JNC TN9410 2004-014

「常陽」MK－Ⅲ総合機能試験

－ １次主循環ポンプ関係 －

（技術報告）

２００４年6月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

JNC TN9410 2004-014
2 0 0 4 年 6 月

「常陽」MK－Ⅲ総合機能試験
－1次主循環ポンプ関係－
（技術報告）

磯崎 和則[*1]，斎藤 隆一[*1]，住野 公造[*1]
山﨑 裕治[*3]，軽部 浩二[*2]，寺野壽洋[*2]
坂場 秀男[*1]，仲井 悟[*1]

要　旨

MK－Ⅲ炉心構成前の総合機能試験（SKS-1）は，2001年10月17日～2001年10月22日の間で実施し，MK－Ⅲ炉心構成後の総合機能試験（SKS-2）は，2003年1月27日～2003年2月13日の間に実施した。

主たる試験結果は，以下のとおりであった。

(1) 1次主循環ポンプの流量調節設備は，CASモード及びMANモードとも安定に制御できることを確認した。また，ステップ状の流量変化に対しても流量及び回転数に発散する傾向がないことを確認した。

(2) 手動スクラム後，約54secでランバック制御運転に移行することを確認した。移行後のランバック運転は，A側：167m³/h，117rpm，B側：185m³/h，118rpmであり，ランバック運転回転数128rpm±8rpmの範囲にあること，定格流量の10%以上を確保していることを確認した。

(3) ポニーモータへの引継は，1次主循環ポンプトリップ事象発生後，約39secで行われることを確認した。引継後のポニーモータ運転は，A側：180m³/h，124rpm，B側：190m³/h，123rpmであり，ポニーモータの運転下限回転数である93rpm以上であること，定格流量の10%以上を確保していることを確認した。

(4) 1次主循環ポンプトリップ時及びランバック時ともフリーフローコーストダウン時定数は，10sec以上を確保していることを確認した。

(5) 1次主循環ポンプ定格運転中におけるオーバフローカラム液面は，A側：NL-1,550mmNa，B側：NL-1,468mmNaであり，予想していたNL-1,581mmNaより小さく，設計時における新主中間熱交換器の圧損計算結果は，保守的な値であった。

(6) 1次主循環ポンプは，瞬停時間0.6secまでスクラムせずに定格流量に復帰できることを確認した。

---

*1：実験炉部原子炉第二課

*2：実験炉部原子炉第一課

*3：東興機械工業（株）

JNC TN9410 2004-014
June, 2004

MK-III Function Tests in JOYO
—Primary Main Cooling Pump—
(Technical Report)

Kazunori Isozaki*1, Takakazu Saito*1, Kouzo Sumino*1
Yuuji Yamazaki*3, Kouji Karube*2, Toshihiro Terano*2
Hideo Sakaba*1, Satoru Nakai*1

Abstract

MK-III function tests (SKS-1) that was carried out from October 17, 2001 through October 23, 2001 using MK-III transition core configuration and MK-III function tests (SKS-2) was carried out from January 27, 2003 through February 13, 2003 using MK-III core configuration.

The major function tests results of primary cooling system were shown as follows;

(1) The stability of the primary main pump flow control system was confirmed on both CAS (cascade) mode and MAN (manual) mode. Also no divergence of flow and revolution of the pump were observed at step flow change disturbance.

(2) The main motor was shifted to run-back flow control operation in about 54 seconds after scram. The flow rate and pump revolution at run-back operation of A and B cooling system were 167 m^3/h and 117 rpm, 185 m^3/h and 118 rpm respectively. The pump revolution was within the design target revolution 122rpm±8rpm and the flow was over the 10 % of the rated flow.

(3) The pony motor was engaged in operation in about 39 seconds after the primary main pump trip. The flow rate and pump revolution at the pony motor operation of A and B cooling system were 180 m^3/h and 124 rpm, 190 m^3/h and 123 rpm respectively. These values were satisfied the design low limit of 93 rpm and 10 % of the rated flow.

(4) Free flow coast down time constant was longer than 10 seconds that was design shortest time at both the primary pump trip and run-back operation.

(5) Pump over flow column sodium levels of both A and B cooling system at rated operating condition were NL-1550 mm and, NL-1468 mm respectively and were lower than NL-1581 mm of the design value. This result shows the new IHX pressure loss estimation was conservative.

(6) It was confirmed that the primary main pump could operate with out scram for up to 0.6 seconds of external power supply loss.

*1 : Maintenance Engineering Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center
*2 : Operation Engineering Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center
*3 : Toko Kikai Kougyou Company

目　次

表リスト

図リスト

1. はじめに

高速実験炉「常陽」では，照射能力の高度化に向けたプロジェクト（MK－Ⅲ計画）を進めてきた。MK－Ⅲ計画は，炉心の高速中性子束を高める，照射運転時間を増やす，照射技術を向上させることを目的としているが，炉心の中性子束を高めることで熱出力がMK－Ⅱ炉心の100MWtから140MWtに増大するため，冷却系除熱能力を高めるための冷却系改造工事を実施し，主中間熱交換器（以下，主IHXという）2基，主冷却機（主冷却器（以下，DHXという）及び主送風機設備）4基，1次及び2次主循環ポンプの駆動電動機及び流量制御設備の交換を行った。また，照射運転時間を増やすための改造として，原子炉停止期間中に実施する燃料交換期間を短縮するため，燃料取扱設備の自動化を図った。

MK－Ⅲ総合機能試験は，冷却系及び燃料取扱設備の改造において改造・交換したMK－Ⅲ機器が設計通りの性能を有していること，改造によって影響を受ける機能が正常であることを確認するため機能試験を実施した。

本報告書は，MK－Ⅲ総合機能試験結果報告書8分冊のうちの1分冊であり，1次冷却系のうち特に1次主循環ポンプに関係する以下の15項目の総合機能試験についてまとめたものである。

(1) SKS-101-1 1次主循環ポンプの主モータ速度制御試験（予備試験）
(2) SKS-101-2 1次主循環ポンプの主モータ速度制御試験（通常試験）
(3) SKS-102 1次主循環ポンプのランバック制御試験
(4) SKS-103-1 ポニーモータ引継試験（予備試験）
(5) SKS-103-2 ポニーモータ引継試験（通常試験）
(6) SKS-104-1 1次主循環ポンプ主モータによる特性試験
(7) SKS-104-2 1次主循環ポンプフローコーストダウンによる特性試験
(8) SKS-104-3 1次主循環ポンプランバック運転試験
(9) SKS-104-4 ポニーモータ運転試験（燃料交換モード流量運転から）
(10) SKS-104-5 ポニーモータ運転試験（定格流量運転から）
(11) SKS-105 1次主循環ポンプ連続運転試験
(12) SKS-107-2 プロセス計装校正（1次主循環ポンプ回転数計）
(13) SKS-110 1次主循環ポンプ主モータ冷却空気入口温度測定
(14) SKS-113 1次系各部液面測定
(15) SKS-115 1次主循環ポンプ瞬停再起動試験

2.　試験の概要，工程及び設備の概要

2.1　試験項目

表 2.1－1 に総合機能試験項目及び試験概要を示す。

総合機能試験の実施項目は，実験炉部第 17 特別部会の下に設けられたワーキンググループにおいて検討された。この検討において，MK－Ⅰ，MK－Ⅱ炉心での試験経験も踏まえて，試験範囲を改造によって影響を受ける機能に絞り込んだ。

2.2　工程

総合機能試験は，更新あるいは改造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。

総合機能試験は，1 次冷却系の系統圧力損失（以下，圧損という）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 次主循環ポンプの駆動用電動機が故障したため，その時点で未実施であった 2 次冷却系関係の試験項目は，2 次主循環ポンプの駆動用電動機交換後の 2002 年 4 月に実施した。

表 2.2－1 に総合機能試験（その 1－1），表 2.2－2 に総合機能試験（その 1－2），表 2.2－3 に総合機能試験（その 2）実績工程表を示す。

2.3　対象設備の概要

2.3.1　1 次主冷却系

1 次主冷却系は、主中間熱交換器，1 次主循環ポンプ，1 次主冷却系配管及び弁類等から構成されており，原子炉で発生した熱を冷却材ナトリウムにより除去する系統で 2 ループからなる。1 ループ当りの冷却材定格流量は 1,538m^3/h（100％）である。

図 2.3.1－1 に 1 次主冷却系の配管配置図を示す。

図 2.3.1－1 に示したように、ナトリウムは主循環ポンプにより吐出され、炉容器高圧プレナムへと導びかれ，図 2.3.1－2 に示すように高圧プレナムからは温度 350℃のナトリウムが炉心領域を下方より上方へ流れる。

一方，高圧プレナムから低圧プレナムへ分流された 350℃の冷却材は、炉心部周辺領域を上方に流れ、炉容器上部で炉心からのナトリウムと合流する。このときのナトリウム温

度は500℃（定格出力140MWt）である。ナトリウムは、炉容器上部壁に対称に設けられた2本の配管より流出し、各々の主中間熱交換器の胴側に入り、管側の2次主冷却系統設備の非放射性ナトリウムと熱交換を行って350℃に冷却され、主循環ポンプへ戻る。

１次主冷却系統は，すべて格納容器内床下に設置され、原子炉運転中の床下雰囲気は万一、配管が破損して放射性ナトリウムが漏洩しても火災を起こさないように窒素雰囲気となっている。また，１次主循環ポンプがトリップした場合は，130rpm に回転数が低下した時点で直流無停電電源で駆動されるポニーモータに引継がれ、炉心崩壊熱除去に必要な冷却材流量が確保される。以下に１次主冷却系の仕様を示す。

１次主冷却系の仕様

原子炉からの除熱量		140MWt
全　流　量		3,076m^3/h
ル　ー　プ　数		2
１ループ当りの流量		1,538m^3/h
運　転　温　度	原子炉入口	350℃
	原子炉出口	500℃
設　計　温　度	ホットレグ	550℃
	コールドレグ	450℃

2.3.2 １次主循環ポンプ

１次主循環ポンプは、竪形２軸受自由液面式遠心ポンプであり、各ループに１基設置されている。ポンプ本体（内部構造）と本体を収納する外部ケーシングから成っている。

図2.3.2－1に１次主循環ポンプの構造を示す。

ポンプ本体は、インペラ，デフューザ，軸，軸受，軸封機構，熱遮蔽板及びガンマ線遮蔽体等からなり、メンテナンス時には配管と接続している外部ケーシングを残し、ポンプ本体のみを引出すことが出来る。外部ケーシングの液体ナトリウムに接する部分はリークジャケットで覆う二重構造とし、ポンプ予熱及び万一ナトリウムが漏洩した時のナトリウム検知と保持が行えるようになっている。

主中間熱交換器出口から流出したナトリウムは、外部ケーシングの下部から吸込まれ、インペラにより加圧されてデフューザを通り高圧室に入り、吐出口より水平に流出する。高圧ナトリウムの一部は、本体下部のナトリウム潤滑静圧軸受に供給される。静圧軸受から流出したナトリウムは、ポンプ内液面を一定に保つために設けたオーバフローノズルか

らポンプオーバフローコラムに流出しポンプ吸入側に戻る。ナトリウム液面は、アルゴンカバーガスで覆い、アルゴンガスと外気とはメカニカルシールでシールしている。

このメカニカルシール及びポンプ上部のスラスト軸受は、潤滑油により潤滑される。また、ナトリウム蒸気がメカニカルシール部に上って来るのを防ぐため、外部より清浄アルゴンガスをシール部に供給し、ポンプ内にブローしている。このアルゴンガスのポンプ内対流によってポンプケーシング周方向に温度差が生じ、この温度差によって発生するケーシングの熱変位によって静圧軸受が接触しないように対流防止板が取り付けられている。

ホンプ上部には、主電動機（以下，主モータという）が使用できない場合に崩壊熱を除去するのに十分な流量を流せるように無停電電源で駆動する直流電動機（ポニーモータ）を備えている。以下に１次主循環ポンプの仕様を示す。

１次主循環ポンプの仕様

電動機	竪軸三相誘導電動機
出力	300kW
電圧	3000V
極数	6
制御方式	静止形セルビウス
基数	2
形式	竪軸自由液面型遠心式
運転温度	350℃
設計温度	450℃
定格流量	1,538m³/h
定格揚程	約 60mNa

ポニーモータの仕様

数量	２台
形式	竪軸直流電動機
出力	約 2.5kW
電源	直流 100V
ポニーモータ運転時の炉心流量 （定格流量に対する割合）	約 5%/台

2.3.3 １次主循環ポンプ制御系

図 2.3.3－1 に１次主循環ポンプ制御設備のシステム構成を示す。

1 次主循環ポンプ制御設備は，大きく分けて 1 次主循環ポンプ速度制御系，1 次冷却系流量制御系，1 次主循環ポンプ回転数計装系の 3 設備から構成されている。

1 次主循環ポンプの速度制御は，静止形セルビウス方式である。静止形セルビウス方式は，まず巻線形誘導電動機において 2 次側巻線に発生する誘導起電力をスリップリングを介してシリコン整流器(SR)、直流リアクトル(DCL)及びサイリスタインバータ(SCR)を含む外部回路（以下、直流主回路という）に導き、直流電力に変換する。次に、直流電力を DCL を通して電流の脈動を抑制し、SCR によって電源周波数と同じ周波数の交流電力に変換する。この交流電力をインバータトランスにより電源電圧と同じ電圧に昇圧して，1 次電源系統へ返還する。電動機の速度制御は、SCR のゲート制御(点弧角位相制御)により、直流主回路のインバータ電圧を制御することによって電動機 2 次側回路の電流値を変化させ、電動機発生トルクを加減することにより行う。SCR のゲート制御は，流量制御信号に対応する回転数指令信号と実回転数信号との偏差信号に基づき、自動パルス移相調整器(APPS)で制御されるパルスにより SCR の点弧角位相を制御することにより行う。

1 次冷却系流量制御系は，図 2.3.3－2 に示すように，1 台の流量マスターステーションと 2 台の流量ステーションから構成される。ここでは，1 次主冷却系の電磁流量計からの実流量信号と流量マスターステーションで設定された流量ステーションの流量設定値とを比較し，その流量偏差をセルビウス速度制御系に送る役割を担っている。なお，1 次冷却系流量制御系の制御方式は，MK－Ⅱと同様 PI 制御であり，その制御定数も同一値を採用している。表 2.3.3－1 に 1 次冷却系流量制御系の設定値を示す。

流量制御系から送られてきた流量偏差信号は，速度（回転数）指令信号に変換されるが、これは 1 次主循環ポンプ回転数計装系からの実回転数信号（電磁ピックアップ式）と突合わされ、補償回路で信号値の調整、増幅が行われて APPS への制御入力信号となる。

1 次主循環ポンプ回転数計装系は，回転数検出精度を向上させるため，MK－Ⅱで用いていた発電機方式から電磁ピックアップ方式に変更しており，その構成は図 2.3.3－3 のとおりである。

MK－Ⅲでは，外部電源喪失及び 1 次主循環ポンプトリップにおいては MK－Ⅱと同様にポニーモータに引き継ぎ，これら以外の原子炉スクラム事象においては MK－Ⅱと異なり主モータによるランバック制御方式を採用している。これは，MK－Ⅲで流量を増加させたことも考慮して，異常時における 1 次系と 2 次系との流量ミスマッチを防止することで熱過渡を緩和するために導入したものである。図 2.3.3－4 に 1 次主循環ポンプ主モータ

及びポニーモータの基本運転シーケンスを示す。図 2.3.3−5 に 1 次主循環ポンプのランバック制御を示す。

1 次主循環ポンプセルビウス速度制御系には，MK−Ⅱ同様に瞬時停電（以下，瞬停という）時における 1 次主循環ポンプのトリップを防止するため，瞬停対策回路が設けられている。図 2.3.3−6 に 1 次主循環ポンプの瞬停対策回路を示す。瞬停検出は，主電圧 (V1) が低下したこと，I1−Id 検出回路で瞬停発生時モータ 1 次電流 (I1) とインバータ電流 (Id) のバランスが崩れたこと，直流過電流で MCCB がトリップしたことのいずれかで行われる。瞬停対策回路は，瞬停検出されると，瞬停停電とみなして，瞬停発生時に主モータを停止させることなく，サイリスタスイッチにより瞬停 2 次抵抗器 (電磁接触器 6M2 は常時 ON) を接続し，復電と同時に抵抗器による加速後セルビウス運転に切換えるものである。

3. 1次主循環ポンプの主モータ速度制御試験（SKS-101-1,2）

3.1 試験目的

3.1.1 主モータ速度制御試験（予備試験（SKS-101-1））

主モータ速度制御試験（予備試験（SKS-101-1））は，MK－Ⅲ冷却系改造工事後における初めての1次主循環ポンプの実負荷運転において，起動・停止及び流量制御系（MANモード及びCASモード）による昇速・降速操作等の制御性を確認すると共に，1次主循環ポンプの低流量運転時，高流量運転時にステップ状の外乱を与え制御系の安定性を確認する。なお，予備試験の段階では，炉心がMK－Ⅲ炉心状態でないことから，流量上限をMK－Ⅱ定格流量（1,260m^3/h）までとし，MK－Ⅲ定格流量（1,538m^3/h）までの試験は，通常試験（SKS-101-2）で実施する。

3.1.2 主モータ速度制御試験（通常試験（SKS-101-2））

主モータ速度制御試験（通常試験（SKS-101-2））は，1次主循環ポンプの起動・停止及び流量制御系（MANモード及びCASモード）による約170m^3/h～定格流量までの昇速，定格流量～約170m^3/hまでの降速を確認すると共に，1次主循環ポンプの低流量運転時，高流量運転時にステップ状の外乱を与え制御系の安定性を確認する。また，1次主循環ポンプ昇速時には，定格流量までの各段階において，原子炉格納容器床下雰囲気に設置されている1次主冷却系配管及び枝管に，異常な流力振動等が生じていないことをあわせて確認する。

3.2 試験日時

3.2.1 主モータ速度制御試験（予備試験（SKS-101-1））

2001年10月17日（水），2001年10月19日（金）～10月22日（月）

3.2.2 主モータ速度制御試験（通常試験（SKS-101-2））

2003年1月27日（月）～1月29日（水），2003年2月4日（火）

3.3 試験方法

3.3.1 主モータ速度制御試験（予備試験（SKS-101-1））

(1) 1次主循環ポンプの起動・停止試験

① 1次主循環ポンプ起動条件が成立していることを確認する。

② 流量ステーションコントローラをMANの状態で１次主循環ポンプを一括操作スイッチ（以下，CSという）で起動し，回転数の立ち上がりを確認後，停止してフローコーストダウン挙動を確認する。

(2) １次主循環ポンプの手動昇速・降速試験

① １次主循環ポンプを起動し，最低回転数で安定を待つ。

② セルビウス制御盤の操作選択スイッチを「中央」→「現場」に切替え，手動にて１次主循環ポンプの昇速・降速を実施する。

(3) １次主循環ポンプのトリップ試験

1 次主循環ポンプ制御回路に回転数差過大（45rpm）の模擬信号を入力し，トリップすることを確認する。

(4) １次主循環ポンプの流量制御負荷試験（MANモード試験）

流量ステーションコントローラをMANモードとして，１次主循環ポンプの昇速・降速を実施する。

(5) １次主循環ポンプの流量制御負荷試験（CASモード試験）

マスターステーションコントローラをCASモードとして，１次主循環ポンプの昇速・降速を実施する。

(6) １次主循環ポンプの制御系安定度確認試験

1 次主循環ポンプの低流量運転時，高流量運転時に，ステップ状の信号を印加して外乱を与え制御系の安定性を確認する。

3.3.2 主モータ速度制御試験（通常試験（SKS-101-2））

(1) １次主循環ポンプの起動時回転数確認試験

① １次主循環ポンプ起動条件が成立していることを確認する。

② 流量ステーションコントローラをMANの状態で１次主循環ポンプを一括CSで起動し，セルビウス制御に切替わり，起動時ポンプ回転数（約100rpm（約170m^3/h））にて安定することを確認する。

(2) １次主循環ポンプの流量制御負荷試験

① 流量ステーションコントローラをMANの状態で１次主循環ポンプを一括CSで起動し，セルビウス制御に切替わり，起動時ポンプ回転数（約100rpm（約170m^3/h））にて安定することを確認する。

② A，B流量ステーションコントローラをMANの状態で変更し，流量を約170m^3/h～

100%の間で上昇，下降させる。

③ CAS モードにてマスターステーションの流量目標値を設定し，流量を約 170m³/h～100%の間で上昇，下降させる。

(3) 1次主循環ポンプの流量安定度確認試験

① マスターステーションを MAN の状態で1次主循環ポンプを一括 CS で起動し，マスターステーションにて流量約 170m³/h の運転状態とする。

② 流量を低流量試験約 252m³/h，高流量試験 1,538m³/h に変更し，流量制御系にステップ指令（試験流量の-5%）を入力して制御系が発散しないことを確認すると共に，流量，回転数の応答時間，オーバーシュート量を測定する。

3.4 判定基準

3.4.1 主モータ速度制御試験（予備試験（SKS-101-1））

予備試験のため，判定基準なし。

3.4.2 主モータ速度制御試験（通常試験（SKS-101-2））

(1) MK－Ⅲ炉心状態における流量調節設備の制御性を確認し，ポンプ回転数及び流量が発散しないこと。

(2) MAN モードからの1次主循環ポンプ回転数指令により，主循環ポンプの回転数を安定に制御できること。

(3) マスターステーションの CAS モードで流量目標値を設定し，その流量目標値に向かって指定された昇速・降速率で昇速・降速し，目標値に到達して停止する機能が正常に動作し，ポンプ回転数及び流量が発散せず，安定に制御できること。

3.5 試験結果

3.5.1 主モータ速度制御試験（予備試験（SKS-101-1））

(1) 1次主循環ポンプの起動・停止試験（2001年10月17日）

1次主循環ポンプの起動・停止試験は，MK－Ⅲ冷却系改造工事後初めての運転となるため，起動後の回転数立ち上がり，フローコーストダウンを確認するため，起動して即停止する寸動試験を実施した。

図 3.5.1－1に1次主循環ポンプ運転特性試験（起動・停止試験及び2回目起動試験）の回転数及び流量を示す。図 3.5.1－2に1次主循環ポンプ運転特性試験（起動時の挙動）の

回転数及び流量を示す。

図 3.5.1−2 より，1 次主循環ポンプは，起動時に A 号機と B 号機とで遮断器投入時間に約 0.5sec の時間差があり，この時間差による回転数差が約 40rpm あり，起動時に回転数差大（30rpm）の警報が発生した。

図 3.5.1−1 より，1 次主循環ポンプ寸動試験後の回転数低下（フローコーストダウン）特性は，A 号機の回転数降下率の方が大きかったが，初期起動時の静圧軸受のなじみによるトルクの違いであると推測される。これは，1 次主循環ポンプ手回しトルク測定において，A 号機が約 135N・m（約 13.8kg・m），B 号機が約 123N・m（約 12.5kg・m）と A 号機の方が若干大きかったこととも一致する。

(2) 1 次主循環ポンプの手動昇速・降速試験（2001 年 10 月 17 日）

図 3.5.1−3 に 1 次主循環ポンプ運転特性試験（セルビウス制御盤手動操作による昇速・降速）の回転数及び流量を示す。

1 次主循環ポンプ起動後の安定回転数は，A 号機：109rpm，B 号機：112rpm，回転数差：-3rpm であった。その後，セルビウス制御系の操作スイッチを「中央」→「現場」に切替えて，手動で約 110rpm→約 130rpm まで昇速させ，その後，約 130rpm→約 110rpm まで降速を実施した。この操作により，流量制御系が故障した場合でも，セルビウス制御盤からの手動操作で運転員が昇速・降速できることを確認した。

(3) 1 次主循環ポンプのトリップ試験（2001 年 10 月 17 日）

1 次主循環ポンプの回転数計は，回転数計の精度向上を図るため，MK−Ⅲ冷却系改造工事で MK−Ⅱまでの発電機方式から電磁ピックアップ方式に変更していることから，回転数差過大によるトリップインターロックが正常に作動することを模擬信号入力により確認した。

図 3.5.1−4 に 1 次主循環ポンプ運転特性試験（1 次主循環ポンプ回転数差過大模擬トリップ）の回転数及び流量を示す。

トリップ時のフローコーストダウン特性は，約 40rpm まではほぼ同様な挙動であるが，停止は初期起動時とは異なり，B 号機の方が速かった。今回の 1 次主循環ポンプの起動・停止は，MK−Ⅲ冷却系改造工事後 2 回目の起動・停止であり，静圧軸受の初期なじみは終了していることから，スラスト軸受のトルク特性の違いと想定される。

(4) 1 次主循環ポンプの流量制御負荷試験（MAN モード試験）（2001 年 10 月 17 日）

一括 CS により，1 次主循環ポンプを再起動させ，1 次主循環ポンプ(A)及び(B)の流量ス

テーションコントローラを MAN モードで昇速・降速操作を実施した。昇速は，最低流量→20%→80%（10%ステップ）で昇速し，各ステップで流量，回転数，液面，温度等のデータ採取を実施した。

図 3.5.1－5 に 1 次主循環ポンプ運転特性試験（MAN モードによる流量制御負荷試験）の回転数及び流量上昇データを示す。

ステップ状の昇速では，初期に設定値をオーバーシュートする傾向が見られ，その後減衰して設定値に安定する傾向が見られた。なお，図 3.5.1－5 のデータでは，流量範囲が広くてその傾向を確認することはできないが，図 3.5.1－7 の 2001 年 10 月 19 日に実施した MAN モードによる流量制御負荷試験データ（約 $180m^3/h$～約 $300m^3/h$ 付近）の傾向と同様である。これは，セルビウス速度制御系の制御定数の応答速度が速いため，初期にオーバーシュートするものと推測され，明らかに MK－Ⅱにおける挙動とは異なっていた。なお，これらの違いは，流量制御系の制御定数が MK－Ⅱと同一（P：190，I：45sec）であることから流量制御系の影響ではなく，セルビウス制御系の制御特性によるものである。

(5) 1 次主循環ポンプの流量制御負荷試験（CAS モード試験）

(a) 2001 年 10 月 19 日

10 月 18 日から実施していたポニーモータ連続運転を止め，1 次主循環ポンプを再度起動し，マスターステーションコントローラの CAS モードによる昇速操作を実施した。マスターステーションコントローラの SV 値を 37%（$630m^3/h$）に設定し，昇速率 $30m^3/h/min$ で SV 値までの自動昇速を開始した。しかし，回転数約 150rpm（流量約 $260m^3/h$）で回転数，流量が発散する傾向となったため，流量ステーションコントローラを MAN モードとし試験を中止した。

図 3.5.1－6 に 1 次主循環ポンプ運転特性試験（CAS モードによる流量制御負荷試験）の発散傾向を示す。

制御系が発散して CAS モードによる流量制御負荷試験ができなくなったことから，流量ステーションコントローラの MAN モードにより流量を約 $630m^3/h$ まで上昇させ，次の試験である 5.5.1(2)項の MK－Ⅱ定格流量の 50％からのポニーモータ引継試験を実施した。

図 3.5.1－7 に 1 次主循環ポンプ運転特性試験（MAN モードによる流量制御負荷試験）の回転数及び流量を示す。なお，図 3.5.1－7 で見られる挙動は，10 月 17 日に実施した 1 次主循環ポンプの流量制御負荷試験（MAN モード試験）と同様の傾向である。

(b) 2001年10月20日

10月19日に実施したCASモードによる流量制御負荷試験において生じた回転数，流量の発散は，マスターコントローラを追加しているものの制御定数を変更していない流量制御系には問題はなく，MK－Ⅲで唯一構造等が変更となっているセルビウス速度制御系の制御定数に問題があると考えられた。このことから，セルビウス速度制御系のASR（自動速度調節器）コンデンサ容量（コンデンサ1個→3個使用）を変更して，セルビウス速度制御系の感度を鈍く（積分時間を約3倍にしたことに相当）し，MANモードによるステップ応答試験を実施した。

① セルビウス速度制御系応答試験

図3.5.1－8に1次主循環ポンプ運転特性試験（セルビウス速度制御系制御定数変更後のステップ応答試験）の回転数及び流量を示す。

コンデンサ容量変更後にMANモードでのステップ応答試験を実施した結果，制御系の応答がほぼMK－Ⅱのセルビウス速度制御系に近い状態となった。また，図3.5.1－7で示したようなステップ上に流量を上昇させた際に，ハンチングしながら設定値に減衰していく傾向は見られなくなった。

② MK－Ⅱ定格流量での連続2時間運転

MK－Ⅱ定格流量での連続2時間運転を実施し，1次主循環ポンプ各部のデータ採取を行うと共に，連続運転に問題ないことを確認した。

(c) 2001年10月22日

図3.5.1－9に1次主循環ポンプ運転特性試験（CASモードによる流量制御負荷試験）の回転数及び流量を示す。

セルビウス速度制御系の感度を鈍くした後のCASモードによる流量制御負荷試験を実施した。マスターステーションコントローラのSV値を37%（630m^3/h）に設定し，昇速率30m^3/h/minでSV値までの自動昇速を実施した。10月19日に発生した約300m^3/h付近での回転数，流量の発散は見られず，スムーズに流量上昇が実施できた。その後，SV値を65%（1,100m^3/h）に設定し，昇速率30m^3/h/minでSV値までの自動昇速を実施した。この間においても特に回転数，流量の発散は見られず，スムーズに流量上昇ができることを確認した。CASモードによる昇降速は，630m^3/hまでを2回，630m^3/h→1,100m^3/hを1回，252m^3/h→1,220m^3/hを1回，1,200m^3/h→252m^3/hを1回実施したが，いずれもスムーズな制御であった。

(6) 1次主循環ポンプの制御系安定度確認試験（2001年10月22日）

流量ステーションコントローラとマスターステーションコントローラとの間に偏差を与えてステップ応答を行い，制御系の安定度を確認した。制御系の安定度は，以下のケースで実施した。

流量 252m³/h 付近　：偏差-1.2%，+1.2%（約 20m³/h），流量制御系 P=190，I=45sec

流量 1,100m³/h 付近　：偏差-1.5%，+1.5%（約 25m³/h），流量制御系 P=190，I=45sec

：偏差-3.0%，+3.0%（約 50m³/h），流量制御系 P=190，I=45sec

：偏差-1.5%，+1.5%（約 25m³/h），流量制御系 P=190，I=20sec

：偏差-3.0%，+3.0%（約 50m³/h），流量制御系 P=190，I=20sec

いずれのステップ応答試験においても制御系の安定性に問題はなかった。代表として，図 3.5.1－10 に流量 1,100m³/h 付近での 1 次主循環ポンプ運転特性試験（CAS モードによるステップ応答試験）の回転数及び流量を示す。

3.5.2 主モータ速度制御試験（通常試験（SKS-101-2））

(1) 1次主循環ポンプ起動時回転数確認（2003年1月27日）

図 3.5.2－1 に主モータ速度制御試験（1 次主循環ポンプ起動時回転数確認）の回転数及び流量を示す。

1 次主循環ポンプは，起動時の起動抵抗器により一旦約 190rpm（流量約 280m³/h）まで上昇し，その後セルビウス制御に引継がれ，セルビウス制御の最低制御回転数である約 100rpm 付近（流量約 150m³/h）で安定した。

A： 99rpm，134m³/h ，　　B：101rpm，153m³/h

(2) 流量制御負荷試験

① MAN モード流量制御系試験（2003年1月28日）

図 3.5.2－2 に主モータ速度制御試験（流量制御負荷試験（MAN モード））上昇側を示す。

主モータ速度制御試験（流量制御負荷試験（MAN モード））は，セルビウス制御の最低制御回転数～定格流量回転数まで 11 ステップ（約 170m³/h，20%，30%，40%，50%，60%，70%，75%，90%，1,518m³/h，100%）でデータ採取を行い，すべてのステップで安定であることを確認した。試験時における回転数と流量との関係は，図 3.5.2－2（2/2）に示すとおり，ほぼリニアな関係で妥当な結果であった。なお，A ループと B ループで僅かに違いが見られるが，これは流量計の誤差の違いによるものである。

② CASモード流量制御系試験（2003年1月29日）

図3.5.2－3に主モータ速度制御試験（流量制御負荷試験（CASモード））の回転数，流量及び液面を示す。

主モータ速度制御試験（流量制御負荷試験（CAS モード））は，CAS モードで約170m³/hから定格流量1,538m³/hまでの間を昇速・降速率34m³/h/minで上昇・下降させた。流量及び回転数に不安定挙動の発生はなく，設定した昇速・降速率で流量を上昇・下降できることを確認した。また，1次主循環ポンプ及びオーバフローカラム液面の変化にも不安定な挙動はなかった。

(3) 制御系安定度確認試験（2003年1月29日）

① 低流量領域

図3.5.2－4に主モータ速度制御試験（制御系安定度確認試験（低流量領域））の回転数及び流量を示す。

主モータ速度制御試験（制御系安定度確認試験（低流量領域））は，試験流量252m³/hの±5%である約±13m³/h（回転数で約±8rpm）のステップ状の変化を与えて，その応答性，安定性を確認した。その結果，流量及び回転数に発散する傾向はなかった。流量制御系の制御定数は，総合機能試験（その1）から変更していないため，MK－Ⅱと同一値（P：190，I：45sec）となっている。

② 高流量領域

図3.5.2－5に主モータ速度制御試験（制御系安定度確認試験（高流量領域））の回転数及び流量を示す。

主モータ速度制御試験（制御系安定度確認試験（高流量領域））は，試験流量1,538m³/hの±5%である約±77m³/h（回転数で約±45rpm）のステップ状の変化を与えて，その応答性，安定性を確認した。その結果，流量及び回転数に発散する傾向はなかった。

(4) 試験中に発生した不安定挙動について

① 不安定挙動（2003年1月30日）

図3.5.2－6にランバック制御試験後のCASモードによる流量上昇を示す。図3.5.2―7に時間軸及びプロセス値を拡大してランバック制御試験後のCASモードによる流量上昇時における不安定挙動を示す。

ランバック制御・運転試験後のCASモードによるランバック流量から100%流量への流量上昇中，流量230 m³/h付近で流量制御系又はセルビウス制御系に起因する回転数，

流量の発散挙動が見られたが，流量250m³/h付近から収束に向かい，その後の流量領域では問題なかった。また，回転数約 840rpm（流量約 1,400m³/h）では，緩やかな周期で約 10rpm ゆらぐ現象が発生した。

② 不安定挙動調査（2003年2月4日）

2003年1月30日のランバック制御試験後のCASモードによる流量上昇時に回転数約 840rpm で発生したゆらぎ現象を調査するため，1次主循環ポンプ回転数変動調査を実施した。図3.5.2－8に1次主循環ポンプ回転数変動調査（回転数840rpm付近のゆらぎ現象）を示す。

1次主循環ポンプ回転数変動調査（回転数840rpm付近のゆらぎ現象）のため，1次主循環ポンプをゆらぎが発生する回転数840rpm付近に固定し，ゆらぎ挙動による安定性を確認した。その結果，Aループ側は，20～30sec周期で約15～16rpmの範囲で変動しているが発散する傾向はなく，常に一定したものであった。Bループ側は，約 20sec 周期で約12～13rpmの範囲で変動しているがAループ同様に発散する傾向はなかった。

(5) 1次主冷却系配管接続細管の振動測定

表3.5.2－1に1次主循環ポンプ運転特性試験における各部振動測定結果を示す。図3.5.2－9に1次主循環ポンプ運転特性試験時におけるポンプ出口NaK圧力計導管振動測定箇所を示す。図3.5.2－10に1次主循環ポンプ運転特性試験時における1次ナトリウム充填ドレン系配管振動測定箇所を示す。表3.5.2－2に1次主循環ポンプ出口NaK圧力計導管の簡易応力評価結果を示す。

1次主冷却系のMK－Ⅲ定格流量は，MK－Ⅱに比べて22％増加していることから，流量増大に伴う 1 次主冷却系配管のランダム振動が増大するため，MK－Ⅲ設計段階で事前評価を実施し，流量増大による流力振動による影響を確認している。1次主冷却系配管に接続された細管（NaK圧力計導管，充填ドレン系配管）については，改造対象範囲でなかったことから流力振動評価は実施してないものの，配管系自体の減衰が約2.5%以上と大きく，主配管のランダム振動によって励起されることはない。しかし，念のため1次主冷却系配管に接続されている細管を対象に1次主循環ポンプ運転特性試験に併せて振動測定を実施した。

振動測定の結果，NaK圧力計導管部で最大27μmP-P，充填ドレン系配管で最大40μmP-Pであり，問題となるようなレベルではなかった。なお，NaK圧力計導管の振幅で簡易応力評価を実施した結果，発生応力は極わずかで問題となるレベルではないことを確認

した。

3.6 評価・考察

3.6.1 1次主循環ポンプの起動・停止及びトリップ試験

1次主循環ポンプの起動・停止の予備試験では，A号機とB号機を同時に起動する一括CSにより起動しているが，起動時のA号機とB号機の遮断器投入時間に約0.5secの時間差があり，この時間差による回転数差が約40rpmあった。これは，以下のような理由により発生した。図3.6.1－1に1次主循環ポンプ起動インターロックを示す。

MK－Ⅱでは，1次主循環ポンプのCSがA号機，B号機の単独CSのみであったため，起動インターロックにおいて，双方の52M投入タイミングを合せていた。投入タイミングは，セルビウス制御装置内遮断器（52MA，52MB）を投入する回路に，1A-M/C,1B-M/C遮断器（152A3，153B3）が投入された信号をクロスさせて組み込んでいた。即ち，152A3が投入されたことをB号機の52MB投入回路に，152B3が投入されたことをA号機の52MA投入回路に組み込んでいた。MK－Ⅲでは，1次主循環ポンプに単独CSに加えて一括CSを設けたため，このクロス回路を削除し，A号機，B号機で独自に起動する回路とし，52MA，52MBを投入する回路に，1A-M/C,1B-M/C遮断器（152A3，153B3）が投入された信号をクロスさせて組み込んでいなかったため，A号機とB号機の遮断器特性によって約0.5secの投入時間差が生じたものである。

上記の理由より，起動時には回転数差大の警報が発生するが，起動時に回転数差過大でトリップしないようにタイマーを入れた回路としており，このタイマーの設定値は4secとなっているため，起動時に回転数差過大でトリップすることはない。しかし，2002年4月中旬にM/C遮断器の更新が予定されており，この工程がプラント工程との関係から1B-M/Cのみ先行して更新し，1A-M/C は遅れて更新される予定であった。既設の遮断器の投入時間は約1.5sec，更新後の遮断器の投入時間は約40msecであることから，A号機（152A3）とB号機（152B3）との投入時間差が現状よりも更に大きくなるため，1次主循環ポンプ起動時の回転数差が更に大きくなり回転数差過大（45rpm）を超える可能性があった。このため，遮断器の更新前に，MK－Ⅱと同様，セルビウス制御系内遮断器（52MA，52MB）を投入する回路に，1A,1B-M/C遮断器（152A3，153B3）が投入された信号をクロスさせて組み込む1次主循環ポンプ起動インターロックの改造を実施した。

MK－Ⅲ冷却系改造工事後初めてとなる 1 次主循環ポンプ寸動試験後の回転数低下（フロ

ーコーストダウン）特性は，A 号機の回転数降下率の方が大きく，初期起動時のなじみによるトルクの違いと推測される。これは，1 次主循環ポンプ手回しトルク測定において，A：約 13.8kg・m，B：約 12.5kg・m であり，A 号機の方が若干大きかったことも影響しているものと考えられる。

1 次主循環ポンプトリップ時のフローコーストダウン特性は，約 20rpm まではほぼ同様な挙動であるが，停止は MK－Ⅲ冷却系改造工事後初めてとなる 1 次主循環ポンプ寸動試験後の回転数低下とは異なり，B 号機の方が速かった。このトリップ時の挙動は，MK－Ⅲ冷却系改造工事後 2 回目の起動・停止であり，静圧軸受の初期なじみは終了していることから，スラスト軸受のトルク特性の違いと想定される。

3.6.2 1 次主循環ポンプの手動昇速・降速試験

本試験によって，流量制御系が故障した場合でも，セルビウス制御系の現場盤側の手動操作で運転員が昇速・降速できることを確認した。

3.6.3 1 次主循環ポンプの流量制御負荷試験

(1) MAN モード及び CAS モード予備試験

MAN モードにおけるステップ状の昇速では，初期に設定値をオーバーシュートする傾向が見られ，その後減衰して設定値に安定する傾向が見られた。これは，セルビウス速度制御系の制御定数の応答速度が速いため，初期にオーバーシュートするものと推測され，明らかに MK－Ⅱ時のセルビウス速度制御系と異なっていた。なお，現状，流量制御系の制御定数は，MK－Ⅱと同一値（P：190，I：45sec）に設定しているため，流量制御系の影響ではない。

CAS モードでは，マスターステーションコントローラの SV 値を 37%（630m^3/h）に設定し，昇速率 30m^3/h/min で開始したところ回転数約 150rpm（流量約 260m^3/h）で制御系に発散する傾向が見られたが，制御定数が MK－Ⅱと同様であることを考えると，流量制御系ではなく，セルビウス速度制御系の制御定数の違いによるものであることが容易に推測でき，その対策を検討した。検討の結果，セルビウス速度制御系の制御定数に大きく影響する ASR のコンデンサ容量を 1 個使用から 3 個使用に変更して，ASR の感度を鈍く（積分時間を 3 倍したことに相当）した。コンデンサ容量変更後に MAN モードでのステップ応答試験を実施した。コンデンサ容量を変更したことによって制御系の応答がほぼ MK－Ⅱのセルビウス速度制御系に近い状態となった。

10 月 19 日に発生した約 300m^3/h 付近での制御系の発散傾向は見られず，スムーズに流

量上昇が実施できた。その後，SV 値を 65%（1100m³/h）に設定し，昇速率 30m³/h/min で実施した。この間においても特に制御系の発散傾向は見られず，スムーズに流量上昇ができることを確認した。

(2) MAN モード及び CAS モード通常試験

予備試験においては，セルビウス制御系の制御定数に大きく影響する ASR のコンデンサ容量が少なく応答が速すぎたため，約 300m³/h 付近で発散する傾向があり，コンデンサを 1 個→3 個使用に変更して，ASR の感度を鈍くした。その結果，その後の流量上昇では発散する傾向はなくなった。

予備試験の結果を受けて，通常試験においても注意深く流量上昇時の挙動を確認したが，CAS モードによる流量上昇時の回転数上昇パターンを見る限り，約 300m³/h 付近が他の領域により滑らかさが若干低下しており，ゲイン余裕が小さいように見られる。セルビウス制御系の制御定数は，回転数の各領域で定数を変更することができないため，10%～100% で最も適切な制御定数を設定することになり，いずれかの領域では他の領域に比べてゲイン余裕が低下することは否めない。

2003 年 1 月 30 日に実施したランバック試験後の CAS モードによる 100%流量への上昇時には，流量 230m³/h 付近で不安定挙動が生じたが，250m³/h 付近からすぐに収束に向かっており，その後，この付近における流量上昇及び下降を何度か実施したが同様な事象は発生していないことを考えると，ゲイン余裕が小さいために不安定挙動が生じたものではないと推定している。しかし，1 次主循環ポンプの流量上昇及び下降時においては，最もゲイン余裕が低いと考えられる約 300m³/h 付近に注意しながら監視操作を実施することが必要と考えられる。

(3) 1 次主循環ポンプの制御系安定度確認試験

低流量領域及び高流量領域のいずれにおいても安定した制御が可能であることを確認することができた。

3.6.4 ポンプ起動時回転数確認試験

ポンプ起動時回転数については，MK－Ⅲ炉心への燃料交換作業後のデータを 2003 年 1 月 27 日に採取したが A 側：99rpm，B 側：101rpm であった。

表 3.6.4－1 に 1 次主循環ポンプの圧損と定格出力運転時における予測を示す。

MK－Ⅲにおける設計炉心圧損は，ナトリウム温度 350℃で 3.1kg/cm²（0.3MPa）～ 3.7kg/cm²（0.36MPa）である。ポンプ起動時回転数確認試験時における炉心圧損は，系統圧

3.7kg/cm^2（0.36MPa）である。ポンプ起動時回転数確認試験時における炉心圧損は，系統圧損測定結果から約 3.7kg/cm^2（0.36MPa　at 250℃）と高いが，今後の MK－Ⅲ炉心構成によっては，炉心圧損が最低で約 3.1kg/cm^2（0.3MPa　at 350℃）となる場合がある。圧損は，流量の 2 乗に比例する，すなわち，回転数の 2 乗に比例するため，炉心圧損の低下によって起動時回転数が現在よりも低くなる可能性がある。これに対して，1 次主循環ポンプの最低回転数（制限値）は，ポンプの静圧軸受の負荷容量で支配され 93rpm である。今後の炉心圧損低下を考慮すると，起動時回転数が 93rpm を下回る可能性があることから，2003 年 2 月 20 日に流量ステーション MV の下限値（L）を 0.0%→1.0%に変更し，起動時回転数の最低を下記に示すような値に変更した。これにより炉心圧損が低下した場合でも回転数は約 96rpm となり，1 次主循環ポンプの最低回転数（制限値）を満足できるものと考えられる。

A：　99rpm，134m^3/h（2003. 1.27）　→　105rpm，142m^3/h（2003. 2.20）

B：101rpm，153m^3/h（2003. 1.27）　→　107rpm，165m^3/h（2003. 2.20）

図 3.6.4－1 にポンプ起動時回転数確認（流量ステーション MV の下限（L）最終変更後）を示す。

3.6.5　試験中に発生した不安定挙動について

(1)　流量 230m^3/h 付近での不安定挙動

流量負荷試験で記述したように，流量 230m^3/h 付近での不安定挙動は，1 次主循環ポンプ B 号機の回転数が約 20rpm 急激に低下し，その影響が A 号機に現れ，回転数及び流量がハンチングしかけたものであるが，その後はすぐに収束させようと回転数変化が抑え込まれており，この挙動から制御定数は適切であったと考えられる。この原因については，その後一度も発生せずその原因についても不明であるが，同様の事象が発生した場合のデータ採取を考慮して，1 次主循環ポンプ A 号機と B 号機との回転数差をトリガとした現象記録装置（1 次主循環ポンプトリップ時における事象を解明するためのデータ記録装置）をスタートさせる機能を設けた。トリガとなる回転数差については，20rpm としている。

セルビウス制御系及び流量制御系の制御定数は，制御範囲（約 170m^3/h～1,538m^3/h）のいずれの領域でも同一であり，制御定数を領域毎に変更できるようになっていない。一般的なことであるが，制御範囲の中のいずれの領域でも同一の制御安定性が有しているというものはなく，領域毎で安定性は変化するものである。予備試験では，流量 200m^3/h～300m^3/h 付近で発散傾向になり，セルビウス速度制御系の ASR のコンデンサを 1 個から 3 個（容量 3 倍）使用にすることで積分時間を 3 倍とし，感度を鈍くして安定性を確保した

が，流量 200m³/h～300m³/h の領域が制御範囲の中で最も安定性が低下する領域であることは変わらない。

(2) 回転数 840rpm 付近のゆらぎ現象

回転数 840rpm 付近のゆらぎ現象の原因は，不安定挙動調査時に採取したセルビウス制御系データ及び数値解析プログラム "MATLAB"，"Simulink" を用いたセルビウス制御系シミュレーション解析結果より，1 次主循環ポンプが 1/6 スリップ回転数領域を超えたところで第 5 次高調波（1-6s 成分）が負荷側モータトルクの変動となって影響を与えたものであることが判明した。

図 3.6.5－1 に巻線型誘導機の高調波発生のメカニズムと 1 次側へ波及する周波数成分の関係を示す。図 3.6.5－2 に第 5 次高調波（1-6s 成分）によるトルク変動を示す。

図 3.6.5－1 より，1 次側から見た 2 次電流による回転磁界速度は（1±6ms）ω で表され，この中の第 5 次高調波はすべり s＝1/6 のところで 0Hz となることから，このすべり回転数を境に 1 次側に与える周波数成分が正相側と逆相側に変わる。図 3.6.5－2 より，第 5 次高調波（1-6s 成分）は，すべり s＝1/6 を境にその前後でモータに発生させているトルクが逆転している。このため，回転数 840rpm 直前で第 5 次高調波によるトルクがブレーキとして働く量が大きくなりトルクが減少するもののセルビウス制御で何とか回転数を上げようとしているが，回転数 840rpm を超えたと同時に第 5 次高調波によるトルクが働き回転数を急激に上昇させることになり，セルビウス制御の電流下げ指令が追いつかず回転数変動となって現れるものである。本現象は，第 5 次高調波のほかに第 11 次高調波も同様な挙動を示す可能性があるものの，第 11 次高調波は基本波に対して，その実効値は小さいと推定される。

4. 1次主循環ポンプのランバック制御試験（SKS-102）

4.1 試験目的

1次主循環ポンプのランバック制御試験（SKS-102）では，MK－Ⅲにおける異常時の熱過渡を緩和するために導入した1次主循環ポンプのランバック制御が原子炉スクラム信号（電源喪失を除く）と高出力モード信号の and 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。

4.2 試験日時

2001年10月22日（月），2003年1月30日（木）

4.3 試験方法

(1) 予備試験では，1次主循環ポンプの流量 630m³/h，MK－Ⅱ定格流量 1,260m³/h 付近から原子炉スクラム信号と高出力モード信号の模擬信号を入力し，1 次主循環ポンプがランバック運転に移行してランバック制御回転数で安定に運転されることを確認する。

(2) 通常試験では，1次主循環ポンプの MK－Ⅲ定格流量 1,538m³/h から原子炉スクラム信号と高出力モード信号の模擬信号を入力し，1 次主循環ポンプがランバック運転に移行してランバック制御回転数で安定に運転されることを確認する。

4.4 判定基準

(1) 1次主循環ポンプは，流量 630m³/h，MK－Ⅱ定格流量 1,260m³/h 付近，MK－Ⅲ定格流量 1,538m³/h で運転している状態からスクラムによりランバック制御へ移行することができること。

(2) 1次主循環ポンプは，MK－Ⅲ定格流量 1,538m³/h で運転している状態からスクラムによりランバック制御へ移行する際のフローコーストダウン時定数が 10sec 以上であること。

4.5 試験結果

4.5.1 1次主循環ポンプのランバック制御試験（予備試験）

流量 630m³/h からの予備試験では，ランバック運転回転数が A：128rpm，B：138rpm であったため，セルビウス速度制御系のランバック運転回転数設定器を調整し，いずれも

122rpm に調整した。調整後，流量を MK－Ⅱ定格流量まで昇速し，ランバック制御試験を実施した。いずれもランバック制御への移行が問題なく行えることを確認した。

図 4.5.1－1 に 1 次主循環ポンプ運転特性試験（630m^3/h からのランバック制御試験）の回転数及び流量を示す。図 4.5.1－2 に 1 次主循環ポンプ運転特性試験（1,220m^3/h からのランバック制御試験）の回転数及び流量を示す。

4.5.2 1 次主循環ポンプのランバック制御試験（通常試験）

図 4.5.2－1（1/2）～図 4.5.2－1（2/2）に定格流量からのランバック制御試験（手動スクラム試験）の回転数，流量及び液面を示す。

通常試験におけるランバック制御試験は，定格流量状態において原子炉運転モードスイッチを高出力モードとし，手動スクラムを入力することによって実施した。ランバック制御運転には，手動スクラム後約 54sec で移行した。ランバック制御運転移行後における流量及び回転数は，A ループで 167m^3/h，117rpm，B ループで 185m^3/h，118rpm であり，ループ定格流量の 10%（154m^3/h）以上を確保していることを確認した。手動スクラム後の炉容器 Na 液面は，5.5.2 項のポニーモータ引継試験（通常試験（SKS-103-2））における回転数差過大トリップ試験（定格流量から）後の Na 液面変動と同様に短尺及び長尺とも約－24cm まで低下した。

4.6 評価・考察

4.6.1 1 次主循環ポンプのランバック制御試験（予備試験）

流量 630m^3/h からランバック制御試験において，ランバック運転回転数が A : 128rpm，B : 138rpm であったため，セルビウス速度制御系のランバック運転回転数設定器を調整し，いずれも 122rpm に調整した。調整後，流量を 1,220m^3/h まで昇速し，ランバック制御試験を実施し，ランバック運転回転数 122rpm で運転されることを確認できた。

4.6.2 1 次主循環ポンプのランバック制御試験（通常試験）

1 次主循環ポンプ 100%運転状態からスクラムによりランバック制御に移行することを確認し，この時のフローコーストダウン時定数が 10sec 以上あることを確認できた。3.6.2 項の主モータ速度制御試験（通常試験（SKS-101-2））でも記述したように通常試験における炉心圧損は，約 3.7kg/cm^2（0.36MPa　at 250℃）と高く，今後の炉心構成によっては，炉心圧損が最低で約 3.1kg/cm^2（0.3MPa　at 350℃）となる場合があるが，ポンプ減速は，モータ駆動トルクがなくなると以下の式で与えられることから，炉心圧損が低下すれば定

格流量における回転数が低下し，摩擦トルク，ポンプ負荷（減速）トルクが小さくなり，フローコーストダウン時定数は長くなって安全側になると考えられる。

ポンプ減速 $dN/dt = g \cdot (-T_p - T_{fr}) / (I_p \cdot k)$

g ：重力加速度（m/sec^2）

T_p：ポンプ負荷（減速）トルク（m・kg）

$T_p = P \cdot Q / k \cdot N \cdot \eta_n$

P：圧損（kg/m^2）

Q：流量（m^3/sec）

k：換算係数（回転数 1/sec を rad/sec に換算する係数 $2\pi/60$）

N：回転数（1/sec）

η_n：ポンプ効率（－）

T_{fr}：摩擦トルク（m・kg）

I_p：回転体の慣性モーメント（$kg \cdot m^2$）

図 4.6.2－1 に定格流量からのランバック制御試験（手動スクラム）とポニーモータ引継試験（CS 停止）の比較を示す。

図 4.6.2－1 より，ランバック制御試験時のフローコーストダウン特性とポニーモータ引継時のフローコーストダウン特性を比較すると，初期 20sec までのフローコーストダウン特性はほぼ変わらないが，20sec 以降（流量約 $350m^3/h$ 以下，回転数約 200rpm 以下）でランバック運転へのフローコーストダウン特性の方が流量の下降が緩やかになっていることが判る。この違いは，以下のような要因があると考えられる。

(1) ランバック運転移行時のフローコーストダウン状態は，ポニーモータ引継時のフローコーストダウン状態と異なり，主モータの一次側電圧が印加された状態を継続している。よって，ランバック運転回転数近傍まで電流は流れないため，セルビウス制御によるモータのトルク発生はないものの，モータとしては，一次側電圧が印加されていることから鉄心等に渦電流が流れ，これにより，いわゆるカゴ型モータと同じ原理で小さなモータトルクの発生はある。このトルク分がランバック運転移行時の 20sec 以降のフローコーストカーブを緩やかにする要因になっている。

(2) ランバック引継近傍での 2 次電流は，制御点近傍で徐々に発生し，これによるトルク分が 20sec 以降のフローコーストカーブを緩やかにする要因になっている。

(3) ランバック引継設定の計器誤差により，若干早めにセルビウス電流が流れ始めことで

トルクが発生し, 20sec 以降のフローコーストカーブを緩やかにする要因になっている。

5. ポニーモータ引継試験（SKS-103-1,2）

5.1 試験目的

5.1.1 ポニーモータ引継試験（予備試験（SKS-103-1））

ポニーモータ引継試験（予備試験（SKS-103-1））は，燃料交換モード流量（252m^3/h），MK－Ⅱ定格流量の 50%（630m^3/h），100%（1,260m^3/h）から 1 次主循環ポンプの駆動用主モータを停止させ，1 次主循環ポンプの駆動が正常にポニーモータに引き継がれることを確認する。

5.1.2 ポニーモータ引継試験（通常試験（SKS-103-2））

ポニーモータ引継試験（通常試験（SKS-103-2））は， MK－Ⅲ定格流量（1,538m^3/h）から 1 次主循環ポンプの駆動用主モータを停止させ，1 次主循環ポンプの駆動が正常にポニーモータに引き継がれることを確認する。

5.2 試験日時

5.6.1 ポニーモータ引継試験（予備試験（SKS-103-1））

2001 年 10 月 18 日（木）～10 月 19 日（金），10 月 22 日（月），2003 年 1 月 27 日（月）

5.6.2 ポニーモータ引継試験（通常試験（SKS-103-2））

2003 年 1 月 29 日（水）～1 月 30 日（木）

5.3 試験方法

5.3.1 ポニーモータ引継試験（予備試験（SKS-103-1））

燃料交換モード流量（252m^3/h）運転，MK－Ⅱ定格流量の 50%（630m^3/h），100%（1260m^3/h）運転から 1 次主循環ポンプの駆動用主モータを停止させ，回転数約 110rpm で正常にポニーモータに引き継がれることを確認する。

5.3.2 ポニーモータ引継試験（通常試験（SKS-103-2））

MK－Ⅲ定格流量（1538m^3/h）運転から 1 次主循環ポンプの駆動用主モータを停止させ，回転数約 110rpm で正常にポニーモータに引き継がれることを確認する。

5.4 判定基準

5.4.1 ポニーモータ引継試験（予備試験（SKS-103-1））

判定基準は，燃料交換モード流量（252m³/h）運転状態，MK－Ⅱ定格流量（1,260m³/h）運転状態から1次主循環ポンプトリップ又は電源喪失が発生した際に，1次主循環ポンプの駆動が主モータからポニーモータに引き継がれること。

5.4.2 ポニーモータ引継ぎ試験（通常試験（SKS-103-2））

判定基準は， MK－Ⅲ定格流量（1,538m³/h）運転状態から1次主循環ポンプトリップ又は電源喪失が発生した際に，1次主循環ポンプの駆動が主モータからポニーモータに引き継がれること。

5.5 試験結果

5.5.1 ポニーモータ引継試験（予備試験（SKS-103-1））

(1) 燃料交換モード流量からのポニーモータ引継試験（2001年10月18日）

図5.5.1－1に1次主循環ポンプ運転特性試験（ポニーモータ引継試験）の回転数及び流量を示す。

燃料交換モード流量（252m³/h）運転状態から1次主循環ポンプの駆動用主モータを停止し，問題なくポニーモータに引き継がれることを確認した。

(2) MK－Ⅱ定格流量の50%，100%からのポニーモータ引引継試験（2001年10月19日）

MK－Ⅱ定格流量の50%からのポニーモータ引継試験を実施した。その後，MANモードでMK－Ⅱ定格流量の100%まで流量を上昇させ，1次主循環ポンプNa液面高の模擬信号を入力し，警報発報確認後，1次主循環ポンプNa液面高高の模擬信号による1次主循環ポンプトリップを行い，ポニーモータ引継試験を実施した。

図5.5.1－2に1次主循環ポンプ運転特性試験(630m³/hからのポニーモータ引継試験)の回転数及び流量を示す。図5.5.1－3に1次主循環ポンプ運転特性試験（ポニーモータ停止）を示す。図5.5.1－4に1次主循環ポンプ運転特性試験（1次主循環ポンプNa液面高高模擬信号トリップ→ポニーモータ引継）の回転数及び流量を示す。

MK－Ⅱ定格流量の50%，100%運転状態から1次主循環ポンプの駆動用主モータを停止し，問題なくポニーモータに引き継がれることを確認した。

(3) ランバック運転からのポニーモータ引継試験（2001年10月22日）

MK－Ⅱ定格流量付近からのランバック運転試験に引き続き，ランバック運転からの

ポニーモータ引継試験を実施した。

図 5.5.1－5 に 1 次主循環ポンプ運転特性試験（ランバック運転からのポニーモータ引継試験）の回転数及び流量を示す。

1 次主循環ポンプランバック運転から 1 次主循環ポンプの駆動用主モータを停止し，問題なくポニーモータに引き継がれることを確認した。

(4) MK－Ⅲ炉心における燃料交換モード流量からのポニーモータ引継試験（2003 年 1 月 27 日）

試験は，MK－Ⅲ炉心における燃料交換モード流量 252m³/h から，一括 CS により 1 次主循環ポンプを停止して実施した。

図 5.5.1－6 に 1 次主循環ポンプ運転特性試験（MK－Ⅲ炉心における燃料交換モード流量からのポニーモータ引継試験）の回転数及び流量を示す。

試験の結果，110rpm でのポニーモータ引継後，約 102rpm 付近からポニーモータトルクによる回転数上昇が始まり，回転数約 118rpm で安定し，引継に問題ないことを確認した。なお，ポニーモータ運転時の流量は，A ループ：約 160m³/h，B ループ約 185m³/h であり，いずれも定格流量の 10%以上を確保していた。

5.5.2 ポニーモータ引継試験（通常試験（SKS-103-2））

(1) 2003 年 1 月 29 日（水）

図 5.5.2－1（1/2）～図 5.5.2－1（2/2）に定格流量からのポニーモータ引継試験（回転数差過大トリップ試験）を示す。

ポニーモータ引継試験（回転数差過大トリップ試験）は，定格流量状態において 1 次主循環ポンプ（A）の流量・回転数を MAN モードで徐々に下降させ，1 次主循環ポンプ（B）との回転数差を生じさせ，回転数差大（30rpm）警報の実動作を確認し，回転数差過大（45rpm）で 1 次主循環ポンプがトリップし，ポニーモータに引き継ぐことを確認した。トリップ後の炉容器 Na 液面は，短尺及び長尺とも約－24cm まで低下した。

フローコーストダウンの時定数は，A 号機で 11.5sec，B 号機で 12sec であり，10sec 以上を確保していることを確認した。

(2) 2003 年 1 月 30 日（木）

図 5.5.2－2（1/2）～図 5.5.2－2（2/2）に定格流量からのポニーモータ引継試験（CS 停止）を示す。

ポニーモータ引継試験は，定格流量状態において 1 次主循環ポンプを一括 CS により

停止することで実施した。ポニーモータ引継は，回転数差過大トリップ後のポニーモータ引継と同様にトリップ事象発生後約 39sec で行われたことを確認した。ポニーモータ運転移行後における流量及び回転数は，A ループで 180m^3/h，123rpm，B ループで 192m^3/h，123rpm であり，ループ定格流量の 10%（154m^3/h）以上を確保していることを確認した。１次主循環ポンプ停止後の炉容器 Na 液面は，回転数差過大トリップ試験（定格流量から）及びランバック制御試験の手動スクラム後の Na 液面変動と同様に短尺及び長尺とも約-24cm まで低下した。

5.6 評価・考察

ポニーモータ引継試験は，1 次主循環ポンプを MK－Ⅲ定格流量運転状態から回転数差過大による実動作トリップと一括 CS による停止操作によって実施し，いずれの場合においてもポニーモータに正常に引き継がれることを確認した。この時のフローコーストダウン時定数は, A 号機で 11.5sec, B 号機で 12sec であり , 10sec 以上を確保していることを確認した。また，ポニーモータ運転移行後における流量及び回転数は，A ループで 180m^3/h，123rpm，B ループで 192m^3/h，123rpm であり，ループ定格流量の 10%（154m^3/h）以上を確保していることを確認した。なお，1 次主循環ポンプを MK－Ⅲ定格流量運転状態からトリップ又は停止した場合における炉容器の液面低下は，約-24cm で MK－Ⅱと同程度であった。これは，主中間熱交換器の圧損を流量が増加してもほぼ MK－Ⅱと同様の値としたため，MK－Ⅲ定格流量時における主中間熱交換器及びオーバフローカラム液面の低下が少なかったため，1 次主循環ポンプ停止時における主中間熱交換器及びオーバフローカラムの液面戻りによる炉容器液面低下も少なかったものと考えられる。

6. 1次主循環ポンプ主モータによる特性試験（SKS-104-1）

6.1 試験目的

1次主循環ポンプ主モータによる特性試験（SKS-104-1）は，1次主循環ポンプのQ-H特性，新セルビウス制御装置の制御性を確認すると共に，主循環ポンプ吐出圧力，消費電力等を測定し，予想された性能が得られることを確認する。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。

6.2 試験日時

2001年10月18日（木），2003年1月28日（火）

6.3 試験方法

(1) 1次主循環ポンプの起動条件が成立していることを確認する。

(2) 流量ステーションコントローラをMANの状態で1次主循環ポンプを一括CSで起動し，セルビウス制御装置に切替わり，起動時ポンプ回転数（約100rpm（約170m³/h））にて安定することを確認する。

(3) A，B手動モードにてA，B流量ステーションのMV値を変更し，流量を約170m³/h，20%，30%，40%，50%，60%，70%，75%，90%，100%の10ステップで変化させ，各ステップにおいて1次主循環ポンプ回転数，1次主冷却系流量，原子炉入口温度，主中間熱交換器Na液面計，オーバフローカラムNa液面計，1次主循環ポンプNa液面計及び原子炉容器Na液面計，新セルビウス制御装置のデータを採取すると共に，安定運転が行えることを確認する。

(4) 得られたデータからQ-H特性，セルビウス制御装置の制御性を評価し，設計性能を確認する。

6.4 判定基準

MK－Ⅲ炉心状態の1次主循環ポンプ運転特性を把握し，流量約10%～100%の間で制御できること。また，1次主循環ポンプのQ-H特性がポンプ運転制限値内であること。

6.5 試験結果

表 6.5－1 に 1 次主循環ポンプ主モータによる特性試験データを示す。図 6.5－1（1/2）～図 6.5－1（2/2）に 1 次主循環ポンプの Q-H 特性を示す。Na 温度約 250℃における定格流量 1,538m^3/h での揚程は，A ループで約 55mNa，B ループで約 50mNa であり，主循環ポンプ運転制限値を満足していた。

図 6.5－2 に電磁流量計出力データを示す。電磁流量計出力データは，「常陽」建設当時の据付前に行った R&D 試験ループでの 300℃校正データとほぼ重なるデータであり，今回の測定時における Na 温度約 250℃を考慮すると，電磁流量計の誤差は設置当初とほぼ同じであると推定できる。

図 6.5－3 にサイフォンブレーク流量，補助系逆流流量データを示す。サイフォンブレーク流量は，1 次主冷却系流量増加に比例して増加しており，サイフォンブレークラインに閉塞はないことを確認した。

図 6.5－4（1/3）～図 6.5－4（3/3）に 1 次主循環ポンプ振動データを示す。なお，振動測定位置は，図 11.5－4 に示した連続運転測定試験時の測定位置と同一である。1 次主循環ポンプの振動は，X，Y，Z 方向の最大で A 号機：11μmP-P（流量 75%），B 号機：15μmP-P（流量 100%）であり，これに対して軸流ポンプの振動基準値は，JIS B8301「遠心ポンプ，斜流ポンプ及び軸流ポンプの試験及び検査方法」より 75μmP-P であり，問題ない振動レベルであることを確認した。

6.6 評価・考察

1 次主循環ポンプは，セルビウス制御の最低制御回転数～定格流量回転数まで流量ステーションの MAN モード，CAS モードとも安定して制御できることを確認すると共に，1 次主循環ポンプ Q-H 特性が炉心圧損約 3.7kg/cm^2（0.36MPa　at 250℃）において運転制限値内であることが確認でき，炉心圧損設計値 3.1kg/cm^2～3.7kg/cm^2（0.3MPa～0.36MPa）内における運転は問題ないもと考えられる。

表 3.6.2－1 に 1 次主循環ポンプの圧損と定格出力運転時における予測を示す。

今回の試験では，3.6.2 項の主モータ速度制御試験（通常試験（SKS-101-2））にも記述したように炉心圧損が高かったことから，今回のデータから定格出力運転状態における炉心圧損，系統圧損を計算すると表 3.6.2－1 のとおりとなる。

7. 1次主循環ポンプフローコーストダウンによる特性試験（SKS-104-2）

7.1 試験目的

1 次主循環ポンプフローコーストダウンによる特性試験（SKS-104-2）は，定格流量運転中において原子炉スクラム模擬信号を印加し，そのフローコーストダウン（流量の時間的変化）から，時定数が 10sec 以上あることを確認する。

7.2 試験日時

2003 年 1 月 30 日（木）

7.3 試験方法

(1) 1 次主循環ポンプの定格運転状態において，原子炉スクラム模擬信号を印加し，ランバック運転に移行することを確認する。また，1 次主循環ポンプの定格運転状態において，一括 CS を停止にし，ポニーモータ運転への引継ぎが行われることを確認する。

(2) ランバック運転への移行時，ポニーモータ運転への引継ぎ時にフローコーストダウン特性のデータを採取する。

7.4 判定基準

1次主循環ポンプ 100%運転状態から 1 次主循環ポンプトリップ又は電源喪失が発生した際のフローコーストダウン時定数 10sec 以上であること。

7.5 試験結果

7.5.1 定格流量からランバック運転におけるフローコーストダウン特性

図 7.5.1－1 に 1 次主循環ポンプのフローコーストダウン特性（定格流量からランバック運転）を示す。

ランバック試験時のフローコーストダウンの時定数は，A 号機で 11.7sec，B 号機で 11.9sec であった。

7.5.2 定格流量からポニーモータ引継時におけるフローコーストダウン特性

図 7.5.2－1 に 1 次主循環ポンプのフローコーストダウン特性（定格流量からのポニーモータ引継）を示す。

ポニーモータ引継試験時のフローコーストダウンの時定数は,A 号機で 11.6sec, B 号機で 11.8sec であった。

7.6 評価・考察

1 次主循環ポンプのフローコーストダウン特性は，2003 年 1 月 29 日～30 日にかけて実施した試験の中で 3 回データを採取した。以下に各試験時における時定数を示す。

回転数差過大トリップ試験時の時定数 → A 号機：11.5sec B 号機：12.0sec

ランバック試験時の時定数 → A 号機：11.7sec B 号機：11.9sec

ポニーモータ引継試験時の時定数 → A 号機：11.6sec B 号機：11.8sec

この結果，回転数差過大トリップ試験時のみ若干時定数が異なるが，この試験の際は A 号機の回転数を徐々に降下させ，A 号機と B 号機との回転数差を 45rpm とした時点で 1 次主循環ポンプがトリップしており，トリップ前の回転数が他の 2 ケースと異なっていることが影響しているものと考えられる。

図 7.6－1 に動特性解析コード“MIMIR-N2”解析結果に基づく炉心圧損変化と半減時間との関係を示す。

4.6.2 項の 1 次主循環ポンプのランバック運転試験（通常試験）にも示したように，ポンプ減速率は，ポンプ減速トルク $T_p=P\cdot Q/k\cdot N\cdot \eta_n$ に比例することから，原子炉運転状態における原子炉入口 Na 温度 350℃状態では炉心圧損が低下するため，定格流量における回転数が低下し，摩擦トルク，ポンプ減速（負荷）トルクが小さくなり，フローコーストダウン特性における時定数は長くなるものと考えられる。

設置変更許可申請時における安全審査では，MK－Ⅲ安全解析における冷却系のフローコーストダウン特性として動特性解析コード“MIMIR-N2”の解析結果を用いている。この半減時間は 7.9sec であり，この時の炉心圧損は 3.2kg/cm^2（0.31MPa at 350℃）である。これに対して，SKS-2 におけるフローコーストダウンの半減時間は，ランバック試験時で A 号機，B 号機とも 7.1sec，ポニーモータ引継試験時で A 号機：7.1sec，B 号機：7.3sec であり，この時の炉心圧損は表 3.6.2－1 にも示したように計算値で 3.6kg/cm^2（0.35MPa at 250℃），実測値で平均 3.71kg/cm^2（0.36MPa at 250℃）である。これに対して，MK－Ⅲ性能試験時におけるフリーフローコーストダウンデータから半減時間を算出すると，手動スクラム試験で A 号機，B 号機とも 7.8sec，電源喪失試験で A 号機：7.3sec，B 号機：7.8sec であり，この時の炉心圧損は表 3.6.2－1 にも示したように計算値で 3.5kg/cm^2（0.34MPa at 350℃）

と圧損が SKS-2 より温度が高くなった分低下しており，半減時間も長くなっている。

これらの試験結果から動特性解析コード“MIMIR-N2”解析結果の妥当性を検討した。図 7.6－1 に示した MK－Ⅲ安全解析（炉心圧損 3.2kg/cm²（0.31MPa　at 350℃））と MK－Ⅲ性能試験解析（炉心圧損 3.6kg/cm²（0.35MPa　at 250℃））における半減時間から，SKS-2 試験結果（炉心圧損実測平均 3.71kg/cm²（0.36MPa　at 250℃））における半減時間を“MIMIR-N2”における半減時間として計算すると 6.86sec（平均値）となり，“MIMIR-N2”における半減時間の推定結果は，半減時間の実測結果 7.1sec～7.3sec にほぼ一致していることから，MK－Ⅲ安全解析に用いた“MIMIR-N2”の解析結果は妥当であったと考えられる。

8. 1次主循環ポンプランバック運転試験（SKS-104-3）

8.1 試験目的

1次主循環ポンプランバック運転試験（SKS-104-3）は，ランバック運転状態において主循環ポンプ回転数，流量，吐出圧等を測定し，予想された性能が得られることを確認する。

8.2 試験日時

2003年1月30日（木）

8.3 試験方法

(1) 1次主循環ポンプを起動し，マスターステーションにて定格流量まで上昇させ，安定を待つ。

(2) 定格流量運転状態で原子炉スクラム模擬信号を印加し，ランバック運転への移行を行い，フローコーストダウン特性，ランバック運転回転数及び流量等のデータを採取する。

(3) ランバック運転時の1次主循環ポンプ回転数，流量，吐出圧，各Na液面，Na温度，カバーガス圧力等のデータを採取し，設計通りに運転できることを確認する。

8.4 判定基準

1次主循環ポンプ100%運転状態からスクラムによりランバック制御へ移行し，ランバック運転回転数 122rpm±8rpm で運転できること。また，流量が定格流量の 10%以上確保されていること。

8.5 試験結果

図4.5.2－1（1/2）に定格流量からのランバック試験（手動スクラム試験）によるランバック運転試験結果を示す。

8.6 評価・考察

ランバック運転における1次主循環ポンプ回転数は，A号機：117rpm（167m³/h），B号機：118rpm（185m³/h）であり，設計におけるランバック回転数 122rpm±8rpm を満足していた。また，定格流量の10%（154m³/h）を満足していた。

9. ポニーモータ運転試験（燃料交換モード流量運転から（SKS-104-4））

9.1 試験目的

ポニーモータ運転試験（燃料交換モード流量運転から（SKS-104-4））は，1 次主循環ポンプを流量 252m³/h から主モータを停止させ，正常にポニーモータに引き継ぐことを確認した後，ポニーモータ運転時における回転数，ポンプ吐出圧，流量等を測定し，安定に運転されることを確認する。

9.2 試験日時

2001 年 10 月 18 日（木）

2003 年 1 月 27 日（月）

9.3 試験方法

9.3.1 ポニーモータ抵抗器の切替

ポニーモータ抵抗器タップを切替えて，抵抗とポニーモータ回転数との関係を把握する。

9.3.2 ポニーモータ連続運転

1 次主循環ポンプの燃料交換モード流量運転から主モータを停止させ，ポニーモータ運転に引き継ぐ。その後，ポニーモータ抵抗 0.4Ω（通常状態）で 15 時間以上連続運転を行い，スラスト軸受のなじみの促進を図る。

9.3.3 ポニーモータ運転中におけるオーバフローカラム液面警報確認

ポニーモータ運転中におけるオーバフローカラム液面低の模擬信号を入力し，警報が発報することを確認する。

9.4 判定基準

9.4.1 ポニーモータ抵抗器の切替

特になし

9.4.2 ポニーモータ連続運転

ポニーモータにより連続 15 時間以上運転を行い，異常がないこと。

9.4.3 ポニーモータ運転中におけるオーバフローカラム液面警報確認

模擬信号により警報が発報すること。

9.5 試験結果

9.5.1 ポニーモータ抵抗器の切替（2001 年 10 月 18 日）

MK－Ⅲでは，ポニーモータ抵抗器盤を更新しており，ポニーモータ運転のまま抵抗を切替えることが可能になった。抵抗タップの切替えを実施し，各抵抗位置でのポニーモータ回転数の変化を把握したが，炉心が MK－Ⅲ炉心でないことから，抵抗 0.4Ω（初期値），0.0Ω，1.0Ω のみのデータ採取を実施した。

各抵抗位置での回転数，流量及び電流を以下に示す。なお，炉心は，MK－Ⅲ移行炉心，反射体 3 体引き抜き状態である。

抵抗位置		回転数 (rpm)	流量 (m^3/h)	ポニーモータ電流 (A)
初期抵抗 0.4Ω	A 号機	119.5	180	19.8
	B 号機	125.9	222	22.4
抵抗なし 0.0Ω	A 号機	127.5	193	20.8
	B 号機	135.3	241	23.8
最大抵抗 1.0Ω	A 号機	110.6	166	18.2
	B 号機	115.3	199	20.0

9.5.2 ポニーモータ運転中におけるオーバフローカラム液面警報確認（2001 年 10 月 18 日）

オーバフローカラム液面低の警報設定値は，主モータによる運転とポニーモータによる運転では警報設定値が切替わることから，ポニーモータ運転中におけるオーバフローカラム液面低の模擬信号を入力し警報の発報を確認した。

9.5.3 ポニーモータ連続運転（2001 年 10 月 18 日）

ポニーモータについては，1999 年 5 月 27 日（木）15:00 に発生したスラスト軸受のなじみ不足によるポニーモータ 2 台過電流同時トリップ事象を受けて，スラスト軸受のなじみ運転のため，スラスト軸受を交換した場合，連続 15 時間以上運転を行うこととしたことから，これを受けて行ったものである。連続運転は，23 時間 32 分（2001 年 10 月 18 日 10:14～2001 年 10 月 19 日 9:46）実施した。なお，製作メーカー工場においても実負荷と同一荷重をスラスト軸受に負荷した状態で 15 時間運転を実施している。

9.5.4 ポニーモータ運転特性確認試験（2003 年 1 月 27 日）

表 9.5.4－1 にポニーモータ運転特性確認試験データを示す。図 9.5.4－1 にポニーモータ

運転特性確認試験の流量と回転数，抵抗と電流，回転数の関係を示す。図 9.5.4－2 にポニーモータ運転特性確認試験の Q-H 特性を示す。

MK－Ⅲ冷却系改造工事では，前記のポニーモータ 2 台過電流同時トリップ事象を受けて，ポニーモータトルクを上昇させる対策と老朽化していた抵抗器盤の更新も併せて実施した。今回の確認試験は，更新後のポニーモータの各抵抗タップにおける回転数，流量の関係を把握するため実施した。

