

技術開発報告書

遠洋鮪はえ縄漁船省エネルギー凍結

日新興業株式会社



# 技術開発報告書

## I 課題名

遠洋鮪はえ縄漁船省エネルギー凍結

## II 実施主体名

日新興業株式会社

## III 技術開発の内容

### 1 目的

遠洋鮪はえ縄漁船では、漁獲されたまぐろを急速に凍結する目的で最終到達庫内温度 $-65^{\circ}\text{C}$ の管棚式凍結装置に搬入・設置し空冷凍結をおこなっている。しかしながら、空冷凍結は冷却効率が悪く、凍結点までの到達時間が長い他、超低温下での運転は冷凍機効率（冷凍能力／冷凍機動力）が悪く、エネルギーロスが生じている。この対策としてブライン浸漬式凍結装置の利用が考えられる。ブライン浸漬式で凍結をおこなう場合、被凍結品に対し熱伝達率が大きくなり、凍結の進行は急速で、肉質の色艶と色持ちが良くなり、ドリップやシミが少なく食味が限りなく生に近いと言われている。ブライン浸漬式凍結装置でのまぐろ凍結の試みは昭和40年代前半から昭和60年代前半にかけてブラインに塩化カルシウム水溶液を使用して行なわれているが、結果は省エネ効果は実証されたものの塩化カルシウム独特の苦味と身割れ防止のための均温処理がネックとなり普及には至らなかった。この試みの際に、身割れはブライン温度が $-30^{\circ}\text{C}$ 以下の場合に多く発生することが確認されていることから、 $-30^{\circ}\text{C}$ 以内で大きな冷熱を保有する苦味のないブラインでの実用化が示唆されていた。

今回の開発の目的は、苦味のないアルコールブラインを微細な氷を含むスラリーアイス状としたブライン浸漬式凍結システムを導入し、従来のブラインの冷熱源である顕熱に氷の潜熱を付加することによりブラインの保有する冷熱量を大幅に大きくすることで、凍結初期から凍結終了までブライン温度を上昇させることなく常時 $-30^{\circ}\text{C}$ 付近を維持し、従来の管棚式凍結システム（ $-60\sim-65^{\circ}\text{C}$ ）と同等の品質が得ながら、従来の管棚式凍結システムと比較し、冷却温度が $20\sim30^{\circ}\text{C}$ 上昇することによる、冷凍機の冷却効率（成績係数 COP）の大幅な上昇、及び付属機器の発熱の減少による省エネルギーシステムを開発することにある。

### 2 技術開発の概要

#### (1) 技術開発の内容

遠洋鮪はえ縄漁船向けの凍結装置としてスラリーアイスを含むアルコールブライン浸漬式凍結装置を試作し、従来の管棚式凍結システムと比較し、省エネルギーとなるこ

とを検証する。この検証にあたり、本事業終了後に本システムを速やかに普及させることを目的として、第一段階として陸上でのシステム検証をおこない、その結果を元に詳細検討を加えた船上システムを構築し、第二段階として福德丸（気仙沼）殿の御協力を得て実際に遠洋鮪はえ縄漁船に本システムを装備し、洋上試験により本システムの優位性を実証する。以上を踏まえ平成 20 年度は第一段階の検証をおこなった。具体的には下記の項目について表Ⅲ.2-1 の工程で検証をおこなった。

- ・ システム確認(製氷状態、氷濃度自動調整状態、槽内の温度分布状態)
- ・ まぐろの凍結速度の確認
- ・ 凍結工程でのブライン目減り量、濃度変化の状態の確認
- ・ ブライン汚濁による製氷機効率低下度合いの確認
- ・ 凍結まぐろの品質確認
- ・ 消費電力の計測・比較
- ・ アルコールブラインの安全な運用方法と管理方法の検討
- ・ 実際の船上での作業手順と作業効率を加味した凍結槽の検討

表Ⅲ.2-1 事業工程概

項目	8月		9月		10月		11月		12月		1月		2月		3月	
	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
1 システム詳細検討、資料収集																
① 試験システム詳細	←															
② 関連資料収集																
2 試験装置製作																
① スラリーアイス製造装置				←	手配・設計	→	製作・設置									
② 凍結槽				←	手配・設計	→	製作・設置									
③ 計測機器類			←	手配	→											
3 実証試験																
① 製氷状態、特性の確認																
② 氷濃度自動調整状態の確認																
③ 槽内温度分布の確認																
④ 鮪凍結速度、消費電力の確認																
⑤ 凍結時のブライン特性の確認																
⑥ 装置への汚濁影響度の確認																
4 計測データ解析と船舶搭載計画の検討																
① 計測データ解析																
② 船用凍結槽の検討																
③ 凍結作業手順の検討																
④ ブライン管理方法の検討																
⑤ ブラインの安全運用方法の検討																
⑥ 洋上試験システムの検討																
⑦ 評価																◎
5 とりまとめ																

(2) 技術開発の方法（手法）

ア システム検討

(ア) スラリーアイスの特徴

スラリーアイスとは、雪のような微細な氷とブラインが混合した液体で、滑らかに流れる氷である。スラリーアイス中の氷は 0.1mm 程度の球状をしている。

図Ⅲ.2-1 にスラリーアイスの外観を示す。

まぐろの凍結にスラリーアイスを採用した理由は下記の通りである。



図Ⅲ.2-1 スラリーアイスの外観

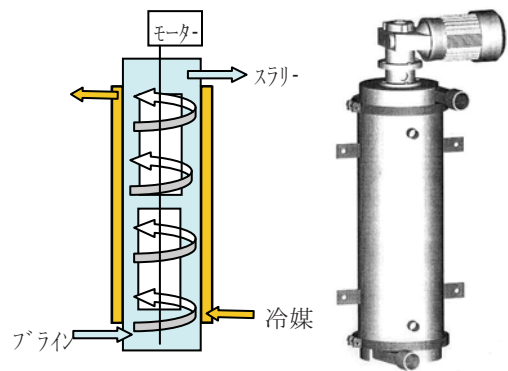
①氷を含むブラインであることから大きな冷熱を保有しており、従来のブライン浸漬法でみられる漁獲物を投入した際のブライン温度上昇が大幅に抑えられ、中ムレや不均一冷却が発生しにくい。また、凍結初期に必要な大量の冷熱を予め凍結槽内に蓄熱できるため、装置を小型化できる。

②液体接触での凍結は空気接触での凍結より熱伝達が良いため、空気冷却時よりも高い温度で同等の冷却速度を得ることができる。

これらの特徴から、現在の凍結方法と比較した場合ランニングコストの削減が期待できる。

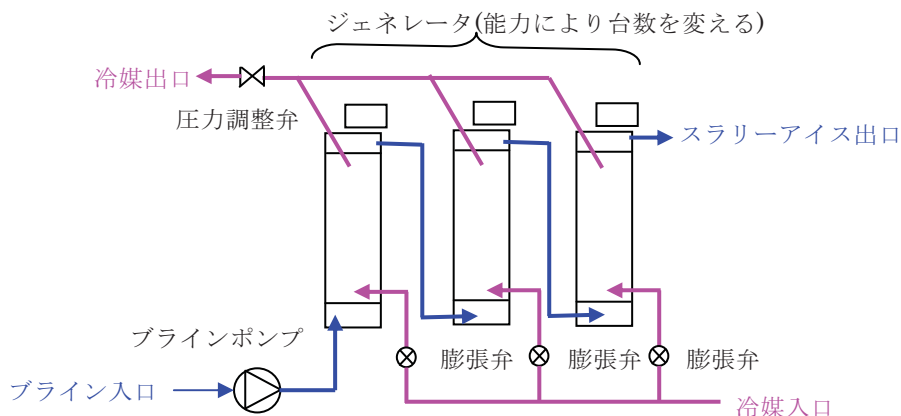
### (イ) スラリーアイス製造装置の概要

スラリーアイスを製造する機器はアイスジェネレータ（氷発生機）と呼ばれており、ポンプで供給されるブラインを、冷凍機から供給される冷媒によって熱を奪い氷を発生させている。アイスジェネレータの構造は数種類あるが、漁船に搭載されているものは主に「二重管方式」と呼ばれる構造のものであり、その概略図を図Ⅲ.2-2に示す。この構造のアイスジェネレータは氷発生部が二重管になっており、外管と内管の隙間に冷媒を供給して蒸発させ、内管を冷却する。内管内にはブラインが供給されており、内管内面に氷が発生する。内管内部にはスクレーパーが設置されており、これが回転することにより内管内面で発生した氷をブライン中に取り込む。



図Ⅲ.2-2 アイスジェネレータ

アイスジェネレータは製氷能力により7タイプ用意されているが、何れもアイスジェネレータの断面構造は同じで長さを変えることにより製氷能力を変えている。最も製氷能力が大きいアイスジェネレータで製氷能力が足りない場合は台数を増やして対応する。(図Ⅲ.2-3参照)



図Ⅲ.2-3 スラリーアイス製造部の機器構成

(ウ) 凍結温度の検討

凍結時に維持するブライン温度は、褐変防止と身割れ防止の観点から検討した。

褐変防止については、1964年から1970年にかけて東海区水産研究所でおこなわれた冷凍まぐろ肉の諸試験の報告より、下記の所見を得た。

- ①漁獲物を冷凍保存する場合、超急速凍結をおこなうことは有効であるが、まぐろのような大型魚の場合表面の熱伝達より肉部の熱伝導率の影響が大きい<sup>1)</sup>ため、凍結速度を速くするには限界がある<sup>1)</sup>。
- ②凍結時に褐変が最も進行する温度帯は $-4^{\circ}\text{C}$ から $-7^{\circ}\text{C}$ であり、この温度帯の通過時間を短くすることが効果的である<sup>2)</sup>。
- ③凍結状態で1年間貯蔵した場合、冷蔵温度が $-20^{\circ}\text{C}$ のものは著しい褐変が認められたが、冷蔵温度が $-35^{\circ}\text{C}$ のものはメト化率が20から35%の範囲であり、肉の赤色が良好に保たれた<sup>3)</sup>。

以上より、褐変を防止するために凍結速度を速くすべき温度帯は $-4^{\circ}\text{C}$ から $-7^{\circ}\text{C}$ であり、その速度は現在褐変がよく防止されている管棚式凍結装置と同等であればよく、 $-20^{\circ}\text{C}$ から $-35^{\circ}\text{C}$ 以下までの品温低下は数日かかっても褐変の原因とはならないといえる。

また身割れ防止については、1981年の小川顧問の報告<sup>4)</sup>より、下記の所見を得た。

表Ⅲ.2-2 身割れ発生率

- ①身割れの発生率は、ブライン温度と魚種

等により大略表Ⅲ.2-2のとおりとなる。

- ②身割れは脂質の多いものほど少ない。
- ③ブライン凍結で発生する身割れは背骨と腹側のため、品質上は致命傷ではない。

以上より、ブラインの上限温度は $-30^{\circ}\text{C}$ であるといえる。

これらの点から、本システムでの凍結方法はブライン温度 $-30^{\circ}\text{C}$ で魚体中心温度 $-25^{\circ}\text{C}$ まで凍結することとした。

ブライン温度	魚種	
	キハダ	メバチ
$-30^{\circ}\text{C}$	30%	5%
$-35^{\circ}\text{C}$	65%	10~15%
$-40^{\circ}\text{C}$	100%	20%

(エ) ブラインの検討

ブラインには種々なものがあり、いずれのブラインでもスラリーアイスを製造することは可能であるが、本システムではまぐろを直接投入するため、食品添加物として比較的多めの量の添加が認められているブラインに限られる。

この点から候補に残るブラインは、塩化ナトリウム、塩化カルシウム、及びエタノールである。この内、塩化ナトリウムは最低凍結点が $-21^{\circ}\text{C}$ であることから除外される。これらのブラインの主要物性値を表Ⅲ.2-3に示す。

表Ⅲ.2-3 ブラインの主要物性

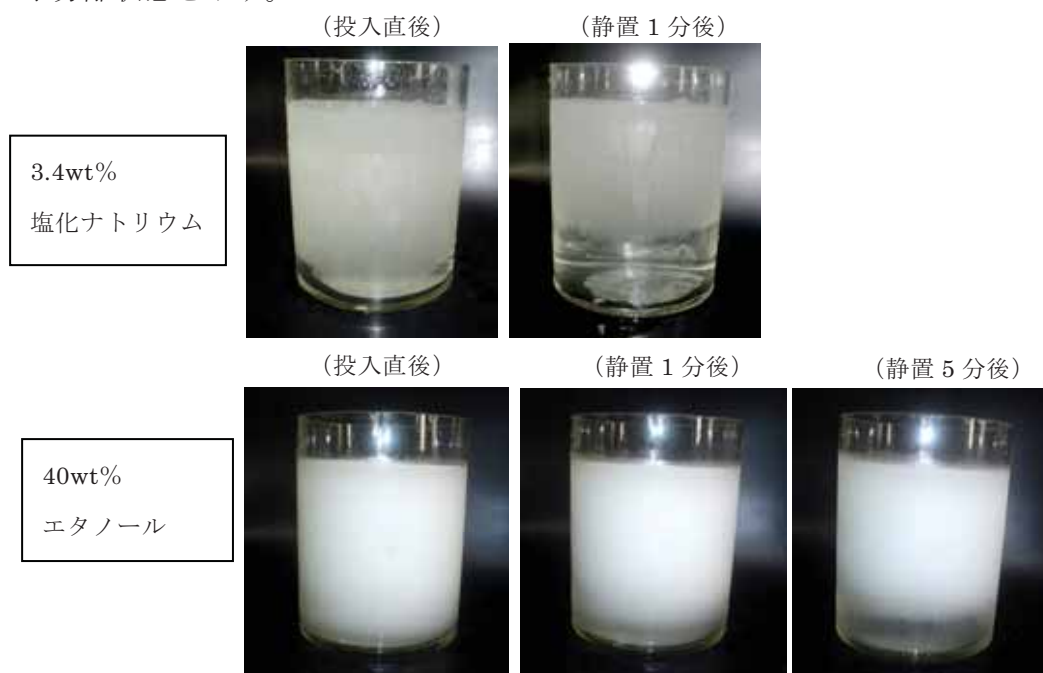
ブラインの種類	-30℃の濃度	粘度 mPa·s	比熱 kJ/Kkg	比重 kg/m <sup>3</sup>
塩化ナトリウム	不可(最低温度-21℃)			
塩化カルシウム	25wt%	14.0	2.76	1240
エタノール	40wt%	58.3	3.38	969

表Ⅲ.2-3 には記載していないが、通常凍結に使用される塩化ナトリウムブラインの比重は 1186kg/m<sup>3</sup>、氷の比重 920kg/m<sup>3</sup> は凍結前のまぐろの比重は 1080 kg/m<sup>3</sup> である。

塩化カルシウムとエタノールを比較した場合、粘度の面では塩化カルシウムのほうが優れているが、エタノールは比熱が大きく、蓄熱の面では優れている。

また、比重を見ると、塩化カルシウムの場合まぐろの比重より重いいため、まぐろを投入した際にまぐろが浮いてしまうが、エタノールはまぐろの比重よりも軽いいため、投入したまぐろは沈み、浸漬凍結しやすいメリットがある。

更に、スラリーアイスの弱点のひとつに静置した場合の氷の分離がある。これは氷とブラインの比重差によるもので、スラリーアスを魚倉などで貯めた場合、比重の軽い氷が上部に分離し、表面の氷濃度が濃くなり漁獲物を投入しにくくなるだけでなく、底部に氷が存在しなくなるため著しい温度差を生じる。エタノールの場合、氷との比重差が著しく少なくなるため、分離しにくくなり、また分離後も僅かな動力での攪拌で再び均一なスラリーアイスとすることが可能となる。図Ⅲ.2-4 に 3.4wt%塩化ナトリウムブラインのスラリーアイス（液相比重 1025 kg/m<sup>3</sup>）と 40wt%エタノールブラインのスラリーアイス（液相比重 969 kg/m<sup>3</sup>）の氷分離状態を示す。



図Ⅲ.2-4 スラリーアイスの氷分離状況

比較には、氷と液相の比重差の少ない 3.4wt%塩化ナトリウムブラインを使用したが、塩化ナトリウムの場合、ブラインを透明容器に投入した直後から分離が始まり、1分後には下部4割程度が氷のない状態にまで分離したが、エタノールブラインの場合は分離が遅く、投入から1分経過しても下部に僅かに液相が見える程度であり、投入から5分後でも氷がない相は下部2割程度であった。

以上より本システムのブラインは、蓄熱性能の良さと微細氷の良好な拡散特性の点から優れるエタノール水溶液とした。

#### (オ) 氷濃度の検討

スラリーアイスはブライン中の水分のみを氷として析出させているため、含有する氷濃度が濃くなるに従い、液相のブラインは濃縮され濃度が濃くなっていく。スラリーアイスの温度は液相ブライン濃度の凍結点となるため、氷濃度が変化するとスラリーアイス温度も変化する。スラリーアイス製造前のブライン濃度と氷濃度毎のスラリーアイス温度の関係を表Ⅲ.2-4に示す。表中の楕円で囲った範囲が-30℃の範囲になる。

表Ⅲ.2-4 氷濃度とブライン温度の関係

氷濃度 (wt%)	エタノール濃度(wt%)										
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0	-21.0	-22.1	-23.1	-24.2	-25.2	-26.3	-27.3	-28.2	-29.2	-30.1	-31.0
1	-21.3	-22.4	-23.5	-24.5	-25.6	-26.6	-27.6	-28.6	-29.6	-30.5	-31.4
2	-21.6	-22.7	-23.8	-24.9	-25.9	-27.0	-28.0	-29.0	-29.9	-30.8	-31.7
3	-22.0	-23.1	-24.2	-25.2	-26.3	-27.3	-28.4	-29.3	-30.3	-31.2	-32.1
4	-22.3	-23.4	-24.5	-25.6	-26.7	-27.7	-28.7	-29.7	-30.6	-31.5	-32.4
5	-22.7	-23.8	-24.9	-26.0	-27.1	-28.1	-29.1	-30.1	-31.0	-31.9	-32.8
6	-23.0	-24.2	-25.3	-26.4	-27.4	-28.5	-29.5	-30.4	-31.4	-32.3	-33.1
7	-23.4	-24.5	-25.7	-26.7	-27.8	-28.9	-29.9	-30.8	-31.7	-32.6	-33.5
8	-23.8	-24.9	-26.0	-27.1	-28.2	-29.2	-30.2	-31.2	-32.1	-33.0	-33.8
9	-24.1	-25.3	-26.4	-27.5	-28.6	-29.6	-30.6	-31.6	-32.5	-33.4	-34.2
10	-24.5	-25.7	-26.8	-27.9	-29.0	-30.0	-31.0	-32.0	-32.9	-33.7	-34.5
11	-24.9	-26.1	-27.2	-28.3	-29.4	-30.4	-31.4	-32.3	-33.2	-34.1	-34.9
12	-25.3	-26.5	-27.6	-28.7	-29.8	-30.8	-31.8	-32.7	-33.6	-34.4	-35.2
13	-25.7	-26.9	-28.0	-29.1	-30.2	-31.2	-32.2	-33.1	-34.0	-34.8	-35.6
14	-26.1	-27.3	-28.4	-29.5	-30.6	-31.6	-32.6	-33.5	-34.3	-35.2	-35.9
15	-26.6	-27.7	-28.9	-30.0	-31.0	-32.0	-33.0	-33.9	-34.7	-35.5	-36.3
16	-27.0	-28.2	-29.3	-30.4	-31.4	-32.4	-33.4	-34.2	-35.1	-35.9	-36.6
17	-27.4	-28.6	-29.7	-30.8	-31.8	-32.8	-33.7	-34.6	-35.4	-36.2	-37.0
18	-27.8	-29.0	-30.1	-31.2	-32.2	-33.2	-34.1	-35.0	-35.8	-36.6	-37.3
19	-28.3	-29.4	-30.6	-31.6	-32.7	-33.6	-34.5	-35.4	-36.2	-36.9	-37.6
20	-28.7	-29.9	-31.0	-32.1	-33.1	-34.0	-34.9	-35.8	-36.5	-37.3	-38.0
21	-29.2	-30.3	-31.4	-32.5	-33.5	-34.4	-35.3	-36.1	-36.9	-37.6	-38.3
22	-29.6	-30.8	-31.9	-32.9	-33.9	-34.8	-35.7	-36.5	-37.3	-38.0	-38.7
23	-30.1	-31.2	-32.3	-33.4	-34.3	-35.2	-36.1	-36.9	-37.6	-38.4	-39.1
24	-30.5	-31.7	-32.8	-33.8	-34.7	-35.6	-36.5	-37.2	-38.0	-38.7	-39.4
25	-31.0	-32.1	-33.2	-34.2	-35.1	-36.0	-36.8	-37.6	-38.4	-39.1	-39.8
26	-31.5	-32.6	-33.6	-34.6	-35.6	-36.4	-37.2	-38.0	-38.7	-39.5	-40.2
27	-31.9	-33.0	-34.1	-35.1	-36.0	-36.8	-37.6	-38.4	-39.1	-39.9	-40.7
28	-32.4	-33.5	-34.5	-35.5	-36.4	-37.2	-38.0	-38.8	-39.5	-40.3	-41.1
29	-32.9	-34.0	-35.0	-35.9	-36.8	-37.6	-38.4	-39.2	-39.9	-40.7	-41.6
30	-33.4	-34.4	-35.4	-36.3	-37.2	-38.0	-38.8	-39.6	-40.4	-41.2	-42.2

液温-30℃の範囲

まぐろの凍結では、約 40℃の鮪を投入する凍結初期に一時的に大量の冷熱が必要となる。

通常のブライン浸漬式凍結ではブラインの保有冷熱が少ないため付属のブライン冷却装置により冷熱を補給するが、初期に必要な大量の冷熱に対処しきれないためブライン温度が上昇し、凍結状態を悪くする一因になっている。従って、スラリーアイスの氷濃度をこの初期のブライン温度上昇分の冷熱を氷のみで補える氷濃度とすることとした。

凍結初期に上昇するブライン温度は一般に 7～10℃であるので、この上昇分の冷熱を算出し氷濃度を決定する。

【検討条件】 エタノール比熱：3.379kJ/kgK

エタノール潜熱：268kJ/kg

エタノール重量：1kg

温度差：10K

【検討結果】 温度上昇分の熱量＝3.379kJ/kgK×10K×1kg＝33.79kJ

必要氷量＝33.79kJ÷268kJ/kg÷0.126kg

氷濃度＝0.126kg÷1kg×100＝12.6%

冷凍システムで温度制御をおこなう場合、デファレンシャルは 2℃程度必要となり、2℃はエタノールブラインの場合氷濃度差約 5wt%に相当する。

したがって、必要となる氷濃度 12.6wt%を中心として幅 5wt%とした場合、制御氷濃度は 10～15wt%で制御すればよいことになる。

また、温度制御範囲は-30℃を中心に±1℃となるため、-29～-31℃の制御となる。これらの条件と表Ⅲ.2-4 より初期ブライン濃度は 34wt%となる。

#### (カ) まとめ

以上の諸検討より、本システムの基本制御方法を下記の通りとした。

初期ブライン濃度 = 34wt%

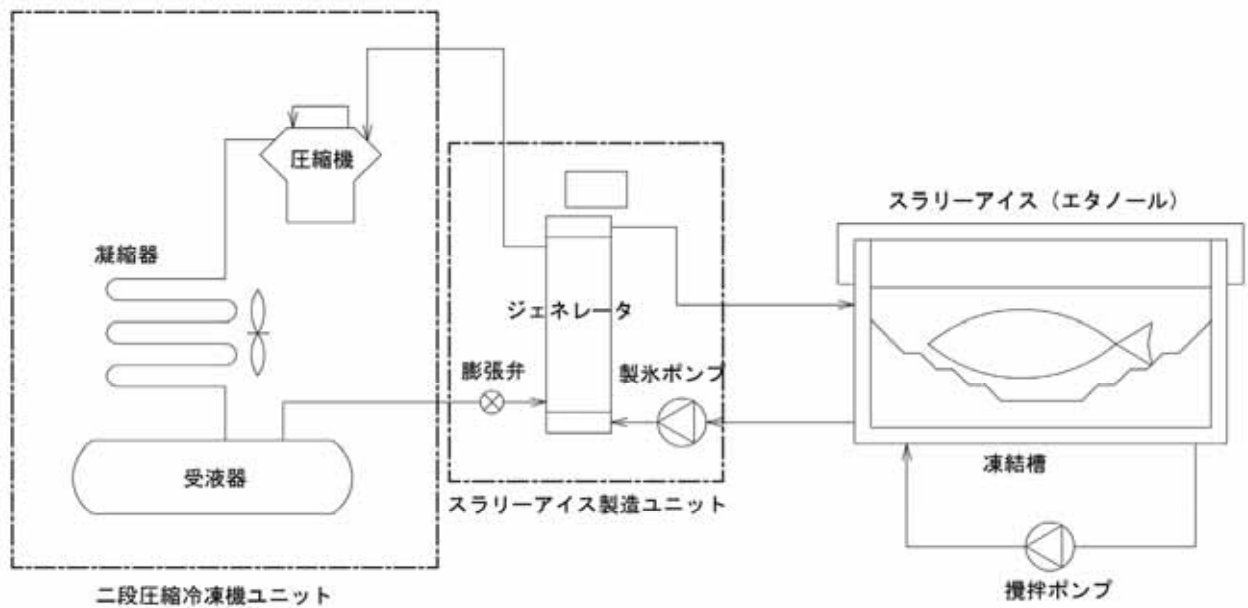
冷凍装置制御温度 = -29℃で ON、-31℃で OFF

制御氷濃度 = 10wt%～15wt%

#### イ 試験装置の詳細

##### (ア) システム概要

試験装置のシステム概要を図Ⅲ.2-5 に示す。圧縮機は低温域で効率のよい二段圧縮式を採用、凝縮器は装置のハンドリングを考慮し空冷式を採用した。また、製氷ポンプの他に凍結槽内のブライン温度分布を均一にするために攪拌ポンプを設置した。



図III.2-5 試験装置のシステム概要

また、各機器の仕様は下記の条件で決定した。

・まぐろの条件

品種	メバチマグロ	
比重	(凍結前) 1067.86 kg/m <sup>3</sup>	(凍結後) 1015.38kg/m <sup>3</sup>
比熱	(凍結前) 3.308kJ/kgK	(凍結後) 1.934kJ/kgK
熱伝導率	(凍結前) 0.722W/mK	(凍結後) 1.084W/mK
潜熱	219.73kJ/kg	
凍結点	-1.5℃	
凍結時間	12hr	
初温	40℃	
終温	-25℃	
凍結数	3尾	
重量	30kg/尾	

