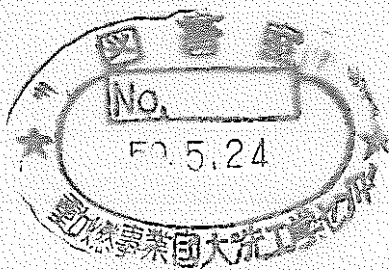


長尺ナトリウム液位計ナトリウム中試験

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 941 84-04
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1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)

長尺ナトリウム液位計ナトリウム中試験

久門靖尙* 荒木 等**
中本香一郎** 山本 研**

要 旨

原型炉「もんじゅ」の原子炉容器には、ナトリウム液位監視用として有効測定長約 5 m の誘導型液位計の設置が計画されている。

しかし従来の液位計は高々 2 m 長までの短い液位計であったため新たに実機寸法と同じ長尺液位計を製作し、その仕様を満足するかどうかを確認するためのナトリウム中試験を行った。

その結果ナトリウム温度 200℃～600℃において、実機要求精度 4 % を満足することが確認され、実機液位計設計製作の見通しが得られた。

なお、更に精度向上を計り得る液位計の設計改善法や、実機設置上の留意点などについての提言を合わせて行った。

* 現在：中国電力株式会社

** 高速炉機器開発部 機器開発室

In-Sodium Test of Long Length Level-Meter

Yasunao KUMON*, Hitoshi ARAKI**,
Koichiro NAKAMOTO** and Ken YAMAMOTO**

Abstract

It is planned that induction type level-meter of effective measurement length about 5m is installed for monitoring of sodium level in reactor vessel of "MONJU" plant.

Length of level-meters made so far were less than 2m. So long length level-meter which had same length for real plant was fabricated, and in-sodium tests for confirmation of performance as "MONJU" plant instrument were conducted.

From these tests, it was found that "MONJU" plant requirement on measurement accuracy (4%) was satisfied, and prospect of design and fabrication for real plant was obtained.

And some propositions were given which were about improvement design of the level-meter property and caution at the installation into the reactor vessel.

*; Present address: Chugoku Electric Power Co.
**; FBR Systems and Components Division

目 次

1. 緒 言	1
2. 長尺ナトリウム液位計の概要	2
3. 試験装置の概要	9
3.1 計器校正装置	9
3.2 基準液位計（11固定点式液位計）	9
3.3 可動式液位計	11
4. 試験方法	19
4.1 ナトリウム中試験	19
4.2 応答性試験	19
4.3 模擬振れ止め取り付けによる影響試験	19
4.4 耐久試験	20
4.5 可動式液位計による確認試験	20
4.6 測定計器	25
5. 試験結果，検討	27
5.1 ナトリウム中試験（第1回調整後）	27
(1) 連続式液位計	28
a. 直 線 性	28
b. 再 現 性	29
c. 精 度	29
d. 温度影響	30
e. ヒステリシス特性	31
(2) 校正点液位計	31
a. 精 度	31
b. 再 現 性	31
(3) 試験結果のまとめ	32
a. 連続式液位計	32
b. 校正点液位計	33
c. 参 考	33

5.2 ナトリウム中試験（第2回調整後）	33
(1) 連続式液位計	33
a. 直線性	33
b. 再現性	34
c. 精度	34
d. 温度影響	35
e. ヒステリシス特性	35
(2) 校正点液位計	36
a. 精度	36
b. 再現性	36
(3) 試験結果のまとめ	36
a. 連続式液位計	37
b. 校正点液位計	37
c. 参考	37
5.3 応答性試験	38
5.4 模擬振れ止め取り付けによる影響試験	38
5.5 耐久試験	40
5.6 可動式液位計による確認試験	41
5.7 工場試験（参考）	42
6. 試験期間中のトラブル	85
6.1 長尺ナトリウム液位計	85
6.2 基準液位計	86
6.3 計器校正装置	94
7. 結 言	98
7.1 試験のまとめ	98
7.2 設計への提言	100
8. 謝 辞	102
9. 参考文献	103

図 リ ス ト (List of Figures)

2-1	長尺液位計ブロック図	4
	(Block Diagram of Long Length Level-Meter)	
2-2	検出器外形寸法図 (長尺液位計)	8
	(Probe Structure (Long Length Level-Meter))	
3-1	計器校正装置系統図	12
	(Instruments Calibration Loop)	
3-2	ナトリウム液位計取付寸法図	13
	(Dimension of the Level-Meters)	
3-3	基準液位計ブロック図	14
	(Block Diagram of Standard Level-Meters)	
3-4	検出器外形寸法図 (基準液位計)	16
	(Probe Structure (Standard Level-Meters))	
3-5	可動式液位計駆動装置 (概念図)	18
	(Movable Level-Meter Driving System)	
4-1	長尺液位計ナトリウム中試験信号系統接続図	21
	(Signal Connection at Long Length Level-Meter in-Sodium Test)	
4-2	長尺液位計応答性試験接続図	22
	(Block Diagram of Long Length Level-Meter Response Test)	
4-3	振れ止め (模擬) 寸法図	23
	(Support Flange to Level-Meter Vibration)	
4-4	「もんじゅ」実機の液位計案内管サポート (振れ止め) 取り付け概念図	24
	(Support System of Level-Meter in "MONJU" Reactor Vessel)	
5-1	試験日程表	47
	(Time Schedule of Experiments)	
5-2	直線性試験 1 (長尺液位計)	48
	(Linearity Test 1 (Long Length Level-Meter))	
5-3	再現性 1 (長尺液位計)	49
	(Repeatability 1 (Long Length Level-Meter))	

5-4	温度影響 1 (長尺液位計)	5 0
	(Degree of Temperature Dependence 1 (Long Length Level-Meter))	
5-5	ヒステリシス特性 1 (長尺液位計)	5 1
	(Hysteresis 1 (Long Length Level-Meter))	
5-6	ナトリウム中試験記録 (レベル上昇時)	5 2
	(Recorder Chart of Level-Meter Output)	
5-7	2 次コイル出力特性 1	5 4
	(Output of Secondary Coil 1)	
5-8	温度検出コイル出力特性 1	5 5
	(Output of Temperature Detection Coil 1)	
5-9	温度補償回路入力信号 1	5 6
	(Signals for Temperature Compensation Circuit 1)	
5-10	1 次コイル入力特性 1	5 7
	(Primary Coil Performance 1)	
5-11	校正点用コイル出力特性 1 (H 点)	5 8
	(Output of Calibration Coil 1 (H-Point))	
5-12	校正点用コイル出力特性 1 (L 点)	5 9
	(Output of Calibration Coil 1 (L-Point))	
5-13	直線性試験 2 (長尺液位計)	6 0
	(Linearity Test 2 (Long Length Level-Meter))	
5-14	再現性 2 (長尺液位計)	6 1
	(Repeatability 2 (Long Length Level-Meter))	
5-15	温度影響 2 (長尺液位計)	6 2
	(Degree of Temperature Dependence 2 (Long Length Level-Meter))	
5-16	ヒステリシス特性 2 (長尺液位計)	6 3
	(Hysteresis 2 (Long Length Level-Meter))	
5-17	2 次コイル出力特性 2	6 5
	(Output of Secondary Coil 2)	
5-18	温度検出コイル出力特性 2	6 6
	(Output of Temperature Detection Coil 2)	

5-19	温度補償回路入力信号 2	67
	(Signals for Temperature Compensation Circuit 2)	
5-20	1次コイル入力特性 2	68
	(Primary Coil Performance 2)	
5-21	校正点用コイル出力特性 2 (H点)	69
	(Output of Calibration Coil 2 (H-Point))	
5-22	校正点用コイル出力特性 2 (L点)	70
	(Output of Calibration Coil 2 (L-Point))	
5-23	応答性試験 (その 1)	71
	(Recorder Chart of Time Response Test (1))	
5-24	応答性試験 (その 2)	72
	(Recorder Chart of Time Response Test (2))	
5-25	模擬振れ止め取り付けによる影響試験	73
	(Effect of Vibration Protection Flange on Level-Meter)	
5-26	長尺液位計耐久試験記録	74
	(Recorder Chart of Endurance Test on Level-Meter)	
5-27	可動式液位計による確認試験 (その 1)	75
	(Confirmation Test by Movable Level-Meter (1))	
5-28	可動式液位計による確認試験 (その 2)	76
	(Confirmation Test by Movable Level-Meter (2))	
5-29	可動式液位計温度分布 (200℃時)	77
	(Temperature Distribution on Movable Level-Meter (200℃))	
5-30	可動式液位計温度分布 (300℃時)	78
	(Temperature Distribution on Movable Level-Meter (300℃))	
5-31	可動式液位計温度分布 (400℃時)	79
	(Temperature Distribution on Movable Level-Meter (400℃))	
5-32	可動式液位計温度分布 (500℃時)	80
	(Temperature Distribution on Movable Level-Meter (500℃))	
5-33	可動式液位計温度分布 (600℃時)	81
	(Temperature Distribution on Movable Level-Meter (600℃))	

5-34	可動式液位計温度分布 (200℃時, 短期測定)	82
	(Temperature Distribution on Movable Level-Meter at Prompt Measurement (200℃))	
5-35	可動式液位計補正曲線	83
	(Correction Curve on Movable Level-Meter)	
5-36	アルミパイプによる模擬試験 (連続式液位計)	84
	(Level-Meter Calibration Test by Aluminum Pipe)	
6-1	基準液位計動作説明	88
	(Description of Standard Level-Meter Operation)	
6-2	基準液位計ブロック図 (改造後)	89
	(Block Diagram of Standard Level-Meter)	

写 真 リ ス ト (List of Photos)

2-1	液位計の増幅器外観	6
	(Outer view of Level-Meter Amplifier)	
2-2	液位計の検出器外観	7
	(Outer view of Level-Meter Probe)	
4-1	長尺液位計用振れ止め (模擬) 取り付け状態	23
	(Settling Situation of Support Flange on Level-Meter Well)	

表 リ ス ト (List of Tables)

2-1	長尺液位計の仕様	5
	(Specifications of Long Length Level-Meter)	
3-1	基準液位計 (11 固定点式液位計) の仕様	15
	(Specifications of Standard Level-Meter)	
3-2	可動式液位計の仕様	17
	(Specifications of Movable Level-Meter)	
5-1	精度 (第1回調整後)	53
	(Accuracy of Level-Meter (After First Adjustment))	
5-2	校正点液位計の精度 (第1回調整後)	53
	(Accuracy of Calibration Point (After First Adjustment))	
5-3	精度 (第2回調整後)	64
	(Accuracy of Level-Meter (After Second Adjustment))	
5-4	校正点液位計の精度 (第2回調整後)	64
	(Accuracy of Calibration Point (After Second Adjustment))	

1. 緒 言

高速増殖炉用のナトリウム液位計として、各種の誘導型液位計が開発され、ナトリウム中での試験を通じ、種々改造が加えられた結果、有効測定長 2 m 以下のものについては、多大の成果が報告されている。

本報は、原型炉「もんじゅ」の原子炉容器に取り付ける目的で開発された、有効測定長 5 m の誘導型液位計（東芝製）について、精度、温度影響等の計器特性が実機仕様を満足するかどうかを確認するために実施したナトリウム中試験結果について述べたものである。

この液位計は、有効測定長 5 m（全長約 7.7 m）の長尺液位計であり、この連続式液位部の他に、2 点の校正用液位計を内蔵し、温度補償コイルからの信号を用いて温度補正する、定電流励磁方式の誘導型連続式液位計である。

なお、耐震、強度上の考慮から、液位計の検出器は従来のものに比し、増径化等が特徴としてあげられる。（ウェル外径 60.5 mm，従来のもの約 30 mm）

なお、原型炉「もんじゅ」においては、原子炉容器の他、一次主循環ポンプにおいても、長尺の液位計の設置が計画されている。

2. 長尺ナトリウム液位計の概要

本報で取り扱う長尺ナトリウム液位計（以下長尺液位計という）は、連続式液位計と校正点液位計から成り、前者は検出器の1次コイルに一定周波数で定電流の励磁電流を与え、2次コイルに誘起される（ナトリウムレベルに比例した）出力電圧を演算処理して、ナトリウム液位信号を取り出す誘導型の連続式ナトリウム液位計である。

Fig.2-1 に本液位計のブロック図を示す。

温度補償は、2次コイルからの（ナトリウムレベル）検出信号に、温度補償コイルからの信号を整流、増幅後与え、演算処理して補正する方式である。

また、この液位計には校正用液位計（校正点液位計）が、自己校正用として内蔵され（有効測定長に対して）30%点、70%点に取り付けられている。

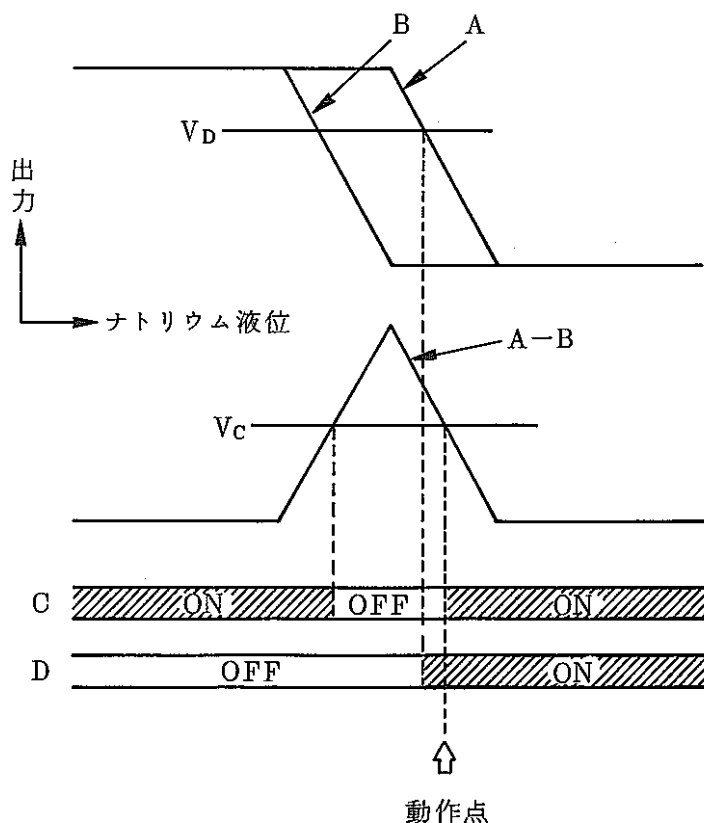
この液位計の設計仕様を Table.2-1 に示す。

液位計の増幅器、及び検出器外観については、Photo.2-1, Photo.2-2 に示す。

検出器の外形寸法図は Fig.2-2 に示した。

本液位計に内蔵されている校正点液位計（以下校正点という）は、連続式液位計と共通の励磁コイルである1次コイル、上部及び下部コイルで構成される。

この上部及び下部コイルの検出信号を演算処理して、液位が基準より高いか低いかを判別し、リレーを動作させると共にランプ表示する。



すなわち、上部コイルからの出力信号（整流、増幅後の出力）をA、下部コイルからの出力信号（同）をBとすれば、ナトリウム液位に対し、左図の関係が与えられ、これらの信号の演算後の出力（ $A-B$ ）は左図の如き出力となる。

この出力を一定電圧 V_C と比較して、Cの出力を得る。

一方、Aの出力信号を一定電圧 V_D と比較させ、Dの出力を得た

後，このD出力信号とC出力信号のAND条件を取れば，ナトリウム液位の一点が動作点となる。液位が動作点以上でリレーが励磁してランプが点灯し，動作点以下でリレーが無励磁となりランプ消灯することにより液位が基準点以上か以下かの表示をするようになっている。（Fig.2-1 参照のこと。）

なお，連続式液位計の原理については，既報⁽²⁾を参照されたい。

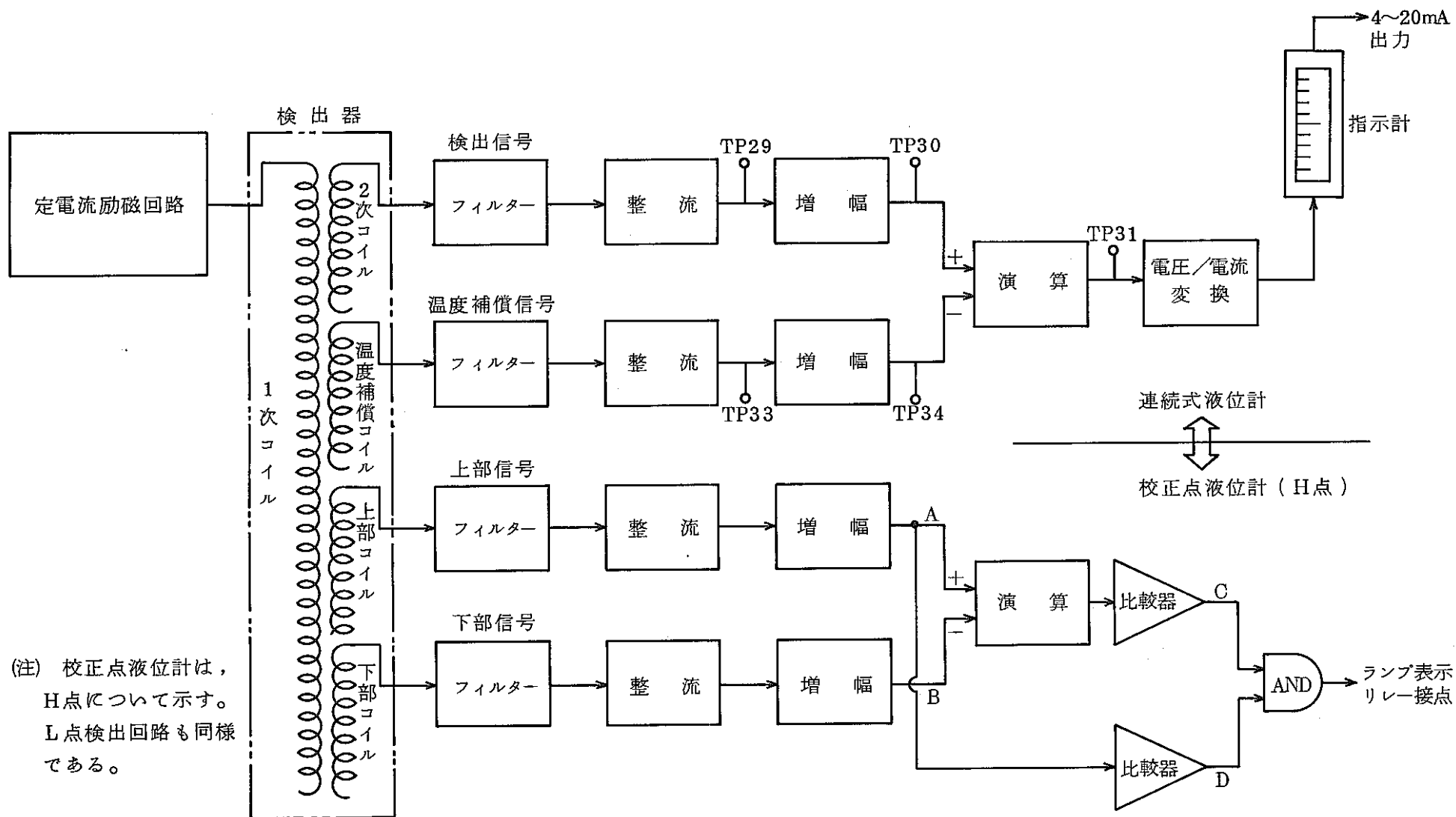


Fig. 2-1 長尺液位計ブロック図

Block Diagram of Long Length Level-Meter

Table.2-1 長尺液位計の仕様

Specifications of Long Length Level-Meter

(1) 検出器の仕様

型 式	誘導型連続式，東京芝浦電気製
有効測定長	5,000 mm
使用温度	200℃～600℃
校正点	(有効測定長の) 30%点，70%点
耐 圧	6 kg/cm ² g
絶縁抵抗	5 MΩ以上

(2) 増幅器 (コントロールユニット) の仕様

電 源	AC100V，50Hz
連続出力信号	DC4～20 mA
	負荷抵抗 0～500 Ω
校正点出力信号	リレー接点 (AC200V，3A，DC24V，3A，無誘導負荷)
電氣的溫度補償範囲	200℃～600℃
周囲温度範囲	0～50℃

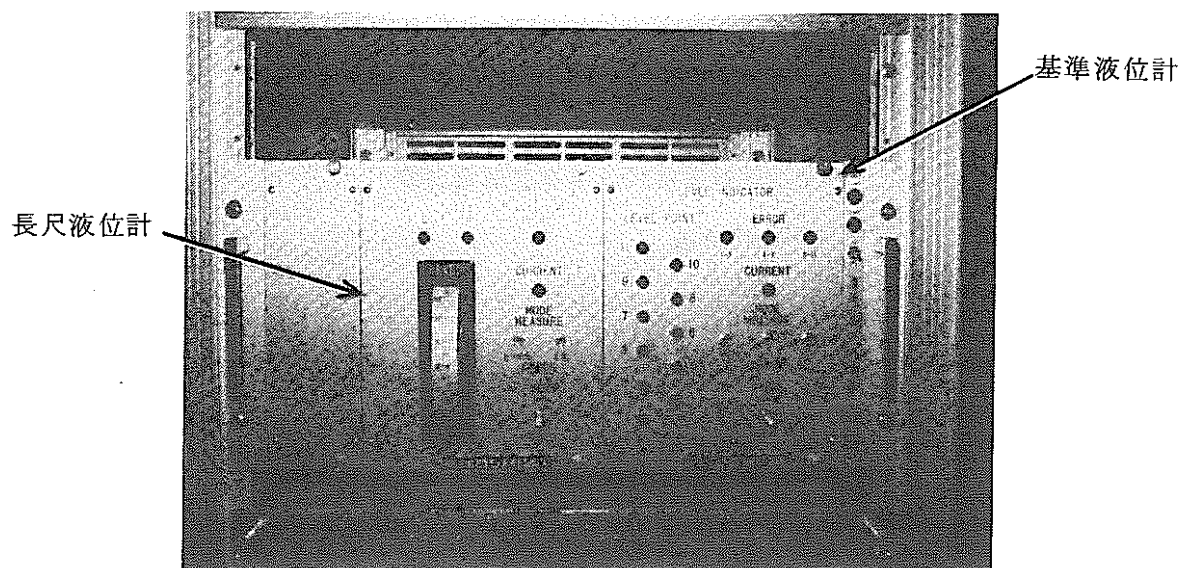
(3) 組合せ仕様 (目標)

a. 連続式液位計

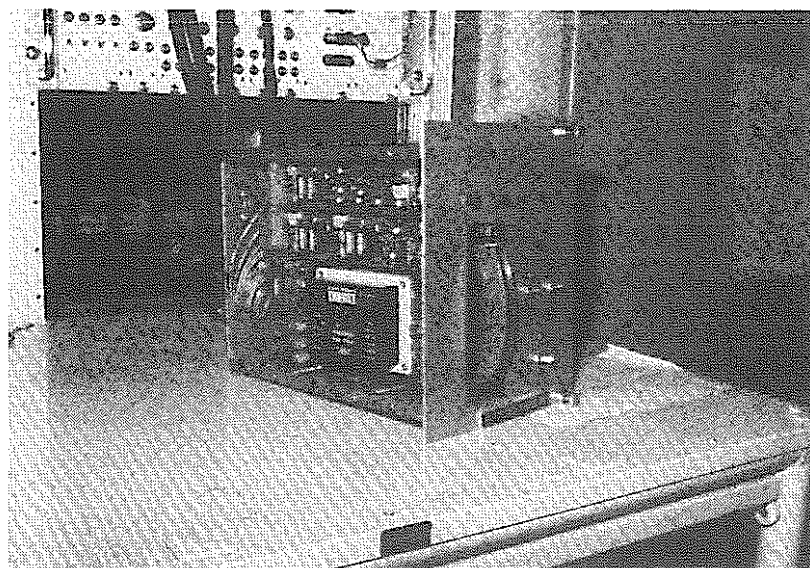
直 線 性	±1.5 % F.S
再 現 性	±0.5 % F.S
精 度	±2 % F.S (但し，温度影響値は含まないものとする。)
温度影響値	±1.5 % F.S (ナトリウム温度 200℃～600℃)

b. 校正点液位計

精 度	±2.5 mm (±0.5 % F.S)
再 現 性	±1.0 mm (±0.2 % F.S)



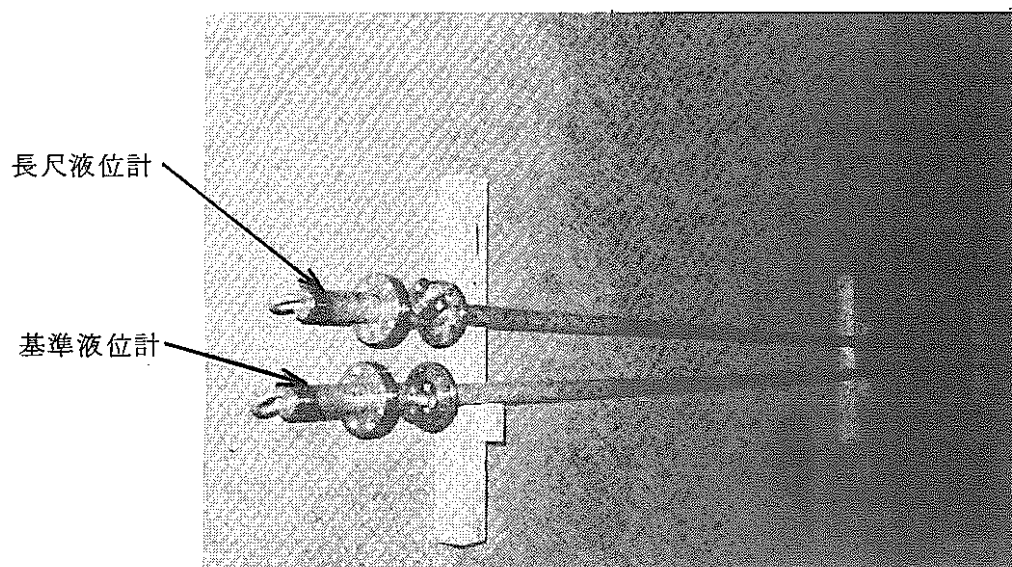
基準液位計及び長尺液位計の増幅器
(コントロールユニット)



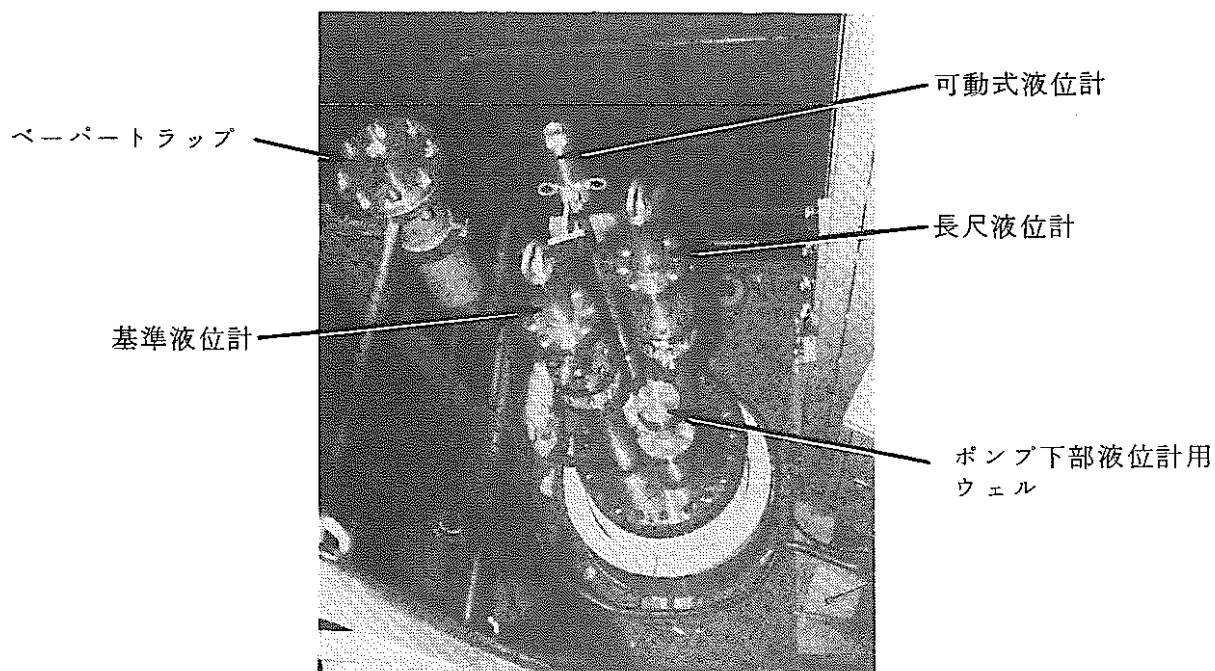
試験中の長尺液位計の増幅器
(計装ラックから取出し中)

Photo.2-1 液位計の増幅器外観

Outer view of Level-Meter Amplifier



基準液位計及び長尺液位計の検出器



計器校正容器への液位計取り付け状態

Photo.2-2 液位計の検出器外観

Outer view of Level-Meter Probe

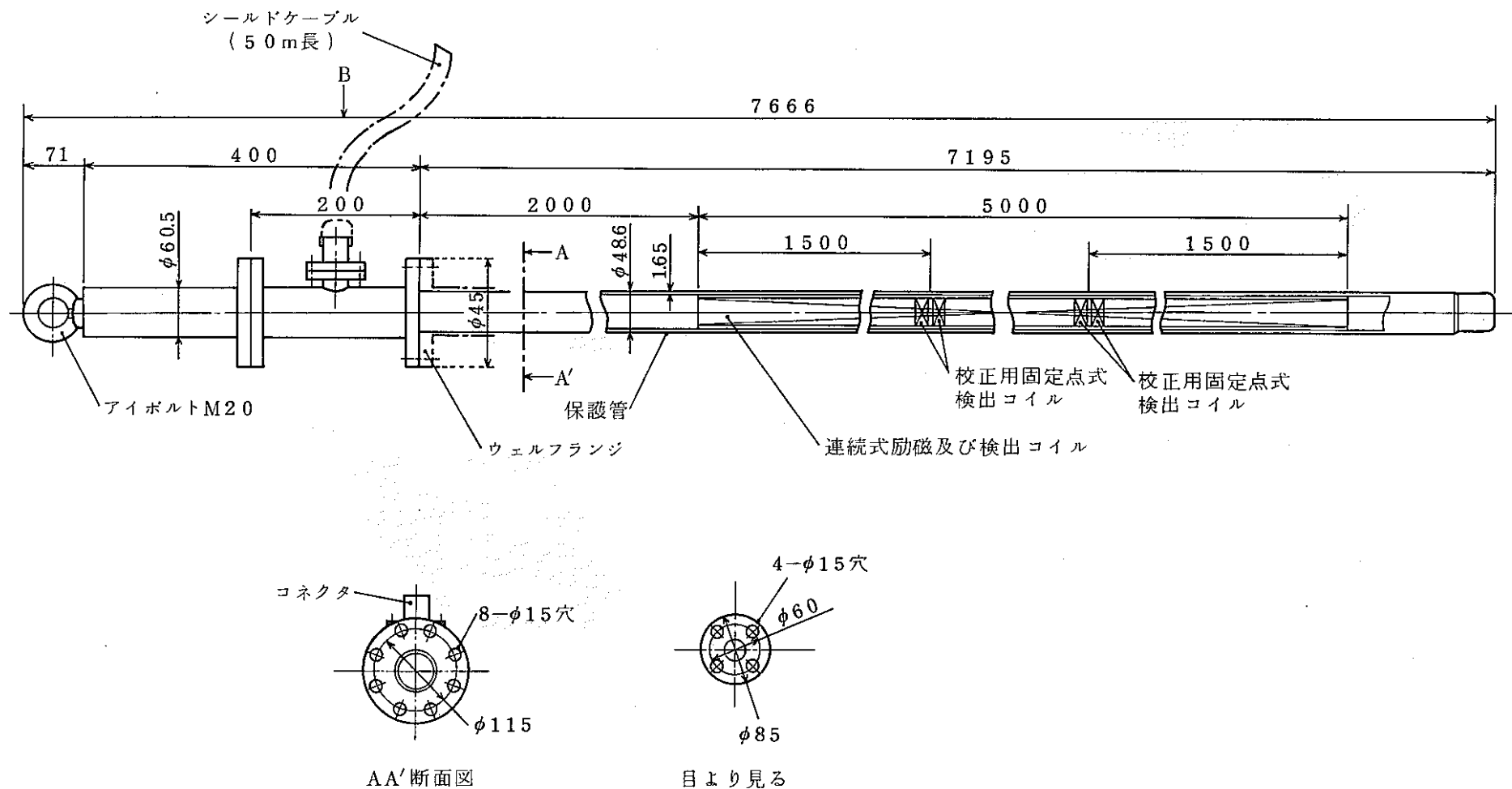


Fig.2-2 検出器外形寸法図 (長尺液位計)

Probe Structure (Long Length Level-Meter)

3. 試験装置の概要

3.1 計器校正装置

長尺液位計のナトリウム中試験を実施した計器校正装置の系統図を Fig.3-1 に示す。

この装置は、計器校正容器，24^B超音波流量計，ポンプ軸変位計試験装置等で構成され，高速増殖炉用の各種計測器のナトリウム中での校正，及び試験を行うため設置されたものである。

長尺液位計は，計器校正容器に取り付けられ，24^B超音波流量計ダクト部をダンプタンク替わりとして使用し，この計器校正容器内のナトリウムレベルを上昇，降下させることで試験される。

ナトリウムレベルの上昇は，電磁ポンプまたは高圧Arガス系統からの加圧により行ない，レベル降下は自然落下により行う。

なお，レベルの上昇，降下速度は，NV-1弁の開度により調整した。

計器校正容器，24^B超音波流量計等，系統の予熱はシースヒーターによるON-OFF制御により600℃まで温度上昇することができる。

Fig.3-2 に長尺液位計，及び基準液位計として使用した11固定点式液位計の取り付け寸法図を示す。

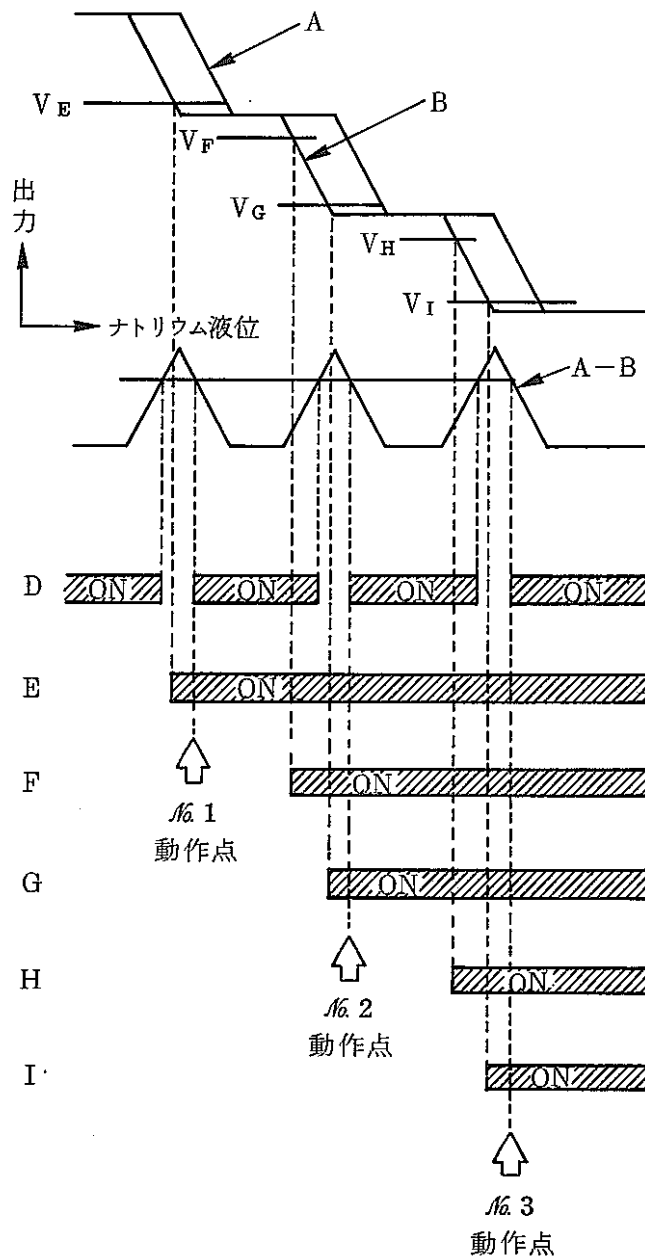
これらの液位計は，将来実施される予定のポンプ上部及び下部液位計等の取り付け寸法を考慮し，アダプターを介して取り付けられた。

3.2 基準液位計（11固定点式液位計）

長尺液位計のナトリウム中試験時，基準液位計として使用した11固定点式液位計は，2.(1)で述べた校正点液位計と原理的には同じであり，校正点液位計が11点取り付けられていると考えることができる。

しかし，この様に多くの液位計を取り付けた場合，そのリード線の数は約50本に達し，製作上の不備が生ずる。そこで，この液位計においては，11の固定点式液位計（以下固定点という）を3つのブロックに分け，そのブロック内の上部コイル，下部コイルは，それぞれ直列接続させリード線の数を減少させる方法が取られている。

Fig.3-3 に本液位計のブロック図を示す。但し，このブロック図は上述の3つの



ブロックの内の1つである下部回路について示したものである。

この図における上部コイル，下部コイルは， $\#1 \sim \#3$ のそれぞれについて直列接続されたものを，1つのコイルとして表わしている。

これらのコイルのナトリウム液位に対する出力信号A，Bは左図の如く表わされ，2.(1)で述べた原理により， $\#1 \sim \#3$ の動作点が与えられる。

ここで，D信号は左図の如きON，OFF動作を行うため，ANDロジックのみでは， $\#1$ 固定点は $\#2$ （及び $\#3$ ）動作前後のD信号OFF領域において，不動作となる。

この不具合を解消させるため，F信号をORロジックに組込んでいる。（ $\#2$ 固定点についてはH信号）

なお，ブロック図に示される，B信号は温度補償信号Cを補正された後比較器に入れられるが，説明上こ

の点を省略した。

また，この液位計は，上述の如き2点の設定値をとる必要性があるため，ナトリウム液位に対し，より大きな出力差を得ることが望ましい。この点から，検出器のコイルポピンには磁性体が採用されている。

Table.3-1に本液位計の仕様を示す。

Fig.3-4には検出器外形寸法図を示す。

なお，増幅器外観，液位計の検出器外観については，Photo.2-1，Photo.2-2を参照されたい。

3.3 可動式液位計

基準液位計（11 固定点式液位計）の動作位置を確認する目的で設置された可動式液位計は、計器校正容器に予め設置されている可動式液位計用ウェルに挿入することで、ナトリウムに直接接触することなくナトリウム液位を検出する誘導型の一点式液位計である。

この液位計の動作原理は、長尺液位計の校正点液位計と同様であり、出力として差電圧を電流信号として取り出し、直読される電流の振れ（最大値）でナトリウムレベルを検出し、液位計に刻印された目盛から、その位置を求めるものである。

