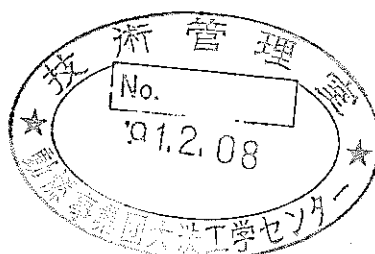


| 区 分 交 更 |                  |
|---------|------------------|
| 変更後資料番号 | <del>1116</del>  |
| 決裁年月日   | 平成 13 年 7 月 31 日 |

# 高速実験炉「常陽」保守経験報告

ナトリウム液位計測系の更新



1990年9月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

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

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

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



## 高速実験炉「常陽」保守経験報告

ナトリウム液位計測系の更新

今村弘章\*, 富田直樹\*, 砂押 博\*\*

### 要 旨

「常陽」のナトリウム液位計のうち、1次主ポンプ、オーバフローコラム、2次ダンプタンク用の合計5基について検出器絶縁劣化、電子部品劣化等の老朽化のため第7回定検中に更新した。新たな液位計の設計にあたっては、測定誤差の大きな要因となる直線性と温度特性に関して逆関数法を応用した特性補正システムを液位信号変換システムに組み込み高精度化を図った。本手法は、炉容器長尺液位計を設置した時に初めて実用化されたもので、今回は特性補正にワンループコントローラを使用し、システムを簡易化している。更に、2次ダンプタンク液位計には電磁妨害を排除するために、液位信号伝送に初めて光ファイバを採用した。

一方、液位変換器の設計にあたっては、これまでの保守経験を基にケーブルアース法、停電時のメモリ保護、測定端子と調整トリマ配置等に工夫を加え、保守性ととも信頼性向上に重点を置いた。これらのナトリウム液位計は、第17サイクルより供用を開始し、良好な運転実績を収めつつある。

---

\* 大洗工学センター 実験炉部 原子炉第2課

\*\* 大洗工学センター 技術開発部



## Maintenance Experience for Experimental Fast Reactor JOYO

### Replacement of Sodium Level Measuring System

H. Imamura\*, N. Tomita\*, H. Sunaoshi\*\*

#### Abstract

During 7th annual inspection period of JOYO, sodium level meters in the sodium level measuring systems were replaced for both primary pumps, pump overflow columns and secondary dump tank due to deterioration on electrical parts and insulators.

In newly designed signal processing unit, compensation method for non-linearity and temperature characteristics was introduced to minimize error. The method in the new unit is same as in long range sodium level meter for reactor vessel which was replaced at 5th annual inspection period. This time, compensation system adopted one-loop-controllers for simplification of the system.

In addition, optical fiber signal transmission system was used to protect the system from electromagnetic noise in the sodium level meter of the dump tank.

New system were begun to use at 17th the duty cycle and their operating performance appeared to be excellent.

---

\* JOYO maintenance section, experimental reactor Division, OEC

\*\* Technology Development Division, OEC

## 目 次

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 1. 緒 言 .....                             | 1  |
| 2. ナトリウム液位計の概要 .....                     | 2  |
| 2.1 液位計基本仕様 .....                        | 2  |
| (1) 検出器 .....                            | 2  |
| (2) 変換器 .....                            | 3  |
| (3) 演算器 .....                            | 3  |
| 2.2 「常陽」用液位計炉外ナトリウム校正試験 .....            | 3  |
| (1) 液位計校正試験装置の概要 .....                   | 4  |
| (2) 炉外試験結果 .....                         | 4  |
| (3) 炉外校正試験のまとめ .....                     | 6  |
| 3. プラントにおける液位計交換工事 .....                 | 7  |
| 3.1 交換手順 .....                           | 7  |
| (1) 1次主循環ポンプ用ナトリウム液位計 2基 .....           | 7  |
| (2) 1次主循環ポンプオーバーフローコラム用ナトリウム液位計 2基 ..... | 7  |
| (3) 2次ナトリウム充填ドレン系ダンプタンクナトリウム液位計 1基 ..... | 8  |
| 3.2 交換工事 .....                           | 8  |
| (1) 1次系の液位計 4基 .....                     | 8  |
| (2) 2次系の液位計 1基 .....                     | 10 |
| 4. 据付後の液位計の運転 .....                      | 12 |
| 4.1 プラント据付後の校正 .....                     | 12 |
| (1) 1次主循環ポンプ用2基の校正結果 .....               | 12 |
| (2) オーバーフローコラム用レベル計の校正結果 .....           | 13 |
| (3) ダンプタンク用液位計の校正結果 .....                | 13 |
| 4.2 原子炉運転中の液位計挙動 .....                   | 13 |
| (1) 1次主循環ポンプ用2基の液位計挙動 .....              | 13 |
| (2) オーバーフローコラム用液位計の挙動 .....              | 14 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| (3) ダンプタンク用液位計の挙動 .....     | 14 |
| 5. 検討及び評価 .....             | 15 |
| 5.1 プラント設置時の出力変化 .....      | 15 |
| 5.2 検出器出力SN比の改善 .....       | 15 |
| 5.3 検出器内端末処理方法 .....        | 16 |
| 5.4 検出器及び変換器間のケーブル接続法 ..... | 16 |
| 5.5 液位計設計上留意した点 .....       | 17 |
| 6. 結    言 .....             | 18 |
| 7. 謝    辞 .....             | 19 |
| 8. 参考文献 .....               | 20 |

## List of Tables

|                  |                                                                                                      |    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 2. 1 (1/2) | Specification of Sodium Level Meter .....                                                            | 22 |
| Table 2. 1 (2/2) | Measuring Range and Design Accuracy of Levelmeters .....                                             | 23 |
| Table 2. 2       | Effective Length of Level Probe.....                                                                 | 28 |
| Table 2. 3       | Temperature Dependence on 0 % and 100% of Setting Point and<br>Effective Length of Level Probe ..... | 29 |
| Table 3. 1       | Actual Schedule of Levelmeter Exchanges .....                                                        | 35 |
| Table 3. 2       | Measured Resistance of Coilwires .....                                                               | 36 |
| Table 3. 3       | Assignment of Wirings to PCV Cable Penetration .....                                                 | 37 |
| Table 3. 4       | Specification of Cable for Levelmeter .....                                                          | 38 |
| Table 3. 5       | Specification of Cable for Dump Tank Levelmeter.....                                                 | 40 |
| Table 3. 6       | Specifications of Optical Fiber for Dump Tank Levelmeter ..                                          | 41 |
| Table 4. 1       | Reguration Volumes and Chack Terminals of Processing<br>Unit .....                                   | 47 |
| Table 4. 2 (1/2) | On-Site Calibration Results of Reactor Vessel Levelmeters<br>(ch 1, ch 2) .....                      | 48 |
| Table 4. 2 (2/2) | On-Site Calibration Results of Reactor Vessel Levelmeter<br>(ch 3) .....                             | 49 |
| Table 4. 3       | Calibration Date of Processing Units .....                                                           | 50 |
| Table 4. 4       | On-Site Calibration Results of Main Pump Levelmeters ....                                            | 51 |
| Table 4. 5       | On-Site Calibration Results of Over Flow Column<br>Levelmeters .....                                 | 52 |
| Table 4. 6       | On-Site Calibration Results of Dump Tank Levelmeter .....                                            | 53 |
| Table 5. 1       | Levelmeter Out Put Variations due to Differences of Well<br>Diameter .....                           | 63 |

## List of Figures

|           |                                                                                                   |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 2. 1 | Structure of Sodium Level Meter .....                                                             | 21 |
| Fig. 2. 2 | Probe Construction of Levelmeter .....                                                            | 24 |
| Fig. 2. 3 | Outer View of Excitation Unit and Signal Processing Unit .....                                    | 25 |
| Fig. 2. 4 | Signal Flow of the Levelmeter .....                                                               | 26 |
| Fig. 2. 5 | Schematic Diagram of Sodium Levelmeter Caribration Test<br>Equipment .....                        | 27 |
| Fig. 2. 6 | The Dependence of the Correction Factor on Temperature<br>(Primary Main Circulation Pump A) ..... | 30 |
| Fig. 2. 7 | The Dependence of the Correction Factor on Temperature<br>(Primary Main Circulation Pump B) ..... | 31 |
| Fig. 2. 8 | The Dependence of the Correction Factor on Temperature<br>(Over Flow Column A) .....              | 32 |
| Fig. 2. 9 | The Dependence of the Correction Factor on Temperature<br>(Over Flow Column B) .....              | 33 |
| Fig. 2.10 | The Dependence of the Correction Factor on Temperature<br>(Dump Tank) .....                       | 34 |
| Fig. 3. 1 | Wiring of Levelmeters (Main Pump, Over Flow Column) .....                                         | 39 |
| Fig. 3. 2 | Wiring of Levelmeter (Dump Tank) .....                                                            | 42 |
| Fig. 4. 1 | Levelmeter Location in Primary Pump .....                                                         | 43 |
| Fig. 4. 2 | Levelmeter Location in Over Flow Column .....                                                     | 44 |
| Fig. 4. 3 | Levelmeter Location in Dump Tank .....                                                            | 45 |
| Fig. 4. 4 | Sodium Levels in Primary Pump and Over Flow Column .....                                          | 46 |
| Fig. 4. 5 | Sodium Level Variation during Start Up Period of 16th Cycle for<br>Former Level Prebes .....      | 54 |
| Fig. 4. 6 | Sodium Level Variation during Start Up Period of 17th Cycle for<br>Newly Installed Probes .....   | 55 |

|           |                                                                                        |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 4. 7 | Relation between Primary Main Flow Rate and Sodium Level in Pump (A) .....             | 56 |
| Fig. 4. 8 | Relation between Primary Main Flow Rate and Sodium Level in Pump (B) .....             | 57 |
| Fig. 4. 9 | Levelmeter Indication Variation during Start Up Period of 17th Cycle .....             | 58 |
| Fig. 4.10 | Relation between Primary Main Flow Rate and Sodium Level in Over Flow Column (A) ..... | 59 |
| Fig. 4.11 | Relation between Primary Main Flow Rate and Sodium Level in Over Flow Column (B) ..... | 60 |
| Fig. 4.12 | Sodium Level Variations of Dump Tank during Start Up Period of 17th Cycle .....        | 61 |
| Fig. 5. 1 | Operational Amplifier Circuit .....                                                    | 62 |
| Fig. 5. 2 | Permeable Depth of Magnetic Flux ( $1/e=36.8\%$ ) .....                                | 64 |
| Fig. 5. 3 | Relation between Sodium Levelmeter Out Put and Excitation Frequency .....              | 65 |

## 1. 緒 言

高速実験炉「常陽」第7回定検期間中の更新工事の一環として1次主循環ポンプ用ナトリウム液位計2基、オーバーフローコラムナトリウム液位計2基、2次ナトリウム充填ドレン系ダンプタンクナトリウム液位計1基の計5基を交換した。

本液位計は誘導型連続式であって、製作上の誤差等により、液位と温度に対応する出力特性が1基毎に異なるため「常陽」における使用に先だち、機器システム開発室機器構造第一試験室の液位計校正試験装置（SOLCAT）で昭和62年6月末より8月末までの間、実液校正を実施した後、昭和63年9月より11月にかけて「常陽」での液位計交換工事を行った。

交換対象液位計は近年老朽化が進み検出器絶縁抵抗値の低下、電子部品の劣化によるトラブル頻度が多く、信頼性の向上、安全かつ安定な液位計の運転を確保する目的で今回交換を実施したものである。

ナトリウム液位計の交換に当っては、第5回定検時に実施した炉容器長尺ナトリウム液位計の設計を踏襲することとし、計測誤差を極力少なくする手段として逆関数法を応用した特性補正用演算器を液位計装システムに組込んだ。2次系については耐ノイズ性向上を目的として光ファイバを用いて計装ループ構成とするなどの特徴を有している。

ここでは、液位計のシステム設計、交換工事、「常陽」におけるオンサイト実液校正等の結果をまとめた。

## 2. ナトリウム液位計の概要

本液位計は前述のように誘導型連続式であり、その構造は従来のものと同じく薄肉パイプ（コイルボビン）に1次コイルと2次コイルをソレノイド状に2条巻きしたものである。

ソレノイドの外周は保護管（ウェル）で囲まれ保護管が案内管に挿入された状態で使用される。（Fig. 2.1 参照）

今回は、検出器及び計装システムの更新なので、ナトリウムバウンダリを構成するウェルの交換は行わなかった。

### 2.1 液位計基本仕様

本液位計は基本仕様を下記に詳細仕様をTable 2.1 に示す。

液位計基本仕様

| 型 式   | 誘導型連続式液位計  |        |
|-------|------------|--------|
| 有効測定長 | ダンプタンク用    | 3600mm |
|       | 主循環ポンプ用    | 1493mm |
|       | オーバフローコラム用 | 2993mm |
| 検出器直径 | ダンプタンク用    | 17.3mm |
|       | 主循環ポンプ用    | 17.3mm |
|       | オーバフローコラム用 | 17.3mm |
| 精 度   | ± 3 % FS   |        |
| 耐 震   | C クラス      |        |

#### (1) 検出器

検出器は、Fig. 2.1 に示す様に、1次コイルと2次コイルがソレノイド状に巻かれている。又、校正点を有するダンプタンク用については校正用コイルが1次、2次コイルとも巻かれている。このコイルには外径1mmでMgOによって絶縁されたSU316被覆のMIケーブルが使用され、コイルはさらにウェルに収納され、MIケーブル及び構造材の酸化を防止するためアルゴンガスを封入してある。MIケーブル端末部は封入アルゴンのシール及び耐放射線性を考慮しセラミックを用いている。なお検出機器は、旧検出器を撤去した後のウェルに挿入した。新たに製作した検出器の詳細はFig. 2.2 に示す。

## (2) 変換器

変換器は電源部 (DC Supply Unit) , 励磁回路プリアンプ回路, 演算出力回路から構成され, ダンプタンク用については, この他に自己校正点H回路及び自己校正点L回路が設けてある。Fig. 2. 3 に変換器の構成と各部の名称を示す。

1 次コイル励磁回路は発振周波数が 1 kHz, 電流は実測値で 55~140mA の交流正弦波を検出器 1 次コイルへ送り出す。2 次コイル出力信号はプリアンプ回路で処理され, 演算出力回路へ流れ込み, 直流 4~20mA の出力として液位変化に対応する信号を得る。自己校正点 H 回路, L 回路については, 2 個の校正用出力コイルの電圧差によってナトリウム液位を検出し, リレー接点として出力する固定点式液位計の機能を有する。

## (3) 演算器

演算器は変換器からの液位出力信号と補正用温度信号を入力し, 直線性, 温度特性の補正を行うもので, ワンループコントローラを利用している。直線性の補正は実液校正で得られた誤差曲線を基に 0, 100% の端点を含む測定範囲を 10 折線の近似関数 (任意設定可能) により補正する。

同様に温度特性の補正も実液校正で得られた誤差曲線を基に 10 折線の近似関数 (任意設定可能) により補正する。

演算器内の上記補正に使用するパラメータは, 停電保護回路により, 消失防止が計られており連続停電状態で約 1 年間の保護が可能である。Fig. 2. 4 に補正機能の説明図を示す。

## 2.2 「常陽」用液位計炉外ナトリウム校正試験

ナトリウム液位計の出力特性はコイルの巻き方やコイルボビン端部製作の微妙な違い, ナトリウム, ステンレス鋼等の温度依存性に伴う電磁気的特性変化などのために, 物理則により予測される基準出力と実際の出力に差が生じそれが測定誤差となる。そのため, 実際に液位計が使用される温度, 液位等の条件を炉外の試験装置を用いて詳細に模擬し, 基準出力とのずれを補正する校正係数を求める必要がある。このため機器システム開発室に炉外校正を依頼し, 液位計校正試験装置を用いた炉外試験を実施した。

## (1) 液位計校正試験装置の概要

本装置は液位計校正試験装置 (Sodium Level-Meter Calibration Test Equipment: SOLCAT) と称している。本装置の構成は、Fig. 2. 5 に示す様に連通管で結合された 2 基の円筒状容器、加熱器、冷却器、電磁ポンプ、流量計、コールドトラップ及びナトリウム配管、アルゴンガス供給系、真空ヘッダからなる。試験時のナトリウム液面は、電磁ポンプの運転により制御される。

## (2) 炉外試験結果

### ① スパン特性

測定結果とスパン設計値を Table 2. 2 に示す。どの液位計も設計値に比較し、測定値が 1.2~1.9% 長めである。これはナトリウム温度 200℃ での測定結果を示している。すべての液位計のスパン長がプラス誤差に有るのは、検出器端末の出力の直線性を改善するためコイルを設計値より、数ターン長く巻いて端末処理をしていることによる。これはコイルが有限長ソレノイドであるため、端末効果によりコイルエンドでの 2 次コイル出力信号の穂垂れを補正するためである。この方法はナトリウム液位計に一般的に用いられている製造法であって今回交換を行った 5 基の液位計についても踏襲しているものである。

これらの液位計のうち代表例として 370℃ における 1 次主循環ポンプの測定結果を Table 2. 3 に示す。1 次主循環ポンプ (A) 用液位計の測定結果からも 200℃ に対し大きな変化は無く、5 基の液位計は最大プラス 0.7% 以下と設計精度を十分満足していることが確認された。

### ② 温度特性 (温度補正)

液位計出力は、液位一定状態においてナトリウム温度が変わると変化する。そこで、200℃ での液位出力を基準として温度に関係なく出力を一定値に保つ様逆関数法により補正した。

各液位計毎の温度誤差は Fig. 2. 6 ~ 2. 10 に示す。温度誤差はオーバフローコラム (A) が最大で、ナトリウム温度 370℃ で約 1.5% のずれを生じた。又、設計寸法が同一である検出器の誤差はほぼ同様な温度誤差の有ることがこの結果より明らかになった。

## ③ 直線性特性（直線性補正）

液位計出力は液位に対して設計値の直線からずれてしまいリニアな特性では無い。そこで出力の直線からのずれに対して、逆の特性を持つ補正係数により、極力リニアな出力になる様直線性を補正した。

校正した液位計の直線性は5基全数とも、補正の有無に係わらずに1.2%の誤差範囲内であり、極めて良い結果であった。液位計5基の内、ポンプ用の2基については、端末効果により補正前特性が凸状であることが確認され、残り3基についてはフラットな特性で端末効果が誤差にほとんど寄与していないことが判明した。3基の液位計の最大誤差は±0.4%と直線性に優れていた。

## ④ 誤差特性

液位計の補正前後差±0.6～1.3%であり補正後には±0.3～1.0%まで各液位計の誤差は改善している。又、液位ヒステリシスは次式で表わされるが、各液位計とも±1.0%以内の誤差であった。

$$\text{液位ヒステリシス} = \frac{(L_H - L_D)}{(\alpha - \beta)} \times 100\% \\ \Sigma H [\%]$$

$L_H$ ：ナトリウム液面上昇時の規格化した変換器出力

$L_D$ ：ナトリウム液面下降時の規格化した変換器出力

$\alpha$ ：ナトリウム液位0%時の規格出力値

$\beta$ ：ナトリウム液位100%時の規格出力値

一方再現性については、200℃で最大1.0%、370℃では0.5%以内であり、370℃付近において誤差が小さくなっていることを確認した。

ダンプタンク用液位計にある固定点式液位計は、校正点Hの誤差が約±2.0%、校正点Lは±1.0%以内であった。校正点のヒステリシス特性及び温度影響誤差も各々1.0%以内であり、各液位計は設計測定精度の±3.0%を十分満足するものであった。

(3) 炉外校正試験のまとめ

炉外校正試験の結果、1次主循環ポンプ(A)、(B)用、オーバフローコラム(A)、(B)用及び2次系ダンプタンク用の5基の液位計の誤差は、いずれも約1.5%以内で、設計精度 $\pm 3.0\%$ を十分満足していることを確認した。

補正前の誤差も設計精度を逸脱することは無く、十分使用を満足する範囲内であった。今回の液位計検出器の構造は、「常陽」原子炉容器長尺ナトリウム液位計に比較し、熱電対を内蔵していないシンプルなものであることから、この精度が確保されたと思われる。

つまり、検出器を液位検出に限定して構造を複雑にしなければ、測定誤差が少なく複雑な補正回路を組み込まなくとも必要な測定精度を得ることが出来る。但し、液位計の測定精度は液位計取付場所周辺の機器、構造物にも影響されるため、出来る限り精度を上げておくことはプラントの運転監視上有効である。従って、内部構造物の影響を受けやすいポンプ、コラム、蒸発器、加熱器等への補正回路の使用は多少のコスト増や計装システムの複雑化を勘案しても精度向上に極めて有効である。今回の炉外校正試験内容の詳細については、高速炉「常陽」用液位計炉外ナトリウム校正試験および校正試験合理化の検討 SN910 88-085を参照されたい。

### 3. プラントにおける液位計交換工事

ナトリウム液位計を交換するのは、原子炉容器長尺ナトリウム液位計について2回目であるが、今回は検出器及び計装システムだけの更新であるため、ウェルの交換は無く旧検出器を撤去した後に新検出器を挿入したものである。

1次主ポンプ用のものは、電動機及びメカニカルシールの分解点検、オーバーホールに合わせて主ポンプ上からこれらが撤去された状態で交換を行い、オーバーフローコラム用のものは、床下の高線量でかつ狭いスペースでの作業となった。交換作業の工程をTable 3.1に示す。

#### 3.1 交換手順

##### (1) 1次主循環ポンプ用ナトリウム液位計 2基

前述の様に、主ポンプ用については、電動機、メカニカルシール分解点検に合わせて交換を行った。もし、単独の交換作業であるとすれば、主ポンプ用液位計の交換は、ポンプフランジ上の機器を全て取外さなければならない大規模な作業となってしまう。

以下に液位計交換の概略手順を示す。なお、下記①～④は、電動機分解作業に伴う項目である。

- ① 冷却オイル配管及び軸封アルゴンガス配管の取外しを行う。
- ② 1次主循環ポンプ駆動用主電動機、ポンプ内ケーシング温度等の動力、計装ケーブルの取外しを行う。
- ③ 1次主循環ポンプ駆動用主電動機廻りの手摺り及び足場の撤去を行う。
- ④ 主電動機用モータマウントをマウントベースより切り離し、仮置きする。
- ⑤ 既設液位計検出器を徐々にウェルから引抜き、表面線量率測定後収納管へ収納し、メンテナンス建家に移送する。
- ⑥ 新規液位計検出器を挿入し、据付けを行う。

##### (2) 1次主循環ポンプオーバーフローコラム用ナトリウム液位計 2基

- ① オーバフローコラム上部の点検用遮蔽ハッチの取外しを行う。
- ② オーバフローコラム及びコラム廻りの配管予熱ヒータを停止する。

- ③ オーバフローコラム頂部の保温材を撤去する。
  - ④ 検出器ケーブルを取外し、既設液位計検出器をウェルより徐々に引抜き、表面線量率測定後収納管へ収納しメンテナンス建家に移送する。
  - ⑤ 新規液位計検出器を挿入し、据付けを行う。
- (3) 2次ナトリウム充填ドレン系ダンプタンクナトリウム液位計 1基
- ① 検出器ケーブルを取外し、既設液位計検出器（温度補正用、液位検出用）の2基を引抜き、収納管へ収納しメンテナンス建家に移送する。  
(既設液位計は、温度補正専用の検出器を有するタイプの検出器である。)
  - ② 新規液位計検出器を挿入し、据付ける。

### 3.2 交換工事

以下に工事内容を述べるが、ここでは1次系の液位計を4基と2次系の液位計1基とを分けて詳細に記す。

#### (1) 1次系の液位計 4基

ナトリウム液位計交換工事におけるプラント状態は原子炉停止中であり、1次冷却系ナトリウムはダンプタンクヘドレンされ床下メンテナンスモードであった。又、液位計交換作業時には以下に示すプラント操作を実施した。

