特集 —— 高圧力科学技術の未来を拓く新発見・新技術 ——

高圧力殺菌技術を用いた発泡性にごり生酒
「AWANAMA」の開発Development of a Sparkling Cloudy Draft *Sake* “AWANAMA” Using High Hydrostatic Pressure Pasteurization Technology重松 亨^{1,*}Toru SHIGEMATSU^{1,*}高橋 巖²Iwao TAKAHASHI²青木 俊夫³Toshio AOKI³金桶 光起³Mitsuoki KANEOKI³関根 章智⁴Akitomo SEKINE⁴宮脇 琢磨⁴Takuma MIYAWAKI⁴前田 聡⁵Satoshi MAEDA⁵伊藤 満敏⁶Mitsutoshi ITO⁶

Unpasteurized draft *sake* has a potential market value, since it shows fresh flavor and fruity taste, compared with conventional thermal pasteurized *sake*. However, the actualization of the market value of draft *sake* is restricted by its short shelf life due to deterioration of flavors and taste by the over-fermentation by *sake*-yeast, as well as by remaining enzymes produced by *koji*-mold. Recently, we have developed a new *sake* brewing process with high hydrostatic pressure (HHP) treatment as a non-thermal pasteurization. Using this process, a prototype HHP-treated sparkling type draft cloudy *sake*, namely AWANAMA, was brewed. This prototype *sake* remains the sensory properties like draft *sake*, but avoiding deterioration by over-fermentation. In this report, we described the development of the new *sake* brewing process, results of marketing research by domestic and international exhibitions, and the still-remaining research objectives undergoing.

[*high hydrostatic pressure, draft sake, microbial inactivation, enzyme inactivation, non-thermal pasteurization, AWANAMA*]

¹ 〒956-8603 新潟市秋葉区東島 265-1 新潟薬科大学 応用生命科学科
Department of Applied Life Sciences, Niigata University of Pharmacy and Applied Life Sciences, 265-1 Higashijima, Akiha-ku, Niigata 956-8603

² 〒957-0016 新潟県新発田市豊町 1-9-30 金升酒造株式会社
Kanemasu Sake Co., Ltd., 1-9-30 Yutaka-cho, Shibata-city, Niigata 957-0016

³ 〒951-8121 新潟市中央区水道町 2-5932-133 新潟県醸造試験場
Niigata Prefectural Sake Research Institute, 2-5932-133 Suidocho, Chuo-ku, Niigata 951-8121

⁴ 〒162-8001 東京都新宿区市谷加賀町 1-1-1 大日本印刷株式会社
Dai Nippon Printing Co., Ltd., 1-1-1 Ichigaya-Kagacho, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8001

⁵ 〒940-8622 新潟県長岡市呉服町 1-4-5 越後製菓株式会社
Echigo Seika Co., Ltd., 1-4-5 Gohuku-cho, Niigata 940-8622

⁶ 〒956-0864 新潟市秋葉区新津本町 1-2-37 新潟薬科大学 生命産業創造学科
Department of Life Sciences Business, Niigata University of Pharmacy and Applied Life Sciences, 1-2-37 Niitsu-honcho, Akiha-ku, Niigata 956-0864

* Electronic address: shige@nupals.ac.jp

1. はじめに

近年、日本酒の生産量が減少傾向にある。Fig. 1 には、日本酒の国内出荷量ならびに輸出量の推移を示した[1]。国内出荷量は、1998 年度から 20 年足らずで約半分に減少している。酒類の多様化が進んでいることや、若者の日本酒離れなどが原因として指摘されている[2,3]。一方、外国への日本酒の輸出は年々増加している。海外での日本食・日本酒ブームと、国内の酒造メーカーの努力の結果であろうと考えられる。しかし国外輸出量は、未だ国内出荷量の約 4.4% に過ぎない状況である。約 90 の酒造メーカーを擁する新潟県にとって日本酒製造業は主要な産業の一つであり、全国の約 10% の出荷量を誇っている。ところが本県の日本酒製造業にとっても、全国の状況と同様、出荷量の減少傾向が大きな課題となっている。