ポニーモータ運転特性確認試験前は，9.5.1 項のポニーモータ抵抗器の切替試験で設定した抵抗タップ状態でポニーモータに引継いだ結果，以下の値であった。

A　：抵抗タップ R8（0.4Ω），115rpm，160m^3/h，19.6A

B　：抵抗タップ R8（0.4Ω），117rpm，186m^3/h，19.8A

抵抗タップ R8（0.4Ω）から R0（0.0Ω），R0 から R20（1.0Ω）に順次 1 タップ毎切替えてデータ採取を実施した。最終設定抵抗タップは，以下の値とした。

A　：抵抗タップ R2（0.1Ω），121rpm，176m^3/h，20.5A

B　：抵抗タップ R6（0.3Ω），120rpm，186m^3/h，19.8A

なお，確認試験中におけるポニーモータ運転電圧は，ほぼ 107V 一定であった。

9.5.5 ポニーモータ（A）1 台運転特性確認試験（2003 年 1 月 27 日）

表 9.5.5－1 にポニーモータ（A）1 台運転特性確認試験データを示す。図 9.5.5－1 にポニーモータ（A）1 台運転特性確認試験の流量と回転数，抵抗と電流，回転数との関係を示す。図 9.5.5－2 にポニーモータ（A）1 台運転特性確認試験の Q-H 特性を示す。

ポニーモータ（A）1 台運転状態では，同一回転数で流量が 2 台運転時の 176m^3/h から 233m^3/h に上昇し，最低必要炉心流量 5%（ループ流量定格流量の 10%）である 154m^3/h を満足していることを確認した。

A　：抵抗タップ R2（0.1Ω），120rpm，233m^3/h，20.9A

また，いずれの抵抗タップにおいても最低必要炉心流量 5%である 154m^3/h を満足していることを確認した。流量が最低となる抵抗タップ R20 では，以下の値であった。

A　：抵抗タップ R20（1.0Ω），106rpm，203m^3/h，18.6A

なお，確認試験中におけるポニーモータ運転電圧は，ほぼ 107V 一定であった。

9.6 評価・考察

9.6.1 ポニーモータ抵抗器の切替

ポニーモータを停止することなく，タップの切替えが可能となったことが確認できた。

9.6.2 ポニーモータ運転中におけるオーバフローカラム液面警報確認

ポニーモータ運転中におけるオーバフローカラム液面警報設定値に問題ないことを確認した。

9.6.3 ポニーモータ連続運転

ポニーモータでの運転時間及び引継回数は，ポニーモータ 2 台トリップ事象の対策として，スラスト軸受を交換した場合は，ポニーモータでの試運転時間 15 時間以上，ポニーモータへの引継・ポニーモータからの停止回数 15 回以上実施することとした。

これを受けて，予備試験では，ポニーモータによる 15 時間以上の運転を実施し，ポニーモータ引継回数については，予備試験及び通常試験併せて 20 回以上行っており，スラスト軸受のなじみ運転を終了することができた。

9.6.4 ポニーモータ運転特性確認試験

1999 年 5 月 27 日（木）15:00 に発生した 1 次主循環ポンプのスラスト軸受のなじみ不足によるポニーモータ 2 台トリップ事象は，過電流によるトリップであった。今回のポニーモータ引継による最大電流は，A 号機：46.1A，B 号機：43.8A であった。これは，スラスト軸受のなじみ不足を受けて，スラスト軸受の表面仕上げを▽から▽▽▽として鏡面仕上げに近い状態としたため，想定異常負荷トルク発生時の最大電流 57A：トルク 402N・m（想定異常負荷トルクは，ポニーモータ 2 台トリップ事象時の推定電流を考慮したなじみ不足時の電流である）を十分満足していることを確認しており，今後，ポニーモータ引継時になじみ不足でトリップすることはないと考えられる。なお，過電流継電器の設定は，ポニーモータ 2 台トリップ事象を受けて 52.5A から 70A（誤動作防止用遅延タイマー設定値）に変更している。

上記より，今後，定期検査等においてスラスト軸受を交換する場合は，軸受の仕上げを▽▽▽（鏡面仕上げ）とすることにより，前記過電流によるトリップを防止することができる。

9.6.5 ポニーモータ（A）1 台運転特性確認試験

図 6.5−1 の 1 次主循環ポンプの Q-H 特性に示すように，ポニーモータ運転時における系統圧損は，流量の 1.85 乗となっている。一方，1 次補助系のサイフォンブレーク機能確

認試験（SKS-121）におけるポニーモータ（A）1台運転時の炉心圧損は，流量2乗式で想定していたため，表9.6.5−1のMK−ⅡとMK−Ⅲにおける1次補助冷却系サイフォンブレークに係わる比較から回転数130rpmにおいても320mmNaでサイフォンブレーク条件430mmNa未満（主IHX流入窓上端基準）となり，抵抗タップの変更を行うことなく炉容器液面NL-670mm以下でサイフォンブレークが成立すると想定していた。しかし，2003年2月12日に実施した1次補助系のサイフォンブレーク機能確認試験（SKS-121）では，炉容器液面をNL-710mmまで低下させてもサイフォンブレークできなかった。

これは，図6.5−1の1次主循環ポンプのQ-H特性からも判るように，ポニーモータ運転時における系統圧損は流量の2乗ではなく，流量の1.85乗になっており，低流量領域では設計で用いている流量の2乗曲線より圧損は高めとなる。この結果から，ポニーモータ（A）1台運転時の炉心圧損を推定すると，表9.5.5−1に示したように，通常抵抗タップ位置であるR2で567〜581mmNa，R0で594mmNa，R20で439mmNaとなり，補助系ノズル下端レベルNL-300〜350mmを入れると，炉容器液面NL-670mmでは抵抗タップをR20にしてもサイフォンブレークしないことが判る。

サイフォンブレーク機能確認試験の再試験では，抵抗タップを初期からR20として実施し，炉容器Na液面NL-702mmでサイフォンブレークしており，ポニーモータが運転していないときのサイフォンブレーク時の炉容器Na液面-279mm〜-300mmを差し引くと，その差は-423mm〜-402mmとなる。測定に用いている長尺Na液面計（測定レンジ：+350mm〜-1,600mm）の誤差は，Na温度200℃校正データで-0.56%であることから，-11mmであり，誤差を考慮すると-434mm〜-413mmとなり，抵抗タップR20の炉心圧損439mmNaとほぼ同様の値になる。

この結果，通常タップ位置R2では，表9.6.5−1に示したポニーモータ運転可能レベルである主中間熱交換器内窓中心NL-985mmに対して，NL-846mm〜-867mmでサイフォンブレークできると考えられる。しかし， Naの熱収縮による液面低下約300mm，オーバフロータンクからの汲み上げができなかったことなどに対する安全裕度を考慮して，1次補助冷却系でナトリウム漏えいが発生した場合は，ポニーモータ抵抗タップをR20に切替えることが必要である。

10. ポニーモータ運転試験（定格流量運転から（SKS-104-5））

10.1 試験目的

ポニーモータ運転試験（定格流量運転から（SKS-104-5））は，1次主循環ポンプをMK－Ⅲ定格流量運転から主モータを停止させ，正常にポニーモータに引き継ぐことを確認した後，ポニーモータ運転時における回転数，ポンプ吐出圧，流量等を測定し，安定に運転されることを確認する。

10.2 試験日時

2003年1月29日（水）～1月30日（木）

10.3 試験方法

1次主循環ポンプのMK－Ⅲ定格流量運転から主モータを停止させ，ポニーモータ運転に引き継がせる。

10.4 判定基準

1次主循環ポンプをMK－Ⅲ定格流量運転状態から主モータを停止させ，ポニーモータに引継ぐことができ，ポニーモータ運転回転数93rpm以上であること。また，流量が定格流量の10%以上確保されていること。

10.5 試験結果

図5.5.2－1（1/2）に定格流量からのポニーモータ引継試験（回転数差過大トリップ試験）によるポニーモータ運転試験結果を示す。

回転数差過大トリップ試験（定格流量から）後のポニーモータ引継は，トリップ事象発生後約39secで行われたことを確認した。

A：180m^3/h，124rpm，　　B：190m^3/h，123rpm

10.6 評価・考察

1次主循環ポンプ100%運転状態から一括CSにより1次主循環ポンプを停止させ，ポニーモータに引き継ぐことを確認し，この時のフローコーストダウン時定数が10sec以上あるこ

とを確認できた。また，.ポニーモータ引継後のポニーモータ運転回転数が最低必要炉心流量5%を満足していることを確認した。その他については，4.6.2 項の 1 次主循環ポンプのランバック運転試験（通常試験）と同様である。

11. 1次主循環ポンプ連続運転試験（SKS-105）

11.1 試験目的

1次主循環ポンプ連続運転試験（SKS-105）は，1次主循環ポンプ電動機が更新されてたことから，MK－Ⅲ定格流量(1,538m^3／h)にて24時間連続運転を行い，定格流量での運転に異常がないことを確認する。

11.2 試験日時

2003年2月3日（月）～2月5日（水）

11.3 試験方法

系統ナトリウム温度約250℃の状態で，1次主循環ポンプを定格流量で24時間連続運転し，その間の各プロセス量を採取する。

11.4 判定基準

(1) 定格流量1,538m^3/hが確保されていること。

(2) 主ポンプ上部軸受，モータ軸受及びブラシからの異音発生がないこと。

(3) 主ポンプ上部軸受温度が80℃以下であること。

(4) 主ポンプ上部軸受振動が75μｍＰ-Ｐ以下であること。（100％到達時，24時間経過後に測定）。JIS　B8301［遠心ポンプ，斜流ポンプ及び軸流ポンプ－試験方法］の振動基準値による。

11.5 試験結果

図11.5－1及び図11.5－2に1次主循環ポンプ連続運転試験時の流量－軸受温度の経時変化を示す。表11.5－1及び表11.5－2に1次主循環ポンプ連続運転試験測定データを示す。図11.5－3に1次主循環ポンプ上部軸受温度測定位置（TIS31.1－51A,51B），図11.5－4に1次主循環ポンプ振動測定位置，図11.5－5に1次主循環ポンプケーシング温度測定位置を示す。

試験中は，1次冷却系の定格流量(1538m^3/h)が確保され，異常な温度上昇，異音，異常振動等はなく，判定基準を満足した。

主ポンプ上部軸受温度はA側41.0℃，B側42.5℃で安定した。

主ポンプ上部軸受振動は最大値でA側：0.7μmP-P（Y - Y’），B側1.2μmP - P（X-X’）であった。なお，振動の最大値はA側（最上部X-X’）：10.0μmP-P，B側（最上部Y-Y’）：16.0μmP-Pであった。

11.6 評価・考察

試験中，1次主循環ポンプ電動機，軸受部等に異常な温度上昇，異音，異常振動等の発生はなかった。また流量制御装置による安定した流量制御が行われ，連続24時間定格運転での良好な運転結果が得られた。

試験中にポンプ入熱によって系統ナトリウム温度が上昇し，24時間経過後には250℃から275℃に到達し，約0.5℃/hの昇温率でさらに上昇中であったが，作業に伴い流量変更したため飽和温度は確認できなかった。

12. プロセス計装校正（1次主循環ポンプ回転数計（SKS-107-2））

12.1 試験目的

プロセス計装校正（1次主循環ポンプ回転数計（SKS-107-2））は，校正用光回転数計（系統圧損測定用光学式回転計）と主循環ポンプ回転数の指示を比較することにより，回転数指示が正常であることを確認する。

12.2 試験日時

2003年1月28日（火）

12.3 試験方法

1次主冷却系流量を約170m³/h，20%，30%，40%，50%，60%，70%，75%，90%，100%の10ステップで変化させ，各ステップにおいて1次主循環ポンプ回転数計，校正用光回転数計によってデータを採取し，回転数差が許容値内であることを確認する。

12.4 判定基準

校正用光回転数計と1次主循環ポンプ回転数計の指示の差が±5rpm以内であること。

12.5 試験結果

図12.5－1にプロセス計装（1次主循環ポンプ回転数計）データを示す。

試験時における回転数と流量との関係は，ほぼリニアな関係であり，校正用光回転数計（光電方式：±0.1%F.S（±1rpm））と本設回転数計（電磁ピックアップ方式：約±0.3%F.S（±3rpm））との差は－2rpm以内であった。

12.6 評価・考察

1次主循環ポンプ回転数計は，従来の発電機方式から電磁ピックアップ方式に変更しており，1次主循環ポンプ特性試験にあわせて1次主循環ポンプ回転数計と校正用光回転数計との差を確認した。その結果，最低制御回転数～定格流量運転回転数までの間で最大誤差は，定格流量運転回転数における±2rpm以内であり，従来の回転数計（発電機方式：約±2%F.S）より精度良い回転数監視が可能になった。

13. 1次主循環ポンプ主モータ冷却空気入口温度測定（SKS-110）

13.1 試験目的

MK－Ⅲでは，9.6.3 項のポニーモータ連続運転で示したように 1999 年 5 月 27 日(木)15:00 に発生したスラスト軸受のなじみ不足によるポニーモータ 2 台トリップ事象を受けて，潤滑油の粘性を確保してスラスト軸受面の油膜切れを防止するため，1 次主循環ポンプのオイルプレッシャーユニット（以下，OPU という）の油冷却器に強制的に冷気を送り込む強制冷却用軸流ファンを 1 次主循環ポンプ主モータ冷却用空気入口ダクトから分岐して新たに設置した。1 次主循環ポンプ主モータ冷却空気入口温度測定（SKS-110）は，この分岐風量が設計通り設定されていることを風速計及び温度計を取り付け確認すると共に，主循環ポンプ定格運転時における主循環ポンプのコイルが設計とおり冷却されていることを確認する。

13.2 試験日時

2003 年 2 月 3 日（月）～2 月 5 日（水）

13.3 試験方法

(1) 1 次主循環ポンプが連続運転中であること。

(2) 主モータ冷却ファン及び OPU 強制冷却ファンに異常がないことを確認する。また，潤滑油戻り温度を測定する。

(3) 1 次主循環ポンプモータ冷却用空気吹き出し口及び OPU 強制冷却ファン出口ダクト吹き出し口で風速を測定し，風量を算出する。風速測定には，熱線式風速計を用いて行い，その後温度測定に切替えて温度を測定する。

13.4 判定基準

1 次主循環ポンプモータ冷却用空気出口で風速を測定し，設計風量である電動機側で $50m^3/min$ 以上，OPU 側で $27m^3/min$ 以上を確保していること。

13.5 試験結果

表 13.5－1 に 1 次主循環ポンプモータ冷却空気入口温度測定結果を示す。

モータ冷却空気入口温度測定は，1 次主循環ポンプ定格流量運転状態における連続運転特

性試験中の2003年2月3日に一度風速及び温度測定を実施したが，その測定方法が悪く多数ある吹き出し口（合計48口）のうち，一部吹き出し口の風速データが吹き出し口の平均値を示していない可能性があったため，測定位置を平均値を示す位置に変更して2003年2月5日に再測定した。その結果，良好なデータを得ることができた。この結果，モータ冷却風量はA号機で約80m³/min，B号機で約77m³/minといずれも設計値50m³/minを満足していた。また，OPU強制冷却風量はA号機で約29m³/min，B号機で約33m³/minといずれも27m³/minを満足していることを確認した。

13.6 評価・考察

この性能を確認するため，モータ冷却風量とOPU強制冷却風量の測定を実施した。その結果，双方とも設計条件を満足していることを確認することができた。なお，供給される冷気については，格納容器雰囲気調整系の1次主循環ポンプ上蓋室冷却器に供給される冷媒にも影響されるため，冷媒側の温度，1次主循環ポンプモータ排油温度を監視し，運転側で適切に冷媒側を調整する必要があると考えられる。なお，モータ冷却ファン側及び強制冷却ファン側ともにダンパ開度を最適開度に調整していることから，今後ダンパ開度を調整する必要はないと考えられる。

格納容器全体漏洩率試験時の1次主循環ポンプ冷却ファン等の取扱いについては，強制冷却ファンを設置したことによって，これまでの対応と一部変更する必要がある。格納容器全体漏洩率試験時の1次主循環ポンプは，燃交流量252m³/hでの運転となることから，冷却能力を定格流量運転のように必要としない。これまでは，冷却ファン出口にオリフィスを挿入し，格納容器内加圧時の過負荷防止を実施していた。この対策は，強制冷却ファン設置後のMK－Ⅲにおいても同様となるが，強制冷却ファンについては試験開始前に停止状態とする。なお，強制冷却ファンを停止状態とすることで，強制冷却ファン側から主モータ冷却ファン側に一部逆流が生じるが，逆流が生じてもモータ冷却能力上問題とならないため，ダンパ開度については調整する必要はない。

14. 1次系各部液面測定（SKS-113）

14.1 試験目的

1次系各部液面測定（SKS-113）は，主モータによる特性試験時に炉容器，主循環ポンプ，オーバフローカラムのナトリウム液面を測定し，圧損を評価する。

14.2 試験日時

2003年1月28日（火）

14.3 試験方法

(1) 1次主冷却系流量約170m³/h，20%，30%，40%，50%，60%，70%，75%，90%，100%の10ステップにおいて1次主循環ポンプ回転数，流量，吐出圧，1次主冷却系流量，原子炉入口温度，主中間熱交換器Na液面計，オーバフローカラムNa液面計，1次主循環ポンプNa液面計及び原子炉容器Na液面計，ガバーガス圧力のデータを採取する。

(2) 得られたデータから各ステップ毎に系統圧損及び主中間熱交換器の圧損を計算し，主中間熱交換器の圧損が設計値以下であることを確認し，1次主冷却系流量をMK－Ⅲ定格流量まで上昇させることが可能であることを確認する。

14.4 判定基準

1次主循環ポンプ運転特性試験時に炉容器，主循環ポンプ，オーバフローカラム，主中間熱交換器のNa液面データを採取し，主中間熱交換器の圧損がほぼ設計通りであり，定格流量運転時においてオーバフローカラムNa液面が-201cmより高いこと。

14.5 試験結果

図14.5－1にMK－Ⅲ移行炉心状態である総合機能試験（その1）における1次主冷却系流量とオーバフローカラムNa液面の関係（SKS-1）を示す。

図14.5－2（1/2）～図14.5－2（2/2）にMK－Ⅲ炉心状態である総合機能試験（その2）における1次主冷却系流量と各Na液面の関係（SKS-2）を示す。

各部Na液面測定の結果，主中間熱交換器のNa液面は，主循環ポンプ定格流量においてもNa液面計の測定範囲まで低下してこなかった。また，オーバフローカラムNa液面は，

バッフル板保護のために設定されている液面低警報－201cm に対して約 40cm 以上の裕度を有した液面だった。

14.6 評価・考察

新主中間熱交換器に設置された Na 液面計の測定範囲は，-510mm（GL-6,610mm）～-1,260mm（GL-7,360mm）である。また，各部の設計圧損は，以下のとおりである。

原子炉容器～新主中間熱交換器入口ノズル（1,538m³/h）　593mmNa

新主中間熱交換器（1,538m³/h）　588mmNa

原子炉容器～新主中間熱交換器～オーバフローカラム（1,538m³/h）　1,581mmNa

参考値：旧主中間熱交換器（1,260m³/h）　A 号機：590mmNa，B 号機：575mmNa

（1,538m³/h を仮定）　A 号機：878mmNa，B 号機：856mmNa

新主中間熱交換器の液面低下は，原子炉容器～新主中間熱交換器入口ノズルの圧損で決まり，GL-6,700mm（NL-600mm）になると設計していた。また，伝熱管の液面は，液面測定している位置より主中間熱交換器流入窓部の圧損分低下するため，GL-6,765mm（NL-665mm）と予測していた。新主中間熱交換器 Na 液面計の測定範囲は，この定格運転時における Na 液面が計測でき，かつ，流入窓上端 GL-6,910mm に対して+300mm（GL-6,610mm）～流入窓下端 GL-7,300mm に対して-100m（GL-7,400mm）の範囲をほぼカバーできるように設定した。なお，流入窓上端警報は，流入窓上端より+75mm の GL-6,835mm（NL-735mm）に設定している。

1 次主循環ポンプ運転特性試験中に測定した主中間熱交換器 Na 液面データから，A 号機及び B 号機とも主中間熱交換器 Na 液面計の測定範囲まで液面が低下しなかった。この結果から，原子炉容器～新主中間熱交換器入口ノズルの圧損は，510mmNa 以下であり，この要因として，主中間熱交換器入口ノズルの圧損計算が保守的であったものと考えられる。

オーバフローカラムの液面低下は，原子炉容器～新主中間熱交換器～オーバフローカラムの圧損で決まり，GL-7,681mm（NL-1,581mm）になると設計していた。オーバフローカラム Na 液面計の測定範囲は，GL-5,980mm（NL+120mm）～GL-8,980mm（NL-2,880mm）である。なお，オーバフローカラム液面低警報は，バッフル板（GL-8,150mm（NL-2,050mm））保護のため，GL-8,110mm（NL-2,010mm）に設定している。

1 次主循環ポンプ運転特性試験中に測定したオーバフローカラムの Na 液面データから，定格流量 1,538m³/h 時に A 側：NL-1,550mm，B 側：NL-1,468mm であり，想定していた

NL-1,581mm よりも低下量が少なく，圧損が設計より小さかったことを示している。この結果，設計時における主中間熱交換器の圧損計算結果は，保守的な値であったものと考えられる。なお, 参考として MK－Ⅱ定格流量 1,260m^3/h におけるオーバフローカラム Na 液面は, 約-1,400mm であった。

1 次主循環ポンプの Na 液面変化は，一旦約 450m^3/h 付近まで液面が低下した後，流量上昇に比例して再び液面が上昇する傾向を示しており，液面計誤差は多少あるとしても MK－Ⅱにおける流量上昇時の Na 液面挙動と大きな違いはないと考えられる。ただし，定格流量が 1,260m^3/h から 1,538m^3/h に増加したため，これに伴う液面上昇が生じている。1 次主循環ポンプの Na 液面は，静圧軸受を流れてきた Na 量とオーバフロー量との関係で決まり，約 450m^3/h までは静圧軸受を流れてきた Na 量よりオーバフロー量が多く液面が低下し，その後はその現象が逆転していく。したがって，A 号機と B 号機とで液面変化に多少違いがあるのは静圧軸受を流れる Na 量によるものと考えられる。

15. 1次主循環ポンプ瞬停再起動試験（SKS-115）

15.1 試験目的

1 次主循環ポンプ瞬停再起動試験（SKS-115）は，1次主循環ポンプが定格流量及び燃料交換モード流量状態で運転中に瞬停が発生した場合，セルビウス速度制御系が正常に動作して，1次主循環ポンプが運転継続できることを確認する。瞬停を模擬する瞬停発生装置により瞬停を発生させて，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。

15.2 試験日時

2003 年 1 月 31 日（金），2 月 6 日（木），2 月 13 日（木）

15.3 試験方法

15.3.1 定格流量からの瞬停再起動試験

(1) 1次主循環ポンプを起動し，定格流量運転状態まで上昇させ，安定を待つ。

(2) 試験用に製作した瞬停発生装置により瞬停を発生させ，1次主循環ポンプが所定の瞬停再起動を行うことを確認する。この時，瞬停再起動抵抗の投入時間を計測する。また，瞬停発生～瞬停再起動～セルビウス運転復旧までの流量変化を測定する。

15.3.2 燃料交換モード流量からの瞬停再起動試験

(1) 1次主循環ポンプを起動し，燃料交換モード流量運転状態まで上昇させ，安定を待つ。

(2) 試験用に製作した瞬停発生装置により瞬停を発生させ，1次主循環ポンプが所定の瞬停再起動を行うことを確認する。この時，瞬停再起動抵抗の投入時間を計測する。また，瞬停発生～瞬停再起動～セルビウス運転復旧までの流量変化を測定する。

15.4 判定基準

定格流量における瞬停発生時に，セルビウス速度制御系が 1 次主循環ポンプを再起動させて定格流量に復旧させることができる瞬停時間を明確にする。なお，目標値は，瞬停時間約 1sec とする。

15.5 試験結果

15.5.1 定格流量からの瞬停再起動試験

(1) 2003年1月31日（金）

図15.5.1－1に定格流量からの瞬停再起動試験（2003年1月31日）を示す。なお，図15.5.1－1は，JOYDASデータのため，サンプリング周期が0.25secと遅いことから，最大流量低下を計測できていない。

瞬停再起動試験（定格流量状態）は，1次主循環ポンプの遮断器を瞬停時間に合せて“切”－“入”することで模擬するタイマー回路を設置し，瞬停模擬信号として0.2secを印加して実施した。

試験の結果，瞬停模擬信号0.2sec試験で流量が原子炉スクラムする80%まで3チャンネルとも降下した。下表に示すように，仮設記録計から低下流量を読み取った結果では，各チャンネルとも設定値に到達していないが，記録計でも流量の速いゆらぎ分までは記録できないことから，ひげ上のゆらぎで3チャンネルとも設定値に到達したものと考えられる。

ループ	仮設記録計 最低流量 (m^3/h)	原子炉スクラム設定値		
		FIS31.1-2A/2B (m^3/h)	FIS31.1-3A/3B (m^3/h)	FIS31.1-4A/4B (m^3/h)
A	1,252	1,247.3	1,245.8	1,243.5
B	1,275	1,242.9	1,241.6	1,241.1

図15.5.1－2（1/2）～図15.5.1－2（2/2）に定格流量からの瞬停再起動試験（2003年1月31日）の現象記録装置データを示す。

試験結果を検討した結果，セルビウス速度制御系は，瞬停後に再度電流を流し始めるタイミングが瞬停後0.8sec（0.8secより短い瞬停でも確実に瞬停であることを確認するため0.8secのタイマーが入っている）であることから，瞬停模擬信号が0.2secでも一度瞬停が生じると0.8sec後でなければセルビウス速度制御系に引き継がない。実際には，セルビウス制御系に引き継がれてもすぐにはトルクがでないため，実質瞬停時間は0.8secよりも長くなっている。よって，セルビウス速度制御系内のタイマー設定0.8secを0.8sec以内の何秒に設定すれば，流量が80%まで低下しないか検討し，スクラムしな

いレベルのタイマー時間に調整する必要があり，試験を改めて実施した。なお，瞬停による流量低下挙動は，1 次主循環ポンプの回転部分の慣性でほぼ決まるものであり，調整できるものではない。

(2) 2003 年 2 月 6 日（木）

2003 年 1 月 31 日に実施した瞬停再起動試験結果を受けて，スクラムに至る 80%まで流量が低下しない瞬停検出リレー動作時間を検討し，これまでの 0.8sec→0.5sec に変更して試験を実施した。

その結果，瞬停 0.2sec 発生後，瞬停繰り返しで 1 次主循環ポンプトリップが発生した。これは，セルビウス速度制御系の瞬停検出リレー動作時間を 0.5sec に変更したことが影響している可能性があるため，試験を中止し調査，検討することになった。

調査，検討の結果，1 次主循環ポンプが瞬停繰り返し（APPS 重故障）でトリップした原因は，セルビウス速度制御系の瞬停検出リレー動作時間を 0.8sec から 0.5sec に変更したことによって，APPS 故障リレーが動作したものであった。APPS 制御電源は，今回瞬停を模擬していた主電源(1A-M/C,1B-M/C)とは異なり 2B-C/C から受電しており，瞬停が生じても APPS 制御電源は正常で主電源側(APPS 同期信号)のみが瞬停で切れ，瞬停発生から 0.6sec 後（瞬停 0.2sec＋瞬停復帰後 0.4sec）でなければ復帰しない。瞬停時は，故障リレーを不足電圧継電器の信号によってロックするようになっているが，APPS 制御電源側しか不足電圧継電器は設置されていなかったため，故障リレーはロックされず，0.5sec（瞬停検出リレー動作時間）後に主電源側（APPS 同期信号）が復電されたが復帰は 0.6sec 後であるため，瞬停繰り返し（APPS 重故障）と判断されて今回の事象が発生した。通常の瞬停では 1A-M/C,1B-M/C 及び 2C-C/C とも一般系であるため，このような片側のみ瞬停するようなことは生じない。しかし，万一，いずれかのみの瞬停が生じた場合は同様の事象となるため，主電源側にも不足電圧継電器を追加し，いずれかで故障リレーをロックするように変更した。

(3) 2003 年 2 月 13 日（木）

図 15.5.1－3 に定格流量からの瞬停（0.2sec）再起動試験（2003 年 2 月 13 日）を示す。図 15.5.1－4 に定格流量からの瞬停（0.6sec）再起動試験（2003 年 2 月 13 日）を示す。

2003 年 2 月 6 日に上記の対策を実施し，0.2sec 瞬停試験及び 0.6sec 瞬停試験を実施した結果，安全保護系の FIS31.1-2A の単一チャンネル作動はあったものの，瞬停再起

動が予定通り行われることを確認した。仮設記録計による最低流量は，2003 年 1 月 31 日に実施した値とほぼ同じであった。

瞬停時間	ループ	仮設記録計 最低流量 (m^3/h)	仮設記録計 最低回転数 (rpm)
定格流量から 0.2sec	A	1,538 → 1,252	925 → 773
	B	1,538 → 1,300	913 → 763
定格流量から 0.6sec	A	1,538 → 1,251	925 → 762
	B	1,538 → 1,286	912 → 752

15.5.2 燃料交換流量からの瞬停再起動試験

図 15.5.2－1 に燃料交換流量からの瞬停（0.2sec）再起動試験（2003 年 2 月 13 日）を示す。

燃交流量状態からの瞬停再起動試験では，流量は約 150m^3/h 上昇したが，この上昇は MK－Ⅱよりも小さいものであり問題にならないことが確認できた。

瞬停時間	ループ	仮設記録計 最高流量 (m^3/h)	仮設記録計 最高回転数 (rpm)
燃交流量から 0.2sec	A	252 → 390	160 → 253
	B	252 → 395	157 → 250

15.6 評価・考察

総合機能試験（その 1）では，炉心構成が MK－Ⅲ炉心になっていなかったことから，1 次主循環ポンプの流量上昇は MK－Ⅱ定格流量までとして，流量制御系関係の試験を予備試験の位置づけで実施した。この間，セルビウス速度制御系の瞬停回路については，ジャンパ・リフト管理票によってロックを実施し，瞬停再起動試験については，MK－Ⅲ定格流量まで上昇させる総合機能試験（その 2）で実施した。

図 15.6－1 に 2003 年 1 月 31 日瞬停再起動試験のタイムチャート（瞬停時間 0.2sec（セルビウス速度制御系瞬停検出リレー動作時間 0.8sec））を示す。

2003 年 1 月 31 日に実施した瞬停再起動試験（瞬停 0.2sec）では，流量が 3 チャンネルとも原子炉スクラムする 80%まで降下した。これは，瞬停時間は 0.2sec であるが，瞬停後のセルビウス速度制御系の動作として確実に瞬停を検出するための瞬停検出リレー動作時間が

0.8sec であることから，0.8sec より短い瞬停でも瞬停後に再度セルビウス速度制御系に引き継ぐタイミングは 0.8sec からとなる。また，図 15.6－1 より 0.8sec 後においてもセルビウス遮断器 42M 投入時間 0.35sec，電流が実際に流れ始め流量を再度上昇させるために必要な電流上昇までに更に 0.55sec～0.65sec 必要である。したがって，瞬停時間 0.8sec 以下であっても実際の瞬停時間（流量が降下している時間として）は，約 1.7sec～1.8sec となる。このため，流量が原子炉スクラム設定値まで降下しないようにするためには，流量が降下している時間を短くする必要がある。そのためには，時間を短くすることが可能な瞬停検出リレーの動作時間を 0.8sec を 0.5sec に変更することで対応できると考え，瞬停検出リレーの動作時間を変更して試験を実施した。この結果，0.2sec 及び 0.6sec の瞬停再起動試験とも単一チャンネル作動はあったものの，瞬停再起動が原子炉スクラムに至らずにできることを確認できた。

図 15.6―2 に瞬停再起動時におけるタイムチャート（瞬停時間 0.2sec（セルビウス速度制御系瞬停検出リレー動作時間 0.8sec→0.5sec とした場合））を示す。図 15.6－3 に瞬停再起動時におけるタイムチャート（瞬停時間 0.6sec（セルビウス速度制御系瞬停検出リレー動作時間 0.8sec→0.5sec とした場合））を示す。

安全保護系の動作設定値は，1,230.4m³/h（80%）に対して A 側：1,243.5～1,247.3m³/h，B 側：1,241.1～1,242.9m³/h と高く，このために単一チャンネル作動がでたものと考えられる。よって，2003 年 4 月 18 日に動作設定値を 1,230.4m³/h をねらって設定し直した。その結果は，以下のとおりである。

ループ	原子炉スクラム設定値（調整後）		
	FIS31.1-2A/2B (m³/h)	FIS31.1-3A/3B (m³/h)	FIS31.1-4A/4B (m³/h)
A	1,228.9	1,230.4	1,230.4
B	1,230.4	1,228.9	1,228.9

瞬停再起動試験時における炉心圧損は，表 3.6.2－1 の 1 次主循環ポンプの圧損と定格出力運転時における予測で示したとおり，約 3.7kg/cm²（at 250℃）と設計炉心最大圧損 3.7kg/cm²（at 350℃）とほぼ同じである。系統 Na 温度が上昇すれば炉心圧損も低下して，4.6.2 項の 1 次主循環ポンプのランバック運転試験（通常試験）にも示したように，定格流量における回転数が低下して，フローコーストダウン時定数が長くなり，瞬停時における流量低下量も減少する。このため，今回の試験結果は，設計炉心最大圧損 3.7kg/cm²（at 350℃）時における瞬停再起動を模擬できていると考えられる。

16. おわりに

1 次冷却系のうち 1 次主循環ポンプに関係する総合機能試験は，MK－Ⅲ炉心構成前のその 1（SKS-1）を 2001 年 10 月 17 日～2001 年 10 月 22 日の間で実施し，MK－Ⅲ炉心構成後のその 2（SKS-2）を 2003 年 1 月 27 日～2003 年 2 月 13 日の間に実施し，以下の結論を得た。

(1) 1 次主循環ポンプの主モータによる特性

流量制御負荷試験及び流量安定度確認試験により，MK－Ⅲ炉心状態における流量調節設備の制御性は，以下のとおりであった。

① CAS モードによる流量 170m³/h～定格流量 1,538m³/h までの昇速，降速操作及び各流量ステップでの一定流量制御試験では，流量及び回転数に制御上問題となるような不安定挙動の発生はなく，安定に制御できることを確認した。また，MAN モードにより昇速・降速操作及び各流量ステップでの回転数一定指令では，いずれも安定していることを確認した。

② 低流量領域（約 252m³/h）及び高流量領域（約 1,400m³/h）においてステップ状の変化を与える流量安定度確認試験では，流量及び回転数に発散する傾向がないことを確認した。

③ 流量制御試験の各ステップにおいて 1 次主冷却系配管に接続されている細管の振動測定を同時に実施した結果，NaK 圧力計導管部で最大 27μmP-P，充填ドレン系配管で最大 40μmP-P であり，発生する応力も極わずかで問題となるレベルでないことを確認した。

(2) 1 次主循環ポンプのランバック運転特性

定格流量 1,538m³/h からの手動スクラム試験の結果，手動スクラム後，約 54sec でランバック制御運転に移行することを確認した。移行後のランバック運転は，A 側：167m³/h，117rpm，B 側：185m³/h，118rpm であり，ランバック運転回転数 122rpm±8rpm の範囲にあること，定格流量の 10%以上を確保していることを確認した。

(3) 1 次主循環ポンプのポニーモータによる特性

定格流量 1,538m³/h からの 1 次主循環ポンプトリップ試験の結果，ポニーモータへの引継はトリップ事象発生後約 39sec で行われることを確認した。引継後のポニーモータ運転は，A 側：180m3/h，124rpm，B 側：190m3/h，123rpm であり，ポニーモータの運転下限回転数である 93rpm 以上であること，定格流量の 10%以上を確保していることを確認した。

(4) 1 次主循環ポンプのフローコーストダウン特性

1 次主循環ポンプトリップ時及びランバック時とも定格流量 1,538m³/h からのフリーフローコーストダウン時定数は，10sec 以上を確保していることを確認した。

① 回転数差過大トリップ試験における時定数 → A 号機：11.5sec ，B 号機：12.0sec

② ランバック試験における時定数 → A 号機：11.7sec ，B 号機：11.9sec

③ ポニーモータ引継試験における時定数 → A 号機：11.6sec ，B 号機：11.8sec

(5) 1 次系各部の液面挙動特性

新主中間熱交換器及び 1 次主循環ポンプオーバフローカラムのナトリウム液面測定の結果，オーバフローカラム液面の低下は A 側：NL-1,550mmNa，B 側：NL-1,468mmNa であり，予想していた NL-1,581mmNa より小さく，設計時における新主中間熱交換器の圧損計算結果は，保守的な値であった。なお，オーバフローカラム液面は，バッフル板保護のために設定されている液面低警報-201cm に対して，約-160cm であり約 40cm 以上の裕度を有していることを確認した。

(6) 1 次主循環ポンプの瞬停再起動特性

1 次主循環ポンプセルビウス速度制御系の瞬停設計目標時間は，1sec まで 1 次主循環ポンプを再起動させて定格流量まで復旧させせることができることであった。しかし，試験結果では，瞬停 0.6sec（瞬停検出リレー動作時間があるので 0.8sec 以内の瞬停はいずれも 0.8sec となる）を超過すると，瞬停の間に流量が 1 次冷却材流量低（80％）で安全保護系が動作する流量まで低下してしまい，再起動させる前に原子炉がスクラムに至ることが明確になった。なお，瞬停時における流量低下挙動は，1 次主循環ポンプの回転部分のうちフライホイールの慣性によって決まるものであり，現状においては調整できない。よって，瞬停再起動試験は，瞬停時間何秒まで 1 次主循環ポンプを再起動させて定格流量まで復旧させせることができるかを確認することとし，この結果，目標値であった瞬停時間 1.0sec に対して，瞬停検出リレー動作時間 0.8sec までの瞬停時間で安全保護系の 1 次冷却材流量低の単一チャンネル作動はあるものの，原子炉スクラムには至らず 1 次主循環ポンプを再起動させ，定格流量に復旧できることを確認した。これまでの実績における瞬停時間は，ほとんどが 0.2sec 以内の瞬停であり，瞬停時間 0.8sec までの間で 1 次冷却材流量を定格流量に復旧できれば機能的に問題ない。

表2.1－1（1/3）　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	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（252m^3/hまで）	マスターコントローラ設置に伴い、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）
		SKS-101	2		通常試験		MK－Ⅲ炉心構成完了後に実施（SKS-2）
		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。	
		SKS-103	1	ポニーモータ引継試験	予備試験（252m^3/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ポ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		MK－Ⅲ炉心構成完了後に実施（SKS-2）
		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。	
			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ことを確認する。	
			4		ポニーモータ運転（燃交流量運転から）	主循環ポンプをポ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		ポニーモータ運転（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	2	プロセス計装校正	主循環ポンプ回転数計	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、オーバフローカ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次主循環ポンプのポニーモータ引継、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。	

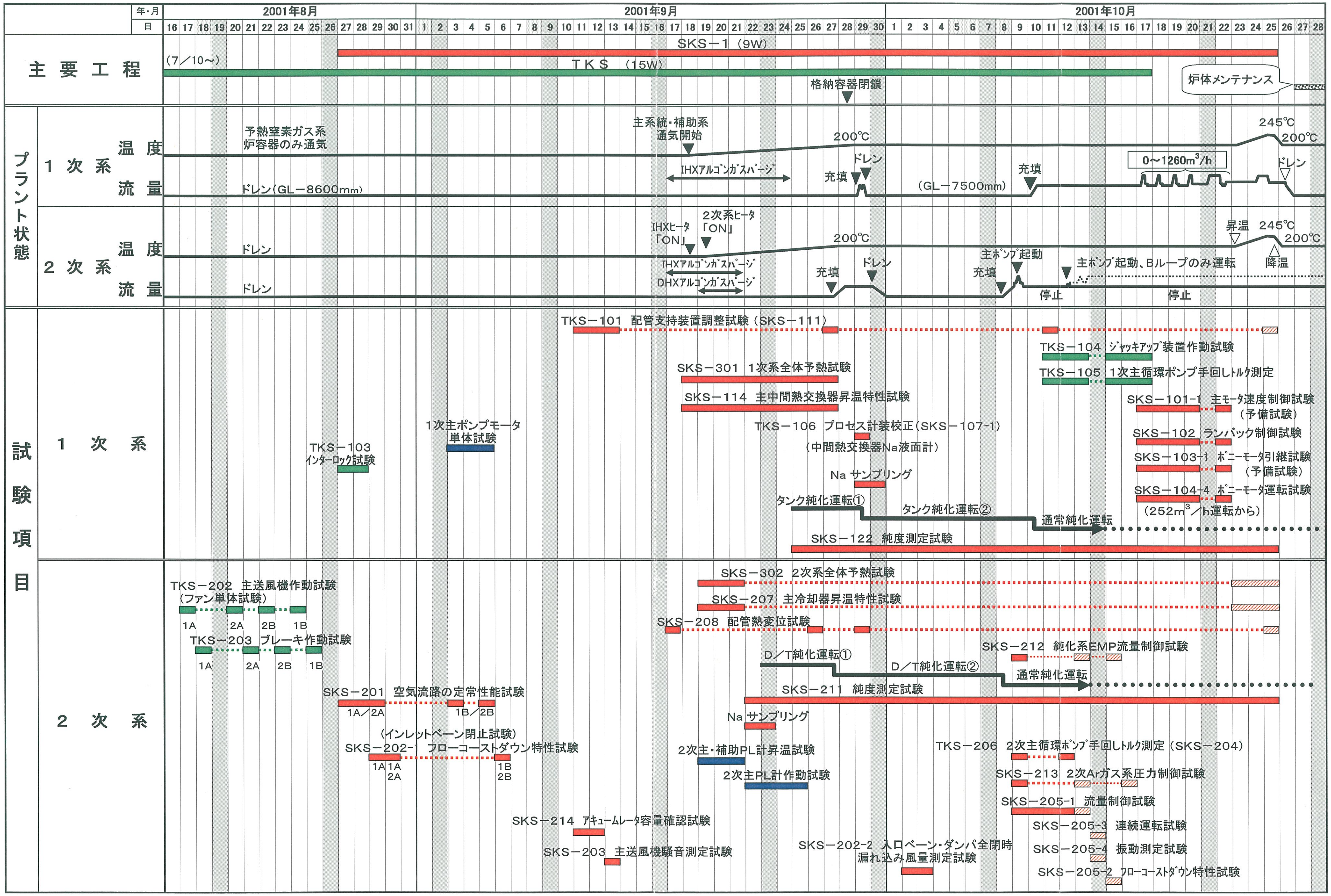
表2.1－1（2/3）　総合機能試験項目及び試験概要

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	ポニーモータ運転時起動試験	ポニーモータ1台運転	炉容器液面を約0mmに保ち、1次主循環ポンプ2台をポニーモータで運転している状態で一方のポ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）
2	1次補助冷却系試験	SKS-121		サイフォンブレーク機能確認試験		ポニーモータのQ-H特性測定を行い、補助系サイフォンブレーク可能なポ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ク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、純化前後のプラギング温度より不純物を測定する。	ＭＫ－Ⅲ改造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。送風機インレットベーンを変化させた時の風量特性、空気冷却器入口ダンパを変化させた時の風量特性	充填前（SKS-1）
		SKS-202	1	入口ダンパ閉止試験		主冷却器出入口ダンパ全開、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模擬信号を入れ、主送風機トリップと入口ダンパ閉止による風量の変化を測定する。	
			2			主送風機停止状態において入口ベーン及び入口ダンパを全閉とした状態における漏れ込み風量を測定する。	ＭＫ－Ⅲ改造工事終了後の初期充填後に実施（SKS-1）
		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。	充填前（SKS-1）
		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。	ＭＫ－Ⅲ改造工事終了後の初期充填後に実施（SKS-1）
		SKS-205	1	2次主循環ポンプ特性試験	流量制御試験	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。	ＭＫ－Ⅲ改造工事終了後の初期充填後に実施（SKS-1）
			2		フローコーストダウン特性試験	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。	
			3		連続運転試験	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。	
			4		振動測定試験	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。	ＭＫ－Ⅲ改造工事終了後の充填前、初期充填後に実施（SKS-1）
		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。	ＭＫ－Ⅲ改造工事終了後の初期充填後に実施（SKS-1）
		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。	ＭＫ－Ⅲ改造工事終了後の初期充填後に実施（SKS-1）

表2.1－1（3/3）　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
5	２次Na純化系試験	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、純化前後のプラギング温度により不純物量を測定する。	ＭＫ－Ⅲ改造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。	
6	２次Arガス系試験	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改造工事終了後の充填前、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、入口ダンパ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）
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改造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に加熱し保持できることを確認する。	充填前、ＭＫ－Ⅲ改造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。	ＭＫ－Ⅲ改造工事終了後の初期充填後に実施（SKS-1）
		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。	

表2.2−1 総合機能試験(その1−1)の実績工程表



TKS ：単体機能試験　　SKS ：総合機能試験

：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2.2－2 総合機能試験（その1－2）実績工程表

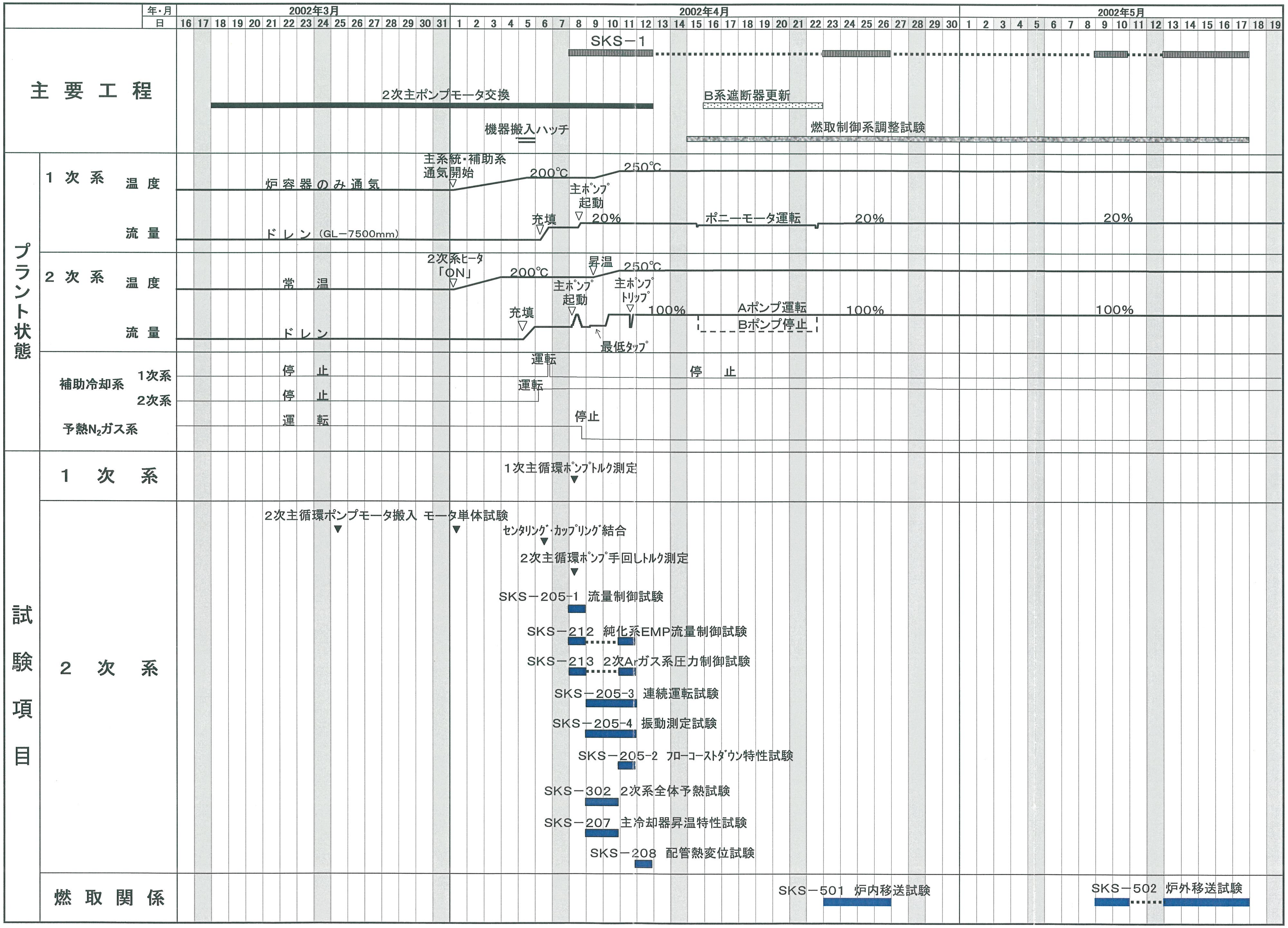


表2.2−3 総合機能試験(その2)実績工程表

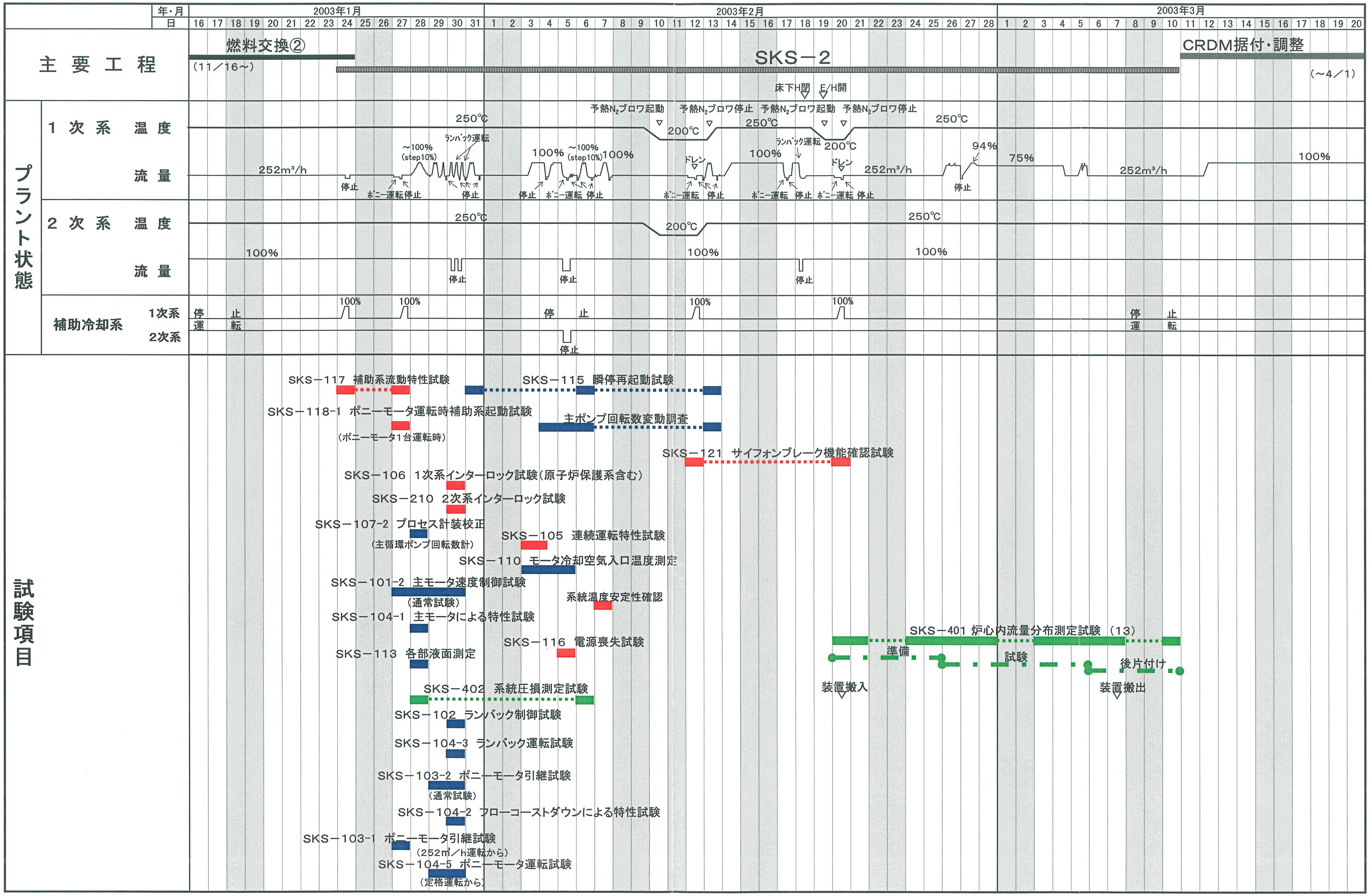


表 2.3.3－1　１次冷却系流量制御系の設定値

FC31.1－1（流量マスターステーション）

パラメータ内容	設定値（工学値）	設定値（入力値）
スケールゼロ	0m³/h	0
スケールスパン	1,700m³/h	1,700
SV 上限値	90.5％	0.905
SV 下限値	8.9％	0.089
目標到達時間	50min	0050
PV 上限値	90.5％	0.905
PV 下限値	8.9％	0.089
レディリセット時間	30sec	0030
流量偏差小判定値	102m³/h	0.060
流量偏差大判定値	136m³/h	0.080
目標到達判定値	8.5m³/h	0.005

FC31.1－1A，1B（流量ステーション）

パラメータ内容	設定値（工学値）	設定値（入力値）
比例帯（P）	190％	190.0
積分時間（I）	45sec	45
MV 上限値	98.0％	98.0
MV 下限値	1.0％	1.0
スケールゼロ	0m³/h	0
スケールスパン	1,700m³/h	1,700
制御偏差小判定値	102m³/h	0.060
制御偏差大判定値	119m³/h	0.070

表3.5.2−1　１次主循環ポンプ運転特性試験における各部振動測定結果

測定箇所		2003/01/28			
	流量	20%(約150m^3/h)	75%(約1,150m^3/h)	90%(約1,380m^3/h)	100%(約1,540m^3/h)
	Na温度	約252℃	約252℃	約252℃	約255℃
	回転数	約190〜200rpm	約680〜690rpm	約815〜825rpm	約910〜925rpm
	振動単位	(μmP-P)	(μmP-P)	(μmP-P)	(μmP-P)
ポンプ(A)出口NaK圧力計サポート部		5	11	7	27
ポンプ(A)ケーシング吐出側		2	4	7	3
ポンプ(A)ケーシング吐出90°側		2	4	3	3
ポンプ(B)出口NaK圧力計サポート部		2	5	8	9
ポンプ(B)ケーシング吐出側		2	5	9	16
ポンプ(B)ケーシング吐出90°側		2	6	5	9
測定箇所		2003/02/03			
	流量	流量100%(約1,540m^3/h)			
	Na温度	約255℃			
	回転数	約910〜925rpm			
	測定位置	Aループコールドレグ	Aループホットレグ	Bループコールドレグ	Bループホットレグ
		配管サポートDRD-24	配管サポートDRH-40	配管サポートDRD-115	配管サポートDRH-62
	振動単位	(μmP-P)	(μmP-P)	(μmP-P)	(μmP-P)
1次主冷却系ドレン配管		6	7	16	40

表3.5.2−2　１次主循環ポンプ出口NaK圧力計導管の簡易応力評価結果

NaK圧力計 No.	外径 D (mm)	内径 d (mm)	肉厚 t (mm)	断面係数 Z $\pi\cdot(D^4-d^4)/32D$ (mm^3)	断面二次モーメント I $\pi\cdot(D^4-d^4)/64$ (mm^4)	圧力導管長 L (mm)	変位量 δ (mm)	ヤング率 E (at 250℃) (kg/mm^2)	反力 P $\delta\cdot 3EI/L^3$ (kg)	曲げモーメント M P・L (kg・mm)	発生応力 σ M/Z (kg/mm^2)
PX31.1-1A	34.0	28.0	3.0	2083.8	35425.4	1700.0	0.027	18400	0.011	18.3	0.009
PX31.1-1B	34.0	28.0	3.0	2083.8	35425.4	1600.0	0.009	18400	0.004	6.9	0.003

表3. 6. 4－1　1次主循環ポンプの圧損と定格出力運転時における予測

分類		ループ流量	炉心流量	250℃（系統圧損測定時原子炉入口Na温度）				350℃（定格出力運転時原子炉入口Na温度）				Na比重	
				炉心圧損	揚程			炉心圧損	揚程			250℃	350℃
					炉心	ループ	系統		炉心	ループ	系統		
		(m^3/h)	(m^3/h)	(kg/cm^2)	(mNa)	(mNa)	(mNa)	(kg/cm^2)	(mNa)	(mNa)	(mNa)	(kg/m^3)	(kg/m^3)
MK－Ⅲ圧損設計	ノミナル3.2kg/cm^2	1,518	3,036	3.29	37.867	10.684	48.551	3.20	36.861	10.400	47.261	891.836	868.137
	3.2kg/cm^2＋10%誤差	1,518	3,036	3.62	41.653	11.752	53.406	3.52	40.547	11.440	51.987	891.836	868.137
	最小3.1kg/cm^2	1,538	3,076	3.18	36.683	10.946	47.629	3.10	35.709	10.655	46.364	891.836	868.137
	最大3.7kg/cm^2	1,538	3,076	3.80	43.783	10.946	54.729	3.70	42.620	10.655	53.275	891.836	868.137
SKS-2試験時における炉心圧損		1,538	3,076	3.60	41.417	10.946	52.363	3.50	40.316	10.655	50.971	891.836	868.137
250℃における系統圧損測定結果	Aループ	1,584	3,168	4.17	46.732	11.559	58.291	4.06	46.732	11.305	58.036	891.836	868.137
	Bループ	1,588	3,177	3.68	41.287	11.613	52.900	3.58	41.287	11.318	52.605	891.836	868.137
系統圧損測定結果を定格流量1,538m^3/hに補正	Aループ補正	1,538	3,076	3.95	44.252	10.946	55.198	3.84	44.252	10.655	54.907	891.836	868.137
	Bループ補正	1,538	3,076	3.47	38.897	10.946	49.842	3.38	38.897	10.655	49.552	891.836	868.137
	A, Bループ平均	1,538	3,076	3.71	41.574	10.946	52.520	3.61	41.574	10.655	52.229	891.836	868.137

2台運転時の系統圧損式は、$\Delta H = C_R(Q/Q_L)^{1.85} + C_P(Q/Q_L)^{1.85}$

又は$\Delta H = C_R((Q_A+Q_B)/Q_R)^{1.85} + C_P((Q_A+Q_B)/Q_R)^{1.85}$

C_R:炉心圧損　C_P:ループ圧損　Q:ループ各流量　Q_L:ループ100%流量　Q_R:炉心100%流量　Q_A:Aループ各流量　Q_B:Aループ各流量

表6.5－1(1/2) 1次主循環ポンプ主モータによる特性試験データ

盤#	経過 計測点		管理値	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	90%	99%	100%
424	原子炉容器液面	LR31.1-1 mm	-50 100		-6.0	-5.0	-7.0	-7.0	-5.0	-8.0	-8.0	-6.0	-6.0	-7.0	-6.0
JOYDAS	ｵｰﾊﾞｰﾌﾛｰｺﾗﾑ A液面	LIS31.1-5A cm	-81以上		0.9	-4.7	-12.6	-23.8	-37.5	-54.4	-74.6	-86.7	-122.1	-152.1	-155.0
JOYDAS	ｵｰﾊﾞｰﾌﾛｰｺﾗﾑ B液面	LIS31.1-5B cm	-81以上		-4.0	-9.0	-16.7	-27.5	-40.5	-55.5	-74.7	-83.7	-121.2	-143.7	-146.8
424	主循環ﾎﾟﾝﾌﾟA液面	LIS31.1-4A cm	-30～80		-1.5	-6.6	-13.4	-12.8	-12.3	-11.7	-11.1	-10.8	-10.1	-9.9	-9.8
424	主循環ﾎﾟﾝﾌﾟB液面	LIS31.1-4B cm	-30～80		-1.4	-6.0	-12.1	-12.0	-10.8	-9.7	-8.5	-7.8	-6.1	-5.0	-5.0
424	炉容器Aﾙｰﾌﾟ 入口温度	TR31.1-8A ℃			253.0	253.0	252.0	252.0	254.0	254.0	252.0	252.0	253.0	255.0	255.0
424	炉容器Bﾙｰﾌﾟ 入口温度	TR31.1-8B ℃			252.0	252.0	252.0	252.0	253.0	253.0	252.0	252.0	252.0	254.0	254.0
420	主ﾎﾟﾝﾌﾟAﾓｰﾀ 上部軸受排油温度	TI31.1-52A ℃	55以下		24.3	23.8	24.9	25.8	27.6	29.9	31.7	34.2	38.1	41.2	42.6
420	主ﾎﾟﾝﾌﾟBﾓｰﾀ 上部軸受排油温度	TI31.1-52B ℃	55以下		30.5	29.9	31.0	31.7	33.1	34.8	36.2	38.1	40.8	43.1	44.1
JOYDAS	主ﾎﾟﾝﾌﾟA 出口圧力	PI31.1-1A MPa(kg/cm^{2}g)	－		0.052 0.53	0.068 0.69	0.092 0.94	0.126 1.28	0.167 1.70	0.220 2.24	0.277 2.82	0.312 3.18	0.425 4.33	0.508 5.18	0.518 5.28
JOYDAS	主ﾎﾟﾝﾌﾟB 出口圧力	PI31.1-1B MPa(kg/cm^{2}g)	－		0.050 0.51	0.066 0.67	0.091 0.93	0.127 1.30	0.170 1.73	0.225 2.29	0.286 2.92	0.321 3.27	0.448 4.57	0.527 5.37	0.536 5.47
JOYDAS	炉容器Aループ入口流量	FR31.1-1A m^3/h	1614以下		152	309	461	615	765	920	1,072	1,153	1,376	1,518	1,538
JOYDAS	炉容器BAループ入口流量	FR31.1-1B m^3/h	1614以下		148	306	459	614	765	923	1,075	1,147	1,383	1,517	1,531
424	炉容器Aﾙｰﾌﾟ 入口流量	FR31.1-1A m^3/h	1614以下	0.0	154	310	463	615	767	925	1,073	1,157	1,384	1,508	1,537
424	炉容器Bﾙｰﾌﾟ 入口流量	FR31.1-1B m^3/h	1614以下	0.0	150	309	462	619	768	924	1,075	1,155	1,391	1,521	1,537
JOYDAS	Aﾙｰﾌﾟｻｲﾌｫﾝ ﾌﾞﾚｰｸ配管流量	FIS31.1-5A l/m	25以上	0.0	22.4	43.6	65.2	88.8	110.7	133.4	155.3	167.2	201.1	223.6	226.5
JOYDAS	Bﾙｰﾌﾟｻｲﾌｫﾝ ﾌﾞﾚｰｸ配管流量	FIS31.1-5B l/m	25以上	0.0	22.6	44.4	66.0	89.2	111.8	135.0	156.6	168.2	202.3	224.4	227.1
JOYDAS	主ﾎﾟﾝﾌﾟA 回転数	NI31.1-1A rpm	930以下	0.0	105.2	196.4	284.4	375.8	463.8	555.8	643.8	691.3	824.4	913.1	923.3
JOYDAS	主ﾎﾟﾝﾌﾟB 回転数	NI31.1-1B rpm	930以下	0.0	101.3	191.7	278.4	369.1	457.2	547.7	635.5	679.7	815.3	900.0	910.0
424	主ﾎﾟﾝﾌﾟA 軸封ガス流量	FIS36.1-2A l/m	0.2以上		0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
424	主ﾎﾟﾝﾌﾟB 軸封ガス流量	FIS36.1-2B l/m	0.2以上		0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
424	回転数計A差(本設－仮設)	NI31.1-1AA	－		0.2	0.4	0.4	0.8	-0.2	0.8	-0.2	-0.7	-1.6		-1.7
現場	校正用回転計A	仮設	－	0.0	105.0	196.0	284.0	375.0	464.0	555.0	644.0	692.0	826.0		925.0
424	回転数計B差(本設－仮設)	NI31.1-1BA	－		-0.7	-0.3	-0.6	0.1	0.2	0.7	0.5	0.7	1.3		1.0
現場	校正用回転計B	仮設	－	0.0	102.0	192.0	279.0	369.0	457.0	547.0	635.0	679.0	814.0		909.0
424	A-B回転数差計	DNI31.1-1 rpm	30以下		3.9	4.7	6.0	6.7	6.6	8.1	8.3	11.6	9.1	13.1	13.3
JOYDAS	A-IHX Na液位計	cm			-47.8	-47.8	-47.8	-47.8	-47.8	-47.8	-47.8	-47.8	-47.8	-47.8	-47.8
	B-IHX Na液位計	cm			-49.4	-49.3	-49.3	-49.3	-49.3	-49.2	-49.2	-49.1	-48.8	-48.6	-48.7
熱出力測定システム計算値	Aポンプ揚程(MK－Ⅲ炉心)	mNa		0.0	0.84	2.88	5.74	9.93	14.87	20.91	27.48	31.95	44.98	56.63	58.29
	Bポンプ揚程(MK－Ⅲ炉心)	mNa		0.0	0.75	2.49	5.28	9.51	14.52	19.73	26.01	29.73	42.30	51.61	52.90
流量2乗式揚程	Aポンプ揚程(100%基準)	mNa		0.0	0.60	2.20	4.75	8.54	13.35	19.46	26.96	31.68	45.98	57.22	58.29
	Bポンプ揚程(100%基準)	mNa		0.0	0.54	1.95	4.21	7.58	11.92	17.67	24.49	28.07	42.10	51.84	52.90
流量1.85乗式揚程	Aポンプ揚程(100%基準)	mNa		0.0	0.84	2.81	5.73	9.87	14.91	21.13	28.57	33.17	46.80	57.30	58.29
	Bポンプ揚程(100%基準)	mNa		0.0	0.76	2.50	5.09	8.77	13.33	19.19	25.94	29.43	42.83	51.92	52.90
熱出力測定システム	炉容器Aﾙｰﾌﾟ入口電磁流量計出力電圧	mV			1.049	2.053	3.011	4.006	4.961	5.926	6.897	7.428	8.805	9.719	9.802
	炉容器Bﾙｰﾌﾟ入口電磁流量計出力電圧	mV			1.034	2.042	3.002	4.001	4.967	5.976	6.946	7.392	8.876	9.739	9.828
熱出力測定システム	Aポンプ回転数	rpm		0.0	105	196	284	375	464	555	644	692	826	915	925
	Bポンプ回転数	rpm		0.0	102	192	279	369	457	547	635	679	815	899	909
熱出力測定システム	炉容器Aﾙｰﾌﾟ入口流量	m^3/h		0.0	160.1	307.6	452.2	606.4	758.1	915.2	1,077.3	1,167.8	1,406.8	1,569.4	1,584.0
	炉容器Bﾙｰﾌﾟ入口流量	m^3/h		0.0	160.3	305.3	448.1	601.3	753.9	918.0	1,080.6	1,156.9	1,416.9	1,572.3	1,588.3
JOYDAS	炉容器Aﾙｰﾌﾟ入口流量	m^3/h		0.0	152	311	461	618	767	921	1,072	1,141	1,369	1,520	1,532
	炉容器Bﾙｰﾌﾟ入口流量	m^3/h		0.0	148	307	457	615	767	926	1,076	1,150	1,380	1,517	1,532
JOYDAS	1次補助冷却系流量	m^3/h			-2.2	-4.2	-6.0	-8.2	-11.3	-13.5	-15.8	-16.7	-19.8	-21.8	-21.9

表6.5－1(2/2) 1次主循環ポンプ主モータによる特性試験データ

盤#	経過 計測点		管理値	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	75%	90%	99%	100%
	A振動①最上部X	μmP-P			4.0	2.8	2.4	2.8	3.0	3.4	5.2	11.0	5.5		8.0
	A振動②ポニーモータ部X	μmP-P			2.5	1.7	2.4	2.5	1.8	1.9	3.3	7.2	4.3		6.0
現場 (R412)	A振動③スラスト軸受部X	μmP-P			2.0	1.0	1.3	1.6	1.5	1.5	3.0	6.4	2.9		5.3
	A振動④主モータ軸受部X	μmP-P			2.5	1.5	1.5	1.6	1.5	2.5	2.6	3.0	2.7		2.6
	A振動⑤メカニカルシール部X	μmP-P			2.5	0.4	0.6	0.4	0.4	0.3	0.5	0.6	0.6		0.5
	A振動⑥据付ベース部X	μmP-P			2.5	0.2	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3		0.3
	B振動①最上部X	μmP-P			3.0	1.8	2.5	4.2	3.6	7.0	8.0	8.5	8.7		15.0
	B振動②ポニーモータ部X	μmP-P			2.0	0.8	1.3	2.6	2.2	5.2	6.0	5.5	7.3		13.0
現場 (R410)	B振動③スラスト軸受部X	μmP-P			3.0	0.8	1.2	1.8	1.9	4.1	3.6	4.6	6.2		10.8
	B振動④主モータ軸受部X	μmP-P			3.0	1.0	1.5	1.8	1.4	1.9	3.5	2.8	3.0		4.5
	B振動⑤メカニカルシール部X	μmP-P			2.0	0.8	0.7	0.4	0.5	0.6	1.0	0.9	3.5		1.3
	B振動⑥据付ベース部X	μmP-P			2.0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		0.2
	A振動①最上部Y	μmP-P			3.0	2.5	3.3	3.1	3.4	4.4	5.3	8.0	7.0		7.0
	A振動②ポニーモータ部Y	μmP-P			2.5	2.0	1.6	2.1	1.6	1.7	2.4	5.7	5.0		4.5
現場 (R412)	A振動③スラスト軸受部Y	μmP-P			2.5	1.0	1.4	1.5	1.5	1.5	1.9	5.5	3.1		4.2
	A振動④主モータ軸受部Y	μmP-P			2.5	1.5	1.4	1.4	1.6	2.6	3.1	3.7	3.6		2.5
	A振動⑤メカニカルシール部Y	μmP-P			2.5	0.6	0.6	0.6	0.4	0.3	0.5	0.6	0.6		0.6
	A振動⑥据付ベース部Y	μmP-P			2.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3		0.3
	B振動①最上部Y	μmP-P			4.0	2.2	2.4	2.8	4.0	3.8	9.5	8.8	9.3		13.0
	B振動②ポニーモータ部Y	μmP-P			3.0	0.8	0.8	1.1	2.0	2.2	8.0	6.0	6.6		8.0
現場 (R410)	B振動③スラスト軸受部Y	μmP-P			3.0	0.7	1.0	1.5	2.2	2.6	7.5	6.0	4.7		6.0
	B振動④主モータ軸受部Y	μmP-P			3.0	0.8	1.1	1.5	1.8	3.0	4.8	3.1	2.8		2.0
	B振動⑤メカニカルシール部Y	μmP-P			3.0	0.4	1.2	0.4	0.5	0.6	0.8	0.7	1.0		1.0
	B振動⑥据付ベース部Y	μmP-P			2.0	0.3	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		0.3
	A振動①最上部Z	μmP-P			2.5	0.7	0.8	1.1	1.2	1.1	0.9	2.5	2.5		1.5
	A振動②ポニーモータ部Z	μmP-P			2.5	0.5	0.6	0.8	0.8	1.2	1.5	1.2	1.9		1.2
現場 (R412)	A振動③スラスト軸受部Z	μmP-P			2.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.9		1.5
	A振動④主モータ軸受部Z	μmP-P			2.5	0.5	0.7	0.6	0.5	0.7	0.6	1.0	1.7		0.9
	A振動⑤メカニカルシール部Z	μmP-P			2.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4		0.4
	A振動⑥据付ベース部Z	μmP-P			2.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.3	0.4	0.3	0.4		0.3
	B振動①最上部Z	μmP-P			3.0	0.6	0.8	0.9	0.8	1.2	0.7	0.8	1.0		1.3
	B振動②ポニーモータ部Z	μmP-P			3.0	0.4	0.4	0.6	0.5	0.7	0.9	1.3	1.7		2.0
現場 (R410)	B振動③スラスト軸受部Z	μmP-P			3.0	0.3	0.5	0.5	0.4	0.8	1.0	1.2	1.5		1.8
	B振動④主モータ軸受部Z	μmP-P			2.0	0.4	0.6	1.1	0.6	0.8	1.0	0.9	1.5		1.7
	B振動⑤メカニカルシール部Z	μmP-P			2.0	0.7	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.8		0.4
	B振動⑥据付ベース部Z	μmP-P			2.0	0.5	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4		0.5

表9.5.4−1 ポニーモータ運転特性確認試験データ

PM可変抵抗器タップ変更時の運転データ

試験時Na温度:約250℃

2003年1月27日

抵抗器タップ位置		時間	ポニーモータA									ポニーモータB								
			電流A		回転数A	流量A	吐出圧力	系統圧損(揚程A)	炉心圧損	ループ圧損	直流電圧	電流B		回転数B	流量B	吐出圧力	系統圧損(揚程B)	炉心圧損	ループ圧損	直流電圧
			電流計入力値	電流換算値								電流計入力値	電流換算値							
(Ω)			(mV)	(A)	(rpm)	(m3/h)	(MPa)	(mNa)	(mNa)	(mNa)	(V)	(mV)	(A)	(rpm)	(m3/h)	(MPa)	(mNa)	(mNa)	(mNa)	(V)
146盤 253盤			145盤	計算値	JOYDAS	JOYDAS	JOYDAS	計算値	計算値	計算値	直流盤	253盤	計算値	JOYDAS	JOYDAS	JOYDAS	計算値	計算値	計算値	直流盤
0.40	R8	9:36		19.6	115.0	160.0	0.054	0.839	0.672	0.166			19.8	117.0	186.0	0.052	1.001	0.781	0.220	
0.35	R7	11:59	17.1	20.0	116.0	163.0	0.054	0.868	0.696	0.172	107.0	16.9	19.7	119.0	188.0	0.052	1.021	0.797	0.224	107.0
0.30	R6	12:02	17.2	20.1	118.0	165.0	0.054	0.888	0.712	0.176		17.0	19.8	120.0	191.0	0.053	1.051	0.820	0.231	
0.25	R5	12:04	17.3	20.2	118.0	167.0	0.054	0.908	0.728	0.180		17.1	20.0	120.0	193.0	0.053	1.072	0.836	0.235	
0.20	R4	12:06	17.4	20.3	119.0	166.0	0.055	0.898	0.720	0.178		17.2	20.1	122.0	195.0	0.053	1.092	0.852	0.240	
0.15	R3	12:08	17.5	20.4	120.0	168.0	0.055	0.918	0.736	0.182		17.4	20.3	123.0	195.0	0.053	1.092	0.852	0.240	
0.10	R2	12:10	17.6	20.5	121.0	171.0	0.055	0.949	0.761	0.188		17.5	20.4	124.0	198.0	0.053	1.123	0.877	0.247	
0.05	R1	12:11	17.7	20.7	121.0	172.0	0.055	0.959	0.769	0.190	107.0	17.7	20.7	125.0	201.0	0.054	1.155	0.901	0.254	107.0
0.00	R0	12:13	17.9	20.9	123.0	174.0	0.055	0.980	0.785	0.194		17.8	20.8	125.0	202.0	0.053	1.166	0.910	0.256	
0.05	R1	12:28	17.7	20.7	122.0	173.0	0.055	0.969	0.777	0.192		17.7	20.7	125.0	199.0	0.053	1.134	0.885	0.249	
0.10	R2	12:29	17.6	20.5	121.0	171.0	0.055	0.949	0.761	0.188		17.5	20.4	124.0	198.0	0.053	1.123	0.877	0.247	
0.15	R3	12:31	17.5	20.4	120.0	169.0	0.055	0.928	0.744	0.184		17.4	20.3	123.0	196.0	0.053	1.103	0.860	0.242	
0.20	R4	12:32	17.3	20.2	119.0	168.0	0.055	0.918	0.736	0.182		17.2	20.1	122.0	194.0	0.053	1.082	0.844	0.238	
0.25	R5	12:33	17.2	20.1	118.0	168.0	0.055	0.918	0.736	0.182		17.1	20.0	121.0	192.0	0.053	1.061	0.828	0.233	
0.30	R6	12:34	17.1	20.0	118.0	165.0	0.054	0.888	0.712	0.176		17.0	19.8	120.0	190.0	0.053	1.041	0.812	0.229	
0.35	R7	12:35	17.0	19.8	116.0	163.0	0.054	0.868	0.696	0.172		16.9	19.7	119.0	190.0	0.053	1.041	0.812	0.229	
0.40	R8	12:36	16.9	19.7	116.0	163.0	0.054	0.868	0.696	0.172		16.8	19.6	119.0	189.0	0.052	1.031	0.804	0.226	
0.45	R9	12:39	16.8	19.6	115.0	160.0	0.054	0.839	0.672	0.166		16.6	19.4	117.0	185.0	0.052	0.991	0.773	0.218	
0.50	R10	12:40	16.7	19.5	114.0	160.0	0.054	0.839	0.672	0.166		16.5	19.3	117.0	187.0	0.052	1.011	0.789	0.222	
0.55	R11	12:42	16.6	19.4	113.0	159.0	0.054	0.829	0.665	0.164		16.4	19.1	115.0	182.0	0.052	0.961	0.750	0.211	
0.60	R12	12:43	16.5	19.3	113.0	157.0	0.054	0.810	0.649	0.161		16.3	19.0	115.0	183.0	0.052	0.971	0.758	0.213	
0.65	R13	12:45	16.4	19.1	112.0	156.0	0.054	0.800	0.642	0.159		16.2	18.9	114.0	179.0	0.051	0.932	0.727	0.205	
0.70	R14	12:46	16.3	19.0	111.0	155.0	0.053	0.791	0.634	0.157		16.1	18.8	114.0	180.0	0.051	0.942	0.735	0.207	
0.75	R15	12:47	16.1	18.8	110.0	154.0	0.054	0.782	0.627	0.155		16.0	18.7	112.0	178.0	0.052	0.923	0.720	0.203	
0.80	R16	12:48	16.0	18.7	110.0	152.0	0.053	0.763	0.612	0.151		15.9	18.6	112.0	175.0	0.052	0.894	0.698	0.196	
0.85	R17	12:50	16.0	18.7	109.0	150.0	0.053	0.744	0.597	0.148		15.8	18.4	111.0	173.0	0.051	0.875	0.683	0.192	
0.90	R18	12:52	15.9	18.6	108.0	148.0	0.054	0.726	0.582	0.144		15.7	18.3	110.0	172.0	0.052	0.866	0.676	0.190	
0.95	R19	12:53	15.8	18.4	108.0	147.0	0.054	0.717	0.575	0.142		15.6	18.2	110.0	172.0	0.051	0.866	0.676	0.190	
1.00	R20	12:55	15.7	18.3	106.0	145.0	0.053	0.699	0.561	0.139		15.5	18.1	109.0	170.0	0.051	0.847	0.661	0.186	
0.95	R19	13:12	15.8	18.4	108.0	148.0	0.053	0.726	0.582	0.144		15.6	18.2	110.0	172.0	0.051	0.866	0.676	0.190	
0.90	R18	13:14	15.9	18.6	108.0	150.0	0.054	0.744	0.597	0.148		15.7	18.3	110.0	173.0	0.052	0.875	0.683	0.192	
0.85	R17	13:15	16.0	18.7	109.0	151.0	0.053	0.754	0.604	0.149		15.8	18.4	111.0	175.0	0.051	0.894	0.698	0.196	
0.80	R16	13:16	16.1	18.8	109.0	151.0	0.053	0.754	0.604	0.149		15.9	18.6	111.0	176.0	0.051	0.904	0.705	0.198	
0.75	R15	13:17	16.2	18.9	110.0	152.0	0.054	0.763	0.612	0.151		16.0	18.7	112.0	177.0	0.052	0.913	0.713	0.201	
0.70	R14	13:18	16.3	19.0	111.0	154.0	0.053	0.782	0.627	0.155		16.1	18.8	113.0	179.0	0.051	0.932	0.727	0.205	
0.65	R13	13:19	16.4	19.1	111.0	154.0	0.054	0.782	0.627	0.155		16.2	18.9	114.0	181.0	0.052	0.952	0.743	0.209	
0.60	R12	13:19	16.4	19.1	113.0	156.0	0.054	0.800	0.642	0.159		16.3	19.0	115.0	182.0	0.052	0.961	0.750	0.211	
0.55	R11	13:20	16.6	19.4	113.0	158.0	0.054	0.820	0.657	0.163		16.4	19.1	116.0	182.0	0.052	0.961	0.750	0.211	
0.50	R10	13:22	16.7	19.5	114.0	159.0	0.054	0.829	0.665	0.164		16.5	19.3	117.0	184.0	0.052	0.981	0.766	0.215	
0.45	R9	13:23	16.8	19.6	115.0	161.0	0.054	0.849	0.680	0.168		16.6	19.4	117.0	186.0	0.052	1.001	0.781	0.220	
0.40	R8	13:24	16.9	19.7	116.0	162.0	0.054	0.858	0.688	0.170		16.7	19.5	119.0	188.0	0.052	1.021	0.797	0.224	
0.35	R7	13:25	17.0	19.8	116.0	163.0	0.054	0.868	0.696	0.172		16.9	19.7	119.0	190.0	0.052	1.041	0.812	0.229	
0.30	R6	13:26	17.1	20.0	118.0	164.0	0.055	0.878	0.704	0.174		17.0	19.8	120.0	186.0	0.053	1.001	0.781	0.220	
0.25	R5	13:27	17.2	20.1	118.0	167.0	0.055	0.908	0.728	0.180										
0.20	R4	13:28	17.4	20.3	119.0	169.0	0.055	0.928	0.744	0.184										
0.15	R3	13:30	17.5	20.4	120.0	174.0	0.055	0.980	0.785	0.194										
0.10	R2	13:31	17.6	20.5	121.0	176.0	0.055	1.001	0.802	0.198	107.0									