本交換工事期間における炉内ナトリウム液位は、昭和63年10月6日にGL-7500その後10月27日にGL-8600まで液位を下げ、この状態を11月13日まで維持した。炉内ナトリウム温度は、1次補助冷却系の運転により約200℃一定で保持された。又、1次主冷却系統配管は、予熱室素ガス系運転により、配管を予熱し約200℃の状態を維持した。

- ① オーバフローコラム上部点検用遮蔽ハッチをコラム用液位計引抜きのため撤去した。撤去したものはオペレーティングフロア（R-501）のH-10、5及びR-410室のH-17及びR-412室のH-25の4個である。
- ② オーバフローコラム頂部保温材の撤去

保温材撤去に先だちコラム本体及び周辺配管保温用ヒータを停止した。その後格内床下に位置するコラム頂部の保温材の撤去を行い、液位計検出器の交換が出来る

様作業スペースを確保した。なお作業雰囲気線量率はA側コラム付近で約0.4 mSv/hr (40mR/hr) B側は約0.6mSv/hr (60mR/hr) であった。保温材撤去はA側より実施し、作業要領を把握した後B側を行うことで、被ばく線量を低く抑えることが可能となった。

#### ③ オーバフローコラム液位計検出器引抜き

既設液位計検出器引抜きは旋回クレーンとチェーンブロックを用いて実施した。検出器はクレーンフックに取付けたチェーンブロックを用いてウェルから引抜き、その後旋回クレーンで吊上げた。この時の検出器表面線量率は先端部で最大値を示しその値は $2\mu\text{Sv/hr}$ であった。

#### ④ 1次主循環ポンプナトリウム液位計検出器引抜き

既設液位計検出器の引抜きは、オーバフローコラム液位計検出器き同様な方法で実施した。検出器は主ポンプ同様放射化しており、表面線量率は先端部で最大値を示し、その値は $1.5\mu\text{Sv/hr}$ であった。

#### ⑤ 新規液位計の装荷

1次系の液位計4基は、旋回クレーンとチェーンブロックを用いて挿入した。検出器は精密品であるため挿入時は検出部への衝撃、湾曲等に十分注意して行った。

#### ⑥ ケーブル接続

検出器の導通チェック、素線抵抗測定を行い、挿入作業時の取扱いによる異常が無いことを確認した後、新たに布設した液位計用ケーブルを検出器へ接続した。ケーブルを含む各検出器の素線抵抗値をTable 3.2に示す。又、ケーブルペネトレーション計装用配線の使用状況をTable 3.3、ケーブル仕様をTable 3.4に示す。

検出器単体の抵抗測定は床下高線量下での作業となる為、ケーブルを含む形で測定した。又、今回使用したケーブルは液位計専用の設計、製作したもので高線量、高温下での使用に耐えかつ、可撓性を損なうことなく耐熱性に対しても良好な性能のものである。運転時におけるケーブルへの冷却材ナトリウムよりの線量率は主ポンプ本体側面で $7.43 \times 10^3 \text{R/hr}$  (100MW第5サイクル計測値) で45日間運転時の積算線量は $8.06 \times 10^6 \text{R}$ である。この値を参考に20年間の集積線量を、稼働率60%とすれば次の通りとなる。

$$\int_0^{20 \text{ years}} Sdt = 7.43 \times 10^3 \times 24 \times 365 \times 20 \times 0.6$$

$$= 7.8 \times 10^8 [\text{R}]$$

液位計用ケーブルの絶縁はガラステープ部により確保され劣化や絶縁不良が発生しないよう製作している。又、ガラステープ部はケーブル布設時にダクト内での損傷を防止するための難燃性ポリエチレン被覆によって保護されている。難燃性ポリエチレンは10<sup>8</sup>R以上で劣化を起こすがケーブル構造上支障を来たすものではない。

#### ⑦ 電気計装工事

液位計据付後、検出器信号ケーブル、電源ケーブル、計装信号ケーブルを各計器に接続した。配線図をFig. 3.1に示す。

#### (2) 2次系の液位計 1基

2次系ナトリウムは充填ドレン系ダンプタンクへドレンされ、ダンプタンクは予熱ヒータにより約200℃に保持されていた。又、2次補助冷却系は運転状態を継続していた。

##### ① 電源停止操作

新たに設置する液位計計器類への電源供給を行うため、主送風機軸受温度監視装置電源NFBの2次側にNFB2台を設置した。液位計用の電源は、既設液位計電源とは別に無停電系より新たに本設にしたものである。設置したNFBは液位計用が15AF/10AT、主送風機側が15AF/5ATの容量を持つものを選定した。この結果1次側のNFBを共用とし、各々の機器、計器類は新設NFBでON-OFFさせることで、機器、計器等点検時に支障を来たさない様考慮した。

##### ② 計装ケーブルの切離し

既設液位計は、新設液位計に不具合が発生した際速やかにバックアップとして再使用が可能な様に検出器を除き撤去は行わなかった。液位出力信号（記録計、警報器用）については、2次主冷却系現場制御盤（#661）内で切離し端末処理した。

##### ③ ダンプタンクナトリウム液位計検出器引抜き

既設液位計検出器の引抜き場所は、クレーンの移動範囲をはずれるため長尺ロープ及び滑車を用いて温度補正用、液位検出用の2基を撤去した。検出器は、タンク

内ナトリウムにより約200℃の高温状態になっていたため、徐々に引抜き自然冷却することとした。

#### ④ 新規液位計の装荷

2次系の液位計1基は、引抜き時と同様な方法により液位検出用検出器が挿入されていた細径のウェル側へ設置した。温度補正側検出器が挿入されていたウェルは予備穴とし盲プラグを取付けた。この予備穴は内径が大きく、使用する際は、空気断熱層がコイル抵抗、磁束密度に影響するため注意をする必要がある。

#### ⑤ ケーブル接続

検出器の導通チェック、素線抵抗測定を行い検出器挿入後に異常が無いことを確認した後、新たに布設したケーブルと接続した。ケーブルを含む検出器の素線抵抗値をTable 3.2, ケーブルの仕様をTable 3.5に示す。

#### ⑥ 電気計装工事

液位計検出器据付後、検出器信号ケーブルの継ぎ込み及び各計装品の配線を実施した。今回は液位信号の伝送に光伝送装置を用い、検出器上部の2次系液位計計装器が収納されている、ガスクロ室より2次系制御室までの約80mを光ファイバケーブルで信号伝送させている。これにより耐ノイズ性の向上等効果がある。使用した光ケーブルの仕様をTable 3.6, 配線図をFig. 3.2に示す。

## 4. 据付後の液位計の運転

### 4.1 プラント据付後の校正

液位計据付後、主ポンプ、オーバフローコラムの各液位計は、1次系へのナトリウム充填時に校正を実施した。2次系液位計についても系統への充填時に校正を実施した。

校正に先立ち対象となる液位計が設置されている機器の予熱温度及びナトリウム温度が、200℃であることを確認し、変換器、検出器等が通電され十分ウォーミングアップが終了した後で校正を開始した。

プラント据付け状態で、ナトリウムによる実液校正を行う場合、1次系は零点（測定下限以下）と、オーバフロー点（GL-6100mm）のスパンの2点校正となる。2次系は仮設接点式液位計により計測された液位を基準とした、2点校正を採用している。校正点としては、ダンプタンクへ系統のナトリウムが貯留されている点、タンクより系統へナトリウム充填終了後のタンク液位点を用いている。

各液位計の機器への取付状態をFig. 4.1～4.3に示す。又、主循環ポンプとオーバフローコラムはFig. 4.4に示した位置関係であり、これに設置されている液位計の校正はポンプ停止状態で液位を安定させ実施している。

各液位計からの信号は、変換器及び後段の演算器を通してDC 4～20mAの出力になり各指示計、記録計へ送り出される。

校正の際は、変換器のゼロ点調整ボリューム（AZR）及びスパン調整ボリューム（ASP）により出力を調整し、1次系関連の4基の液位計は、変換器出力の温度及び直線性補正を行っている演算器（LIC）の出力値で液位計の誤差を測定した。

2次系の場合変換器と演算器間に光伝送器が信号伝達の手段として使用されている。このため出力の調整及び液位計の誤差測定は変換器にて実施した。

校正の際、使用する変換器のチェック端子、ボリューム機能をTable 4.1に示す。又、1次系ナトリウム充填時に実施した炉容器液位計の校正結果をTable 4.2に示す。

#### (1) 1次主循環ポンプ用2基の校正結果

ポンプ用ナトリウム液位計の計測範囲は-42～+108cmであり、GL-6100mmを±0 cmとして考えられている。この値は、原子炉容器のオーバフロー点に相当する。

校正においては、 $-42\text{cm}$ を零点、 $0\text{cm}$ をスパン点としている。校正時の変換器各部データをTable 4.3, 校正結果をTable 4.4に示す。

## (2) オーバフローコラム用レベル計の校正結果

コラム用ナトリウム液位計の計測範囲は $-288\sim+12\text{cm}$ であり、原子炉容器のオーバフロー点であるGL-6100mmを $\pm 0\text{cm}$ として考えられている。

校正は $-288\text{cm}$ を零点、 $0\text{cm}$ をスパン点として行った。校正時の変換器各部のデータをTable 4.3, 校正結果をTable 4.5に示す。

## (3) ダンプタンク用液位計の校正結果

ダンプタンク用ナトリウム液位計の計測範囲は $+10\sim+370\text{cm}$ であり、タンク底部を $0\text{cm}$ として決められている。本タンクの場合、ナトリウムを空にすることが不可能なため、系統へのナトリウム充填前の液位をスパン点、充填後の液位を零点として校正を行う。タンク内のナトリウム液位は、接点式液位計により実測した値を基準値として採用し、今回の場合スパン点を $318.2\text{cm}$ 、零点を $70.7\text{cm}$ として校正した。今回の場合検出器を含む計装システムを更新したため、既にタンク内に系統内のナトリウムがドレンされている点よりスパン校正を行った。本来なら、一度、タンク内のナトリウムを系統へ充填し零点調整から行うべきであるが定検工程内に液位計校正のための充填、ドレン操作期間がとれなかったためこの方法を採用した。

校正結果をTable 4.6に示す。

## 4.2 原子炉運転中の液位計挙動

### (1) 1次主循環ポンプ用2基の液位計挙動

旧液位計検出器の運転データをFig. 4.5, 更新後の運転データをFig. 4.6に示す。ナトリウム温度が約 $250^{\circ}\text{C}$ から $370^{\circ}\text{C}$ へと変化する状態において、更新後のものは液位変化が少なく安定した指示を示すことが確認された。この時系統のナトリウム流量は $1260\text{m}^3/\text{h}$  (1ループ) で一定であり、原子炉容器内のナトリウム液位は、オーバフロー系の運転により $0\text{cm}$ 一定に保たれた状態である。1次主冷却系流量変化に伴う液位指示を交換前、後で比較したものがFig. 4.7, 4.8であるが、交換において有意な差は無くナトリウム温度一定状態においては、同様な傾向を示すことが判った。一

方第17サイクル原子炉起動時の液位変化を原子炉出口ナトリウム温度を基準として測定した結果をFig. 4. 9 に示す。この結果ナトリウム温度約310℃付近においてA側の液位が一時的に上昇する傾向を示しているが、旧液位計においても同様な傾向にあったことがFig. 4. 5 から確認出来、A系統のプラント特有の現象と判断される。

(2) オーバフローコラム用液位計の挙動

主循環ポンプ同様検出器交換前後における原子炉起動時のデータをFig. 4. 5, 4. 6 に示す。コラム液位計の指示は、主循環ポンプ吐出圧力の低下（ナトリウム温度上昇による密度変化）に伴ない徐々に減少し、温度安定後は液位も一定となり正常に動作していることが確認された。主循環流量の増加に伴なう液位指示変化を検出器交換前後で比較したデータをFig. 4. 10, 4. 11に示す。交換前、後における液位指示傾向に変わりはなく良好であることが確認された。

(3) ダンプタンク用液位計の挙動

ダンプタンク内のナトリウム液位は、原子炉起動に伴ない、Fig. 4. 12に示す様な変化を示す。ナトリウム温度が上昇すると2次主冷却系統よりのオーバフロー及びナトリウム自体の体積変化により指示は上がり、原子炉定格運転後は、各部温度も一定となるため安定した指示を示すことが確認された。

## 5. 検討及び評価

### 5.1 プラント設置時の出力変化

液位計は、プラントでの使用に先立ちその性能を確認するために液位計の使用温度と測定範囲に渡って校正ループ（SOLCAT）を用いた実液校正を実施している。プラント設置時には、液位計周辺部材や校正時とウェル内径が異なるため液位計出力が変わる。今回5基の液位計はダンプタンク用液位計を除き、変換器出力が高すぎゲイン過剰のためスパン調整可変抵抗での調整範囲を越えたことから、オペアンプ回路の固定ゲイン抵抗（R-30）を18K $\Omega$ から13K $\Omega$ へ変換し、ゲインを低下させた。回路図をFig. 5.1に示す。今回プラント設置時の変換器出力は校正ループに対し約20～30%高くなり、ダンプタンクについては約15%の出力上昇に留まった。新たに設置したものは、プラント設置後オペアンプ回路のゲイン見直し及び調整をする必要があり注意しなければならない。参考データとしてアルミニウムパイプをウェルとして計測した場合の変化をTable 5.1に示す。

### 5.2 検出器出力SN比の改善

計測対象となる機器のナトリウム液位を計測する際は1次コイルへの励磁電流（交流定電流）を大きく取ることによってノイズに対し強くなるがこれは2次出力が高くなるのと、温度補償に用いる1次コイル両端電圧が高くなるためである。今回交換した各液位計の励磁電流は主ポンプが約137mAAC、コラムが約65mAAC、ダンプタンクが約58mAACである。一方、液位計の励磁周波数は1kHzで磁束のSUS中及びナトリウム中への浸透深さ $\delta$ は

$$\delta = 1 / \sqrt{\omega \mu \sigma}$$

（ $\omega$ ：各周波数， $\mu$ ：透磁率， $\sigma$ ：電気伝導率）

となると考えられる。Fig. 5.2はSUS304及びナトリウムの $\mu\sigma$ に対する $\delta$ を求めたものである。液体ナトリウム270℃の抵抗率は $\rho$ は

$$16.5 \mu \Omega \cdot \text{cm}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \text{ から}$$

$$6.06 \times 10^6 \text{ S/m}$$

より  $\delta$  を求めると約 6 mm となり既設液位計の案内管  $\phi 22.5$  (肉厚 2.5 mm),  $\phi 20$  (肉厚 2.0 mm) 及びウェル  $\phi 17.3$  (肉厚 1.2 mm) を考慮しても十分ナトリウム中に浸透する磁束を確保出来ていると考えられる。又、液位計の励磁周波数に対する液位計出力は 1 kHz 付近が高いことが Fig. 5.3 に示す様に確認されており SN 比の観点からも 1 kHz が適していることが判る。検出器の当初設計では、温度補償信号検出コイルを独自に有し、この出力により温度補正をしていた。このコイルはコイル巻き数が少なく、巻き径も細い事から出力信号としてノイズ成分と同程度の変化量しか得られなかったことから、従来より採用されている 1 次コイルより温度補償用信号を取り出す方式へ変更しこの問題を解決した。

### 5.3 検出器内端末処理方法

MI ケーブルの端末処理にはガラス封入端子を用いているが、ろう付に使用されているフラックスの洗浄やガラス部の湿分除去が不十分な場合、絶縁低下を起こしやすく端末処理の際は十分な注意が必要である。旧検出器の絶縁低下原因も端末部と考えられることから検出器を製作する上で重要なポイントである。今後端末部の健全性を確認する上で、製作時には以下の試験を行うことが望ましい。端末部は洗浄、加熱乾燥後に防湿処理を施し、高湿度環境下での絶縁性を万全とするため湿度試験 (JIS C-5023 電子部品の耐湿試験, 試験条件 40℃, 90~95%RH) を実施する。なお本試験は約 10 日間の連続試験によりその良否を判断出来ると考えられる。

### 5.4 検出器及び変換器間のケーブル接続法

各ケーブルの接続は、丸形多極コネクタにより実施されているが、液位計ケーブルの様な各対シールドを用いるものは、コネクタ部のケーブル処理が複雑であり専用圧着工具、引抜工具も必要なためコネクタは最良の接続法とは思われない。これは現場におけ

る高線量下の端末処理作業の点でも不利である。又、多極コネクタを使用によりケーブルは細径の多心線を使用しなければならず長期の使用においては信頼性が高いものとは言いがたい。これらの点でオーソドックスではあるが旧液位計に採用されている様な端子台接続が良いと思われる。

#### 5.5 液位計設計上留意した点

- (1) 検出器は、既設保護管の加工なしで取付が可能な構造とした。
- (2) 変換器（演算器）と既設計装回路との取合は、変換器２次側で行い、その後段にある既設アイソレータ、プロセス計装品の構成は現状のものをそのまま使用出来る様にした。
- (3) 演算器は、直線性と温度特性を改善し精度向上を計るための補正機能を備えた。
- (4) 計器に使用する電子部品は、使用条件に対し充分耐久性が実証されているものを選定し、オペアンプは低ドリフト、低オフセットのものを使用した。
- (5) ケーブルアース線の接地は交換器側で一点接地とした。
- (6) 演算器内のメモリ保護のため、補正には不揮発性メモリを使用し、停電時に各種の補正係数が消失しない様にした。
- (7) 実液校正時に調整する零、スパン点ボリューム及び１次コイル励磁電流測定端子、調整用ボリューム、ナトリウムレベル及び温度信号に関わる各電圧測定端子、スパン及びゼロ点温度補償電圧測定端子等を変換器前面に配置し、調整作業時の測定ピン短絡等による回路損傷等を無くすとともに、原子炉運転時においても変換器各部の状態を容易に把握出来る様製作し、保守性を向上させた。
- (8) 演算器入力に急瞬な変化が生じた場合においても演算器内の１次遅れ機能によりノイズ等の外乱に対応出来る様にした。

## 6. 結 言

今回交換した液位計は、炉容器長尺液位計と同様に演算器による特性補正システムを有し、高精度化が計られ液位計出力の直線性は極めて誤差が少ない優れた精度となった。

校正ループ（SOLCAT）における検出器の使用温度、液位計測範囲での出力補正前の最大誤差は約 $\pm 1.3\%$ で、補正用演算器（ワンループコントローラ）、演算器用電源及び停電保護ユニットを使用しない状態においても十分な精度が確保出来た。又、補正後の誤差は最大で約 $\pm 1.0\%$ であり、計測データの信頼性からすればほぼ限界に近い結果が得られたと思われる。新たに設置した液位計は、他の機器、タンク等に設置されている補正システムを有しない液位計に比べ一段と温度の影響が少なくなり、プラントの安全運転上従来にも増して有効な液位計装となった。

一方、液位計を同時期に多数交換した作業は今回が初めてであり、ナトリウムバウンダリを開放することなく既設保護管を使用することで短期間でリプレースが可能となり、また作業時の被ばく低減が図られた。又、交換後の使用に際しても既設保護管の影響による液位の監視にも支障はなく十分磁束がナトリウム中へ透過していることが液位出力により確認された。

## 7. 謝 辞

本液位計の更新を実施するにあたり多くの方の御協力をいただいた。

特に機器開発部，機器システム開発室の大山主査，宇都宮研究員（現東芝），林田研究員，常陽産業石川氏には校正ループ（SOLCAT）におけるナトリウム実液校正に関する総合調査，データ解析等を全面的に実施して頂いた。また東興機械山崎氏には液位計更新において多面にわたり御協力をいただいた。

また，本液位計の更新を行うにあたり御協力をいただきましたその他の方々に深く感謝致します。

## 8. 参 考 文 献

- (1) FBR計測専門委員会, 誘導型ナトリウム液位計に関する技術資料 PNC SN241 83-03
- (2) 大山信美他, 「常陽」炉容器ナトリウム液位計ナトリウム中試験 PNC SN9410 86-063
- (3) 富田直樹他, 高速実験炉「常陽」保守経験報告 炉容器長尺ナトリウム液位計の設計,  
据付 PNC SN9410 87-110
- (4) 大山信美他, 高速実験炉「常陽」用液位計炉外ナトリウム校正試験および校正試験合  
理化の検討 PNC SN9410 88-085
- (5) 常陽向けナトリウム液位計 (LL504/505) 取扱説明書 6E8A1578

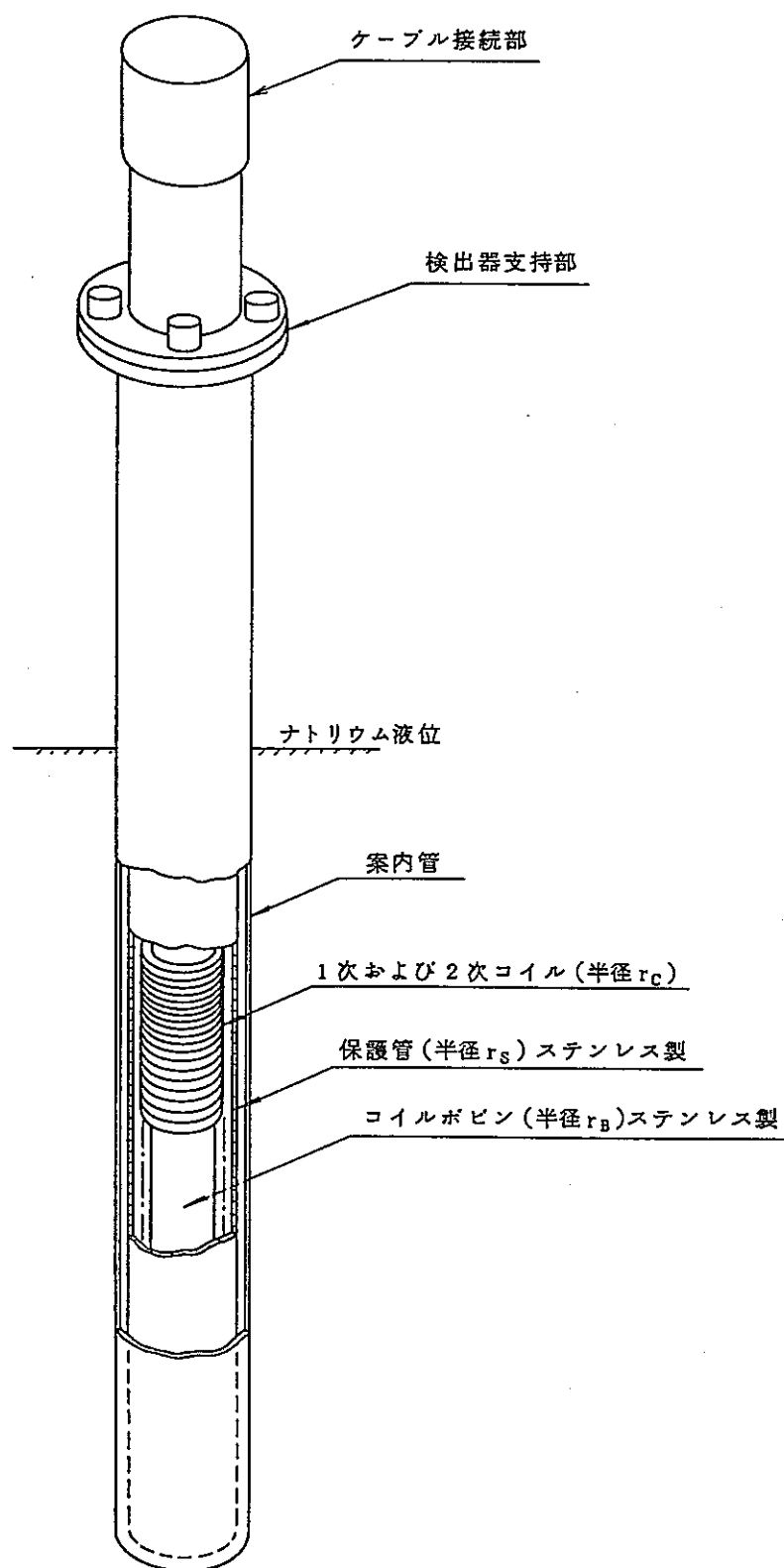


Fig. 2.1 Structure of Sodium Level Meter

Table 2.1 Specification of Sodium Level Meter (1/2)