Table.3-2 に可動式液位計の仕様を示す。

Fig.3-5 には、可動式液位計の駆動装置（概念）図を示す。

この液位計を使用し、より精度よくナトリウム液位を測定するため、可変速 { 0 ～ 20 m/分（目標） } の駆動装置を用いた。

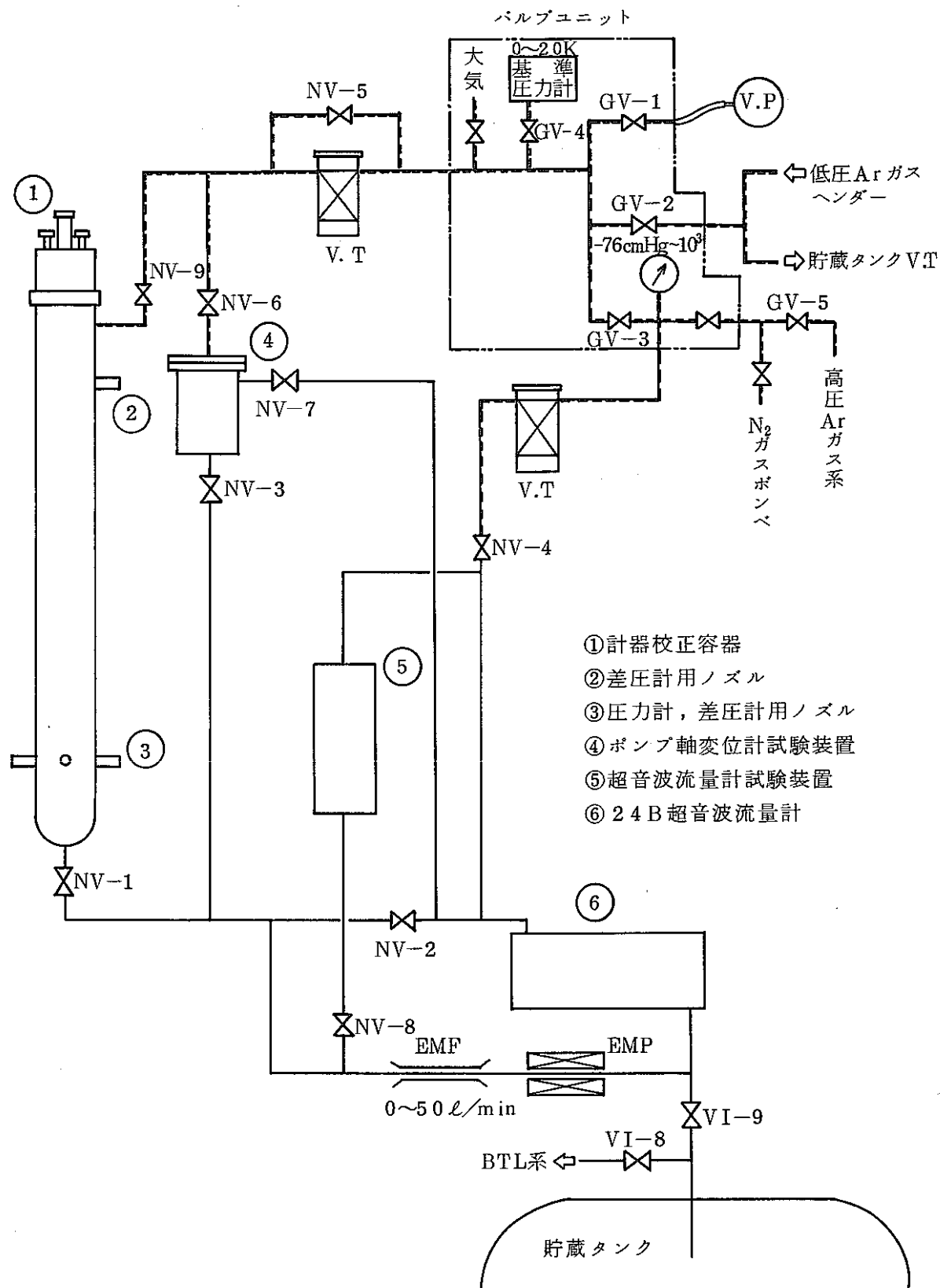


Fig.3-1 計器校正装置系統図

Instruments Calibration Loop

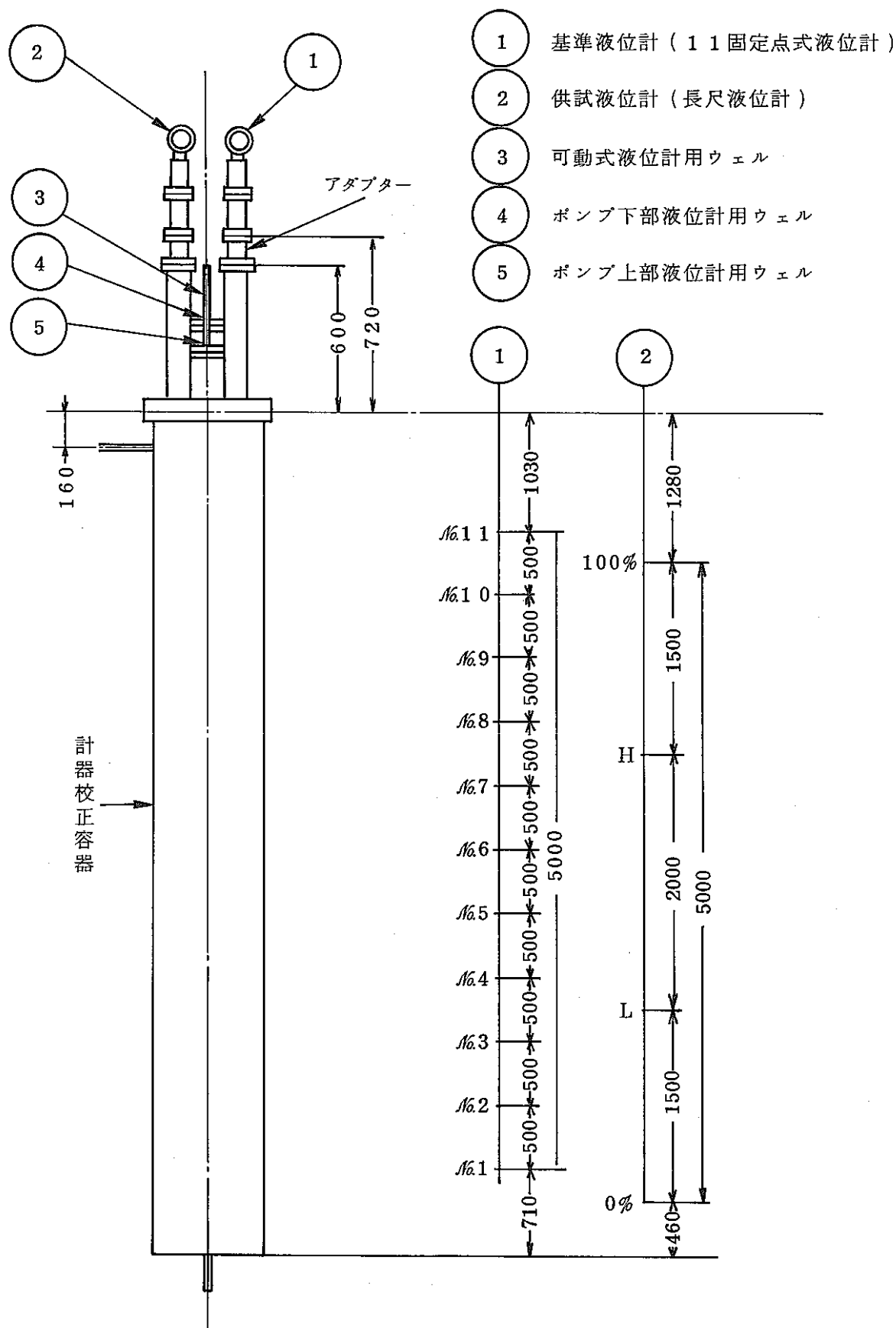


Fig.3-2 ナトリウム液位計取付寸法図

Dimensions of the Level-Meters

(注). 基準液位計 (1 1 固定点式液位計) の下部回路 (№ 1 ~ № 3) について示す。

中部回路 (№ 4 ~ № 7) , 上部回路 (№ 8 ~ № 1 1) についても, ほぼ同様である。

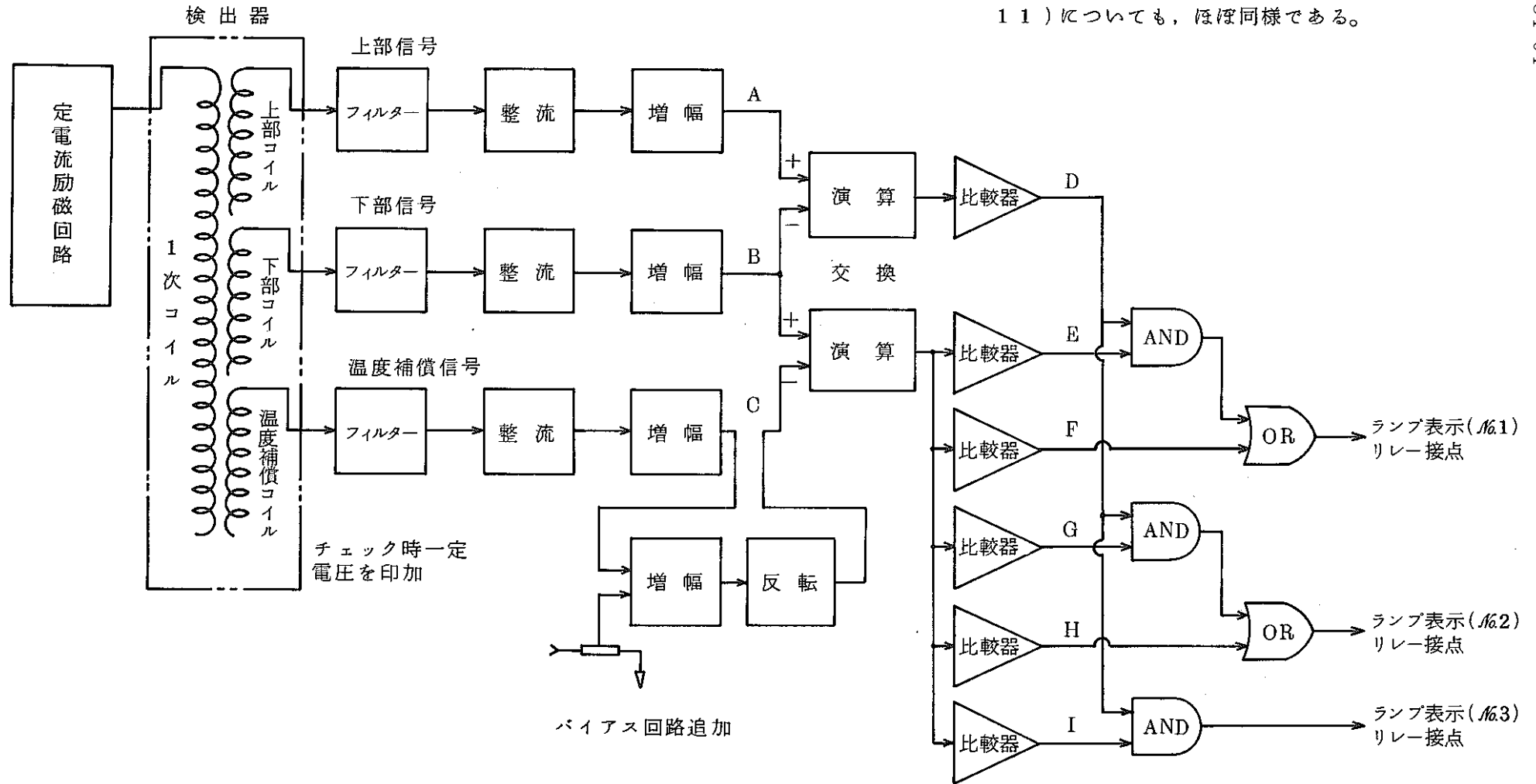


Fig.3-3 基準液位計ブロック図

Block Diagram of Standard Level-Meter

Table.3-1 基準液位計（11固定点式液位計）の仕様
Specifications of Standard Level-Meter

(1) 検出器の仕様

型 式	誘導型固定点式，東京芝浦電気製
測定点数	11点
測定ピッチ	500mm
使用温度	200℃～600℃
耐 圧	6 kg/cm ² g
絶縁抵抗	5 MΩ以上

(2) 増幅器の仕様

電 源	AC100V，50Hz
出力信号	リレー接点（AC200V，3A，DC24V，3A，無誘導負荷）
電氣的温度補償範囲	200℃～600℃
周囲温度範囲	0～50℃

(3) 組合せ仕様（目標）

精 度	±2.5mm（±0.5% F.S）
再現性	±1.0mm（±0.2% F.S）

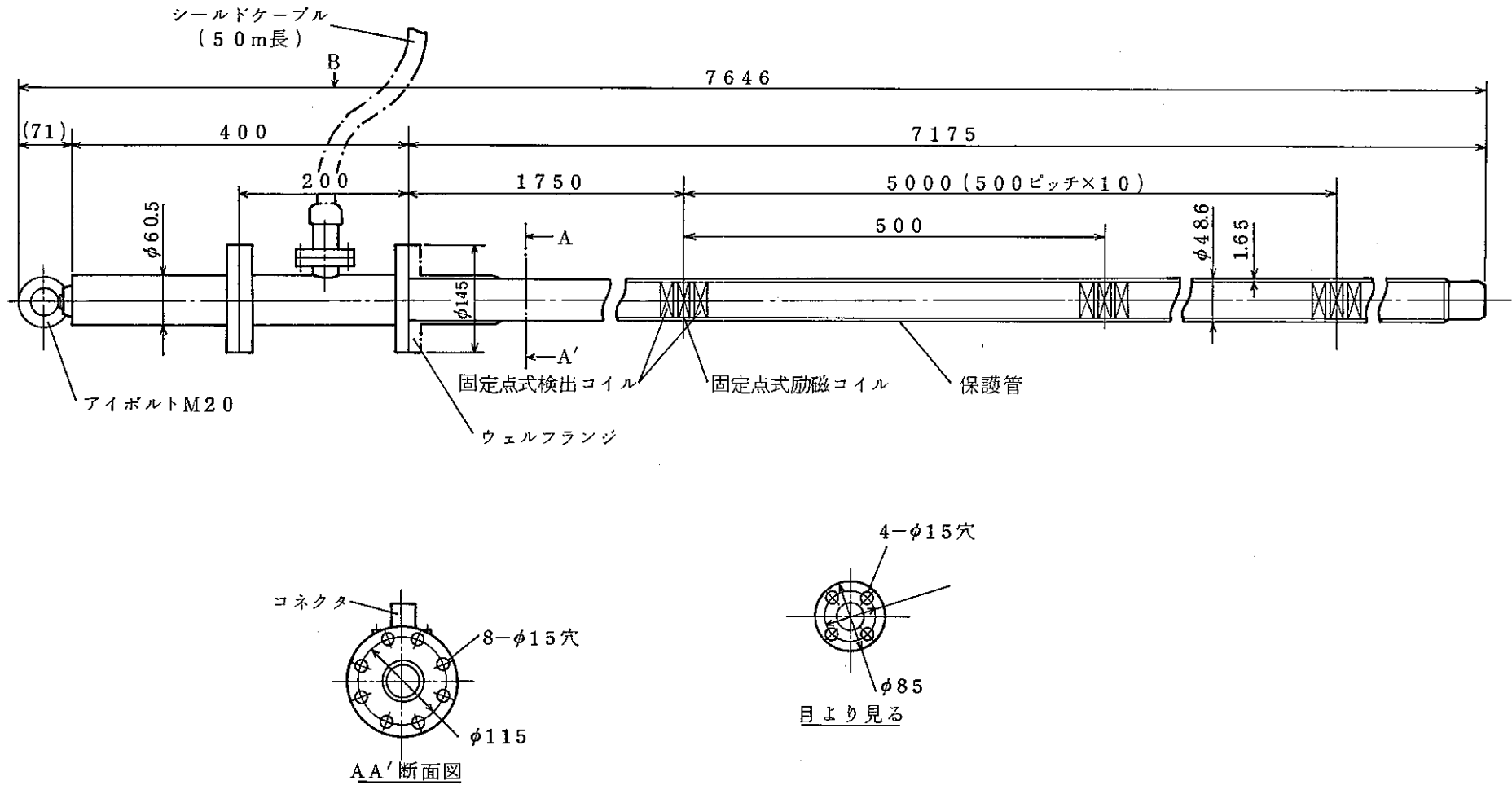


Fig.3-4 検出器外形寸法図 (基準液位計)

Probe Structure (Standard Level-Meter)

Table.3-2 可動式液位計の仕様

Specifications of Movable Level-Meter

(1) 設計仕様

型 式	2 2 2 1 A, 探索型液位計 (誘導型), 大同産業製
有効測定長	5,6 0 0 mm
使用温度	0 ℃ ~ 6 0 0 ℃
電 源	内部バッテリー 7.2 V, または AC100 V (内部バッテリーによる連続使用 1 0 時間)
精 度	± 3 mm (± 0.0 5 % F.S)

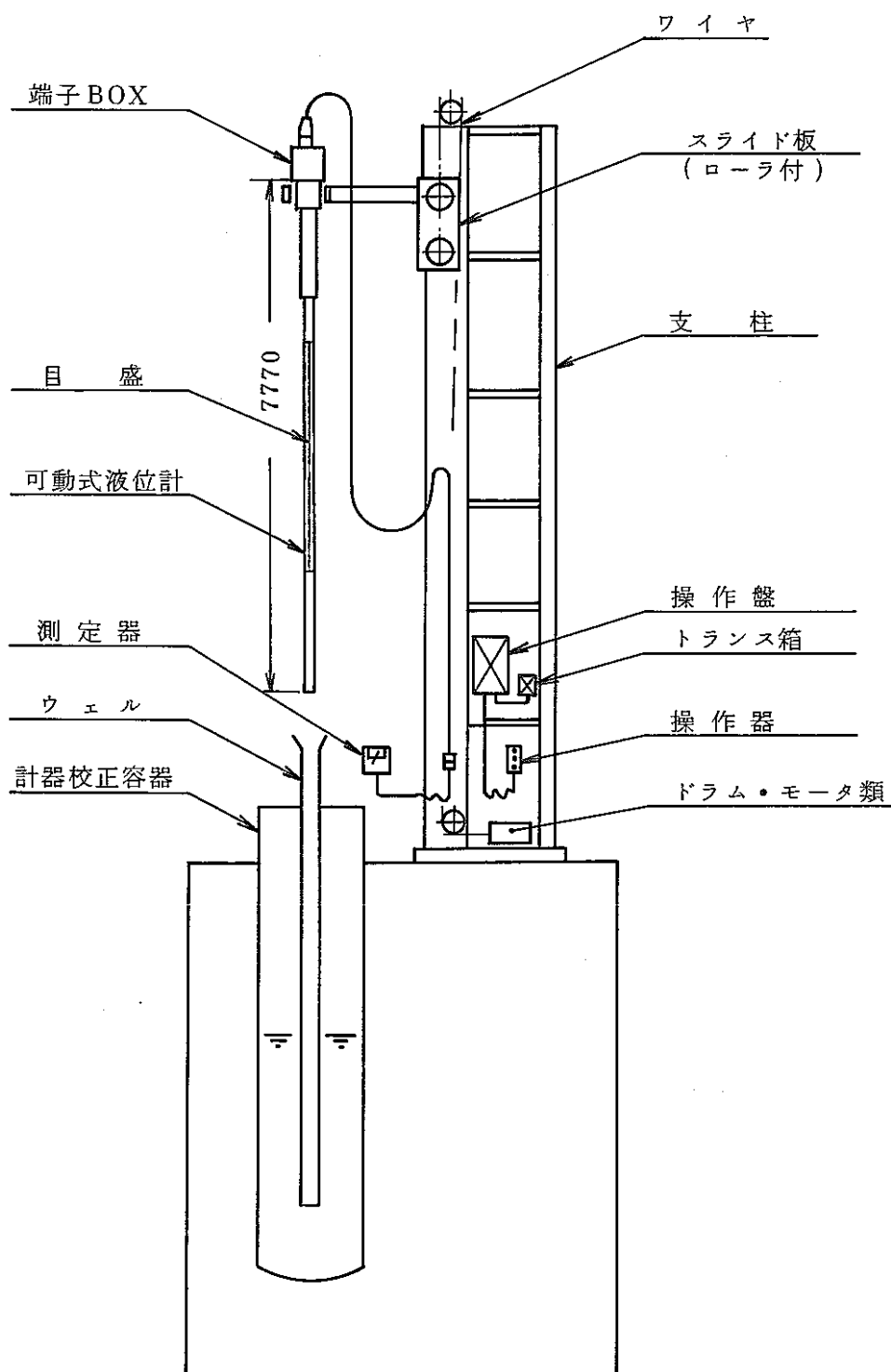


Fig.3-5 可動式液位計駆動装置 (概念図)

Movable Level-Meter Driving System

4. 試 験 方 法

4.1 ナトリウム中試験

ナトリウム温度 200℃, 300℃, 400℃, 500℃, 600℃の各温度において, 計器校正装置の計器校正容器内のナトリウムレベルを上昇, 及び降下させ基準レベル (基準液位計の固定点動作時点 $\#1 \sim \#10$ ポイントの固定点) における長尺液位計の出力 (連続式液位計出力 1 ~ 5 v) をデジタルマルチメーターで測定することにより精度等の計器物性確認の試験を行う。

同時に, 校正点動作時の長尺液位計出力を測定することにより, 校正点の精度等確認試験を行う。また基準レベルを示す基準液位計 (11 固定点式液位計) は 4.5 節で説明する可動式液位計で校正した。

昇降速度は 18~21 cm/min を目標として実施した。

なお, ナトリウム中試験時の信号系統接続図を Fig. 4-1 に示す。試験はナトリウム温度の影響を除去するための温度補償回路の調整を 2 度にわたって実施したので, 各々について第 1 回調整後試験, 第 2 回調整後試験として試験結果をまとめている。

4.2 応答性試験

計器校正容器内のナトリウムレベル 100% における 2 次コイル (検出コイル) 出力を測定後, ナトリウムレベルを降下させ, 0 % 点において, Fig. 4-2 に示す可変抵抗 (0~1 K Ω) を調整して, ナトリウムレベル 100% を模擬後, 同図における切換スイッチを入切することにより, 6.32% 応答時間を測定試験する。

Fig. 4-2 に応答性試験時の接続図を示す。

4.3 模擬振れ止め取り付けによる影響試験

Fig. 4-3 に示す模擬振れ止めを, 「もんじゅ」実機の液位計に取り付けられる予定の位置に取り付け, (Fig. 4-4 A 部分), ナトリウム温度 200℃, 500℃ (目標) の各温度において, 計器校正容器内ナトリウムレベルを上昇, 降下させることで, ナトリウム中試験と同様に試験し, その影響を確認する。これは振れ止めの有無によって誘導電流に変化が生じ, 振れ止め位置を境にして不連続なレベル計出力値が生ずる恐れがあるためである。

Fig. 4-3 に模擬振れ止め寸法図を，Fig. 4-4 に「もんじゅ」実機の液位計案内管サポート（振れ止め）取り付け概念図を示す。

なお，Fig. 4-4 のB部分の振れ止めに相当するものは試験時，その影響が極めて小さいと考えられるため取り付けていない。

振れ止め取り付け状態を，参考として photo. 4-1 に示す。

試験時の接続図は Fig. 4-1 と同様である。

4.4 耐久試験

ナトリウム温度 500℃にて，ナトリウムレベルを 100%以上に保持し，約 1 カ月間放置して，異常の有無を確認する。

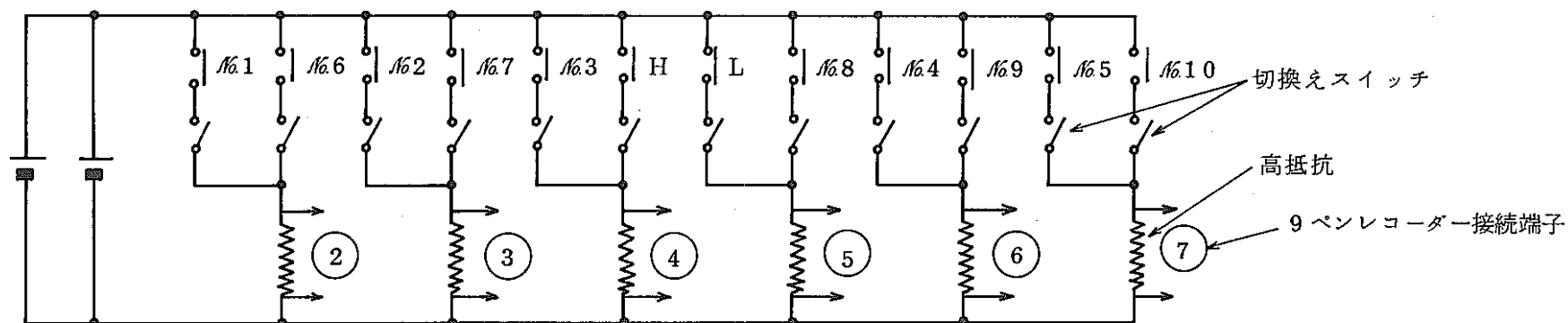
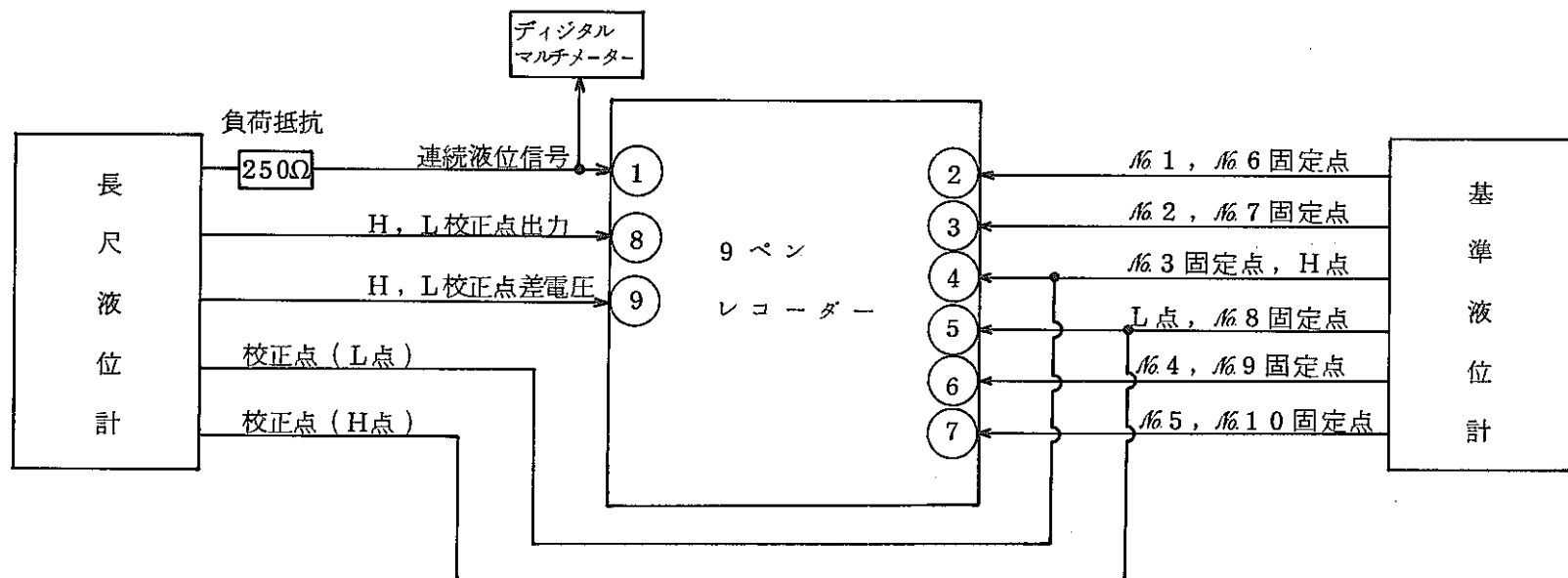
同時に，本試験期間中を通じて，液位計作動についての長期信頼性を確認する。

試験時の接続図は Fig. 4-1 と同様である。

4.5 可動式液位計による確認試験

可動式変位計は一点式であるため，最も精度が高く校正用として用いた。その方法はナトリウム温度 200℃，300℃，400℃，500℃，600℃の各温度において，計器校正容器内のナトリウムレベルを降下させ，No. 10 ポイントの固定点動作表示灯消灯後，徐々にナトリウムを上昇し，点灯と同時にナトリウムレベルの上昇を止め，その時のナトリウムレベルを可動式液位計の目盛測定により求める。

同様に No. 7，No. 4 及び No. 1 ポイントの固定点についても行い，基準液位計の設定確認を行う。



No. 1 ~ No. 11 固定点出力及び校正点 L 点, H 点の出力の接続状況

Fig. 4-1 長尺液位計ナトリウム中試験信号系統接続図

Signal Connection at Long Length Level Meter in-Sodium Test

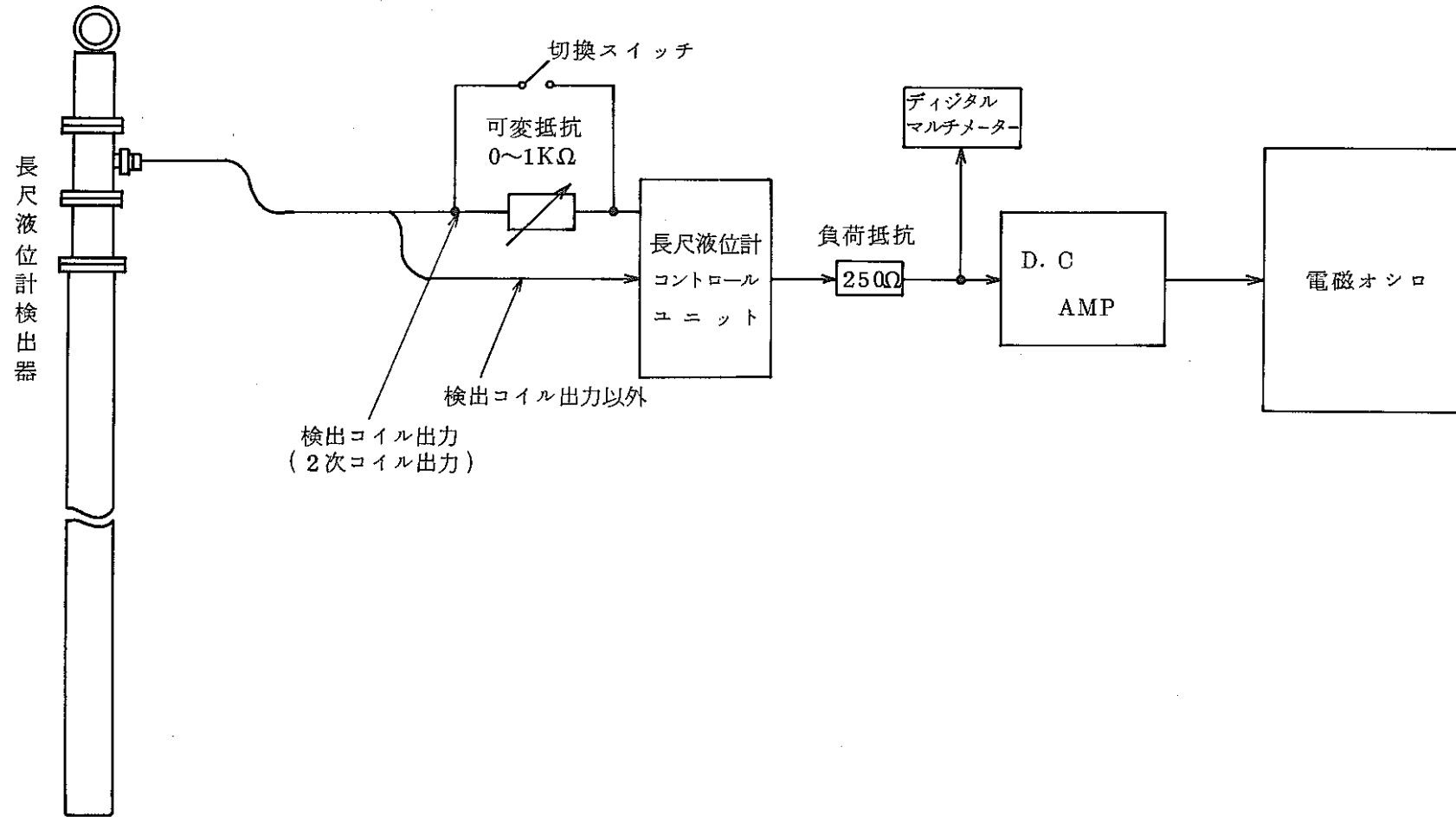


Fig 4-2 長尺液位計応答性試験接続図

Block Diagram of Long Length Level-Meter Response Test

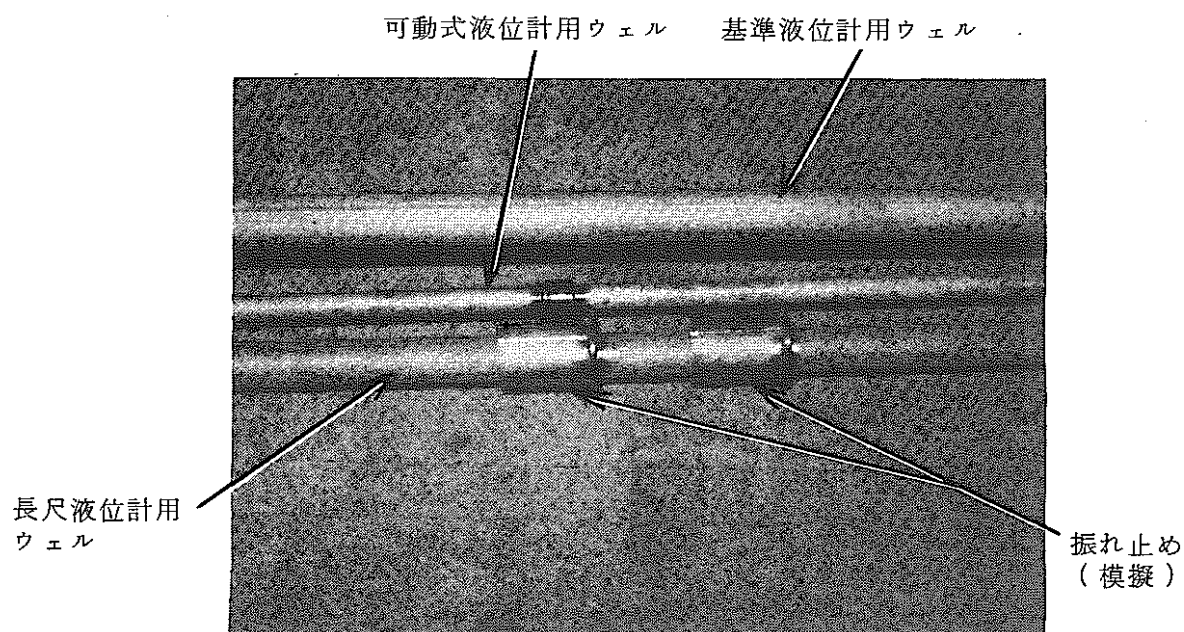


Photo. 4-1 長尺液位計用振れ止め (模擬) 取り付け状態

Setting Situation of Support Flange on
Level-Meter Well

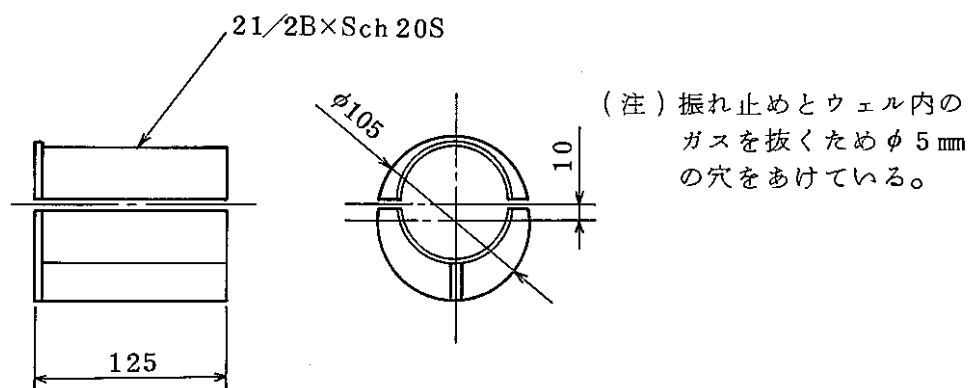


Fig. 4-3 振れ止め (模擬) 寸法図

Support Flange to Level-Meter Vibration

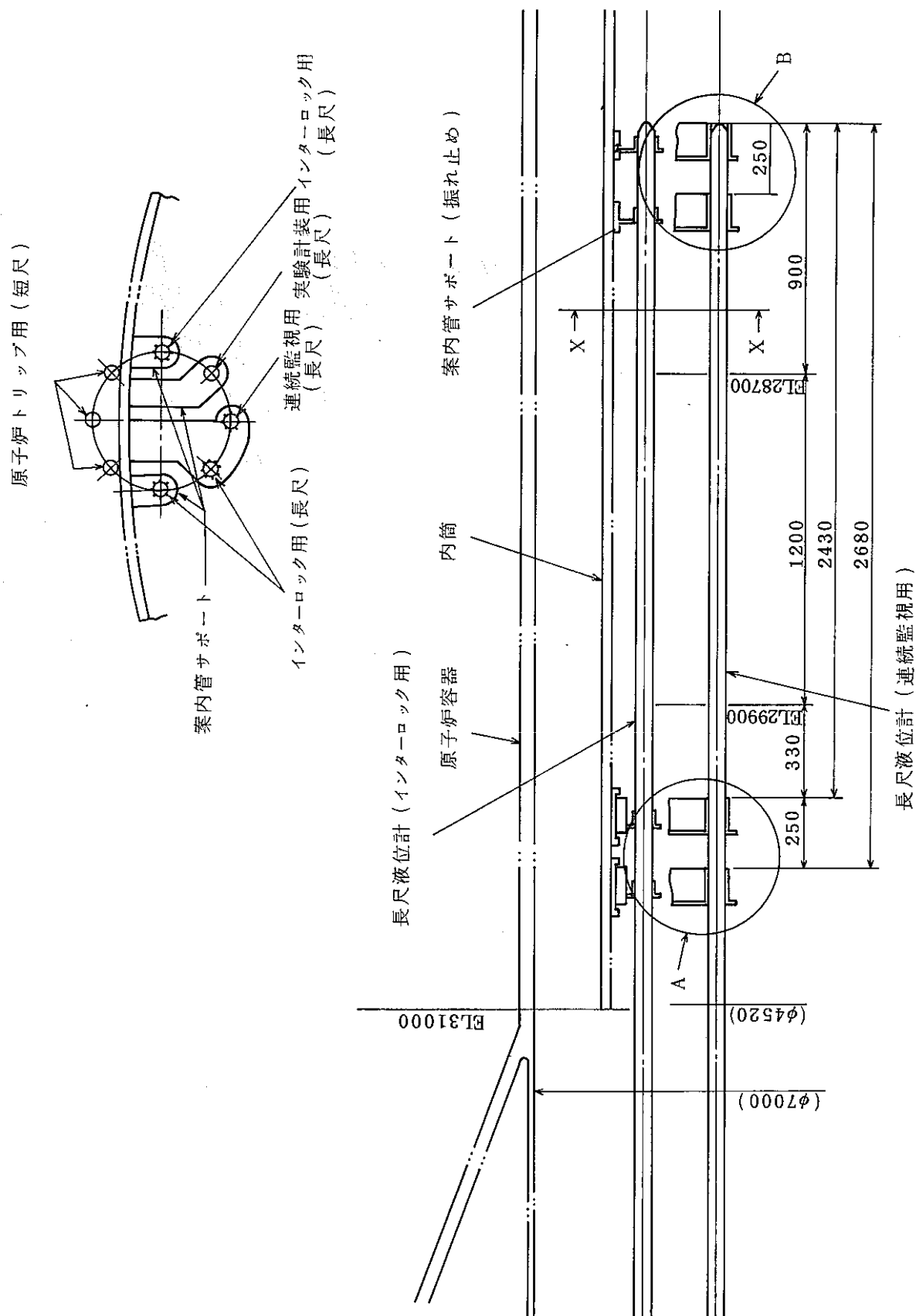


Fig. 4-4 「もんじゅ」実機の液位計案内管サポート（振れ止め）取り付け概念図
Support System of Level-Meter in "MONJU" Reactor Vessel

