PNC TN9410 96-103

分置

高速実験炉「常陽」運転経験報告書

2次ナトリウム純化系運転経験（平成2年4月～平成7年3月）

1 9 9 6年3月

技術管理室
No.
8. 6. -4
動燃事業団大洗工学センター

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

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ください。

〒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

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

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

PNC TN9410 96-103
1 9 9 6 年 3 月

高速実験炉「常陽」運転経験報告書

2次ナトリウム純化系運転経験

（平成2年4月～平成7年3月）

村上　隆典*，寺野　壽洋*，小林　哲彦*
須藤　信行**，小貫　修*，青木　裕*
大久保利行*，田村　政昭*

要　旨

本報告書は、高速実験炉「常陽」2次ナトリウム純化系運転試験報告書の（SN9410 90-133）の続編として作成したものであり、平成2年4月から平成7年3月までの運転経験をまとめたものである。また、併せてMK－Ⅲ炉心移行に伴う2次ナトリウム純化系設備の運転上の課題について検討した結果についても記載している。

得られた知見は次の通りである。

(1) 期間中、2次ナトリウム純化系の不具合は12件であり、プラント全体に影響するような不具合はなく、軽微なものが殆どであった。

(2) 既設2次系コールドトラップをMK－Ⅲ炉心移行後も継続して使用できるかどうかについて評価した結果、平成6年1月末現在での不純物捕獲量は 9.4kgと推定された。また、MK－Ⅲ移行後の初期純化終了時点での予想不純物捕獲量は25.2kgとなり、設計捕獲量（18kg）を大幅に超過することが明らかとなった。

(3) 2次系コールドトラップエコノマイザの伝熱特性は、コールドトラップ制御温度の設定変更後2年程度の遅れをもって変化する。これは、設定温度を変更することで伝熱管への不純物付着状況が変わるためと推定され、設定温度を低く維持した場合、伝熱性能が良いことがわかった。

(4) 2次アルゴンガス系呼吸ヘッダに多量のナトリウムベーパが確認されており、2次ナトリウム純化系オーバフローラインにおけるアルゴンガス巻き込みの影響が考えられる。

＊　大洗工学センター　実験炉部　原子炉第一課
＊＊　現在　運輸省　航海訓練所

PNC TN9410 96-103
March, 1996

Experimental Fast Reactor JOYO Operational Experience

The Operational Experiences of JOYO Secondary Sodium Purification System

T. Murakami* , T. Terano* , T. Kobayashi*
N. Sudo** , O. Onuki* , H. Aoki*
T. Okubo* , M. Tamura*

Abstract

This paper describes operational experiences of JOYO Secondary Sodium Purification System which were obtained from April 1990 to March 1995. And, the operational problem of Secondary Sodium Purification System with MK-Ⅲ core conversion were mentioned in this report.

The experience results were as follows.

(1) The number of cases of the secondary purification system trouble was 12. Those troubles, however, did not affect to the operation of the plant.

(2) As the result of investigation about possibility of using secondary cold trap after MK-Ⅲ core conversion, amount of trapped impurity was estmated 9.4kg as of January, 1994. In addition, 25.2kg was the estimated amount of trapped impurity at sodium initial purification after MK-Ⅲ core conversion. It was subtantial excess of original design(18kg).

(3) The change of heat transfer characteristics of secondary cold trap economizer occurred about two years after the modification of cold trap control tempereture.

It seemed to be led by condition change of sticking impurity to heat transfer tubes which was followed by the modification of set up tempereture. When set up temperature had been kept low, heat transfer characteristics was better.

(4) A large quantity of sodium vapor was identified on the secondary argon gas system pressure control header. The influence of engulfing of argon gas at over flow line of Secondary Sodium Purification System is concerned.

---

* JOYO Operation Section, Experimental Reactor Division, O-arai Engineering Center.
** Present Position ; Institute for Seaining, Ministry of Transport.

目　次

1. 緒　言 …… 1
2. 2次ナトリウム純化系設備の概要 …… 5
2.1 コールドトラップ …… 7
2.2 プラギング計 …… 10
2.3 ナトリウムサンプリング装置 …… 15
3. 2次ナトリウム純化系の運転経験 …… 17
3.1 運転実績 …… 18
3.2 補修、改造実績 …… 29
4. 2次ナトリウム純化系コールドトラップの性能検討 …… 34
4.1 コールドトラップ寿命評価とMK－Ⅲ対策 …… 34
4.1－1 不純物捕獲量の評価 …… 35
4.1－2 純化性能に関係するプラント運転データの調査結果 …… 45
4.1－3 2次系コールドトラップのMK－Ⅲ対策案 …… 50
4.1－4 コールドトラップ再生実績の調査結果 …… 52
4.2 コールドトラップ内エコノマイザ伝熱特性 …… 56
5. 2次ナトリウム純化系の問題点と対策 …… 80
5.1 2次補助系プラグ温度測定の問題点と対策 …… 80
5.2 2次アルゴンガス系サーキュレーションフローに伴う改善 …… 82
6. 結　言 …… 86
7. 参考文献 …… 88

1. 緒　言

高速実験炉「常陽」は、高速炉の技術的経験を得ることを目的として、昭和45年３月に建設を開始し、増殖用炉心（ＭＫ－Ｉ炉心）として昭和52年４月24日に初臨界を達成した。その後、熱出力を50ＭＷ、75ＭＷと段階的に上昇させながら各種の性能試験を実施し、更に第２の目的である燃料及び材料の照射用炉心（ＭＫ－Ⅱ炉心）に移行し、昭和57年11月22日に照射用炉心として初臨界を達成した。それ以来、照射施設として熱出力 100ＭＷでの定格運転を29サイクル実施した。表１－１(1/3)～(3/3)に初臨界達成の昭和52年度から平成７年３月までの高速実験炉「常陽」運転実績を示す。

この間、２次ナトリウム純化系は、昭和50年７月から昭和51年２月まで仮設コールドトラップによる初期ナトリウム純化運転を実施した後、本設コールドトラップへの切替えを行い、以降順調な運転を継続している。

仮設コールドトラップによる初期ナトリウム純化運転については「２次ナトリウム純化系試験報告書」(ZN941 75-65、 ZN941 76-95）、昭和53年４月から平成２年３月までの運転経験及び各種試験結果については「２次ナトリウム純化系運転経験報告書」（SN941 79-196, SN9410 88-108, SN9410 90-133 ）にて報告されている。また、２次補助系プラグ温度測定の不具合現象及び原因究明のための調査結果は、昭和62年に「２次補助プラギング計の不具合原因の検討及び第３の不純物の調査報告書」（SN9410 88-045 ）にて報告されている。

本報告書は、平成２年３月までの運転経験を記した「２次ナトリウム純化系運転経験報告書」の続編として 100ＭＷ照射用炉心（ＭＫ－Ⅱ炉心）運転中の平成２年４月（第８回定期検査中）から各種試験に伴う原子炉運転中の平成７年３月までの２次ナトリウム純化系、２次補助プラギング計の運転経験並びに各種試験結果と共に、ＭＫ－Ⅲ炉心運転に既設コールドトラップが継続して使用することが可能かどうか調査検討した結果についてまとめたものである。

主な項目は以下の通りである。

(1)　２次ナトリウム純化系の運転実績

(2)　２次ナトリウム純化系コールドトラップの性能検討

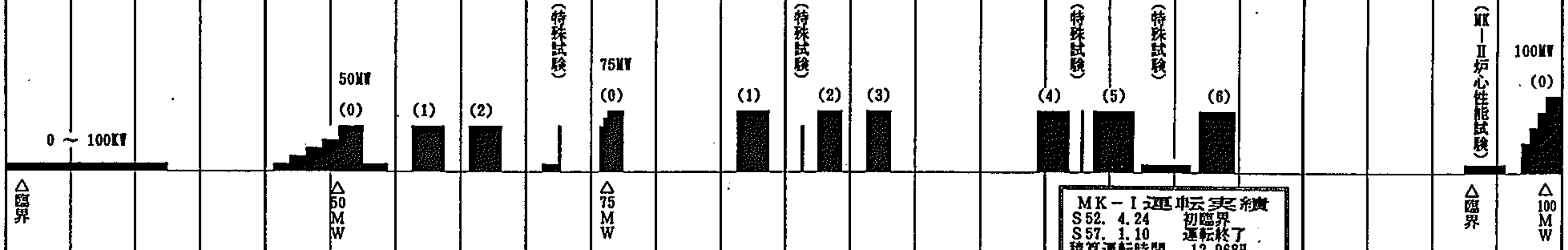
（既設コールドトラップ伝熱性能及び不純物捕獲量の推定とＭＫ－Ⅲ炉心移行後の継続使用の可否）

(3)　２次ナトリウム純化系の問題点と対策

表１－１（1/3）　高速実験炉「常陽」運転実績表

年度	S．52（1977）	S．53（1978）	S．54（1979）	S．55（1980）	S．56（1981）	S．57（1982）
炉心	MK－Ⅰ炉心（増殖用炉心）				MK－Ⅰ炉心（増殖用炉心）	（炉心移行） / MK－Ⅱ炉心
運転	50MW 性能試験	50MW 性能試験 / 50MW運転	75MW 性能試験	75MW 運転	75MW 運転	照射炉心移行作業 / MK－Ⅱ性能試験
検査	自主点検	自主点検	第1回 定期検査	第2回 定期検査	第2回 定期検査	第3回 定期検査

運転実績



MK－Ⅰ運転実績
S52. 4.24　初臨界
S57. 1.10　運転終了
積算運転時間　12,968H
積算熱出力　673,330MWH
最大燃焼度
燃料要素最高　40,500MWd/t
集合体平均　40,100MWd/t

記事

- S52・4・20　低出力試験開始
- S52・4・24　初臨界達成
- S52・11・19　低出力試験終了
- S53・2・27　原子炉格納容器第一回全体漏洩率試験
- S53・7・5　50MW出力達成
- S53・9・20　設置変更（75・100MW）許可
- S53・9・29　50MW使用前検査合格
- S54・3・5　第一回定期検査開始
- ▽S54・3・28　米国TMI事故発生
- ▽S54・5・21～23　科技庁特別保安監査
- S54・7・16　75MW出力達成
- S54・12・8　原子炉格納容器第二回全体漏洩率試験
- S55・2・1　75MW使用前検査合格・第一回定期検査合格
- S55・8・29　第二回定期検査開始
- S56・3・28　第二回定期検査合格
- S56・4・17　「常陽」積算運転時間一万時間達成
- S56・12・23　75MW運転終了・自然循環試験
- S57・1・4　MK－Ⅱ移行作業・第三回定期検査開始
- S57・1・10　MK－Ⅰ（増殖用炉心）運転終了
- S57・1・30　炉心構成要素交換作業開始
- S57・11・5　原子炉格納容器第三回全体漏洩率試験
- S57・11・22　MK－Ⅱ（照射用炉心）初臨界達成
- S58・3・12　100MW出力達成
- S58・3・31　100MW使用前検査合格・第三回定期検査合格

表１－１（2／3）　高速実験炉「常陽」運転実績表

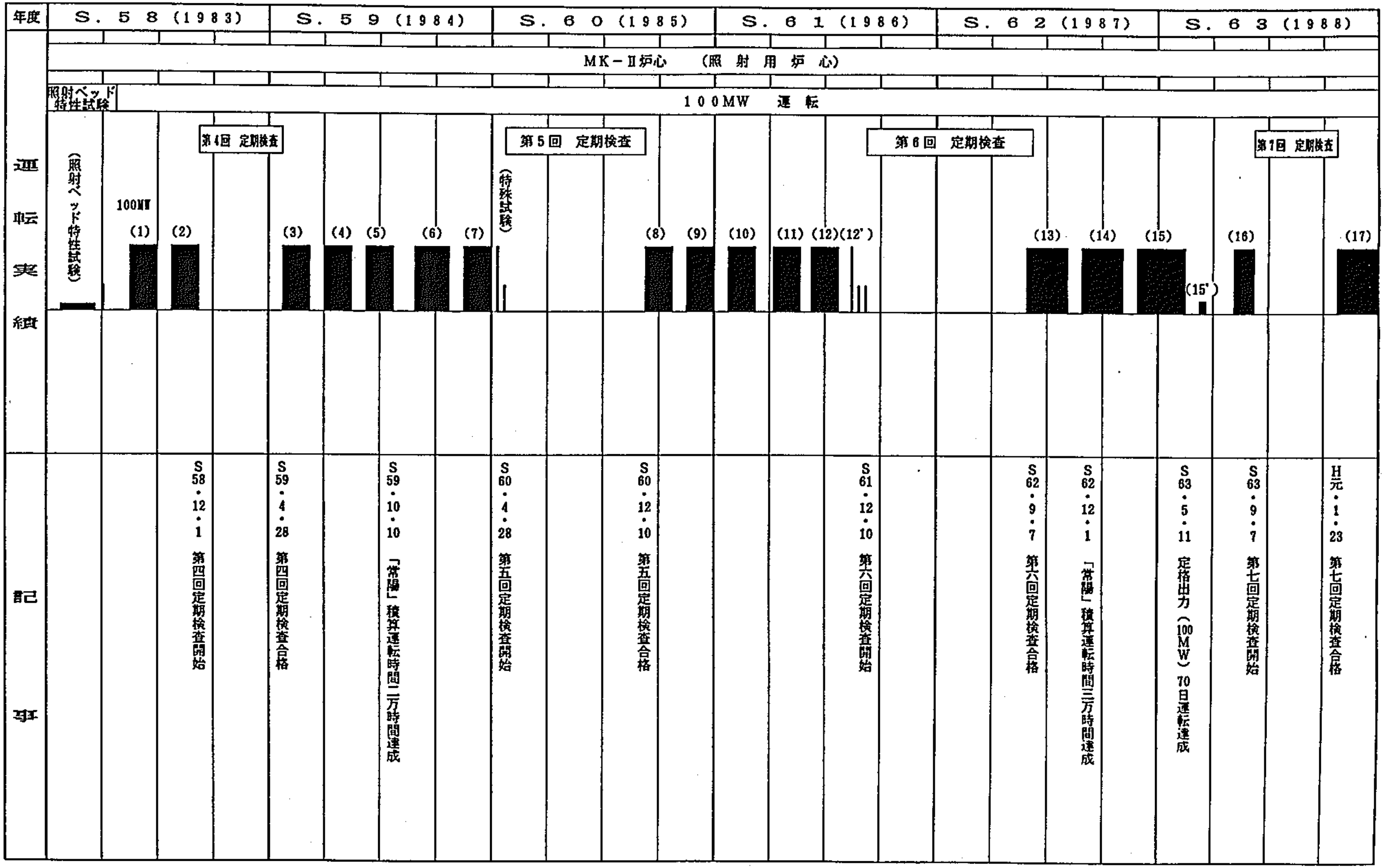


表１－１(3/3)　高速実験炉「常陽」運転実績表

年度	H.元(1989)	H.2(1990)	H.3(1991)	H.4(1992)	H.5(1993)	H.6(1994)
運転実績	MK－Ⅱ炉心　(照射用炉心)					
	100MW　運転					
	100MW (18) (19) (20)(20')	第8回　定期検査 (21) (22)	(23)(23')(23")(23") 第9回　定期検査	(24)(24') (25)(25')(26)(27)	第10回　定期検査 (28)	(29) (各種試験) ① ② ④ MK－Ⅱ運転実績 S57.11.22　初臨界 H 7. 3.30　各種試験その4運転終了 積算運転時間　38,132H 積算熱出力　3,482,781MWH
記事	H元・12・26「常陽」積算運転時間四万時間達成 H2・1・23 第八回定期検査開始	H2・8・9 原子炉格納容器第五回全体漏洩率試験 H2・9・11 第八回定期検査合格	H3・9・11 第九回定期検査開始 H4・3・27 第九回定期検査合格	H5・3・19「常陽」積算運転時間五万時間達成 H5・3・27 第十回定期検査開始	H6・3・25 第十回定期検査の最終科技庁立会検査合格	H6・5・11 第十回定期検査合格証交付

2. 2次ナトリウム純化系設備の概要

2次ナトリウム純化系は、ナトリウム中の溶解不純物による材料への腐食作用及び強度の劣化と主冷却器・中間熱交換器の伝熱性能低下を最小限に抑えるために、2次主冷却系ナトリウムの純化、純度の監視及び分析試料の採取を行う設備である。また、2次主冷却系のナトリウム自由液面を有する機器の液位を一定に保持するためのナトリウムの供給機能及び2次主冷却系へのナトリウム充填機能を併せ持っている。本系統の設備は、コールドトラップ、コールドトラップ送風機、電磁ポンプ、電磁流量計、プラギング計、ナトリウムサンプリング装置及び配管、弁等によって構成されている。図2－1に2次ナトリウム純化系系統図を示す。

2次主冷却系へのナトリウム供給に先立ち、ダンプタンクから電磁ポンプによって汲み上げたナトリウムをコールドトラップによって純化する。ナトリウムの純化純度の調節は、コールドトラップ送風機入口に設けられたダンパの開度を自動的に変えることにより冷却用空気量を調整して、コールドトラップ内メッシュ部温度を所定の値に保つことによって行っている。コールドトラップで純化されたナトリウムは2次主冷却系Ａ・Ｂループに分岐され、各々2次主循環ポンプの吸込側に供給される。純化ナトリウム流量は電磁ポンプの電圧によって調整され、分配されるナトリウム流量はＶ34.2-5Ａ、Ｂの弁開度によって調整される。ナトリウムの純度監視は、2次主プラギング計及び2次補助プラギング計によりそれぞれの系統のナトリウム中酸素を対象に連続測定により行われている。

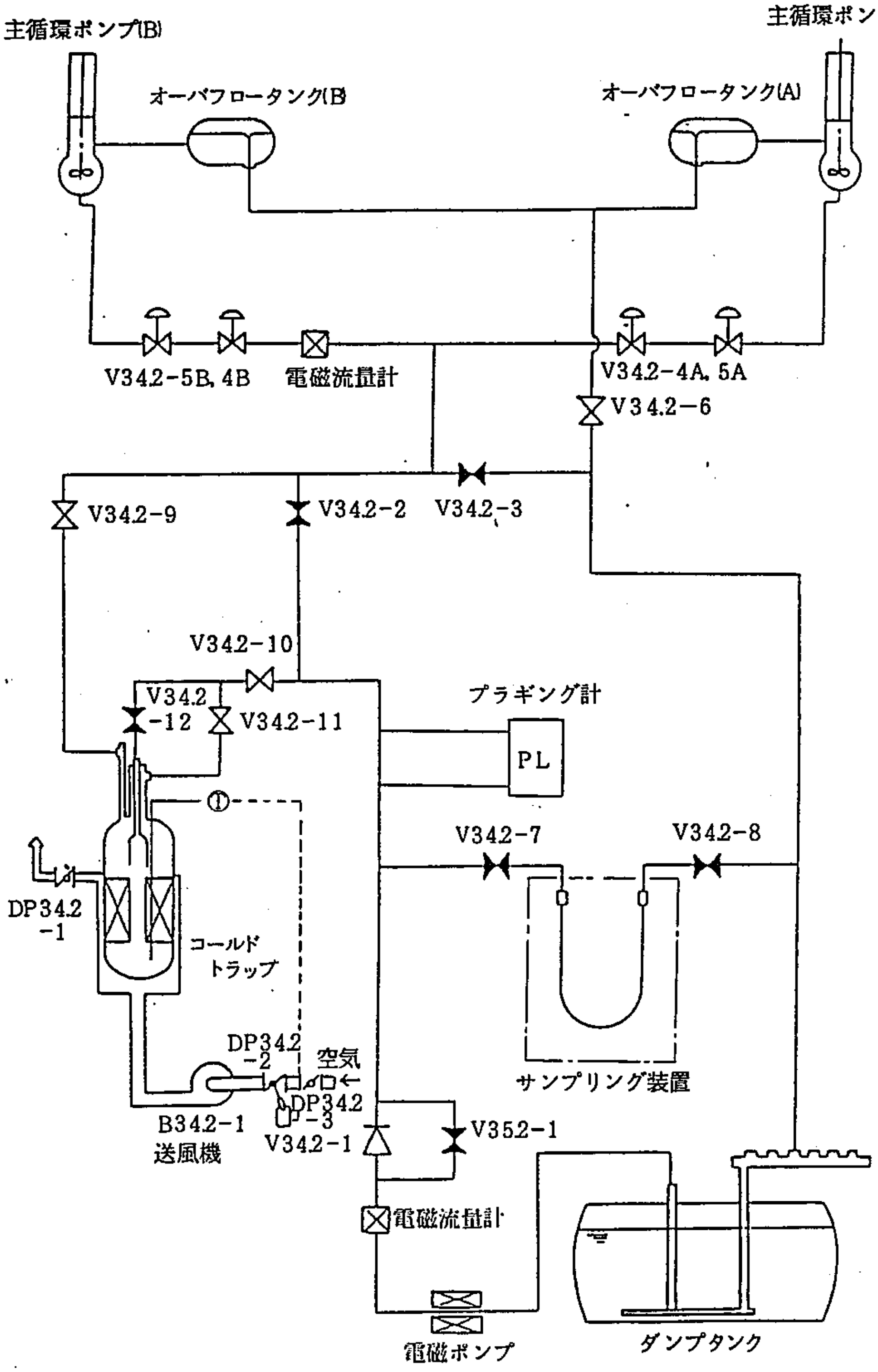


図2－1　2次ナトリウム純化系系統図

2.1 コールドトラップ

(1) 概要

コールドトラップは、ナトリウム中の不純物の溶解度が温度低下とともに減少することを利用してナトリウム中の不純物を除去するものであり、コールドトラップに流入してくるナトリウムを冷却し、不純物を析出させた後メッシュ部に導入するメッシュ外析出型（1次系コールドトラップ等）と、流入ナトリウムをメッシュ部で冷却するメッシュ内析出型（2次系コールドトラップ等）とに大別される。メッシュ外析出型では、流入初層のメッシュ部にて不純物の捕獲が大であり、運転中の急激な温度設定変更及び極端に純度が悪くなった場合等においては、閉塞の恐れがある。このため、近年においてはメッシュ側面を利用し、流入初層面積を大巾に拡大した対策がとられ捕獲容量が著しく増大した。また、長時間運転による不純物の移行に対しては、下流側メッシュ層での捕獲が期待できる。

一方、メッシュ内析出型では、入口部での捕獲も期待できるが出口側での捕獲が大となり、捕獲されていた不純物が系統へ拡散する恐れがある。このため、2次系コールドトラップ内メッシュは、下段に行くほど密となる構造をしている。

(2) 構造

2次ナトリウム純化系コールドトラップは、胴本体及び空気ジャケットの2重構造であり、胴本体内部の上半分はエコノマイザ、下半分は4層のステンレスメッシュを有するメッシュ充塡部となっている。4層のメッシュ各層の間には、グレーチング（型枠）を挿入し、メッシュがナトリウムにより著しい圧力変化を受けるのを防ぐ構造となっている。
また、メッシュ各層に熱電対を挿入し、コールドトラップ内部の温度分布を測定すると共に、その最下層の熱電対は、コールドトラップ温度制御用として用いられている。

2次ナトリウム純化系コールドトラップの構造図を図2.1－1に示す。

2次ナトリウム純化系コールドトラップの主要目は以下に示す通りである。

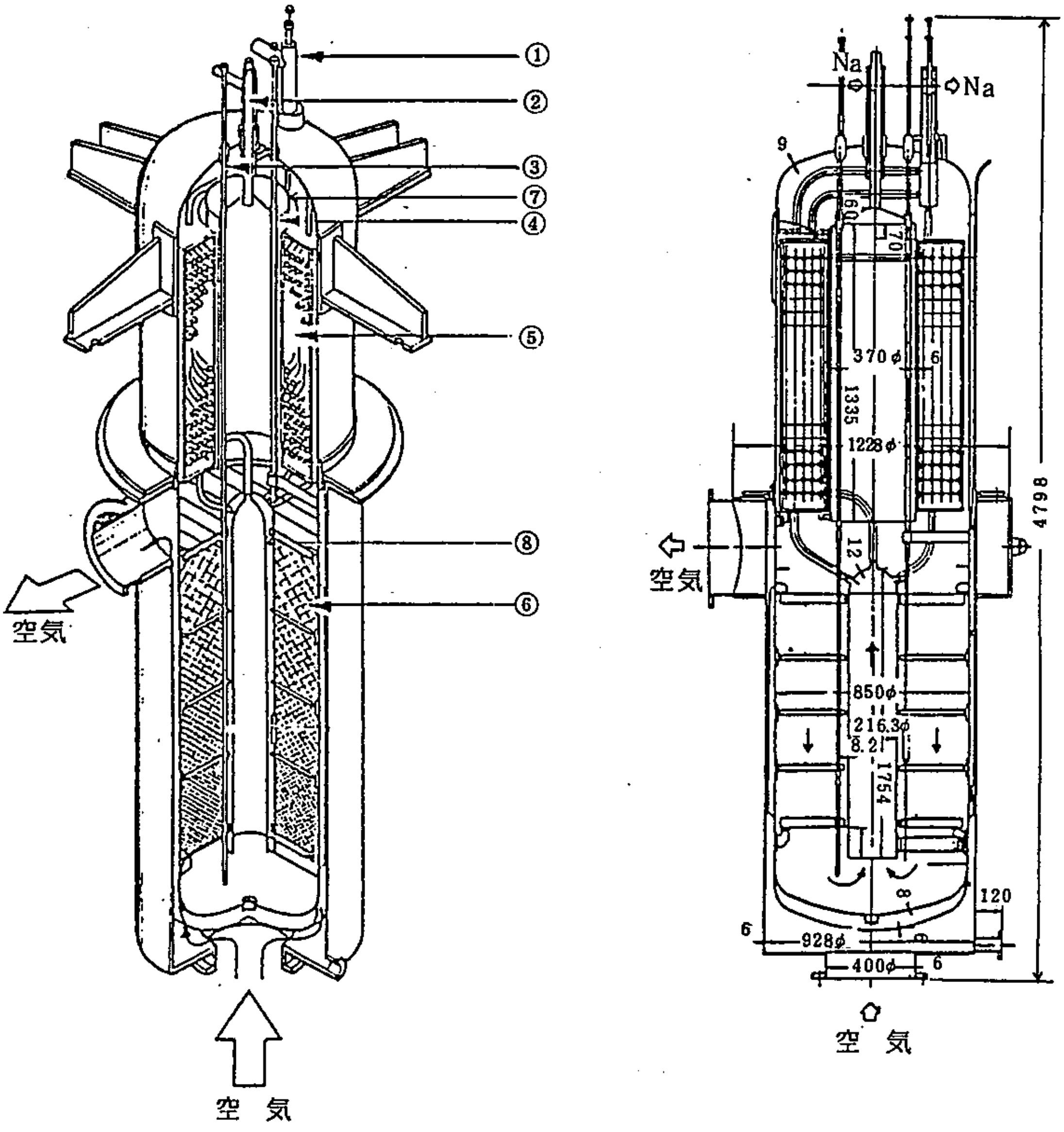
基　数	1基			
形　式	強制空冷エコノマイザ内蔵型			
流　体	ナトリウム及び空気			
主要材質	出入口ノズル	JIS	G3854	STPA24
	メッシュ	JIS	G4039	SUS304

(3) コールドトラップの運転

コールドトラップ流入ナトリウムは邪魔管によりエコノマイザへ導かれ、エコノマイザ管群の間を下降し、流出ナトリウムと熱交換し、メッシュ充塡部で制御温度まで冷却され

る。この間に、不純物は析出結晶化し、捕獲される。純化されたナトリウムはメッシュから流出した後、流れを反転し、帰還管を上昇し、エコノマイザで流入ナトリウムと熱交換し、コールドトラップから流出する。

２次ナトリウムの純化目標値は、プラギング温度で 150℃である。これは当時、Nettlayの腐食データ（酸素濃度を25ppm 以下に保持する）から管理基準値を20ppm とした上で、Claxton の式によってプラギング温度に換算したものである。更に、昭和57年５月以降は、コールドトラップ低温運転試験結果の反映と２次系ナトリウム中の拡散トリチウム軽減の観点から、制御温度を 130℃に変更して運転している。



① ナトリウム出口ノズル
② ナトリウム入口ノズル
③ ドレンノズル
④ 温度計
⑤ エコノマイザ
⑥ トラップメッシュ
⑦ 邪魔管
⑧ 帰還管

図2.1－1　2次ナトリウム純化系コールドトラップ構造図

2.2 プラギング計

(1) 概要

プラギング計は、コールドトラップと同様に、ナトリウム中の不純物の溶解度が温度により異なることを利用したナトリウム純度測定計である。流入ナトリウムを冷却器で冷却し、オリフィス孔に不純物を析出させ部分的に閉塞させることにより、ナトリウム流量を低下させ、その時の流量変化とオリフィス温度からプラギング温度を求める。このプラギング温度とナトリウム中不純物（主に酸素、水素）の飽和溶解度曲線より、この時のナトリウム中不純物濃度を求める。

(2) 構造

2次ナトリウム純化系プラギング計は、電磁ポンプ、電磁流量計、プラギングオリフィス、冷却器等から構成され、プラギングオリフィスの冷却は冷却ブロアにより行い、その制御は冷却ブロア出口ダンパの開度調整により行う構造となっている。

系統との取り合い配管は 1/2インチ配管、ユニット内の取り合い配管は 3/8インチ配管で構成され、冷却器は板材を4枚組み合わせて内部に流路を設けた構造となっている。

プラギングオリフィス部は、5㎜の板材に1㎜φの穴を2個開けた構造で、プラギング計配管の出入口部にフィルタを設けて異物による閉塞を防ぐ構造となっている。また、プラギングオリフィス部には熱電対が取り付けられており、これによりプラギングオリフィスを流れるナトリウムの温度を測定する。

プラギング計を流れるナトリウム流量は、冷却器の間と電磁ポンプ出口側に設けられた電磁流量計により測定し、系統側の流量外乱によるオリフィス部の流量変化をキャンセルするために、それぞれの流量信号の比をとって検出する構造となっている。また、オリフィス及び冷却器をバイパスするバイパスオリフィスを設け、電磁ポンプ出口流量（定格 4.6ℓ/min）とオリフィス流量（定格 1.6ℓ/min）の差分を流しておくことによりオリフィス部の流量の安定化を図っている。

2次ナトリウム純化系プラギング計の構造図を図2.2－1に、また、図2.2－2にそのフローシートを示す。

2次ナトリウム純化系プラギング計の主要目は、以下に示す通りである。尚、2次補助冷却系設備にも同一仕様のプラギング計が設置されている。

基　数	1基
形　式	自動連続式オリフィスプレート型
流　体	ナトリウム及び空気
冷却方式	強制空冷

主要材質　　ＳＵＳ304

(3) プラギング計の運転

図2.2－3に2次ナトリウム純化系プラギング計によるプラギング温度測定例と、その時々のオリフィス部の不純物付着状況を摸式的に書いたものを示す。

図におけるＡ点は、オリフィス孔が完全にフラッシングされ、不純物の付着が無く、所定の定格流量が得られ流量比が 100%の状態である。この状態から冷却ブロアを起動し、流量比制御設定を90%に設定することにより、オリフィス部を流れるナトリウムがその上流側の冷却器で冷却され、その時のナトリウム中不純物飽和温度以下となった後、不純物が析出結晶化し、オリフィス孔内壁に付着し始め、Ｂ点となる。不純物結晶が付着することにより、オリフィス流量が低下し、流量比が 100%の状態から90%の状態に移行する。流量比を90%に制御する様に冷却ダンパの開閉を行い、安定した状態、すなわちＣ点となる。この状態のオリフィス部は、不純物の析出現象と溶解現象が平衡した状態であり、この時のオリフィス部温度がプラギング温度となる。

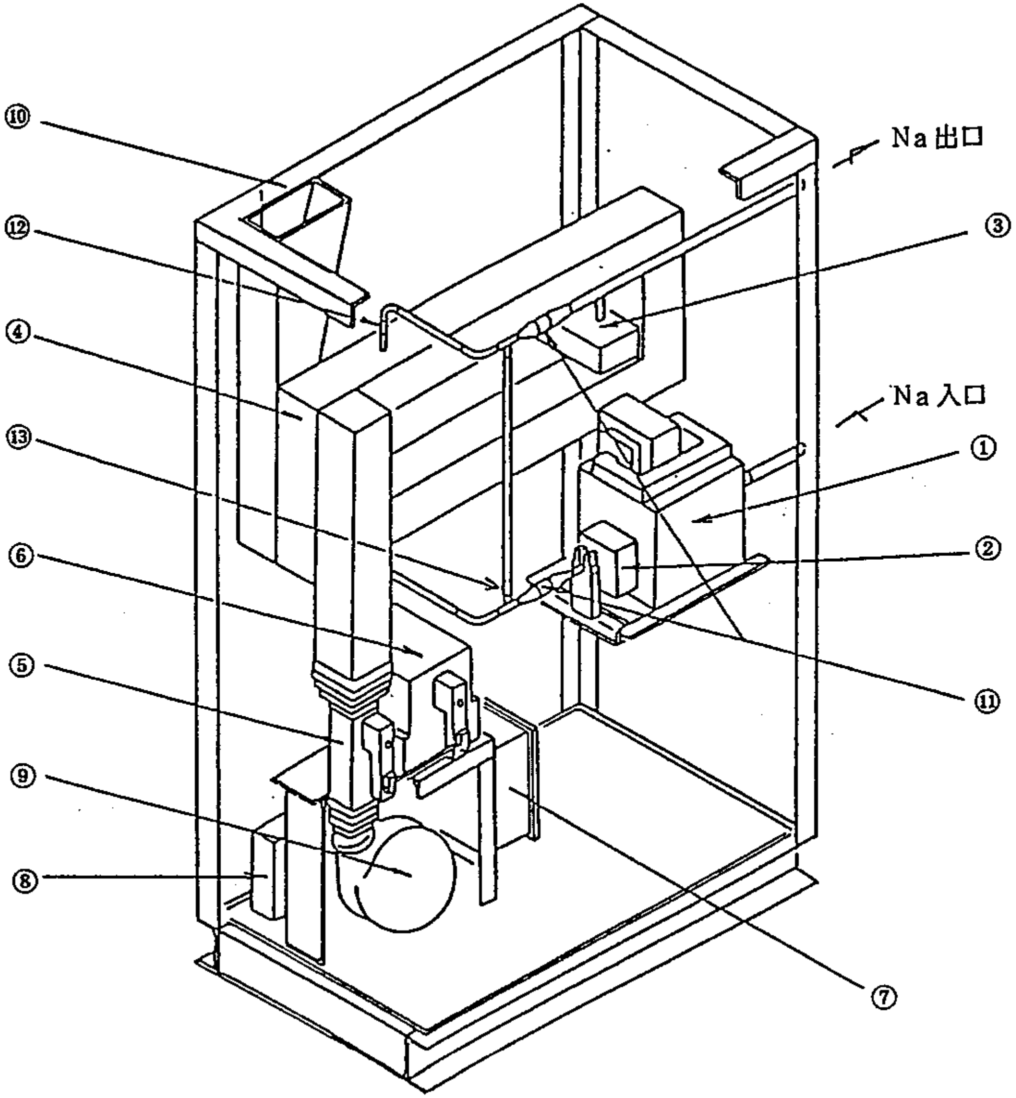
これら一連の動作は、以下に示すようにモードスイッチの切替によって行われる。「POWER ON」で冷却器ヒータが投入されオリフィス部でのナトリウム凍結の防止、予熱を行う。「STAND BY」で更に電磁ポンプが起動する。流量比の低下及びオリフィス温度の上昇時にオリフィス部のフラッシングのために用いられるモードである。「OPERATION」は更に冷却ブロアが起動し、プラギング温度を測定するモードである。通常、プラギング計は、この「OPERATION」と「STAND BY」のモード切替によって運転される。

