

## マダラ白子流通技術の高度化

波 通隆, 宮崎 俊之, 堀 武司, 吉川 毅, 澤山 一博, 三津橋浩行, 佐々木雄真,  
平野 繁樹, 内山 智幸, 松嶋景一郎, 蓑嶋 裕典, 鎌田 樹志, 浅野 孝幸,  
武田 忠明\*, 秋野 雅樹\*\*, 成田 正直\*\*, 飯田 訓之\*\*, 矢野 勝弘\*\*\*

## Enhancement of Distribution Technology of Pacific Cod Testis

Michitaka NAMI, Toshiyuki MIYAZAKI, Takeshi HORI  
Takeshi KIKKAWA, Kazuhiro SAWAYAMA,  
Hiroyuki MITSUHASHI, Takema SASAKI, Shigeki HIRANO,  
Tomoyuki UCHIYAMA, Keiichiro MATSUSHIMA,  
Hironori MINOSHIMA, Tatsuyuki KAMADA, Takayuki ASANO,  
Tadaaki TAKEDA\*, Masaki AKINO\*\*, Masanao NARITA\*\*  
Toshiyuki IIDA\*\*, Katuhiro YANO\*\*\*

### 抄 録

マダラの白子は高価であるが、雌雄判別のないまま出荷されている。さらに、鮮度が落ちやすいにもかかわらず、漁獲時からの雄を選別しての管理が徹底されていない。そこで、マダラの市場価格の適正化と漁獲時からの品質管理の促進を図るため、無侵襲のマダラ雌雄判別技術を開発し、現地試験により、ほぼ100%の判別が可能であることを確認した。この技術を用いることで、船上や市場等で使える雌雄判別装置の開発が可能になる。また、道産白子の流通過程における品質保持技術としてマイクロバブル水の活用を検討した。マイクロバブル(MB)によるオゾンガス、酸素、炭酸ガスを高濃度に水へ含有させる生成条件と安定性を明らかにし、含有水による低温細菌の殺菌および増殖抑制効果を確認した。またMBの気泡径および白子表面における挙動を高速カメラ等による画像処理により評価を行い、白子をパック包装した場合のMBの挙動について実験的に検証を行った。

キーワード：マダラ、雌雄判別、超音波エコー、マイクロバブル、オゾン殺菌

### Abstract

Though pacific cod testis is expensive, it is shipped without sex distinction. Further its freshness trends to lose, but at the time of a pacific cod catch, management of male pacific cod is not put into practice. So for the proper market price of pacific cod and the quality control of male pacific cod, we developed method for sex distinction of pacific cod and checked it was possible to distinguish nearly perfectly by field test. It becomes possible to develop sex distinction device using in a fishing boat and market by the method. Moreover, the use of the micro bubble water was examined for the quality retention technology in the circulation process of the pacific cod testis. The generation condition for water to contain the ozone gas, oxygen, and carbon dioxide by the micro bubble in a high density and the stability for the micro bubble water were clarified, and the sterilization and the suppression of bacterial growth of the psychrophilic bacterium with the micro bubble water were confirmed. We also experimentally evaluated the bubble size distribution by image analysis method and the bubble behavior and stability on the surface of cod testis and gas-pack film.

KEY-WORDS : pacific cod, sex distinction, ultrasonic echo, micro bubbles, ozone sterilization

\* (地独) 北海道立総合研究機構 中央水産試験場, \*\* (地独) 北海道立総合研究機構 網走水産試験場, \*\*\* 西華産業㈱

\* Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization Central Fisheries Research Institute

\*\* Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization Abashiri Fisheries Research Institute

\*\*\* Seika Corporation

事業名：重点領域特別研究

課題名：マダラ白子流通技術の高度化（平成19～21年）

## 1. はじめに

マダラの価値は白子の需要期（11月末～3月）に雄で高くなるが雌雄判別が困難なため、雌雄の仕分けのないまま産地市場に出荷され、適正な価格設定がなされていない。また、漁獲時からの雄（白子）を選別しての管理の徹底が行われていない。そこで、マダラの漁獲時からの市場価格の適正化と品質管理の促進を図るため、超音波や光ファイバーを用いた漁船上等で使用可能な雌雄判別技術の開発を行った。