4.6 測定計器

(1) デジタルマルチメーター

型式 TR-6855

精度 $\pm 0.02\% \text{ F.S. } (\pm 20 \text{ mV} \sim \pm 2 \text{ V})$

$\pm 0.01\% \text{ F.S. } (\pm 20 \text{ V} \sim \pm 1000 \text{ V})$

計器№ 75531049, タケダ理研

(2) デジタルマルチメーター

型式 TR-2112

精度 $\pm 0.2\% \text{ rdg. } (20 \text{ mV D.C.})$

$\pm 0.15\% \text{ rdg} \pm 1 \text{ digit } (200 \text{ mV} \sim 20 \text{ V D.C.})$

$\pm 0.3\% \text{ rdg} \pm 5 \text{ digit } (200 \text{ mV} \sim 1000 \text{ V A.C.})$

計器№ 85820397, タケダ理研

(3) マルチペンレコーダー

型式 3063, 位相同期9ペン

精度 $\pm 0.25\% \text{ F.S. }$, 横河電機

(4) UNIVERSAL COUNTER

型式 TR-5151

周波数測定 D.C結合 D.C $\sim$ 10MHz

A.C結合 10Hz $\sim$ 10MHz

計数時間 1mS, 10mS, 0.1S, 1S, 10S, AUTO (1mS $\sim$ 1S)

精度 $\pm 1 \text{ カウント } (\pm 0.01\%)$, タケダ理研

(5) 電磁オシロ

型式 2915 ELECTRO-MAGNETIC OSCILLO GRAPH

計器№ 70B33

製造 1970年, 横河電機

(6) 直流増幅器

型式 3131, D.C AMPLIFIER

計器№ 00346, 横河電機

(7) LCRメーター

型式 4332A

レンジ 0～3, 0～1000, mH/nF/KΩ, μH/PF/Ω

横河電機

5. 試験結果，検討

長尺液位計の試験日程を Fig 5-1 に示す。

これらの試験は下記に大別できる。

- (1) 1981年11月14日～12月1日

第1回調整後のナトリウム中試験

- (2) 1982年1月30日～3月5日

耐久試験

- (3) 1982年4月13日～4月26日

第2回調整後のナトリウム中試験

- (4) 1982年4月20日～4月26日

可動式液位計による確認試験

- (5) 1982年6月4日，6月10日

模擬振れ止め取り付けによる影響試験

- (6) 1982年6月10日

応答性試験

本章は，これらの試験結果について記述したものである。

なお，工場での試験結果を付記する。

5.1 ナトリウム中試験（第1回調整後）

ナトリウム中試験における測定誤差の算出は下式により行った。

$$\epsilon(\%) = \frac{X-A}{S} \times 100$$

X：測定値〔V〕

A：基準値（基準液位計の固定点取付位置から算出した換算値）〔V〕

S：計器スパン（供試液位計は0%～100%のレベルを1～5Vの電圧信号として出力するため，計器スパンは4Vである）〔V〕

また，直線性誤差については，下記の式により算出した。

$$\varepsilon(\%) = \left\{ (X - Y) \times \frac{S'}{(Z - Y)} - A' \right\} \times \frac{1}{S} \times 100$$

Y: №1 固定点動作時の測定値〔V〕

Z: №10 固定点動作時の測定値〔V〕

(№1, №2 固定点とは基準液位計のレベル番号を示す)。

A': 基準値 { 直線性誤差算出の起点を №1 固定点としているため, 計算上は (A-1.2) となる。 (№1 固定点取付位置の換算値は 1.2 V である。) }
〔V〕

S': 3.6 { 直線性誤差算出時のスパンを №10 固定点と №1 固定点間にとっているため, (№10 固定点取付位置の換算値 4.8 V - №1 固定点取付位置の換算値 1.2 V) で算出 } 〔V〕

なお, 直線性誤差の算出は 0 % 点を起点とし, 0 % ~ 100 % の値でスパン補正すべきであるが, この長尺液位計においては, 0 % 点, 100 % 点の測定が困難なため, 確実に測定できる位置で 0 %, 100 % 点に最も近い値を選んだ。

(1) 連続式液位計

長尺液位計の本体である連続式液位計についての試験結果を以下に示す。

a. 直 線 性

Fig. 5-2 に長尺液位計の直線性試験の結果を示す。

この図はナトリウム温度 200, 250, 300℃, 400℃, 500℃でのそれぞれの温度における直線性試験の一例を示したものである。

第 1 回調整後のナトリウム中試験における長尺液位計の直線性の最大誤差は -1.17 % F. S (ナトリウム温度 503.5℃) であった。 (+ 側誤差の最大値は, 0.84 % F. S)

この液位計の直線性の仕様は ±1.5 % F. S (ただし目標値) であり, 今回ナトリウム温度 600℃での試験を行っていないが, (第 2 回調整後試験では実施している。 5.2(1) 参照のこと。) 実用上充分小さな値であると判断される。

すなわち, 今回最大誤差 (-1.17 % F. S) を示した試験はナトリウム液位が 0 % 以下で約 18 時間放置した状態から液位上昇したものである。このため, 検出器の温度がナトリウム温度に比べ低く (温度補償コイル, 2 次コイル, 1 次コイ

ルの温度がナトリウム温度に比し低い)、定電流励磁方式のため、温度補償コイル及び2次コイルの温度が低いことは液位計の出力上昇に繋がる。

温度補償コイルで考察すれば、約 $1.87 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ($0.047\% \text{ F.S.}/^{\circ}\text{C}$) の変化であり (Fig. 5-9 参照のこと)、上述の試験時、No. 1 ポイントの固定点動作時の誤差のみが、約 $1\% \text{ F.S.}$ 他のデーターとズレているところから、No. 1 ポイント通過時点迄、適切な温度補償がなされていなかったと推察される。

したがって、温度補償コイルの部分、より熱容量の小さな構造とすれば、より良い結果が得られると推察される。

なお、今回ナトリウム温度 600°C での試験は、6.1 (1)等のトラブルにより実施できなかった。

b. 再現性

Fig. 5-3 にナトリウム温度 $200^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ での再現性試験の結果の一例を示す。

再現性試験は下記の期間における比較測定結果で表わした。

ナトリウム温度 200°C	11月18日と12月1日
" 300 $^{\circ}\text{C}$	11月19日と11月30日
" 400 $^{\circ}\text{C}$	11月20日と11月28日
" 500 $^{\circ}\text{C}$	11月24日と11月27日

これらの試験の結果、それぞれの温度での最大変化は

ナトリウム温度 200°C	+1.18% F.S
300 $^{\circ}\text{C}$	+0.88% F.S
400 $^{\circ}\text{C}$	+1.20% F.S
500 $^{\circ}\text{C}$	+0.63% F.S

であった。

この液位計の仕様は $\pm 0.5\% \text{ F.S.}$ (目標値) であり、これを変化幅 1% と考えても仕様よりやや大きめである。

なお、Fig. 5-3 はレベル降下時の試験における再現性を示したものである。

c. 精度

Table. 5-1 に試験期間中の各温度での精度を示す。

本液位計の精度は、ナトリウム温度 $200^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ において $\pm 2.87\% \text{ F.S.}$ 以下

であった。

この液位計の精度の仕様は $\pm 2\%$ F.S (目標値)であり、この条件として、温度影響値は含まないとしている。実際は温度影響が2%程度あるので、ほぼ仕様内にあるといえる。

なお、0%点、100%点は基準値がないため、コイルの巻き始め(0%点-20mm)、巻き終り(100%点+20mm)で測定した値(今回の場合、調整後0%点-40mm、100%点+0mmとなっていると推察されるため、この値で算出)から推察すると、0%点についてはナトリウム温度400℃での-3.98%F.Sが最大の誤差であり、100%点については-1.58F.S(ナトリウム温度200℃)が最大の誤差であった。

また、今回の温度補償量から、ナトリウム温度600℃での誤差を推定すると、4%F.Sを超える値が最大値として表われると推察される。

d. 温度影響

Fig. 5-4 にナトリウム温度200℃～500℃での温度影響を示す。

この図は、No.1ポイント、No.6ポイント、No.10ポイントでの測定値及びスパン{(No.10ポイントの測定値-No.1ポイントの測定値)をフルスケール誤差で示した値}について、試験期間の全てのデーターをプロットし、その平均を直線で結んだものである。

これらの値の平均値の最大誤差として捕えた温度影響値(誤差0からのずれ)は

No.1ポイント	-2.28%F.S (401.5℃)
No.6ポイント	0.73%F.S (200.6℃)
No.10ポイント	1.20%F.S (497.8℃)
スパン	2.46%F.S (497.8℃)

であった。

参考までに、温度変化幅100℃に対する出力の変化を見ると、スパンにおける2.18%F.S/100.5 deg (200.6℃～301.1℃)が最大であり、No.1～No.10ポイントでは、1.25%F.S/96.3 deg (401.5℃～497.8℃)が最大であった。

この液位計の温度影響の仕様は $\pm 1.5\%$ F.S(目標値)であり、No.1ポイント、スパンにおいてその仕様を外れた。

e. ヒステリシス特性

Fig. 5-5 に各温度でのヒステリシス特性の一例を示す。

試験の結果，最大のヒステリシスはナトリウム温度 199.1℃での -1.20% F.S であった。

この試験においてもナトリウムレベルが 0%以下で約 15 時間放置後レベル上昇，降下して確認したため，前 a 項に記述した如き理由により大きなヒステリシスが表われたと推察される。

この点を考慮すれば，本液位計のヒステリシスは $\pm 0.75\%$ 以下と推察され，前 a 項に記した改造が望まれる。

参考として，Fig. 5-6 にナトリウムレベル上昇時の試験記録（連続式液位計出力等の動作状況）を示す。

(2) 校正点液位計

長尺液位計に内蔵されている校正点液位計についての試験結果を以下に示す。

a. 精 度

Table. 5-2 に試験期間中の校正点の精度を示す。

校正点の精度は，基準液位計より求めた連続式液位計の ± 1 ポイント及び ± 10 ポイントを基点として算出した値で求めた。

すなわち，各校正点の直線性誤差がこれに当たる。

試験の結果，L 点については $\pm 1.17\%$ F.S 以下であり，H 点については $\pm 0.61\%$ F.S 以下であった。

ただし，前(1) a 項に記述した如く，最大の誤差を示した試験は直線性誤差が計算上より大きくなる条件下にあったため，この試験のみを除けば，L 点の精度は $\pm 0.52\%$ F.S 以下であると判断される。

この校正点の仕様は $\pm 0.5\%$ F.S であり，やや仕様を外れている。

なお，これらの値には連続式液位計の直線性誤差が含まれており，この点を考慮すればより小さな値であると推察される。

可動式液位計による確認試験においてこの点を確認された（5.6 節参照のこと）

b. 再現性

校正点の再現性は，各ナトリウム温度の下記期間において試験している。

なお，この再現性も前述の精度同様，校正点の直線性誤差を比較して求めている。

ナトリウム温度 200℃ 11月18日と12月1日
 " 300℃ 11月19日と11月30日
 " 400℃ 11月20日と11月28日
 " 500℃ 11月24日と11月27日

試験の結果、各温度での最大誤差は、

	L 点	H 点
ナトリウム温度 200℃	-0.05 %F.S,	0.06 %F.S
" 300℃	-0.08 %F.S,	0.08 %F.S
" 400℃	0.04 %F.S,	-0.15 %F.S
" 500℃	-0.38 %F.S,	-0.18 %F.S

であった。

この校正点の仕様は ± 0.2 %F.S以下であり、L点の500℃においてのみその仕様を外れた。

(3) 試験結果のまとめ

第1回調整後のナトリウム中試験の結果を下表に示す。

今回の試験はナトリウム温度 200℃～500℃にて行ったものである。

a. 連続式液位計

	試験結果	仕様(目標値)
直線性	$<\pm 1.17$ %F.S	± 1.5 %F.S
再現性	$<\pm 1.20$ %F.S	± 0.5 %F.S
精度	$<\pm 2.87$ %F.S	± 2 %F.S (温度影響値は含まない)
温度影響	№1 ポイント $<\pm 2.28$ %F.S №6 ポイント $<\pm 0.73$ %F.S №10 ポイント $<\pm 1.20$ %F.S スパン $<\pm 2.46$ %F.S (200~500℃)	± 1.5 %F.S (200℃~600℃)
ヒステリシス	$<\pm 0.75$ %F.S	—

b. 校正点液位計

	試 験 結 果		仕 様
	L 点	H 点	
精 度	$<\pm 0.52\% \text{F.S}$	$<\pm 0.61\% \text{F.S}$	$\pm 0.5\% \text{F.S}$
再 現 性	$<\pm 0.38\% \text{F.S}$	$<\pm 0.18\% \text{F.S}$	$\pm 0.2\% \text{F.S}$

c. 参 考

ナトリウム中試験時測定した各種データ（測定回路各部）について以下に説明する。

なお、測定個所については、Fig. 2-1 を参照されたい。

Fig. 5-7 に 2 次コイル出力，検出回路出力特性（TP29-GND）を示す。

Fig. 5-8 に温度検出コイル出力，温度補償回路出力特性（TP33-GND）を示す。

Fig. 5-9 に検出回路出力（TP30-GND），温度補償回路出力特性（TP34-GND）を示す。

TP34-GND 間の出力電圧が第 1 回調整時の温度補償量である。

Fig. 5-10 に 1 次コイル入力，励磁電流，発振器周波数特性を示す。

励磁電流，発振器周波数は極めて安定していた。（200mA，1KHz）

Fig. 5-11 に H 点の校正点コイルの出力特性を示す。

Fig. 5-12 に L 点の校正点コイルの出力特性を示す。

Fig. 5-11 及び Fig. 5-12 に示すコイル出力は，検出器からの出力である。

5.2 ナトリウム中試験（第 2 回調整後）

第 2 回調整後のナトリウム中試験における測定誤差の算出，及び直線性誤差の算出は 5.1 節の式を使用した。

(1) 連続式液位計

a. 直 線 性

Fig. 5-13 に直線性試験の結果を示す。

この図はナトリウム温度 200℃～600℃における直線性試験の一例を示したも

のである。

第2回調整後のナトリウム中試験における本液位計の直線性は1.02%F.S(ナトリウム温度201.3℃)が最大誤差であった。(一側の誤差の最大値は-0.36%F.Sであった。)因みにナトリウム温度600℃における直線性の最大誤差は0.89%F.Sであった。

この液位計の直線性の仕様は±1.5%F.S(目標値)であり、第1回調整後のナトリウム中試験及び今回の試験においても、この仕様を満足した。

b. 再現性

Fig. 5-14にナトリウム温度200℃～600℃での再現性試験の結果の一例を示す。

今回の再現性試験は試験日程上の制約により、ナトリウム温度600℃以外は同一日の試験結果から求めた。

ナトリウム温度600℃の試験は4月19日と4月20日の期間において行った。

これらの試験の結果、それぞれの温度での最大変化は

ナトリウム温度 200℃	-0.75 %F.S
" 300℃	0.50 %F.S
" 400℃	0.68 %F.S
" 500℃	-0.60 %F.S
" 600℃	-1.33 %F.S

であった。

この液位計の仕様は±0.5%F.S(目標値)であり、これを変化幅1%と考えると温度600℃において、その仕様を外れた。なお、このFig. 5-14もレベル降下時の試験における再現性を示したものである。

c. 精 度

Table. 5-3に試験期間中の各温度での精度を示す。

本液位計の第2回調整後の精度は、ナトリウム温度200℃～600℃において±3.34%F.S以下であった。

この液位計の精度の仕様は±2%F.S(目標値、なお、この仕様には温度影響値を含まない。)であり、当初温度影響値も含めたものとして±3%を目標としていたため、ほぼ満足できる調整であったと言える。

なお、計器校正装置の温度制御巾が設定値の $\pm 10^\circ\text{C}$ であるため、 10°C のズレは温度補償量として 20mV (0.5%) の差として表われる。(今回の温度補償量は約 $2\text{mV}/^\circ\text{C}$ であった。前回の温度補償量は約 $1.87\text{mV}/^\circ\text{C}$ であった。)

今回の試験で $\pm 3\%$ を超えたデータは数点であった。

d. 温度影響

Fig 5-15にナトリウム温度 $200^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ での温度影響を示す。

この図は5.1(1)dにて記述した如く、 $\#1$ 、 $\#6$ 及び $\#10$ ポイントでの測定値及びスパンについて、試験期間中の全てのデータをプロットし、その平均を直線で結んだものである。

これらの値の平均値の最大誤差として捕えた温度影響値(誤差0からのずれ)は

$\#1$ ポイント	$-2.36\% \text{F.S}$ (405.3°C)
$\#6$ ポイント	$2.87\% \text{F.S}$ (592.8°C)
$\#10$ ポイント	$2.58\% \text{F.S}$ (592.8°C)
スパン	$-1.99\% \text{F.S}$ (201.3°C)

であった。

この液位計の温度影響の仕様は $\pm 1.5\% \text{F.S}$ (目標値) であり、いずれの場合においてもその仕様を外れていた。

e. ヒステリシス特性

Fig. 5-16にナトリウム温度 $200^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ におけるヒステリシス特性の一例を示す。

試験の結果、最大のヒステリシスはナトリウム温度 486.9°C での $-1.40\% \text{F.S}$ であった。ただし、これは以下に述べるように実験誤差が大きいと考えられるため図示していない。

すなわち、計器校正装置の24B超音波流量計ダクト部の温度制御が不調であったため{ 6.3(1)参照のこと }、ナトリウムレベル上昇時の温度が低く適切な温度補償がなされない状態にあった。したがってこの試験データを削除すれば $-1.08\% \text{F.S}$ (473.1°C) が最大のヒステリシスであった。

(2) 校正点液位計

a. 精 度

Table. 5-4 に試験期間中の校正点の精度を示す。

校正点の精度は、5.1(2)aと同様な求め方をしている。

試験の結果、L点については $\pm 0.78\%F.S$ 以下であり、H点については $\pm 0.71\%F.S$ 以下であった。

この校正点の仕様は $\pm 0.5\%F.S$ であり、やや仕様を外れた。

なお、5.1(2)aに記した如く、これらの値には連続式液位計の直線性誤差が含まれており、この点を考慮すれば、より小さな値であると推察される。

b. 再 現 性

校正点の再現性は、連続式液位計の再現性試験と同一期日、同条件下で試験した。

なお再現性の求め方は5.1(2)bと同様である。

試験の結果、各温度での最大誤差は

	L 点	H 点
ナトリウム温度 200℃	-0.12%F.S,	0.05%F.S
300℃	0.21%F.S,	0.24%F.S
400℃	-0.40%F.S,	-0.27%F.S
500℃	0.07%F.S,	-0.06%F.S
600℃	0.57%F.S,	0.24%F.S

であった。

この校正点の仕様は $\pm 0.2\%F.S$ 以下であり、L点、H点とも、ナトリウム温度300℃、400℃及び600℃でその仕様を外れた。

(3) 試験結果のまとめ

第2回調整後のナトリウム中試験の結果を下表に示す。

今回の試験はナトリウム温度200℃～600℃にて行ったものである。

a. 連続式液位計

	試 験 結 果	仕様 (目標値)
直 線 性	$<\pm 1.02\% \text{F.S}$	$\pm 1.5\% \text{F.S}$
再 現 性	$<\pm 1.33\% \text{F.S}$	$\pm 0.5\% \text{F.S}$
精 度	$<\pm 3.34\% \text{F.S}$	$\pm 2\% \text{F.S}$ (温度影響値は含まない)
温 度 影 響	№1 ポイント $<\pm 2.36\% \text{F.S}$ №6 ポイント $<\pm 2.87\% \text{F.S}$ №10 ポイント $<\pm 2.58\% \text{F.S}$ スパン $<\pm 1.99\% \text{F.S}$	$\pm 1.5\% \text{F.S}$ (200℃~600℃)
ヒステリシス	$<\pm 1.08\% \text{F.S}$	—

(注) ヒステリシスのみ 200℃~500℃のデータである。

b. 校正点液位計

	試 験 結 果		仕 様
	L 点	H 点	
精 度	$<\pm 0.78\% \text{F.S}$	$<\pm 0.71\% \text{F.S}$	$\pm 0.5\% \text{F.S}$
再 現 性	$<\pm 0.57\% \text{F.S}$	$<\pm 0.27\% \text{F.S}$	$\pm 0.2\% \text{F.S}$

c. 参 考

今回のナトリウム中試験において測定した各種データを以下に示す。測定箇所については Fig. 2-1 を参照されたい。

Fig. 5-17 に 2 次コイル出力, 検出回路出力特性を示す。

Fig. 5-18 に 温度検出コイル出力, 温度補償回路出力特性を示す。

温度補償回路のゲインを変えたため, TP33-GND 間の出力は Fig. 5-8 と異なる。

Fig. 5-19 に 検出回路出力, 温度補償回路出力特性を示す。

この図は今回の温度補償量等の調整結果を示したものである。

Fig 5-20に1次コイル入力，励磁電流，発振器周波数特性を示す。

今回の試験期間中においても，励磁電流，発振器周波数は安定していた。

Fig 5-21にH点の校正点用コイルの出力特性を示す。

Fig 5-22にL点の校正点用コイルの出力特性を示す。

5.3 応答性試験

今回行った長尺液位計の応答性試験は，同液位計の増幅部（コントロールユニット）の応答速度を調査する目的で実施した。

今回の試験の結果，液位計の増幅部の63.2%応答時間は，8.71msecであった。

なお試験は合計8回実施し，その平均値を求めたものである。

Fig 5-23及びFig 5-24に応答性試験記録の一例を示す。

一方，検出器の応答時間を算出するため，LCRメーターにより，2次コイル（検出コイル）の抵抗，インダクタンス，静電容量を測定した。

LCRメーター（及びデジタルマルチメーター）による測定結果は

抵 抗	25.92Ω
インダクタンス	0.67mH
静電容量	0.258μF

であった。

これらの値から求めた応答時間は，約10msecである。

したがって，この液位計の応答時間は大略20msecであると判断される。

5.4 模擬振れ止め取り付けによる影響試験

Fig 5-25に模擬振れ止め（液位計案内管サポートを模擬）取り付けによる影響試験の結果を示す。

同図(a)は，模擬振れ止め取り付け後，初めてナトリウムレベルを上昇させた時の試験結果と第2回調整後のナトリウム中試験結果を比較したものである。

同図(d)は，ナトリウム温度200℃での再現性を見たものである。

模擬振れ止め取り付け後の確認は，ナトリウム温度200℃及び500℃にて行う予定であったが，6.3(1)項に示す24B超音波流量計の予熱ヒーターの不具合により，ナトリウム温度350℃以上に昇温できなかった。

そのため、同図(b)にてナトリウム温度 300℃と比較し、同図(c)にてナトリウム温度 400℃と比較した。

同図(e)はナトリウム温度 350℃での再現性を見たものである。

模擬振れ止め取り付けによる影響試験の結果は、図に示される如く極めて顕著に表われた。

すなわち、No.5 及び No.6 ポイントにおいて急激に出力が低下し（振れ止め取り付け位置付近）、その分そのレベル以上では低い値へシフトした。

このシフト量はナトリウム温度 200℃の時 -2.59 %F.S (Fig. 5-25(d)) であり、ナトリウム温度 350℃では -2.12 %F.S (同図(e)) であった。（いずれも平均値で示した。）

また、第 1 回調整後のナトリウム中試験（振れ止め無し）との比較では 200℃では -1.68 %F.S の誤差（最大値、同図(a)）が生じ、ナトリウム温度 300℃及び 400℃との比較ではいずれも -3.38 %F.S の誤差（最大値、同図(b), (c)）が生じた。これらは、振れ止めの有無、再現性、調整の差等による影響を含んでいる。

再現性確認結果からは、ナトリウム温度 200℃にて ± 0.48 %F.S、ナトリウム温度 300℃では ± 0.46 %F.S の誤差があるため、模擬振れ止め取り付けによる影響は、

ナトリウム温度 200℃ -2.59 ± 0.48 %F.S

ナトリウム温度 350℃ -2.12 ± 0.46 %F.S

であると言える。

なお、上述の出力低下は、模擬振れ止めが SUS 材であるため、ナトリウムに比べ電気比抵抗が大きい、したがって、この領域以上にナトリウムレベルが上昇すれば振れ止め部分での漏電流が見掛上小さくなり、2 次コイルの出力電圧が上昇、液位計の出力低下に繋がると推察される。

以上の結果から、模擬振れ止め取り付けによる影響は当初の予想を遙かに上回るものであることが判明した。

今回の場合、模擬振れ止めを全周溶接する等、より厳しい条件であったが、実機においては、振れ止めの数を減らすこと、ウェルと振れ止め間のクリアランスを大きくとること、及びウェルに近い部分の SUS 材を可能な限り少くすること等の考慮が必要である。

5.5 耐久試験

1982年1月30日～3月5日の約1カ月間に互って実施された高温ナトリウム中（ナトリウム温度500℃）での耐久試験の記録をFig.5-26に示す。

この図は、同時に試験したグールド社製のNaK封入式圧力計出力についても示している。

計器校正容器内のナトリウム温度は試験期間中、500℃±10℃以内に温度制御された。

図中、長尺液位計出力が緩やかに変動しているが、これは上述のナトリウム温度の変動と合致しており、ナトリウム温度の変化によるナトリウムの体積膨張（ナトリウム液位変動）の影響を受けたものと判断される。

またFig.5-26の左側、中央の記録で示される如く、長尺液位計の出力は、耐久試験期間中低下現象を示した。

すなわち、耐久試験期間全般を通じ長尺液位計の出力は漸減傾向を示し、その低下量は約5.2%F.Sであった。

この出力低下原因としては、同時に試験したグールド社製のNaK封入式圧力計の出力変動及び、長尺液位計出力の漸減傾向から考察して、NV-1弁のシートリークによる計器校正容器内ナトリウム液位の低下によるものと推察される。

長尺液位計の出力低下量をグールド社製のNaK封入式圧力計の出力変化に換算した場合、約0.20%F.S（約0.0215kg/cm²g，測定レンジ1kg/cm²g～10kg/cm²g）であり、圧力計の試験期間中の出力低下も同程度であった。

なお、グールド社製のNaK封入式圧力計については、図中2月27日分の記録に示される出力変動があったが、長尺液位計の出力については、このような変動は認められなかった。

ただし、2月8日、3月8日分の記録に示される僅かな出力変動が見られ、この原因としてノイズによる影響も考えられるため、この点の改良が望まれる。

1981年7月～1982年6月の期間における長尺液位計、基準液位計及び計器試験装置で発生した不具合については第6章を参照されたい。

5.6 可動式液位計による確認試験

長尺液位計のナトリウム中試験は、計器校正容器内のナトリウム液位を上昇、または降下させ、基準液位計の各固定点動作位置を基準レベルとして測定しているため、(4.1節参照のこと。)この基準レベルの設定を確認する必要がある。

そこで、ナトリウムに直接触れることなく外部からナトリウム液位を測定できる可動式液位計を設置し(3.3節参照のこと)、この設定確認を行った。

試験は1982年4月20日～4月26日の間において実施した。

Fig 5-27及びFig 5-28に確認試験の結果を示す。

Fig 5-27はナトリウム温度200℃～600℃でのNo.1, No.4, No.7及びNo.10ポイントの固定点の設定確認試験結果を全てプロットし、その平均値を直線で結んだものである。

当初、可動式液位計は可能な限り、ナトリウム温度の影響を受けない様にして測定する予定であったが、可動式液位計の案内管(Fig. 3-5のウェル)が熱膨張により曲がり、スムーズに挿入できないため、可動式液位計を完全に挿入した状態で温度を充分安定させた後測定した。

したがって、この温度上昇による熱膨張を補正する必要があり、測定長方向に予め取り付けていた温度検出器(3点)及び室温から、測定時の温度分布を求め、平均温度を算出して補正した。

この温度分布はナトリウム温度200℃～600℃の全域に互り極めてよく近似できる6次式で行った。

各温度での代表例をFig 5-29～Fig 5-33に示す。

Fig 5-28は、上述の温度影響を可能な限り受けずに測定した場合の測定結果を上段に、全ての固定点及び長尺液位計の校正点(H点, L点)での測定結果を下段に示す。

ただし、これらはナトリウム温度200℃にて行った。温度影響を可能な限り受けずに測定することは200℃を超えるナトリウム温度では不可能であった。

Fig 5-34は、この温度影響を可能な限り受けずに測定した時の可動式液位計の温度分布を示したものである。

今回の試験の結果、最大の誤差はナトリウム温度600℃, No.1ポイントでの-0.54 %F.Sであった。

また、Fig 5-27に示される如く、各温度での最大誤差は、熱膨張の最も大きい部分であるNo.1ポイントに表われ、上部（測定長方向）に向うに従がいその誤差がほぼ比例的に減少している（各ポイントの平均値を結ぶ線がほぼ直線として捕えることができる。）しかも、温度上昇と共にその誤差勾配が大きくなる現象を示した。

これらの現象は、基準液位計自体が熱膨張により伸びていることを示している。

因みに基準液位計が200℃～600℃に温度上昇する場合、No.1ポイントの熱膨張は、約5.03mm（0.65%F.S）と算出できる。（今回の試験結果では約0.44%であった。）

すなわち、Fig 5-28下段に示される如く、全ての固定点、校正点はナトリウム温度200℃において極めて正確に設定されているが、温度上昇と共に液位計自体の熱膨張の影響を受けると判断される。

その影響値は最大で-0.54%F.Sである。

しかし長尺液位計、基準液位計共に同じように熱膨張するため、今回の可動式液位計の校正結果がこれまでの測定誤差に大きな影響を与えるものではない。また試験タンクの熱膨張の影響も同様である。

Fig 5-35に可動式液位計の補正曲線を示す。

可動式液位計が高温時、案内管の熱変形によって案内管に挿入できなかったため、削ると同時に、直径を小さくするため、液位計を軸方向に引張って加工した。この補正曲線はこの引張りによる目盛の変動を補正する曲線である。

なお、この図中温度検出器取付位置を示す。

5.7 工場試験（参考）

(1) 動作確認試験

ナトリウムの代りにアルミパイプを上下させて行った動作確認試験結果を以下に示す。

a. 連続式液位計

Fig 5-36に連続式液位計の動作確認試験結果を示す。

この図はアルミパイプ挿入引抜き時のデーターをプロットし、その平均値を直線で結んだものである。

試験の結果、精度は±1.2%F.S以下であった（目標精度±2%F.S），また最小自乗法で直線近似した場合の誤差で示される直線性は±1.13%F.S以下であった

(目標仕様±1.5%F.S)

3回での試験の再現性は±0.33%F.S (目標仕様±0.5%F.S)であった。

b. 校正点液位計

試験の結果、校正点精度は±1.9mm (目標精度±2.5mm)であり、3回の試験での再現性は±1mm (目標仕様±1.0mm)以下であった。

c. 基準液位計

基準液位計についてもアルミパイプによる動作確認試験を行い、全ての固定点ポイントで±2.0mm以下の精度 (目標精度±2.5mm) を有することを確認した。

再現性については、3回の試験で±1mm (目標仕様±1.0mm) 以下であった。

(2) 電源電圧変動試験

長尺液位計の電源電圧変動試験の結果は下表のとおりであった。

電源電圧 [V]	90V	100V	110V
出力電圧 (1~5V)	0.936V	0.936V	0.934V
変動率 [%] $= \frac{\text{出力電圧} - \text{基準}}{4} \times 100$	0%	0%	-0.05%
BIN電源電圧 [V] ±2.4V	+23.98 -23.98	+23.98 -23.98	+23.98 -23.98
" [V] ±1.5V	+14.99 -14.99	+14.99 -14.99	+14.99 -14.99

(条件) 電圧設定5分後に測定, 液位0%, 50Hz

(3) 電源周波数変動試験

長尺液位計の電源周波変動試験の結果を下表に示す。

電源周波数〔Hz〕	50Hz	60Hz	56Hz	64Hz	60Hz	50Hz
出力電圧 (1～5V)	0.932V	0.931V	0.931V	0.930V	0.930V	0.932V
変動率〔%〕 $= \frac{\text{出力電圧} - \text{基準}}{4} \times 100$	0%	-0.03%	-0.03%	-0.03%	-0.05%	0%
BIN電源電圧〔V〕 ±2.4V	+23.98 -23.98	+23.98 -23.98	+23.98 -23.98	+23.98 -23.98	+23.98 -23.98	+23.98 -23.98
"〔V〕 ±1.5V	+14.98 -14.99	+14.98 -14.99	+14.98 -14.99	+14.98 -14.99	+14.98 -14.99	+14.98 -14.99

(条件) 周波数設定5分後に測定, 液位0%, 電源電圧100V

(4) 負荷抵抗変動試験

長尺液位計の4～20mA出力部の負荷抵抗による変動試験の結果を下表に示す。

負荷抵抗〔Ω〕	250Ω	500Ω	(条件)
出力電圧 (4～20mA×負荷抵抗)	(A) 0.931V	(B) 1.858V	液位0%
変動率〔%〕 $= \frac{B - 2A}{8} \times 100$	0.05%		

(5) 定電流励磁回路負荷変動試験

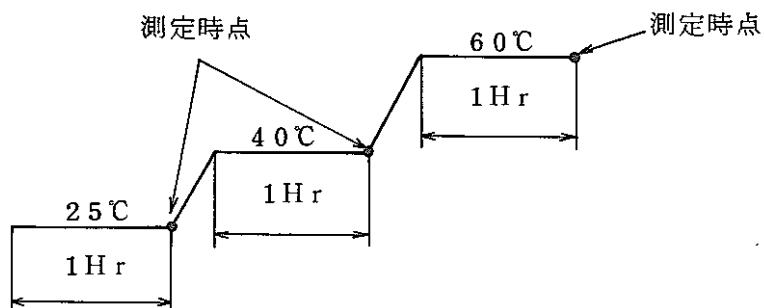
定電流励磁コイル (約25Ω) に直列抵抗 (66Ω) を入れた場合と, この直列抵抗を短絡した場合 (通常状態) について, その影響を確認した結果を下表に示す。

負荷の有無	有	無	(条件)
出力電圧 (1～5V)	(A) 3.036V	(B) 3.037V	液位50%模擬
変動率〔%〕 $= \frac{A - B}{4} \times 100$	-0.03%		

(6) 温度試験

a. 温度パターン A

下図に示す温度を増幅部に与えた場合の試験結果を下表に示す。

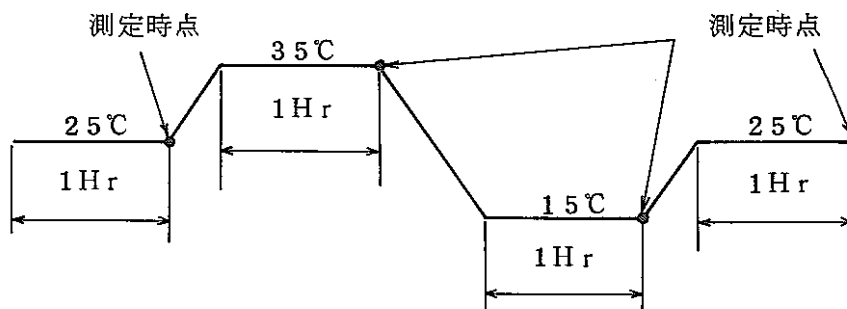


温度 [°C]	25 °C	40 °C	60 °C
励磁電流 [mA]	99.90mA	99.41mA	98.41mA
出力電圧 (1 ~ 5 V)	0.973V	0.932V	0.841V
変動率 [%] = $\frac{\text{出力電圧} - \text{基準}}{4} \times 100$	0 %	-1.0 %	-3.3 %

(条件) 液位 0 %

b. 温度パターン B

下図に示す温度を増幅部に与えた場合の試験結果を下表に示す。



温度〔℃〕	25℃	35℃	15℃	25℃
励磁電流〔mA〕	100.56mA	100.12mA	100.98mA	100.46mA
出力電圧（1～5V）	1.038V	0.978V	1.046V	0.994V
変動率〔%〕 $= \frac{\text{出力電圧} - \text{基準}}{4} \times 100$	0%	-1.5%	0.2%	-1.1%

