

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「データトラッキング制御による漁獲物高鮮度保持用  
オンサイト型海水氷製氷機の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年9月

委託者 北海道経済産業局

委託先 株式会社ニッコー

## 目 次

第 1 章	研究開発の概要	
1.1	研究開発の背景・研究目的及び目標	P1
1.2	委託期間・研究体制	P2
1.3	成果概要	P3
第 2 章	本論	
2.1	最適性状氷生成用インターフェイスの開発	P5
1.①	・データトラッキング制御とトルク制御を利用した製氷制御システム	P5
1.②	・インバーター冷凍機と電子コントローラー制御による冷媒制御システム	P9
2.2	氷剥離力低減技術を導入した製氷用熱交換器の確立	P13
2.①	・氷剥離力低減の実験・解析	P13
2.②	・製氷用熱交換器の設計・試作・性能試験	P16
2.3	実用漁船搭載用の海水氷製氷機の開発	P18
3.①	・魚艙中氷粒子分布の均一化技術の開発	P18
3.②	・漁船搭載用海水氷製氷機の設計・試作・性能評価	P19
2.4	魚体の鮮度特性評価	P22
4.①	・各種魚介類の致死条件と鮮度変化の把握	P22
4.②	・漁獲現場におけるシャーベット海水氷の有効性確認と処理マニュアルの作成	P24
第 3 章	全体総括	P28
付録		
	専門用語説明	P29

## 第1章 研究開発の概要

### 1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標

食の安全・安心を求める消費者ニーズに応える為、インフラ整備や技術開発が求められている。魚介類の高鮮度で安全な品質管理を実現するには、漁獲時から魚介類の丁寧で迅速な取り扱い(急速な冷却による安楽死；低温による鰓呼吸の停止)、及び水揚げまでの最適低温管理の徹底が不可欠である。これらの鮮度保持効果は魚介類により異なり、これには微細なシャーベット状海水氷<sup>付1</sup>が適しているとされている、この冷却処理に供する氷粒子の大きさはおよそ数十マイクロンから数百マイクロンと考えられている。このような氷粒子を魚介類の種類、環境、操業日数や漁獲収容量が異なる漁船の種類や規模に依存することなく、オンサイトで漁獲に見合ったシャーベット状海水氷を必要量製造する事ができれば、水揚げ直後の魚介類の鮮度を均一に初期管理でき、鮮度斑<sup>付2</sup>のない高鮮度保持が可能となり食の安全・安心を求める消費者のニーズ、魚介類の付加価値、生産効率の向上を求めている川下(生産者)のニーズに応える事ができる。

本研究では消費者ニーズ、川下(生産者)ニーズに応えるべく、従来の製氷機で採用されている製氷制御システムを高度化し、洋上での原海水性状変化(温度、塩分濃度、不純物質等)をリアルタイムで追従しながら、最適性状海水氷を瞬時に且連続的に生成できるように製氷機を構成する各制御機器を有機的に制御できるソフト「データトラッキング制御<sup>付3</sup>」、剥離低減型製氷用熱交換機を組み込んだ小型で高性能な「漁船搭載用オンサイト型<sup>付4</sup>シャーベット状海水氷製氷機」の開発、製造を目標とした。

上記の製氷機を開発するために、以下のサブテーマと達成目標を設定した。

(注：以下のサブテーマ等項目番号は、第2章の項目番号と同じ)

### 2.1 最適性状氷<sup>付5</sup>生成用インターフェイスの開発

#### 1. ①データトラッキング制御とトルク制御を利用した製氷制御システム

- ・リアルタイムに且連続的に最適性状海水氷が製造可能。
- ・原水の塩分濃度 0%～飽和塩水、生成氷含有率 0～50%の範囲で海水氷が製造可能。

#### 1. ②インバーター冷凍機と電子コントローラー制御による冷媒制御システム

- ・従来型の製氷システムと比較して大幅な省エネが可能な高性能冷媒制御システムの構築。

### 2.2 氷剥離力低減技術を導入した製氷用熱交換器の確立

#### 2. ①氷剥離力低減の実験・解析

- ・実験的に熱交換器で生成する氷の結晶形態を制御、観察し、解析により氷の機械的な剥離に要する力を低減する技術を確立する。

#### 2. ②製氷用熱交換器の設計・試作・性能試験

- ・氷剥離力低減技術を製氷用熱交換器に導入し、コンパクトで耐久性、メンテナンス性に優れた仕様とする。

### 2.3 実用漁船搭載用の海水氷製氷機の開発

#### 3. ①漁船中氷粒子分布の均一化技術の開発

- ・漁船に貯氷したシャーベット状海水氷の粒子群をできるだけ小さく維持する条件を探り、均一分散させてポンプ搬送を可能とする。

#### 3. ②漁船搭載型海水氷製氷機的设计・試作・性能評価

- ・コンパクトで耐久性のある実用漁船搭載型データトラッキング制御によるオンサイト海水氷製氷機のプロトタイプ機を設計・試作する。
- ・完成度を高めるために本プロトタイプ機を既存漁船に搭載し、実環境条件に適応できるデータ取得および実操業での作業性、エネルギー効率、性能試験、保守管理等の課題を抽出する。

### 2.4 魚体の鮮度特性評価

#### 4. ①各魚介類の致死条件と鮮度変化の把握

- ・生きた漁貝類を用いて、性状の異なるシャーベット状海水氷に浸漬した際の致死温度と時間を定量的に把握し、併せて死後硬直等の食品的变化と核酸関連成分等の生化学的变化を経時的に追跡、致死条件が保管後の品質に及ぼす影響を考察する。

#### 4. ②漁獲現場におけるシャーベット状海水氷の有効性確認と処理マニュアルの作成

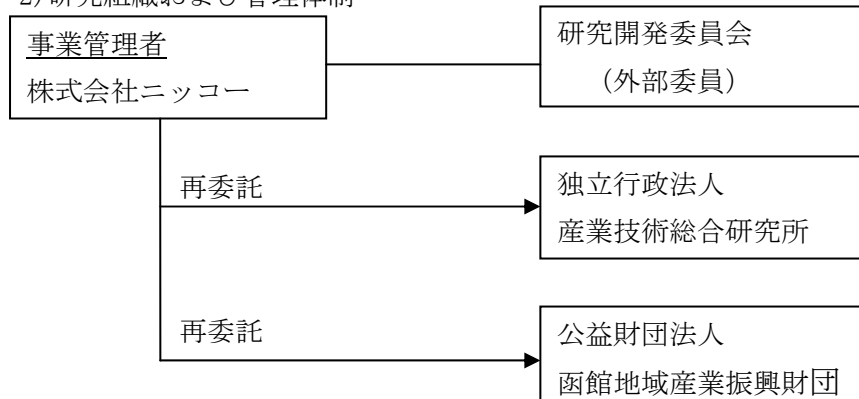
- ・北海道の代表的魚介類に対し漁獲現場でのシャーベット状海水氷の有効性が最大限に発揮できる為の処理条件のマニュアルを作成する。

## 1.2 委託期間・研究体制

### 1) 委託期間

平成22年7月12日から平成24年9月28日まで

### 2) 研究組織および管理体制



### 1.3 成課概要

#### 2.1 最適性状氷生成用インターフェイスの開発

##### 1, ①データトラッキング制御とトルク制御を利用した製氷制御システム

【担当機関：株式会社ニッコー】

- ・原海水の性状(塩分濃度、温度)変化に応じて製氷システムを制御する各構成機器の有機的制御が必要である。そのため初期条件をリアルタイムで計測し、入力情報を塩分濃度変化による凍結点の理論値に NC 制御(数値制御)により同期、追従させる製氷制御ソフト「データトラッキング制御」を開発し、リアルタイムで且連続的に最適性状氷を生成可能にした。
- ・製氷制御システム「データトラッキング制御」を搭載したシャーベット状海水氷製氷プロトタイプ機の試験にて生成氷含有率 0～50%以上のシャーベット状海水氷を生成する事が確認出来た。原海水の低塩分濃度(1.8%以下)では、製氷用熱交換器内での氷剥離が十分にできず、制御ソフト条件の改良のみでは対応が難しい事が判明、製氷用熱交換器の剥離低減のための補助的な技術開発が必要となる事が解った。

##### 1. ②インバーター冷凍機と電子コントローラー制御による冷媒制御システム

【担当機関：株式会社ニッコー】

- ・原海水の性状変化による情報を認識、その情報を基に製氷用熱交換器の冷媒温度(蒸発温度)をデータ化し電子コントローラーを使用して制御する事で安定した、効率の良い運転が可能になった。
- ・インバーター冷凍機の採用で、製氷負荷に応じて冷凍機の回転数を変える容量制御を行い、効率の良い最小限の電気容量での運転が可能になった。

#### 2.2 氷剥離低減技術を導入した製氷用熱交換器の確立

##### 2. ①氷剥離力低減の実験・解析

【担当機関：独立法人産業技術総合研究所】

- ・NaCl 水溶液での製氷用熱交換器の生成する氷の結晶体の形態と剥離する力との関係を明らかにする事が出来た。  
NaCl 水溶液濃度 0.5%以下では cohesive 剥離<sup>付6</sup>、2.5%以上では adhesive 剥離<sup>付7</sup>が観察され、0.5～2.5%では cohesive 剥離に要する力と adhesive 剥離に要する力に差が無い事が観察された。
- ・剥離力低減手法としてマイクロバブルの導入を実験的に行った。マイクロバブルの導入により NaCl 溶液低濃度(0.5%以下)においても adhesive 剥離が支配的となって、氷の剥離に要する力が低減している事が観察され、その効果を確認する事が出来た。

## 2. ②製氷用熱交換器の設計・試作・性能試験

### 【担当機関：株式会社ニッコー】

- ・SUS316の二重管方式を採用したシンプルな構造とし、二重管の内壁面(着氷面)は電解研磨による鏡面仕上げとし氷剥離低減を図った。  
内壁面の成長氷を剥ぎ取るため、スクレーパー<sup>付8</sup>を三段×3枚配列にし、回転により原海水を上部へ誘導できる構造とし、動力にはサーボモーターを採用する事により効率の良い安定した運転が可能となった。
- ・製氷用熱交換器スクレーパーの羽根を三段×6枚に改良する事により、回転体のバランス良くなり回転数を2倍にまで上げる事ができ、さらに効率の良い安定運転に繋がった。