・エタノールブラインの条件

濃度	34wt%
比重	973.9 kg/m <sup>3</sup>
比熱	3.902kJ/kgK
凍結点	-25.2℃

・その他

外気温	30℃
-----	-----

(イ) 凍結槽の決定

想定したまぐろの凍結数より、下記の通り最小スペースを算出した。

・想定凍結数 30kgのまぐろ3尾

・まぐろ標準寸法 (30kg)

体長 1.24m

体高 0.30m

体幅 0.25m

・凍結槽必要内寸 (まぐろ寸法+約0.2m)

長さ 1.4m

幅 (3尾) 1.1m

高さ 0.5m 必要内容積 : 0.77 m<sup>3</sup>

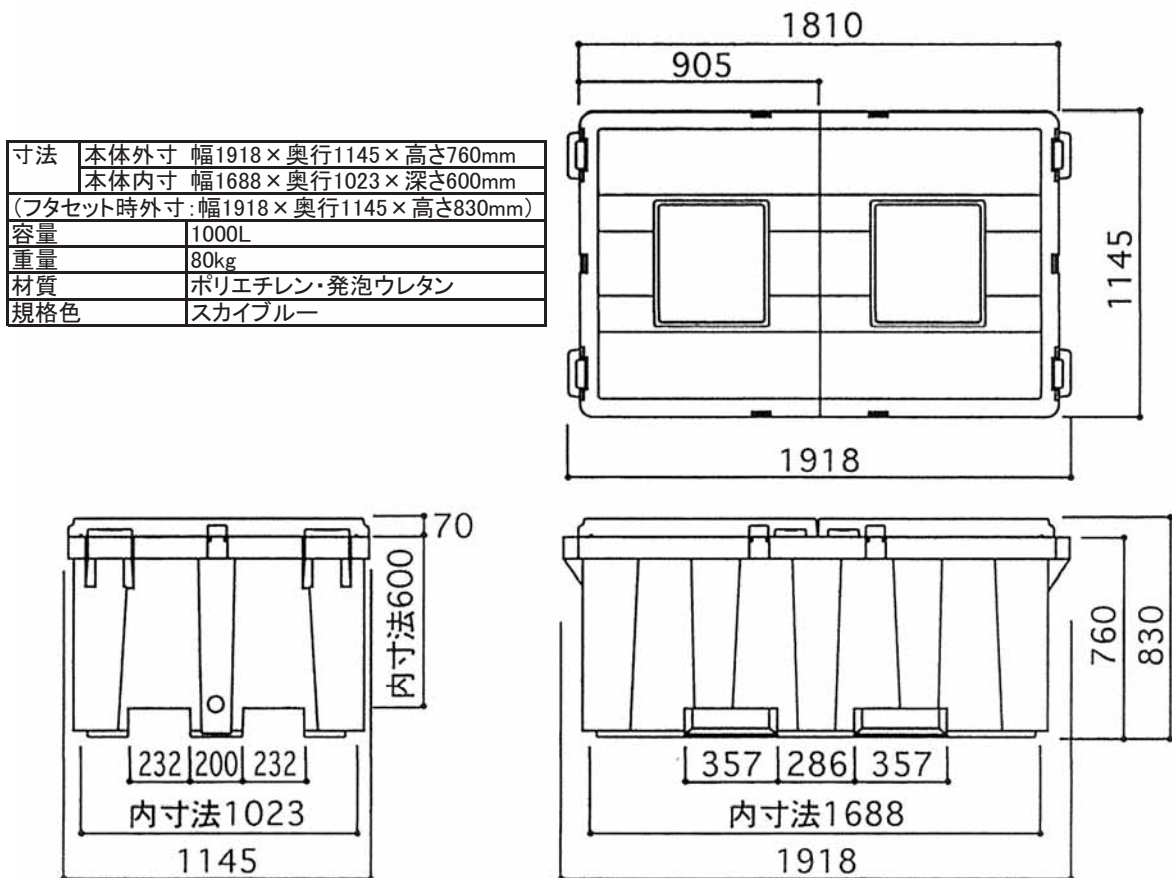
又、凍結槽の断熱仕様は下記の通りとした。

種類 発泡ウレタン

熱伝導率 0.03W/mK

厚み 0.05m

以上の結果より決定した凍結槽を図III.2-6に示す。



図III.2-6 凍結槽の詳細

(ウ) 凍結槽内ブライン量の算出

ブラインの液面高さを 0.4m とし、必要ブライン量を算出した。

- ・凍結槽内寸 幅 = 1.688m  
奥行き = 1.023m  
(液高さ) = 0.4 m
- ・有効容積  $1.688 \times 1.023 \times 0.4 \div 0.69073 \text{ m}^3$
- ・まぐろ容積  $30 \times 3 \div 1068 \div 0.085 \text{ m}^3$
- ・必要ブライン量  $0.69073 - 0.085 = 0.60573 \text{ m}^3$   
 $973.9 \times 0.60573 = \underline{\underline{589.9\text{kg}}}$

(エ) 凍結負荷計算

① 凍結槽侵入熱

- 外気 30°C
- 内部 -30°C
- 表面積  $2 \times (1.81 \times 1.145 + 1.18 \times 0.83 + 1.145 \times 0.83) = 9.0502 \text{ m}^2$
- 厚み 0.05 m
- 熱伝導率 0.029W/mK
- 外面 11.63W/m<sup>2</sup>K
- 内面 116.3W/m<sup>2</sup>K
- 総括伝達  $1 / (1/11.63 + 0.05/0.029 + 1/116.3) \div 0.550 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 侵入熱  $0.550 \times 9.05 \times (30 + 30) \div 298.65 \text{ W}$

② 鮪負荷

- 重量 90kg (3尾)
- 凍結負荷  $(3.308 \times (30 + 1.5) + 219.73 + 1.934 \times (1.5 + 25)) \times 90$   
 $\div 33,766 \text{ kJ}$
- 凍結時間 12hr
- 冷凍能力  $33,766 / 12 / 3600 = 0.782 \text{ kW}$

③ ポンプ負荷

$$0.75 \text{ kW} \times 2 = 1.5 \text{ kW}$$

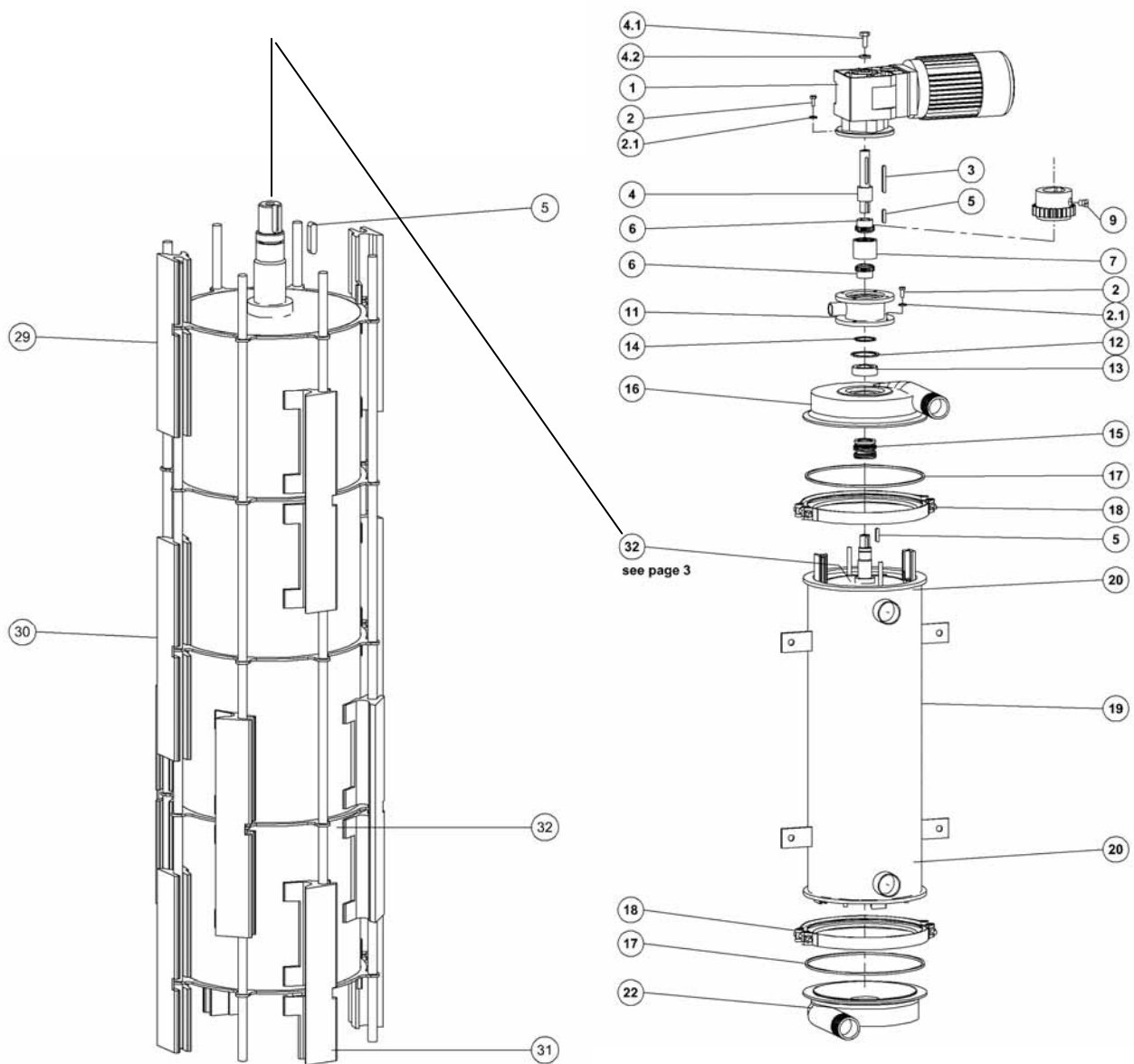
④ 負荷合計 (凍結槽以外の熱ロスを全負荷の 10% とする)

$$(0.299 + 0.782 + 1.5) \times 1.1 = \underline{\underline{2.839 \text{ kW}}}$$

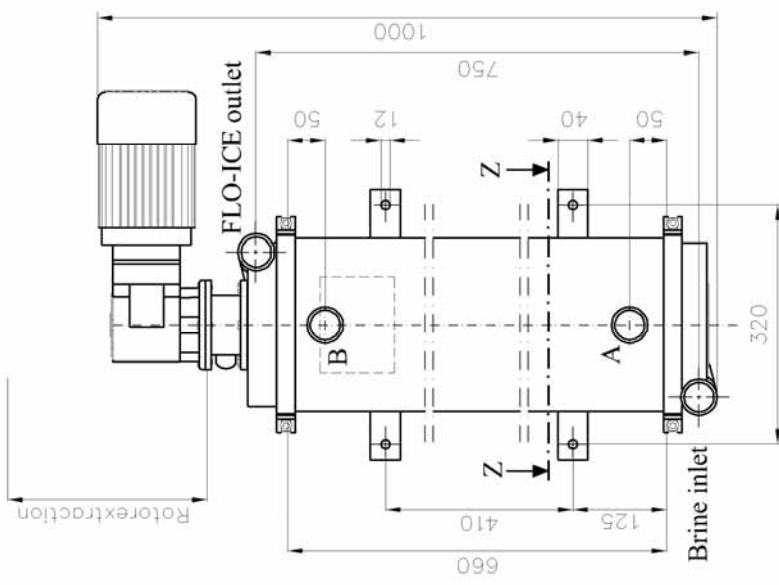
以上の結果から、アイスジェネレータは 3.84kW の能力をもつ 100T 型を選定、圧縮機はアイスジェネレータに対応した能力をもつ E7R-75UP-60 を選定した。

(オ) アイソジェネレータの詳細

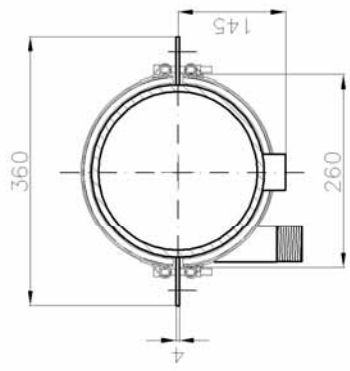
アイソジェネレータは本システムの心臓部にあたる。分解図を図Ⅲ.2-7に、  
外形図を図Ⅲ.2-8に示す。



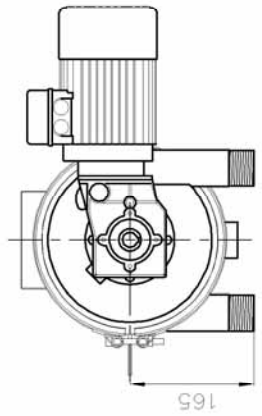
図Ⅲ.2-7 アイソジェネレータ分解図



Room needed for Rotoretraction: 850mm  
 Gearmotor can be rotated in intervals of 90°  
 Waterinlet and outlet have no restrictions in rotation



Sectional-View "Z-Z"



Topview

Brine inlet	R 1 1/2"
FLO-ICE outlet	R 1 1/2"
Refrig. connection (A and B)	1 1/2" (Ø 48.3 x 2.6mm)
Weight (incl. Gear Motor)	75 kg

# Generator DWT 100T



Tank06\_100.DWG 12.11.2002

図Ⅲ.2-8 アイスジェネレーター外形図

本アイスジェレータを本システム装備した場合の、予測される運転時間は下記の通りとなる。

- ①予冷時間 初温 30℃  
 終温 -31℃  
 氷濃度 15%  
 比熱 3.902kJ/kgK  
 潜熱 275.92kJ/kg  
 ブライン量 589.9 kg

予冷負荷  $(3.902 \times (30+31) + 275.92 \times 0.15) \times 589.9 \div 164,824 \text{ kJ}$

予冷時間  $164,824 \div 3.84 \div 3600 = \underline{11.9\text{hr}}$

②凍結時の運転状態

凍結に使用する氷濃度=5% (15%から 10%で維持させる)

水量  $589.9 \times 0.05 = 29.495\text{kg}$

冷熱  $29.495 \times 275.92 = 8138.26\text{kJ}$

凍結負荷 2.839kW

運転時間  $(8138 / (3.84 - 2.839)) \times 60 \div 3600 = \underline{134 \text{ 分}}$

停止時間  $(8138 / 2.839) \times 60 \div 3600 = \underline{48 \text{ 分}}$

合計 182 分

(カ) 試験装置の仕様

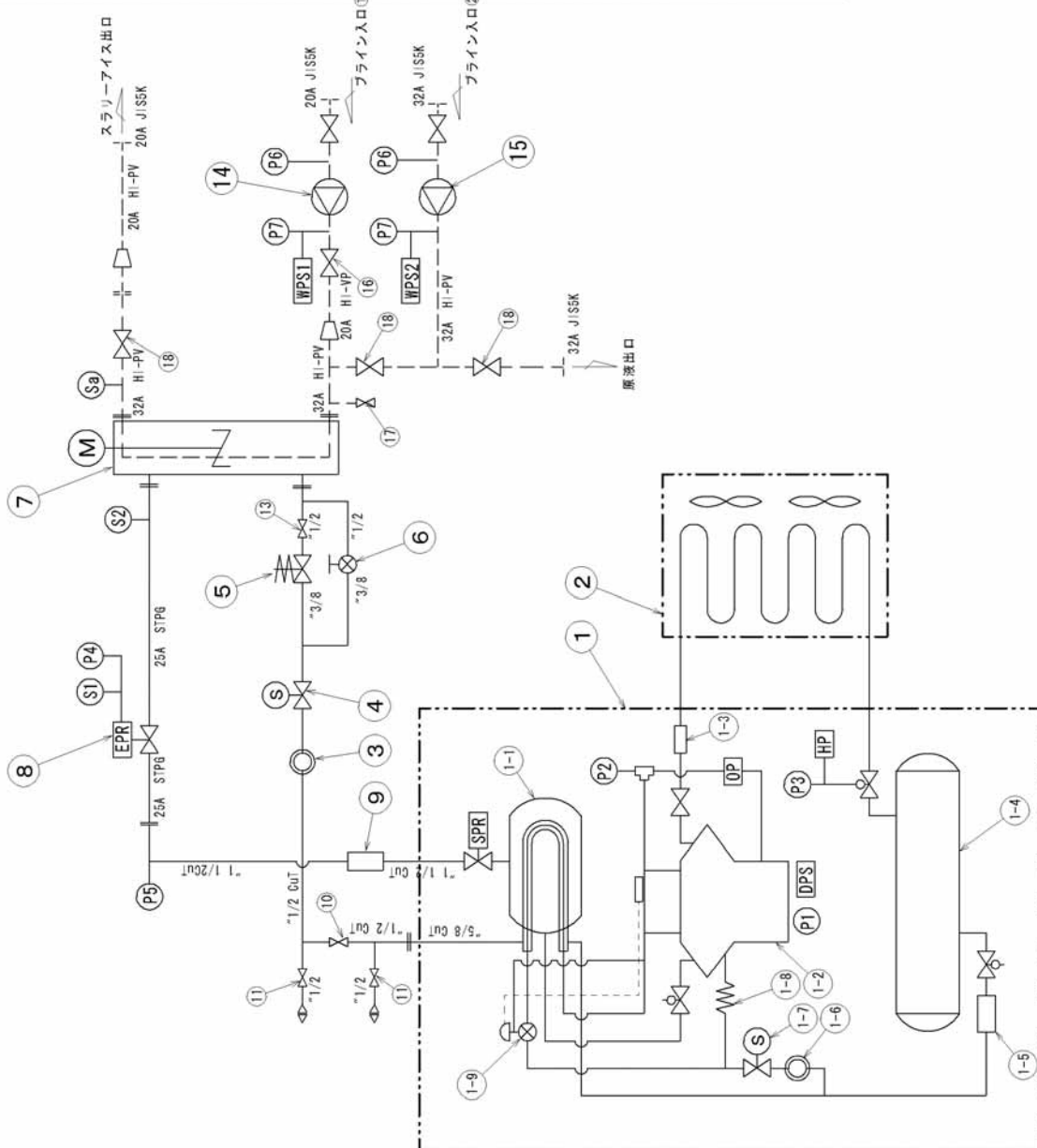
以上の検討結果より、本試験で製作する試験装置の仕様は表Ⅲ.2-5 となった。

表Ⅲ.2-5 試験装置仕様一覧

型式	N I F 2 - 1 0 0 1 S P		製氷ポンプ	型式	15KED04Z
外形寸法	一体ユニット	W1900×D1550×H1620	攪拌ポンプ	能力	18 ㍈/min×10m
	・製氷ユニット	W1040×D900×H1200		消費電力	0.75KW
製品重量	一体ユニット	約 700kg		台数	1 台
	・製氷ユニット	約 250kg		保護装置 断水スイッチ	SNS-C106×2 台
電源	三相 AC200V×60Hz		ユニット内付属機器	給液電磁弁	REV-1004BXF×1 個
ユニット消費電力	10.0kW			コントローラー	NMC-3V2L×1 台
冷媒	R 2 2			電子膨張弁	AKV10-5×2 台
コンデンシングユニット	R10-10空冷式半密閉レシプロ二段圧縮機			蒸発圧力調整弁	PM1-15×1 台
	型式	E7-75UPA-60+RM-55K		パワーメーター	AKW7111, AKW4803C, AKS1202
	消費電力	7.5 kW + 0.22kW			
	能力	7.0 kW (CT=35℃, ET=-40℃)			
アイスジェネレーター	台数	1 台			
	型式	DWT 100T			
	能力	3.8kW (3,300kcal/h/1基)			
	消費電力	0.75 kW			
	台数	1基			

尚本試験装置は、圧縮機ユニット以外は第二段階の洋上試験でも使用できるよう、製氷ユニット部のみ分離できる構造としている。試験装置の系統図を図Ⅲ.2-9に、一体ユニットの外形図を図Ⅲ.2-10に、製氷ユニットの外形図を図Ⅲ.2-11に示す。

品番	品名	材質	数量	備考
1	二段圧縮ユニット		1	E7-75JPA, 7.5kW
1-1	アツキユムレータ		1	18 $\frac{1}{2}$
1-2	圧縮機		1	FB-31SST-60
1-3	マフラ		1	(圧縮ユニット付属品)
1-4	受液器		1	48 $\frac{1}{2}$ 、可溶粉付
1-5	ドライヤ		1	(圧縮ユニット付属品)
1-6	サイトグラス		1	(圧縮ユニット付属品)
1-7	中間電磁弁		1	(圧縮ユニット付属品)
1-8	キャビティフィルター		1	高吸吸入 $\frac{1}{2}$ 、カクシヨ用
1-9	中間膨張弁		1	(圧縮ユニット付属品)
SPR	吸入圧力調整弁		1	(圧縮ユニット付属品)
DPS	高低圧カススイッチ		1	(圧縮ユニット付属品)
OP	油圧スイッチ		1	※配管当社所掌
HP	高圧スイッチ		1	受液器用
P1	低圧圧力計		1	(圧縮ユニット付属品)
P2	中間圧力計		1	(圧縮ユニット付属品)
P3	高圧圧力計		1	(圧縮ユニット付属品)
2	空冷コンデンサ		1	RM-55K
3	サイトグラス		1	MSGP-4Y, $\frac{1}{2}$
4	給液電磁弁		1	REV-1004BXF, $\frac{1}{2}$
5	電子膨張弁		1	AKV10-5
6	手動膨張弁		1	YE3-434
7	ジェネレータ		1	DWT 100T
8	蒸発圧力調整弁		1	PM1-15, 25A
9	サクションストレーナ		1	※圧縮ユニット付属品
10	止め弁		1	YN-44
11	止め弁		2	YN-44
12				
13	止め弁		1	YN-44
14	原液供給ポンプ		1	15KED04Z, 0.56kW
15	原液循環ポンプ		1	40PSPZ-7533B, 0.75kW
16	流量調整弁		1	125型ゲート弁、FR20A
17	トレン弁		1	77型ゲート弁、FR20A
18	止め弁		3	125型ゲート弁、FR32A
S1	圧力センサー		1	AKS32, -1/6BAR
S2	温度センサー		1	AKS21, L=5m
P4	蒸発圧力計		1	BHV1/4x75x-0.1~2MPa
P5	低圧圧力計		1	BHV1/4x75x-0.1~2MPa
P6	ポンプ吸入圧力計		2	BT3/8x75x-0.1~0.25MPa
P7	ポンプ吐出圧力計		2	BT3/8x75x-0.1~0.25MPa
WPS1	供給ポンプ断水スィッチ		1	SNS-C102
WPS2	循環ポンプ断水スィッチ		1	SNS-C102
Sa	温度センサー		1	RD-11C-048150FC47



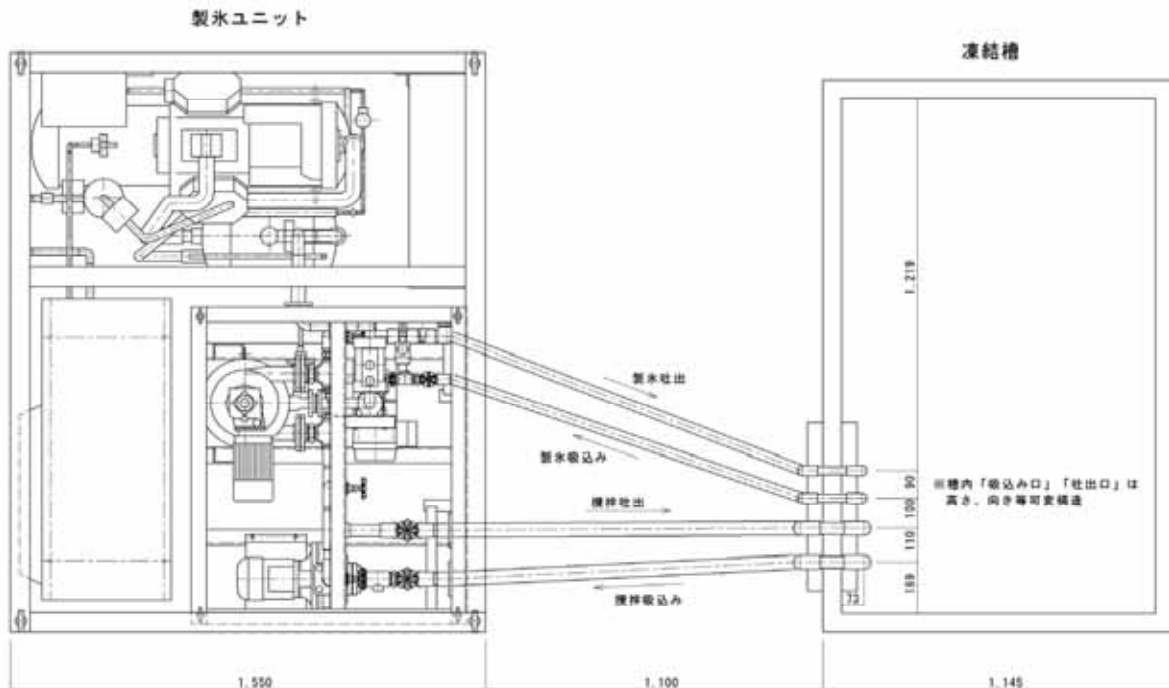
図III.2-9 試験装置





(キ) スラリーアイス製造装置と凍結槽の配置状態

スラリーアイス製造装置と凍結槽の配置状態を図Ⅲ.2-12 に示す。両者の接続はブライン配管のみで、製氷用配管が 2 本（吸入、吐出）、攪拌用配管が 2 本（吸入、吐出）、計 4 本をブレードホースで接続し、厚み 20mm の防熱をおこなった。



図Ⅲ.2-12 製造装置と凍結槽の接続状

(ク) 各種センサーの設置状況

試験中の各部の状況を把握するために、温度センサー、圧力センサー、及び電力計を設置し、データロガー、及び PC で計測をおこなった。尚、本システムの冷凍装置には総合冷媒制御コントローラーを採用しており、温度センサーの一部と圧力センサーの計測値はこのコントローラーを介して PC に取り込んだ。各計測機器の概要を以下に記載する。また、凍結槽の温度センサー設置状態を図Ⅲ.2-13 に、製氷装置の温度センサーと圧力センサーの設置状態を図Ⅲ.2-14 に、製氷装置の電力計設置状態を図Ⅲ.2-15 に示す。