(7) 耐ノイズ試験

ノイズ発生器（NOISE SIMULATOR TYPE RNS-II）にて、ノイズ周期 0.125SEC，継続時間 500SEC のノイズをノイズケーブルと信号ケーブルを 2m 接触するよう配置して与えた場合の影響を以下に示す。

a. 連続式液位計

検出器アンプ間ケーブル：0.1%P-P

4～20mA 出力ケーブル：0.2%P-P

b. 基準液位計

検出器アンプ間ケーブル：ランプ誤動作なし

以上の試験の他，絶縁抵抗試験，耐電圧試験等を実施し異常のないことが確認された。

 長尺液位計の電源ON状態を示す。

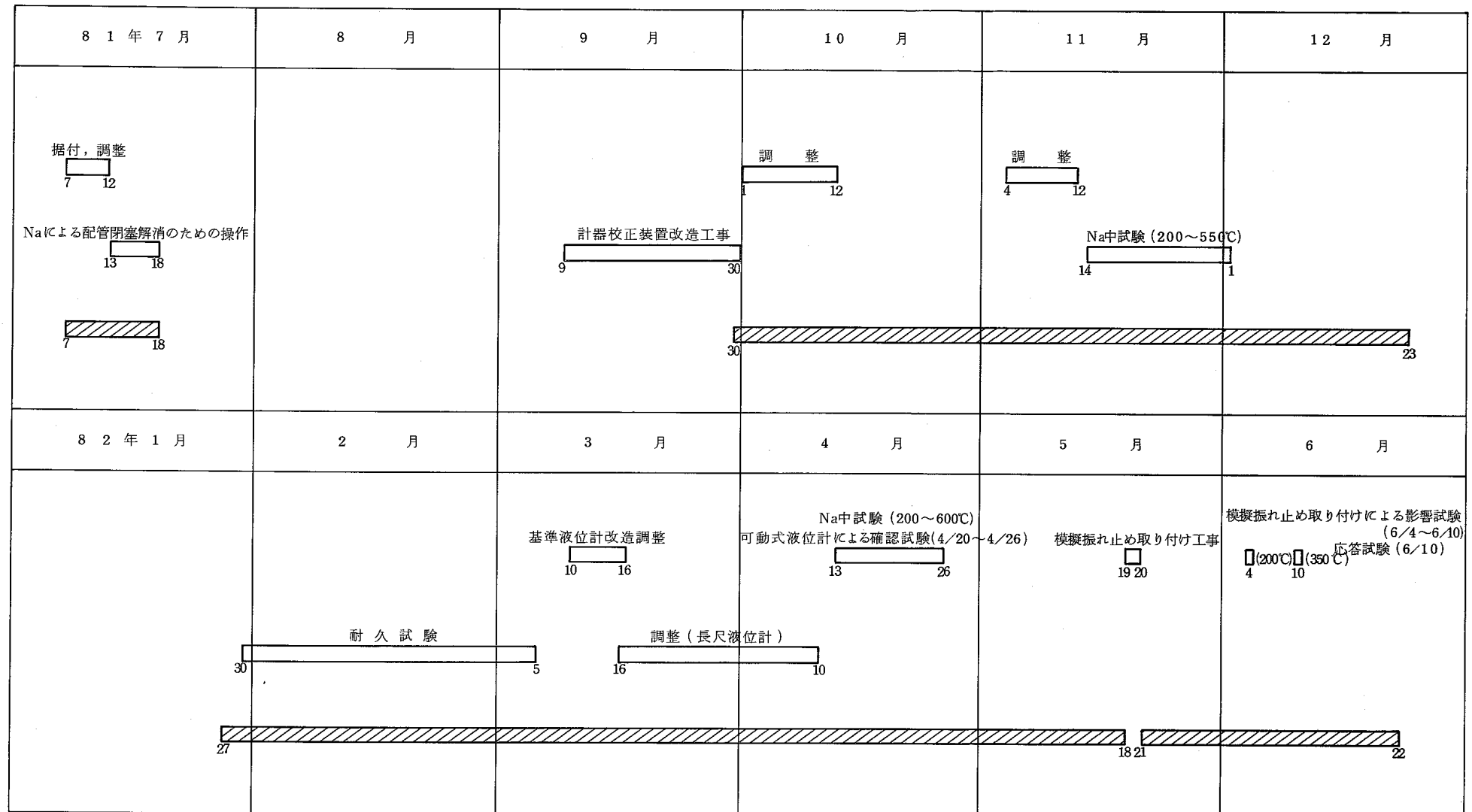


Fig.5-1 試験日程表

Time Schedule of Experiments

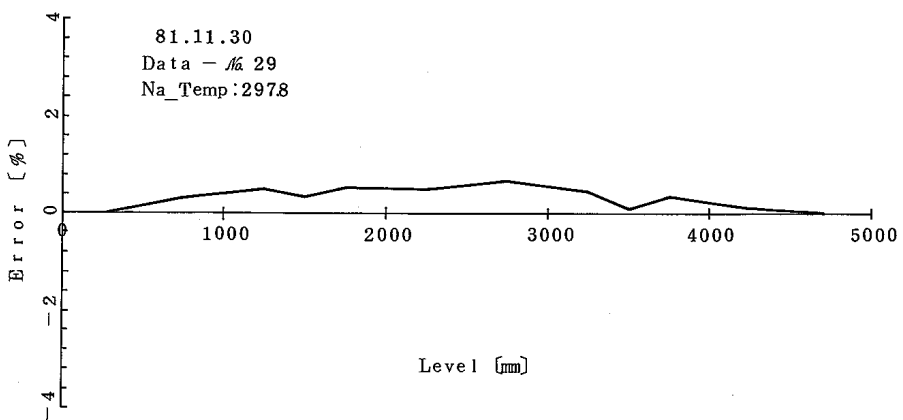
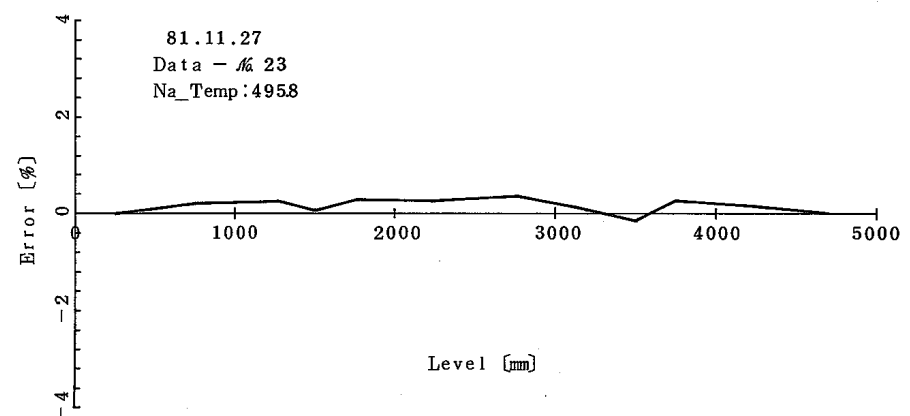
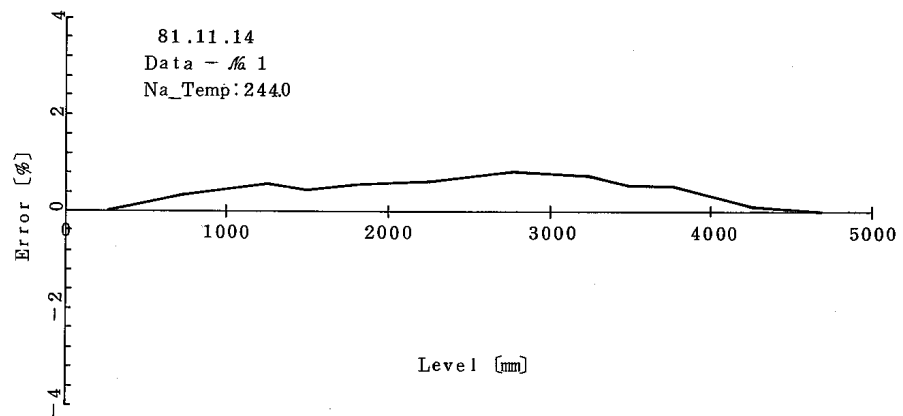
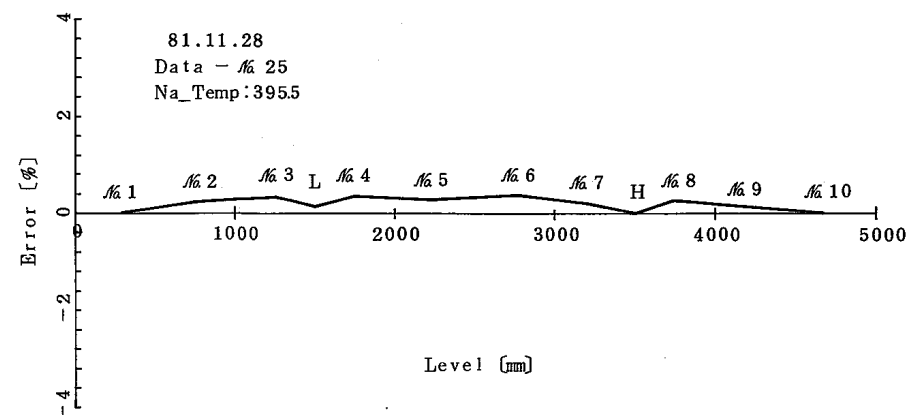
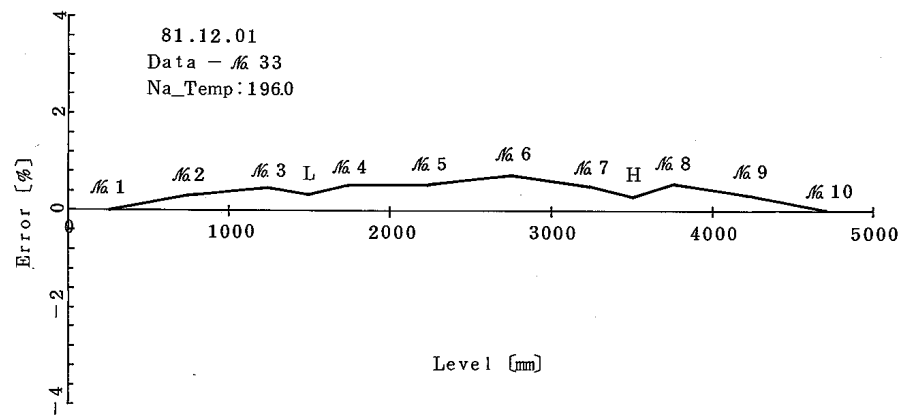


Fig. 5-2 直線性試験1 (長尺液位計)
Linearity Test1(Long Length Level-Meter)

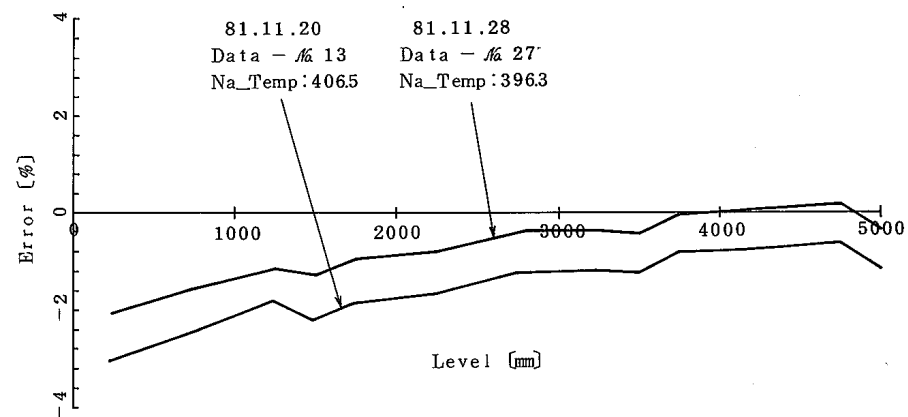
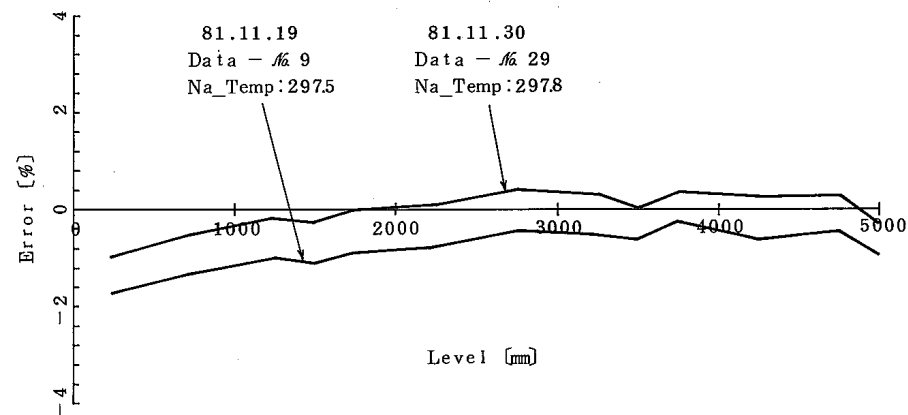
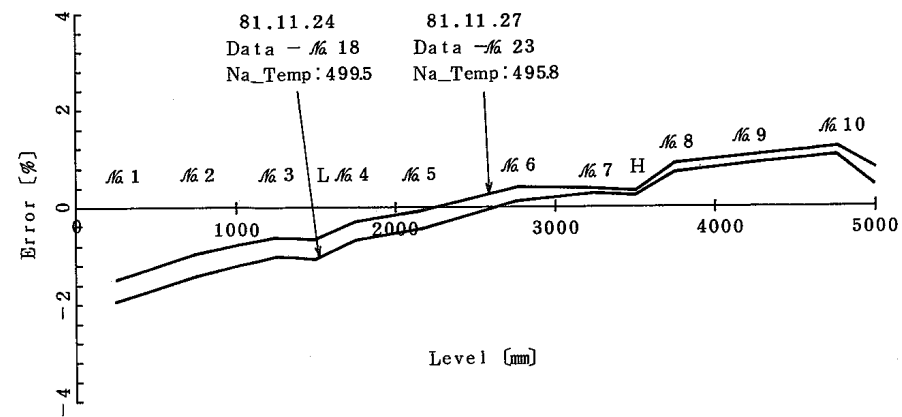
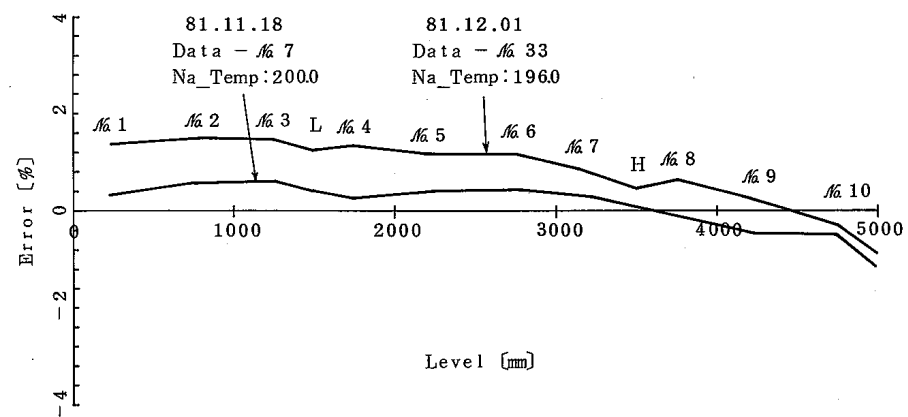


Fig. 5-3 再現性1 (長尺液位計)
Repeatability [Long Length Level-Meter]

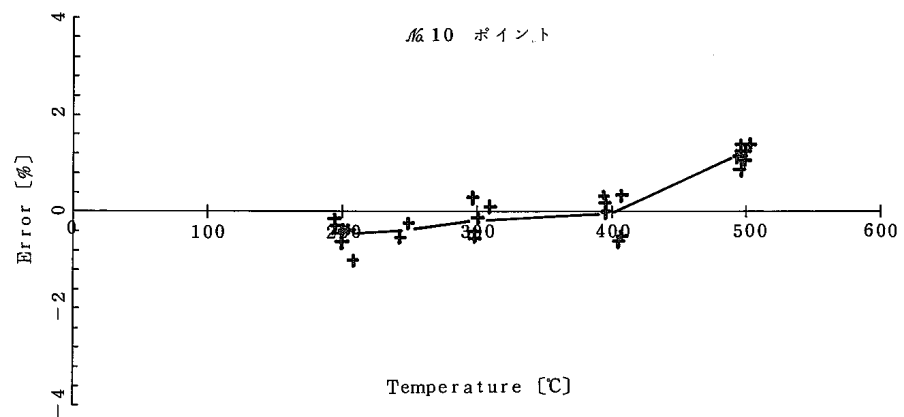
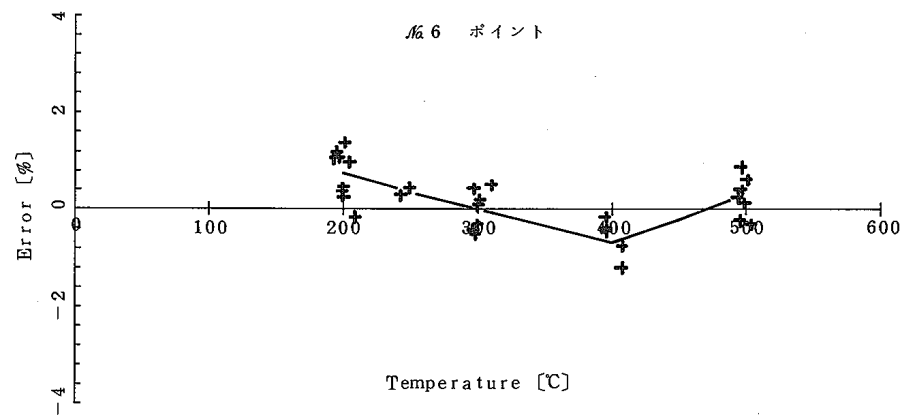
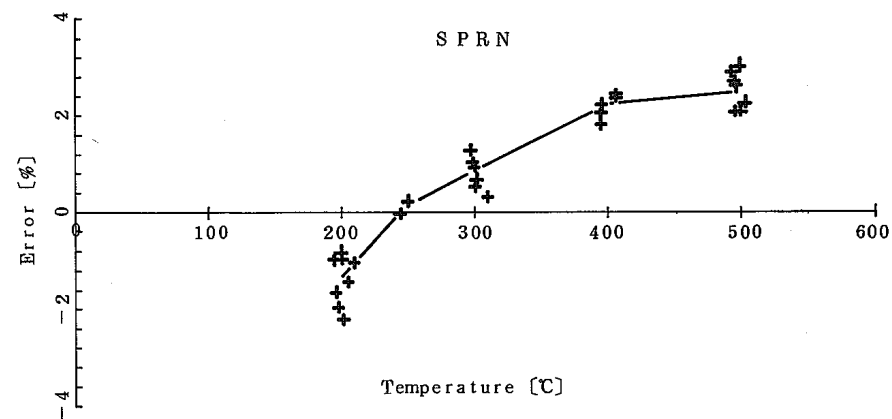
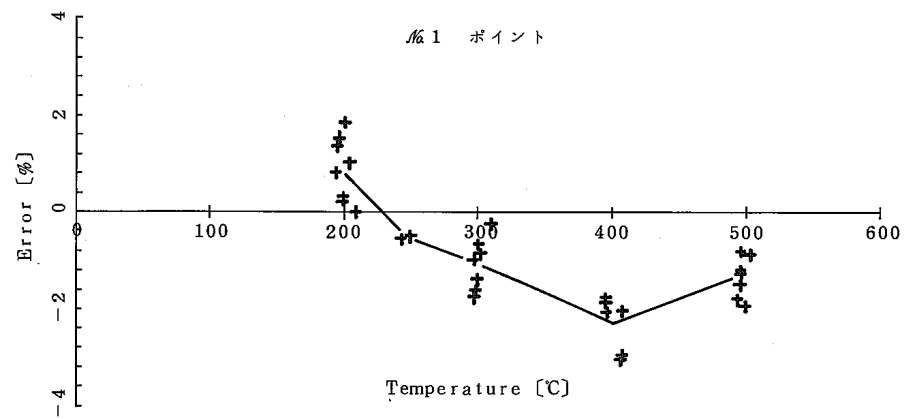


Fig. 5-4 温度影響 1 (長尺液位計)
Degree of Temperature Dependence 1
[Long Length Level-Meter]

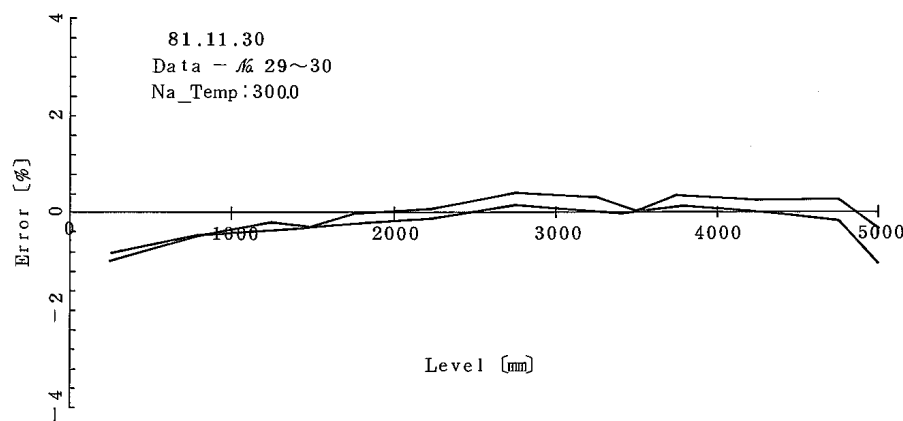
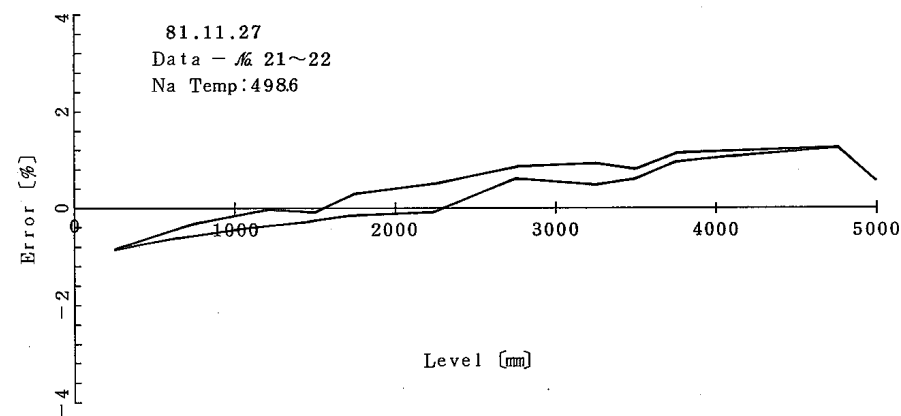
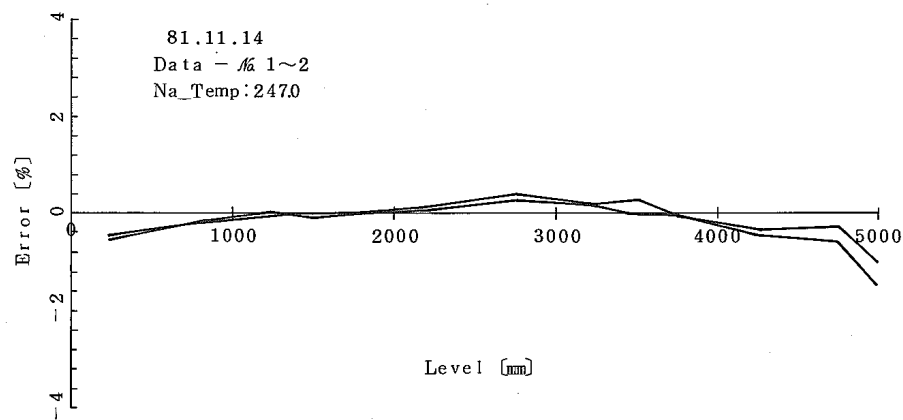
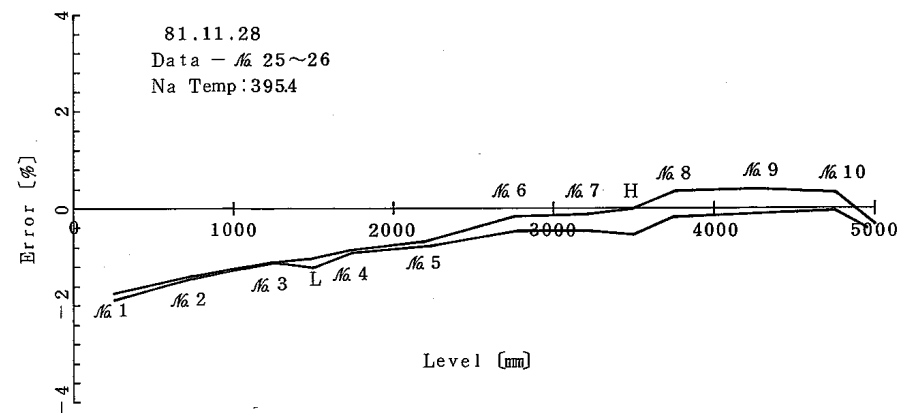
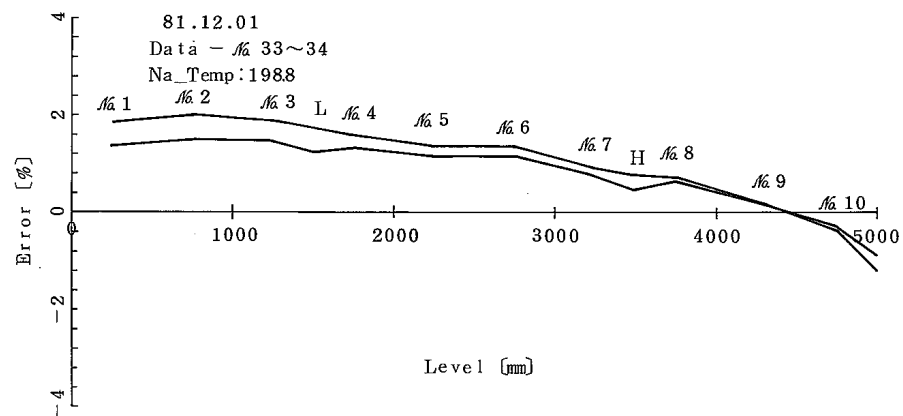


Fig. 5-5 ヒステリシス特性 1 (長尺液位計)
Hysteresis1[Long Length Level-Meter]

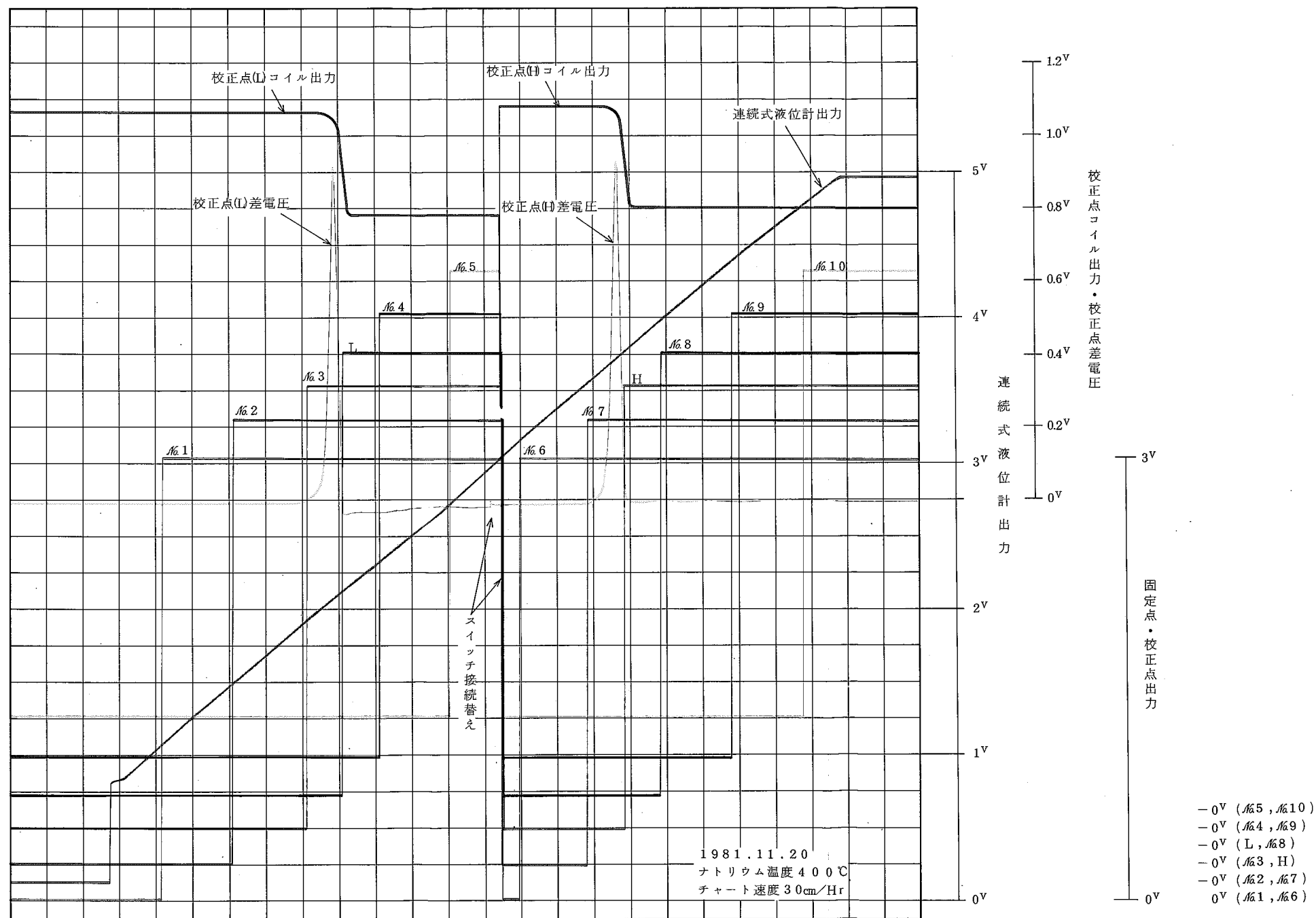


Fig. 5-6 ナトリウム中試験記録 (レベル上昇時)
Recorder Chart of Level-Meten Output

Table. 5-1 精度 (第1回調整後)

Accuracy of Level-Meter (After First Adjustment)

ナトリウム温度	精 度	仕 様
200℃	$<\pm 1.47\% \text{F.S}$	$\pm 2\% \text{F.S}$ (目標値)
250℃	$<\pm 1.73\% \text{F.S}$	
300℃	$<\pm 2.01\% \text{F.S}$	
400℃	$<\pm 2.87\% \text{F.S}$	
500℃	$<\pm 2.07\% \text{F.S}$	

(注) ナトリウム温度は設定温度に対し, $\pm 10^\circ\text{C}$ 以内で温度制御される。

Table. 5-2 校正点の精度 (第1回調整後)

Accuracy of Calibration Point (After First Adjustment)

ナトリウム温度	精 度		仕 様
	L 点	H 点	
200℃	$<\pm 0.52\% \text{F.S}$	$<\pm 0.53\% \text{F.S}$	$\pm 0.5\% \text{F.S}$
250℃	$<\pm 0.46\% \text{F.S}$	$<\pm 0.61\% \text{F.S}$	
300℃	$<\pm 0.39\% \text{F.S}$	$<\pm 0.41\% \text{F.S}$	
400℃	$<\pm 0.21\% \text{F.S}$	$<\pm 0.25\% \text{F.S}$	
500℃	$<\pm 1.17\% \text{F.S}$	$<\pm 0.56\% \text{F.S}$	

