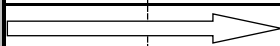


委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	競争力強化研究のうち輸出力強化プロジェクトのうち魚類血合筋の褐変を防止する革新的冷凍技術の開発			担当開発官等名	農林水産技術会議事務局研究開発官 （基礎・基盤・環境）
				連携する行政部局	水産庁増殖推進部研究指導課 水産庁増殖推進部裁培養殖課 水産庁漁政部加工流通課
研究期間	R 5 年～ R 7 年（3 年間）			総事業費（億円）	0．6 億円（見込）
	基礎	応用	開発		
					

研究課題の概要

酸素を用いた革新的な魚類血合筋褐変防止技術の開発とそれを裏付ける科学的根拠の収集、漁獲から冷凍・解凍に至る一連の実証試験および製造マニュアルの作成により、漁協や都道府県等と連携し、褐変を防止する加工・流通体制を構築する。

<委託プロジェクト研究課題全体>

凍結されたブリ類の血合筋において解凍後に褐色を呈す色調変化（褐変）が生じる。このような外観の劣化による商品価値の低下が輸出拡大のボトルネックになっている。これまでに魚肉中へ酸素ガスを注入すると解凍後の褐変が抑制されることが明らかになっているものの、実用化に向けた技術的課題が残されていることを踏まえ、本研究では、「酸素充填技術（※1）」の最適な処理条件の検討や効率良く酸素ガスを充填するための器具の開発を進めるほか、コストのかかる超低温を要せず保管するための凍結技術、食品包装資材等を開発し、これらの技術を体系的に組み合わせた漁獲から冷凍・解凍に至る一連の魚類血合筋の褐変防止技術を確立する。

<課題①：高濃度酸素による解凍後の血合筋褐変抑制機構の解明>

・生化学的分析、分子動力学シミュレーション（※2）解析、官能評価及び微生物検査により、高濃度酸素が血合筋の褐変を防ぐ原理を解明し、酸素充填方法や処理条件を決定するとともに、高濃度酸素処理を行った製品の官能的特性や食品の安全性を明らかにする。

<課題②：冷凍水産物の高品質化技術開発>

・各製造工程の最適化、冷凍の前処理条件の設定、冷凍・解凍装置及び包装資材の選定により、製造技術の高度化・効率化、色調保持時間の延長及び凍結保管温度の高温化の技術を開発する。

<課題③：酸素充填技術を用いた冷凍ブリ製品の製造技術開発>

・漁獲から冷解凍に至る一連の実証試験を実施により、現場に即した魚類血合筋の褐変防止技術を確立するとともに、その製造マニュアルを作成する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

ブリの解凍直後に生じる血合筋の褐変を防止するための新規冷凍技術を2つ以上開発する。具体的に酸素充填技術の最適化・効率化により処理時間を30分以内に短縮する技術、冷解凍技術開発及び包装資材の選定により、ブリ血合筋における冷解凍後の色調保持時間を8時間まで延長させる技術及び冷凍保管温度を-30℃以上に高温化させる冷凍技術を開発する。また、漁獲から冷凍・解凍に至る一連の実証試験を行い、開発された技術の効果を検証する。

上記技術の活用により、冷凍ブリフィレ（※3）製造に対応した水産事業者向けの褐変防止マニュアルを作成する。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（2030年～）