また、道産白子は高品質であるが、首都圏に近い三陸産との鮮度差により価格が低下しており、流通過程における品質保持が課題となっている。品質低下は白子表面の低温細菌増殖が主な要因であり、「加工場における殺菌」及び「流通過程における増殖防止」による品質保持技術の開発が求められている。マイクロバブル（以下、MBと略記）水は超微細気泡により殺菌力の高いオゾンや、各種ガスを高濃度で含有させることが可能である。そこで、白子の殺菌に用いるオゾンMB水の生成条件や、低温細菌の増殖抑制に用いる各種ガスのMB水の安定性を検討した。さらに、白子やパックフィルム表面における超微細気泡の挙動を解析し、安定化方法を検討した。

## 2. 卵巣・白子識別による雌雄判別

マダラの雌雄は、腹部内の卵巣または白子の有無により判別できる。したがって、魚体に傷等を付けることなく、卵巣か白子かを識別する方法を見だし、この方法に基づき、雌雄判別技術を開発する。

無侵襲の識別方法として、光や超音波の活用の可能性について検討するため、光ファイバー、超音波エコーセンサ、超音波エコー装置を用いた試験を行った。超音波は、魚体を媒質として伝搬でき、魚体に対して無侵襲である。また、魚体の組織によって音響特性が異なるため、組織の境界で反射エコーが得られる<sup>1)</sup>。

### 2.1 光ファイバー

光ファイバーについては、反射プローブ、分光器（オーシャンオプティクス製）、ハロゲン光源からなる測定系を構成し、反射プローブをマダラ肛門部に挿入しての計測試験を行った（図1）。白子と卵巣は図2に示すように、色に濃淡差があり、反射プローブにてとらえたそれぞれのスペクトル強度全体としては、白子が卵巣より反射が強く出る（図3）。この強度差を利用することで、卵巣・白子（雌雄）の識別を行った。



図1 反射プローブ試験



図2 白子（左）と卵巣

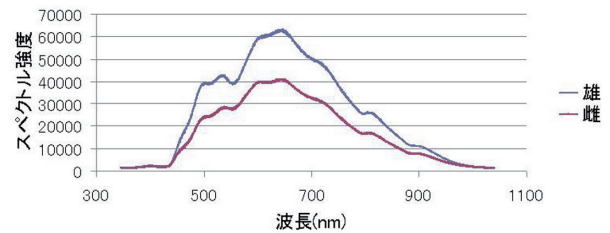


図3 白子・卵巣のスペクトル強度

### 2.2 超音波エコーセンサ

5 MHzの超音波振動子を持つ超音波エコーセンサ（レアックス製）プローブをマダラ腹部に当て、単発のパルスを発生させ、その反射エコーパルスをオシロスコープによりとらえる試験を行った（図4）。この結果、内部媒質の違いとして、卵巣では反射がほとんど見られなかったが、白子では粒状部の表皮からと思われる反射が見られた（図5）。この反射の有無により識別を行った。



図4 超音波センサ試験

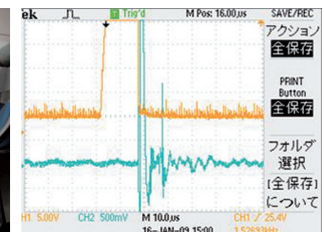


図5 白子の反射  
(中央右の単発パルス)

### 2.3 超音波エコー装置

次に、反射エコーを画像化する超音波エコー装置（本多電子製）を用いての試験（図6）における雌雄それぞれの腹部にプローブ（5 MHz 50mm リニア）を当てて撮影したエコー画像と開腹の画像を図7に示す。雌の卵巣画像はテクスチャーが均一で、雄の白子画像は粒状のものが点状に点している状態であることから、この違いにより識別を行った。