(注) ナトリウム温度は設定温度に対し, $\pm 10^\circ\text{C}$ 以内で温度制限される。

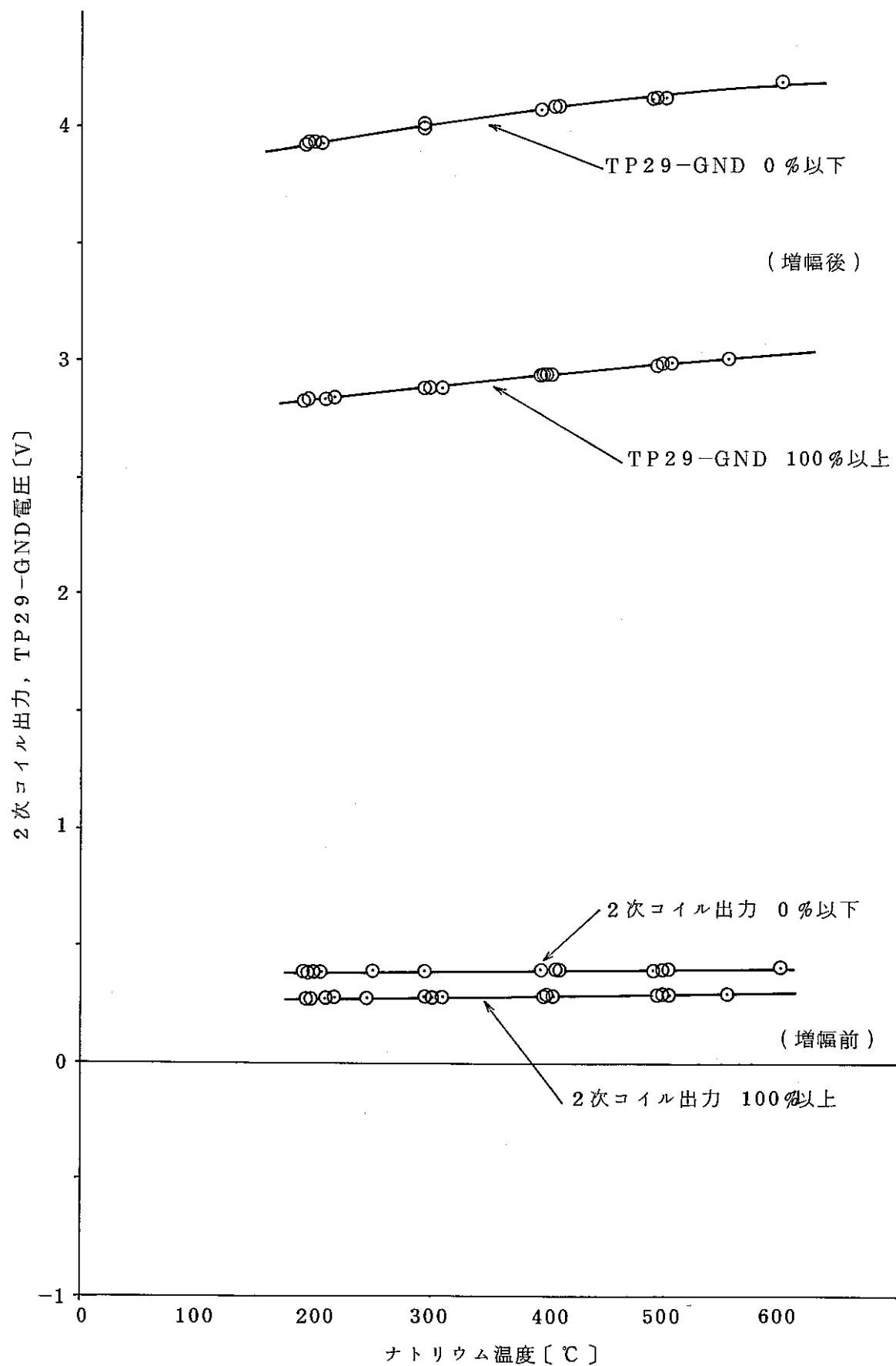


Fig.5-7 2次コイル出力特性1

Output of Secondary Coil1

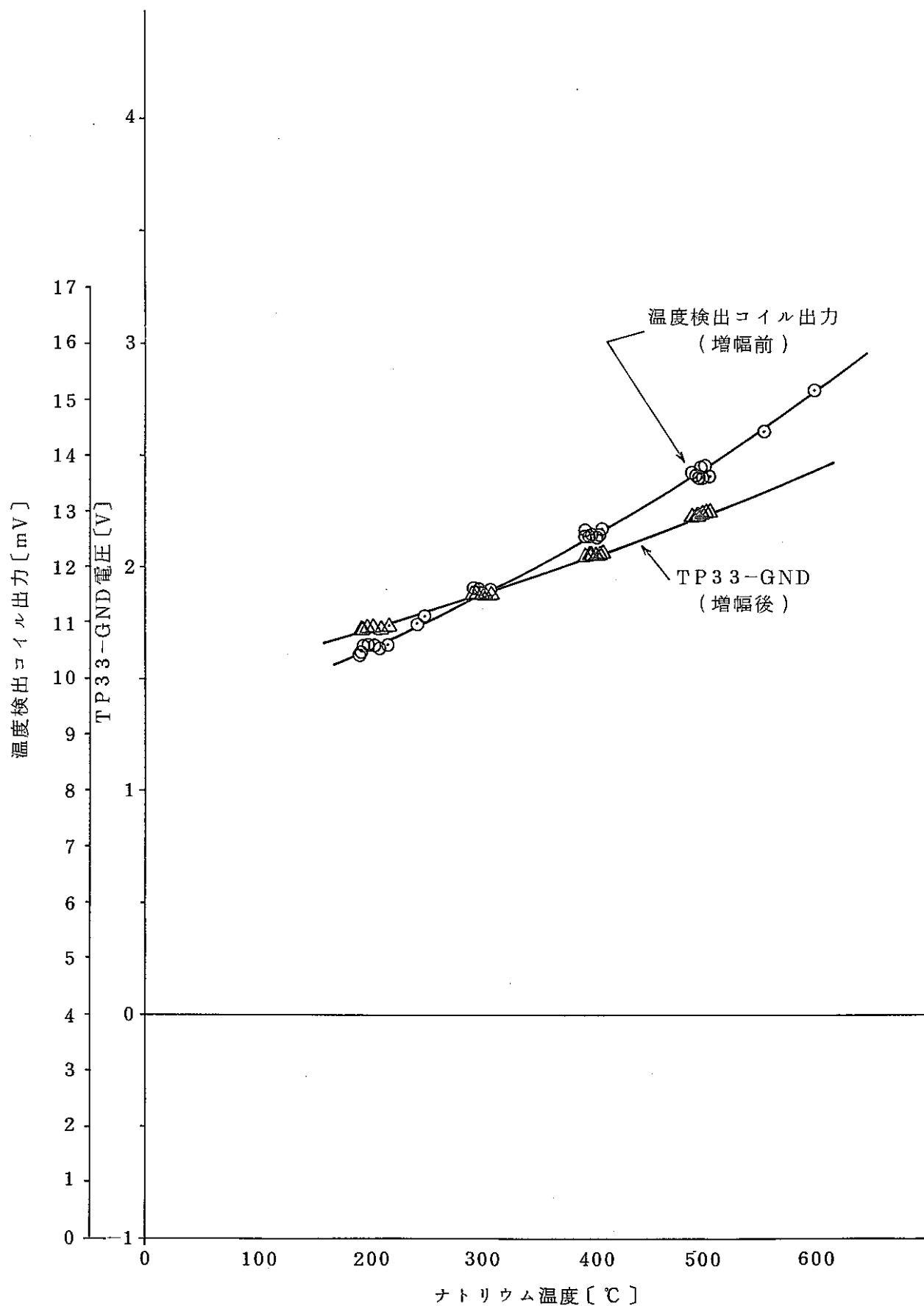


Fig.5-8 温度検出コイル出力特性1

Output of Temperature Detection Coil1

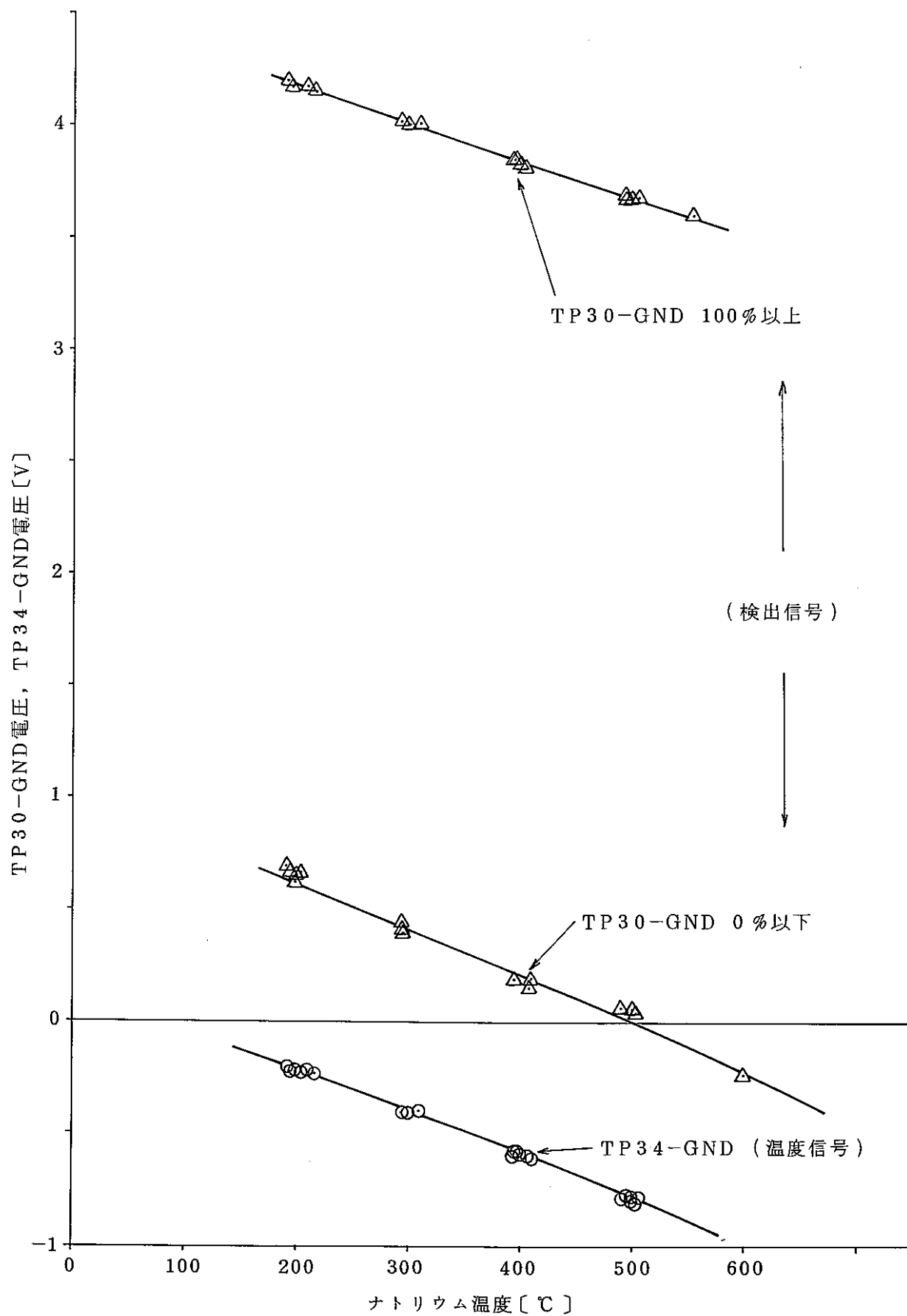


Fig.5-9 温度補償回路入力信号1

Signals for Temperature Compensation Circuit1

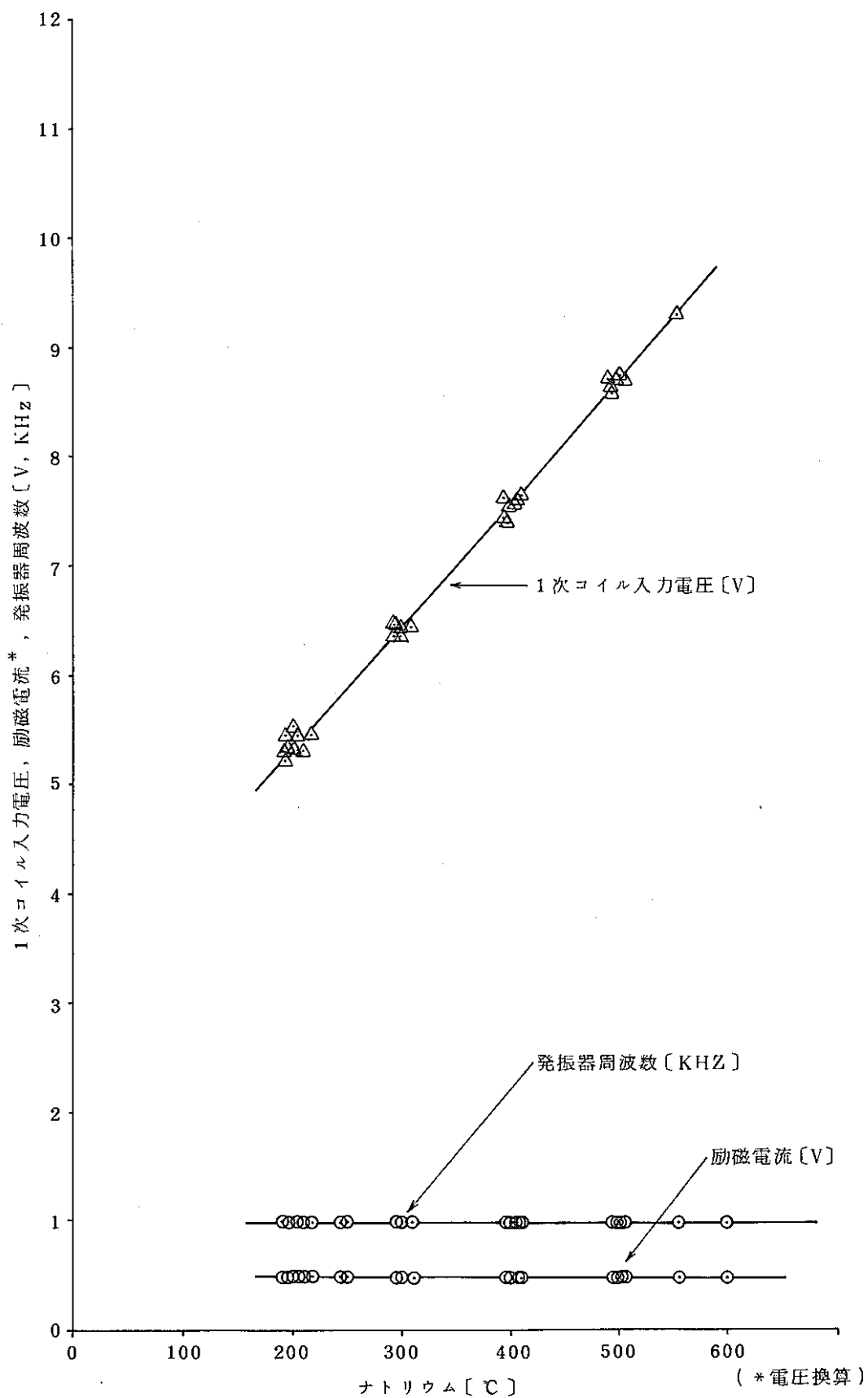


Fig.5-10 1次コイル入力特性1

Primary Coil Performance1

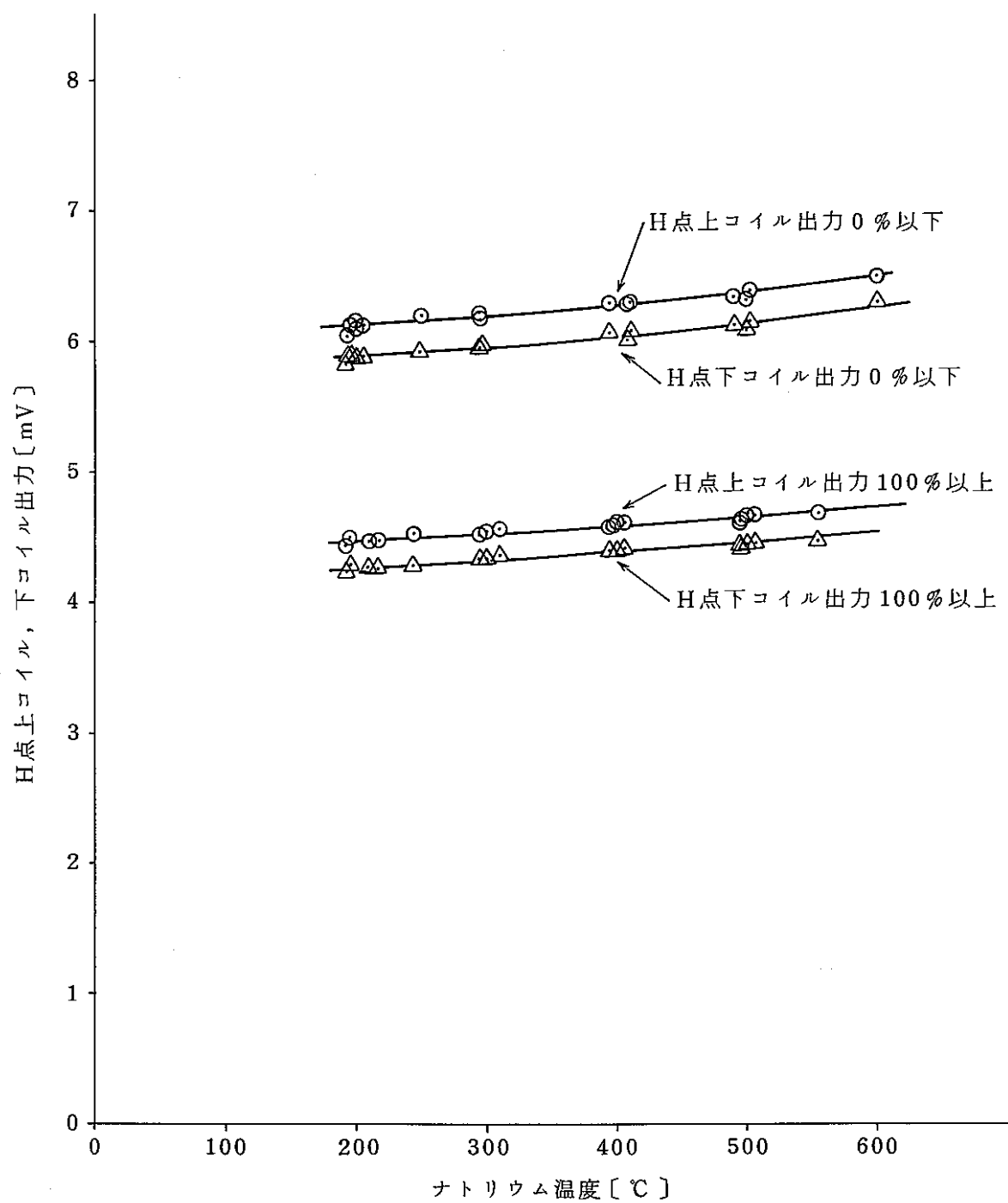


Fig.5-11 校正点用コイル出力特性1 (H点)
Output of Calibration Coil1 (H-Point)

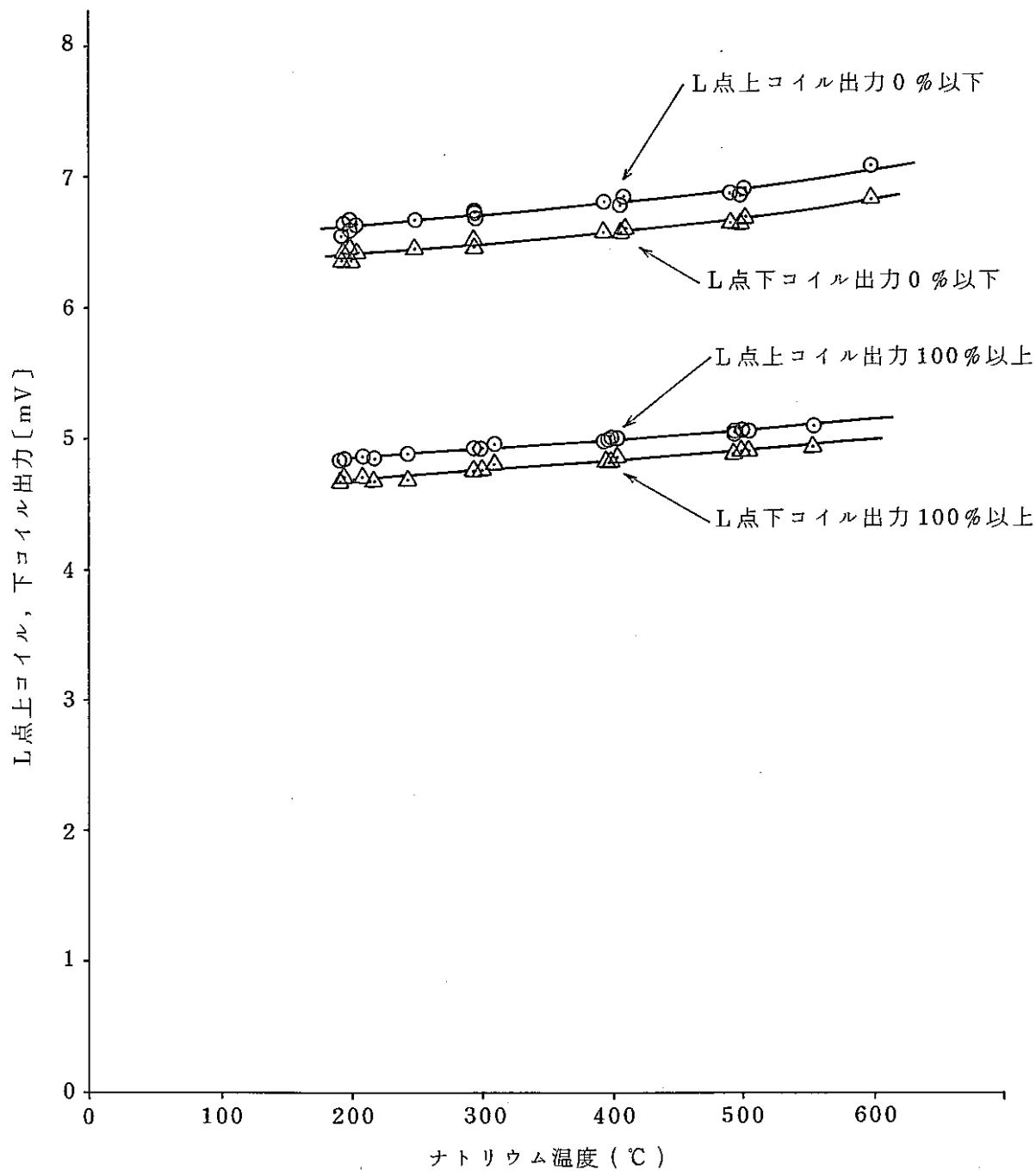


Fig.5-12 校正点用コイル出力特性 1 (L 点)
Output of Calibration Coil1(L-Point)

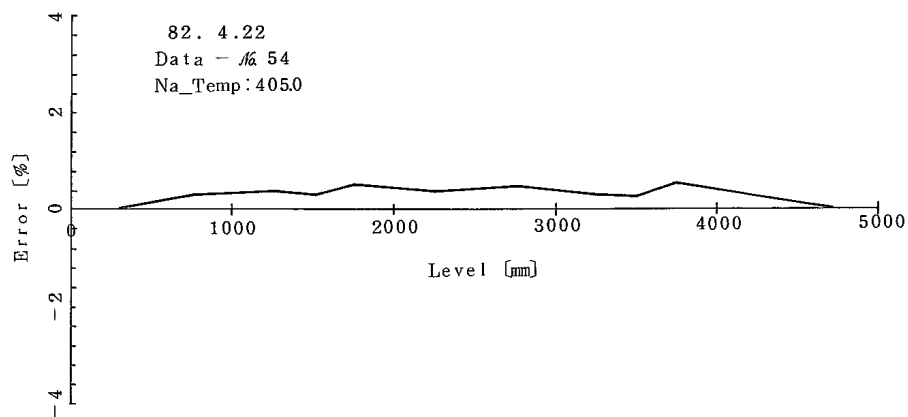
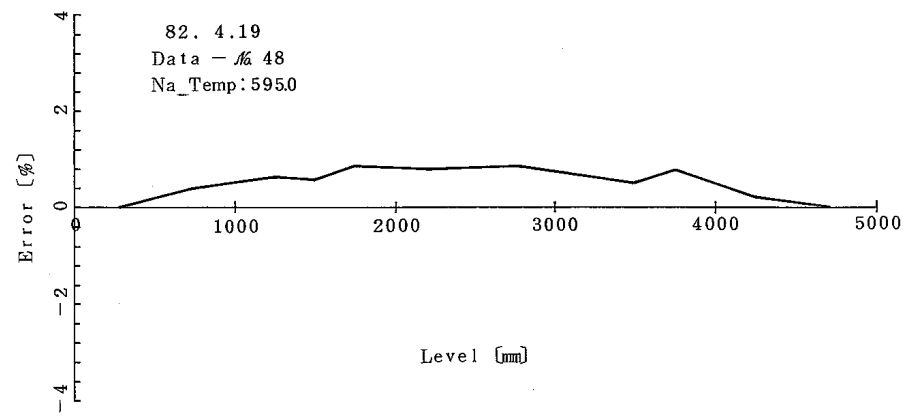
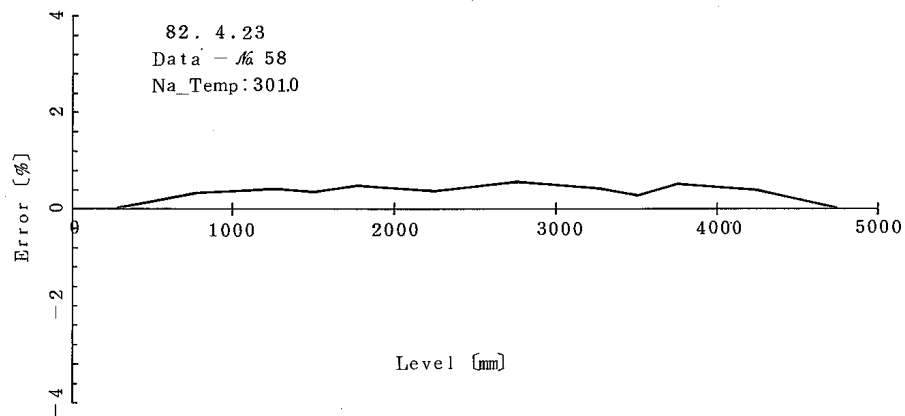
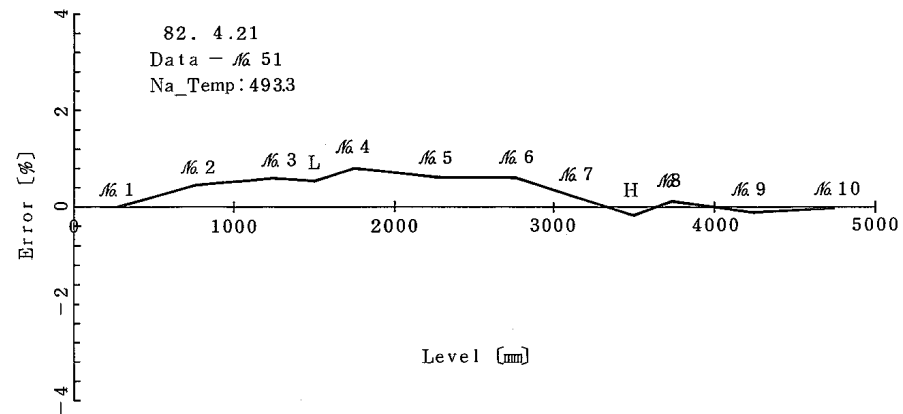
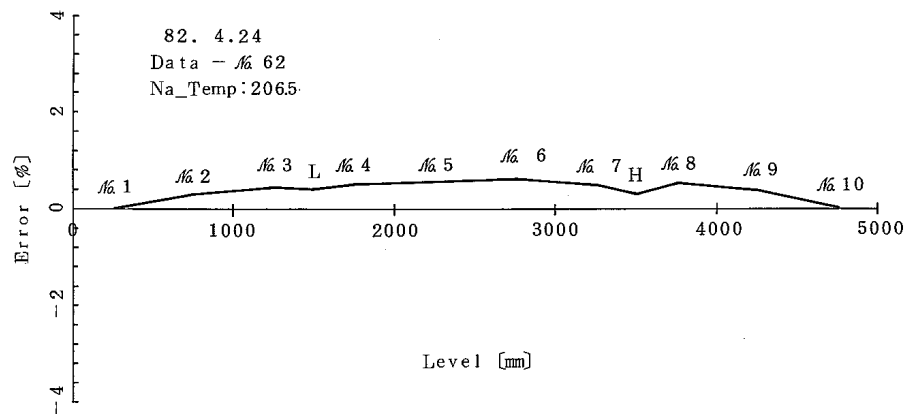


Fig. 5-13 直線性試験2 (長尺液位計)

Linearity Test2 [Long Length Level-Meter]

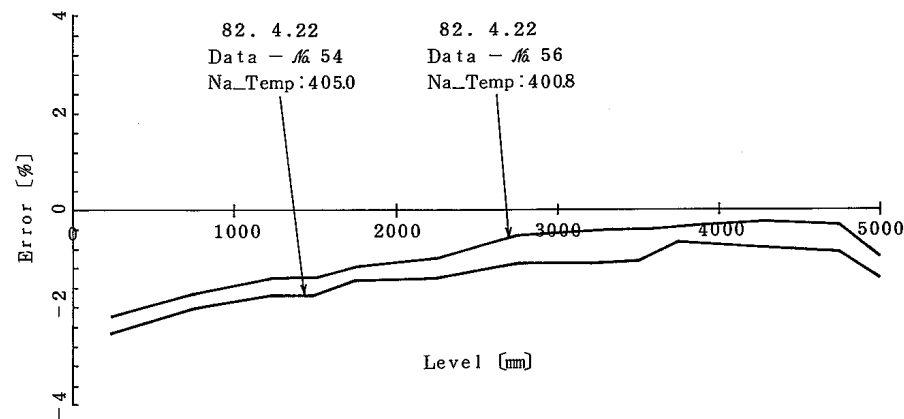
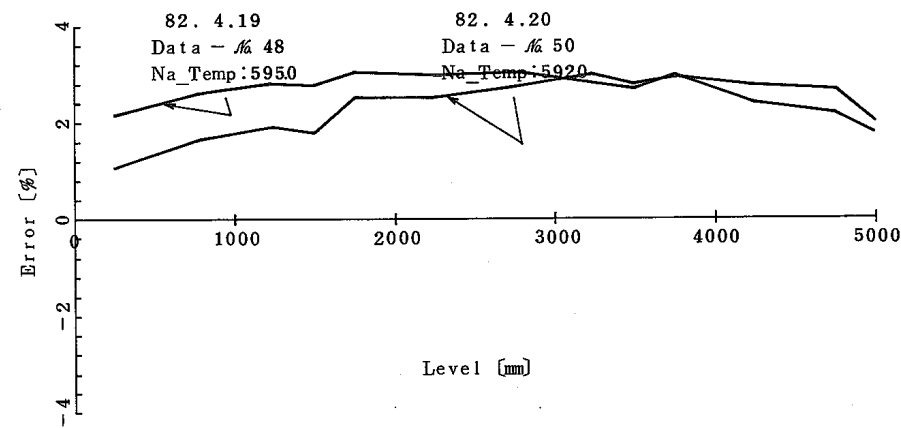
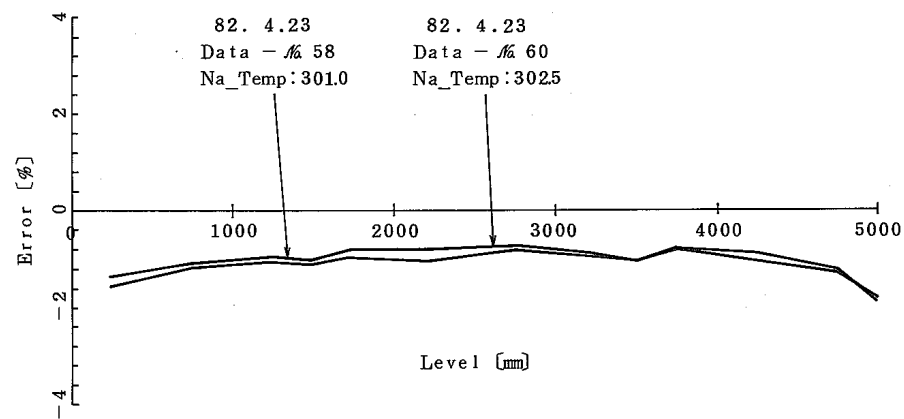
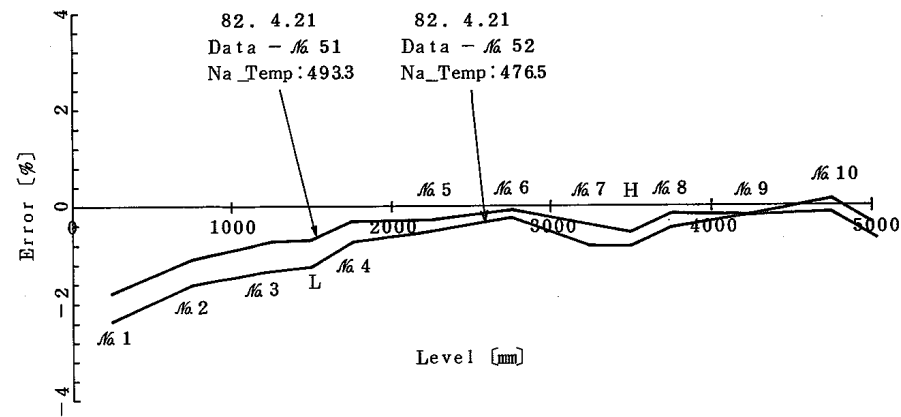
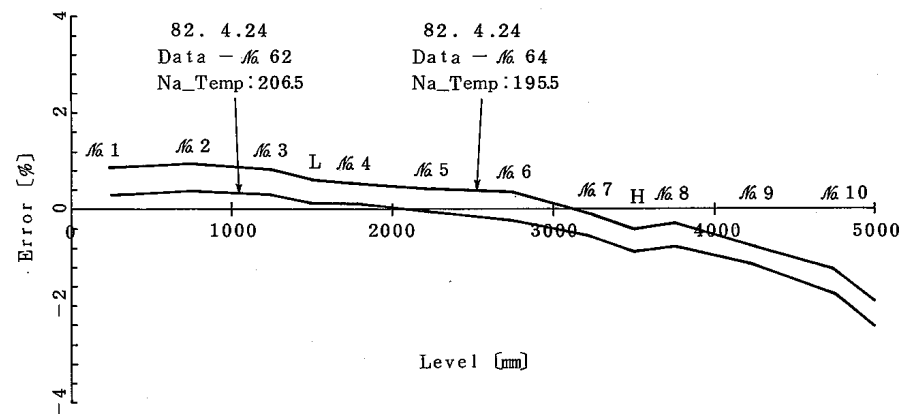


Fig. 5-14 再現性 2 (長尺液位計)
Repeatability2[Long Length Level Meter]

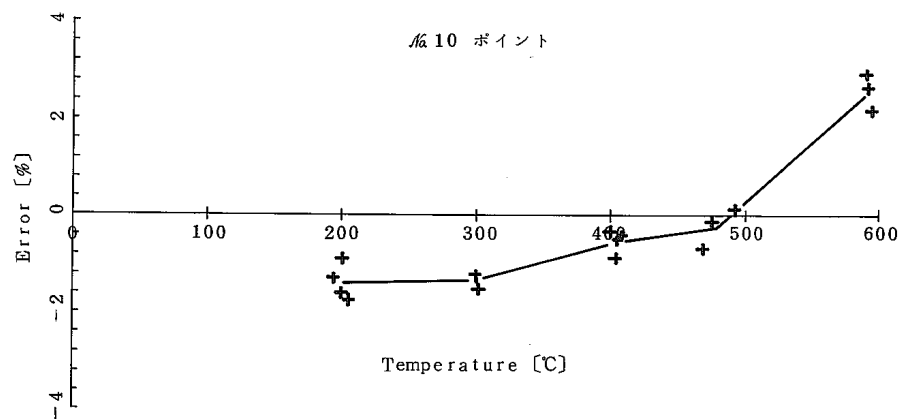
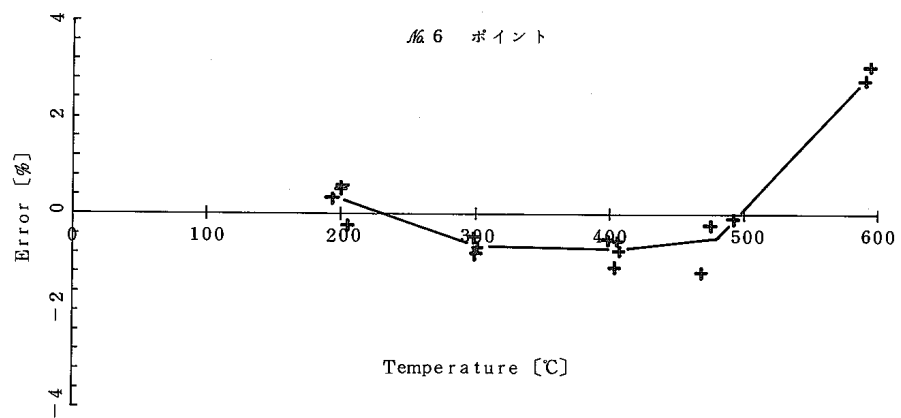
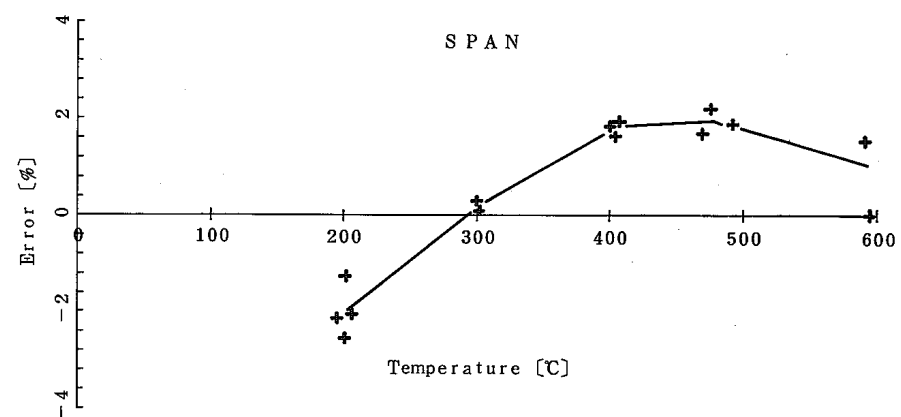
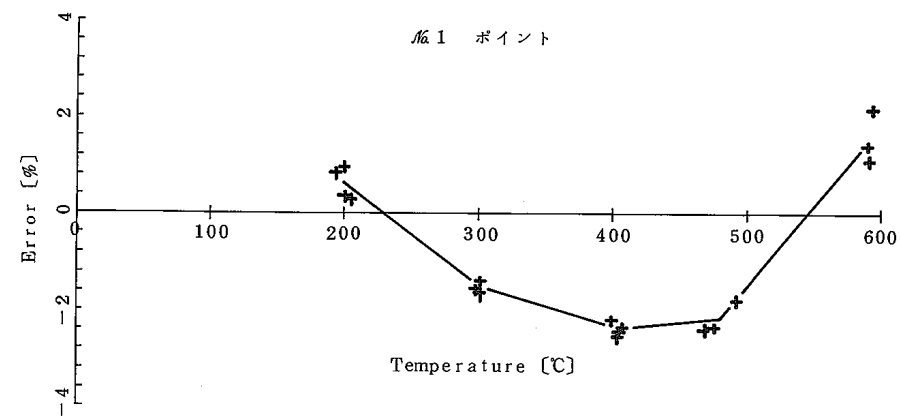


Fig. 5-15 温度影響2 (長尺液位計)
Degree of Temperature Dependence2
[Long Length Level-Meter]

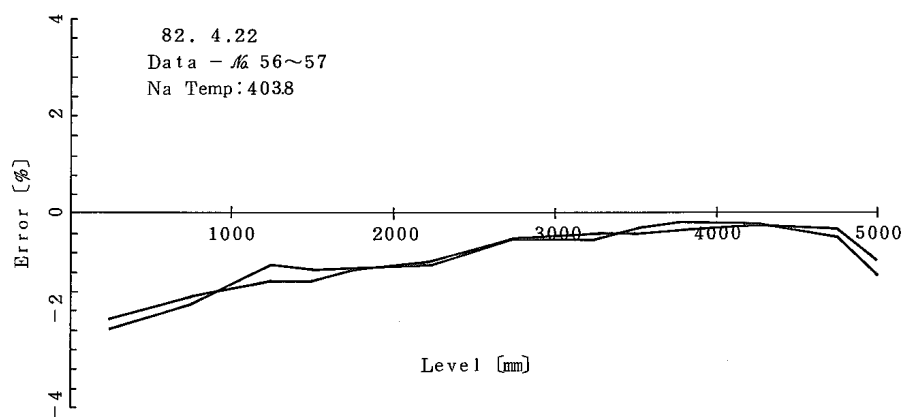
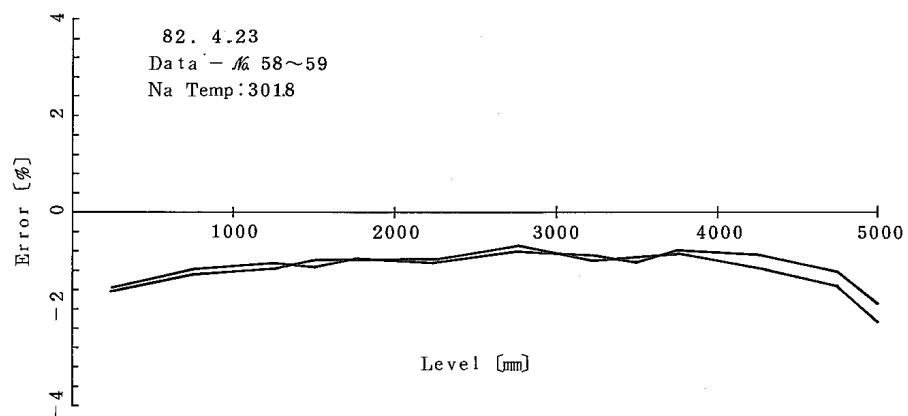
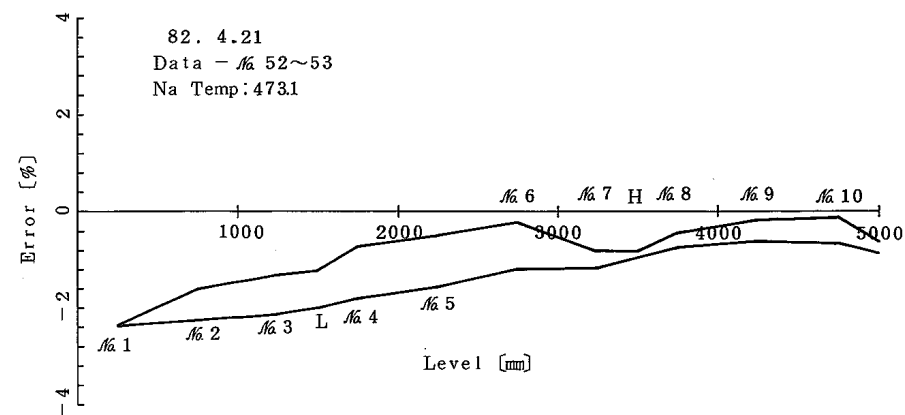
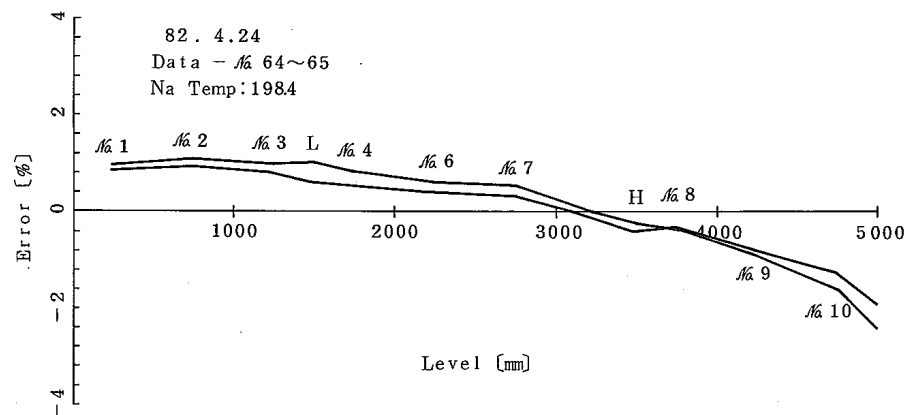


Fig. 5-16 ヒステリシス特性 2 (長尺液位計)
Hysteresis2 (Long Length Level-Meter)

Table. 5-3 精度 (第2回調整後)

Accuracy of Level-Meter (After Second Adjustment)

ナトリウム温度	精 度	仕 様
200℃	$< \pm 2.18 \% \text{F.S}$	$\pm 2 \% \text{F.S}$ (目標値)
300℃	$< \pm 2.29 \% \text{F.S}$	
400℃	$< \pm 2.87 \% \text{F.S}$	
500℃	$< \pm 2.69 \% \text{F.S}$	
600℃	$< \pm 3.34 \% \text{F.S}$	

(注) ナトリウム温度は設定温度に対し、 $\pm 10^\circ\text{C}$ 以内で温度制御される。ただし、500℃での試験には470℃のものが含まれている。

Table. 5-4 校正点の精度 (第2回調整後)

Accuracy of Calibration Point (After Second Adjustment)

ナトリウム温度	精 度		仕 様
	L 点	H 点	
200℃	$< \pm 0.78 \% \text{F.S}$	$< \pm 0.69 \% \text{F.S}$	$\pm 0.5 \% \text{F.S}$
300℃	$< \pm 0.62 \% \text{F.S}$	$< \pm 0.71 \% \text{F.S}$	
400℃	$< \pm 0.68 \% \text{F.S}$	$< \pm 0.67 \% \text{F.S}$	
500℃	$< \pm 0.56 \% \text{F.S}$	$< \pm 0.17 \% \text{F.S}$	
600℃	$< \pm 0.60 \% \text{F.S}$	$< \pm 0.55 \% \text{F.S}$	

(注) ナトリウム温度は設定温度に対し、 $\pm 10^\circ\text{C}$ 以内で温度制御される。
ただし、500℃での試験には470℃のものが含まれている。

