

高速実験炉「常陽」
MK-III 総合機能試験結果報告書
2次主循環ポンプ関係試験
(試験報告)

2004年3月



核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

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

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2004

高速実験炉「常陽」

MK-III総合機能試験結果報告書 2次主循環ポンプ関係試験

寺門 喬夫^{*1} 森本 誠^{*1} 伊澤 修^{*1}
石田 公一^{*2} 星野 勝明^{*1} 鈴木 伸也^{*1}
伊東 秀明^{*1} 青木 裕^{*1} 大戸 敏弘^{*1}

要 旨

本報告書は MK-III総合機能試験の一環として実施し 2次主循環ポンプ関係の試験結果について取りまとめたものである。

2次主循環ポンプ関係試験は、MK-III改造工事により主中間熱交換器、主冷却器を交換し、かつ、2次主循環ポンプ電動機、速度制御盤、抵抗器盤を更新したことから、2次主冷却系統全体の特性を把握するために実施した。

本試験は MK-III改造工事後の 2次主循環ポンプ、2次純化系電磁ポンプ、2次アルゴンガス系統設備の機能が満足していることを確認する目的のものであり、以下の 6項目を実施した。

試験番号	試験内容
(1) SKS-205-1	2次主循環ポンプ特性試験・流量制御試験
(2) SKS-205-2	2次主循環ポンプ特性試験・フローコーストダウン特性試験
(3) SKS-205-3	2次主循環ポンプ特性試験・連続運転試験
(4) SKS-205-4	2次主循環ポンプ特性試験・振動測定試験
(5) SKS-212	2次純化系電磁ポンプ流量制御試験
(6) SKS-213	2次アルゴンガス系圧力制御試験

試験結果はいずれも判定基準を満足し、MK-III改造工事後における 2次主循環ポンプ、2次純化系電磁ポンプ、2次アルゴンガス系統設備が MK-III運転に必要な機能を満たしていることを確認した。

* 1 : 実験炉部原子炉第一課

* 2 : 実験炉部技術課

Experimental Fast Reacter JOYO MK-III Functional Test
Secondary Cooling System Main Pumps Test

T.Terakado*, M.Morimoto*, O.Izawa*
K.Ishida**, K.Hoshino*, S.Suzuki*
H.Ito*, H.Aoki*, and T.Odo*

Abstract

This paper describes the results of Secondary Cooling System main pumps test ,which were done as a part of JOYO MK-III function test.

The function tests were practiced to get the operating characteristics of the secondary cooling system, after the Intermediate Heat Exchangers, Dump Heat Exchangers, secondary main pump motors, pump speed control board and rheostat were replaced in the MK- III modification.

These tests are composed of six items. These tests purpose are confirmed in the function of the Main pumps, sodium purification system and argon cover gas pressure control system in Secondary Cooling System.

The items of the tests were :

(Test No.)	(Test item)
1) SKS-205-1	flow control test
2) SKS-205-2	flow coast down characteristics test
3) SKS-205-3	running operation test
4) SKS-205-4	pump vibration measurement test
5) SKS-212	secondary sodium purification system electromagnetic-pump flow control test
6) SKS-213	argon cover gas pressure in secondary cooling system pressure control test

The results of the function tests were satisfied with the design criteria. We have confirmed the system performance of the main pump, secondary sodium purification system and argon cover gas pressure control system in the Secondary Cooling System after the MK- III modification.

*JOYO Operation Section, Experimental Reacter Division ,O-arai Engineering Center.

**JOYO Technical Section, Experimental Reacter Division ,O-arai Engineering Center.

目 次

1. 緒 言 -----	1
2. MK- III総合機能試験の全体構成及び工程 -----	2
2. 1 MK- III総合機能試験の全体構成および工程 -----	2
2. 2 試験工程概要 -----	2
3. 2次冷却系設備概要 -----	9
3. 1 設備概要 -----	9
3. 2 運転概要 -----	17
4. 試験工程 -----	19
5. 試験内容 -----	22
5. 1 2次主循環ポンプ特性試験・流量制御試験 -----	23
5. 1. 1 試験目的 -----	23
5. 1. 2 試験方法 -----	23
5. 1. 3 試験結果 -----	23
5. 1. 4 検討及び評価 -----	24
5. 2 2次主循環ポンプ特性試験・フローコーストダウン特性試験 -----	36
5. 2. 1 試験目的 -----	36
5. 2. 2 試験方法 -----	36
5. 2. 3 試験結果 -----	36
5. 2. 4 検討及び評価 -----	36
5. 3 2次主循環ポンプ特性試験・連続運転試験 -----	50
5. 3. 1 試験目的 -----	50
5. 3. 2 試験方法 -----	50
5. 3. 3 試験結果 -----	50
5. 3. 4 検討及び評価 -----	50
5. 4 2次主循環ポンプ特性試験・振動測定試験 -----	64
5. 4. 1 試験目的 -----	64
5. 4. 2 試験方法 -----	64
5. 4. 3 試験結果 -----	66
5. 4. 4 検討及び評価 -----	66
5. 5 2次純化系電磁ポンプ流量制御試験 -----	68
5. 5. 1 試験目的 -----	68
5. 5. 2 試験方法 -----	68

5. 5. 3	試験結果 -----	68
5. 5. 4	検討及び評価 -----	69
5. 6	2次アルゴンガス系圧力制御試験 -----	75
5. 6. 1	試験目的 -----	75
5. 6. 2	試験方法 -----	75
5. 6. 3	試験結果 -----	75
5. 6. 4	検討及び評価 -----	75
6.	結 言 -----	78

表 目 次

表 2.1	総合機能試験項目及び試験概要-----	3
表 2.2	総合機能試験その 1 実績工程-----	6
表 2.3	総合機能試験その 1 (残分) 実績工程-----	7
表 2.4	総合機能試験その 2 実績工程-----	8
表 3.1-1	2 次主循環ポンプの仕様-----	11
表 3.1-2	2 次純化系電磁ポンプの仕様-----	11
表 3.1-3	2 次アルゴンガス系統設備の仕様-----	12
表 4.1	2 次主循環ポンプ関係 SKS-1 工程 (2001 年 10 月) -----	20
表 4.2	2 次主循環ポンプ関係 SKS-1 工程 (2002 年 4 月) -----	21
表 5.1-1	2 次主冷却系流量制御試験記録 (A 号機タップ上昇) -----	26
表 5.1-2	2 次主冷却系流量制御試験記録 (B 号機タップ上昇) -----	27
表 5.1-3	2 次主冷却系流量制御試験記録 (A 号機タップ降下) -----	28
表 5.1-4	2 次主冷却系流量制御試験記録 (B 号機タップ降下) -----	29
表 5.1-5	2 次主循環ポンプ揚程計算書 (A ループ) -----	30
表 5.1-6	2 次主循環ポンプ揚程計算書 (B ループ) -----	31
表 5.2-1	2 次主循環ポンプの流量半減時間-----	40
表 5.2-2	関連設備状態確認記録-----	41
表 5.2-3(1/2)	2 次主循環ポンプフローコストダウン特性試験データシート-----	42
表 5.2-3(2/2)	2 次主循環ポンプフローコストダウン特性試験データシート-----	43
表 5.2-4	簡易計算に使用したパラメータ-----	44
表 5.2-5	フローコストダウン特性の実測と計算の比較-----	44
表 5.2-6	各パラメータのフローコストダウン特性への影響-----	45
表 5.2-7	MK-III 体系における試験時と定格出力時の条件の比較-----	45
表 5.3-1	2 次主循環ポンプ連続運転試験記録 (A 号機最低流量) -----	52
表 5.3-2	2 次主循環ポンプ連続運転試験記録 (B 号機最低流量) -----	53
表 5.3-3	2 次主循環ポンプ連続運転試験記録 (A 号機定格流量) -----	54
表 5.3-4	2 次主循環ポンプ連続運転試験記録 (B 号機定格流量) -----	55
表 5.3-5	判定基準と試験結果-----	56
表 5.4-1	携帯用振動計仕様-----	64
表 5.4-2	2 次主循環ポンプ振動測定試験記録 (A 号機) -----	67

表 5.4-3	2 次主循環ポンプ振動測定試験記録(B 号機)	67
表 5.5-1	純化系 EMP 流量試験時データ(2004 年 4 月 8 日)	70
表 5.5-2(1/2)	純化系運転状態確認試験記録	71
表 5.5-2(2/2)	純化系運転状態確認試験記録	72
表 5.5-3	2 次主循環ポンプ停止時の警報履歴	73

図 目 次

図 3.1-1	2次主冷却系系統図-----	13
図 3.1-2	2次主循環ポンプ構造図-----	14
図 3.1-3	2次純化系系統図-----	15
図 3.1-4	2次アルゴンガス系系統図-----	16
図 3.2-1	2次主循環 Na 流量計装線図-----	18
図 5.1-1	2次主循環ポンプ流量制御試験抵抗曲線 (A ループ) -----	32
図 5.1-2	2次主循環ポンプ流量制御試験抵抗曲線 (B ループ) -----	33
図 5.1-3	ポンプ回転数と Na 流量 (A 号機) -----	34
図 5.1-4	ポンプ回転数と Na 流量 (B 号機) -----	35
図 5.2-1	2次主循環ポンプ停止後の流量減少特性-----	46
図 5.2-2(1/2)	2次主循環ポンプ(A)フローコーストダウン特性-----	47
図 5.2-2(2/2)	2次主循環ポンプ(B)フローコーストダウン特性-----	47
図 5.2-3	MK-I 総合機能試験時の 2次主循環ポンプフローコーストダウン特性-----	48
図 5.2-4	簡易計算モデル図-----	48
図 5.2-5	フローコーストダウン特性計算結果と実測の比較 (MK-I SKS) -----	49
図 5.2-6	フローコーストダウン特性計算結果と実測の比較 (MK-III SKS) -----	49
図 5.3-1	Na 流量と電流値の推移 (A 号機定格流量) -----	57
図 5.3-2	Na 流量と電流値の推移 (B 号機定格流量) -----	58
図 5.3-3	2次主循環ポンプ各部温度の推移 (A 号機定格流量) -----	59
図 5.3-4	2次主循環ポンプ各部温度の推移 (B 号機定格流量) -----	60
図 5.3-5	2次主循環ポンプ電動機回転子巻線温度管理基準 -----	61
図 5.3-6	最低流量時におけるケーシング温度及び固定子巻線温度の推移 (A 号機) -----	62
図 5.3-7	最低流量時におけるケーシング温度及び固定子巻線温度の推移 (B 号機) -----	63
図 5.4-1	2次主循環ポンプ振動測定箇所-----	65
図 5.5-1	純化系流量制御試験記録 (2004 年 4 月 8 日実施) -----	74
図 5.6-1	2次アルゴンガス系圧力制御試験記録 (2次主循環 Na 流量変更時) -----	76
図 5.6-2	2次アルゴンガス系圧力制御試験記録 (2次主循環 Na 流量定格時) -----	77

1. 緒 言

本報告書は、MK-III総合機能試験の一環として、2次主循環ポンプ関係試験として実施した次の6項目の試験結果をまとめたものである。

- (1) SKS-205-1 2次主循環ポンプ特性試験・流量制御試験
- (2) SKS-205-2 2次主循環ポンプ特性試験・フローコーストダウン特性試験
- (3) SKS-205-3 2次主循環ポンプ特性試験・連続運転試験
- (4) SKS-205-4 2次主循環ポンプ特性試験・振動測定試験
- (5) SKS-212 2次純化系電磁ポンプ流量制御試験
- (6) SKS-213 2次アルゴンガス系圧力制御試験

「常陽」では、照射能力の向上を目的としたMK-III計画を進めてきた。照射能力を向上するために、炉心の高中性子束化、照射スペースの拡大、原子炉冷却系統の改造、照射運転時間の増大、照射技術の高度化を図った。これにより、原子炉熱出力が100MWから140MWに増加し、原子炉冷却系統として、主中間熱交換器2基、主冷却機4基及び2次主循環ポンプ電動機2台を設計変更し交換した。

1次冷却系統は原子炉出入口温度差が130°Cから150°C、冷却材流量を現行より120%に増加した。また、2次冷却系統では主中間熱交換器出入口温度差を170°Cとし、冷却材流量を107%に増加した。

本報告書の2次主循環ポンプ関係試験は、MK-III改造工事後の2次冷却系統全体としての機能を確認するためのものである。

2次主循環ポンプ特性試験は、MK-III改造により2次主循環ポンプの電動機を交換し冷却材流量が増加したことから、2次主循環ポンプの定格回転数タップ位置、各部振動、ポンプ停止後の冷却材流量減少特性などの運転特性を確認するために実施した。

2次純化系電磁ポンプ流量制御試験は、2次主循環ポンプ冷却材流量の増加に伴い同ポンプ吸込み圧力が変化することから、2次純化系の流量制御性を確認するために実施した。

2次アルゴンガス系圧力制御試験は、2次主循環ポンプのNPSHを確保することから2次系カバーガス圧力の制御範囲を変更したので、その制御性を確認するために実施した。

2. MK-III総合機能試験の全体構成及び工程

2.1 MK-III総合機能試験の試験項目

「常陽」MK-III計画は、照射性能の向上を図ることを目的としたものであり、炉心では炉内の高速中性子束を従来の1.3倍に増加させるため、燃料領域の拡大、制御棒の移設及び遮へい体の装荷等の炉心改造を実施した。これに伴い、原子炉熱出力が140MWに増加したことに対応して、1次主冷却系、2次主冷却系の冷却材流量を増加させるとともに、原子炉入口温度を低下させ、さらに、主中間熱交換器2基、主冷却機4基を交換した。

また、照射運転時間を増加させるために、原子炉停止期間中に実施する燃料交換期間の短縮を図った。

これらの改造に対する総合機能試験の実施項目の検討は、実験炉部内の第17特別部会の下に設けたワーキンググループにおいて実施した。

この検討に際しては、MK-I、MK-II炉心での各種試験の経験を踏まえ、試験範囲を改変によって影響を受ける系統に絞り込んだ。

表2.1に総合機能試験の実施項目概要を示す。

2.2 試験工程概要

総合機能試験は、更新あるいは改修された各系統の設備や機器の据付・調整が終了した2001年8月末から2003年3月までの間に実施した。

工程全体の構成は、1次冷却系の系統圧力損失等に影響を与えるMK-III性能試験用の炉心構成を実施する前の、その1(SKS-1)と炉心構成後のその2(SKS-2)に分けて計画した。

しかし、SKS-1実施中の2001年10月12日に2次主循環ポンプの電動機が故障したため、その時点で未実施であった試験項目は、2002年4月に実施した。

これらの実績工程概要を表2.2~2.4に示す。

表2.1 総合機能試験項目及び試験概要

No.	試験項目	試験番号	試験名称		試験概要	プラント状態
1 次 主 冷 却 系 試 験	SKS-101	1	主モータ速度制御試験	予備試験 (252m³/hまで)	マスター・コントローラ装置に伴い、主循環ポンプ起動／停止・流量変更操作等の制御性を確認する。	MK-III改造工事終了後の初期充填後に実施 (SKS-1)
		2		通常試験		
	SKS-102		ランバック制御試験		原子炉スクラム信号によりランバック運転に引継がれ、所定の回転数でランバック運転が行われることを確認する。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
	SKS-103	1	ボニーモータ引継ぎ試験	予備試験 (252m³/hまで)	定格流量時及び燃料取扱モード流量時から主循環ポンプトリップによりボニーモータに引継がれることを確認する。	MK-III改造工事終了後の初期充填後に実施 (SKS-1)
		2		通常試験		
	SKS-104	1	主循環ポンプ特性試験	主モータによる特性	主循環ポンプのQ-H特性、新セルビウス制御装置の制御性を確認するとともに、主循環ポンプ吐出圧、消費電力等を測定し、予想された性能が得られるることを確認する。また、主モータの最低回転数まで円滑に制御できることを確認する。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
		2		フローコーストダウンによる特性	定格流量の主循環ポンプをトリップさせ、そのフローコーストダウンの様子（流量の時間的変化）を見て、時定数が10sec以上あることを確認する。	
		3		ランバック運転	ランバック運転状態において、主循環ポンプ吐出圧、消費電力等を測定し、予想された性能が得られるることを確認する。	
		4		ボニーモータ運転（燃交流量運転から）	主循環ポンプをボニーモータ駆動に移行し、回転数、ポンプ吐出圧、流量、消費電力等を測定し、予想された性能が得られるることを確認する。	MK-III改造工事終了後の初期充填後に実施 (SKS-1)
		5		ボニーモータ運転（定格運転から）		MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
	SKS-105		連続運転特性試験		定格流量の主循環ポンプにより、24時間の連続運転を行い、異常のないことを確認する。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
	SKS-106		インターロック試験		スクラム信号を発生させ、1次主循環ポンプがランバック制御に正常に移行することを確認する。また、2次系インターロック試験と合わせて冷却系相互間のインターロック確認を行う。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
	SKS-107		主循環ポンプ回転数計校正		校正用回転数計と主循環ポンプ回転数の指示の比較により、回転数指示が正常であることを確認する。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
	SKS-110		モータ冷却空気入口温度測定		主循環ポンプ冷却用空気ダクト入口に風量計及び温度計を取り付け、主循環ポンプ定格運転時における風量及び温度を測定し、主循環ポンプのコイルが冷却されていることを確認する。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
	SKS-111		配管支持装置調整試験		配管改造について、交換したスプリングハンガ等の支持装置のストローク調整を行う。	充填前、MK-III改造工事終了後の初期充填後に実施 (SKS-1)
	SKS-113		各部液面測定		主モータによる特性試験時に炉容器、主循環ポンプ、オーバーフローガラムの液面を測定し配管の圧損より推定した値との比較を行う。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
	SKS-114		主中間熱交換器昇温特性試験		系統予熱時に主中間熱交換器内部温度計により、温度分布を測定し正常に予熱されていることの確認を行い、予熱時間短縮化の評価を行う。	充填前、MK-III改造工事終了後の初期充填後に実施 (SKS-1)
	SKS-115		瞬停再起動試験		瞬停を模擬して、1次主循環ポンプが所定の瞬停再起動動作を行うこと及び再起動抵抗投入時間を確認する。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
	SKS-116		電源喪失試験		電源喪失模擬により、安全保護系のスクラム動作、1次主循環ポンプのボニーモータ引継ぎ、2次主循環ポンプ及び主送風機のトリップ動作等が正常に行われることを確認する。	
2 次 補助 冷却系試 験	SKS-117		流動特性試験（通常起動試験）		炉容器液面を約0mmに保ち、1次主循環ポンプが停止している状態で、補助電磁ポンプの起動が支障なく行えることを確認する。また、各起動試験の流量を測定し、定格流量が得られていることを確認する。	MK-III改造工事終了後の初期充填後に実施 (SKS-1)
	SKS-118	1	ボニーモータ運転時起動試験	ボニーモータ1台運転	炉容器液面を約0mmに保ち、1次主循環ポンプ2台をボニーモータで運転している状態で一方のボニーモータをトリップさせ、補助電磁ポンプの自動起動が行われることを確認する。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)

表2.1 総合機能試験項目及び試験概要

No.	試験項目	試験番号	試験名称	試験概要	プラント状態
2	1次辅助冷却系試験	SKS-121	サイフォンブレーキ機能確認試験	ボニーモータのQ-H特性測定を行い、補助系サイフォンブレーキ可能なボニーモータ回転数を決定する。また、補助系ドレン弁を開にすることにより、補助系からのナトリウム漏えいを模擬し、補助系サイフォンブレーキが正常に行われることを確認する。	MK-III炉心構成完了後に実施 (SKS-2)
3	1次Na純化系試験	SKS-122	純度測定試験	コールドトラップによる純化運転を一定時間行い、純化前後のラグティング温度より不純物を測定する。	MK-III改修工事終了後の初期充填後に実施 (SKS-1)
4	2次主冷却系試験	SKS-201	空気流路の定常性能試験	主送風機の実際の空気流路における性能を確認する。 ・送風機インレットペーンを変化させた時の風量特性、 ・空気冷却器入口ダンバを変化させた時の風量特性	充填前 (SKS-1)
		SKS-202	1 入口ダンバ閉止試験	主冷却器出入口ダンバ全開、主送風機定格風量運転状態にて、2次冷却系制御盤空気冷却器温度制御回路にポンプトリップ又は主冷却器出口ナトリウム温度低の検査信号を入れ、主送風機トリップと入口ダンバ閉止による風量の変化を測定する。	
		SKS-203	主送風機騒音測定試験	主送風機本体の温度、排気ダクトの排出口及び外部にて騒音を測定する。	
		SKS-204	2次主循環ポンプ手回しトルク測定	2次主循環ポンプの手回しトルク測定を行う。	
		SKS-205	1 流量制御試験 2 フローコーストダウン特性試験 3 連続運転試験 4 振動測定試験	2次主循環ポンプの運転点の測定、速度制御装置の制御性を確認する。また、速度制御器の回転数を下げていき、最低の回転数タップに到るまで中間回転数タップにおける流量を測定する。 2次主循環ポンプ定格運転状態からポンプ駆動用モータ電源を切り、2次主冷却系流量の減少特性を測定する。 設定したタップにて連続運転を行い、異常のないことを確認する。 2次主循環ポンプ連続運転中に、ポンプ及び駆動用モータの主要部の振動を測定し、著しい振動が認められないことを確認する。	
		SKS-207	主冷却器昇温特性試験	系統予熱時に主冷却器昇温時間、温度分布等を測定し正常に予熱されていることを確認する。	
		SKS-208	配管熱変位試験	交換又は追加したスプリングハンガ等の支持装置のストローク調整を行う。	
		SKS-210	インターロック試験	スクラム信号で2次主循環ポンプトリップ及び主送風機トリップインターロックが正常に作動することを確認する。また、2次主循環ポンプトリップ信号で原子炉スクラムインターロックが正常に作動することを確認する。	
		SKS-211	純度測定試験	コールドトラップによる純化運転を一定時間行い、純化前後のラグティング温度により不純物量を測定する。	MK-III改修工事終了後の初期充填後に実施 (SKS-1)
		SKS-212	電磁ポンプ流量制御試験	2次主循環ポンプの吸込み圧力変化に対し、定格流量に調整できること及び2次主循環ポンプがトリップした時の影響を確認する。	
5	2次Na純化系試験	SKS-213	圧力制御試験	2次主循環ポンプNPSH(有効吸込ヘッド)確保のために変更となった圧力制御性の確認を行う。	MK-III改修工事終了後の初期充填後に実施 (SKS-1)
7	圧空供給系試験	SKS-214	アキュームレータ容量確認試験	一般系電源喪失より非常系受電までの間、アキュームレータ内に蓄積された計装用圧縮空気により、入口ダンバを操作するのに十分な蓄積容量であることを確認する。	充填前 (SKS-1)

表2.1 総合機能試験項目及び試験概要

No.	試験項目	試験番号	試験名称	試験概要	プラント状態
8	冷却系組合せ試験	SKS-301	1次系全体予熱試験	予熱窒素ガス系統設備及び電気ヒータ予熱設備を使用し、1次冷却系の機器、配管及び炉容器をナトリウム充填に必要な温度まで加熱し、保持できることを確認する。また、予熱窒素ガス系にて、各ループへの窒素ガスの流量配分が所定となる弁開度を設定し流量を決定する。	充填前、MK-III改修工事終了後の初期充填後に実施(SKS-1)
		SKS-302	2次系全体予熱試験	電気ヒータ予熱設備を使用し、2次系全体をナトリウム充填に必要な温度で加熱し保持できることを確認する。	充填前、MK-III改修工事終了後の初期充填後に実施(SKS-1)
9	炉心関係	SKS-401	炉心内流量分布測定試験	燃料集合体、照射用燃料集合体、反射体、遮へい体等の炉心構成要素に供給される流量を測定し、必要な流量が確保されていることを確認する。	MK-III炉心構成完了後に実施(SKS-2)
		SKS-402	系統圧損測定試験	1次主循環ポンプの安定運転が確保されていることを1次冷却系の系統圧損を測定することにより確認する。	
10	燃料取扱設備	SKS-501	炉内移送自動運転試験	燃料取扱制御室（新設）からの自動運転操作により、燃料交換機・回転プラグによる炉内燃料取扱が円滑に行われることを確認する。	
		SKS-502	炉外移送自動運転試験	燃料取扱制御室（新設）からの自動運転操作により、炉内燃料貯蔵ラックから使用済燃料貯蔵設備への使用済反射体の移送と新燃料貯蔵設備から炉内燃料貯蔵ラックへの新燃料の移送を行い、炉外移送が円滑に行われることを確認する。	MK-III改修工事終了後の初期充填後に実施(SKS-1)

表2.2 総合機能試験 その1 実績工程

		2001年8月										2001年9月										2001年10月																																							
年・月		日	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28															
主要 工 程		(7/10→)										TKS (-15W)										SKS-1 (b/w)										炉体メンテナンス																													
プラント状態		1 次 系										2 次 系										格納容器開閉										245°C 200°C																													
試験項目		1 次 系										2 次 系										TKS-101 配管支持装置調整試験 (SKS-111) SKS-301 1次系全体予熱試験 SKS-114 主中間熱交換器昇温特性試験 TKS-106 プロセス計測校正 (SKS-107) (中間熱交換器Na液面計) Naサンプリング タンク純化運転① タンク純化運転② 通常純化運転 SKS-122 密度測定試験										TKS-104 ジャッキガガ装置作動試験 TKS-105 1次主循環ポンプ手回しトルク測定 SKS-101-1 主モーター速度制御試験 (予備試験) SKS-102 ラック制御試験 SKS-103 ドーモー引継ぎ試験 (予備試験) SKS-104-4 ドーモー外運転試験 (252m³/h運転から)										TKS-202 主送風機操作試験 (ブランケット試験) TKS-203 ブレーキ作動試験 SKS-201 空気流路の定常性能試験 SKS-202-1 インレットヘーン閉止試験 SKS-202-2 フローコーストダウン特性試験 SKS-214 7件コームーナ空温確認試験 SKS-203 主送風機騒音測定試験 SKS-202-2 入口ペーン・ダンバ全開時漏れ込み風量測定試験 TKS-205 2次生循環ポンプ手回しトルク測定 (SKS-204) SKS-213 2次Aガス系圧力制御試験 SKS-205-1 流量制御試験 SKS-205-2 連続運転試験 SKS-205-3 機動測定試験 SKS-205-4 フローコーストダウン特性試験										炉体メンテナンス									

* : 10月12日の2次主循環ポンプモータ故障に伴い実施を遅らせた項目を示す。

表2.3 総合機能試験 その1(残分) 実績工程

表2.4 総合機能試験 その2 実績工程

3. 2次冷却系設備概要

3.1 設備概要

2次主冷却系は、1次主冷却系から主中間熱交換器を媒介して伝えられた熱を空冷式主冷却器により大気中に放散する系統で、2ループで構成している。本系統の冷却材は非放射性であり、系統機器は原子炉付属建物に隣接する主冷却機建物内に収納し、地下の配管路を通じて格納容器内の主中間熱交換器と接続している。ナトリウム（以下、Naと略す）は、2次主循環ポンプより吐出し、主中間熱交換器の管側に入り、胴側を流れる1次系Naと熱交換した後、主冷却器に入り空気により冷却し再びポンプに戻る。主冷却器は水平に置かれた伝熱管を鉛直方向の空気流で冷却する構造である。冷却用空気は建物側面から吸い込み、送風機、主冷却器を通過して外気へ放出する。Na流量は主循環ポンプの抵抗器タップによって調節し、除熱量は主冷却器の風量制御により調節する。なお、2次冷却系の機器は自然循環を考慮した配置としており、2次主循環ポンプにポンニーモータは設けられていない。

図3.1-1に2次主冷却系系統図を示す。

2次主循環ポンプは、堅形自由液面式遠心ポンプで、ポンプ本体、電動機、潤滑油循環装置にて構成している。ポンプ本体は、内部構造体と内部構造体を収めた外部ケーシングよりなり、内部構造体は保守点検が可能なように外部ケーシングをそのままにして抜き出せる構造としている。主冷却器を通過したNaは、ポンプ下端の吸い込みノズルからポンプに入りインペラ、デフューザを通り高圧となった後、高圧室より、外部ケーシング側面の吐出ノズルから流出する。インペラの上部にあるNa潤滑軸受を通ったNaは、外部ケーシング円筒胴に設けられたオーバフローノズルより2次主冷却系ポンプオーバフロータンクへ流れ、その一部はポンプ吸込側に、残りはダンプタンクに流入する。表3.1-1に2次主循環ポンプの仕様を、図3.1-2に2次主循環ポンプ構造図を示す。

