日本食品工学会誌, 17, p.59-69 (2016)
- 5) 堀江祐範, 中川智行, 杉野紗貴子, 吉村明浩, 奈良一寛, 梅野彩, 田尾博明：地産微生物の応用として四国遍路道から分離した野生酵母による清酒醸造の試み, 美味技術学会誌, 15, p.12-20 (2016)
- 6) 松田義弘, 上木厚子, 上木勝司：各種果実から分離された香気生産性野生酵母の同定と香気生産特性, 日本醸造協会誌, 104, p.57-74 (2009)
- 7) 殿内暁夫, 森山裕理子, 青山嘉宏, 土岐春歌：白神山地から分離した酵母 *Saccharomyces cerevisiae* の利用, 醸協, 111, p.437-444 (2016)
- 8) 川崎浩子：MALDI-TOF MS を用いた微生物迅速同定の食品微生物分野への展開, 日本食品微生物学会雑誌, 37, p.165-177 (2020)
- 9) 玉川英幸：PCR 法による独自清酒酵母の判別, 岩手県工業技術センター研究報告, 24, p.66-69 (2022)
- 10) Shi NQ, Cruz J, Sherman F, Jeffries TW: SHAM-sensitive alternative respiration in the xylose-metabolizing yeast *Pichia stipitis*, *Yeast*, 19, p.1203-1220 (2002)
- 11) Stefan C, Koen B, Filip D, Bart V, Freddy RD: Ferulic acid release and 4-vinylguaiacol formation during brewing and fermentation: indications for feruloyl esterase activity in *Saccharomyces cerevisiae*, *Journal of agricultural and food chemistry*, 52, p.602-608 (2004)
- 12) 玉川英幸, 笹渡繁巳：自然環境からの *Saccharomyces cerevisiae* の分離とビール醸造への利用, 岩手県工業技術センター研究報告, 27, p.45-52 (2024)
- 13) Sgouros G, Mallouchos A, Filippousi ME, Banilas G, Nisiotou A: Molecular characterization and enological potential of a high lactic acid-producing *Lachancea thermotolerans* vineyard strain, *Foods*, 9, p.595 (2020)
- 14) 武内純子, 阪内淳逸, 山崎雅夫：自然界からの酵母分離および分離された *Lachancea thermotolerans* の酒類製造上の性質と活用, 日本食品科学工学会誌, 72, p.1-10 (2025)
- 15) 久富泰資：福山バラの酵母プロジェクト, 生物工学会誌, 102, p.418-420 (2024)
- 16) WildBrew Philly Sour, LALLEMAND, <https://www.lallemantbrewing.com/en/canada/products/wildbrew-philly-sour/>
- 17) 数岡孝幸：清酒製造用酵母の分離および実用化, 醸協, 110, p.298-355 (2015)
- 18) Maruyama H, Yamamiya T, Ozawa A, Yamazaki E and Suzuki N: Beer Brewed with Sake Yeast Strain Has Unique Sake-like Flavors, *J Am Soc Brew Chem*, 82, p.150-159 (2023)
- 19) 堤浩子：清酒酵母の香気生成の研究, 生物工学会誌, 89, p.717-719 (2011)

塩麴製品における米粒の青緑色変色の原因調査と再発防止策*

晴山聖一**、本宮啓***

塩麴製品中の米粒に発生した青緑色変色の2事例について、外観観察および蛍光X線分析を行い、原因調査と再発防止策を検討した。両事例の着色部位からクロムおよび微量の鉄が検出され、クロム(III)イオン(Cr^{3+})が高塩分環境下で塩化物イオン(Cl^-)と配位し、錯体を形成することで呈色した可能性が示唆された。現場調査では、糖化工程に使用するステンレス製容器の孔食が確認され、固着した米粒に局所的な金属イオンの溶出が発生したことが変色の主因と推定された。この結果に基づき、再発防止策を講じた。本知見は、金属イオン由来の食品の変色事例の理解および再発防止策の検討に資するものである。

キーワード：塩麴、青緑色変色、クロム(III)イオン、錯体形成

Cause Analysis and Preventive Measures for Blue-Green Discoloration of Rice Grains in Shio-koji Products

HAREYAMA Seiichi, MOTOMIYA Kei

Key words: shio-koji (salted rice malt), blue-green discoloration, chromium (III) ion, complex formation

1 緒言

食品製造において、着色や変色などの外観異常は極めて重要な品質管理課題である。外観異常は、消費者に品質や安全性への不安を抱かせ、品質クレームや製品廃棄による直接的な経済的損失につながる。そのため、発生原因の迅速かつ正確な特定と、科学的根拠に基づく再発防止策の策定が不可欠である。

加工食品の変色要因には、微生物による色素生成、酵素反応、酸化的变化、金属イオンとの反応などが知られている。これらは食品成分や化学的特性に加え、製造環境や加工機械の材質、包装材料、保管条件など、多様な要因の影響を受ける。

金属イオンによる食品の変色は、容器や加工機械など、食品と接触する金属からイオンが溶出することで生じる。呈色は、溶出した金属イオンの酸化状態や、食品成分との錯体形成が主な原因である。食品では鉄イオンが関与する変色の事例報告が多く、

硫化鉄の生成やポリフェノールとの錯体形成による黒変等が知られている¹⁾²⁾³⁾。一方、クロムイオンが食品変色の原因として報告された事例はほとんど見当たらない。Kuusiら(1977)は、果実および野菜ジュースに各種金属イオンを添加した試験において、クロムイオンによる変色は認められなかったと報告している⁴⁾。さらに、食品中の各種クロムの分析方法や含有量、生物学的機能に関する知見が複数の総説で整理されているが、いずれも食品変色との関連については言及していない⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