清酒に代表される通常日本酒は「火入れ」と呼ばれる高温処理工程を経て製造されている。火入れの目的は圧搾した日本酒を加熱し微生物を殺菌する

と共に、麹菌が産生するアミラーゼやプロテアーゼなどの残存酵素を失活させることで、日本酒の保存性を高めることにある。この工程によって、常温流通・長期保存が可能となるが、風味が著しく変化してしまう。一方、火入れをしない日本酒も製造されている。生酒、あらばしり生酒、活性にごり酒などが火入れをしない日本酒に該当する。これらの火入れをしない日本酒は品質劣化が迅速であるため、冷蔵流通が必須であり、できるだけ早く消費しなければならず保存性が著しく低い。これは麹菌由来の酵素が原因の一つとされる。また、あらばしり生酒、活性にごり酒など、製品中に生きた清酒酵母が残存するタイプの生酒の場合、輸送や保存中にも瓶内で発酵が継続される。そのため、風味の変化だけでなく、発酵により発生した二酸化炭素によって瓶が破裂する場合もある。しかし、これらの火入れをしない日本酒は、発酵直後の醪（もろみ）や醪を圧搾した直後の酒のもつフレッシュな香りやフルーティーな風味が残っているため、外国人や若者の嗜好性に適う酒質と考えられ、潜在的な市場価値が高い。限外濾過によって非熱的に微生物や酵素を取り除いた生酒も市販されているが、にごり酒タイプの生酒には応用が難しい。

数百 MPa の静水圧を用いた高圧力処理は、非熱的に微生物の不活性化、タンパク質の変性を可能とする食品加工技術として注目されている[4]。日本酒の火入れ工程を、静水圧を用いた高圧力処理で代替することで、にごり酒タイプの生酒のもつ風味を維持しながら保存性を高められる可能性が想起される。これが可能となれば、日本酒の新規需要の開拓と輸出の促進につながると期待できる。我々はこうした思いから、高圧力技術の日本酒製造への応用を目指した研究に取り組んできた[5]。本稿では、2016 年 4 月に新潟県大学、新潟県醸造試験場、金升酒造株式会社、越後製菓株式会社、大日本印刷株式会社（2017 年 4 月から）で組織した「圧力生酒コンソーシアム」で取り組んできた、高圧力殺菌工程を用いた発泡性にごり生酒「AWANAMA」の開発について紹介したい。

2. 商品コンセプトの検討

2.1 商品コンセプトの目標設定

日本酒の消費増に向けた市場開拓を考えた時、日本酒を飲む習慣の少ない女性や若者が嗜好する日本

Fig. 1. Japanese sake domestic (A) and export (B) shipment volumes from 1998 to 2017.

酒の酒質とはどのような酒質なのかを、文献[6]を参考に調査した。その結果、従来の日本酒に抱いているイメージである「重い感じ」、「甘ったるい」、「独特の匂い」、「強いアルコール感」などを払拭する、飲み口の良い酒質が喜ばれる酒質とさだめた。「さわやか」、「フレッシュ感あふれる」、「スッキリとした」酒質の日本酒であれば、女性や若者そして海外の外国人の嗜好にも合ったものと判断した。これらの検討の結果、米で作ったシャンパン風のキレが有り、適度な酸味のある微発泡系日本酒を目指すことにした。

2.2 ボトルの材質・デザインの検討

従来の日本酒の包装仕様は、ガラス製の一升瓶や四合瓶のイメージが強い。ガラスを用いたデザイン嗜好の強い変形瓶のもの、そして近年、アルミ製の缶容器に詰めたものも市場には見かけられる。しかし、本研究では従来の日本酒のイメージを払拭する表現の包装仕様を追求した。包装仕様（パッケージ仕様）そのものが、新しいタイプの日本酒であることを強調できるパッケージを検討した。

