

## 【技術紹介】

# 過冷却水方式の製氷技術を用いた水産業への事業開発※

江田真英

## Business Development in the Fishing Industry with Ice Making Technology using Super-cooled Water

Masahide Eda

高砂熱学工業株式会社は、蓄熱式空調用冷熱源設備向けに、過冷却水方式の製氷技術を用いたダイナミック型氷蓄熱システム「スーパーアイスシステム：SIS®」を開発し、種々の建物の熱源設備に納入してきた。この製氷技術を応用して、水産業向けシャーベットアイス製氷・供給システム「スーパーアイスシステムーハイフレッシュネス：SIS-HF®」を開発し、水産業への事業展開に着手した。事業展開に際しては、製氷機の納入に留まらず、実際の水産現場でシャーベットアイスによる鮮魚の急速冷却効果、低温維持効果、および鮮度保持効果を定量的に評価してきた。それらの結果、遠隔地から都市圏への輸送や、海外輸出など鮮魚が消費者に届くまでに長時間を要する流通においても、鮮魚の低温と高鮮度が維持されることで、水産物の付加価値向上につながることを確認した。

### 1. はじめに

水産物の鮮度保持・高鮮度流通の実現のためには、漁獲から流通の各過程での低温管理が必須となる。シャーベットアイスは、それに含まれる氷粒と冷却対象物との接触面積が大きく、冷却対象物を急速に冷却することができる。

高砂熱学工業株式会社（以下、当社）は蓄熱式空調用冷熱源設備向けに、水の過冷却現象を利用したシャーベット状の水を生成するダイナミック型氷蓄熱システム「スーパーアイスシステム：SIS®」を開発し、地域冷暖房施設、商業施設、事務所ビル等、種々の建物の熱源設備に納入してきた。

2016年に、この製氷技術を応用した水産物の高鮮度保持・流通に活用する水産業向けシャーベットアイス製氷・供給システム「スーパーアイスシステムーハイフレッシュネス：SIS-HF®」を上市し、水産業への事業展開に着手した。

本報では、SIS-HF®の水産用途特有の機能、それにより製造されるシャーベットアイスの水産現場での活用事例、および鮮魚に対する低温維持と高鮮度保持の定量評価を説明する。さらに定量評価に基づいて、水産事業者の販路拡大を支援し、顧客の価値向上への貢献を目指す事業展開に向けた当社の取り組みについて説明する。

### 2. SIS-HF®の水産用途特有の機能

水産用途のシャーベットアイスには、一度に多量の水産物を冷却できる冷熱量と対象魚種に応じた最適な温度が求められる。加えて、空調用途での間接熱媒体としての利用とは異なり、シャーベットアイスを直接接触させて水産物の冷却を行うために、供給タンクから取り出すための流動性と利用場所までの配管搬送による供給が求められる。また、一日のシャーベットアイス利用量が海況の影響を受ける漁獲量に応じて変動することから、長時間貯水時の保冷機能も必要となる。さらに、産地市場では入場する関係業者の水需要に対して、シャーベットアイスの販売（計量と課金をする）機能が必要となる。ときには海岸直近に機器を設置することから、塩害等厳しい環境下においても機器を安定稼働する必要があり、遠隔にて機器の稼働状況を常時監視しながら、問題の予兆があれば予防措置を講ずる

「※建築とエネルギー, Vol.61, (2020年)<sup>1)</sup>とBE建築設備, 6月号, (2019年)<sup>2)</sup>を複合し再掲」

事が可能であることが望ましい。なお、従来のブロックアイス製氷設備と比較して省エネルギー性が高いことも重要になる。

このような水産向けのシャーベットアイス製氷設備に対するニーズを具現化した SIS-HF<sup>®</sup>のシステム構成の概略を図 1 に示す。SIS-HF<sup>®</sup>は、製氷、製氷タンク、供給タンクの各ユニット、シャーベットアイス供給配管、およびシャーベット課金装置で構成されており、以下の 6 つの特長的機能を有している。