## 2.3 実用漁船搭載用の海水氷製氷機の開発

### 3. ①漁船中氷粒子分布の均一化技術の開発

#### 【担当機関：株式会社ニッコー】

- ・シャーベット状海水氷を氷の性状(氷含率)変化に応じてポンプにて安定的に搬送できる氷搬送装置(ラバレックスポンプとギヤードモーターの組み合わせ)を開発した。
- ・魚船に貯氷したシャーベット状海水氷は時間と共に氷粒子の浮力により液相部分と分離するので一般的には攪拌による分離防止を採用しているが、規模によっては有効的ではない。本プロジェクトでは、攪拌に依らない氷粒子均一化技術の開発を種々の実験を通し試み有意義な知見を得たが、有効的な方法を見出すまでには至らなかった。

### 3. ②漁船搭載用海水氷製氷機の設計・試作・性能評価

#### 【担当機関：株式会社ニッコー】

- ・製氷用システムソフト「データトラッキング制御」、剥離低減改良型製氷用熱交換器を2組搭載した中型漁船を想定した小型でメンテナンス性、省エネ性を重点とした漁船搭載用シャーベット状海水氷製氷機【改良型プロトタイプ機】を製作した。  
製氷機能力：原海水温度+15℃、塩分濃度 3.5% シャーベット氷含有率 30%  
製氷能力：10L/分 (600L/時) (14.400L/日)
- ・本改良型プロトタイプ機を洋上の自然環境を模擬できる実用漁船搭載模擬性能試験装置にて陸上で試運転を行い、制御条件の最適化、性能、耐久性等の確認を行った。また、既存の中型サンマ船(29Ton)に搭載し実操業での実証試験を行った。  
洋上より海水をくみ上げ船上でシャーベット状海水氷を生成する試験において、オンサイトにて連続的に製氷が出来、能力、耐久性、環境変化対応性に於いて良好な結果が得られ製品化の見通しをつける事が出来た。

## 2.4 魚体の鮮度評価

### 4. ①各魚介類の致死条件と鮮度変化の把握

【担当機関：財団法人函館地域産業振興財団】

シャーベット状海水氷の魚介類鮮度保持の有効性について実験、観測を通し下記の三点が明らかになった。

- ・漁獲時：船上水揚げ時より低温処理により魚の暴れを防止し、活け $\times$ 状態となり鮮度保持に効果的である。
- ・冷却時：シャーベット氷の過度な低温状態での長時間冷却は筋肉の冷却収縮を引き起こし ATP<sup>付9</sup> 含量の低下をまねく。過度な冷却は鮮度保持の面から逆効果の場合があり取り扱いには注意が必要。
- ・保管時：致死後の魚体の保管は低温が好ましく、氷蔵(0℃)よりもシャーベット状海水氷から含有水を脱水した脱水氷(-1℃)の方が ATP の消失と K 値<sup>付10</sup> の上昇が緩やかで鮮度が保たれる。

### 4. ②漁獲現場におけるシャーベット状海水氷の有効性と処理マニュアルの作成

【担当機関：財団法人函館地域産業振興財団】

- ・北海道の代表的な魚であるサンマ、サケ、マダラを対象とし、シャーベット状海水氷を漁獲現場より使用し、鮮度実証試験を行った結果、鮮度保持の有効性と魚本来のきれいな外観が維持されており、従来品との差別化の要因となることが実証された。
- ・シャーベット状海水氷使用の際に最も重要となる魚体の温度管理について各漁種を横断した普遍的知見が得られたので、10 魚種に対するシャーベット状海水氷使用条件を取り纏めた。

## 第2章 本論

### 2.1 最適性状氷生成用インターフェイスの開発

#### 1. ①データトラッキング制御とトルク制御を利用した製氷制御システム

海水の塩分濃度により凍結点（氷結晶の折出開始温度）は変わる。設定した氷含有率のシャーベット状海水氷を製氷するため、初期条件となる海水の塩分濃度や温度に応じて製氷機を制御する各種構成機器の有機的な制御が必要である。そのためその自然環境の変化による初期条件をリアルタイムで逐次計測し、入力情報を塩濃度－凍結点関係の理論値に NC 制御（数値制御）で同期、追従させ、設定凍結点に到達付近まで構成機器を最大限効率的に稼働するよう制御する。その後凍結点到達後は安定な定常運転が必要なため製氷機の各種機器へ最適値を出力制御する。製氷用熱交換器は直膨式の二重管型熱交換器（ジェネレータ）とし、二重管の内管に海水を導入して、外管で冷媒を蒸発させて海水を冷却して内管で氷を生成し、これをスクレーパーで機械的に剥離することによりシャーベット状海水氷を生成し、その動力にサーボモーターを採用する。サーボモーターの情報をリアル

タイムで制御CPUへフィードバックさせて最適なトルク監視のもと安定製氷を行う。この一連のデータトラッキングシステムを組み込み、エネルギー効率の良い製氷運転を可能としたシステムとした。運転開始時は装置全体のシステムチェック後、原水供給ポンプを運転させ、運転初期条件となる海水の塩分濃度や温度の情報を塩濃度測定器や温度測定器からの性状情報をアナログで受け、メイン制御装置内にてAD変換し制御CPUでリアルタイムに理論値へと追従させ最適化された値の冷媒を制御する電子膨張弁やモーター式の蒸発温度調整器、インバーター制御された冷凍機ユニットへと出力させる。また同時にタッチパネル上に入力された必要な氷含有量になるよう海水供給量を制御する流量調整器へ出力させる。このときサーボモーターからのフィードバック情報を受け氷の剥離状況に応じて最適な回転数で運転させることができる制御回路を構築した。図1.①.1製氷ユニット制御システムブロック図に示すインターフェイスを構築することでリアルタイムに原水の性状変化に対応、連続的に且瞬時に最適シャーベット状海水氷を製造することが可能になった。



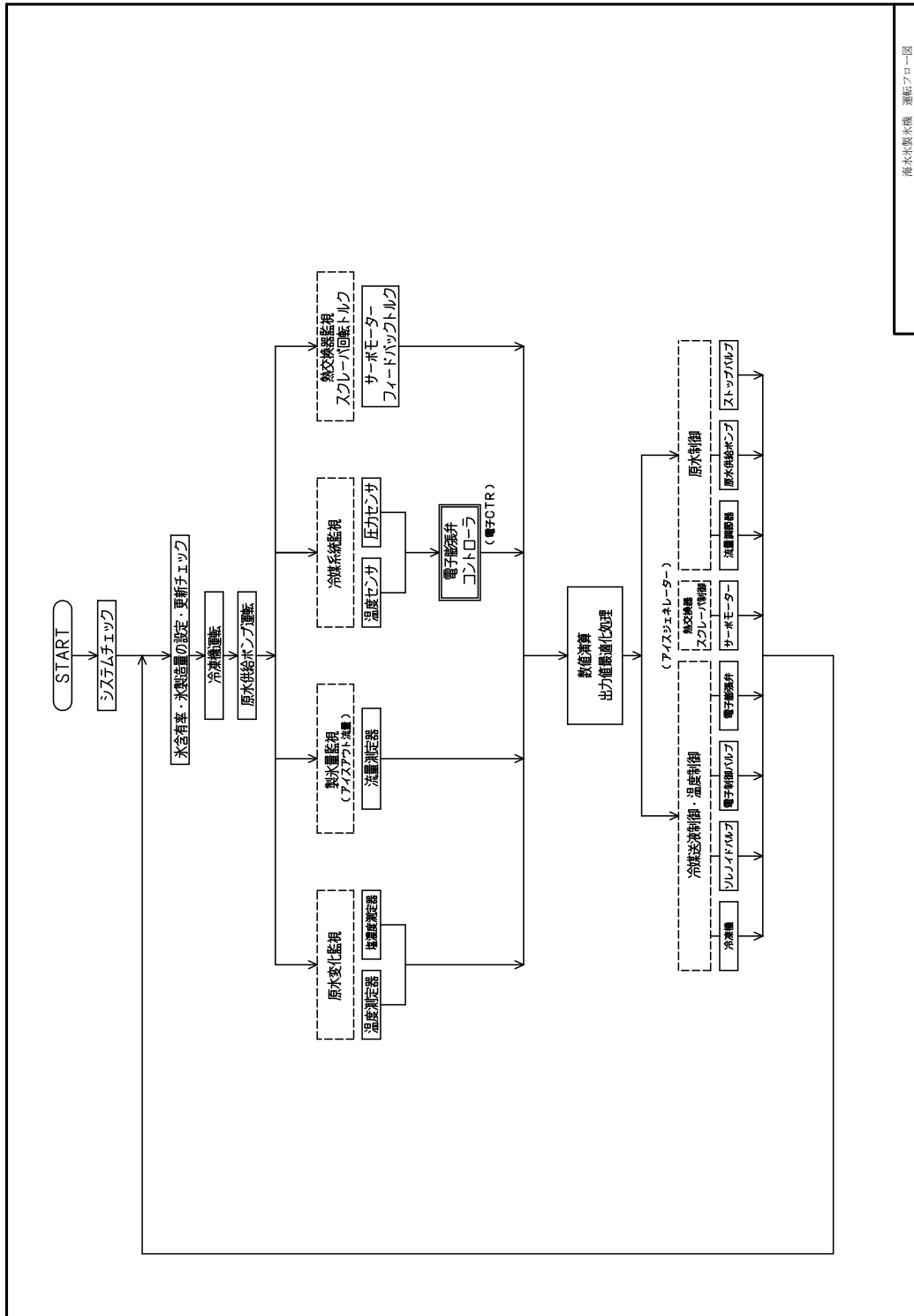


図 1. ①. 1 製氷ユニット制御システムブロック図

図 1. ①. 1 に示す様にシステムチェック後、入力側要素（塩分濃度、含氷率、目標氷温度、氷結点の関係式）の性状変化に対応し、目的とする氷含有率を原水供給量と排出される氷

の温度の関係など最速で目標氷温度に移行させるための最適な制御を可能とするものである。これは製氷機の構造上、原水流量を適当な間隔でプロットし、最大冷凍能力のもと、そのときの原水流量に対する氷温度を記録する。この関係を曲線関数化して演算パラメータをデータベースに記録する。これは塩分濃度別に複数個持つことになる。使用する段階で塩分濃度の入力情報に対して、下方、上方の2つの関数データを抽出し、現在の塩分濃度に対して抽出した関数データとの変化率を考慮して、原水の最大供給可能量を導き出す。その後、目標温度付近になったら、電子膨張弁を微調整して冷媒の液バックに留意し目標の氷温度となるように状態を維持させる。冷媒流量調整用の電子膨張弁、原水流量調整用の水流量調整弁などはPID制御でコントロールさせる。スクレーパーの回転数は原海水の塩分濃度とその時のジェネレータ内部の攪拌負荷状態で若干回転数を操作する。具体的には、