本研究では、高圧力処理を製造プロセスに用いることから、高圧力処理への適合性が材質選びの基本的要求事項となる。市販のどぶろくを用いた検討の結果、 3.4×10^9 cfu/mL（コロニー形成単位。生菌数の単位であり、1 mLの試料中に何個増殖してコロニーを形成できる細胞が含まれているかを示す）存在した酵母が、200 MPa、室温、10 分間の高圧力処理を行うと 2.0×10^4 cfu/mL に減少し、400 MPa、室温、10 分間の高圧力処理を行うと検出限界以下 ($< 10^1$ cfu/mL) となった。したがって、400 MPa の静水圧下での収縮（フレキシビリティ）に対応できる材質であることが必須の条件となった。ガラス素材、アルミ製のスクリュエーキャップボトルを含め、多種多様な液体容器のサンプルを検討したが、なかなか適応するものが見つからなかった。検討の中で、大日本印刷株式会社が開発中の機能性フィルム複合型 Polyethylene terephthalate (PET) ボトル「コンプレックスボトル」の紹介を受けた。本商品は、開発途中の新しい PET ボトルであった。サンプルのボトルに対して高圧力試験を行い材質の適応性を評価した。その結果、本研究の試作日本酒への適応が可能と判断され採用を決定した。以降、同社は圧力生酒コンソーシアムの一員として参画することになった。

Fig. 2. Image poster of “AWANAMA”.

高級感があり、かつ新規性の強いデザイン、そして海外の外国人にメッセージが届く「クールジャパン」が表現できるデザインを求めた。従来の日本酒のガラス瓶の見慣れた高級感を超えるデザインを PET 材質で表現できるデザインを検討した。検討の結果最終的に決定したものは、PET ボトルの表面に「江戸切子」の麻の葉文様を刻み、黒色の外装フィルムでボトル全体を覆って PET の材質感を見えなくするデザイン案を採用した。サイズは 320 mL の飲みきりサイズとした。

商品名はフレッシュ感を引き出す「生」と微発泡を表す「泡：あわ」を造語として「あわなま」とし、海外向けのデザインを目指す観点からアルファベット表記の「AWANAMA」とした。ボトルキャップの天面とボトル中央部下部には、「なま」をデザイン化した Corporate Identity (CI) マークを印刷し、外国人にも一目で理解できる差別化マークとした。Fig. 2 に、決定した商品コンセプトに基づいて作成したチラシを示した。

3. 醸造プロセスの完成と試作品「AWANAMA」

前節において決定した商品コンセプトに基づき、

Fig. 3. Schematic diagrams of “AWANAMA” brewing process.

醸造プロセスを検討した。その結果、純米吟醸酒の発泡性にこり生酒が最適だと判断した。そこで、醸造法をベースとし、主発酵後に瓶内二次発酵を行い、瓶ごと高圧力処理を行い殺菌する醸造プロセスの設計を行った。検討の結果、以下の醸造プロセスを試作品「AWANAMA」の製造法として決定した。原料米には新潟県限定の酒米「越淡麗」を精米歩合55%で使用した。種麹には吟醸酒用種麹を用い、麹歩合を20%とした。酒母には新潟県醸造試験場で作出した清酒酵母を用いた。三段仕込みを基本として酒母、蒸米、麹、そして水を添加し発酵を行った。発酵醪に四段目の添加を行った後、酒袋にて圧搾し、アルコール濃度14%の生酒を調製した。同時に醪を粗く漉したにこり酒を調製した。にこり酒を5%となるように生酒に添加し、320 mLを瓶に充填してキャップを打栓した。室温15℃の条件で10日間の二次発酵を行い、瓶ごと400 MPa、室温、10分間の高圧力処理を行った。二次発酵による二酸化炭素の発生により、でき上がった製品の内圧は約5 kPaの値を示した。Fig. 3にプロセスのフローを示した。

