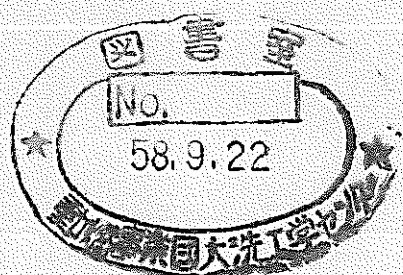


格納容器雰囲気調整系冷凍設備(床上冷凍設備)の 追加設置報告書

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N941 83-118
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

1983年7月



動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



PNC T N941 83-118

社内一般

PNC T N941 83-118

1983年7月

格納容器雰囲気調整系冷凍設備(床上冷凍設備)の 追加設置報告書

高須宏雄* 時田光彦*
宮口公秀* 遠藤順一*

要旨

原子炉格納容器雰囲気調整系は格納容器内雰囲気の冷却を行なう系統である。本系統はこれまで2台のターボ冷凍機（うち1台は予備）を使用して運転を行なってきた。しかし、原子炉出力100 MW運転時に格納容器内で発生する熱負荷に対応するためと、ターボ冷凍機の安定運転に支障となる格納容器床上（常時空気雰囲気）区域の負荷変動の問題を解決する必要が生じたため格納容器雰囲気調整系から格納容器床上区域分の熱負荷を分離し、新たに専用の床上冷凍設備を追加設置した。

この結果、既設のターボ冷凍機は床下区域専用となり、原子炉出力100 MW運転時の熱負荷に対し1台のみで運転を行なうことが可能となったため常時予備を確保することができるようになった。また、ターボ冷凍機の安定運転の確保および床上の負荷変動に対処することが可能となった。

本報告は格納容器雰囲気調整系に新たに追加設置した床上冷凍設備の概要、性能検査とその結果、運転等についてまとめたものである。

* 高速実験炉部原子炉第二課

目 次

1. 緒 言	1
2. 設備の概要	2
2.1 設置の目的	2
2.2 機器の構成	2
2.3 機器の仕様	3
3. 設計仕様	6
3.1 設計条件	6
3.2 設計計算結果	7
4. 設置経過	10
5. 使用前検査	11
5.1 単体性能試験	11
5.2 全体性能試験	14
6. 結果と評価	18
6.1 材料検査及び溶接部検査結果	18
6.2 耐圧・漏洩試験	18
6.3 外観・寸法検査	18
6.4 電気品試験	18
6.5 単体性能試験	19
6.6 全体性能試験	20
7. 床上冷凍設備の運転	21
7.1 床上冷凍設備の起動	21
7.2 定常運転	22
7.3 停 止	22
7.4 異常時の処置	23
8. 結 言	23
9. 謝 辞	24
10. 参考資料	24

図表リスト

表 5 - 1 使用前検査項目一覧表

表 5 - 2 使用前検査試験項目一覧表

表 6 - 1 冷水ポンプ単体性能試験結果(1)

表 6 - 2 冷水ポンプ単体性能試験結果(2)

表 6 - 3 チーリングユニット単体性能試験結果

表 6 - 4 空気流量測定記録

表 6 - 5 全体性能試験結果

表 7 - 1 床上冷凍設備電源リスト

表 7 - 2 床上冷凍機の運転基準

表 7 - 3 異常時の処置

表 7 - 4 警報項目一覧表

表 7 - 5 床上冷凍設備使用計器類リスト

図 2 - 1 格納容器床上霧氷調整系冷凍設備設置図

図 2 - 2 床上霧氷調整系冷凍設備系統図

図 2 - 3 空気冷却器(コイルユニット外形図)

図 4 - 1 格納容器床上霧氷調整系冷凍設備設置工程

図 5 - 1 冷水ポンプ単体性能試験要領図

図 5 - 2 冷水ポンプ予想性能曲線

図 5 - 3 チーリングユニット単体性能試験要領図

図 5 - 4 冷凍設備概略系統図及び測定点

図 5 - 5 冷凍設備全体性能試験図(出口空気温度, D_0)

図 6 - 1 冷凍設備全体性能試験結果(1)

図 6 - 2 " " (2)

図 6 - 3 " " (3)

図 7 - 1 冷凍設備電源系統図

図 7 - 2 異常時の警報フロー

1. 緒 言

原子炉格納容器雰囲気調整系は空気雰囲気調整系である床上区域（以後床上と記す）と通常は窒素雰囲気調整系になっている床下区域（以後床下と記す）とに分けられる。床上と床下の除熱はこれまで2台のターボ冷凍機（1台は予備機）を使用して行なわれてきた。しかし、高速実験炉「常陽」性能試験の結果から原子炉出力100 MW運転時に発生する熱負荷に対応できないことが明らかにされた。⁽¹⁾このため床上と床下の雰囲気調整系を分離し、新たに床上雰囲気専用の冷凍設備を設置した。本設備の設置によって生じた主な変更点は次のとおりである。

- (1) 従来のターボ冷凍機は床下雰囲気調整専用となる。
- (2) 床上雰囲気調整系の加熱器の撤去（従って床上雰囲気は冷却系のみとなった）。

この設置変更により原子炉出力100 MW運転時にターボ冷凍機は2台並列運転を行なう必要がなくなり、常時予備機を1台確保できることになった。また床上と床下雰囲気調整系が分離されたことによりメンテナンス時に床上と床下両調整系を同時に停止することを避けられたため、メンテナンスの実施が容易となった。さらに比較的負荷変動の大きい床上雰囲気の熱負荷をターボ冷凍機から切離したことにより、ターボ冷凍機は安定した運転を行なうことができるようになった。

本報告書は格納容器雰囲気調整系に新たに設置した床上冷凍設備の概要、性能検査とこれらの結果および運転等についてまとめたものである。

2. 設備の概要

2.1 設置の目的

原子炉出力 100 MW 運転時における格納容器雰囲気調整系で除熱しなければならない熱負荷は約 7.8×10^5 kcal/h となることが予測され、既設のターボ冷凍機の容量 $180 \text{ USRt} / 1\text{台}$ (5.44×10^5 kcal/h) を越えることが明らかになった。このため、

- (1) 発生した熱を除去するには既設のターボ冷凍機を 2 台並列運転することが必要となる。
- (2) (1)の結果冷凍設備として予備機のない状態となり、故障等の発生した場合のバックアップが不可能となる。

等の問題が生じる。この問題解決のため格納容器雰囲気調整系の中の空気雰囲気である床上雰囲気調整系を分離し、床上雰囲気調整専用の冷凍機を新たに設置することにより床上分の熱負荷約 2.4×10^5 kcal/h を除熱するようすれば、既設ターボ冷凍機の負荷は約 5.4×10^5 kcal/h となり 1 台のみの運転が可能となる。また床上と床下の雰囲気調整系が分離されたことにより冷凍設備のメンテナンス時に両調整系が同時に停止する可能性がなくなり、メンテナンス時にプラントに及ぼす影響を小さくできる。

2.2 機器の構成

格納容器床上雰囲気調整系冷凍設備は原子炉付属建家 A-103 室に設置されている。これらの機器は図 2-1 に示すように格納容器常用給気ファンの吸込み側に設置され、冷水による空気冷却器、冷水を冷却するためのチリングユニット、及び冷水循環ポンプ等で構成されている。以下にこれらの主要機器の概要について述べる。

2.2.1 主要機器の概要

(1) チリングユニット

チリングユニットは圧縮機（コンプレッサ 4 台）と凝縮器（2 台）を組合せたコンデンシングユニット、蒸発器（1 台）および制御盤から構成されている。図 2-2 にこの系統図を示す。圧縮機はピストンにより冷媒ガスであるフロンガス（R-22）を圧縮するものであり、凝縮器は圧縮器から圧送してきた高温高圧のフロンガスを冷却し、液化させるものである。蒸発器は入口に設置された膨張弁により液体フロンガスを断熱膨張させ、気化熱により冷水（脱塩水）を冷却するものである。

フロンガスの圧縮機は 22 KW と 15 KW 各 1 台を 1 組として 2 つのサーキットに分割され、それぞれ No.1 凝縮器、No.2 凝縮器へ接続されている。チリングユニットの運転中は冷水温度制御用のサーモスイッチにより 2 つのサーキットの圧縮機（4 台）が両方とも平均に作動するように制

御される。

チーリングユニットへ供給する冷却水（防蝕、防錆を行なった水）は補機冷却設備の空調系冷却水を使用し、床下雰囲気調整系用に設置されている既設のターボ冷凍機用冷却水配管に戻される。

蒸発器の熱交換（水→フロンガス）および空気の冷却（空気→水）に使用する冷水（脱塩水）は冷水循環ポンプ入口側配管より分岐して高所に設置された膨張水槽から供給され、冷水循環ポンプはこの冷水を循環させる。

膨張水槽にはレベルスイッチとそれに連動する電磁弁及びオーバーフロー配管が取付けられており、常に一定の水量が保たれる。

(2) 空気冷却器

空気冷却器は格納容器常用給気ファン（B84-1A, 1B）の吸入側で給気用フィルター（FL 84-1）の出口側に設置されている。図2-3に空気冷却器の構造と寸法を示す。伝熱管は銅管を使用しており、冷却器の両端にある冷水出入口配管が接続されているヘッダから分岐している。ヘッダからの分岐方法は一箇所から3本の伝熱管に分岐するトリプルフローと呼ばれる接続方法であり、これを1列として計15列の伝熱管が配置されている。伝熱管（φ15.5 mm）には円板状のアルミニウム製のフィンが2.9 mmピッチで配列されており、このフィンを考慮した全伝熱面積（外表面積）は554 m²である。

冷却される空気は各伝熱管に対して直角方向に流れ、部分的には直交流型の熱交換器に近いものである。空気冷却器内部の下部には冷却された空気より結露、凝縮した水分を受ける受皿があり、外部のドレン弁を通じて排水ピットへ排水される。

(3) 冷水ポンプ

チーリングユニットにより冷却された冷水は冷水ポンプにより空気冷却器との間を循環される。本ポンプは渦巻ポンプで、揚程25 m、吐出量812 l/minであり、予備1台を含む計2台が設置されている。予備のポンプについては、運転中のポンプが故障によりトリップした場合、自動的に切換わるようになっている。

2.3 機器の仕様

冷凍設備の主要機器の仕様を以下に示す。

2.3.1 仕様

(1) チーリングユニット（HX84 A-1）

- イ) 基 数 1基
- ロ) 冷却能力 257,400 kcal/h
- ハ) 冷 水 7°C / 12°C
- ニ) 冷 却 水 32°C / 37°C (冷却塔循環水、水量 1100 l/min)
- ホ) 圧 縮 機 (22 kW + 15 kW) + (22 kW + 15 kW)

- ヘ) 冷媒 フロン R-22
 ト) 電源 3φ, 400 V, 50 Hz

(2) 冷水ポンプ (P84 A-1A, 1B)

- イ) 基数 2基
 ロ) 形式 片吸込渦巻形
 ハ) 口径 100 φ
 ニ) 水量 812 ℥/min
 ホ) 揚程 25 m
 ヘ) 電動機 7.5 kW
 ト) 電源 3φ, 400 V, 50 Hz

(3) 空気冷却器 (HX84-1)

- イ) 基数 1基
 ロ) 形式 クロスフィンコイル
 W33157 × 2100 TF
 ハ) 冷却能力 238,500 kcal/h (空気流量 15,900 m³/h)
 ニ) 正面面積 1.755 m²
 ホ) 伝熱管 22 チューブ × 2,100 mm × 15列
 銅管 (φ 15.5), アルミフィン
 ヘ) 全伝熱面積 554 m² (外表面積)

(4) 膨張水槽 (TK84 A-1)

- イ) 基数 1基
 ロ) 概略寸法 φ 300 × 500 mmL

(5) 配管

- | | |
|-----------------------------|-------|
| イ) 捕機冷却系分岐点～チリングユニット分岐点 | 100 A |
| ロ) チリングユニット分岐点～チリングユニット内凝縮器 | 80 A |
| ハ) 冷水配管 | 80 A |
| ニ) 膨張水槽～冷水配管 | 25 A |
| ホ) 脱塩水設備～膨張水槽 | 20 A |
| ヘ) ドレン管 | 15 A |

(6) 弁

- | | |
|--------------------|-------|
| イ) 冷却水止弁 | 100 A |
| ロ) チリングユニット凝縮器出入口弁 | 80 A |
| ハ) チリングユニット蒸発器出入口弁 | 80 A |
| ニ) 空気冷却器出入口弁 | 80 A |

ホ) 冷水ポンプ出入口弁	80 A
ヘ) 膨張水槽入口弁	20 A
ト) 冷水配管バイパス弁	80 A
チ) ドレン弁	15 A

2.3.2 各部の使用材料

(1) チリングユニット

圧縮機	クランクケース	JIS G5501	FC25
クランク	シャフト	JIS G5502	FCD70
凝縮器	胴	JIS G3454	STPG38
	管板	JIS G3106	SM41B
	フィンチューブ	JIS H3300	C1220TS-OL
クーラー	胴, 鏡板	JIS G3106	SM41B
	管板	JIS G3106	SM41B
	フィンチューブ	JIS H3300	C1220 TS-1/2H
冷媒配管		JIS H3300	C1220 TS-OL

(2) 冷水ポンプ

ケーシング	JIS G5101	SC49
羽根車	JIS H5111	BC3
主軸	JIS G4051	S45C

(3) 空気冷却器

伝熱管	JIS H3300	C1220T
フィン	JIS H4000	A1100R
ヘッダ	JIS G3454	STPG38

(4) 膨張水槽

胴	JIS G3454	STPG38
底部	JIS G3106	SM41B

(5) 配管(100A)

JIS G3454	STPG38
-----------	--------

(6) 弁(100A)本体

JIS G5151	SCPH2
JIS G5121	SCS13

弁体 JIS G5121 SCS13

弁棒 JIS G4303 SUS403

3. 設計仕様

次の項目について詳細設計を行なった。尚、設計の詳細については工事認可申請書⁽²⁾に記載されているのでそれを参照願いたい。

- (1) 配管規格計算
- (2) 配管強度計算
- (3) チリングユニット基礎ボルト計算
- (4) 冷凍設備の性能に関する計算

3.1 設計条件

- (1) 外気条件^(注1)

乾球温度 32 °C

相対湿度 70 %

- (2) 冷却水配管^(注2)

設計内圧 4.3 kg/cm²G

設計温度 50 °C

管種別

管種別は通商産業省告示第 501 号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」

の第 4 種管に相当する。

第 4 種管の適用範囲は、既設冷却水配管（補機冷却設備のうちの空調系）分岐点から第 1 止弁（隔離弁）までとした。

- (3) 耐震クラス

- (イ) 耐震 A クラス

冷却水配管（既設冷却水配管（補機冷却設備のうちの空調系））分岐点から第 1 止弁（隔離弁）までとする。

- (ロ) 耐震 C クラス

上記(イ)以外の機器・配管類

- (4) 耐震設計条件

- (イ) 地震荷重

(注1) 格納容器雰囲気調整系における最大外気条件35°C, 80%に設備の経済性を考慮した値。

(注2) 補機冷却設備のうちの空調系の設計条件の値。

(a) 水平震度

設計水平震度は原子炉建物の基礎底面において最大加速度が 0.15 G である地震波から求めた水平方向震度と、建築基準法及び建設省告示第 1074 号に定められた震度 C_0 を 3 倍した値に 1.2 を乗じた $3.6 C_0$ とを比較して、より大きい方の震度を採用した。

動的解析を行なうために用いた地震波は

EL CENTRO NS 1940 最大加速度 150 gal

AKITA EW 1964 最大加速度 100 gal

である。これによる動的応答は TAFT 1952 の最大加速度 150 gal によるよりも安全側である。

(b) 垂直震度

設計垂直震度は原子炉建物の基礎底面における設計水平震度の $\frac{1}{2}$ の震度を採用し、これより算出される垂直方向地震力を水平方向の地震力と同時にかつ不利な方向に作用させる。

(ロ) 機器の耐震設計

本設備に属する A クラス及び C クラスの機器・配管の設計に用いる地震力は各々次のとおりとした。

(a) 水平地震力

A クラス $3 C_0 \times 1.2$

C_0 : 建築基準法に定める震度

C クラス $1.2 C_0$

(b) 垂直地震力

A クラス $3 C_0 \times 1.2 \times \frac{1}{2}$

C クラス 垂直地震力については考慮しないものとした。

(イ) 配管系の耐震設計

本設備に属する耐震 A クラスの配管については次の解析コードを用いて解析を行なった。

静的解析コード : CALLFAPS

動的振動解析コード : DYFAPS

3.2 設計計算結果

(1) 規格計算結果

通商産業省告示第 501 号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準を定める省令」の規格計算結果は下表に示すとおりで、使用最小肉厚は計算必要肉厚に対して充分満足できるものを使用した。