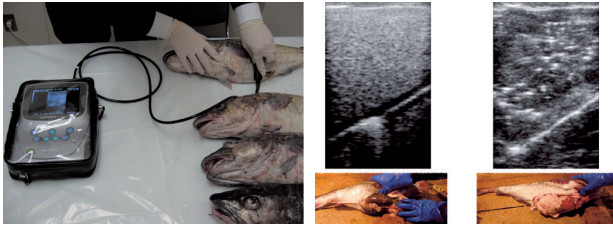


図6 エコー装置試験

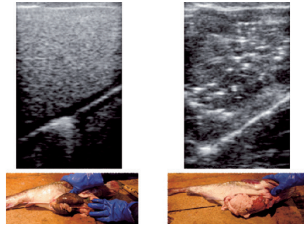


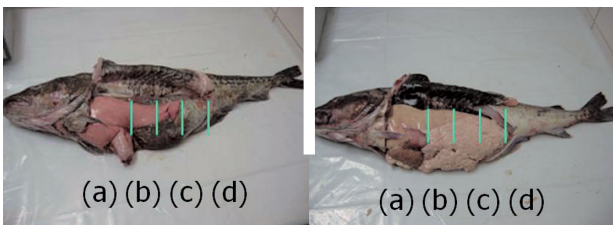
図7 エコー及び開腹画像  
(左：卵巣 右：白子)

### 3. 雌雄判別技術の開発

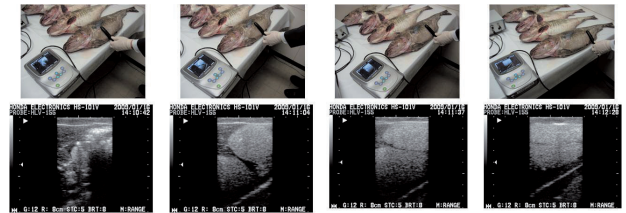
これら卵巣・白子の識別によるマダラ個体試験を行い、超音波エコー装置による識別がプローブの操作などに比較的影響されなくて、高い雌雄判別精度が得られることが分かった。そこで、超音波エコー装置によるより詳細な判別試験を実施し、検証を試みた。

#### 3.1 プローブ計測位置

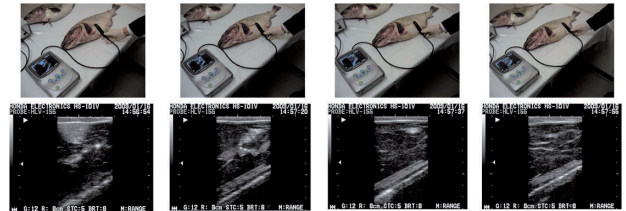
魚体のどの位置にプローブを当てると、卵巣や白子を的確に捉えることができるかを検討するために、計測腹部位置と計測結果との照合を行った。マダラ雌雄腹部の計測位置を(a)頭部側、(b)中央部、(c)肛門側、(d)肛門部として、図8に雌雄それぞれについて、左より順に縦線で示す。図9には、計測位置にしたがった計測風景(上図)と超音波エコー画像(下図)を、雌雄それぞれについて示す。図8と図9の照合結果と卵巣及び白子をとらえた図7のエコー画像から、(c)肛門側と(d)肛門部の肛門近傍位置の計測が、卵巣や白子以外の臓器に邪魔されることなく表皮から直接、卵巣または白子を捉えることが可能になっている。したがって、計測は、プローブを(c)と(d)のどちらかの近傍(図9(c)及び(d)の計測風景参照)、またはそれらの間の何れかの位置に当てて行う。



雌マダラ 雄マダラ  
図8 マダラ開腹後の計測位置-(a)(b)(c)(d)-



(a) 頭部側 (b) 中央部 (c) 肛門側 (d) 肛門部



(a) 頭部側 (b) 中央部 (c) 肛門側 (d) 肛門部

図9 計測結果と計測位置の腹部照合  
(上：雌 下：雄)