また、2次補助冷却系プラギング計には、この他に「ＣＰＵ」モードという機能が平成2年度の第8回定期検査時に、次の2点を改善する目的で追加された。

① プラギング温度測定状態において、酸素、水素以外の第3の不純物が析出し始めることによる流量低下及びこれに伴う温度上昇現象が発生し、安定したプラギング温度測定に支障をきたしている。

② この状態を回復するためフラッシング操作が定期的に必要となっており、これにより生ずる機器・配管への熱衝撃が繰り返され、長期的に見て好ましくない。

「ＣＰＵ」モードとは、プラギング温度で運転する時間を任意（第3の不純物の析出により流量低下・温度上昇現象が起こらない時間）に設定可能で、その時間経過後はアンプラグ温度又は任意の設定温度（第3の不純物が析出しない温度）で制御させるもので、プログラムを組み込んだコントローラにより、「OPERATION」と「STAND BY」のモードとを自動的に繰り返し、且つ、「STAND BY」モード時の温度を約 300℃に抑えて運転する機能である。



符　号	名　　　称
1	電磁ポンプ
2	ポンプ出口流量計
3	プラギングオリフィス流量計
4	冷却器
5	ダンパ
6	ダンパドライブユニット
7	コントロールアダプタ
8	コンデンサ
9	冷却ブロア
1 0	架台枠
1 1	フィルタ
1 2	プラギングオリフィス
1 3	バイパスオリフィス

図2.2－1　２次ナトリウム純化系プラギング計構造図

記　号	名　　称
TE, FE	温度検出器, 流量検出器
TT, FT	温度変換器, 流量変換器
TA, FA	温度設定器, 流量設定器
FIC	流量指示制御器
T(F)R	温度(流量)記録計
SW	記録計入力切換スイッチ

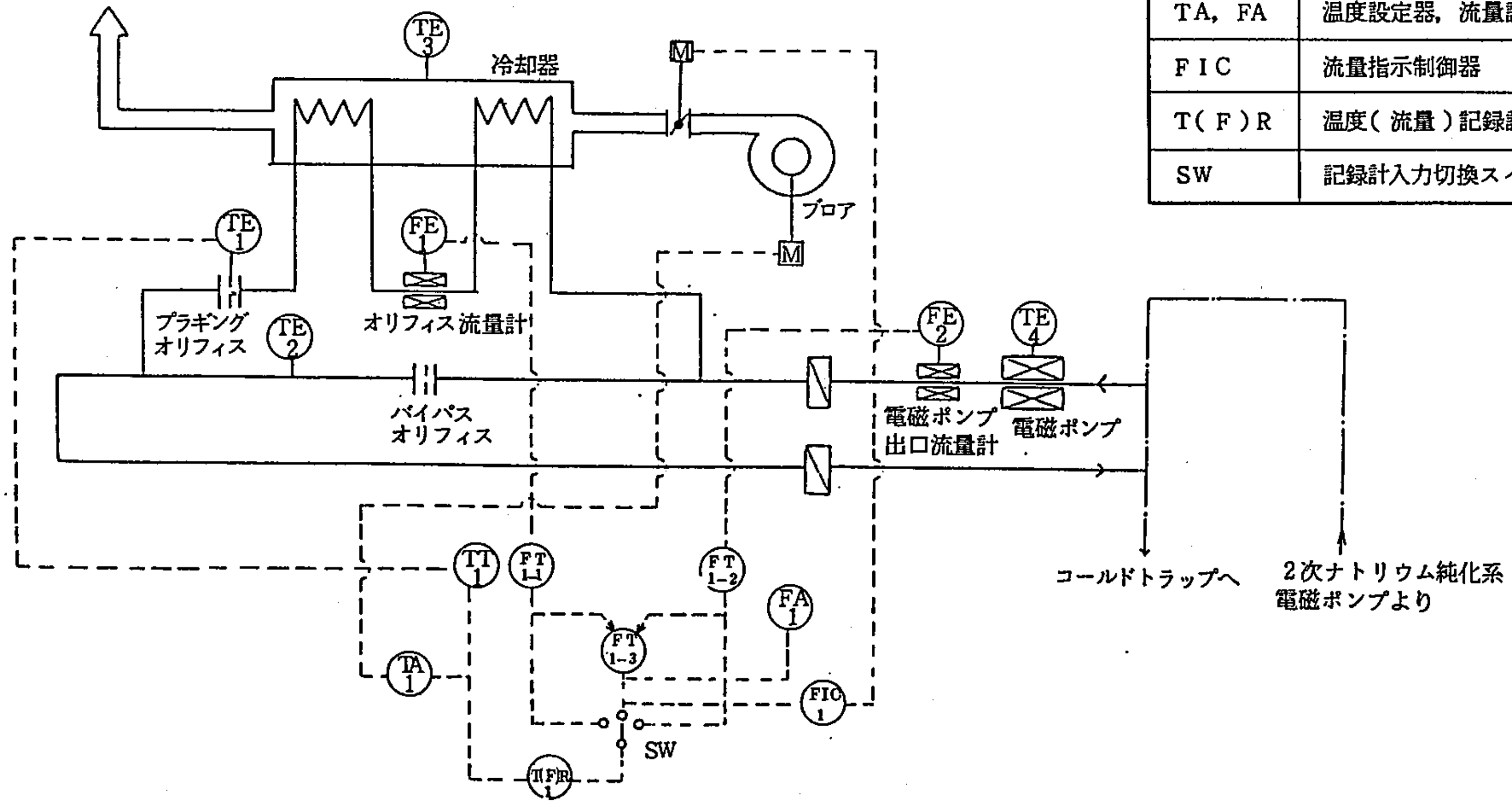
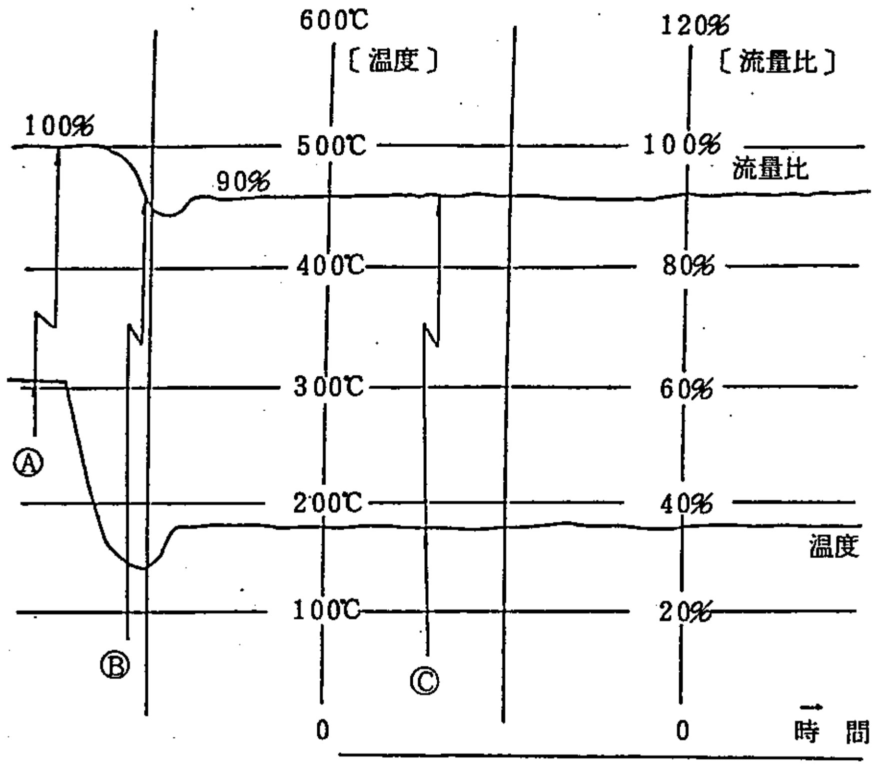
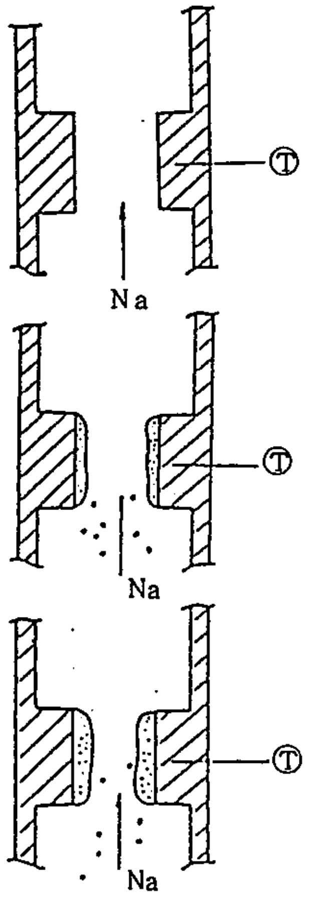


図2.2－2　2次ナトリウム純化系プラギング計フローシート





Ⓐ：オリフィス部が完全にフラッシング
されている状態

Ⓑ：オリフィス部に不純物が析出し始め，
流量比が低下していく状態

Ⓒ：オリフィス部での不純物の析出と溶解
の現象が平衡しており，流量比が安定
している状態

図2.2－3　プラギング温度測定例

2.3 ナトリウムサンプリング装置

(1) 概要

ナトリウムサンプリング装置は、2次冷却系内ナトリウムの純度測定のための分析試料を系統から直接採取するものであり、定期的にサンプリングを実施し、分析してナトリウム中の不純物濃度を確認している。

2次ナトリウムサンプリング装置はバイパス方式であり、2次ナトリウム純化系の電磁ポンプ出口側と2次冷却系ダンプタンク入口（オーバフロー戻り）配管を結ぶ経路に設置されている。サンプリングボックス内には、予熱ヒータ、温度検出用熱電対、漏洩検出器及びサンプリングチューブが内蔵されている。

2次ナトリウムサンプリング装置の概略図を図2.3－1に示す。

(2) サンプリング方法

2次ナトリウムのサンプリング方法は、U字型のサンプリングチューブを用いるフロースルー法を採用している。ナトリウムサンプリングは、ナトリウムを流す（フラッシングする）前にサンプリングチューブとナトリウム出入口配管を予熱ヒータにより予熱し、一定期間ナトリウムをフラッシングした後、冷却・固化し、ナトリウムの詰まったサンプリングチューブを取り出すという手順で行われる。サンプリングチューブは、スウェッジロック継手により出入口配管に接続されており、チューブのみ容易に取り出せるようになっている。また、ナトリウムフラッシング中、万一サンプリングボックス内でナトリウムが漏れた場合の火災防止のため、サンプリングボックス内はアルゴンガス雰囲気に置換されている。

2次ナトリウムサンプリング装置の主要目は以下に示す通りである。

① サンプリングボックス

形　　式	箱型
主要材質	炭素鋼
概略寸法	450 W×700 L×750 H　mm

② サンプリングチューブ

形　　式	チューブ管
Na採取量	約 120g
材　　質	SUS316TP
概略寸法	15.9φ×950 L×1.2 t　mm

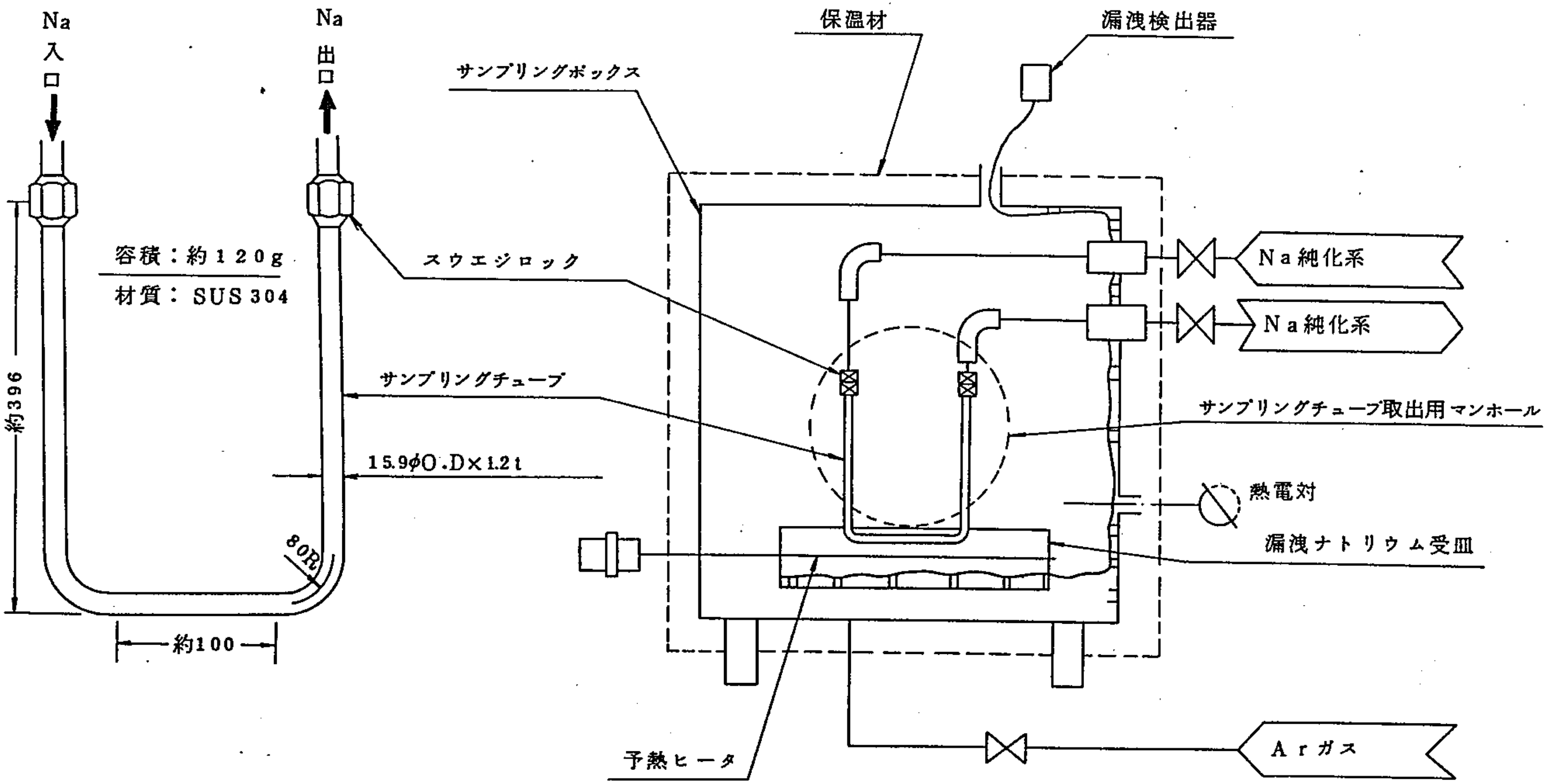


図2.３－１　２次ナトリウムサンプリング装置及びサンプリングチューブ

3. 2次ナトリウム純化系の運転経験

高速実験炉「常陽」は、各種の機能試験を繰り返しながら順調に建設が進められ、昭和52年4月24日に増殖炉心として初臨界を達成して以来、性能試験を実施しながら原子炉出力を上昇させて現在の照射炉心として100MW定格出力第29サイクル運転を終了した。この間2次ナトリウム純化系は、昭和50年7月にナトリウム充填を行って以来仮設コールドトラップによる初期ナトリウム純化運転を経て、昭和51年4月から本設コールドトラップによるナトリウム純化運転を開始、継続した。

本章では、平成2年4月から平成7年3月までの2次ナトリウム純化系及び2次補助プラギング計の運転実績と不具合状況について述べる。

期間中の2次ナトリウム純化系は、系統汲み上げ流量4㎥／h、A・B系統それぞれの分岐流量は2㎥／hで運転された。また、コールドトラップナトリウム温度は130℃一定運転を継続した。

2次ナトリウム純化系（2次補助プラギング計を含む）の総不具合件数は12件であり、その内訳は機械的な不具合が5件、電気的な不具合が7件であった。尚、不具合内容に再現性がなかったものが1件含まれている。しかし、これらの不具合はプラント全体に影響を及ぼすものではなかった。

改造・更新としては、電源喪失など外部要因により停止した2次ナトリウム純化系機器再起動時の操作性改善を目的として、2次ナトリウム純化系の運転スイッチ・計装設備などを第8回定期検査時に中央制御室の2次制御盤へ移設した。

2次補助プラギング計においては、原子炉運転前に系統分離の観点で行う2次主系統と2次補助系統との連絡弁（V32.2-3 ）の閉止で、原子炉運転を開始すると、第3の不純物の溶出が始まりその影響による測定上の問題が生じている。本問題に関しては種々の調査・改善を行ってきているものの、現在も原子炉運転時にはプラギング温度が長時間安定して測定できない状況にある。

3.1 運転実績

平成2年4月から平成7年3月末までの5年間は純化流量4㎥／h、コールドトラップは130℃の一定運転を継続した。この間、プラギング温度の連続測定、定期的なナトリウムサンプリングにより、2次主冷却系及び2次補助系の不純物量が基準範囲内であることを確認した。また、ナトリウムのドレン・充填や弁点検などによる多量の不純物の混入もなかった。

これまでの2次ナトリウム純化系電磁ポンプ積算運転時間は約140860時間となり、大きな運転状態の変動も無く、安定している。

期間中のナトリウムの充填3回・ドレン2回、コールドトラップバイパス運転6回、外部電源喪失を除く電磁ポンプの計画外停止は3回であった。

表3.1－1(1/10)～(10/10)に2次ナトリウム純化系の運転実績（含む2次補助プラギング計の運転値）を示す。

表3.1－1 (1/10)　2次ナトリウム純化系運転実績

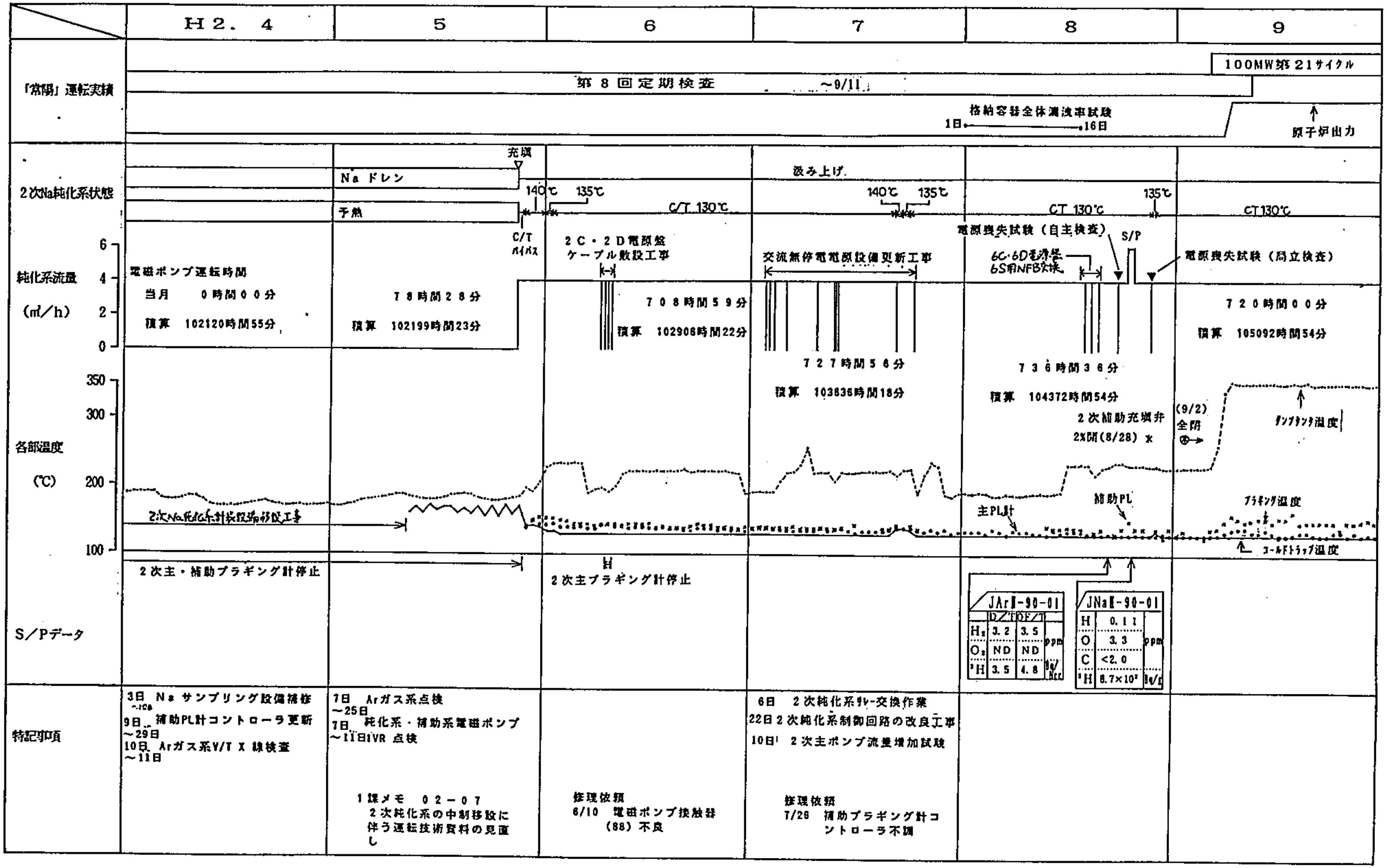


表3.1－1（2/10）　２次ナトリウム純化系運転実績

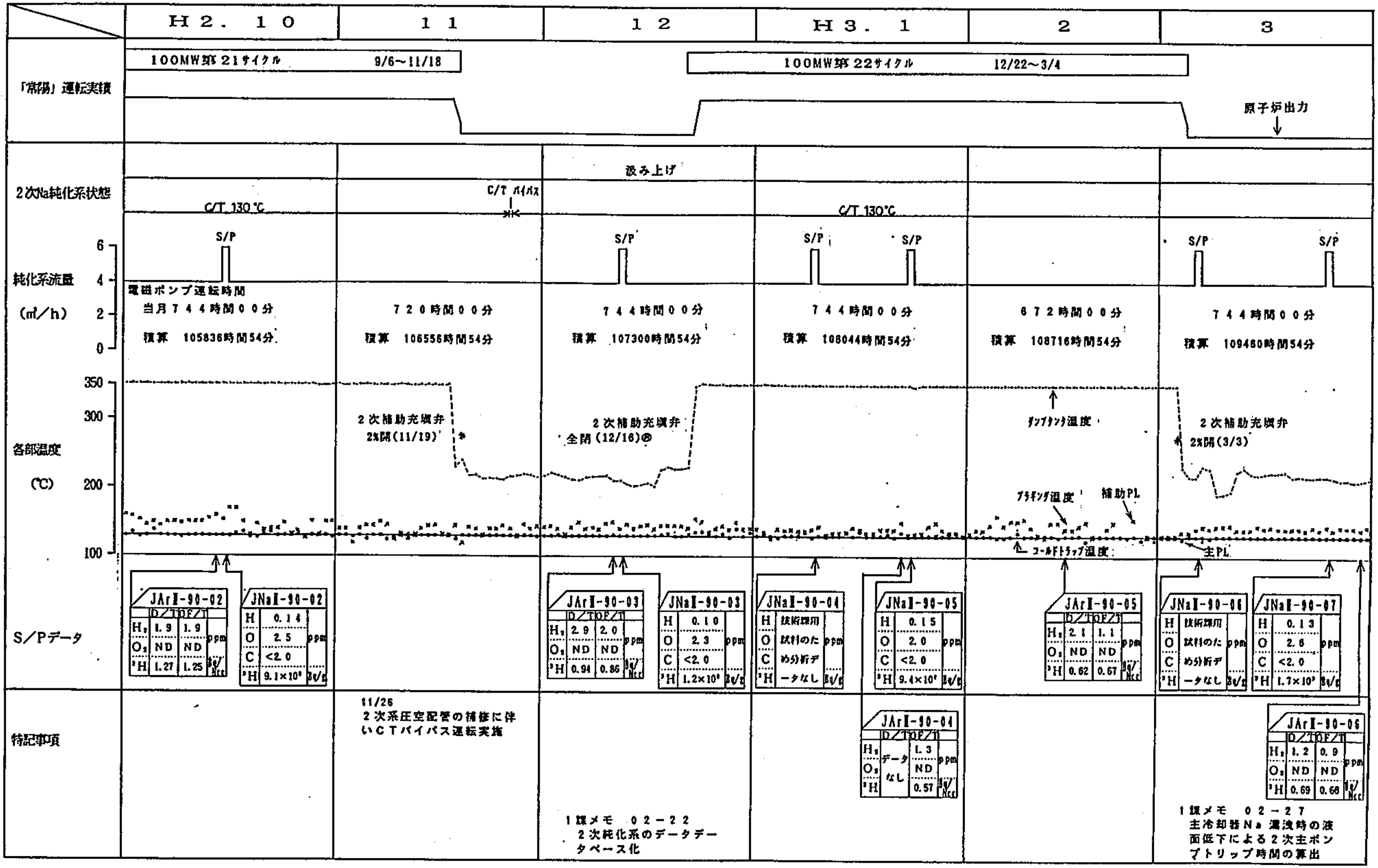
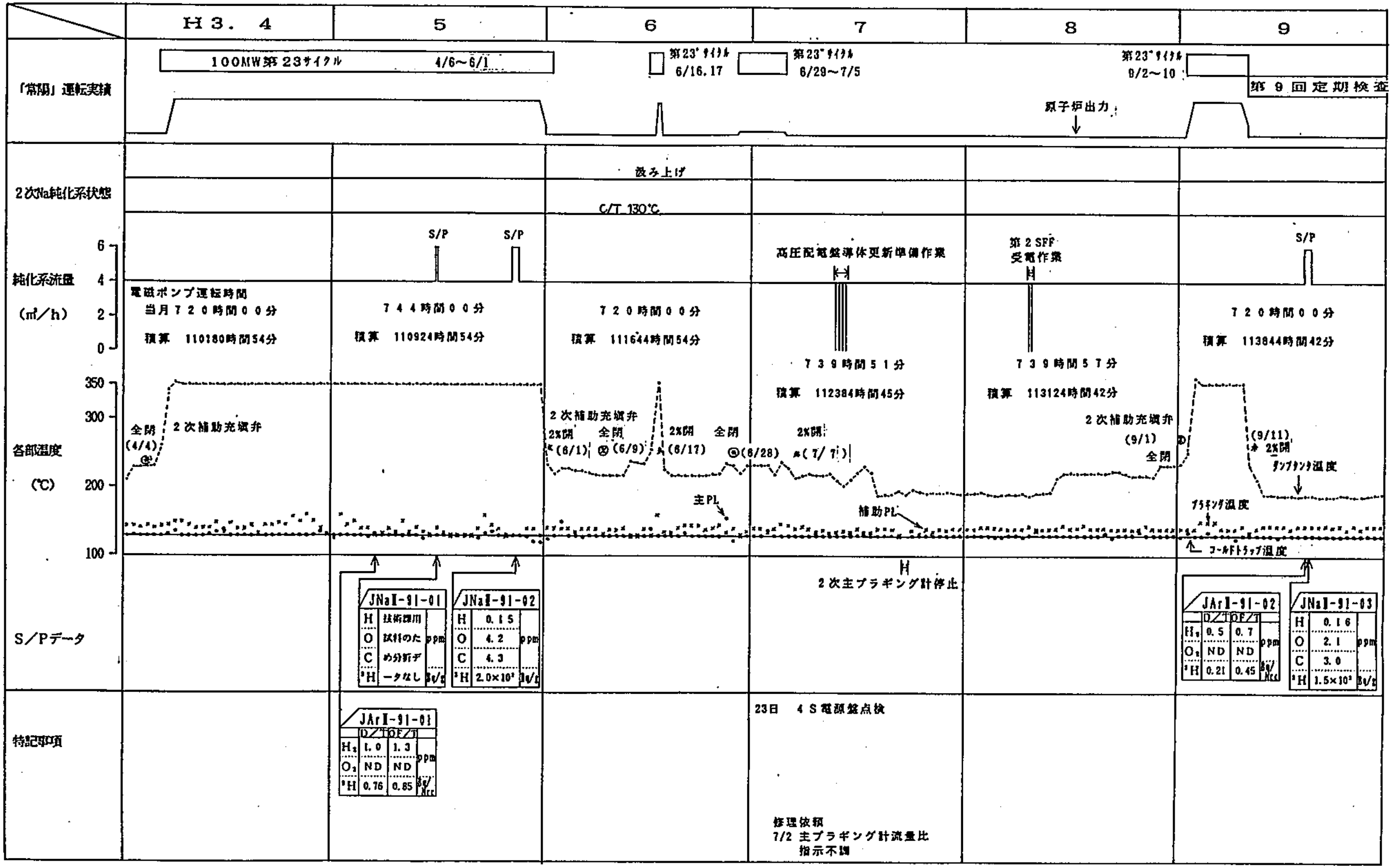