MK-III改造において、定格流量が $1,348\text{m}^3/\text{h}$ となり、2次主循環ポンプの軸動力が増加したため、電動機を交換し、容量を 180kW から 220kW に増加した。又、抵抗器盤、速度制御盤を交換し、抵抗器盤用スペースヒータ制御盤を新設した。更に2次主循環ポンプ回転数の検出方式を電磁ピックアップ方式に変更するとともに検出器を2重化し、「回転数高高」トリップのインターロックを新設した。

2次純化系統設備は、2次冷却系の不純物を除去するコールドトラップ、不純物濃度を測定するプラギング計、直接Naを分析するためのNaサンプリング装置、電磁ポンプ及びコールドトラップ送風機等の付属設備によって構成している。また、オーバフロー系統設備の機能も兼ねている。ダンプタンクのNaは、2次純化系電磁ポンプにより汲み上げて、コールドトラップで純化した後、主冷却系A・Bループに分岐し2次主循環ポンプ吸込み管に供給する。定常運転中においては、このポンプ吸込み管側に充てんした量に見合うNaをオーバフロータンクのオーバフローノズルからダンプタンクにオーバフローさせ、系内Naの純化及び液位保持を行う。主冷却系のNaドレン時においては、ダンプタンク内Naの純化が行えるように、ダンプタンク純化ライン、純化を行わずに主冷却系にNaを汲み上げるコールドトラップバイパスラインを設けている。表3.1-2に2次純化系電磁ポンプの仕様を、図3.1-3に2次純化系系統図を示す。

2次アルゴンガス系統設備は、2次冷却系機器のNa自由液面を不活性ガスであるアルゴンガスで覆い、冷却材であるNaの酸化及び不純物の混入を防止する。また、万一の中間熱交換器伝熱管破損等による放射性の1次系Naの2次系への漏洩を防止するため、2次系カバーガス圧力を1次系カバーガス圧力より高く保持するほか、2次冷却系統内Naの加圧・真空移送、2次主循環ポンプ軸封ガスの供給等を行う。表3.1-3に2次アルゴンガス系統設備の仕様を、図3.1-4に2次アルゴンガス系系統図を示す。

表 3.1-1 2 次主循環ポンプの仕様

仕 様	
基数	2
形式	豎型自由液面型遠心式
設計圧力	490kPa
設計温度	400°C
定格流量	1,348 m ³ /h
定格揚程	40.9mNa
運転温度	300°C
流量変化	定格の約 35~100% 可変
電動機	豎軸巻線形誘導電動機
定格出力	220kW
制御方式	2 次抵抗式
極数	4 P
回転数検出方式	電磁ピックアップ
電動機重量	3,300kg

表 3.1-2 2 次純化系電磁ポンプの仕様

仕 様	
基数	1
形式	交流ファラデ型電磁ポンプ
定格流量	5.2t/h
定格揚程	294kPa
主要材質	ポンプ管 SUS316
	電極 SUS304

表 3.1-3 2次アルゴンガス系統設備の仕様

仕 様	
ループ数	1
ループ形式	貫流式
カバーガス圧力	34.3kPa～44.1kPa

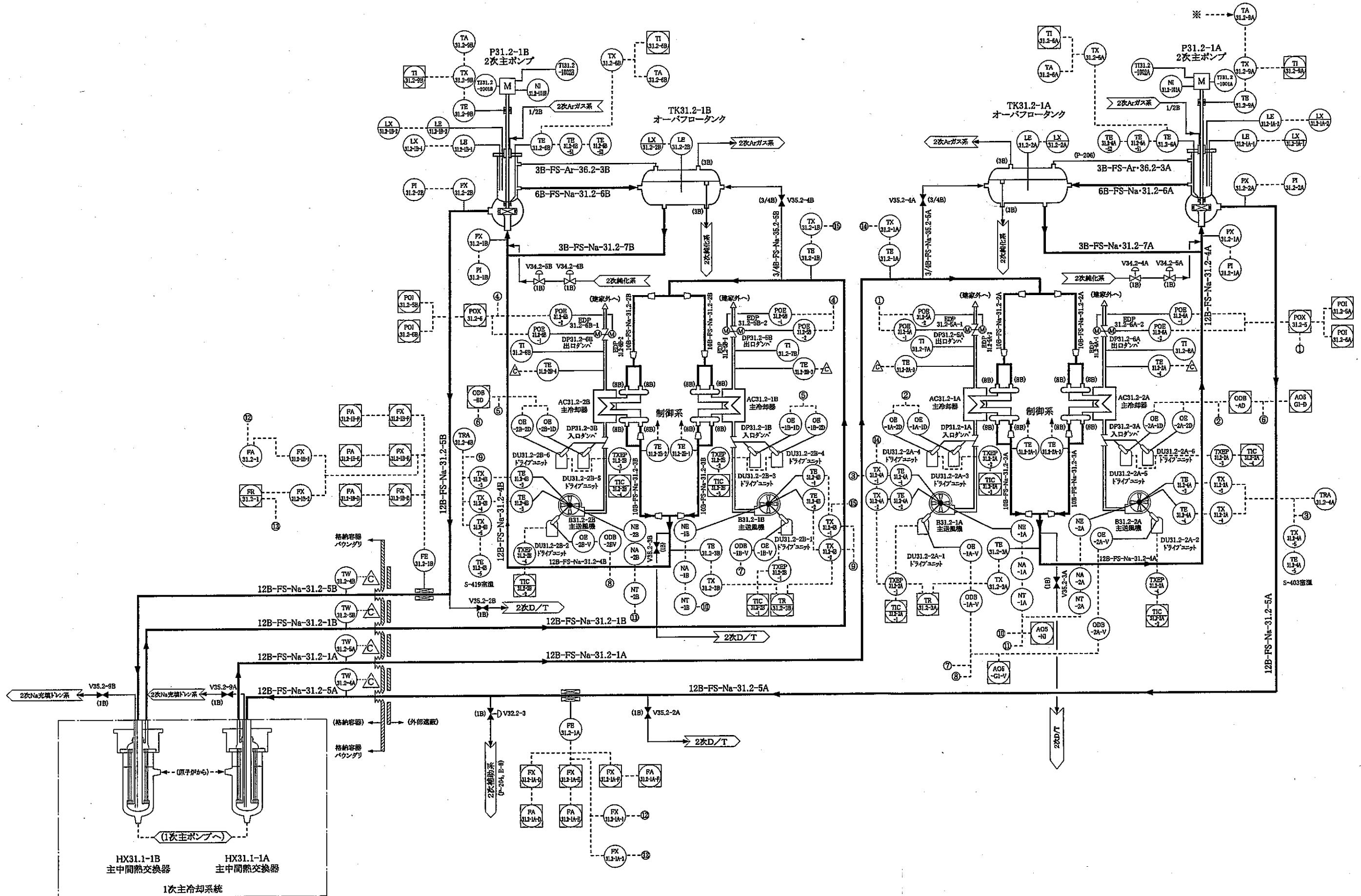
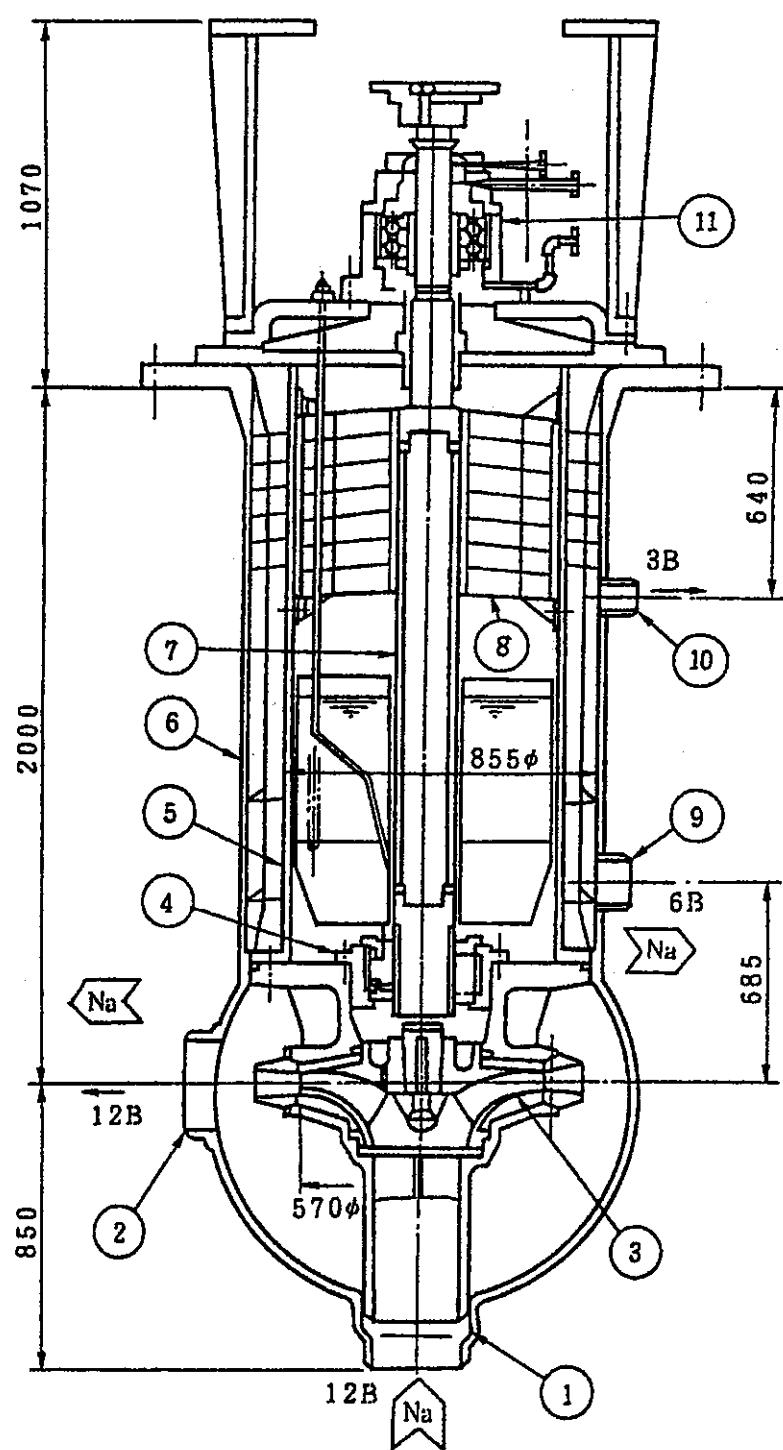
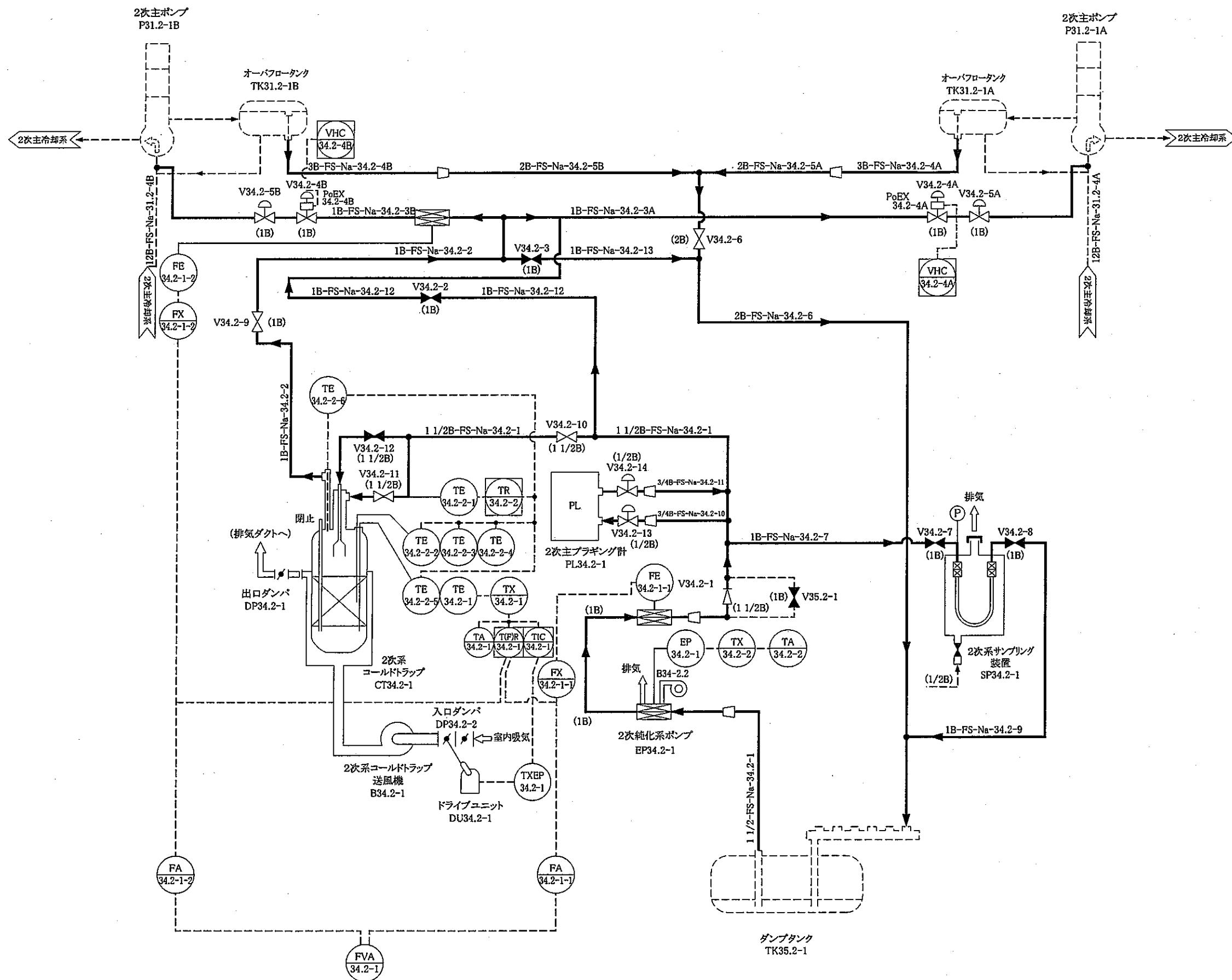


図3.1-1 2次主冷却系系統図



		11 上部軸封部
5	インナケーシング	10 Ar ガスノズル
4	Na ベアリング	9 オーバフロノズル
3	インペラ	8 熱遮蔽板
2	吐出ノズル	7 シャフト
1	吸込ノズル	6 アウタケーシング

図 3.1-2 2 次主循環ポンプ構造図



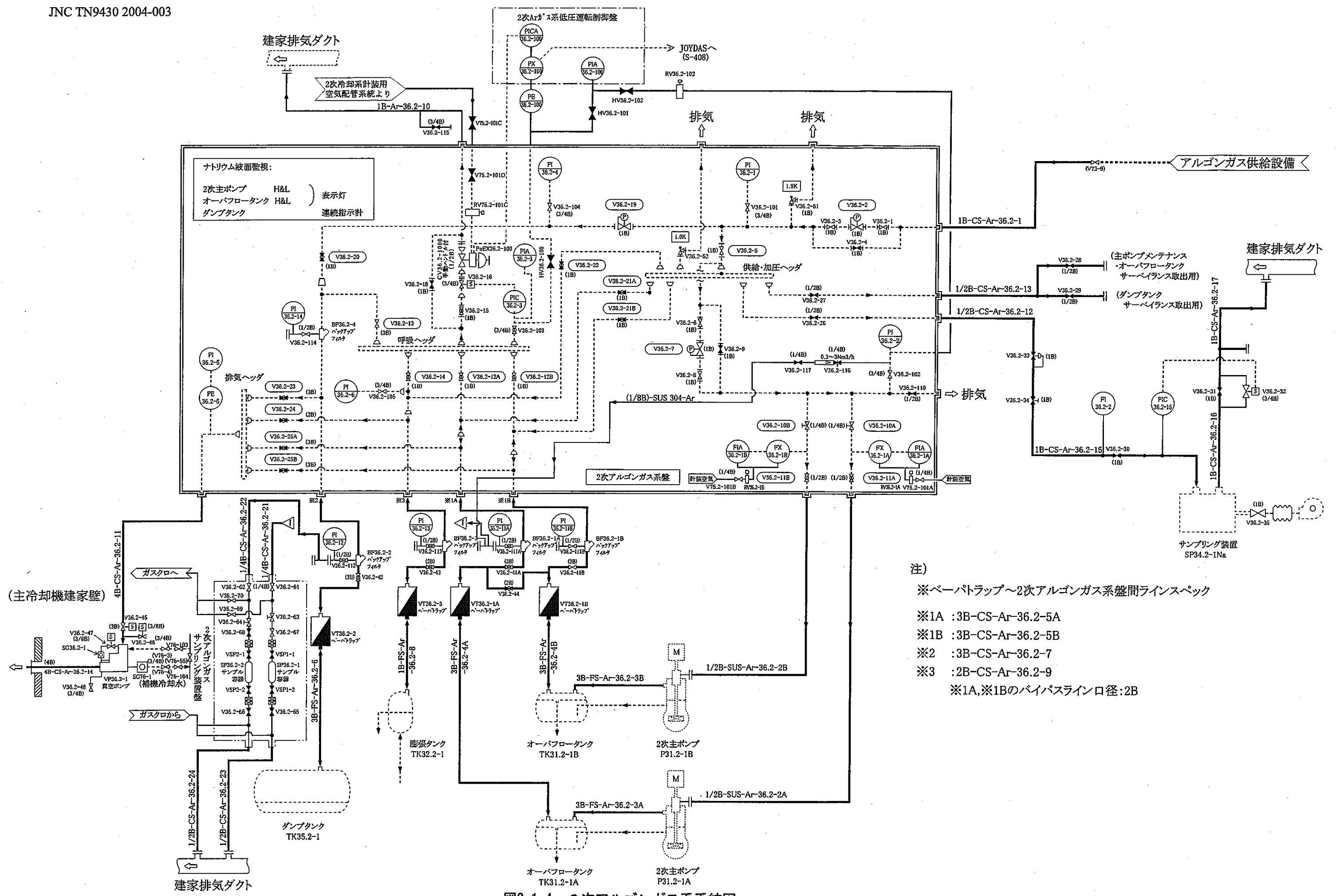


図3.1-4 2次アルゴンガス系系統

3.2 運転概要

2次主冷却系では、主循環ポンプの回転数を定格流量 ($1,348\text{m}^3/\text{h}$ at 300°C) に設定することにより、冷却材 Na 流量を一定に保つように運転する。2次主循環ポンプ流量調整は巻線形誘導電動機の駆動用電動機の2次抵抗を切換えることにより行う。MK-III 改造にて、2次主循環 Na 流量を MK - II の 107% に増加するため出力の大きい駆動用電動機に更新することとなり、これにあわせて速度制御盤、抵抗器盤を交換し、2次抵抗切換タップは 13 段に変更した。タップは、粗調整タップは 1 から 3 まで、微調整タップは 4 から 13 まである。抵抗器盤の排熱用として、主冷却機建家 4 階の排風機を改造し、抵抗器盤の真上に排気ダクトを設置した。図 3.2-1 に 2次主循環 Na 流量計計装線図を示す。

2次主冷却系の温度制御は、原子炉入口 Na 温度 350°C 一定となるように、主冷却器出口 Na 温度を 300°C (140MW 運転時) に設定し、主冷却器入口ダンバ、主送風機入口ベーンの開度を調節することにより行う。

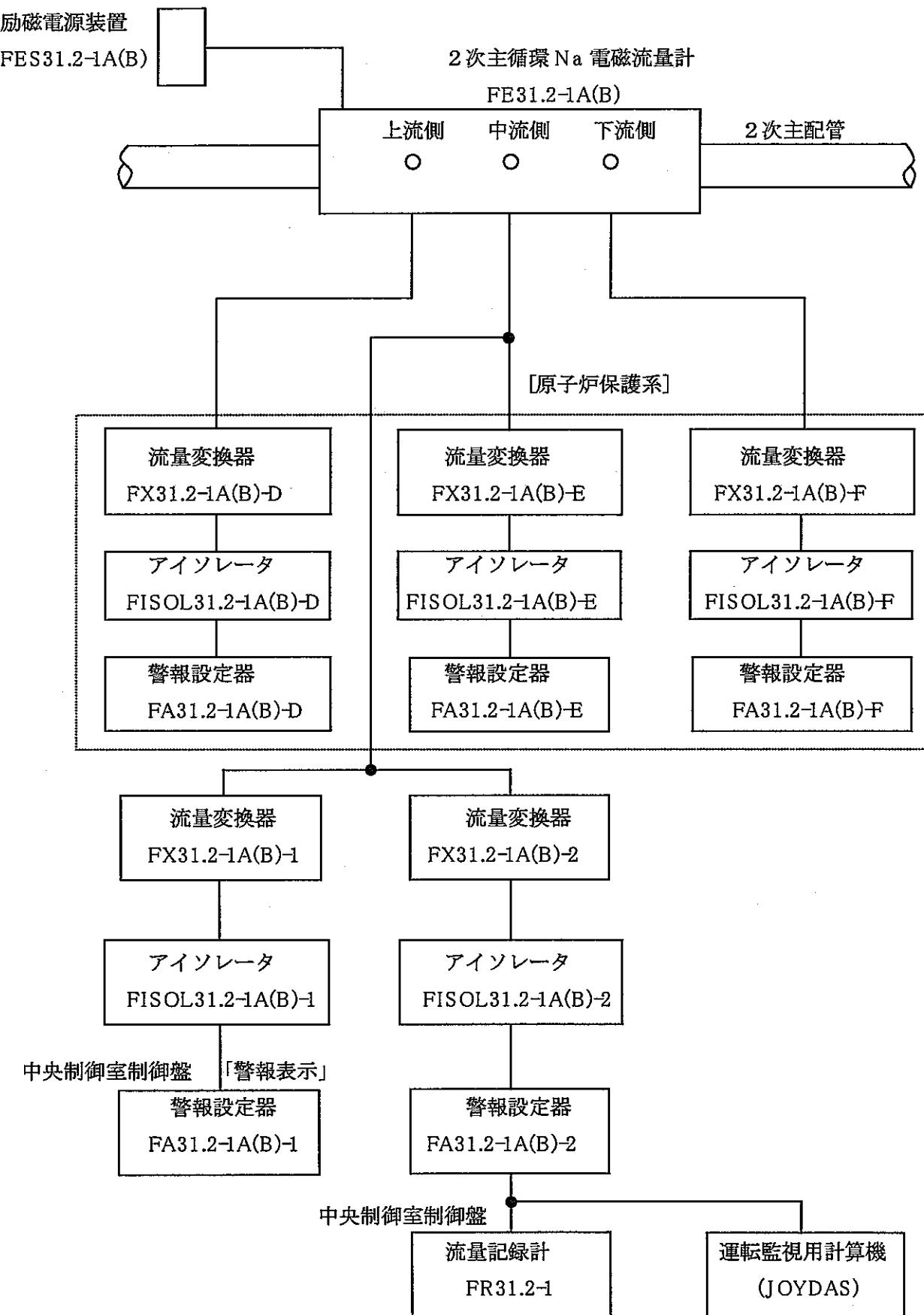


図 3.2-1 2次主循環 Na 流量計計装線図

4. 2次主循環ポンプ関係試験工程

2次主循環ポンプ関係試験（流量制御試験、2次純化系電磁ポンプ流量制御試験、2次アルゴンガス系圧力制御試験、連続運転試験、振動測定試験、フローコーストダウン特性試験）は、SKS-1期間の2001年10月9日から10月15日に実施する予定であった。

しかし、2001年10月9日に一部の試験に着手した後の10月12日に、2次主循環ポンプA号機がタップ1の最低流量運転状態（回転数 450min^{-1} ）において、「回転数高」信号によりトリップしたため、翌年に実施を遅らせた。トリップ原因は以下の通りである。

2次主循環ポンプ電動機の設計において、回転子鉄心の固定に使用するクランパ及びリベット部の渦電流による損失が考慮されていなかったため、2次巻線の温度上昇が生じた。これにより、巻線接続部のはんだが溶融・溶出し、溶出したはんだを介して2次巻線相間の不完全短絡状態が継続したことで、電動機回転数が上昇して流量が約 $660\text{m}^3/\text{h}$ に増加した。また、その過程で、2次巻線短絡時のアーク放電に伴うノイズによって回転数計装が誤動作し、2次主循環ポンプトリップに至ったものである。

このため、電動機の設計変更（①回転子鉄心の締結方法をリベット方式からクランパキー方式に変更、②鉄心材を鉄損低減の材質に変更、③外気吸気口の開口率を上げ、冷却風量を増加、④固定子巻線監視用温度計の設置、など）を行なったうえで再製作し、2002年3月25日へ現地搬入して据え付けた。

2002年4月8日から4月11日にかけてSKS-1の残りの試験である流量制御試験、2次純化系電磁ポンプ流量制御試験、2次アルゴンガス系圧力制御試験、連続運転試験、振動測定試験、フローコーストダウン特性試験を実施した。表4.1に2次主循環ポンプ関係SKS-1工程表（2001年10月）を、表4.2に2次主循環ポンプ関係SKS-1工程表（2002年4月）を示す。

表4.1 2次主循環ポンプ関係SKS-1工程表(2001年10月)

項目 年月日	2001年10月													
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
プラント状態					2次主冷却系Na温度200°C									
			起動 2次主循環ポンプ停止	100%			起動 35%	2次主循環ポンプトリップ						
試験項目			SKS-212	2次純化系電磁ポンプ流量制御試験										
			SKS-213	2次アルゴンガス系圧力制御試験										
			SKS-205-1	2次主循環ポンプ特性試験・流量制御試験										
			SKS-205-3	2次主循環ポンプ特性試験・連続運転試験										
			SKS-205-4	2次主循環ポンプ特性試験・振動測定試験										
			SKS-205-2	2次主循環ポンプ特性試験・ フローコーストダウン特性試験										

表4.2 2次主循環ポンプ関係SKS-1工程表(2002年4月)

5. 試 驗 内 容

5. 1 2次主循環ポンプ特性試験・流量制御試験 (SKS-205-1)

5.1.1 試験目的

MK-III冷却系改造によって2次主循環ポンプ速度制御装置が更新されたため、2次主循環ポンプの運転データを測定することにより、速度制御装置の制御性を確認し、定格流量となる定格回転数タップ位置を決定する。また、速度制御装置の回転数タップ上昇時及び下降時の各回転数タップにおいて、流量、回転数、系統Na温度等の運転データを測定する。

5.1.2 試験方法

- (1) 回転数タップが最低回転数（タップ1）になっていることを確認した上で、2次主循環ポンプを起動する。
- (2) 最低回転数タップにおいてしばらく運転し、表5.1-1及び5.1-2に示したデータを採取する。
- (3) 最低回転数から回転数タップを1タップづつ上げて行き、表5.1-1及び5.1-2に示したデータを採取する。2次主冷却系統定格流量 $1,348\text{m}^3/\text{h}$ が2次抵抗値の微調整範囲内で得られることを確認して、定格点の回転数タップ位置を求める。
- (4) 回転数タップを1タップづつ下げて行き、最低回転数に至るまで表5.1-3及び5.1-4のデータを採取する。

5.1.3 試験結果

試験の結果、表5.1-1～5.1-4に示す通り、定格流量 $1,348\text{m}^3/\text{h}$ に対し、Aループ92%回転数（タップ11）、Bループ94%回転数（タップ11）で定格流量 $1,348\text{m}^3/\text{h}$ (at200°C)が得られ所期の性能を満足していることを確認した。

5.1.4 検討および評価

(1) 定格回転数タップ前後の配置調整

2次主冷却系統定格流量を確実に得られるようにするために、冷却系改造を行った当初に据え付けた電動機の流量制御試験で得られた定格回転数タップから Na 温度を補正した値を基準として低回転数側に 4 タップ、高回転数タップ側に 5 タップを 1.5% ピッチで集中的に配置した。なお、高回転側においては、最大電圧 3,300V（供給電圧）となっても上限回転数 ($1,120\text{min}^{-1}$) に至らないよう考慮した。調整結果を下表に示す。

タップ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
調整前	35	50	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100
A 調整後	35	50	70	80.5	82	83.5	85	86.5	88	89.5	91	92.5	94
B 調整後	35	50	70	83.5	85	86.5	88	89.5	91	92.5	94	95.5	97

単位：タップ(段)、調整前後回転数(%)

「4. 試験工程」の項で述べたように、当初据付けた電動機はその後不具合が発生し、現在の電動機に更新したが、工場試験でのトルク特性から、両電動機間の差は回転数タップで 1 タップ分以内に収まるため、回転数タップの再配置は行わなかった。

