

PNC型Na中水素検出計 2号機

——動的室・静的室分離型——

(小リーク・ナトリウム・水反応試験研究 第15報)

1978年7月

動力炉・核燃料開発事業団

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下さい。

〒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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

PNC 型 Na 中水素検出計 2 号機

—動的室・静的室分離型—

(小リーク・ナトリウム・水反応試験研究 第15報)

報告者 鎗ヶ江 直 道*
池 本 一 郎*
大 後 美 道*
井 上 設 生*
堀 雅 夫**

要 旨

PNC 型 Na 中水素検出計 2 号機は、すでに報告した同 1 号機の試作、試験から得られた成果を基に、高速増殖原型炉「もんじゅ」での使用を想定し設計、製作されたものであり、現在動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センタ内各種試験装置に組込まれ順調に稼動が続けられている。この 2 号機の特徴は、検出計の校正運転手法の簡易化および精度の向上を目的として従来はなかった「動的室、静的室分離型」の構成を開発し実用化した点にある。

本書は、この 2 号機の基本設計仕様、詳細構造および校正試験、水注入時の応答試験を含む Na 中試験結果について記述するものである。これ等の設計、試作および試験を通じて以下の成果を得た。

- (1) 「動的室、静的室分離型」は校正試験時の運転手法の簡易化および校正精度の向上に有効である。
- (2) 同 1 号機の経験も含め、既に報告した「検出計最適設計法」の妥当性を確認した。
- (3) 「もんじゅ」の適用可能な設計、製作および運転に関する多くの情報を得ると同時に、本 2 号機が「もんじゅ」用として使用可能である事の見通しを得た。

大洗工学センタでは現在この 2 号機を使用して、検出計の寿命、経年変化を把握するための長期試験を行って更に多くの運転経験を積み重ねる予定である。

* 大洗工学センタ・蒸気発生器開発部 : 蒸気発生器安全性試験室

** 大洗工学センタ・蒸気発生器開発部

July 1978

PNC In-Sodium Hydrogen Meter Type-II
<Separation Type of Dynamic and Static Chambers>
-Studies of Small Leak Sodium Water Reactions (15)-

Naomichi Kanegae*, Ichiro Ikemoto*, Yoshimichi Daigo*
Setunari Inoue* and Masao Hori**

ABSTRACT

Seven PNC Type In-Sodium Hydrogen Meter Type-II were designed and manufactured to confirm that these meters will be applicable to the "MONJU" plant, and they have been installed and operated without any troubles in several test rigs of O-arai Engineering Center, Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation. These meters were improved from the Type-I reported previously, and a new vacuum system named as "Separation Type of Dynamic and Static Chamber" was developed and applied to the Type-II. In this new system, the dynamic and the static chamber are separated from each other in the vacuum system, so that the operation method become very simpler and it becomes possible to calibrate these meters with more accurately and shorter time.

This paper explains the basic design specifications, the detail constructions and the test results of in-sodium tests including the calibration and the response characteristics in case of sodium-water reactions were occurred.

The following results were obtained.

- (1) The separation type of dynamic and static chamber is effective to simplify the operation method and to improve the accuracy of calibration of hydrogen meter.
- (2) The optimum design method of hydrogen meter reported previously was established by several experiences of designing, manufacturing and operating of the Type-II and also the Type-I.
- (3) Several informations applicable to the hydrogen meter of the MONJU plant were obtained, and a prospect that this Type-II hydrogen meter will be able to be used in MONJU plant was obtained.

* Steam Generator Safety Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation.

**Department of Steam Generator Development, O-arai Engineering Center, Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation.

Now, a long term operation test in sodium is under conducting for confirming life time or characteristics of operation time dependency of the Type-II meters in O-arai Engineering Center.

目 次

1	まえがき	1
2	基本設計	2
2.1	1号機の経験の評価, 2号機への反映点	3
2.2	設計基本方針	5
2.3	測定範囲, 感度	5
2.3.1	測定範囲上限	5
2.3.2	測定範囲下限	5
2.3.3	測定精度(感度)	6
2.4	Ni 膜部設計仕様	6
2.5	真空系設計仕様	6
2.5.1	真空系システムの改良評価	6
2.5.2	イオンポンプ排気速度(S)と Ni 膜面積(A)の決定	10
2.5.3	真空系内容積, 表面積, 表面処理および真空計自己排気速度の決定	11
2.5.4	その他真空系基本仕様	12
2.6	ナトリウム系設計仕様	12
2.6.1	1号機との相異点	12
2.6.2	系統構成	13
2.6.3	Na 流量	13
2.6.4	Na 温度制御	13
2.7	全体系統図	13
2.7.1	ナトリウム系系統説明	13
2.7.2	真空系統説明	14
3	Ni 膜構造部	18
3.1	構造	18
3.2	製造工程	18
3.3	試験検査	18
4	真空構造部	20
4.1	真空系全体構成	20
4.2	真空系構成機器	21
4.2.1	イオンポンプおよびコントローラ	21

4.2.2	真空計およびコントローラ	22
4.2.3	バルブ類および配管構造部	23
4.2.4	記録計類	23
4.3	真空機器の水素ガス校正	24
4.3.1	電離真空計の水素ガス校正	24
4.3.2	イオンポンプの水素ガス校正	25
4.4	各種工場内試験	27
4.4.1	真空試験	27
4.4.2	放出ガス測定試験（ベークアウト試験）	27
4.4.3	真空計のゼロドリフト試験	29
4.4.4	イオンポンプノイズ試験	30
5.	ナトリウム構造部	31
5.1	ナトリウム系構成機器	31
5.1.1	ヒータ内蔵エコノマイザ	31
5.1.2	主ヒータ	32
5.1.3	電磁ポンプ	32
5.1.4	電磁流量計	33
5.1.5	ナトリウム止弁	33
5.1.6	配管機器配置および予熱保温	33
5.2	計測制御系	33
5.2.1	制御盤	34
5.2.2	主回路系	34
5.2.3	制御回路系	34
5.2.4	計測回路系	34
5.2.5	予熱計測回路系	34
5.2.6	警報，インタロック系	34
6.	ナトリウム中試験結果	36
6.1	ナトリウム中校正試験	36
6.1.1	校正曲線の作り方	36
6.1.2	水素計の運転モード	38
6.1.3	校正試験結果	39
6.2	ナトリウム中注水時応答試験結果	40
7.	あとがき	42
8.	参考文献	43

付 録 目 次

付録-I : PNC 型 Na 中水素検出計 2 号機真空系内表面積体積計算書	45
付録-II : イオンポンプ排気速度変化の評価 (PNC 型 Na 中水素検出計 (1 号機) Mk-II の実例)	48
付録-III : スパッタイオンポンプ Ar 処理	63
付録-IV : Na 到達時間計算書	70
付録-V : 水素計校正試験データ処理コード・HYDAC-1	72

図 表 リ ス ト

一 表 リ ス ト 一

表 2-1 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 基本仕様	87
表 2-2 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Ni 膜部設計仕様	88
表 2-3 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 真空系設計仕様	89
表 2-4 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) ナトリウム系設計仕様	90
表 3-1 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Ni 膜材料検査成績表	91
表 3-2 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Ni 膜外径, 長さ検査成績表	92
表 3-3 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Ni 膜厚測定検査成績表	93
表 3-4 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Ni 膜外表面積測定検査成績表	94
表 5.1-1 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 主ヒータ出力, Na 出口温度測定結果	95
表 5.2-1 (1/2) PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Na 系計装, 計器リスト (その 1)	96
表 5.2-1 (2/2) PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Na 系計装, 計器リスト (その 1)	97

一 図 リ ス ト 一

図 2-1 : G_{H_2} , G_{H_2O} , C_{IN} の関係図 (測定濃度範囲の評価)	98
図 2-2 : W_{H_2} , W_{H_2O} と C_E の関係図	99
図 2-3 : Na 流量と系内循環時間の関係	100
図 2-4 : 水素の Ni 膜透過応答曲線	100
図 2-5 : バリアン社製 Na 中水素検出計系統図	101
図 2-6 : 50 MWSGTF 用 Na 中水素検出計系統図	101
図 2-7 : ANL 試作 Na 中水素検出計系統図 (その 1)	102
図 2-8 : ANL 試作 Na 中水素検出計系統図 (その 2)	103
図 2-9 : SCTI 用 Na 中水素検出計系統図	103
図 2-10 : SNR-300 用 Na 中水素検出計系統図	103

図 2-11 :	TNO 開発 Na 中水素検出計系統図	104
図 2-12 :	CRBRP 用 Na 中水素検出計概形図	104
図 2-13 :	PNC 型 Na 中水素検出計 1 号機系統図	105
図 2-14 :	従来型と動的, 静的室分離型の運転状態比較	106
図 2-15 :	低濃度用検出特性図 (測定下限値からの評価)	107
図 2-16 :	高濃度用検出特性図 (測定上限値からの評価)	108
図 2-17 :	低濃度用静的平衡測定特性図	109
図 2-18 :	高濃度用静的平衡測定特性図	110
図 2-19 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-I 全体系統図	111
図 2-20 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II 全体系統図	112
図 2-21 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-III 全体系統図	113
図 2-22 :	静的室, 動的室結合法比較検討図	114
図 3-1 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Ni 膜構造図	115
図 3-2 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Ni 膜製造工程	117
図 3-3 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Ni 膜肉厚および表面積測定要領	118
図 4.1-1 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-I 真空構造部組立図	119
図 4.1-2 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II 真空構造部組立図	120
図 4.2-1 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用イオンポンプ (小) (PST-AP 特型) 組立図	121
図 4.2-2 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用アペンデージコントロール (GSTAP 特型) 外観図	122
図 4.2-3 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用イオンポンプ (大) (PST-1C 特型) 組立図	123
図 4.2-4 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用スパッタイオンポンプコントロール (GST-05A 特型) 外観図	124
図 4.2-5 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用シュルツゲージ (WI-SH 特型) 組立図	125
図 4.2-6 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用シュルツゲージコントロール (GI-SH 型) 外観図	126
図 4.2-7 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用ヌードゲージ (WIN-N ₂ 特型) 組立図	127
図 4.2-8 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用ヌードゲージコントロール (GI-N ₂ 型) 外観図	128
図 4.2-9 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用 UHV メタルバルブ (VUH-251 耐圧型) 構造図	129
図 4.2-10 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用 UHV メタルバルブ (VUH-401 耐圧型) 構造図	130
図 4.2-11 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用バリアブルリークバルブ (VLV-3 型) 外形図	131
図 4.3-1 :	電離真空計水素ガス校正試験装置	132
図 4.3-2 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-I ヌードゲージ校正曲線	133
図 4.3-3 (1/2) :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-I シュルツゲージ校正曲線 (低圧側)	134
図 4.3-3 (3/2) :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-I シュルツゲージ校正曲線 (高圧側)	135
図 4.3-4 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II Na 1 ヌードゲージ校正曲線	136
図 4.3-5 (1/2) :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II Na 1 シュルツゲージ校正曲線 (低圧側)	137
図 4.3-5 (3/2) :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II Na 1 シュルツゲージ校正曲線 (高圧側)	138
図 4.3-6 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II Na 2 ヌードゲージ校正曲線	139
図 4.3-7 (1/2) :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II Na 2 シュルツゲージ校正曲線 (低圧側)	140
図 4.3-7 (3/2) :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II Na 2 シュルツゲージ校正曲線 (高圧側)	141
図 4.3-8 :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II Na 3 ヌードゲージ校正曲線	142
図 4.3-9 (1/2) :	PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Mk-II Na 3 シュルツゲージ校正曲線 (低圧側)	143

図4.3-9 ($\frac{3}{2}$) PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 3 シュルツゲージ校正曲線 (高圧側)	144
図4.3-10 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 4 ヌードゲージ校正曲線	145
図4.3-11 ($\frac{1}{2}$) PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 4 シュルツゲージ校正曲線 (低圧側)	146
図4.3-11 ($\frac{3}{2}$) PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 4 シュルツゲージ校正曲線 (高圧側)	147
図4.3-12 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 5 ヌードゲージ校正曲線	148
図4.3-13 ($\frac{1}{2}$) PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 5 シュルツゲージ校正曲線 (低圧側)	149
図4.3-13 ($\frac{3}{2}$) PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 5 シュルツゲージ校正曲線 (高圧側)	150
図4.3-14 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-III ヌードゲージ校正曲線	151
図4.3-15 ($\frac{1}{2}$) PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-III シュルツゲージ校正曲線 (低圧側)	152
図4.3-15 ($\frac{3}{2}$) PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-III シュルツゲージ校正曲線 (高圧側)	153
図4.3-16 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-I, Mk-II 用水素ガス校正試験装置	154
図4.3-17 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-I イオンポンプ (大) (PST-1C特) 排気速度 (水素基準) ..	155
図4.3-18 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-I イオンポンプ (大) (PST-1C特) 校正曲線	156
図4.3-19 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-I イオンポンプ (小) (PST-AP特) 排気速度 (水素基準) ..	157
図4.3-20 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-I イオンポンプ (小) (PST-1C特) 校正曲線	158
図4.3-21 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 1 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 排気速度 (水素基準) ..	159
図4.3-22 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 1 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 校正曲線	160
図4.3-23 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 2 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 排気速度 (水素基準) ..	161
図4.3-24 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 2 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 校正曲線	162
図4.3-25 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 3 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 排気速度 (水素基準) ..	163
図4.3-26 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 3 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 校正曲線	164
図4.3-27 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 4 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 排気速度 (水素基準) ..	165
図4.3-28 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 4 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 校正曲線	166
図4.3-29 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 5 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 排気速度 (水素基準) ..	167
図4.3-30 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II Na 5 イオンポンプ (大) (PST-1C特) 校正曲線	168
図4.3-31 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-III イオンポンプ (大) (PST-1C特) 排気速度 (水素基準)	169
図4.3-32 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-III イオンポンプ (大) (PST-1C特) 校正曲線	170
図4.4-1 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-I 到達真空試験結果	171
図4.4-2 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-I ベークアウト試験装置	172
図4.4-3 : PNC型Na中水素検出計 ベークアウト試験結果	173
図4.4-4 : アルゴンボンバード用ガス導入系	174
図5.1-1 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) 用ヒータ内蔵エコノマイザ組立図	175
図5.1-2 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) ヒートバランス	177
図5.1-3 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) 用主ヒータ構造図	178
図5.1-4 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) 用電磁ポンプ外形図	179
図5.1-5 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) 用電磁流量計外形図	180
図5.1-6 ($\frac{1}{2}$) : PNC型Na中水素検出計 (2号機) 用電磁流量計特性曲線 (その1)	181
図5.1-6 ($\frac{3}{2}$) : PNC型Na中水素検出計 (2号機) 用電磁流量計特性曲線 (その2)	182
図5.1-7 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) 用Na止弁外形図	183
図5.1-8 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Na系配管, 特器配置図	184

図5.1-9 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)予熱ヒータ及び熱電対取付位置図	185
図5.2-1 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)用制御盤外形図	188
図5.2-2 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)用電源構成図	189
図5.2-3(1/2) :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)主回路系統図(その1)	190
図5.2-3(3/2) :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)主回路系統図(その2)	191
図5.2-4 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)制御回路系統図	192
図5.2-5 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)計測回路系統図	193
図5.2-6 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)予熱計測回路系統図	194
図5.2-7 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)警報表示回路図	195
図6-1 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)Mk-I 運転モード説明図	196
図6-2 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)Mk-I 校正試験測定結果例	197
図6-3 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)Mk-I 校正曲線	198
図6-4 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)Mk-II 静的平衡測定結果例	199
図6-5 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)Mk-III 静的平衡測定結果例	200
図6-6 :	SWAT-2 フローシート	201
図6-7 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)Mk-I 水注入(微小リーク試験)時応答測定例	202
図6-8 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)Mk-II 水注入(微小リーク試験)時応答測定例	203

— 付録図表リスト —

表II-1 :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II 校正試験測定データ一覧	52
表III-1 :	Ar 処理前後の数値比較	66
表V-1 :	HYDAC-1 プログラムリスト	78
表V-2 :	HYDAC-1 出力リスト形式	84
図II-1 :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II イオンポンプ(大)(PST-1C特)納入時排気速度	53
図II-2 :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II イオンポンプ(小)(PST-AP特)納入時排気速度	54
図II-3(1/2) :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II シュルツゲージ校正曲線(低圧側)	55
図II-3(3/2) :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II シュルツゲージ校正曲線(高圧側)	56
図II-4 :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II イオンポンプ(大)(PST-1C特)校正曲線	57
図II-5 :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II ヌードゲージ校正曲線	58
図II-6 :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II イオンポンプ(小)(PST-AP特)校正曲線	59
図II-7 :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II 校正曲線の変化(ヌードゲージ部圧力)	60
図II-8 :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II 校正曲線の変化(イオンポンプ部圧力)	61
図II-9 :	PNC型Na 中水素検出計(1号機)Mk-II PST-AP と PST-1C 排気速度比 S^*	62
図III-1 :	イオンポンプ排気速度変化とAr 処理の効果	67
図III-2 :	Ar 処理のための系統図	68
図III-3 :	Ar 処理前後のイオンポンプ排気速度放電電流の相異	69
図IV-1 :	PNC型Na 中水素検出計(2号機)Na 到達時間計算対応図	71
図V-1 :	HYDAC-1 プログラムフローチャート	85

—写真リスト—

写真-1	:	製作した静的室, 動的室用 Ni 膜	116
写真-2	:	PNC 型 Na 中水素計 2 号機 Mk-II 現地組立状態	186
写真-3	:	PNC 型 Na 中水素計 2 号機 Mk-III 現地据付状態	187

1. ま え が き

ナトリウム中水素検出計は、ナトリウム中水素濃度測定のための機器であると同時に、ナトリウム加熱蒸気発生器（以下S. G.）の伝熱管からの水漏洩検出計として重要な機器である。ナトリウム冷却高速増殖炉プラント（以下LMFBR）の開発が始められた時点からこの水素検出計の開発も進められており、検出手法、構成、検出用計器等の研究開発が行われると同時に、多くの基礎データの集積が行われて来た。これまでいくつかの試作、試験を通じて現状で最も精度が良く、信頼性の高いものとしてNi膜—イオンポンプ型水素検出計が脚光をあびており、内外で多くの経験が積まれている。

動力炉、核燃料開発事業団（以下動燃）でも、小リーク・ナトリウム・水反応試験装置（以下SWAT-2）を中心としてこれ等の開発研究を進めて来た。この成果の一つとして、あらゆる形式のNi膜—イオンポンプ型水素検出計の設計に適用可能な「最適設計法」を明示すると同時に、その設計法の妥当性を検証する目的で「PNC型Na中水素検出計1号機」を試作しその試験結果をすでに報告した。上記最適設計法は検出計の設計手法を最も一般化した設計チャート

（特性図）にまとめたものであり、新たに設計する場合および既存の検出計の性能評価に於いて広範囲に適用出来るものであるが、この最適設計法から要求される条件を具体的に実現する個々の検出計を完成するためには製作法も含めた更に多くの情報が必要であった。上述のPNC型Na中水素検出計1号機はそのために試作、試験されたものである。これ等の経験を通じて最適設計法の妥当性を確認すると同時に小型で精度良い検出計の設計、製作の見通しを得ることが出来た。また、この1号機の経験から運転手法の簡易化、校正精度の向上を計るため、真空系を動的室と静的室に分離するという概念が生まれ、それ等の考えを取り入れた改良型検出計を設計、製作し性能試験を実施した。

本報告は、この改良型検出計（「PNC型Na中水素検出計2号機」と呼ぶ）のLMFBR「もんじゅ」での適用を考慮した設計、試作および試験の内容について記述するものである。すなわち、第2章では本1号機の経験を反映した基本設計について、第3章、4章および5章ではNi膜、真空系およびナトリウム系の詳細について示した。第6章では完成した水素検出計のNa中試験結果を記述し、設計目標とした各種の機能が満足されている事を示した。

なお、本検出計2号機はMk-I（マークI）、Mk-IIおよびMk-IIIの3機種を試作している。これ等には真空系系統にわずかな相異があるが基本的な仕様は同一である。また「もんじゅ」での使用を想定した各種試験を行うため、Mk-IIを5基その他各1基ずつ、合計7基の2号機検出計を製作し現在順調な運転が続けられている。

2. 基 本 設 計

本項では、PNC 型 Na 中水素検出計 2 号機 (Mk - I, Mk - II および Mk - III の 3 機種) の設計基本仕様 (検出計の要求測定範囲, 精度, 真空計, Ni 膜, Na 系の設計仕様等) 決定根拠および決定仕様について記述する。

同時に, この 2 号機を試作するに当り, 本検出計 1 号機の試作経験を評価し, それ等の 2 号機への反映内容について概説する。

なお設計基本仕様の決定方法すなわち「Ni 膜—イオンポンプ型 Na 中水素検出計最適設計法」についてはすでに参考文献(1)に於いて詳細に報告している。さらに, これ等の具体的設計例を中心とした説明は, 参考文献(2)に於いて, 「PNC 型 Na 中水素検出計 1 号機」の報告書として詳しく報告している。本 2 号機の基本仕様は 1 号機のそれと全く同一と做してよく, 2.2 項で述べる基本方針に従ってもんじゅプラント使用を想定したシステムの改良を主眼として設計, 試作したものである。したがってその設計仕様およびその決定根拠を全て詳細に報告することは, 参考文献(2)と重複する部分が多くなる。そこで本報ではこの重複する部分の文章による説明を極力省き, 図・表による説明で終らせるよう配慮した。

また, すでにふれたように本 2 号機は真空系システム変更機種として Mk - I, Mk - II および Mk - III を試作しているが, これ等の基本仕様および個々の付属機器の仕様は全く同一である。そこでこの 3 機種の真空系システム上の特徴および相異点を明確にするために下表にそれ等を示す。

機 種	系 統 図	イオンポンプ		フレキシブル チューブ	荒引き系	試作数
		大容量用	小容量用			
Mk - I	図 2 - 19	有	有(計測用)	有	1 系統	1 基
Mk - II	図 2 - 20	有	無	有	1 系統	5 基
Mk - III	図 2 - 21	有	有 (排気用のみ)	無	2 系統	1 基

2.1 1号機の経験の評価、2号機への反映点

1号機の設計思想は、参考資料(1)に記したとおりであるが、試作、運転の経験を通して得られた成果として次の2点を挙げる事が出来る。

(A) 1号機の設計思想、設計法(各種特性図の使用)の妥当性が検証された。

(B) 設計法の中で、当初定量的に不明確であった項目に対する実験的確認がなされた結果、検出計構造面での改良により更に精度向上が可能であることが判明した。これは主に“静的平衡圧測定”に関する項目である。

以下、上記結論に至った過程を、1号機構造の主要特徴点毎に記述する。

[カッコ内(A)および(B)は上記内容に対応する]

I. イオンポンプ2排気系構造 [(A)]

参考資料2)から判るとおり、30 l/sec と 2 l/sec のイオンポンプでは、500 °C において前者が高濃度(300 ppb ~ 15 ppm) 後者が低濃度(45 ppb ~ 5 ppm)の測定範囲を有することが確認された。

II. 膜厚 $d = 0.5 \text{ mm}$ と応答性、強度 [(A)]

参考資料(2)の図8-5等から判るとおり、0.5 mmでもその応答速度は実用上充分である。

また、設計条件から要求される強度は、参考資料(1)に記したように本構造0.5 mmの厚さで充分であり、将来もんじゅ等に使用される場合も規制局規定の強度計算法による確証あるものを使用せねばならないことから、1号材肉厚どおりで充分である。

III. 膜構造 [(A)]

円筒、片支持構造であることによる次の有利な点があった。

- (a) 溶接部を少く出来た事および施工側の技術的うらづけが充分あったことにより、100%の成功率で完成した。
- (b) 運転中の熱膨張は完全に逃せる構造のため運転中の心配が全くなかった。
- (c) 円球部がないため、膜厚の均一化($\pm 0.02 \text{ mm/m}$)が得られた。

IV. Na ドレン不可構造 [(B)]

SWAT-2に於ける運転では、全く障害にはならなかった。すなわち

- (a) Na ドレン時には、主配管側の止弁(水素計出入口管の中間に設置されたもの)を開とし、1方からAr ガスにてNa 追出しを行った。この時、Na 流量計の応答により追出しがなされたことが確認出来た。
- (b) 再チャージ時前に、上記(a)と同様の方法でガス導通をはかった処、導通確認が行えた。しかし、一般プラントに設置する場合独自にドレン可能の方がはるかに良いことは明白であろう。

V. システム全体の小型化 [(A)]

この特徴は充分発揮されたと云える。高出力の主ヒータ、低流量用のポンプ、流量計の使用に

よる信号の不正確さ、制御性の不都合は見られず、 $500^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ の温度制御性も設計どおりであることが確認された。

但し、設計条件である入口Na 温度 200°C 、膜温度 500°C の場合、出口Na 温度が 400°C 近くになる点は、今後一般装置に組込む場合に熱影響の点として問題であり、出口部構造に考慮を払う必要があろう。これに関しては、SWAT-2の運転を通常入口温度 450°C 以上で行っていたことから特に問題とはならなかった。

VI. S/A および A/d の選択 [(A), (B)]

- (a) S/A は前記 I したように基本的に設計思想どおり ($S = 33 \text{ l/s}$ と 2 l/s , $A = 200 \text{ cm}^2$, $S/A = 165$ と $S/A = 10$) であることが確認出来た。
- (b) A/d の効果については、後述の内面処理、真空系表面積、内容積の方が大きく効くため、 A/d そのものの値の選択よりは上記項目の確認が重要であることが明確となった。

例えば S/A および強度計算から求まる膜厚 d との関連から A/d 条件を変えたとしてもその効果はせいぜい2～3倍であるのに対し、内面処理等による効果には1～2オーダの変化が出て来る。

VII. 内面処理の問題 [(B)]

設計目標とした値 (500°C にて $10^{-11} \text{ Torr l/sec/cm}^2$)を得ることは、これまでの処理法をいくら駆使しても不可能であることが判明したが、1号機の真空系工場内実験にて、 550°C 700時間のベーキングを行うことによりその値を達成することが確認出来た。しかし700時間は決して短い時間とは云えないので今後は更にベーキング時間を低下させる方法等について検討する必要がある。

VIII. 真空系内表面積、内容積 [(B)]

この点も上記VIIとの関連で1号機の場合は甘い見積りであったと云わざるを得ない。結論として、これ等の要素の効いて来る“静的平衡運転”に対し、更に厳密な設計を行えば良い訳で、真空系を後で詳細に評価するように「静的平衡運転室」と「動的平衡運転室」に分離し、さらに膜温度 500°C にさらされぬ部分を極力小さくする方法を取れば、当初の設計思想の具体化が可能であることが判った。

IX. 真空計自己排気速度 [(B)]

本件は、1号機設計膜には全くの未知頂であったが、参考資料 (2) に記した実験値をつかむことが出来、それ以後実施した試験についても、大略同オーダの値が確認されていることから、 $1 \times 10^{-3} \text{ l/sec}$ 程度であると云えよう。この値は、当初予想したものより3～4オーダ大きく今後の問題点であろう。しかし、自己排気速度を定量的につかめさえすれば、測定値の補正を正確に行うことが可能である。

X. その他の項目

- (a) 大容量イオンポンプに設置した、バリアブルリークバルブは有効であった。

- (b) 荒引きライン設置も有効であった。
- (c) 真空系予備フランジは不要である。

以上記述した1号機の実績および検討を反映して以下のように2号機の基本設計を行った。

2.2 設計基本方針

本設計は以下の基本方針の基に検討する。

- (1) 実プラント（具体的にはもんじゅプラント）に組み込み、リーク検出計としての機能を果たせること。
- (2) SWAT-2および50MWSGTFに組み込み、リーク検出計としての機能および水素挙動追跡のための濃度測定計としての機能を有すること。
- (3) 本検出計(系)はNa側も含め小型化をはかることを目標とすること。
- (4) 校正運転における精度の向上および運転手法の改良をはかること。
- (5) 本検出計の設計、製作を通じて既報最適設計法の実証を行うと同時に、高速原型炉「もんじゅ」用として使用可能であることを実証すること。

これ等の項目のうち、

- (1)(2)(3) はすでに本検出計1号機で実証済みであり
- (4)(5) が本2号機試作の主力方針

と云える。

2.3 測定範囲、感度

本項内容は、参考文献(2)の2.2項と全く同一である。したがって、詳細説明は割愛し仕様決定に用いた図面およびその決定仕様のみ記述する。

2.3.1 決定範囲上限

決定理由：図2-1〔 GH_2 （水素リーク率）、 GH_2O （水リーク率）と C_{IN} （初期ステップ応答濃度）の関係図〕で $\text{GH}_2\text{O} = 5 \sim 10 \text{ g/sec}$ （最大ウェステージ率の発生リーク率近傍値）に対応する濃度

決定条件：10 ppm を測定上限値とする。

2.3.2 決定範囲下限

決定理由：図2-1でコールドトラップ低部温度115℃に対応する濃度

決定条件：45 ppb を測定範囲下限とする。

なお、図2-2および図2-3を参考用に付したが、前者からは各種ループ（SWAT-2，50MWSGTF およびもんじゅプラント）に於いてリーク発生後濃度や系統内に均一に分布した時の測定可能なリーク量が判る。また後者は各ループのNa系内一循時間が判る。

2.3.3 測定精度（感度）

決定理由：図2-4（水素のNi膜透曲線）を参考として決定、

決定条件：Ni膜部に45ppbから10ppmまでの水素濃度値の±10%変化ガステップ状に生じた場合、20秒以内にその変化を確認出来、Na系も含め系の入口に変化が生じてから30秒以内に検出可能であること。

以上本項で考察した本検出計基本仕様のまとめを表2-1に示す。

2.4 Ni膜部設計仕様

本項も前項と同様、1号機の内容と同じであり次の基本仕様を適用して決定した。

- (1) Ni膜構造はいわゆる内圧型とする。
- (2) Ni膜厚さは測定精度と強度の面から考えて最適なものとする。
- (3) Ni膜からのNa漏洩が生じて検出系から外部へは漏洩させないものとする。すなわち、真空系壁面部を最終防壁部とし、万一Ni膜の破損が生じても運転員の安全を確保する構成とする。
- (4) 材質はNi 201相当材とする。

これ等基本仕様を基として参考文献(2)の2.3項に述べた評価により決定したNi膜部設計仕様の一覧を表2-2に示す。同表中には本項で検討した内容と次項以降の検討結果内容も含めて記載してある。特にNi膜を2基設置し、1つは動的平衡測定室（動的室）に他は静的平衡測定室（静的室）にそれぞれ専用を用いる構成としている点は本2号機の特徴点であり、その決定理由は次項で詳しく記述する。

2.5 真空系設計仕様

前項内容は2.2項基本方針のうち(1)(2)を満足させるための仕様決定について記述したものであり、本項は主に同(3)および(4)項を対象とした考察内容を述べるものである。それはまた、本検出計1号機との相異点すなわち真空系システムの改良点であり本2号機（動的、静的室分離型）の特徴点の説明である。

2.5.1 真空系システムの改良評価

Na中水素検出計の運転には動的平衡運転と静的平衡運転とがあり、前者は通常運転状態すなわち濃度測定あるいはリーク検出用計器としてイオンポンプによる排気が行われている運転状態を云う。後者は、イオンポンプ用止弁を閉じるか、イオンポンプを停止することによってこの排気の能力を停止し、真空側水素分圧をその時のNa中水素濃度に対応する水素分圧に等しくする運転を云う。検出計の校正試験は、この動的および静的運転をくり返し行うことにより実施し、校正曲線を求めることであることは参考文献(3)等にも詳しく記述されている。いずれにせよ、

Na 中水素検出計は必ず Na 中での校正試験を行って実用校正曲線を求めねばならないし、この場合何等かの方法で（一般的にはイオンポンプ止弁を閉とする）イオンポンプ排気能力を停止せねばならない。

さて、これまで世界中で製作され使用されている Ni 膜—イオンポンプ型 Na 中水素計の構造では真空室および Ni 膜は通常 1 個のみであり、静的、動的運転は全て同一 Ni 膜および真空室を用いてなされている。以下それ等の実例を見ると、図 2-5 は SWAT-2 でも用いた事のあるバリアン社製のもの³⁾、図 2-6 は同じく動燃大洗工学センタ内の 50 MW 蒸気発生器試験施設（50 MWSGTF）用のもの⁴⁾⁵⁾、図 2-7 および図 2-8 は ANL で開発試作したもの⁶⁾、同じ米国の SCTI に組込まれて実験用に用いている水素計⁷⁾が図 2-9 であり、SNR-300 用⁸⁾および TNO で開発⁹⁾のものがそれぞれ図 2-10 および図 2-11 である。最近の報告例では米国 CRBRP（Clinch River Breeder Reactor Plant）用として計画され現在実験が行われているものの概形図¹⁰⁾が図 2-12 であり、現在 SWAT-2 に据付けられ稼動を続けている PNC 型 Na 中水素検出計 1 号機の系統図²⁾が図 2-13 である。

これ等の図から判るように校正試験時に静的平衡運転状態へ持って行く場合、例えば図 2-13 では（以下 PNC 型 1 号機を“従来型”の代表として参照する）イオンポンプ（PNC 型のみイオンポンプは 2 台設置されている）の前にある止弁を閉にすることにより真空室の水素分圧を Na 中のそれと等しくすることが出来る。逆に、この時真空計全体が静的状態となるために、動的状態を保つことが出来ないため、校正試験の間は完全にリーク検出計としての機能が失われる。この様子を描いたのが、図 2-14 である。

同図中従来型の運転状態として示したのがそれで、動的運転の場合は、イオンポンプによる排気があるため真空系内の圧力は低くそれに従ってシュルツゲージの指示値も低い値を示している（Na 中水素濃度が小さい場合は、このシュルツゲージの測定範囲下限より低くなり、シュルツゲージでは測定出来ない場合もある。この時はヌードゲージの指示値でおきかえて考えればよい）。次に、静的平衡状態すなわち図に示したように 2 つのイオンポンプ用の止弁を閉として真空室の排気を停止すれば、真空室は徐々に圧力が上昇し Na 中水素分圧に等しくなる処（正確にはサーマルトランスピレーション効果やゲージの自己排気効果による差があるため等しくはならないが）で平衡に達する。この時、イオンポンプ自体と止弁の間の空間のみがイオンポンプによって排気されるため、イオンポンプ出力は高真空状態を示すようになり、検出計としての機能は失われる。この静的平衡の測定が終了した後、再び動的平衡運転へもどし初めの状態になる。図 2-14 には理想的にきれいに描いてあるが、実際の運転ではバルブの操作等に注意を払いゆっくりやらねばイオンポンプトリップ等のトラブルを生じかねないしさらに、同一真空室に、真空計を 2 つ、イオンポンプおよびその止弁等を設置することにより、真空室の内表面積、容積ともどうしても大きくなる。この表面積、容積が大きい事は静的平衡運転精度すなわち校正精度に最も悪い影響を与えることは、参考文献 (1) (2) (3) 等で指摘したとおりである。

以上のような従来型の弊害を少しでも克服する目的で本検出計 2 号機を試作したのであり、その基本方針は 2.2 項の(4)および(5)に記したとおりである。

結論として、動的室と静的室に分離した構造とすることによりこれ等の問題を解決することが可能であると判断し本 2 号機の系統を図 2-19 (Mk-I), 図 2-20 (Mk-II) および 図 2-21 (Mk-III) とした。

これ等系統および構造の説明等詳細は後に述べるが、ここではこの様な構成を取ることで上記弊害がいかに取りのぞかれるかを図 2-14 を用いて説明する。

図 2-14 のうち「静的・動的室分離型 (PNC 2 号機)」と記した方の図が本検出計 2 号機の較正運転状態図を示しており、左側が Mk-I および Mk-II のまた右側が Mk-III のそれを示している。両検出計共左側の真空室が「動的平衡測定室」で右側が「静的平衡測定室」でありそれぞれ動的平衡測定および静的平衡測定専用に使われる部屋である。静的室は Mk-I, II では、止弁およびフレキシブルチューブ (これ等名称と物との対応は上記各系統図を参照されたい) を介して動的室と連絡しており、Mk-III の場合は専属イオンポンプ (排気専用) が設置されている。これは、静的室にあるシュルツゲージなどを万一交換する場合に静的室の排気も可能にしておいた方が一般的に使い易いと云う事以上に、ほとんどの場合静的平衡測定前に静的室を一度排気せねばならない必要があることから必ずこの構成にせねばならない訳である。何故なら真空系内壁面からの放出ガスが「零」の状態が保てる場合は、静的室は常に Na 中水素分圧に等しい圧力で保たれる筈であるが、現実にはわずかの放出ガスがあっても (1 号機の場合で云えば 1×10^{-11} Torr $\cdot$ ℓ / sec $\cdot$ cm² の放出ガス率: 参考文献(2)の図 4.5-2 あるいは本書図 4.4-3 参照) 長時間後には静的室圧力は Na 中水素分圧以上になってしまうため一度排気して測定誤差を無くす必要があるためである。例えば、次の条件の静的室を考えると、

$$\text{内表面積} \quad A_p = 500 \text{ cm}^2$$

$$\text{内容積} \quad V = 300 \text{ cm}^3$$

$$\text{放出ガス率} \quad q^* = 1 \times 10^{-11} \text{ Torr} \cdot \ell / \text{sec} \cdot \text{cm}^2$$

この時、 t (sec) 時間後の静的室の圧力上昇値 ΔP_{H_2} は次の式で表わされる。

$$\Delta P_{H_2} = q^* \cdot \frac{A_p}{V} \cdot t \cdot 10^3 \quad (2-1)$$

今 $t = 8.64 \times 10^4$ sec (= 1 日) で上式にあてはめると圧力上昇値 ΔP_{H_2} は、

$$\Delta P_{H_2} = 1 \times 10^{-11} \times \frac{500}{300} \times 8.64 \times 10^4 \times 10^3 = 1.44 \times 10^{-3} \text{ (Torr)}$$

となる。この 1.44×10^{-3} (Torr) の水素分圧は Na 中水素濃度に換算すると約 200 ppb 程度に相当する。すなわち 1 日程度静的室を放置しておくと、200 ppb 程度真の Na 中水素分圧

より高い濃度を示すことになる。この状態を図 2-14 の PNC 2 号機の状態図では、シュルツゲージの指示値（破線）の左側が右側静的平衡状態の値よりわずかに上昇している挙動として描いてある。

さて、動的、静的室分離型の場合は動的室は常に動的平衡状態を、また静的室は常に静的平衡状態を保っている訳であるが、校正試験時には上述のように静的室を一度排気する必要がある。Mk-I、Mk-II の場合は、動的室に設置されたイオンポンプによってその排気を行う構成となっており、両室を隔離する止弁を開として静的室の排気が行われる。これだけだと、1 号機は従来型と何ら変わる処は無いと考えられるが、もともと静的室は Na 中水素分圧と等しい値より極端に大きい値にはなっていない（前述の計算は「1 日」で評価しているが、これが例えば 1 ケ月になれば計算上はもっと高い圧力になる筈だが、実際は放出ガスの源である真空配管内壁内のガス分圧と静的室内分圧とが平衡になるため、極端な圧力上昇は無い）。したがって、静的室の排気はわずかの時間（現実的には数 10 秒程度で充分）でよい訳でリーク検出機能が失われる時間はきわめて短時間となり、図に示したとおり従来型のものよりは運転手法の改良がされていることが判る。さらに Mk-III の場合は、この静的室の排気専用のイオンポンプを設置しているため、動的室とは完全に独立に正確な静的平衡状態に持って行ける、図 2-14 の Mk-III の運転状態図がそれを示している。すなわち、静的室の挙動は Mk-I、II のそれと同じ状態を示すにもかかわらず、動的室にある指示値は常に動的平衡状態を示しており、「校正試験時にもリーク検出機能は全く失われない」事が判る。

さらに、このように分離型の構成をとることにより次のような利点が生れる。

- (1) 静的室にはシュルツゲージおよびイオンポンプ（排気専用であるからこの接続配管は小口径でよい）のみが設置されるため、内表面積および内容積は小さくする事が出来さらに校正運転の精度向上がはかれる。
- (2) 動的室は静的運転に何ら影響される事なく稼動しているため、校正試験時に何度も静的平衡運転を行ってもよいしまた測定の実験の失敗があっても安心して何回もやり直す事が出来て、校正精度の向上および運転手法の簡易化がはかれる。

以上の基本的な考察によって、本検出計 2 号機の真空系システムを「動的、静的室分離型」とした。

なお、以上の評価の他に 1 号機と同様に真空系全体には次の機能が備わっていることを基本事項とした。

- (I) 動的平衡運転が出来ること。この時、Na 中水素濃度 45 ppb から 10 ppm までの静的圧力値の測定が出来ること。
- (II) Ni 膜破損による Na 漏洩が生じた場合、真空系から外部（大気側）へ Na がもれないように、真空系は耐圧構造とする。
- (III) Ni 膜破損等で真空系が使用不能になった場合は、Ni 膜を含む真空側をたやすく交換可

能とすること。この際は真空系の再使用は原則として考えないが、アルゴンボンバード等の処理は据付状態のまま行えること。

以下この改良システムの設計仕様について記述するがこの内容は1号機のそれと大きく変わる処はない故、前述のように説明は可能な限り簡略化した。

2.5.2 イオンポンプ排気速度 (S) と Ni 膜面積 (A) の決定

決定理由 : 図 2-15 (低濃度用検出特性図) と図 2-16 (高濃度用検出特性図) を用いる。低濃度側からは $S/A \leq 10$ [S : イオンポンプ排気速度 (cm^3/sec), A : Ni 膜面積 (cm^2)], 高濃度側からは $S/A = 150$ を設計仕様点とする。
なお、上図作成の条件および使用記号の意味は次のとおり)

(1) 作成条件

- (a) Ni 膜厚さ : 0.5 mm
- (b) Ni 膜温度 : 500 °C
- (c) Sieverts 定数 : Vissers の式
- (d) 水素の Ni 膜透過率 ;
 $P_{\text{NH}} > 0.5 ; K = 1.18 \times 10^{-4}$
 $P_{\text{NH}} < 0.5 ; K^* = K \cdot 1.25 P_{\text{NH}}^{1/4.5}$
 P_{NH} : Na 中水素分圧 (Torr)
 $K \cdot K^*$: 透過率 ($\text{cm}^2 \cdot \text{Torr}^{1/2} / \text{sec}$)

(2) 図中使用記号

- (a) C_{NH} : Na 中水素濃度 (ppb 又は ppm)
- (b) P_{NH} : Na 中水素分圧 (Torr 又は mmHg)
- (c) P_{Ip} : イオンポンプ部圧力 (Torr 又は mmHg)
- (d) S : イオンポンプ排気速度 (ℓ/sec)
- (e) A : Ni 膜面積 (cm^2)
- (f) S/A : 上記値の比 (cm/sec)

決定条件 : 大容量イオンポンプおよび小容量イオンポンプ 2 基を有する 2 排気系とし、大小のイオンポンプ排気速度 S_1, S_2 は

$$S_1 = 2 \ell/\text{sec}$$

$$S_2 = 30 \ell/\text{sec}$$

を設計目標仕様値とし、Ni 膜面積 A は

$$A = 150 \text{ cm}^2$$

とする。

上記決定理由に記したとおり、イオンポンプの設計仕様を上記の値のように決めても、検出計が

組上った状態で最終的なイオンポンプ排気速度測定を行わねば実際の値は判らない。したがって、この値はあくまで製作前に決める設計仕様でありイオンポンプの型式を指定する値と考えるられたい。 $S_1 = 2 \text{ } \ell/\text{sec}$, $A = 150 \text{ cm}^2$ では $S_1/A \leq 10$ とならないし, $S_2 = 30 \text{ } \ell/\text{sec}$ では $S_2/A = 200$ になるが, 上述のように1号機の実積を考慮して上記条件を設計仕様とする。

また, 本章冒頭にも記したとおり, Mk-II はイオンポンプが一基のみしか設置されていないし, Mk-III の小容量イオンポンプは測定用でなく排気専用のものである。このようにした理由は2.7.2項で詳しく記述する。

2.5.3 真空系内容積, 表面積, 表面処理および真空計自己排気速度の決定

決定理由 : 図2-17 (低濃度用静的平衡測定特性図) および図2-18 (高濃度用静的平衡測定特性図) を用いる。両図作成条件および使用記号は次のとおりである。

(1) 作成条件

- (a) Ni 膜温度 : $500 (^\circ\text{C})$
- (b) 水素の Ni 膜透過率 : $1.18 \times 10^{-4} (\text{cm}^2 \cdot \text{Torr}^{1/2}/\text{sec})$

(2) 使用記号

- A_p : 真空系壁面面積 (cm^2)
- A : Ni 膜面積 (cm^2)
- d : Ni 膜厚さ (cm)
- A/d : 上記値の比 (cm)
- t : 平衡圧到達時間 (sec)
- q^* : 真空系壁面単位面積からの放出ガス量 ($\text{cm}^3 \cdot \text{Torr}/\text{sec}/\text{cm}^2$)
- V : 真空系容積 (cm^3)
- S_F : 真空計自己排気速度 (cm^3/sec)
- C_{NH} : Na 中水素濃度 (ppb 又は ppm)

図2-17 では $t = 600 \text{ sec}$ (10分) および, $q^* = 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{Torr}/\text{sec}/\text{cm}^2$ ($10^{-11} \text{ Torr} \cdot \ell/\text{sec}/\text{cm}^2$), 図2-18 では 10 ppm, 5%を条件とし, 前項測定値より $A/d = 3 \times 10^3 (\text{cm})$ で評価する。

決定仕様 : 真空系容積 $V < 500 \text{ cm}^3$

真空系表面積 $A_p < 350 \text{ cm}^2$

平衡圧到達時間 $t = 600 \text{ sec}$ (10分)

放出ガス率 $q^* < 1 \times 10^{-11} (\text{Torr} \cdot \ell/\text{sec}/\text{cm}^2)$

真空系自己排気量 $S_F < 4.5 \times 10^{-3} (\text{Torr} \cdot \text{cm}^3/\text{sec})$

決定仕様のうち S_F については, 1号機の実積値で $S_F \approx 1 \text{ cm}^3/\text{sec}$ である事が判っており, 上記条件を満足することは困難であるが, これは S_F 値による補正を施せばよい事は参考

文献(2)ですでに記述したとおりである。

2.5.4 その他真空系基本仕様

本項では前項までに記述した基本仕様の他に、2.5項冒頭に挙げた基本機能(I)~(IV)から要求される項目、それ等に課せられる基本仕様およびその決定理由について記述する。

- (1) 電離真空計を一基設置する。その測定範囲は $10^{-10} \sim 10^{-3}$ Torr までとする。(基本機能(I)より)
- (2) 静的平衡室は排気可能とし、静的室と動的室をフレキシブルチューブで連絡する方法、あるいは静的室専用排気イオンポンプを設ける方法のいずれかを採用し排気止弁はバリアブルリークバルブを設ける(基本機能(II)より)
- (3) 静的平衡室にはシュルツゲージを設ける。その測定範囲は $10^{-5} \sim 3$ Torr とする。(基本機能(III)より)
- (4) 設計圧力は $-1 \sim 10 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ とする。(基本機能(IV)より)
- (5) 設計温度は、保温材のかぶる部分を 520°C 、その他の部分は室温とする。(基本機能(V)より)
- (6) Na 側と真空側はフランジで取合うものとし、真空系の交換を可能とする。(基本機能(VI)より)
- (7) 荒引きラインを設置する。この時、静的、動的室やフレキシブルチューブで連絡する場合は、1系統、静的室専用の排気イオンポンプを使用する場合には静的室、動的室各々に1系統合計2系統を設ける。(基本機能(VII)より)
- (8) 全てのイオンポンプ、真空計は水素ガスによる較正が行われていること。

以上、本項で検討した真空計基本設計仕様を表2-3に示す。

2.6 ナトリウム系設計仕様

本項ではNa系の設計仕様を記述するが、2.6.1項に記述する項以外は本検出計1号機のものと同寸分違わぬ構成となっており、その説明はほとんど省略し決定仕様のみを記述する。その決定根拠については参考文献(2)の2.5項を参照されたい。

2.6.1 1号機との相異点

いわゆる設計仕様としては、つまりNa系の基本系統構成、Na流量、温度等の値は1号機のそれと何ら変えることはないが、本検出計がNi膜2組を有する動的、静的室分離型であることから次の2点の変更、改良がなされている。

- (1) Naディストリビュータを左右2つに分岐させ、1方を静的室用Ni膜内側に、他方を動

的案用 Ni 膜内側に挿入する型式とする。

- (2) Na のドレンが可能な構造とする。すなわち、左右に Na ディストリビュータを分岐させることにより、下方にドレン系を設置する事が可能である。

2.6.2 系統構成

ヒータ内蔵エコノマイザ型 Na 系とする。

2.6.3 Na 流量

系入口から Ni 膜までの Na 到達時間を 10 秒以内とし、Ni 膜をとおして Na 側から真空側へ拡散して失われる水素の量によって水素濃度測定誤差が 1% 以下になる条件より、必要最低 Na 流量を 5 ℓ /hr 以上とする。

2.6.4 Na 温度制御

500°C $\pm$ 1°C とする。但し、 $\pm$ 1°C とは 500°C 静定に対しての条件でなく、静定された温度からのゆれ巾を示す。

表 2-4 に本項での考察結果を Na 系設計仕様一覧として示す。

2.7 全体系統図

前項までの検討を基に決定した「PNC 型 Na 中水素検出計 2 号機 (静的, 動的室分離型)」の Mk-I 全体系統図を図 2-19 に、Mk-II のそれを図 2-20 および Mk-III のそれを図 2-21 にそれぞれ示す。

以下、系統の説明とその他系統構成決定時に考察した内容で前項までに記述されていないいくつかの項目について記述する。

2.7.1 ナトリウム系系統説明

Na 系は、Mk-I, Mk-II, Mk-III とともに全く同じ構成を取っている。主系統配管から導びかれた Na は検出計入口 Na 止弁 SV-1, ポンプを経て主ヒータ内蔵エコノマイザの内管および主ヒータ間のアニュラス型流路を下って 500°C まで昇温され Ni 膜部に到る。この Ni 膜は図のように静的室, 動的室用の 2 基が水平に設置されており、500°C になった Na を左右の方向に分岐する型で Na ディストリビュータが配置されている。Na はこのディストリビュータ内側を通り、Ni 膜先端で U ターンし Ni 膜内側を通過してエコノマイザ部へ戻るが、ここで Na 中水素は真空側へ拡散移行する。Ni 膜を経た Na は外管と内管の間のアニュラス部を通過して、降温され上昇し出口配管部へ入り、流量計, FE-1 および出口弁 SV-2 を通り主系統配管へ戻る。Na ディストリビュータが左右水平に分岐させることにより、エコノマイザ下部にドレンライン

を設けることが出来、SV-3を開けることにより Na ドレンが可能である。

Ni 膜温度制御用熱電対は左右の Ni 膜に 1 本ずつ (TE-1, TE-2) 設置されたもののうち 1 本を使用し、制御計 (TCA-1) へ結ばれる。またこの 2 本の熱電対出力は共に指示記録計 (TIRA-1) に結ばれて、両方の温度監視および記録を行う。

これ等 Na 系と後述の Ni 膜を含む真空系とはフランジで取合っており、真空計の交換は容易である。またフランジ面はリップ溶接構造となっている事も 1 号機と同様である。

2.7.2 真空系系統説明

2 章冒頭に記したとおり、真空系の構成は Mk-I, II, III で各々次のような相異がある。

機 種	系統図	イオンポンプ		フレキシブル チューブ	荒引き系	試作数
		大容量用	小容量用			
Mk-I	図 2-19	有	有(計測用)	有	1 系統	1 基
Mk-II	図 2-20	有	無	有	1 系統	5 基
Mk-III	図 2-21	有	有(排気用)	無	2 系統	1 基

全て「静的室、動的室分離型」であるが、Mk-I, Mk-II の 2 機種と Mk-III の両者で基本的に異なるのはフレキシブルチューブの有無、すなわち完全に両室が独立になっているかいないかの違いにある。また基本的に同じ構成である Mk-I と Mk-II の相異は前者が本検出計 1 号機と同様に大小 2 つのイオンポンプを備えているのに比し、Mk-II は大容量イオンポンプ 1 基のみしか設置されていない事にある。

本項では、先づ Mk-I, Mk-II の系統説明と Mk-III の系統説明を分けて記述し、前記表のような真空系構成に相異を持たせた理由等系統構成決定のための補足考察について記述する。

I. Mk-I, Mk-II 系統説明 (図 2-19, 図 2-20 参照)

図 2-19 (Mk-I) を参照して説明する。図より判るとおり、動的室には低濃度測定用および高濃度測定用のイオンポンプがそれぞれ 1 基設置され、両者共に止弁 VV-1 および VV-2 を有している。この止弁は 1 号機の場合であれば、静的平衡測定時用として設置されているが、本 2 号機の場合はその機能は持たせてはいない。また、動的室の真空計は動的運転時の圧力監視のための電離真空計 PE-2 が設置されるのみであり、指示計付コントローラ PIC-2 および記録計 PIR-1 へ接続されている。

一方、静的室には静的平衡測定用のシュルツ型真空計 PE-1 が設置されるのみで、その信号はコントローラ PIC-1 および指示記録計 PIR-1 に接続されている。

この両室は、フレキシブルチューブで連結されており、前にも述べたように静的室の排気をも

可能にしてある。このようなフレキシブルなチューブを用いた理由は、据付時に真空系とNa系を接合させる場合、Na側接続フランジ面から外側へNaディストリビュータが突出した構造となっているため、その分だけこのフレキシブルチューブによって間隙が取れるようにしなければならないためである。また、このフレキシブルチューブの内容積や内表面積の影響が両室での運転に影響を及ぼさないようにするために、チューブの両端に真空止弁VV-3、VV-4が設置されている。このうちVV-4はバリアブルリークバルブであり、静的室の排気時にイオンポンプが急激に水素排気を行えないようにして、イオンポンプを保護する機能を持たせてある。また、荒引き系として止弁VV-5およびVV-6を設置し、VV-6の処からソーブションポンプの設置やArの供給を可能にしてある。

さて、このフレキシブルチューブの設置位置すなわち静的室の結合法にはいくつかの方法が考えられる。図2-22は両室結合法として考えられる5つの方法(A法～E法)を示したものであり、このうちA法を本2号機の構成として採用した。以下これ等の方法の利点、欠点を簡単に述べてA法採用の決定理由を明示する。

- A法**： 静的室、動的室を単独に荒引きする事が可能であり、更にフレキシブルチューブ内も単独に荒引きも可能である。しかし、静的室排気時に高濃度水素が動的室を通ることになり、動的室をよごす心配があるが、これは大きな問題ではないと考えられる。
- B法**： 荒引きを両室単独で行うことは出来ないし、イオンポンプまわりの構造が込み入って来る恐れがある。
- C法**： B法と同様に荒引きを両室単独で行うことが無理である。
- D法**： 動的運転時にフレキシブルチューブ部による悪影響が出て来る恐れもあり、B法と同様に両室単独の荒引きが不可能である。
- E法**： 両室を単独に荒引きする事が可能であるが荒引き時にイオンポンプを隔離する事が出来ないし、更にイオンポンプまわりの構造が現実的であるか問題である。

以上の評価によって、A法を採用した。

II. Mk-III 系統説明 (図2-21 参照)

Mk-IIIは静的室と動的室が完全に分離した構成を採っている事は前にも述べているとおりであり、このMk-IIIが本検出計2号機試作の目的を完全にはたせた機種と考えている。

動的室は大容量イオンポンプおよびその止弁VV-1、真空度測定用電離真空計PE-2そのコントローラPIC-2および指示記録計PIR-1から構成される。荒引き系は動的室とは独立にイオンポンプ単独の交換も可能なようにVV-1とイオンポンプの間から取り出されており、止弁VV-3およびVV-5が設置されている。

静的室には、Mk-I(あるいは1号機とも同じ)で使用している小容量イオンポンプが設置され静的室の排気が可能となっている。このイオンポンプは排気専用であり、しかもほんのわずかな時間しか排気する必要がない事からその接続配管も細いものでよく、計測用でないことから

記録計は不要である。静的室には静的平衡圧測定用のシュルツゲージが1基設置されているのみで、このコントローラ PIC-1 および指示記録計 PIR-1 に接続している。静的室の排気時にイオンポンプを保護するため VV-2 にはバリアブルリークバルブを使用し、動的室と同様に荒引き系はこの VV-2 とイオンポンプの間に設置され、VV-4, VV-6 の止弁が付いている。

さて、2号機の3機種で系統の相異およびその得失は上のように説明したとおりであるが、機器そのもののうちイオンポンプの設置数やその機能にそれぞれ相異があるがこの理由を以下に説明する。

Mk-I イオンポンプ : 本検出計1号機の設計思想をそのまま踏襲し、低濃度側に小容量イオンポンプを高濃度側に大容量イオンポンプを設置した。この設計思想は2.5.2項に記したように本2号機でも基本的には同様に考えている。

Mk-II イオンポンプ : Mk-IIは全部で5基試作している。この5基を動燃大洗工学センタ内各種ループへ据付け、主に経年特性および耐久性評価を目的とした「長期性能試験」が行われている。これは本書2.2項の基本方針のうち(5)項、すなわち「もんじゅプラントへの適用」を考慮して実施する試験である。この場合使用検出計はいわゆるリーク検出計としての機能を有する必要はなく、濃度測定の機能を有してさえいればよい。本1号機の報告書である参考文献(2)の2.4項に記述したとおり、この濃度測定の機能の上からは小容量イオンポンプは不要となる。この様な理由から、Mk-IIには大容量イオンポンプ一基のみ設置した。

Mk-III イオンポンプ : 静的室用の小容量イオンポンプはあくまで排気専用のものであるから、本2号機の基本仕様に従えば動的室に更に小容量のイオンポンプを設置して、Mk-Iの動的室と同一構成を採る必要がある。しかし、

(a) 1号機および2号機 Mk-I 等の運転経験から評価すると設計仕様決定の際使用したイオンポンプノイズ値（検出特性図（図2-15 参照）中の I. P. B. G. 曲線あるいは参考文献(1)の表 VII-1 に示したノイズレベル値）はかなり安全側の値として示されたもので、実際はこれ等の値より1オーダー程度低い位であることが判りつつある。このノイズ値の定量的な詳細検討の結果は今後多くのデータが集約された時点で報告する計画であるが、現場からの判断ではそのような傾向にあると云える。このことは必ずしも低濃度専用のイオンポンプを設ける必要が無くなることも有り得る事を示している。

(b) 現実的な処、イオンポンプを更に設置することが経済的にゆるされなかった。

(c) 更に、イオンポンプを3台も設置する事は系統全体を複雑にしてしまう恐れがある。

(d) イオンポンプを Mk - I と同機種同数にすると、中央制御室へ設置されている制御盤を共用することが可能である。つまり同じ Na 系へ Mk - I, Mk - II, Mk - III を各々交換して据付けても同一真空系制御盤で兼用して使える。

以上の理由で、Mk - II と同様に動的室には大容量イオンポンプ基を設置した。

3. Ni膜構造部

本項では、2号機Ni膜の構造、製作および検査内容について記述する。

3.1 構造

図3-1にNi膜構造図を、また写真-1に完成したNi膜を示す。このNi膜が静的室、動的室用に左右1本ずつ合計2本設置される。

図中①がNa側フランジと接する真空フランジ部であり、②は台座、③がNi膜であり、この状態で真空配管に接続されている。フランジ部はリップ溶接が可能になっており、Ni膜とフランジの溶接部がフランジ面から突出ないようにフランジ奥へ入っている。

PNC型1号機の場合は3本の指状構造としたが、2号機では1本で必要面積 150 cm^2 を確保している。溶接部は1号機と同様に1本のNi膜に対し2ヶ所で、台座側は支持部無し故熱膨張を自由にのがせる構造となっている。