配管系統名称	呼び径(A)	使用最小肉厚*(mm)	計算必要肉厚(mm)
冷却水配管	100	3.25	0.26

* JIS G3454 寸法公差 ($6^{+15\%}_{-12.5\%}$ より 0.75 mm) 及び腐れしろ 2.0 mm を考慮した値。

設計計算に使用した材料とその許容応力値を次に示す。

部 品		材 料	許容引張応力* ³ 許容引張応力(kg/mm ²)		最小降伏点 許容せん断 応力度* ⁴ (kg/mm ²)
機 器 名	部 品 名		常 温	50 °C	
配 管	冷却水配管	JIS G3454* ¹ STPG38	9.5 * ³	9.5	22 * ³
チーリングユニット	基礎ボルト	JIS G3101* ² SS 41	18 * ⁴	—	13.5 * ⁴

*1：通商産業省告示第501号、第63条に基づき別表1の第4種管の欄に示す材料の規格に適合させた。

*2：日本建築学会「鋼構造設計基準」に適合させた。

*3：許容引張応力、最小降伏点は通商産業省告示第501号別表6に基づいた。50°Cの値は、常温と75°Cの内挿値である。

*4：日本建築学会「鋼構造設計基準」に適合させた。

(2) 配管強度計算結果

静的解析コード「CALL FAPS」を使用して得られた計算結果中の最大応力発生点を次表に示す。計算結果は許容応力値以下で充分に安全である。

配 管 系 統 名 称	一次応力計算結果(kg/mm ²)* ¹		一次応力+二次応力計算結果(kg/mm ²)* ²	
	最 大 応 力	許 容 応 力* ³	最 大 応 力	許 容 応 力* ⁴
冷却水配管 (チーリングユニット 入口弁)	2.11	22.00	4.36	28.50
冷却水配管 (チーリングユニット 出口弁)	0.79	22.00	3.69	28.50

*1：一次応力は自重、運転荷重、設計地震荷重を組合せたものである。

*2：一次+二次応力は一次応力の組合せ荷重に熱荷重を組合せたものである。

*3：一次許容応力は通商産業省告示第501号別表6最小降伏点の値を使用した。

*4：一次+二次許容応力は通商産業省告示第501号別表6許容引張応力の3倍の値を使用した。

(3) チリングユニット基礎ボルト強度計算結果

せん断及び引張り応力について計算を行なった。下表に計算結果を示す。結果は許容応力値以下であり充分に安全である。

機器名称	せん断(kg/mm^2) *1		引張り(kg/mm^2) *1	
	最大応力	許容応力	最大応力	許容応力
チリングユニット	1.3	13.5	— *2	18

* 1 日本建築学会「鋼構造設計基準」に基づく。

* 2 転倒せず引張り応力は発生しない。

(4) 固有振動数解析結果

動的振動解析コード「DYFAPS」を使用して計算した結果を下表に示す。固有同期振動数20 Hz以上を満足している。

配管系統名称	固有周期 計算結果 Sec. (Hz)	設計地震力(g)		
		X 方向	Z 方向	Y 方向
冷却水配管 (チリングユニット入口管)	0.048 (20.83)			
冷却水配管 (チリングユニット出口管)	0.020 (50)	0.648	0.648	0.324

(5) 冷凍設備の性能に関する計算結果

空気冷却器の熱計算及びチリングユニットの蒸発器と凝縮器の熱計算を行ない、結果は必要条件を満足する値である。計算結果を下表に示す。

(イ) 空気冷却器の熱計算結果

機器名称	必要列数	使用列数
空気冷却器	13.3	15

(ロ) チリングユニットの熱計算結果

機器名称	必要熱量 (kcal/h)	冷却能力 (kcal/h)
蒸発器	238,500	358,909
凝縮器	238,500	351,780

4. 設 置 経 過

床上冷凍設備の設置に関しては、性能・機種の選定等種々の検討、調査を行ないその結果から最適な性能・容量の冷凍機を選定した。特に従来のターボ冷凍機がフレオンガスにより直接空気（窒素ガス）を冷却する方式であるため熱負荷の変動に応じて冷却器内を通過する冷媒（フロンガス）量を手動調整（一部自動調整）して熱負荷とのバランスを保つ必要があった。このため運転時における調整に多大な時間を要した。この問題を解決するため本冷凍設備では、このような調整を必要としない方式のものを選択した。すなわち、フロンガスと空気との間に水（冷水と呼ぶ）を冷媒とすることにより空気の温度変化による冷凍機の負荷変動を緩衝させる方式である。これにより冷凍機は自動制御が可能となり安定した運転を行なうことができる。一方、本冷凍設備を設置するには「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき、科学技術庁に対し設置工事認可申請を行ない認可を受けなければならない。このための詳細設計計算、品質管理、工程検討等を行なった。また工事認可にともなう使用前検査受検のための検査要領書の作成、検査工程の検討等を行なった。これらの設置工事全体工程を図4-1に示す。

5. 使用前検査

本設備を設置するにあたり「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」に基づき科学技術庁の行なう使用前検査を受けなければならない。表5-1及び表5-2に検査機器と検査項目について示す(PNCの行なった検査は省略する)。ここではこの検査項目のうち特に性能試験の結果について以下に述べる。

5.1 単体性能試験

(1) 冷水ポンプ (P84 A-1A, 1B)

① 試験条件

次の4点について試験を行なった。

- (a) 回転数測定
- (b) 全揚程測定
- (c) ポンプ軸動力
- (d) ポンプ効率

性能試験はJIS B8301, B8302に基づいて次の項目を条件として含む5点の異なる吐出量について上記(a)~(d)の各々を測定した。

- (イ) 仕様流量点 ($812 \ell/\text{min}$) 近傍の流量
- (ロ) 締切点
- (ハ) 仕様流量 ($812 \ell/\text{min}$) の130%の流量付近又は最高効率の流量点付近

② 試験方法

(a) 回転数測定

ポンプの回転数は回転計を使用して測定する。

(b) 全揚程測定

全揚程Hは次式により算出した。

$$H = \frac{P_d - P_s}{\gamma} \times 10 + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} + h \quad [m] \quad (5-1)$$

H : 全揚程 (m)

P_d : ポンプ吐出圧力 (kg/cm^2)

P_s : ポンプ吸込圧力 (kg/cm^2)

γ : 揚液の比重 (kg/ℓ)

V_d : ポンプ吐出圧力測定部の平均流速 (m/s)

V_s : ポンプ吸込圧力測定部の平均流速 (m/s)

h : 測定高差 (m)

g : 重力の加速度 (m/s²)

平均流速 V_d , V_s はポンプの吐出量を測定することにより、次式で求めた。

$$V_d = \frac{Q}{60 \cdot A_d} \quad [\text{m/s}] \quad (5-2)$$

$$V_s = \frac{Q}{60 \cdot A_s} \quad [\text{m/s}] \quad (5-3)$$

Q : ポンプ吐出量 (m³/min)

A_d : ポンプ吐出圧力測定部の断面積 (m²)

A_s : " 吸込 " " (m²)

ポンプ吐出量 Q は JIS B8302 の規定で定められている測定装置のうち、直角三角せきを使用した。試験装置の概略を図 5-1 に示した。吐出量の測定はせきの水頭 h_s をフロートゲージにより測定し、次の式により算出した。

$$Q = K h_s^{5/2} \quad [\text{m}^3/\text{min}] \quad (5-4)$$

Q : ポンプ吐出量 (m³/min)

h_s : せきの水頭 (m)

K : せきの流量係数

$$K = 81.2 + \frac{0.24}{h_s} + (8.4 + \frac{12}{\sqrt{D}}) \left(\frac{h}{B} - 0.09 \right)^2 \quad (5-5)$$

B : 水頭の幅 (m)

D : 水路の底面から切欠定点までの高さ (m)

(c) ポンプの軸動力

ポンプの軸動力 L はポンプモータに接続した電力計により測定した。

(d) ポンプ効率

ポンプ効率は次式により求めた。

$$\eta = \frac{0.163 \gamma Q H}{L} \times 100 \quad [\%] \quad (5-6)$$

η : ポンプ効率 (%) H : 全揚程 (m)

γ : 揚液の比重 (kg/l) L : ポンプ軸動力 (kW)

Q : 吐出流量 (m³/min)

③ 判定規準

仕様回転数において次の各項を満足していることとした。

- (イ) 仕様全揚程 (25 m) における吐出量は仕様吐出量に等しいかそれ以上であること。
- (ロ) 締切全揚程はポンプを使用する装置の実高さ (3.5 m) より高いこと。
- (ハ) 扬程曲線の最高点における吐出量は仕様吐出量 (812 ℓ/min) より小であること。
- (ニ) 仕様全揚程 (25 m) におけるポンプ性能はキャビテーション発生時に見られるような揚程の垂直降下を示していないこと。
- (ホ) ポンプ軸動力は仕様全揚程 (25 m) における吐出量において、電動機定格出力 (7.5 kW) 以下であること。
- (ヘ) 仕様のポンプ予想性能曲線 (図 5-2 参照) と比べて著しい差異のこと。
- (2) チリングユニット (HX 84 A-1)

チリングユニットの単体性能試験を行ない、仕様の冷却能力 ($2.574 \times 10^5 \text{ kcal/h}$) があることを確認するものである。以下にその方法について述べる。

① 試験条件

次の項目について仕様条件となるようにチリングユニットの運転を行なう。

- (a) 冷却水流量 1100 ℓ/min
- (b) 冷却水入口温度 32°C
- (c) 冷水流量 812 ℓ/min
- (d) 冷水出口温度 7°C

② 試験方法

- (イ) 図 5-3 に示すように装置を組立て、冷却水ポンプ、チリングユニット、冷水ポンプを起動する。
- (ロ) 冷水及び冷却水の流量、温度を試験条件に設定する。
- (ハ) 運転状態が安定した後 (約 1 時間後)、15 分間隔で数回データをとる。

冷却能力の算出は次式で行なった。

$$Q = 60 \times 10^3 F \cdot C \cdot \gamma (t_1 - t_2) \quad (\text{kcal/h}) \quad (5-7)$$

Q : 冷却能力 (kcal/h)

F : 冷水流量 (ℓ/min)

C : 冷水の比熱 (kcal/kg°C)

γ : 冷水の比重 (kg/ℓ)

t_1 : 冷水入口温度 (°C)

t_2 : " 出口温度 (°C)

③ 判定基準

次の条件を満足していることを確認する。

- (イ) 冷却水流量 $1100 \pm 2\% (\ell/\text{min})$
- (ロ) 冷却水入口温度 $32 \pm 0.5\% (\text{°C})$
- (ハ) 冷水流量 $812 \pm 2\% (\ell/\text{min})$
- (ニ) 冷水出口温度 $7 \pm 0.5 (\text{°C})$
- (ホ) 冷却能力 $2.574 \times 10^5 \pm 15\% (\text{kcal}/\text{h})$

5.2 全体性能試験

本設備の主要機器であるチーリングユニット、冷水ポンプについては現地据付前に単体性能試験を実施し、性能の確認を行なった。しかし最終的には設備全体としてその性能が仕様を満足していることを確認する必要がある。このため、本設備の現地据付、調整が完了した後、設備全体の性能試験を実施した。性能試験は、本設備の目的が空気を冷却することであるので、空気冷却器の性能が仕様条件を満足することを確認すればよい。従って、ここでは空気冷却器の性能試験を行なうことにより全体性能試験とした。

(1) 試験条件

- ① 空気流量 $1.59 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$
- ② 冷水流量 $812 \ell/\text{min}$

(2) 試験方法

空気冷却器（熱交換器）の交換熱量 Q は次式で示される。

$$Q = K \cdot A_0 \cdot \Delta t_{\text{elm}} (\text{kcal}/\text{h}) \quad (5-8)$$

ここで、

Q : 交換熱量 (kcal/h)

K : 熱通過率 ($\text{kcal}/(\text{m}^2 \text{ h } \text{°C})$)

A_0 : 伝熱面積 (m^2)

Δt_{elm} : 対数平均温度差 (°C)

この式で、空気冷却器の性能を示すものは熱通過率 K の値であり、この値を実測により検証することで性能評価を行なった。なお、熱通過率 K の値はレイノルズ数 R_e とプラントル数 P_f を基本としており、伝熱管内外の流体と温度によって影響される。しかし、測定条件として設計値の流速に同じにすれば温度の違いにより熱通過率 K の受ける影響は小さく、無視できる。従って空気冷却器の空気流量と冷水流量を仕様と同一の条件で試験を行なえばよいことになる。

① 実測熱通過率

空気冷却器の性能評価は実測熱通過率 K_{act} と設計熱通過率 K_{des} とを比較することにより行なう。実測熱通過率 K_{act} は (5-8) 式を変形して次式により求める。

$$K_{act} = \frac{Q}{A_0 \Delta t_{lm}} \geq K_{des} \quad (5-9)$$

K_{act} : 実測熱通過率 ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)

K_{des} : 設計 " "

Q : 実測交換熱量 (kcal/h)

Δt_{lm} : 対数平均温度差 ($^\circ\text{C}$)

ここで対数平均温度差 Δt_{lm} は次のように求められる。

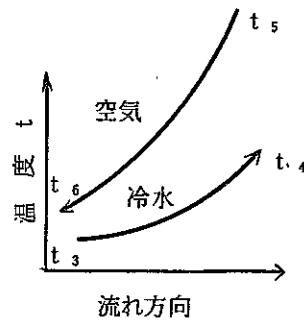
$$\Delta t_{lm} = \frac{(t_5 - t_4) - (t_6 - t_3)}{\ln \left\{ \frac{t_5 - t_4}{t_6 - t_3} \right\}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (5-10)$$

t_3 : 入口冷水温度 ($^\circ\text{C}$)

t_4 : 出口 " ($^\circ\text{C}$)

t_5 : 入口空気温度 ($^\circ\text{C}$)

t_6 : 出口 " ($^\circ\text{C}$)



② 交換熱量

交換熱量 Q は次式で計算した。

$$Q_{dry} = W \cdot C_p \cdot \gamma (t_i - t_o) \quad (5-11)$$

$$Q_{wet} = W \cdot \gamma (i_i - i_o) \quad (5-12)$$

ここで、

Q_{dry} : 乾き空気状態のときの交換熱量 (kcal/h)

Q_{wet} : 湿り " " (kcal/h)

γ : 空気の比重 (kg/m^3)

C_p : 空気の比熱 ($\text{kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

W : 空気流量 (m^3/h)

t_o : 出口空気の乾球温度 ($^\circ\text{C}$)

t_i : 入口 " " ($^\circ\text{C}$)

i_o : 出口空気エンタルピ (kcal/kg)

i_i : 入口 " " (kcal/kg)

空気を冷却する場合は大部分が減湿作用を伴なう。本試験も減湿作用があることが確認されたため (5-12) を使用して交換熱量を求めた。

空気流量は空気冷却器の下流側にある給気ファン出口の円形ダクトに測定孔を設け、熱、

線風速計を使用して測定した。表 5 - 6 中に空気ダクトの風速測定位置を示す。この表より H 方向（水平），V 方向（垂直）の各測定点で測定した風速の平均値を \bar{v} とすると空気流量 W は次式で求まる。

$$W = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \bar{v} \times 3600 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (5-13)$$

W : 空気流量 (m^3/h)

d : 空気ダクトの直径 (m)

\bar{v} : 平均空気流速 (m/s)

③ 各部温度測定

交換熱量の計算に必要な各部温度の測定個所を図 5 - 4 に示す。温度測定に使用したセンサーは全て測温抵抗体 (Ni) で、その精度は 0.5% のものである。

④ 湿度の測定

前に述べたように、本空気冷却器は空気を冷却する際に減湿作用を伴っていたため交換熱量を求めるには空気の湿度を測定する必要がある。入口空気の湿度は露点温度計を使用して測定した。冷却器出口直前の空気については、冷却されたことにより相対湿度が 100% 近いため測定することができなかった。

このため出口空気の湿度は次の方法により求めた。最初に、空気冷却器の伝熱面積が無限大であると仮定した理想的な場合を考える。このときの空気冷却器の出口空気温度は入口冷水温度に等しくなるはずであり、その露点温度は当然入口冷水温度に等しい。しかし実際には空気冷却器の伝熱面積は有限であり出口空気温度は入口冷水温度と等しくはならない。そこで湿り空気線図 (i-x 線図) を使用して出口空気の露点温度を求めた。その方法を図 5 - 5 を参照して次に述べる。なお、使用した湿り空気線図 (i-x 線図) の使用法を参考として次に示す。