(2) 定格流量

本試験では、系統温度 200°Cにおいて A,B ループとも「回転数タップ 11」で定格流量 $1,348\text{m}^3/\text{h}$ が得られた。

原子炉定格運転時の 2 次主冷却系 Na 温度はホットレグ 470°C、コールドレグ 300°C であり、本試験結果を系統 Na 温度 385°C（ホットレグとコールドレグ Na 温度の中間）にて補正して確認した。

系統圧損 H、Na 密度 ρ 、Na 流量 Q、ポンプ回転数 N とするとそれぞれ以下の関係が成り立つ。

$$Q \propto N \cdots \textcircled{1}, \quad H \propto Q^2 \cdots \textcircled{2}, \quad H \propto 1/\rho \cdots \textcircled{3}$$

上記①②③式より、 $Q \propto (1/\rho)^{1/2}$ となる。……④

一方、Na 密度 ρ は、Na 温度 200°C を ρ_s 、385°C を ρ_T とすると、それぞれ 0.9036g/cm^3 、 0.8598g/cm^3 となる。

本試験時の Na 流量を Q_s とし、原子炉定格運転時の Na 流量 Q_T とすると、④式により $Q_T/Q_s = (\rho_s/\rho_T)^{1/2} = 1.025$ となる。

従って、流量を基準とした原子炉定格運転時のポンプ運転点は、本試験時より約2.5%低いところとなる。

一方、2次主冷却系電磁流量計のような大口径電磁流量計は、流速（流量）の増大とともに磁場端部での短絡電流に伴う磁場分布の下流側へのひずみが大きくなり、高流量域での非直線性が顕著になる。また、Na 温度（流体温度）が低いと、磁場端部に生じる短絡電流が温度低下に伴う Na の電気抵抗減少により増大し、誘起磁界も増大する。この誘起磁界は印加磁界と逆向きであるので実質的には印加磁界が減少することと等価になり、出力電圧が減少する特性がある。

このため、2次主循環電磁流量計では、定格流量で Na 温度 200°C の場合には、A ループで約 1%、B ループで約 2.5% 低めに指示する。

これらを総合すると、原子炉定格運転時の 2 次主循環ポンプの運転点は、A ループ「回転数タップ 9」、B ループ「回転数タップ 8」で、両ポンプともほぼ同回転数になると予測する。

(3) 揚 程 (Q-H 特性)

本試験結果から算出した 2 次主循環ポンプの揚程計算書を表 5.1-5 及び 5.1-6 に示す。また、本試験結果時の系統温度(約 200°C)から原子炉定格運転時のコールドレグ Na 温度(300°C)に換算した予想値と設計値及び MK-I SKS の抵抗曲線図を図 5.1-1 及び 5.1-2 に示す。

設計値と本試験結果からの予想値を比較した結果、ノミナル値よりやや低い値となつたが、十分に設計余裕範囲内にあることを確認した。

(4) 運転流量と回転数 (Q-N 特性)

本試験で得られた 2 次主循環ポンプの回転数と実流量の関係を図 5.1-3 及び 5.1-4 に示す。A,B ループともポンプ回転数と流量の相間に直線性があり、回転数と流量の比例特性を得た。

表5.1-1 2次主冷却系流量制御試験記録 (A号機タップ上昇)

項目	計器番号	単位	9:43	10:45	11:15	11:35	11:50	12:05	13:20	13:35	13:50	14:05	14:20	14:35
ポンプタップ位置	—	—	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ポンプ回転数	NI31.2-101A	min ⁻¹	0	360	540	750	860	880	900	920	930	950	960	970
2次主循環Na流量	FR31.2-1	m ³ /h	0	500	760	1060	1210	1230	1260	1280	1300	1320	1340	1350
2次主循環ポンプ 出入口圧力	入口 PI31.2-1A 出口 PI31.2-2A	MPa	0.054 0.042	0.051 0.081	0.050 0.130	0.045 0.210	0.043 0.268	0.043 0.275	0.043 0.289	0.043 0.297	0.043 0.305	0.043 0.310	0.043 0.320	0.043 0.330
DHX出入口Na温度	入口 TR31.2-3A 出口	°C	203 210	203 203	205 205	208 208	210 210	210 210	211 211	211 211	211 211	211 211	211 211	211 211
DHX出口Na温度	1A2 2A2	TR31.2-2A	°C	208 211	203 208	203 209	205 210	207 210	210 213	211 213	210 211	210 211	210 211	210 212
ポンプ電流	—	A	0	52	54	60	63	64	66	65	65	66	67	68
ポンプ電圧	—	V	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3190
呼吸ヘッダ圧力	PIC36.2-3	MPa	0.035	0.036	0.036	0.037	0.037	0.037	0.038	0.039	0.039	0.039	0.039	0.040
ポンプ軸封ガス流量	FIA36.2-1A	Nm ³ /h	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24
ポンプNa軸受温度	TI31.2-6A	°C	220	210	210	210	212	215	218	218	218	219	219	220
ポンプ上部軸受温度	TI31.2-9A	°C	28	28	28	30	31	31	33	33	33	33	33	33
潤滑油ポンプ出口圧力	PI31.2-101,2A	MPa	0.340	0.342	0.340	0.340	0.340	0.039	0.338	0.035	0.335	0.335	0.335	0.335
潤滑油流量	FI31.2-101A	%/min	38.8	38.8	38.0	37.6	37.2	36.9	36.7	36.5	36.5	36.3	36.3	36.3
潤滑油温度	TI31.2-101A	°C	27.0	26.0	27.0	27.0	27.9	28.2	29.8	29.8	29.9	29.9	29.9	29.9
潤滑油排油温度	TI31.2-102A	°C	29.0	29.0	29.8	30.2	31.5	32.0	33.0	33.5	33.8	33.8	33.8	33.9
軸封油圧力	PIA31.2-103A	°C	0.205	0.205	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208
電動機ケーシング温度	—	°C	27.0	34.0	40.0	40.0	41.0	41.0	45.0	45.0	46.0	46.0	46.0	46.0
電動機固定子巻線温度 (指示計入力として選ばれた番号を右の1~6に○印をつけること)	1	°C	28.6	43.1	52.2	55.8	57.8	59.7	66.8	67.5	68.2	68.0	69.5	70.2
	2	°C	27.6	42.9	51.7	55.2	57.2	58.8	65.8	66.4	67.1	67.8	68.3	69.0
	3	°C	26.7	42.2	51.0	54.3	56.2	57.7	64.5	65.0	65.7	66.4	66.9	67.6
	4	°C	27.1	44.7	53.6	56.7	58.7	60.0	66.9	67.5	68.1	68.8	69.3	70.0
	5	°C	27.7	43.0	51.5	54.9	56.9	58.5	65.3	65.8	66.5	67.2	67.7	68.4
	6	°C	28.3	40.4	51.1	54.3	56.3	58.0	64.7	65.3	65.9	66.6	67.1	67.8
電動機軸受温度(上部/下部)	仮設	°C	—	—	—	—	—	37/40	—	36/45	—	37/46	—	—
周囲温度	仮設	°C	24.0	24.6	25.5	26.4	26.9	27.6	28.8	28.9	29.0	29.0	29.0	29.0
抵抗器盤排気温度	仮設	°C	—	40.5	63.0	72.7	75.5	80.0	84.9	88.0	92.5	96.5	99.0	92.0
抵抗器盤排気(ダクト)温度	—	°C	30.0	56.0	56.0	74.0	76.0	78.0	84.0	87.0	89.0	87.0	85.0	82.0
抵抗器盤雰囲気温度	—	°C	26.6	24.0	26.0	25.0	27.0	27.0	28.7	28.9	29.0	29.0	29.0	29.0
ポンプ上部軸受、電動機軸受、 ブラシからの異音の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
2次冷却系流量調節設備から の異音、異臭の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

表5.1-2 2次主冷却系流量制御試験記録 (B号機タップ上昇)

項目	計器番号	単位	9:43	10:45	11:15	11:35	11:50	12:05	13:20	13:35	13:50	14:05	14:20	14:35	
ポンプタップ位置	—	—	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
ポンプ回転数	NI31.2-101B	min ⁻¹	0	360	530	750	890	900	930	940	950	960	990	1000	
2次主循環Na流量	FR31.2-1	m ³ /h	0	490	740	1040	1220	1240	1270	1280	1300	1320	1340	1350	
2次主循環ポンプ 出入口圧力	入口 出口	PI31.2-1B PI31.2-2B	MPa	0.056 0.051	0.055 0.090	0.053 0.138	0.047 0.220	0.042 0.290	0.043 0.298	0.042 0.310	0.042 0.315	0.042 0.325	0.042 0.332	0.042 0.345	0.042 0.355
DHX出入口Na温度	入口 出口	TR31.2-3B	°C	205 205	199 199	200 200	200 200	201 201	204 203	205 205	205 205	207 207	208 208	209 209	
DHX出口Na温度	1B2 2B2	TR31.2-2B	°C	205 205	199 200	200 200	200 200	201 201	202 202	202 202	203 203	205 205	205 205	208 208	
ポンプ電流	—	A	0	52	53	59	64	64	66	66	66	67	68	69	
ポンプ電圧	—	V	3170	3150	3150	3150	3150	3150	3180	3150	3150	3130	3130	3120	
呼吸ヘッダ圧力	PIC36.2-3	MPa	0.035	0.036	0.036	0.037	0.037	0.037	0.038	0.039	0.039	0.039	0.040	0.040	
ポンプ軸封ガス流量	FIA36.2-1B	Nm ³ /h	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	
ポンプNa軸受温度	TI31.2-6B	°C	235	205	205	205	208	209	210	211	212	213	214	215	
ポンプ上部軸受温度	TI31.2-9B	°C	29	30	31	32	34	35	36	36	36	36	36	36	
潤滑油ポンプ出口圧力	PI31.2-101,2B	MPa	0.342	0.342	0.342	0.342	0.340	0.340	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	0.338	
潤滑油流量	FI31.2-101B	%/min	39.0	38.6	38.0	37.0	36.8	36.4	35.9	35.7	35.6	35.5	35.5	35.5	
潤滑油温度	TI31.2-101B	°C	29.5	29.0	29.9	30.2	31.0	31.9	33.0	33.5	33.5	33.5	33.5	33.8	
潤滑油排油温度	TI31.2-102B	°C	30.0	30.2	31.8	32.2	33.8	34.0	35.9	36.0	36.0	36.0	36.2	36.2	
軸封油圧力	PIA31.2-103B	°C	0.208	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	
電動機ケーシング温度	—	°C	27.0	31.0	38.0	40.0	40.5	41.0	45.0	46.0	46.0	46.5	46.5	47.0	
電動機固定子巻線温度 (指示計入力として選ばれた 番号を右の1~6に○印をつ けること)	1	°C	28.0	39.3	50.3	54.4	57.0	59.0	67.1	67.7	68.6	69.4	70.1	71.0	
	2	°C	27.2	38.5	49.6	53.7	56.2	58.2	66.0	66.7	67.5	68.3	68.8	69.8	
	3	°C	26.6	38.2	48.8	52.3	54.6	56.5	63.8	64.4	65.1	65.9	66.5	67.4	
	4	°C	27.0	40.7	51.8	55.7	58.0	59.7	67.4	68.0	68.7	69.5	70.1	71.0	
	5	°C	27.6	38.7	49.3	53.2	55.5	57.3	64.9	65.5	66.3	67.1	67.7	68.6	
	6	°C	28.1	39.2	49.4	53.1	55.3	57.2	64.7	65.3	66.1	66.9	67.5	68.4	
電動機軸受温度(上部/下部)	仮設	°C	—	—	31/28	—	—	34/40	—	37/45	38/46.5	38/46.5	—	-47	
周囲温度	仮設	°C	23.0	25.0	26.0	28.0	28.0	28.0	28.8	29.5	30.0	30.0	30.0	30.0	
抵抗器盤排気温度	仮設	°C	24.5	36.7	64.0	72.0	78.8	85.0	91.3	95.0	99.8	100.5	89.0	87.2	
抵抗器盤排気(ダクト)温度	—	°C	31.0	38.0	43.0	55.0	62.0	68.0	79.0	72.0	73.0	73.0	73.5	73.5	
抵抗器盤旁通気温度	—	°C	24.0	24.0	24.0	25.0	25.0	25.5	27.0	27.0	27.5	27.5	27.5	27.5	
ポンプ上部軸受、電動機軸受、 ブラシからの異音の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	
2次冷却系流量調節設備からの 異音、異臭の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	

表5.1-3 2次主冷却系流量制御試験記録（A号機タップ降下）

項目	計器番号	単位	14:35	15:15	15:25	15:35	15:45	15:55	16:05	16:15	16:25	16:35	16:45
ポンプタップ位置	—	—	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ポンプ回転数	NI31.2-101A	min ⁻¹	970	950	945	930	910	900	880	870	750	550	360
2次主循環Na流量	FR31.2-1	m ³ /h	1350	1330	1310	1300	1270	1250	1230	1210	1050	750	490
2次主循環ポンプ 出入口圧力	入口 PI31.2-1A 出口 PI31.2-2A	MPa	0.043 0.330	0.043 0.321	0.043 0.310	0.043 0.308	0.045 0.298	0.045 0.289	0.046 0.280	0.046 0.270	0.050 0.215	0.054 0.138	0.056 0.090
DHX出入口Na温度	入口 TR31.2-3A 出口 TR31.2-3A	°C	211 211	205 205	205 204	204 204	204 204	204 204	205 205	205 205	206 206	206 206	206
DHX出口Na温度	1A2 TR31.2-2A 2A2	°C	210 212	207 207	207 205	205 205	205 205	205 205	205 205	205 205	207 207	207 207	207
ポンプ電流	—	A	68	66	66	66	65	64	62	62	58	53	52
ポンプ電圧	—	V	3190	3190	3190	3200	3180	3180	3180	3160	3180	3200	3200
呼吸ヘッダ圧力	PIC36.2-3	MPa	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.041
ポンプ軸封ガス流量	FIA36.2-1A	Nm ³ /h	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ポンプNa軸受温度	TI31.2-6A	°C	220	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
ポンプ上部軸受温度	TI31.2-9A	°C	33	34	34	34	34	33	33	33	33	32	31
潤滑油ポンプ出口圧力	PI31.2-101,2A	MPa	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.035	0.335	0.335	0.335
潤滑油流量	FI31.2-101A	l/min	36.3	36.1	36.1	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.5	37.0	37.2
潤滑油温度	TI31.2-101A	°C	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.6	29.6
潤滑油排油温度	TI31.2-102A	°C	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.4	33.0
軸封油圧力	PIA31.2-103A	°C	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208
電動機ケーシング温度	—	°C	46.0	46.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	48.0	48.0	48.0	50.0
電動機固定子巻線温度 (指示計入力として選ば れた番号を右の1~6 に○印をつけること)	1	°C	70.2	71.7	71.7	72.1	72.1	72.1	72.1	71.7	70.8	71.4	
	2	°C	69.0	70.4	70.4	70.8	70.8	70.8	70.9	70.7	70.4	69.9	70.0
	3	°C	67.6	68.9	68.9	69.3	69.3	69.3	69.4	69.2	68.8	68.4	68.6
	4	°C	70.0	71.4	71.4	71.7	71.8	71.7	71.8	71.6	71.2	70.8	71.1
	5	°C	68.4	69.9	69.8	70.2	70.1	70.2	70.2	70.1	69.7	69.3	69.5
	6	°C	67.8	69.2	69.2	69.5	69.5	69.5	69.6	69.5	69.1	68.7	68.9
電動機軸受温度(上部/下部)	仮設	°C	—	38/49	—	—	39/50	—	—	39/50	—	—	39/50
周囲温度	仮設	°C	29.0	29.5	29.3	29.5	29.6	29.5	29.6	29.6	29.6	29.6	29.2
抵抗器盤排気温度	仮設	°C	92.0	97.0	98.2	96.0	97.0	88.4	85.5	82.9	83.0	80.5	61.2
抵抗器盤排気(ダクト)温度	—	°C	82.0	79.0	82.0	86.0	89.0	89.0	86.0	83.0	83.0	83.0	71.0
抵抗器盤雰囲気温度	—	°C	29.0	30.0	30.0	29.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
ポンプ上部軸受、電動機軸受、 ブランから異音の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
2次冷却系流量調節設備からの 異音、異臭の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

表5.1-4 2次主冷却系流量制御試験記録 (B号機タップ降下)

項目	計器番号	単位	14:35	15:15	15:25	15:35	15:45	15:55	16:05	16:15	16:25	16:35	16:45
ポンプタップ位置	—	—	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ポンプ回転数	NI31.2-101B	min ⁻¹	1000	990	970	950	940	925	900	890	740	540	360
2次主循環Na流量	FR31.2-1	m ³ /h	1350	1330	1310	1300	1280	1260	1240	1220	1030	740	480
2次主循環ポンプ 出入口圧力	入口 PI31.2-1B	MPa	0.042	0.042	0.042	0.042	0.044	0.045	0.045	0.045	0.052	0.056	0.060
	出口 PI31.2-2B	MPa	0.355	0.345	0.330	0.328	0.318	0.310	0.302	0.292	0.225	0.142	0.098
DHX出入口Na温度	入口 TR31.2-3B	°C	209	205	205	205	205	205	205	205	205	206	206
	出口 TR31.2-3B	°C	209	205	205	205	205	205	205	205	205	206	206
DHX出口Na温度	1B2 TR31.2-2B	°C	208	202	202	202	202	202	203	204	205	205	205
	2B2	°C	208	202	202	202	202	202	203	204	205	205	205
ポンプ電流	—	A	69	67	67	66	65	65	64	63	59	54	50
ポンプ電圧	—	V	3120	3120	3120	3160	3150	3130	3110	3110	3110	3130	3150
呼吸ヘッダ圧力	PIC36.2-3	MPa	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.041
ポンプ軸封ガス流量	FIA36.2-1B	Nm ³ /h	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ポンプNa軸受温度	TI31.2-6B	°C	215	211	211	211	211	211	211	211	211	210	211
ポンプ上部軸受温度	TI31.2-9B	°C	36	36	37	37	37	37	37	37	36	35	35
潤滑油ポンプ出口圧力	PI31.2-101,2B	MPa	0.338	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.338	0.338
潤滑油流量	FI31.2-101B	kg/min	35.5	35.3	35.3	35.3	35.3	35.5	35.5	35.5	35.8	36.3	36.6
潤滑油温度	TI31.2-101B	°C	33.8	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	33.8
潤滑油排油温度	TI31.2-102B	°C	36.3	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.0	35.8
軸封油圧力	PIA31.2-103B	°C	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
電動機ケーシング温度	—	°C	47.0	48.0	48.0	48.0	48.5	48.5	49.0	49.0	49.0	50.0	51.0
電動機固定子巻線温度 (指示計入力として選ばれた番号を右の1~6に○印をつけること)	1	°C	71.0	72.5	72.5	72.9	72.9	72.9	72.9	72.8	72.2	71.6	71.7
	2	°C	69.8	71.3	71.3	71.6	71.7	71.6	71.7	71.5	71.0	70.4	70.4
	3	°C	67.4	68.8	68.8	69.1	69.1	69.1	69.1	69.0	68.4	67.9	68.0
	4	°C	71.0	72.5	72.5	72.8	72.9	72.8	72.8	72.6	72.1	71.6	71.9
	5	°C	68.6	70.0	70.0	70.4	70.4	70.4	70.4	70.3	69.7	69.1	69.2
	6	°C	68.4	69.8	69.8	70.2	70.1	70.1	70.1	70.3	69.5	68.9	69.1
電動機軸受温度 (上部/下部)	仮設	°C	-47	39.5/49	39.5/50	39.5/50	39.5/50	—	—	39.5/50	—	—	40/50
周囲温度	仮設	°C	30.0	30.0	30.5	30.5	30.5	30.5	30.0	30.5	30.5	30.0	28.5
抵抗器盤排気温度	仮設	°C	87.2	86.0	94.8	101.0	89.0	95.3	91.0	87.0	82.7	80.0	56.0
抵抗器盤排気 (ダクト) 温度	—	°C	73.5	73.5	73.5	73.8	74.0	74.0	73.5	72.5	72.0	68.0	59.0
抵抗器盤雰囲気温度	—	°C	27.5	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
ポンプ上部軸受、電動機軸受、 ブラシからの異音の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
2次冷却系流量調節設備からの 異音、異臭の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

表3.1-5 2次主循環ポンプ場程計算書(Aループ)

試験温度 : 200°C

Na比重at200°C : 0.9036g/cm³Na比重at300°C : 0.8800g/cm³

流 量 上 昇 時

ポンプ 回転数	タップ 位置	揚水量		揚 程				*測定 高差 $H=H_o+H_i+H_c$	全揚程 m	全揚程 300°C換算 m			
		測定値	換算値	吐 出		吸 込							
				測定値	換算値	測定値	換算値						
min ⁻¹	-	m ³ /h	m ³ /min	MPa	m(H _o)	MPa	m(H _i)	m(H _o)	m(H)	m			
0	-	0	0	0.042	4.74	0.054	6.09	1.35	0.00	0.00			
360	1	500	8.33	0.081	9.14	0.051	5.76	1.35	4.74	4.61			
540	2	760	12.67	0.130	14.67	0.050	5.64	1.35	10.38	10.11			
750	3	1060	17.67	0.210	23.70	0.045	5.08	1.35	19.97	19.45			
860	4	1210	20.17	0.268	30.24	0.043	4.85	1.35	26.74	26.04			
880	5	1230	20.50	0.275	31.03	0.043	4.85	1.35	27.53	26.81			
900	6	1260	21.00	0.289	32.61	0.043	4.85	1.35	29.11	28.35			
920	7	1280	21.33	0.297	33.52	0.043	4.85	1.35	30.01	29.23			
930	8	1300	21.67	0.305	34.42	0.043	4.85	1.35	30.92	30.11			
950	9	1320	22.00	0.310	34.98	0.043	4.85	1.35	31.48	30.66			
960	10	1340	22.33	0.320	36.11	0.043	4.85	1.35	32.61	31.76			
970	11	1350	22.50	0.330	37.24	0.043	4.85	1.35	33.74	32.86			

流 量 下 降 時

ポンプ 回転数	タップ 位置	揚水量		揚 程				*測定 高差 $H=H_o+H_i+H_c$	全揚程 m	全揚程 300°C換算 m			
		測定値	換算値	吐 出		吸 込							
				測定値	換算値	測定値	換算値						
min ⁻¹	-	m ³ /h	m ³ /min	MPa	m(H _o)	MPa	m(H _i)	m(H _o)	m(H)	m			
0	-	0	0	—	—	—	—	1.35	0.00	0.00			
360	1	490	8.17	0.090	10.16	0.056	6.32	1.35	5.19	5.05			
550	2	750	12.50	0.138	15.57	0.054	6.09	1.35	10.83	10.55			
750	3	1050	17.50	0.215	24.26	0.050	5.64	1.35	19.97	19.45			
870	4	1210	20.17	0.270	30.47	0.046	5.19	1.35	26.63	25.93			
880	5	1230	20.50	0.280	31.60	0.046	5.19	1.35	27.76	27.03			
900	6	1250	20.83	0.289	32.61	0.045	5.08	1.35	28.89	28.13			
910	7	1270	21.17	0.298	33.63	0.045	5.08	1.35	29.90	29.12			
930	8	1300	21.67	0.308	34.76	0.043	4.85	1.35	31.26	30.44			
945	9	1310	21.83	0.310	34.98	0.043	4.85	1.35	31.48	30.66			
950	10	1330	22.17	0.321	36.22	0.043	4.85	1.35	32.72	31.87			
970	11	1350	22.50	0.330	37.24	0.043	4.85	1.35	33.74	32.86			

*測定高差は流量ゼロ時の圧力計の差により算出した。

表3.1-6 2次主循環ポンプ場程計算書(Bループ)

試験温度: 200°C

Na比重at200°C : 0.9036g/cm³Na比重at300°C : 0.8800g/cm³

流 量 上 昇 時

ポンプ 回転数	タップ 位置	揚水量		揚 程				*測定 高差	全揚程	全揚程 H=Ho+Hi+Hc 300°C換算			
		測定値	換算値	吐出		吸込							
				測定値	換算値	測定値	換算値						
min ⁻¹	-	m ³ /h	m ³ /min	MPa	m(H _o)	MPa	m(H _i)	m(H _d)	m(H)	m			
0	-	0	0	0.056	6.32	0.051	5.76	0.56	0.00	0.00			
360	1	490	8.17	0.090	10.16	0.055	6.21	0.56	4.51	4.39			
530	2	740	12.33	0.138	15.57	0.053	5.98	0.56	10.15	9.89			
750	3	1040	17.33	0.220	24.83	0.047	5.30	0.56	20.08	19.56			
890	4	1220	20.33	0.290	32.73	0.042	4.74	0.56	28.55	27.80			
900	5	1240	20.67	0.298	33.63	0.043	4.85	0.56	29.34	28.57			
930	6	1270	21.17	0.310	34.98	0.042	4.74	0.56	30.80	30.00			
940	7	1280	21.33	0.315	35.55	0.042	4.74	0.56	31.37	30.55			
950	8	1300	21.67	0.325	36.68	0.042	4.74	0.56	32.50	31.65			
960	9	1320	22.00	0.332	37.47	0.042	4.74	0.56	33.29	32.42			
990	10	1340	22.33	0.345	38.93	0.042	4.74	0.56	34.75	33.85			
1000	11	1350	22.50	0.355	40.06	0.042	4.74	0.56	35.88	34.95			

流 量 降 下 時

ポンプ 回転数	タップ 位置	揚水量		揚 程				*測定 高差	全揚程	全揚程 H=Ho+Hi+Hc 300°C換算			
		測定値	換算値	吐出		吸込							
				測定値	換算値	測定値	換算値						
min ⁻¹	-	m ³ /h	m ³ /min	MPa	m(H _o)	MPa	m(H _i)	m(H _d)	m(H)	m			
0	-	0	0	-	-	-	-	0.56	0.00	0.00			
360	1	480	8.00	0.098	11.06	0.060	6.77	0.56	4.85	4.72			
540	2	740	12.33	0.142	16.02	0.056	6.32	0.56	10.27	10.00			
740	3	1030	17.17	0.225	25.39	0.052	5.87	0.56	20.08	19.56			
890	4	1220	20.33	0.292	32.95	0.045	5.08	0.56	28.43	27.69			
900	5	1240	20.67	0.302	34.08	0.045	5.08	0.56	29.56	28.79			
925	6	1260	21.00	0.310	34.98	0.045	5.08	0.56	30.47	29.67			
940	7	1280	21.33	0.318	35.89	0.044	4.97	0.56	31.48	30.66			
950	8	1300	21.67	0.328	37.01	0.042	4.74	0.56	32.84	31.98			
970	9	1310	21.83	0.330	37.24	0.042	4.74	0.56	33.06	32.20			
990	10	1330	22.17	0.345	38.93	0.042	4.74	0.56	34.75	33.85			
1000	11	1350	22.50	0.355	40.06	0.042	4.74	0.56	35.88	34.95			