なお、本構造部の強度計算は1号機のそれ（参考文献(2)の付録-1参照）と同一である故割合する。

3.2 製造工程

図3-2に製造工程図を示す。本製造工程も1号機のそれ（参考文献(2)の図3-2参照）とはほとんど同じであるが、1本のNi膜長さが1号機の時より長くなるため、コキ工程および圧延工程がそれぞれ1回多い事が異なるのみである。

1号機試作時に確認（参考文献(2)の3.2項参照）した、 500°C での真空炉中での加熱後にヘリウム漏洩検査を行う事も実施している。

3.3 試験検査

実施した試験項目および主要結果を示す。

- (1) 材料検査：ミルシート照合、表3-1にNi膜のミルシートを示す。
- (2) 外観・寸法・員数検査：寸法検査はフランジ部等の寸法検査の他に、Ni膜厚測定、表面積および外径、長さ測定を行った。図3-3はNi膜肉厚測定法を示すが、膜厚および表面積検査基準は次のとおりとした。

$$\text{Ni膜厚} = 0.5 \pm 0.02 \text{ mm}$$

$$\text{Ni膜面積} = 150 \pm 1 \text{ cm}^2$$

表3-2にNi膜外径、長さ測定結果を、表3-3に膜厚測定結果をまた表3-4

に表面積測定結果を示す。この各表で、

Na 1, 2 ; Mk - I 用 Ni 膜

Na 3 ~ 12 ; Mk - II (5基) 用 Ni 膜

Na 13, 14 ; Mk - III 用 Ni 膜

を示している。

(3) 溶接部非破壊検査 : 突合せ溶接部は無いので全て液体浸透検査を行った。

(4) 耐圧, He リーク検査 : 耐圧検査は空圧にて $13.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$ で 10 分間保持する。

He リーク検査は 3.2 項で述べたとおり, 真空炉中でのベーキング処理後実施し,
許容リーク量は 10^{-6} Acc/sec 以下とした。

4. 真空構造部

本項では真空系の構造についての各部詳細仕様、各種単品の試験検査およびベーク処理等について記述する。真空構造部は本2号機の特徴点を有する部分である故、その説明は詳しくしたが、1号機のものと同じ内容および考え方の処は割愛して記述したので、その部分については参考文献(2)の4章を参照されたい。

4.1 真空系全体構成

図4.1-1に本検出計2号機、 M_K-I の真空部組立図を、また図4.1-2に同 M_K-III の組立図を示す。 M_K-II はこれまでも説明したとおり M_K-I の構成のうち、小型イオンポンプを削除した点だけ異なる故特に図面は添付しない。

図4.1-1 (M_K-I) 組立図説明

①と②の配管の中には図3-1に示したNi膜、その中にNaディストリビュータが挿入されている、このNi膜は⑬のフランジに溶接されており、この配管の①が静的平衡測定室、②が動的平衡測定室を示す(図2-19の系統図とは配置関係の左右が逆になっている点注意されたい)。

静的室には⑬のシュルツ型真空計測定子とその先端、配管②の内側に設置されている。図から判るとおりシュルツ測定子とNi膜の先端にきわめて接近しているため、輻射によって測定子が高温にさらされる恐れがある。この両者の間隙を充分取ればその問題は解決される訳だが、静的室の内容積や表面積が増大し校正精度を悪くするし、真空計基本仕様(2・5・3項あるいは表2-3参照)を満足しない。そこでこの熱輻射によるゲージ部の降温を目的として250℃程度(シュルツゲージの実用例としての最高温度)におさえるため、⑳のレジュースーを設け更にその先端に熱しゃへい板を設置した。

動的室には、⑩のUHVメタルバルブ、④配管によって接続されている小容量イオンポンプ(アベンデージポンプ)⑧および⑨のUHVメタルバルブを経て⑦の大容量イオンポンプ(スパッタイオンポンプ)が設置されており、動的室の先端には動的圧力測定のためのヌードゲージ⑥が設置されている。Ni膜やその取付フランジ構造は静的室のものと全く同一であるが、ヌードゲージは耐熱上特に問題とならないことおよび、その他のイオンポンプやバルブはNi膜の方向からは直角の位置に設置されており、輻射熱を直接受けない事等から、静的室のようなレジュースーあるいは熱しゃへい板は設置していない。

動的室と静的室は⑮のフレキシブルチューブで連結されており、静的室にはイオンポンプ保護用に設けたバリアブルリークバルブ⑫およびその取付配管⑭によって接続され、動的室からは⑩のUHVメタルバルブを介してフレキシブルチューブに接続されている。このバルブの

先には更に⑦の UHV メタルバルブと⑪のパックレスバルブが接続されており、この系統が荒引き系である。

その他図 4.1-1 中に示されているもので③⑥⑪⑭②⑤等は実際に SWAT-2 へ据付けられた場合には用いていない部品である。

図 4.1-2 (M_K-Ⅲ) 組立図説明

本図左側が動的平衡測定室、右側が静的平衡測定室である(図 2-21 の系統図と同じ配置で図示されている)。基本的な構成は前図 M_K-Ⅰと同じであり、フレキシブルチューブが無いことおよび荒引き系が静的室、動的室それぞれに設置されていることの相異がある。

動的室用の Ni 膜は配管①の中に納められており、大容量イオンポンプ⑫が UHV メタルバルブ⑥を介して設置されている。そしてその両者の間から配管③、UHV メタルバルブ⑦、配管④およびパックレスバルブ⑨が配置されておりその先端は⑪のパックレスジョイントで封じ込まれ荒引き系としての構成を作っている。

静的室の Ni 膜は配管②の中に納められていて、M_K-Ⅰと同様に熱しゃへい板を内蔵したレジューサが設置される。この静的室排気用の小容量イオンポンプ⑬(アペンデージポンプ)は②の小口径配管およびイオンポンプ保護用のバリアブルリークバルブ⑧を介して設置されている。動的室と同様にこのイオンポンプとバリアブルリークバルブの間から⑦④⑨⑪で構成された荒引き系が設置されている。ヌードゲージおよびシュルツゲージも M_K-Ⅰと同じ位置に設置されており、両室はフランジ⑤によって Na 系と接続される。

4.2 真空系構成機器

本項では真空系構成機器の各単品毎の仕様を構造図を参照しながら説明するが、特にイオンポンプの排気速度の値はいわゆるカタログ値であり(したがって表 2-3 の真空系設計仕様値とも異っている)正確な測定は水素による校正試験(4.3 項参照)によって得られる値であることを予め記しておく。また、各単品の仕様は M_K-Ⅰ、M_K-Ⅱ、M_K-Ⅲで異なる処は無いので特に機種別には記していない。

4.2.1 イオンポンプおよびコントローラ

(1) スパッタイオンポンプ (M_K-Ⅱには設置されない) (図 4.2-1 参照)

型 式	PST-AP 特型
動作電圧	DC 4.5 KV
排気速度	SH ₂ 1ℓ/sec SN ₂ 2.8ℓ/sec
耐 圧	10 kg/cm ² G
ノイズ電流	2×10 ⁻⁷ A 以下

(2) 同上ポンプコントロール (図 4.2-2 参照)

型 式	GST-AP 特型
入力電圧	AC 200V, 50HZ
出力電圧	DC 4.5 KV
レンジ切換	100mA ~ 1 μ A (Full Scale) および KV, Torr
ノイズ電流	2×10^{-7} A 以下
レコーダ出力	0 ~ 10 mV
出力コード	30m

(3) スパッタイオンポンプ (図 4.2-3 参照)

型 式	PST-1C 特型
動作電圧	DC 5KV
排気速度	SN ₂ 13ℓ/sec SH ₂ 33ℓ/sec
耐 圧	10kg/cm ² G
ノイズ電流	5×10^{-7} A 以下

(4) 同上ポンプコントロール (図 4.2-4 参照)

型 式	GST-05A 特型
入力電圧	AC 200V, 50HZ
出力電圧	DC 5KV (max)
レンジ切換	100mA ~ 1 μ A (Full Scale) および KV, Torr
ノイズ電流	5×10^{-7} A 以下
レコーダ出力	0 ~ 10 mA
高圧出力ケーブル	30m

4.2.2 真空計およびコントローラ

(1) シュルツ型真空計

測 定 子	WI-SH 特型 (図 4.2-5 参照)
	ヌード型に改造コンフラットフランジ UFC-070 FH 付
	耐圧力 10kg/cm ² G
コントロール型式	GI-SH 型 (図 4.2-6 参照)
入力電圧	AC 100V, 50HZ
測定範囲	1 Torr ~ 1×10^{-5} Torr
レコーダ出力	0 ~ 10 mV
測定子コード	30m

(2) 起高真空電離真空計 (ヌードゲージ)

測定子	WIN-N ₂ 特型 (図 4.2-7 参照)
	ヌード型に改造コンフラットフランジ UFC-070FH 付
耐圧力	10 kg/cm ² G
コントロール型式	GI-N ₃ 型 (図 4.2-8 参照)
入力電圧	AC 100 V, 50 Hz
測定範囲	10 ⁻³ Torr ~ 10 ⁻¹⁰ Torr
レコーダ出力	0 ~ 10 mV
測定子コード	30 m

4.2.3 バルブ類および配管構造部

配管構造部の強度計算は本 1 号機報告書である参考資料(2)の付録-II と大きく異ならない故割愛し、本書付録-I に内表面積、容積の計算結果を M_K-I, II, III 毎に記載する。

(1) 超高真空バルブ VUH-251 耐圧型 (図 4.2-9 参照)

封止コンダクタンス 10⁻¹² ℓ/sec 以下

最高ベーク温度 封止時 250℃

開放時 450℃

耐 圧 10 kg/cm² G

(2) 超高真空バルブ VUH-401 耐圧型 (図 4.2-10 参照)

封止コンダクタンス 10⁻¹² ℓ/sec 以下

最高ベーク温度 封止時 250℃

開放時 450℃

耐 圧 10 kg/cm² G

(3) バリアブルリークバルブ VLV-3 型 (図 4.2-11 参照)

封止コンダクタンス 10⁻¹² ℓ/sec 以下

最高ベーク温度 封止時 150℃

耐 圧 10 kg/cm² G

(4) バックレスバルブ (3/4 B)

4.2.4 記録計類

(1) イオンポンプ用記録計

2 台のイオンポンプ出力は、次の記録計に記録される。

型 式 千野製作 FH 8800

入力点数 2 点

入 力	0 ~ 10 mV
電 源	AC 100V 50Hz
チャートスピード	6束 (25・50・150・300・750・1500 mm/h)

(2) 真空計用記録計

シュルツ, ヌードゲージ共上記イオンポンプ用のものと同型のものに記録させる。

これ等の記録は全てイオンポンプおよび真空計の各コントローラレンジに対応して 0~10 mV で表示される故, レコード出力から真空度は直読出来ない, 全て別紙の校正曲線を介してそれ等の値を知る。

以上で, 各構成機器の説明を終り, 次にこれ等の機器に対する各種試験内容および結果について記述する。

4. 3 真空機器の水素ガス校正

このガス校正の必要性については本書あるいは参考文献(1)および(2)で述べたとおりである。本項では本水素検出計 2 号機 $M_K - I$ (1 台), $M_K - II$ (5 台; Na 1, Na 2, Na 3, Na 4, Na 5 と名付ける) および $M_K - III$ (1 台) の計 7 基の真空機器について行われた水素ガス校正結果について記述する。なお校正試験方法, 評価法は参考文献(2)で述べた本検出計 1 号機のそれと同一であるが検出計として重要な部分であるので割愛することなく本書でも記載する。

4. 3. 1 電離真空計の水素ガス校正

本 Na 中水素計には 2 基の電離真空計が取付けられているがこれ等の校正試験は図 4. 3 - 1 に示されるような試験装置を用いて行なわれた。同図に示されるように, 試験部の形状およびガスの流れに対してほぼ等価な位置で, しかも各真空計の放電部が互いにその視野に入らない位置に, 副標準真空計 (G_s) および被校正真空計 (G) を取り付ける。副標準真空計は, 標準真空計に対して校正された真空計であり, これにより正しい真空度が測定される。

装置を粗引きしベークアウトを行ない, 系の放出ガスを充分小さくした後, ガス導入流調弁 (VLV) を調整して試験部に水素ガスを導入する。このとき, 試験部の圧力 P は次式で与えられる値で平衡する。

$$P = \frac{Q}{S_e} \quad (4.3-1)$$

ここに P : 試験部圧力 (torr)

Q : 水素ガス流量 (torr · ℓ/sec)

S_e : イオンポンプの試験部における有効排気速度 (ℓ/sec)

また、有効排気速度 Se は、イオンポンプ排気速度 S と試験部-イオンポンプ間のコンダクタンス C により次式で表わされる。

$$\frac{1}{Se} = \frac{1}{S} + \frac{1}{C} \quad (4.3-2)$$

ここに S : イオンポンプ排気速度 (ℓ/sec)

C : コンダクタンス (ℓ/sec)

(4.3-1), (4.3-2) 式から、流調弁 (VLV) を調整してガス流量 Q を変化させるか、または主バルブ V_1 を調整してコンダクタンス C を変化させることにより、試験部圧力 P を種々に変化させ、副標準真空計による圧力と被校正真空計の出力の関係を得ることができる。この場合、ガス流量 Q 、排気速度 S 、 Se 、コンダクタンス C は既知である必要はない。

なお、副標準真空計の測定レンジは約 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ torr であるため、シュルツゲージの校正は、 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ torr の範囲は副標準真空計により、また $10^{-3} \sim 3$ torr の範囲は上記の方法でアルファトロン真空計を副標準真空計により校正し、そのアルファトロン真空計を新たな標準真空計として校正を行なった。

このようにして求められた超高電離真空計 (ヌードゲージ) およびシュルツゲージの校正曲線を下表に示す。

機 種	ヌードゲージ校正曲線	シュルツゲージ校正曲線	
		低 圧 側	高 圧 側
Mk - I	図 4.3 - 2	図 4.3 - 3 (1/2)	図 4.3 - 3 (2/2)
Mk - II Na 1	図 4.3 - 4	図 4.3 - 5 (1/2)	図 4.3 - 5 (2/2)
" Na 2	図 4.3 - 6	図 4.3 - 7 (1/2)	図 4.3 - 7 (2/2)
" Na 3	図 4.3 - 8	図 4.3 - 9 (1/2)	図 4.3 - 9 (2/2)
" Na 4	図 4.3 - 10	図 4.3 - 11 (1/2)	図 4.3 - 11 (2/2)
" Na 5	図 4.3 - 12	図 4.3 - 13 (1/2)	図 4.3 - 13 (2/2)
Mk - III	図 4.3 - 14	図 4.3 - 15 (1/2)	図 4.3 - 15 (2/2)

4.3.2 イオンポンプの水素ガス校正

すべてのイオンポンプに対して、その排気速度と圧力の関係および放電電流と圧力の関係を水素ガス校正により求めた。試験装置は図 4.3 - 16 (Mk - I, Mk - II 用のみ示す) に示すように、水素計真空構造部にガス流量測定試験部を取り付けたものである。ガス流量測定試験部は、図に示されるように水素ガスに対して既知のコンダクタンスを持つオリフィスにより 2 つの室に仕切られている。

ガス流量測定試験部および水素計真空構造部には、それぞれ校正された電離真空計 G_1 , G_2 , G_3 がとりつけられ、各部の圧力 P_1 , P_2 , P_3 を測定する。試験は全系を粗引して 200~250℃ の温度で 4 時間以上ベークアウトし、系の放出ガスを十分小さくする。その後、流調弁 (VLV1) を調整して系に水素ガスを導入すると、各部の圧力は次式を満足するような値で平衡に達する。

$$Q = F (P_1 - P_2) = Se \cdot P_3 \quad (4.3-3)$$

ここに Q : 水素ガス流量 (torr $\cdot$ ℓ / sec)

F : オリフィスのコンダクタンス (ℓ / sec)

P_1 , P_2 , P_3 : 各部圧力 (図 4.3-16 参照) (torr)

Se : G_3 部でのイオンポンプ有効排気・速度 (ℓ / sec)

従って、イオンポンプの有効排気速度は次式で求められる。

$$Se = F \cdot \frac{P_1 - P_2}{P_3} \quad (4.3-4)$$

流調弁 (VLV) を調整して、水素ガス流量 Q を変化させることにより、種々の圧力 (P_3) に対してイオンポンプの有効排気速度 Se が求められる。また同時にイオンポンプ電流と圧力 (P_3) の関係も求められる。

以上の方法で求めた、各校正曲線を以下のように示す。

機 種	大容量イオンポンプ (PST-IC 特型)		小容量イオンポンプ (PST-AP 特型)	
	排 気 速 度	電流-水素圧力の関係	排 気 速 度	電流-水素圧力の関係
Mk - I	図 4.3 - 17	図 4.3 - 18	図 4.3 - 19	図 4.3 - 20
Mk - II No.1	図 4.3 - 21	図 4.3 - 22	}	
" No.2	図 4.3 - 23	図 4.3 - 24		
" No.3	図 4.3 - 25	図 4.3 - 26		
" No.4	図 4.3 - 27	図 4.3 - 28		
" No.5	図 4.3 - 29	図 4.3 - 30		
Mk - III	図 4.3 - 31	図 4.3 - 32	設置せず 排気専用故校正はせず	

イオンポンプ排気速度が広い圧力の範囲で一定であること、およびイオンポンプ電流と圧力が比例関係にあることが判る。

4. 4 各種工場内試験

真空構造部に対しては、上記の水素ガス校正試験の他に各種の工場内試験が実施された。これらの試験項目を以下に示す。

1. 外観・寸法・員数検査
2. 溶接部非破壊検査
液体浸透探傷，ヘリウムリーク試験
3. 耐圧リーク試験
チッ素ガス加圧（ $10\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ）
4. ヘリウムリーク試験
 $1 \times 10^{-10} \text{ torr} \cdot \ell / \text{sec}$ 以下
5. 真空試験
6. 放出ガス測定試験（ベークアウト試験）
7. 真空計のゼロドリフト試験
8. イオンポンプノイズ測定試験

上記1～4は一般的な工場内試験であり、特にここではふれない。

4. 4. 1 真空試験

本試験は水素計真空構造部の到達可能真空度を測定するものである。真空構造部の組立後，系を $200 \sim 250^\circ\text{C}$ で4時間以上ベークアウトし，イオンポンプにより排気して静的平衡室隔離弁を閉の状態， 10^{-9} torr 以下の真空度を得ることが目的である。

図4.4-1に1例として，Mk-Iを 250°C で9時間ベークアウトした後の圧力低下の様子と到達真空度を示す。ベークアウト終了後，約25時間で目標真空度に到達した。この図からも， $250^\circ\text{C} \times 9$ 時間のベークアウトでは目標真空度に到達するのにかなり長時間かかり，十分放出ガス量が低いとはいえない。

4. 4. 2 放出ガス測定試験（ベークアウト試験）

真空構造部からの放出ガス量は水素計のバックグラウンドとなり，また静的平衡圧測定時には誤差の要因となるためできるだけ小さく抑える必要があり，設計仕様として水素計使用時（Ni膜部温度 500°C ）に $1 \times 10^{-11} \text{ torr} \cdot \ell / \text{sec} / \text{cm}^2$ 以下の放出ガス率という値が与えられている。

PNC型水素計1号機の製作経験²⁾により，この設計仕様を満足するためには高温によるベークンが極めて有効であることが示されたため，本水素計7基も高温によるベークンを実施し，放出ガス率の低下の様子を測定した。

(1) 試験方法 (Mk - I の場合で説明する)

真空構造部を図 4.4-2 に示すような両端フランジのアダプタにとりつけ、Ni 膜部外管にマイクロヒータを巻いて保温を施す。ガス側 (アダプタ側) を真空に引き、真空側をイオンポンプで真空に引きながら、Ni 膜部を高温でベークアウトし、放出ガス率の時間変化を測定した。1 号機水素計のベークアウト条件は、550℃ で約 700 時間であったが、本水素計ではベークング時間の短縮をはかるため、ベークング温度として 600℃ を選んだ。

放出ガス量の測定は静的室と動的室両方について行なわれた。イオンポンプを隔離し、静的室のバリアブルリークバルブを閉とした後の静的および動的室の圧力上昇を約 20 分間測定し、その間の圧力上昇巾より以下の式で求めた。

$$Q = \frac{V}{A_s} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (4.4-1)$$

ここに Q : ガス放出率 (torr · ℓ / sec · cm²)

V : 真空部体積 (ℓ)

A_s : 真空系表面積 (cm²)

ΔP : 圧力上昇巾 (torr)

Δt : 時間 (sec)

このベークアウト試験は、Ni 膜部を 500℃ で加熱した状態における放出ガス率が、設計仕様値以下になる時点まで行なわれた。

(2) 試験結果

図 4.4-3 に試験結果を示す。縦軸には放出ガス率、横軸には 600℃ でのベークアウト時間をとってある。同図には本 2 号機水素計 7 基の静的室、動的室それぞれのガス放出率の変化に加えて、550℃ でベークアウトした 1 号機水素計のベークアウト試験結果も実線で示してある。

各水素計のうち最も時間のかかったものでも 350 時間以下で設計仕様のガス放出率である 10^{-11} torr · ℓ / sec / cm² に達しており、1 号機水素計の約 700 時間に比べると半分あるいはそれ以下に短縮されている。このことから、水素計の放出ガス低減には高温によるベークアウトが極めて有効であることが判る。

(3) ベークアウト後の処理 (アルゴンボンバード)

スパッタイオンポンプにより水素ガスを排気する場合、純水素のみを排気しているときの排気速度の経時変化はそれほど大きくないが、途中で水素以外のガスを排気すると水素に対する排気速度が急激に低下することが知られている (本検出計 1 号機に於ける排気速度の低下の実測例を付録Ⅱに示す)。これは水素以外のガスを吸収させたため、イオンポンプのガ

ス吸収面の表面付近の不純物濃度が増大し、水素の拡散吸収を妨害するためと考えられる。

本水素計のイオンポンプも、長時間のベーキングによりかなりの量の水素以外のガスを吸収しており、排気速度の低下が考えられたため、ベークアウト試験後に排気速度回復処理としてアルゴンボンバード処理が実施された。アルゴンボンバード処理は、イオンポンプのガス吸収面にアルゴンガスを導入し、アルゴンイオンによってガス吸収面の表面付近の不純物を飛ばして、新たなガス吸収面を作るものである。この処理により、イオンポンプの排気速度は完全に回復する。

アルゴンボンバード処理の方法を以下に述べる。

- ① 図 4.4-4 に示すようなガス導入系を真空構造部の粗引系に接続する。このとき動的室のイオンポンプおよび真空計は動的状態にしておく。
- ② ロータリ・ポンプを作動して V_3 、 V_2 を開け粗引弁、 V_2 、VLV で仕切られた部分を排気する。続いて V_3 を閉じソーブションポンプを液体チッ素で冷却して排気する。
- ③ 粗引弁、 V_2 、VLV で仕切られた部分にテープヒータを巻きつけ、 $200\sim 250^\circ\text{C}$ 程度に加熱し、約 4 時間程度ベークアウトする。その間 V_2 は開け放したままソーブションポンプで排気する。
- ④ V_4 、 V_5 を開けてリザーバおよびアルゴンボンベまでの配管をロータリ・ポンプで排気し、ついで V_5 を閉じアルゴンボンベからアルゴンガスを導入し、リザーバ内の圧力が 1 気圧前後になったところでアルゴンガスを止め、ついで V_4 を閉じる。
- ⑤ ③のベークアウトが終了したらヒータを切り、そのまま約 30 分間ソーブションポンプで排気しながら冷却した後、 V_2 を閉じる。
- ⑥ 粗引弁を開け動的室の圧力が 2×10^{-6} torr 以下になるまでイオンポンプで排気する。
- ⑦ イオンポンプを作動させたまま、VLV を調整してアルゴンガスを動的室に導入する。動的室の圧力を $2\sim 5\times 10^{-5}$ torr に保ち約 20 分間保持する。
- ⑧ VLV、粗引弁を閉じる。

なお、アルゴンボンバード処理を行なった直後は、イオンポンプのガス吸着面から飛ばされたチタンが活性をもったまま周辺に付着しており、これが水素ガスを吸って不活性化するまで本来の排気速度より大きな排気速度を示す。従って水素計イオンポンプのアルゴンボンバード処理後は、かなり高い水素圧力でイオンポンプのならし運転をすることが望ましい。

なお、アルゴンボンバードの全般的説明および排気速度変化値の算出法等について付録Ⅲに示した。

4.4.3 真空計のゼロドリフト試験

電離真空計コントローラ部の気温の変化により真空計出力のゼロ点のドリフトが起らないことを確認するための試験である。試験は真空計のコントローラを恒温槽に入れ、室温から 50°C に

に上昇させ約1時間保持した後、10℃に下降させた時の出力のゼロ点移動およびノイズレベルの変動を記録した。試験の結果は50℃の場合も10℃の場合も出力は全く変わらず安定していた。またノイズも全くなかった。

4.4.4 イオンポンプノイズ試験

イオンポンプコントローラについて、上記4.4.3で行なったと同じ試験を行ない、イオンポンプ出力のドリフトおよび出力ノイズの大きさを測定した。その結果、50℃と10℃におけるノイズ巾もバックグラウンドの大きさも全く変わらず、両者とも極めて小さかった。

5. ナトリウム構造部

本項ではナトリウム系の構成機器および計測制御系について記述するが、その内容でPNC型1号機のそれと相異なる点はNi膜内に挿入されるNaディストリビュータの配置、構造およびNaドレンラインが新設された事の2点のみであり、他の構造および性能は全て同一である。したがって詳細説明は参考文献(2)の5章を参照してもらうこととし、ここでは図面の紹介を中心に記述する。

5.1 ナトリウム系構成機器

5.1.1 ヒータ内蔵エコノマイザ

図5.1-1にヒータ内蔵エコノマイザ組立図を示す。

Na入口、出口部主ヒータ部等は全て1号機と同一である。内管とヒータの間を通り500℃に昇温されたNaは③のボスにねじ込みで挿入されている2つのNaディストリビュータ⑥で分流され左右の静的、動的室用Ni膜部へ至り再び内管、外管の間を通り主系統へ戻る。このボス③は②の十字管の中に納っており、十字管には外管、静的および動的室用の2つの主フランジ①とドレン用レジューサ⑤、ドレンバルブ④等が接続されている（図中E部詳細参照）、またこのボスの横にはB-B矢視図に示すように2対の熱電対が取付けられており、ナトリウムディストリビュータの下部にその測定端がP視図の方法で固定されている。主フランジ①は1号機と同様に真空側フランジ（図3-1あるいは図4.1-1参照）とリップ溶接、Oリングを用いて接続される。その他の構造は1号機と全く同一であり、このヒータ内蔵エコノマイザの主要仕様は以下のとおりである。

型 式	: ヒータ内蔵2重管式向流型
ヒータ最大出力	: 13.4 kW
Na 流 量	: 3.2 ℓ/MIN (定格)
入口 Na 温度	: 200 ℃
Ni膜部Na温度	: 500 ℃
出口 Na 温度	: 270 ℃
外 管 内 径	: 27.2 mm
外 管 外 径	: 21.7 mm
内 管 内 径	: 17.5 mm
主ヒータ外径	: 10.7 mm

これ等の条件のうちNa流量、主ヒータ容量、Na系圧損、およびヒートバランス等の評価お

よび構造強度計算は1号機のそれとはほぼ同一であり詳細は参考文献(2)の5.1.1項および付録-V, VI, VIIを参照されたい。なお、ヒートバランスの計算結果および実積測定値を図5.1-2および表5.1-1に示す。またこのシステムでのNaの入口弁からNi膜までの到達時間は7.6秒であり、その計算書を付録-IVに示す。

5.1.2 主ヒータ

図5.1-3に主ヒータ構造図を示す。主仕様は以下のとおりである。

型 式	: 非接地型
被 加 熱 物	: ナトリウム
容 量	: 13.4 kW
出 力 密 度	: 44.3 W/cm ²
最高使用温度	: 550℃
最高使用圧力	: 10 kg/cm ² G

ヒータピン単体性能試験結果は参考文献(2)の付録-VIIIに示した。

5.1.3 電磁ポンプ

図5.1-4に外形図を示す。主仕様は以下のとおりである。

型 式	: アニュラ型リニアインダクションポンプ
使 用 液 体	: 液体金属ナトリウム
定 格 流 量	: 3.6 ℓ/min (揚程300 g/cm ²)
最高使用温度	: 550℃
電 源	: 三相交流200V (ただし、三相電圧調節器を使用)
コイル最大電流	: 15 A

ポンプ管(ダクト)

材 質	: SUS304
口 径	: 19φ×2.9t (mm)

熱電対

取 付 数	: 2本
型 式	: CAシース形熱電対
測 定 温 度	: ポンプ管外面温度2点, コア温度1点

冷却ファン

電 源	: 単相交流100V
消 費 電 力	: 13W

電磁ポンプ単体の性能確認試験結果は参考文献(2)の付録-IXを参照されたい。

5.1.4 電磁流量計

図 5.1-5 に電磁流量計の外形図を示す。主仕様は以下のとおりである。

型 式	: 永久磁石式
基 準 流 量	: 5 ℓ/min
出 力 信 号	: センサ部で 1.375 mV (400℃基準流量時)
測 定 流 体	: 液体ナトリウム
使 用 温 度	: 150~600℃
流 動 管 材 質	: SUS 304 TP
流 動 管 口 径	: 1/2B SCH 40 (O.D 21.7 mm 2.8 t)
特 性 曲 線	: 図 5.1-6 (1/2) (2/2) のとおり

なお、流量計単品による Na 流動試験によって流量計の出力測定を行っている、それ等については参考文献(2)の付録-X に示すとおりである。

5.1.5 ナトリウム止弁

Na の出入口に設置した止弁は NUPRO 社製手動止弁で、図 5.1-7 にその外形図を示す。主仕様は次のとおりである。

型 式	: 手動式ベロー型止弁
型 番	: NUPRO SS-8 UW-TSW
オリフィス口径	: 0.312 (inch)
最高使用圧力	: 250 (psi)
最高使用温度	: 1200

5.1.6 配管機器配置および予熱保温

前項までに説明した各機器と配管の配置、予熱ヒータおよび予熱監視用熱電対位置、主要部保温および予熱ヒータ設置要領を下图に示す。また保温施工前の SWAT-2 への Mk-II の組立状態を写真-2 に、Mk-III の保温施工後の状態を写真-3 に示す。

図 5.1-8 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2号機)
Na 系配管, 機器配置図

図 5.1-9 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2号機)
予熱ヒータ及び熱電対取付位置図

5.2 計測制御系

本項では計測制御系を制御盤、主回路系、制御回路系、計測回路系および警報インターロック系の4項目に分け主に回路図を中心として説明する。

5.2.1 制御盤

図 5.2-1 に制御盤の外形図を示す。

同図左側が真空系の各コントローラ，記録計を納めた真空制御盤で，弁の開閉以外は全てこの制御盤から操作する。また，右側が Na 系制御盤であり予熱制御以外の全ての操作をここで行う。

5.2.2 主回路系

図 5.2-2 に示すように，主回路系は 5 系統すなわち，電磁ポンプ回路，主ヒータ回路，予熱ヒータ回路，200V 系計器回路および 100V 系計器回路から成り立つ。

図 5.2-3 (1/2) および (2/2) にそれ等の回路系統図を示す。

5.2.3 制御回路系

図 5.2-4 に制御回路図を示す。

PNC 型 Na 中水素検出計 2 号機は SWAT-2 装置に組込まれいわゆる実験用機器として使用しているため，検出信号（イオンポンプや真空計信号）による制御は施されていない。したがって図からわかるとおり制御回路としては電磁ポンプおよび主ヒータのみである。

5.2.4 計測回路系

図 5.2-5 に計測回路系統図を示す。

本図の TAG NO と図 2-19, 20, 21 の全体系統図のそれとは一致させていない。また，図 5.2-5 には真空計の計測点に関しては記載していない。

5.2.5 予熱計測回路系

図 5.2-6 に予熱計測回路図を示す。

予熱制御系は SWAT-2 装置既設のものを用いており同図には示していないが，いわゆる ON-OFF 制御方式を用いている。

以上記述した Na 系計測制御用の計装，計器リストを表 5.2-1 (1/2) および (2/2) に示す。同表は Na 系のみを記載したもので真空系は含めていない。

5.2.6 警報，インタロック系

図 5.2-7 に警報表示各路図を示す。

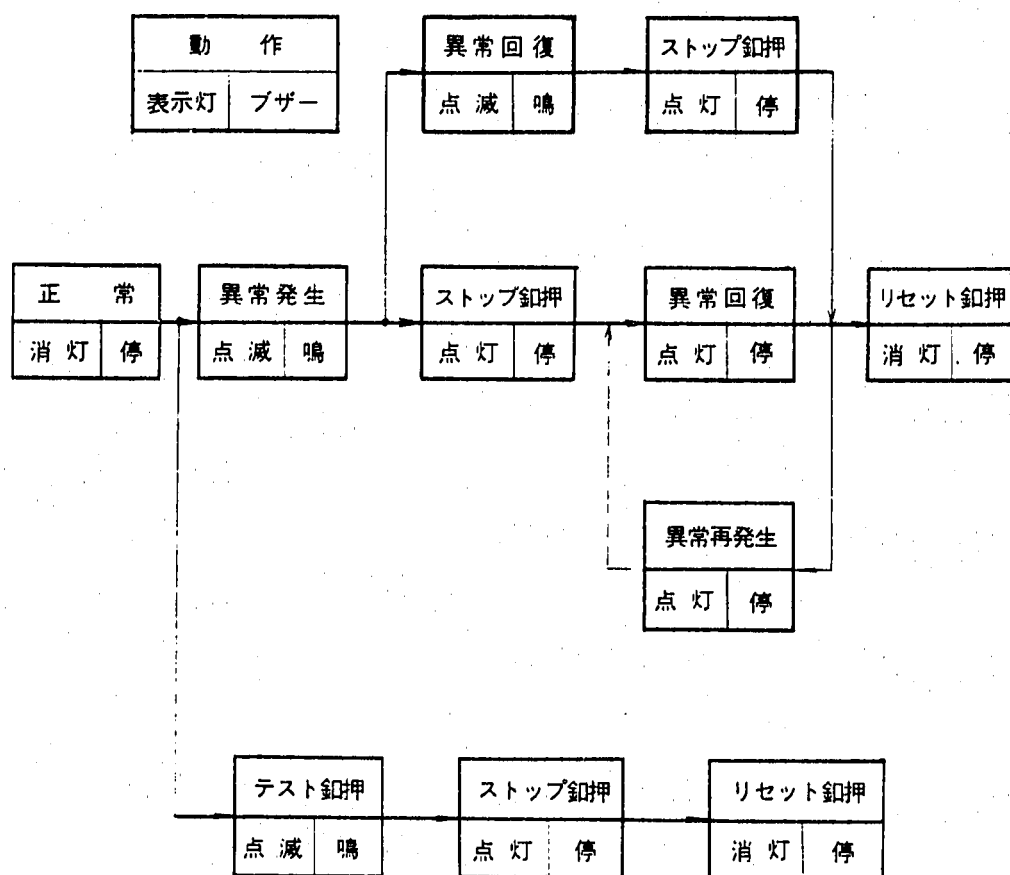
警報は主ヒータ漏電の他，Ni 膜温度，ポンプダクト温度，ポンプコア部温度および Na 流量の異常で発生されるが，漏電以外の各警報動作設定点およびインタロックによるトリップ設定点は下表に示すとおりである。

区分	測定対象	計器番号	設定値
温度	Ni膜温度(1)	TRA-II-1	上限 520℃
	Ni膜温度(2)	TRA-II-2	上限 520℃
	電磁ポンプダクト部温度	TRA-II-3	上限 550℃
	電磁ポンプコア部温度	TRA-II-4	上限 200℃
流量	Na流量	FRA-II-1	下限 2 ℓ/min

また次表は警報にともなうインタロック作動内容を示したものである。

作 動 原 因	設定計器	設定値	警 報	インタロック
Ni膜温度高	TRA-II-1, 2	上限 520℃	Ni膜温度高	主ヒータ電源OFF
電磁ポンプダクト温度高	TRA-II-3	上限 550℃	EMPダクト温度高	電磁ポンプ停止
電磁ポンプコア温度高	TRA-II-4	上限 200℃	EMPコア温度高	電磁ポンプ停止
Na流量低	FRA-II-1	下限 2 ℓ/min	Na流量低	主ヒータ電源OFF, 電磁ポンプ停止
主ヒータ漏電	GRY12	(30mA)	主ヒータ漏電	主ヒータ電源OFF

警報は同表に示す異常が起ると故障表示灯が点滅しブザーが鳴る。ブザーストップ を押すことによりブザーは停止し故障表示灯は連灯となる。これ等の警報回路動作を下図に示す。



6. ナトリウム中試験結果

本項では、PNC型Na中水素検出計2号機(M_K-I, M_K-II, M_K-III)のNa中試験結果の概要を説明し、本検出計が本書2章で示した設計基本方針、設計仕様を満足していることおよび参考文献(1)で示した水素検出計設計法の妥当性が実証された事を示す。

この2号機検出計は全部で7基試作した事は前に述べたとおりであるが、それ等の据付場所および運転状態は以下のとおりである、室名、ループ名は略名で示す)。

PNC型Na中水素 検出計2号機	据付場所 全て大洗工学 センター内	運 転 状 態
M _K -I	SG安全室(SWAT-2)	77年8月より78年3月まで運転、その後 M _K -IIと交換
M _K -II (No.1)	枝開室(純度管理ループ)	77年10より運転継続中
" (No.2)	50MWSG室(1MWSGループ)	77年10月に据付完、78年10月より運転開始予定
" (No.3)	Na流伝室(2MWループ)	77年12月より運転継続中
" (No.4)	同 上	77年12月より運転継続中
" (No.5)	Na流伝室(燃料ピンループ)	77年12月より運転継続中
M _K -III	SG安全室(SWAT-2)	78年3月より運転継続中

以下、主にSWAT-2で実施したM_K-Iによる試験結果を中心に記述するが、本書では検出計装置全体の報告を主目的としたものである故、この検出計を用いて実施した水素挙動、濃度評価試験の詳細結果については記述しない、それ等は別途報告書で記述する計画である。

6.1 ナトリウム中校正試験

本項ではSWAT-2装置で実施されたM_K-Iの校正試験結果を中心に述べる。試験はコールド・トラップ温度を一定にすることにより、ナトリウム中水素濃度を一定に保ち、静的平衡法によってNa中水素分圧を測定することにより水素濃度で求めた。この手順を順次コールド・トラップ温度を変えてくり返すことにより、Na中水素濃度と水素計出力の関係、すなわち校正曲線が求められた。

6.1.1 校正曲線の求め方

静的平衡状態では、Ni膜を透過する水素量、真空計で排気される水素量、真空系壁面からのガス放出量がバランスして、圧力一定となっているため次式が成立する。

$$\frac{K \cdot A}{d} \{ P_{NH}^{1/2} - (F_t \cdot P_G)^{1/2} \} - S_F \cdot P_G + Q^* = 0 \quad (6-1)$$

本水素計においては、ベーキングが十分であり、ガス放出が無視できるため Q^* をゼロとして、上式より Na 中水素分圧 P_{NH} は次式で表わされる。

$$P_{NH} = \left\{ (F_t \cdot P_G)^{1/2} + \frac{d \cdot S_F}{K \cdot A} P_G \right\}^2 \quad (6-2)$$

ここに P_{NH}	: ナトリウム中水素分圧	(torr)
P_G	: 真空計部圧力	(torr)
K	: Ni 膜水素透過率	(torr ^{1/2} · cm ² /sec)
A	: Ni 膜面積	(cm ²)
d	: Ni 膜厚	(cm)
F_t	: サーマルトランスピレーション値	
S_F	: 真空計自己排気速度	(cm ³ /sec)
Q^*	: 真空系放出ガス量	(torr · l/sec)

上式の左辺のうち、 P_G は測定値であり、 d 、 A は既知、 S_F は 1 号機水素中のガス中試験で 1.5 cm³/sec と測定されており、 F_t は P_G 、Na 温度、真空系の構造により次式で計算される。

$$F_t = \frac{AX^2 + BX + C\sqrt{X} + 1}{AX^2 + BX + C\sqrt{X} + \sqrt{T_G/T_M}} \quad (6-3)$$

$$\left. \begin{aligned} X &= P_G \cdot d \\ A &= A^* / T_{AV}^2 \\ B &= B^* / T_{AV} \\ C &= C^* / T_{AV} \\ T_{AV} &= (T_G + T_M) / 2 \end{aligned} \right\} \quad (6-4)$$

ここに T_G : 真空計部温度 (°K)

T_M : 拡散膜部温度 (°K)

d : 真空系配管径 (mm)

A^* 、 B^* 、 C^* : ガスの種類により定まる定数

Ni 膜水素透過率は、Na 中試験水素ガスに対する定数 A^* 、 B^* 、 C^* は以下のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} A^* &= 1.24 \times 10^5 \\ B^* &= 8.00 \times 10^2 \\ C^* &= 10.6 \end{aligned} \right\} \quad (6-5)$$

したがって Ni 膜水素透過率 K が求められると、静的平衡圧の測定により Na 中水素分圧 P_{NH} を知ることができる。

Ni 膜水素透過率は Na 中試験の動的平衡状態のデータより次式により求める。

$$K = \frac{d \cdot S_e \cdot P_G}{A \cdot P_{NH}^{1/2}} \quad (6-6)$$

ここに S_e : ゲージ部でのイオンポンプ有効排気速度 (cm^3/sec)

上式において P_{NH} は未知であるため、(6-2) 式と (6-6) 式を連立させて解くことにより P_{NH} を求めた。 P_{NH} が求められると Sieverts の法則により Na 中水素濃度が求められる。

$$C_{NH} = K_H \cdot P_{NH}^{1/2} \quad (6-7)$$

ここに C_{NH} : Na 中水素濃度 (ppm)

K_H : Sieverts 定数 ($\text{ppm}/\text{torr}^{1/2}$)

Sieverts 定数 K_H は多くの研究者により求められているが、ここでは低 Na 中水素濃度において実験的に求めた Vissers らの式¹⁰⁾を使用した。

$$\log K_H = 0.86 - 122.0/T_N \quad (6-8)$$

ここに T_N : 拡散膜部 Na 温度 ($^{\circ}\text{K}$)

この水素計校正データ処理用のコードとして HYDAC-1 を作成した。その内容を付録-V に示す。

6.1.2 水素計の運転モード

本水素計 M_K - I, II の場合、動的室と静的室がフレキシブルチューブで連結されているため、校正試験における水素計の運転モードとして、両室を結合した場合と分離した場合が考えられる。特に M_K - I 水素計の動的室には大小 2 基のイオンポンプが取り付けられているため、使用するイオンポンプの種類によってさらに 3 モード (大イオンポンプ単独, 小イオンポンプ単独, 両者同時) が考えられ、それらの組合せにより計 6 種類の運転モードとなる。このうち代表的な運転モードを図 6-1 に示す。

図中運転モード A は動的平衡と静的平衡を同時に測定できるので、リーク検出のための通常運転や校正運転時に使用する。モード B は静的室の排気を行なう場合の運転方法であるが、動的室 - 静的室隔離弁を開とした直後の過渡状態を除けば、通常の動的運転と同じ運転モードとなる。

モードCは小イオンポンプを使用した場合の運転モードであり、状態としてはモードAと同じである。なお、 M_K-II にはモードCは無く、 M_K-III については前述の図2-14に示したモードしかない。

以上のモードを連続的に行なった場合のイオンポンプおよびシュルツゲージの出力変化を模式的に示したのが同図の下図である。モードAの運転においては、シュルツゲージは静的平衡圧を示し、イオンポンプ出力は動的平衡値を示している。モードAで長期間運転すると、静的室壁面からのガス放出により静的室内の圧力がNa中の水素濃度に対応する値からずれて来る可能性がある。このため、校正運転を行なう時は静的室を一度高真空に排気する必要がある。この場合に両室を連結したモードBにすると、シュルツゲージの指示値は排気により低下し、一方イオンポンプの電流値は膜面積の増大により上昇する。この状態でも動的平衡状態が保たれるので、水素計としての機能は確保されている。

再びモードAの運転状態にすると、静的室の圧力はNa中水素濃度と平衡する圧力まで上昇するので、このNa中水素濃度に対応する動的出力として、モードBおよびモードAのイオンポンプ出力が求まる。

次にイオンポンプを大から小に変えるとモードCとなり、この時静的室は隔離されたままであるからシュルツゲージ圧力は変らない。

6.1.3 校正試験結果

図6-2に M_K-II 水素計による静的平衡圧測定例を示す。時間は右から左の方向に流れており、図中にはシュルツゲージ指示と超高電離真空計（ヌードゲージと図中に記してある）の指示が示されている。超高電離真空計の指示は、イオンポンプの指示と同等である。

運転モードBからAに変換すると、シュルツゲージは単時間で平衡に達し、超高電離真空計はすぐ動的平衡値を示す。本図の場合、コールドトラップ温度が133℃のケースであるが、10分以内に静的平衡に達している。1号機に比べると、約1/3に短縮されているが、これは静的室容積を縮小した効果が大きく現われていることを示している。

このようにして求めた M_K-I に対する校正曲線を図6-3に示す。縦軸にはNa中水素濃度、横軸にはイオンポンプ出力をとってある。図中の曲線Aが前項で述べた運転モードA、すなわち静、動的室を分離した状態でのイオンポンプ大の校正曲線で、曲線Bは運転モードB、すなわち両室を連結した状態でのイオンポンプ大の校正曲線である。曲線Cは運転モードC、すなわち両室を分離した状態でのイオンポンプ小の校正曲線である。

図6-4に M_K-II (Na1) (大洗工学センタ技開室、純度管理ループ用)での静的平衡時のシュルツゲージの挙動を膜温度、コールドトラップ温度を変えて測定した結果の一例を、また図6-5に同 M_K-III (SWAT-2用)の静的平衡時シュルツゲージの挙動を示す。図6-4よりコールドトラップ温度が115℃のように極めて低濃度の場合にも静的平衡測定が可能であ

事、膜温度 500℃ に於いては本検出計の設計仕様のとおりの 10 分程度で平衡に致している事が示されている。

以上示した本検出計 2 号機 M_K-I, II, III の静的試験結果より、2.2 項および 2.5 項に記述した基本仕様を満足し、校正運転精度向上および運転手法の改良（簡易化）がなされている事が判った。これ等のうち M_K-II の 5 基は本章冒頭に記したように長時間の連続運転が現在も続けられており、いずれも満足行く性能を示している。

6.2 ナトリウム中注水時応答試験結果

本検出計が据付けられている SWAT-2 装置ではリーク検出計の開発と同時に、SG 伝熱管のウェステージに関する研究も行われている。ウェステージ試験の場合は当然 Na 中への水注入が行われ、このとき検出計の応答も同時に測定することが出来る。本項では、この応答測定結果について述べるものであり、前項の校正試験結果と合わせ当初計画どおりの性能が得られる事を確認する。

図 6-6 に SWAT-2 装置フローシートを示す。昇温昇圧された蒸気は加圧器より、反応容器内に設置されたノズルから Na 中へ注入される。また、Na は反応容器、弁 V 202、冷却器および加熱器等を経て循環している。この水素および主循環系の他 SWAT-2 には、ラプチャーディスクおよび分離器を含む放出系、コールドトラップの純化系、カバーガス系およびダンプ系が備わっている。一方リーク検出計用機器としては、PNC 型 Na 中水素検出計 1 号機、2 号機その他アルゴンガス中水素計、酸素計およびプラグギング計等が設置されている。

PNC 型水素検出計 2 号機が設置された 1977 年後半の Na 中注水試験は専ら微小リーク試験（リーク率が微小であり、従来のリーク率より 2~3 オーダ低い条件例えば 10^{-4}g/sec の条件等で実施する試験）が行われている。この試験の場合は水注入を行っているノズル自体が水注入継続中に拡大し（セルフウェステージ現象と呼ばれる）リーク率が急激に増大する現象が生ずる。この現象を追跡するには水注入開始からの初期リーク率、リーク孔（ノズル）拡大時の時間、および拡大後のリーク率を厳密に知る必要がある。SWAT-2 ではこれまでの水注入時の注水率は、図 6-6 中の加圧器の圧力、温度の値を水注入前後で読み取って測定している。この方法は短時間の水注入（リーク率の比較的大きい従来の試験）の場合には正確な注入率の測定が可能だが、いわゆる微小リークのように微小な変化を追跡するには適さない。したがって、Na 中水素計によってリーク率の変化およびリーク孔拡大時間の測定を行う必要があり、その機能を本検出計が有している必要があり逆に微小リーク試験時の応答を測定する事によってその性能確認を行うことが出来る。以下この微小リーク試験時の応答測定結果を示す。（注；SWAT-2 ではその後微小リーク時のリーク率を詳細に測定出来るように加圧器の構造を変えている。）

図 6-7 に 2 号機 M_K-I による微小リーク試験時の応答測定結果を示す。図中示されている

6.5×10^{-4} g/sec の注水率はリーク孔拡大と示された折点以前の上昇曲線から算出された値である。また、図から明らかなように水注入開始後 20 分 30 秒で明確な指示値の変化が生じており、リーク孔（ノズル）がセルフウェスティング現象によって拡大しリーク率が急激に増大した事が測定されている。

図 6-7 は、2 号機 M_K-Ⅲ の応答測定例である。同様に微小リーク試験時のものであるが、前図のものよりリーク孔の拡大比が大きくきわめてシャープな応答が測定されており、測定途中でイオンポンプのレンジ切り換えが行われている。

以上記述した、較正試験および応答試験の結果から本検出計設計の最大の目標である較正精度向上手法の簡易化が行われたことおよび応答測定機能も 1 号機と同様に充分である事が判った。

7. あ と が き

PNC 型 Na 中水素検出計 2 号機は、同 1 号機の試作、試験で得られた成果の応用および改良点を反映し、高速増殖原型炉「もんじゅプラント」に使用可能であることを確認する目的で新たに試作、試験されたものである。

本報告書では、1 号機で得られた結果の評価、反省を基に考察した 2 号機検出計の基本方針、基本仕様、詳細構造および Na 中試験結果を記述し、以下の成果が得られた事を報告した。

- 1) 1 号機および 2 号機的设计法としてすでに報告している。「最適设计法」の妥当性を実証した。
- 2) 1 号機と同様に、設計、試作の基本思想である「検出機能」、「濃度測定機能」および「小型化」を満足することを確認した。
- 3) 1 号機の製作および試験時に得られた下記情報が 2 号機の製作時にも反映され、その妥当性、重要性を再確認した。
 - a) Ni 膜部溶接後、真空炉中 500℃ベーク後に He リークを実施する。
 - b) 真空壁面からの放出ガス率を 1×10^{-11} Torr · ℓ /sec/cm² 以下におさえるための、高温長時間のベークの必要性。(1 号機では 550℃×700 hr, 2 号機では 600℃×350 hr)
- 4) 校正運転における精度の向上と運転手法簡易化をはかることが出来た。すなわち、従来の内外水素計には見られなかった構成である「動的室、静的室分離型」を初めて用いることによりそれ等の目標を達成する事が出来た。
- 5) 以上の成果を含め、本検出計が「もんじゅプラント」用として使用可能である事の見通しを得ると同時に、主に以下の項目に対し最終確認のための試験結果が得られる事によって、「もんじゅ」への適用の結論が下せるものと考えられる。
 - a) Na 中での長期連続運転を行い、検出計の寿命、経年変化を把握する。
 - b) イオンポンプの長期水素雰囲気に於ける特性（排気速度の劣化および回復等）の把握。
 - c) Ni 膜の長期 Na 雰囲気下での特性（腐食、表面変化等）の把握。

以上述べたように、本書およびこれまでのいくつかの報告書によって水素検出計の設計、製作に関しては全て明確にされたと言っても過言ではなく、今後は上記 5) の a) b) c) について長期の運転結果を反映する事が重要と考えている。このために動燃では、本検出計 2 号機 Mk-II を 5 基使用した長期性能試験、イオンポンプの経時特性試験および Ni 膜の材料検査等を現在実施中である。

8. 参 考 文 献

- 1) 鐘ヶ江, 池本, 橋口, 堀 "Ni 膜-イオンポンプ型 Na 中水素検出計における Ni 膜および真空部最適設計法 (小リーク・ナトリウム・水反応試験研究第 10 報)" 動燃技術報告書 SN 941 76-30 (1976)
- 2) 鐘ヶ江, 池本, 大後, 井上, 堀 "PNC 型 Na 中水素検出計 1 号機 (小リーク・ナトリウム・水反応試験研究第 14 報)" 動燃技術報告書 PNC SN 941 78-85 (1978)
- 3) 池本, 橋口, 大内, 井上, 鐘ヶ江, 堀 "Na 中水素計の動的および静的平衡法による試験結果 (小リーク・ナトリウム・水反応試験研究第 8 報)" 動燃技術報告書 SN 941 76-28 (1976)
- 4) 鐘ヶ江, 池本, 橋口, 堀他 "Ni 膜型水素検出計設計における水素透過率の圧力依存性に関する考察 (小リーク・ナトリウム・水反応試験研究第 9 報)" 動燃技術報告書 SN 941 76-29 (1976)
- 5) 法月, 火山, 王山, 岡田, 松本, 金子, 高橋, 鐘ヶ江, 池本 "50 MW 蒸気発生器試験施設における水リーク検出システム評価試験第 1 報" 動燃技術資料 PNC SN 941 77-45 (1977)
- 6) D.R. Vissers et. al., "Hydrogen-Meter Leak Detector for LMFBR Steam Generators" ANI-8047 (1973)
- 7) J.M. McKee et. al., "Evaluation of Steam to Sodium Leak Detectors in the Sodium Components Test Facility (SCTI)" IAEA Bensberg Mtg. Report (1974)
- 8) K. Dumm et. al., "Small Leak Detection Requirement for SNR-300 Steam Generator Operation" IAEA Bensberg Mtg. Report (1974)
- 9) M. Hissink "Leak Detection in Steam-Generators with Hydrogen Monitors Using Diffusion Membrane" IAEA Bensberg Mtg. Report (1974)

- 10) P.M. Magee et. al., "Development of Leak Detection Systems for LMFBR Steam Generators in the U.S." DOE/PNC Plant Components W/Gr First Joint Steam Generator Seminar U.S.A. Papers PNC SA013 KWG78-01
- 11) D.R. Vissers et. al., "A Hydrogen-Activity Meter for Liquid Sodium and It's Application for Hydrogen Solubility Measurements" Nuclear Technology Vol.21 (1974)
- 12) J.H. Singleton "Hydrogen Pumping Speed of Sputter-Ion Pumps" J. Vacuum Sci. Tech. Vol.6 No.2 (1969)

付 録

付録-I : PNC型 Na 中水素検出計 2号機真空系内表面積体積計算書	45
付録-II : イオンポンプ排気速度変化の評価 (PNC型 Na 中水素検出計 (1号機) Mk-IIの実例)	48
付録-III : スパッタイオンポンプ Ar 処理	63
付録-IV : Na 到達時間計算書	70
付録-V : 水素計校正試験データ処理コード・HYDAC-1	72

付録-I (1/3) PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-I 真空系内表面積・体積計算書

1. 静的平衡室

各 部 名 称	表面積 (cm^2)	体 積 (cm^3)
Ni 膜部 ($35.1\phi \times 195\ell$, $25\phi \times 30\ell$)	238.6	93.0
35.1 ϕ 配管 ($35.1\phi \times 141\ell$)	165.2	136.4
リデューサー部 ($35.1\phi \times 10\phi \times 20\ell \times 2$, $10\phi \times 10\ell$)	36.6	17.6
シールド板 ($15\phi \times 2$)	3.5	—
10 ϕ 配管 ($8\phi \times 89\ell$)	22.4	4.5
合 計	466.3	251.5

2. 動的平衡室

各 部 名 称	表面積 (cm^2)	体 積 (cm^3)
Ni 膜部 ($35.1\phi \times 195\ell$, $25\phi \times 30\ell$)	238.6	93.0
35.1 ϕ 配管 ($35.1\phi \times 201\ell$)	231.3	194.5
VUH-251部 $\times 2$	67.6	37.8
VUH-401部	56.2	49.3
合 計	593.7	374.6

付録-I (2/3) PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II真空系内表面積・体積計算書

1. 静的平衡室

各 部 名 称	表面積 (cm^2)	体 積 (cm^3)
Ni 膜部		
($35.1\phi \times 195\text{L}$, $25\phi \times 30\text{L}$)	238.6	93.0
35.1 ϕ 配管		
($35.1\phi \times 141\text{L}$)	165.2	136.4
リデューサー部		
($35.1\phi \times 10\phi \times 20\text{L} \times 2$, $10\phi \times 10\text{L}$)	36.6	17.5
シールド板		
($15\phi \times 2$)	3.5	—
10 ϕ 配管		
($8\phi \times 89\text{L}$)	22.4	4.5
合 計	466.3	251.5

2. 動的平衡室

各 部 名 称	表面積 (cm^2)	体 積 (cm^3)
Ni 膜部		
($35.1\phi \times 195\text{L}$, $25\phi \times 30\text{L}$)	238.6	93.0
35.1 ϕ 配管		
($35.1\phi \times 201\text{L}$)	231.3	194.5
VUH-251部	33.8	18.9
VUH-401部	56.2	19.3
合 計	559.9	355.7

付録一 I (3/3) PNC型Na中水素検出計(2 号 機) Mk -III 真空系内表面積・体積計算書

1. 静的平衡室

各 部 名 称	表面積 (cm ²)	体 積 (cm ³)
Ni 膜部 (35.1φ×195ℓ, 25φ×30ℓ)	238.6	93.0
35.1φ配管 (35.1φ×141ℓ)	165.2	136.4
リデューサー部 (35.1φ×10φ×20ℓ×2, 10φ×10ℓ)	36.6	17.6
シールド板 (15φ×2)	3.5	
10φ配管 (8φ×140ℓ)	35.2	7.0
合 計	479.1	254.0

2. 動的平衡室

各 部 名 称	表面積 (cm ²)	体 積 (cm ³)
Ni 膜部 (35.1φ×195ℓ, 25φ×30ℓ)	238.6	93.0
35.1φ配管 (35.1φ×201ℓ)	231.3	194.5
VUH-401 部	56.2	49.3
合 計	526.1	336.8

付録-II イオンポンプ排気速度変化の評価 (PNC型Na中水素検出計(1号機) Mk-IIの実例)

PNC 型 1 号機検出計 (M_K-II), のイオンポンプ (大: PST-IC 型, 小: PST-AP 型の 2 基)
排気速度の納入時の値は

イオンポンプ (大) : $S_{IO} = 25 \text{ l/sec}$ (図 II-1 参照)

イオンポンプ (小) : $S_{AP} = 2.7 \text{ l/sec}$ (図 II-2 参照)

であったが, Na 中試験実施後上記値に変化が生じた事が判ったためその排気速度確認を行った。

注) 1) 上記 S_{IO} および S_{AP} は全て, 検出計のヌードゲージ部での実効排気速度を示す。

2) イオンポンプ排気速度が短期間で納入時と異った理由は, 1 号機で実施した 700 hr
ベーキング実施後アルゴンボンバードを行わなかったためと考えられ, 同 2 号機ではそ
の処理を行うこととした。

1. 結 論

実験データからの評価から, 確定排気速度が次の値になった。

$$S'_{IO} = 8.07 \text{ l/sec}$$

$$S'_{AP} = 1.97 \text{ l/sec}$$

2. 測定データ (SWAT-2における実験結果)

1 号機校正試験のうち Na 35 ~ Na 42 の測定データおよびそれ等データから校正曲線を介して求
まる真の値の一覧を表 II-1 に示す。

内容は以下のとおりである。

1) シュルツ平衡圧 PE: 指示値=生データ

校正値=上記値を 1 号機 M_K-II 校正曲線図 II-3 (1/2, 2/2)

介して求めた値

2) 大容量排気 (PST-IC 使用の動的測定時データ)

a) イオンポンプ I_p : 指示=生データ

校正=1 号機 M_K-II 校正曲線図 II-4 を介して求めた値

注) () 内は図 II-7 中新校正曲線から求めた値 (その詳細は
後述する)

b) ヌードゲージ PD: 指示=生データ

校正=1 号機 M_K-II 校正曲線図 II-5 を介して求めた値

3) 小容量排気 (PST-AP 使用の動的測定時データ)