でき上がった製品の成分分析および官能評価を行った。成分分析(Table 1)および官能評価の結果から、高圧力処理の有無による顕著な違いは認められ

なかった。微生物の検査のために、酵母、好気性細菌、乳酸菌の生菌数をコロニーカウント法で測定した。高圧力未処理の製品では、酵母が 6.9×10^6 cfu/mL、好気性細菌が 1.7×10^2 cfu/mL検出され、乳酸菌は検出されなかった[7,8]。高圧力処理を行った製品では、いずれの微生物も検出限界以下であった(Fig. 4)。

これらの製品を10℃で3ヶ月間保存して、各項目の解析を行った。成分分析の結果、高圧力未処理の製品は、保存中に発酵が進み、アルコール濃度および日本酒度が増加し、グルコース濃度が減少していた(Table 1)。一方、高圧力処理を行った製品については、アルコール濃度の変化は認められず、日本酒度も変化しなかった。カプロン酸エチル、グルコース濃度には若干の増加が認められたが、イソアミルアルコール、酢酸エチル、酢酸イソアミル濃度に変化はなかった。官能評価の結果も、高圧力処理の有無による有意な差は認められなかった。微生物については、保存後に好気性細菌がサンプルによってはわずかに検出される結果を得たが、酵母、乳酸菌については検出限界以下であった(Fig. 4)。サンプルによって検出された好気性細菌も、保存中に増殖をしている様子は認められなかった。

これらの結果から、「AWANAMA」は高圧力処

Table 1. Properties in HHP-treated or untreated “AWANAMA” samples before and after storage at 10°C for 3 months.

	Before storage		After storage (10°C, 3 months)	
	Untreated	HHP-treated	Untreated	HHP-treated
Ethyl acetate (mg/L)	31.5	34.3	36.6	34.0
Isoamyl acetate (mg/L)	1.0	1.0	1.0	1.1
Isoamyl alcohol (mg/L)	102.8	107.0	112.0	104.8
Isobutanol (mg/L)	32.3	33.9	36.0	33.7
Ethyl caproate (mg/L)	2.6	2.3	3.4	3.0
Glucose (g/100 mL)	1.5	1.6	0.8	2.2
Isovaleraldehyde (mg/L)	ND	ND	ND	0.06
Color index (OD ₄₃₀ × 1000)	17.6	18.4	16.8	17.0
Sake meter values	+7.9	+6.2	+16.0	+5.9
Alcohol concentration (%)	15.2	15.1	16.1	15.1
Acidity	1.8	1.7	1.7	1.7
Amino acidity	1.2	1.2	1.2	1.2

ND, not detected.

Fig. 4. Logarithmic viable cell counts of yeast, aerobic bacteria (AB), and lactic acid bacteria (LAB) in high hydrostatic pressure (HHP) treated (at 400 MPa, ambient temperature for 10 min) or untreated “AWANAMA” samples before storage and after storage at 10°C for 3 months. Data was average values from three assays. Standard deviations were shown in error bars. ND, not detected.

理により完全に酵母の発酵を抑えることができ、10°Cの条件で少なくとも3ヶ月間は保存できると判断できた。この試験の後、二次発酵の条件を再検討し、日本酒度-3の生酒を使用して18°Cで7日間の二次発酵を行うこととした。製品の内圧は5~7 kPaとなった。

4. 試作品「AWANAMA」を用いた市場調査

2017年から2018年にかけて、国内外の展示会などに「AWANAMA」を出展し、市場調査を行った。国内では、2017年10月の「アグリビジネス創出フェア2017」、2018年3月の「にいがた酒の陣2018」などを選定し、それぞれBusiness to Business(B to B)およびBusiness to Consumers(B to C)のモデルとして、試飲およびアンケート調査を実施した(Table 2)。いずれの調査においても酒質の評価は高く、また、ボトルのデザイン評価も非常に高かった。輸出についても期待感を持つ回答が多かった。

