

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

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation)

1979年7月

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)

鈴木 利明* 鈴木 幸男* 田村 政昭**
坂井 茂**

要 旨

50 MW 出力上昇試験における運転データより出力 50 MW における格納容器床下熱負荷 (床下に設置されている配管、機器等からの放熱) の評価を行った結果、出力 50 MW においてほぼ設計熱負荷 (100 MW) において約 4.1×10^5 kcal/h) に達していることが明らかになった。

本報告書は前述の結果に基づき床下雰囲気冷却機能増進の可能性を探るために実施した床下空調器および冷凍機の 2 台運転試験の結果をもとに出力 75 MW および 100 MW における床下熱負荷ならびに床下空調器の性能等について述べたものである。

(1) 75 MW および 100 MW における床下熱負荷

定格熱負荷に対し 75 MW においては約 6%、100 MW においては約 15% の増加が予測される。

(2) 床下冷却機能増進の可能性

床下空調器の 2 台運転を行った場合 1 台運転と比べて床下の平均温度を低く保つことが可能である。但し冷凍機および冷凍ポンプの 2 台運転が必要となる。

(3) 床下空調器の性能

空調器の熱貫流率はほぼ設計値を満足しているが空調器出口室蒸気ガス温度が設計値を約 3°C 程度上回っている。これはフレオングラス配管の圧力損失が大きく空調器フィンチューブにおけるフレオンの蒸発温度が設計値の 4°C を満足出来ないことが主な原因であると考えられる。

Jul., 1979

"JOYO" Start-Up Test Report
 Performance of Normal Operational Conditions
 PT-51 Operational Performance in Miscellaneous Systems
 (PART-III)

T. Suzuki* Y. Suzuki* M. Tamura**

and S. Sakai**

Abstract

Heat load for nitrogen atmosphere cooling system at reactor power of 50MW was proved to be corresponding to the design value of approximately 4.1×10^5 Kcal/n which was estimated at the reactor power of 100MW. This report describes the predicted heat loads of the reactor power of 75MW and 100MW, possibility of ability to cool nitrogen atmosphere being increased and performance of the nitrogen atmosphere cooling system. They were obtained with results of dual operation of heat exchangers and refrigerators which was carried out to survey the possibility of ability to cool the nitrogen atmosphere being increased.

(1) Predicted heat load at the reactor power of 75MW and 100MW
 Increasing rates of the heat load against the design value were as follows:

75 MW : approximately 6%
 100 MW : approximately 15%

(2) Possibility of ability to cool the nitrogen atmosphere being increased
 It is possible to lower a mean temperature of the nitrogen atmosphere with the dual operation of the heat exchangers, which however requires dual operations of the refrigerators and freon circulating pumps.

(3) Performance of the nitrogen atmosphere cooling system
 Overall heat transfer coefficient of the heat exchangers satisfied its design value, however heat exchanger outlet nitrogen gas temperature was approxi-

* Maintenance Section, Experimental Fast Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC.

** Operation Section, Same as above.

imately 3 C higher than its design value. This discrepancy of 3 C was considered as the evaporation temperature of freon did not satisfy the design temperature.

List of Tables

Table 3.1-1 Test Number and Test Condition 21

Table 4.1-1 Results of the Test 22

Table 4.1-2 The Data Obtained by Test (Test 1-1) 23

Table 4.1-3 Ditto (Test 1-2) 24

Table 4.1-4 Ditto (Test 2-1) 25

Table 4.1-5 Ditto (Test 2-2) 26

Table 4.1-6 Ditto (Test 3-1) 27

Table 4.1-7 Ditto (Test 3-2) 28

Table 4.1-8 Ditto (Test 3-3) 29

Table 5.1-1 Pressure Distribution in Freon Gas System 30

Table 5.1-2 Temperature Distribution of Freon Gas 31

Table 5.2-1 Predicted Heat Quantity Removed in Heat Exchangers (1) 32

Table 5.2-2 Predicted Nitrogen Temperatures in Heat Exchangers 32

Table 5.3-1 Predicted Heat Quantity Removed in Heat Exchangers (2) 33

Table 5.3-2 Flow Rate of Liquid Freon (R-11) in Heat Exchangers 33

Table 8.1-1 Mean Friction Coefficient of Freon Gas Pipe 34

List of Figures

Fig 3.1-1 Diagram of Heat Exchangers and Refrigerators 35

Fig 3.4-1 Characteristics of Recirculation Fan 36

Fig 5.2-1 Heat Quantity Released in Nitrogen Atmosphere 37

Fig 5.2-2 Temperature Characteristics of Freon (R-11)
Evaporated in Heat Exchanger 38

目 次

1. 試験目的	1
2. 系統設備の概要	2
2.1 空素気閉気調整系	2
2.2 フレオン冷媒系	3
3. 試験方法	4
3.1 試験実施時のプラント状態	4
3.2 試験内容	4
3.3 測定項目	5
3.4 測定データの整理方法	5
4. 試験結果	7
4.1 空調器1台および2台運転	7
4.2 冷媒機1台および2台運転	8
5. 検 討	9
5.1 床下空調器の性能	9
5.2 出力75 MWおよび出力100 MW運転における床下熱負荷および空調器出入口 空素ガス温度の予測	12
5.3 床下冷却機性能増進の可能性	14
6. 結 言	16
6.1 格納容器床下熱負荷	16
6.2 床下冷却機性能増進の可能性	16
6.3 床下空調器の性能	16
7. 謝 辞	17
8. 附 録	18
8.1 フレオンガス配管の摩擦係数	18
9. 参考文献	20

1. 試 験 目 的

50 MW出力上昇試験における運転データより出力50 MWにおける格納容器床下熱負荷(床下に設置されている配管、機器等からの放熱)の評価を行った結果、出力50 MWにおいては設計熱負荷(100 MW)において約 4.1×10^5 kcal/h)に達していることが明らかになった。本試験はこの結果に基づき75 MWおよび100 MWにおける床下熱負荷を予測し、また熱負荷の増加に対して冷却機性能の増進の可能性を探るため床下空調器および冷媒機の並列運転を行うもののである。

2. 系統設備の概要

2.1 窒素雰囲気調整系

本設備は、格納容器内窒素雰囲気調整の冷却を行なうもので、格納容器操作床に設けた、床下再循環冷却器により、所定の温度に冷却し、ダクトにより、窒素雰囲気各室へ送気分布させるとともに、床下メンテナンス時の窒素ガス置換、空気を吹出た窒素雰囲気各室は、部屋間をトランスファにより換気し地下中2階のコールドドラフトラップにある選気口を経て再循環している。なお、再循環冷却器は、格納容器内窒素雰囲気発生熱除去用であるとともに事故時の安全に關する動的機器を有するため装置としては100%容量のものを用意として設けている。また上記の様に工学的安全を考慮すると同時に本設備は、計装機器冷却保護系として1次冷却系の電磁ポンプ(轉化系、オーバーフロー系、補助系)ブラッキング計、ペーパーラップ、回転ブラッグの冷却も行なっている。

また、本系は、原子炉の冷却材であるナトリウムの漏洩時に火災を防止するために、燃焼濃度の監視、冷媒の漏洩及び湿分の監視を行なう装置を持っている。この監視は、連続的に検出、記録、警報の出せるものであって、任意にコンクリート遮蔽体冷却系と切替監視が可能である。常用機と予備機の切替は手動で行なうが、運転中に1台が電源喪失などでトリップした場合は、予備機が自動起動し、冷却回路の確保を計る。自動操作回路、動力主回路は、無停電系、非常系で各々独立な2系統を持っている。

自動制御は窒素雰囲気圧力を一定に制御するとともに、送風温度の制御を自納式温度調節弁で行なっている。また主要部分の測温、測圧を行なっている。

窒素雰囲気調整系の主要構成機器は次の通りである。

名 称	数 量	主 要 目
窒素雰囲気再循環フィルタ	2基	マルチバグフィルタ
窒素雰囲気冷却器	2基	フレオン冷却
窒素雰囲気再循環ファン	4基	30kW×400V 68,600m ³ /hr/2台
機器冷却ファン	2基	18.5kW×400V 10,120m ³ /hr/台
回転ブラッグブロースタブロー	2基	37kW×400V 1,500m ³ /hr/台
回転ブラッグ補助冷却器	1基	フレオン冷却
窒素雰囲気監視装置	1式	燃焼濃度計, ハロゲン濃度計, 水分計
乾燥機	1基	シリカゲル充填

2.2 フレオン冷却系

窒素雰囲気調整系、窒素雰囲気調整系の各冷却器へフレオンターボ冷凍機を使用し冷凍ポンプにて冷媒の供給、回収を行ない、負荷容量は自動制御される。冷却機容量は、原子炉出力100 MWの時2台で100%である。使用冷媒はR-11である。

自動操作回路、動力主回路は、独立な2系統をもち非常用電源にて給電が可能である。フレオン冷却系の主要構成機器は次の通りである。

名 称	数 量	主 要 目
フレオンターボ冷凍機	2基	230kW×3000V 295USRT/2台
冷却ポンプ	3基	キャンドポンプ 1.40ℓ/min
レシーバタンク	1基	3.2m ³
ポンプアラートユニット	1基	16kW×400V

3. 試験方法

試験は温態待機状態において冷凍機1台運転に対し、空調器1台および2台運転を行い、出力5.0 MW運転において冷凍機1台運転に対し、空調器1台および2台運転、冷凍機2台運転に対し、空調器1台および2台運転を行った。

3.1 試験実施時のプラント状態

温態待機および出力5.0 MW運転時のプラント状態は下記のとおりである。

項目	プラント状態	温態待機状態	出力5.0 MW運転
原子炉出力	停止	停止	5.0 MW
原子炉出入口冷却材温度	約25.0℃	約25.0℃	約435℃/370℃
窒素	停止	停止	停止
床下雰囲気圧力	約7mmHg	約7mmHg	約5mmHg
先行運転制御装置	HX84-4B	HX84-4B	HX84-4B
機器冷却ファン	運転	運転	運転
回転ブLAG冷却ファン	停止	停止	運転
先行運転冷凍機	CP84-1B	CP84-1B	CP84-1B