#### 3.2 現場評価試験

試験は、完熟期の12月、1月、未熟期の2月の3回、それぞれ100尾のマダラについて行った。これらの中には空腹のもの(図10)、親指大の小さな卵巣を胎んでいるもの(図11)などが含まれていた。評価試験は、①エコー画像計測(図12)、②モニター画像を観ての雌雄判別、③画像記録、④開腹しての目視による雌雄判別の順で行った。この間、それぞれの判別結果の記録と開腹状態の写真撮影を行った。図13に12月の試験時の対象マダラを示す。

この試験の結果、合計300尾のマダラについてのエコー画像を観ての判別率が99%を超え、超音波エコー画像に基づくマダラ雌雄判別技術が、図10、11に示すような腹部内判別を含めて実用に供することを確認した。



図10 空腹



図11 小さな卵巣



図12 エコー画像計測



図13 対象マダラ

## 4. 品質保持技術の検討

### 4.1 オゾンMB水生成条件の検討

殺菌方法として水洗による菌除去が行われているが、表1に示すようにオゾン水は生鮮食品の殺菌に多用される次亜塩素酸塩水に比べ、CT値（細菌を99%以上不活性化させるための濃度(mg/L) × 接触時間(分)）が小さく殺菌力が高いとされている<sup>2)</sup>。

表1 殺菌力の比較<sup>2)</sup>

殺菌剤	CT値 (mg・min/L)			
	腸内菌	ウイルス	芽胞菌	アモeba
オゾン水	0.01	1	2	10
次亜塩素酸	0.2	5	100	100
次亜塩素酸イオン	20	>200	>1000	1000
モノクロラミン	50	1000	5000	200

オゾン水を白子の殺菌に適用する場合、濃度が高いほど短時間で殺菌効果が得られる。高濃度オゾン水を得る方法として、超微細気泡によるマイクロバブル水（以下MB水）は、気泡体積当たりの水接触面積が大きく、気泡の水面への上昇速度が遅く水中での滞留時間が長いことから溶存効率が高い。そこで、オゾンMB水の生成試験を行い、濃度曲線および到達濃度から生成条件を検討した。

#### 4.1.1 試験方法

オゾンMB水の生成はMB水生成装置（西華産業(株)製OZW-10LC）を用いて行った。この装置はガスと水を混合後、制御したポンプ吐出圧下で特殊ミキサーによりMB水を生成する方式で、装置の仕様を表2に示す。試験は同装置を用い、循環タンクに40Lの清水（水道水）、生理食塩水（0.85wt.% NaCl水溶液）、半海水（1.7wt.% NaCl水溶液）および海水（3.4wt.% NaCl水溶液）を準備した後、オゾンガスを注入し、10および20°Cで循環してオゾンMB水を生成した。オゾン濃度はインディゴ法により測定し、経時による濃度曲線からオゾンMB水の生成条件を検討した。

表2 MB水生成装置仕様

循環タンク容積	40 L
ポンプ吐出圧	0.35 MPa
オゾン分圧	0.009 MPa
オゾンガス流量	1.2 NL/min

#### 4.1.2 試験結果

水温10°Cにおけるオゾン濃度曲線を図14に示す。水に対するオゾンの溶解度2.99mg/100g（11.8°C,オゾン0.1MPa）<sup>3)</sup> および混合時のオゾン分圧0.009MPaから算出される理論平衡濃度は2.7mg/Lである。試験では清水に対し、30分循環で21mg/Lに到達しており、MB水により理論平衡濃度の約8倍のオゾン濃度が得られた。