以上のことから、食品におけるクロムイオン由来の変色事例は極めて稀であり、その発生機構に関する知見は十分に蓄積されていない。

本研究では、塩麴製品中の米粒に青緑色変色が発生した2事例について、外観観察および蛍光X線分析により原因調査を行い、さらに再発防止策を検討した。

* 技術相談、依頼試験

** 食品技術部

*** 株式会社麴屋もとみや

2 調査方法

2-1 調査試料

調査対象は、株式会社麴屋もとみや（岩手県八幡平市，日本）において製造された塩麴の青緑色変色品である。試料1(2023年4月12日発生)、試料2(2024年10月11日発生)とし、各試料から青緑色変色部位を採取し供した。

2-2 マイクロスコープ観察

変色部をマイクロスコープ（VHX-7000, KEYENCE, Japan）で観察した。なお、試料1では米粒が半溶解状態で形状保持が困難であったため、室温下で軽く風乾した後に観察を行った。

2-3 蛍光 X 線分析

エネルギー分散型微小部蛍光 X 線分析装置（ORBIS, EDAX, USA）を用い、X 線管球 Rh、測定時間 60 秒、分析径 30 μm 、管電圧 30 kV、管電流

300 μA 、大気圧下で測定した。試料1は正常米粒と着色米粒の着色部位、試料2は着色米粒の白色部位と着色部位をそれぞれ測定した。検出された各元素の蛍光 X 線強度より、ファンダメンタルパラメーター法（FP 法）により半定量的に構成割合を算出した。

3 結果

3-1 外観観察

両試料とも透明な包材の外側から製品の一部分が青緑色に着色している様子が確認された（図1）。マイクロスコープによる拡大観察では、異物や結晶の付着は認められず、半溶解状態の米粒の一部が局所的に変色していた（図2）。試料1では淡い青緑色、試料2では透明感を伴う濃い青緑色が観察され、この濃淡の違いは後述するクロムの濃度差と対応した。



図1 包材の外側から観察された青緑色変色部位
試料1（左）および試料2（右）

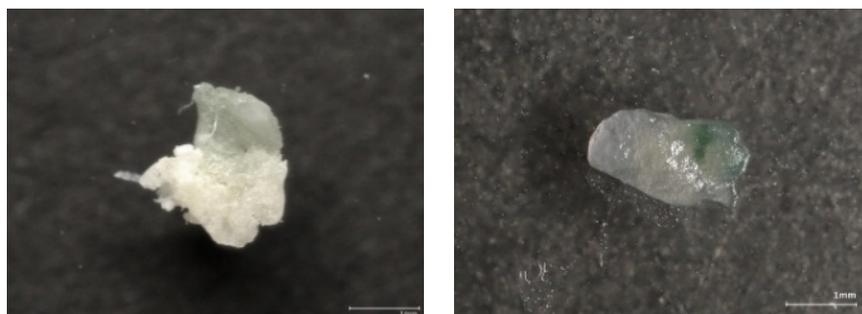


図2 青緑色変色米粒のマイクロスコープ観察
試料1（左）および試料2（右）

3-2 蛍光 X 線分析による元素の定性

白色部位からは食塩由来の Cl (塩素) のみが検出された。一方、着色部位からは、検出強度順に試料 1 で Cl、Cr (クロム)、Fe (鉄)、試料 2 で Cr、Cl、Fe が検出された (図 3)。Fe の検出強度はいずれも極めて低かった。検出元素中の Cr の構成割合は試料 1 で 5.7 mass%、試料 2 で 15.4 mass% であった (表 1)。これらの結果から、クロムと微量の鉄が青緑色変色部位に偏在していることが確認された。

4 考察

4-1 原因の推定

検出結果から、青緑色変色の主因はクロム (III) イオン (Cr^{3+}) であると推定される。 Cr^{3+} は、弱酸性条件下で水を配位子とする六水和錯体 $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ を形成することで淡紫色を呈するが、塩化物イオン (Cl) の存在下では配位子が部分的または全部置換されることにより吸収波長が長波長側にシフトする、すなわち、呈色が緑色から青緑色に変化することが報告されている⁸⁾⁹⁾。既報では、1 分子が

置換された $[\text{CrCl}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ では淡緑色、2 分子置換された $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^+$ では緑色、6 分子が置換された $[\text{CrCl}_6]^{3-}$ では、青緑色を示す。本事例の塩麹は約 11% の高塩分環境であり、Cl による配位子置換が促進される条件にあったと推定される。観察された色は、複数の錯体種の混在による呈色の可能性があるが、本事例では錯体種の同定には至っておらず、呈色機構の詳細解明には吸収スペクトル測定等の追加検証が必要である。

検出されたクロムと微量の鉄は、製造設備に使用されているステンレス鋼由来と推定される。ステンレスは、食品加工に用いられる器具や容器、食品加工機械の部品等、食品が直接接触する可能性がある部分に汎用される合金であり、食品中の酸や温度等の諸条件と金属の溶出の関係について多くの報告がある¹⁰⁾¹¹⁾。ステンレス鋼は表面の不動態被膜により腐食から保護されるが、高濃度塩化物イオン環境では被膜が局所的に破壊され、腐食が進行することが知られており¹²⁾¹³⁾、特に高濃度の塩化物イオンを含有する海水における腐食と防食に関する研究事例が多い¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。本事例の塩麹の塩分濃度 (11%) は海水を大きく上回り、金属腐食の観点から極めて過酷な条件である。

現場調査では糖化工程に使用しているステンレス製容器 (SUS304 鋼) の内面に孔食が確認され、作業員への聞き取りから糖化工程中に米粒が容器内面の孔食部に固着していた可能性が示唆された。この場合、孔食部から固着した米粒に直接 Cr^{3+} が移行し、局所的な青緑色変色を引き起こしたと考えられる。この仮説は、変色が米粒の一部に限定されていた観察結果、および着色部位のみからクロムが検出された分析結果と整合性がある。