- ・ 低塩分濃度（3%を下回る場合）では速く回す（氷結が早く、ジェネレータ内壁面に凍りつきやすいため）。
- ・ トルク値が高くなってきてジェネレータ内部の凍結の懸念がある場合は、速く回す。等の制御を組込む。

入力側要素の計測は、原水の塩分濃度および温度のみとする。この時、原水の流量は突発的な流量変化の影響を受けないように十分なフィルタリング処理をして対応させる。その他の入力側要素も基本的に移動平均によるフィルタリング処理をする。基本的に入力側要素の計測情報はリアルタイムに取り込み、数値演算後、制御側要素の制御情報として出力させる。

サーボモーターの負荷電流検出用はトルクのみを検出とする。トルク値は制御側からの指令で直接サーボモーターを駆動するサーボアンプ（図示なし）にて間接的にCPUへフィードバックされる。この値も応答性が高いので、十分なフィルタリング処理をして乱高下を防ぐことができる。

#### ●入力側要素の計測項目（運転開始後リアルタイム計測）

入力操作で得られた製造する氷の含有率（目標含氷率）

原水の塩分濃度（%）および温度（℃）（タイマーによる更新）

製氷機の原水系統の出口温度（氷温度）（℃）

原水の製氷機への供給流量（L/分）

予冷装置の冷媒系統の入口、出口の温度（℃）

予冷装置の原水系統の入口、出口の温度（℃）

現在の予冷装置の冷媒系統の電子膨張弁の開度（%）

製氷機の冷媒系統の入口、出口、内部（温度調整用としての蒸発温度）の温度（℃）

製氷機の冷媒系統の電子膨張弁の開度（%）

製氷機の冷媒経路の出口のあとの温度調整弁の開度（%）

原水系統の供給流量調整弁の開度 (%)

冷凍機の吸入圧力 (MP a)

冷凍機の凝縮圧力 (MP a)

上記入力側要素化から制御側要素の操作量を数値演算させる。

目標含氷率 (所定濃度) から、塩分濃度、含氷率、目標氷温度の関係式より目標となる「氷温度」を算出させ、冷凍機の冷凍能力に基づいて、製氷機より排出しようとする氷の温度から、データベースより必要情報を得、原水の最大供給量 (原水流量) を算出し、PID制御を基本に電子膨張弁他の制御情報を得る。

その後演算結果に基づいて制御側要素の制御情報を出力させるようなインターフェイスを構築した。

#### 1. ②インバーター冷凍機と電子コントローラー制御による冷媒制御システム

冷凍機に空冷式のインバータスクロール冷凍機を採用し、インバーター方式という電子制御技術を用いて圧縮機の回転数を変えて容量制御することで、負荷に応じて冷凍機の冷却容量を変化させることを目的とした。冷凍機の場合はこの負荷の変更に伴い、効率よく、最小限の電機容量で、低騒音で運転することができるようになった。また冷媒制御は塩濃度による氷結点の違いや氷結晶の成長スピードに違いがあることから、原水の性状変化に応じた冷媒の蒸発温度を制御することで、熱交換器内の閉塞やスクレーパーへの過負荷を回避することが可能になった。

氷冷却時間を短縮させるためには、原水の温度と塩分濃度の情報を認識し氷結温度までの最大限の運転と、氷結後の最大限の安定した運転が必要である。その制御を冷媒の蒸発温度で制御した。原水の性状変化による冷媒の最適な蒸発温度をデータ化し電子コントローラーを使用して制御することで最適な最大限の運転が可能となった。

結果として製氷機運転開始から一定時間のインターバル (約 6 秒) 毎にサンプリング収集して温度変化を中心に必要情報をSDカードに記録した。

塩分濃度、原水温度、原水流量をKEYに分類し、塩分濃度は0.5%きざみで0.5~23.0%まで、原水温度は5°Cきざみで5.0°C~35.0°Cまで、原水流量は毎時100Lきざみで200~600Lまで (200と300の間の250Lも採取) とした。