イオンポンプ I_p : 指示=生データ

校正 = 1 号機 M_K - II 校正曲線図 II - 6 を介して求めた値

ヌードゲージ PD : 2) の b) と同じ

4) CT 温度 = 測定時のコールドトラップ低部温度

これ等のデータのうち、例えばある動的測定の状態の時のイオンポンプ指示値から求まる真空度 (Na 35 Al の時であれば、 1×10^{-7} Torr) とヌードゲージの値 (同上左 5.8×10^{-8} Torr) は一致せねばならない筈である。

この値に相異が生じて来るのは、イオンポンプ排気速度が納入時すなわち図 II - 4, 図 II - 6 を測定した時の値からずれが生じて来たと考えられる (本文 4. 4. 2 項(3)参照)。以下その排気速度変化について試算する。

3. イオンポンプ (大) PST-1C の評価

先づ評価の前提として次の事は一般的に成立する。

1) ヌードゲージ指示値および校正曲線は経年変化はほとんどない。したがって図 II - 5 には変化は無い。

2) イオンポンプの指示値 (出力) と、真のイオンポンプ内圧力の関係には、ほとんど経年変化はない。

したがって、1) から云えることは、

イオンポンプ指示値とその時の (動的運転の時) ヌードゲージから読んだ真のゲージ部圧力値を図示することにより、新校正曲線を求めることが出来る。

図 II - 7 に図 II - 4 の曲線も含め対比して示す。

また、2) から云えることは、

図 II - 4 を測定した時のイオンポンプ部圧力が判れば次の方法で本試験時のイオンポンプ排気速度を求めることが出来る。

先づ、図 II - 4 測定時のイオンポンプ部排気速度 S_{100} には次の関係が成立する。

$$\frac{1}{S_{10}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S_{100}} \quad (\text{II} - 1)$$

ここで $S_{10} = 25 \text{ l/s}$

$C = 47 \text{ (コンダクタンス) l/s (実測値)}$

$$\text{したがって } S_{100} = 53.4 \text{ l/s} \quad (\text{II} - 2)$$

次に、図 II - 4 測定時のヌードゲージ部圧力 P_D と、イオンポンプ部内圧力 P_{IP} の間には次の関係が成立する。

$$S_{100} \cdot P_{IP} = C (P_D - P_{IP}) \quad (\text{II} - 3)$$

したがって、例えば

$$P_D = 10^{-6} \text{ (Torr)} \quad (\text{II} - 4)$$

の処で評価するとすれば、 P_{IP} は次の式から求まる。

$$\begin{aligned}
 P_{IP} &= \frac{C}{S_{ICO} + C} \times P_D \\
 &= \frac{47}{53.4 + 47} \times 10^{-6} \quad (\text{II-5})
 \end{aligned}$$

すなわち

$$P_{IP} = 4.68 \times 10^{-7} \quad (\text{II-6})$$

さて、図II-7から判るように、図II-4すなわち納入時校正曲線を測定した時、 P_D が 10^{-6} Torr (II-4式)の時のイオンポンプ出力値は $28 \mu\text{A}$ であるが、新校正曲線では $28 \mu\text{A}$ は 5.7×10^{-7} Torrを示していることが判る。この差分だけ、イオンポンプ排気速度が低下し S'_{ICO} になったとすれば、本試験時には(II-8式)と同様に次の関係が成立すると、

$$S'_{ICO} \cdot P_{IP} = C (P'_D - P_{IP}) \quad (\text{II-7})$$

ここで S'_{ICO} = 本試験時イオンポンプ排気速度

$$P_{IP} = 4.68 \times 10^{-7} \text{ Torr (II-(6)式)}$$

注) 前記確認事項2)からイオンポンプ出力 $28 \mu\text{A}$ の時のイオンポンプ内圧力はいつでも変らない

$$C = 47 \text{ l/s (コンダクタンス)}$$

$$P'_D = 5.7 \times 10^{-7} \text{ Torr}$$

上式から S'_{ICO} を求めると

$$\begin{aligned}
 S'_{ICO} &= \frac{47 (5.7 - 4.68) \times 10^{-7}}{4.68 \times 10^{-7}} \\
 &= 9.74 \text{ l/s} \quad (\text{II-8})
 \end{aligned}$$

この値は、イオンポンプ部排気速度であるから、ゲージ部排気速度に直すため(II-9)式を用いて直せば

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{S'_{IC}} &= \frac{1}{C} + \frac{1}{S'_{ICO}} \\
 S'_{IC} &= 8.07 \text{ l/sec} \quad (\text{II-9})
 \end{aligned}$$

であることが判る。

なお、図II-8は上記検討結果から得られたイオンポンプ出力値と、イオンポンプ部圧力の関係を示す図である。

また、表II-1中の大容量側のイオンポンプ較正值のうち()内に示した図が、真の圧力であり、図II-7の新校正曲線より求めたものである。

4. PST-APの評価

PST-1C の排気速度の評価が決れば、PST-AP の値は次のようにして簡易に求めることが出来る。

表 II-1 の測定結果で、シュルツ平衡圧 P_E (Na 中水素分圧) と検出計各値には次の動的平衡関係式が成立する。

$$P_E^{1/2} = \frac{d}{K} \cdot \frac{S}{A} P_D + \left(1 + \frac{S}{C^*}\right)^{1/2} P_D^{1/2} \quad (\text{II-10})$$

(記号説明は略す)

ここで、一般的には右辺第 2 項は無視出来る故、同一 Na 中水素分圧時の 2 つのイオンポンプ排気速度 S'_{IC} S'_{AP} とヌードゲージ測定値 P_{DIC} 、 P_{DAP} の間には d 、 K 、 A が一定である故次の関係が成立する。

$$S'_{IC} \cdot P_{DIC} = S'_{AP} \cdot P_{DAP} \quad (\text{II-11})$$

上式中、 S'_{IC} は II-(9) 式で求まっており、 P_{DIC} および P_{DAP} は表 II-1 測定値から判る故、両イオンポンプ排気速度の比を S^* とすれば

$$S^* = \frac{S'_{IC}}{S'_{AP}} = \frac{P_{DAP}}{P_{DIC}} \quad (\text{II-12})$$

より、 S^* を求めれば S'_{AP} が求まる。

図 II-9 が 表 II-1 の P_{DAP} および P_{DIC} からその比をとって示した結果で

$$S^* = 4.1 \quad (\text{II-13})$$

であることが判り、II-(12)、II-(9) 式より

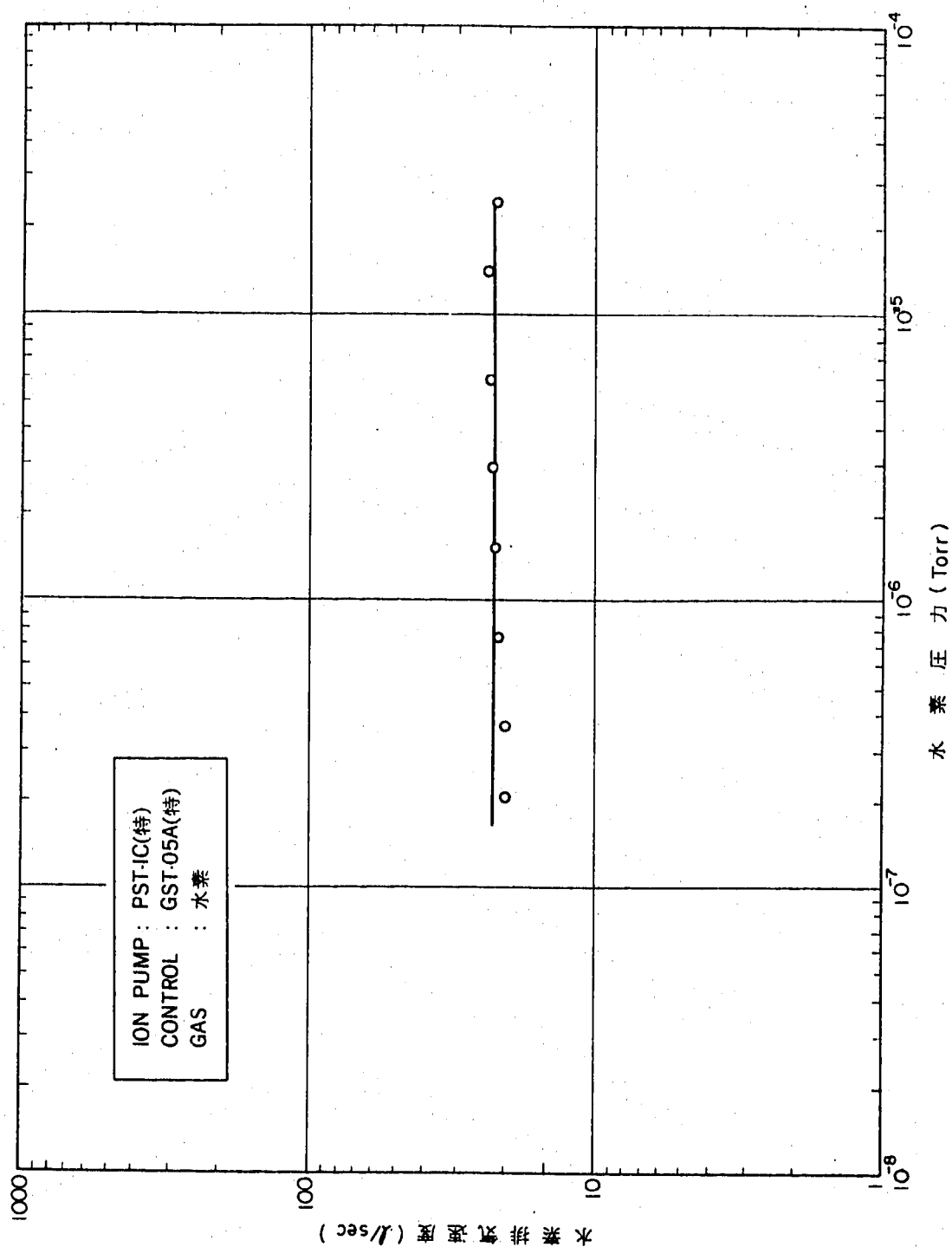
$$S'_{AP} = 1.97 \text{ (L/sec)} \quad (\text{II-14})$$

であることが判る。

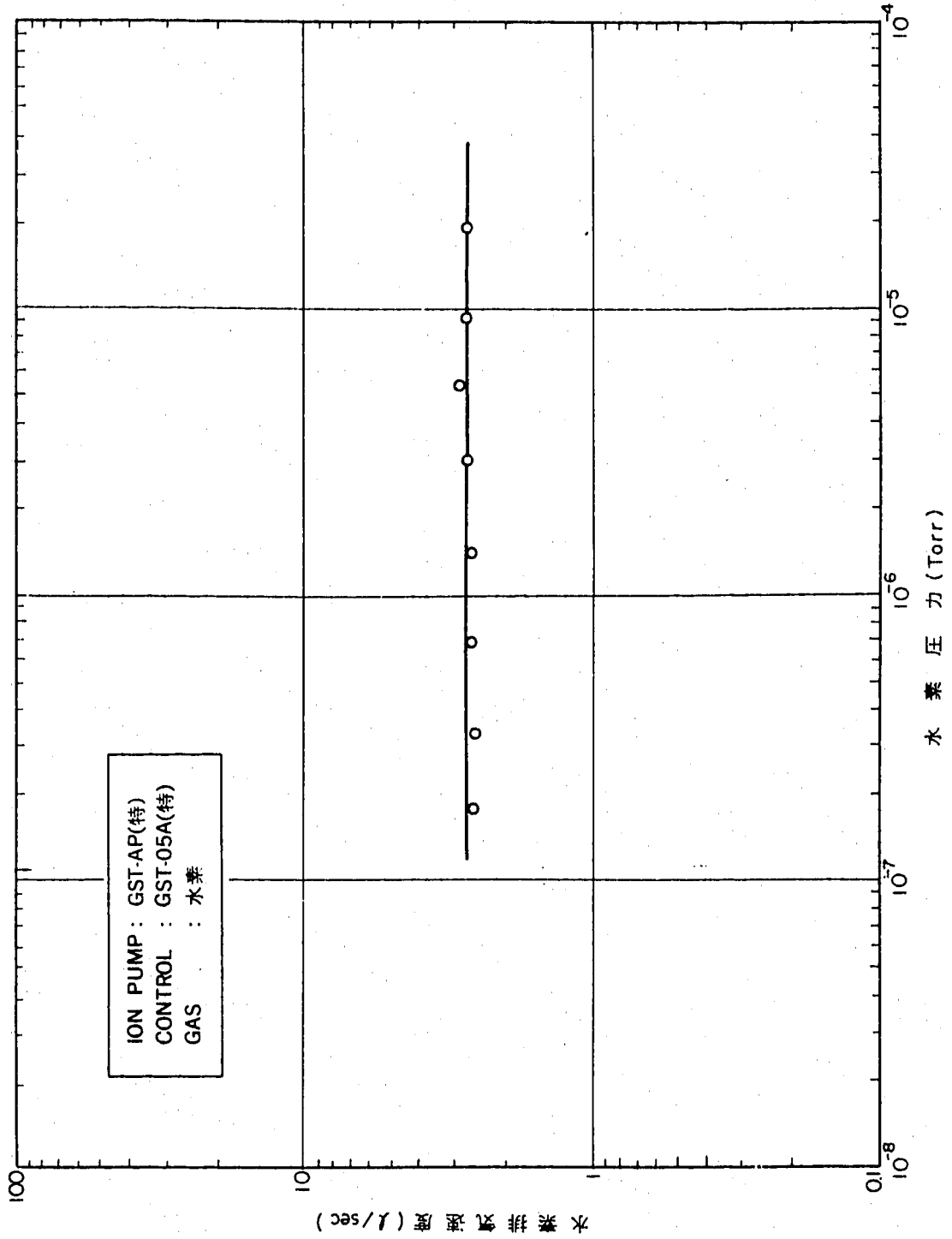
表II-1: PNC型Na中水素検出計(1号機)Mk-II校正試験測定データ一覧

試験 No.	シュルツ平衡圧 PE		大 容 量 排 気		小 容 量 排 気		CT温度 ^{*1)}	
	指示値(Torr)	校正値	イオンポンプ I P 指示(μA)	イオンポンプ I P 指示(Torr)	イオンポンプ I P 指示(Torr)	イオンポンプ I P 指示(Torr)	イオンポンプ I P 指示(Torr)	イオンポンプ I P 指示(Torr)
35 A I	4.8×10 ⁻⁵	4.5×10 ⁻⁵	2.1	3.55×10 ⁻⁸	5.8×10 ⁻⁸	5.15×10 ⁻⁸	1.28×10 ⁻⁷	1.4×10 ⁻⁷
35 A N	"	"		1×10 ⁻⁷				
35 B I	"	"		(5.3×10 ⁻⁸)				
35 B N	"	"						2.3×10 ⁻⁷
36 A I	1.15×10 ⁻⁴	1.27×10 ⁻⁴	4.4	5.87×10 ⁻⁸	9.6×10 ⁻⁸	9.35×10 ⁻⁸	2.3×10 ⁻⁷	2.3×10 ⁻⁷
36 A N	"	"		(1.05×10 ⁻⁷)				
36 B I	"	"						
36 B N	"	"						3.8×10 ⁻⁷
37 A I	4.3×10 ⁻⁴	4.8×10 ⁻⁴	11.0	1.35×10 ⁻⁷	2.2×10 ⁻⁷	2.53×10 ⁻⁷	5.8×10 ⁻⁷	5.76×10 ⁻⁷
37 A N	"	"		(2.45×10 ⁻⁷)				
37 B I	"	"						
37 B N	"	"						9.5×10 ⁻⁷
38 A I	1.82×10 ⁻³	2.2×10 ⁻³	38.5	4.76×10 ⁻⁷	7.8×10 ⁻⁷	1.0×10 ⁻⁶	2.45×10 ⁻⁷	
38 A N	"	"						
38 B I	"	"						
38 B N	"	"						3.3×10 ⁻⁶
39 A I	6.15×10 ⁻³	6.7×10 ⁻³	110	1.2×10 ⁻⁶	1.97×10 ⁻⁶	2.68×10 ⁻⁵	6.3×10 ⁻⁵	
39 A N	"	"		(1.95×10 ⁻⁷)				
39 B I	"	"						
39 B N	"	"						4.65×10 ⁻⁵
40 A I	4.3×10 ⁻³	4.7×10 ⁻³	225	2.37×10 ⁻⁶	3.8×10 ⁻⁶	7.6×10 ⁻⁶	1.85×10 ⁻⁵	
40 A N	"	"		(3.8×10 ⁻⁶)				
40 B I	"	"						
40 B N	"	"						8.8×10 ⁻⁵
41 A N	1.85×10 ⁻²	2.1×10 ⁻²	760	7.0×10 ⁻⁶	1.15×10 ⁻⁵			
41 A N	"	"		(1.15×10 ⁻⁵)				
42 A I	— ^{*2)}	—	96	9.5×10 ⁻⁷	1.6×10 ⁻⁶	1.05×10 ⁻⁶	2.6×10 ⁻⁶	
42 A N	—	—						
42 B I	—	—						
42 B N	—	—						3.7×10 ⁻⁶

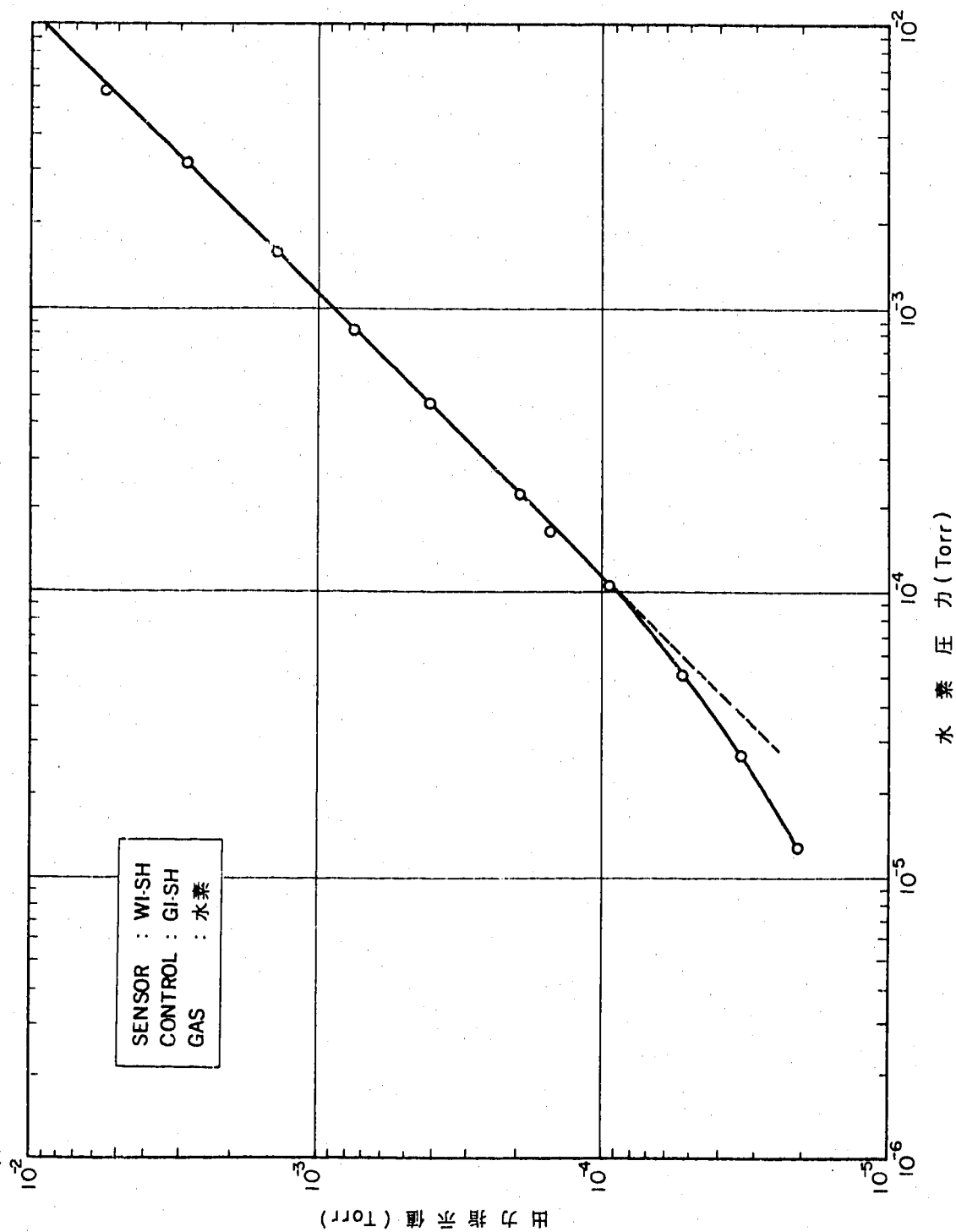
^{*1)} CT温度は、各No. A I, A N, B I, B N中必ずしも同一温度でない。本記入値はPE測定時の値
^{*2)} —は測定値無しを示す。
^{*3)} () 内値は、新校正曲線から求めた値。



図II-1 : PNC型Na中水素検出計(1号機) Mk-IIイオンポンプ(大)(PST-IC特)納入時排気速度



図II-2: PNC型Na中水素検出計(1号機)Mk-IIイオンポンプ(小)(PST-AP特)納入時排気速度



図II-3 (1/2) : PNC型Na中水素検出計(1号機)MK-IIシユルツゲー比較正曲線(低圧側)

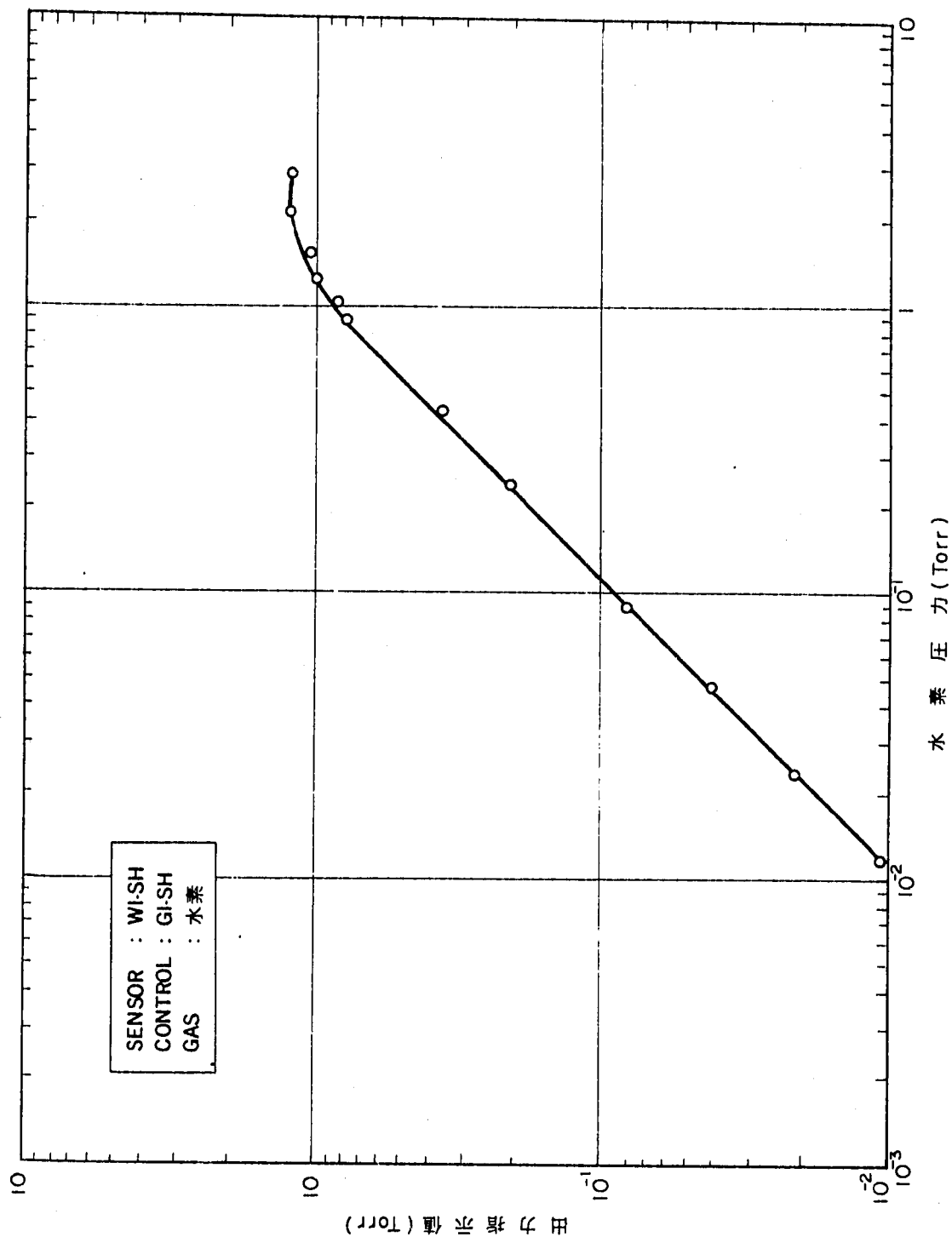
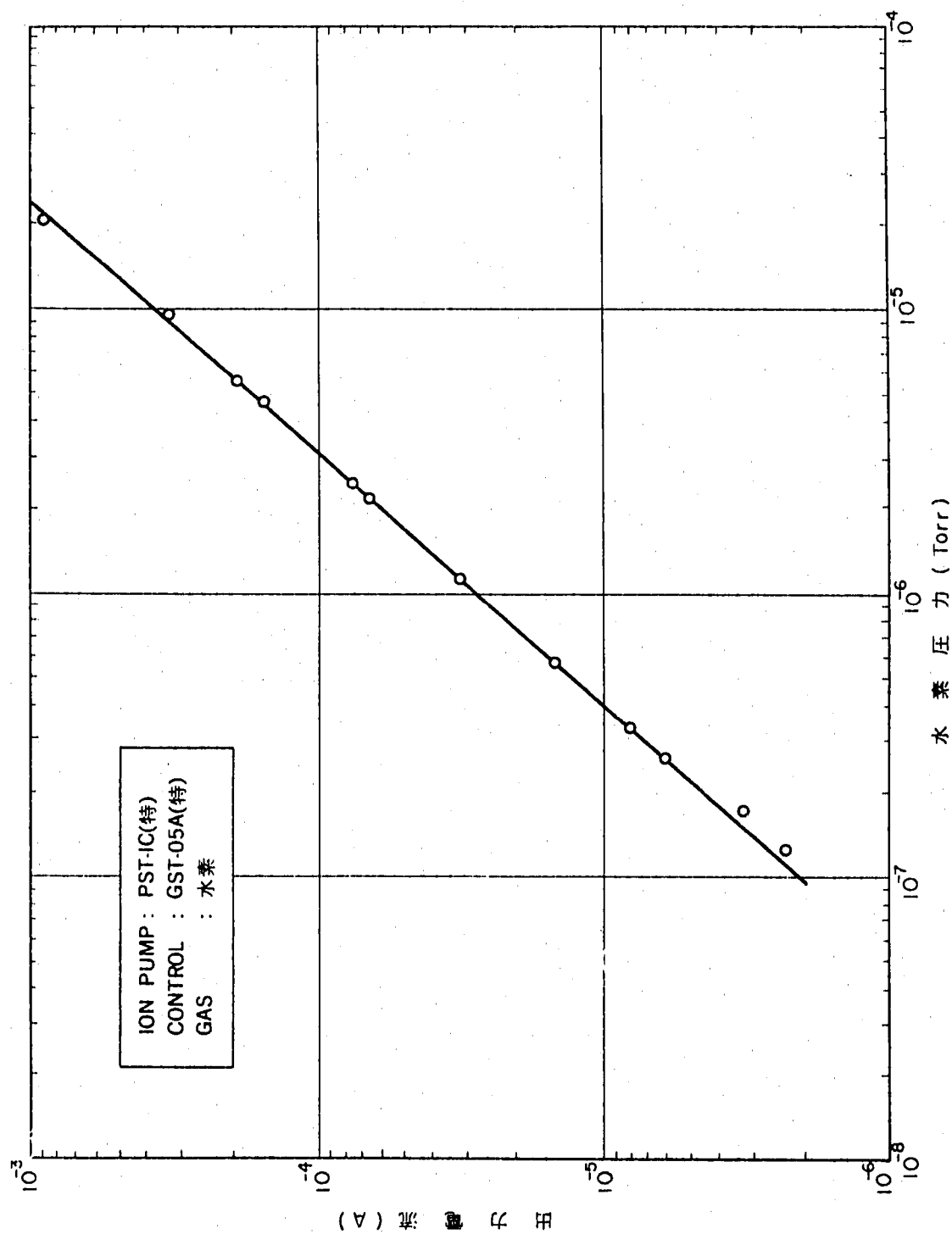
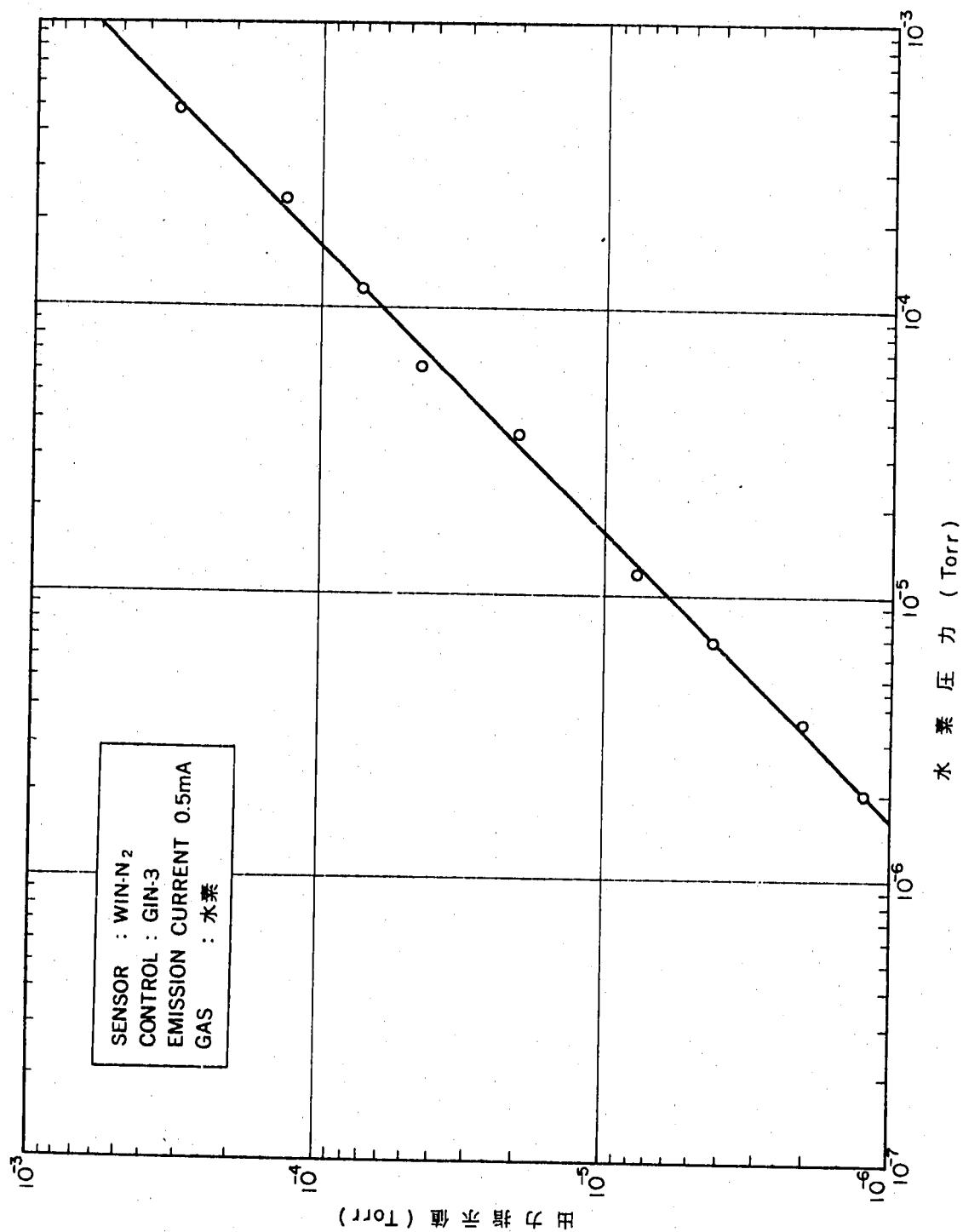


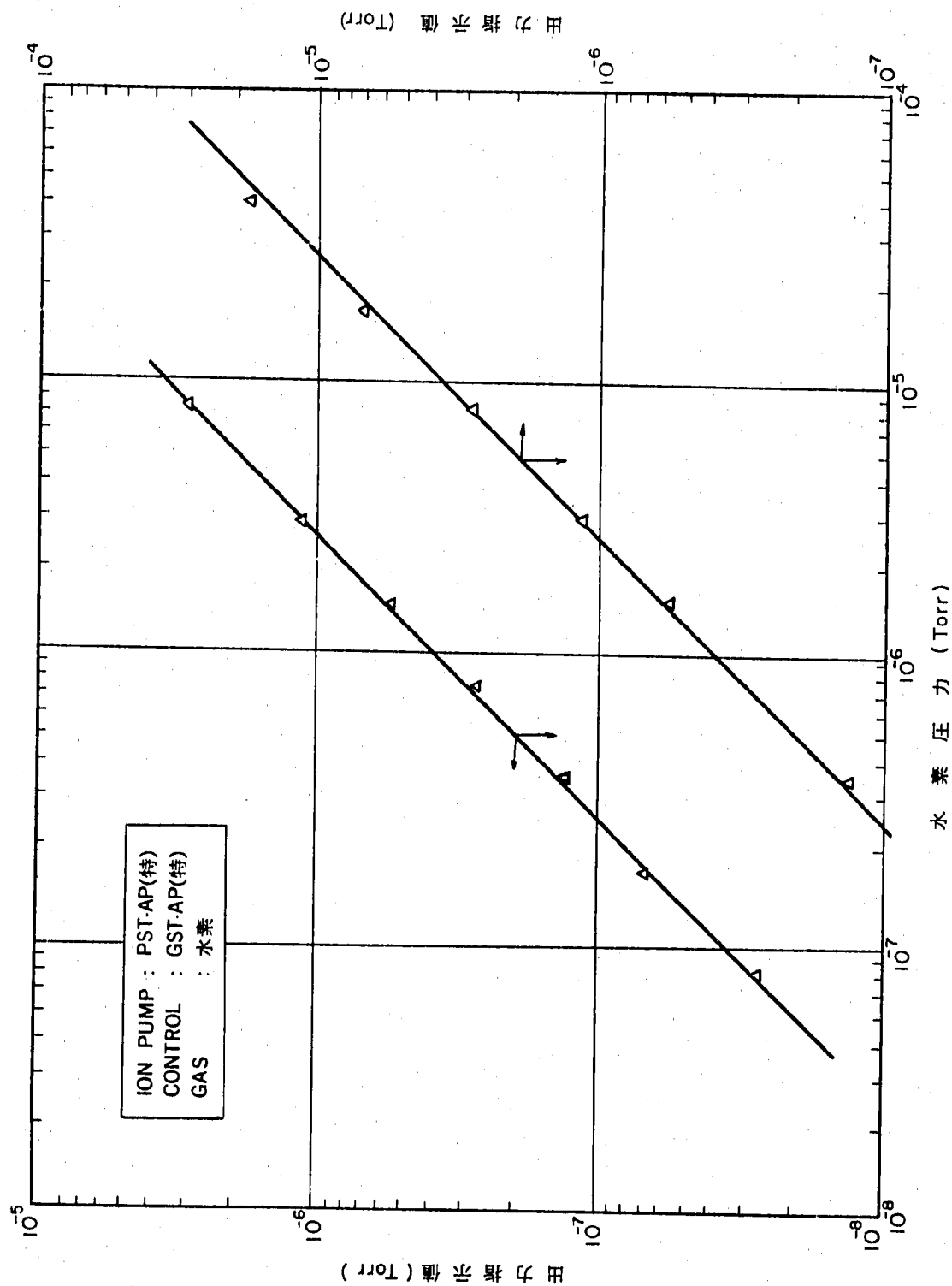
図 II-3 (2/2) : PNC 型 Na 中水素検出計 (1 号機) Mk-II シュルツゲー—ジ校正曲線 (高圧側)



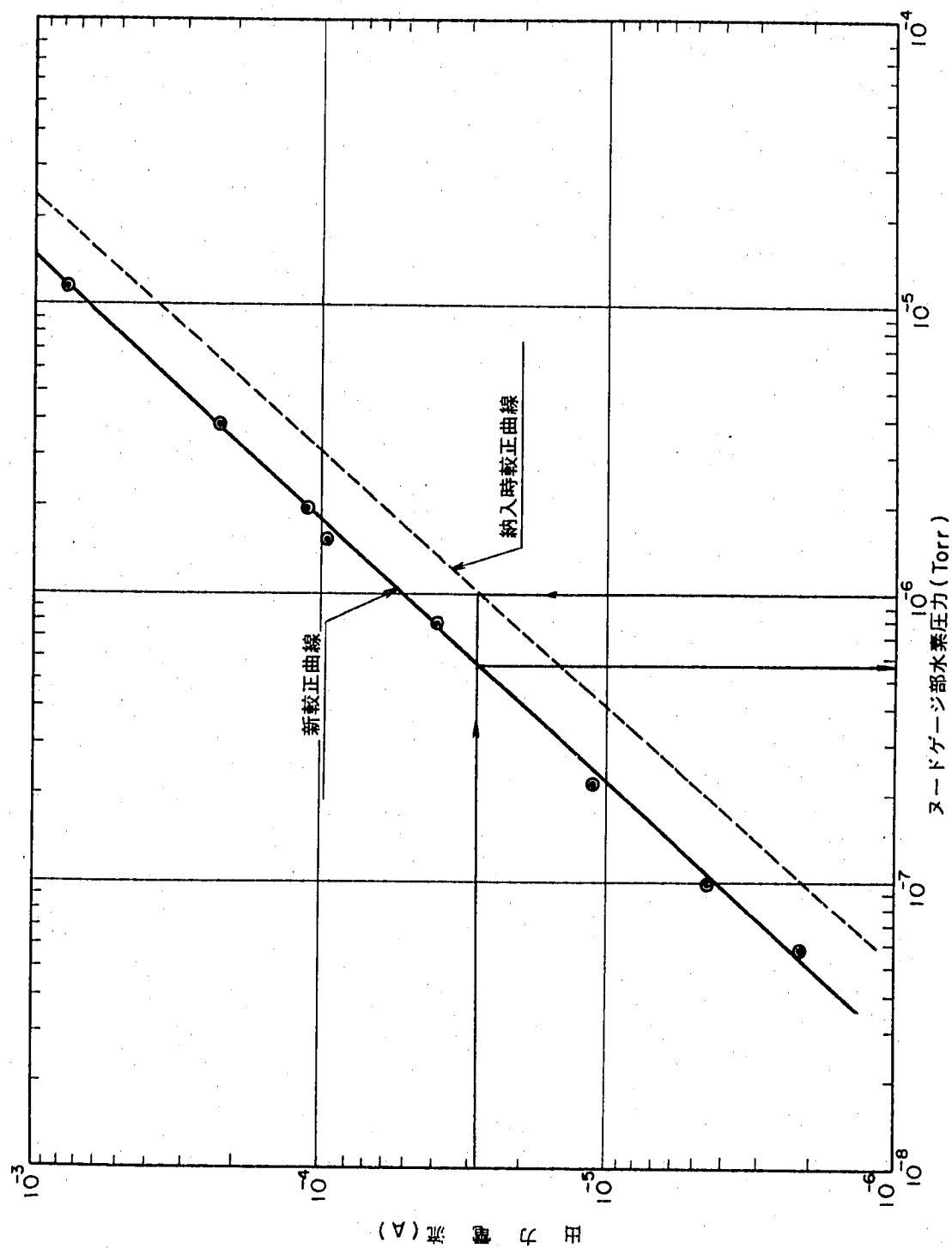
図II-4 : PNC型Na中水素検出計(1号機)Mk-IIイオンポンプ(大)(PST-1C特)校正曲線



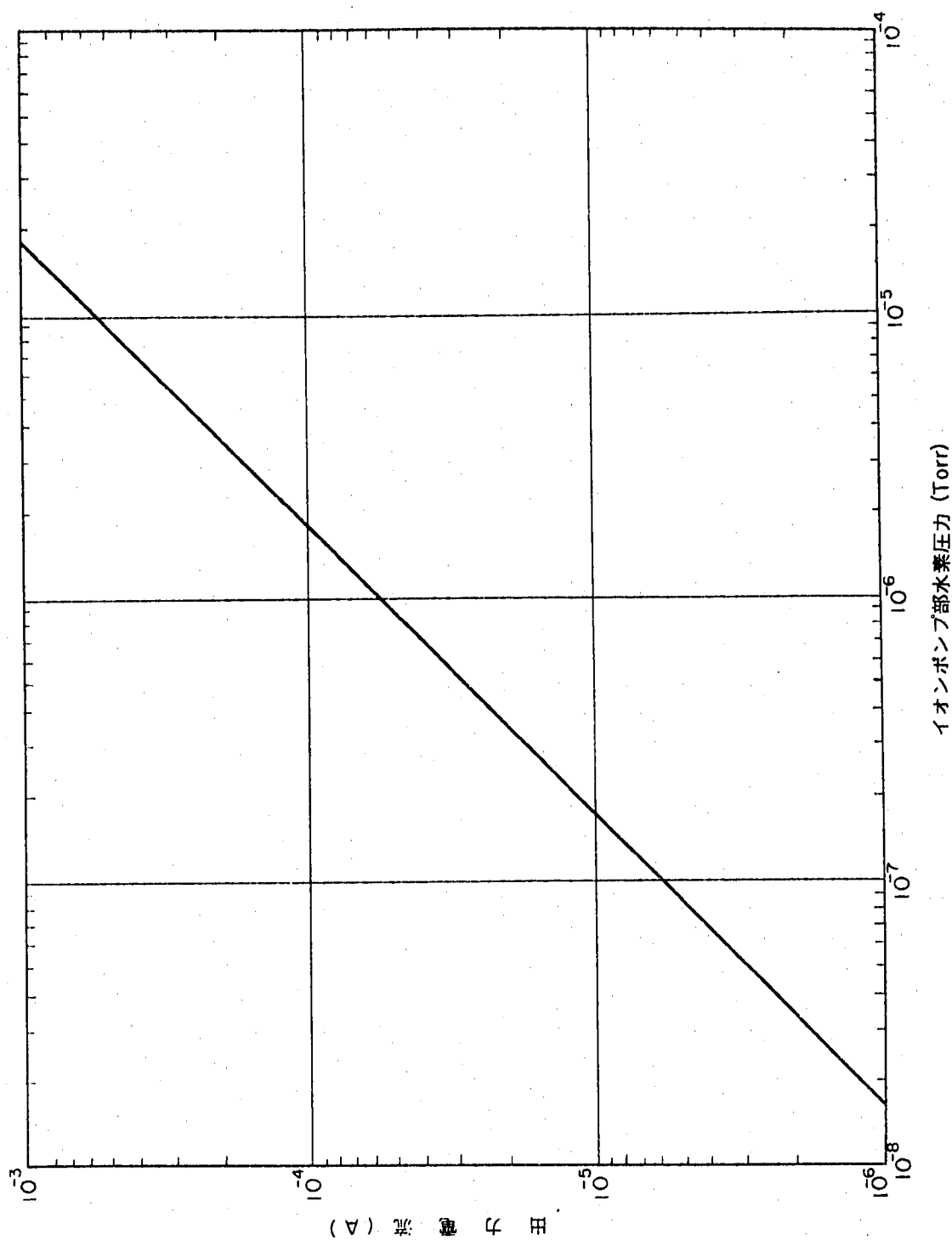
図II-5 : PNC型Na中水素検出計(1号)Mk-IIヌードゲージ校正曲線



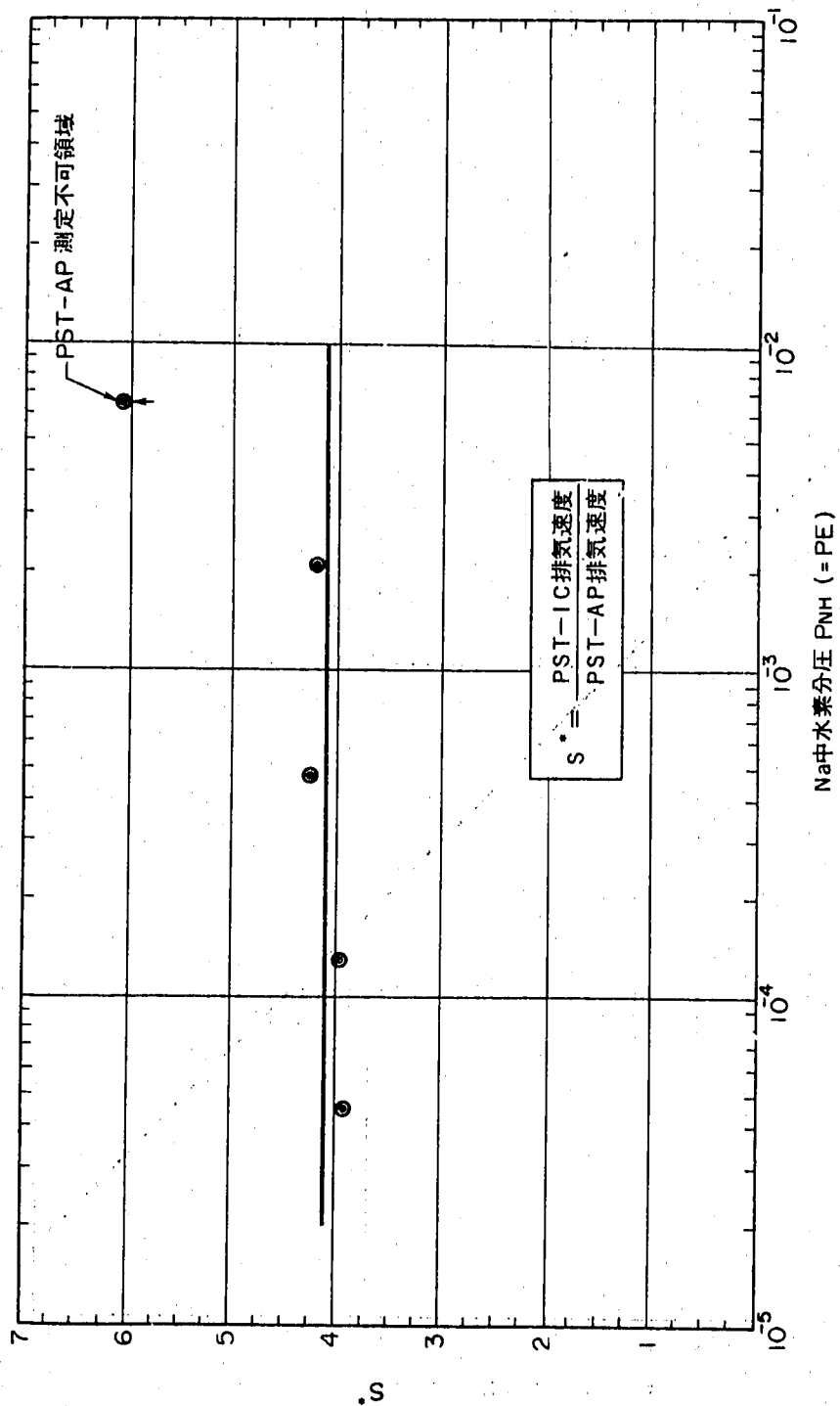
図II-6 : PNC型Na中水素検出計(1号機)Mk-IIイオンポンプ(小)(PST-AP特)校正曲線



図II-7：PNC型Na中水素検出計(Ⅰ号機)Mk-IIイオンポンプ(大)(PST-1C特)校正曲線の変化(ヌードゲージ部圧力)



図II-8: PNC型Na中水素検出計(1号機)Mk-IIイオンポンプ(大)(PST-1C特)校正曲線の変化(イオンポンプ部圧力)



図II-9 : PNC型Na中水素検出計(Ⅰ号機)Mk-II PST-APとPST-IC排気速度比 S^*

付録－Ⅲ スパッタイオンポンプAr処理

本項はAr処理（アルゴンボンバード）の一般的説明およびその具体例について記述する。

1. 過去の実績データ

図Ⅲ－1は200 ℓ/secのスパッタイオンポンプにAr処理を施した後のポンプのガス吸収量と排気速度との関係の1例を示すものである。横軸はガス吸収量（Torr・ℓ）縦軸は窒素（N₂）に対する排気速度（公称排気速度）を100％とした時の排気速度比率を取っている。このグラフはポンプの水素排気速度が純水素を排気し続ける場合と、途中で水素以外のガスを排気させた場合で値が大きく変化することを示したものである。H₂ (O) × — × は純水素ガスのみを排気し続けた場合で水素を100 Torr ℓ 吸収後も水素排気速度は窒素排気速度の約5倍を維持している。他のデータは○(H₂)→●(CO)→△(H₂)→▲(CO)→□(H₂)→■(CO)の順序で水素とCOを交互に排気したときの水素及びCOに対する排気速度の変化の様相である。吸収量としては水素に対しては水素吸収量のみの積算値、COに対してはCO吸収量のみの積算値で示してある。COの吸収量対排気速度は連続な線で結ばれており、この傾向は、COのみを排気し続けたときの曲線と一致していて、交互排気した影きようは認められないが、水素吸収量に対する排気速度は、純水素のみを排気させた場合の曲線（×—×）と様相が一変している。COを排気した直後では、水素排気速度は急激に低下し窒素に対する排気速度とはほぼ同程度まで下がっている。しかし、その状態から、水素のみを排気し続けると、水素排気速度は次第に上昇して窒素排気速度の3倍程度に増大することがわかる。

これは、COを吸収させたため、ポンプのガス吸収面の表面附近の不純物濃度が増大し、水素の拡散吸収を妨害するためと考えられる。（参考文献（12）参照）

2. スパッタイオンポンプのAr処理手順

2.1 処理方法

スパッタイオンポンプをAr圧力 $2 \sim 5 \times 10^{-5}$ Torrで約20分間動作させる。（この際、Arがポンプにより排気されるので、動作圧力を上記圧力に保持するため、Arガスをポンプ内に持続的に流入させるためのガス導入策が必要である）。

2.2 処理手順

1) 準備するもの

- ① Ar ボンベ（高圧ボンベの場合は、減圧弁がついたもの）
- ② リザーバー（容積1 ℓ程度のもの）
- ③ ロータリーポンプ（R・P）
- ④ ソープションポンプ（S・P）

- ⑤ バリアブルリークバルブ (VLV)
- ⑥ 圧力計 (G_2) : ブルドン管型
- ⑦ バルブ V_2, V_3, V_4, V_5, V_6
- ⑧ 時続用配管 (1式)
- ⑨ テープヒーター (1式)
- ⑩ 液体窒素

2) 処理のための操作

- ① 図Ⅲ-2の点線で示したガス導入系を真空槽に持続する。
(注 真空槽に附属しているポンプ及びゲージ G_1 は動作状態にしておく)
- ② R・Pを動作して、 V_3, V_2 を開け、 V_1, V_2, VLV で仕切られた部分を排気する。続いて、 V_3 を閉じ、S・PをL-N (液体窒素) で冷却する。リークがないことを確かめてから、 V_1, V_2, VLV で仕切られた部分にテープヒーターを巻きつけ、 $200^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ 程度に加熱し、約4 hr程度保持し、その間 V_2 は開け放したまま、S・Pで排気する。
- ③ V_4, V_5 を開け、補助タンク及び、Arポンプまでの配管をR・Pで排気し、次いで V_4 を閉じ、ArポンプからArガスを導入し、補助タンク内の圧力が1気圧前後になったところで、Arガスを止め、次いで、 V_5 を閉じる。(Arガス導入準備)
- ④ ②のベークアウトが終了したり、ヒーターを切り、そのまま約30分間S・Pで排気が続けた後、 V_2 を閉じ、 V_1 を開けイオンポンプで排気する。真空槽の圧力が 2×10^{-6} Torr以下になるまで排気する。
- ⑤ イオンポンプを動作させたままVLVを調整して、Arガスを導入し、真空槽の圧力を $2 \sim 5 \times 10^{-5}$ Torrに保ち、約20分間保持する。(Ar処理)
- ⑥ VLVを閉じ、 V_1 を閉じる。(処理完了)
- ⑦ Arガス導入系を解体する。

3. Ar処理による結果及び特性曲線の算定

本項では、実際のイオンポンプAr処理 (アルゴンボンバード) によって、その排気量がどのように変化するか、およびその算出法について1号機 M_K-I の例を示して説明する。

3.1 Ar処理前後の測定結果

図Ⅲ-3はスパッタイオンポンプのAr処理前および後の水素排気速度と放電電流の測定値である。

測定に使用したポンプはPNC型水素検出用イオンポンプ (PST-1C特) と同型のものである。ここでAr処理前後で、ポンプの特性が如何に変化したかを考察する。

いま、ゲージ部におけるポンプの有効排気速度を S (ℓ/sec)、ポンプ内における排気速度を S_0 (ℓ/sec)、ゲージ部の圧力 P_e (Torr)、ポンプ内圧力 P_0 (Torr)、ゲージ部からポンプまでの

コンダクタンスを C (ℓ/sec) とするとこれらの諸量の間に次式が成立する。

$$1/S_e = 1/C + 1/S_o \quad (\text{III}-1)$$

$$P_o S_o = P_e S_e \quad (\text{III}-2)$$

ポンプの個有の特性としては、上式中の S_o の他に I/P (Torr) という値がある。 I/P は放電電流をポンプの動作圧力で除した値である。

このうち、 S_o は処理などの履歴により変化する量であるが、 I/P は動作圧力 P におけるポンプの放電特性（放電気体の種類、ポンプの幾何学的構造陽極電気磁場により規定される）であるから、処理などの履歴により変化しない量である。 I/P はみかけ上の値、 I/P_e から次のようにして算出することができる。

$$I/P \equiv I/P_o = I/P_e \cdot P_e/P_o = I/P_e \cdot S_o/S_e \quad (\text{III}-2 \text{ 式より}) \quad (\text{III}-3)$$

図 III-3 の結果及び (III-1), (III-2), (III-3) 式を使用して、Ar 処理前後の S_o 及び I/P_o を算出した値を表 III-1 に示す。

この表から見られるように、 S_o は Ar 処理後で、 $54.3/12.8 = 4.24$ 倍になっている。一方 I/P_e (見かけ上の I/P) は処理前後で変化しているが、 I/P_o は変化していないのがわかる。このことは、この方式による算定の正確さを示す 1 つの裏づけと考えられる。

3.2 PNC 型 1 号機 M_K-I におけるイオンポンプの Ar 処理後の特性曲線

3.1 の結果より、PNC 型水素検出計 1 号機 M_K-I のシュルツゲージ部での特性曲線は次のような手順で求められる。

Ar 処理前後で、 S_o の値をそれぞれ S_{o1} , S_{o2} ; S_e の値を S_{e1} , S_{e2} ; I/P_e の値を $(I/P_e)_1$, $(I/P_e)_2$ としておく。またシュルツゲージ部からポンプまでコンダクタンスを C_e とする。この中で既知の数値は、 S_{e1} , $(I/P_e)_1$, C_e , S_{o2}/S_{o1} であり、 S_{o1} , S_{e1} に対して (III-1) 式が成立するので、

$$S_{o1} = C_e \cdot S_{e1} / C_e - S_{e1} \quad (\text{III}-1)'$$

で S_{o1} が求まる。

3.1 の結果である $S_{o2}/S_{o1} = 4.24$ の関係から

$$S_{o2} = 4.24 C_e \cdot S_{e1} / C_e - S_{e1} \quad (\text{III}-4)$$

で S_{o2} が求まる。 S_{o2} と S_{e2} に関しては III-(1) 式が成立するので、

$$S_{e2} = C_e \cdot S_{o2} / C_e + S_{o2} \quad (\text{III}-1)''$$

となり、(III-4), (III-1)'' 式より、 S_{e2} を求めることができる。

一方 (III-3) 式の関係から

$$I/P_o = (I/P_e)_1 \cdot S_{o1} / S_{e1} = (I/P_e)_2 \cdot S_{o2} / S_{e2} \quad (\text{III}-3)'$$

が成立するので、

$$(I/P_e)_2 = (I/P_e)_1 \cdot S_{o1} / S_{e1} \cdot S_{e2} / S_{o2} \quad (\text{III}-5)$$

となり $(I/P_e)_2$ が求まる。

一方、PNC型1号機M_K-IのAr処理前のイオンポンプの排気速度は、10.5 (ℓ/sec) および 0.75 (ℓ/sec) であった。これ等の値がAr処理によって次に示す値に増加することが判る。

(a) イオンポンプ (大) PNC-1C 特の S_{e2} 及び $(I/P_e)_2$

(Ⅲ-4), (Ⅲ-1)'' 式において, $S_{e1} = 10.5 \text{ ℓ/sec}$, $C_e = 47 \text{ ℓ/sec}$ を使用して, $S_{e2} = 25.8 \text{ ℓ/sec}$ となる。即ち, Ar処理前と後において, シュルツゲージ部における排気速度は $S_{e1}/S_{e2} = 2.46$ 倍となり, また, (Ⅲ-5)式から, $(I/P_e)_2 = 0.58 \times (I/P_e)_1$ となる。

即ち, シュルツゲージ部でのポンプの見かけ上の I/P はAr処理前の値の0.58倍になる。

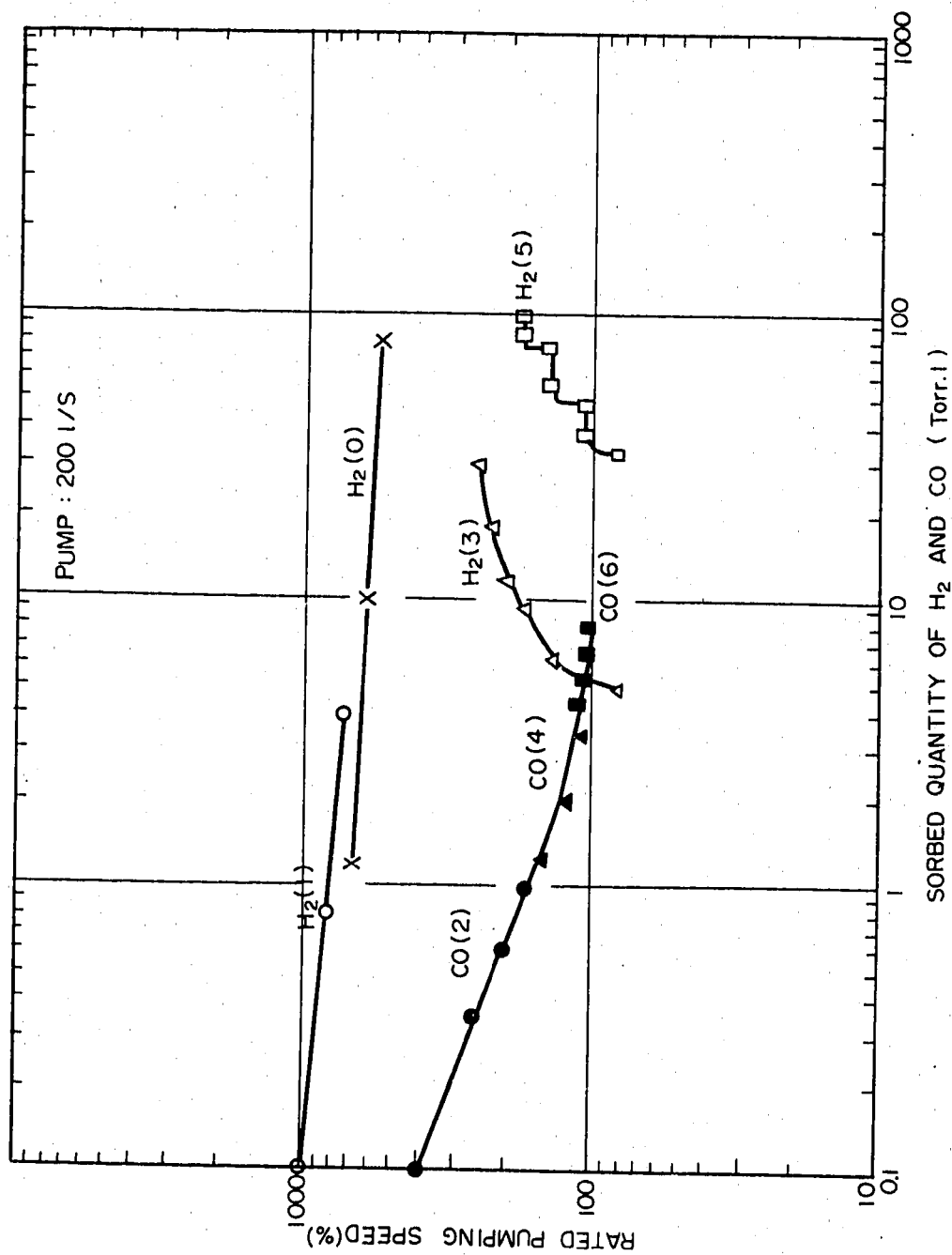
(b) イオンポンプ (小) PST-AP (特) の S_{e2} 及び $(I/P_e)_2$