### ①温度センサー

設置箇所に応じて下記 2 種類のセンサーを使用した。

- (熱電対) 種類：T 型  
仕様：クラス 2、シース無し
- (測温抵抗体) 種類：Pt1000Ω  
仕様：シース付

### ②圧力センサー

設置箇所の圧力に応じて下記 2 種類のセンサーを使用した。

- (高圧用) ダンフォス製、AKS32、1～5V 出力、-1～20bar 用
- (低圧用) ダンフォス製、AKS32、1～5V 出力、-1～6bar 用

### ③電力計

- ・本体 エコパワーメータ、KW7M (パナソニック製)  
定格入力 AC200～240V×60Hz  
測定項目 瞬時電力、積算電力、各相電圧、各相電流  
出力 オープンコレクタ、100mA、DC30V  
通信 RS485
- ・センサ AKW4803C、定格 1 次側電流 250V
- ・信号変換器 KS1 (パナソニック製)  
定格操作電圧 DC24V  
信号変換仕様 RS485→Ethernet

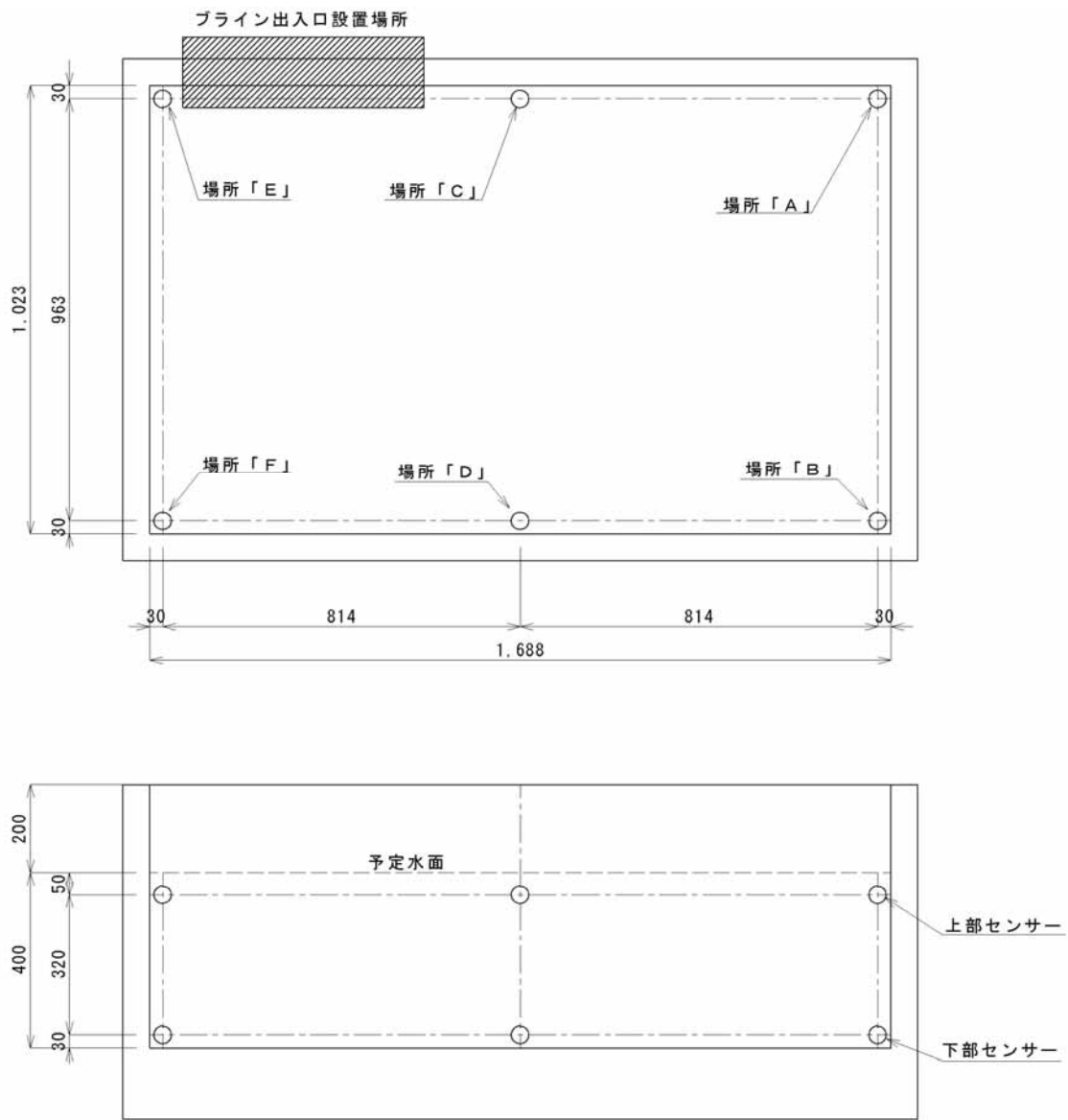
### ④総合冷媒制御コントローラー

- ・型式 NMC-3V2L (弊社製)
- ・電源 AC100V、60Hz
- ・入力 圧力センサー (AKS32)、温度センサー (Pt1000Ω)
- ・出力 RS485
- ・その他 膨張弁出力、リレー出力

### ⑤データローガー

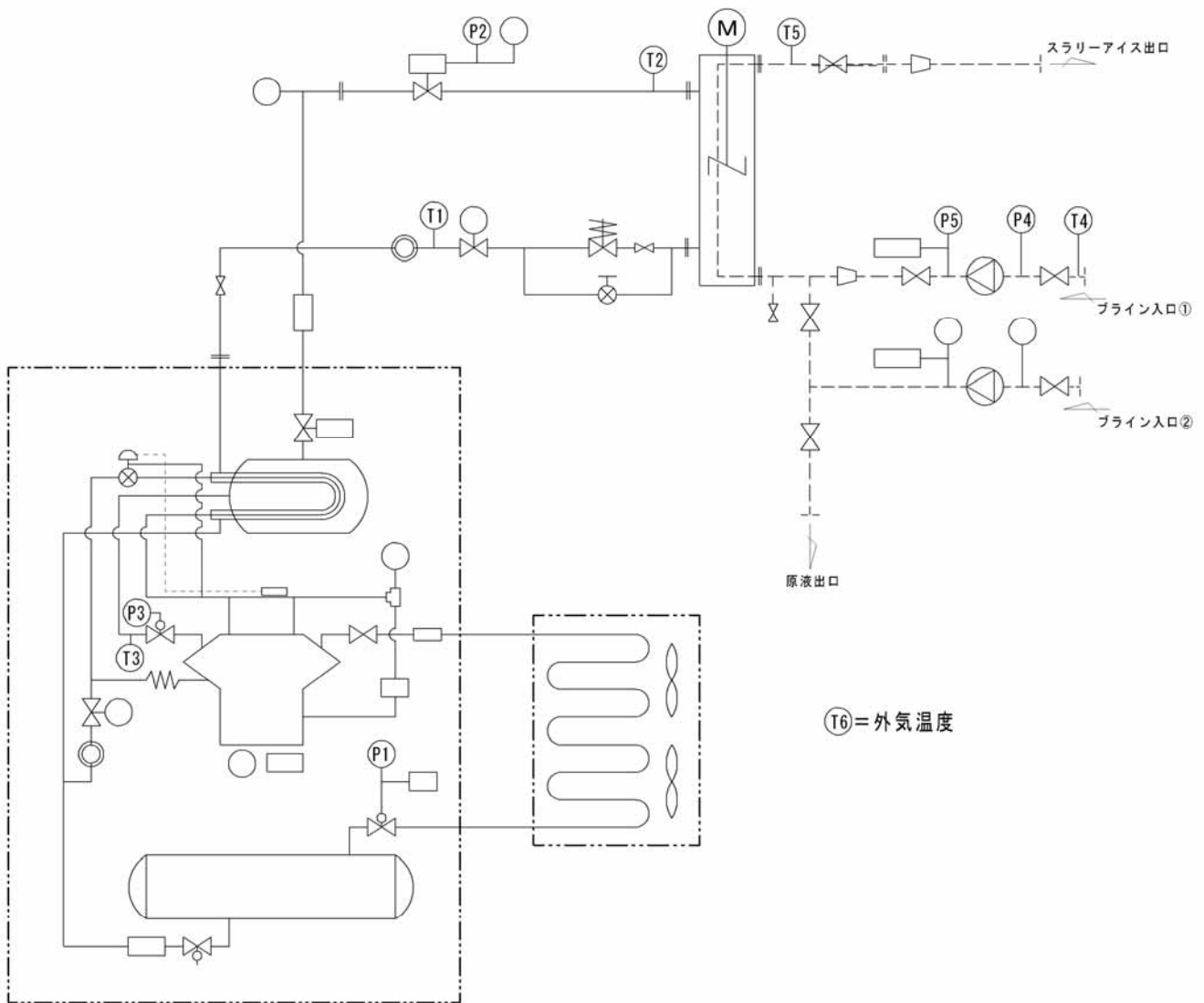
- ・型式 ZR-RX40A (オムロン製)
- ・チャンネル数 20 点
- ・測定データ 電圧、熱電対、側温抵抗体、湿度、ロジック、パルス
- ・基準接点補償 内部

### ⑥ノートパソコン (汎用パソコン)



- 合計 12 箇所計測
- センサーは全て熱電対を使用

図Ⅲ.2-13 凍結槽の温度センサー設置状態



- (センサーの種類) 温度センサー……熱電対 : T1、T3、T4、T6  
 測温抵抗体 : T2、T5  
 圧力センサー……高圧用 : P1、P5  
 低圧用 : P2、P3、P4

図Ⅲ.2-14 製氷装置の温度センサーと圧力センサーの設置状態

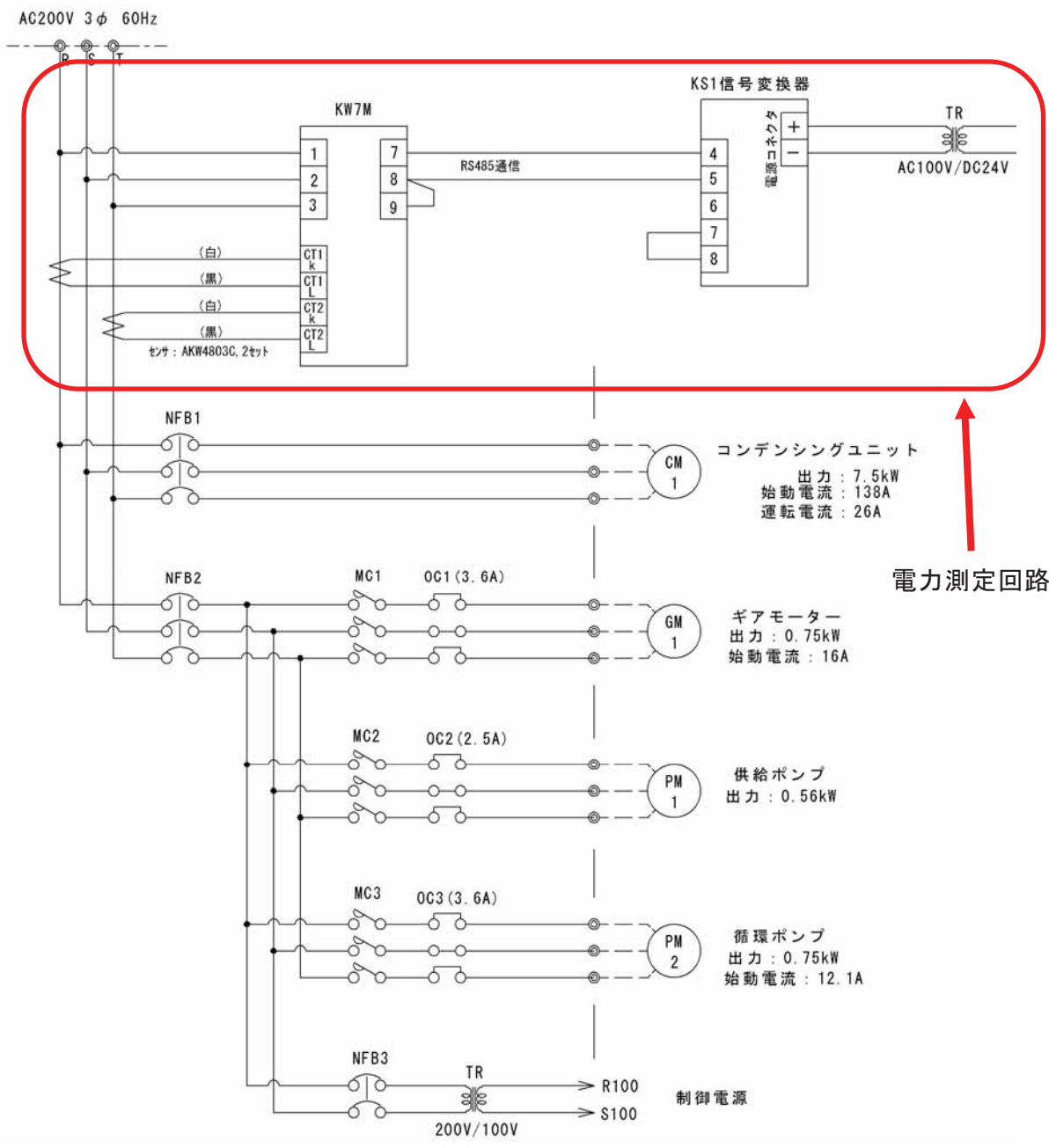


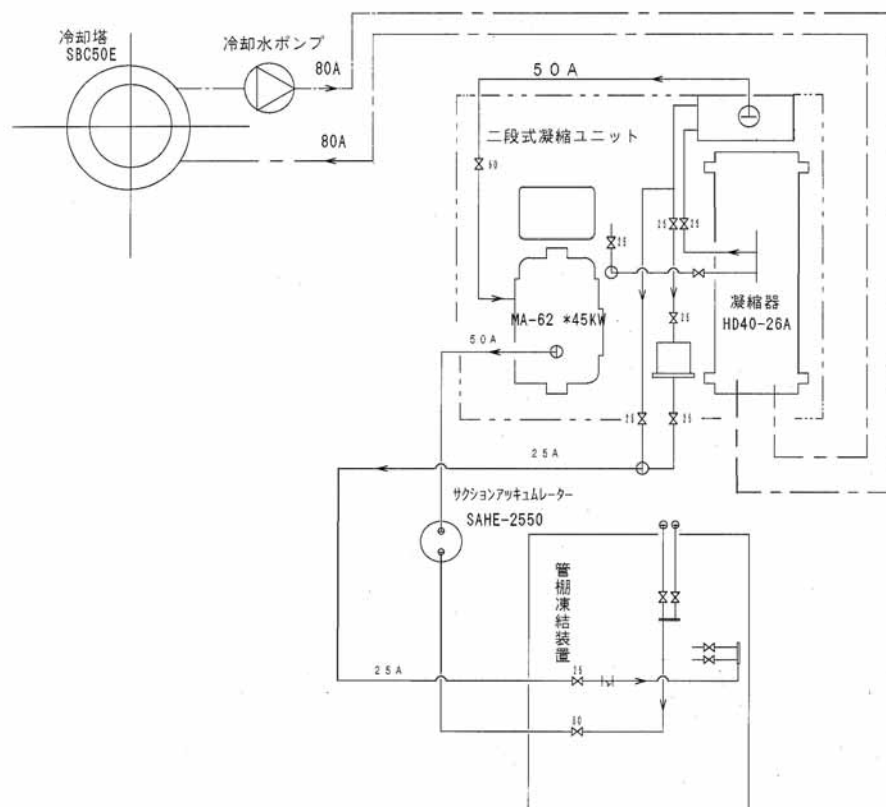
図 III.2-15 製氷装置の電力計設置状態

(ケ) 比較用管棚式凍結装置の仕様

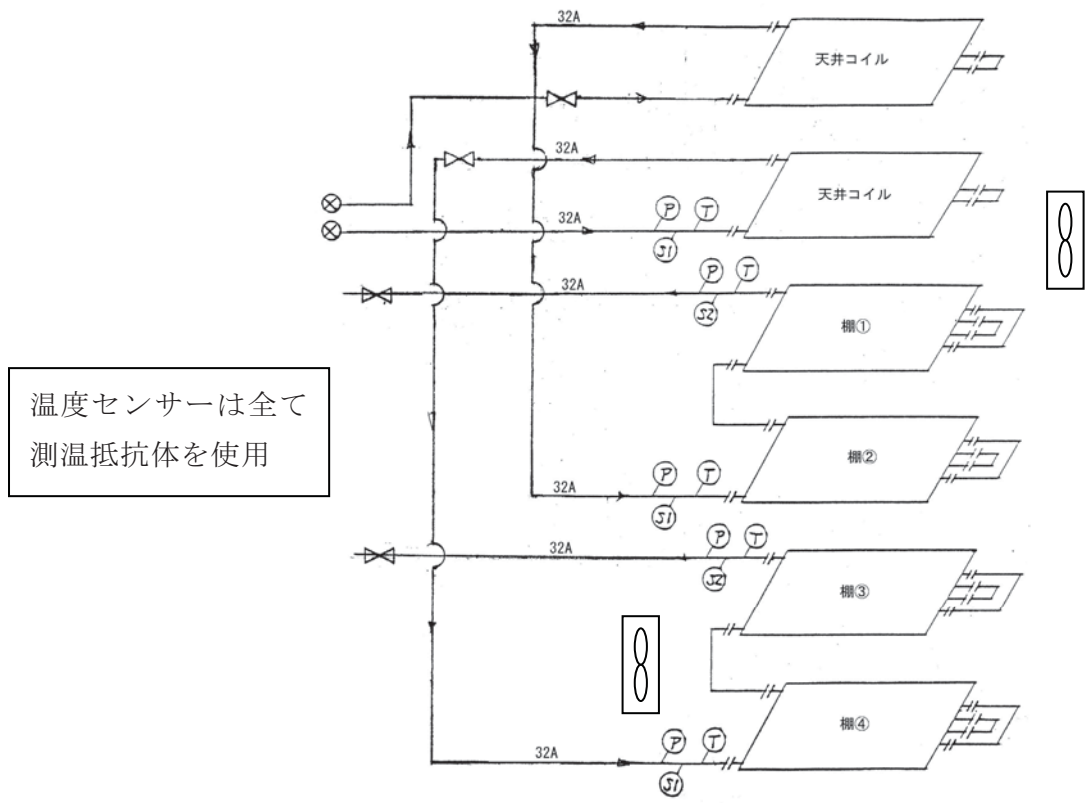
スラリーアイスブライン浸漬凍結の性能を検証する目的で、現状の凍結方法である管棚式凍結装置との比較をおこなうが、この装置として弊社実験室に既に設置されている管棚式凍結装置を使用した。この管棚式凍結装置の仕様一覧を表Ⅲ.2-6に、コンデンシングユニットと管棚式凍結装置の概略系統図を図Ⅲ.2-16に、管棚式凍結装置内の概略系統図と温度センサー設置状況を図Ⅲ.2-17に、管棚式凍結装置の構造図を図Ⅲ.2-18に、管棚式凍結装置に設置されている軸流送風機の外形図及び仕様を図Ⅲ.2-19に、管棚式凍結装置の運転電力計測回路を図Ⅲ.2-20に示す。

表Ⅲ.2-6 管棚式凍結装置の仕様一覧

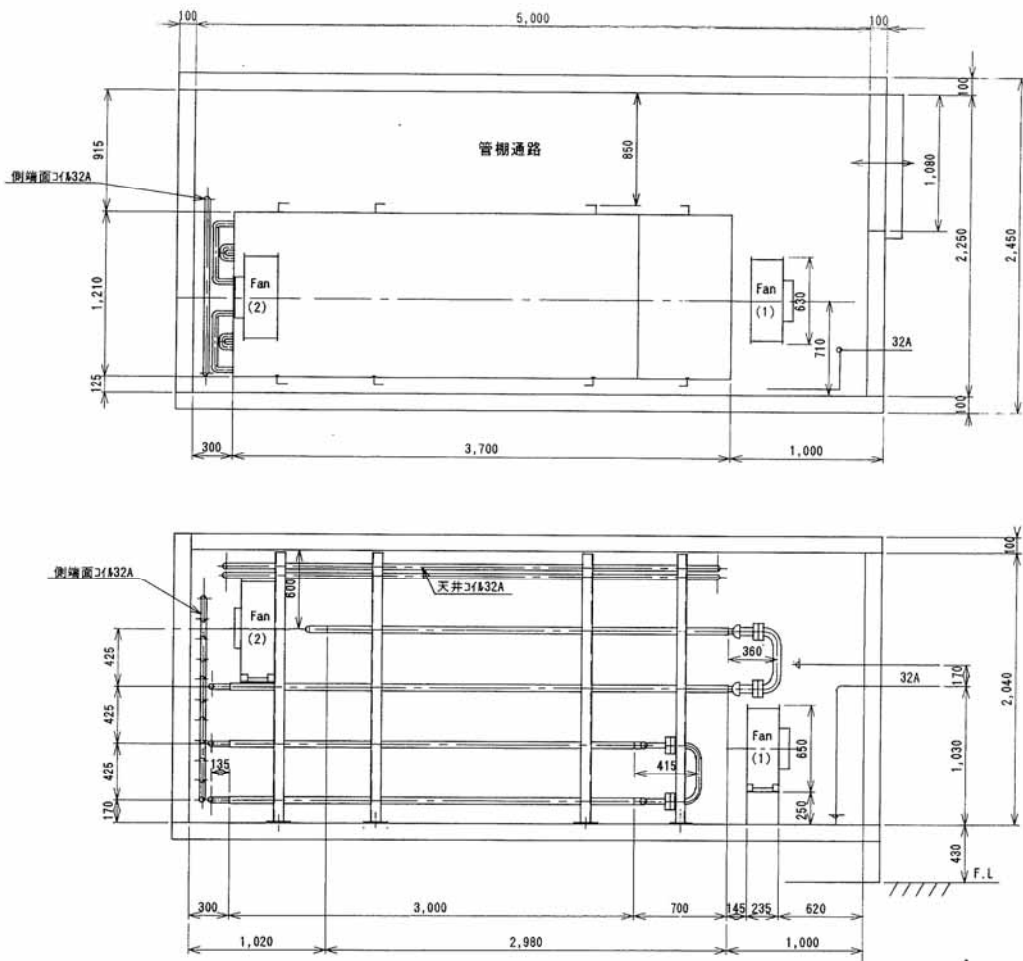
1 コンデンシングユニット		
1	圧縮機	開放型二段圧縮式、R22 MA62M-H8、45kW×1180rpm
2	凝縮器	水冷シェル&チューブ式 φ406.4×1600EL×30.5m <sup>2</sup>
3	受液器	φ457.2×J2000L
4	液冷却器	BHE-035C-PEI-50、3.02m <sup>2</sup>
5	油分離器	DS-250
2 管棚凍結庫		
1	庫内寸法	2220W×4850L×2090H
2	防熱	冷凍コンテナ枠+ウレタン発泡防熱(t120mm)
3	凍結ファン	M22-2.2-4、1750rpm×2.2kW×2台
4	管棚	アルミ凍結管棚、1200W×3000L×通路数16×4枚
5	電子膨張弁	AKV10-7×2系統