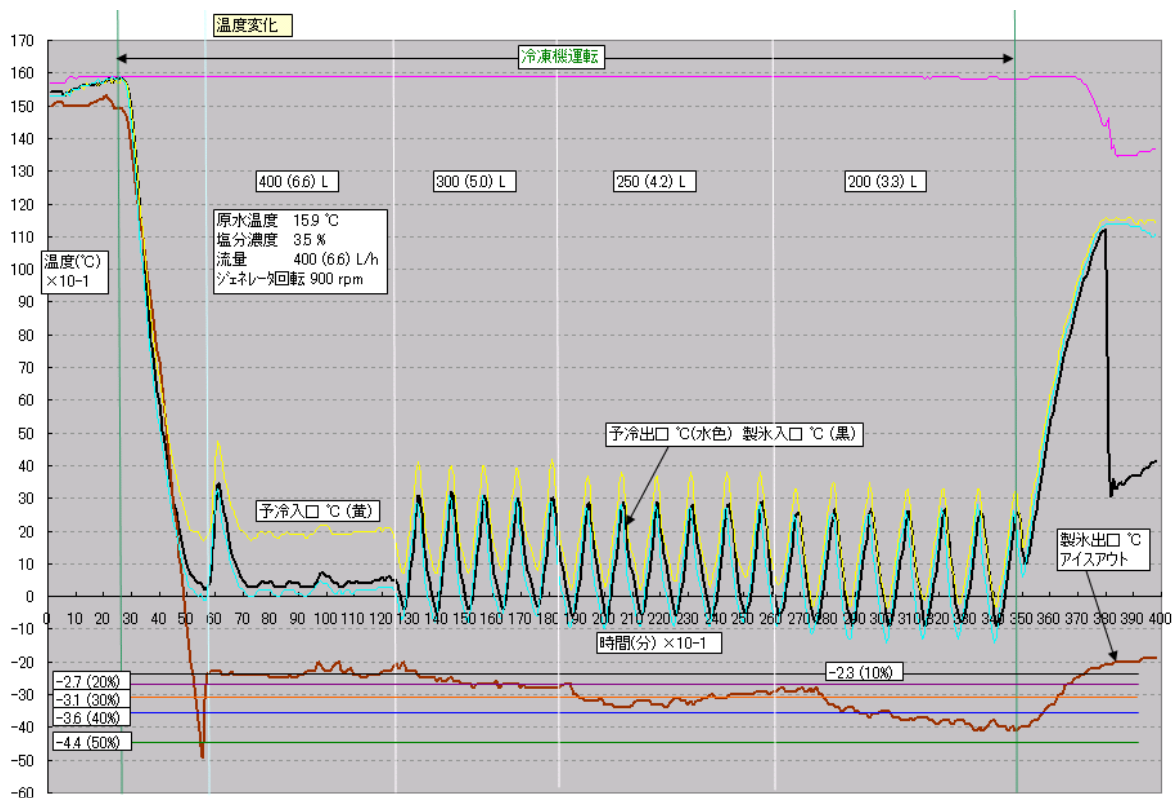


図 1. ②.1 予冷温度・アイスアウト温度の時間変化

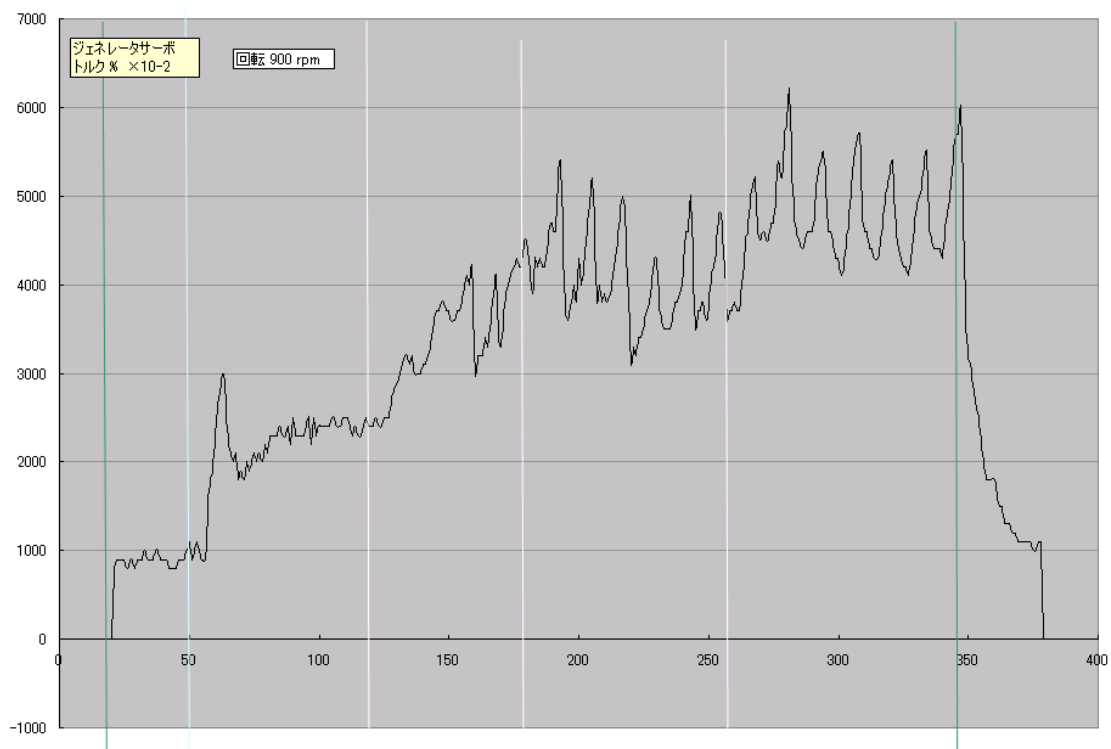


図 1. ②.2 攪拌用サーボモータートルクの時間変化

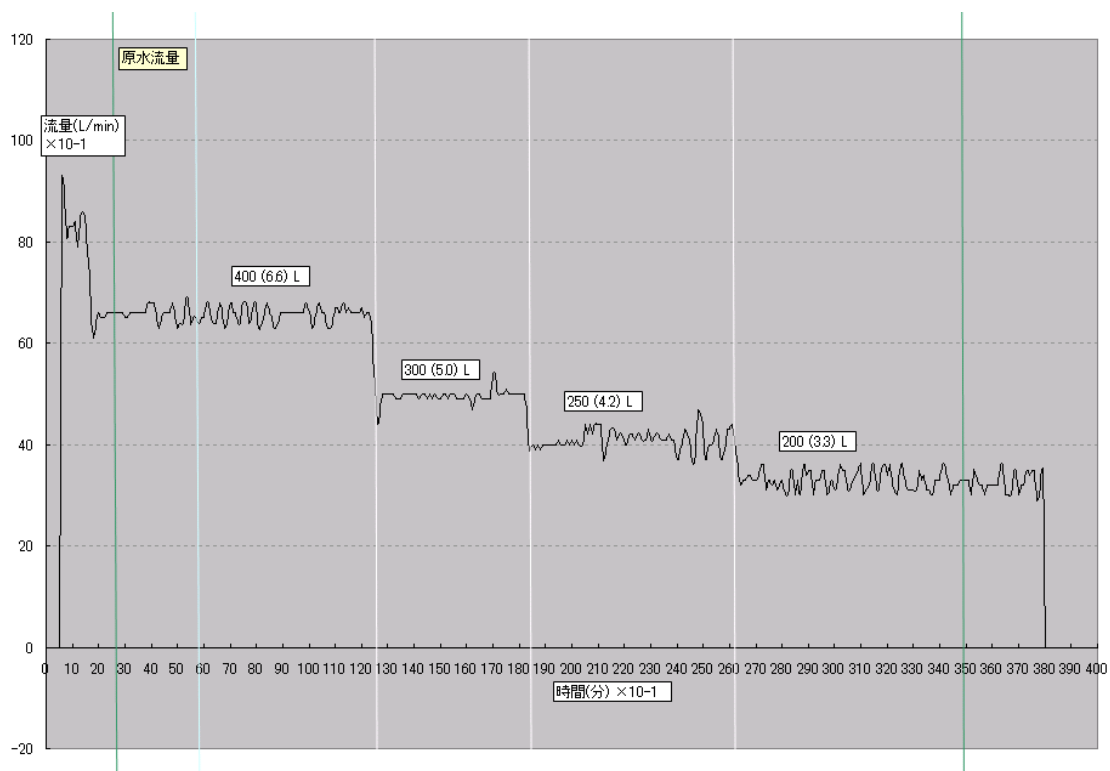


図 1. ②. 3 設定流量に対する実流量の時間変化

図 1. ②. 1 に示す初期塩濃度と氷含有率温度データから、塩分濃度 3.5%の凍結点は含水率 0% (氷になり始める温度) から順に 45%付近までほぼ理論値どおりに氷ができるのを目視、触手確認した。この例のデータでは 200 L/h の流量で約 50%の含水率をMAX能力とする海水氷ができるのを確認した。

次に原水の予冷温度帯域は 0℃～3℃になるように冷媒の膨張弁を制御している。運転を開始してから原水温度が低下し、ほぼ設定の帯域で温度推移しているのが確認できる。(予冷機出口、製氷機入り口温度) この上下変化をもう少し抑えれば製氷機入り口の温度変化を一定にし、安定した冷媒コントロールが可能である。アイスアウト温度の初回の急な立下りは測温体抵抗の設置箇所に起因する特徴である。

図 1. ②. 2 に示す攪拌機用サーボモーターのトルクであるが、流量が少なくなってくるにつれて含水率が上がり、結果トルクが上昇しているのがわかる。氷濃度が高くなるにつれ製氷機用熱交換機内の攪拌トルクが上昇することは当たり前のことであり、その攪拌トルクの限界からこの製氷機用熱交換機の構成上、最高氷含有率は 50%までであることが確認できた。

図 1. ②. 3 設定流量に対する実流量変化においてはグラフに多少脈動が見られるが、単位時間あたりの海水氷の重量測定結果から問題のないレベルであると判断できた。

これらのデータ採取にてわかったこととして、塩水濃度に関し 2%を下回る領域では、凍結点温度が上がるので 0℃を下回ると瞬間的に氷になるため、予想以上に攪拌機用サーボモータートルクが跳ね上がり過負荷異常となる。低濃度塩分のときは緻密な冷媒制御、攪拌の

回転数制御、流量制御が必要であることを確認できたが、その問題点を克服できる最適な数値を導き出すことはできなかった。1.8%を下回る領域では開発した製氷システム制御ソフトでは難しいことが判明し、ハード面での改善を含めて課題として残った。

## 2.2 氷剥離力低減技術を導入した製氷用熱交換器の確立

### 2. ①氷剥離力低減の実験・解析

本プロジェクトで研究開発の対象とする二重管式の製氷用熱交換器の概要を図 2.2.1 に示す。内管には海水が、外管には冷媒が流れる構造となっている。内管に導入された海水は、外管で蒸発する冷媒によって冷却され、シャーベット状の氷スラリーとなって熱交換器から出る。内管で回転する羽根（スクレーパー）は、生成した氷を管壁から機械的に剥離する役割を持つ。

この製氷用熱交換器で連続的に氷スラリーを製造するためには、内管壁面上で生成した氷を連続的に剥離して、熱交換器から排出する必要がある。氷の剥離に要する力は、生成する氷結晶の形態に影響を受ける。したがって、熱交換器の運転においては、氷の結晶形態を制御し、安定な連続製氷を可能とするように剥離力の低減を図る必要があり、そのためには、熱交換器内部での氷の生成や成長に関する現象把握が重要となる。しかし、熱交換器内部の現象の直接計測は困難なため、生成する氷結晶の形態と剥離に要する力の関係には不明な点が多く、現状では海水の条件に対応して熱交換器の運転を最適化することは難しい。

本節の課題においては、製氷用熱交換器を模擬した内部観察可能な装置を用いて、海水を模擬した NaCl 水溶液で製氷を行い、水溶液濃度に対する剥離様式の変化の詳細を実験的に調べた。また、得られた実験結果に基づいて、特に水溶液濃度が低いときに剥離を低減する手法について考察した。

氷の結晶形態と剥離の観察を行った装置の概略を図 2.2.2 に示す。装置は観察用流路、液体窒素デュワー、恒温槽、ポンプ、観察機器などで構成される。NaCl 水溶液は、恒温槽で所定の温度に冷却され、観察用流路（高さ 15 mm、幅 40 mm）へと供給さ

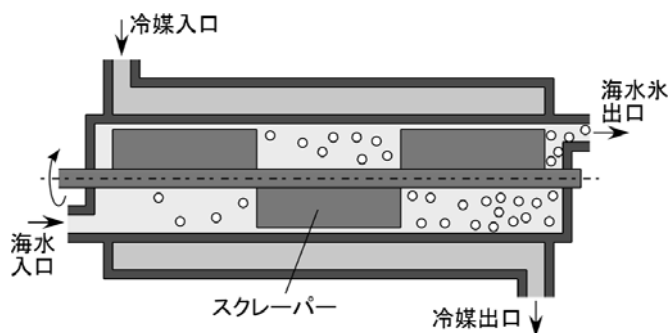


図 2.2.1 二重管式製氷用熱交換器の概要

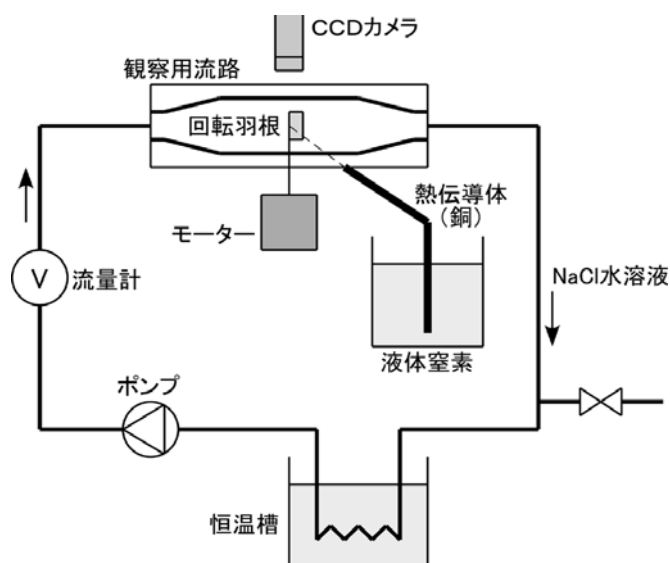


図 2.2.2 氷剥離観察用の測定装置の概略

れる。流路の底面にはステンレス製の伝熱面を配し、中心の直径 5 mm の部分を、銅製の熱伝導体を介して液体窒素で冷却する構造となっている。伝熱面中心部で生成した氷は、ある程度成長すると、流路内で回転するテフロン製の羽根によって剥離される。回転羽根と伝熱面とのクリアランスは 1.8 mm で一定とした。氷の剥離の様子は流路側面から CCD カメラで観察した。

測定の手順は以下のとおりである。まず所定の濃度の NaCl 水溶液を流量 40 ml/min で循環させ、初期温度 13 ~ 14 °C に設定してから、ステンレス伝熱面の冷却を開始する。伝熱面冷却速度は、氷が発生する直前で毎回 15 ~ 20 °C/min となるように調整した。氷の発生を確認すると、直ちに伝熱面の冷却を停止し、回転羽根による氷の剥離状況を CCD カメラで撮影記録する。冷却を停止すると数分後に伝熱面温度は上昇に転じ、氷の融解が始まる。その後、回転羽根は氷と接触しなくなり、その時点で一連の測定を終了する。測定条件として、NaCl 水溶液の濃度は 0% (純水) ~ 4.5% の間で調整した。羽根の回転速度は、1.0、1.5、2.0 Hz の 3 条件とし、実験は各条件で 3 回ずつ行った。なお、氷の剥離に要する力は、設定した羽根の回転速度に対する実際の回転速度の遅れから、相対的に評価した。