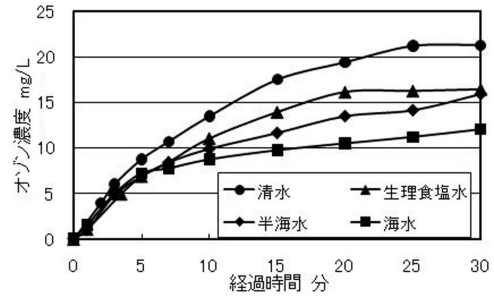


図14 オゾンMB水生成試験（10°C）

また、濃度曲線からオゾン濃度0 mg/L時のオゾンMB水生成速度を算出し、表3に示した。塩濃度および温度の上昇に従い、生成速度が低下している。これから

	10°C	20°C
水道水	3.98	2.99
生理食塩水	2.75	1.95
半海水	1.86	1.07
海水	1.16	0.33

白子の殺菌に用いるオゾンMB水は、清水を用い、低水温条件が適当であることが認められた。仮に10mg/LのオゾンMB水で白子の殺菌を行う場合、濃度曲線から生成時間は6-7分程度、生成速度から400L/hのMB水が連続生成可能と計算される。

10mg/LのオゾンMB水の殺菌効果について、白子の腐敗に関する低温細菌と試験管内で1分間接触させた（CT10）後の細菌数を測定した。その結果、対照とした生理食塩水接触の10<sup>6</sup>CFU/g以上に対し、オゾンMB水では10<sup>2</sup>CFU/g以下と殺菌効果が認められた。

## 4.2 各種ガスMB水の安定性

殺菌後の白子は流通過程で外部からの汚染を防止するためパック包装により流通しているが、殺菌後も残存する低温細菌が増殖し品質低下する。水産物の輸送において酸素等のガスを封入した塩水パックが鮮度維持に用いられているが、MB水はより高濃度に各種ガスを溶解することが期待できる。そこで低温細菌の増殖抑制を目的として酸素ガスおよび炭酸ガスMB水について溶存性および白子入りパックのMB水濃度の安定性を検討した。

### 4.2.1 試験方法

試験はMB水生成装置を用いて行った。酸素MB水はPSAで発生した酸素ガスを注入し、炭酸ガスMB水は炭酸ガスボンベより注入して生成した。また、白子が生体であり、清水では流通時に浸透圧により吸水して品質低下することから、MB水は1.3%塩水を用いて作成した。水温は0-10°Cで行い、経時における各MB水濃度を測定し、平衡濃度に達した後に樹脂製パック包装材に白子100g程度およびMB水を全量300mL入れ、密閉した。各MB水パックは0°Cで保存し、経日のMB水濃度を測定した。酸素濃度はDOメータ（TOA製DO-31P）で測定し、炭酸ガス濃度はアルカリ消費量（8.3）（JIS-K-0101）を測定した。

#### 4.2.2 試験結果

酸素MB水および炭酸ガスMB水の生成時における濃度曲線を図15, 16に示す。比較として養魚槽等で用いられる散気ボールを用いた濃度曲線を示したが、酸素ではMB水生成装置により、生成速度が著しく高く、短時間で飽和濃度に達することが認められた。一方、水に対する溶解度が高い炭酸ガスでMB水生成装置により生成速度は高くなるが、酸素ほどの効果は得られなかった。