表 1 着色部位における元素の検出強度と FP 法による定量結果

	検出元素	強度 (cps)	元素構成 (mass%)
試料 1	Cl	2604	94.0
	Cr	948	5.7
	Fe	75	0.3
試料 2	Cl	2402	84.3
	Cr	2891	15.4
	Fe	86	0.4

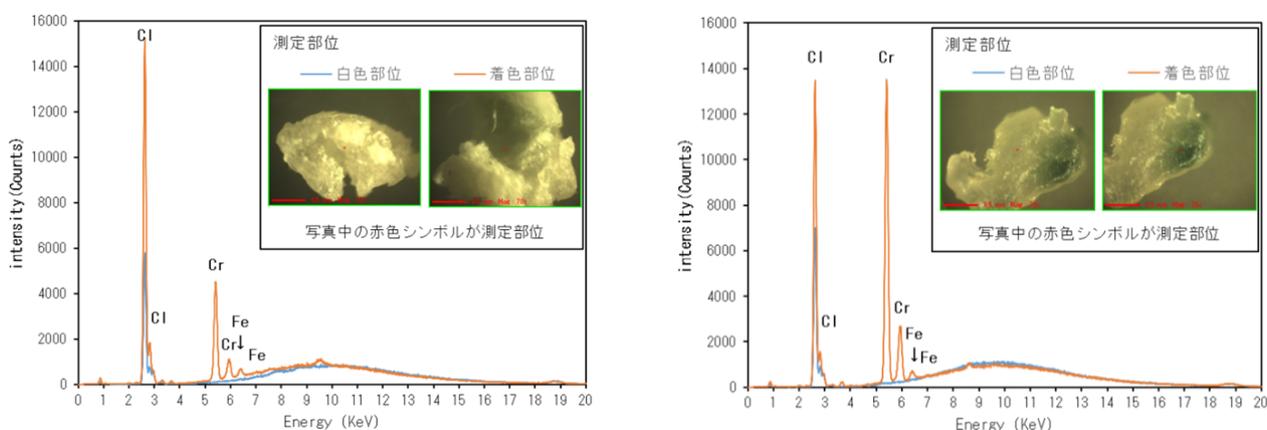


図 3 蛍光 X 線分析スペクトル：
試料 1 (左) および試料 2 (右) の白色部位と着色部位の蛍光エックス線スペクトルの重ね書き

一方、鉄の検出強度は低く、本事例の主要因ではないと考えられるが、酸化状態や塩麴中の各種成分との錯体の形成により呈色に補助的に寄与した可能性は否定できない。日本酒では、鉄イオンによる赤褐色着色の原因が、麴菌の産生するデフェリフェリクリシンとの錯体形成によって生成したフェリクリシンであることが知られている¹⁸⁾。本事例の塩麴には、塩化物イオンだけでなく麴菌の産生物や糖化生成物等の多様な有機化合物が含まれており、これらの化合物との錯体形成による呈色への影響についても今後の検討課題である。

以上より、本事例の青緑色変色は、塩麴製造の特徴である高塩分環境下において、ステンレス鋼の孔食進行に伴う Cr^{3+} の溶出と、水や塩分由来の Cl^- を配位子とする錯体形成が主因であると推定される。さらに、米粒の固着による局所的な高濃度曝露や、鉄イオンによる副次的な錯体形成も呈色に影響した可能性がある。これらの知見は、金属イオン由来の食品変色機構の理解を深めるとともに、設備材質の選定や工程管理による再発防止策の立案に有用である。

なお、クロムは塩麴中の青緑色変色部位以外から検出されておらず、本事例は設備の局所的な孔食とその部位への米粒の固着による極めて限定的に生じた現象であると考えられる。

4-2 再発防止策

再発防止策として、孔食箇所の修繕、始業前点検の徹底、および米粒固着防止のための攪拌作業の標準化を実施した。あわせて、従業員教育を通じて本調査の知見を共有し、点検や各工程の目的・意義に対する理解の深化を図った。これらの対策により、現時点まで同様の変色事例は再発していない。また、塩麴製造は 11% という高塩分環境下で長期間の糖化を伴うため、金属腐食が進行しやすい極めて過酷な工程である。したがって、長期的には耐食性に優れた材質への更新、表面処理による耐食性の向上、あるいは FRP 等の非金属材料を用いた容器の導入といった抜本的な設備改善が有効であると考えられる。

5 結 言

本報告は、塩麴製品中の米粒が青緑色に変色した 2 事例について原因調査を行い、 Cr^{3+} を中心金属とし、水や Cl^- を配位子とする錯体形成が呈色に関与した可能性を示した。さらに、現場調査に基づき、

ステンレス製容器 (SUS304 鋼) の孔食による金属イオン溶出と米粒への局所的な移行が主要因であると推定し、製造現場にて再発防止策を講じた。本事例は局所的な設備腐食と米粒の固着に起因する極めて稀な現象であり、通常の製品にクロムが含まれることはない。また、再発防止策を講じた結果、現時点まで同様の事例は再発していない。本知見は、金属イオン由来の食品変色機構の理解を深めるとともに、高塩分発酵食品製造における設備の保守管理や工程管理による再発防止策の検討に資する有用な知見となる。

