

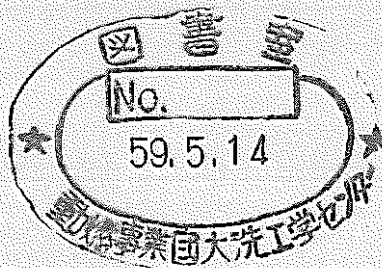
高速実験炉「常陽」

自動連続式プラグング計改造工事



技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 941 84-34
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

1984年3月



動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

高速実験炉「常陽」 自動連続式プラグング計改造工事

佐藤 正明	戸沢 孝行 *	高杉 喜雄 **
米田 吉之 ***	千田 豊一	山下 喜世
石橋 喜朗	鈴木 伸也	大和田 敏雄
島崎 芳博	島 孝充	竹内 則彦
堀米 利元	井上 晃次	

要 旨

高速実験炉「常陽」1次純化系自動連続式プラグング計は昭和55年12月に設置して以来、フィルタ部の目詰りによる流量低下により、長期連続運転ができなかった。そのため昭和57年3月～5月にかけてフィルタ部の改造工事を実施した。さらに改造工事終了直後に予熱ヒータ故障により配管内ナトリウムがフリーズし、そのメルト作業も実施した。

これらの作業を通じて以下の結果・経験が得られた。

- (1) 自動連続式プラグング計は改造により適正流量が確保でき、長期連続運転が可能となった。
- (2) 系統内ナトリウムドレン方法およびドレン確認方法について留意すべき点を明らかにした。
- (3) マイクロヒータによる配管内残留ナトリウムの溶融ドレン方法およびその有効性を確認した。
- (4) ナトリウム配管溶接に際して留意すべき点を明らかにした。
- (5) 保温を順次施工する方法によりフリーズした配管内ナトリウムのメルトが確実にかつ安全に実施できることを確認した。

大洗工学センター高速実験炉部原子炉第一課

- * 本社核燃料部計画課
** 運輸省航海訓練所
*** 日立エネルギー研究所

Procedure for Modification of Joyo Primary
Plugging Meter

M.Sato, T.Tozawa, Y.Takasugi,
Y.Yoneda, T.Senda, K.Yamashita,
Y.Ishibashi, S.Suzuki, T.Owada,
Y.Shimazaki, T.Shima, N.Takeuchi,
T.Horigome and T. Inoue

Abstract

The automatic continuous plugging meter of the primary purification system were installed December 1980, but, this system had not shown its function for a long time, because of the low flow rate which were caused by plugging of filter sections. The modification of filter section on plugging meter was made during March to May 1982. But another trouble was found on preheating heater its loss of functions after the modifications of plugging meter, the sodium were freezed so the procedure of sodium melting was made. From these modifications, the following results and experience were obtained.

- (1) After the modification of automatic conditions plugging meter, the desirable flow are gained as a function of long term continuous operation.
- (2) The method of circuit drain and the checking method of circuit drain have pointed out.
- (3) The new method of local drain by using micro heater are found and its capability are acknowledged.
- (4) The important point of welding method on piping in sodium systems are pointed out.
- (5) By using local heating method on sodium piping, the sodium melting are performed its practicality and its safety.

* Operation Sec. Experimental Fast Reactor Div. OEC PNC.

目 次

1. 緒 言	1
2. 自動連続式プラグング計の概要	2
3. 改造工事	5
3.1 改造までの運転経過	5
3.2 流量低下現象の推定原因およびその対策	7
3.3 工事時の問題点	9
3.4 今後の留意点	12
3.5 工事時の被曝量	13
3.6 改造後の運転経過	14
4. 予熱ヒータ補修工事	17
4.1 断線原因	17
4.2 補修工事	17
4.3 検 討	18
5. 結 言	19
参考資料 1次純化系運転経過(昭和56年3月~昭和58年3月)	20

1. 緒 言

高速実験炉「常陽」1次Na純化系自動連続式ブラギング計（以下「 P L 計」と略す）は低温領域のブラギング温度（ $110\sim 150^{\circ}\text{C}$ ）を測定する目的で昭和55年12月に従来の手動式ブラギング計とは別に新たに設置された。これは、「常陽」においては1次冷却材Naの純度維持基準をブラギング温度 200°C 以下（目標値 150°C ）と規定しているため、当初はコールドトラップ設定温度を約 150°C で運転していたが、メンテナンス時の被曝低減化等の目的でCPをできる限り低くおさえるため昭和54年2月からコールドトラップ低温運転（約 120°C ）を実施した^{*1}。これに伴ない従来から設置されている手動式ブラギング計（測定範囲約 140°C 以上）ではブラギング温度が測定できなくなったことによる。

しかしながら P L 計は運転開始後2～3ヶ月で、オリフィス保護の目的で設置したフィルタ部の目詰りにより本来の目的である連続運転が不可能な状態となった。そのため昭和57年3月～5月にかけてフィルタ部の改造工事を実施した。改造工事は本 P L 計設置時の1次純化系配管切断、溶接の経験を踏襲して実施したが、予期しない種々のトラブルに遭遇した。

本報告書ではこれらのトラブル対策を主体に改造工事について報告する。また改造工事実施後、予熱ヒータ端子部溶断による P L 計出入口配管内Naフリーズという事態が発生しており、合わせてその対処方法についても報告する。

*1 1次ナトリウム純化系運転経過報告書

2. 自動連続式プラグング計の概要

① P L計は強制雰囲気ガス冷却方式によるオリフィスプレート式自動連続測定型であり、格納容器床下雰囲気窒素ガスと、加熱器ヒータとでプラグングオリフィスでのNa中不純物の析出と溶解が平衡状態を保持するように制御される。この時のオリフィス部のNa温度をプラグング温度として自動検出する。また、本P L計は振動測定も可能である。

本P L計は現場ラックと操作盤から構成される。

現場ラックは電磁ポンプ、電磁流量計、Na冷却装置、エコノマイザ、プラグングオリフィスなどから構成されたNa回路一式を収納しており、ラック内のNa機器および配管には予熱ヒータ、Na漏洩検出器、サーモカップル(T/C)および保温材が取り付けられている。

操作盤にはNa流量とプラグング温度を記録する記録計のほか、プラグング計の運転操作に必要な操作回路、制御回路等を備えていて、現場ラックの諸操作を遠隔で行える。

図2-1に本P L計を含む1次Na純化系系統図を示す。また、図2-2に本P L計の系統図を示す。

1次純化系配管から流入したNaはエコノマイザの管側を流れ、胴側を流れるNaと熱交換された後、電磁ポンプ、冷却加熱器、電磁流量計をへて、プラグングオリフィスとバイパスオリフィスに分流される。プラグングオリフィスを出たNaは電磁流量計をへてバイパス側と合流し、純化系配管に戻る。

プラグングオリフィス部にはNa温度を検出する熱電対があり、また、電磁ポンプ出口とプラグングオリフィス出口に設置されている二つの電磁流量計の出力信号は除算器で流量比 $\frac{F_1}{F_2}$ に変換されて、PID調節計の入力となる。

冷却加熱器は強制雰囲気ガス冷却方式であり、ダンパとプロワおよび自動制御ヒータを備えている。オリフィス部のNa温度制御は、ダンパにより冷却ガス流量をある範囲に手動制御しPID調節計からの制御信号によってヒータ入力を自動制御する方式で行われる。このPID調節計は流量比の入力信号と設定値とを比較し、流量比が設定値より大きい場合にはヒータの入力を減じ、Na温度を下げオリフィスへの不純物の放出を促進し、設定値よりも小さい場合はヒータの入力を増し、Na温度を上げ、付着不純物を溶解するように動作する。このようにして、プラグングオリフィスをNa中の不純物の析出と溶解の平衡状態に保持し、この部分のNa温度をプラグング温度として自動的に検出する。

本P L計の主要目は次の通りである。

(1) 本体	
数量	1基
形式	オリフィスプレート式自動連続測定型
冷却方式	強制雰囲気ガス冷却方式

測定下限 110℃
 主要寸法 1400mm(W)×1500mm(H)×900mm(D)

(2) 構成機器

① 冷却ブロワ

冷却ブロワは冷却加熱器でNaを冷却する雰囲気ガスを送気するためのものである。

基数 1基
 形式 シロッコ型ブロワ
 冷却風量 15m³/min(最大値)
 電動機容量 210V, 3φ, 0.75kW

② 電磁ポンプ

PL計配管のNa駆動用として用いる。

基数 1基
 形式 環状流路リニア誘導型
 流量 2.4ℓ/min(定格)
 駆動電源 210V, 3φ, 2.22kW

③ 電磁ポンプ冷却ファン

電磁ポンプ磁場コイルの冷却用である。

基数 1基
 形式 シロッコ型ブロワ
 電動機容量 210V, 3φ, 0.2kW

④ 電磁流量計

電磁ポンプ出口流量とオリフィス流量を測定し、PID調節計の入力信号に用いる。

基数 2基
 形式 永久磁石型
 測定範囲(メイン流量計) 0~3ℓ/min
 (オリフィス流量計) 0~0.4ℓ/min

⑤ エコノマイザ

エコノマイザはPL計に入る高温のNaと純度測定後のNaとで再生熱交換を行い、PL計における冷却負荷を小さくし、熱経済を良くするための熱交換器である。

基数 1基
 型式 2重管向流型

⑥ 冷却加熱器

オリフィス部Na温度を制御するために、冷却ガス流路と加熱電気ヒータを備えた機器である。ヒータは、サイリスタ(SCR)による連続制御方式である。

基 数 1基
形 式 向流雰囲気ガス冷却電気ヒータ内蔵型

- ⑦ プラギングオリフィス
Na中の不純物を析出付着させるためのものである。

基 数 1基
形 式 整流管内蔵複数オリフィス型

- ⑧ フィルタ
オリフィスの穴が非常に小さいため、異物が流入して、オリフィスが閉塞するのを防ぐためのものである。

基 数 2基(出入口に各々1基)
形 式 ステンレスメッシュ内蔵型

- ⑨ Na漏洩検出器
PL計配管からのNa漏洩を検出するため、配管底部に沿って設置してある。

基 数 1式
形 式 通電式

- ⑩ 予熱ヒータ
Na配管、機器等を予熱するための電気ヒータである。

基 数 5式
形 式 電磁ポンプ、冷却加熱器：マイクロヒータ
配管、エコマイザ等 : シーズヒータ

出 力 約4.7 kW (総計)

- ⑪ 付属配管
PL計のNa流路

入口配管 1 / 2 B
出口配管 1 / 2 B
ユニット内配管 1 / 2 B

- ⑫ 付属計装盤
予熱ヒータの制御盤、電磁ポンプ、冷却ブロワ等の動力盤および電磁ポンプの力率改善用のコンデンサ盤である。

員 数 3面
形 式 自立閉鎖型
寸 法 610mm(W) × 2300mm(H) × 400mm(D)

3. 改造工事

3.1 改造までの運転経過

① PL計は第2回定検中の昭和55年11月～12月に据付を実施し、翌昭和56年1月の官庁試験をもって工事を終了した。その後1次系ドレンのため一時期停止していたが、2月中旬より運転方法確立のための試運転を実施し、3月中旬、75MWt第4サイクル開始と同時に本格的な運転を開始した。

本格的な運転開始から改造工事の行われた昭和57年3月までの運転状況は、原子炉運転中で系統温度が高く比較的順調に運転できた時期、原子炉停止に伴う系統温度低下により運転不可となった時期および原子炉運転により系統温度が上昇しても不調となった時期に大別できる。

以下にこれらの詳細について述べる。

(1) 75MWt第4サイクル運転中（昭和56年3月中旬～5月上旬）

この期間中は設置後初めての本格的運転であったが、比較的順調に運転でき、ブラギング温度はコールドトラップ（以下「O/T」と略す）設定温度125～130℃に対し極めてよく対応した。しかしながら、運転初期においてはオリフィス温度^{*2}のハンチング現象がみられ、その周期は短いもので2～3hr、長いもので7～8hrで温度幅は共に20～30℃であった。この現象はNa中に飽和温度の異なる2種以上の不純物が存在するため発生したと推測しているが、運転後期になるとみられなくなり、正確な原因および不純物の組成等については確認していない。

メイン流量^{*3}は運転継続に伴ない徐々に低下したが、流量低ANN発生後フラッシング^{*4}により流量回復ができ、その後の運転も可能であった。この時期の① PL計EMP印加電圧は約60～70V（上限値80V）であった。

(2) 原子炉停止期間中（昭和56年5月上旬～6月中旬）

75MWt第4サイクルが終了し、系統温度が降下するのに伴ない、直接的には系統温度の影響をうけないはずのメイン流量も低下（1.0～1.2ℓ/min）し、運転不能状態となった。さらにフラッシングによる効果もなく、定格流量までの回復は計れなかった。しかし電磁ポンプのon-off（瞬停操作）によりショックを与えると多少の流量回復が可能で、この操作と特

*2 ① PL計オリフィス部のNa温度、不純物の折出・溶解の平衡状態においてブラギング温度に対応する。

*3 ① PL計ライン全流量 定格値 1.5～2.0 ℓ/min
流量低 1.3 ℓ/min, 流量低々 1.0 ℓ/min (EMPトリップ)

*4 冷却加熱器内蔵のNa温度制御用電気ヒータ（総容量5kW）を手動により投入し、オリフィス部のフラッシングを行う。

殊試験のため原子炉の50MWt運転をしたことによる系統温度の上昇とが加味されて5月下旬の運転が可能となった(図3-1参照)。特殊試験終了後は再びメイン流量の確保が難しくなり、電磁ポンプ印加電圧を上限の80Vとしても定格流量は得られなかった。この時のフラッシング状態は(自)PL計入口Na温度250℃以下、オリフィス温度350℃(max)、メイン流量1.0~1.2ℓ/minであった。

フラッシングによって流量回復が計れない原因は、それまでの状況からオリフィス部などにおける不純物の閉塞ではなく、(自)PL計出入口に設置されているフィルタ(SUS製金網多層構造、メッシュ径100μ)の目詰りによるものと推定し、フィルタ部のフラッシングを計画実施した。フィルタに付着した不純物を溶解・排出するため出入口配管の予熱温度設定の変更(出入口配管275℃→400℃、出口配管^{*5}275℃→450℃)及び逆転運転^{*6}を実施したが、これによっても1次系系統温度が低い間(約220℃)はメイン流量に変化はなく(1.2ℓ/min以下)、原子炉が起動され(自)PL計入口Na温度が約350℃以上になってやっと回復をはじめた。逆転運転の最終段階では(自)PL計入口Na温度約440℃、電磁ポンプ印加電圧約70Vでメイン流量は1.6ℓ/minまで回復した。

(3) 75MWt第5サイクル運転中(昭和56年6月中旬~8月上旬)

7月中旬まではメイン流量は定格流量以下(1.3~1.5ℓ/min)ではあったがそのまま測定運転を継続した。その後、最終的に約1.0ℓ/minまで低下したためフラッシング運転を実施したが、加熱ヒータ出力30%での運転が限度で、加熱ヒータ出力をそれ以上増加するとNa温度上昇による電磁ポンプ吐出圧力の低下により(図3-2)メイン流量低々でトリップしてしまい、十分なフラッシングはできなかった。7月下旬には電磁ポンプの起動すら不可能な状態となったためすべて停止し、予熱保持状態とした。

前回と同様フィルタの目詰りと判断し、逆転運転を実施した。逆転運転では流量は瞬時に回復し、加熱ヒータ100%、EMP印加電圧80Vでメイン流量は2.3ℓ/minとなった。逆転運転、正転運転を繰り返しその後測定状態にした時点ではEMP印加電圧70Vでメイン流量1.7ℓ/minであった。しかし第5サイクルが終了し、系統温度が下がると再び極めてよく追従してメイン流量は低下(1.7ℓ/min(70V)→1.4ℓ/min(80V))し、最終的には1.1ℓ/min以下となった。

(4) 原子炉停止期間中(昭和56年8月上旬~11月上旬)

正転運転においては流量は確保できず、逆転運転においては瞬時に流量は回復するという状

*5 出口配管用予熱ヒータは純化系配管との合流点での熱衝撃を緩和するため、入口配管・出口配管共通の出入口配管用予熱ヒータとは別に設置されている。

*6 この時点では流量逆転装置が設備されていなかったため、現場で電磁ポンプ電源の位相を入れ換えることにより実施した。

態が続いた。また逆転運転で回復しても正転運転に戻すと再び低下するという状況もかわらなかつた。そのため系統温度の上昇がない限り④PL計の運転は不可能と判断し、8月下旬より75 MWt 第6サイクルの開始する11月上旬まで停止状態（予熱保持状態）とした。また同時に根本的対策の検討にはいった。

(5) 75 MWt 第6サイクル運転中（昭和56年11月上旬～12月下旬）

状況はさらに悪化し、系統温度の上昇にもかかわらず流量確保が困難になり、定格流量以下の短期間測定運転、フラッシングを繰り返した。

75 MWt 第6サイクル終了後は再び停止状態（予熱保持状態）とした。

3.2 流量低下現象の推定原因およびその対策

④PL計は設置以来前記のように流量低下現象を発生し、本来の目的である長期連続運転は達成できなかった。流量低下現象については運転状態を種々変えて（EMP印加電圧増加，EMP on-off 運転・逆転運転等）流量の回復を計ったが、系統温度の高い状態（原子炉運転時）においてのみ一時的に可能であり根本的な対策とはならなかつた。そのため第3回定期点検期間中を利用して改造工事を実施するに至った。

ここでは流量低下現象の原因について推定し、その対策を記す。

(1) 流量低下現象の原因

流量低下現象にはそれまでの運転経験から、共通して以下の現象を観測している。

- ① ④PL計入口温度（つまり系統温度）が高い場合（原子炉運転中）は比較的メイン流量は確保しやすい。逆に低い場合は流量の確保は極めて難しい。
- ② ①の現象は④PL計設置後その使用期間が長くなるにつれて顕著になってきている。
- ③ ④PL計運転状態においてメイン流量は徐々に低下する。
- ④ ④PL計入口温度の低下に極めてよく追従してメイン流量は低下する（図3-3）。
- ⑤ 逆転運転を行うとメイン流量は④PL計入口温度に無関係に瞬時に大幅に増加する。（図3-4）
- ⑥ 逆転運転によりメイン流量が確保されても再び正転運転にもどすとメイン流量は低下し、特に入口温度が低い場合はその低下は著しい。

以上のような現象から推察して、最も一般的に考えられる原因は、④PL計系統内での温度依存性のある不純物（かなり高い飽和温度をもつと考えられた）による局所閉塞である。局所閉塞は最も狭窄した部分におこりやすいことと、前記現象の⑤に示したように流量は逆転運転においては④PL計入口温度に無関係に瞬時に大幅に増加することとから、局所閉塞をおこしている個所は本PL計の出入口配管にオリフィス保護の目的で設置したフィルタ部分と思われた。

フィルタはメッシュ径100 μ のSUS製多孔板で前後を計4層のメッシュサポートでおお

われている。形状は円筒状（ $40\phi \times 50\ell$ ）で縦置に設置され、Naは出入口フィルタ共フィルタ内側より外側に流れている（正転運転時）。フィルタ部配管径は(自)PL計ライン配管径 $1/2B$ に対して $2B$ と大きくなっている（図3-5）。

温度依存性のある不純物は系統温度の低下に従いが析出し、あるいは何かを核として成長して(自)PL計内に流入してフィルタ部で捕獲される。またフィルタの設置されている(自)PL計ユニットまでは純化系配管から $6\sim 7\text{ m}$ 配管を引き回しており、たとえ予熱ヒータがあってもその放熱は大きく、その間の温度降下も大きい。フィルタ部分は特にそれ専用のヒータ等は設けてなく、そのためフィルタ部がコールドトラップ的役割をはたし、この部分で不純物が析出・成長する場合も考えられる。これにより不純物の付着したフィルタ部では圧損が大きくなり、したがって流量低下をひきおこす（図3-6）。

逆転運転においてはフィルタ内壁面に付着した不純物は逆流により剝離し、瞬時に流量は回復する。フィルタ部径（ $2B$ ）は配管部径（ $1/2B$ ）より大きいため、配管部流速約 1.1 cm/sec に対し、フィルタ部流速は1桁下と考えられ、そのため一旦逆転により剝離してフィルタ内壁面より離れた不純物も完全にはフィルタ部から排出されず、再び正転にもどした時に再度容易に流量低下を引きおこす原因になると考えられた。

したがって流量低下を防ぐには2つのフィルタ部分の構造変更が必要と考えられた。

(2) 流量低下現象対策

前記原因をふまえてフィルタ部を以下のように改造する（図3-7）。

- ① メッシュ構造は現状の5層から単純な1層の多孔板とする。
- ② メッシュ径は 100μ から 300μ とする。これはオリフィス部開孔径 400μ （オリフィス構造径 500μ ，測定時は20%閉塞が設計条件）に対して、当初のフィルタ設置目的であるオリフィス保護を考慮し、余裕をみて採用した値である。
- ③ フィルタ部径を $2B$ より $3/4B$ とする。ただしシステムのバランス上フィルタの通過面積を同等にするためフィルタ長は 50 mm から 160 mm とする。これによりフィルタ部流速は約 1.1 cm/sec より約 6.5 cm/sec に増加できる。
- ④ フィルタ部を縦置から横置とし、設置場所もユニット内より純化系配管近傍に移設する。フィルタ部を横置にすることにより不純物はフィルタ下側の配管側に沈殿しやすくなり、また純化系配管近傍に設置することにより万一目詰りを発生しても逆転運転等により、純化系配管に排出しやすい構造となる。純化系配管に排出された不純物はコールドトラップにより捕獲される。さらに温度的にもフィルタ部を従来より高い温度に維持できる。
- ⑤ 逆転装置を常設し、必要に応じ容易に逆転運転可能とする。

3.3 工事時の問題点

本改造工事は放射化されたNa配管の切断・溶接を伴う工事である。放射化されたNa配管の切断・溶接はすでに本PL計据付工事時に1次純化系配管(2B)で経験を有しており、今回もその経験を踏襲して実施した。工事の方法等の詳細については据付時の報告書PNC N941 81-197を参照されたい。

今回の工事における予定および実績工程表を表3-1に示す。当初の予定では実質約1ヶ月程度の工事内容であったが、実際には実績工程表に示すとおり、Naの残留・溶接の失敗等重大な部分でのトラブルが相継ぎその工程は大幅に延びた。

ここではこれらのトラブルを主体に述べ、工事の詳細は省略する。図3-8に(自)PL計配管図を示す。

(1) 工事内容の概略

- ① 1次純化系および(自)PL計系統内のNaドレン
- ② 作業エリア設置：養生・しゃへい体(鉛毛マット)取付・クリーンハウス設置等
- ③ 保温・予熱ヒータ・Na L/D・結線等取外し
- ④ 配管切断・溶接

現状ユニット内に設置しているフィルタ部(入口フィルタ, 出口フィルタ)は切断・撤去し、その個所は接続配管でつなぐ。新規フィルタはユニット外入口配管・出口配管の純化系配管寄りを一部切断し取付ける。

⑤ 電磁流量計勾配変更

電磁流量計ダクト部でのガス溜りの可能性を極力少なくするため架台を交換し、勾配を変更する。

- ⑥ 端子箱交換
- ⑦ 検査：PT, He耐圧漏洩試験(設計圧力5kg/cm²の1.25倍まで加圧)等
- ⑧ 保温, 予熱ヒータ, Na L/D, 結線等取付
- ⑨ R-104, R-105間仕切り扉の変更

(自)PL計出入口配管布設により出入り困難のため

- ⑩ 作業エリア撤去：養生, しゃへい体, クリーンハウス等撤去
- ⑪ 逆転装置設置, インターロック改造等
- ⑫ 試験：単体試験, 実流試験(Na充填後)等

(2) (自)PL計内Naドレンについて

本PL計は現状では系統内全ドレンができない構造となっている。ユニット下部には一応ドレンノズルを設けているが、そのラインはどこにも接続しておらず、また系統にはバルブは(1ヶ所も)なく、Arガス系も接続していない。そのため今回の工事にあたってはとりあえず切断する個所(出入口配管部, 出入口フィルタ部)までのNaドレンを実施した。ドレンに

あたってはまず1次純化系のドレンを実施し、その後純化系EMP回りを確実にドレンするためD/T(A)を加圧して純化系EMP経由でOF/Tへのドレンを行った。次に(自)PL計系統内をドレンするため、(自)PL計EMPを逆転運転し、メイン流量計により急激な流量低下の発生を確認した後EMPを停止する方法をとった。これは(自)PL計EMPの運転により(自)PL計系統内のNaインベントリの約半分が純化系配管側に排出され、EMP停止後は残りの約半分のNaはユニット下部に落下し、それは切断個所以下であるという計算結果が得られたことによる。

ドレン操作実施後、切断予定部のNaドレンが確実になされていることを再確認する意味で切断予定部のRTを実施した。これはRTのフィルム観察によりNa有無の判別が可能と思われたからである。別に配管に沿って残留Naの放射能を測定する方法等も考えられたがバックグラウンドの影響が大きく不可能と判断した。フィルム観察の結果は一瞥ではフィルタ部メッシュが鮮明に写し出されており、特にNaが残留している様子はなくドレンは確実に行われたものと思われた。

しかしながら実際に配管を切断してみると、入口配管、出口配管、出口フィルタ部の3ヶ所は完全にドレンされ配管内壁に薄く付着している程度であったが、入口フィルタ部はドレンされておらずNaは配管全体に詰まっている状態であった。この原因について考えられることは、入口フィルタはその目詰りのため流量低下現象を引き起こしてきたが、これが今回のドレンにおいても起因し(自)PL計EMP停止後Naがスムーズに自重落下せずそれがそのまま予熱ヒータのoffにより残留したものと思われた。