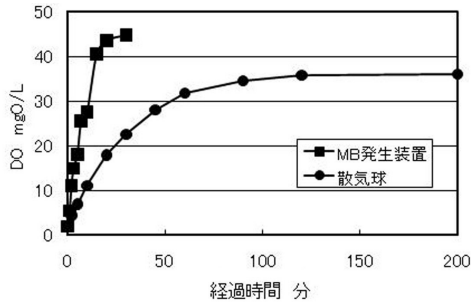


図15 酸素MB水生成試験

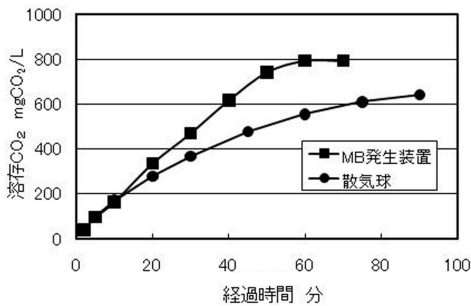


図16 炭酸ガスMB水生成試験

酸素MB水の平衡濃度は44mg/L、炭酸ガスMB水は800mg/Lであり、これを白子と共にパックし経日におけるMB水濃度を測定した結果を図17,18に示す。白子無しでは各MB水パックで濃度変化は無く、MB水の安定性が認められた。しかし、白子存在下では酸素MB水パックにおいて濃度が数日で減少した。酸素MB水では菌の増殖あるいは白子と酸素の反応により濃度が減少したと考えられる。炭酸ガスMB水では白子存在下でも、5日間濃度変化しないことが分かった。

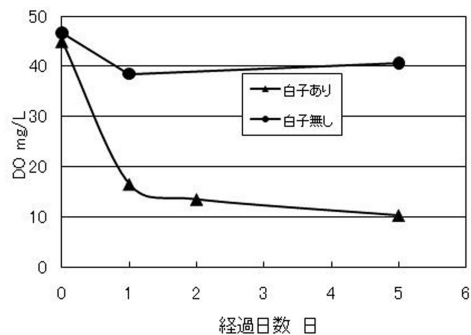


図17 酸素MB水パック安定性試験

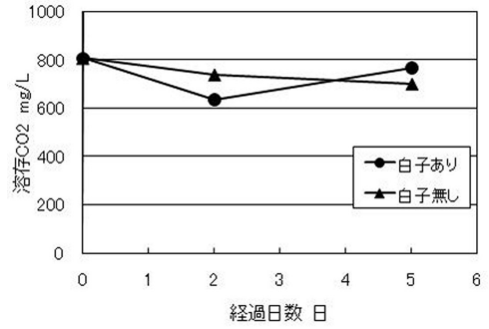


図18 炭酸ガスMB水パック安定性試験

また、白子存在下での各MB水パックの低温細菌数を塩水のみのパックと比較した結果、初発菌数 $3 \times 10^2$ CFU/gから5日間で塩水のみのパックは $3 \times 10^5$ CFU/gまで増殖したのに対し、炭酸ガスMB水パックでは $1 \times 10^3$ CFU/gであり、増殖抑制効果を確認した。酸素MB水パックでは塩水のみのパックと同様に増殖していた。

### 5. MB気泡の挙動解析について

#### 5.1 MBの気泡径測定

MBの鮮度利用技術への応用に際し、MBの基礎物性の一つである気泡径を可視化による画像処理により測定を行った。MBはある一定の大きさ以下のものであれば、液中における気泡として比較的長く安定して存在することが知られている<sup>4)</sup>。そこで、スライドガラス2枚の間に樹脂テープにて約150 $\mu$ mの間隙を設け、その間にMB水を封入・保持した。そのスライドガラスを光学顕微鏡にて写真撮影し、それらの画像を画像処理ソフト (Mac-View ver. 4: マウンテック社製) にて気泡径分布を算出した。図19にその模式図を、また図20に画像処理ソフトによる粒径測定の一例を示す。

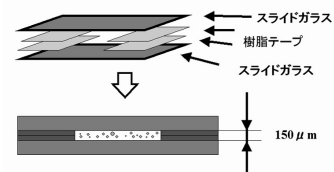


図19 MBのスライドガラス間隙への封入模式図

画像処理ソフトによりMB水の気泡径分布を測定した結果を図21に示す。MB発生装置としては4.1.1にて使用したMB水生成装置 (西華産業(株)製OZW-10LC) を用いた。図より $D_{10}$ : 82.69 $\mu$ m,  $D_{50}$ : 115.9 $\mu$ m,  $D_{90}$ : 143.3 $\mu$ mとなり、他のMB発生装置による気泡径分布とほぼ同等の値が得られた。また、レーザー回折・散乱方式粒度分布測定装置における気泡径分布測定ともほぼ同様の値を示し (表4)、画像処理により測定された気泡径は妥当な値であることが示された。