文 献

- 1) 榎富賢二郎, 真鍋純一, 松永兼充, 穴井元昭, 江川洋: 異物検査事例集 食品中の異物を中心として, サイエンティスト社 (2013)
- 2) 木村昇, 秋場 稔: 缶詰内面の黒変に関する研究-I, 日本水産学会誌, 37, p.1207-1231 (1971)
- 3) 中林敏郎: 果実および野菜類のタンニン成分 (第 5 報) 鉄イオンによる発色, 日本食品工業会誌, 17, p.231-236 (1970)
- 4) Kuusi, T., Pyysalo, H., Pippuri A.: The effect of iron, tin, aluminium, and chromium on fading, discoloration, and precipitation in berry and red beet juice, *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 163, p.196-202 (1977)
- 5) Thor, M. Y., Harnack, L., King, D., Jasthi, B., Pettit, J.: Evaluation of the comprehensiveness and reliability of the chromium composition of foods in the literature, *J. Food Comp. Anal.*, 24, p.1147-1152 (2011)
- 6) Pyrzynska, K.: Chromium redox speciation in food samples, *Turkish J. Chem.*, 40, p.865-876 (2016)
- 7) Chung, S. W. C.: Update on chromium speciation analysis in foods: a review of advances in analytical methods and dietary exposure assessment, *Food Addit. Contam. A*, 41, p.782-789 (2024)
- 8) 津留壽昭, 小林繁夫, 乾忠孝: 塩化クロム (III) 六水塩の水溶液及びアルコール溶液中での錯種の溶存状態, 金属表面技術, 33, p.608-613 (1982)
- 9) Uchikoshi, M., Akiyama, D., Kimijima, K., Shinoda, K.: Speciation of chromium aqua and chloro complexes in hydrochloric acid solutions at 298 K, *RSC Advances*, 12, p.32722-32736 (2022)
- 10) 河村葉子, 辻郁子, 杉田たき子, 山田隆: ステンレス製器具及び食器からの金属の溶出, 食品衛

生学雑誌, 38, p.170-177 (1997)

- 11) 塩澤優, 羽石奈穂子, 鈴木公美, 荻本真美, 高梨麻由, 富岡直子, 植松洋子, 門間 公夫: ステンレス製の食品用容器および調理器具中の含有金属に関する実態調査, 食品衛生学雑誌, 58, p.166-171 (2017)
- 12) 藤本慎司, 柴田俊夫: 不動態皮膜の構造制御と耐環境性, 表面技術, 47, p.1019-1024 (1996)
- 13) 八代仁, 丹野和夫: ステンレス鋼の局部腐食, 表面技術, 47, p.2-6 (1996)
- 14) 佐藤教男, 工藤清勝, 佐藤朋有, 岡本剛: ステンレス鋼の塩素イオンによる孔食発生, 防蝕技術, 20, p.15-20 (1971)
- 15) 小林豊治: ステンレス鋼の海水腐食とその防止法, ターボ機械, 11, p.624-629 (1983)
- 16) 中村彰夫, 井上博之: 製塩環境中のステンレス鋼の孔食電位に対する塩化物イオン濃度ならびに pH, 液温の影響, 日本海水学会誌, 61, p.169-174 (2007)
- 17) 幸英昭: 塩化物溶液中におけるステンレス鋼の腐食・防食, 日本海水学会誌, 71, p.3-10 (2017)
- 18) 山田 修: 麹菌によるデフェリフェリクリシン生成のからくり, 日本醸造協会誌, 99, p.2-6 (2004)

コールドスプレー法を利用した 海洋生物付着防止表面処理技術の開発

園田 哲也, 佐々木 龍徳, 佐々木 駿
地方独立行政法人 岩手県工業技術センター

1 はじめに

フジツボに代表される海洋生物の付着に関する課題は裾野が広く、船底や船舶部品、漁具、海水取水管、洋上風力発電設備等多くの分野に及んでいる。具体的な例として、燃費の悪化や養殖産業への被害、設備の機能低下等により、多大な経済的損失を引き起こすほか、外来生物の侵入源となり、生態系にも影響を与えることが知られている。この対策として、主に防汚塗料が用いられているが、耐久性や施工面で課題があり、塗料に替わる付着防止技術の開発が求められている。近年では、環境負荷低減の観点から、生物への毒性ではなく忌避的に作用する方法についても検討が進められている^{1,2)}。

岩手県内で船舶部品を製造している企業においても、船底に設置する電磁ログと呼ばれる船速を検出するセンサーへの海洋生物付着が課題となっている。電磁ログは、図1に示すように、GFRPに電極が埋め込まれた構造をしており、船底に突出させ設置する。海水温や水域による違いはあるが、数か月で不具合が発生する場合もあり、耐久性に優れた付着防止処理技術開発が望まれている。

本課題については、平成29年にコバルト基合金粉末

と銅粉末を混合した粉末を用いたの溶射法によるコーティング技術を開発し、その有効性を明らかにしたが³⁾、樹脂基材への施工やコバルト基合金粉末の入手等に課題が残り実用化には至っていない。

本稿では、本課題解決を目的にコールドスプレー法による、樹脂材料に処理可能な海洋生物付着防止表面処理技術の開発を行ったのでその結果について報告する。

2 実験方法

2.1 コールドスプレー装置および 処理方法

本研究では、粉末供給装置、ヒーター、超音速ノズルで構成される自作のコールドスプレーシステムにより処理を行った。システム外観を図2に、仕様を表1に示す。コンプレッサーから供給された圧縮空気をヒーターに導入し、所定の温度に加熱した後、超音速ノズルにより加速し、粉末供給口から供給される粉末と共に円筒ノズルから噴射し、基材に粒子を超音速で衝突させる。これらヒーターと超音速ノズルからなるスプレーガン(倅安川電機製の6軸多関節ロボットに取り付け、スプレーガン

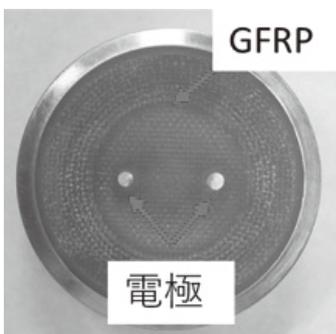


図1 電磁ログ外観

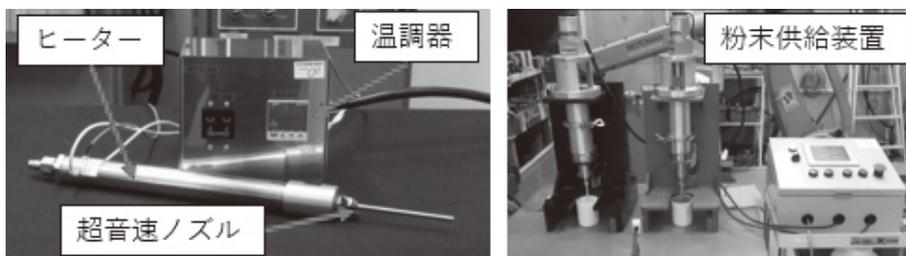


図2 コールドスプレーシステム外観

表1 コールドスプレーシステム仕様

ガス圧力	0.5~0.8MPa	使用粉末サイズ	5μm~100μm
ヒーター温度	最大750℃	電源	200V
必要ガス流量	500L/min	作動ガス	圧縮空気