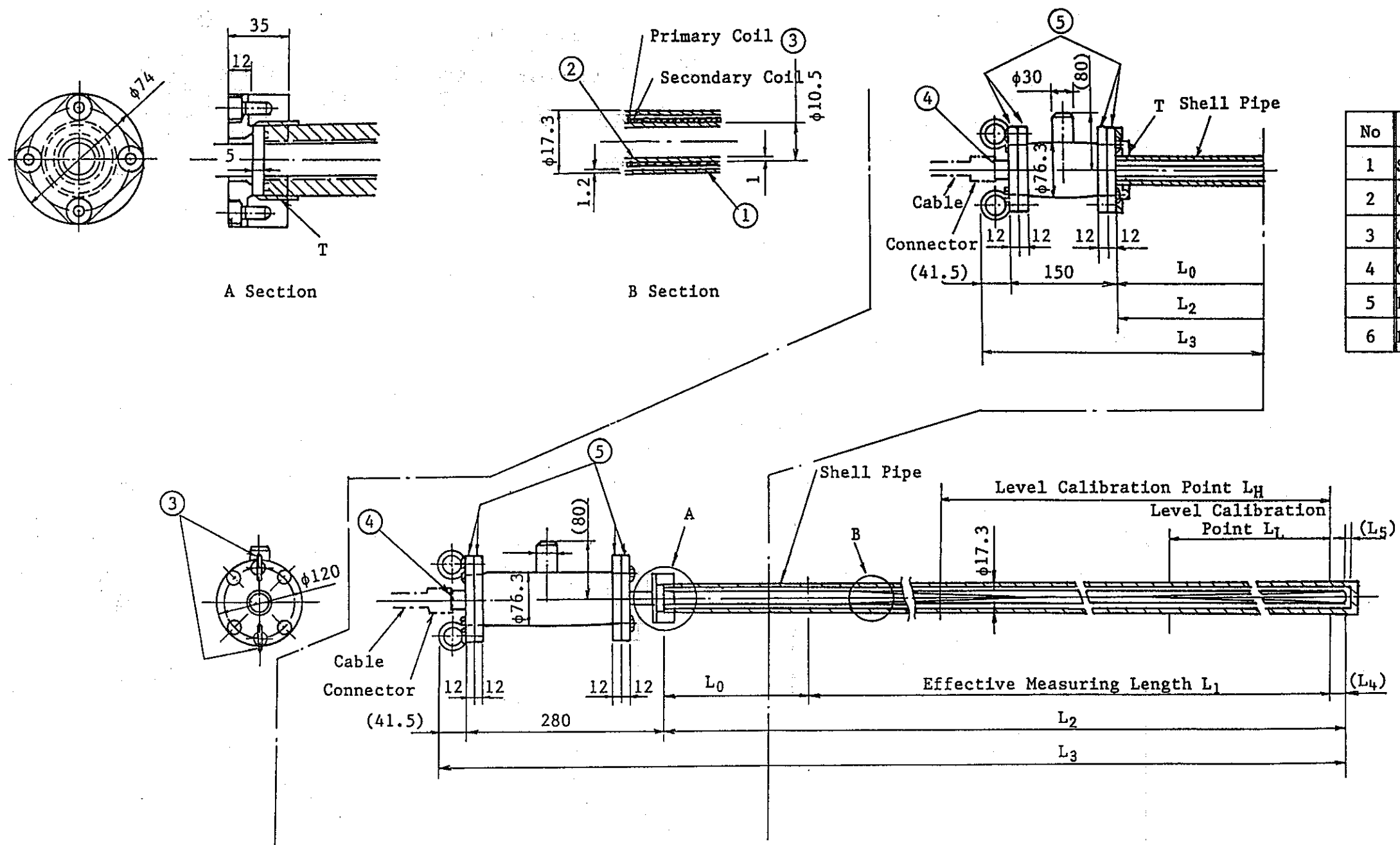
| Na レベル<br>検 出 器  | Tag. No<br>検出器 /<br>変換器 | 設計温度<br>検出器 /<br>変換器<br>(℃) | 運転温度<br>(℃) | 放射線環境<br>(R)    | 耐震クラス | 設計湿度<br>変換器<br>(% RH) | 測定範囲<br>(mm)             | 精 度<br>(% FS)            | 校正機能                  | 特性補正<br>機 能  | 電源 /<br>最終段出力<br>(V/mA) | 温度補償<br>範 囲<br>(℃) | 設置部屋<br>検出器 /<br>変換器<br>(部屋No) | 型 式            |
|------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------|-------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------|
| 主 循 環<br>ポンプ (A) | LE31.1-4A<br>LX31.1-4A  | 450<br>40<br>↓<br>10        | 200 ~ 370   | $1 \times 10^9$ | C     | 10 ~ 90               | Table<br>2-1 参照<br>(2/2) | Table<br>2-1 参照<br>(2/2) | 0点,<br>スパン            | 直線性,<br>温度補償 | 110V 50Hz<br>4 ~ 20     | 200 ~ 450          | R 206<br>A 504<br>(#202-1)     | 誘導型<br>連続式     |
| 主 循 環<br>ポンプ (B) | LE31.1-4B<br>LX31.1-4B  | 450<br>40<br>↓<br>10        | 200 ~ 370   | $1 \times 10^9$ | C     | 10 ~ 90               | "                        | "                        | 0点,<br>スパン            | 同 上          | 110V 50Hz<br>4 ~ 20     | 200 ~ 450          | R 205<br>A 504<br>(#202-2)     | 同 上            |
| オーバフロ<br>コラム (A) | LE31.1-5A<br>LX31.1-5A  | 450<br>40<br>↓<br>10        | 200 ~ 370   | $1 \times 10^9$ | C     | 10 ~ 90               | "                        | "                        | 0点,<br>スパン            | 同 上          | 110V 50Hz<br>4 ~ 20     | 200 ~ 450          | R 206<br>A 504<br>(#202-1)     | 同 上            |
| オーバフロ<br>コラム (B) | LE31.1-5B<br>LX31.1-5B  | 450<br>40<br>↓<br>10        | 200 ~ 370   | $1 \times 10^9$ | C     | 10 ~ 90               | "                        | "                        | 0点,<br>スパン            | 同 上          | 110V 50Hz<br>4 ~ 20     | 200 ~ 450          | R 205<br>A 504<br>(#202-2)     | 同 上            |
| ダ ン プ<br>タ ン ク   | LE35.2-1<br>LX35.2-1    | 450<br>40<br>↓<br>10        | 200 ~ 340   | -               | C     | 10 ~ 90               | "                        | "                        | 0点,<br>スパン<br>(校正機能付) | 同 上          | 110V 50Hz<br>4 ~ 20     | 200 ~ 400          | S 212<br>S 402                 | 同 上<br>(校正機能付) |

Table 2.1 Measuring Range and Design Accuracy of Levelmeters (2/2)

| レベル計名称          | 測 定 範 囲                     | 精 度   |
|-----------------|-----------------------------|-------|
| ダンプタンク用         | +100～+3700mm (スパン3600mm) 注1 | ± 3 % |
| 主循環ポンプ用         | -413～+1080mm (スパン1493mm) 注2 | ± 3 % |
| オーバーフロー<br>コラム用 | -2873～+120mm (スパン2993mm) 注2 | ± 3 % |

(注1) ダンプタンク底面(内側)を基準測定レベル0%とする。

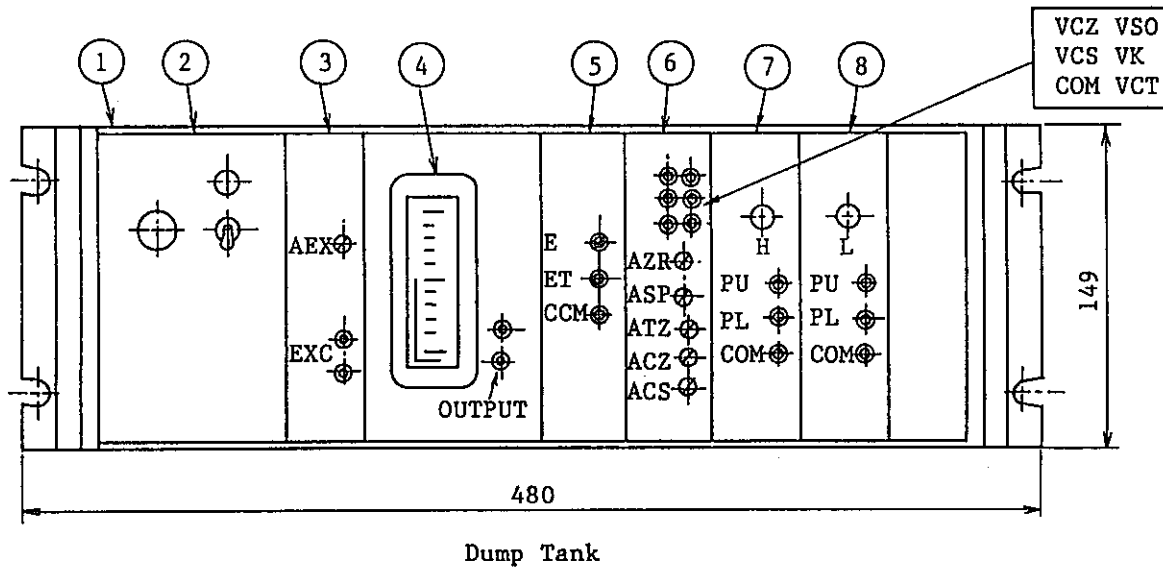
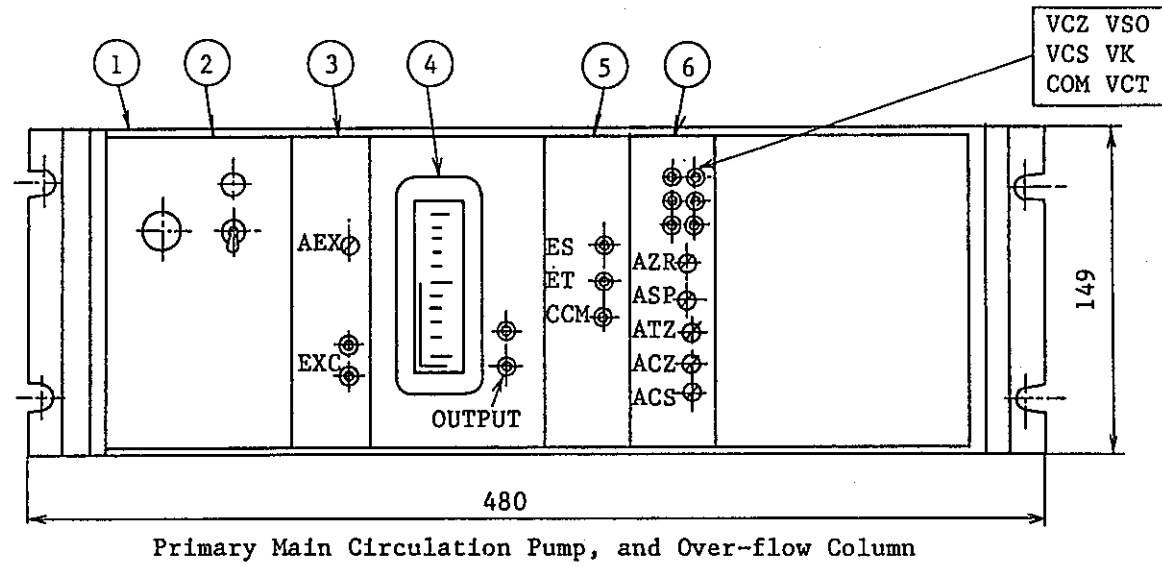
(注2) GL-6100mmを基準測定レベル0%とする。



| No | Part Name   | Specification |
|----|-------------|---------------|
| 1  | Shell Pipe  | SUS316        |
| 2  | Coil Bobbin | SUS316        |
| 3  | Coil        | M1 Cable      |
| 4  | Connector   | 22 Pin        |
| 5  | Flange      | SUS316        |
| 6  | Bolt        | Eye Bolt M10  |

|                          | L <sub>0</sub> | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | (L <sub>4</sub> ) | L <sub>L</sub> | L <sub>H</sub> | T                                 | Weight | (L <sub>5</sub> ) |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------------------------|--------|-------------------|
| Pump (A) (B)             | 1986           | 1493           | 3409           | 3730.5         | (20)              | —              | —              | W45 12                            | 20 kgw | (15.43)           |
| Over-flow Column (A) (B) | 565            | 2993           | 3578           | 3769.5         | (20)              | —              | —              | W1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 12 | "      | (15.43)           |
| Dump Tank                | 527            | 3580           | 4137           | 4458.5         | (20)              | 900            | 2900           | W45 12                            | "      | (15)              |

Fig. 2. 2 Probe Construction of Levelmeter



|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1 | Case                                  |
| 2 | DC Supply Unit                        |
| 3 | Exciter                               |
| 4 | Indicator                             |
| 5 | Pre-AMP. Unit                         |
| 6 | Continuous Level Measuring Unit       |
| 7 | Discriminative Level Measuring Unit H |
| 8 | Discriminative Level Measuring Unit L |

Fig. 2.3 Outer View of Excitation Unit and Signal Processing Unit

- 図1：Na液位-検出器生出力特性
- 図2：変換器内回路入力-出力特性（増巾回路）
- 図3： " " "（逆特性回路）
- <sup>1</sup> 図4：温度誤差補正特性
- <sup>2</sup> 図5：液位誤差補正特性

- <sup>1</sup> 図4の説明  
Na液位を一定として温度を変化させ得た誤差-温度特性を  
基に得た補正係数を乗じて補正する。
- <sup>2</sup> 図5の説明  
温度を一定として液位を変化させ得た誤差-液位特性を  
基にこの逆関数（注1） $f(l)$ を与え補正する。

（注1）逆関数は、折線により近似したもの  
を使用する。

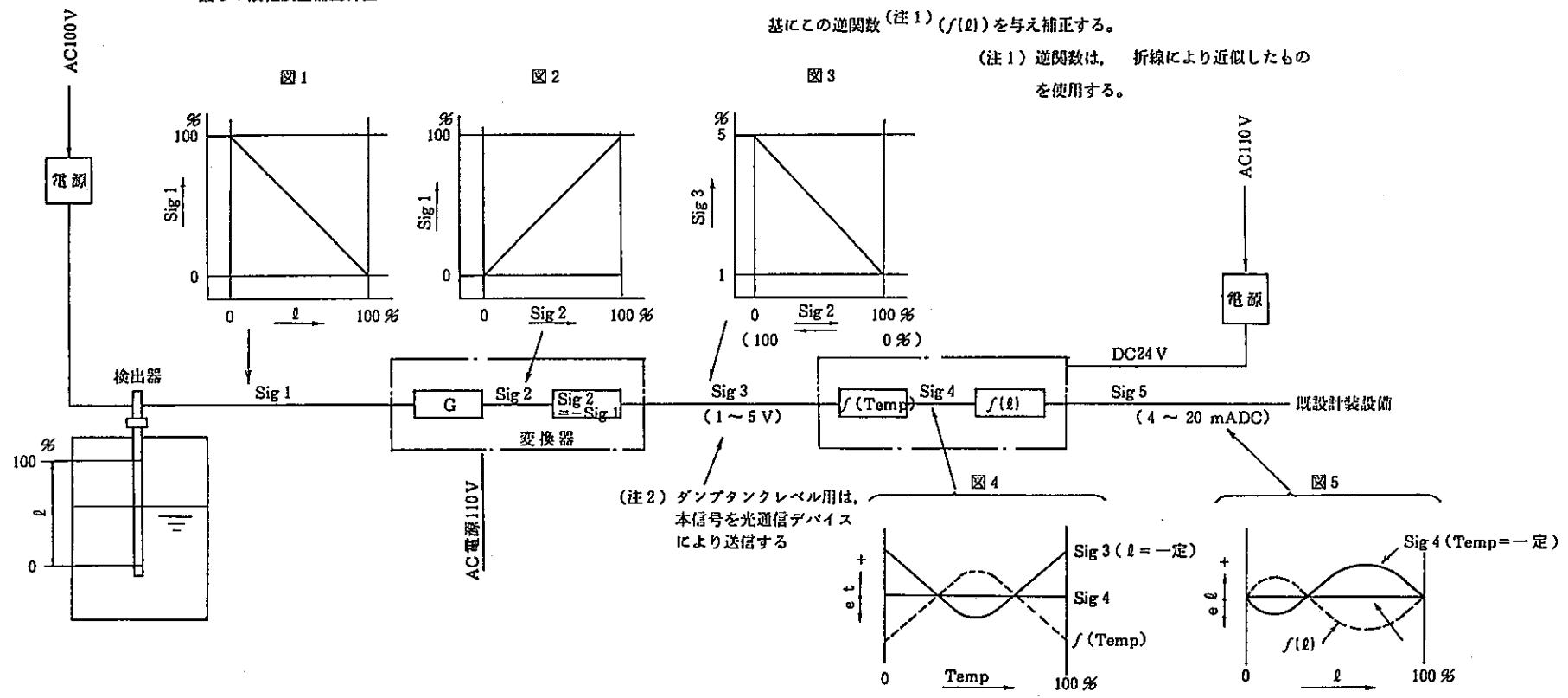


Fig. 2.4 Signal Flow of the Levelmeter

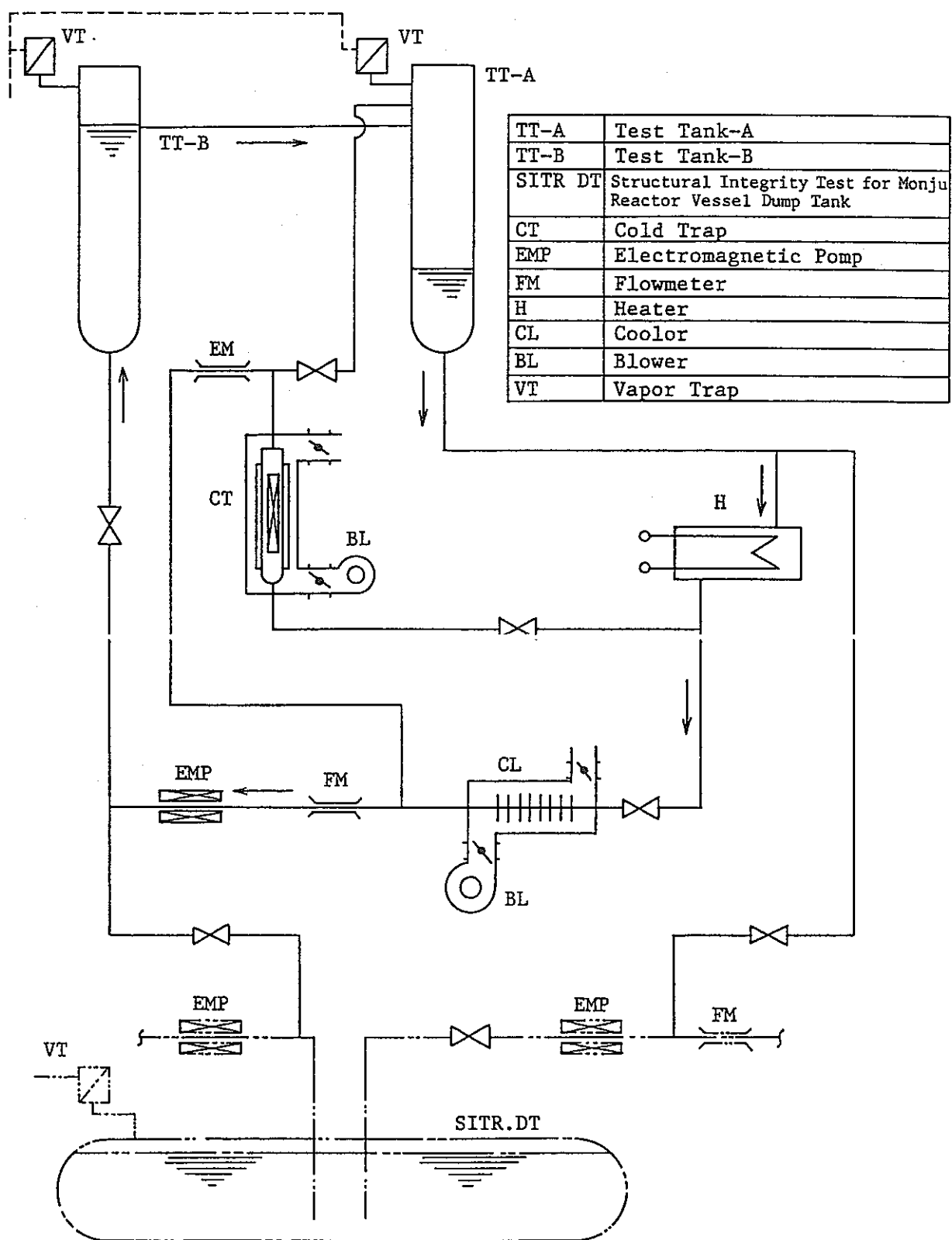


Fig. 2.5 Schematic Diagram of Sodium Levelmeter Calibration Test Equipment

Table 2.2 Effective Length of Level Probe

|                       | S P A N    |                      | $\frac{(B) - (A)}{(A)} \times 100$ |
|-----------------------|------------|----------------------|------------------------------------|
|                       | (A) Design | (B) Calibration (Na) |                                    |
| Pump A                | 1493 mm    | 1515 mm              | +1.5%                              |
| Pump B                | 1493 mm    | 1511 mm              | +1.2%                              |
| Over-flow<br>Column A | 2993 mm    | 3047 mm              | +1.8%                              |
| Over-flow<br>Column B | 2993 mm    | 3049 mm              | +1.9%                              |
| Dump Tank             | 3580 mm    | 3639 mm              | +1.6%                              |
| Calibration<br>Points | 2000 mm    | 1984 mm              | -0.8%                              |

Table 2.3 Temperature Dependence on 0% and 100% of Setting Point and Effective Length of Level Probe

Pump A

| Na Temp. / | 0%       | 100%      | Span    |
|------------|----------|-----------|---------|
| 200°C      | 198 mm   | 1708 mm   | 1510 mm |
| 370°C      | 193 mm   | 1713 mm   | 1520 mm |
| Average    | 195.5 mm | 1710.5 mm | 1515 mm |

Pump B

| Na Temp. / | 0%     | 100%    | Span    |
|------------|--------|---------|---------|
| 200°C      | 196 mm | 1709 mm | 1513 mm |
| 370°C      | 196 mm | 1711 mm | 1515 mm |
| Average    | 196 mm | 1710 mm | 1514 mm |