注:電流換算値:70Aで電流計入力値60mVで換算する。

$\Delta H = CR(Q/QR)^{1.85} + CP(Q/QR)^{1.85}$

CR:炉心圧損	Aループ	44.252	Bループ	38.897	Q:ループ各流量
CP:ループ圧損		10.946		10.946	QR:ループ当たりの炉心100%流量

表9.5.5−1　ポニーモータ（A）1台運転特性確認試験データ

試験日：2003年 1月27日

ＰＭ可変抵抗器タップ変更時の運転データ（Aポンプ単独運転）

試験時Na温度：約250℃

抵抗器タップ位置		時間	ポニーモータ(A)1台運転時データ								
			電流A		回転数A	流量A	吐出圧力	1台運転時(Aデータより)			直流電圧
			電流計入力値	電流換算値				系統圧損	炉心圧損	ループ圧損	
(Ω)			(mV)	(A)	(rpm)	(m3/h)	(MPa)	(mNa)	(mNa)	(mNa)	(V)
146盤 253盤			145盤	計算値	JOYDAS			計算値	計算値	計算値	直流盤
0.40	R8										
0.35	R7										
0.30	R6										
0.25	R5										
0.20	R4										
0.15	R3										
0.10	R2	14:40	17.9	20.9	120.0	233.0	0.051	0.707	0.567	0.140	107.0
0.05	R1	14:41	18.0	21.0	122.0	236.0	0.051	0.724	0.581	0.144	
0.00	R0	14:43	18.1	21.1	123.0	239.0	0.051	0.741	0.594	0.147	
0.05	R1	14:45	18.0	21.0	122.0	238.0	0.051	0.736	0.590	0.146	
0.10	R2	14:47	17.9	20.9	121.0	236.0	0.051	0.724	0.581	0.144	
0.15	R3	14:50	17.7	20.7	120.0	233.0	0.051	0.707	0.567	0.140	
0.20	R4	14:53	17.6	20.5	119.0	230.0	0.051	0.691	0.554	0.137	
0.25	R5	14:55	17.5	20.4	118.0	228.0	0.051	0.680	0.545	0.135	
0.30	R6	14:56	17.4	20.3	117.0	226.0	0.051	0.669	0.536	0.133	
0.35	R7	14:56	17.3	20.2	116.0	225.0	0.051	0.663	0.532	0.131	
0.40	R8	14:58	17.1	20.0	115.0	223.0	0.051	0.652	0.523	0.129	
0.45	R9	15:05	17.0	19.8	114.0	221.0	0.051	0.641	0.514	0.127	
0.50	R10	15:08	16.9	19.7	114.0	219.0	0.051	0.631	0.506	0.125	
0.55	R11	15:09	16.8	19.6	113.0	217.0	0.051	0.620	0.497	0.123	
0.60	R12	15:10	16.7	19.5	112.0	214.0	0.051	0.604	0.484	0.120	
0.65	R13	15:12	16.6	19.4	111.0	213.0	0.050	0.599	0.480	0.119	
0.70	R14	15:13	16.5	19.3	110.0	212.0	0.050	0.594	0.476	0.118	
0.75	R15	15:15	16.4	19.1	109.0	211.0	0.050	0.589	0.472	0.117	
0.80	R16	15:16	16.3	19.0	109.0	210.0	0.050	0.584	0.468	0.116	
0.85	R17	15:18	16.2	18.9	108.0	207.0	0.050	0.568	0.456	0.113	
0.90	R18	15:19	16.1	18.8	108.0	205.0	0.050	0.558	0.447	0.111	
0.95	R19	15:20	16.0	18.7	107.0	203.0	0.050	0.548	0.439	0.109	
1.00	R20	15:21	15.9	18.6	106.0	203.0	0.050	0.548	0.439	0.109	
0.95	R19	15:24	16.0	18.7	106.0	205.0	0.050	0.558	0.447	0.111	
0.90	R18	15:26	16.1	18.8	108.0	206.0	0.050	0.563	0.452	0.112	
0.85	R17	15:27	16.2	18.9	108.0	208.0	0.050	0.573	0.460	0.114	
0.80	R16	15:28	16.3	19.0	109.0	209.0	0.050	0.578	0.464	0.115	
0.75	R15	15:30	16.4	19.1	110.0	210.0	0.051	0.584	0.468	0.116	
0.70	R14	15:31	16.5	19.3	110.0	212.0	0.051	0.594	0.476	0.118	
0.65	R13	15:33	16.6	19.4	111.0	213.0	0.051	0.599	0.480	0.119	
0.60	R12	15:34	16.7	19.5	112.0	215.0	0.051	0.610	0.489	0.121	
0.55	R11	15:35	16.8	19.6	113.0	216.0	0.051	0.615	0.493	0.122	
0.50	R10	15:37	16.9	19.7	114.0	220.0	0.051	0.636	0.510	0.126	
0.45	R9	15:38	17.0	19.8	114.0	222.0	0.051	0.647	0.519	0.128	
0.40	R8	15:39	17.1	20.0	115.0	224.0	0.051	0.658	0.527	0.130	
0.35	R7	15:40	17.2	20.1	116.0	226.0	0.051	0.669	0.536	0.133	
0.30	R6	15:42	17.4	20.3	117.0	226.0	0.051	0.669	0.536	0.133	
0.25	R5	15:43	17.5	20.4	118.0	227.0	0.051	0.674	0.540	0.134	
0.20	R4	15:44	17.6	20.5	119.0	230.0	0.051	0.691	0.554	0.137	
0.15	R3	15:46	17.7	20.7	119.0	233.0	0.051	0.707	0.567	0.140	
0.10	R2	15:48	17.9	20.9	121.0	234.0	0.051	0.713	0.572	0.141	

注：電流換算値：70Aで電流計入力値60mVで換算する。

$\Delta H = CR(Q/2QR)^{1.85} + CP(Q/QR)^{1.85}$

CR：炉心圧損　　Aループ　44.252　　Q：ループ各流量

CP：ループ圧損　　10.946　　QR：ループ当たりの炉心100%流量

表9.6.5－1　MK－ⅡとMK－Ⅲにおける1次補助冷却系サイフォンブレークに係る比較

No.	比較項目		記号	MK－Ⅱ		MK－Ⅲ	備考
1	主中間熱交換器内窓高さ	窓上端	b	－		GL-6,910mm　(NL-810mm)	
		窓中心		GL-6,810mm　(NL-710mm)		GL-7,105mm　(NL-1,005mm)	
2	炉容器 ～主中間熱交換器配管圧損等	窓上端	c	－		30mm (配管圧損:20mm、公差:10mm)	MK－Ⅲでは保守側に主中間熱交換器内筒熱膨張を含まない
		窓中心		20mm(配管圧損:14mm、据付精度:11mm、その他:7mm、主中間熱交換器内筒熱膨張:-12mm)		20mm(配管圧損)	
3	ポニーモータ運転可能な炉容器内最低Na液面	窓上端	Lp	－		GL-6,880mm　(NL-780mm)	Lp=b+c
		窓中心		GL-6790mm　(NL-690mm)		GL-7,085mm　(NL-985mm)	
4	1次補助冷却系炉容器ノズル下端レベル		La	GL-6450mm　(NL-350mm)			
5	サイフォンブレーク条件 (ΔHc:炉心圧損)	窓上端		－		ΔHc＜430mmNa	ΔHc＜La-Lp
		窓中心		ΔHc＜340mmNa		ΔHc＜635mmNa	
6	ポニーモータ運転条件			定格	抵抗タップ R21*1	最高回転数*2	*1:1次補助冷却系Na漏えい発生時抵抗タップ位置 *2:最大炉心圧損を想定
7	ポニーモータ回転数			130rpm	81.3rpm	130rpm	
8	流量(1ループ運転時)			234m^3/h以上	約144m^3/h	約258m^3/h	
9	炉心圧損(1ループ運転時)		ΔHc	600mmNa以上	約210mmNa	約320mmNa	
10	サイフォンブレーク時液面(予想値)		L_{SB}	GL-7,050mm (NL-950mm)	GL-6,660mm (NL-560mm)	GL-6,770mm　(NL-670mm)	L_{SB}＜La+ΔHc
11	サイフォンブレーク成立可否			×	○	○	

表11.5−1　1次主循環ポンプ（A）連続運転試験測定データ

項　目	TagNo.	単位	計画値	場所　盤	測定値	
1次主循環Na流量	FR31.1-1A	m³／h	判定値 約1538	中制 #424	1540	
	—			中制JOYDAS	1531～1544	
主ポンプ回転数	NI31.1-1AA	rpm	約930	中制 #424	935～940	
	—			A403#101-2N	930～937	
一次電圧	—	kV	—	A403#101-7N	3.18～3.23	
一次電流	—	A	88以下	A403#101-7N	78～80	
直流電圧	—	V	—	A403#101-4N	30	
直流電流	—	A	—	A403#101-4N	510～520	
ｲﾝﾊﾞｰﾀ電流	—	A	—	A403#101-1N	74.5～76.0	
モータコイル温度	TS31.1-13A	℃	140以下	中制 #421	43.7～46.9	
原子炉入口Na温度	TR31.1-8A	℃	—	中制 #424	250～274	
原子炉出口Na温度	TR31.1-8A	℃	—	中制 #424	254～274	
主ポンプ吐出圧力	PI31.1-1A	MPa	—	中制 #424	0.519～0.525	
主ポンプ Na液位	LIS31.1-4A	cm	-30～80	中制 #424	-8.0～-9.7	
ｵｰﾊﾞﾌﾛｰｶﾗﾑNa液位	LIS31.1-5A	cm	-81以下	中制 #424	-151～-154	
軸封ガス流量	FIS36.1-2A	l／min	0.2以上	中制 #424	0.297～0.320	
Na軸受温度	TS31.1-12A	℃	150以上	中制 #421	257.3～276.4	
	TE71-108A			A504#206	256.4～275.5	
2次主循環Na流量	FR31.2-1	m³／h	約1350	中制 #424	1320～1350	
	—			中制JOYDAS	1325～1351	
DHX入口Na温度	TR31.2-3A	℃	—	中制 #425	251～271	
DHX出口Na温度	TR31.2-3A	℃	—	中制 #425	250～269	
モータ軸受温度	TIS31.1-6A	℃	75以下	R412	52～59	
OPU給油温度(仮設)		℃	—		32.0～41.5	
油ポンプ吐出圧力	PI31.1-51A	MPa	約0.4	R412	0.36～0.37	
メカシール給油圧力	PI31.1-54A	MPa	0.13～0.3	R412	0.21	
主モータ給油圧力	PI31.1-56A	MPa	約0.1	R412	0.125	
潤滑油戻り温度	TIS31.1-51A	℃	判定値80以下	R412	36.5～41.0	
モータ上部排油温度	TI31.1-52A	℃	55以下	中制 #420	39.2～45.9	
メカシール給油流量	FI31.1-51A	l／min	約50以上	R412	49.0～50.0	
モータ軸受給油流量	FI31.1-52A	l／min	10～13	R412	12.8～12.9	
室内温度(仮設)		℃	—	R412	25.0～29.0	
＜振動測定＞ 測定計器:RION NA-24 6683457					100%到達後	24時間経過後
測定位置①	X−X'	μmP-P	75以下	—	9.5	10
	Y−Y'	μmP-P			7.5	6.5
	Z−Z'	μmP-P			1	1
測定位置②	X−X'	μmP-P	75以下	—	6.5	7
	Y−Y'	μmP-P			5	4
	Z−Z'	μmP-P			1.5	0.8
測定位置③	X−X'	μmP-P	75以下	—	5.5	6.5
	Y−Y'	μmP-P			4	3.5
	Z−Z'	μmP-P			1.5	1.7
測定位置④	X−X'	μmP-P	75以下	—	3	3.5
	Y−Y'	μmP-P			2.5	2.5
	Z−Z'	μmP-P			1	0.7
測定位置⑤ (上部軸受位置)	X−X'	μmP-P	判定値 75以下	—	0.6	0.6
	Y−Y'	μmP-P			0.7	0.6
	Z−Z'	μmP-P			0.4	0.4
測定位置⑥	X−X'	μmP-P	75以下	—	0.6	0.3
	Y−Y'	μmP-P			0.5	0.4
	Z−Z'	μmP-P			0.6	0.4
＜ケーシング温度＞						
TE71-109A	TR31.1-100A	℃	同一円周上(対角線上)での温度差30℃以下	A504#206	254.8～273.8	
TE71-110A					255.5～274.0	
TE71-111A					117.8～123.1	
TE71-112A					123.1～127.3	
TE71-136A					113.2～115.6	
TE71-137A					111.4～113.6	

表11.5−2 1次主循環ポンプ（B）連続運転試験測定データ

項　目	TagNo.	単位	計画値	場所 盤	測定値	
1次主循環Na流量	FR31.1-1B	m^3／h	判定値 約1538	中制 #424	1540	
	—			中制JOYDAS	1520～1542	
主ポンプ回転数	NI31.1-1BA	rpm	約930	中制 #424	910～920	
	—			A403#111-2N	905～915	
一次電圧	—	kV	—	A403#111-7N	3.20～3.25	
一次電流	—	A	88以下	A403#111-7N	78.5～80	
直流電圧	—	V	—	A403#111-4N	36～40	
直流電流	—	A	—	A403#111-4N	500～510	
ｲﾝﾊﾞｰﾀ電流	—	A	—	A403#111-1N	72.0～73.7	
モータコイル温度	TS31.1-13B	℃	140以下	中制 #421	46.3～48.7	
原子炉入口Na温度	TR31.1-8B	℃	—	中制 #424	252～274	
原子炉出口Na温度	TR31.1-8B	℃	—	中制 #424	254～274	
主ポンプ吐出圧力	PI31.1-1B	MPa	—	中制 #424	0.525～0.540	
主ポンプ Na液位	LIS31.1-4B	cm	-30～80	中制 #424	-4.0～-4.9	
ｵｰﾊﾞﾌﾛｰｶﾗﾑNa液位	LIS31.1-5B	cm	-81以下	中制 #424	-142～-148	
軸封ガス流量	FIS36.1-2B	l／min	0.2以上	中制 #424	0.289～0.305	
Na軸受温度	TS31.1-12B	℃	150以上	中制 #421	255.7～275.2	
	TE71-108B			A504#206	255.7～274.7	
2次主循環Na流量	FR31.2-1	m^3／h	約1350	中制 #424	1318～1340	
	—			中制JOYDAS	1325～1346	
DHX入口Na温度	TR31.2-3B	℃	—	中制 #425	250～269	
DHX出口Na温度	TR31.2-3B	℃	—	中制 #425	250～269	
モータ軸受温度	TIS31.1-6B	℃	75以下	R410	52～57	
OPU給油温度(仮設)		℃	—		37.0～45.1	
油ポンプ吐出圧力	PI31.1-51B	MPa	約0.4	R410	0.37～0.38	
メカシール給油圧力	PI31.1-54B	MPa	0.13～0.3	R410	0.21	
主モータ給油圧力	PI31.1-56B	MPa	約0.1	R410	0.125～0.130	
潤滑油戻り温度	TIS31.1-51B	℃	判定値80以下	R410	37.5～42.5	
モータ上部排油温度	TI31.1-52B	℃	55以下	中制 #420	41.7～46.5	
メカシール給油流量	FI31.1-51B	l／min	約50以上	R410	53	
モータ軸受給油流量	FI31.1-52B	l／min	10～13	R410	14.1～14.5	
室内温度(仮設)		℃	—	R410	29.0～32.5	
＜振動測定＞ 測定計器:RION NA-24 6683457					100%到達後	24時間経過後
測定位置①	X−X'	μmP-P	75以下	—	10.5	9.5
	Y−Y'	μmP-P			13	16
	Z−Z'	μmP-P			1	1.7
測定位置②	X−X'	μmP-P	75以下	—	11	10
	Y−Y'	μmP-P			10	10
	Z−Z'	μmP-P			2	1.6
測定位置③	X−X'	μmP-P	75以下	—	10.5	6.5
	Y−Y'	μmP-P			8.5	9.5
	Z−Z'	μmP-P			3	1.5
測定位置④	X−X'	μmP-P	75以下	—	4	4.5
	Y−Y'	μmP-P			3	3.5
	Z−Z'	μmP-P			2	1.1
測定位置⑤ (上部軸受位置)	X−X'	μmP-P	判定値 75以下	—	1	1.2
	Y−Y'	μmP-P			0.6	0.9
	Z−Z'	μmP-P			0.4	0.7
測定位置⑥	X−X'	μmP-P	75以下	—	0.4	0.5
	Y−Y'	μmP-P			0.6	0.5
	Z−Z'	μmP-P			0.7	0.6
＜ケーシング温度＞						
TE71-109B	TR31.1-100B	℃	同一円周上(対角線上)での温度差30℃以下	A504#206	252.8～271.5	
TE71-110B					253.8～271.5	
TE71-111B					118.3～122.9	
TE71-112B					120.4～125.0	
TE71-136B					116.7～121.3	
TE71-137B					119.7～124.0	

表13.5—1　1次主循環ポンプモータ冷却空気入口温度測定試験結果

冷却ファン風量測定結果(H15.02.05)

ループ	対象	測定箇所	ダンパ開度	吹出口No.	測定位置							総風速	吹出面積	測定風量	目安値
					1	2	3	4	5	6	平均				
					(m/sec)	(m/sec)	(m/sec)	(m/sec)	(m/sec)	(m/sec)	(m/sec)	(m/sec)	(m^2)	(m^3/min)	(m^3/min)
A	主モータ冷却ファン	モータ吹出口	3/8	1	12.0	9.5	7.8	3.0	2.6	2.1	6.17	49.58	0.0270	80.33	50
				2	8.4	11.1	6.5	2.6	5.3	4.0	6.32				
				3	7.0	11.8	8.1	4.2	4.3	2.5	6.32				
				4	6.8	6.0	5.8	2.1	3.5	3.5	4.62				
				5	10.0	9.7	8.8	6.8	6.8	7.4	8.25				
				6	8.2	7.0	6.1	1.9	5.4	5.7	5.72				
				7	7.2	8.4	7.7	5.6	6.0	4.8	6.62				
				8	6.2	5.0	8.9	3.1	3.6	6.7	5.58				
	OPU強制冷却ファン	ダクト吹出口	1/2	—	4.1	5.1	5.4	5.4	4.9	5.5	5.07	—	0.0945	28.73	27
B	主モータ冷却ファン	モータ吹出口	3/8	1	10.9	10.6	9.5	2.8	4.4	4.5	7.12	47.78	0.0270	77.41	50
				2	5.8	6.9	6.0	2.3	5.6	3.2	4.97				
				3	11.2	11.8	8.5	6.8	5.0	5.2	8.08				
				4	8.8	8.2	7.0	4.3	3.5	3.9	5.95				
				5	7.8	8.2	6.5	4.3	3.8	3.4	5.67				
				6	4.8	6.6	6.2	2.2	4.3	3.2	4.55				
				7	8.1	7.3	6.5	4.7	3.9	2.7	5.53				
				8	7.5	7.8	7.0	4.4	4.2	4.6	5.92				
	OPU強制冷却ファン	ダクト吹出口	1/2	—	6.6	6.4	4.5	5.0	5.1	6.0	5.60	—	0.0980	32.93	27

冷却風温度測定結果(H15.02.03)

	測定箇所	測定位置									OPU冷却ダクト吹出口温度	冷却器入口温度	雰囲気温度(仮設)
		1	2	3	4	5	6	7	8	平均			
		(℃)	(℃)	(℃)	(℃)	(℃)	(℃)	(℃)	(℃)	(℃)	(℃)	(℃)	(℃)
A	モータ吹出口	33.8	36.3	36.8	36.9	35.2	32.1	33.6	35.6	35.0	18.0	26.1	28.0
B	モータ吹出口	36.9	37.0	38.3	37.1	36.8	33.0	36.1	37.0	36.5	19.8	30.4	32.0

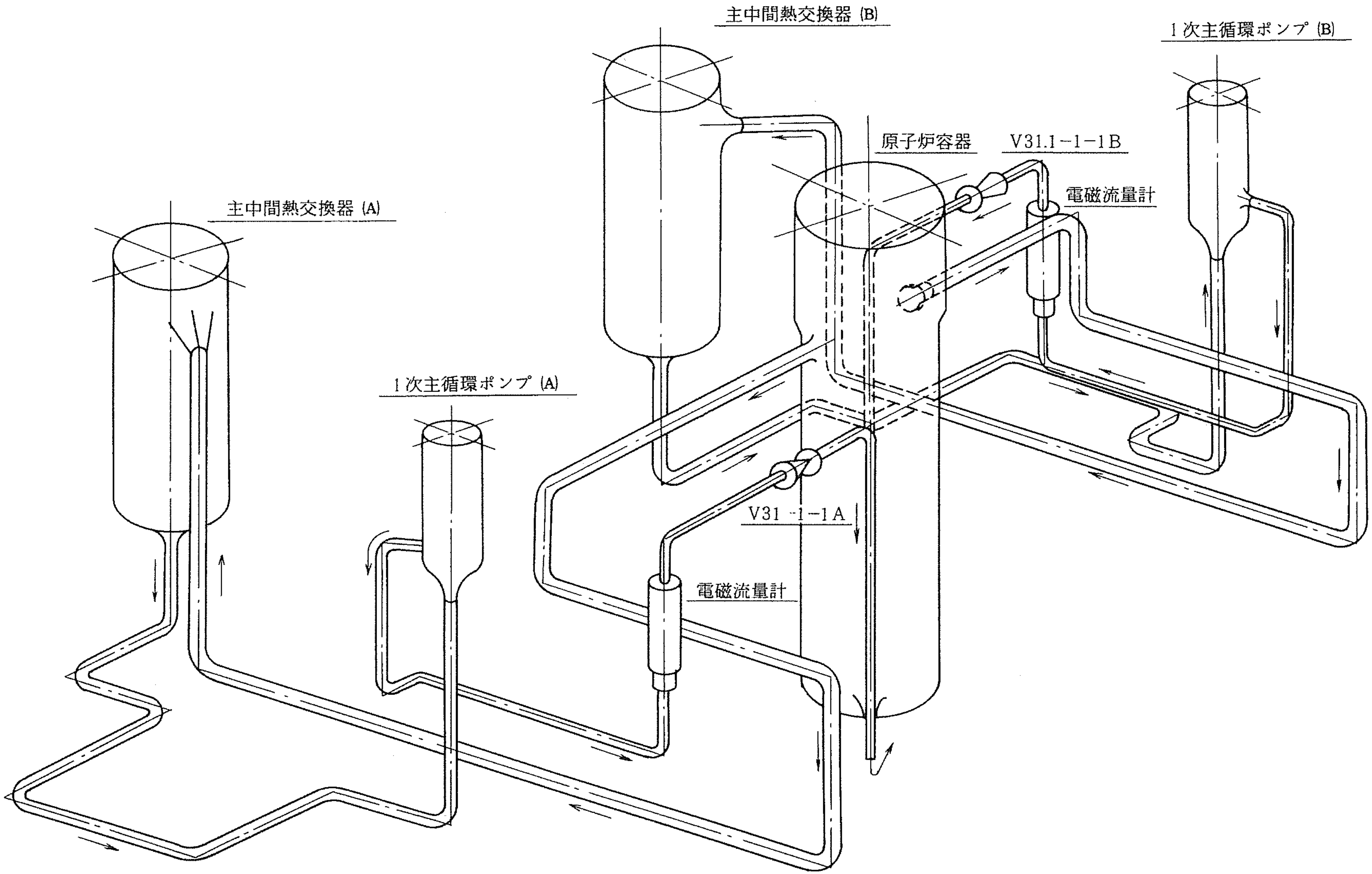
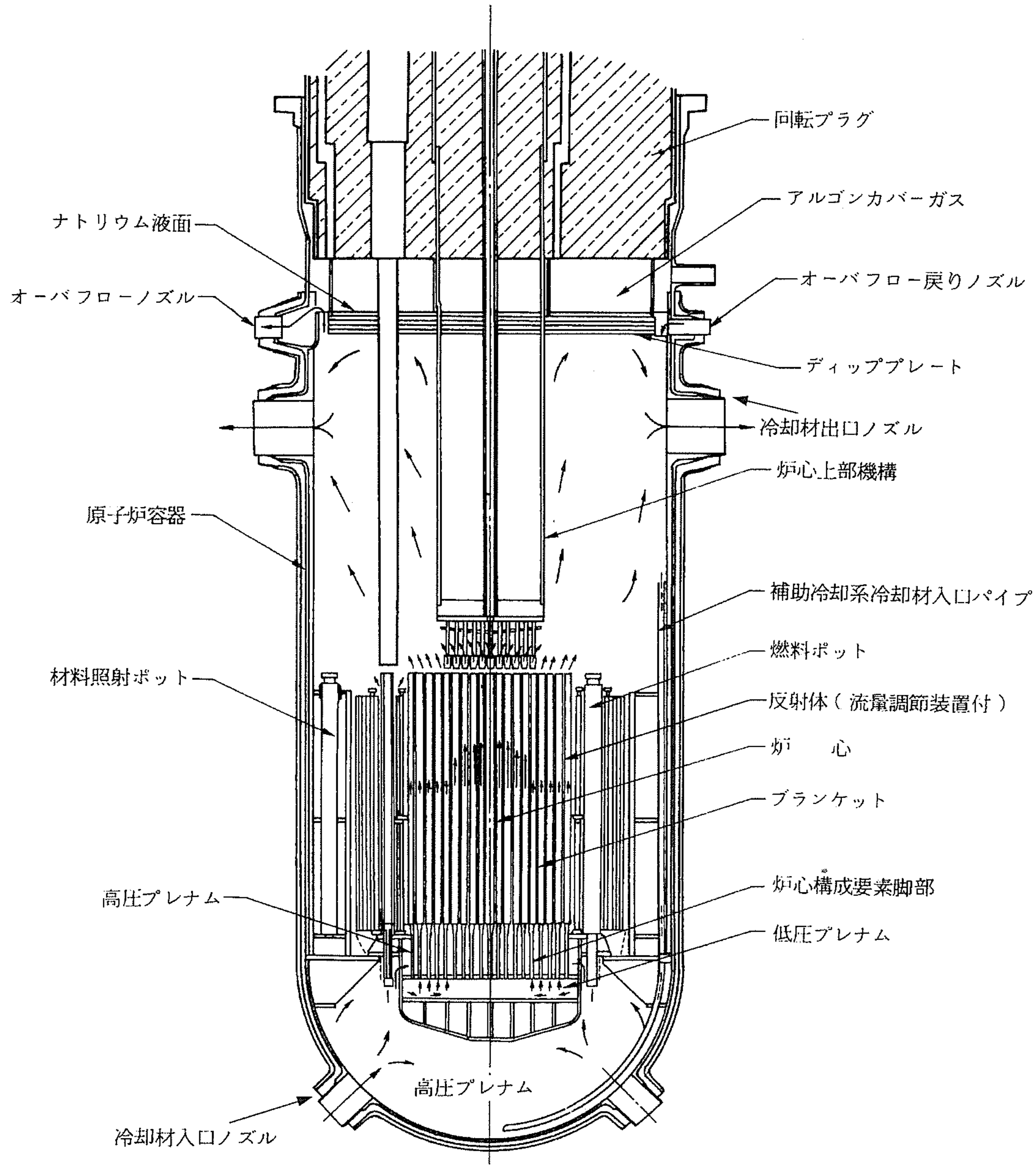
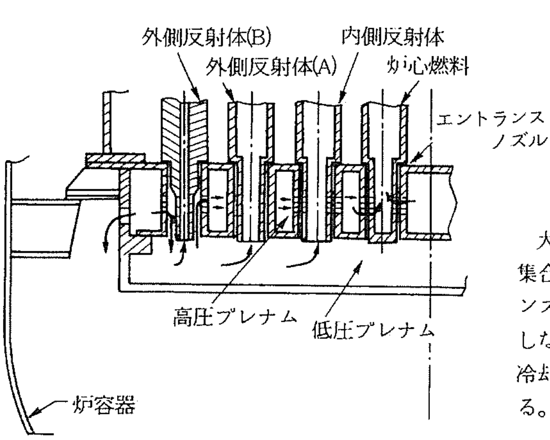


図2.3.1−1　1次主冷却系の配管配置



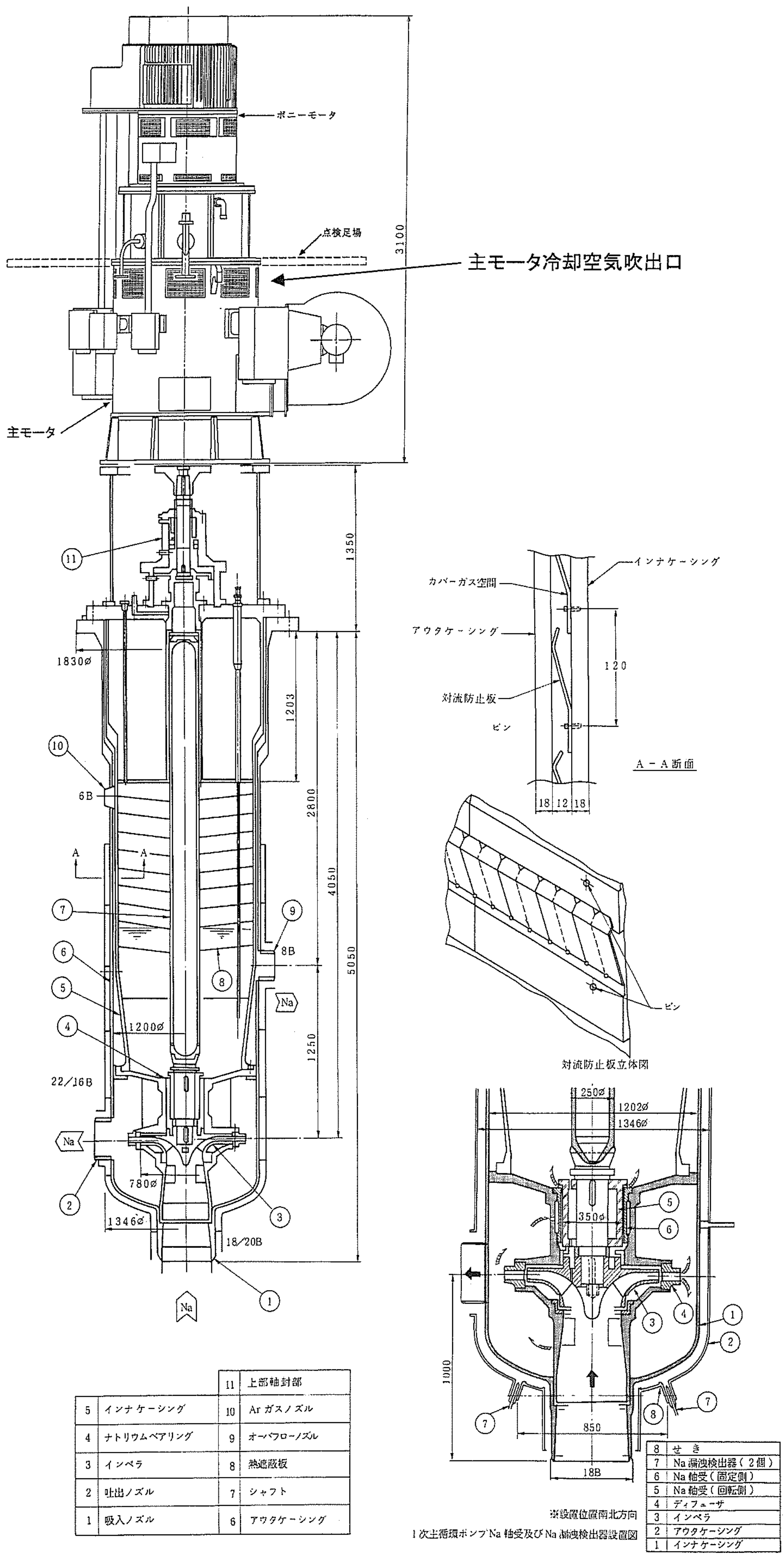
(a) 原子炉容器内ナトリウム流路図



大流量を必要とする炉心燃料集合体及び特殊燃料集合体へは高圧の冷却材が連結管及びエントランスノズルの側面から流入し，大流量を必要としない中性子源，反射体及び制御棒へは低圧の冷却材がエントランスノズルの下端から流入する。

(b) 炉心下部流量配分説明図

図2.3.1－2　炉内ナトリウムの流れ説明



		11	上部軸封部
5	インナケーシング	10	Ar ガスノズル
4	ナトリウムベアリング	9	オーバフローノズル
3	インペラ	8	熱遮蔽板
2	吐出ノズル	7	シャフト
1	吸入ノズル	6	アウタケーシング

8	せ　き
7	Na 漏洩検出器（２個）
6	Na 軸受（固定側）
5	Na 軸受（回転側）
4	ディフューザ
3	インペラ
2	アウタケーシング
1	インナケーシング

図2.3.2－1　１次主循環ポンプの構造

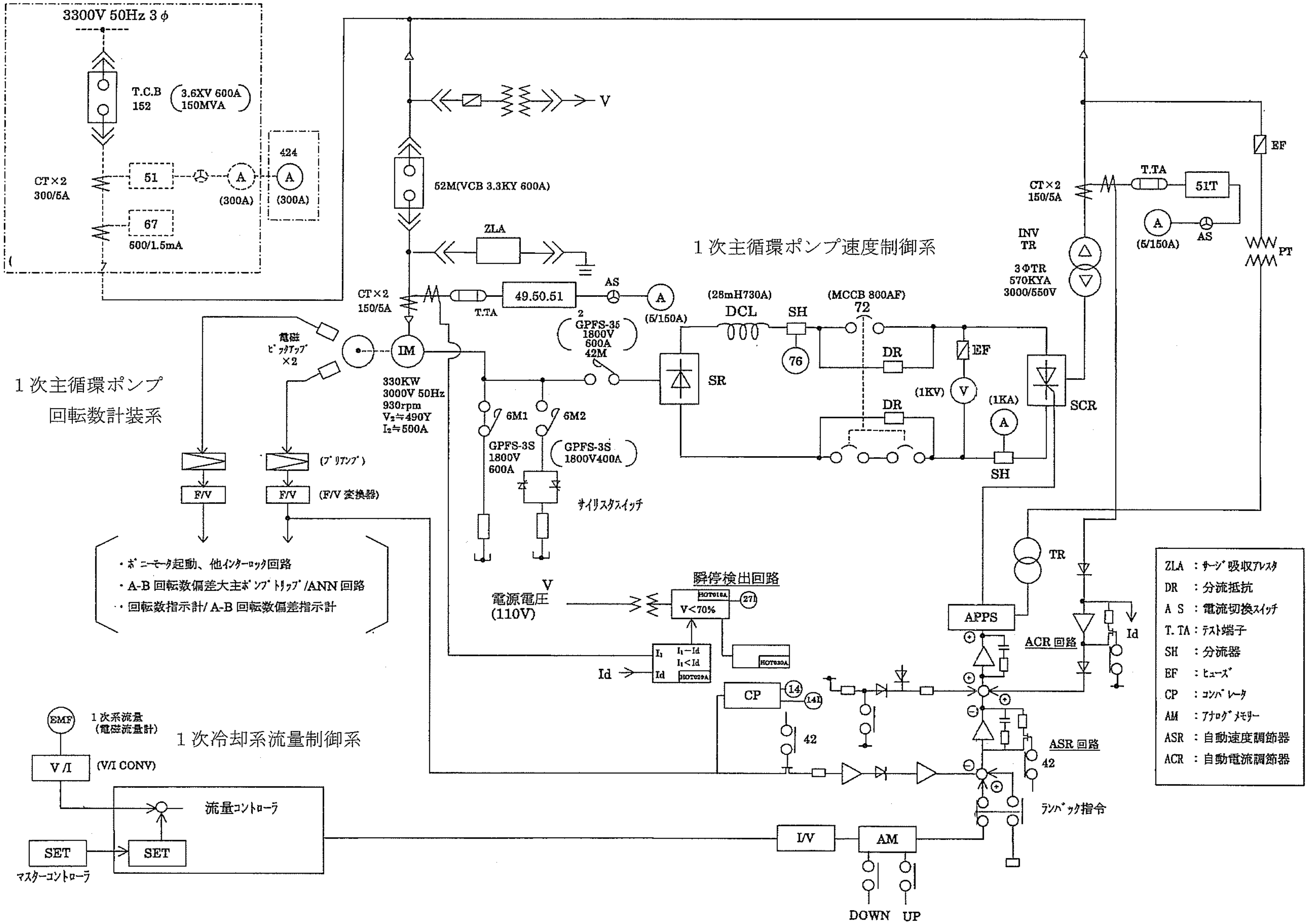


図 2.3.3－1　1次主循環ポンプ制御設備のシステム構成

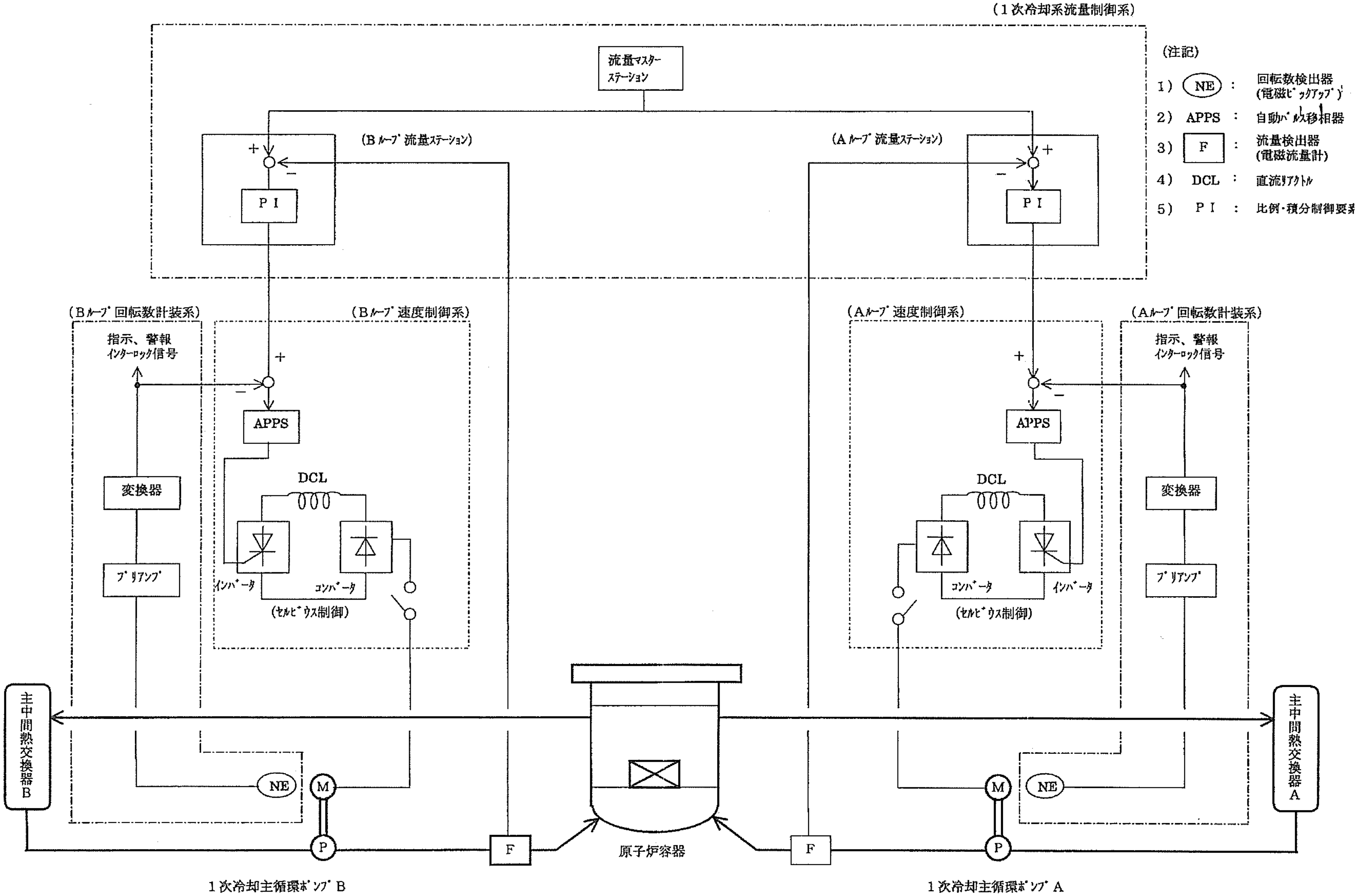


図 2.3.3－2　１次冷却系流量制御設備の基本構成

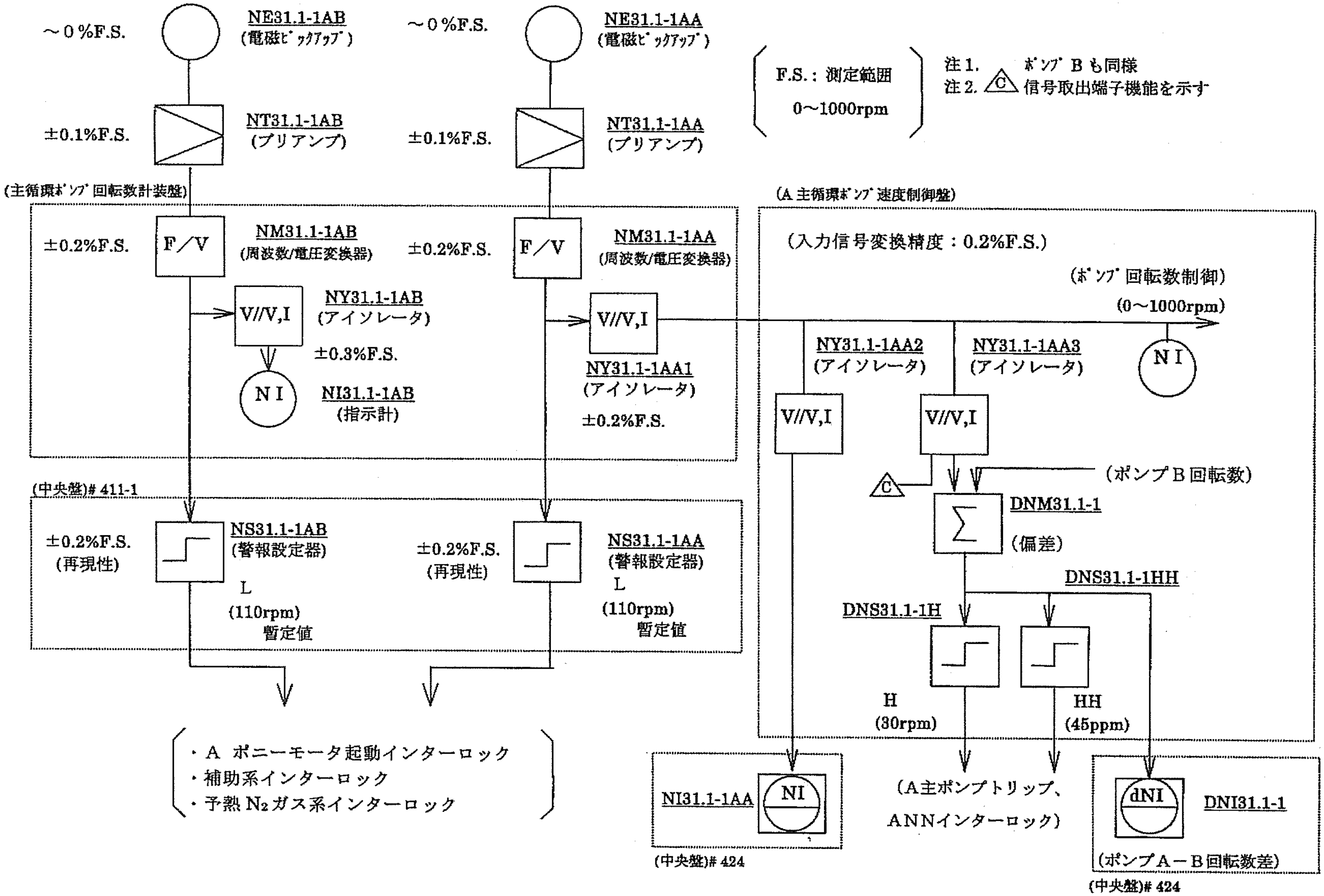


図 2.3.3－3　1次主循環ポンプ回転数計装設備の基本構成

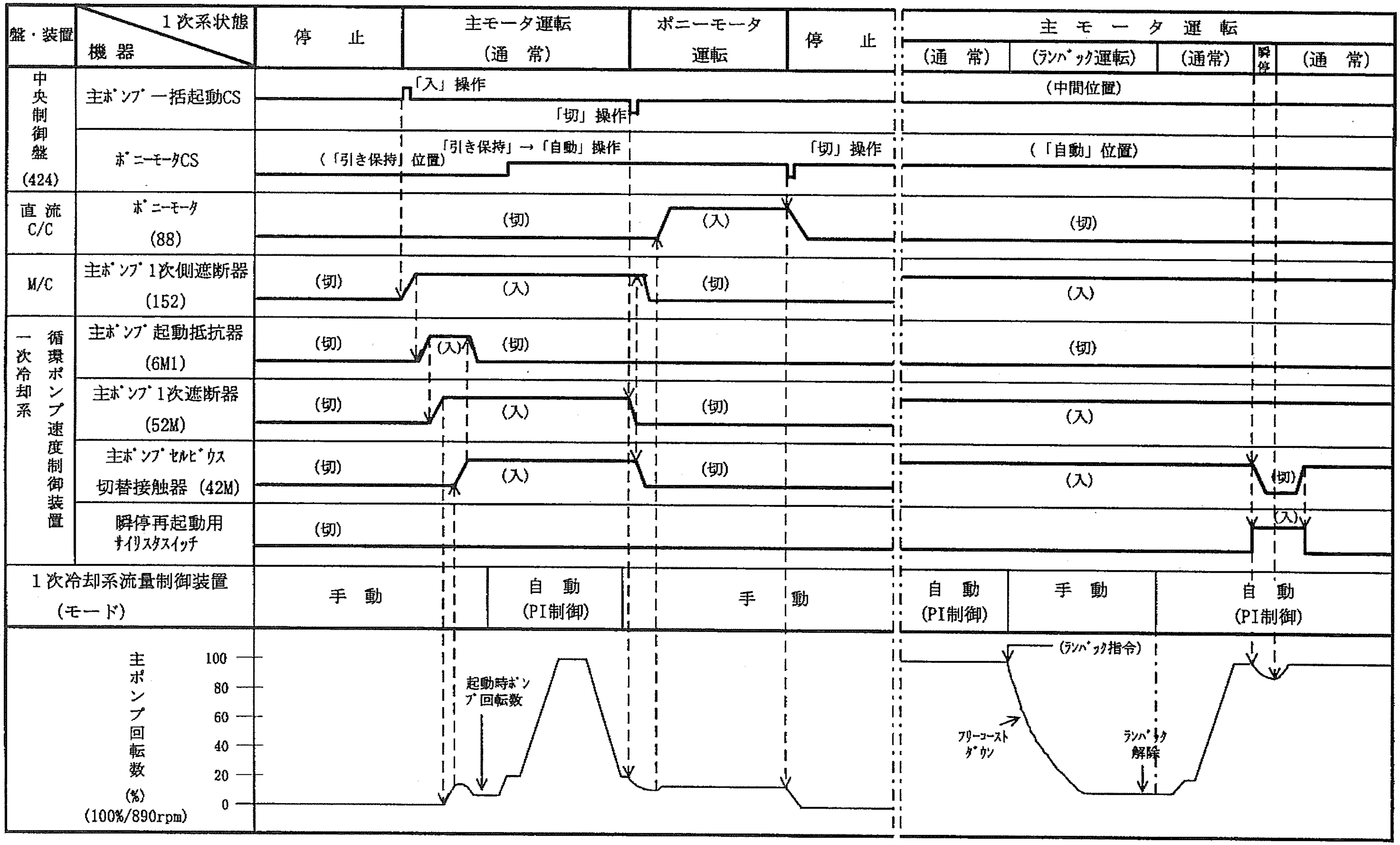
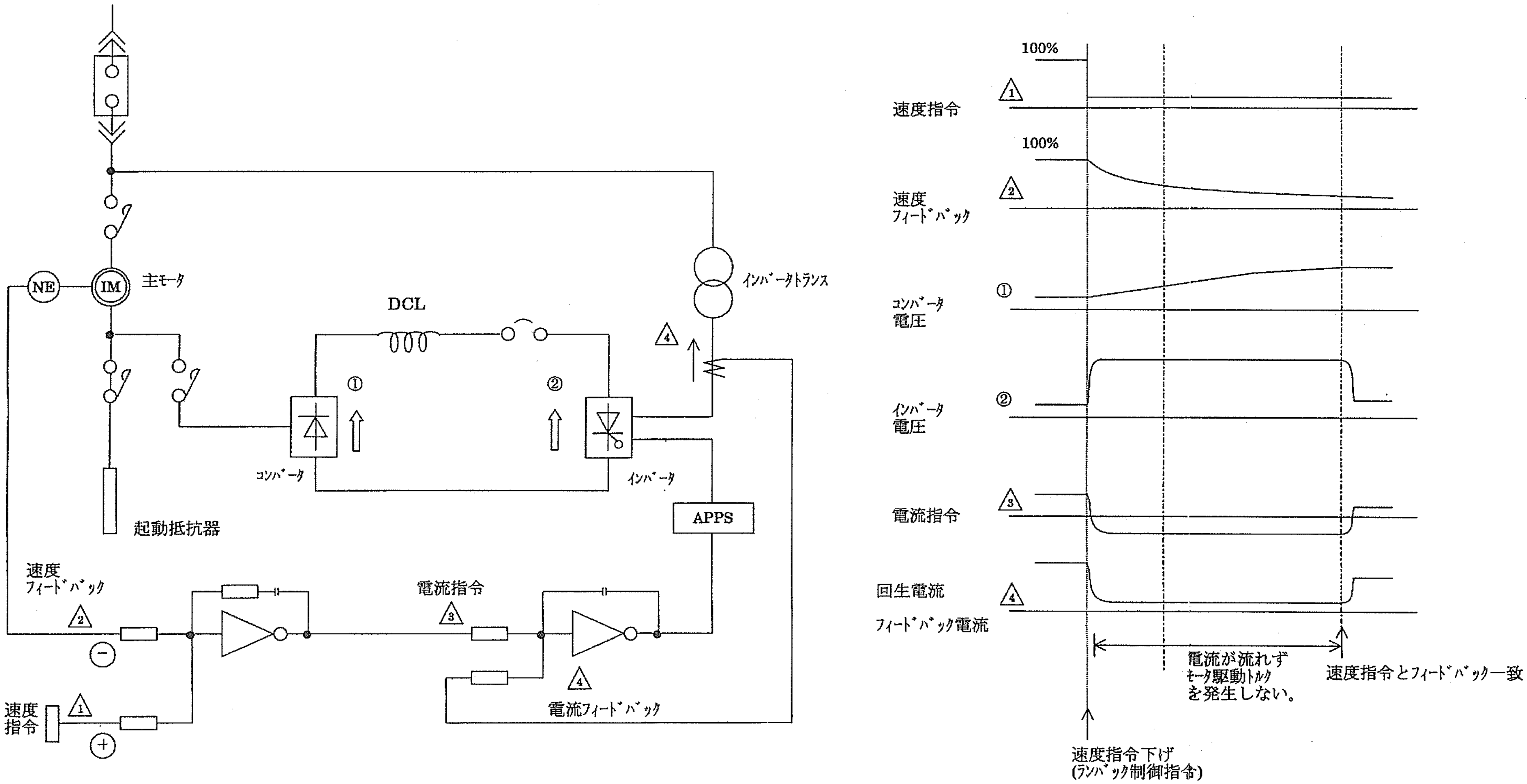
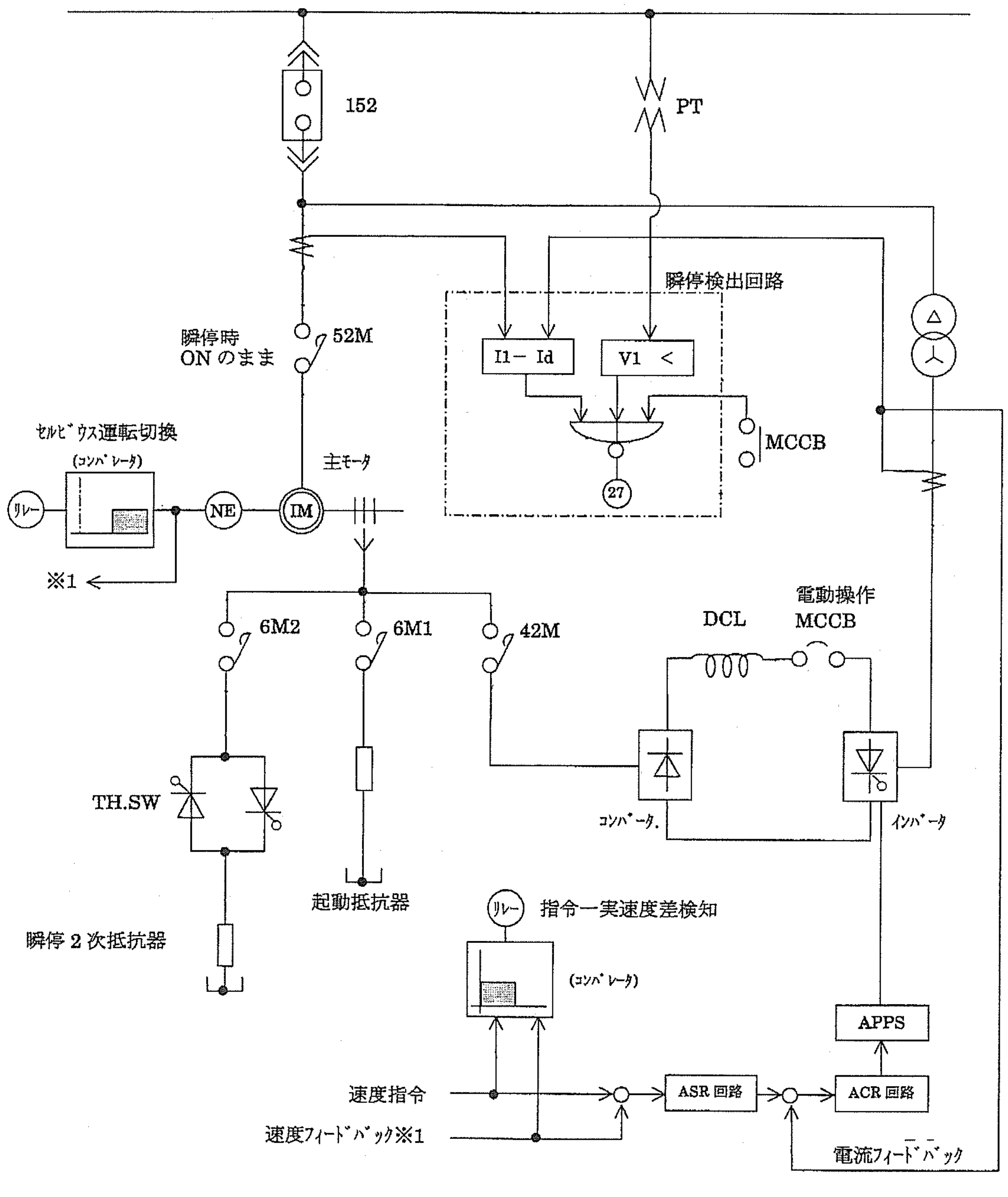


図 2.3.3−4　1次主循環ポンプ主モータ及びポニーモータの基本運転シーケンス



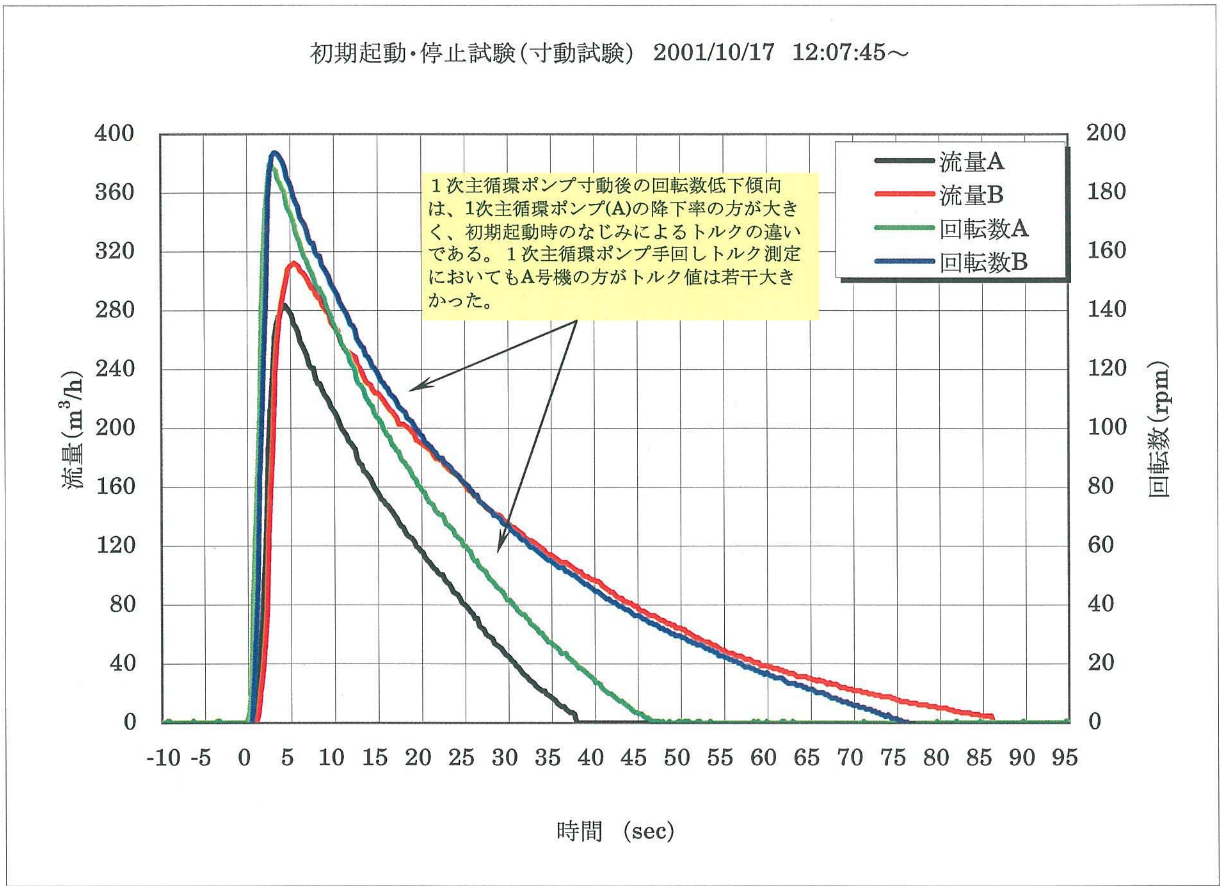
NE　：回転数検出器
APPS：自動パルス移相器
DCL　：直流リアクトル

図 2.3.3−5　1次主循環ポンプのランバック制御



152	主ﾎﾟﾝﾌﾟ 1 次側遮断器
52M	主ﾎﾟﾝﾌﾟ 1 次遮断器
TH. SW	ｻｲﾘｽﾀｽｲｯﾁ
42M	ｾﾙﾋﾞｳｽ用接触器
6M1	主ﾎﾟﾝﾌﾟ起動抵抗器用接触器
6M2	瞬停 2 次抵抗器用接触器
V1	電源電圧
I 1	ﾓｰﾀ 1 次電流
I d	ｲﾝﾊﾞｰﾀ電流
APPS	自動ﾊﾟﾙｽ移相器
DCL	直流ﾘｱｸﾄﾙ
27	不足電圧検出ﾘﾚｰ
NE	回転数検出器

図 2.3.3－6　1 次主循環ポンプの瞬停対策回路



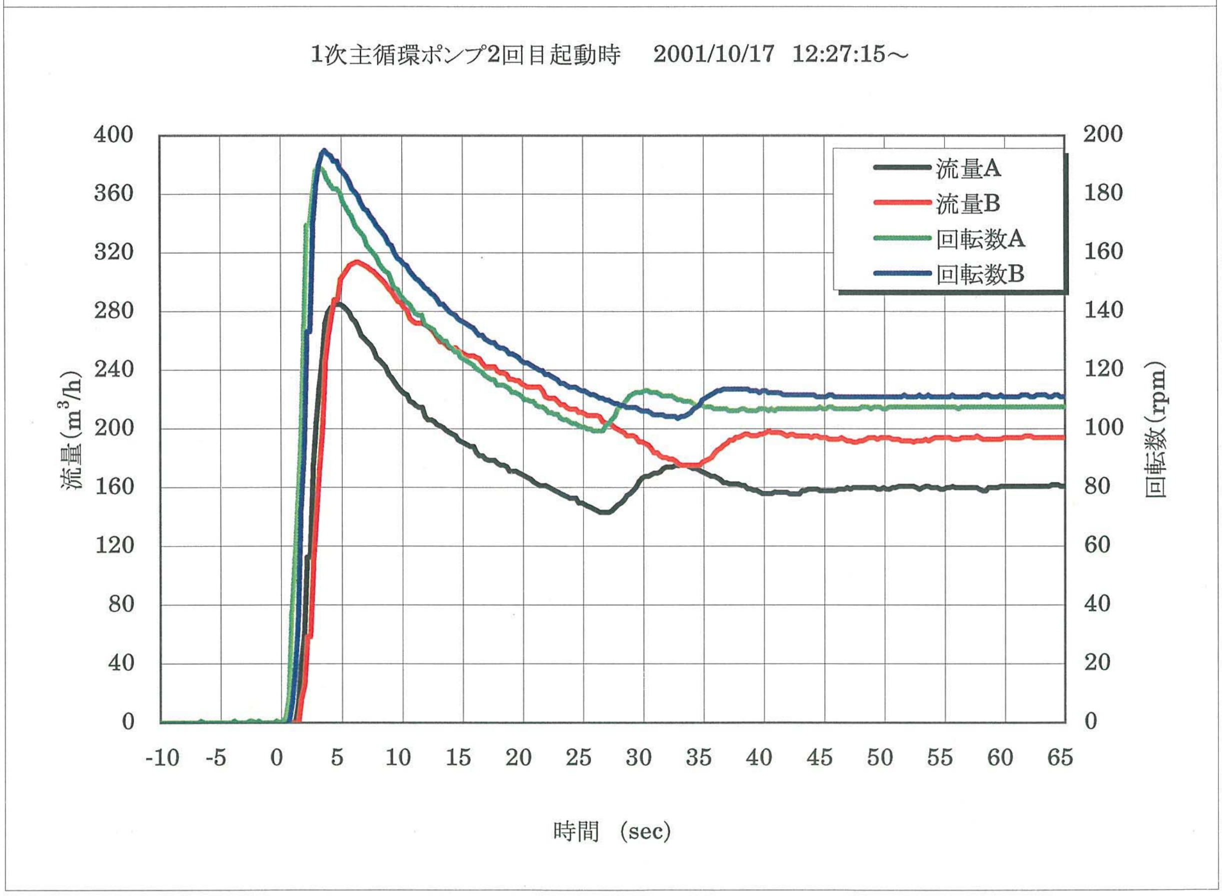
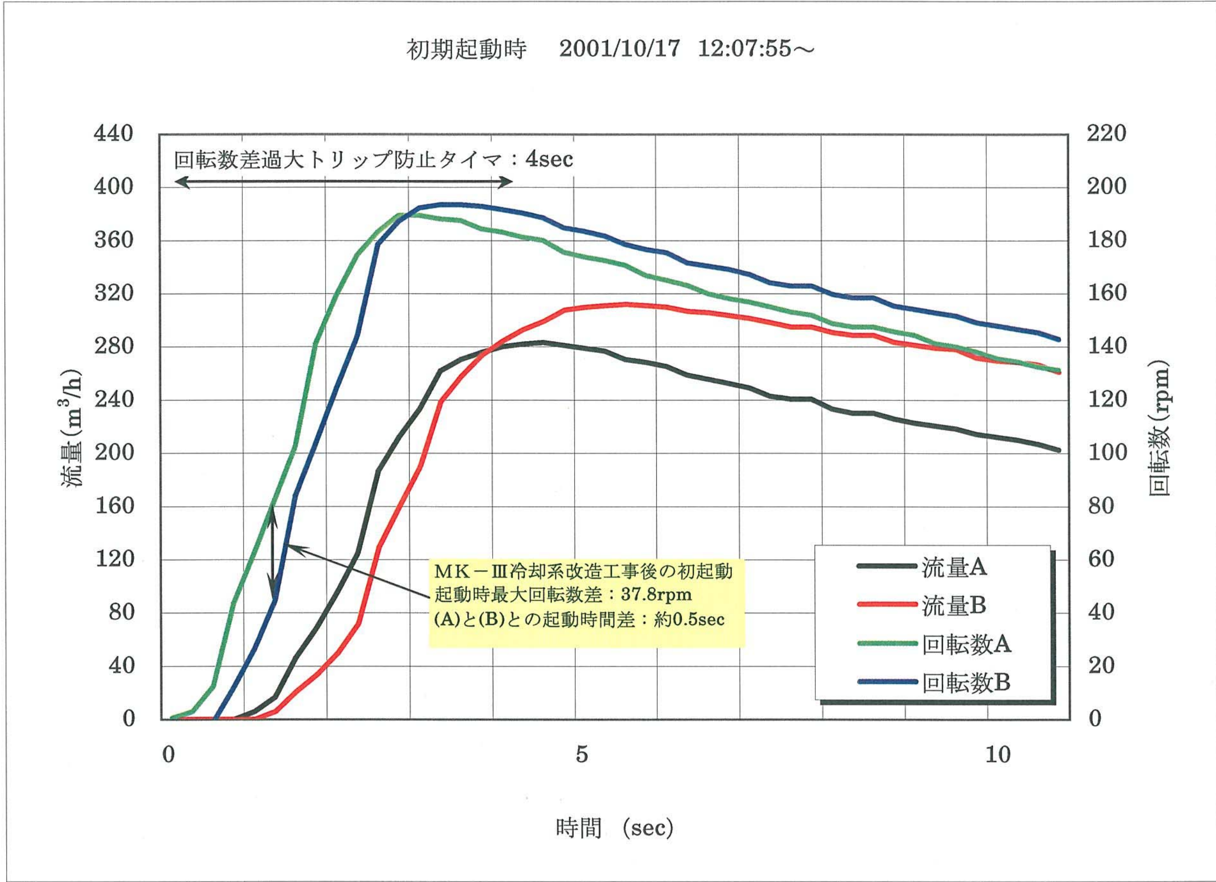


図3.5.1−1 1次主循環ポンプ運転特性試験（起動・停止試験及び2回目起動試験）



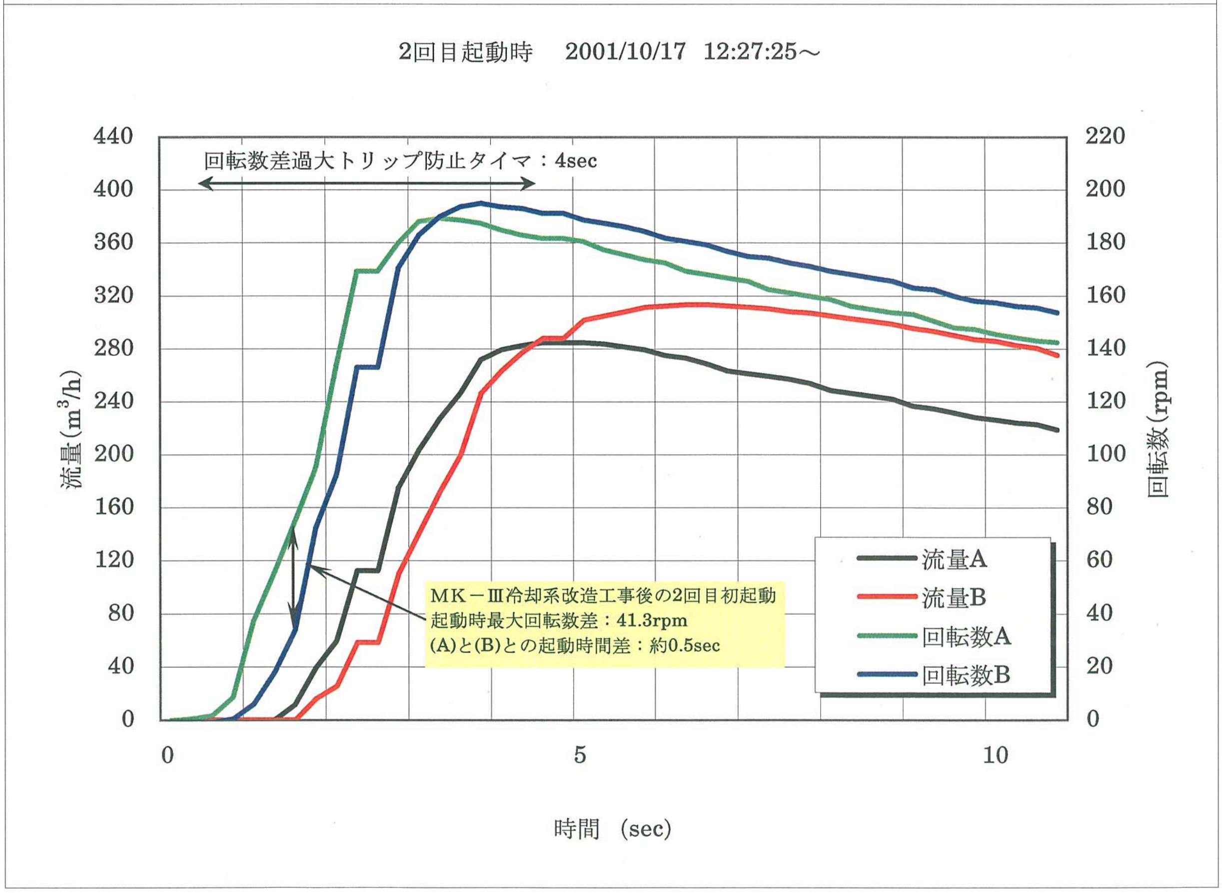
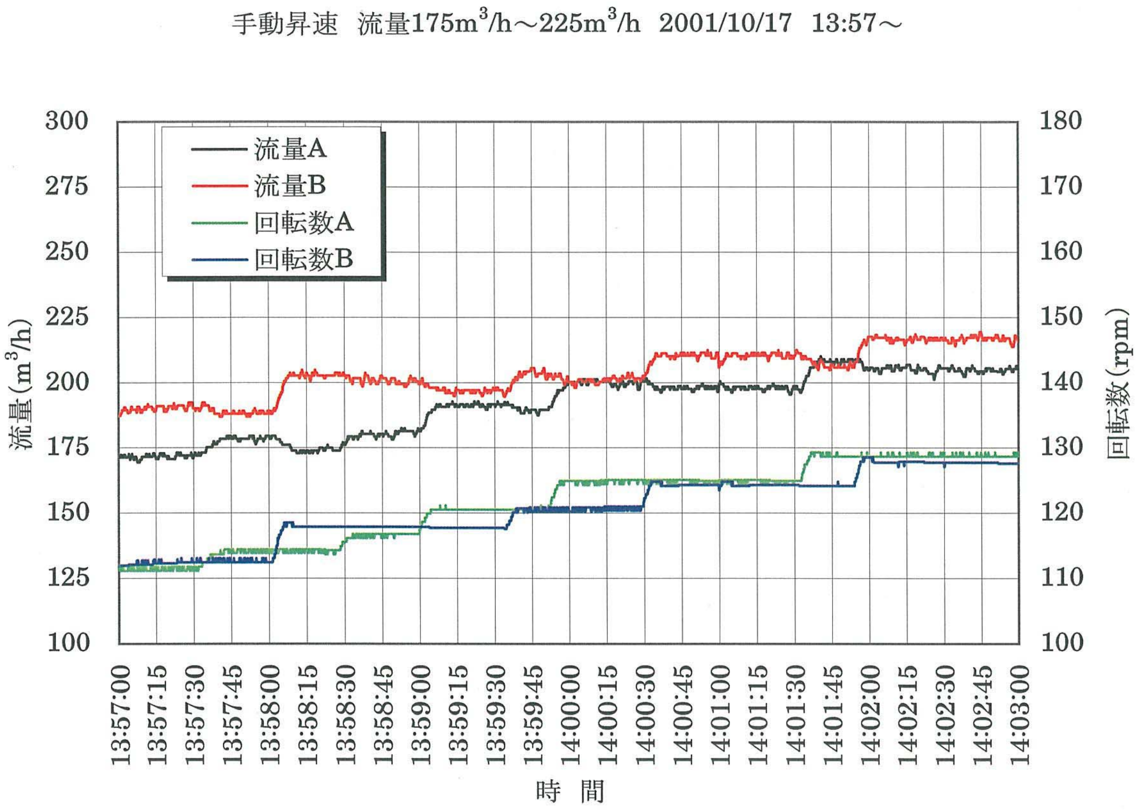