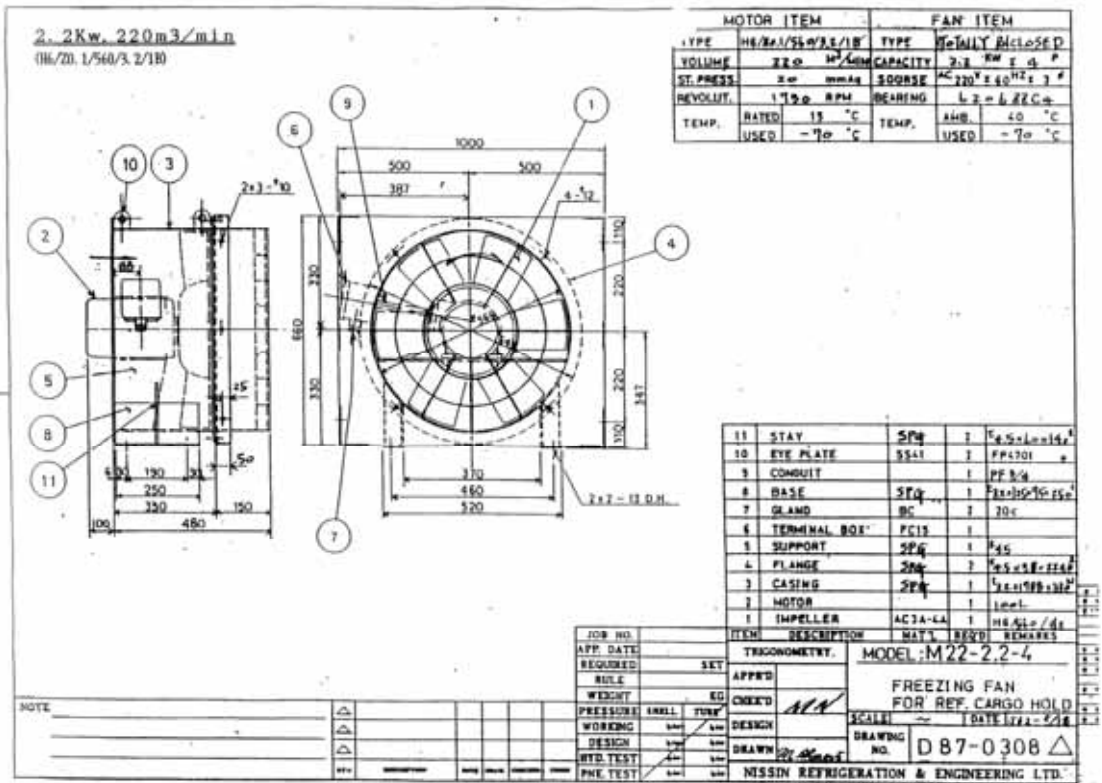
図Ⅲ.2-16 コンデンシングユニットと管棚式凍結装置の概略系統図



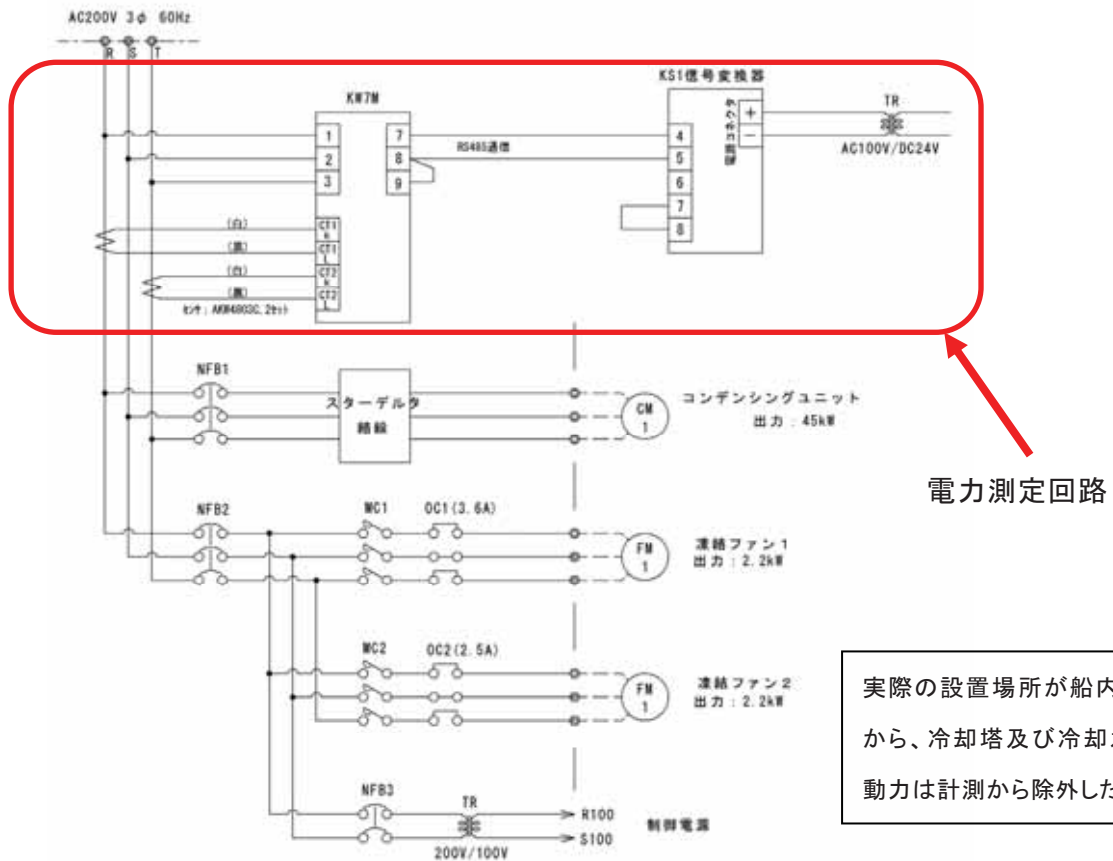
図Ⅲ.2-17 管棚式凍結装置内の概略系統図と温度センサー設置状



図Ⅲ.2-18 管棚式凍結装置の構造図



図Ⅲ.2-19 軸流送風機の外形図及び仕様



図Ⅲ.2-20 管棚式凍結装置の運転電力計設置状態

## ウ 検証結果

以下に実施計画の検証項目に従い検証結果を示す。

尚、以下の検証で使用したデータは、特に記載が無い場合は下記条件で計測、検証している。

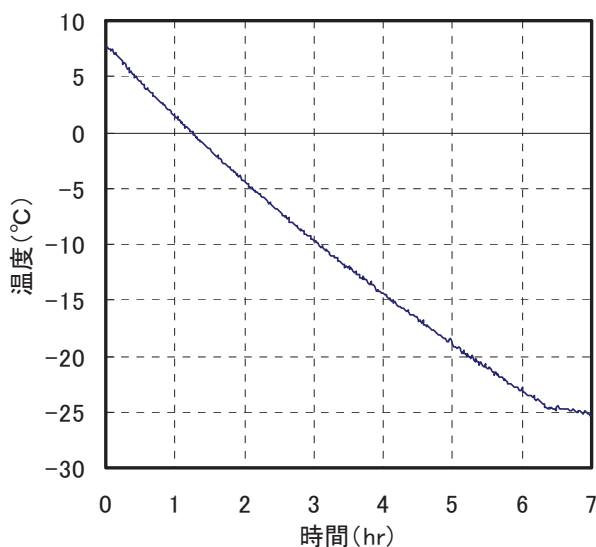
- ・凍結槽内の温度差は、凍結槽に設置した 12 点の温度センサー計測値の内、最も高い温度と最も低い温度の差で表示した。
- ・冷凍能力は、本システムの冷媒系統に設置した電子膨張弁の弁開度、膨張弁前後の差圧、及び膨張弁手前の冷媒の過冷却度から算出した。
- ・各データは、エタノール濃度 34wt%、アイスジェネレータ内の冷媒蒸発温度  $-40\sim-42^{\circ}\text{C}$ 、ブライン総量 700kg の状態で計測した。

### (ア) システム確認

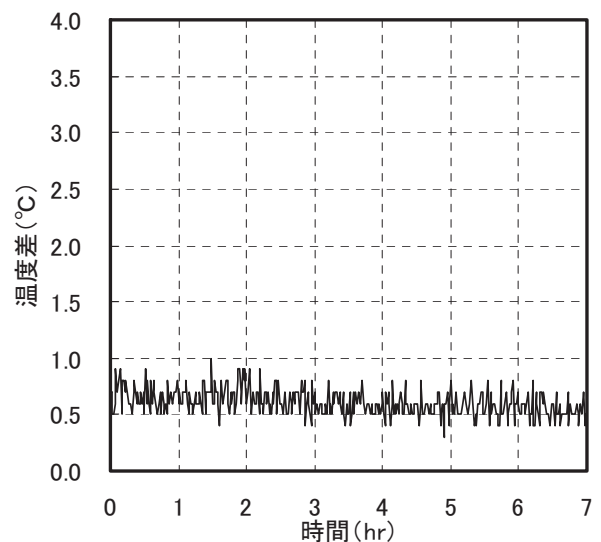
#### ① 製氷開始までの予冷状態

アイスジェネレータ出口のブライン温度推移を図Ⅲ.2-21 に、凍結槽内の温度差推移を図Ⅲ.2-22 に、冷凍能力の推移を図Ⅲ.2-23 に、瞬時電力の推移を図Ⅲ.2-24 に示す。

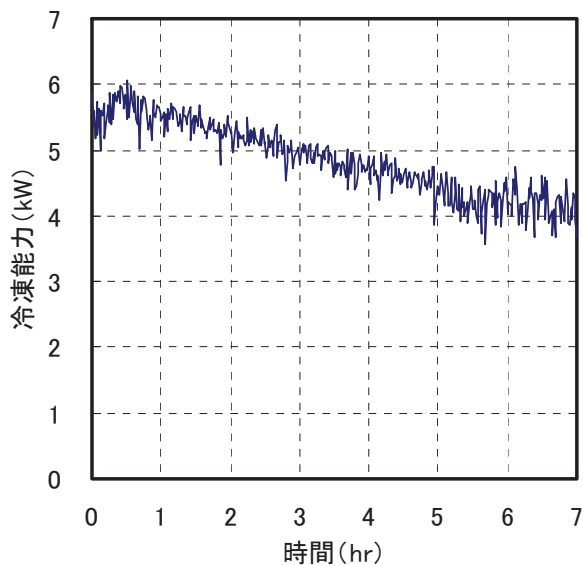
予冷所用時間は約 6.5 時間、凍結槽内の温度差は平均  $0.65^{\circ}\text{C}$ 、冷凍能力は 6.0kW から 4.3kW、瞬時電力は 6.5kW から 7.0kW と、特に問題なく稼動した。



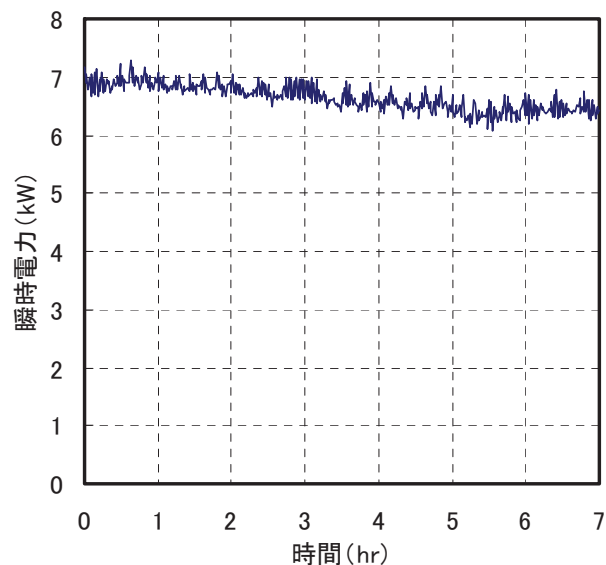
図Ⅲ.2-21 ブライン温度の推移



図Ⅲ.2-22 凍結槽内温度差の推移



図Ⅲ.2-23 冷凍能力の推移

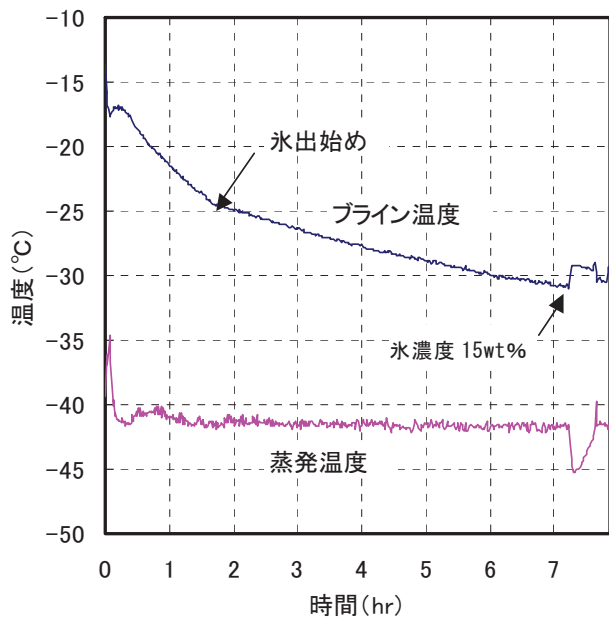


図Ⅲ.2-24 瞬時電力の推移

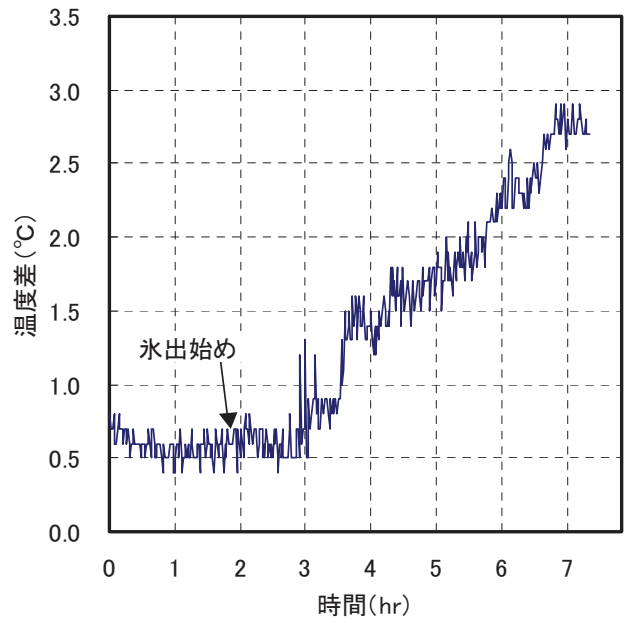
②製氷開始から氷濃度 15%製造完了までの予冷状態

アイスジェネレータ出口のブライン温度と冷媒蒸発温度の推移を図Ⅲ.2-25 に、凍結槽内の温度差推移を図Ⅲ.2-26 に、冷凍能力の推移を図Ⅲ.2-27 に、瞬時電力の推移を図Ⅲ.2-28 に示す。

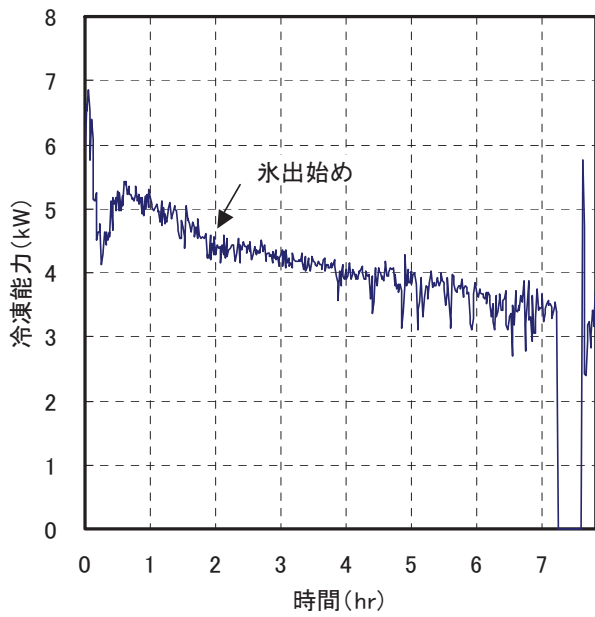
予冷所用時間は約 5.5 時間かかった。冷凍能力は 4.3kW から 3.5kW と徐々に低下し、計画時の 3.8kW を下回った。計画時の能力は海水からスラリーアイスを製造した場合の能力であり、ブラインが変われば熱交換器の能力も若干変化することから、これがエタノールブラインでスラリーアスを製造したときの特性と思われ、実用化に際しては本データ能力で計画する必要がある。瞬時電力はほぼ平均 6.8kW で推移した。凍結槽内の温度差は氷濃度が高くなるにつれて大きくなり、最終は 2.8℃となった。この点についての検証は、槽内の温度分布状況の項目に記載する。



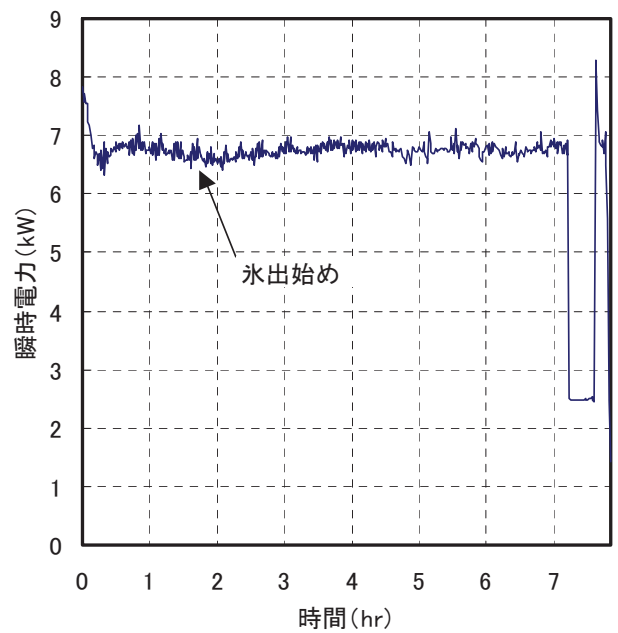
図Ⅲ.2-25 ブライン温度と蒸発温度の推移



図Ⅲ.2-26 凍結槽内温度差の推移



図Ⅲ.2-27 冷凍能力の推移



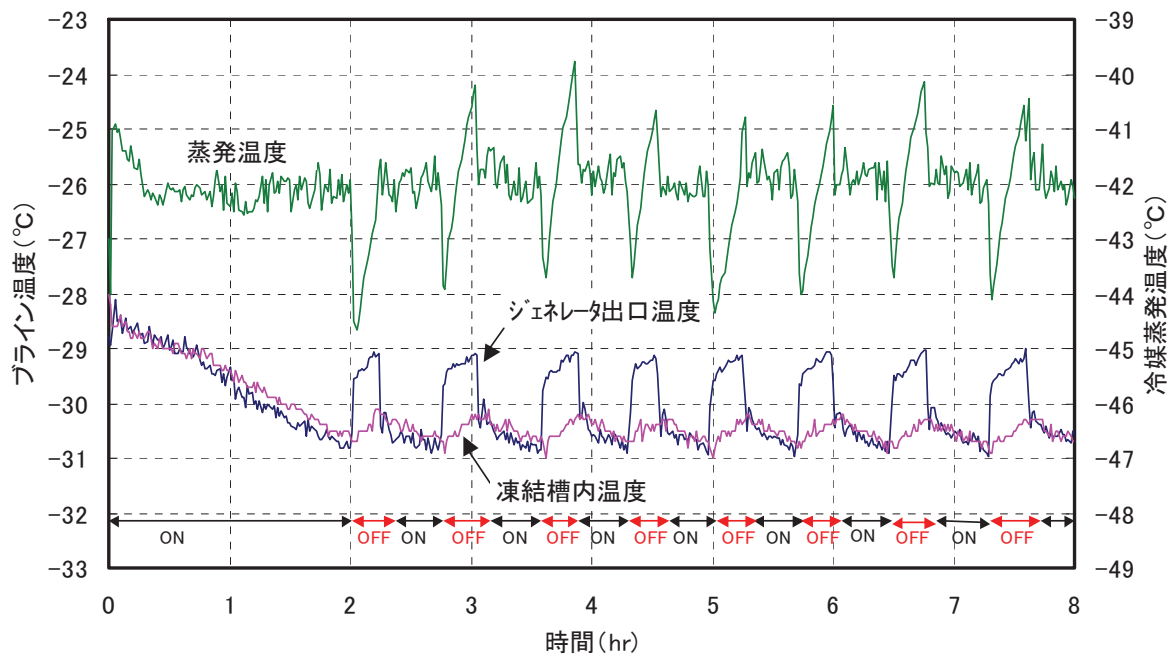
図Ⅲ.2-28 瞬時電力の推移

### ③氷濃度自動調整状態

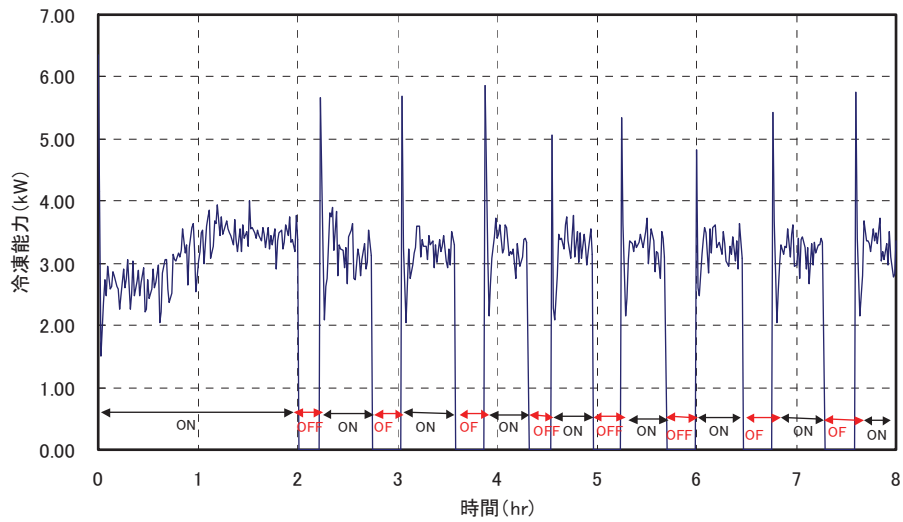
本システムを実用化した場合、まぐろが投入されるまで所定氷濃度を維持する運転が必要となるため、無負荷状態での氷濃度自動調整状態を確認した。氷濃度管理はスラリーアイス温度を $-29\sim-30^{\circ}\text{C}$ に維持することでおこなうシステムとしている。

要所（冷媒蒸発温度、アイスジェネレータ出口ライン温度、及び凍結槽内ライン温度）の温度推移を図Ⅲ.2-29に、冷凍能力の推移を図Ⅲ.2-30に、瞬時電力の推移を図Ⅲ.2-31、積算電力の推移を図Ⅲ.2-32に示す。

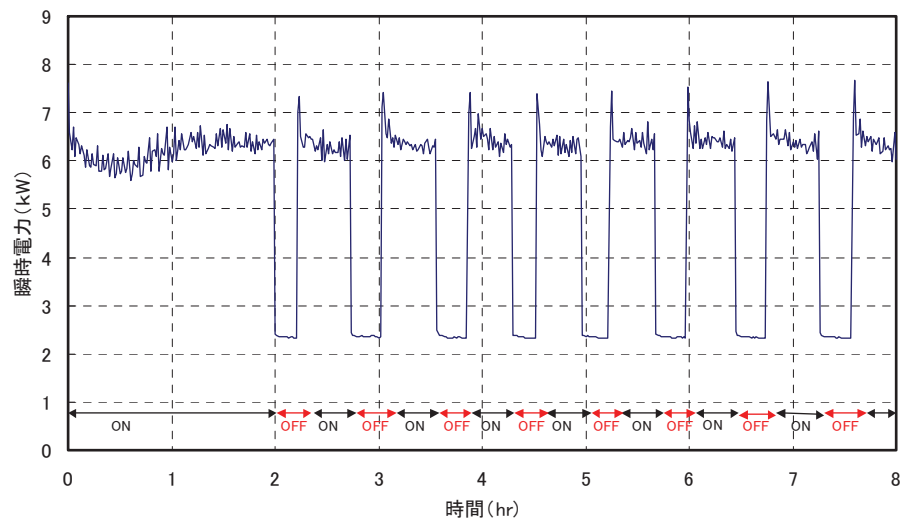
無負荷状態での氷濃度調整周期は、おおよそ30分間製氷し20分間停止となり、凍結槽内温度は $-30\sim-31^{\circ}\text{C}$ を常時維持でき、氷濃度自動調整は正常におこなわれた。また、自動調整中の冷凍能力も起動時に一瞬大きくなるがその他は常に $3.4\text{kW}$ を維持した。電力の推移は、製氷停止中も凍結槽内をポンプで常時攪拌しているため電力は消費されており、製氷時には $6.4\text{kW}$ 、製氷停止中には $2.4\text{kW}$ 消費されていた。



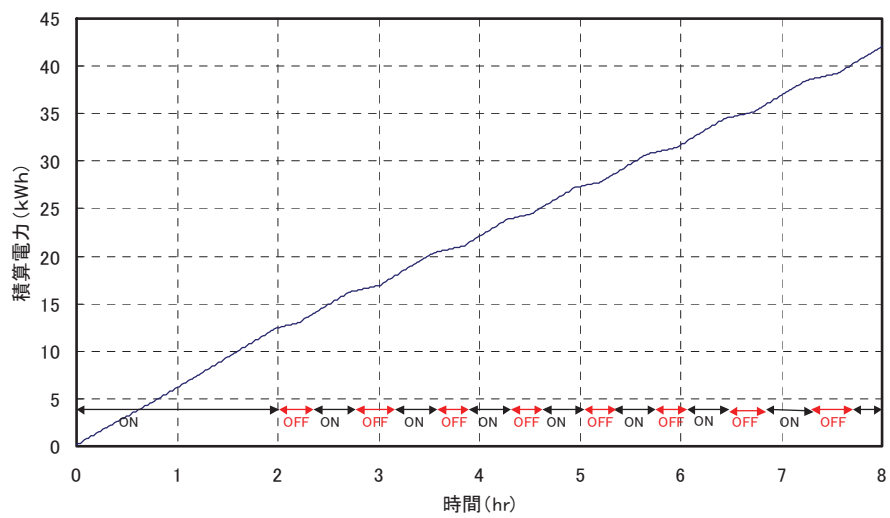
図Ⅲ.2-29 要所温度の推移



図Ⅲ.2-30 冷凍能力の推移



図Ⅲ.2-31 瞬時電力の推移

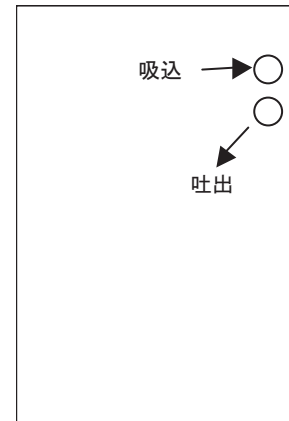


図Ⅲ.2-32 積算電力の推移

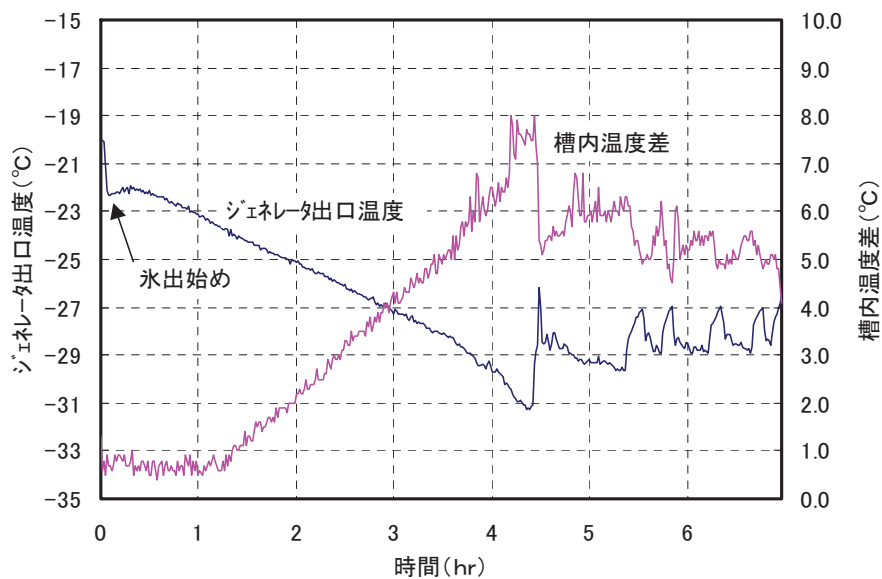
#### ④凍結槽内の温度分布状態

凍結槽内の攪拌は、ポンプ（平均流量 150 リットル/min）の吐出力でブラインを攪拌するポンプ攪拌でおこなった。

装置設置当初は、実用化後の施工上の利便性を考慮し、図Ⅲ.2-33 に示す通り攪拌ポンプの吸入口と吐出口を同じ場所に設置し、吸込み方向と吹き出し方向を図のように変えて攪拌をおこなう構造とした。この構造での凍結槽内の温度差とジェネレータ出口温度の推移を図Ⅲ.2-34 に示す。