観察された剥離の様式は、氷結晶が破断して剥離する場合 (cohesive 剥離) と、伝熱面表面から氷結晶全体が滑って剥離する場合 (adhesive 剥離) とに大別することができた。氷の剥離様式及び氷の剥離に要する力に対する NaCl 濃度の影響は、今回の実験条件では羽根の回転速度にほとんど依存せず、図 2.2.3 のように定性的にまとめられる。実線は cohesive 剥離に要する力を、破線は adhesive 剥離に要する力を模式的に表している。NaCl 濃度が  $c < 0.5\%$  では cohesive 剥離だけが観察され、 $c > 2.5\%$  では adhesive 剥離だけが観察された。この結果は、 $c < 0.5\%$  では、adhesive 剥離に要する力よりも、cohesive 剥離に要する力の方が小さいことを意味する。一方、 $c > 2.5\%$  では、cohesive 剥離に要する力よりも、adhesive 剥離に要する力の方が小さいことを示している。その中間の濃度 ( $0.5 \leq c \leq 2.5\%$ ) では、cohesive 剥離に要する力と adhesive 剥離に要する力に大きな差はなく、この濃度範囲で cohesive と adhesive の力が逆転していると考えられる。

図 2.2.3 の知見に基づき、氷の剥離に要する力を低減する手法の一つとして微小気泡の導入を提案し、特に塩分濃度の低い条件、すなわち氷の剥離に要する力が高い条件においてその効果を実験的に調べた。図 2.2.2 に示した装置に、微小気泡を生成、供給するた

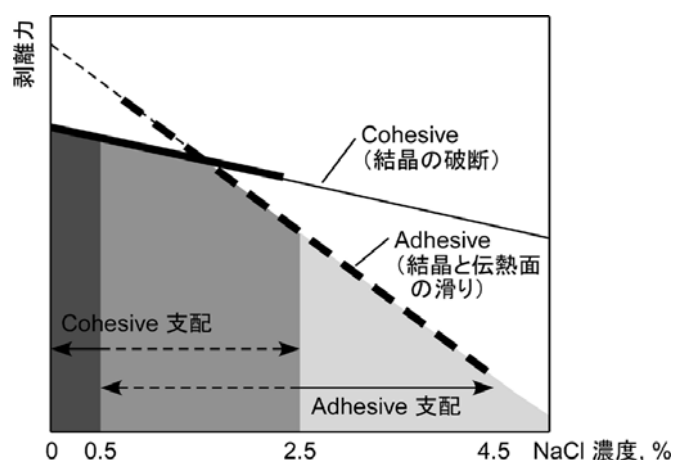


図 2.2.3 氷の付着力及び氷の剥離様式に対する NaCl 濃度の影響



めの別系統循環部を加え、観察用流路に微小気泡を導入し、低塩分濃度の極端な条件として、イオン交換水（NaCl 濃度 0%）を用いて実験を行った。なお微小気泡を安定化するために、イオン交換水には 50 ppm の界面活性剤（Triton X-100、和光純薬）を添加した。微小気泡の直径は約 0.2 mm、回転羽根と伝熱面のクリアランスは約 1 mm とした。

実験結果では、微小気泡の導入によって、氷の剥離に要する力が減少することが確認できた。図 2.2.2 で示したように、微小気泡を導入しない場合の低塩分濃度条件（ $c < 0.5\%$ ）では、cohesive 剥離に要する力の方が、adhesive 剥離に要する力よりも小さく、その結果 cohesive 剥離が起こる。一方、微小気泡を導入すると、微小気泡が伝熱面と氷の界面に取り込まれるため、氷と伝熱面の接触面積の低減につながり、微小気泡の供給によって adhesive 剥離に要する力が低減されると考えられる。その結果、図 2.2.4 のように、微小気泡の影響で adhesive 剥離に要する力が cohesive 剥離に要する力よりも小さくなり、低塩分濃度においても adhesive 剥離が支配的となって、氷の剥離に要する力が低減していると推測される。ただし氷が伝熱面から滑る様子は、気泡が伝熱面近傍の観察の妨げとなるために、今回の観察で確認することができなかった。

以上をまとめると、本節の課題の成果としては、従来不明であった熱交換器内部の現象を実験的に把握し、生成する氷結晶の形態と剥離に要する力との関係を明らかにしたことが挙げられる。その成果をもとに、次節の製氷用熱交換器設計の指針を得ることができ、熱交換器の製氷性能の改善へとつなげることができた。また、氷の剥離に要する力を低減する新たな手法として、微小気泡の導入を提案し、その効果を確認することができた。その一方で、今回の研究で解決できなかった課題もいくつか残った。その一つは、実験を遂行する上での時間的な制約から、

剥離に要する力を定量的に測定するまでには至らなかった点であり、より明確で定量的な熱交換器の設計指針を示していくことは今後の課題である。また、氷の剥離力を低減するための微小気泡導入の手法については、実験室レベルでの効果を確認することはできたが、時間的な制約から、実際の製氷用熱交換器での実証までには至らなかった。この点も今後の課題である。

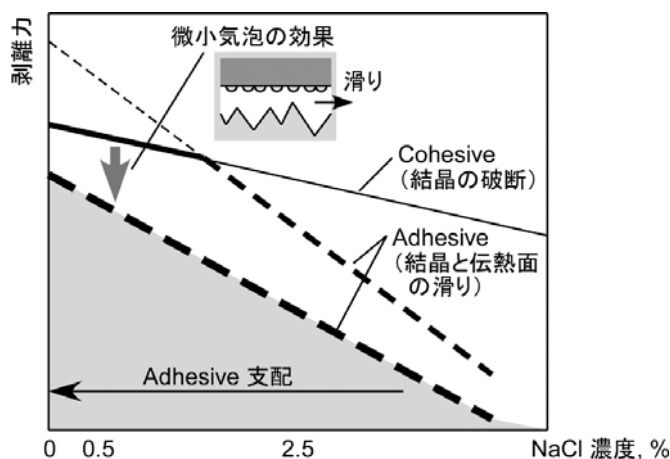


図 2.2.4 氷の剥離力に対する微小気泡供給の効果

2. ② 製氷用熱交換器の設計・試作・性能試験

製氷用熱交換器には直膨式の二重管型熱交換器を製作し、二重管の内管に海水を導入して、外管で冷媒を蒸発させて海水を冷却して内管で氷を生成し、これをスクレーパーで機械的に剥離することにより海水氷から成るシャーベット氷を生成する熱交換器を設計した。スクレーパーの形状、回転数等の分析を重ねながら製氷用熱交換器の実設計への取組を行った。製氷用熱交換器の二重管の材料は耐防食に優れた SUS316 を使用し、外管φ165.2mm 内管φ114.3mm、長さ880mmのパイプを加工し二重構造とした。二重管の中心部には3段×3枚配列させたスクレーパーを組込んだ SUS316 製のシャフトを組付ける。そのスクレーパーには回転による内管表面を傷つけないようポリエチレンテレフタル樹脂を使用し、そのスクレーパーの構造は回転することで海水の流れを出口部へ誘導できるように加工し、二重管内部は海水が流れる為内部のシャフト軸受等には全て樹脂製のものを使用し、動力側へ海水が流れ込まないようにメカニカルシール、Oリング等で密閉をし、さらに耐圧に優れた機密性を高めた構成とした。また保守性を高める構成とし、スクレーパー等の消耗品が交換しやすいよう簡単に内部まで分解しやすい構成とし、その他の部品は腐食によるパーツの分解ができなくならぬよう金属部分は全てにステンレス製部材を使用した。設計図面を2. ②.1 に示す。

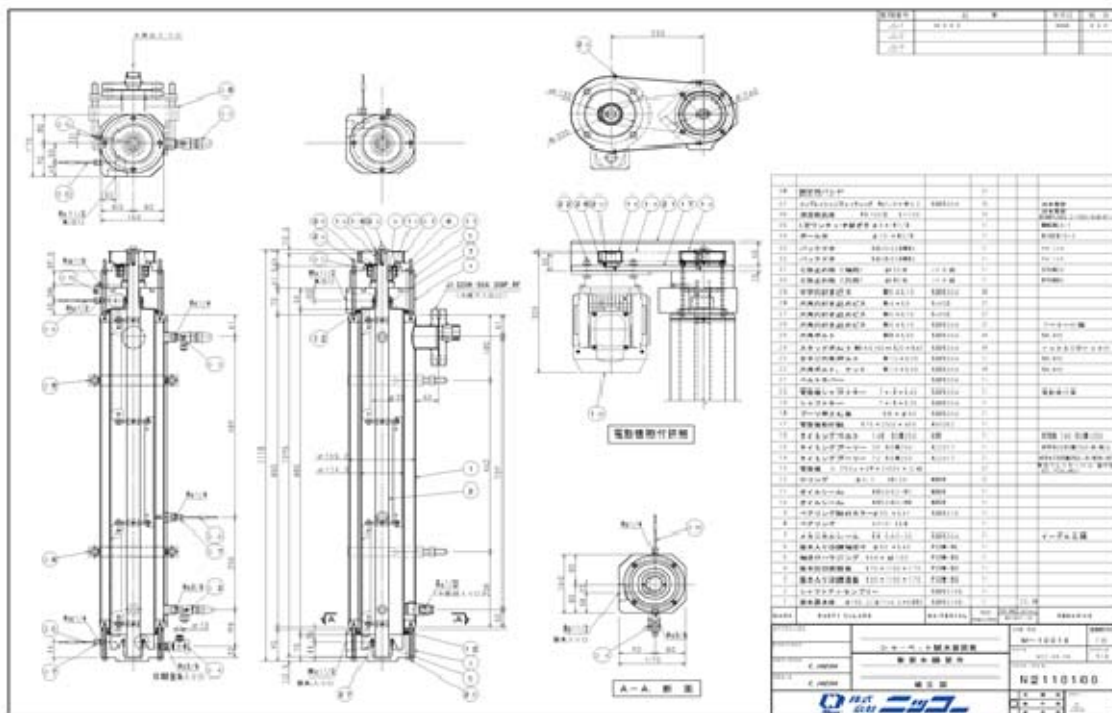


図 2. ②.1 製氷用熱交換器設計図

製氷用熱交換器設計図に基づき試作用熱交換機を製作した。製作後、既存の製氷機の熱交換器と入替え、製氷状況、運転状況を確認した。試験を繰返しハード面での問題点を観察し、必要があれば改良を加え実設計の熱交換器への完成を目指した。

原水温度 15℃ 塩分濃度 3.5%条件にて実証試験データ



上記結果からも熱交換器は製氷、および構造上にも問題が無いことが解った。本設計の中で製氷用熱交換器の内部表面に着氷した氷の剥離の低減を図るために製用熱交換器内壁ホーニング加工し、さらに電解複合研磨を施し表面を鏡面仕上げとした。