測定した各部の温度を次の値であるとする。

(イ) 入口冷水温度 t_{wi} 4°C

(ロ) 入口空気温度 t_{ai} 20°C

(ハ) 出口 " " t_{ao} 7°C

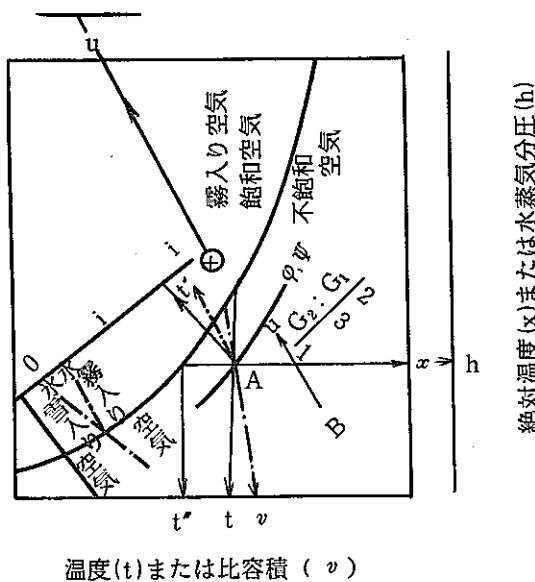
(ニ) 入口空気露点温度 D_i 15°C

(a) 入口空気温度 t_{ai} と入口空気露点温度から入口空気の状態点 A を得る。

(b) 次に入口冷水温度 t_{wi} と飽和曲線との交点を B とする。

(c) 実際の出口空気の状態は点 AB を結ぶ直線上にあるので、この直線 AB と出口空気温度 t_{ao} との交点を点 C とすると、点 C が出口空気の状態である。

(d) 出口空気の露点温度は点 C から引いた水平線と飽和曲線との交点における温度 D_o に求まる。



- (1) 乾球 湿度 t はAを通る垂直に近い実線
- (2) 相対 湿度 ϕ
飽和度 ϕ^* はAを通る凹の曲線
- (3) 湿球 湿度 t' はAを通り左上から右下に引いた点線
- (4) 絶対 湿度 x
水蒸気分圧 h はAを通り右に引いた水平線
- (5) 露点 温度 t'' はAを通る水平線と飽和曲線との交点を通る t 線
- (6) エンタルピ i はAを通り斜左上に引いた実線
- (7) 比 体 積 v はAを通り左上から右下に至る鎖線

以上の方針により求めた点Aと点Cから、図5-5により入口空気エンタルピ i_i と出口空気エンタルピ i_o が求められるので、(5-12)式より交換熱量を計算することができる。

⑤ 判定基準

実測熱通過率 K_{act} が設計熱通過率 K_{des} と等しいかそれ以上であることを確認する。但し種々の測定誤差を考慮して K_{act} は K_{des} の 93%まで許容されるものとした。

熱通過率判定基準 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \text{h } ^\circ\text{C}$)

設計 値 K_{des}	基 準 値 K_{act}
38.4 (湿り状態) ⁽¹⁾	
29.8 (乾き状態) ⁽²⁾	35.7 以上

注) * (1) 湿り状態とは空気を冷却するとともに減湿する作用を含むもので、熱伝達とともに物質伝達を行なう。この取扱いは理論的にも実験的にも面倒であるため、ここでは乾き状態の熱通過率を実験で求めたぬれ面係数によって修正した熱通過率を指すものである。

* (2) 乾き状態とは空気を冷却するときに減湿作用を含まない場合を言い、乾球温度のみに対応する熱通過率を指す。

6. 結果と評価

床上冷凍設備に使用される機器・配管等について種々の試験検査を行なった。その結果、いずれも必要な規格・基準及び仕様条件を満足していることが確認できた。これらの結果を次に示す。

6.1 材料検査及び溶接部検査結果

材料検査は冷却水配管、冷却水弁（2台）について検査を行なった。検査は素材とミルシートの対応を確認し、ミルシートに記載された内容が適用される規格（JIS）を満足していることを確認した。

溶接部検査は冷却水配管について検査を行なった。この検査は配管の溶接を行なう前に開先寸法検査を行ない規格通りであることを確認した。溶接を行なった後は液体浸透探傷試験（PT）、及び放射線透過試験（RT）によるフィルムの検査を行ない、いずれも有害な欠陥はみとめられず判定基準に合格した。

6.2 耐圧・漏洩試験

この試験はチーリングユニット、冷水ポンプ、空気冷却器、膨張水槽、冷却水配管及び弁について検査した。試験方法は水圧で行なう場合と気圧で行なう場合があり、それぞれの条件に応じて選択した。耐圧試験圧力は JIS 規格により水圧の場合には設計圧力の 1.5 倍、気圧の場合には設計圧力の 1.25 倍で実施した。この結果変形、破損等の異常は認められなかった。

漏洩試験は前述の耐圧試験と同時に行ない、圧力降下や発泡等の有無を検査することにより漏洩がないことを確認した。

6.3 外観・寸法検査

この検査はチーリングユニット、冷水ポンプ、空気冷却器、膨張水槽、配管、弁を対象に実施した。この結果外観については傷、歪等の欠陥は認められず、良好な外観面を有していることを確認した。寸法検査の結果はすべて基準（JIS）の寸法公差内にあり、承認図通りであることを確認した。

6.4 電気品試験

設備全体の電気配線が完了後、ランプ表示確認、シーケンスチェック、導通試験、絶縁抵抗測定を行ない誤配線等のないこと及びシーケンス図通り作動することを確認した。

6.5 単体性能試験

単体性能試験はチーリングユニット、冷水ポンプ、弁を対象に実施した。この結果はすべて基準を満しており満足すべき結果が得られた。これらの結果を次の表に示す。

(1) 冷水ポンプ

冷水ポンプの試験結果は 5.1(1)項の判定基準により判定し、すべて合格した。これらの結果を以下の表および測定結果を表 6-1、表 6-2 に示す。

検査項目	基準値	検査結果	
		冷水ポンプA	冷水ポンプB
(a) 回転数(rpm)	1450	1459	1457
(b) 全揚程(m)	25 以上	26.62	26.62
(c) ポンプ軸動力(kW)	7.5 以下	5.51	5.51
(d) ポンプ効率(%)	60 以上	64.8	63.7
(e) 吐出量(m ³ /min)	0.812 以上	0.823	0.833

(2) チーリングユニット

チーリングユニットの試験結果は 5.1(2)項の判定基準をすべて満足しており、冷却能力は最大で $2.65 \times 10^5 \text{ kcal/h}$ 以上あることが確認できた。これらの結果を以下の表および測定結果を表 6-3 に示す。

	冷水側		冷却水側		冷却能力(kcal/h)
	出口温度(°C)	冷水流量(l/min)	入口温度(°C)	冷却水流量(l/min)	
基準値	7 ± 0.5	812 ± 2%	32 ± 0.5	1100 ± 2%	257400 ^{+15%} _{0%}
測定値	6.8	817.5	31.9	1100	264900

(3) 弁(隔離弁)

電動にて開閉作動時間を測定し判定基準内であることを確認した。

検査機器	作動	基 準	検査結果
冷却水バルブ V84 A-1	開→閉	35% ± 10% 以内	34.3 秒
	閉→開		34.1 秒
冷却水バルブ V84 A-2	開→閉		34.1 秒
	閉→開		34.3 秒

6.6 全体性能試験

チーリングユニット、冷水ポンプについてはそれぞれ単体試験を行ない、仕様に示す性能があることが確認された。このためここでは床上冷凍設備全体を作動させ、そのときの空気冷却器の性能を確認することにより全体性能試験とした。試験は同一条件で時間をおいて計3回の測定を行ない、その平均値が空気冷却器の設計熱通過率 K_{des} ($38.4 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$) 以上であることの確認を行なった。この結果、空気冷却器の実測熱通過率 K_{act} はそれぞれ 41.4, 44.4, 41.9 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$) の値が測定され、性能試験に合格した。以下にこの結果（平均値）を示す。測定結果及び使用した湿り空気線図をそれぞれ表 6-4, 表 6-5, 図 6-1 ~ 6-3 に示す。

設計熱通過率 K_{des}	実測熱通過率 K_{act}
38.4 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$) (35.7 以上合格)	42.6 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$)

7. 床上冷凍設備の運転

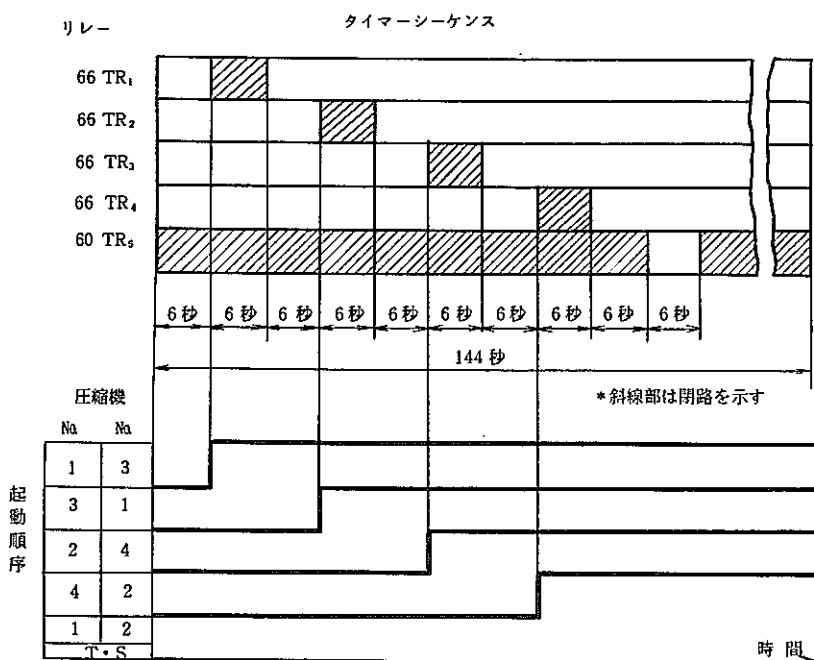
床上冷凍設備は原子炉格納容器内に給気される外気を冷却することにより格納容器内の雰囲気温度を調整する設備である。このため本設備の運転を行なう条件として格納容器常用給気ファン及び常用排気ファンが起動していることが必要である。本設備の動力電源は原子炉付属建家 A-705 の 1C M/C より供給され、A-103 に設けられた現場操作盤で制御する。表 7-1 に床上冷凍設備の電源リストを示す。

7.1 床上冷凍設備の起動

床上冷凍設備を起動するための条件、注意事項を次に示す。

- (a) 外気温が 15°C 以上あること。
- (b) チリングユニット起動 48 時間前に圧縮機のクランクケースヒータの電源を入れること(現場操作盤 MCB 1 を ON にする)。
- (c) 起動後、圧縮器 3 台が停止している状態で残り 1 台の起動・停止インターバルが 30 分未満の時(低負荷運転)は停止し、運転しないこと。

その他必要な運転条件、電源、バルブ状態等を確認後チリングユニット操作盤の START 押ボタンを押すことにより起動する。このとき 4 台の圧縮機は制御回路に組み込まれたプログラムタイマーにより制御される。プログラムタイマーによる圧縮機の起動時間間隔及び圧縮機の起動順序は次の通りである。



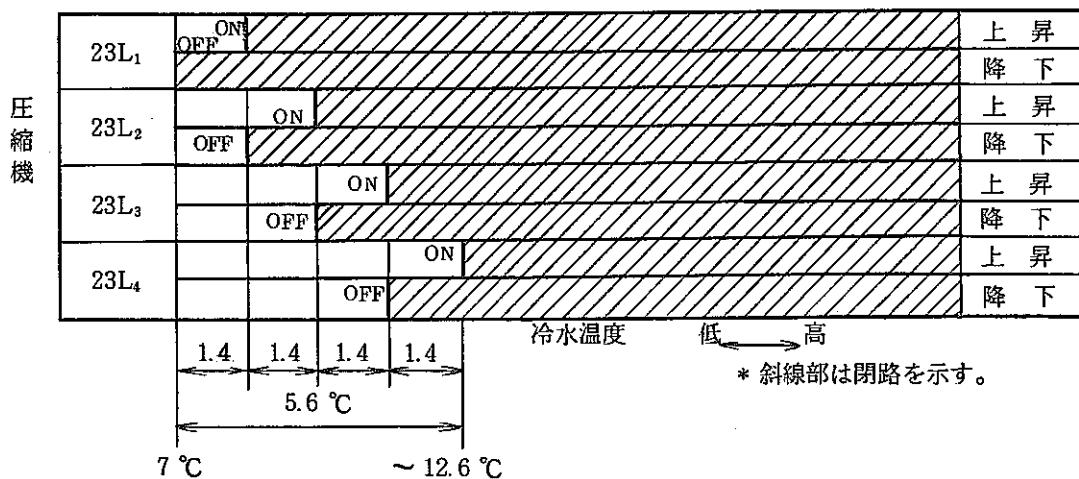
プログラムタイマーは圧縮機の起動時間間隔を制御するもので、その時間間隔は上図に示すように6秒である。また起動順序についてはトランスファースイッチ（TSと略す）により決められ図に示すような順序となる。（停止時はこの逆に作動する）。TSは4台の圧縮機の運転時間を平均化するため半月～1ヶ月毎に切かえる。

7.2 定常運転

床上冷凍設備の起動後、空気の温度制御は自動制御により行なわれる。空気の温度制御には圧縮機を起動・停止させて冷水温度を制御（冷水温度制御）する方法と、空気冷却器に入る冷水量をバイパスすることにより加減（流量制御）する方法との二つの制御方法を用いており、それぞれ独立に作動する。

冷水温度制御方式は、チーリングユニットの蒸発器出口冷水温度が一定の温度範囲を保つように4台の圧縮機を順に起動・停止させる。圧縮機の起動・停止順序は前項のトランスファースイッチ（TS）で決められた順序に従う。下図に冷水温度制御用のサーモシーケンスを示す。

冷水サーモシーケンス



流量制御方式は空気冷却器入口に設けられた三方弁を調整して余分な冷水をバイパスする方法である。三方弁は空気冷却器出口ダクトに設けられた温度計からの信号を入力された調節器により自動調整される。尚、定常運転時の運転基準を表7-2に示す。

7.3 停止

チーリングユニット制御盤のSTOP押ボタンを押すことにより圧縮機が全て停止する。長期間停止する場合は冷水ポンプを停止し各電源（NFB）をOFFにする。また冷水配管、冷却水配管、機器のドレン弁を開け水抜きを行なう（このとき凝縮器の冷却水出入口弁は全閉のこと）。特に空気冷却器については伝熱管内に水が残った場合、冬期に凍結し伝熱管を破損するおそれがある。このため完全にドレンするかまたはドレン前にブライン（不凍液）を注入しておく必要がある。

7.4 異常時の処置

本設備の運転中に異常が生じた場合、現場操作盤に表示されるとともに中央制御盤（# 422）に「チーリングユニット異常」として一括表示される。これらの警報フロー、異常時の処置を図7-2、図7-3に示す。これらの警報は表7-4に示す警報設定値により発報される。

なお、本設備に関する運転マニュアルが別途作成されているため、実際の運転にあたっては、それを参照されたい。

8. 結 言

今回格納容器霧囲気調整系に追加設置した床上冷凍設備は昭和57年3月15日に竣工し、同25日に科学技術庁の立合検査に合格、すべての検査を完了した。本設備の追加設置により原子炉出力100 MW運転時に既設のターボ冷凍機は常時予備を1台確保することができ、また比較的負荷変動が大きい床上霧囲気系の熱負荷を分離したことからターボ冷凍機は安全かつ安定した運転を行なうことができるようになった。また今回設置した床上冷凍設備も自動制御により安定した運転状態を維持することができ、床上霧囲気系の負荷変動に対する良好な制御性を有していることが確認できた。

本報告書は今回追加設置した床上冷凍設備の概要、性能検査とその結果、及び運転等についてまとめたもので今後の運転・保守を行なう上での参考とするものである。

9. 謝 辞

本設備の設置にあたり、本設備の詳細設計、工事認可申請等工程の約半分を担当された FBR 本部実験炉計画グループの鈴木幸男氏ならびに工事の完了まで精力的に工程の調整、助言等に努力して頂いた前グループリーダの平田豊氏（現三菱重工㈱）、その他関係者の諸氏に感謝の意を表します。

10. 参 考 資 料

- (1) 鈴木、他 高速実験炉「常陽」性能試験報告書、通常運転時性能確認試験 PT-51 運転温度圧力確認（その3） 1979年7月 PNC SN941 79-114
- (2) 設計及び工事の方法の認可申請書、本文及び添付書類（原子炉格納施設、格納容器雰囲気調整系冷凍設備の追加設置） 82 昭和56年7月
- (3) 坂場、吉川、他 高速実験炉「常陽」運転技術資料、運転参考資料機器編 SMD-18 フレオノ冷凍設備 1980年11月 PNC N 951 80-17