粒子情報レポート	
測定日時	2006/12/13 15:00
測定場所	工業試験場
測定装置	レーザー回折散乱粒度分布測定装置
測定対象	白子
測定条件	分散液: 水, 分散剤: 〇, 分散時間: 〇, 分散速度: 〇, 分散温度: 〇, 分散圧力: 〇, 分散時間: 〇, 分散速度: 〇, 分散温度: 〇, 分散圧力: 〇
測定結果	測定結果: 〇, 測定結果: 〇, 測定結果: 〇, 測定結果: 〇, 測定結果: 〇, 測定結果: 〇, 測定結果: 〇, 測定結果: 〇, 測定結果: 〇, 測定結果: 〇

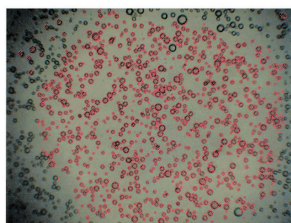


図20 画像処理ソフトによる気泡径分布測定例

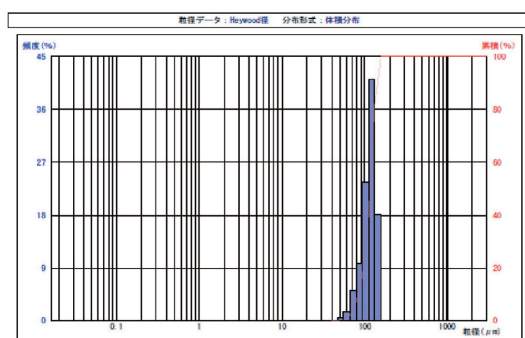


図21 画像処理ソフトによる気泡径分布測定結果

表 4 レーザー回折散乱粒度分布測定装置および画像処理による気泡径分布測定の比較

	Laser diffraction/scattering [ μm ]	Image analysis [ μm ]
D <sub>10</sub>	92.46	82.69
D <sub>50</sub>	136.5	115.9
D <sub>90</sub>	176.1	143.3

### 5.2 MB挙動の観察

品質保持の基礎技術として、MBの動的挙動について高速度カメラでの撮影を行い検討を行った。可視化にあたり気泡塔の作製を行った。気泡塔は100mm×100mmの矩形断面を有する透明アクリル製で、高さが約1000mmのものとなっている。なお、下部にバッファタンクを有する。図22に外観図を示す。気泡塔にMBを導入し、上部に高濃度のMB層が出来るように設定する。また、高速度カメラを含む光学レイアウトを図23に示す。高速度カメラはRedlake MotionScope M1（株日本ローパー製）を使用した。高速度カメラにて①白子表面におけるMBの挙動、②白子ガスパックフィルム表面におけるMBの挙動について観察を行った。その結果、①白子表面では、MBは繊維状となっている白子表面で安定して存在しており、合一、更新はほとんど見られない。目視ではMB中に有機物を入れると、MB濃度が下がることはいわれており、繊維状表面に大量に付着することで周囲MB濃度