平成 23 年度当該製氷用熱交換器のスクレーパーを 3 段×6 枚羽根に改良した結果、回転のバランスが良くなり回転数を上げることが出来、剥ぎ取りスピードが速くなりさらに運転バランスも非常に良くなった。

## 2.3 実用漁船搭載用の海水氷製氷機の開発

### 3. ① 魚艙中氷粒子分布の均一化技術の開発

漁船に備え付けの魚艙に生成したシャーベット状海水氷を貯氷した場合の層分離の経時変化を観察、鮮度保持に有効なシャーベット状海水氷の粒子群をできるだけ小さく維持し、均一分散させポンプ搬送を可能とする実証試験を既存小型漁船で行った。

製氷直後からシャーベット氷は凝縮結合がはじまり流動性がない、シャーベット氷をポンプ搬送するために、貯氷する魚艙内で水中ミキサーを使用し魚層内を攪拌し、分散流動されたシャーベット氷を吸引ポンプで上面から一定の高さから吸引し、搬送させる方法を試験をしてみたが、小型の漁船に関してはシャーベット氷を専用に貯氷しておく魚艙は無く、貯氷した魚艙も最終的には魚を保管する魚艙となってしまうため、水中ミキサーを下部へ設置した場合、魚投入時には引き上げる必要性が出てくる。また魚艙内を冷やす冷却コイル配管が魚艙全体にわたって設置されており、攪拌するにもかなりの抵抗となり、氷の堆積をおこしてしまう。また、作業性等も考慮に入れると攪拌方式は現実的な方法ではないことが解った。

一方、攪拌機が無い場合に層分離した状態からポンプ搬送が可能であるか否か簡易試験を行ってみた。その結果、魚艙のような大きな容器にシャーベット氷をため込み吸引試験を行ったが（この時のシャーベット氷含有率は30%）、シャーベット氷が広い範囲で部分分布するために、ホース先端が接触する部分からは氷の吸引搬送が可能であったが、氷の流動性がない状態ではホース先端を常時動かさなければ氷の吸引はできなかった。このように攪拌機が無い場合でのポンプ搬送も簡単ではなく、作業性等も考慮すると現実的な方法では無いことが解った。



写真3. ①.1 タンクからシャーベット氷吸引試験

以上の得られた知見から、氷粒子群の均一化技術においては、小型船の魚艙であれば魚艙に貯氷されたシャーベット氷を各魚艙へ搬送させるのではなく、製氷直後から各魚艙へ分配供給させることも一つの方法ではないかと認識した。

### 3. ② 漁船搭載用海水氷製氷機的设计・试作・性能評価

漁船搭載用海水氷製氷機の開発として、漁船での要求製氷である氷含有率 30%のシャーベット状海水氷を 600L/h で製氷できる製氷能力を目標とし、漁船への搭載によるピッチング、ローリングによる機器の耐久性と安全性、設置スペースに応じた小型化やメンテナンス等を考慮に設計を行った。製氷用熱交換機は改良型(3 段×6 枚羽根)二本仕様とし、小型化、低コスト、省スペース化を考慮し海水の配管が一系統となるよう二本の改良型製氷用熱交換機は直列に横型配列し、冷媒のサクシオン側の系列も一系統となるよう設計をした。また漁船搭載にあたりローリング、ピッチングによる冷凍機オイルの分離化、製氷用熱交換機を横型に配列することでの液バック現象等考慮に入れ、冷凍機はクランクが深い冷凍機を選定し、製氷用熱交換機の冷媒出口側(サクシオン側)へも液ガス熱交換機を設置し安全性を考慮した安定製氷を可能とする設計とした。

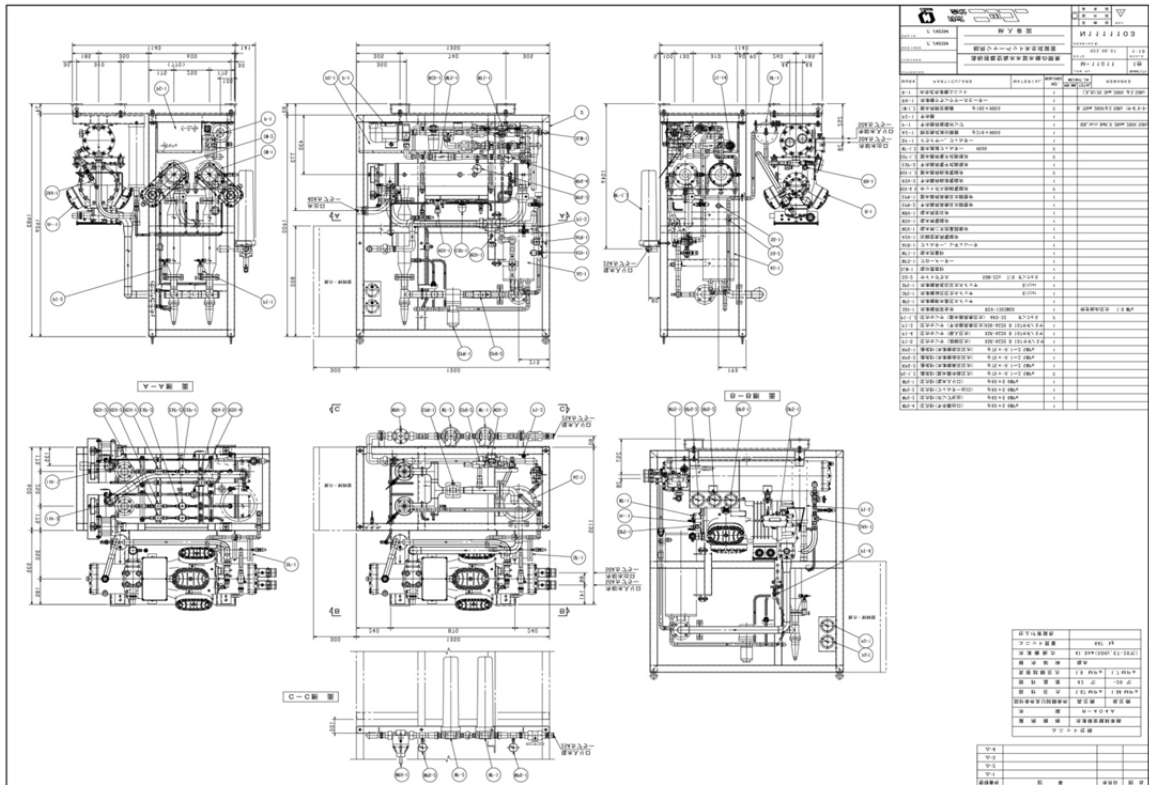


図 3. ②. 3 漁船搭載用海水氷製氷機設計姿図





図 3. ②. 4 漁船搭載用海水氷製氷機完成写真

性能試験として安定した製氷を確認することを目的に実用漁船搭載模擬試験装置を使い陸上での性能試験を繰り返し行った。

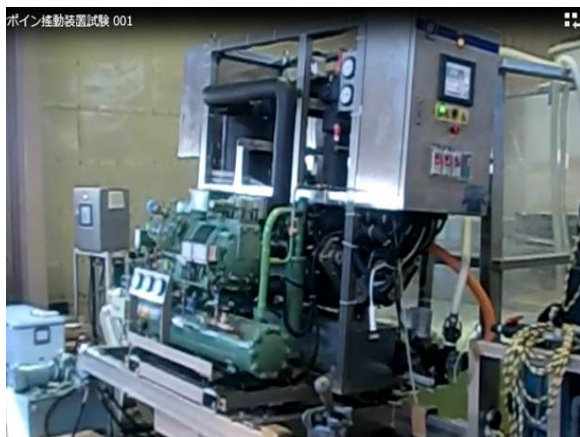


図 3. ②. 5 実用漁船搭載模擬装置による性能、耐久試験

試験結果として製氷データを図 3. ②. 6 に示す。原水温度を漁船搭載時期の洋上温度に合わせ 16℃、塩分濃度は 3.5% と設定し、流量は氷含有率 30% と見込まれる 10L/min とし て試験を開始したデータを採った。横軸には経過時間(12sec/カウント)とし連続 116 分 運転稼働を実施したデータとなる。縦軸には原水流量モニター (1/10L/min)、塩濃度モ ニター (1/10%)、原水入口温度モニター (1/10℃)、予冷器原水入口モニター (1/10℃)、 予冷器原水出口モニター (1/10℃)、製氷機 1 出口氷温度モニター (1/10℃)、製氷機 2 出 口氷温度モニター (1/10℃) からの出力データの値である。製氷機 1、2 共に製氷用熱交 換機排出後の氷温度を指す。製氷機 2 原水出口氷温度モニターからは -2.1℃、製氷機 1 原 水温度モニターからは -2.7℃ という氷が生成されており、それぞれ揺れの環境のもとでも 安定した温度帯の氷が生成されていることが確認できた。しかしながら氷の含有率から見 てみると、製氷機 1 からの生成温度が -2.7℃ ということで氷含有率は 24% しか生成されて いないことがわかる。目的とする流量 10L/min で 30% の含有率にするためには氷温度を - 3.0℃ まで冷却する必要がある。氷生成不足の理由として考えられるのは、二本の製氷用熱 交換機への冷媒量の供給不足による冷凍機の吸入圧力低下によるものである。そのことで、 冷凍機のアンロードが働き 100% 稼働がなされていないことが原因と言える。この改善策と しては、電子膨張弁制御 PLC によるオリジナル PID 制御対応 (データトラッキング 処理) にて最大限の冷媒制御を漁船搭載用海水氷製氷機へ組み込むことが必要であることを 確認できた。