(3) Na除去について

改造による溶接部は最終的にはHeによる耐圧漏洩試験によりその健全性を確認する。Heは1次Naサンプリング設備より注入するため、サンプリング設備から当該溶接部までのラインはすべて導通している必要がある。また本PL計の配管勾配はユニット内のガス抜きを考慮して、純化系配管からユニットに向かい約1/50の下り勾配になっている。そのためNaの残留していた入口フィルタ部の上流側は溶接時の熱によるNa溶融を考慮するとぜひともNa除去をしておく必要があった。

当該部分の詳細を図3-9に示す。図から明らかなように当該部分は曲管部であると同時にT/C用ウェルがあり治具によるNa除去は2~3cmが限度であった。そのため切断部より上流側のユニット内配管に仮設でマイクロヒータを敷設し、切断部にはNa受け用のポットを取付け溶融ドレンを実施した。その概略図を図3-10に示す。マイクロヒータ電源は100V電源を使用し、途中でスライダックを介した。またNa温度は前記T/Cにより監視した。

ヒータを投入し、約150℃まで加熱し、その状態を2時間程度保持した。加熱温度が低かったためかポット内へのNaドレンはなく、配管内Naに溶融の痕跡がみられた程度であったが入口配管切断部よりArガスを吹き込み入口フィルタ部切断部に酸欠メータをおき当該配管

の導通を確認した。導通が確認されたことによりとりあえず切断部付近のNa除去（治具によるかき出し、アルコールで湿らしたウェスによるふきとり等）を実施し、溶接作業に移行した。

溶接は初層溶接時にその終点部において溶着不良を発生し失敗した。溶着部をグラインダ等により削除し、再溶接を繰り返したが、2回目以降はNaの溶け出しによりますます溶接困難な状態となった。このためさらに完全なNa除去の必要性が生じ、再度マイクロヒータを敷設しなおし、保温効果をあげるためマイクロヒータの上からガラスウールを巻いて溶融ドレンを試みた。1度目はNa温度270～280℃まで加熱し、その状態を1.5時間程度保持した。しかしNa受け用のポットにはマイクロヒータを敷設しなかったため、この部分の温度降下が大きく（ポット口がね付近の表面温度約50℃）Naドレンにまでは至らなかった。2度目はポット口がね付近から胴の一部にまでマイクロヒータを巻き、Na温度320～330℃程度まで加熱した。これにより数十グラムのNaがドレンされた。その後治具によるNa除去を容易にするためマイクロヒータを60～70℃で予熱したままNaのかき出しを実施した。さらにアルコール、水で絞ったウェスで配管内壁の清浄を実施した。

(4) 配管切断・溶接について

配管切断に際し、クリーンハウスの設置、排気プロア・ダストモニタの設置を行い、作業者はタイベックスーツ、赤色ゴム長靴、全面マスク、綿手袋、ゴム手袋2枚を着用し、放管員立会のもとに作業を実施した。切断部はケガキ後パイプカッタを装着し、その上からビニールで覆い切断を行った。切断箇所は純化系配管よりの入口配管・出口配管およびユニット内の入口フィルタ部、出口フィルタ部の4ヶ所で構造上不可能な出口フィルタ部の片側を除いてすべて水平配管で切断した。

溶接はTIG溶接により実施した。新規出入口フィルタおよび出口フィルタ撤去部接続配管（Naが残留していなかった3ヶ所）は問題なく溶接できたが、入口フィルタ撤去部接続配管はその上流側端部の初層を溶接時にその終点部で溶着不良を発生した。当該部分をグラインダ、組ヤスリにより取りはずし再溶接を行うが再び失敗し、再度削除後Na除去を行いArをブローしながら再溶接を行ったが今度はNaに着火・燃焼するまでに至った。溶接失敗箇所を取りはずし検査を行ったところ、Naは相当量溶け出しており、また既設配管外表面に欠陥を生じていた。欠陥は配管内壁にも1φ程度の傷があり貫通しているものと思われた。欠陥部形状を図3-11に示す。

溶接の失敗、欠陥の存在という事態をふまえ、対策を種々検討した結果、次のような方法で対処することにした。

- ① Na除去は再度マイクロヒータの取付により完全に実施する。
- ② 残留応力等については再検討を行う。

大口径配管（12B，SUS304TP）において同一個所の補修溶接回数最大3回までは

強度上問題ないとの実験結果が得られている*7。

- ③ 上記②をふまえ欠陥部は切断して再溶接を行う。
- ④ T/Oウェル溶接部との干渉を避ける。

これにより既設配管切断部は欠陥部直前とし、欠陥部は接続配管ソケット内とする。また欠陥部は応力集中を避けるための補修を行う(図3-12)。

- ⑤ 接続配管ソケット部のど深さについて応力計算を実施する。

ソケット部のど深さはたびたびのグラインダ切削により約8.5mmとなった。1/2B配管においてはJIS B2306によるとのど深さ9.6mm以上と規定されており、そのため新告示501号4種管第64条第7項ただし書きにより応力計算を実施する。

以上の検討をふまえ、実際には既設配管を約7.5mm切断し、欠陥部を補修後、再度Na溶融を防ぐため溶接部上流側既設配管にぬれウェスを巻いて冷却を行いながら溶接を実施して成功した。

3.4 今後の留意点

(1) Naドレンについて

本来Naに接する個所(配管、機器等)においては定期的な点検あるいは不測の事態における補修等に備え、作業性あるいは1次系Naの場合は被曝上の問題からNa全ドレン可能な構造となっている。しかしながら本PL計のように後日追加した設備においてはそれがシステム上不可能な場合がある。そうした個所において点検・工事等の必要性が生じた場合、特に配管切断工事等の場合は、Naドレン方法、ドレン確認方法は極めて重要となる。

今回の工事における種々のトラブルの第一原因はNaがドレンされていなかったことにあり、またそれを見逃した点にある。今回の工事においてはそのドレンの確認方法としてRTを試みたが前記のごとく失敗した。失敗した原因と思われる点を以下に記す。

- ① 被写体の状況(配置、板厚等)を事前に十分調査し、適確な撮影を行う必要がある。今回の工事においては時間的余裕がなかったためか撮影者に十分な情報が伝わっておらず、同時にNa有無の確認という目的も徹底していなかった。そのため適確な撮影が行われたとはいえない。
- ② 撮影フィルムによりNa有無の判断をする判断能力及び経験等を十分養う必要がある。

*7 ナトリウム配管補修溶接法試験(Ⅲ)成果報告書

昭和55年2月, SJ225 80-01, JWES-AE-8001

動力炉・核燃料開発事業団委託研究

社団法人 日本溶接協会原子力研究委員会

PFW小委員会 Bグループ

Na が存在している部分としていない部分の境界が撮影されている場合は比較的判断しやすいと考えられるが、全面Na が存在している場合の判断は難しい。そのため疑がわしい箇所については連続的に広範囲にわたって撮影することが望ましい。

(2) 溶接について

Na 配管を溶接する場合は溶接前にNa 除去を十分行うことが必要である。今回の工事における溶接失敗は、初層を配管下面より時計回りに行いその終点部で溶着不良を発生した。さらに引き続きNa 除去を十分に行わず溶接を繰り返したことにより同一箇所へのアークにより欠陥を生じてしまった。初層溶接の失敗はNa ベーパーの吹き出し等によるものかどうかは定かではないが、それ以後の溶接失敗は明らかにNa 除去不足によるNa あるいはNa ベーパーに起因している。そのためNa あるいはNa ベーパーの溶接時の挙動については十分注意を払う必要がある。

配管溶接を行う場合、溶接箇所より最低20～30cm以内のNa は完全に除去すべきである。さらに配管を切断する場合も20～30cm以上のNa が完全に除去できるような個所で切断すべきである。またマイクロヒータ等による溶融ドレンはかなり有効な方法である。治具によるNa 除去後はアルコールで湿らしたウェス等で清浄を行うが、この場合もさらに水で絞ったウェスで清浄を行うとNa ベーパー防止に効果的である。溶接に際して溶接部より20～30cm以降の配管においてNa の溶融が予想される場合は、やはり水で絞ったウェス等を配管に巻きつけ伝熱を防止するなどの方法がとれる。

溶接においてはさらに溶接姿勢の確保も重要である。本PL計ユニットはコンパクトであるがゆえにその作業性は極めて悪く、これが他の作業へも大きく影響して後述するようにユニット内作業員の被曝量は他の作業員に比べ多い。本工事においても最終溶接時には姿勢確保のためユニットステーの一部を切断したり、冷却ブローの排気ダクトを取外すなどして作業を実施したがこれらではできるかぎり事前に実施すべき事柄である。

3.5 工事時の被曝量

(1) 被曝量の推定

本改造工事における管理区域内作業は昭和57年3月9日から5月15日にかけて行われた。工事に先だち予想される被曝量を推定した。推定にあたっては本設備据付時の被曝量実績（被曝延人員186人日、総被曝量PD値約1.0 man-rem）、前回定検時における作業予定場所の空間線量率、原子炉運転時間等より作業場所における空間線量率および作業員、作業時間の算出を行った。結果を表3-2に示す。それによると総被曝量は2.8 man-rem、最大個人被曝量240mremと予想された。

(2) 被曝量の実績

作業時の実際の空間線量率を図3-13に示す。それによるとR-104室④PL計ユニット

付近で2～4 mR/h，R-105室(自)PL計出入口配管付近で11～14 mR/hとほぼ予想値に近い値が得られた。

作業にあたってはしゃへい体の取付(鉛毛マット，R-105室OF/Tからの放射線のしゃへい)，必要時以外R-104，105室への立入自粛等により外部被曝の低減を計った。また作業者は被曝管理のためPD計，FB，TLD，アラーム計を着用した。

実作業は種々のトラブル，作業性の悪さ等によりその作業期間は大幅に増加した。各作業別の被曝実績を表3-3に示す。作業延人員は248人日で総被曝量は約1.6 man-rem，最大個人被曝量は215 mremであった。なおここでは動燃職員は含まれていない。またNa処理作業は動燃所掌のため業者の助勢分のみを算出した。

(3) 結果・検討

- ① 実際の空間線量率は前記したようにほぼ予想どおりの値が得られた。
- ② 総被曝量は予想値2.8 man-remに対して約1.6 man-remと作業期間が大幅に伸びたにもかかわらず予想値の60%弱の値であった。これは予想被曝量の算出にあたって各作業時間に十分余裕をもたせたこと，期間延長による作業場所が主としてR-104室と空間線量率の低い場所であったこと。期間延長の大半がトラブルの対策検討に費やされたことなどによるものである。
- ③ 各作業別の被曝量ではユニット内保温・ヒータ・結線等取外取付およびFM勾配変更作業に従事した者が高い値を示している。最大個人被曝量215 mremの者もこの作業の従事者である。これはひとえにユニット内の作業性の悪さに起因している。
- ④ 本設備据付時との比較を表3-4に示す。

本設備据付時から今回の改造工事までの間に原子炉は約3700hr運転されており，これにより各部屋は明らかに空間線量率が上昇している。

そのため平均被曝量は大差なくおさえられたものの，その分作業延人員に大幅な増加をきたしている。

3.6 改造後の運転経過

今回の改造工事は前記したように適正流量を確保する目的で実施したものであり，(自)PL計の性能そのものについては特に問題となる点があったわけではない。したがって改造前でも短期間ではあったが(自)PL計運転時(測定時)においてはそのプラグ温度はO/T温度によく追従した値を示していた。

改造工事は昭和57年5月下旬の実流試験をもって終了した。その後1次系ドレンのため再び停止したが，この間に発生した予熱ヒータのトラブルによる出入口配管内Naフリーズにより昭和57年9月に再度補修工事を実施した。補修工事終了後も(自)PL計は昭和57年12月中旬までは停止状態とした。これは昭和57年1年間はMK-II移行作業により多数の燃料交換が実施

され、さらに1次主ポンプ点検、本PL計改造工事等の1次系開放作業があり、1次系への多量の不純物混入が予想されたことと本PL計の改造原因が不純物のフィルタでの目詰りであったことを考慮して、C/Tによる1次系Naの純化を十分に行い、C/T設定温度が150℃以下（本PL計の測定範囲が110～150℃であることを考慮）になった時点で運転を開始する方針をとったからである。C/Tは9月のNa充填時に設定温度約220℃から純化を開始して、C/Tの圧損増加を防ぐため徐々に設定温度を下げ、12月中旬に150℃以下となった。

運転開始直後は長期間停止していたためかあるいは一度配管内Naをフリーズさせたためか起動停滞を起こしたが十分なフラッシングによりクリアでき、運転状態では改造前においては定格流量を確保するために電磁ポンプ印加電圧がほぼ上限近くの70V程度必要であったものが改造後においては約半分の35V程度で定格流量が得られるようになった。いかに旧フィルタ部での圧損が大きかったかがわかる。その後の運転は極めて順調で特に昭和58年4月以降においては、2～3週間の連続測定運転、1日程度のフラッシングのサイクルを繰り返して運転している。2～3週間の連続測定運転中はハンチング現象はあるものの流量はほぼ一定であり、末期において1.3ℓ/minの流量ANN発生の日程度前位から緩やかに流量低下を開始し、ANN発生に至っている。ANN発生後は直ちにフラッシング運転を行うが加熱ヒータは特に必要とせず、系統温度に復帰させるだけで流量の回復が計れている。実際にはより十分なフラッシングを行うため加熱ヒータは随時投入している。

順調な運転を継続しているが、以下の点を今後の問題点として確認している。

- (1) 系統温度が高くなると（100MWt出力運転中、原子炉出口温度500℃）

ブラギング温度のハンチング現象が発生する（図3-14）。

この現象は本PL計設置直後の運転時に観察したもので、1次系内不純物によるものと推測しているが、今回の現象もほぼ同様で、系統温度が低い状態から出力上昇を開始し、100MWt到達時まではほぼ一定のブラギング温度を示している。100MWt到達後数時間後にはハンチングを開始し、100MWt出力運転中はこの現象を継続している。その周期は平均数時間で、長い場合は10時間以上となる。実流量比は通常時設定値70%に対してほぼ対応しているが、ハンチング状態直前では70%以下の状態が続き、この流量比回復のため加熱ヒータがさらに投入されNa温度は上昇する。Na温度が（ブラギング温度+30～40℃）程度になると流量比は回復し、再び冷却されて元のブラギング温度におちつく。この間約3時間程度要している。ハンチング現象は出力降下に伴ない減少し、その後はみられなくなる。

この現象を回避するため制御系のパラメータを種々変更（冷却プロアダンパの開度変更、PID設定値の変更等）して運転を行ったが、現状では根本的な対策とはなっていない。今後はこの問題の原因究明と、もし1次系の不純物の問題であれば不純物の同定が課題となる。

- (2) 予熱ヒータのon-offが流量計にノイズとして影響を与えている。

これは予熱ヒータが配管および電磁流量計マグネットに接触し、熱起電力を発生するためと推

定しており、以前から観察していたものである。今回の工事時に絶縁処理を一部実施したが十分ではなかったためと思われる。

(8) 純化系の流量変動の影響を直接的に受ける。

これは本PL計の出入口配管が純化系電磁ポンプ吐出側に接続されており、そのため影響を受けやすい構造となっているためと思われる。過去にも純化系流量変更時にその外乱を受け、しばしばトリップを経験している。またC/T圧損の増減による純化系電磁ポンプの吐出圧の増減にも多少なりとも影響を受けており、今後はシステム全体としての設計が必要であろう。

他の保温未施行の部分においては既に予熱ヒータが投入されていることから、部分的なNaメルトを防止するため扇風機等により放熱効果を高めた。この方法による作業時間は作業人員3名により保温取外からNaメルト完了まで約4日間を要した。

4.3 検 討

予熱ヒータ補修工事はそのフリーズした配管内Naのメルトに大部分の日数を要し、保温取外・取付という煩雑な作業内容ではあったが、Naメルトは確実に、安全サイトに実施することができた。これにより万一再度配管内Naフリーズという事態が生じてもプラト特性を監視しつつ前述の方法によりNaメルトが可能であるという確証が得られた。

今回の工事場所は格納容器床下での作業であり、通常時においては N_2 雰囲気のため立入不可能な場所である。したがって原子炉運転中にこの種の故障が生じた場合には早急な補修は不可能である。そのため予熱ヒータ端子部においては特に1次系に使用する予熱ヒータについては、その端子部は現状のようなロックナット式のもの好ましくなく、溶接などにより確実に接続されているものの使用が望ましいと考える。

5. 結 言

自動連続式ブラギング計は設置以来、その性能を十分発揮することなく改造工事を実施するに至った。改造原因となったフィルタ部は、実流試験をふまえて設計されたものであろうが、実機プラントである「常陽」には適合したものではなかった。実機プラントにおいてはNaは一度充填されるとC/Tによる純化をうけるのみで、系外へのドレン、系外からの補充はうけることなく、その純度監視はブラギング計などの機器とサンプリングによりなされている。不純物の飽和温度は酸素・水素の化合物の一部については知られているが、その他の化合物については今だ確定されておらず、またその形態等についても知られていない部分が多い。「常陽」においても、現在は、1次系、2次系ともブラギング温度125～130℃の高純度で、総量として低不純物濃度の運転がなされているが、サンプリング結果から得られた個々の不純物の形態等については推測の域を出ていない。したがってそれらの不純物の形態等を予測しての設計にはかなり難しい面があると思われ、今後の実機での経験の蓄積をまって、フィードバックしていく必要がある。

放射化された1次系Na配管の切断・溶接工事は本ブラギング計据付工事時に実施されたのに続き、今回が2度目である。前回の工事においては特に問題となった点がなかったため、今回の工事においてもその方法を踏襲して実施したが、大筋としては適用可能であったものの個々の点において相違する点があり、種々のトラブルを経験し対策に苦慮した。今回実施したフリーズした配管内Naのメルト方法は「常陽」では初めての経験であり、これを含めて、経験した種々のトラブルの対処方法は今後の同様の工事においても応用可能な貴重なものであり、必ずや反映されることを期待する。

以下に今回の工事により得られた結果を列記する。

- ① 自動連続式ブラギング計はフィルタ部の改造により適正流量が確保でき長期にわたる1次系Naの連続純度監視が可能となった。
- ② 系統内Naドレン方法及びドレン確認方法について今後留意すべき点が明らかになった。
- ③ 配管内残留Naの処理について、マイクロヒータによる溶融ドレンの方法および有効性が確認された。
- ④ Na配管溶接に際して留意すべき点が明らかになった。
- ⑤ フリーズした配管内Naのメルト方法について、保温を順次施工する方法により確実にかつ安全にメルトできることが実証された。

図・表一覧表

- 図 2-1 1次Na純化系系統図
 - 図 2-2 自動連続式ブラギング計系統図
 - 図 3-1 自動連続式ブラギング計運転状況
 - 図 3-2 電磁ポンプの温度依存性によるメイン流量変化
 - 図 3-3 流量低下現象
 - 図 3-4 逆転運転等による流量変化
 - 図 3-5 フィルタ断面図
 - 図 3-6 不純物の捕獲・剝離状態図
 - 図 3-7 新規取付フィルタ断面図
 - 図 3-8 自動連続式ブラギング計配管図
 - 図 3-9 入口側フィルタ付近詳細図
 - 図 3-10 溶融ドレン方法
 - 図 3-11 欠陥部形状
 - 図 3-12 欠陥部再溶接方法
 - 図 3-13 空間線量率測定結果
 - 図 3-14 ハンチング現象
 - 図 4-1 予熱ヒータ取付図
 - 図 4-2 ヒータ端子部詳細図
-
- 表 3-1 改造工事工程表（予定・実績）
 - 表 3-2 作業員の推定被曝量
 - 表 3-3 各作業別被曝実績
 - 表 3-4 据付時との比較

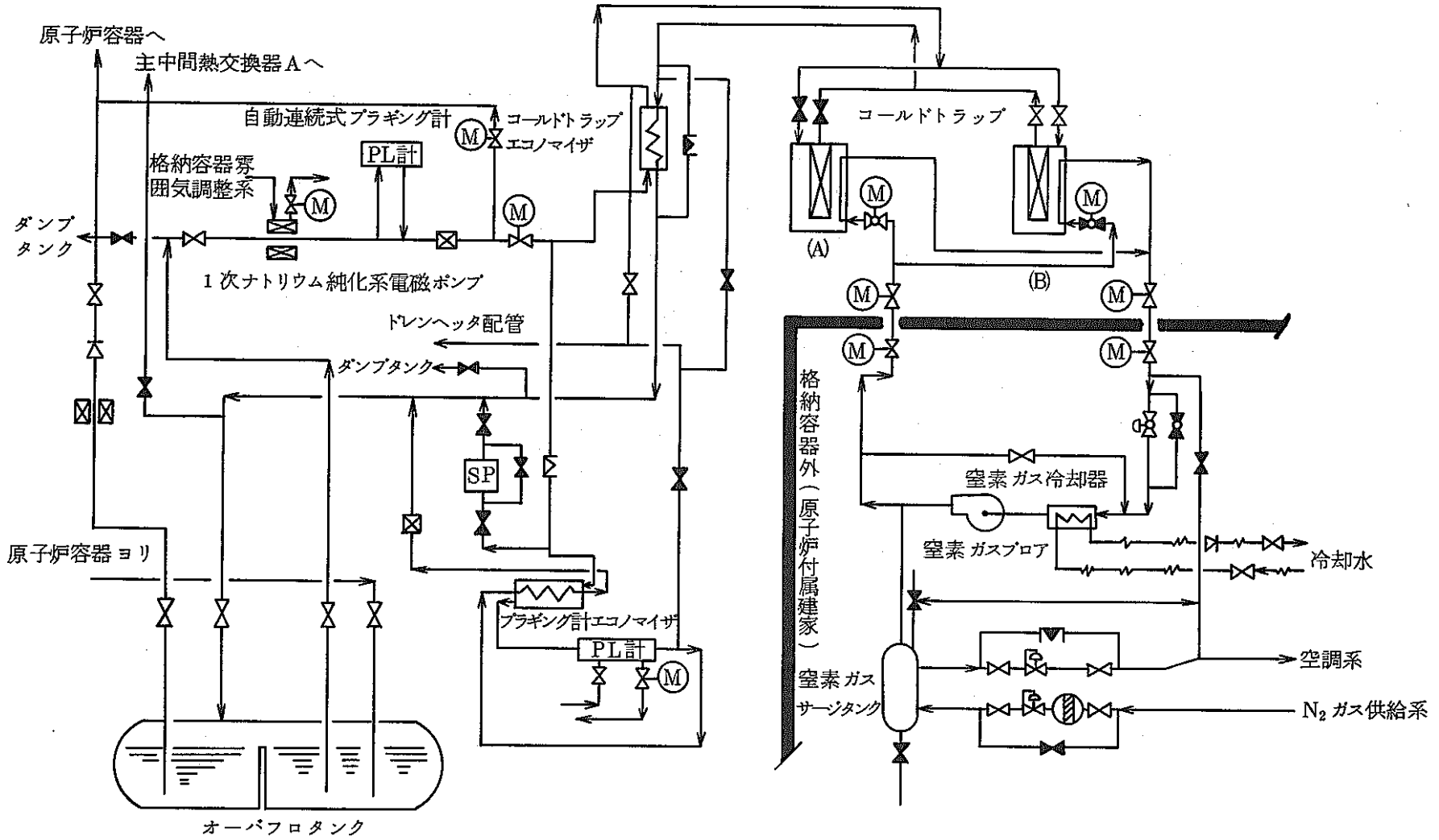
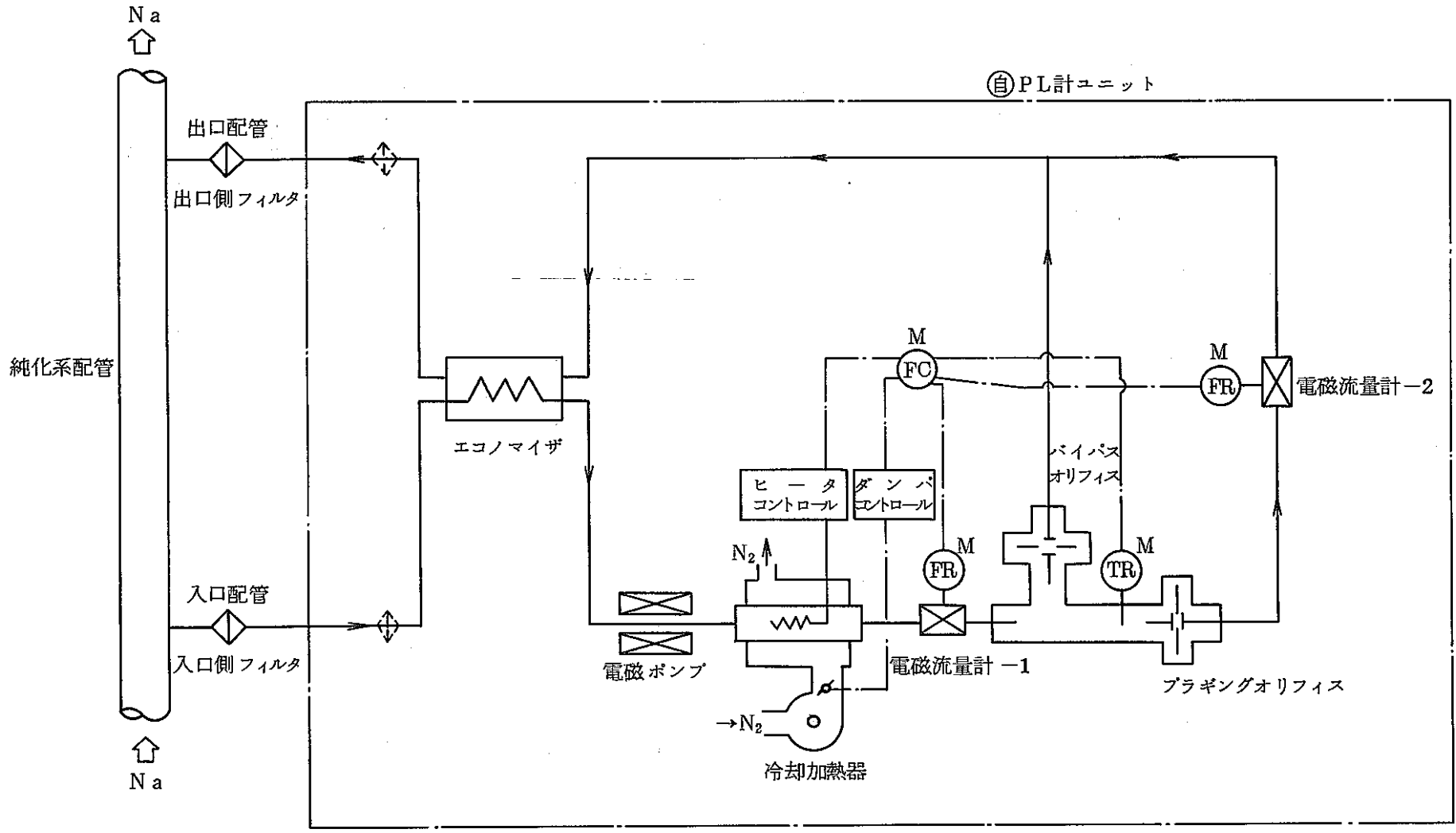