と基材間を所定の距離に保ちながらハシゴ状に動かして処理を行った。

2.2 供試材

実験用の基材には、PE（ポリエチレン）、PP（ポリプロピレン）、ABSの3種類の熱可塑性樹脂および、熱硬化型樹脂をマトリックス樹脂とするGFRP（ガラス繊維強化樹脂）の計4種類を使用した。板厚は5mmとし、それぞれ50mm×50mmのサイズに切断し使用した。熱可塑性樹脂への処理には、福田金属箔粉工業㈱の銅粉末Cu-At-200を使用し、GFRPへの処理には、同じく福田金属箔粉工業のCu-HWQ5および錫粉末Sn-At-350の2種類の粉末を使用した。

2.3 評価方法

材料表面への銅粒子付着面積と、防汚効果（生物付着防止効果）の関係を調査するため、基材への付着面積を画像処理により評価した。成膜処理後の材料表面をマイクロスコプで撮影し、銅粒子を区別するために、撮影した画像に二値化処理を行い、撮影画像の銅粒子の割合を面積率で評価した。

また、処理材の海洋生物付着防止効果の検証は、海中垂下試験により行った。具体的には、釜石湾の水深約4mの岸壁に、図3に示すようにロープに試験材を設置し、ロープ先端にフォールディングアンカーを取り付け、水深1.5～3mの範囲に試験片を設置し行った。



図3 海中垂下試験

3 結果および考察

3.1 熱可塑性樹脂への処理

銅の海洋生物付着防止効果については、古くから知られており、船底塗料には亜酸化銅が主に利用されている。このことから、コールドスプレー法により樹脂材料表面に銅粒子を打ち込むことができれば、付着防止効果を発現することが可能と考え、熱可塑性樹脂3種類に銅粒子投射試験を行った。処理後の各試験片外観写真を図4に示す。

コールドスプレー処理において、作動ガスの加熱は、ガス速度が増加することと粒子が塑性変形し易くなることで、成膜性を向上させる効果があることが知られており⁴⁾、粒子が溶融しない温度領域内で加熱をするのが一般的である。今回の処理は、材料表面への皮膜形成に至らずとも、銅粒子を材料表面に付着させることができれば防汚効果が期待できると考え、対象素材も金属材料よりも軟らかい樹脂であることから、作動ガス加熱無しでの処理を試みた。その結果、図4に示した加熱無しの結果からわかるとおり、PEについては、銅粒子の付着が確認できたが、PPおよびABSについては、殆ど付着が見られなかった。

作動ガス温度を180℃に設定し、ロボットの走査速度を変化させ処理を行ったところ、同じく図4に示すとおり、すべての条件で材料表面に銅粒子の付着が確認でき

	10	12	14	15
PE				
PP				
ABS				
走査速度	50mm/sec	100mm/sec	200mm/sec	400mm/sec
ガス温度	加熱無し			
	180℃			

図4 熱可塑性樹脂への銅粒子投射試験結果

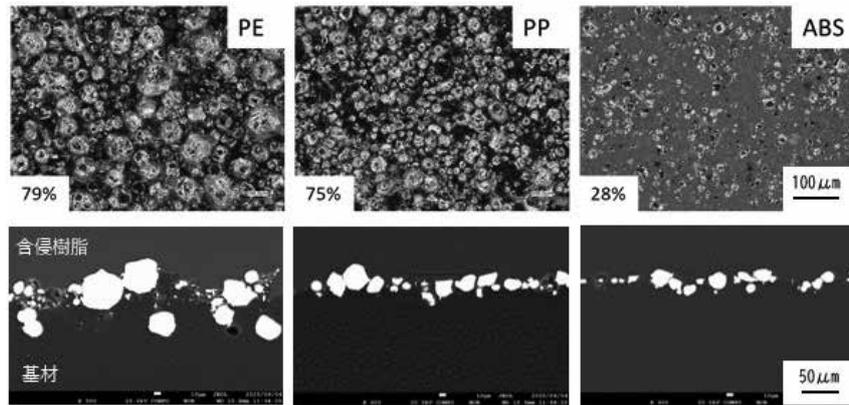


図5 銅粒子照射後サンプル表面および断面写真

た。また、処理条件が同じでも材料毎に付着の状態が異なっており、ロボット走査速度が速くなるほど、銅粒子の付着量が少なくなることから、ロボットのトラバース速度を調整し、各基材への銅粒子付着量を調整した。

図5にガス温度180℃、ロボット速度200mm/sで処理した各材料の表面拡大写真を示す。図中の数値は、材料表面に対する銅粒子の付着面積率を示している。外観および面積率からわかる通り、PE > PP > ABSの順で銅粒子の付着量が減少し、かつ付着している粒子サイズが小さくなっていることがわかる。各樹脂材料の硬さは、PE < PP < ABSの順であり、付着形態の違いは基材の硬さに起因するものと考えられる。