3.2 試験内容

3.2.1 温態待機状態における空調器1台および2台運転（試験番号1-1および1-2）
 窒素雰囲気調整系の空調器を1台運転した状態で窒素雰囲気温度、再循環ファンモーター電流および冷凍機まわりの運転データ等を測定した後、待機状態にある空調器（HX84-4A）を追加起動し、窒素雰囲気温度および冷凍機の運転状態が安定した後、空調器1台運転時と同様の測定を行う。

3.2.2 原子炉出力5.0 MW運転における空調器1台および2台運転（試験番号2-1および2-2）

3.2.1 項に同じ

3.2.3 原子炉5.0 MW運転における空調器および冷凍機の組合せ運転（試験番号3-1〜3-3）

窒素雰囲気調整系の空調器および冷凍機を各々1台ずつ運転した状態で窒素雰囲気温度、再循環ファンモーター電流、ターボ冷凍機まわりの運転データ等を測定した後、待機状態にあるターボ冷凍機を追加起動する。窒素雰囲気温度およびターボ冷凍機の運転状態が安定した後、ターボ冷凍機1台運転時と同様の測定を行い、さらに待機状態にある空調器を追加起動し、ターボ冷凍機および空調器とも2台並列運転とする。窒素雰囲気温度およびターボ冷凍機の運転状態が安定した後、ターボ冷凍機1台運転と同様の測定を行う。

3.3 測定項目

試験中の測定項目は次のとおりである。

3.3.1 窒素雰囲気温度

設備に設置されている測温抵抗体14点および仮設で床下の管察に設けた測温抵抗体30点で計測を行う。

3.3.2 再循環ファン電流

設備に設けられている指示計で計測する。

3.3.3 冷凍機運転データ

プロワ電流、プロワサクションベーン開度、蒸発圧力冷凍ポンプ吐出圧等を冷凍機まわりに設置されている指示計で計測する。

3.3.4 冷媒圧力および温度

仮設の圧力指示計で冷媒の圧力を、冷媒配管の表面に貼りつけた仮設の測温抵抗体で冷媒温度を計測する。

3.4 測定データの整理方法

測定データより空調器の除熱電および熱流出率を求める。

3.4.1 除熱量

$$Q = W \times C_p \times (T_{N21} - T_{N20}) \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Q : 除熱量 (kcal/h)

W : 窒素ガス流量 (注1) (kg/h)

C_p : 窒素ガス定圧比熱 (kcal/kg°C)

T_{N21} : 空調器入口窒素ガス温度 (°C)

T_{N20} : 空調器出口窒素ガス温度 (注2) (°C)

(注1) 再循環ファンの特徴曲線より求める。

Fig. 3.4-1 に特性曲線を示す。

(注2) 温度計測点は再循環ファンの出口に設けられているため、計測された温度から再循環ファンの入熱を差引いて空調器出口空室ガス温度を求める。

$$T_{N20} = T_{N21} - \frac{q}{C_p \times W} \quad (3.2)$$

$$q = \sqrt{3} \times I \times E \times \eta \quad (3.3)$$

T_{N20} : 再循環ファン出口空室ガス温度 (°C)

q : 再循環ファンの入熱 (kcal/h)

I : 再循環ファンモータ電流 (A)

E : 再循環ファンモータ電圧 (V)

η : 係数 (効率と力率)

ここで、 $E = 400$ V, $\eta = 0.75$ とする。

3.4.2 熱負流率

空調器の出入口空室ガス温度、冷媒温度および空室ガス流量より熱負流率を求める。

$$U = \frac{Q}{A} \times \frac{1}{dT_m} \quad (3.4)$$

$$dT_m = \frac{(T_{N21} - T_R) - (T_{N20} - T_R)}{\ln \frac{(T_{N21} - T_R)}{(T_{N20} - T_R)}} \quad (3.5)$$

U : 熱負流率 (kcal/m²h²O)

Q : 除熱量 (kcal/h)

A : 伝熱面積 (m²)

dT_m : 対数平均温度差 (°C)

T_{N21} : 空調器入口空室ガス温度 (°C)

T_{N20} : 空調器出口空室ガス温度 (°C)

T_R : 空調器フレオン蒸発温度 (°C)

ここで、 $A = 1746$ m²/1基とする。

4. 試験結果

4.1 空調器1台および2台運転

運転状態および出力50 MW運転状態において空調器の1台および2台運転を行い、以下に示す結果が得られた。結果の一覧をTable 4.1-1に示す。

(1) 冷却空室ガス流量

冷却空室ガス流量は空調器2台運転を行うことにより1台運転に対し30%~40%増加している。

(2) 空調器出入口空室ガス温度

格納容器内床下の熱負荷一定に対し、空調器2台運転時は冷却風量が増加しているが、1台運転に対し空調器出入口空室ガス温度差は約1.0%減少している。但し空調器2台運転における空調器出口空室ガス温度は空調器出口フレオンガス温度の上昇により1台運転時に対し約1.5°C上昇している。

(3) 空調器出入口フレオン温度

空調器入口の液体フレオン温度は空調器の運転台数に拘らずほぼ一定であるが、空調器出口のフレオンガス温度は2台運転になると約5~6°C上昇している。これは次の(4)項で述べるように空調器の除熱量の増加によりフレオンの蒸発量が増し、常時負圧に保たれている空調器コイル内の圧力が上昇することに起因するものである。

(4) 空調器除熱量

空調器の除熱量は床下の熱負荷が一定であるにも拘らず空調器1台運転に対し空調器2台運転においては16%~30%増加している。これは冷却空室ガス流量が30%~40%増加したことにより、1台運転時にはガスの流れが無かったとみられる床下室内の熱滞留部分にもガスの流れが起り、実質的には床下の熱負荷が増す結果になったこと、空調器2台運転を行うことで運転する再循環ファンが2台から4台になるため、電動機から入熱が約70% (但し床下の全熱負荷に対しては約7%)増加すること等が主な原因と考えられる。

(5) 空調器熱負流率

空調器内には気流の方向に対し直列に2基のフィンチューブ群が設けられているが、ここでは空調器全体としての性能を評価するという意味から、フィンチューブ群を1段と見做して熱負流率を求めた。空調器1台運転における熱負流率は13.4 kcal/m²h²O~

13.5 kcal/m²h²であり床下の熱負荷に拘らずほぼ一定である。空調器2台運転における熱貫流率は温態時機軸状態において11.0 kcal/m²h²、出力50 MW運転時で12.2 kcal/m²h²~12.5 kcal/m²h²であった。これは空調器を2台運転することにより1台当りの風量は1台運転時の約67%となることが主な原因と考えられる。

4.2 冷凍機1台および2台運転

空調器1台運転においては冷凍機を2台運転してもフィンチューブの圧力に変化はみられず、冷凍機2台運転の効果は無いが、空調器2台運転においては冷却コイル圧力が約5 mmHg下がり、フレオンガス温度および空調器出口蒸発ガス温度とも約1°C低下していることからわずかながらあるが冷凍機2台運転の効果はひとめとめられた。Table 4.1-1に試験結果を示す。

5. 検 討

5.1 床下空調器の性能

5.1.1 空調器熱貫流率

空調器内に設置されているフィンチューブが「主」と「補助」の2基から構成されていることは既に述べた。当初は主のフィンチューブ1基であったが、総合性能試験において熱貫流率および伝熱面積が共に設計値を満足しないことが明らかになった為、補助のフィンチューブの増設を行った。主フィンチューブ部の実測値より求めた熱貫流率は12.6 kcal/m²h²であり、補助フィンチューブ部の設計値は16.9 kcal/m²h²である。これらの値から「主」および「補助」の伝熱面積を考慮して求めた平均貫流率は14.6 kcal/m²h²である。今回の試験で得られた平均熱貫流率は13.5 kcal/m²h²であり、前出の値を設計値とみなした場合、設計値に対する割合は92.5%である。また「主」の熱貫流率は12.6 kcal/m²h²とし伝熱面積の比を用いて「補助」の熱貫流率を求めると14.5 kcal/m²h²となり設計値に対する割合は86%となる。

5.1.2 空調器出口フレオンガス温度特性

試験の実施過程において空調器の運転台数を1台から2台に増すと空調器出口フレオン配管およびフレオンガンガスヘッドの圧力が上昇する現象が観測された。空調器出口フレオン配管の圧力が上昇することは空調器フィンチューブ内におけるフレオンの蒸発温度が上昇することを意味し、蒸発温度の上昇は空調器出口蒸発ガス温度も上昇させることになる。現設備はフィンチューブ内におけるフレオンの蒸発温度が4°Cとなるように設計されており、そのためにフィンチューブ内を常時負圧としていたが冷凍機のK.Oドラム(Fig.3.1-1参照)内の圧力を一定(冷凍機のターボブロウ入11ペーン間度を調節することにより-450 mmHg)~-470 mmHg)を保持)としているため、空調器に対する熱負荷の大小つまりフレオンの蒸発量の多少によりフィンチューブ内の圧力が変化し、フレオンの蒸発温度が変化するという特性を持っている。

空調器出口フレオンガス温度特性についての検討をより具体的にものとするため、出力50 MW、空調器1台運転における試験であるTest 2-1で得られたデータを用いて検討を進めることにする。

(1) Test 2-1の試験条件の確認

Test 2-1はTable 4.1-1に示す通り、空調器による全除熱量(床下熱負荷+再

循環ファン入熱+機器冷却ファン入熱)が $4.55 \times 10^5 \text{ kcal/h}$ であり、これは設計条件(約 $4.70 \times 10^5 \text{ kcal/h}$)の約97%に相当する。従ってTest 2-1において空調器はほぼ設計条件で運転されていたとみなし、これから行う検討においては得られた数値を直接設計値と比較できるものとして取扱う。