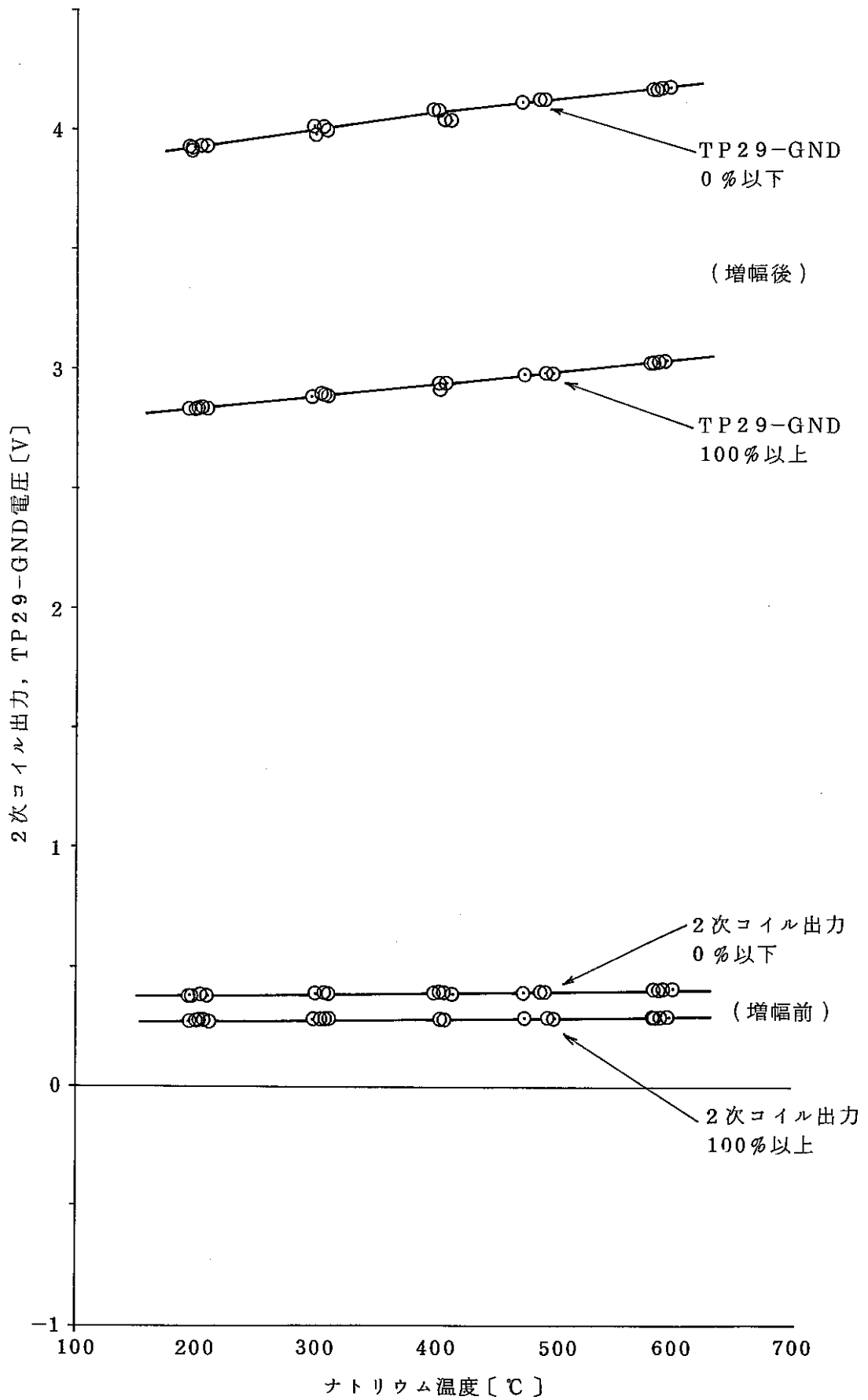


Fig.5-17 2次コイル出力特性2

Output of Secondary Coil2

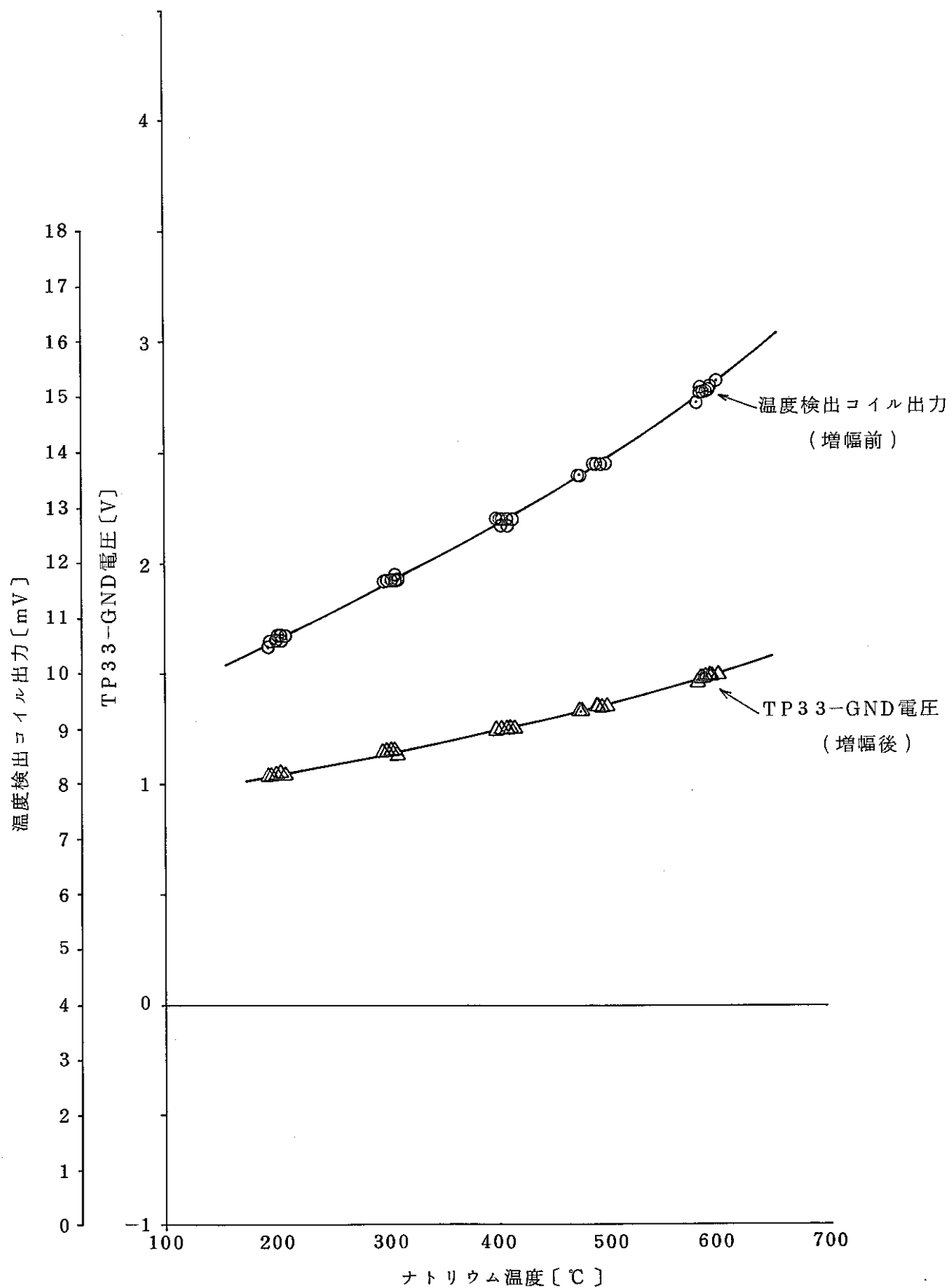


Fig.5-18 温度検出コイル出力特性2

Output of Temperature Detection Coil2

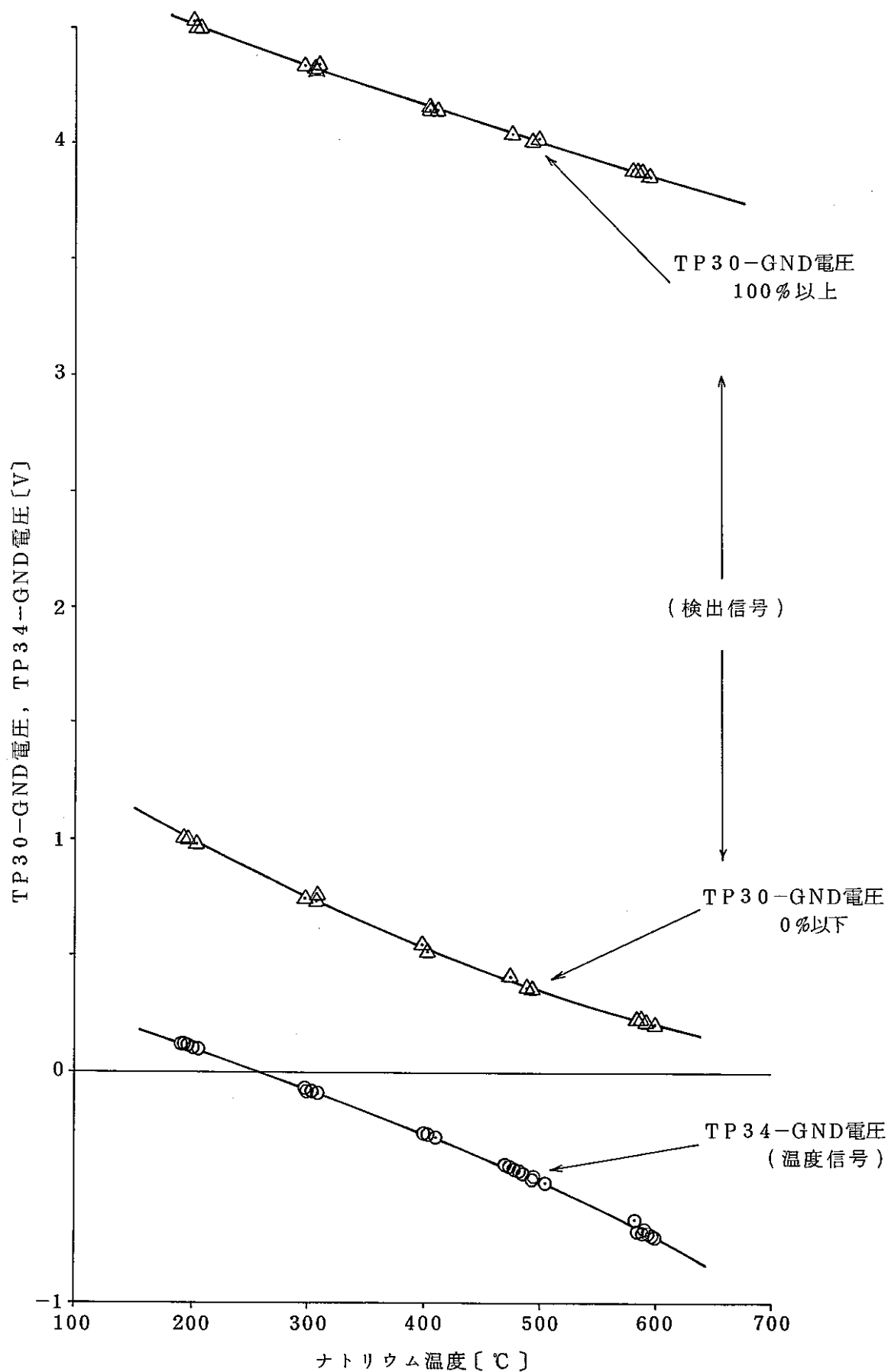


Fig.5-19 温度補償回路入力信号 2

Signals for Temperature Compensation Circuit2

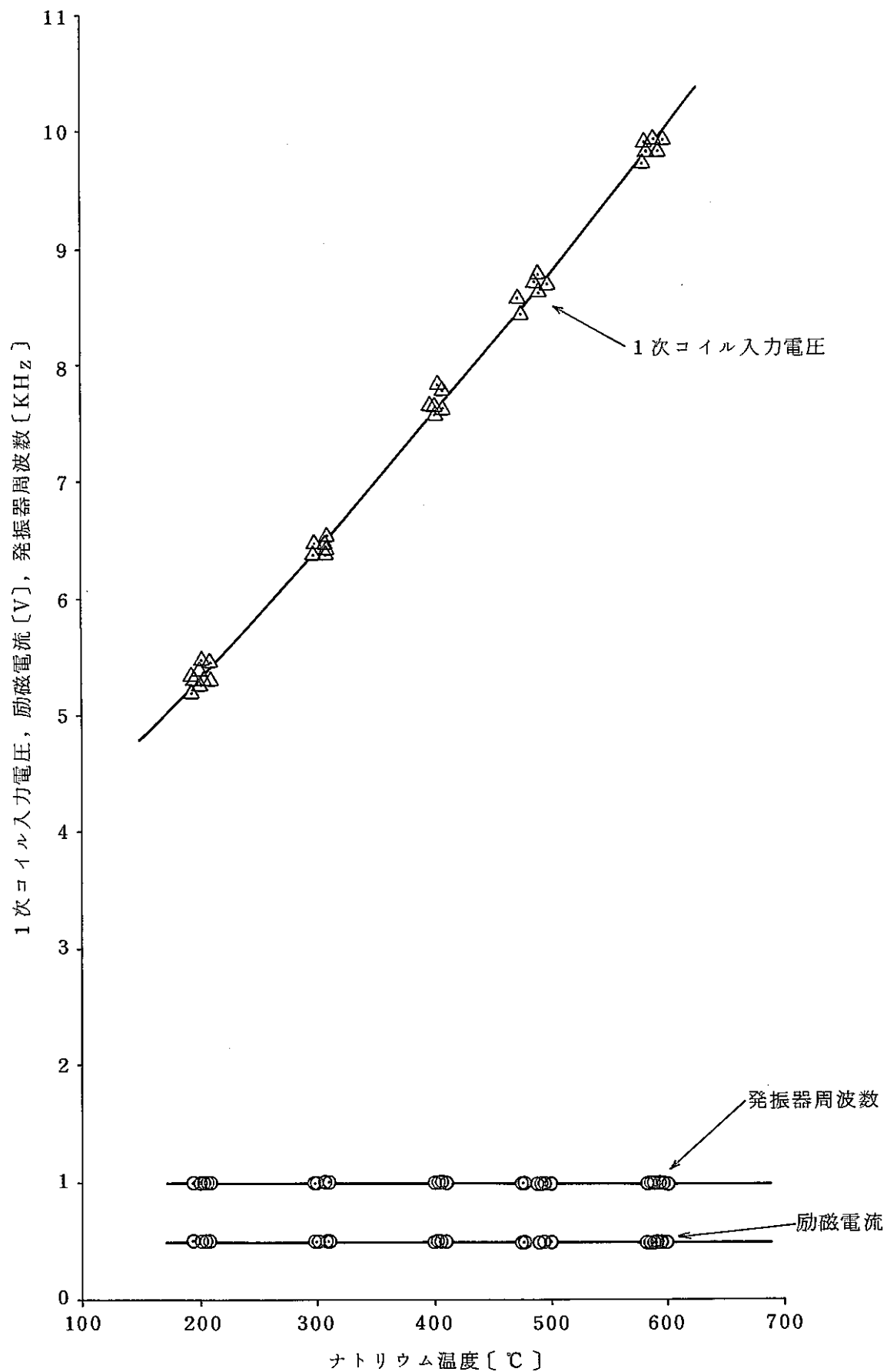


Fig.5-20 1次コイル入力特性2

Primary Coil Performance2

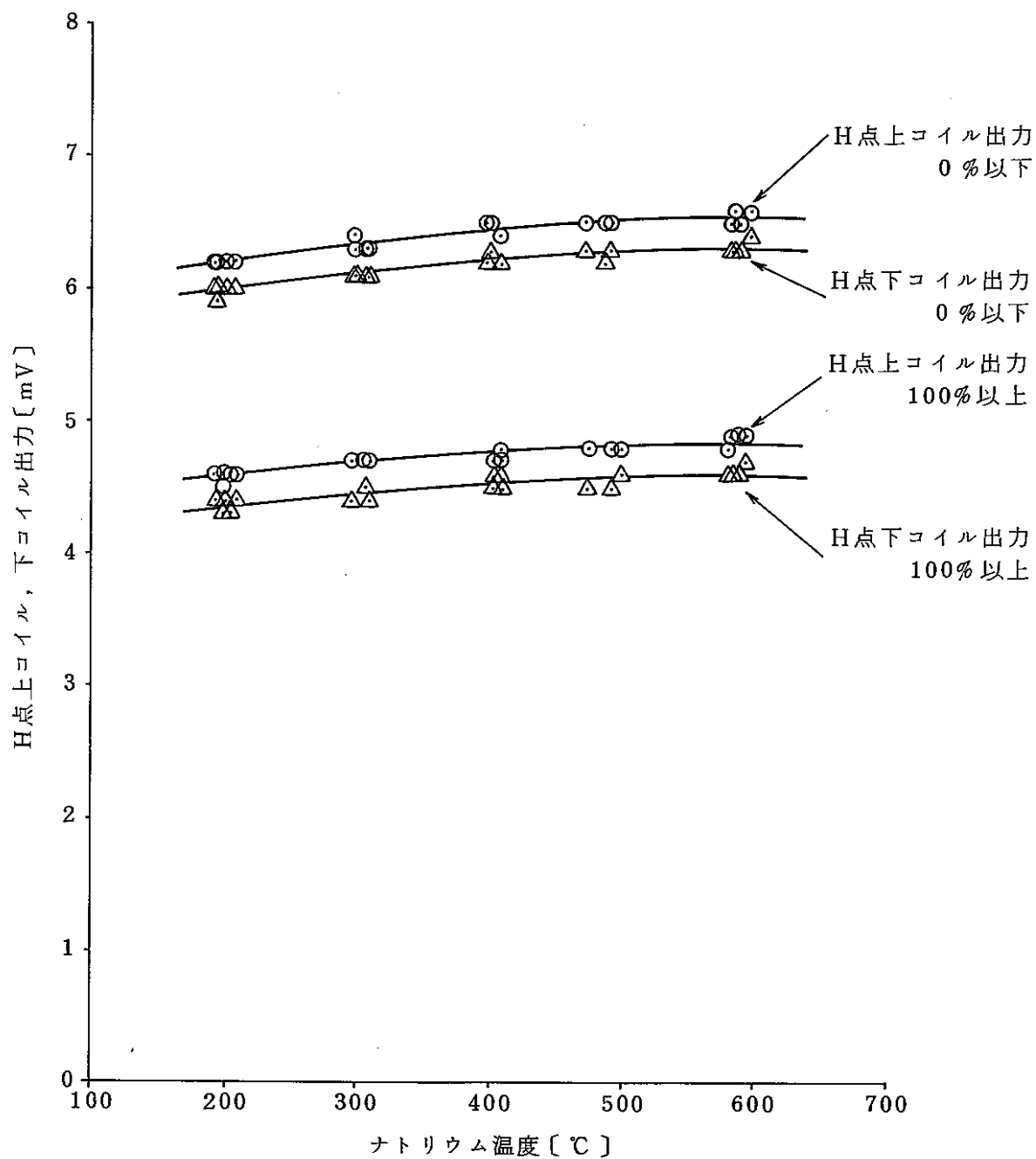


Fig.5-21 校正点用コイル出力特性2 (H点)
Output of Calibration Coil2 (H-Point)

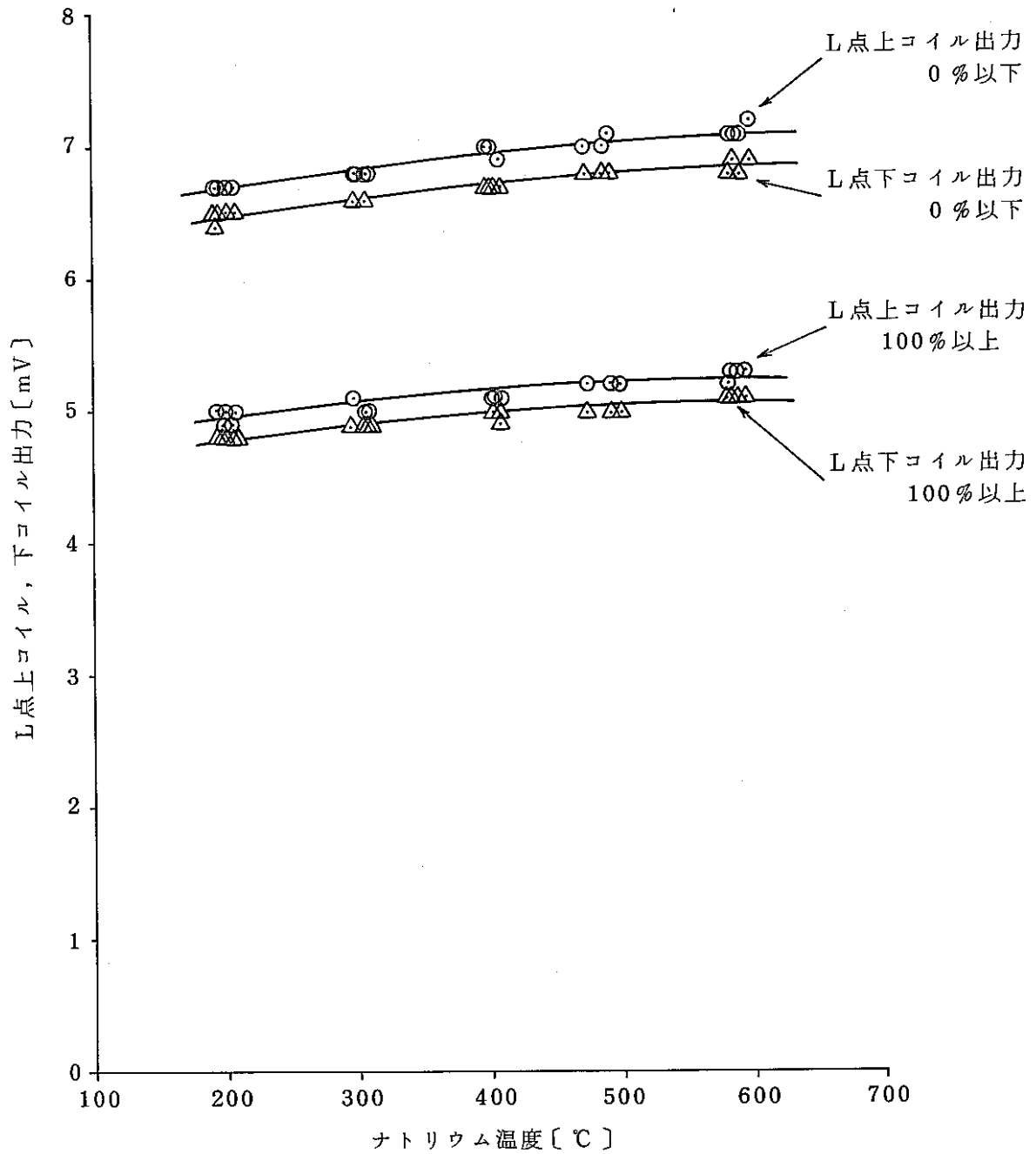


Fig.5-22 校正点用コイル出力特性 2 (L 点)
Output of Calibration Coil2(L-Point)

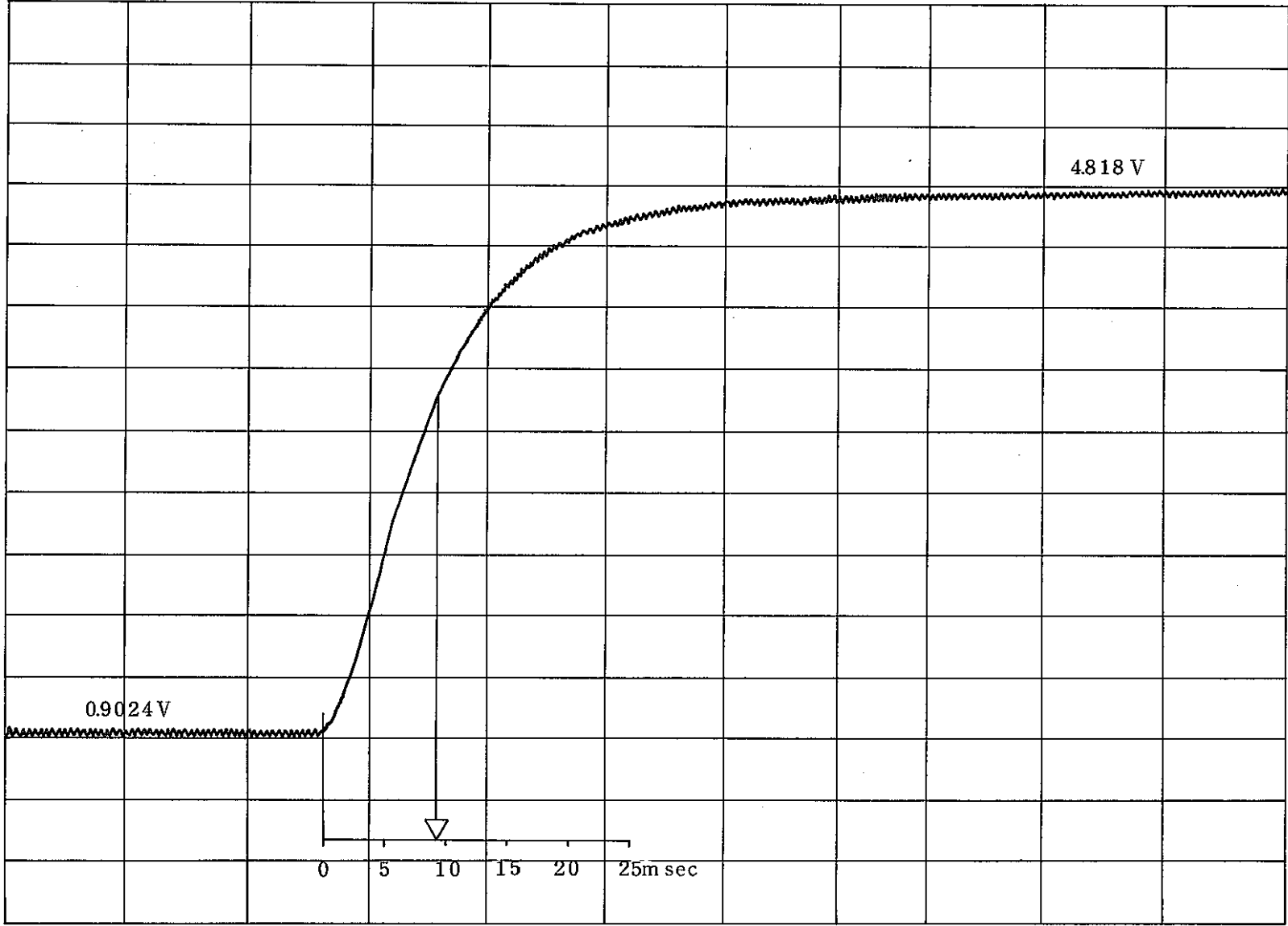


Fig.5-23 応答性試験 (その1)
Recorder Chart of Time Response Test (1)

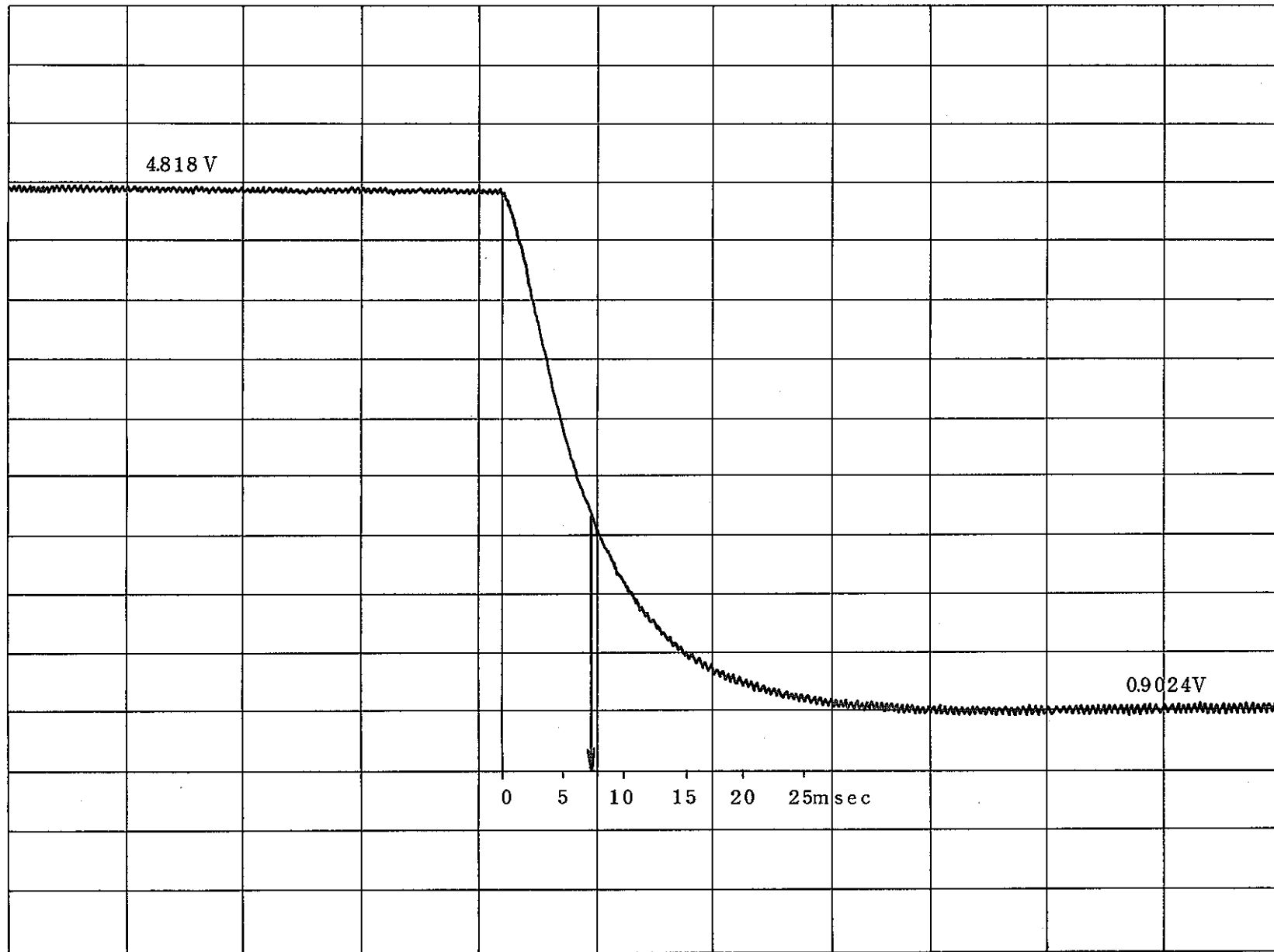


Fig.5-24 応答性試験 (その2)
Recorder Chart of Time Response Test (2)

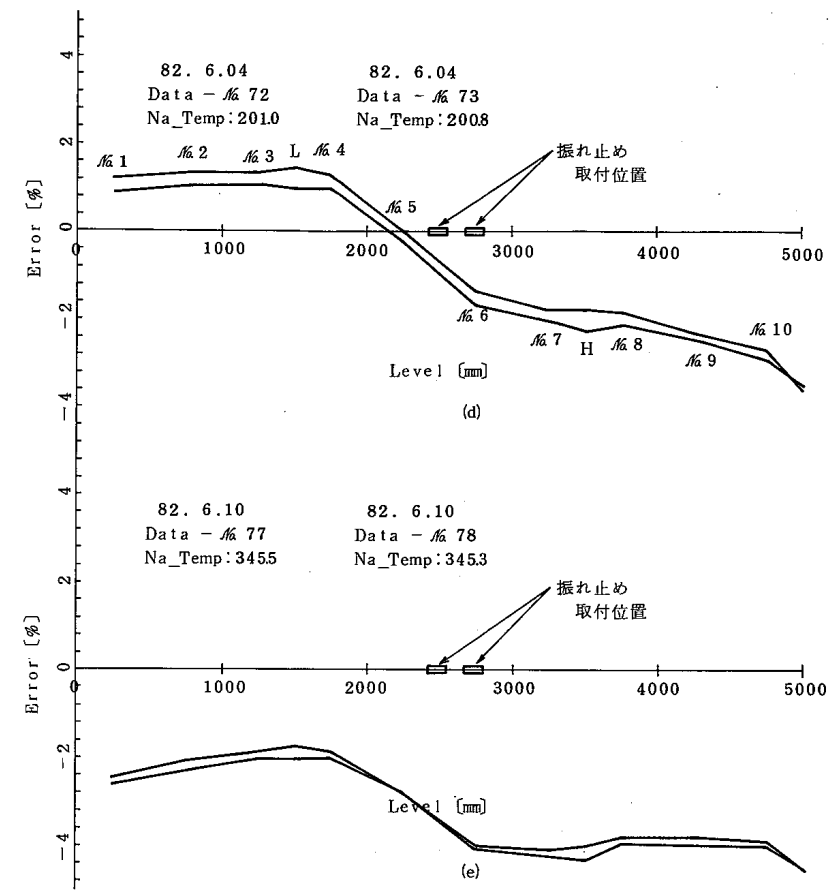
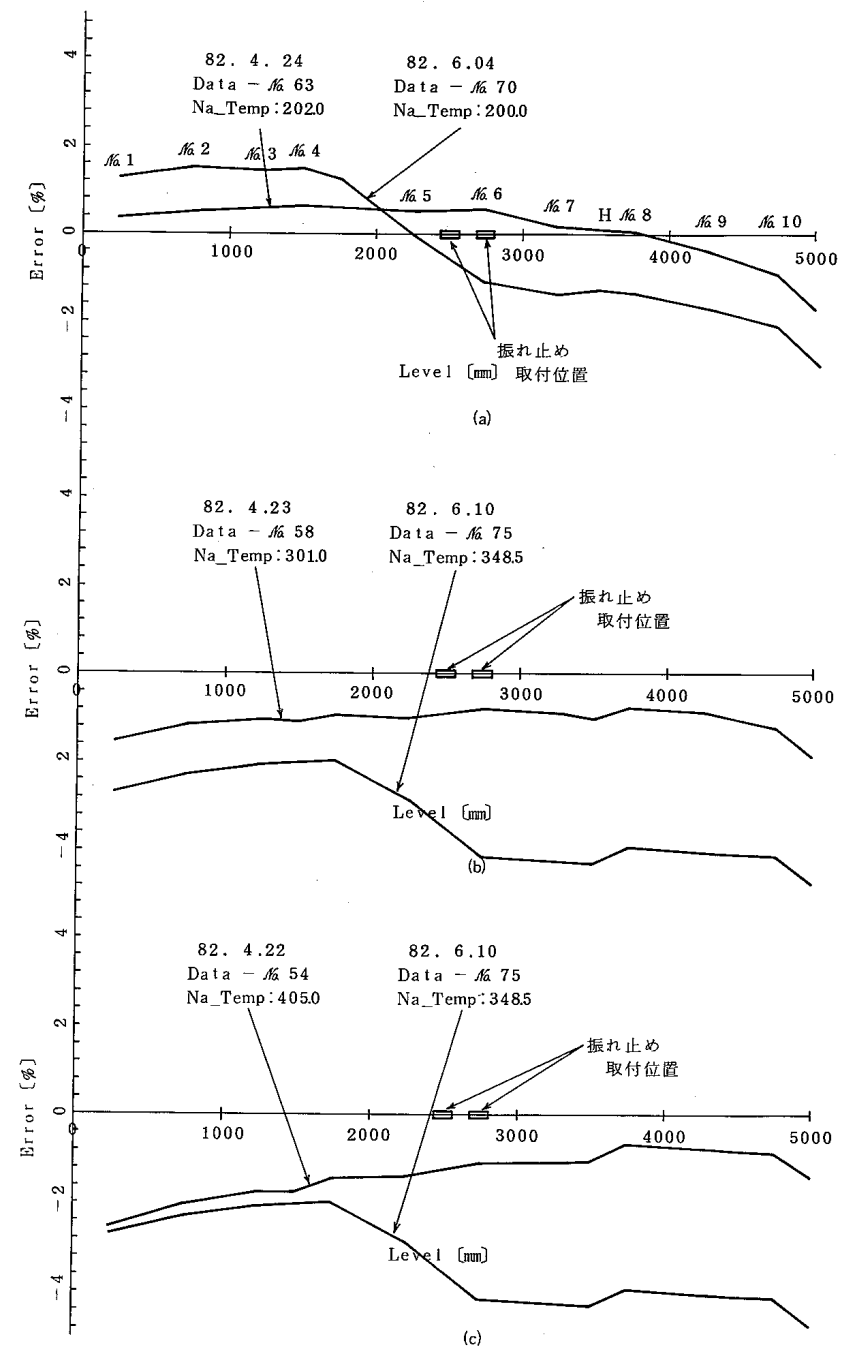