表3.1－1(3/10)　2次ナトリウム純化系運転実績



JNaⅡ-91-01

H	技術課用	ppm
O	試料のた	ppm
C	め分析デ	ppm
³H	ータなし	Bq/g

JNaⅡ-91-02

H	0.15	ppm
O	4.2	ppm
C	4.3	ppm
³H	2.0×10³	Bq/g

JArⅡ-91-01

	D/T	OF/T	
H_2	1.0	1.3	ppm
O_2	ND	ND	ppm
³H	0.76	0.85	Bq/Ncc

JArⅡ-91-02

	D/T	OF/T	
H_2	0.5	0.7	ppm
O_2	ND	ND	ppm
³H	0.21	0.45	Bq/Ncc

JNaⅡ-91-03

H	0.16	ppm
O	2.1	ppm
C	3.0	ppm
³H	1.5×10³	Bq/g

表3.1－1 (4/10)　　2次ナトリウム純化系運転実績

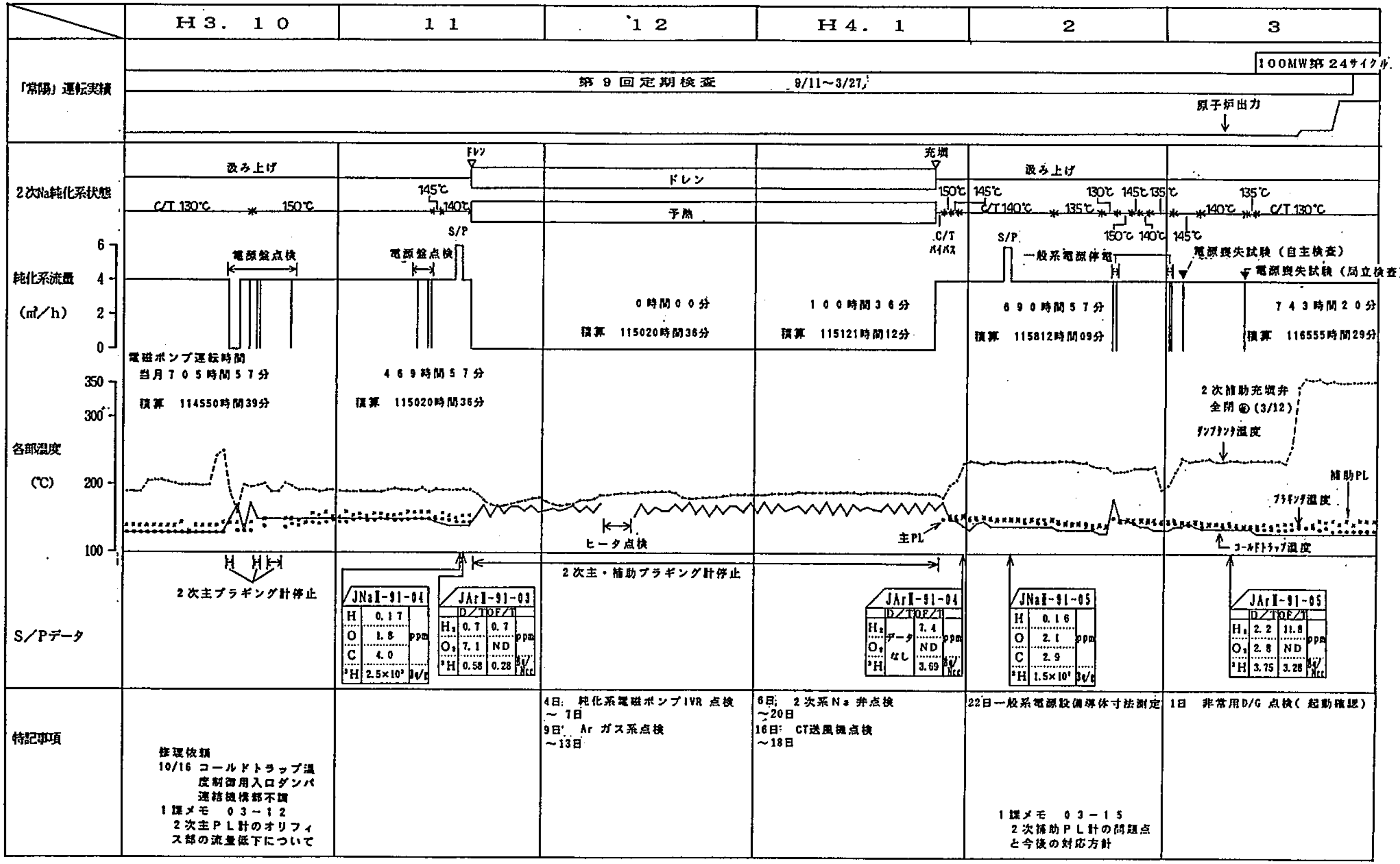


表3.1－1 (5/10)　2次ナトリウム純化系運転実績

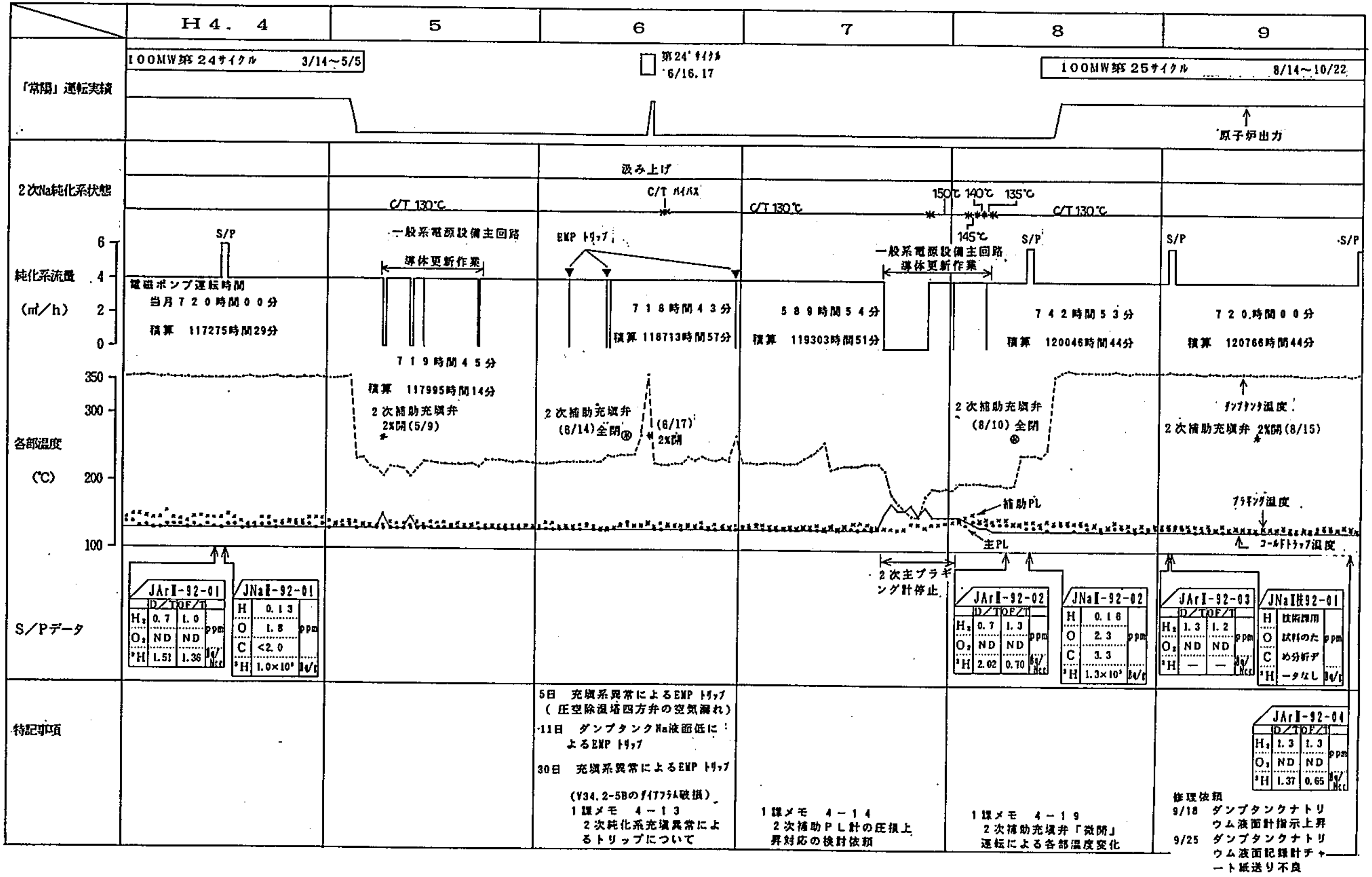
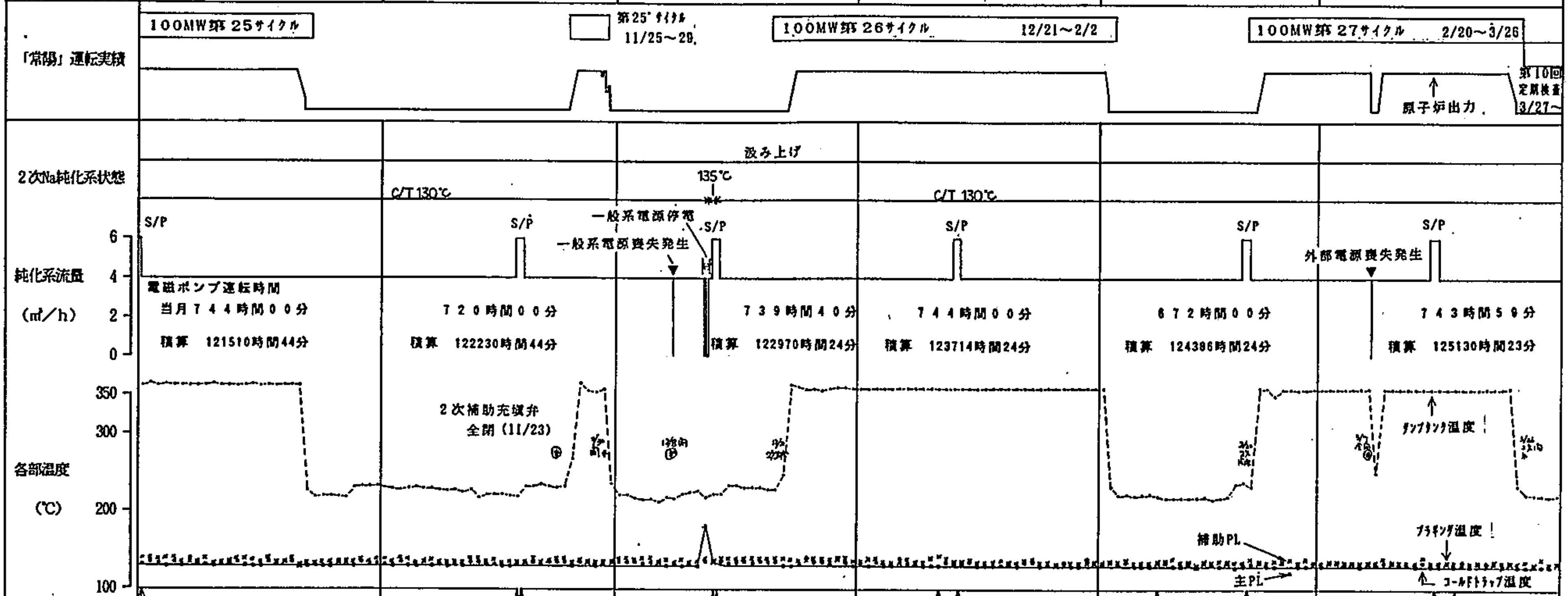


表3.1－1(6/10)　2次ナトリウム純化系運転実績

	H4.10	11	12	H5.1	2	3



S/Pデータ

JNaⅡ-92-03		
H	0.14	ppm
O	1.8	ppm
C	2.7	ppm
^3H	1.7×10^3	Bq/g

JArⅡ-92-05	D/T	OF/T	
H_2	2.4	2.6	ppm
O_2	ND	ND	ppm
^3H	2.60	4.65	Bq/Ncc

JNaⅡ-92-04		
H	0.14	ppm
O	1.9	ppm
C	3.2	ppm
^3H	2.0×10^3	Bq/g

JArⅡ-92-06	D/T	OF/T	
H_2	1.4	1.2	ppm
O_2	ND	ND	ppm
^3H	1.44	1.43	Bq/Ncc

JNaⅡ-92-05		
H	0.11	ppm
O	2.1	ppm
C	<2.0	ppm
^3H	2.3×10^3	Bq/g

JArⅡ-92-07	D/T	OF/T	
H_2	1.4	1.2	ppm
O_2	ND	ND	ppm
^3H	0.68	0.89	Bq/Ncc

JNaⅡ-92-06		
H	0.13	ppm
O	1.8	ppm
C	<2.0	ppm
^3H	1.9×10^3	Bq/g

JArⅡ-92-08	D/T	OF/T	
H_2	1.0	0.8	ppm
O_2	ND	ND	ppm
^3H	0.33	0.35	Bq/Ncc

JNaⅡ-92-07		
H	0.14	ppm
O	1.8	ppm
C	<2.0	ppm
^3H	2.2×10^3	Bq/g

JNaⅡ-92-08		
H	0.11	ppm
O	1.6	ppm
C	<2.0	ppm
^3H	1.8×10^3	Bq/g

JArⅡ-92-09	D/T	OF/T	
H_2	0.8	0.5	ppm
O_2	ND	ND	ppm
^3H	0.95	0.22	Bq/Ncc

特記事項

H4.10	11	12	H5.1	2	3
1課メモ 4－023 2次補助充填弁の微開運転によるPL計圧損状況報告	1課メモ 04－24 2次C/T内ECO伝熱特性試験計画について	8日 大洗変電所計装ラインへの落雷の影響による電源喪失 12日 大洗変電所定期点検 1課メモ 4－025 2次補助充填弁の運用 1課メモ 04－27 2次C/Tエコノマイザー伝熱特性試験	修理依頼 1/25 ダンプタンクナトリウム液面計指示不良	1課メモ 03－15 2次補助PL計の問題点と今後の対応方針 1課メモ 03－1 2次Naサンプリング時の不具合と今後の対応について	7日 落雷による外部電源喪失 1課メモ 04－31 2次C/Tエコノマイザー伝熱特性の経年変化

表3.1－1 (7/10)　　2次ナトリウム純化系運転実績

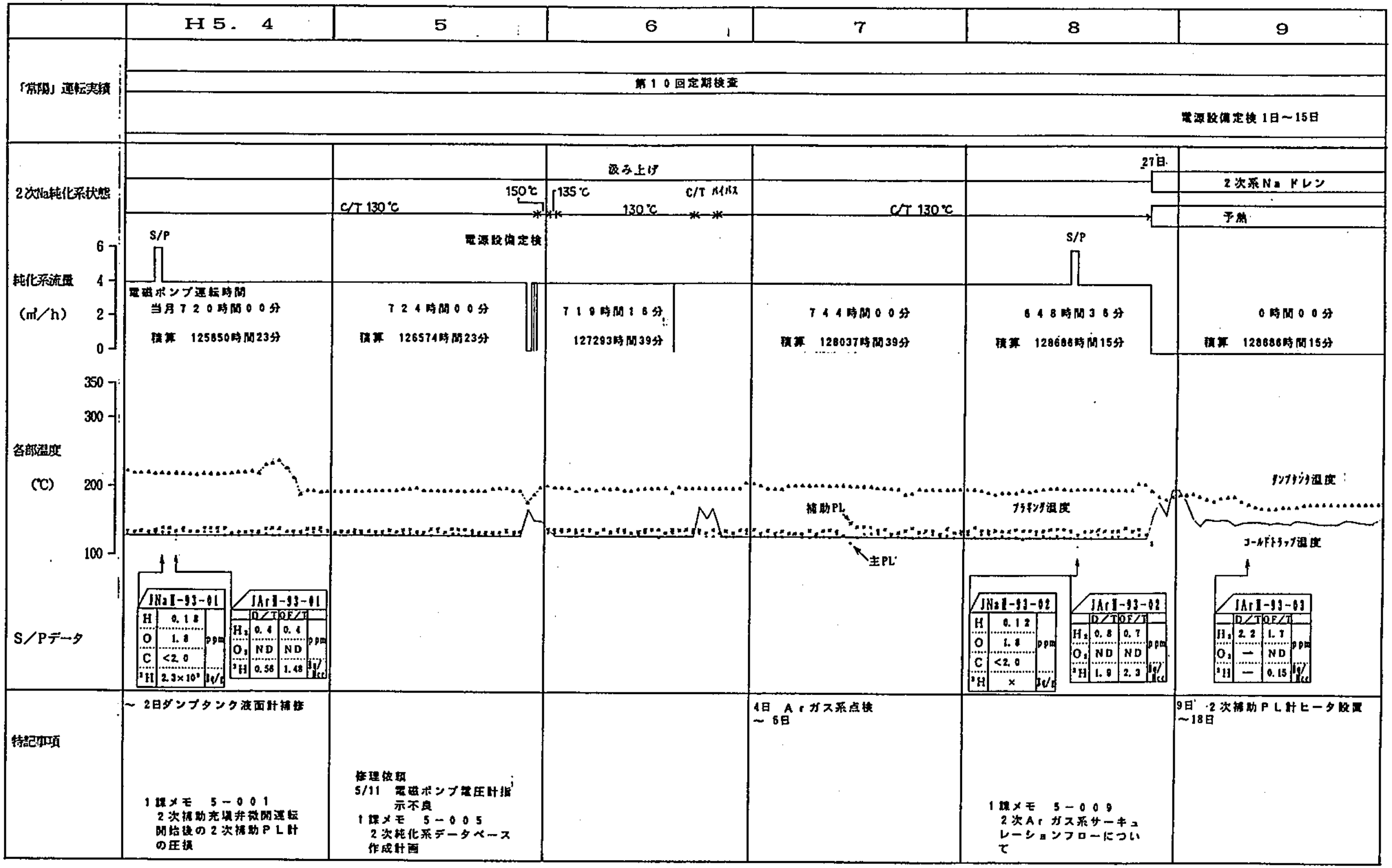


表3.1－1 (8/10)　２次ナトリウム純化系運転実績

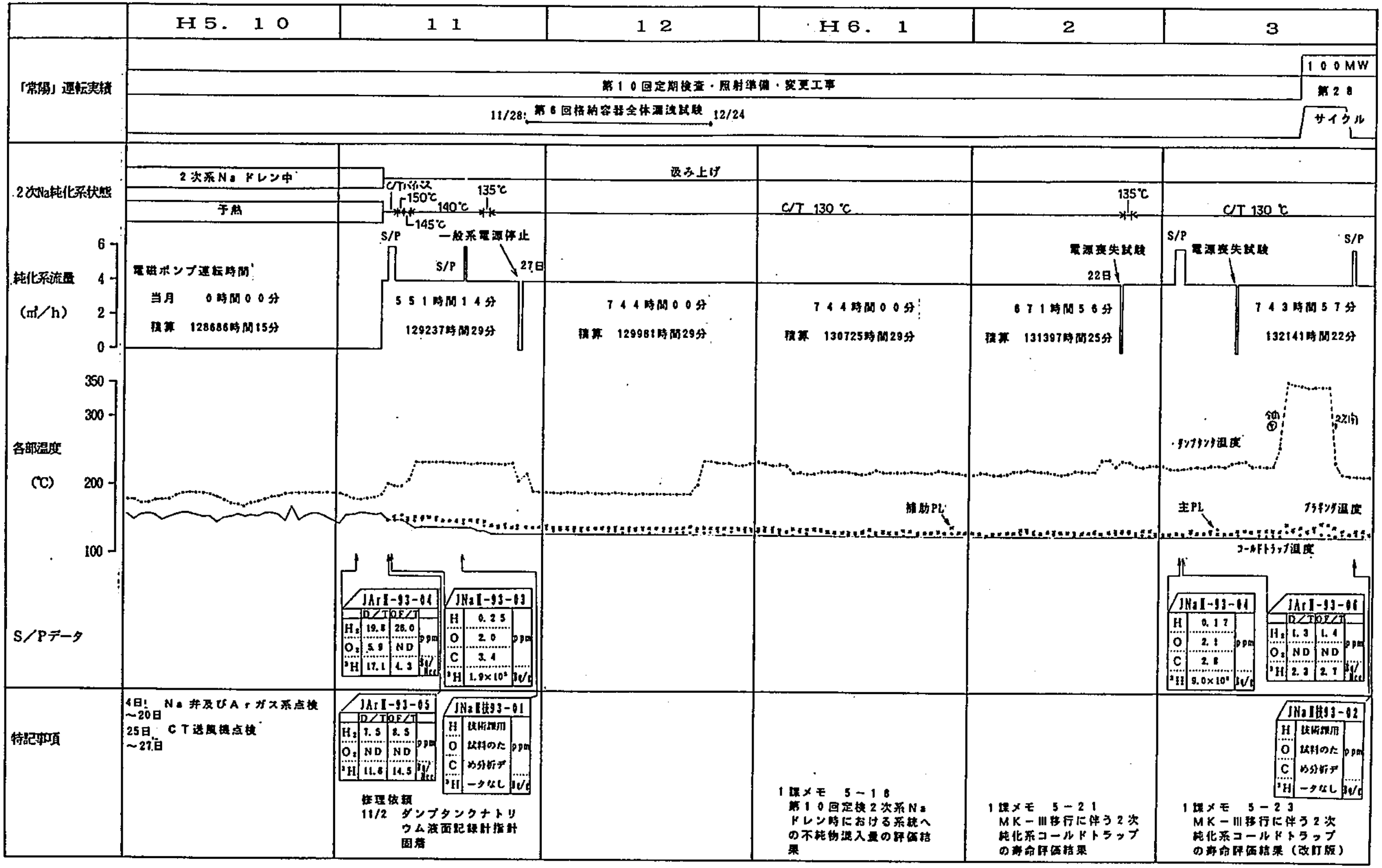


表3.1－1 (9/10)　2次ナトリウム純化系運転実績

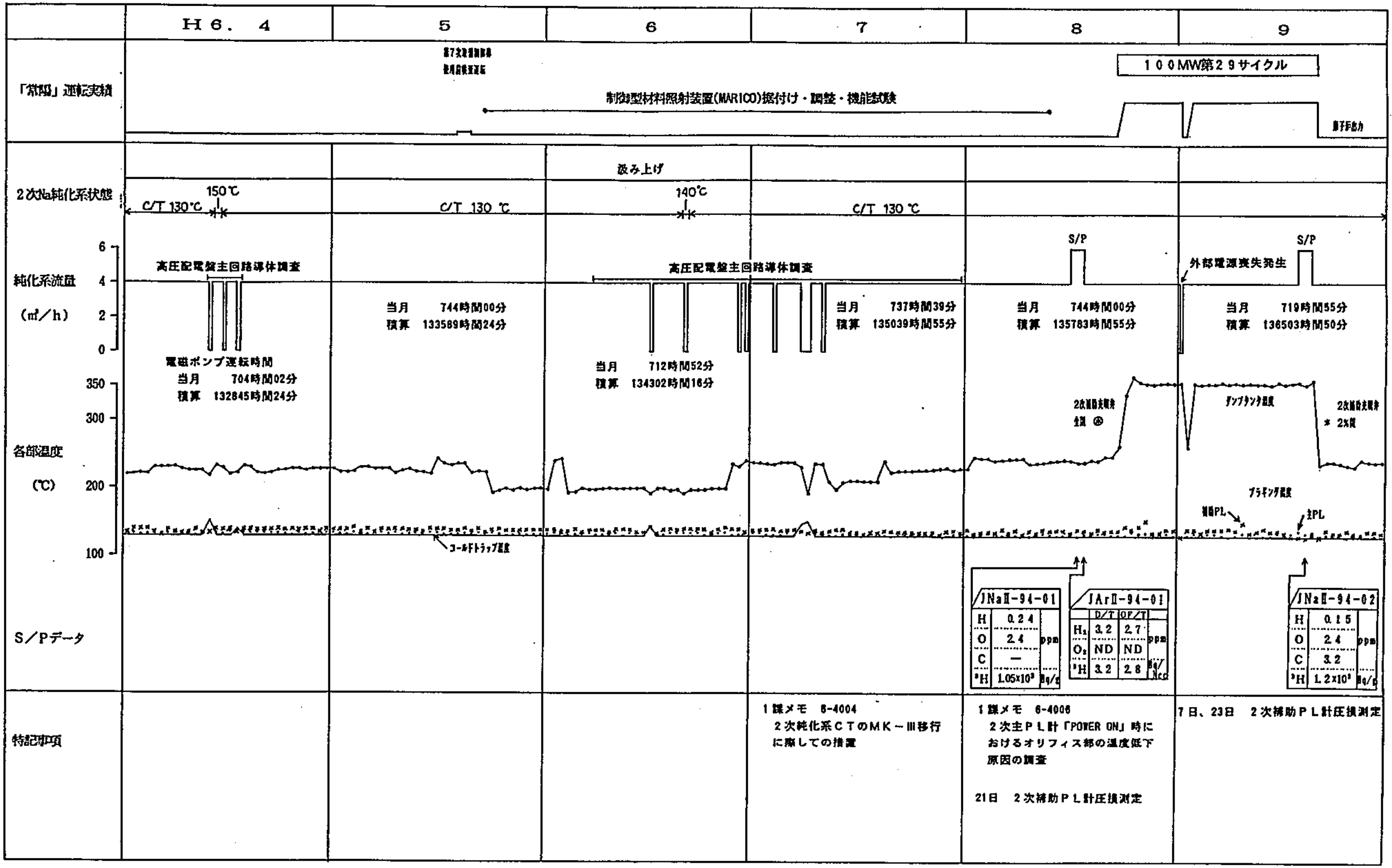
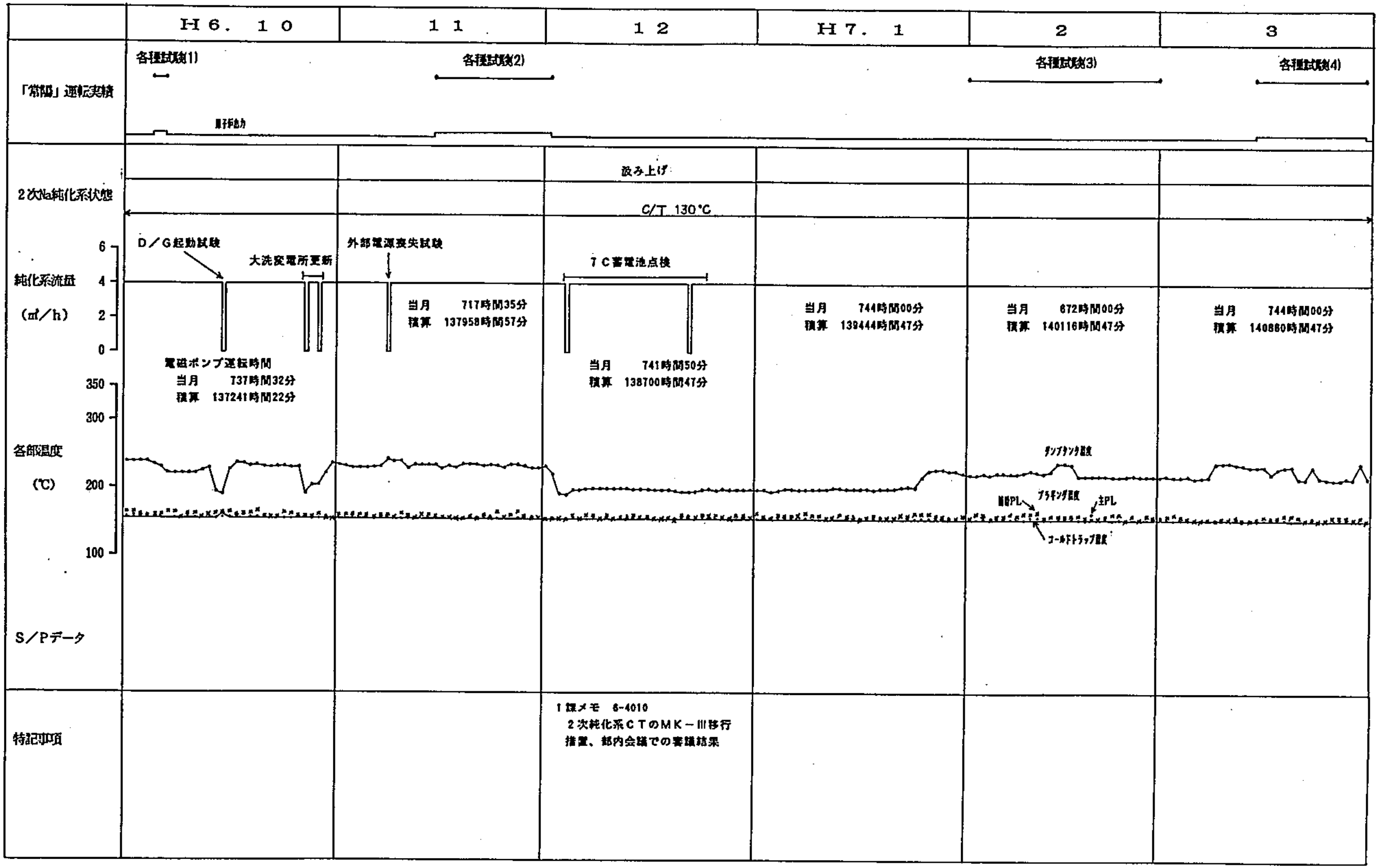


表3.1－1(10/10)　　2次ナトリウム純化系運転実績



3.2 補修、改造実績

これまでに発生した不具合事象とその措置についてまとめるとともに、改造・更新について記述する。

(1) 補修実績

平成2年4月から平成7年3月末までに発生した2次ナトリウム純化系の不具合件数は以下の通りである。

平成2年度	2件	平成5年度	2件
平成3年度	3件	平成6年度	0件
平成4年度	5件		

総不具合件数は12件であり、その内訳はコールドトラップ関係：1件、プラギング関係：2件、電磁ポンプ関係：2件、バルブ関係：1件、ナトリウム液面計関係：3件、記録計関係：3件である。

期間内の不具合内容と措置結果を表3.2－1(1)及び表3.2－1(2)に示す。

また、第1回定期点検（昭和54年9月）以降約15年間で発生した不具合の総数は51件であった。不具合事象を総括すると、各年度での不具合箇所や件数に大きな変化が見られないことや、その異常の程度も軽微なものが大半を占めていることから、予防保全の観点で行っている更新や定期的な点検などの保守管理徹底の効果と評価できる。

第1回定検（昭和54年9月）以降の各年度の補修件数及び異常発生箇所を各々図3.2－1、図3.2－2に示す。

(2) 改造実績

① 2次ナトリウム純化系機器操作スイッチなどの中制移設

（概要）

電源喪失など外部の要因により停止した2次ナトリウム純化系機器を再起動する場合の操作性改善のために、以下に示す各操作スイッチや計装設備などを主冷却機建家から中央制御室の2次制御盤へ移設した。尚、移設は第8回定期検査時に行われた。

(a) 電磁ポンプ・電磁ポンプ冷却ファン連動スイッチ

(b) 電磁ポンプＩＶＲ操作スイッチ

(c) コールドトラップ送風機操作スイッチ

(d) 純化系ロジックスイッチ

(e) Ａループ主系統充填第1・第2元弁連動操作スイッチ

(f) Ｂループ主系統充填第1・第2元弁連動操作スイッチ

(g) 電磁ポンプ電圧計・電流計

(h) 2次純化系流量・Bループ分岐流量・コールドトラップ温度記録計

(i) コールドトラップ温度制御器

(j) 2次純化系警報表示窓

（結果）

本移設により、中央制御室での機器起動が可能となり、異常時は勿論、ナトリウムの充塡・ドレンなどの特殊操作も2次主系統など関連する他の系統状態を監視しながら実施することでき、省力化と共に更に確実な運転操作が可能となった。

② 2次補助プラギング計自動フラッシングモードの追加

（概要）

2次補助冷却系のプラギング計は、原子炉運転に伴う系統温度の上昇により、系統内で溶出する第3の不純物がプラギング計に徐々に析出し始め、数日後には、1日に1回フラッシングを行わなければ酸素のプラギング温度が測定できなくなる。このため、フラッシングとプラギング温度の測定を、自動的に繰り返すプログラムを組み込んだコントローラを第8回定期点検時に設置した。

（結果）

本報告書5章の「2次補助系プラグ温度測定の問題点と対策」に詳述のとおり、本改造では補助系プラグ温度測定上の問題の解決には至っていないが、定期的な現場操作の負担軽減となったほか、フラッシング時の温度を約 300℃に抑えて運転することで配管等への熱衝撃が緩和された。

表3.2－1(1)　2次ナトリウム純化系設備の不具合とその措置

(1)　コールドトラップ：1件

項　目	発生年月日	内　容	調　査・措　置
コールドトラップ温度制御用入口ダンパ連結機構部不調	H3.10.16	コールドトラップ温度制御用入口ダンパが制御状態の中間開度で固着し、開，閉両方向共に全く動作しない。	ダンパシャフトのダクト貫通部（反ドライブユニット側）に錆が発生したことにより固着し、動作不能となった。入口ダンパを分解し、錆を除去した後グリスを塗布した。

(2)　プラギング計：2件

項　目	発生年月日	内　容	調　査・措　置
補助プラギング計コントローラ不調	H2. 2.26	測定及び待機状態において、「コントローラ故障」ＡＮＮが多発し、安定したプラギング温度測定ができない。	コントローラ内に組み込まれているＣＰＵのＩＣ不良であったため、同ＩＣを交換した。
主プラギング計流量比指示不調	H3. 7. 2	待機状態において、F1及びF1／F2調整後、流量比確認のため切替えスイッチを操作すると、その度にF1／F2の指示が変化してしまう。	不具合状況を確認したが正常であり、再現性がないため原因不明である。

(3)　電磁ポンプ：2件

項　目	発生年月日	内　容	調　査・措　置
電磁ポンプ用接触器(88)不良	H2. 6.10	電磁ポンプ起動時、同冷却ファンのみ起動し、電磁ポンプが起動しなかった。現場で再起動したところ、ＣＳ「入」と同時にうなり音が発生し、接触器（88）が投入されなかったため、手動で投入し起動させた。	電磁ポンプ制御回路（電磁接触器投入回路）の抵抗増加による電圧降下のため、接触器のコイル電圧が最小動作電圧（65Ｖ）を下回っていた。電磁接触器投入回路に新たに補助リレー(88Y)を設け、その接点により接触器が動作するように改良した。
電磁ポンプ電圧計指示不良	H5. 5.11	電磁ポンプ運転電圧が中制及び現場盤指示とも０Ｖを示している。	電磁ポンプＩＶＲの電圧計用ヒューズホルダの固定部分が外れ、ヒューズが離脱していた。ヒューズホルダを交換した。

(4)　バルブ：1件

項　目	発生年月日	内　容	調　査・措　置
Ｂループ充塡第１元弁(V34.2-5B)ﾀﾞｲｱﾌﾗﾑ破損	H4. 6.30	「充塡系異常」による純化系ポンプトリップが発生した。V34.2-5Bのダイヤフラムが破損し、「開」操作不可であったため、V34.2-4A, 5A「開」V34.2-4B, 5B「閉」の状態で電磁ポンプを再起動した。	同弁を分解点検した結果、ダイヤフラムに亀裂が生じており、ダイヤフラムに所定の作動圧力（５kg／cm²）がかからないために、開閉動作不能となったものと判明した。新品のダイヤフラムと交換した。また、V34.2-5Aのダイヤフラムについても、予防保全の観点から新品と交換した。（同弁のダイヤフラムは、構造上内圧により徐々に膨張する部分があり、使用時間と共に肉厚が薄くなる。更に、高温による経年劣化で硬化し、その減肉部がダイヤフラム押さえのエッジとこすれ合い亀裂に至ったと考えられる。）

表3.2－1(2)　2次ナトリウム純化系設備の不具合とその措置

(5)　ナトリウム液面計：3件

項　目	発生年月日	内　容	調　査・措　置
ダンプタンクナトリウム液面計指示不良	H4. 6.11	ダンプタンクナトリウム液面計の指示が低下（同電流計指示ダウンスケール、同記録計約60cm指示）し、「ダンプタンクNa液面低」により、純化系ポンプがトリップした。	液面計計装ループ光伝送装置受信部用電源の故障により、受信部の出力が実液値よりも低い値（約60cm相当の信号）になっていた。 光伝送装置受信部用電源ユニットを新品に交換した。（尚、純化系ポンプは「ダンプタンクNa液面低」トリップのインターロックをバイパスして再起動した。）
ダンプタンクナトリウム液面計指示不良	H5. 1.25	上記同様、ダンプタンクナトリウム液面の指示が低下（同電流計指示ダウンスケール、同記録計指示一旦 150cmまで上昇後、約63cmまで降下）した。（尚、「ダンプタンクNa液面低」インターロックはバイパスされていたため、純化系ポンプトリップには至らなかった。）	液面計計装ループ光伝送装置送信部の電源回路に使用しているコンデンサの不良により、送信部の出力信号が低下していた。 光伝送装置送信部用電源ユニットを新品に交換した。
ダンプタンクナトリウム液面計指示上昇	H4. 9.18	原子炉運転期間中におけるダンプタンクナトリウム温度は殆ど変化がなくほぼ一定であるにもかかわらず、ダンプタンクナトリウム液面計指示が第25サイクル運転開始から徐々に上昇していた。（2 cm／月）	過去の実績を調査した結果、第7回定検で同液面計を更新してから、各運転サイクルの運転開始から終了までで、Max 2.5cm上昇していることが判明したが、液面計の精度3％FSを考慮すると本事象は誤差範囲内であり、また、過去のレベル変化に対する追従性から見ても問題ないことを確認した。 （但し、具体的な上昇原因は不明である。）

(6)　記録計：3件

項　目	発生年月日	内　容	調　査・措　置
補助プラギング温度記録計チャート紙送り不良	H3. 4.16	補助プラギング温度記録計のチャートスピードが設定に対して約¼に低下している。 （25mm/h→約 6mm/h）	記録計サーボモータ軸受部の潤滑油の硬化により、チャートスピードが低下した。サーボモータを交換した。
ダンプタンクナトリウム液面記録計チャート紙送り不良	H4. 9.25	ダンプタンクナトリウム液面記録計のチャート紙が送られていない。	チャート紙送りローラ軸受部の潤滑油切れにより、動きが悪くなっていた。 同軸受部を分解清掃し、注油した。
ダンプタンクナトリウム液面記録計指針固着	H5.11. 2	ダンプタンクナトリウム液面記録計の指針が固着し、正常な液位を示していない。	指針駆動モータ減速用ギア部の潤滑油切れにより、動きが悪くなっていた。 減速用ギアを清掃し、注油した。