図5下段の断面写真を見ると、付着している銅粒子はほぼ球状を維持しており、衝突による変形は見られず、球状のまま樹脂基材に打ち込まれる形で付着している。また、もっとも付着量が多いPE基材の断面からは、比較的大きい粒子は表面近傍にのみ存在し、粒子サイズ数十μm程度の粒子が、より深く基材内部に侵入していることがわかる。今回のように粒子を基材に打ち込むプロセスにおいては、基材に衝突する際の衝突エネルギーが付着の有無を決める主要因であり、硬い基材ほど、粒子を打ち込む際により高いエネルギーが必要となることが容易に想像できる。このことから、硬い基材ほど、運動エネルギー的に優位なサイズの粒子（粒子の加速に有利なサイズ）のみ選択的に付着することから、比較的小さいサイズの粒子のみ付着し、付着量が減少したものと考えられる。

3.2 海中垂下試験結果（熱可塑性樹脂）

今回の処理において、銅粒子の付着量の最適化は、粉末の使用量や処理時間を低減する上で重要であり、銅粒子付着面積率の異なる各試験片について海中垂下試験を行い、それぞれの海洋生物の付着防止効果について評価

を行った。図6に海中垂下経過日数毎の各処理材外観写真を示す。垂下前の写真に示した数値は、銅粒子の付着面積率である。付着面積率が80%以上の処理材は、垂下後400日以上経過しても、表面への生物付着は見られず付着防止効果を維持していることがわかる。未処理の材料を見ると、85日経過の段階で既に全面に付着が見られることから、本処理の優れた海洋生物付着防止効果を確認した。一方で80%以下の処理材については、169日経過の段階で、表面の半分以上が付着物で覆われ、268日経過後には、ほぼ全面が付着物で覆われる結果となった。このことから銅粒子付着面積率と、付着防止効果の耐久性には相関があり、本処理においては基材表面に高密度で銅粒子を付着させる必要があることがわかった。

3.3 熱硬化性樹脂への処理

本開発のターゲットとして想定している電磁ログは、前述のとおり、GFRPに金属の電極が埋め込まれている構造である。GFRPは、熱硬化性樹脂をマトリックス樹脂としガラス繊維を複合化した材料であり、熱可塑性樹脂よりも硬く、ガス加熱による軟化も期待できないことから、本手法での処理の難易度が高いことが予想される。前述の熱可塑性樹脂と同じ条件で処理を行った試験片外観を図7に示す。GFRP表面は、照射された銅粒子によりエロージョン損傷が生じ、直接銅粒子を基材に打ち込むことは困難であることがわかった。

金属材料の中でも硬度および融点が低い錫粒子は、熱硬化性樹脂へ直接コールドスプレー可能な材料として報告されている⁵⁻⁶⁾。このことから錫粒子を1層目に照射し下地層を形成した後、その上から銅粒子を打ち込む手法について検討を行った。図8に1層目の錫粒子照射後および、2層目の銅粒子照射後の試験材外観写真を示す。1層目、2層目共に、エロージョンは生じず、それ

ぞれの粒子が堆積し、皮膜の形成に至っており、GFRP基材の最表面に銅粒子を付着させることに成功した。

錫粒子および銅粒子の付着状態を確認するため、処理層の断面観察を行った結果を図9に示す。GFRP基材上にコントラストの異なるSn層と、その上のCu層が確認できる。Sn層に着目するとSn皮膜がGFRPのガラス繊維を巻き込むように形成されており、良好な接合状態であることが確認できた。最表面のCu皮膜はSn

皮膜上に約50 μmの膜厚で形成されており、Sn層との界面に隙間等は見られず、こちらについても良好な接合状態であることが確認できた。

本結果を基に、今回対象としている電磁ログへの処理を行った。処理後の外観写真を図10に示す。電磁ログは、GFRPと金属材料で構成され、中心に設置されている電極部については、処理皮膜との導通を回避するため、周辺をマスキングし処理を行った。金属部分への処