図2-1 1次ナトリウム純化系系統図



◇ : 改造前フィルタ位置

図 2 - 2 自動連続式プラグイン計系統図 (改造後)

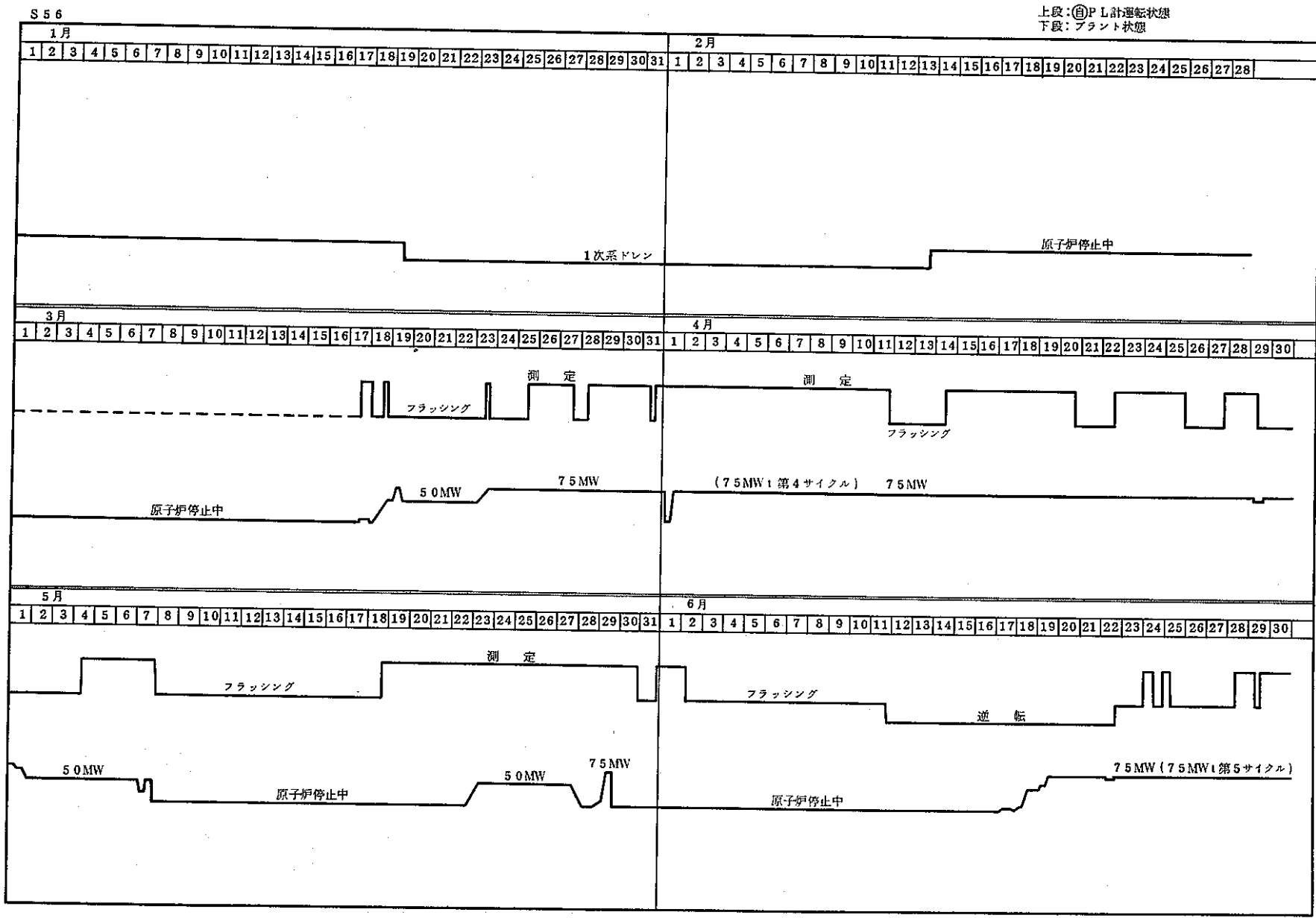


図3-1 自動連続式ブラギング計運転状況 (1/4)

上段：④PL許運転状態
下段：プラント状態

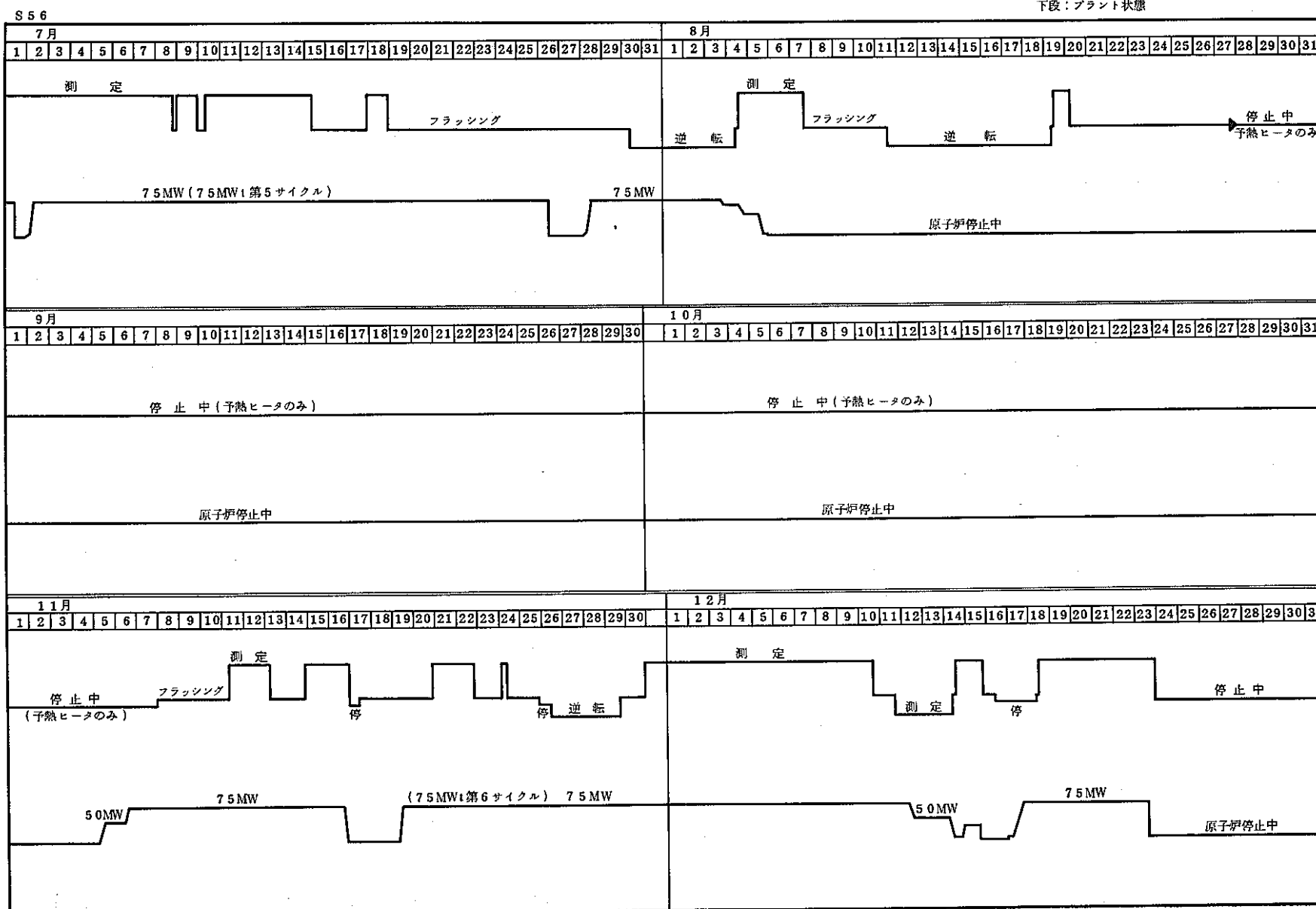


図3-1 自動連続式プラグニング計運転状況 (2/4)

上段：④P L計運転状態
下段：プラント状態

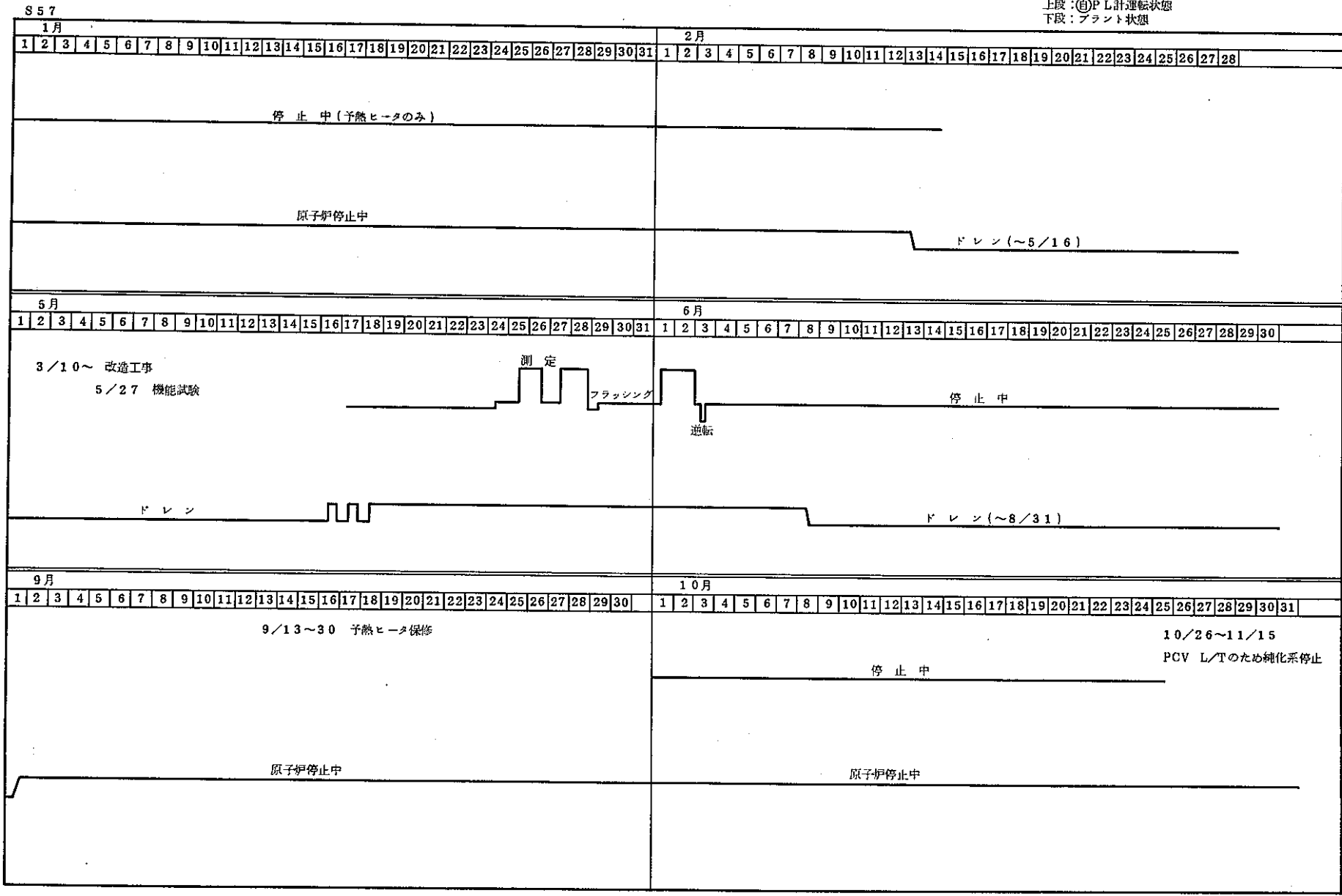
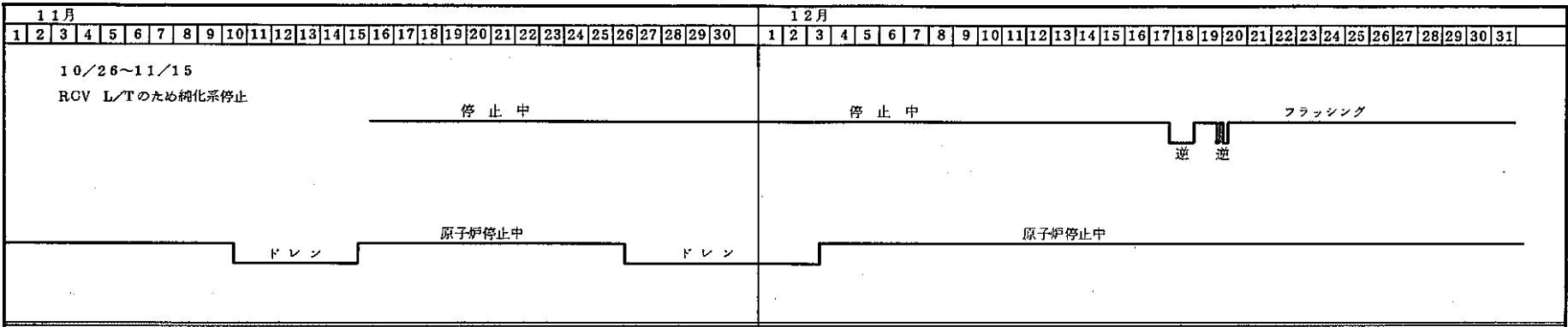


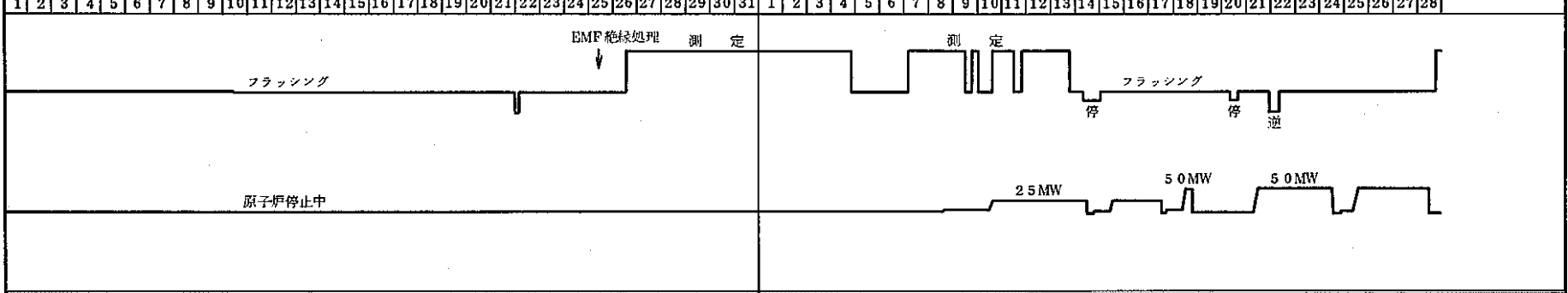
図3-1 自動連続式ブラギング計運転状況(3/4)

上段：④PL計運転状態
下段：プラント状態

S57



S58



3月

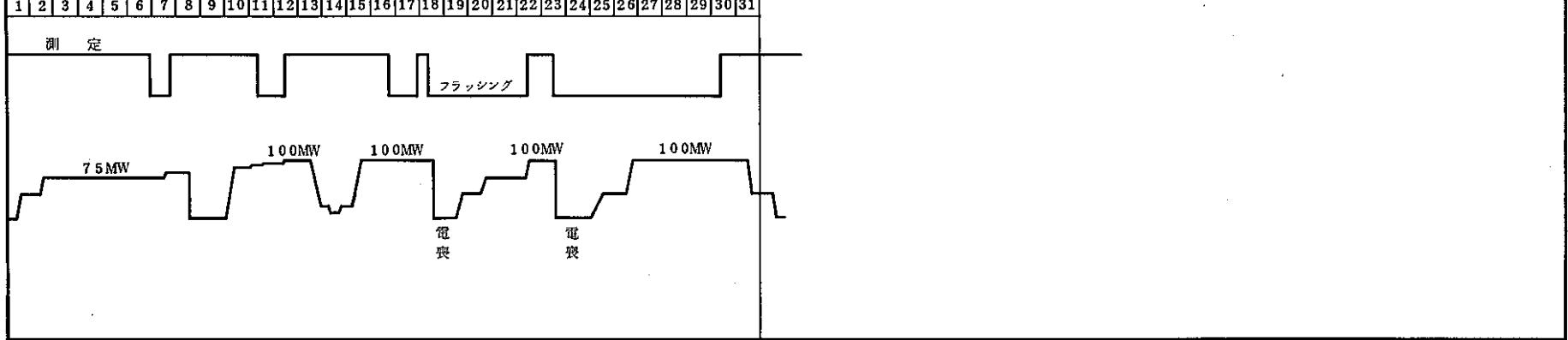


図3-1 自動連続式ブラギング計運転状況(4/4)

