

# 高速実験炉「常陽」性能試験報告書

PT-42 補助冷却系による熱除去

1978年12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)

## 高速実験炉「常陽」性能試験報告書 PT-42 補助冷却系による熱除去

広瀬 正史\* 遠藤 雅行\*\*\* 七島 建志\*  
土井 基尾\* 根本 俊彦\*\* 鈴木 幸夫\*\*  
関口 善之\* 山本 寿\*

### 要 旨

補助冷却系は、主冷却系による熱除去が期待出来なくなった時、炉内ナトリウムレベル低下時、及び炉内検査時に崩壊熱除去系として用いられる。その設計除熱量は2.6 MWtであり、本試験はその除熱能力を確認するものである。

本試験は原子炉熱出力を求め易いよう炉内ナトリウムレベルを下げ、又試験中の異常時に崩壊熱を冷却材熱容量で吸収させるため、冷却材温度を定格条件より下げて行った(A/C出口250℃に設定)。

試験は原子炉出力1.16 MWt、及び2.16 MWtにて定常状態を保ち測定を行い、測定結果より定格条件での除熱能力を推定した。

試験結果：試験温度条件において原子炉出力2.16 MWtに対応する補助冷却器入口ペーン開度は72%であった。これを定格温度条件に外挿すると原子炉出力2.6 MWtにおいてはペーン開度に余裕があり、(定格条件をさらに延長すれば)その最大除熱能力は約3.1 MWtと推定された。

\* 大洗工学センター高速実験炉部技術課

\*\* " 原子炉二課

\*\*\* 現三菱原子力工業(株)

Dec., 1978

## [JOYO] Start-up Test Report

## PT-42 Decay Heat Removal by Auxiliary Cooling System

Tadashi Hirose\* Masayuki Endoh\*\*\* Takeshi Nanashima\*  
Motoo Doi\* Toshihiko Enomoto\*\* Yukio Suzuki\*\*  
Yoshiyuki Sekiguchi\* and Hisashi Yamamoto\*

## Abstract

This system is used to remove reactor decay heat in cases where the main cooling system is inoperable for unexpected reasons, a lower than normal sodium level exists in the R/V or during in-service inspection in the R/V. The purpose of this test is to verify that the design heat removal rate (2.6Mwt) can be achieved by the Auxiliary Cooling System.

With the sodium level lowered below main cooling system outlet nozzles and the coolant temperature ( DHX outlet temperature ) controlled at 250 °C , the reactor power was increased first to approx. 1Mw ( 1.16 Mwt actual ) and then to 2 Mw ( 2.16 Mwt actual ) to provide the " decay heat ". At both steps, steady-state conditions were verified and test data were recorded, from which the heat removal rate at design conditions was calculated. ( Testing was terminated after the second step to maintain the calculated distortion of the partially-filled R/V within prescribed limits.)

Test Results : At the second test condition ( reactor power = 2.16Mwt ) the R/V inlet Na temperature of 267 °C corresponded to a 72% open DHX inlet vane setting. Extrapolating this to the design condition ( R/V inlet temperature = 370 °C ), a 100% DHX vane opening would permit the removal of 3.1 Mwt decay heat.

---

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

\*\* Maintenance Section do.

\*\*\* Mitsubishi Atomic Power Industries.

## 目 次

1	まえがき	1
2	設備概要	2
2.1	1次補助冷却系統設備	2
2.2	2次補助冷却系統設備	7
3	試験の方法	11
3.1	試験開始前のプラント状態	11
3.2	準備操作	12
3.3	試験要領及び試験経過	12
3.4	測定方法	14
3.5	データの整理方法	18
4	試験結果	20
4.1	補助冷却系の除熱能力	20
4.2	補助中間熱交換器	26
4.3	補助空気冷却器	26
5	検 討	32
5.1	補助中間熱交換器	32
5.2	補助空気冷却器	32
6	結 言	39
7	謝 辞	40
	付 録	41

List of Figures

Fig 2-1 Auxiliary Cooling System ..... 4

Fig 2-2 Auxiliary Intermediate Heat Exchanger ..... 6

Fig 2-3 Auxiliary D.H.X. .... 10

Fig 3-1 Location of Sensors ( Aux. D.H.X.) ..... 17

Fig 4-1 Temp. Transition of IHX ..... 27

Fig 4-2 Logarithmic Mean Temperature Difference ..... 28

Fig 4-3  $Q/\Delta t$  Vs Heat Removal Rate ..... 29

Fig 4-4 Test Results of Aux. D.H.X ..... 30

Fig 4-5 Air-side Heat Transfer Coeff.(at the Condition of Tested Temp.)... 31

Fig 5-1 Ratio of Heat Transfer Coeff. .... 33

Fig 5-2 Air-side Heat Transfer Coeff.(at the condition of Tested Temp.)... 34

Fig 5-3 Air-side Heat Transfer Coefficient Vs Mean Temp. .... 36

Fig 5-4 over-all Heat Transfer Coefficient Vs Air Flow Rate ..... 36

Fig 5-5 Aux. Blower Q-H Curve ..... 37

Fig 5-6 Predicted Performance Curve of Aux. D.H.X ..... 38

## 表 リ ス ト

表 2 - 1	補助中間熱交換器 主要諸元	5
表 2 - 2	補助空気冷却器 主要諸元	9
表 3 - 1	試験開始前のプラント状態	11
表 3 - 2	試験器具	14
表 3 - 3	測定項目	15
表 4 - 1	試験結果	20
表 4 - 2	出力上昇時データ	21

## 1. ま え が き

本報告書は、「常陽」出力上昇試験項目の内PT-42「補助冷却系による熱除去」として実施された試験結果について報告するものである。

本試験の目的は、補助冷却系のみで原子炉の崩壊熱を除熱できることを確認するものであり、

(1) 補助中間熱交換器

(2) 補助空気冷却器

についてその設計性能を確認するものである。

## 2. 設備概要

補助冷却系統設備は、炉心を含む1次ナトリウム系と炉心を含まない2次ナトリウム系よりなり、主冷却系で炉心の熱除去ができなくなった場合、原子炉内ナトリウムレベル低下時、および炉内検査時に崩壊熱除去を行なう。

本系統は、1次補助冷却系1ループ、2次補助冷却系1ループとから構成され、炉心で発生した熱を補助中間熱交換器を介して2次補助冷却器へ伝え、大気に放散する。

Fig 2.1に概略系統を示す。

### 2.1 1次補助冷却系統設備

1次補助冷却系は主に次の各部より構成されている。

補助中間熱交換器

電磁ポンプ

電磁流量計

配管および弁類

本系統設備は炉心での崩壊熱の除去を行ない、補助中間熱交換器を介して2次補助冷却系へ熱伝達を行なうものである。

原子炉平常運転時は、原子炉高圧プレナムから、原子炉上部プレナムへ定格流量56.5 ton/hrの約30%にて逆流している。この状態では電磁ポンプは停止中であり、補助系配管内ナトリウムが滞留しないように逆止弁にオリフィス付きのバイパスラインが設けられて逆流を可能にしている。

1次主冷却系と同様に1次補助系配管が安全容器外で破損した場合に炉容器内のナトリウム液面が過度に低下しないようにサイフォンブレイク配管が設けられている。

本系統で移送する熱量は、最大2.6 MWであり、最大除熱運転時のナトリウム温度は、炉容器入口370℃流量は56.5 ton/hrの設計である。

補助中間熱交換器

補助中間熱交換器は、1次補助冷却系に1台設置され、原子炉格納容器のほぼ中央、西側主中間熱交換器室内に2本のハンガにより天井から吊下げた状態で取付けられる。

補助中間熱交換器は、たて置シェルアンドチューブ形の熱交換器である。構造は、大別して1次側胴体と2次側管束部およびそれにつながる2次側胴体より成り、1次側胴体にはリークジャケットが取付けられており、ナトリウムの漏洩検出および熱交換器の予熱ガスの循

環路として使用される。

1次側胴体には上方側面に1次ナトリウム入口ノズルが取付けられており、下部鏡板には1次ナトリウム出口ノズルが取付けられている。

2次側管束部は、伝熱管束、管束部内胴、管束部外胴、下部プレナムおよびナトリウム入口管から成り、2次側上部胴体から吊下げられる構造である。2次側上部胴体には2次ナトリウム出入口管が取付けられており、1次側胴体に接続するフランジと1体構造をなす上部管板により管束部と結合している。

伝熱管は外径 15.9 mm，肉厚 1.1 mm（公称）の直管であり、総数 132本を同心円配列とし、上下管板に溶接されている。

表 2-1 に補助中間熱交換器の主要諸元を示す。

Fig 2-2 に補助中間熱交換器の概略構造を示す。

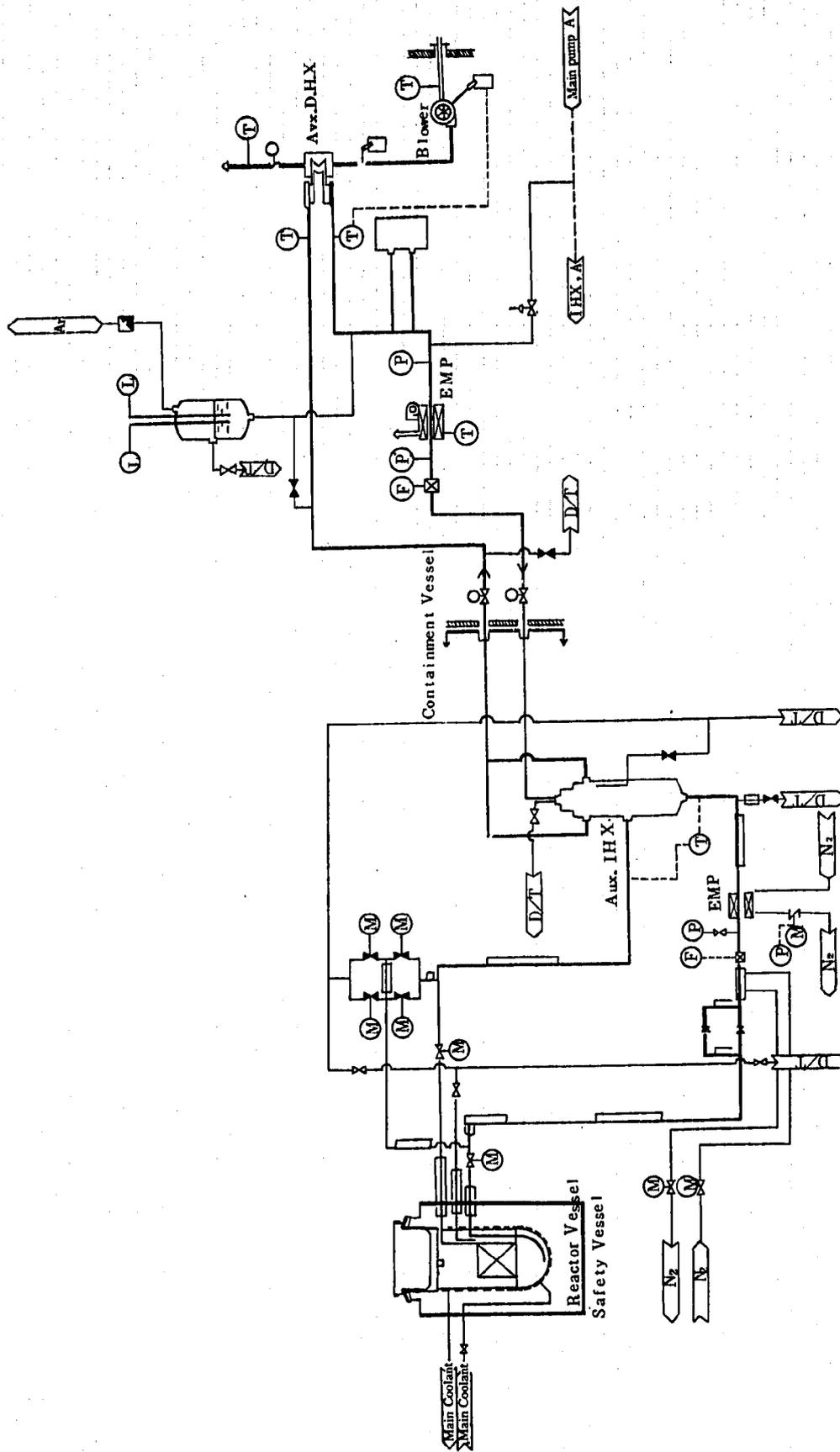


Fig 2-1 Auxiliary Cooling System

表 2-1 補助中間熱交換器 主要諸元

型 式	たて型シェルアンドチューブ型
基 数	1
熱交換量	2.6 MW t
材 質	SUS304
胴側（1次側）定格運転条件	
流 体	ナトリウム
流 量	56.5 Ton/h
入口温度	500 ℃
出口温度	370 ℃
管側（2次側）定格運転条件	
流 体	ナトリウム
流 量	56.5 Ton/h
入口温度	340 ℃
出口温度	470 ℃
伝 熱 管	
寸 法（外径／肉厚）	15.9 / 1.0 mm
配 列	同心円
ピッチ（半径方向／周方向）	20 / 22 mm
本 数	132
有効伝熱長	3000 mm
有効伝熱面積	19.77 m <sup>2</sup>

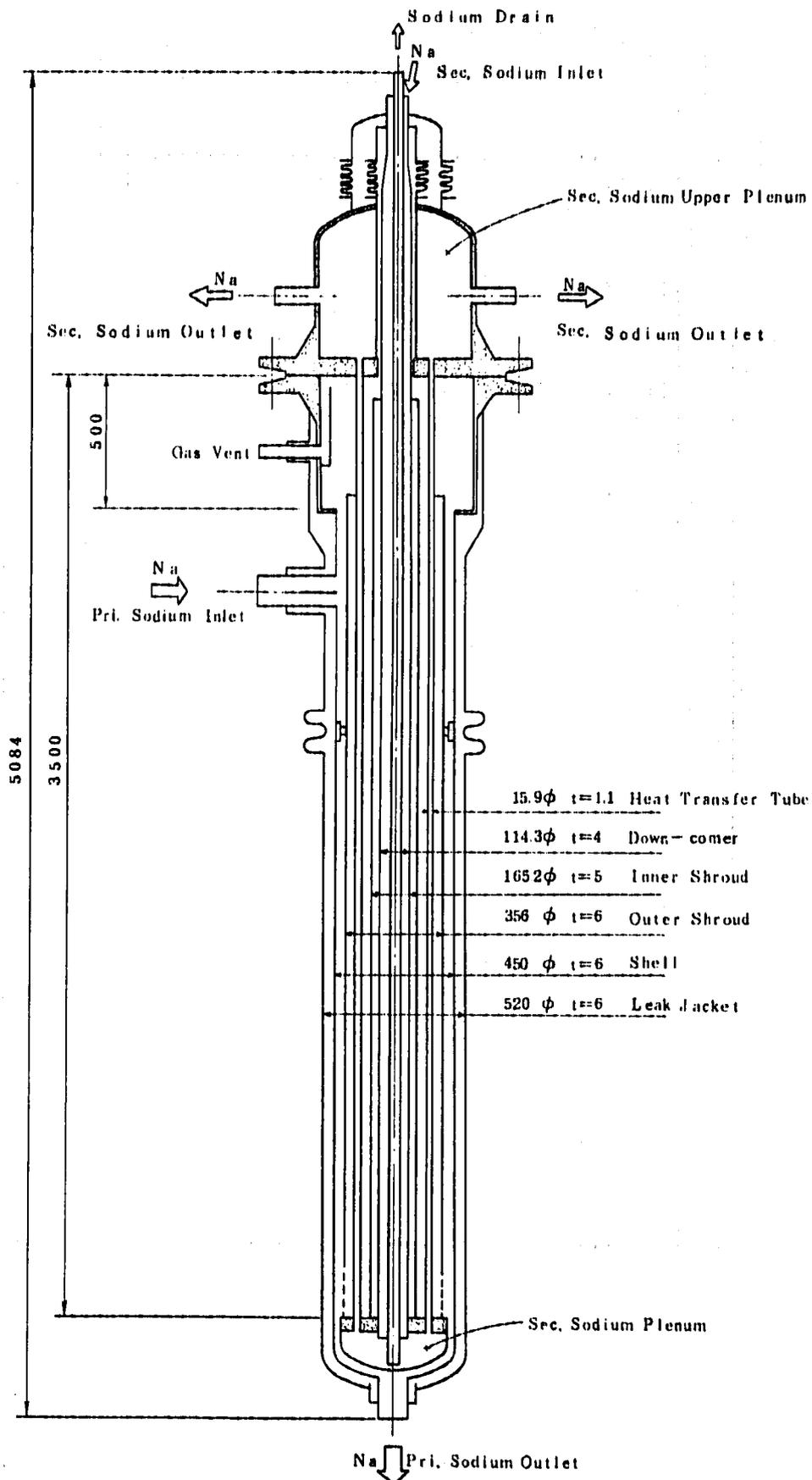


Fig 2-2 Auxiliary Intermediate Heat Exchanger

## 2.2 2次補助冷却系統設備

2次補助冷却系は主に次の各部より構成されている。

電磁ポンプ

補助空気冷却設備

膨張タンク

補助ブラッキング計ユニット

電磁流量計

配管及び弁類

2次補助冷却系は、1次補助冷却系と合わせ、炉心での崩壊熱除去を行ない安全に原子炉余熱を除去できる能力を有している。設計除熱量は2.6 MWtであり、定格流量は56.5 ton/hrである。

2次冷却材は放射化されないため、本系統設備は補助中間熱交換器と格納容器を結ぶ配管を除き原子炉付属建物に設置されている。また本系統設備全体は1重構造で1次補助冷却系と同様に1系統式である。

系統流路としては、電磁ポンプから出たナトリウムは電磁流量計を通り補助中間熱交換器の管側に入り、胴側を流れる1次補助系ナトリウムと熱交換を行なう。補助中間熱交換器を出たナトリウムは、温度470℃になり補助冷却器に入り、フィン付伝熱管内側を通り外側を流れる空気により冷却されて温度340℃になり電磁ポンプ入口側に入る。

プラントの運転に先立って、系統内のナトリウムの純化作業を行なうがその時は主冷却系と補助冷却系との連絡弁を開として、主冷却系ナトリウムを補助冷却系へ流入させ膨張タンクのオーバフロノズルから系統のナトリウムをダンプタンク（ナトリウム充填ドレン系）へドレンさせる。

プラント起動停止及び運転中に於ける系統の温度変化によるナトリウム体積の変動は膨張タンクにて吸収する。

補助冷却系の熱移送運転時のナトリウム温度制御は補助冷却器出口ナトリウム温度を一定に保持するように補助送風機入口ベーンを制御する。入口ベーンの通常制御範囲を越える低負荷運転時には、補助冷却器入口ダンパの開度を操作することにより入口ベーンの制御範囲を増し、出口ナトリウム温度を一定に保つようになっている。

通常の原子炉出力運転時には、主冷却系で必要な熱移送が行なわれているので、補助冷却系では設計熱移送量に見合う熱移送は行なわない。この場合、ナトリウムの循環量は原則と

して、定格の56.5 ton/hrである。補助送風機は運転する必要はないが、1次補助冷却系から伝えられる少許の熱により2次補助冷却系内のナトリウム温度が系を構成する構造材料の設計温度以上にならないように補助冷却器の出口ナトリウム温度を監視しながら、空気自然通風量を調節する。

2次補助冷却系内のナトリウム純度は、補助冷却器出口配管から分岐させて2次補助ブラッキング計が設けられており、常時監視を行なう。

#### 2次補助冷却系空気冷却設備

2次補助冷却系空気冷却設備は、非放射性の2次補助冷却系ナトリウムを冷却するための設備で、冷却媒体である空気を冷却器に送り込む補助送風機、空気を建物外から吸気し、補助冷却器に導き建物外に放出する流路を形成する風道、風道の熱膨張を吸収するための伸縮継手更に空気量を調節するためのダンパより構成されている。

補助空気冷却器は、ヘッドに△形に15本のフィンチューブを取付け外周を空気流路を形成するようにケーシングで囲んだ構造になっている。

本冷却器は原子炉付属建物補助冷却系機器室の1階に設置され、架台の上に据付けられた送風機より本冷却器に冷却用空気を送るようになっている。

補助送風機はインレットベーン付片吸込横置ターボファンで、原子炉付属建物補助冷却系機器室1階に設置され、空気を吸気ダクトにより建物外から吸気し、補助空気冷却器に送り込むようになっている。駆動電動機直結形で風量はインレットベーンを操作する事によって調節する事が出来る。

入口ダンパはバタフライ形式の翼を持ち、冷却器入口に設置され、ダンパは空気圧作動のドライブユニットによって作動し、補助空気冷却器に流入する風量を制御することができる。

出口ダンパはカンチレバータイプで、補助空気冷却器出口に設置され、付属の電動機によってダンパ翼を駆動する。本ダンパは入口ダンパの駆動用空気源が喪失した場合でも非常用電源によって操作出来、風量制御を行なうことができる。

補助空気冷却設備用風道は屋外より吸込むための吸気ダクトと送風機より吐出される空気を補助空気冷却器に導き、屋外に排出する風道より構成されている。

伸縮継手は風道の熱膨張による伸びを吸収するためのもので、補助空気冷却設備の冷却器出口ダンパの上に設置されている。

補助空気冷却器架台は補助空気冷却器を設置するためのもので、原子炉付属建物補助冷却系機器室1階に設置される。

表 2.2 に補助空気冷却器の主要諸元を示す。

Fig 2.3 に補助空気冷却器の概略構造を示す。

表 2-2 補助空気冷却器 主要諸元

型 式	強制空冷多管フィンチューブ
基 数	1
熱交換量	2.6 MWt ( $2.24 \times 10^6$ kcal/h )
定格運転条件 (管内/管外)	
流 体	ナトリウム/空気
流 量	$56.5 \times 10^3 / 62.3 \times 10^3$ kg/h
入口温度	470 / 30 °C
出口温度	340 / 180 °C
フィンおよび伝熱管	
伝熱管 (外径/肉厚)	42.7 / 2.0 mm
フィン形状	長方形断面円環フィン (スパイラルフィン)
フィン取付方法	溶 着
フィンピッチ	5.08 mm ( 5山 / 25.4 mm )
材質 (伝熱管/フィン)	STBA-24 / SPCC
伝熱面積	203 m <sup>2</sup>
伝熱管本数	15 本
伝熱管ピッチ	三角形 ( 95.2 mm )
伝熱管形式	Σ 字管
伝熱管列数	15 列
伝熱管段数	4 段 ( 2段並列 )
フィン付部長さ	2,180 mm
前面面積	3.5 m <sup>2</sup>
前面風速 ( 定格 )	4.2 m/s
前 面 比	0.468

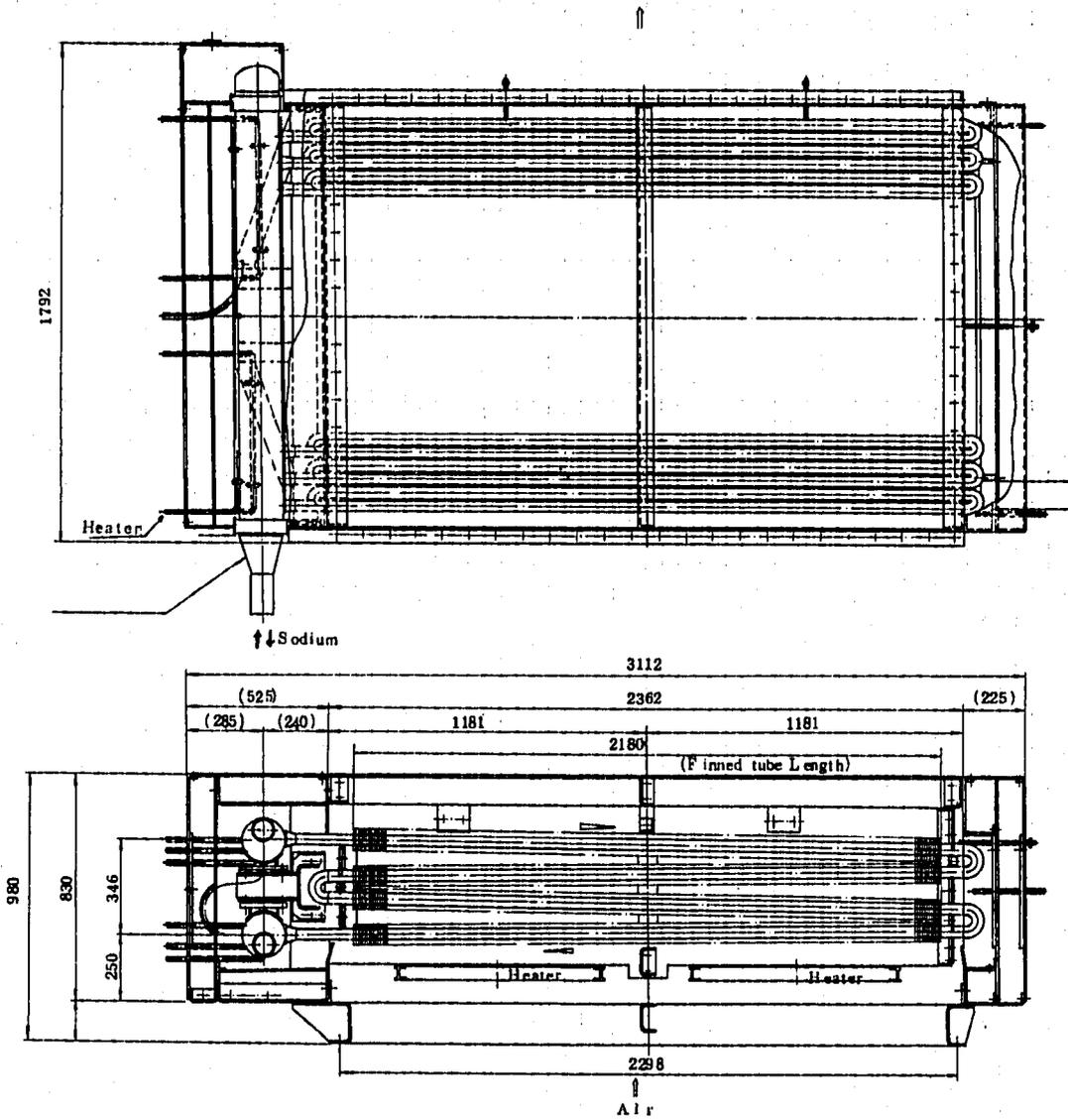


Fig 2-3 Auxilliary D.H.X.