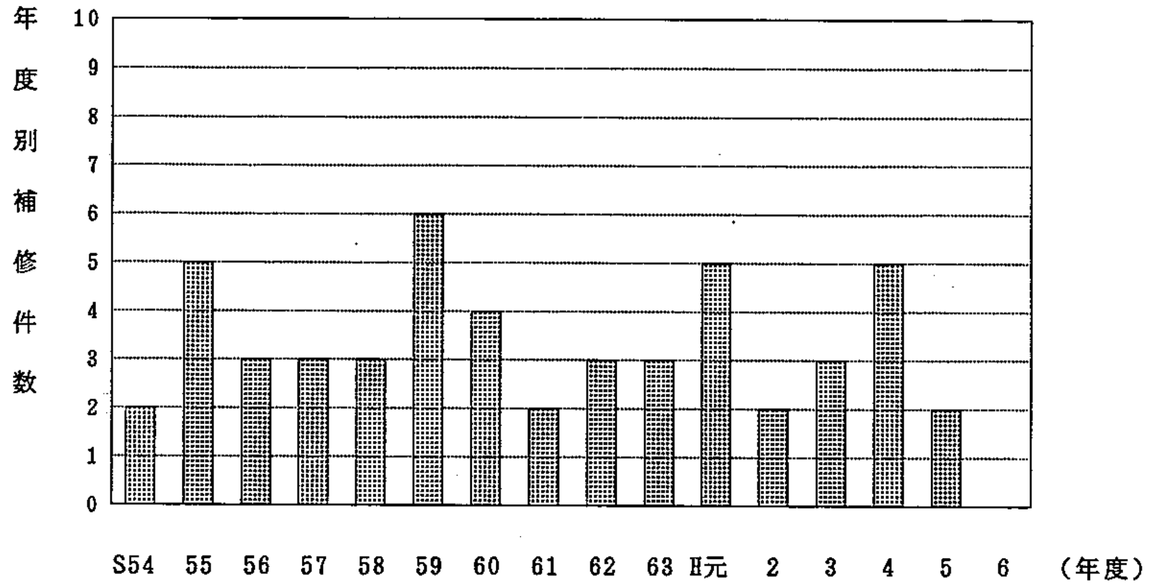


図3.2－1　年度別補修件数

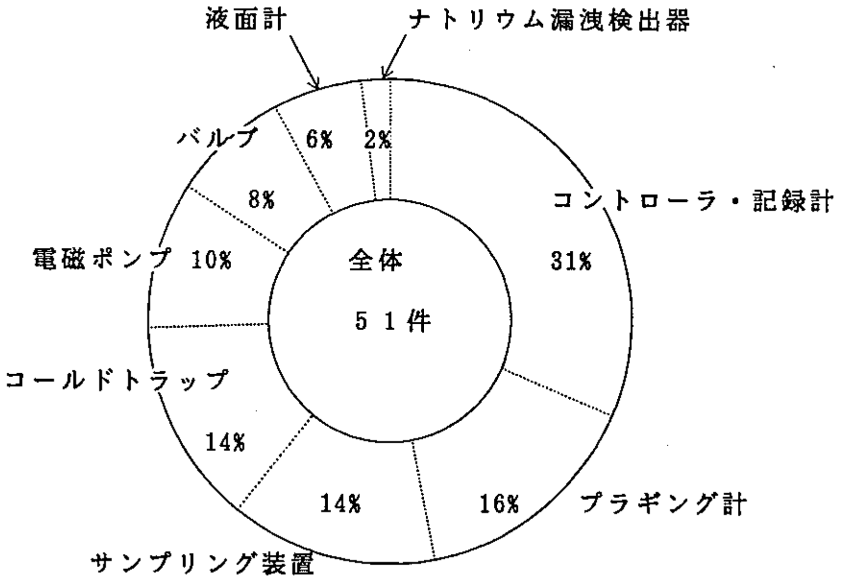


図3.2－2　異常発生機器の全異常に対する割合

4. 2次ナトリウム純化系コールドトラップの性能検討

4．1 コールドトラップ寿命評価とＭＫ－Ⅲ対策

高速実験炉「常陽」は、昭和52年４月24日の初臨界達成以来、約19年間にわたって順調に運転を続け、この間、高速炉プラントの運転保守経験の蓄積、高燃焼度、高性能燃料の開発のための照射試験等を実施し、それらによって得られた技術的知見は、我が国のＦＢＲ開発の基盤となり、原型炉「もんじゅ」への有効な反映を図ってきた。

このような観点から、「常陽」は、ＦＢＲ実用化に必要な燃料材料の開発のための高性能照射施設として、また、各種新技術・新概念の開発・実証の場として活用をはかることが今後の主要な役割となり、ＭＫ－Ⅲ計画と呼ばれる改造計画が進行しつつある。

ＭＫ－Ⅲ計画では、高中性子束化と照射スペースの拡大がポイントとなるが、これに伴って原子炉出力は 140ＭＷｔに増大し、炉心除熱能力の向上が必要となり、主冷却器（以下ＤＨＸ）や主中間熱交換器（以下ＩＨＸ）の交換工事等が計画されている。

ＭＫ－Ⅲ計画に係わる工事においては、交換する機器が極めて大型で、しかも圧力バウンダリの開放を伴うことから、冷却系統内への多量の空気混入が予想される。

本章は、工事に伴う不純物混入量の予測と既設コールドトラップの負荷量を調査して、既設コールドトラップでＭＫ－Ⅲ炉心の運転ができるかどうか評価した結果についてまとめている。

尚、評価の結果、これまでの負荷量の約９kgとＭＫ－Ⅲ工事時前までの運転・保守での0.2kg、工事で混入すると考えられる16kgとを合わせた総量約25kgは、設計値である18kgを超過し、ＭＫ－Ⅲ炉心での運用は断念せざるを得ないことが判明した。

検討・報告の経過は以下の通りである。

① Ｈ５年度：過去の運転データの調査を実施した。その結果を１課メモで報告

② Ｈ6.３月：過去の運転データの調査結果を部内技術検討会で報告

③ Ｈ6.７月：プラント純化運転結果を第17部会で報告

１課を中心に検討会が発足され、Ｒ＆Ｄ経験者などの助言・協力を得て対策案の検討を開始した。

④ Ｈ6.９月：ＭＫ－Ⅲ移行に伴うコールドトラップ対策案を第17部会で提案

→既設コールドトラップの再生について詳細調査の指示を受ける。

⑤ Ｈ6.11月：既設コールドトラップの再生について第17部会で報告

→第17部会で新規のコールドトラップ製作が決定した。

4．1－1　不純物捕獲量の評価

ＭＫ－Ⅲ炉心運転において、既設２次系コールドトラップが引き続き使用できるかどうかについて評価するため、(1)現在までの運転・保守による負荷量、(2)ＭＫ－Ⅲ工事前までの運転・保守による負荷量、(3)ＭＫ－Ⅲ改造工事による不純物混入量に区分けしてそれぞれ推定した。

評価に当たっては、コールドトラップ設計不純物である酸素を対象とし、現在までの運転による負荷量は、供給アルゴンガス中やナトリウムサンプリングからの混入量とプラント運転中に上昇したプラギング温度変化を基に推定した。また、保守による混入酸素量の推定は、保守作業にナトリウムドレンが伴うためナトリウムドレン・充塡前後のプラギング温度の変化などから求めたものである。

ＭＫ－Ⅲ工事前までの負荷量については、長期工程を基に現在までの運転・保守実績での値を用いて推定した。

ＭＫ－Ⅲ改造工事での不純物混入量に関しては、更新ＩＨＸ、ＤＨＸの内表面付着量を、入手図面の内表面積にコールドトラップ設計指針の推奨値を乗じて求めた値と、工事による圧力バウンダリ開放で混入する空気量から求めた値とを合算して求めた。

尚、プラギング温度からの推定酸素溶解度はEichelbergerの式〔$\log C = 6.239 - 2447/T$ (Wtppm)、T=K〕を用いた。

(1)　平成６年１月末現在での負荷量

既設２次系コールドトラップは、初期純化に使用した仮設のコールドトラップから引き継ぎ、昭和51年３月から平成６年１月までで約18年間使用した。この間、出力上昇試験（50ＭＷ、75ＭＷ、 100ＭＷ）の昇温に伴いナトリウム中に溶出してきた不純物の純化と、運転・保守時に系統外から混入した不純物の純化が行われてきた。

これまでの運転・保守での不純物捕獲量の内訳は次のとおり 9.4kgと推定する。

尚、昭和53年９月、50ＭＷ出力運転後に不純物溶出試験が行われており、この時点までまでの捕獲量は本試験結果に基づき 1.061kgとした。

溶出試験の方法は、ナトリウム循環運転状態でコールドトラップ温度を上昇させることにより、捕獲されている不純物を一度系統ナトリウム中に溶出させ、その時のプラギング温度変化から捕獲していた不純物量を求めるもので、その後再捕獲運転を行っている。
詳細は下記報告書に記載されている。

・　SN941 79-196　実験炉「常陽」性能試験報告書（２次Ｎa純化系運転・試験報告書）

① 運転に伴う負荷量

(a) 出力上昇時に溶出してきた不純物

原子炉出力上昇で溶出してきた不純物のうち、50MW試験・運転までの結果については前述の溶出試験で評価されているため、その後、大きな溶出のあった75MW第1サイクルについて以下のとおり評価した。

75MW第1サイクル運転開始前のプラギング温度は 135℃であったが、運転中最高200℃まで上昇した。

11.63 ppm (200℃) − 1.744 ppm (135℃) = 9.89 ppm

$$\frac{9.89\ \text{ppm} \times 7.1\times10^{4}\ \text{kg}\ \{\text{系統内Na量}\}}{1\times10^{6}} = 0.70\ \text{kg}$$

(b) アルゴンカバーガス中の不純物（主ポンプ軸封アルゴンガス中に存在する酸素）

カバーガスの供給源は主ポンプ軸封ガスで、0.25㎥/hの一定流量で供給されている。アルゴンガスの受入れ検査成績書によれば不純物としての酸素濃度は最大 0.2 ppmであり、昭和54年9月以降の混入酸素の総量は次のようになる。

$$\frac{32}{22.4} \times [\ 0.25\ \text{m}^3/\text{h} \times 2\ \text{系統}] \times 134900\ \text{h}^{*} \times 0.2\ \text{ppm} \times 10^{-6} = 19.3\ \text{g}$$

* ガス供給総時間

(c) ナトリウムサンプリング時の混入不純物量

アルゴンガスサンプリングに関しては、サンプリング操作上、空気混入量は流体コネクタ接続部分の極少量であり考慮しない。

ナトリウムサンプリングに関しては、新しいサンプリングチューブを大気開放して取り付けるため、予め封入してあるアルゴンガスが全て空気に置換され、その容積分（140 cc）の空気が系統内に混入するものとして、今まで運転中に実施されたサンプリングの回数で積算する。

0.2314* ×0.85**× 140 = 27.5 mg ・・・1回あたりの酸素混入量

昭和51年3月以降 150回余りのサンプリングが実施されているため、

27.5× 150回 = 4125 mg ≒ 4.1 g となる。

* 標準乾き空気の酸素重量組成比 23.14
** 20℃空気の比重 0.85 kg／㎥

② 保守に伴う負荷量

保守時に系統外から混入する要因としては、(a)ナトリウムドレン時の真空引き、(b)サ

ーベイランス材の取出し、(c)アルゴンカバーガス系の機器・弁点検、(d)その他のメンテナンス等があげられるが、いずれも2次系ナトリウムのドレン操作が伴う。そこで、ドレン前と再充塡後のプラギング温度の変化等からメンテナンス時の混入不純物量を算出した。

表4.1－1に2次系ナトリウムドレン時の不純物混入量算出結果を示す。

その結果、不純物溶出試験以降のナトリウムドレン・充塡による総不純物混入量は、7.552 kgであった。

(2) 現在（平成6年2月）からＭＫ－Ⅲ移行前までの負荷予想量

現在（平成6年2月）からＭＫ－Ⅲ移行前までの負荷予想量は、過去の運転実績を踏まえて、改造工事が開始される予定の平成9年までを概算した。

その結果は、以下のとおり 0.24 kgとなる。

① 運転に伴う負荷量

(a) アルゴンカバーガス中の不純物（主ポンプ軸封アルゴンガス中に存在する酸素）

$$\frac{32}{22.4} \times \left[\ 0.25\ \mathrm{m^3/h} \times 2\text{系統}\right] \times 24480\ \mathrm{h^*} \times 0.2\ \mathrm{ppm} \times 10^{-6} = 3.5\ \mathrm{g}$$

(b) ナトリウムサンプリング時の混入不純物量

27.5mg(1回当たりの酸素混入量）× 5回として ＝ 0.14 g

② 保守に伴う負荷量

平成6年2月からＭＫ－Ⅲ移行前までのナトリウムドレンが伴う保守作業は3回と想定される。保守1回当たりの不純物混入量は最近3回のドレン実績を平均した 73 g/回を基準値とした。

従って、混入不純物量の総量は、234 g である。

18 回目のドレン時	42 g
19 回目のドレン時	98 g
20 回目のドレン時	78 g

(3) ＭＫ－Ⅲ改造後の初期純化対象不純物量

ＭＫ－Ⅲ改造時に混入する不純物は大別して、更新機器の内側表面に付着している不純物と工事時の圧力バウンダリ開放で系統内に混入するものとがある。両者を次のとおり推定した。

① 更新するＩＨＸ、ＤＨＸの内表面付着不純物量

更新機器の内表面に付着する不純物量は、コールドトラップ設計のための指針の推奨値を用いた推定と「常陽」の初期純化に使用した仮設コールドトラップ解体検査結果を基にした推定とを実施した。

しかし、今回の評価では「常陽」仮設コールドトラップの実機データは新設ループとして十分なベーキングが成された機器を純化した場合の結果で有り、作業性の劣るＭＫ－Ⅲ改造時での不純物混入量試算への使用は避けた方が無難であるため、ここでは参考値に留めることとし、設計指針の推奨値を採用した。

尚、コールドトラップ設計指針の推奨値についてはある程度安全サイドの値に設定されていると思われる。

(a) コールドトラップ設計指針の推奨値を用いた場合

コールドトラップ設計指針の推奨値を用いて、ＩＨＸ及びＤＨＸの内表面積から不純物混入量を求めると 10.74 gとなる。（コールドトラップを更新する場合は、更にその分が付加される。）

ステンレス鋼　1×10^{-4}g/cm²、クロモリ鋼　1×10^{-3}g/cm²

機器名	材質	内表面積	付着不純物量
ＩＨＸ	ＳＵＳ	1132 m² (566 m²× 2基)	1.14 kg
ＤＨＸ	Ｃr-Ｍo	960 m² (240 m²× 4基)	9.6 kg
合　計	―――		10.74 kg

・ＩＨＸ、ＤＨＸの内表面積は、現時点に於ける構造図を用いた。

(b) 「常陽」の２次系初期純化結果を用いた場合（参考）

「常陽」の２次系初期純化に用いた仮設コールドトラップの解体試験結果より、表面付着量は次のように求められている。

仮設C/T 総捕獲量	表面付着分	２次系内表面積積	表面付着量
6070 g-O_2	5945 g-O_2	2876 m² * (SUS 1577 m², Cr-Mo 1299 m²)	2.07×10^{-4}g/cm²

* SUS と Cr-Moの使用面積比率は、ＭＫ－Ⅲ改造の場合もほぼ同じである。

上表よりＭＫ－Ⅲ改造時は、新設機器・配管からその内表面に付着した 4.33 kgの酸素混入となる。（コールドトラップ設計指針を用いた時の 1/2弱となる。）

2.07 kg／m²　×（ SUS 1577 m² ＋ Cr-Mo 1299 m² ）＝ 4.33 kg

② ＩＨＸ、ＤＨＸ交換工事による混入不純物量

機器交換工事に伴う不純物混入量は，工事の手法、工期、内圧保持状態などにより大きく変わり、その算定は非常に難しい。このため、工事による空気混入過程を以下の仮定の基に評価した。また、参考として「常陽」サーベイランス材取出し作業実績から推定した評価結果を示すが、作業規模がＭＫ－Ⅲ工事にくらべてはるかに小さく作業性も良いため、あくまでも参考に留めるという観点で述べる。

〔工事に伴う空気混入に関する仮定〕

イ．系統のカバーガスであるアルゴンの比重は酸素に比べ約1.25倍重いため、切断開放部分より上部が空気に置換されるものとする。

ロ．ＩＨＸ交換工事は、ＩＨＸより上部に位置する配管内（ＩＨＸ～主ポンプ、ＩＨＸ～主冷却器）が全て空気に置換されるが、系統パージにより、混入量の半分が系統外にブローされる。系統内残留空気中の酸素は全てナトリウムに吸収されるものとする。

ハ．ＩＨＸ交換工事は、ＤＨＸ前後（上下）の配管切断により実施される。

下部取り合い配管切断時はＩＨＸ内部への空気混入が考えられるが、その後の上部取り合い配管の切断の際に系統から十分パージすることができ、ＤＨＸ内部の空気は全てブローされるものとする。

ＤＨＸより上部に位置する配管内が空気に置換され、空気中の酸素は全てナトリウムに吸収されるものとする。ＤＨＸ～２次主ポンプ間は、配管がＤＨＸ下部の下向き部で切断されるので、上記イ．により空気置換は生じないものとする。

(a) ＩＨＸ交換工事に伴う混入不純物量

ＩＨＸ交換工事に伴う混入量は、ＩＨＸ本体より上部に位置する配管が全て空気に置換されるが、その半分がアルゴンガスによりブローできるものとする。配管径は出入口とも12インチ（内径 0.318m）で全長 508mであるから、その半分の 254mが空気に置換され、混入空気量は、20.2㎥となる。

この量を混入酸素として換算すると 3.97 kgである。

$0.159\text{m} \times 0.159\text{m} \times 3.14 \times 254\text{m} = 20.2\ \text{m}^3$

$0.2314 \times 0.85 \times 20.2\text{m}^3 = 3.97\ \text{kg-}O_2$

（ＩＨＸドレン管は１インチ程度の配管であるため誤差範囲とした。）

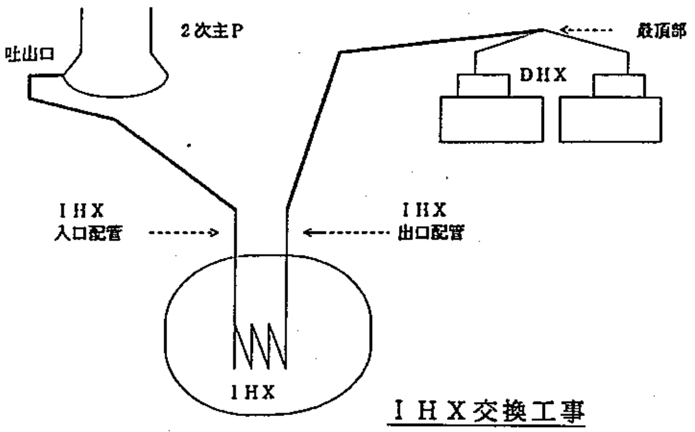
(b) ＤＨＸ交換工事に伴う混入不純物量

ＤＨＸ交換工事に伴う混入量は、ＤＨＸ入口から立ち上がり配管頂部までが全て空気に置換されるものとする。配管径はＡ系、Ｂ系とも12インチ管で合計全長が55ｍであるから、全て空気に置換されたものとして 4.34 ㎥となる。

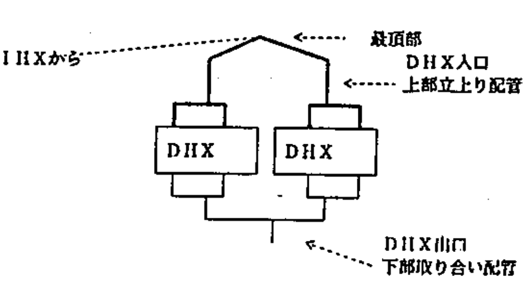
この量を混入酸素として換算すると 0.86 ㎏である。

$0.159m \times 0.159m \times 3.14 \times 55m = 4.34\ m^3$

$0.2314 \times 0.85 \times 4.34m^3 = 0.86\ kg\text{-}O_2$



ＩＨＸ交換工事



ＤＨＸ交換工事

(c) サーベイランス材取出し作業からの推定（参考）

ＭＫ－Ⅲ改造工事に伴う不純物（主に空気）の混入量を、主配管切断作業を伴うサーベイランス材取出し作業の経験を基に推定する。

２次主系統のサーベイランス材取出しには、収納ホルダー再装荷等、不純物混入を伴う作業があるが、ＭＫ－Ⅲ改造工事に比べて作業規模ははるかに小さく、作業性も良い。従って、サーベイランス材取出し経験からの推定は極めて困難であるが参考に留めるという観点で述べる。

下表は２次系サーベイランス材取出し作業を実施した時のナトリウムドレン・充填における不純物混入量である。

実施時期	実施内容	酸素混入量
S 57.6～ （第３回定検）	主配管：Ａ、Ｂ ｵｰﾊﾞﾌﾛｰﾀﾝｸ：Ａ、Ｂ ﾀﾞﾝﾌﾟﾀﾝｸ：Ａ、Ｂ	384 g
S 62.6～ （第６回定検）	〃	430 g

大半が12インチ配管切断を伴う主配管サーベランス材取出しによるものと仮定すると、約 200 g/ループとなる。

ＭＫ－Ⅲ改造の２次系12インチ配管切断は、ＩＨＸ４箇所及びＤＨＸ８箇所として 0.2 kg×12箇所＝2.4 kg-O_2 となる。

(4) 評価結果

① 平成６年１月末現在での２次系コールドトラップの不純物捕獲量の 9.4kgは、設計捕獲量18kg（参考資料４－１に示す）の約52%に相当する。

最近の運転では、コールドトラップ設定温度を下げてもプラギング温度がなかなか低下しないなどの純化性能低下の兆候が見られることなども考慮し、ＭＫ－Ⅲ移行に向けては、今後、運転状態を注視していく必要がある。

② 既設２次系コールドトラップを継続して使用した場合、ＭＫ－Ⅲ移行後の初期純化終了時点における不純物捕獲量は25.2kgとなり、設計捕獲量を大幅に超過する。従って、ＭＫ－Ⅲ炉心での既設２次コールドトラップの使用は断念せざるを得ない。

表4.1－2にＭＫ－Ⅲ初期純化終了時点までの不純物混入量をまとめて示す。

表4.1－1　2次系ドレン時の不純物混入量一覧

No.	ドレン期間 [ドレン日数]	プラグ温度 (℃)	不純物捕獲量 (g)	備考
1	S52. 7.17 － S52. 8.11 [25]	――	(1061) 溶出試験結果を示す。尚、この値はドレン時に限ったものではない	報告書SN941 79-196による
2	S53. 1. 4 － S53. 2. 8 [35]	――		
3	S53. 8.29 － S53. 9.25 [27]	――		
4	S53.10.12 － S53.10.25 [13]	155 → 155	――	
5	S54. 3. 8 － S54. 4. 2 [25]	155 → 155	――	
6	S54. 9.13 － S54.11.19 [67]	125 → 160 1.232ppm　3.870ppm	187	
7	S54.12.16 － S54.12.23 [7]	155 → C/T 170℃ 180 3.324ppm　6.874ppm	252	
8	S55. 4.17 － S55. 5. 2 [15]	130 → 175 1.469ppm　5.983ppm	320	
9	S55. 6.29 － S55. 7. 8 [9]	130 → C/T 145℃ 155 1.469ppm　3.324ppm	132	
10	S55.10.29 － S55.12.16 [48]	120 → 155 1.029ppm　3.324ppm	163	
11	S57. 2.14 － S57. 5.16 [91]	120 → C/T 150℃ 160 1.029ppm　3.870ppm	202	
12	S57. 6.19 － S57. 8.31 [73]	130 → C/T 170℃ 180 1.469ppm　5.874ppm	384	
13	S58. 7.19 － S58. 7.30 [11]	130 → C/T 160℃ 170 1.469ppm　5.192ppm	264	
14	S58.12.22 － S59. 3.11 [79]	135 → C/T 170℃ 180 1.744ppm　5.874ppm	386	
15	S60. 6. 7 － S60.10. 6 [121]	135 → C/T 180℃ 190 1.744ppm　8.993ppm	514	
16	S62. 1. 7 － S62. 6. 2 [146]	――	430	報告書SN9410 90-133による
17	S63.10. 7 － S63.11.12 [36]	――	4100	
18	H2. 2.28 － H2. 5.28 [89]	130 → 140 1.469ppm　2.061ppm	42	
19	H3.11.20 － H4. 1.27 [68]	130 → 150 1.469ppm　2.845ppm	98	
20	H5. 8.29 － H5.11. 8 [71]	135 → 150 1.744ppm　2.845ppm	78	
不純物混入量 (No.6～No.20合計)			7552 g	

表4.1－2　　MK－Ⅲ純化運転終了までの２次系ナトリウム中に混入する不純物量

発生源／期間	不純物発生源						期間合計
	系統配管機器等からの溶出分	アルゴンカバーガス	ナトリウムサンプリング	保守作業	ＩＨＸ、ＤＨＸ内面付着量	ＩＨＸ、ＤＨＸ交換工事に伴う量	
昭和５１年３月～５３年９月	→	→	→	→	—	—	１．０６１kg
５３年１０月～平成６年１月	７００ｇ	１９．３ｇ	４．１ｇ	７５５２ｇ	—	—	８．２８kg
平成６年２月～ＭＫ－Ⅲ移行前	→	３．５ｇ	０．１４ｇ	２３４ｇ	—	—	０．２４kg
ＭＫ－Ⅲ初期純化	→	→	→	→	１０７４０ｇ	４８３０ｇ	１５．６０kg
合　計							２５．２kg

参考資料4－1　2次系コールドトラップの設計捕獲量について

既設2次系コールドトラップの不純物捕獲容量の設計値は、海外におけるコールドトラップ使用実績値と国内での実験値を基に求められたものである。

以下に既設2次系コールドトラップの設計値としている18kgの根拠を示す。

(1)　既設2次系コールドトラップの不純物捕獲容量の設計値

酸化ﾅﾄﾘｳﾑ（Na_2O）捕獲量 ×（O_2の原子量／Na_2Oの原子量）＝ 酸素捕獲量
酸素捕獲量 × ﾒｯｼｭ部容積 × ﾒｯｼｭ部有効体積 ＝ 酸素捕獲容量（kg）

この式に数値を代入すると以下のとおり酸素捕獲容量は、18.16 kg-O_2 となる。

576(kg／m³) × (16／62) = 148.6(kg／m³) ・・・酸素捕獲量

148.6(kg／m³) × 0.764(m³) × 0.16 = 18.16 kg-O_2

・メッシュ有効体積0.16＝一般にメッシュ部体積の16%～32%の値が多く使用されており、ＳＥＦＯＲの27%（実績値）、ＨＮＰＦの16%（実績値）を参考に決定された。

(2)　"コールドトラップ設計指針"　ＳＮ２４１　７９－２１

コールドトラップ設計指針に示されている計算式は、「常陽」１次系タイプ（Ｎａをを所定の温度まで冷却後にメッシュへ流入させる）の解体検査実績値を参考にしている。メッシュ内冷却型の２次系コールドトラップとは型式が異なるため、ここでは参考値として記載した。

有効流入面積（m²）× *0.3（m）＝ 充塡部有効体積（m³）
充塡部有効体積（m³）× **970 × ***0.074 ＝ 酸素捕獲容量（kg）
* 実際に捕獲に寄与するメッシュは流入面から約30cm（解体検査実績） ** 固体ナトリウムの比重　　　*** 平均酸素濃度（解体検査実績）

・既設２次系コールドトラップの流入面積は、以下のとおり0.53（m²）である。

$3.14 \times (0.85^2 - 0.2227^2) / 4 = 0.53$（m²）

この値を有効流入面積として上記設計指針の式に代入すると以下のとおり11.4kg-O_2 となる。

0.53（m²）× 0.3（m）＝ 0.159（m³）・・・充塡部有効体積

0.159（m³）× 970 × 0.074 ＝ 11.4 kg-O_2

4.1－2　純化性能に関係するプラント運転データの調査結果

(1) 不純物捕獲量増大に伴い変化すると考えられる事象

2次純化系コールドトラップの不純物捕獲量増大に伴い変化すると考えられる事象のうち、以下の項目について運転データの調査を実施した。

① コールドトラップ圧損の上昇→ナトリウムが流れにくくなる→純化系電磁ポンプ運転電圧上昇

② 純化性能の低下→不純物濃度が低下しない→コールドトラップ設定温度に対するプラギング温度の追従性悪化

③ コールドトラップ内胴への不純物堆積→コールドトラップ外胴設置の予熱ヒータ温度検出点の温度低下

(2) プラント運転データ調査結果

① コールドトラップの圧損の上昇

コールドトラップの閉塞傾向が進むにつれてナトリウムの流れが阻害される。一方、純化系電磁ポンプ汲み上げ流量は4㎥/hに調整しており、圧損の上昇分電磁ポンプ電圧の増加が考えられる。このような観点から、汲み上げ流量4㎥/hとなった昭和53年11月からの電磁ポンプ運転電圧を図4.1－1の「2次ナトリウム純化系電磁ポンプ運転電圧実績」に示した。尚、運転電圧実績図に用いた運転データは、汲み上げナトリウム温度がほぼ同じであった過去の運転結果の中から無作為に抽出し作成したものである。

[結果]

図に示すとおり運転電圧は65～75Ｖの間で変化しているが、上昇傾向は見受けられない。現状での不純物捕獲量は、まだ圧損に大きく現れる域（寿命末期）には達してはいないと判断できる。

② 純化性能の低下

純化性能の低下（不純物がなかなか捕獲出来ない状況）に伴い、コールドトラップの設定温度を下げてもプラギング温度（不純物量）が低下しない（追従しない）状況が考えられる。図4.1－2は2次系ナトリウム充塡後プラギング温度 150℃近辺からの温度低下の様子を、コールドトラップ設定温度変更実績と共に示したものである。

[結果]

図上段に記載した数年前までの純化実績と図下段の最近2回の結果を比べてみると、図上段の結果はプラギング温度が 135℃程度となるのに10日程度であり、コールドトラップ温度設定変更後追従してプラギング温度の低下が見られるのに対し、最近2回の結果からは20日以上を要しており、設定温度を変更してもなかなか追従してこない状態と

なっている。

設備面、運転面から原因となり得る事項を次に示すが、今回の追従性悪化の原因としては純化性能低下と考えることが最も適当である。

＊設備面 (a) コールドトラップ温度制御器の制御設定の不適当 ………… コールドトラップ制御温度変更からコールドトラップ温度が変化するまでさほど時間かからず→問題無し

(b) コールドトラップ温度指示値の異常 ………… 長期間の内にはコールドトラップ温度とプラギング温度指示値の差が無くなってくる→問題無し

(c) プラギング温度指示値の異常 ………… (b)の理由から→問題無し

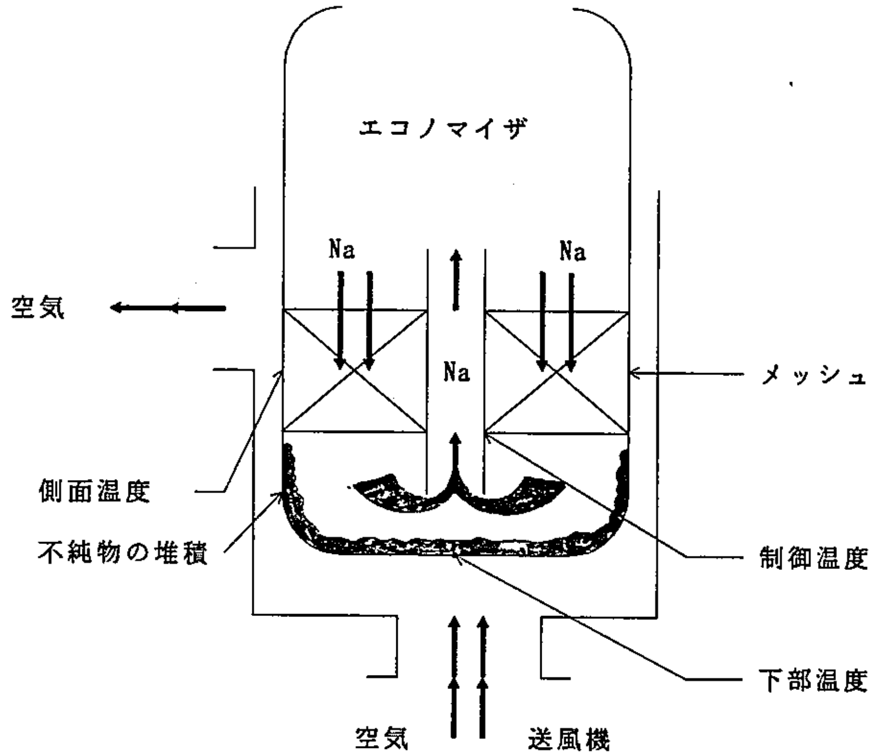
(d) コールドトラップ純化性能の低下

＊運転面 コールドトラップ温度設定変更のタイミング、変更温度……5℃／日で変更無し

③ コールドトラップ外胴設置の予熱ヒータ温度検出点の温度低下

コールドトラップ内表面に多量の不純物が付着・堆積した場合、コールドトラップ胴部の熱電導度が低下する。一方、コールドトラップ温度制御は内部の熱電対温度を基にして外胴部の風量の増減により調整されるため、不純物がコールドトラップ下部内表面に付着・堆積した時、冷却効果が低下し風量を増加させることにより温度維持がはかられる。その結果、外胴部の予熱ヒータの温度は低下するものと考えられる。

下図にコールドトラップ不純物付着・堆積時のヒータ温度低下説明図を示す。



コールドトラップ不純物付着・堆積時のヒータ温度低下説明図

[結果]

現在コールドトラップ外胴部の予熱ヒータの温度は非常に低い(H6.7/3 側面 73 ℃、下部 62 ℃)。しかし、この温度低下がいつごろからなのか確かなデータが無いため判断できない。