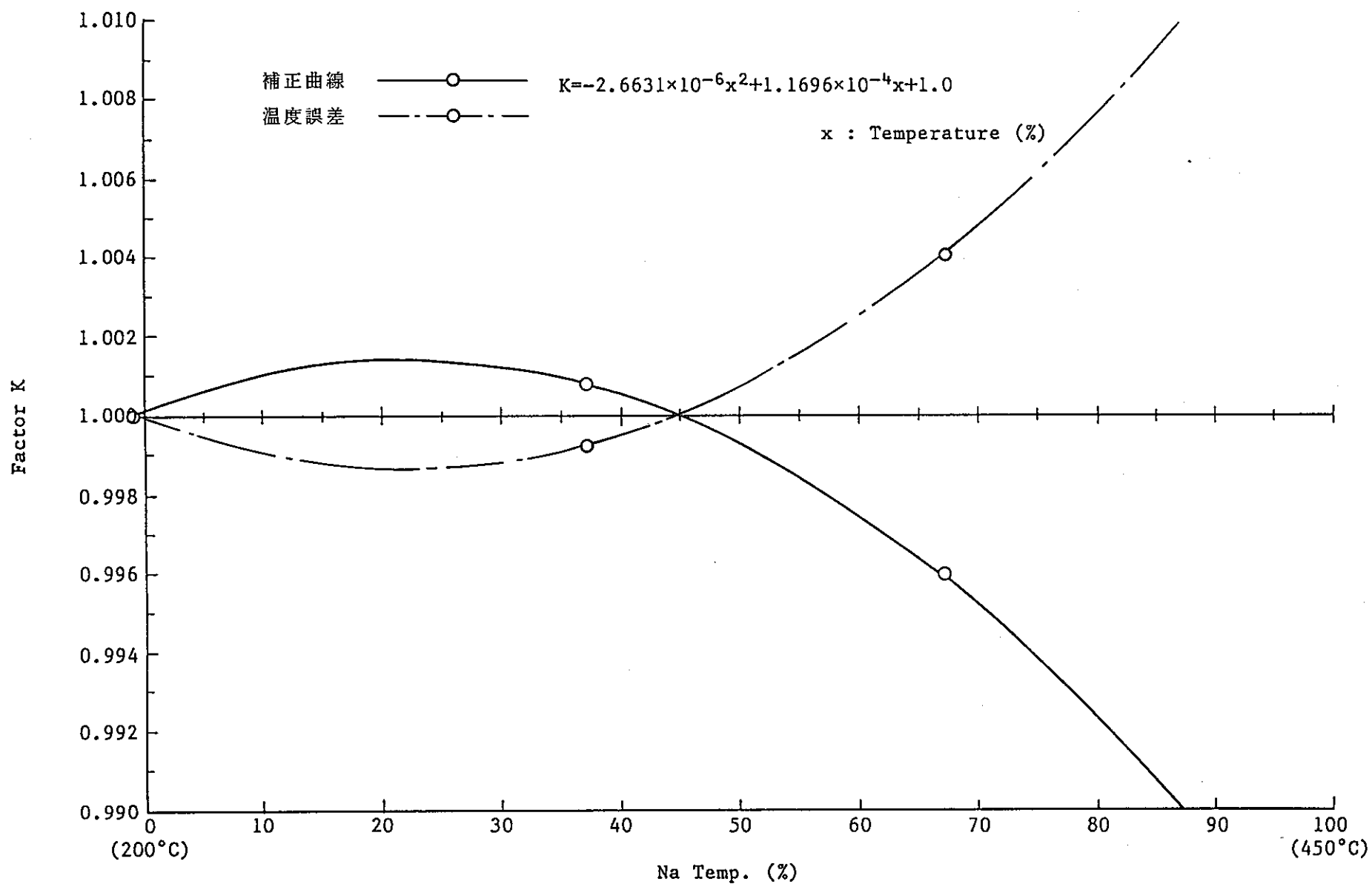


Fig. 2.6 The Dependence of the Correction Factor on Temperature  
(Primary Main Circulation Pump A)

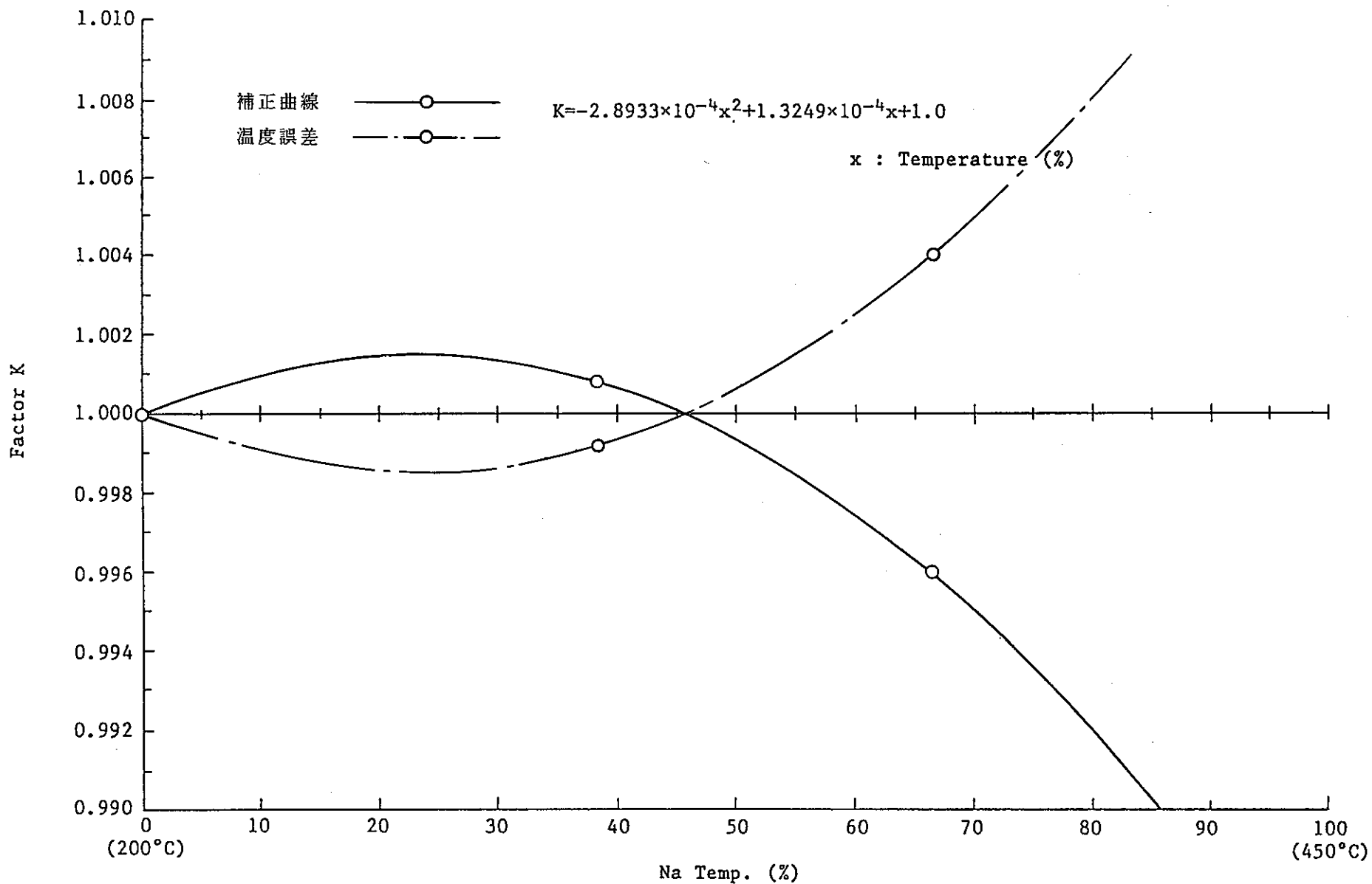


Fig. 2.7 The Dependence of the Correction Factor on Temperature  
(Primary Main Circulation Pump B)

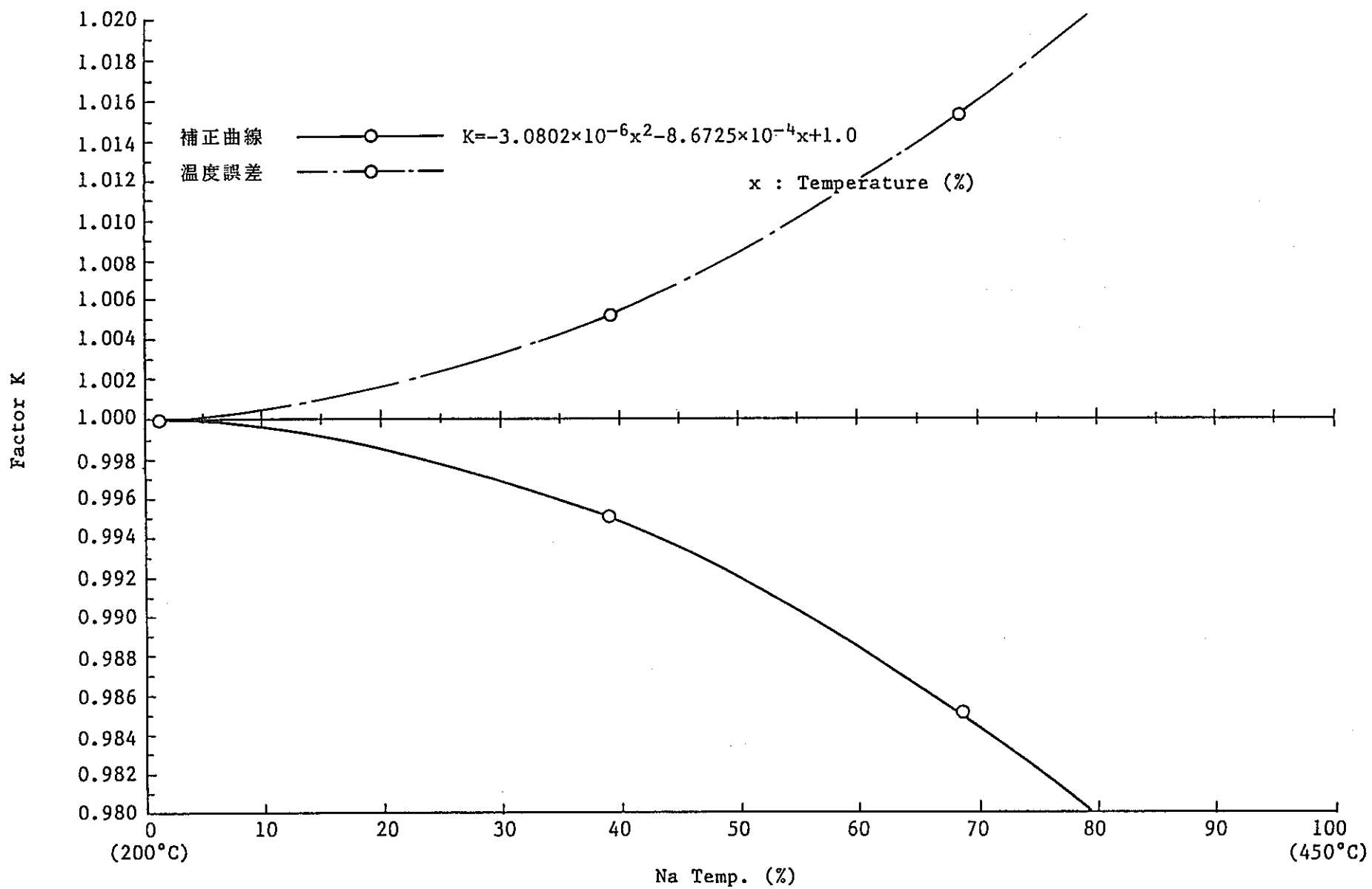


Fig. 2.8 The Dependence of the Correction Factor on Temperature  
(Over-flow Column A)

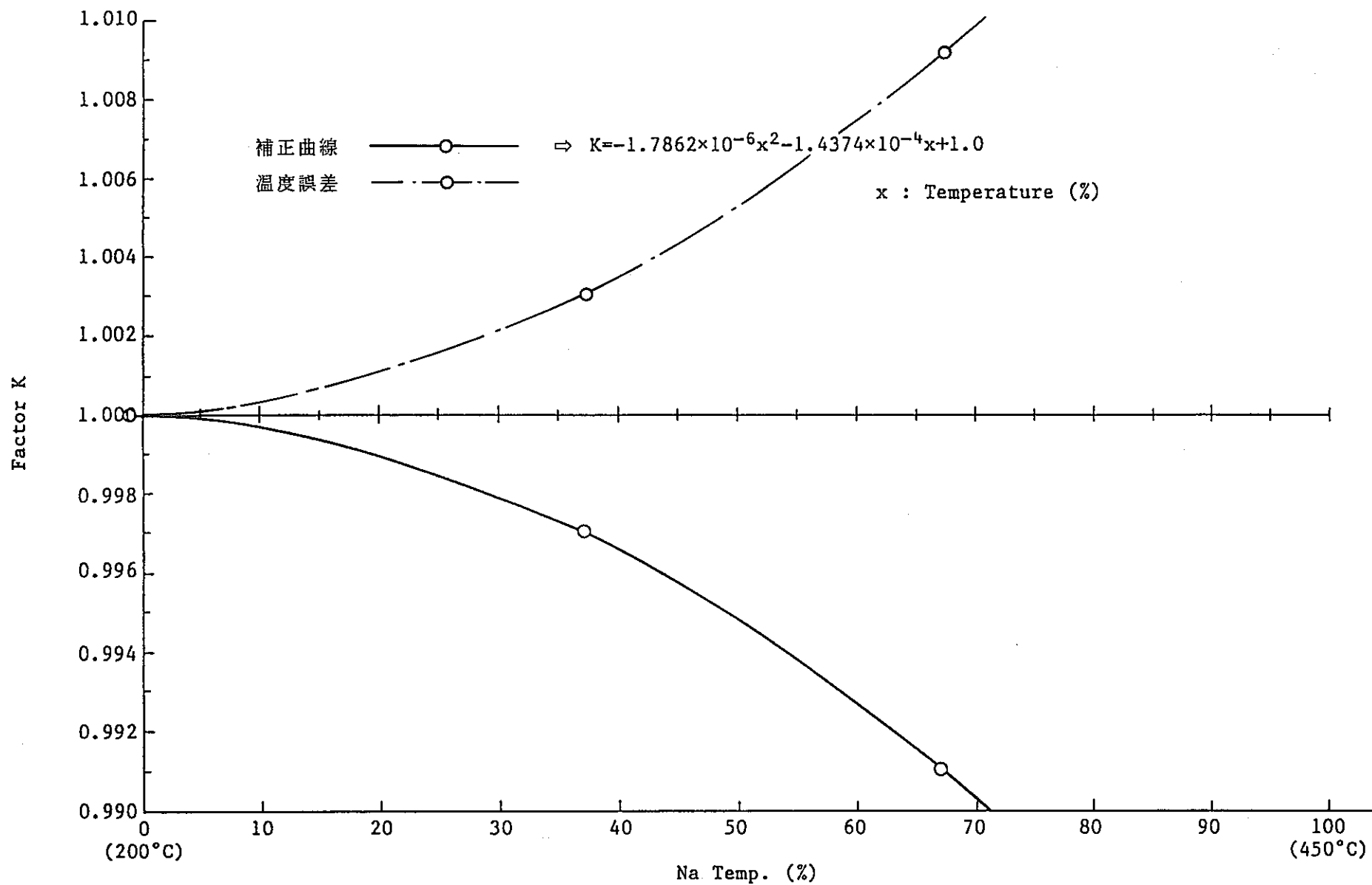


Fig. 2.9 The Dependence of the Correction Factor on Temperature  
(Over-flow Column B)

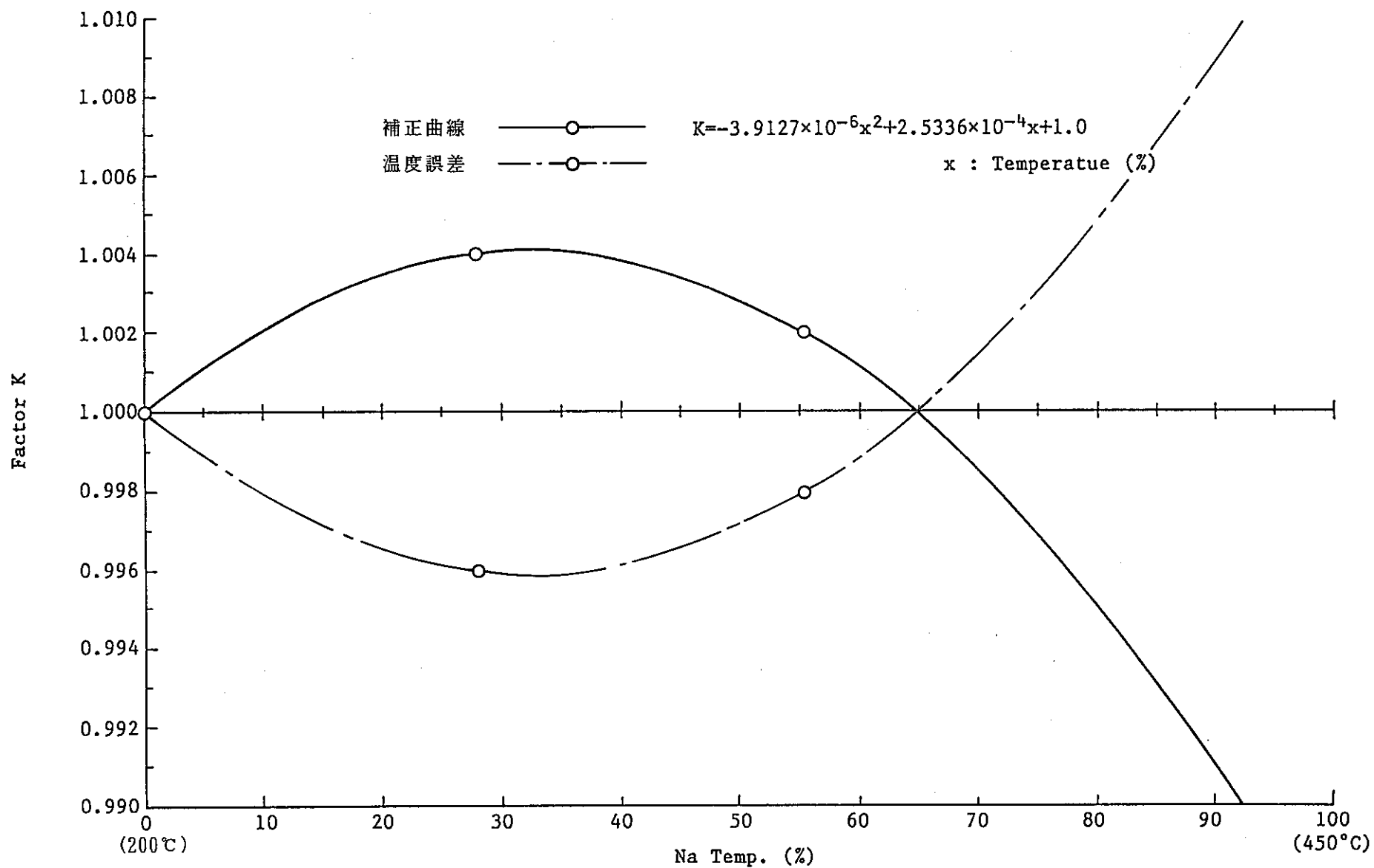


Fig. 2.10 The Dependence of the Correction Factor on Temperature (Dump Tank)

Table 3.1 Actual Schedule of Levelmeter Exchanges

[illegible]

Table 3.2 Measured Resistance of Coilwires

抵抗試験測定表

| 測定範囲<br>(始点)          | 測定範囲<br>(終点)      | 測定年月日         | 線 番 | 抵抗値<br>(Ω) |  |
|-----------------------|-------------------|---------------|-----|------------|--|
| 1次冷却系Na液位計<br>変換器盤    | 主循環ポンプA<br>Na液位計  | S<br>63.11.10 | A-C | 17.38      |  |
|                       |                   |               | A-E | 4.22       |  |
|                       |                   |               | A-G | 17.34      |  |
|                       |                   |               | C-G | 4.22       |  |
|                       |                   |               | E-G | 17.36      |  |
|                       |                   |               | H-K | 18.37      |  |
| 1次冷却系Na液位計<br>変換器盤    | オーバーフローA<br>Na液位計 | 63.11. 9      | A-C | 29.09      |  |
|                       |                   |               | A-E | 5.38       |  |
|                       |                   |               | A-G | 29.00      |  |
|                       |                   |               | C-G | 5.43       |  |
|                       |                   |               | E-G | 29.13      |  |
|                       |                   |               | H-K | 31.13      |  |
| 1次冷却系Na液位計<br>変換器盤    | 主循環ポンプB<br>Na液位計  | 63.11.10      | A-C | 19.06      |  |
|                       |                   |               | A-E | 6.03       |  |
|                       |                   |               | A-G | 19.06      |  |
|                       |                   |               | C-G | 6.09       |  |
|                       |                   |               | E-G | 19.00      |  |
|                       |                   |               | H-K | 21.12      |  |
| 1次冷却系Na液位計<br>変換器盤    | オーバーフローB<br>Na液位計 | 63.11. 9      | A-C | 30.88      |  |
|                       |                   |               | A-E | 6.90       |  |
|                       |                   |               | A-G | 30.97      |  |
|                       |                   |               | C-G | 6.82       |  |
|                       |                   |               | E-G | 30.85      |  |
|                       |                   |               | H-K | 32.98      |  |
| ダンプタンク用<br>Na液位計収納ラック | ダンプタンク<br>Na液位計   | 63.11. 9      | A-C | 28.41      |  |
|                       |                   |               | A-E | 1.14       |  |
|                       |                   |               | A-G | 28.45      |  |
|                       |                   |               | B-R | 4.66       |  |
|                       |                   |               | C-G | 1.15       |  |
|                       |                   |               | E-G | 28.47      |  |
|                       |                   |               | H-K | 27.65      |  |
|                       |                   |               | L-M | 4.82       |  |
|                       |                   |               | S-T | 3.43       |  |
|                       |                   |               | U-V | 3.44       |  |

注) 検出器素線抵抗はケーブルを含む状態で約200℃のコイル温度で測定した。

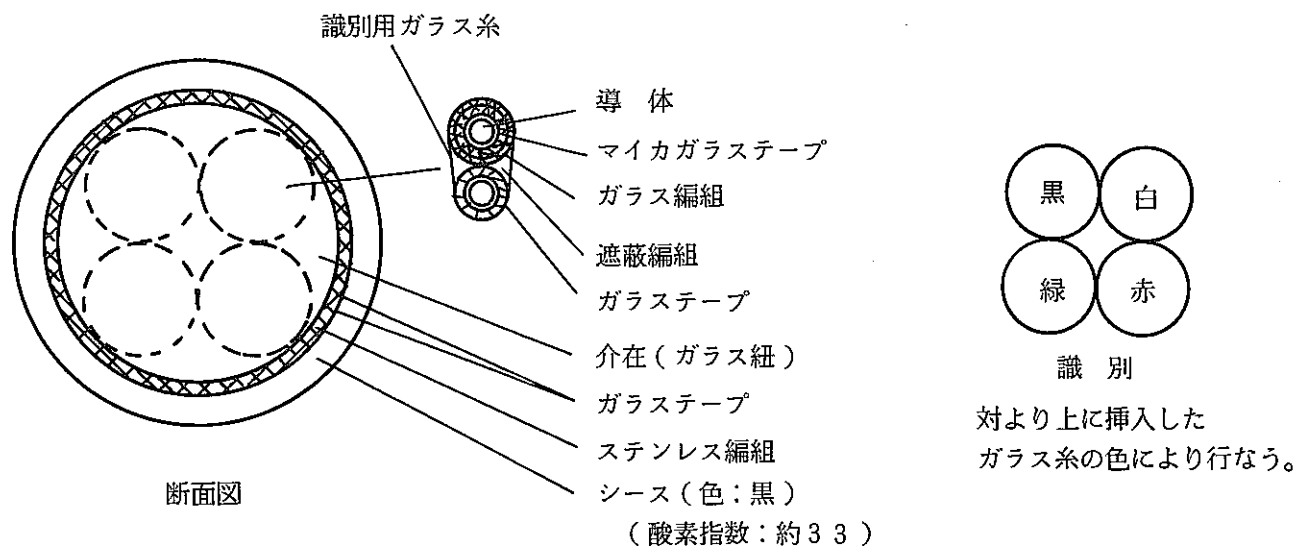
| 〔参 考 値〕 常温における検出器単体抵抗値     |                                         |                       |                                        |                            |                                        |
|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| 主<br>ポ<br>ン<br>プ<br>関<br>係 | $7.5\Omega \pm 20\%$ (A-C, A-G<br>E-G間) | コ<br>ラ<br>ム<br>関<br>係 | $13\Omega \pm 20\%$ (A-C, A-G<br>E-G間) | ダ<br>ン<br>プ<br>タ<br>ン<br>ク | $16\Omega \pm 20\%$ (A-C, A-G<br>E-G間) |
|                            | $9.3\Omega \pm 20\%$ (H-K間)             |                       | $14.8\Omega \pm 20\%$ (H-K間)           |                            | $2.5\Omega \pm 20\%$ (L-M, P-R間)       |
|                            | A-E, C-G間は変換<br>器から検出器までのケー<br>ブル抵抗。    |                       | A-E, C-G間は変換<br>器から検出器までのケー<br>ブル抵抗。   |                            | $1.7\Omega \pm 20\%$ (S-T, U-V間)       |
|                            |                                         |                       |                                        |                            | A-E, C-G間は変換<br>器から検出器までのケー<br>ブル抵抗。   |