図3.5.1－2　1次主循環ポンプ運転特性試験（起動時の挙動）



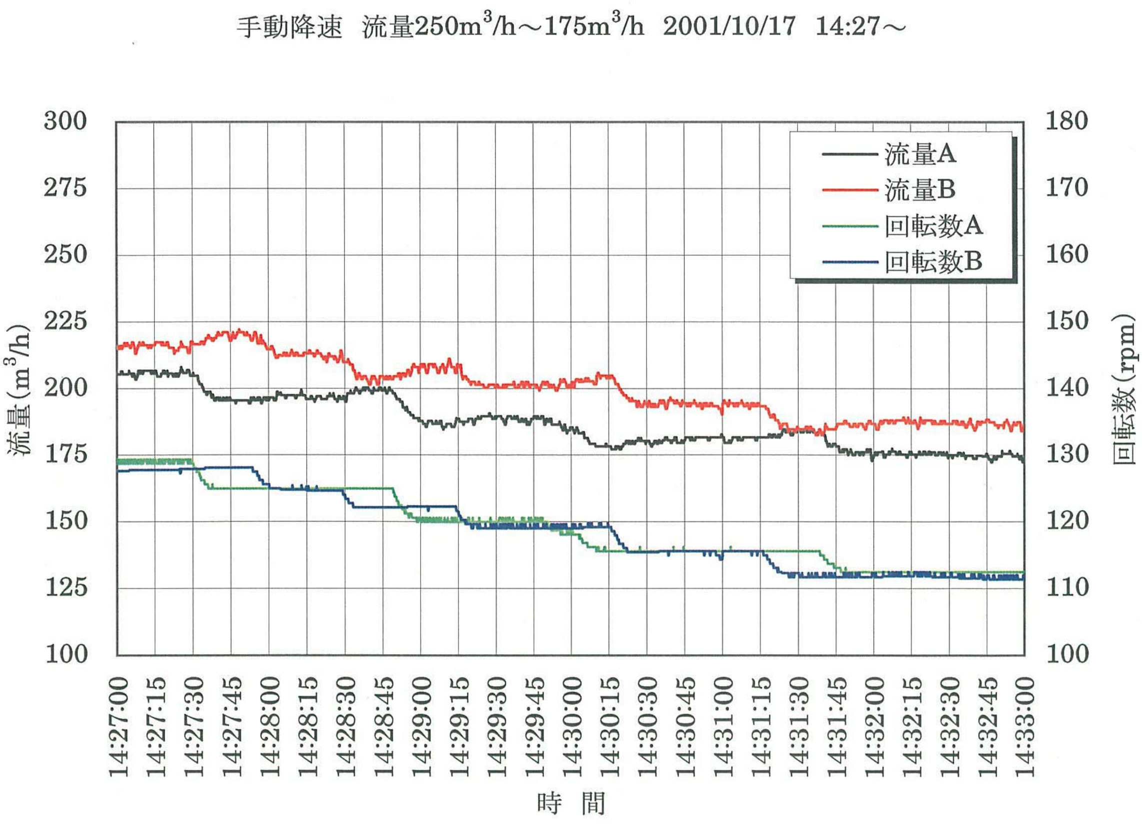


図3.5.1−3　1次主循環ポンプ運転特性試験（セルビウス制御盤手動操作による昇速・降速）

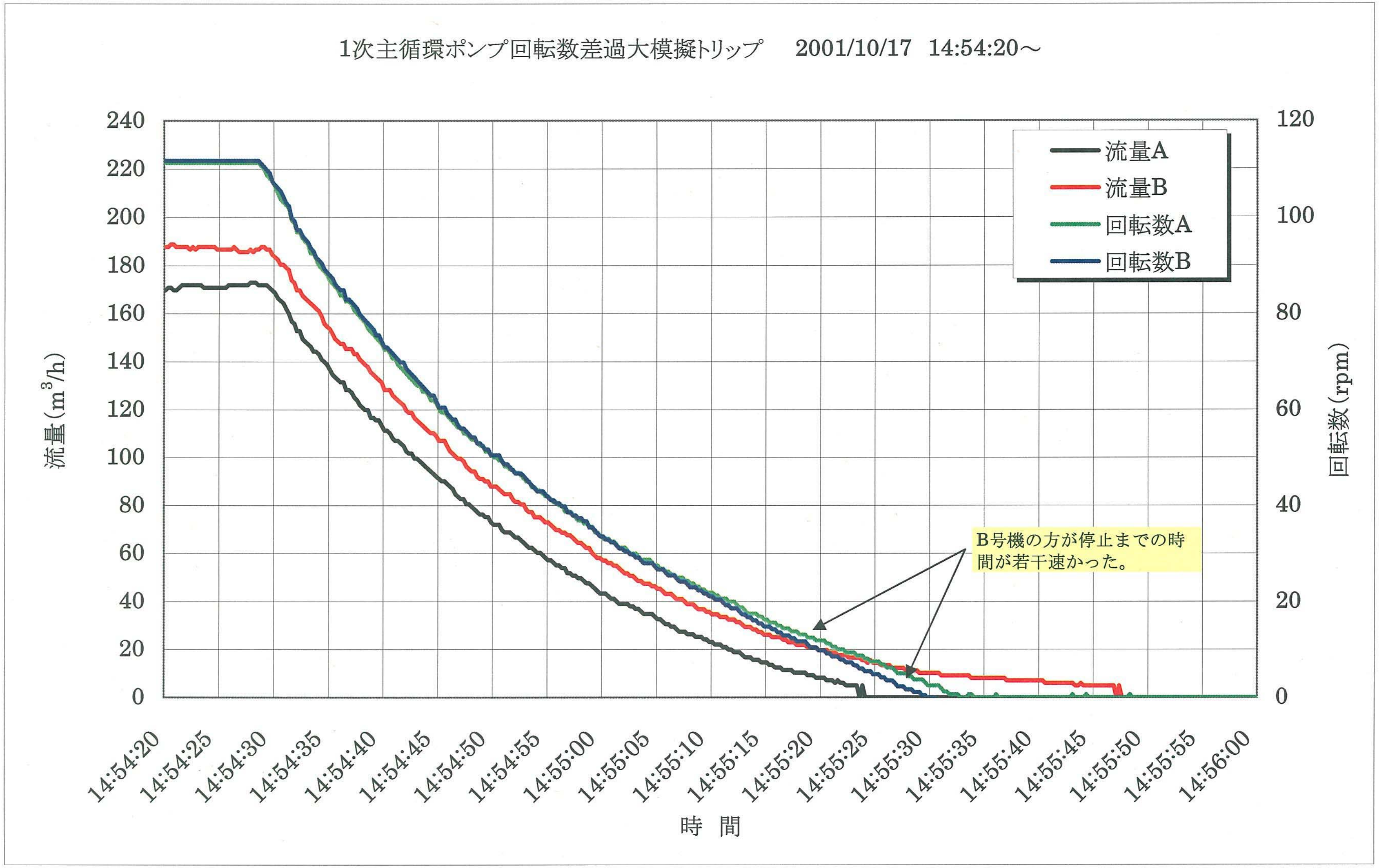


図3.5.1－4　１次主循環ポンプ運転特性試験（１次主循環ポンプ回転数差過大模擬トリップ）

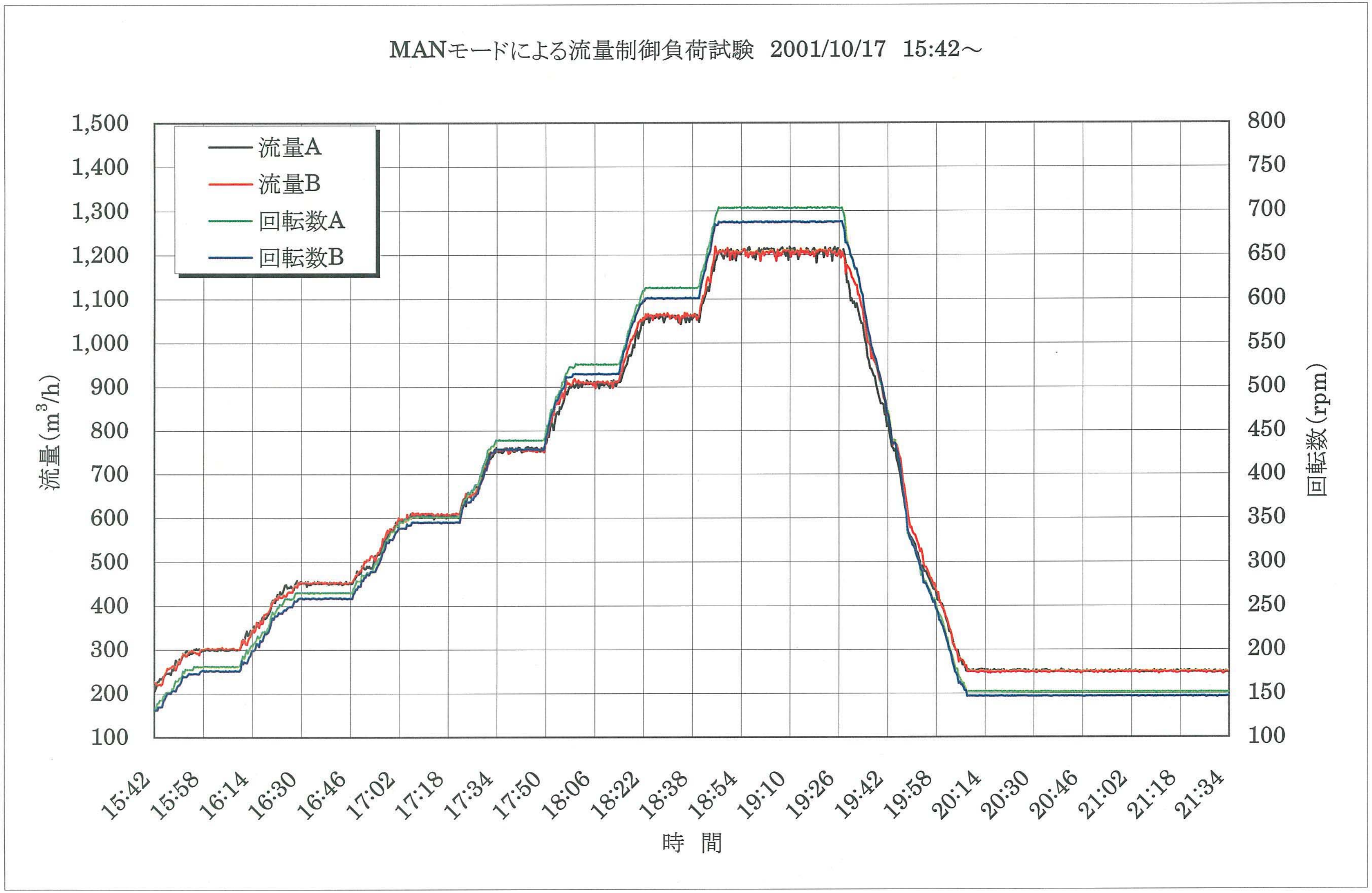


図3.5.1－5　1次主循環ポンプ運転特性試験（MANモードによる流量制御負荷試験）

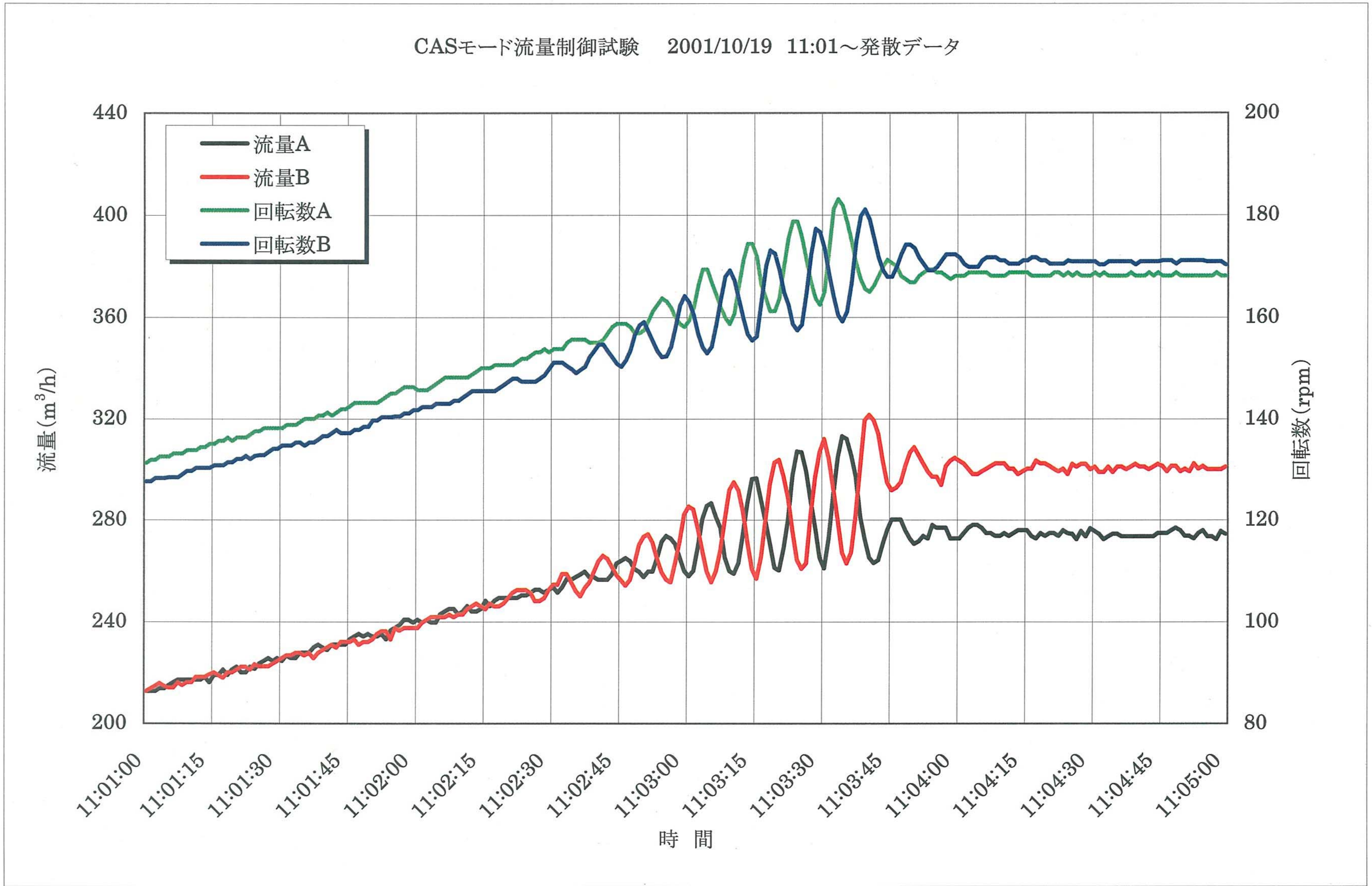


図3.5.1－6　1次主循環ポンプ運転特性試験（CASモードによる流量制御負荷試験）の発散傾向

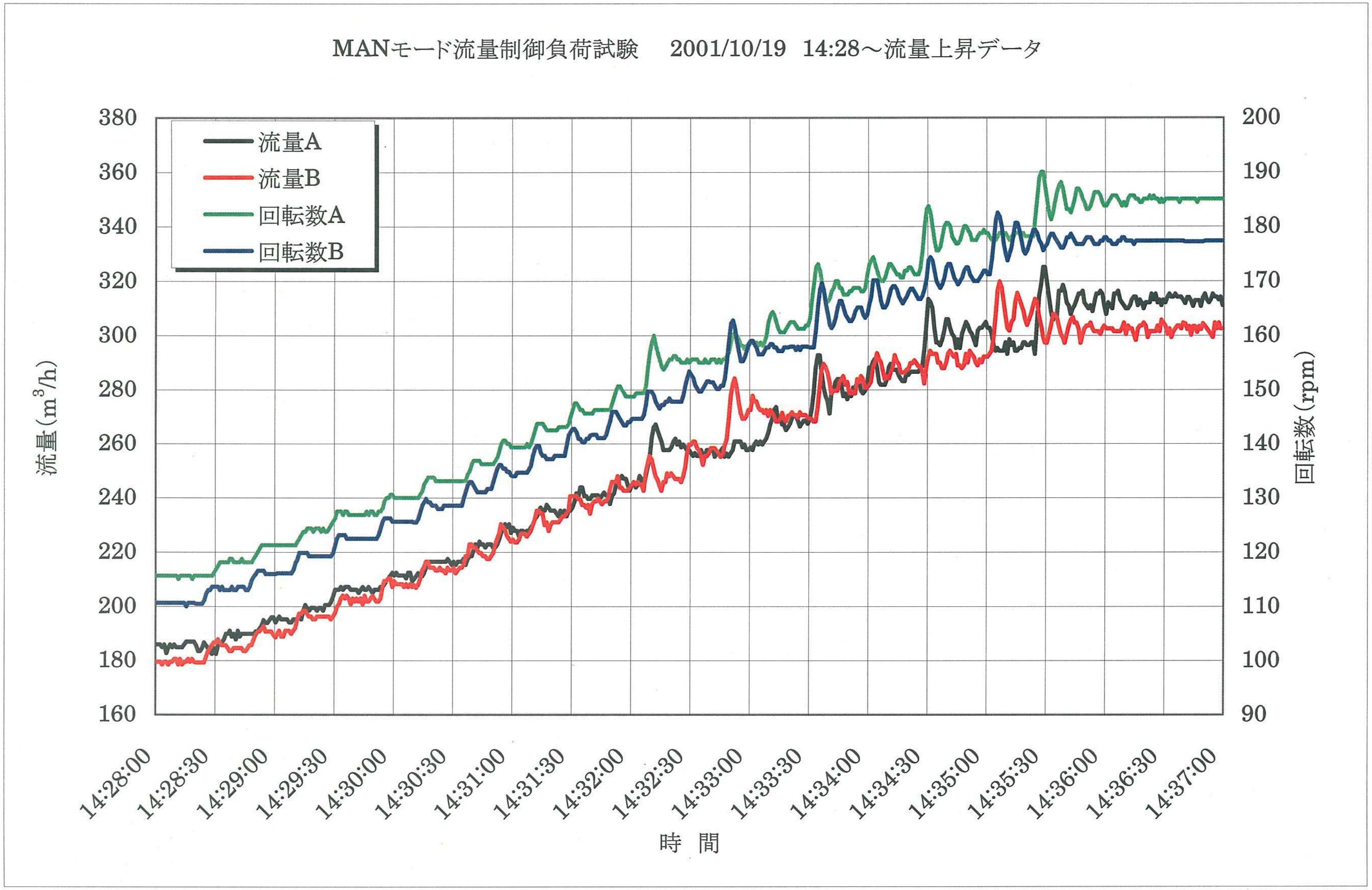
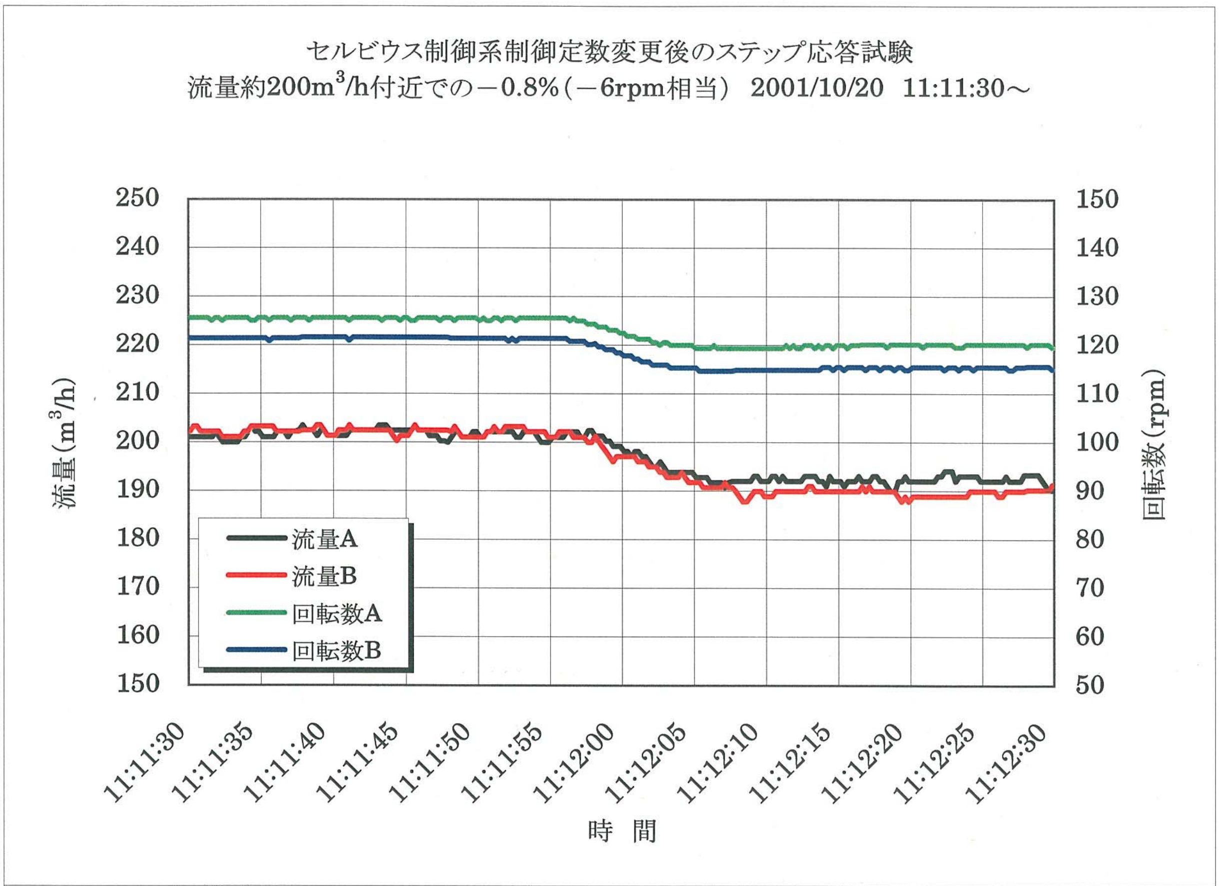


図3.5.1−7　1次主循環ポンプ運転特性試験（MANモードによる流量制御負荷試験）



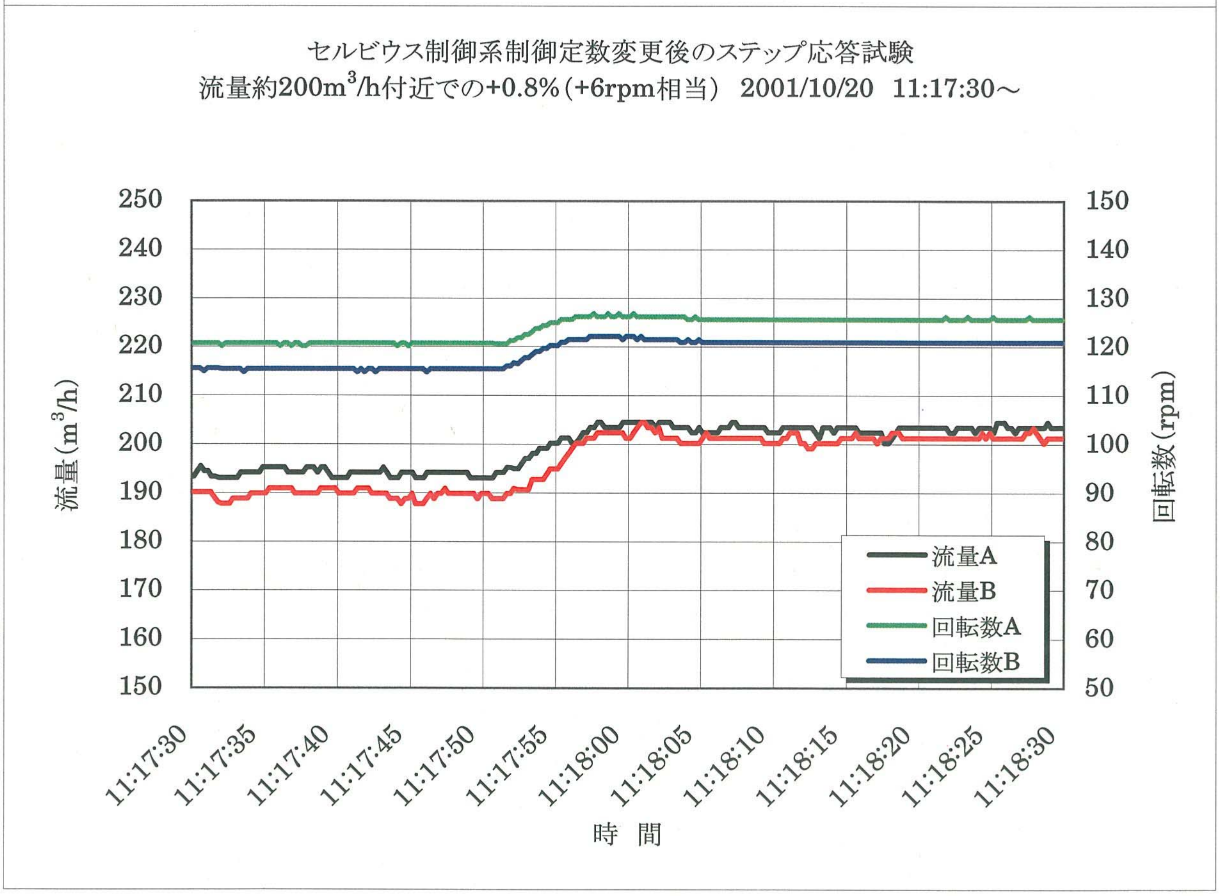
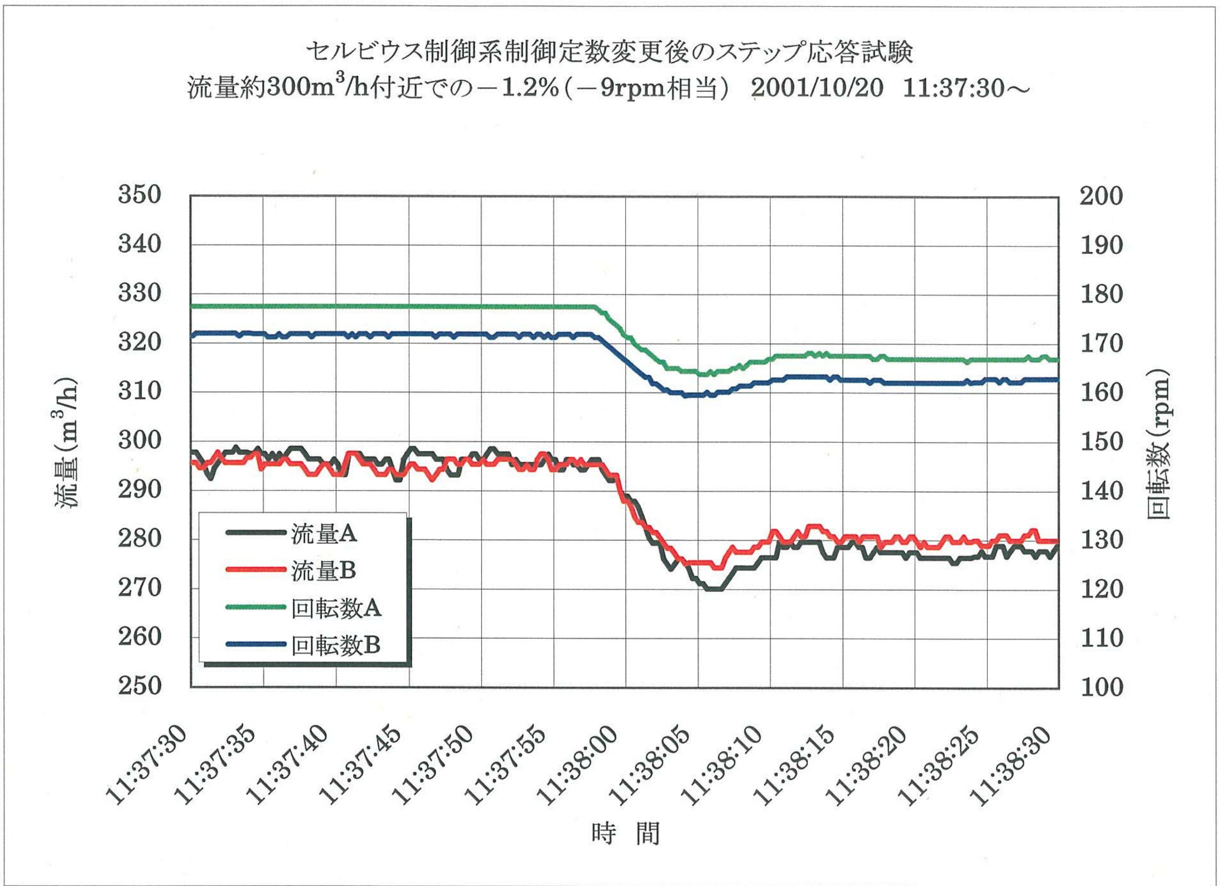


図3.5.1－8 (1/3) 1次主循環ポンプ運転特性試験
(セルビウス速度制御系制御定数変更後のステップ応答試験)



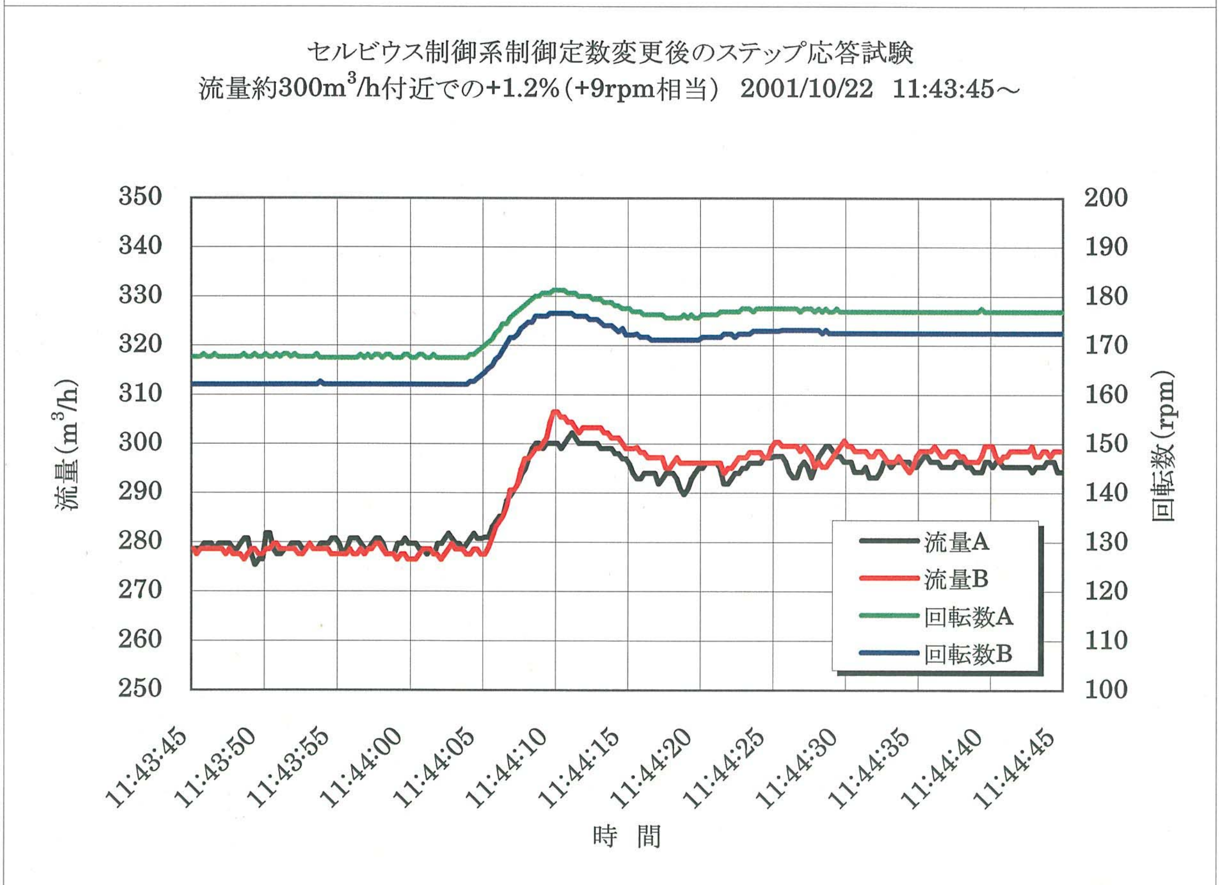
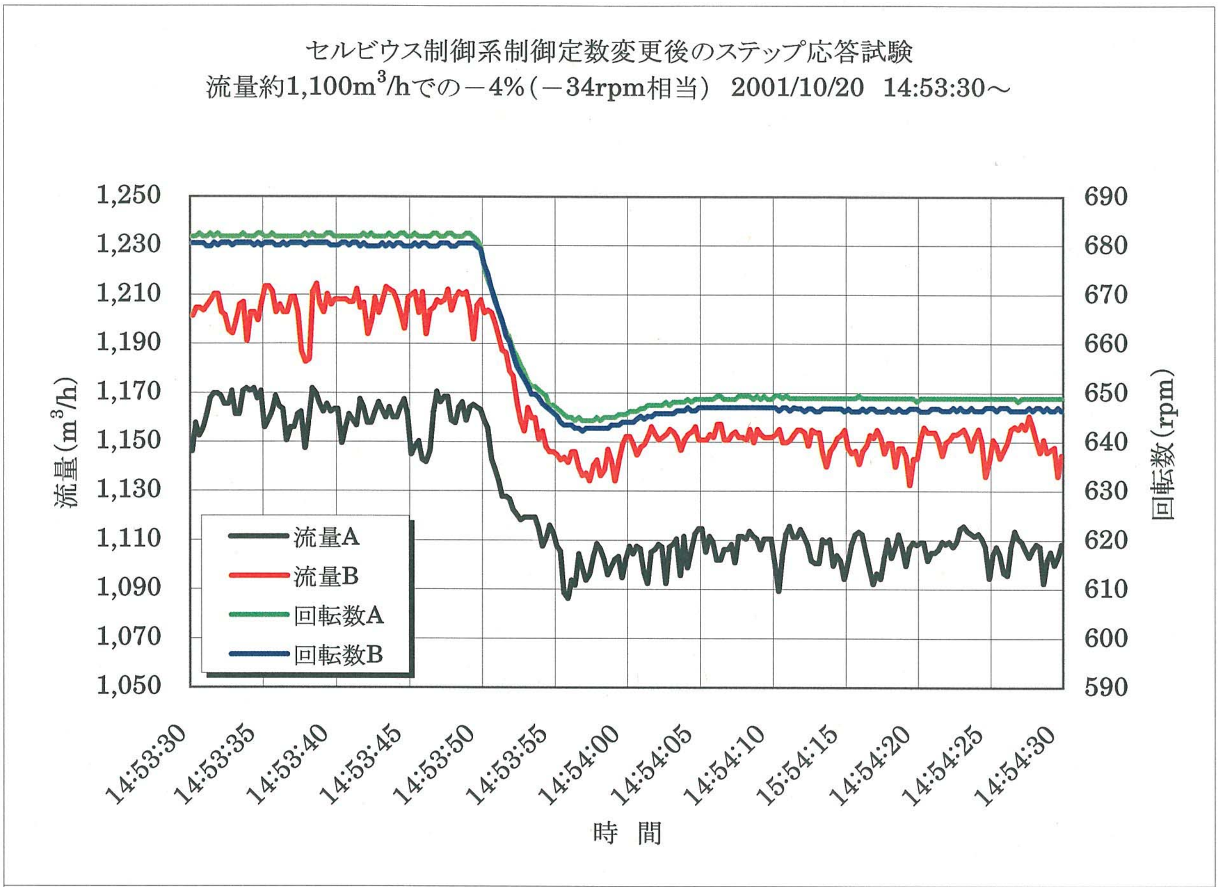


図3.5.1－8 (2/3)　1次主循環ポンプ運転特性試験
(セルビウス速度制御系制御定数変更後のステップ応答試験)



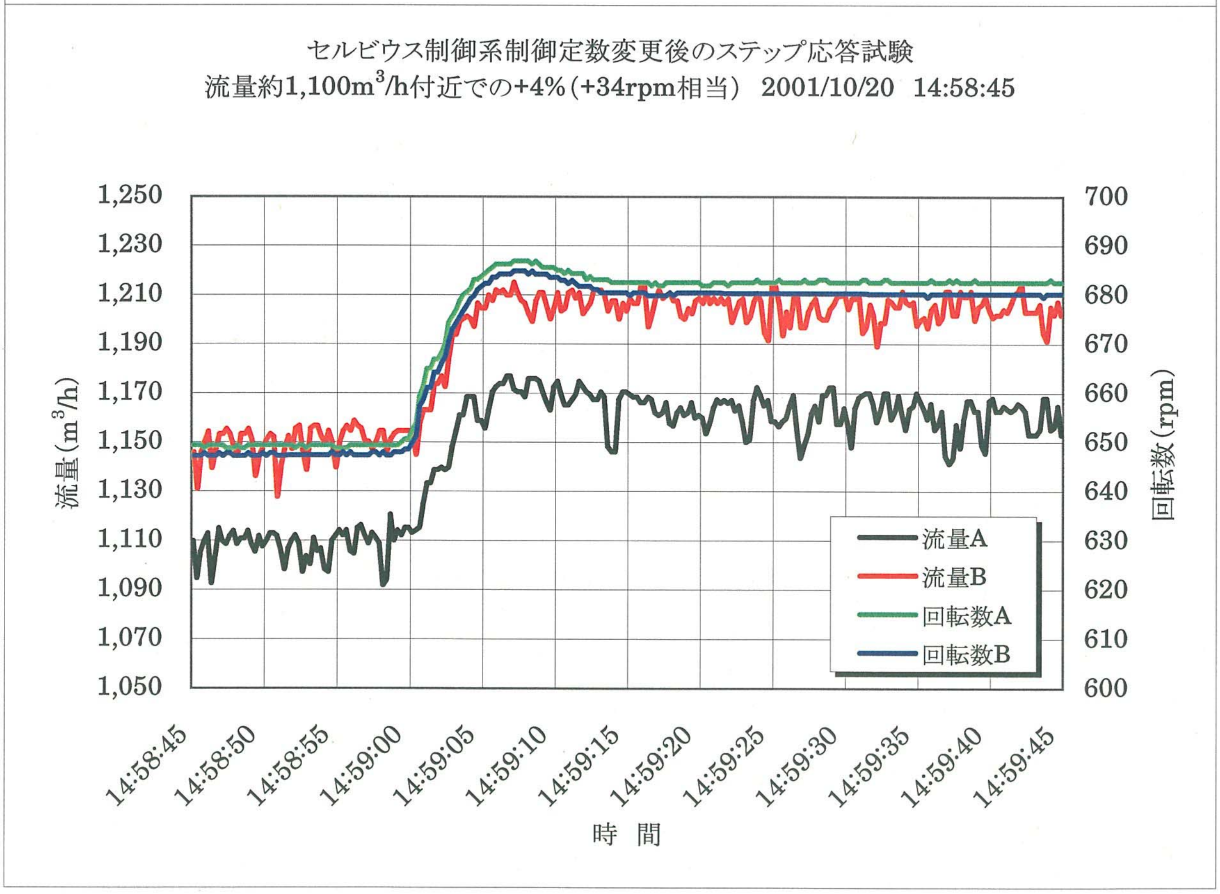
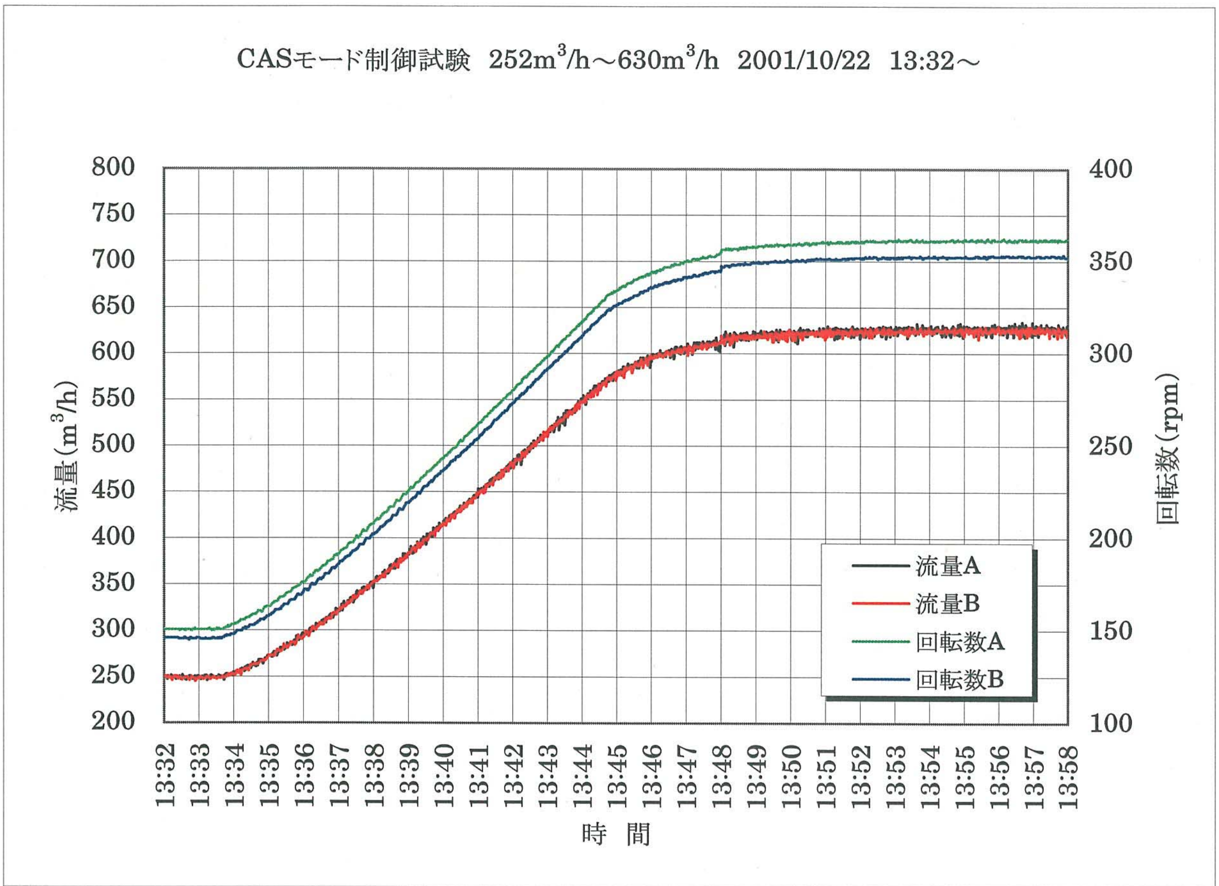


図3.5.1－8 (3/3)　1次主循環ポンプ運転特性試験
(セルビウス速度制御系制御定数変更後のステップ応答試験)



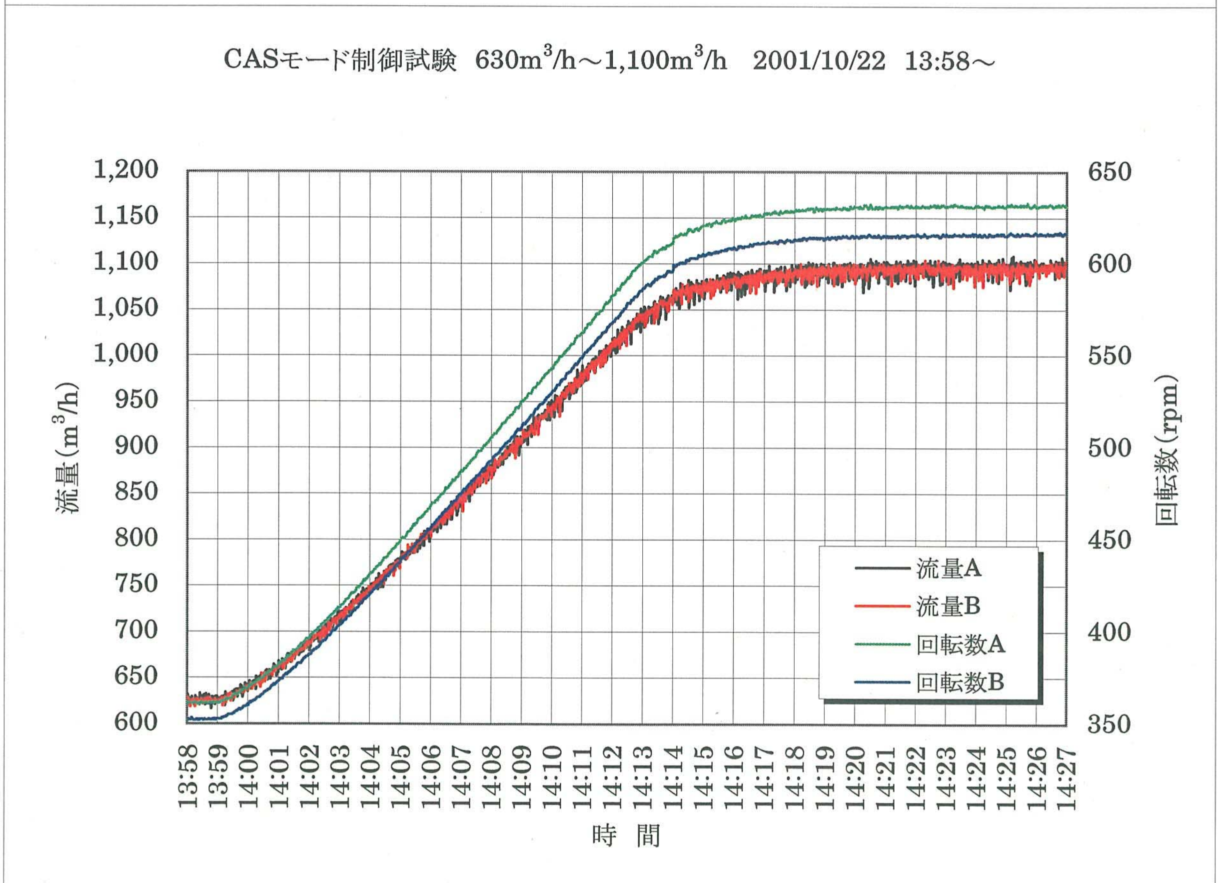
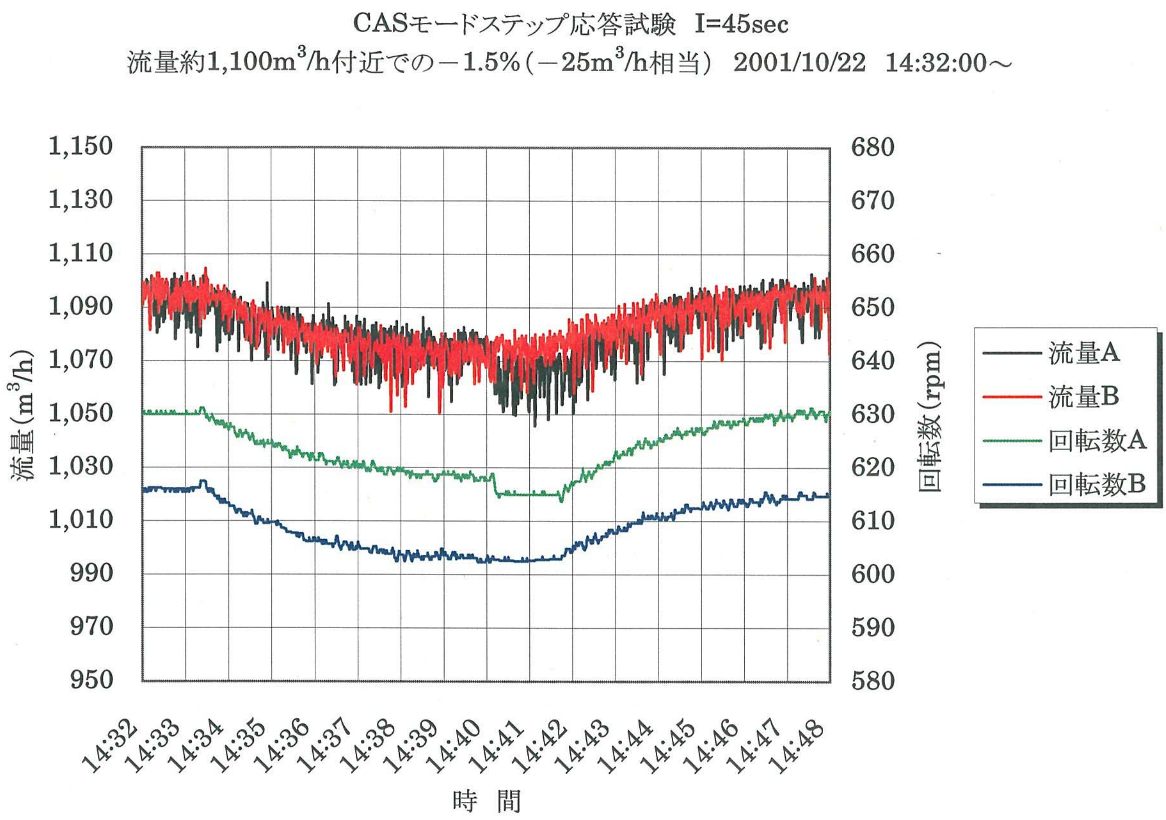


図3.5.1－9　1次主循環ポンプ運転特性試験
(CASモードによる流量制御負荷試験)



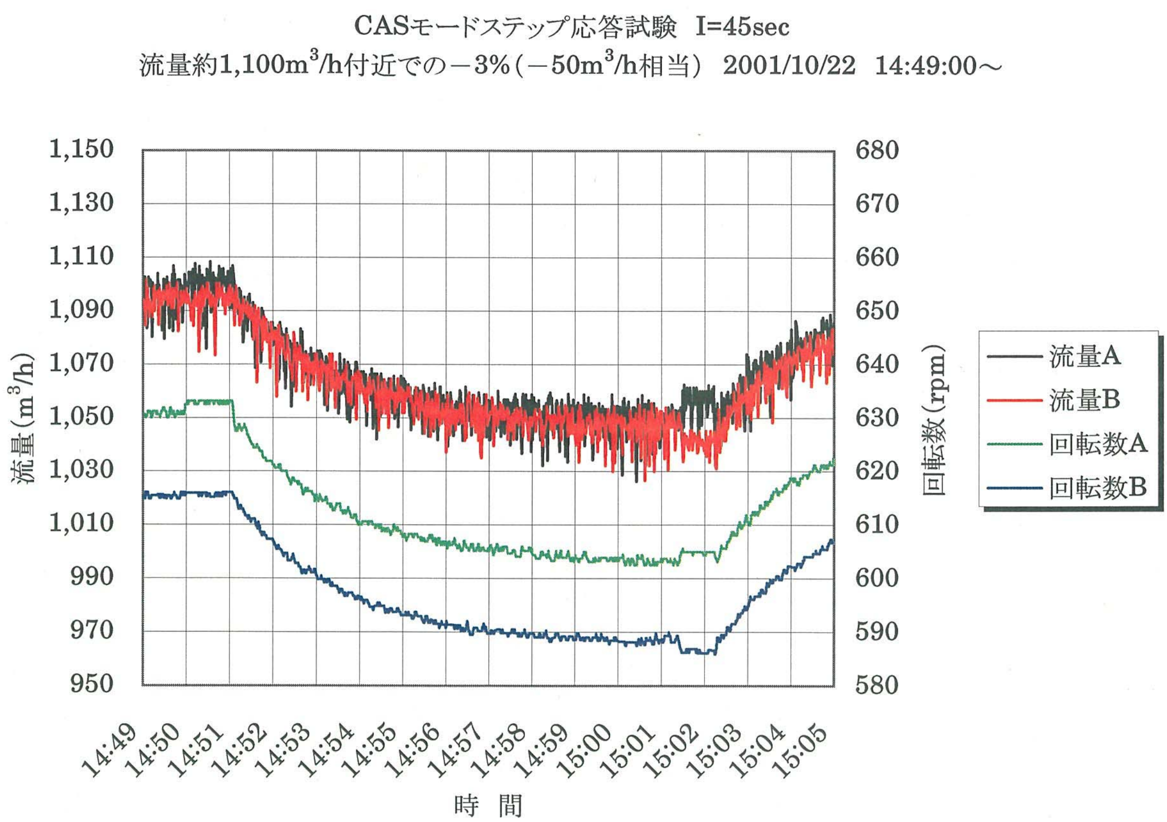


図3.5.1−10 (1/2) 1次主循環ポンプ運転特性試験
(CASモードによるステップ応答試験)

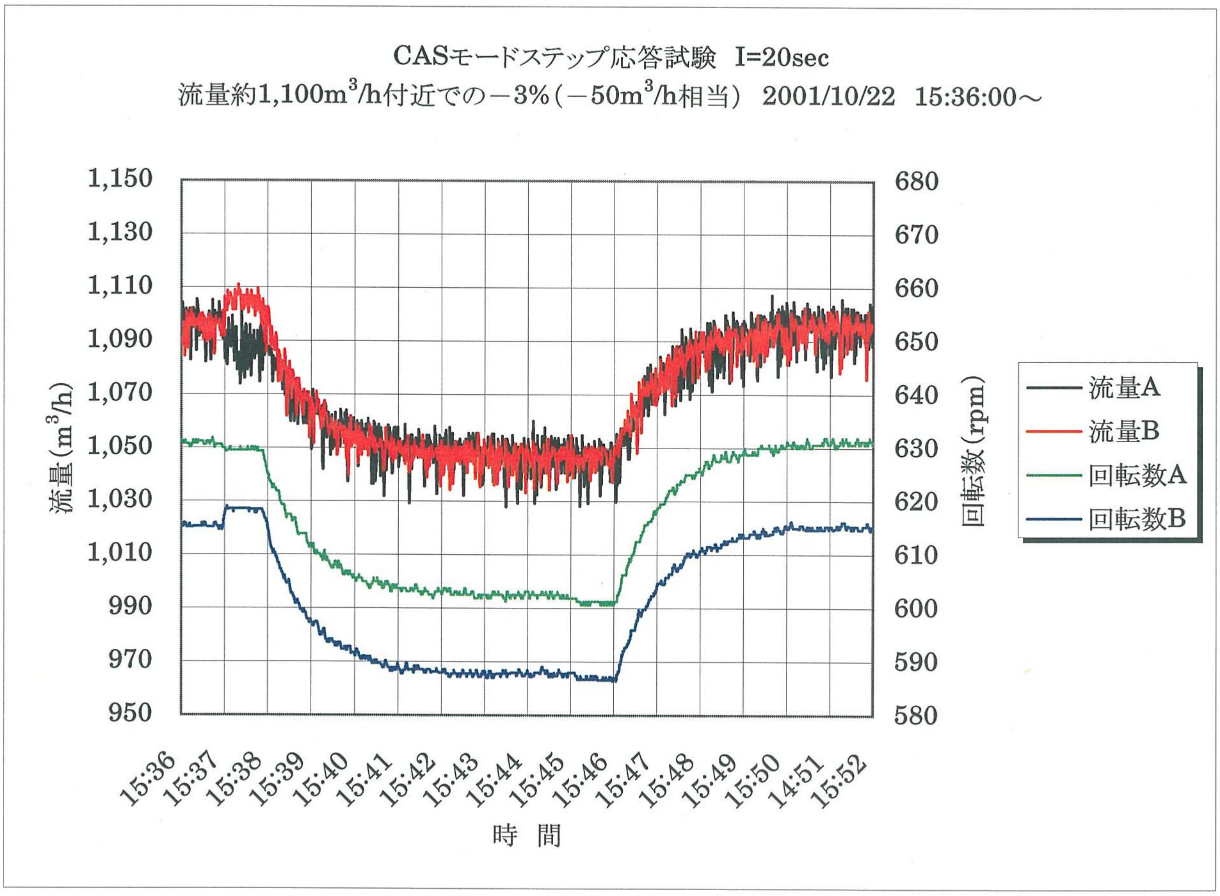


図3.5.1－10 (2/2) 1次主循環ポンプ運転特性試験 (CASモードによるステップ応答試験)

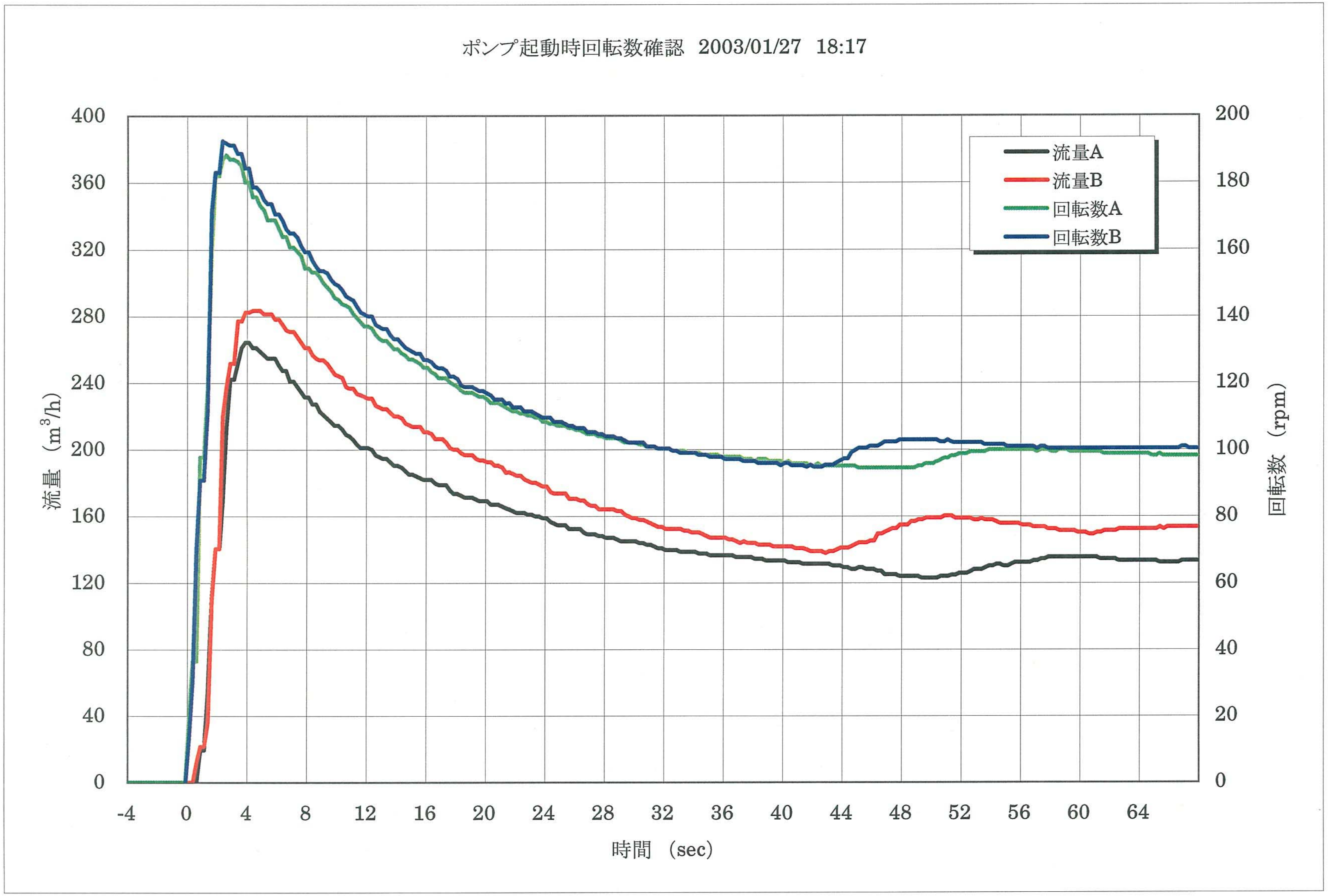
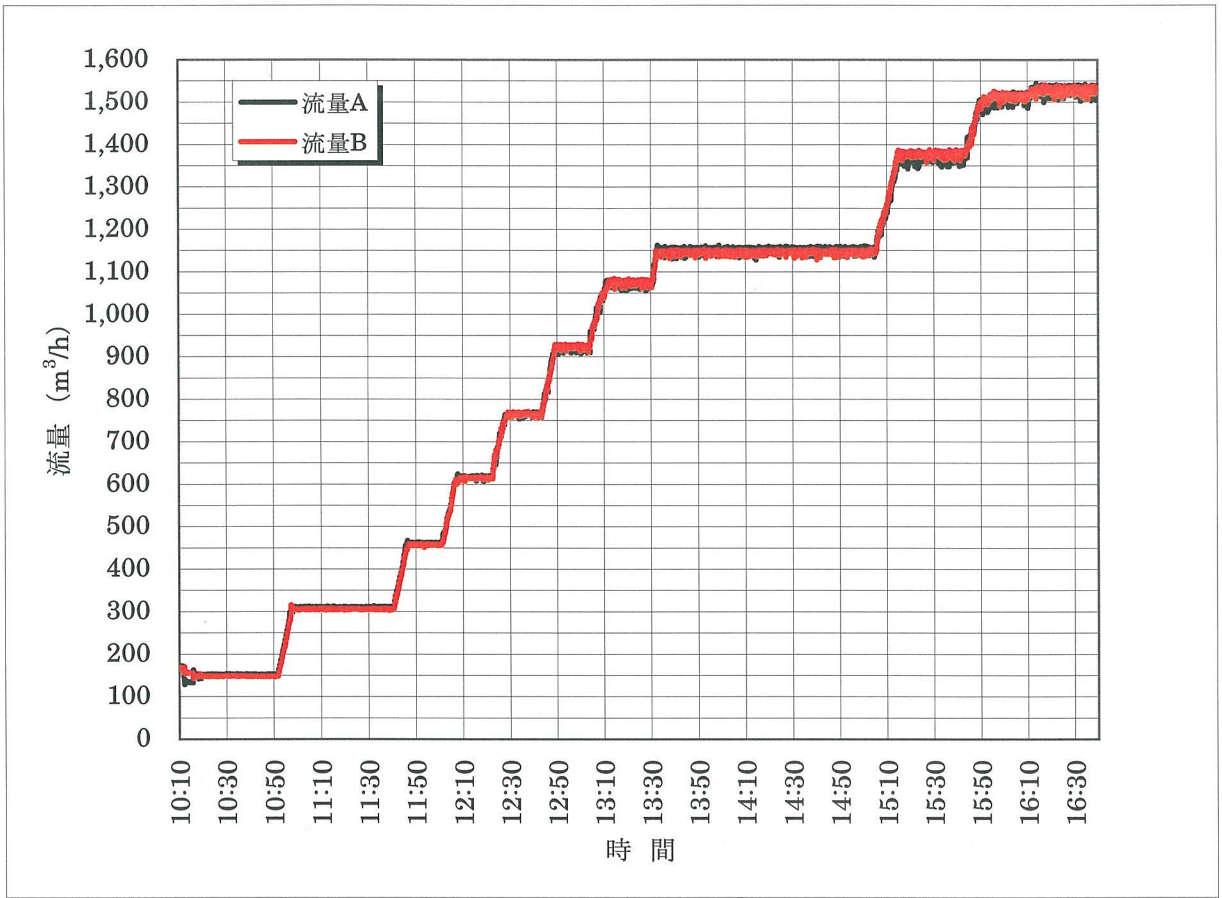


図3.5.2−1　主モータ速度制御試験（1次主循環ポンプ起動時回転数確認）



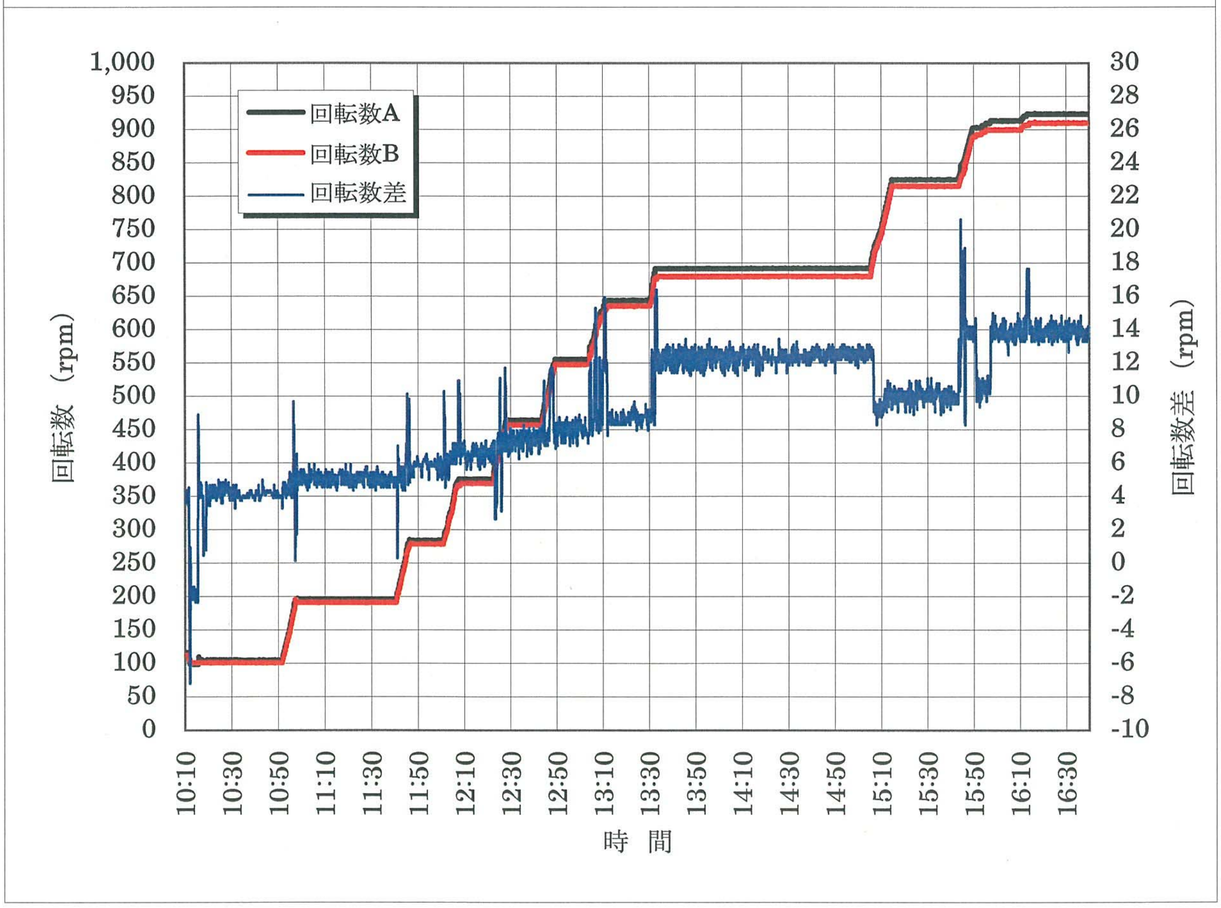


図3.5.2−2（1/2）　主モータ速度制御試験（流量制御負荷試験（MANモード））上昇側

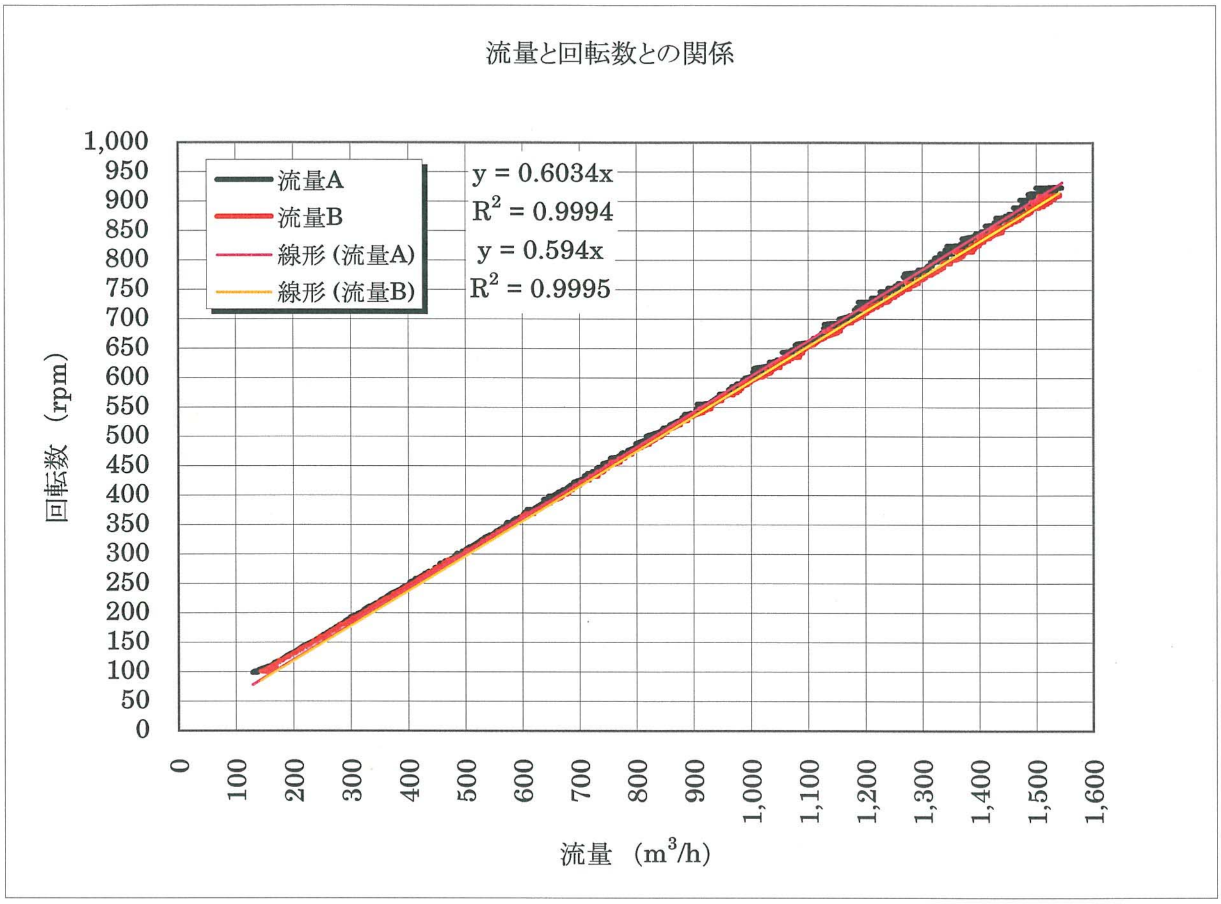
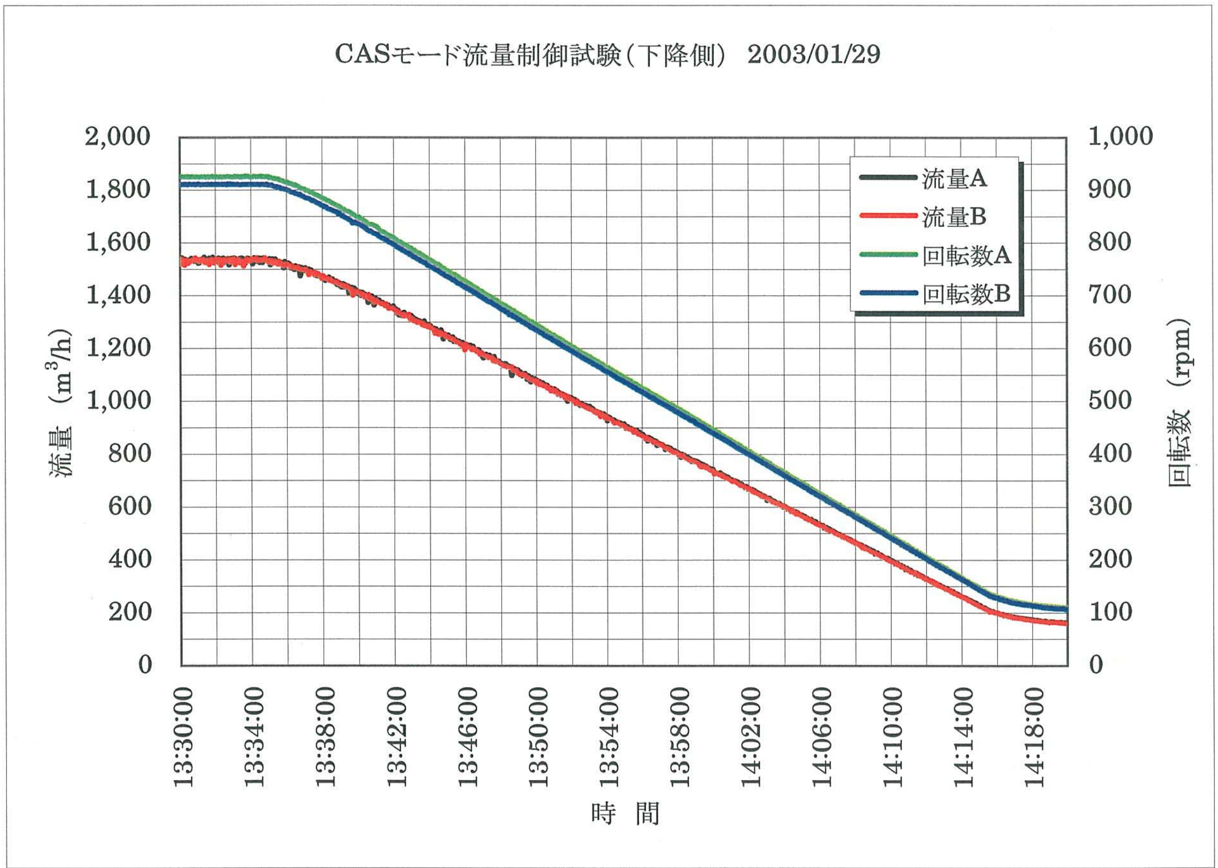


図3.5.2－2(2/2) 主モータ速度制御試験(流量制御負荷試験(MANモード))上昇側



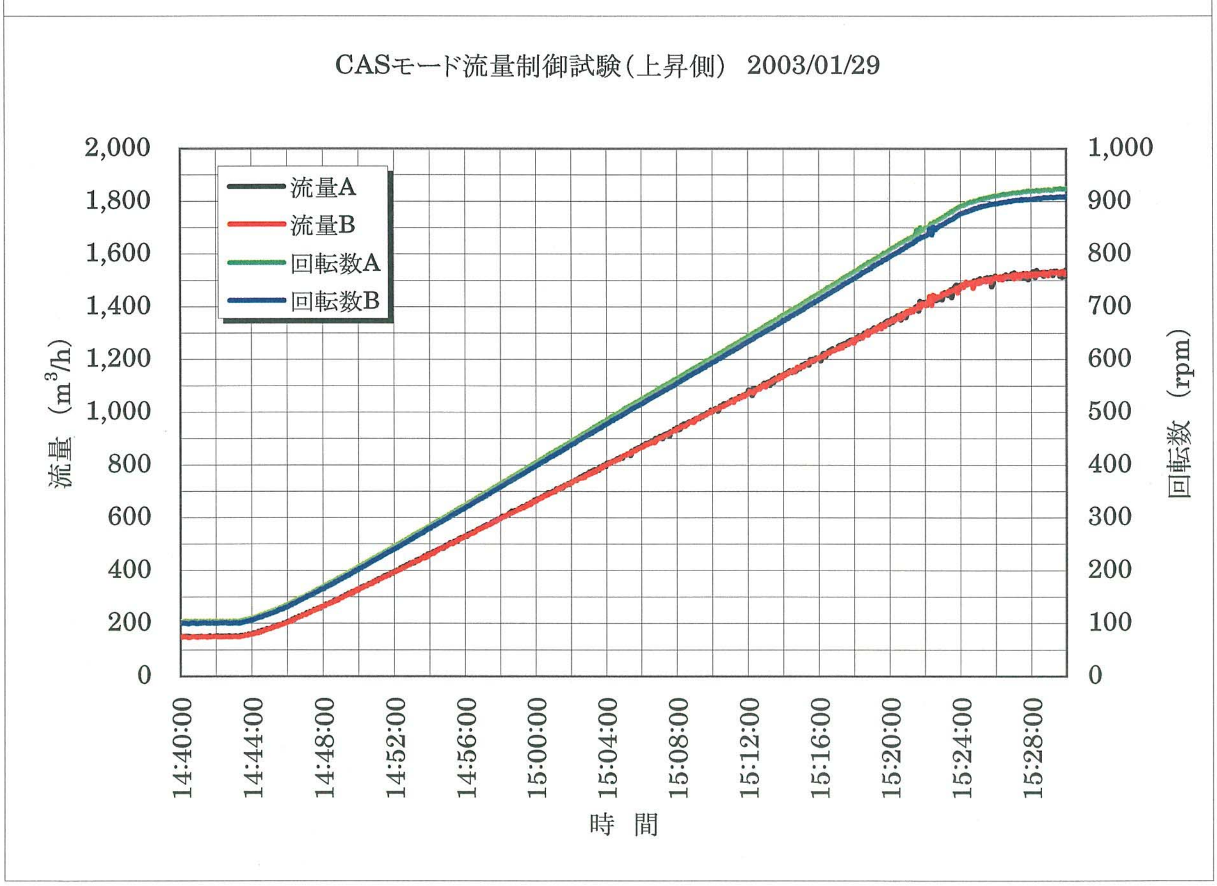
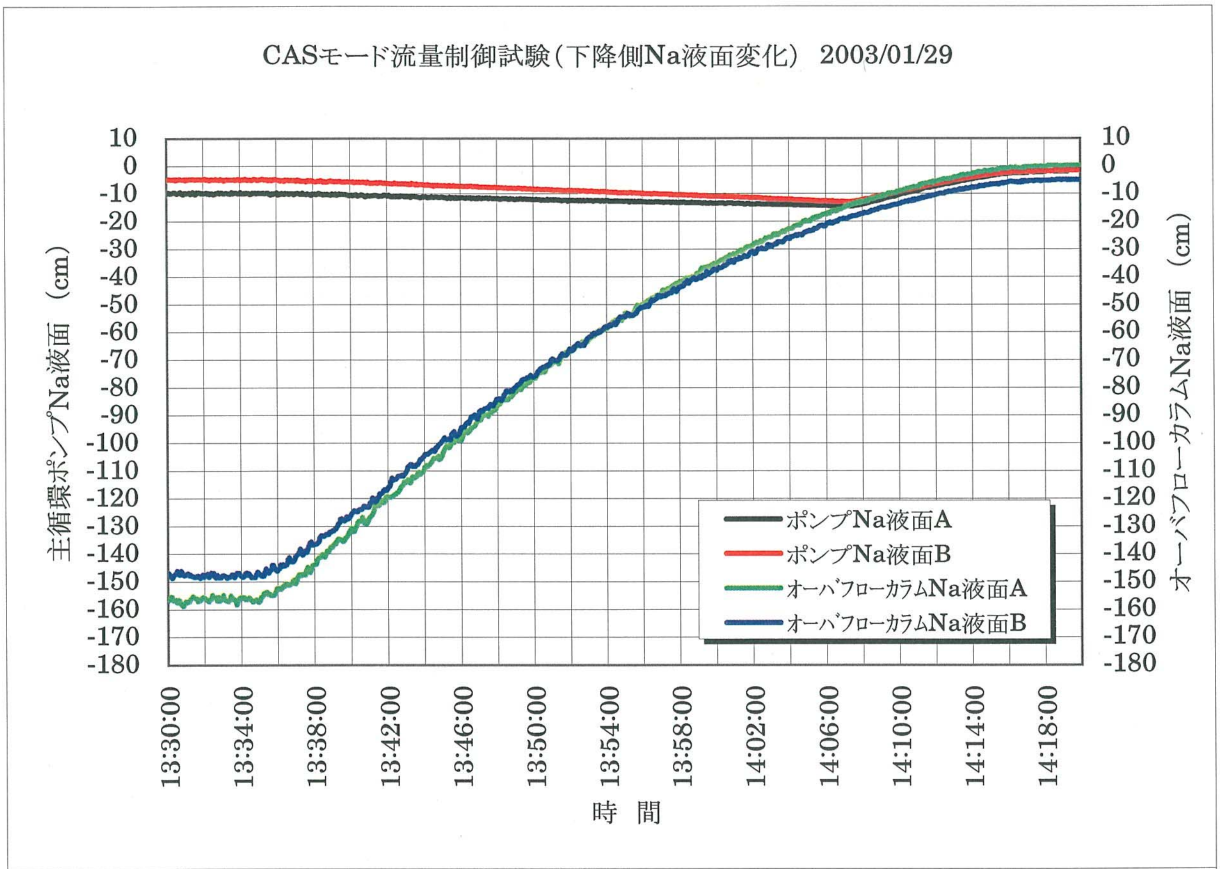