血合筋の褐変を防止する加工・流通体制を確立し、EUやアジア等へのブリ輸出の販路拡大を通じて、2030年までにブリ類の輸出額目標1,600億円の達成に貢献する。

【項目別評価】**1. 研究成果の意義****ランク：A**

① 研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性

○研究成果の科学的・技術的な意義

我が国における魚肉の褐変防止に関わる研究は古く、1970年代後半にハマチやマグロに対するガス置換包装を用いた色調保持に関する成果（上岡ら、1979）が報告され、多くの研究者による20年近い精力的な研究から一部で実用化に至ったものの、マグロ等では漁獲後に凍結貯蔵する方法が広く普及し、ガス置換包装を魚肉の貯蔵に用いることは無くなった。その後、凍結技術の進歩で冷凍魚肉の高鮮度化が進んだものの、解凍後の急速な魚肉の褐変は依然として防ぐことができず、この問題を解決することは水産科学の分野で悲願であった。我々は、冷凍マグロ肉に対し、酸素ガスを用いたガス置換包装で解凍後の褐変を抑制する手法（特許第6529106号）を開発した。しかし、その手法をブリ（ハマチ）に応用したが、血合筋の特殊性から効果は限定的であった。一方、一部の水産加工業社は、国内では食品衛生法で禁止されているものの、米国では認められている一酸化炭素を用いた血合筋の褐変防止技術を開発し、約150億円の海外市場が形成されるに至っている。EU等への輸出拡大に向け、3年間に渡り、ガス置換包装に変わる新手法の開発に携わり、令和2年度に現在の「酸素充填技術」の骨格が作られた。その後、本事業において作業工程の見直しと最適化を進め、発明（特願2024-071065）は、一酸化炭素を使用せずに冷凍ブリ血合筋の解凍後の褐変を防止する初めての技術として令和6年度に特許を出願し、科学的・技術的な意義は大きい。また、魚肉に残存する血液が凍結解凍によって溶血することで解凍後の血合筋の褐変が促進されることを見出し、血液自体を除去することで凍結貯蔵性を向上させる脱血手法を開発（特許第7288723）した。さらに、酸素充填技術と効果的な脱血手法を組み合わせること

○社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性

ブリ類の輸出をさらに増大させるには、米国に加え、アジアやEU等への輸出拡大が重要であるが、米国以外の国では、食品への一酸化炭素使用が禁止されており、一酸化炭素に頼らない冷凍技術が切望されていた。水産庁は養殖業成長産業化総合戦略（令和2年7月）を策定し、北米、アジア、EU市場等を対象とし、2030年までに生産目標24万トン、輸出目標を1600億円と現在の8倍まで増加させるとしており、本研究成果は国の施策に貢献する。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性**ランク：A****① 最終の到達目標に対する達成度**

酸素充填技術の最適化および効率化、冷解凍技術開発及び包装資材導入を進め、酸素充填技術の処理時間を15分に短縮し、ブリ血合筋における冷解凍後の色調保持時間を8時間まで延長させることに成功し、当初の目標を上回る成果を得た。冷凍保管温度については、 -30°C で1ヶ月貯蔵が可能になったが、さらに高温・長期間凍結保管を可能にする技術改良を進めている。また、漁獲から冷凍・解凍に至る一連の実証試験を行い、開発された技術の効果を検証し、冷凍ブリフィレ製造に対応した水産事業者向けの褐変防止マニュアルを作成中である。以上から、計画通り進捗し、順調に成果を上げており、達成度は高い。

② 最終の到達目標に対する今後の達成可能性とその具体的な根拠

高濃度酸素を用いた魚類血合筋褐変防止技術は特許出願中であり、また鮮魚のガス置換包装使用に関する厚生労働省の業界への指導に対し、食品安全性や技術を裏付ける科学的根拠を収集した。また、漁獲から冷凍・解凍に至る一連の実証試験および製造マニュアルの作成は計画通り進捗しており、到達目標は達成可能である。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性**ランク：A****① アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠**

水産庁は養殖業成長産業化総合戦略（令和2年7月）を策定し、北米、アジア、EU市場等を対象とし、2030年までに生産目標24万トン、輸出目標を1600億円と現在の8倍まで増加させるとしている。本研究で開発された魚類血合筋褐変防止技術を活用して養殖魚の増産を実現し、水産物の輸出を促進することで養殖魚の成長産業化が推進される。ブリの輸出先としてアジア（中国、韓国、タイ、台湾等）、カナダ、EUが有望市場とされている。