この結果を受けて、また過去の日本酒の輸出実績(輸出量および金額)を参考に、対象とする海外エリアを選定した。2015年における日本酒の輸出国は62か国となっており、そのうち数量及び金額ではアメリカ、韓国、台湾、香港、中国の5か国で約7割を占めている。日本酒の平均輸出価格は1L当たり771円となっている。国別では、1L当たり香港が1,308円、アメリカ1,045円と平均を上回る水準であるのに対し、中国744円、台湾421円、韓国405円と平均を下回る低価格な日本酒の輸出対象国となっている。

将来的な日本酒の海外輸出ビジネスへの貢献度の高い海外輸出国(輸出エリア)であり、日本国内の酒造メーカーにとって魅力ある対象国として、まず、

1. アメリカ(北米): 過去の輸出実績で輸出量・

Table 2. Domestic and international events exhibited for tasting and test marketing of “AWANAMA”.

Name of exhibitions	Date	Place	Objectives
Domestic exhibitions			
Agribusiness Creation Fair 2017	Oct. 4-6, 2017	Tokyo	Tasting
Food Messe in Niigata 2017	Nov. 8-10, 2017	Niigata	Tasting
Niigata Sakenojin 2018	Mar. 10-11, 2018	Niigata	Tasting
Meishu Center	Oct. 12-Nov. 12, 2018	Tokyo	Tasting/Test marketing
International exhibitions			
Niigata Food & Culinary Show in New York	Mar. 6-8, 2018	New York, USA	Tasting
Salon du Sake 2018	Oct. 6-8, 2018	Paris, France	Tasting/Test marketing
Hong Kong International Wine & Spirits Fair 2018	Nov. 8-10, 2018	Hong Kong, China	Tasting/Test marketing

金額ともに最も多い。

2. 香港：輸出国の中で日本酒の平均価格（輸出金額を輸出量で割った値）が最も高い。

以上の2つのエリアを「AWANAMA」の酒質の評価および試験販売の対象国として必須の選出エリアと判断した。

一方、ヨーロッパへの日本酒輸出の現状は、輸出量でトップのアメリカ 5,780 kL に比べて、量は最も多いイギリス 388 kL と未だ少ない状況だが、2016 年から 2017 年の数量の伸び率は、前年比 22.5% と高い成長率が目立つ。2015 年イタリア万国博覧会が開催され、日本食の文化的・健康的な食事としての評価が上がり、日本酒の認知度も一気に広まったといわれている。イタリアの伸び率は前年度 20.1% 増、そして食の都フランスでは 57.7% 増と最も高い伸び率を示している。フランスではフランス人による日本酒コンクール「Kura Master」も 2017 年から始まり、さらなる市場の拡大が期待されるエリアである。「AWANAMA」のヨーロッパ市場での酒質評価および試験販売の実施のため、歴史的に食文化の発展に影響度の高いフランスを3番目の対象国として選出した。

3. フランス：近年の日本酒輸出量の伸長率が高く、食環境への影響度も高い。

以上の3か国を対象に、海外での市場調査を実施した (Table 2)。

海外での市場調査に際して、対象国の輸出業者と連携して「AWANAMA」を実際に輸出することになった。300～400 本の小ロットでの輸送だったので、航空貨物で輸送した場合と、香港には常温の船便輸送でも輸送試験を実施した。いずれも大きなトラブルもなく無事に通関でき、試飲調査および試験

販売に供することができた。

アメリカ、フランス、香港での試飲調査で酒質については何れの国でも高評価を得た。日本酒を恒常的に飲酒している経験の少ない方々が多い中、「AWANAMA」を試飲して頂いた方の多くが高く評価した。弱い酸味は白ワイン様の飲み口に似ているし、「生酒」感はフレッシュな飲み口に感じられたようだ。