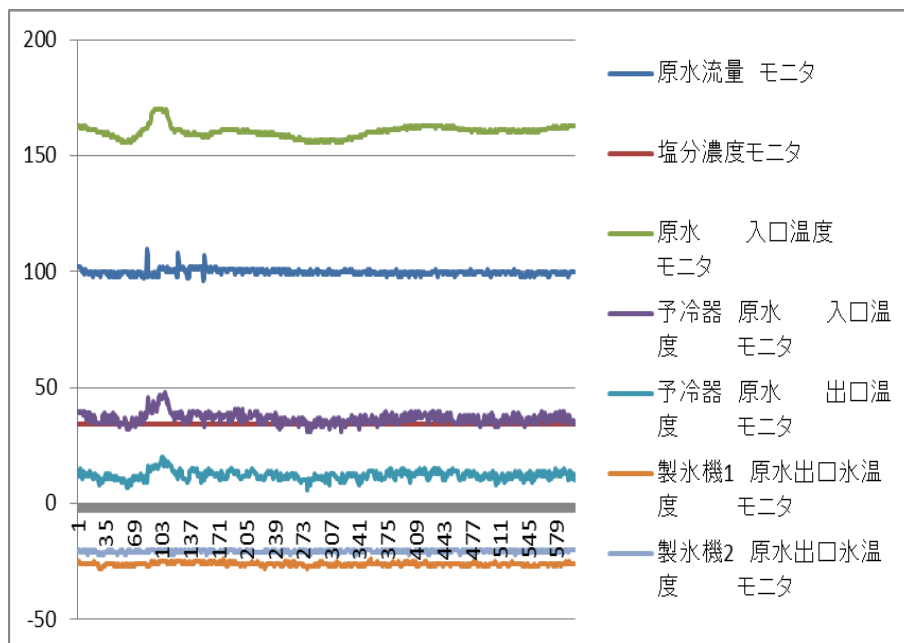


図 3. ②. 6 製氷データ

## 2.4 魚体の鮮度特性評価

シャーベット状海水氷の魚介類鮮度保持の有効性の確認と処理マニュアルの作成を目的とした取り組みを行った。シャーベット氷の浸漬など種々の条件で致死させた魚介類を低温で保存した際の鮮度変化を食品的及び生化学的に評価することにより、従来法と海水シャーベット法<sup>付11</sup>の鮮度に与える影響を科学的に解明するとともに、北海道の代表的な魚介類に対してシャーベット状海水氷の有効性が最も発揮される条件を明らかにし、処理方法に関するマニュアルを作成した。

### 4. ①各魚介類の致死条件と鮮度変化の把握

水揚げ直後の魚介類の鮮度を、消費に至るまで保持・管理するために、最適な温度条件を実験室レベルの試験により整理することを目標に取り組みを行った。ホッケ、スルメイカ、サンマ、ボタンエビなど地域における代表的な魚介類を対象として、水揚げ後の処理と保管の鮮度変化を食品的、生化学的に評価することにより、鮮度保持に有効な処理方法に関する知見の収集を行った。

平成22年度はスルメイカ、ホッケ、サンマを実験材料に用い、曝露温度、塩濃度と魚体性状の観察として、塩濃度1.0~3.4%、温度-0.7~-2.6℃の海水で保管した際の外観の変化を取りまとめ、シャーベット氷が適応可能な塩濃度と温度を魚種ごとに整理した。魚介類の鮮度評価試験として、活ホッケを対象に、即殺、苦悶、シャーベット氷処理<sup>付10</sup>した際の、保管中の品質変化を核酸関連成分、有機酸、遊離アミノ酸などの生体成分を指標として評価した。その結果、筋肉中の乳酸の生成がシャーベット氷処理により著しく抑制されたことから、水揚げ時の暴れによる疲労が防止される効果があった。さらに保存した際のK値の変化は、活け締めにより即殺した場合に近い傾向となったことから、鮮度が保持されることが確認された。しかしながら、長時間のシャーベット氷処理はATPの消失を速める結果となり、現場で使用する際に注意が必要となる。

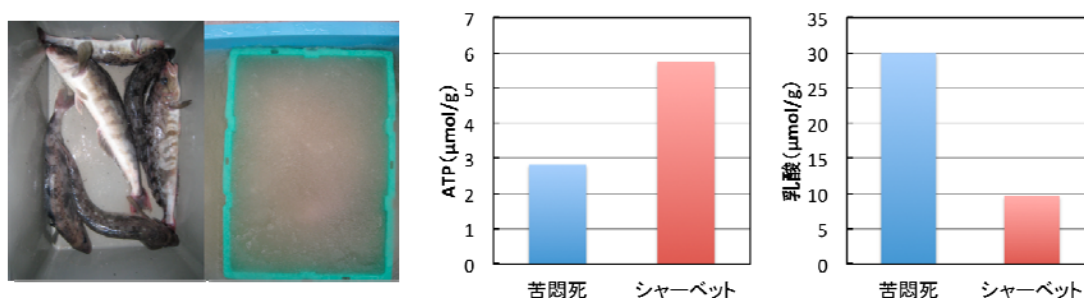


図 2.4.1 ホッケ致死直後の筋肉中の ATP と乳酸の含量

活ホッケを①苦悶死（室内で30分放置）、②-2.4℃シャーベットで20分処理した直後の筋肉中の ATP と乳酸の含量を測定。



平成 23 年度は、致死後の魚体への効果として、魚体の冷却時と保存時にシャーベット氷を用いた実験を、同様にホッケを用いて行った。シャーベット氷による死後の急激な温度の低下が、コールドショートニングと呼ばれる筋肉の異常収縮を招いたことから、ホッケにシャーベット氷を使用する際には、長時間の冷却を避け、10 分間程度の短時間処理が好ましいことが明らかとなった。ホッケ魚体を保管する際のシャーベット氷の効果では、20℃、10℃保管では K 値が急激に増加したのに対し、0℃、-1℃の脱水氷では増加は遅かった。高鮮度の目安と言われている 20%を超えたのは、脱水氷保管で 72 時間目であった。この結果から、ホッケの場合、-1℃の低温に保持した方が鮮度は保たれることが確認され、シャーベット氷の脱水氷により長期間の生鮮魚の保管が可能となった。

イカを用いた試験では、平成 22 年度に活ヤリイカをシャーベット氷で処理した際の鮮度関連成分の変化を測定したが、空中放置による苦悶死とほぼ同様の結果となった。その際のイカの外観は、胴体が細く変化しデータことから、冷却収縮が起こっていると判断された。骨格のないイカ類は冷却収縮が激しく、筋肉の収縮により ATP が著しく減少した結果、苦悶死と同様な K 値の変化となったと予想された。また、シャーベット氷で処理したイカは墨を排出し、シャーベット氷および魚体が黒く汚れる結果となった。

活ボタンエビへの応用を検討した結果、ホッケを用いた試験と同様に ATP の消失と K 値の上昇を抑制するほかに、適正な温度で保持することにより黒変の発生も抑制する効果のあることがわかった。

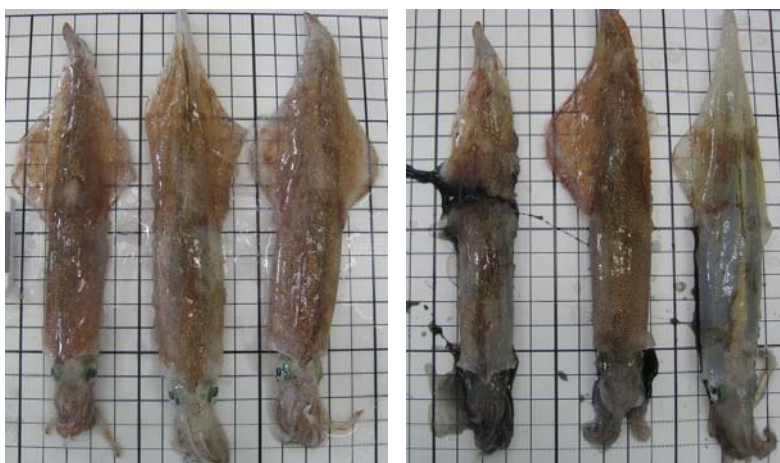


図 2.4.2 シャーベット氷処理前後のイカの外観

左：処理前、右：処理後。

このように北海道沿岸で漁獲される種々の魚介類をシャーベット氷で処理した際の鮮度保持効果について、筋肉中のエネルギー成分である ATP の含量と科学的な鮮度指標として用いられる K 値を指標として検討してきた。魚介類の死後変化に関する科学的な知見を元に、死後の鮮度低下を三つのステップとし、各ステップにおけるシャーベット氷の効果に

ついてそれぞれ個別に検討した。その結果、シャーベット氷による鮮度保持の特徴として以下の三点が明らかとなった。

水揚げ時：シャーベット氷処理は水から揚げられることによる魚の暴れを防止し、活け締めに近い状態となることから、鮮度保持に効果的である。

冷却時：シャーベット氷での長時間冷却は筋肉の冷却収縮を引き起こし、ATP 含量の低下をまねく。過度な冷却は鮮度保持の面からは逆効果の場合がある。

保管時：致死後の魚体の保管は低温が好ましく、氷蔵（0℃）よりも脱水氷（-1℃）の方が、ATP の消失と K 値の上昇が緩やかであり鮮度が保たれる。

#### 4. ②漁獲現場におけるシャーベット状海水氷の有効性と処理マニュアルの作成

上記の実験室レベルでの試験の結果を基に、水揚げ現場でのシャーベット氷の適応試験を行うとともに、北海道産の魚種にシャーベット氷を適合させ、効率よく鮮度保持を行うための処理マニュアルの作成を行った。

##### i) サンマ

歯舞漁業協同組合に所属する第 68 翔洋丸に搭載したシャーベット氷製造装置を用いて、船上にてシャーベット氷処理試料を作製し、保管中の鮮度変化を測定した。水揚げ直後からシャーベット氷で保管した魚体は、従来の魚倉保管品、海水氷保管品と比較して、尾の垂れ下がりや K 値の点で良い鮮度で推移した。シャーベット氷で保管したサンマは水揚げ 11 時間後には明らかな目の濁りが観察されたが、時間経過により濁りは減少し、55 時間後には認められなくなった。



図 2.4.3 海水濃度とサンマの外観

天然海水（塩濃度 3.4%）に蒸留水を加え、図の左に示した塩濃度とした。5℃にて 1 日間保管した後の外観を示した。

サンマの体色については、塩濃度が 3.0%以上では体表の青色は明確に残存するのに対し、2.5%以下で青色が薄くなり 2.0%以下ではほとんど認められなくなった。従来流通しているサンマは、水揚げ後に海水と清水氷により調整された海水氷に浸漬した状態で輸送、保管されており、本来あるべき体表の青色が退色した状態にある。一方、シャーベット氷は天然海水の塩濃度が維持されているため、サンマ本来のきれいな外観が維持されており、従来品との差別化のための大きな要因となると考えられた。

## ii) サケ

試料として函館市南茅部地区の定置網で漁獲された活きたサケを使用した。現行の処理方法を想定した対照区は、海水を少量入れたバットに漁獲直後の魚体 3 個体を投入して約 1 時間放置した後、上に少量の水氷が載った状態で実験室まで輸送した。表皮は対照区に比べて試験区の方が、保管日数が経過してもサケ特有の銀色のツヤが保持されており、好ましく感じられた。エラは、いずれも保管日数の経過に伴い赤みが低下する傾向にあったが、対照区の方が保管開始時より淡い色調を呈しており、試験区との差は保管期間を通して維持されていた。