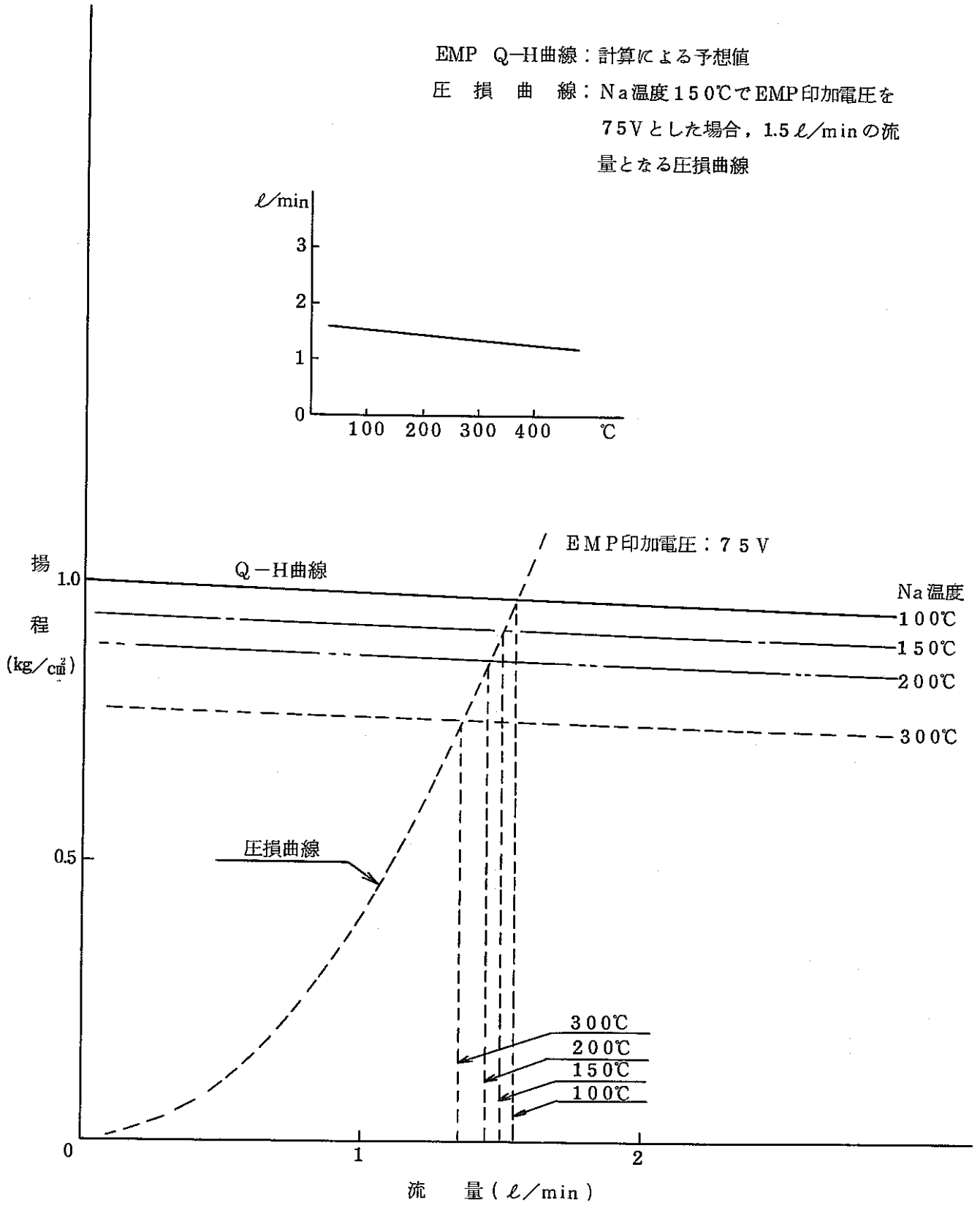


図3-2 電磁ポンプの温度依存性によるメイン流量変化

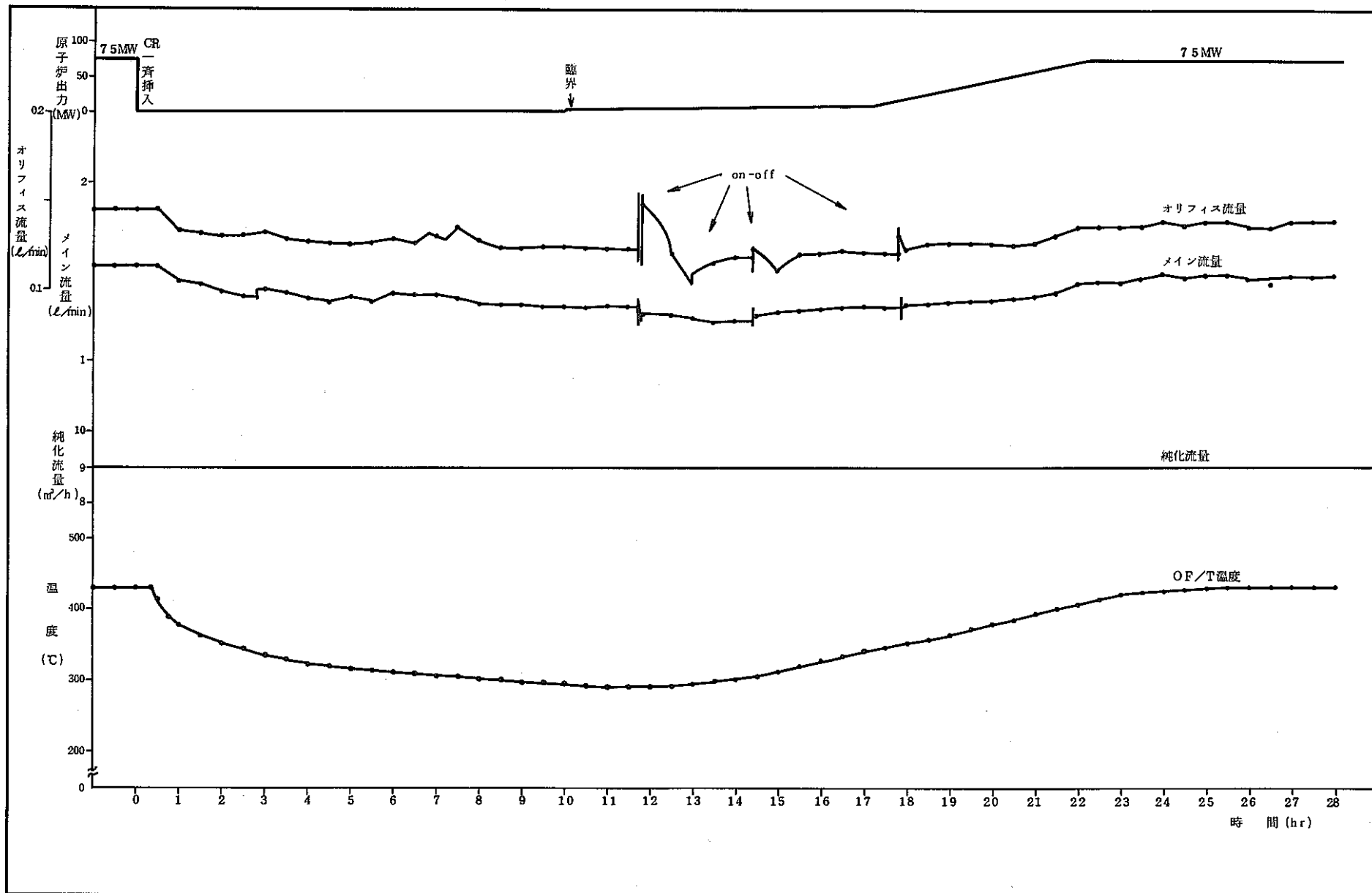


図 3-3 流量低下現象

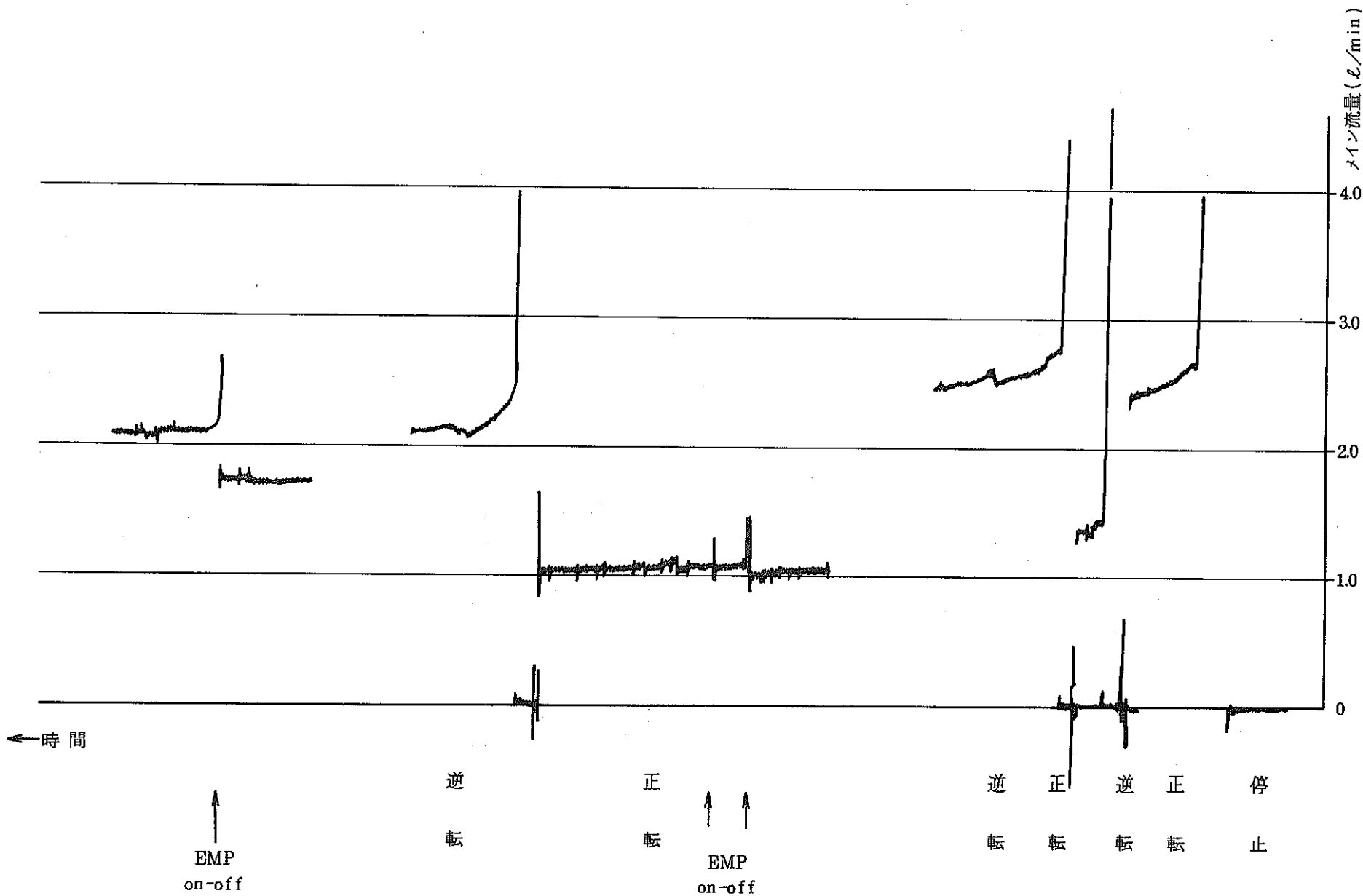


図3-4 逆転運転等による流量変化

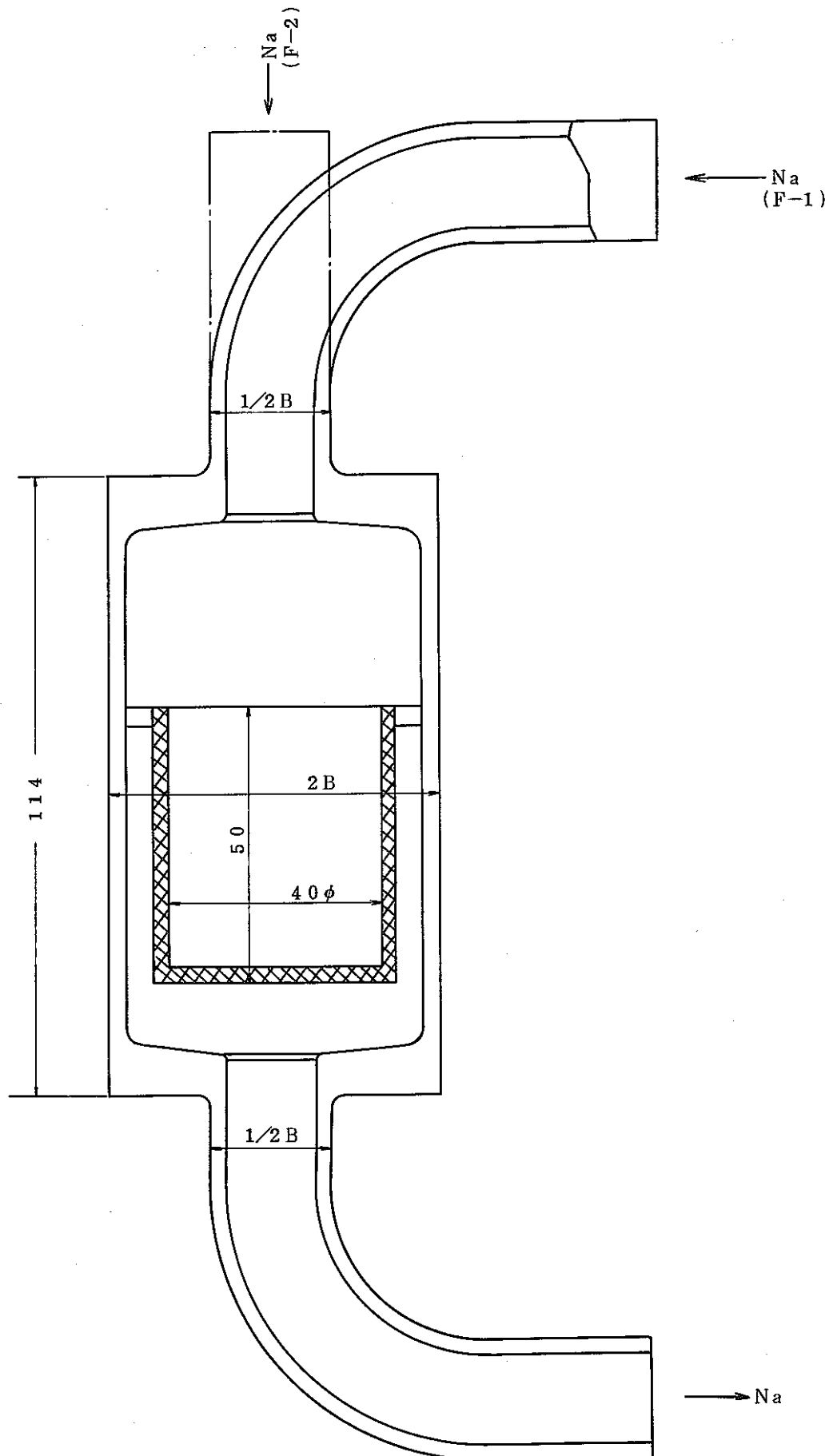


図3-5 フィルタ断面図

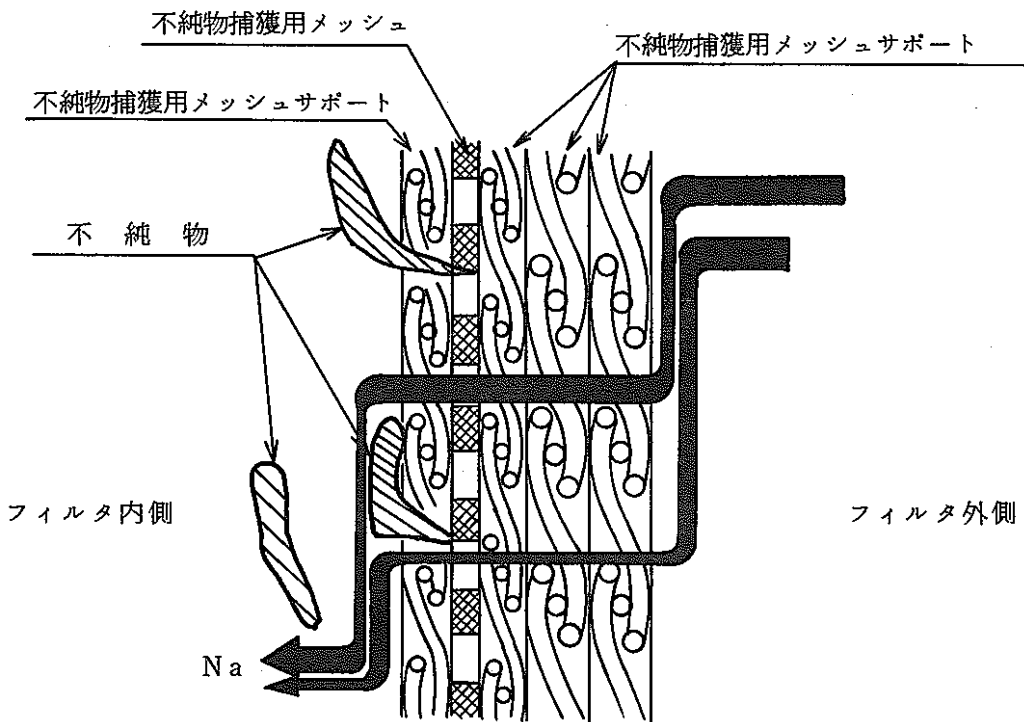
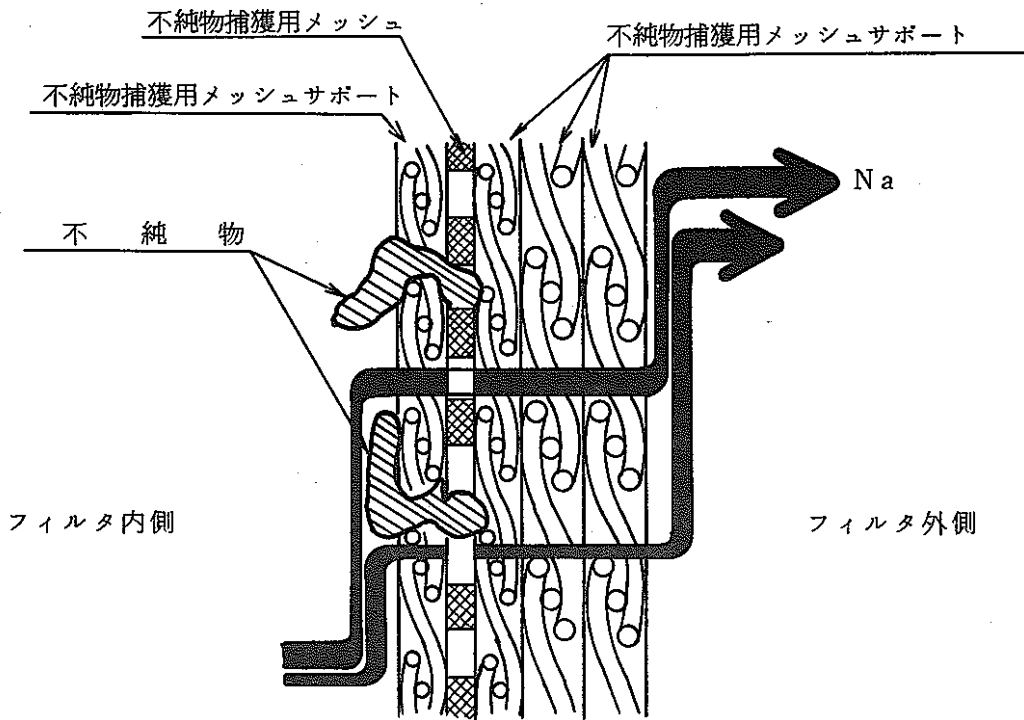


図 3-6 不純物の捕獲・剝離状態図

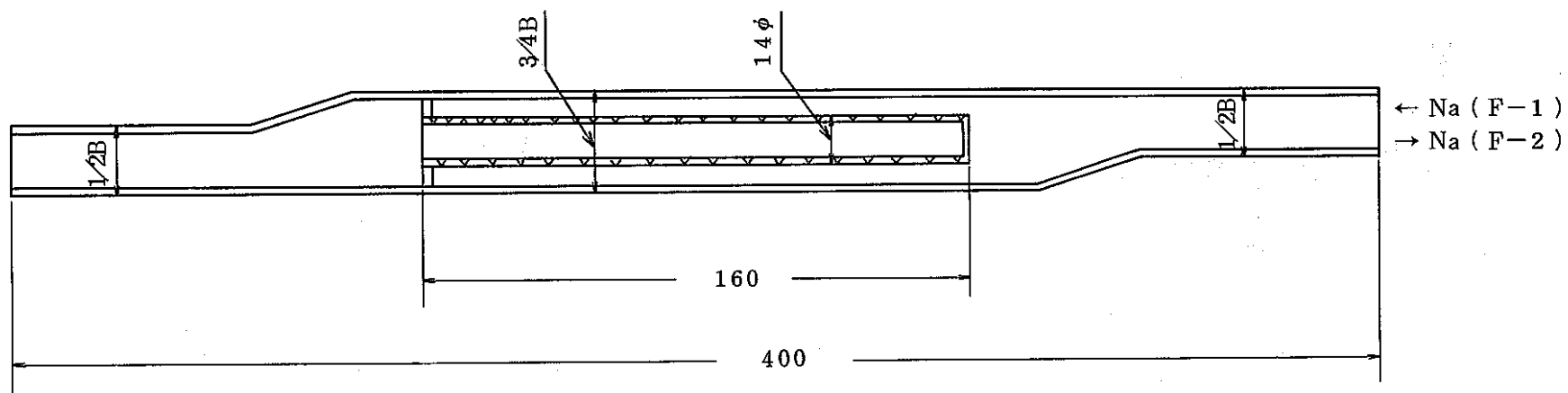
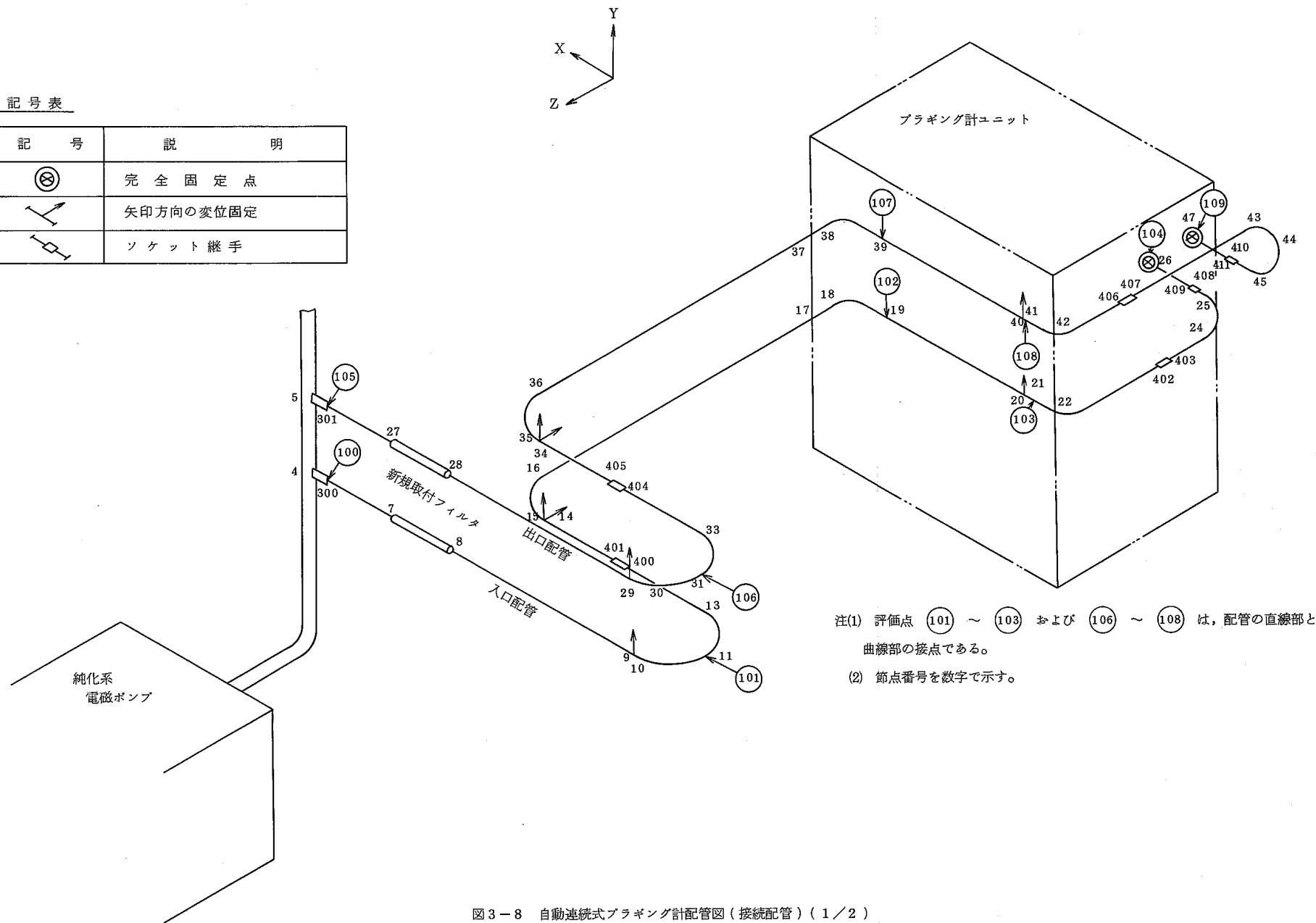
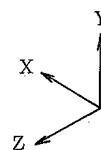


図 3.-7 新規取付フィルタ断面図

記号表

記号	説明
⊗	完全固定点
↗	矢印方向の変位固定
⌋	ソケット継手



注(1) 評価点 101 ~ 103 および 106 ~ 108 は、配管の直線部と曲線部の接点である。
 (2) 節点番号を数字で示す。

図 3-8 自動連続式ブラギング計配管図 (接続配管) (1/2)

記号表

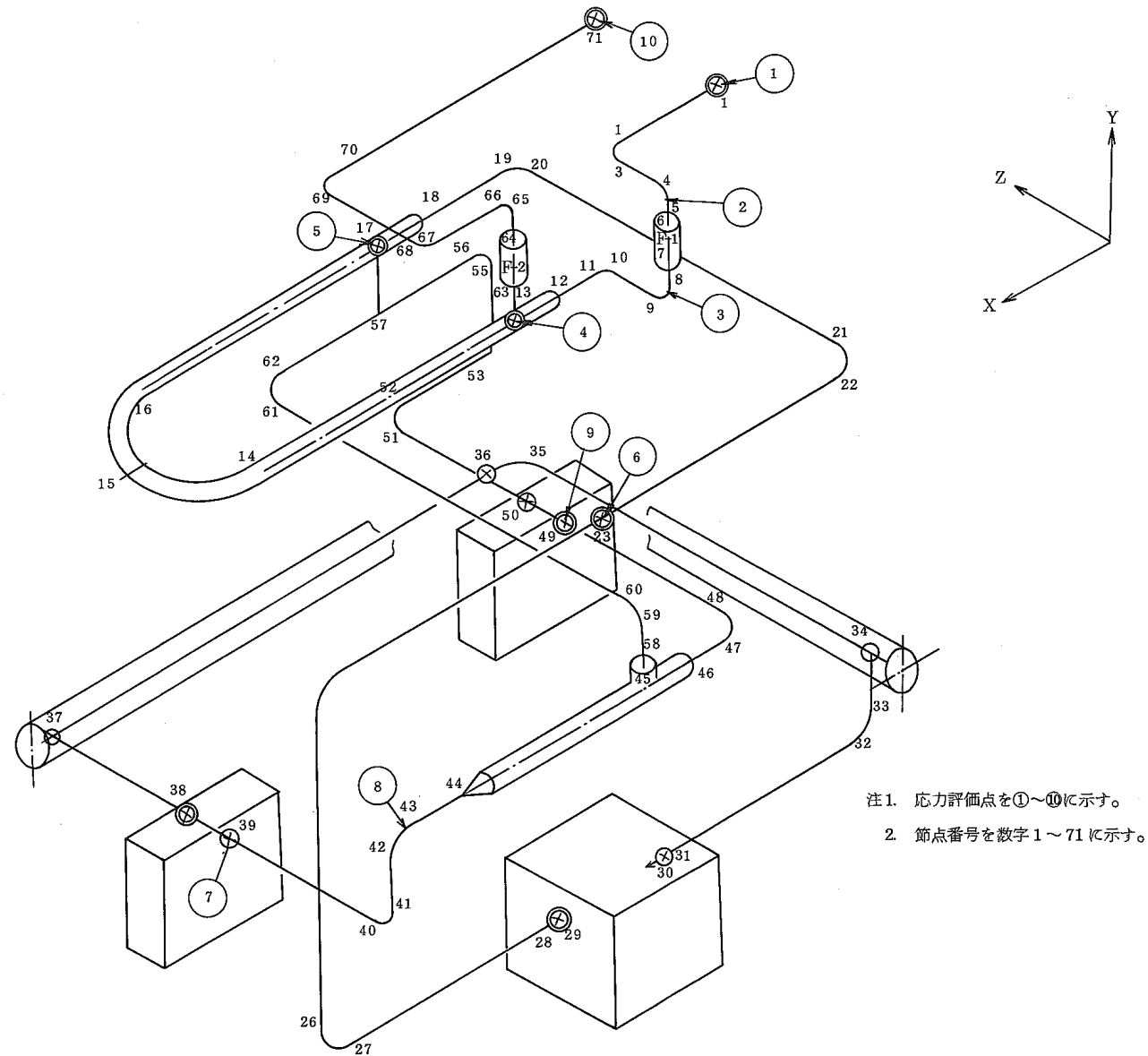
記号	説明
	完全固定点
	矢印方向ノミ自由

各 Joint no 間素材表

記号	素 材	静荷重
P100	SUS304 TPSC 1/2×Sch20S	5.0(kg/m)
P200	SUS304 TPSC 2B×Sch20S	11.0(kg/m)
P300	SUS304 TPSC 1B×Sch20S	7.0(kg/m)
P400	SUS304 TPSC 3/4B×Sch20S	11.0(kg/m)
P500	SUS304 TPSC 1 1/4B×Sch20S	8.0(kg/m)

仕様

1. 使用流体 液体金属ナトリウム
2. 設計温度 550℃
3. 設計圧力 5kg/cm²G (内圧)
1kg/cm²G (外圧)



- 注1. 応力評価点を①～⑩に示す。
注2. 節点番号を数字1～71に示す。

図3-8 自動連続式プラグニング計配管図(ユニット内配管)(2/2)