(Ⅲ-4), (Ⅲ-1)'' 式において, $S_{e1} = 0.75 \text{ ℓ/sec}$, $C = 16 \text{ ℓ/sec}$ を使用して $S_{e2} = 2.76 \text{ ℓ/sec}$ となる。即ち, Ar処理前後で, シュルツゲージ部における排気速度は, $S_{e2}/S_{e1} = 3.68$ 倍となり, また, (Ⅲ-5)式から $(I/P_e)_2 = 0.87 (I/P_e)_1$ となり, ポンプの見かけ上の I/P はAr処理前の値の0.87倍になる。

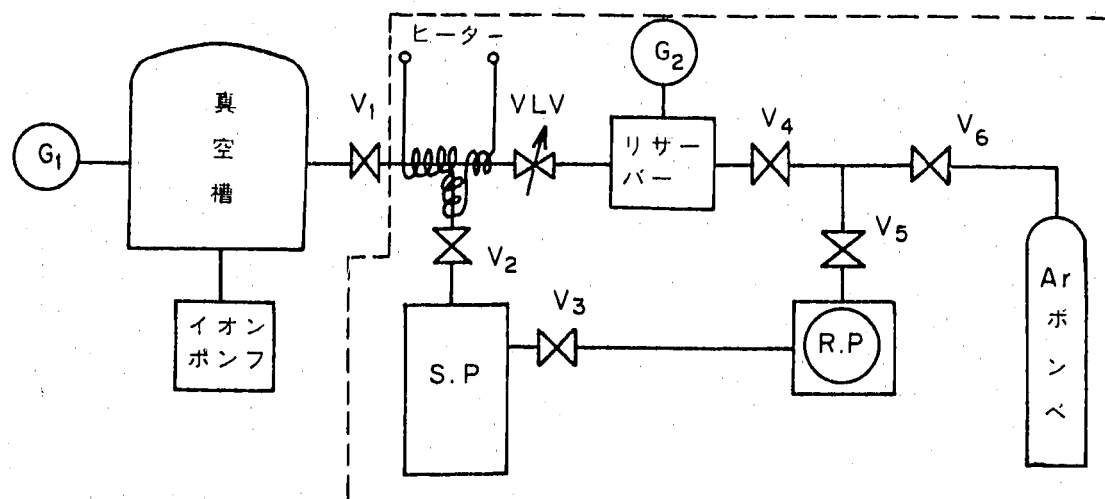
なお, 参考文献(2)の図4.3-6 (イオンポンプ (大) の排気速度) および図4.3-8 (同 (小) のもの) は以上の評価を加えた結果求まったものである。

表Ⅲ-1 Ar処理前後の数値比較 ($C = 78 \text{ ℓ/sec}$ で計算)

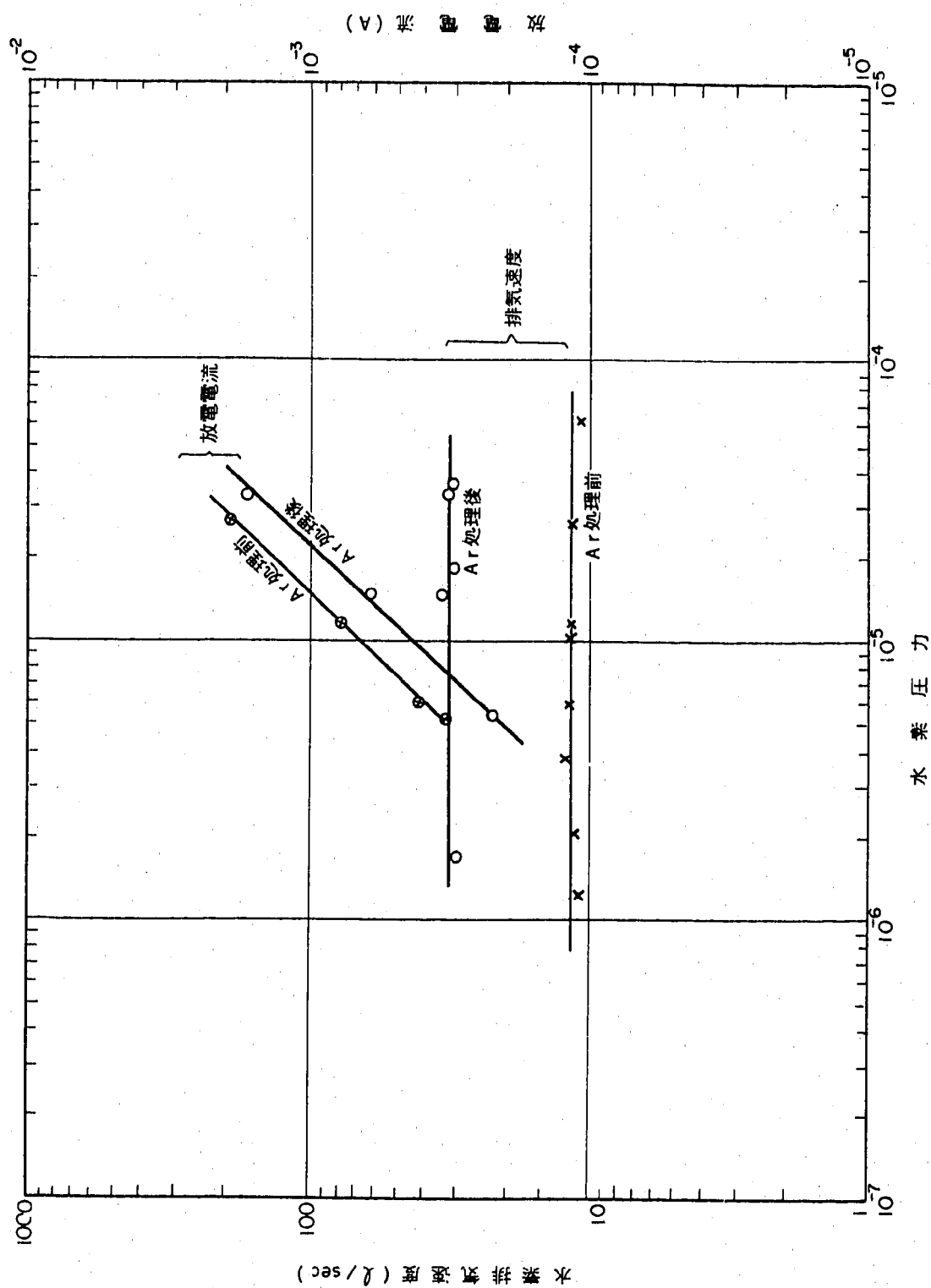
	$S_e (\text{ℓ/sec})$	$S_o (\text{ℓ/sec})$	$I/P_e (\text{A/Torr})$	$I/P_o (\text{A/Torr})$
Ar 処理前	11.5	12.8	65	75.6
" 後	32.0	54.3	44	74.7



図Ⅲ-1 イオンポンプ排気速度変化とAr処理の効果



図Ⅲ-2 Ar処理のための系統図



図Ⅲ-3 Ar 処理前後のイオンポンプ排気速度放電電流の相異

付録一Ⅳ Na到達時間計算書

下記に示す式に依り各部に於ける所要時間を算出し、それらを総合して、Na 到達時間とする。
(各 T に対する位置は図Ⅳ-1 参照のこと)

$$T = \frac{L \times S}{V} \times 3600$$

但し T = 所要時間 (s)

L = 長さ (m)

S = 断面積 (m²)

V = Na 流量 0.143 (m³/h) (但し Na ノズル部は半分)

$$T_1 = \frac{0.02 \times 1.327 \times 10^{-4}}{0.143} \times 3600 = 0.067 \quad (\text{s})$$

$$T_2 = \frac{0.03 \times 5.31 \times 10^{-4}}{0.143} \times 3600 = 0.401 \quad (\text{s})$$

$$T_3 = \frac{0.29 \times 1.51 \times 10^{-4}}{0.143} \times 3600 = 1.102 \quad (\text{s})$$

$$T_4 = \frac{0.03 \times 3.14 \times 10^{-4}}{0.143} \times 3600 = 0.237 \quad (\text{s})$$

$$T_5 = \frac{0.02 \times 2.035 \times 10^{-4}}{0.143} \times 3600 = 0.102 \quad (\text{s})$$

$$T_6 = \frac{0.216 \times 2.035 \times 10^{-4}}{0.143} \times 3600 = 1.107 \quad (\text{s})$$

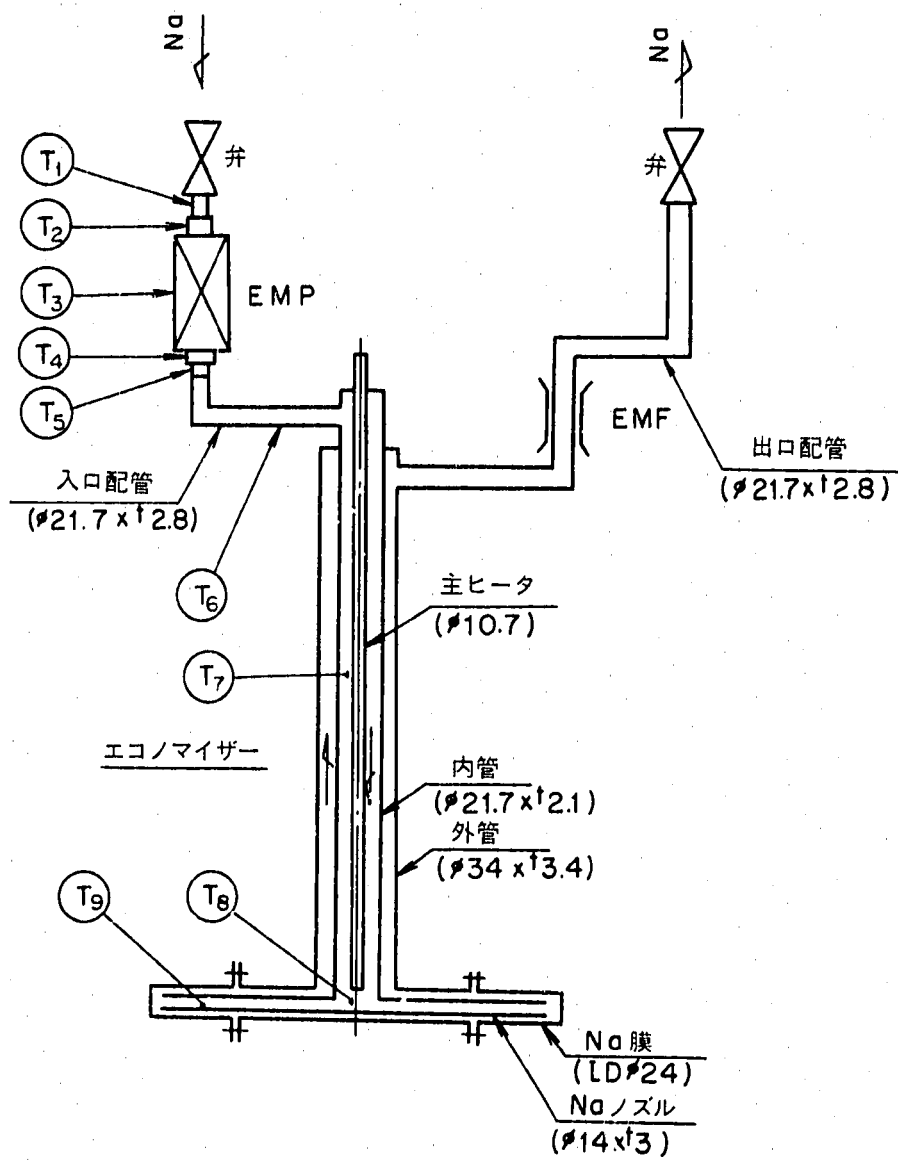
$$T_7 = \frac{0.963 \times 1.533 \times 10^{-4}}{0.143} \times 3600 = 3.720 \quad (\text{s})$$

$$T_8 = \frac{0.016 \times 1.13 \times 10^{-4}}{0.143} \times 3600 = 0.046 \quad (\text{s})$$

$$T_9 = \frac{0.31 \times 5.024 \times 10^{-4}}{0.0715} \times 3600 = 0.784 \quad (\text{s})$$

$$T_{\text{TOTAL}} = 7.566 \quad (\text{s})$$

$$T_{\text{TOTAL}} = 7.566 \quad (\text{s}) < 10 \quad (\text{s})$$



図Ⅳ-1 PNC型Na中水素検出計 (2号機) Na到達時間計算対応図

付録-V 水素計校正試験データ処理コード HYDAC-1

本項はFACOM230 OS 2/VSを用いて校正試験で得られたデータを一括処理をさせる事を目的に作成した水素計校正試験データ処理コードHYDAC-1について説明する。

1. 計算コードの機能と構成

本計算コードは、三つのサブ・プログラムと、それをコントロールするメイン・プログラムから構成されている。このメインプログラムにより水素計データの読み込み、分類、仕分け、計算結果出力、サブプログラムが実行される。

図V-1に本コードのフローチャートを、表V-1にプログラムリストを表V-2に出力リスト形式を、2項にサブプログラムの機能、3項に入力データの形式をそれぞれ示す。

計算は全てサブプログラムで行なっているが、詳しい計算方法は本書6.1項を参照されたい、ここでは簡単に使用した計算式のみを示す。

2. サブプログラムの機能

2.1 サブルーチン CALIB

水素計の指示値（イオンポンプ、ヌードゲージ、シュルツゲージ）は、校正曲線により実際の水素ガス圧力に直す必要があるが、その手間をはぶいたのが、このプログラムである。

前もって校正値を入力した時は、このサブルーチンは実行しない。

2.2 サブルーチン THERMA

サーマルトランスピレーション値を（FT）を求めるプログラムで、以下に計算式を示す。

$$FT = \frac{AX^2 + BX + C \sqrt{X + \sqrt{T_1/T_2}}}{AX^2 + BX + C \sqrt{X} + 1} \quad (V-1)$$

$$X = P_2 d$$

$$A = 1.24 \times 10^5 / T^2$$

$$B = 800 / T$$

$$C = 10.6 / \sqrt{T}$$

$$T = (T_1 + T_2) / 2 + 273.0$$

ここで P_2 = シュルツゲージ部圧力 [TORR]

d = ゲージの配管しほり径 [mm]

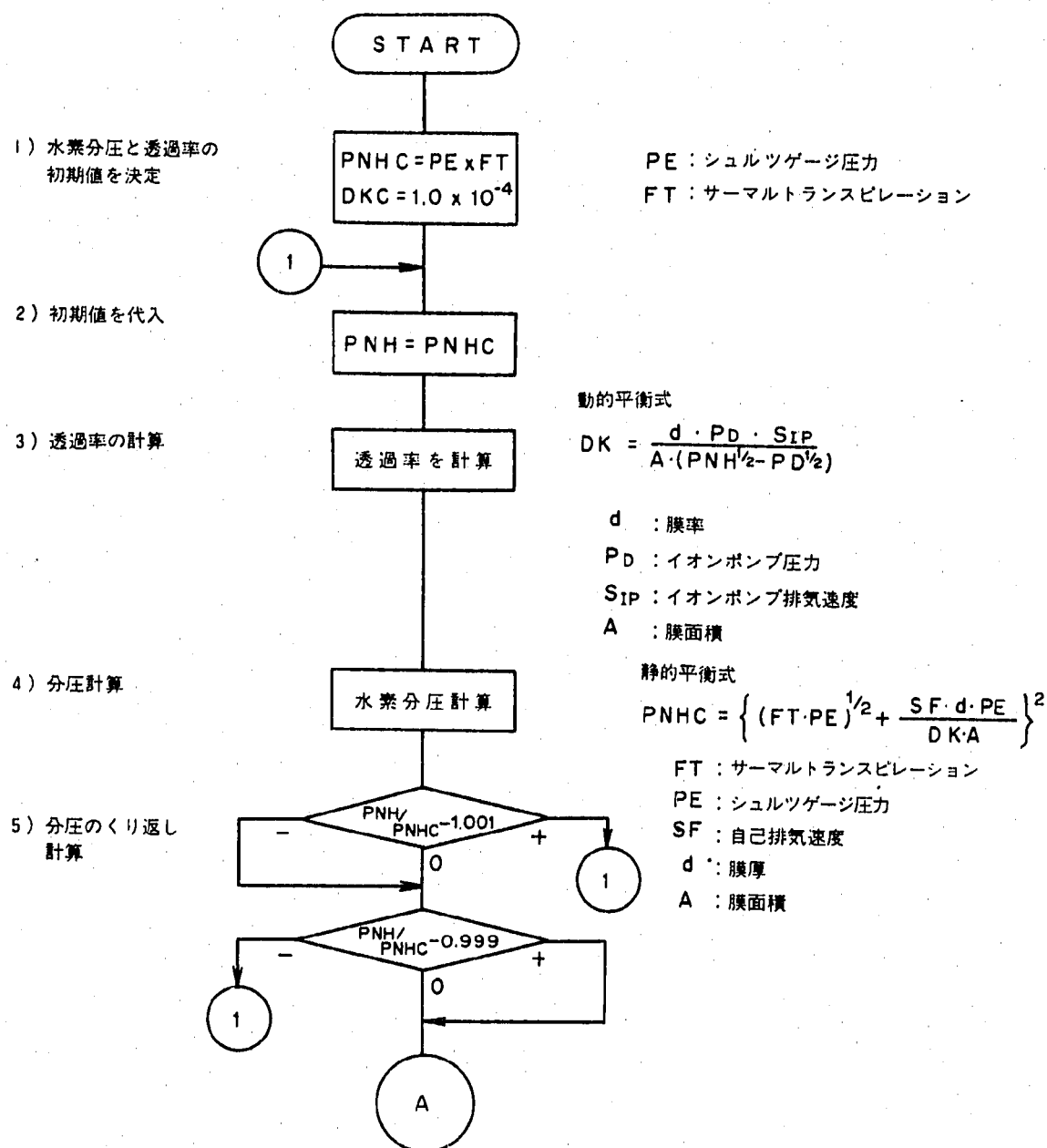
T_1 = 膜部の絶対温度 [°K]

T_2 = ゲージ部の絶対温度 [°K]

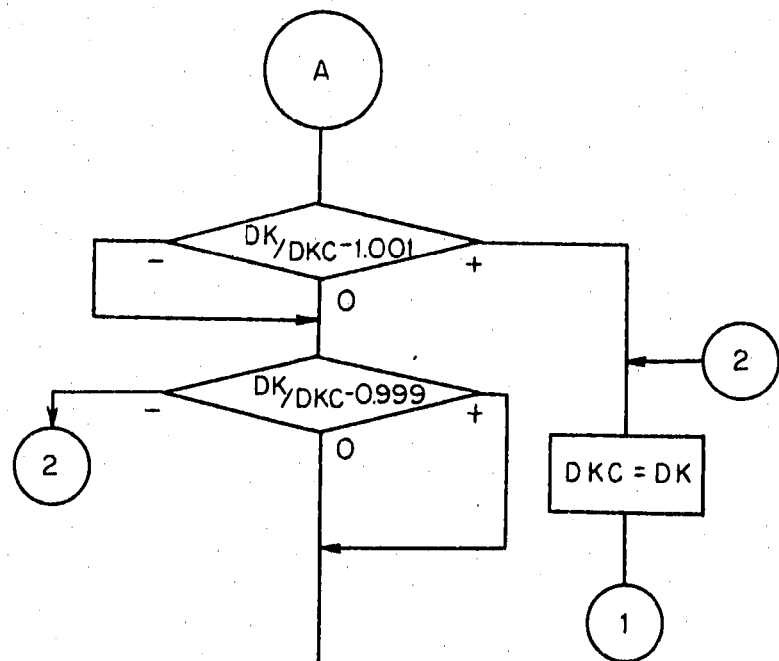
2.3 サブルーチン HHNODO

最終的な計算を行なうところで、Na 中水素分圧、Na 中水素濃度、水素透過率、CT 温度による水素濃度を計算する。

以下、計算過程のフローチャートを示す。



6) 透過率の
くり返し計算



ジーベルツ
定数計算

$$\text{Log}_{10} K = 0.86 - \frac{122.0}{T_M}$$

T_M : N_i 膜温度

7) Na中水素濃度計算

$$C_{NH} = K \cdot P_{NHC}^{1/2}$$

P_{NHC} : Na中水素分圧

C1 温度による
水素濃度計算

$$\log S_H = 6.067 - \frac{2880}{T^{\circ}K}$$

E N D

2.4 計算式

1) Sieverts 定数 (Visser's の式)

$$\log_{10} K_H = 0.86 - \frac{122.0}{T_M} \quad (V-2)$$

K_H : Sieverts 定数 [ppm/torr^{1/2}]

T_M : Ni膜温度 [°K]

2) 飽和水素濃度 (Visser's の式)

$$\log_{10} S_H = 6.067 - \frac{2880}{T} \quad (V-3)$$

S_H : Na 中水素濃度 [ppm]

T : CT 温度 [°K]

3) 静的平衡圧からの水素濃度の計算

$$C_{NH} = K_H \cdot P_{NH}^{1/2} \quad (V-4)$$

$$P_{NH} = \left\{ F_i^{1/2} \cdot P_G^{1/2} + \frac{S_F \cdot d}{K \cdot A} P_G \right\}^2 \quad (V-5)$$

$$K = \frac{d \cdot P_D \cdot S_{IP}}{A (P_{NH}^{1/2} - P_D^{1/2})} \quad (V-6)$$

ここに C_{NH} : Na 中水素濃度 [ppm]

P_{NH} : Na 中水素分圧 [torr]

P_G : シュルツゲージ圧力 [torr]

P_D : イオンポンプ圧力 [torr]

S_{IP} : イオンポンプ排気速度 [cm³/sec]

S_F : ゲージ排気速度 [cm³/sec]

d : 膜厚 [cm]

A : 膜面積 [cm²]

3. 入力データの形式

このコードでは、平衡圧試験を1回行なった場合、そのデータを二枚一組のカードで処理するもので、前者は試験No.、日付等の情報を、後者は検出計で得られたデータをパンチする。

以下、入力の仕方を述べる。

3.1 一枚目のカード

1	5 6	10 11	15 16	20 21	25 26	30 31	35
I	J	K	NYEAR	MON	NDAY	M	

715

I : ループの識別コード

= 1 (SWAT-2)	PNC 型 1 号機 (M _K - II)
= 2 (")	" 2 号機 (M _K - I, III)
= 3 (Na 技開室)	PNC 型 2 号機 (M _K - II Na 1)
= 4 (2 MW 燃料ピン)	" (M _K - II Na 5)
= 5 (2 MW 酸素計)	" (M _K - II Na 3)
= 6 (2 MW サンプリング計)	" (M _K - II Na 4)
= 7 (50 MWSG)	" (M _K - II Na 2)

J : データナンバー

K : サブナンバー

NYEAR : 年

MON : 月

NDAY : 日

M = 0 : 入力データを校正する場合

= 1 : 入力データを校正しない場合

3.2 二枚目のカード

1	10 11	20 21	30 31	40 41	50 51	60
AIP	ANUDE	SHU	TEMP	CTEMP	GTEMP	

F10.0

2E10.3

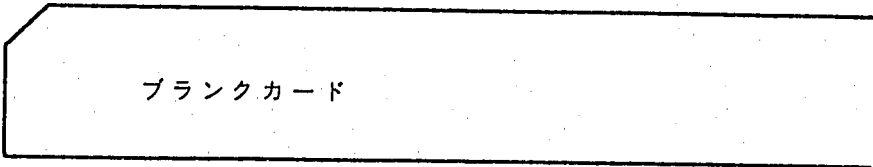
3F10.0

AIP	: イオンポンプ出力	単位 [μA]
ANUDE	: ノードゲージ出力	単位 [TORR]
SHU	: シュルツゲージ出力	単位 [TORR]
TEMP	: Ni 膜温度	単位 [°C]
CTEMP	: コールドトラップ温度	"

GTEMP：シュルツゲージ部温度 単位〔℃〕

3.3 その他

データ処理を終了させる場合、一番最後にブランクカードを一枚加えると処理が終了する。



ブランクカード

表V-1: HYDAC-1プログラムリスト

```

FACOM 230 052/VS      FORTRAN E      V-02 L-10      DATE 79.01.26      TIME 15.18      PAGE 0001

C
C      HYDAC-1 MAIN PROGRAM
C
C      IN-SODIUM HYDROGEN METER EQUILIBRIUM PRESSURE ANALYSIS
C
      L=0
      5 IF(L) 10,10,101
      10 WRITE(6,100)
      100 FORMAT(1H1,/)
      101 READ(5,102) J,K,NYEAR,MON,NDAY,M
      102 FORMAT(7I5)
      IF(1.EQ.0) GO TO 900

C      PRINT OF DATA NUMBER AND DATE
C
      GO TO (110,112,114,116,118,120,122),I
      110 WRITE(6,111) J,K,NYEAR,MON,NDAY
      111 FORMAT(20X,15H***** DATA NO.,15,1H-,15,2X,
      121H(SWAT-2 NO.1) DATE,15,1H.,15,1H.,15,6H *****)
      GO TO 130
      112 WRITE(6,113) J,K,NYEAR,MON,NDAY
      113 FORMAT(20X,15H***** DATA NO.,15,1H-,15,2X,
      121H(SWAT-2 NO.2) DATE,15,1H.,15,1H.,15,6H *****)
      GO TO 130
      114 WRITE(6,115) J,K,NYEAR,MON,NDAY
      115 FORMAT(20X,15H***** DATA NO.,15,1H-,15,2X,
      118H(CVA GIKAI) DATE,15,1H.,15,1H.,15,6H *****)
      GO TO 130
      116 WRITE(6,117) J,K,NYEAR,MON,NDAY
      117 FORMAT(20X,15H***** DATA NO.,15,1H-,15,2X,
      117H(2Mw PIN) DATE,15,1H.,15,1H.,15,6H *****)
      GO TO 130
      118 WRITE(6,119) J,K,NYEAR,MON,NDAY
      119 FORMAT(20X,15H***** DATA NO.,15,1H-,15,2X,
      122H(2Mw O2 METER) DATE,15,1H.,15,1H.,15,6H *****)
      GO TO 130
      120 WRITE(6,121) J,K,NYEAR,MON,NDAY
      121 FORMAT(20X,15H***** DATA NO.,15,1H-,15,2X,
      122H(2Mw SAMPLING) DATE,15,1H.,15,1H.,15,6H *****)
      GO TO 130
      122 WRITE(6,123) J,K,NYEAR,MON,NDAY
      123 FORMAT(20X,15H***** DATA NO.,15,1H-,15,2X,
      117H(50Mw SG) DATE,15,1H.,15,1H.,15,6H *****)

C      DATA INITIALIZATION
C
      130 GO TO (140,145,145,145,145,145,145,150),I
      140 SIP=25000.0
      UNEM=0.050
      ANEM=150.0
      SF=0.0
      D=16.0
      GO TO 160
      145 SIP=23000.0
      UNEM=0.050
      ANEM=150.0
      SF=0.0
      D=10.0
      0001
      0002
      0003
      0004
      0005
      0006
      0007

      0008
      0009
      0010
      0011
      0012
      0013
      0014
      0015
      0016
      0017
      0018
      0019
      0020
      0021
      0022
      0023
      0024
      0025
      0026
      0027
      0028

      0029
      0030
      0031
      0032
      0033
      0034
      0035
      0036
      0037
      0038
      0039
      0040

```

```

0041 FACOM 230 US2/V5 FOKTRAN E FTMAIN V-02 L-10 DATE 79.01.26 TIME 15.18 PAGE 0002
0042 GO TO 160
0043 150 SIP=14700.0
0044 DMEK=0.025
0045 AMEK=140.7
0046 SF=1.20
0047 D=33.0
0048 160 CONTINUE
0049 WRITE(6,200)
0050 200 FORMAT(/,/,5X,18H*** FIXED DATA ***)
0051 201 FORMAT(/,7X,13H SIP (CM3/S),7X,13HMAKUA TSU (CM),7X, (MM))
0052 113HMEM AREA(C*2),7X,13HS FIL (CM3/S),7X,13HD
0053 WRITE(6,202)SIP,AMEN,AMEN,SF,D
0054 202 FORMAT(/,10X,F10.1,10X,F10.3,10X,F10.1,10X,F10.2,10X,F10.1)
0055 C
0056 C PRINT OF INPUT DATA
0057 C
0058 WRITE(6,300)
0059 300 FORMAT(/,5X,17H*** INDICATED ***)
0060 WRITE(6,310)
0061 310 FORMAT(/,7X,13HIP C(MICRO A),7X,13HNUDE G (TORR),7X,
0062 113HSHUL G (TORR),7X,13HMEM TEMP (C),7X,13HCI TEMP (C),7X,
0063 213HAGE TEMP (C))
0064 HEAD(3,320)AIP,ANUDE,SHU,TEMP,CTEMP,GTTEMP
0065 320 FORMAT(F10.0,2E10.3,3F10.0)
0066 IF(M.EQ.1) GO TO 400
0067 WRITE(6,330)AIP,ANUDE,SHU,TEMP,CTEMP,GTTEMP
0068 330 FORMAT(/,10X,F10.3,10X,F10.3,10X,F10.3,10X,0PF10.1,10X,
0069 F10.1,10X,F10.1)
0070 WRITE(6,340)
0071 340 FORMAT(/,5X,16H*** CALIBRATED ***)
0072 WRITE(6,350)
0073 350 FORMAT(/,7X,13HIP PRES(TORR),7X,13HNUDE G (TORR),7X,
0074 113HSHUL G (TORR))
0075 CALL CALIB(AIP,ANUDE,SHU,PD,PN,PE,I)
0076 C
0077 C PRINT OF CALIBRATED DATA
0078 C
0079 WRITE(6,360)PD,PN,PE
0080 360 FORMAT(/,10X,F10.3,10X,F10.3,10X,F10.3)
0081 GO TO 450
0082 400 WRITE(6,410)TEMP,CTEMP,GTTEMP
0083 410 FORMAT(/,10X,F10.1,10X,F10.1,10X,F10.1,10X,F10.1,10X,F10.1,
0084 110X,F10.1)
0085 WRITE(6,420)
0086 420 FORMAT(/,5X,16H*** CALIBRATED ***)
0087 WRITE(6,430)
0088 430 FORMAT(/,7X,13HIP PRES(TORR),7X,13HNUDE G (TORR),7X,
0089 113HSHUL G (TORR))
0090 WRITE(6,440)AIP,ANUDE,SHU
0091 440 FORMAT(/,10X,F10.3,10X,F10.3,10X,F10.3,10X,F10.3)
0092 450 CONTINUE
0093 C
0094 C THERMAL TRANSPIRATION
0095 C
0096 CALL THERMA(PE,TEMP,GTTEMP,FT,D)
0097 C
0098 C CALCULATION
0099 C

```

	FACOM 230 OS2/VS	FORTAN E	FTMAIN	V-02 L-10	DATE 79.01.26	TIME 15.18	PAGE 0003
0081	C	CALL HNNODO(PE,FT,PD,PNHC,CNH,CNHV,CTEMP,TEMP,DK,SIP,AMEM,DMEM,SF)					
0082		WRITE(6,500)					
0083		500 FORMAT(/,5X,18H*** CALCULATED ***)					
0084		WRITE(6,510)					
0085		510 FORMAT(/,7X,13HPNH (TORR),7X,13HCNH (PPM),7X, 113HDK(TORR-CM-S),7X,13HFT .7X,13HSAT CNH (PPM))					
0086		WRITE(6,520)PNHC,CNH,DK,FT,CNHV					
0087		520 FORMAT(/,10X,1PE10,3,10X,0PF10,3,10X,1PE10,3,10X,0PF10,3,10X,1F10,3 1,//////)					
0088		L=L+1					
0089		GO TO 5					
0090		900 STOP					
0091		END					

FACOM 230 OS2/VS FORTRAN E CALIB V-02 L-10 DATE 79.01.26 TIME 15.18 PAGE 0004

0001 SUBROUTINE CALIB(AIP,ANUDE,SHU,PD,PN,PE,I)

0002 GO TO (500,510,520,530,540,550),I

C

SWAT-2 NO.1

C

0003 500 PD=5.2E-8*AIP**0.88591

0004 PN=1.65*ANUDE

0005 PE=1.72*SHU

0006 GO TO 560

C

SWAT-2 NO.2 MK=3

C

0007 510 PD=3.840E-8*AIP**0.9597

0008 PN=2.65*ANUDE

0009 PE=1.111*SHU

0010 GO TO 560

C

NA GIKAI

C

0011 520 PD=3.7E-8*AIP**0.96555

0012 PN=2.6*ANUDE

0013 PE=2.1*SHU

0014 GO TO 560

C

2MW PIN

C

0015 530 PD=3.7E-8*AIP**0.96555

0016 PN=2.6*ANUDE

0017 PE=1.85*SHU

0018 GO TO 560

C

2MW O2 METER

C

0019 540 PD=3.7E-8*AIP**0.96555

0020 PN=2.6*ANUDE

0021 PE=1.95*SHU

0022 GO TO 560

C

2MW SAMPLING

C

0023 550 PD=3.7E-8*AIP**0.96555

0024 PN=2.6*ANUDE

0025 PE=1.7*SHU

0026 560 RETURN

0027 END

```

FACOM 230 OS2/VS    FORTRAN E    THERMA    V-02 L-10    DATE 79.01.26    TIME 15.18    PAGE 0005

0001      SUBROUTINE THERMA(PE,TEMP,GTEMP,FT,D)
C
C      THERMAL TRANSPIRATION CALCULATION
C
0002      AA=1.24E05
0003      BB=800.0
0004      CC=10.6
0005      T=((GTEMP+TEMP)/2.0+273.0
0006      A=AA/T/T
0007      B=BB/T
0008      C=CC/SQRT(T)
0009      X=PE*D
0010      FT=(A*X*X+B*X+C*SQRT(X)+1.0)/(A*X*X+B*X+C*SQRT(X)
1+SQRT((273.0+GTEMP)/(273.0+TEMP)))
      RETURN
      END
0011
0012

```

FACOM 230 OS2/VS FORTRAN E HHNODO V-02 L-10 DATE 79.01.26 TIME 15.18 PAGE 0006

0001 SUBROUTINE HHNODO(PE,FT,PD,PNHC,CNH,CNHV,CTEMP,TEMP,DK,SIP,AMEM,
1DMEM,SF)C
C
C

CALCULATION*

PNHC=PE*FT

DKC=1.0E-4

700

PNH=PNHC

DK=DMEM*PD*SIP/AMEM/(SQRT(PNH)-SQRT(PD))

PNHC=(SQRT(FT*PE)+SF*DMEM*PE/DK/AMEM)**2

IF(PNH.CGT.1.0E5) GO TO 800

IF(PNH/PNHC-1.001) 750,750,700

750 IF(PNH/PNHC-0.999) 700,760,760

760 CONTINUE

IF(DK/DKC-1.001) 770,770,775

770 IF(DK/DKC-0.999) 775,780,780

775 DKC=DK

GO TO 700

780 CONTINUE

C CALCULATION OF HYDROGEN CONCENTRATION IN SODIUM

SIEC=10.0**(0.86-122.0/(TEMP+273.0))

CNH=SIEC*SQRT(PNHC)

CNHV=10.0**(6.067-2880.0/(CTEMP+273.0))

GO TO 900

800 WRITE(6,850)

850 FORMAT(/,10X,25H***** PNHC OVERFLOW *****1H1)

900 RETURN

END

0023

表V-2: HYDAC-1出力リスト形式

以下の形式でラインプリンタに打ち出される。

注: () 内は説明文

***** DATA No = 1 - 1 (SWAT-2 No 1) DATA 52.12.1 *****

*** FIXED DATA ***

SIP (CM ³ /S)	MAKUATSU (CM)	MEM AREA (CM ²)	SFIL (CM ³ /S)	D (MM)
《イオンポンプ排気速度》	《Ni膜厚さ》	《膜面積》	《ゲージ排気速度》	《シュルツゲージ配管しほり径》
23000.0	0.050	150.0	1.50	10.0

*** INDICATED ***

IPC (MICRO A)	NUDE G (TORR)	SHUL G (TORR)	MEM TEMP (°C)	CT TEMP (°C) GAGE TEMP (°C)
《イオンポンプ電流指示値》	《ヌードゲージ指示値》	《シュルツゲージ指示値》	《膜温度》	《コールドトラップ》 (ゲージ温度)
310.000	1.500E-07	1.500E-07	500.0	150.0 100.0

*** CALIBRATED ***

IP PRES (TORR)	NUDE G (TORR)	SHUL G (TORR)
《イオンポンプ圧力》	《ヌードゲージ圧力》	《シュルツゲージ圧力》
9.000E-07	8.000E-06	8.000E-06

*** CALCULATED ***

PNH (TORR)	CNH (PPM)	DK (TORR-CM-S)	FT	SAT	CNH (PPM)
《Na中水分圧》	《Na中水素濃度》	《透過水素量》	《サーマルトランスピレーション値》	《サートランスピレーション値》	《CT温度から求めた水素濃度》
1.000E-03	0.100	1.000E-03	1.370	1.370	0.100

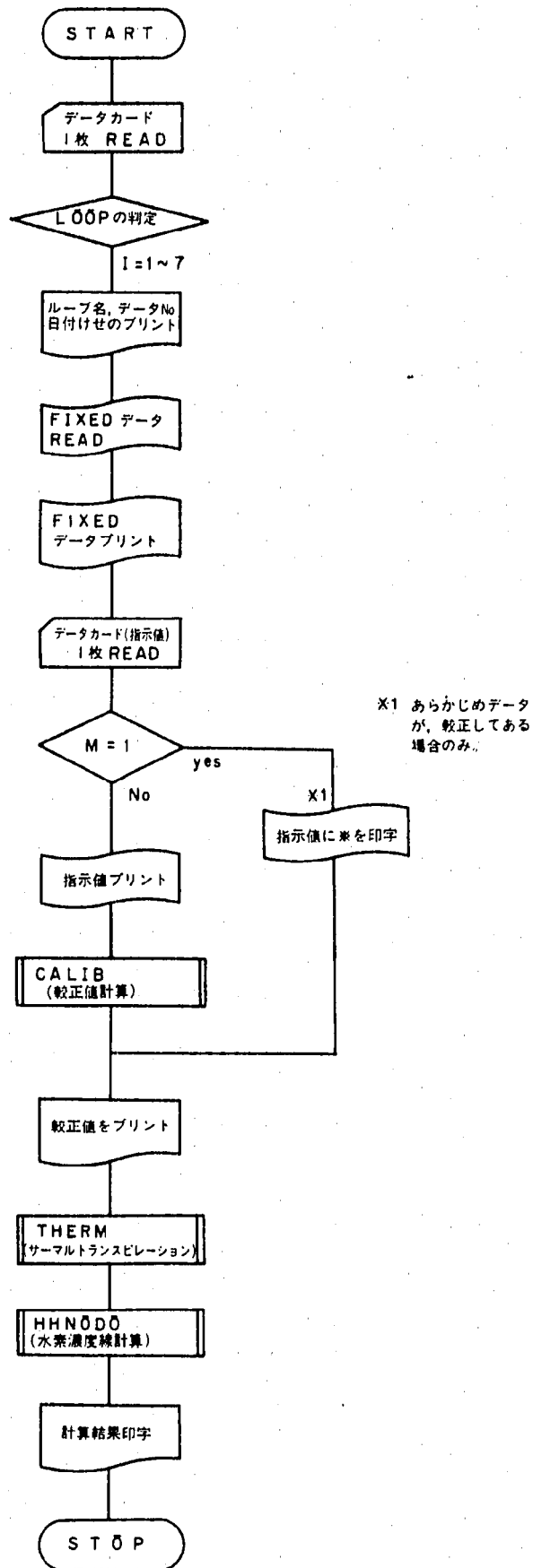


図 V-1 HYDAC-1 プログラムフローチャート

图 表 集

表 2 - 1 : PNC型 Na 中水素検出計(2 号機)基本仕様

1	機 能	高速増殖原型炉「もんじゅ」に適用可能であり，リーク検出機能と濃度測定機能を有すること。
2	構 成	Ni 膜ーイオンポンプ型で動的室，静的室分離型とし，ナトリウム系も含め小型化すること。
3	測定範囲	Na 中水素濃度45ppbから10ppmまで
4	測定精度	Ni 膜部に45ppbから10ppmまでの水素濃度値の±10%変化がステップ状に生じた場合，20秒以内にその変化を確認出来，ナトリウム系も含め系の入口に変化が生じてから30秒以内に検出可能とする。

表 2 - 2 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) Ni 膜部設計仕様

番号	項 目	単 位	仕 様
1	設計温度	℃	500
2	設計圧力	kg/cm ² g	10
3	材 質	——	Nickel 201 相当
4	形 状	——	内圧円筒片持型
5	厚 さ	mm	0.5
6	面 積	cm ²	150 (1 基あたり)
7	基 数	基	2. (動的室, 静的室用各々 1 基ずつ)
8	運転温度	℃	500 ± 1

表 2 - 3 : PNC型 Na中水素検出計(2号機)真空系設計仕様

No.	項 目	単 位	仕 様
1	基本系統		動的平衡室, 静的平衡室分離型 イオンポンプ2基を有する2排気系 主要構成機器は以下のとおり (a)イオンポンプ 2基 (b)シュルツゲージ 1基 (c)電離真空計 1基 (d)止弁, 配管 一式
2	設計圧力	kg/cm ² g	-1~10 .
3	設計温度	℃	保温のかぶる部分: 520 その他の部分 : 室温
4	イオンポンプ 型式 排気速度	ℓ/sec	スパッタイオンポンプ 2 および30
5	真空計測定範囲	Torr	シュルツゲージ: 10 ⁻⁵ ~3 電離真空計 : 10 ⁻¹⁰ ~10 ⁻³
6	真空系 容積 表面積 放出ガス率	cm ³ cm ² Torr・ℓ/ sec・cm ²	500以下目標 350 // 上記条件にて1×10 ⁻¹¹ 以下目標
7	真空計自己排気量	ℓ/sec	4.5×10 ⁻⁶ 以下目標
8	その他 (1)全てのイオンポンプおよび真空計は水素による較正を行うこと。 (2)特にイオンポンプは本系統の組上った状態で上記(1)を実施すること。 (3)イオンポンプのノイズは10 ⁻⁹ Torr 相当以下におさえるように, 使用電圧の調整を行うこと。		

表 2 - 4 : PNC型Na中水素検出計(2号機)ナトリウム系設計仕様

番号	項 目	単 位	仕 様
1	基本系統		ヒータ内蔵エコノマイザ型 主要構成機器は以下のとおり (a) 主ヒータ 1 基 (b) ヒータ内蔵エコノマイザ 1 基 (c) 電磁ポンプ 1 基 (b) 電磁流量計 1 基 (e) Na出入口弁 2 基 (f) 配管, 予熱ヒータ保温 1 式 (g) Ni膜制御用熱電対 11 式
2	設計温度	℃	520
3	設計圧力	kg/cm ² g	10
4	主要材質	—	J I S S U S 304相当
5	Na温度制御	℃	500±1
6	系Na入口温度	℃	Naチャージ時: 200 通常運転時: 320~450
7	熱流力設計条件		
	Na入口温度	℃	200
	Ni膜温度	℃	500
	Na出口温度	℃	270 但し, 通常運転条件中で出入口温度差を 50℃以下にする。
	Na流量	kg/h	系入口からNi膜部までのNa到達時間を 10秒以内とし, Na流量は 5 kg/h以上とする。
8	構造設計適用規格		労働省第一種圧力容器構造規格

表 3-1 : PNC型Na中水素検出計(2号機)Ni膜材料検査成績表

品名・記号	ニッケル板		
寸法 (mm)	1.0 × 150 × 150	製作番号	SV 0069
納入枚数 (Kg)	16 枚 3.30 Kg	製作番号	
注文番号		成績表番号	28 - 26

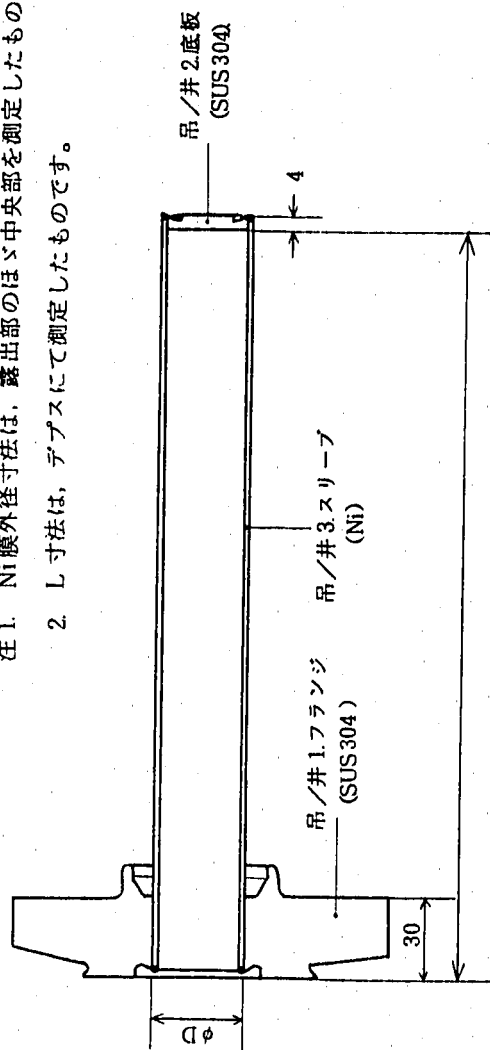
分 析 試 験								
成分% 記号	Ni + Co	Mn	Si	Mg	Fe	Cu	Cr	C S
SV 0069	Bal	0.18	0.01	—	0.017	0.007		0.017 0.001

表 3-2 : PNC型Na中水素検出計(2号機)Ni膜外径,長さ検査成績表

客 先 名	動力炉・核燃料開発事業団	名 称	Ni (拡散) 膜構造部			数 量	7 set 14個	組立図番		工 番							
部 品 名		下 記	材 質		下 記												
{φD} 耐圧時測定 (mm)	加 圧 前 14k 加 圧 后 14k10分経過時 加 圧 終了后	基準寸法	識別No.1	2													
				25.032	24.956	25.011	25.007	25.023	25.013	25.043	25.017	25.023	25.079	25.012	25.082	25.032	25.018
				25.034	24.973	25.023	25.022	25.030	25.021	25.048	25.022	25.023	25.083	25.019	25.086	25.036	25.025
				25.033	24.969	25.022	25.021	25.030	25.022	25.048	25.022	25.023	25.081	25.020	25.086	25.036	25.025
				25.031	24.959	25.010	25.003	25.023	25.016	25.038	25.013	25.012	25.009	25.069	25.084	25.032	25.023
L 寸 法 (mm)		221	221.15	221.10	220.95	220.45	221.10	220.60	221.10	221.15	219.70	221.10	220.0	220.85	220.65		

注 1. Ni 膜外径寸法は、露出部のほぼ中央部を測定したものです。

2. L 寸法は、デプスにて測定したものです。



測定年月日	昭和 52 年 3 月 28 日
測定者	

表 3-3 : PNC型Na中水素検出計(2号機)Ni膜厚測定検査成績表

(単位mm)

No	①			②			③			④		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	0.500	0.500	0.500	0.489	0.503	0.505	0.485	0.509	0.508	0.490	0.513	0.509
2	0.510	0.506	0.495	0.500	0.500	0.501	0.504	0.500	0.497	0.505	0.500	0.502
3	0.509	0.491	0.501	0.515	0.485	0.499	0.509	0.498	0.496	0.514	0.496	0.503
4	0.504	0.504	0.506	0.498	0.499	0.504	0.496	0.504	0.498	0.506	0.500	0.504
5	0.500	0.501	0.506	0.502	0.511	0.489	0.499	0.512	0.490	0.507	0.514	0.493
6	0.501	0.504	0.507	0.506	0.491	0.511	0.506	0.491	0.508	0.509	0.494	0.520
7	0.501	0.506	0.497	0.498	0.491	0.508	0.499	0.491	0.510	0.503	0.491	0.516
8	0.517	0.514	0.494	0.507	0.501	0.503	0.510	0.512	0.487	0.508	0.512	0.493
9	0.505	0.499	0.518	0.504	0.496	0.509	0.506	0.495	0.506	0.505	0.501	0.503
10	0.497	0.500	0.507	0.492	0.505	0.501	0.490	0.500	0.504	0.493	0.510	0.505
11	0.505	0.509	0.515	0.499	0.506	0.509	0.496	0.505	0.508	0.503	0.504	0.508
12	0.513	0.498	0.499	0.510	0.495	0.492	0.510	0.495	0.491	0.502	0.502	0.501
13	0.489	0.518	0.508	0.494	0.514	0.504	0.502	0.508	0.507	0.504	0.510	0.505
14	0.505	0.508	0.504	0.502	0.504	0.506	0.498	0.502	0.514	0.498	0.507	0.519

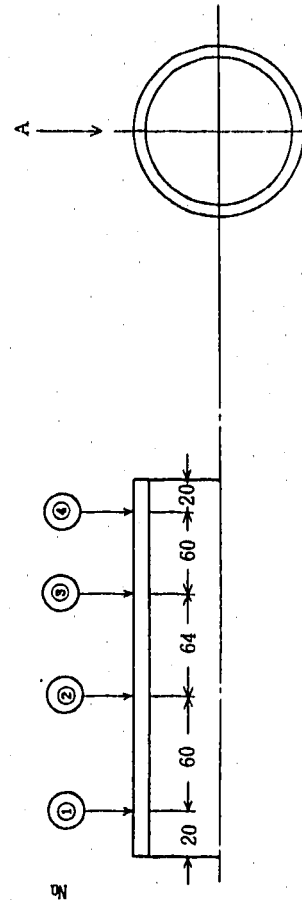
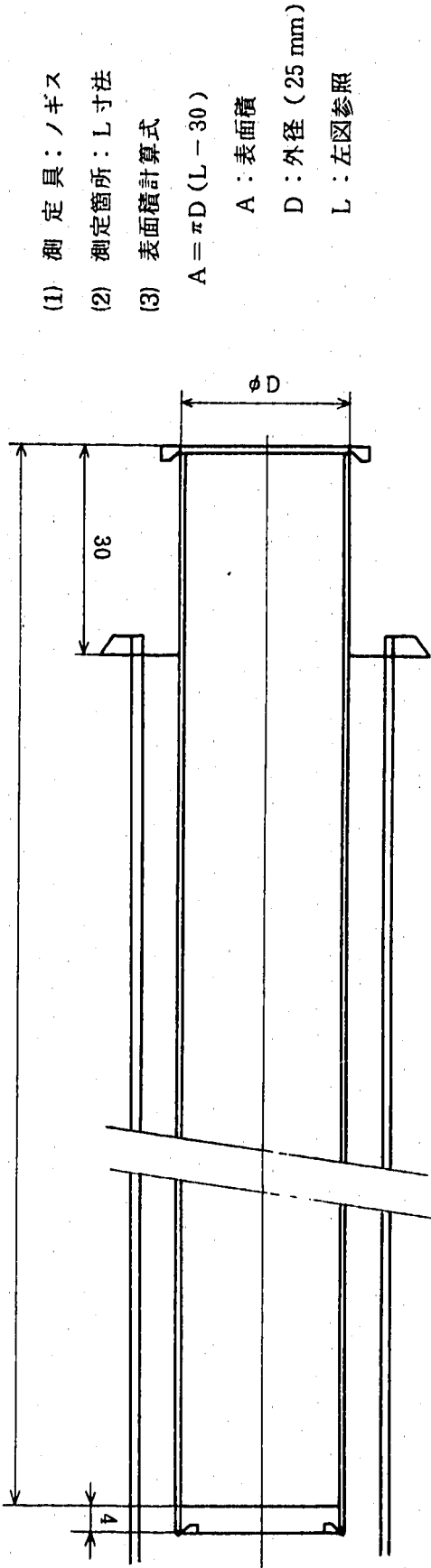


表 3 - 4 : PNC型Na中水素検出計(2号機)Ni膜外表面積測定検査成績表

客 先 名	動力炉・核燃料開発事業団殿	名 称	Ni(拡散)膜構造部	数 量	7 set 14個	組立図番	工 番								
識別No 項目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
基準寸法		221 (mm)													
L (mm)		221.15	221.10	220.95	220.45	221.10	221.15	220.60	221.10	221.15	219.70	221.10	220.60	220.85	220.90
A (cm ²)		150.13	150.09	149.97	149.58	150.09	150.13	149.70	150.09	150.13	148.99	150.09	149.70	149.89	149.93



年 月 日	3/31 '77
記録作成者	

表5.1-1: PNC型Na中水素検出計(2号機)主ヒータ出力, Na出口温度測定結果

No.	項 目	(A)	(B)	(C)	(D)
1	入口(Na)温度	350℃	375℃	420℃	245℃
2	出口(Na)温度	385℃	400℃	出口Na温度 の測定点なし (TE-14) 560℃	320℃
3	Ni膜温度	500℃	500℃	500℃	500℃
4	Na流量	3.1ℓ/min	3.2ℓ/min	3.2ℓ/min	3.2ℓ/min
参考	主ヒーター発熱体 温度	約700℃	約700℃	約700℃	約700℃
5	主ヒータ電圧	測定出来ず	88V	75V	125V
6	主ヒータ抵抗	(3.234Ω)	(3.234Ω)	(3.234Ω)	(3.234Ω)
7	主ヒータ出力	出力パーセント 50%	(2.4KW)	(1.7KW)	(4.8KW)
8	主ヒータ温度設定	NA163: 0-600℃ (500℃)	同	同	同
		P: 15% I: 1.8min D: 0.35min	P: 27.5% I: 0.5分 D: 10分	P: 35% I: 0.5分 D: 1.0分	P: 40% I: 0.5分 D: 1.0分

表5.2-1 (1/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機)Na計装, 計器リスト(その1)

計装番号	測定場所及び対象	測 定		計 器			接続計器番号	安 全 動 作			備 考
		計器番号	測定範囲	計器種別	取付場所			設定	警報	インターロック動作	
					盤	現場					
TE-11	Ni膜部Na温度(1)	TE-11	0-520℃	CA熱電対 T-35-DK9C		○	TRA-11-1 TC-11				(1)規格: ANSI SPECIAL "73"
		TRA-11-1	0-600℃	6訂正温度記録 計 4035- 2151-121-001		○		H 520℃	○	主ヒータ電源OFF	(1)警報: 「Ni膜温度高」
		TC-11	0-600℃	温度調節器 T-35-BK9C		○					(1)規格: ANSI SPECIAL "73"
TE-12	Ni膜部Na温度(2)	TE-12	0-520℃	CA熱電対 T-35-DK9C		○	TRA-11-2				(1)規格: ANSI SPECIAL "73"
		TRA-11-2	0-600℃	TRA-11-1 に同じ		○		H 520℃	○	主ヒータ電源OFF	(1)警報: 「Ni膜温度高」
							FT-11				
FE-11	ナトリウム構造部出口 Na流量	FE-11	0-5 l/min	永久磁石電 磁流量計		○	FRA-11-1				
		FT-11	DC0-1.315 mV	温度電圧増幅器		○					
		FRA-11-1	0-5 l/min	1ペン流量記録 計 4031- 1251-B 42-006		○		L 2 l/min	○	主ヒータ電源OFF, 電磁ポンプ停止	(1)警報: 「Na式量低」
TE-31	電磁ポンプダクト温度	TE-31	0-550℃	CA熱電対 T-35-AK9C		○	TRB-11-3				(1)電磁ポンプ付置
		TRA-11-3	0-600℃	TRA-11-1 に同じ		○		H 550℃	○	電磁ポンプ停止	(1)警報: 「EMPPダクト温度高」
TE-32	電磁ポンプコア温度	TE-32	0-200℃	CA熱電対 T-35-AK9C		○	TRA-11-4				(1)電磁ポンプ付置
		TRA-11-4	0-600℃	TRA-11-1 に同じ		○		H 200℃	○	電磁ポンプ停止	(2)警報: 「EMPPコア温度高」

表5.2-1(2/2)：PNC型Na中水素計(2号機)：Na系計装計器リスト(その2)

計装番号	測定場所及び対象	測 定 計 器				安 全 動 作				備 考
		計器番号	測定範囲	計器種別	取付場所 室内 現場	接続計器番号	設定	ブレー クランプ	インター ロック作 作	
TE-21	Na入口配管表面温度	TE-21	0~250℃	CA熱電対 TC-35-DK9C		○ TC-21				(1)規格：JIS0.75°74
		TC-21	—		○					
TE-22	Na出口配管表面温度	TE-22	0~520℃	CA熱電対 TC-35-DK9C		○ TC-22				(1)規格：JIS0.75°74
		TC-22	—		○					
TE-23	Na構造部上部表面温度	TE-23	0~520℃	CA熱電対 TC-35-DK9C		○ TC-23				(1)規格：JIS0.75°74
		TC-23	—		○					
TE-24	Na構造部下部表面温度	TE-24	0~520℃	CA熱電対 TC-35-DK9C		○ TC-24				(1)規格：JIS0.75°74
		TC-24	—		○					
TE-25	真空系配管表面温度	TE-25	0~520℃	CA熱電対 TC-35-DK9C		○ TC-25				
		TC-25	—		○					