表 5-1 使用前検査項目一覧表

事 項						備 考			備 考
認可番号	56 安 (原規) 第143号	認可申 請番号	56 動燃 (高速) 025						
認 可 年 月 日	昭和 56 年 9月 17 日	認 可 申 請年 月 日	昭和 56 年 7月 27 日						
件 名	大洗工学センターの原子炉施設(高速実験炉)の設計及び工事の方法の認可申請について								
検査対象		検査項目							
格納容器空気冷却装置調整系冷凍設備構成機器	1. チリングユニット	耐圧・漏洩試験	昭和57年1月	岡山県津山市国分寺 東洋キャリア津山工場					
		外観・寸法検査							
		性能検査							
	2. 冷水ポンプ	耐圧・漏洩試験	昭和57年1月	埼玉県越谷市谷中町 あずまポンプ埼玉工場					
		外観・寸法検査							
		性能検査							
	3. 空気冷却器	耐圧・漏洩試験	昭和57年1月	茨城県東茨城郡 大洗町成田町 大洗工学センター					
		外観・寸法検査							
	4. 膨張水槽	外観・寸法検査							
	5. 配管(工場)	材料検査	昭和56年12月	神奈川県横浜市 港北区樽町 東芝プラント建設㈱ 綱島工場					
		溶接部検査							
		耐圧・漏洩試験							
		外観・寸法検査							
	6. 配管(現地)	溶接部検査	昭和57年1月	茨城県東茨城郡 大洗町成田町 大洗工学センター					

表 5-2 使用前検査試験項目一覧表

検査項目		検査対象	チーリングユニット	冷水ポンプ	空気冷却器	膨張水槽	配管	弁	電気設備	全 体
材 料 檢 査		-	-	-	-	-	(ミ)	(ミ)	-	-
溶接部検査	開先寸法検査	-	-	-	-	-	(自)	-	-	-
	液体浸透探傷試験	-	-	-	-	-	(立)	-	-	-
	放射線透過試験	-	-	-	-	-	(立)	-	-	-
耐圧・漏洩試験		(立)	(立)	(自)	-	-	(立)	(自)	-	-
外観・寸法検査		(立)	(立)	(自)	(自)	-	(立)	(自)	-	-
電気品 試 験		-	-	-	-	-	-	-	(自)	-
単体性能試験		(立)	(立)	-	-	-	-	(自)	-	-
性能試験		-	-	-	-	-	-	-	-	(立)

(ミ): ミルシート確認

(自): 自主検査

(立): 立会検査(フィルム確認による検査を含む)

表 6-1 冷水ポンプ単体性能試験結果(1)

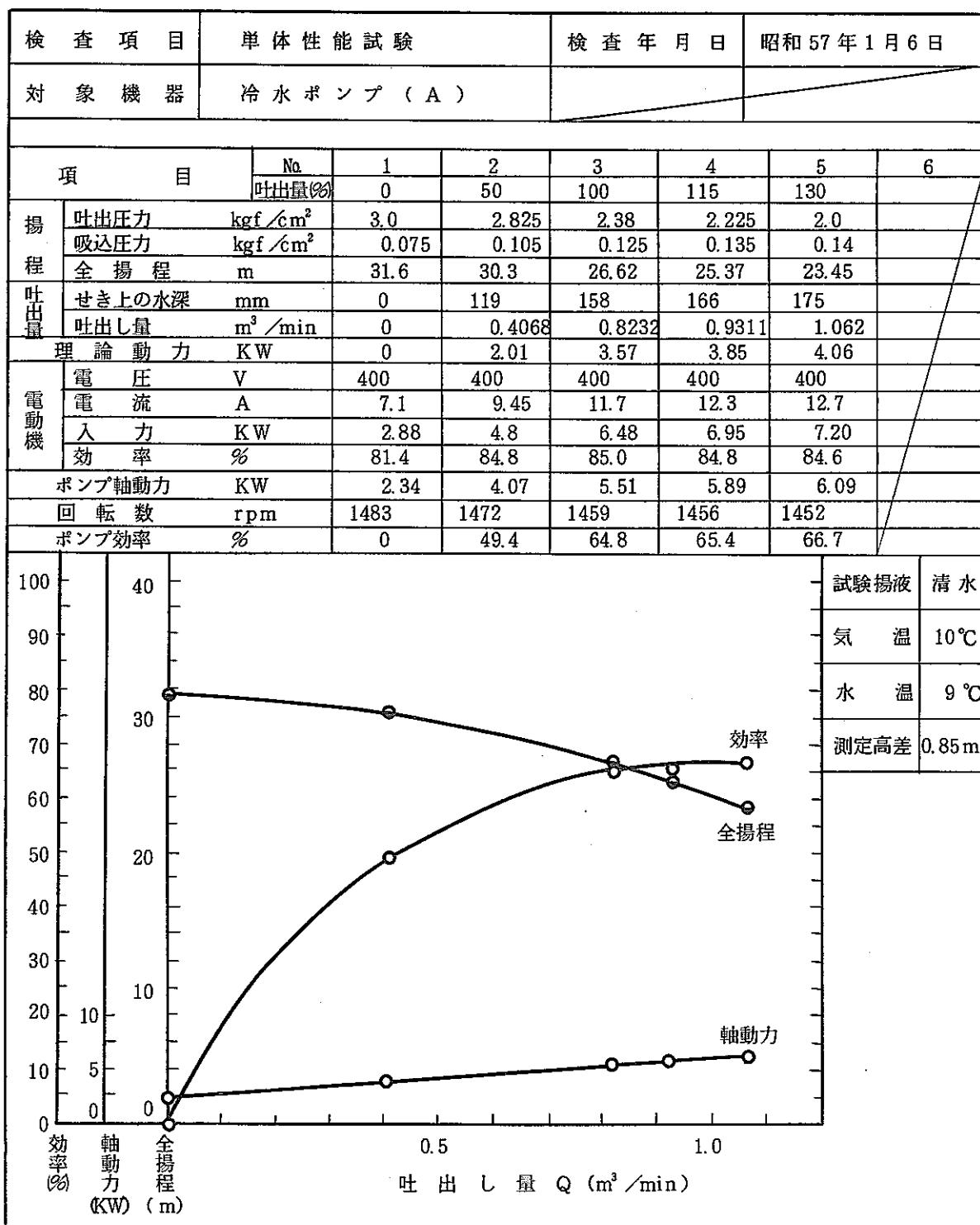


表 6-2 冷水ポンプ単体性能試験結果(2)

検査項目	単体性能試験					検査年月日	昭和 57 年 1 月 13 日
対象機器	冷水ポンプ(B)						
項目	No 吐出量(%)	1 50	2 100	3 115	4 130	5 6	
揚程	吐出圧力 kgf/cm ²	3.0	2.85	2.4	2.23	2.01	
	吸込圧力 kgf/cm ²	0.06	0.085	0.105	0.115	0.13	
	全揚程 m	31.45	30.35	26.62	25.22	23.45	
吐出量	せき上の水深 mm	0	119	158	166	175	
	吐出し量 m ³ /min	0	0.4068	0.8232	0.9311	1.062	
理論動力	KW	0	2.01	3.57	3.83	4.06	
電動機	電圧 V	395	395	395	395	395	
	電流 A	7.2	9.6	11.9	12.5	12.9	
	入力 KW	2.88	4.92	6.6	6.96	7.44	
	効率 %	81.4	84.9	85.0	84.8	84.5	
ポンプ軸動力	KW	2.34	4.18	5.61	5.90	6.29	
回転数	rpm	1482	1470	1457	1453	1449	
ポンプ効率	%	0	48.1	63.7	64.9	64.5	
軸動力	(KW)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	
全揚程	(m)	0	10	20	30	40	
効率 (%)		0	10	20	30	40	

試験揚液 清水
気温 13 °C
水温 9 °C
測定高差 0.85 m

吐出し量 Q (m ³ /min)	全揚程 (m)	軸動力 (KW)	効率 (%)
0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	10.0	0.5	48.1
0.4	20.0	1.0	50.0
0.6	30.0	1.5	52.0
0.8	38.0	2.0	54.0
1.0	45.0	2.5	55.0
1.2	50.0	3.0	54.0

表 6-3 チリングユニット単体性能試験結果

検査項目	単体性能試験			検査年月日	昭和 57 年 1 月 20 日	
対象機器	チリングユニット					
〔判定基準〕						
	冷水側			冷却水側		
	出口温度 °C	冷水流量 ℥/h	入口温度 °C	冷却水流量 ℥/min	冷却能力 kcal/h	
	7 ± 0.5	48720 ± 2 %	32 ± 0.5	1100 ± 2 %	257400	+ 15% - 0%
〔試験結果〕						
		10:45	11:00	11:15	11:30	
項目			測定結果			平均
電源	① 電圧 V	400	400	400	400	400
	② 電流 A	132	132	132	132	132
	③ 入力 KW	75	75	75	75	75
圧縮機	④ 吸入圧力 #1/#2 kg/cm²	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
	⑤ 吸入圧力 #3/#4 kg/cm²	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
	⑥ 吐出圧力 #1/#2 kg/cm²	14.3	14.3	14.3	14.4	14.3
	⑦ 吐出圧力 #3/#4 kg/cm²	14.2	14.1	14.2	14.2	14.2
冷水器	⑧ 冷水入口温度 °C	12.1	12.2	12.2	12.2	12.2
	⑨ 冷水出口温度 °C	6.7	6.8	6.8	6.9	6.8
	⑩ 冷水流量 ℥/min	818	818	817	817	817.5
凝縮器	⑪ 冷却水入口温度 #1 °C	31.8	31.9	32.0	32.0	31.9
	⑫ " " #2 °C	31.8	31.9	31.9	32.0	31.9
	⑬ 冷却水出口温度 #1 °C	36.1	36.2	36.2	36.3	36.2
	⑭ " " #2 °C	35.9	36.1	36.1	36.2	36.1
	⑮ 冷却水流量 ℥/min	1100	1100	1100	1100	1100
冷媒温度	⑯ 吸入ガス温度 #1/#2 °C	10.0	10.0	10.1	10.1	10.1
	⑰ " " #2/#3 °C	11.6	11.8	11.8	11.9	11.8
	⑱ 吐出ガス温度 #1/#2 °C	70	70	70	70	70
	⑲ " " #3/#4 °C	72.5	73.0	72.5	73.0	73.0
	⑳ 冷媒液温度 #1/#2 °C	33.3	33.3	33.5	33.5	33.4
	" " #3/#4 °C	34.2	34.3	34.4	34.5	34.4
気温 °C		26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
冷却能力 kcal/hr		265032	265032	264708	259806	264870
全容量 (⑧-⑨) × ⑩ × 60						

表 6-4 空気流量測定記録

位置 方向	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均 \bar{v}
H 方向 (水平)	風速 V (m/s)	7.2	7.2	6.6	6.3	6.8	6.8	6.5	6.3	6.3	6.64
	風量 W (m³/h)										16900
V 方向 (垂直)	風速 V (m/s)	6.9	6.9	6.1	5.7	5.8	6.4	6.8	6.9	7.0	6.57
	風量 W (m³/h)										16800
											平均風量 W 16850

$$\text{風量計算式 } W = 3600 A \cdot \bar{v} \\ = 3600 \times \frac{\pi}{4} (0.95)^2 \cdot \bar{v} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

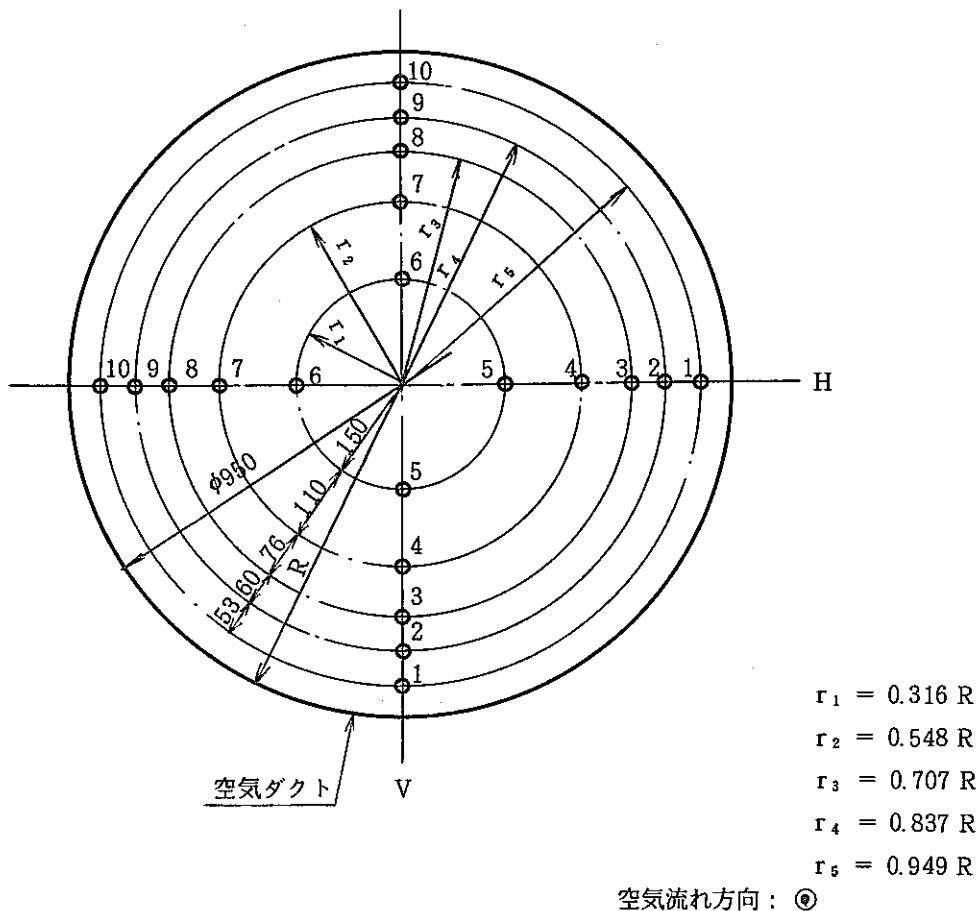


表 6-5 全体性能試験結果

検査項目	全体性能試験		検査年月日	昭和57年3月25日		
対象機器	冷凍設備全体					
〔判定基準〕						
熱通過率が定格値（38.4 kcal/m ² h °C）の93%以上であること。						
項目	記号	単位	14:31(1回目)	14:41(2回目)		
① 冷却水入口温度	t ₁	°C	27.4	27.5		
② 冷却水出口温度	t ₂	°C	29.3	29.2		
③ 冷水入口温度	t ₃	°C	4.7	4.7		
④ 冷水出口温度	t ₄	°C	6.3	6.3		
⑤ 空気入口温度	t ₅	°C	21.8	21.9		
⑥ 空気出口温度	t ₆	°C	5.7	5.6		
⑦ 空気入口露点温度	D _i	°C	11.5	12.0		
⑧ 冷水ポンプ出口圧力	P ₁	kg/cm ²	2.5	2.6		
⑨ 冷水ポンプ電流	I ₁	A	11.3	11.5		
⑩ チリングユニット冷媒吸入圧力	P ₂	kg/cm ²	5.0	5.0		
⑪ チリングユニット冷媒吐出圧力	P ₃	kg/cm ²	10.4	10.4		
⑫ チリングユニット冷媒吸入圧力	P ₄	kg/cm ²	4.2	4.2		
⑬ チリングユニット冷媒吐出圧力	P ₅	kg/cm ²	13.2	13.3		
⑭ チリングユニット電流	I ₂	A	36.0	37.0		
⑮ 空気ダクト風量	W	m ³ /h	16850			
⑯ エンタルピー(入口空気)	i ₁	kcal/kg	10.4	10.6		
⑰ エンタルピー(出口空気)	i ₀	kcal/kg	4.65	4.60		
⑱ エンタルピー差(i ₁ -i ₀)	A _i	kcal/kg	5.75	6.0		
⑲ 比容積	V _a	m ³ /kg	0.798	0.798		
⑳ 交換熱量	Q	kcal/h	121413	126692		
㉑ 対数平均温度差	Δt _{lm}	°C	5.29	5.15		
㉒ 熱通過率	K	kcal/m ² h°C	41.4	44.4		
平均熱通過率 $\bar{K} = 42.6$ (kcal/m ² h °C)						