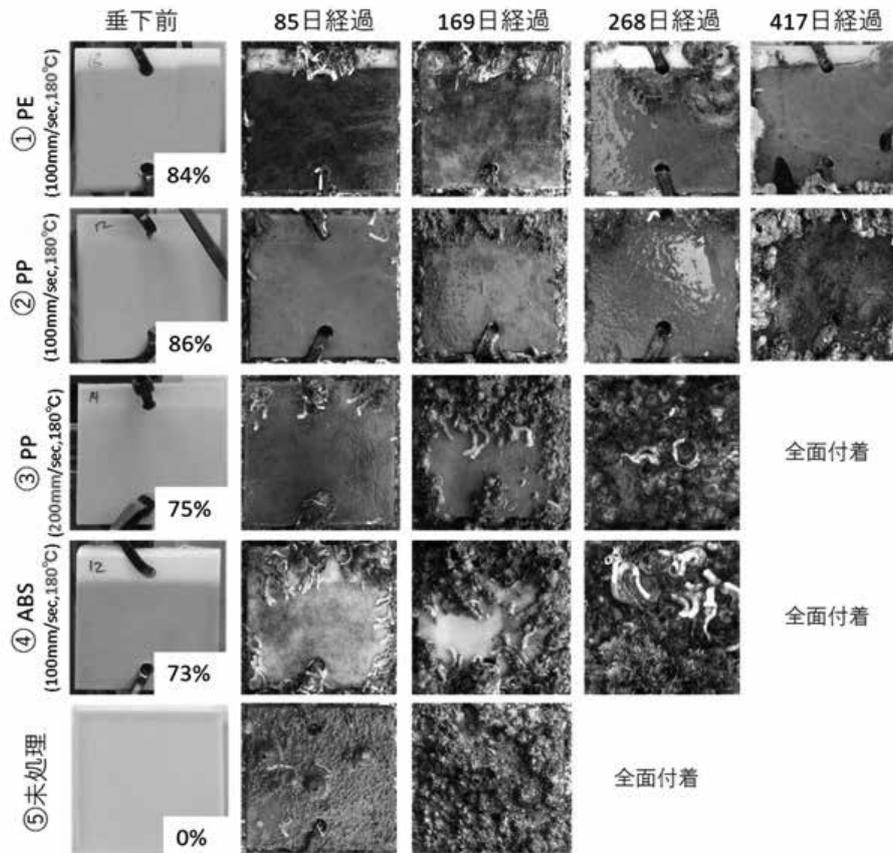


図6 海中垂下試験結果

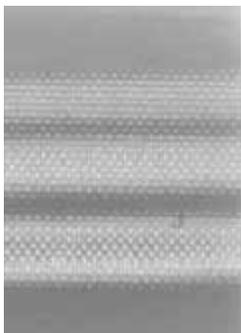


図7 GFRP基材処理後外観

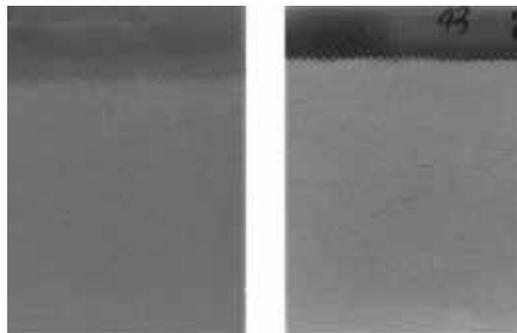


図8 GFRP基材処理後外観
(a) 錫粒子処理後(1層目) (b) 銅粒子処理後(2層目)

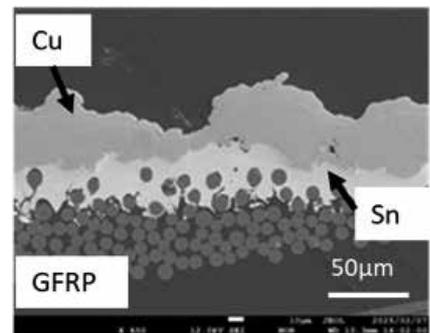


図9 GFRP基材処理材断面SEM写真

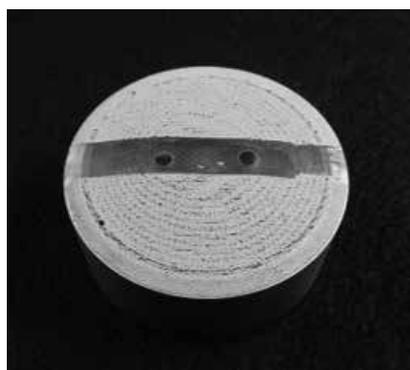


図10 電磁ログ処理写真

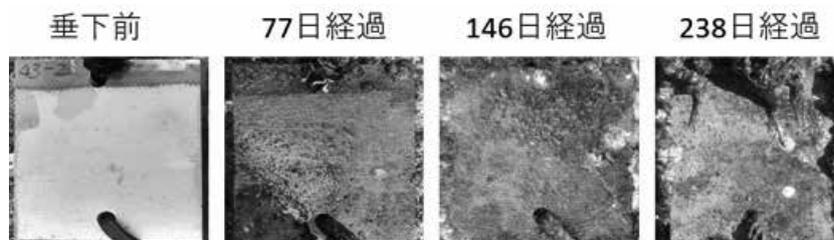


図11 GFRP処理材の海中垂下試験経過

理については、前処理としてブラスト処理を実施することで、GFRPと同じ処理条件で成膜できることを確認しており、処理前に金属部分のみ #80 のアルミナによりブラスト処理を行った。図に示すとおり、マスキング部分以外は、銅皮膜で覆われており、電磁ログ表面への付着防止処理を行うことができた。

3.4 海中垂下試験結果（熱硬化性樹脂）

前述の熱可塑性樹脂への処理材と同様に、GFRP 処理材についても海中垂下試験を実施した。経過日数毎の試験片外観写真を図 11 に示す。試験開始時期の違いにより、熱可塑性樹脂にくらべ経過日数は少ない状況ではあるが、238 日経過後においても、材料表面への生物付着は無く順調に推移している。

図 5 の断面写真で示したとおり、熱可塑性樹脂表面への銅粒子付着状況は、基材に粉末粒子の変形はほとんどなく打ち込まれている形態である。これに対し、GFRP への処理は、前項（図 9）で示したとおり膜厚約 50 μm のコーティング層で、膜厚も十分であることから熱可塑性樹脂への処理と同等もしくはそれ以上の効果が期待できると考えている。暴露試験は現在も継続し耐久性の評価を続けている。

4 結言

自作のコールドスプレー装置により、銅粒子を用いた熱可塑性樹脂および熱硬化性樹脂表面への、海洋生物付着防止処理技術を開発し以下の結果を得た。

- 1) 作動ガスを 180℃ に加熱し、銅粒子を投射することで、熱可塑性樹脂 3 種類（PE, PP, ABS）の材料表面に、銅粒子を付着させることができた。
- 2) 作製した処理材の海洋垂下試験を行い、材料表面への銅粒子付着処理による海洋生物付着防止効果を確認した。また付着防止効果の持続性と、材料表面の銅粒子付

着面積率には相関があり、付着面積率が 80% 以下では十分な耐久性が得られないことがわかった。

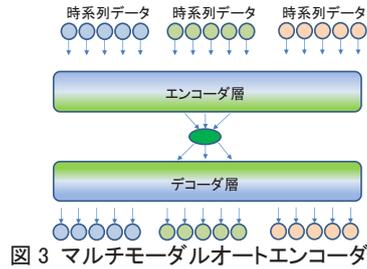
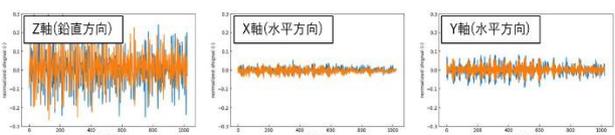
3) 熱硬化性樹脂（GFRP）に対しては、直接銅粒子を表面に付着させることは困難であり、錫粒子により 1 層目の下地層を形成し、その上に銅粒子を投射することで、銅粒子が積層したコーティング層を形成できることがわかった。また本手法により、電磁ログ表面へ付着防止処理を施行することが可能であることを確認した。