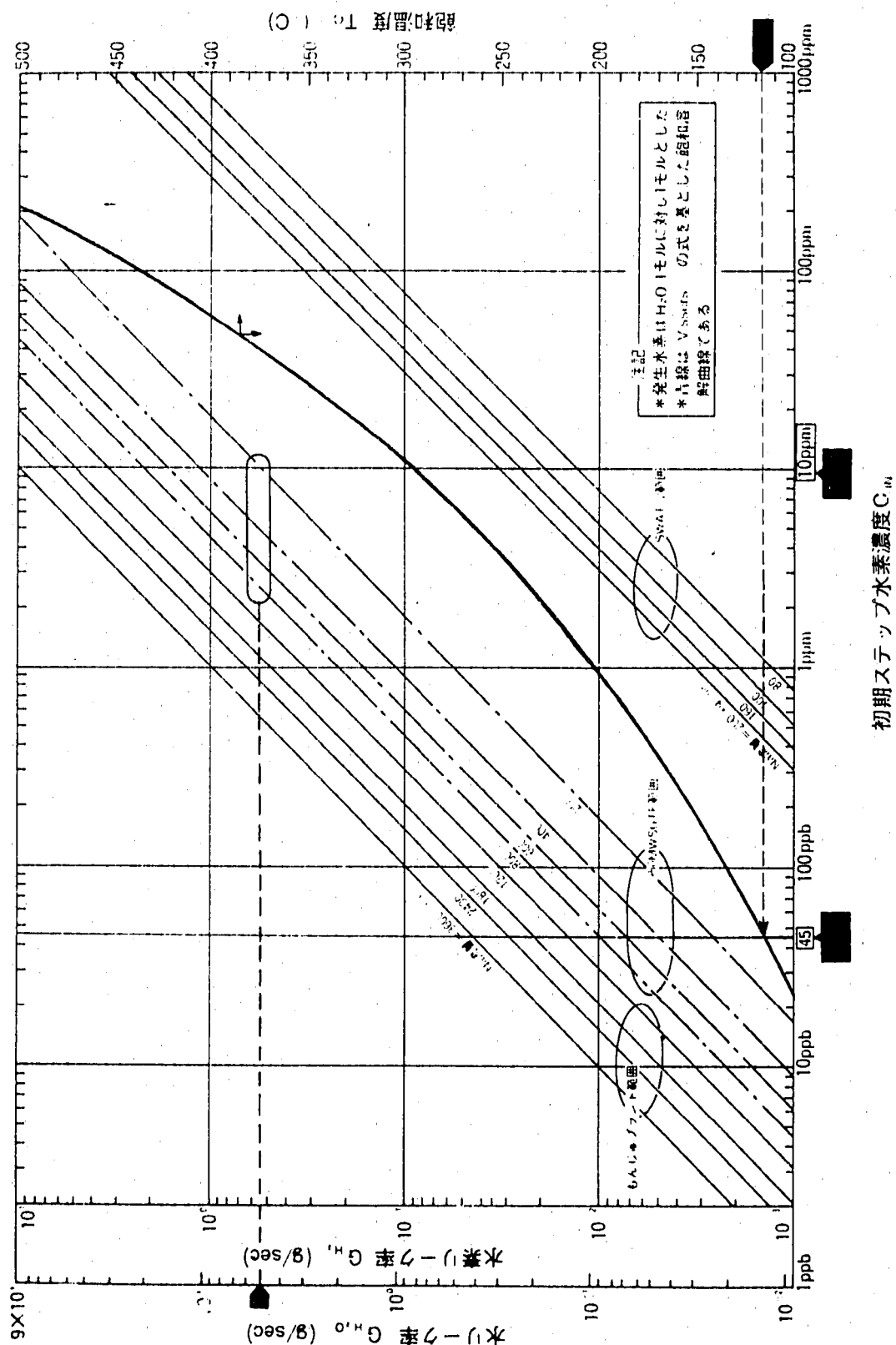
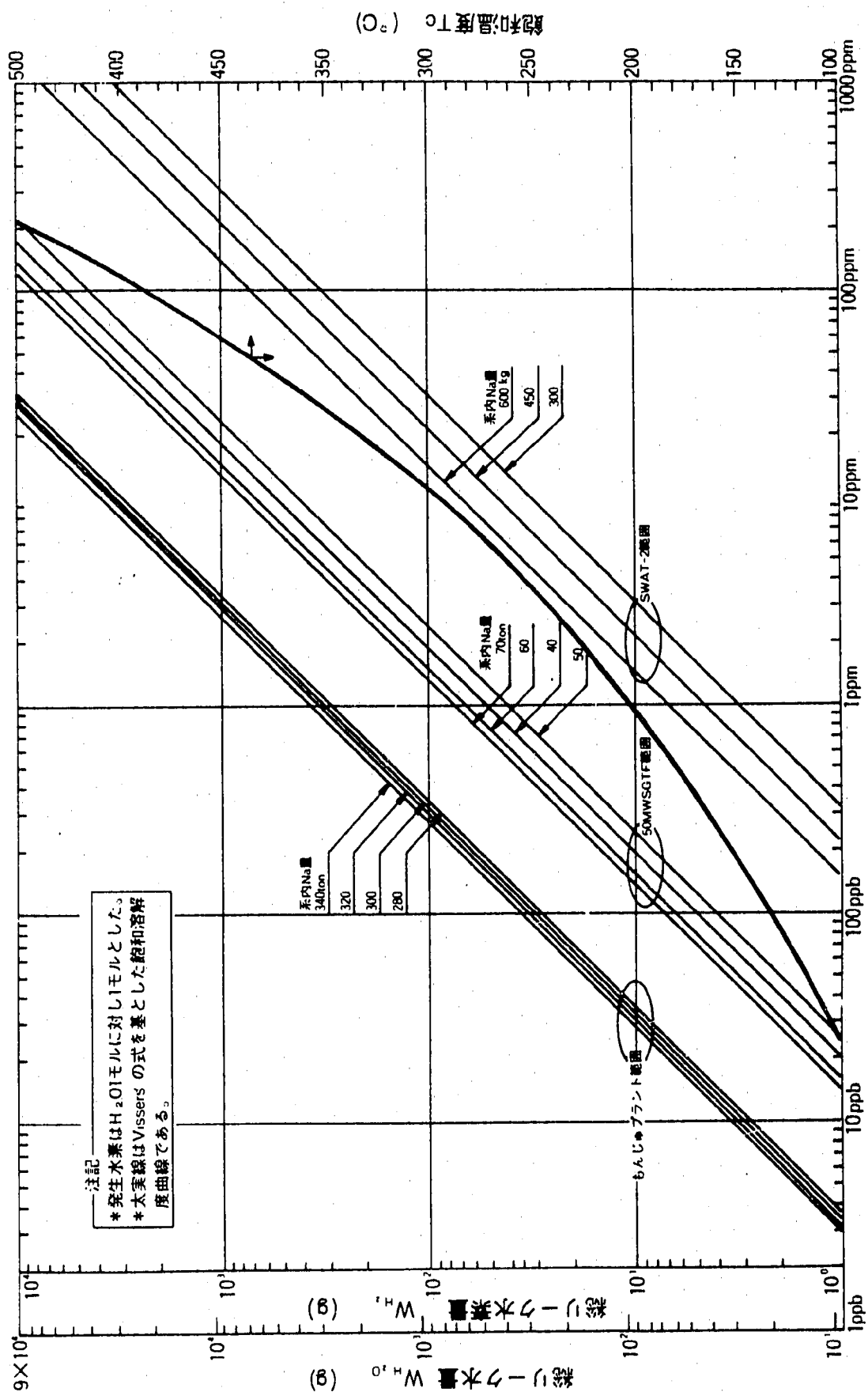


図2-1: G_{H_2} , G_{H_2O} , G_N の関係図(測定濃度範囲の評価)



均一分布定静後濃度 C_e
 図 2-2 : $W_{H,0}$, $W_{H,10}$ と CE の関係図

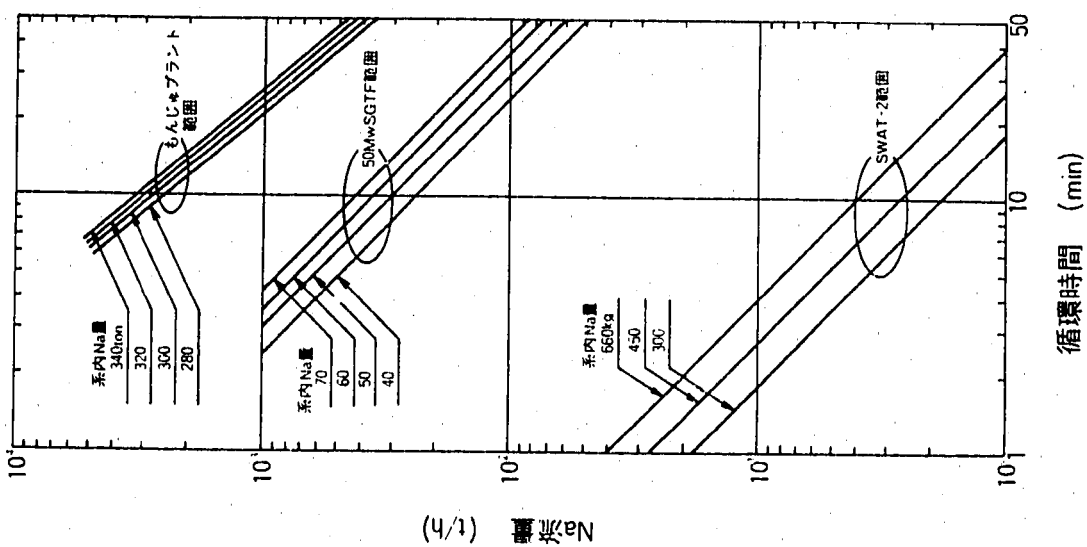


図 2-3 : Na流量と系内循環時間の関係

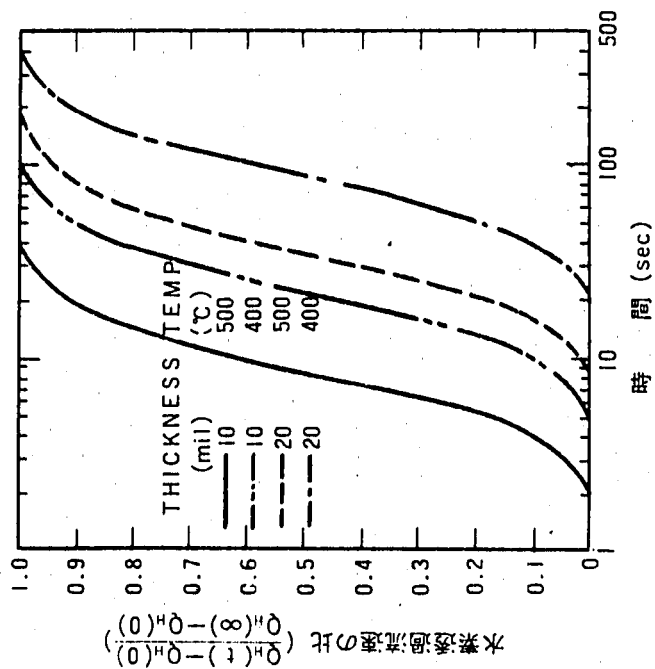


図 2-4 : 水素のNi膜透過応答曲線

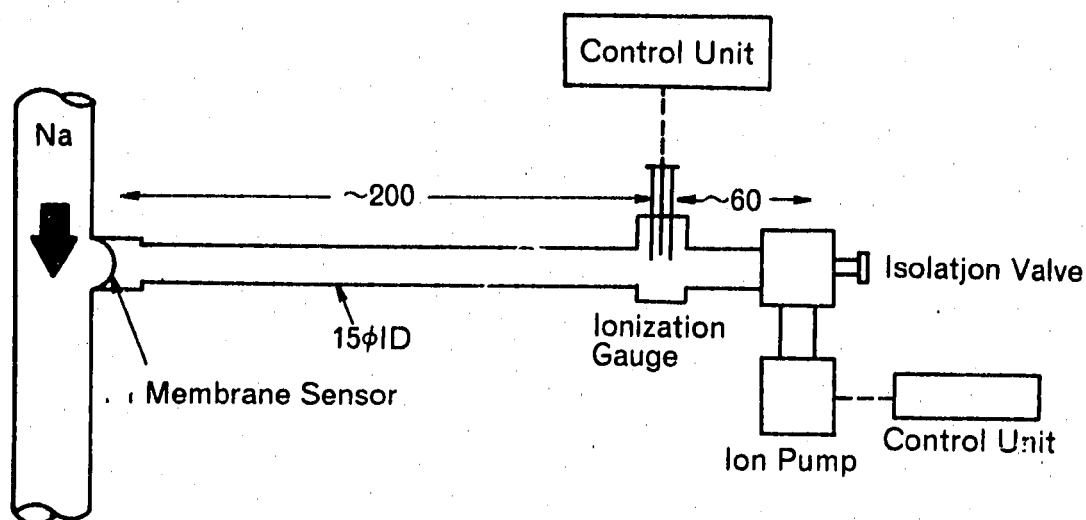


図 2 - 5 : バリアン社製 Na 中水素検出計系統図

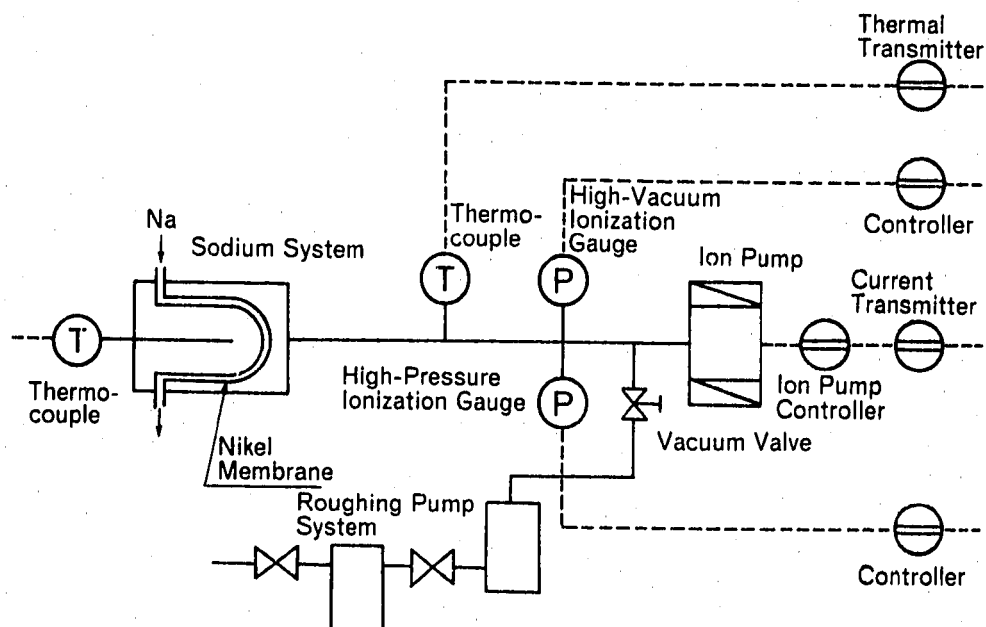


図 2 - 6 : 50MW SGT F 用 Na 中水素検出計系統図

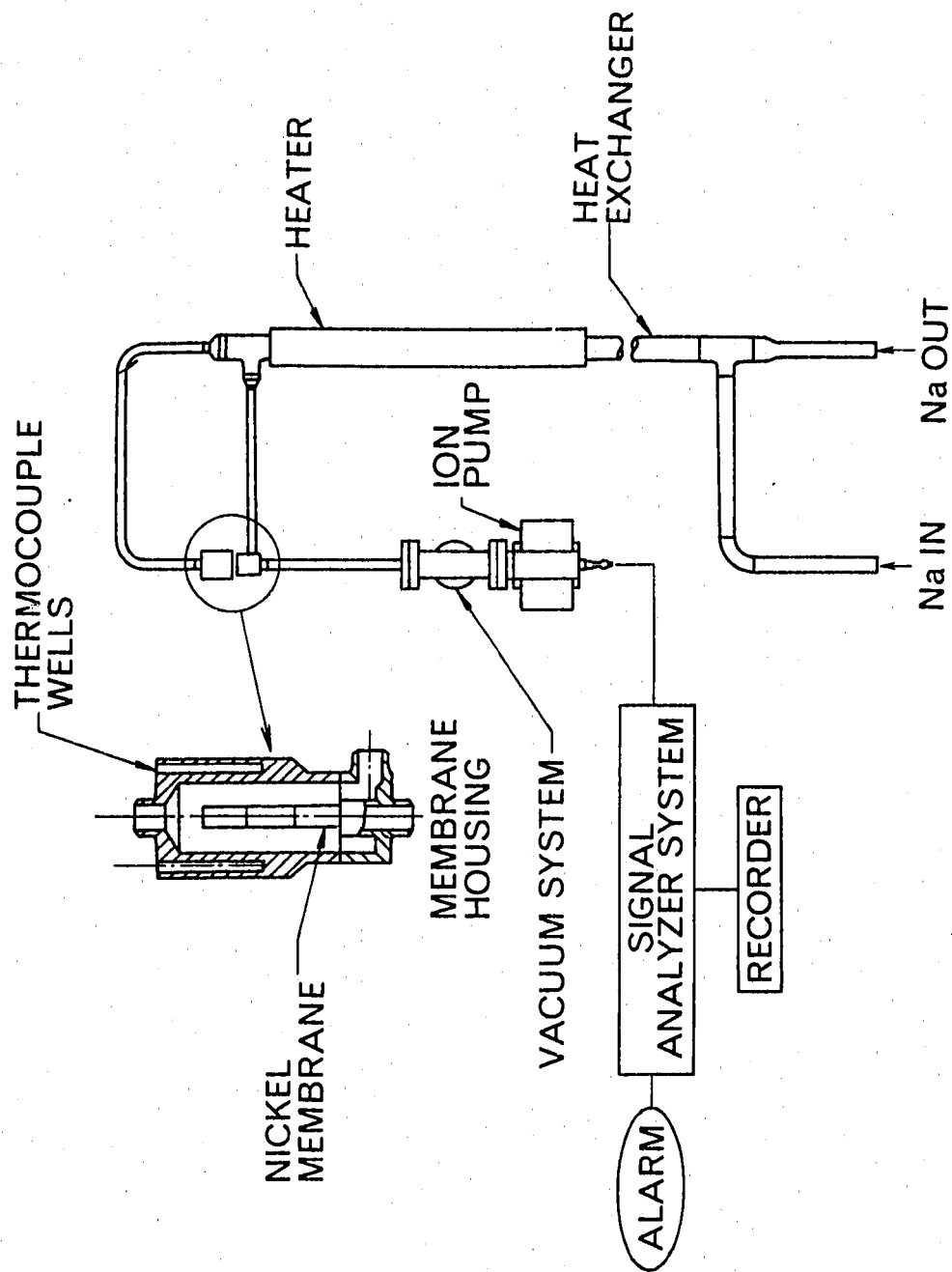


図 2-7 : ANL 試作 Na 中水素検出計系統図 (その 1)

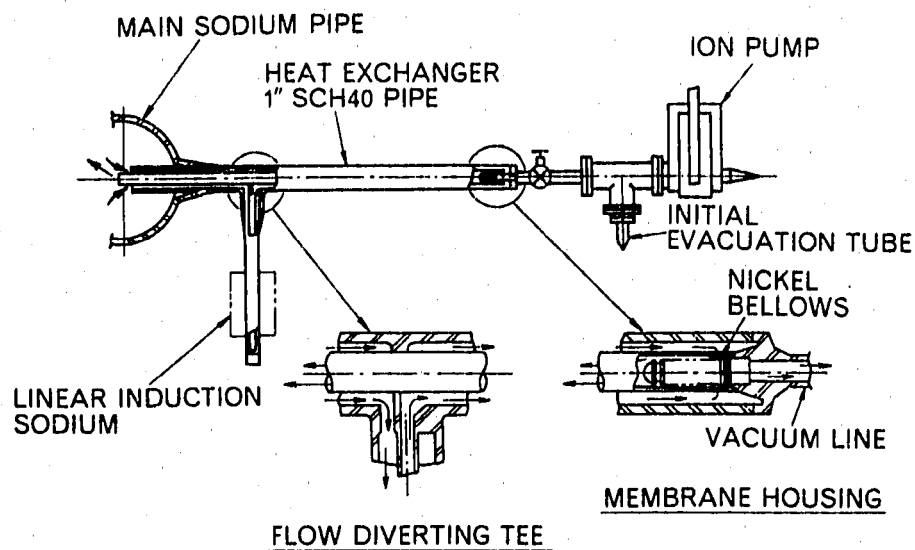
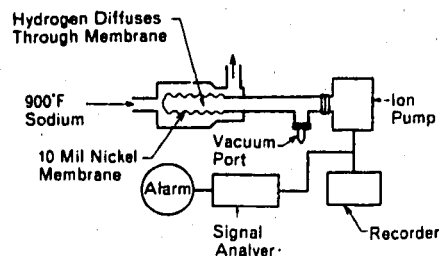
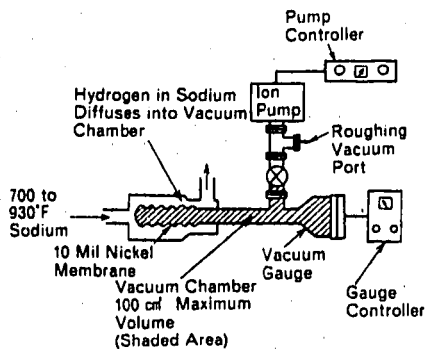


図 2 - 8 : ANL 試作 Na 中水素検出計系統図(その 2)



Hydrogen Detector



Hydrogen Meter

図 2 - 9 : SCT I 用 Na 中水素検出計系統図

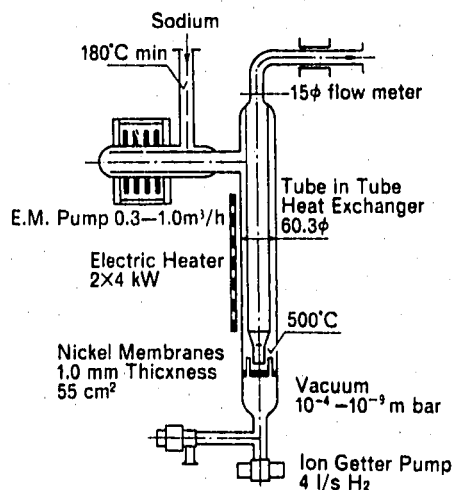


図 2 - 10 : SNR-300 用 Na 中水素検出系統図

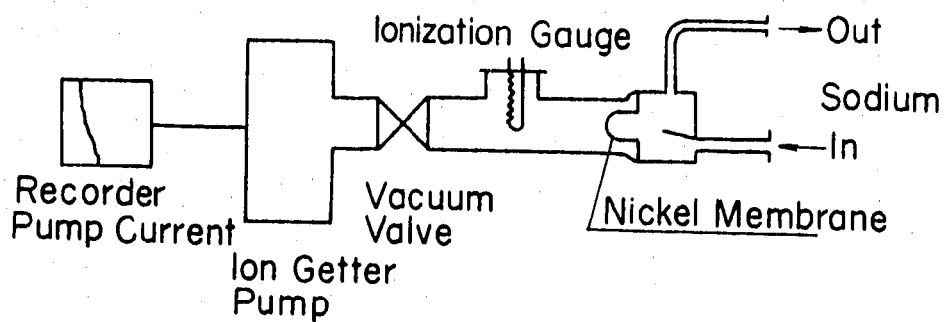


図 2 - 11 : TNO開発Na中水素検出系統図

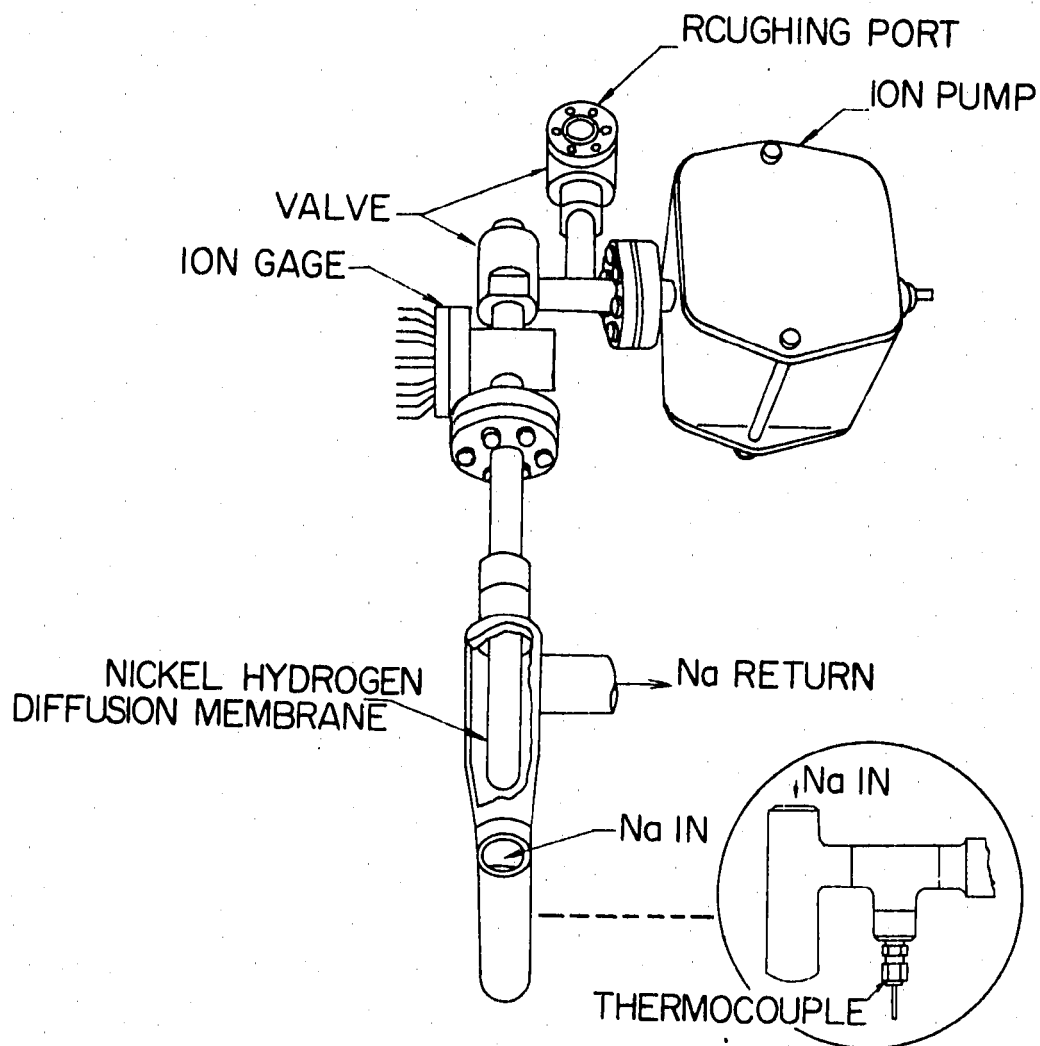


図 2 - 12 : CRBRP用Na中水素検出計概形図

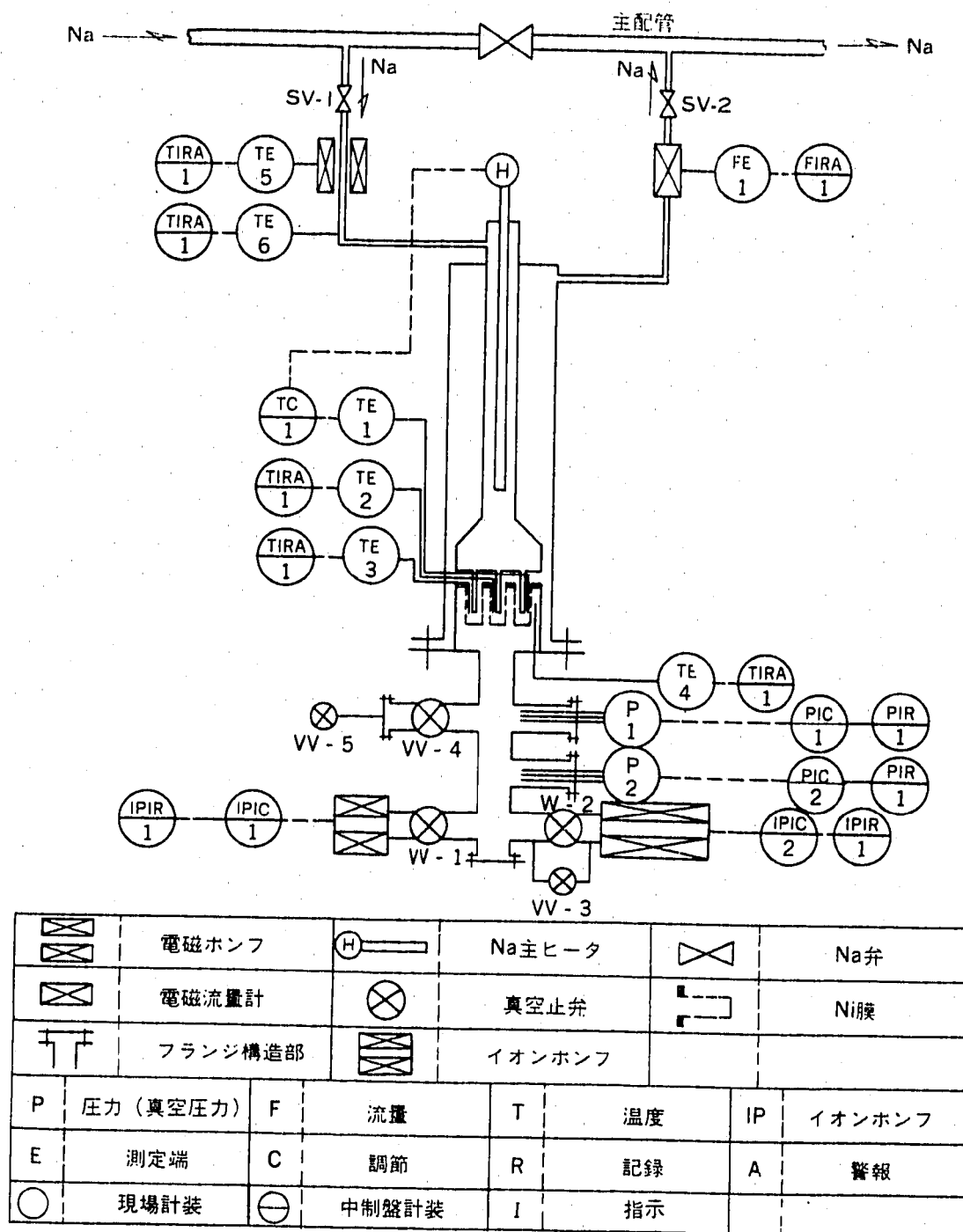


図 2-13: PNC型 Na中水素検出計 I 号機系統図

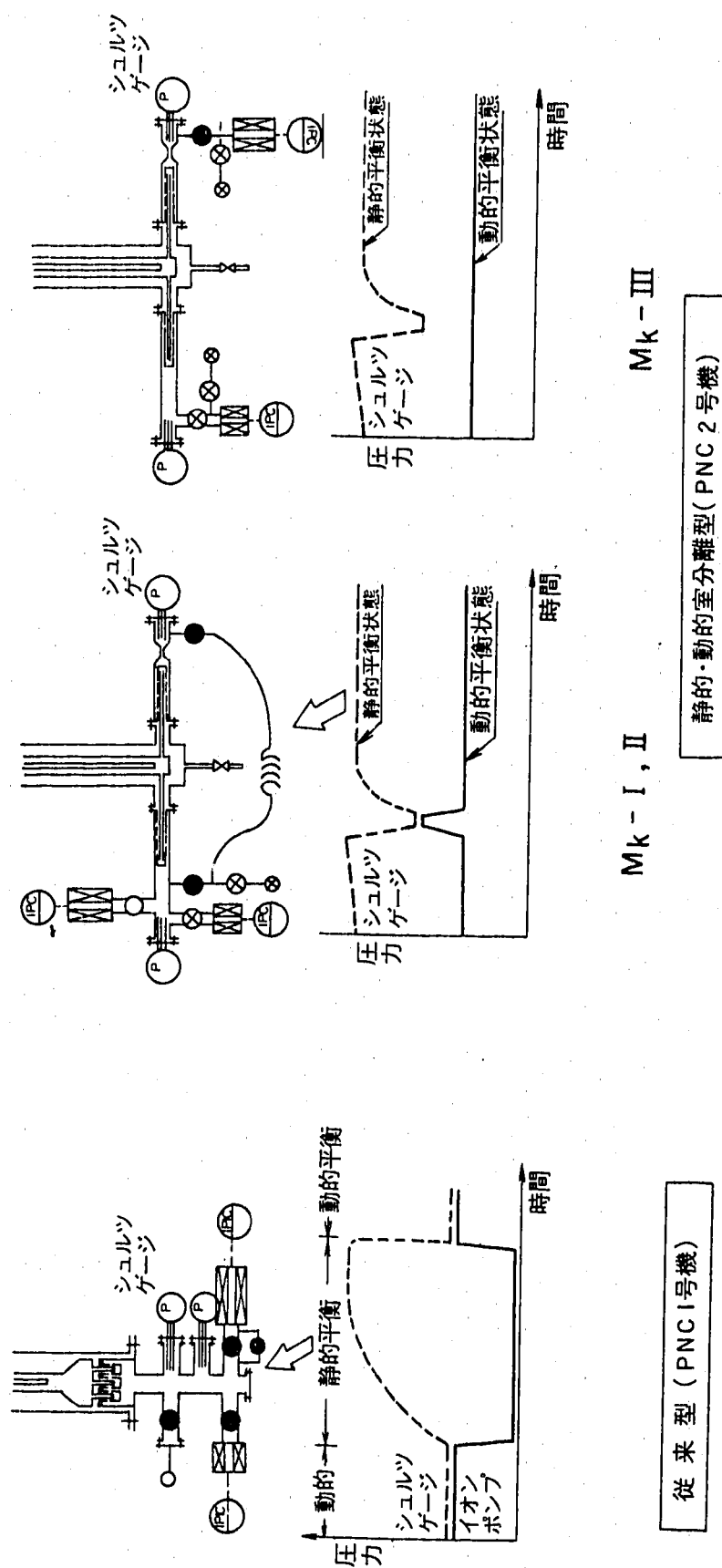


図 2-14：従来型と動的、静的室分離型の運転状態比較

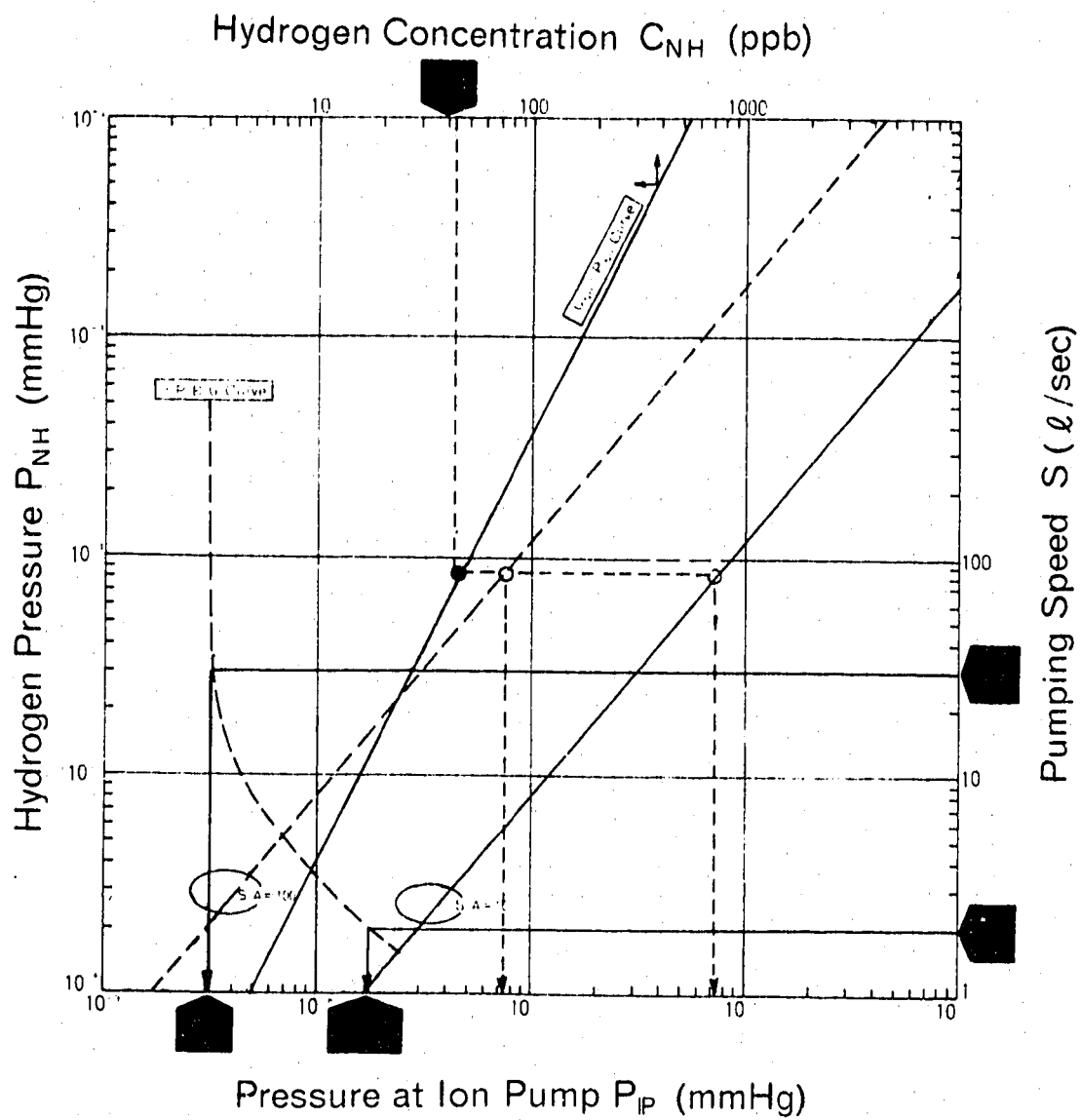


図 2-15: 低濃度用検出特性図(測定下限値からの評価)

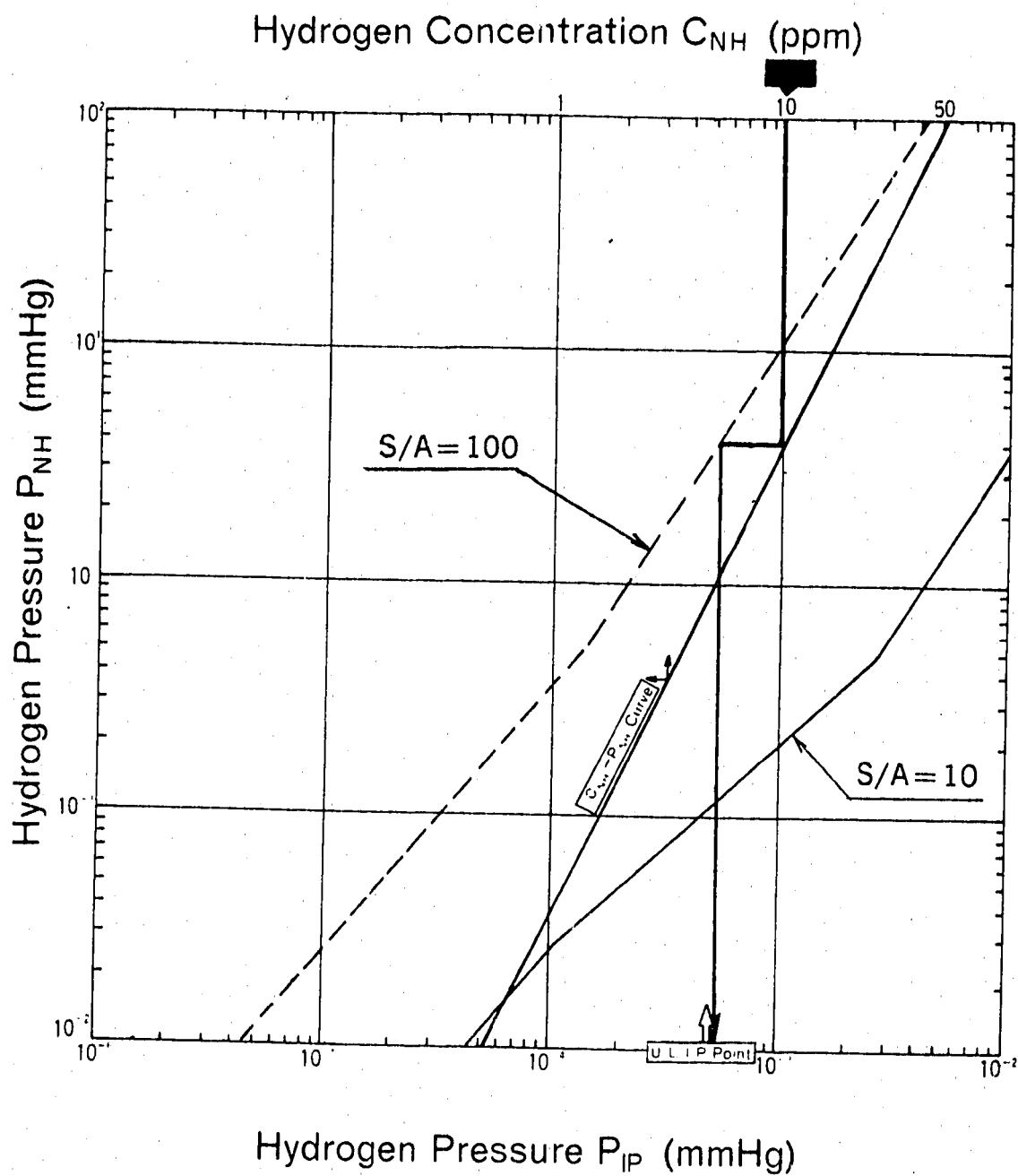


図 2-16: 高濃度用検出特性図 (測定上限値からの評価)

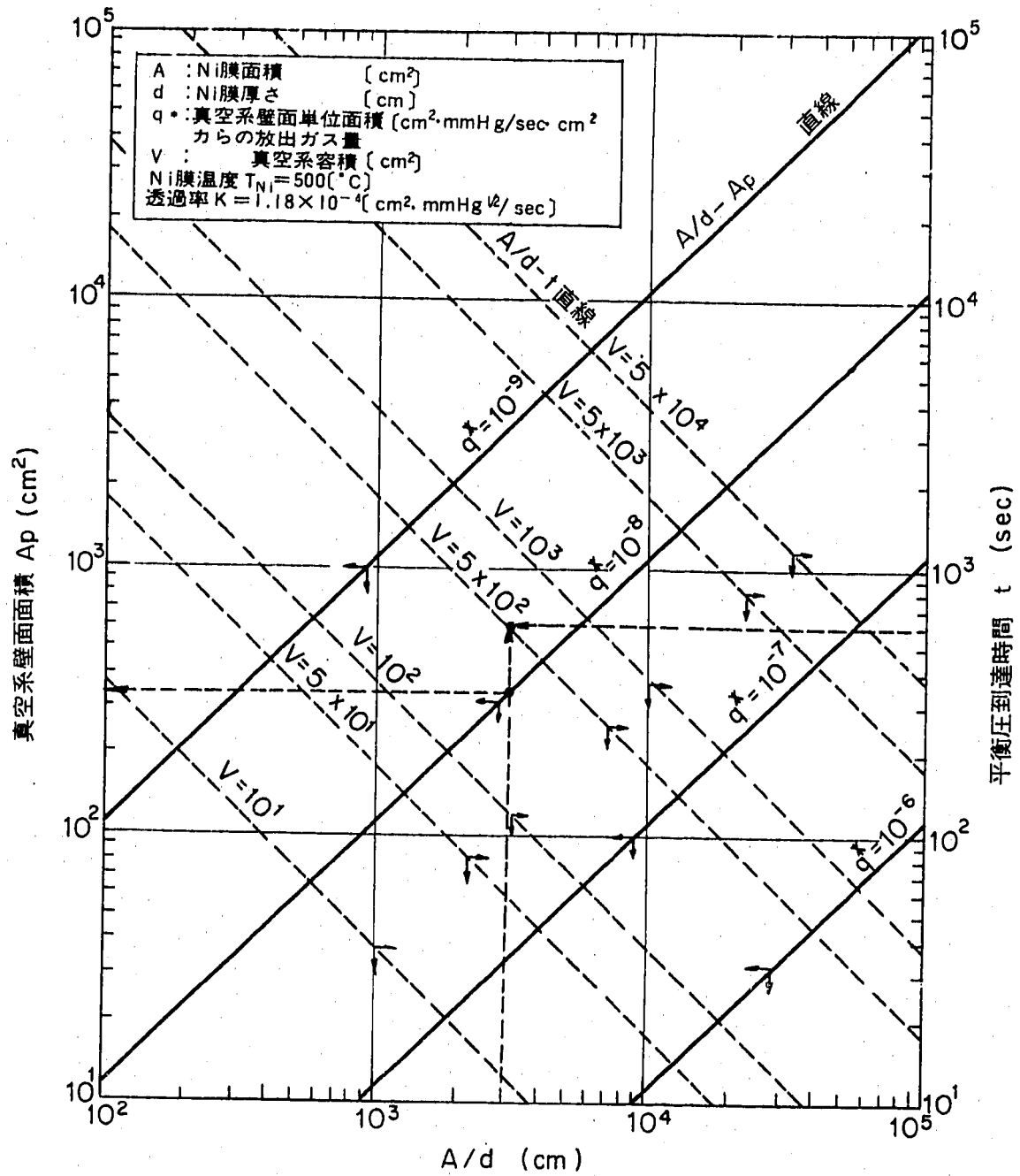


図 2-17: 低濃度用静的平衡測定特性図

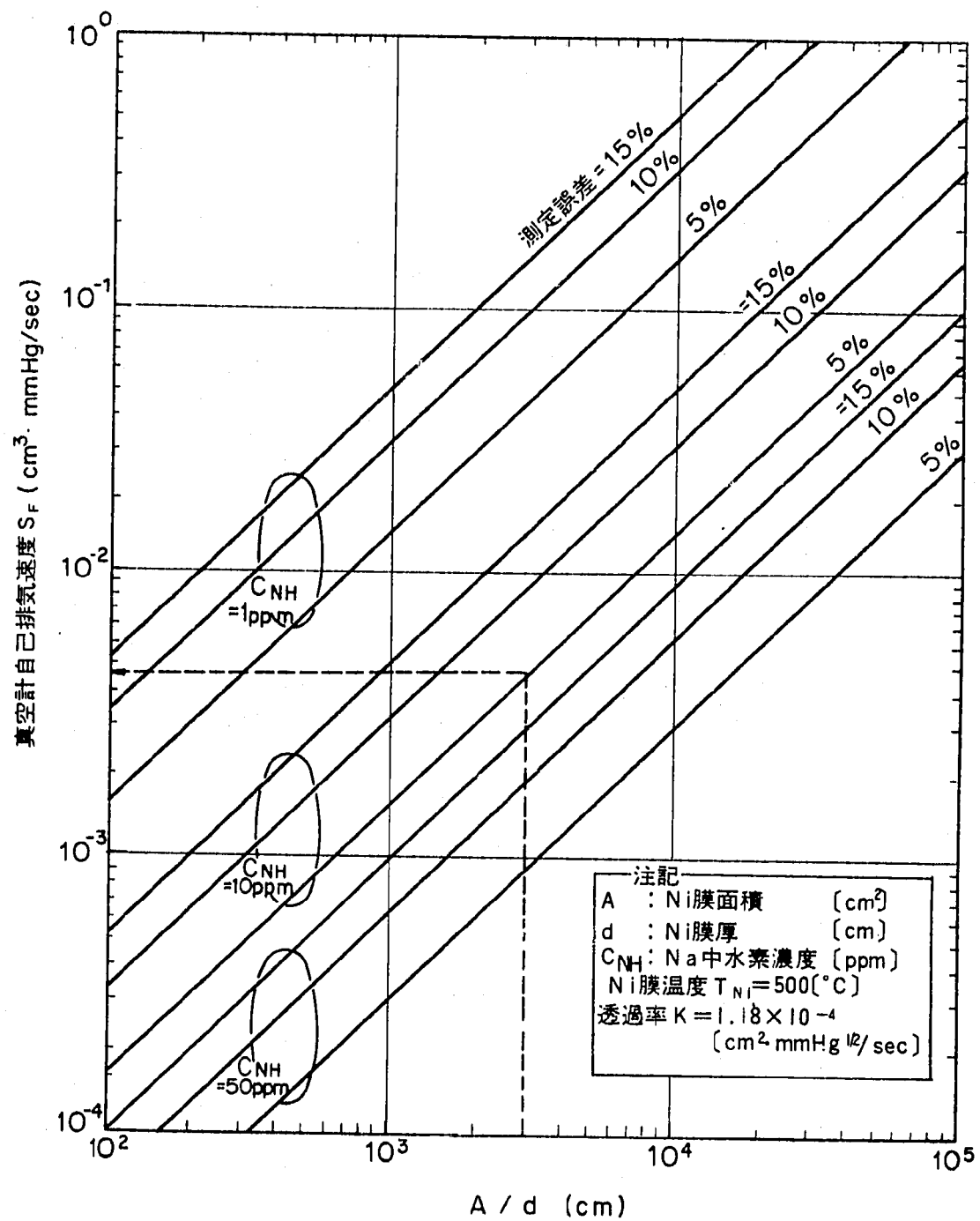
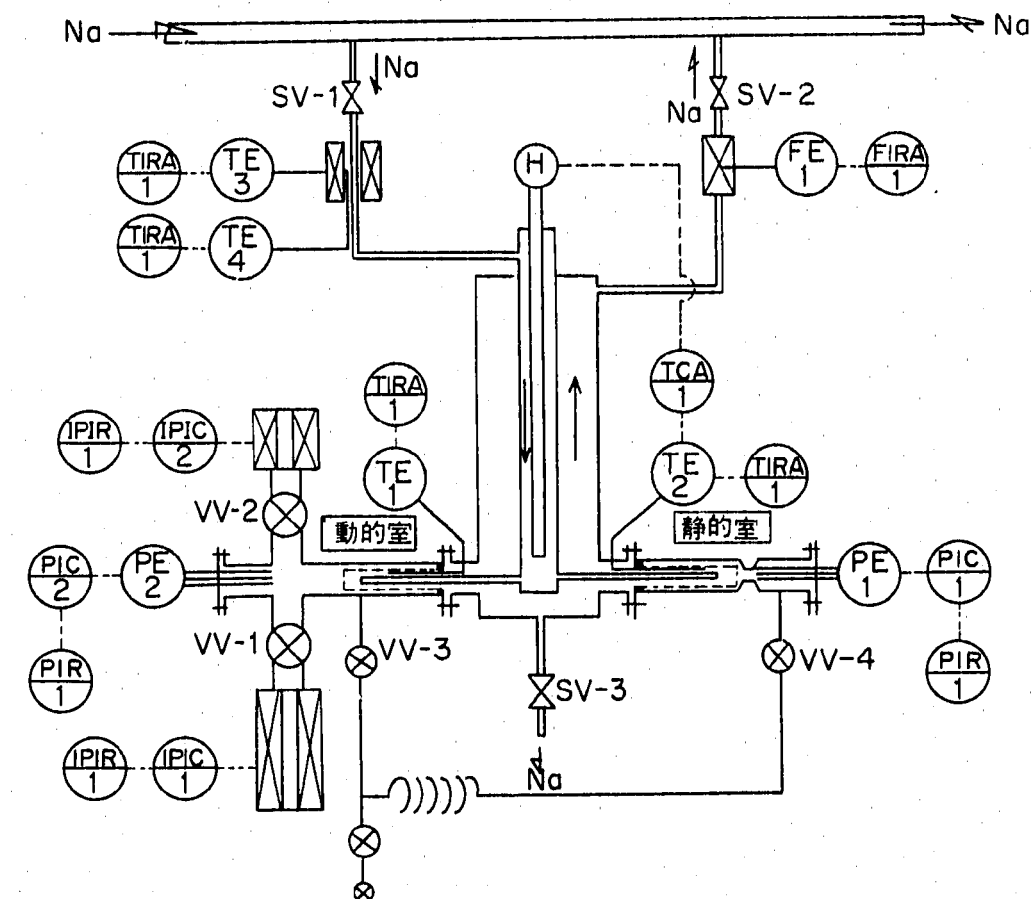
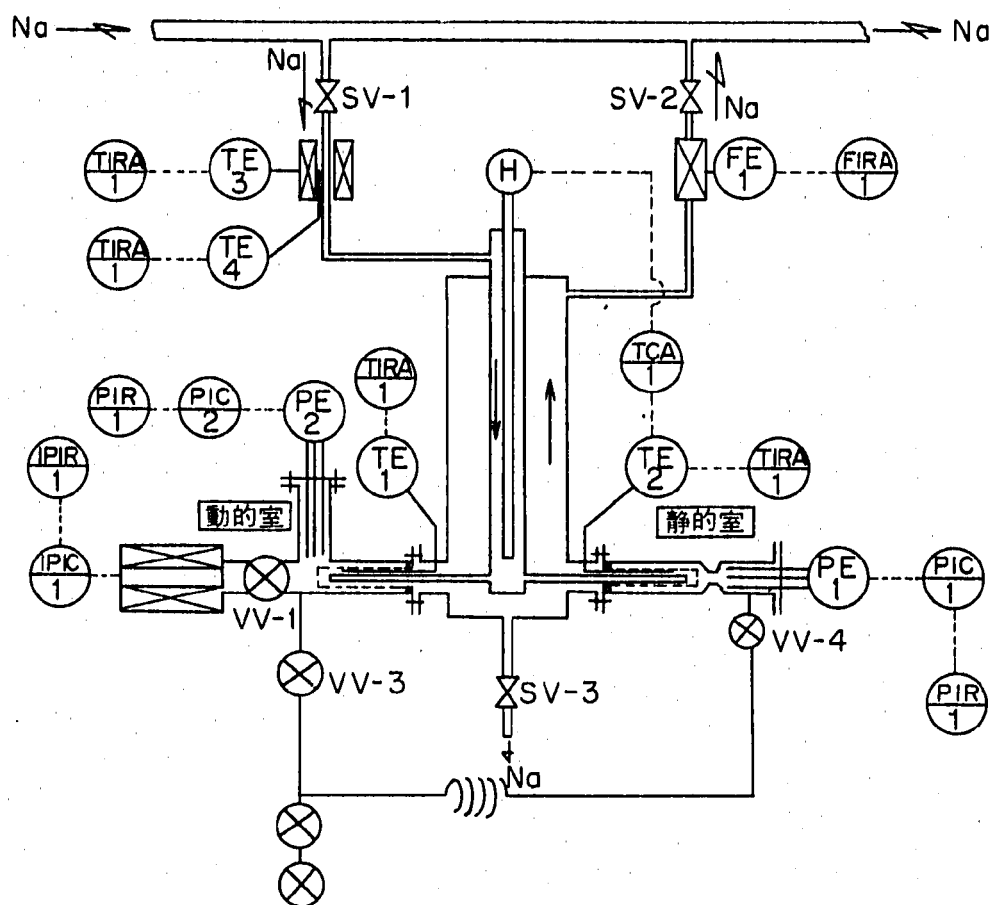


図 2-18 : 高濃度用静的平衡測定特性図



	電磁ポンプ		Na主ヒータ		イオンポンプ		
	電磁流量計		ニッケル膜		真空止弁		
	フランジ		Na止弁		フレキシブルチューブ		
	現場計装	P	圧力(真空)	F	流量	T	温度
	中制盤計装	IP	イオンポンプ	C	制御	R	記録
E	測定端	I	指示	A	警報		

図 2-19: PNC 型 Na 中水素検出計 2 号機 Mk-I 全体系統図



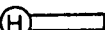
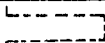
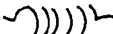
	電磁ポンプ		Na主ヒータ		イオンポンプ		
	電磁流量計		ニッケル膜		真空止弁		
	フランジ		Na止弁		フレキシブルチューブ		
	現場計装	P	圧力(真空)	F	流量	T	温度
	中制盤計装	IP	イオンポンプ	C	制御	R	記録
E	測定端	I	指示	A	警報		