農林水産省輸出・国際局の「海外における日本食レストランの概数（令和５年）（改訂版）」によると、2023年時点で北米には28,600店、アジアには122,000店、EUには16,200店の日本食レストランがあり、増加傾向にある。北米の店舗数と流通量（150億円）から各地域の市場を推定すると、アジアに640億円、EUに85億円、世界では980億円の市場規模になる。一酸化炭素を使用せず、高品質な冷凍ブリフィレの生産が可能になれば、これらの市場を開拓できることから、アウトカム目標の達成の可能性は高い。

② アウトカム目標達成に向け研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

研究成果の活用については、ブリ養殖加工業に関わる2社及び北米への養殖ブリフィレの輸出量が多い鹿児島県の水産技術開発センターが参画しており、本課題で開発した技術を速やかに現場実装できる体制としているため、取組内容の妥当性は高い。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

本技術は養殖ブリに限らず、様々な魚種に使用することが可能である。近年、天然漁獲物においてはアニサキスによる食中毒が発生しており、一旦冷凍することで安全性が担保されるが、冷解凍による品質劣化が問題となっているため、生食用冷凍技術の確立が求められている。本技術を応用することで、水産物の安全性向上と消費拡大に貢献できる。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

① 研究計画の妥当性(的確な見直しが行われてきたか等)

本事業は3つの中課題によって構成されるが、中課題１（４）「高濃度酸素化における各種危害菌の増殖挙動」では高濃度酸素ガス存在下では食中毒細菌の増殖が抑制されることを見出した。当初の目的以上の成果を2年間で達成したため、令和6年末で中止し、食品安全性に関しては、引き続き中課題１

（１）「冷凍ブリ血合筋の褐変経路解明」が担当し、研究開発の効率化を図った。研究は順調に進捗しており、最終目標を達成できる見込みである。

② 研究推進体制の妥当性

学識経験者を含む外部有識者3名及び行政部局で構成する研究報告会を年に１回、また、研究代表者と個別に各課題の進捗と方向性を確認する研究会議を年に２回以上開催し、研究の進捗状況を踏まえた適切な運営管理を行なった。さらに、年１回合同運営委員会を開催し、研究成果と行政・産業界からのニーズを幅広く共有し、研究計画に反映させるなど、研究推進体制は妥当である。

③ 予算配分の妥当性（研究の進捗状況を踏まえた重点配分等）

予算配分に当たっては、当初の年度計画と研究成果、次年度の研究計画を精査し、推進状況や運営委員会からの協議等を踏まえて、予算配分している。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・ブリの革新的な冷凍技術は、輸出拡大につながる重要な成果であり、その意義は極めて大きい。
- ・研究課題は全て順調に進展しており、前倒しで実施されているものもあり、研究目標に向けての達成可能性は高い。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・学術論文、特に英文の論文が見当たらず、特許も国内に留まっているので、更なるアウトプットの進展を期待したい。
- ・開発した手法の社会実装に向けて、民間加工業界への積極的・直接的な働きかけを期待したい。

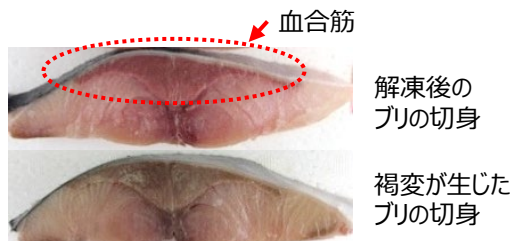
[研究課題名] 競争力強化研究のうち輸出力強化プロジェクトのうち魚類血合筋の褐変を防止する革新的冷凍技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
酸素充填技術	魚肉に高濃度酸素を浸透させた後、急速凍結することで解凍後の血合筋等の褐変を抑制するための技術。マグロや白身魚ではガス置換包装が使用できるが、血合筋には酸素ガスが浸透しないため、新技術（特願2024-071065）を使用する必要がある。	1
分子動力学シミュレーション	ミオグロビンを囲む水分子、ナトリウムおよび塩化物イオンに加えて、氷結晶を形成する水分子、過酸化水素をはじめとした各種分子を配置し、細胞内環境を再現し、分子とミオグロビンの相互作用を解析する。	2
ブリフィレ	ブリのフィレ。3枚おろしの片身のもの。	3