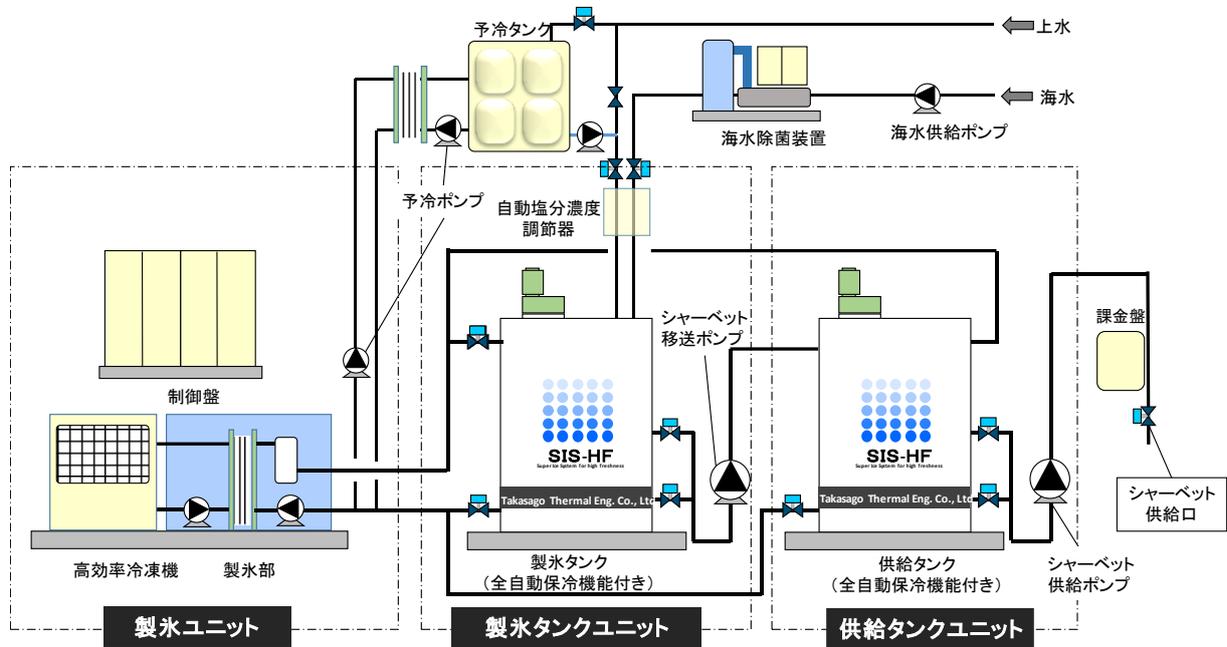


図 1 SIS-HF<sup>®</sup>のシステム構成

## 2.1 広範囲塩分濃度での 50%までの高濃度製氷

図 2 に SIS-HF<sup>®</sup>と、他のシャーベットアイス製氷装置の製氷部の概略を示す。冷却面に生成する氷結晶を剥離する「かきとり方式」では、製氷原水の塩分濃度が低くなると氷結晶が冷却面から剥離し難くなるため、安定製氷可能な塩分濃度の範囲は制約される。

「過冷却水方式」を採用する SIS-HF<sup>®</sup>では、製氷部に流入する過冷却海水に超音波の衝撃を付与することでシャーベット状の氷に相変化させて製氷を行う。これにより、製氷原水の塩分濃度に影響されることなく、対象魚種に適した温度のシャーベットアスを 50%の高い氷濃度まで安定して製氷できる。

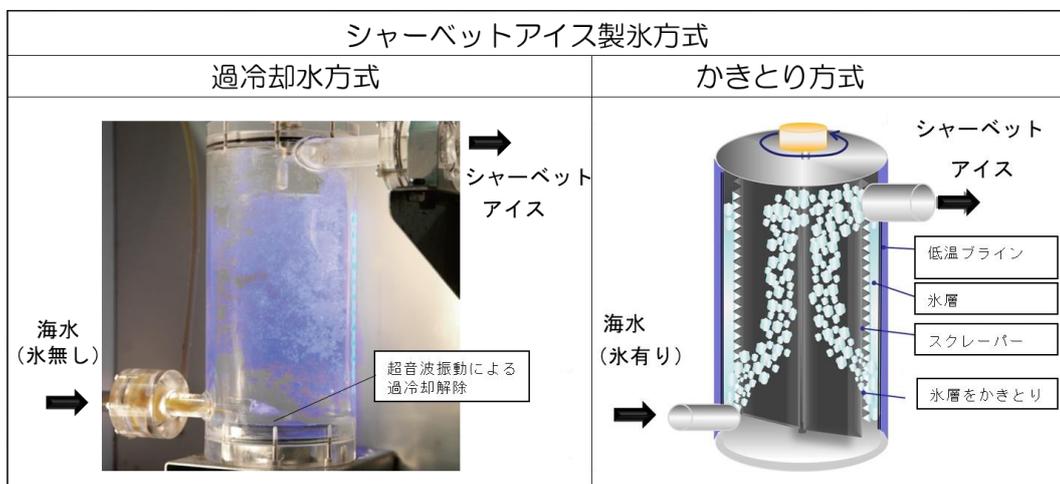


図 2 シャーベットアスの製氷方式 (「SIS-HF<sup>®</sup>」の製氷方式(左)と従来方式(右))