ボトルデザインおよび容器仕様についても非常に高い評価が得られた。黒色の「クールジャパン」のデザインは注目度が高かった。第一印象では PET 材料の容器として認識できず、手に取って初めてその軽量さを確認して驚きを示す方々が多く見受けられた。

320 mL の容量についても好評で、飲み切りサイズの日本酒が現在流通しておらず、飲食店やレストラン関係者からすぐにでも販売してほしいという希望もいただいた。

販売価格について、フランスでは 12 €（約 1,560 円）で試験販売した。大手日本酒メーカーがフランス国内で 12 € で 350 mL の日本酒を先行販売しているのを確認して設定した価格であるが、今後も 12 € での販売は可能と思われた。

香港では 100 HK\$（約 1,500 円）で試験販売を実施した。香港での日本酒市場を調査すると、香港の消費市場の特性に影響を受けていることが判明した。まず、香港を訪れる交流人口（来港者）が 2017 年で約 5,850 万人もいるということ。一人当たりの GDP が約 4,300 US\$（日本は約 3,900 US\$）など所得の高い層が多くいること。香港市場で売られている日本酒の価格帯は四合瓶で平均 400 HK\$（約 6,000 円）であること。したがって、「AWANAMA」

320 mL で 100 HK\$ の販売価格は決して高い価格ではないことが判明した。海外での試飲・試験販売の会場で、多くの外国の業者の方々から早急な販売の要求を求める声が多くあった。このことは「AWANAMA」の海外市場での販売を望む人が実在するという検証になった。

以上の市場調査を通じて、海外の 3 つのエリアでの「AWANAMA」の商品としての評価は高く、本研究で目指した商品コンセプトの妥当性が確認できた。「AWANAMA」を販売したいという現地業者の方々とも接触でき、また、試験販売のための輸出業務および現地での通関業にご協力いただいた流通関係者とも関係を構築できた。今後、ビジネスとして「AWANAMA」の海外輸出が可能になる“道しるべ”は構築できたと考えている。

5. 現在の課題と今後に向けての取り組み

5.1 圧力感受性酵母を用いたプロセスの改良

本研究で開発した、高圧力殺菌工程を用いた発泡性にごり生酒「AWANAMA」の製造プロセスにおいて、実用化の大きな障壁となることが予想される点として、高圧装置の導入に要するイニシャルコストが挙げられる。海外では 600 MPa の処理圧力が可能な実用スケールの高圧装置が稼動して高圧力加工食品を生産しているが、残念ながら我が国では状況が追いついていない。

前節で記載した試作品「AWANAMA」を用いた市場調査の結果から、少なくとも製品の酵母を非熱的に殺菌するだけでも、海外でのビジネスが可能となることが期待される。そこで、圧力に弱い圧力感受性酵母を用いた醸造プロセスの開発を目的とした研究を進めている。圧力感受性酵母を用いることで、高圧力殺菌工程における処理圧力を低減することが可能となり、高圧装置の初期投資を抑えることにつながるからである。

実験室一倍体酵母（接合型 a）*Saccharomyces cerevisiae* KA31a 株に紫外線を照射し、圧力感受性変異株 a924E1 を作出した[9]。しかし、小スケール醸造プロセス（小仕込試験）で本株の醸造特性を解析したところ増殖が良好といえず、日本酒の醸造用としての適性が高くないと判断された。a924E1 株の圧力感受性の原因が、ミトコンドリア DNA 上に位置する cytochrome c oxidase をコードする *COX1* 遺伝子領域の欠失であることが示唆された