図2-20: PNC型Na中水素検出計2号機Mk-II全体系統図

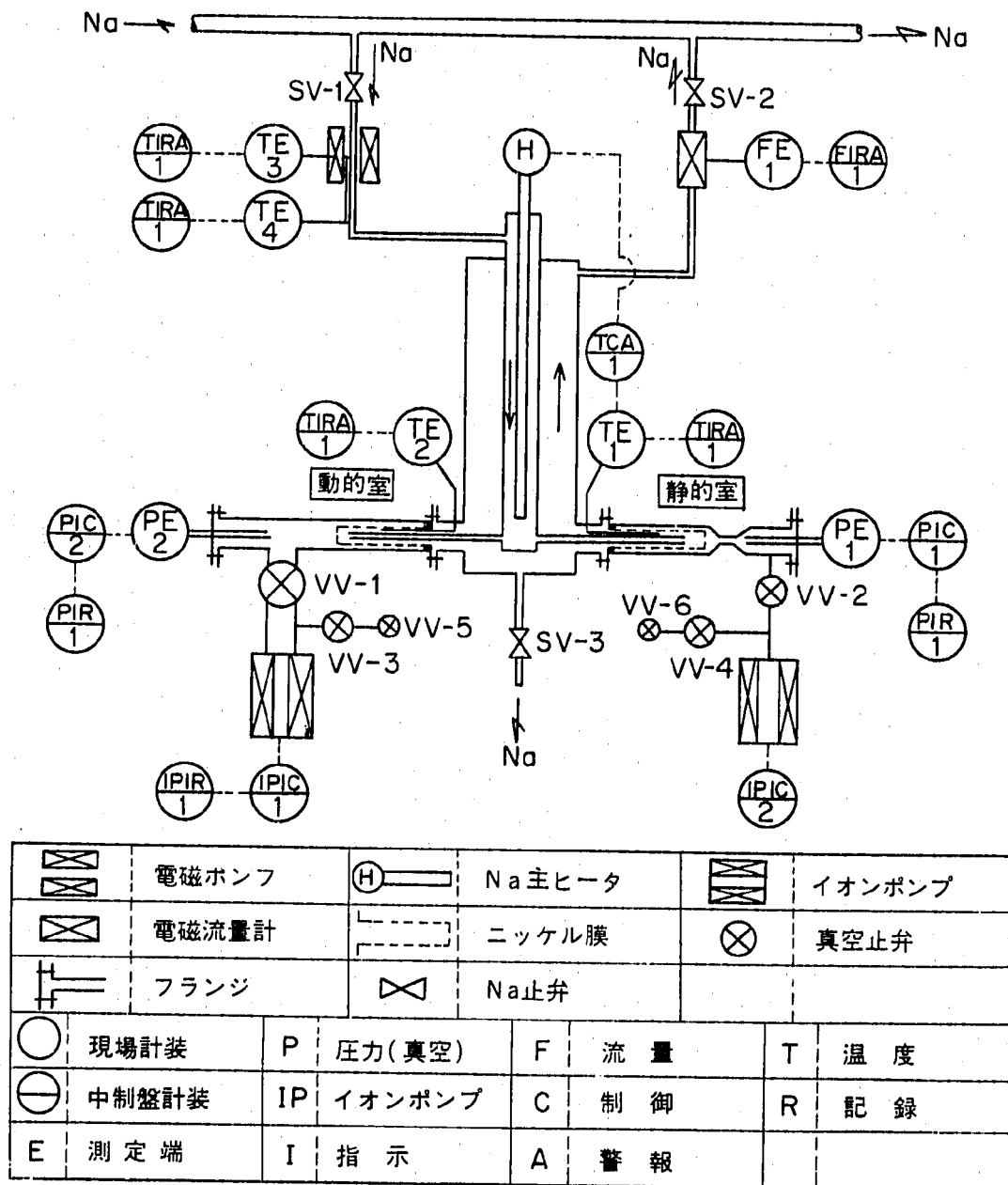


図 2-21 : PNC型 Na中水素検出計 2号機 Mk-III全体系統図

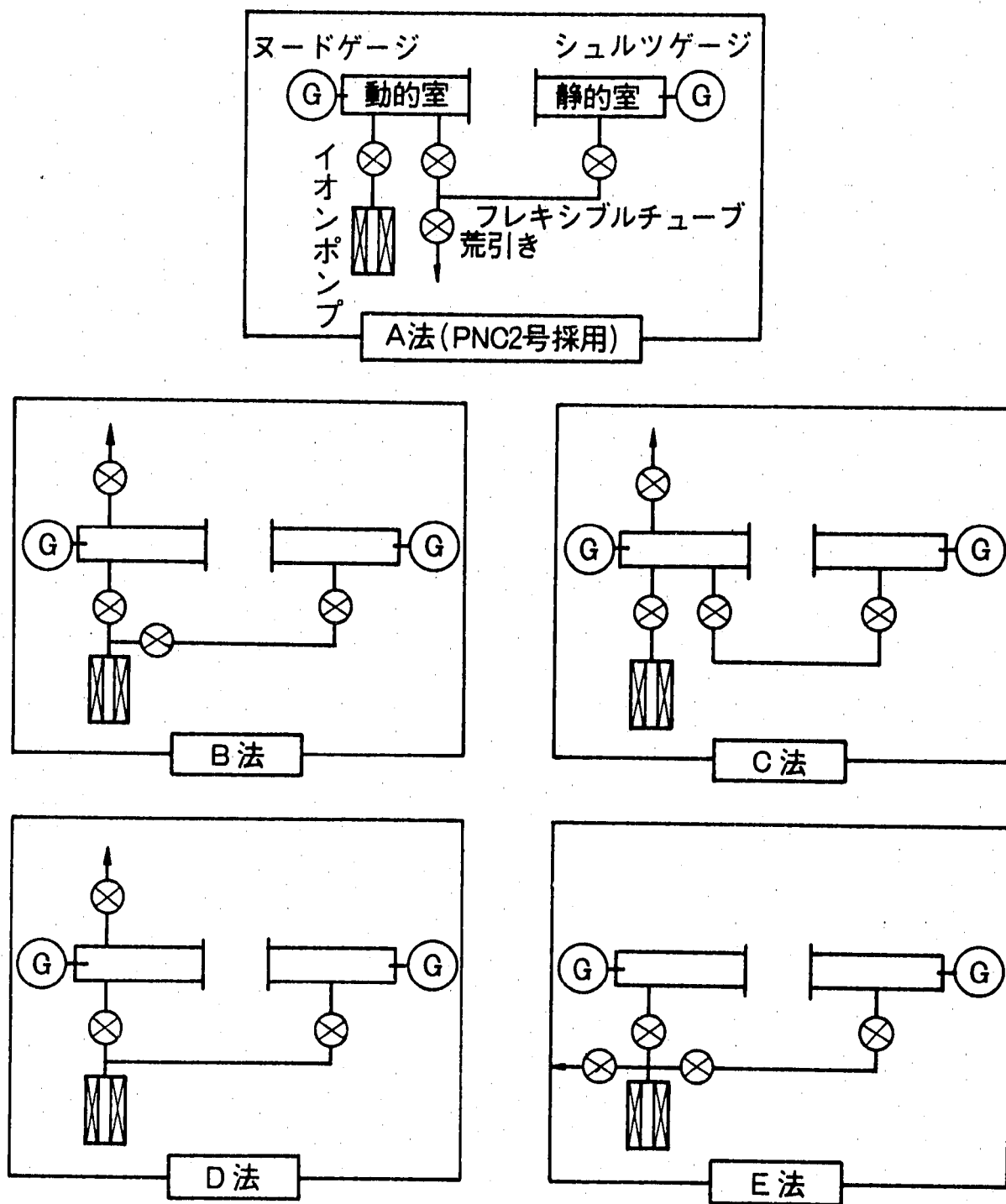


図 2-22：静的室，動的室結合法比較検討図

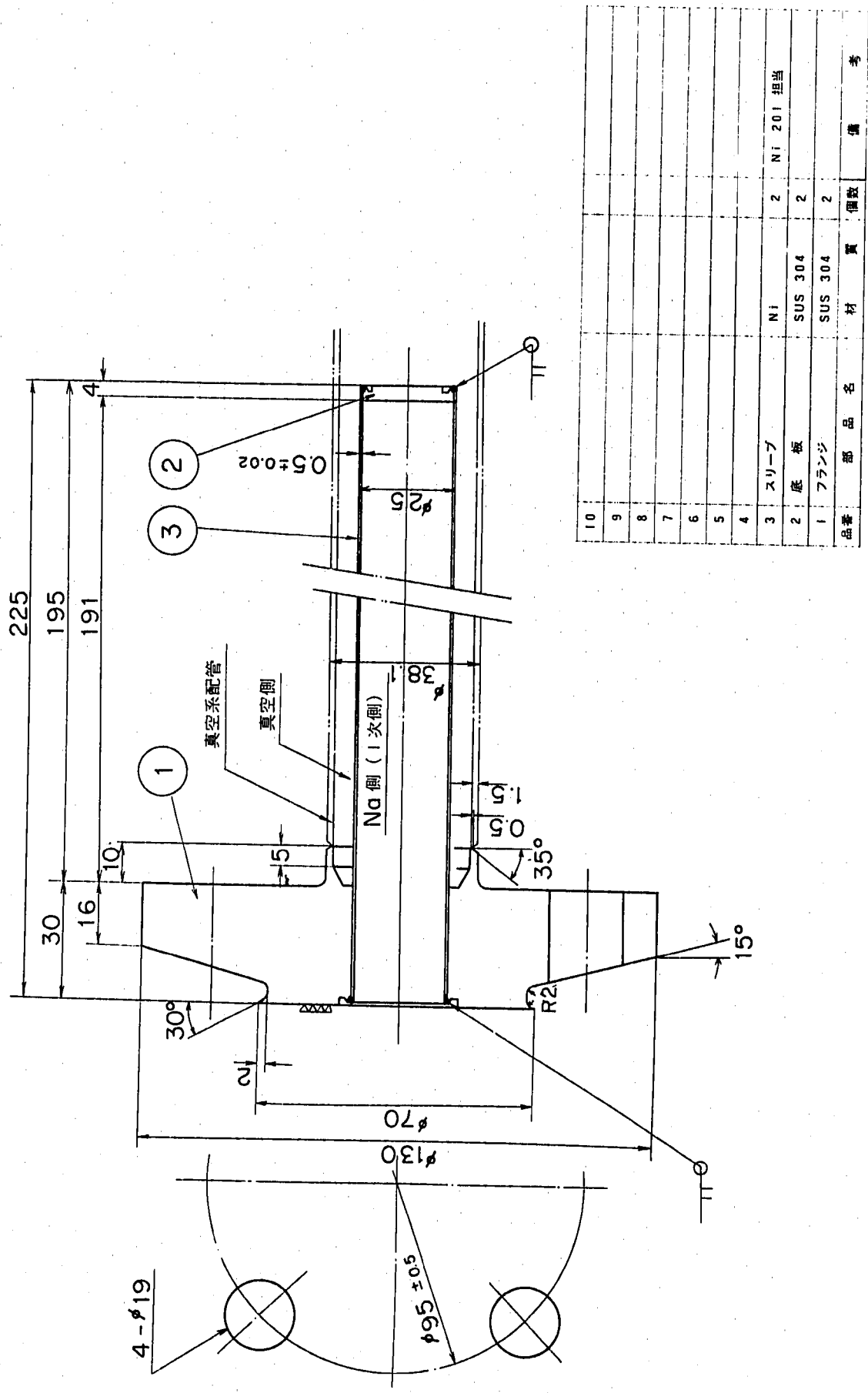
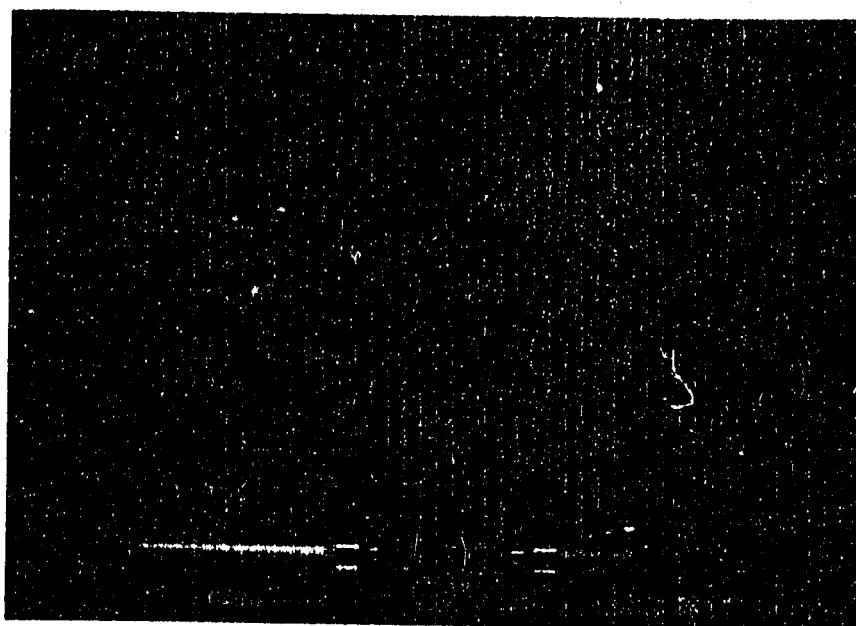


図 3-1 : PNC 型 Na 中水素検岩計 (2 号機) Ni 膜構造図



写真一 1 : 製作した静的室，動的室用Ni膜

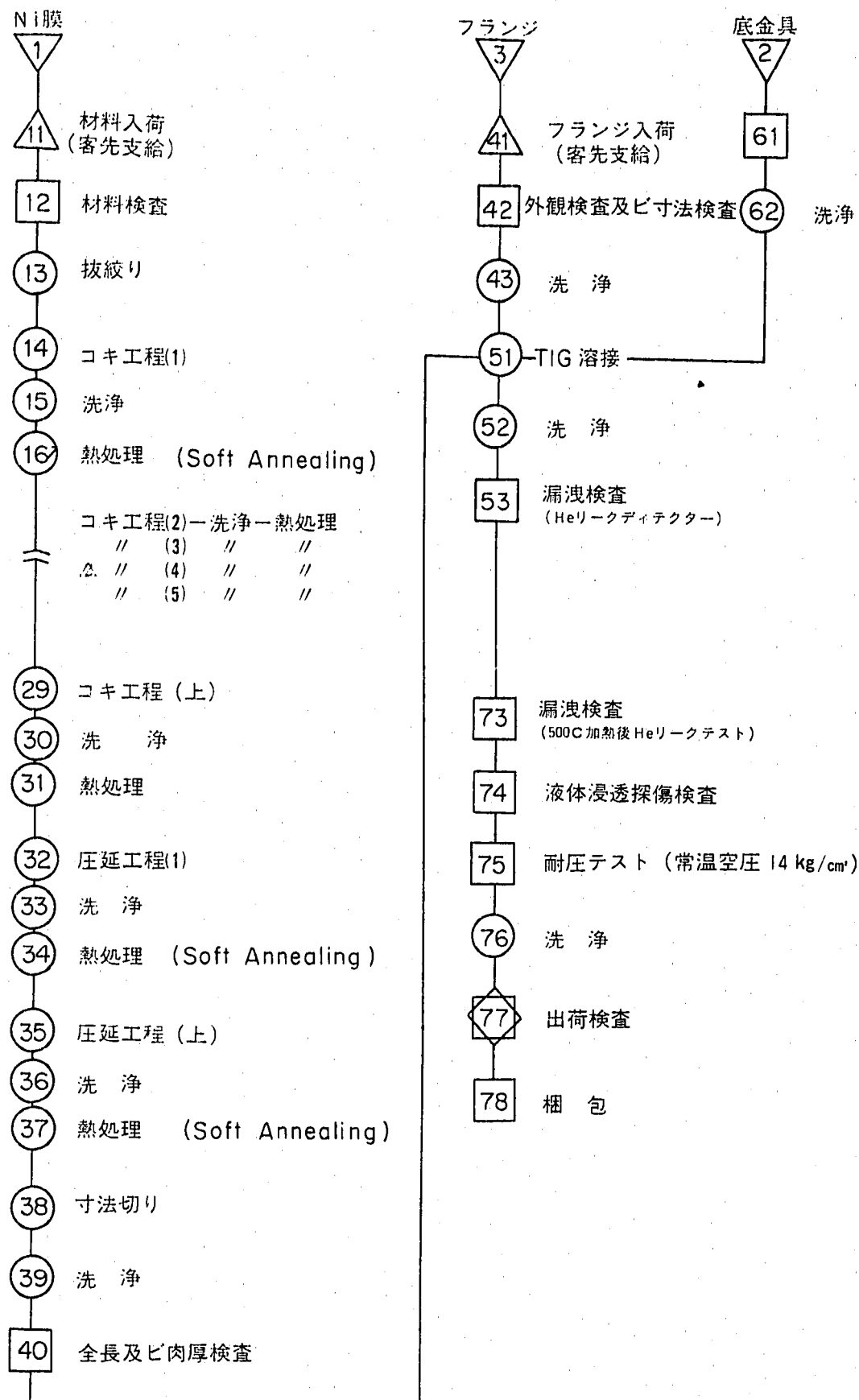


図 3 - 2 : PNC 型 Na 中水素検出計(2 号機) Ni 膜製造工程

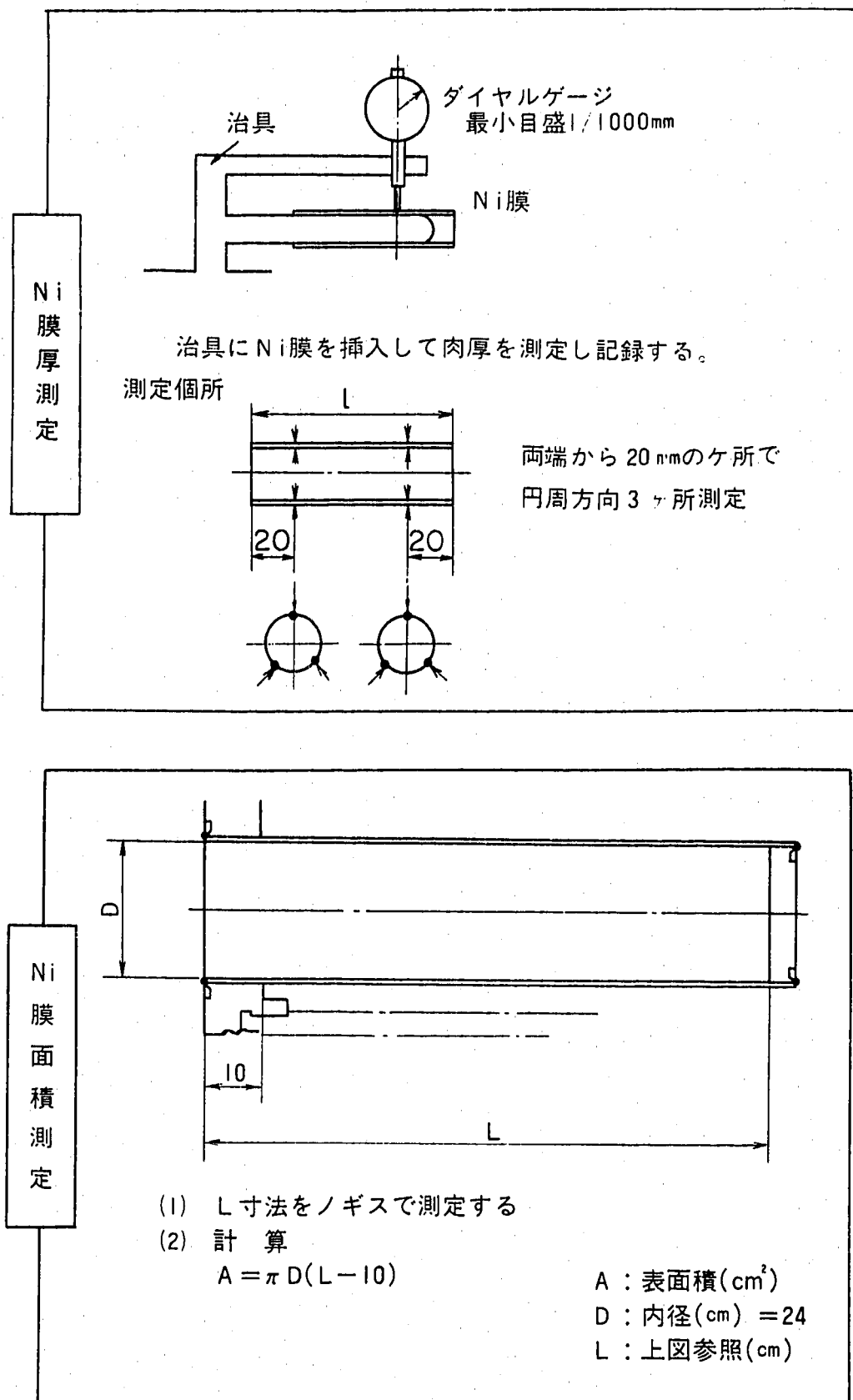


図3-3：PNC型Na中水素検出計(2号機) Ni膜肉厚および表面積測定要領

1	21	レジスタ	1	16	ガードケー	WIN-N2 (19)
1	22	配管 (8)	1	17	VHリメタルバルブ	VUH-251 (耐圧型)組立機
2式	23	サポート (3)	1	18	配管 (5)	
3	24	調整ネジ	2	19	耐圧型フランジ	
3	25	スタンド	1	20	配管 (7)	

材料名	数量	単位	材料	備	号
1	1	配管 (1)			
2	2	" (2)			
3	3	" (3)			
4	4	" (4)			
5	5	サポート (1)			
6	6	" (2)			
7	7	スバタイオンポンプ			
8	8	アベナポンプ			
9	9	UHVメタルバルブ			
10	10	"			
11	11	バックレスバルブ			
12	12	バリアルリーターバルブ			
13	13	シールド型真空計 (測定子)			
14	14	配管 (5)			
15	15	フレキシブルチューブ			

PST-1c (耐圧型)
PST-AP (耐圧型)
VUH-401 (耐圧型)
VUH-251 (耐圧型)
VLV-3-D (標準品)
WI-SH (特)

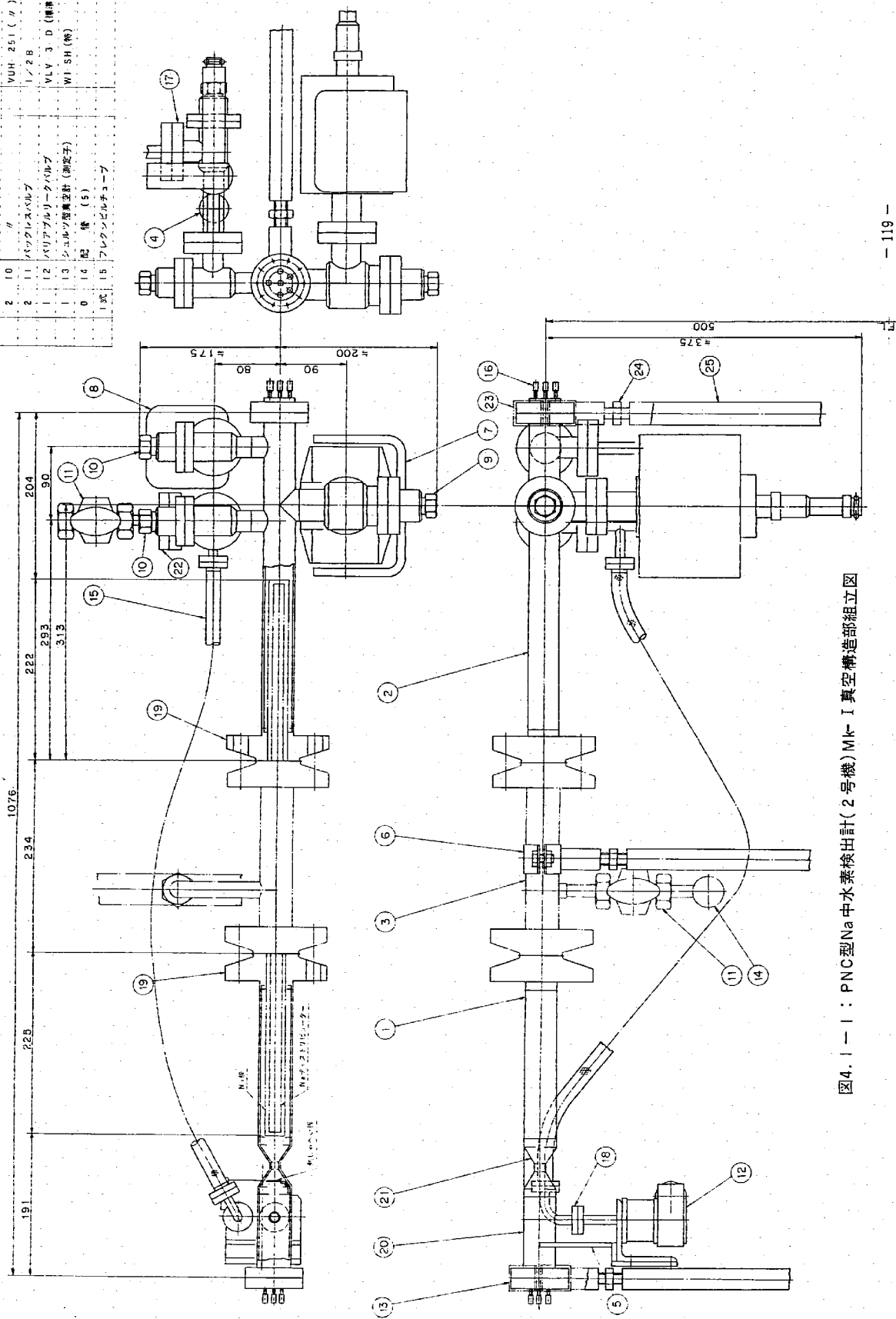


図4.1-1: PNC型Na中水素抽出計(2号機) Mk-I 真空構造部組立図

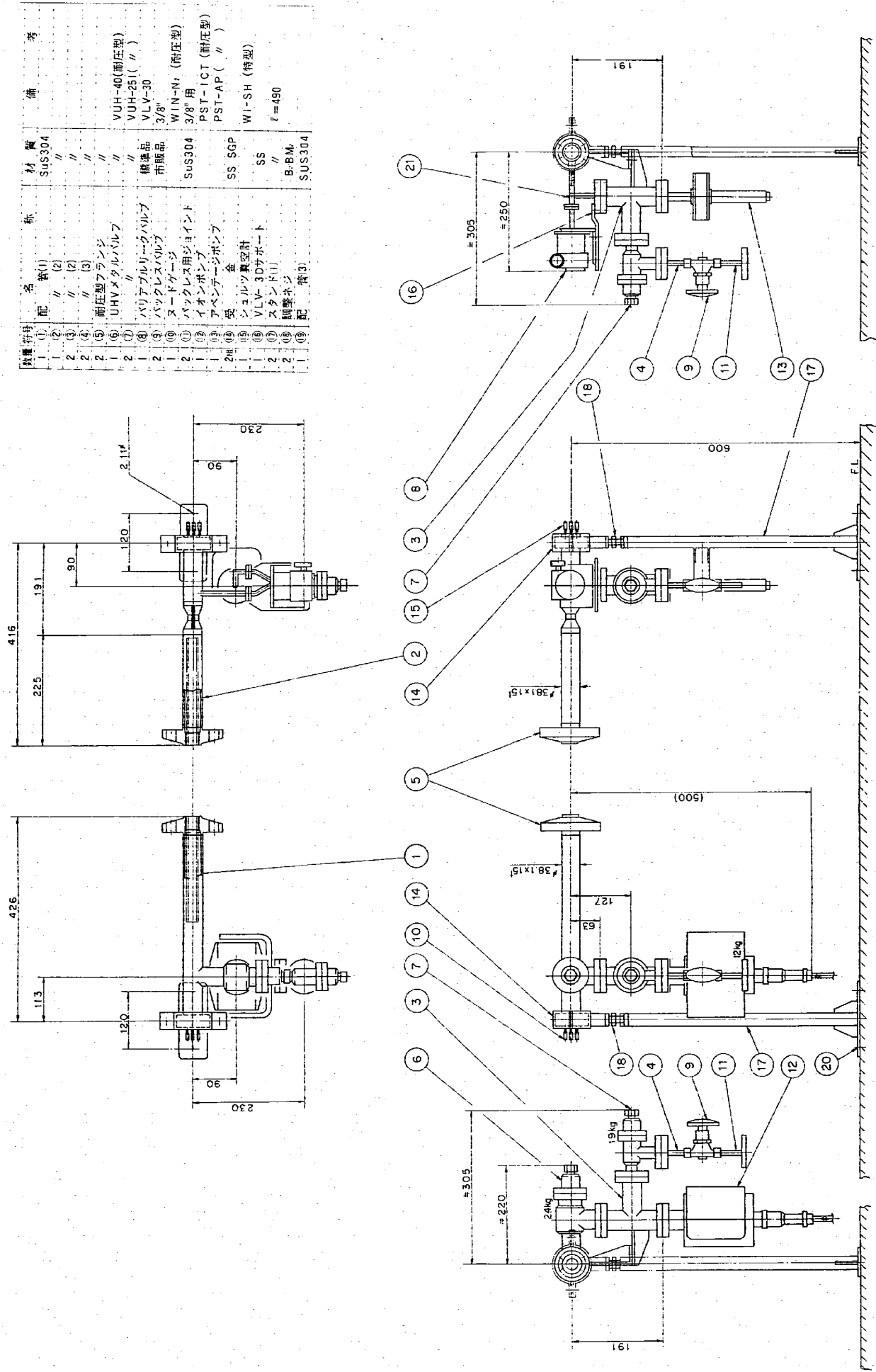
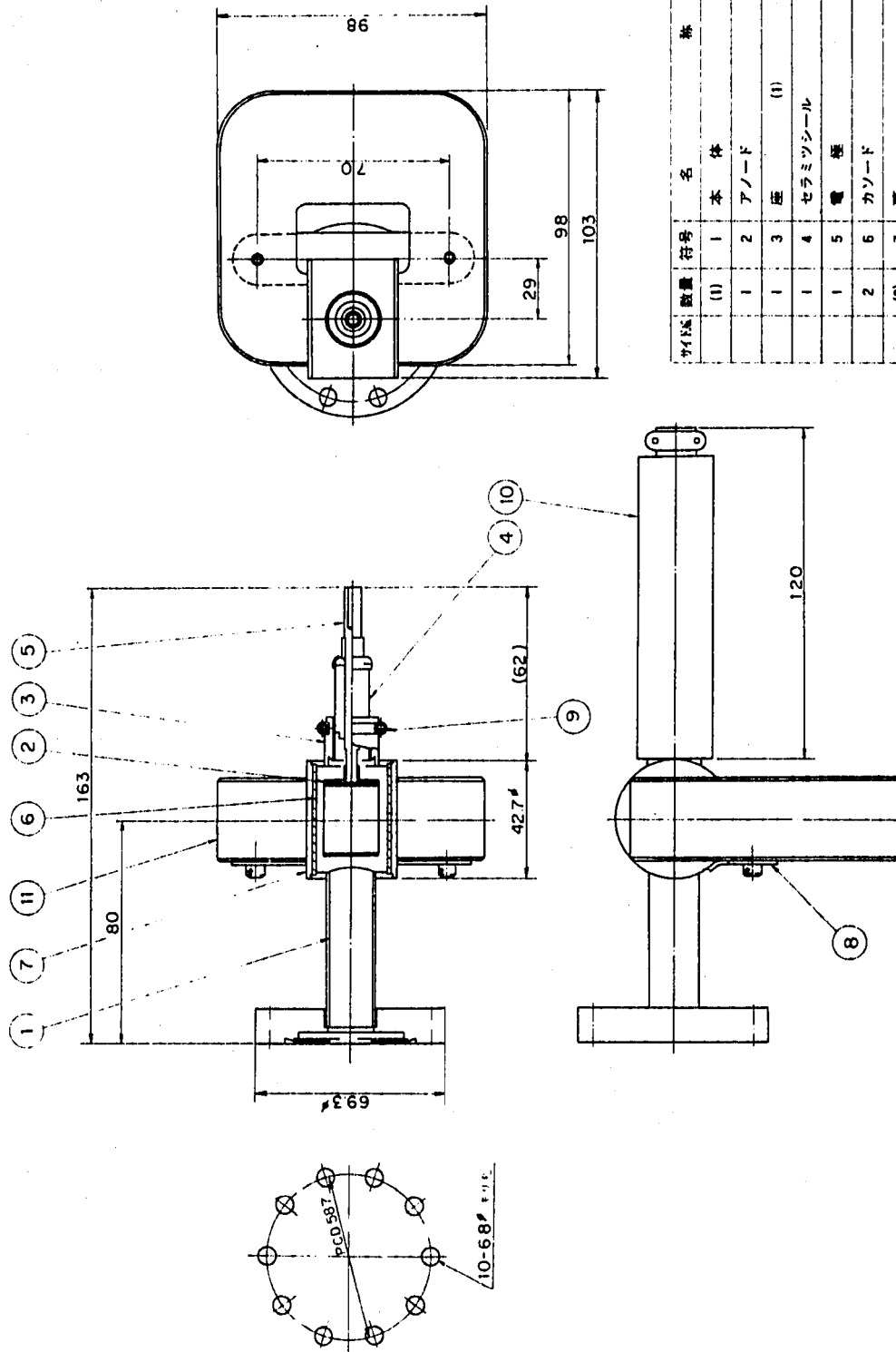


図4.1-2 : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II 真空構造部組立図



部品名	数量	符号	名称	材質	備	考
本体	1	(1)	本体	SUS28		
アノード	1	2	アノード	SUS27		
座	1	3	座 (1)	SUS28		
セラミツシール	1	4	セラミツシール	コバロム アルミナ	CMS 5 P-20	
電極	1	5	電極	SUS28		
カソード	2	6	カソード	純チタン		
蓋	(2)	7	蓋	SUS28		
サポート	1	8	サポート	SUS27		
スプリング	1	9	スプリング			
コネクタ	1	10	コネクタ			
マグネット	1	11	マグネット			1L/S型アベンデージポンプ用

図4.2-1 : PNC型Na中水素検出計(2号機)用イオンポンプの(PST-AP特型)組立図

型式	数量	符号	名称	図	番	材質	備	考
	(1)	I	GST-AP (特)					

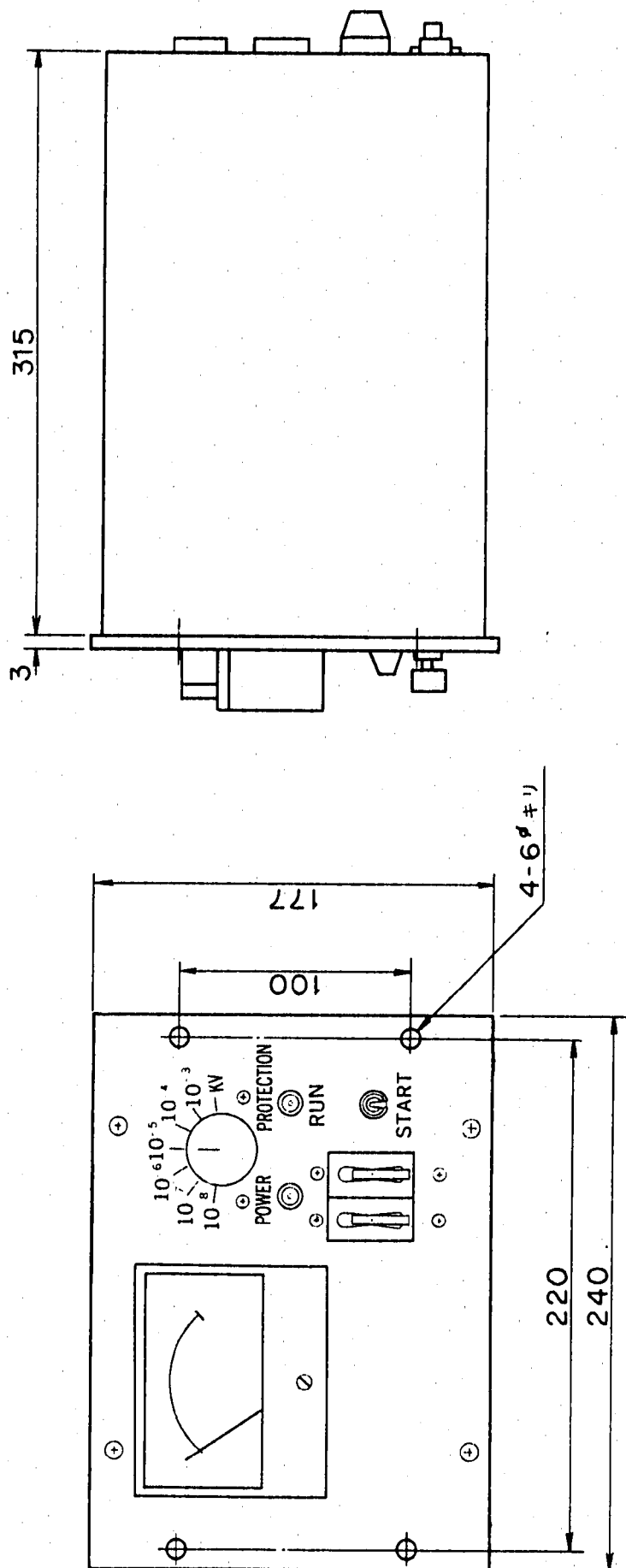
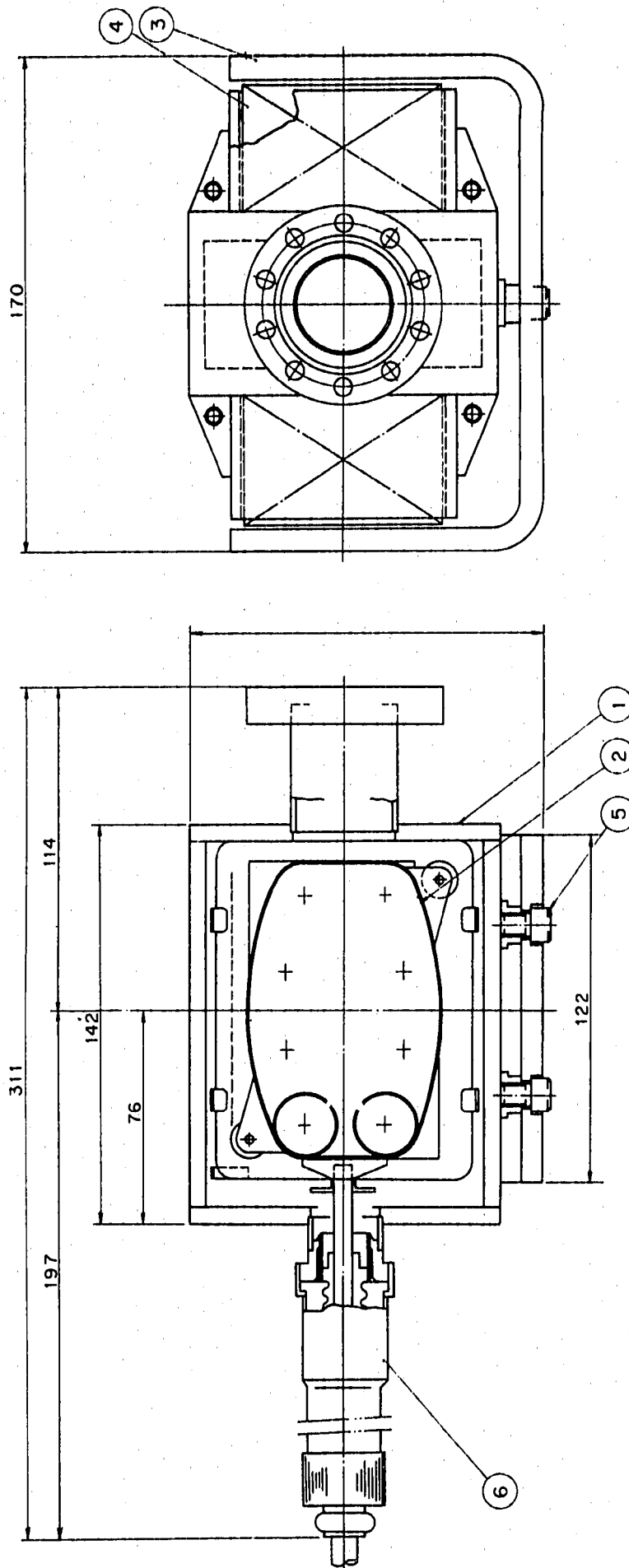


図4.2-2 : PNC型Na中水素検出計(2号機)用アペンデージコントロール(GSTAP特性) 外觀図



サイド&数量	符号	名	標	材	質	備	考
(1)	1	ボデー		SUS 28			
(1)	2	セル部組立図		SUS 27 Tita			
(1)	3	ヨーク		SS34P			
2	4	マグネット		フェライト	4.5t 使用		
2	5	六角穴付ボルト		SS	M8×10 ϕ		
1	6	アノードエネクター					

図4.2-3 : PNC型Na中水素検出計(2号機)用イオンポンプ(大)(PST-IC特型)組立図

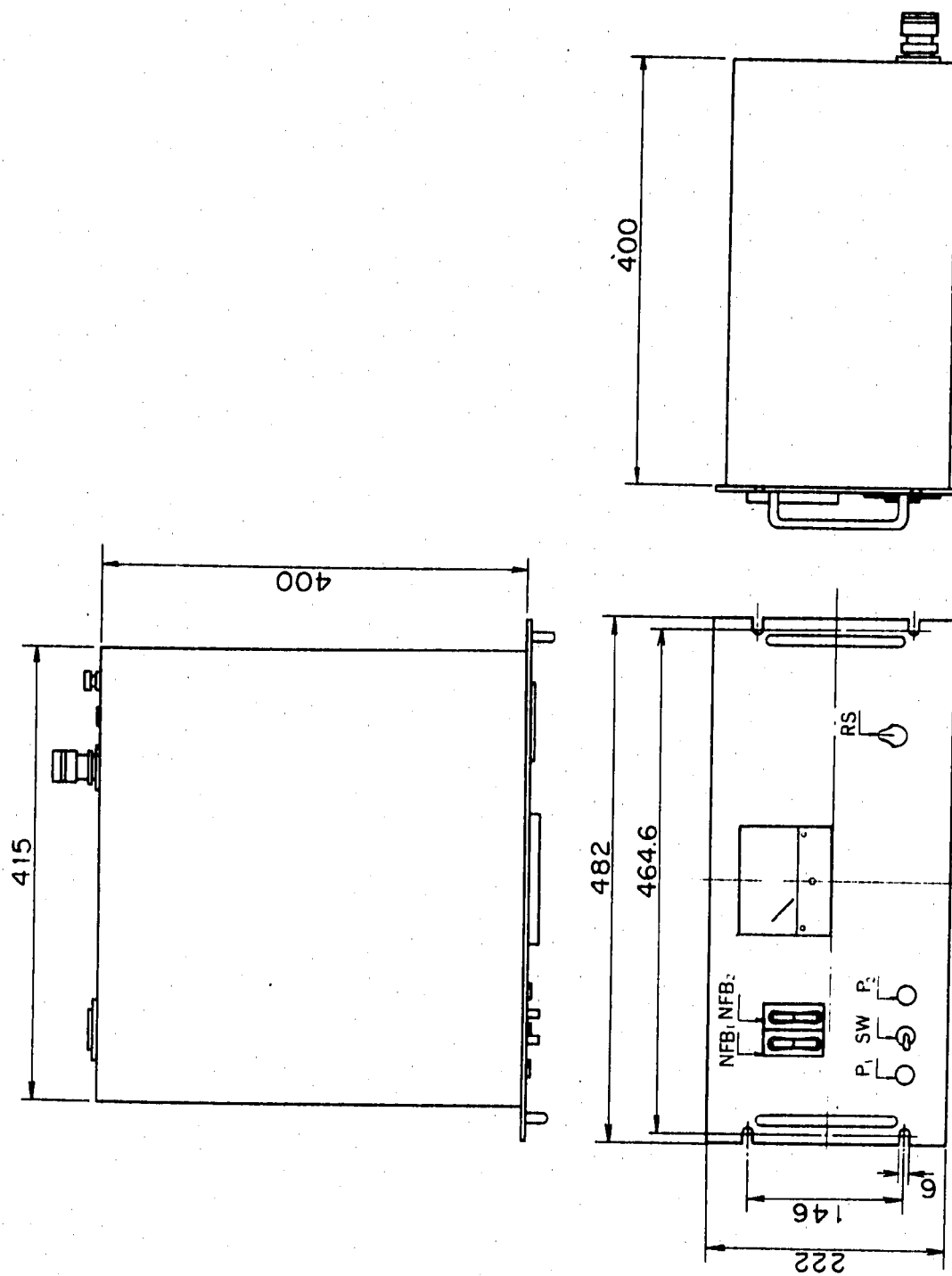


図4.2-4 : PNC型Na中水素検出計(2号機)用スパッタポンプコントロール(GSF-05 A 特性)外觀図

数量	符合	名	称	材質	備	考
(1)	1	フェルツゲージ測定子			WIS (特)	
(1)	2	電流導入フラランジ		SUS28	UFC070FH (耐圧型)	

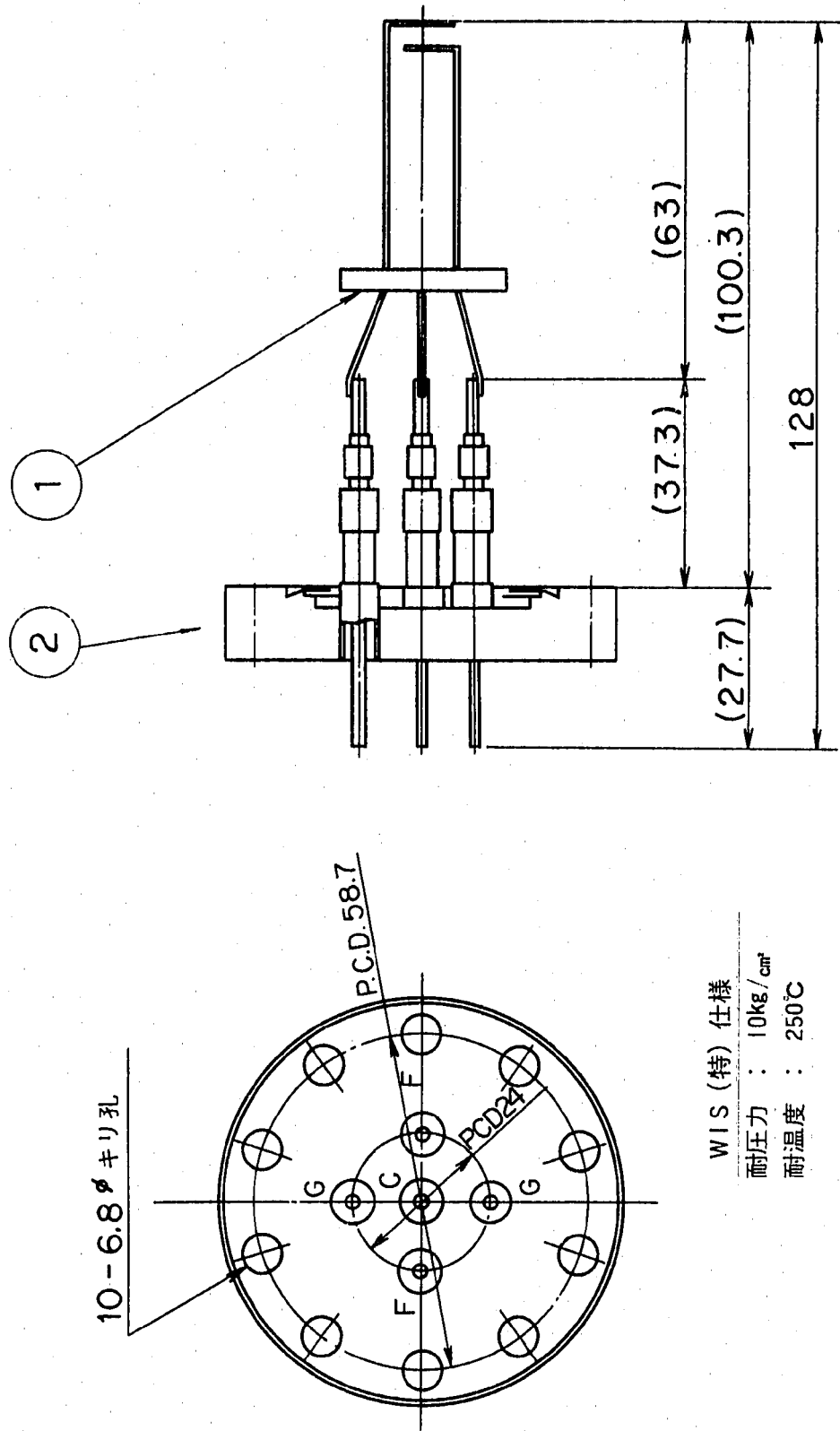


図4.2-5: PNC型Na中水素検出計(2号機)用フェルツゲージ(WIS H特型)組立図

写真	数量	行号	名 称	図 番	材 質	備 考
(1)	1		GST AP (特)			

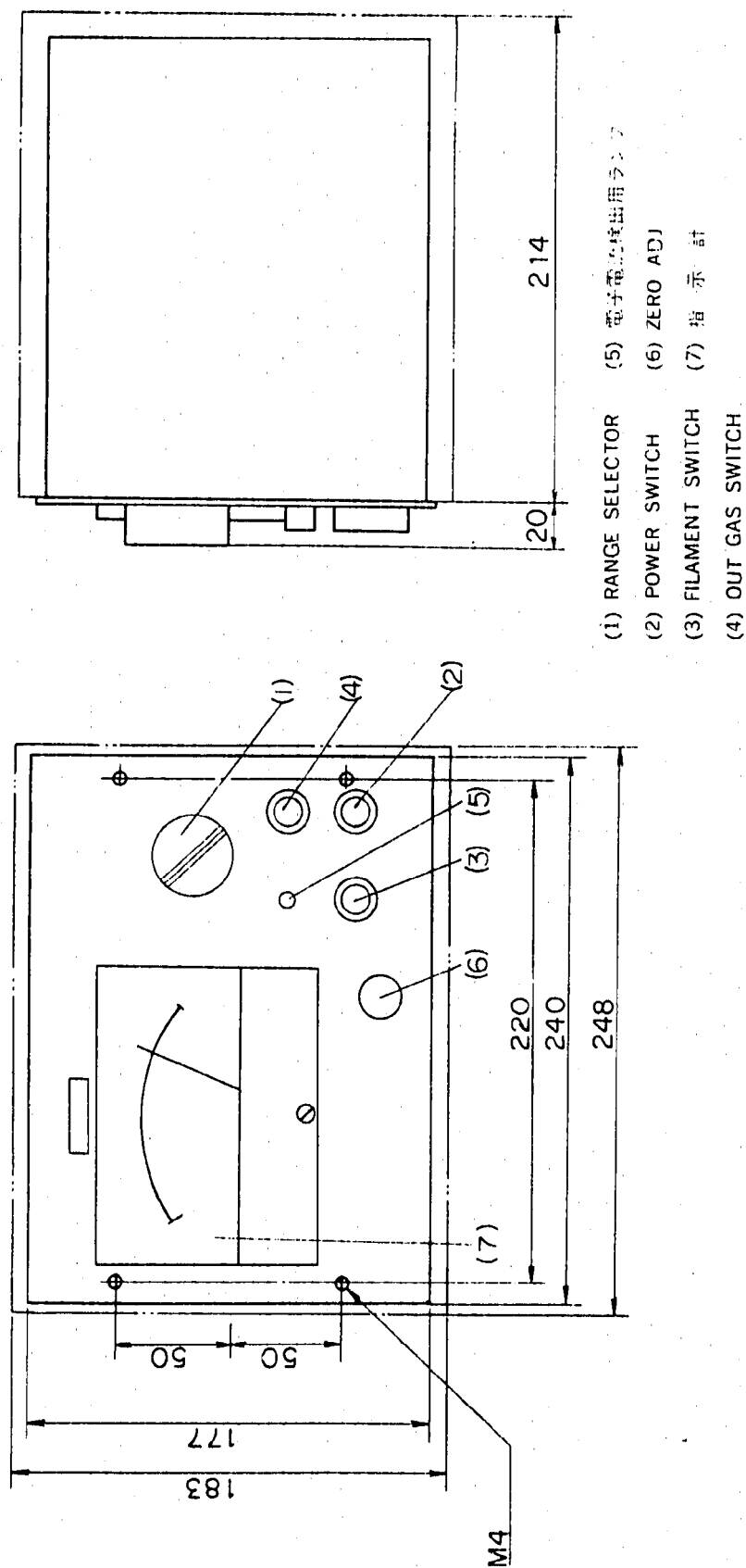


図4.2-6 : PNC型Na中水素検出計(2号機)用シュルゲーゾントロール(GI-SH型)外觀図

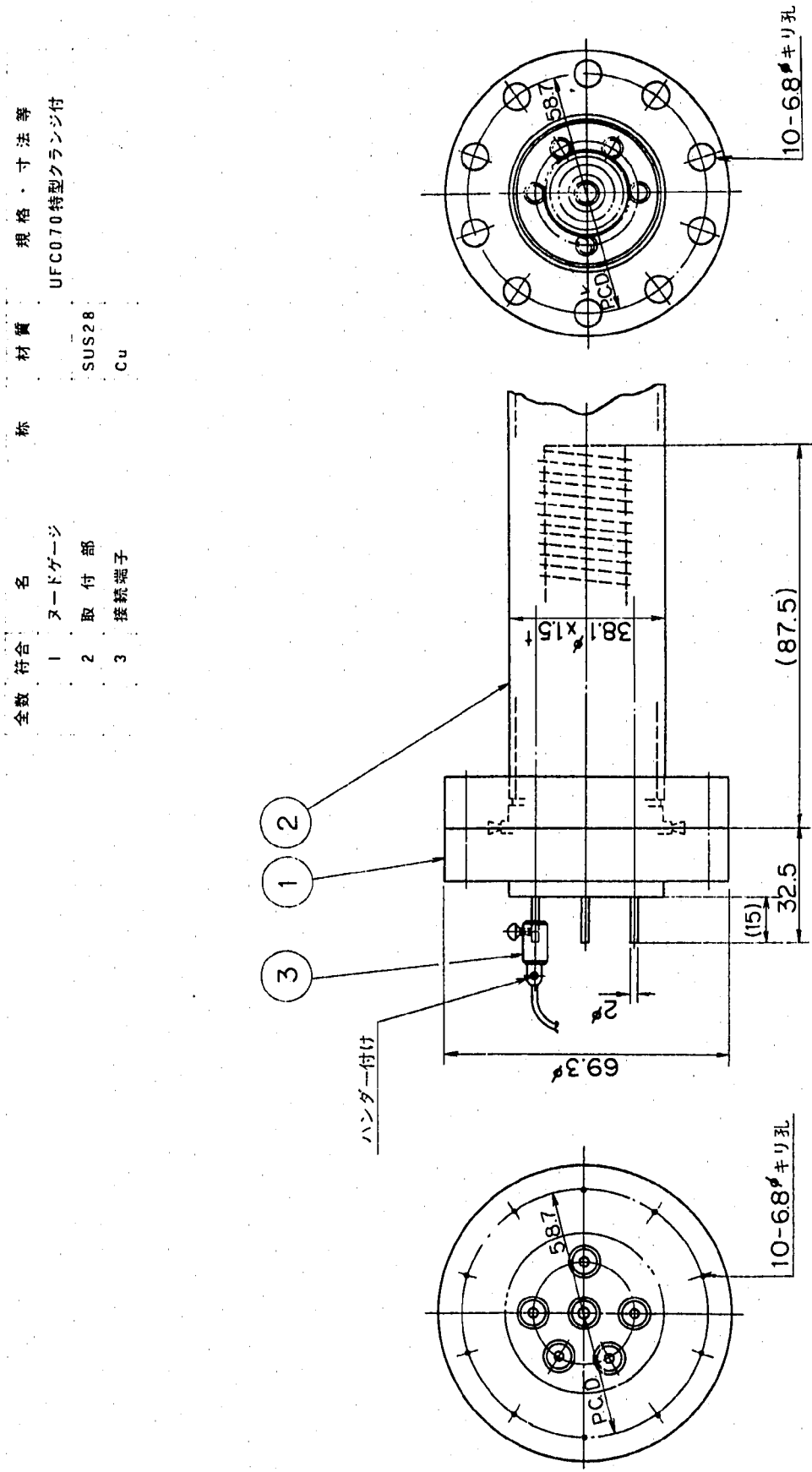
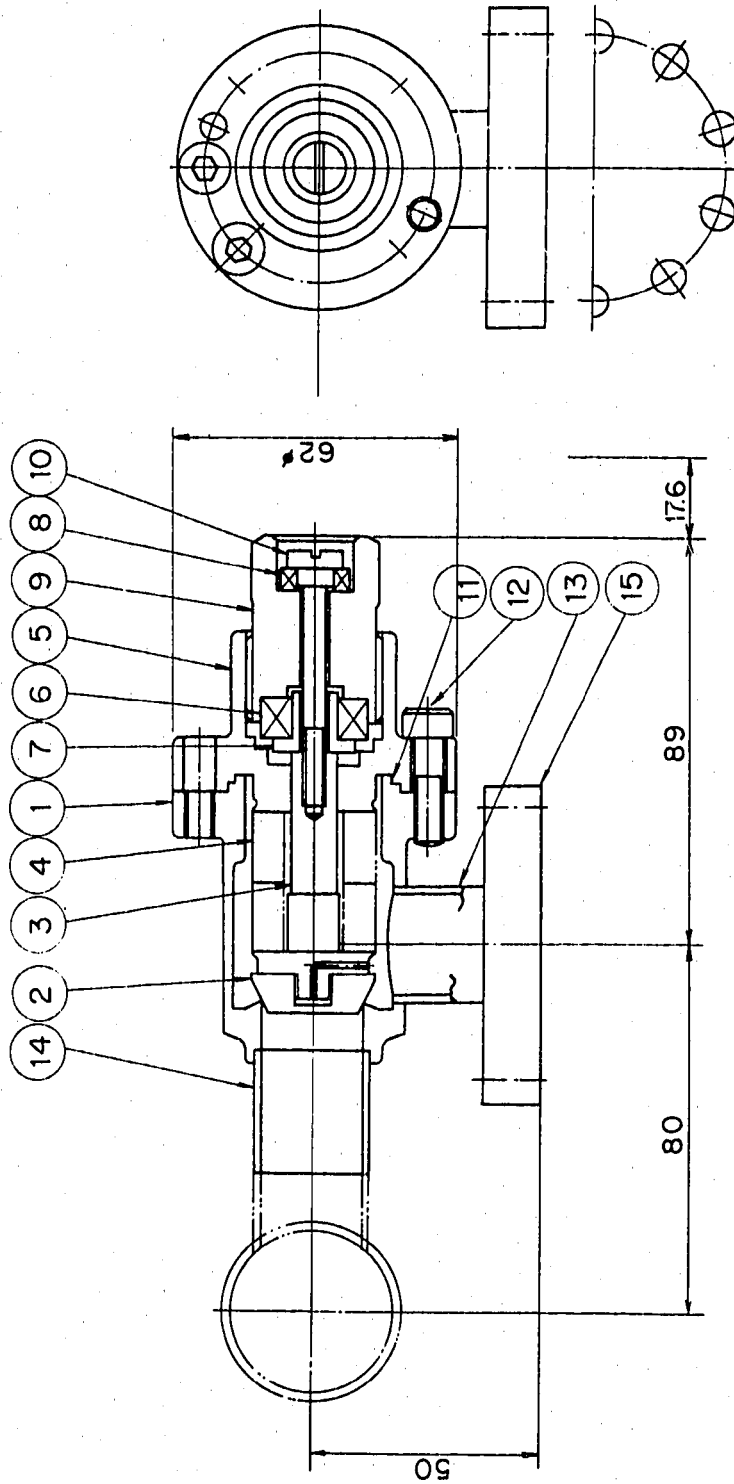


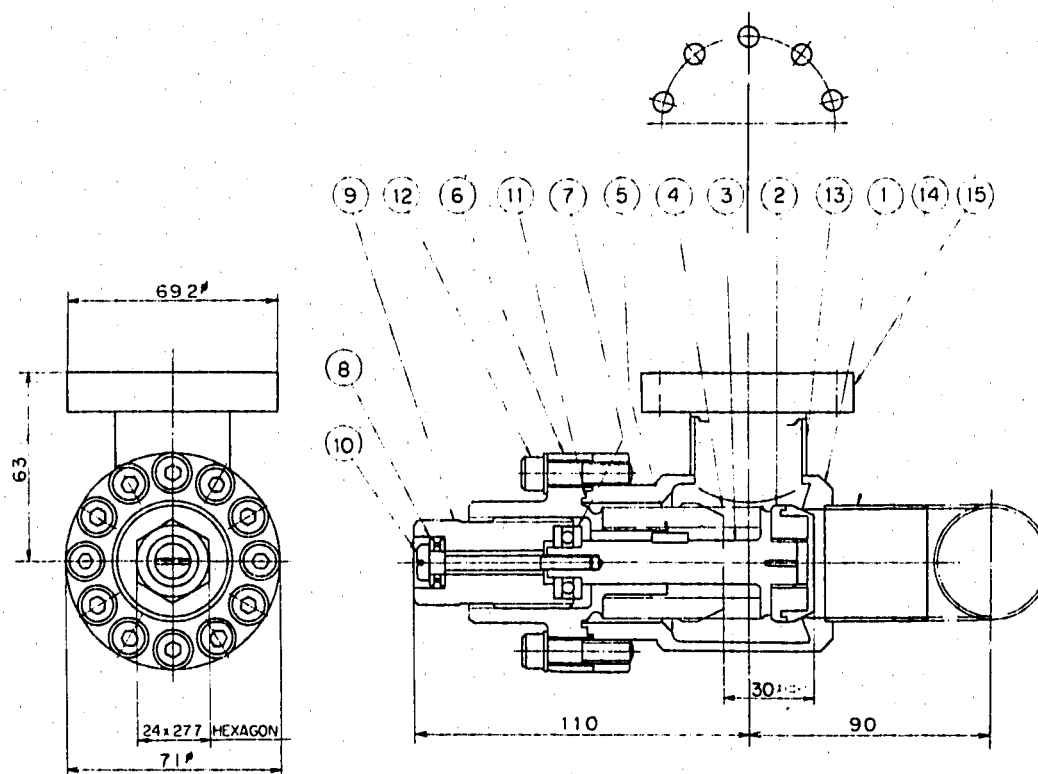
図4.2-7 : PNC型Na中水素検出計(2号機)用ヌードゲージ(WIN-N特型)組立図



1	8	スラストベアリング	(2)	AISI 440C	8 d x 16 D x 5 H
1	7	ベアリング	カラー	SUS-27	
1	6	スラストベアリング	(1)	ベアリング	10 d x 24 D x 9 H
(1)	5	ステム	フランジ	SUS-27	
(2)	4	ベローズ		SUS-28	
1	3	スピンドル		SUS-28	
1+1	2	1 - ズ		SUS-27 OFHC	
(1)	1	本体		SUS-28	
量	符号	名	称	材質	備 考

(1)	15	UFCフランジ	SUS28		
1	14	端管 (2)	SUS28		
1	13	端管 (1)	SUS28		
8	12	ソケットボルト	SUS27	5/6-24 UHF X 25 L	
1+2	11	AVガスケット	Au		
1	10	押しねじ	SUS27		
1	9	ドライフスクリュー	BsBM2	Ni-Crメッキ	
量	符合	名	称	材質	備 考

図4.2-9 : PNC型Na中水素検出計(2号機)用UHVメタルバルブ(VUH-25耐圧型)構造部



全	数	量	符	号	名	称	材	質	備	考
		1	1		本 体		SUS28			
		1	2		ノーズ		SUS27 OFHC			
		(1)	3		スピンドル		SUS28			
		(1)	4		ベロー		SUS27	入江工研		
		1	5		平行キー		SUS27			
		(1)	6		ステムフランジ		SUS28			
		1	7		スラストベアリング (1)		BEARING STEEL			
		1	8		スラストベアリング (2)		AISL 4COG			
		1	9		ドライブスクリュー		BsBMZ	B Cr M 3	メッキ	
		1	10		押えネジ		SUS27			
		(1)	11		フランジガスケット		AU			
		12	12		ソケットボルト		SUS27	$\frac{5}{16}$ "	$\times 24$ UNF $\times 28$ L	
		1	13		端 管 (1)		SUS28			
		1	14		// (2)		SUS28			
		(1)	15		UFCフランジ		SUS28	耐圧型		