*測定高差は流量ゼロ時の圧力計の差により算出した。

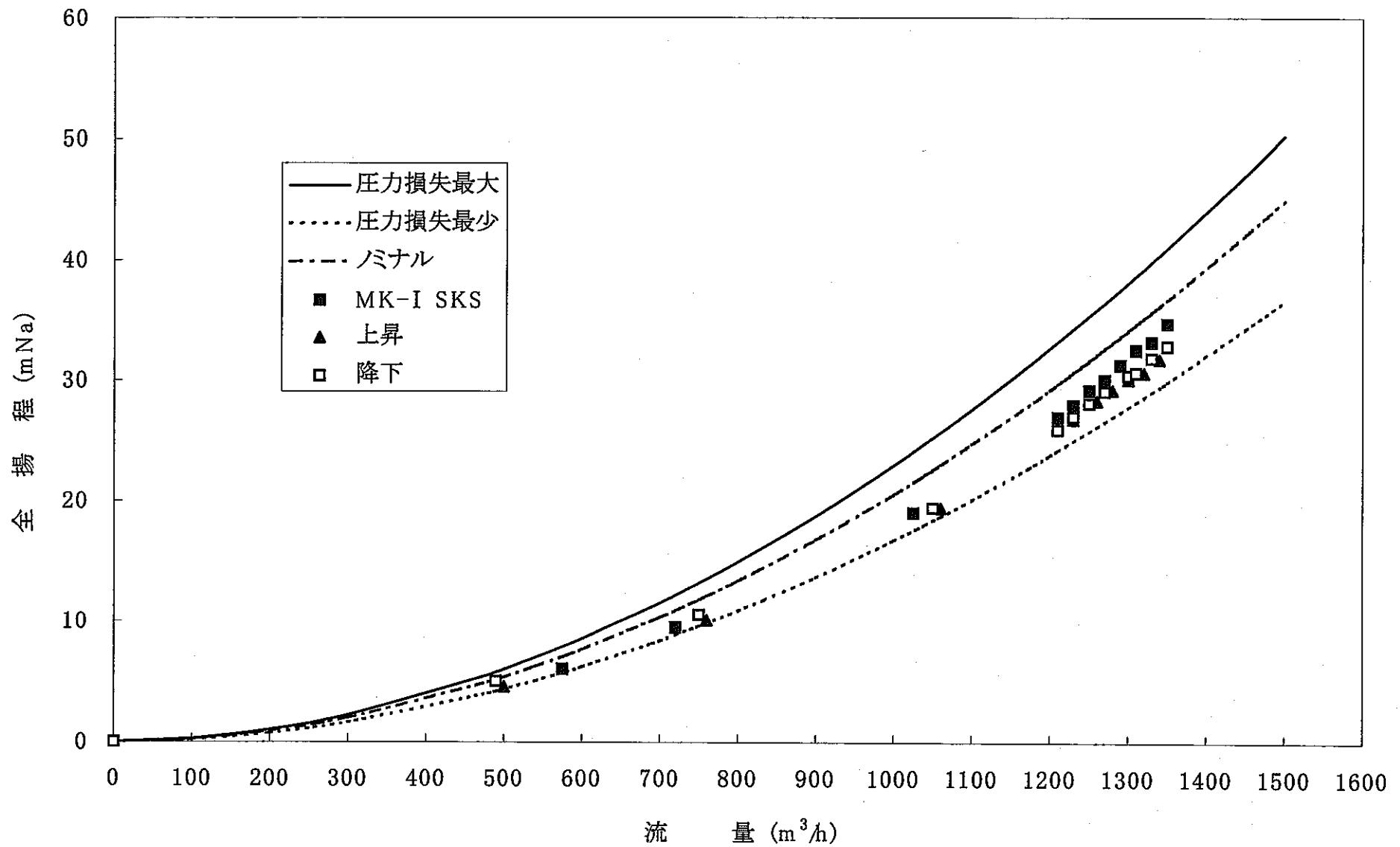


図5.1-1 2次主循環ポンプ流量制御試験抵抗曲線(Aループ)

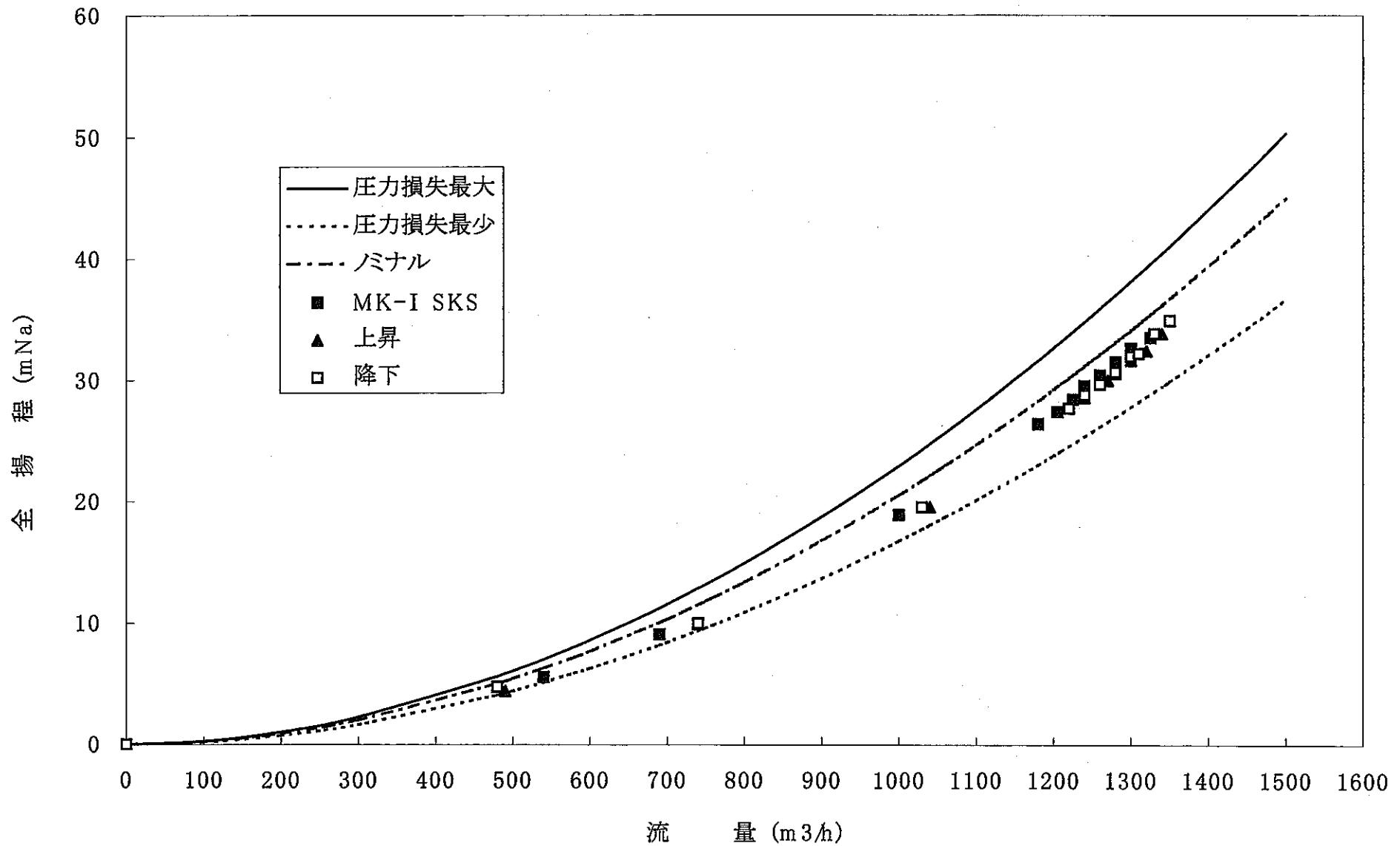


図5.1-2 2次主循環ポンプ流量制御試験抵抗曲線(Bループ)

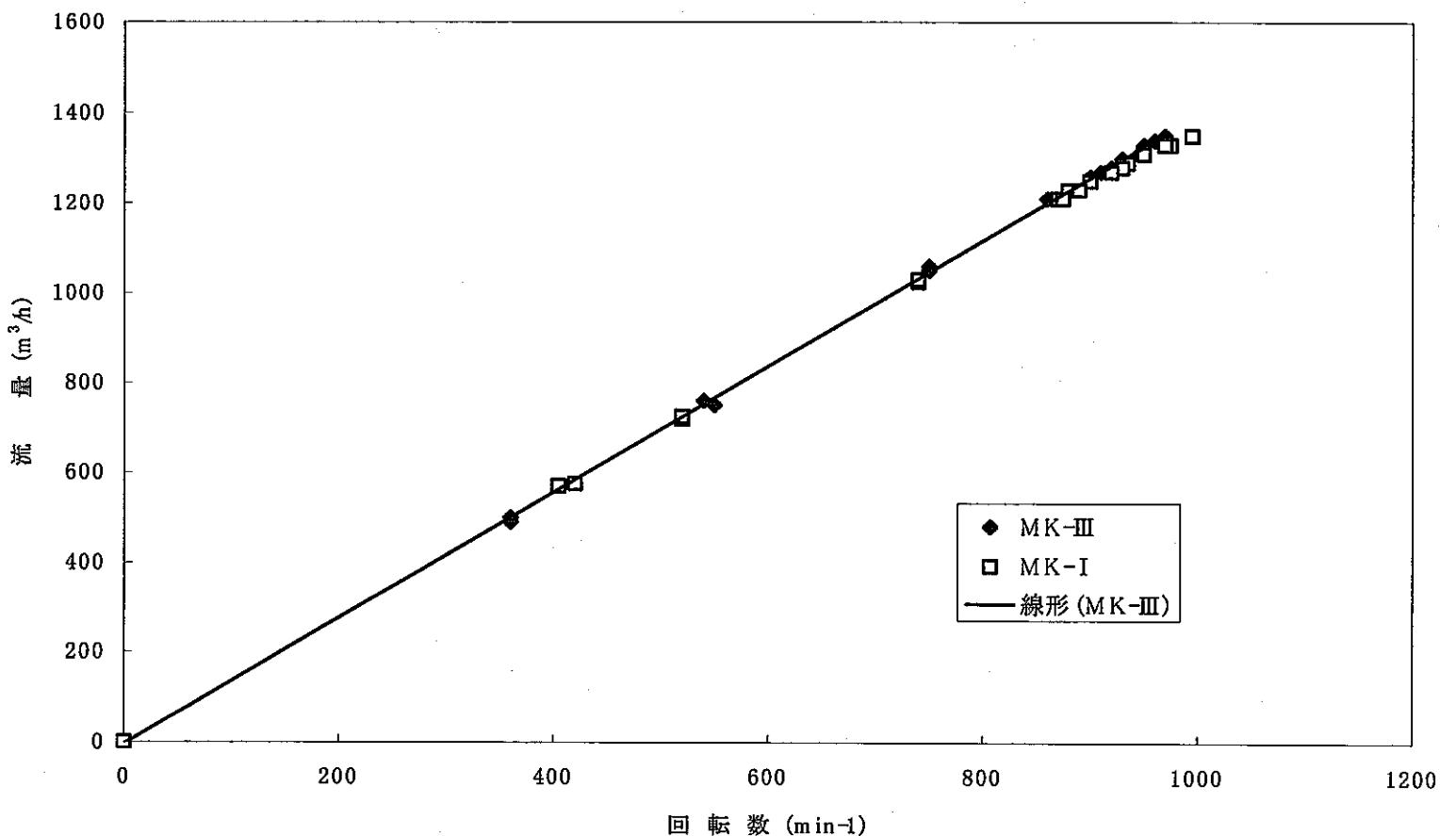


図5.1-3 ポンプ回転数とNa流量(A号機)

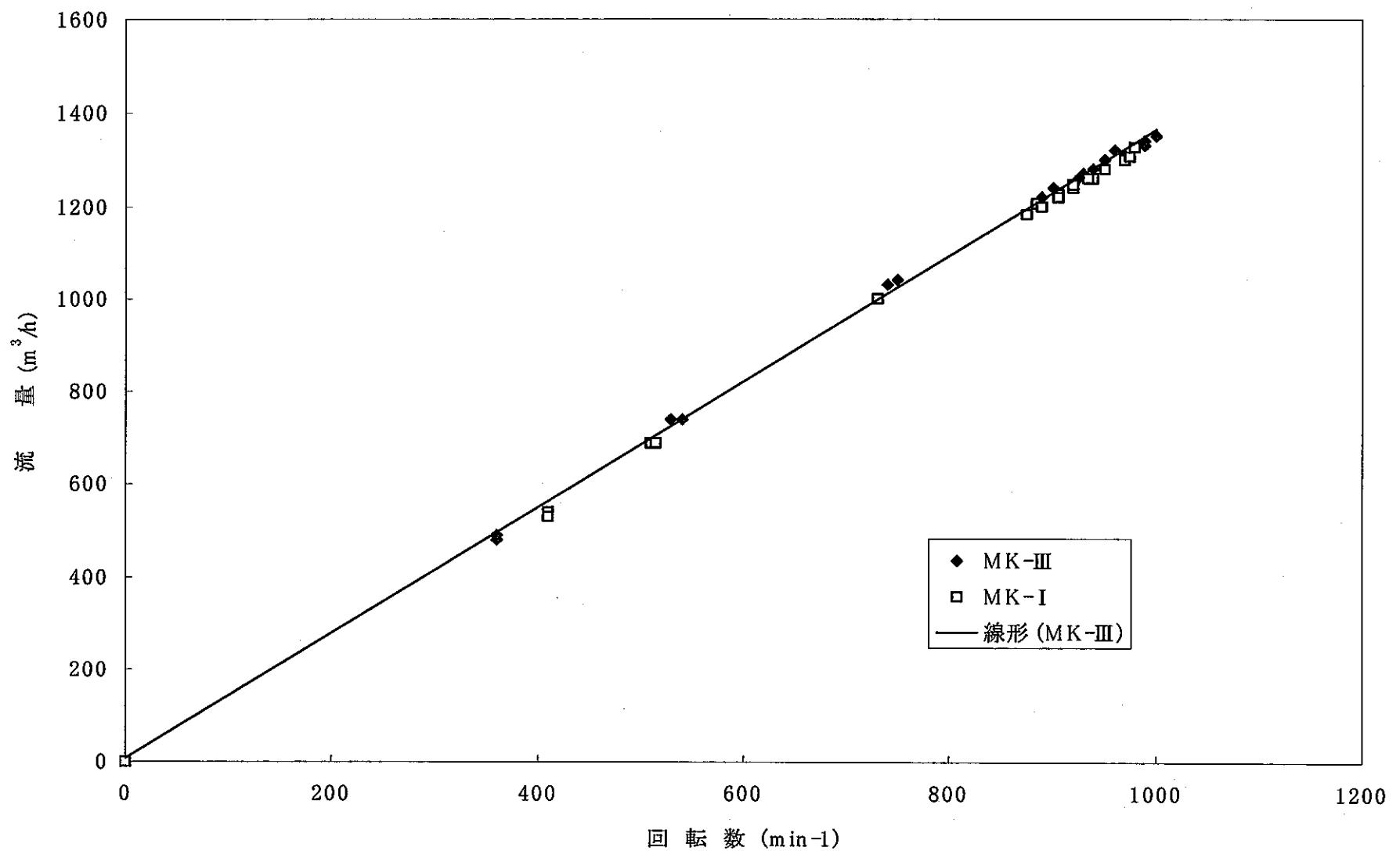


図5.1-4 ポンプ回転数とNa流量(B号機)

5. 2 2次主循環ポンプ特性試験・フローコーストダウン特性試験 (SKS-205-2)

5.2.1 試験目的

2次主循環ポンプ停止後の冷却材流量の減少特性（フローコーストダウン特性）から流量半減時間及び時定数を求めるとともに、流量半減時間が安全解析で使用した値より大きい（安全側である）ことを確認する。

5.2.2 試験方法

- (1) 定格流量 ($1,348 \text{m}^3/\text{h}$ /ループ at 300°C) が得られる回転数タップ位置で安定な運転状態を継続している 2次主循環ポンプ(A)及び(B)を手動で停止させ、流量等の変化を測定・記録する。（連続記録データ：2次主循環流量、2次主循環ポンプ回転数）
- (2) 得られたデータにより、流量半減時間、時定数を求める。
- (3) 流量半減時間が安全解析で用いた 4.3 秒より大きいことを確認する。

5.2.3 試験結果

2次主循環ポンプ停止後の流量変化に関する測定結果を、表 5.2-1 及び図 5.2-1 に示す。また、関連データ等を表 5.2-2、表 5.2-3 及び図 5.2-2 に示す。
測定は 3 回実施したが、いずれも流量半減時間が判定基準（4.3 秒以上）を満足する結果を得た。

5.2.4 検討及び評価

過去の 2次主循環ポンプフローコーストダウン特性試験（MK-I の総合機能試験）における測定結果は、図 5.2-3 に示すとおり、流量半減時間が約 5.4 秒（時定数約 8.3 秒）であった。

フローコーストダウン特性において、その変化率が大きいほどポンプトリップ時の各部への熱的影響は大きいが、今回の結果は、MK-I の結果に比べて変化率が小さくなっている（流量半減時間が 1 秒程度増加）、安全評価上はより安全側の方向である。MK-I・II 体系（MK-I SKS 結果）と MK-III 体系（今回の測定結果）

の条件の違いを考慮して、今回の結果の妥当性について考察するため、以下のような簡易計算モデルによる検討を行った。

(1) 簡易計算モデルによるフローコーストダウン特性の評価

流量半減時間の増加に影響する主要パラメータの特定と、増加量の妥当性を確認するため、簡易計算を行った。

計算においては、配管、主中間熱交換器(IHX)及び主冷却器(DHX)に内包されるNaの全インベントリが、ポンプ出入口配管と同じ断面形状の配管内を流量Qで流れていると仮定し、系統の圧力損失は、配管部、IHX、DHXの合計とした。計算モデルを図5.2-4に示す。また、計算に用いたパラメータを記号とともに表5.2-4に示す。

Na の運動方程式、モータ回転系の運動方程式は

$$\frac{M}{g} \frac{dv}{dt} = F - R \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$I \frac{d\omega}{dt} = T_F - T_R \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

ここで、 F, R, T_F, T_R は

F : ポンプによるNa駆動力($F = \gamma HA$, Hはポンプ揚程, Aは流路断面積)

R : Naが受けける流動抵抗($R = kv^2$, kは定数, vは配管内流速)

T_F : モータによる駆動トルク

T_R : Naを流量 $Q[m^3/h]$ で流動させるのに必要なトルク

$$\left(T_R = \frac{\gamma QH}{\eta \omega}, \eta \text{ はポンプ効率, } \omega \text{ は角速度} \right)$$

モータ停止前($t < 0$)は、 $F = R, T_F = T_R$ であるため $\frac{dv}{dt} = 0, \frac{d\omega}{dt} = 0$ である。

モータ停止($t \geq 0$)で $T_F = 0$ になるため、ポンプインペラとモータの回転数は減少し始めるが、その途中で回転数に応じた駆動力 F を N_a に与え、ポンプインペラとモータ自身には N_a 駆動力に対応する回転トルクが働くと考える。

Na が受ける流動抵抗 R は、モータ停止前 ($t < 0$) の関係 $F = \gamma H_o A$ 、

$\gamma H_o = p_o - p_s = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3$ より、 $R = \gamma H_o \left(\frac{v}{v_o} \right)^2$ となる。

ポンプの特性に関して近似的に $Q = Q_o \left(\frac{N}{N_o} \right)$, $H = H_o \left(\frac{N}{N_o} \right)^2$ とし、

$\omega = (2\pi)N$ の関係を考慮すると、(1)、(2)式はそれぞれ(3)、(4)式のようになる。

また、ポンプインペラとモータに働く回転トルク T_R に関し、ポンプ効率 η は回転数 N に依存せず一定と仮定している。

$$\frac{M}{g} \frac{dv}{dt} = \gamma H_o \left(\frac{N}{N_o} \right)^2 A - \gamma H_o \left(\frac{v}{v_o} \right)^2 A \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{\gamma Q_o H_o}{(2\pi)^2 I \eta N_o} \left(\frac{N}{N_o} \right)^2 \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

ポンプ停止後の2次主循環流量のフローコーストダウン特性について、上記に基づく計算結果と実測値の比較を、図5.2-5及び図5.2-6に示す。また、流量半減時間と時定数について整理したものを表5.2-5に示す。

計算では、MK-III改造後に実施した今回の試験条件において、MK-I・IIの条件の場合より流量半減時間が0.8秒、時定数が1.1秒それぞれ増加する結果となつたが、それに対して実測の流量半減時間は0.6秒、時定数は0.8秒それぞれ増加しており、計算結果とほぼ同様の結果を今回の試験において確認した。

(2) 考察

試験の結果、流量半減時間がMK-I試験時より増加したことに関し、各パラメータの影響度を検討した。

表5.2-6は、MK-I・II体系をベースとし、ポンプ慣性モーメント、Naインベントリ、流量（ポンプ回転数、揚程）をMK-III条件に変えて流量半減時間を計算した結果である。この結果より、ポンプ慣性モーメントとNaインベントリの増大は流量半減時間（時定数）を増加させる方向に働くが、ポンプ慣性モーメントの方が、影響度がやや大きく、また、流量（ポンプ回転数、揚程）の増大は流量半減時間（時定数）を減少させる方向に働くと考えられる。

表 5.2-7 は、MK-III 体系で今回の試験時の条件と定格出力運転時の条件の場合を比較したものである。定格出力運転時は、冷却材温度及びそれに伴う流量が試験時と異なるため、若干流量半減時間が減少する傾向にあるが、その差はわずか（0.1 秒程度）であり、安全評価上有意な差はない。

表 5.2-1 2 次主循環ポンプの流量半減時間

	2 次主循環ポンプ(A)	2 次主循環ポンプ(B)
1 回目測定	6.6 秒 (9.8 秒)	6.2 秒 (9.4 秒)
2 回目測定	6.6 秒 (9.8 秒)	6.5 秒 (9.6 秒)
3 回目測定	6.3 秒 (9.8 秒)	6.3 秒 (9.6 秒)
()内は時定数(流量が $1/e$ (36.8%)となるまでの時間)		
【判定基準】 流量半減時間 : 4.3 秒以上 (MK-III 安全解析での値)		

表 5.2-2 関連設備状態確認記録

(SKS-205-2) 2次主循環ポンプフローコーストダウン特性試験
関連設備 試験前(定格流量安定時)確認事項

試験日 : 2002.4.11

	計器番号	部屋番号	測定記録① (13:05)	測定記録② (14:48)	測定記録③ (16:38)	備考(運転範囲)
2次Na純化系汲み上げ流量	TR34.2-1	A-712	4.10	4.18	4.04	約 4m ³ /h
2次Arカバーガス系圧力	PIC36.2-3	S-414	0.036	0.037	0.039	0.034~0.044MPa
2次主ポンプ潤滑油ユニット 出口圧力(A)	PI31.2-103A	S-601	0.205	0.205	0.205	0.196~0.294MPa
2次主ポンプ潤滑油温度(A)	TI31.2-101A	S-601	32.5	32.5	32.5	75°C以下
2次主ポンプ潤滑油ユニット 出口圧力(B)	PI31.2-103B	S-602	0.208	0.208	0.208	0.196~0.294MPa
2次主ポンプ潤滑油温度(B)	TI31.2-101B	S-602	40.0	39.0	39.0	75°C以下

(Aループ)

1回目

表 5.2-3(1/2) 2次主循環ポンプフローコーストダウン特性試験データシート

試験日:2002.4.11 記録者:深見 他

測定項目	計器番号	部屋番号	盤番号	単位	測定記録	
					試験前初期値	試験後安定時
2次主循環Na流量	FR31.2-1	A-712	425	m ³ /h	1,378	0
2次主循環ポンプ回転数	NI31.2-101A	A-712	425	rpm	970	0
主冷却器出口Na温度	TR31.2-3A	A-712	425	°C	248	249
2次主循環ポンプ入口圧力	PI31.2-1A	S-508	—	MPa	0.04	0.054
2次主循環ポンプ出口圧力	PI31.2-2A	S-601	—	MPa	0.32	0.048

2回目

試験日:2002.4.11 記録者:深見 他

測定項目	計器番号	部屋番号	盤番号	単位	測定記録	
					試験前初期値	試験後安定時
2次主循環Na流量	FR31.2-1	A-712	425	m ³ /h	1,365	0
2次主循環ポンプ回転数	NI31.2-101A	A-712	425	rpm	970	0
主冷却器出口Na温度	TR31.2-3A	A-712	425	°C	248	247
2次主循環ポンプ入口圧力	PI31.2-1A	S-508	—	MPa	0.04	0.055
2次主循環ポンプ出口圧力	PI31.2-2A	S-601	—	MPa	0.322	0.048

3回目

試験日:2002.4.11 記録者:深見 他

測定項目	計器番号	部屋番号	盤番号	単位	測定記録	
					試験前初期値	試験後安定時
2次主循環Na流量	FR31.2-1	A-712	425	m ³ /h	1,361	0
2次主循環ポンプ回転数	NI31.2-101A	A-712	425	rpm	970	0
主冷却器出口Na温度	TR31.2-3A	A-712	425	°C	248	248
2次主循環ポンプ入口圧力	PI31.2-1A	S-508	—	MPa	0.043	0.058
2次主循環ポンプ出口圧力	PI31.2-2A	S-601	—	MPa	0.323	0.050

表 5.2-3(2/2) 2次主循環ポンプフローコストダウン特性試験データシート

(B ループ)

1回目

試験日:2002.4.11 記録者:深見 他

測定項目	計器番号	部屋番号	盤番号	単位	測定記録	
					試験前初期値	試験後安定時
2次主循環Na流量	FR31.2-1	A-712	425	m ³ /h	1,386	0
2次主循環ポンプ回転数	NI31.2-101A	A-712	425	rpm	1,000	0
主冷却器出口Na温度	TR31.2-3A	A-712	425	°C	248	246
2次主循環ポンプ入口圧力	PI31.2-1A	S-509	—	MPa	0.035	0.057
2次主循環ポンプ出口圧力	PI31.2-2A	S-602	—	MPa	0.345	0.053

2回目

試験日:2002.4.11 記録者:深見 他

測定項目	計器番号	部屋番号	盤番号	単位	測定記録	
					試験前初期値	試験後安定時
2次主循環Na流量	FR31.2-1	A-712	425	m ³ /h	1,372	0
2次主循環ポンプ回転数	NI31.2-101A	A-712	425	rpm	1,000	0
主冷却器出口Na温度	TR31.2-3A	A-712	425	°C	248	246
2次主循環ポンプ入口圧力	PI31.2-1A	S-509	—	MPa	0.04	0.06
2次主循環ポンプ出口圧力	PI31.2-2A	S-602	—	MPa	0.34	0.055

3回目

試験日:2002.4.11 記録者:深見 他

測定項目	計器番号	部屋番号	盤番号	単位	測定記録	
					試験前初期値	試験後安定時
2次主循環Na流量	FR31.2-1	A-712	425	m ³ /h	1,374	0
2次主循環ポンプ回転数	NI31.2-101A	A-712	425	rpm	1,000	0
主冷却器出口Na温度	TR31.2-3A	A-712	425	°C	247	247
2次主循環ポンプ入口圧力	PI31.2-1A	S-509	—	MPa	0.04	0.062
2次主循環ポンプ出口圧力	PI31.2-2A	S-602	—	MPa	0.34	0.058

表 5.2-4 簡易計算に使用したパラメータ

項目	記号	単位	MK-I, II 体系 (B 系)	MK-III 体系 (B 系)
ポンプ慣性モーメント $[GD^2]$	I	kgm^2	54	81
ポンプ全揚程	Ho	mNa	31.14	36.02
ポンプ定格回転数	No	rpm	940	1000 *
ポンプ効率	η	—	0.75	0.75
Na 定格流量	Q_0	m^3/h	1,250	1,386 *
Na インベントリ	M	kg	17,500	18,984
配管断面積	A	m^2	0.0697	0.0697
Na 比重量 (245°C)	γ	kg/m^3	893	893

*: 試験での実測値（1回目測定）に合わせた

表 5.2-5 フローコーストダウン特性の実測と計算の比較

	流量半減時間 [秒]		時定数 [秒]	
	実測	計算	実測	計算
MK-I・II 体系	5.4	5.8	8.3	9.4
MK-III 体系	6.2	6.4	9.4	10.2
差	0.8	0.6	1.1	0.8

表 5.2-6 各パラメータのフローコーストダウン特性への影響

項目	基準ケース		サーベイケース			
	MK-I・II体系	MK-III体系	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
流量 [m ³ /h]	1,250	1,386	1,250	1,250	1,250	<u>1,386</u>
ポンプ全揚程 [m Na]	31.14	36.03	31.14	31.14	31.14	<u>36.03</u>
ポンプ回転数 [rpm]	940	1000	940	940	940	<u>1000</u>
ポンプ慣性モーメント GD ² [kgm ²]	54	81	<u>81</u>	54	<u>81</u>	54
Na インベントリ [kg]	17,500	18,984	17,500	<u>18,984</u>	<u>18,984</u>	17,500
流量半減時間 [秒]	5.8 (0.0)	6.4 (0.6)	6.4 (0.6)	6.2 (0.4)	6.9 (0.5)	5.5 (-0.3)
時定数 [秒]	9.4 (0.0)	10.2 (0.8)	10.2 (0.8)	10.1 (0.7)	10.9 (1.5)	8.8 (-0.6)

表中の（ ）内の値は、MK-I・II体系の流量半減時間、時定数との差を示す。
表中のアンダーラインは、基準のケースに対して値を変更したパラメータを示す。

表 5.2-7 MK-III体系における試験時と定格出力時の条件の比較

	MK-III体系 (試験時)	MK-III体系 (定格出力時)	備 考
温度 [°C]	250	385	IHX 出口 470 °C、入口 300°C、平均 385°C
比重 γ [kg/m ³]	893	862	
流量 [m ³ /h]	1,386	1,436	1,237.7t/h (定格流量は 1,200t/h)
ポンプ全揚程 [m Na]	36.02	39.68	
ポンプ回転数 [rpm]	1,000	1,050	
ポンプ慣性モーメント GD ² [kgm ²]	81	81	
Na インベントリ [kg]	18,984	18,984	
流量半減時間 [秒]	6.4 (0.0)	6.3 (-0.1)	
時定数 [秒]	10.2 (0.0)	10.0 (-0.2)	