[10]ため、本株と他の接合型 α の一倍体酵母との接合により、圧力感受性を示す二倍体の作出が可能であると考えた。そこで日本醸造協会が保管・頒布している、日本酒の醸造に多用されている清酒酵母「きょうかい 7 号」（K7 株）の接合型 α の一倍体株と a924E1 株を接合させ、きょうかい 7 号の遺伝的背景を持つ圧力感受性株 KE03 および KE45 が作出できた (Fig. 5)[11]。得られた株は、小スケール醸造プロセスでの試験においても良好な増殖能を示した。

現在、「AWANAMA」の醸造に用いた新潟県醸造試験場で作出した醸造用酵母の圧力感受性株の作出を行っている。400 MPa より低い圧力条件で過発酵を止めた「AWANAMA」の醸造が可能となると考えている。

5.2 麹菌由来の残存酵素の不活性化

試作品「AWANAMA」は、400 MPa、室温、10 分間の高圧力処理により酵母の過発酵を止めることで、10℃ で 3 ヶ月間以上の保存期間が達成できた。この試作品の市場調査の結果、海外輸出がビジネスとして成立する可能性を示すことができたと考えている。しかし、本技術の実用化を目指すなら、より高い保存温度、より長期間の保存時間が望ましい。これを目指すためには、麹菌由来の残存酵素の非熱的不活性化は、解決すべき大きな課題の一つである。

そこで、二次発酵終了後、高圧力未処理の「AWANAMA」試料に対して高圧力処理を施して、試料に含まれる麹菌由来の酵素の残存活性を測定し

Fig. 5. Logarithmic viable cell counts of strains K7, a924E1, KE03 and KE45 before (in closed bars) and after HHP treatment at 200 MPa at ambient temperature for 1 min (in open bars). Data was average values from three assays. Standard deviations were shown in error bars.

Fig. 6. 3D graphs of the remaining enzyme activities after HHP treatment at 200, 400 and 500 MPa in combination with temperatures at -7 , 4 , 20 , 40 and 50°C for 10 min. The α -amylase activity (A), glucose-forming activity (B), and acid carboxypeptidase activity (C) were plotted.

た[12]。200 MPa から 500 MPa の高圧力処理を、 -7°C から $+50^{\circ}\text{C}$ の温度条件で、10 分間行った。測定した酵素活性として、 α -アミラーゼ活性、糖化力 (α -グルコシダーゼ活性、グルコアミラーゼ活性が含まれる)、および、酸性カルボキシペプチダーゼ活性を選択した。

室温条件での高圧力処理では、最大 500 MPa の圧力でも、 α -アミラーゼ活性および糖化力の顕著な低下は認められなかった (Fig. 6)。一方、酸性カルボキシペプチダーゼ活性は約半分に低下した。高圧力処理時の温度を高温側にシフトすると、温度の上昇に伴って各酵素活性は低下した。また、高圧力処理時の温度を低温側にシフトすると、温度の低下に伴って各酵素活性の低下が認められた。500 MPa, 50°C , 10 分間の高圧力処理を行った試料は、 α -アミラーゼ活性、糖化力、酸性カルボキシペプチダーゼ活性が、高圧力未処理の対照に比べて、それぞれ、40%, 35%, 17%まで低下しており、これらは火入れした試料と同等の残存酵素活性であった。しかし、試飲したところ生酒の風味は変化していた。一方、500 MPa, -7°C , 10 分間の高圧力処理を行った試料は、 α -アミラーゼ活性、糖化力、酸性カルボキシペプチダーゼ活性が、それぞれ、65%, 67%, 21%まで低下しており、しかも生酒の風味を維持していた。

一般的に酵素活性の不活性化は、酵素タンパク質の変性による構造変化によって引き起こされる。タンパク質の圧力-温度変性において、高温条件での高圧力処理による変性と同時に、低温条件での高圧力処理による変性を示すタンパク質が存在する[13]。

したがって、得られた結果は妥当であると考えられる。低温条件での高圧力処理により、風味の変化を抑制しながら酵素活性を低下させることは、本研究の目的に適うものと考えている。現状で、500 MPa, -7°C の条件での高圧力処理が酵素の不活性化には最適である。今後、保存試験を行いながら、成分分析、官能評価の結果とあわせて、最適処理条件を決定する必要があると考えている。