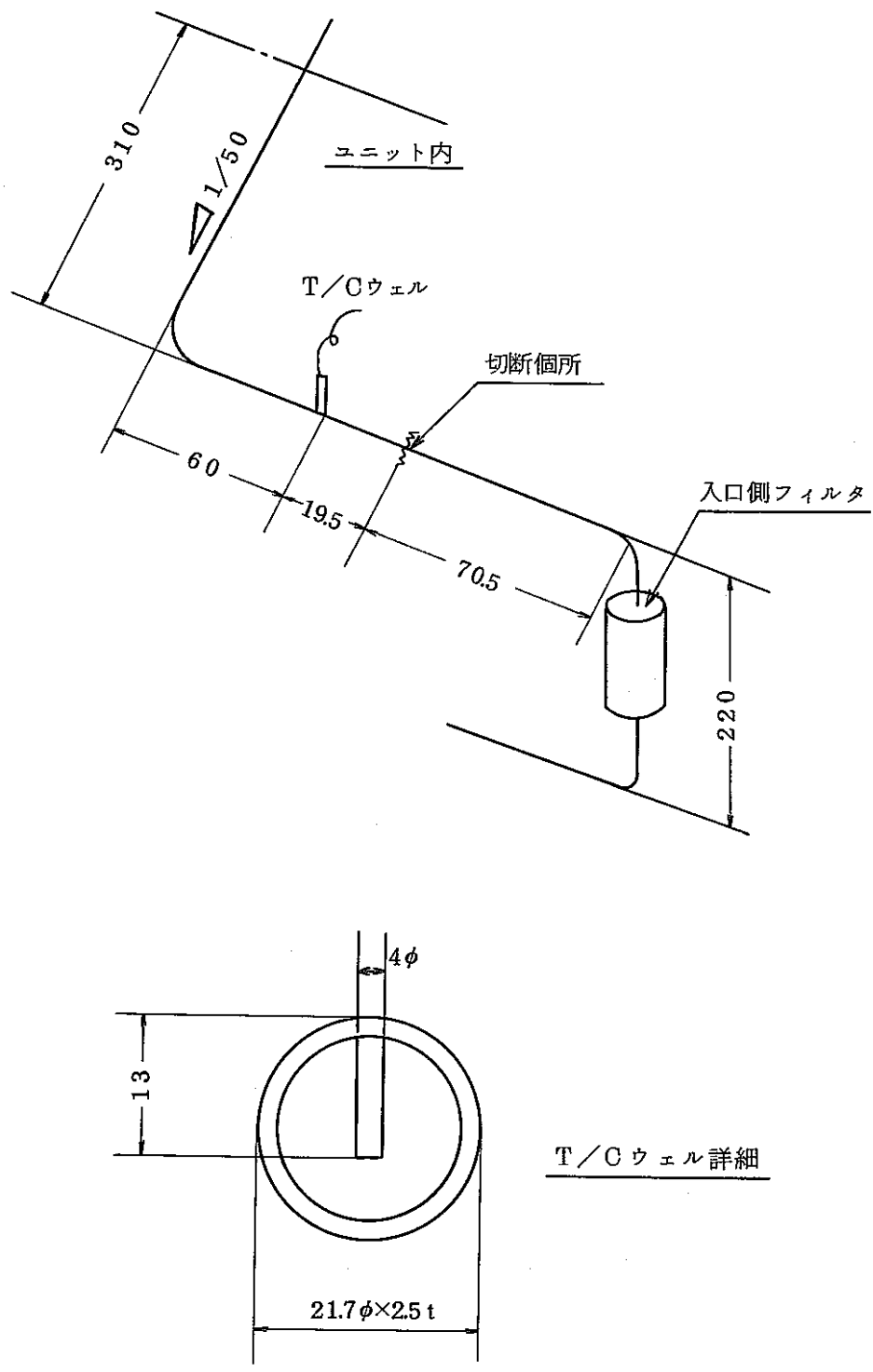


図 3-9 入口側フィルタ付近詳細図

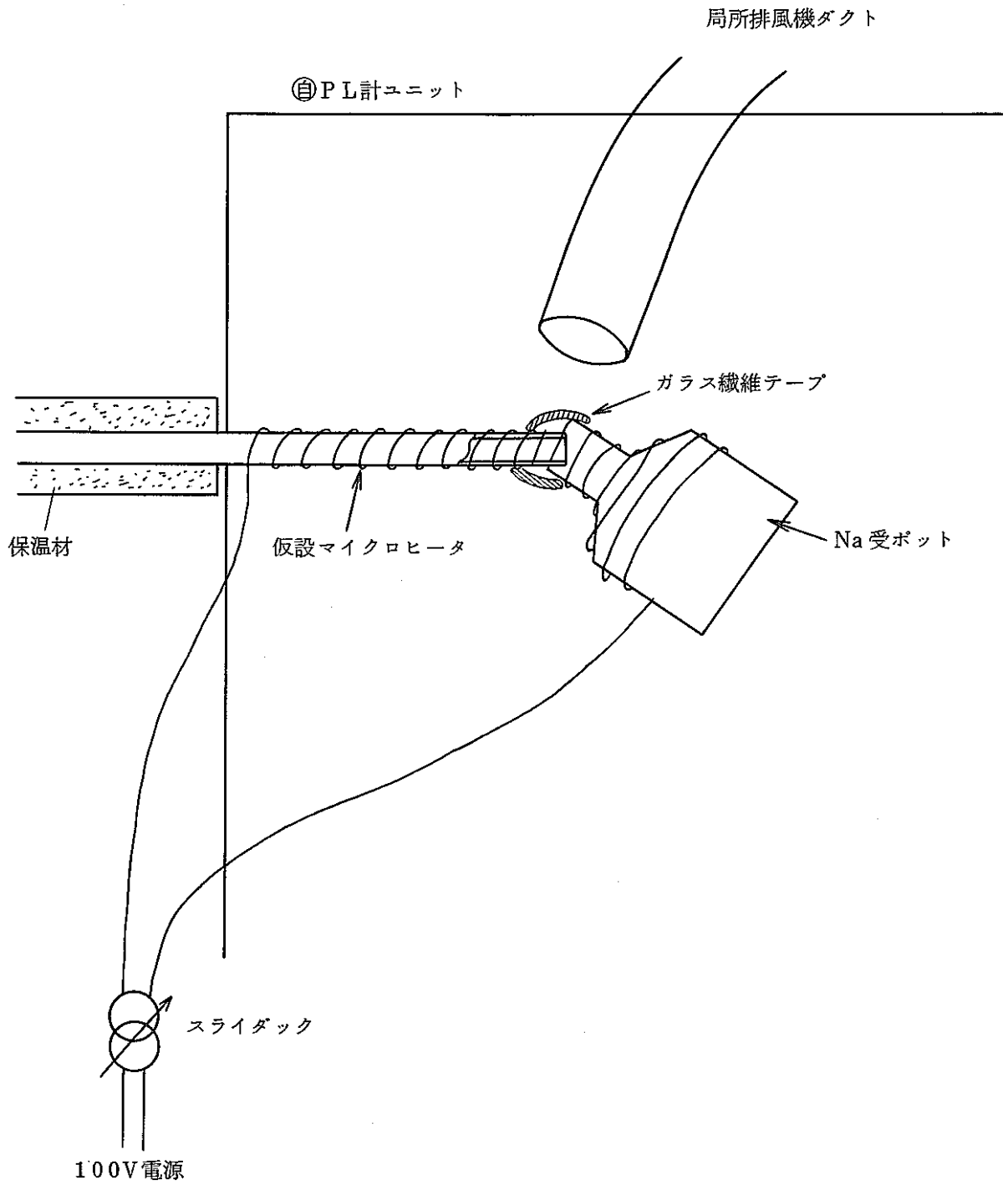


図3-10 熔融ドレン方法

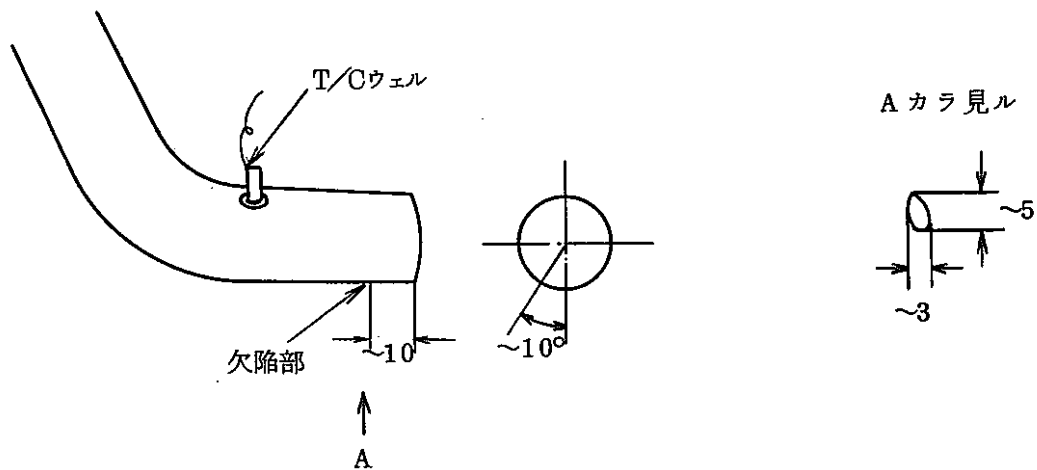


図 3 - 1 1 欠陥部形状

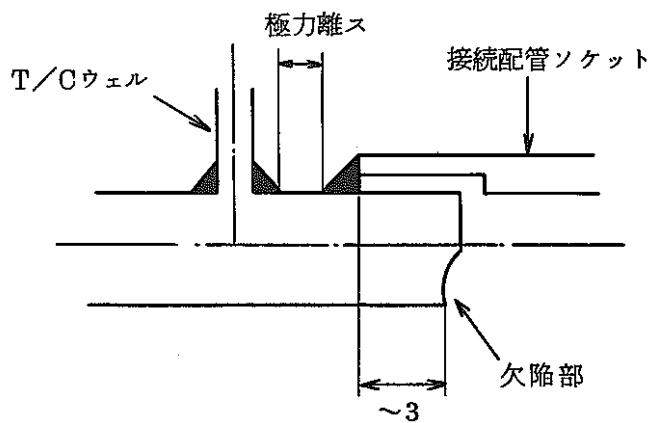


図 3 - 1 2 欠陥部再溶接方法

S 5 7 . 2 . 1 5

放管にて実施

単位 mR/h

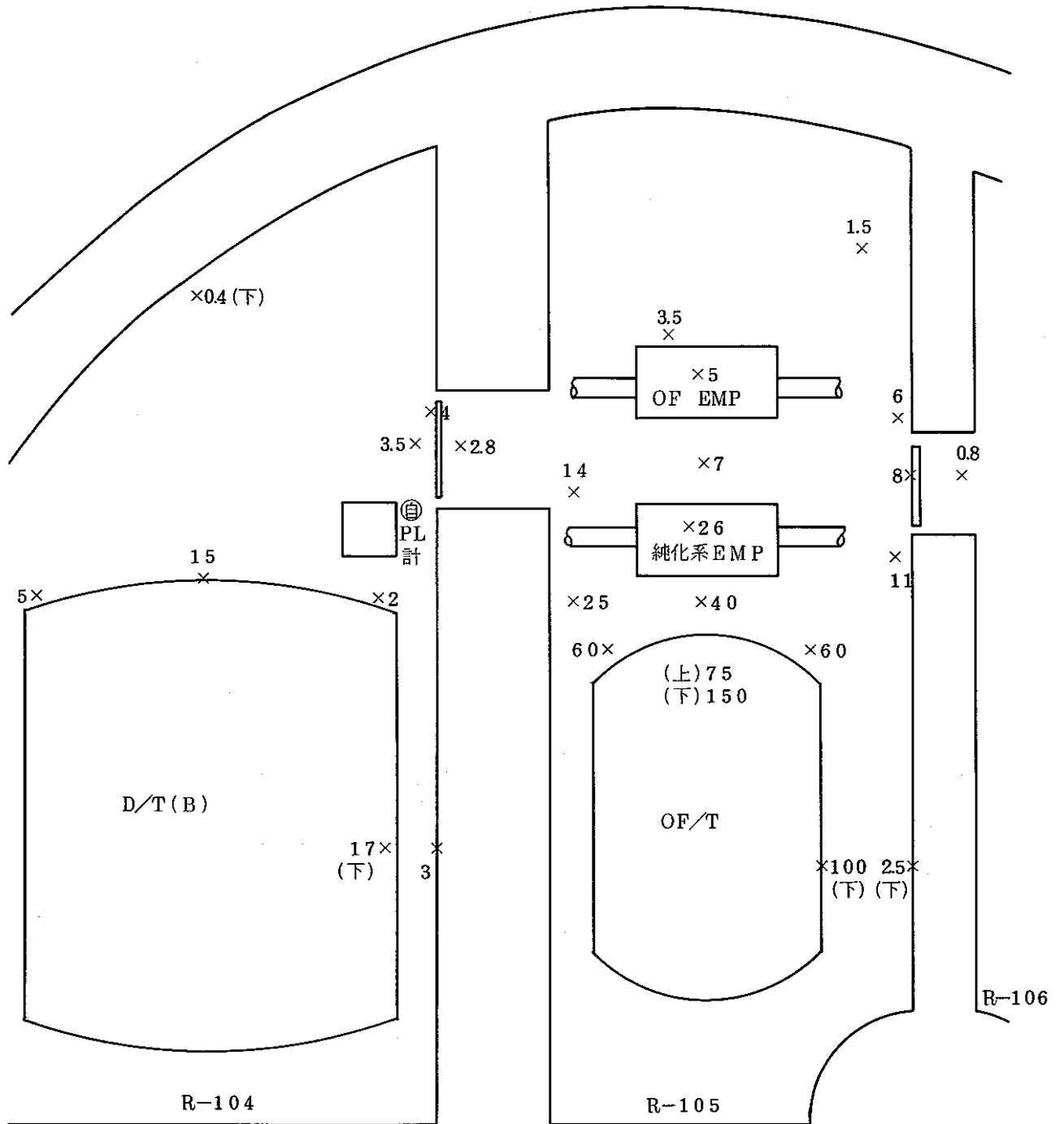


図 3 - 1 3 空間線量率測定結果

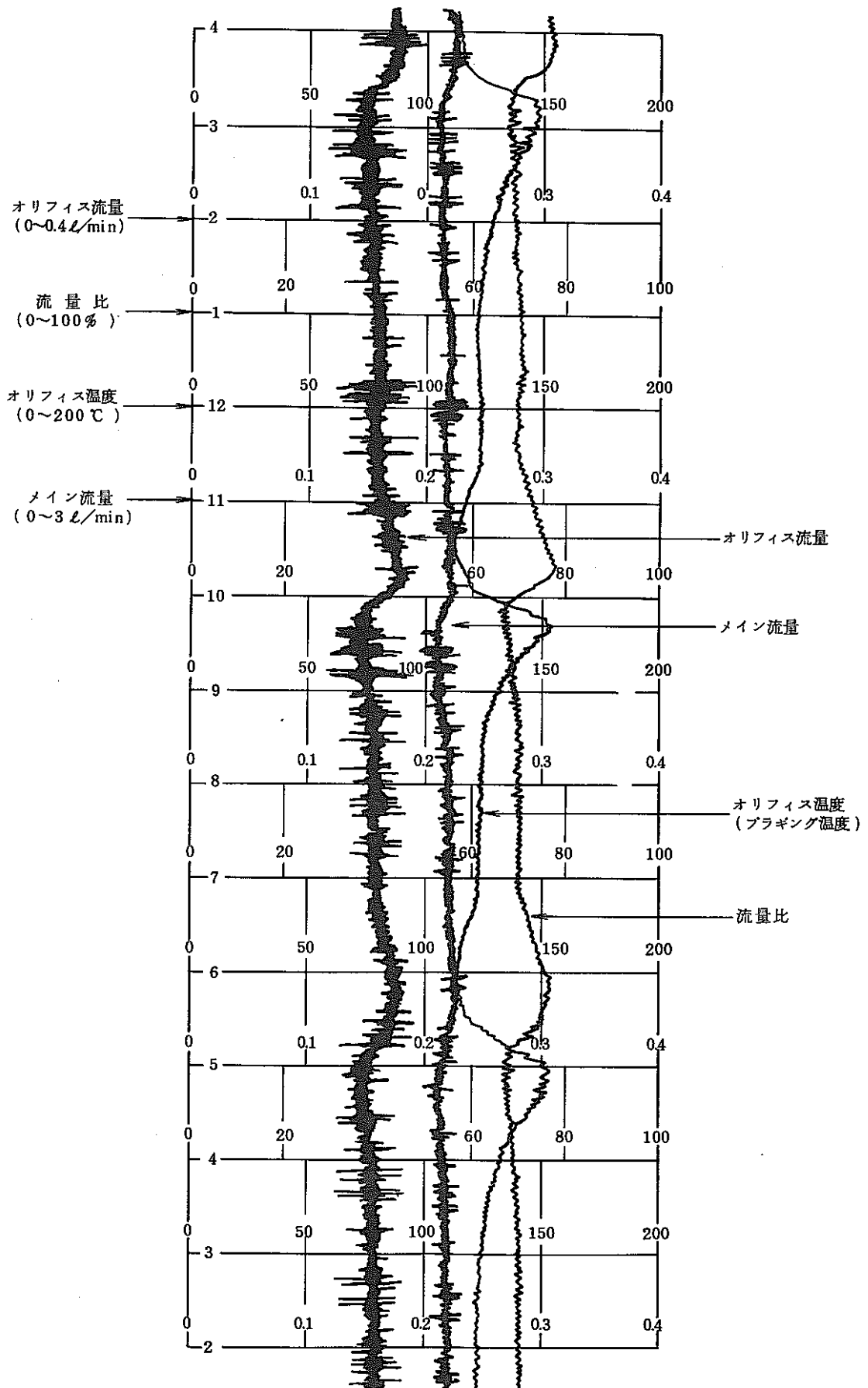
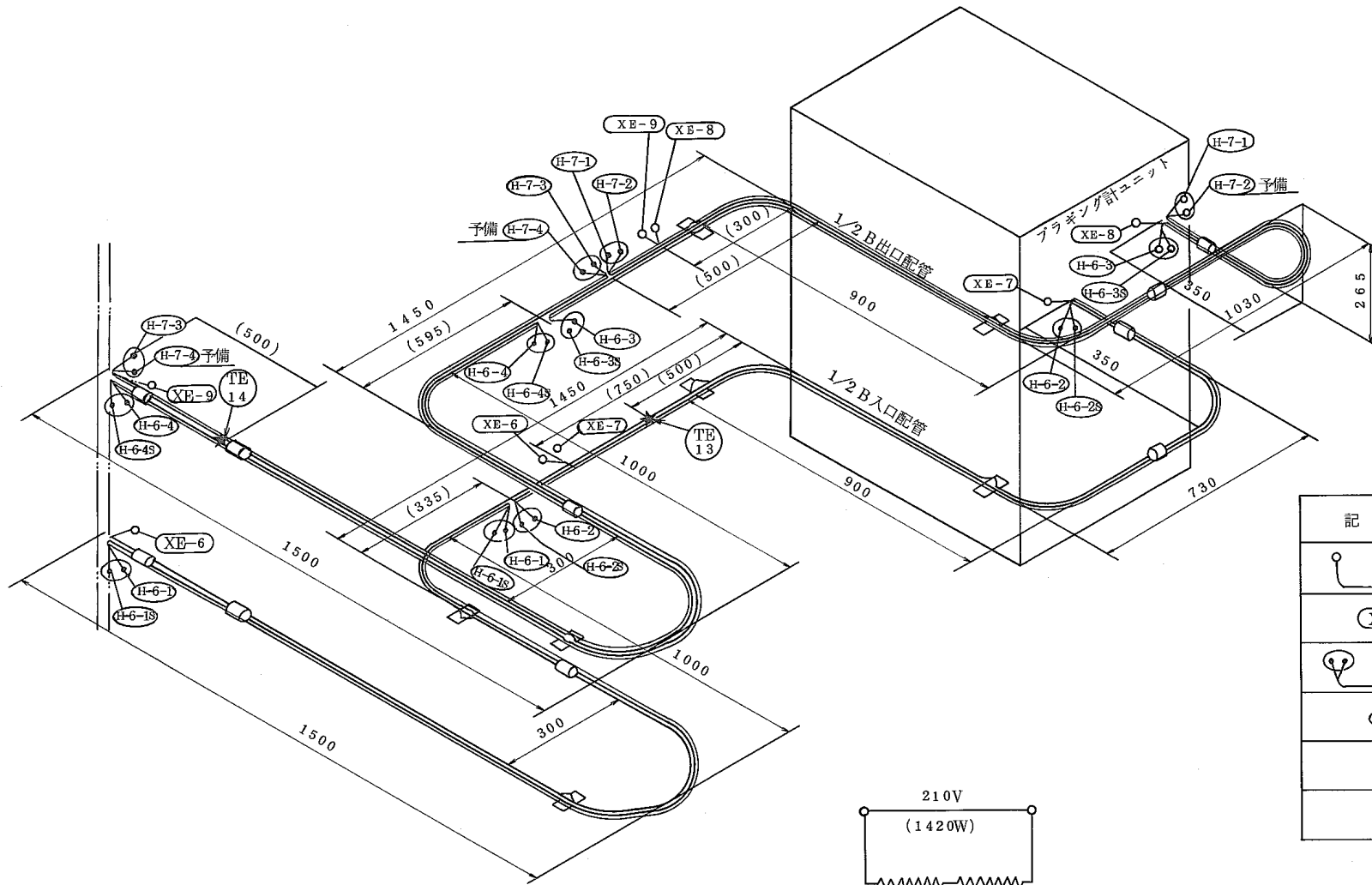
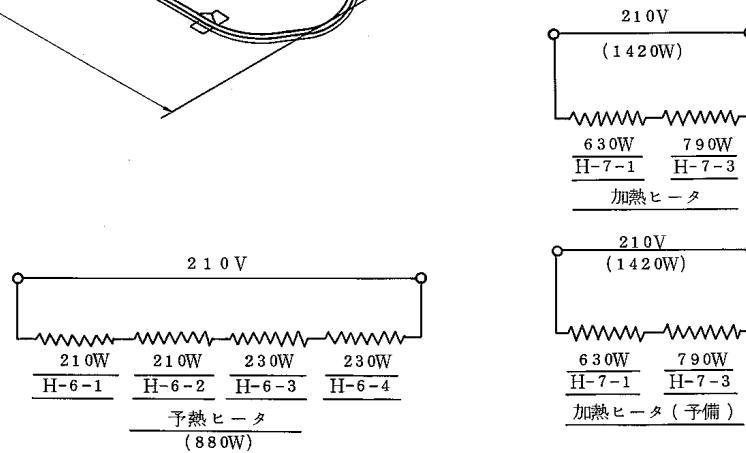


図 3 - 1 4 ハンチング現象



記号	説明
	Naリークディテクター
	Naリークディテクター番号
	ヒータ (シーズヒータ)
	ヒータ番号
★	熱電対
	熱電対番号



ヒータ結線図

図 4-1 予熱ヒータ取付図

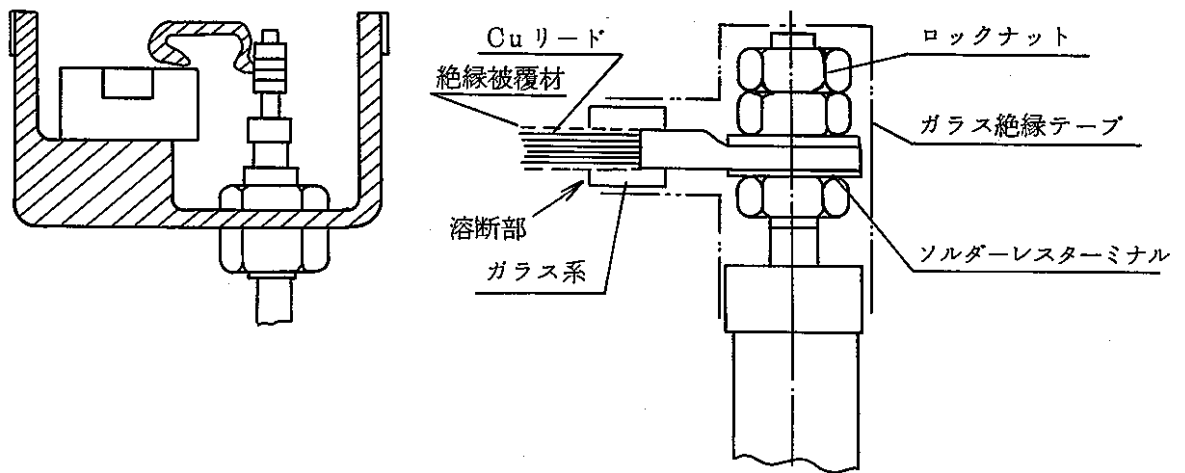


図 4-2 ヒータ端子部詳細図

表 3 - 2 作業員の推定被曝量

作業項目	作業人数 (h)	作業時間 (hr)	作業場所	時間配分	作業員																		各作業 被曝量 (mrem)
					A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1. BM2F床ハッチ取出し	3	2	R-203		○	○	○															18.0	
2. 機械搬入	3	2	R-104 R-105	1h, 1h	○	○	○															42.9	
3. 作業エリア設定	3	2	R-104 R-105	1h, 1h	○	○	○															42.9	
4. 汚染管理区域設定	3	2	R-104 R-105	1h, 1h	○	○	○															42.9	
5. 配管サポート設置	3	6	R-104 R-105	3h, 3h	○	○	○															128.7	
6. 保温材・ヒータ取外し	3	12	R-104 R-105	7h, 5h				○	○	○												231.9	
7. 本体支持	3	16	R-104		○	○	○															139.2	
8. 配管切断・開先加工・合せ	4	16	R-104 R-105	8h, 8h							○	○	○	○								457.6	
9. 配管溶接接続	4	16	R-104 R-105	8h, 8h							○	○	○	○								457.6	
10. 除染及び汚染管理区域解除	3	2	R-104 R-105	1h, 1h	○	○	○															42.9	
11. PT, RT耐圧漏洩試験	3	12	R-104 R-105	6h, 6h											○	○	○					257.4	
12. 保温材・ヒータ復旧	3	12	R-104 R-105	7h, 5h				○	○	○												231.9	
13. ケーブル敷設・接続	3	24	R-104 R-105 R-203	6h, 6h, 6h													○	○	○			311.4	
14. 塗装	2	8	R-104 R-105	4h, 4h																○	○	114.4	
15. 清掃・作業エリア復旧	3	10	R-104 R-105 R-203	4h, 4h, 2h	○	○	○															189.6	
16. 機材搬出	3	2	R-104 R-105	1h, 1h	○	○	○															42.9	
17. BM2F床ハッチ取付け	3	3	R-203		○	○	○															27.0	
個人被曝量(mrem)					239.0	239.0	239.0	154.6	154.6	154.6	228.8	228.8	228.8	228.8	85.8	85.8	85.8	103.8	103.8	103.8	57.2	57.2	2779.2