Table 3.3 Assignment of Wirings to PCV Cable Penetration

| 検出名称                       | 信号名     | 検出部コネクタ<br>記号 | ケーブル色別                       | ケーブルサイズ<br>ケーブル番号 | ケーブルベネトレーション<br>ブロック | ケーブルベネトレーション<br>スリーブ | ケーブルサイズ<br>ケーブル番号 | ケーブル色別                       | 1次Na液面計変換器盤<br>コネクタ記号 |
|----------------------------|---------|---------------|------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------|
| 主循環ポンプA<br>Na液面計<br>4A     | 励磁電源出力  | B<br>A<br>C   | 黒<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | K0-8813           | PK-4                 | K-151                | K0-8813           | 黒<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | B<br>A<br>C           |
|                            | レベル検出信号 | J<br>H<br>K   | 白<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 白<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | J<br>H<br>K           |
|                            | 温度検出信号  | F<br>E<br>G   | 赤<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 赤<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | F<br>E<br>G           |
|                            | SIG.COM | N<br>M<br>Y   | 緑<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 緑<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | N<br>M<br>Y           |
|                            | SIG.COM | X             | 外周シールド                       |                   |                      |                      |                   | 外周シールド                       | X                     |
|                            |         |               |                              |                   |                      |                      |                   |                              |                       |
| 主循環ポンプB<br>Na液面計<br>4B     | 励磁電源出力  | B<br>A<br>C   | 黒<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | K0-8812           | PK-5                 | K-157                | K0-8812           | 黒<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | B<br>A<br>C           |
|                            | レベル検出信号 | J<br>H<br>K   | 白<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 白<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | J<br>H<br>K           |
|                            | 温度検出信号  | F<br>E<br>G   | 赤<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 赤<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | F<br>E<br>G           |
|                            | SIG.COM | N<br>M<br>Y   | 緑<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 緑<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | N<br>M<br>Y           |
|                            | SIG.COM | X             | 外周シールド                       |                   |                      |                      |                   | 外周シールド                       | X                     |
|                            |         |               |                              |                   |                      |                      |                   |                              |                       |
| オーバーフローコラムA<br>Na液面計<br>5A | 励磁電源出力  | B<br>A<br>C   | 黒<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | K0-8810           | PK-1                 | K-103                | K0-8810           | 黒<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | B<br>A<br>C           |
|                            | レベル検出信号 | J<br>H<br>K   | 白<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 白<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | J<br>H<br>K           |
|                            | 温度検出信号  | F<br>E<br>G   | 赤<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 赤<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | F<br>E<br>G           |
|                            | SIG.COM | N<br>M<br>Y   | 緑<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 緑<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | N<br>M<br>Y           |
|                            | SIG.COM | X             | 外周シールド                       |                   |                      |                      |                   | 外周シールド                       | X                     |
|                            |         |               |                              |                   |                      |                      |                   |                              |                       |
| オーバーフローコラムB<br>Na液面計<br>5B | 励磁電源出力  | B<br>A<br>C   | 黒<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | K0-8811           | PK-2                 | K-129                | K0-8811           | 黒<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | B<br>A<br>C           |
|                            | レベル検出信号 | J<br>H<br>K   | 白<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 白<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | J<br>H<br>K           |
|                            | 温度検出信号  | F<br>E<br>G   | 赤<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 赤<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | F<br>E<br>G           |
|                            | SIG.COM | N<br>M<br>Y   | 緑<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 |                   |                      |                      |                   | 緑<br>シールド<br>ケーブル<br>ケーブル内芯線 | N<br>M<br>Y           |
|                            | SIG.COM | X             | 外周シールド                       |                   |                      |                      |                   | 外周シールド                       | X                     |
|                            |         |               |                              |                   |                      |                      |                   |                              |                       |

Table 3.4 Specification of Cable for Levelmeter

|     |                   |        |                 |
|-----|-------------------|--------|-----------------|
| 対 数 |                   | 対      | 4               |
| 導   | サイズ               | $mm^2$ | 0.5             |
|     | 構 成               | 本/mm   | 20/0.18         |
| 体   | 外 径               | mm     | 1.0             |
|     | マイカガラステープ<br>巻き厚さ | (約) mm | 0.2             |
|     | ガラス編組厚さ           | (約) mm | 0.3             |
|     | 遮蔽編組厚さ            | (約) mm | 0.3 (錫めっき軟銅線編組) |
|     | ガラステープ巻き厚さ        | (約) mm | 0.2             |
|     | ステンレス編組厚さ         | (約) mm | 0.45            |
|     | ガラステープ巻き厚さ        | (約) mm | 0.2             |
|     | 難燃性ポリエチレン厚さ       | mm     | 1.0             |
|     | 外 径               | (約) mm | 15.0            |



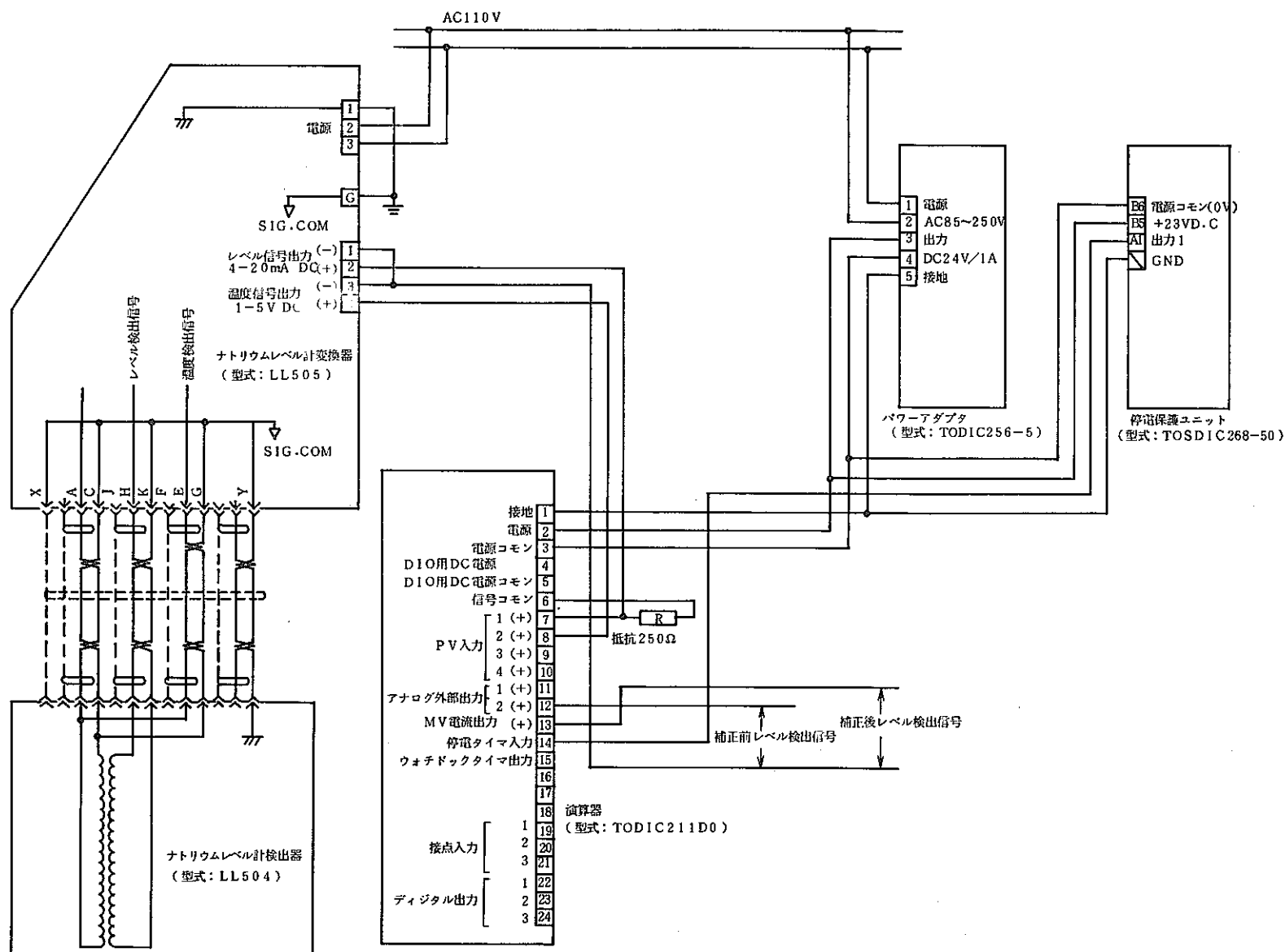


Fig. 3.1 Wiring of Levelmeters (Main Pump, Over Flow Column)

Table 3.5 Specification of Cable for Dump Tank Levelmeter

| 対 数 P                  |                     | 8                              |           |
|------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------|
| 線 心 種 類                |                     | 無遮蔽線心                          | 遮蔽付き線心    |
| 導 体                    | 材質                  | 錫めっき軟銅線                        |           |
|                        | 公称断面積 $\text{mm}^2$ | 0.5                            |           |
|                        | 構成 本/mm             | 20/0.18                        |           |
|                        | 外径 $\text{mm}$      | 0.9                            |           |
| 絶 縁 体                  | 材質                  | 架橋PE                           |           |
|                        | 厚さ $\text{mm}$      | 0.8                            | 0.55      |
|                        | 外径 $\text{mm}$      | 2.5                            | 2.0       |
| 線 心 遮 蔽                | 材質                  | ---                            | 錫めっき軟銅線編組 |
|                        | 厚さ (約) $\text{mm}$  | ---                            | 0.25      |
|                        | 外径 (約) $\text{mm}$  | ---                            | 2.5       |
| 対より外径 (約) $\text{mm}$  |                     | 5.0<br>(無遮蔽線心と遮蔽付き線心をより, 対とする) |           |
| 押 え 巻                  |                     | プラスチックテープ重ね巻                   |           |
| より合せ外径 (約) $\text{mm}$ |                     | 14.5                           |           |
| 押 え 巻                  |                     | プラスチックテープ重ね巻                   |           |
| 一 括 遮 蔽                | 材質                  | 錫めっき軟銅線編組                      |           |
|                        | 厚さ (約) $\text{mm}$  | 0.4                            |           |
| シ ー ス                  | 材質                  | 難燃性PE (色: 黒)                   |           |
|                        | 厚さ $\text{mm}$      | 1.0                            |           |
|                        | 外径 (約) $\text{mm}$  | 17.5 (最大: 18mm以下)              |           |

## 対の識別

| 対 番 号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第1種線心 | 青 | 黄 | 緑 | 赤 | 紫 | 青 | 黄 | 緑 |
| 第2種線心 | 白 | 白 | 白 | 白 | 白 | 茶 | 茶 | 茶 |

## 構 造 図

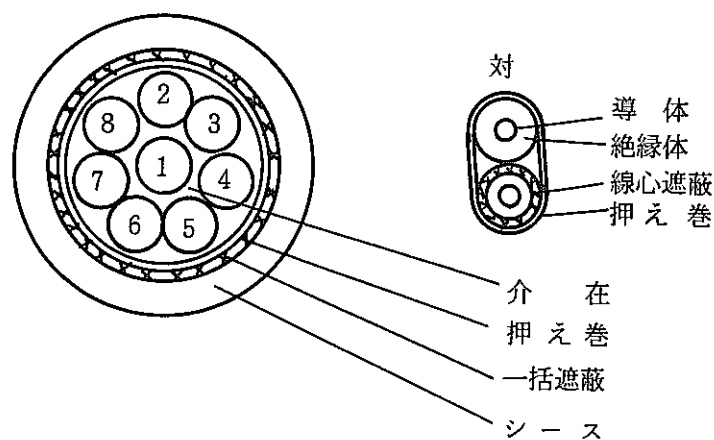


Table 3.6 Specifications of Optical Fiber for Dump Tank Levelmeter

## 構造

## (1) 光ファイバ心線

| 項 目    | 構 成                       |
|--------|---------------------------|
| ファイバ種別 | グレーデッドインデックス (GI) 形石英ファイバ |
| コ ア 径  | 50 ± 3 μm                 |
| クラッド径  | 125 ± 3 μm                |
| 非 円 率  | 6% 以下 (注1)                |
| 偏 心 率  | 6% 以下 (注1)                |
| N A    | 0.21                      |
| 被 覆    | 軟質プラスチック+ポリアミド            |
| 外 径    | 0.9 ± 0.1 mm              |

注1. 非円率、偏心率の定義は以下のとおり。

非円率：コアの最大径と最小径の差をコア径の標準値で除した値を%表示したものである。

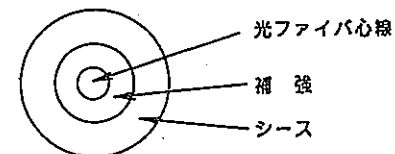
偏心率：コア中心とクラッド中心間の長さ（偏心量）をコア径標準値で除した値を%表示したものである。

## (2) 光ファイバケーブル

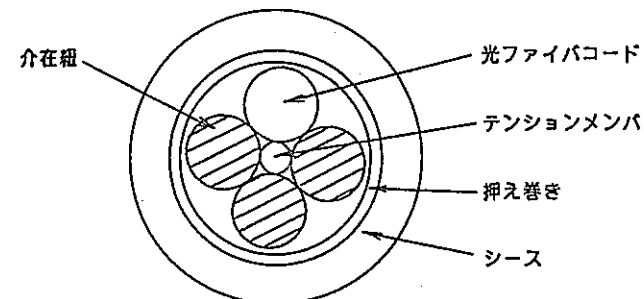
| 項 目       | 構 成                          |
|-----------|------------------------------|
| 光ファイバコード  | 光ファイバ心線                      |
|           | 補 強                          |
|           | シ ー ス                        |
|           | 外 径                          |
| テンションメンバ  | プラスチック被覆銅線 銅線外径 1.2 mm       |
| 集 合       | テンションメンバ×1本+光ファイバコード×1心      |
| 押 え 卷 き   | プラスチックテープ 重ね巻き               |
| シ ー ス     | アルミラミネート難燃黒色ポリエチレン 厚さ 1.7 mm |
| 仕 上 り 外 径 | 約 12 mm                      |
| 総 算 重 量   | 130 kg/km                    |

## &lt; 構 造 図 &gt;

光ファイバコード



光ファイバケーブル



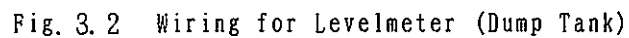
## 伝送特性

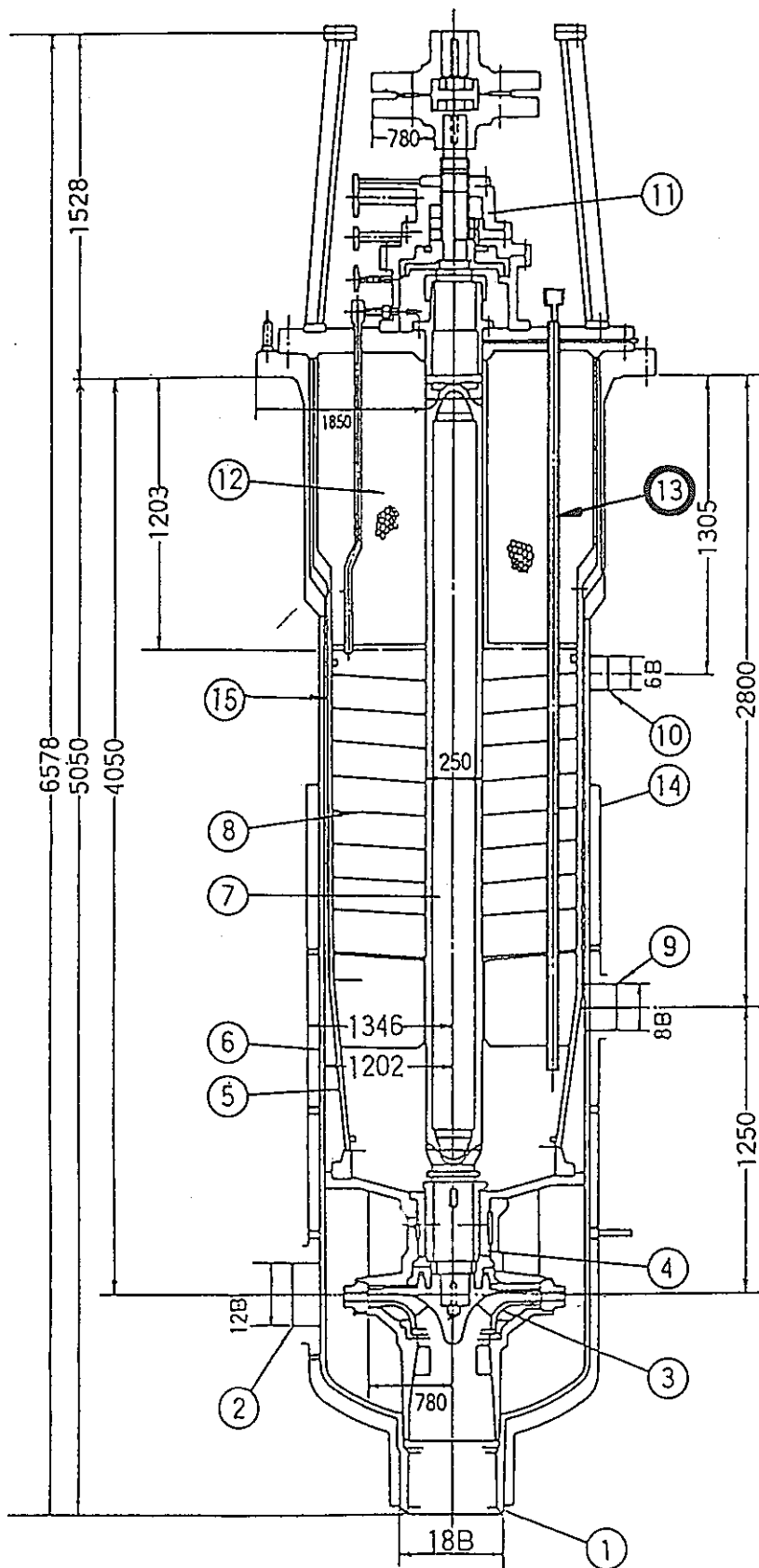
| 項 目  | 条 件                          | 特 性           | 換 算              |                           |
|------|------------------------------|---------------|------------------|---------------------------|
|      |                              |               | 条 件(km)          | 換 算 式                     |
| 伝送損失 | $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$ | 3.0 dB/km以下   | $L \geq 0.2$     | 特性値 × L dB 以下             |
|      |                              |               | $L < 0.2$        | 特性値 × 0.2 dB 以下           |
| 伝送帯域 | $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$ | 200 MHz・km 以上 | $L \geq 1$       | 特性値 / L MHz 以上            |
|      |                              |               | $0.2 \leq L < 1$ | 特性値 / $\sqrt{L}$ MHz 以上   |
|      |                              |               | $L < 0.2$        | 特性値 / $\sqrt{0.2}$ MHz 以上 |

L = ケーブル長 (km)

## 難燃特性

| 項 目           | 特 性                                |
|---------------|------------------------------------|
| シースの酸系指数 (OI) | 30 以上                              |
| 燃 焼 試 験       | IEEE 383の2.5項による<br>垂直トレー燃焼試験に合格する |





|    |            |
|----|------------|
| 15 | 対流防止板      |
| 14 | リークジャケット   |
| 13 | 液位計        |
| 12 | 生体遮蔽部(銅球)  |
| 11 | 上部軸封部      |
| 10 | Arガスノズル    |
| 9  | オーバーフローノズル |
| 8  | 熱遮蔽板       |
| 7  | シャフト       |
| 6  | アウターケーシング  |
| 5  | インナーケーシング  |
| 4  | ナトリウムベアリング |
| 3  | インペラ       |
| 2  | 吐出ノズル      |
| 1  | 吸入ノズル      |

Fig. 4.1 Levelmeter Location in Primary Pump

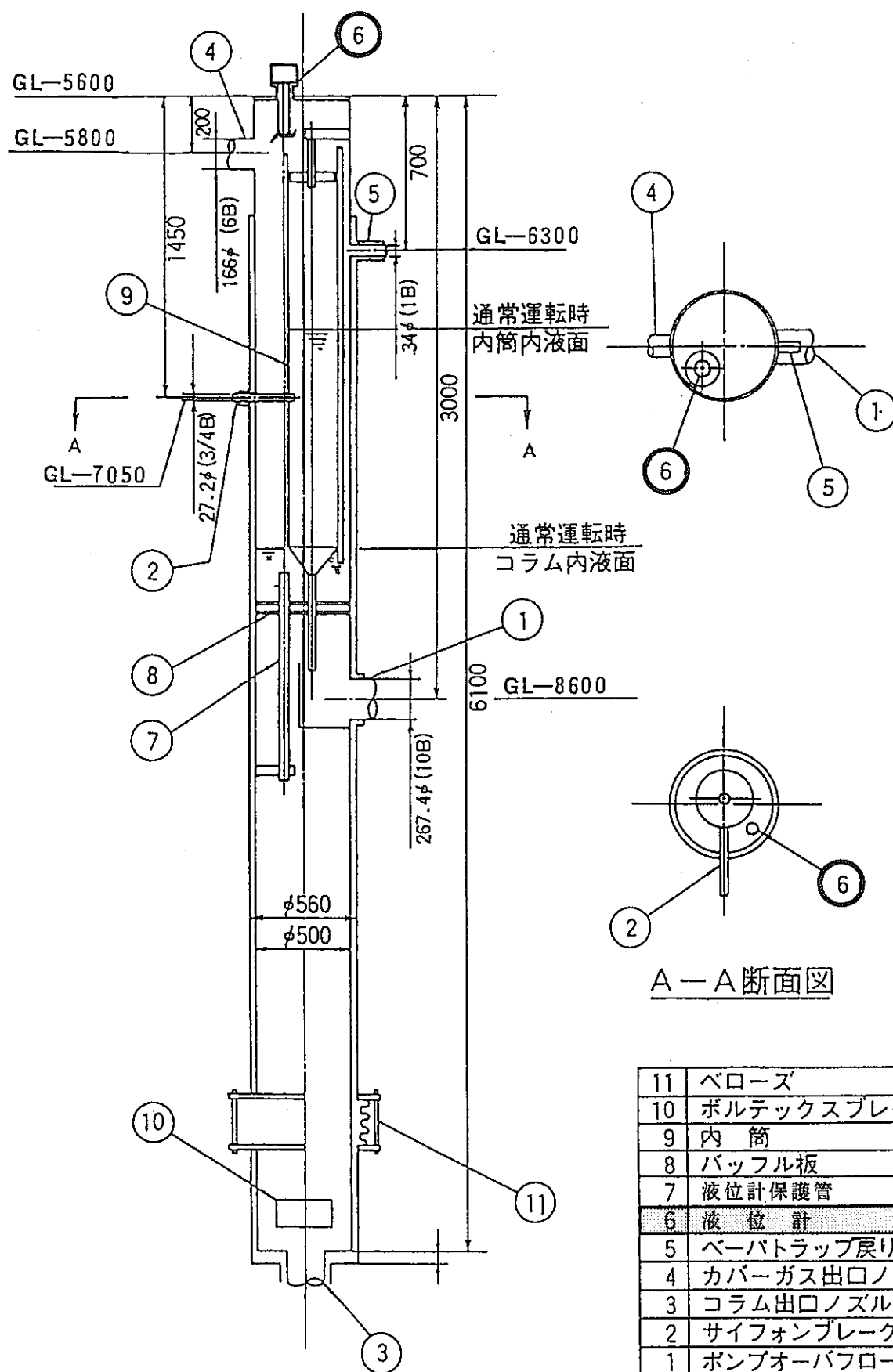
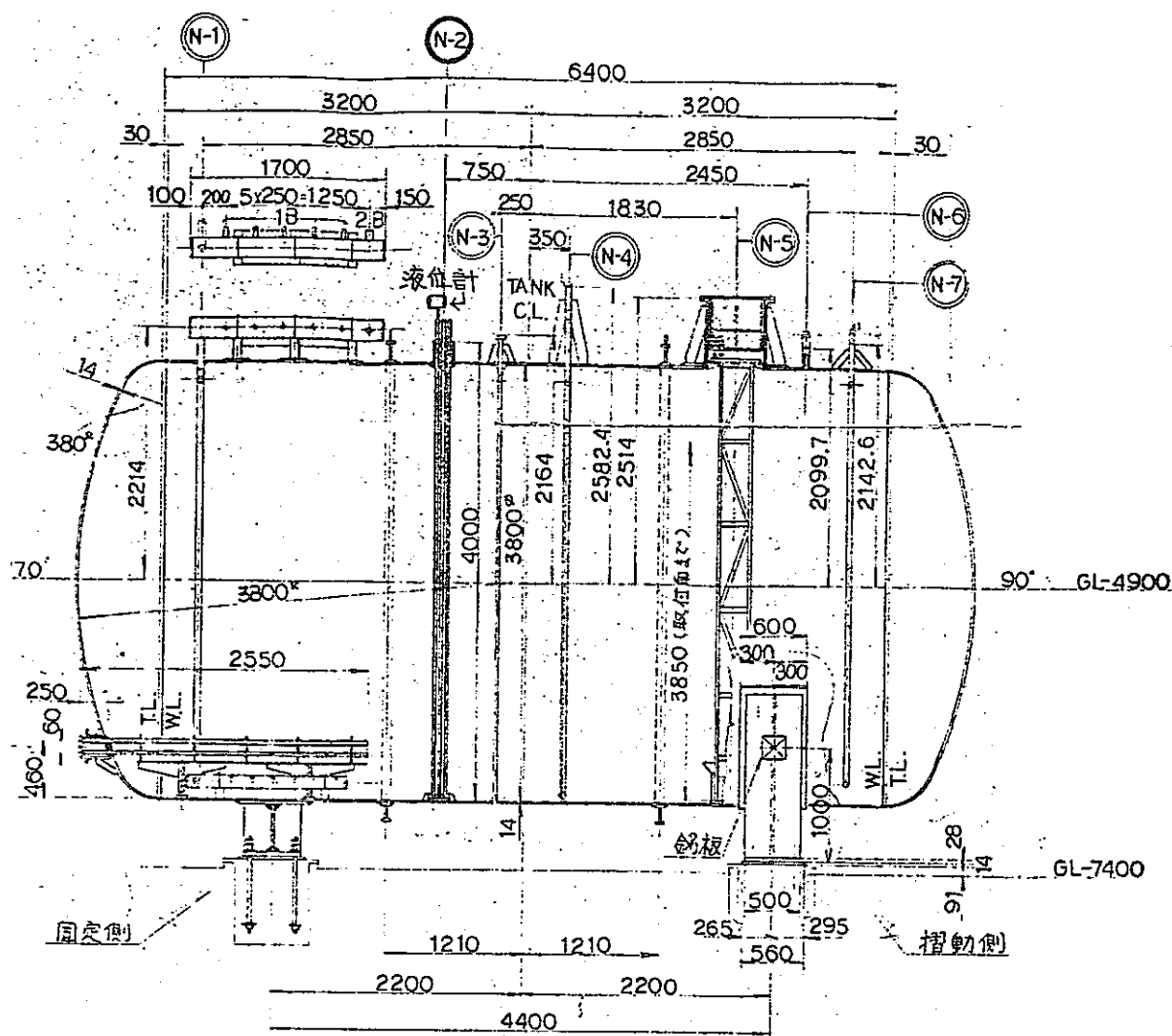