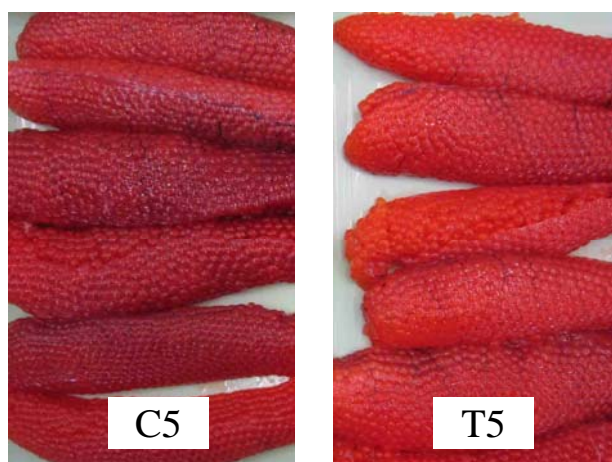


図 2.4.4 保管後の筋子の外観

対照区：C、試験区：T、数字：保管日数

## iii) マダラ

根室市の第 28 大光丸の協力を得て、マダラ鮮度保持の効果について検討した。シャーベット氷の鮮度保持効果のメカニズムを考えると、1) 水揚げ時の暴れの防止、2) 水揚げ後に急速に冷やす、3) 保管中の温度が低い、の 3 点となると判断される。しかし、冬期操業のマダラの場合、1) 延縄漁では死んだ状態で水揚げされる、2) 魚体温が低いので急速冷却の効果が見えづらい、3) 極寒地での氷蔵と脱水氷の温度にどれくらい差があるのが不明、などの理由でマダラはシャーベット氷の有効性が見えづらい魚種と考えられた。

最終年度には、北海道沿岸で漁獲される魚介類を対象として、凍結しない程度に魚体温を低下させるのに必要なシャーベット氷の条件を取りまとめる取り組みを行った。試験は、まず各魚介類の氷結温度の測定を行い、次いで魚介類の感覚的な凍結温度の把握、冷却に必要なシャーベット氷条件の算出の順で行った。過冷却現象を応用して22の魚種（部位）の凍結温度を明らかにし、各魚種の水分含量から比熱を算出した。そしてそれぞれの魚種を冷却するのに必要なシャーベット氷量を熱量計算からもとめた。結果を表2.4.1に示した。

表 2.4.1 魚の冷却に必要なシャーベット氷量

魚種	氷結点 (°C)	シャーベット温度 (Kg)		
		-2.2°C	-2.5°C	-3.0°C
マダラ	-0.85	383	115	55
キンキ	-0.95	332	98	46
ホッケ	-1.01	391	113	54
カラフトマス	-1.02	365	105	50
ニシン	-1.06	354	102	48
マイワシ	-1.17	362	101	48
サンマ	-1.18	328	92	43
ゴマサバ	-1.36	395	106	49
カツオ	-1.48	445	116	54
スルメイカ	-2.09	627	136	61

※魚の初期温度は15°C。

※100Kgの魚を氷結点に冷却するのに必要な各温度のシャーベット氷の量を示した。

この表から、例えば水温15°Cの漁場にてマダラを100Kg水揚げし、-2.5°Cのシャーベット氷を用いて氷結点である-0.85°Cまで冷却したい場合、115Kgのシャーベット氷にマダラを投入すれば良いことがわかる。同様に-2.2°Cのシャーベット氷では383Kg必要なのに対し、-3.0°Cのシャーベット氷では55Kgですむが、これは温度帯ではシャーベット氷の氷結率が大きく変動し、氷の潜熱は水の比熱より著しく大きな値であるので、シャーベット氷中の氷の比率が魚を冷却する際の必要量に大きく影響することを示している。

平成 22 年度からの本事業で得られた魚介類の鮮度特性評価試験の成果として、平成 23 年度にサンマを対象とした実証試験としてシャーベット氷による鮮度保持試験を行い、鮮度保持の有効性と体表の色調の改善効果が水揚げ現場で実証された。最終年度はこれらの知見をもとに、水揚げ現場でシャーベット氷を使用する際のメカニズムや、シャーベット氷の最適使用量、魚種ごとの有効性を取りまとめたマニュアルの作成を行った。当初は 3 魚種を対象としたマニュアルを計画したが、表 2.4.1 に報告したようにシャーベット氷を使用する際に最も重要となる魚体の温度コントロールについて、各魚種を横断した普遍的な知見が得られたので、10 魚種に対するシャーベット氷使用条件の取り纏めを中心として、各論としてホッケ、サンマ、イカ、エビなどにシャーベット氷を応用する際のポイントを取りまとめた。課題名は「シャーベット氷による魚介類の鮮度保持方法」として、下記の三つのサブテーマにより取りまとめた。

1. シャーベット氷による鮮度保持のメカニズム
2. 適正な冷却に必要なシャーベット氷
3. 鮮度保持各論（ホッケ・サンマ・イカ・エビ）

フォーマットは読みやすさの点から長文を避け、パワーポイントを用いたシートスタイルとした。20 シートのボリュームとして最終年度の報告書に添付した。

### 第3章 全体総括

既存の製氷機の制御はハード側の条件に合わせた ON/OFF 制御しか行っていないため一定の条件で一定の氷しか出来ない、しかも氷生成には長時間要している。本研究では、海水の性状変化(温度、塩分濃度等)をリアルタイムで追従しながら、最適性状海水氷を迅速に且、連続的に安定して製氷できるように、製氷機を構成する各機器を有機的に制御できる高度な製氷ソフト「データトラッキング制御」を開発し、川下ニーズである漁獲物を高鮮度保持できるように漁船に搭載可能な高性能なオンサイト型シャーベット状海水氷製氷機の製造を実現することを目的とした。

本研究開発は平成 22 年度～平成 24 年度 9 月の 2.5 年に渡り実施した。

平成 22 年度は剥離低減技術を取り入れた二重管方式の製氷用熱交換器を設計、試作、当該熱交換器を搭載した最適氷生成ソフト試験ユニットを製作、試験運転を繰り返し、製氷システムソフト「データトラッキング制御」のデータ採取を行い、組み込みソフトの開発に取り組んだ。

平成 23 年度は製氷用組み込みソフト「データトラッキング制御」設計、製作。平成 22 年度に試作した二重管方式の製氷用熱交換器の改良型を搭載した漁船搭載用オンサイト型海水氷製氷機【改良型プロトタイプ機】を製作した。

本改良型プロトタイプ機を既存のサンマ漁船に搭載し、8 月よりの実操業に於いて能力、性能、耐久性等の洋上実証試験を行い 3 ヶ月と短期間であったが支障無く稼働することができ、実用機としての機能を十分備えていることが実証出来た。同時にサンマ漁船に搭載した改良型プロトタイプ機にて漁獲時より低温管理による鮮度保持試験実施した際、活きの良さを表わす K 値についても高鮮度な分析結果が出ており、また流通を模擬した実証試験で東京築地市場、台湾台北へ送り評価を頂いた際には、魚の張りの良さ、肌艶の良さ、賞味感覚等で高い評価を頂いた。平成 24 年度はオンサイト型海水氷製氷機開発の際に目標とした原海水塩分濃度(0～飽和塩水)、氷含有率(0～50%)、のうち低塩濃度(限りなく 0%)では開発した製氷機では安定した製氷運転することが難しいことが判明した。低塩分濃度での運転を可能とするためマイクロバブル導入を考案しその効果を実験的に調べた。マイクロバブルの導入による実験結果の考察から氷の剥離力低減が可能であることが実証出来た。今後は実際の製氷用熱交換器での効果を検証し適用を検討していく予定である。

以上のように、本事業は所期の目的をほぼ達成し、成功裏に終えることができ、さらに実用商用機の開発へ向け多くの知見が得られた。

## 付 録

### 専門用語説明

#### 1. 【シャーベット状海水氷】、【海水氷】

海水を凍らせて造る氷。海水の塩分濃度含有率による氷点降下の関係から一般的には $-2^{\circ}\text{C}\sim-3^{\circ}\text{C}$ と零点より温度が低い。また、シャーベット状とは数十ミクロンから数百ミクロンの氷固体粒子と液体の懸濁液。ここでは、非凍結海水と凍結析出した氷の結晶混合物。

#### 2. 【鮮度斑】

魚の活きの良さ、腐敗の程度バラツキの意味

活きの良さは一般的にはK値で表わしている、漁獲時 $10 < K$ 、刺身用 $20 < K$ 、調理、加工用 $20\sim 60 < K$ 、60以上は腐敗していると言われている。

腐敗の程度とは細菌による鮮度落ちの事。

#### 3. 【データトラッキング制御】

ここでは、シャーベット状海水氷の生成を最適制御するために必要な各種プロセスデータ（海水温度、流量塩分濃度等）の変化を逐次適に追跡（トラッキング）して、これから独立した入力情報を基に制御対象となる目的関数に併せて製氷熱交換器の温度条件や攪拌条件等を総合的に最適化する手法をデータトラッキング制御と称する。

#### 4. 【オンサイト型】

その場でという意味。本件では、漁船に搭載し漁場の船の上で製氷できるタイプ（型）の意味。

#### 5. 【最適性状氷】

魚種、魚体に合わせた高鮮度、高品質保持に適した氷の状態

#### 6. 【cohesive 剥離】

氷結晶が破断する剥離

#### 7. 【adhesive 剥離】

伝熱面表面から氷結晶全体が滑る剥離

#### 8. 【スクレーパー】

熱交換器内管表面で回転し、生成氷を剥ぎ取る羽根

9. 【ATP】

生体が筋肉を動かす時のエネルギー源となる物質。アデノシン三リン酸の略。

10. 【K値】

水揚げ後の処理と保管の鮮度変化を食品的、生化学的に評価する指標値であり、初期ATP量に対するATPの最終分解性生物量の比で表す。高鮮度ほど値が小さい。

11. 【海水シャーベット法】、【シャーベット氷処理】

シャーベット状海水氷を用いて魚介類を漁獲時より急速冷却し、苦悶死を防止することによる高鮮度保持処理のこと。また、魚体をシャーベット状氷で覆い低温保持すること。