## 2.2 高い流動性と長距離輸送

製氷および供給タンク内のシャーベットアイスは、その流動性を維持するために常に攪拌されている。過冷却水方式で生成される氷結晶粒はきめ細かく、氷結晶粒周囲は塩分膜で覆われておりなめらかなため、高い氷濃度でも攪拌によって流動性が維持できる。

SIS-HF<sup>®</sup>は、この高い氷濃度での流動性を利用して、汎用の渦巻きポンプによる長距離搬送が可能である。このことで供給タンクから任意の利用場所までの配管搬送により、氷運搬作業の省力化を図ることができる。

## 2.3 製氷タンクと供給タンクの自動保冷機能

製氷後にシャーベットアイスを貯えるタンクは、外気とタンク内との温度差による熱貫流と日射による熱負荷を受ける。そのため長時間の貯氷ではタンク内の氷が融解してシャーベットアイスの氷濃度が低下する。そこで SIS-HF<sup>®</sup>は、タンク内のシャーベットアイスの氷濃度が所定値以下になることを検知して、再度製氷運転を行い、一定の範囲で高い氷濃度を維持する自動保冷機能を有している。

## 2.4 シャーベットアイスの課金供給

水産現場では製氷設備を所有する顧客内での利用だけでなく、関連業者（例えば産地市場では、生産者や仲卸業等）にシャーベットアイスを販売・供給することで、水揚げ後の鮮度を保持したまま、鮮魚を小売り店舗や消費者へ輸送する高鮮度輸送を実現している。

SIS-HF<sup>®</sup>では、当社独自開発のシャーベットアイス課金装置が備えられている。この課金装置では、利用者に貸与するカードキーの I.D. により利用者ごとのシャーベットアイス使用量を集計・課金することで販売管理を行うことができる。

## 2.5 遠隔監視システム

SIS-HF<sup>®</sup>は遠隔による監視システムを有しており、常時稼働状況を確認することができる。図 3 および写真 1 に SIS-HF<sup>®</sup>Web 監視システムのパソコン画面、スマートフォンによる監視状況の様子をそれぞれ示す。機器不具合の予兆があれば予防措置を実施できる他、万が一異常運転が発生した場合にも迅速な対応が可能であり、機器の安定稼働に寄与している。



図 3 SIS-HF<sup>®</sup> Web 監視システム

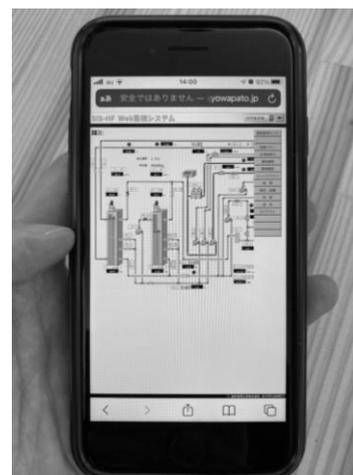


写真 1 スマートフォンによる監視状況

## 2.6 省エネルギー性

当社シャーベットアイス製氷設備「SIS-HF<sup>®</sup>」と一般的なブロックアイス製氷機の製氷能力あたりの導入コスト、製氷効率（製氷 COP）、および製氷コストの一例を表 1 に示す。

導入コストについては、従来のブロックアイス製氷設備は、製氷設備用建屋・貯氷用冷凍庫等が必要であり 70～200

百万円/(ton/日)となる。これに対して、SIS-HF®は専用建屋が不要であり、貯氷・保冷機能を有するため貯氷用冷凍庫等の付帯設備も不要となる。このため従来設備に比べて設置規模が小さくなり、導入コストは約 10 百万円/(ton/日)である。製氷コストの面では、ブロックアイス製氷では-20℃程度の低温冷媒を使用した製氷方式となっており、製氷施設には大型の冷凍機が必要になるため製氷コストは電気代、水道代を入れて 1,790 円/ton となる。SIS-HF®で採用している冷凍機は、一般的に空調でも使用されるような-6℃程度の冷媒を使用した製氷方式であるため、冷凍機自体の省エネルギー性が高く製氷コストは 1,080 円/ton(氷濃度 50%S.I)となり、より安価に製氷できる。また、SIS-HF®は完全自動化されているため運用上の人件費が不要となる。このようにシャーベットアイス製氷設備（当社 SIS-HF®）は、従来のブロックアイス製氷設備と比較して省エネルギー性が高いと評価できる。