(2) フレオンガス系における圧力損失

フレオンガス系を①冷凍機からフレオンガスヘッド、②フレオンガスヘッドから空調器フィンチューブ出口、の2つの部分に分けて圧力損失の検討を行う。

(i) 冷凍機からフレオンガスヘッド間の圧力損失

冷凍機およびフレオンガスヘッド出口の圧力はTable 5.2-1に示すように -470 mmHgG と -395 mmHgG であり、この間の圧力損失は 75 mmHgG である。計算によればこの間の圧力損失は 53 mmHgG であり、実測値は計算値に対し約40%大きい値を示している。フレオンガス配管はFig. 3.1-1に示すように 16° 、 14° および 8° の3種類の管により構成されているが、計算では系統の全圧力損失の77%が 8° の配管および弁によるものであり、これはTable 5.2-1に示されている格納容器外側配管の圧力損失が 5 mmHg 、格納容器内側配管の圧力損失が 70 mmHgG であることから、ほぼ妥当であると考えられる。

次に配管内流速および配管摩擦係数の検討を行う。

フレオンガス系の等価管径を 14° 、等価管長さを 282 mm とし、空調器の除熱量からフレオンガス流速を求めて管内の平均フレオンガス流速を計算すると約 10 m/s を得る。また 8° 配管部においても平均流速は約 30 m/s となり、一般の蒸気配管と比べて特に高流速とはいえない。前述の条件で配管の平均摩擦係数を求めると 0.8×10^{-1} となり市販の 14° 鋼管の摩擦係数 0.013 に対し約6倍の値を示している。8.1項に摩擦係数の計算方法および計算結果を示す。

(ii) フレオンガスヘッドから空調器フィンチューブ出口間の圧力損失

空調器内のフィンチューブには「主」と「補助」があることは既に述べた。フィンチューブ内で蒸発したフレオンはヘッドに集められヘッドの上部に接続されている配管を通じて冷凍機に戻される。「主」は6段、「補助」は3段のフィンチューブで構成されているが、Table 5.1-2に示すようにフィンチューブ出口におけるフレオンガス温度は下段が高く、上段が低くなっている。

これは、ヘッドが縦形であり、配管がヘッドの上部に接続されている構造から、上

段のフィンチューブ内で蒸発したフレオンガスは流れ易く、下段のフィンチューブ内で蒸発したフレオンガスはヘッド内を流れるための圧力差が必要となるため蒸発圧力が高くなるためである。フィンチューブ出口フレオンガス温度の平均値を空調器におけるフレオンの代表蒸発温度とすると、Test 2-1における代表蒸発温度は 6.5°C であり、 6.5°C に対応する飽和圧力は -369 mmHgG である。フレオンガスヘッド出口部の圧力は -395 mmHgG であり、この間の圧力損失は 26 mmHgG となる。また最下段のフィンチューブ出口における圧力を蒸発温度から求めると、 -353 mmHgG となり、ヘッドにおける圧力損失は 42 mmHg とみなすことができる。フィンチューブ出口からヘッドまでの配管における圧力損失も配管が長くなると無視できないものとなり、「補助」の下段のフィンチューブ出口からヘッドまでの圧力損失は 15 mmHg となっている。

(3) フレオンガス系圧力損失の低減化

②項における検討でフレオンガス系における圧力損失についてはほぼ明らかになった。フレオンガス蒸発温度を低くするためには系統の圧力損失を低減することが必要でありその対策は次の4点に集約される。

- (i) 冷凍機からフレオンガスヘッド間の 8° 管を太くする。
- (ii) フレオンガスヘッドの容積を大きくする。
- (iii) フレオンガスヘッドとフィンチューブ出口間の管径を太くする。
- (iv) フィンチューブ間に存在する圧力差を最小にするためヘッドから冷凍機へ行く配管の取付部をヘッド上部から中央部に移設する。

5.1.3 フレオンガス系の圧力制御

冷凍機側の圧力を一定とする現在の制御方式では空調器では空調器における除熱量の増加によるフレオン蒸発量の増加分を流すには必然的に空調器側の圧力が上らざるを得ない。

従って空調器において設計値どうりの蒸発ガス温度あるいはフレオン蒸発温度を得るには実際の除熱量およびフレオンガス系の圧力損失が設計条件と一致することが必要となる。しかしながら実際にそれらを一致させることは非常に難しいことから、設計上十分な余裕を見込んでおくことが必要である。現設備において冷凍機のK.Oドラムに圧力の制限が設けられているため冷凍機側の圧力を一定としておけるが、もし制限が無い、あるいは制限圧力を低くすることが出来ると仮定する。この場合空調器側の圧力が一定となるようにターボブロワの入口ベーン開度を制御する方法を採用することにより、負荷の変動に拘らずフ

レオン蒸発温度，すなわち空調器出口窒素ガス温度が一定となる運転が可能である。

5.2 出力75 MWおよび出力100 MW運転における床下熱負荷および空調器出入口窒素

ガス温度の予測

今回の試験で得られた結果を床に出力75 MWおよび100 MW運転における空調器出入口窒素ガス温度を予測する。

5.2.1 予測方法

出力75 MWおよび100 MWにおける空調器除熱量および空調器フィンチューブにおけるフレオン蒸発温度を推定し，今回の試験で得られている空調器熱負流率および窒素ガス流量等を用いて窒素ガス出入口温度を予測する。

(1) 空調器除熱量

$$Q = Q_0 + Q_1 + \dots$$

Q : 除熱量

Q₀ : 格納容器床下における放熱量，出力上昇試験時の実測値 (Fig. 5.2-1) より外挿して求める。

Q₁ : 出力50 MW運転における空調器2台運転と空調器1台運転の除熱量の差で，空調器2台運転時の空調器除熱量を求める時にのみ加える。

φ : 再循環ファンモーターからの入熱。

(2) フレオン蒸発温度

今回の試験で得られた空調器除熱量とフレオン蒸発温度の関係 (Fig. 5.2-2) より内挿あるいは外挿して求める。

(3) 空調器出入口窒素ガス温度

(1)および(2)項で求めた空調器除熱量およびフレオン蒸発温度，さらに今回の試験で得られた窒素ガス流量，熱負流率等を用いて空調器出入口窒素ガス温度を求める。

(3.5)式を変形して

$$T_{N_2} - T_R = \exp \frac{T_{N_2} - T_{N_2}^0}{J T_m} \times (T_{N_2}^0 - T_R) \dots \dots \dots (5.1)$$

(5.1)式に(3.1)式を代入して

$$T_{N_2} - T_R = \exp \frac{Q}{W \times C_p \times J T_m} \times (T_{N_2}^0 - T_R) \dots \dots \dots (5.2)$$

(3.1)式より

$$T_{N_2} = \frac{Q}{W \times C_p} + T_{N_2}^0 \dots \dots \dots (5.3)$$

(5.2)式および(5.3)式より

$$T_{N_2} = \frac{1}{1 - \exp \frac{Q}{W \times C_p \times J T_m}} \left[\left(1 - \exp \frac{Q}{W \times C_p \times J T_m} \right) \times T_R - \frac{Q}{W \times C_p} \right] \dots \dots \dots (5.4)$$

(3.4)式を変形して

$$J T_m = \frac{Q}{U \times A} \dots \dots \dots (5.5)$$

(5.4)式に(5.5)式を代入して

$$T_{N_2} = \frac{1}{1 - \exp \frac{U \times A}{W \times C_p} \times T_R - \frac{Q}{W \times C_p}} \dots \dots \dots (5.6)$$

(4) 計算に使用する数値

窒素ガス流量，窒素ガス比熱，空調器熱負流率および空調器伝熱面積については下記の数値を使用する。

項目	空調器運転方式	1台運転	2台運転
窒素ガス流量 (kg/h)		7.23 × 10 ⁴	9.66 × 10 ⁴
窒素ガス比熱 (kcal/kg°C)		0.249	0.249
熱負流率 (kcal/h ² h°C)		1.35	1.2.2
伝熱面積 (m ²)		1746	3492
再循環ファンモーターの入熱 (kW)		57	96
空調器2台運転と1台運転の除熱量の差		—	6.46 × 10 ⁴

5.2.2 予測結果

Table 5.2-1 に床下の放熱量と空調器の除熱量を、Table 5.2-2 に空調器出入口野菜ガス温度を示す。

床下の放熱量は設計条件に対し、75 MWにおいて約6割、100 MWにおいて約15割増となる。床下からの戻り平均野菜ガス温度を示す空調器入口野菜ガス温度は75 MW運転において空調器1台運転時が47.6°C、2台運転時が43.5°Cであり、50 MW運転における温度に対し各々6.3 deg Cおよび2.8 deg Cの上昇である。また100 MW運転においては空調器1台運転時が51.9°C、2台運転時が47.1°Cであり、50 MW運転における温度に対し各々10.6 deg Cおよび6.4 deg Cの上昇である。

5.3 床下冷卻機能増進の可能性

5.3.1 空調器運転台数の検討

5.2.2項の予測によれば出力75 MWおよび100 MWにおいて空調器の2台運転は床下全体の温度上昇を低くおさえるという意味では有効であるが、空調器に対する熱負荷が増加するため冷凍機に対する熱負荷も増加することになり、冷凍機の処理能力の検討が必要となる。

出力75 MWおよび100 MWにおける空調器の除熱量を冷凍機に対する負荷として冷凍機の能力を表わす単位であるUS冷凍トン(1 USRT = 3024 kcal/h, USRT: US冷凍トン)で表わし、Table 5.3-1に示す。冷凍機に対する負荷としてはTable 5.3-1に示す負荷に主循環ポンプモータ冷却器2基および回転ブラグ冷却器からの熱負荷約13 USRT^(注1)が加えられるため空調器2台運転時は冷凍機に対する負荷が冷凍機1台の能力である180 USRTを超すため、冷凍機の2台運転が必要となる。また空調器を1台運転する場合には、おいても格内床下の空調器が運転される季節においては冷凍機に対する負荷がさらに加わるため(夏季で約66 USRT^(注1))冷凍機の2台運転が必要となる。