図4.1－1　2次ナトリウム純化系電磁ポンプ運転電圧実績（1/2）

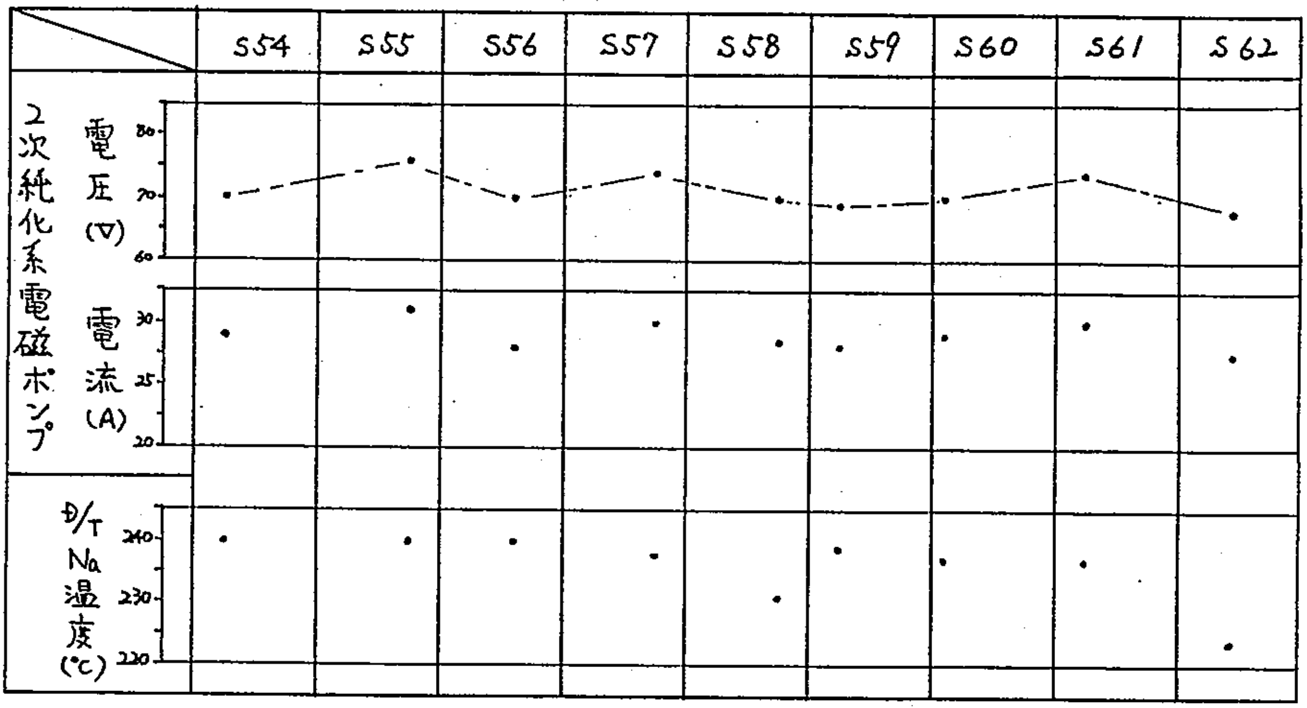
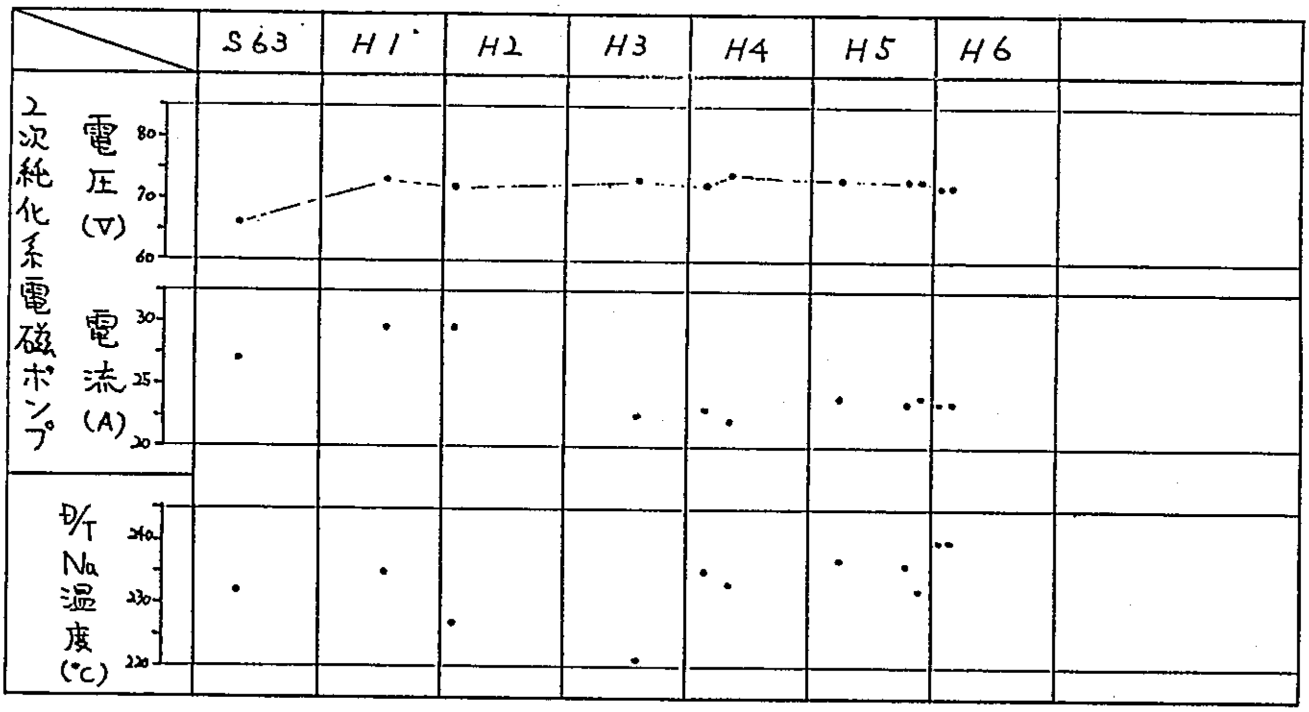


図4.1－1　2次ナトリウム純化系電磁ポンプ運転電圧実績（2/2）



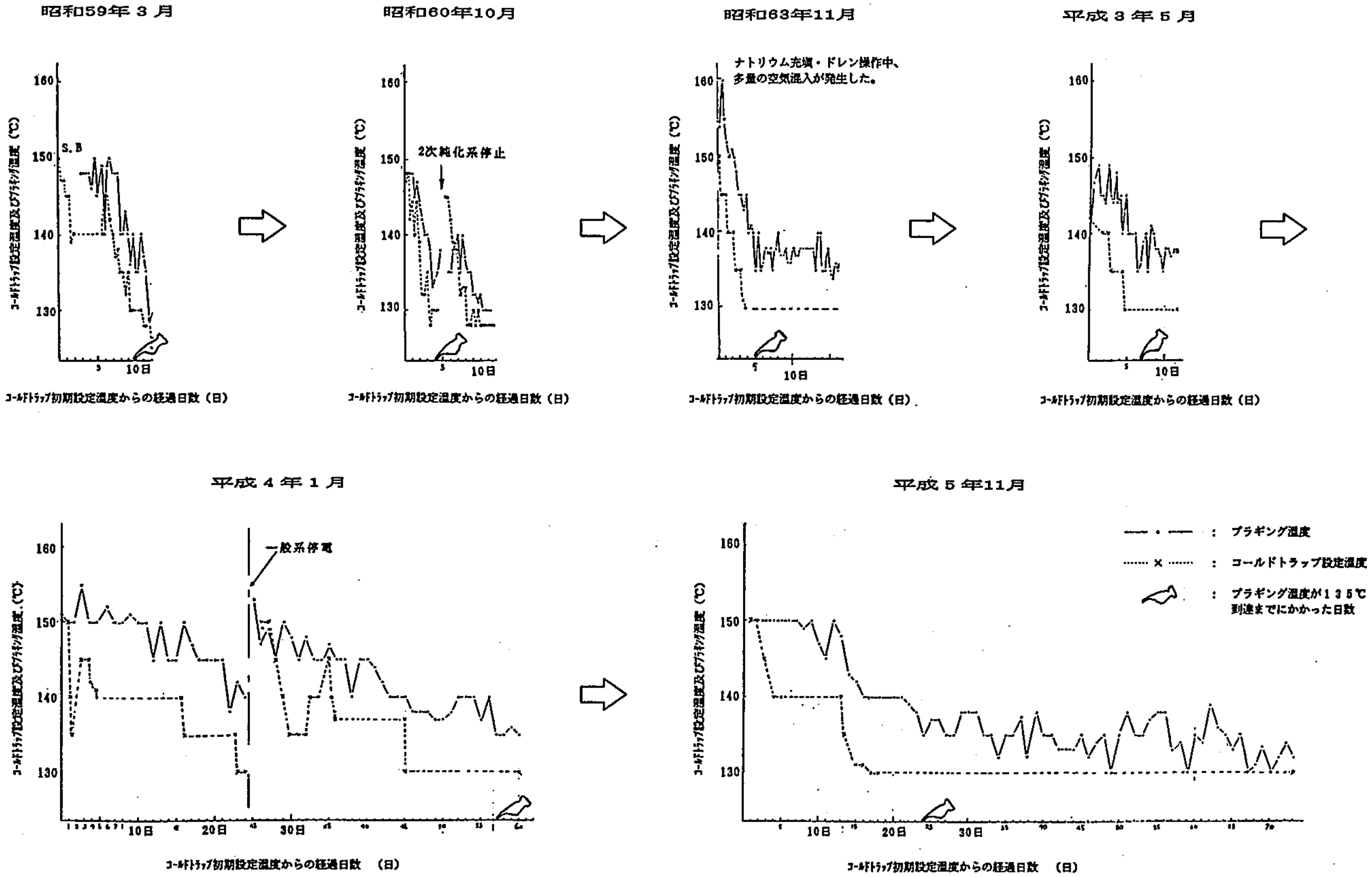


図4.1－2　ナトリウム充填後のコールドトラップ設定温度に対するプラギング温度の変化

4.1－3　2次系コールドトラップのMK－Ⅲ対策案

第17部会用資料（H6.11.8）

(1)　概要

2次系コールドトラップのMK－Ⅲ対策について、交換を含めた具体的な検討を原子炉第1課及び2課担当グループ並びに経験者の協力を得て実施した。

検討にあたっては、MK－Ⅲ移行工事時に混入する不純物の量を正確に推定することが極めて困難なこと、多額の資金を必要とすること、移行工事で立て込む時期に新たに計画しなければならないことなど多くの課題が有り、設備の変更範囲をあまり広げない実施できないかどうかの検討から開始し、考えられるあらゆる策を摘出・調査した。

以下に検討結果を示す。

(2)　検討結果

表4.1－3に検討結果を具体的にまとめて示す。

MK－Ⅲ移行対策案としては大別して、①初期純化の為だけの仮設コールドトラップを設置する、②初期純化及びMK－Ⅲで運用する本設コールドトラップを製作し、交換する、③既設コールドトラップの再生により寿命延長を図る、の3案に分類される。

この内①についてはいずれ恒久対策を必要とし、③については技術的に不安な点が多いことなどから、②の「MK－Ⅲ工事終了までに捕獲容量の大きいコールドトラップに交換し、初期純化及びMK－Ⅲでの運用に対応する」が最も有効であるといえる。

尚、実施に当たっては、予算や人的面での手当てが課題となる。

表4.1－3　　コールドトラップのＭＫ－Ⅲ移行対応検討結果

			予算（万円）	概　要	実　現　性
1	仮設コールドトラップ製作・設置 （本案は実施後恒久的な対策が必要である）	エコノマイザ無しコールドトラップの製作	３０００ ～５０００	既設ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟを一旦取り外す。 新規にｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟ（ｴｺﾉﾏｲｻﾞを内蔵しない）を製作・設置し、初期純化に対応する。 初期純化後に既設ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟに戻す。	初期純化運転から原子炉立ち上げ迄の約半年間に復旧工事及び局立受験を終えねばならず、工程調整が極めて困難である。 初期純化運転は系統温度が 250℃程度での純化であり、系統昇温時溶出してくる不純物の捕獲は既設ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟの負荷となる。
		タンク挿入型コールドトラップの製作	３０００ ～５０００ （＋２０００）	電磁ﾎﾟﾝﾌﾟ,ﾒｯｼｭなどを内蔵したﾀﾝｸ漬け込み型のｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟ* を製作し、ﾀﾞﾝﾌﾟﾀﾝｸﾏﾝﾎｰﾙを利用して設置する。 初期純化後に撤去する。	現在ﾀﾞﾝﾌﾟﾀﾝｸにはﾏﾝﾎｰﾙを利用しｻｰﾍﾞｲﾗﾝｽ材が装荷されており、ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟ設置中は取出して保管しておく必要がある。また、ｻｰﾍﾞｲﾗﾝｽ材復旧（25日程度必要）は原子炉立ち上げ迄の約半年間で終えねばならず工程調整が困難である。更に、取出し作業には架台の整備を含め多額の資金（2000万）を必要とする。
		サンプリングラインへのコールドトラップ設置	５０００	既設のﾅﾄﾘｳﾑｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞﾗｲﾝに小型の純化ﾕﾆｯﾄを製作・設置し、初期純化に対応する。	今後詳細設計・検討が必要である。小型ではあっても本格的な純化設備となり、設工認上十分な安全対策を施さなければならない。
2	本設コールドトラップ製作・設置 （恒久的実施手段）	既設と同形状コールドトラップの製作	５０００～ ﾌﾟﾗﾝﾄﾒｰｶ製作 １００００～	既設と同形状のｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟを製作し、初期純化とその後の運転に対応する。	移行工事中に交換し、初期純化及び系統昇温時の純化に使用した場合捕獲容量に達する懸念がある。また、既設ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟによる初期純化を行い、その後交換して系統昇温後の純化に対応させるには工程調整が極めて困難である。
		大容量コールドトラップの製作	５０００～ ﾌﾟﾗﾝﾄﾒｰｶ製作 １００００～	既設よりも容量ｱｯﾌﾟしたｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟを設計・製作し、初期純化とその後の運転に対応する。	今後詳細設計・検討が必要である。捕獲容量によっては移行工事中又は工事前に交換し、以後の純化の一切を負担できる。
3	既設コールドトラップの再生		１０００ ～２０００	既設ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟのﾋｰﾀを増強し、ﾄﾞﾚﾝﾀﾝｸ,ﾄﾞﾚﾝﾗｲﾝを設置して、ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟの再生を行う。既設ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟ再生により、初期純化に対応する。	既設ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟの改造（ﾄﾞﾚﾝ管の設置、ﾋｰﾀ補強）や大型ﾄﾞﾚﾝﾀﾝｸの設置が必要である。また、ﾄﾞﾚﾝ配管の径が細い(3/4ｲﾝﾁ)ためﾄﾞﾚﾝ作業中に配管内での詰まりが発生する恐れがある。更に、設備全体を 412℃以上に昇温するため設計使用温度をこえてしまう。

＊大洗ナトリウム試験ループでの運転実績があり、もんじゅにも設置されている。

4.1－4　コールドトラップ再生実績の調査結果

第17部会用資料(H6.12.6)

(1) 目的

他施設でのコールドトラップ再生実績について調査した。また、「常陽」2次純化系コールドトラップへの適用について検討した。

(2) 調査結果

① コールドトラップの再生実績

(a) ナトリウム流動伝熱試験装置(コールドトラップ1号機)

加熱温度 300～480℃、保持時間 不明、ドレンできなかった。

(b) ナトリウム流動伝熱試験装置(SN 941 77-29)

加熱温度 600℃、保持時間48時間、コールドトラップ温度が均一になるよう考慮した。

［結果］ 純化効率の定量評価はしていないが、再生後のポンプ運転状態から判断すると再生効果があったと判断できる。

(c) もんじゅ1次系に再生方法を適用できるかどうかの確認(SN 941 81-143)

加熱温度 450℃、保持時間48時間

［結果］ 再生率 24 %（このあと500 ℃に昇温した）

加熱温度 500℃

［結果］ 加熱再生中ドレンラインが酸化物で閉塞した。（ドレンノズルがトラップ底部から40mmの位置にある。メッシュ部の析出物は剥離し易く底部に堆積したためと考えられる）

(d) 大型コールドトラップ2号機強制閉塞再生試験(SN 941 82-89)

加熱温度 500℃、保持時間48時間

［結果］ 再生率 51 %（約22.3kgで閉塞したコールドトラップを再生したところ、その後再閉塞までに約11.4kg捕獲できた）

② コールドトラップ不純物の再溶解温度

コールドトラップの底部に溜まっていた不純物の加熱試験結果から、427℃～538℃の温度で次に示す反応が生じ、固体のNaH, Na_2Oが液体のNaOHとなり、このNaOHを除去できれば再生方法として有効であると述べられている。また、この後の実験結果から412℃で平衡状態にあると報じられている。

「もんじゅ」1次系では再生温度を 550℃として設計した。

$$\underset{\text{(固体)}}{Na_2O + NaH} \underset{\text{cooling (412℃)}}{\overset{\text{heating}}{\longleftrightarrow}} \underset{\text{(液体)}}{2Na + NaOH}$$

(3) 検討結果

調査結果に示すとおり、PNCの試験施設では過去数回コールドトラップ再生が実施された。これらの結果は諸外国が交換で対応していることから貴重な経験である。

再生結果としては、再生方法・設備に違いがあるものの酸素20～50%の再生率が得られている。しかし、その一方ではドレン配管の閉塞など失敗の例も報告されている。

当施設実機への適用に関しては、コールドトラップが再生を考慮した設計となっていないことや、エコノマイザ内蔵型の再生経験が無いこと、約20年連続使用したメッシュの劣化の程度が確認できないこと、更には、昇温が悪いとその部分のナトリウム化合物がコンクリート状に固化してしまい復旧が困難となることなどがあり、実施は非常に大きなリスクを伴うため困難と判断する。

尚、実施とした時に考えられる再生の方法と検討課題は以下のとおりである。

① 2次純化系コールドトラップの再生方法

加熱温度は過去の加熱再生実績から酸素不純物が液体のNaOHの形態となる温度 412℃以上が必要である。この温度はできるかぎり高いほうがよいが、材料強度上の問題もあり実績の多い 500℃、保持時間は48時間を目安とする。また、昇温は予熱ヒータを追加設置することにより実現させる。

工事実施範囲・方法は次の通りであり、図4.2－3にコールドトラップ再生概念図を示す。

- 既設コールドトラップのドレン管の仕切り蓋を取り外し、溶接接続にて新たに配管する。配管にはヒータ及び保温材を設置する。
- ドレンタンクはヒータ内蔵の保温容器中に装荷する。また、タンク内のアルゴン置換、減圧ドレンのための仕切り弁、真空ポンプ並びに圧力計を取り外し可能な状態でセットする。
- 排気配管にはベーパトラップ、排気処理設備を設置する。
- 既設配管の内バウンダリを形成するバルブまではヒータを見直し、必要であれば補強する。また、既設コールドトラップのヒータ補強に際しては、コールドトラップ内の温度分布が平坦となる様設計施工（温度計の追加設置、交換含む）する。

・ドレンしたナトリウムは 110℃程度に降温し、再度コールドトラップ内へ返送する。

・ドレンタンク内から不純物量分析のためにナトリウムを少量採取する。

② 検討課題

実施に当たっての検討課題としては、次のようなものがある。

(a) 材料強度上の見直し(メッシュ、既設配管、バルブ、エコノマイザ)

(b) ドレンナトリウムの処理方法（仮設再生ラインを使用）、排気設備

(c) 予熱ヒータの補強箇所と容量

(d) ドレン容器の危険物容器としての認定

(e) 日程、予算など

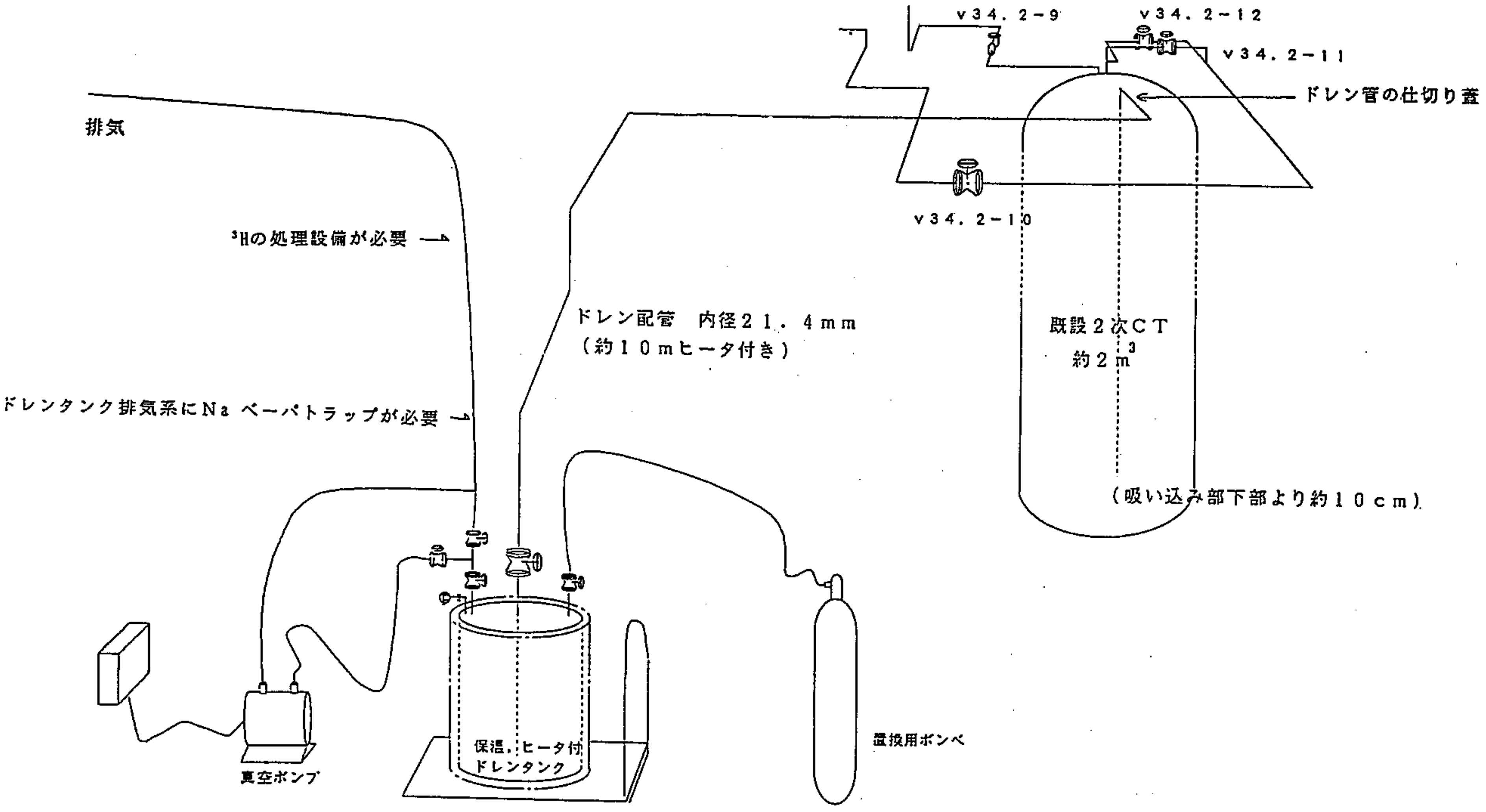


図4.2−3　　コールドトラップ再生概念図

4.2 コールドトラップ内エコノマイザ伝熱特性

(1) 目的

2次純化系コールドトラップ内エコノマイザ伝熱特性の経年変化の状況を把握するため、平成4年12月5日に伝熱特性試験を実施し、昭和53年6月及び昭和60年1月の試験結果の比較・検討を行い、併せて、過去15年にわたって記録計チャートの運転データから伝熱特性の推移を調査した。

(2) エコノマイザの概要

エコノマイザはコールドトラップ本体上部に内蔵されており、5列×18層のSTPA24管（3/4B:SCH40）より構成されている。コイル全長は 177.3m、管外面を基準とした場合の外表面積は 15.15㎡、有効伝熱面積は14㎡である。

2次ナトリウム純化系通常運転時は、オーバフロータンクよりオーバフローしてダンプタンクに流れ込んだナトリウムは、電磁ポンプにより汲み上げられ、コールドトラップ内部に送り込まれる。コールドトラップに入ったナトリウムは、エコノマイザ伝熱管の外部を通り伝熱管内部を流れる純化されたナトリウムと熱交換を行いメッシュ部に入る。冷却空気により冷却されながらメッシュ内部を下降すると、ナトリウム中に溶解されている不純物が析出し、メッシュに捕獲される。メッシュ部を出たナトリウムは、反転してメッシュ部と隔離された中空部を通り、エコノマイザ伝熱管に入る。ここで純化前のナトリウムと熱交換を行い、コールドトラップを出る。

ただし、エコノマイザ管側入口温度については、計測点が設けられておらず、この温度はセンタパイプ伝熱性能を考慮し、メッシュ内温度差から次式により求めている。

ｴｺﾉﾏｲｻﾞ管側入口温度　＝　ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟﾅﾄﾘｳﾑ制御温度－2.5
＋0.45（ｴｺﾉﾏｲｻﾞ出口ﾅﾄﾘｳﾑ温度－ｺｰﾙﾄﾞﾄﾗｯﾌﾟﾅﾄﾘｳﾑ制御温度）

(3) 伝熱特性試験

原子炉停止中、2次ナトリウム純化系通常運転中において、純化系ナトリウム流量を1㎥/hから6㎥/hの範囲で変化させ、ナトリウム流量をパラメータとして、伝熱特性を検討した。

尚、データの処理方法については、参考資料4－2を参照のこと。特性試験に先立って、今回のデータ処理方法を検証するため、過去2回の伝熱特性試験の計測データで試算したところ、当時の計算結果と若干の相違を生じた。この原因は、物性値のとり方の違いと考えられるが、比較・検討のため、過去の計測データから今回の処理方法を用いて計算し直

した値を用いた。計算結果は、表4.2－1に示す。

図4.2－1に、ナトリウム流量と伝熱抵抗の関係を示す。伝熱抵抗はナトリウム流量に大きく依存しており、低流量域になると伝熱抵抗が極端に上昇している。

この原因として、胴側ペクレ数が低いことが考えられる。2次エコノマイザは構造上、胴側の流路断面積が、管側に比較してかなり広いため、同一ナトリウム流量に対して胴側ペクレ数が管側ペクレ数の1／100しか確保できない状態にある。この結果、総伝熱抵抗のうち胴側伝熱抵抗のしめる割合が大半（80～90%）となり伝熱特性の悪さの主因をなしている。

この傾向は、過去2回の伝熱特性試験から変わっていない。

各伝熱抵抗別に比較した結果では、昭和53年、総括伝熱抵抗は最も大きく、昭和60年に一旦減少し、今回再び増大しているが、昭和53年の水準までは達していない。管側伝熱抵抗については「参考資料：データ処理方法」で示すように、実験式から求めた計算値であるから3回ともほぼ同じ値を示している。従って、総括伝熱抵抗から管側伝熱抵抗と管壁伝熱抵抗（一定値として計算）を差し引いた胴側伝熱抵抗は、総括伝熱抵抗と同じ傾向を示すこととなる。（図4.2－2、図4.2－3、図4.2－4参照）

次に、ペクレ数とヌセルト数の関係を図4.2－5に示す。ペクレ数は次式で定義される無次元数である。

$$\text{ペクレ数} = \frac{\text{流体の速度} \times \text{代表長さ}}{\text{流体の温度伝導率}}$$

ここで、流体の温度伝導率は次式で定義される。

$$\text{温度伝導率} = \frac{\text{流体の熱伝導率}}{\text{流体の比熱} \times \text{流体の比重量}}$$

従って、

$$\text{ペクレ数} = \frac{\text{流体の速度} \times \text{代表長さ} \times \text{流体の比熱} \times \text{流体の比重量}}{\text{流体の熱伝導率}}$$

一方、ヌセルト数は次式で定義される無次元数である。

$$\text{ヌセルト数} = \frac{\text{流体の熱伝達率} \times \text{代表長さ}}{\text{流体の熱伝導率}}$$

従って、両者の関係を求めるということは、（流体の速度×流体の比熱×流体の比重量）と流体の熱伝達率の関係を求めることとなり、同じペクレ数に対して、ヌセルト数が大きいということは、熱伝達特性がよいということである。結果は、伝熱抵抗と同じく昭和60年が最もよく、次いで平成4年、昭和53年の順になっている。

参考のために、管側熱伝達率を求める際適用したLubarsky-Kaufmanの式（$Nu=0.625\cdot Pe^{0.4}$）を示す。胴側ペクレ数は、同式が適用される範囲（通常、$Pe>10^2$）を大きく逸脱しているが、特性試験から得られたヌセルト数の関係を示す直線の傾きは大きい。このことは、熱伝達率が流速に大きく影響されていることを表している。

(4) 運転データの調査

伝熱特性試験の結果、２次コールドトラップエコノマイザの伝熱特性は、経年変化により次第に悪化する傾向を示さなかった。そこで、それぞれの試験の間の伝熱特性の推移を把握するため、記録計チャートの運転データを調査する必要があると考えた。

データ採取方法は、以下の通りである。

① チャートは、コールドトラップナトリウム温度（TR34.2-1）、コールドトラップナトリウム流量（TF34.2-1）、コールドトラップ内部温度（TR34.2-2）を使用した。

② 流量が変化すると伝熱特性が大きく変化するため、４㎥/h運転が始まった昭和53年10月以降のデータを使用した。

③ コールドトラップ入口温度の変化が伝熱抵抗に与える影響を調べるため、原子炉運転中（コールドトラップ入口温度 350℃前後）、及び原子炉停止中（コールドトラップ入口温度 200～ 250℃）のデータを採取した。

④ コールドトラップ制御温度の変化が伝熱抵抗に与える影響を調べるため、コールドトラップ起動時（コールドトラップ制御温度 150～ 130℃）のデータも採取した。

⑤ 複数のチャートを使用するので、採取時間の誤差が生じるため、温度、流量ともできるだけ安定した状態のデータを使用する。

尚、データの処理方法は、伝熱特性試験に同じである。計算結果は、表4.２－２～表4.２－３に示す。

図4.２－６に総括伝熱抵抗の昭和54年から平成４年までの変化の様子を示す。原子炉運転中と、停止中のデータを並べてみた。

昭和55年以前は、昭和54年を除き全体として高い値を示し、昭和56年から59年の間、低い値で安定している。昭和59年から60年の１年間で急上昇し、その後は僅かであるが経年変化によると思われる上昇傾向がみられる。そして、最近では、総括伝熱抵抗は、最も低かったときの約２倍の値を示している。この変化とコールドトラップ運転状態の変更を年を追って記す。

昭和51年 4月　現用コールドトラップ供用開始

昭和53年10月　純化系流量　6 ㎥/h→ 4 ㎥/h

昭和54年 4月　　コールドトラップ制御温度 150℃→ 120～ 125℃

昭和56年～59年　総括伝熱抵抗、低い値で安定

昭和58年 4月　　コールドトラップ制御温度 120～ 125℃→ 130℃

昭和59年～60年　総括伝熱抵抗、急上昇

昭和60年以降　　総括伝熱抵抗、徐々に上昇

以上のように、コールドトラップ制御温度変更に遅れること2年程度で、大きく変化することがわかった。この原因として、コールドトラップ制御温度変更によって、伝熱管の不純物付着状況に変化が起こることが考えられる。

全体を通じて、原子炉運転中は停止中に比べて伝熱抵抗は小さい。すなわち、コールドトラップ入口温度が高い方が、伝熱抵抗は小さい傾向にある。

図4.2－7に胴側ヌセルト数の経年変化を示す。

ヌセルト数は、熱伝達率を表す無次元数であるから、熱伝達率の逆数である総括伝熱抵抗とは、逆の傾向を示している。

図4.2－8にコールドトラップ各部温度（原子炉運転中）、図4.2－9にコールドトラップ各部温度（原子炉停止中）の経年変化を示す。

コールドトラップ入口温度とコールドトラップ出口温度の差、エコノマイザ胴出口温度とエコノマイザ管入口温度の差に着目すると、昭和56年から60年にかけてそれぞれの値は小さくなっている。すなわち、高温側流体と低温側流体の温度差が小さく、伝熱性能が良かった様子がわかる。

図4.2－10にコールドトラップ制御温度を一定としたときのコールドトラップ入口温度と総括伝熱抵抗の関係を示す。グラフでは、左側と右側にデータが集中しているが、原子炉運転中と停止中のコールドトラップ入口温度の違いによるものである。また、上下にプロット点が離れているが、下方のものは、低い値で安定していた昭和56年から59年の間のものである。コールドトラップ入口温度が高い方が、伝熱抵抗は小さい傾向にある。

図4.2－11にコールドトラップ入口温度を一定としたときのコールドトラップ制御温度と総括伝熱抵抗の関係を示す。コールドトラップ制御温度が上昇するにつれて、総括伝熱抵抗は漸増している。

コールドトラップ入口温度と総括伝熱抵抗の関係、及びコールドトラップ制御温度と総括伝熱抵抗の関係から、入口温度と制御温度の差が大きいほど総括伝熱抵抗が低下すると推測される。

上記の関係を図4.2－12に示す。明らかに両者には相関関係がみられる。

以上のように、伝熱特性の経年変化を調査した結果、コールドトラップ制御温度と熱交

換器の伝熱特性の関係が明らかになってきた。今後、１次系コールドトラップエコノマイザについても同様な調査を行うことによって、両者の関係が、より一層明確になるものと思われる。

(5) まとめ

① 伝熱抵抗はナトリウム流量に大きく依存しており、低流量域になると伝熱抵抗が極端に上昇している。

この原因として、胴側ペクレ数が低いことが考えられる。２次系エコノマイザは構造上、胴側の流路断面積が、管側に比較してかなり広いため、同一ナトリウム流量に対して胴側ペクレ数が管側ペクレ数の１／100 しか確保できない状態にある。この結果、総伝熱抵抗のうち胴側伝熱抵抗のしめる割合が大半（80～90%）となり伝熱特性の悪さの主因をなしている。

② ３回の伝熱特性試験を比較すると、昭和60年が最もよく、次いで平成４年で、昭和53年の伝熱特性が最も悪いという結果になった。

③ 総括伝熱抵抗は、昭和55年以前には比較的高い値を示していたが、昭和56年から59年にかけて低い値で安定していた。ところが、昭和59年から60年の１年間に急上昇し、その後は僅かであるが、経年変化と思われる上昇が見られる。そして、最近では、総括伝熱抵抗は、最も低かったときの約２倍の値を示している。

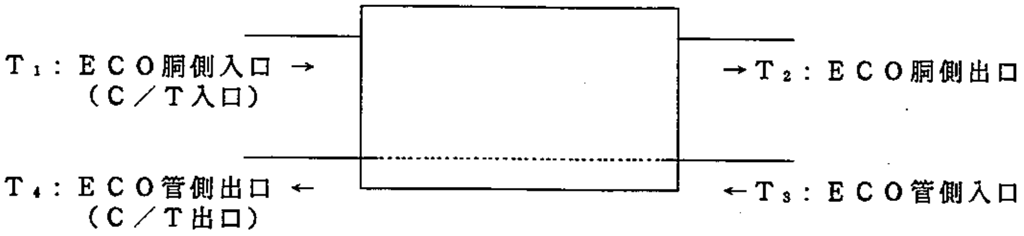
④ 総括伝熱抵抗は、コールドトラップ制御温度変更に遅れること２年程度で、大きく変化することがわかった。この原因として、コールドトラップ制御温度変更によって、伝熱管の不純物付着状況に変化が起こることが考えられる。