を下げ、有機物（白子）表面には安定してMBが存在している可能性がある。

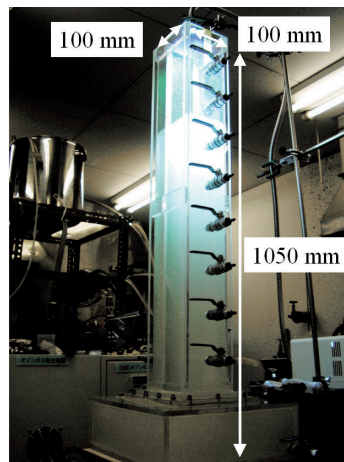


図22 気泡塔の外観

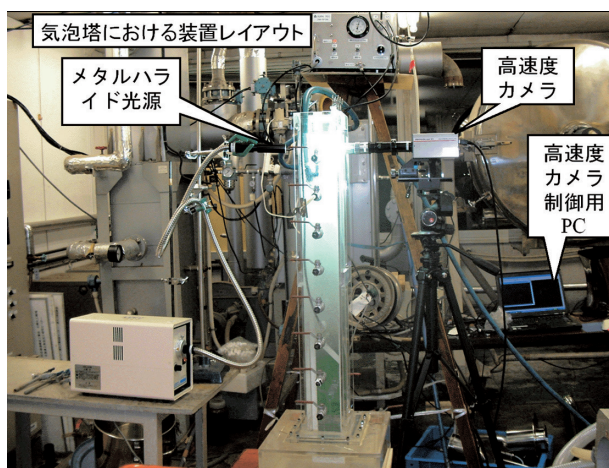


図23 光学レイアウト

一方②のガスパックフィルム表面では、付着頻度が高く、合一、更新頻度も高い。MBの多くはフィルム表面で消失している可能性が高いことが示唆された。以上のことから、白子のガスパックについて、①白子表面にはMBが付着しやすい傾向があり、また流水などの流体の運動により、大きなMB粒子が合一しやすい傾向がある。したがって、静置した高濃度MB液に白子を十分にさらし、内部のヒダにも十分にMBをさらしてからバックすることで、白子表面における安定したMB数を増やすことが出来る可能性がある。また、②フィルム表面ではMBの合一・更新頻度が高くなり、MB濃度が低下すると考えられる。また、流体の動きが激しいほど合一頻度が高くなると考えられる。したがって、出来るだけ静水に近い状態でバックし、バック後も白子表面とガスパック内側のフィルムとの接触が少なくなるように静置するのが好ましいと考えられる。

## 6. まとめ

### 6.1 雌雄判別開発技術

光や超音波を活用しての卵巣・白子の識別試験を行い、最終的に超音波エコー装置によるマダラ雌雄判別技術を開発した。完熟期や未熟期の合わせて300尾のマダラについての加工工場における検証試験で、ほぼ100%の判別率を得ることができた。今後は、本技術を用いて、船上での選別などに適用可能な雌雄判別自動化装置の開発を行い、マダラ白子流通の高度化を進めていく予定である。

### 6.2 品質保持技術

マダラ白子の流通過程における品質保持技術としてMB水の活用を検討した。殺菌に用いるオゾンMB水は清水を用い、低水温で作成することで殺菌に十分なオゾン平衡濃度を短時間に生成することを確認し、その生成条件を明らかにした。

また、増殖防止に用いる酸素および炭酸ガスMB水の溶解性およびパック後の安定性を把握し、炭酸ガスMB水で白子入りパックの溶存濃度安定性および低温細菌増殖抑制効果を確認した。

### 6.3 MB気泡の挙動解析について

マダラ白子のガスパック時のMBの挙動について実験的に検討を行い、画像解析による気泡径測定を行い、気泡径分布についての評価を確立した。また、白子ガスパック内におけるMBの挙動を、気泡塔を作製することで高速度カメラによる挙動解析を行うことが出来た。ガスパックフィルム表面と白子組織表面では、MBの合一・更新の挙動が大きく異なり、パック内MBの安定性についての提案を行うことが出来た。

## 謝辞

雌雄判別に係る試験においては、富士平工業(株)、(株)レアックス、及び(株)大島水産に、また、当試験場の宮腰康樹主査に、多大のご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 高橋里佳ほか4名：医療用超音波カメラの魚類形態計測への応用, Proc.Symp.Ultrason.Electron.,Vol. 26, (2005) pp.167-168
- 2) NPO日本オゾン協会オゾンハンドブック編集委員会：オゾンハンドブック, (2004), 403p.
- 3) 日本化学会：化学便覧改訂3版 基礎編Ⅱ, (1984)
- 4) 寺坂浩一：マイクロバブル技術の化学工業への応用, 日本混相流学会年会講演会講演論文集, (2006), pp 9 -10.