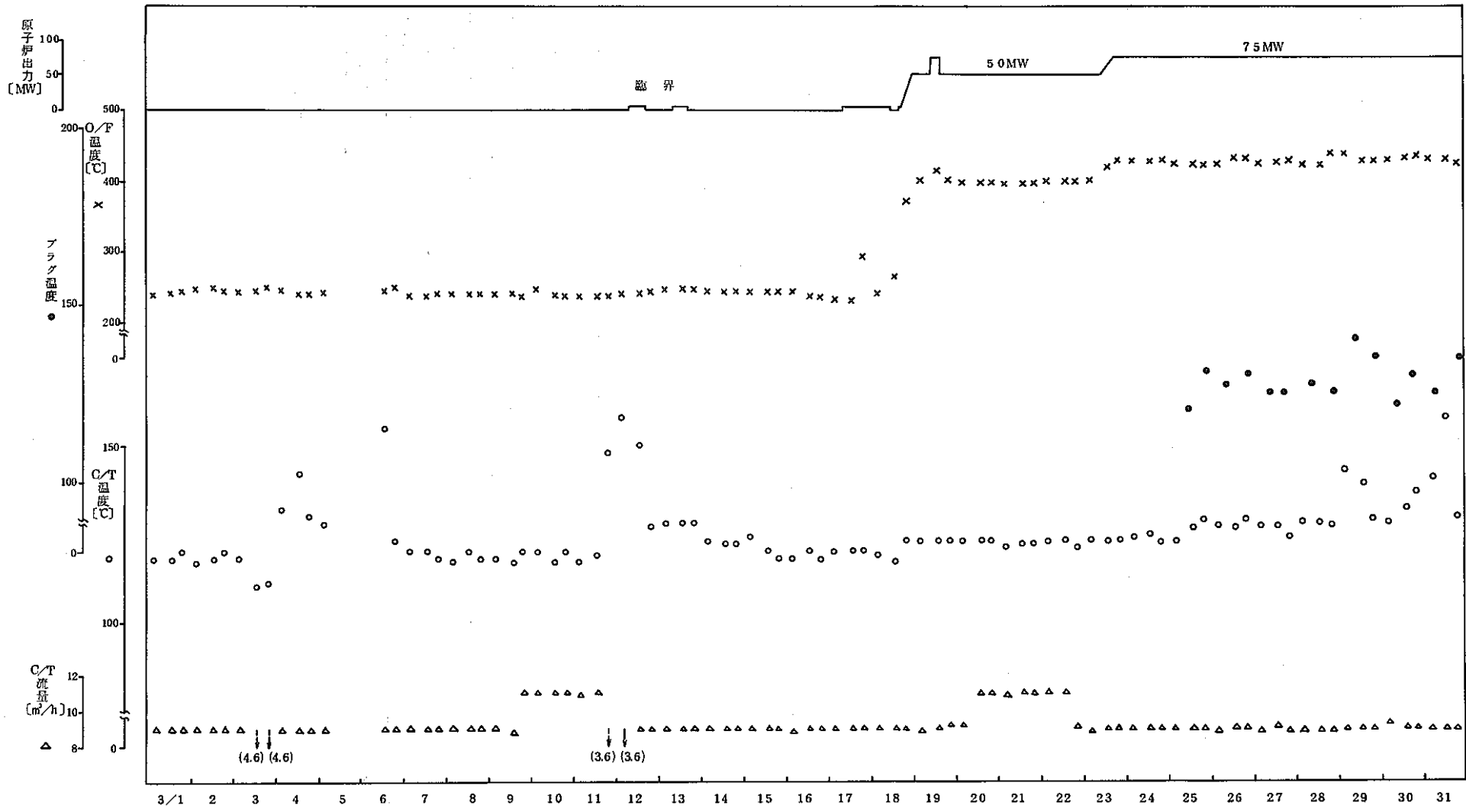
- 空間線量率(推定) R-104: 2.9mR/hr
R-105: 11.4mR/hr
R-203: 3.0mR/hr
- 総被曝量 2.8man-rem(作業員18名, 監督者は含まず)
- 最大個人被曝量 240mrem

表 3 - 3 各作業別被曝実績

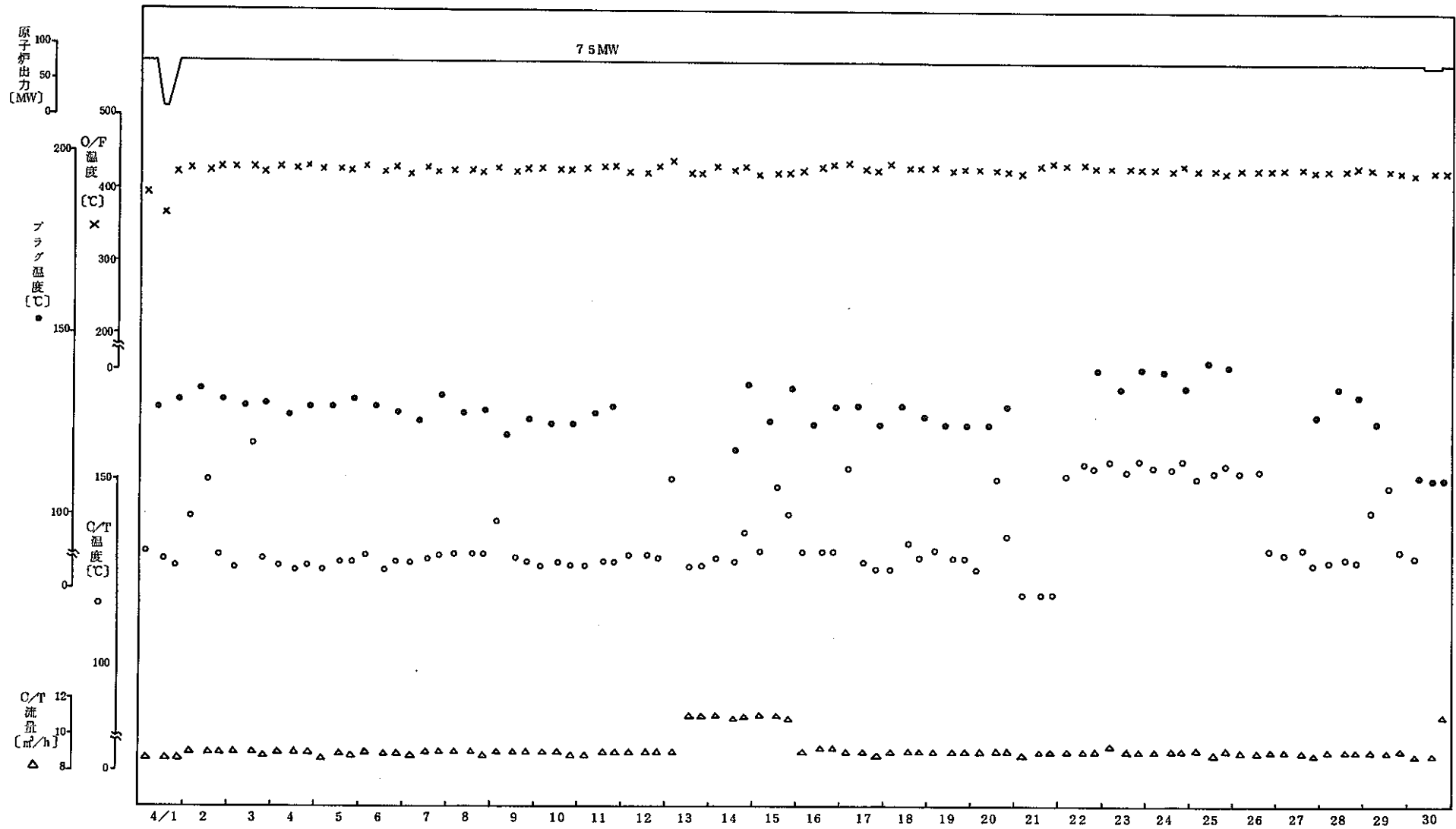
作 業 内 容	延 人 員 (人日)	被 曝 量 (mrem)	平均被曝量 (mrem/人日)
資材搬出入, エリア設置・撤去等	56	181	3.23
RT (Naドレン確認のため)	6	26	4.33
ユニット外 保温・ヒータ, 結線等取外・取付	25	192	7.68
ユニット内 保温・ヒータ, 結線等取外・取付	38	517	13.6
配管切断・溶接	31	187	6.03
Na処理	24	85	3.54
検査 (PT)	13	82	6.31
検査 (He耐圧漏洩)	24	82	3.42
EMF勾配変更	14	176	12.6
仕切り扉変更	8	55	6.88
単体試験	9	26	2.89
計	248	1609	6.49

表 3 - 4 据付時との比較

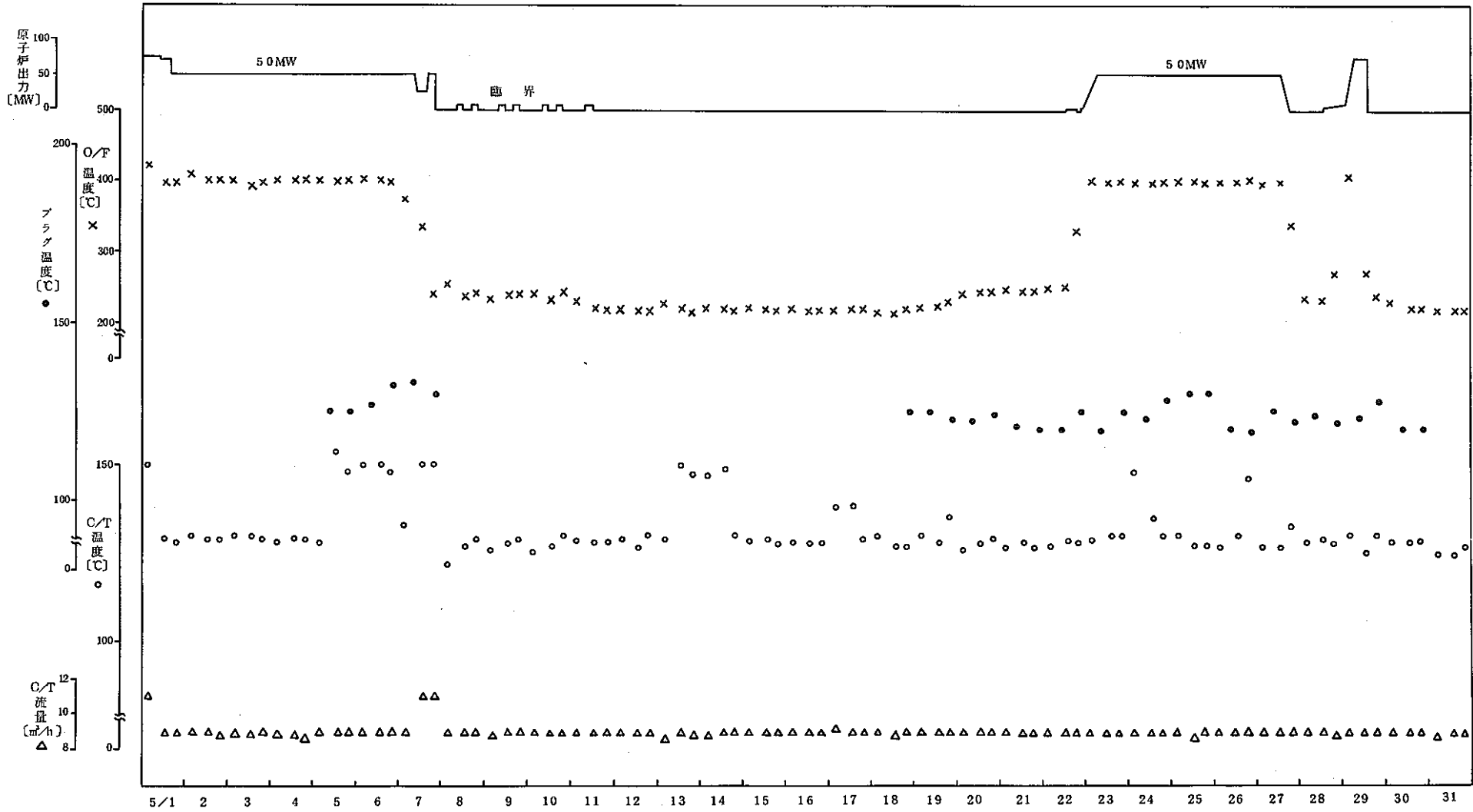
	据 付 時	改 造 時
空間線量率 R-104室	0.2~0.5 mR/h	2~4 mR/h
R-105室	3~11 mR/h	11~14 mR/h
延 人 員	186 人日	248 人日
線被曝量	約 1.0 man-rem	約 1.6 man-rem
平均被曝量	約 5.5 mrem/人日	約 6.5 mrea/人日
最大個人被曝量	109 mrem	215 mrem



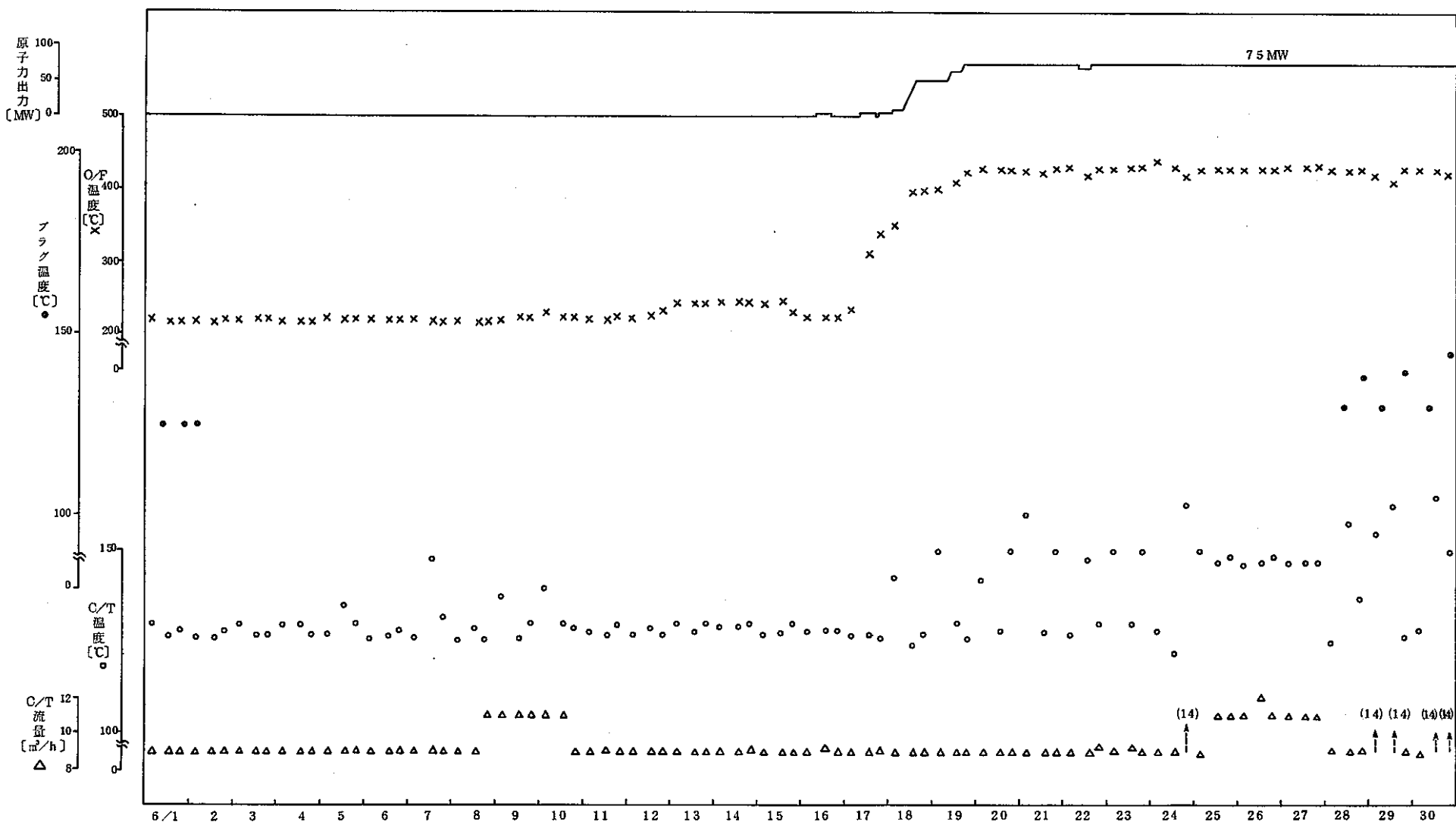
1次純化系運転経過 (S 5 6. 3 / 1 ~ 3 / 3 1)



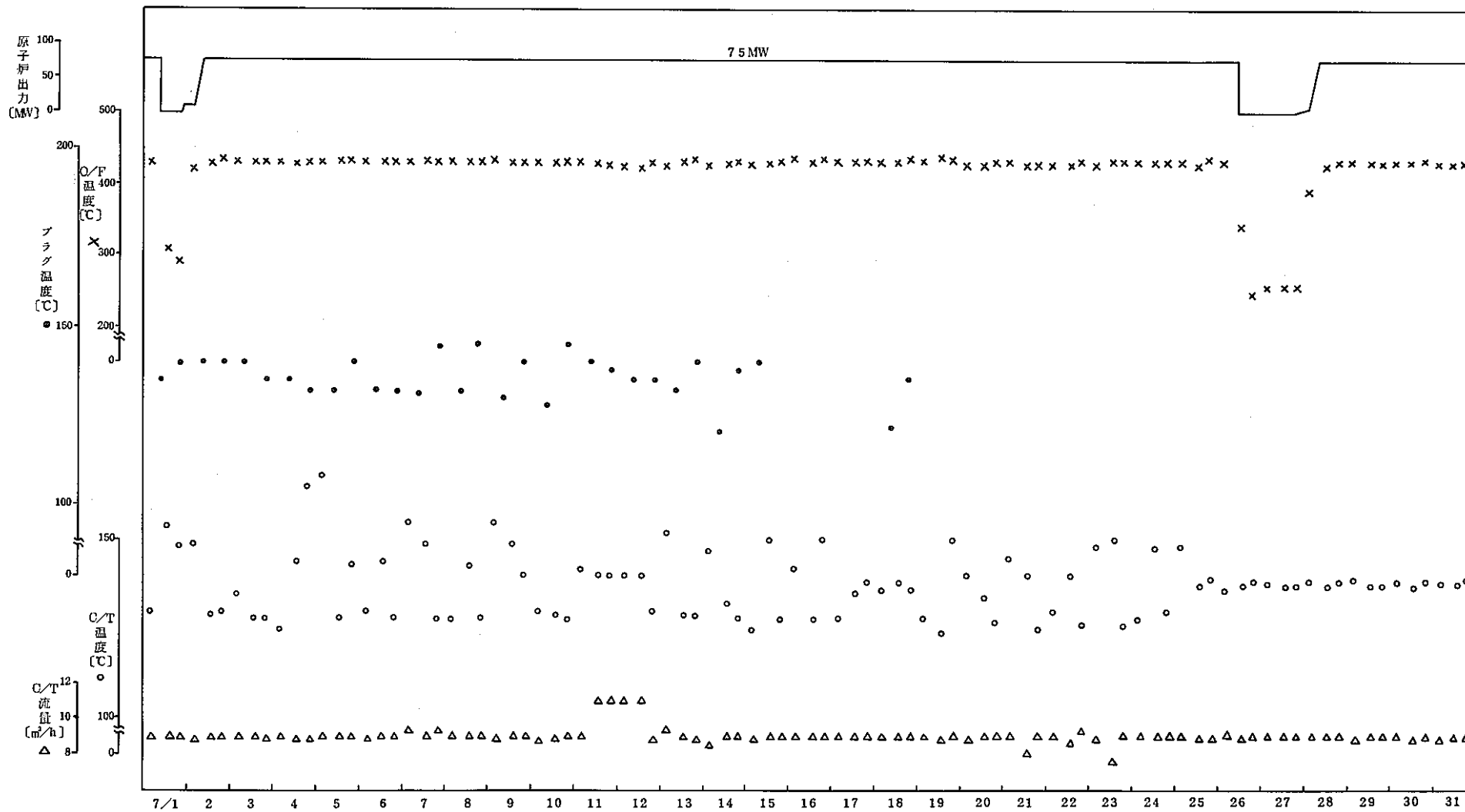
1次純化系運転経過 (S 5 6.4 / 1 ~ 4 / 3 0)



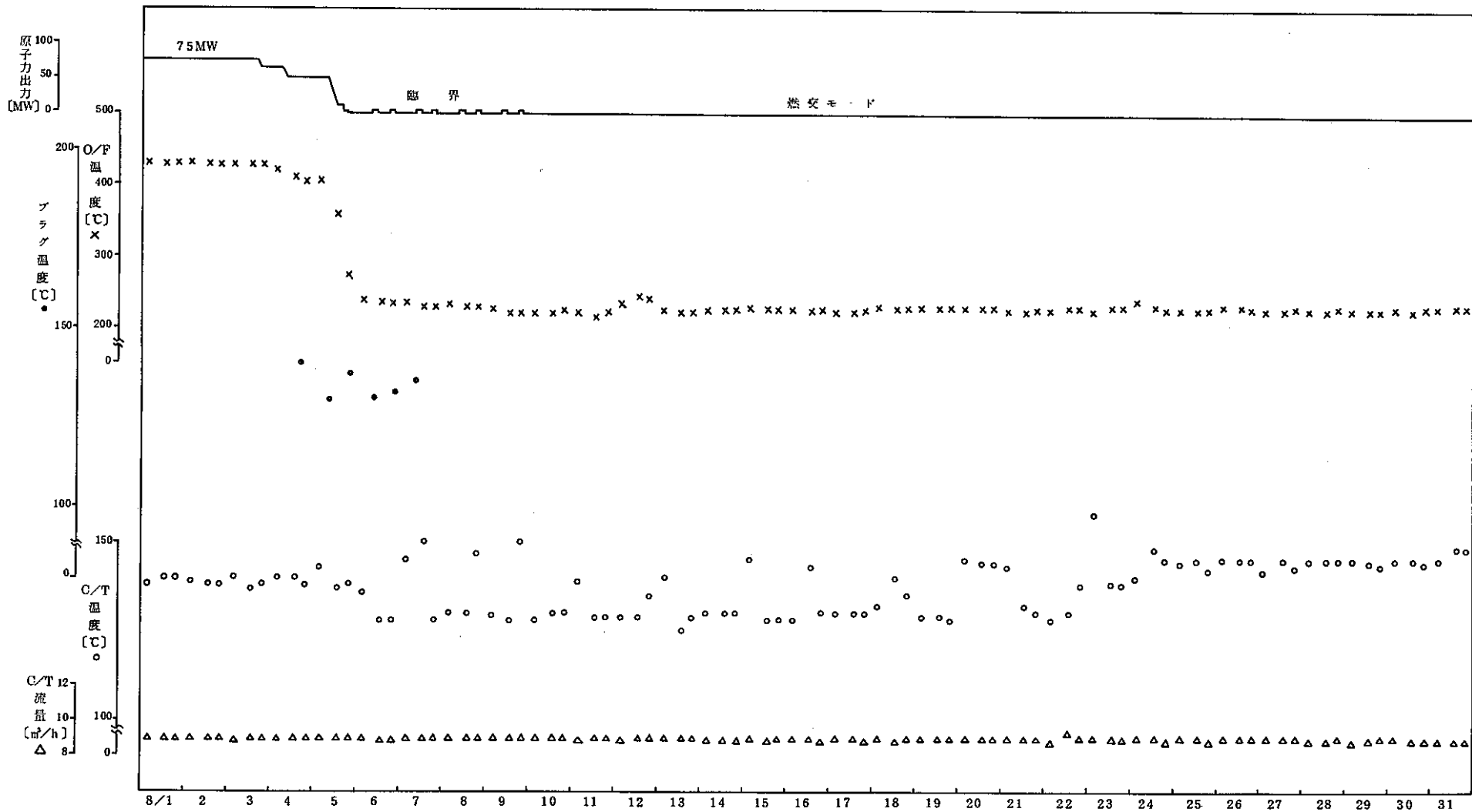
1次純化系運転経過 (S 5 6.5 / 1 ~ 5 / 3 1)



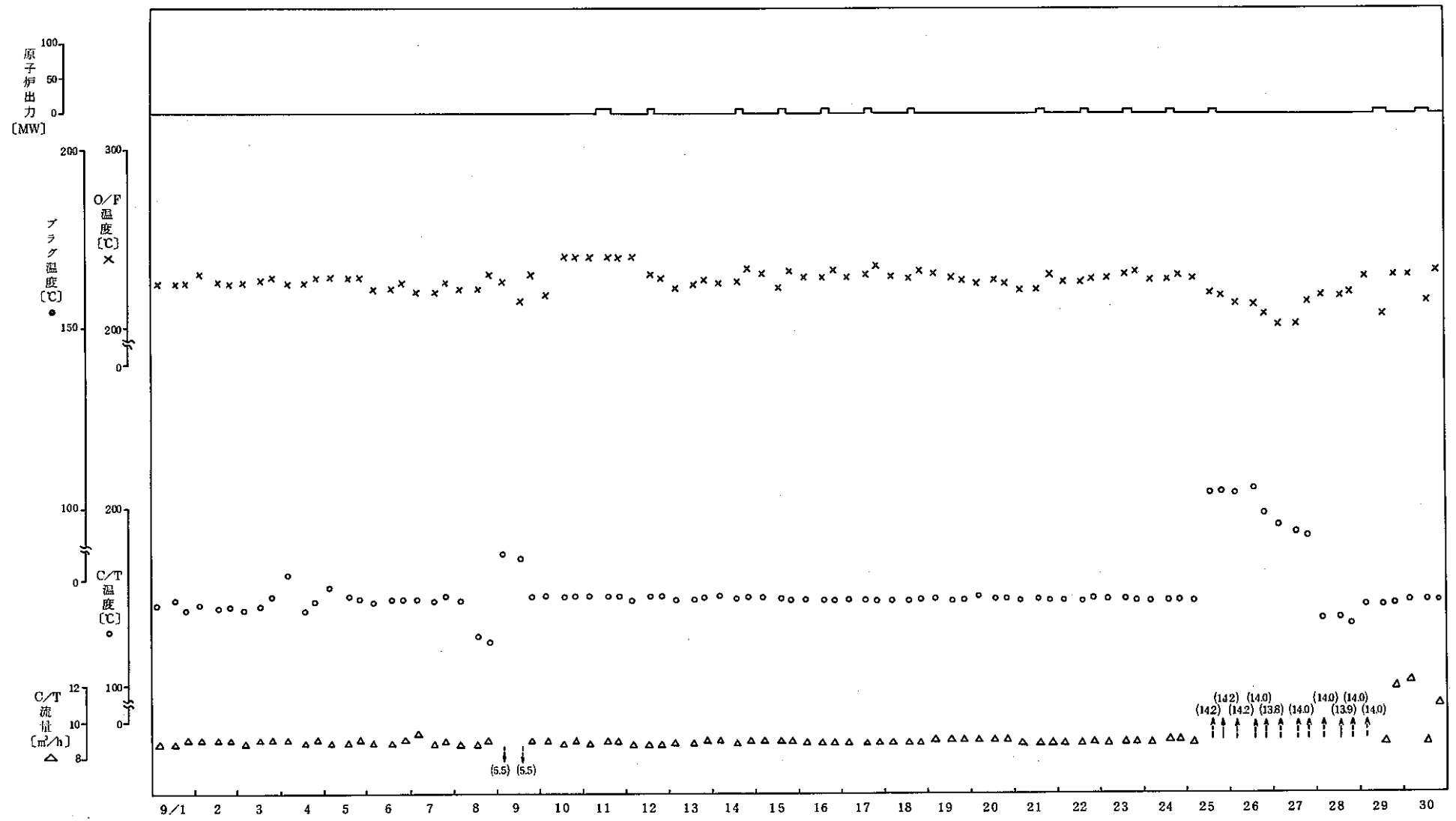
1次純化系運転経過 (S 5 6.6 / 1 ~ 6 / 3 0)