### 3. 試験の方法

#### 3.1 試験開始前のプラント状態

本試験の開始に当っては、各系統設備が下記の状態にあることを確認し試験時のプラント状態を設定した。

表 3-1 試験開始前のプラント状態

系統設備名	確認事項	備考
1. 原子炉本体	(1) 運転モードは「停止」であること。 (2) 原子炉入口Na温度は $250 \pm 20$ [°C] の温態待機状態であること。	
2. 原子炉冷却設備	(1) 1次、及び2次主冷却系が $250 \pm 20$ [°C] の定格流量運転状態にあること。 (2) 1次補助冷却系が起動可能な状態にあること。 (3) 2次補助冷却系が定格流量の運転状態にあること。 (4) コンクリート遮蔽体冷却系が通常運転モードの状態にあること。 (5) 1次主冷却系のブラギング温度が所定温度以下であること。 (6) 2次補助冷却系のブラギング温度が所定温度以下であること。	
3. 計測制御設備	(1) 中性子計装が正常であること。 (2) プロセス計装が正常であること。 (3) 原子炉安全保護系が正常であること。	

### 3.2 準備操作

本試験では、原子炉出力が求め易い様に炉容器出口配管レベル以下まで炉容器液面を低下させた。

このため補助冷却系の異常時にはスクラム後の除熱がコンクリート遮蔽体冷却系だけになることになる。従って、冷却材温度を低くし異常時には冷却材の熱容量で崩壊熱を吸収させることとした。

依って、試験に先立ち下記の操作を行なった。

- (1) 1次主循環ポンプ(A), (B)をポニーモータも含め停止する。
- (2) 1次補助循環ポンプを起動し、流量を  $63.4 \text{ [m}^3/\text{h]}$  ( $56.5 \text{ [t/h]}$  相当 at  $250\text{[C]}$ ) に設定する。
- (3) オーバフロ電磁ポンプを停止する。
- (4) 炉容器 Na 部分ドレン操作により、炉容器液面を GL-7600 まで低下させる。
- (5) 2次補助冷却系流量を  $63.4 \text{ [m}^3/\text{h]}$  ( $56.5 \text{ [t/h]}$  相当) に設定する。

上記状態を設定するために次のインタロックをバイパスした。

- (1) 1次主循環ポンプトリップ
- (2) 1次冷却材流量低
- (3) 炉容器 Na 液面低
- (4) オーバフロポンプトリップ

### 3.3 試験要領及び試験経過

#### 3.3.1 試験要領

- (1) 原子炉を起動する。

原子炉入口 Na 温度が  $250\text{[C]}$  以下の場合は核加熱により原子炉入口温度を  $250\text{[C]}$  まで上昇させる。

- (2) 2次補助冷却系の予熱温度制御設定を  $200 \pm 20\text{[C]}$  に変更する。

炉容器、1次補助冷却系の予熱  $\text{N}_2$  ガス系は運転状態のままとする。

- (3) 原子炉出力が  $200\text{[KW]}$  に到達し、補助冷却器による温度制御が可能となったら補助送風機を起動し、補助冷却器出口 Na 温度を  $250\text{[C]}$  に制御する。

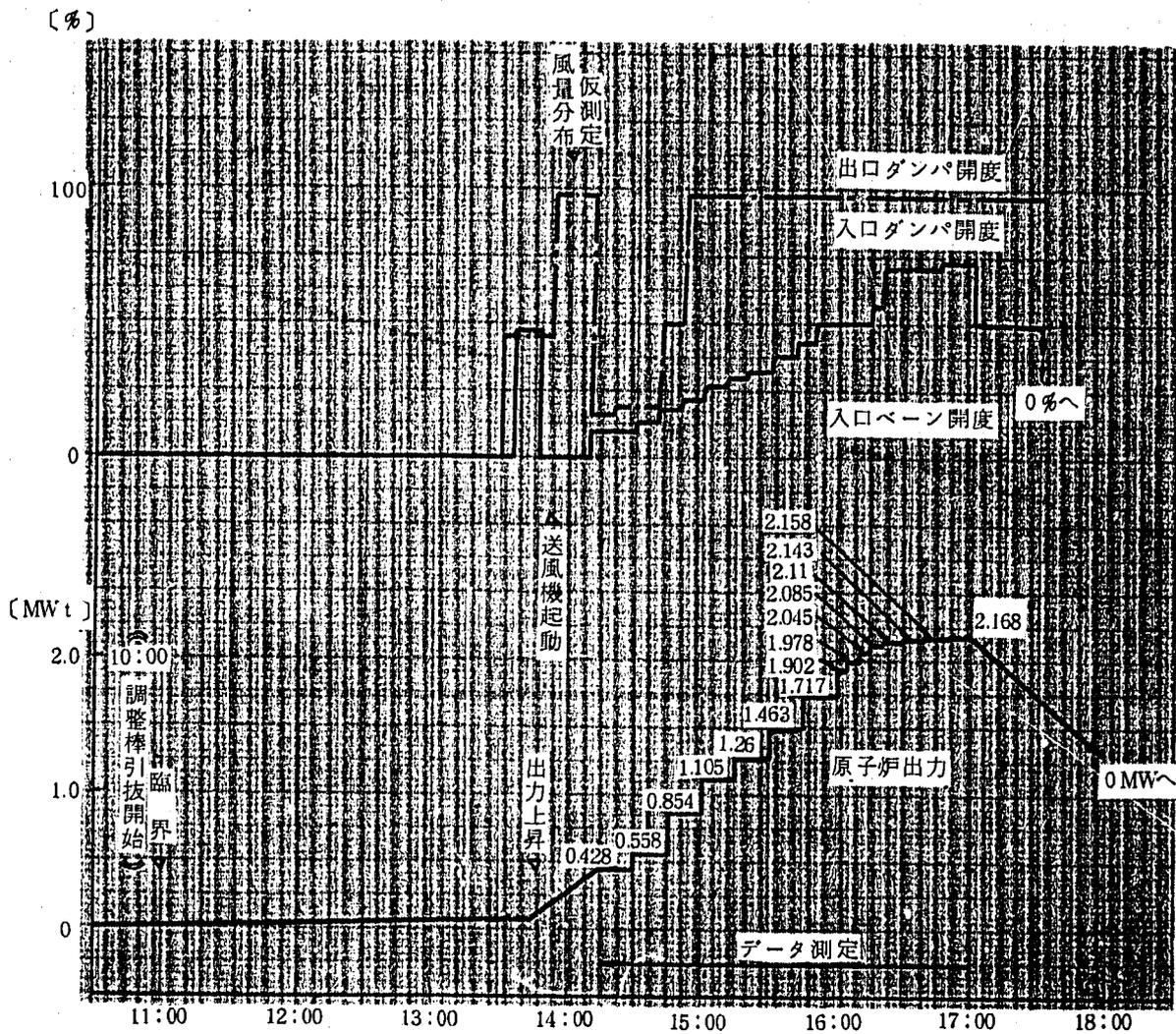
- (4) 原子炉出力を試験出力まで上昇させる。炉出力は1次補助冷却系流量及び補助中間熱交換器1次側出入口温度差から算出させる。

目標出力は  $0.6, 1.0, 1.4, 1.8, 2.2\text{[MW]}$  とした。

- (5) 1次, 2次補助冷却系流量を, 設計流量である56.5 [ l/h ] 相当流量に設定する。
- (6) 計測値が安定したら必要データを計測する。
- (7) 計測終了後, 原子炉出力を次の試験出力に上昇し, 上記(4)~(6)をくり返す。
- (8) 上記(7)作業終了後, 原子炉を停止する。
- (9) 炉容器, 1次補助冷却系, 及び2次補助冷却系の予熱を復帰し, 250±20 [ °C ] の予熱を行なう。

### 3.3.2 試験経過

下記の経過で原子炉出力を上昇し, 各原子炉出力に対して試験を行った。



## 3.4 測定方法

## 3.4.1 試験器具

本試験では、下記の計器及び試験器具を使用した。

表 3-2 試験器具

計 器 名	員数	仕 様	備 考
ペンレコーダ	1	3ペン	
	1	6ペン	
熱線風速計	2	日本科学工業 型式：24-311	
デジタルマルチ温度計	1	横河電機 Type 2572	
デジタル温度記録計	1	江藤電気 サーモダック E-60T	
デジタルマルチ抵抗温度計	1	タケダ理研 TR-2113	
水柱マノメータ	2	0~200 [mmAq]	
乾湿球湿度計	1		

## 3.4.2 測定項目及び方法

本試験では、下記の項目につき測定を行った。

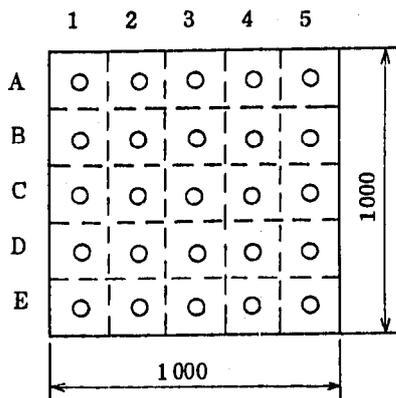
表 3 - 3 測定項目

	項 目	盤・場所	計 器 番 号	測 定 器
1	補助 IHX 1次入口 Na 温度		TE 32.1-1	ペンレコーダ
2	” 1次出口 Na 温度		TE 32.1-2	”
3	” 2次入口 Na 温度		TE 32.2-3X	デジタル温度記録計
4	” 2次出口 Na 温度		TE 32.2-4X	”
5	1次補助冷却系 Na 流量		FE 32.1-1	ペンレコーダ デジタルボルトメータ
6	2次補助冷却系 Na 流量		FE 32.2-1	” デジタル記録計
7	補助冷却器入口 Na 温度		TE 32.2-1	ペンレコーダ デジタル温度計
8	” 出口 Na 温度		TE 32.2-2	ペンレコーダ デジタル温度計
9	” 入口ベーン開度		—	現場指示計
10	” 入口ダンパ開度		—	”
11	” 出口ダンパ開度		—	”
12	” 風 量		仮 設	熱線風速計
13	” 入口空気温度		TI 32.2-7	
14	” 出口空気温度		TI 32.2-6	
15	” ”		仮 設	デジタル温度記録計
16	外 気 温 度		”	デジタル抵抗温度計
17	補助送風機入口ドラフト圧力		”	水柱マノメータ
18	” 出口ドラフト圧力		”	”
19	外 気 湿 度		”	乾湿球湿度計

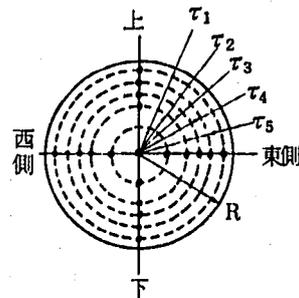
## 測定方法

- (1) ナトリウム温度 : Fig 2.1 に示す本設備の測定点の内表 3-3 に示した項目につき、熱電対の出力信号をデジタルマルチ温度計及びペンレコーダにて測定した。

- (2) ナトリウム流量 : (1)と同様, 本設備測定点より電磁流量計出力信号をデジタルポルトメータ及びデジタル記録計にて測定し, 流量計校正曲線より換算した。
- (3) 補助冷却器空気系 : 空気系回りの測定については, Fig 2.1 に示す本設備の測定点の他 Fig 3-1 に示す位置で風量, 温度, 吐出圧の測定を行った。そのうち風量および出口空気温度については, 下図のように断面の各点において測定を行った。



冷却器出口空気温度測定点



- R = 675 mm
- $r_5 = 639.2 \text{ mm}$
- $r_4 = 564.9 \text{ mm}$
- $r_3 = 477.2 \text{ mm}$
- $r_2 = 369.9 \text{ mm}$
- $r_1 = 213.3 \text{ mm}$

流量計測座は入口ダクトから送風機をみて右側面および上面に設けられている。

冷却器風量測定点

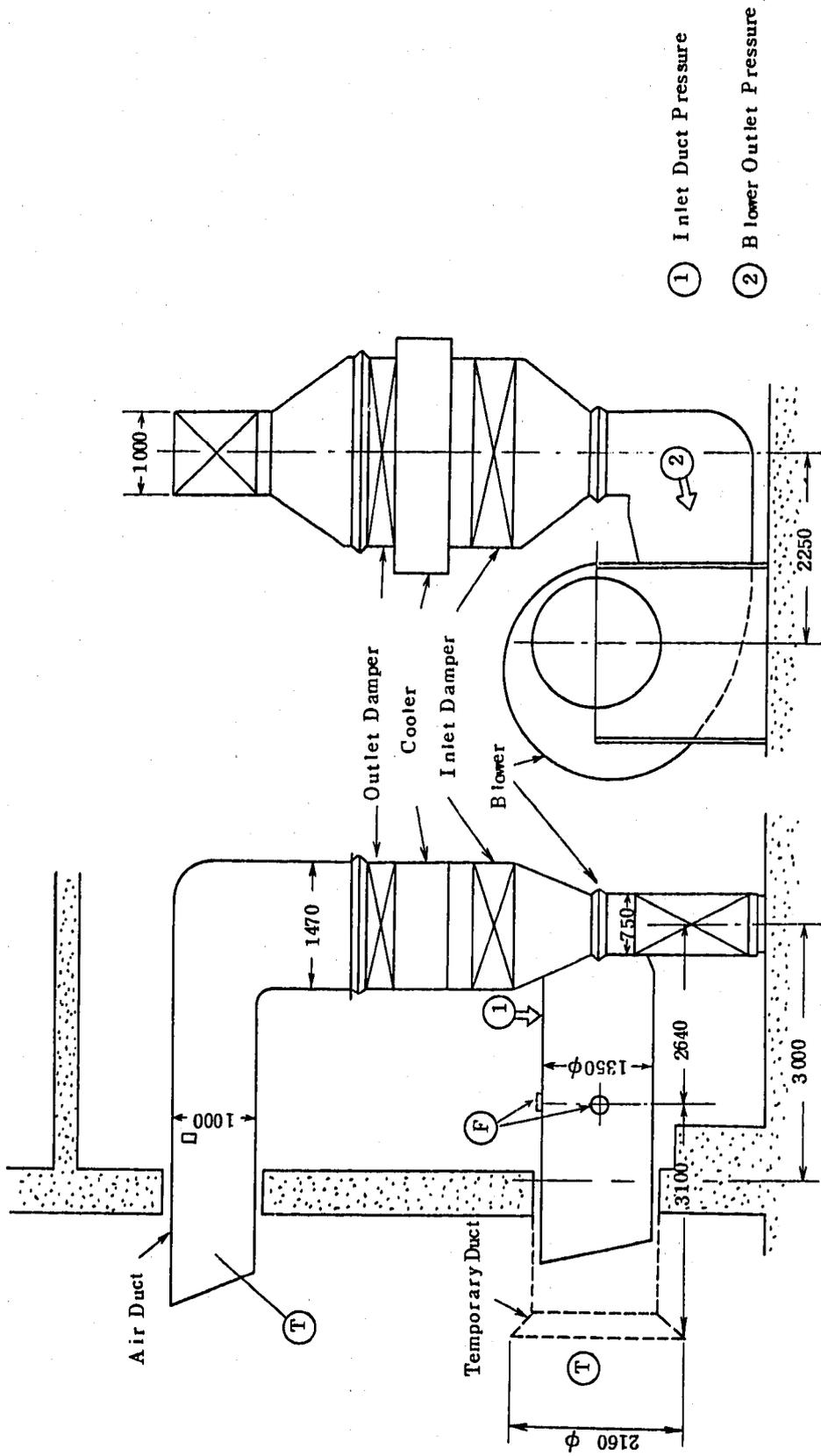


Fig3-1 Location of Sensors ( Aux.D.H.X )

3.5 データの整理方法

3.5.1 ナトリウム物性値

ナトリウム物性値については、ANL-7323 (1967)を原典とし、下記式によるものを使用した。

(1) 比重量 (  $\gamma$  )

$$\gamma \text{ ( kg/m}^3 \text{ )} = 950.01 - 0.229774T - 1.46065 \times 10^{-5}T^2 + 5.63796 \times 10^{-9}T^3$$

$T : (^\circ\text{C})$

(2) 動粘性係数 (  $\nu$  )

$$\nu \text{ ( m}^2 \text{ / sec )} = \frac{10 \left( 220.65 / (T + 273.15) \right)^{-2.4892}}{(950.01 - 0.229774T - 1.46065 \times 10^{-5}T^2 + 5.63796 \times 10^{-9}T^3)} \times \frac{1}{(T + 273.15)^{0.4925}}$$

(3) 熱伝導率 (  $\lambda$  )

$$\lambda \text{ ( kcal/mh}^\circ\text{C )} = 79.9136 - 5.06588 \times 10^{-2}T + 1.00829 \times 10^{-3}T^2$$

(4) 定圧比熱 (  $C_p$  )

$$C_p \text{ ( kcal/kg}^\circ\text{C )} = 0.343253 - 1.38686 \times 10^{-4}T + 1.1055 \times 10^{-7}T^2$$

(5) エンタルピ (  $i$  )

$$i \text{ ( kcal/kg )} = 83.559 + 0.343253T - 6.93429 \times 10^{-5}T^2 + 3.6850 \times 10^{-8}T^3$$

3.5.2 空気物性値

(1) 比重量 (  $\gamma$  ) : 「機械工学便覧」より

$$\gamma \text{ ( kg/m}^3 \text{ )} = 1.2931 \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P - 0.378\psi hs}{760}$$

$t$  : 温度 (  $^\circ\text{C}$  )

$P$  : 圧力 ( mmHg )

$\psi$  : 相対湿度

$hs$  :  $t$   $^\circ\text{C}$ における飽和水蒸気の圧力 ( mmHg )

(2) 粘性係数  $\mu$  ( kg/mh )

(3) 熱伝導率  $\lambda$  ( kcal/mh $^\circ\text{C}$  )

(4) 比熱  $C_p$  ( kcal/kg $^\circ\text{C}$  )

} 「伝熱工学資料」による

## 3.5.3 ナトリウム流量

1次系及び2次系のナトリウム流量は、電磁流量計出力信号を、デジタルボルトメータで測定し、次の換算式により流量を求めた。

(1) 1次補助冷却系流量  $W_1$  [m<sup>3</sup>/h]

$$W_1 = 17.054 X + 0.017$$

X : [mV]

(2) 2次補助冷却系流量  $W_2$  [m<sup>3</sup>/h]

$$W_2 = 5.714 X$$

X : [mV]

## 4. 試験結果

## 4.1 測定結果

- (1) 系統が定常状態に於て測定した結果を表4-1に示す。  
 (2) 出力上昇過程に於て測定した結果を表4-2に示す。

表4-1 試験結果

ケース	(1)	(2)
IHX 1次側入口Na温度	316.0 ℃	369.1 ℃
IHX 1次側出口Na温度	261.1 ℃	267.1 ℃
1次系Na流量	58.11 t/h	58.69 t/h
IHX 1次側交換熱量	$9.9682 \times 10^5$ kcal/h 1.16 Mw	$1.8582 \times 10^6$ kcal/h 2.16 Mw
IHX 2次側入口Na温度	249.7 ℃	249.8 ℃
IHX 2次側出口Na温度	302.2 ℃	346.2 ℃
2次系Na流量	56.99 t/h	56.94 t/h
IHX 2次側交換熱量	$9.3777 \times 10^5$ kcal/h 1.09 Mw	$1.7116 \times 10^6$ kcal/h 1.99 Mw
冷却器入口Na温度	303.4 ℃	347.4 ℃
冷却器出口Na温度	251.8 ℃	251.8 ℃
2次系Na流量	56.99 t/h	56.94 t/h
冷却器Na側除熱量	$9.2136 \times 10^5$ kcal/h 1.07 Mw	$1.6968 \times 10^6$ kcal/h 1.97 Mw
冷却器入口空気温度	14.7 ℃	19.0 ℃
相対湿度	83 %	68 %
大気圧	753.5 mmHg	755 mmHg
冷却器出口空気温度	175.6 ℃	149.2 ℃
風量	364.9 m <sup>3</sup> /min	846.6 m <sup>3</sup> /min
入口ベーン開度	28 %	72 %
出口ベーン開度	57.5 %	全開
冷却器空気側除熱量	$1.039 \times 10^6$ kcal/h 1.21 Mw	$1.927 \times 10^6$ kcal/h 2.24 Mw

表 4-2 (1/5) PT-42 補助系除熱試験 出力上昇時データ (1)

	IHX 2次 入口Na温度 (°C)	IHX 2次 出口Na温度 (°C)	AC入口 Na温度 (°C)	AC出口 Na温度 (°C)	2次補助 流量 (mV)	入口ダン パ開度 (%)	入口ベ ン開度 (%)	出口ダン パ開度 (%)	AC入口 空気温度 2点平均 (°C)	AC出口 空気温度 25点平均 (°C)	AC入口 風速 東西/上下 (m/s)	AC入口 風量 (m <sup>3</sup> /min)	送風機 出口圧力 (mmAq)	送風機 入口圧力 (mm/Aq)	ACN <sub>2</sub> 側 除熱量 (MW)
1978 5/12	255.6	253.7	255.6	256.8											
11:10	255.6	253.7	255.6	256.8											
12:10	255.6	254.5	255.6	257.3											
13:10	257.3	255.9	257.8	258.5		0	0	0					0	0	
13:25	256.9	256.6	258.0	258.1							風速計 位置				
13:30	255.7	256.4	257.4	257.5		45	0	100			⑤/⑥		0.6	0.4	
13:40	255.9	258.5	258.8	257.9											
13:45	257.1	260.0	260.7	259.2											
13:50	254.2	261.2	262.3	255.7	11.05	63.14	-	-	21.4	156.9	0.47/0.6	(45.9)	-	-	0.135
13:55	253.0	262.6	263.8	254.5	11.02	62.97	97	100	21.0	198.0			0	0	0.190
14:00	250.5	264.1	265.1	251.9	11.02	62.97	-	-	20.5	198.2	風速分布 測定	$\bar{x} = 2.25$ m/s	-	-	0.271
14:05	252.1	265.7	266.7	254.2	11.02	62.97	-	-	20.6	198.6	(リハー サル)	$= 1.138$ m/s	-	-	0.256
14:10	248.3	266.9	268.3	249.8	11.02	62.97	17	100	20.4	202.6		(97.7)	2.7	0	0.380
14:15	249.7	269.1	270.3	251.4	10.92	62.40	-	-	20.9	204.4			-	-	0.384
14:20	251.9	272.2	273.0	254.2	10.91	62.34	19	100	21.3	205.6			5.5	0	0.381
14:25	254.7	275.6	276.8	256.4	10.97	62.68	-	-	21.0	208.5	1.03 /26	(98.3)	-	-	0.415
14:30	249.3	278.0	278.5	251.1	10.95	62.57	19	100	21.1	197.8	1.96 /2.10	(174.3)	10.0	0.1	0.558
14:35	249.0	280.6	281.6	251.1	10.94	62.51	-	-	21.2	194.8	1.83 /2.10	(168.8)	-	-	0.621
14:40	249.5	284.9	285.4	251.4	10.97	62.68	48	100	20.5	192.8	2.17 /2.54	(202.3)	6.9	0	0.693
14:45	249.8	288.5	288.8	251.9	11.00	62.85	-	-	20.5	189.4	2.35 /2.82	(222.0)	-	-	0.754

(1/2)

表 4-2 (2/5)

	IHX 2次 入口Na温度 (3-01)	IHX 2次 出口Na温度 (3-02)	AC入口 Na温度 (3-03)	AC出口 Na温度 (3-04)	2次補助 流量 (mV)	入口ダン パ開度 (%)	出口ダン パ開度 (%)	AC入口 空気温度 (°C)	AC出口 空気温度 (°C)	AC入口 風速 (m/s)	AC入口 風量 (m <sup>3</sup> /h)	送風機 出口圧力 (mmAq)	送風機 入口圧力 (mmAq)	ACNa側 除熱量 (MW)
14:50	249.8	292.0	292.9	251.9	11.01	97	100	21.2	183.5	3.01/3.36	(273.5)	10.5	0	0.838
14:55	249.7	296.0	297.0	251.2	10.97	-	-	20.3	180.3	3.34/3.58	(297.2)	-	-	0.933
15:00	249.8	299.0	300.0	251.2	11.13	97	100	20.4	177.8	3.86/4.33	(351.7)	14.5	0	1.008
15:05	249.7	301.6	302.9	251.1	11.03	-	-	20.0	175.6	4.21/4.7	(382.6)	-	-	1.060
15:10	250.0	304.4	305.3	251.8	11.03	97	100	19.9	174.3	4.19/4.90	(390.3)	18.0	0	1.094
15:15	249.7	307.3	308.3	251.4	11.00	-	-	19.2	171.9	4.75/5.35	(433.7)	-	-	1.160
15:20	249.8	310.5	311.0	251.9	11.06	97	100	19.4	170.0	5.10/5.70	(463.8)	21.7	0	1.211
15:25	249.8	314.0	314.5	251.8	11.02	-	-	19.0	168.9	5.40/5.90	(485.2)	-	-	1.280
15:30	250.2	317.2	317.8	252.6	11.11	97	100	19.4	166.4	5.63/6.20	(508.0)	28.0	0	1.341
15:35	250.4	320.3	321.0	252.3	11.16	-	-	19.2	164.3	6.98/6.98	(599.5)	-	-	1.419
15:40	250.0	323.3	324.7	251.8	11.20	97	100	19.2	162.4	7.20/7.40	(626.9)	35.7	0	1.511
15:45	250.2	326.4	327.7	252.1	11.23	-	-	19.4	160.9	7.50/7.75	(654.9)	-	-	1.570
15:50	250.0	330.1	330.6	252.1	11.16	97	100	19.3	159.1	7.55/8.10	(672.0)	43.9	0	1.620
15:55	250.2	333.1	333.4	252.3	11.19	-	-	19.3	157.9	7.80/8.50	(699.9)	-	-	1.677
16:00	250.4	336.1	337.3	252.1	11.15	-	-	19.7	156.4	9.30/8.93	(782.8)	-	-	1.755
16:05	250.7	339.2	340.4	252.4	11.18	-	-	19.6	155.1	第1回目 X=3.8145 mV	-	-	-	1.817
16:10	250.4	341.7	342.7	252.4	11.16	97	100	19.2	153.4	風速分布 =9.536 m/s	59.3	59.3	0	1.861
16:15	250.7	343.1	344.8	252.6	11.13	97	100	19.4	152.4	測定 819.0	62.0	62.0	0	1.894
16:20	250.5	344.2	345.8	252.3	11.12	97	100	19.3	149.8	第2回目 X=3.858 mV	64.0	64.0	0	1.919
16:25	250.4	345.8	346.6	252.6	11.20	97	100	19.4	150.5	" =9.645 m/s	66.9	66.9	0	1.943
16:30	250.0	345.9	346.8	252.3	11.16	97	100	20.3	149.3	"	828.3	67.9	0	1.946
16:35	250.0	345.9	347.3	252.1	11.16	97	100	19.6	149.2	第3回目 X=3.948 mV	67.0	67.0	0	1.961
16:40	249.8	345.9	347.5	251.6	11.19	-	-	-	-	" =9.869 m/s	-	-	-	1.981
16:45	249.8	346.6	347.6	251.9	11.23	97	100	19.9	148.9	"	847.6	68.1	0	1.984

(2/2)

表 4-2 (3/5) PT-42 補助系除熱試験 出力上昇時データ (2)