冷凍機に対する負荷が増加すると冷媒の循環量も増すため冷媒ポンプの能力についての検討を行う。

冷媒ポンプの定格流量は140 ℓ/minであるがQ-H曲線が平坦であるためモータ電流の定格値以内で約200 ℓ/minまでは使用可能と考えられる(但し現設備においてはNP SHの余裕が少ないため定格以上で使用する場合は検討の必要がある)。出力75 MWおよび100 MWにおける除熱量から求めた必要冷媒量をTable 5.3-2に示す。床下空調器の他に主循環ポンプモータ冷却器および回転ブラグ冷却器へ送る冷媒約10 ℓ/minおよび床下

空調器を使用する季節においてはその為の冷媒(夏季で約50 ℓ/min)が必要となる。従って空調器1台運転においては冷媒ポンプ1台で十分であるが2台運転においては冷媒ポンプの2台運転が必要となる。

以上述べた冷凍機と冷媒ポンプの運転方式についてまとめると次のとおりとなる。

(1) 空調器の2台運転を行うと床下の平均温度は1台運転に比べて低く保たれるが、それに伴い冷凍機および冷媒ポンプの2台運転が必要となる。

(2) 空調器1台運転の場合は冷凍機および冷媒ポンプとも1台運転で十分であるが床上空調器を運転する場合は冷凍機の2台運転が必要である。

(3) 5.1項で述べたフレオンガス配管圧力損失の低減化が実現した場合床下の平均温度は低下するが除熱量の増減はないため冷凍機および冷媒ポンプの運転台数は①項および②項のとおりである。

(注1) 50 MW出力上昇試験時のデータである。報告書「運転温度圧力確認試験 (PT-51) (その2)」による。

(注2) 床上空調器の冷媒系については現在独立化を計画中である。

5.3.2 冷凍機運転台数の検討

空調器1台運転に対し冷凍機を2台運転した試験(Test 3-2)においては冷凍機2台運転の効果は全くみられなかった。これは冷凍機を2台運転にしても冷凍機側の圧力が1台運転時と同じ圧力に保たれるためフレオンガス系の圧力分布には何ら影響を与えない、つまりフィンチューブ内の圧力が下らないためである。

空調器の2台運転を行うと1台運転に比べて除熱量が増加することは既に述べたが、50 MWにおいてはその除熱量が冷凍機1台の処理能力である180 USRTを超えている。

冷凍機1台運転(Test 2-2)においては冷凍機に対する負荷が能力を超えているため冷凍機側の圧力が制御点より高くなり、それに伴ってフレオンヘッド出口圧力も上昇するが、冷凍機を2台運転(Test 3-3)にすると1台に対する負荷が小さくなり、冷凍機は圧力制御が可能となって1台運転に比べてフレオンヘッド出口圧力も低くなる。これは5.3.1項の①で述べたように50 MWにおいても空調器の2台運転を行う場合は冷凍機の2台運転が必要であることを示している。

6. 結 言

6.1 格納容器床下熱負荷

格納容器床下における機器および配管からの放熱量は出力50MW運転において100 MWに対する設計条件(約 4.13×10^5 kcal/h)の約97%に達しており、出力75 MWおよび100 MWにおける放熱量は設計条件に対し各々約6%および約15%増加するものと予測される。

6.2 床下冷用機能増進の可能性

出力75 MWおよび100 MW運転において空調器の2台運転を行った場合1台運転と比較して床下雰囲気平均温度を低く保つことが出来、100 MWにおける平均温度は約47°Cと予測される。但し2台運転を行った場合、1台運転に比べて空調器に対する熱負荷が増加するため、冷凍機および冷媒ポンプの2台運転が必要となる。

出力75 MWおよび100 MW運転において空調器の1台運転を行った場合は格納容器床下空調器の使用時間を除いて冷凍機は1台運転で十分であり、冷媒ポンプは常時1台運転で必要冷媒量を確保することが出来る。

100 MW運転における床下平均温度の予測値は約52°Cである。床下に設置されている電気計装品の設計温度は65°Cであり、52°Cに対し13 deg Cの余裕があるが、床下の熱滞留部分の温度は出力50 MW運転において平均温度より13 deg C~14 deg C高い温度を示しており、100 MW運転においては熱滞留部分の温度が65°Cまで上昇する可能性がある。

6.3 床下空調器の性能

空調器から冷凍機までのフレオンガス配管の圧力損失が大きく、空調器におけるフレオン(R-11)の蒸発温度が設計条件の4°Cに対し約2.5 deg C高い値を示している。配管の圧力損失を小さくすることが出来れば蒸発温度が下り、床下の平均温度を下げる事が出来る。出力100 MW、空調器1台運転においてフレオンの蒸発温度4°Cが実現出来るとすると床下の平均温度は約4.5°Cとなる。

空調器の熱貫流率は $13.5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ であり、ほぼ設計値を満足している。

7. 謝 辞

本試験を担当された東京芝浦電気(株)および新日本空調(株)の技術員の方々、また報告書の作成にあたり御助言を戴いた東京芝浦電気(株)原子力事業本部佐藤主任ならびに新日本空調(株)原子力部笠置次長に心から感謝の意を表します。

8. 附 録

8.1 フレオンガス配管の摩擦係数

8.1.1 目的

フレオンガス配管における圧力損失が計算値より大きい場合、実際値より摩擦係数を求める。

8.1.2 計算方法

次式により摩擦係数を求める。

$$f = \frac{d}{\ell} \times \frac{2g}{v^2} \times \frac{dP}{\gamma}$$

但し、

$$v = \frac{1}{3600} \times \frac{1}{A} \times \frac{Q}{\rho_r} \times v''$$

f : 摩擦係数

d : 配管径 (m)

但し Fig 5.1-1 に示すように配管は 8°, 14°, 16° の 3 種類で構成されているため、各々の配管に長さの重みを持たせて求めた等価直径を用いる。

ℓ : 配管等価長さ (m)

Fig 5.1-1 に示すが、配管の曲り、弁等も直管の等価長さに置き換えらる。

g : 重力加速度 (m/sec²)

v : 配管内ガス平均流速 (m/sec)

dP : 圧力損失 (kgf/m²)

A : 配管断面積 (m²)

Q : 空調器発熱量 (kcal/h)

ρ_r : フレオン (R-11) 蒸発熱 (kcal/kgf)

v'' : フレオンガス比容積 (m³/kgf)

γ : フレオンガス比重 (kgf/m³) (= 1/v'')

計算条件は次のとおりである。

d : 0.356 m

ℓ : 281.8 m

g : 9.8 m/s²

A : 0.995 × 10⁻¹ m²

v'' : フレオンガスヘッダ圧力と冷凍機圧力の平均値に対する値とする。

8.1.3 計算結果

Table 8.1-1 に摩擦係数および計算に使用した数値を示す。等価配管径 14° に対する摩擦係数は空調機 1 台運転において 0.8 × 10⁻¹ ~ 1.0 × 10⁻¹、2 台運転において 1.2 × 10⁻¹ ~ 1.3 × 10⁻¹ であり、このときのレイノルズ数は約 2.5 × 10⁶ である。求められた摩擦係数はムーディ線図に示されている最も粗い管の摩擦係数よりも大きく、フレオンガス配管の摩擦係数は経年効果により大きくなっていてあるものと考えられる。管径 14° の市販銅管の摩擦係数は約 0.013 である。

9. 参 考 文 献

- (1) 機械工学便覧 (改訂第6版)
- (2) 伝熱工学資料

Table 3.1-1 Test Number and Test Condition

Test Number	Plant Condition	Number of Used Heat Exchangers	Number of Used Refrigerators	The Date
1-1	Cold Stand-by	1	1	Aug. 22nd, 1978
1-2		2	1	Ditto
2-1	Reactor Power 50 MW	1	1	Nov. 30th, 1978
2-2		2	1	Ditto
3-1	Reactor Power 50 MW	1	1	Nov. 29th, 1978
3-2		1	2	Ditto
3-3		2	2	Ditto

Table 4.1-1 Results of the Test

Test Number	Items	Units									
		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1	Nitrogen Temperature of Heat Exchanger Inlet	370	362	413	407	411	411	411	411	411	400
		Nitrogen Temperature of Heat Exchanger Outlet	15.5	16.7	16.0	17.4	15.9	15.9	15.9	15.9	16.2
			Liquid Freon Temperature of Heat Exchanger Inlet	4.1	3.4	0.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Freon Gas Temperature of Heat Exchanger Outlet	6.6	11.5		6.5	12.7	7.3	7.3	7.3	7.3	11.7	
	Nitrogen Gas Flow Rate	6.54 × 10 ⁴	8.39 × 10 ⁴	6.13 × 10 ⁴	8.24 × 10 ⁴	5.84 × 10 ⁴	5.84 × 10 ⁴	5.84 × 10 ⁴	5.84 × 10 ⁴	8.05 × 10 ⁴	
Heat Quantity Removed at Heat Exchanger		4.14 × 10 ⁵	4.80 × 10 ⁵	4.55 × 10 ⁵	5.60 × 10 ⁵	4.32 × 10 ⁵	4.32 × 10 ⁵	4.32 × 10 ⁵	4.32 × 10 ⁵	5.65 × 10 ⁵	
	Heat Transfer Coefficient of Heat Exchanger	135	110	134	122	134	134	134	134	125	

Table 4.1-2 The Data Obtained by Test (Test 4-1-1)