図3.5.2−3 (1/2)　主モータ速度制御試験（流量制御負荷試験（CASモード））



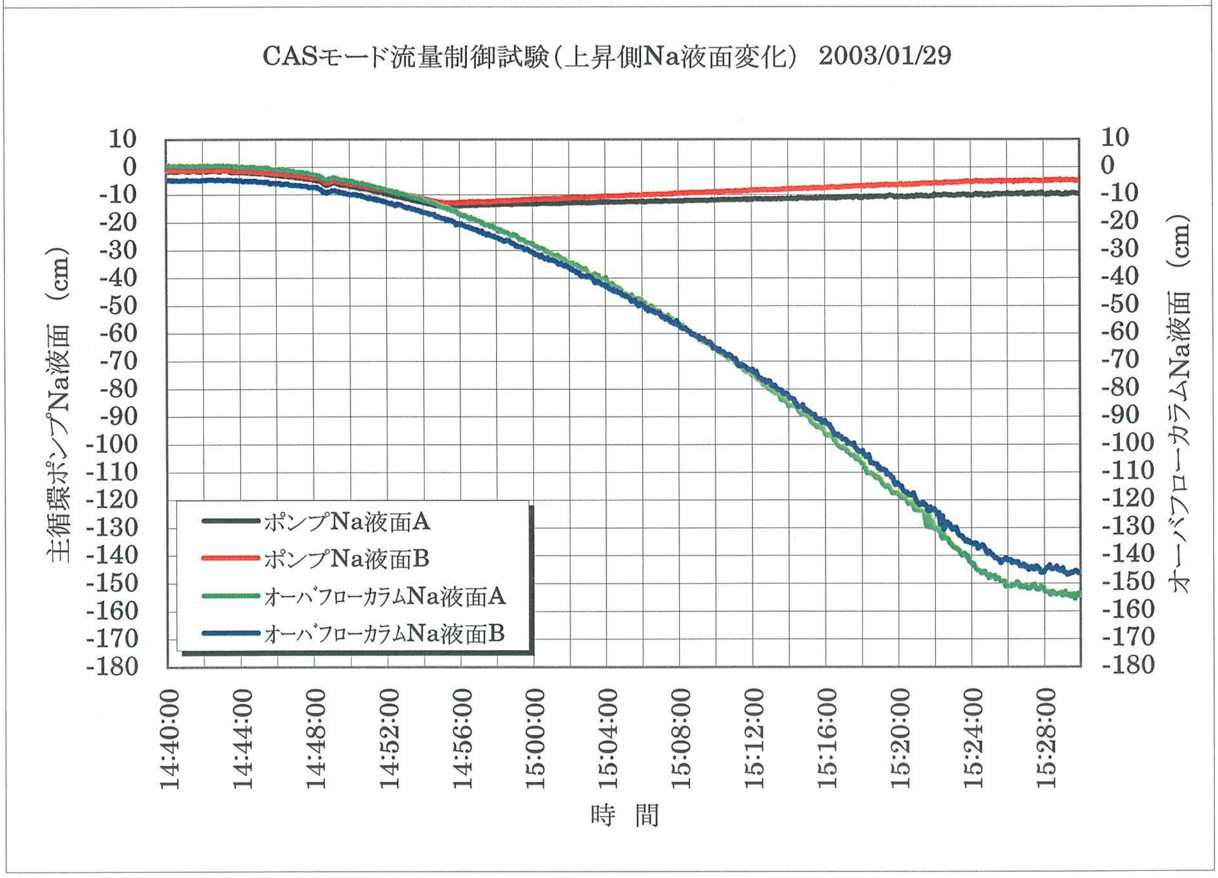
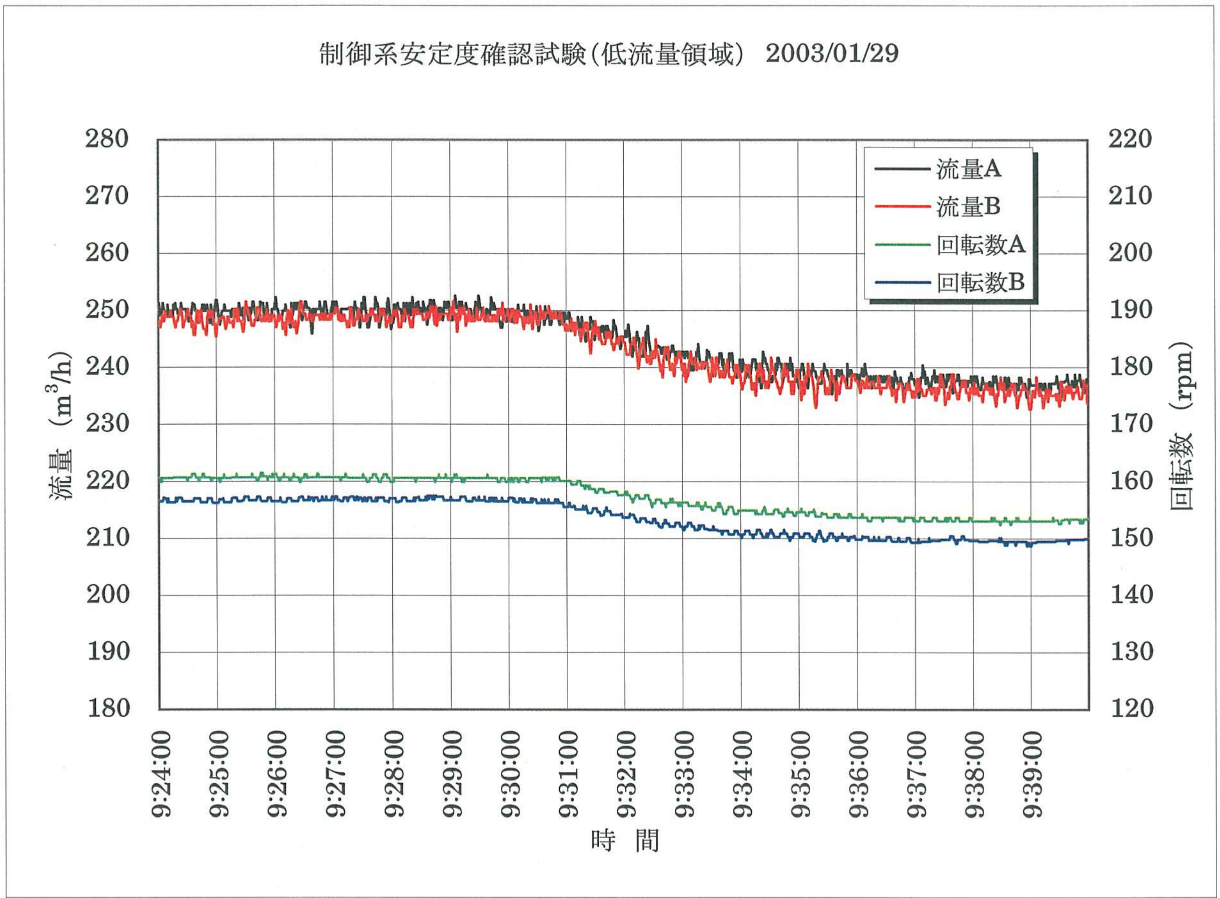


図3.5.2−3 (2/2)　主モータ速度制御試験（流量制御負荷試験（CASモード））



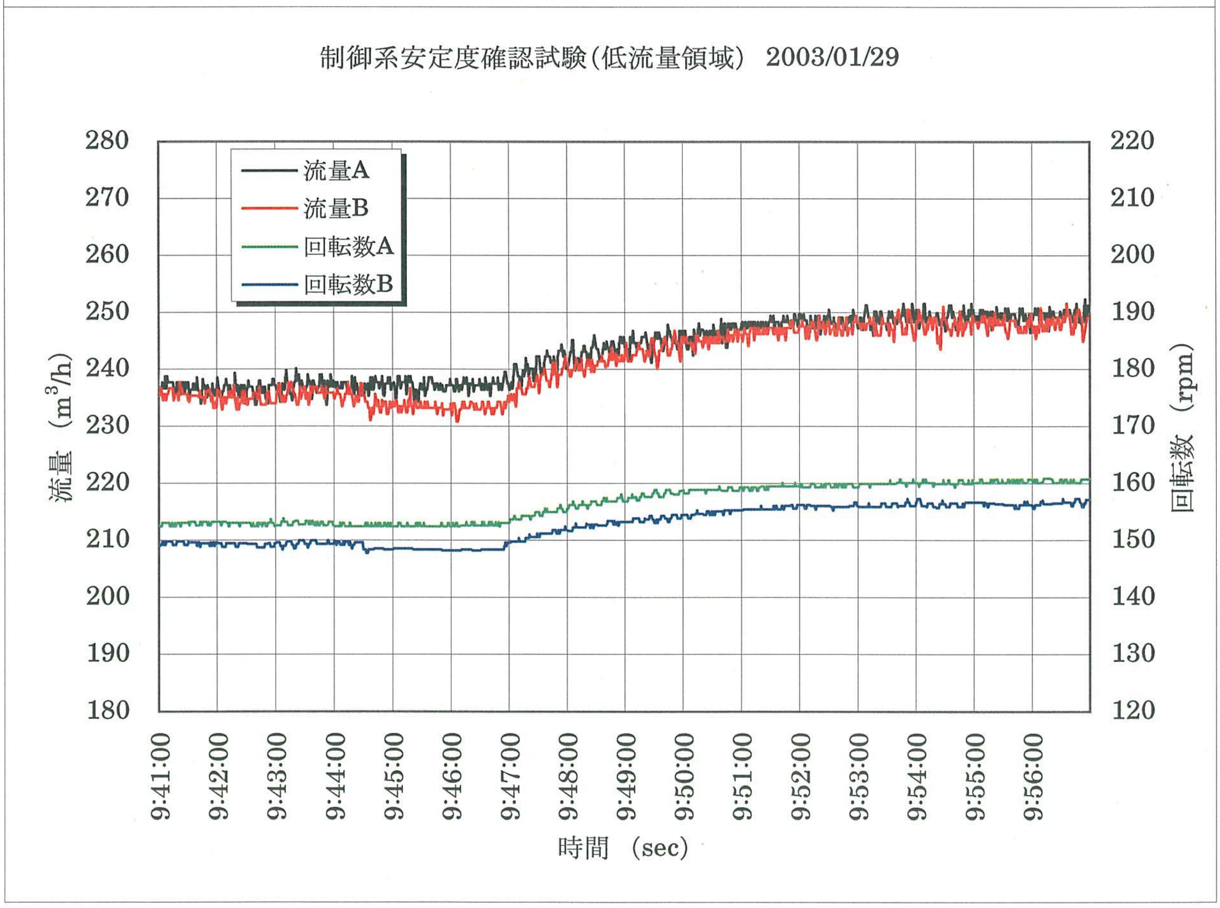
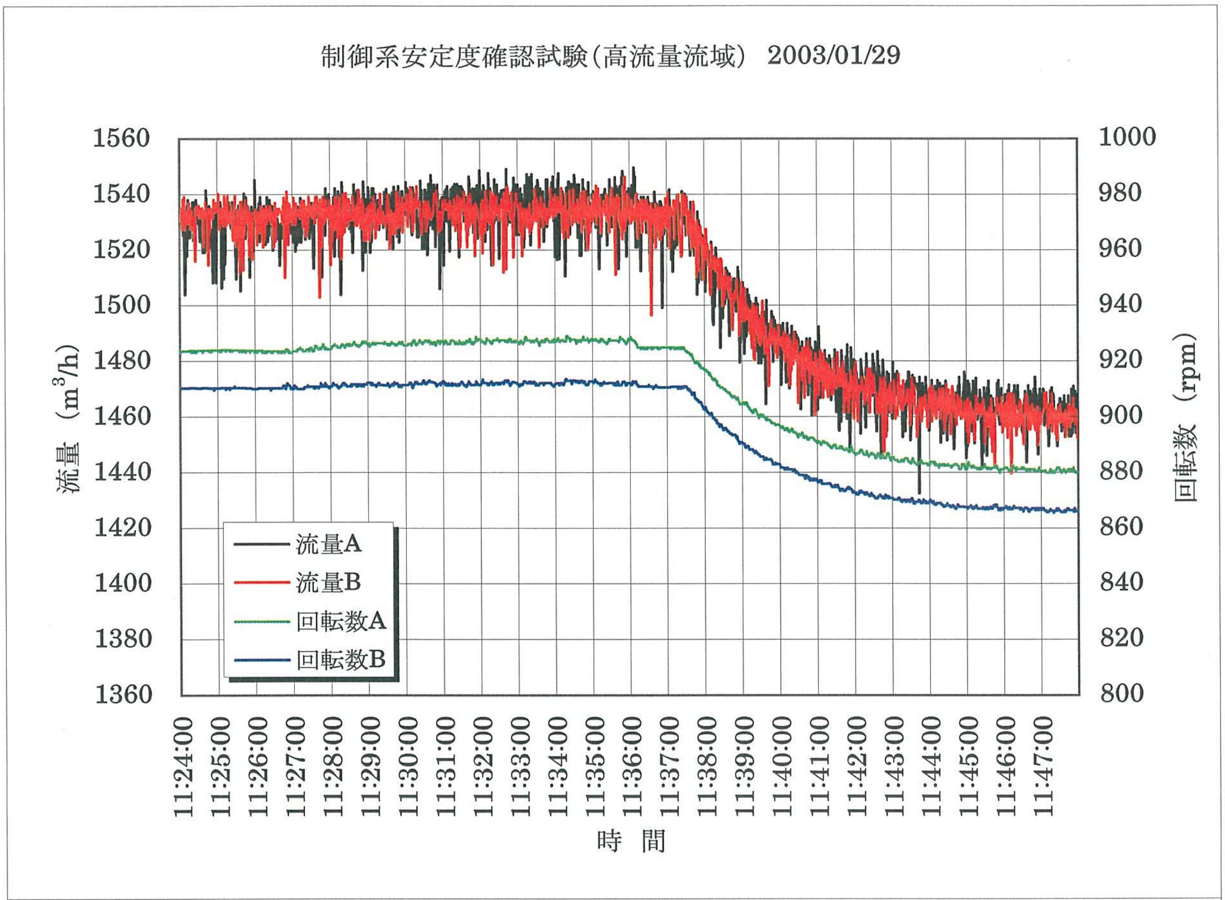


図3.5.2−4 主モータ速度制御試験（制御系安定度確認試験（低流量領域））



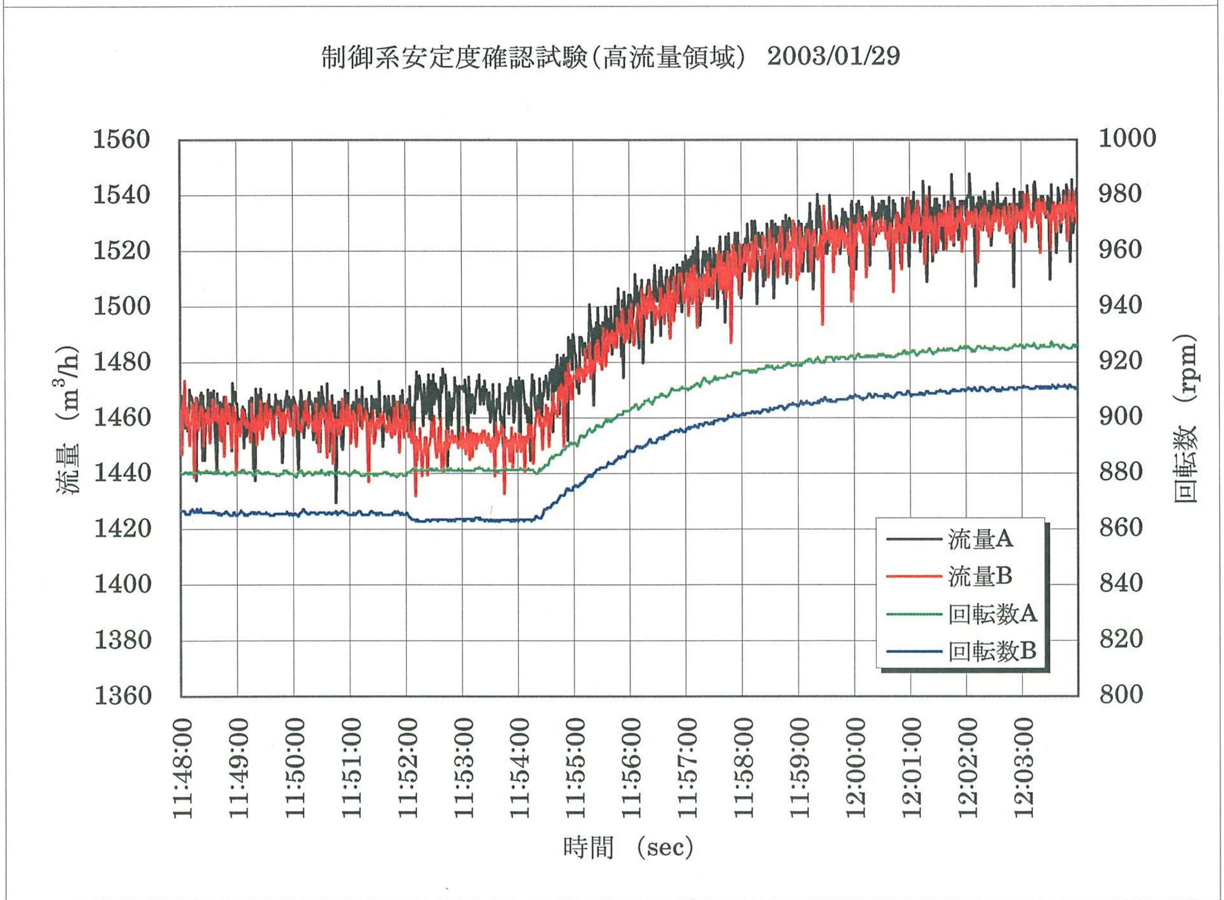


図3.5.2−5 主モータ速度制御試験(制御系安定度確認試験(高流量領域))

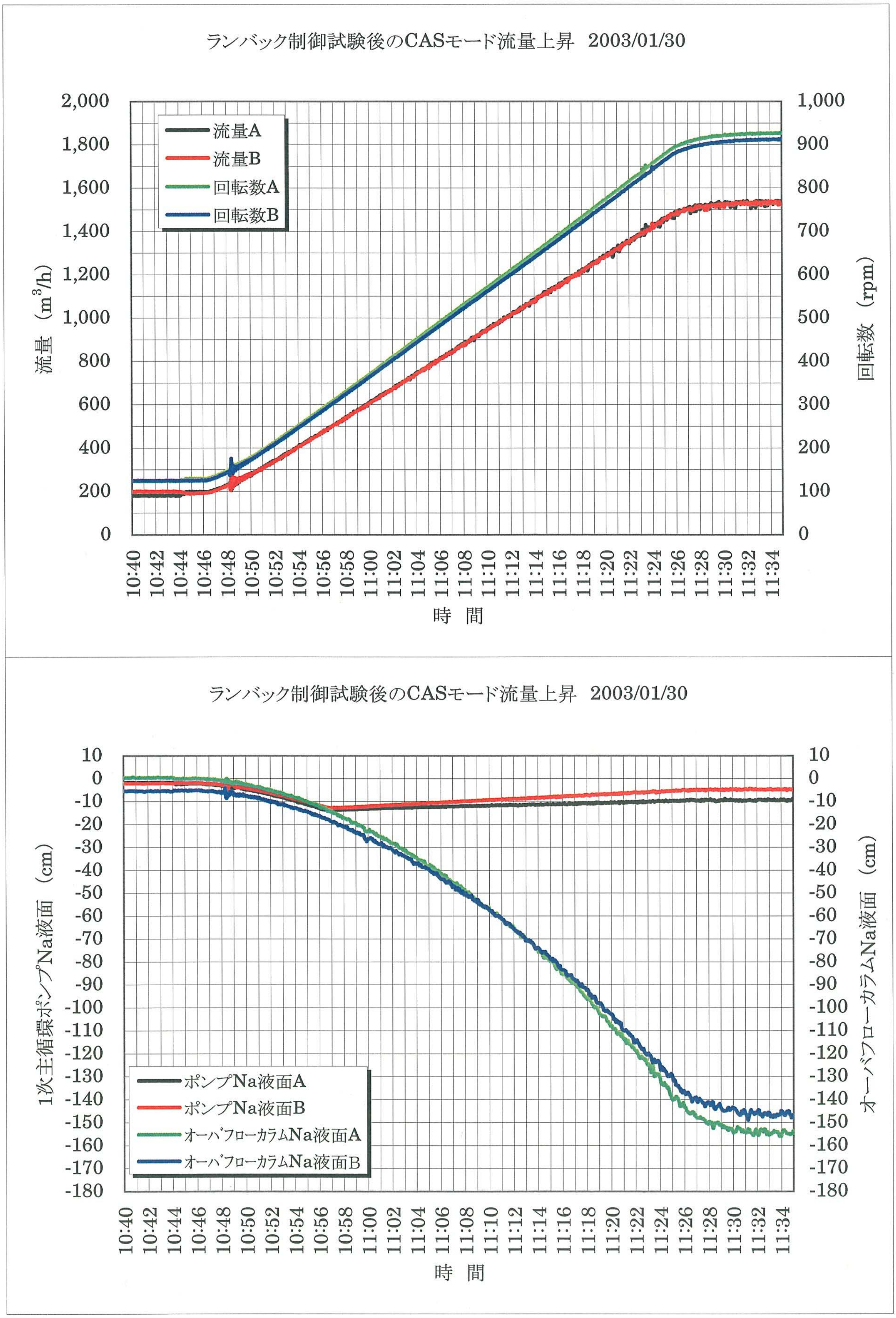
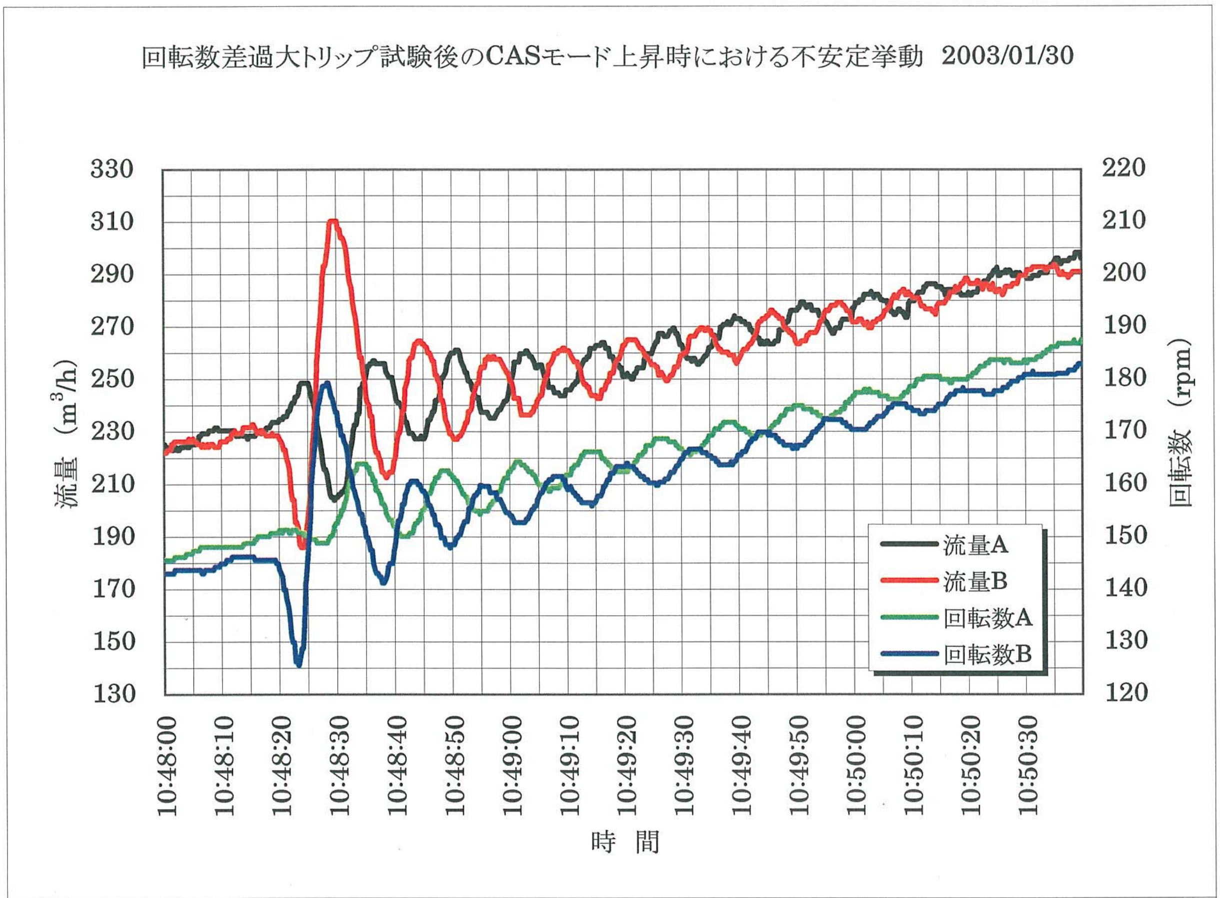


図3.5.2−6 ランバック制御試験後のCASモードによる流量上昇



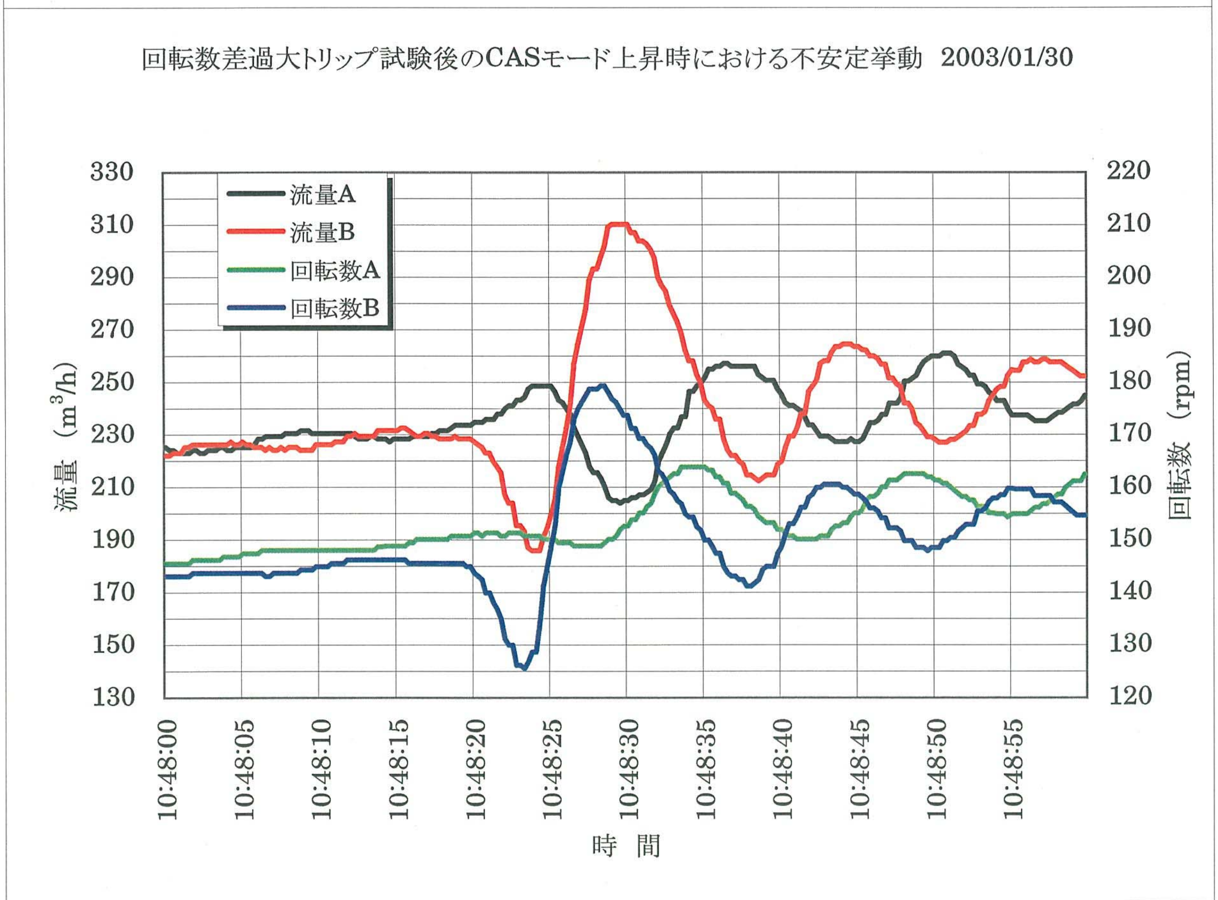
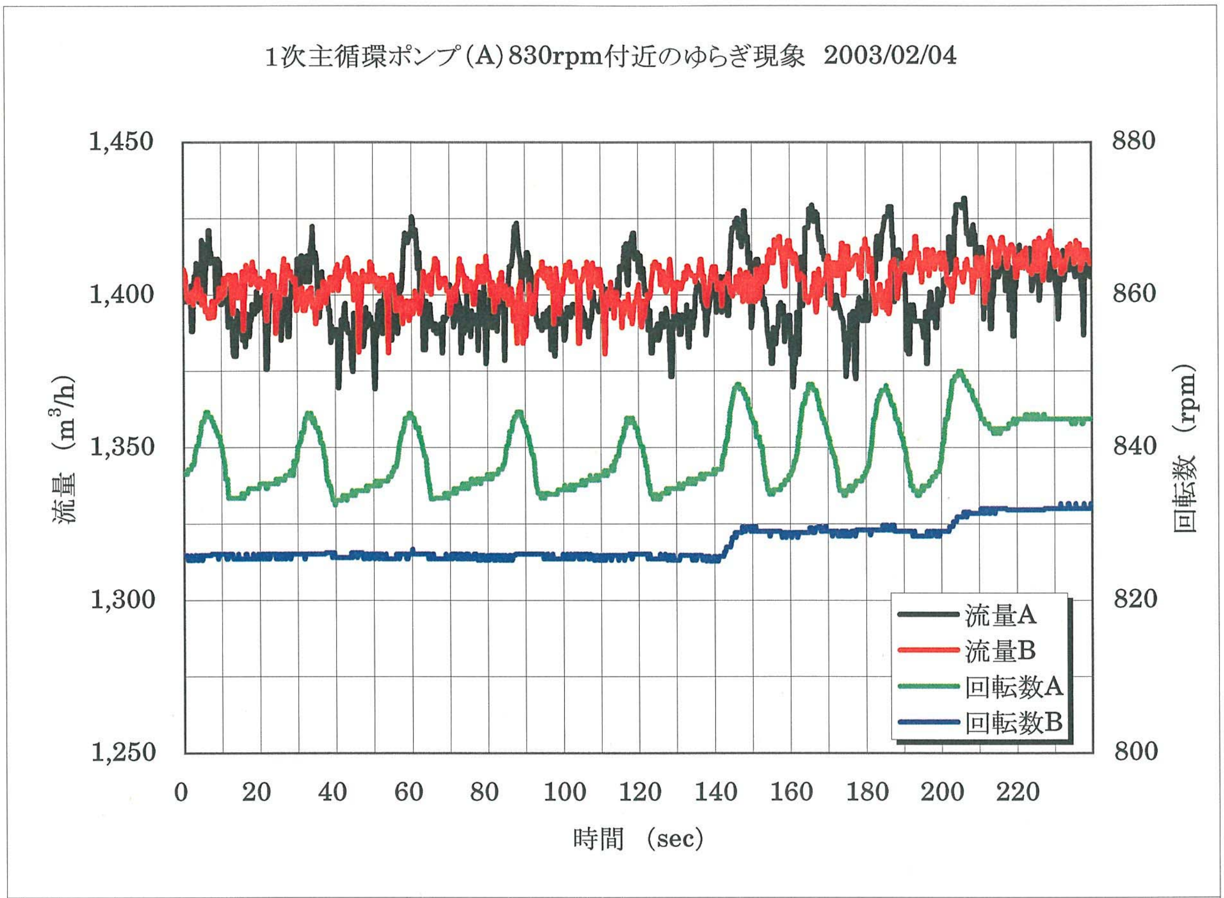


図3.5.2−7 ランバック制御試験後のCASモードによる流量上昇時における不安定挙動



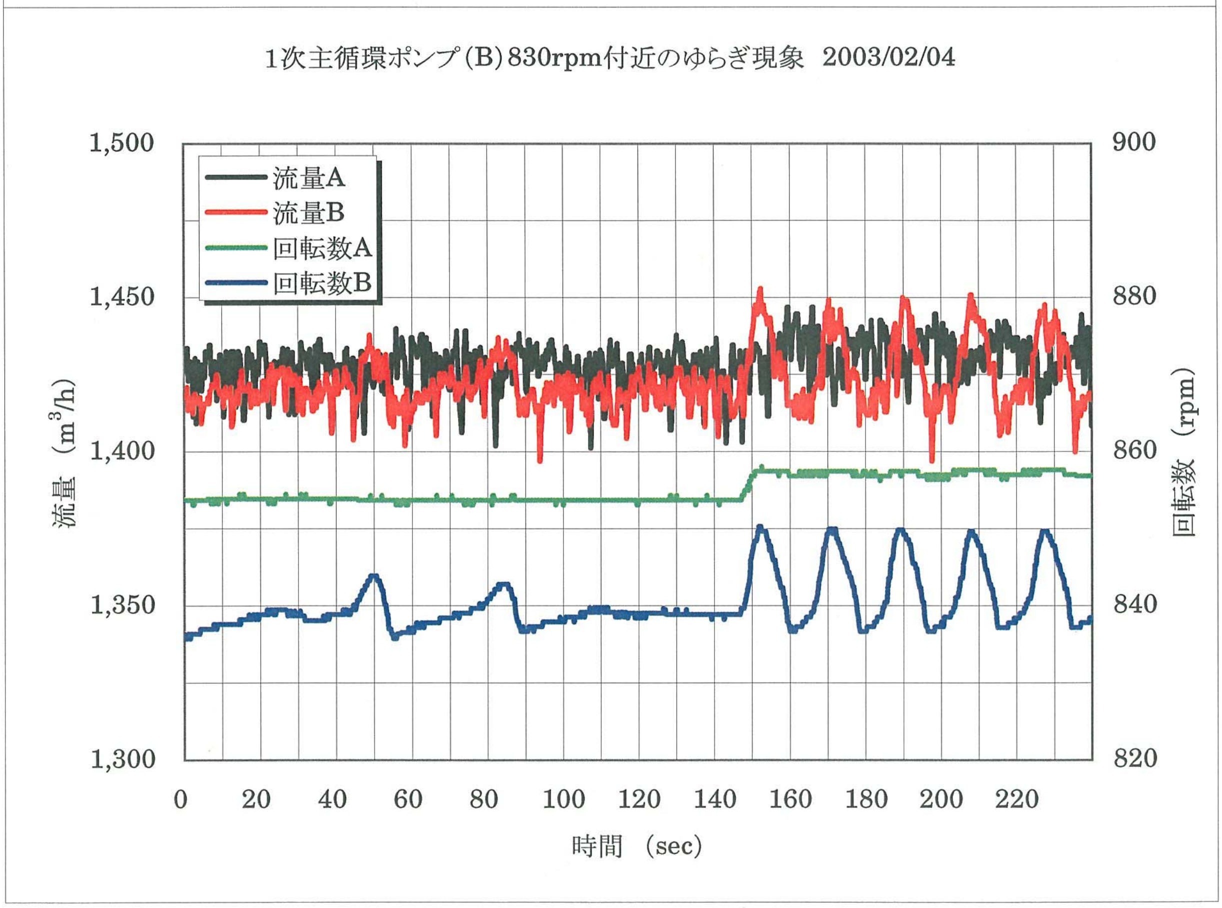


図3.5.2−8　１次主循環ポンプ回転数変動調査（回転数840rpm付近のゆらぎ現象）

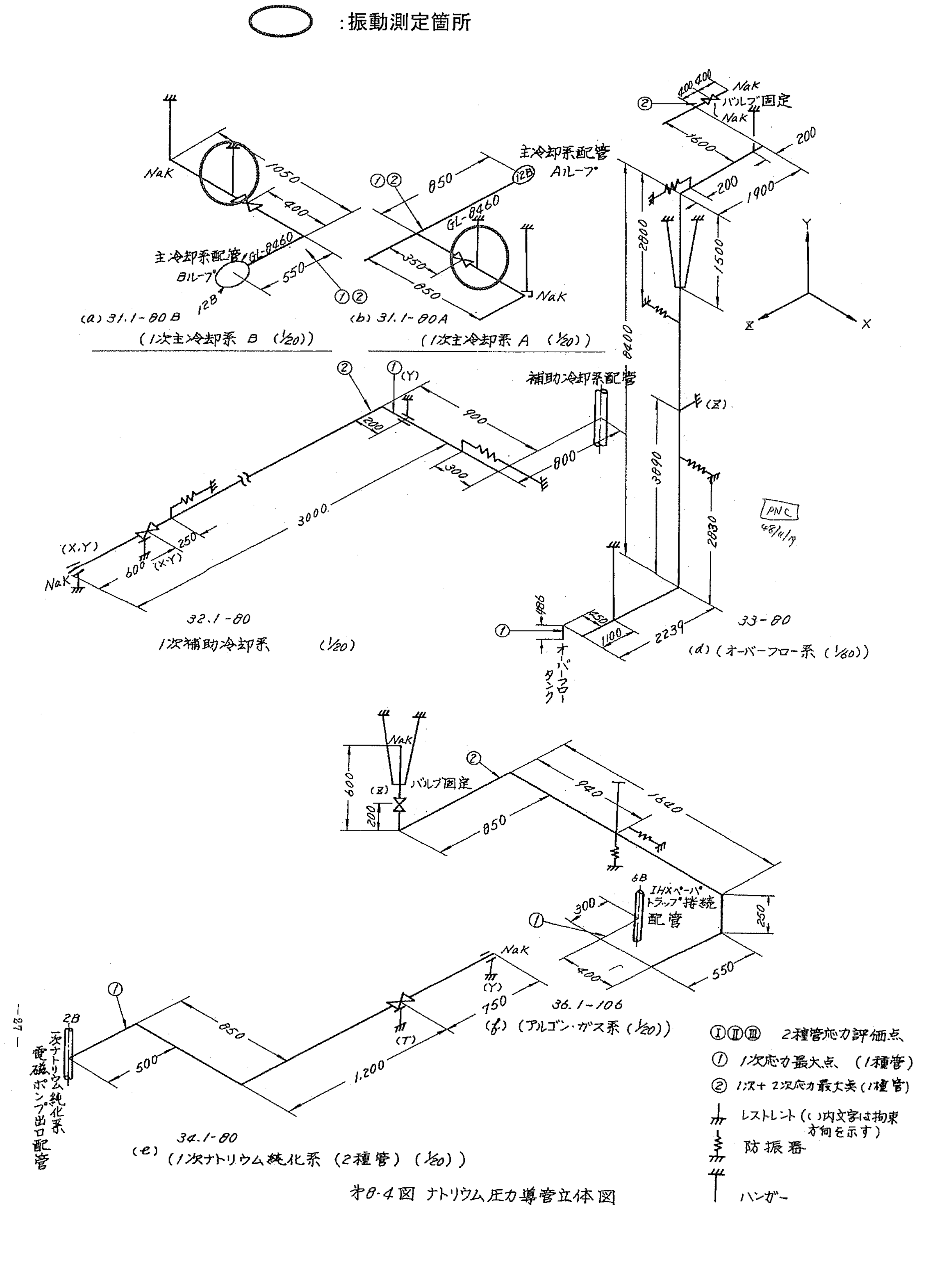


図3.5.2−9　１次主循環ポンプ運転特性試験時におけるポンプ出口NaK圧力計導管振動測定箇所

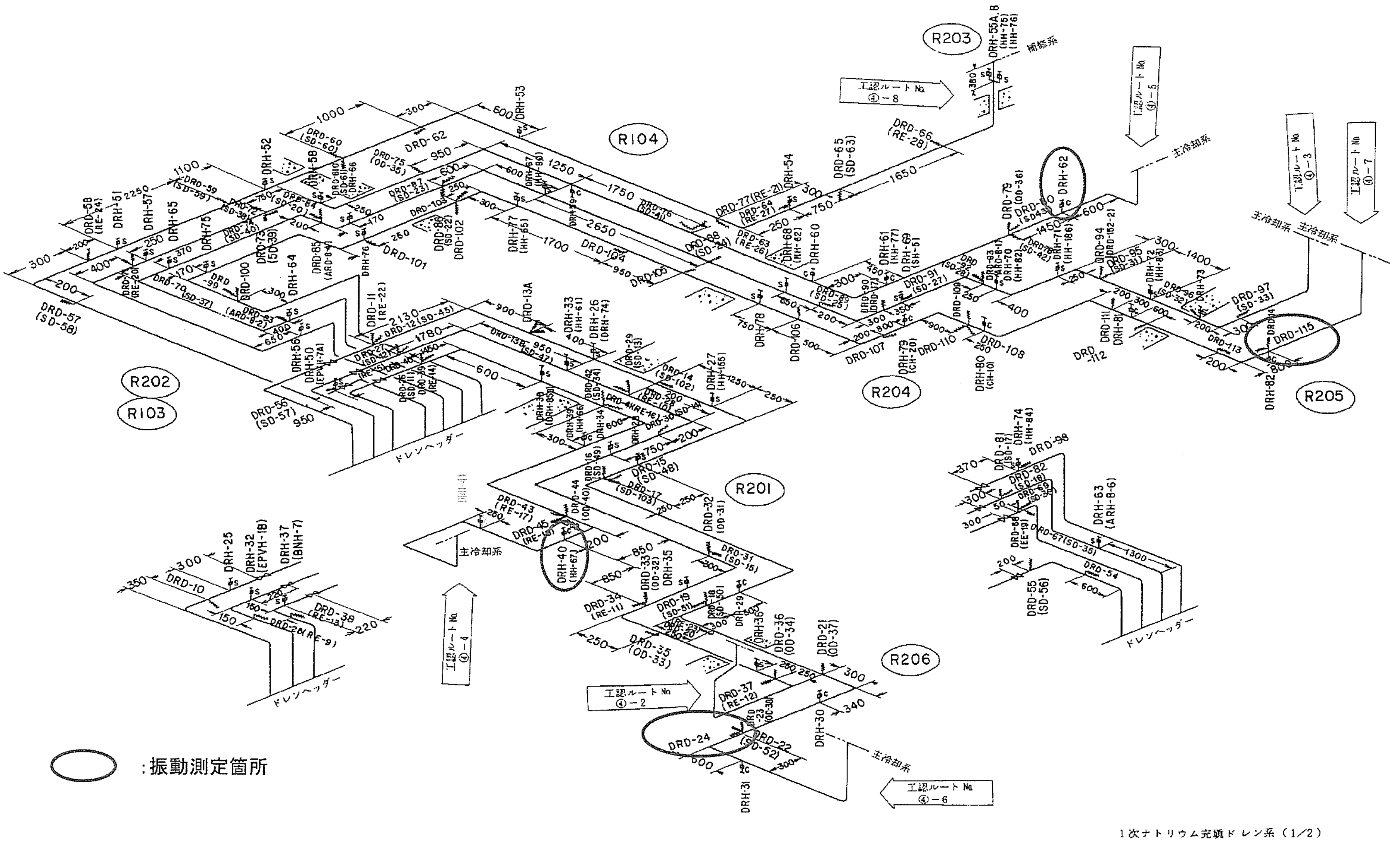
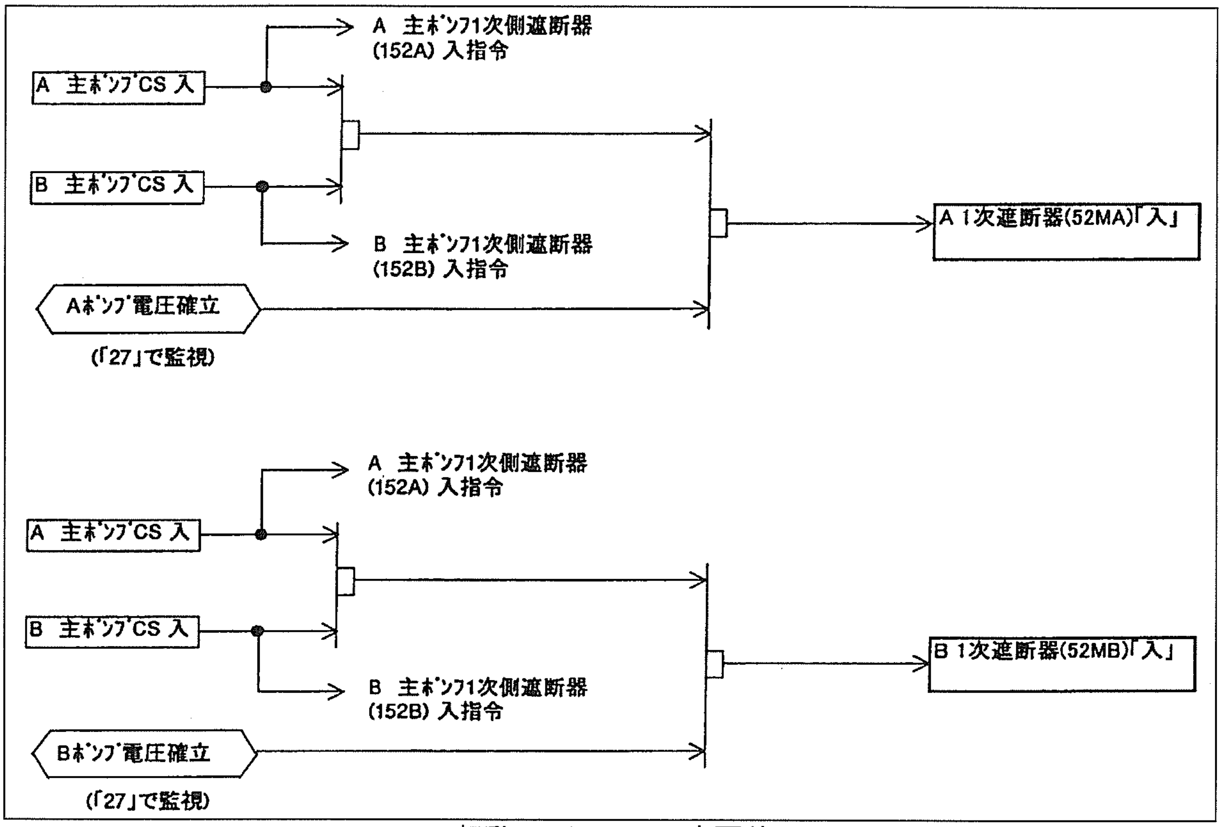
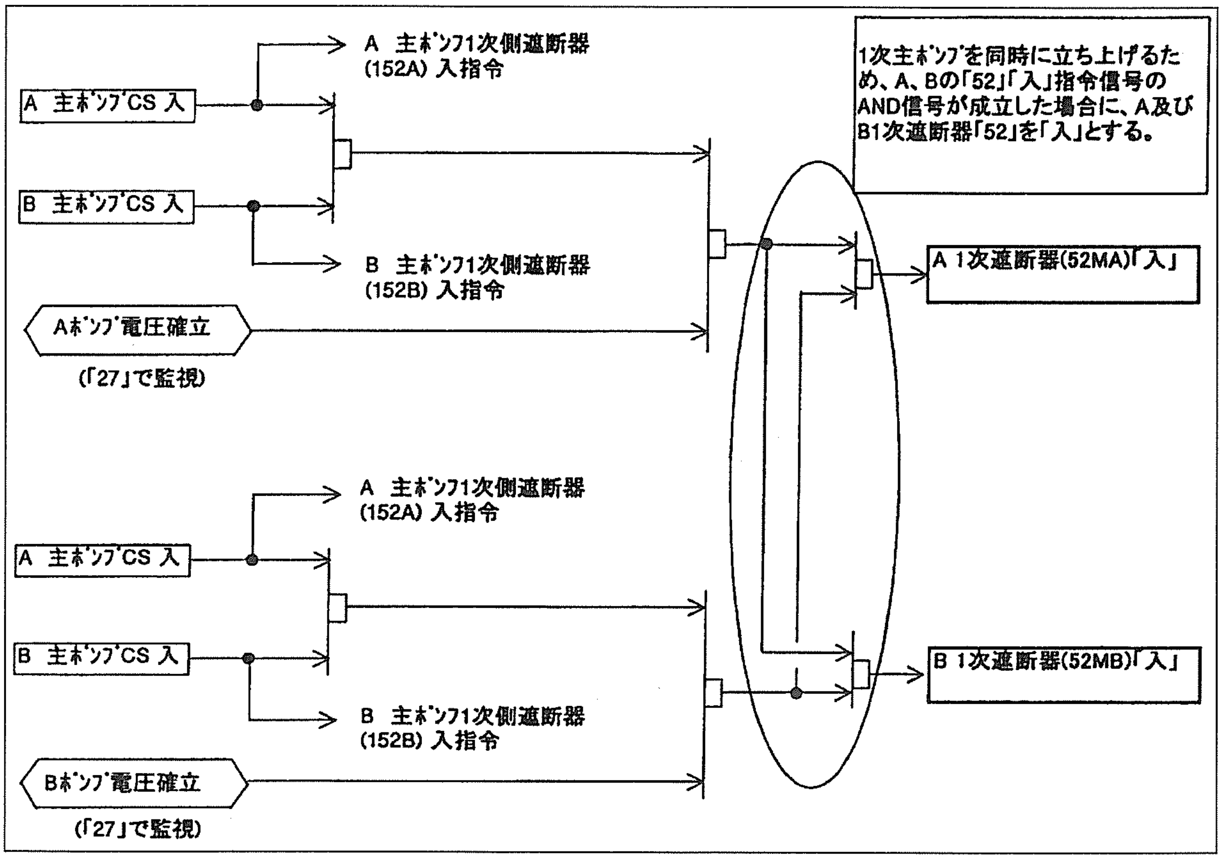


図3.5.2－10　1次主循環ポンプ運転特性試験時における1次ナトリウム充填ドレン系配管振動測定箇所



起動インターロック変更前



起動インターロック変更後

図3.6.1−1　1次主循環ポンプ起動インターロック

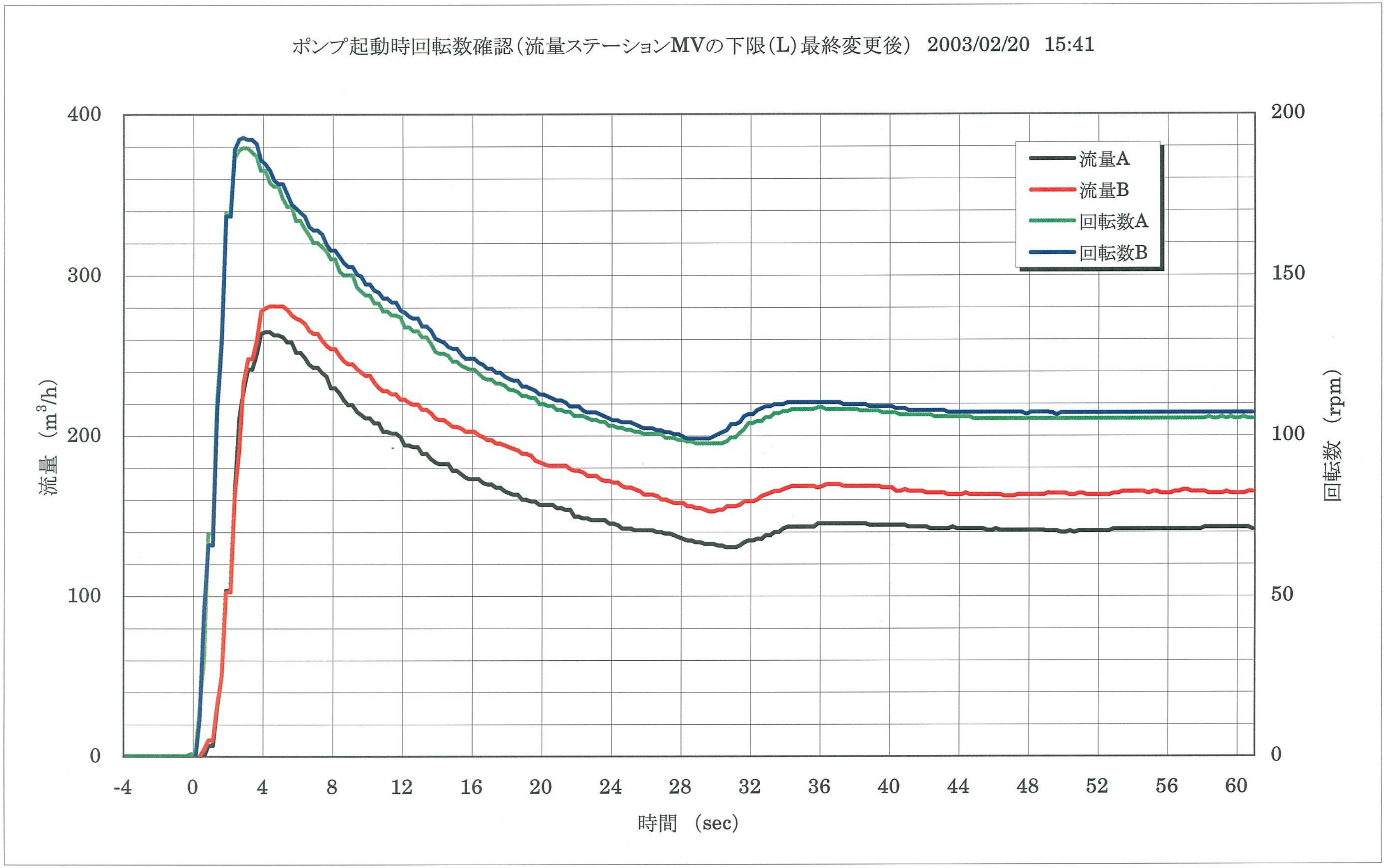


図3.6.4−1 ポンプ起動時回転数確認（流量ステーションMVの下限（L）最終変更後）

すべり周波数の(1±6m)倍
(mは整数)の高調波電流が
二次巻線に流出

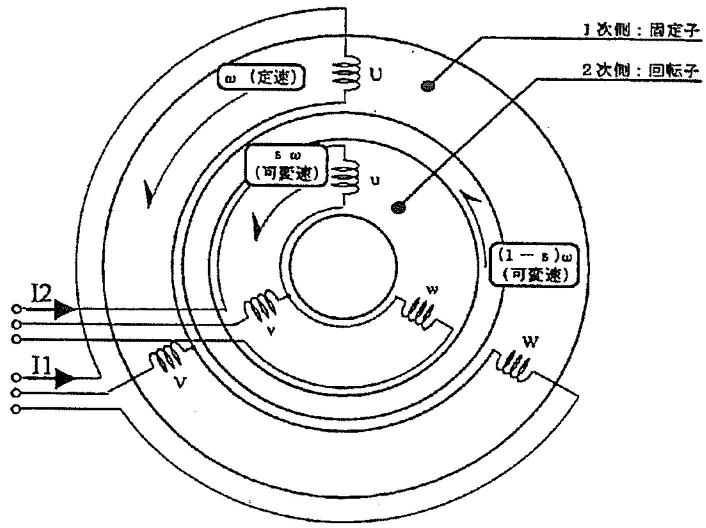
↓

電動機内で各周波数毎に
正相・逆相回転磁界を生成

↓

系統周波数の(1±6ms)倍の
周波数となって一次側へ波及

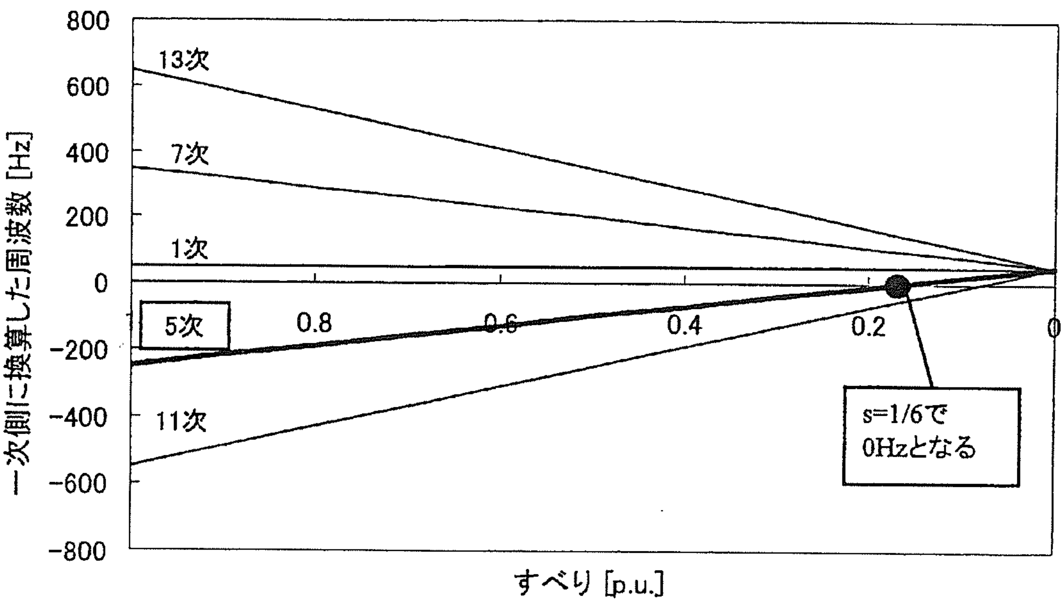
(a) 電流歪み発生メカニズム



(b) 巻線形誘導機のモデル(基本波)

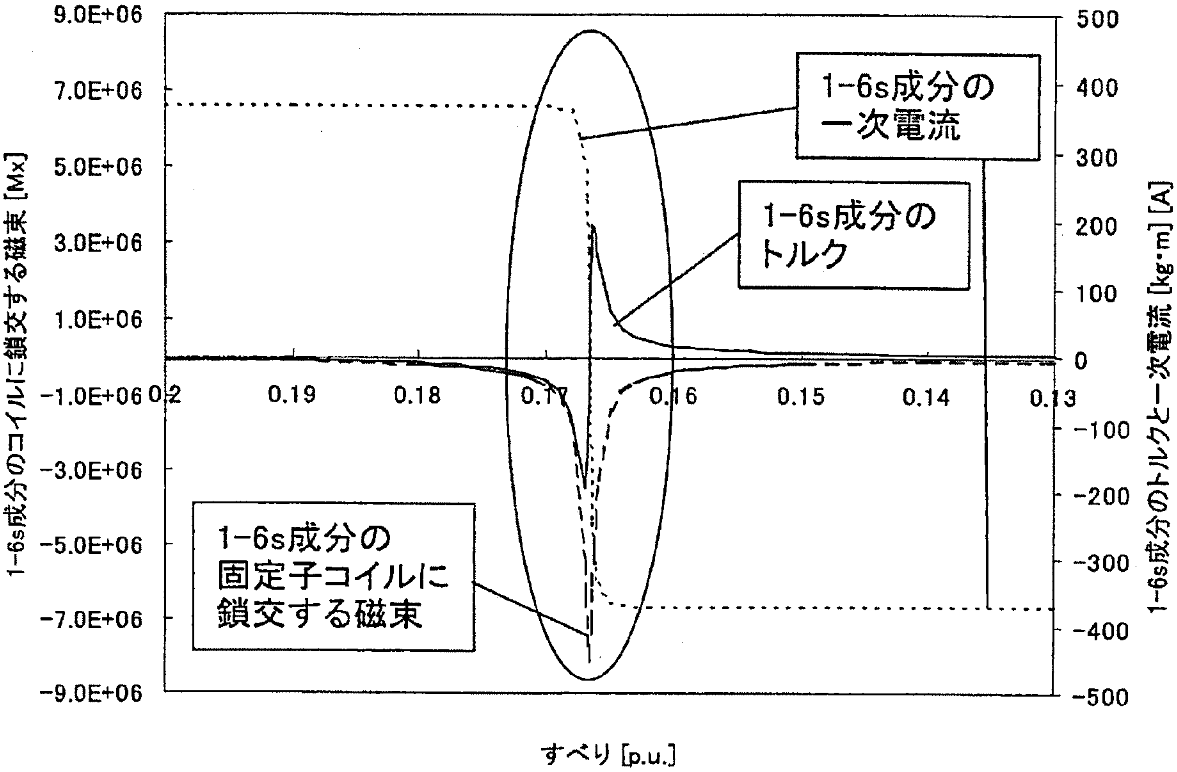
項目	基本波	正相高調波	逆相高調波
一次側基本波 回転磁界速度	← ω	← ω	← ω
回転速度	← (1-s)ω	← (1-s)ω	← (1-s)ω
二次電流による 回転磁界速度	← sω	← (1+6m)sω	(1-6m) sω →
一次側から見た 二次電流による 回転磁界速度	← ω	← (1+6ms)ω	(1-6ms)ω ←

(c) 一次側から見た二次電流による回転磁界速度

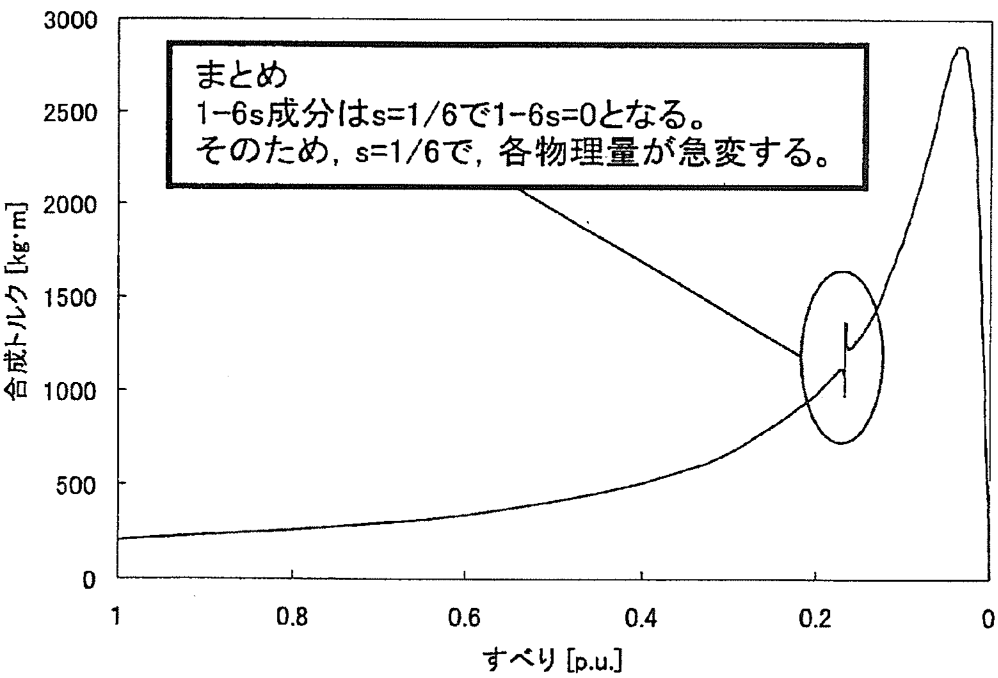


(d) 一次側へ波及する周波数成分(電動機領域)

図3.6.5－1 巻線型誘導機の高調波発生のメカニズムと1次側へ波及する周波数成分の関係



(a) 1-6s成分の磁束，トルク，一次電流（二次電流一定）



(b) 基本波と1-6s成分を合成したトルク
（1-6s成分の二次電流は基本波に比例）

図3.6.5－2 第5次高調波（1－6s成分）によるトルク変動

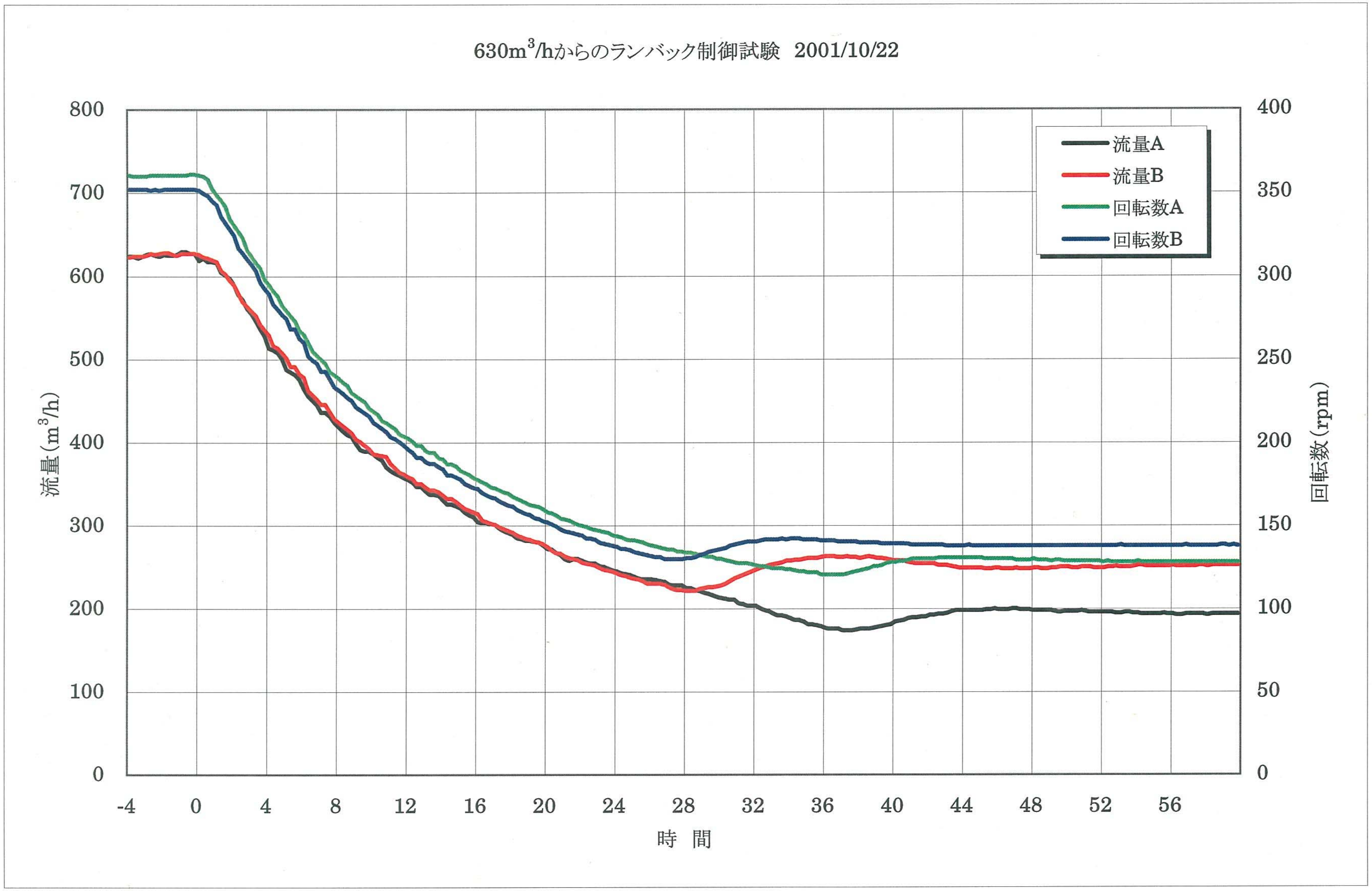


図4.5.1－1 1次主循環ポンプ運転特性試験（630m^3/hからのランバック制御試験）

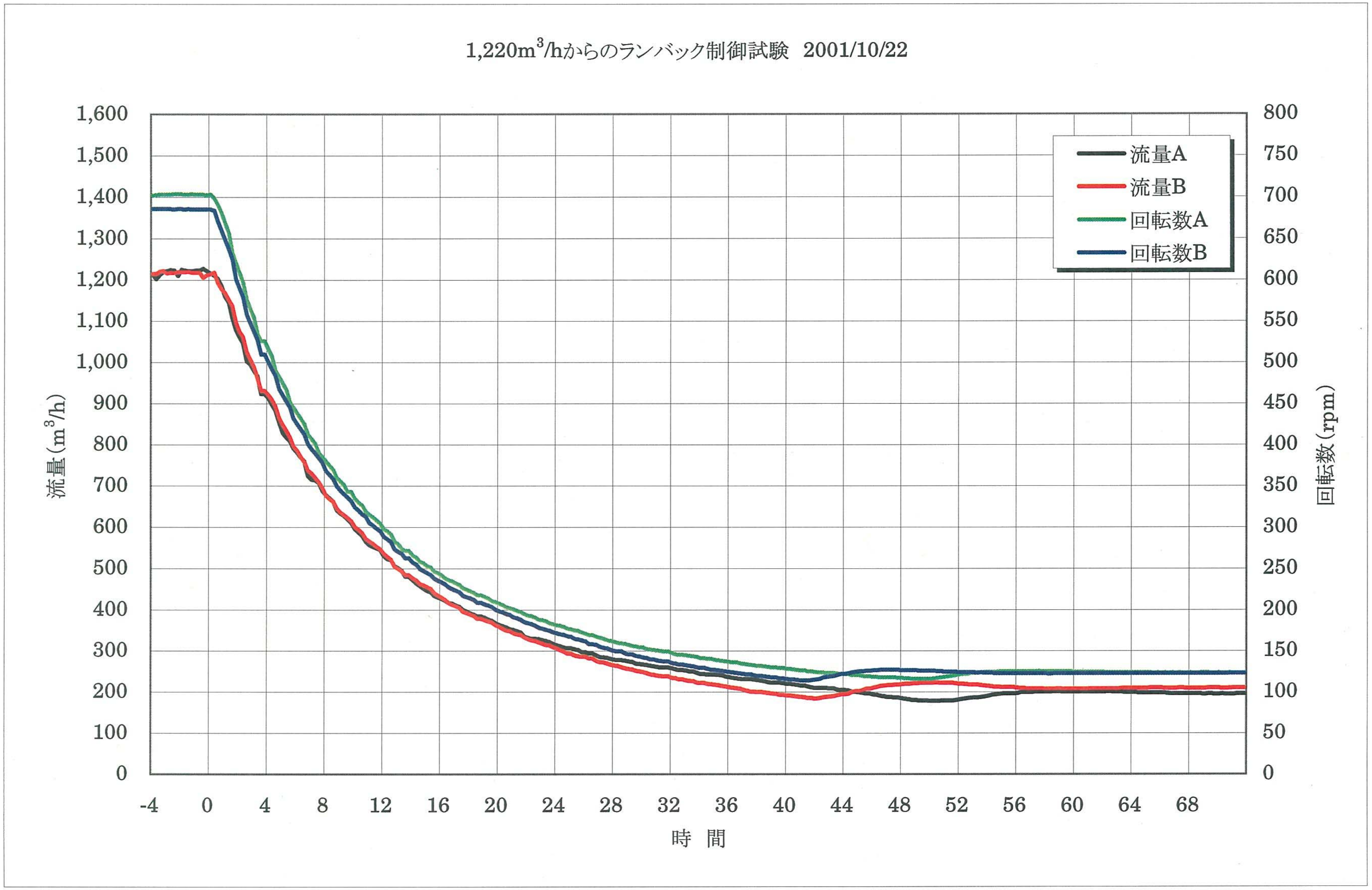


図4.5.1－2　1次主循環ポンプ運転特性試験（1,220m^3/hからのランバック制御試験）

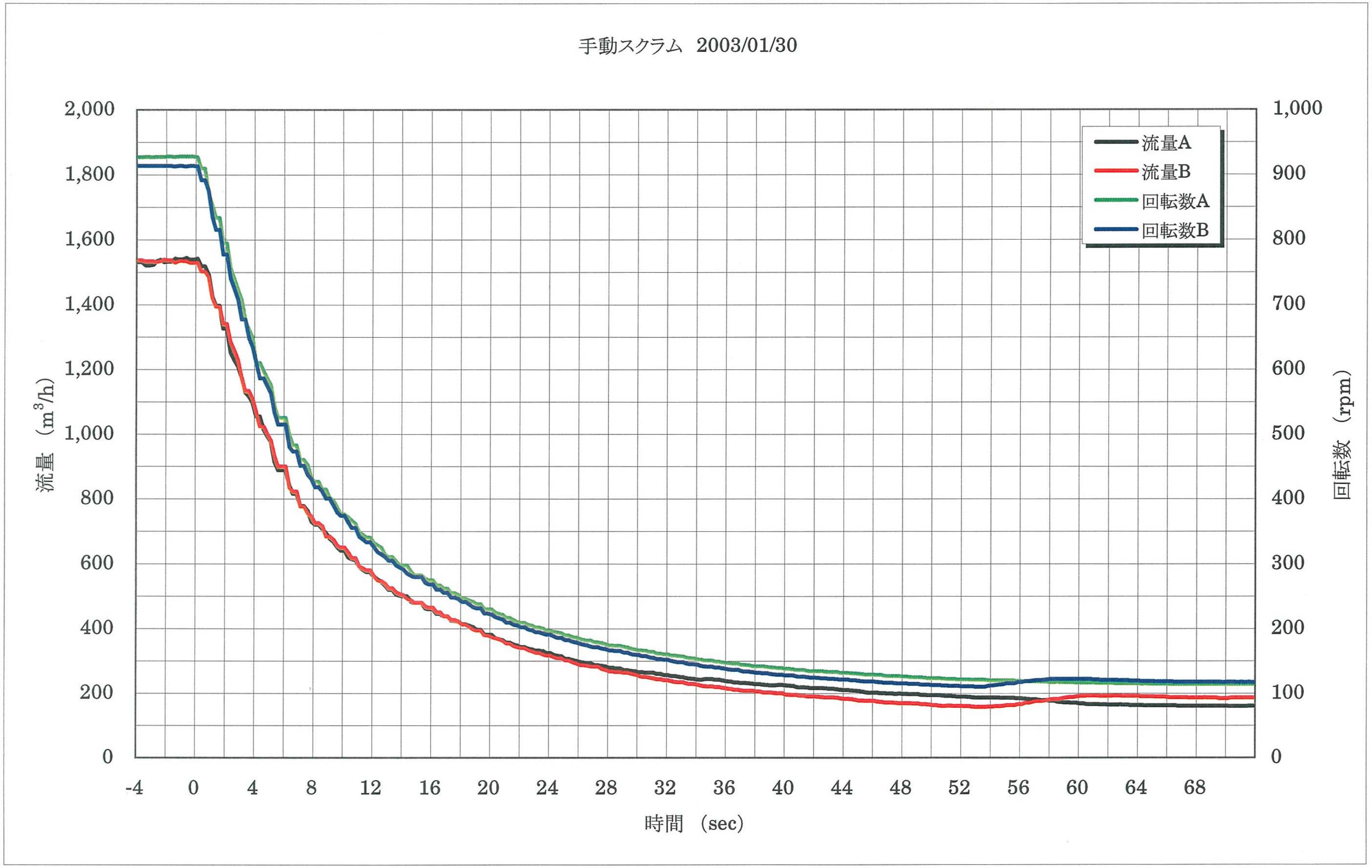
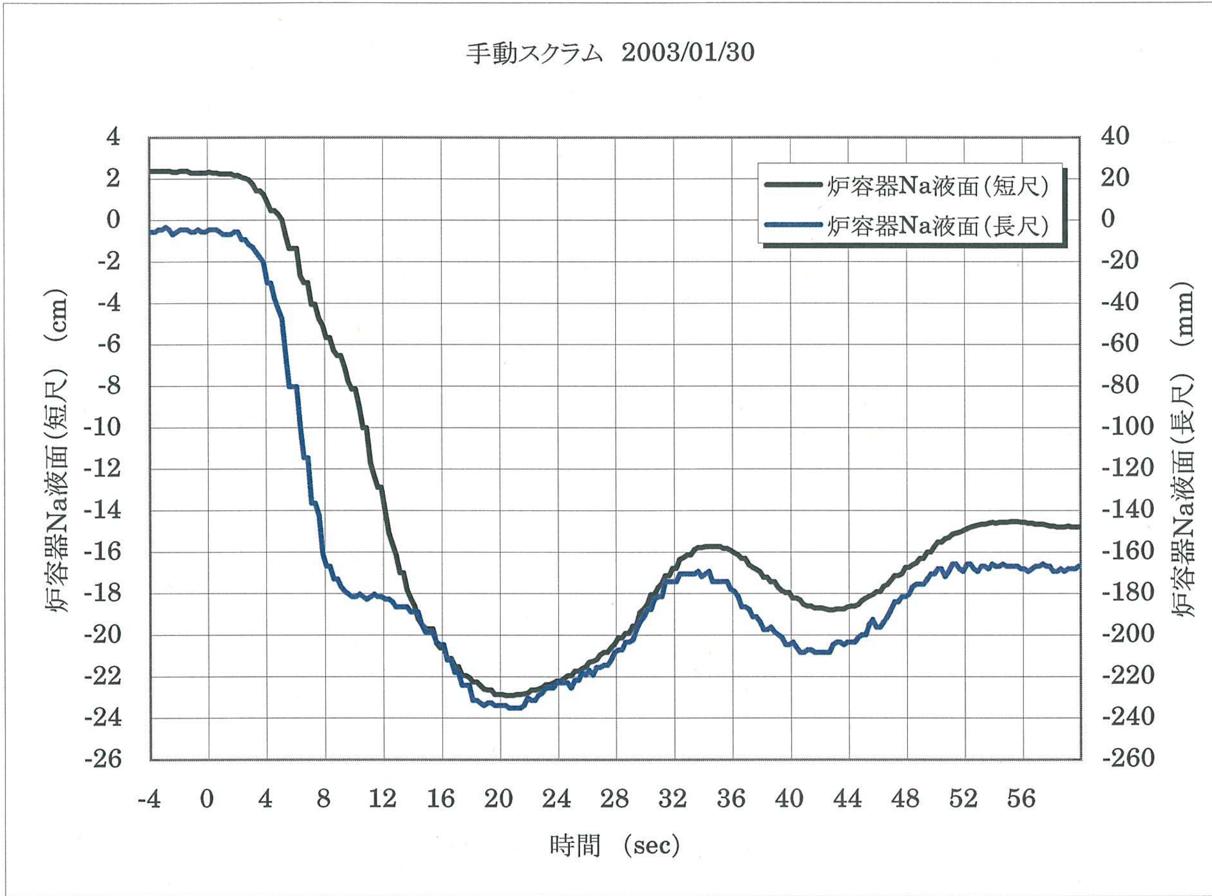