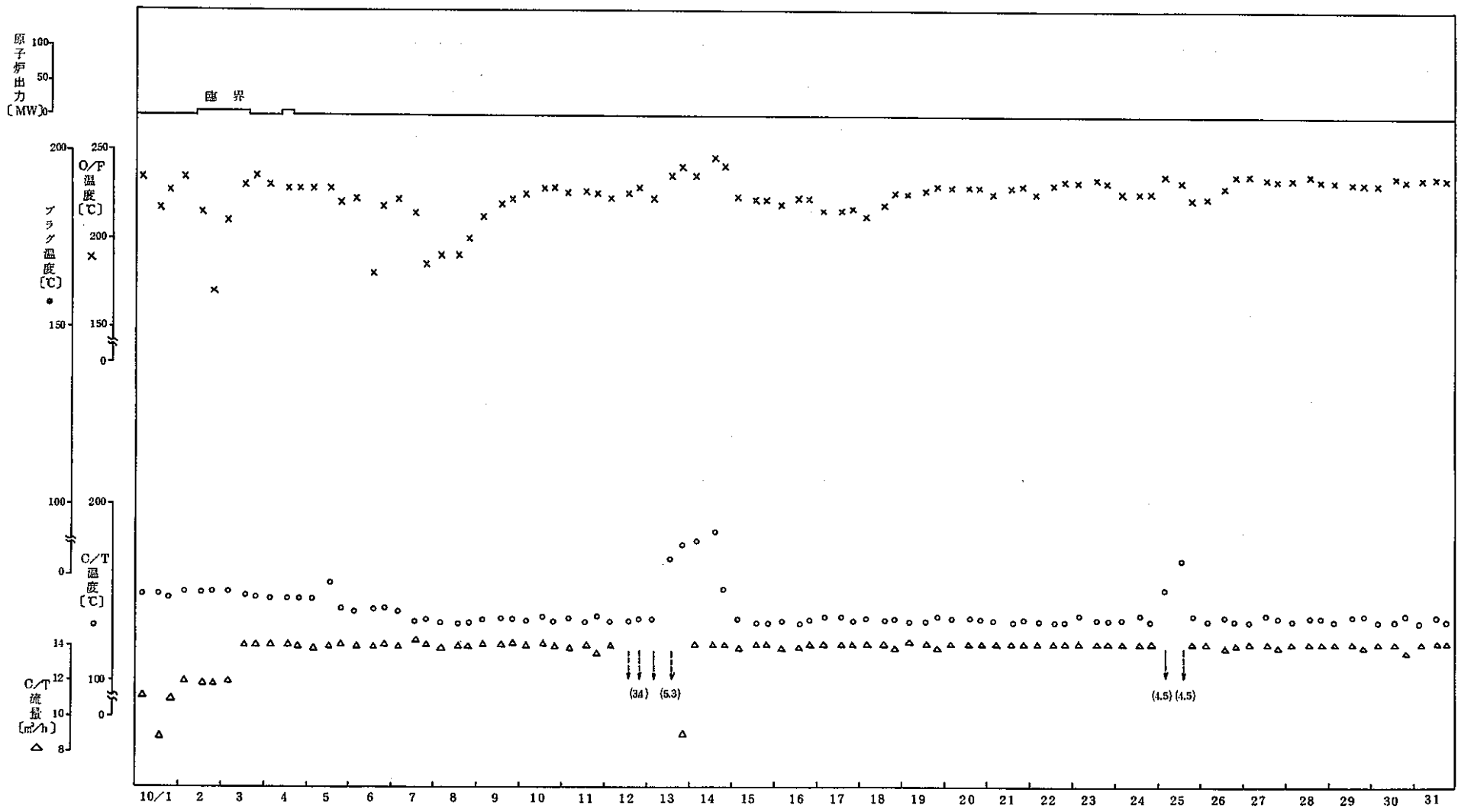
1次純化系運転経過 (S 5 6.7 / 1 ~ 7 / 3 1)



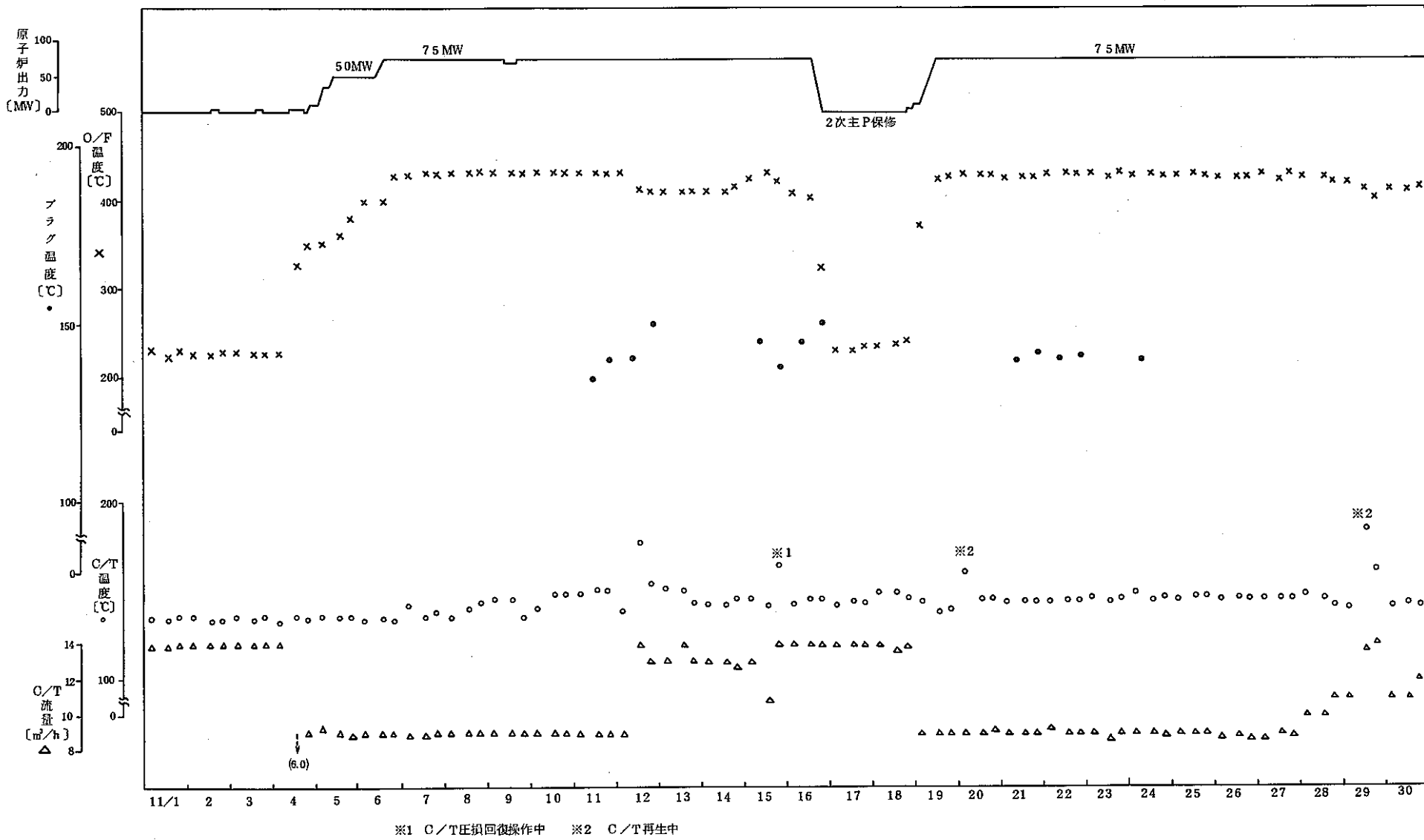
1次純化系運転経過 (S 5 6.8 / 1 ~ 8 / 3 1)



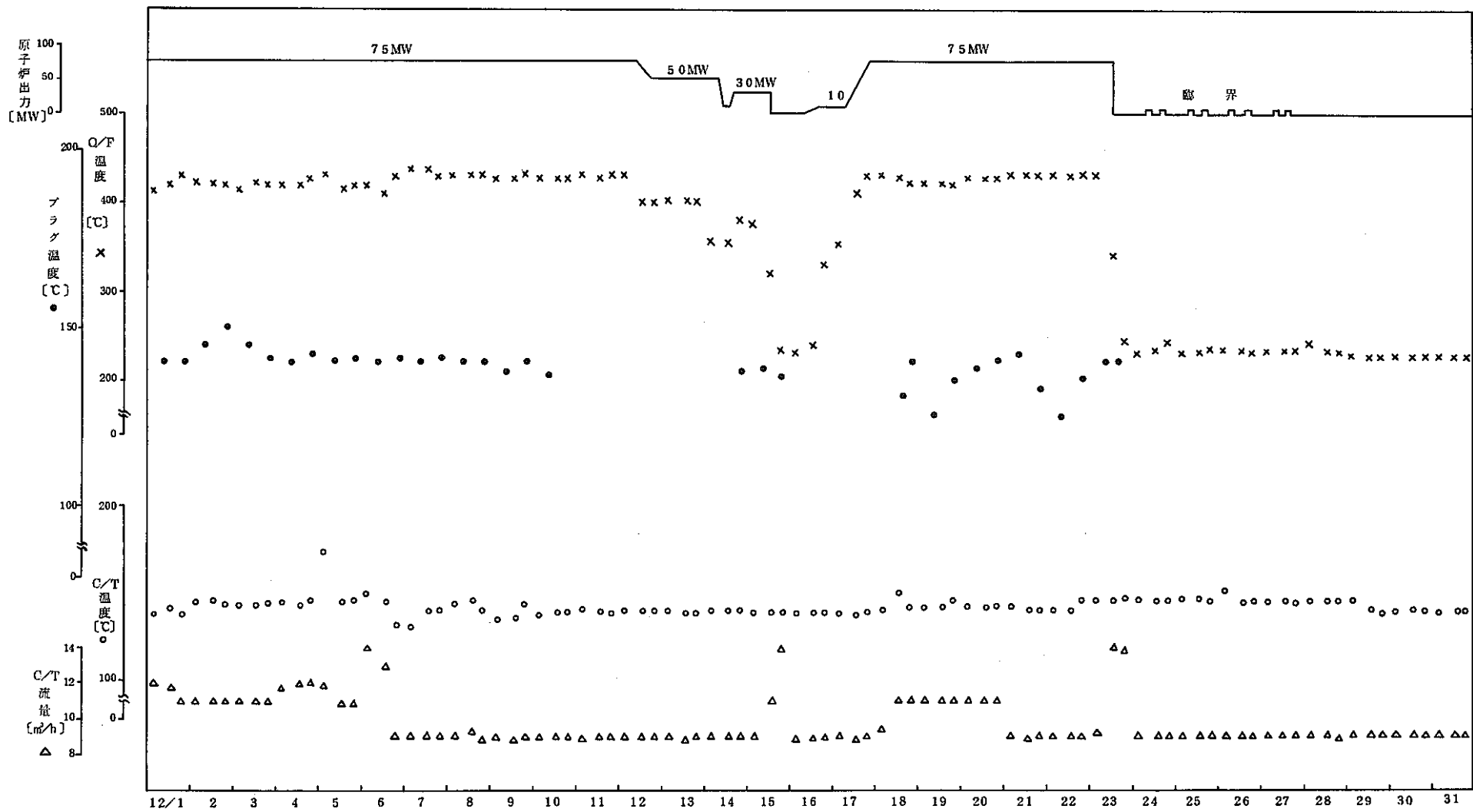
1次純化系運転経過 (S 5 6.9 / 1 ~ 9 / 3 0)



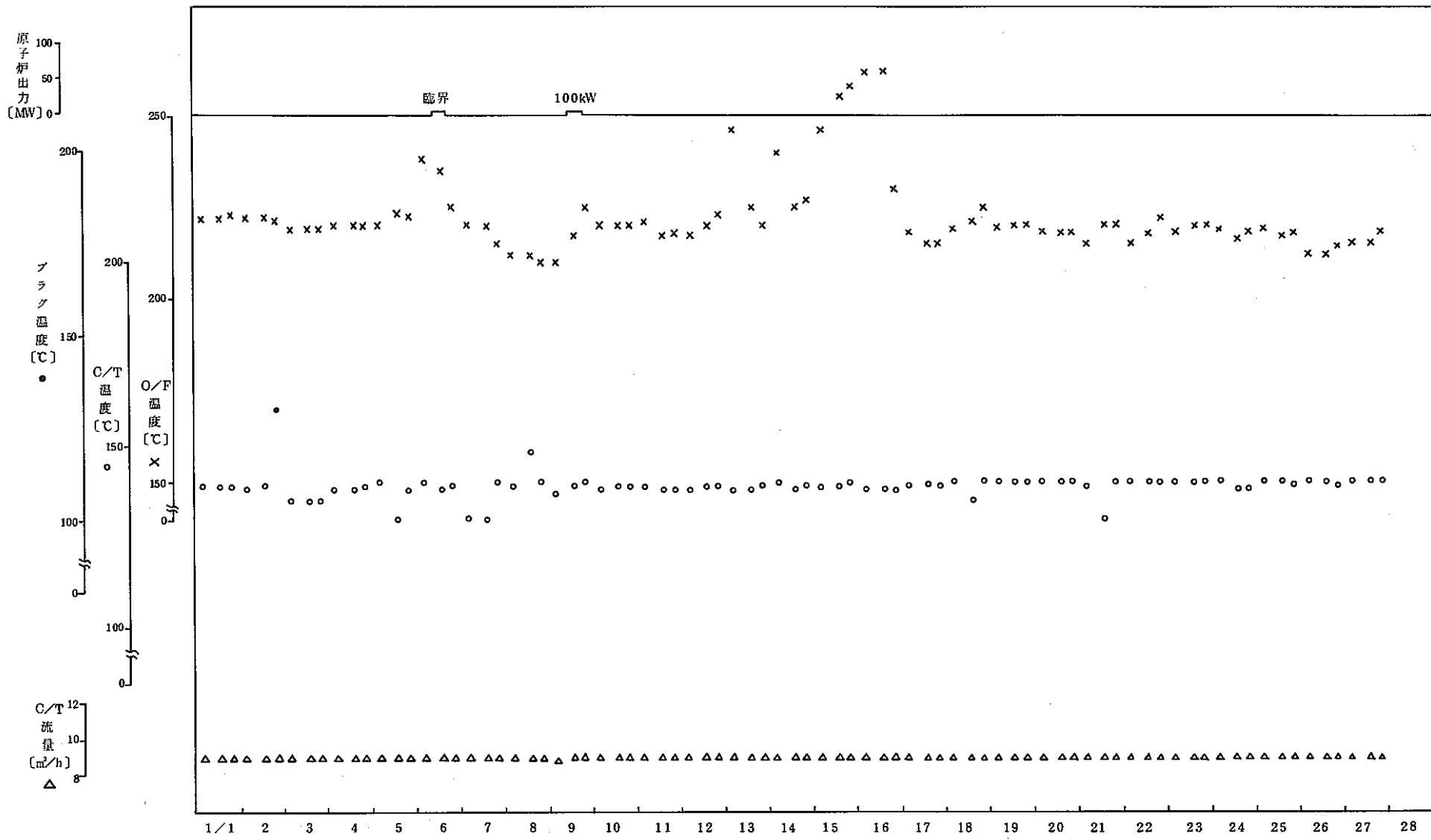
1次純化系運転経過 (S 5 6. 10/1~10/31)



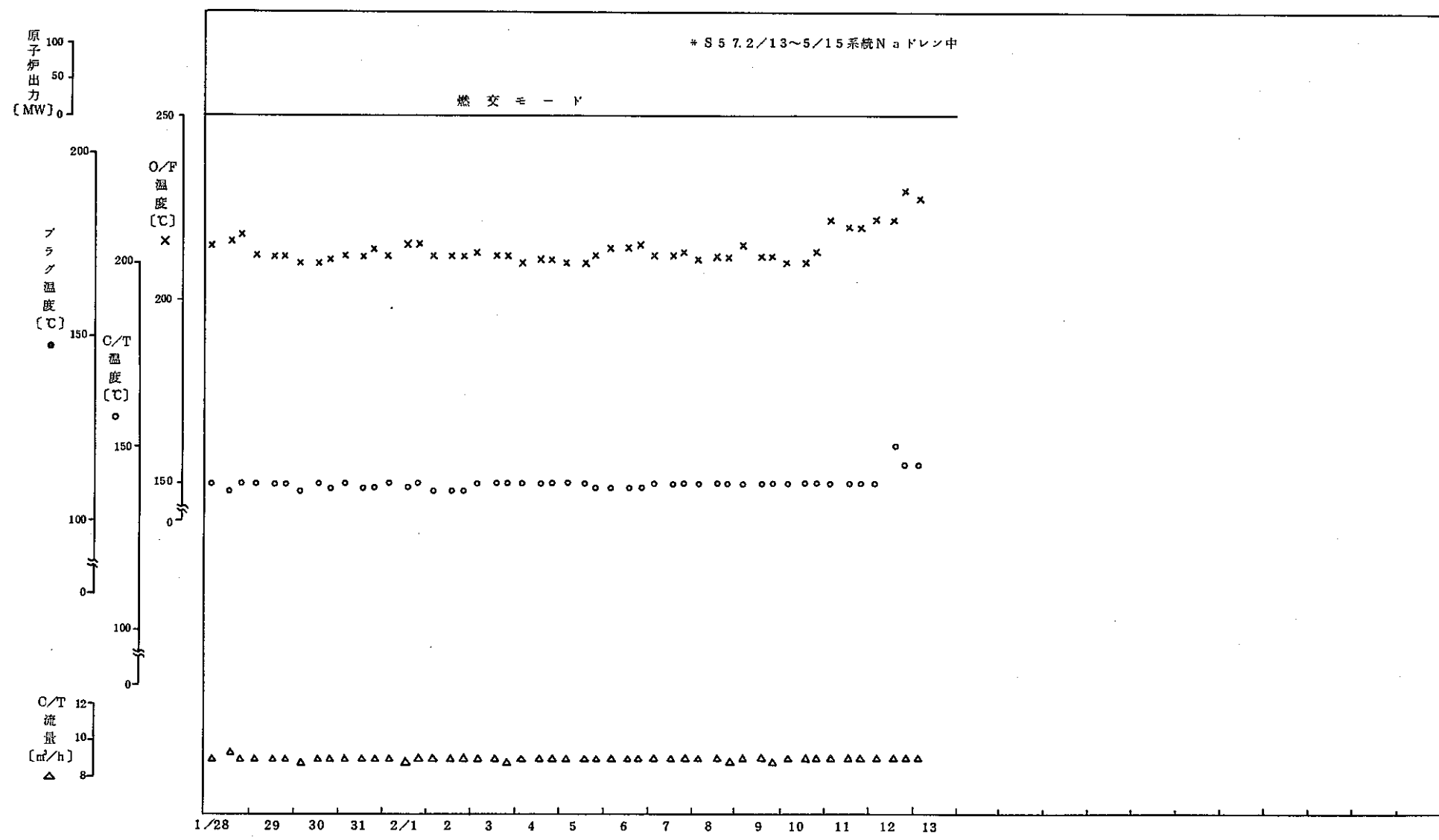
1次純化系運転経過 (S 5 6.11/1~11/30)



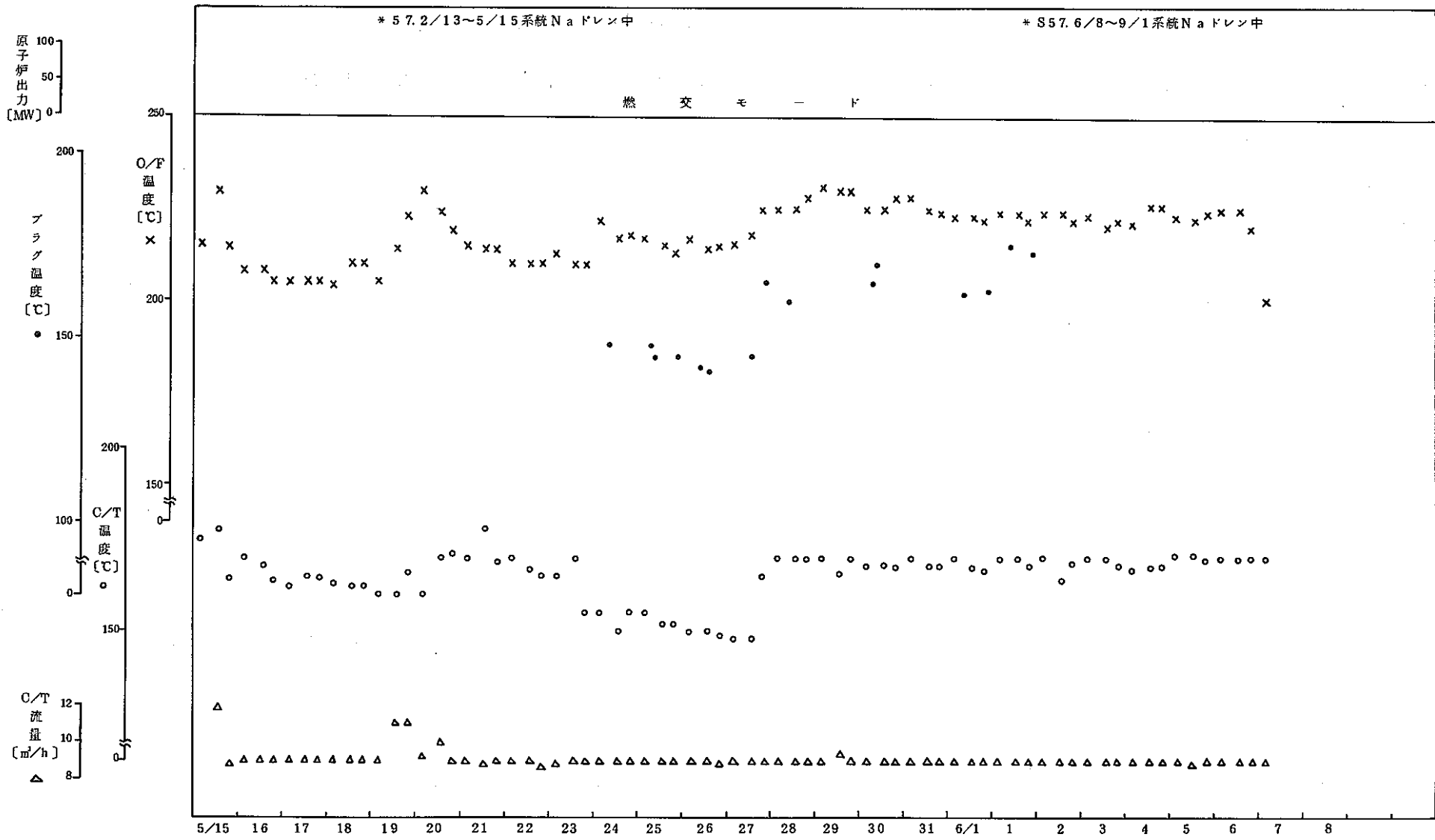
1次純化系運転経過 (S 5 6. 12/1~12/31)