	外温 (℃)	気度 (℃)	乾球 温度 (℃)	湿球 温度 (℃)	湿度 (%)	大気圧		AC入口 空気温度 水銀式 (℃)	AC出口 空気温度 水銀式 (℃)	トラバース T/C ① (℃)	トラバース T/C ② (℃)	ダクト出口 壁温度 MAX (℃)	平均 (℃)
						(mb)	(mmHg)						
11:10													
12:10													
13:10	20.0	20.0	16.2			1007	755.3						
13:25													
13:30	20.0	20.0	16.2	6.4		1007	755.0						
13:40													
13:45													
13:50										185.9	193.5	(35)25.1	19.7
13:55												(34)26.0	20.9
14:00												(34)31.6	21.6
14:05												(34)27.2	20.1
14:10												(35)35.9	23.0
14:15												(34)33.6	21.6
14:20										位置2↓	(5) ↓	(34)33.6	21.6
14:25										203.5	231.2	(34)27.9	19.5
14:30	22	21	16.5	6.2		1007	755	20	213	159.8	228.9	(34)61.7	33.9
14:35										139.8	222.8	(34)118.0	77.3
14:40								20	208	131.9	219.2	(34)105.7	59.2
14:45	25	21	16.5	6.2		1007	755	20	203	127.4	217.4	(34)149.1	123.7
14:50								20		125.1	212.0	(34)162.8	143.4
14:55										122.5	207.6	(31)156.6	138.6
15:00	20	20.5	16.0	6.2		1007	755	20	198	119.2	203.9	(31)146.0	116.1

(1/2)

(2/2)

表4-2(4/5)

	外温 (°C)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	球湿度 (%)	温度 (°C)	大气压 (mb)	大气压 (mmHg)	AC入口空气温度 (°C)	AC出口空气温度 (°C)	トラバース T/C ① (°C)	トラバース T/C ② (°C)	ダクト出口壁温度 (°C)	平均 (°C)
15:05								水銀式	水銀式	116.7	200.9	(31)169.3	147.4
15:10							20	193		114.4	198.4	(31)164.6	142.0
15:15	19	19	16.0	71	1007	755	18	190		112.7	196.2	(31)160.0	139.8
15:20										110.3	193.8	(31)158.5	137.6
15:25										108.7	191.5	(31)159.5	137.5
15:30	18.5	18.5	15.5	71	1007	755	18	186		106.7	189.2	(31)158.7	137.6
15:35										104.4	186.2	(31)159.8	142.8
15:40							18	180		103.0	183.9	(31)156.5	141.4
15:45	18.8	18.8	15.5	67	1007	755				101.6	181.5	(30)158.6	143.0
15:50							18	176		100.3	179.2	(31)153.4	138.7
15:55										99.1	177.6	(31)153.3	138.0
16:00	18.5	18.8	15.2	67	1007	755				98.0	176.1	(30)158.2	142.5
16:05										97.4	174.8	(30)155.0	139.5
16:10	18.2	18.5	15.0	67	1007	755	20	170		96.1	173.3	(30)153.9	137.5
16:15	18.5	19.0	15.5	67	1007	755	18	169		94.9	171.5	(30)156.7	140.7
16:20	18.5	19.0	15.5	67	1007	755	19	169		94.4	170.7	(30)154.7	136.0
16:25	18.5	19.0	15.5	67	1007	755	19	168		94.0	169.7	(30)153.9	137.8
16:30	18.5	19.0	15.5	67	1007	755	19	167		93.6	169.3	(30)153.5	136.3
16:35	19.0	19.0	15.5	67	1007	755	19	167		93.5	169.2	(30)155.1	136.3
16:40							-						
16:45	19.0	19.5	15.5	64	1007	755	19	167		93.6	169.0	(30)153.2	133.9

表4-2 (5/5) PT-42 補助系除熱試験 出力上昇時データ ( IHX廻り )

時期	IHX1次 入口Na温度 ℃	IHX1次 出口Na温度 ℃	1次系 Na流量 m <sup>3</sup> /h	1次系 入口エンタルピー kcal/kg	1次系 出口エンタルピー kcal/kg	比重量 kg/m <sup>3</sup>	1次系 Na流量 t/h	IHX1次側 交換熱量 kcal/h	IHX2次 入口Na温度 ℃	IHX2次 出口Na温度 ℃	2次系 Na流量 m <sup>3</sup> /h	2次系 入口エンタルピー kcal/kg	2次系 出口エンタルピー kcal/kg	比重量 (25.1℃) kg/m <sup>3</sup>	2次系 Na流量 t/h	IHX2次側 交換熱量 kcal/h	効率 %
14:15	275.1	254.6	64.14	173.507	167.064	890.655	57.127	368.07 × 10 <sup>3</sup>	249.7	269.1	62.40	165.519	171.625	891.411	55.624	339.64 × 10 <sup>3</sup>	92.3
14:30	285.1	256.8	64.04	176.638	167.757	890.136	57.004	506.26 × 10 <sup>3</sup>	249.3	278.0	62.57	165.393	174.416	(251.1) 891.482	55.780	503.30 × 10 <sup>3</sup>	93.4
14:45	299.3	258.4	64.46	181.070	168.261	889.758	57.354	734.65 × 10 <sup>3</sup>	249.8	288.5	62.85	165.551	177.700	(251.9) 891.293	56.018	680.56 × 10 <sup>3</sup>	92.6
15:00	313.0	260.5	65.15	185.333	168.922	889.262	57.935	950.78 × 10 <sup>3</sup>	249.8	299.0	63.60	165.551	180.977	(251.2) 891.436	56.697	874.60 × 10 <sup>3</sup>	92.0
15:15	321.9	261.3	64.41	188.096	169.173	889.073	57.265	1083.63 × 10 <sup>3</sup>	249.7	307.3	62.85	165.519	183.561	(251.4) 891.411	56.025	1010.81 × 10 <sup>3</sup>	91.3
15:30	332.6	262.8	65.08	191.409	169.645	888.718	57.838	1258.78 × 10 <sup>3</sup>	250.2	317.2	63.48	165.677	186.637	(252.6) 891.127	56.569	1185.68 × 10 <sup>3</sup>	94.2
15:45	345.5	264.8	66.17	195.395	170.274	888.246	58.775	1476.49 × 10 <sup>3</sup>	250.2	326.4	64.17	165.677	189.490	(252.1) 891.246	57.191	1361.90 × 10 <sup>3</sup>	92.2
16:00	355.5	266.0	66.22	198.477	170.651	888.962	58.867	1638.03 × 10 <sup>3</sup>	250.2	336.1	63.71	165.677	192.492	(252.1) 891.246	56.781	1522.59 × 10 <sup>3</sup>	93.0
16:05	359.9	266.7	66.17	199.831	170.871	887.797	58.746	1701.27 × 10 <sup>3</sup>	250.7	338.2	63.88	165.834	193.450	(252.4) 891.175	56.928	1572.13 × 10 <sup>3</sup>	92.4
16:10	363.3	266.9	66.17	200.877	170.934	887.749	58.742	1758.92 × 10 <sup>3</sup>	250.4	341.7	63.77	165.740	194.222	(252.4) 891.175	56.830	1618.64 × 10 <sup>3</sup>	92.0
16:15	365.5	266.8	65.91	201.553	170.902	887.773	58.513	1793.49 × 10 <sup>3</sup>	250.7	343.1	63.60	165.834	194.654	(252.6) 891.127	56.676	1633.39 × 10 <sup>3</sup>	91.1
16:20	367.0	267.3	66.07	202.014	171.059	887.655	58.647	1815.43 × 10 <sup>3</sup>	250.5	344.2	63.54	165.771	194.974	(252.3) 891.198	56.627	1654.80 × 10 <sup>3</sup>	91.2
16:30	368.3	267.4	66.29	202.414	171.091	887.631	58.841	1843.08 × 10 <sup>3</sup>	250.0	345.9	63.77	165.614	195.518	(252.3) 891.198	56.832	1699.50 × 10 <sup>3</sup>	92.2
16:40	369.1	267.0	65.96	202.659	170.965	887.726	58.554	1855.82 × 10 <sup>3</sup>	249.8	345.9	63.94	165.551	195.518	(251.6) 891.364	56.994	1707.93 × 10 <sup>3</sup>	92.0
16:50	369.1	267.2	66.27	202.659	171.028	887.679	58.826	1860.74 × 10 <sup>3</sup>	249.8	346.6	64.17	165.551	195.734	(251.9) 891.293	57.194	1726.29 × 10 <sup>3</sup>	92.8

## 4.2 補助中間熱交換器

4.1 項測定結果より、補 IHX についてまとめたものを以下に示す。

(1) Fig 4-1 は除熱量と補 IHX 出入口温度の推移を示したものである。

注) Fig 4-1 は補 IHX 1 次側除熱量基準とし原子炉入口温度を 260℃ に規格化して表してある。

(2) Fig 4-2 は除熱量と対数平均温度差の推移を示したものである。

(3) 補助 IHX の設計条件は、伝熱量  $Q$  (2.6 MW) を対数平均温度差  $\Delta t$  (30℃) で 1 次側より 2 次側へ熱移送することであり、試験によって得られた  $Q/\Delta t$  が設計値を満足すれば良い。

$$\begin{aligned} Q/\Delta t \text{ の設計値は } Q/\Delta t &= 2.6 \times 10^3 \times 860/30 \\ &= 74.5 \times 10^3 \text{ (kcal/hr}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

である。

Fig 4-3 は  $Q/\Delta t$  の実測値を設計値と比較したものである。

相対的に計測誤差の少ないと考えられる高負荷域において実測値は設計値を十分上回った。

## 4.3 補助空気冷却器

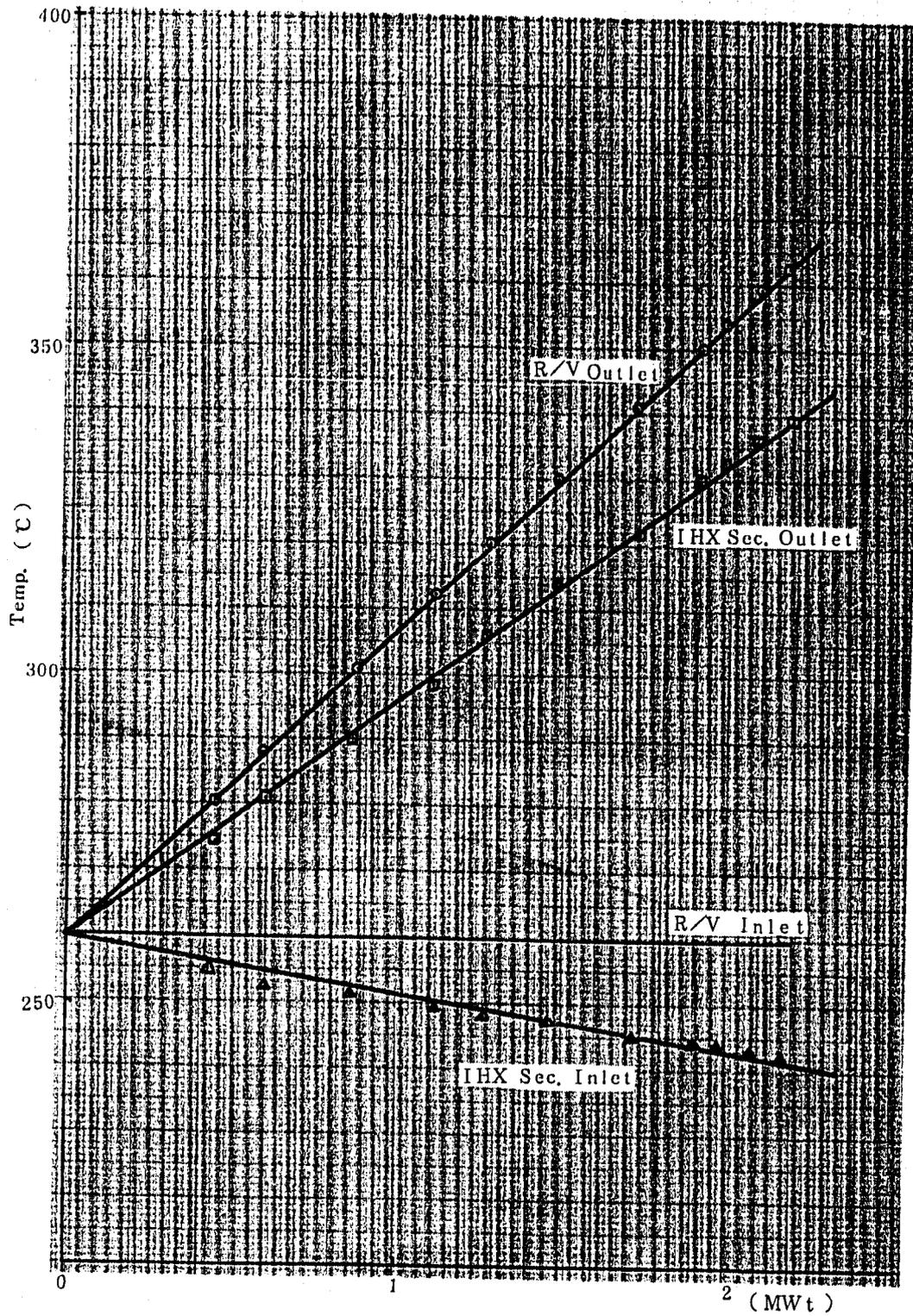
4.1 項測定結果より補助空気冷却器についてまとめたものを以下に示す。

(1) Fig 4-4 は除熱量と補助冷却器出入口 Na 温度、空気出口温度、入口風速の推移を示したものである。

(2) Fig 4-5 は空気側(管外)熱伝達率について設計値(工認値)との比較を行ったものである。

注) Fig 4-5 は空気側温度条件の異なるものの比較(設計 A/C 出口 Na 温度: 340℃, 試験時: 250℃)であるため傾向が異なったものと考えられる。

(5 項参照のこと)



Aux. IHX Heat Removal Rate (Based on Pri. Loop)

Fig 4-1 Temp. Transition of IHX (R / V Inlet Temp. 260 °C)

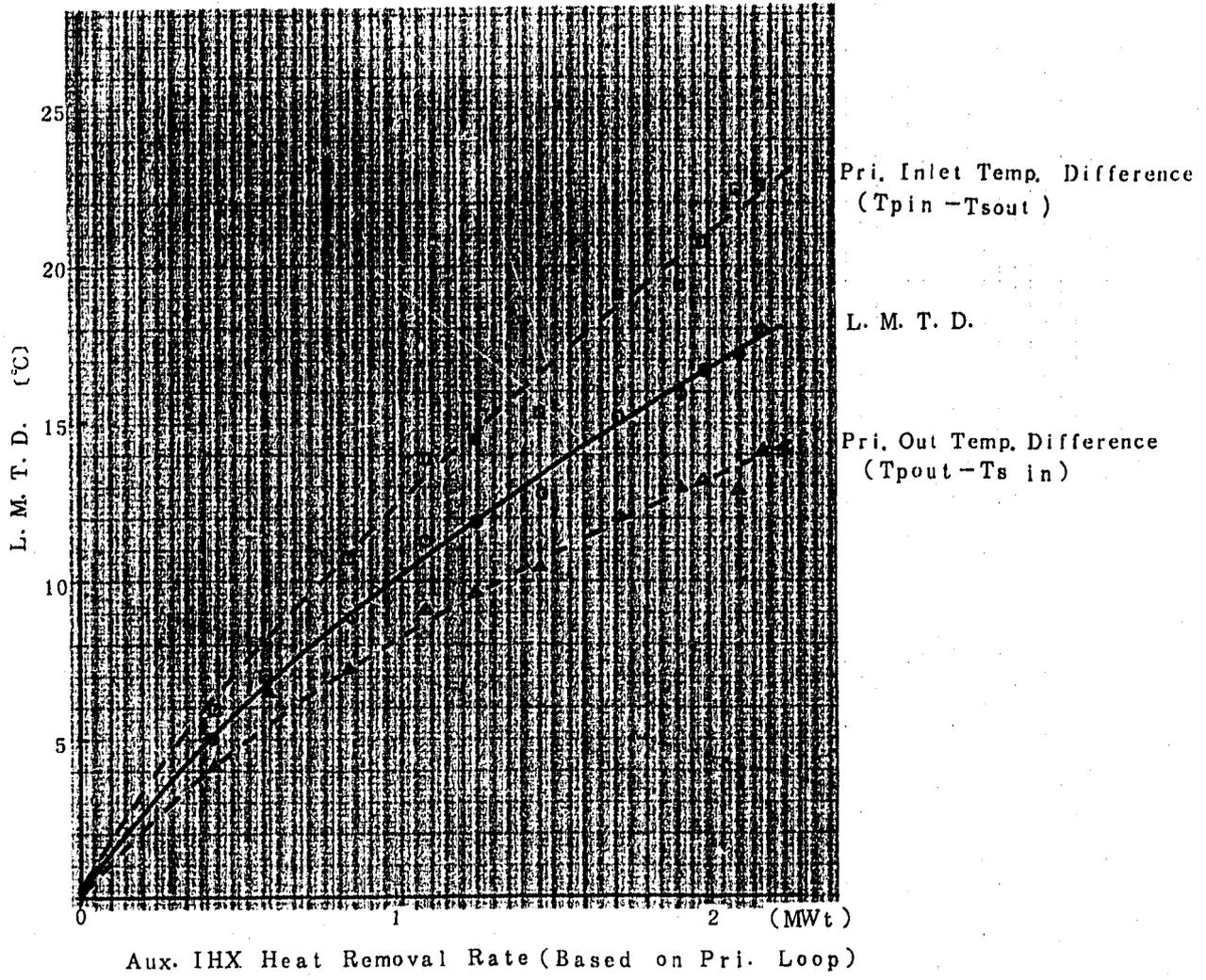


Fig 4-2 Logarithmic Mean Temperature Difference (L.M.T.D)

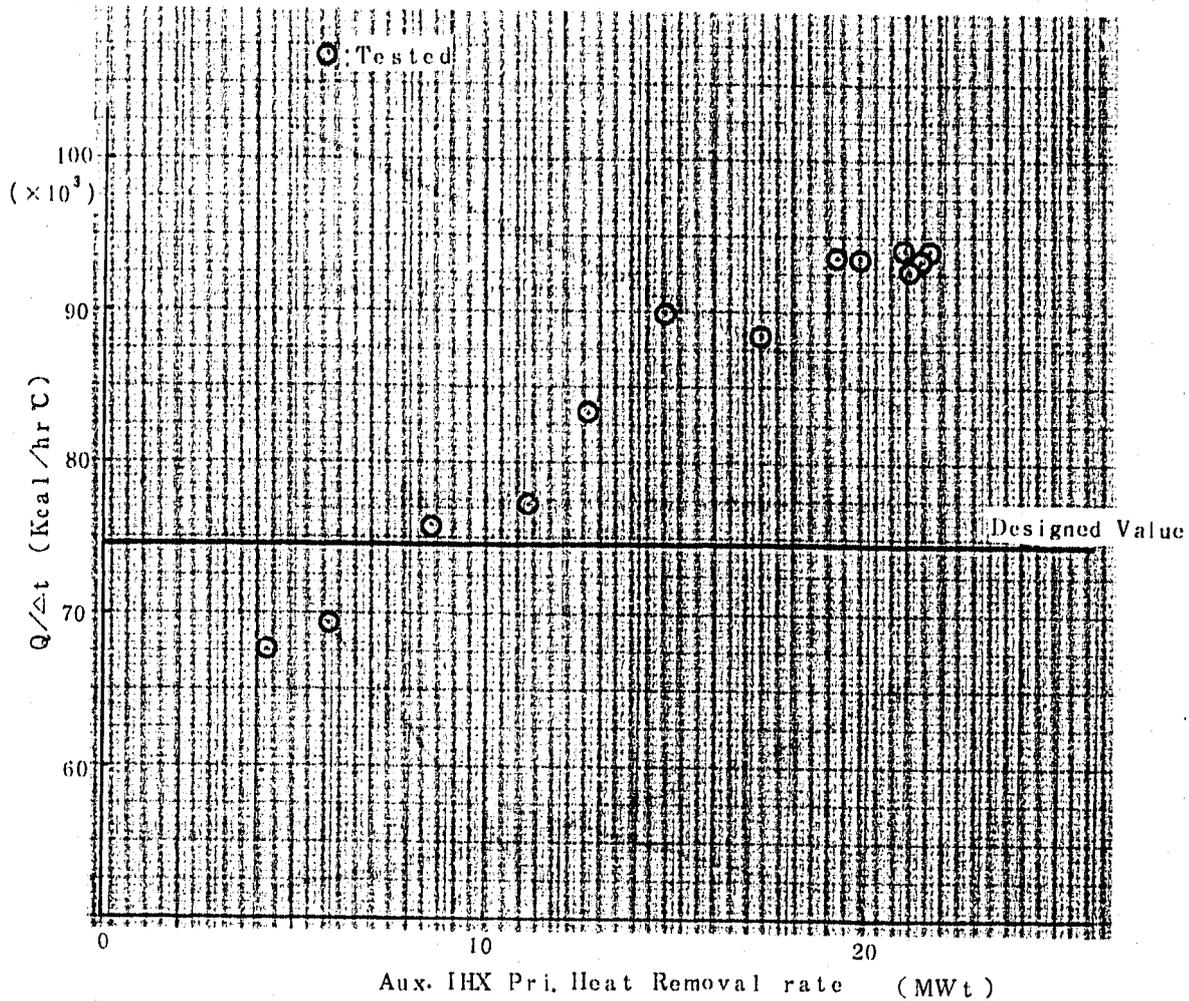


Fig 4-3 Q /Δt Vs Heat Removal Rate

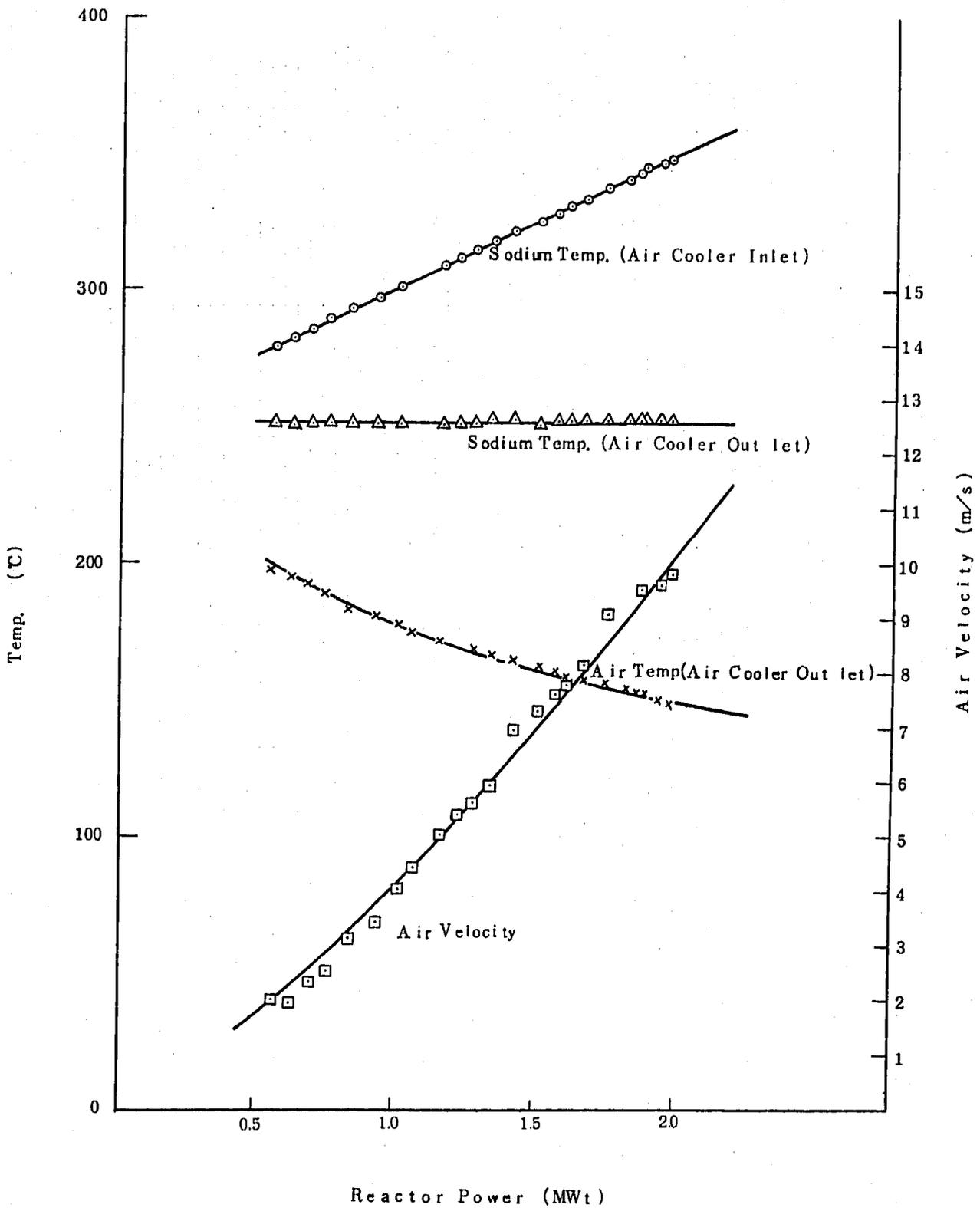


Fig 4-4 Test Results of Aux. D.H.X

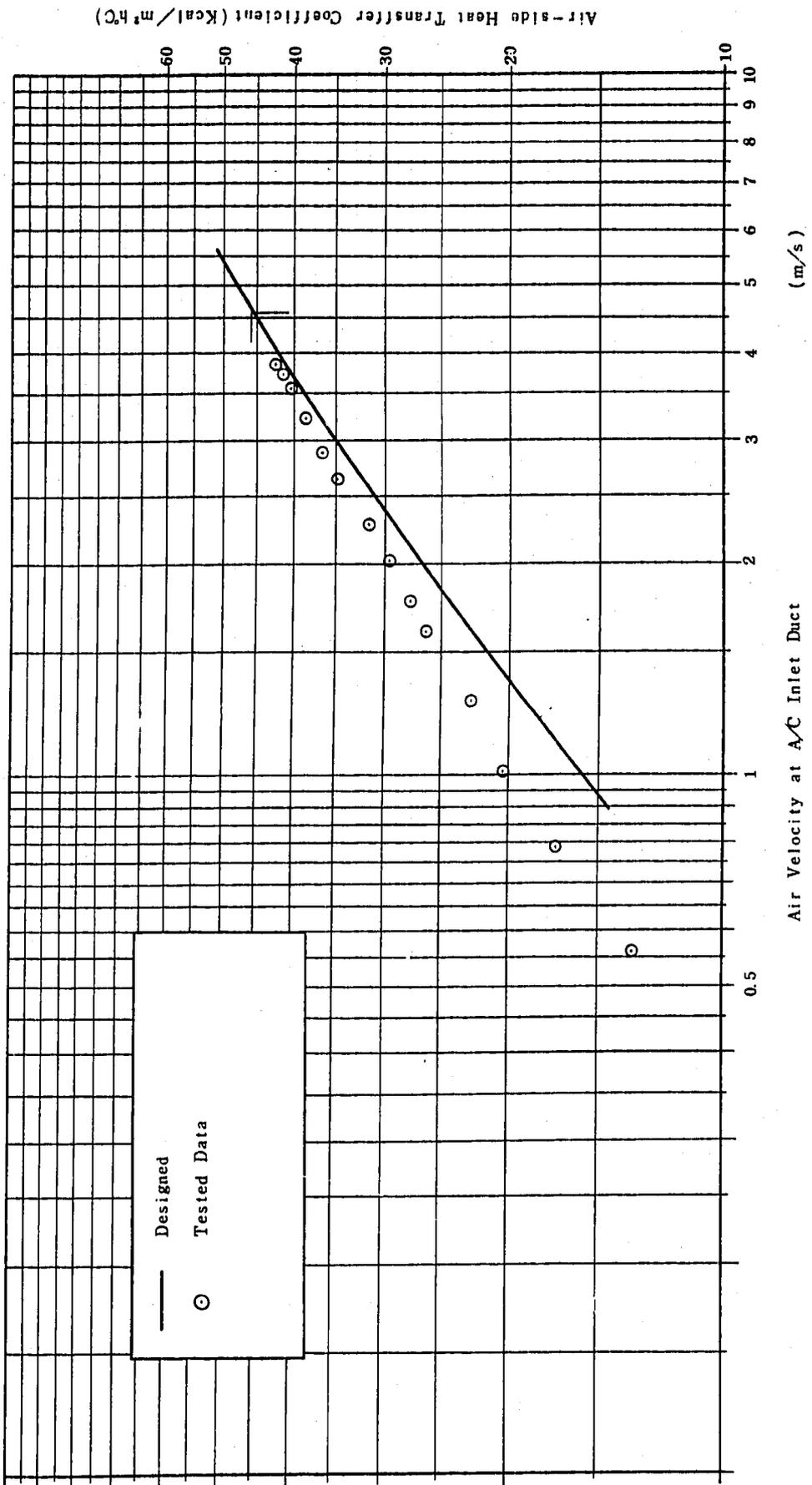


Fig 4-5 Air-side Heat Transfer Coeff.