表中の（ ）内の数値は、MK-I・II体系の流量半減時間、時定数との差を示す。

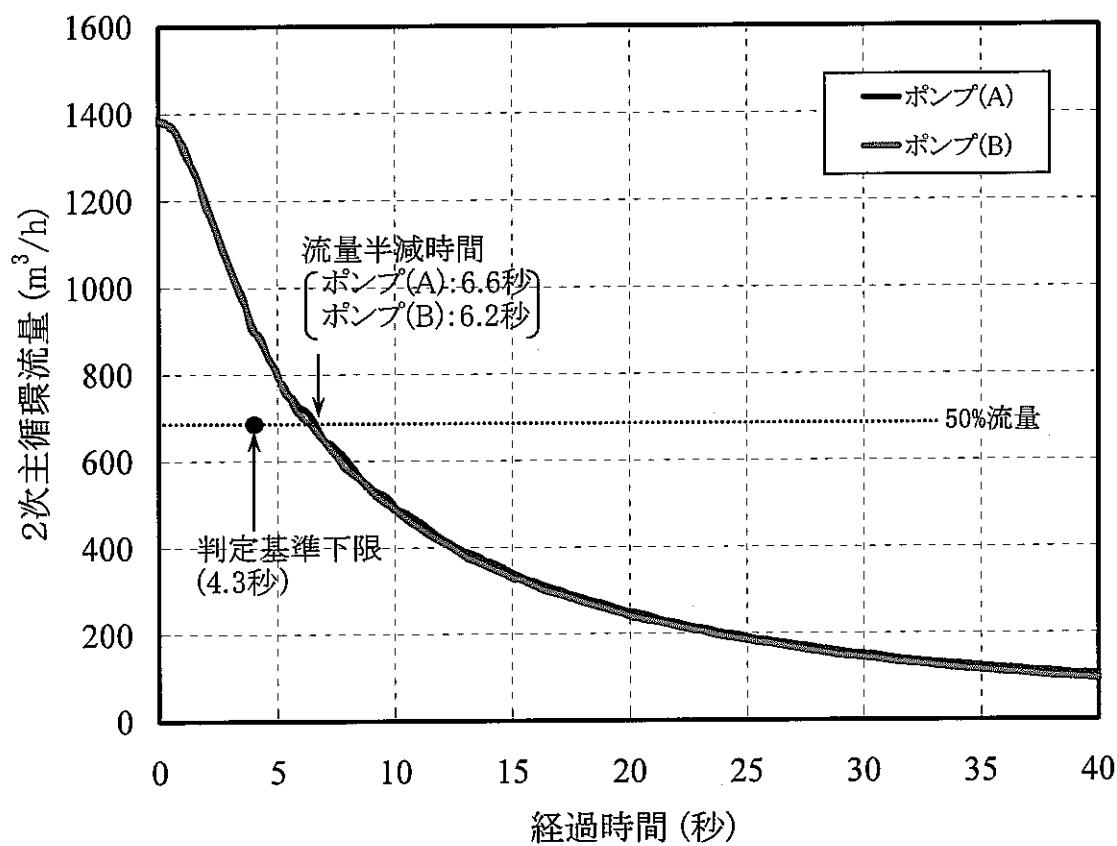


図 5.2-1 2次主循環ポンプ停止後の流量減少特性
【 試験日 : 2002.4.11 系統温度 : 約 230°C 】

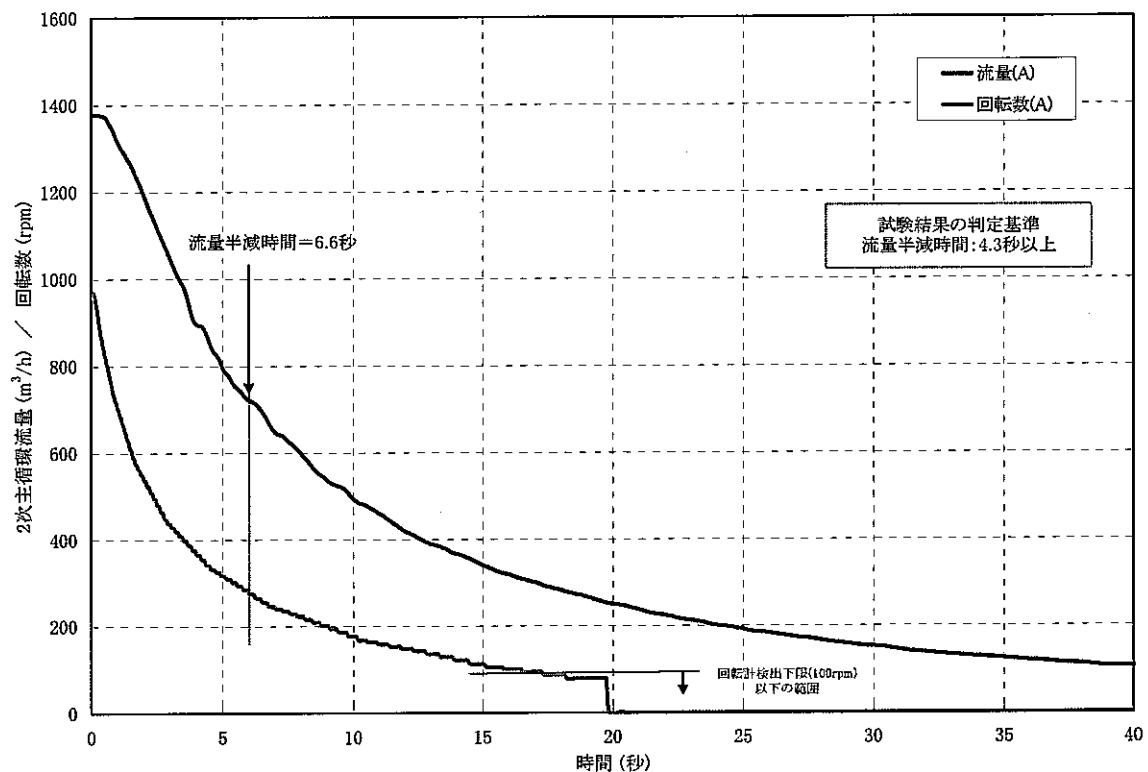
試験日:2002.4.11
(Na温度:約250°C)

図 5.2-2(1/2) 2次主循環ポンプ(A)フローコーストダウン特性

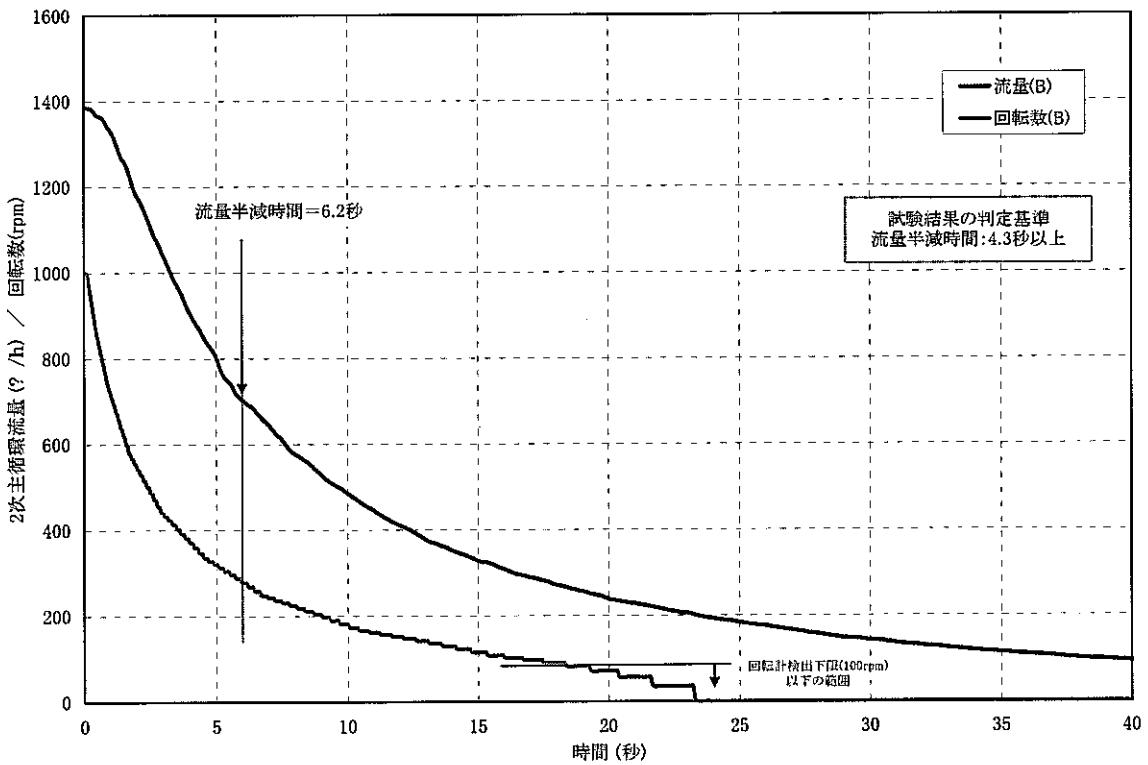
試験日:2002.4.11
(Na温度:約250°C)

図 5.2-2(2/2) 2次主循環ポンプ(B)フローコーストダウン特性

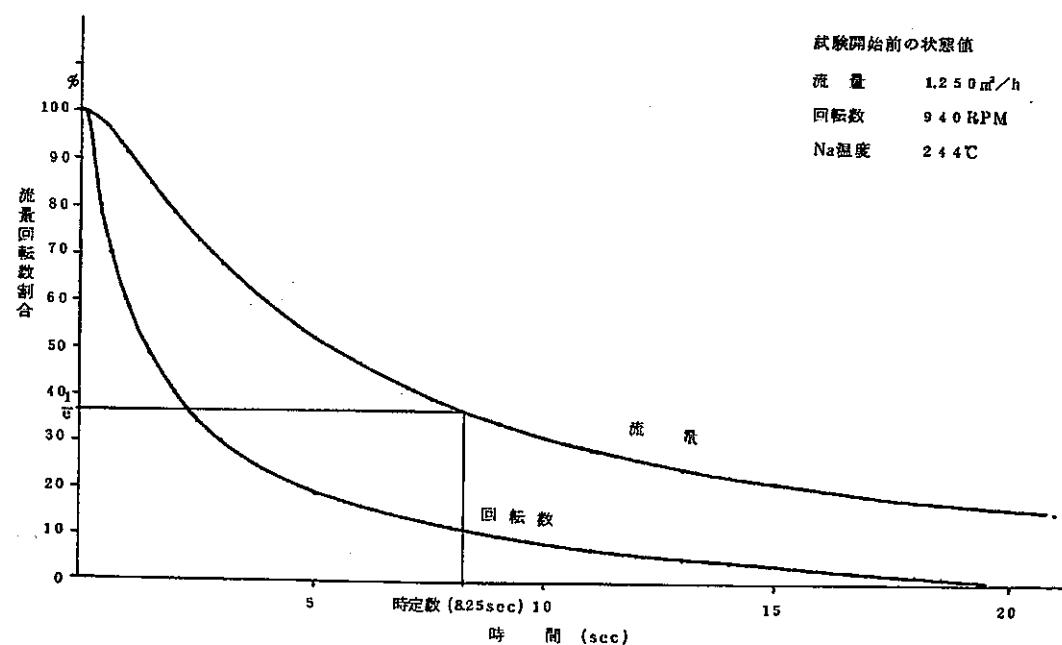


図 5.2-3 MK-H 総合機能試験時の 2 次主循環ポンプフローコーストダウン特性

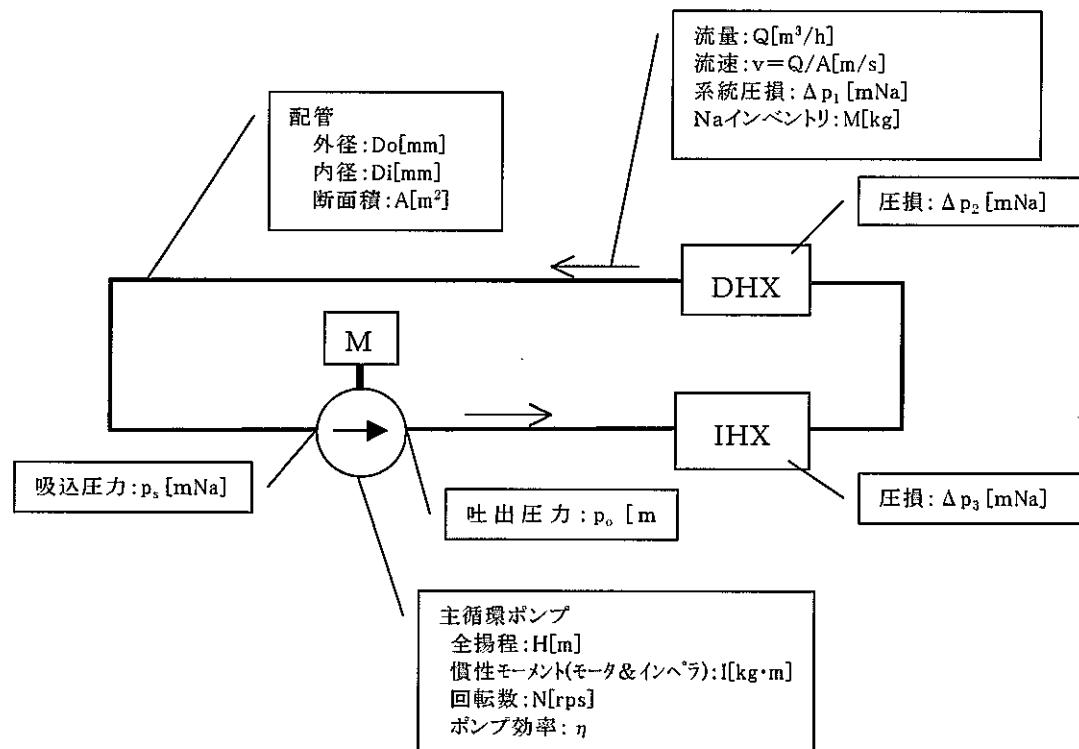


図 5.2-4 簡易計算モデル図

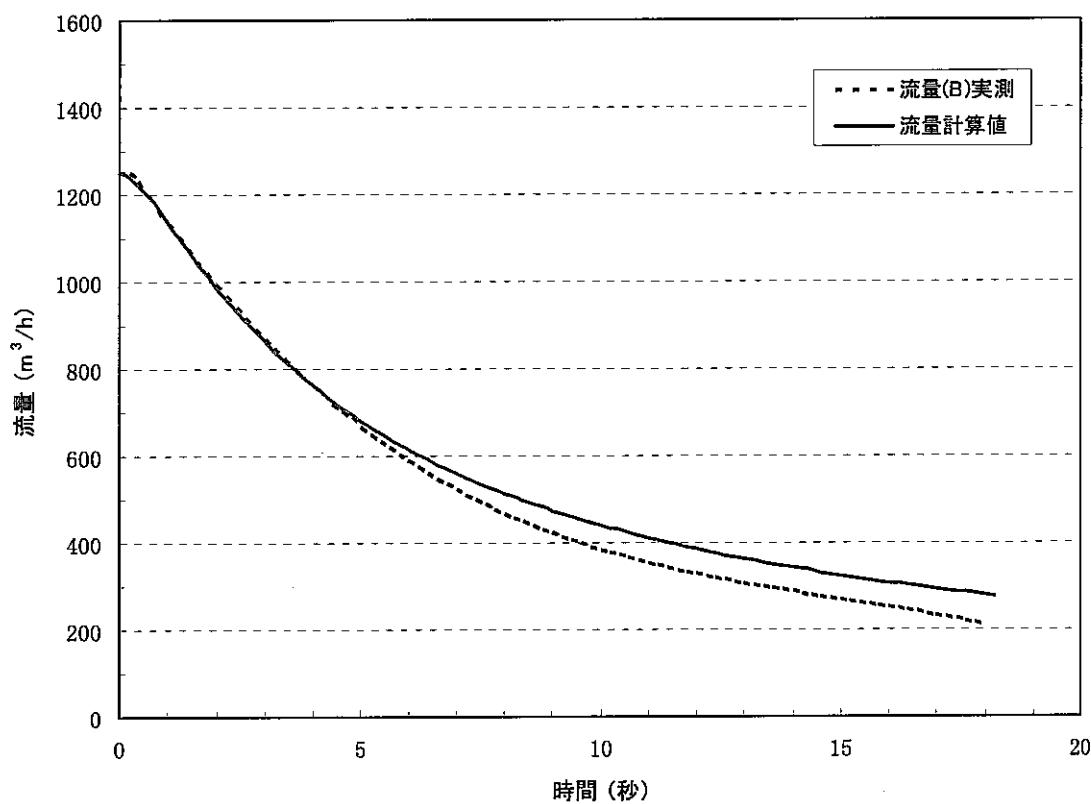


図 5.2-5 フローコーストダウン特性計算結果と実測の比較 (MK-I SKS)

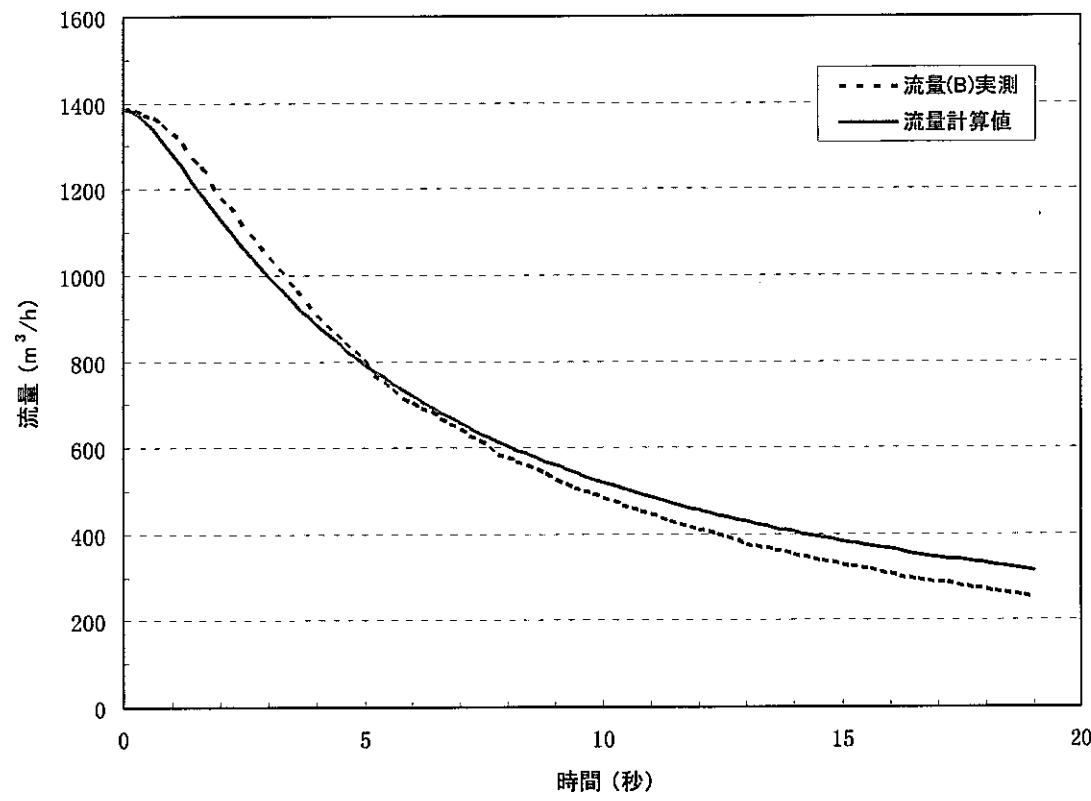


図 5.2-6 フローコーストダウン特性計算結果と実測の比較 (MK-III SKS)

5. 3 2次主循環ポンプ特性試験・連続運転試験 (SKS-205-3)

5.3.1 試験目的

2次主循環ポンプを最低流量及び定格流量運転状態にて 24 時間の連続運転を行い、異常のないことを確認する。

5.3.2 試験方法

2次主循環ポンプを起動し、回転数が最低タップ位置（タップ 1）になっている状態で、24 時間以上継続運転する。その後、回転数タップを 1 タップずつ上げて行き、回転数が定格回転数タップ位置になっている状態で、24 時間以上継続運転する。連続運転中では、各プロセス量に異常のないことを監視すると共に、ポンプの運転に必要なデータ（電動機電流、電圧、吸込み圧力、吐出圧力、回転数、電動機ケーシング温度、電動機固定子巻線温度、Na 軸受温度、上部軸受温度、主冷却器出口 Na 温度、潤滑油温度等）を測定する。

5.3.3 試験結果

24 時間の連続運転の結果、各測定項目について異常のないことを確認した。

本試験記録を表 5.3-1～5.3-4、図 5.3-1～5.3-4 に示す。また、本試験の判定基準値と試験結果を表 5.3-5 に示す。

5.3.4 検討および評価

(1) 流量制御試験では回転数タップ 11 にて定格流量を得たが、本連続運転試験では、回転数タップ 10 にて定格流量を得た。これは、「5. 1 流量制御試験」の項で述べたように系統温度の上昇に起因するものである。なお、系統温度は、2次主冷却系系統昇温試験に伴い、流量制御試験時の 200°C から本試験時は 250°C に上昇した。

(2) 冷却系改造を行った当初に据付けた2次主循環ポンプ電動機が故障した原因是、
「4. 試験工程」の項で述べたが、特にこの効果が顕著に出る低流量での連続運転時
には、十分な注意が必要である。

このため電動機の内部構造・材質を変更した新たな電動機について、回転子巻線温
度の管理基準を策定するとともに、最低流量における連続運転試験を SKS-1 に追加
して実施し、管理基準値を満足していることを確認した。

最低流量時におけるケーシング温度及び固定子巻線温度の推移と回転子巻線温度
の管理基準値を図 5.3-5～5.3-7 に示す。

なお、回転子巻線温度は直接測定できないため、工場試験時の回転子巻線温度（抵
抗法により算出）とケーシング温度及び固定子巻線温度との相関関係から間接的に回
転子巻線温度を求めた。相関関係を以下に示す。

$$\text{固定子巻線温度 : 回転子巻線温度} = 1 : 1.21 \sim 1.28 \rightarrow 1.3$$

$$\text{ケーシング温度 : 回転子巻線温度} = 1 : 2.27 \sim 2.52 \rightarrow 2.6 \text{ (タップ 1 の場合)}$$

$$= 1 : 2.29 \sim 2.88 \rightarrow 3.0 \text{ (タップ 1 以外)}$$

回転子巻線温度の上限値を電気学会 電気規格調査会標準規格 誘導機
JEC-37-1979 に従い 140°C に定めると回転子巻線温度の間接的管理基準値算出式は以
下の通りとなる。

$$140^{\circ}\text{C} > (\text{固定子巻線温度} - \text{室温}) \times 1.3 + \text{室温}$$

$$140^{\circ}\text{C} > (\text{ケーシング温度} - \text{室温}) \times 2.6 \text{ (又は } 3.0) + \text{室温}$$

工場試験時のデータを用いて回転子巻線温度と上記算出式の試算値を比較する
いざれの場合も「管理基準値 > 試算値 > 測定値」の関係に収まり、運用上安全側の評
価であるとともに管理基準として妥当であることを確認した。

(3) 最低流量及び定格流量において、ポンプ運転状態及び主循環 Na 流量、ポンプ出入
口圧力等の各種運転データは安定しており異常は認められなかった。また、電動機電
流、電動機軸受温度、ポンプ上部軸受温度、抵抗器盤排気温度が判定基準以下にある
ことを確認した。

これら全てを総合し、2次主循環ポンプは連続運転においても安定した性能が得ら
れることを確認した。

表5.3-1 2次主循環ポンプ連続運転試験記録（A号機最低流量）

項目		経過時間(h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24	
ポンプタップ位置		計器番号	単位	9:35	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	23:30	1:30	3:30	5:30	7:30	9:30
ポンプ回転数		NI31.2-101A	min ⁻¹	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	
2次主循環Na流量		FR31.2-1	m ³ /h	510	510	500	500	510	500	500	510	500	500	500	500	500	500	490	500	500	510	
2次主循環ポンプ 出入口圧力	入口	PI31.2-1A	MPa	0.055	0.055	0.056	0.055	0.054	0.055	0.056	0.059	0.059	0.053	0.054	0.056	0.056	0.058	0.054	0.056	0.056	0.051	0.054
	出口	PI31.2-2A	MPa	0.089	0.089	0.090	0.088	0.086	0.088	0.088	0.089	0.089	0.084	0.088	0.085	0.088	0.090	0.086	0.087	0.089	0.085	0.085
DHX出入口Na温度	入口	TR31.2-3A	℃	200	200	200	202	205	208	210	211	215	215	218	220	222	227	230	232	236	240	241
	出口		℃	197	199	200	200	205	208	210	211	215	215	218	220	222	227	230	232	236	240	241
DHX出口Na温度	1A2	TR31.2-2A	℃	197	200	200	200	202	205	209	210	212	215	216	219	221	225	230	230	240	235	240
	2A2		℃	200	200	201	203	206	209	212	215	217	217	218	221	224	230	232	235	235	240	245
ポンプ電流	—	A	54	54	52	53	53	51	50	52	50	51	52	51	51	51	51	51	51	51	54	
ポンプ電圧	—	V	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3150	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3180	3200	3180	3200	3240	
呼吸ヘッダ圧力	PIC36.2-3	MPa	0.038	0.038	0.040	0.042	0.036	0.038	0.040	0.041	0.042	0.036	0.037	0.038	0.040	0.042	0.037	0.038	0.040	0.034	0.037	
ポンプ軸封ガス流量	FIA36.2-1A	Nm ³ /h	0.26	0.26	0.24	0.24	0.27	0.26	0.25	0.24	0.22	0.28	0.27	0.26	0.25	0.25	0.27	0.27	0.25	0.28	0.27	
ポンプNa軸受温度	T131.2-6A	℃	200	200	202	205	210	210	215	218	220	221	221	227	228	230	235	239	241	245	248	
ポンプ上部軸受温度	T131.2-9A	℃	27	28	28	29	29	29	29	29	30	29	29	29	29	29	30	30	30	29	29	
潤滑油ポンプ出口圧力	PI31.2-101,2A	MPa	0.342	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	
潤滑油流量	FI31.2-101A	l/min	39.5	37.0	39.2	38.2	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	
潤滑油温度	T131.2-101A	℃	26.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	28.0	
潤滑油排油温度	T131.2-102A	℃	28.0	29.5	29.5	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	31.0	
軸封油圧力	PIA31.2-103A	MPa	0.22	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	
電動機ケーシング温度	—	℃	32.0	43.5	50.0	52.0	54.0	55.0	56.0	56.5	57.0	57.0	57.0	58.0	58.0	58.0	58.5	59.0	58.5	59.0	61.0	
電動機固定子巻線温度 (指示計入力として選ばれた番号を右の1~6に○印をつけること)	1	℃	38.4	60.2	68.4	72.4	76.0	78.5	79.0	80.9	81.4	82.0	82.5	83.8	82.8	82.5	83.3	84.4	83.7	84.7	87.6	
	2	℃	37.8	59.4	67.4	71.0	74.6	76.5	77.4	79.2	79.7	80.2	80.7	81.7	81.0	80.7	81.6	82.6	81.8	82.8	85.8	
	3	℃	37.5	58.7	66.5	70.0	73.5	75.3	76.2	78.0	78.5	78.9	79.4	80.4	79.7	79.4	80.2	81.2	80.5	81.5	84.5	
	4	℃	38.6	61.6	69.6	73.0	76.7	78.5	79.2	81.2	81.7	82.3	82.7	83.8	82.9	82.6	83.3	84.6	83.7	85.0	88.2	
	5	℃	38.1	59.3	67.3	70.9	74.4	76.3	77.2	79.0	79.5	80.0	80.5	81.5	80.7	80.5	81.3	82.3	81.5	82.6	85.5	
	6	℃	38.7	59.0	66.6	70.2	73.7	75.6	76.4	78.1	78.7	79.2	79.7	80.6	79.9	79.7	80.5	81.5	80.7	81.8	84.7	
電動機軸受温度	仮 設	℃	33.0	35.0	40.0	45.0	47.5	50.0	51.5	52.5	53.5	54.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.5	56.0	56.0	57.0		
周囲温度	仮 設	℃	24.9	26.0	26.3	26.7	26.7	26.8	26.8	27.0	27.0	26.9	26.8	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.3	27.7	
抵抗器盤排気温度	仮 設	℃	38.2	41.0	43.1	43.0	43.4	42.0	39.8	42.8	42.7	43.9	42.8	43.5	43.3	42.5	42.8	44.0	42.8	44.0	44.8	
抵抗器盤排気(ダクト)温度	—	℃	42.0	59.0	60.0	60.0	61.0	61.0	60.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	61.0	62.0		
抵抗器盤雰囲気温度	—	℃	26.0	27.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	29.0	
ポンプ上部軸受、運動機軸受、 ブラシからの異音の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無		
2次冷却系流量調節設備から の異音、異臭の発生	—	—	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無		