表 7-1 床上冷凍設備電源リスト

區別	負荷名	電源盤	場所	備考
動力電源	床上冷凍機	1C M/C	A-705 (#311)	冷凍機全体及び制御電源
	冷凍設備電源盤	電源盤	A-705	冷凍機全体電源盤 MCB 1: 冷凍設備現場盤 MCB 2: 予備 MCB 3: 電源盤操作電源 1次 MCB 4: " " 2次
	チーリングユニット	冷凍設備現場操作盤	A-103	MCB 1 ※起動 48時間以上前にONとすること
	冷水ポンプA	同上	A-103	MCB 2
	冷水ポンプB	同上	A-103	MCB 3
	冷却水止弁	同上	A-103	MCB 4 (1次), MCB 5 (2次)
	冷水用三方弁	同上	A-103	同上
	膨張水槽給水弁	同上	A-103	同上
制御電源	床上冷凍機制御電源	同上	A-103	同上

表 7-2 床上冷凍機の運転基準

No.	表 示	計 器	設 定 値		備 考	
			正 常	異常(トリップ値)		
1	<u>チーリングユニット(HX84A-1)</u>	(A 103 現場操作盤)	(標準) ※ 15Kw 1台 29A	_____	チーリングユニットは負荷に応じ変動※ (冷水7°C~12°C) (冷却水32°C~37°C)	
			22Kw 1台 43A	_____		
			15+22Kw 72A	_____		
		(コントロールボックス) PI 84 A-1 " - 3	3~6 kg/cm²G	(低圧スイッチ) 2.0 kg/cm² 開		
			PI 84 A-2 " - 4	4.0 kg/cm² 閉 (高圧スイッチ) 12~16kg/cm²G		
		(A 103 TI 84 A-2) TI 84 A-1	18.5kg/cm² 開 14.0kg/cm² 閉	_____		
2	<u>冷水ポンプ(P84A-1A, 1B)</u>		7~12°C	_____		
			TI 84 A-1	7~12°C (TC84 A-2) 3 °C		
3	<u>冷却水系</u>	(A 103 現場操作盤) PI 84 A-5 " - 6	12A±10%	30A	補機冷却水系が正常値であること。	
			2.8~3.2kg/cm²	_____		
			_____	_____		
		(A 103 TI 84 A-3 " - 4) (A 103 PI 84 A-7 " - 8)	32°C~37°C	_____		
			2.3~2.6kg/cm²	_____		
			2.6~3.0kg/cm²	_____		
4	<u>冷水系</u>	(A 103 TI 84 A-1 " - 2)	7 °C~12°C	_____		
			_____	_____		
5	<u>外気条件</u>	_____	15°C以上	_____		
			_____	_____		

表 7-3 異常時の処置

異常	場所	原因	処置	備考
① <警報> 「チリングユニット異常」	A 712 #422	A 103 冷凍設備 チリングユニット 又はその他 #84 A 系統の異常。	A 103 冷凍設備現場操作盤 に行き、アナンシェータ項目の確認をし、その項目に対する処置を行う。	
② 「冷水ポンプA過負荷」	A 103	電圧降下又はアンバランス。	A 705 冷凍設備電源盤にて電圧を確認。	
		グランドパッキンの締め過ぎ。	グランドを少しゆるめる。 又はパッキンの交換を行う。	
		軸芯の不一致。	カップリング部の芯を確認する。又はセンタリングの実施。	
		軸受部の異常。	ペアリングの交換を実施。 軸受部の温度を測定、異常音の有無の確認、及び振動が異常でないか調査する。	
③ 「冷水ポンプB過負荷」	A 103	②と同様。	②と同様。	
④ 「冷却水断水」	A 103	空調循環ポンプ (冷却水系)の異常 (A712 #421 盤)	冷却水系の処置マニアルによる。	
		冷却水止弁 (V84 A-1 又は 2) の異常。	A-712 #422 盤にて確認。 A-102, 103 にて弁開度の確認。 A103 PI 84 A-7, 8 にて冷却水系圧力の確認をする。	
		凝縮器出入口弁 V84 A-3, 4, 5, 6 の締めすぎ。	PI 84 A-1, 2, 3, 4 をみながら少しづつ弁を開にする。	
		電源系統の異常。	現場操作盤の異常の有無を確認。	
⑤ 「チリングユニット異常」	A 103	高圧スイッチ作動	高圧スイッチ設定値の確認。 冷却水系、冷水系の異常の有無を確認。 冷媒系統の異常の有無を確認。	

異常	場所	原因	処置	備考
⑤	A 103	低圧スイッチ作動	低圧スイッチ設定値の確認。 冷却水系、冷水系の異常の有無を確認。 冷媒系統の異常の有無を確認。	その他 チーリングユニット 取扱説明書、 故障の原因と 対策の項参照
		吐出温度過熱防止 サーモの作動。	設定値の確認。 冷媒系統の異常の有無の確認。 冷媒量の確認。	
		凍結防止サーモの 作動。	設定値の確認。 冷水系統の異常の有無を確認。	
⑥	A 103	外気温度の異常低下。又は給気ファンの停止。	空気冷却器コイル内部の冷水をドレン弁(V84 A-30)にてドレンし、N ₂ ガスの封入を考える。	冷凍機運転不能。急激な変化がない限り本警報は発報しない。
		TA84 A-1 の設定の異常。	設定値を確認し、設定し直す。	
⑦	A 103	膨張水槽補給水電磁弁(V84 A-42)の異常。	手動弁(V84 A-43)にて補給し、電磁弁の補修又は交換を行う。	
		脱塩水系統の異常	脱塩水系統の確認。	
		冷水配管又はドレン弁(V84 A-44)の異常。	漏洩チェック及び補修。	
		LS84 A-1, 2 の異常。	レベル SWの作動確認。	
⑧	A 103	膨張水槽補給水電磁弁(V84 A-42)の異常。	⑦と同様。	
		LS84 A-1, 2 の異常。	⑦と同様。	

表 7-4 警報項目一覧表

機器番号	作動内容	表示		設定値																								
		表示場所	警報名																									
P84A-1A (30X-2)	冷水ポンプAトリップ (冷水ポンプB起動)	A-103 A-712 (一括)	冷水ポンプA過負荷	16 A																								
P84A-1B (30X-3)	冷水ポンプBトリップ (冷水ポンプA起動)	A-103 A-712 (一括)	冷水ポンプB過負荷	16 A																								
FS84A-1 (AX-3)	チーリングユニットトリップ	A-103 A-712 (一括)	冷却水断水	$\approx 0 \text{ m}^3/\text{h}$																								
HX84A-1 (KX-1)	チーリングユニットトリップ	A-103 A-712 (一括)	<p>チーリングユニット異常 各機器のセット</p> <p>a. 凍結防止サーモスタッフの設定温度(TC84A-2) 2 °C開 5 °C閉</p> <p>b. 圧力スイッチの設定圧力 高圧スイッチ 18.5 kg/cm² 14.0 kg/cm² 低圧スイッチ 2.0 kg/cm² 4.0 kg/cm²</p> <p>c. 可溶性 溶融 72 °C</p> <p>d. 冷水温度調節サーモスタッフの設定温度(工場セット値)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>トランスマニホールド(TH.)の位置</th> <th colspan="2">冷水入口温度°C</th> </tr> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>開</th> <th>閉</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>No.1 壓縮機</td> <td>No.3 壓縮機</td> <td>7.0</td> <td>8.4</td> </tr> <tr> <td>No.3 壓縮機</td> <td>No.1 壓縮機</td> <td>8.4</td> <td>9.8</td> </tr> <tr> <td>No.2 壓縮機</td> <td>No.4 壓縮機</td> <td>9.8</td> <td>11.2</td> </tr> <tr> <td>No.4 壓縮機</td> <td>No.2 壓縮機</td> <td>11.2</td> <td>12.6</td> </tr> </tbody> </table>	トランスマニホールド(TH.)の位置	冷水入口温度°C			1	2	開	閉	No.1 壓縮機	No.3 壓縮機	7.0	8.4	No.3 壓縮機	No.1 壓縮機	8.4	9.8	No.2 壓縮機	No.4 壓縮機	9.8	11.2	No.4 壓縮機	No.2 壓縮機	11.2	12.6	下表参照
トランスマニホールド(TH.)の位置	冷水入口温度°C																											
	1	2	開	閉																								
No.1 壓縮機	No.3 壓縮機	7.0	8.4																									
No.3 壓縮機	No.1 壓縮機	8.4	9.8																									
No.2 壓縮機	No.4 壓縮機	9.8	11.2																									
No.4 壓縮機	No.2 壓縮機	11.2	12.6																									
TA84A-1 (KX-2)	チーリングユニットトリップ	A-103 A-712 (一括)	冷水温度異常	2 °C																								
LS84A-2 (LL-X1)	冷水ポンプA, Bの停止	A-103 A-712 (一括)	膨張水槽水位低	フランジ上面より - 370 mm																								
LS84A-1 (HH-X1)	——	A-103 A-712 (一括)	膨張水槽水位高	フランジ上面より - 165 mm																								

表 7-5 床上冷凍設備使用計器類リスト

番号	計器番号	個数		計器名称	形 式	設 計 仕 様				目盛範囲	設置場所	精 度	供給電源又は空気圧	製 造 者	備 考
		常 用	予 備			測定対象	温 度 °C	压 力 kg/cm²G	流 量						
1	TI 84A-1	1		温 度 計	L型	冷 水	7~12	—	—	-10°C~+60°C	A-103	± 1°C	—	佐藤計量器	
2	TI 84A-2	1		"	"	"	"	—	—	"	"	"	—	"	
3	TI 84A-3	1		"	"	冷却水	32~37	—	—	"	"	"	—	"	
4	TI 84A-4	1		"	"	"	"	—	—	"	"	"	—	"	
5	PI 84A-1	1		压 力 計	KMO3AQ316-21	R-12	—	14 (常用) 3~6	—	76 cmHg~20% 14 (常用) 3~6	"	± 1.5%	—	日新計器	低圧
6	PI 84A-2	1		"	KMO3AQ331-21	"	—	28 (常用) 12~16	—	0~35 % 28 (常用) 12~16	"	"	—	"	高圧
7	PI 84A-3	1		"	KMO3AQ316-21	"	—	14 (常用) 3~6	—	76 cmHg~20% 14 (常用) 3~6	"	"	—	"	低圧
8	PI 84A-4	1		"	KMO3AQ331-21	"	—	28 (常用) 12~16	—	0~35 % 28 (常用) 12~16	"	"	—	"	高圧
9	PI 84A-5	1		"	AT 3/8×100φ	冷 水	—	2.7	812ℓ/min	0~4 % 2.7	"	± 1.5%	—	長野計器	
10	PI 84A-6	1		"	"	"	—	2.7	"	"	"	"	—	"	
11	PI 84A-7	1		"	"	冷却水	—	4.3	1100ℓ/min	0~6 % 4.3	"	"	—	"	
12	PI 84A-8	1		"	"	"	—	4.3	"	"	"	"	—	"	
13	TC 84A-1	1		温 度 計	KSEA425C1 測温抵抗体	冷 水	7~12	—	—	5°C~25°C	"	± 0.8°C	—	鷺宮製作所	蒸発器入口
14	TC 84A-2	1		"	CNS-L120 測温抵抗体	"	7	—	—	0°C~20°C	"	+1.5°C -0.5°C	—	"	" 出口
15	TC 84A-3	1		插入形温度調節器	T915 C2439	air	15	—	—	-10°C~+30°C	"	± 3°C	100V	山武ハネウェル	給気ファン吐出
16	TA 84A-1	1		"	T675 A	冷 水	7~12	—	—	-15°C~+35°C	"	± 5°C	210V	"	冷水空氣冷却器
17	FS 84A-1	1		バドル型 フロースイッチ	BQS-C140 PW	冷却水	32~37	4.3	1100ℓ/min	Max 600ℓ/min ON	"	—	210V	鷺宮製作所	
18	LS 84A-1	1		低水位遮断調節器	マクドネル No. 69-J	脱塩水	—	—	—	SW間 13 mm	"	—	210V	山武ハネウェル	
19	LS 84A-2	1		"	"	"	"	—	—	"	"	—	210V	"	
20	V 84A-24	1		三 方 弁	VTM	冷 水	7~12	2.7	812ℓ/min	—	"	—	100V	"	
21	V 84A-42	1		電 磁 弁	B210 D95	脱塩水	—	5.0	7.5ℓ/min	—	"	—	210V	甲南アスコ	