## 5. 検 討

### 5.1 補助中間熱交換器

- (1) Fig 4-3に示したように、補助中間熱交換器においては、設計条件を上回って熱移送出来ることが確認された。これは試験温度条件における熱貫流率計算値<sup>注)</sup>と実測値との比較 Fig 5-1でも同様の結果となり補助中間熱交換器はその設計性能を確保出来ると考えられる。

注) 計算値は管側、胴側共設計に用いられた Lubarsky-Kaufman の式によっている。

- (2) 本試験時においては、1次側、2次側流量が一定であり、熱貫流率もほぼ一定と考えられたが、Fig 4-2に示したように、対数平均温度差は負荷に対して直線関係とはならず結果として、Fig 5-1のように負荷と共に熱貫流率が上昇する傾向となった。

(尚、これは主中間熱交換器においても同様の傾向が見られている。)

### 5.2 補助空気冷却器

#### 5.2.1 管外熱伝達率

- (1) Fig 4-5に示したように管外熱伝達率の設計値(工認値)との比較では若干傾向を異にした。

これは試験時温度条件と、設計温度条件の違い等によるものと考えられるため、試験時温度条件での計算値と比較を行う。

- (2) 検討のため使用した式、及び諸元は下記の通りである。

- a) 管外熱伝達率 (ho)

$$ho = \lambda a \cdot Nu / De$$

$$Nu = 0.0920 (Re)^{0.723} (Pr)^{1/3}$$

(Jamesonの近似式 内田他：衛生工業協会誌 第34巻、7号)

- b) フィンチューブ諸元

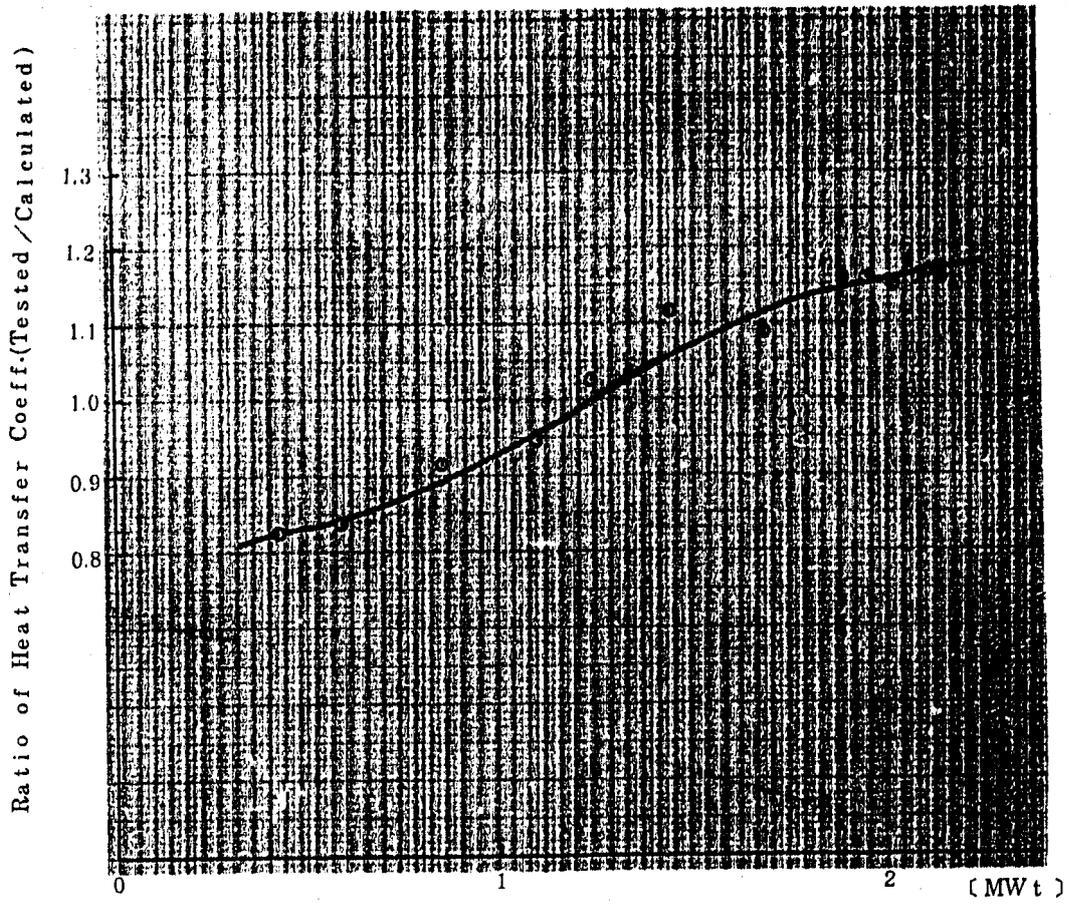
- c) フィン効率(常陽用に計算したもの)

- d) フィン、伝熱管熱伝導率(ASME, SECIII, 1977)

- e) 対数平均温度差(Kern, Process, Heat, Trans)

付録-4 参照

- (3) 上記による結果は、Fig 5-2に示す通りとなり、ほぼ計算値と一致した。



Aux. IHX Heat Removal Rate (Based on Pri. Loop)

Fig 5-1 Ratio of Heat Transfer Coeff.

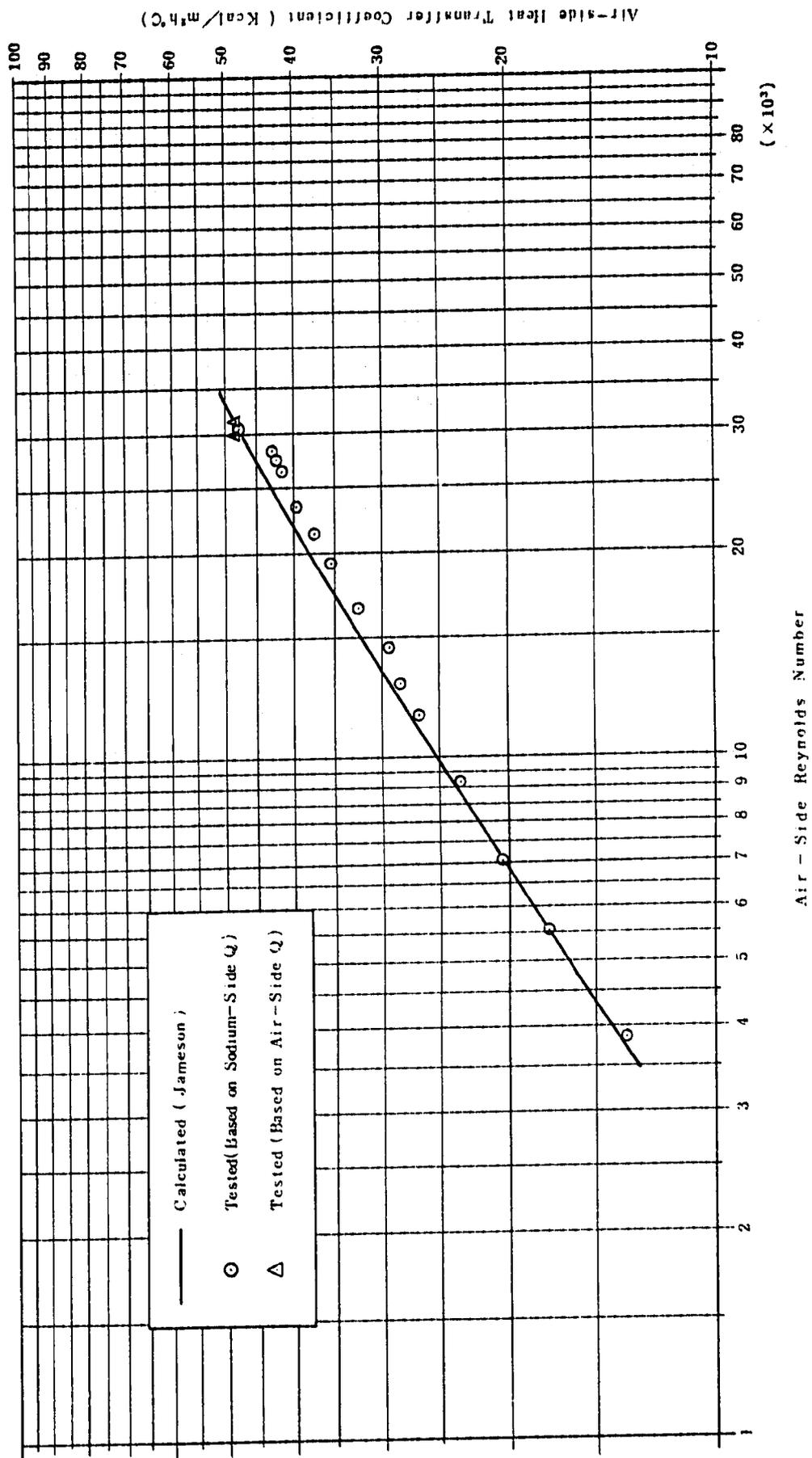


Fig 5-2 Air-side Heat Transfer Coeff. (at the Condition of Tested Temp.)

## 5.2.2 最大除熱量の推定

(1) 補助空気冷却器は、主冷却器のように、原子炉出力に対応して出入口 Na 温度を定められたパターンで制御するものではないが、仮に主冷却器と同様に負荷を上昇させて行くとした場合の性能を推定する。

(2) 推定方法としては

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t = (t_2 - t_1) \cdot G_A \cdot C_{pA}$$

$$= (T_1 - T_2) \cdot G_{Na} \cdot C_{pNa}$$

を満足する  $t_2$  ,  $G$  , を求める。

$U$  (熱貫流率) は実測値によるものを使用する。(Fig 5.4) 付録 5 参照

\* 定格温度では試験時に比べ若干  $U$  が上昇する (同一重量流量にて Fig 5.3) が、余裕側であるので実測値を使用する。

$Q$	: 除熱量
$U$	: 熱貫流率
$A$	: 伝熱面積 ( 203 m <sup>2</sup> )
$\Delta t$	: 対数平均温度差
$t_2$	: 空気出口温度
$t_1$	: 空気入口温度 ( 30 ℃ )
$G_A$	: 空気流量
$C_{pA}$	: 空気比熱 ( 0.243 kcal / kg℃ )
$T_1$	: ナトリウム入口温度
$T_2$	: ナトリウム出口温度
$G_{Na}$	: ナトリウム流量
$C_{pNa}$	: ナトリウム比熱

(3) 推定結果を Fig 5-6 に示す。

補助冷却器定格 2.6 MW において必要風量は 790 m<sup>3</sup>/min であり、これは送風機定格風量 890 m<sup>3</sup>/min の約 89 % に相当する。

(4) 又、仮に 2.6 MW を越えて負荷を上昇させた場合定格風量で約 2.8 MW、「総合機能試験」時最大風量で約 3.1 MW の除熱量に相当する結果となった。

Air-side Heat Transfer Coefficient (Kcal/m<sup>2</sup>h°C)

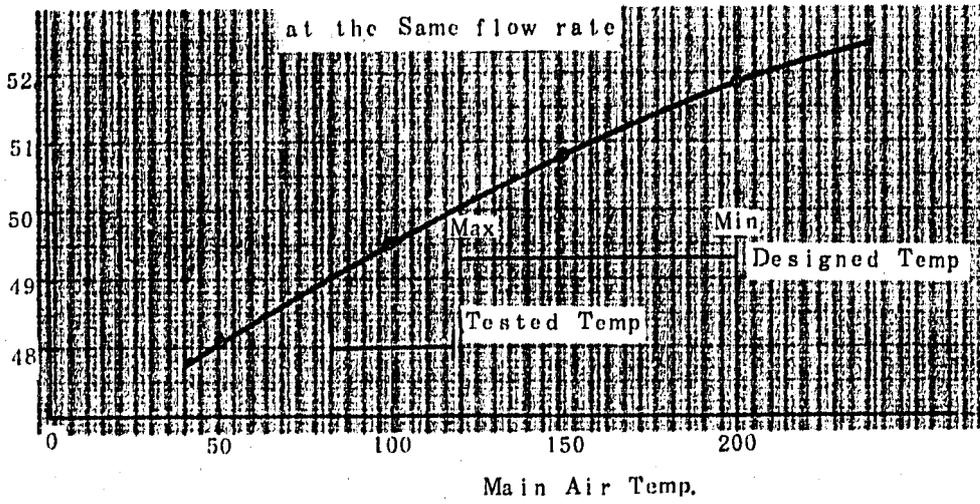


Fig 5-3 Air-side Heat Transfer Coefficient Vs Mean Temp

Over-all Heat Transfer Coefficient (Kcal/m<sup>2</sup>h°C)

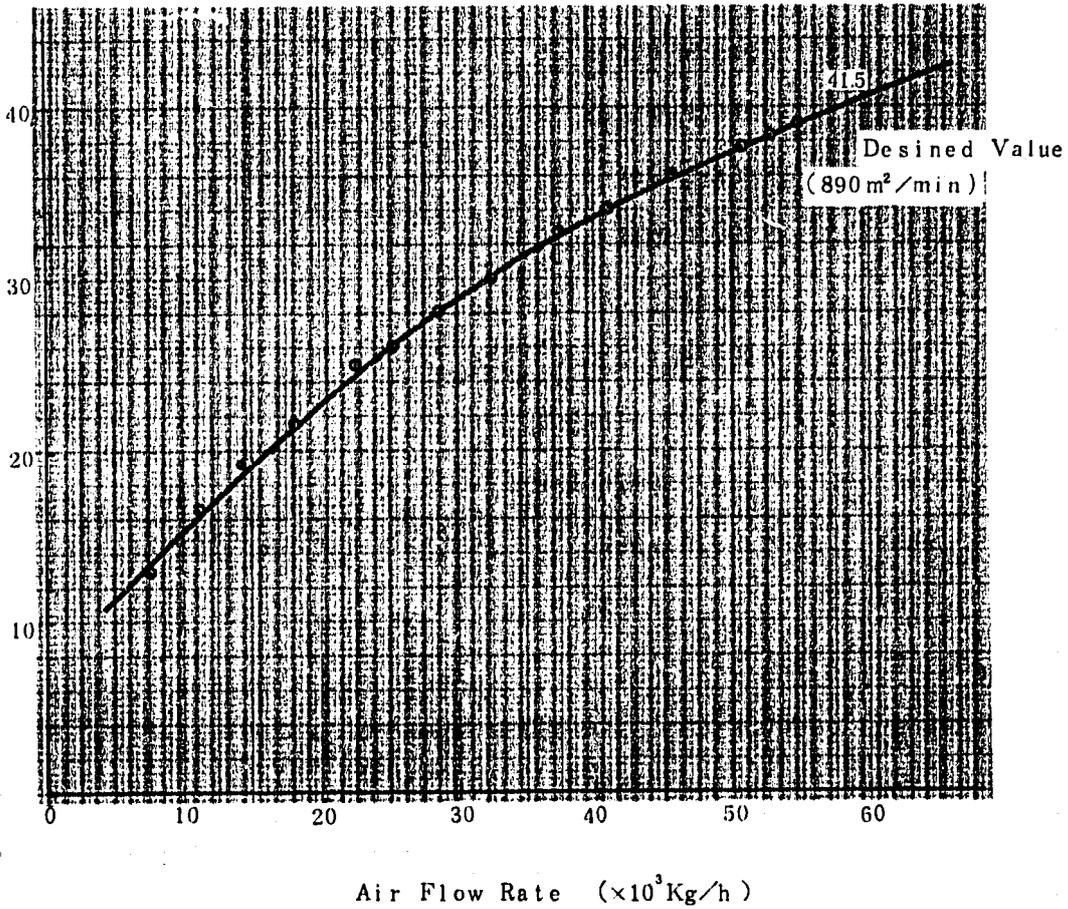


Fig 5-4 Over-all Heat Transfer Coefficient Vs Air Flow Rate

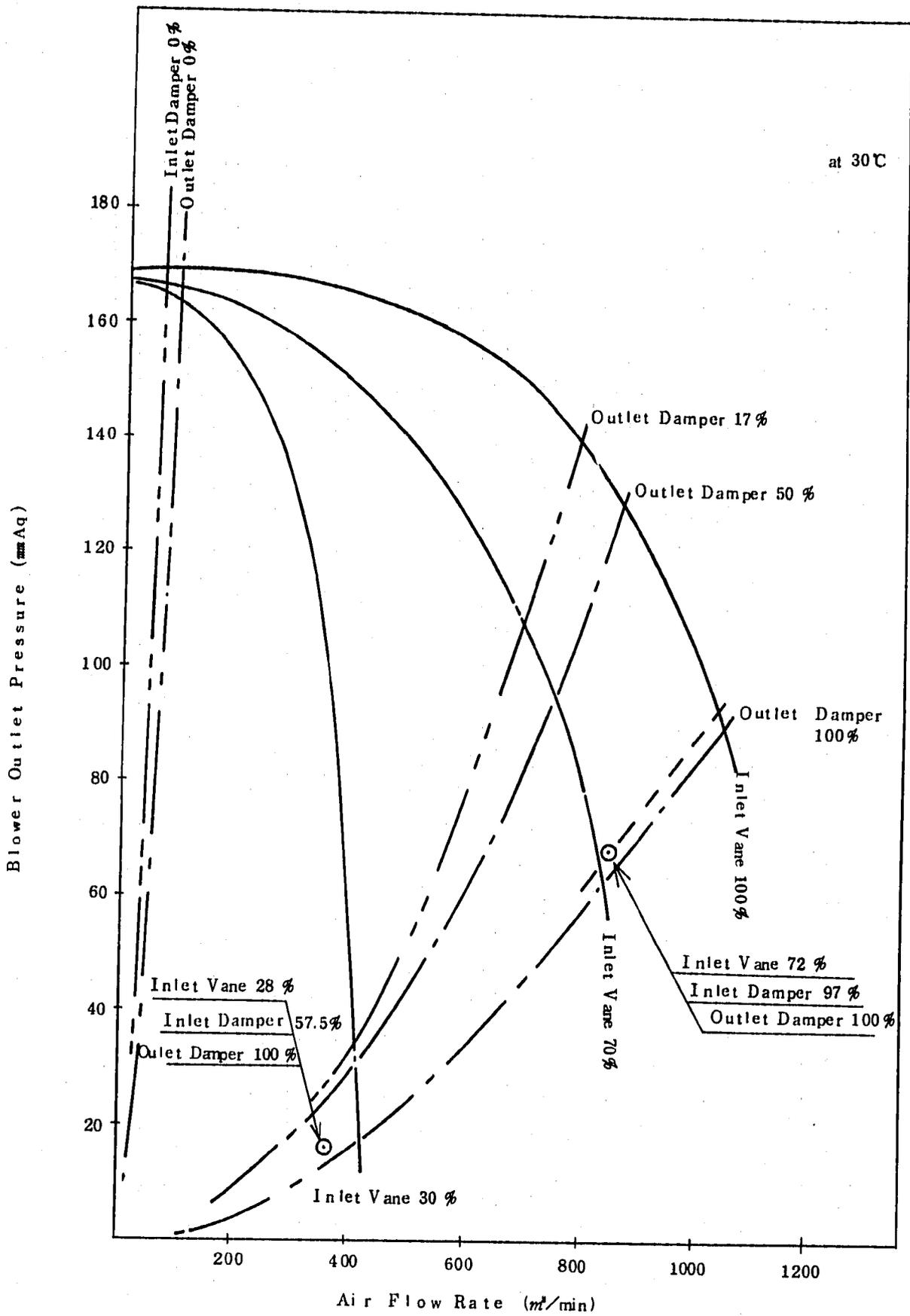


Fig 5-5 Aux. Blower Q-H Curve

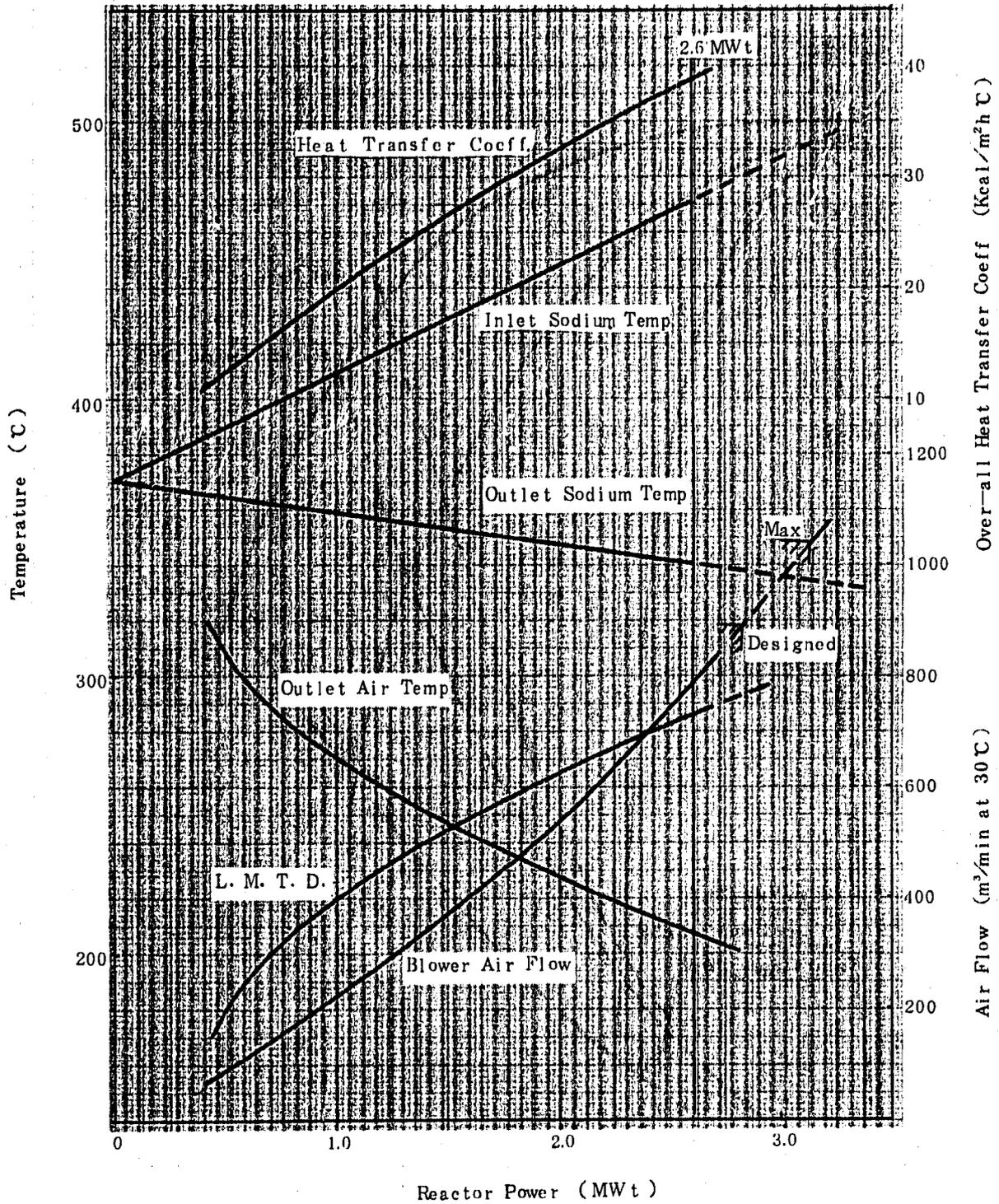


Fig 5-6 Predicted Performance Curve of Aux. D.H.X.