図4.2-10: PNC型Na中水素検出計(2号機)用UHVメダルバルブ
(VUH-401耐圧型)構造図

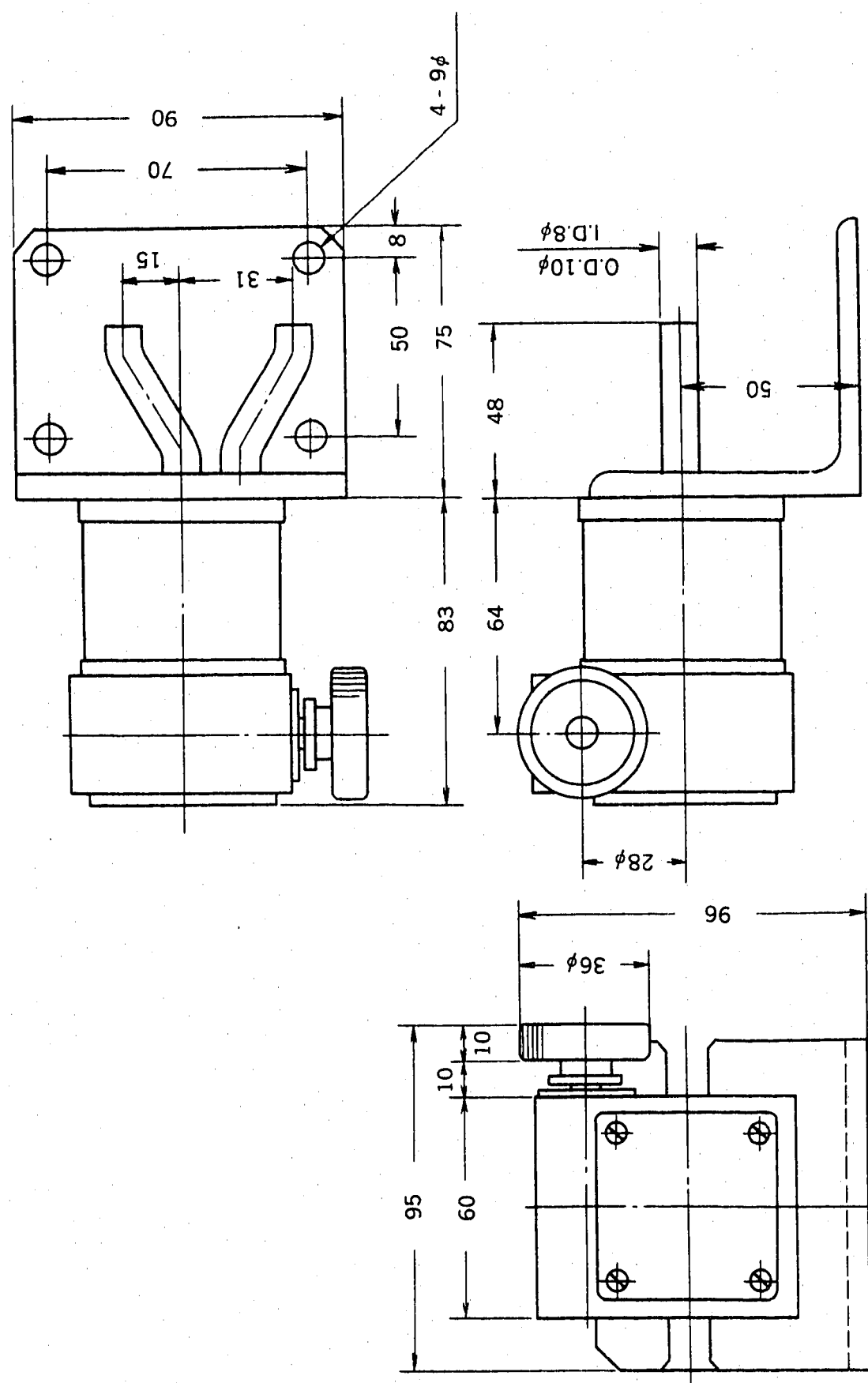


図4.2-11: PNC型Na中水素検出計(2号機)用バリアブルリークバルブ(VLV-3型)外形図

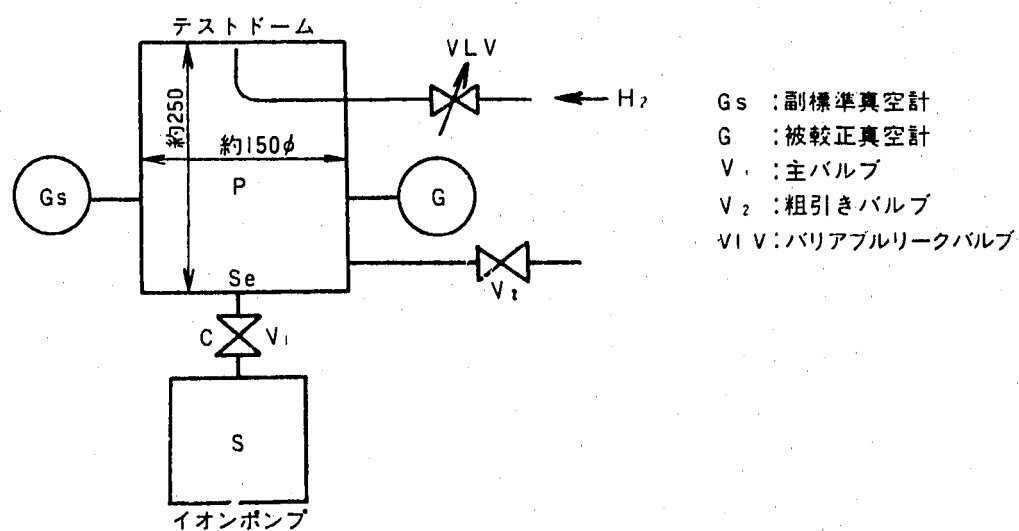


図4.3-1 : 電離真空計水素ガス較正試験装置

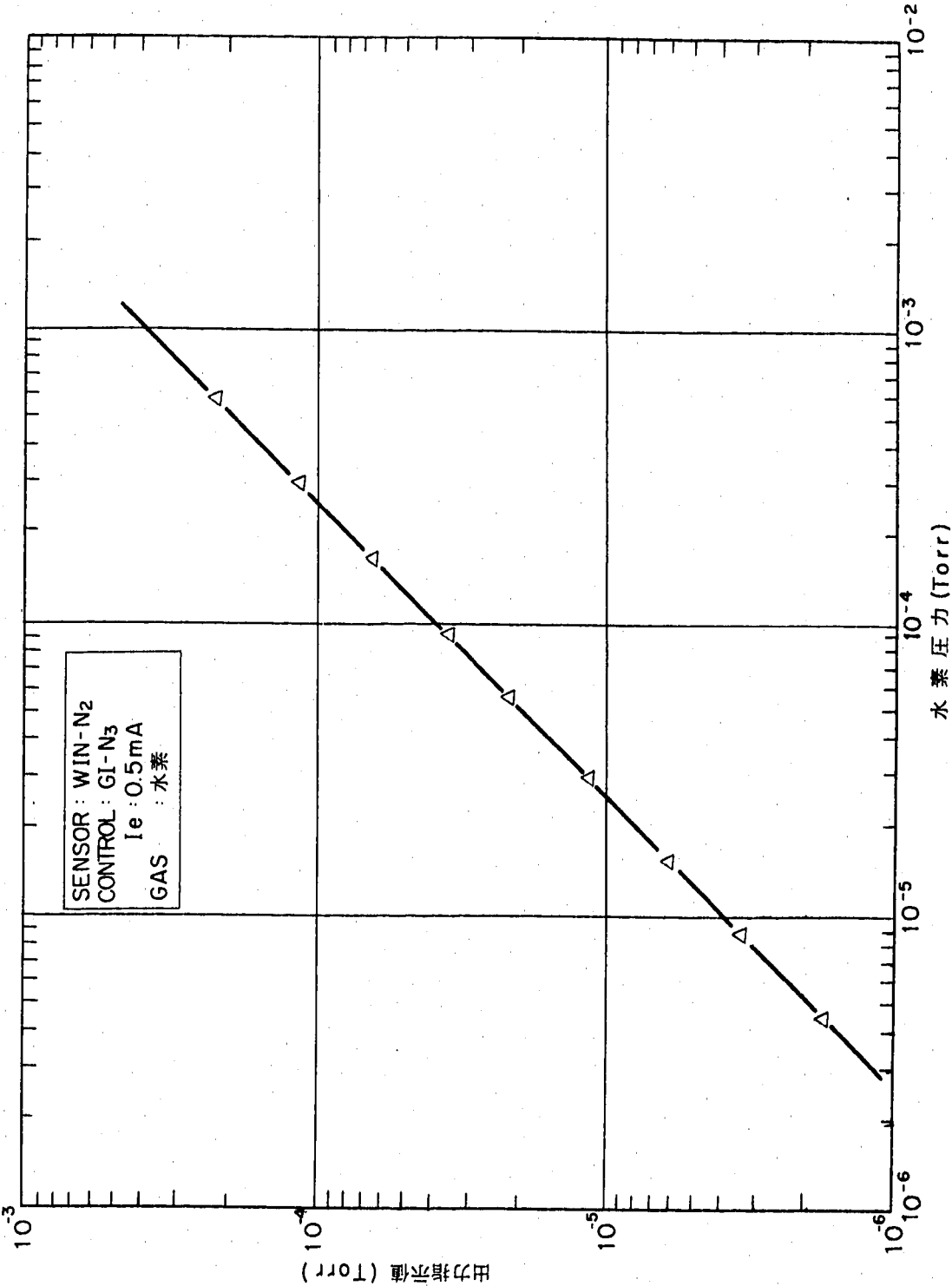


図4.3-2 : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-Iヌードゲージ校正曲線

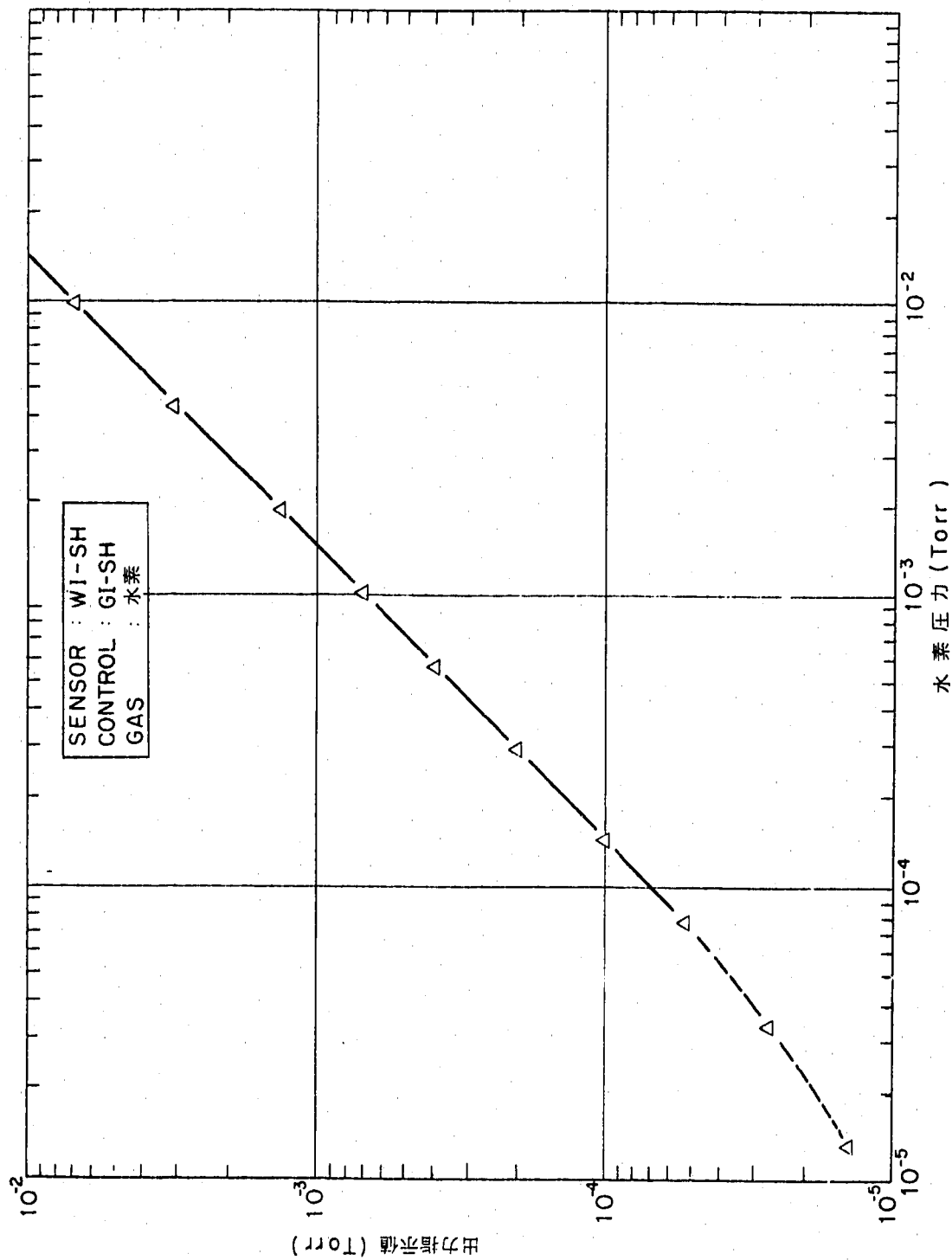


図4.3-3 (1/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-Iシユルツゲージ較正曲線(低圧側)

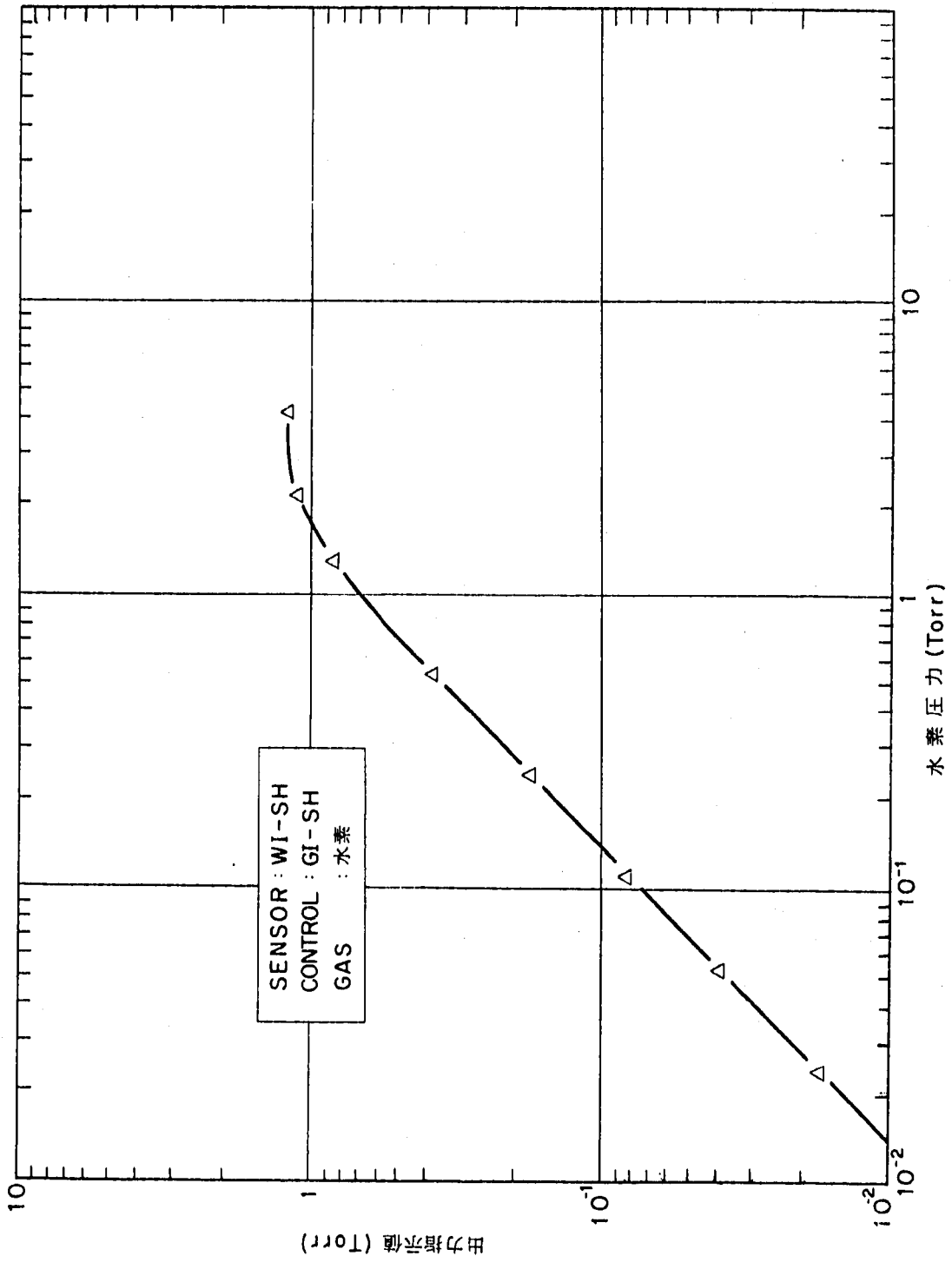


図4.3-3 (2/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-Iシユルツゲー比較正曲線(高压側)

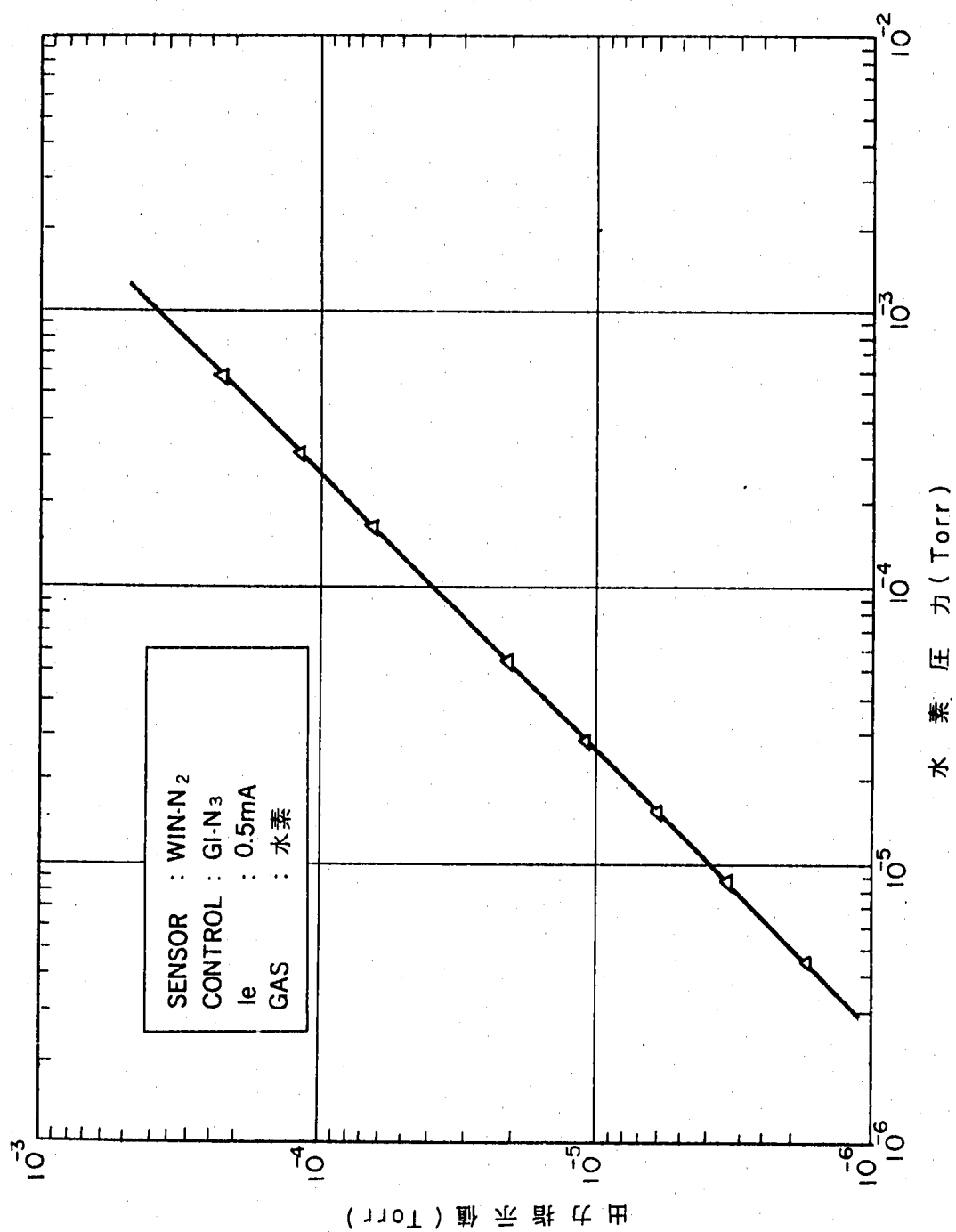


図4.3-4 : PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.1 ノードゲージ校正曲線

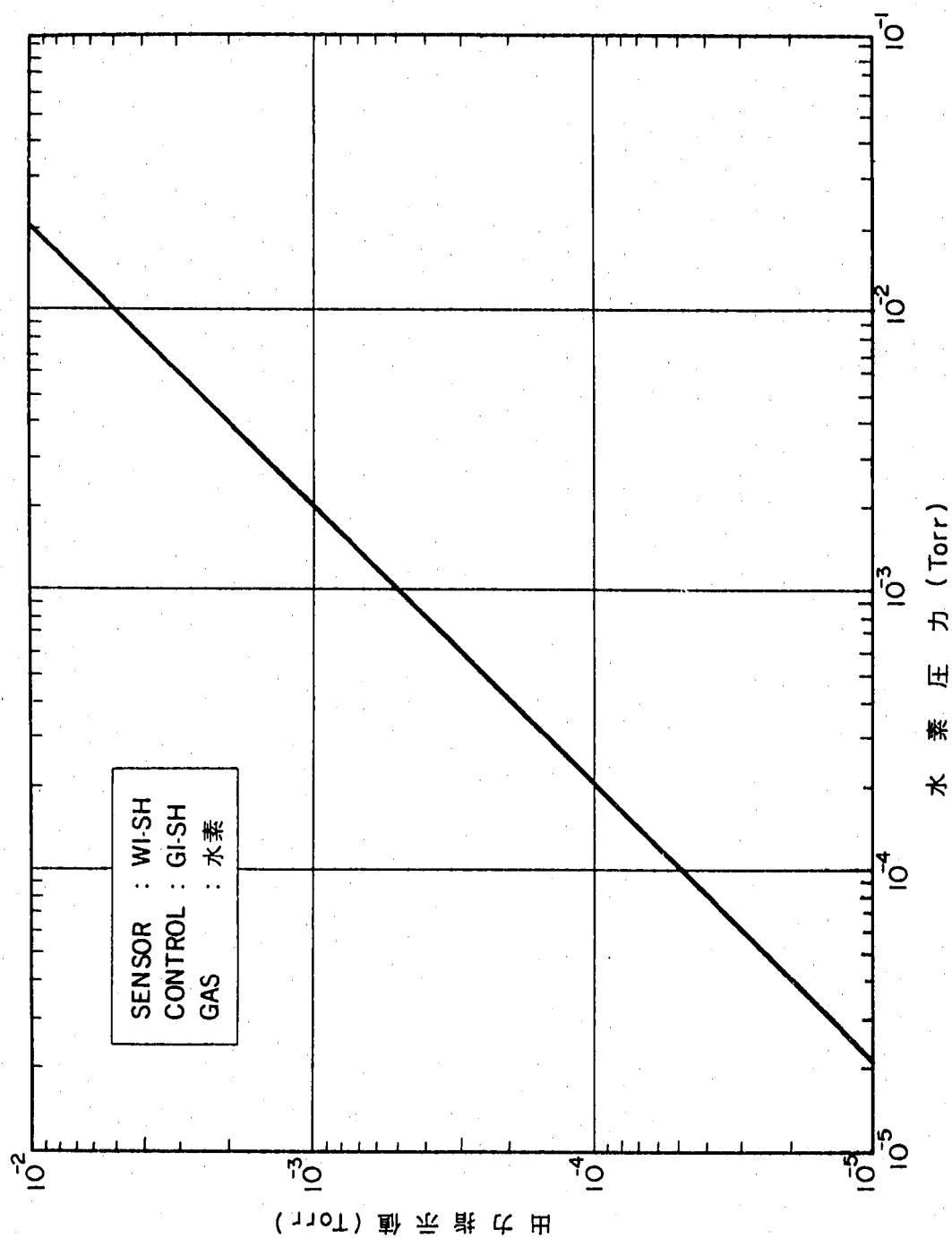


図4.3-5(1/2): PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.1 シュルツゲージ校正曲線(低圧側)

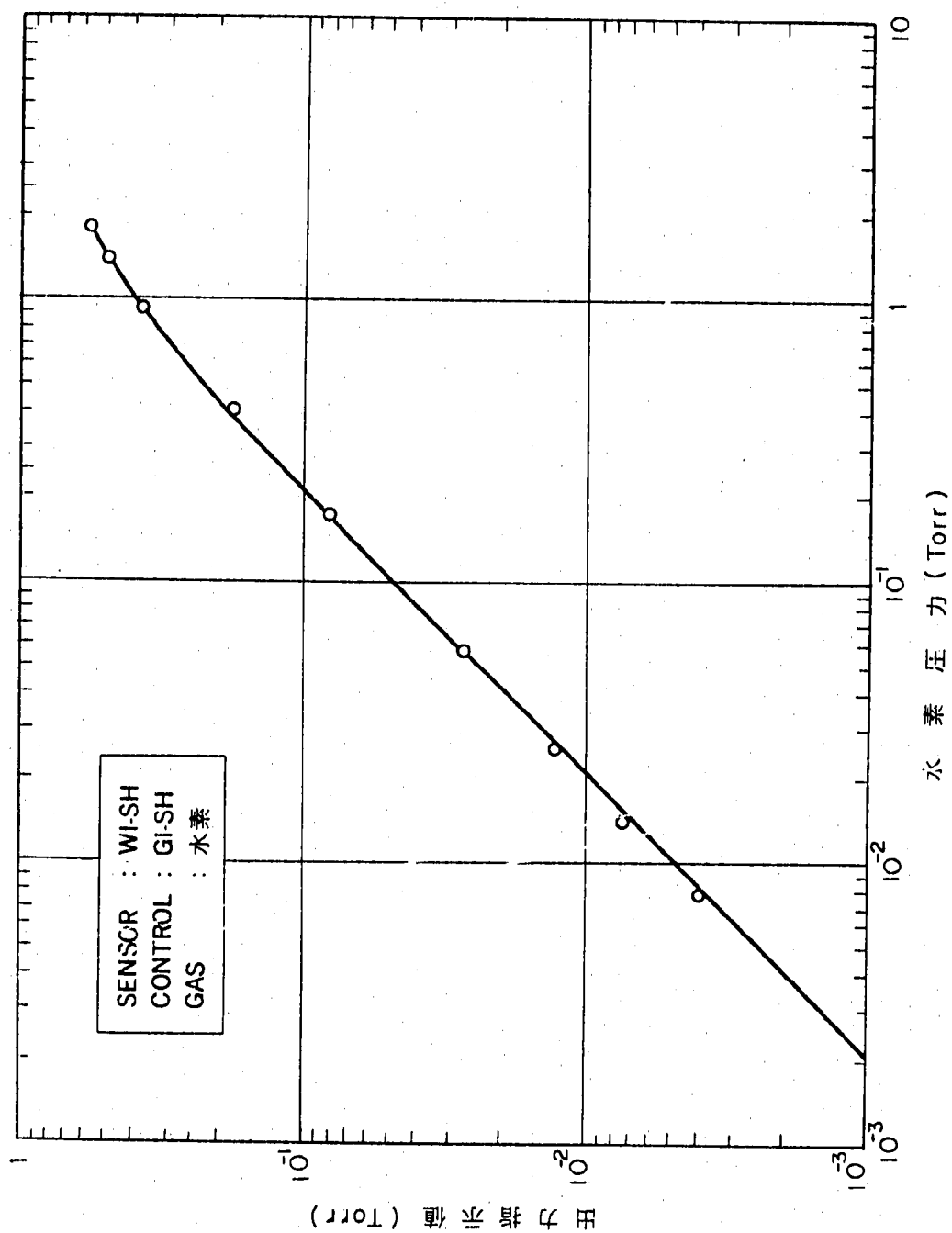


図4.3-5 (2/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.1 シュルツゲーゼ校正曲線(高压側)

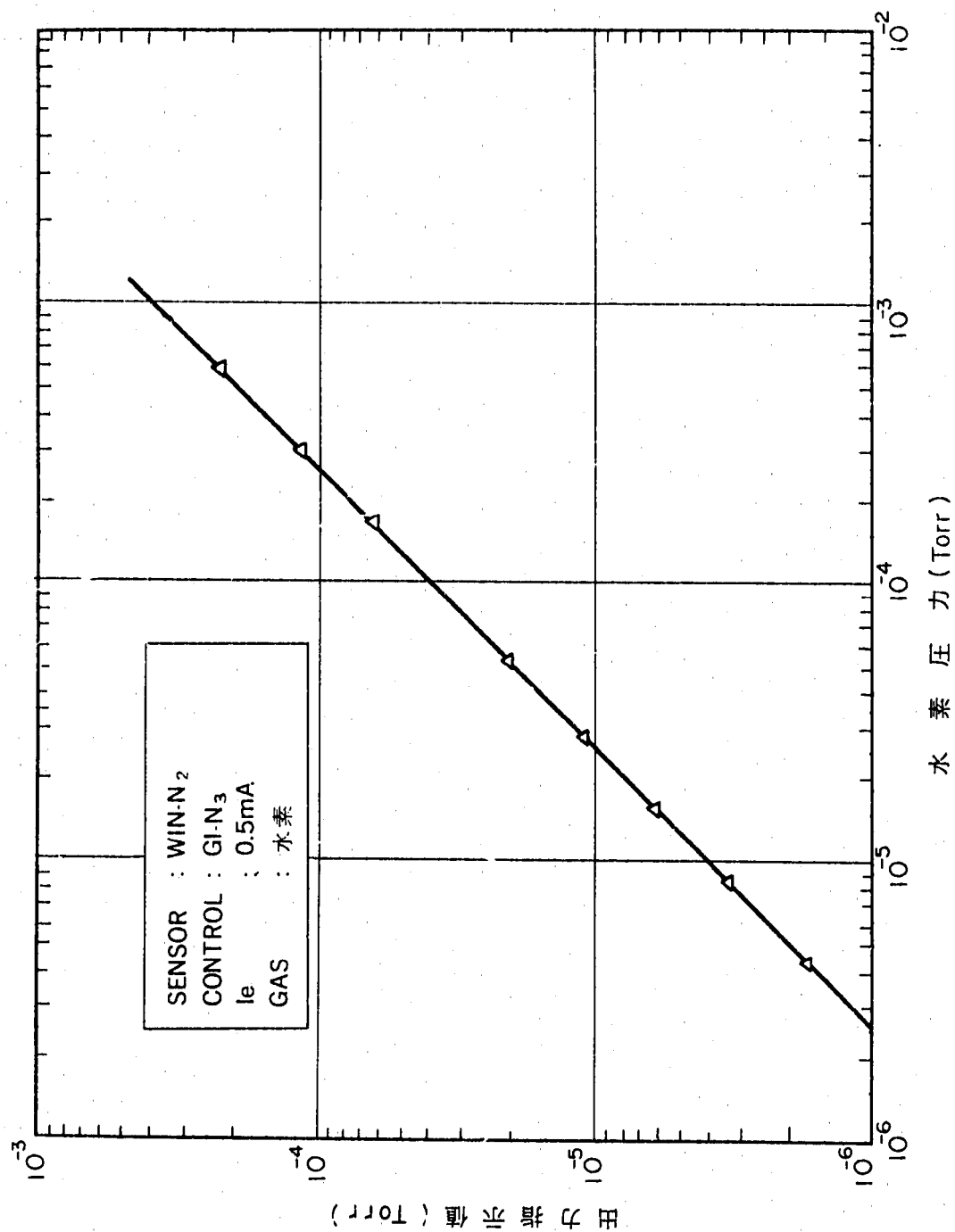


図4.3-6 : PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.2 ノードゲージ校正曲線

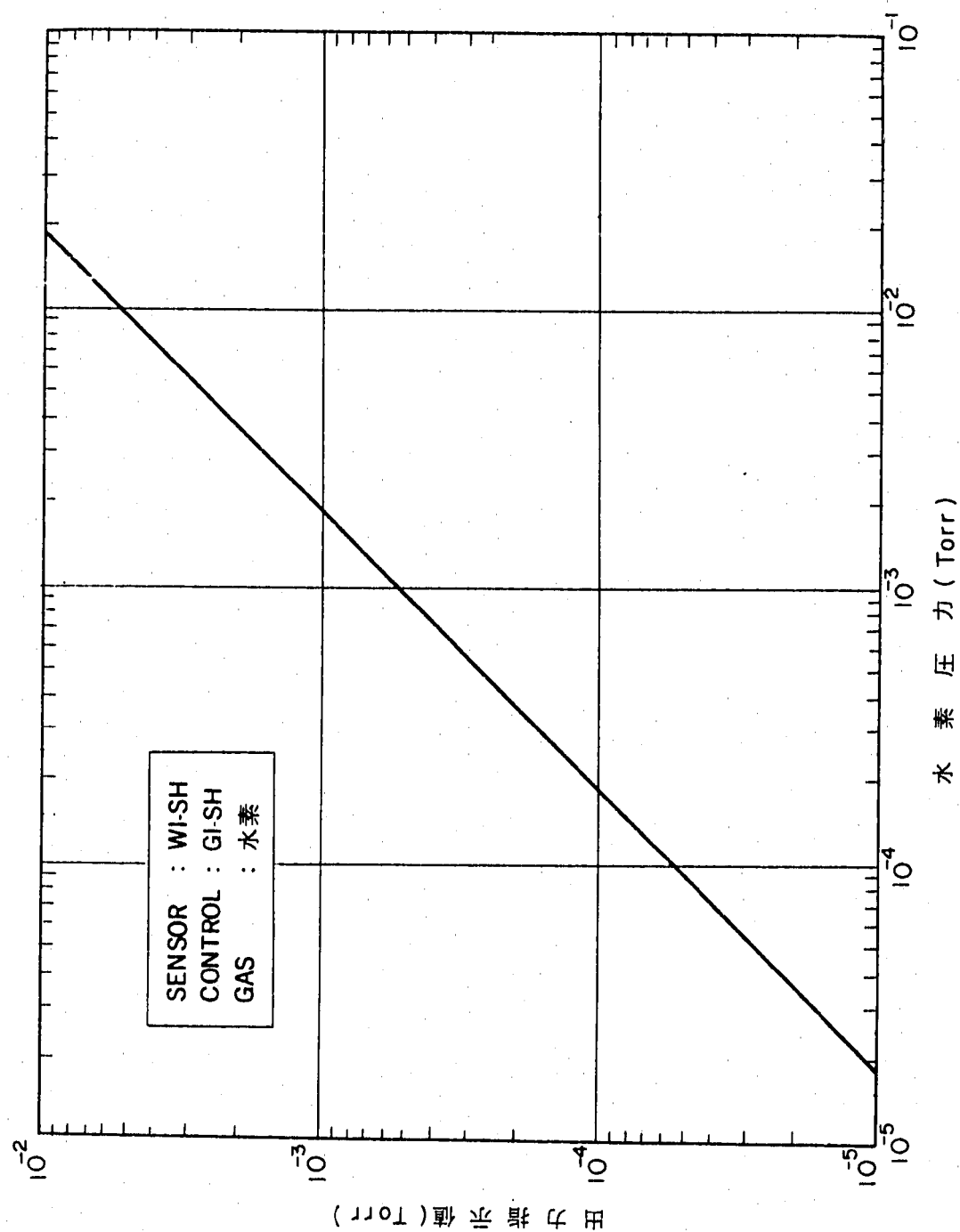


図4.3-7 (1/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.2 シュルツゲーゼ校正曲線(低圧側)

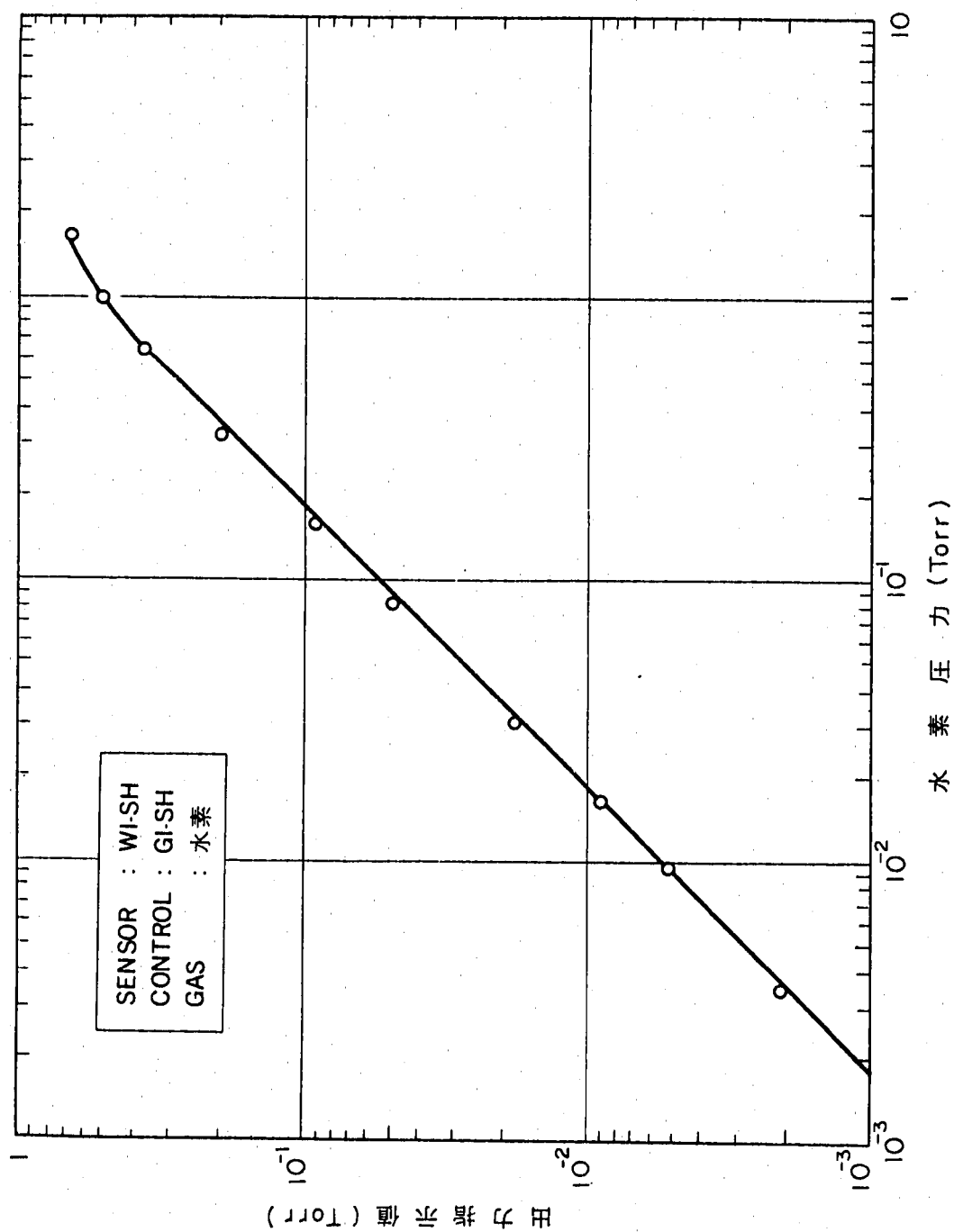


図4.3-7 (2/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.2 シュルツゲージ校正曲線(高压側)

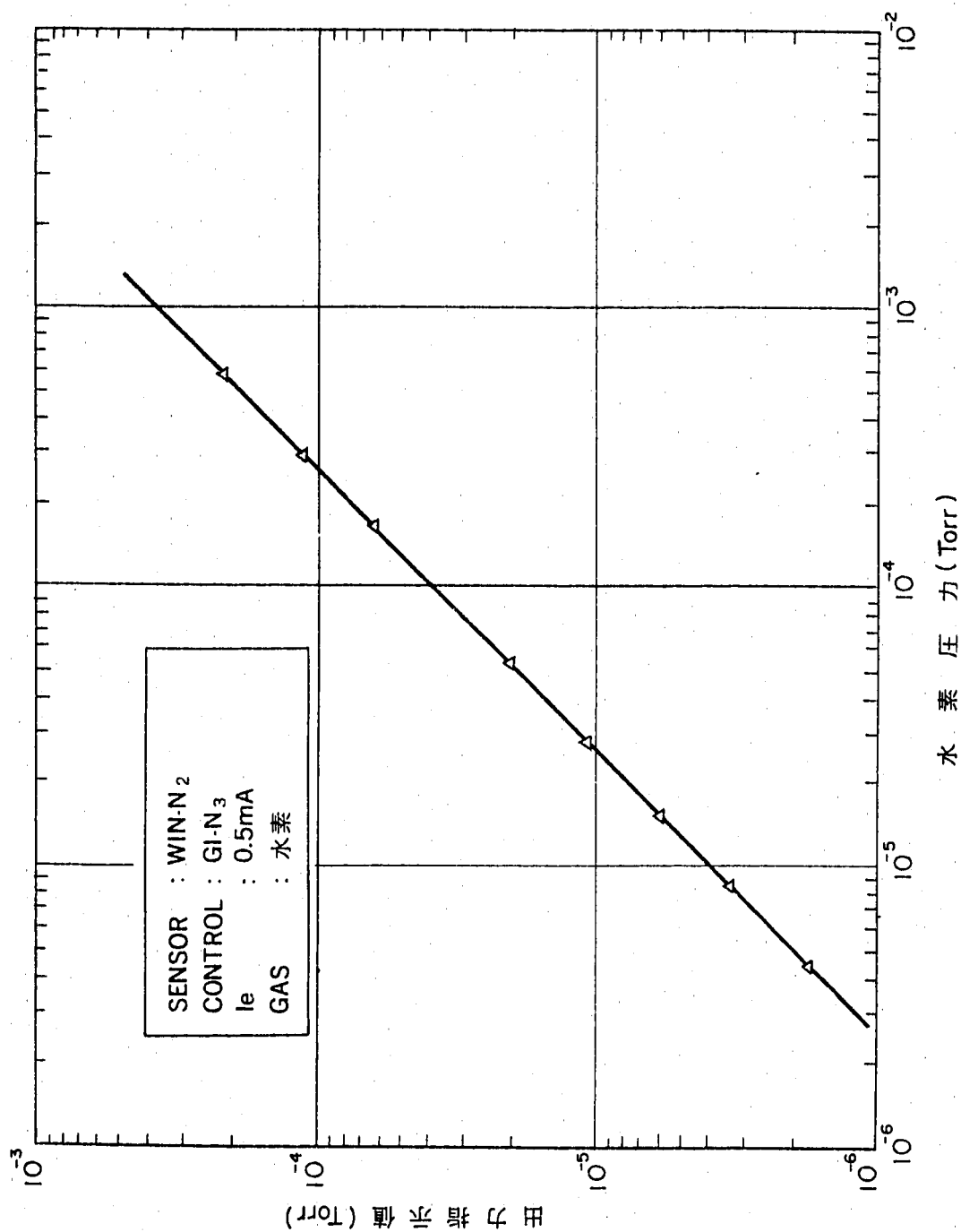


図4.3-8: PNC型Na中水素検出計(2号機)MK-II No.3 ノードゲージ校正曲線

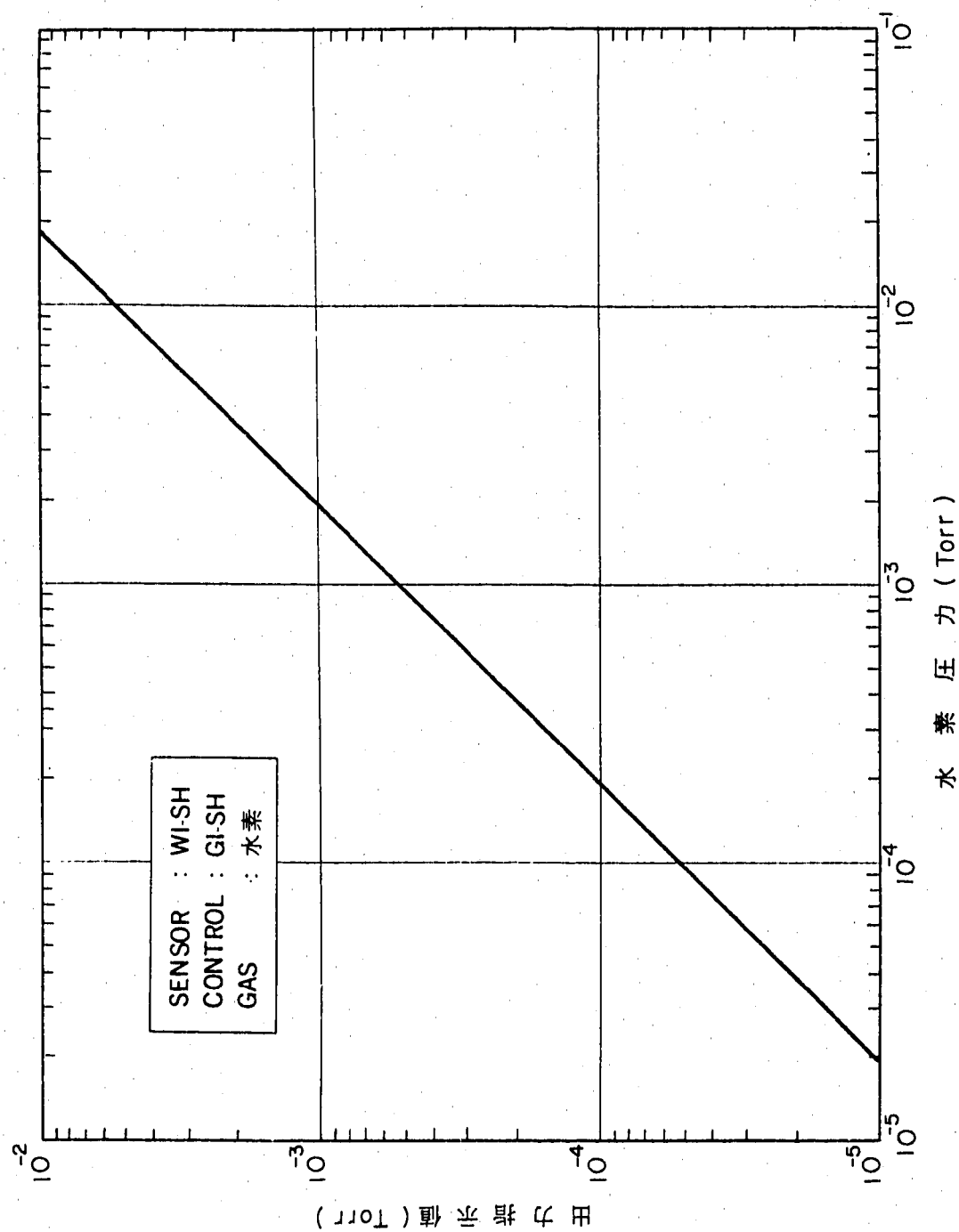


図4.3-9 (1/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.3 シュルツゲー比較正曲線(低圧側)

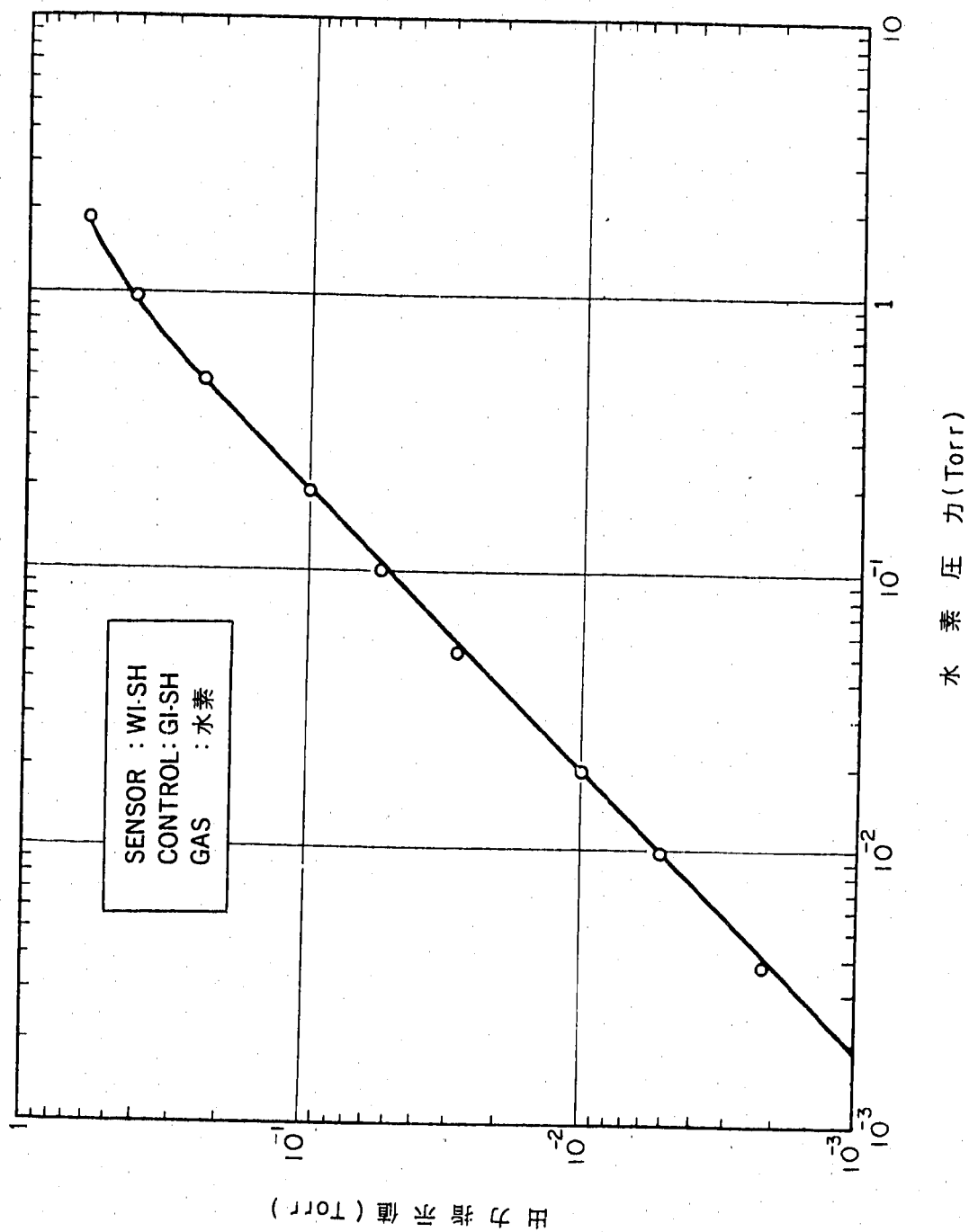


図4.3-9 (2/2) : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II No. 3 シュルツゲーージ校正曲線 (高压側)

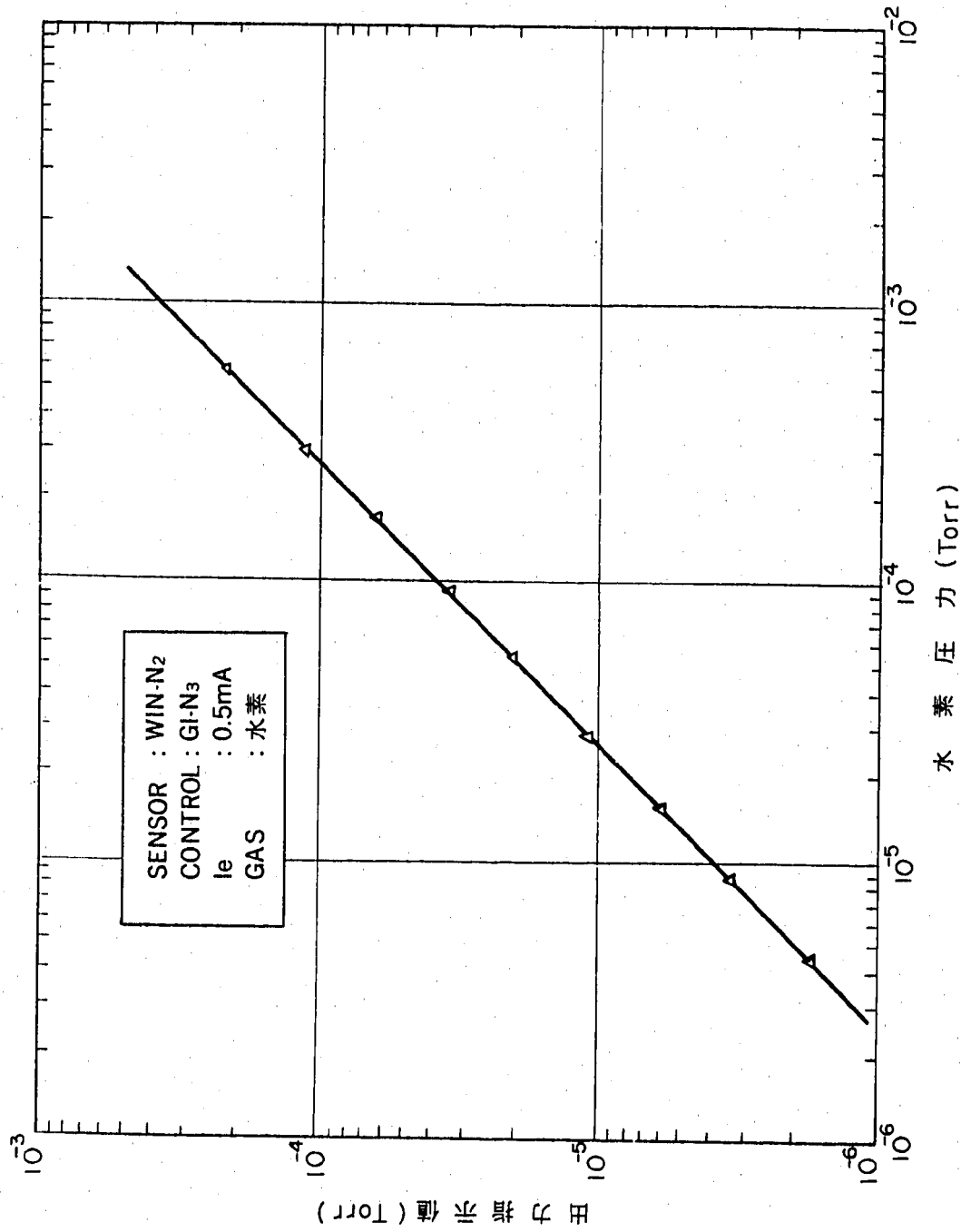


図4.3-10: PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.4 ノードゲージ校正曲線

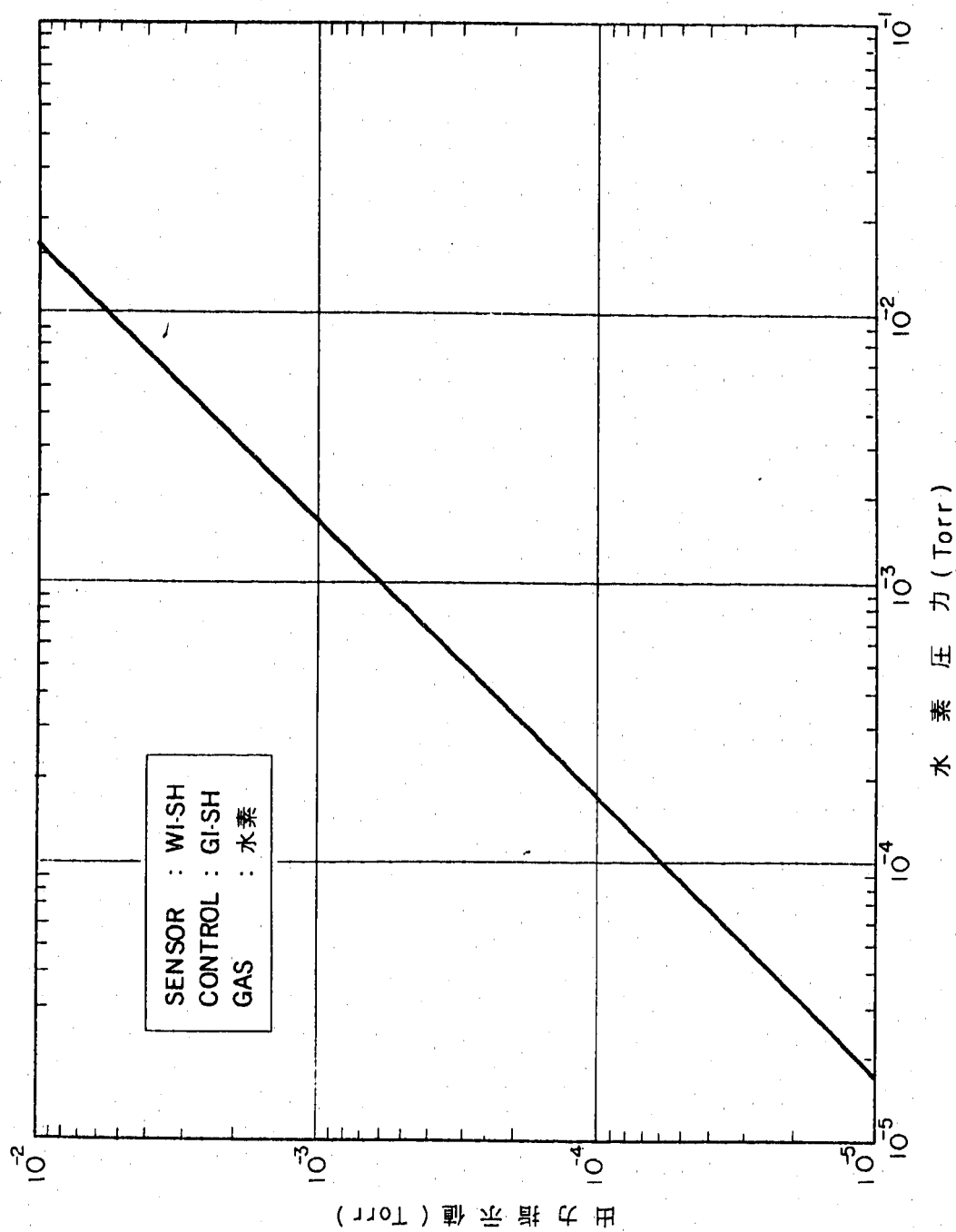


図4.3-11(1/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.4 シュルツゲーゼ校正曲線(低圧側)