図Ⅲ.2-33 初期の吸入/吐出口の位

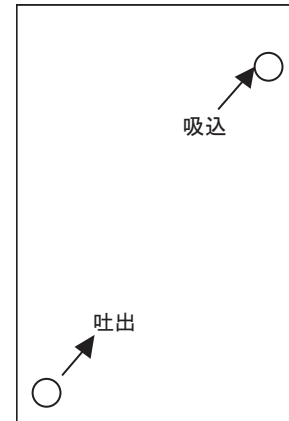


図Ⅲ.2-34 槽内温度差と出口温度

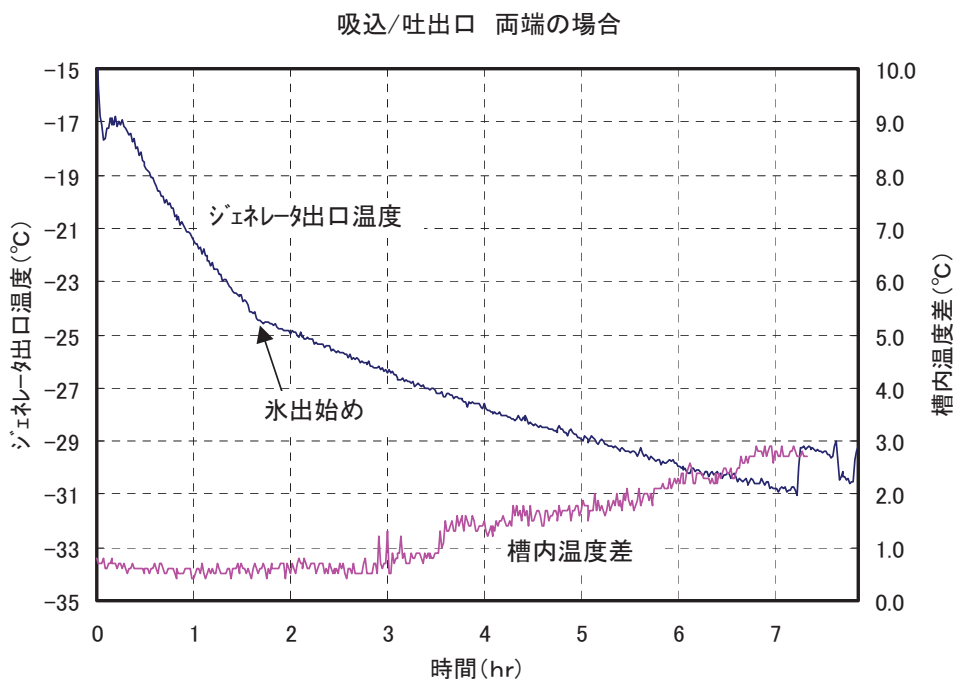
エタノールのスラリーアイスは、氷の液相への拡散が良好になるため、スラリーアイス全体が薄いクリーム状となる。この状態は冷却媒体としては良好であるが、その反面スラリーアイス全体に薄いクリームに見られる粘性が発生するため、凍結槽内の隅の領域と中央領域で温度差が大きくなる傾向が見られ、1 箇所から吐出した水流で凍結槽内全周を良好に攪拌することができず、温度差が最大 8°C となった。

この状態を改善するため攪拌ポンプの吸入口と吐出口をさまざまな位置に変更し攪拌をおこなった結果、吸入口と吐出口を凍結槽の対角に設置した場

合が最も温度差が小さくなることがわかった。最終構造の吸入口と吐出口の設置場所を図III.2-35に、この構造での凍結槽内の温度差とジェネレータ出口温度の推移を図III.2-36に示す。この構造で、温度差は3°C以内に抑えることができた。この温度差の原因は、吸入口と吐出口を設置していない残りの2隅の温度が高めになることが原因となっており、この場所は実際の凍結にあまり影響が無いエリアであるので、この構造を最終構造とした。



図III.2-35 最終的な吸入/吐出口の位置



図III.2-36 槽内温度差と出口温度

(イ) まぐろの凍結速度の確認

まぐろの凍結試験は、スラリーアイスブライン浸漬式凍結装置と管棚式凍結装置それぞれ2回おこなった。

スラリーアイスブライン浸漬式凍結装置は2回とも同じ条件(前記凍結条件)でおこなった。管棚式凍結装置は、1回目は凍結装置の能力を制限しない状態でおこない、2回目は庫内温度を現状の操業状態に合わせた温度で推移させておこなった。

①被凍結品の詳細

- ・入手先 宮城県塩釜産生まぐろ（漁獲日、漁場等は不明）
- ・魚種 メバチマグロ
- ・処理状態 セミドレス（エラと内臓を抜き、尾びれを切断したもの）
- ・水揚日 第1回試験品 1月19日  
第2回試験品 1月30日
- ・魚価 全て 1,500 円/kg
- ・輸送状態 発泡スチロール箱に氷詰めにし、1日かけて輸送。
- ・寸法等

凍結区分		寸法(mm)			重量(kg)
		体長	体高	体幅	
第1回	スラリーアイス凍結	940	290	190	32
	管棚凍結	1000	300	210	35
第2回	スラリーアイス凍結	1020	320	220	38
	管棚凍結	1020	320	230	39

②凍結前の状態

凍結前の状態を図Ⅲ.2-37 に示す。

第1回スラリーアイス凍結



第1回管棚凍結品



第2回スラリーアイス凍結



第2回管棚凍結品

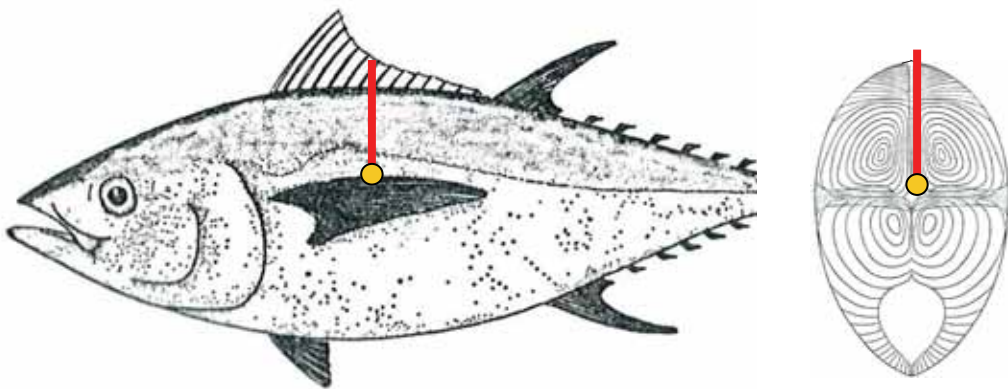


図Ⅲ.2-37 凍結前の状態

③品温測定用温度センサーの装着状態

T型熱電対を中央背ビレ側面から魚体中心に挿入し、ロープを胸ビレと腹ビレにタスキがけに装着し、このロープでセンサーを固定した。

装着位置を図Ⅲ.2-38に、装着状態を図Ⅲ.2-39に示す。



図Ⅲ.2-38 センサー装着位置



図Ⅲ.2-39 センサー装着状態

④スラリーアイス凍結のまぐろ投入作業

スラリーアイス凍結のまぐろ投入作業の状態を図Ⅲ.2-40 に示す。

(A)投入直前の凍結槽の状態



(B)凍結槽への投入①



(C)凍結槽への投入②



(D)凍結槽へ投入完了



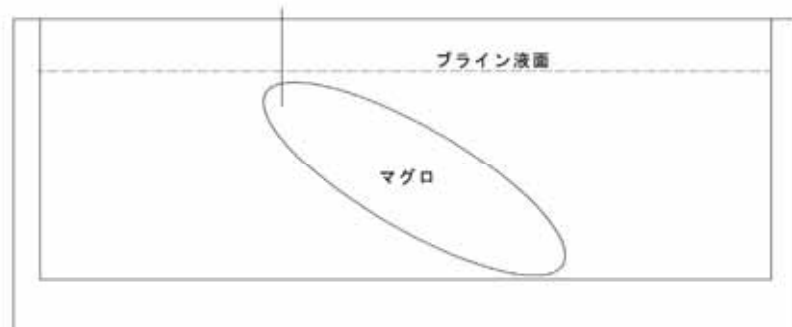
(E)凍結中の状態



図Ⅲ.2-40 まぐろ投入作業

⑤スラリーアイス凍結のまぐろ投入状態

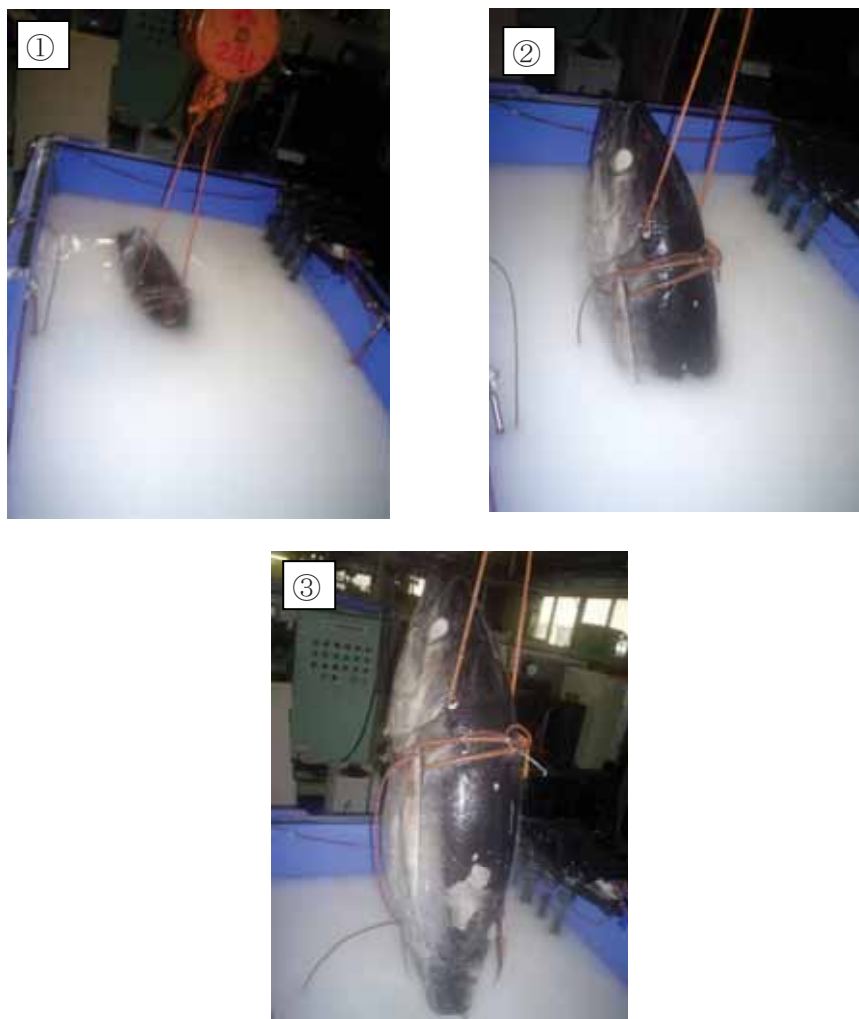
凍結槽内でのまぐろの状態を図Ⅲ.2-41 に示す。図のように頭部を持ち上げ斜めの状態で凍結をおこなった。



図Ⅲ.2-41 凍結時のまぐろの状態

⑥スラリーアイス凍結のまぐろ取出し作業

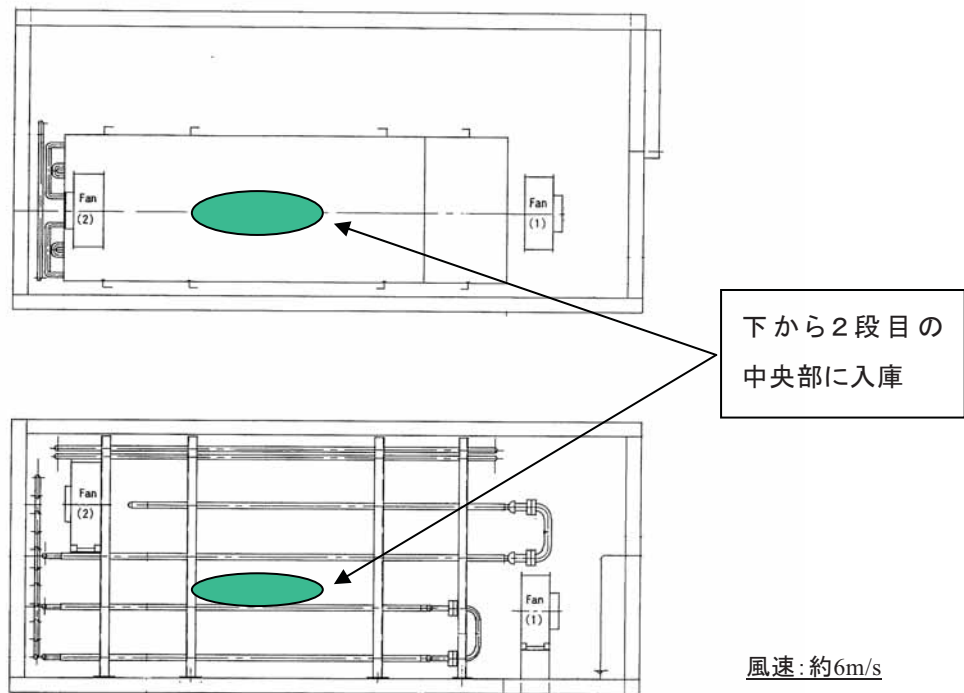
スラリーアイス凍結のまぐろ取出し作業の状態を図Ⅲ.2-42 に示す。



図Ⅲ.2-42 まぐろ取出し作業

⑦管棚凍結のまぐろ入庫状態

管棚式凍結装置へのまぐろの入庫は人手によりおこなった。入庫場所を図Ⅲ.2-43に、入庫状態を図Ⅲ.2-44に示す。



図Ⅲ.2-43 まぐろの入庫場所



図Ⅲ.2-44 まぐろの入庫状態

⑧凍結後の状態

スラリーアイス凍結したまぐろについて、第1回、第2回とも身割れは認められなかったが、若干の腹部の隆起が認められた。その他の点については特に目立った差は認められなかった。凍結後の状態について、全体の状態を図Ⅲ.2-45に、腹部の状態を図Ⅲ.2-46に、右側面の状態を図Ⅲ.2-47に、左側面の状態を図Ⅲ.2-48に、背部の状態を図Ⅲ.2-49に示す。

【スラリーアイス凍結】



【管棚凍結】



図Ⅲ.2-45 全体の状態

【スラリーアイス凍結】



【管棚凍結】



図Ⅲ.2-46 腹部の状態

【スラリーアイス凍結】



【管棚凍結】



図Ⅲ.2-47 右側面の状態

【スラリーアイス凍結】



【管棚凍結】



図Ⅲ.2-48 左側面の状態

【スラリーアイス凍結】



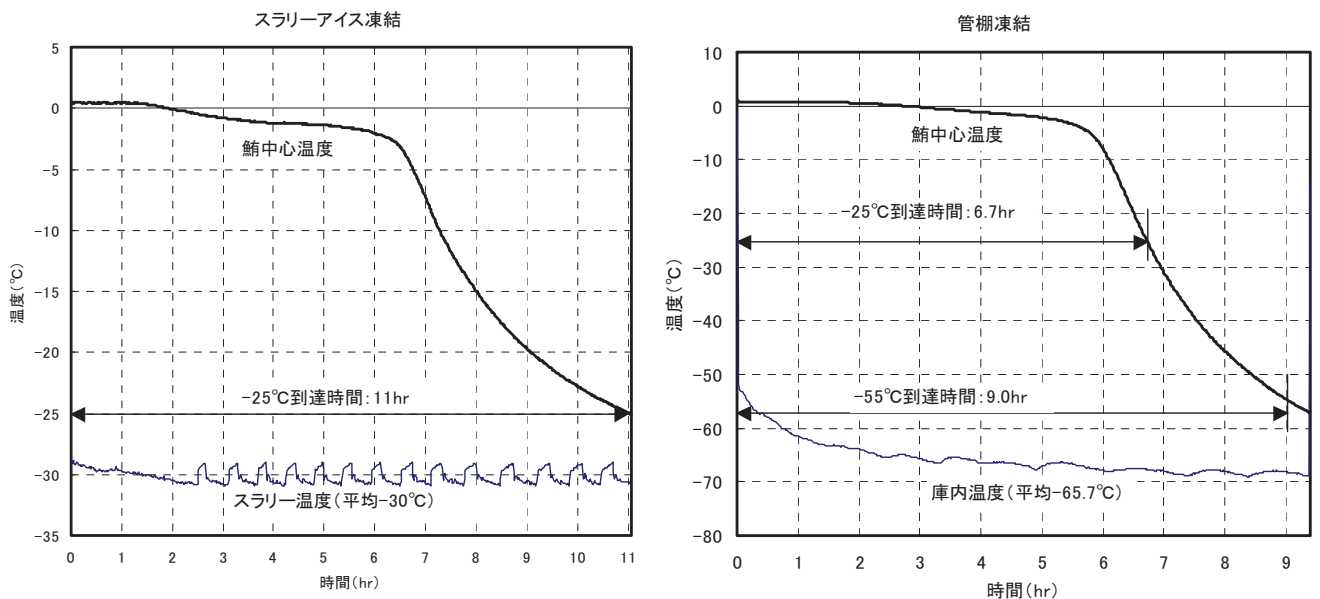
【管棚凍結】



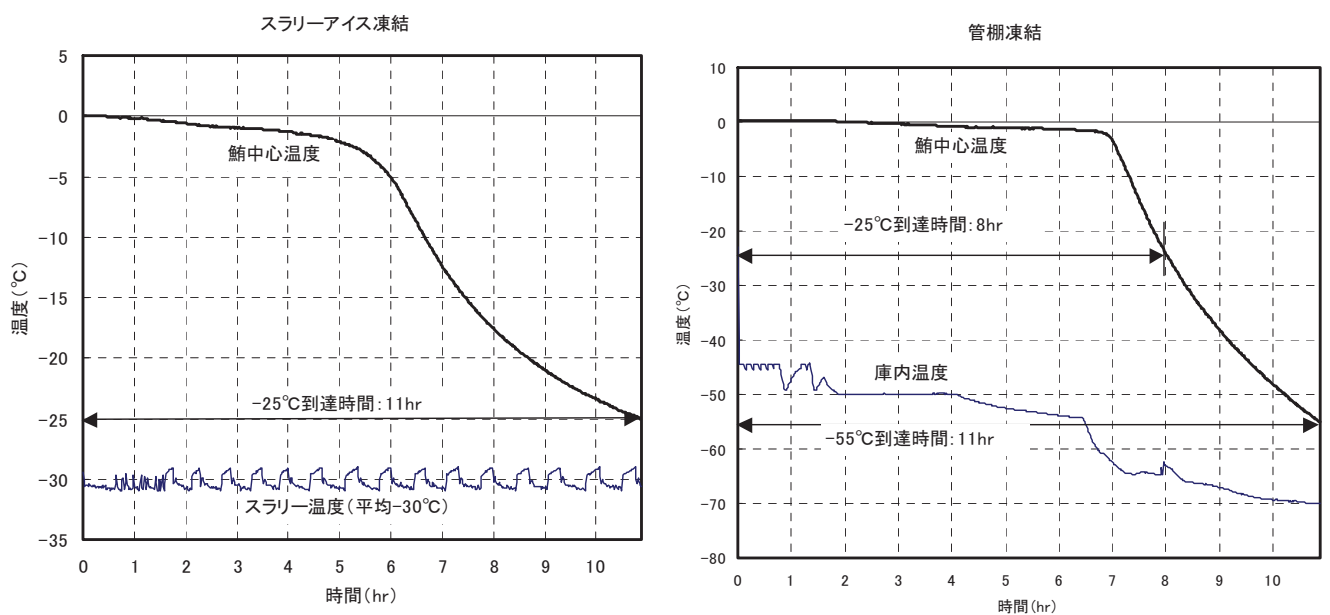
図Ⅲ.2-49 背部の状態

### ⑨凍結速度の比較

第1回凍結の凍結曲線を図Ⅲ.2-50に、第2回凍結の凍結曲線を図Ⅲ.2-51に示す。スラリーアイス凍結は、第1回目及び第2回目とも同じ条件での凍結であったため、どちらも11時間となった。管棚凍結については、第1回は庫内温度を無制御でおこなったため、平均庫内温度が $-65.7^{\circ}\text{C}$ と低く、この影響により9時間で凍結終了となった。第2回は庫内温度を現状の遠洋鮪はえ縄漁船の状態に制御をおこない凍結した結果、スラリーアイス凍結と同じ11時間となった。



図Ⅲ.2-50 第1回凍結の凍結曲線



図Ⅲ.2-51 第2回凍結の凍結曲線

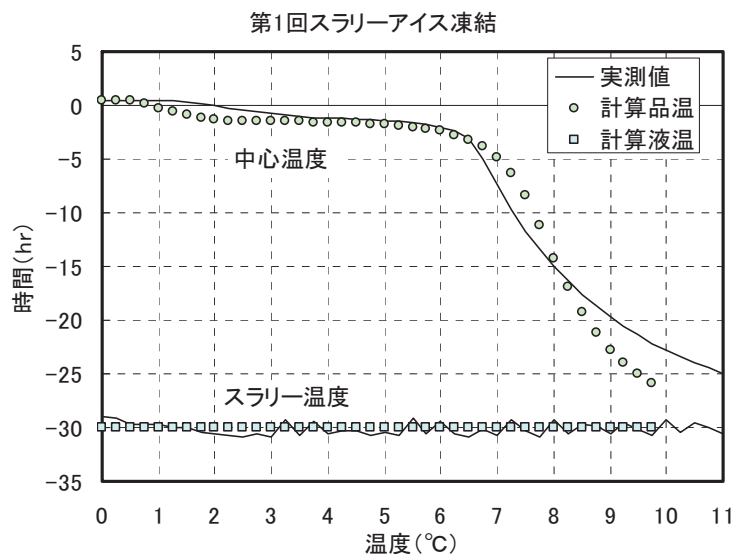
### ⑩シミュレーションと実測値の比較

本事業を計画する段階で、まぐろの凍結時間予測を弊社製作のシミュレーションソフトによりおこなっている。このソフトは、文献「越智昌夫、冷凍、Vol60、No692、P593～P604」で発表された食品の冷却・凍結シミュレーションソフトをもとに、下記の点を弊社で改造したものである。

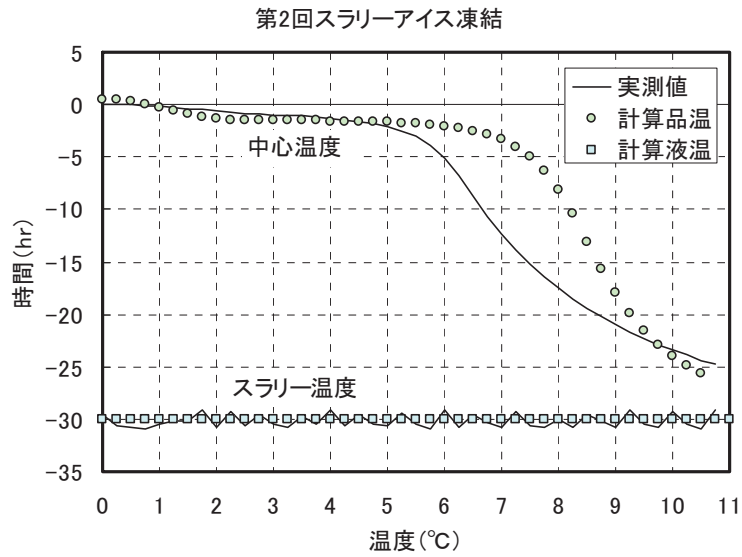
- ・本ソフトは二面放熱の計算となっていたため、この計算を3回おこなうことにより立体形状での計算をおこなえるようにした。
- ・文献ソフトの計算式を精査し、隣接する面からの熱の受け渡しに関する計算式を一部変更した。
- ・文献ソフトに、食品表面の熱伝達係数を自動的に算出し入力するプログラムを追加した。
- ・食品の主要成分含有量を入力することにより、食品の物性値を自動的に算出し、入力するプログラムを追加した。
- ・更に、各種の食品の実測データと本ソフトのシミュレーション結果を比較し、計算アルゴリズム中に補正係数を加え、弊社の蓄積した実測データとの差を補正する機能を追加した。

以上の改造をおこなうことにより文献ソフトの予測精度を高めることに成功しているが、主要成分含有量、形状、表面を冷却する媒体の流速、及び実測値を計測したセンサーの挿入深さなど、ソフトに入力する標準値と異なるファクターがあるため、本ソフトはあくまでも設計計画資料に耐えうる大まかな目安を得るものとして活用している。

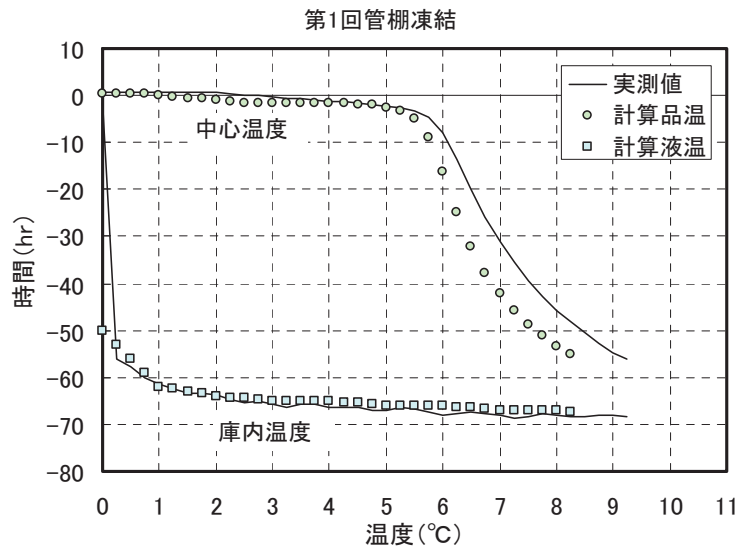
本試験で凍結をおこなったまぐろ実測値と同等の標準値を入力してシミュレーションをおこなった結果との比較を図Ⅲ.2-52 から図Ⅲ.2-55 に示す。