Ambient Temperatures in Nitrogen Atmosphere

The Date: Aug 22 1978

Items	Tag No.	Measured Values	Unit: °C
NA Atom Cooling Inlet Gas	TR1A84-201-1	16.1	Unit: °C
Room No. R204 (HX-B)	-2	34.7	
Room No. R201 (HX-A)	-3	34.6	
Room No. R203 (Cold Trap)	-4	34.1	
Room No. R105 (O ₂ Tank)	-5	33.0	
Ditto	-6	29.2	
Room No. R204 (HX-B)	-7	35.1	
EMP Cooling Inlet Gas	-8	25.3	
Room No. R404 (Secondary Loop A)	-9	39.2	
Room No. R405 (Secondary Loop B)	-10	38.1	
Rotating Plug Cooling Inlet Gas	-11	35.6	
Rotating Plug Cooling Outlet Gas	-12	35.6	
Rotating Plug & Neutron Detector Cooling Outlet Gas	-13	36.6	
NA Atom Cooling Inlet Gas	-14	37.0	

Items	Tag No.	Measured Values	Unit: A
Motor Current of Blower	5A	85	Unit: A
Motor Current of	5B	56.5	
Recirculation Fan	5C	—	
	5D	—	
Motor Current of	7A	28	
EMP Cooling Fan	7B	—	

Items	Units	Measured Values
Motor Current of Blower	A	—
Suction Valve Opening of Blower	%	—
Evaporation Pressure	mmHg	—
Motor Current of Blower	A	35
Suction Valve Opening of Blower	%	55
Evaporation Pressure	mmHg	-450
Motor Current of Pump	A	36
Delivery Pressure of Pump	kg/cm ²	8.4

Items	Units	Measured Values
Inlet Temperature (Liquid)	°C	4.1
Outlet Temperature (Gas)	°C	5.2~8.0
Outlet Pressure	mmHg	—
Inlet Temperature (Liquid)	°C	—
Outlet Temperature (Gas)	°C	—
Outlet Pressure	mmHg	—

Freon Temperature and Pressure of Heat Exchanger

Items	Units	Measured Values
Inlet Temperature (Liquid)	°C	4.1
Outlet Temperature (Gas)	°C	5.2~8.0
Outlet Pressure	mmHg	—
Inlet Temperature (Liquid)	°C	—
Outlet Temperature (Gas)	°C	—
Outlet Pressure	mmHg	—

Test Condition:
 (1) Reactor Power : Shut Down
 (2) Number of Used HX : 1
 (3) Number of Used Refrigerator : 1

Table 4.1-3 The Data Obtained by Test (Test 1-2)

The Date: Aug 22th, 1978

Ambient Temperature in Nitrogen Atmosphere

Items	Tag No.	Measured Values	Unit: °C
No. Atmos. Cooling Inlet Gas	TR(A44-20)-1	20.1	
Room No. R204 (HX-B)	-2	34.7	
Room No. R201 (HX-A)	-3	34.3	
Room No. R205 (Cold Trap)	-4	35.2	
Room No. R105 (O.P. Tank)	-5	33.9	
Drift	-6	28.4	
Room No. R204 (HX-B)	-7	34.7	
Room No. R201 (HX-A)	-8	27.0	
Room No. R205 (Secondary Loop A)	-9	38.3	
Room No. R204 (Secondary Loop B)	-10	35.4	
Rotating Plug Cooling Inlet Gas	-11	35.3	
Rotating Plug Cooling Outlet Gas	-12	35.6	
Rotating Plug & Neutron Detector Cooling Outlet Gas	-13	36.8	
No. Atmos. Cooling Inlet Gas	-14	36.2	

Motor Current of Fan

Items	Tag No.	Measured Values	Unit: A
Motor Current of 5A	5A	47	
Motor Current of 5B	5B	49	
Recirculation Fan 5C	5C	45	
Motor Current of 5B	5B	15.5	
Motor Current of 7A	7A	29	
EMP Cooling Fan 7B	7B	—	

Refrigerator

Items	Units	Measured Values
Motor Current of Blower	A	37
Suction Valve Opening of Blower	%	63
Evaporation Pressure	mmHg	450
Motor Current of Blower	A	37
Suction Valve Opening of Blower	%	63
Evaporation Pressure	mmHg	450
Motor Current of Pump	A	37.5
Delivery Pressure of Pump	kg/cm ² G	8.2

Test Condition:
 (1) Reactor Power : Shut Down
 (2) Number of Used HX : 2
 (3) Number of Used Refrigerator : 1

Table 4.1-4 The Data Obtained by Test (Test 2-1)

The Date: Nov. 30th, 1978

Ambient Temperature in Nitrogen Atmosphere

Items	Tag No.	Measured Values	Unit: °C
No. Atmos. Cooling Inlet Gas	TR(A44-20)-1	19.1	
Room No. R204 (HX-B)	-2	40.8	
Room No. R201 (HX-A)	-3	39.9	
Room No. R205 (Cold Trap)	-4	38.0	
Room No. R105 (O.P. Tank)	-5	39.7	
Drift	-6	44.2	
Room No. R204 (HX-B)	-7	42.8	
Room No. R201 (HX-A)	-8	25.1	
Room No. R205 (Secondary Loop A)	-9	36.3	
Room No. R204 (Secondary Loop B)	-10	38.0	
Rotating Plug Cooling Inlet Gas	-11	19.2	
Rotating Plug Cooling Outlet Gas	-12	33.1	
Rotating Plug & Neutron Detector Cooling Outlet Gas	-13	36.4	
No. Atmos. Cooling Inlet Gas	-14	41.3	

Motor Current of Fan

Items	Tag No.	Measured Values	Unit: A
Motor Current of 5A	5A	—	
Motor Current of 5B	5B	—	
Recirculation Fan 5C	5C	—	
Motor Current of 5B	5B	5.4	
Motor Current of 7A	7A	5.5	
EMP Cooling Fan 7B	7B	—	

Refrigerator

Items	Units	Measured Values
Motor Current of Blower	A	35
Suction Valve Opening of Blower	%	—
Evaporation Pressure	mmHg	—
Motor Current of Blower	A	35
Suction Valve Opening of Blower	%	61
Evaporation Pressure	mmHg	470
Motor Current of Pump	A	35
Delivery Pressure of Pump	kg/cm ² G	9.2

Test Condition:
 (1) Reactor Power : 300W
 (2) Number of Used HX : 1
 (3) Number of Used Refrigerator : 1

Items	Tag No.	Measured Values	Unit: °C
R101 Outlet Gas (to R103)	DR2-1-1	31.1	
R105 Inlet Gas	-2	88.9	
R105 Outlet Gas (to R106)	-3	31.0	
R105 Outlet Gas (to R104)	-4	39.1	
EMP Cooling Outlet Gas of Recirculation System	-5	37.8	
EMP Cooling Outlet Gas of Over Flow System	-6	38.6	
R201 Inlet Gas	-7	22.9	
R202 Inlet Gas	-8	23.2	
R202 Outlet Gas (to R201)	-9	35.3	
R204 Outlet Gas (to R203)	-10	39.9	
EMP Cooling Outlet Gas of Recirculation System	-11	35.0	
R104 Outlet Gas (to R203)	-12	40.6	
R202 Outlet Gas (to R203)	-13	35.9	
R204 Inlet Gas	-14	24.3	
R201 Outlet Gas (to R204)	-15	19.6	
R205 Inlet Gas	-16	25.3	
R205 Outlet Gas (to R204)	-17	40.7	
R206 Inlet Gas	-18	27.9	
Top of R206	-19	52.6	
R206 Outlet Gas (to R201)	-20	41.3	
R302 Inlet Gas	DR2-2-1	27.5	
R302 Outlet Gas (to R206)	-2	47.9	
R305 Outlet Gas (to R303)	-3	41.3	
R305 Outlet Gas (to R203)	-4	47.2	
R404 Inlet Gas	-5	22.3	
R402 Outlet Gas (to R404)	-6	39.6	
R404 Outlet Gas	-7	38.3	
R405 Inlet Gas	-8	22.4	
R408 Outlet Gas (to R403)	-9	30.9	
R405 Outlet Gas	-10	37.4	

Freon Temperature and Pressure of Heat Exchanger

Items	Units	Measured Values
Inlet Temperature (Liquid)	°C	—
Outlet Temperature (Gas)	°C	—
Outlet Pressure	mmHg	—
Inlet Temperature (Liquid)	°C	0.8
Outlet Temperature (Gas)	°C	5.6~7.7
Outlet Pressure	mmHg	398~360

Table 4.1-5 The Data Obtained by Test (Test 2-2)

Ambient Temperatures in Nitrogen Atmosphere The Date: Nov. 20th 1978

Items	Tag No.	Measured Values	Unit
N ₂ Atmos. Cooling Inlet Gas	TRABA-201	214	Unit: °C
Room No. R204(IHX-B)	D02-1-1	31.1	°C
Room No. R204(IHX-B)	-2	28.7	°C
Room No. R201(IHX-A)	-3	31.0	°C
Room No. R203(Cold Trap)	-4	39.2	°C
Room No. R205(Co ²⁺ Tank)	-5	38.1	°C
Room No. R205(Co ²⁺ Tank)	-6	38.7	°C
Room No. R204(IHX-B)	-7	22.2	°C
BMP Cooling Inlet Gas	-8	27.3	°C
Room No. R104(Secondary Loop A)	-9	36.6	°C
Room No. R105(Secondary Loop B)	-10	37.6	°C
Rotating Plug Cooling Inlet Gas	-11	22.8	°C
Rotating Plug Cooling Outlet Gas	-12	33.8	°C
Rotating Plug & Neutron Detector Cooling Outlet Gas	-13	37.0	°C
N ₂ Atmos. Cooling Inlet Gas	-14	40.7	°C