## 6. 結 言

- (1) 補助中間熱交換器については、設計性能を上回る特性が得られた。
- (2) 補助空気冷却器については、ほぼ設計値通りの特性が得られ、補助送風機に余裕があることから十分除熱能力を有するものと推定される。
- (3) 以上より補助冷却系統として、その設計除熱量を確得出来るものと推定される。

## 7. 謝 辞

本試験の実施に当り、測定に協力いただいた技術課、原子炉二課、系統の操作、監視を実施された原子炉一課、並びに試験時の統括をされた性能試験推進グループの方々に深く謝意を表します。

## 付 録

付録 - 1	出力上昇試験時データ	42
付録 - 2	補助中間熱交換器データシート	60
付録 - 3	補助空気冷却器データシート	65
付録 - 4	フィンチューブ諸元	70
付録 - 5	補助冷却系除熱量の推定	78

付録 - 1 出力上昇試験時データ

53年5月12日

原子炉出力 : 3.3%  
(ch3)

補助1次系温度・流量

計測名称	計器番号	測定値			平均値
		16:40	16:50	:	
THX1次側入口Na温度	デジタル マルチ温度計	369.1 ℃	369.1 ℃	℃	369.1 ℃
” 出口Na温度	”	267.0 ℃	267.2 ℃	℃	267.1 ℃
1次系流量		3.867 mV	3.885 mV	mV	3.876 mV
					66.12 m <sup>3</sup> /h

1次系流量  $W_1 = 17.054x + 0.017$  [m<sup>3</sup>/h]

x: [mV]

原子炉出力 : 3.3 %  
(ch3)

入口ペーン開度 72%

計測名称	計測番号	測定値	備考
IHX 1次側入口Na温度	TE32.1-1	369.1℃	エンタルピ $i_1 = 202.659 \text{ kcal/kg}$
IHX 1次側出口Na温度	TE32.1-2	267.1℃	エンタルピ $i_2 = 170.997 \text{ kcal/kg}$ 比重 $r_2 = 887.702 \text{ kg/m}^3$
1次系流量	TE32.1-1	3.876mV 66.12m <sup>3</sup> /h	$\times r_2 = W_1 = 58.69 \times 10^3 \text{ kg/h}$
—	—	—	原子炉出力 $Q_1 = W_1(i_1 - i_2)$ $= 2.16 \text{ MW}$
IHX 2次側入口Na温度	TE32.2-3	249.8℃	$i = 165.551 \text{ kcal/kg}$ $r = 891.788 \text{ kg/m}^3$
IHX 2次側出口Na温度	TE32.2-4	346.2℃	$i = 195.611 \text{ kcal/kg}$ $r = 868.945 \text{ kg/m}^3$
AC 入口 Na 温度	TE32.2-1	347.4℃	エンタルピ $i_3 = 195.981 \text{ kcal/kg}$
AC 出口 Na 温度	TE32.2-2	251.8℃	エンタルピ $i_4 = 166.181 \text{ kcal/kg}$ 比重 $r_4 = 891.316 \text{ kg/m}^3$
2次系流量	FE32.2-1	11.18mV 63.88m <sup>3</sup> /h	$\times r_4 = W_2 = 56.94 \times 10^3 \text{ kg/h}$
—	—	—	AC冷却量 $Q_2 = W_2(i_3 - i_4)$ $= 1.97 \text{ MW}$

ナトリウム比重

$$r = 950.01 - 0.229774 T - 1.46065 \times 10^{-5} T^2 + 5.63796 \times 10^{-9} T^3 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

ナトリウムエンタルピ

$$i = 83.559 + 0.343253 T - 6.93429 \times 10^{-5} T^2 + 3.6850 \times 10^{-8} T^3 \text{ [kcal/kg]}$$

53年5月12日

原子炉出力 : 3.3%  
(ch3)

補助2次系温度・流量

計測名称	計器番号	測 定 値			平均値
		16:35	16:40	16:45	
IHX2次側入口Na温度	3-01	249.8 ℃	249.8 ℃	249.8 ℃	249.8 ℃
” 出口Na温度	3-02	346.1 ℃	345.9 ℃	346.6 ℃	346.2 ℃
冷却器入口Na温度	3-03	347.1 ℃	347.5 ℃	347.6 ℃	347.4 ℃
” 出口Na温度	3-04	251.8 ℃	251.6 ℃	251.9 ℃	251.8 ℃
2次系流量	デジタル電圧計	11.11 mV	11.19 mV	11.23 mV	11.18 mV
					63.88 m <sup>3</sup> /h

2次系流量  $W_2 = 5.714x$  [m<sup>3</sup>/h]

$x$  : [mV]

53年5月12日

原子炉出力  
: (ch3)

補助1次系温度・流量 ( 1 / 5 )

計測名称	計器番号	測 定 値			平 均 値
		14:15	14:30	14:45	
IHX 1次側入口Na温度		275.1 ℃	285.1 ℃	299.3 ℃	℃
" 出口Na温度		254.6 ℃	256.8 ℃	258.4 ℃	℃
1次系流量		3.76 mV	3.754 mV	3.779 mV	mV
		64.14	64.04	64.46	m <sup>3</sup> /h
交換熱量		428kw	588kw	854kw	
原子炉出力	ch3	1.6%	1.9%	2.45%	

1次流量  $W_1 = 17.054x + 0.017$  [ m<sup>3</sup>/h ]

x : [mV]

53年5月12日

原子炉出力  
( ch 3 )

補助 1 次系温度・流量 ( 2 / 5 )

計測名称	計器番号	測 定 値			平均値
		15:02	15:15	15:30	
IHX 1次側入口Na温度		313.0 °C	321.9 °C	332.6 °C	°C
出口Na温度		260.5 °C	261.3 °C	262.8 °C	°C
1次系流量		3.819 mV	3.776 mV	3.815 mV	mV
		65.15	64.41	65.08	m <sup>3</sup> /h
交換熱量		1.105 MW	1.26 MW	1.463 MW	
原子炉出力	ch3	2.6%	2.8%	3.3%	

$$1 \text{ 次系流量 } W_1 = 17.054x + 0.017 \text{ ( m}^3\text{/h )}$$

x : ( mV )

53年5月12日

原子炉出力  
(ch3)

補助1次系温度・流量(3/5)

計測名称	計器番号	測 定 値			平均値
		15:45	16:00	16:05	
IHX1次側入口Na温度		345.5 ℃	355.5 ℃	359.9 ℃	℃
出口Na温度		264.8 ℃	266.0 ℃	266.7 ℃	℃
1次系流量		3.879 mV	3.882 mV	3.879 mV	mV
		66.17	56.22	66.17	m <sup>3</sup> /h
交換熱量		1.717 MW	1.902 MW	1.978 MW	
原子炉出力	ch3	3.6%	3.6%	3.6%	

1次系流量  $W_1 = 17.054x + 0.017$  ( m<sup>3</sup>/h )

x : ( mV )

53年 5月 12日

原子炉出力  
(ch 3)

補助 1 次系温度・流量 (4/5)

計測名称	計器番号	測 定 値			平均 値
		16:10	16:15	16:20	
IHX 1次側入口Na 温度		363.3 ℃	365.5 ℃	367.0 ℃	℃
出口Na 温度		266.9 ℃	266.8 ℃	267.3 ℃	℃
1 次 系 流 量		3.879 mV	3.864 mV	3.873 mV	mV
		66.17	65.91	66.07	m <sup>3</sup> /h
交 換 熱 量		2.045	2.085	2.111 MW	
原 子 炉 出 力	ch3	3.6%	3.6%	3.5%	

1次系流量  $W_1 = 17.054 x + 0.017$  [ m<sup>3</sup>/h ]

x : [ mV ]

53年5月12日

原子炉出力  
( ch 3 )

補助1次系温度・流量 (5/5)

計測名称	計器番号	測定値			平均値
		16:30	16:40	16:50	
IHX1次側入口Na温度		368.3℃	369.1℃	369.1℃	℃
出口Na温度		267.4℃	267.0℃	267.2℃	℃
1次系流量		3.886 mV	3.867 mV	3.885 mV	mV
		66.29	65.96	66.27	m <sup>3</sup> /h
交換熱量		2.143 MW	2.158 MW	2.164 MW	
原子炉出力	ch3	3.4%	3.3%	3.2%	

1次系流量  $W_1 = 17.054x + 0.017$  ( m<sup>3</sup>/h )

x : ( mV )

53年 5月12日

原子炉出力 (3.3%)  
(ch 3)

補助2次系温度・流量

計測名称	計器番号	測 定 値		平均値
		測	定 値	
I H X 2次側入口 Na 温度	3-01		16:35 250.0 ℃	16:43 250.2 ℃
出口 Na 温度	3-02		345.9 ℃	346.3 ℃
冷却器入口 Na 温度	3-03		347.3 ℃	347.5 ℃
出口 Na 温度	3-04		252.1 ℃	252.1 ℃
2次系流量	デジタル		mV	mV
	電圧計		11.13	11.23
				m <sup>3</sup> /h

2次系流量  $W_2 = 5.714 x$  ( m<sup>3</sup>/h )

$x$  : ( mV )

原子炉出力 : 3.5%  
(Ch3)

第 1 回目

53 年 5 月 12 日

(第 2 回目)

時刻 : 16:08 ~ 16:31

東 - 西

上 - 下

マーク位置	風 速		温 度	
	風 $m/s$	速 $mV$	温 $^{\circ}C$	度 $mV$
1	7.5( 8.0)	3.24(3.04)	19.5	1.98
2	7.7( 8.7)	3.39(3.71)	19.2	1.96
3	9.0( 9.2)	3.39(3.79)		
4	8.6(10.0)	3.64(4.14)		
5	9.8( 9.1)	4.12(3.64)		
6	9.9(10.1)	3.96(4.12)		
7	10.1(10.2)	4.12(4.08)		
8	10.1(10.3)	4.2 (4.19)		
9	10.5(10.1)	4.2 (4.2 )		
10	10.3(10.2)	4.12(4.12)		
11	9.5( 9.2)	3.84(3.71)		

マーク位置	風 速		温 度	
	風 $m/s$	速 $mV$	温 $^{\circ}C$	度 $mV$
1	8.3( 8.8)	3.53(3.61)	19	1.86
2	9.2(10.1)	3.74(4.09)	19	1.84
3	9.5(10.3)	3.78(4.07)		
4	9.8(10.0)	3.93(4.04)		
5	9.7( 9.9)	3.96(3.8 )		
6	9.9(10.2)	3.99(4.19)		
7	9.9(10.1)	3.98(4.09)		
8	9.6(10.0)	3.92(3.96)		
9	9.5( 9.8)	3.84(3.9 )		
10	9.2( 9.4)	3.72(3.72)		
11	9.0( 8.2)	3.63(3.26)		

第 1 回目平均 3.8145mV  
4.536 m/S  
第 2 回目平均 3.858 mV  
9.645 m/S

53年5月12日

原子炉出力 : 3.3%  
(Ch3)

時刻 : 16:32 ~ 16:45

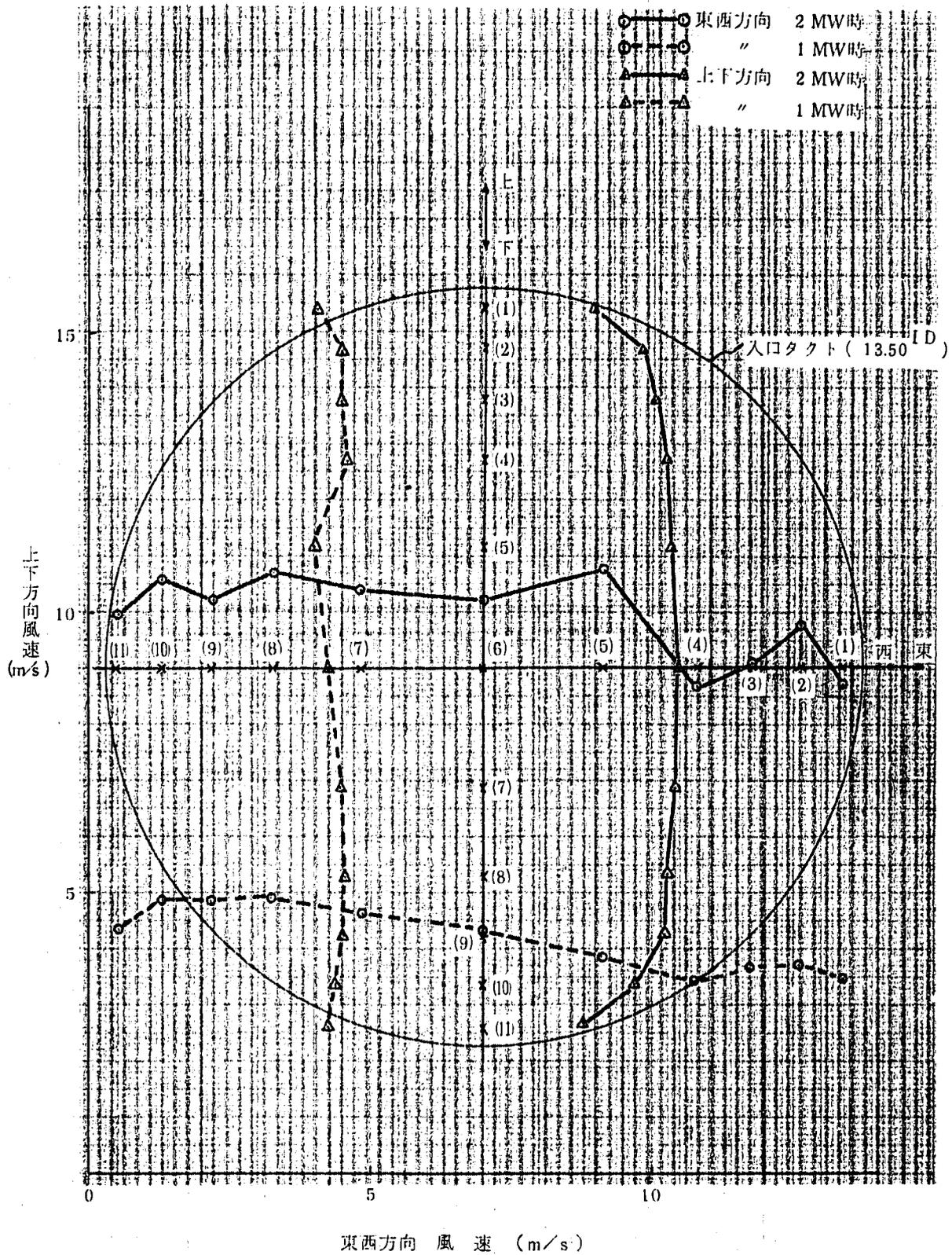
東 - 西

上 - 下

マーク位置	風 速		温 度	
	風 m/s	速 mV	℃	度
1	8.2	3.47	1.93	1.93
2	9.6	3.90	1.98	1.98
3	8.5~9.0	3.62	2.01	2.01
4	9.0~10.4	3.44	2.10	2.10
5	10.6	4.29	2.08	2.08
6	9.9	4.08	2.02	2.02
7	10.4	4.16	2.07	2.07
8	10.6	4.28	2.04	2.04
9	10.4	4.09	2.27	2.27
10	10.3	4.24	2.03	2.03
11	9.9(10.0)	3.99	2.07	2.07

マーク位置	風 速		温 度	
	風 m/s	速 mV	℃	度
1	9.4	3.59	1.88	1.88
2	9.6	3.92	1.87	1.87
3	10.0	4.01	1.92	1.92
4	10.4	4.09	2.04	2.04
5	10.3	4.12	1.98	1.98
6	10.1	4.19	1.90	1.90
7	10.3	4.16	1.93	1.93
8	10.0	4.11	1.92	1.92
9	9.9	4.08	2.02	2.02
10	9.6	3.88	1.86	1.86
11	9.0(9.2)	3.51	1.91	1.91

X=3.948mV 9.869m/s 平均=9.86 m/s × 1.431 × 60 → 846.6m<sup>2</sup>/min at 19℃  
(指示計)



補助冷却器入口ダクト風速分布 (断面は入口ダクトから送風機を見た)

昭和53年5月12日

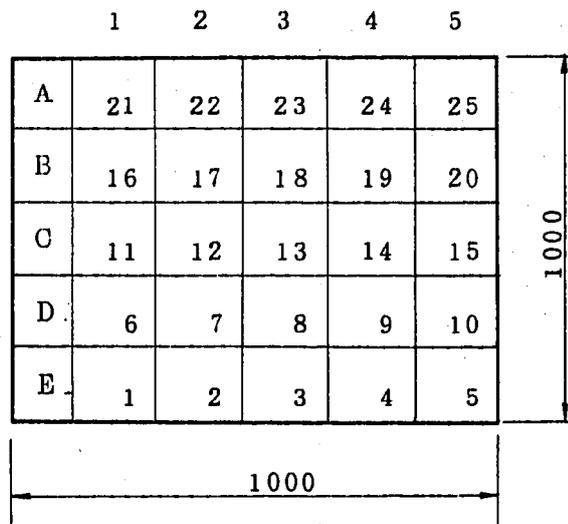
補助冷却器出口ダクト空気温度分布

	1	2	3	4	5	
A	136.8	136.2	158.3	159.1	157.2	1回目 16:32
	134.5	134.7	157.2	159.5	157.8	2 " 16:36
	134.6	135.5	158.4	159.0	157.2	3 " 16:44
平均	135.3	135.5	158.0	159.2	157.4	
B	138.5	139.0	140.5	156.9	151.2	$\Sigma X$
	137.4	135.5	136.9	157.2	151.1	(1) 3739.9 $\bar{X}$ 149.596
	137.4	134.7	135.8	156.7	150.7	(2) 3730.1 149.204
平均	137.8	136.4	137.7	156.9	151.0	(3) 3733.7 148.948
C	145.4	143.6	145.7	153.9	146.0	
	145.8	142.0	144.3	153.9	145.6	
	144.9	142.4	144.9	153.6	145.4	
平均	145.4	142.7	145.0	153.8	145.7	
D	147.3	155.5	158.6	159.3	154.4	
	147.5	156.3	159.1	159.8	155.1	
	146.8	156.0	158.6	159.2	154.3	
平均	147.2	155.9	158.8	159.4	154.6	
E	143.8	150.2	155.1	154.8	152.6	総平均
	144.6	151.2	155.3	155.1	152.7	
	144.4	150.7	155.3	154.9	152.3	
平均	144.3	150.7	155.2	154.9	152.5	149.2 °C

外気温度 (测温抵抗体)	(1) 19.0 °C
	(2) 19.0 °C
	(3) 19.0 °C
平均	19.0 °C

乾球温度	(1) 19.5 °C
	(2) 19.5 °C
	(3) 19.5 °C
湿球温度	(1) 15.5 °C
	(2) 15.5 °C
	(3) 15.5 °C
湿度	68 %

大気圧	(1) 1007 (755)
	(2) 1007 (755)
	(3) 1007mb(755mmHg)



## 空気側ヒートバランス

## (1) 出口空気

出口空気温度  $t_{ao} = 149.2 [^{\circ}\text{C}]$

相対湿度  $\phi_{ao} = 0 [\%]$  とする。

エンタルピ  $H_{ao} = 0.240 t_{ao} + (597.3 + 0.441 t_{ao}) X_i$   
 $= 0.240 \times 149.2 + (597.3 + 0.441 \times 149.2) \times 0.00937$   
 $= 42.02 [Kcal/Kg]$

## (2) 入口空気

入口空気温度  $t_{ai} = 19.0 [^{\circ}\text{C}]$

大気圧  $P = 755 [mmHg]$

飽和水蒸気分圧  $h_{si} = 16.47 [mmHg]$

相対湿度  $\phi_{ai} = 68 [\%]$

比重  $r = 1.2931 \times \frac{273.15}{273.15 + t_{ai}} \times \frac{P - 0.378 \phi_{ai} h_{si}}{760}$   
 $= 1.2931 \times \frac{273.15}{273.15 + 19.0} \times \frac{755 - 0.378 \times 0.68 \times 16.47}{760}$   
 $= 1.194 [Kg/m^3]$

絶対湿度  $x = \frac{0.622 \phi_{ai} h_{si}}{P - \phi_{ai} h_{si}} = \frac{0.522 \times 0.68 \times 16.47}{755 - 0.68 \times 16.47}$   
 $= 0.00937 [Kg/Kg]$

エンタルピ  $H_{ai} = 0.240 t_{ai} + (597.3 + 0.441 t_{ai}) X_i$   
 $= 0.240 \times 19.0 + (597.3 + 0.441 \times 19.0) \times 0.00937$   
 $= 10.24 [Kcal/Kg]$

## (3) 交換熱量

風量  $W_{air} = 846.6 [m^3/min] (9.86 [m/S])$

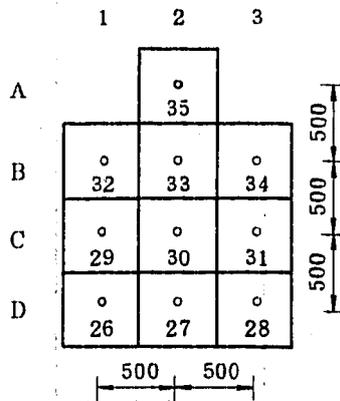
交換熱量  $Q_{air} = r_{ai} W_{air} (H_{ao} - H_{ai}) \times 60 / 860 \times 1000$   
 $= 1.194 \times 846.6 (42.02 - 10.24) \times 60 / 860 \times 1000$   
 $= 2.24 [Mwt]$

53年 5月 12日

原子炉出力 : 3.3 [%]  
(Ch<sup>3</sup>)

建家壁温度分布

	1	2	3
A		123.6	
		124.1	
		123.0	
平均		123.6	
B	133.8	136.0	126.0
	135.8	133.6	126.8
	131.3	132.4	124.7
平均	133.6	134	124.8
C	142.2	153.2	143.8
	142.8	155.1	144.3
	140.0	153.2	143.5
平均	141.7	153.8	143.9
D	143.2	124.8	135.1
	146.8	119.0	134.8
	141.4	114.8	134.8
平均	143.8	119.5	134.9



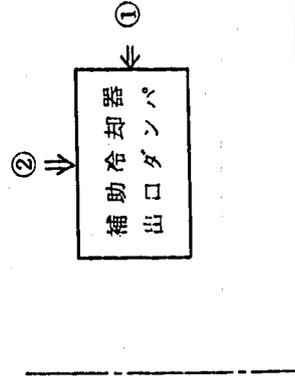
53年 5月 12日

補助冷却器出口空気温度分布記録

壁からの距離	79 (1)	183 (2)	413 (3)	688 (4)	963 (5)	1237	1512	1787	2062	2131
ポジション①	-	(1)93.3 (2)93.5 (3)93.6	-	-	-	-	-	-	-	-

壁からの距離	46 (1)	92 (2)	276 (3)	460 (4)	644 (5)	826 (6)	1010 (7)	1194 (8)	1378 (9)	1427 (10)
ポジション②	-	-	-	-	(1)169.2 (2)169.2 (3)169.0	-	-	-	-	-

A C 出口空気温度 TI 3.2.2-6	(1)	167 °C
	(2)	167 °C
	(3)	167 °C
A C 入口空気温度 TI 3.2.2-7	(1)	19 °C
	(2)	19 °C
	(3)	19 °C



53 年 5 月 12 日

原子炉出力： 3.3 %  
(Ch<sup>2</sup>)

ベーン、及ダンパ開度

	設定開度	現場開度
入口ベーン	%	(1) 72
		(2) 72 %
		(3) 73
入口ダンパ	%	(1) 97
		(2) 97 %
		(3) 97
出口ダンパ	%	(1) 100
		(2) 100 %
		(3) 100

ドラフト圧

測定場所	測定値
送風機入口	(1) 0 mmAq
	(2) 0
	(3) 0
送風機出口	(1) 67.9 mmAq
	(2) 67.0
	(3) 68.1

## 付録 2 補助中間熱交換器データシート

付表 1 ~ 付表 4 に本試験に関するデータシートを示す。

(本文 Fig 4-1 ~ Fig 4-3, Fig 5-1)

表一 1 P T-4 2 補助中間熱交換器データシート

試験番号	試験年月日	時刻	1	2	3	4	5	6	7	8
		時刻	14:15	14:30	14:45	18:00	15:15	15:30	15:45	16:00
		(MW)								
1	原子炉入口温度 (IH×1次出口)	T <sub>2</sub> (°C)	254.6	256.8	258.4	260.5	261.3	262.8	264.8	266.0
2	原子炉出口温度 (IH×1次入口)	T <sub>1</sub> (°C)	275.1	285.1	299.3	313.0	321.9	332.6	345.5	355.5
3	IH×2次入口温度	t <sub>1</sub> (°C)	249.7	249.3	249.8	249.8	249.7	250.2	250.2	250.2
4	IH×2次出口温度	t <sub>2</sub> (°C)	289.1	278.0	288.5	299.0	307.3	317.2	326.4	336.1
5	1次系流量 (at T <sub>2</sub> )	F <sub>P</sub> (m <sup>3</sup> /H)	64.14	64.04	64.46	65.15	64.41	65.08	66.17	66.22
6	2次系流量 (at T <sub>1</sub> )	F <sub>S</sub> (m <sup>3</sup> /H)	62.40	62.57	62.85	63.60	62.85	63.48	64.17	63.71
7	1次系流量	G <sub>P</sub> (t/H)	57.127	57.004	57.354	57.935	57.265	57.838	58.775	58.867
8	2次系流量	G <sub>S</sub> (t/H)	55.624	55.780	56.018	56.697	56.025	56.569	57.191	56.781
9	1次側エンタルピー (入口/出口)	i <sub>P</sub> (Kcal/Kg)	173.507/167.064	176.638/167.757	181.070/168.261	185.333/168.922	188.096/169.173	191.409/169.645	195.395/170.274	198.477/170.651
10	2次側エンタルピー (出口/入口)	i <sub>S</sub> (Kcal/Kg)	171.625/165.519	174.416/165.393	177.700/165.551	180.977/165.551	183.561/165.519	186.637/165.677	189.490/165.677	192.492/165.677
11	1次側除熱量 (G <sub>P</sub> (i <sub>P1</sub> -i <sub>P2</sub> ))	Q <sub>P</sub> (MW)	0.428	0.589	0.854	1.106	1.260	1.464	1.717	1.905
12	2次側除熱量 (G <sub>S</sub> (i <sub>S2</sub> -i <sub>S1</sub> ))	Q <sub>S</sub> (MW)	0.395	0.585	0.791	1.017	1.175	1.379	1.584	1.770
13	交換熱量比 (Q <sub>S</sub> /Q <sub>P</sub> )	R (%)	92.3	99.4	92.6	92.0	93.3	94.2	92.2	93.0
14	1次側バイパス流量率	α (%)	3%	(工認より)						
15	1次Na平均比熱	C <sub>PP</sub> (Kcal/kg°C)	0.314	0.314	0.313	0.313	0.312	0.312	0.311	0.311
16	G <sub>P</sub> (1-α)・C <sub>PP</sub>	(Kcal/°C)	1.740×10 <sup>4</sup>	1.736×10 <sup>4</sup>	1.741×10 <sup>4</sup>	1.759×10 <sup>4</sup>	1.733×10 <sup>4</sup>	1.750×10 <sup>4</sup>	1.773×10 <sup>4</sup>	1.776×10 <sup>4</sup>
17	Q <sub>P</sub> /(16) (Q <sub>P</sub> 基準として)	(°C)	21.2	29.2	42.2	54.1	62.5	71.9	83.3	92.3
18	1次管群出口温度 (T <sub>1</sub> -(17))	T <sub>2'</sub> (°C)	253.9	255.9	257.1	258.9	259.4	260.7	262.2	263.2
19	入口温度差 (T <sub>1</sub> -t <sub>2</sub> )	Δt <sub>1</sub> (°C)	6.0	7.1	10.8	14.0	14.6	15.4	19.1	19.4
20	出口温度差 (T <sub>2</sub> -t <sub>1</sub> )	Δt <sub>2</sub> (°C)	4.2 (4.9)	6.6 (7.5)	7.3 (8.6)	9.1 (10.7)	9.7 (11.6)	10.5 (12f)	12.0 (146)	13.0 (15.8)
21	対数平均温度差 (Δt <sub>1</sub> -Δt <sub>2</sub> /Ln(Δt <sub>1</sub> /Δt <sub>2</sub> ))	Δt <sub>m</sub> (°C)	5.05 (5.43)	6.85 (7.3)	8.94 (9.7)	11.37 (12.3)	11.98 (13.0)	12.79 (14c)	15.28 (16.7)	15.99 (17.5)
22	伝熱面積	A <sub>0</sub> (m <sup>2</sup> )	19.77	(工認より)						
23	熱貫流率 (Q <sub>P</sub> /A <sub>0</sub> ・Δt <sub>m</sub> )	K (Kcal/m <sup>2</sup> H°C)	3,686.8	3,740.4	4,155.4	4,231.4	4,575.2	4,979.2	888.1	5,182.5