表5.3-2 2次主循環ポンプ連続運転試験記録（B号機最低流量）

		経過時間(h)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
項目		計器番号	単位	9:35	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30	23:30	1:30	3:30	5:30	7:30	9:30
ポンプタップ位置		-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ポンプ回転数		NI31.2-101B	min ⁻¹	360	360	360	360	360	360	360	360	355	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
2次主循環Na流量		FR31.2-1	m ³ /h	490	490	490	480	490	480	480	490	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	490
2次主循環ポンプ 出入口圧力	入口	PI31.2-1B	MPa	0.056	0.056	0.059	0.059	0.056	0.057	0.059	0.060	0.062	0.055	0.057	0.058	0.058	0.060	0.057	0.057	0.058	0.054	0.056
	出口	PI31.2-2B	MPa	0.092	0.092	0.095	0.091	0.091	0.092	0.095	0.098	0.098	0.091	0.093	0.092	0.095	0.095	0.091	0.092	0.097	0.090	0.092
DHX出入口Na温度	入口	TR31.2-3B	℃	199	199	200	201	203	208	210	210	215	215	218	220	222	225	230	232	236	238	241
	出口		℃	197	199	200	201	203	208	210	210	215	215	218	220	222	225	230	232	236	238	242
DHX出口Na温度	1B2	TR31.2-2B	℃	195	198	199	200	202	206	209	210	215	215	216	220	222	225	230	232	235	238	240
	2B2		℃	199	198	199	200	202	206	208	210	215	217	218	220	222	225	230	232	235	238	240
ポンプ電流		-	A	53	53	51	51	53	51	50	51	49.5	51	52	51	50	50	50	51	50	54	
ポンプ電圧		-	V	3200	3180	3150	3180	3200	3130	3100	3150	3150	3180	3150	3150	3140	3150	3100	3150	3120	3150	3200
呼吸ヘッド圧力		P1C36.2-3	MPa	0.038	0.038	0.040	0.042	0.036	0.038	0.040	0.041	0.042	0.036	0.037	0.038	0.040	0.042	0.037	0.038	0.040	0.034	0.037
ポンプ軸封ガス流量		FIA36.2-1B	Nm ³ /h	0.26	0.26	0.24	0.24	0.27	0.26	0.25	0.24	0.22	0.28	0.27	0.26	0.25	0.25	0.27	0.27	0.25	0.28	0.27
ポンプNa軸受温度		TI31.2-6B	℃	202	203	205	210	210	215	217	220	221	222	225	228	230	232	236	240	245	248	249
ポンプ上部軸受温度		TI31.2-9B	℃	30	31	31	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	33	33	34	34	34	34
潤滑油ポンプ出口圧力		PI31.2-101,2B	MPa	0.342	0.342	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340
潤滑油流量		FI31.2-101B	kg/min	39.0	36.0	38.0	38.0	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0
潤滑油温度		TI31.2-101B	℃	30.0	30.5	31.0	31.5	31.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
潤滑油排油温度		TI31.2-102B	℃	30.5	32.0	32.5	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
軸封油圧力		PIA31.2-103B	MPa	0.21	0.21	0.205	0.205	0.205	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.205	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
電動機ケーシング温度		-	℃	32.6	43.5	49.5	51.5	53.0	54.5	56.0	56.0	56.5	56.5	57.0	57.5	57.0	57.0	58.0	58.0	58.0	58.0	60.0
電動機固定子巻線温度 (指示計入力として選ばれた番号を右の1~6に○印をつけること)	1	℃	36.7	59.3	67.0	71.9	75.5	77.6	78.6	80.3	81.0	81.6	82.1	83.1	82.4	82.1	82.9	84.0	83.2	84.3	87.3	
	2	℃	36.0	58.4	66.6	70.4	73.9	75.9	76.8	78.5	79.1	79.6	80.1	81.0	80.4	80.1	80.9	82.0	81.2	82.2	85.1	
	3	℃	35.7	57.4	64.8	68.2	71.6	73.3	74.1	75.7	76.4	76.8	77.3	78.2	77.5	77.3	78.0	79.1	78.3	79.4	82.2	
	4	℃	37.1	60.9	68.9	72.4	75.9	77.7	78.4	80.3	80.9	81.4	81.9	83.0	82.1	81.8	82.6	83.8	82.9	84.1	87.3	
	5	℃	36.4	58.0	65.7	69.2	72.5	74.4	75.4	76.9	77.5	78.0	78.5	79.4	78.6	78.5	79.2	80.2	79.4	80.5	83.4	
	6	℃	36.8	58.1	65.7	69.3	72.7	74.5	75.3	77.0	77.7	78.2	78.7	79.6	78.9	78.7	79.4	80.5	79.7	80.7	83.7	
電動機軸受温度		仮 設	℃	34.0	36.0	41.5	46.0	49.0	51.0	52.0	54.0	55.0	55.0	56.0	56.0	56.0	56.0	57.0	57.0	57.0	57.0	60.0
周囲温度		仮 設	℃	25.5	26.0	26.3	26.5	27.0	26.5	26.8	27.0	27.0	26.8	26.5	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.3	27.5
抵抗器盤排気温度		仮 設	℃	33.4	37.7	39.9	38.7	39.8	38.3	39.8	38.9	38.7	40.0	38.8	40.0	40.0	38.5	38.5	40.0	38.6	40.5	40.9
抵抗器盤排気(ダクト)温度		-	℃	35.0	39.0	40.0	42.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	43.0	43.0	43.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
抵抗器盤雰囲気温度		-	℃	26.0	26.0	26.0	26.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	28.0	
ポンプ上部軸受、電動機軸受、 フランジからの異音の発生		-	-	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	
2次冷却系流量調節設備から の異音、異臭の発生		-	-	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	

表5.3-3 2次主循環ポンプ連続運転試験記録 (A号機定格流量)

項目	経過時間(h)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
	計器番号	単位	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	1:00	3:00	5:00	7:00	9:00	11:00
ポンプタップ位置	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
ポンプ回転数	NI31.2-101A	min ⁻¹	970	960	970	970	970	970	965	965	965	965	960	960	960	960	960	960	970	970	
2次主循環Na流量	FR31.2-1	m ³ /h	1370	1350	1360	1360	1360	1350	1360	1360	1360	1360	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1360	1360	
2次主循環ポンプ 出入口圧力	入口 PI31.2-1A	MPa	0.041	0.042	0.044	0.045	0.045	0.045	0.042	0.040	0.040	0.041	0.041	0.042	0.043	0.045	0.046	0.040	0.042	0.042	
	出口 PI31.2-2A	MPa	0.325	0.322	0.325	0.325	0.328	0.322	0.322	0.325	0.319	0.320	0.322	0.325	0.320	0.326	0.328	0.330			
DHX出入口Na温度	入口 TR31.2-3A	℃	249	250	250	250	250	250	250	250	249	248	245	242	240	239	238	237	236	241	
	出口 TR31.2-3A	℃	249	250	250	250	250	250	250	250	249	248	245	242	240	239	238	237	235	240	
DHX出口Na温度	IA2 TR31.2-2A	℃	245	250	249	250	250	250	250	250	249	249	248	245	242	240	240	239	239	245	
	2A2	℃	250	250	251	250	250	250	250	250	249	249	248	245	242	240	240	239	239	245	
ポンプ電流	-	A	70	68	70	68	68	68	67	67	67	66	67	67	67	67	67	67	70	69	
ポンプ電圧	-	V	3230	3210	3210	3200	3200	3210	3200	3200	3200	3150	3180	3190	3200	3190	3200	3200	3200	3200	
呼吸ヘッダ圧力	PIC36.2-3	MPa	0.038	0.039	0.040	0.042	0.042	0.042	0.041	0.036	0.038	0.038	0.038	0.039	0.040	0.042	0.042	0.036	0.039	0.041	
ポンプ軸封ガス流量	FIA36.2-1A	Nm ³ /h	0.27	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.23	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.23	0.23	0.27	0.26	0.24	0.23	
ポンプNa軸受温度	TI31.2-6A	℃	251	252	253	253	255	255	255	253	253	252	250	250	249	248	245	242	240	248	
ポンプ上部軸受温度	TI31.2-9A	℃	35	35	35	34	35	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	37	37	
潤滑油ポンプ出口圧力	PI31.2-101,2A	MPa	0.335	0.335	0.330	0.335	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	
潤滑油流量	FI31.2-101A	kg/min	36.0	36.0	36.0	36.0	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	
潤滑油温度	TI31.2-101A	℃	30.0	30.5	31.0	29.5	31.0	31.0	31.0	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	32.0	
潤滑油排油温度	TI31.2-102A	℃	34.0	35.0	35.0	34.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.5	36.0	
軸封油圧力	PIA31.2-103A	MPa	0.205	0.205	0.205	0.21	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	
電動機ケーシング温度	-	℃	54.0	53.5	52.5	52.5	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.5	54.0	
電動機固定子巻線温度 (指示計入力として選ばれた番号を右の1~6に○印をつけること)	1	℃	85.1	83.1	81.1	80.2	79.6	79.5	79.1	79.3	79.1	79.1	78.1	77.6	78.0	78.3	78.4	78.6	78.8	81.6	
	2	℃	83.3	81.5	79.6	78.6	78.0	78.0	77.6	77.8	77.6	77.6	76.6	76.1	76.5	76.8	77.0	77.2	77.3	80.1	
	3	℃	81.3	79.6	77.8	77.0	76.3	76.3	75.9	76.1	75.9	75.9	74.9	74.5	74.9	75.2	75.3	75.5	75.7	78.5	
	4	℃	84.3	82.6	80.6	79.7	79.0	79.1	78.6	78.8	78.7	78.6	77.5	77.0	77.5	77.7	77.9	78.1	78.4	82.0	
	5	℃	82.5	80.7	78.9	78.0	77.3	77.3	76.9	77.1	77.0	76.9	75.9	75.4	75.8	76.2	76.3	76.5	76.6	80.1	
	6	℃	81.6	79.9	78.2	77.3	76.6	76.6	76.2	76.4	76.3	76.2	75.2	74.8	75.2	75.5	75.6	75.9	76.0	79.4	
電動機軸受温度	仮設	℃	58.0	57.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	54.5	55.0	55.0	55.0	55.0	55.5	56.0	
周囲温度	仮設	℃	29.9	30.8	31.1	31.7	31.7	31.8	31.9	31.9	31.9	32.2	32.3	32.4	32.4	32.6	32.5	32.6	33.0	33.7	
抵抗器盤排気温度	仮設	℃	98.4	100.0	101.3	99.9	101.2	100.9	101.4	101.2	101.2	101.3	101.2	101.8	102.1	102.0	102.3	102.0	102.4	103.2	
抵抗器盤排気(ダクト)温度	-	℃	81.0	82.0	82.0	84.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.5	83.5	83.5	84.0	84.0	84.5	85.0	
抵抗器盤雰囲気温度	-	℃	30.0	31.0	31.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.5	32.5	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	34.0	34.0	
ポンプ上部軸受、電動機軸受、 ブランシからの異音の発生	-	-	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無		
2次冷却系流量調節設備から の異音、異臭の発生	-	-	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無		

表5.3-4 2次主循環ポンプ連続運転試験記録（B号機定格流量）

			経過時間(h)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
項目		計器番号	単位	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	1:00	3:00	5:00	7:00	9:00	11:00	
ポンプタップ位置		-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
ポンプ回転数		N131.2-101B	m ³ /min ⁻¹	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	990	990	990	990	990	990	1000	1000	
2次主循環Na流量		FR31.2-1	m ³ /h	1370	1360	1370	1360	1350	1350	1350	1360	1360	1360	1360	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1360	
2次主循環ポンプ 出入口圧力	入口	PI31.2-1B	MPa	0.038	0.040	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.036	0.038	0.038	0.038	0.039	0.040	0.042	0.042	0.038	0.038	0.040	0.042	
	出口	PI31.2-2B	MPa	0.345	0.345	0.348	0.345	0.345	0.345	0.345	0.346	0.342	0.342	0.336	0.340	0.342	0.343	0.338	0.347	0.348	0.348	0.348	
DHX出入口Na温度	入口	TR31.2-3B	°C	249	250	250	250	250	250	250	250	249	248	245	242	240	240	240	239	239	237	241	
	出口		°C	248	250	250	250	250	250	250	250	249	248	245	242	240	240	240	239	238	238	240	
DHX出口Na温度	1B2	TR31.2-2B	°C	246	249	249	250	249	249	248	248	248	247	245	242	240	238	238	235	235	234	239	
	2B2		°C	245	249	249	250	249	249	248	248	248	247	245	242	240	238	238	235	235	235	239	
ポンプ電流		-	A	71	69	70	69	69	69	68	68	68	68	67	67	68	68	68	68	68	71	70	
ポンプ電圧		-	V	3200	3180	3180	3150	3150	3180	3130	3110	3140	3150	3100	3120	3130	3130	3130	3130	3130	3200	3200	
呼吸ヘッダ圧力		PIC36.2-3	MPa	0.038	0.039	0.040	0.042	0.042	0.042	0.041	0.036	0.038	0.038	0.038	0.039	0.040	0.042	0.042	0.036	0.039	0.039	0.041	
ポンプ軸封ガス流量		FIA36.2-1B	Nm ³ /h	0.27	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.23	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.23	0.23	0.27	0.26	0.24	0.24	0.24	
ポンプNa軸受温度		TI31.2-6B	°C	252	255	255	255	255	255	254	254	252	251	250	250	249	248	245	243	241	249	249	
ポンプ上部軸受温度		TI31.2-9B	°C	38	40	40	40	40	40	41	41	41	41	41	41	41	41	42	42	42	43	45	
潤滑油ポンプ出口圧力		PI31.2-101,2B	MPa	0.335	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	
潤滑油流量		FI31.2-101B	kg/min	35.0	35.0	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.0	34.0	34.0	34.0	
潤滑油温度		TI31.2-101B	°C	35.5	36.0	36.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	38.0	38.0	38.5	39.0	
潤滑油排油温度		TI31.2-102B	°C	38.0	39.0	39.0	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.5	40.5	40.5	40.5	41.0	
軸封油圧力		PIA31.2-103B	MPa	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	
電動機ケーシング温度		-	°C	54.0	53.5	53.0	54.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	52.5	52.5	53.0	53.0	53.0	53.5	55.0	55.5	
電動機固定子巻線温度 (指示計入力として選ばれた番号を右の1~6に○印をつけること)	1	°C	85.4	83.7	81.8	81.4	80.6	80.5	80.2	80.3	80.2	80.2	79.2	78.7	79.1	79.4	79.4	79.7	79.9	82.6	83.3		
	2	°C	83.6	82.1	80.4	79.8	79.1	79.0	78.7	78.9	78.7	78.7	77.7	77.2	77.6	78.0	78.1	78.4	78.5	81.2	81.9		
	3	°C	80.2	79.0	77.4	77.0	76.3	76.2	75.9	76.0	75.9	75.9	74.9	74.5	75.0	75.3	75.4	75.6	75.8	78.4	79.0		
	4	°C	84.9	83.5	81.8	81.2	80.5	80.4	80.0	80.3	80.2	80.1	79.0	78.5	78.9	79.2	79.3	79.6	79.9	82.8	83.4		
	5	°C	81.9	80.6	79.0	78.5	77.8	77.7	77.4	77.5	77.4	77.4	76.4	76.0	76.7	76.9	77.1	77.2	79.9	80.6			
	6	°C	81.6	80.2	78.6	78.2	77.5	77.4	77.0	77.2	77.1	77.0	76.1	75.7	76.1	76.4	76.5	76.7	76.9	79.6	80.2		
電動機軸受温度		仮 設	°C	59.5	58.0	57.0	57.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.5	56.0	56.0	55.5	56.0	55.5	55.5	56.0	57.0	57.0		
周囲温度		仮 設	°C	32.0	30.8	32.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.5	33.0	33.0	33.5	34.0	33.0	33.0	33.5	34.5	
抵抗器盤排気温度		仮 設	°C	84.9	86.0	86.9	86.9	87.3	86.9	87.9	87.8	87.9	87.9	87.9	87.1	88.1	87.8	88.8	87.8	88.2	89.2	89.8	
抵抗器盤排気(ダクト)温度		-	°C	75.0	75.0	76.0	77.0	76.0	76.0	78.0	76.0	76.0	76.0	78.0	77.0	77.0	77.5	77.5	77.5	77.5	78.0		
抵抗器盤界囲気温度		-	°C	29.0	29.5	29.5	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	32.0		
ポンプ上部軸受、電動機軸受、 ブラシからの異音の発生		-	-	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無		
2次冷却系流量調節設備からの 異音、異臭の発生		-	-	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無		

表 5.3-5 判定基準と試験結果

判 定 基 準			試験結果（最大値）			
			最低流量運転		定格流量運転	
	A号機	B号機	A号機	B号機		
運 転 状 態	流量の著しい変動及びポンプ上部軸受、電動機軸受、ブラシからの異音の発生がないこと。	無	無	無	無	無
電 流	*53.2±10%A 以下 (A号機) *52.8±10%A 以下 (B号機)	*70.2±10%A 以下 (A号機) *69.7±10%A 以下 (B号機)	54A	54A	70A	71A
電動機軸受温度 (飽和値)	※ ¹ 周囲温度+45℃以下 (最高許容温度 95℃)		57.0℃ (周囲温度 28℃)	60.0℃ (周囲温度 28℃)	58.0℃ (周囲温度 30℃)	59.5℃ (周囲温度 32℃)
電動機ケーシング温度	※ ¹ 周囲温度 50℃時 80℃以下 ※ ¹ 周囲温度 30℃時 67℃以下		61.0℃	60.0℃	55.0℃	55.5℃
抵抗器盤排気温度	※ ² 温度上昇値 190℃以下		44.8℃	40.9℃	103.2℃	89.8℃
ポンプ上部軸受温度	※ ³ 75℃以下		30℃	34℃	37℃	45℃

※ 工場試験結果による。

※1 電気学会 電気規格調査会標準規格 誘導機 JEC-37-1979 卷線温度の管理基準（工場のデータ）による。

※2 日本電気工業会規格 JEM-1029 制御機器の温度上昇限度による。

※3 日本規格協会 ボイラ給水用遠心ポンプの試験及び検査方法 JIS B 8303 による。

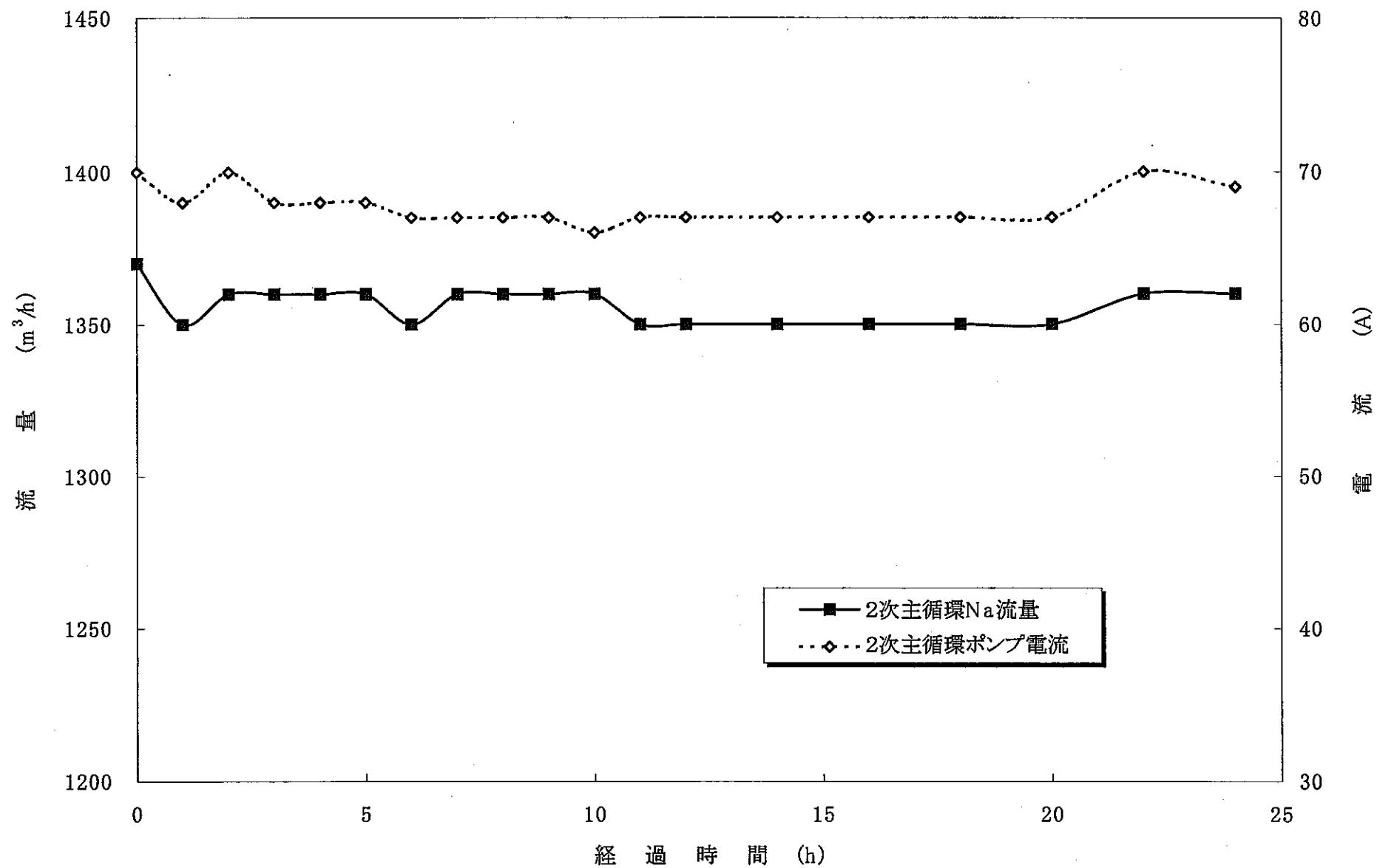


図5.3-1 Na流量と電流値の推移(A号機定格流量)

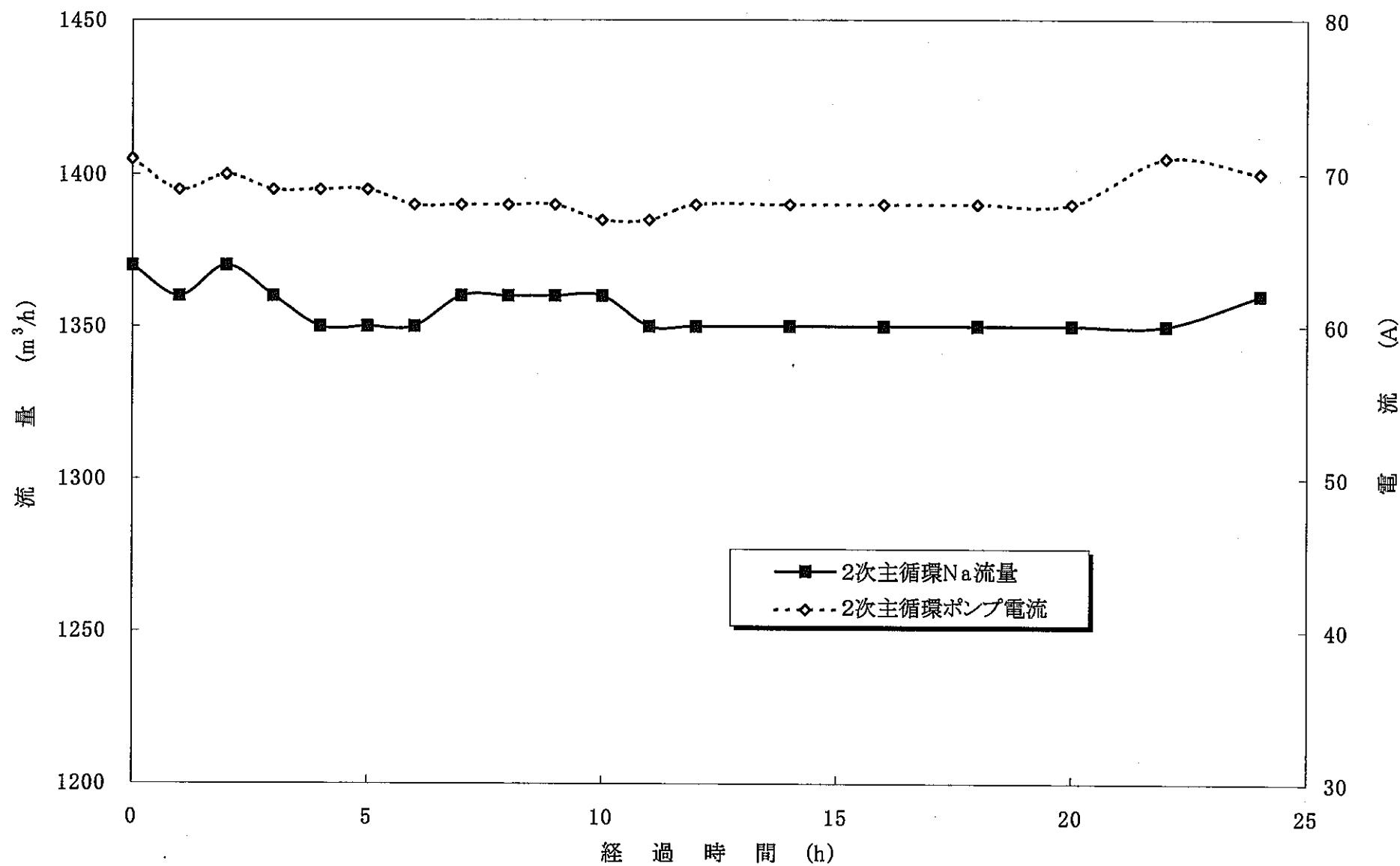


図5.3-2 Na流量と電流値の推移(B号機定格流量)

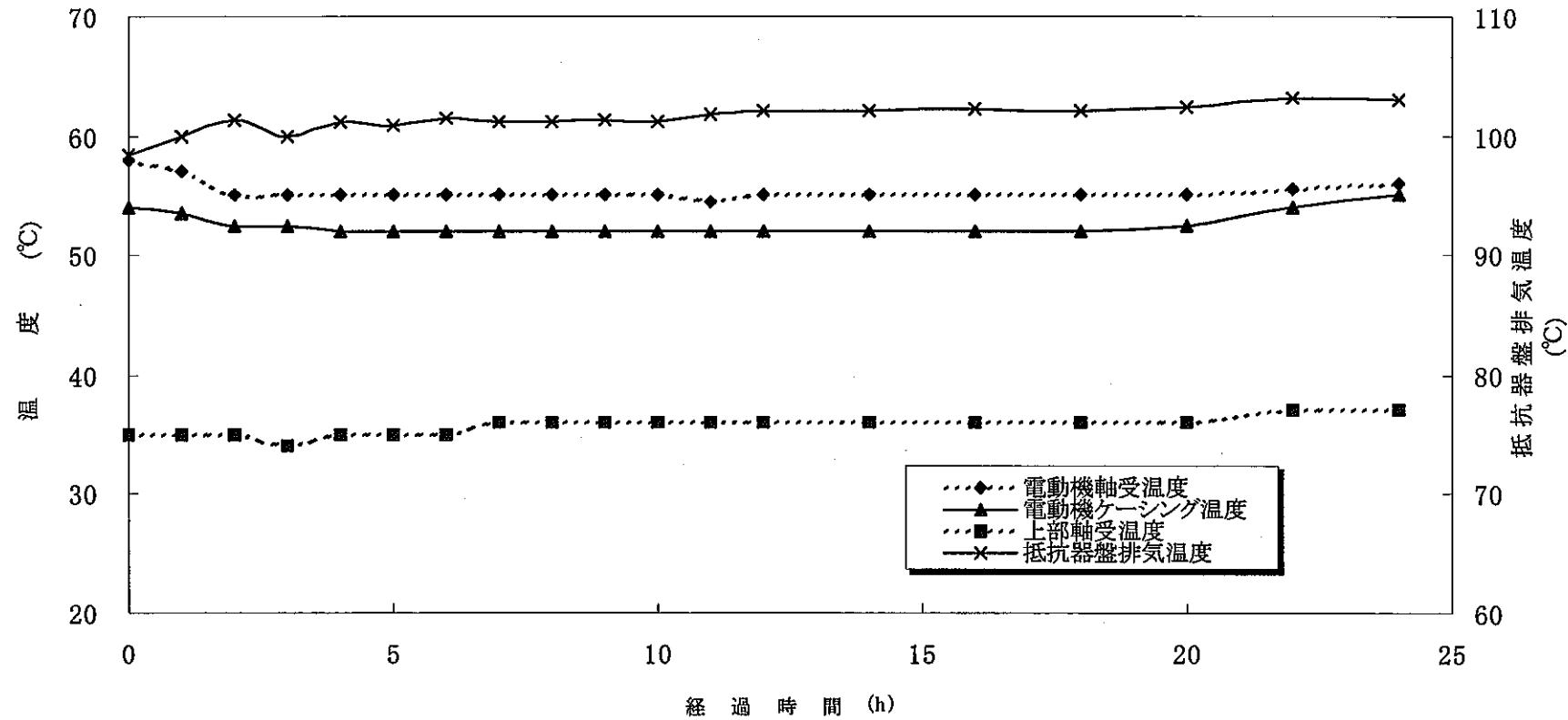


図5.3-3 2次主循環ポンプ各部温度の推移(A号機定格流量)