Items	Tag No.	Measured Values	Unit
R101 Outlet Gas(to R103)	D02-1-1	31.1	°C
R105 Inlet Gas	-2	28.7	°C
R105 Outlet Gas(to R106)	-3	31.0	°C
R105 Outlet Gas(to R104)	-4	39.2	°C
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System	-5	38.1	°C
BMP Cooling Outlet Gas of Over Flow System	-6	38.7	°C
R201 Inlet Gas	-7	22.2	°C
R202 Inlet Gas	-8	27.3	°C
R202 Outlet Gas(to R201)	-9	36.6	°C
R204 Outlet Gas(to R203)	-10	37.6	°C
BMP Cooling Inlet Gas of Auxiliary System	-11	22.8	°C
R104 Outlet Gas(to R203)	-12	33.8	°C
R202 Outlet Gas(to R203)	-13	37.0	°C
R204 Inlet Gas	-14	40.7	°C
R201 Outlet Gas(to R204)	-15	39.4	°C
R205 Inlet Gas	-16	25.0	°C
R205 Outlet Gas(to R204)	-17	40.6	°C
R206 Inlet Gas	-18	27.5	°C
Top of R206	-19	52.3	°C
R206 Outlet Gas(to R201)	-20	41.2	°C
R302 Inlet Gas	D02-2-1	27.2	°C
R302 Outlet Gas(to R208)	-2	47.7	°C
R205 Outlet Gas(to R305)	-3	41.1	°C
R305 Outlet Gas(to R203)	-4	46.8	°C
R404 Inlet Gas	-5	21.5	°C
R402 Outlet Gas(to R104)	-6	36.8	°C
R404 Outlet Gas	-7	35.8	°C
R405 Inlet Gas	-8	22.0	°C
R408 Outlet Gas(to R405)	-9	30.9	°C
R405 Outlet Gas	-10	37.0	°C

Items	Tag No.	Measured Values	Unit
Motor Current of Blower	5A	16	Unit: A
Suction Valve Opening of Blower	5B	47	°
Recirculation Fan	5C	45	°
Motor Current of	5D	47	°
Motor Current of	7A	—	°
BMP Cooling Fan	7B	34.5	°

Refrigerator

Items	Units	Measured Values
Motor Current of Blower	A	46
Suction Valve Opening of Blower	°	95
Evaporation Pressure	mmHg	-450
Motor Current of Pump	A	36
Delivery Pressure of Pump	kg/cm ² G	8.6

Test Conditions:
 (1) Reactor Power : 50MW
 (2) Number of Used IX : 2
 (3) Number of Used Refrigerator : 1

Table 4.1-6 The Data Obtained by Test (Test 3-1)

Ambient Temperatures in Nitrogen Atmosphere The Date: Nov. 20th 1978

Items	Tag No.	Measured Values	Unit
N ₂ Atmos. Cooling Inlet Gas	TRABA-201	19.2	Unit: °C
Room No. R204(IHX-B)	-2	40.5	°C
Room No. R201(IHX-A)	-3	30.4	°C
Room No. R203(Cold Trap)	-4	37.7	°C
Room No. R205(Co ²⁺ Tank)	-5	39.0	°C
Room No. R205(Co ²⁺ Tank)	-6	43.7	°C
Room No. R204(IHX-B)	-7	42.7	°C
BMP Cooling Inlet Gas	-8	25.2	°C
Room No. R104(Secondary Loop A)	-9	36.4	°C
Room No. R105(Secondary Loop B)	-10	37.7	°C
Rotating Plug Cooling Inlet Gas	-11	19.6	°C
Rotating Plug Cooling Outlet Gas	-12	33.2	°C
Rotating Plug & Neutron Detector Cooling Outlet Gas	-13	36.2	°C
N ₂ Atmos. Cooling Inlet Gas	-14	41.1	°C

Items	Tag No.	Measured Values	Unit
Motor Current of Blower	5A	—	Unit: A
Suction Valve Opening of Blower	5B	—	°
Recirculation Fan	5C	53	°
Motor Current of	5D	55	°
Motor Current of	7A	—	°
BMP Cooling Fan	7B	37	°

Refrigerator

Items	Units	Measured Values
Motor Current of Blower	A	29
Suction Valve Opening of Blower	°	45
Evaporation Pressure	mmHg	-450
Motor Current of Pump	A	35
Delivery Pressure of Pump	kg/cm ² G	9.3

Test Conditions:
 (1) Reactor Power : 50MW
 (2) Number of Used IX : 1
 (3) Number of Used Refrigerator : 1

Table 4.1-7 The Data Obtained by Test (Test 3-2)

Ambient Temperatures in Nitrogen Atmosphere The Date: Nov. 29th, 1978

Items	Tag No.	Measured Values	Unit	°C
No. Atmos. Cooling Inlet Gas	TUJAS-201-1	19.2		
Room No. R204(1HX-H)		40.6		
Room No. R201(1HX-A)		39.4		
Room No. R203(Cold Trap)		37.8		
Room No. R105(O/P Tank)		39.2		
D110		43.7		
Room No. R204(1HX-B)		42.6		
BMP Cooling Inlet Gas		25.2		
Room No. R404(Secondary Loop A)		36.3		
Room No. R405(Secondary Loop B)		37.8		
Rotating Plug Cooling Inlet Gas		19.8		
Rotating Plug Cooling Outlet Gas		33.2		
Rotating Plug & Neutron Detector Cooling Inlet Gas		36.4		
No. Atmos. Cooling Inlet Gas		41.1		

Items	Tag No.	Measured Values	Unit	°C
R101 Outlet Gas(to R103)	R102-1-1	20.2		
R105 Inlet Gas		39.8		
R105 Outlet Gas(to R106)		38.2		
R105 Outlet Gas(to R104)		37.8		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		38.2		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		42.8		
R201 Inlet Gas		41.0		
R202 Inlet Gas		26.2		
R202 Outlet Gas(to R201)		35.9		
R204 Outlet Gas(to R203)		36.7		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		23.0		
R104 Outlet Gas(to R203)		34.2		
R202 Outlet Gas(to R203)		30.8		
R204 Inlet Gas		40.0		
R201 Outlet Gas(to R204)				
R205 Inlet Gas				
R205 Outlet Gas(to R204)				
R206 Inlet Gas				
Top of R206				
R206 Outlet Gas(to R201)				
R302 Inlet Gas				
R302 Outlet Gas(to R205)				
R205 Outlet Gas(to R305)				
R305 Outlet Gas(to R203)				
R404 Inlet Gas				
R402 Outlet Gas(to R404)				
R404 Outlet Gas				
R405 Inlet Gas				
R408 Outlet Gas(to R405)				
R405 Outlet Gas				

Items	Tag No.	Measured Values	Unit	°C
No. Atmos. Cooling Inlet Gas		20.2		
Room No. R204(1HX-B)		39.8		
Room No. R201(1HX-A)		38.2		
Room No. R203(Cold Trap)		37.8		
Room No. R105(O/P Tank)		38.2		
D110		42.8		
Room No. R204(1HX-B)		41.0		
BMP Cooling Inlet Gas		26.2		
Room No. R404(Secondary Loop A)		35.9		
Room No. R405(Secondary Loop B)		36.7		
Rotating Plug Cooling Inlet Gas		23.0		
Rotating Plug Cooling Outlet Gas		34.2		
Rotating Plug & Neutron Detector Cooling Inlet Gas		30.8		
No. Atmos. Cooling Inlet Gas		40.0		

Items	Tag No.	Measured Values	Unit	°C
R101 Outlet Gas(to R103)	R102-1-1	20.2		
R105 Inlet Gas		39.8		
R105 Outlet Gas(to R106)		38.2		
R105 Outlet Gas(to R104)		37.8		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		38.2		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		42.8		
R201 Inlet Gas		41.0		
R202 Inlet Gas		26.2		
R202 Outlet Gas(to R201)		35.9		
R204 Outlet Gas(to R203)		36.7		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		23.0		
R104 Outlet Gas(to R203)		34.2		
R202 Outlet Gas(to R203)		30.8		
R204 Inlet Gas		40.0		
R201 Outlet Gas(to R204)				
R205 Inlet Gas				
R205 Outlet Gas(to R204)				
R206 Inlet Gas				
Top of R206				
R206 Outlet Gas(to R201)				
R302 Inlet Gas				
R302 Outlet Gas(to R205)				
R205 Outlet Gas(to R305)				
R305 Outlet Gas(to R203)				
R404 Inlet Gas				
R402 Outlet Gas(to R404)				
R404 Outlet Gas				
R405 Inlet Gas				
R408 Outlet Gas(to R405)				
R405 Outlet Gas				

Freon Temperatures and Pressure of Heat Exchanger.

Items	Units	Measured Values
Inlet Temperature(Liquid)	°C	—
Outlet Temperature(Gas)	°C	—
Outlet Pressure	mmHg	—
Inlet Temperature(Liquid)	°C	1.3
Outlet Temperature(Gas)	°C	62-63
Outlet Pressure	mmHg	375-380

Test Conditions:
(1) Reactor Power : 50MW
(2) Number of Used IX : 1
(3) Number of Used Refrigerator : 2

Table 4.1-8 The Data Obtained by Test (Test 3-3)

Ambient Temperatures in Nitrogen Atmosphere The Date: Nov. 29th, 1978

Items	Tag No.	Measured Values	Unit	°C
No. Atmos. Cooling Inlet Gas	TUJAS-201-1	19.2		
Room No. R204(1HX-H)		40.6		
Room No. R201(1HX-A)		39.4		
Room No. R203(Cold Trap)		37.8		
Room No. R105(O/P Tank)		39.2		
D110		43.7		
Room No. R204(1HX-B)		42.6		
BMP Cooling Inlet Gas		25.2		
Room No. R404(Secondary Loop A)		36.3		
Room No. R405(Secondary Loop B)		37.8		
Rotating Plug Cooling Inlet Gas		19.8		
Rotating Plug Cooling Outlet Gas		33.2		
Rotating Plug & Neutron Detector Cooling Inlet Gas		36.4		
No. Atmos. Cooling Inlet Gas		41.1		