Fig. 5-25 模擬振れ止め取り付けによる影響試験
Effect of Vibration Protection Flange
On Level-Meter

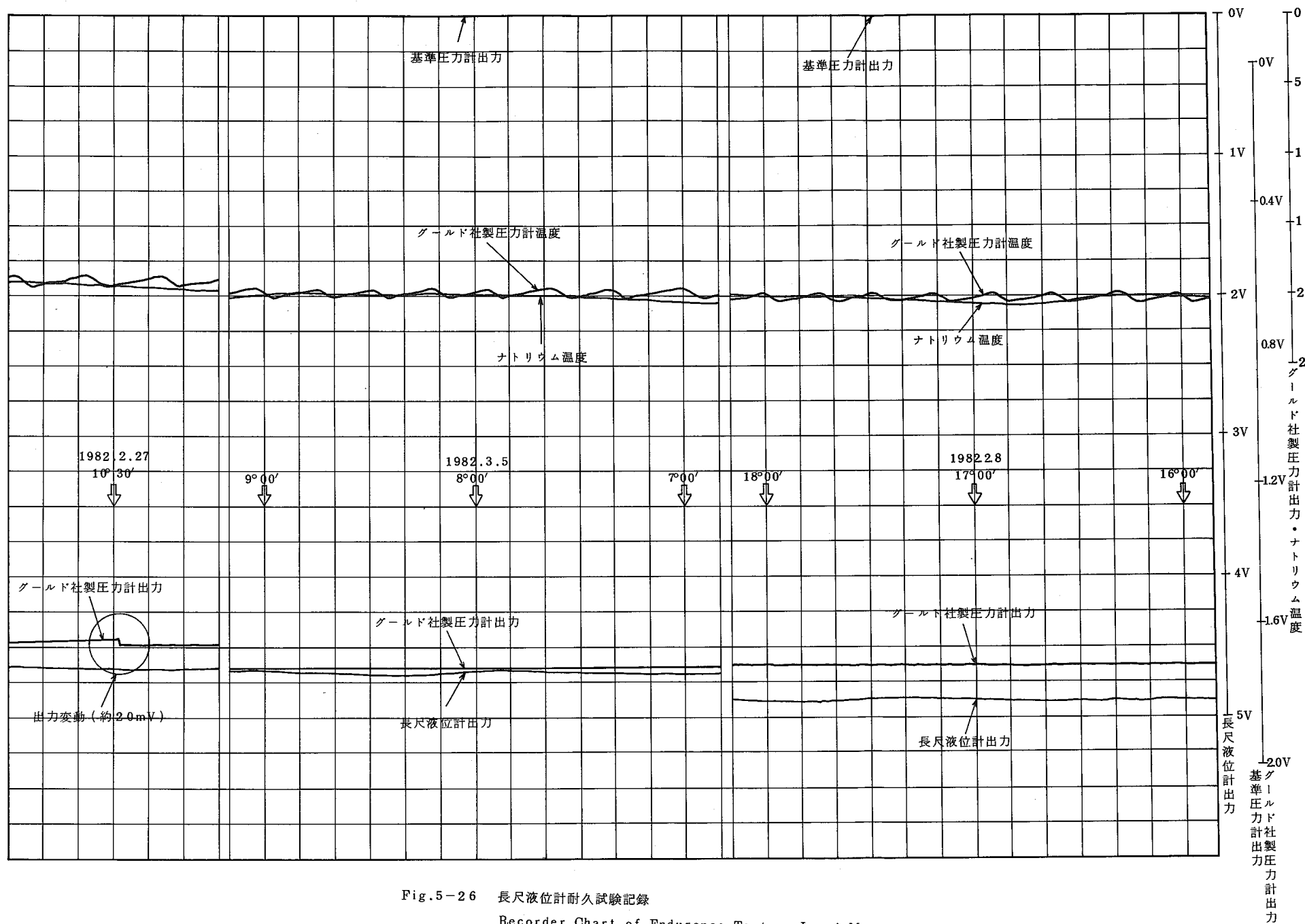


Fig.5-26 長尺液位計耐久試験記録

Recorder Chart of Endurance Test on Level-Meter

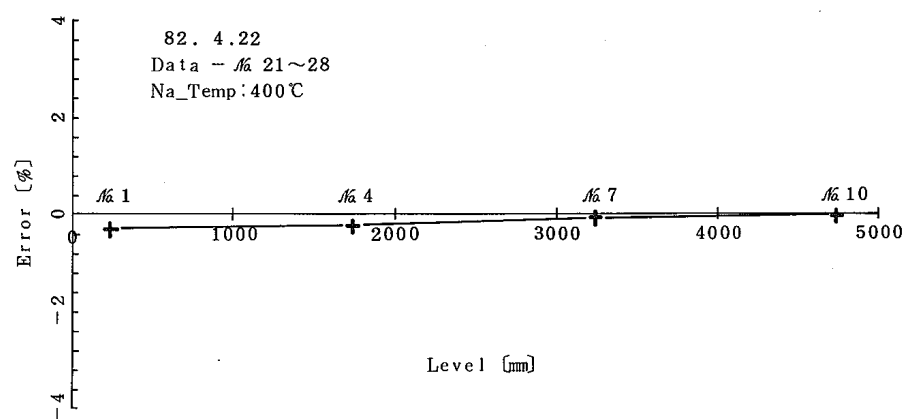
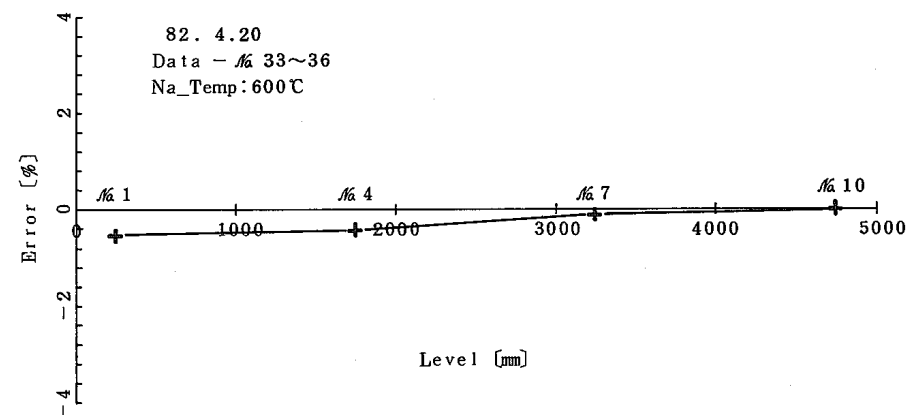
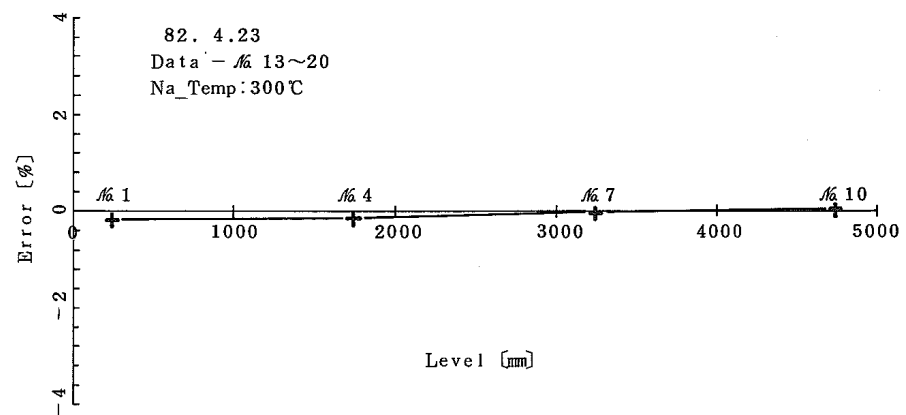
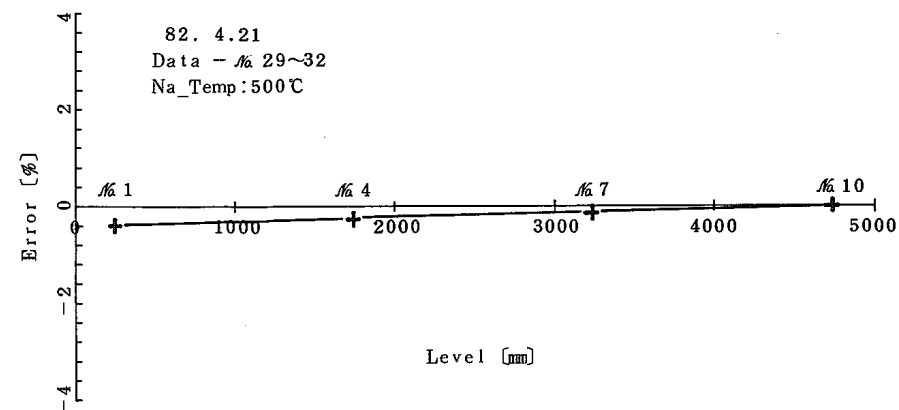
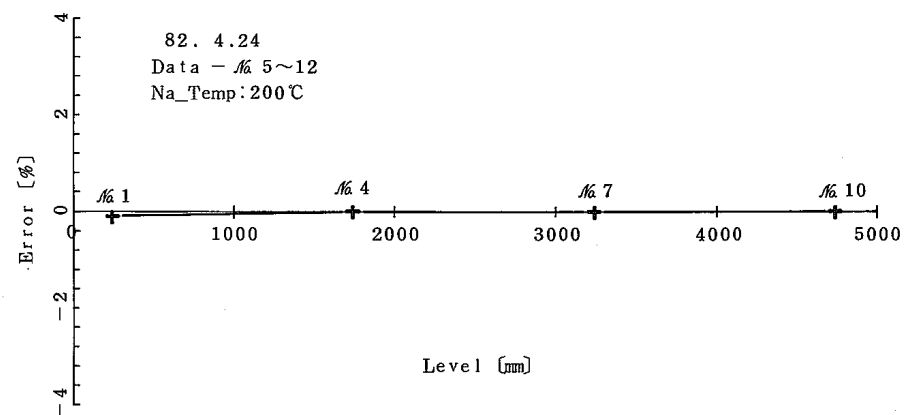


Fig. 5-27 可動式液位計による確認試験 (その1)

Confirmation Test by Movable Level-Meter (1)

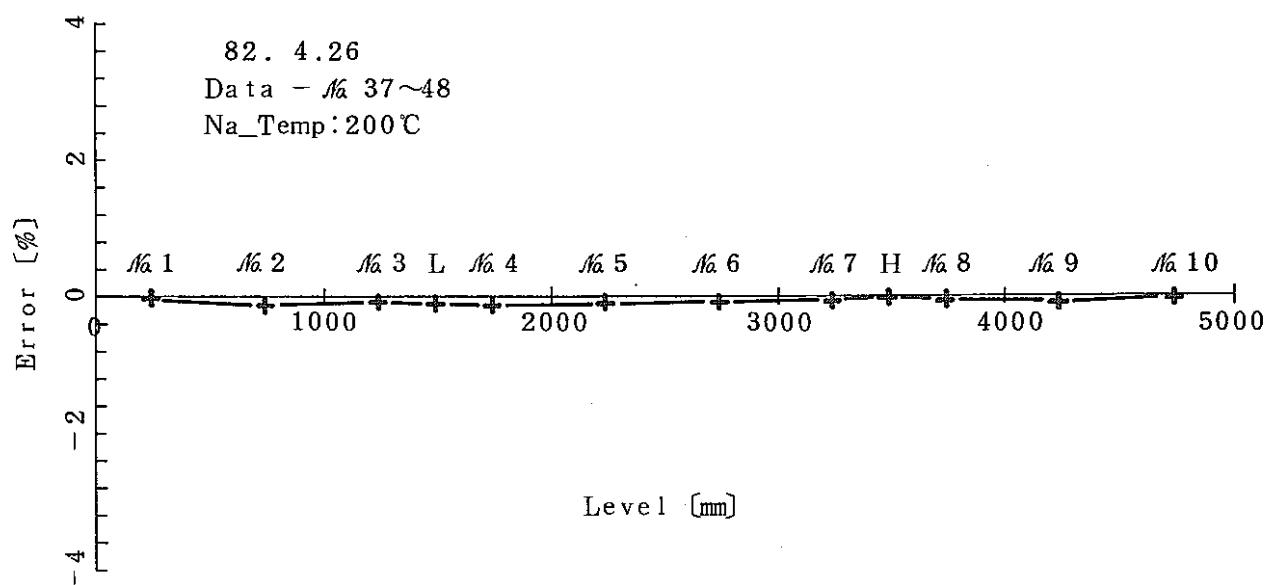
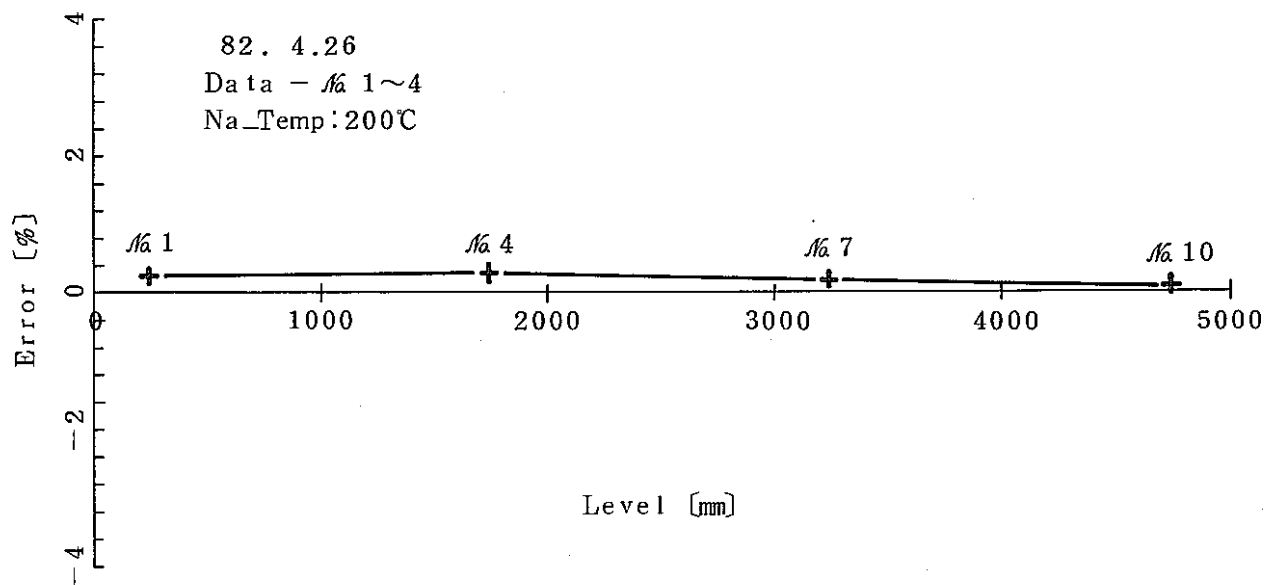


Fig. 5-28 可動式液位計による確認試験 (その 2)

Confirmation Test by Movable Level-Meter (2)

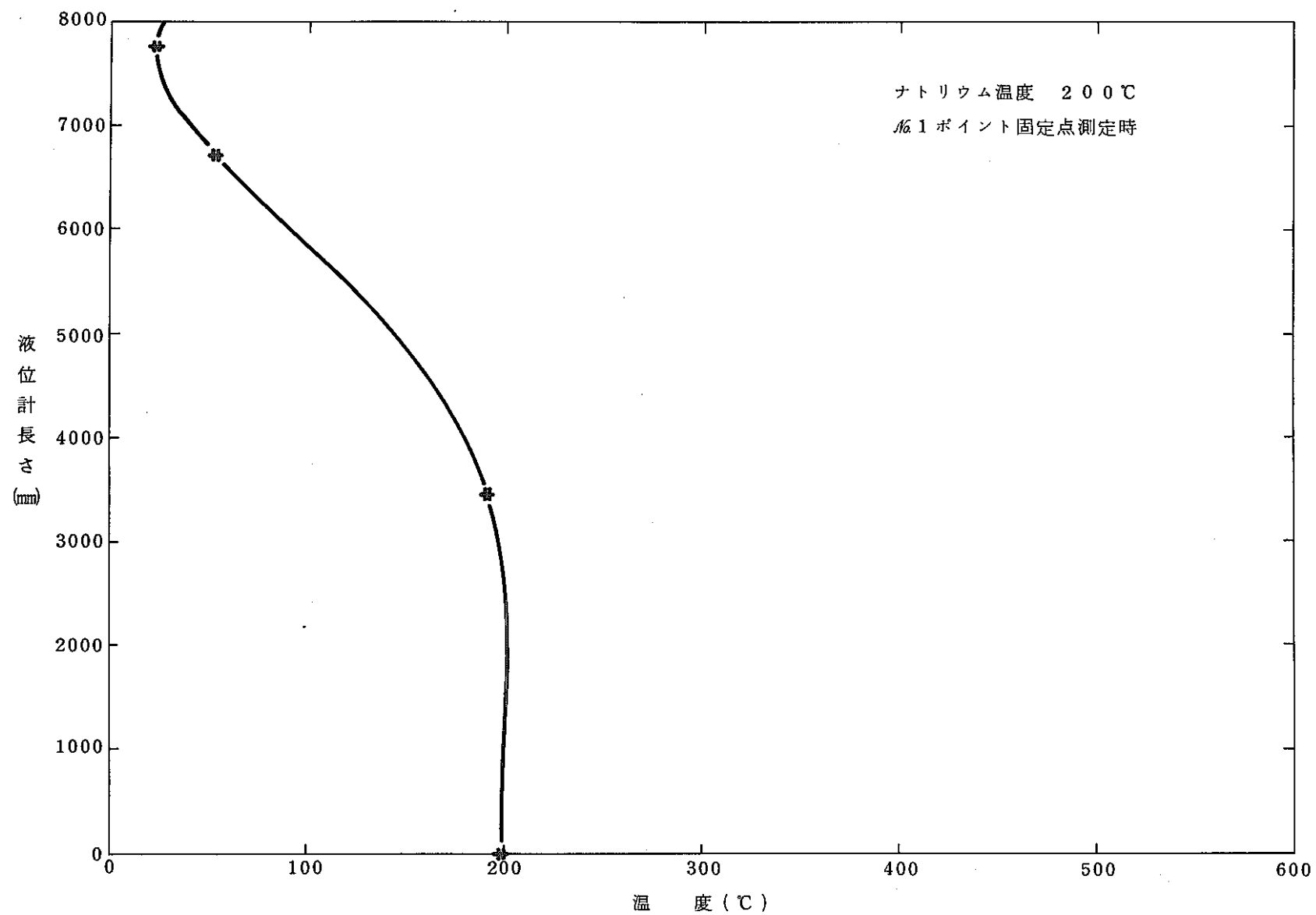


Fig. 5-29 可動式液位計温度分布 (200°C時)

Temperature Distribution on Movable Level-Meter (200°C)

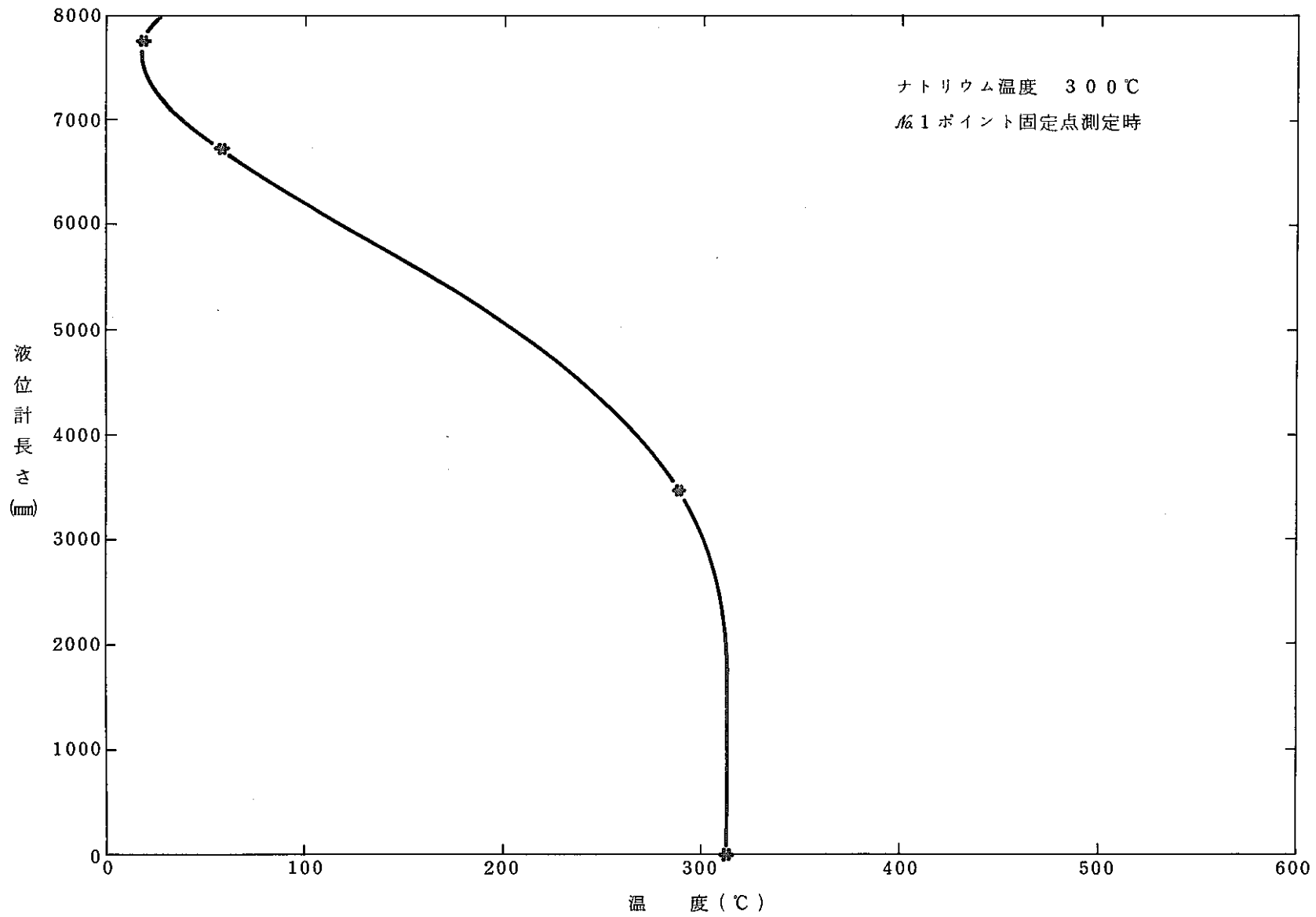


Fig. 5-30 可動式液位計温度分布 (300℃時)

Temperature Distribution on Movable Level-Meter (300°C)

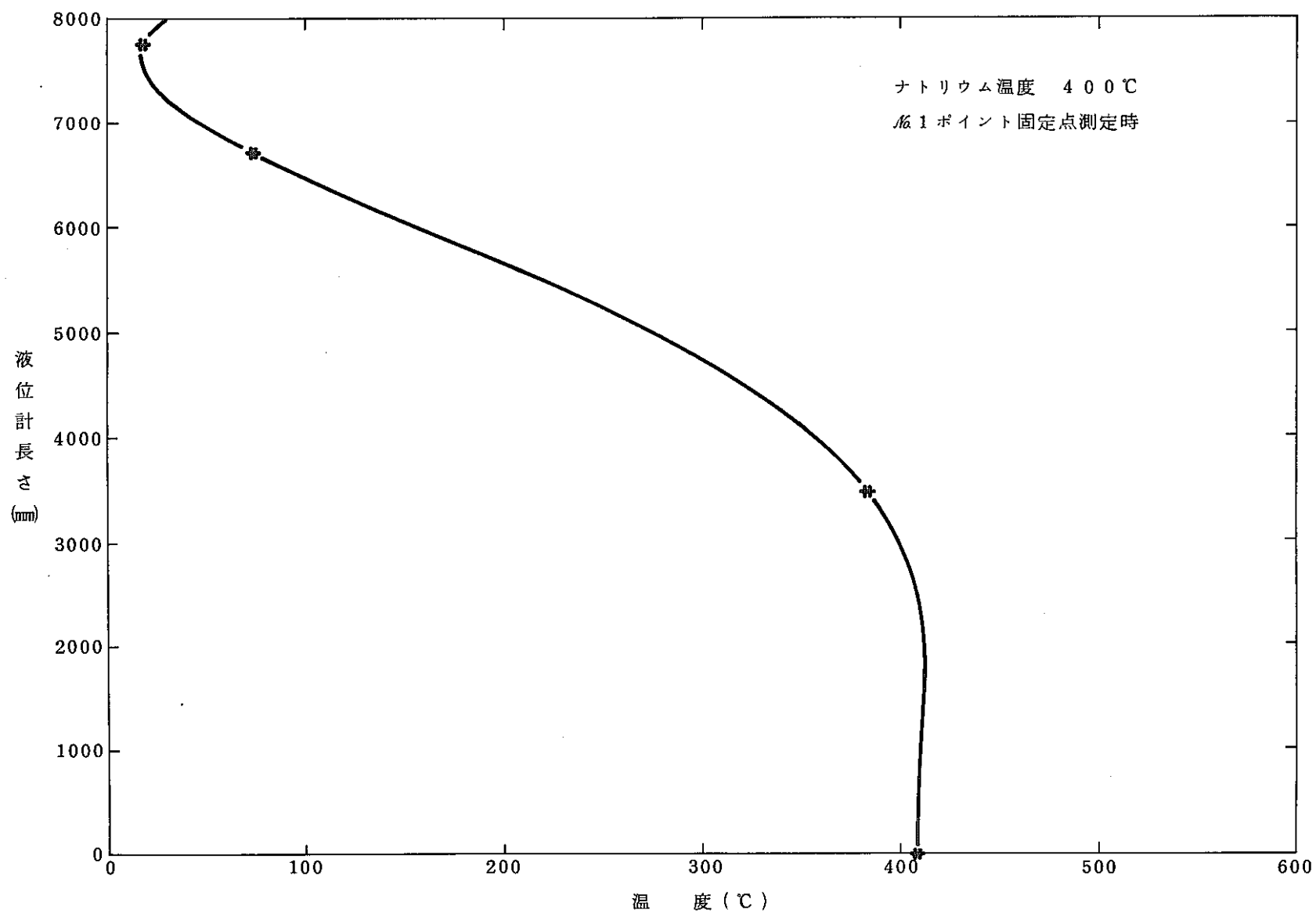


Fig. 5-31 可動式液位計 (400℃時)

Temperature Distribution on Movable Level-Meter (400℃)

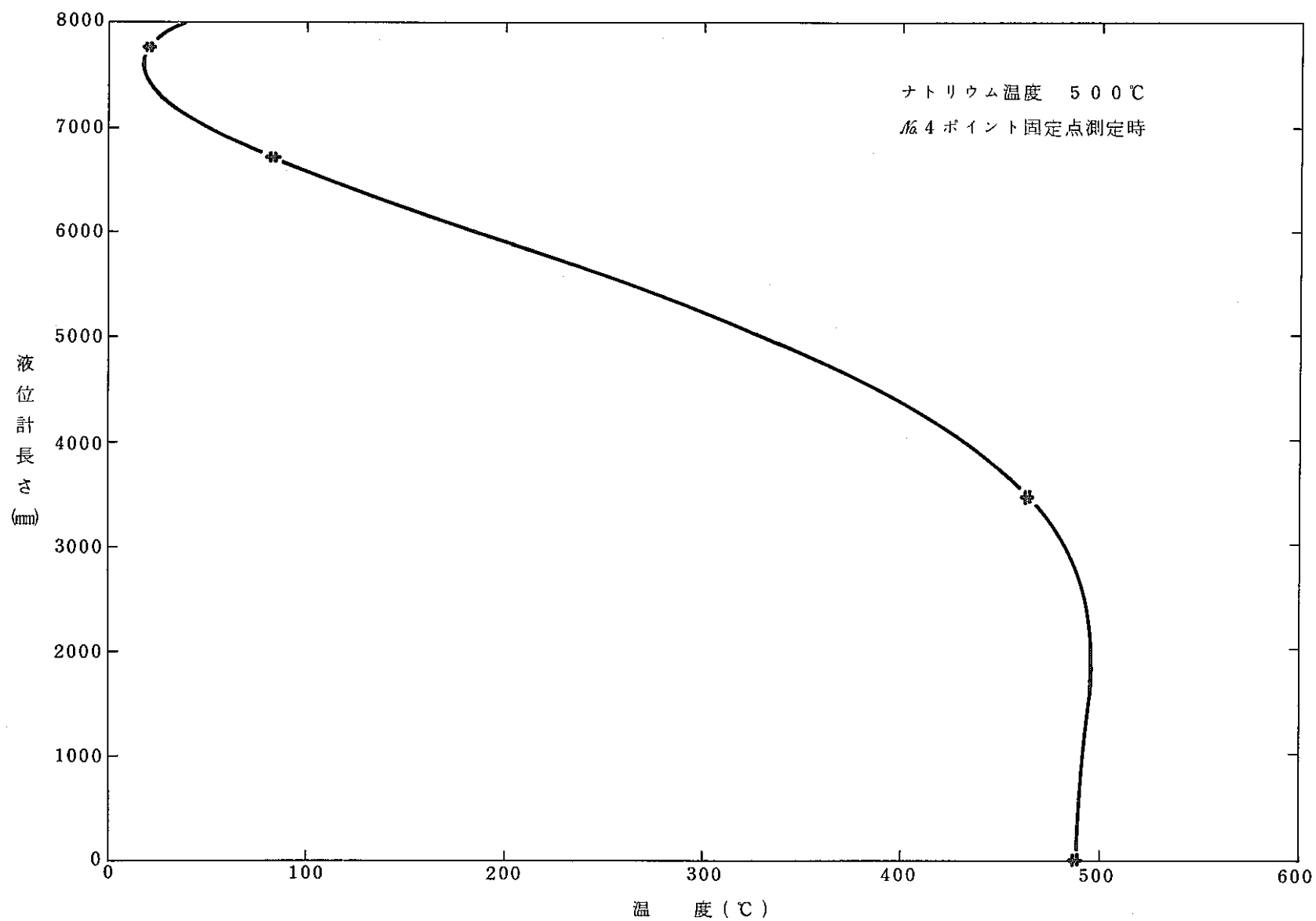


Fig.5-32 可動式液位計温度分布 (500°C時)
Temperature Distribution on Movale Level-Meter (500°C)

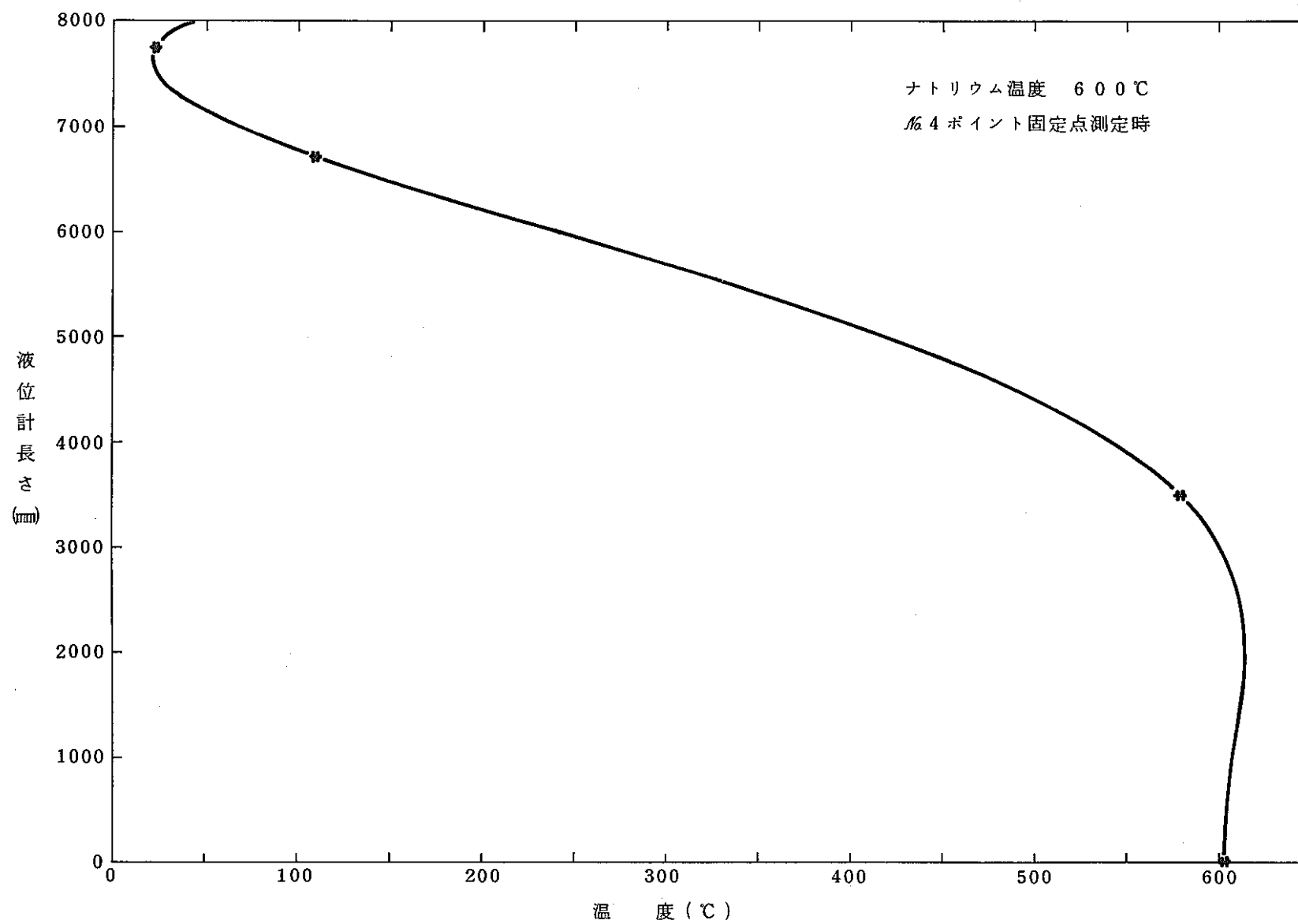


Fig.5-33 可動式液位計温度分布 (600℃時)
Temperature Distribution on Movable Level-Meter (600℃)

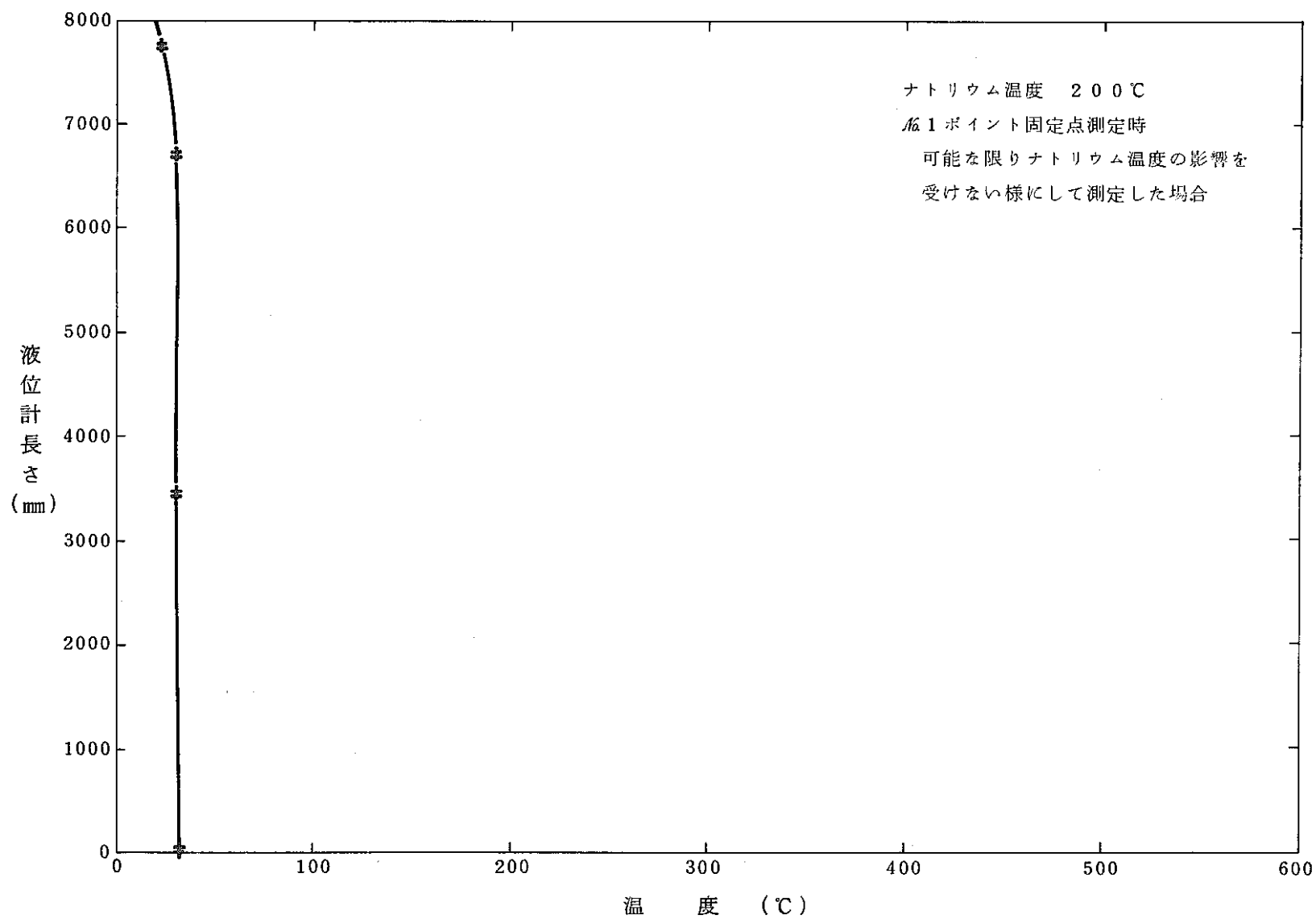


Fig.5-34 可動式液位計温度分布 (200℃短期測定)

Temperature Distribution on Movable Level-Meter
 at Prompt Measurement (200°C)

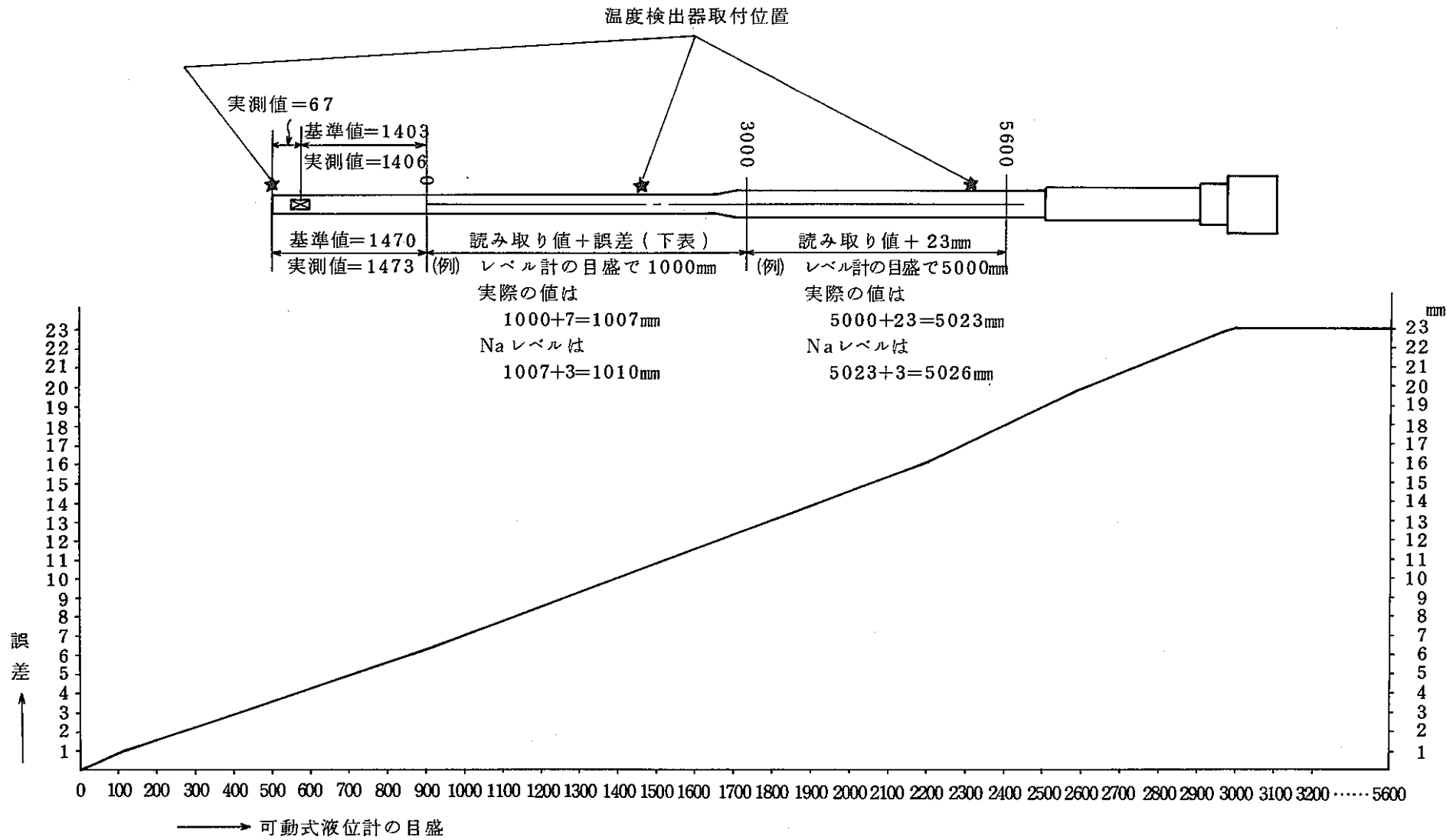


Fig.5-35 可動式液位計補正曲線

Connection curve on Movable Level-Meter

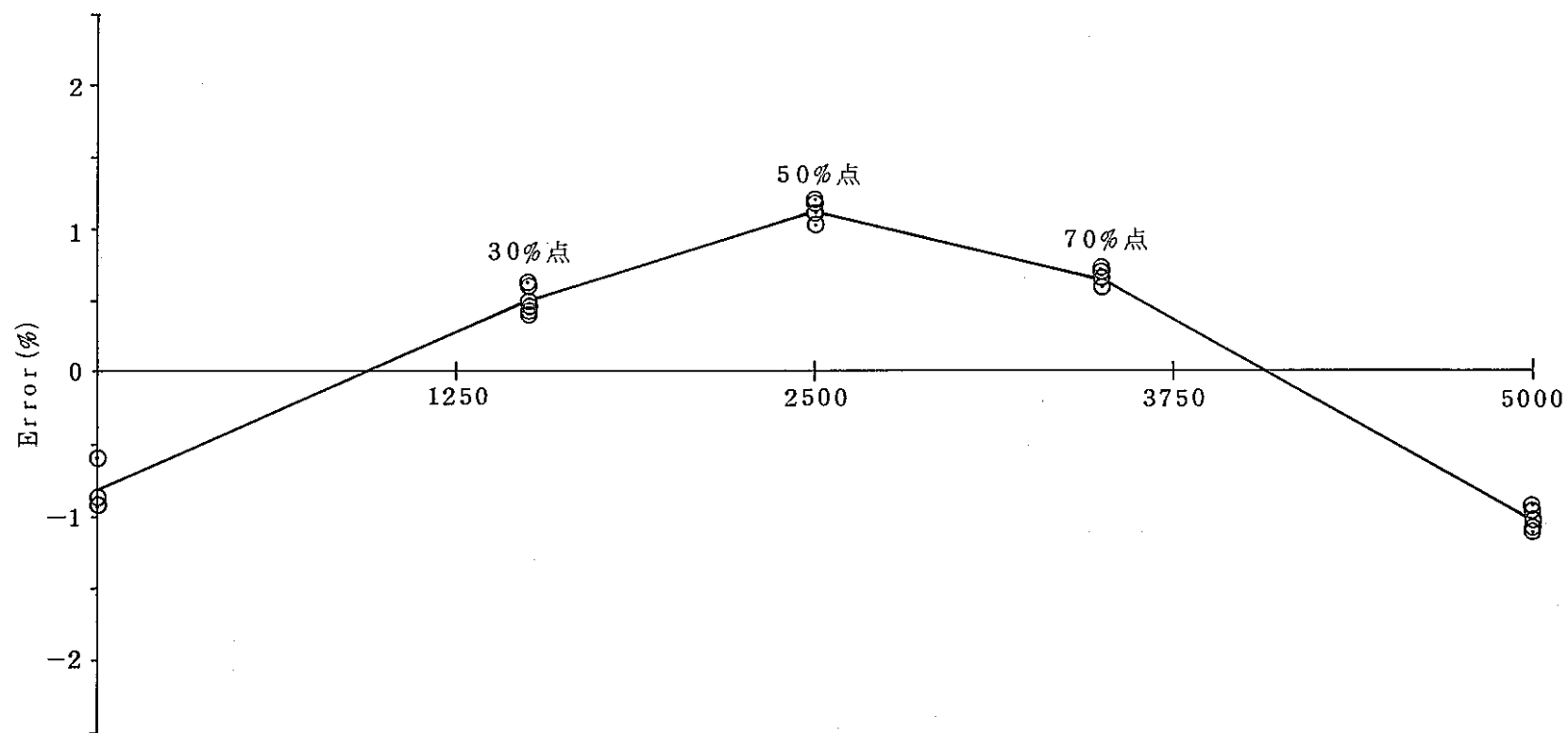


Fig.5-36 アルミパイプによる模擬試験 (連続式液位計)