PNC TN941 79-91

Q/Δt

表-2 PT-42 補助中間熱交換器データシート

試験番号	試験年月日	時刻	9	10	11	12	13	14	15
	原子炉出力	(MW)							
1	原子炉入口温度 (IHX1 次出口)	$T_2$ (°C)	266.7	266.9	266.8	267.3	267.4	267.0	267.2
2	原子炉出口温度 (IHX1 次入口)	$T_1$ (°C)	359.9	363.3	365.5	367.0	368.3	369.1	369.1
3	IHX 2 次入口温度	$t_1$ (°C)	250.7	250.4	250.7	250.5	250.0	249.8	249.8
4	IHX 2 次出口温度	$t_2$ (°C)	339.2	341.7	343.1	344.2	345.9	345.9	346.6
5	1 次系流量 (at $T_2$ )	$F_p$ (m <sup>3</sup> /H)	66.17	66.17	65.91	66.07	66.29	65.96	66.27
6	2 次系流量 (at $t_1$ )	$F_s$ (m <sup>3</sup> /H)	63.88	63.77	63.60	63.54	63.77	63.94	64.17
7	1 次系流量	$G_p$ (t/H)	58.746	58.742	58.513	58.647	58.841	58.554	58.826
8	2 次系流量	$G_s$ (t/H)	56.928	56.830	56.676	56.627	56.832	56.994	57.194
9	1 次側エンタルピ (入口/出口)	ip(kcal/kg)	199.831/170.871	200.877/170.934	201.553/170.902	202.014/171.059	202.414/171.091	202.659/170.965	202.659/171.028
10	2 次側エンタルピ (出口/入口)	is(kcal/kg)	193.450/165.834	194.222/165.740	194.654/165.834	194.994/165.771	195.518/165.614	195.518/165.551	195.734/165.551
11	1 次側除熱量 ( $G_p(ip_1 - ip_2)$ )	$Q_p$ (MW)	1.978	2.045	2.085	2.111	2.143	2.158	2.164
12	2 次側除熱量 ( $G_s(is_2 - is_1)$ )	$Q_s$ (MW)	1.828	1.882	1.899	1.924	1.976	1.986	2.007
13	交換熱量比 ( $Q_s/Q_p$ )	R ( % )	92.4	92.0	91.1	91.2	92.2	92.0	92.8
14	1 次側バイパス流量率	$\alpha$ ( % )	3 %						
15	1 次 Na 平均比熱	$C_{pp}$ (kcal/kg°C)	0.311	0.311	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310
16	$G_p(1-\alpha) \cdot C_{pp}$	(kcal/°C)	$1.772 \times 10^4$	$1.772 \times 10^4$	$1.759 \times 10^4$	$1.764 \times 10^4$	$1.769 \times 10^4$	$1.761 \times 10^4$	$1.769 \times 10^4$
17	$Q_p/(16)Q_p$ 基準として	(°C)	96.0	99.2	101.9	102.9	104.2	105.4	105.2
18	1 次管群出口温度 ( $T_1 - t_2$ )	$T_2$ (°C)	263.9	264.1	263.6	264.1	264.1	263.7	263.9
19	入口温度差 ( $T_1 - t_2$ )	$\Delta t_1$ (°C)	20.7	21.6	22.4	22.8	22.4	23.2	22.5
20	出口温度差 ( $T_2 - t_1$ )	$\Delta t_2$ (°C)	13.2(16.0)	13.7(16.5)	12.9(16.1)	13.6(16.8)	14.1(17.4)	13.9(17.2)	14.1(17.4)
21	対数平均温度差 ( $\Delta t_1 - \Delta t_2 / \ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$ )	$\Delta t_m$ (°C)	16.67(18.2)	17.35(18.9)	17.22(19.1)	17.81(19.6)	17.93(19.8)	18.15(20.1)	17.97(19.8)
22	伝熱面積	$A_o$ (m <sup>2</sup> )	19.77						
23	熱貫流率 ( $Q_p/A_o \cdot \Delta t_m$ )	K(kcal/m <sup>2</sup> H°C)	5161.6	5127.3	5267.0	5156.0	5199.2	5172.1	5238.4
		$Q/\Delta t$	93.5	93.1	93.9	92.6	93.1	92.3	94.0

表-3

		1	2	3	4	5	6	7	8	
24	1次側平均温度 (T <sub>1</sub> + T <sub>2</sub> /2)	T <sub>pm</sub> (°C)	264.5	270.5	278.2	286.0	290.7	296.7	303.9	309.1
25	物性値 比重	γ <sub>p</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	888.3	886.9	885.1	883.2	882.1	880.7	879.0	877.7
26	動粘性係数	ν <sub>p</sub> (m <sup>2</sup> /s)	0.1215×10 <sup>-6</sup>	0.1181×10 <sup>-6</sup>	0.1140×10 <sup>-6</sup>	0.1098×10 <sup>-6</sup>	0.1056×10 <sup>-6</sup>	0.1014×10 <sup>-6</sup>	0.0981×10 <sup>-6</sup>	0.0949×10 <sup>-6</sup>
27	プラントル数	Pr <sub>p</sub> (-)	0.6347×10 <sup>-2</sup>	0.6263×10 <sup>-2</sup>	0.6159×10 <sup>-2</sup>	0.6059×10 <sup>-2</sup>	0.6001×10 <sup>-2</sup>	0.5929×10 <sup>-2</sup>	0.5846×10 <sup>-2</sup>	0.5785×10 <sup>-2</sup>
28	熱伝導率	λ <sub>p</sub> (kcal/mH°C)	67.22	66.95	66.60	66.25	66.01	65.77	65.45	65.20
29	1次側流路断面積	a <sub>p</sub> (m <sup>2</sup> )	0.0519	(工認より) (0.456 <sup>2</sup> - 0.1652 <sup>2</sup> - 132 × 0.0159 <sup>2</sup> ) / 0.05189 = 0.0519						
30	1次側平均流量 (G <sub>p</sub> /γ <sub>p</sub> × (1-α))	F <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /H)	62.38	62.35	62.86	63.63	62.97	63.70	64.86	65.05
31	平均流速 (F <sub>p</sub> /a <sub>p</sub> × 3600)	V <sub>p</sub> (m/s)	0.334	0.334	0.336	0.341	0.337	0.341	0.347	0.348
32	水力等価直径	D <sub>p</sub> (m)	0.0315	(工認より) D <sub>p</sub> = 4AF/P = 4 × 0.0519 / (π × 132 × 0.0159) = 0.0315						
33	レイノルズ数 (D <sub>p</sub> · V <sub>p</sub> / ν <sub>p</sub> )	Re <sub>p</sub> (-)	2.4775×10 <sup>4</sup>	2.512×10 <sup>4</sup>	2.578×10 <sup>4</sup>	2.657×10 <sup>4</sup>	2.657×10 <sup>4</sup>	2.723×10 <sup>4</sup>	2.815×10 <sup>4</sup>	2.856×10 <sup>4</sup>
34	ペクレ数 (Re <sub>p</sub> · Pr <sub>p</sub> )	Pe <sub>p</sub> (-)	157.2	157.3	158.8	161.0	159.4	161.5	164.6	165.2
35	ヌセルト数 (0.625Pe <sub>p</sub> <sup>0.4</sup> )	Nu <sub>p</sub> (-)	4.726	4.727	4.745	4.771	4.752	4.776	4.813	4.821
36	熱伝達率 (λ <sub>p</sub> · Nu <sub>p</sub> / D <sub>p</sub> )	h <sub>p</sub> (kcal/mH°C)	1.009×10 <sup>4</sup>	1.005×10 <sup>4</sup>	1.003×10 <sup>4</sup>	1.003×10 <sup>4</sup>	0.996×10 <sup>4</sup>	0.997×10 <sup>4</sup>	1.000×10 <sup>4</sup>	0.998×10 <sup>4</sup>
37	管群部流速分布修正係数	β (-)	-	-	-	-	-	-	-	-
38	1次側修正熱伝達率 (β · h <sub>p</sub> )	h <sub>β</sub> (kcal/mH°C)	-	-	-	-	-	-	-	-
39										
40	2次側平均温度 (t <sub>1</sub> + t <sub>2</sub> /2)	t <sub>sm</sub> (°C)	259.4	263.7	269.2	274.4	278.5	283.7	288.3	293.2
41	物性値 比重	γ <sub>s</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	889.5	888.5	887.2	886.0	885.0	883.8	882.7	881.5
42	動粘性係数	ν <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> /s)	0.4297×10 <sup>-6</sup>	0.4253×10 <sup>-6</sup>	0.4197×10 <sup>-6</sup>	0.4146×10 <sup>-6</sup>	0.4107×10 <sup>-6</sup>	0.4059×10 <sup>-6</sup>	0.4017×10 <sup>-6</sup>	0.3974×10 <sup>-6</sup>
43	プラントル数	Pr <sub>s</sub> (-)	0.6121×10 <sup>-2</sup>	0.6359×10 <sup>-2</sup>	0.6281×10 <sup>-2</sup>	0.6210×10 <sup>-2</sup>	0.6155×10 <sup>-2</sup>	0.6088×10 <sup>-2</sup>	0.6030×10 <sup>-2</sup>	0.5971×10 <sup>-2</sup>
44	熱伝導率	λ <sub>s</sub> (kcal/mH°C)	67.45	67.26	67.01	66.77	66.59	66.35	66.15	65.93
45	2次側流路断面積	a <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	n · π/4 · d <sub>i</sub> <sup>2</sup> = 132 × π/4 × (15.9 - 2 × 1.1) <sup>2</sup> × 10 <sup>-6</sup> = 0.0195 (m <sup>2</sup> )							
46	2次側平均流量 (G <sub>s</sub> /γ <sub>s</sub> )	F <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /H)	62.53	62.78	63.14	63.99	63.31	64.01	64.79	64.41
47	平均流速 (F <sub>s</sub> /a <sub>s</sub> × 3600)	V <sub>s</sub> (m/s)	0.891	0.894	0.899	0.912	0.902	0.912	0.923	0.918
48	管内径	D <sub>si</sub> (m)	0.0137							
49	レイノルズ数 (D <sub>s</sub> · V <sub>s</sub> / ν <sub>s</sub> )	Re <sub>s</sub> (-)	2.840×10 <sup>4</sup>	2.881×10 <sup>4</sup>	2.935×10 <sup>4</sup>	3.012×10 <sup>4</sup>	3.008×10 <sup>4</sup>	3.077×10 <sup>4</sup>	3.148×10 <sup>4</sup>	3.153×10 <sup>4</sup>
50	ペクレ数 (Re <sub>s</sub> · Pr <sub>s</sub> )	Pe <sub>s</sub> (-)	182.4	183.2	184.4	187.1	185.2	187.4	189.8	188.9
51	ヌセルト数 (0.625Pe <sub>s</sub> <sup>0.4</sup> )	Nu <sub>s</sub> (-)	5.015	5.024	5.037	5.066	5.045	5.069	5.096	5.086
52	熱伝達率 (λ <sub>s</sub> · Nus / D <sub>s</sub> )	h <sub>s</sub> (kcal/mH°C)	2.469×10 <sup>4</sup>	2.466×10 <sup>4</sup>	2.464×10 <sup>4</sup>	2.469×10 <sup>4</sup>	2.452×10 <sup>4</sup>	2.455×10 <sup>4</sup>	2.460×10 <sup>4</sup>	2.447×10 <sup>4</sup>
53	管内外直径比 (D <sub>si</sub> / D <sub>so</sub> )	r <sub>i</sub> (-)	0.8616							
54	熱伝達率 (管外基準) (h <sub>s</sub> · r <sub>i</sub> )	h <sub>s</sub> (kcal/mH°C)	2.127×10 <sup>4</sup>	2.125×10 <sup>4</sup>	2.123×10 <sup>4</sup>	2.127×10 <sup>4</sup>	2.113×10 <sup>4</sup>	2.115×10 <sup>4</sup>	2.120×10 <sup>4</sup>	2.109×10 <sup>4</sup>
55										
56	管平均温度 (T <sub>pm</sub> + t <sub>sm</sub> /2)	T <sub>w</sub> (°C)	262.0	267.1	273.7	280.2	284.6	290.2	296.1	301.3
57	管熱伝達率	λ <sub>w</sub> (kcal/mH°C)	16.15	16.2	16.25	16.35	16.4	16.45	16.55	16.6
58	管熱抵抗 (D <sub>so</sub> · ln(D <sub>so</sub> / D <sub>si</sub> ) / 2 · λ <sub>w</sub> )	R <sub>w</sub> (mH°C/kcal)	7.331×10 <sup>-5</sup>	7.309×10 <sup>-5</sup>	7.286×10 <sup>-5</sup>	7.242×10 <sup>-5</sup>	7.220×10 <sup>-5</sup>	7.198×10 <sup>-5</sup>	7.151×10 <sup>-5</sup>	7.133×10 <sup>-5</sup>
59			D <sub>so</sub> · ln(D <sub>so</sub> / D <sub>si</sub> ) / 2 = 1.184 × 10 <sup>-2</sup> (m)							
60	汚れ係数	R <sub>f</sub> (mH°C/kcal)	4 × 10 <sup>-5</sup>	(工認より)						
61	1次側熱抵抗 (1/h <sub>β</sub> )	R <sub>p</sub> (mH°C/kcal)	9.911×10 <sup>-5</sup>	9.950×10 <sup>-5</sup>	9.970×10 <sup>-5</sup>	9.970×10 <sup>-5</sup>	10.040×10 <sup>-5</sup>	10.030×10 <sup>-5</sup>	10.000×10 <sup>-5</sup>	10.020×10 <sup>-5</sup>
62	2次側熱抵抗 (1/h <sub>s</sub> )	R <sub>s</sub> (mH°C/kcal)	4.701×10 <sup>-5</sup>	4.706×10 <sup>-5</sup>	4.701×10 <sup>-5</sup>	4.702×10 <sup>-5</sup>	4.733×10 <sup>-5</sup>	4.728×10 <sup>-5</sup>	4.717×10 <sup>-5</sup>	4.742×10 <sup>-5</sup>
63										
64	総熱抵抗 (R <sub>w</sub> + R <sub>f</sub> + R <sub>p</sub> + R <sub>s</sub> )	RT (mH°C/kcal)	2.231×10 <sup>-4</sup>	2.237×10 <sup>-4</sup>	2.237×10 <sup>-4</sup>	2.231×10 <sup>-4</sup>	2.239×10 <sup>-4</sup>	2.236×10 <sup>-4</sup>	2.237×10 <sup>-4</sup>	2.230×10 <sup>-4</sup>
65	熱貫流率 (計算値) (1/RT)	Kc (kcal/mH°C)	4.475.7	4.471.3	4.471.1	4.481.5	4.465.7	4.473.1	4.490.1	4.485.3
66										
67	熱貫流率比 (実験値/計算値)	K/Kc (-)	0.824	0.837	0.929	0.944	1.025	1.115	1.089	1.155

表-4

		9	10	11	12	13	14	15	
24	1次側平均温度 ( $F_1 + F_2 / 2$ )	$T_{1m}$ (°C)	311.9	313.7	314.6	315.6	316.2	316.4	316.5
25	物性値比 重	$\gamma_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	877.1	876.7	876.5	876.2	876.1	876.0	876.0
26	# 動粘性係数	$\nu_p$ (m <sup>2</sup> /S)	$0.3820 \times 10^{-6}$	$0.9806 \times 10^{-6}$	$0.3799 \times 10^{-6}$	$0.3791 \times 10^{-6}$	$0.3786 \times 10^{-6}$	$0.3785 \times 10^{-6}$	$0.3784 \times 10^{-6}$
27	# プラントル数	$Pr_p$ (-)	$0.5758 \times 10^{-2}$	$0.5739 \times 10^{-2}$	$0.5729 \times 10^{-2}$	$0.5719 \times 10^{-2}$	$0.5712 \times 10^{-2}$	$0.5710 \times 10^{-2}$	$0.5709 \times 10^{-2}$
28	# 熱伝導率	$\lambda_p$ (kcal/mHC)	65.09	65.01	64.97	64.93	64.90	64.89	64.89
29	1次側流路断面積	$a_1$ (m <sup>2</sup> )	0.0519						
30	1次側平均流量 ( $G_1 / a_1 (1-\alpha)$ )	$F_1'$ (m <sup>3</sup> /H)	64.97	64.99	64.75	64.93	65.15	64.84	65.14
31	平均流速 ( $F_1' / a_1 \cdot 3600$ )	$V_1$ (m/S)	0.348	0.348	0.347	0.347	0.349	0.347	0.349
32	水力等価直径	$D_1$ (m)	0.0316						
33	レイノルズ数 ( $D_1 \cdot V_1 / \nu_p$ )	$Re_1$ (-)	$2.867 \times 10^4$	$2.879 \times 10^4$	$2.874 \times 10^4$	$2.887 \times 10^4$	$2.901 \times 10^4$	$2.888 \times 10^4$	$2.902 \times 10^4$
34	ベクレ数 ( $Re_1 \cdot Pr_p$ )	$Re_1 Pr_p$ (-)	165.1	165.2	164.6	165.1	165.7	164.9	165.7
35	ヌセルト数 ( $0.625 Pr_p^{0.4}$ )	$Nu_1$ (-)	4.819	4.821	4.814	4.820	4.826	4.817	4.826
36	熱伝達率 ( $\lambda_p \cdot Nu_1 / D_1$ )	hp (kcal/m <sup>2</sup> HC)	$0.996 \times 10^4$	$0.995 \times 10^4$	$0.992 \times 10^4$	$0.993 \times 10^4$	$0.994 \times 10^4$	$0.992 \times 10^4$	$0.994 \times 10^4$
37	管群部流速分布修正係数	$\beta$ (-)							
38	1次側修正熱伝達率 ( $\beta \cdot hp$ )	hp' (kcal/m <sup>2</sup> HC)							
39									
40	2次側平均温度 ( $t_1 + t_2 / 2$ )	$t_{2m}$ (°C)	295.0	296.1	296.9	297.4	298.0	297.9	298.2
41	物性値比 重	$\gamma_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	881.1	880.8	880.7	880.5	880.4	880.4	880.3
42	# 動粘性係数	$\nu_p$ (m <sup>2</sup> /S)	$0.3959 \times 10^{-6}$	$0.3949 \times 10^{-6}$	$0.3942 \times 10^{-6}$	$0.3938 \times 10^{-6}$	$0.3933 \times 10^{-6}$	$0.3931 \times 10^{-6}$	$0.3931 \times 10^{-6}$
43	# プラントル数	$Pr_p$ (-)	$0.5949 \times 10^{-2}$	$0.5937 \times 10^{-2}$	$0.5930 \times 10^{-2}$	$0.5923 \times 10^{-2}$	$0.5914 \times 10^{-2}$	$0.5915 \times 10^{-2}$	$0.5912 \times 10^{-2}$
44	# 熱伝導率	$\lambda_p$ (kcal/mHC)	65.85	65.80	65.76	65.74	65.71	65.72	65.70
45	2次側流路断面積	$a_2$ (m <sup>2</sup> )	0.0195						
46	2次側平均流量 ( $G_2 / a_2$ )	$F_2'$ (m <sup>3</sup> /H)	64.61	64.52	64.35	64.31	64.55	64.74	64.97
47	平均流速 ( $F_2' / a_2 \cdot 3600$ )	$V_2$ (m/S)	0.920	0.919	0.917	0.916	0.920	0.922	0.925
48	管内径	$D_{2i}$ (m)	0.0137						
49	レイノルズ数 ( $D_{2i} \cdot V_2 / \nu_p$ )	$Re_{2i}$ (-)	$3.185 \times 10^4$	$3.189 \times 10^4$	$3.186 \times 10^4$	$3.187 \times 10^4$	$3.203 \times 10^4$	$3.211 \times 10^4$	$3.226 \times 10^4$
50	ベクレ数 ( $Re_{2i} \cdot Pr_p$ )	$Re_{2i} Pr_p$ (-)	189.5	189.3	188.9	188.8	189.4	190.0	190.7
51	ヌセルト数 ( $0.625 Pr_p^{0.4}$ )	$Nu_{2i}$ (-)	5.092	5.090	5.086	5.085	5.092	5.097	5.105
52	熱伝達率 ( $\lambda_p \cdot Nu_{2i} / D_{2i}$ )	$h_i$ (kcal/m <sup>2</sup> HC)	$2.448 \times 10^4$	$2.445 \times 10^4$	$2.441 \times 10^4$	$2.440 \times 10^4$	$2.442 \times 10^4$	$2.445 \times 10^4$	$2.448 \times 10^4$
53	管内外直径比 ( $D_{2o} / D_{2i}$ )	$r_1$ (-)	0.8616						
54	熱伝達率(管外基準) ( $h_i \cdot r_1$ )	$h_i'$ (kcal/m <sup>2</sup> HC)	$2.109 \times 10^4$	$2.106 \times 10^4$	$2.104 \times 10^4$	$2.102 \times 10^4$	$2.101 \times 10^4$	$2.107 \times 10^4$	$2.109 \times 10^4$
55									
56	管平均温度 ( $T_{1m} + t_{2m} / 2$ )	$T_m$ (°C)	303.5	304.9	305.8	306.5	307.1	307.2	307.4
57	管熱伝導率	$\lambda_w$ (kcal/mHC)	16.6	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65
58	管熱抵抗 ( $\frac{D_{2o} \cdot L_w (D_{2o} / D_{2i})}{2 \cdot \lambda_w}$ )	$R_w$ (m <sup>2</sup> HC/kcal)	$7.133 \times 10^{-5}$	$7.111 \times 10^{-5}$					
59		$D_{2o} \cdot L_w (D_{2o} / D_{2i}) / 2 = 1.184 \times 10^{-3}$ (m)							
60	汚れ係数	$R_f$ (mHC/kcal)	$4 \times 10^{-8}$						
61	1次側熱抵抗 ( $1 / hp'$ )	$R_1$ (mHC/kcal)	$10.04 \times 10^{-5}$	$10.050 \times 10^{-5}$	$10.070 \times 10^{-5}$	$10.070 \times 10^{-5}$	$10.060 \times 10^{-5}$	$10.081 \times 10^{-5}$	$10.060 \times 10^{-5}$
62	2次側熱抵抗 ( $1 / h_i'$ )	$R_2$ (mHC/kcal)	$4.742 \times 10^{-5}$	$4.748 \times 10^{-5}$	$4.753 \times 10^{-5}$	$4.757 \times 10^{-5}$	$4.753 \times 10^{-5}$	$4.746 \times 10^{-5}$	$4.742 \times 10^{-5}$
63									
64	総熱抵抗 ( $R_w + R_f + R_1 + R_2$ )	$R_t$ (mHC/kcal)	$2.232 \times 10^{-4}$	$2.231 \times 10^{-4}$	$2.233 \times 10^{-4}$	$2.234 \times 10^{-4}$	$2.232 \times 10^{-4}$	$2.234 \times 10^{-4}$	$2.231 \times 10^{-4}$
65	熱貫流率(計算値) ( $1 / RT$ )	$K_c$ (kcal/mHC)	4481.3	4482.5	4477.5	4476.7	4479.5	4476.7	4481.7
66									
67	熱貫流率比(実験値/計算値)	$K / K_c$ (-)	1.152	1.144	1.176	1.152	1.161	1.155	1.169

### 付録3 補助空気冷却器データシート

表1, 表2に本試験に関するデータシートを示す。

(本文 Fig 4-4, Fig 5-2, Fig 5-3, Fig 5-4)

表-1 PT-4?補助系除熱試験補助空気冷却器データシート

試験番号		1	2	3	4	5	6	7	8
試験年月日		14:25	14:30	14:40	14:50	15:00	15:10	15:20	15:30
原子炉出力	(MW)								
1	ナトリウム入口温度 $T_1$ (°C)	276.8	278.5	285.4	292.9	300.0	305.3	311.0	317.8
2	ナトリウム出口温度 $T_2$ (°C)	256.4	251.1	251.4	251.9	251.2	251.8	251.9	252.6
3	ナトリウム流量 $F_{Na}$ (m³/H)	62.68	62.57	62.68	62.91	63.60	63.03	63.20	63.48
4	入口エンタルピ $i_1$ (kcal/kg)	174.040	174.572	176.731	179.074	181.289	182.939	184.712	186.824
5	出口エンタルピ $i_2$ (kcal/kg)	167.631	165.961	166.055	166.213	165.992	166.181	166.213	166.431
6	質量流量 $G_{Na}$ (kg/h)	$5.589 \times 10^4$	$5.578 \times 10^4$	$5.587 \times 10^4$	$5.608 \times 10^4$	$5.669 \times 10^4$	$5.618 \times 10^4$	$5.632 \times 10^4$	$5.656 \times 10^4$
7	ナトリウム側除熱量 $Q_{Na}$ (kcal/H)								
	$GNa(i_1-i_2)$ (MW)	0.415	0.558	0.693	0.836	1.008	1.094	1.211	1.341
8	空気入口温度 $t_1$ (°C)	21.0	21.1	20.5	21.2	20.4	19.9	19.4	19.4
9	空気出口温度 $t_2$ (°C)	208.5	197.8	192.8	183.5	177.8	174.3	170.0	166.4
10	出口平均風速 (at $t_2$ ) $V_a$ (m/s)								
11	入出口風量 ( $9 \cdot V_a \cdot 60$ ) $F'_a$ (m³/MIN)	(98.3)	(174.3)	(202.3)	(273.5)	(351.7)	(390.3)	(463.8)	(508.0)
12	大気圧 $PA$ (mmHg)	755							
13	空気比重 (at $t_2$ ) $\gamma_{a2}$ (kg/m³)	1.193	1.192	1.195	1.192	1.195	1.197	1.199	1.199
14	" (at 30°C) $\gamma_{a1}$ (kg/m³)	1.165							
15	空気質量流量 ( $9 \cdot V_a \cdot \gamma_{a1} \cdot 3600$ ) $G_a$ (kg/H)	$7.036 \times 10^3$	$1.247 \times 10^4$	$1.450 \times 10^4$	$1.956 \times 10^4$	$2.522 \times 10^4$	$2.803 \times 10^4$	$3.337 \times 10^4$	$3.655 \times 10^4$
16	空気体積流量 ( $G_a/\gamma_{a1} \cdot 60$ ) $F_a$ (m³/MIN)	100.7	178.3	207.5	279.8	360.8	401.0	477.3	522.6
17	空気平均温度 ( $t_1+t_2/2$ ) $\bar{t}$ (°C)	114.8	109.5	106.7	102.4	99.1	97.1	94.7	92.9
18	空気比熱 (at $\bar{t}$ ) $C_{pa}$ (kcal/kg°C)	0.2424	0.2422	0.2422	0.2421	0.2420	0.2419	0.2418	0.2418
19	空気側受熱量 $Q_a$ (kcal/H)	$3.198 \times 10^5$	$5.337 \times 10^5$	$6.051 \times 10^5$	$7.686 \times 10^5$	$9.606 \times 10^5$	$1.047 \times 10^6$	$1.215 \times 10^6$	$1.299 \times 10^6$
	$G_a \cdot C_{pa} \cdot (t_2 - t_1)$ (MW)	0.372	0.621	0.704	0.894	1.117	1.217	1.413	1.511
20	熱交換比 ( $Q_a/Q_{Na}$ )	0.90	1.11	1.02	1.07	1.11	1.11	1.17	1.13
21	入口温度差 ( $T_1 - t_2$ ) $\Delta t_1$ (°C)	68.5	89.7	92.6	109.4	122.2	131.0	141.0	151.4
22	出口温度差 ( $T_2 - t_1$ ) $\Delta t_2$ (°C)	235.4	230.0	230.9	230.7	230.8	231.9	232.5	233.2
23	対数平均温度差 ( $\frac{(T_1-t_2)-(T_2-t_1)}{\ln(T_1-t_2)/(T_2-t_1)}$ ) $\Delta t_m$ (°C)	135.0	142.6	151.4	162.6	170.8	176.7	183.0	189.4
24	$R = t_2 - t_1 / T_1 - T_2$ (—)	9.19	6.45	5.07	3.96	3.23	2.89	2.55	2.25
25	$S = T_1 - T_2 / T_1 - t_1$ (—)	0.080	0.106	0.128	0.151	0.175	0.187	0.203	0.218
26	修正係数 ( $F^{-1/4}$ ) $F$ (—)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
27	修正対数平均温度差 $F \cdot \Delta t_m$ (°C)	135.0	142.6	151.4	162.6	170.8	176.7	183.0	189.4
28	伝熱面積 $A$ (m²)	203	(工認値)		210 (図面上)				
29	熱貫流率 (工認ベース) $U$ (kcal/㎡HC)	13.02	16.58	19.39	21.83	25.00	26.23	28.03	30.00
	(図面ベース)	(12.59)	(16.02)	(18.75)	(21.11)	(24.17)	(25.35)	27.10	(29.00)
	(空気側参考データ)								
30	インレットベーン開度 $\theta$ (°)		11 (ダン)開度	18 (48)	22 (97)	27	36	33	38
31	送風機吐出圧 $P_0$ (mmAq)		10.0	6.9	10.5	14.5	18.0	21.7	26.0
32	冷却器出入口静圧差 $\Delta P_e$ (mmAq)								
33	入口空気相対湿度 $H$ (%)								
40	総熱抵抗 ( $1/u$ ) $m^2 HC/kcal$	$7.680 \times 10^{-2}$	$6.031 \times 10^{-2}$	$5.157 \times 10^{-2}$	$4.581 \times 10^{-2}$	$4.000 \times 10^{-2}$	$3.612 \times 10^{-2}$	$3.648 \times 10^{-2}$	$3.333 \times 10^{-2}$
41	Na & 管壁抵抗 $N_a = 9.970 \times 10^{-4}$ 管壁 = $0.781 \times 10^{-3}$ TOTAL = $1.778 \times 10^{-3}$								
42	空気側抵抗 ( $r-r_w$ ) $m^2 HC/kcal$	$7.502 \times 10^{-2}$	$5.853 \times 10^{-2}$	$4.979 \times 10^{-2}$	$4.403 \times 10^{-2}$	$3.822 \times 10^{-2}$	$3.634 \times 10^{-2}$	$3.350 \times 10^{-2}$	$3.155 \times 10^{-2}$
43	管外熱伝達率 $h_o$ (kcal/㎡HC)	13.33 (12.88)	17.08 (16.49)	20.08 (19.40)	22.71 (21.93)	26.16 (25.26)	27.52 (26.55)	29.50 (28.47)	31.69 (30.58)
44	バランス空気流量 $G'_a$ (kg/H)	$7.853 \times 10^3$	$1.121 \times 10^4$	$1.428 \times 10^4$	$1.834 \times 10^4$	$2.276 \times 10^4$	$2.519 \times 10^4$	$2.860 \times 10^4$	$3.245 \times 10^4$
45	バランス空気風速 (at 30°C) (m³/m)	112.3	160.4	204.3	262.4	325.6	360.4	409.2	464.2
46	前面風速 (AF=3.391m²) (m/s)	0.552	0.788	1.004	1.290	1.600	1.771	2.011	2.282