Items	Tag No.	Measured Values	Unit	°C
R101 Outlet Gas(to R103)	R102-1-1	20.2		
R105 Inlet Gas		39.8		
R105 Outlet Gas(to R106)		38.2		
R105 Outlet Gas(to R104)		37.8		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		38.2		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		42.8		
R201 Inlet Gas		41.0		
R202 Inlet Gas		26.2		
R202 Outlet Gas(to R201)		35.9		
R204 Outlet Gas(to R203)		36.7		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		23.0		
R104 Outlet Gas(to R203)		34.2		
R202 Outlet Gas(to R203)		30.8		
R204 Inlet Gas		40.0		
R201 Outlet Gas(to R204)				
R205 Inlet Gas				
R205 Outlet Gas(to R204)				
R206 Inlet Gas				
Top of R206				
R206 Outlet Gas(to R201)				
R302 Inlet Gas				
R302 Outlet Gas(to R205)				
R205 Outlet Gas(to R305)				
R305 Outlet Gas(to R203)				
R404 Inlet Gas				
R402 Outlet Gas(to R404)				
R404 Outlet Gas				
R405 Inlet Gas				
R408 Outlet Gas(to R405)				
R405 Outlet Gas				

Items	Tag No.	Measured Values	Unit	°C
No. Atmos. Cooling Inlet Gas		20.2		
Room No. R204(1HX-B)		39.8		
Room No. R201(1HX-A)		38.2		
Room No. R203(Cold Trap)		37.8		
Room No. R105(O/P Tank)		38.2		
D110		42.8		
Room No. R204(1HX-B)		41.0		
BMP Cooling Inlet Gas		26.2		
Room No. R404(Secondary Loop A)		35.9		
Room No. R405(Secondary Loop B)		36.7		
Rotating Plug Cooling Inlet Gas		23.0		
Rotating Plug Cooling Outlet Gas		34.2		
Rotating Plug & Neutron Detector Cooling Inlet Gas		30.8		
No. Atmos. Cooling Inlet Gas		40.0		

Items	Tag No.	Measured Values	Unit	°C
R101 Outlet Gas(to R103)	R102-1-1	20.2		
R105 Inlet Gas		39.8		
R105 Outlet Gas(to R106)		38.2		
R105 Outlet Gas(to R104)		37.8		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		38.2		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		42.8		
R201 Inlet Gas		41.0		
R202 Inlet Gas		26.2		
R202 Outlet Gas(to R201)		35.9		
R204 Outlet Gas(to R203)		36.7		
BMP Cooling Outlet Gas of Purification System		23.0		
R104 Outlet Gas(to R203)		34.2		
R202 Outlet Gas(to R203)		30.8		
R204 Inlet Gas		40.0		
R201 Outlet Gas(to R204)				
R205 Inlet Gas				
R205 Outlet Gas(to R204)				
R206 Inlet Gas				
Top of R206				
R206 Outlet Gas(to R201)				
R302 Inlet Gas				
R302 Outlet Gas(to R205)				
R205 Outlet Gas(to R305)				
R305 Outlet Gas(to R203)				
R404 Inlet Gas				
R402 Outlet Gas(to R404)				
R404 Outlet Gas				
R405 Inlet Gas				
R408 Outlet Gas(to R405)				
R405 Outlet Gas				

Freon Temperatures and Pressure of Heat Exchanger.

Items	Units	Measured Values
Inlet Temperature(Liquid)	°C	0.2
Outlet Temperature(Gas)	°C	9.0-14.5
Outlet Pressure	mmHg	-31.5-21.5
Inlet Temperature(Liquid)	°C	-1.2
Outlet Temperature(Gas)	°C	9.0-14.5
Outlet Pressure	mmHg	-31.0-20.5

Test Conditions:
(1) Reactor Power : 50MW
(2) Number of Used IX : 2
(3) Number of Used Refrigerator : 2

Table 5.1-2 Temperature Distribution of Freon Gas

Items	Number of Heat Exchanger Units	Test Number		
		2-1	2-2	
Pressure of Liquid Freon (P-1)	kg/cm ² G	IX84-4B	IX84-4A	
Pressure of Liquid Freon (P-2)	kg/cm ² G	3.2	2.8	
Pressure of Freon Gas (P-3)	mmHg G	0.06	0.01	
Pressure of Freon Gas (P-4)	mmHg G	-395	-310	
Temperature of Liquid Freon (T-1)	°C	-360	-205	
Temperature of Freon Gas	Main Fin Tubes	(T-2)	0.8	3.5
		(T-3)	6.3	11.3
		(T-4)	5.4	10.8
		(T-5)	5.8	10.5
		(T-6)	6.1	12.0
		(T-7)	6.7	13.0
		(T-8)	7.3	15.0
		(T-9)	6.4	10.3
		(T-10)	6.8	11.6
		(T-11)	7.7	15.0

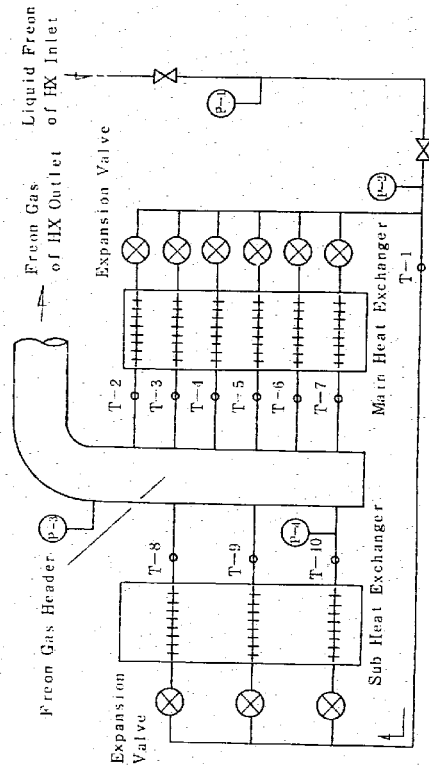


Table 5.1-1 Pressure Distribution in Freon Gas System

Locations and Tag-No. of Pressure Gauge	Test Number	
	2-1	3-1
Refrigerator	P1-1A	-470
	P1-1B	-465
	P1-2	-400
Pipe between Ref. and HX	P1-4A-1	-310
	P1-4A-2	-205
	P1-4B-1	-395
Heat Exchanger	P1-4B-2	-360
	2-2	-460
	3-1	-450
3-2	-490	
3-3	-500	
		-470
		-440
		-315
		-215
		-310
		-375
		-340
		-340
		-200
		-205

Unit: mmHg G

Table 5.2-1 Predicted Heat Quantity Removed in Heat Exchangers (1)

Unit : $\times 10^7$ kcal/h

Items	Reactor Power (MW)	50	75	100
Heat Quantity Released in Nitrogen Atmosphere		4.00*	4.47	4.86
Heat Quantity Removed at One Heat Exchanger		4.55†	4.96	5.35
Heat Quantity Removed at Two Heat Exchanger		5.60*	5.94	6.33

* Measured Value

Table 5.2-2 Predicted Nitrogen Temperatures in Heat Exchangers

Items	Reactor Power (MW)	50	75	100
Inlet Nitrogen Temperature	One	41.3*	47.6	51.9
		16.0*	20.1	22.2
Outlet Nitrogen Temperature	Two	40.7*	43.5	47.1
		17.4*	18.9	20.8

* Measured Value

Table 5.3-1 Predicted Heat Quantity Removed at Heat Exchangers (2)

Unit : USRT

Number of Used Heat Exchangers	Reactor Power (MW)	50	75	100
One		150.5	164.0	176.9
Two		185.2	196.4	209.3

* Measured Value

Table 5.3-2 Flow Rate of Liquid Freon (R-11) in Heat Exchangers

Unit : ℓ /min

Number of Used Heat Exchangers	Reactor Power (MW)	50	75	100
One		110	121	131
Two		137	146	156