③ 魚類血合筋の褐変を防止する革新的冷凍技術の開発【継続】

- 「農林水産物・食品の輸出拡大実行戦略」(2020.12農林水産業・地域の活力創造本部決定)では、2030年までに農林水産物・食品の輸出額を5兆円とする目標を掲げ、水産物では**ブリを輸出重点品目の一つに指定**している。このため、ブリ養殖においては、人工種苗の量産技術の開発や人工種苗を生産する担い手の確保・施設の拡充など、持続可能な養殖体制の構築と、これによる増産等を推進している。
- ブリ輸出の8割が冷凍であり、魚肉自体の鮮度を保持できる冷凍技術は普及しているものの、血合筋において冷解凍直後に褐色を呈する色調変化(褐変)が生じるため、**外見の劣化等による商品価値の低下が輸出拡大のボトルネック**になっている。
- このため、ブリの輸出拡大の実現に向けて、**褐変を防止する革新的冷凍技術の開発が求められている**。

目標達成に向けた現状と課題



解凍後1時間以内に外見の著しい劣化が生じる

- ・ 褐変による外見の劣化から生食用として取り扱えず、高鮮度で味の良い**日本の強みが生かせず**。

- ・ ブリ類の販路拡大を目指す**EUやアジア等で活用できる褐変防止技術がない**。



必要な研究内容

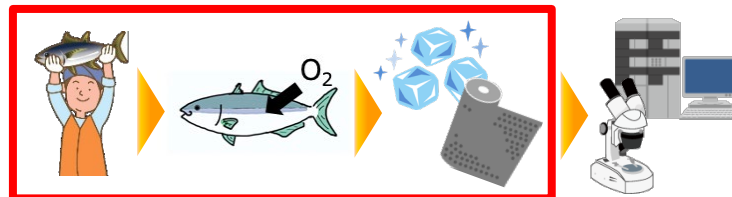
魚肉への酸素充填の有効性が明らかになっていることをふまえ、研究機関・生産者・冷凍機器メーカー等が連携して、

- ① **色調保持時間※を延ばすための最適な酸素充填方法や処理条件の検討**
※現状で解凍後3時間
- ② **冷凍後の保管温度※を高温化するための凍結技術や包装資材の開発**
※現状で-40℃保管

などを進めるとともに、漁獲から冷解凍に至る一連の実証試験を行うことで、魚類血合筋の褐変防止技術を確立。

<研究イメージ>

漁獲 (締め方 等) 酸素充填 (製造方法 等) 冷凍・保管・解凍 (急速凍結・包装資材 等) 効果検証



褐変経路の解明、生化学分析に基づく技術改良

社会実装の進め方と期待される効果

- ・ 褐変を防止可能な冷凍機器等を製品化。
- ・ 生産者・加工業者向けのマニュアル作成や講習会の開催を通じて技術を普及。
- ・ JF全漁連や都道府県等と連携して、褐変を防止する加工・流通体制を確立。

- ・ EUやアジア等へブリ類の販路が拡大することにより、**輸出拡大を実現**。

- ・ これにより、2030年までに**ブリの輸出額目標1,600億円※を達成**。
(2020年実績：173億円)

※出典：養殖業成長産業化総合戦略(2021.7改訂)