表 1 シャーベットアイス製氷機の導入・製氷コスト比較

	シャーベットアイス製氷設備 (当社「SIS®-HF」)	ブロックアイス製氷設備 (従来式)
製氷能力あたりの導入費 百万円/ (ton/日)	10	70~200
冷凍機 冷媒温度	-6℃程度	-20℃程度
製氷効率※1	2.1	1.48 <sup>3)</sup>
製氷コスト (電力料金+水道料金)※2 円/ton	1,080(氷濃度 50%S. I.)	1,790

※1：製氷のための「冷却熱量/投入エネルギー」

※2：製氷原水温度 29℃からの製氷、電力従量料金 15 円/kWh、水道料金 500 円/m<sup>3</sup>時

### 3. 水産現場での活用事例

SIS®-HF を導入した平戸魚市株式会社（以下、平戸魚市）でのシャーベットアイスを利用した高鮮度保持の取組みについて紹介する。

#### 3.1 漁獲・水揚げ時の急速冷却

巻網漁船等にシャーベットアスを積載し、漁獲直後にシャーベットアイスへの浸漬冷却に利用している。写真 2 に魚体の冷却状況を示す。これにより漁獲時の高鮮度を保持した状態での産地市場への水揚げが可能となる。さらに水揚げ後の選別時にシャーベットアイスへの浸漬を行うことで、魚体の低温を維持した状態で競り時まで保管できる。

#### 3.2 競り時の低温維持

競り時には、水産物が直接外気に晒されることになる。写真 3 に競り中の低温維持状況を示す。このときの魚体の温度上昇による鮮度劣化を防ぐために、シャーベットアスを利用して魚体全体をムラなく覆うことで均一に冷却し、低温維持することができる。

#### 3.3 流通時での低温維持

輸送時の魚体保冷を目的に、脱水シャーベットアイスが用いられている。写真 4 に脱水シャーベットアイスによる流通状況を示す。雪状の脱水シャーベットアイスによって魚体全体を覆うことにより、魚体に傷が付くことなく、また上記で述べたような魚体全体を均一に低温維持したまま輸送することが可能となっている。

以上の取り組みで、平戸魚市では輸送可能地域の拡大へと繋がっており、近年では、九州の最西端に位置する平戸魚市から東京都内の飲食店への高鮮度輸送も実施している。



写真2 シャーベットアイスによる魚体冷却状況



写真3 競り中の低温維持状況



写真4 脱水シャーベットアイスによる流通状況

## 4. 鮮魚に対する冷却と鮮度維持効果

### 4.1 急速冷却効果の定量評価

シャーベットアイスへの浸漬による急速冷却効果の例として、アジを用いて魚体芯温の経時変化を調べた結果を図4に示す。-1.5℃、氷濃度50%のシャーベットアイスに体重約150gのアジを浸漬し、魚体芯部に挿入した温度センサで芯温の経時変化を測定した。図4のようにシャーベットアイスに浸漬した直後から芯温が急速に低下し、9分後には鮮度保持効果のある5℃まで、38分後には0℃まで低下した。氷濃度50%と高濃度のシャーベットアイスへの浸漬冷却では、氷粒が魚体をムラ無く包み込むことにより高い冷却効果が得られることがわかった。

### 4.2 輸送時の低温維持と鮮度保持効果の定量評価

鮮魚輸送時の低温、鮮度保持効果の例として、脱水シャーベット（シャーベットアイスから水分を抜いた雪状の氷）でアジを覆い冷蔵保管した際の、K値と魚体芯温の経時変化を図5に示す。

ここでK値とは、水産物の生化学的な鮮度評価指標であり、一般的にK値20%未満が生食可能、20%~40%が可食（要加熱調理）、60%以上が腐敗状態の目安とされている。<sup>4)</sup>

この検証では、まず活アジをシャーベットアイスに1時間浸漬し、魚体芯温が約-1℃になるまで急速冷却した。その後、脱水シャーベットを敷いた発泡容器内にアジを入れ、さらに脱水シャーベットで魚体を覆った上で、冷蔵輸送を想定して冷蔵庫内に保管し、K値と魚体芯温の経時変化を測定した。なお、発泡容器を保管した冷蔵庫内温度は、2℃から4℃の間で変動した。図5からわかるように、アジの魚体を脱水シャーベットで覆うことで、魚体芯温が-1℃~0℃に維持され、保管開始から5日間が経過してもK値は13%程度と生食可能範囲にあった。