⑤ コールドトラップ入口温度と制御温度の差が大きいほど、総括伝熱抵抗は低下する。

⑥ １次系コールドトラップエコノマイザについても同様な調査を行うことによって、コールドトラップ制御温度と熱交換器の伝熱特性の関係が、より一層明確になるものと思われる。

参考資料4－2　伝熱特性データの処理方法

(1)　交換熱量Ｑｍ［kcal／ｈ］の計算



エコノマイザー管側と胴側の熱交換量の平均を交換熱量Ｑｍとする。

$$Qm = \frac{q_m^{1-2} + q_m^{4-3}}{2} \quad \cdots\cdots ①$$

ここで、胴側の受熱量q_m^{1-2}［kcal／ｈ］、管側の受熱量q_m^{4-3}［kcal／ｈ］は、

次式による。

$$q_m^{1-2} = \gamma_1 \cdot F \cdot \Delta H^{1-2}$$

$$q_m^{4-3} = \gamma_2 \cdot F \cdot \Delta H^{4-3}$$

Ｆ	：ナトリウム流量	［㎥／ｈ］	
γ_1	：胴側のナトリウム比重量	［kg／㎥］	（T_1, T_2の平均値を使用）
γ_2	：管側のナトリウム比重量	［kg／㎥］	（T_3, T_4の平均値を使用）
ΔH^{1-2}	：胴側ナトリウムのエンタルピ差	［kcal／kg］	（T_1, T_2のエンタルピ差）
ΔH^{4-3}	：管側ナトリウムのエンタルピ差	［kcal／kg］	（T_3, T_4のエンタルピ差）
T_1	：胴側入口ナトリウム温度	［℃］	
T_2	：胴側出口ナトリウム温度	［℃］	
T_3	：管側入口ナトリウム温度	［℃］	
T_4	：管側出口ナトリウム温度	［℃］	

また、比重量γ［kg／㎥］及びエンタルピＨ［kcal／kg］は、次式から求める。

$$\gamma = 1000\rho$$

ρ：密度　［ｇ／㎤］

$$\rho = 0.9501 - 2.2976 \times 10^{-4} t - 1.460 \times 10^{-8} t^2 + 5.638 \times 10^{-12} t^3$$

ｔ：ナトリウム温度［℃］

$$H = H' / 4.186$$

Ｈ'：エンタルピ　［Ｊ／ｇ］

$$H' = 98.973 + 1.436744 t - 2.90244 \times 10^{-4} t^2 + 1.54097 \times 10^{-7} t^3 + 24000 e^{-13600/(t+273)}$$

(2)　熱貫流率Ｕ［kcal／m²・ｈ・℃］の計算

$$U = \frac{Qm}{A_H \cdot \Delta Tm} \quad \cdots\cdots ②$$

A_H：有効伝熱面積（14.0）［m²］
ΔTm：対数平均温度差［℃］

ここで、対数平均温度差ΔTmは次式による。

$$\Delta Tm = \frac{(T_1 - T_4) - (T_2 - T_3)}{\ln \dfrac{T_1 - T_4}{T_2 - T_3}}$$

(3) 管側レイノルズ数Re_2の計算

$$Re_2 = \frac{De_2 \cdot V_2}{\nu_2} \quad \cdots\cdots ③$$

De_2：管側相当直径（2.14×10^{-2}）［m］
V_2：管側ナトリウム流速（$1.54\times10^{-1}\cdot F$）［m／s］
ν_2：管側ナトリウムの動粘性係数［m²／s］（T_3, T_4の平均を使用）

ここで、動粘性係数は次式により求める。粘性係数η［ｾﾝﾁﾎﾟｱｽﾞ］は、

$$\eta = 0.1235\rho^{1/3}\exp\frac{697\rho}{T}$$

ρ：密度［g／cm³］
T：絶対温度［K］

単位を［dyne・sec／cm²］に換算すると

η'［dyne・sec／cm²］$=\eta\times10^{-2}$　　ここで　dyne＝g・cm／sec²

動粘性係数ν［m²／sec］と、粘性係数ηの関係は、

$$\nu = \frac{\eta'}{\rho} = \left[\frac{g\cdot cm\cdot sec}{sec^2\cdot cm^2}\cdot\frac{cm^3}{g}\right] = \frac{\eta}{\rho}\times10^{-6}\left[\frac{m^2}{sec}\right]$$

(4) 管側プラントル数Pr_2の計算

$$Pr_2 = \frac{\nu_2\cdot Cp_2\cdot\gamma_2}{\lambda_2\cdot 3600} \quad \cdots\cdots ④$$

Cp_2：管側ナトリウムの定圧比熱［kcal／kg・℃］（T_3, T_4の平均を使用）
λ_2：管側ナトリウムの熱伝導率［kcal／m・h・℃］（T_3, T_4の平均を使用）

ここで、定圧比熱Cp［kcal／kg・℃］及び熱伝導率λ［kcal／m・h・℃］は、次式より求める。

$$Cp = 0.34324 + 1.3868\times10^{-4}t + 1.1044\times10^{-7}t^2$$

$$\lambda'\,[cal/cm\cdot sec\cdot ℃] = 0.216 - 1.16\times10^{-4}t$$

$$\lambda\,[kcal/m\cdot h\cdot ℃] = 360\times\lambda'$$

t：ナトリウム温度［℃］

(5) 管側ペクレ数Pe_2の計算

$$Pe_2 = Pr_2 \cdot Re_2 \quad \cdots\cdots ⑤$$

(6) 管側ヌセルトNu_2数の計算

$$Nu_2 = 0.625 \cdot Pe^{0.4} \quad \cdots\cdots ⑥$$

(7) 管側熱伝達率h_2 [kcal／㎡・h・℃] の計算（③，④，⑥式より）

$$h_2 = \frac{\lambda_2 \cdot Nu_2}{De_2} \quad \cdots\cdots ⑦$$

(8) 管側熱抵抗R_2 [㎡・h・℃／kcal] の計算（⑦式より）

$$R_2 = \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{1}{h_2} \quad \cdots\cdots ⑧$$

d_1：管外径（0.0272） [m]
d_2：管内径（0.0214） [m]

(9) 管壁熱抵抗R_w [㎡・h・℃／kcal] の計算

$$R_w = \frac{d_1}{2\lambda_m} \cdot \ln \frac{d_1}{d_2} \quad \cdots\cdots ⑨$$

λ_m：ステンレス鋼の熱伝導率 [kcal／㎡・h・℃]

$R_w = 9.9 \times 10^{-5}$ [㎡・h・℃／kcal] 一定として以下の計算を行った。

(10) 胴側熱伝達率h_1の計算（②，⑧，⑨式より）

$$h_1 = \frac{1}{R_1} \quad \cdots\cdots ⑩$$

R_1：胴側熱抵抗 [㎡・h・℃／kcal]

ここで、胴側熱抵抗は次式による。

$$R_1 = \frac{1}{U} - R_2 - R_w$$

(11) 胴側ヌセルト数Nu_1の計算（⑩式より）

$$Nu_1 = \frac{h_1 \cdot De_1}{\lambda_1} \quad \cdots\cdots ⑪$$

De_1：胴側相当直径（2.72×10^{-2}） [m]
λ_1：胴側ナトリウムの熱伝導率 [kcal／㎡・h・℃]

⑿ 胴側レイノルズ数Re_1の計算

$$Re_1 = \frac{De_1 \cdot V_1}{\nu_1} \quad \cdots\cdots ⑫$$

V_1：胴側ナトリウム流速（$1.54 \times 10^{-1} \cdot F$）［m／s］
ν_1：胴側ナトリウムの動粘性係数 ［㎡／s］（T_1, T_2の平均を使用）

⒀ 胴側プラントル数Pr_1の計算

$$Pr_1 = \frac{\nu_1 \cdot Cp_1 \cdot \gamma_1}{\lambda_1 \cdot 3600} \quad \cdots\cdots ⑬$$

Cp_1：胴側ナトリウムの定圧比熱［kcal／kg・℃］ （T_1, T_2の平均を使用）
λ_1：胴側ナトリウムの熱伝導率［kcal／m・h・℃］（T_1, T_2の平均を使用）

⒁ 胴側ペクレ数Pe_1の計算（⑫，⑬式より）

$$Pe_1 = Pr_1 \cdot Re_1 \quad \cdots\cdots ⑭$$

表4.2－1　　2次系コールドトラップ内エコノマイザ伝熱特性試験

No	年月日	時間	FR34.2-1	TIC34.2-1	TIA35.2-1	TR34.2-2						エコノマイザ管 入口温度 T_3	対数平均 温度差 ΔT_m	胴側 受熱量 q_{mt-s}	管側 受熱量 q_{mt-t}	ペクレ数		ヌセルト数	伝熱抵抗		
			ナトリウム 流量 F	コールドトラップ 制御温度	ダンプタンク 温度	① コールドトラップ 入口T_1	② エコノマイザ胴 出口T_2	③ #1メッシュ	④ #2メッシュ	⑤ #3メッシュ	⑥ コールドトラップ 出口T_4					胴側 Pe_1	管側 Pe_2	胴側 Nu_1	胴側 R_1	管側 R_2	総括 1／U
			㎥／h	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	Kcal／h		—	—	—	㎡・h・℃／Kcal		
1	H04.12.05	13:30	4.2	130	215	224	146	141	138	134	211	134.7	12.13	9.551E+04	9.408E+04	2.082	206.711	0.238	1.62E-03	7.29E-05	1.79E-03
2		14:45	6.0	131	217	226	142	137	136	133	214	133.5	10.16	1.470E+05	1.418E+05	2.974	295.307	0.467	8.28E-04	6.32E-05	9.87E-04
3		15:20	5.0	130	216	225	142	138	136	133	214	132.9	10.02	1.211E+05	1.190E+05	2.479	246.088	0.385	1.01E-03	6.80E-05	1.17E-03
4		16:35	3.0	130	216	223	149	143	139	135	209	136.1	13.47	6.469E+04	6.426E+04	1.487	147.650	0.141	2.75E-03	8.34E-05	2.92E-03
5		17:15	2.0	130	215	220	151	145	141	136	207	137.0	13.52	4.022E+04	4.115E+04	0.991	98.432	0.087	4.46E-03	9.80E-05	4.65E-03
6		18:50	1.0	132	210	212	160	152	146	139	203	142.1	12.94	1.515E+04	1.788E+04	0.496	49.217	0.036	1.07E-02	1.29E-04	1.10E-02
7		19:35	2.0	130	210	217	149	144	141	136	208	136.1	10.86	3.969E+04	4.226E+04	0.991	98.432	0.110	3.52E-03	9.81E-05	3.71E-03
8		20:15	3.0	130	210	218	148	142	139	135	205	135.6	12.70	6.129E+04	6.121E+04	1.487	147.643	0.142	2.72E-03	8.33E-05	2.90E-03
9		21:00	4.0	130	211	220	145	140	137	134	207	134.3	11.84	8.759E+04	8.554E+04	1.983	196.859	0.221	1.75E-03	7.42E-05	1.91E-03
1	S60.01.30	12:58	4.0	131	221	220	139	137	136	134	213	132.1	6.95	9.476E+04	9.502E+04	1.983	196.867	0.451	8.56E-04	7.43E-05	1.03E-03
2		13:58	5.9	133	223	222	141	138	137	135	215	134.1	6.95	1.396E+05	1.400E+05	2.925	290.391	0.719	5.37E-04	6.37E-05	6.96E-04
3		14:40	5.1	129	224	223	139	135	134	132	216	131.0	7.49	1.252E+05	1.272E+05	2.528	251.010	0.578	6.68E-04	6.75E-05	8.31E-04
4		15:20	3.9	130	224	221	139	136	134	132	215	131.6	6.70	9.351E+04	9.552E+04	1.933	191.946	0.470	8.22E-04	7.51E-05	9.92E-04
5		16:00	3.1	130	224	228	140	137	137	134	214	132.0	10.72	7.959E+04	7.462E+04	1.537	152.573	0.219	1.77E-03	8.23E-05	1.95E-03
6		17:00	2.2	129	222	218	144	139	138	135	210	133.3	9.31	4.757E+04	4.960E+04	1.090	108.275	0.155	2.49E-03	9.44E-05	2.68E-03
7		18:00	1.2	129	221	215	150	144	142	137	207	136.0	10.74	2.277E+04	2.505E+04	0.595	59.059	0.064	6.07E-03	1.20E-04	6.29E-03
8		18:40	2.0	134	220	216	150	145	144	140	209	138.7	8.98	3.853E+04	4.125E+04	0.991	98.436	0.131	2.96E-03	9.82E-05	3.15E-03
9		19:45	3.0	129	220	218	141	138	136	134	210	131.9	8.54	6.756E+04	6.886E+04	1.487	147.645	0.245	1.57E-03	8.33E-05	1.75E-03
10		20:25	4.0	131	221	219	140	137	137	135	211	132.6	7.72	9.242E+04	9.218E+04	1.983	196.863	0.385	1.00E-03	7.43E-05	1.17E-03
1	S53.06.08	23:20	5.9	148	353	360	182	171	166	160	331	160.8	24.90	2.925E+05	2.834E+05	2.942	291.502	0.389	1.05E-03	6.64E-05	1.21E-03
2	S53.06.09	00:30	5.2	153	353	361	190	178	173	167	330	167.2	26.72	2.471E+05	2.386E+05	2.595	256.976	0.298	1.38E-03	7.00E-05	1.54E-03
3		01:00	4.4	150	353	359	192	178	172	162	327	166.4	28.68	2.042E+05	1.993E+05	2.195	217.406	0.225	1.82E-03	7.47E-05	1.99E-03
4		01:32	3.0	138	353	357	198	178	168	154	316	162.5	38.18	1.324E+05	1.304E+05	1.497	148.140	0.105	3.89E-03	8.67E-05	4.07E-03
5		02:01	2.2	147	352	352	208	188	176	162	313	172.0	37.51	8.780E+04	8.770E+04	1.098	108.664	0.071	5.79E-03	9.83E-05	5.98E-03
6		02:35	1.05	141	352	342	212	188	172	158	308	170.5	37.65	3.788E+04	4.089E+04	0.524	51.849	0.031	1.32E-02	1.32E-04	1.34E-02
7		03:04	2.1	149	352	352	203	188	179	166	322.5	170.8	30.83	8.683E+04	8.985E+04	1.048	103.762	0.087	4.69E-03	1.00E-04	4.89E-03
8		04:40	5.5	150	353	362	191	178	171	162	332	166.0	27.45	2.612E+05	2.573E+05	2.745	271.811	0.310	1.32E-03	6.84E-05	1.48E-03
9		05:27	6.5	146	357	363	177	167	162	154	333	157.5	24.40	3.369E+05	3.221E+05	3.241	321.128	0.465	8.78E-04	6.39E-05	1.04E-03
10		06:05	6.8	150	357	364	182	172	167	160	336	161.9	23.83	3.444E+05	3.336E+05	3.392	336.057	0.494	8.26E-04	6.29E-05	9.84E-04
11		08:00	6.2	150	357	363	182	172	167	160	335	161.9	23.83	3.123E+05	3.025E+05	3.092	306.392	0.441	9.25E-04	6.52E-05	1.09E-03
12	S53.06.17	01:18	1.9	150	350	348	218	194	180	167	318	176.1	34.72	6.834E+04	7.490E+04	0.949	93.891	0.062	6.59E-03	1.05E-04	6.79E-03
13		01:45	1.7	141	352	348	208	187	172	157	312	168.7	37.65	6.603E+04	6.896E+04	0.848	83.953	0.054	7.61E-03	1.09E-04	7.81E-03
14		02:27	1.4	138	352	346	206	183	170	153	313	166.1	36.34	5.443E+04	5.822E+04	0.699	69.134	0.046	8.82E-03	1.18E-04	9.03E-03
15		02:52	1.2	137	353	342	208	185	170	153	307	166.5	38.18	4.468E+04	4.781E+04	0.599	59.244	0.036	1.13E-02	1.25E-04	1.16E-02
16		03:15	0.9	136	353	333	211	184	168	153	302	167.3	37.01	3.055E+04	3.442E+04	0.499	44.426	0.026	1.57E-02	1.40E-04	1.60E-02
17		03:40	2.35	152	354	354	202	189	181	168	324	172.0	30.00	9.910E+04	1.007E+05	1.173	116.128	0.102	4.01E-03	9.61E-05	4.20E-03
18		05:15	3.8	158	358	361	201	188	180	171	331	174.9	28.03	1.884E+05	1.668E+05	1.897	187.864	0.190	2.17E-03	7.95E-05	2.34E-03
19		07:33	4.85	149	347	350	181	171	166	158	327	160.9	21.52	2.289E+05	2.276E+05	2.417	239.585	0.353	1.15E-03	7.17E-05	1.32E-03
20	S53.06.16	22:05	6.1	150	348	354	177	168	164	158	330	159.7	20.50	3.016E+05	2.934E+05	3.040	301.356	0.506	8.04E-04	6.55E-05	9.65E-04

表4.2－2　　2次系コールドトラップ内エコノマイザ伝熱特性データ

	No	年月日	FR34.2-1 ナトリウム流量 F	TR34.2-1 コールドトラップ制御温度	TR34.2-2 ① コールドトラップ入口 T_1	TR34.2-2 ② エコノマイザ胴出口 T_2	TR34.2-2 ③ コールドトラップ出口 T_4	エコノマイザ管入口温度 T_3	対数平均温度差 ΔT_m	胴側受熱量 q_{m1-2}	管側受熱量 q_{m4-3}	ペクレ数 胴側 Pe_1	ペクレ数 管側 Pe_2	ヌセルト数 胴側 Nu_1	伝熱抵抗 胴側 R_1	伝熱抵抗 管側 R_2	伝熱抵抗 総括 1／U
			㎥／h	℃	℃	℃	℃	℃	℃	Kcal／h		—	—	—	㎡・h・℃／Kcal		
原子炉運転中	1	S54.07.18	3.9	119	352	138	336	125.1	14.42	2.357E+05	2.342E+05	1.940	192.456	0.585	6.87E-04	7.77E-05	8.59E-04
	2	S55.01.27	4.0	118	361	154	332	131.7	25.50	2.323E+05	2.279E+05	1.992	197.409	0.293	1.38E-03	7.69E-05	1.55E-03
	3	S55.06.12	4.0	117	350	160	316	133.9	29.90	2.135E+05	2.080E+05	1.992	197.314	0.223	1.82E-03	7.66E-05	1.99E-03
	4	S56.03.20	3.8	124	355	140	340	128.7	13.06	2.305E+05	2.281E+05	1.891	187.573	0.645	6.24E-04	7.87E-05	7.98E-04
	5	S56.08.02	4.0	120	352	135	336	124.3	13.20	2.454E+05	2.412E+05	1.990	197.385	0.682	5.88E-04	7.69E-05	7.60E-04
	6	S56.12.10	3.8	126	346	143	330	131.2	13.82	2.179E+05	2.151E+05	1.890	187.522	0.557	7.20E-04	7.85E-05	8.94E-04
	7	S58.03.03	4.0	125	347	139	331	128.8	12.88	2.352E+05	2.303E+05	1.989	197.382	0.665	6.03E-04	7.69E-05	7.75E-04
	8	S58.09.02	4.0	130	345	144	330	133.8	12.45	2.271E+05	2.232E+05	1.990	197.410	0.667	6.02E-04	7.69E-05	7.74E-04
	9	S58.11.30	4.0	130	343	146	329	134.7	12.60	2.226E+05	2.210E+05	1.990	197.409	0.644	6.23E-04	7.69E-05	7.95E-04
	10	S59.05.18	4.2	131	341	146	327	135.3	12.30	2.315E+05	2.291E+05	2.089	207.269	0.695	5.77E-04	7.54E-05	7.48E-04
	11	S59.12.01	3.8	130	341	150	325	136.5	14.71	2.049E+05	2.038E+05	1.890	187.524	0.481	8.34E-04	7.85E-05	1.01E-03
	12	S60.04.18	4.0	129	343	157	320	139.1	20.34	2.095E+05	2.060E+05	1.991	197.377	0.336	1.20E-03	7.68E-05	1.37E-03
	13	S60.12.14	4.0	128	341	157	316	138.6	21.56	2.074E+05	2.023E+05	1.990	197.346	0.309	1.30E-03	7.67E-05	1.47E-03
	14	S61.05.20	4.0	127	345	156	320	137.6	21.56	2.129E+05	2.079E+05	1.991	197.366	0.319	1.26E-03	7.68E-05	1.43E-03
	15	S61.10.25	3.9	129	341	157	316	139.1	21.25	2.022E+05	1.966E+05	1.941	192.416	0.305	1.32E-03	7.75E-05	1.49E-03
	16	S62.09.28	4.0	129	341	155	317	138.2	20.19	2.097E+05	2.036E+05	1.990	197.350	0.337	1.19E-03	7.68E-05	1.37E-03
	17	S63.01.09	4.0	130	340	155	315	138.8	20.31	2.087E+05	2.010E+05	1.990	197.340	0.331	1.22E-03	7.67E-05	1.39E-03
	18	S63.04.10	4.0	130	340	156	316	139.2	20.19	2.075E+05	2.015E+05	1.990	197.350	0.332	1.21E-03	7.68E-05	1.38E-03
	19	H01.02.16	3.9	131	344	160	319	141.6	21.56	2.019E+05	1.969E+05	1.941	192.452	0.301	1.34E-03	7.77E-05	1.51E-03
	20	H01.05.18	3.8	130	346	161	321	141.5	22.16	1.976E+05	1.941E+05	1.892	187.530	0.286	1.41E-03	7.85E-05	1.58E-03
	21	H01.10.19	4.0	131	344	161	320	142.0	21.40	2.059E+05	2.025E+05	1.991	197.397	0.311	1.30E-03	7.69E-05	1.47E-03
	22	H02.09.16	4.1	130	348	158	323	140.1	21.25	2.190E+05	2.133E+05	2.041	202.340	0.335	1.21E-03	7.62E-05	1.38E-03
	23	H02.11.16	3.9	130	345	159	320	140.6	21.56	2.041E+05	1.992E+05	1.941	192.452	0.305	1.32E-03	7.77E-05	1.50E-03
	24	H03.04.22	4.0	131	348	159	323	141.1	21.25	2.125E+05	2.069E+05	1.991	197.412	0.324	1.25E-03	7.70E-05	1.42E-03
	25	H04.04.02	3.9	131	348	160	323	141.6	21.56	2.061E+05	2.012E+05	1.942	192.480	0.308	1.31E-03	7.77E-05	1.48E-03
	26	H04.10.14	4.1	130	350	162	323	141.9	23.38	2.164E+05	2.111E+05	2.042	202.353	0.297	1.36E-03	7.62E-05	1.53E-03
原子炉停止中	1	S54.04.15	3.9	124	251	135	241	126.5	9.26	1.313E+05	1.304E+05	1.934	192.000	0.475	8.20E-04	7.56E-05	9.90E-04
	2	S55.01.16	4.1	118	268	140	250	125.4	16.24	1.514E+05	1.488E+05	2.034	201.872	0.291	1.35E-03	7.43E-05	1.51E-03
	3	S55.07.15	4.0	117	248	141	230	125.3	16.82	1.241E+05	1.226E+05	1.984	196.890	0.224	1.74E-03	7.46E-05	1.91E-03
	4	S56.03.15	3.8	123	251	132	241	124.6	8.66	1.314E+05	1.292E+05	1.884	187.071	0.512	7.59E-04	7.83E-05	9.31E-04
	5	S56.08.17	3.9	122	235	130	227	123.1	7.44	1.196E+05	1.188E+05	1.933	191.955	0.550	7.03E-04	7.52E-05	8.73E-04
	6	S57.01.11	3.9	125	220	131	211	125.2	7.28	1.018E+05	9.850E+04	1.933	191.929	0.454	8.48E-04	7.49E-05	1.02E-03
	7	S57.06.07	4.0	125	228	133	219	126.1	7.90	1.111E+05	1.091E+05	1.983	196.867	0.462	8.36E-04	7.43E-05	1.00E-03
	8	S57.12.22	4.1	125	251	133	241	126.1	8.35	1.405E+05	1.375E+05	2.033	201.845	0.578	6.72E-04	7.41E-05	8.41E-04
	9	S58.06.07	3.9	129	231	137	223	130.1	7.44	1.070E+05	1.061E+05	1.933	191.962	0.480	8.07E-04	7.53E-05	9.77E-04
	10	S58.12.05	4.1	135	229	138	221	133.9	5.87	1.089E+05	1.046E+05	2.032	201.811	0.644	6.00E-04	7.38E-05	7.69E-04
	11	S59.04.16	3.9	131	232	139	224	132.1	7.44	1.057E+05	1.049E+05	1.933	191.969	0.473	8.18E-04	7.53E-05	9.89E-04
	12	S59.10.24	4.0	135	234	145	225	137.0	8.49	1.035E+05	1.029E+05	1.983	196.907	0.395	9.82E-04	7.47E-05	1.15E-03
	13	S60.05.22	4.0	130	241	147	228	135.2	12.42	1.091E+05	1.085E+05	1.984	196.910	0.278	1.43E-03	7.47E-05	1.60E-03
	14	S60.11.24	4.0	129	232	144	220	133.3	11.36	1.025E+05	1.017E+05	1.983	196.885	0.279	1.39E-03	7.45E-05	1.56E-03
	15	S61.04.19	4.2	128	233	143	220	132.3	11.84	1.100E+05	1.080E+05	2.082	206.726	0.287	1.35E-03	7.30E-05	1.52E-03
	16	S61.11.04	4.0	128	233	143	220	132.3	11.84	1.048E+05	1.029E+05	1.983	196.882	0.272	1.43E-03	7.45E-05	1.60E-03
	17	S62.08.31	4.0	126	241	142	227	130.7	12.60	1.150E+05	1.127E+05	1.983	196.896	0.282	1.38E-03	7.46E-05	1.55E-03
	18	S62.11.13	4.0	129	226	142	215	132.4	10.31	9.802E+04	9.701E+04	1.983	196.871	0.295	1.31E-03	7.44E-05	1.48E-03
	19	S63.06.13	4.2	129	240	144	226	133.3	12.30	1.171E+05	1.139E+05	2.083	206.745	0.294	1.32E-03	7.32E-05	1.49E-03
	20	H01.01.17	4.0	130	238	147	225	135.2	12.42	1.057E+05	1.051E+05	1.983	196.902	0.263	1.48E-03	7.47E-05	1.65E-03
	21	H01.04.19	4.0	131	229	146	217	135.3	11.36	9.666E+04	9.582E+04	1.983	196.882	0.261	1.48E-03	7.45E-05	1.65E-03
	22	H01.11.10	3.9	131	234	147	222	135.7	11.65	9.862E+04	9.847E+04	1.934	191.973	0.262	1.48E-03	7.54E-05	1.65E-03
	23	H02/06.06	4.0	130	240	147	226	135.2	12.90	1.080E+05	1.062E+05	1.984	196.905	0.257	1.52E-03	7.47E-05	1.69E-03
	24	H02.12.04	4.0	131	225	146	213	135.3	11.36	9.211E+04	9.123E+04	1.983	196.873	0.247	1.57E-03	7.44E-05	1.74E-03
	25	H03.04.04	3.9	130	240	147	226	135.2	12.90	1.053E+05	1.036E+05	1.934	191.982	0.250	1.56E-03	7.54E-05	1.73E-03
	26	H04.02.21	4.0	130	234	144	220	133.8	12.00	1.047E+05	1.010E+05	1.983	196.886	0.265	1.46E-03	7.45E-05	1.63E-03
	27	H04.05.08	4.1	132	224	143	213	134.5	9.72	9.691E+04	9.450E+04	2.032	201.793	0.309	1.25E-03	7.37E-05	1.42E-03
	28	H04.11.24	4.0	130	240	149	225	136.1	13.95	1.056E+05	1.040E+05	1.984	196.905	0.230	1.69E-03	7.47E-05	1.86E-03

表4.2－3　2次系コールドトラップ内エコノマイザ伝熱特性データ

コールドトラップ起動時

No	年月日	FR34.2-1 ナトリウム流量 F	TR34.2-1 コールドトラップ制御温度	TR34.2-2 ① コールドトラップ入口 T_1	TR34.2-2 ② エコノマイザ胴出口 T_3	TR34.2-2 ⑥ コールドトラップ出口 T_4	エコノマイザ管入口温度 T_2	対数平均温度差 ΔT_m	胴側受熱量 q_{m1-3}	管側受熱量 q_{m4-2}	ペクレ数 胴側 Pe_1	ペクレ数 管側 Pe_2	ヌセルト数 胴側 Nu_1	伝熱抵抗 胴側 R_1	伝熱抵抗 管側 R_2	伝熱抵抗 総括 1／U
		㎥／h	℃	℃	℃	℃	℃	℃	Kcal／h		—	—	—	㎡・h・℃／Kcal		
1	S58.07.30	4.3	149	207	154	202	148.8	5.12	6.661E+04	6.712E+04	2.131	211.645	0.426	9.05E-04	7.23E-05	1.07E-03
2	S58.07.31	4.1	140	206	145	200	139.8	5.62	7.331E+04	7.264E+04	2.032	201.778	0.424	9.09E-04	7.35E-05	1.08E-03
3	S58.08.02	4.0	135	237	143	229	136.1	7.44	1.093E+05	1.085E+05	1.983	196.916	0.494	7.86E-04	7.48E-05	9.56E-04
4	S58.08.03	4.0	131	242	140	234	132.6	7.72	1.186E+05	1.184E+05	1.983	196.920	0.523	7.42E-04	7.48E-05	9.12E-04
5	S59.03.10	4.0	151	189	157	184	151.2	5.39	3.757E+04	3.863E+04	1.982	196.848	0.212	1.81E-03	7.41E-05	1.98E-03
6	S59.03.12	4.1	145	200	152	195	145.7	5.65	5.767E+04	5.948E+04	2.032	201.779	0.326	1.18E-03	7.35E-05	1.35E-03
7	S59.03.13	4.1	140	205	146	200	140.2	5.39	7.090E+04	7.209E+04	2.032	201.778	0.434	8.87E-04	7.35E-05	1.06E-03
8	S59.03.19	3.9	135	233	143	225	136.1	7.44	1.022E+05	1.013E+05	1.934	191.982	0.455	8.53E-04	7.54E-05	1.02E-03
9	S59.03.20	3.9	131	228	139	220	132.1	7.44	1.013E+05	1.005E+05	1.933	191.960	0.449	8.62E-04	7.52E-05	1.03E-03
10	S60.11.20	4.0	149	232	160	221	151.5	9.72	8.345E+04	8.105E+04	1.984	196.938	0.262	1.49E-03	7.49E-05	1.66E-03
11	S60.11.21	4.0	144	231	156	220	146.9	10.02	8.705E+04	8.532E+04	1.984	196.921	0.267	1.46E-03	7.48E-05	1.63E-03
12	S60.11.22	4.1	139	230	152	219	142.4	10.31	9.293E+04	9.185E+04	2.033	201.828	0.279	1.39E-03	7.39E-05	1.56E-03
13	S60.11.23	4.1	134	233	147	220	137.4	11.24	1.025E+05	9.915E+04	2.033	201.817	0.279	1.39E-03	7.39E-05	1.56E-03
14	S60.11.24	4.0	129	232	144	220	133.3	11.36	1.025E+05	1.017E+05	1.983	196.885	0.279	1.39E-03	7.45E-05	1.56E-03
15	S62.06.29	4.0	153	235	165	225	155.9	9.54	8.095E+04	8.034E+04	1.984	196.967	0.263	1.49E-03	7.51E-05	1.66E-03
16	S62.06.30	4.0	150	242	164	231	153.8	10.59	9.006E+04	8.966E+04	1.984	196.981	0.264	1.48E-03	7.52E-05	1.65E-03
17	S62.07.02	4.0	144	242	157	230	147.4	10.78	9.833E+04	9.619E+04	1.984	196.955	0.283	1.38E-03	7.50E-05	1.55E-03
18	S62.08.25	4.0	138	235	151	223	141.4	10.78	9.753E+04	9.538E+04	1.983	196.914	0.279	1.40E-03	7.47E-05	1.57E-03
19	S62.08.27	4.0	133	235	147	223	136.8	11.08	1.023E+05	1.008E+05	1.983	196.901	0.286	1.36E-03	7.46E-05	1.53E-03
20	S62.08.31	4.0	126	241	142	227	130.7	12.60	1.150E+05	1.127E+05	1.983	196.896	0.282	1.38E-03	7.46E-05	1.55E-03
21	H01.07.21	4.1	176	248	187	238	178.5	9.26	7.161E+04	7.027E+04	2.036	202.048	0.238	1.66E-03	7.51E-05	1.83E-03
22	H01.07.23	4.1	161	245	174	234	164.4	10.31	8.372E+04	8.260E+04	2.035	201.961	0.251	1.57E-03	7.47E-05	1.74E-03
23	H01.07.24	4.1	156	243	170	231	159.8	11.08	8.622E+04	8.461E+04	2.034	201.929	0.238	1.65E-03	7.46E-05	1.82E-03
24	H01.07.26	4.1	151	237	165	226	154.8	10.59	8.530E+04	8.485E+04	2.034	201.891	0.248	1.57E-03	7.44E-05	1.74E-03
25	H01.07.31	4.0	146	233	159	221	149.4	10.78	8.577E+04	8.355E+04	1.984	196.932	0.242	1.61E-03	7.49E-05	1.78E-03
26	H01.08.03	4.1	141	231	155	220	144.8	10.59	9.044E+04	9.002E+04	2.033	201.838	0.264	1.47E-03	7.40E-05	1.64E-03
27	H01.08.08	4.1	136	232	152	220	140.7	11.65	9.526E+04	9.504E+04	2.033	201.826	0.252	1.54E-03	7.39E-05	1.71E-03
28	H01.08.10	4.0	131	234	148	221	136.2	12.42	9.996E+04	9.932E+04	1.983	196.894	0.247	1.57E-03	7.46E-05	1.74E-03
29	H04.01.29	4.0	152	209	160	201	153.1	7.44	5.716E+04	5.611E+04	1.983	196.887	0.232	1.67E-03	7.45E-05	1.84E-03
30	H04.01.30	4.0	147	209	157	200	149.0	8.49	6.071E+04	5.983E+04	1.983	196.875	0.215	1.80E-03	7.44E-05	1.97E-03
31	H04.01.31	3.9	141	241	156	227	145.3	12.30	9.593E+04	9.290E+04	1.934	192.014	0.236	1.65E-03	7.57E-05	1.82E-03
32	H04.02.01	4.0	135	242	151	227	139.7	13.06	1.055E+05	1.019E+05	1.984	196.921	0.245	1.59E-03	7.48E-05	1.76E-03
33	H04.02.02	4.0	145	240	160	228	149.3	11.36	9.252E+04	9.165E+04	1.984	196.954	0.251	1.56E-03	7.50E-05	1.73E-03
34	H04.02.05	4.0	141	241	156	227	145.3	12.30	9.528E+04	9.528E+04	1.984	196.938	0.243	1.61E-03	7.49E-05	1.78E-03
35	H04.02.22	4.0	130	234	145	220	134.3	12.30	1.035E+05	1.005E+05	1.983	196.887	0.256	1.52E-03	7.45E-05	1.69E-03
36	H04.02.24	3.0	151	2310	163	218	153.9	10.48	7.763E+04	7.471E+04	1.984	196.937	0.222	1.76E-03	7.49E-05	1.93E-03