Fig. 4.2 Levelmeter Location in Over Flow Column



|                    |              |     |               |
|--------------------|--------------|-----|---------------|
| N-8 挿入ヒータウエル       | 254° 2"      | 20  | STB42         |
| N-7 浄化系液上ゲライノズル    | 1 1/2" Sch40 | 1   | SIP42<br>-S-H |
| N-6 Arガスノズル        | 3" Sch40     | 1   |               |
| N-5 マニホール          | 20" Sch30    | 1   |               |
| N-4 Na初期注入ラインノズル   | 2" Sch40     | 1   |               |
| N-3 Na温度計用ウエル      | 1/2" Sch40   | 1   |               |
| N-2 Na液位計取付ノズル     | 6"           | 1   |               |
| N-1 ダンプタンク戻りラインノズル | 2" x Sch40   | 1   | SIP42<br>-S-H |
| 記号                 | ノズル名称        | サイズ | 数量材質          |

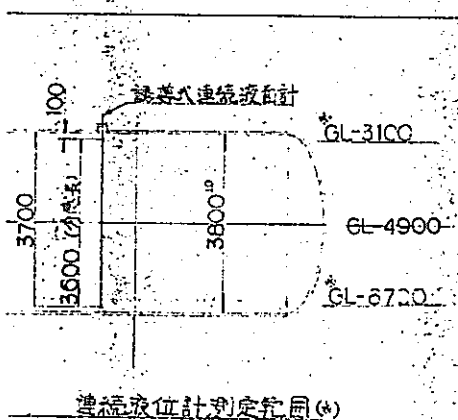


Fig. 4.3 Levelmeter Location in Damp Tank

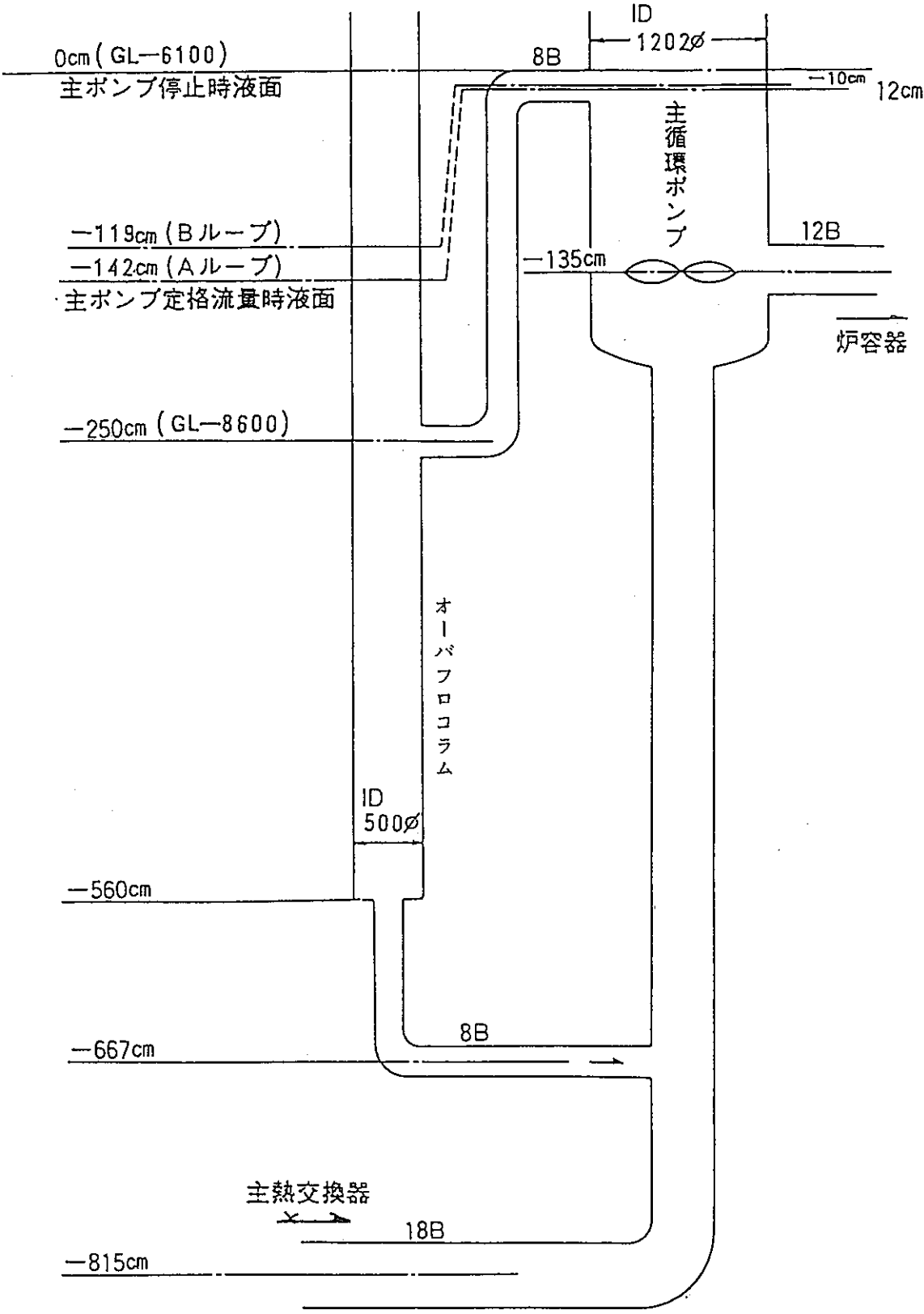


Fig. 4. 4 Sodium Levels in Primary Pump and Over Flow Column

Table 4.1 Reguration Volumes and Check Terminals of Processing Unit

|                                | ボリウム及び<br>チェック端子 | 機 能                                           |
|--------------------------------|------------------|-----------------------------------------------|
| EX UNIT<br>励磁回路                | AEX              | 励磁電流調整用ボリウム                                   |
|                                | EXC              | 励磁電流測定用端子（電圧値直読）                              |
| 指示計部                           | OUTPUT           | レベル信号出力 4-20mADC のモニタ端子<br>（電圧値 0.4~2.0 VDC ） |
| PREAMP UNIT<br>プリアンプ回路         | ES               | レベル信号プリアンプ出力測定端子                              |
|                                | ET               | 温度信号プリアンプ出力測定端子                               |
|                                | COM              | プリアンプ回路出力コモン                                  |
| OP UNIT<br>演算回路                | VCZ              | ゼロ点温度補償電圧測定端子                                 |
|                                | VSO              | レベル信号中間出力測定端子                                 |
|                                | VCS              | スパン温度補償電圧測定端子                                 |
|                                | VK               | 温度信号出力測定端子                                    |
|                                | VCT              | 温度信号中間出力測定端子                                  |
|                                | COM              | 演算回路出力コモン                                     |
|                                | AZR              | ゼロ点調整ボリウム                                     |
|                                | ASP              | スパン調整用ボリウム                                    |
|                                | ATZ              | 温度ゼロ調整用ボリウム                                   |
|                                | ACZ              | ゼロ点温度補償調整用ボリウム                                |
|                                | ACS              | スパン温度補償調整用ボリウム                                |
| *1. PL UNIT<br>自己校正点<br>H,L 回路 | PU               | 自己校正点上部プリアンプ出力測定端子                            |
|                                | PL               | 自己校正点下部プリアンプ出力測定端子                            |
|                                | COM              | 自己校正点回路出力コモン                                  |

\*1. PL UNIT は、ダンプタンク用液位計にのみ装備されている。

Table 4.2 (1/2) On-Site Calibration Results of Reactor Vessel Levelmeters  
(ch.1, ch.2)

計測点名称 原子炉容器

Tag# LX31.1-1

設置場所 #417-1

## 1. 実液校正試験（1回目） 判定基準；精度±3%F.S.（±0.012V）

|          | 零点(基準出力；0.100V at -35.0cm) |            | スパン点(基準出力；0.300V at 0.0cm) |            |
|----------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|
|          | 変換器出力(V)                   | 誤差(% F.S.) | 変換器出力(V)                   | 誤差(% F.S.) |
| 調整前      | 0.1053<br>(注)              | +1.32      | 0.2997                     | -0.08      |
| 調整後      | 0.1000                     | ±0.00      |                            |            |
| 日時, Na温度 | 7/15, 15:00                |            | 7/18, 17:35                |            |

(注) ノイズ対策のため零点粗調整VRを3→2.5へ変更（内部回路の変更で17.89%出力が増加した為）

## 2. 実液校正試験（2回目）

|          | 零点(基準出力；0.100V at -35.0cm) |            |
|----------|----------------------------|------------|
|          | 変換器出力(V)                   | 誤差(% F.S.) |
| 調整前      | 0.1010                     | +0.26      |
| 調整後      | 0.1001                     | +0.03      |
| 日時, Na温度 | 7/15, 15:58                |            |

誤差(%) = (出力電圧 - 基準電圧) / スパン0.4V × 100

計測点名称 原子炉容器

Tag# LX31.1-2

設置場所 #417-2

| CPU設定値 | NL        | 3.0%  |
|--------|-----------|-------|
|        | ZERO TEMP | 0.7%  |
|        | SET SPAN  | 82.1% |

## 1. 実液校正試験（1回目） 判定基準；精度±3%F.S.（±0.012V）

|          | 零点(基準出力；0.100V at -35.0cm) |            | スパン点(基準出力；0.300V at 0.0cm) |            |
|----------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|
|          | 変換器出力(V)                   | 誤差(% F.S.) | 変換器出力(V)                   | 誤差(% F.S.) |
| 調整前      | 0.9995                     | -0.01      | 4.313                      | +0.83      |
| 調整後      |                            |            | 4.290                      | +0.25      |
| 日時, Na温度 | 7/15, 16:00                |            | 7/18, 17:45                |            |

注) CPU ONで測定 誤差(%) = (出力電圧 - 基準電圧) / スパン0.4V × 100

Table 4.2 (2/2) On-Site Calibration Results of Reactor Vessel Levelmeter  
(ch.3)

計測点名称 原子炉容器

Tag# LX31.1-3

設置場所 #417-3

1. 実液校正試験（1回目） 判定基準；精度 $\pm 3\%$  F.S. ( $\pm 0.012\text{V}$ )

|          | 零点(基準出力；0.100V at -35.0cm) |            | スパン点(基準出力；0.300V at 0.0cm) |            |
|----------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|
|          | 変換器出力(V)                   | 誤差(% F.S.) | 変換器出力(V)                   | 誤差(% F.S.) |
| 調整前      | 0.1025<br>(注)              | +0.63      | 0.3019                     | +0.48      |
| 調整後      | 0.1001                     | +0.02      | 0.3000                     | $\pm 0.00$ |
| 日時, Na温度 | 7/15, 15:20                |            | 7/18, 17:40                |            |

(注) ノイズ対策のため零点粗調整VRを2→1へ変更（内部回路の変更で21.6%出力が増加した為）

## 2. 実液校正試験（2回目）

|          | 零点(基準出力；0.100V at -35.0cm) |            |
|----------|----------------------------|------------|
|          | 変換器出力(V)                   | 誤差(% F.S.) |
| 調整前      | 0.1007                     | +0.18      |
| 調整後      | 0.1000                     | $\pm 0.00$ |
| 日時, Na温度 | 7/15, 16:00                |            |

誤差(%) = (出力電圧 - 基準電圧) / スパン0.4V × 100

Table 4.3 Calibration Data of Processing Units

| 測定項目             | 主循環ポンプ液位計 (A) |         | 主循環ポンプ液位計 (B) |         |
|------------------|---------------|---------|---------------|---------|
|                  | 零点            | スパン点    | 零点            | スパン点    |
| EXC = (mAAC)     | 139.12        | 139.11  | 136.29        | 136.34  |
| 調整後のES OUT (VAC) | 1.998         | 1.926   | 1.958         | 1.901   |
| 校正対象物Na温度 (℃)    | 222.1         | 220.8   | 220.5         | 221.7   |
| ET OUT = (VAC)   | 1.962         | 1.970   | 1.954         | 1.959   |
| VSO = (mVDC)     | -3.00         | -152.80 | -35.20        | -155.80 |
| VCZ = (mVDC)     | -0.79         | -0.66   | -0.71         | -0.63   |
| VCS = (mVDC)     | -30.37        | -24.30  | -56.03        | -52.50  |
| VCT = (mVDC)     | -37.30        | -29.90  | -72.60        | -68.05  |
| VK = (VDC)       | 0.8066        | 0.8350  | 0.7658        | 0.7825  |
| OUT PUT = (mADC) | 4.005         | 8.488   | 4.004         | 8.484   |

| 測定項目             | オーバーフロコラム (A) |         | オーバーフロコラム (B) |         |
|------------------|---------------|---------|---------------|---------|
|                  | 零点            | スパン点    | 零点            | スパン点    |
| EXC = (mAAC)     | 65.12         | 65.10   | 67.91         | 67.87   |
| 調整後のES OUT (VAC) | 1.889         | 1.615   | 1.972         | 1.710   |
| 校正対象物Na温度 (℃)    | 222.1         | 220.8   | 220.5         | 221.7   |
| ET OUT = (VAC)   | 1.870         | 1.934   | 1.976         | 2.027   |
| VSO = (mVDC)     | -9.80         | -457.00 | -10.00        | -488.00 |
| VCZ = (mVDC)     | -0.56         | 0.43    | -0.44         | 0.37    |
| VCS = (mVDC)     | -21.88        | 17.40   | -10.00        | 17.70   |
| VCT = (mVDC)     | -31.25        | 25.70   | -16.90        | 28.00   |
| VK = (VDC)       | 0.8243        | 1.0430  | 0.9390        | 1.1104  |
| OUT PUT = (mADC) | 4.006         | 19.352  | 4.009         | 19.356  |

| 測定項目             | 2次Na充填ドレン系ダンプタンク |         |
|------------------|------------------|---------|
|                  | 零点               | スパン点    |
| EXC = (mAAC)     | 57.38            | 57.50   |
| 調整後のES OUT (VAC) | 1.959            | 1.769   |
| 校正対象物Na温度 (℃)    | 195.0            | 185.0   |
| ET OUT = (VAC)   | 1.956            | 1.948   |
| VSO = (mVDC)     | -47.50           | -397.20 |
| VCZ = (mVDC)     | -0.103           | -0.212  |
| VCS = (mVDC)     | -21.74           | -27.28  |
| VCT = (mVDC)     | -28.92           | -36.18  |
| VK = (VDC)       | 0.8867           | 0.8580  |
| OUT PUT = (mVDC) | 670.0            | 1770.5  |

注) EXCは、mVACレンジ  
にて測定した値を  
mAACに換算  
(換算比は1:1)

Table 4.4 On-Site Calibration Results of Main Pump Levelmeters

計測点名称 A - 主循環ポンプ

Tag# LX31.1-4A

設置場所 #202-2

1. 実液校正試験 (1回目) 判定基準; 精度  $\pm 3\%$  F.S. ( $\pm 0.6\text{mA}$ )

|          | 零点 (基準出力; 4.00mA at -42.0cm) |             | スパン点 (基準出力; 8.48mA at 0.0cm) |             |
|----------|------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
|          | 変換器出力 (mA)                   | 誤差 (% F.S.) | 変換器出力 (mA)                   | 誤差 (% F.S.) |
| 調整前      | 検出器交換のため調整前データは採取せず。         |             | 同 左                          |             |
| 調整後      | 4.005                        | +0.03       | 8.488                        | +0.05       |
| 日時, Na温度 | 11/14, *222.1℃               |             | 11/14, *220.8℃               |             |

誤差 (%) = (出力電流 - 基準電流) / スパン16mA  $\times 100$  \*Na温度はTE71-113Aで計測

計測点名称 B - 主循環ポンプ

Tag# LX31.1-4B

設置場所 #202-2

1. 実液校正試験 (1回目) 判定基準; 精度  $\pm 3\%$  F.S. ( $\pm 0.6\text{mA}$ )

|          | 零点 (基準出力; 4.00mA at -42.0cm) |             | スパン点 (基準出力; 8.48mA at 0.0cm) |             |
|----------|------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
|          | 変換器出力 (mA)                   | 誤差 (% F.S.) | 変換器出力 (mA)                   | 誤差 (% F.S.) |
| 調整前      | 検出器交換のため調整前データは採取せず。         |             | 同 左                          |             |
| 調整後      | 4.004                        | +0.03       | 8.484                        | +0.03       |
| 日時, Na温度 | 11/14, *220.5℃               |             | 11/14, *221.7℃               |             |

誤差 (%) = (出力電流 - 基準電流) / スパン16mA  $\times 100$  \*Na温度はTE71-113Bで計測

Table 4.5 On-Site Calibration Results of Over Flow Column Levelmeters

計測点名称 A-オーバフローコラム

Tag# LX31.1-5A

設置場所 #202-2

1. 実液校正試験（1回目） 判定基準；精度 $\pm 3\%$  F.S. ( $\pm 0.6\text{mA}$ )

|          | 零点(基準出力；4.00mA at -288.0cm) |            | スパン点(基準出力；19.36mA at 0.0cm) |            |
|----------|-----------------------------|------------|-----------------------------|------------|
|          | 変換器出力(mA)                   | 誤差(% F.S.) | 変換器出力(mA)                   | 誤差(% F.S.) |
| 調整前      | 検出器交換のため調整前データは採取せず。        |            | 同 左                         |            |
| 調整後      | 4.006                       | +0.04      | 19.352                      | -0.05      |
| 日時, Na温度 | 11/14, *222.1℃              |            | 11/14, *220.8℃              |            |

誤差(%) = (出力電流 - 基準電流) / スパン16mA  $\times 100$  \*Na温度はTE71-113Aで計測

計測点名称 B-オーバフローコラム

Tag# LX31.1-5B

設置場所 #202-2

1. 実液校正試験（1回目） 判定基準；精度 $\pm 3\%$  F.S. ( $\pm 0.6\text{mA}$ )

|          | 零点(基準出力；4.00mA at -288.0cm) |            | スパン点(基準出力；19.36mA at 0.0cm) |            |
|----------|-----------------------------|------------|-----------------------------|------------|
|          | 変換器出力(mA)                   | 誤差(% F.S.) | 変換器出力(mA)                   | 誤差(% F.S.) |
| 調整前      | 検出器交換のため調整前データは採取せず。        |            | 同 左                         |            |
| 調整後      | 4.009                       | +0.06      | 19.356                      | -0.03      |
| 日時, Na温度 | 11/14, *220.5℃              |            | 11/14, *221.7℃              |            |

誤差(%) = (出力電流 - 基準電流) / スパン16mA  $\times 100$  \*Na温度はTE71-113Bで計測

Table 4.6 On-Site Calibration Results of Dump Tank Levelmeter

計測点名称 ダンプタンク  
 Tag# LX35.2-1  
 設置場所 2次系ガスクロ室 (S-414)

1. 実液校正試験 (1回目) 判定基準; 精度  $\pm 3\%$  F.S. ( $\pm 0.048\text{V}$ )

|          | 零点 (基準出力; 0.6698V at 70.7cm) |             | スパン点 (基準出力; 1.7698V at 318.2cm) |             |
|----------|------------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|
|          | 変換器出力 (V)                    | 誤差 (% F.S.) | 変換器出力 (V)                       | 誤差 (% F.S.) |
| 調 整 前    | 検出器交換のため調整前データは採取せず。         |             | 同 左                             |             |
| 調 整 後    | 0.6700                       | +0.01       | 1.7705                          | +0.04       |
| 日時, Na温度 | 11/14, 195.0℃                |             | 11/11, 185.0℃                   |             |