主冷却器相当流量  $G'_a \times (6.184/1.521)$  ( $3.193 \times 10^4$ ) ( $4.558 \times 10^4$ ) ( $5.806 \times 10^4$ ) ( $7.457 \times 10^4$ ) ( $9.254 \times 10^4$ ) ( $1.024 \times 10^5$ ) ( $1.163 \times 10^5$ ) ( $1.319 \times 10^5$ )

表-2 P T-42 補助系除熱試験 補助空気冷却器データシート

試験番号		9	10	11	12	13	14	
試験年月日		15:40	15:50	16:00	16:15	16:25	16:45	
原子炉出力	(MW)							
1. ナトリウム入口温度	$T_1$ (°C)	324.7	330.6	337.3	344.8	346.6	347.6	
2. ナトリウム出口温度	$T_2$ (°C)	251.8	252.1	252.1	252.6	252.6	251.9	
3. ナトリウム流量	$GNa$ (kg/H)	64.0	63.77	63.71	63.60	64.00	64.17	
4. 入口エンタルピ	$i_1$ (Kcal/kg)	188.963	190.791	192.863	195.179	195.734	196.043	
5. 出口エンタルピ	$i_2$ (Kcal/kg)	166.181	166.276	166.276	166.434	166.434	166.213	
6. 質量流量	$GNa$ (kg/H)	$5.704 \times 10^4$	$5.683 \times 10^4$	$5.678 \times 10^4$	$5.668 \times 10^4$	$5.703 \times 10^4$	$5.719 \times 10^4$	
7. ナトリウム側除熱量	$QNa$ (Kcal/H)							
	$GNa(i_1 - i_2)$	(MW)	1.511	1.620	1.755	1.894	1.943	1.984
8. 空気入口温度	$t_1$ (°C)	19.2	19.3	19.7	19.4	19.4	19.9	
9. 空気出口温度	$t_2$ (°C)	162.4	159.1	156.4	152.4	150.5	148.9	
10. 出口平均風速 ( $a \cdot t_2$ )	$Va$ (m/S)							
11. 出口風量 ( $9 \cdot Va \cdot 60$ )	$F_a$ (m <sup>3</sup> /MIN)	(626.9)	(672.0)	(782.8)	819.0	928.3	947.6	
12. 大気圧	$PA$ (mmHg)	755						
13. 空気比重量 ( $a \cdot t_2$ )	$Ta_2$ (kg/m <sup>3</sup> )	1.200	1.200	1.198	1.199	1.199	1.197	
14. ( $a \cdot t_{30}$ )	$Ta_1$ (kg/m <sup>3</sup> )	1.165						
15. 空気質量流量 ( $9 \cdot Va \cdot Ta_2 \cdot 3600$ )	$G_a$ (kg/H)	$4.514 \times 10^4$	$4.938 \times 10^4$	$5.627 \times 10^4$	$5.892 \times 10^4$	$5.959 \times 10^4$	$6.067 \times 10^4$	
16. 空気体積流量 ( $G_a / Ta_1 \cdot 60$ )	$F_a$ (m <sup>3</sup> /MIN)	645.7	692.2	805.0	842.9	852.5	870.9	
17. 空気平均温度 ( $(t_1 + t_2) / 2$ )	$\bar{t}$ (°C)	90.8	89.2	88.1	85.9	85.0	84.4	
18. 空気比熱 ( $a \cdot \bar{t}$ )	$Cpa$ (Kcal/kg°C)	0.2417	0.2417	0.2417	0.2416	0.2416	0.2416	
19. 空気側受熱量	$Q_a$ (Kcal/H)	$1.562 \times 10^6$	$1.635 \times 10^6$	$1.859 \times 10^6$	$1.893 \times 10^6$	$1.887 \times 10^6$	$1.897 \times 10^6$	
	$G_a \cdot Cpa \cdot (t_2 - t_1)$	(MW)	1.817	1.901	2.162	2.201	2.195	2.206
20. 熱交換比 ( $Q_a / QNa$ )	(%)	1.20	1.17	1.23	1.16	1.13	1.11	
21. 入口温度差 ( $T_1 - t_2$ )	$\Delta t_1$ (°C)	162.3	171.5	180.9	192.4	196.1	198.7	
22. 出口温度差 ( $T_2 - t_1$ )	$\Delta t_2$ (°C)	232.6	232.8	232.4	233.2	233.2	232.0	
23. 対数平均温度差 ( $(\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln \Delta t_1 / \Delta t_2$ )	$\Delta t'_m$ (°C)	195.3	200.6	205.6	212.1	214.1	214.9	
24. $R = t_2 - t_1 / T_1 - T_2$	(-)	1.96	1.781	1.60	1.44	1.39	1.35	
25. $S = T_1 - T_2 / T_1 - t_1$	(-)	0.239	0.252	0.268	0.283	0.287	0.292	
26. 修正係数	$F$ (-)	(0.990) 1.0	(0.990) 1.0	(0.990) 1.0	(0.990) 1.0	(0.990) 1.0	(0.990) 1.0	
27. 修正対数平均温度差 $F \cdot \Delta t'_m$	$\Delta t_m$ (°C)	195.3	200.6	205.6	212.1	214.1	214.9	
28. 伝熱面積	$A'$ (m <sup>2</sup> )	203		(210)				
29. 熱貫流率 ( $QNa / A' \cdot \Delta t_m$ )	$U$ (Kcal/m <sup>2</sup> H°C)	32.78	34.21	36.16	37.83	38.45	39.11	
		(31.68)	(33.07)	(34.96)	(36.57)	(37.17)	(37.81)	
( 空気側参考データ )								
30. インレットベーン開度	$\theta$ (°)	43	50		57	71	73	
31. 送風機吐出圧	$P_0$ (mmAq)	35.7	43.9		62.0	66.9	68.1	
32. 冷却器出入口静圧差	$\Delta P_e$ (mmAq)							
33. 入口空気相対湿度	$H$ (%)							
40. 総熱抵抗 ( $1/U$ )	m <sup>2</sup> H°C/Kcal	$3.051 \times 10^2$	$2.923 \times 10^2$	$2.765 \times 10^2$	$2.643 \times 10^2$	$2.601 \times 10^2$	$2.557 \times 10^2$	
41. Na & 管壁抵抗	*	$1.778 \times 10^3$						
42. 空気側抵抗 ( $r_t - r_w$ )	*	$2.873 \times 10^{-2}$	$2.745 \times 10^{-2}$	$2.588 \times 10^{-2}$	$2.466 \times 10^{-2}$	$2.423 \times 10^{-2}$	$2.379 \times 10^{-2}$	
43. 管外熱伝達率 $h_o$	Kcal/m <sup>2</sup> H°C	34.81	36.43	38.64	40.56	41.27	42.03	
		(33.57)	(35.14)	(37.28)	(39.11)	(39.80)	(40.54)	
44. バランス空気流量	(kg/H)	$3.754 \times 10^4$	$4.123 \times 10^4$	$4.568 \times 10^4$	$5.069 \times 10^4$	$5.276 \times 10^4$	$5.475 \times 10^4$	
45. 風量 ( $a \cdot t_{30}$ )	(m <sup>3</sup> /min)	537.1	589.8	653.5	725.2	754.7	783.2	
46. 前面風速	(m/s)	2.640	2.899	3.212	3.564	3.709	3.849	

( $1.526 \times 10^5$ ) ( $1.676 \times 10^5$ ) ( $1.857 \times 10^5$ ) ( $2.061 \times 10^5$ ) ( $2.145 \times 10^5$ ) ( $2.226 \times 10^5$ )

表-3 試験時温度条件における計算値(1/2)

		1	2	3	4	5	6	7	8	
40	ナトリウム側平均温度( $T_1+T_2/2$ )	TNa(°C)	266.6	264.8	268.4	272.4	275.6	278.6	281.5	285.2
41	(物性値) 比重	$\rho_{Na}$	867.82	868.25	867.40	866.45	865.69	864.98	864.30	863.42
42	" 動粘性係数	$\nu_{Na}(m^2/s)$	$0.4223 \times 10^{-6}$	$0.4242 \times 10^{-6}$	$0.4205 \times 10^{-6}$	$0.4166 \times 10^{-6}$	$0.4135 \times 10^{-6}$	$0.4106 \times 10^{-6}$	$0.4079 \times 10^{-6}$	$0.4045 \times 10^{-6}$
43	" プラントル数	PrNa(-)	$0.6317 \times 10^{-3}$	$0.6343 \times 10^{-3}$	$0.6292 \times 10^{-3}$	$0.6237 \times 10^{-3}$	$0.6194 \times 10^{-3}$	$0.6154 \times 10^{-3}$	$0.6116 \times 10^{-3}$	$0.6069 \times 10^{-3}$
44	" 熱伝導率	$\lambda_{Na}(kcal/m^2H^{\circ}C)$	67.125	67.206	67.043	66.862	66.718	66.583	66.452	66.286
45	ナトリウム側平均流量( $G_{Na}/\rho_{Na}$ )	$F'_{Na}(m^3/H)$	62.95	62.80	62.96	63.26	64.01	63.48	63.69	64.05
46	流路断面積	$a_{Na}(m^2)$	$\frac{\pi}{4} (38.7 \times 10^{-3})^2 \times 15 = 0.01764$							
47	平均流量( $F'_{Na}/a_{Na} \cdot 3600$ )	$v_{Na}(m/s)$	0.991	1.011	0.991	0.996	1.008	1.000	1.003	1.009
48	伝熱管内径	$D_{Na}(m)$	$38.7 \times 10^{-3}$							
49	レイノルズ数( $D_{Na} \cdot v_{Na} / \nu_{Na}$ )	ReNa(-)	$9.084 \times 10^4$	$9.226 \times 10^4$	$9.124 \times 10^4$	$9.254 \times 10^4$	$9.433 \times 10^4$	$9.422 \times 10^4$	$9.515 \times 10^4$	$9.649 \times 10^4$
50	ペクレ数( $Re_{Na} \cdot \nu_{Na}$ )	PeNa(-)	573.9	585.2	571.1	577.2	584.3	579.8	582.0	585.6
51	ヌセルト数( $0.625 Pe_{Na}^{0.4}$ )	NuNa(-)	7.932	7.995	7.934	7.951	7.990	7.965	7.977	7.997
52	熱伝達率( $\lambda_{Na} \cdot Nu_{Na} / D_{Na}$ )	$h_i(kcal/m^2H^{\circ}C)$	$1.376 \times 10^4$	$1.388 \times 10^4$	$1.374 \times 10^4$	$1.374 \times 10^4$	$1.377 \times 10^4$	$1.370 \times 10^4$	$1.370 \times 10^4$	$1.370 \times 10^4$
53										
54	空気側平均温度( $t_1 + t_2 / 2$ )	ta(°C)	114.8	109.5	105.7	102.4	99.1	97.1	94.7	92.9
55	(物性値) 比重	$\rho_a(kg/m^3)$	0.910	0.923	0.930	0.941	0.949	0.954	0.960	0.965
56	" 比熱	$C_{pa}(kcal/kg^{\circ}C)$	0.2424	0.2422	0.2422	0.2421	0.2420	0.2419	0.2418	0.2418
57	" 粘性係数	$\mu_a(kg/mh)$	0.081	0.0801	0.0796	0.0790	0.0785	0.0782	0.0776	0.0775
58	" 熱伝導率	$\lambda_a(kcal/mH^{\circ}C)$	$2.81 \times 10^{-2}$	$2.78 \times 10^{-2}$	$2.76 \times 10^{-2}$	$2.73 \times 10^{-2}$	$2.72 \times 10^{-2}$	$2.70 \times 10^{-2}$	$2.69 \times 10^{-2}$	$2.67 \times 10^{-2}$
59	" プラントル数( $C_{pa} \cdot \mu_a / \lambda_a$ )	Prat(-)	0.699	0.698	0.699	0.701	0.698	0.701	0.699	0.702
60	空気出入口温度差( $t_2 - t_1$ )	$\Delta t(^{\circ}C)$								
61	空気側バランス流量( $Q_{Na} / \Delta t \cdot c_{pa}$ )	$G'_a(kg/H)$	$7.853 \times 10^4$	$1.121 \times 10^4$	$1.428 \times 10^4$	$1.834 \times 10^4$	$2.276 \times 10^4$	$2.519 \times 10^4$	$2.860 \times 10^4$	$3.245 \times 10^4$
62	相当直径	$De(m)$	$6.011 \times 10^{-2}$							
63	流路断面積	$a_a(m^2)$	1.521							
64	レイノルズ数( $G'_a \cdot De / \mu_a$ )	Rea(-)	$3.831 \times 10^4$	$5.53 \times 10^4$	$7.090 \times 10^4$	$9.175 \times 10^4$	$1.146 \times 10^5$	$1.273 \times 10^5$	$1.453 \times 10^5$	$1.655 \times 10^5$
65	(Rea) <sup>0.723</sup>		389.7	508.2	608.1	732.7	860.5	928.5	1021.6	1122.4
66	(Pr) <sup>1/3</sup>		0.887	0.887	0.887	0.888	0.887	0.888	0.887	0.889
67	$Nu = 0.0920(Rea)^{0.723}(Pr)^{1/3}$	Nua(-)	31.82	41.47	49.65	59.88	70.22	75.65	83.41	91.77
68	熱伝達率 $h_o(\lambda_a \cdot Nu / De)$	$h_o(kcal/m^2H^{\circ}C)$	14.88	19.18	22.80	27.23	31.78	34.07	37.33	40.76
69	汚れ係数	hf(kcal/m^2H^{\circ}C)	2500							
70	$h'o(h'o \times hf / h_o + hf)$	$h'o(kcal/m^2H^{\circ}C)$	14.79	19.03	22.50	26.91	31.38	33.61	36.78	40.11
71	フィン熱伝導率	$df(kcal/mH^{\circ}C)$	(190.7) 42.2	(187) 42.2	(188) 42.2	(187) 42.2	(187) 42.2	(188) 42.2	(188) 42.2	(189) 42.2
72	$Yb, w, xe/xb$		$Yb = 0.8 \times 10^{-3}, w = 19.0 \times 10^{-3}, xe/xb = 1.89$							
73	$W/\rho_o/\lambda_f \cdot Yb$		0.399	0.453	0.484	0.539	0.583	0.604	0.632	0.660
74	フィン効率	$\Omega(-)$	0.935	0.915	0.900	0.885	0.870	0.860	0.850	0.840
75	$Ab, Af, Ao, Ai$		$Ab = 0.19 \times 10^{-2}, Af = 1.45, Ao = 1.5419, Ai = 1.216 \times 10^{-1}$							
76	熱伝達率 $ho(h'o \frac{Ab + \Omega \Delta L}{Ao})$	$ho(kcal/m^2H^{\circ}C)$	13.89	17.50	20.47	24.00	27.54	29.19	31.59	34.07
77	伝熱管熱伝導率	$\lambda_w(kcal/mH^{\circ}C)$	27.5							
78	伝熱管肉厚	$tw(m)$	$2.0 \times 10^{-2}$							
79	管熱抵抗( $tw/Ao/\lambda_w/Ai$ )	$r_w(m^2H^{\circ}C/kcal)$	$9.222 \times 10^{-4}$	$9.222 \times 10^{-4}$	$9.222 \times 10^{-4}$	$9.222 \times 10^{-4}$	$9.222 \times 10^{-4}$	$9.222 \times 10^{-4}$	$9.222 \times 10^{-4}$	$9.222 \times 10^{-4}$
80			$Ao/Ai = 12.66$							
81	管内熱抵抗( $Ao/h_i \cdot Ai$ )	$r_i(m^2H^{\circ}C/kcal)$	$9.215 \times 10^{-4}$	$9.135 \times 10^{-4}$	$9.229 \times 10^{-4}$	$9.229 \times 10^{-4}$	$9.208 \times 10^{-4}$	$9.255 \times 10^{-4}$	$9.255 \times 10^{-4}$	$9.255 \times 10^{-4}$
82	管外熱抵抗( $1/h_o$ )	$r_o(m^2H^{\circ}C/kcal)$	$7.199 \times 10^{-3}$	$5.714 \times 10^{-3}$	$4.865 \times 10^{-3}$	$4.167 \times 10^{-3}$	$3.631 \times 10^{-3}$	$3.428 \times 10^{-3}$	$3.166 \times 10^{-3}$	$2.935 \times 10^{-3}$
83										
84	総熱抵抗( $r_o + r_i + r_w$ )	$r_T(m^2H^{\circ}C/kcal)$	$7.363 \times 10^{-3}$	$5.686 \times 10^{-3}$	$5.070 \times 10^{-3}$	$4.352 \times 10^{-3}$	$3.815 \times 10^{-3}$	$3.611 \times 10^{-3}$	$3.351 \times 10^{-3}$	$3.120 \times 10^{-3}$
85	熱貫流率( $L/hr$ )	$U_e(kcal/m^2H^{\circ}C)$	13.54	16.96	19.73	22.98	26.21	27.69	29.84	32.06
86	(実験値)									
100	伝熱面積	$A(m^2)$	199.4							
101	熱貫流率	$UE(kcal/m^2H^{\circ}C)$	13.26	16.88	19.74	22.23	25.45	26.70	27.58	30.54
102	管外熱伝達率	$hoE(kcal/m^2H^{\circ}C)$	13.59	17.42	20.49	23.18	26.71	28.99	29.05	32.37
103	(空気側基準)									
103		$U'E$	11.88	16.78	20.05	23.71	28.21	29.70	33.30	34.41
104		$h'oE$	12.15	19.45	20.83	24.80	29.75	31.43	35.49	36.75
105		Re(-)	$3.433 \times 10^3$	$6.152 \times 10^3$	$7.199 \times 10^3$	$9.785 \times 10^3$	$1.270 \times 10^4$	$1.417 \times 10^4$	$1.695 \times 10^4$	$1.864 \times 10^4$

表 1 試験時温度条件における計算値

		9	10	11	12	13	14	
40	ナトリウム側平均温度( $T_1+T_2/2$ )	TNa (°C)	288.3	291.4	291.7	292.7	299.6	299.8
41	(物性値) 比重	$\gamma_{Na}$ (kg/m <sup>3</sup> )	882.69	881.95	881.17	880.22	880.01	879.95
42	" 動粘性係数	$\nu_{Na}$ (cm <sup>2</sup> /S)	$0.4017 \times 10^{-6}$	$0.3990 \times 10^{-6}$	$0.3961 \times 10^{-6}$	$0.3927 \times 10^{-6}$	$0.3920 \times 10^{-6}$	$0.3918 \times 10^{-6}$
43	" プラント	PrNa (-)	$0.6030 \times 10^{-2}$	$0.5992 \times 10^{-2}$	$0.5953 \times 10^{-2}$	$0.5906 \times 10^{-2}$	$0.5895 \times 10^{-2}$	$0.5893 \times 10^{-2}$
44	" 熱伝導率	$\lambda_{Na}$ (kcal/mh°C)	66.147	66.008	65.960	65.681	65.641	65.632
45	ナトリウム側平均流量(GNa/ANa)	$\dot{V}_{Na}$ (m <sup>3</sup> /h)	64.62	64.44	64.44	64.39	64.81	64.99
46	流路断面積	$a_{Na}$ (m <sup>2</sup> )						
47	平均流速( $\dot{V}_{Na}/a_{Na} \cdot 3600$ )	$V_{Na}$ (m/S)	1.018	1.015	1.015	1.014	1.021	1.023
48	伝熱管内径	DNa (m)						
49	レイノルズ数( $DNa \cdot VNa / \nu_{Na}$ )	ReNa (-)	$9.803 \times 10^4$	$9.842 \times 10^4$	$9.914 \times 10^4$	$9.993 \times 10^4$	$1.008 \times 10^5$	$1.011 \times 10^5$
50	ペクレ数( $ReNa \cdot P_{Na}$ )	PeNa (-)	591.1	589.7	590.2	590.2	594.2	595.7
51	ヌセルト数( $0.625 \cdot PeNa^{0.4}$ )	NuNa (-)	8.027	8.019	8.022	8.022	8.044	8.052
52	熱伝達率( $\lambda_{Na} \cdot Nu_{Na} / DNa$ )	$h_i$ (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	$1.372 \times 10^4$	$1.366 \times 10^4$	$1.365 \times 10^4$	$1.361 \times 10^4$	$1.364 \times 10^4$	$1.366 \times 10^4$
53								
54	空気側平均温度( $t_1+t_2/2$ )	$t_a$ (°C)	90.8	89.2	88.1	85.9	85.0	84.1
55	(物性値) 比重	$\gamma_a$ (kg/m <sup>3</sup> )	0.970	0.975	0.978	0.984	0.986	0.988
56	" 比熱	$C_{pa}$ (kcal/kg°C)	0.2417	0.2417	0.2417	0.2416	0.2416	0.2416
57	" 粘性係数	$\nu_a$ (kg/mh)	0.0772	0.0771	0.0770	0.0765	0.0765	0.0765
58	" 熱伝導率	$\lambda_a$ (kcal/mh°C)	$2.66 \times 10^{-2}$	$2.66 \times 10^{-2}$	$2.61 \times 10^{-2}$	$2.62 \times 10^{-2}$	$2.61 \times 10^{-2}$	$2.61 \times 10^{-2}$
59	" プラント数( $C_{pa} \cdot \nu_a / \lambda_a$ )	Pr <sub>a</sub> (-)	0.701	0.703	0.705	0.706	0.708	0.708
60	空気出入口温度差( $t_2-t_1$ )	$\Delta t$ (°C)						
61	空気側バランス流量	$\dot{G}_a$ (kg/h)	$3.754 \times 10^4$	$4.123 \times 10^4$	$4.568 \times 10^4$	$5.069 \times 10^4$	$5.276 \times 10^4$	$5.475 \times 10^4$
62	相当直径	De (m)						
63	流路断面積	$a_a$ (m <sup>2</sup> )						
64	レイノルズ数( $\dot{G}_a \cdot De / a_a \cdot \nu_a$ )	Re <sub>a</sub> (-)	$1.922 \times 10^4$	$2.113 \times 10^4$	$2.315 \times 10^4$	$2.615 \times 10^4$	$2.726 \times 10^4$	$2.828 \times 10^4$
65	( $Re_a^{0.723}$ )		1250.6	1339.5	1443.9	1562.8	1616.0	1654.7
66	( $Pr_a^{0.4}$ )		0.888	0.889	0.890	0.890	0.891	0.891
67	$Nu = 0.0920(Re_a)^{0.723}(Pr_a)^{0.4}$	Nu <sub>a</sub> (-)	102.2	109.6	118.2	128.0	132.0	135.6
68	熱伝達率( $\lambda_a \cdot Nu_a / De$ )	$h_o$ (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	15.23	13.31	51.93	53.80	57.32	58.89
69	汚れ係数	$h_f$ (kcal/m <sup>2</sup> h°C)						
70	$\bar{h}_o$ ( $h_o \times h_f / (h_o + h_f)$ )	$\bar{h}_o$ (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	11.43	47.39	50.87	54.58	56.64	57.53
71	フィン熱伝達率	$\bar{h}_f$ (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	(190) 42.2	(190) 42.2	(191) 42.2	(192) 42.2	(192) 42.2	(192) 42.2
72	$y_b, w, 2a/2b$							
73	$W_i / \bar{h}_o / \lambda (1 + y_b)$		0.695	0.719	0.715	0.772	0.783	0.794
74	フィン効率	$\epsilon$ (%)	0.825	0.815	0.805	0.790	0.785	0.785
75	$Ab, Af, Ao, Ai$							
76	熱伝達率( $\bar{h}_o \cdot Ao \cdot \epsilon / Ai$ )	$h_{oe}$ (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	37.12	39.15	41.54	43.80	44.71	45.90
77	伝熱管熱伝達率	$\lambda_w (1/t_w)$ (m <sup>2</sup> h°C/kcal)	27.1	27.4	27.1	27.4	27.4	27.4
78	伝熱管内厚	$t_w$ (m)						
79	管熱抵抗( $t_w \cdot Ao / \lambda_w \cdot Ai$ )	$r_w$ (m <sup>2</sup> h°C/kcal)	$9.255 \times 10^{-4}$					
80								
81	管内熱抵抗( $Ao / \bar{h}_i \cdot Ai$ )	$r_i$ (m <sup>2</sup> h°C/kcal)	$9.242 \times 10^{-4}$	$9.269 \times 10^{-4}$	$9.289 \times 10^{-4}$	$9.317 \times 10^{-4}$	$9.296 \times 10^{-4}$	$9.282 \times 10^{-4}$
82	管外熱抵抗 ( $1 / \bar{h}_o$ )	$r_o$ (m <sup>2</sup> h°C/kcal)	$2.694 \times 10^{-2}$	$2.554 \times 10^{-2}$	$2.407 \times 10^{-2}$	$2.283 \times 10^{-2}$	$2.237 \times 10^{-2}$	$2.179 \times 10^{-2}$
83								
84	総熱抵抗 ( $r_o + r_i + r_w$ )	$r_T$ (m <sup>2</sup> h°C/kcal)	$2.879 \times 10^{-2}$	$2.739 \times 10^{-2}$	$2.592 \times 10^{-2}$	$2.469 \times 10^{-2}$	$2.423 \times 10^{-2}$	$2.361 \times 10^{-2}$
85	熱貫流率 ( $1 / r_T$ )	$U_c$ (kcal/m <sup>2</sup> h°C)	34.73	36.51	38.57	40.51	41.28	42.29
86	(実験値)							
87	A		199.4					
88	$U_c$		33.37	31.83	36.82	38.51	39.14	39.82
89	$h_{oe}$		35.56	37.23	39.51	41.48	42.21	42.99
90	$U_c'$		40.13	40.87	45.35	44.76	44.22	44.27
91	$h_{oe}'$		43.34	44.22	49.52	48.81	48.17	48.23
92	Re		$2.311 \times 10^4$	$2.480 \times 10^4$	$2.888 \times 10^4$	$3.040 \times 10^4$	$3.078 \times 10^4$	$3.145 \times 10^4$