図4.5.2−1（1/2） 定格流量からのランバック制御試験（手動スクラム試験）



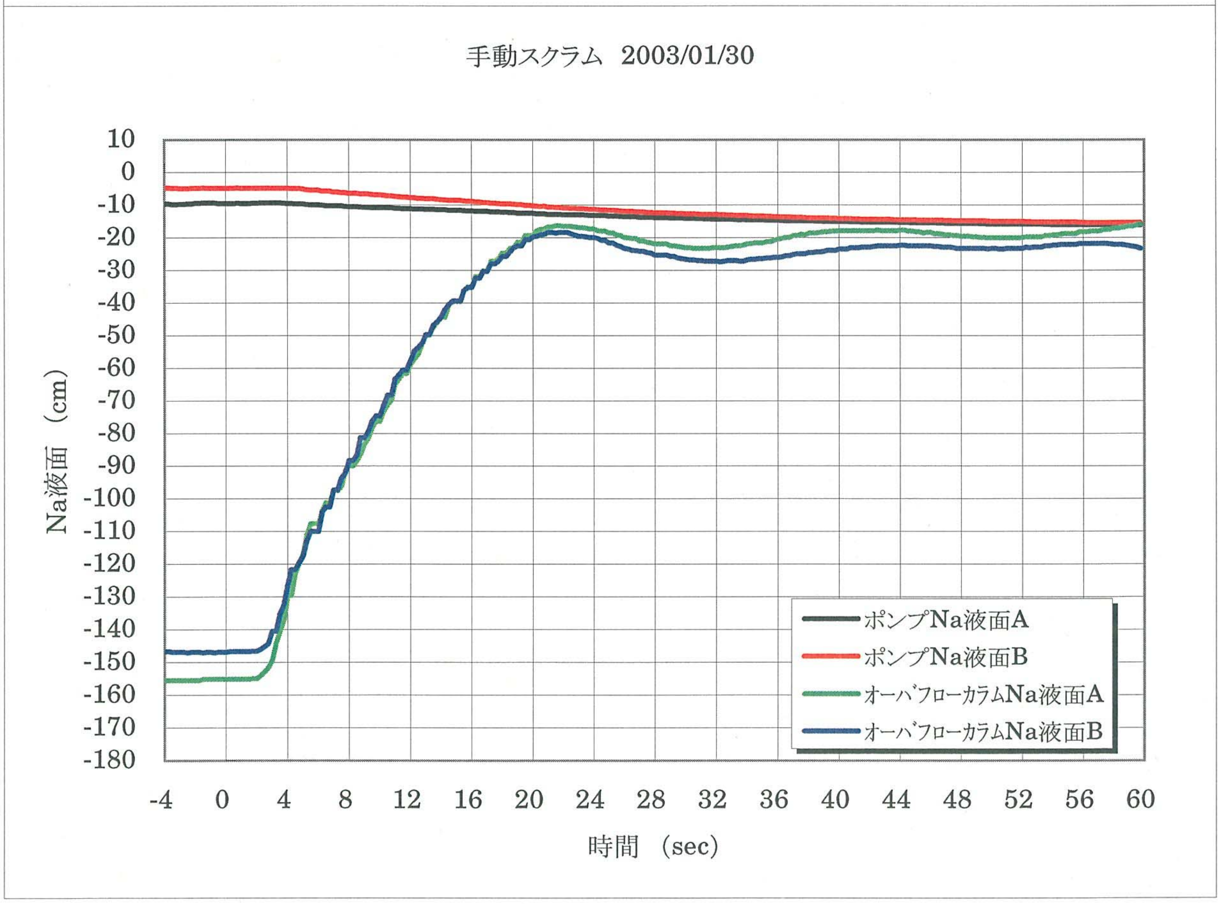
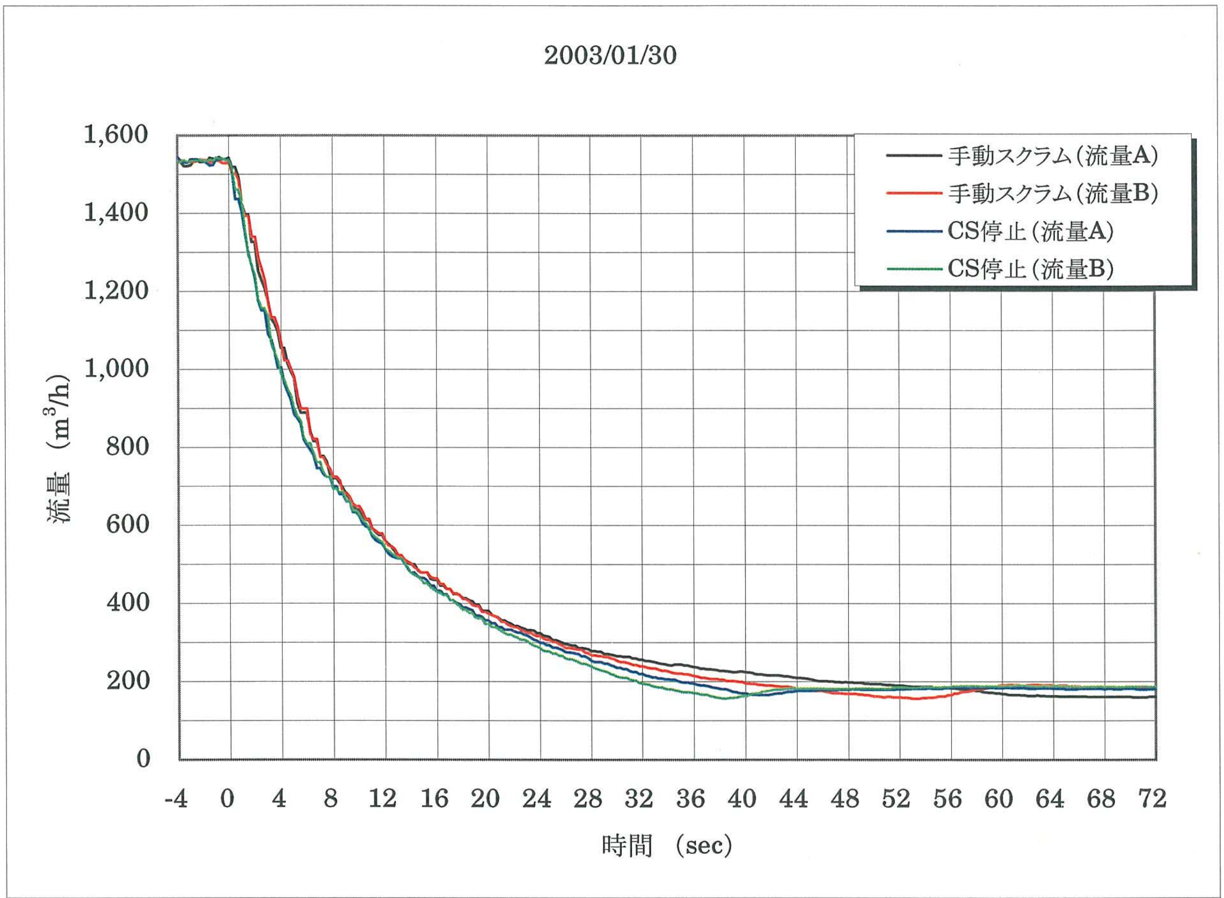


図4.5.2−1 (2/2)　定格流量からのランバック制御試験（手動スクラム試験）



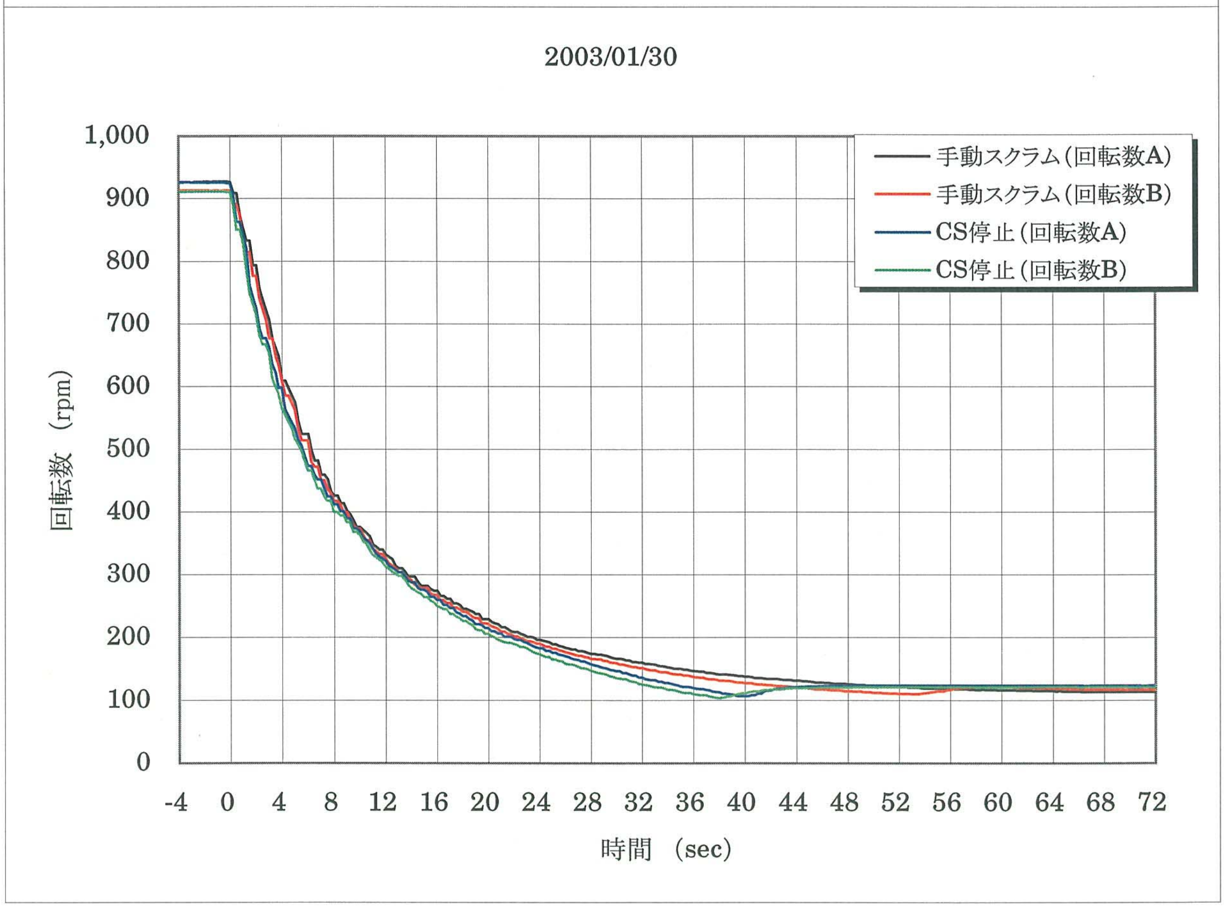


図4.6.2−1 定格流量からのランバック制御試験(手動スクラム)
とポニーモータ引継試験(CS停止)の比較

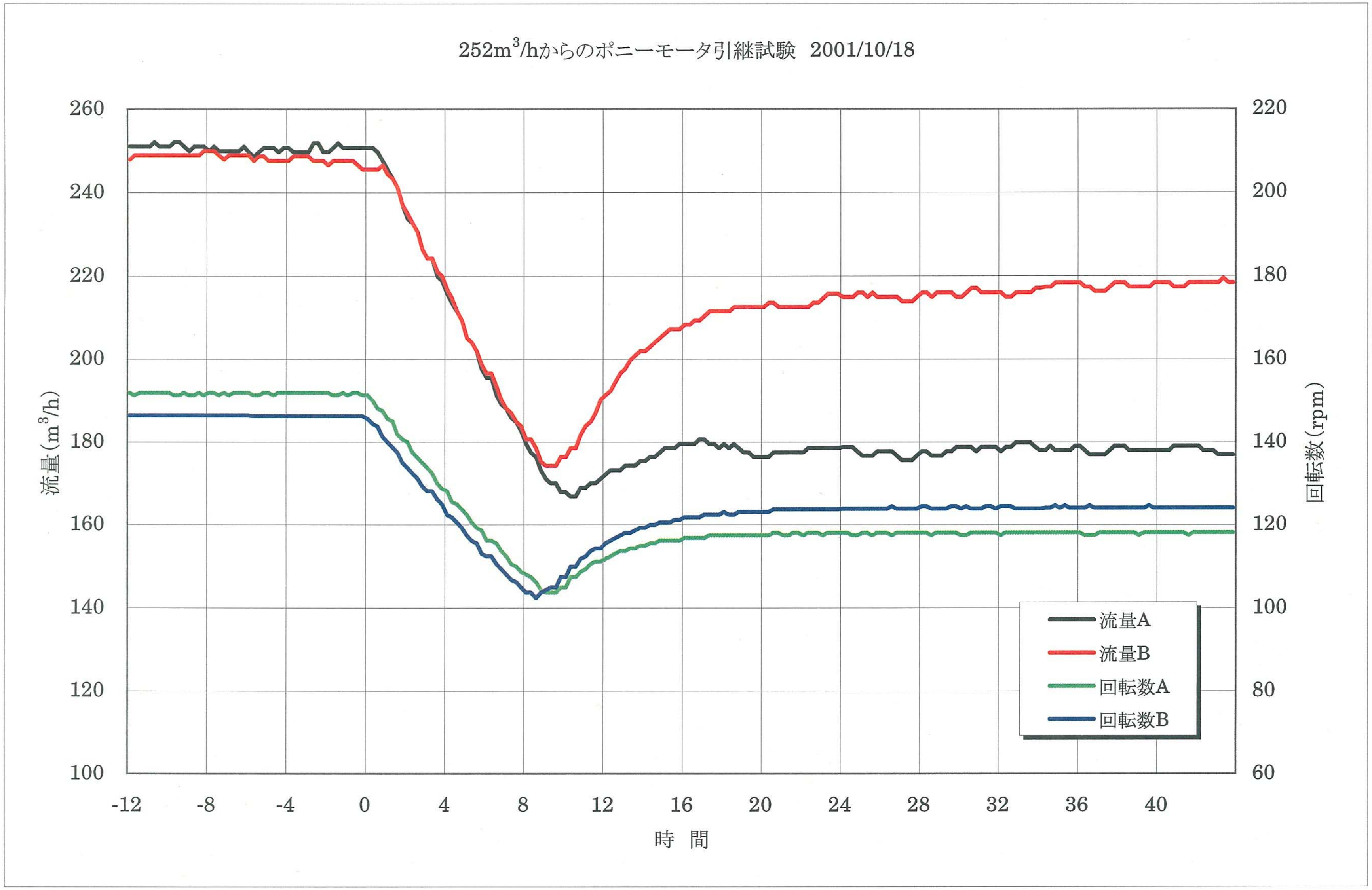


図5.5.1−1　１次主循環ポンプ運転特性試験（ポニーモータ引継試験）

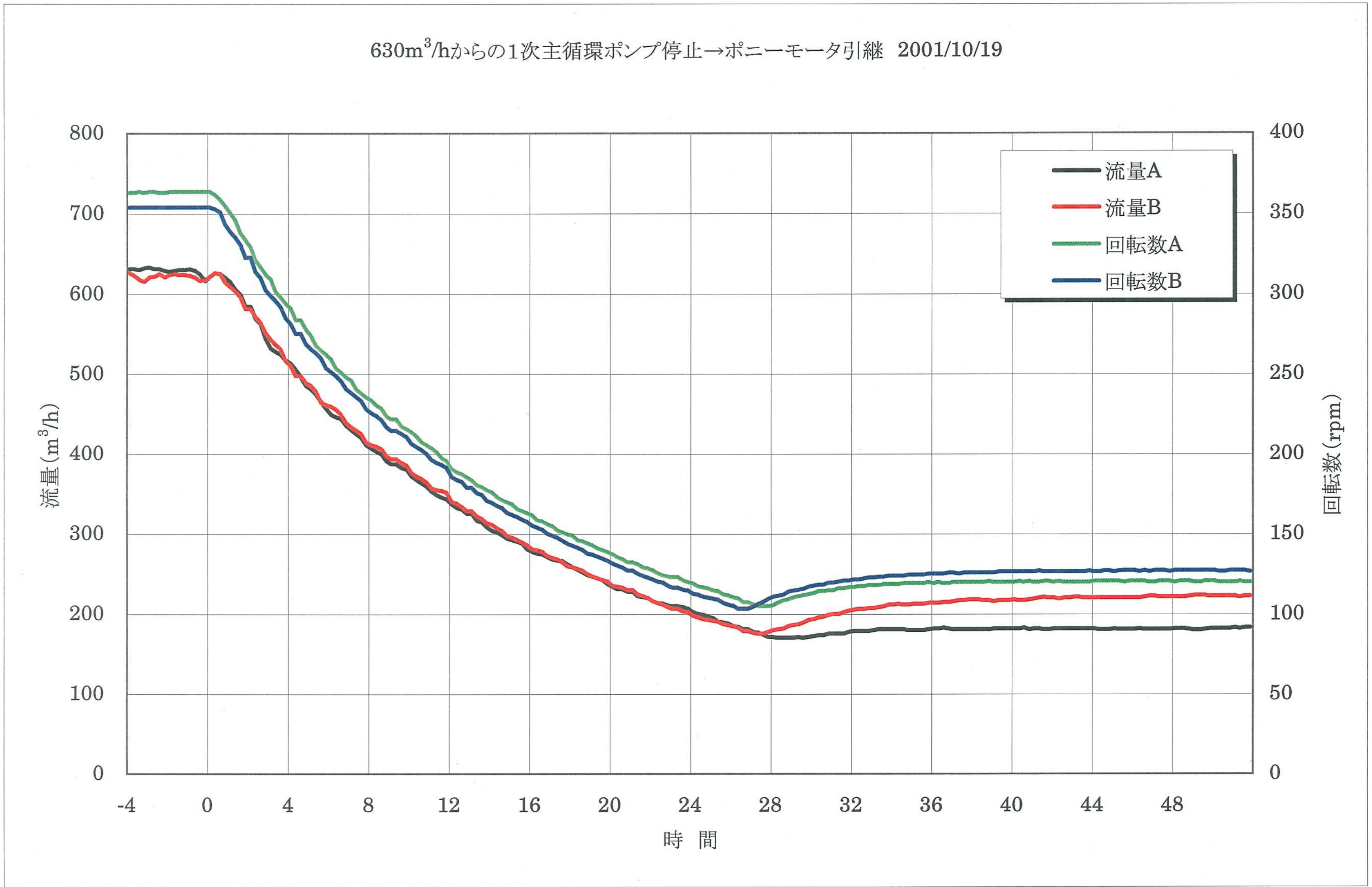


図5.5.1−2 1次主循環ポンプ運転特性試験（630m³/hからのポニーモータ引継試験）

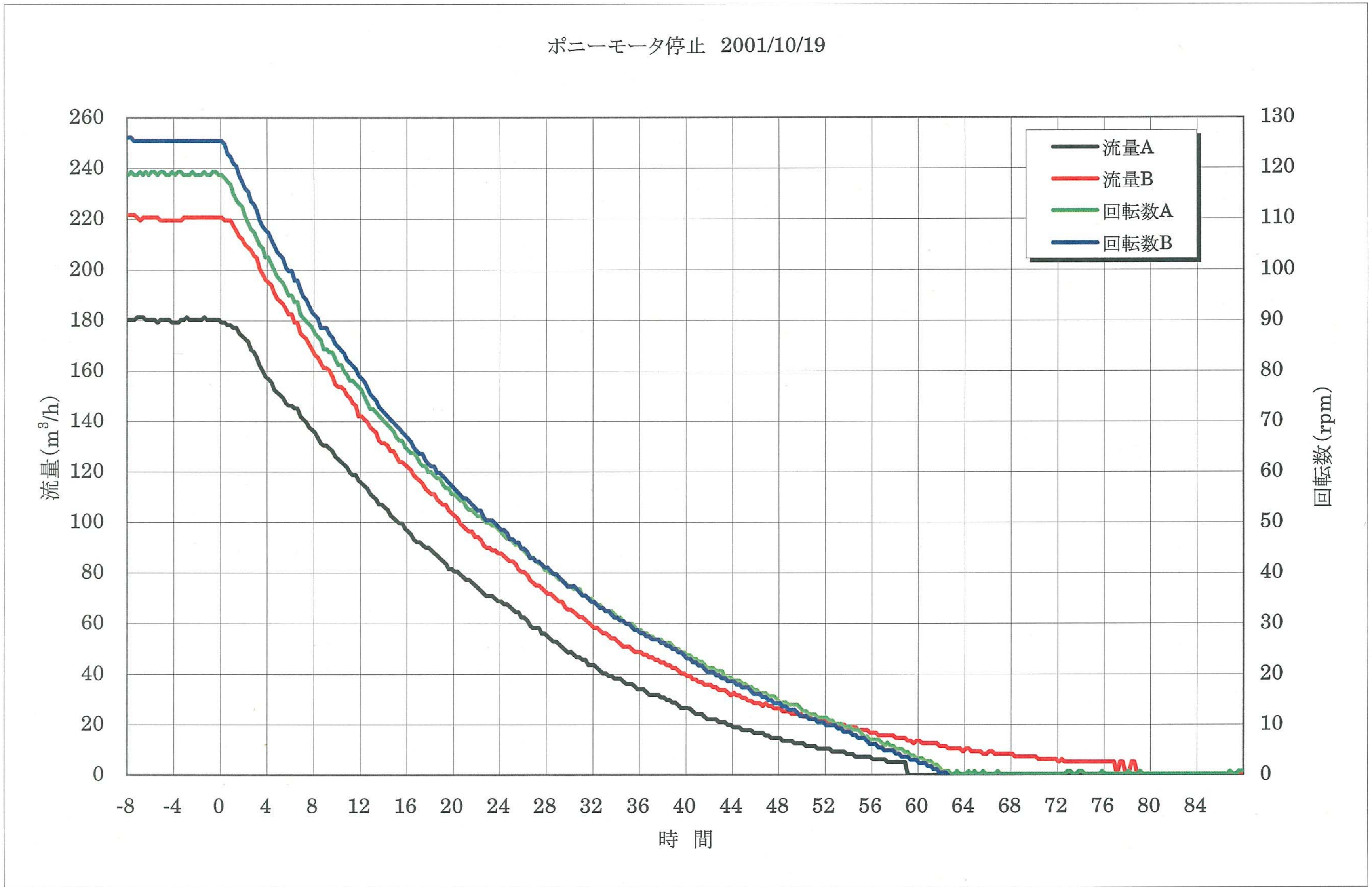


図5.5.1−3 1次主循環ポンプ運転特性試験（ポニーモータ停止）

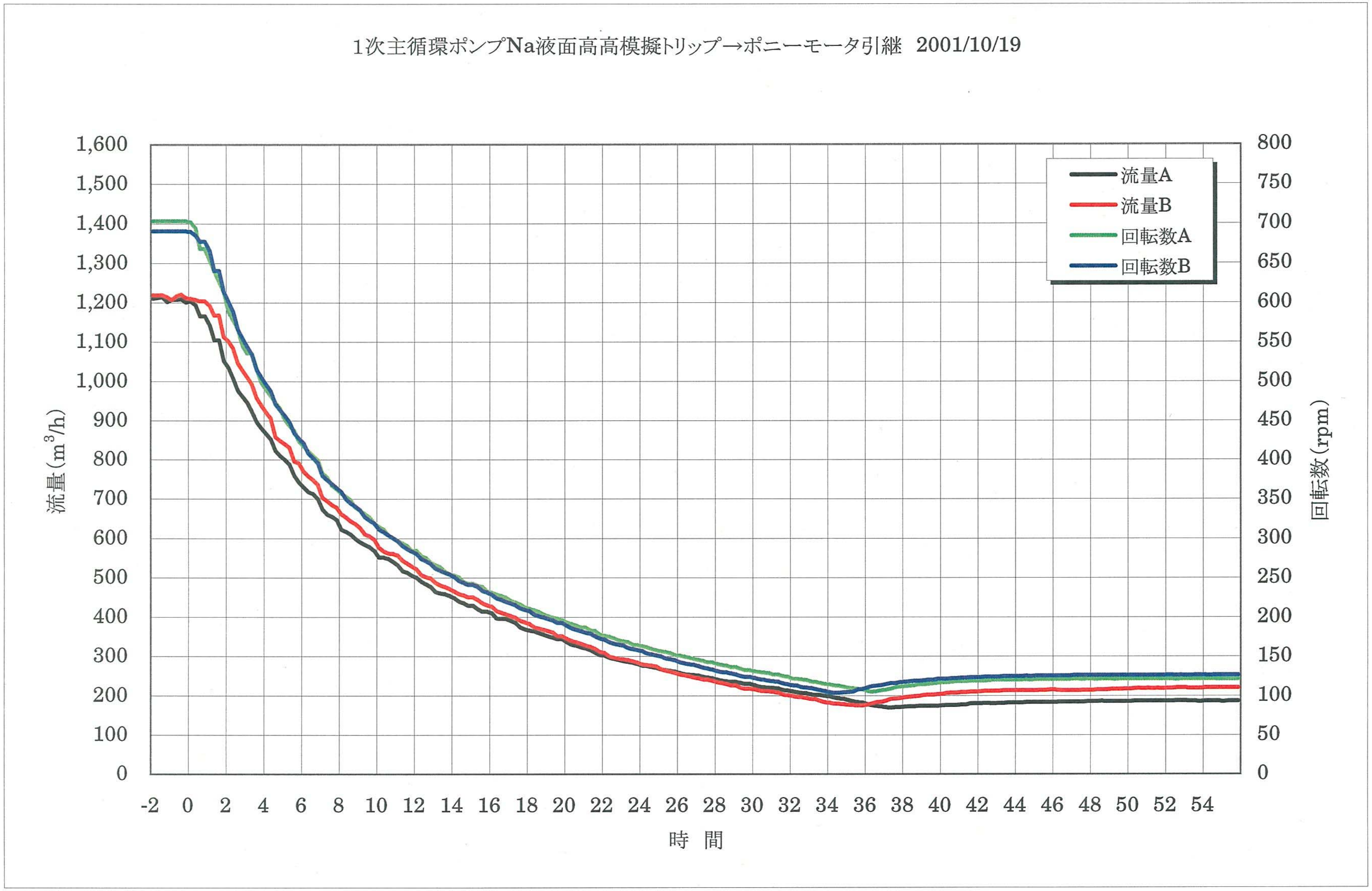


図5.5.1−4　１次主循環ポンプ運転特性試験（１次主循環ポンプNa液面高高模擬信号トリップ→ポニーモータ引継）

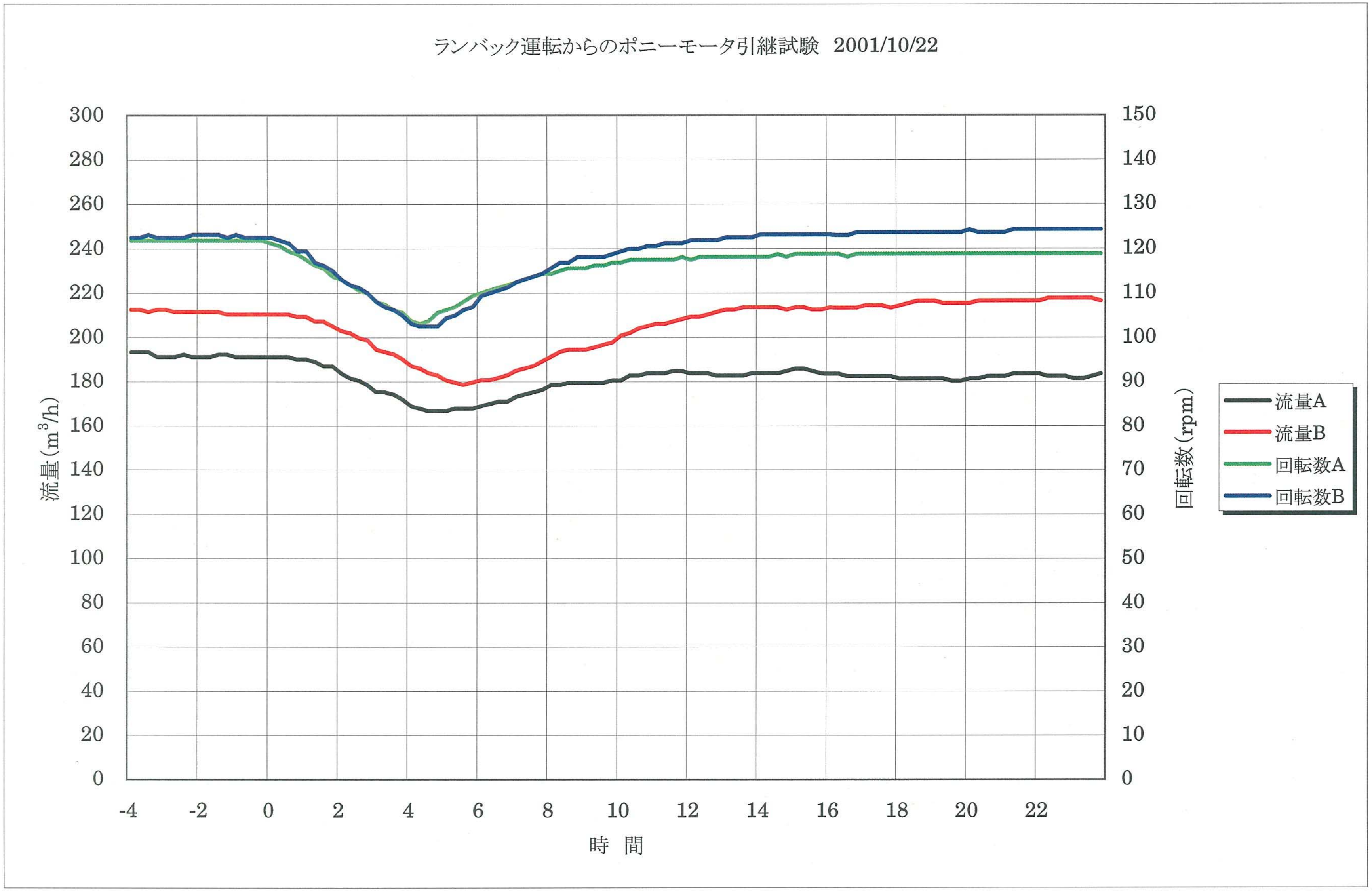


図5.5.1−5 1次主循環ポンプ運転特性試験（ランバック運転からのポニーモータ引継試験）

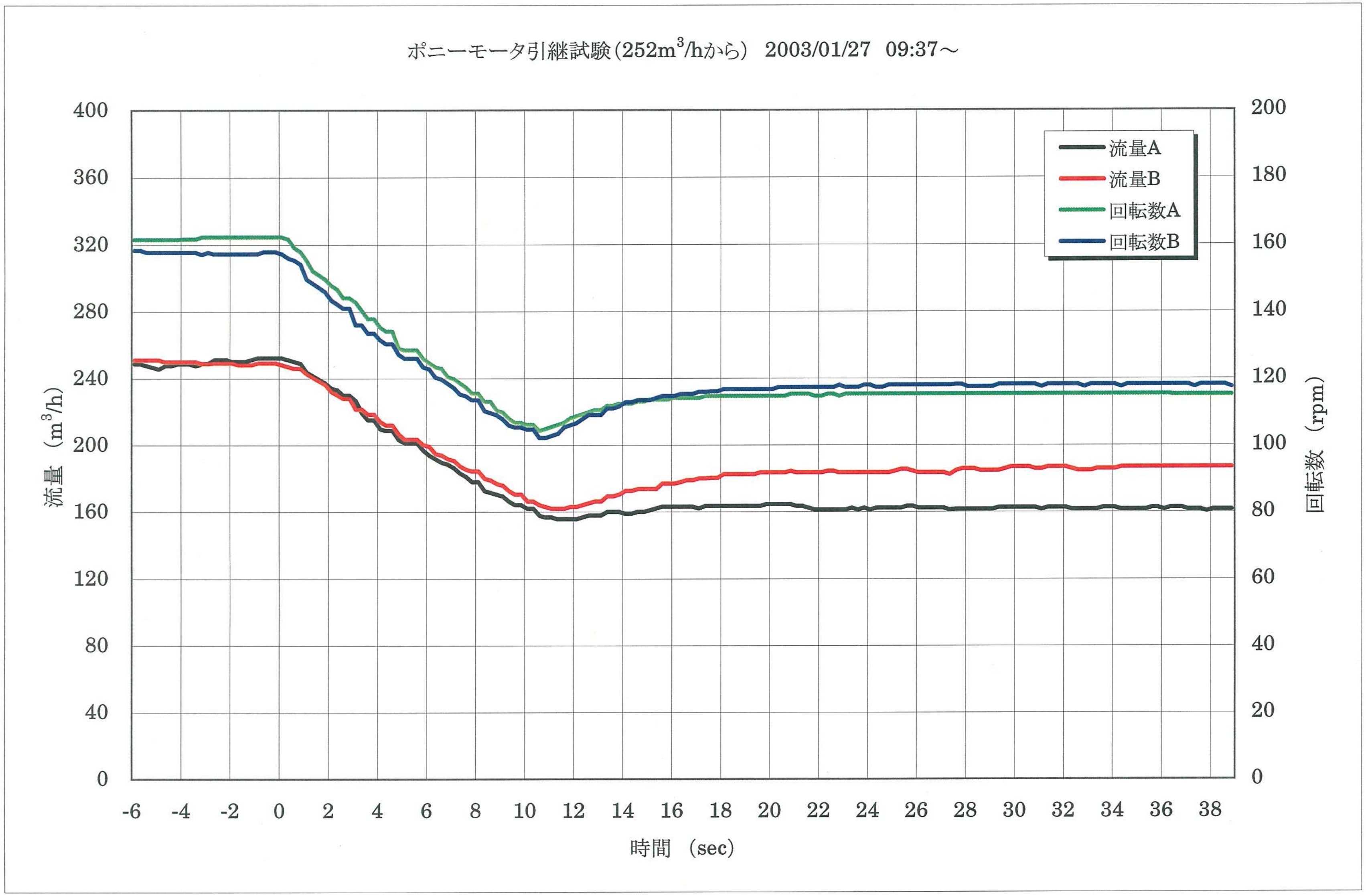


図5.5.1−6 1次主循環ポンプ運転特性試験（MK−Ⅲ炉心における燃料交換モード流量からのポニーモータ引継試験）

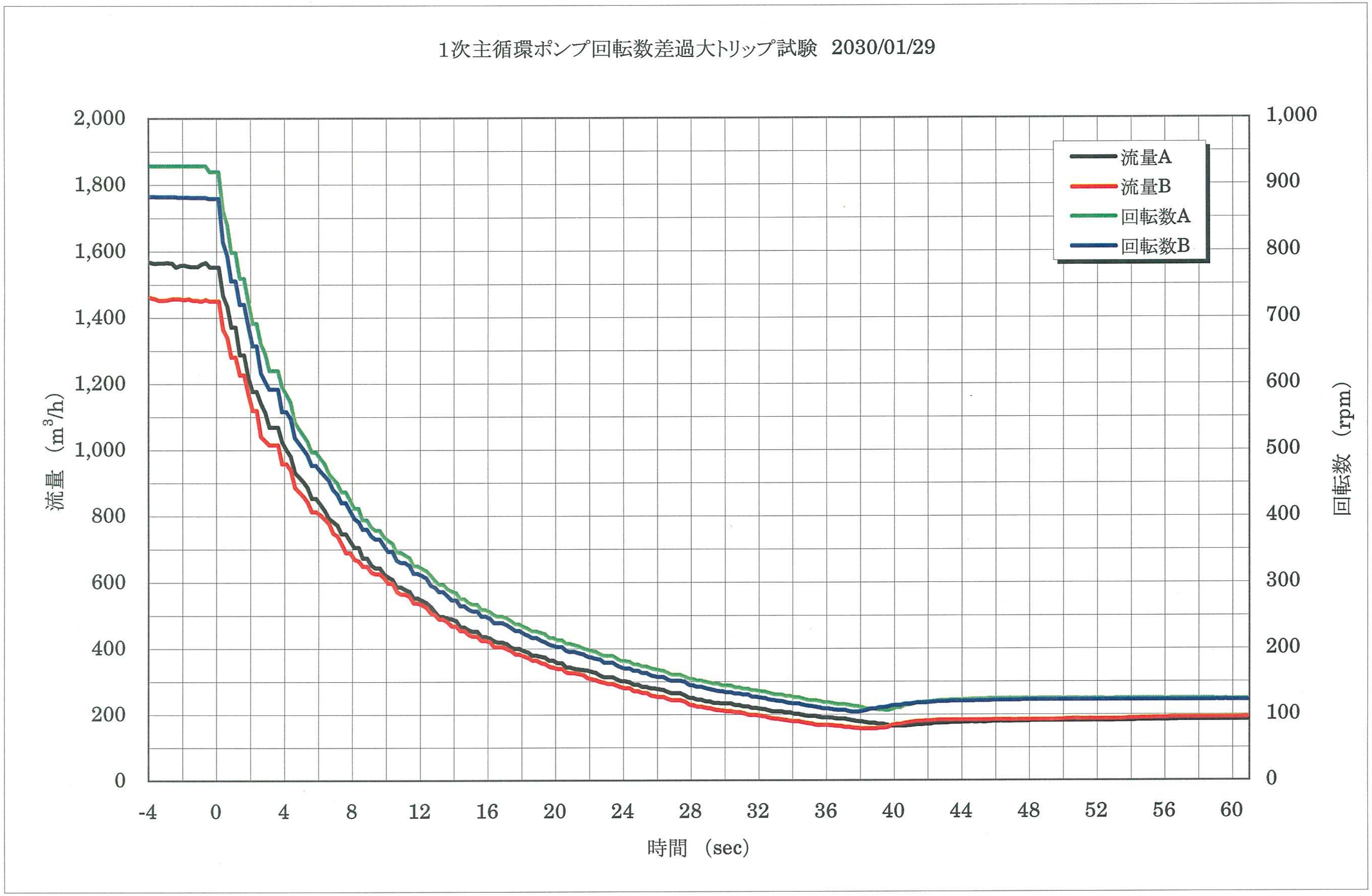
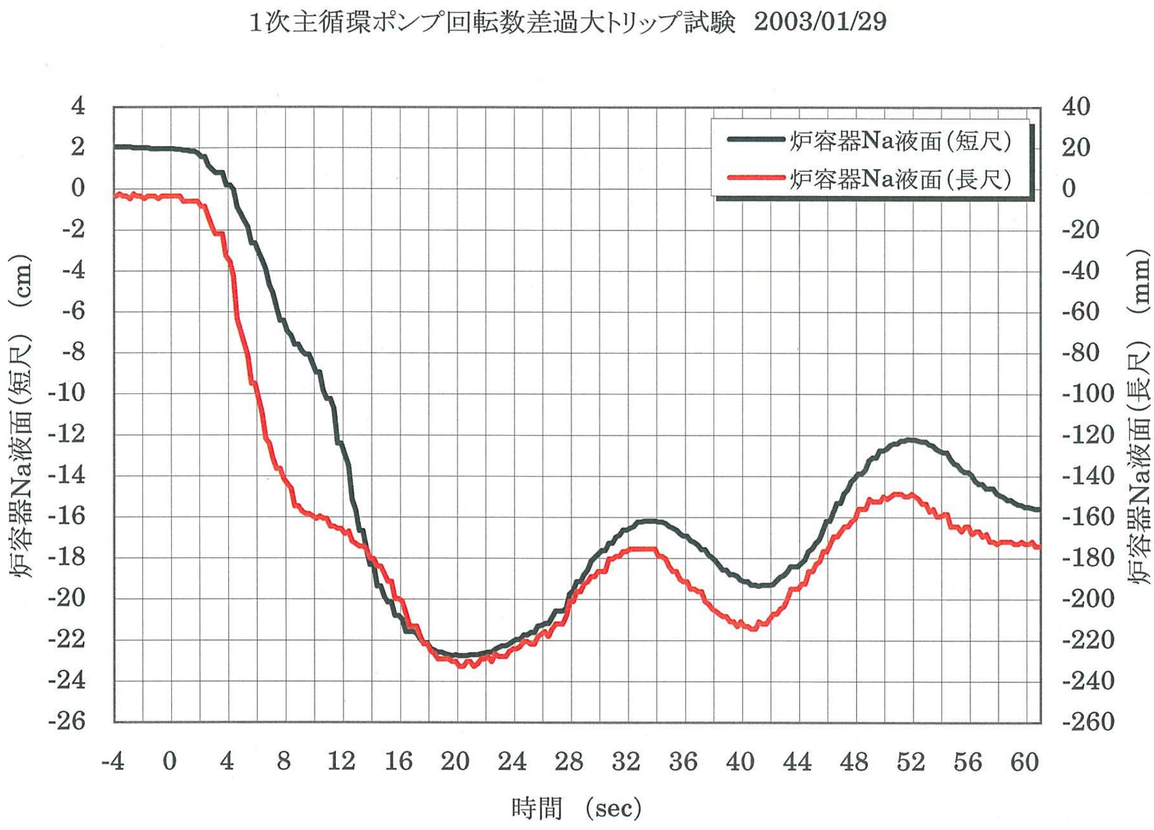


図5.5.2−1 (1/2) 定格流量からのポニーモータ引継試験（回転数差過大トリップ試験）



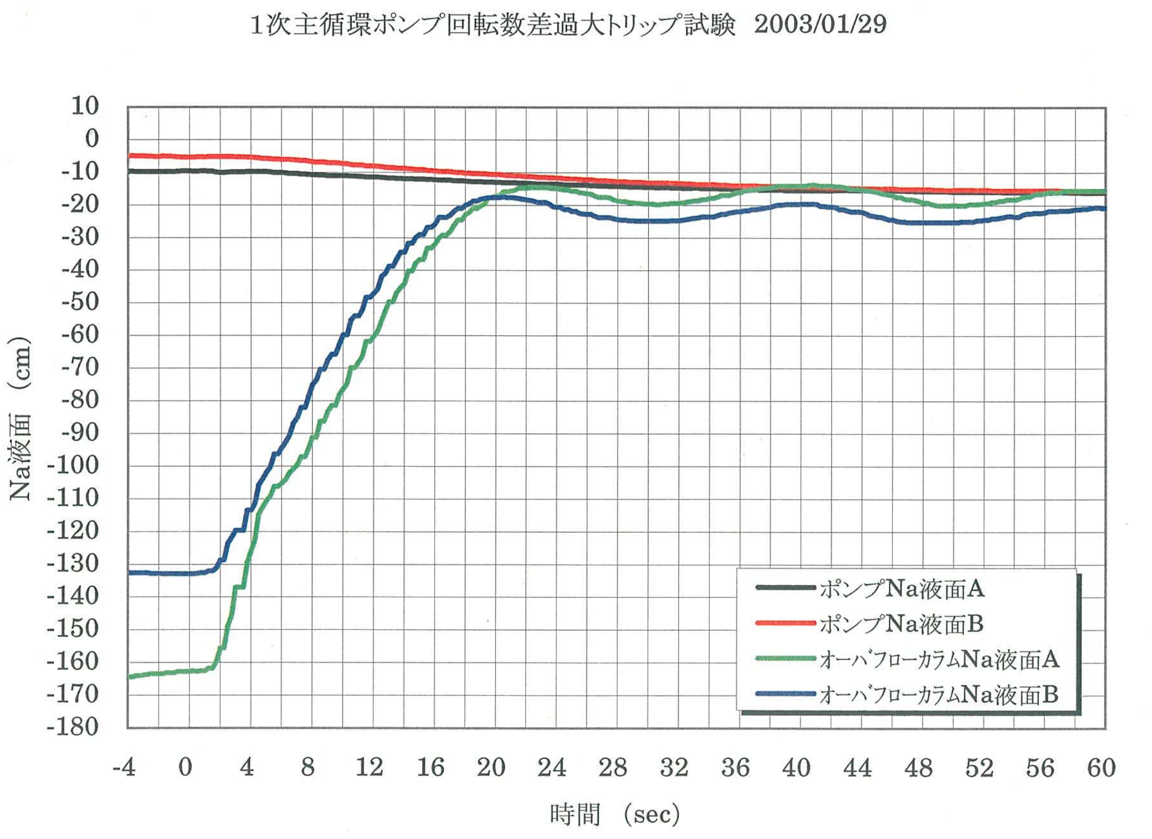


図5.5.2−1 (2/2)　定格流量からのポニーモータ引継試験（回転数差過大トリップ試験）

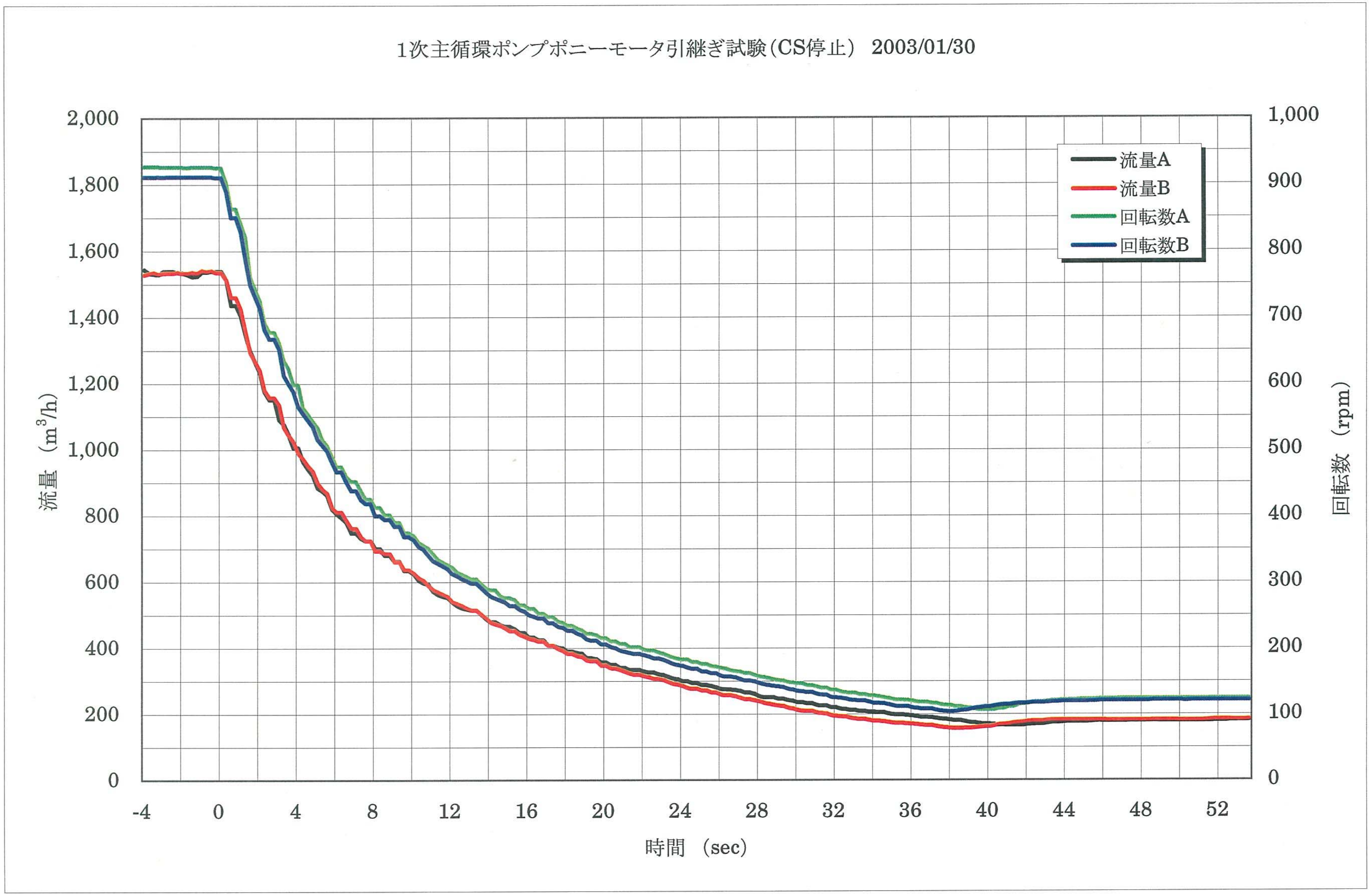
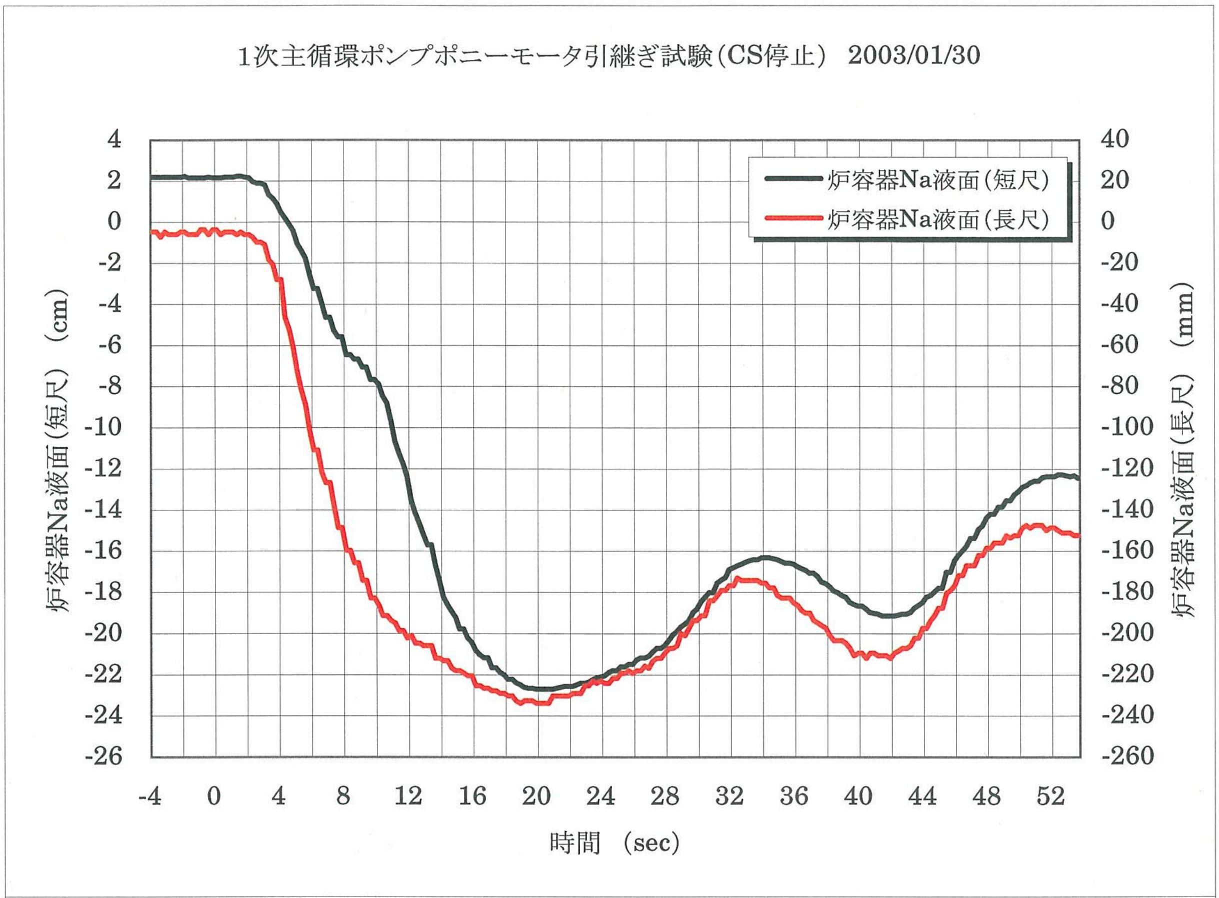


図5.5.2−2 (1/2) 定格流量からのポニーモータ引継試験（CS停止）



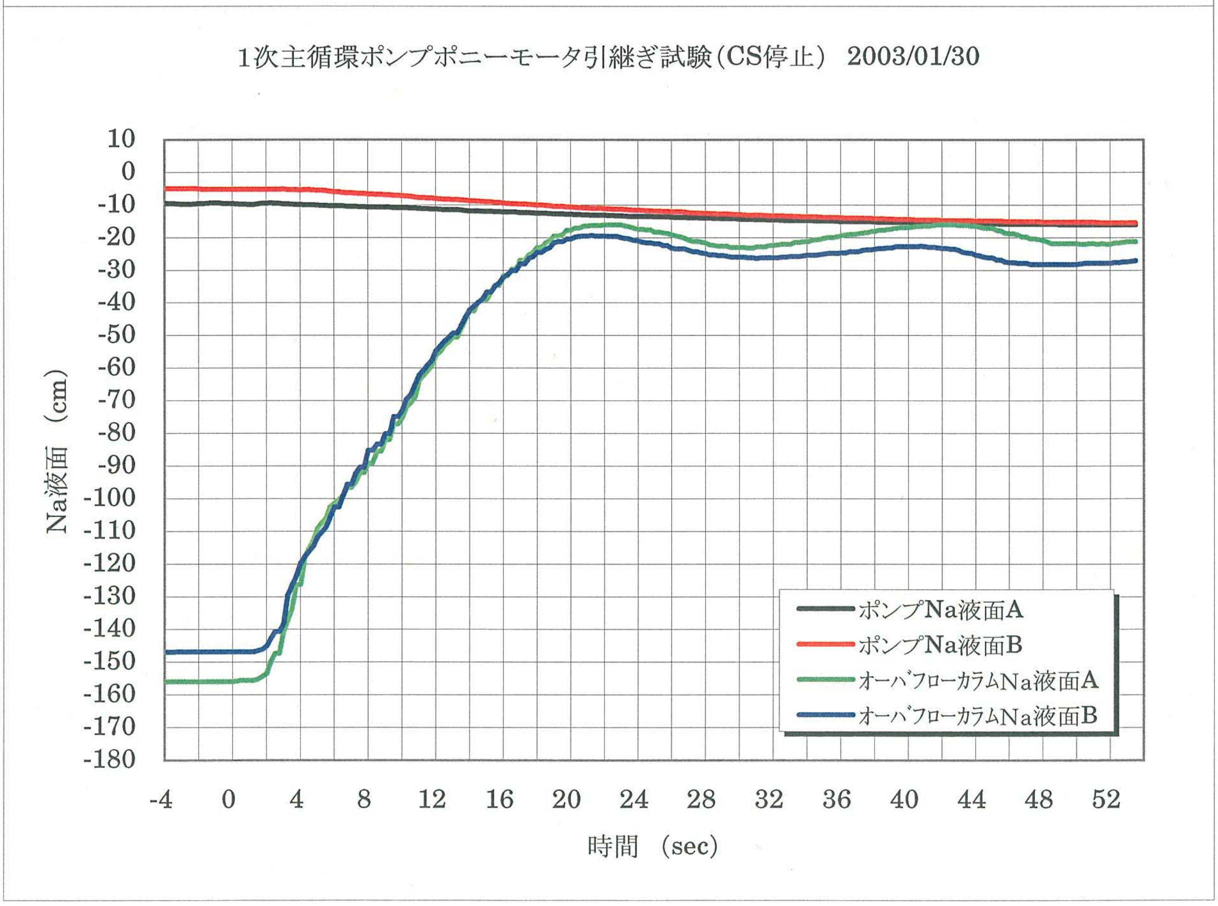
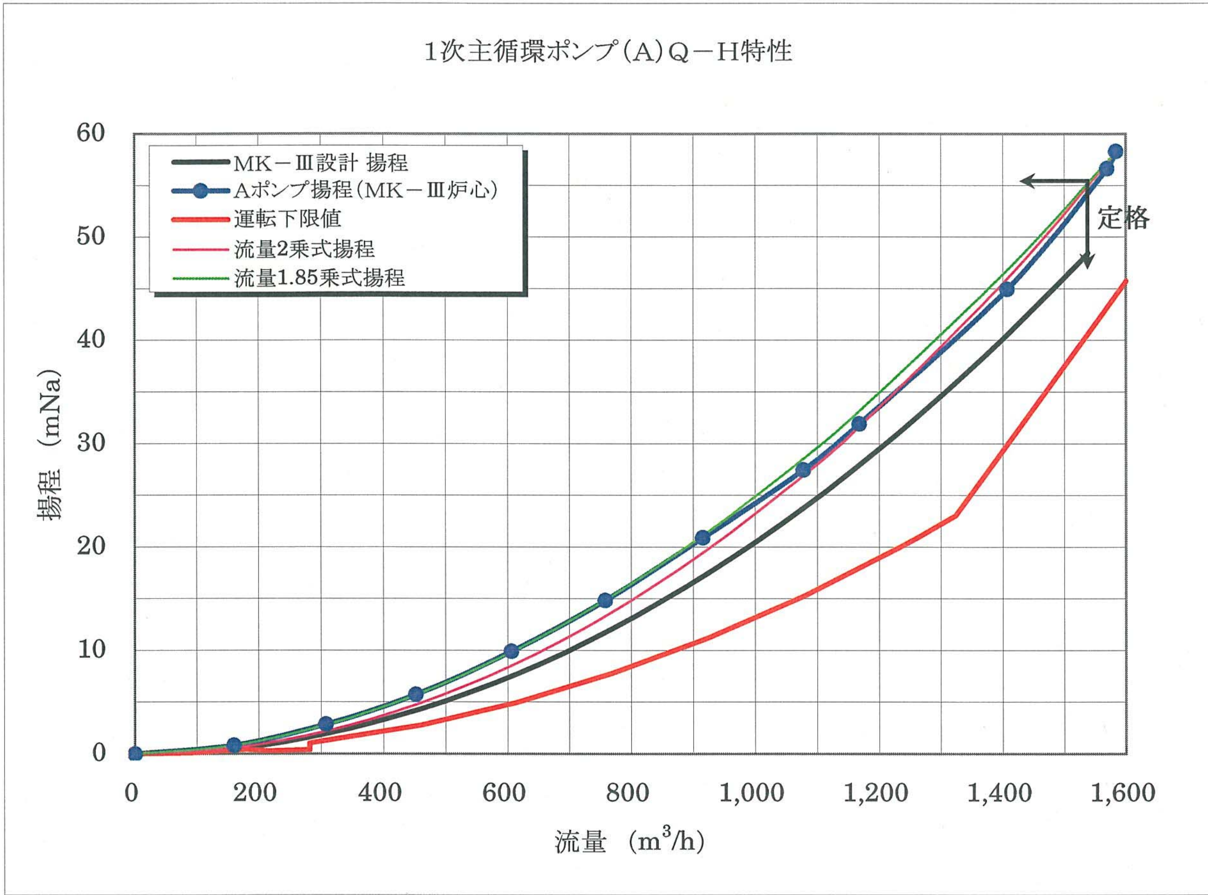


図5.5.2−2 (2/2)　定格流量からのポニーモータ引継試験（CS停止）



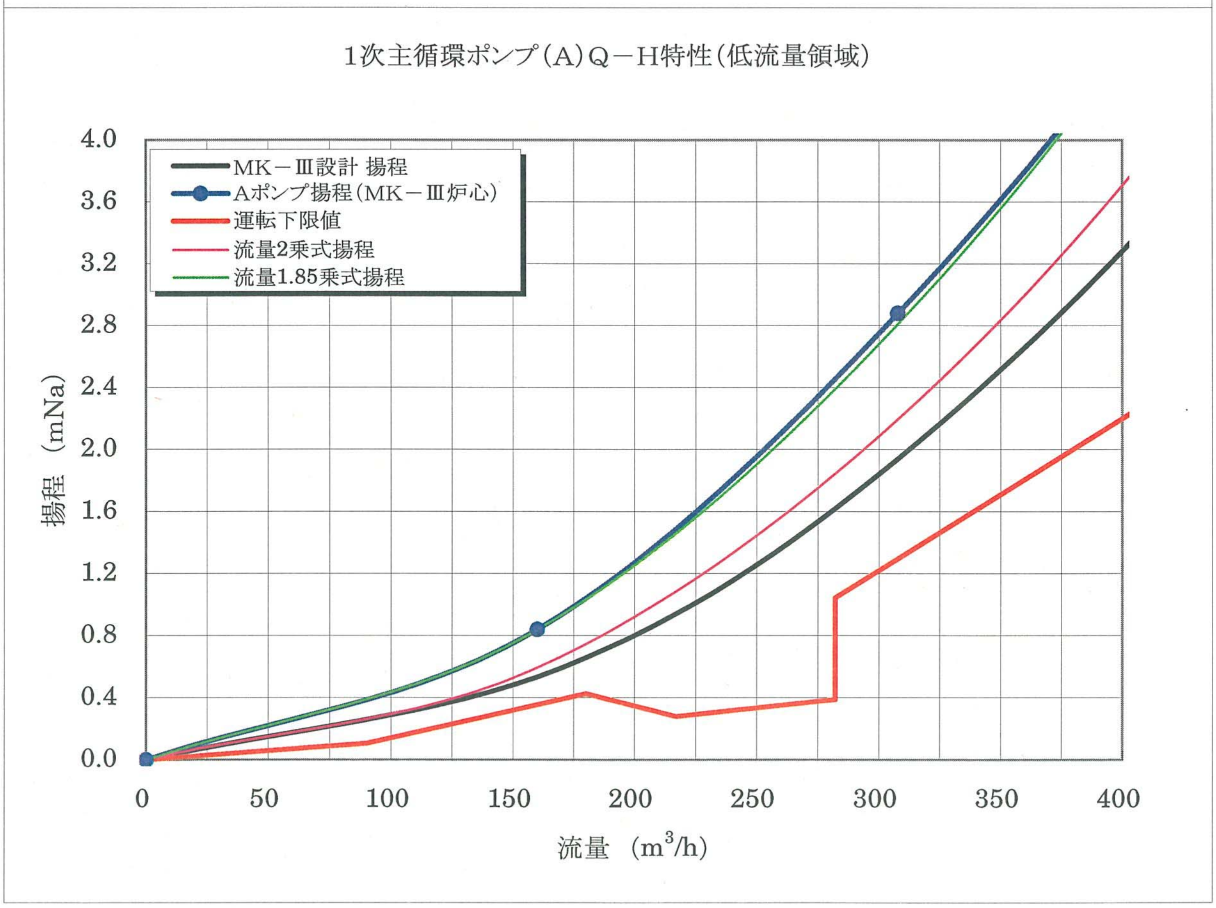
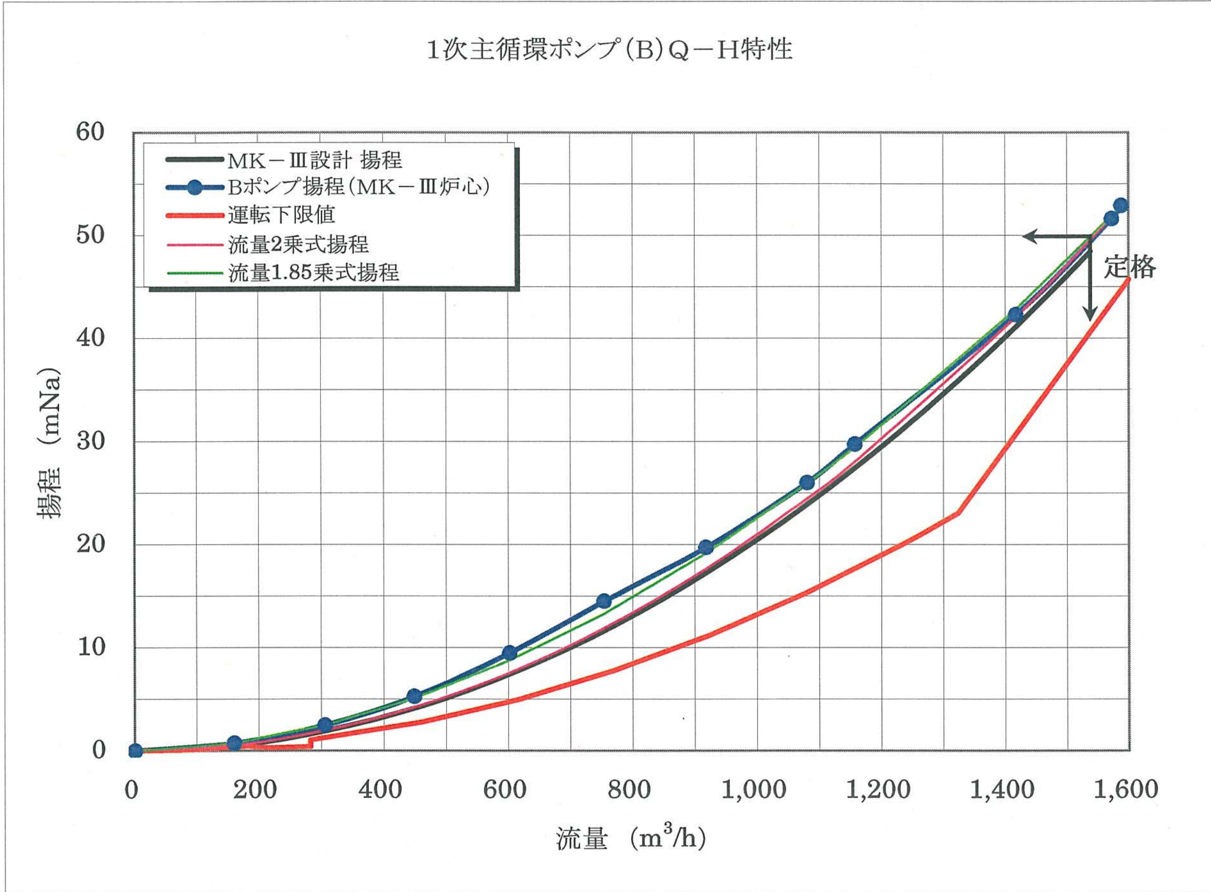


図6.5－1 (1/2)　1次主循環ポンプのQ-H特性



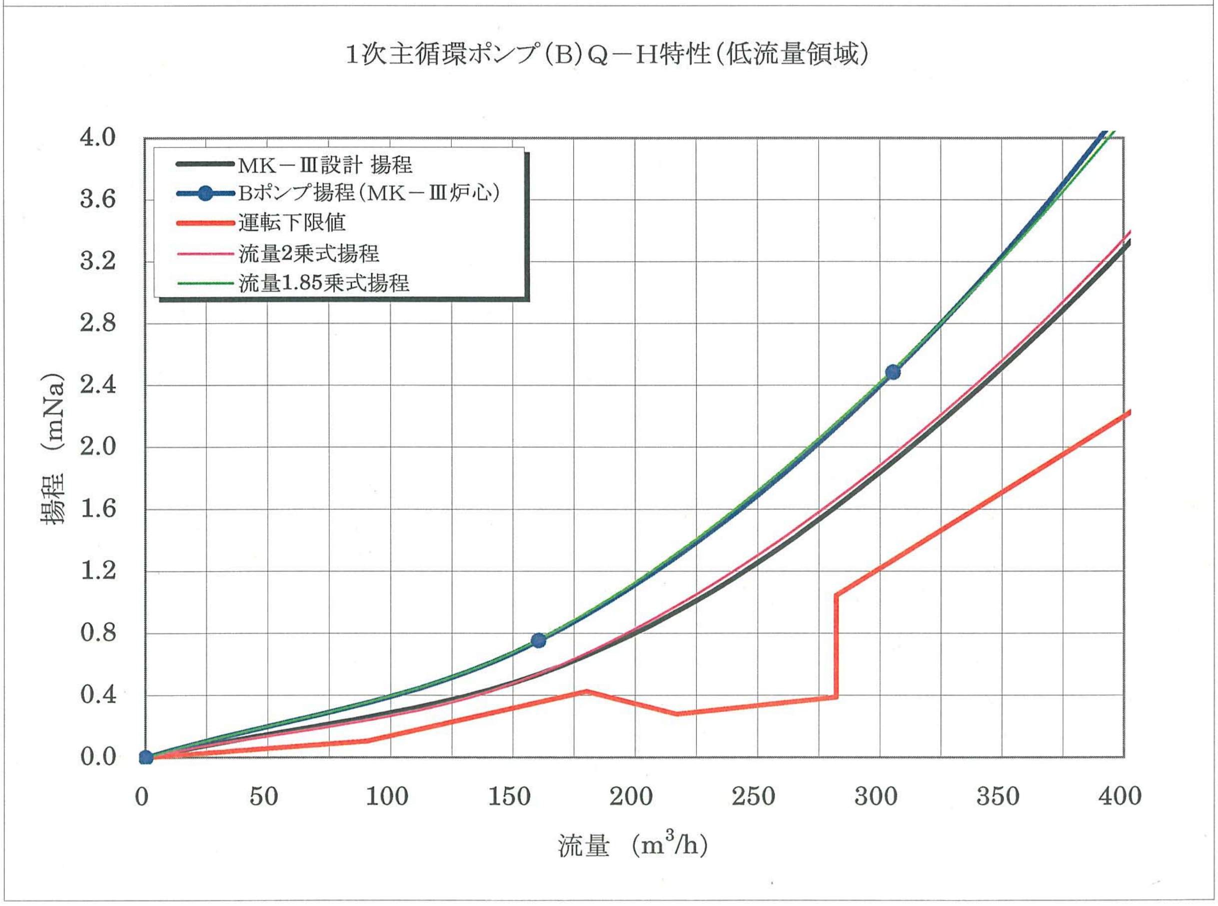
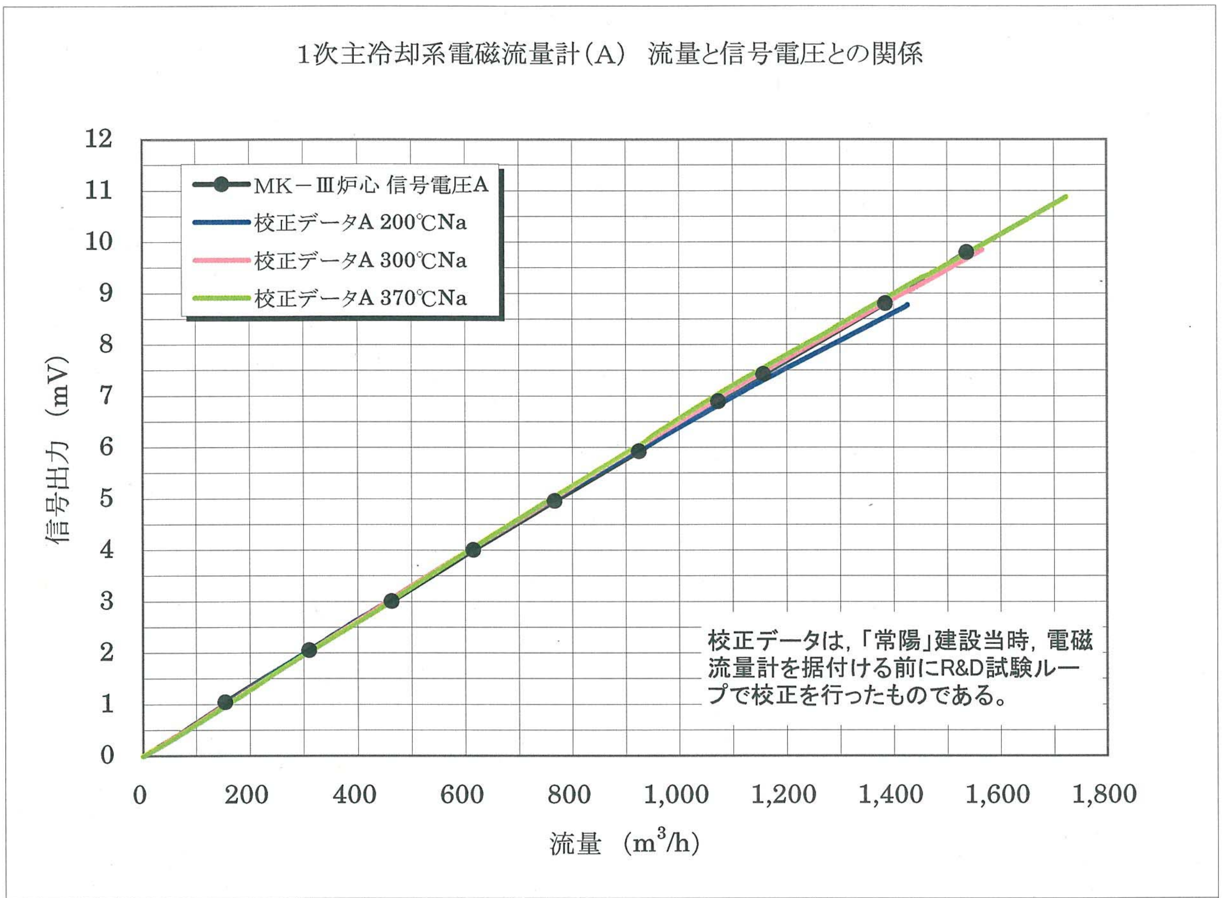


図6.5−1 (2/2) 1次主循環ポンプのQ-H特性



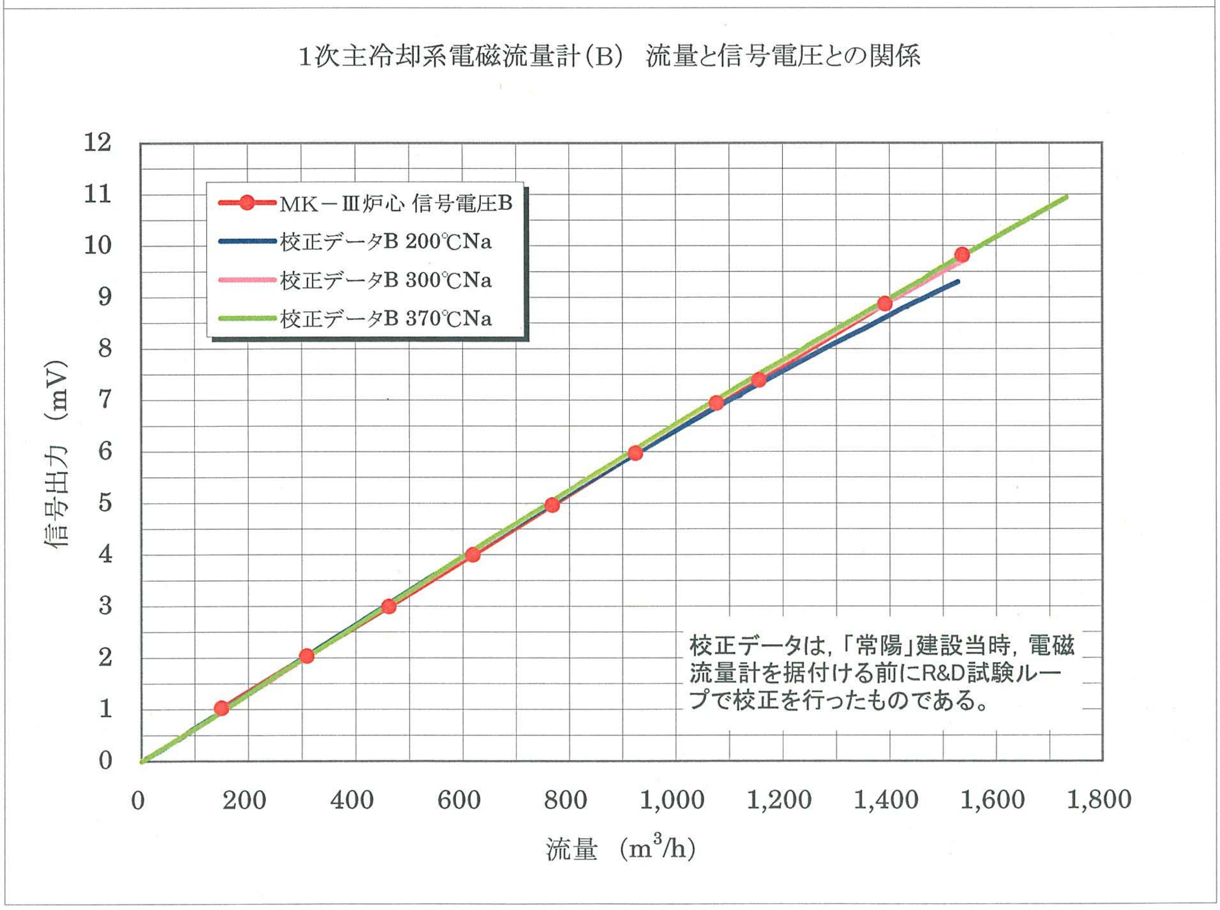
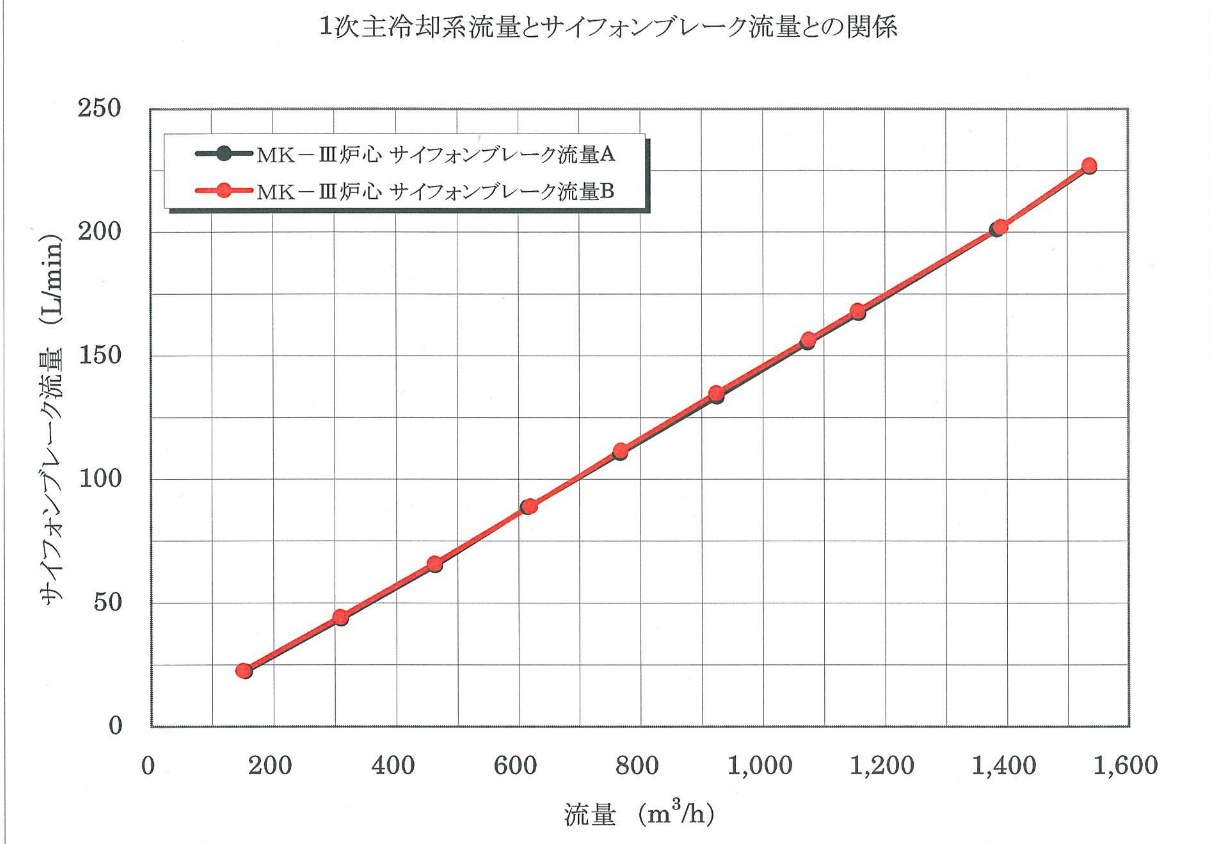