誤差 (%) = (出力電圧 - 基準電圧) / スパン 1.6V  $\times 100$

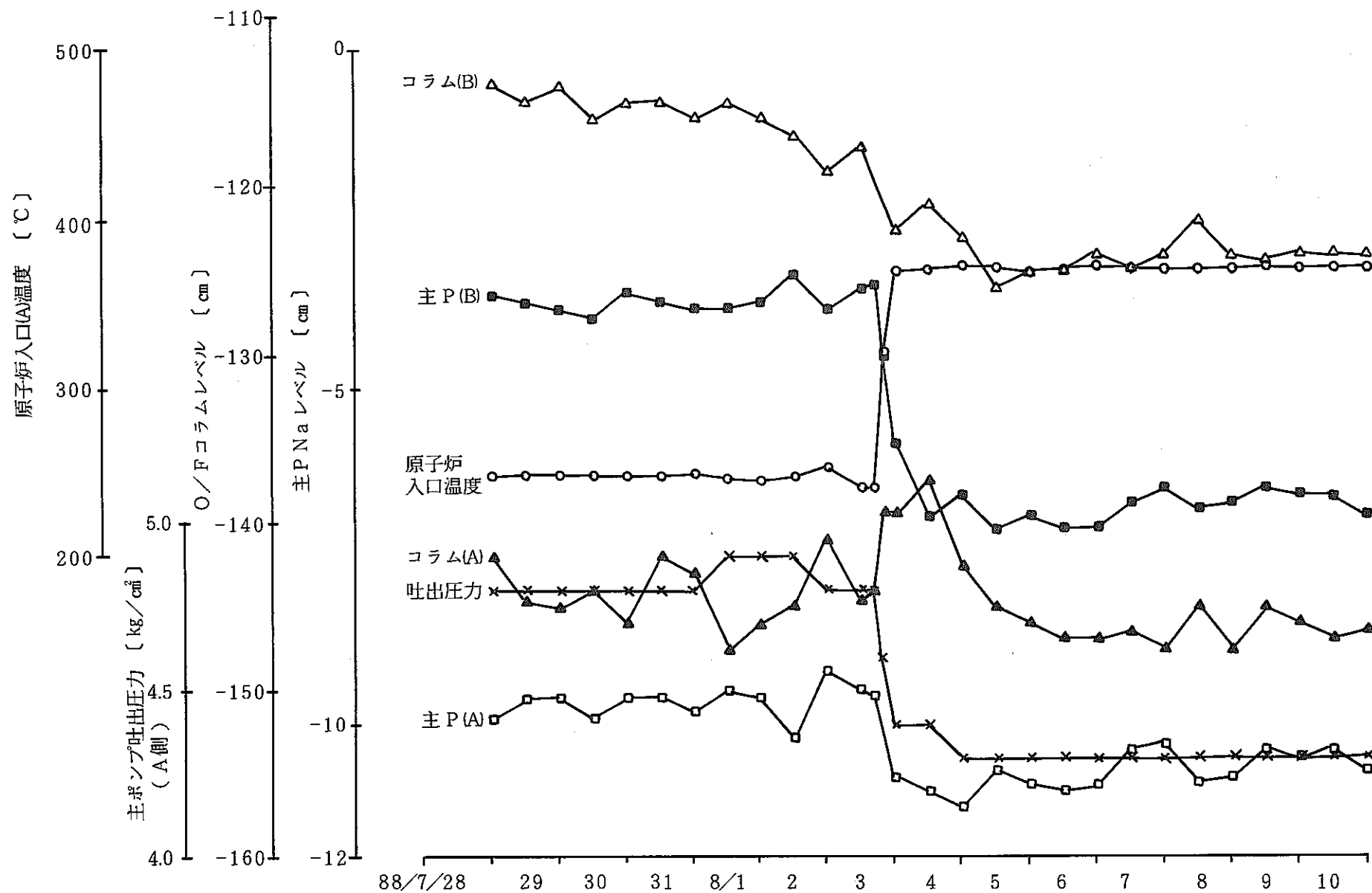


Fig. 4.5 Sodium Level Variation during Start Up Period of 16th Cycle for Former Level Probes

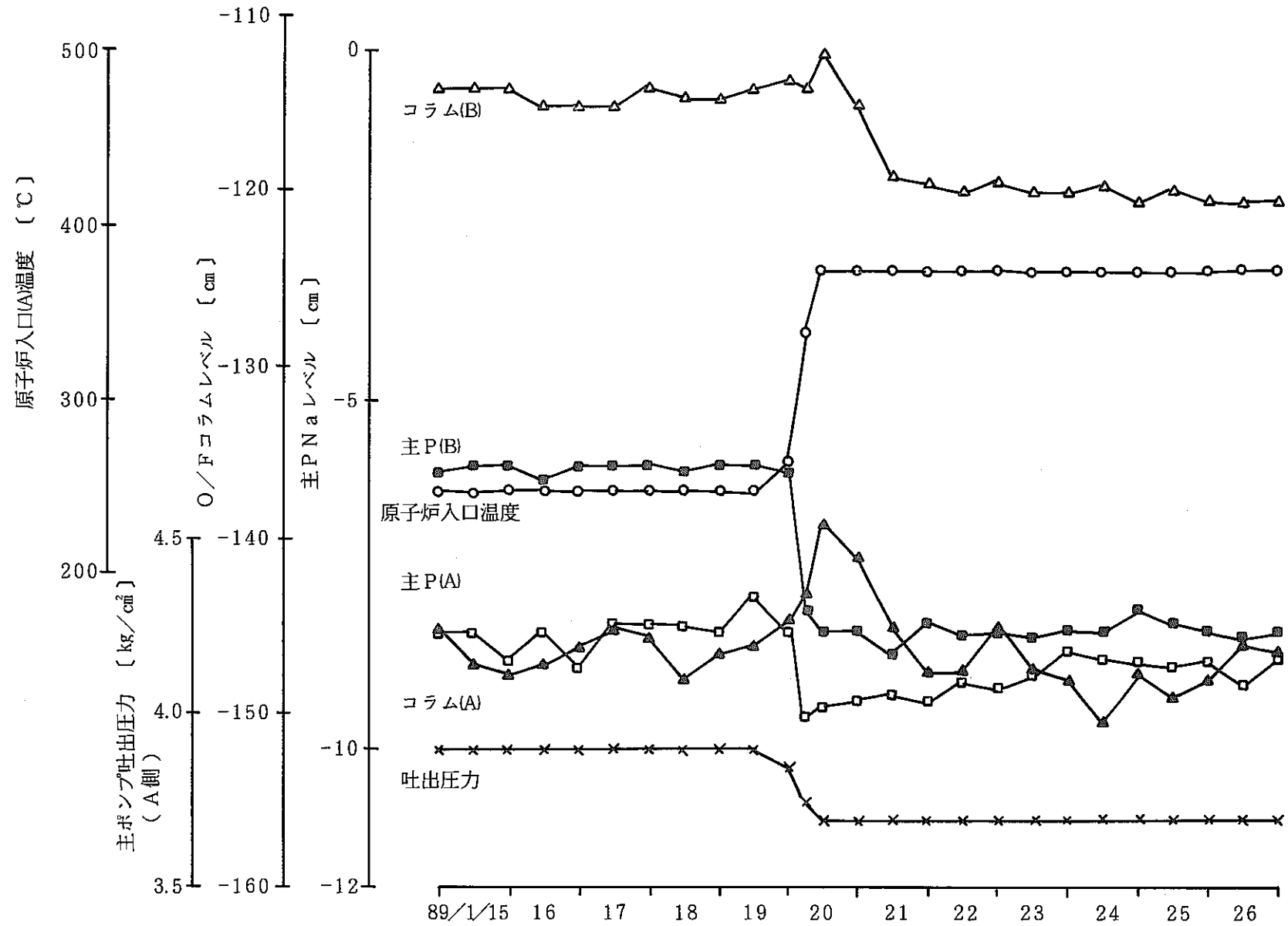


Fig. 4.6 Sodium Level Variation during Start Up Period of 17th Cycle for Newly Installed Probes

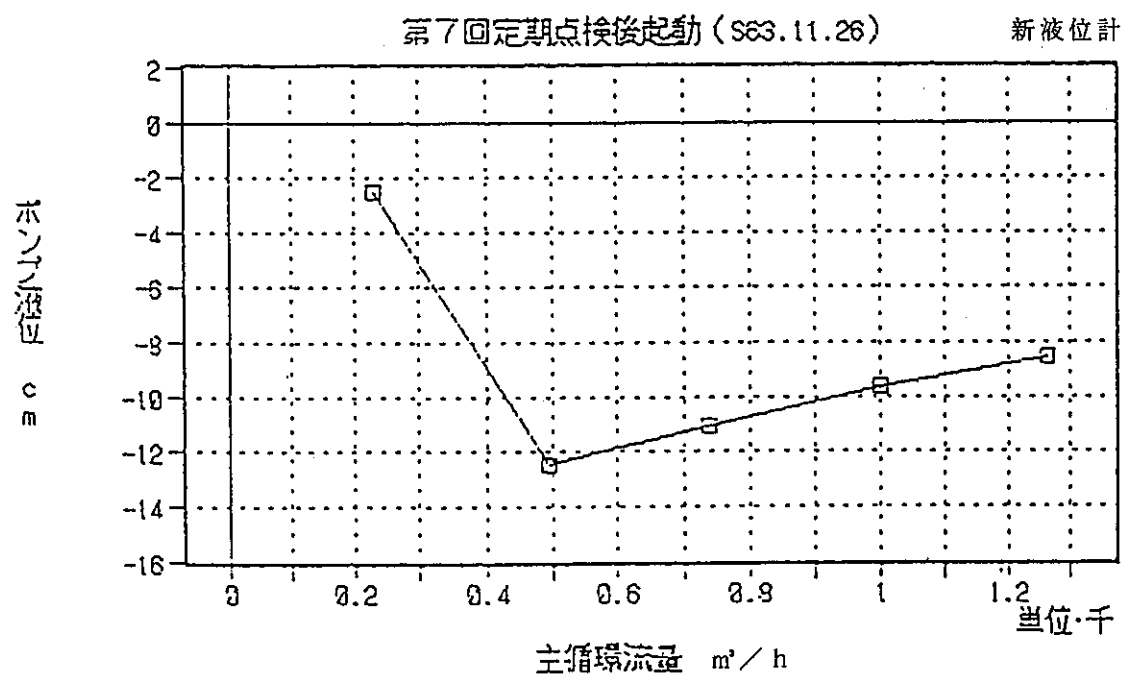
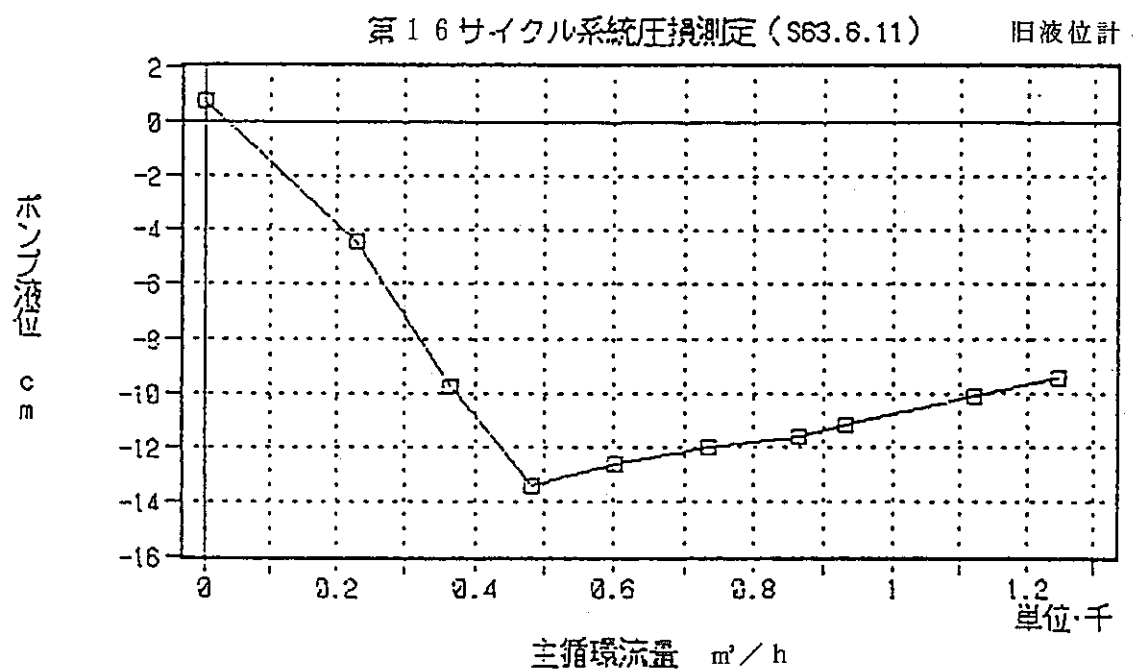


Fig. 4.7 Relation between Primary Main Flow Rate and Sodium Level in Pump (A)

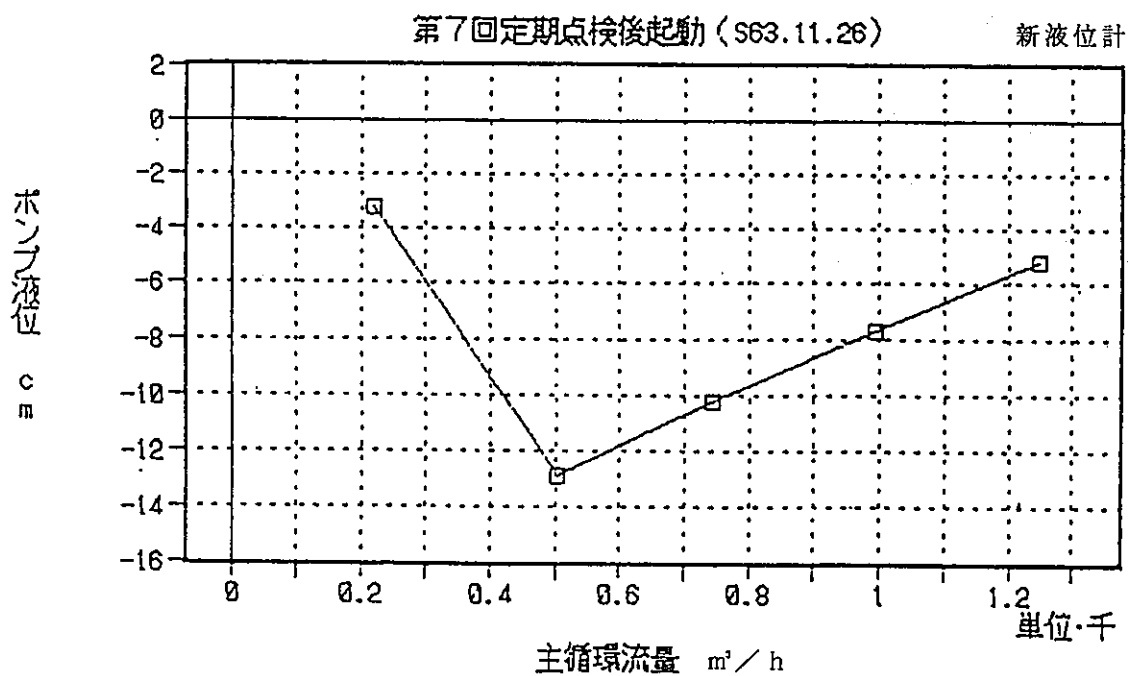
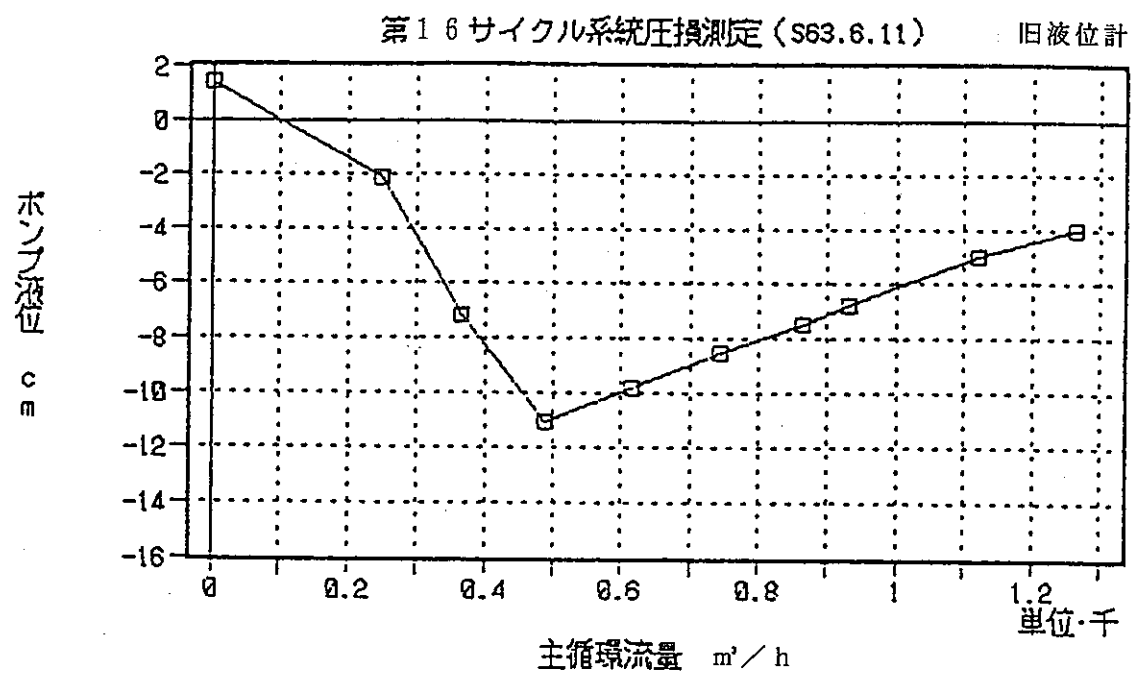


Fig. 4.8 Relation between Primary Main Flow Rate and Sodium Level in Pump(B)

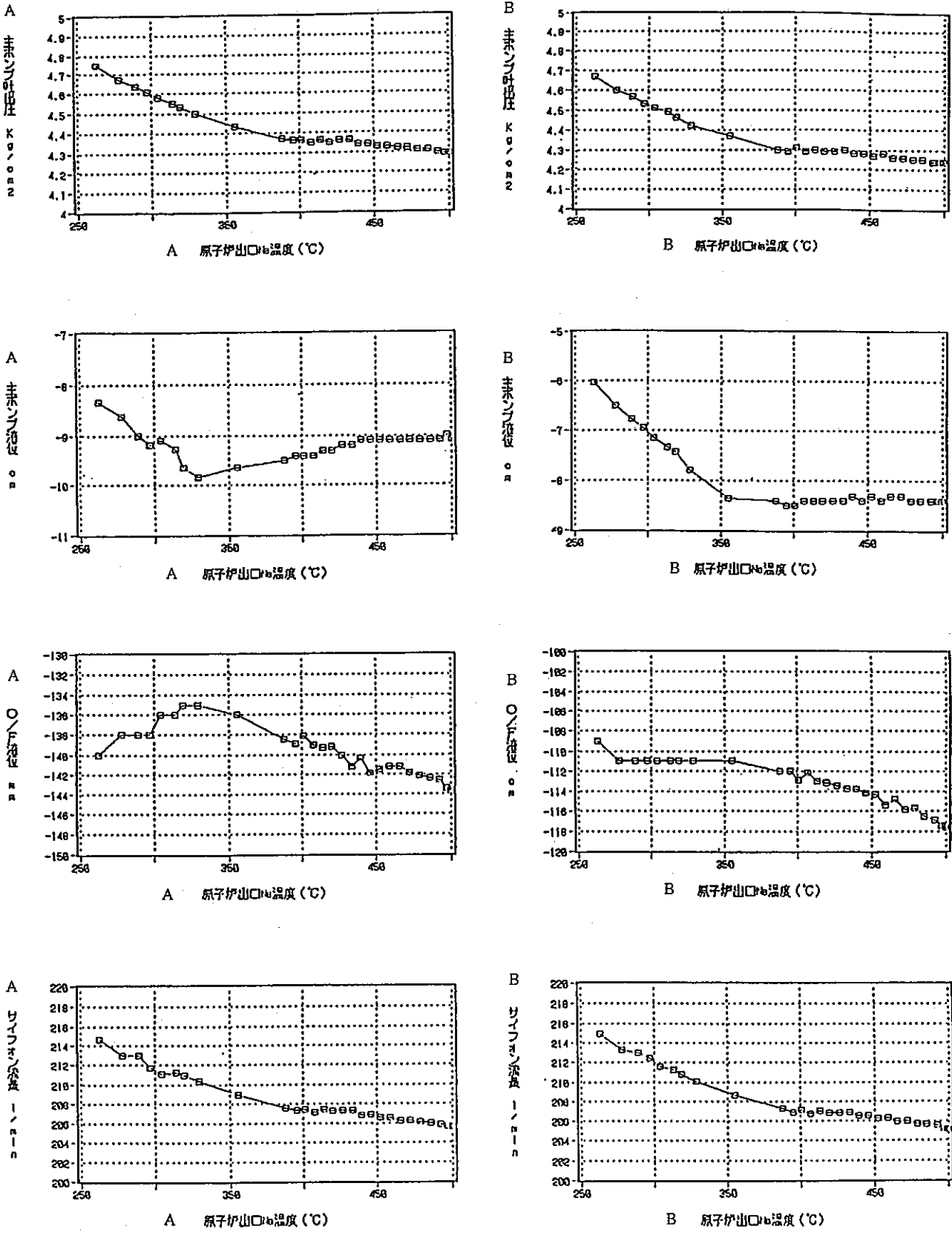


Fig. 4.9 Levelmeter Indication Variation during Start Up Period of 17th Cycle

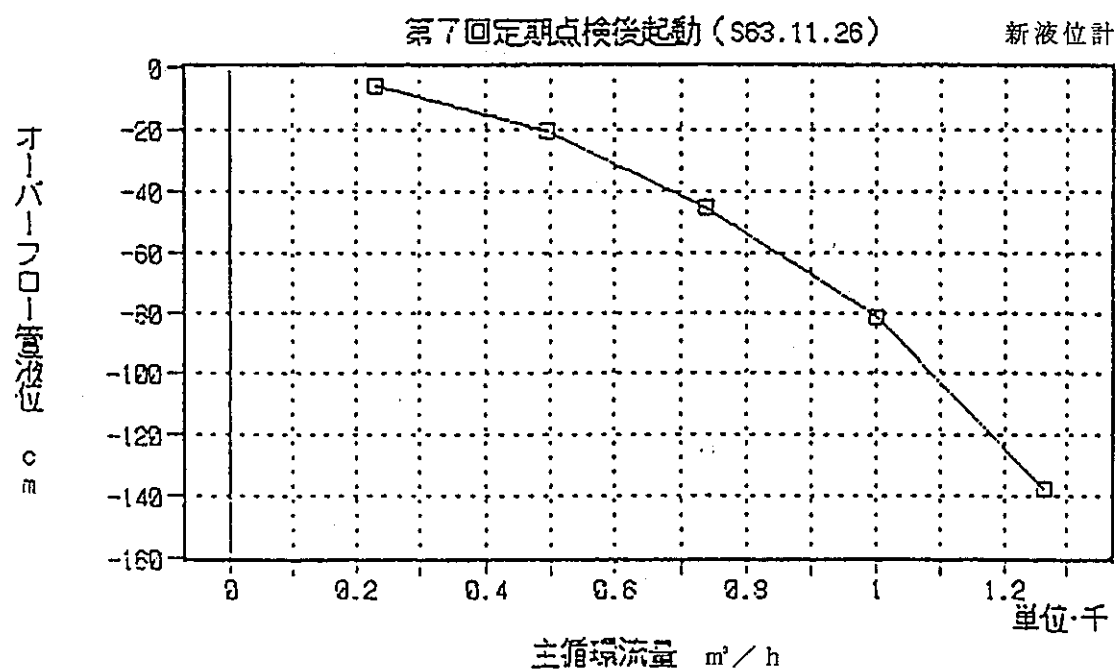
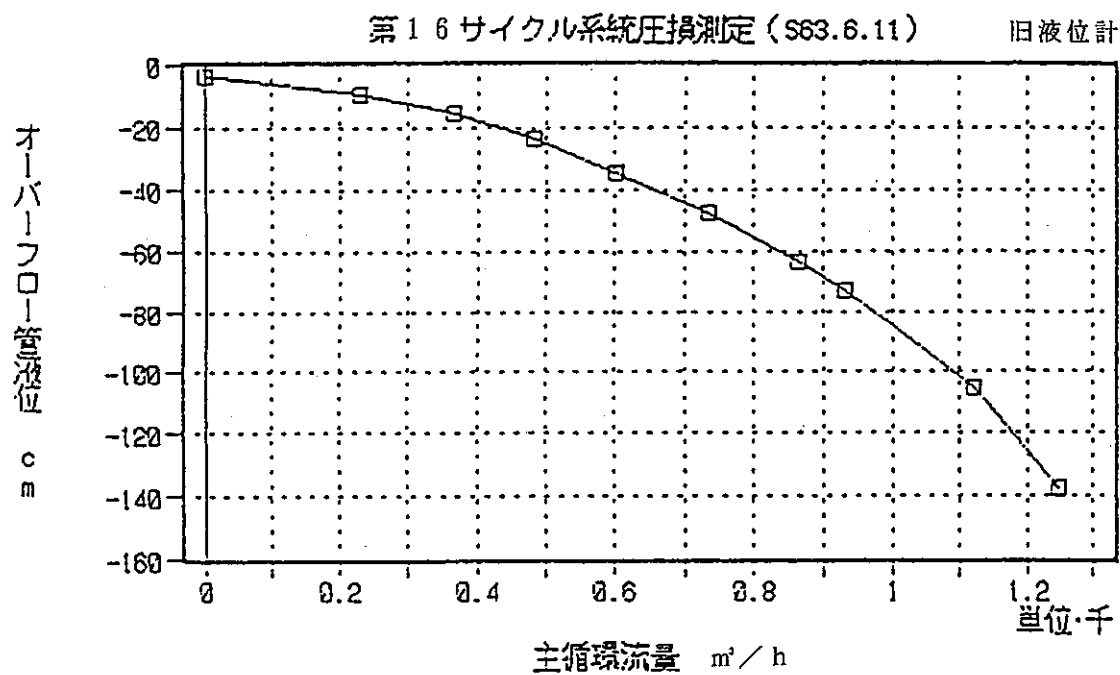