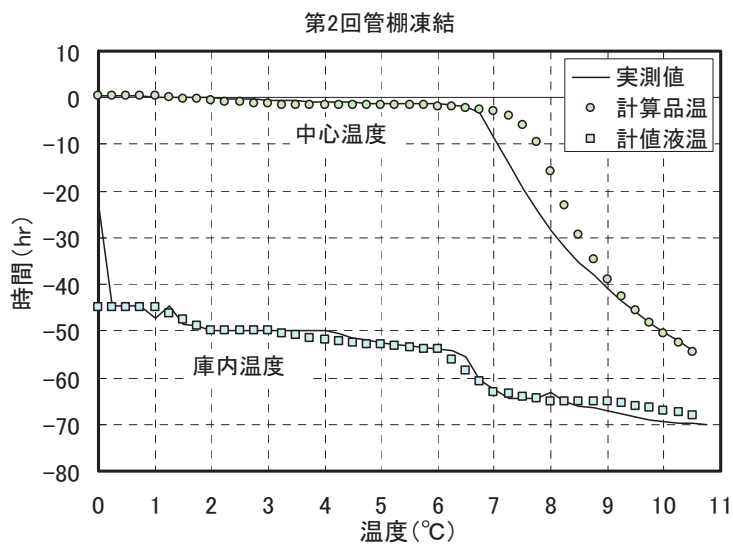
図Ⅲ.2-52 実測値と計算値比較①



図Ⅲ.2-53 実測値と計算値比較②



図Ⅲ.2-54 実測値と計算値比較③



図Ⅲ.2-55 実測値と計算値比較④

(ウ) ブラインの目減り量、濃度変化の状態確認

①ブラインの目減り量の確認

本システムはまぐろを直接スラリーアイスに浸漬するため、まぐろを取り出す際にまぐろ表面に付着したブラインが凍結槽から持ち出されるロスが発生する。この持ち出しによる目減り量を、凍結前後のまぐろの重量測定により確認した。尚、凍結後の重量測定は、ブラインから出した後凍結槽上部で10分間放置した後におこなった。結果を表Ⅲ.2-7に示す。

表Ⅲ.2-7 ブライン持ち出し量計測結果

区分	第1回 スラリーアイス凍結	第2回 スラリーアイス凍結
凍結前重量	32.47kg	38.23kg
凍結後重量	32.68kg	34.47kg
持ち出されたブライン量	0.21kg	0.24kg
まぐろ1kgあたりの持ち出し量	0.0065kg/kg	0.0063kg/kg
	(平均) 0.0064kg/kg	

計測結果より、まぐろを1Ton凍結した場合のブラインの目減りは6.4kgとなる。

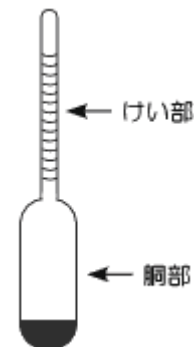
②ブライン濃度変化の確認

エタノールは揮発性があることから、半開放の凍結槽で使用した場合の揮発によるブライン濃度低下が予測されたため、下記の方法でブライン濃度の変化を測定した。

- ・凍結槽にブラインを調整した際に濃度を測定し、以後各試験を実施しながら定期的に濃度確認をおこなった。
- ・測定は約31wt%で44日間、及び約34wt%で56日間の計2回おこなった。
- ・濃度の測定は、凍結槽からブラインを約2リットル採取し、密閉した状態で1日放置して温度を常温まで上昇させた後に、液温と密度浮ひょう(図Ⅲ.2-56)により比重を測定し、アルコール協会が公表している比重と濃度の換算表(表Ⅲ.2-8)により濃度を求めた。

測定結果を図Ⅲ.2-57、図Ⅲ.2-58に示す。

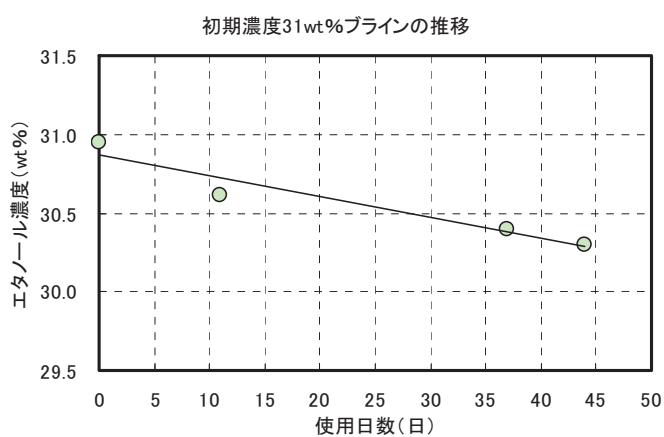
いずれの濃度も1.5ヶ月で約0.6wt%薄くなるにとどまった。



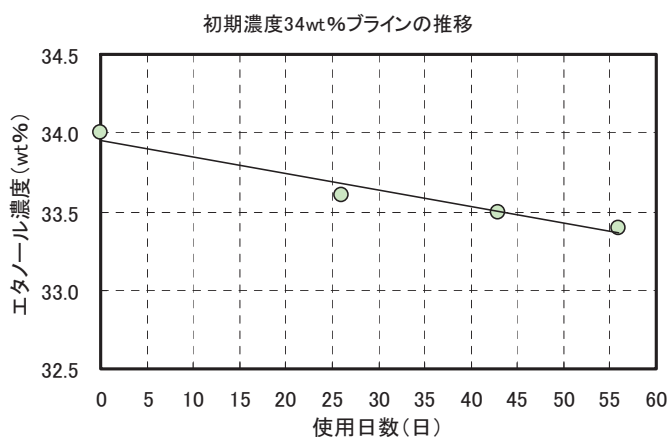
図Ⅲ.2-56 密度浮ひょうの構造

表Ⅲ.2-8 比重／濃度換算表

wt%		0%	10%	20%	30%	40%	50%
温度 °C	65	0.9806	0.9623	0.9424	0.9212	0.8992	0.8752
	60	0.9832	0.9651	0.9460	0.9254	0.9036	0.8801
	55	0.9857	0.9677	0.9493	0.9294	0.9078	0.8845
	50	0.9881	0.9702	0.9525	0.9332	0.9119	0.8889
	45	0.9902	0.9726	0.9556	0.9369	0.9159	0.8932
	40	0.9922	0.9748	0.9585	0.9405	0.9199	0.8974
	35	0.9940	0.9769	0.9613	0.9440	0.9238	0.9016
	30	0.9957	0.9787	0.9639	0.9474	0.9276	0.9057
	25	0.9970	0.9804	0.9664	0.9506	0.9314	0.9098
	20	0.9982	0.9819	0.9686	0.9538	0.9352	0.9138
	15	0.9991	0.9830	0.9707	0.9568	0.9388	0.9177
	10	0.9997	0.9839	0.9725	0.9597	0.9424	0.9216
	5	1.0000	0.9845	0.9742	0.9625	0.9459	0.9254
	0	0.9998	0.9848	0.9756	0.9652	0.9493	0.9292
	-5	-	-	0.9767	0.9678	0.9527	0.9329
	-10	-	-	0.9776	0.9703	0.9561	0.9366
	-15	-	-	-	0.9727	0.9593	0.9402
	-20	-	-	-	0.9749	0.9625	0.9438
	-30	-	-	-	-	0.9685	0.9506



図Ⅲ.2-57 31wt%ブラインの濃度推移



図Ⅲ.2-58 34wt%ブラインの濃度推移

(エ) ブライン汚濁による製氷機効率低下度合いの確認

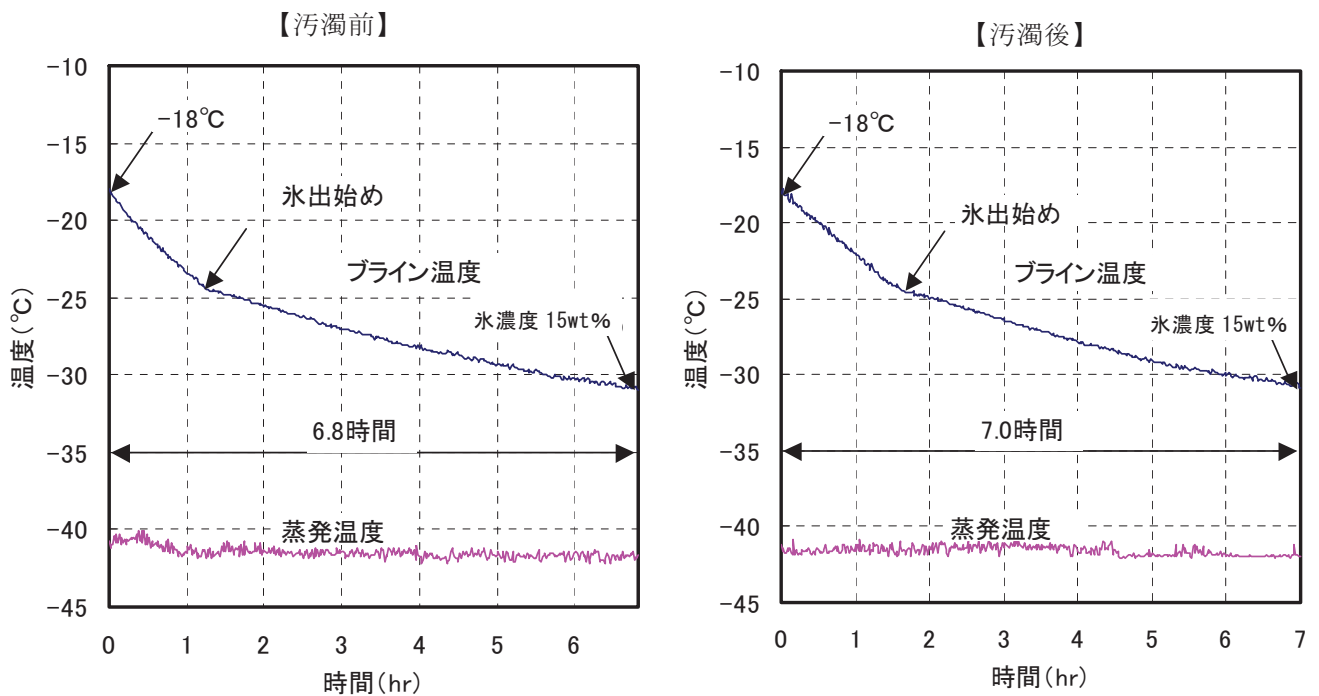
本システムはまぐろを直接スラリーアイスに浸漬するため、ブラインが血垢などで汚れる。そのブラインがアイスジェネレータを循環することによりジェネレータ内の伝熱面が汚れ、製氷効率が低下することが懸念されるため、各試験実施前と実施後でアイスジェネレータの能力を比較することで効率低下の度合いを確認した。実際には各試験実施後もさほどブラインは汚れていなかったため、品質確認に使用したまぐろの残渣をブラインに漬けて意図的に汚し、この状態で40時間アイスジェネレータにブラインを循環させた後に能力を測定し、比較した。

汚濁前と後のブラインの状態を図Ⅲ.2-59に、 $-18^{\circ}\text{C}$ から氷濃度15wt%までの運転状態の比較結果を図Ⅲ.2-60、図Ⅲ.2-61、図Ⅲ.2-62に示す。

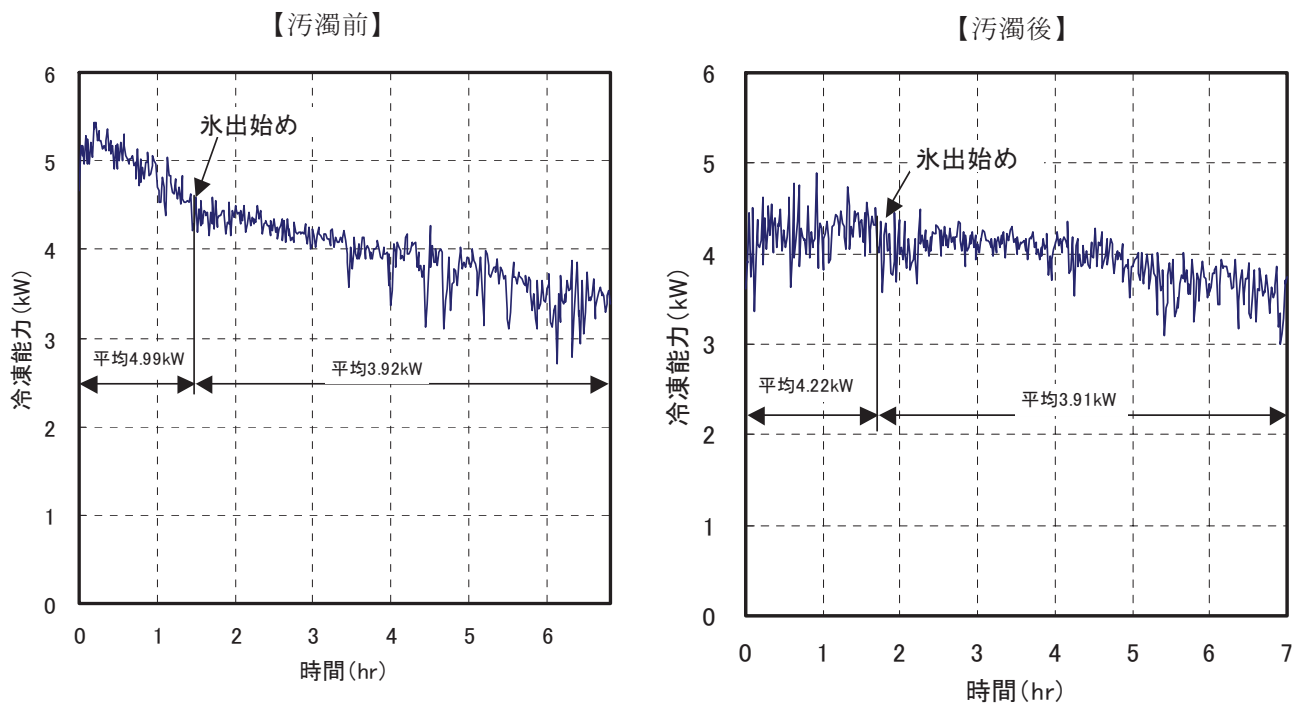
結果を見ると汚濁後のほうが若干効率が悪くなっているように見えるため、この項目については洋上試験で再度確認する必要があると思われた。



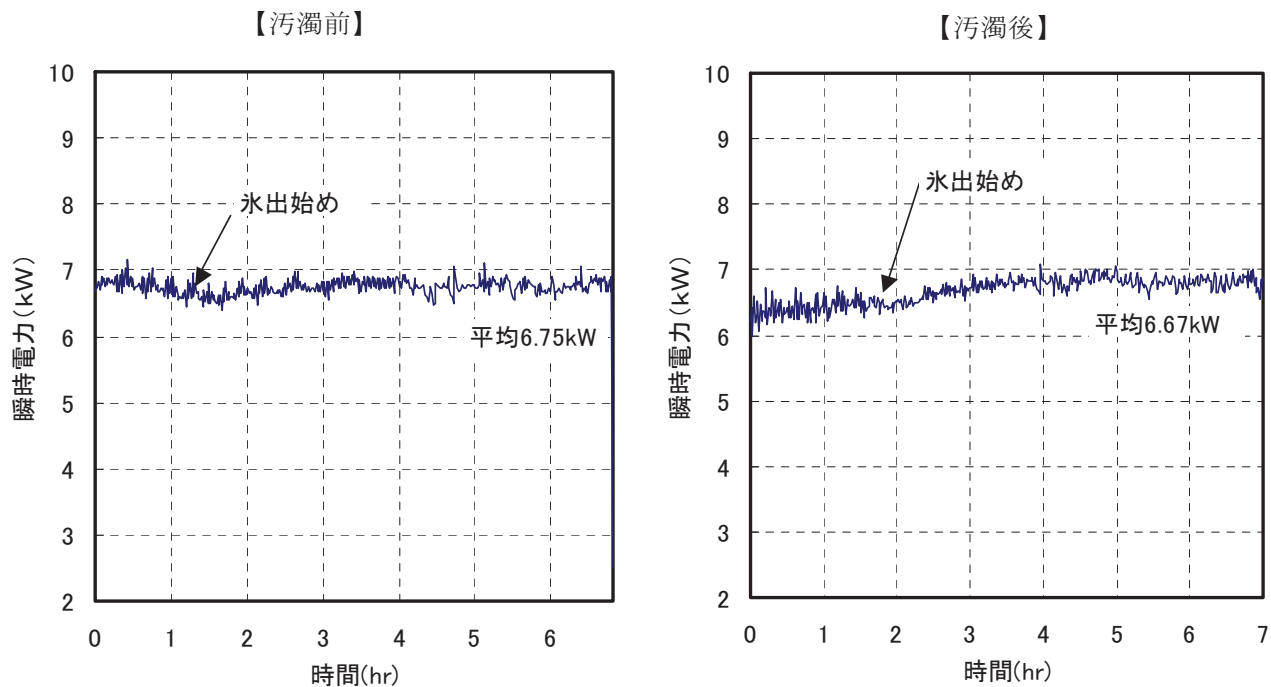
図Ⅲ.2-59 汚濁前後の状態



図Ⅲ.2-60 汚濁前後のブライン温度推移比較



図Ⅲ.2-61 汚濁前後の冷凍能力推移比較



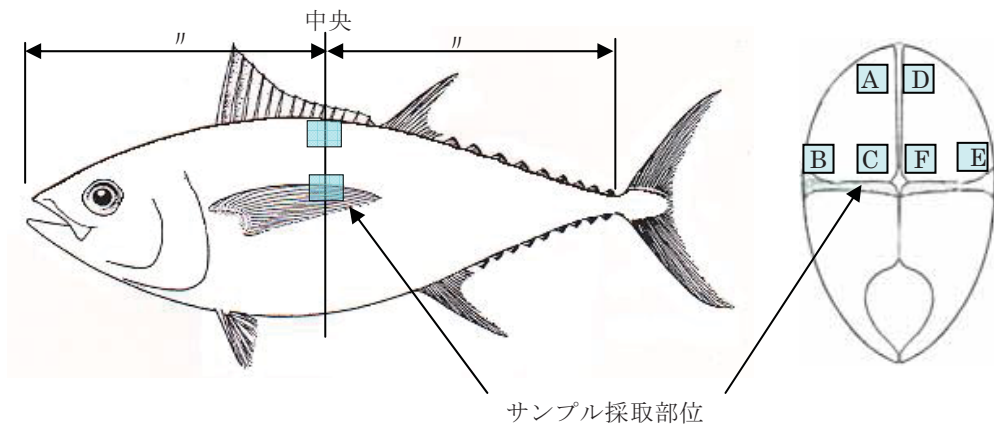
図Ⅲ.2-62 汚濁前後の瞬時電力推移比較

(オ) 凍結まぐろの品質確認

品質については、スラリーアイス凍結品が管棚凍結品と同等以上の品質であることを確認することを目的として、顕微鏡写真による組織の破損程度、解凍後のドリップ量と目視による褐変具合、及び官能検査によるアルコール臭の有無の確認をおこなった。尚、確認に使用したまぐろの管棚凍結品は、庫内温度を現状の操業状態に合わせた温度で推移させたものを使用した。

①顕微鏡写真による組織の破損程度の確認

凍結まぐろの図Ⅲ.2-63 に示す部位から凍結された状態で採取したサンプルをマリノリサーチ㈱に依頼し、パラフィン切片標本作成後、倍率 400 倍にて組織顕微鏡写真をおこない確認をおこなった。



図Ⅲ.2-63 サンプル採取部位

撮影した顕微鏡写真を表Ⅲ.2-10 に示す。細胞の破損程度は両凍結方式でほぼ同じであった。

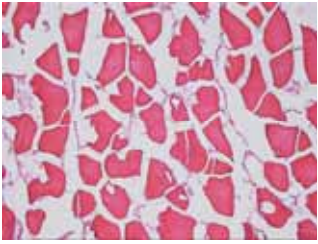
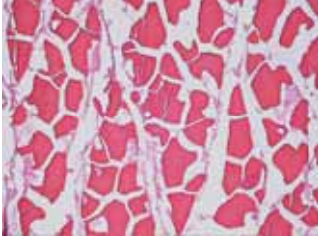


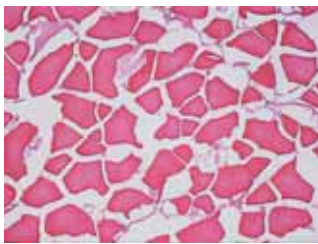
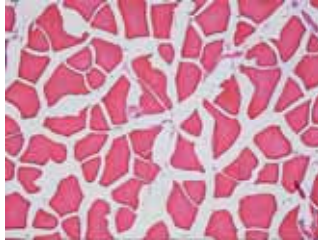
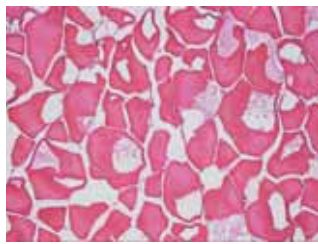


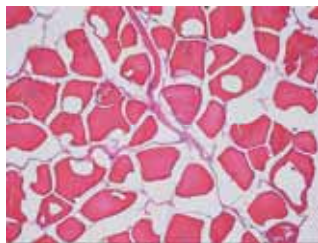
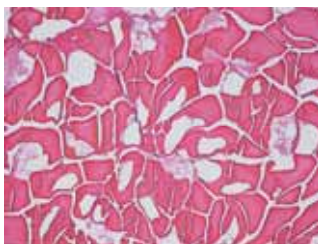
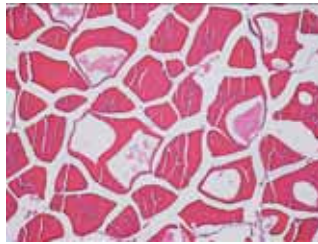
②解凍後のドリップ量と目視による褐変具合の確認

図Ⅲ.2-63 の A と C の中間部位を $-8^{\circ}\text{C}$ まで解凍後サク取りし、 $\text{L60mm} \times \text{W40mm} \times \text{H15mm}$ の切り身を 10 切作製し、重量を測定後 $5^{\circ}\text{C}$ で 24 時間冷蔵保存したもののドリップ量の測定と目視による褐変状態の確認をおこなった。ドリップの測定結果を表Ⅲ.2-9 に示す。ドリップについても、ほぼ差はみられなかった。

表Ⅲ.2-9 ドリップ測定結果

	スラリーアイス凍結品	管棚凍結品
解凍時	491.71 g	510.2 g
24時間後	481.64 g	499.19 g
ドリップ	10.07 g 2.05 %	11.01 g 2.16 %

表Ⅲ.2-10 顕微鏡写真結果一覧

	スラリーアイス凍結品	管棚凍結品
部位 A		
部位 B		
部位 C		
部位 D		
部位 E		
部位 F		

褐変状態もドリップ確認用サンプルでおこなった。ドリップ測定直前の状態を図Ⅲ.2-64に示す。どちらも刺身として利用できる赤色を保持していたが、管棚凍結品のほうが若干褐変が進行していた。



図Ⅲ.2-64 褐変状態の比較

### ③官能検査によるアルコール臭の有無の確認

顕微鏡写真用サンプル採取した残りを5℃で24時間解凍後、刺身にして25名の検査官（弊社従業員。男性21名、女性4名）に処理方法を知らせずに検査した結果、アルコール臭を検知した検査官は0名であった。

まぐろをアルコールブラインで凍結した場合のアルコールの浸透量を測定については、遠藤・飯島<sup>5)</sup>によって下記の通り報告されている

#### ・ブライン

エタノール 50wt%の水溶液に、水に対して海水と同程度の塩分となる3.5%の食塩を添加したものを使用。凍結時のブライン温度は-35℃。

#### ・凍結サンプル

キハダマグロ。35kg×1尾。300φ（270φ）×L1400。

鮮魚として入手して凍結するまでの間氷詰めにして保存。

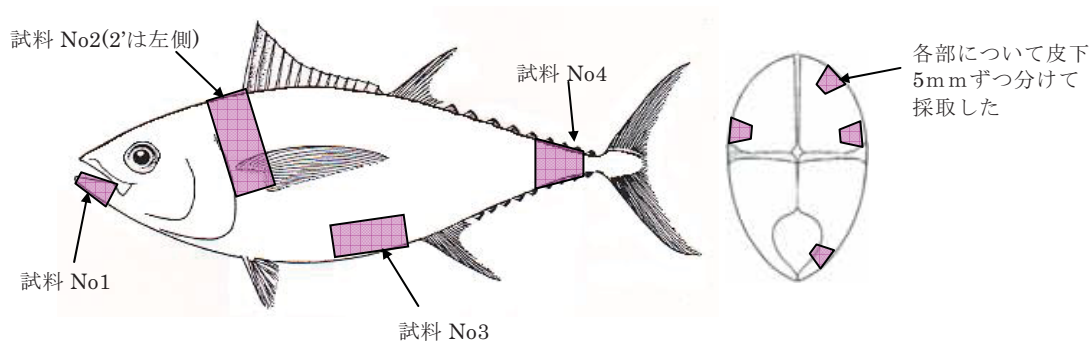
#### ・凍結時間

13時間。

#### ・浸透量の分析方法

試料魚肉 5.0gに蒸留水 5mlを添加し、均質化した後上澄液をガスクロで分析

・浸透分析試料の摘出位置（図Ⅲ.2-65 参照）



図Ⅲ.2-65 摘出位置

・浸透量計測結果（表Ⅲ.2-11 参照）

表Ⅲ.2-11 浸透量計測結果

(単位: ppm)

試料No.	表面より 5mm	表面より 10mm	表面より 15mm
1	229	131	114
2	258	16	8
2'	387	257	129
3	34	77	1851
4	774	720	823

・所見

- ・尾部、下顎部等肉厚の薄い部分への浸透はかなり多い。
- ・外傷のない肉厚の厚い部分では、表皮下 10mm 以深の浸透濃度は非常に低い。
- ・腹肉では、腹腔内臓より浸透が顕著である。尚、表面より 15mm の試料については、殆ど内臓に接している状態である。