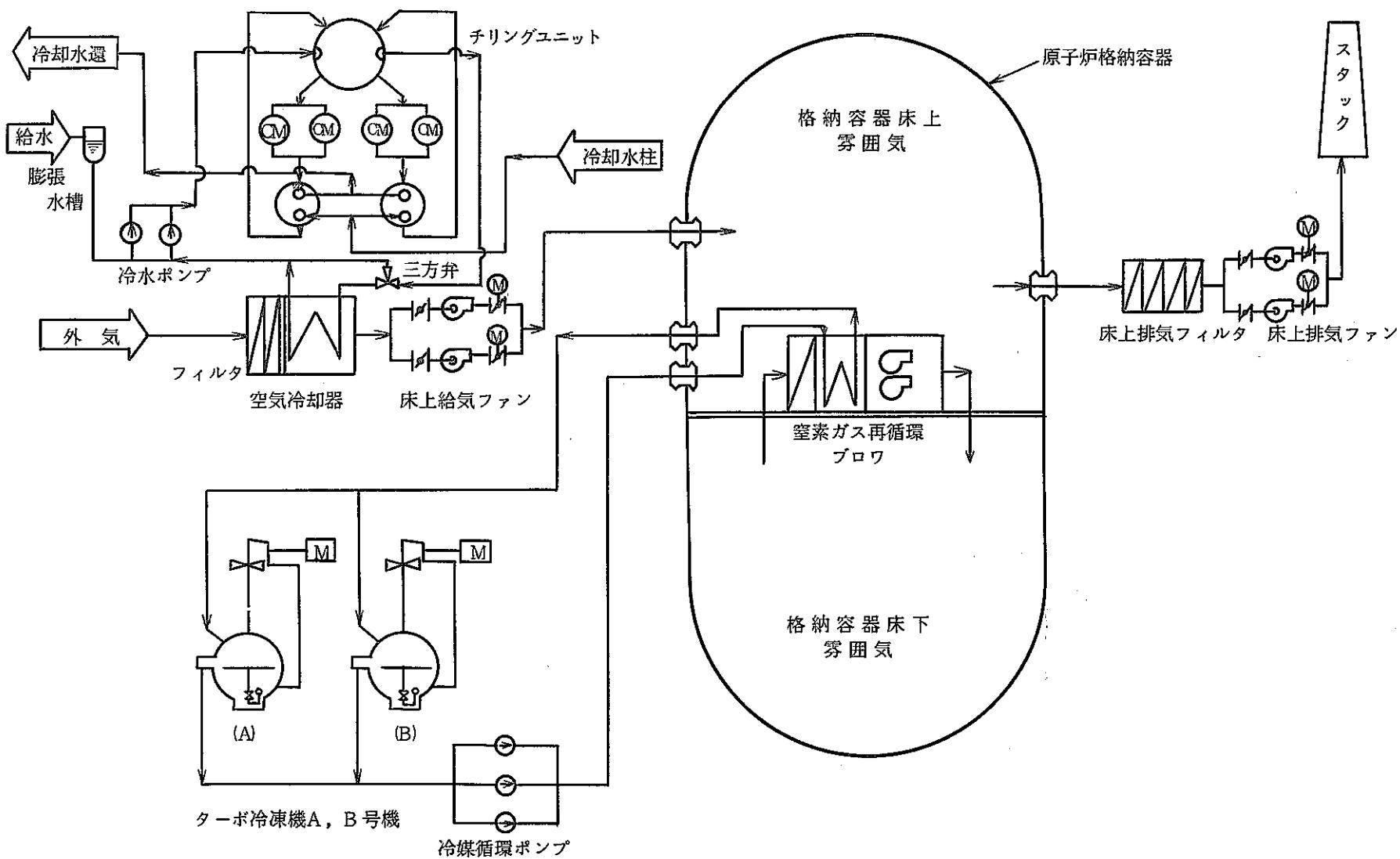


図2-1 格納容器床上霧囲気調整系冷凍設備設置図

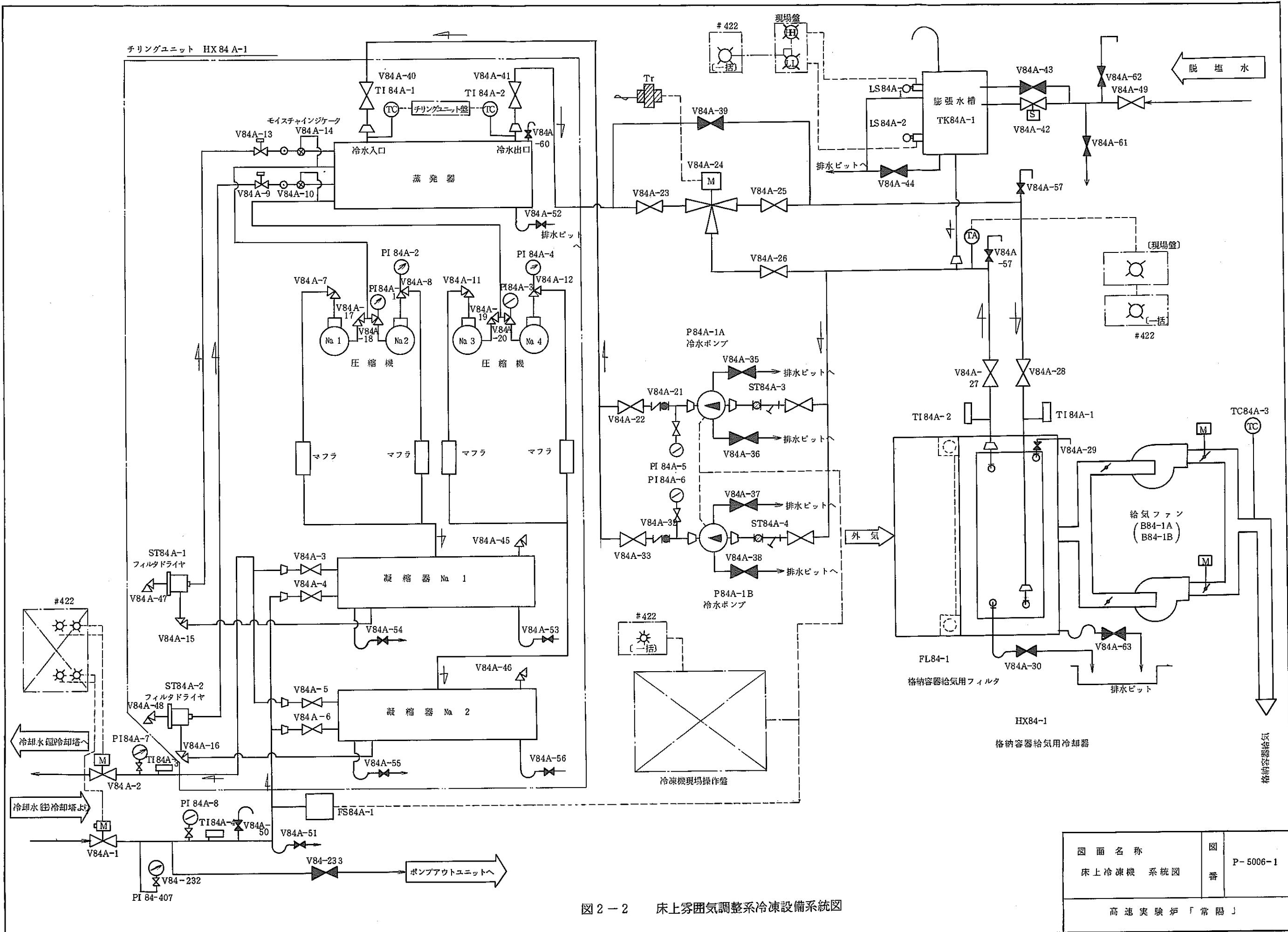
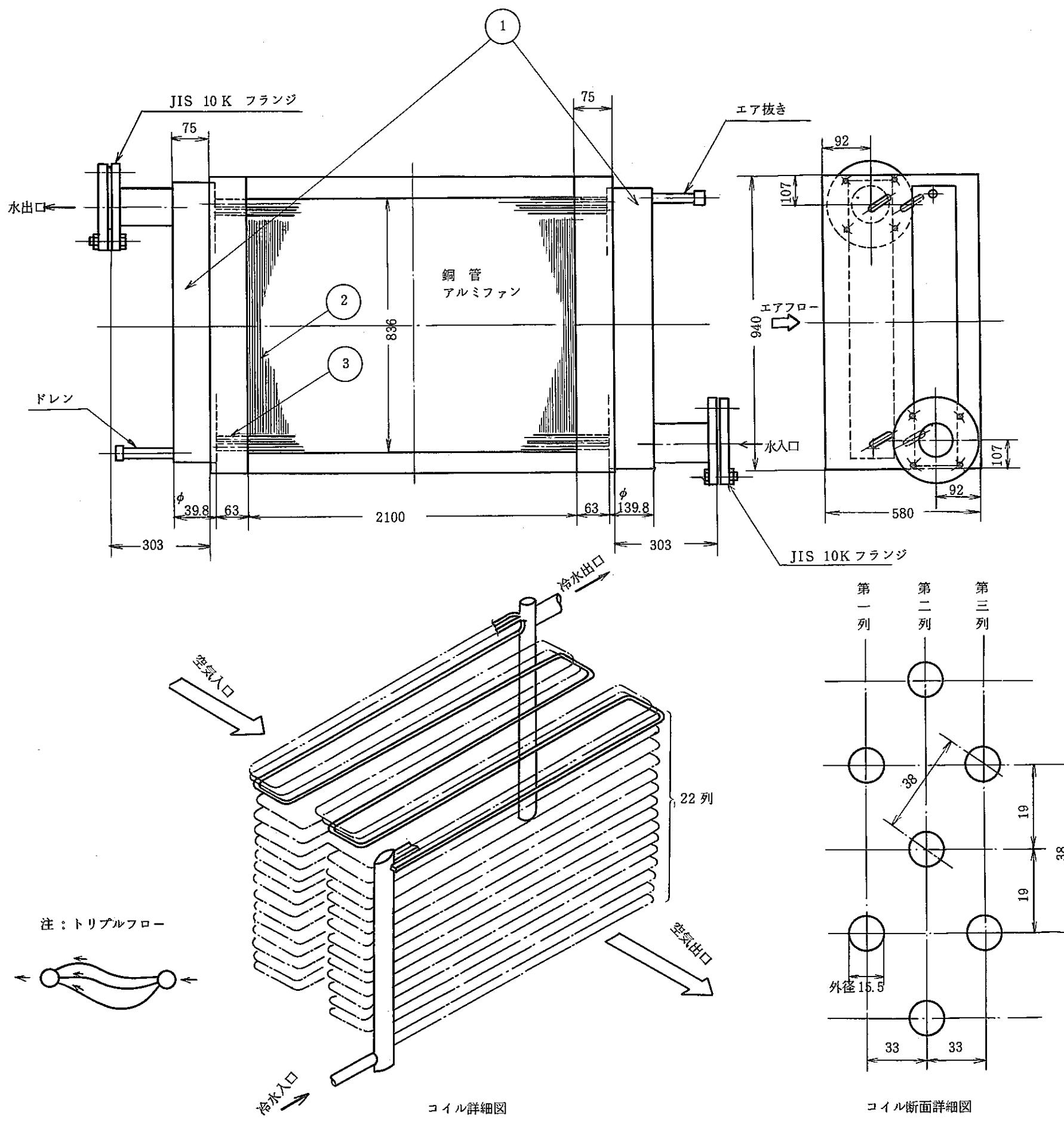


図2-2 床上霧囲気調整系冷凍設備系統図



③	伝熱管	JIS H3300 e-1220T	厚0.50 外径 15.5mm
②	フィン	JIS H4000 A1100R	厚さ0.15 mm フィンピッチ2.9mm
①	ヘッダ	JIS G3454 STPG38	125 A
番号	名 称	材 質	備 考

図2-3 空気冷却器（コイルユニット外形図）

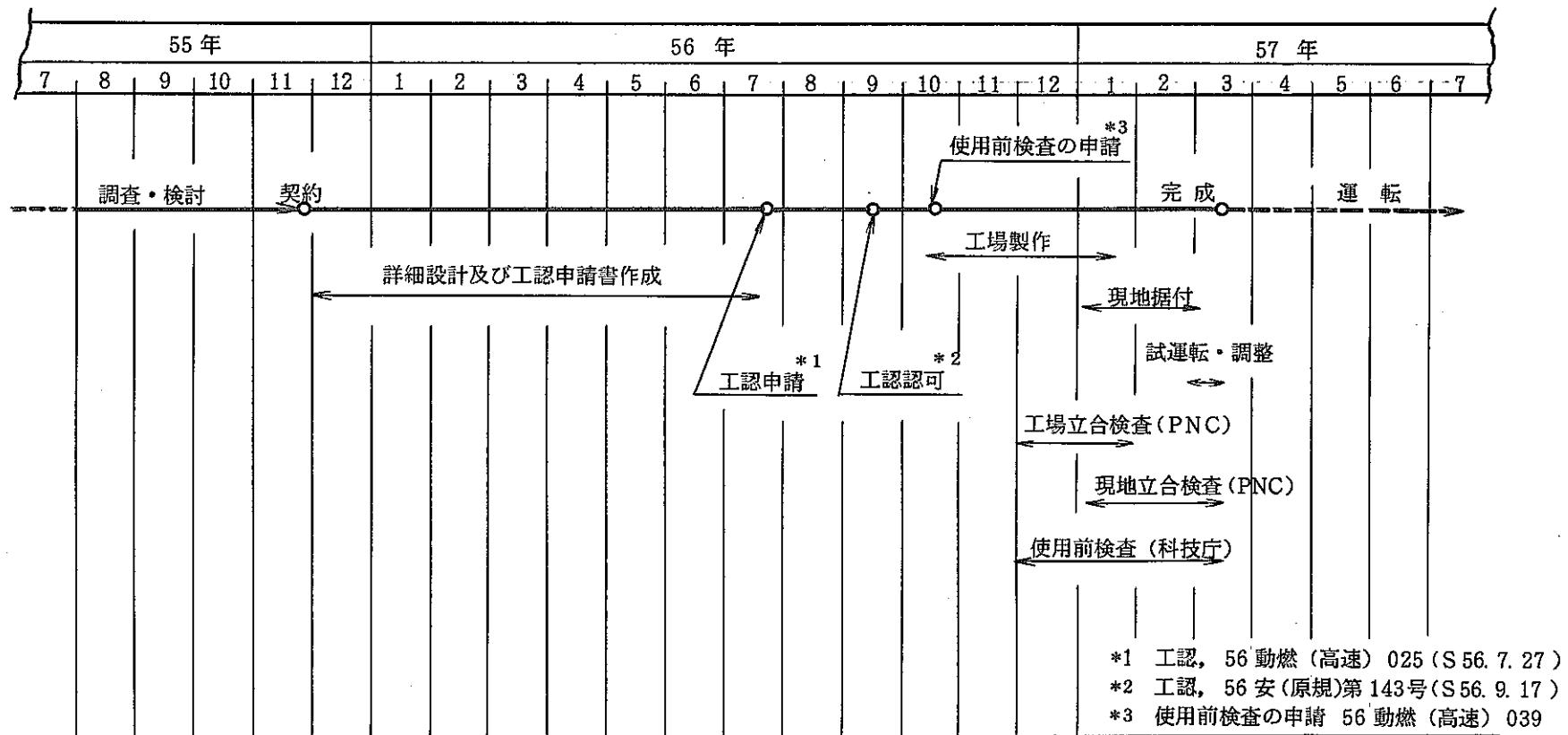
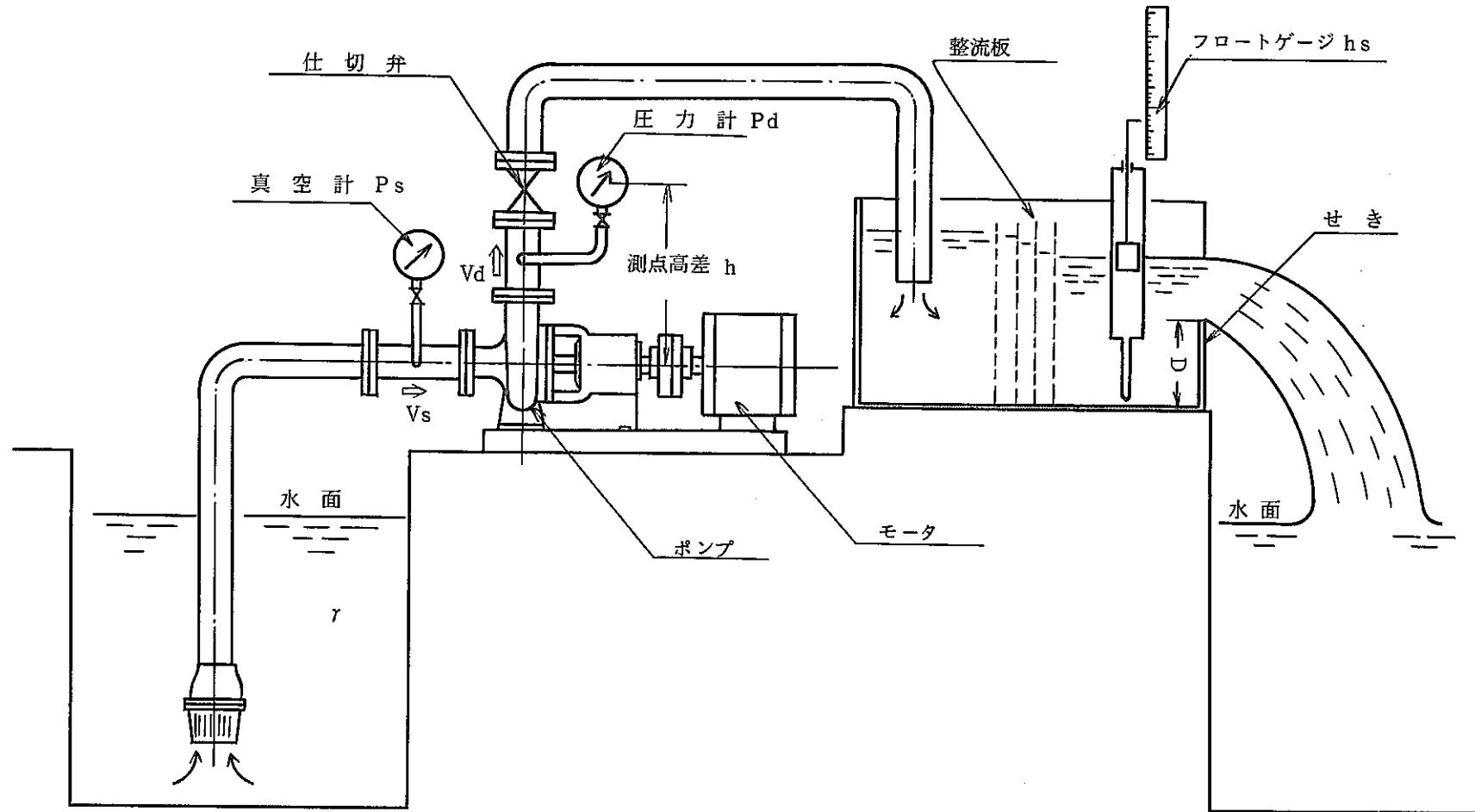
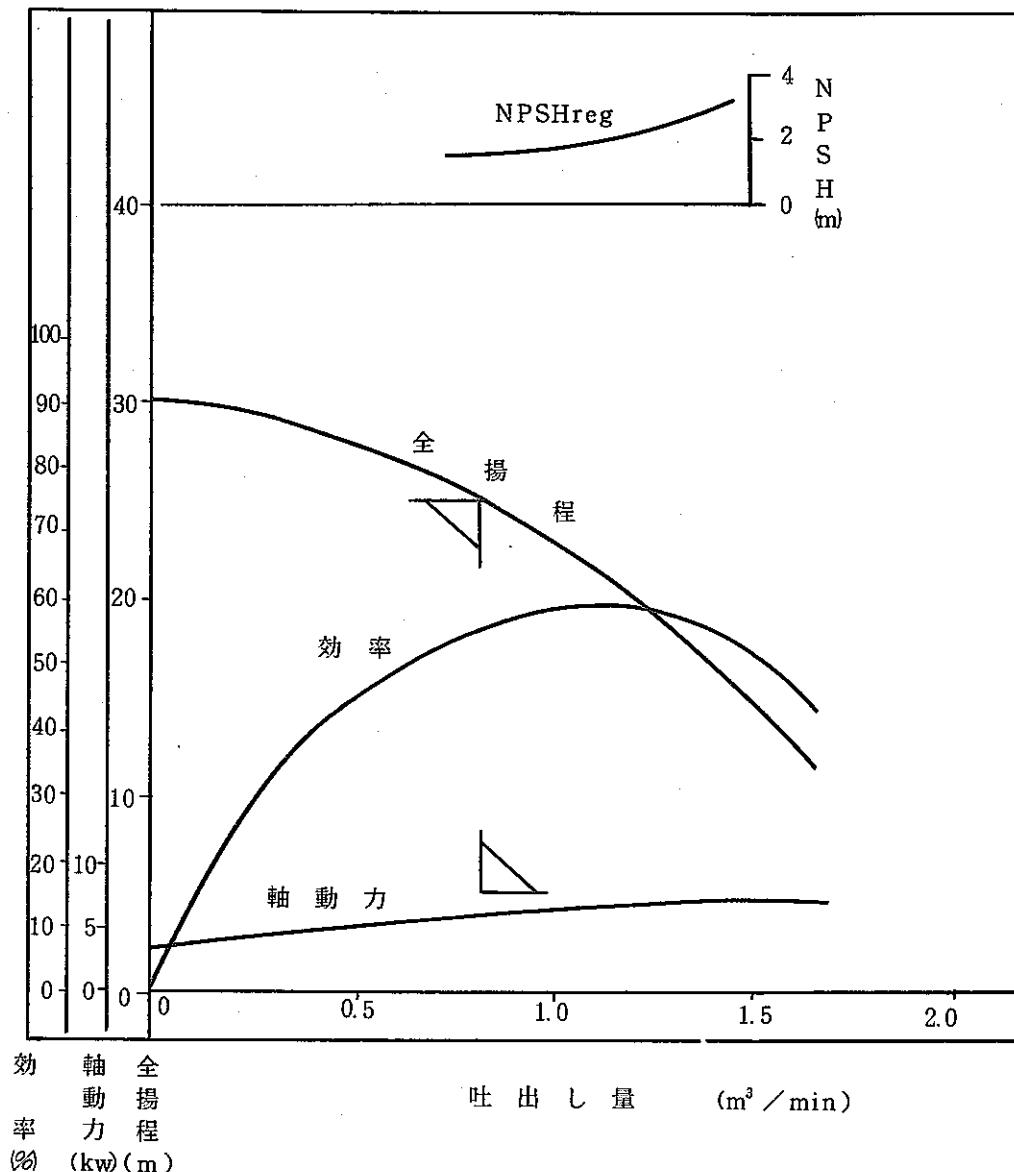