6. おわりに

以上、高圧力殺菌技術を用いた発泡性にこり生酒「AWANAMA」の開発の経緯と現時点で得られた成果、そして今後に向けた課題について記載した。高圧力殺菌技術を応用することで、生酒の風味を維持しつつ残存微生物による過発酵を止めた日本酒の製造が可能となった。そして「AWANAMA」の商品コンセプトと完成した試作品は、国内はもちろん海外においても市場価値が高いものと考えられた。本研究の成果を足がかりとして、我々とともに実用化を目指してくれる企業各社との連携により、本技術が実用化され普及していくことを期待してやまない。

謝 辞

本研究は、農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（地域戦略プロジェクト）」(2016～2018 年度) の委託研究として実施したものです。

なお、市場調査を中心に多大なご尽力を頂いた株式会社ニューズ・ラインの小島 岳大氏，AWANAMA ボトルのデザインにおいてご尽力頂いた株式会社フレームの石川 竜太氏，海外輸出に際して貴重なご助言を賜りました兵庫県立農林水産技術総合センターの杉本 琢真氏，京都府立大学教授 増村 威宏氏をはじめ，本研究に関係された皆様に深く謝意を表します。

参考文献

- [1] 農林水産省政策統括官：日本酒をめぐる状況 (2018)。
- [2] 日本酒造組合中央会：調査リリース「日本人の飲酒動向調査」(2017)。
- [3] 昭和女子大学現代ビジネス研究所：女子大生の日本酒アンケート調査(2016)。
- [4] 重松亨，西海理之 監修：進化する食品高圧加工技術—基礎から最新の応用事例まで— (エス・ティー・エス，東京，2013)。
- [5] 重松亨，野村一樹，林真由美，井口晃徳：高圧力の科学と技術，**27**, 40 (2017)。
- [6] 宝酒造株式会社：日本酒に関する意識調査 2013 (2013)。
- [7] K. Nomura, M. Ikezaki, C. Kataoka, S. Ujiie, T. Aoki, T. Kuribayashi, M. Kaneoke, A. Iguchi, T. Shigematsu: The 10th International Conference on High Pressure Bioscience and Biotechnology (HPBB2018), Book of Abstract (O-28), p. 65 (2018)。
- [8] 野村一樹，池崎南，堀沙織里，井口晃徳，重松亨：平成 30 年度日本醸造学会大会，日本醸造協会誌，**113**，講演 No. 20, p. 707 (2018)。
- [9] T. Shigematsu, Y. Nasuhara, G. Nagai, K. Nomura, K. Ikarashi, M. Hirayama, M. Hayashi, S. Ueno, T. Fujii: J. Food Sci., **75**, M509 (2010)。
- [10] K. Nomura, H. Iwahashi, A. Iguchi, T. Shigematsu: J. Food Sci., **80**, M1051 (2015)。
- [11] K. Nomura, H. Hoshino, K. Igoshi, H. Onozuka, E. Tanaka, M. Hayashi, H. Yamazaki, H. Takaku, A. Iguchi, T. Shigematsu: High Pressure Res., **28**, 165 (2018)。
- [12] 岡田延哉，菅原佑子，野村一樹，堀沙織里，片岡ちひろ，井口晃徳，重松亨：第 59 回高圧討論会講演要旨集，2D04, p. 154 (2018)。
- [13] L. Smeller: in *High Pressure Bioscience Basic Concepts, Applications and Frontiers*, eds. K. Akasaka, H. Matsuki (Springer Science+Business Media, Dordrecht, 2015), Chap. 2, pp. 19–39。

[2019 年 1 月 8 日受付，2019 年 1 月 18 日受理]

© 2019 日本高圧力学会