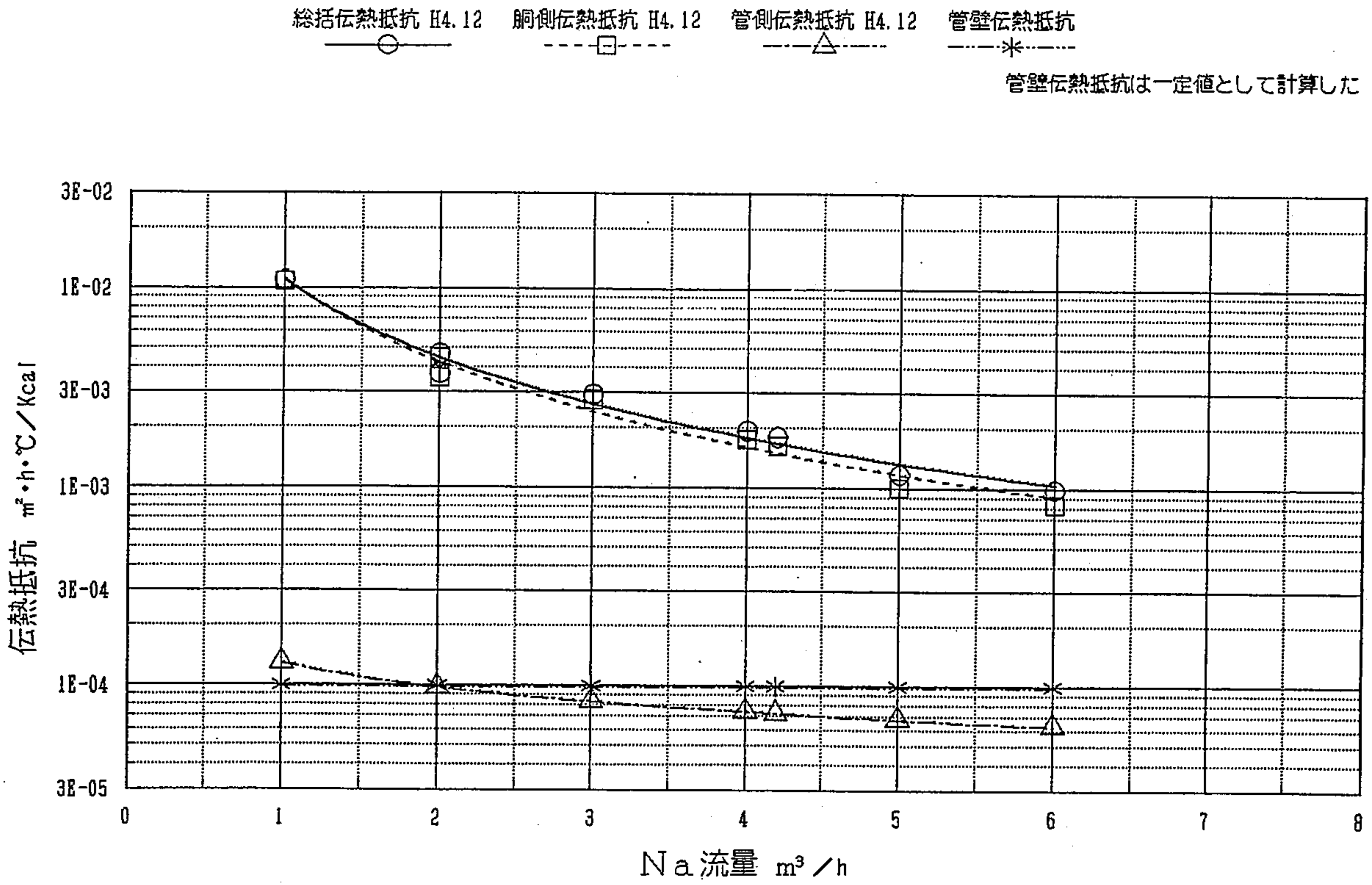


図4.2-1 ナトリウム流量と伝熱抵抗の関係

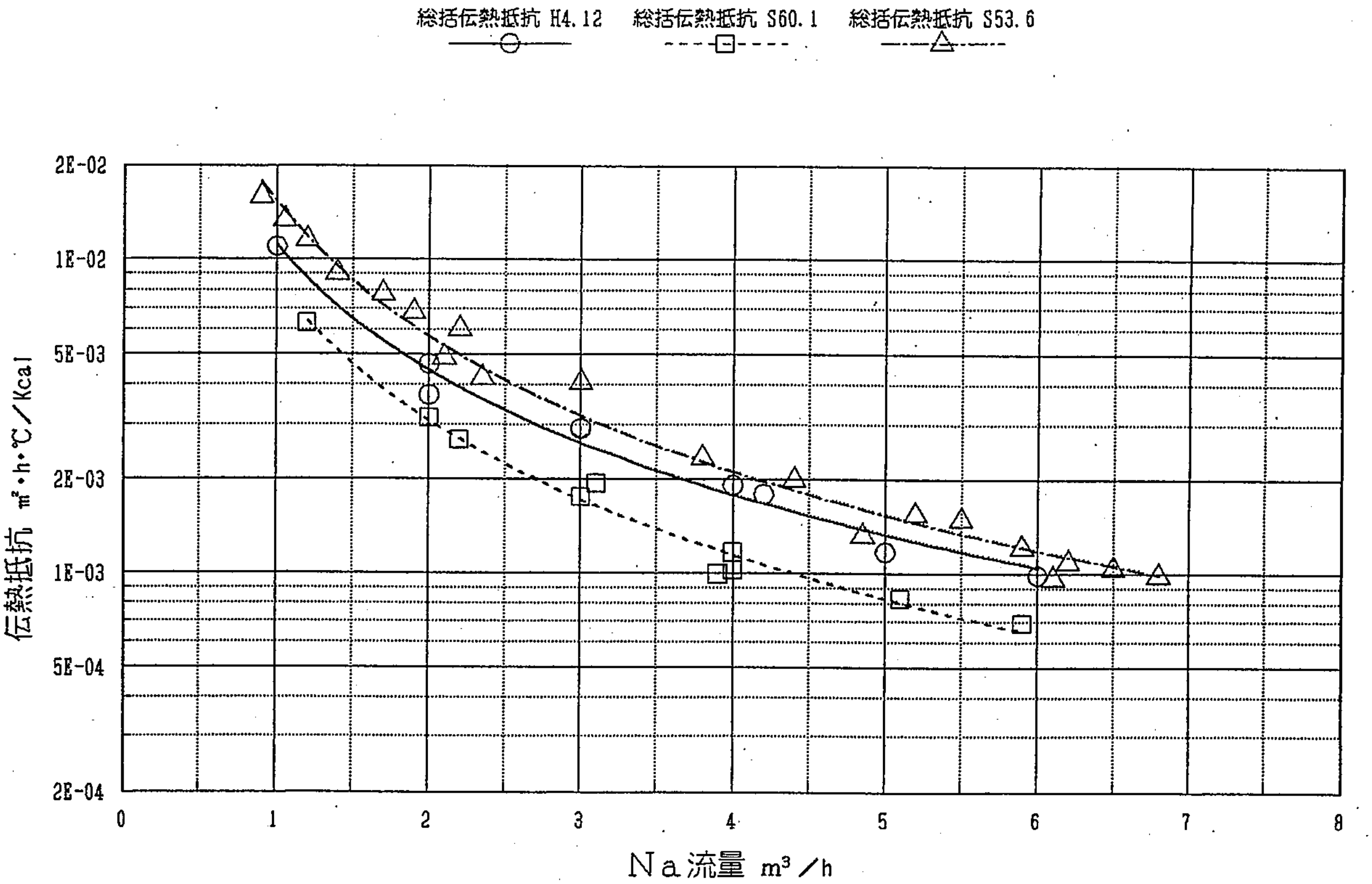


図4.2-2　ナトリウム流量と総括伝熱抵抗の関係

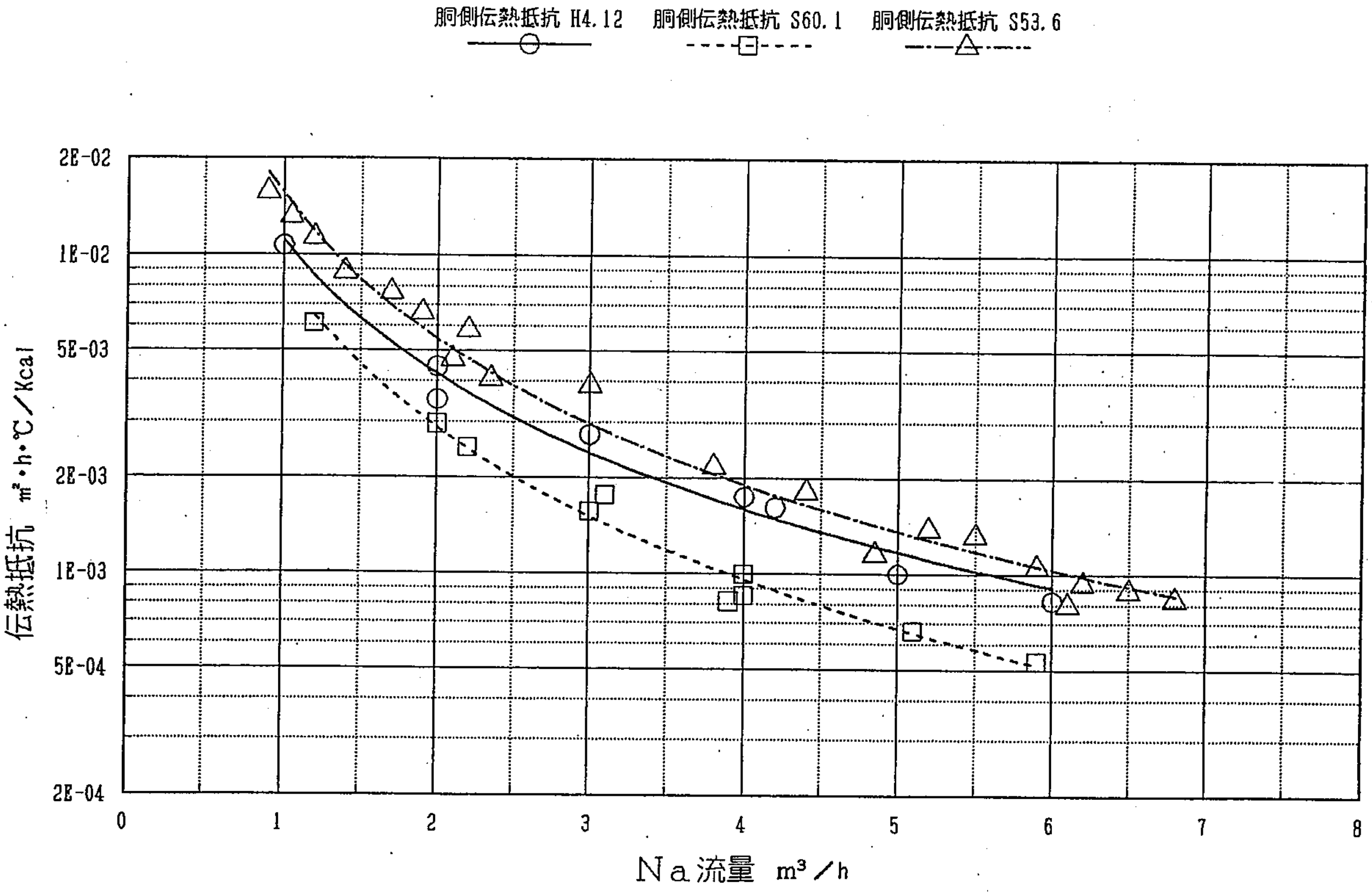


図4.2-3 ナトリウム流量と胴側伝熱抵抗の関係

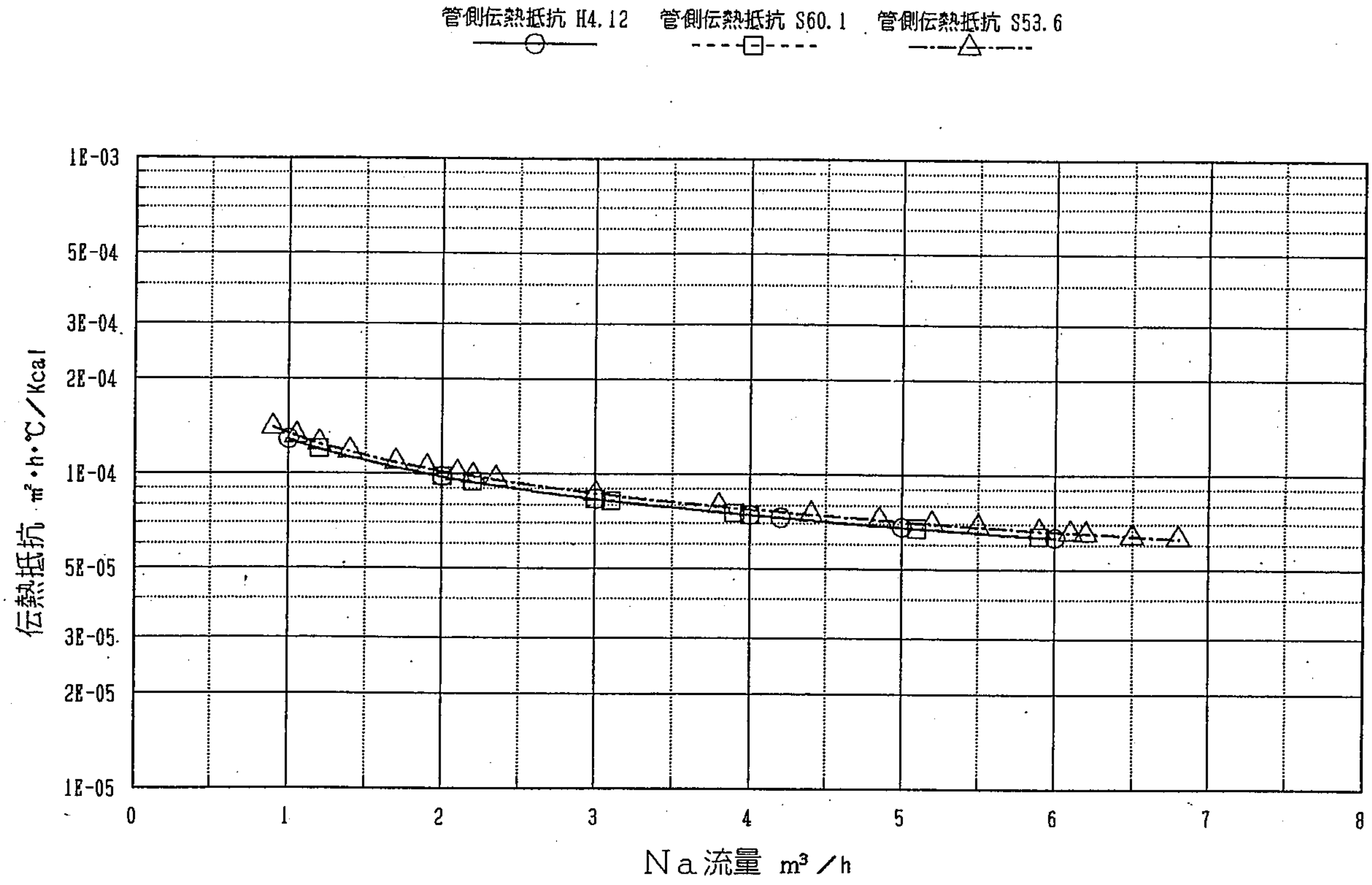


図4.2-4　ナトリウム流量と管側伝熱抵抗の関係

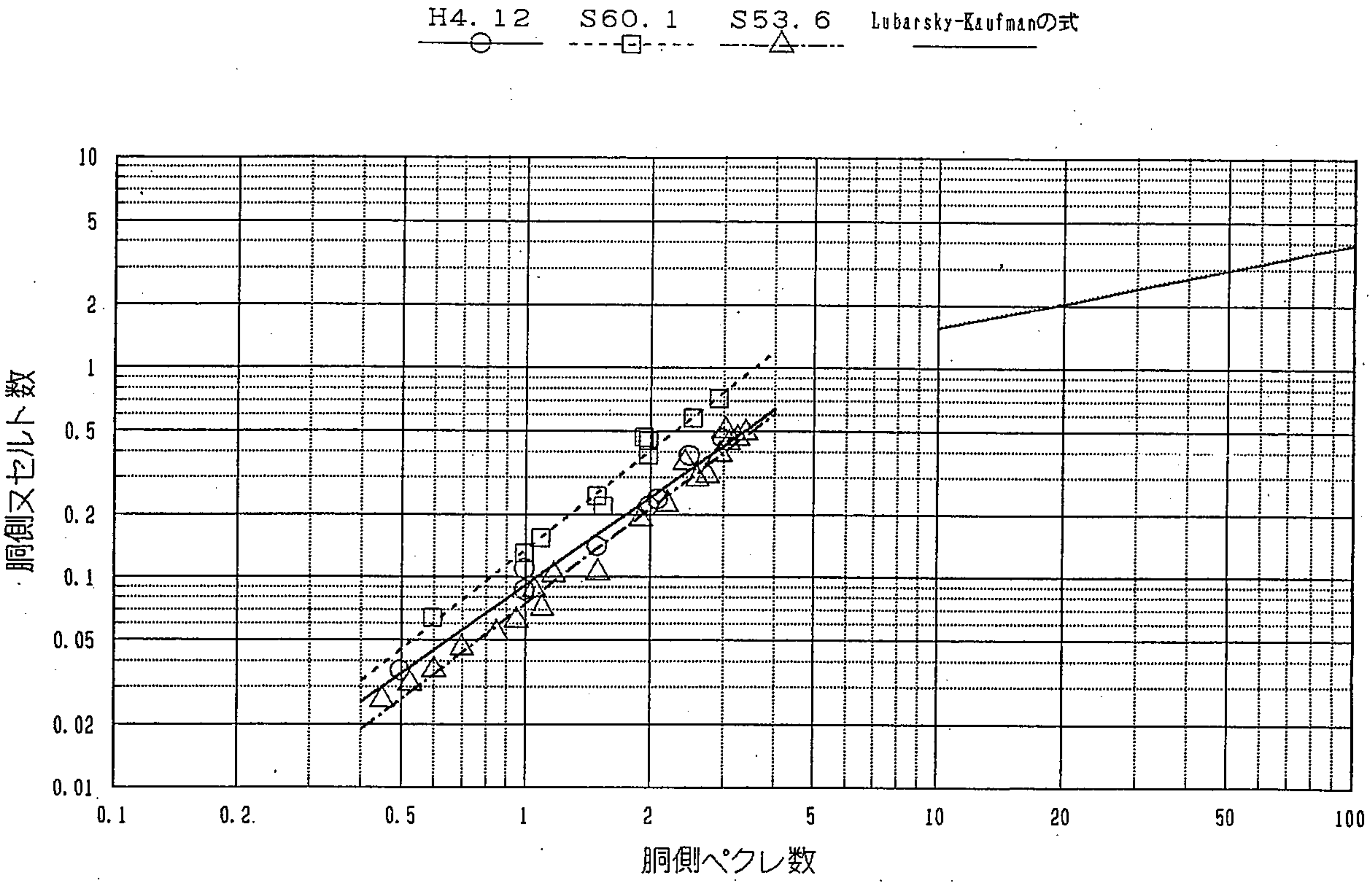


図4.2-5　胴側ペクレ数と胴側ヌセルト数の関係

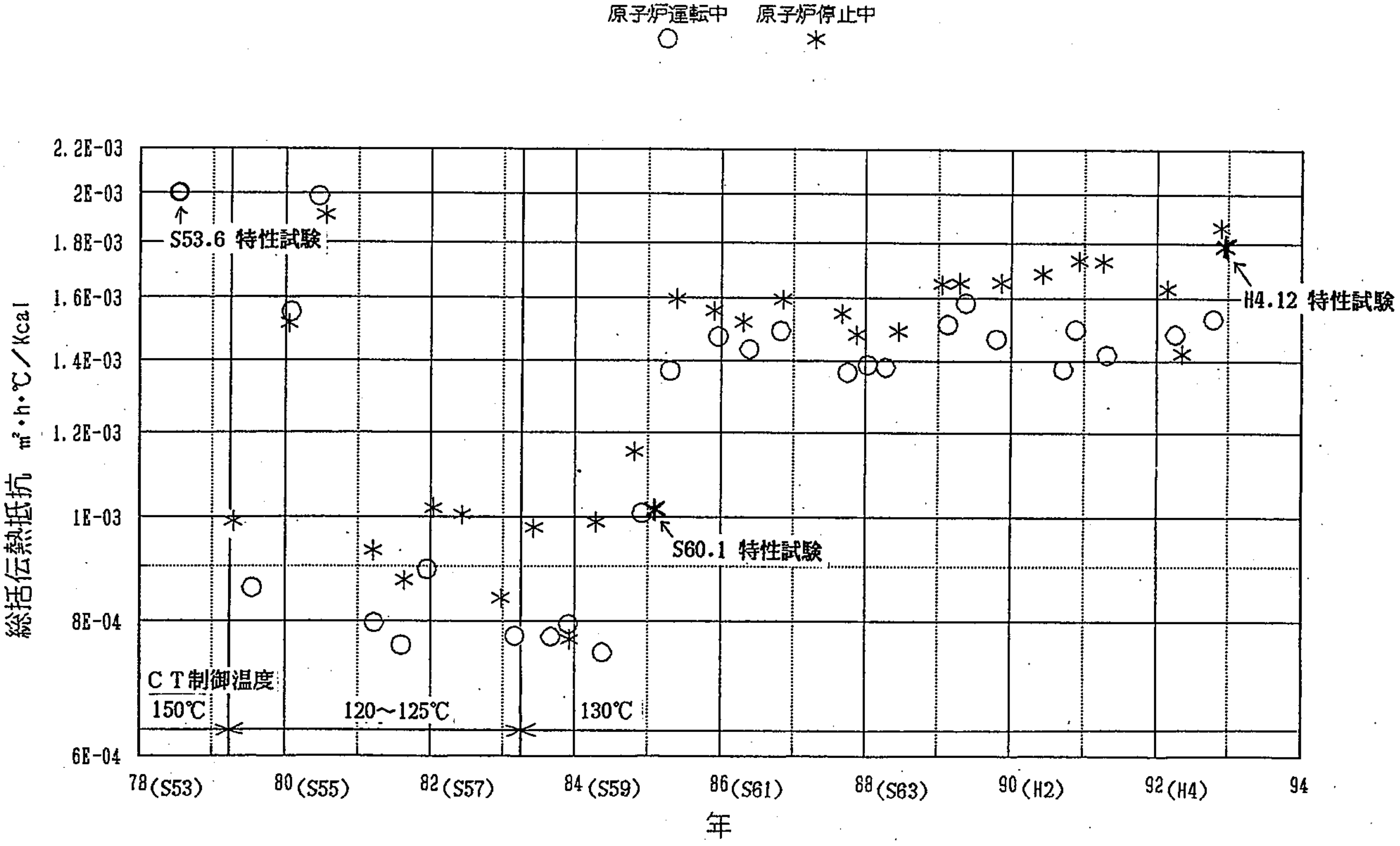


図4.2-6　総括伝熱抵抗の経年変化

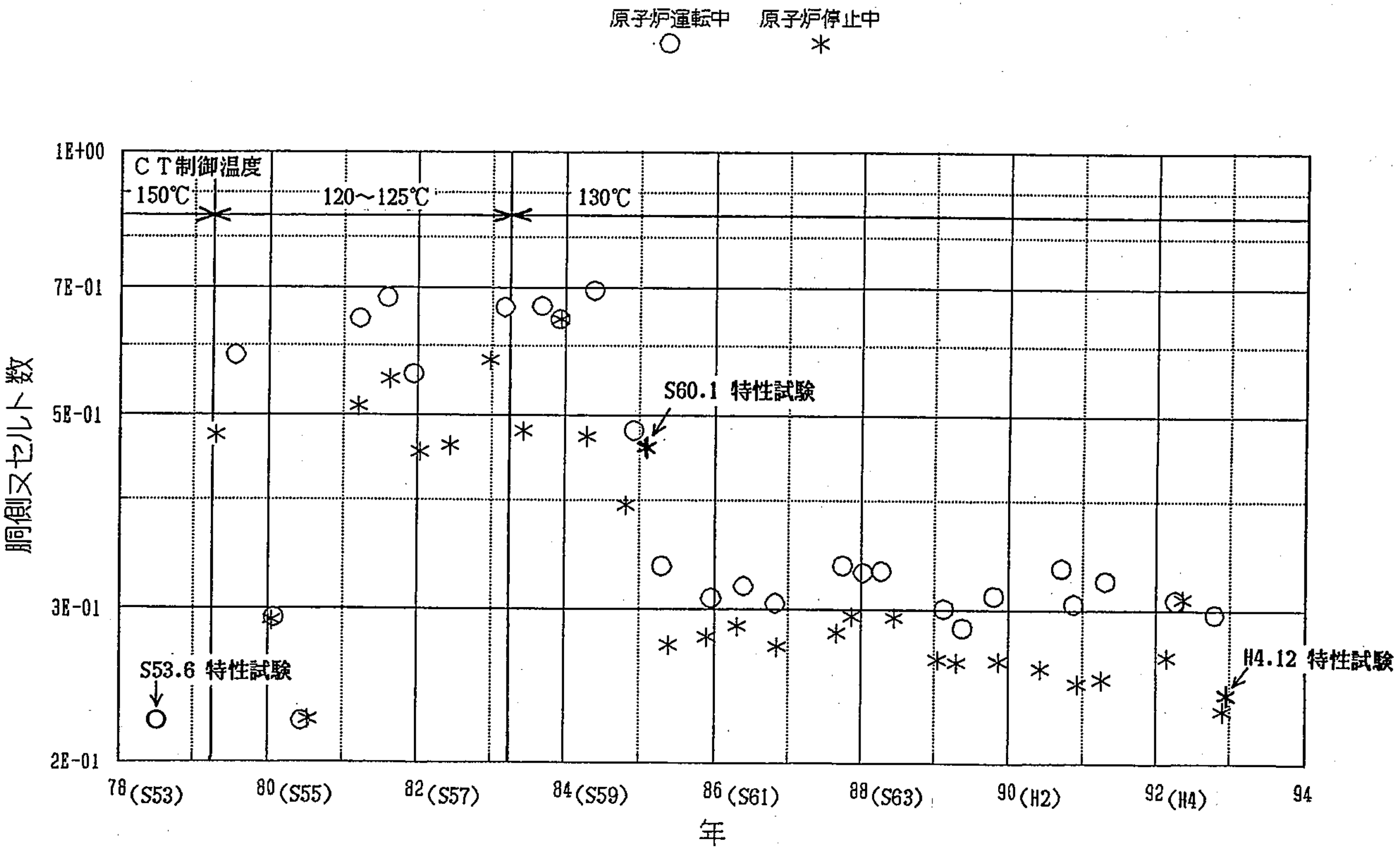


図4.2-7　胴側ヌセルト数の経年変化

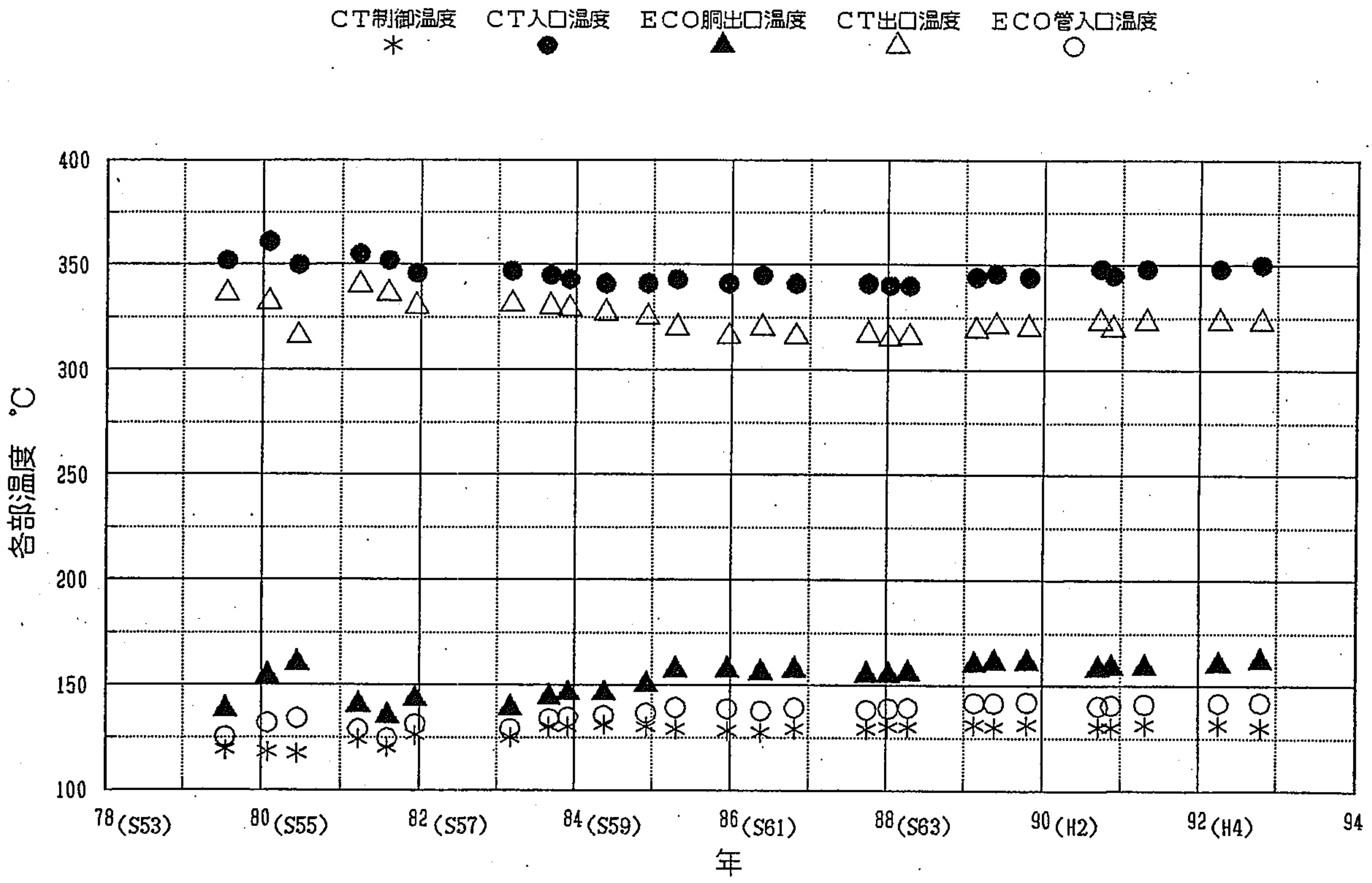


図4.2-8　コールドトラップ各部温度の経年変化（原子炉運転中）

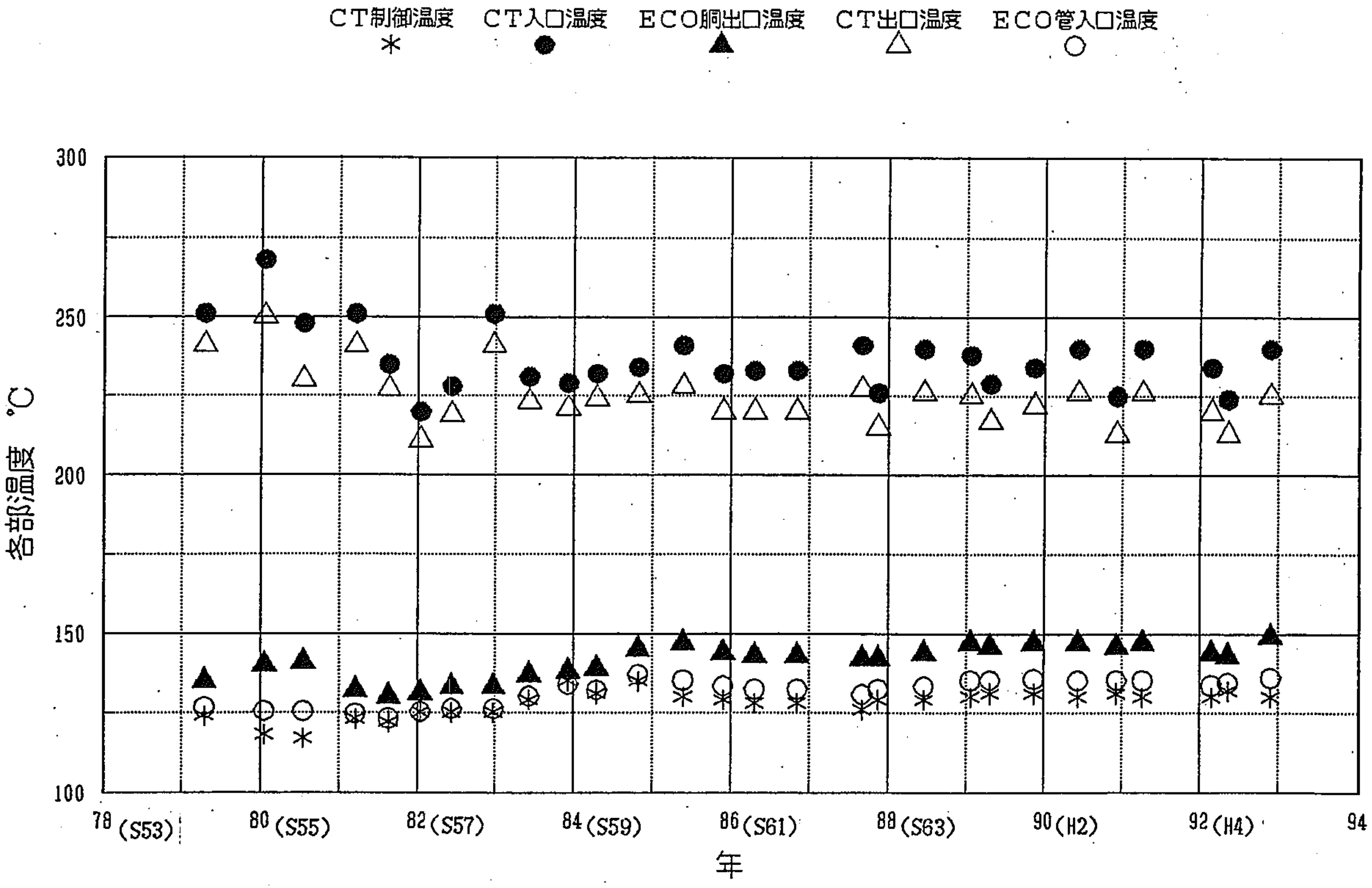


図4.2-9　コールドトラップ各部温度の経年変化（原子炉停止中）

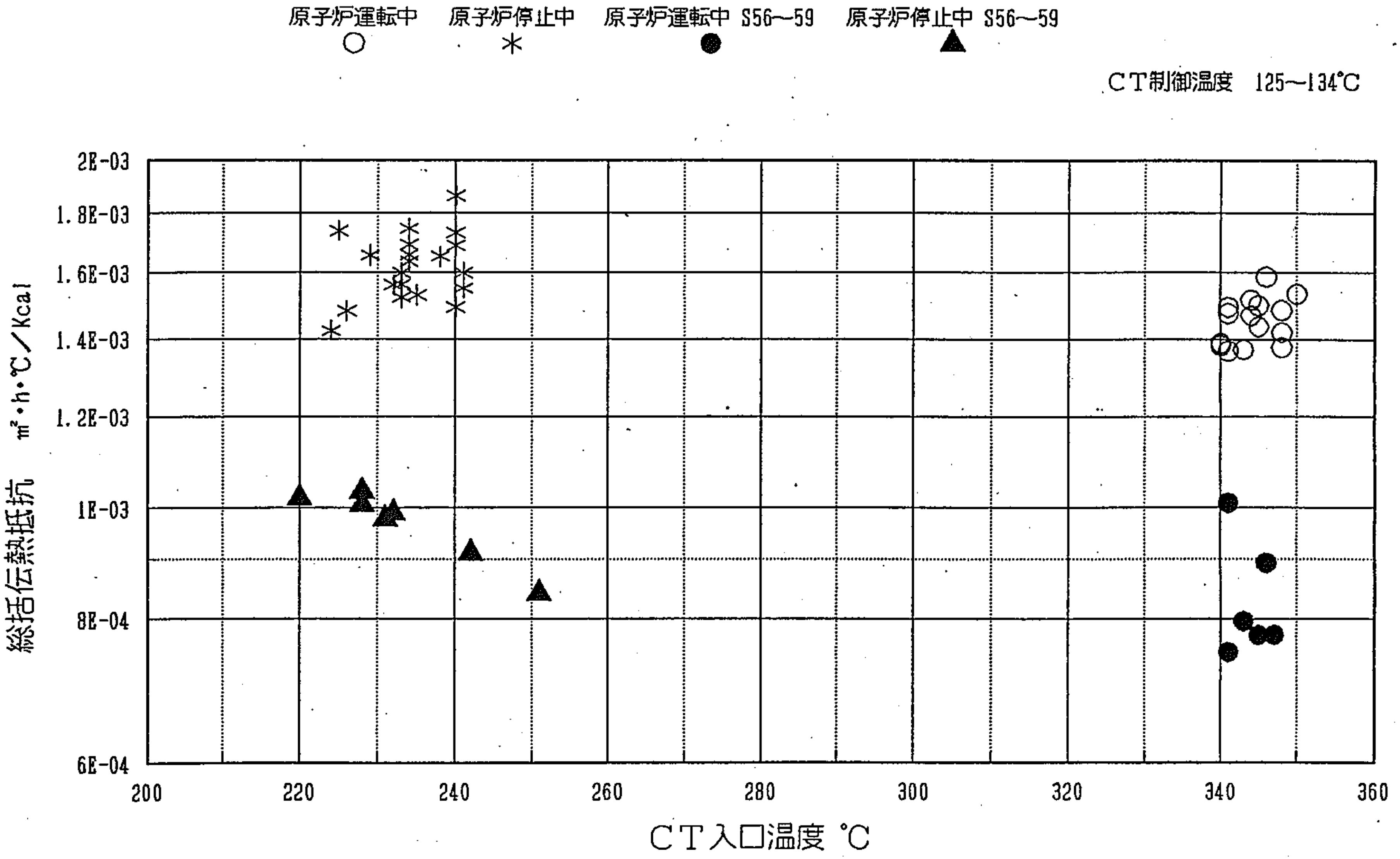


図4.2-10 コールドトラップ入口温度と総括伝熱抵抗

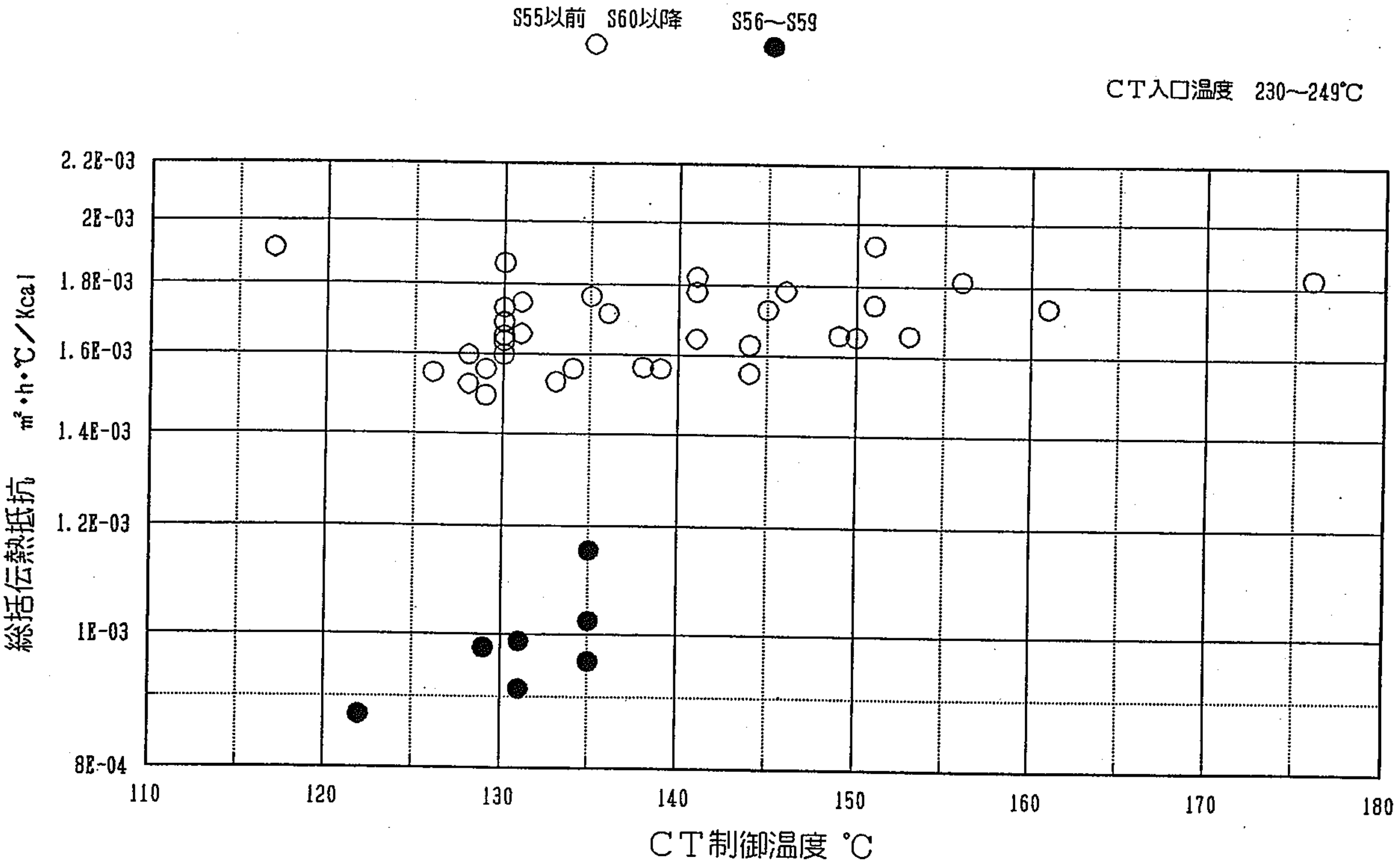


図4.2-11 コールドトラップ制御温度と総括伝熱抵抗

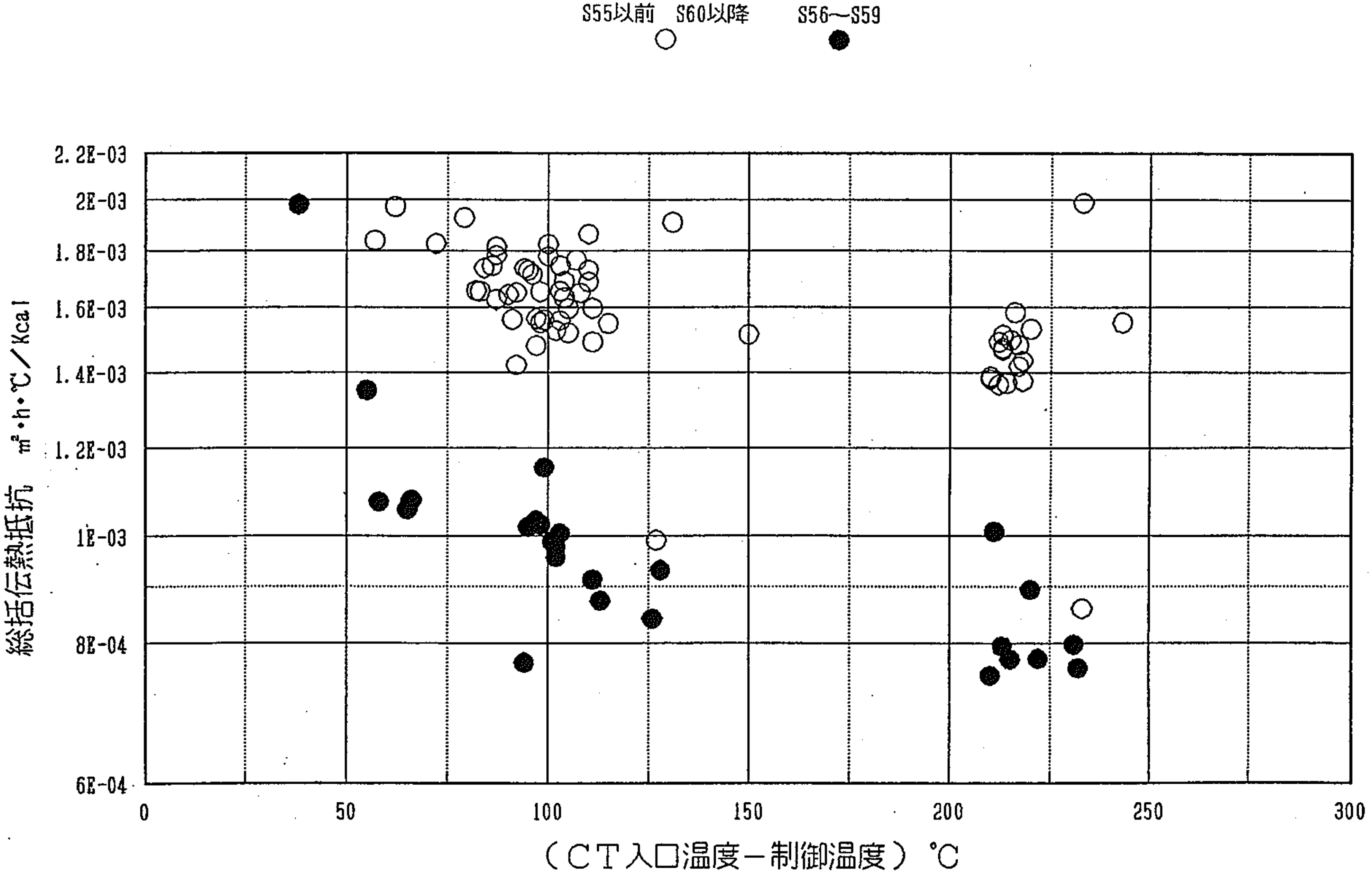


図4.2-12 （コールドトラップ入口温度－制御温度）と総括伝熱抵抗

5. 2次ナトリウム純化系の問題点と対策

5.1 2次補助系プラグ温度測定の問題点と対策

2次補助冷却系は系統内に純化設備が無いため、その純度は2次主系統との連絡弁（V32.2-3）を開放し、純化された主系統のナトリウムを導入することにより保持する。このため、系統分離の観点から同弁を閉止する原子炉運転時においては、運転に伴う系統温度の上昇で溶出してくる第3の不純物によりプラギング計前後のフイルタが目詰まりし、安定した運転が継続できなくなる問題が生じている。

ここでは、上記2次補助プラギング計測定上の問題について、発生から現在までにとられた措置と結果、今後の対応についてをまとめて記載する。

(1) プラギング計電磁ポンプの圧損増加

2次補助プラギング計は、定常フラッシング状態において規定流量（～3 ℓ/min）を確保するよう調整されているが、原子炉の運転経過に伴い流量が低下する現象が発生している。この対策としては、適宜プラギング計電磁ポンプの印加電圧を調整しているが、最終的には印加電圧が上限値（180V）に達しプラギング計の運転が不可能になってしまう。

このため、過去2回（第5回定検，第8回定検）オリフィス及びフィルタ交換により対応してきたが、交換直後には印加電圧が25Vまでに回復するが運転を続けるにしたがって再び増加することや、全く同型の2次主系統のプラギング計の場合は殆ど見られない事象であること、原子炉運転中2次主系統との連絡弁(V32.2-3)を閉止後に顕著となること等が判明した。

このことから、原子炉運転時（第25サイクル）に監視を強化した上で2次主系統との連絡弁(V32.2-3)を微開（2％開）として運転したところ、前述の圧損上昇は無く安定運転を継続できることを確認した。

(2) 圧損増加の原因

原子炉運転中に2次補助系プラギング温度が上昇し、210℃～240℃の間で安定するという現象が見られた（2次主プラギング計は130～150℃で安定）。この温度での析出物質はR＆D施設や「常陽」での運転経験から水素、酸素以外の第3の不純物と考えられる。また濃度は、2次補助プラギング計での析出速度が非常に遅いことからナトリウム中の量は極めて低いと予想される。このような状況から、今後のナトリウム純度管理に資する目的で、特殊なサンプリングチューブを用いてナトリウムのサンプル採取及びオリフィス・フィルタの観察を実施した。その結果、特殊サンプリングチューブでは採取元素の大半がけい素であり、オリフィス・フィルタの観察で確認した黒色の粒状物からも鉄、ニッケル

と共にけい素が確認できた。

以上の結果から、圧損増加の原因は第3の不純物がプラギング計オリフィスまたは出入口フィルタに付着し、フラッシングによっても容易に除去できないものと推定できる。

(3) 措置と結果

前述のとおり、補助プラギング計については過去2回（第5回定検、第8回定検）にわたりプラギングオリフィス及びフィルタ交換を行った。しかし、原因は除去されておらず圧損増加は繰り返されてきている。

本件の問題に関して、保守と運転担当者間での検討・協議の結果、フィルタ部は再生用ヒータを設置し加熱フラッシングにより再生する策を、また、オリフィス部の閉塞の改善にはプラギング温度で運転する時間を任意に設定可能で、その時間経過後はアンプラグ温度又は任意の設定温度（第3の不純物が析出しない温度）で制御させるプログラムを組み込んだコントローラの設置を行った。

フィルタ部の加熱再生は、第10回定検時のナトリウムドレンの機会を利用してヒータを設置し試験を行った。その結果、ナトリウム流動下では十分な昇温ができなかったが、プラギング計電磁ポンプを停止させた際に 450℃まで昇温されたことで、電磁ポンプ印加電圧は 100Vから80Vにまで若干回復した。このことから、昇温による効果は確認できたもののフラッシングしながらの昇温は現設備では難しく、課題解決までには至っていない。

また、自動昇温プログラムを組み込んだコントローラの設置は、第8回定検を利用して実施された。その結果、これまで原子炉運転中に手動で繰り返されていた運転と待機の切替操作が不要となったことと、モード変更時の昇・降温速度の最適制御による配管等の熱衝撃が緩和された。

(4) 今後の対策

2次補助プラギング計電磁ポンプの圧損増加は、第3の不純物が原子炉運転による温度上昇と共に系統内ナトリウム中に少しづつ溶出してくることが原因であり、2次補助プラギング計自身の改善からは有効な圧損増加の防止手段は見いだせない。

今後は、2次主系統との連絡弁(V32.2-3)を開放して運転する場合についての問題点の摘出・検討を行っていく予定である。

5.2　2次アルゴンガス系サーキュレーションフローに伴う改善

(1)　2次アルゴンガス系サーキュレーションフローの過去の調査結果と対策

2次アルゴンガス系のメンテナンス時に、ナトリウムベーパ、ミストの付着堆積が確認された。原因は、2次主ポンプオーバフロータンク(A)、(B)内からオーバフローしたナトリウムがダンプタンクに落下する際に、オーバフロータンク内のカバーガスを巻き込み落下するためにダンプタンク内カバーガス中に多量のミストが発生し、このミストが排気側に設置されたベーパトラップやバックアップフィルタ、更には仕切り弁の弁座などに捕獲されるものである。

運転面からは、純化系汲み上げナトリウム流量を6 m^3/hから4 m^3/hに減少させることにより、ガス巻き込み量を8 m^3/hから 1.2m^3/hに低減できることが確認され、50MW第1サイクルより4 m^3/hの汲み上げナトリウム流量で運転されている。また、設備的な措置としては、ナトリウム付着堆積箇所の清掃や交換を定期的に実施している。

図5.2－1に2次純化系サーキュレーションフロー経路を示す。

(2)　2次アルゴンガス系サーキュレーションフローの現状

2次冷却系通常運転時において、ダンプタンク及びオーバフロータンクのアルゴンガスヘッダ仕切り弁を個々に一時的に閉とし各タンクの圧力変化を調査したところ、オーバフロータンクの圧力は降下し、ダンプタンクの圧力は上昇した。また、純化系汲み上げナトリウム流量を4 m^3/hに変更した後の定期点検においてもダンプタンクベーパトラップを経た機器にナトリウムベーパによる汚れが確認されている。また、エックス線撮影による調査からもかなりのナトリウムがベーパトラップに捕獲されていることが確認されている。

以上から、サーキュレーションフローは現在も生じていると考えられる。

(3)　プラントへの影響

①　プラント機器への影響