図6.5－2　電磁流量計出力データ



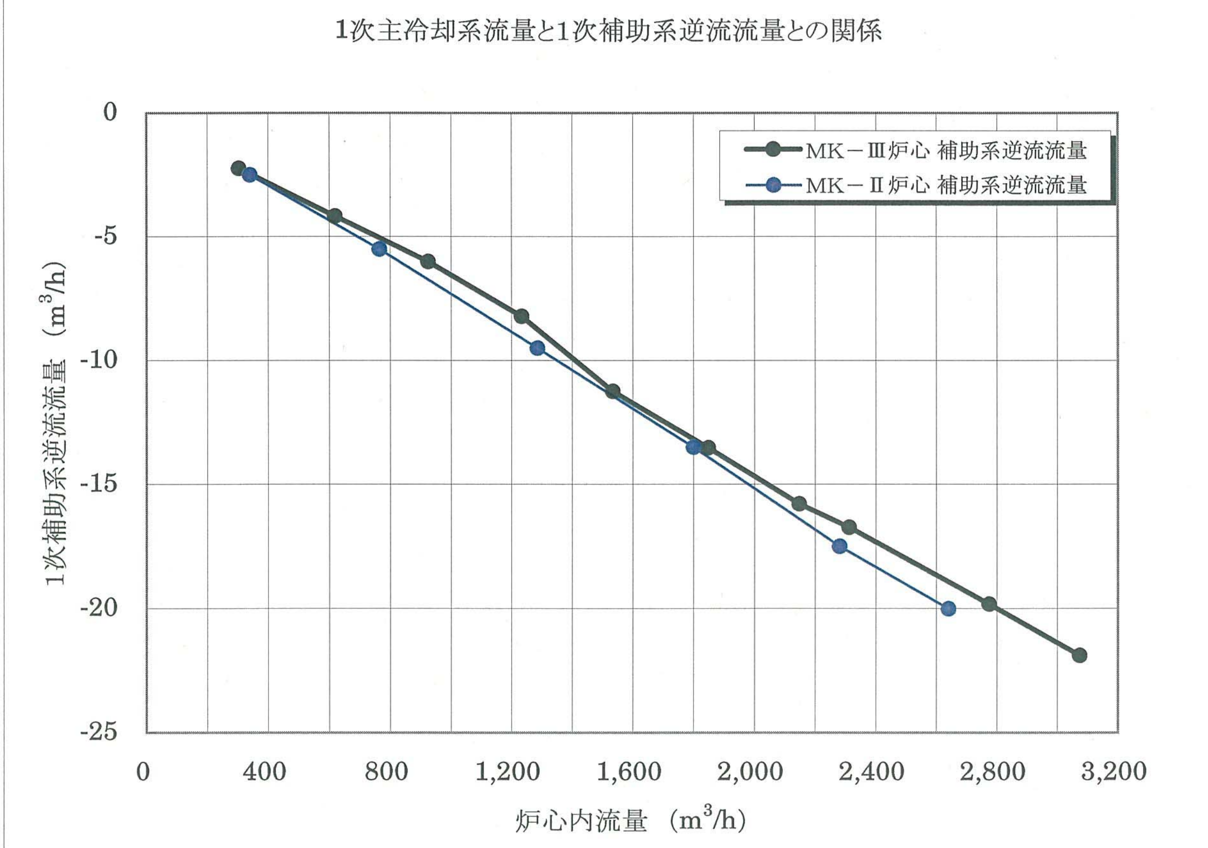
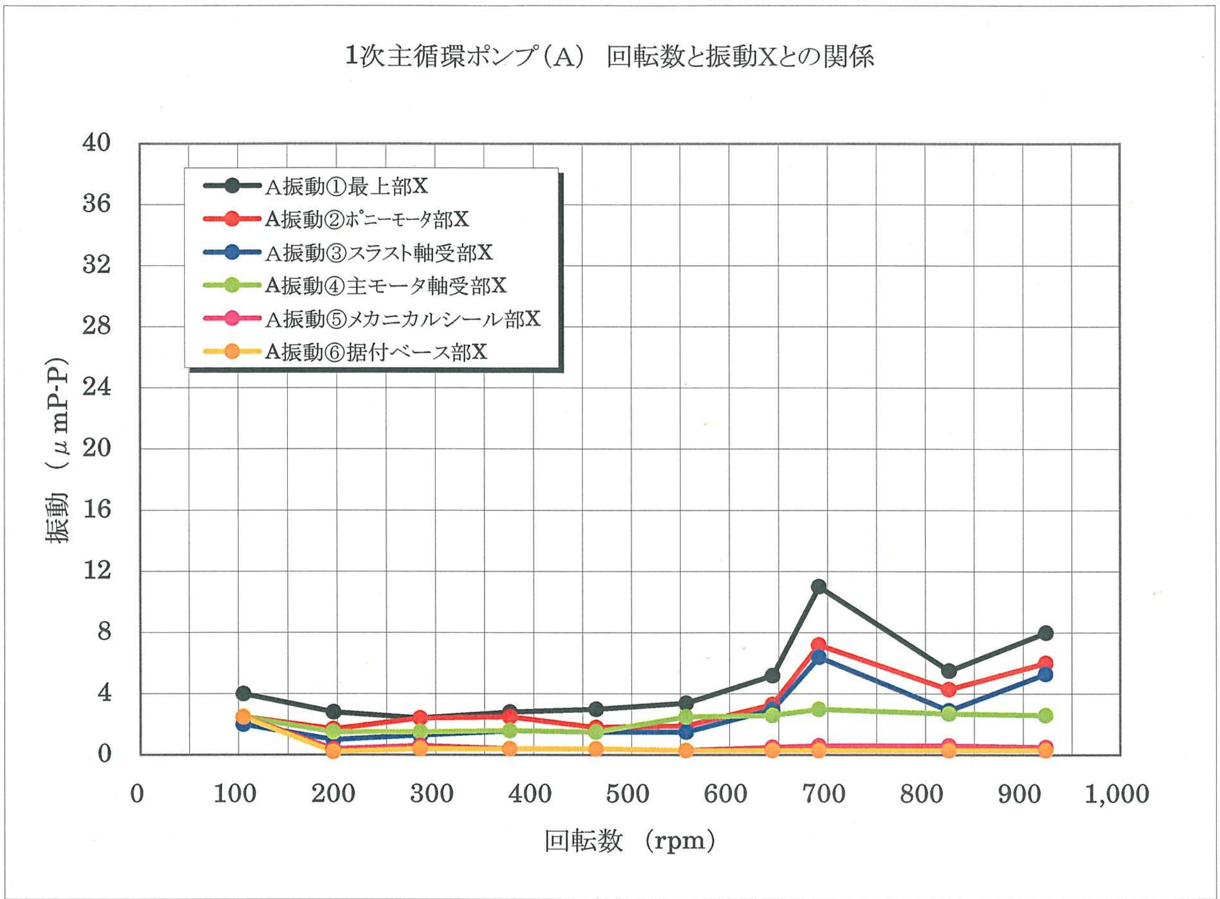


図6.5−3 サイフォンブレーク流量、補助系逆流流量データ



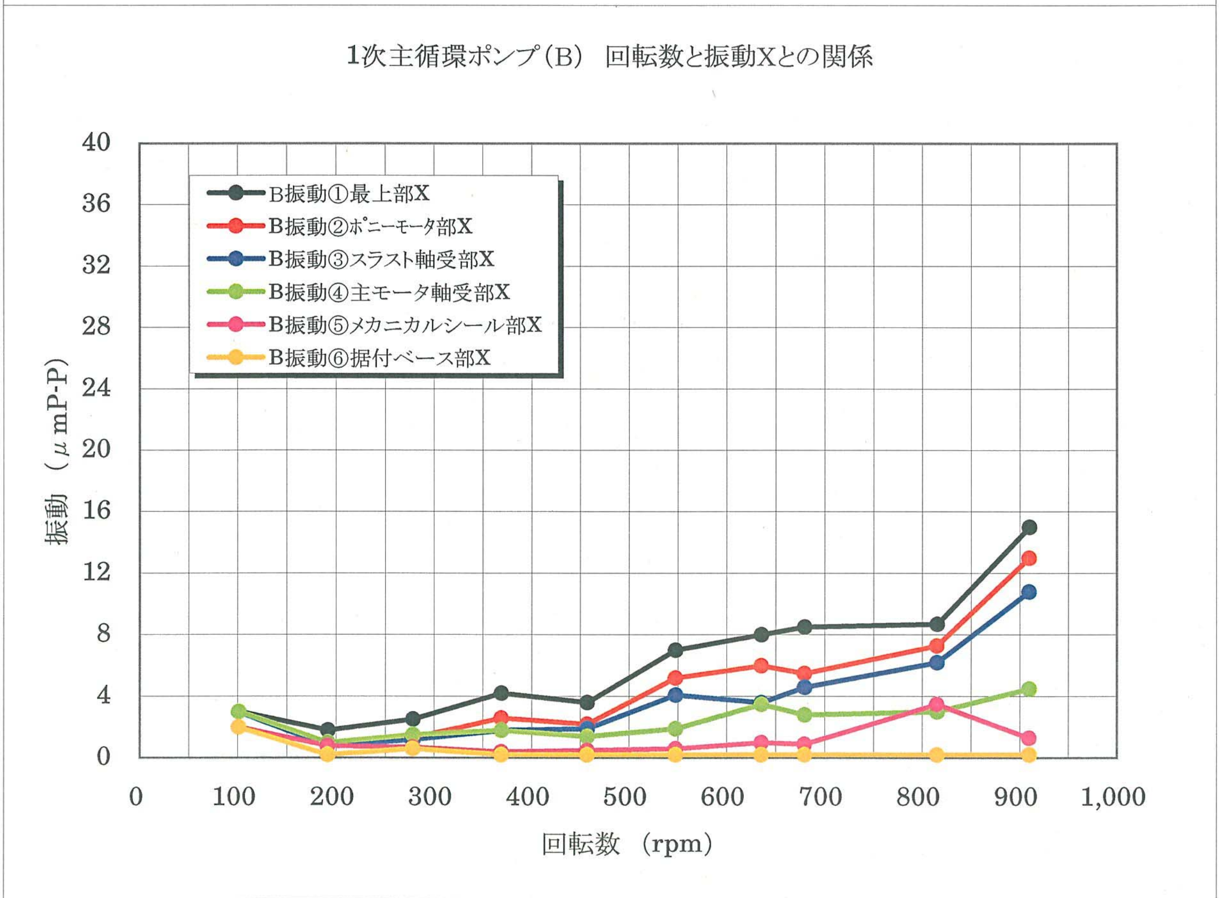
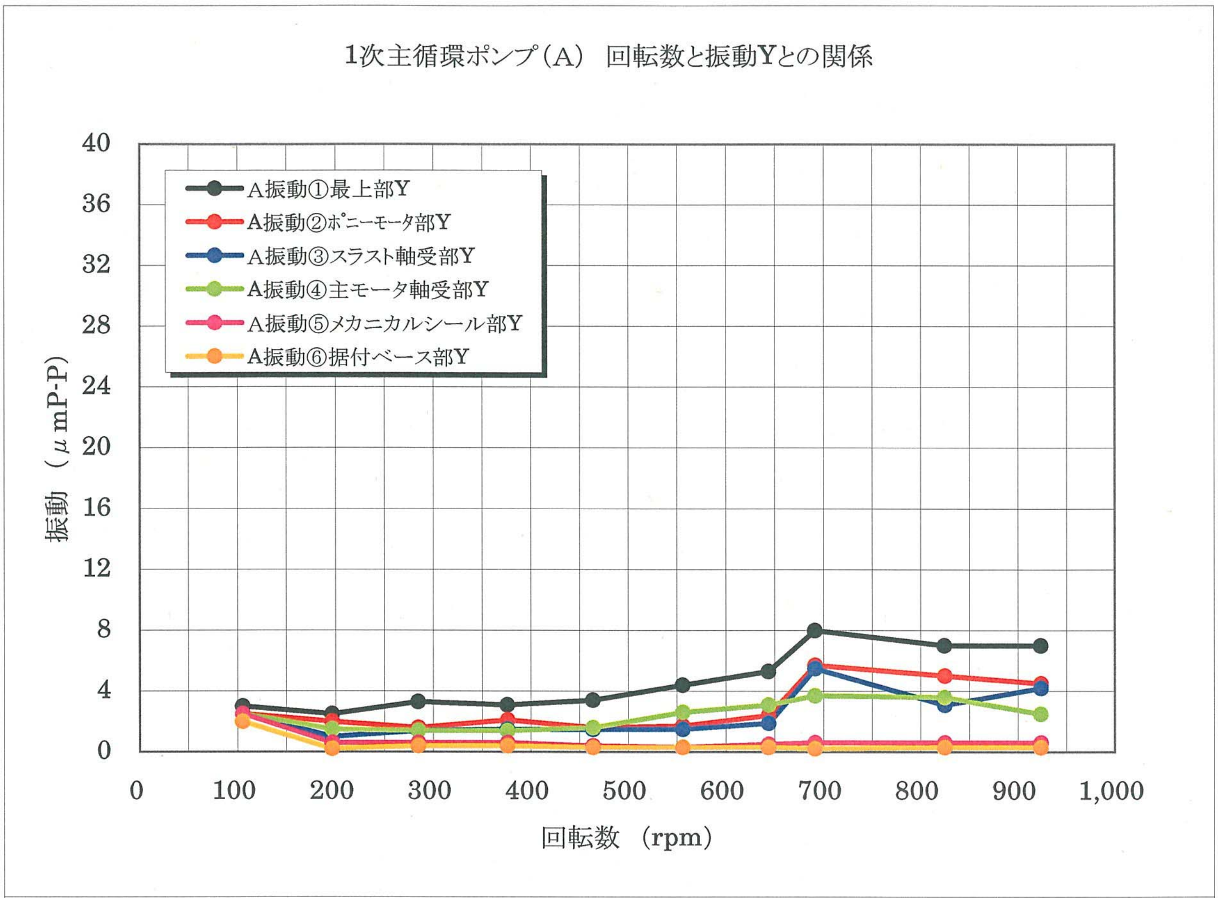


図6.5−4 (1/3)　1次主循環ポンプ振動データ



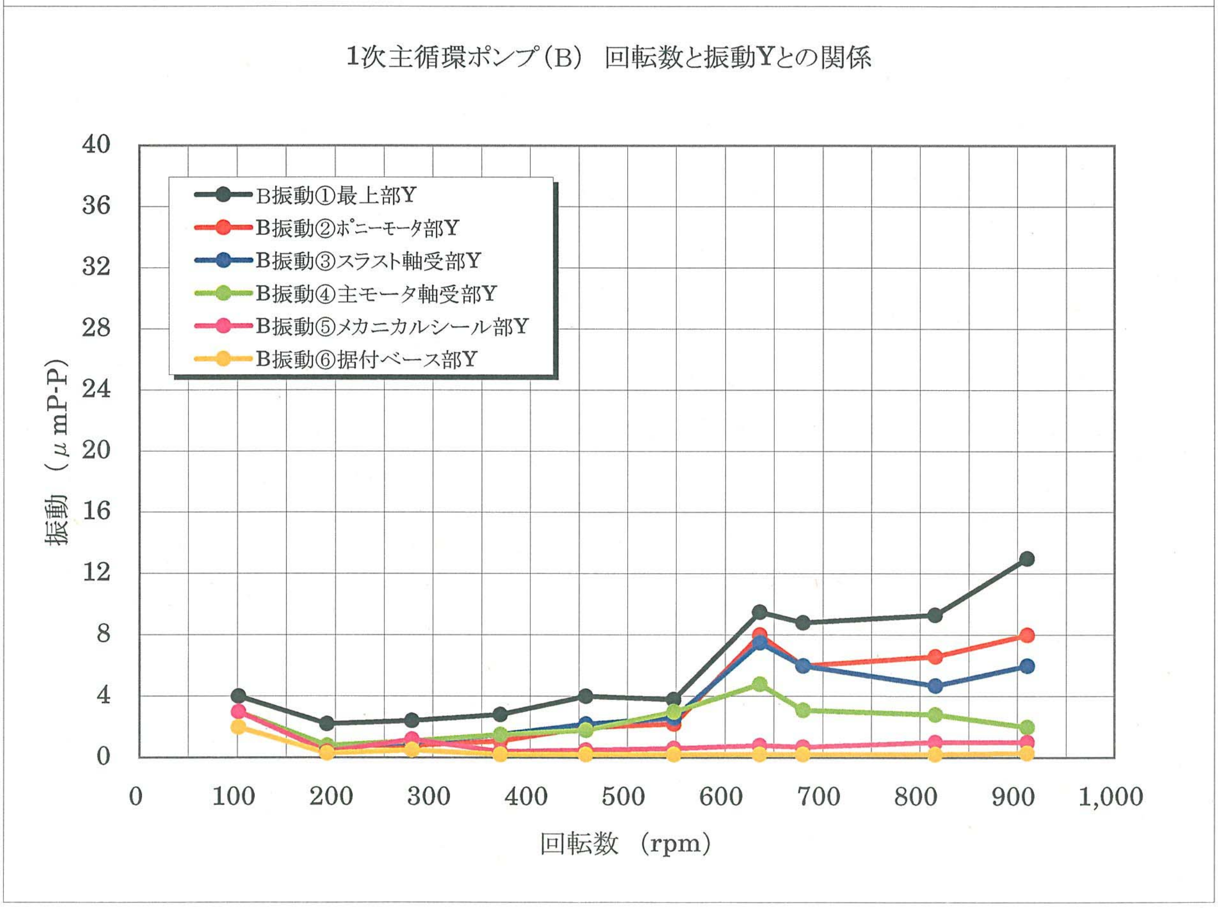
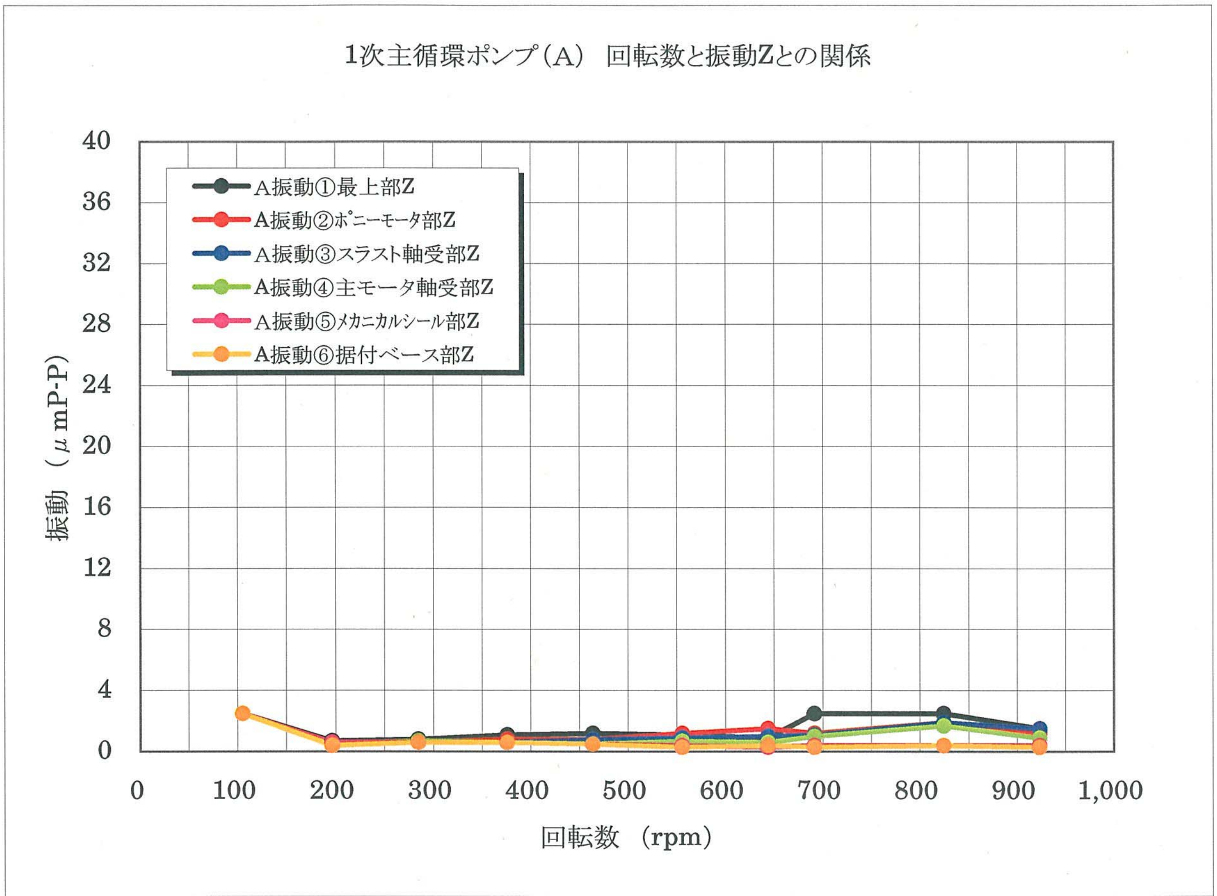


図6.5−4 (2/3)　1次主循環ポンプ振動データ



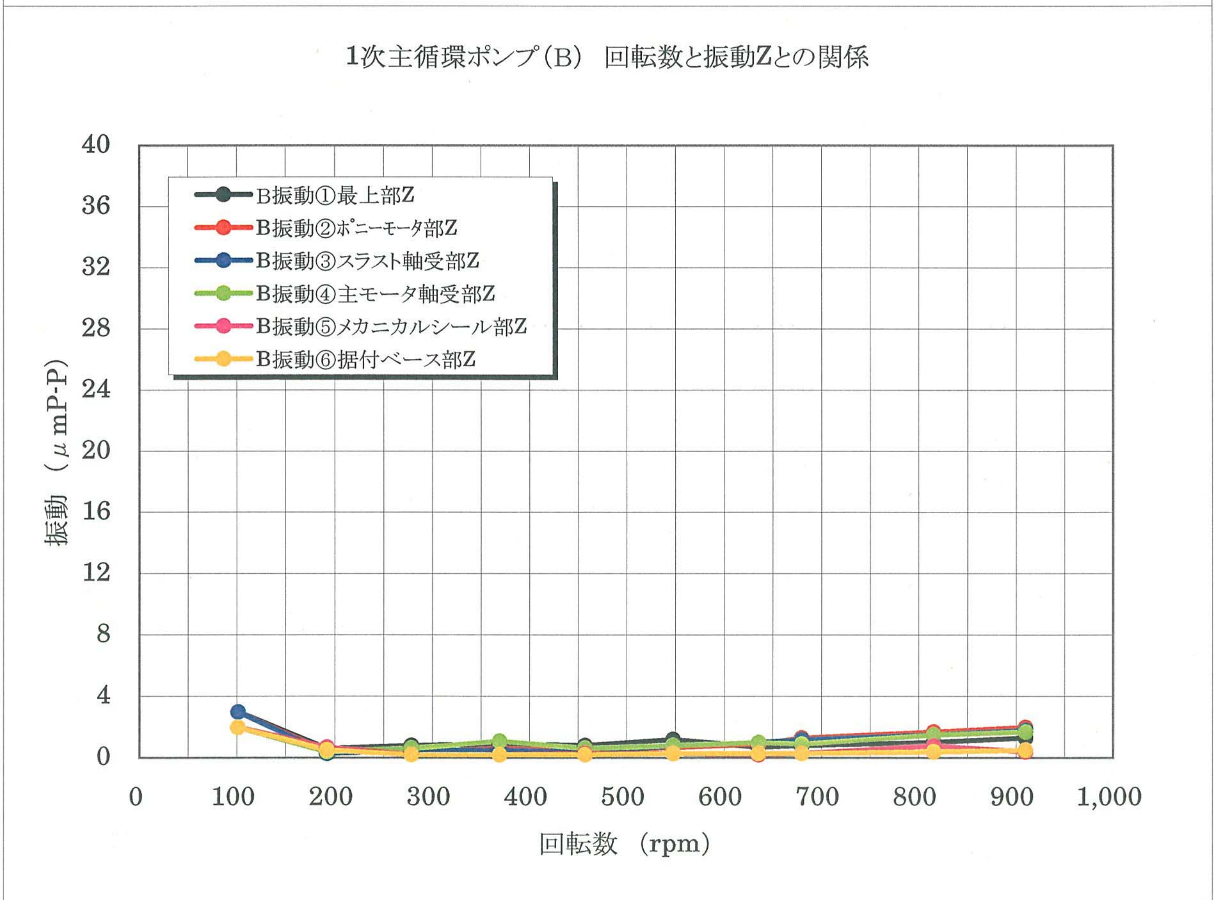


図6.5−4 (3/3)　1次主循環ポンプ振動データ

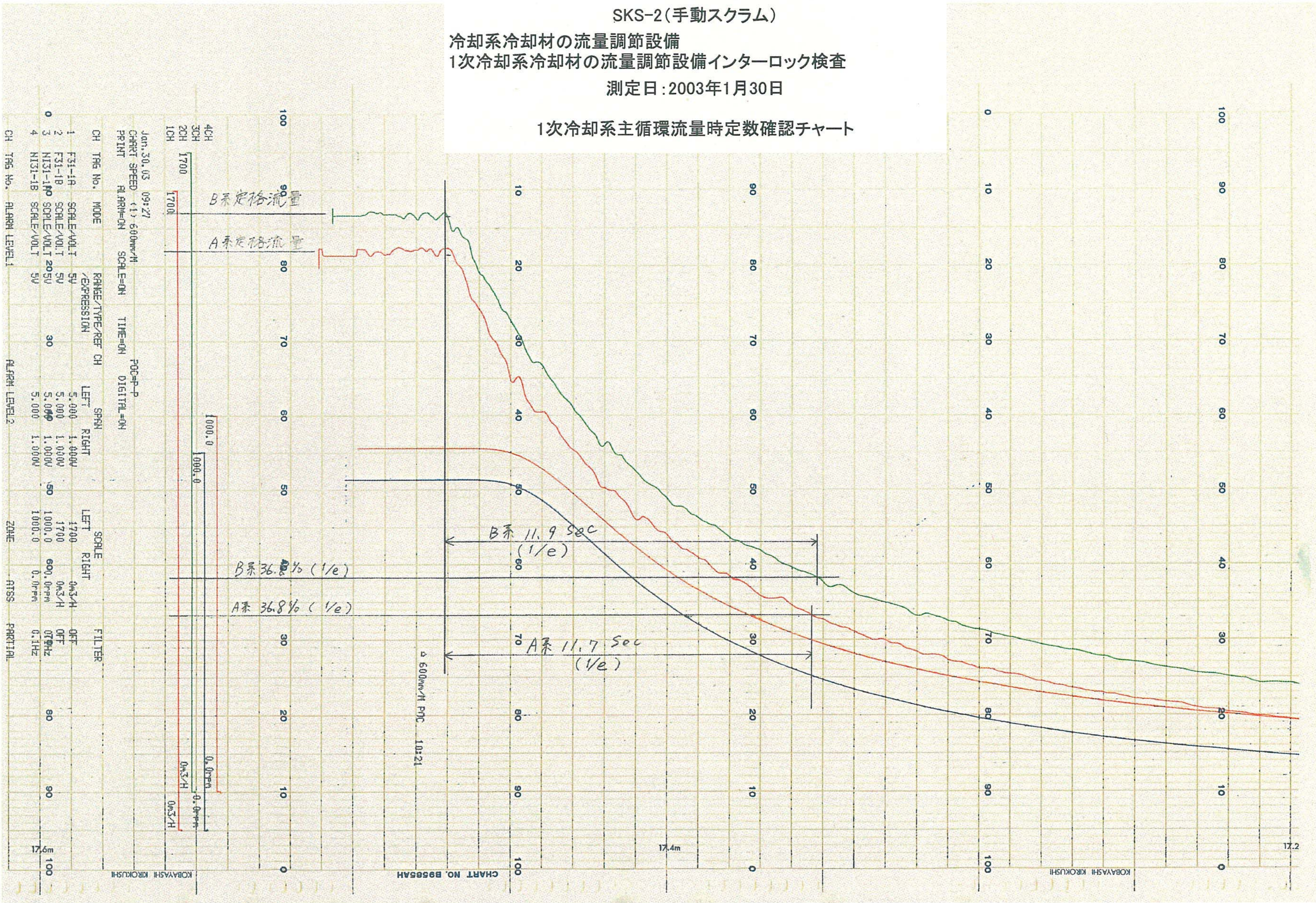


図7.5.1−1　1次主循環ポンプのフローコーストダウン特性（定格流量からランバック運転）

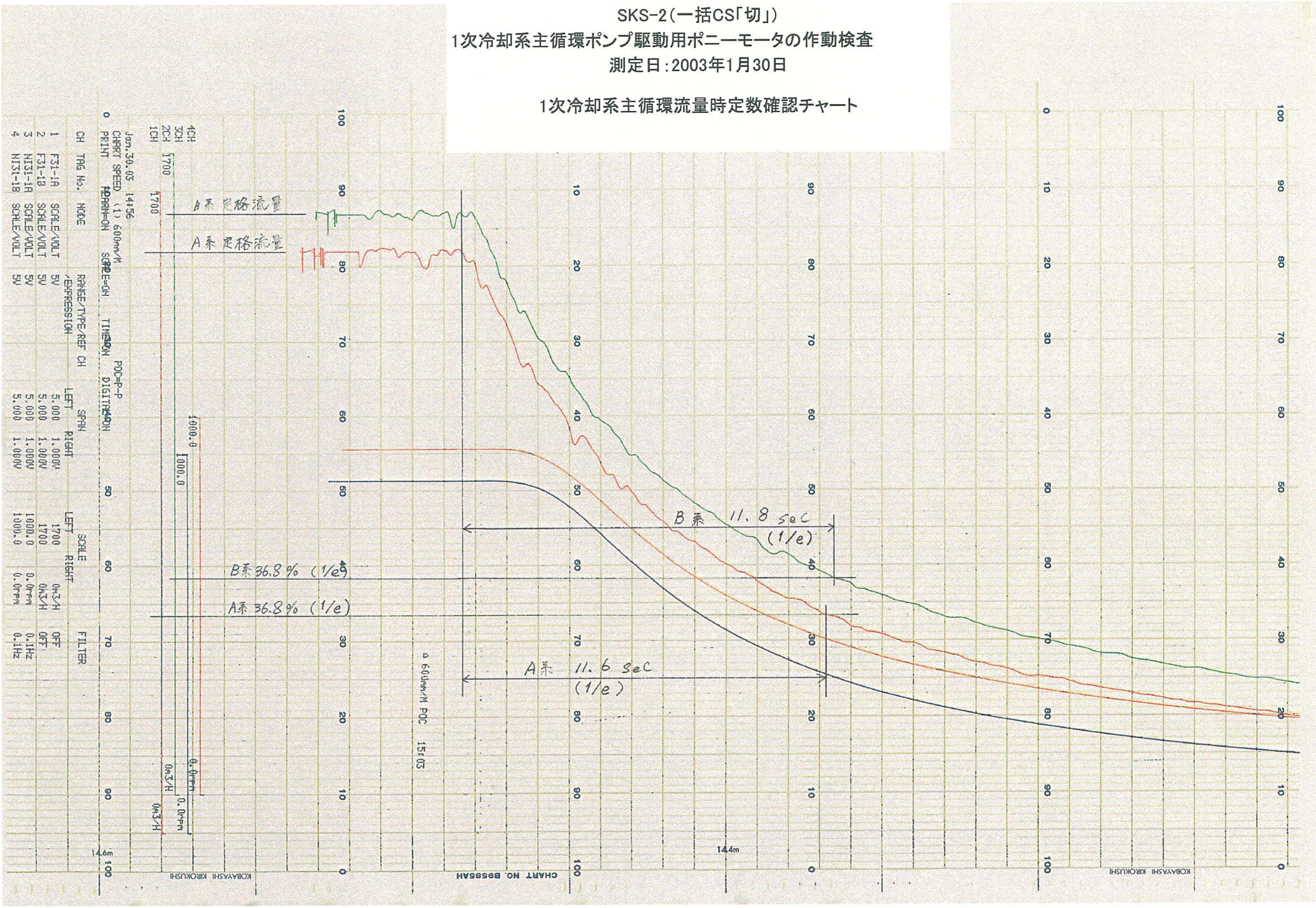


図7.5.2−1　1次主循環ポンプのフローコーストダウン特性（定格流量からのポニーモータ引継）

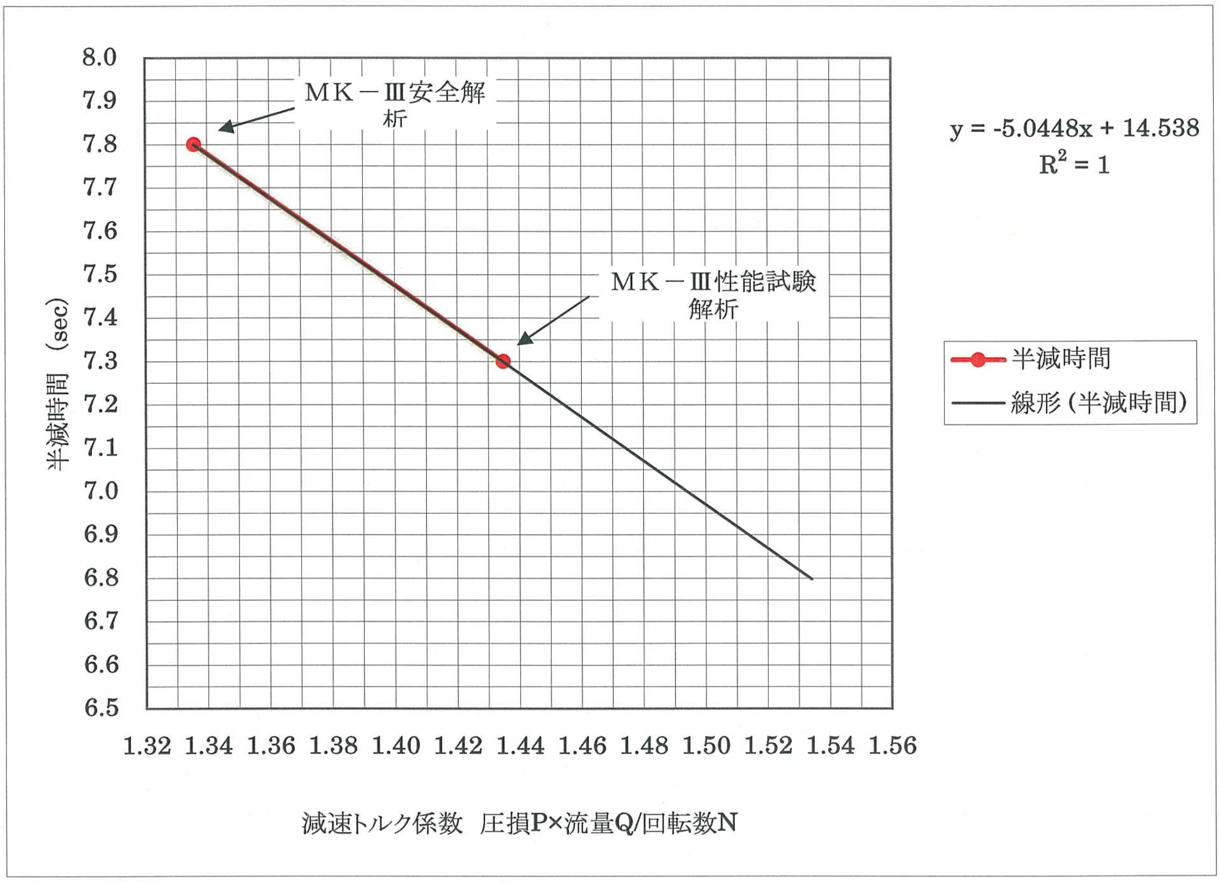
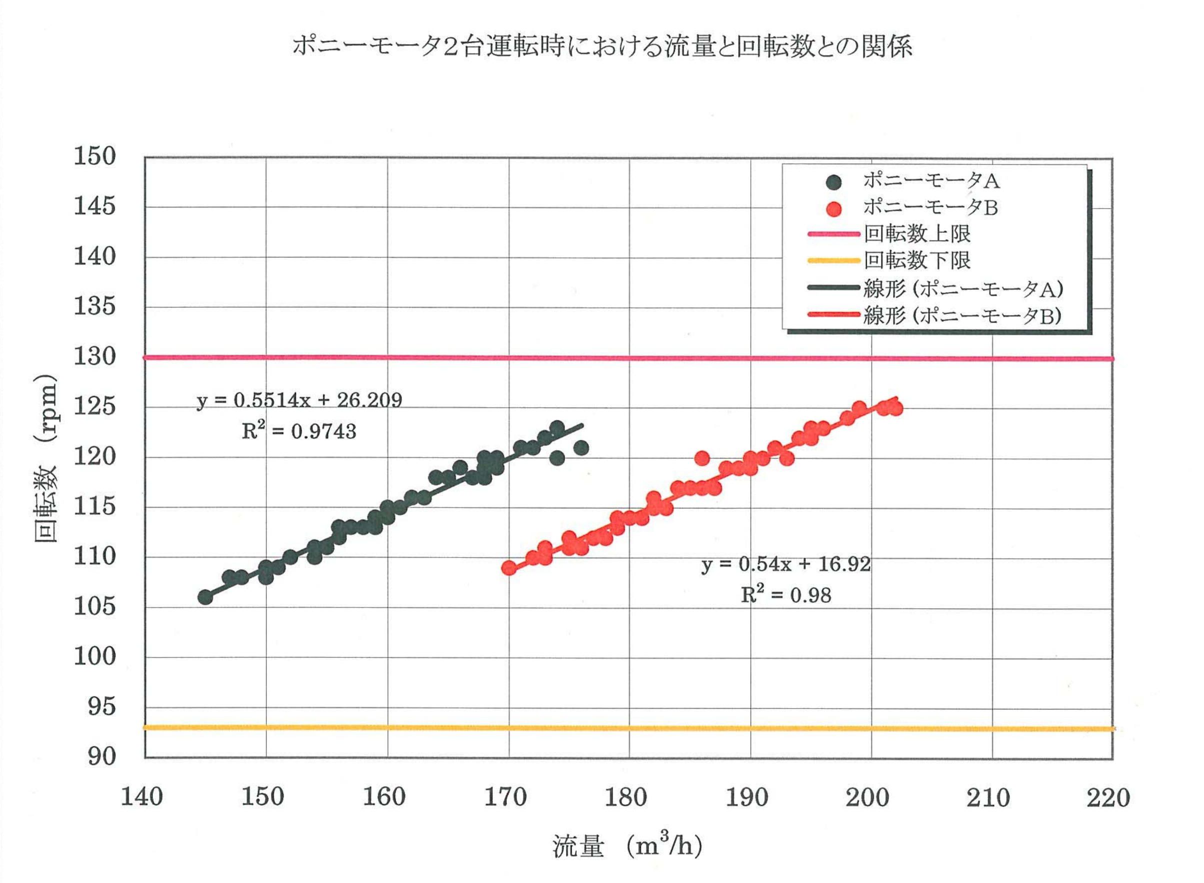


図7.6−1 動特性解析コード "MIMIR-N2" 解析結果に基づく炉心圧損変化と半減時間との関係



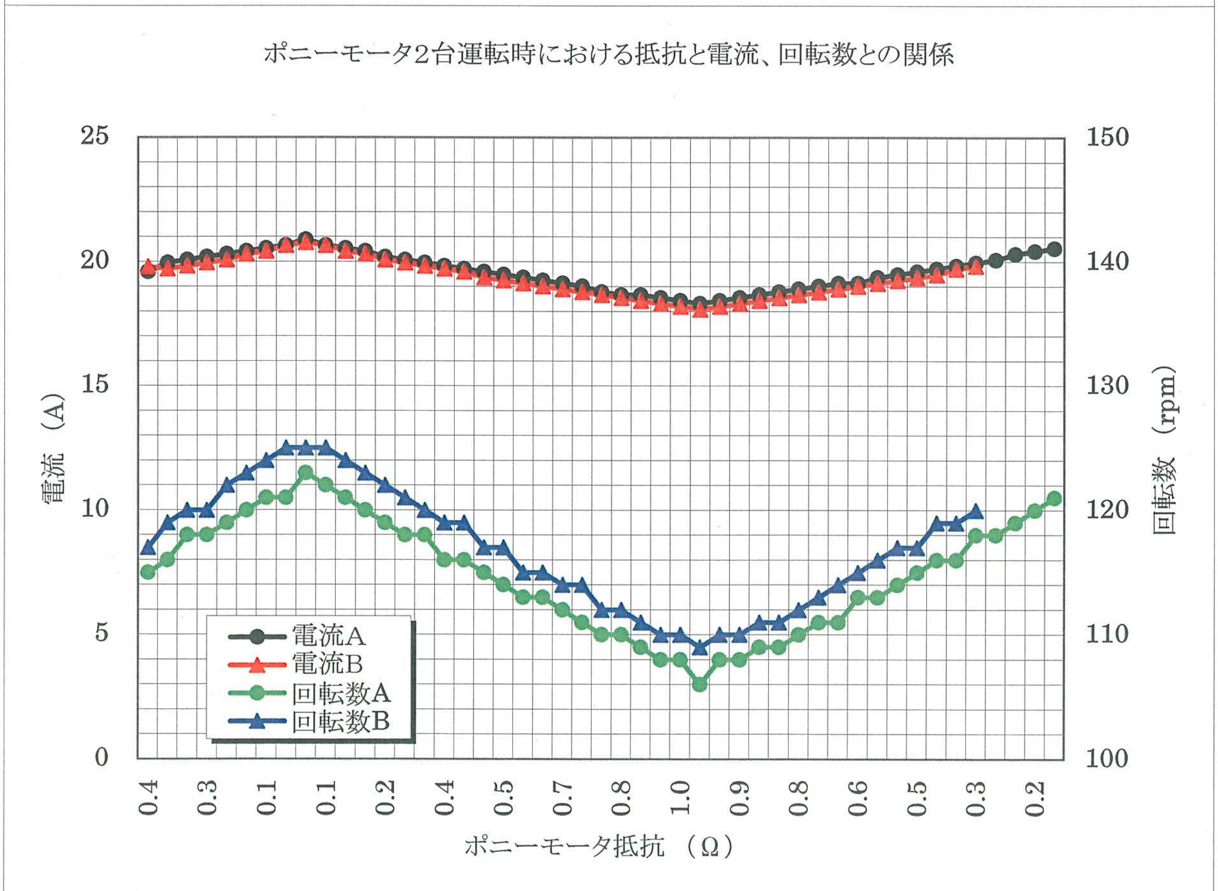


図9.5.4−1　ポニーモータ運転特性確認試験

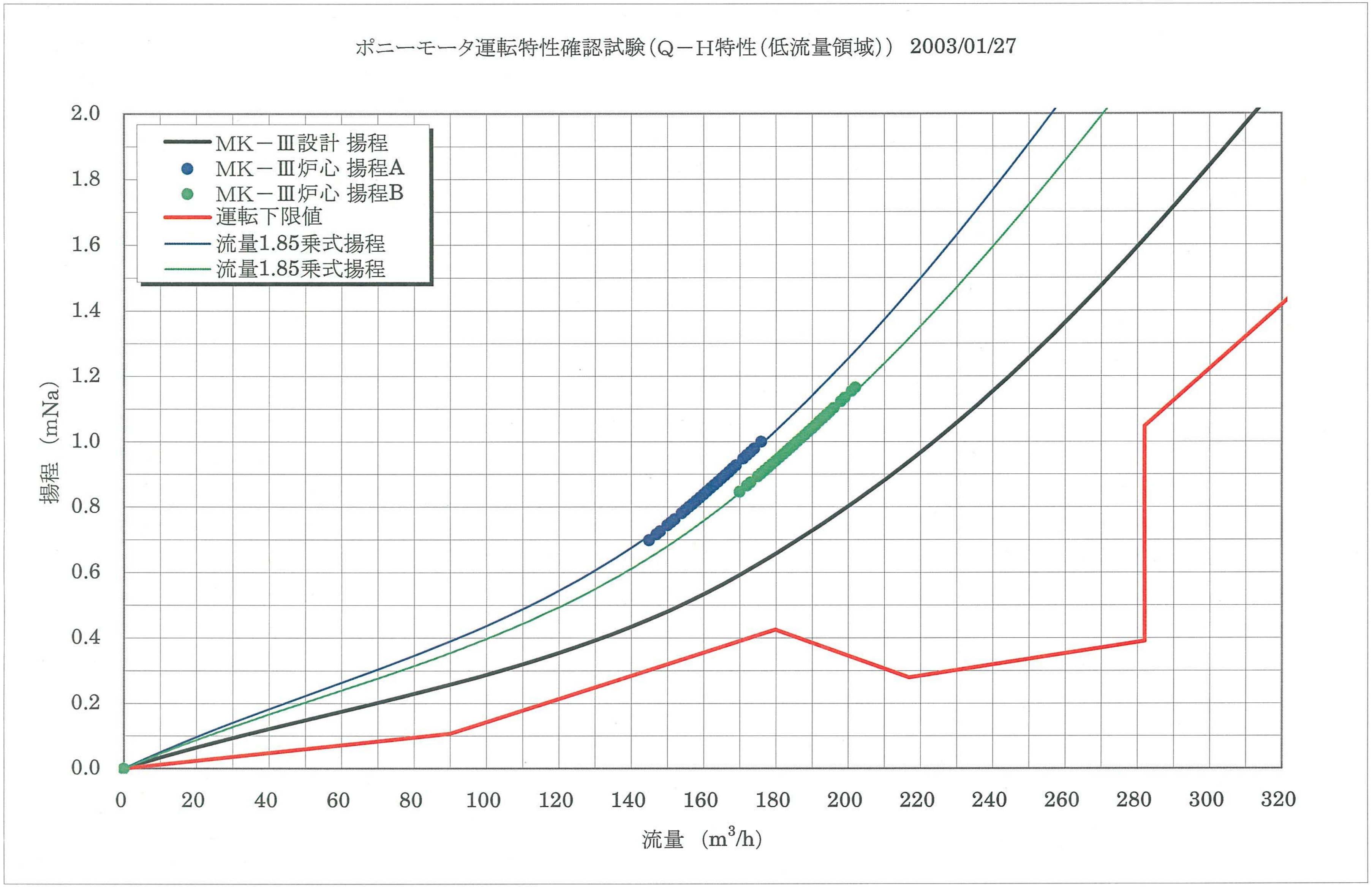
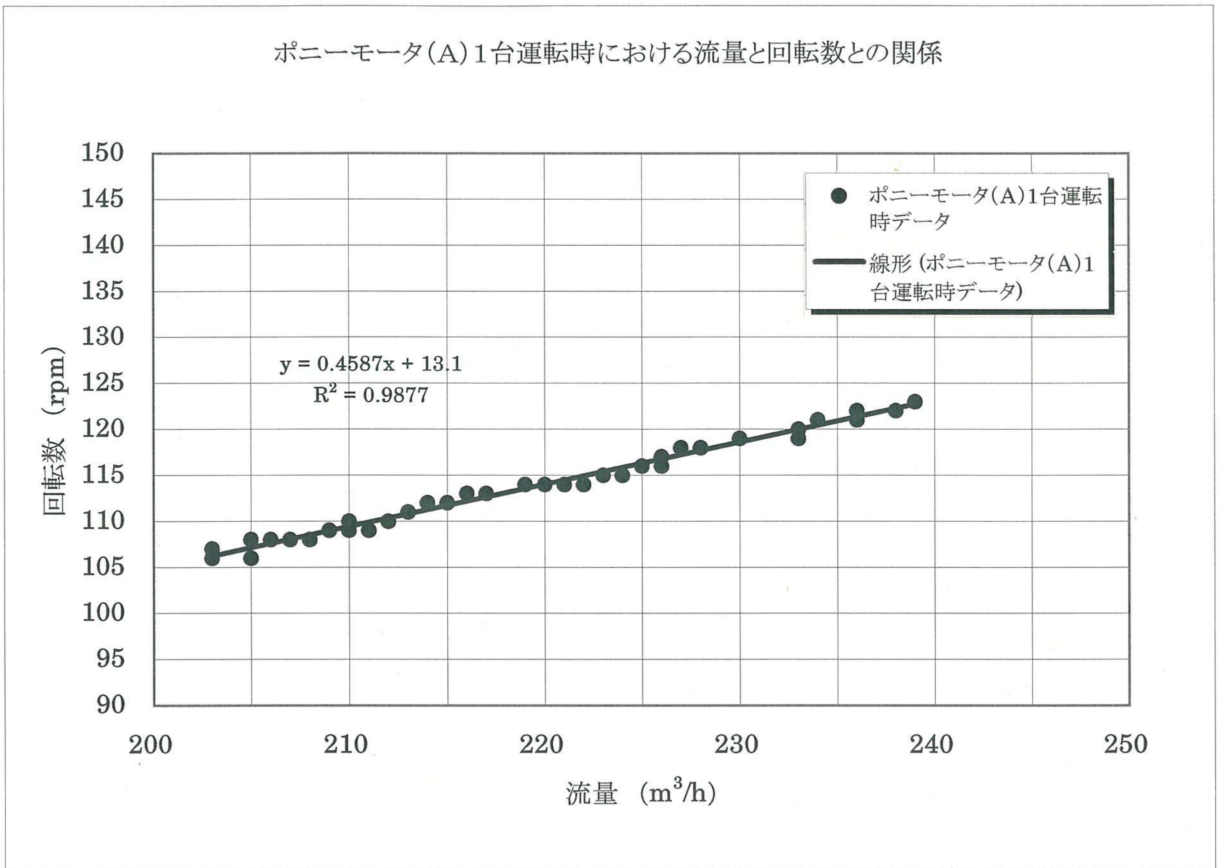


図9.5.4－2 ポニーモータ運転特性確認試験(Q-H特性)



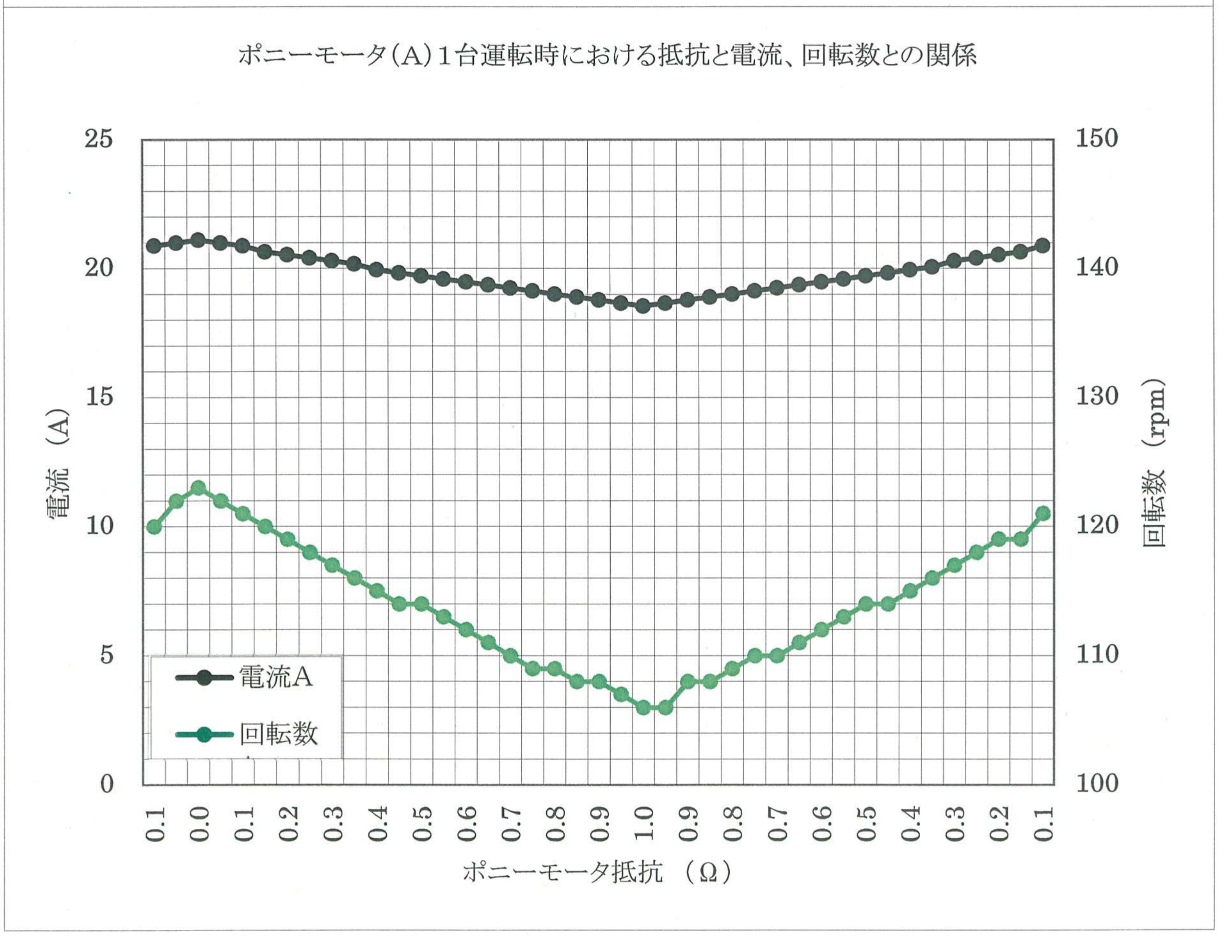


図9.5.5−1　ポニーモータ（A）１台運転特性確認試験

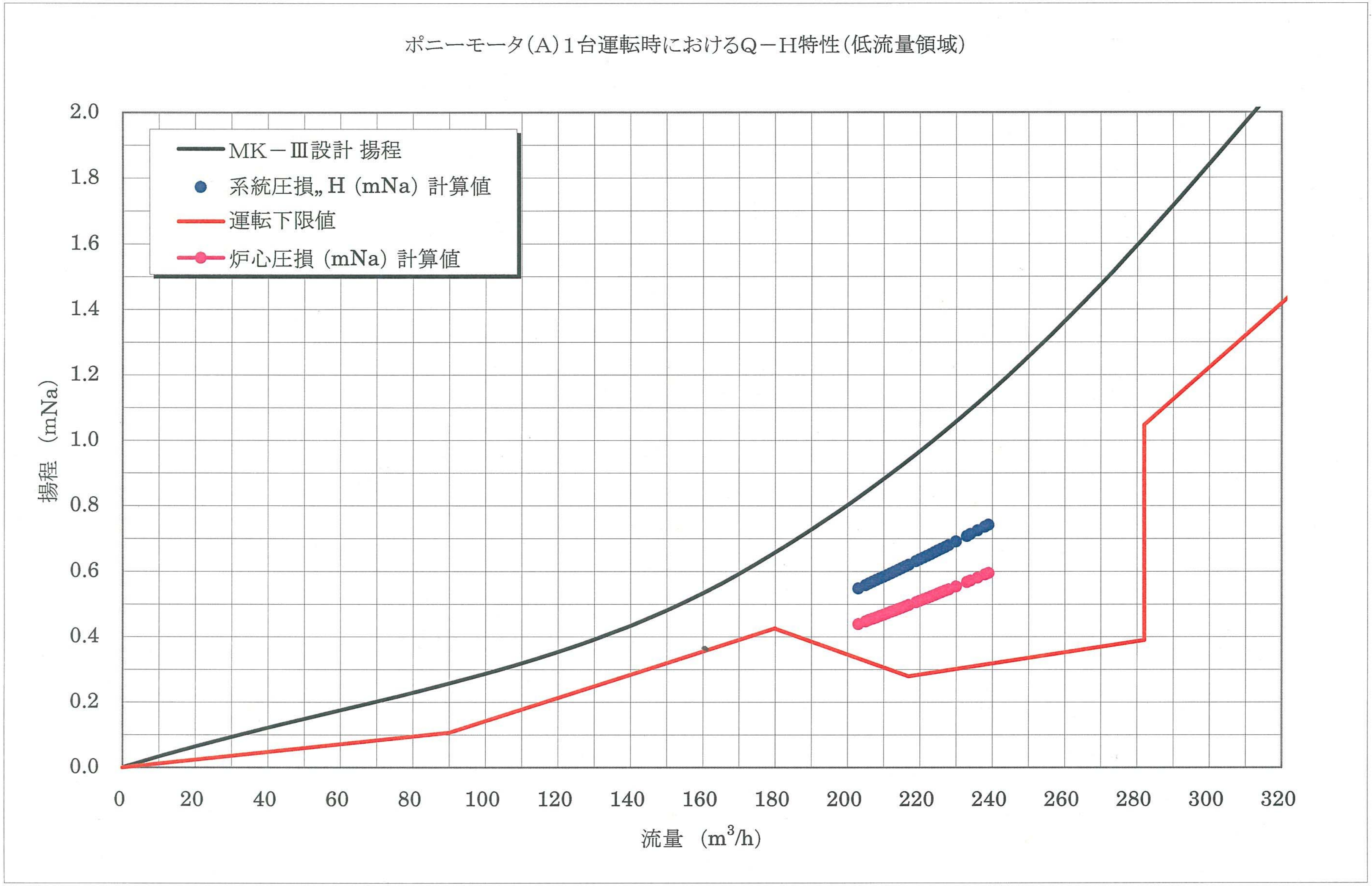


図9.5.5－2　ポニーモータ（A）１台運転特性確認試験（Q-H特性）

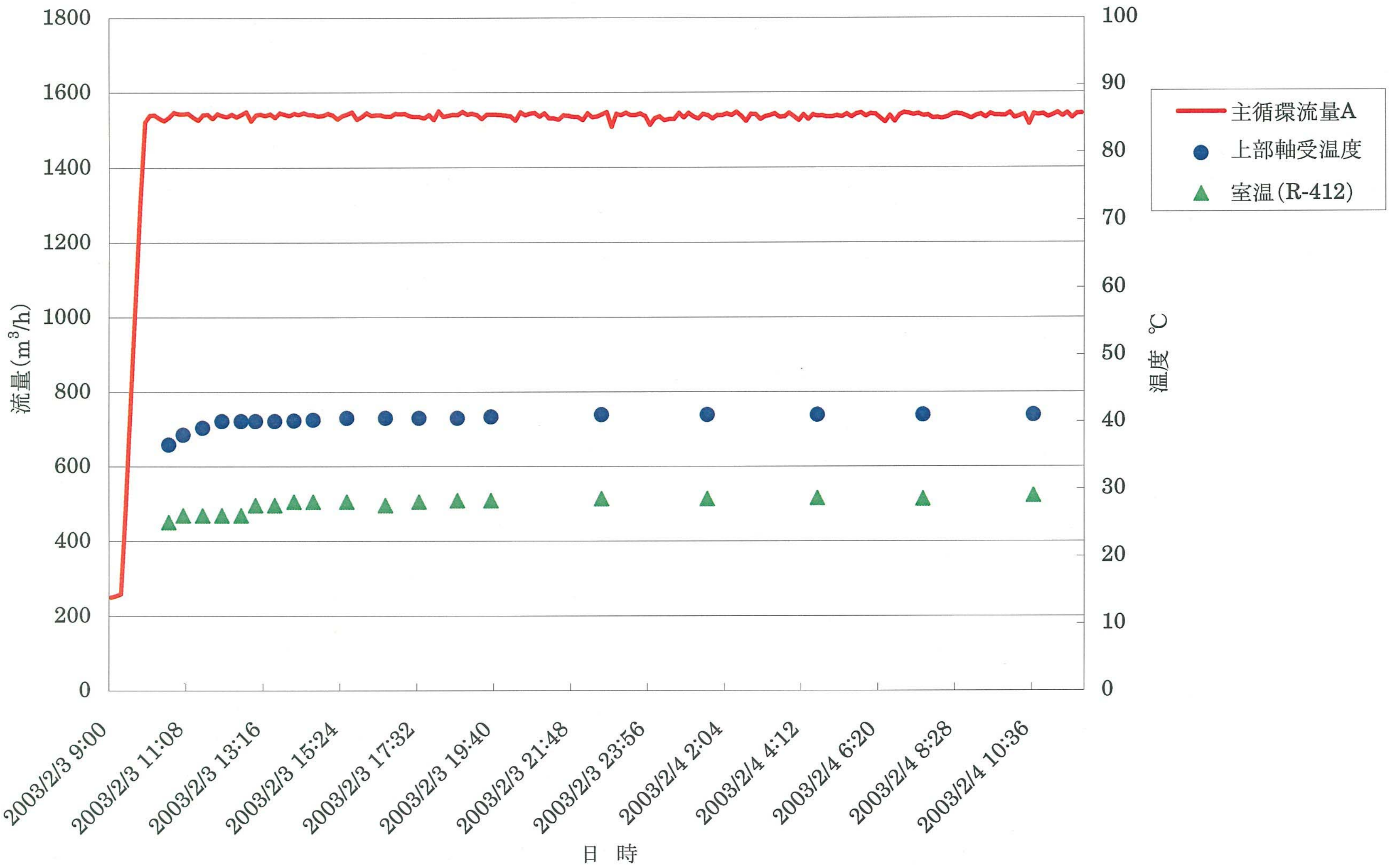


図11.5－1　1次主循環ポンプ（A）連続運転試験時の流量－軸受温度の経時変化

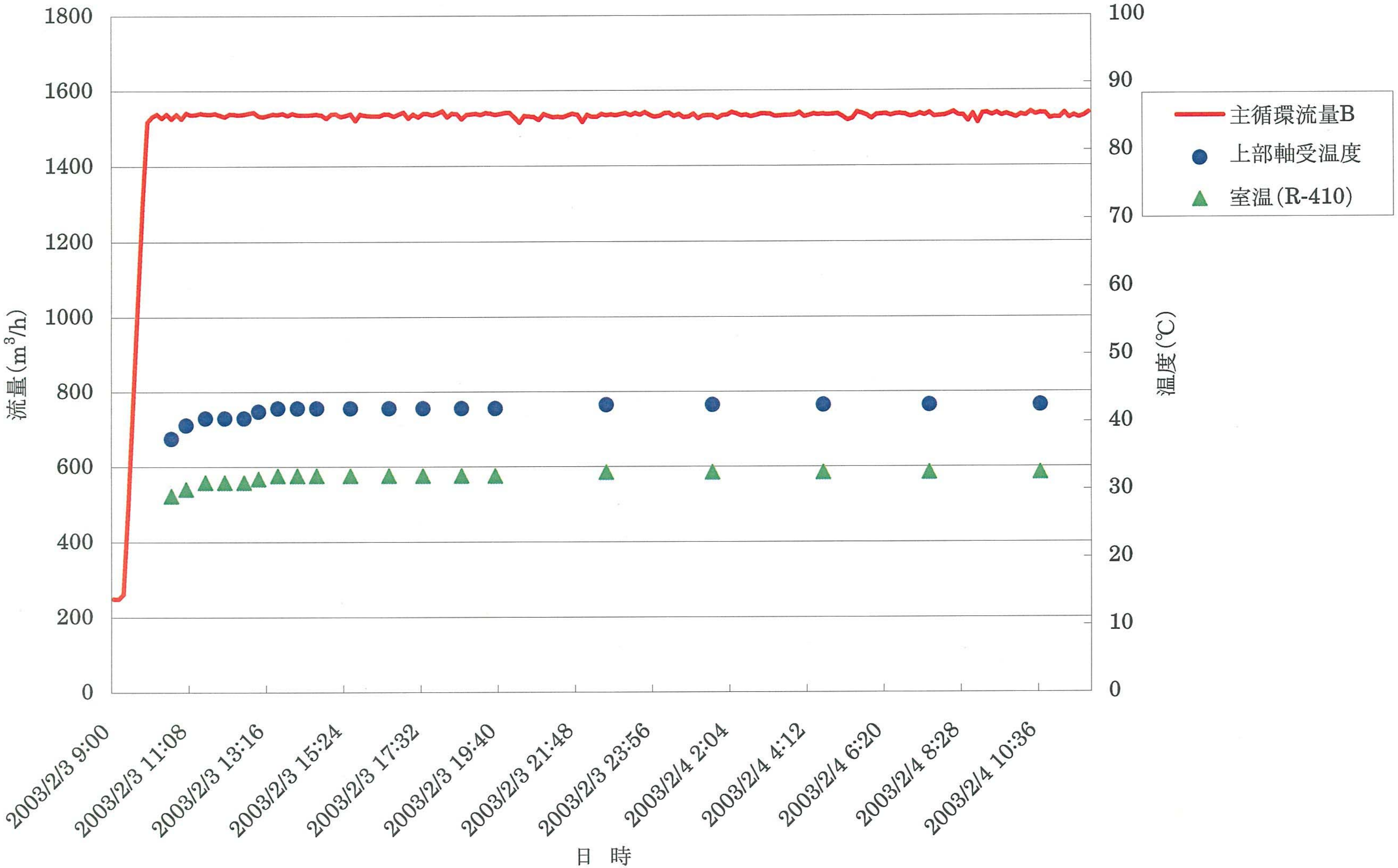
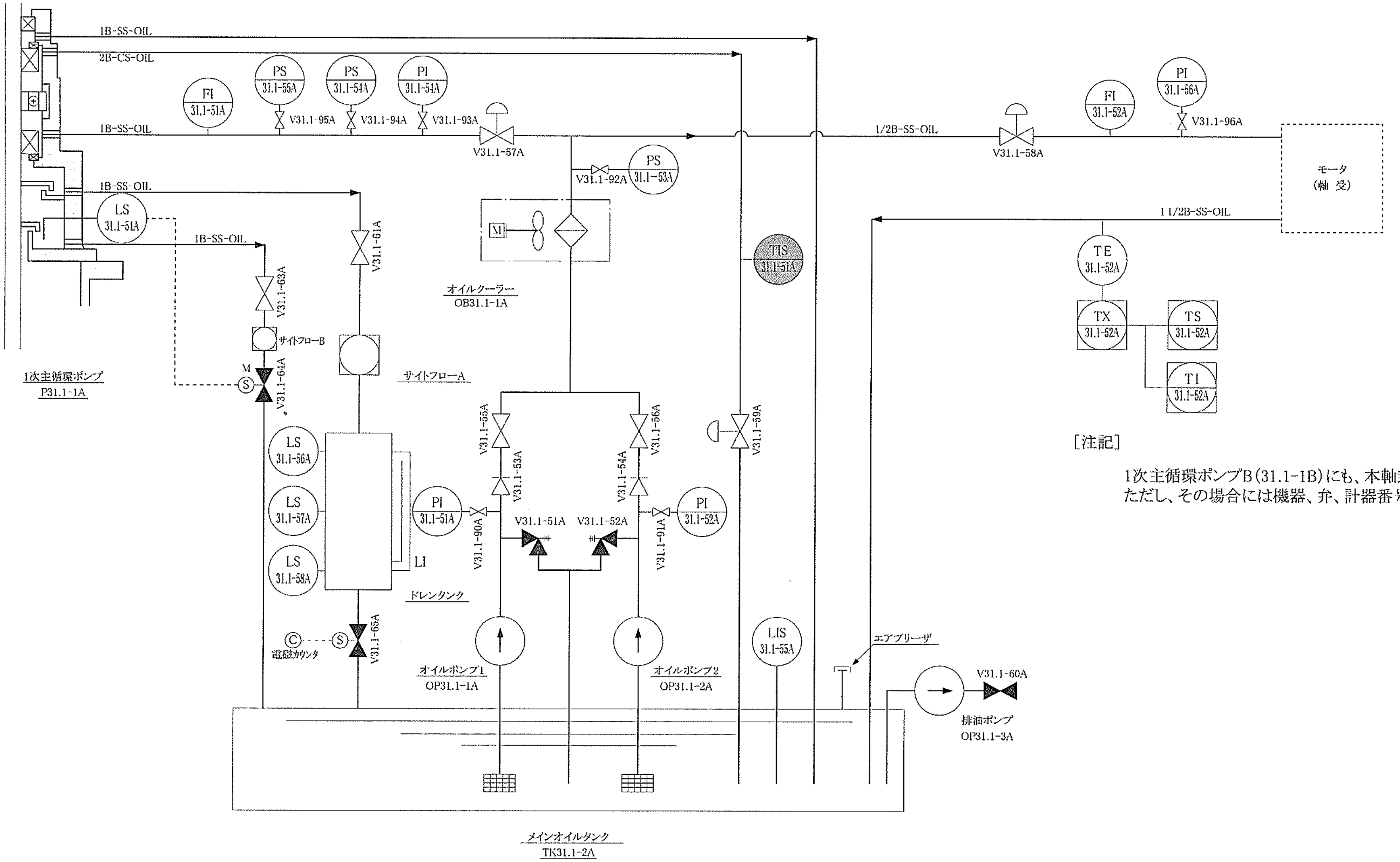


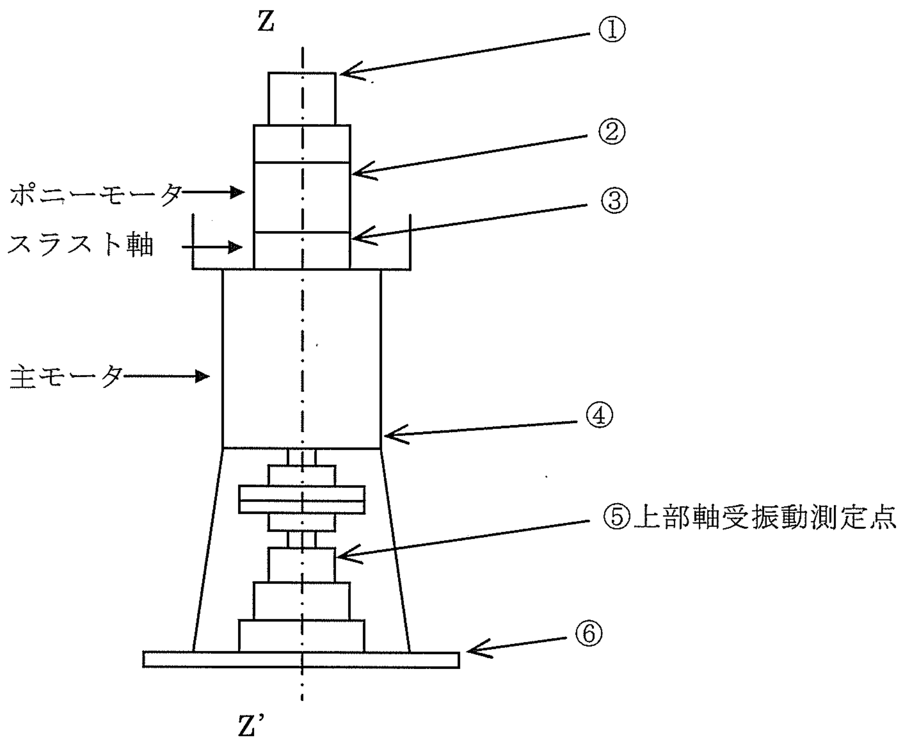
図11.5−2　1次主循環ポンプ（B）連続運転試験時の流量−軸受温度の経時変化



［注記］

1次主循環ポンプB（31.1-1B）にも、本軸封系統と同一のものが付属する。
ただし、その場合には機器、弁、計器番号の末尾のAはBに変わる。

図11.5—3　1次主循環ポンプ上部軸受温度測定位置
（TIS31・1-51A, 51B）



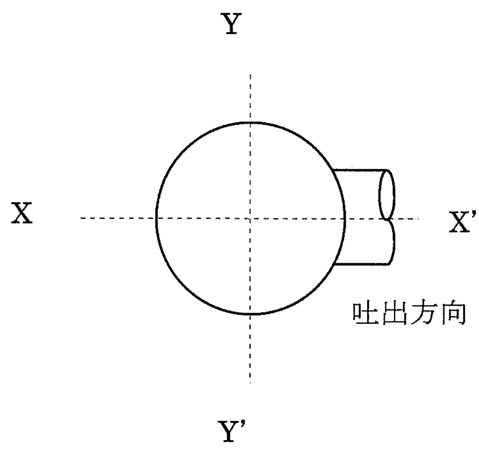
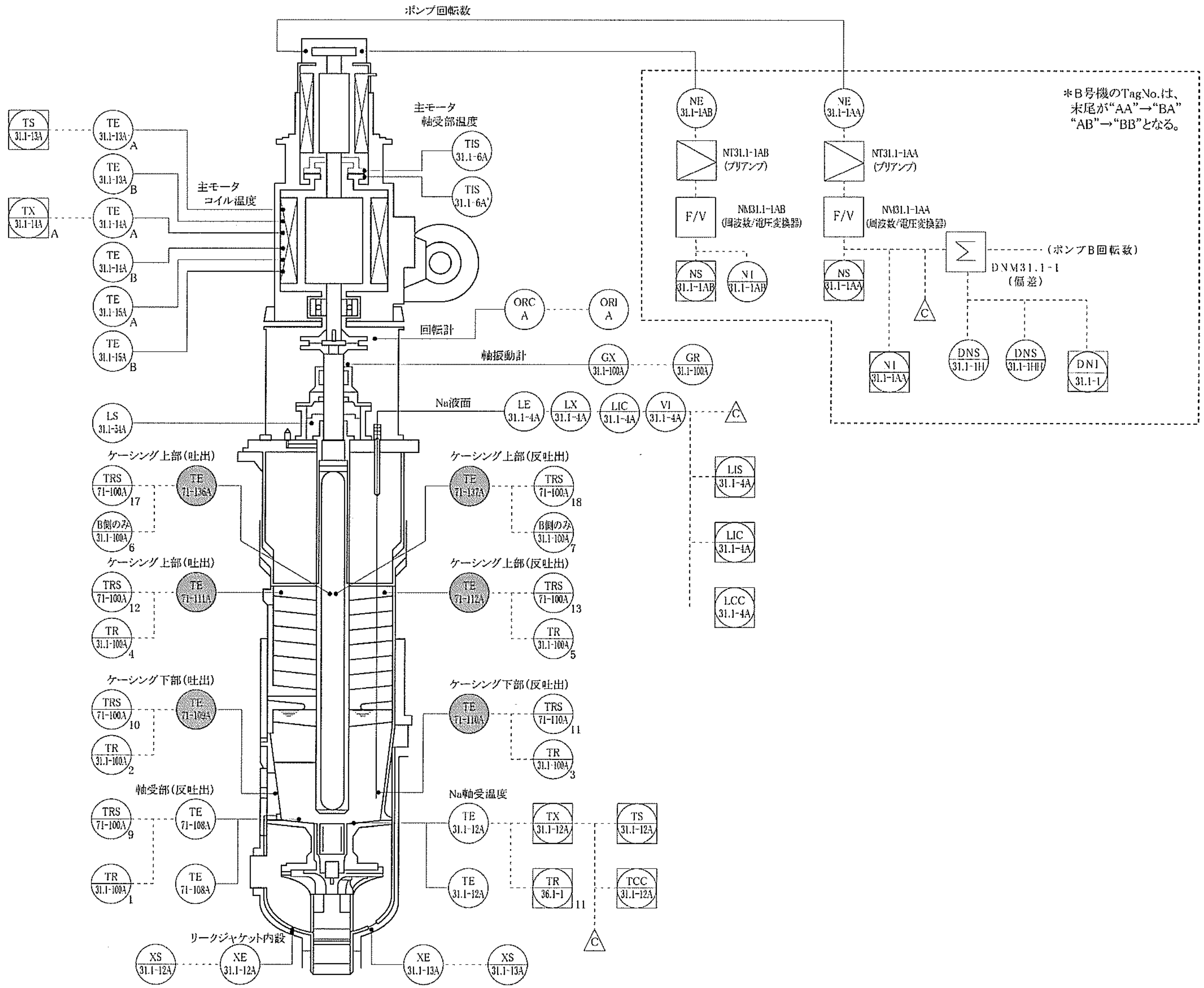
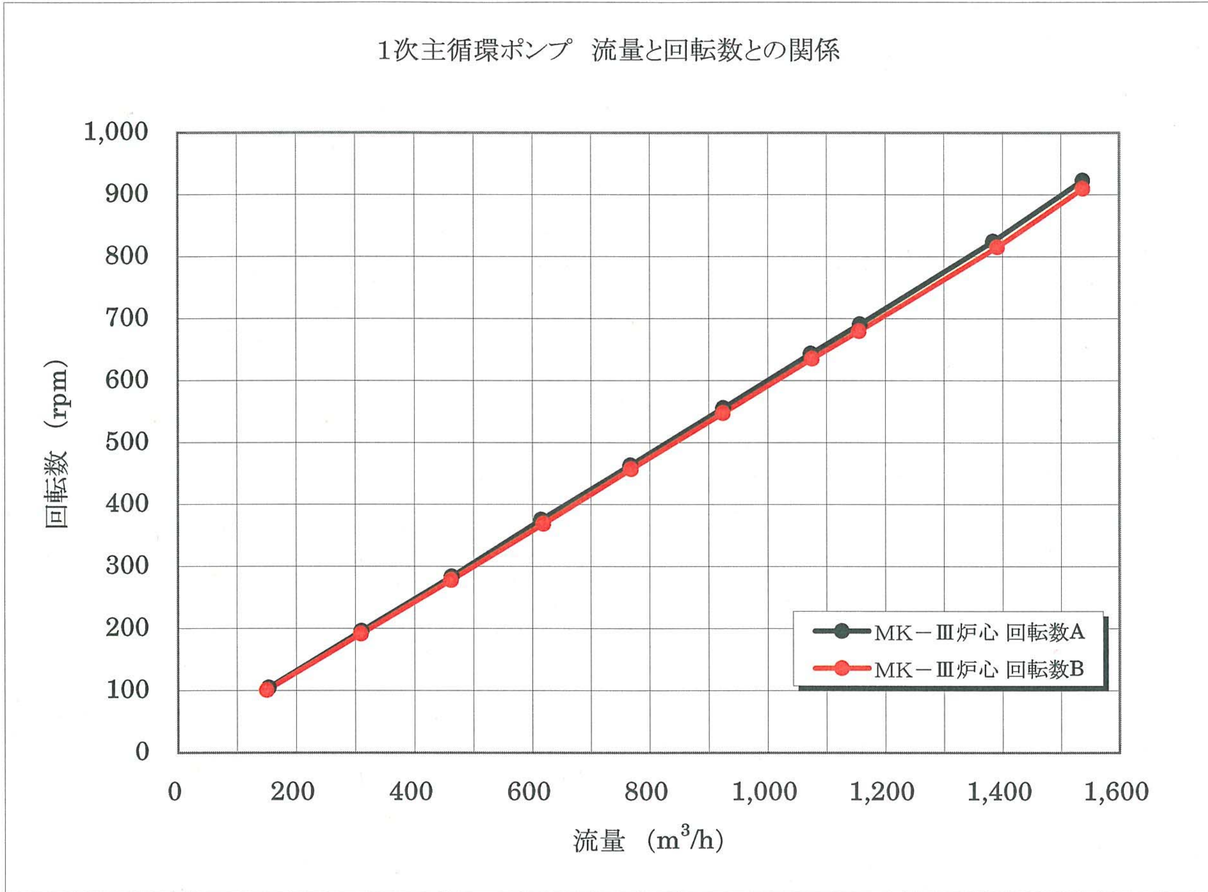