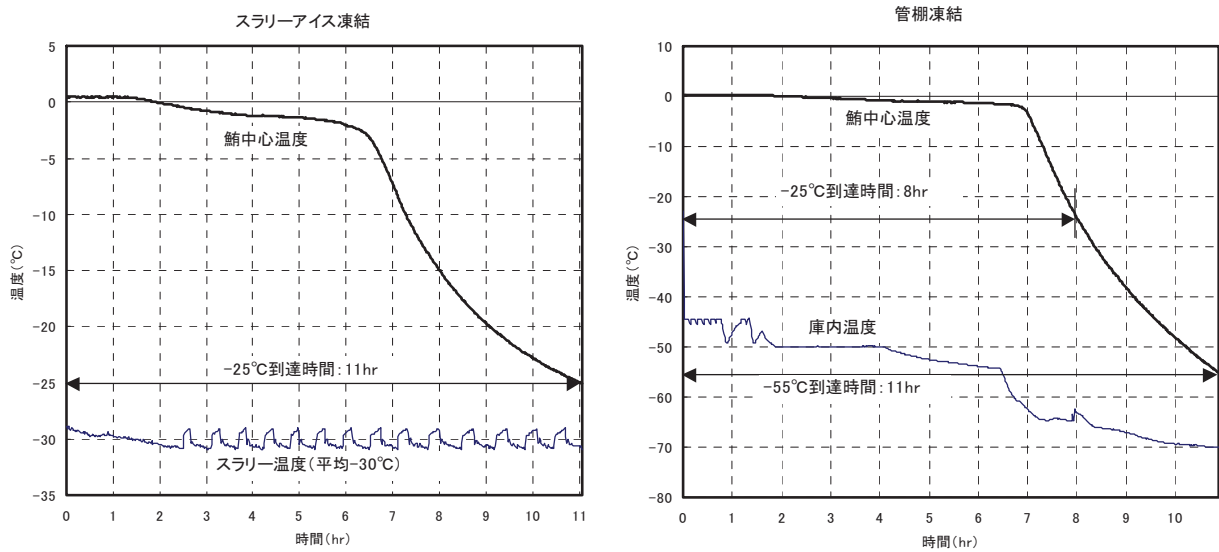
日持ちをよくするために食品に添加されているアルコールの量は、だいたい 0.5%~2.0%程度 (5,000~20,000ppm) である。判断目安として他の食品への添加量を挙げると、うどん 1~2%程度、味噌 2%程度、醤油 2%程度、ソース 1~2%程度、ハム 0.5%程度、ソーセージ 0.5%程度、かまぼこ 0.5%程度である。食品にエタノールが含まれている場合に、食品によっても違いはあるが、この程度の添加量では殆ど味覚上の感知はできない。

以上の結果より、浸漬凍結時のエタノールの浸透量は各部位 2000ppm 以下であるので問題にならないといえる。

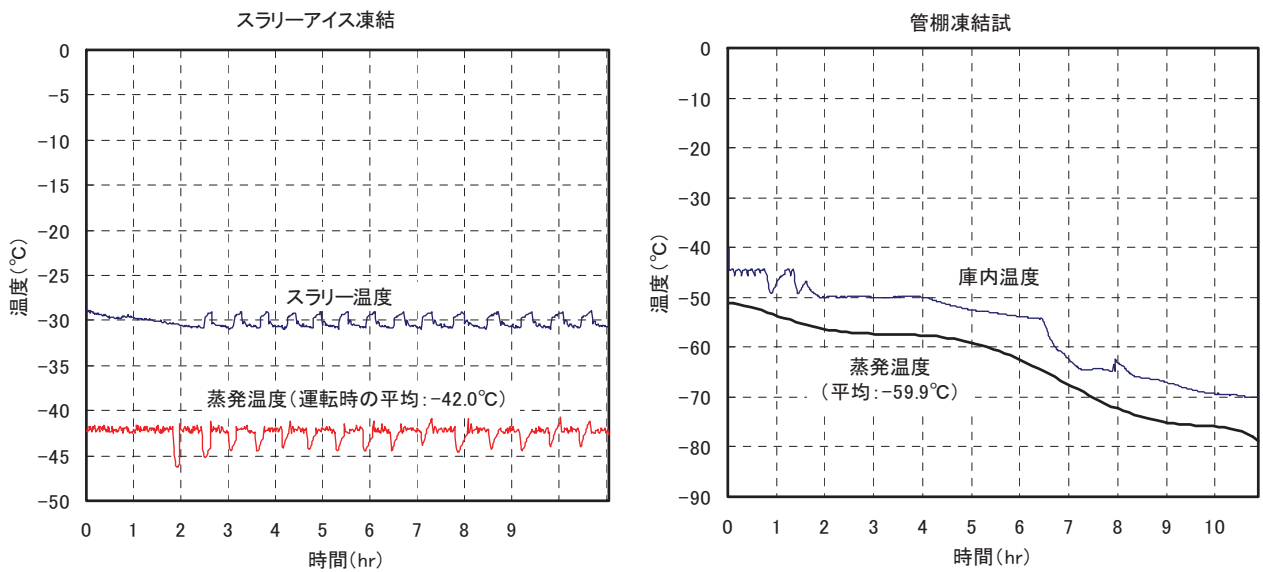
(カ) 消費電力の計測・比較

各凍結方法で電力計測しながらまぐろの凍結をおこない、消費電力の比較をおこなった。管棚凍結は、庫内温度を現状の操業状態に合わせた温度で推移させた状態で凍結したデータを使用した。また、省エネルギー効果は各凍結方法でのCOP（成績係数：単位消費電力当りの能力）を算出して比較した。

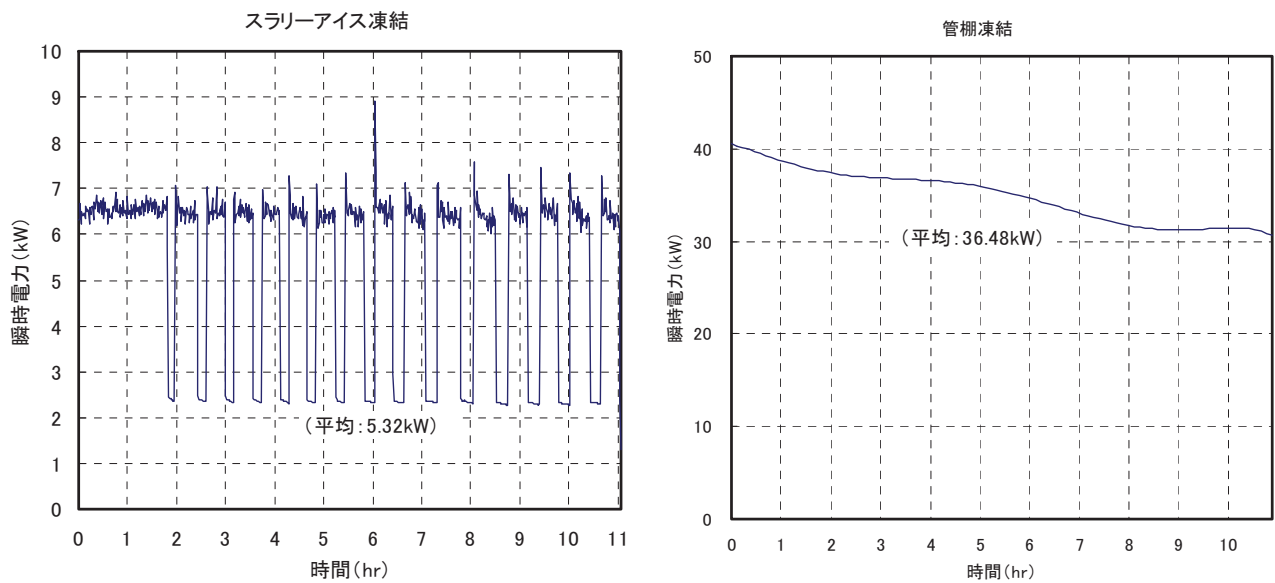
各凍結方法のまぐろ中心温度の推移を図Ⅲ.2-66に、蒸発温度の推移を図Ⅲ.2-67に、瞬時電力の推移を図Ⅲ.2-68に示す。



図Ⅲ.2-66 まぐろ中心温度の推移



図Ⅲ.2-67 蒸発温度の推移



図Ⅲ.2-68 瞬時電力の推移

(キ) アルコールブラインの安全な運用・管理方法の検討

まぐろの浸漬凍結に使用するエタノールは、一般に「アルコール製剤」と呼ばれるものが使用され、成分は食品添加物のみで構成されており、アルコール事業法の適用を受けず、酒税もかからないため 60wt%が 170kg で約 5 万円と比較的安価に入手できる。エタノールの分類を表Ⅲ.2-12 に示す。

表Ⅲ.2-12 浸透量計測結果

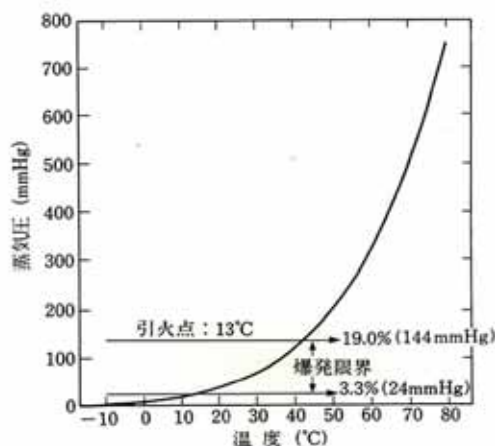
一般名称	品名	アルコール度数	製造方法	アルコール事業法	酒税法
特定アルコール	特定発酵アルコール99度1級	99.5容量%以上	発酵法	×	○
	特定発酵アルコール95度特級	95.0容量%以上	発酵法	×	○
	特定発酵アルコール95度1級	95.0容量%以上	発酵法	×	○
	特定合成アルコール99度	99.5容量%以上	合成法	×	○
	特定合成アルコール95度	95.0容量%以上	合成法	×	○
一般アルコール	一般発酵アルコール99度1級	99.5容量%以上	発酵法	○	×
	一般発酵アルコール95度特級	95.0容量%以上	発酵法	○	×
	一般発酵アルコール95度1級	95.0容量%以上	発酵法	○	×
	一般合成アルコール99度	99.5容量%以上	合成法	○	×
	一般合成アルコール95度	95.0容量%以上	合成法	○	×
試薬アルコール	エタノール(99.5 特級)	99.5vol%以上	発酵法	×	○
	エタノール(99.5 1級)	99.5vol%以上	発酵法	×	○
	エタノール(95 特級)	94.8~95.8vol%	発酵法	×	○
	エタノール(95 1級)	94.8~95.8vol%	発酵法	×	○
日本薬局方アルコール	無水エタノール	99.5vol%以上	発酵法	×	○
	エタノール	95.1~95.6vol%	発酵法	×	○
	消毒用エタノール	76.9~81.4vol%	発酵法	×	○
アルコール製剤 (エタノール製剤)	—	90容量%未満	発酵法	×	×
混合溶剤	—	90容量%未満	合成法	×	×
酒類	—	飲用に供するもの 1度以上	発酵法	×	○
酒類原料用アルコール (醸造用アルコール)	—	45度以上 (通常95度)	発酵法	○	○

エタノールの一般物性を表Ⅲ.2-13 に示す。

図Ⅲ.2-13 エタノールの一般物性

項目	物性値
分子量	46.068
沸点	78.32 °C
融点	-114.5 °C
密度(25°C)	0.78493 g/cm <sup>3</sup>
蒸気圧(20°C)	44.1 mmHg
蒸気密度	1.59
引火点(密閉)	13 °C
(開放)	18 °C
(60%)	22.6 °C
発火点	439 °C
爆発限界	3.3~19.0 vol%
最大爆発圧	736 kN/m <sup>2</sup>

エタノールの特性で問題となるのは引火点と爆発限界である。エタノールの蒸気濃度と爆発限界を図Ⅲ.2-69 に、エタノール水溶液の引火点を表Ⅲ.2-14 と図Ⅲ.2-70 に示す。

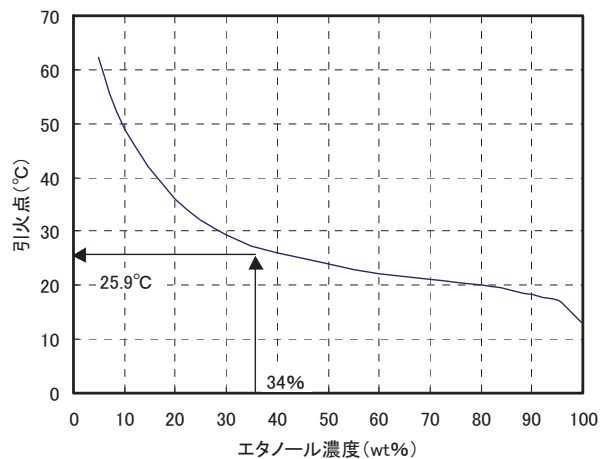


図Ⅲ.2-69 アルコールの蒸気濃度と爆発限界

図Ⅲ.2-14 エタノール水溶液の引火点

アルコール濃度		引火点(°C)	
Vol%	wt%	文献値※1	計算値※2
5	4.0	62.2	62.1
10	8.1	48.9	49.2
20	16.3	36.1	35.7
30	24.7	29.4	29.7
40	33.4	26.1	26.1
40.7	34.0		25.9
42.9	36.0		25.3
45.1	38.0		24.8
47.3	40.0		24.3
49.5	42.0		23.8
50	42.5	23.9	23.7
60	52.1	22.2	22.2
70	62.4	21.1	21.2
80	73.5	20	19.9
95	92.4	17.2	17.2
96	93.9	16.7	16.7
100	100.0	12.8	12.8

※1: 本値は下記参考文献からの抜粋値  
 社団法人アルコール協会: 第9版アルコールハンドブック(1997)  
 ※2: 本値は、文献値を回帰分析して求めた値。



図Ⅲ.2-70 エタノール水溶液の引火点

引火点が比較的低い温度であることから、エタノールの使用には各法規で規制されている。

・消防法

60wt%以上が「危険物第四類アルコール類」に該当し規制対象となる。

・危険物船舶運送及び貯蔵規則

24vol%（19.6wt&%）以上が「引火性液体」の危険物となり、規制の対象となる。

漁船で 34wt%エタノールブラインを使用する場合、現状では上記の「危険物船舶運送及び貯蔵規則」に則り運用することになる。この法規で本エタノールブラインに関連する部分を以下に抜粋する。

①分類

第2条—第1号ハの(1)により、引火性液体類に分類される。

(用語)

第二条 この規則において、次の各号に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

ハ 引火性液体類 次に掲げるものをいう。

(1) 引火点（密閉容器試験による引火点をいう。以下同じ。）が摂氏六十一度以下の液体（引火点が摂氏三十五度を超える液体であって燃焼継続性がないと認められるものを除く。）で、**告示**で定めるもの

**【船舶による危険物の運送基準等を定める告示】**

(危険物等)

第二条 3 規則第二条第一号ハ(1)、(2)及び(3)の告示で定めるものは、別表第一の品名の欄に掲げる物質のうち、分類の欄が引火性液体類であるものとする。

国連番号	品名	分類	等級	容器等級	少量危険物の許容量	容器及び包装	積載方法	備考
1170	エタノール又はその溶液 (24Vol%以下の水溶液の除く)	引火性液体類	3	Ⅲ※1	5 ㍓	小型:P001、大型:LP01、 IBC 容器:IBC03、 IMO : T1、UN : T2、TP1	A	SP144 SP223 SP330

※1：引火点が 23℃以上 60℃以下であって、初留点が 35℃を超える液体

等級 3：引火性液体

積載方法 A：旅客船以外の船舶⇒甲板上積載又は甲板下積載

備考：SP144⇒アルコール含有率が 24Vol%以下の水溶液は危険物に該当しない。

SP223⇒容器等級が I～Ⅲに該当せず、かつ環境有害物質に該当しないものは危険物に該当しない。

SP330⇒石油製品の規定（省略）

小型容器：内容積が 450 ㍓以下で、収納危険物が 400kg 以下

大型容器：内容積・収納危険物が小型容器を越え、内容積が3000ℓ以下のもの

## ②積載方法

### 第六節 引火性液体類

(引火性液体類の積載方法)

第五十九条 引火性液体類を運送する場合は、船長は、**第二十条第一項①**の規定によるほか、その積載方法に関し**告示②**で定める基準によらなければならない。

(準用規定)

第六十条 **第四十七条第三項③**及び**第五十七条④**の規定は、引火点が摂氏二十三度未満の引火性液体類について準用する。

2 **第四十八条⑤**の規定は、引火性液体類について準用する。

①**第二十条** 危険物を運送する場合は、船長は、その積載場所その他の積載方法に関し告示で定める基準（甲板上積載又は甲板下積載）によらなければならない。

②【船舶による危険物の運送基準等を定める告示】

- 一 発火源となる設備及び熱源から水平距離で三メートル以上離れており、かつ、できる限り温度の低い場所に積載すること。
- 二 旅客区域から水平距離で三メートル以上離れた場所に積載すること。
- 三 通風が良好な場所に積載すること。

③**(適用されない内容)**荷役をする場所又は積載してある場所及びこれらの付近においては、マッチ、むきだしの鉄製工具その他火花を発生しやすい物品を所持し、又は鉄びようの付いているくつ類をはいてはならない。

④**(適用されない内容)**1 積載する船倉又は区画内に電気回路の端子がある場合は、積載前にその電気回路を電源から遮断し、かつ、当該船倉又は区画内の引火性ガスがなくなつた後でなければ電源に接続してはならない。ただし、当該船倉又は区画内に取り付けてある電気器具が防爆型のものであるときは、この限りでない。

甲板上積載：危険物を暴露甲板又は開放された船楼、甲板室若しくはこれらに類する場所に積載することをいう。

甲板下積載：危険物を暴露甲板下の場所であつて、開放された船楼、甲板室及びこれらに類する場所以外の場所に積載することをいう。

## ③コンテナによる危険物の運送等

(コンテナの構造等)

第二十五条 危険物をコンテナに収納して運送する場合は、コンテナの構造及び性能に関し告示で定める基準に適合するものでなければならない。

【船舶による危険物の運送基準等を定める告示】

- 一 コンテナは、危険物の運送に十分耐える構造及び強度を有するものであること。
- 二 別表第一の品名の欄に「温度管理が必要なもの」が掲げられている危険物（以下省略）
- 三 引火点が摂氏 23 度以下の危険物（前号の危険物を除く）を収納するコンテナの電気器具は防爆型のものであること。ただし、当該危険物を収納するコンテナが、運送中常に当該危険物の温度を引火点より 10 度以上低く保つことができ、かつ、冷却システムに故障が発生した場合、当該システムの運転を停止し動力源から完全に遮断できる構造を有する場合には、この限りでない。

(危険物の収納方法)

第二十六条 危険物をコンテナに収納して運送する場合は、あらかじめ、当該コンテナを十分に清掃し、かつ、当該危険物を収納した場合に当該コンテナに付すことを要しない標識及び表示は、取り外さなければならない。

- 2 危険物をコンテナに収納する場合は、当該危険物の移動、転倒、衝撃、摩擦、圧壊、漏えい等により危険を生じるおそれがないように、かつ、当該危険物のいずれの部分も外部に突出しないように収納し、コンテナの開閉扉を閉鎖しなければならない。

(コンテナの積載方法等)

第三十二条 危険物が収納されているコンテナを積載する場合は、移動、転倒、損傷、圧壊等を生じないように積載しなければならない。

- 2 危険物が収納されているコンテナをコンテナのみを積載するための設備を有する船倉、区画又は甲板上に積載する場合は、第二十条に規定するもののほか、告示で定める積載方法（この告示は 23℃以上は関係なし）によらなければならない。

④引火性の貨物に係る通風装置

第百九十三条 引火性の貨物を運送する船舶に備え付ける機械通風装置であつて当該貨物が滞留するおそれのある場所を通風するものは、次の各号に掲げる要件に適合するものでなければならない。

- 一 ファンを駆動する電動機が通風用ダクトの外側に設けられているものであること。
- 二 ファン及びダクトは、火花を発生しないものであること。

⑤その他

第 326 条から第 356 条に準じる。

現状では、以上の規制をクリアする構造とする必要があり、実用化の障害となっている。海運局からは運用方法と絡めれば認可される可能性を示唆されたが、最終判断までにはまだ時間がかかる見込みである。

また、エタノールの海洋投棄についてはこれまでは認められていたが、バイオエタノールの燃料活用が活発化したことの影響か、数年前の法改正で下記の内容となり、海洋投棄ができなくなった。

「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」

### 第三条 三 有害液体物質

油以外の液体物質のうち、海洋環境の保全の見地から有害である物質（その混合物を含む。）として政令で定める物質であつて、船舶によりばら積みの液体貨物として輸送されるもの及びこれを含む水バラスト、貨物艙の洗浄水その他船舶内において生じた不要な液体物質（海洋において投入処分をし、又は処分のため燃焼させる目的で船舶に積載される液体物質その他の環境省令で定める液体物質を除く。）並びに海洋施設その他の海洋に物が流出するおそれのある場所（陸地を含む。）にある施設（以下「海洋施設等」という。）において管理されるものをいう。

#### 【施行令】

第一条の二 法第三条第三号 の政令で定める海洋環境の保全の見地から有害である物質は、別表第一のとおりとする。

別表第一 （第一条の二関係）

三 Z類物質等 イ Z類物質

(20) エチルアルコール

この点についても、ブラインとして使用されたエタノールの希釈投棄の可能性を今後海運局に相談する予定である。

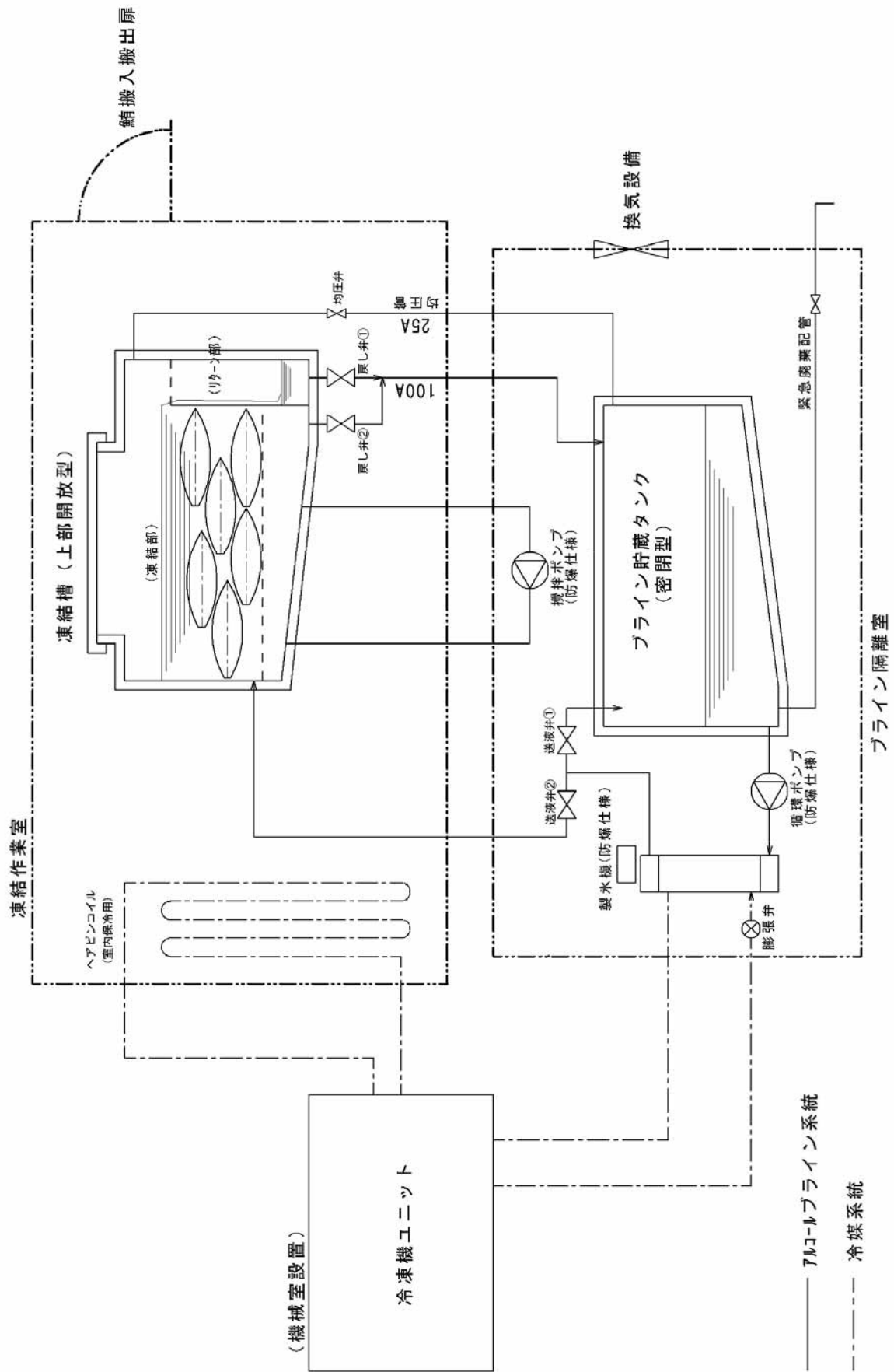
#### (ク) 実際の船上での作業手順と装置の検討

本システムを既存の遠洋鮪はえ縄漁船に装備するための構造を検討した。

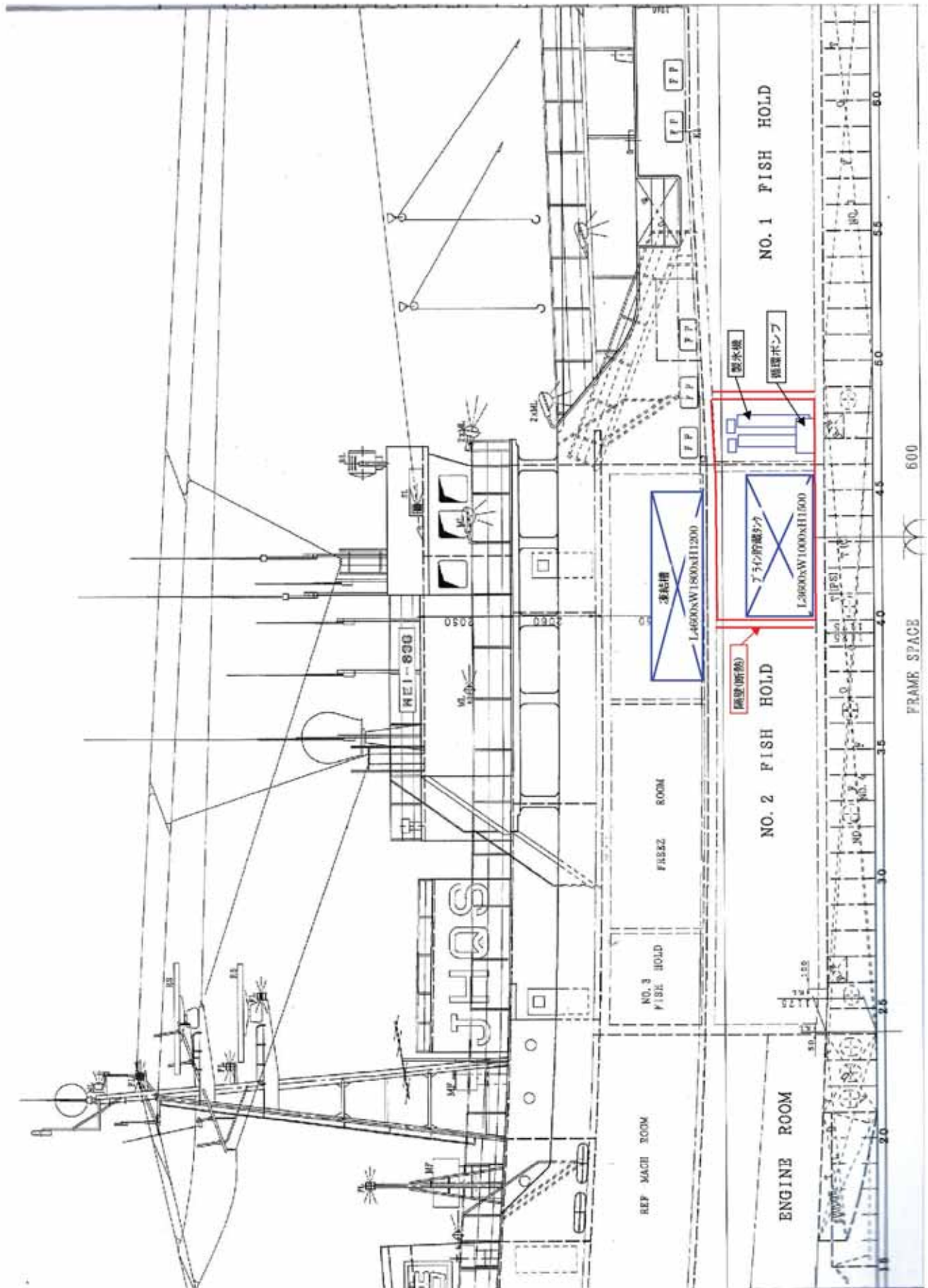
検討の基本条件は下記の通りである。

- ・まぐろ処理量 1 凍結槽あたり 1.5Ton。
- ・設置場所 現状の管棚凍結装置を設置している凍結庫と、その下部の魚倉を使用。
- ・凍結槽寸法 内寸：L4.4m×W1.6m×H0.9m
- ・冷凍機 既存の冷凍機を使用。但し、省エネ効果を向上させるために、圧縮機 1 台を本システム専用とする。  
(既存船への換装時はアンロード運転とする)