アルゴン呼吸ガスヘッダ廻りの弁などにナトリウムベーパが付着し、その機能に影響を与える恐れがある。対策として分解点検・清掃などを定期的に行っているが、この作業に伴い系統内への空気混入が生ずる。少量ではあるがコールドトラップの負荷低減の減の観点から分解清掃は必要最少限としたい。

②　運転上の影響

ダンプタンクのベーパトラップがサーキュレーションフローの影響で圧損増加した場合、(a)ダンプタンクカバーガス圧力が上昇する、(b)系統降温などでの2次系カバーガス圧力が低下するなどの運転面への影響が考えられる。

(a)の場合、ダンプタンクのオーバフロー流出ノズルがナトリウム中にあるために巻き

込まれたガスが流出しにくくなり（オーバフローしにくくなる）、オーバフロータンクや膨張タンク（主系統と補助系統との連絡弁が開の場合）のナトリウムレベルが上昇する恐れや、ナトリウムドレン時のドレン時間が長くなる可能性もある。（緊急ドレン時に影響）

(b)の場合、オーバフロータンクより巻き込まれたガスがスムーズに呼吸ガスヘッダへ戻らず、ダンプタンク温度低下のガス収縮分に充てられる。この事象に対して、供給ガスはポンプ軸封用の少量一定であるため、系統へのガス供給が間に合わずダンプタンク以外の系統圧力は一時的な異常低下が想像される。その程度によっては、系統への空気混入や主循環ポンプのサクション圧力低下によるキャビテーションの発生も考えられる。

(4) 改善策

① ベーパトラップを設備しないサーキュレーションフローラインの設置

ダンプタンクとオーバフロータンクのカバーガスラインにベーパトラップを設備しない配管ラインを新たに設け、両タンク間の均圧化を図る。

② ベーパトラップの改良（容量・捕獲効率の改善）

既設ベーパトラップは図5.2－2に示すように空間容積は比較的大きいものの、メッシュ容積は4ℓ程度しかない。また、既設設備は加熱再生が可能な設計となっているものの、実施にあたっては、ドレンタンク、ノズル、ヒータなど多くの設備を製作・設置する必要が有り、今後の機能維持を考えた時にサーキュレーションフローに対応できるメンテナンス性に優れたベーパトラップに改良、更新する必要がある

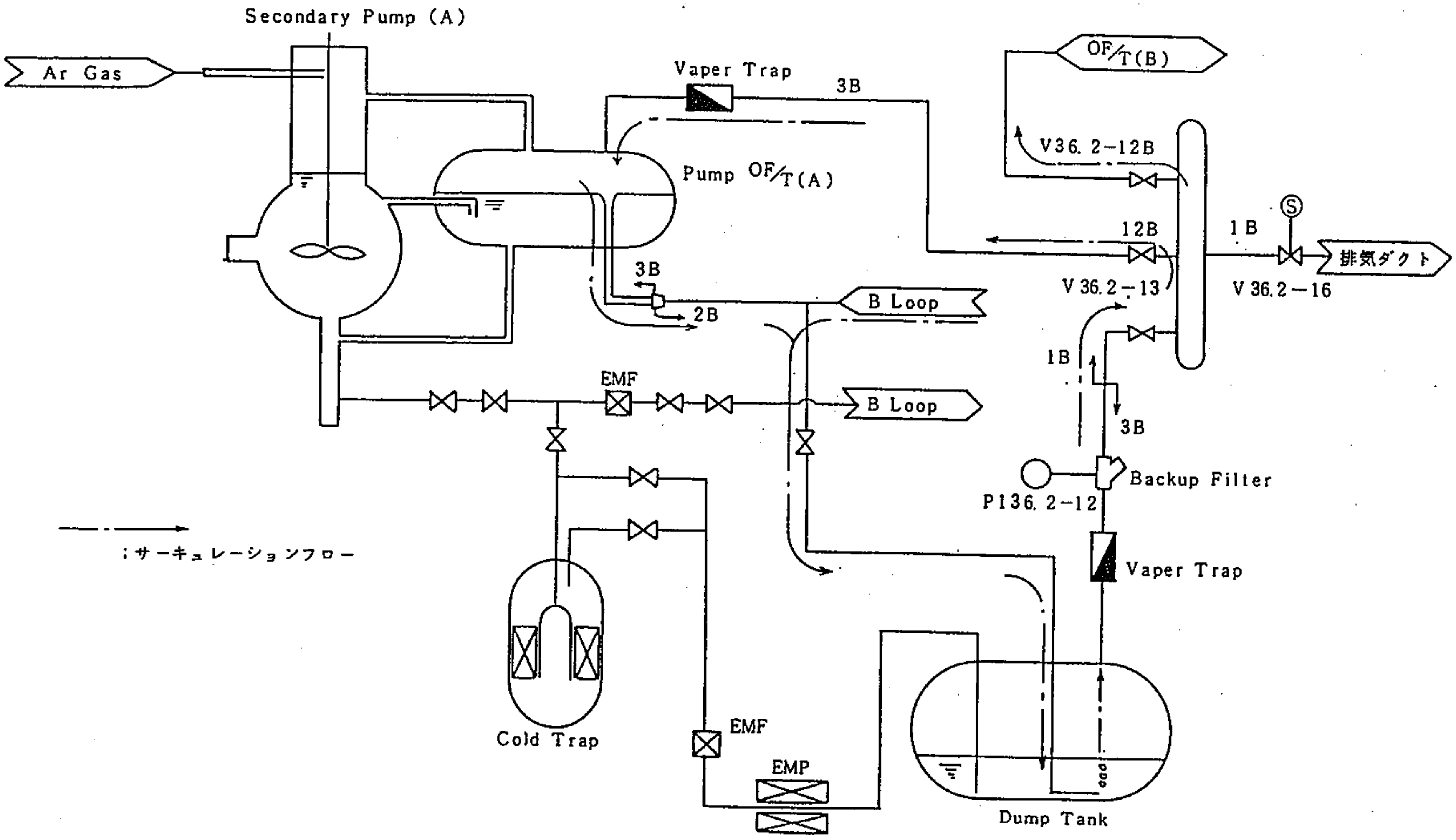
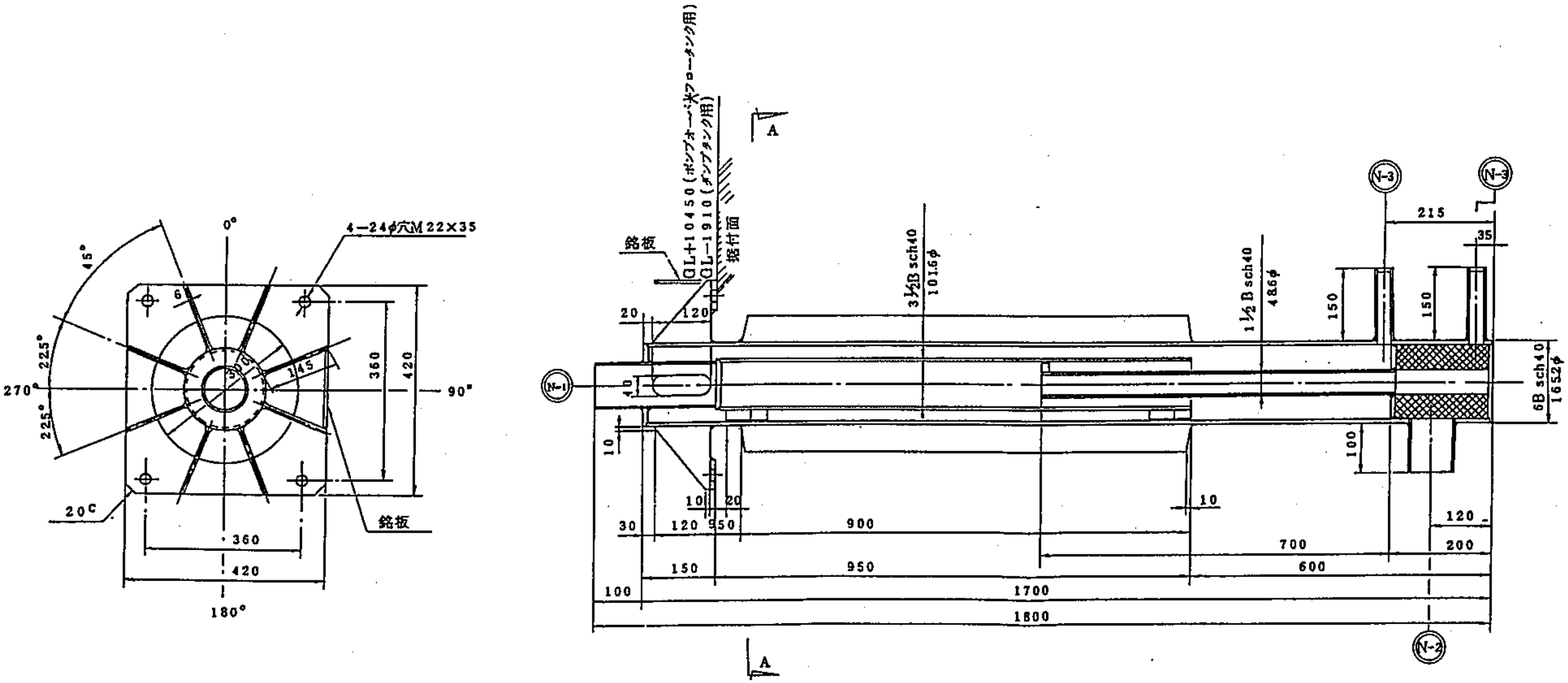
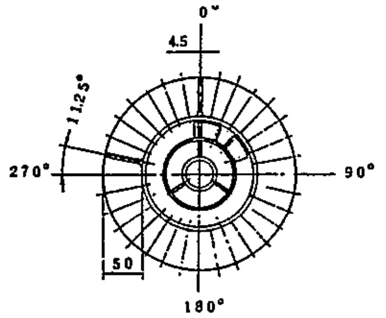


図5. 1 − 1　2次ナトリウム純化系サーキュレーションフロー経路





N-3	ドレンノズル	1^B sch40	2	STPT 42-S-H	
N-2	Arガス出口ノズル	3^B 〃	1	〃	
N-1	Arガス入口ノズル	3^B sch40	1	STPT 42-S-H	
記号	ノズル名称	サイズ	数量	材質	備考

図5.1−2　2次系ダンプタンク用ベーパトラップ構造図

6. 結　　言

平成2年4月（第8回定期検査中）から平成6年3月（100MW第28サイクル運転中）までの2次ナトリウム純化系及び2次補助プラギング計の運転経験並びに各種試験結果については以下の通りである。

(1) 本報告期間内の2次ナトリウム純化系の不具合は12件あったが、異常の程度は他の系統設備に及ぶものは無く、比較的軽微なものであった。

(2) 期間内の設備改造としては、第8回定期検査時に2次純化系機器運転・操作スイッチを中央制御室に移設する工事を実施した。これにより、電源喪失など、2次純化系機器自身に問題のない場合の再起動操作が中央制御室内で行えるようになった。

(3) 2次補助プラギング計は、原子炉運転に伴い補助冷却系統内で溶出してくる第3の不純物がプラギング計出入口のフイルタやオリフイス部に捕獲されることにより、原子炉運転中に長期間の安定な測定が継続できない不具合が生じている。このため、フィルタ部分ににヒータを敷設しての昇温フラッシング運転や、オリフィス部を自動昇温するコントローラの設置により改善を試みたが、問題の解決には至らなかった。今後は、原子炉運転時に主系統連絡弁(V32.2-3)を「開」とするなど、根本的に原因を排除するための設備の見直しや運転手法の改善で解決策を探る予定である。

(4) 2次系コールドトラップがMK－Ⅲ運転で使用できるかどうか判断するため、過去の運転データからこれまでの負荷量を評価した。その結果、平成6年1月時点で酸素を対象とした捕獲量は 9.4kgであり、設計値である18kgの52%と判明した。

MK－Ⅲ移行工事においては多量の空気が系統内に混入すると考えられることから、部内会議での協議を経て更新の結論に達した。

(5) 2次系コールドトラップ内エコノマイザーの伝熱特性試験を平成4年12月に実施し、過去2回（昭和53年、60年）の試験結果と共に15年間の運転データから経年変化の状況を確認した。

伝熱特性試験結果を比較すると、伝熱性能は昭和60年が最も良く、次いで平成4年で、昭和53年が最も悪かった。

運転データの確認からは、昭和55年以前は比較的伝熱性能が低く、昭和56年に上昇し、それから昭和59年にかけて高い値で推移した。昭和59年から60年に再び急激に低下して、その後は僅かながら低下し続けている結果が得られた。平成4年12月時点では最も良い伝熱性能であった時の1／2程度まで低下した。

伝熱性能の変化はコールドトラップの制御温度変更により伝熱管の不純物付着状況が変

化し、その後２年程で大きく変化すると考えられる。

(6)　２次アルゴンガス系サーキュレーションフローの問題は昭和52年に行ったアルゴンガス系の調査結果から、純化系汲み上げナトリウム流量を６㎥／h から４㎥／h に変更することによりガス巻き込み量を１／７に低減化でき、その結果ダンプタンクベーパトラップに捕獲されるナトリウムベーパは設計捕獲能力範囲となった。

しかし、その後アルゴンガス系点検においてしばしば呼吸ガスヘッダ等に多量のナトリウムベーパによる汚れが確認されていることや、ダンプタンクベーパトラップのエックス線検査で多量のナトリウムの存在が確認されていること、更に、呼吸ガスヘッダバルブの閉止試験でも閉塞傾向を裏づける結果が得られていることなどから、ベーパトラップの容量や構造の見直しの必要が生じている。

7. 参考文献

(1) 堀　雅夫，他著（コールドトラップ委員会），コールドトラップ設計指針：SN241 79-21（1979年５月）

(2) 梅田　寿雄，他著，高速実験炉「常陽」ナトリウム純化系エコノマイザの伝熱特性　出力上昇時伝熱特性試験報告書：SN941 79-136（1979年８月）

(3) 打越　文夫，他著，高速実験炉「常陽」性能試験報告書　２次ナトリウム純化系・運転試験報告書：SN941 79-196（1979年10月）

(4) 田山　隆一（日立製作所），他著，高速増殖炉もんじゅ発電所放射性物質の挙動評価（Ⅱ）　トリチウムの分布量評価：SJ2124　87-006（1987年７月）

(5) 道野　昌信，他著，高速実験炉「常陽」運転経験報告書　２次補助プラグ計不具合原因の検討及び第３の不純物の調査：SN9410　88-045（1988年３月）

(6) 甲高　義則，他著，高速実験炉「常陽」運転経験報告書　２次ナトリウム純化系・運転試験報告書（昭和54年９月～昭和62年３月）：SN9410　88-108（1988年３月）

(7) 伊藤　芳雄，他著，高速実験炉「常陽」運転経験報告書　昭和63年度系統設備機器台帳総括：I9410 89-024（1989年９月）

(8) 道野　昌信，他著，高速実験炉「常陽」運転経験報告書　２次冷却系に析出する「第３の不純物」究明特殊サンプリング試験（その１）：SN9410　89-090（1989年４月）

(9) 相川　幸司，他著，高速実験炉「常陽」運転経験報告書　２次ナトリウム純化系コールドトラップの純化停止時における管理方法：N9410 89-016（1989年１月）

(10) 道野　昌信，他著，高速実験炉「常陽」運転経験報告書　２次冷却系に析出する「第３の不純物」究明特殊サンプリング試験（その２）：SN9410　90-056（1990年３月）

(11) 相川　幸司，他著，高速実験炉「常陽」運転経験報告書　２次ナトリウム純化系・運転試験報告書（昭和62年４月～平成２年３月）：SN9410　90-133（1990年３月）

(12) 安　哲徳，他著，高速実験炉「常陽」運転経験報告書　１次ナトリウム純化系コールドトラップの再生方法の検討：ZN9410　94-229（1994年８月）