図11.5−4　1次主循環ポンプ振動測定位置



1). B号機のTag No.は末尾"A"を"B"に置き換える。

図11.5−5　1次主循環ポンプケーシング温度測定位置



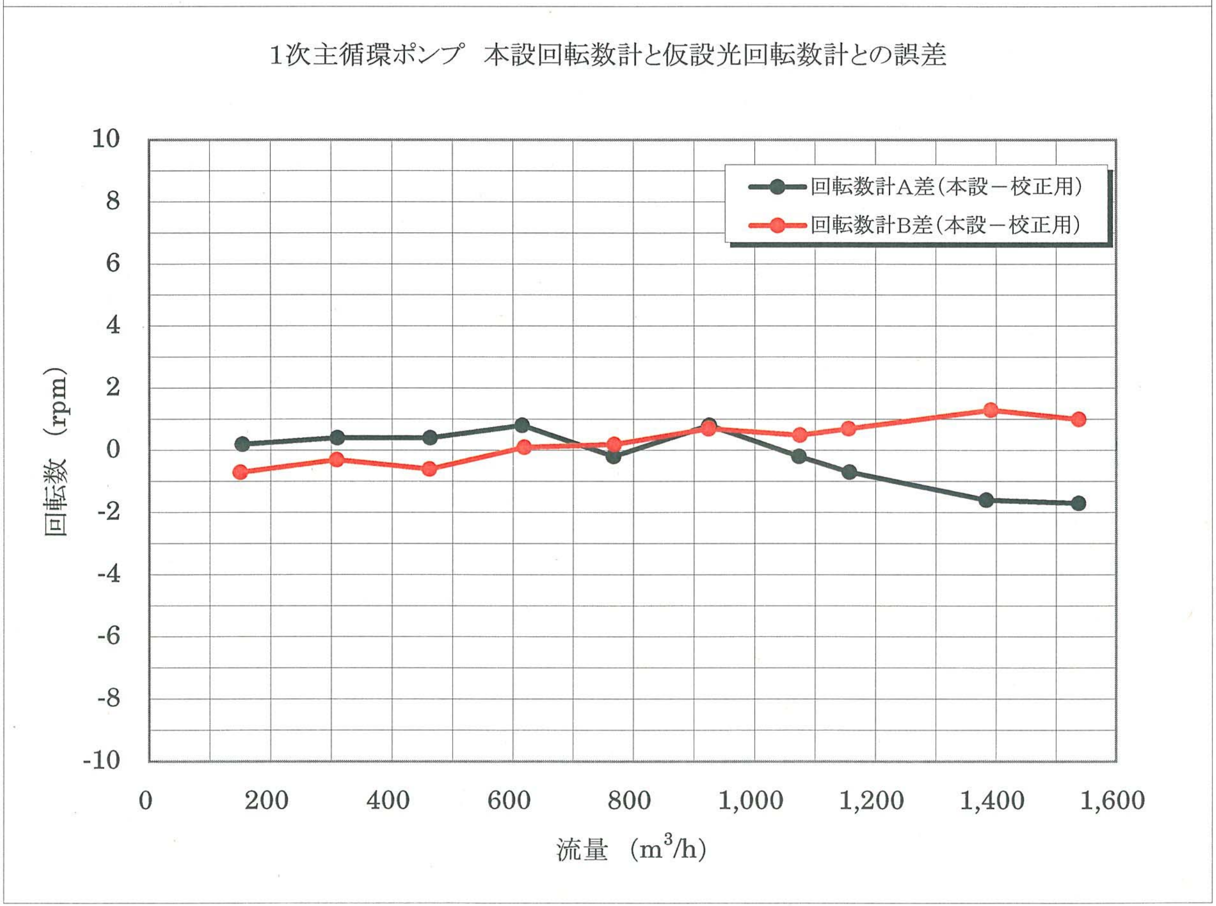
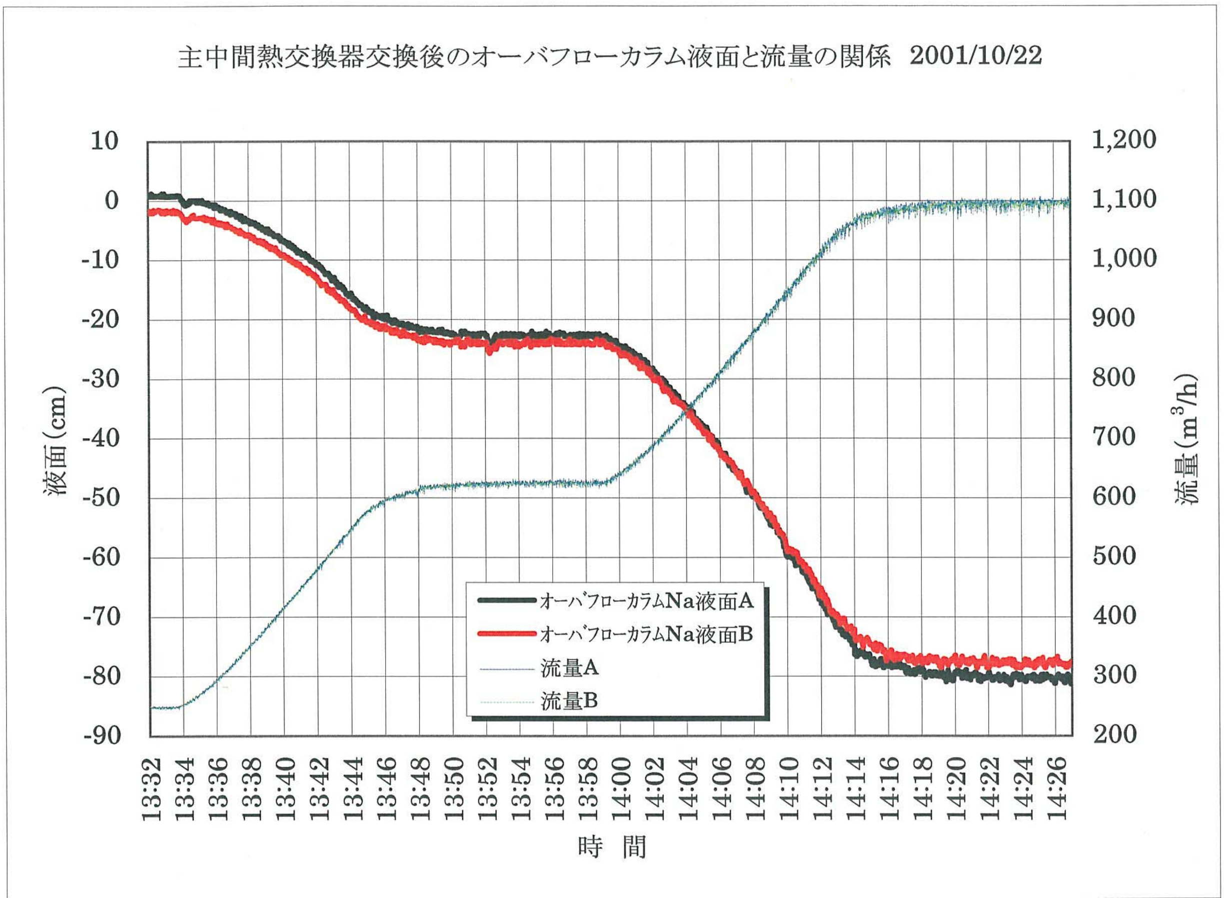


図12.5－1　プロセス計装（1次主循環ポンプ回転数計）データ



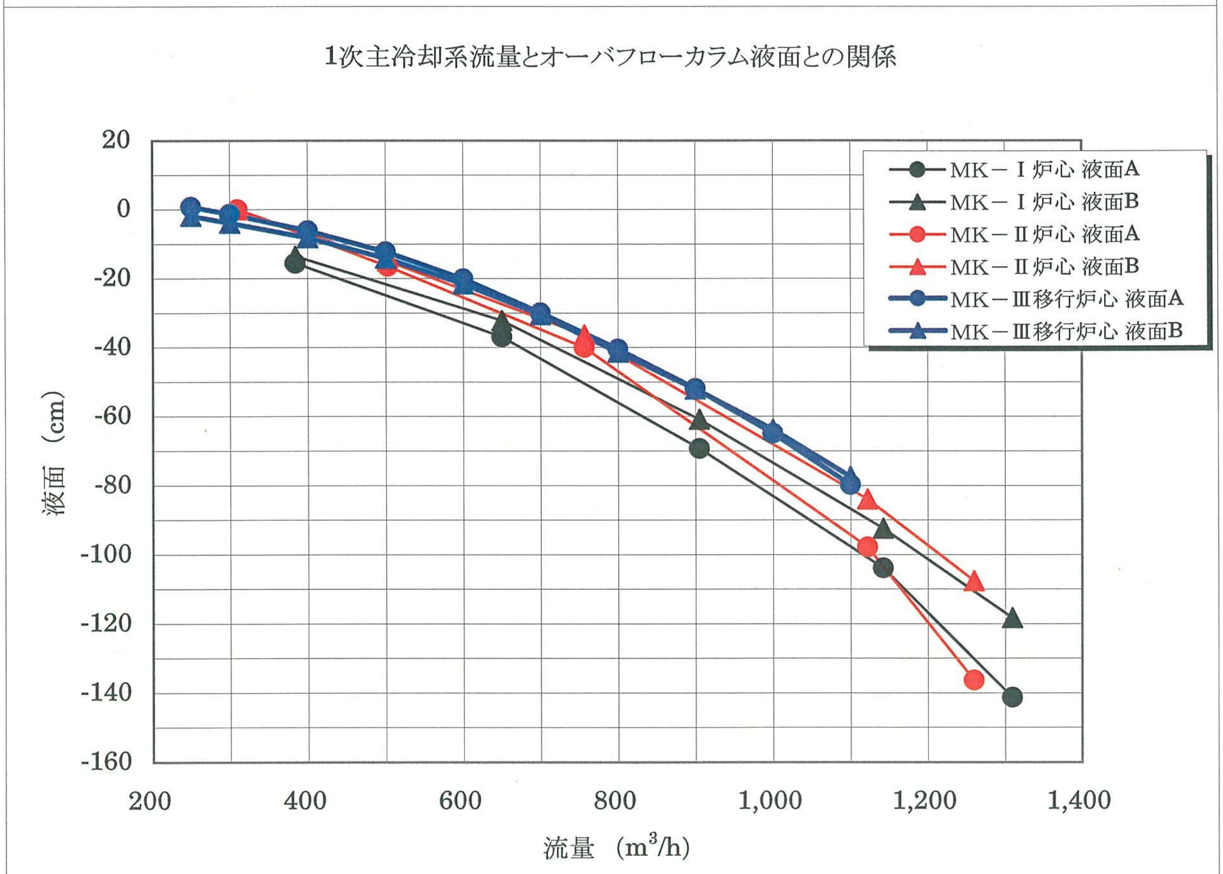


図14.5－1 1次主冷却系流量とオーバフローカラムNa液面の関係 (SKS-1)

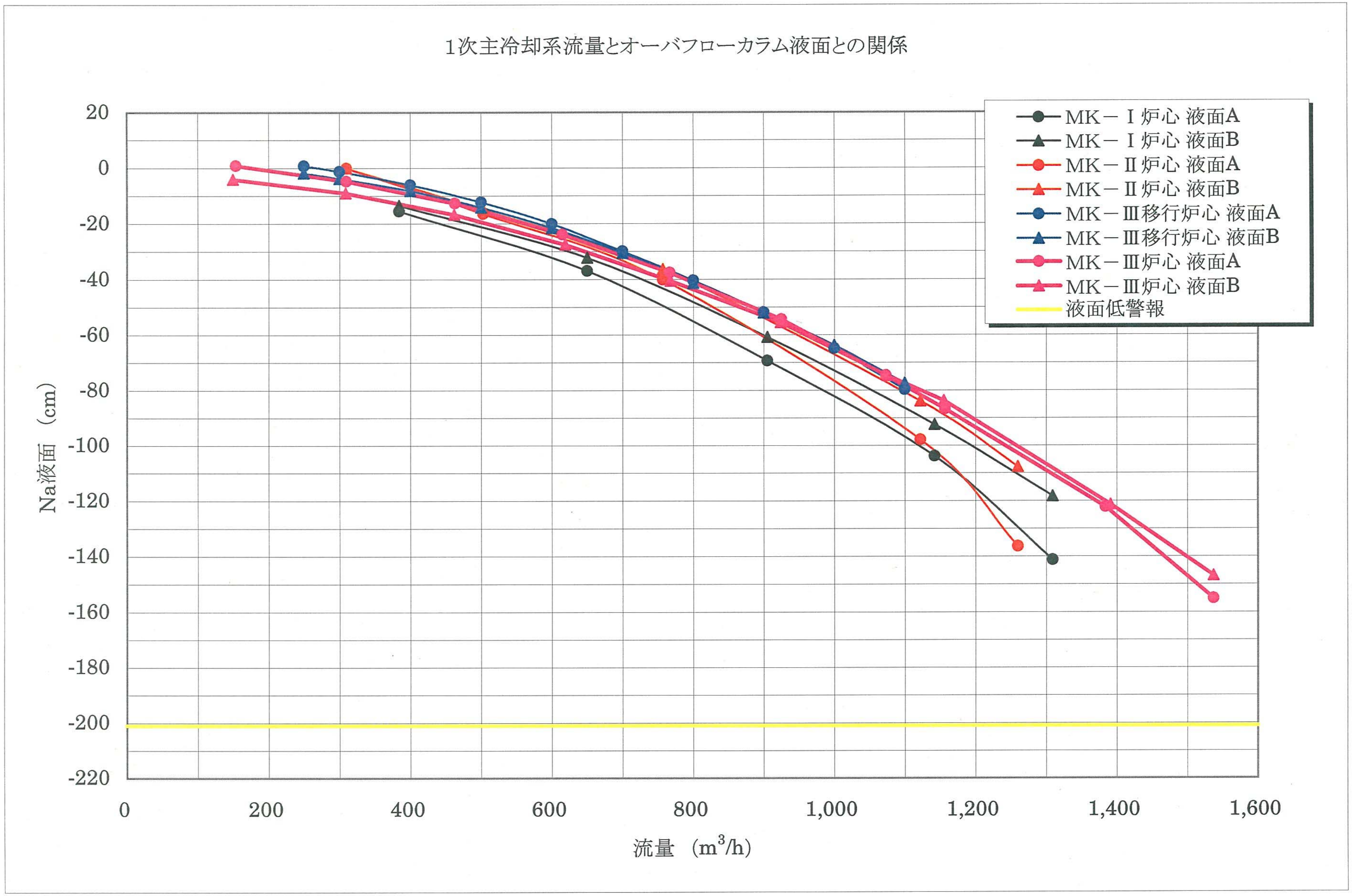
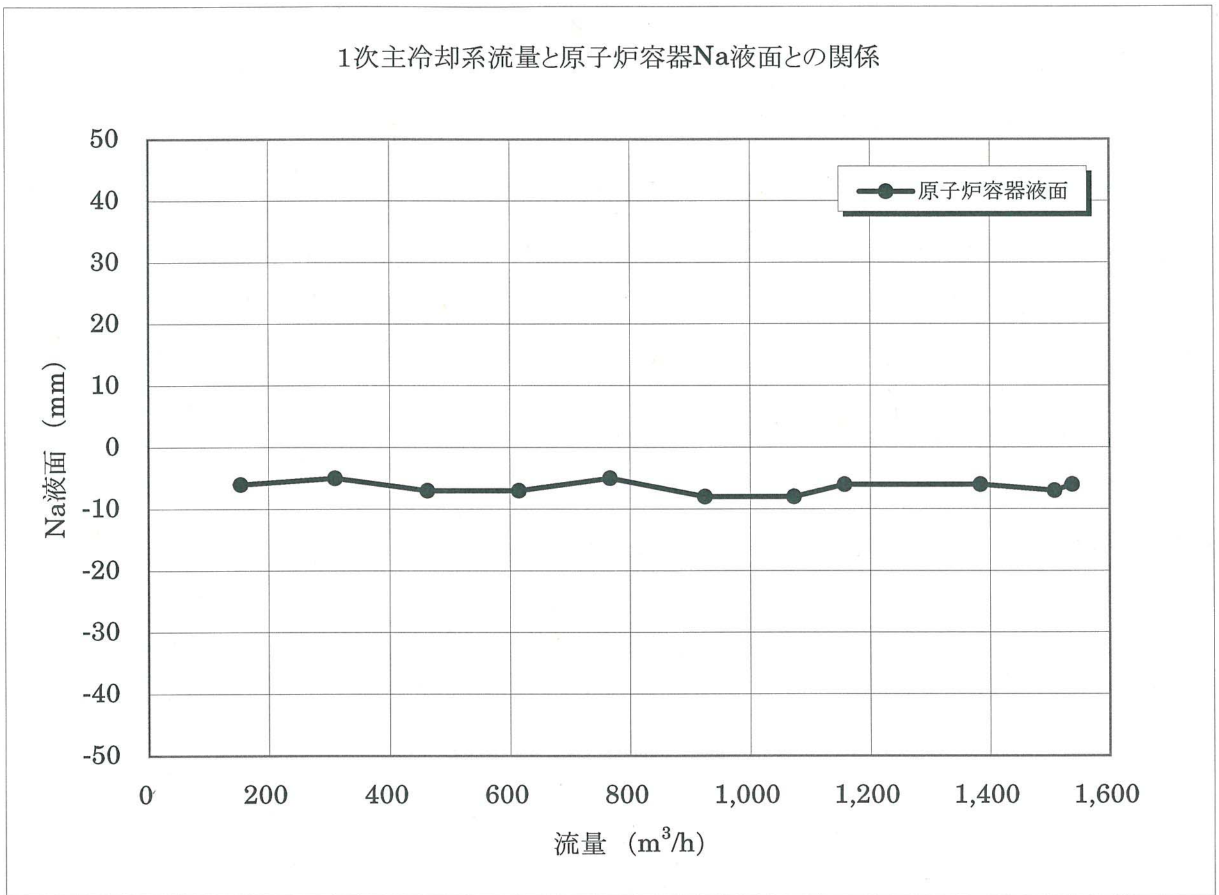


図14.5－2 (1/2)　1次主冷却系流量と各Na液面の関係 (SKS-2)



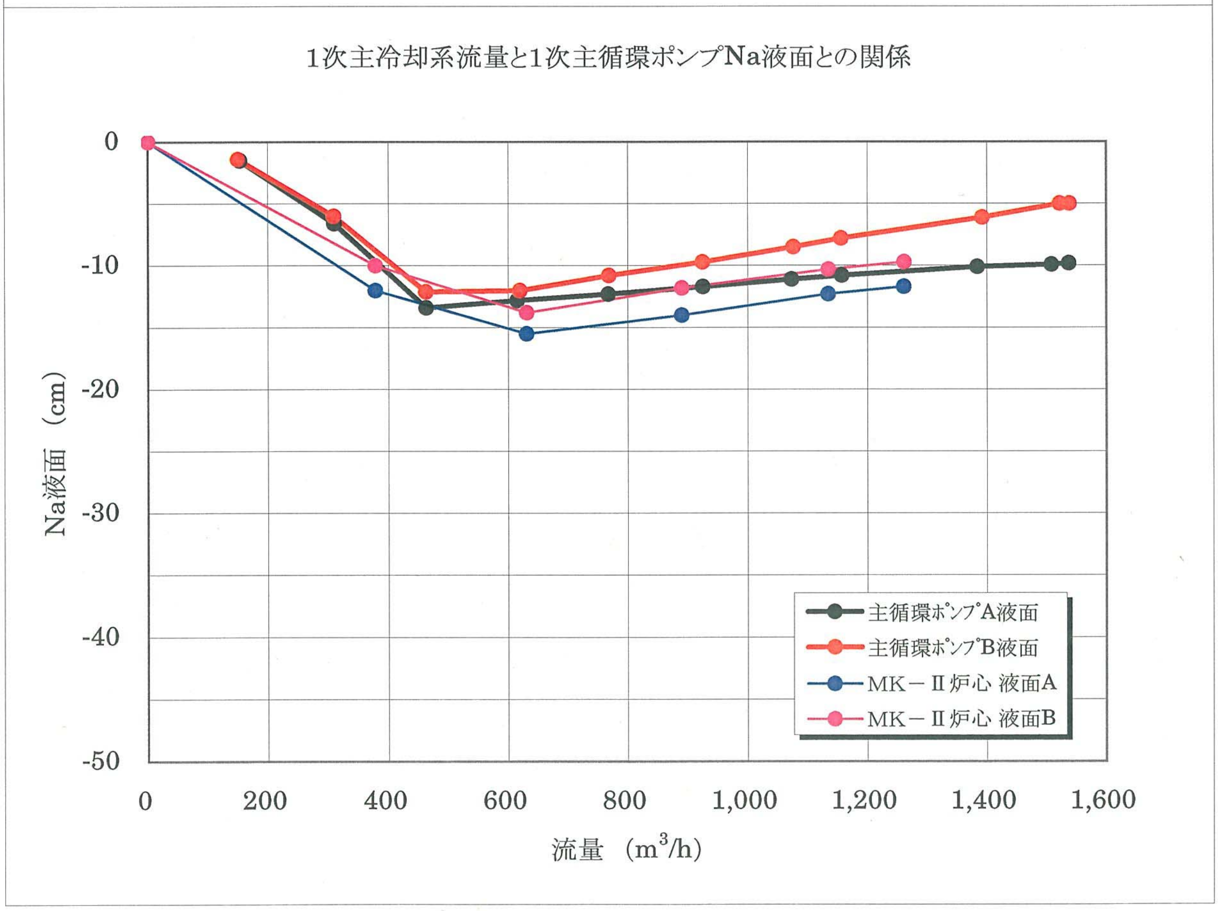


図14.5－2 (2/2)　1次主冷却系流量と各Na液面の関係 (SKS-2)

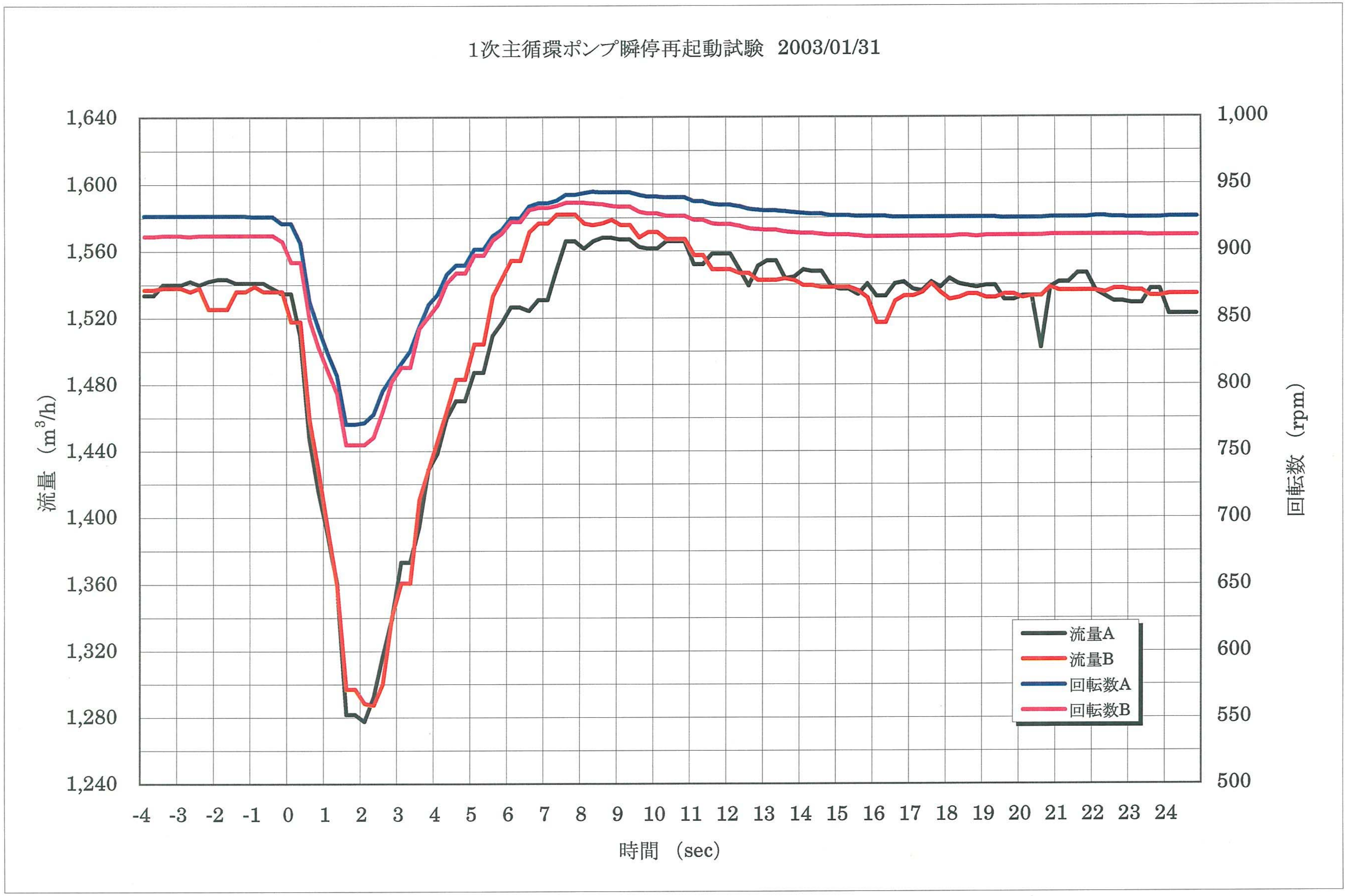


図15.5.1—1　定格流量からの瞬停再起動試験（2003年1月31日）

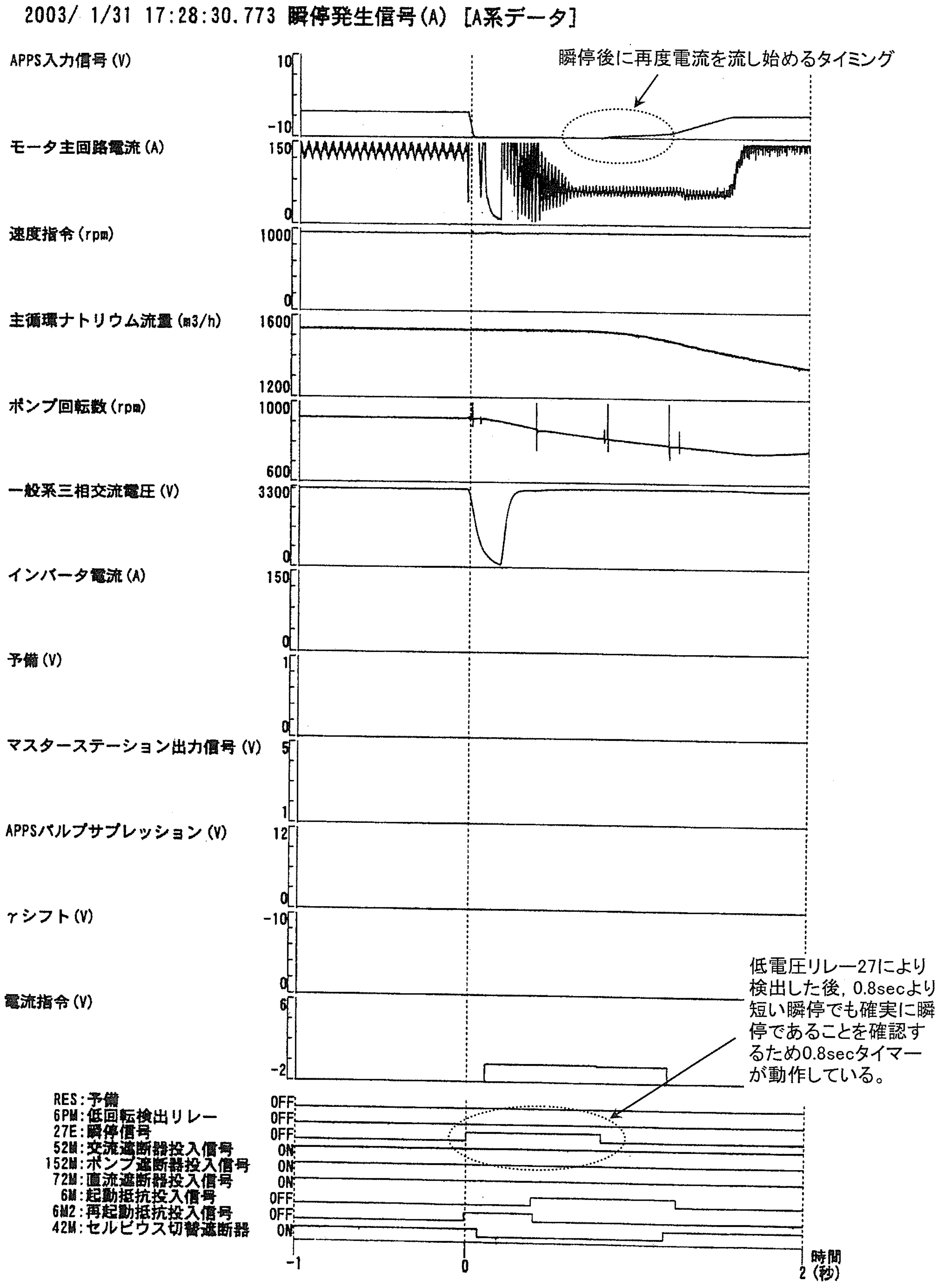


図15.5.1−2 (1/2)　定格流量からの瞬停再起動試験（2003年1月31日）の現象記録装置データ

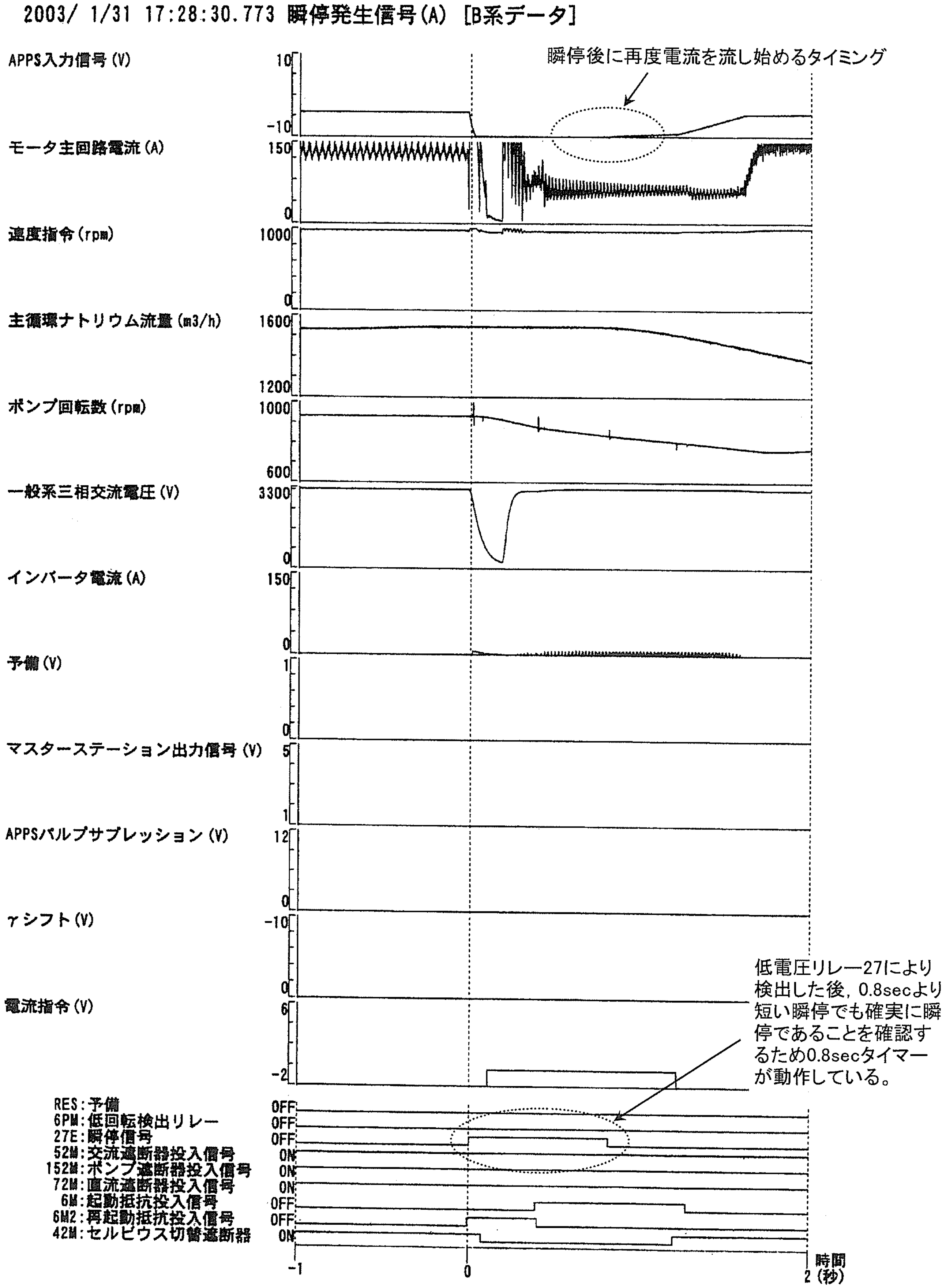
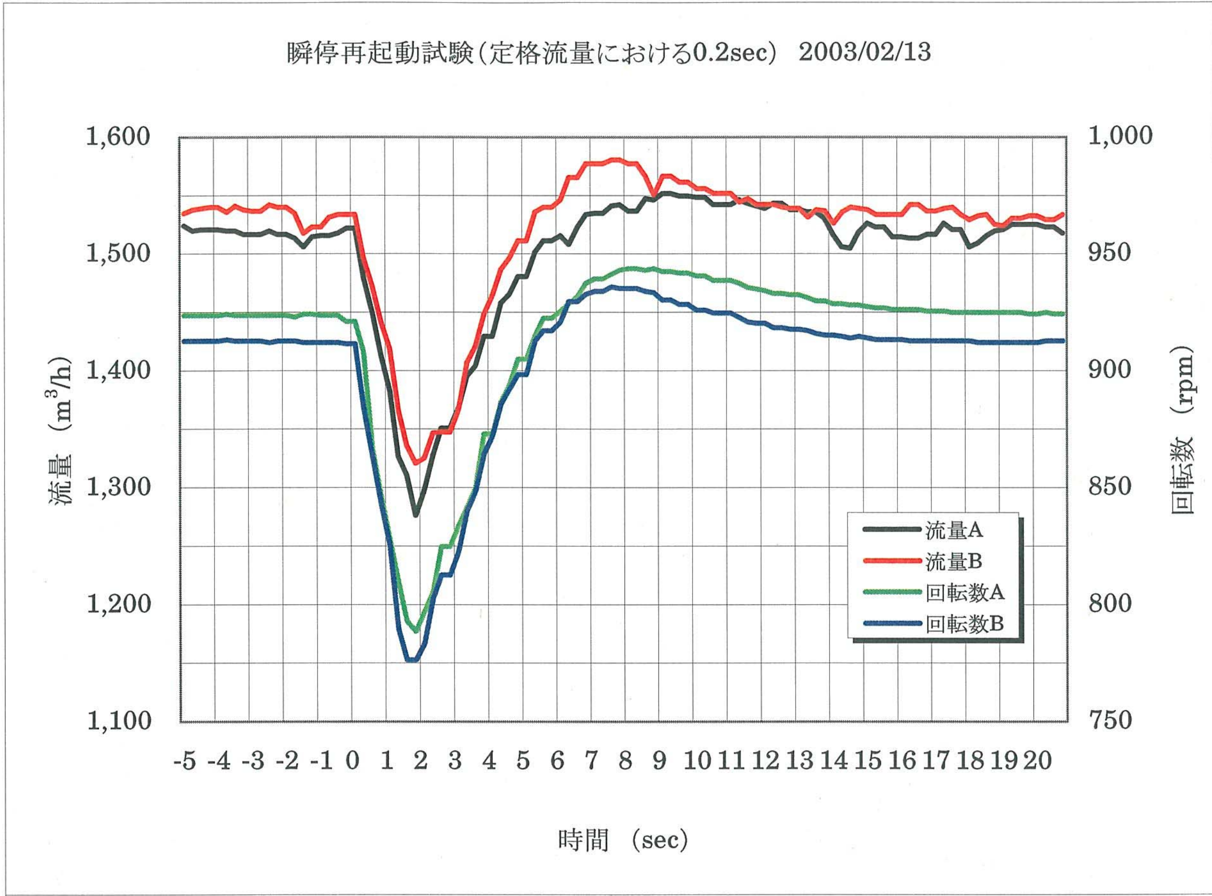


図15. 5. 1－2 (2/2)　定格流量からの瞬停再起動試験（2003年1月31日）の現象記録装置データ



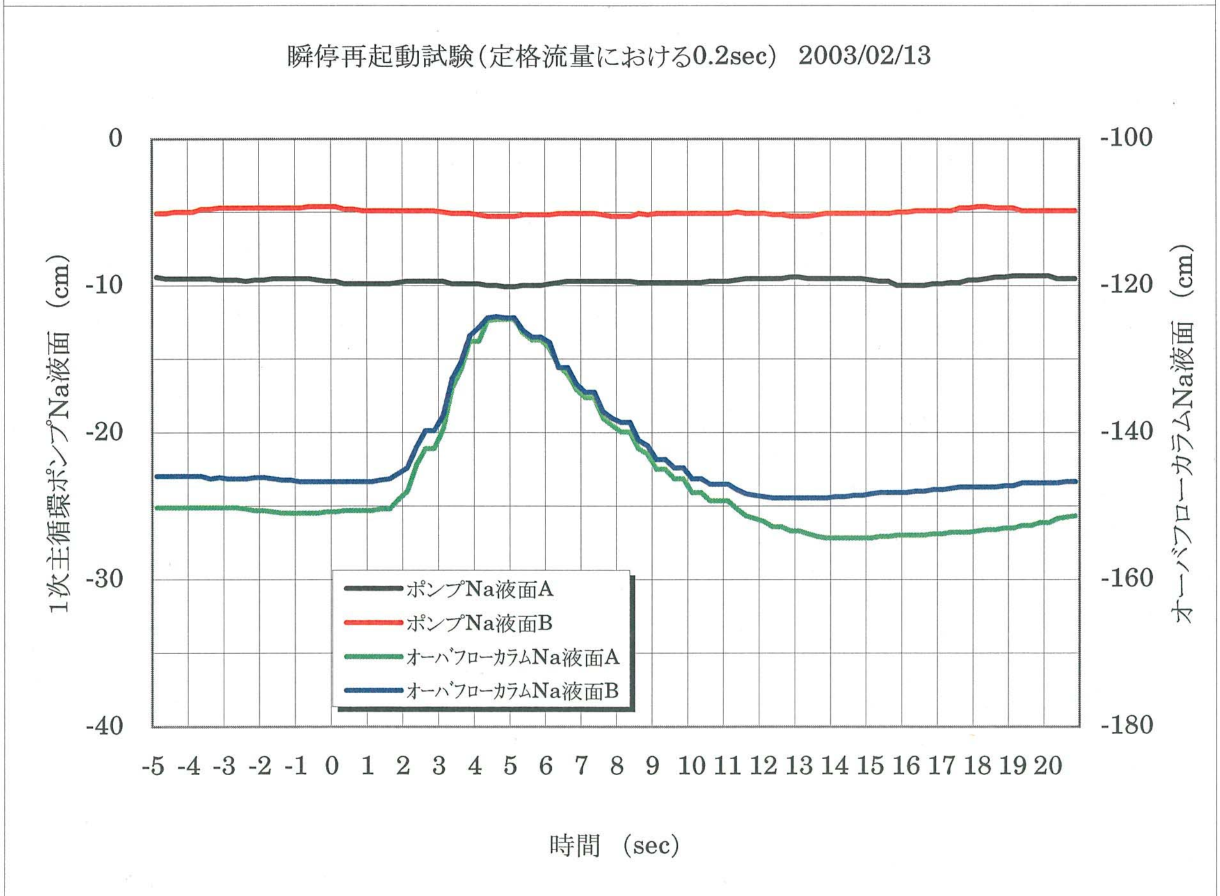


図15.5.1−3 (1/2) 定格流量からの瞬停 (0.2sec) 再起動試験 (2003年2月13日)

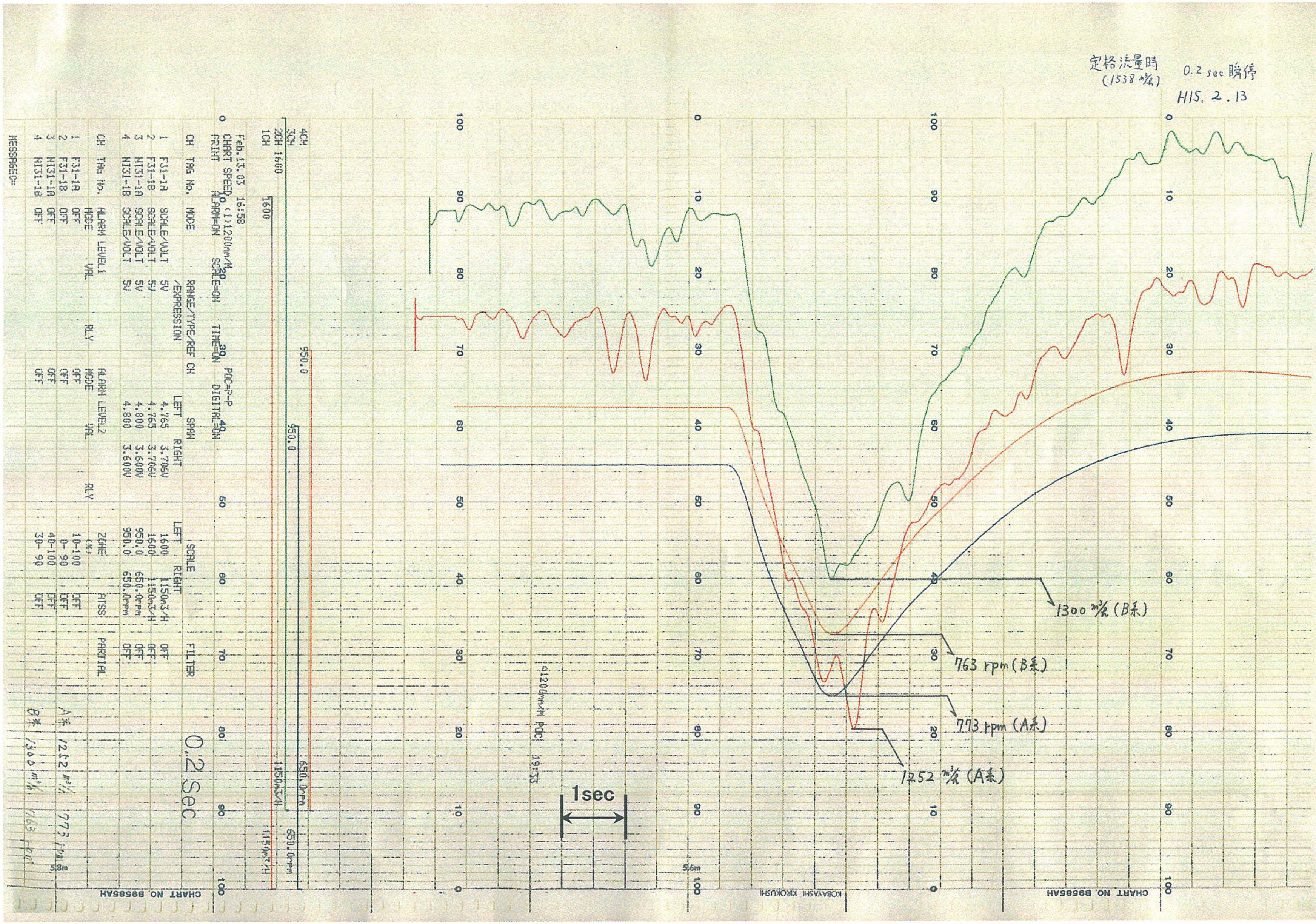
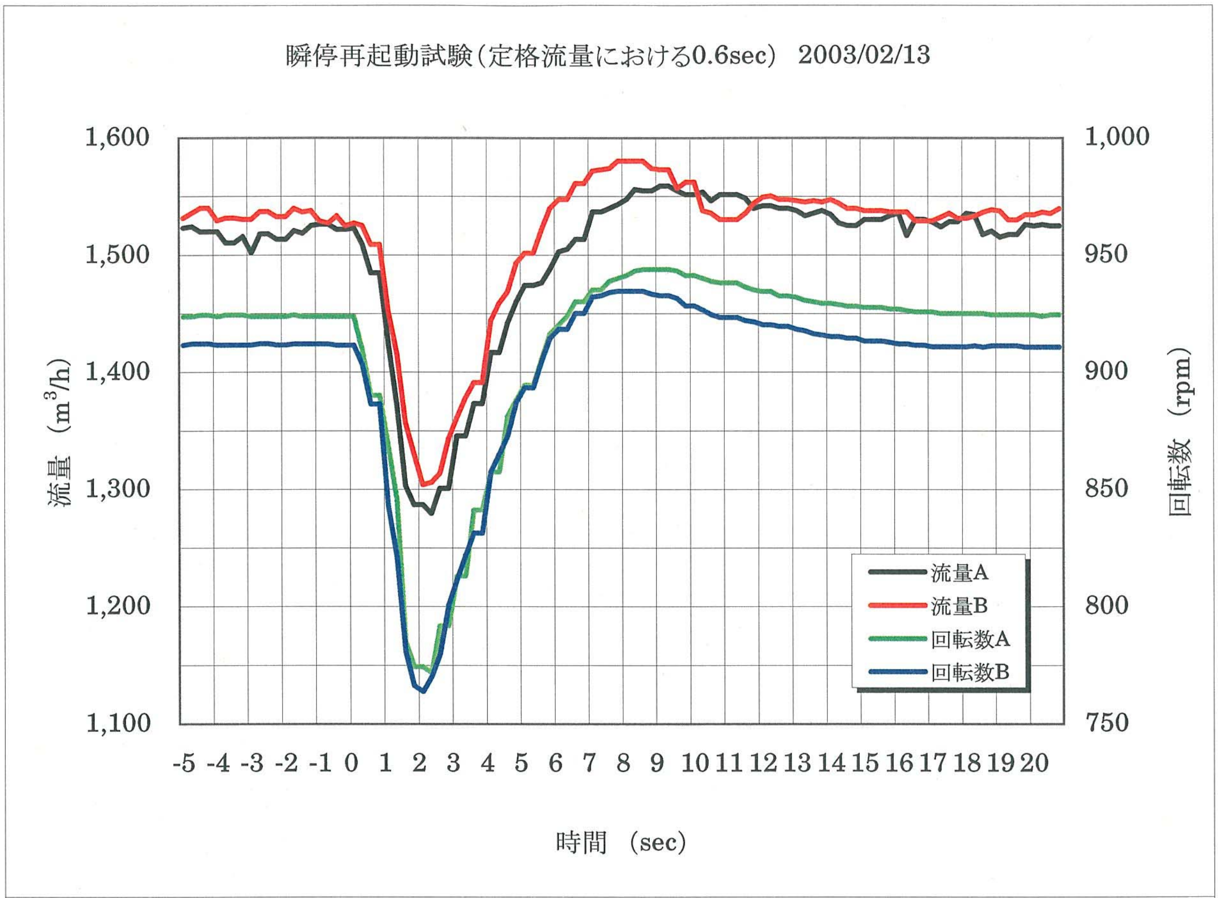


図15.5.1−3 (2/2)　定格流量からの瞬停 (0.2sec) 再起動試験 (2003年2月13日)



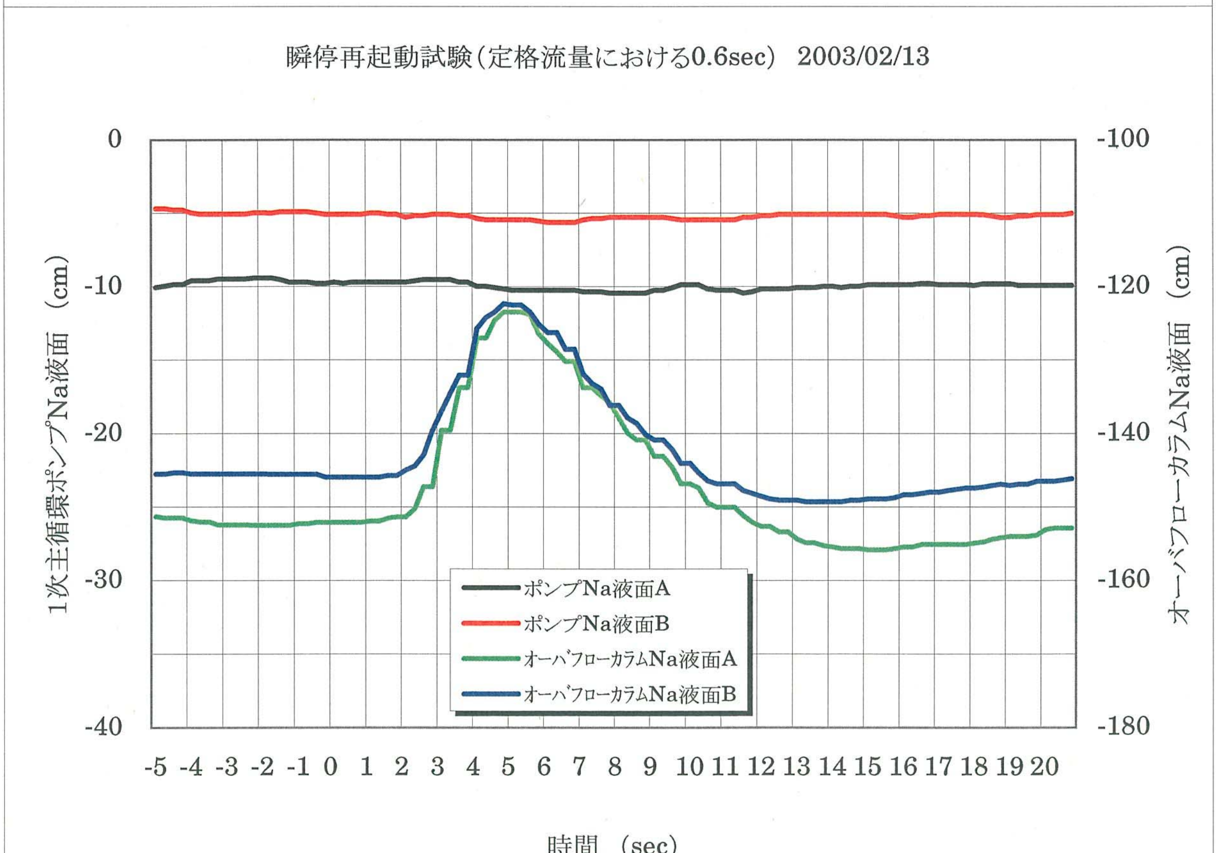


図15.5.1−4（1/2）　定格流量からの瞬停（0.6sec）再起動試験（2003年2月13日）

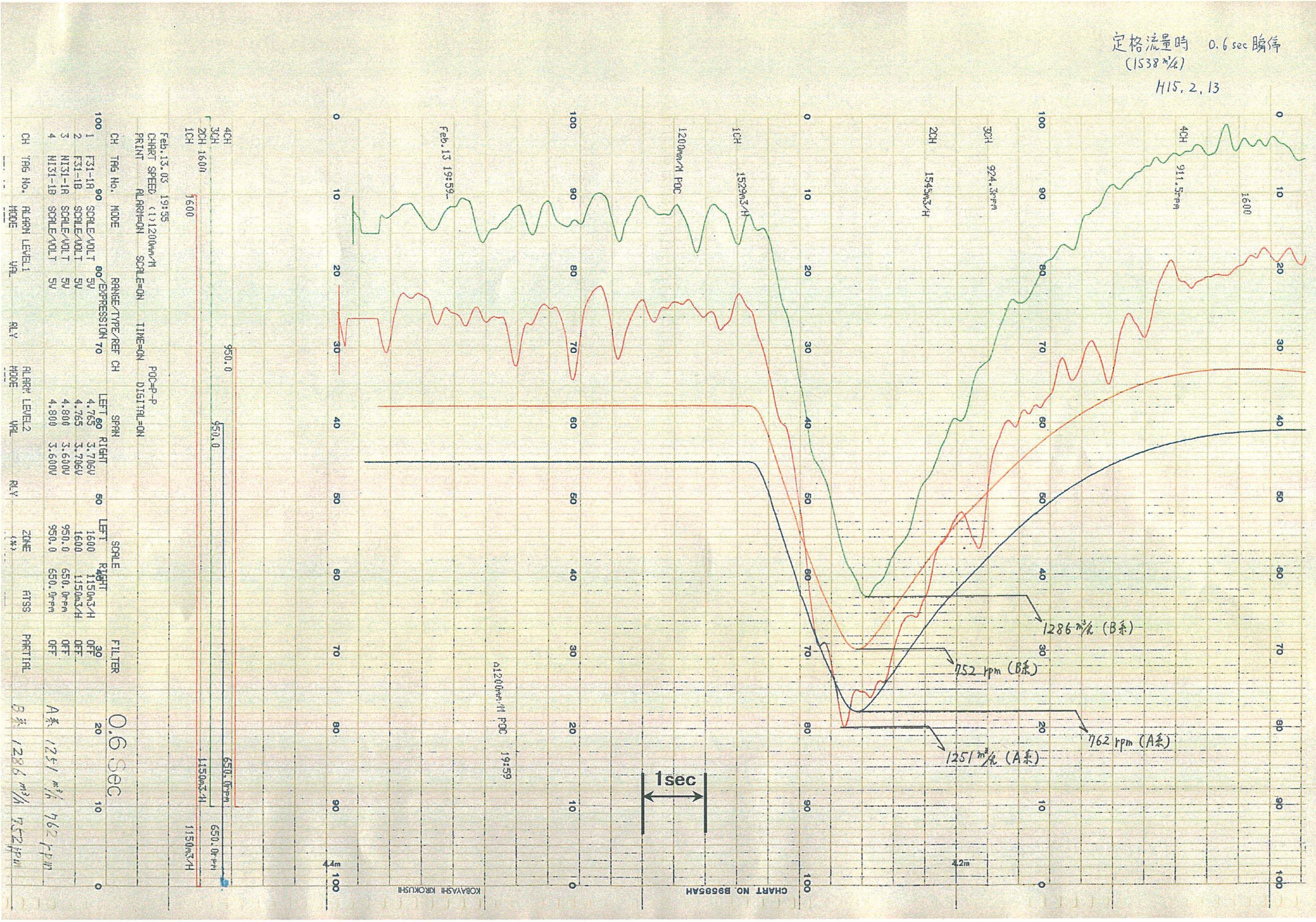
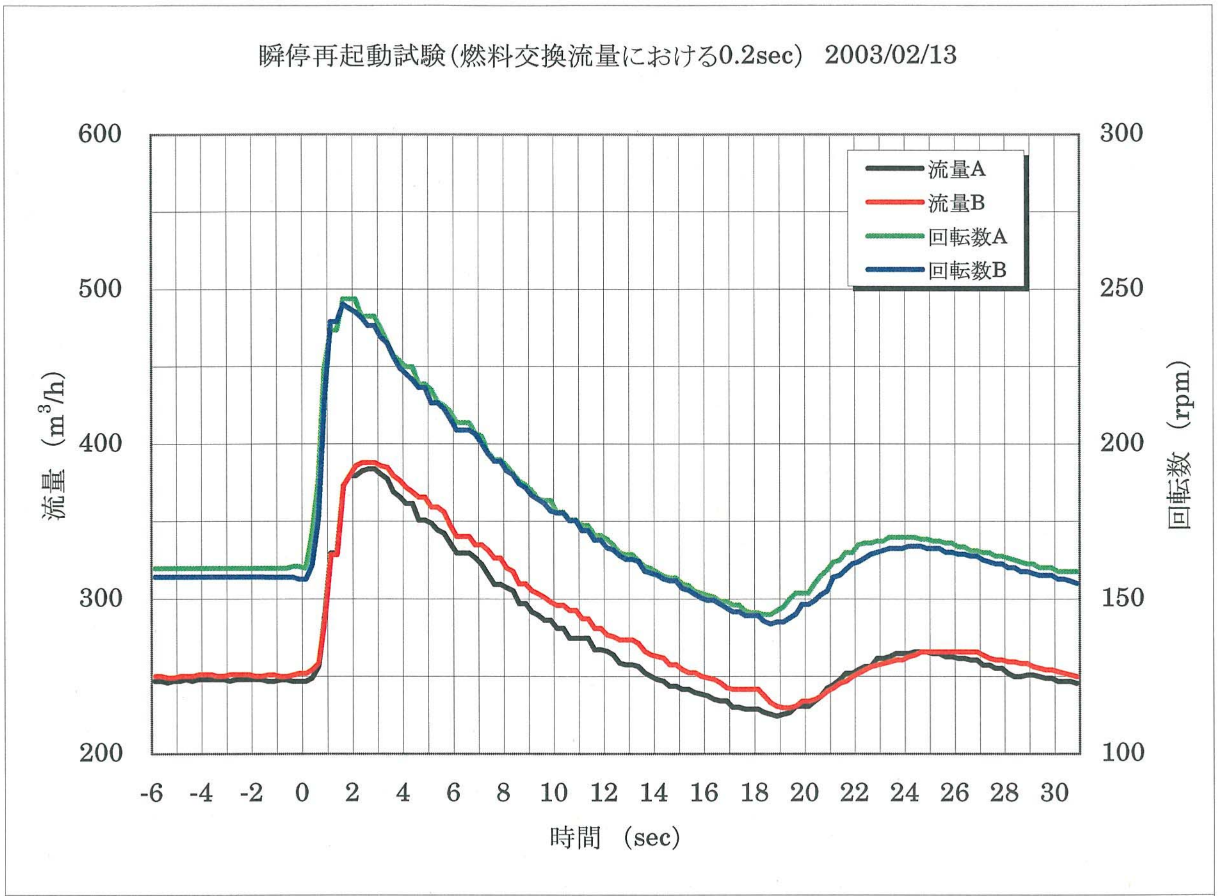


図15.5.1−4 (2/2)　定格流量からの瞬停 (0.6sec) 再起動試験 (2003年2月13日)



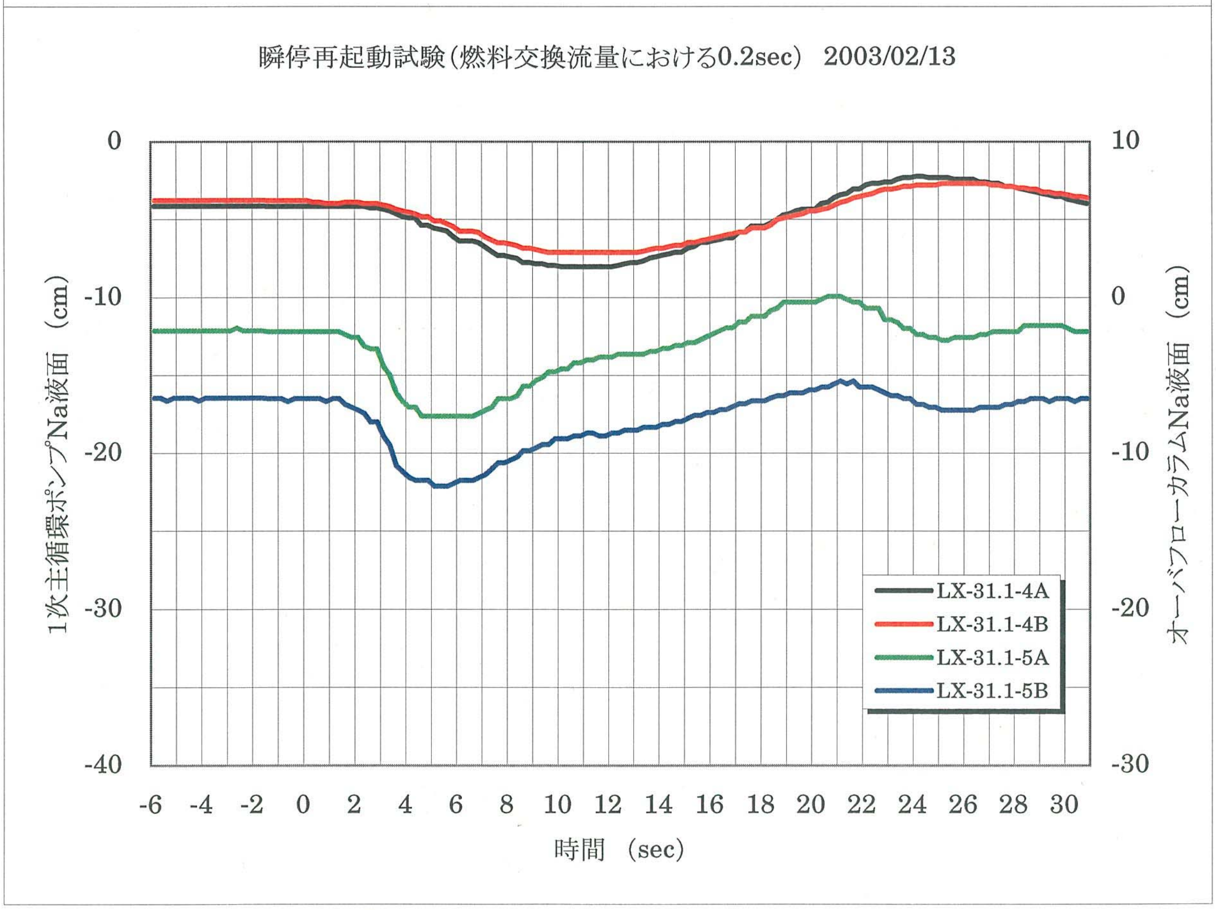


図15.5.2−1 (1/2) 燃料交換流量からの瞬停 (0.2sec) 再起動試験 (2003年2月13日)

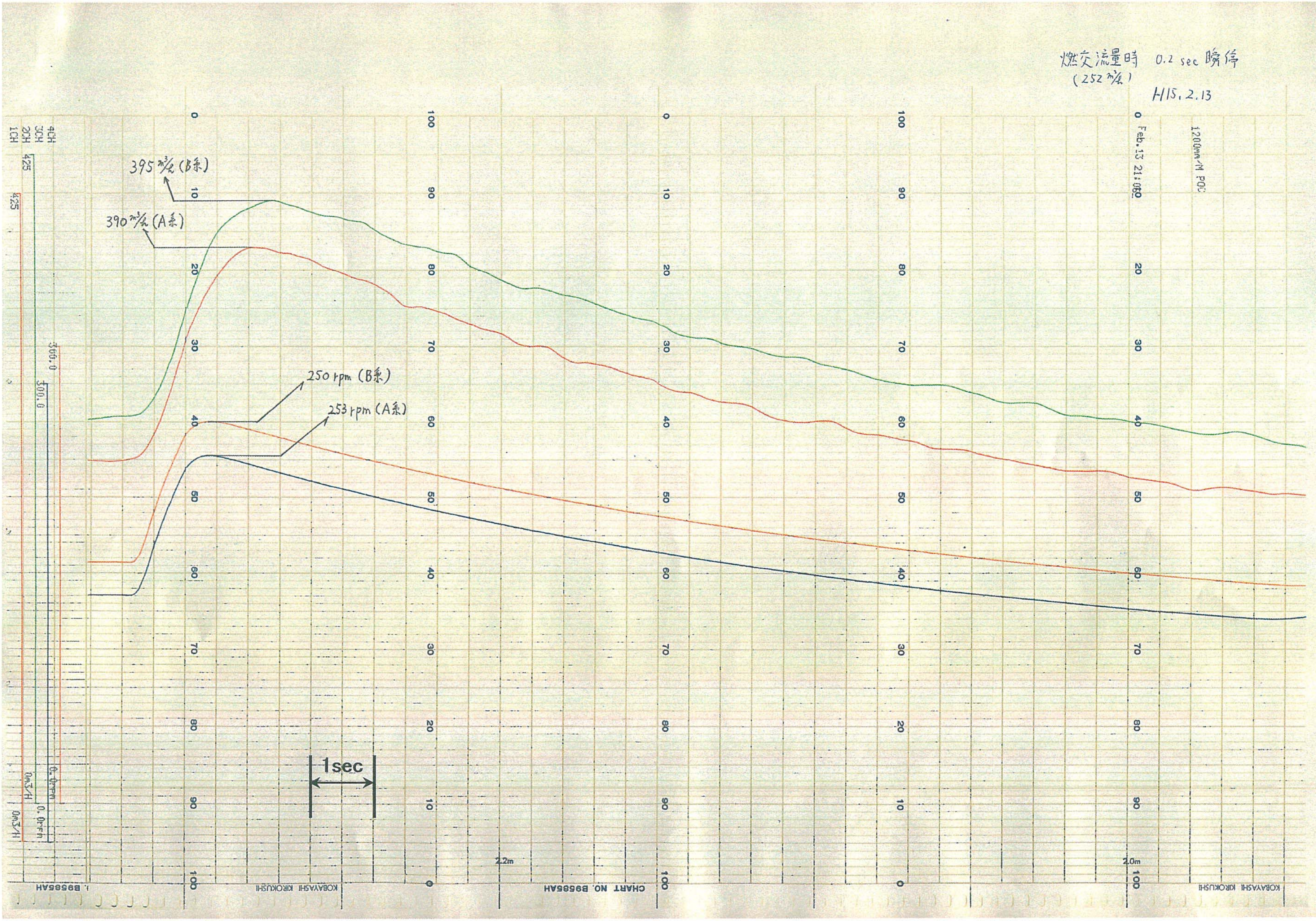


図15.5.2−1 (2/2)　燃料交換流量からの瞬停 (0.2sec) 再起動試験 (2003年2月13日)

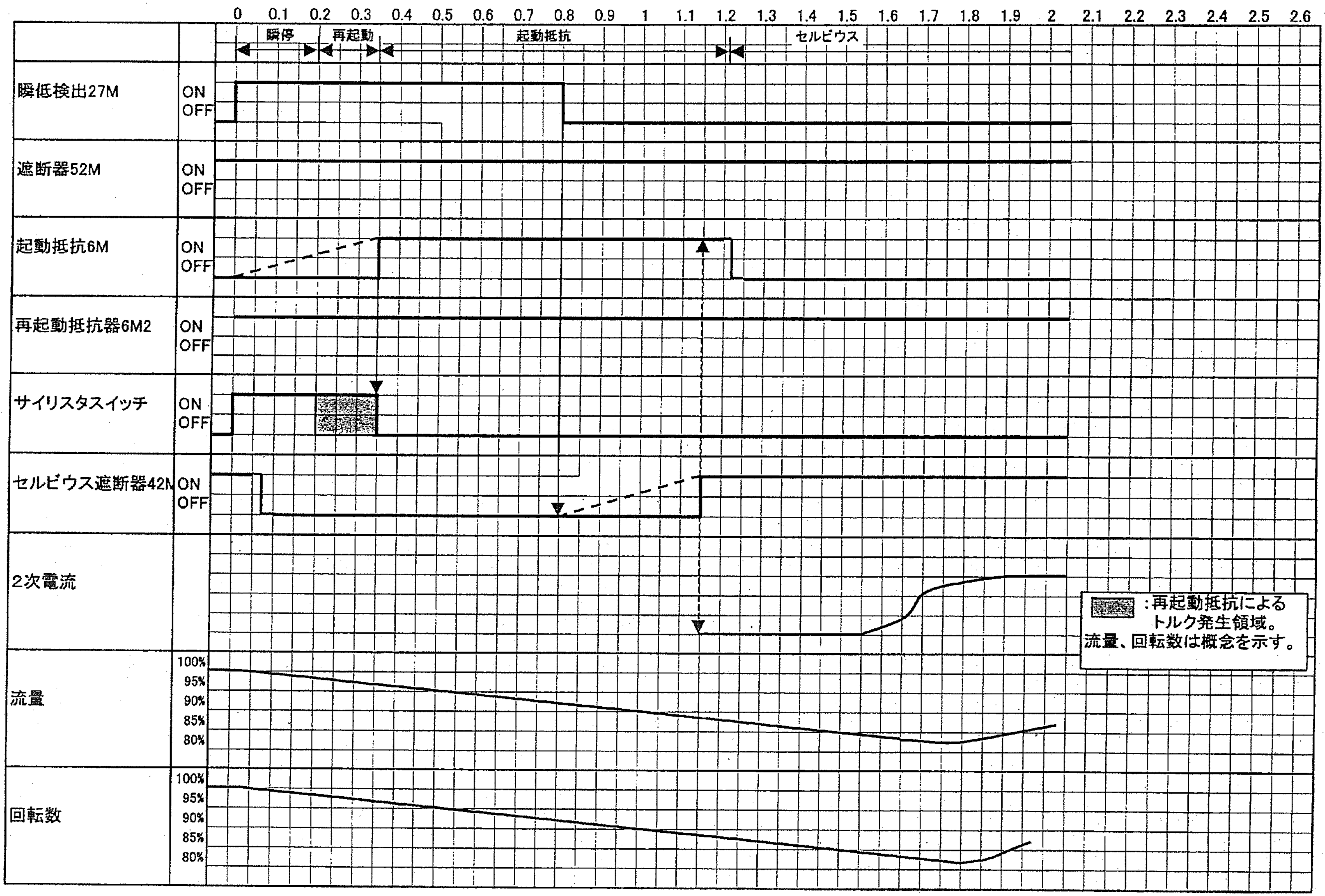


図15.6－1　2003年1月31日瞬停再起動試験のタイムチャート
（瞬停時間0.2sec（セルビウス速度制御系瞬停検出リレー動作時間0.8sec））

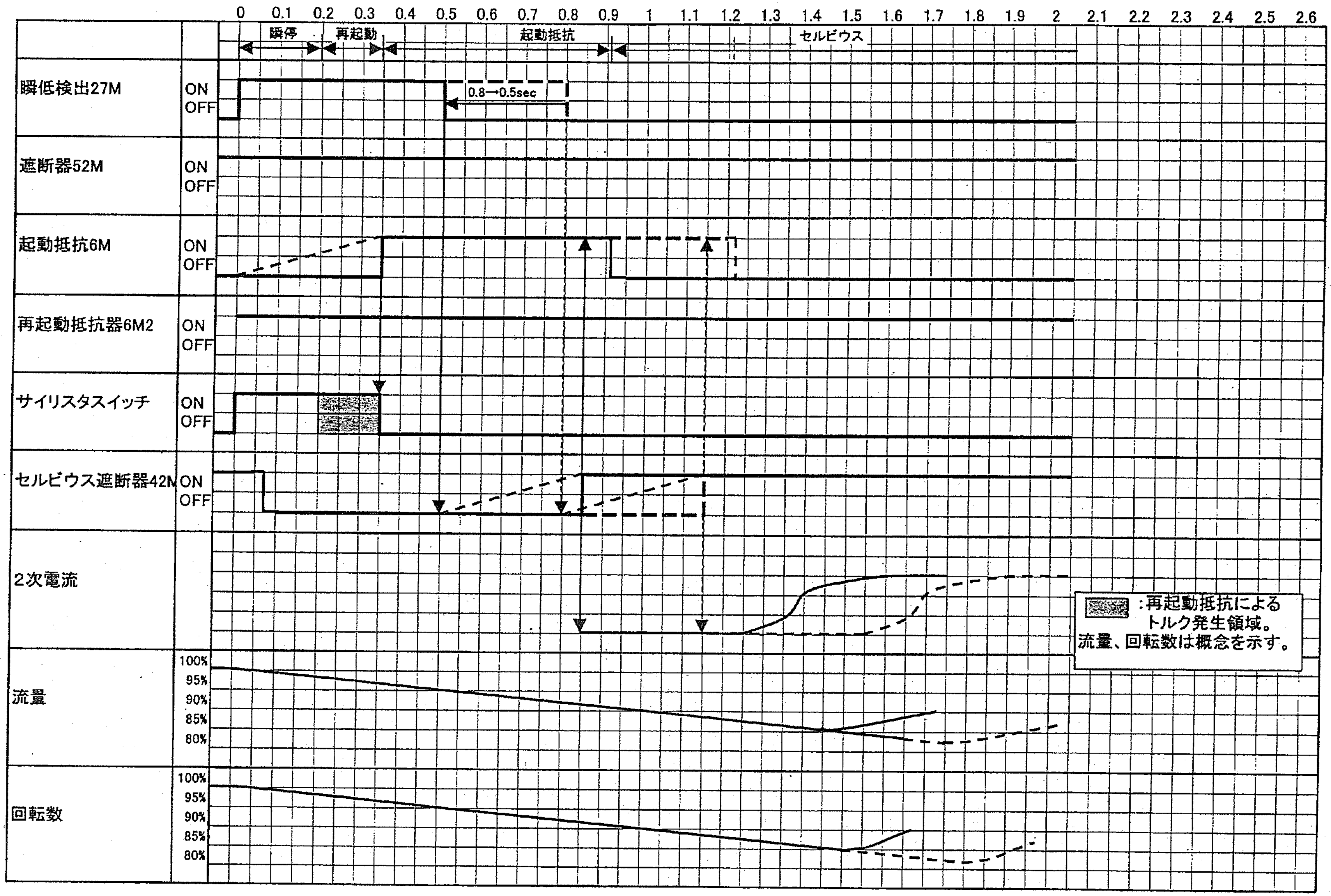


図15.6−2　瞬停再起動時におけるタイムチャート
（瞬停時間0.2sec（セルビウス速度制御系瞬停検出リレー動作時間0.8sec→0.5secとした場合））

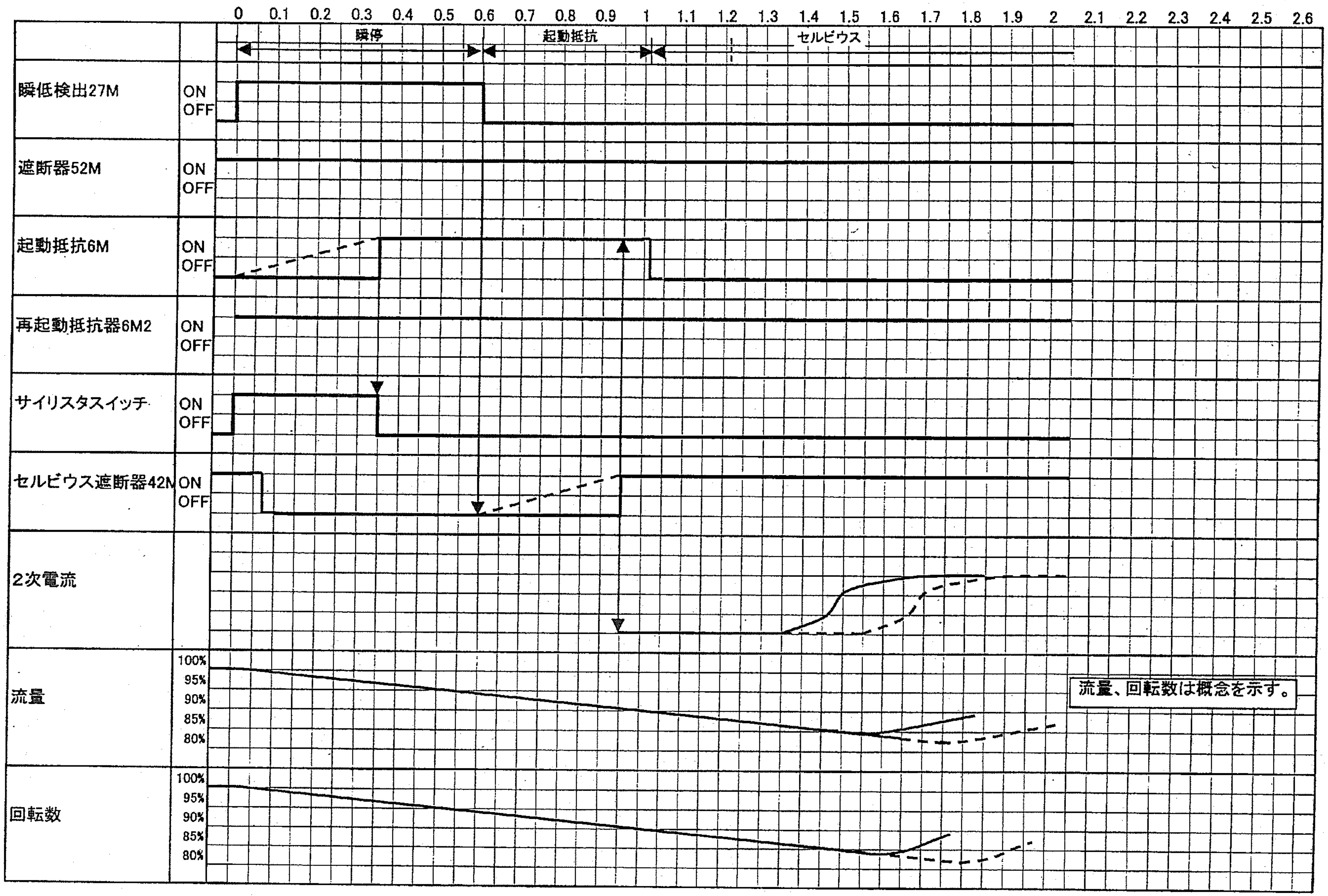


図15.6－3　瞬停再起動時におけるタイムチャート
（瞬停時間0.6sec（セルビウス速度制御系瞬停検出リレー動作時間0.8sec→0.5secとした場合））