謝辞

本事業は、公益財団法人 JKA 令和 6 年度「公設工業試験研究所等が主体的に取り組む共同研究補助事業」により実施した。

参考文献

- 1) “環境にやさしい”付着防汚剤の開発、北野克和、化学と生物 Vol.57, No.6 (2019) 352-358
- 2) 海洋付着生物に対する付着阻害有機化合物創生の試み、梅澤大樹、化学と生物 Vol.61, No.7 (2023) 331-338
- 3) COBARION を利用した海洋生物付着抑制技術の開発、園田哲也、桑嶋孝幸、岩手県工業技術センター 最新成果集 2018,P10 (2018)
- 4) コールドスプレーの概要と最新動向、榊和彦、溶射 Vol.47, No.3, 2010, 113-119
- 5) Adhesion mechanism of cold-sprayed Sn coatings on carbon fiber reinforced plastics, J. Sun, K. Yamada, S. Zhou, H. Saito, Y. Ichikawa, K. Ogawa, A. Chiba, Applied Surface Science, 579 (2022), 151873
- 6) Metallization of Carbon Fiber Reinforced Polymers for Lightning Strike Protection, H.Che, M.Gange, P.S.M. Rajesh, J.E.Klemberg-Sapieha, F.Sirois, D.Therriault and S.Yue, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol.27, 10 (2018) 5205-5211

<p>研究テーマ</p>	<p>AI アクセラレータを利用した工具損傷診断のマルチモーダル「その場」診断システム開発</p>	<p>所属</p>	<p>(地独)岩手県工業技術センター 電子情報システム部 職名 主任専門研究員 氏名 二瓶 貴之</p>
<p>目的・内容：製造業の現場において、保全作業は設備の故障による製造ラインストップの防止や品質保証の観点から欠かすことのできない作業の一つである。保全作業で使われる状態監視システムに関する技術は古くから研究がなされており、アコースティックエミッション法や振動診断による工具摩耗の状態監視技術が研究されてきた。しかしながら掛かる費用は比較的高額で日常的な使用は難しく、問題が起こった際に機械を設置し解析するなどのように限定的に使用されるにとどまっている。</p>		<p>一方で、近年機械の状態監視技術へ深層学習を適用する方法が研究されてきており、また、IoT技術の著しい発展により高性能なセンサが入手しやすくなってきた。当工業技術センターではこれらを活用してエッジコンピューティングによる機械振動の異常検知の「その場」診断システムの技術開発を行ってきた¹⁾。本研究では小径ドリルの穿孔加工を例として、複数のセンサを用いるマルチモーダルな診断システム開発について検討した。</p>	
<p>成果：本研究において、開発したデータ取得(DAQ)システムについて説明する(図1)。エッジコンピュータにラズベリーパイ(4model B+)を用い、センサにトーキン製振動センサ VS-JV10A を用いた。構築した DAQ システムを用いて、図2のようにセンサを設置したマシニングセンタにて金属被削材のドリル加工を行い、加工時の振動データを取得した。マシニングセンタには三井精機工業 VS-3A を、被削材にはアルミダイカスト合金 ADC12 を、ドリルはφ1.0mm ストレートドリル(Co ハイス、TiAlN コート)を使用した。ドリル1本当たり約1000穴程度の加工で破損した。深層学習ライブラリとして Pytorch を用い、3軸の振動データを入力とするマルチモーダルなオートエンコーダモデルを構築した(図3参照)。また、ドリル折損までの各データのうち、1穴目から前8割を学習データとして用いた。1回の forward 計算で用いる時系列データの入力次元は1024点×3軸とした。精度検証のため、オートエンコーダのエンコーダ層、デコーダ層の層数をそれぞれ3層、5層、7層、9層と変化した複数のモデルを構築して学習し、性能比較した。</p>		<p>推論はAI アクセラレータの Microsoft 製 Neural Compute Stick 2 を接続したラズベリーパイ 4 上で実施した。図4に、加工時に取得した振動データおよび3層オートエンコーダモデルで復号したデータの様子を示す。検討した複数のモデルのうち3層オートエンコーダモデルのみ、復号データが入力データの振動を再現した。今後、本モデルを用いてマハラノビス距離による異常検知などの検討を行う。</p>  <p>図3 マルチモーダルオートエンコーダ</p>  <p>図4. 3層3軸マルチモーダルオートエンコーダによる入力信号(青色)および復号信号(黄色)</p> <p><参考文献> 1) 二瓶貴之、菊池貴、堀田昌宏: AI スティックによる機械学習システムの構築と工作機械の工具損傷診断システムへの応用、岩手県工業技術センター研究報告 27,p3-10(2023). 2) 二瓶貴之: AI アクセラレータを利用した工具損傷のマルチモーダル「その場」診断システム開発、岩手県工業技術センター最新成果集 2025,p01.</p>	
<p>用途・効果：</p> <p>本研究では、エッジコンピュータと AI アクセラレータを利用して、データを「その場」で取得しながら同時に深層学習モデルの診断を行うことを検討した。診断精度は今後も課題であるが、本研究の成果としては以下の点が期待できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> GPU などの高性能な演算装置を用いずにエッジ処理でリアルタイム異常検知することができるため 		<p>高効率・低コスト・即応性を持ち、後付もでき、中小企業などの現場に導入しやすいシステムを構築することができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> クラウドなどのネットワーク通信不要であり、異常発生から数ミリ秒で異常検知・通知ができる。また、近年は特に NPU 搭載デバイスの発展・普及が目覚ましいため、本研究による異常検知技術の中小企業等への普及がさらに期待できる。 	

地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告 第 28 号
ISSN 2759-1573

発行 令和 8 年 3 月 19 日

地方独立行政法人岩手県工業技術センター

〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡 2-4-25

電話：019-635-1115

FAX：019-635-0311

URL：<https://www2.pref.iwate.jp/~kiri/>

Eメール：CD0002@pref.iwate.jp