このように生食可能時間を拡大することにより、産地から消費地への輸送距離の拡大に寄与できる。また、小売店舗での販売期間の延長で、店舗での廃棄率の低減が可能となり、水産資源の有効活用にもつながる。

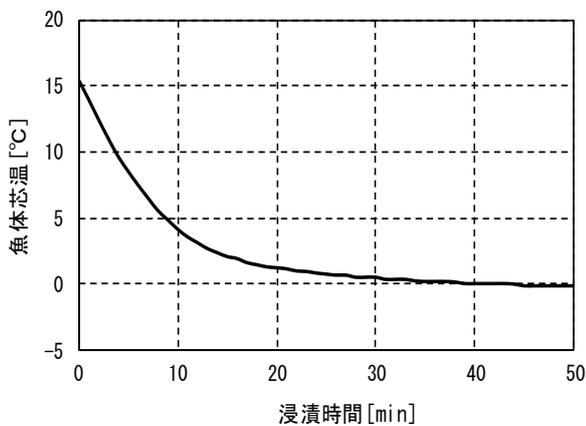


図4 シャーベットアイス浸漬によるアジの芯温変化

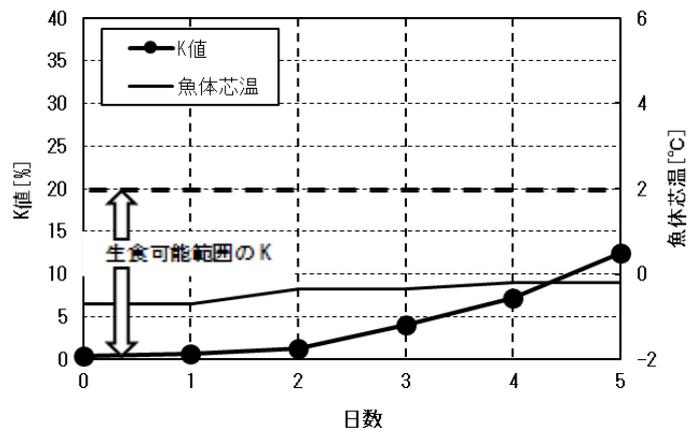


図5 脱水シャーベット保蔵によるアジのK値変化

## 5. 顧客価値向上への取り組み

当社では、単に水産向けシャーベットアイス製氷機を顧客に提案、導入するだけでなく、顧客の価値向上の観点に立ち、顧客と一体となって、導入前の高鮮度保持等の効果検証と導入後の水産物販路拡大に関わる支援に注力している。具体例として、当社が実施してきたシャーベットアイスによる急速冷却、鮮度保持効果の定量評価、および海外高鮮度流通、販路拡大の取り組みについて紹介する。

2019年3月に、沖縄県国頭漁業協同組合との協業で、ムロアジを沖縄からシンガポールへ空輸し、シャーベットアスの有効性を検証した。水揚げ直後にシャーベットアイスへの浸漬で急速冷却し（写真5）、その後、脱水シャーベットで魚体を覆い（写真6）、発泡スチロール容器で国頭漁業協同組合の冷蔵庫で保管した。翌日に那覇空港までの陸送後、シンガポールまで空輸した。

図6に、水揚げ～冷蔵保管～陸送～那覇空港～空輸～シンガポールに至るまでの発泡スチロール容器周囲温度と魚体芯温の経時変化を示す。図6のように魚体芯温は、水揚げ直後のシャーベットアイス浸漬で約1℃まで低下し、24時間の冷蔵保管中には0℃を維持した。輸送過程では、外気温度は各工程で変動するものの、輸送開始から29時間後のシンガポールの店舗到着時まで1℃以下を維持し、鮮魚の温度管理の目安となる4℃を大幅に下回っていた。

このように、水揚げ後にシャーベットアイスへの浸漬で魚体芯温を十分に下げ、保管、流通過程では脱水シャーベットを用いることで、海外向けの長時間輸送も可能なことを実証した。