付録4 フィンチューブ諸元

## フィンチューブ諸元

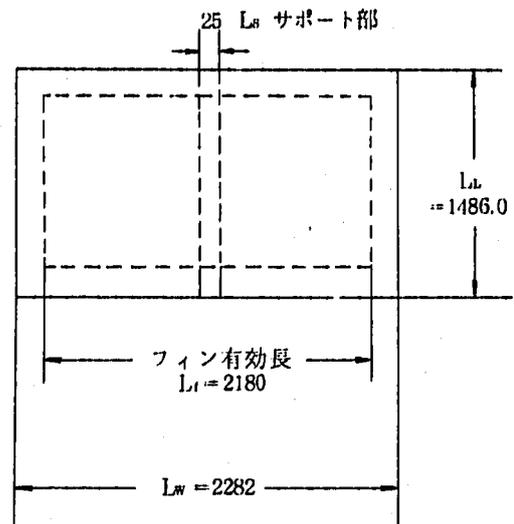
- (1) チューブ外径  $D_r$  :  $\underline{42.7 \text{ mm}}$
- (2) フィン高さ  $w$  :  $\underline{19.0 \text{ mm}}$
- (3) フィン外径  $D_o$  :  $D_r + 2w$   
 $= 42.7 + 2 \times 19.0$   
 $\underline{80.7 \text{ mm}}$
- (4) チューブ肉厚  $t$  :  $\underline{2.0 \text{ mm}}$
- (5) チューブ内径  $D_i$  :  $D_r - 2t$   
 $= 42.7 - 2 \times 2.0$   
 $\underline{38.7 \text{ mm}}$
- (6) フィンピッチ  $p$  :  $\underline{5.08 \text{ mm}}$
- (7) フィン枚数  $s$  :  $1 \text{ m} / p$   
 $= 1 / 5.08 \times 10^{-3}$   
 $\underline{196.85 \text{ 枚} / \text{m}}$
- (8) フィン板厚  $2yb$  :  $\underline{1.6 \text{ mm}}$
- (9) チューブ内表面積  $A_i$  :  $\pi D_i$   
 $= \pi \times 38.7 \times 10^{-3}$   
 $\underline{1.216 \times 10^{-1} \text{ m}^2 / \text{m}}$
- (10) フィン表面積  $A_f$  :  $\frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_r^2) \times 2s$   
 $= \frac{\pi}{4} (80.7^2 - 42.7^2) \times 2 \times 196.85 \times 10^{-6}$   
 $\underline{1.4500 \text{ m}^2 / \text{m}}$
- (11) チューブ外表面積  $A_b$  :  $\pi D_r (1 - 2yb \times s)$   
 $= \pi \times 42.7 (1 - 1.6 \times 10^{-3} \times 196.85) \times 10^{-3}$   
 $\underline{9.1900 \times 10^{-2} \text{ m}^2 / \text{m}}$
- (12) フィンチューブ外表面積  $A_o$  :  $A_b + A_f$   
 $= 9.19 \times 10^{-2} + 1.45$   
 $\underline{1.5419 \text{ m}^2 / \text{m}}$
- (13) 投影周辺長  $\ell_s$  :  $(2w + (p - 2yb)) \times 2s$   
 $= (2 \times 19.0 + (5.08 - 1.6)) \times 10^{-3} \times 2 \times 196.85$   
 $\underline{16.331 \text{ m} / \text{m}}$

(14) 相当直径

$$\begin{aligned}
 De &: 2 \times \Lambda_0 / \pi \times \ell_s \\
 &= 2 \times 1.5419 / \pi \times 16.331 \\
 &= \underline{6.011 \times 10^{-2} \text{ (m)}}
 \end{aligned}$$

(15) 流路断面積

$a_a$  :

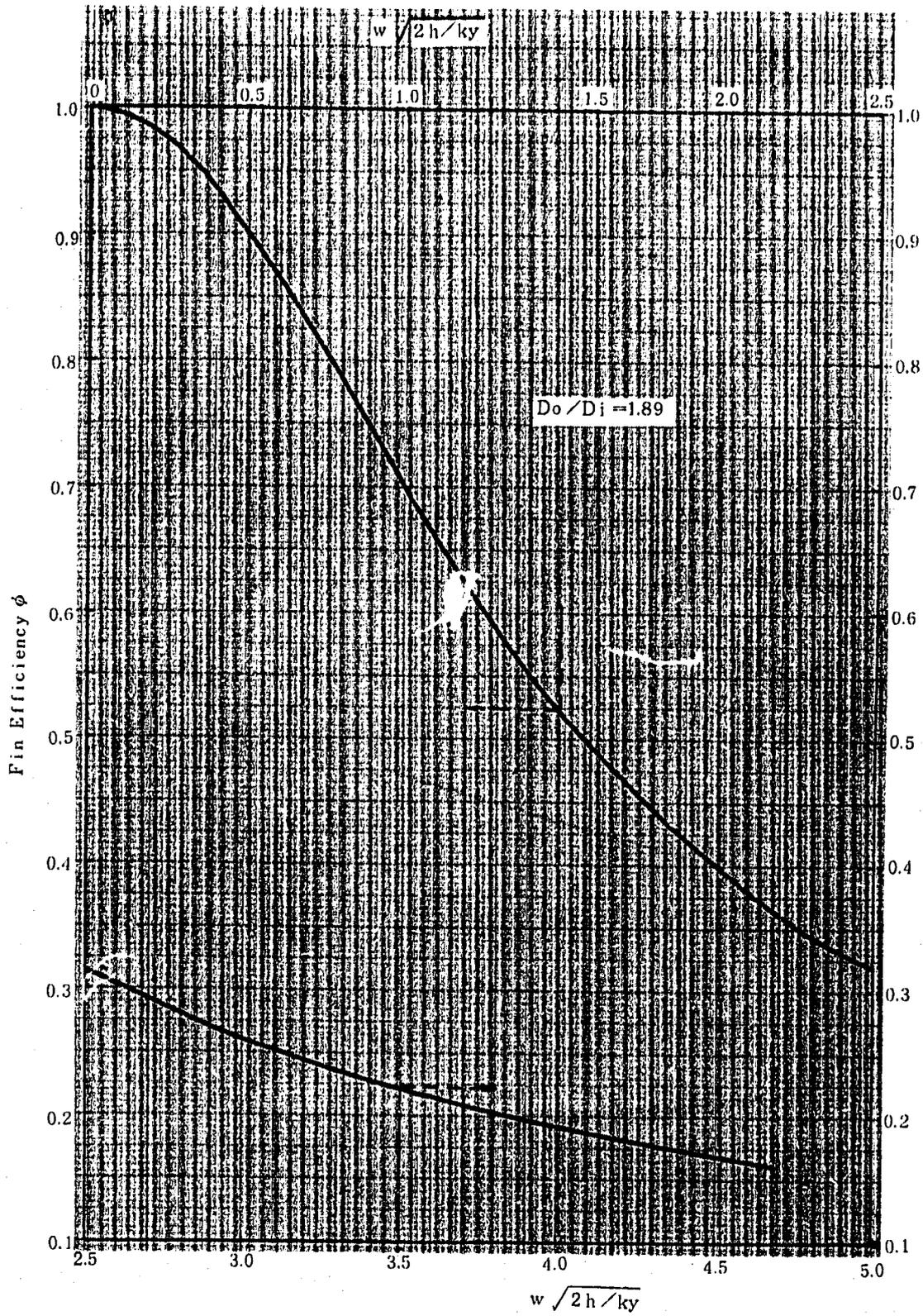


$$\begin{aligned}
 a_a &= LL ( L_w - L_s ) - N \cdot Dr \cdot ( L_w - L_s ) \\
 &\quad - N \cdot ( 2 \times 2 y_b \times w \times s \times ( L_f - L_s ) ) \\
 &= 1.486 ( 2.282 - 0.025 ) - 15 \times 42.7 \times 10^{-3} \\
 &\quad \times ( 2.282 - 0.025 ) - 15 \times ( 2 \times 1.6 \times 19.0 \\
 &\quad \times 10^{-6} \times 196.85 \times ( 2.18 - 0.025 ) ) \\
 &= \underline{1.521 \text{ (m}^2\text{)}}
 \end{aligned}$$

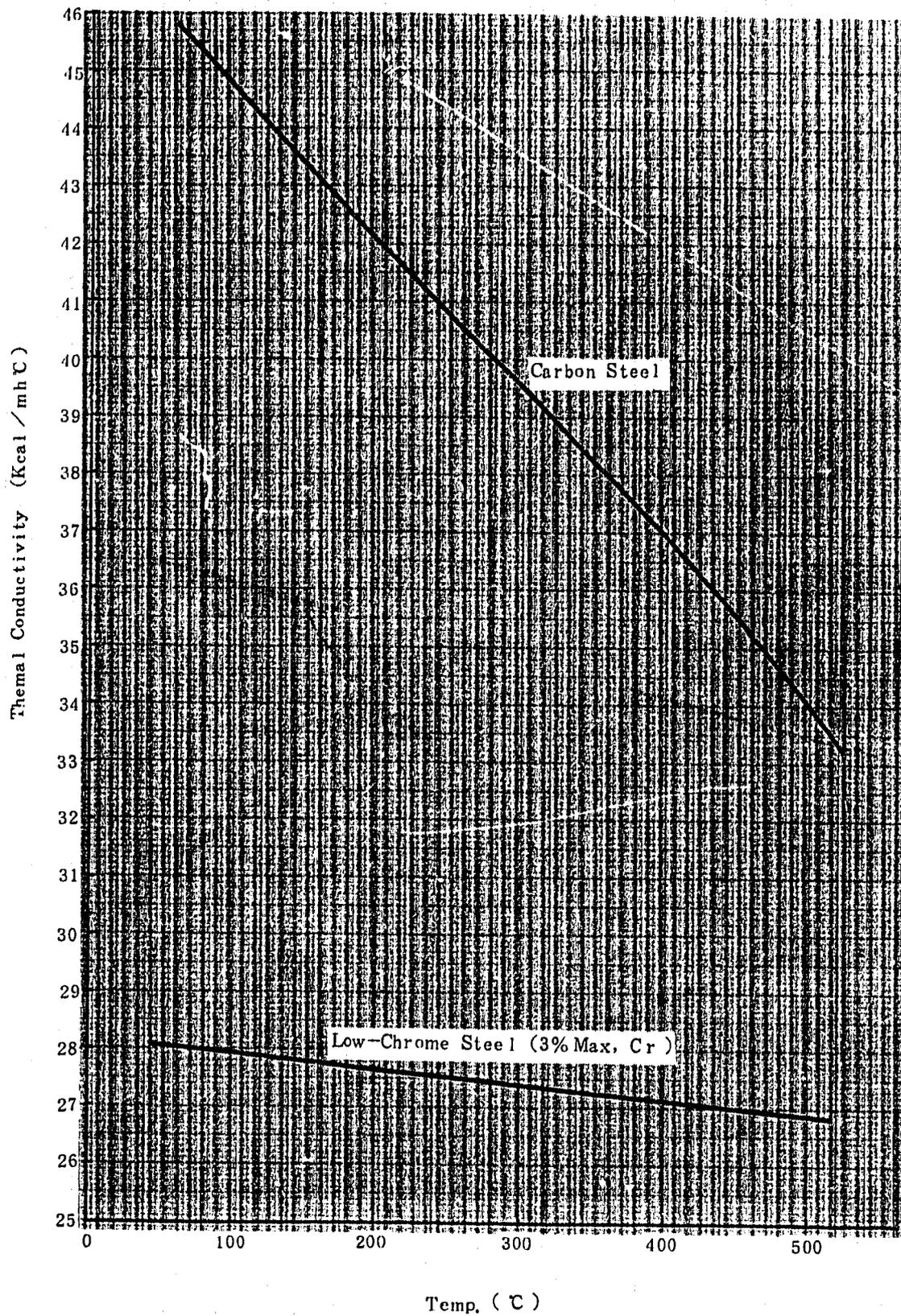
(16) 全外表面積

$$\begin{aligned}
 AT &: A_o \times ( L_f - L_s ) \times N \times n \text{ (投)} \\
 &= 1.5419 \times ( 2.18 - 0.025 ) \times 15 \times 4 \\
 &= \underline{199.4 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$





FIN EFFICIENCY  
CIRCUMFERENTIAL AND STRAIGHT FINS OF UNIFORM PROFILE



Coefficients of Thermal conductivity ( ASME SEC III 1977 )

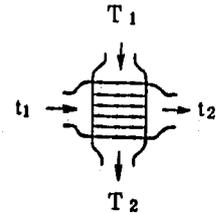
Crossflow-temperature - difference correction factors

1. One fluid mixed, other fluid unmixed (補助冷却器)

$$R = (T_1 - T_2) / (t_2 - t_1), \quad S = (t_2 - t_1) / (T_1 - T_2)$$

- (1)  $R \neq 1$

$$F = \frac{\ln((1 - S) / (1 - RS))}{(R - 1) \ln(1 / (1 - \ln(1 / (1 - RS)) / R))}$$



- (2)  $R = 1$

$$F = S / (1 - S) \ln(1 / (1 - \ln(1 / (1 - S))))$$

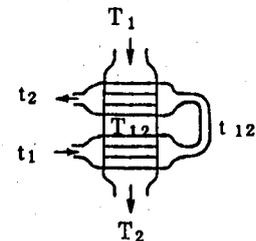
2. two-pass counterflow, shell fluid mixed, tube fluid unmixed (主冷却器)

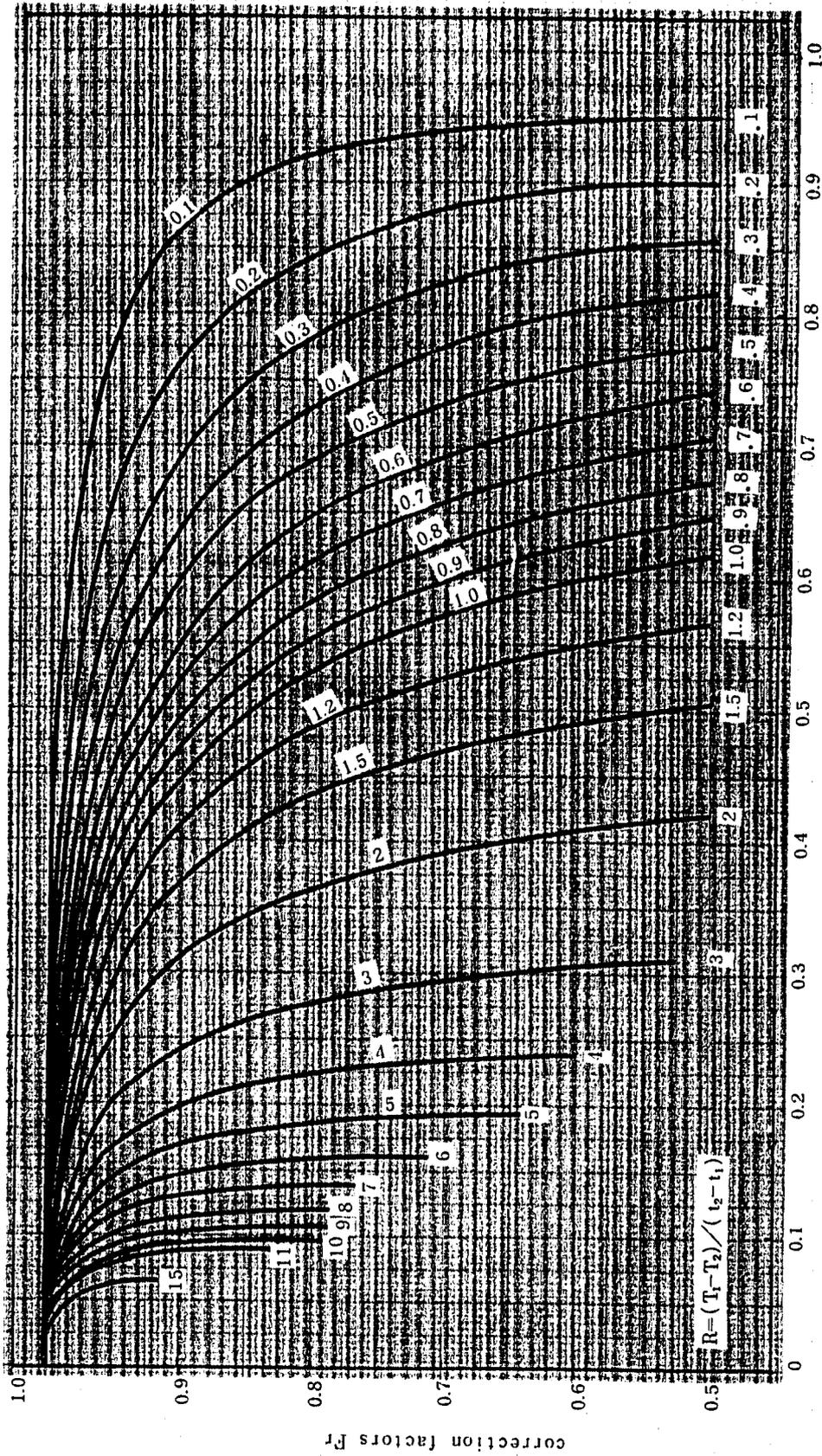
- (1)  $R \neq 1$

$$F = \frac{\ln((1 - S) / (1 - RS))}{2(R - 1) \ln \left[ \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{R} \ln \left( \frac{\sqrt{(1 - S) / (1 - RS)} - 1/R}{1 - 1/R} \right) \right)} \right]}$$

- (2)  $R = 1$

$$F = S / 2(1 - S) \ln(1 / (1 - \ln((2 - S) / 2(1 - S))))$$





$$S = (t_2 - t_1) / (T_1 - t_1)$$

Crossflow-temperature-difference correction factors ( one fluid mixed, other fluid unmixed )

付録 - 5 補助冷却系除熱量の推定

(1) 計算方法

下式によるナトリウム側伝熱量と、空気側伝熱量が等しくなるような、空気出口温度及び空気流量を求める。

$$Q_{Na} = G_{Na} \cdot C_{pNa} \cdot (T_1 - T_2) \quad \text{————— (1)}$$

$$Q_A = U \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{————— (2)}$$

ここで

$Q_{Na}$	: ナトリウム側伝熱量	[ kcal/h ]
$Q_A$	: 空気側伝熱量	[ kcal/h ]
$G_{Na}$	: ナトリウム流量	[ kg/h ]
$C_{pNa}$	: ナトリウム比熱	[ kcal/kg°C ]
$T_1$	: 空気冷却器ナトリウム入口温度	[ °C ]
$T_2$	: " " 出口温度	[ °C ]
$U$	: 熱貫流率	[ kcal/m <sup>2</sup> h°C ]
$A$	: 空気冷却器伝熱面積	[ m <sup>2</sup> ]
$\Delta T$	: 対数平均温度差	[ °C ]

$U$  は、実験データより、空気流量の関数として次式で表わす。

$$U = 6.73637 \times 10^{-5} \times G_A^3 - 1.26057 \times 10^{-2} \times G_A^2 + 1.10171 \times G_A + 5.7177 \quad \text{————— (3)}$$

$G_A$  : 空気流量 [ Ton/h ]

$\Delta T$  は、次式による。

$$\Delta T = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} \quad \text{————— (4)}$$

$t_1$  : 空気冷却器空気入口温度 [ °C ]

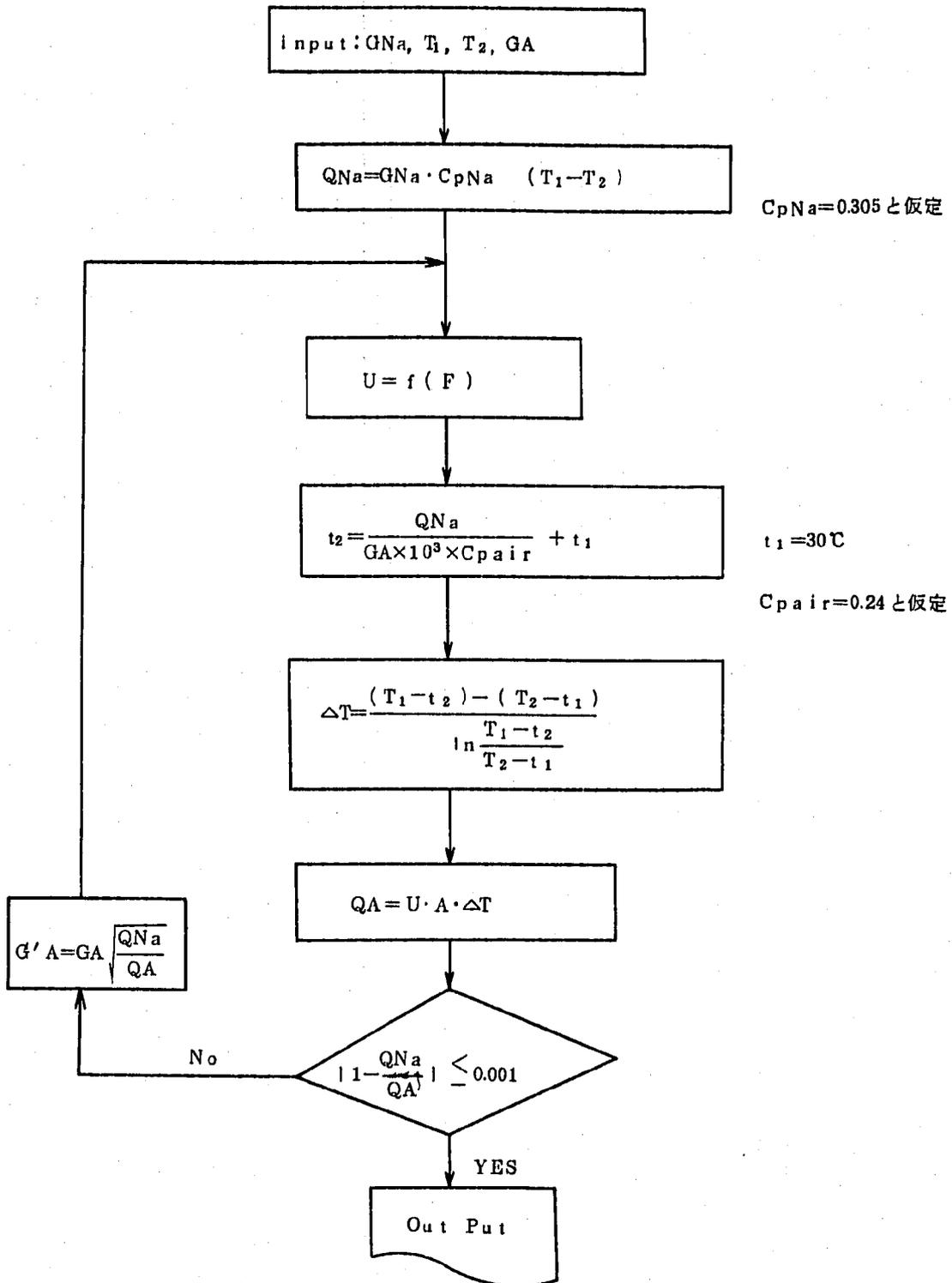
$t_2$  : " " 出口温度 [ °C ]

$t_2$  は、次式による。

$$t_2 = \frac{Q_{Na}}{G_A \times 10^3 \times C_{pair}} + t_1 \quad \text{————— (5)}$$

$C_{pair}$  : 空気比熱 [ kcal/kg°C ]

まず  $GNa$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $GA$  を与え,  $QNa$ ,  $QA$  を計算し,  $QNa$  と  $QA$  の差が, 0.1%以下となる  $t_2$ ,  $F$  を次のフローチャートにより求める。



## (2) 計算結果

原子炉入口温度 370 ℃における 空気冷却器の予想性能を、求めた結果を下表に示す。

原子炉出力 [Mw]	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	2.6
T <sub>1</sub> [ ℃ ]	389	399	408	428	447	466	470
T <sub>2</sub> [ ℃ ]	364	361	358	353	347	341	340
t <sub>1</sub> [ ℃ ]	311	286	270	248	229	209.5	206
t <sub>2</sub> [ ℃ ]	30	同 左	"	"	"	"	"
GNa [ kg/h ]	56500	同 左	"	"	"	"	"
GA [ Ton/h ]	6.4	10.6	14.9	24.7	36.2	50.0	53.0
Q [ kcal/h ]	4.3 × 10 <sup>5</sup>	6.5 × 10 <sup>5</sup>	8.6 × 10 <sup>5</sup>	12.9 × 10 <sup>5</sup>	17.2 × 10 <sup>5</sup>	21.5 × 10 <sup>5</sup>	22.3 × 10 <sup>5</sup>
U [ kcal/m <sup>2</sup> h℃ ]	12.1	15.9	19.4	26.1	32.0	37.5	38.5
ΔT [ ℃ ]	176.6	202.6	219.3	244.8	264.2	282.9	286.0

END 79 11 16