Table 8.1-1 Mean Friction Coefficient of Freon Gas Pipe

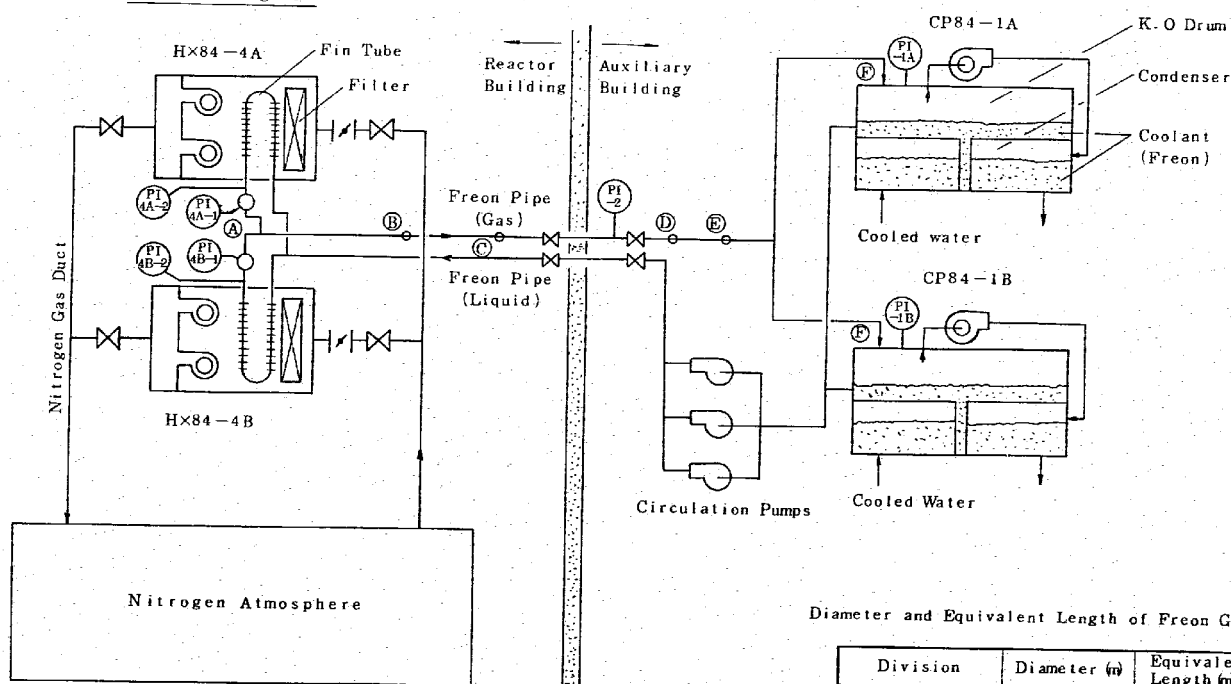
Items	Test Number Units	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	3-3
		Temperature of HX Inlet liquid Freon(R-11)	°C	4.1	3.4	0.8	1.2	1.2
Mean Temperature of HX Outlet Freon Gas(R-11)	°C	6.6	11.5	6.5	12.7	7.3	7.3	11.7
Delivery Pressure of Liquid Freon Circulation Pump	kgf/cm ² G	9.4	8.2	9.2	8.6	9.3	8.8	8.0
Pressure at Freon Gas Header Outlet	mmHgG	-388	-339	-395	-305	-375	-375	-313
Freon Gas Pressure at K.O Drum of Refrigerator	mmHgG	-460	-450	-470	-460	-450	-450	-485
Evaporation Heat of Freon(R-11)	kcal/kgf	44.9 (at 6.6°C)	44.5 (at 11.5°C)	44.9 (at 6.5°C)	44.4 (at 12.7°C)	44.9 (at 7.3°C)	41.9 (at 7.3°C)	44.5 (at 11.7°C)
Heat Quantity Removed at HX	kcal/h	4.14 × 10 ⁵	4.80 × 10 ⁵	4.55 × 10 ⁵	5.60 × 10 ⁵	5.84 × 10 ⁵	5.84 × 10 ⁵	5.65 × 10 ⁵
Weight Flow Rate of Freon(R-11)	kgf/h	9.2 × 10 ³	10.8 × 10 ³	10.1 × 10 ³	12.6 × 10 ³	9.6 × 10 ³	9.6 × 10 ³	12.7 × 10 ³
Specific Volume of Freon Gas (R-11)	m ³ /kgf	0.366 (at 424mmHgG)	0.339 (at 394mmHgG)	0.374 (at 432mmHgG)	0.324 (at 382mmHgG)	0.355 (at 375mmHgG)	0.355 (at 375mmHgG)	0.343 (at 329mmHgG)
Mean Volume Flow Rate at Freon Gas Pipe	m ³ /h	3.38 × 10 ³	3.63 × 10 ³	3.79 × 10 ³	4.08 × 10 ³	3.42 × 10 ³	3.42 × 10 ³	4.36 × 10 ³
Mean Velocity of Freon Gas at Freon Gas Pipe	m/s	9.4	10.2	10.6	11.4	9.5	9.5	12.2
Pressure Drop of Freon Gas between Header Outlet and Refrigerator	kgf/m ²	0.98 × 10 ²	1.51 × 10 ²	1.02 × 10 ²	2.11 × 10 ²	1.02 × 10 ²	1.02 × 10 ²	2.34 × 10 ²
Mean Friction Coefficient of Freon Gas Pipe	—	1.0 × 10 ⁻¹	1.2 × 10 ⁻¹	0.8 × 10 ⁻¹	1.3 × 10 ⁻¹	1.0 × 10 ⁻¹	1.0 × 10 ⁻¹	1.3 × 10 ⁻¹

HX means Heat Exchanger

- 34 -

Heat Exchangers

Refrigerators



Diameter and Equivalent Length of Freon Gas Pipe

Division	Diameter (mm)	Equivalent Length (m)
A ~ B	0.356 (14 ^B)	93.1
B ~ C	0.406 (16 ^B)	1.9
C ~ D	0.203 (8 ^B)	55.7
D ~ E	0.356 (14 ^B)	2.2
E ~ F	0.406 (16 ^B)	128.9

Fig 3.1-1 Diagram of Heat Exchanger and Refrigerators

- 35 -

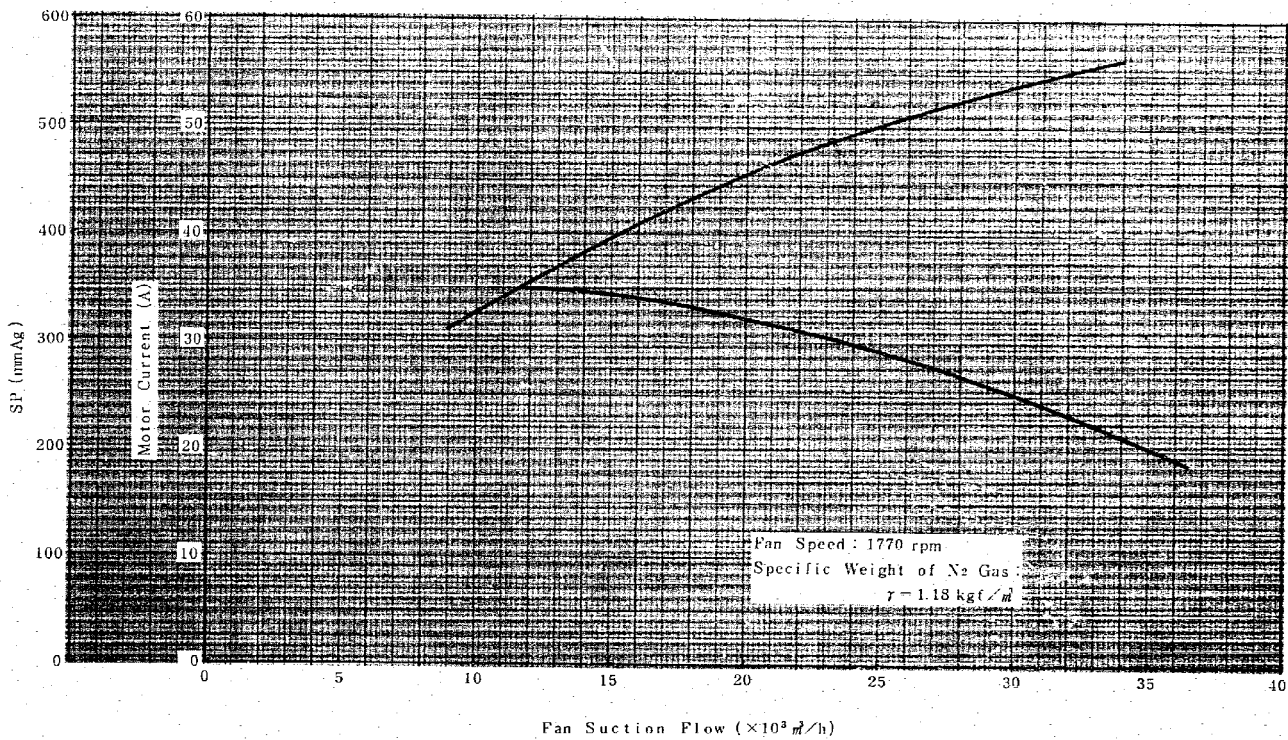
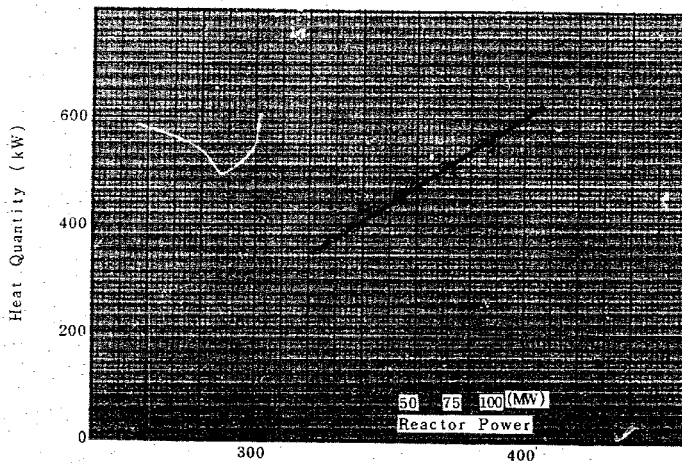


Fig 3.4-1 Characteristics of Recirculation Fan



Temperature Difference between Primary Loop and Ambient Atmosphere (deg.C)

Fig 5.2-1 Heat Quantity Released in Nitrogen Atmosphere

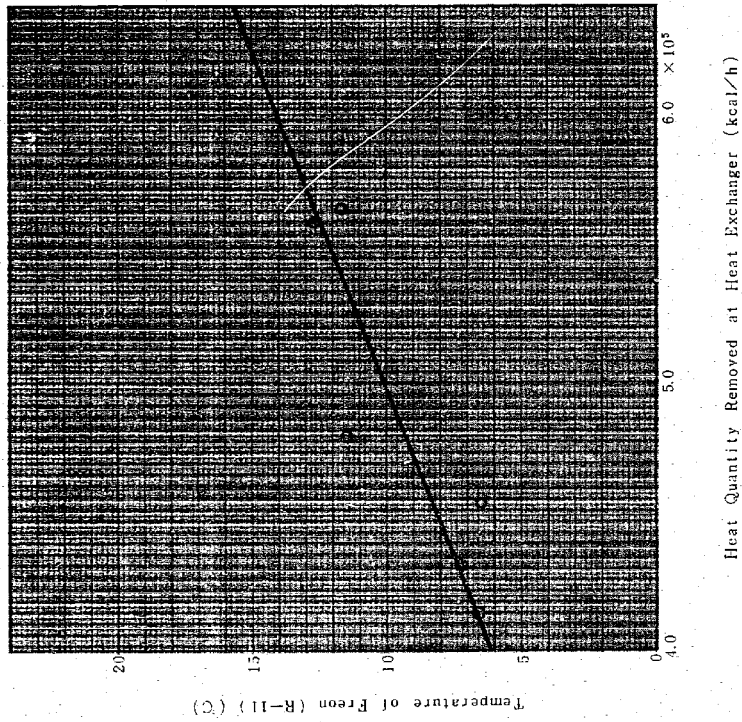


Fig 5.2-2 Temperature Characteristics of Freon (R-11) Evaporated in Heat Exchanger