図 4-1 格納容器床上霧囲気調整系冷凍設備設置工程





仕様：電動機直結 卷ポンプ

□ 径 100/65 mm	電動機
吐出流量 0.812 m^3/min	出 力 7.5 kw
全揚程 25 m	回転数(周期) 1500 rpm
回転数 1450 rpm	

図 5-2 冷水ポンプ予想性能曲線

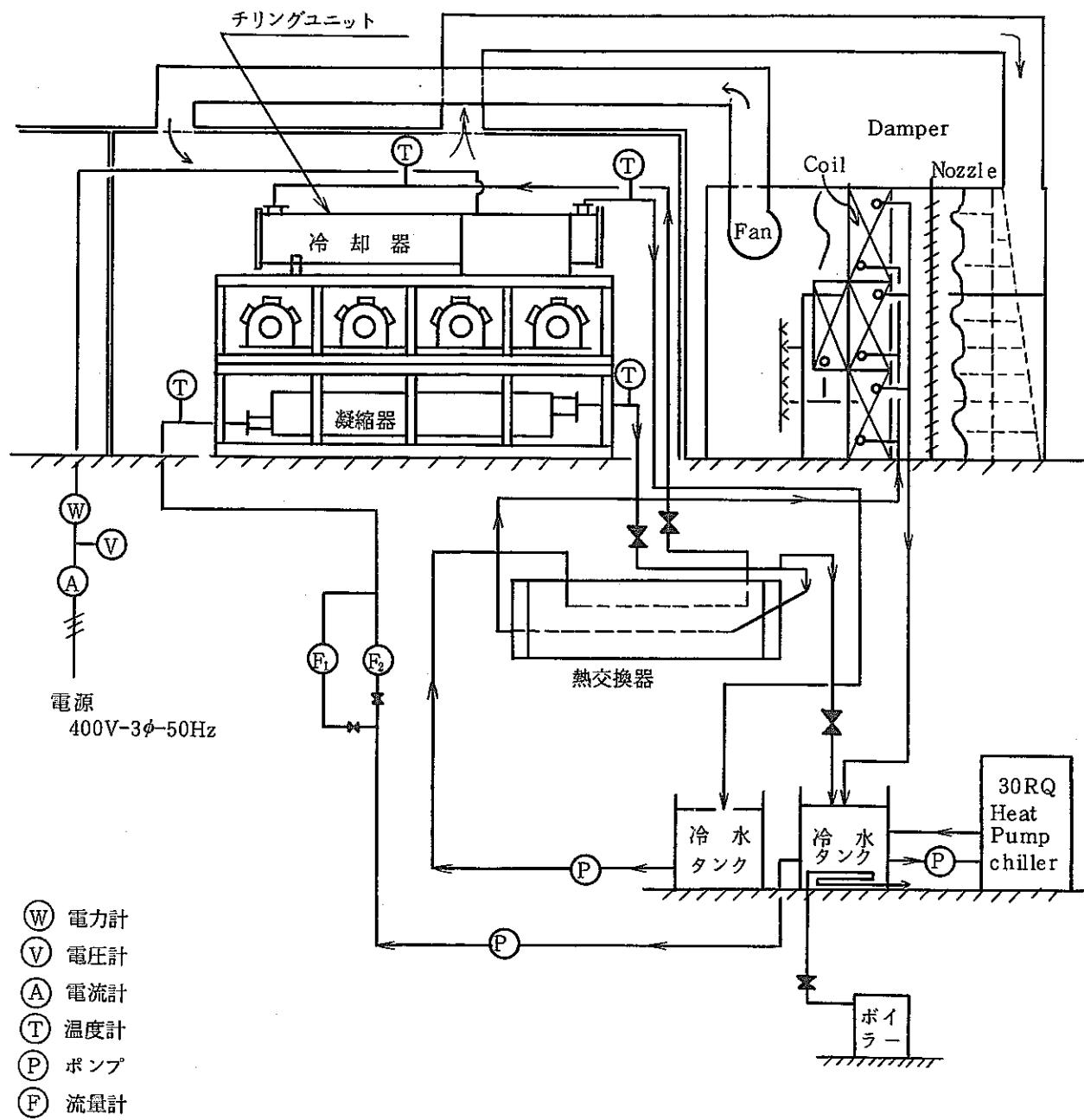
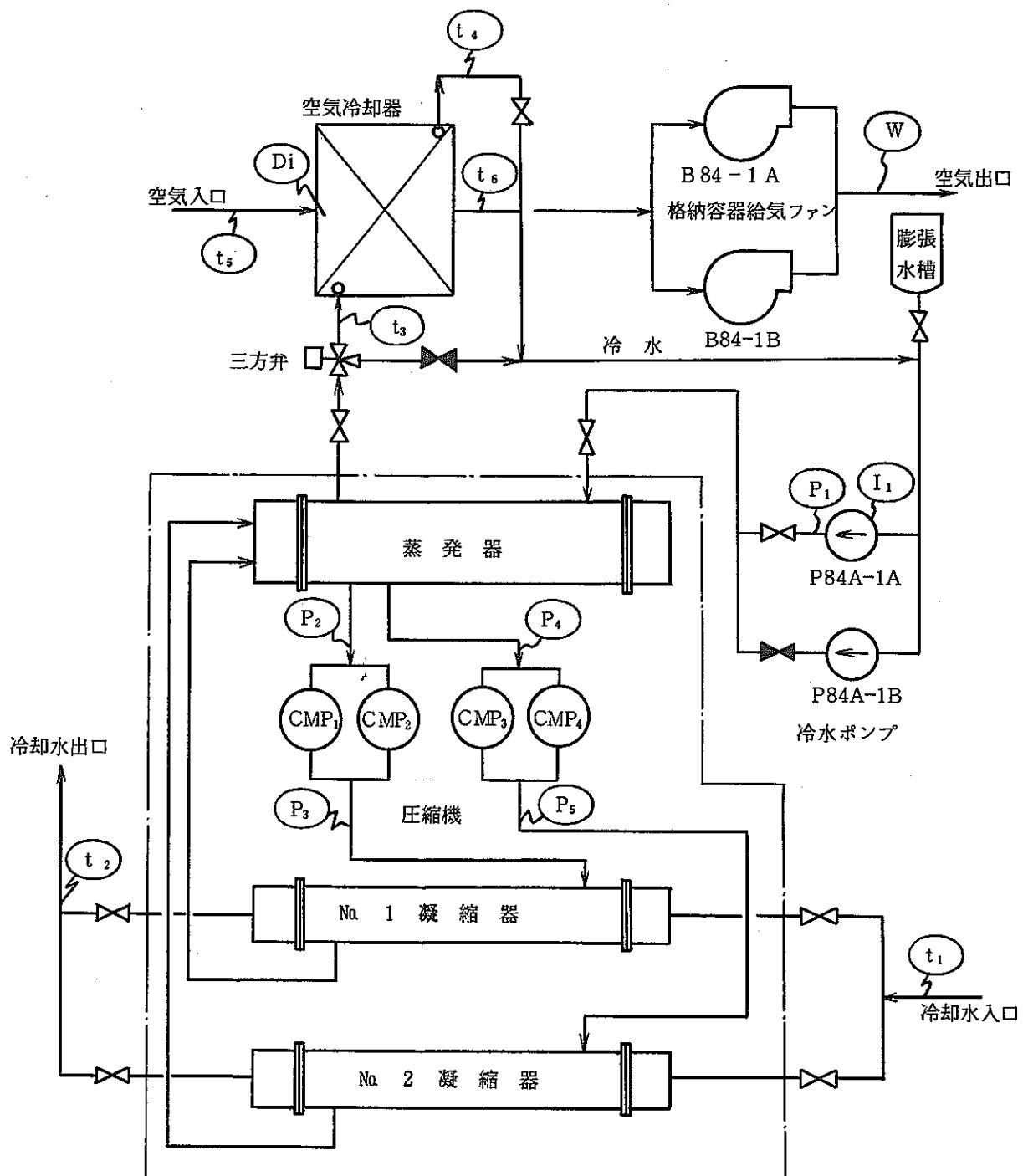


図 5-3 チーリングユニット単体性能試験要領図



*一点鎖線内はチーリングユニット
を示す。

図 5-4 冷凍設備概略系統図及び測定点

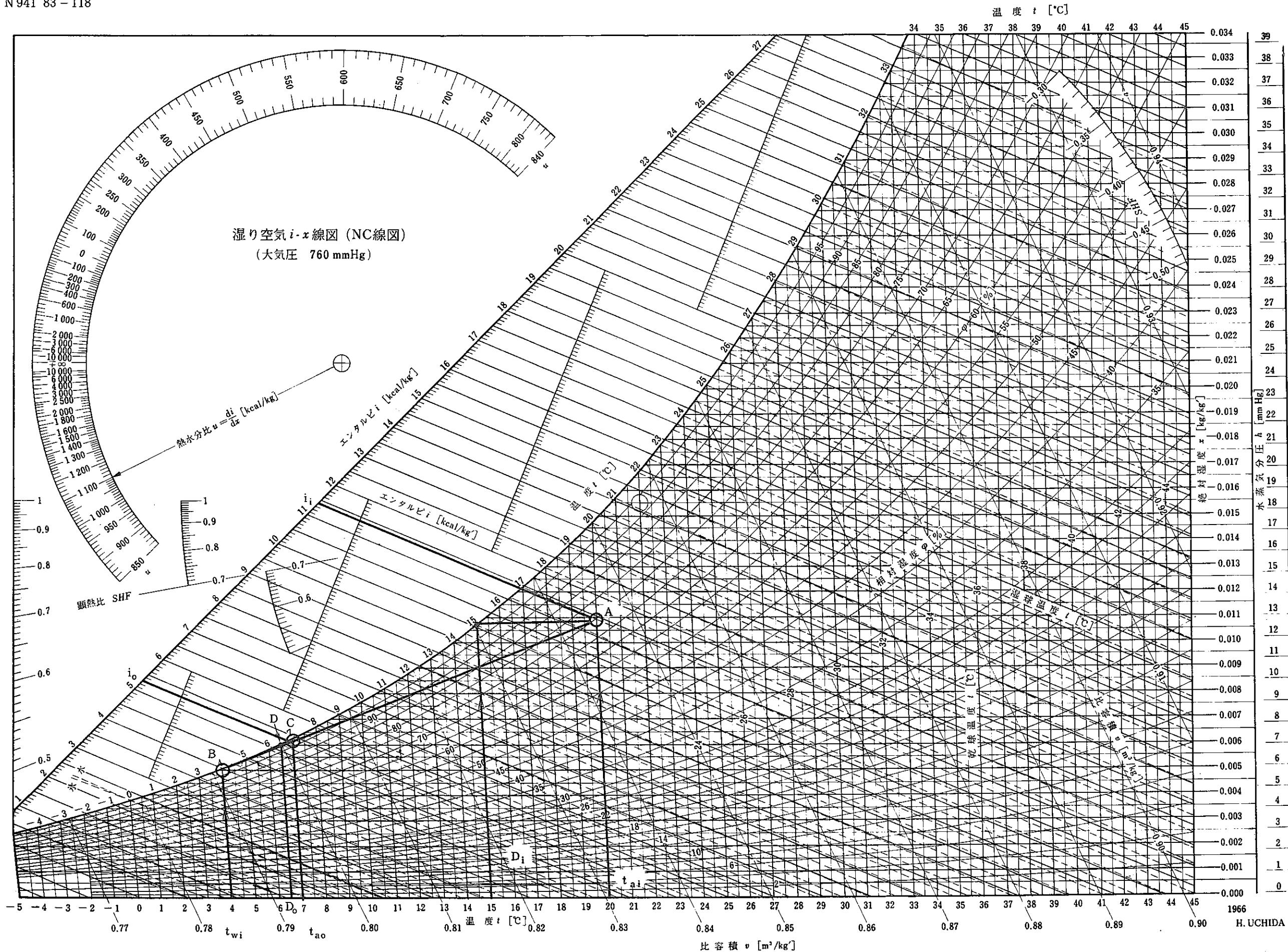
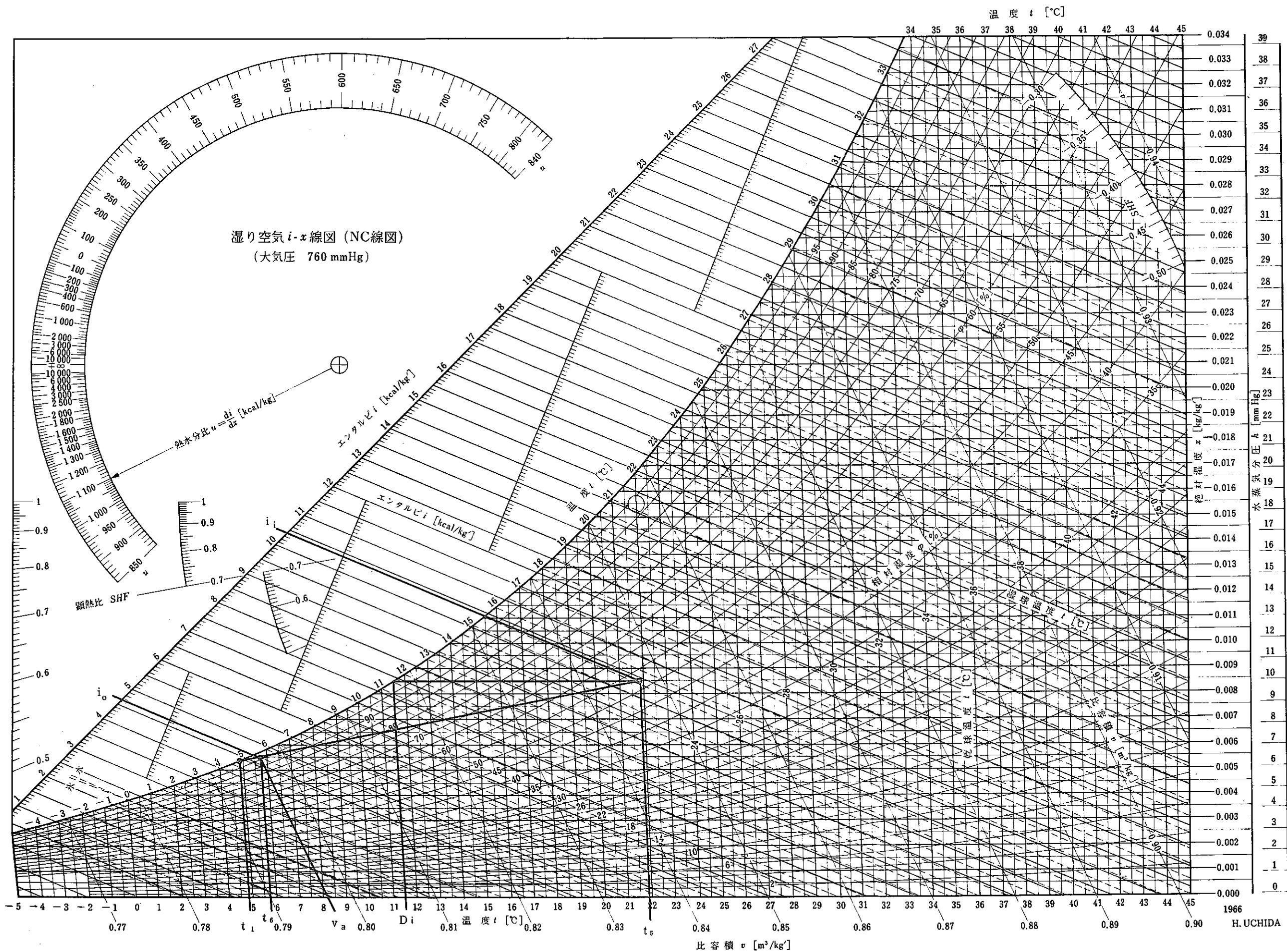