以上のような高鮮度保持、流通の定量的な検証結果と併せて、国内の小売業者や海外のバイヤが魚体の状態を直接確認する機会を設けることにも顧客との協業で取り組んでいる。

これらの結果として、SIS-HF®を導入した長崎県の産地市場では販路、取引先の拡大、青森県の漁業協同組合では首都圏への高品質出荷と魚価の向上につながっている。また、SIS-HF®導入を検討している沖縄県の漁業協同組合では、シンガポールへの定期的な商業輸送の販路を開拓した。



写真5 水揚げ直後のシャーベット浸漬冷却



写真6 脱水シャーベットによる輸送

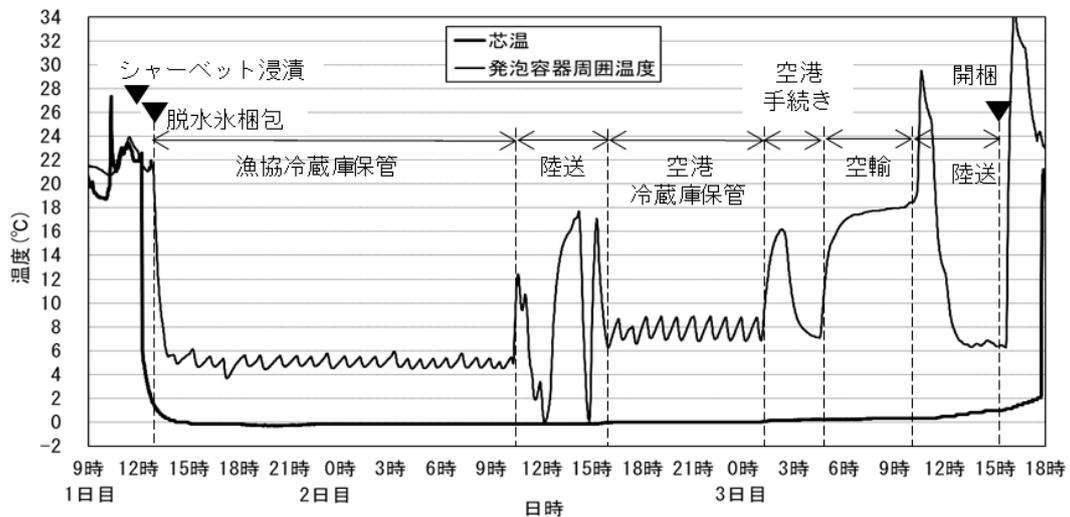


図6 ムロアジの沖縄からシンガポールへの輸送試験結果

## 6. おわりに

本報では、当社の空調用蓄熱式熱源設備向けのダイナミック型製氷技術を基にした、水産業向けのシャーベットアイス製氷機 SIS-HF®の機能と、シャーベットアイスを用いた鮮魚の高鮮度保持の定量評価による顧客価値向上に向けた当社の取り組みについて紹介した。

今後、顧客との協業による、高鮮度保持の市場評価、販路拡大等を支援する事業展開をさらに推進することで、顧客価値の向上、ひいては水産資源の有効利用、国内水産業の持続的な発展に貢献していきたい。

## 謝 辞

本成果は、当社 SIS 事業室の業務に関わる水産関係者の皆様のご協力の結果得られたものです。関係各位に御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 万尾達徳:過冷却解除方式製氷技術による水産業へのビジネス展開, 建築とエネルギー, Vol.61, (2020 年).
- 2) 江崎功浩:過冷却解除型製氷技術による水産向けシャーベットアイス製氷設備, 月刊 BE 建築設備, 6 月号, (2019 年).
- 3) 長岡順吉:冷凍の原理とその応用, 共立出版, P233, (1966 年) (改新版 1 刷発行)
- 4) 小関聡美, 北上誠一, 加藤登, 新井健一:魚介類の死後硬直と鮮度(K 値)の変化 海一自然と文化, Vol.4, No.2, pp.31-46, (2006 年).

## ABSTRACT

A dynamic type ice storage system called "Super Ice System: SIS®", by using super-cooled water for air conditioning had been developed by Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. This ice making technology have been applied to fishery industry for starting business development. It is called "Super Ice System for High Freshness : SIS-HF®". In developing the business, my department members and I quantitatively evaluated the effects of sherbet-like ice for rapid cooling, low temperature maintenance, and high freshness maintenance of the fish at actual fishery sites. In addition to the introduction of ice machines. As a result, even in areas where it takes long time for fresh fish to reach consumers, (ex. transportation from remote areas to metropolitan areas and overseas exports), the low temperature and high freshness of fresh fish where maintained. We expect that it will lead to an increase in the value of marine products and also, an increase in the income of fishermen.

---