- ・ みどりの食料システム戦略の取組で掲げる「ムリ・ムダのない**持続可能な加工・流通システムの確立**」にも貢献。



【ロードマップ（終了時評価段階）】

競争力強化研究のうち輸出力強化プロジェクトのうち魚類血合筋の褐変を防止する革新的冷凍技術の開発

令和5年度	令和6年度	令和7年度	令和8年度	令和9年度	令和10年度～
委託研究プロジェクト			実証		産業利用
1. 冷凍ブリ血合筋の褐変経路解明			研究終了後1年目から、参画するブリ養殖加工業者による冷凍ブリ製造を開始		アウトカム【2030年度】
生鮮より冷凍ブリ血合筋の褐変が速い原因究明	酸素ガスが冷凍ブリ血合筋の褐変を抑制する原理解明	酸素充填されたブリ肉の官能特性の解明	水産庁や都道府県、JF 魚連と連携し、講習会等を通じて、褐変防止技術マニュアルを養殖事業者や加工業者に普及、現地指導で技術移転。		
		高濃度酸素下での危害菌の増殖特性把握・食品安全性の確認			・血合筋の褐変を防止する加工・流通体制を確立 ・EUやアジア等へのブリ輸出の販路拡大 ・2030年までにブリ類の輸出額目標1,600億円の達成に貢献
	特許出願1件(論文発表3件)				
2. 酸素充填技術を用いた冷凍水産物の高品質化技術開発					
酸素充填技術の開発	酸素充填時間を15分に短縮	製造ラインを改良し、製造ラインを拡大			
酸素充填技術の作業工程の最適化	解凍後の色調保持時間を8時間まで延長				
	冷凍貯蔵温度を-30℃に高温化	製造マニュアルの作製			

競争力強化研究のうち輸出力強化プロジェクトのうち 魚類血合筋の褐変を防止する革新的冷凍技術の開発

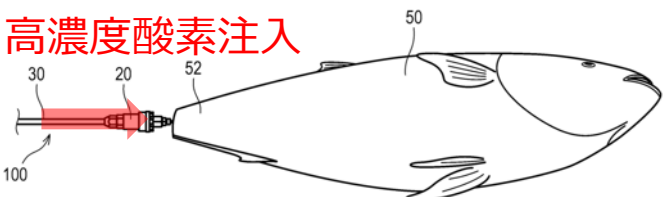
研究概要

- 養殖業成長産業化総合戦略では、北米、アジア、EU市場等を対象とし、2030年までにブリ類の輸出目標を1600億円（現在の8倍）に設定
- ブリ類の輸出増大には、外見を劣化させる冷解凍直後の色調変化（褐変）の防止技術*が求められている *米国では一酸化炭素処理が認められているが、EU等では禁止されている
- 本研究では冷凍ブリ血合筋の褐変防止技術の開発に成功
- EUやアジア等への冷凍ブリフィレの輸出拡大に貢献

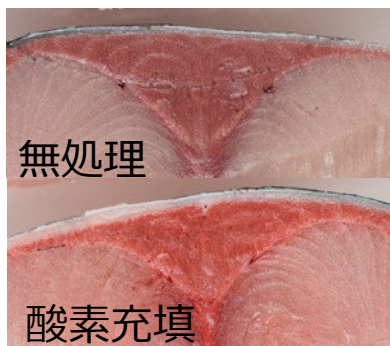
特筆成果

① 冷凍ブリ血合筋の褐変を防止する技術開発に成功

高濃度酸素注入



ブリ類の凍結魚肉の製造方法
(特願2024-071065)



★ 高濃度酸素の
魚肉への注入により
冷解凍後の褐変
を抑制

② 冷凍ブリ血合筋の褐変機構の解明



★ 効果的な脱血により血合筋の褐変抑制



(特許第7288723号)

③ 高濃度酸素環境下では食中毒菌の増殖が抑制

高濃度酸素存在下において魚肉の大腸菌、腸炎ビブリオ、ヒスタミン生成菌の増殖が抑制され、食品安全性上の問題は確認されなかった。

今後の方針

- 高濃度酸素処理された魚肉の冷凍貯蔵性の更なる向上
- 開発した技術を速やかに現場実装できる体制を構築