Level-Meter Calibration Test by Aluminum Pipe

6. 試験期間中のトラブル

供試液位計である長尺液位計については、この試験期間中、殆んどトラブルが発生していない。

基準液位計として使用した11固定点式液位計については、種々トラブルが発生し、一部改造（1982年3月10日～16日）が行われた。

6.1 長尺ナトリウム液位計

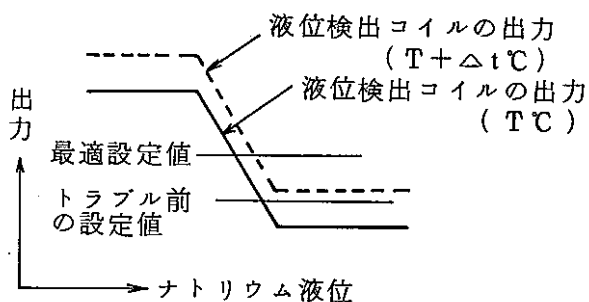
(1) 出力電圧低下

1982年3月12日、基準液位計の改造工事に伴ない、同液位計の調整を実施中、ナトリウム温度555℃から570℃に上昇させたところ、連続式液位計指示が低下し、ナトリウム温度約560℃でのナトリウム液位上昇、降下時、出力信号が有効測定長の全域に亘り、約1V低い値を示した。

原因

温度補償信号は、温度検出コイルが完全にナトリウム中に浸った状態でないと、誤信号を与える恐れがあるため、この温度検出コイルの上部に液位検出コイルを設け、温度検出コイルがナトリウム中に浸っているか否かを判別し、温度検出コイルからの出力と、模擬信号との切換えを行っている。

この切換え設定値の調整をナトリウム温度500℃にて実施したため、ナトリウ



ム温度上昇による液位検出コイルの出力上昇を考慮したにも拘わらず、左図の如く最適設定値に比し低い値に設定されていた。

なお、切換え設定値以下にて、温度検出コイルの出力に切換え

られる。トラブル前の設定値は、液位検出コイルの出力で約560℃のレベルにあった。

対策

ナトリウム温度200℃～600℃に亘って、液位検出コイルの出力を外れることのない最適設定値に設定し直した。

設定変更前 3,814V → 4,833V に設定変更

6.2 基準液位計

(1) 固定点動作表示灯点滅

1981年11月24日、ナトリウム温度500℃でのレベル上昇試験時、長尺液位計の出力で2.71V（基準液位計では、No.4ポイントとNo.5ポイントの固定点の間に位置する。）において、No.4ポイントの固定点の動作表示灯が一旦消灯後、点灯した。

この様な不具合は、下記月日においても発生している。

11月26日（ナトリウム温度550℃）、No.1, 4, 5, 8, 9ポイントの固定点にて発生。

11月27日（ナトリウム温度500℃）、No.4, 5, 8ポイントの固定点にて発生。

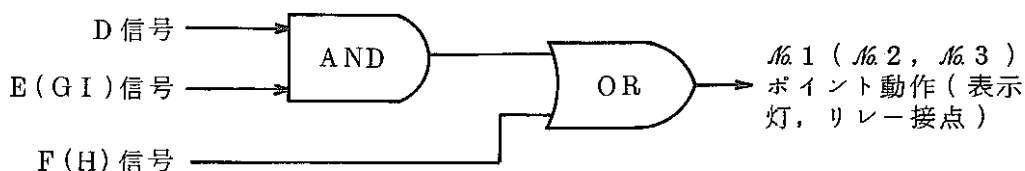
11月28日（ナトリウム温度400℃）、No.4ポイントの固定点にて発生。

原因

上記現象を基準液位計の下部回路（No.1～No.3ポイント）にて説明する。

Fig. 6-1にこの現象の説明図を示した。

すなわち、No.1ポイントが点滅する場合について説明すると、Fig. 3-3の基準液位計のブロック図にて示される如く、No.1ポイントの動作条件は、



である。

ここでFig. 6-1に示される如く、F信号はB液位出力信号に与える温度補償量の大小で、その動作位置が異なり、温度補償を与える量が小さい場合（B'出力）、理想的な温度補償を与えた場合（B''出力）に比し、aの巾だけ動作が遅れ、この間にD信号OFFの領域があるため点滅する。

この現象がNo.4ポイント等で起ったと推察される。

なお、この図から判るとおり、No.3,（中部上部回路ではNo.7, No.11）については、この様な現象は発生しない。また、No.4～No.7, No.8～No.11の中部、上部

においてより調整が困難であり、温度補償量の与え方をただ単にゲインを変えることで行なっていたため、液位出力の高い位置（図では $\mu 1$ ，中部，上部回路では $\mu 4$ ， $\mu 8$ ）において、温度補償後の出力がより高くなり（図では説明上平均化して表わしている。），この様な現象が発生する確率はより高くなると推察される。

以上の如く、適切な温度補償が与えられなかった点に起因すると判断される。（設計当初予想した値よりも、大きな温度補償量が必要とされ、 V_F 、 V_H の設定調整では不可能となった。）

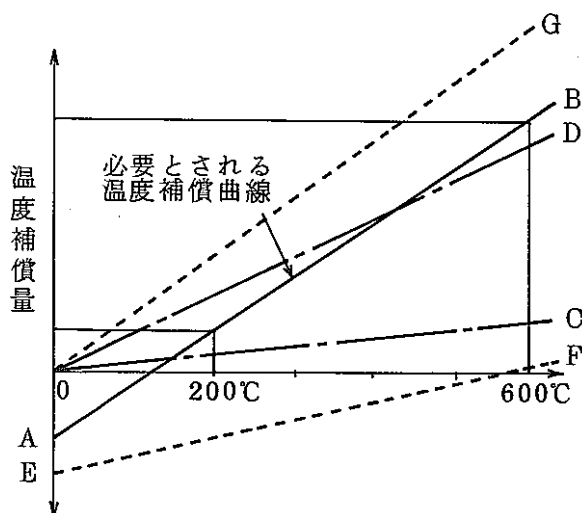
この液位計は、3.2にて述べた如く検出器のボビンに磁性体を使用しているため、温度上昇による液位出力は直線的でない点も温度補償を難しくしている

対 策

- Fig. 6-2 に示す如くバイアス回路が追加された。
- より大きなゲインを得るため、温度補償信号回路の初段増幅器（フィルター前）の固定抵抗が交換された。
- バイアス回路を追加したため、チェック時、温度補償信号回路からの信号出力が大きくなりすぎERROR（A信号出力またはB信号出力の30%増減値にて表示）表示される。

このため、温度補償信号回路にもチェック信号が入るよう追加改造された。

- バイアス回路追加に伴ない演算器（増幅器）が交換された。



これらの改造により、今迄OC～ODの間でゲインを変え調整していたものを、EF～OGの間で調整できる様に改造された。

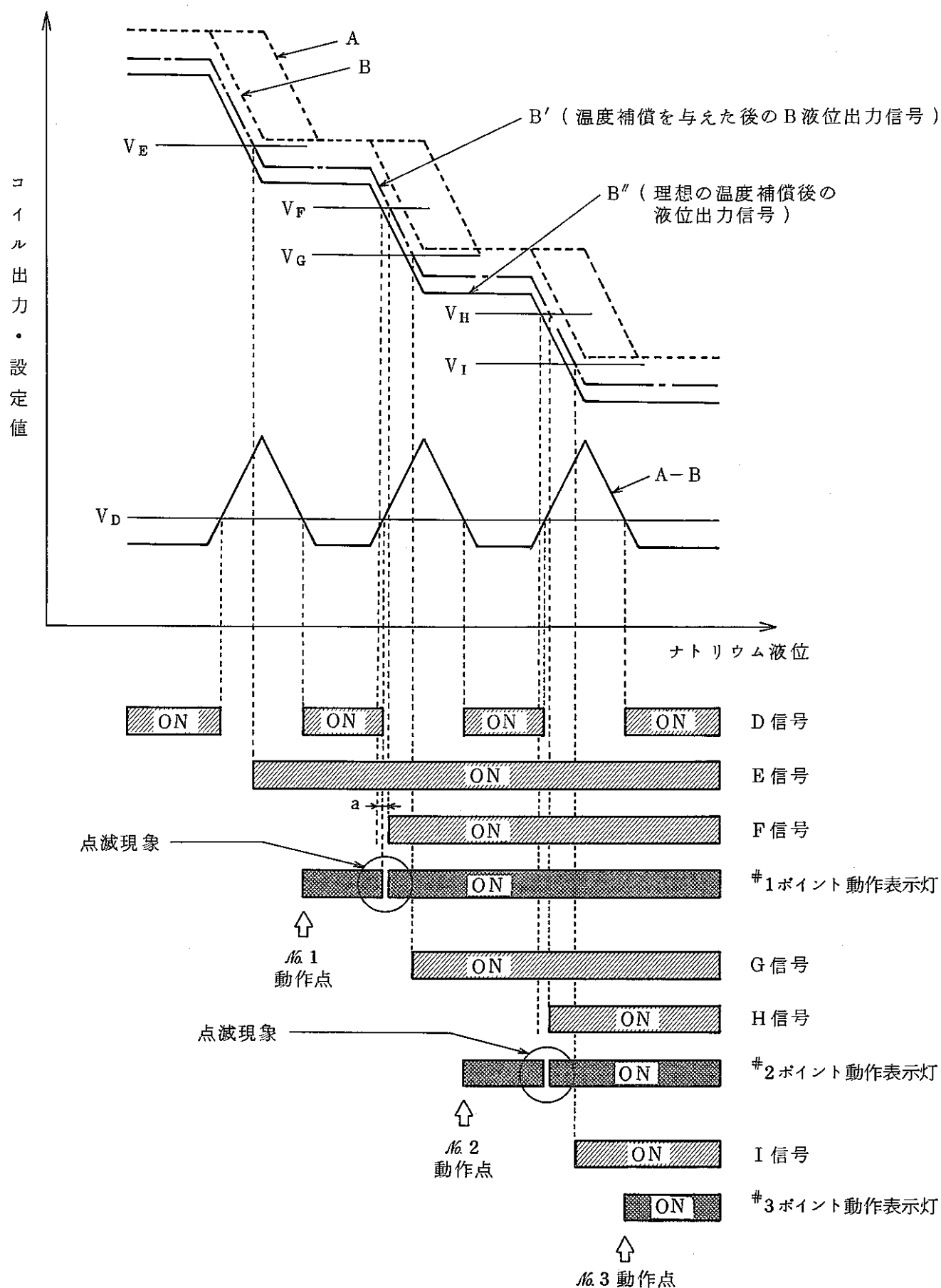


Fig. 6-1 基準液位計動作説明

Description of Standard Level-Meter Operation

(注). 基準液位計 (1 1 固定点式液位計) の下部回路 (№ 1 ~ № 3) について示す。

中部回路 (№ 4 ~ № 7) , 上部回路 (№ 8 ~ № 1 1) についても、ほぼ同様である。

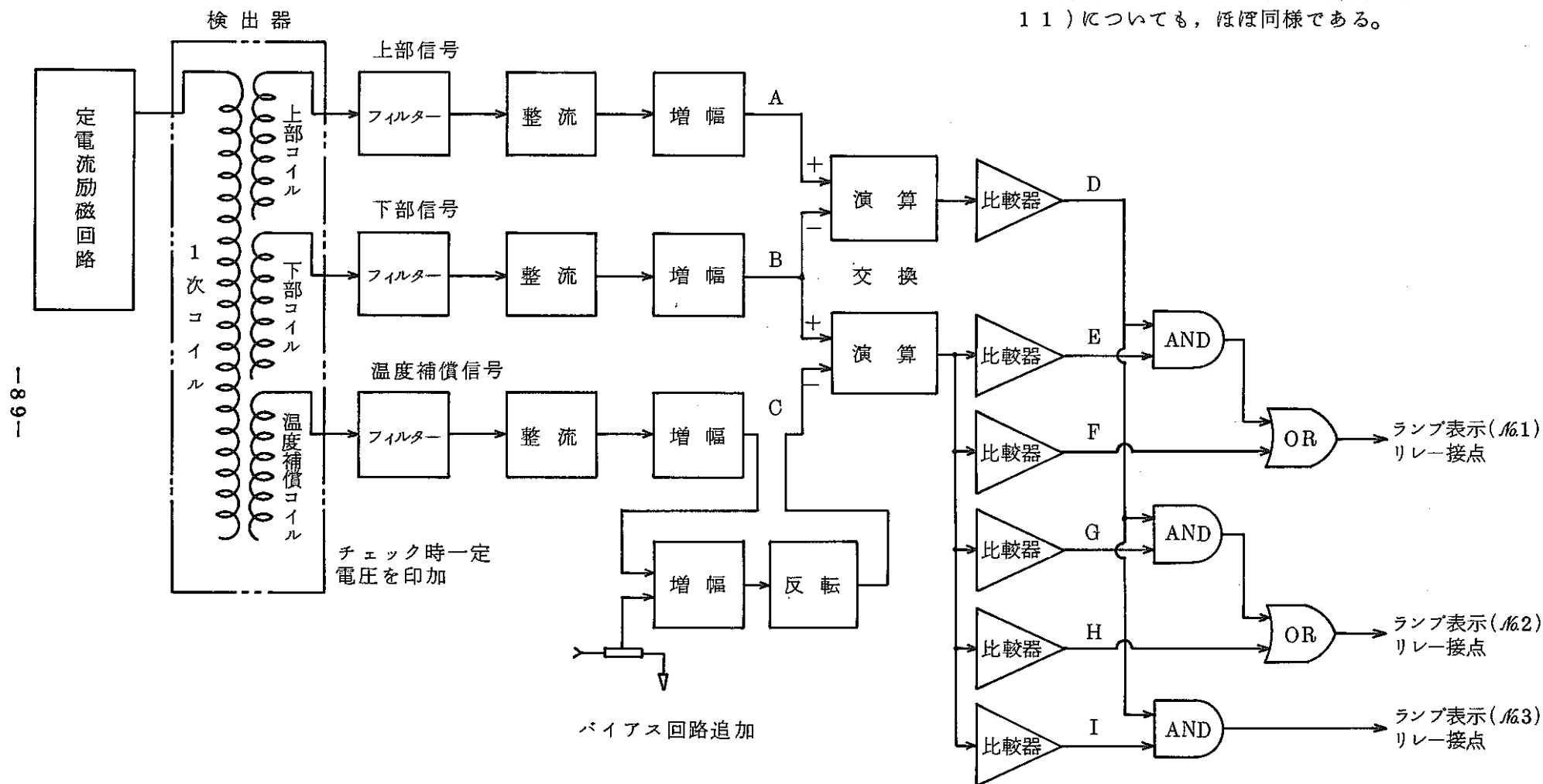


Fig. 6-2 基準液位計ブロック図 (改造後)

Block Diagram of Standard Level-Meter

(2) ERROR 表示灯点灯

1981年11月26日、ナトリウム温度560℃（計器校正容器の温度設定600℃）にて、ナトリウム液位がNo.1ポイント以下の時、ERROR 1-3の表示灯点灯と共にNo.4, 5, 6, 8ポイントの固定点動作表示灯が点灯していた。（8°-30'）

この状態でナトリウム液位の上昇を行ったところ、ERROR 1-3の表示灯およびNo.4, 5, 6, 8ポイントの固定点動作表示灯点灯に加え、上昇操作後直ちにNo.9, 10ポイントの固定点動作表示灯が点灯し、ナトリウム液位上昇中これらの表示灯は継続して点灯していた。

ナトリウム液位上昇後、直ちに降下を行なったところ、これらの表示灯のうちNo.10ポイントの固定点動作表示灯のみ途中で消灯したが、他は継続点灯のままであった。

ナトリウム液位降下後、データー採取を行い、データー採取後（10°-20'）確認したところ、No.4, 5, 6, 8, 9ポイントの固定点動作表示灯は正常復帰しており、ERROR 1-3の表示灯のみ点灯していた。

11°-00', ERROR 1-3の表示灯に加え、ERROR 4-7および8-11の表示灯が点灯した。

その後、13°-15', ERROR 1-3および8-11の表示灯が消灯し、14°-30', ERROR 4-7の表示灯も消灯、正常復帰した。（ナトリウム温度550℃）

ERROR 表示灯点灯現象について、その原因と対策を以下に記述する。{ 固定点動作表示灯誤動作については(3)項を参照されたい。 }

原 因

設計当初予想した値よりも、ナトリウム温度上昇に伴って出力上昇する液位信号出力が大きすぎ、予め設定していたERROR判定の設定値を越えてしまったためと判断される。（設定値の調整は500℃以下にて行われた。）

対 策

ナトリウム温度上昇に伴って出力上昇する液位信号出力の値を考慮し、ERROR判定の設定値が設定し直された。

なお、この設定値はFig. 3-3のブロック図に示すA信号出力またはB信号出力の30%増減値に設定された。

(3) 固定点動作表示灯の誤動作（その１）

誤動作の状況については前項を参照されたい。

なお、この他、１９８２年３月１６日、ナトリウム温度２５０℃にて、ナトリウム液位がNo.１ポイント以下の時、全て（No.１～No.１１ポイント）の固定点動作表示灯が点灯した。

１９８２年５月１７日、ナトリウム温度２００℃にて、ナトリウム液位がNo.１ポイント以下の時、No.４及びNo.８ポイントの固定点動作表示灯が点灯した。

原 因

6.1 (1)項にて記述した如く、この液位計においても、液位検出コイルの出力により、温度検出コイルからの出力と、模擬信号との切換えを行っている。

この切換え設定値の調整が、最適値に比し、低い値に設定されていたため、模擬信号が選択された。模擬信号を使用しても、誤動作しないよう温度補償回路及び各固定点の液位検出設定値が調整されているが、この調整が温度上昇（５６０℃）に対し適切でなかったと判断される。

なお、１９８２年３月１６日および５月１７日の原因としては、これらの誤動作が液位検出コイル以下の液位にて発生しているところから、回路改造後模擬信号出力の調整が適切でなかったと判断される。

対 策

１９８１年３月１０日、回路改造時、液位検出コイルの切換え設定値、温度補償回路及び各固定点の液位検出設定値を調整。

１９８２年４月１９日及び６月４日、模擬信号出力の調整を行った。

(4) チェックモード時固定点動作表示灯不動作

１９８１年１１月１７日以降、本液位計のチェック機能が正常に動作しなかった。

すなわち、チェックモード（CHECK １－３，４－７，８－１１）にて、それぞれのチェックスイッチに該当する固定点の動作表示灯が点灯するよう設計されているが、No.４及びNo.８ポイントについてのみ点灯し、他は消灯したままであった。

原 因

チェックモード時、液位検出コイルからの出力信号にかわって模擬信号が入力されるが、この模擬信号出力が大きすぎたため、固定点動作表示灯の動作設定にかからなくなった。

すなわち、Fig. 6-1 にて説明すれば、A 及び B 信号出力が大きくシフトアップされ、高い設定値である V_E 、 V_F のみが辛じて動作レベルに止まり No. 1 ポイントのみが動作する。実際には、最も高い設定値は中部、上部回路の No. 4、No. 8 ポイント用のものであり、この 2 点のみが動作したと判断される。

対 策

1982 年 3 月の回路改造時、模擬信号出力を下げ、全ての固定点動作表示灯がチェックモードで点灯するよう調整。

(5) 固定点動作表示灯の誤動作 (その 2)

1981 年 11 月 17 日、ナトリウム温度 200℃ にて、ナトリウム液位を上昇中、No. 4 ポイントの固定点動作レベル直前で No. 4、No. 5、及び No. 6 ポイントの固定点動作表示灯が薄く点灯し、短時間点灯後、同上表示灯が全て消灯、正規のレベルにて No. 4 ポイントの固定点動作表示灯のみ正常に点灯する。

この様な現象は、1981 年 11 月 17 日以降、下記の期日に発生している。

11 月 18 日、ナトリウム温度 200℃

11 月 24 日、" 500℃

11 月 27 日、" 500℃

1982 年

4 月 13 日、ナトリウム温度 200℃

4 月 24 日、" 200℃

6 月 10 日、" 350℃

なお、これらはいずれも、ナトリウムレベル上昇時に発生し、1982 年以降は No. 4～No. 6 ポイントの固定点動作表示灯の他、No. 7 ポイントの固定点動作表示灯も薄く点灯した。

原 因

1982 年 7 月 22 日～7 月 26 日の間、工場にて調査の結果、中部回路 (No. 4～No. 7 ポイントのブロック) の論理回路に使用している表示灯およびリレー駆動用 IC、A54、A55、A62 のアースが未接続であることが判明した。

このため、外部ノイズの影響を受け易くなっていたと同時に、ベース電位が不安定となり、表示灯およびリレー駆動用 IC の出力レベルが持ち上がった。ただし、その出力レベルが低いため表示灯のみ薄く点灯したと推察される。{ 工場での再現

試験においては、正規の出力0V（OFF状態）－15V（ON状態）に対し、誤動作時約0.6～1.3Vの出力がでていた。この時、表示灯のみ薄く点灯し、リレーは不動作状態であった。}

対 策

上述のICのアースを正規に接続後、ケーブルにノイズを印加する等確認試験を行い正常であることを確認した。

(6) 固定点動作リレーの誤動作

1981年11月26日、ナトリウム温度550℃にてレベル上昇時、No.4、No.6およびNo.8ポイントの固定点動作リレーが動作していた。

レベル上昇試験終了後、レベルを降下させたが、所定のレベル以下においてもNo.4、No.8ポイントの固定点動作リレーは動作状態を継続した。No.6ポイントについては正常復帰した。

11月27日、ナトリウム温度500℃でのレベル昇降時、No.4及びNo.8ポイントの固定点動作リレーが時々、動作状態継続現象を示した。

11月28日、ナトリウム温度400℃においては、レベル降下時、No.8ポイントについて、一度同現象が発生した。

11月30日、ナトリウム温度300℃において、一旦レベル上昇後、No.8ポイントの固定点動作リレーが動作状態を継続した。

12月1日、ナトリウム温度200℃では、No.4ポイントについて1度、No.8ポイントについて2度、同現象が発生した。

なお、No.8ポイントの固定点動作リレーは、時々リレーのみON－OFF動作を起こし、12月1日以降不安定な状態（ON－OFFの繰返し）を12月4日迄継続した。（12月1日ナトリウムドレン、12月2日計器校正装置のヒーター電源OFF）

ただし、1982年3月の改造後この様な現象は表われていない。

原 因

1982年3月に実施された回路改造においては、この点に対する改造は行われていない。表示灯の誤動作解消後実施する予定であったが、その後再現しないため、原因が究明できなかった。

なお、固定点動作表示灯と同一リレーの動作回路において、回路の構成上の差異

(リレー動作回路にトランジスタ、及びリレー動作を早めるためのコンデンサが設置されている。)により、リレーのみ動作することは考えられない。

対 策

今後、同現象発生の場合、速やかに対策をとる予定である。

(7) 固定点動作回路差電圧出力低下

1982年3月11日(ナトリウム温度250℃)、回路改造後の調整作業時、No.9ポイントの差電圧出力が急に低下する現象が発生した。

そのため、基準液位計のケースアース、同液位計を組込んでいる計器ラックのアースを確認したところ、計器ラックのアースが外されていた。

このアース取り付け等の作業実施後、同現象は解消された。

3月12日(ナトリウム温度530℃)、13日(ナトリウム温度600℃～580℃)の調整作業時、No.9ポイント以外においても同様な現象が発生し、測定のため使用しているブラウン管オシロの電源入切によることが確認された。

原 因

前(5)項で述べた、表示灯およびリレー駆動用ICのアース未接続により、中部回路(No.4～No.7ポイントのブロック)は外部ノイズを受け易い状態にあった。

この中部回路のデジタルICに供給している電源は上部回路、下部回路とも同じであるため、外部ノイズにより、この電源にノイズが入る形となった。あるいは、ベース電位が不安定となったためと推察される。

対 策

前(5)項の対策にて述べた。参照されたい。

6.3 計器校正装置

(1) 予熱ヒーター故障

1981年5月以降、24B超音波流量計用予熱ヒーターにおいて、ヒーター故障(地絡)が度々発生したため、ヒーターの配線替え、および電源端にスライダックを設置する等の処置を行ったが、本報試験期間中特に500℃以上の高温域において、その頻度が激しく、1982年6月時点では350℃以上に昇温することが極めて困難となった。

原因

製作，又は成形時ヒーター線材がシースに近い位置に移動した。あるいは，シース内充填材が一部充填不全であったため，ヒーター導通時，温度変形が加わり地絡し，その後の度重なる地絡により絶縁劣化が進行したと推察される。

なお，1981年6月時点における不良ヒーターは，予熱温度500℃以上で，約3分間通電し，30秒放置後の絶縁抵抗値が10MΩ以下であり，通電停止後20秒以内に絶縁が回復する。（200℃以下では同条件で100MΩ以上）

対策

導通時地絡するヒーターを予備のヒーターに配線替えした。（ヒーター電源が三相200Vのため，負荷容量の平衡を考慮する必要がある）。また電源端にスライダックを設置して，電圧を下げて加熱した。抜本的には，予熱ヒーターの取り替えをする必要がある。

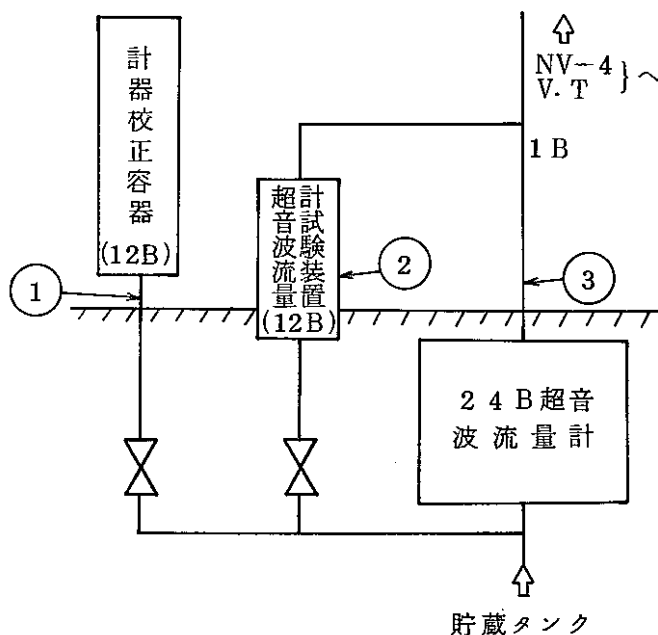
(2) ベーパートラップ閉塞（その1）

1981年12月24日，計器校正装置内のナトリウムをドレン後，ガス導通を実施したところ，NV-4弁のカバーガス配管に設置されているベーパートラップがナトリウムにより閉塞していることが判明した。

原因

ベーパートラップ内に詰まっていたナトリウムは金属ナトリウムであった。（ナトリウムミストによる詰まりではなかった。）

このことから，真空チャージによる系統へのナトリウムチャージ時，24B超音



波流量計へのチャージ完了後，左図の①，②，③へのチャージ速度が異なり，細い配管が早くチャージ（レベル上昇）したと推察される。

なお，以前他の系統において4B，12Bの配管へのナトリウムチャージ時，4B配管の上昇速度が早く同配管に継がるベーパートラップを閉塞させた事例がある。

対 策

ナトリウムチャージは、NV-4弁を全閉後行うようマニュアルを改訂した。

(3) ベーパートラップ閉塞 (その2)

1982年3月19日、ナトリウム温度500℃にて計器校正容器内のナトリウムレベルを降下させようとしたが、NV-4弁のカバーガス配管に設置されているベーパートラップが閉塞し、ナトリウムレベルの降下ができなかった。

そこで計器校正容器へのナトリウムチャージ方法の一つである加圧チャージにより、ベーパートラップ内のナトリウムミストを高圧のカバーガスにてバースし、その後長尺液位計の試験を実施していたが、4月13日完全に閉塞した。

1982年4月20日、同ベーパートラップが再度閉塞した。

原 因

長尺液位計の試験のため、計器校正容器内のナトリウムレベルを上昇、降下させているが、ナトリウム移動に伴うカバーガスの移動により、カバーガス中に含まれるナトリウムミストがベーパートラップに付着し閉塞に至った。

なお、NV-4弁からベーパートラップ迄の距離が短いため、高温のナトリウム中試験においては、ナトリウムミストも高温となり、十分な冷却を得ないでベーパートラップに付着すると推察され、より付着が進行すると判断される。

対 策

1982年3月19日のベーパートラップ(460mm, $\phi 114.3$ mm)内閉塞状況から(中間位置に厚さ約40mm, 金属ナトリウム状態で付着。この部分以外には殆んど付着していない。), ベーパートラップの下半分に仮設の予熱ヒーターを取り付け、再生可能とした。4月20日の閉塞はこの方法により解消させた。

(4) カバーガス配管閉塞

1982年4月27日、長尺液位計と同時に試験を実施していたNaK圧力計の試験時、計器校正容器～NV-9弁の間のカバーガス配管にて閉塞が判明した。

原 因

前(3)項と同様の原因と考えられるが、この配管は前(3)項に比べ予熱されている箇所からベーパートラップ迄の距離が大きく(計器校正容器～V.T間約1,000mm, NV-4～V.T間200mm), しかも配管径が大きいため(計器校正容器～V.T間1B, NV-4～V.T間1/2B), カバーガス中に含まれるナトリウムミストがベー

パートラップ及び、途中配管等で冷却され、水平配管部に堆積し、高温のナトリウム中試験時一部溶解されたと推察される。

対 策

1982年4月28日、閉塞した配管部分に仮設の予熱ヒーターを取り付け、この部分を加熱昇温すると共に、カバーガスにて加圧しパージした。

計器校正容器上部のガス配管接続部分はヒーターの施行が不十分だったため、閉塞解消は極めて困難であった。

7. 結 言

有効測定表 5 m の長尺液位計について、1981 年 7 月～1982 年 6 月の間行ったナトリウム中試験等、各種試験において、各種試験において、下記の結果が得られた。

7.1 試験のまとめ

(1) ナトリウム中試験（第 1 回調整後）

a. 連続式液位計の第 1 回調整後の計器特性は、直線性についてのみ目標仕様を満足した。

なお、この試験はナトリウム温度 200℃～500℃において実施した。

(i) 連続式液位計の直線性は $\pm 1.17\%$ F.S 以下（目標仕様 $\pm 1.5\%$ F.S）であった。

(ii) 再現性については $\pm 1.20\%$ F.S 以下（目標仕様 $\pm 0.5\%$ F.S）であった。

(iii) 精度は $\pm 3.98\%$ F.S 以下（目標仕様 $\pm 2\%$ F.S）であった。なお、目標仕様には温度影響値を含まない値として示されているが、試験結果はこれらを全て含んだものとして表わしている。

また、今回の校正結果（温度補償量）から、ナトリウム温度 600℃での誤差を推定すると、4%を超える値が最大値として表われると推察される。

(iv) 温度影響値は、No.1 ポイントでの -2.28% F.S が最大であった。スパンについては $\pm 2.46\%$ F.S 以下であった。（目標仕様 $\pm 1.5\%$ F.S）

(v) ヒステリシス特性は $\pm 0.75\%$ 以下であった。

b. 校正点の精度、再現性はややその仕様を上廻ったが、連続式液位計の直線性誤差が含まれているため、問題としないと判断される。

(i) 校正点の精度は L 点で $\pm 0.52\%$ F.S 以下、H 点で $\pm 0.61\%$ F.S 以下であった。（仕様 $\pm 0.5\%$ F.S）

(ii) 校正点の再現性は L 点で $\pm 0.38\%$ F.S 以下、H 点で $\pm 0.18\%$ F.S 以下であった。（仕様 $\pm 0.2\%$ F.S）

(2) ナトリウム中試験（第 2 回調整後）

第 2 回調整後のナトリウム中試験はナトリウム温度 200℃～600℃において実施した。

- a. 連続式液位計の第2回調整後の計器特性は、第1回同様直線性についてのみ、その目標仕様を満足した。

しかしながら、精度については当初の目標をほぼ達成しうる調整ができたと判断している。

- (i) 連続式液位計の直線性は $\pm 1.02\%$ F.S以下(目標仕様 $\pm 1.5\%$ F.S)であり、実用上充分小さな値であると判断される。

- (ii) 再現性については $\pm 1.33\%$ F.S以下(目標仕様 $\pm 0.5\%$ F.S)であった。

- (iii) 精度は $\pm 3.23\%$ F.S以下(目標仕様 $\pm 2\%$ F.S)であった。なお、この値には温度影響値が含まれている。

(目標仕様は温度影響値を含まないとしている。)

当初、この温度影響値を含むものとして表わした精度を $\pm 3\%$ F.S以下とすべく調整し、その調整が極めて難しい点から考察すれば、満足しうる調整であったと判断される。

- (iv) 温度影響値は、 $\sqrt{6}$ ポイントの 2.87% F.Sが最大値であった。(目標仕様 $\pm 1.5\%$ F.S)

- (v) ヒステリシス特性は $\pm 1.08\%$ F.S以下で、やや大きな値であった。

- b. 校正点の精度、再現性はその仕様をやや上廻ったが、その値そのものも小さく連続式液位計の直線性誤差が含まれているため、問題としないと判断される。

- (i) 校正点の精度はL点で $\pm 0.78\%$ F.S以下、H点で $\pm 0.71\%$ F.S以下であった。(仕様 $\pm 0.5\%$ F.S)

- (ii) 校正点の再現性はL点で $\pm 0.57\%$ F.S以下、H点で $\pm 0.27\%$ F.S以下であった。(仕様 $\pm 0.2\%$ F.S)

(3) 応答性試験

- a. 今回の応答性試験の結果、長尺液位計の 63.2% 応答時間は、大略 20 msec と判断される。

- b. 長尺液位計の増幅部(コントロールユニット)の 63.2% 応答時間は約 8.71 msec であり、検出器の応答時間は約 10 msec (ただし、計算値)であった。

(4) 模擬振れ止め取り付けによる影響試験

- a. 模擬振れ止め取り付けによる影響は、ナトリウム温度 200°C で $-2.59 \pm 0.48\%$ F.Sであり、ナトリウム温度 350°C では $-2.12 \pm 0.46\%$ F.Sであっ

た。

- b. 模擬振れ止め取り付け位置付近である $\phi 5$ および $\phi 6$ ポイントにおいて急激な出力低下（ナトリウム温度 200°C 時 -2.59% F.S, 300°C 時 -2.12% F.S）が表われた。
- c. これらの影響は当初の予想を遙かに上廻るものであった。

(5) 耐久試験

- a. ナトリウム温度 500°C での高温耐久試験の結果約 5.2% の出力低下があった。ただし、この出力低下はNV-1弁のシートリークによるものと推察されるため、問題とならないと判断される。
- b. この耐久試験期間中、僅かな出力変動があった。この原因としてはノイズによる影響が考えられる。
- c. 1981年7月～1982年6月の期間において発生した不具合については第6章にまとめた。

(6) 可動式液位計による確認試験

- a. 試験の結果、ナトリウム温度 200°C において全ての固定点、校正点は極めて正確に設定されていた。
- b. これらの固定点等は、温度上昇と共に液位計自体の熱膨張の影響を受けると判断される。
なお、その影響値は最大で -0.54% F.Sであった。
- c. この温度上昇による影響値を第2回調整後のナトリウム中試験結果に当てはめ考察した場合、総合精度では今回の試験結果とほぼ同じであると推察される。

7.2 設計への提言

- (1) 長尺液位計の温度補償回路に温度によるスパンの変動量を補償する回路を追加する必要がある。

この回路追加により、精度は極めて良くなると判断される。

すなわち、Fig. 5-19（又はFig. 5-9）において検出回路の出力（TP30-GND電圧）はレベル100%と0%で温度による特性が異なるため、現在の温度補償（TP34-GND電圧）をこの点を考慮したものに変更する。

- (2) 現在、液位計の検出器は耐震設計上の要求により径が大きくなっている。このた

め、検出器の熱容量が大きく、適切な温度補償が行われない場合がある。（特にレベル上昇時）。

このため、機械的強度を変えず、熱容量の小さなものに変更する。又は、温度補償コイル部分のみでも小さな径にする等の改造が望まれる。

(3) 耐久試験時の出力変動（僅かな出力変動）に鑑み、応答時間を落しても、ノイズ等に強いものに改造することが望ましい。

(4) 模擬振れ止め取り付けによる影響試験の結果、当初予想を遙かに上廻る影響があったため、実機においては振れ止めの数を減らすこと、ウェルと振れ止めの間のクリアランスを大きく取ること、およびウェルに近い部分のSUS材を可能な限り少くする等の考慮が必要である。（振れ止めは実機における液位計案内管サポートを模擬したものである。）

8. 謝 辞

最後に本試験の立案，実施，結果の検討に助言を頂いた元 F B R 開発本部計測グループ（現在，横河電機製作所）の浅川直記氏，東京芝浦電気㈱の但馬勉，網中四郎両氏，及び当試験室の方々に深く謝意を表します。

9. 参 考 文 献

- (1) Yasunao. Kumon 他, In-Sodium on Continuous Inductive Level-Meter PNC SN941 80-113 Jul. 1980.
- (2) 久門靖尚他, 「もんじゅ」一次主循環ポンプ(モックアップ)の試験(VII)誘導型液面計のナトリウム中試験 PNC SN941 81-123 1981年6月
- (3) 久門靖尚他, 誘導型連続式液位計のナトリウム中試験 PNC