図 5-5 冷凍設備全体性能試験図 (出口空気温度 Do)



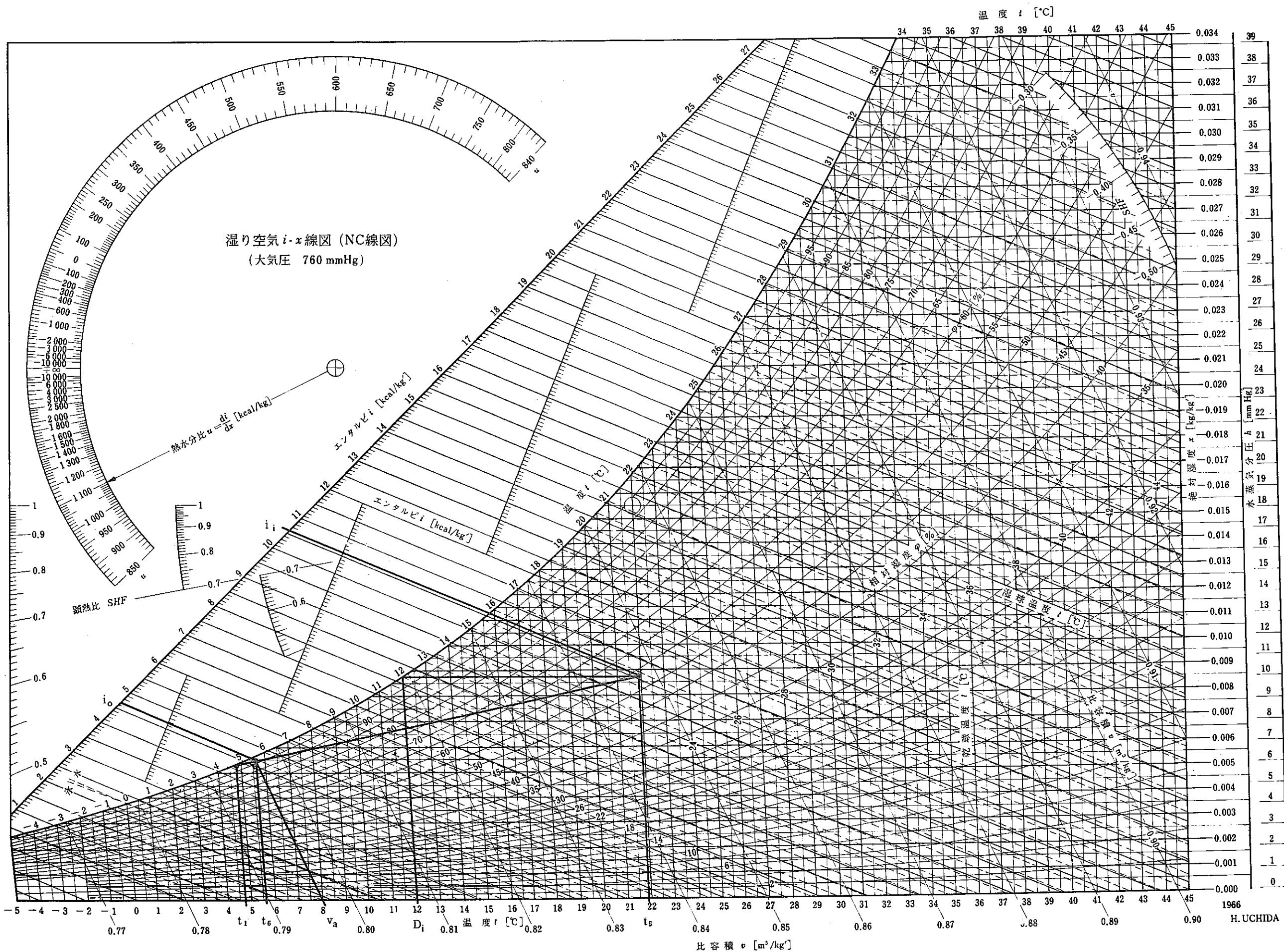


図 6-2 冷凍設備全体性能試験結果(2)

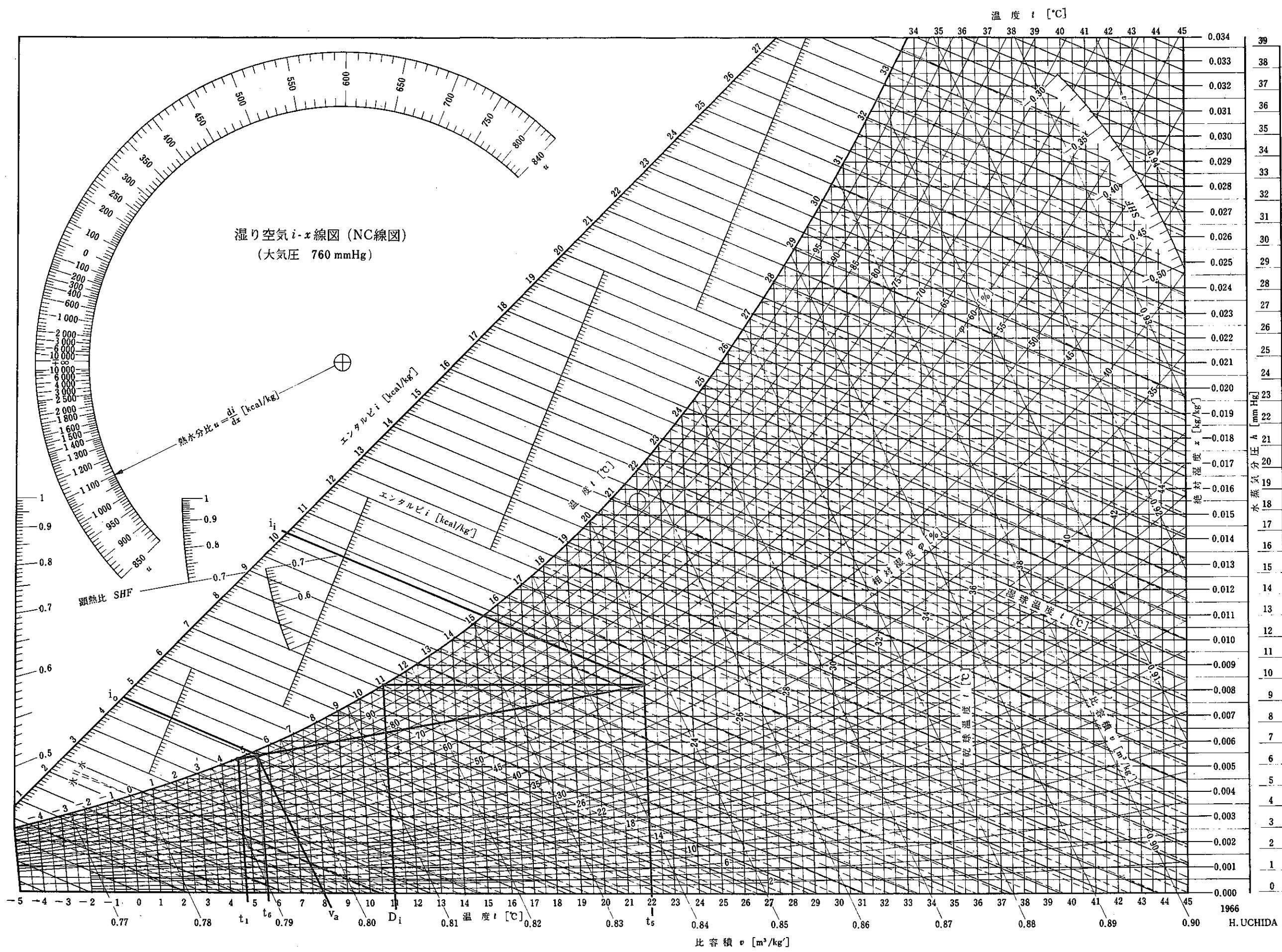


図 6-3 冷凍設備全体性能試験結果(3)

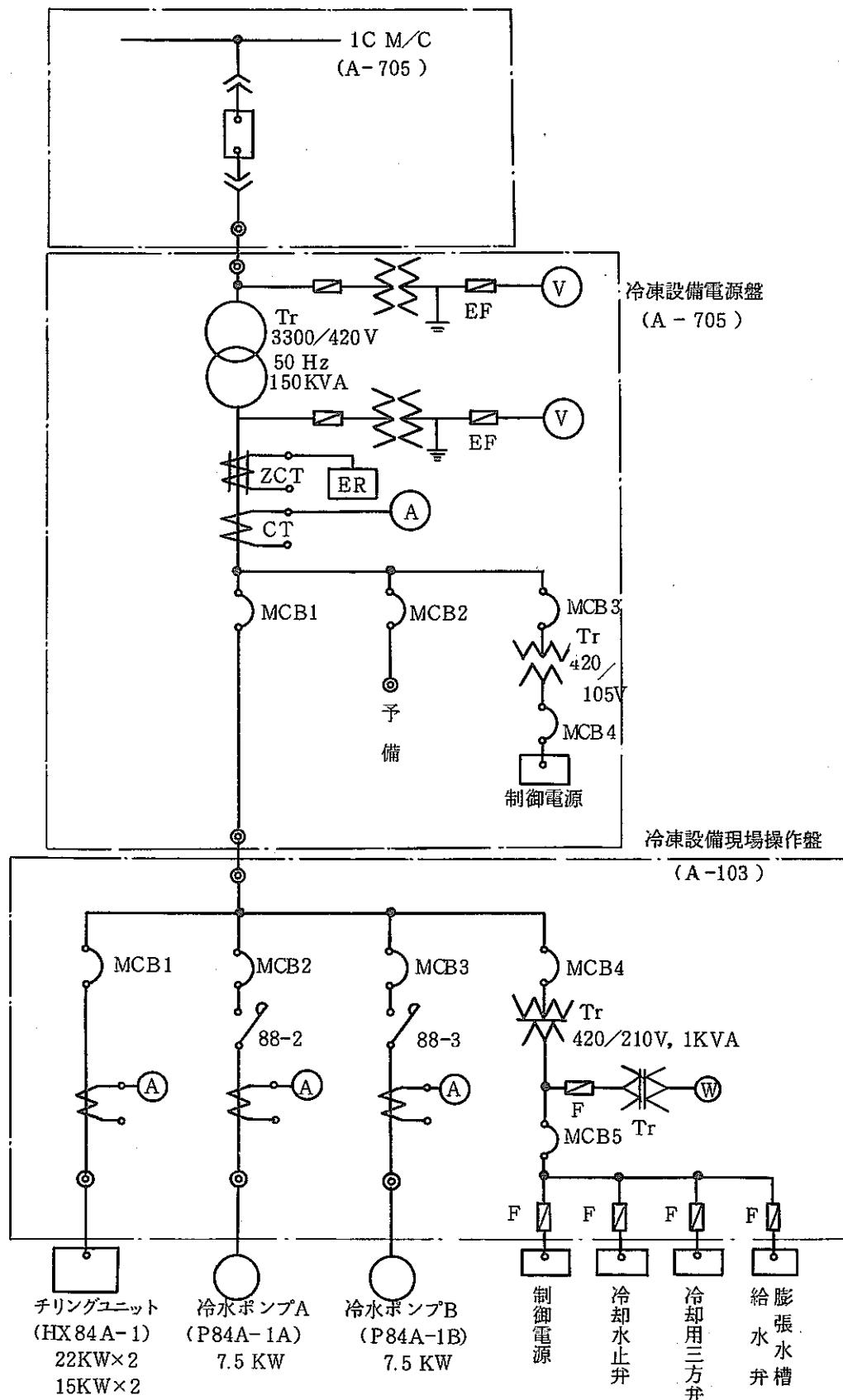


図 7-1 冷凍設備電源系統図

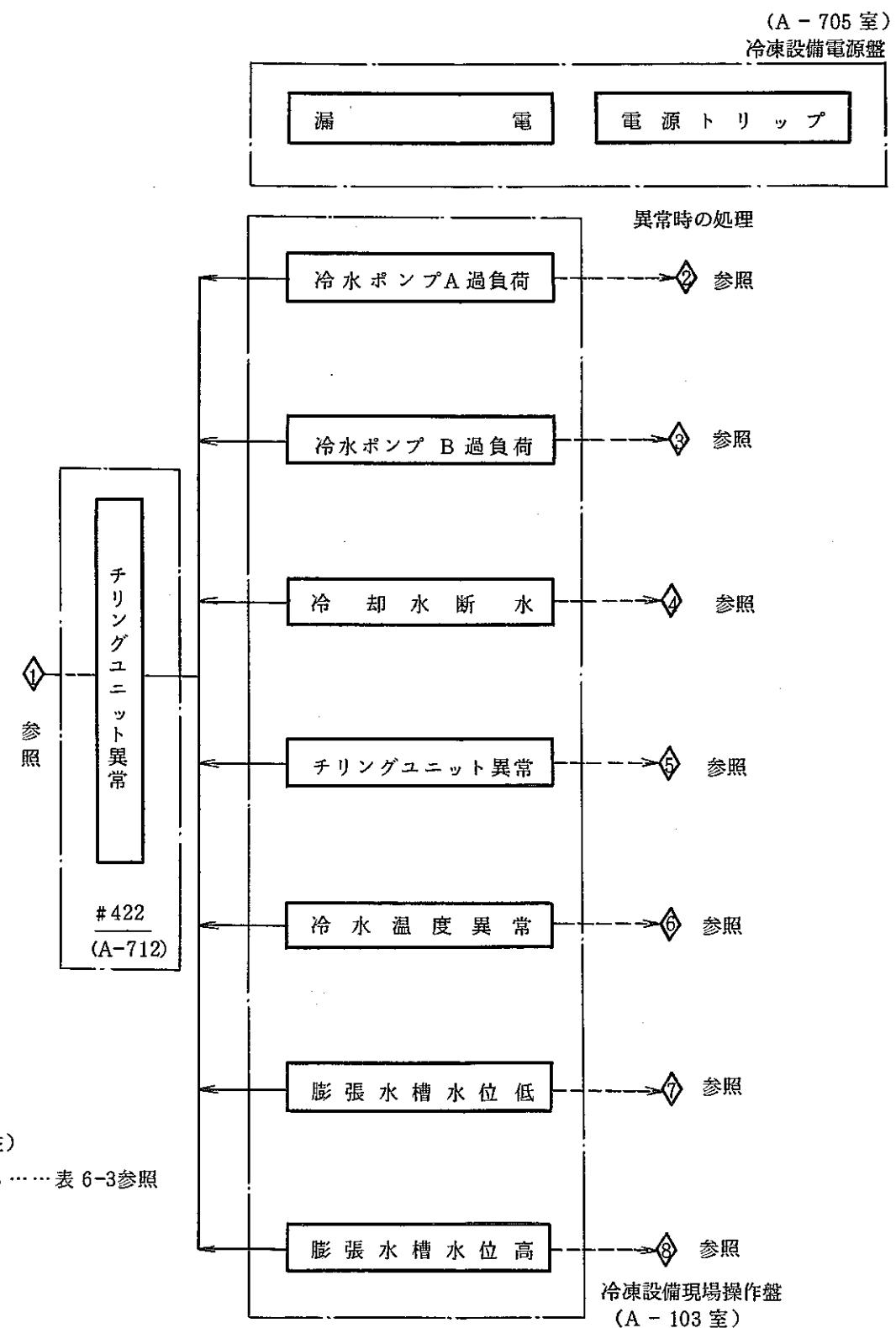


図 7-2 異常時の警報フロー