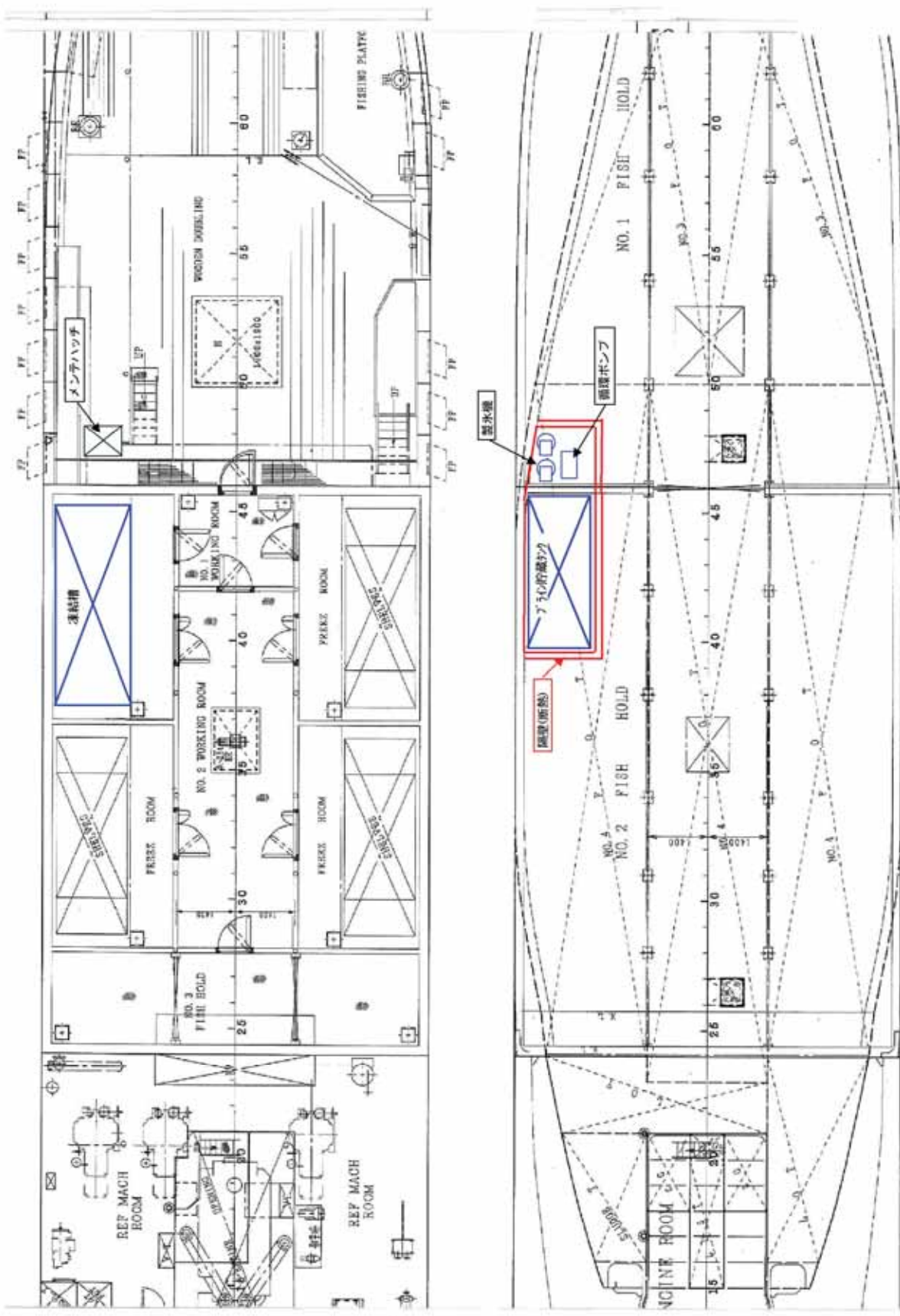
以上の条件を元に検討したシステムの系統図を図Ⅲ.2-71 に、本システムの漁船設置図を図Ⅲ.2-72、図Ⅲ.2-73 に示す。



図III.2-71 漁船搭載システム系統図



図III.2-72 漁船配置図①



図Ⅲ.2-73 漁船配置図②

本システムの作業手順は下記の通りとなる。

※図Ⅲ.2-74 参照

1. 初期の弁開閉状態

送液弁①のみ「開」、その他の弁（送液弁②、戻し弁①②、均圧弁）は「閉」とし、「凍結槽」と「ブライン貯蔵タンク」を完全分離状態とする。

※ブライン隔離室の換気設備は常時稼動とする。

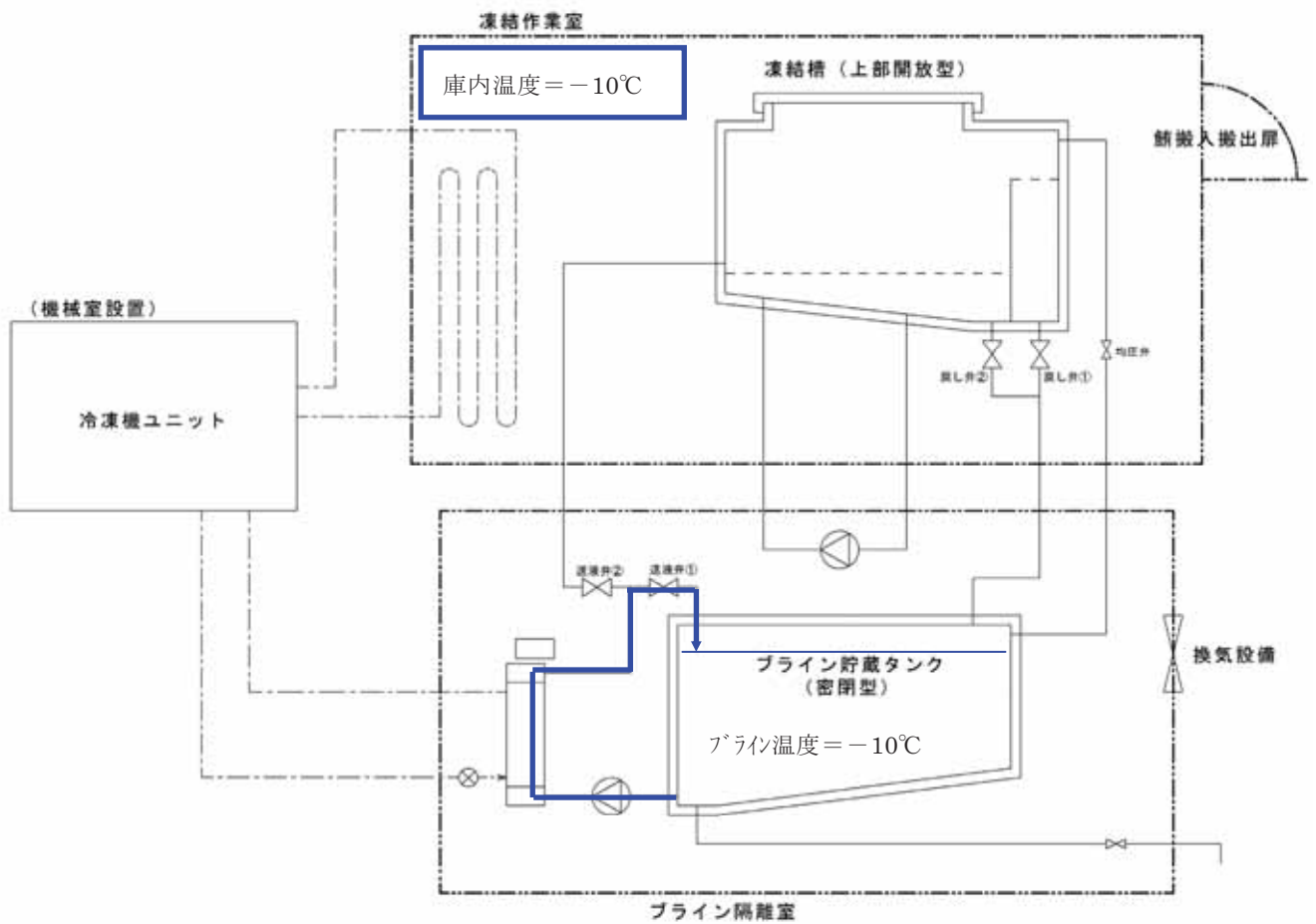
2. ブライン調整

①ブラインには 34wt%エタノール水溶液を使用する。（引火点：25.9℃）

②ブラインの調整は使用全量を「ブライン貯蔵タンク」でおこなう。

3. 凍結準備

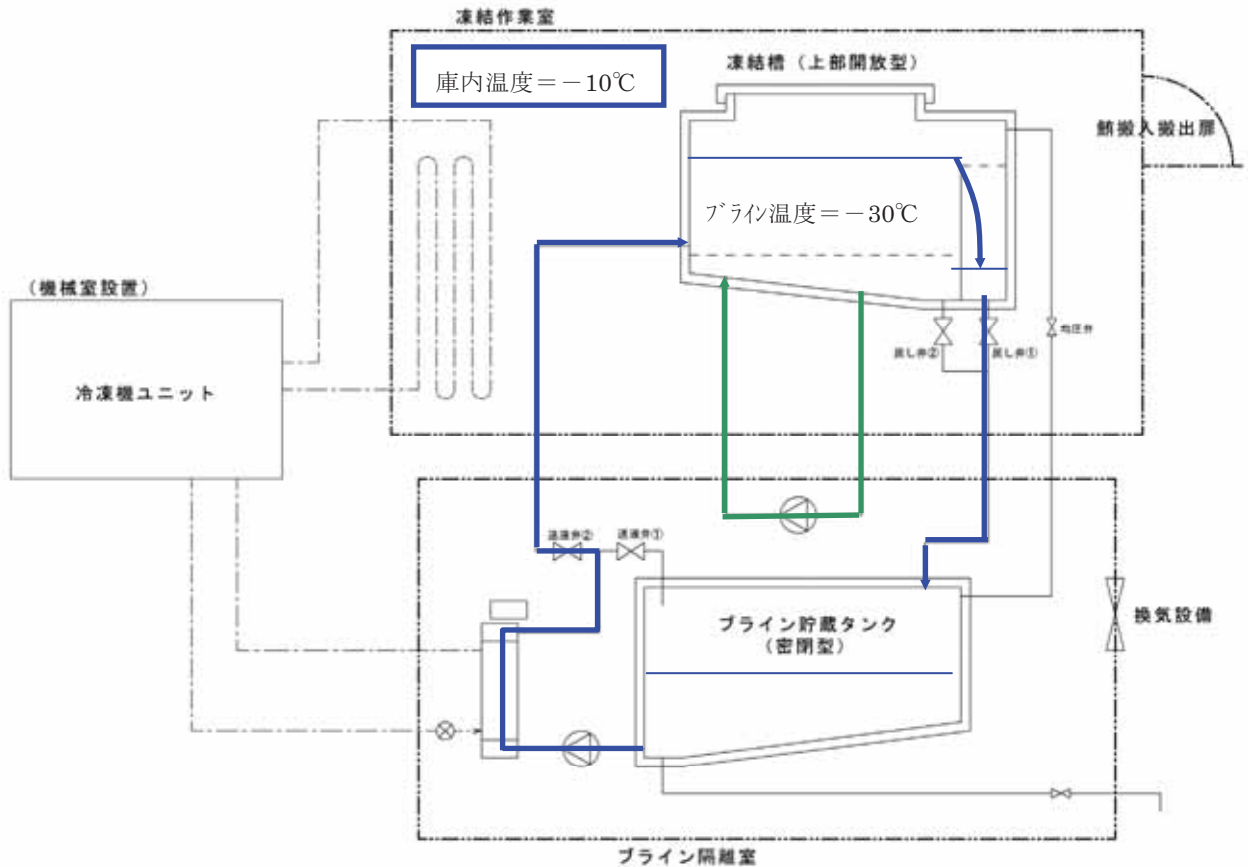
①下記系統で、ブライン貯蔵タンク内のブラインを $-10^{\circ}\text{C}$ 以下に予冷すると同時に、ヘアピンコイルで凍結作業室を $-10^{\circ}\text{C}$ 以下に予冷する。



図Ⅲ.2-74 作業手順図①

※図Ⅲ.2-75 参照

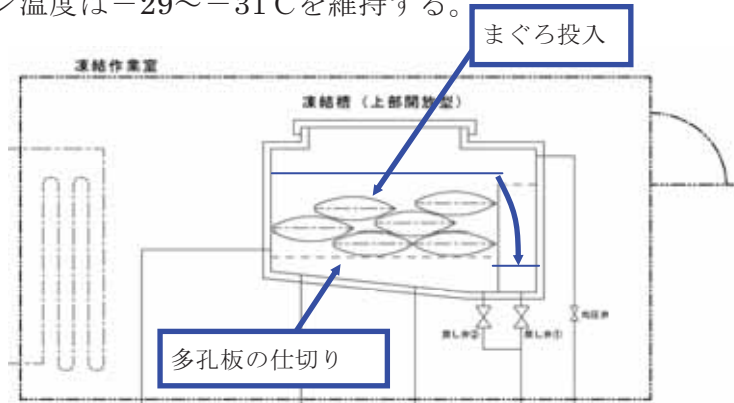
②ブライン温度 $-10^{\circ}\text{C}$ 以下、及び凍結作業室の室内温度 $-10^{\circ}\text{C}$ 以下の条件が揃ったことを確認の上、送液弁①を「閉」、送液弁②・戻し弁①・均圧弁を「開」とし、下記系統で15wt%スラリーアイスを製造する。  
凍結中は図中の  $\rightarrow$  のラインも同時に動かし、ブラインの攪拌をおこなう。



図Ⅲ.2-75 作業手順図②

#### 4. まぐろ凍結作業

図Ⅲ.2-75 の状態で、凍結槽にまぐろを投入し、凍結をおこなう (図Ⅲ.2-76 参照)。  
凍結中のブライン温度は $-29\sim-31^{\circ}\text{C}$ を維持する。

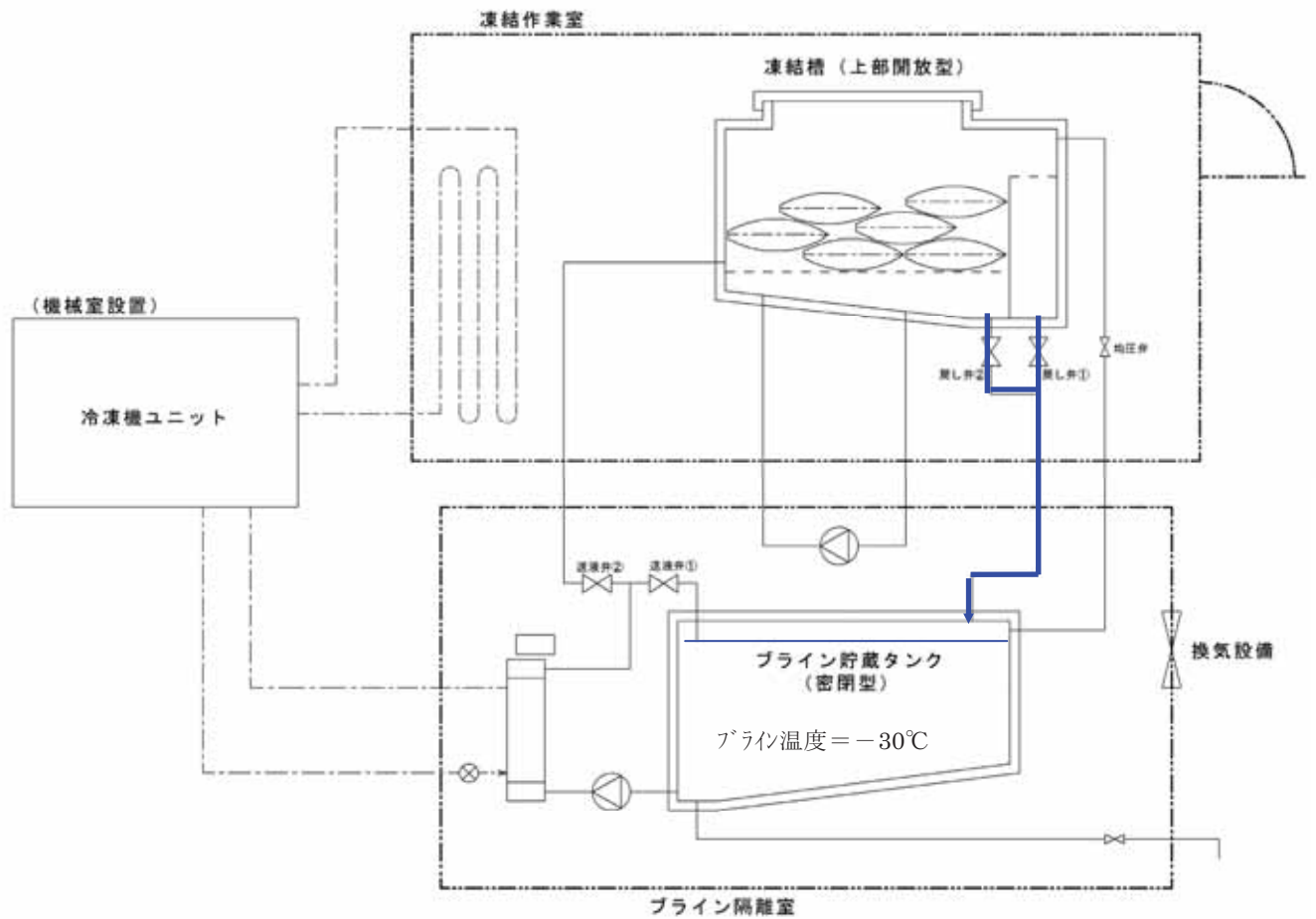


図Ⅲ.2-76 作業手順図③

※図Ⅲ.2-77 参照

5. まぐろ搬出作業

循環ポンプを停止後、戻し弁②を「開」とし、凍結槽内のブラインを全てブライン貯蔵タンクに回収。この状態で 10 分程度放置し、まぐろに付着したブラインも十分に回収し終えた後、まぐろを凍結槽から搬出し、保冷魚倉に移す。



図Ⅲ.2-77 作業手順図④

◎以後、この繰り返しで凍結をおこなう。

◎長期間凍結を行なわない場合は、上図の要領で全てのブラインをブライン貯蔵タンクに回収した後、送液弁①②、戻し弁①②、均圧弁を「閉」とし、気密状態でブラインを保管する。

### 3 技術開発の結果

#### (1) 技術導入前後の省エネルギー効果比較

図Ⅲ.2-66、図Ⅲ.2-67、図Ⅲ.2-68 のデータから求めた省エネ率を表Ⅲ.3-1 に示す。  
尚、省エネ効率を実測範囲で比較するため、まぐろ中心温度が-25℃までのデータで比較した。

表Ⅲ.3-1 省エネ効率算出表

項目		スラリー凍結	管棚凍結	単位
凍結時間 (0.5℃～	-25℃	11	8	hr
	-55℃	—	11	hr
消費電力	-25℃	58.55	291.83	kWh
	-55℃	—	380.23	kWh
平均電力	-25℃	5.32	36.48	kW
	-55℃	—	34.57	kW
(以下、-25℃で比較)				
冷媒蒸発温度		-42	-59.9	℃
圧縮機能力		6.8	28.68	kW
COP(成績係数)		1.278	0.786	

#### (2) 省エネルギーの効果

前項の COP で比較すると、

$$(1 - 0.786 \div 1.278) \times 100 = 38.5\%$$

以上により、本試験での省エネルギー効率は 38.5% となった。

#### (3) 開発成果物による費用対効果と普及の見込みについて

1 回に 1.5Ton のまぐろを凍結するシステムの設備費の概要は下記の通りとなる。

・スラリーアイス製造装置	1000 万円
・凍結槽、ブライン貯蔵タンク	300 万円
・船体改造費	1000 万円
・装置換装費	500 万円
合計	2800 万円

現状の冷凍機運転動力を文献「松元要、海洋水産エンジニアリング、Vol55、P17(2006,3)」のマグロ延縄漁船の燃料消費データの内、最も冷凍機を稼働させている第二次航海のデータを用いて試算すると

航海日数	710 日
冷凍機消費重油量	689,909 リットル

※文献「平成 15 年度環境保全型水産技術の開発事業、環境にやさしい水産専用技術の開発」((社)海洋水産システム協会、P51、2004 年) より冷凍機消費重油量の凍結装置が使用する割合は約 67% であるので、試算では全消費重油量の半分をみて、344,955 リットル

年間ベースに換算すると、

$344,955 \text{ リットル} \div 710 \text{ 日} \times 365 \text{ 日} = 177,336 \text{ リットル}$

この内、38.5%が省エネで不要となるため、

不要になる重油量 =  $177,336 \times 0.385 = 68,274 \text{ リットル}$

A 重油の価格は、石油情報センター発表の平成 20 年度重油価格の平均値  
(大型ローリー) とすると、90.4 円/リットル

よって、削減される燃料費は

$68,274 \times 90.4 = 6,178,830 \text{ 円/年}$

従って、本システムの導入費は 5 年程度での回収が見込める。

#### 4 技術開発の評価

本技術開発は、遠洋鮪はえ縄漁船の凍結システムを現状の管棚式凍結装置からスラリーアイスを含むアルコールブライン浸漬装置とすることによる省エネルギー化について、本年度は陸上でのシステム検証を目的として実施した。

実施内容は、低温スラリーアイス製造における基本的なシステム検証、実際にまぐろを凍結することによる計画内容の検証、及び本システムの漁船搭載における基礎検討をおこなった。

その結果、

- ・エタノール水溶液のスラリーアイスで鮪を凍結する際の凍結条件等を確定できた。
- ・実際に低温スラリーアイス製造装置を製作し、低温スラリーアイスを製造するためのハード面のノウハウを蓄積できた。
- ・スラリーアイスの氷濃度を自動調整するシステムを確立できた。
- ・実際に鮪を凍結し、管棚式凍結法との省エネ効果を実験レベルでは確認できた。
- ・半開放型凍結槽でスラリーアイス凍結をおこなう場合、1ヶ月の連続使用においてもエタノール濃度は問題になるほどの変化は認められなかった。
- ・34wt%濃度のエタノールの引火点は、凍結作業をおこなっている限りでは問題にならないことが確認できた。
- ・凍結後のまぐろの品質は、現状の管棚凍結と同等であることが確認できた。
- ・本システムの漁船搭載についての基礎計画を検討できた。

以上により、省エネ効率が計画内容よりも若干悪い結果となったが省エネ効果としては評価できる値が得られ、次の段階である漁船搭載のための基礎データの蓄積ができ、よりスムーズに次段階へ移行できる下地を得ることができた。

## 5 導入のあり方

本年度の成果は陸上システムでの検証結果であるので、速やかに洋上での検証が必要であると思われるが、船舶ではエタノールは引火性液体であるため、その利用に大幅な規制がかかり、検証試験の計画実施が困難な状態である。引火性液体は取扱いを慎重にしなければ大事故につながるが、34wt%エタノールの場合、液温を 20°C以下に維持できれば火災につながる危険性は殆どない。冷媒としてのアンモニアの使用と同様、ブラインとしてのエタノールの使用についての法整備が必要と思われる。同時に、夏場やドッグ時のブライン温度上昇時の安全性確保について、さらに検討を加える必要がある。

また、本システムを既存鮪漁船に換装する場合、凍結槽設置スペースが現状の凍結庫の場所にならざるを得ない事情があるため、より効率的な作業をおこなえる詳細構造を検討する必要がある。

さらに、汚濁ブラインによる製氷効率の低下について、今回の検証ではほとんど差がみられなかったが、実際にはもっと血垢が混入した汚濁状態で長時間の稼動となるため、この点は洋上試験でも再度確認する必要がある。

### 参考文献

- 1) 尾藤方通：日本水産学会誌、34、P608－612（1968）
- 2) 尾藤方通：日本水産学会誌、33、P33－40（1967）
- 3) 尾藤方通：日本水産学会誌、31、P534－539（1965）
- 4) 小川 豊：冷凍、56、P977－988（1981）
- 5) 遠藤孝雄、飯島孟文：冷凍、52、P959－958（1977）