Fig. 4.10 Relation between Primary Main Flow Rate and Sodium Level in Over Flow Column (A)

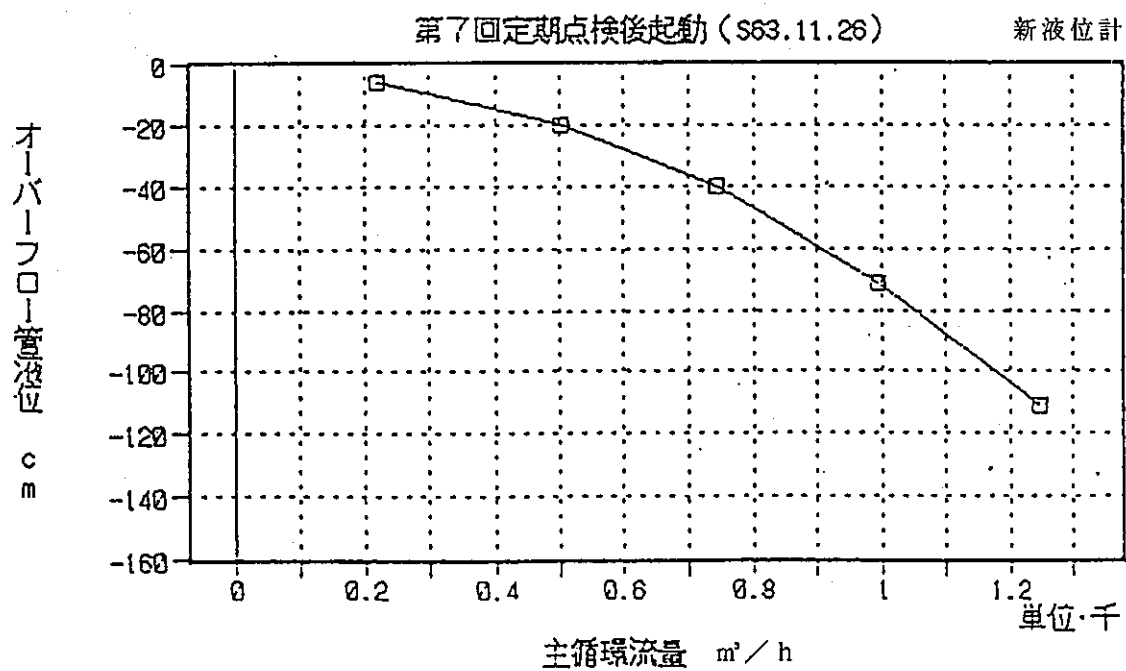
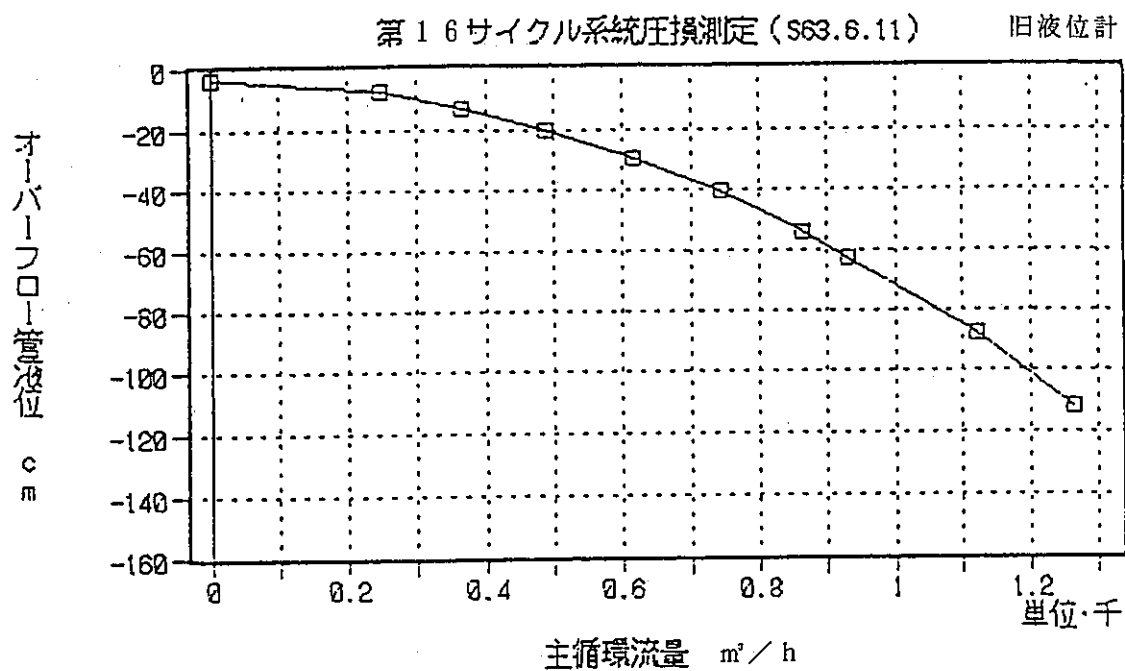


Fig. 4.11 Relation between Primary Main Flow Rate and Sodium Level in Over Flow Column(B)

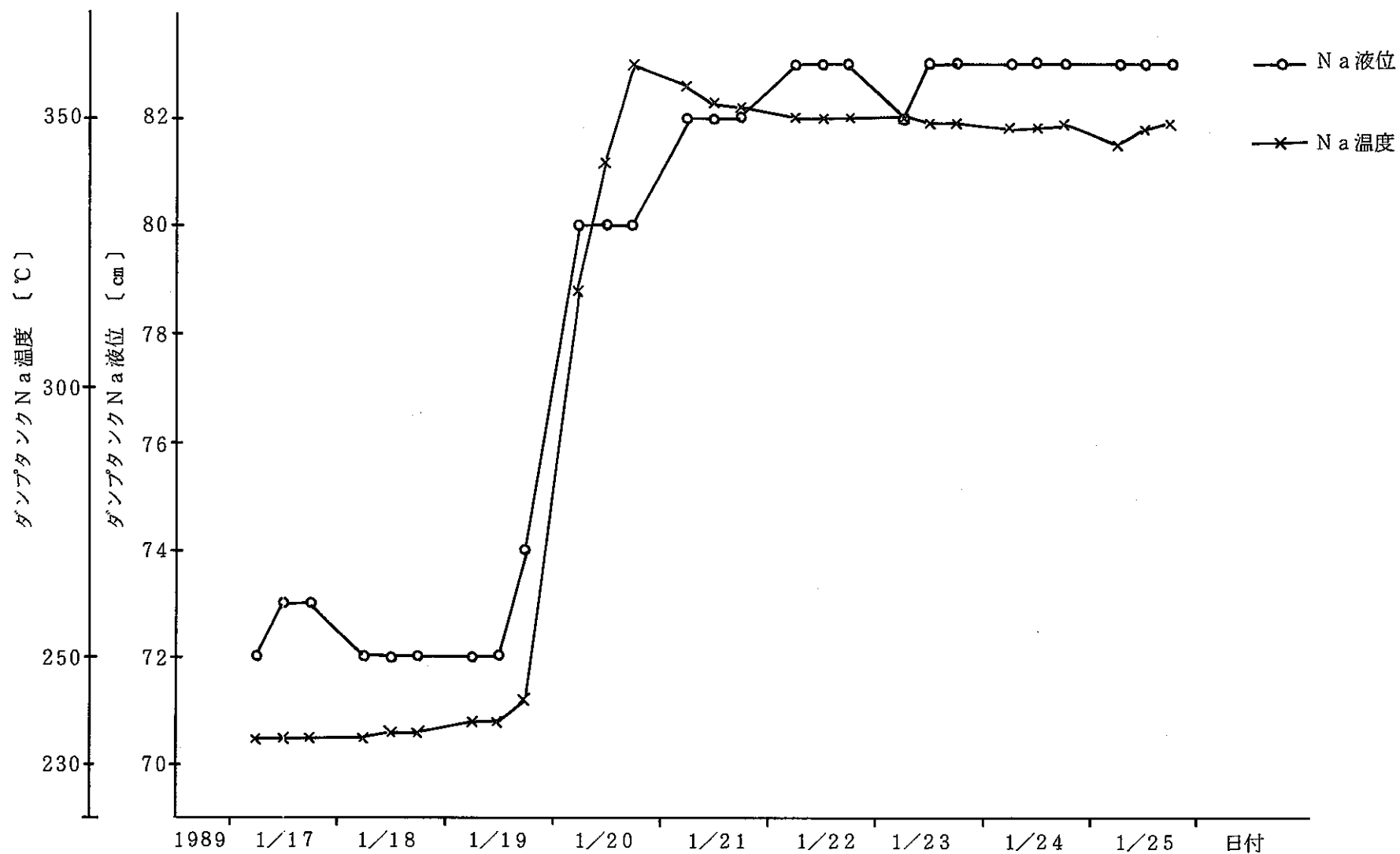
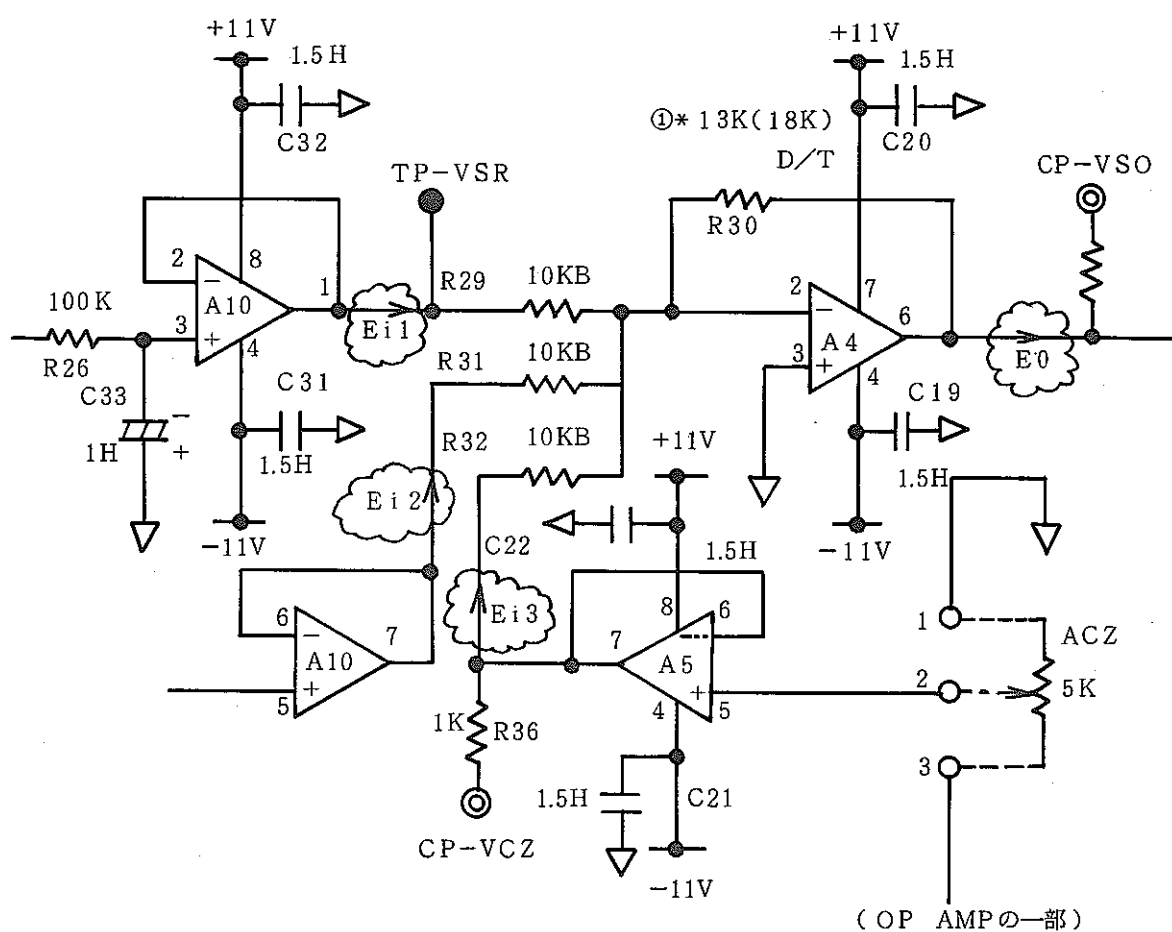


Fig. 4.12 Sodium Level Variations of Dump Tank during Start Up Period of 17th Cycle



$$E_0 = - \left( \underbrace{E_{i1} \frac{R_{30}}{R_{29}}}_{\text{Term 1}} + \underbrace{E_{i2} \frac{R_{30}}{R_{31}}}_{\text{Term 2}} + \underbrace{E_{i3} \frac{R_{30}}{R_{32}}}_{\text{Term 3}} \right)$$

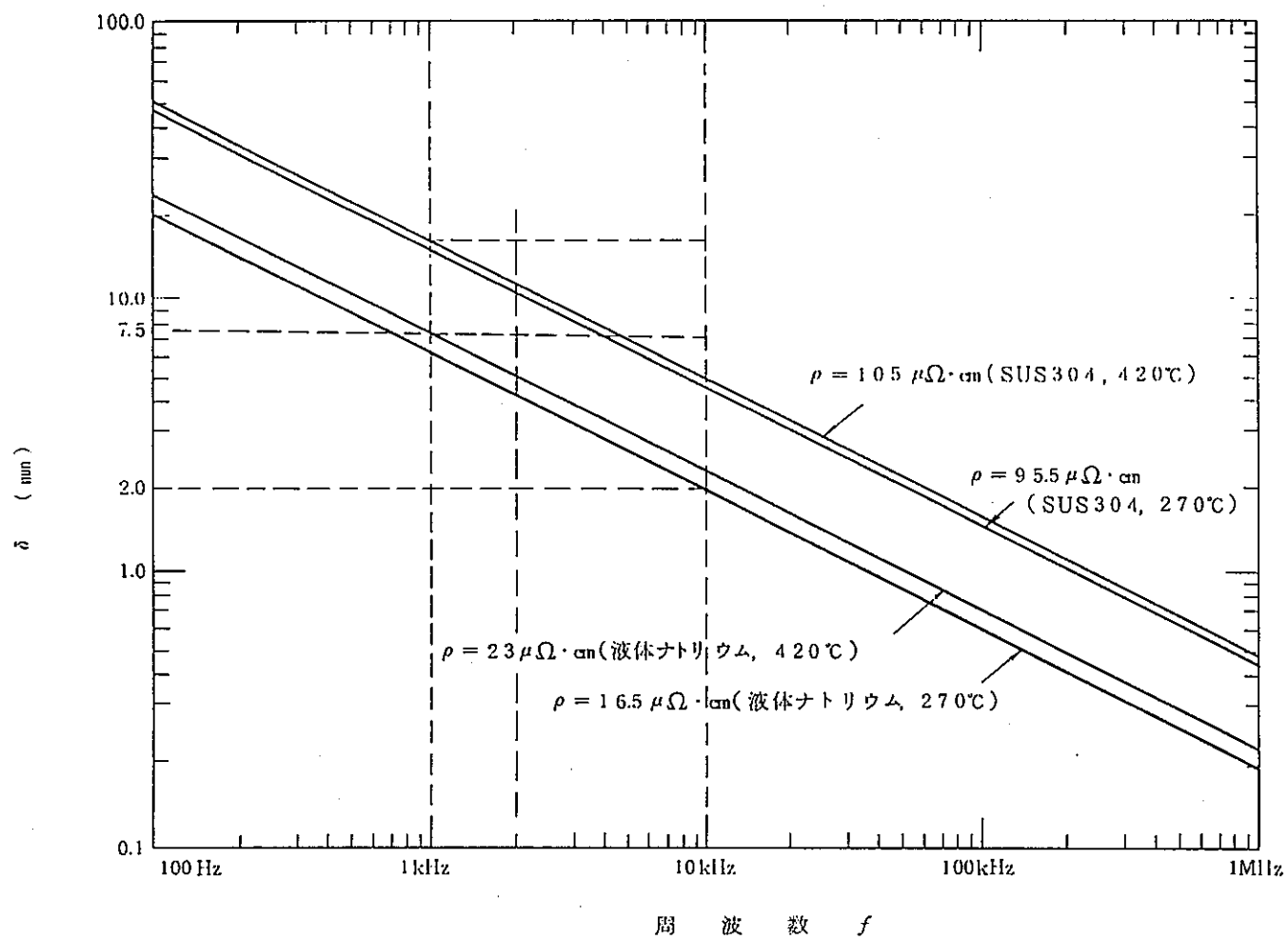
各入力が独立の式

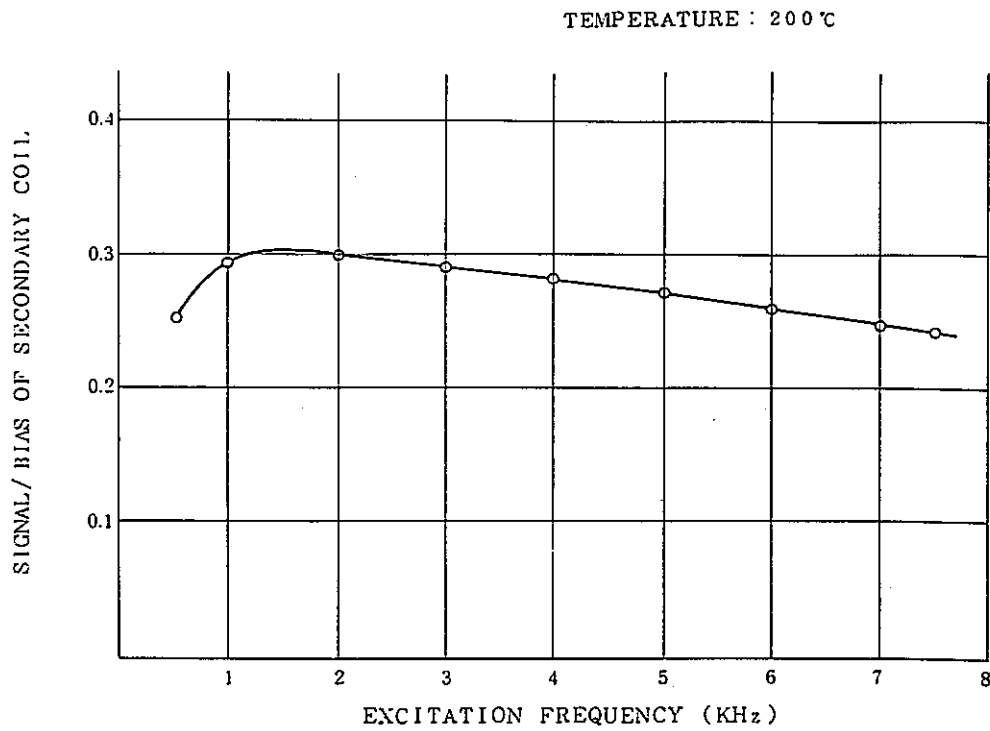
Fig. 5.1 Operational Amplifier Circuit

Table 5.1 Levelmeter Out Put Variations due to Differences of Well Diameter

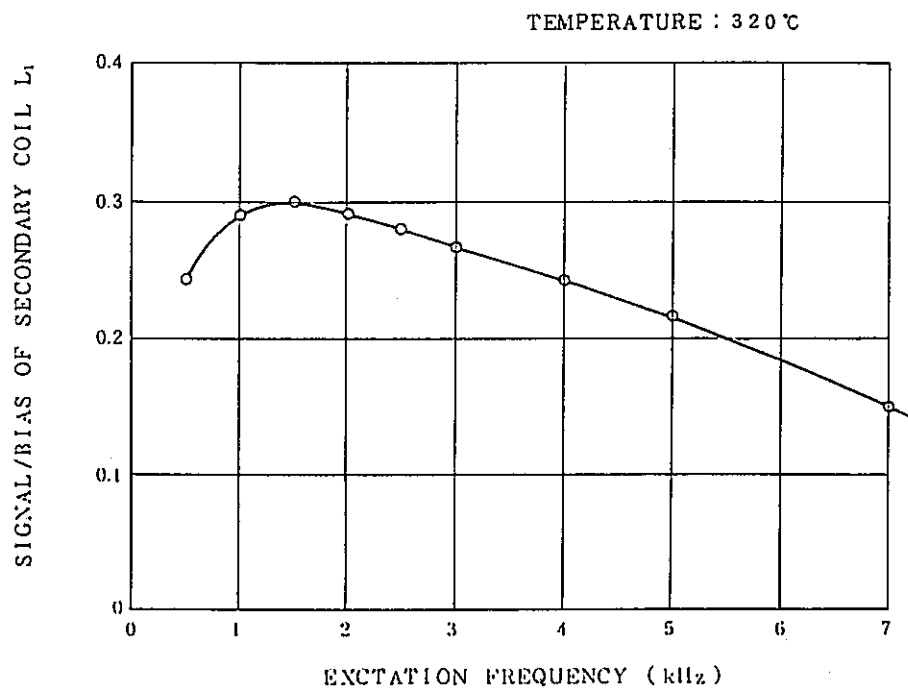
| A1内径                          | $\phi 22.5\text{mm}$ | $\phi 27.2\text{mm}$ | $\phi 29\text{mm}$ | 校正ループ実液<br>$\phi 27.2\text{mm}$ (SUS) |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 零 点 出 力                       | 2.00V                | 2.00V                | 2.00V              | 2.00V                                 |
| ス パ ン 出 力                     | 1.62V                | 1.73V                | 1.75V              | 1.78V                                 |
| 有 効 出 力<br>(零点－スパン)           | 0.38V                | 0.27V                | 0.25V              | 0.22V                                 |
| $\phi 22.5$ を100とし<br>た時の出力割合 | 100                  | 71                   | 66                 | 58                                    |
| ウ ェ ル 厚 さ                     | 38.75mm              | 36.4mm               | 30.5mm             | 1.65mm                                |

- ・  $\phi 22.5$ は主P及びコラム用ウェルに相当する。
- ・ ダンプタンク用ウェルは $\phi 20$ である。
- ・ A1パイプと実液 (Na) の材質の差及び温度の差 (A1は常温, 実液試験Na温度は200～450℃) によりスパン出力に違いが出て来ていると考えられる。
- ・ 校正ループのウェルの外側はナトリウムである。

Fig. 5.2 Permeable Depth of Magnetic Flux ( $1/e=36.8\%$ )



(a) 案内管なしの場合



(b) 案内管ありの場合

液位出力と励磁周波数の関係

Fig. 5.3 Relation between Sodium Levelmeter Out Put and Excitation Frequency