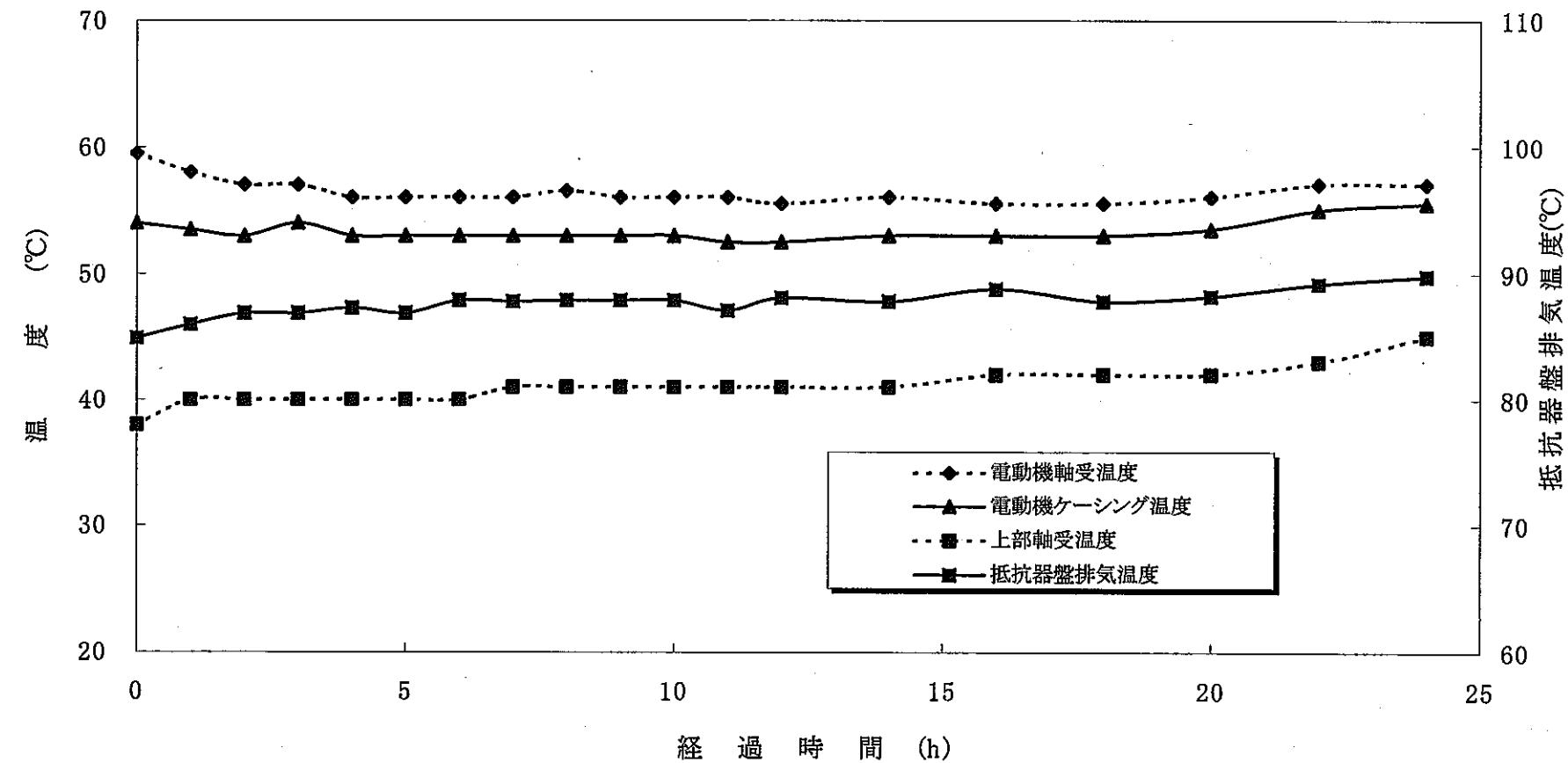
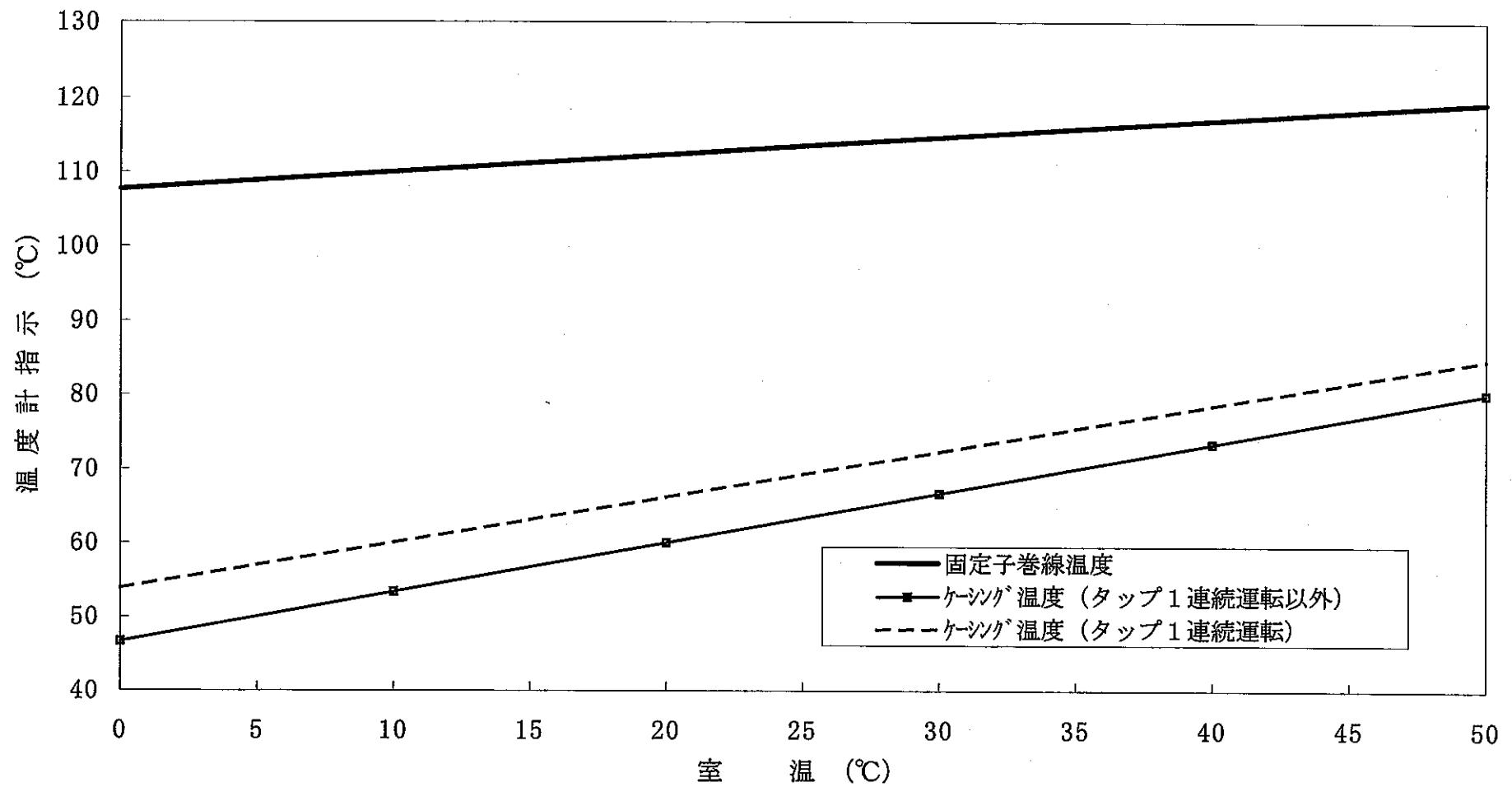


図5.3-4 2次主循環ポンプ各部温度の推移(B号機定格流量)



固定子巻線温度から算出する場合 : $140^{\circ}\text{C} > (\text{固定子巻線温度} - \text{室温}) \times 1.3 + \text{室温}$
 ケーシング温度管理値から算出する場合
 タップ1連続運転以外 : $140^{\circ}\text{C} > (\text{ケーシング温度} - \text{室温}) \times 3.0 + \text{室温}$
 タップ1連続運転 : $140^{\circ}\text{C} > (\text{ケーシング温度} - \text{室温}) \times 2.6 + \text{室温}$

図5.3-5 2次主循環ポンプ電動機回転子巻線温度管理基準

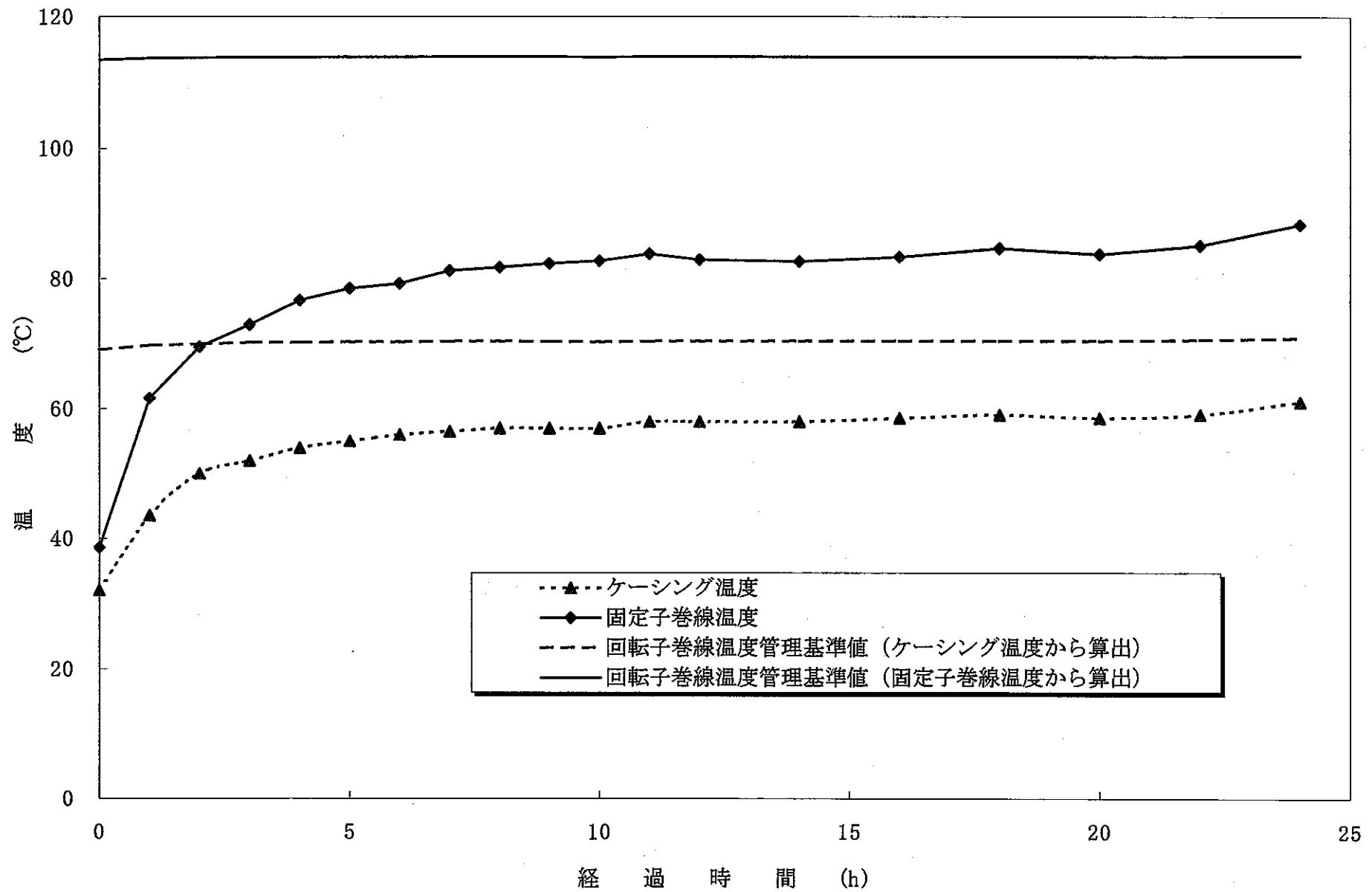


図5.3-6 最低流量時におけるケーシング温度及び固定子巻線温度の推移 (A号機)

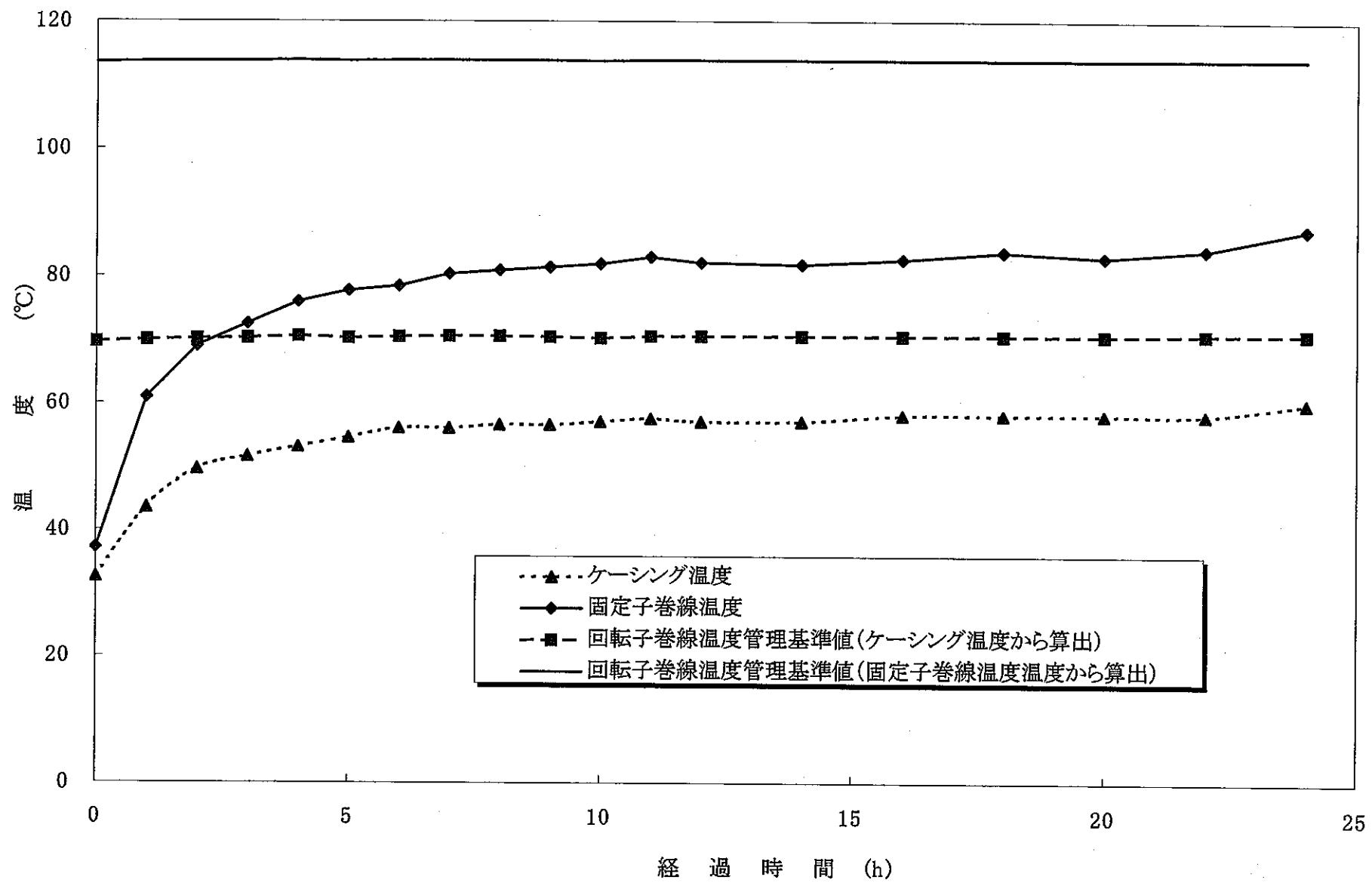


図5.3-7 最低流量時におけるケーシング温度及び固定子巻線温度の推移(B号機)

5. 4 2次主循環ポンプ特性試験・振動測定試験 (SKS-205-4)

5.4.1 試験目的

2次主循環ポンプ定格流量連続運転試験中にポンプおよび駆動用電動機の主要部の振動を測定し、異常のないことを確認する。

5.4.2 試験方法

2次主循環ポンプ定格流量連続運転試験中に携帯用振動計および常設振動計にて、電動機およびポンプの次の4点について振動測定を行った。

A 点	電動機上部軸受	(携帯用振動計)
B 点	電動機下部軸受	(携帯用振動計)
C 点	ポンプ上部	(携帯用振動計)
D 点	ポンプ外部ケーシングフランジ部	(常設振動計)

測定位置を図 5.4-1 に示す。

携帯用振動計の仕様は表 5.4-1 の通りである。

表 5.4-1 携帯用振動計仕様

名 称	型 式	精 度
昭和測器 ミニバイブルアナライザー	MODEL-1022	変位 レンジ : 10,30,100,300,1000 μm PEAK 速度 レンジ : 1,3,10,30,100 mm/sRMS 加速度 レンジ : 0.3,1,3,10,30 m/s ² PEAK 周 波 数 範 囲 : 10~1000Hz 確 度 : 正弦波 80Hz,10mm/sRMS において 3 %以内

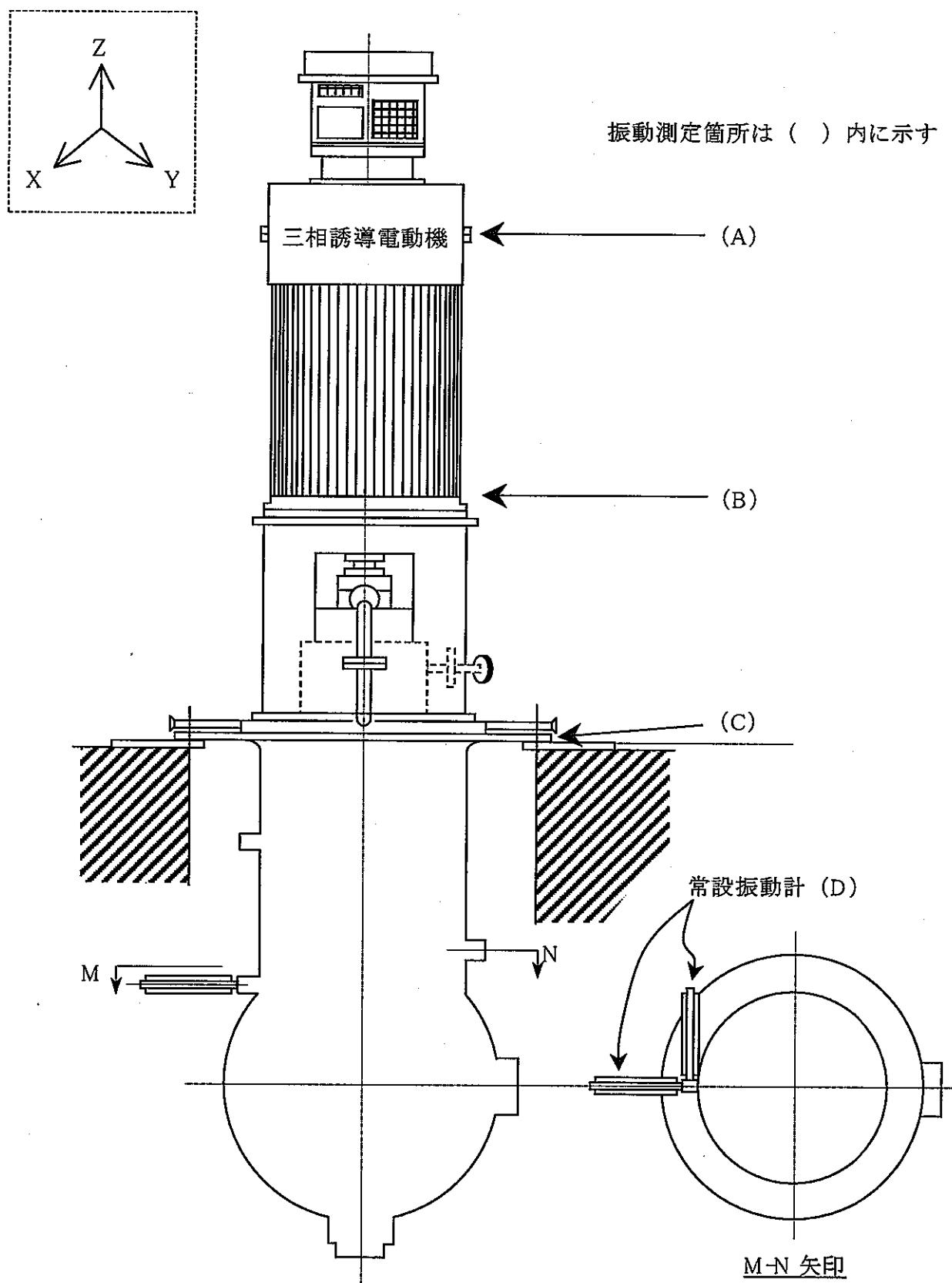


図 5.4-1 2 次主循環ポンプ振動測定箇所

5.4.3 試験結果

振動測定結果とその時の運転状態を表 5.4-2 及び 5.4-3 に示す。

5.4.4 検討および評価

ポンプ上部軸受の振動最大値は A ループ $23 \mu\text{m P-P}$ 、A ループ $40 \mu\text{m P-P}$ 、電動機の振動最大値は A ループ $5 \mu\text{m P-P}$ 、A ループ $8 \mu\text{m P-P}$ と非常に小さく十分に判定基準値 ($114 \mu\text{m P-P}$ 以下) を下回った。また、電動機及びポンプの運転状態も、異音等の発生もなく、円滑に作動しており問題はない。

表5.4-2 2次主循環ポンプ振動測定試験記録（A号機）

経過時間(h)		計器番号	単位	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
測定方向				11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	1:00	3:00	5:00	7:00	9:00	11:00
2次主循環Na流量	FR31.2-1	m ³ /h	1370	1350	1360	1360	1360	1350	1360	1360	1360	1360	1360	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1360	1360	
DHX出入口Na温度	TR31.2-3A	℃	249	250	250	250	250	250	250	250	250	249	248	245	242	240	239	238	237	236	241	
ポンプ回転数	NI31.2-101A	min ⁻¹	970	960	970	970	970	970	965	965	965	960	960	960	960	960	960	960	970	970	970	
ポンプNa軸受温度	TI31.2-6A	℃	251	252	253	253	255	255	253	253	252	250	249	248	245	242	240	240	240	240	248	
ポンプ上部軸受温度	TI31.2-9A	℃	35	35	35	34	35	35	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	37	37	
ポンプ電動機振動	上部軸受	X	仮 設	15.0	18.0	17.0	16.0	17.0	21.0	23.0	22.0	21.0	17.0	18.0	16.0	15.0	15.0	15.0	18.0	18.0	20.0	15.0
		Y		7.0	7.0	8.2	8.5	7.2	7.2	7.0	8.0	7.0	7.5	7.0	6.0	6.0	10.0	8.0	7.0	8.0	7.0	7.0
		Z		4.0	5.0	4.4	4.8	4.4	6.2	6.4	5.5	7.0	5.0	5.0	6.0	9.0	8.0	7.0	6.0	4.0	4.4	4.0
	下部軸受	X	仮 設	5.0	4.8	5.0	5.2	5.8	6.6	6.8	7.0	6.8	6.2	6.0	5.0	5.0	12.0	5.0	7.0	5.0	6.5	5.0
		Y		4.4	4.4	5.0	5.4	5.2	6.0	5.4	5.9	5.2	6.0	4.0	8.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	6.5	5.0
		Z		2.6	3.8	4.0	4.2	4.2	4.6	4.4	4.4	4.5	4.2	4.0	7.0	6.0	8.0	5.0	5.0	4.0	3.5	2.6
ポンプ上部振動	X	仮 設	μm ^{pp}	2.7	2.3	2.3	2.4	2.4	3.0	3.0	3.3	3.0	2.8	3.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.5	2.7
	Y			1.1	1.0	1.2	1.2	1.4	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.4	2.0	1.2	1.0	1.2	1.0	1.0	1.2	1.1
	Z			2.5	2.4	2.5	2.8	2.6	2.8	3.2	3.1	2.9	2.8	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5
ポンプケーシング振動(既設)	X	VR31.2-104A	μm ^{pp}	4.5	5.7	5.8	5.2	6.0	6.7	6.8	6.8	7.4	6.3	5.3	5.0	5.4	5.4	5.6	5.8	5.9	6.8	7.0
	Y			2.0	2.2	2.0	2.2	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9

表5.4-3 2次主循環ポンプ振動測定試験記録（B号機）

経過時間(h)		計器番号	単位	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
測定方向				11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	1:00	3:00	5:00	7:00	9:00	11:00
2次主循環Na流量	FR31.2-1	m ³ /h	1370	1360	1370	1360	1350	1350	1360	1360	1360	1360	1360	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1360	
DHX出入口Na温度	TR31.2-3A	℃	249	250	250	250	250	250	250	250	250	249	248	245	242	240	240	240	239	237	241	
ポンプ回転数	NI31.2-101B	min ⁻¹	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	990	990	990	990	990	990	1000	1000	
ポンプNa軸受温度	TI31.2-6B	℃	252	255	255	255	255	255	254	254	252	251	250	250	249	248	245	243	241	249		
ポンプ上部軸受温度	TI31.2-9B	℃	38	40	40	40	40	40	41	41	41	41	41	41	42	42	42	43	45			
ポンプ電動機振動	上部軸受	X	仮 設	37.0	35.0	36.0	36.0	35.0	35.0	37.0	37.0	35.0	38.0	36.0	32.0	38.0	40.0	38.0	40.0	38.0	39.0	37.0
		Y		24.0	24.0	23.0	24.0	25.0	23.0	24.0	26.0	24.0	27.0	29.0	30.0	30.0	30.0	32.0	30.0	30.0	27.0	26.0
		Z		4.2	4.8	5.5	5.0	6.0	5.8	5.2	5.0	4.8	5.8	8.0	6.0	6.5	7.0	7.0	6.0	9.0	5.8	4.8
	下部軸受	X	仮 設	15.0	13.0	13.0	12.0	12.0	13.0	11.0	13.0	13.0	13.0	12.0	11.0	12.0	13.0	13.0	14.0	13.0	13.5	13.0
		Y		8.5	9.5	8.8	10.0	12.0	8.4	11.0	11.0	11.0	13.0	12.0	12.0	12.0	13.0	12.0	13.0	12.0	11.5	
		Z		3.4	4.2	2.8	4.4	4.8	3.8	4.4	4.4	3.6	4.4	5.2	6.0	5.0	5.0	4.0	5.0	6.0	4.0	4.0
ポンプ上部振動	X	仮 設	μm ^{pp}	4.4	4.4	4.2	4.4	4.4	4.4	4.3	4.1	4.3	4.2	4.0	4.0	5.0	4.0	5.0	5.0	4.5	4.7	
	Y			2.2	2.3	2.9	3.4	3.8	3.4	4.0	3.8	3.8	5.0	5.2	5.0	4.0	7.0	6.0	4.0	3.0	3.8	3.7
	Z			3.2	4.7	3.7	4.0	4.2	4.0	4.8	5.2	5.0	6.2	6.4	7.0	4.0	4.0	7.0	8.0	5.2	4.8	
ポンプケーシング振動(既設)	X	VR31.2-104B	μm ^{pp}	10.5	10.2	10.5	10.2	10.0	10.0	10.2	10.5	10.0	11.8	9.5	9.8	10.5	10.8	11.0	11.2	11.2	12.3	11.4
	Y			8.0	9.0	9.0	9.6	9.6	9.5	11.0	10.9	10.1	11.7	11.8	11.6	10.9	12.1	11.7	11.2	11.7	10.0	9.7