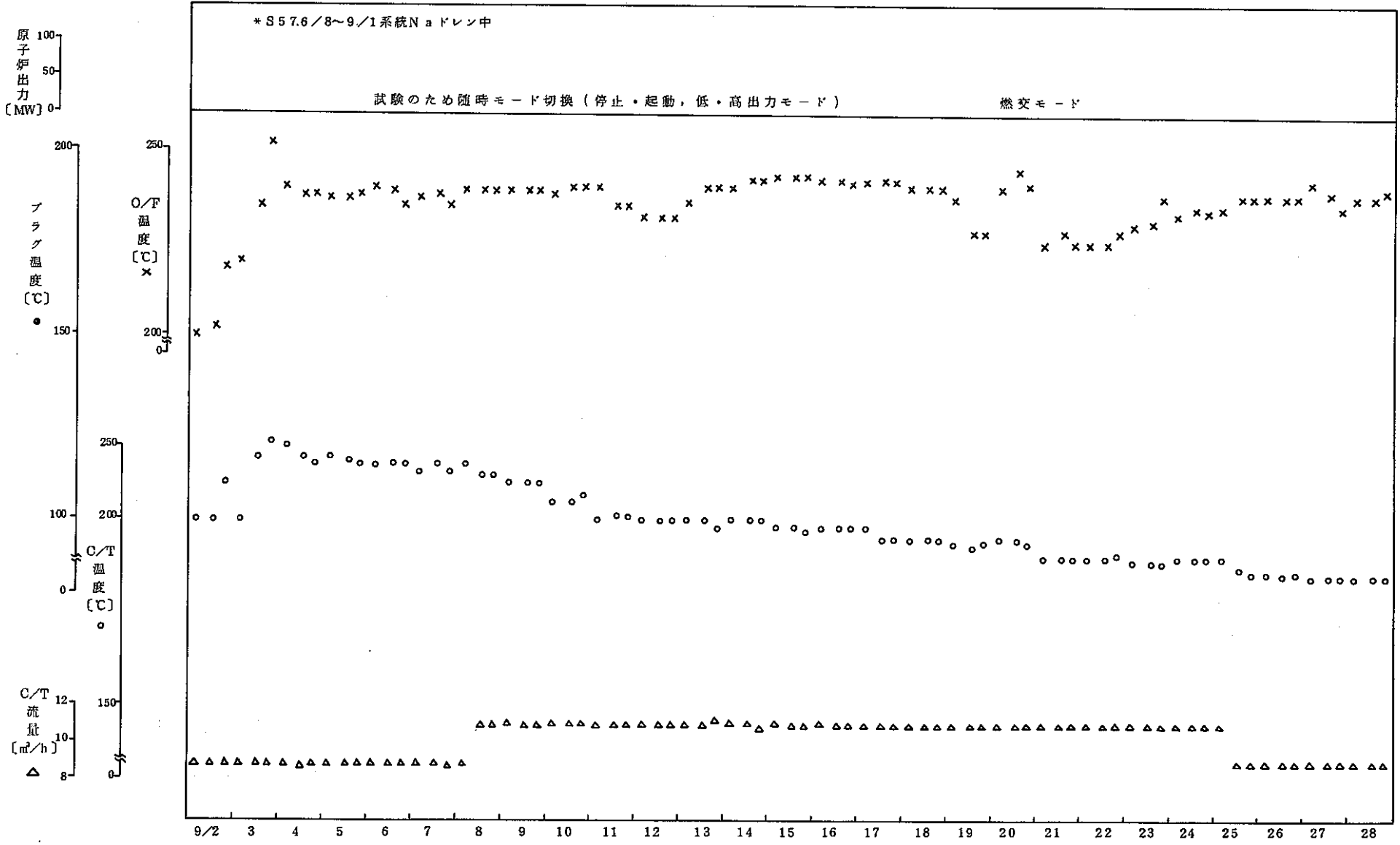
1次純化系運転経過 (S 5 7 . 1 / 1 ~ 1 / 2 7)



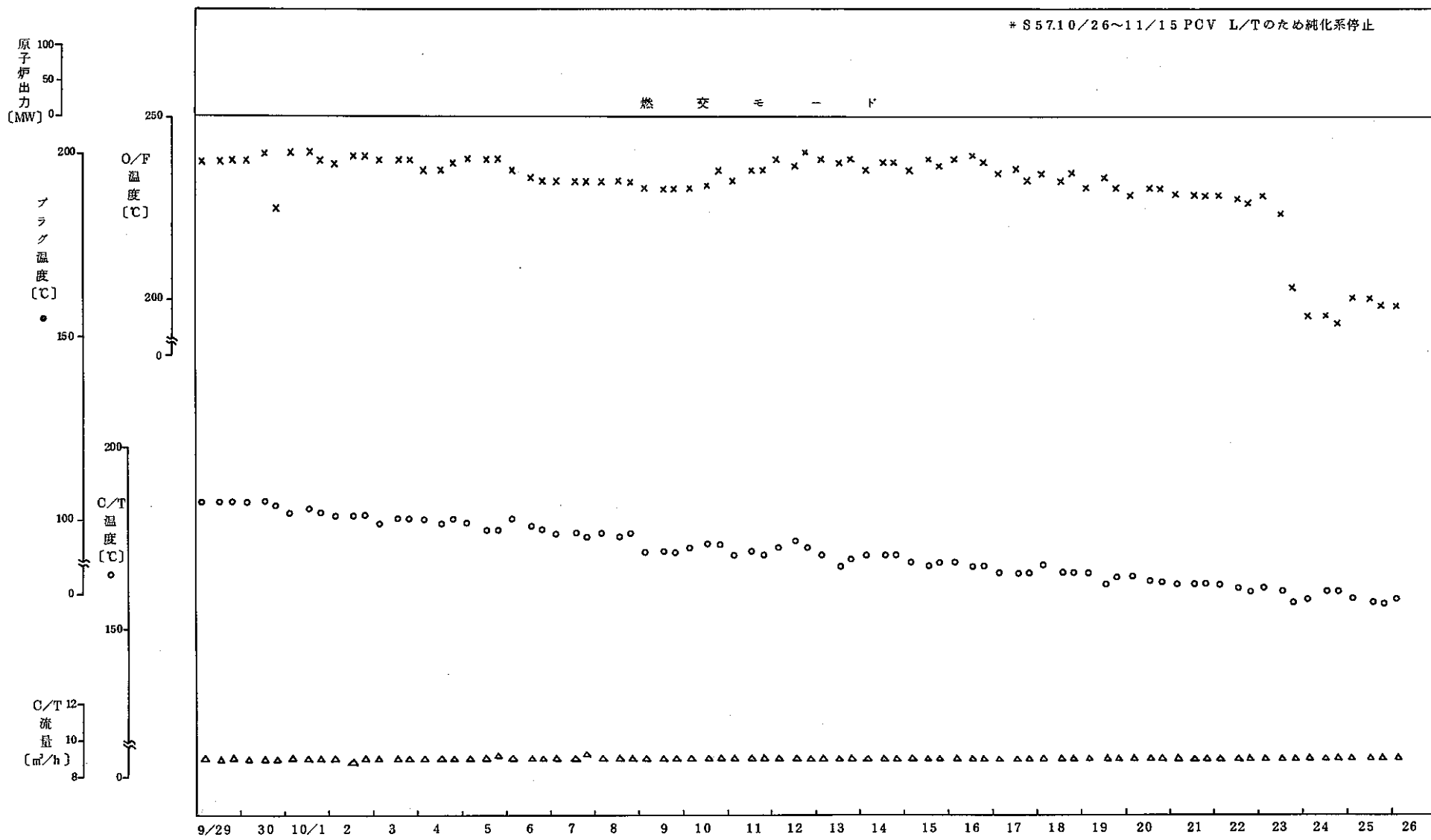
1次純化系運転経過 (S 5 7.1 / 28 ~ 2 / 13)



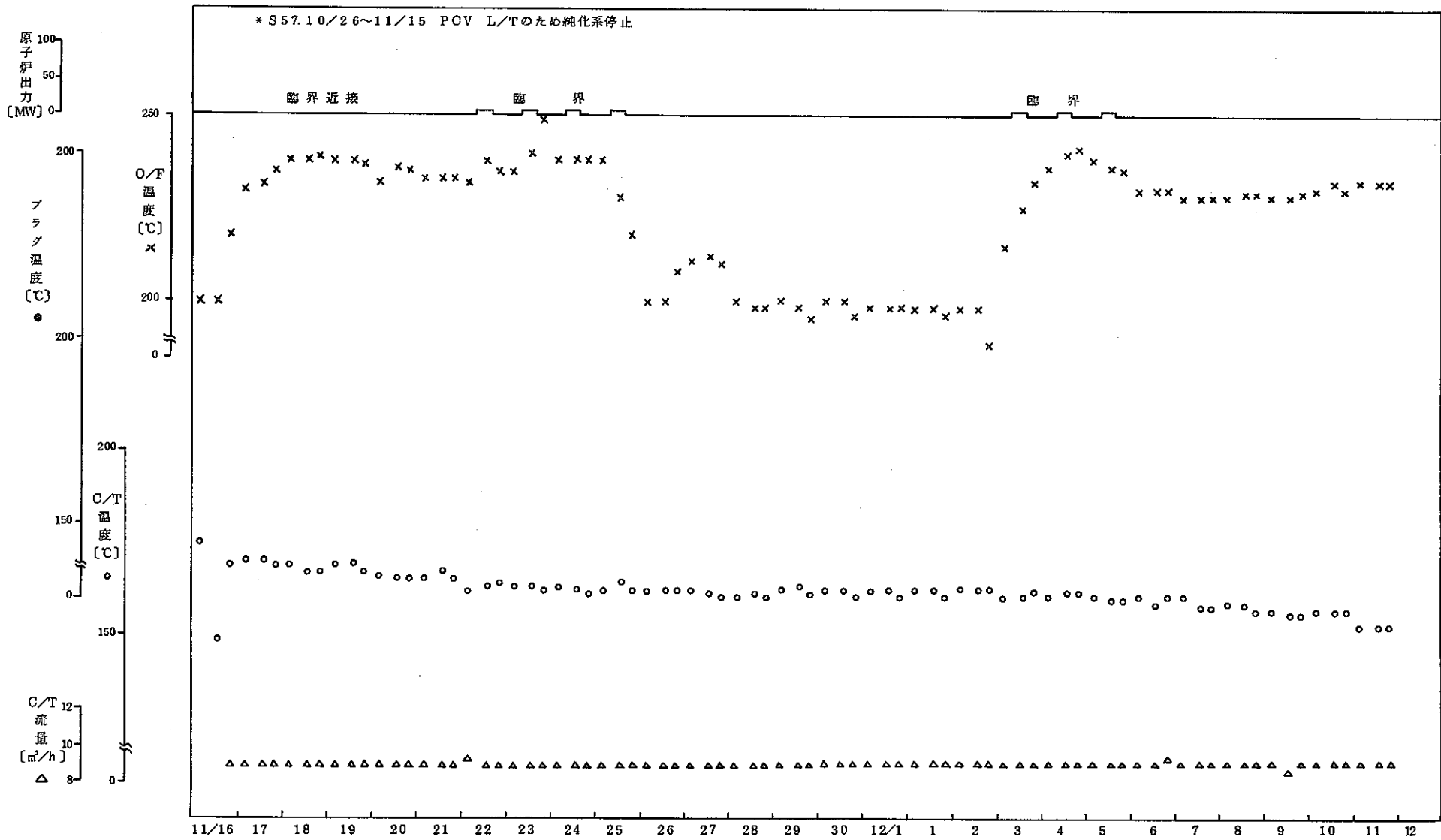
1次純化系運転経過 (S 57.5 / 15 ~ 6 / 8)



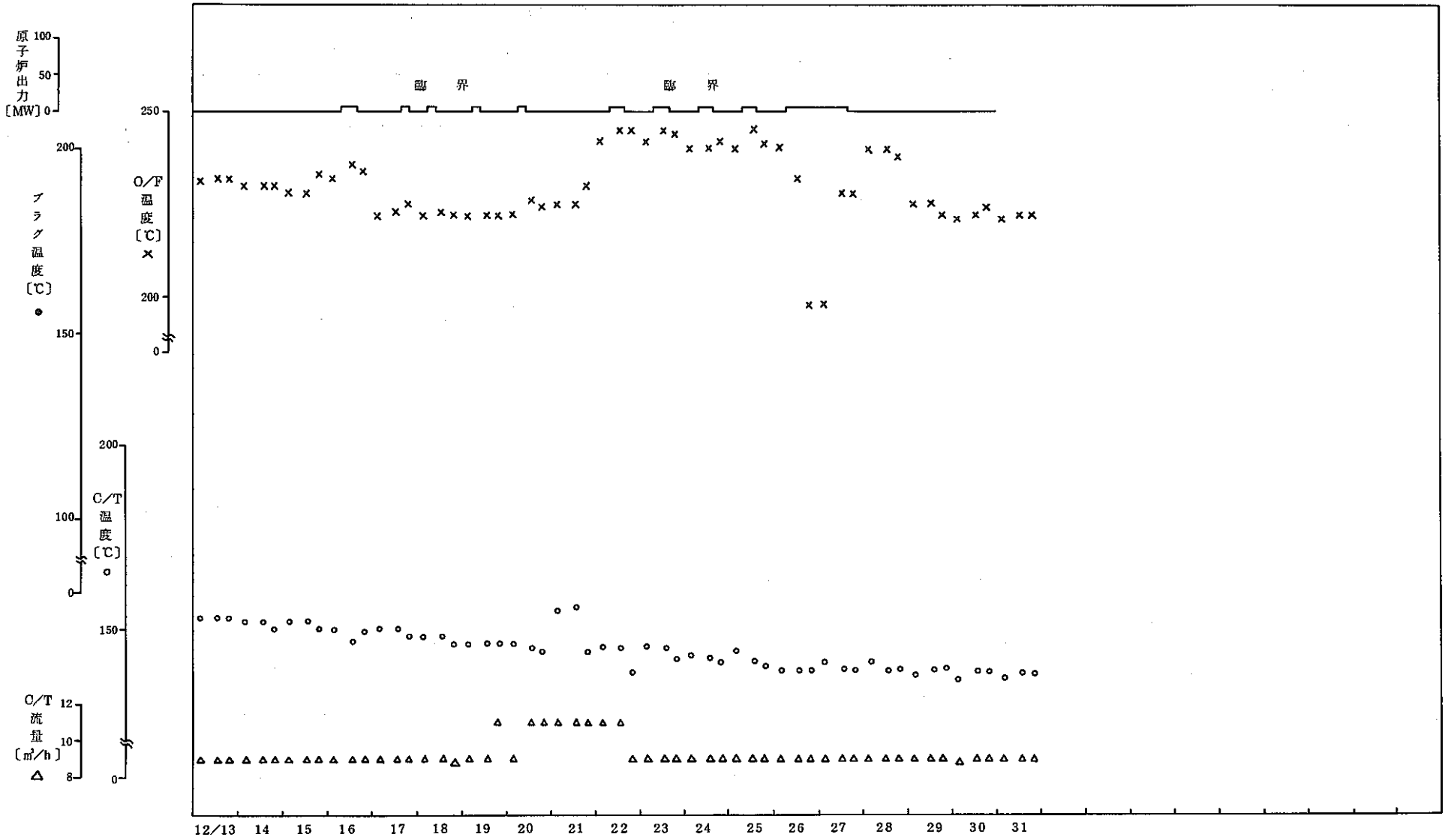
1 次純化系運転経過 (S 5 7.9 / 2 ~ 9 / 2 8)



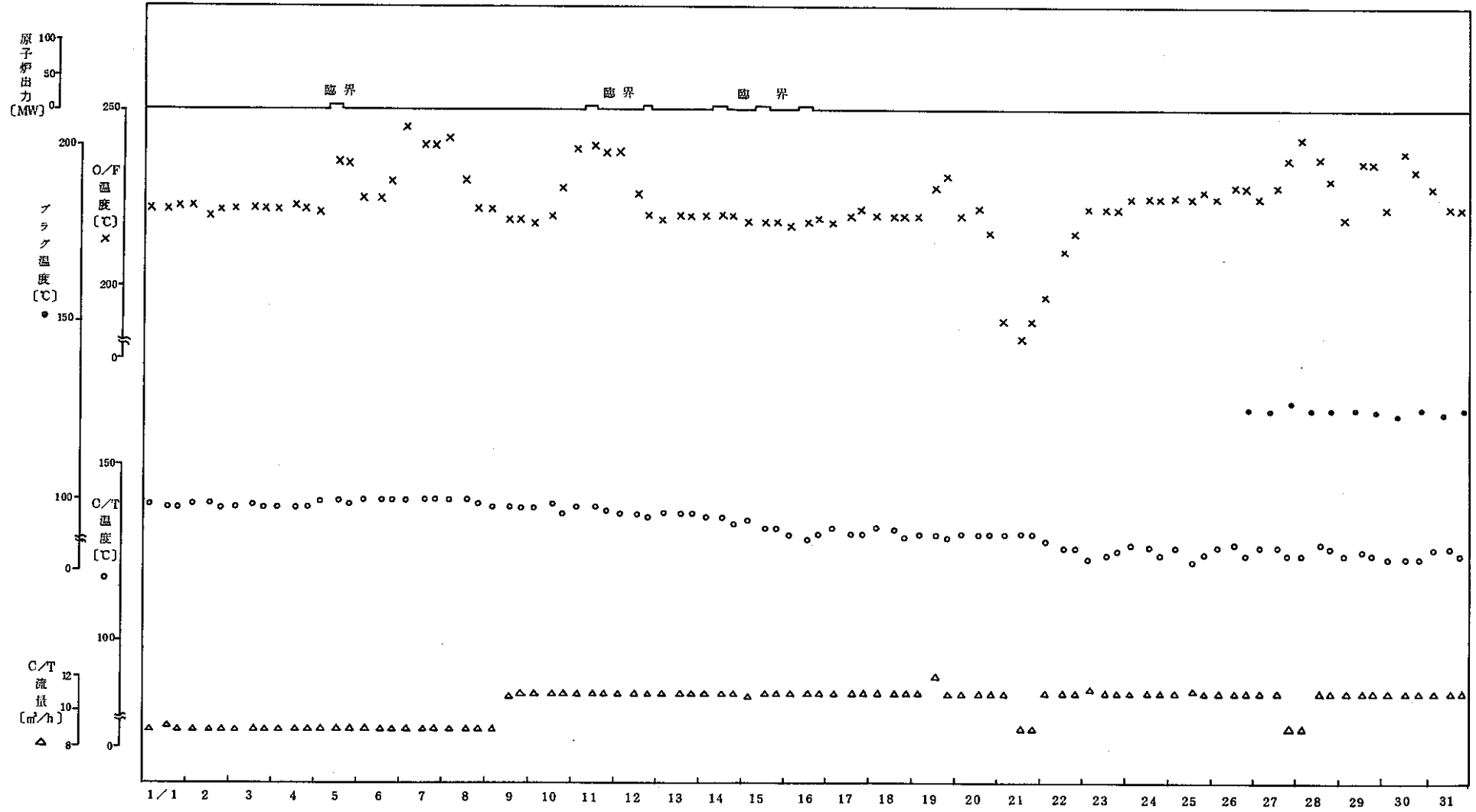
1次純化系運転経過 (S 5 7.9 / 29 ~ 10 / 26)



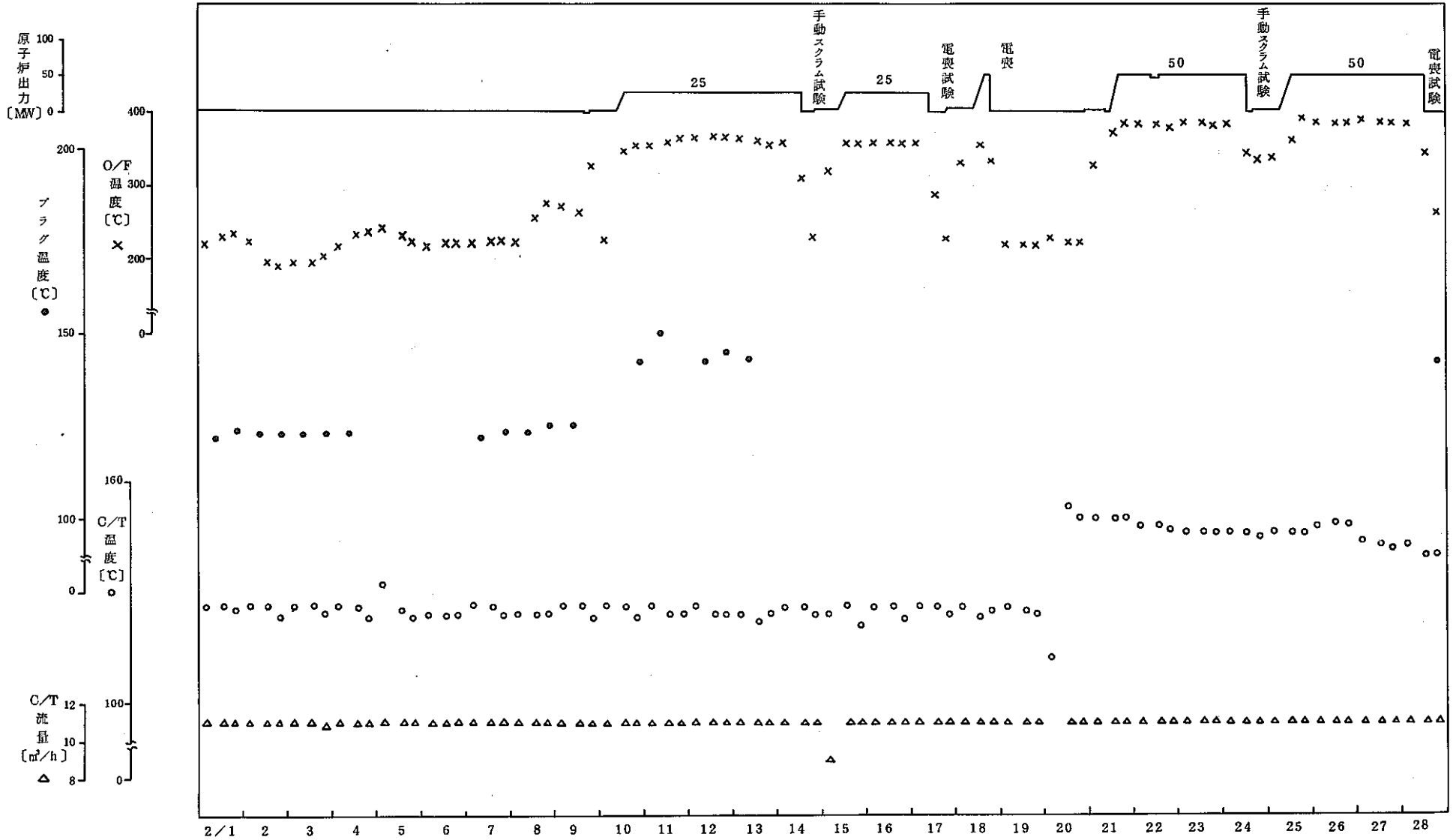
1次純化系運転経過 (S57.11/16~12/12)



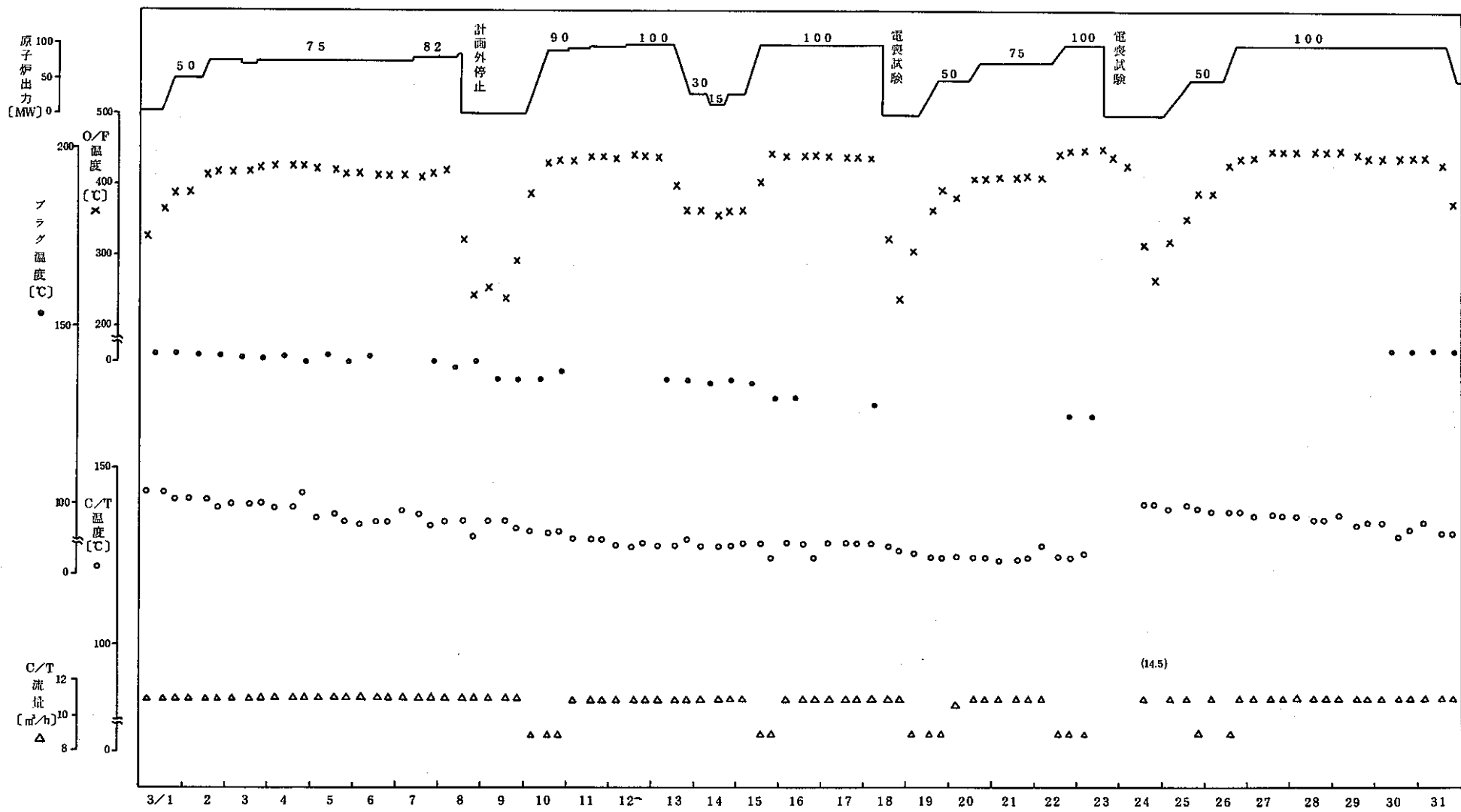
1次純化系運転経過 (S 57.12/13~12/31)



1次純化系運転経過 (S 5 8.1 / 1 ~ 1 / 3 1)



1次純化系運転経過 (S 5 8.2 / 1 ~ 2 / 2 8)



1次純化系運転経過 (S 5 8.3 / 1 ~ 3 / 3 1)