5. 5 2次純化系電磁ポンプ流量制御試験 (SKS-212)

5.5.1 試験目的

MK-III改造に伴う2次主循環ポンプ吸込み圧力変化に対し、2次純化系が定格流量に調整できること及び2次主循環ポンプがトリップした時の2次純化系の運転状態への影響（流量変化、トリップの有無など）を確認することを目的とした。

5.5.2 試験方法

「SKS-205-1 2次主循環ポンプ特性試験・流量制御試験」において、2次主循環Na流量が速度制御器タップ変更による各流量の安定時及び定格流量時に、2次純化系の汲み上げ流量を充填弁開度及び電磁ポンプの誘導電圧調整器（以下、IVRという）により定格流量に調整できることを確認した。

「SKS-205-2 2次主循環ポンプ特性試験・フローコーストダウン特性試験」において、2次主循環ポンプが定格運転状態から停止する際に、主系統の流量変化の影響を受ける2次純化系電磁ポンプの運転状態、発生警報及び流量・温度変化等を確認する。また、2次主循環ポンプ停止時に2次純化系定格流量調整を行い、運転データを採取した。

2002年4月11日に2次主循環ポンプ特性試験、フローコーストダウン特性試験を3回実施し、それぞれのケースにおいて2次主循環ポンプ停止時の2次純化系電磁ポンプへの影響を確認した。1、2回目の試験時には純化系ロジック COS^{#1}を「復帰」とし、2次純化系電磁ポンプトリップの有無を確認した（ケース1、2）。3回目の試験時には純化系ロジック COSを「開ロック」とし、2次主循環ポンプ停止による2次純化系電磁ポンプのトリップを防止して2次純化系の運転状態を確認した（ケース3）。

5.5.3 試験結果

2002年4月8日の2次主循環Na流量変更時の純化系制御試験データを表5.5-1及び図5.5-1に示す。2次主循環ポンプを起動し、定格流量運転状態に昇速するまでの間、IVR及び充填弁の開度の調整によって、2次純化系を定格流量に保持できた。2次主循環ポンプ定格流量時の充填弁開度調整値は、VHC34.2-4A：100%、VHC34.2-4B：80%であることを確認した。

2002年4月11日の2次主循環ポンプ特性試験、フローコーストダウン特性試験時の記録を表5.5-2(1/2),(2/2)に、それぞれのケースにおける2次主循環ポンプ停止時の警報履歴を表5.5-3に示す。今回の試験により、2次主循環ポンプ停止時において2次純化系は、主循環ポンプのNa液面が低下して低設定値に至り、この設定から「充填系異常」となってトリップすることを確認した。

^{注1} 2次純化系には、純化系流量変動（流量低下、分岐流量アンバランス）及び2次主循環ポンプNa液面が低下した場合に、純化系電磁ポンプをトリップさせるインターロックが設けられている。純化系ロジックCOSは、そのインターロックをバイパスするためのスイッチ（「開ロック」位置でバイパス）

5.5.4 検討及び評価

この試験によって、2次主循環ポンプを起動し、定格流量運転状態に昇速するまでの間、IVR及び充填弁開度の調整によって、2次純化系を定格流量に調整可能であることが確認できた。この充填弁開度の調整は、主循環流量が低流量領域ではAループの充填弁を絞り、高流量領域ではBループの充填弁を絞る必要があった。これは、定格流量運転状態（速度制御器タップ10）の主ポンプ回転数がBループの方が若干高いために生じたものと考えられる。つまり、純化系の汲み上げ配管は、主循環ポンプの吸い込み側の配管に接続されているため、回転数差によりA、Bループの吸い込み圧力が異なったために生じたものと推測した。

また、今回の実績において2次主循環ポンプ停止時には、2次純化系は、主循環ポンプのNa液面が低下して低設定値に至り、この設定から「充填系異常」となってトリップすることを確認した。この液面低設定値(GL+9500mm)は、オーバーフローノズルレベル(GL+9520mm)との差が20mmであることから、ポンプ停止時の急速な流量変化によりポンプNa液面が変動し、液面低を検出したものと考える。

表5.5-1 純化系EMP流量試験時データ(2002年4月8日)

	2次主ポンプタップ位置	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
主ポンプ昇速時	2次主循環Na流量(A) (m ³ /h)	0	500	760	1050	1210	1230	1260	1280	1300	1320	1340	1350
	2次主循環Na流量(B) (m ³ /h)	0	490	740	1040	1220	1240	1270	1280	1300	1320	1340	1350
	純化系電磁ポンプ印加電圧 (V)	77	74	74	74	70	70	71	71	71	70	70	70
	純化系汲上流量 (m ³ /h)	4	3.95	4	4.05	3.9	3.95	4	3.95	3.98	3.98	3.98	3.98
	純化系分岐流量 (m ³ /h)	2	1.95	2	2.1	2.1	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.02	2.05
	充填第2元弁(A)開度 (%)	70	70	70	70	71	100	100	100	100	100	100	100
主ポンプ降速時	充填第2元弁(B)開度 (%)	100	100	100	100	100	100	90	85	85	80	80	80
	2次主循環Na流量(A) (m ³ /h)	0	490	750	1050	1210	1230	1250	1270	1300	1310	1330	
	2次主循環Na流量(B) (m ³ /h)	0	480	740	1030	1220	1240	1260	1280	1300	1310	1330	
	純化系電磁ポンプ印加電圧 (V)	77	77	75	72	70	70	71	70	70	70	70	
	純化系汲上流量 (m ³ /h)	4	4	4	4	3.95	3.95	3.98	3.98	4	3.98	3.98	
	純化系分岐流量 (m ³ /h)	2	2	2	1.95	2	2	2	2	2	2	2.05	
充填第2元弁(A)開度 (%)	充填第2元弁(B)開度 (%)	70	76	90	100	100	100	100	100	100	100	100	
	充填第2元弁(B)開度 (%)	100	100	100	90	80	80	80	80	80	80	80	

表 5.5-2(1/2) 純化系運転状態確認試験記録

(1) 2次主循環ポンプ停止時の影響

	有	無
2次純化系トリップ	○*	

※ 2次主ポンプ停止後 12.02 秒後



= 2次純化系トリップ要因 (警報、インターロック等) =	
	「純化系 Na 流量低」(PA34.2-1-1:3.2m³/h)
○	「充填系異常」(EPO-10-03 ANN 7D 参照)
	「CT送風機トリップ」(EPO-10-03 ANN 6A 参照)
	「純化系ポンプダクト温度高」(EPO-10-03 ANN 5C 参照)
	「純化系ポンプコイルトリップ」(EPO-10-03 ANN 5D 参照)

(2) 2次主循環ポンプ停止中の純化系運転状態 (2002/4/11 13:33 EMP 再起動後)

項目	計器	場所	単位	記録
2次主循環ポンプ吸込圧 (A)	P I 3 1. 2-1 A	S-508	MPa	0.055
2次主循環ポンプ吸込圧 (B)	P I 3 1. 2-1 B	S-509	MPa	0.058
純化系電磁ポンプ印加電圧	(V)	A-712 #425	V	75.0
純化系電磁ポンプ印加電流	(A)	A-712 #425	A	26.0
純化系電磁ポンプ汲上流量	T(F)R34. 2-1	A-712 #425	m³/h	4.0
純化系汲上分岐流量	T(F)R34. 2-1	A-712 #425	m³/h	2.0
コールドトラップ温度	T(F)R34. 2-1	A-712 #425	℃	130
充填第2元弁 (A) 開度	VHC34. 2-4 A	A-712 #425	%	70
充填第2元弁 (B) 開度	VHC34. 2-4 B	A-712 #425	%	100
A r ガス呼吸ヘッダ圧力	P I C 3 6. 2-3	S-414 #695	MPa	0.037
ダンプタンク Na 液位	L R 3 5. 2-1-1	S-402 #661	cm	52
ダンプタンク Na 温度	T I 3 5. 2-1	S-402 #661	℃	237
純化系電磁ポンプダクト温度	S C · I - 1 1 6	A-712 #458-1	℃	284
純化系電磁ポンプコイル温度	S C · I - 1 3 0	A-712 #458-1	℃	39

表 5.5-2(2/2) 純化系運転状態確認試験記録

(1) 2次主循環ポンプ停止時の影響

	有	無
2次純化系トリップ		○*

※ 純化系ロジック「開ロック」

(2) 2次主循環ポンプ停止中の純化系運転状態 (2002/4/11 17:02)

項目	計器	場所	単位	記録
2次主循環ポンプ吸込圧 (A)	P I 3 1. 2-1 A	S-508	MPa	0.058
2次主循環ポンプ吸込圧 (B)	P I 3 1. 2-1 B	S-509	MPa	0.061
純化系電磁ポンプ印加電圧	(V)	A-712 #425	V	71
純化系電磁ポンプ印加電流	(A)	A-712 #425	A	25.5
純化系電磁ポンプ汲上流量	T(F)R34. 2-1	A-712 #425	m³/h	3.7
純化系汲上分岐流量	T(F)R34. 2-1	A-712 #425	m³/h	1.7
コールドトラップ温度	T(F)R34. 2-1	A-712 #425	℃	130
充填第2元弁 (A) 開度	VHC34. 2-4 A	A-712 #425	%	100
充填第2元弁 (B) 開度	VHC34. 2-4 B	A-712 #425	%	80
A r ガス呼吸ヘッダ圧力	P I C 3 6. 2-3	S-414 #695	MPa	0.040
ダンプタンク Na 液位	L R 3 5. 2-1-1	S-402 #661	cm	53
ダンプタンク Na 温度	T I 3 5. 2-1	S-402 #661	℃	240
純化系電磁ポンプダクト温度	S C · I - 1 1 6	A-712 #458-1	℃	288
純化系電磁ポンプコイル温度	S C · I - 1 3 0	A-712 #458-1	℃	40

表 5.5-3 2次主循環ポンプ停止時の警報履歴

ケース1 (純化系ロジック「復帰」状態)

時刻	Tag No.	警報名称	備考
13:21:59	ANN-425-21A	2次B主循環Na流量低	2次主循環ポンプ停止による
13:21:59	ANN-425-12A	2次A主循環Na流量低	"
13:22:08	ANN-425-17D	2次B主ポンプNa液面低	2次主循環ポンプ停止による液面変動による(GL+9520mm)
13:22:08	ANN-425-7D	2次充填系異常	2次B主ポンプNa液面低による
13:22:09	ANN-425-5B	2次純化系Na流量低	2次充填系異常(充填弁閉動作)による
13:22:10	ANN-425-5A	2次純化系EMPトリップ	2次充填系異常による
13:22:10	ANN-425-5D	2次純化系EMP冷却プロアトリップ	2次充填系異常による
13:22:13	ANN-425-6A	2次純化系CT冷却プロアトリップ	2次充填系異常による
13:22:14	ANN-425-17D	2次B主ポンプNa液面低(正常復帰)	

ケース2 (純化系ロジック「復帰」状態)

時刻	Tag No.	警報名称	備考
14:59:01	ANN-425-21A	2次B主循環Na流量低	2次主循環ポンプ停止による
14:59:01	ANN-425-12A	2次A主循環Na流量低	"
14:59:10	ANN-425-17D	2次B主ポンプNa液面低	2次主循環ポンプ停止による液面変動による(GL+9520mm)
14:59:11	ANN-425-7D	充填系異常	2次B主ポンプNa液面低による
14:59:11	ANN-425-5B	2次純化系Na流量低	充填系異常(充填弁閉動作)による
14:59:12	ANN-425-5A	2次純化系EMPトリップ	充填系異常による
14:59:13	ANN-425-5D	2次純化系EMP冷却プロアトリップ	充填系異常による
14:59:15	ANN-425-6A	2次純化系CT冷却プロアトリップ	充填系異常による
14:59:18	ANN-425-17D	2次B主ポンプNa液面低(正常復帰)	

ケース3 (純化系ロジック「開ロック」状態)

時刻	Tag No.	警報名称	備考
16:56:18	ANN-425-21A	2次B主循環Na流量低	2次主循環ポンプ停止による
16:56:19	ANN-425-12A	2次A主循環Na流量低	"
16:56:28	ANN-425-17D	2次B主ポンプNa液面低	2次主循環ポンプ停止による液面変動による(GL+9520mm) ※「開ロック」状態のため「2次充填系異常」には至らない。
16:56:33	ANN-425-17D	2次B主ポンプNa液面低(正常復帰)	

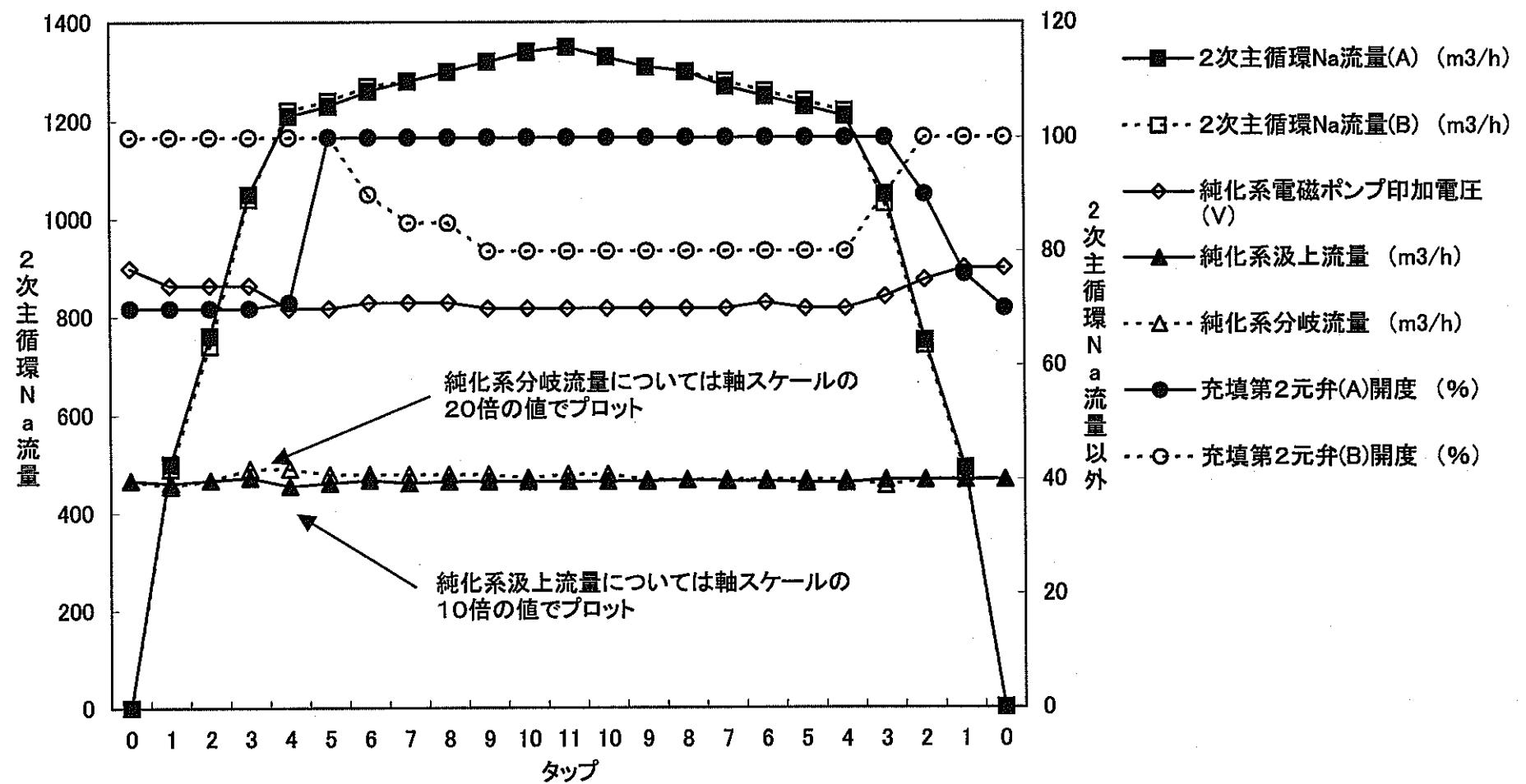


図5. 5-1 純化系流量制御試験記録 (2002年4月8日実施)

5. 6 2次アルゴンガス系圧力制御試験 (SKS-213)

5.6.1 試験目的

MK-IIIにおける2次主循環ポンプの定格流量は、MK-IIの約7%増となる。流量増加に伴う2次主循環ポンプのNPSH（有効吸込み圧力）裕度をMK-IIと同程度確保するため、2次カバーガス圧力の制御範囲を0.0196 MPa～0.0294 MPa (MK-II) から0.0343 MPa～0.0441 MPa (MK-III) に変更した。本試験では、その制御性を確認することとした。

5.6.2 試験方法

2次冷却系へのNa充填後、2次主循環ポンプが起動され、定格流量運転での安定した状態及び2次主循環Na流量の変更時に、2次アルゴンカバーガス圧力が0.0343 MPa～0.0441 MPaの間で異常なく制御できることを運転データにより確認する。

5.6.3 試験結果

2002年4月8日の2次主循環Na流量変更時のデータを図5.6-1に、2002年4月10日の2次主循環Na流量定格運転時のデータを図5.6-2に示す。2次主循環Na流量定格運転時、変更時共に2次アルゴンガス系圧力への有意な影響は確認されず、制御圧力(0.0343 MPa～0.0441 MPa)の範囲内で異常なく制御可能であった。

5.6.4 検討及び評価

この試験によって、MK-IIIにおける2次主循環ポンプ定格流量増加に伴なうNPSH（有効吸込み圧力）裕度確保の観点から、2次カバーガス圧力の制御範囲を0.0196 MPa～0.0294 MPa (MK-II) から0.0343 MPa～0.0441 MPa (MK-III) に変更したことによる、2次アルゴンガス系圧力の制御性は良好であることを確認した。

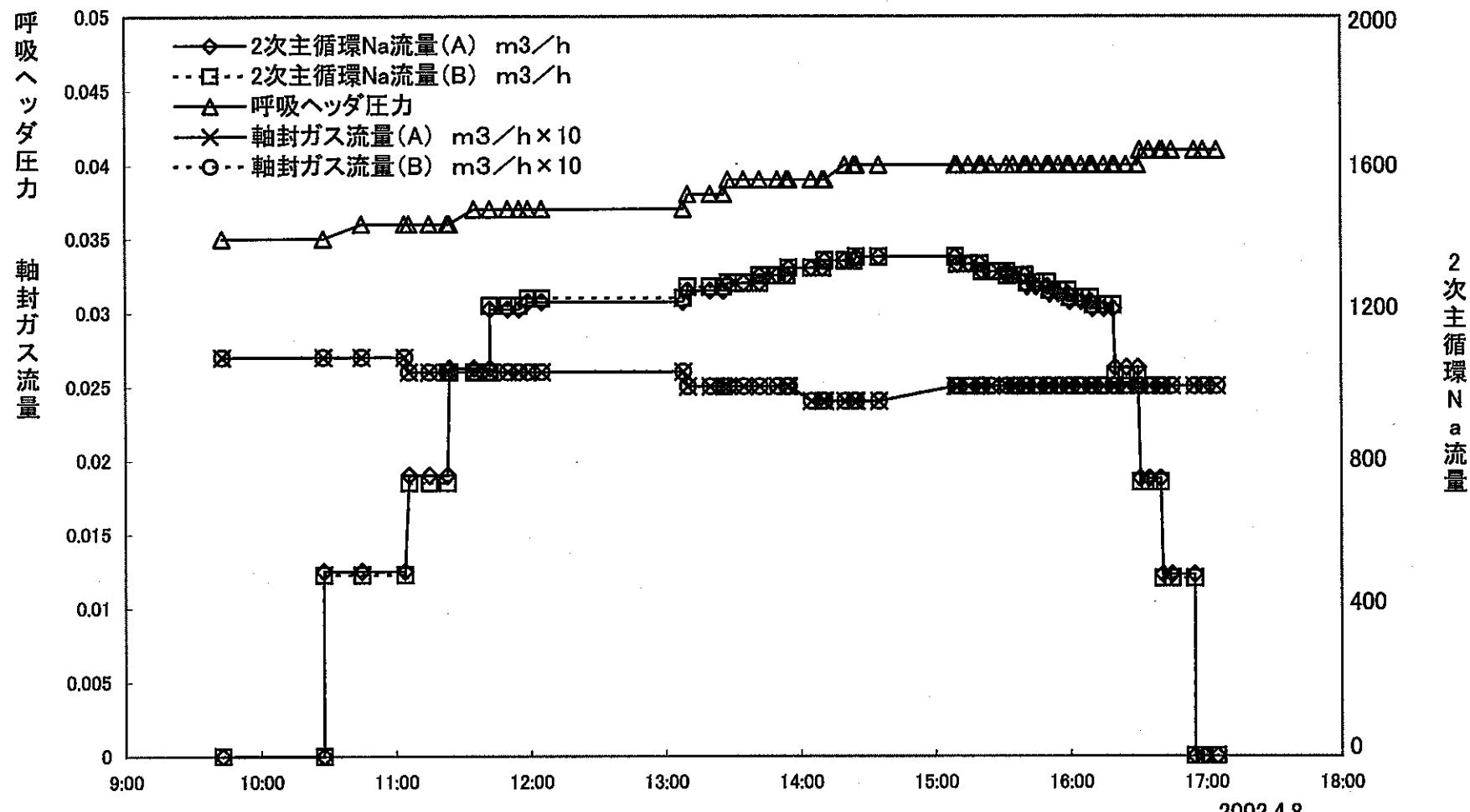


図5.6-1 2次アルゴンガス系圧力制御試験記録(2次主循環Na流量変更時)

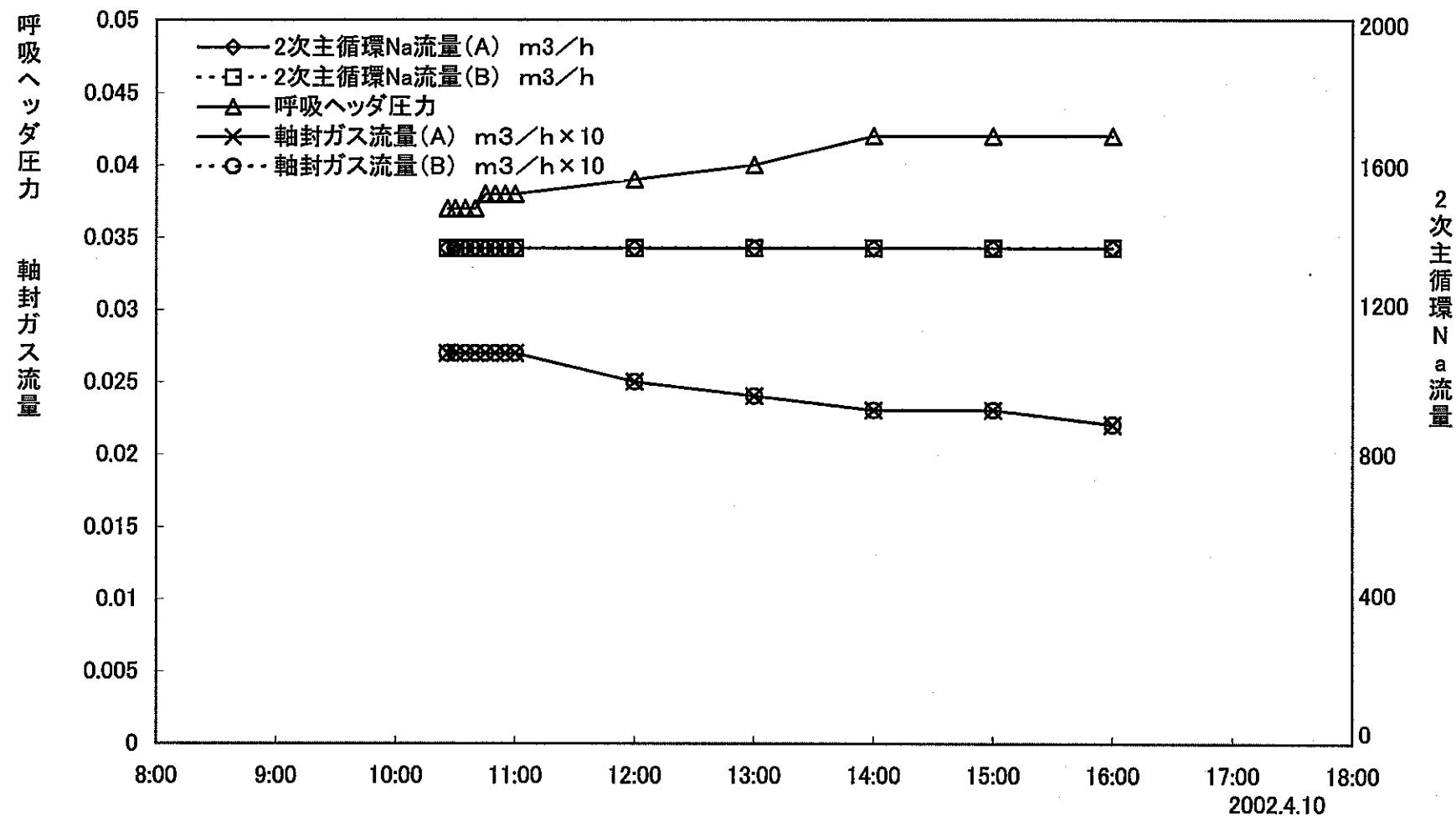


図5. 6-2 2次アルゴンガス系圧力制御試験記録(2次主循環Na流量定格時)

6. 結 言

「常陽」 MK-III 改造工事で 2 次主循環ポンプの電動機、同速度制御盤、同抵抗器盤を更新した。これにより、2 次主循環ポンプ、2 次純化系電磁ポンプ、2 次アルゴンガス系統設備の機能が満足していることを確認する目的で本試験を実施し、以下の運転特性を把握した。

- ① 2 次主循環ポンプ特性試験・流量制御試験については、系統 Na 温度 200°Cにおいて A、B ループとも回転数タップ 11 で定格流量を得た。系統 Na 温度 250°Cにおいては、A、B ループとも回転数タップ 10 で定格流量に裕度を持たせた流量を得た。このことから原子炉定格運転時のポンプ運転点は、系統 Na 温度上昇に伴う密度変化や電磁流量計の温度特性を考慮すると、A ループ回転数タップ 9、B ループ回転数タップ 8 で定格流量を得るものと推定した。また揚程については、十分に設計余裕範囲内にあることを確認した。
- ② 2 次主循環ポンプ特性試験・フローコーストダウン特性試験については、2 次主循環ポンプ停止後の流量半減時間が MK-I の結果と比べて増加しており安全解析で使用した値より大きいことを確認した。
- ③ 2 次主循環ポンプ特性試験・連続運転試験については、最低抵抗タップ位置、定格抵抗タップ位置にて電動機の固定子巻線温度、ケーシング温度を確認した結果、管理基準値を満足していることを確認した。また各種運転データは判定基準値以下にあることを確認しており、連続運転においても安定した性能が得られることを確認した。
- ④ 2 次主循環ポンプ特性試験・振動測定試験においては、ポンプ上部軸受、電動機の振動最大値は、十分に管理基準値を下回った。
- ⑤ 2 次純化系電磁ポンプ流量制御試験については、2 次主循環ポンプが起動し定格流量運転に至る間、IVR 及び充填弁開度の調整によって、2 次純化系を定格流量に調整可能であることを確認した。
- ⑥ 2 次アルゴンガス系圧力制御試験については、2 次主循環 Na 流量定格運転時、変更時ともに 2 次アルゴンガス系圧力への有意な影響は確認されず、制御圧力 (0.0343 MPa ~ 0.0441 MPa) の範囲内で十分に制御可能であることを確認した。これらを総合的に判断し、2 次主循環ポンプ、2 次純化系電磁ポンプ、2 次アルゴンガス系統設備は MK-III 運転に必要な機能を満たした。