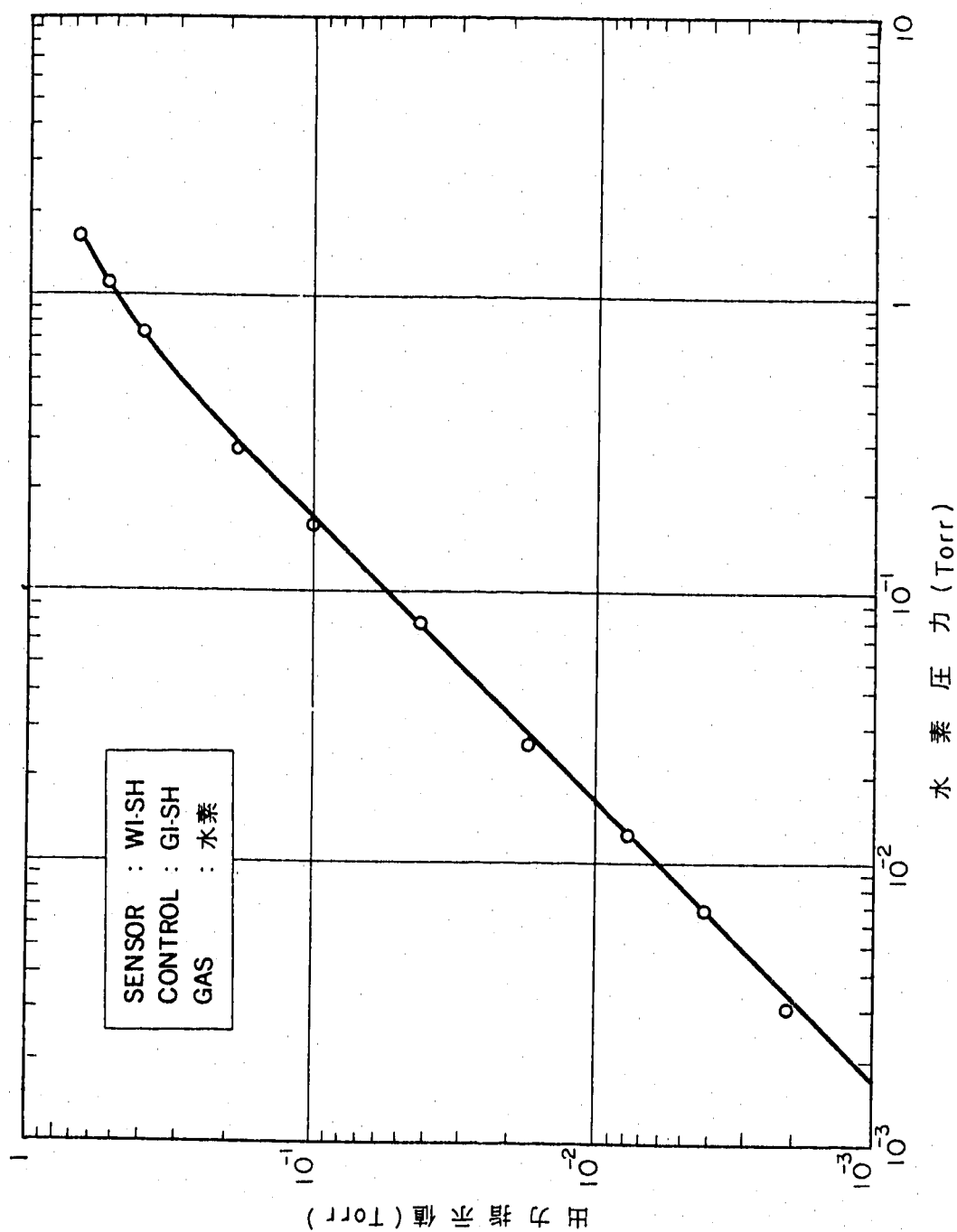


図4.3-11(2/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.4 シュルツゲージ校正曲線(高压側)

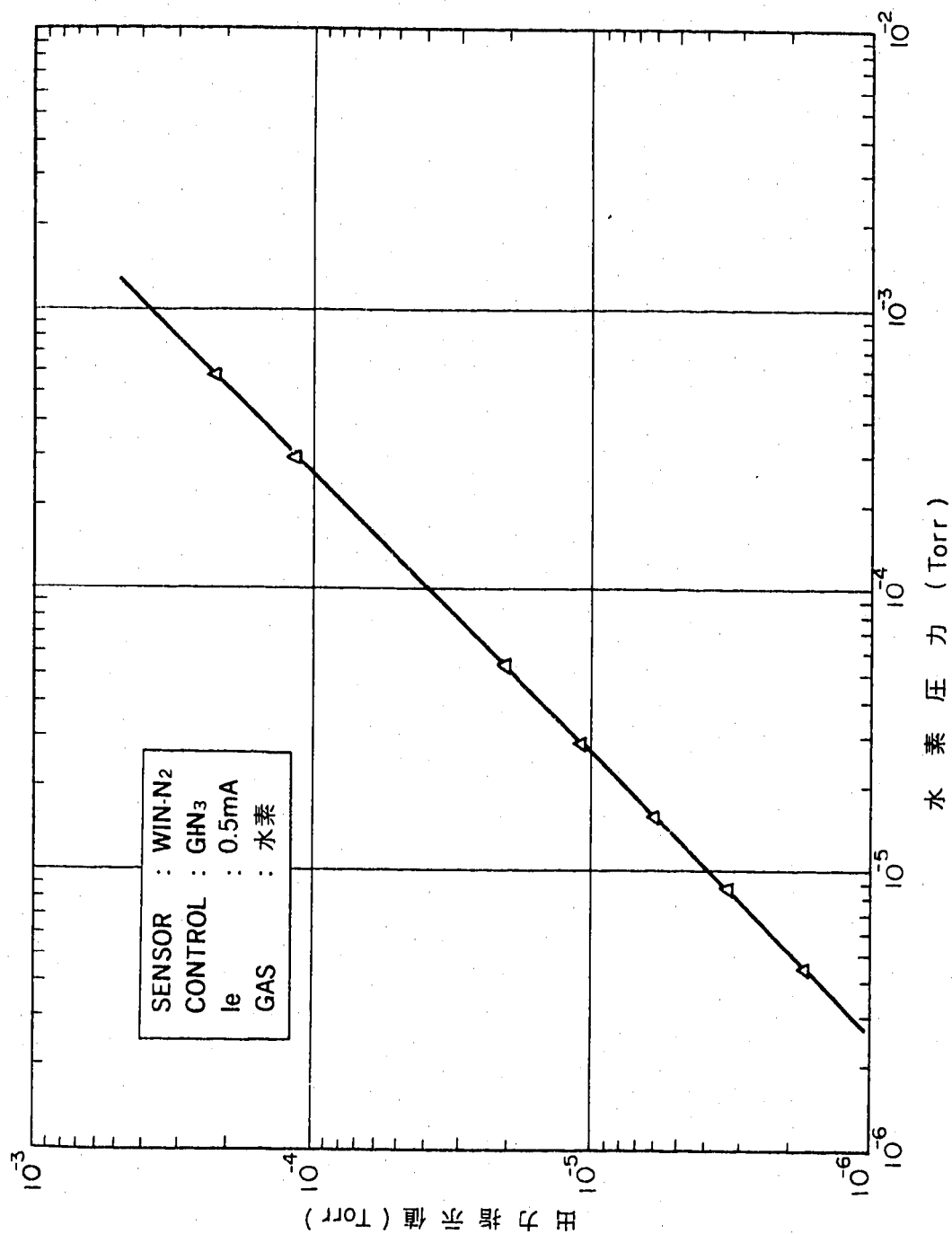


図4.3-12: PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.5 ノードゲージ校正曲線

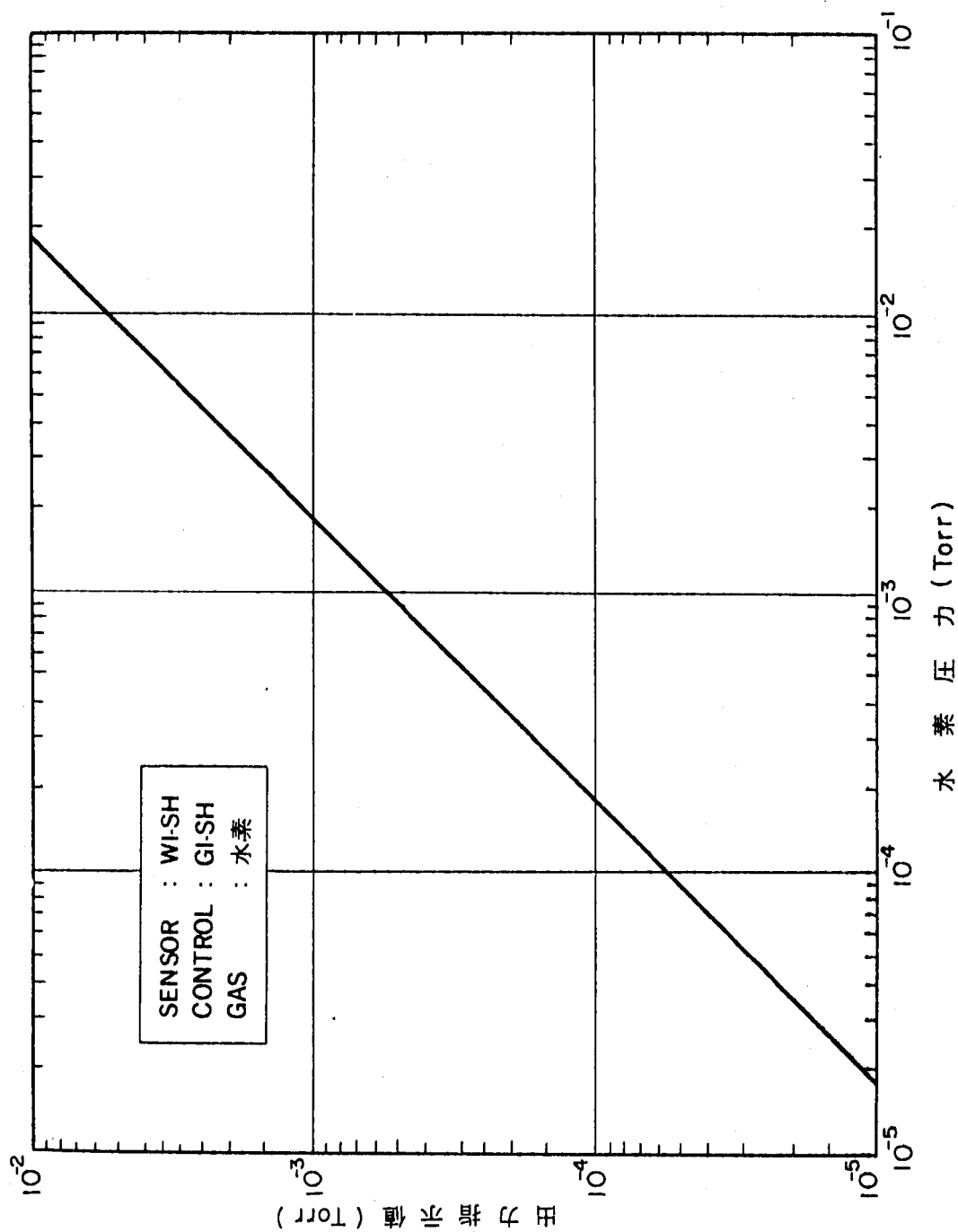


図4.3-13(1/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.5 シュールツゲージ校正曲線(低圧側)

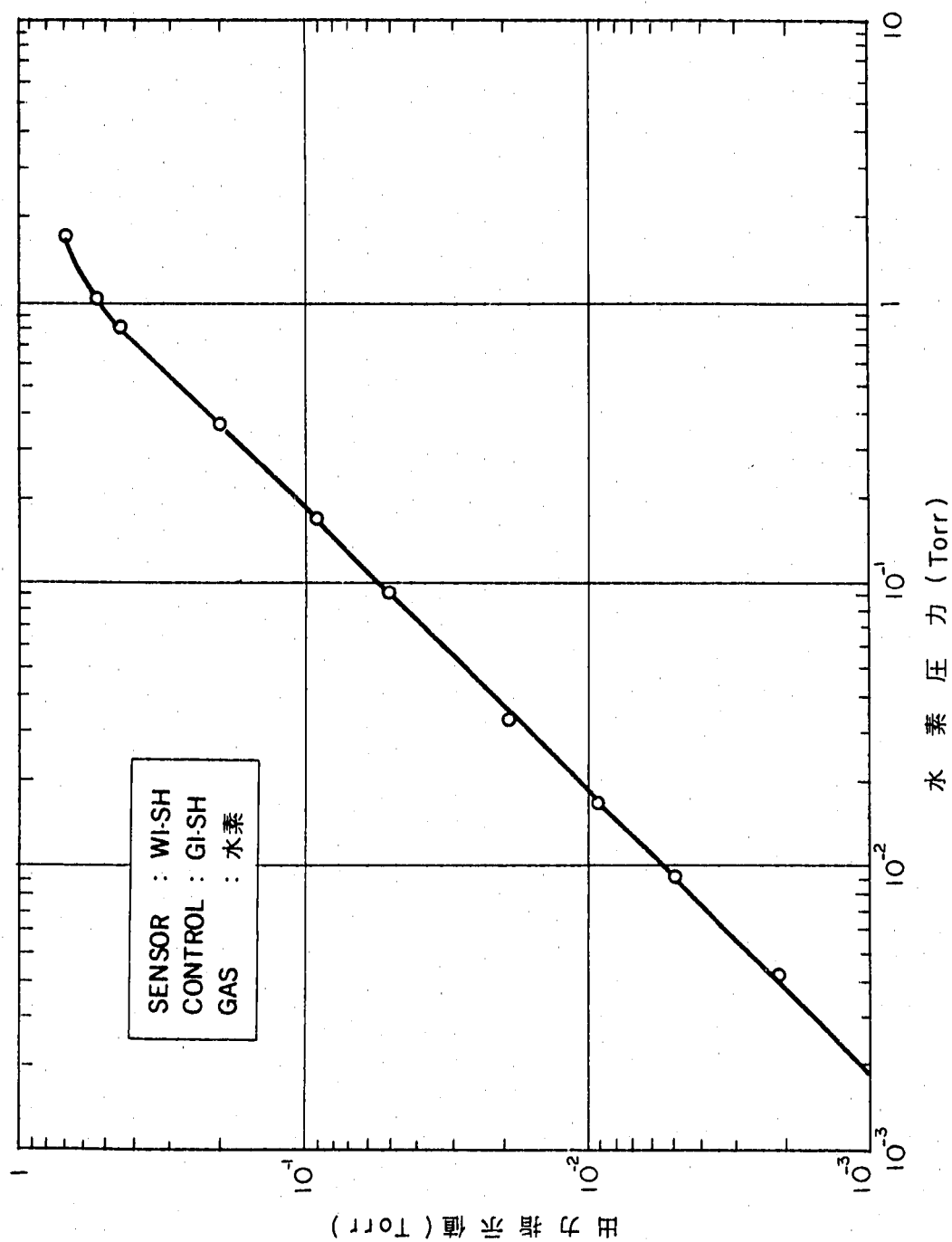


図4.3-13(2/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.5 シュルツゲージ校正曲線(高压側)

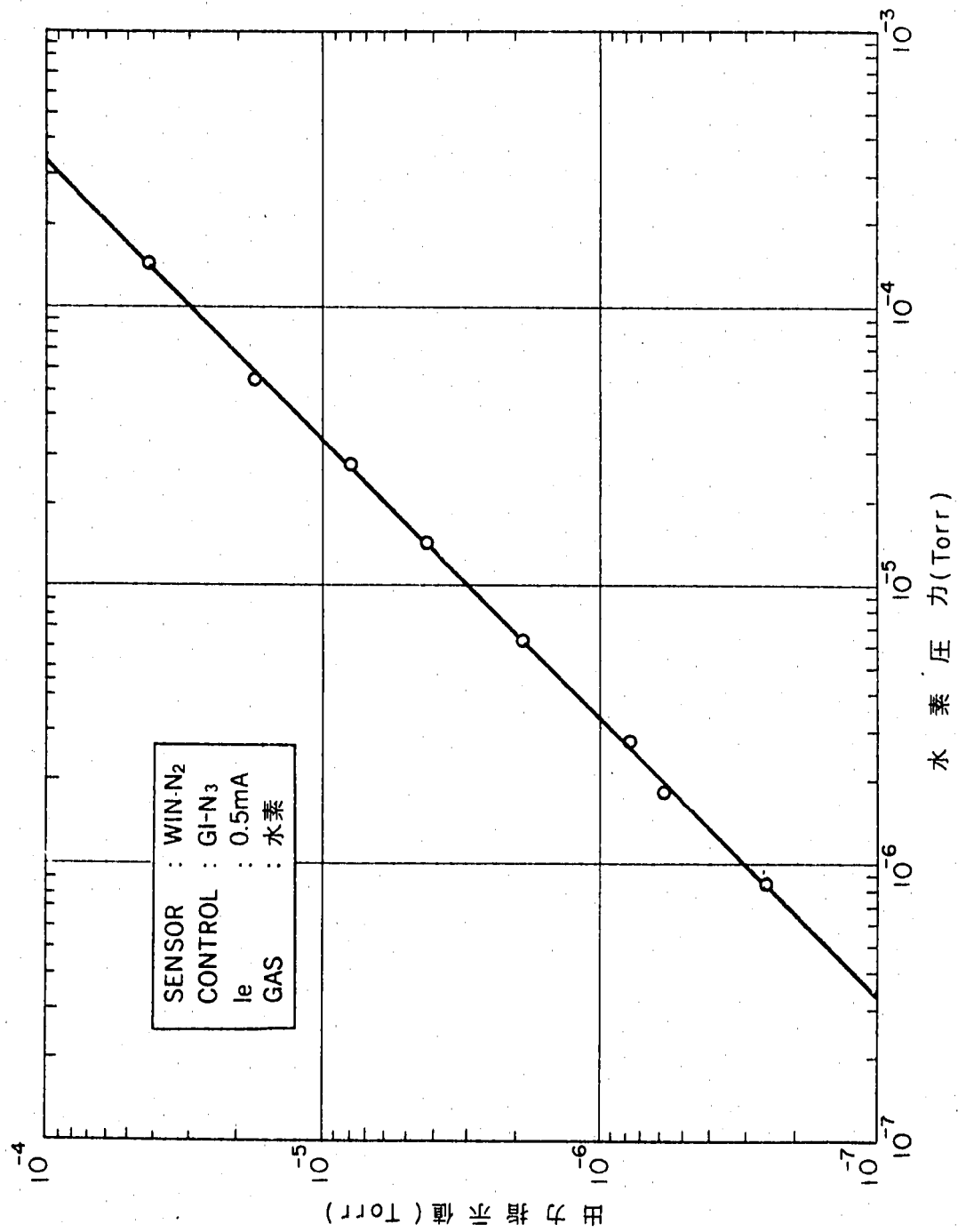


図4.3-14: PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-IIIヌードゲージ校正曲線

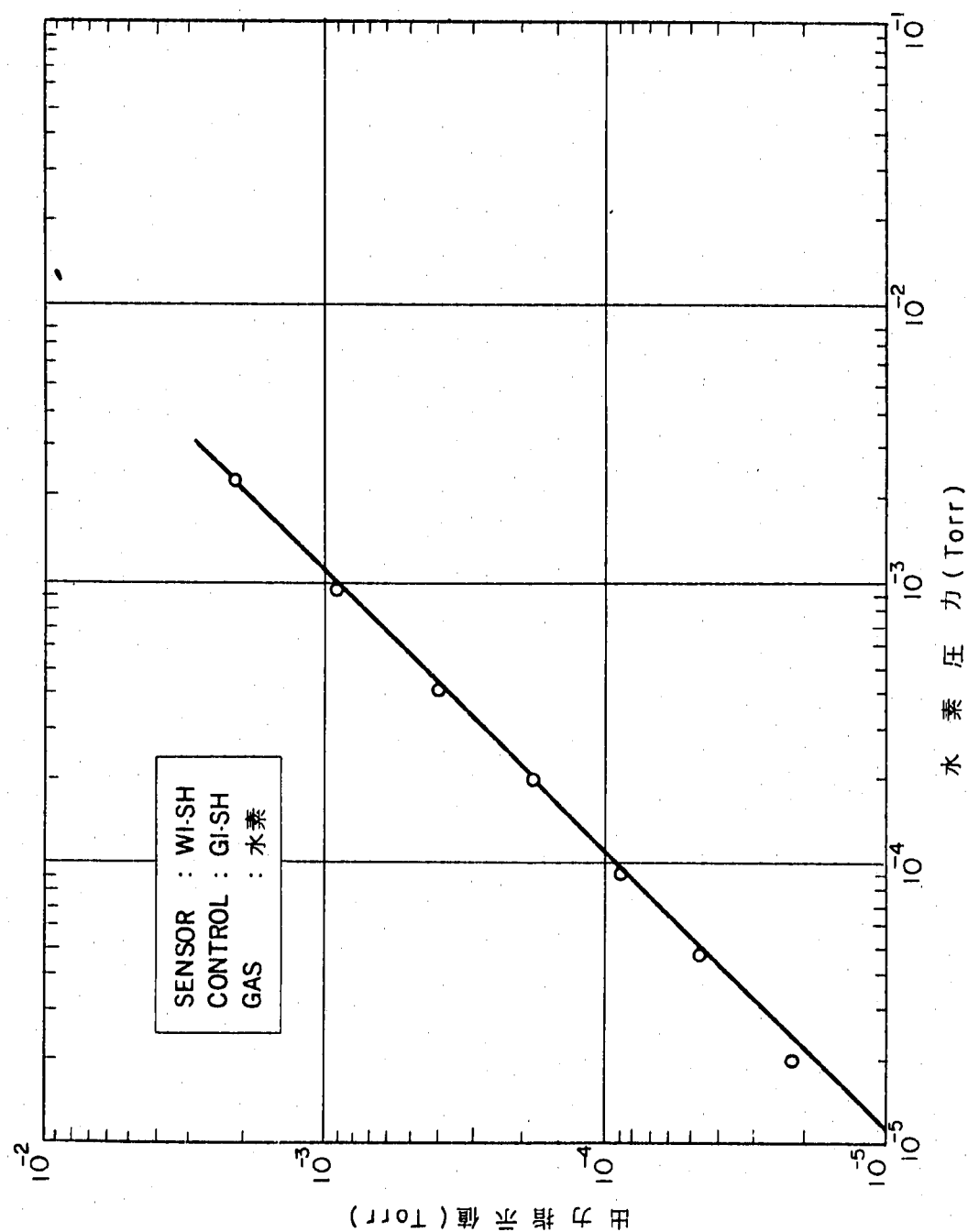


図4.3-15(1/2): PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-IIIシールドゲージ校正曲線(低圧側)

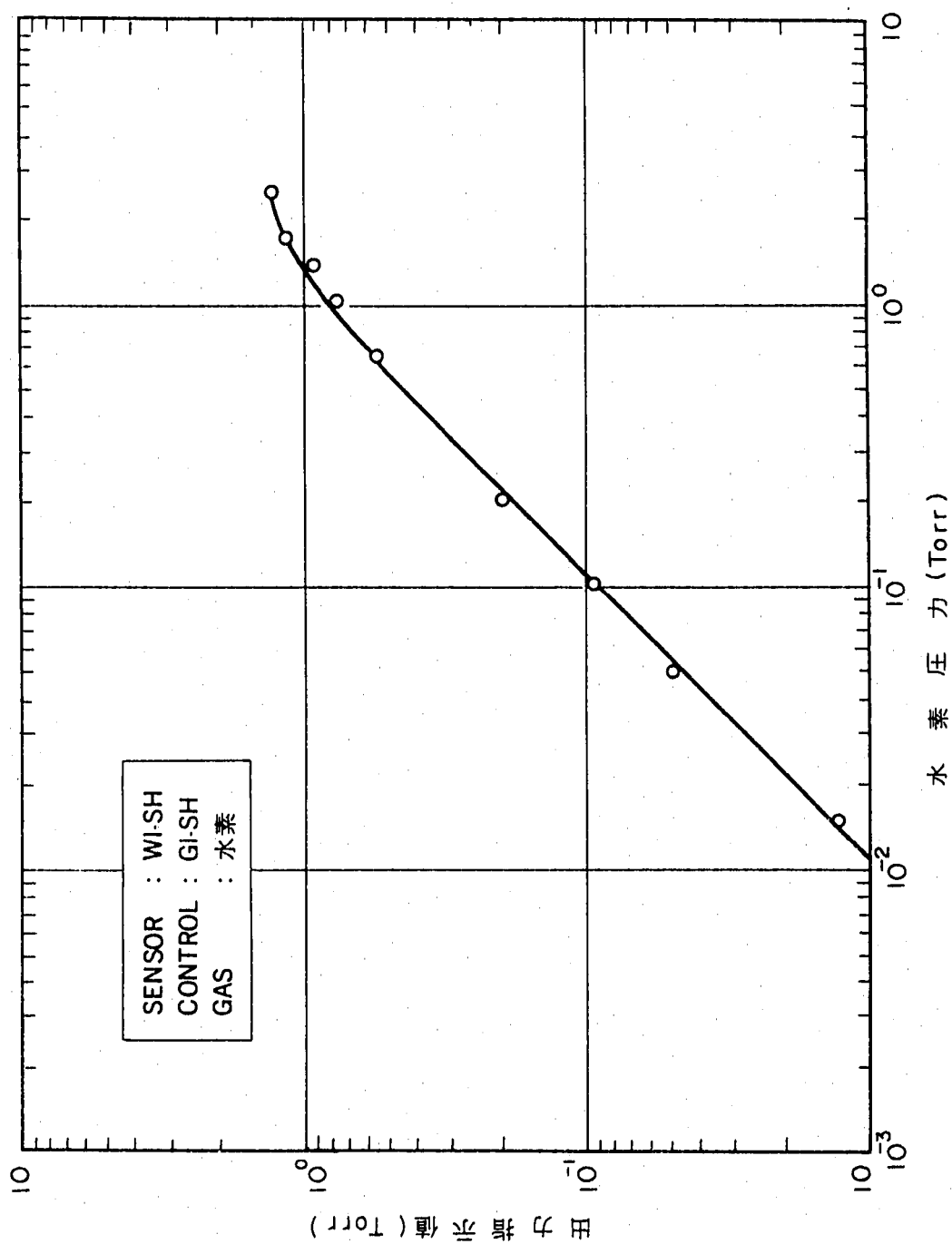


図4.3-15(2/2): PNC型Na中水素検出計(2号機Mk-IIIシールドゲージ校正曲線(高压側))

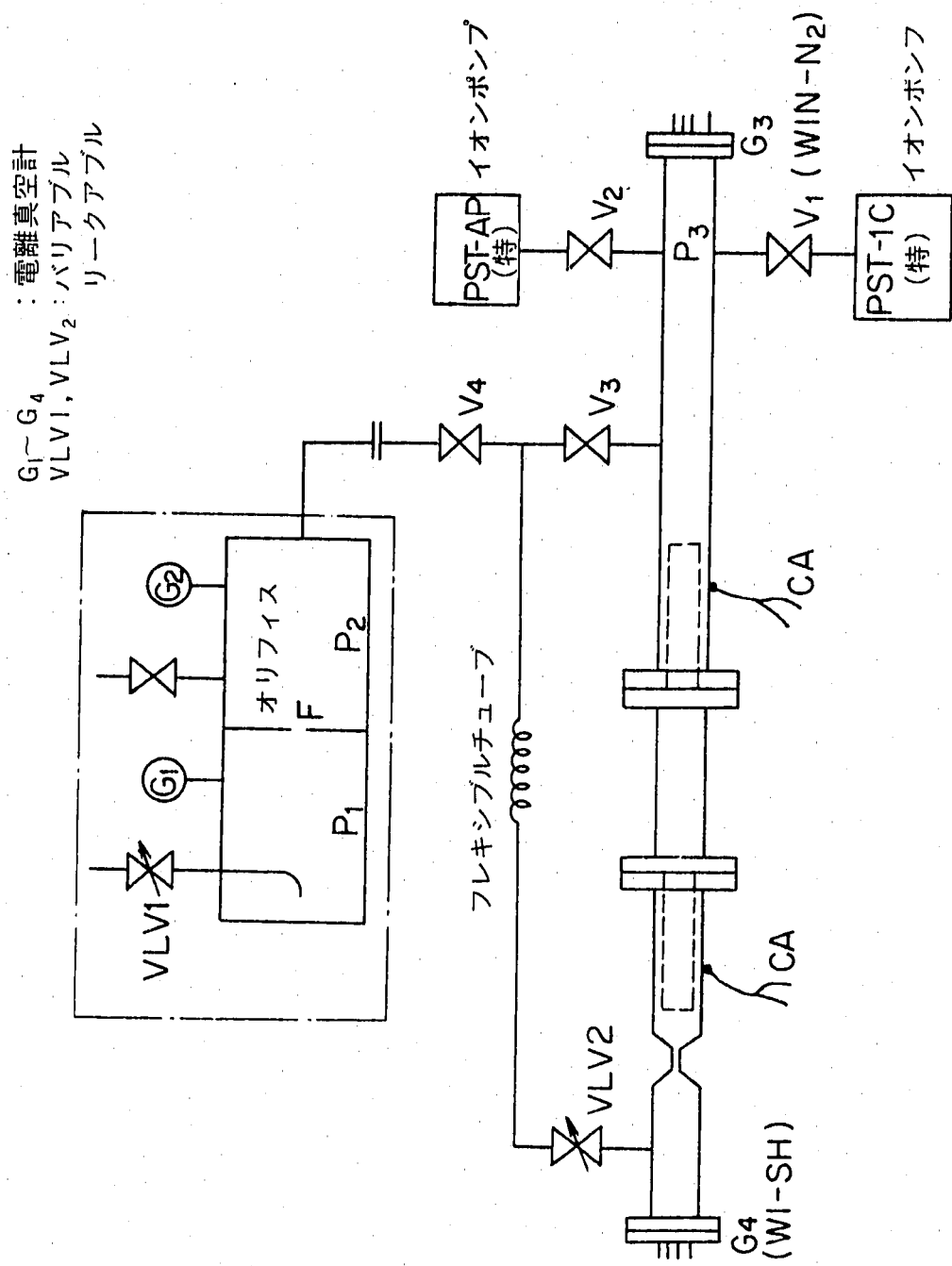


図4.3-16: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-I, Mk-II用水素ガス校正試験装置

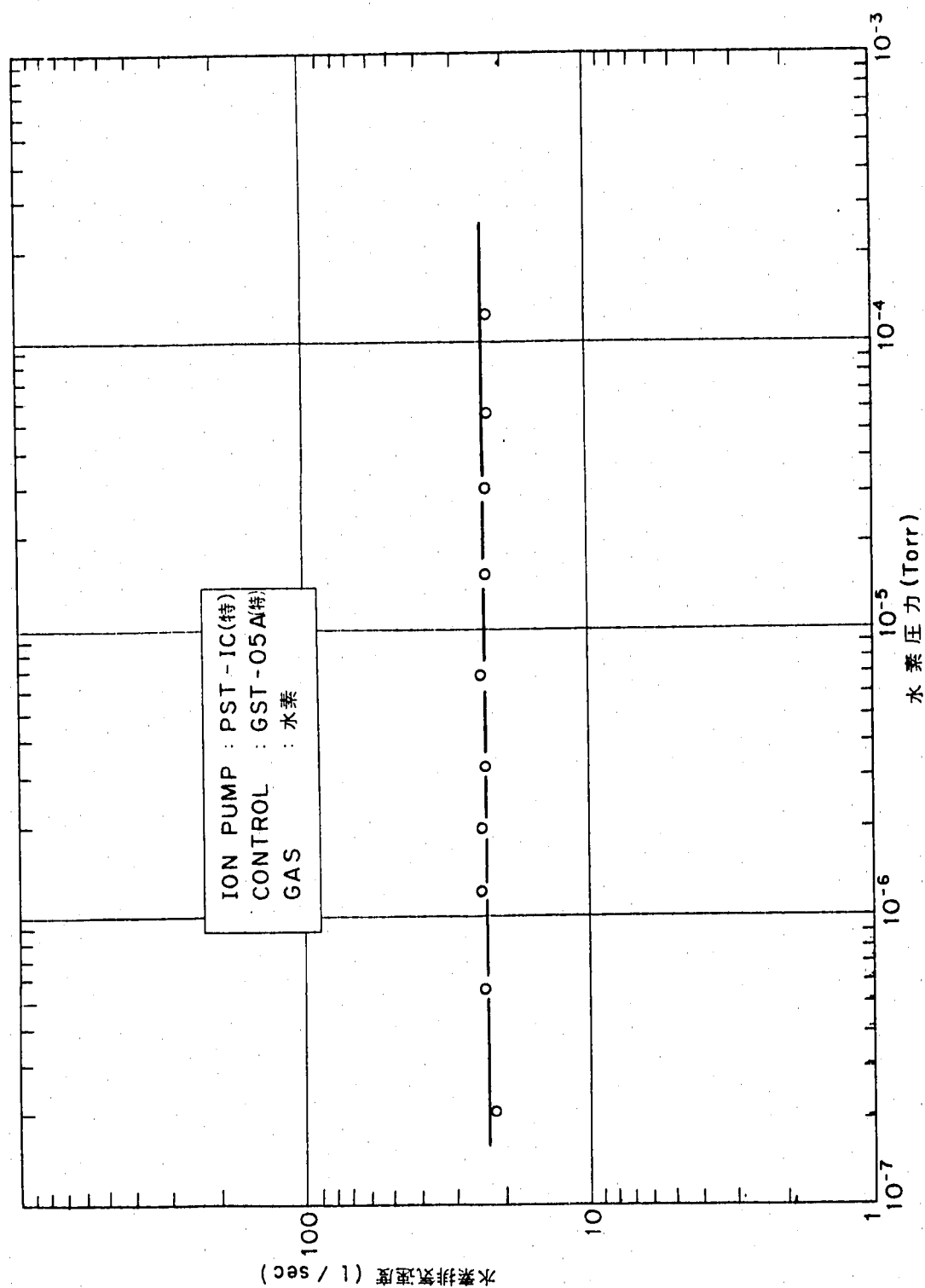


図4.3-17: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-I イオンポンプ(大)(PST-IC特)排気速度(水素基準)

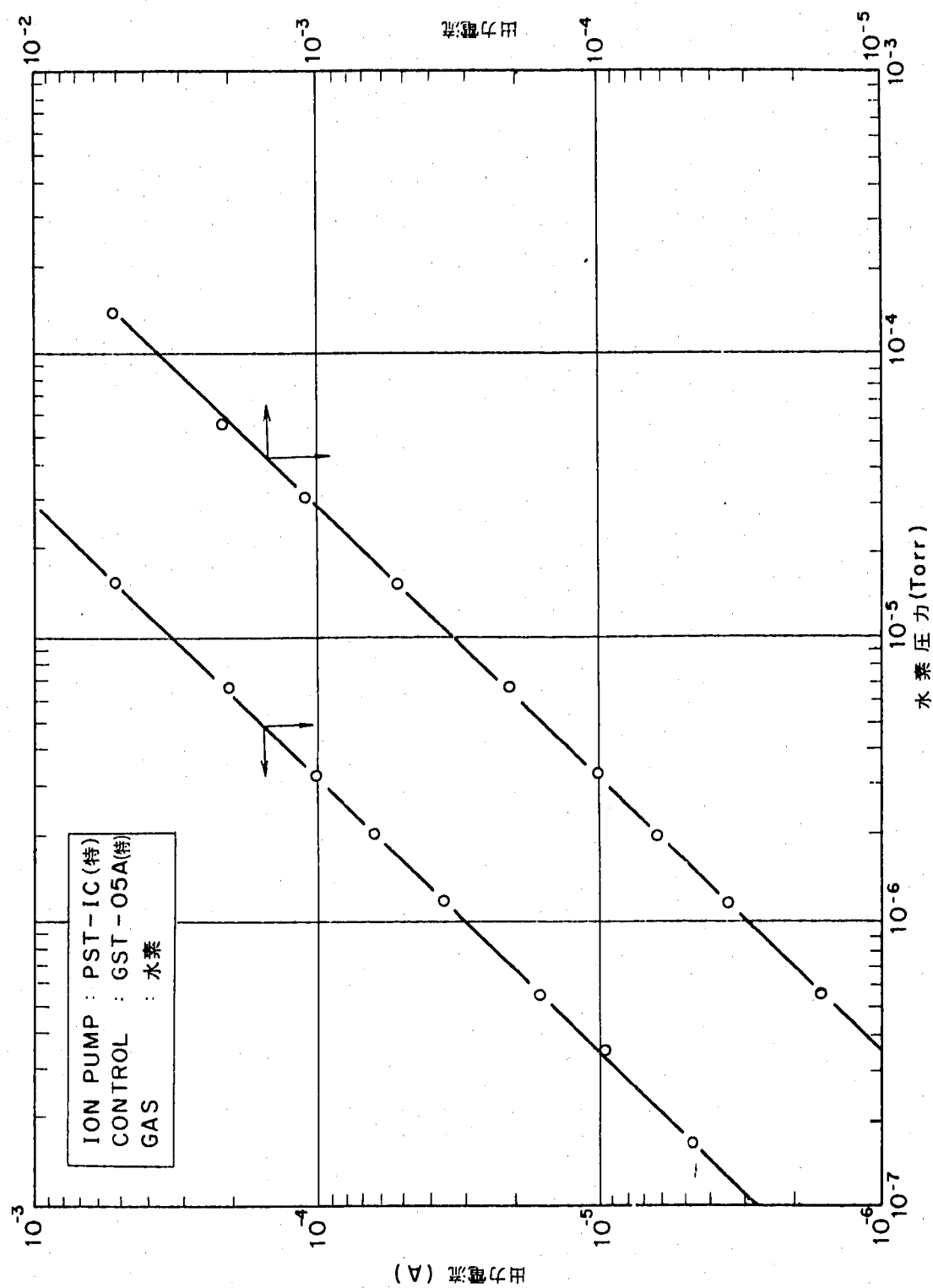


図4.3-18: PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-Iイオンポンプ(大)(PST-AP特)校正曲線

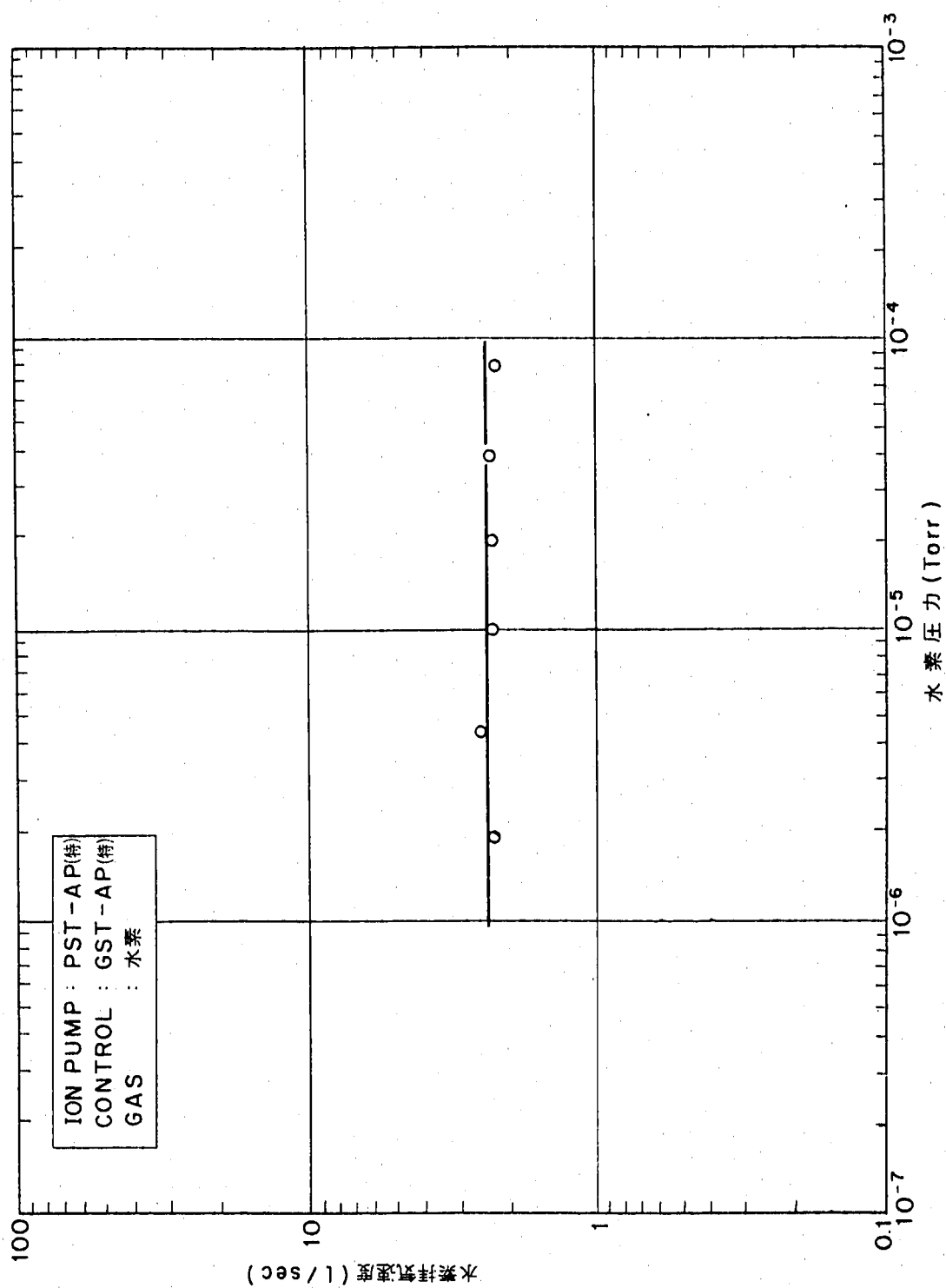


図4.3-19: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-I イオンポンプ(小)(PST-AP特)排気速度(水素基準)

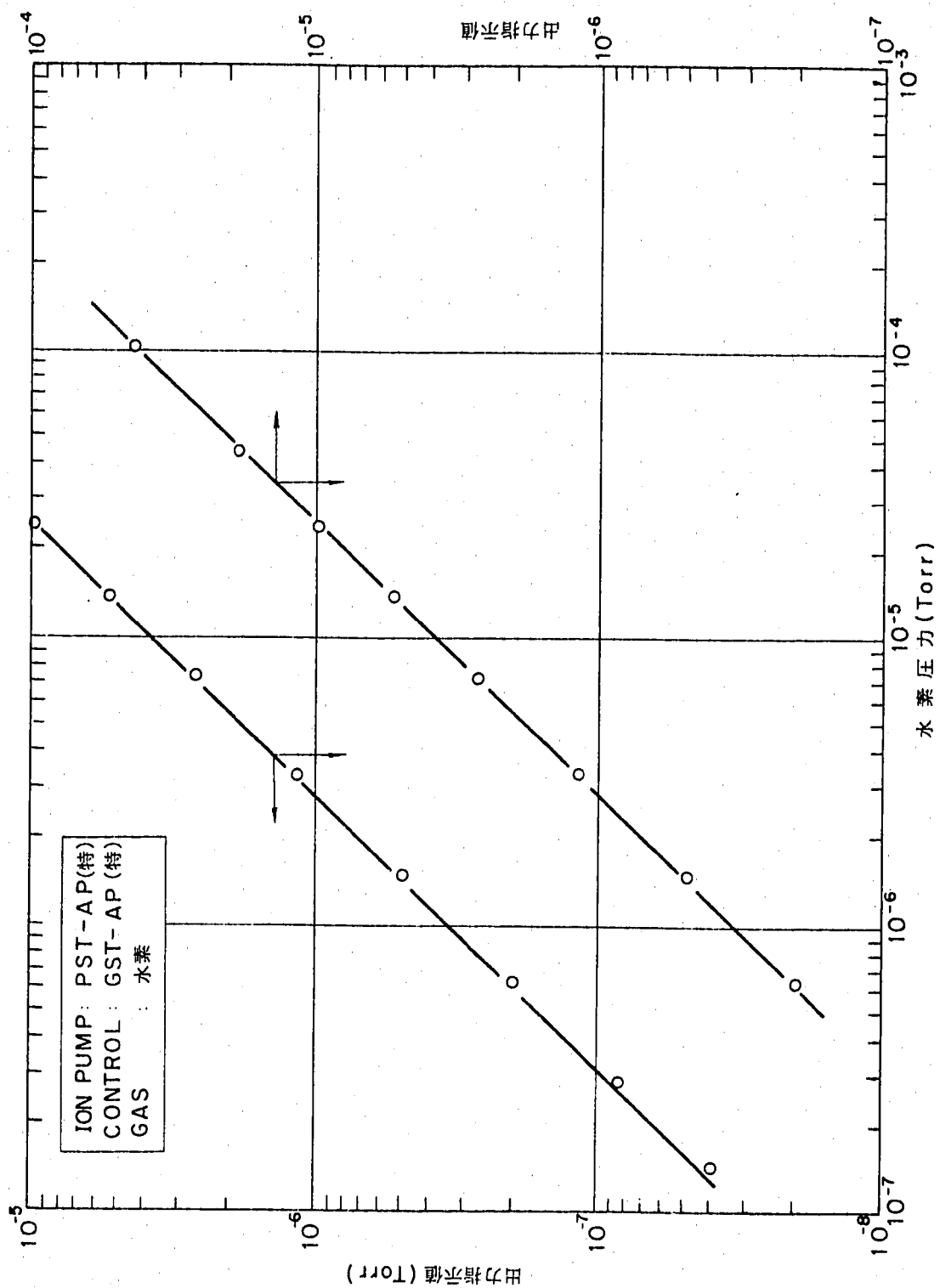


図4.3-20: PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-Iイオンポンプ(小)(PST-IC特)

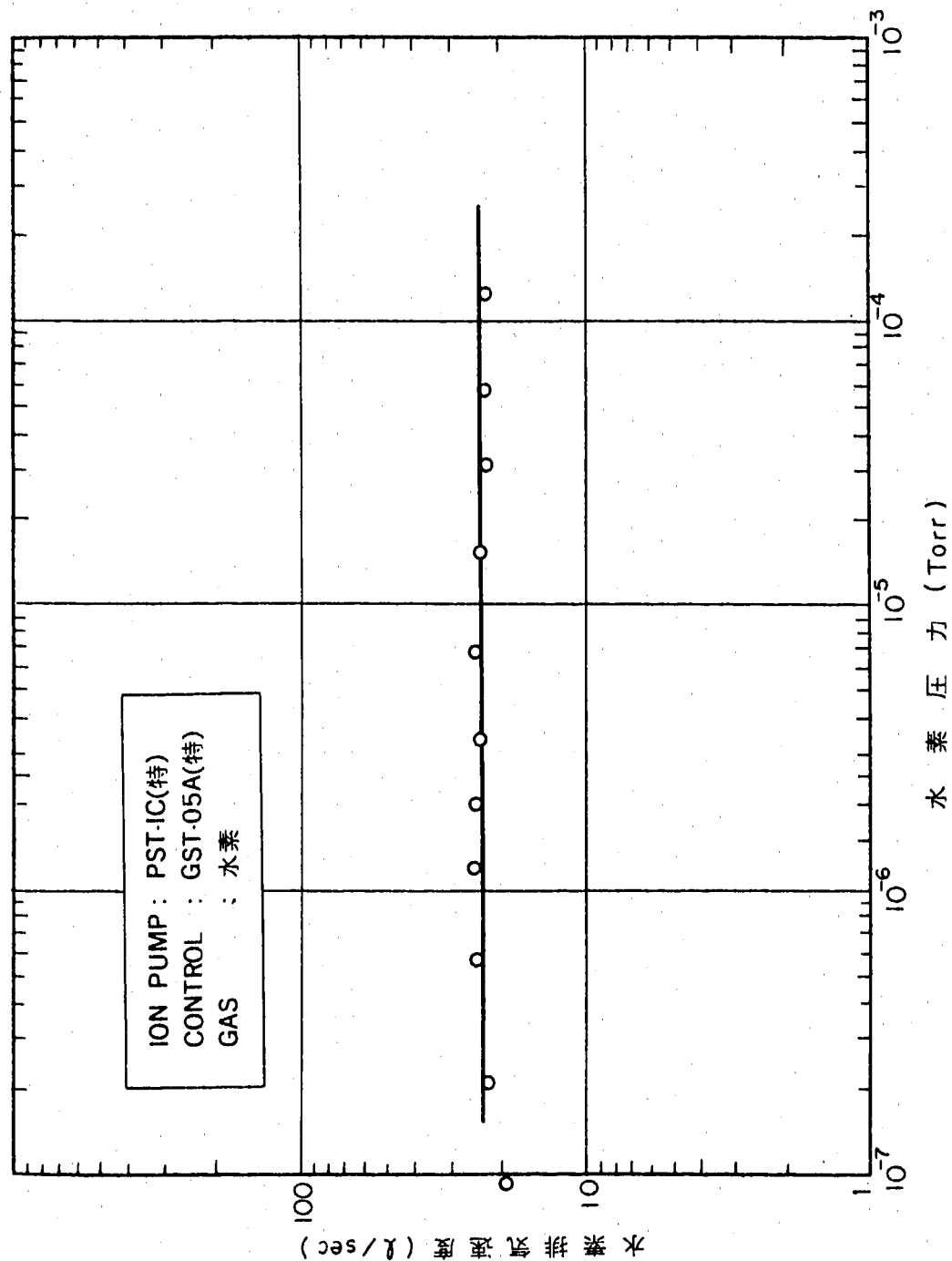


図4.3-21: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.1 イオンポンプ(大)(PST-IC特)排気速度(水素基準)

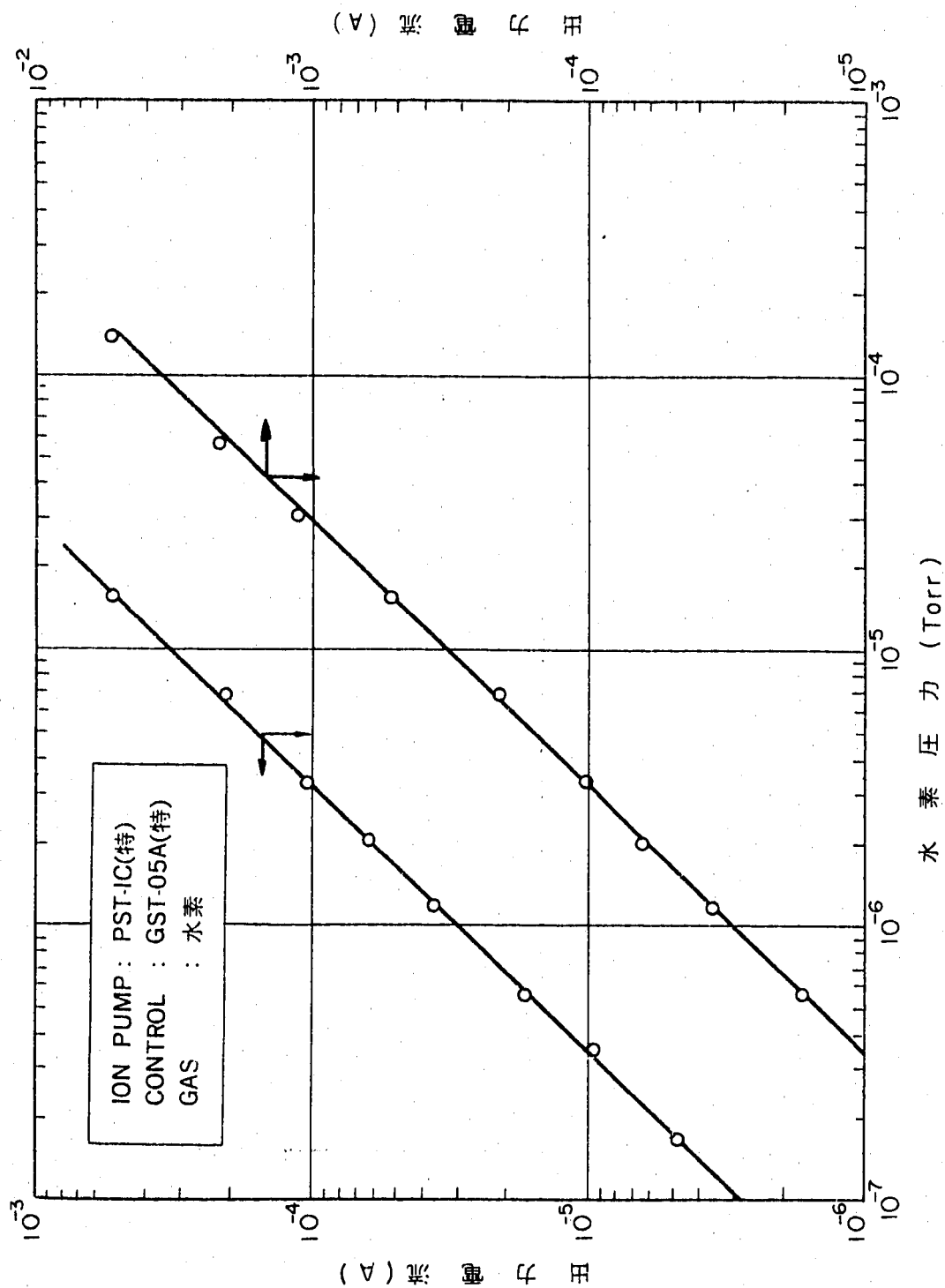


図4.3-22: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.1 イオンポンプ(大)(PST-IC特) 校正曲線

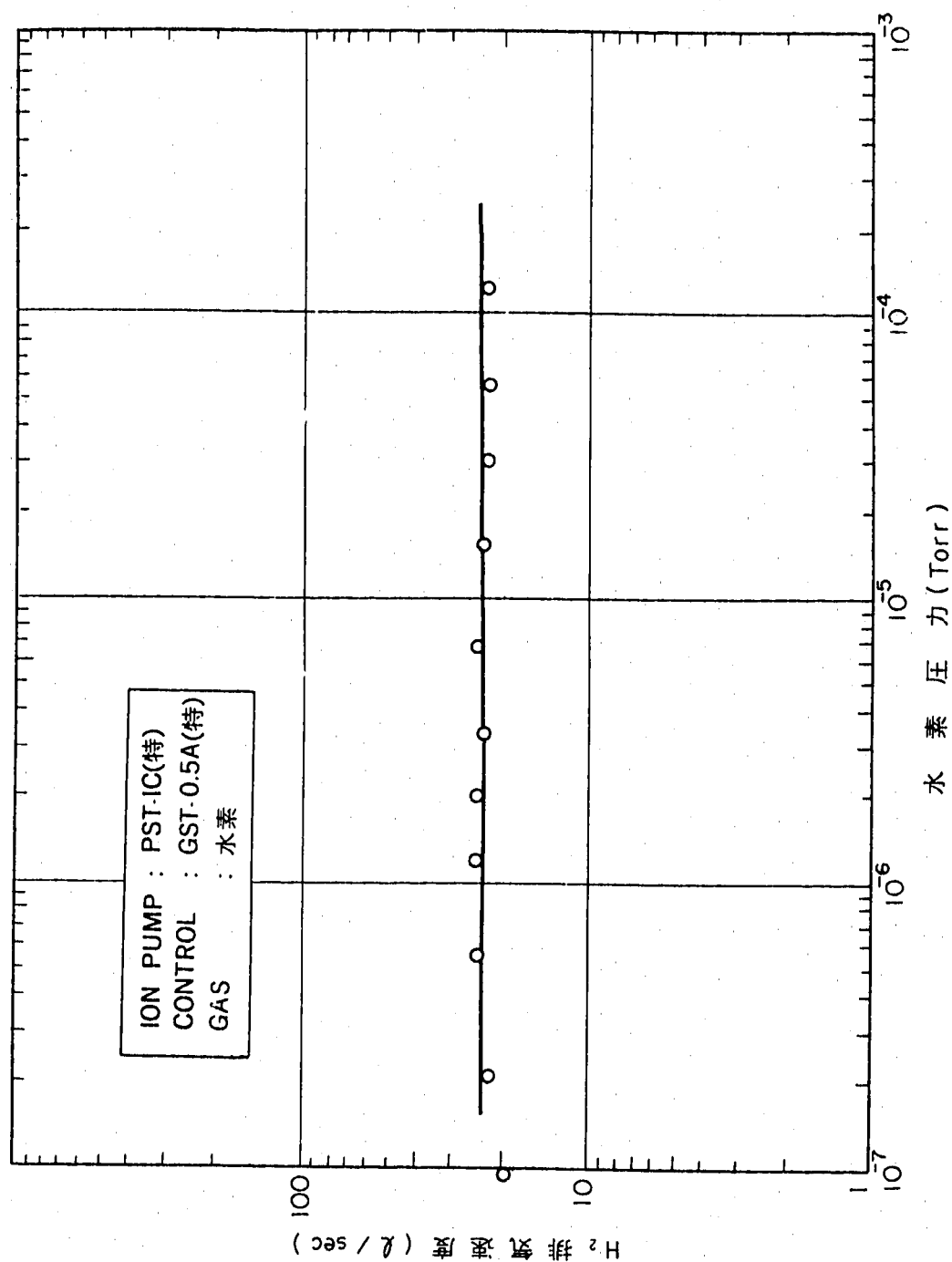


図4.3-23: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No. イオンポンプ(大)(PST-IC特) 排気速度(水素基準)

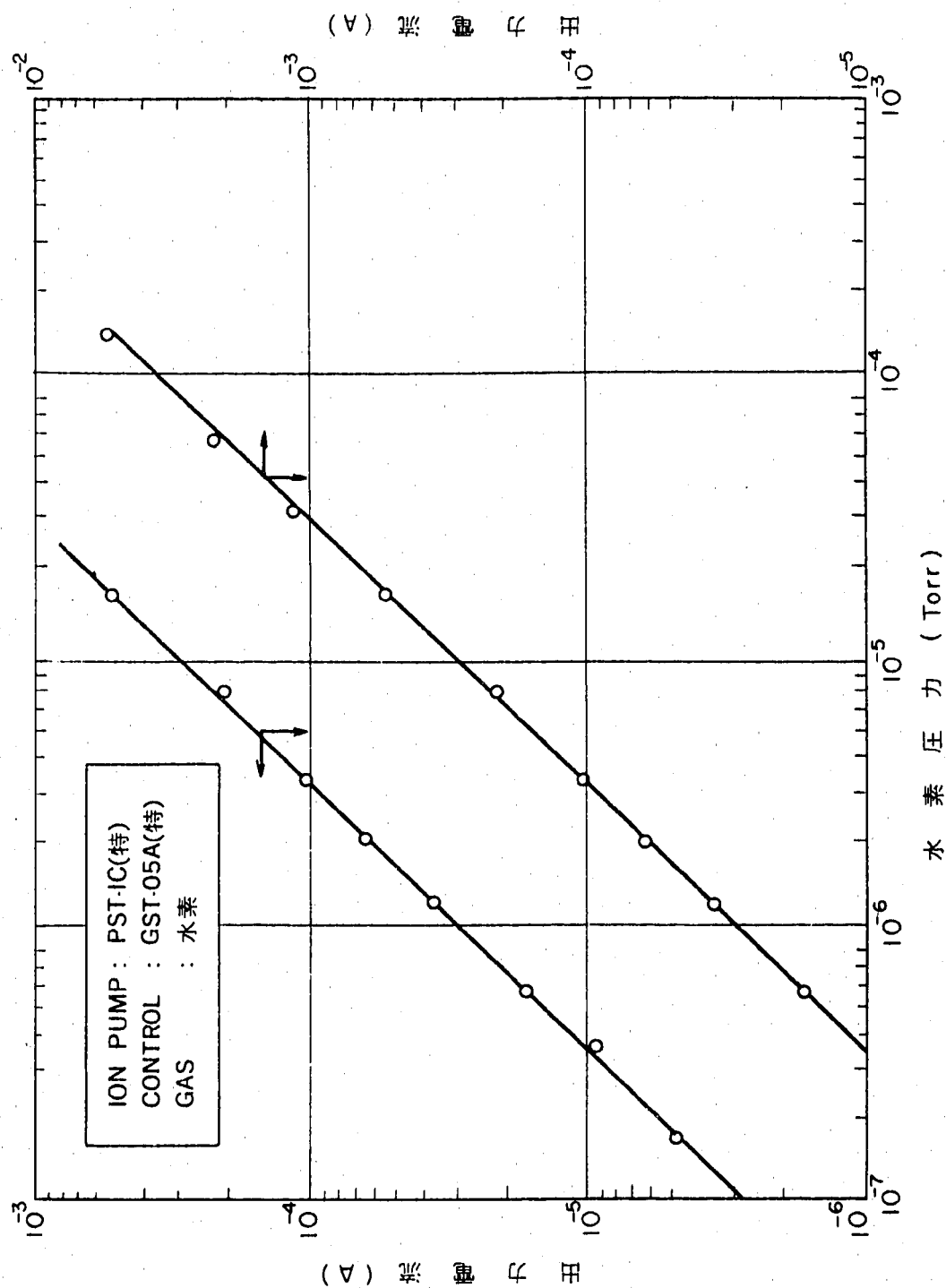


図4.3-24: PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.2 イオンポンプ(大)(PST-IC特)較正曲線

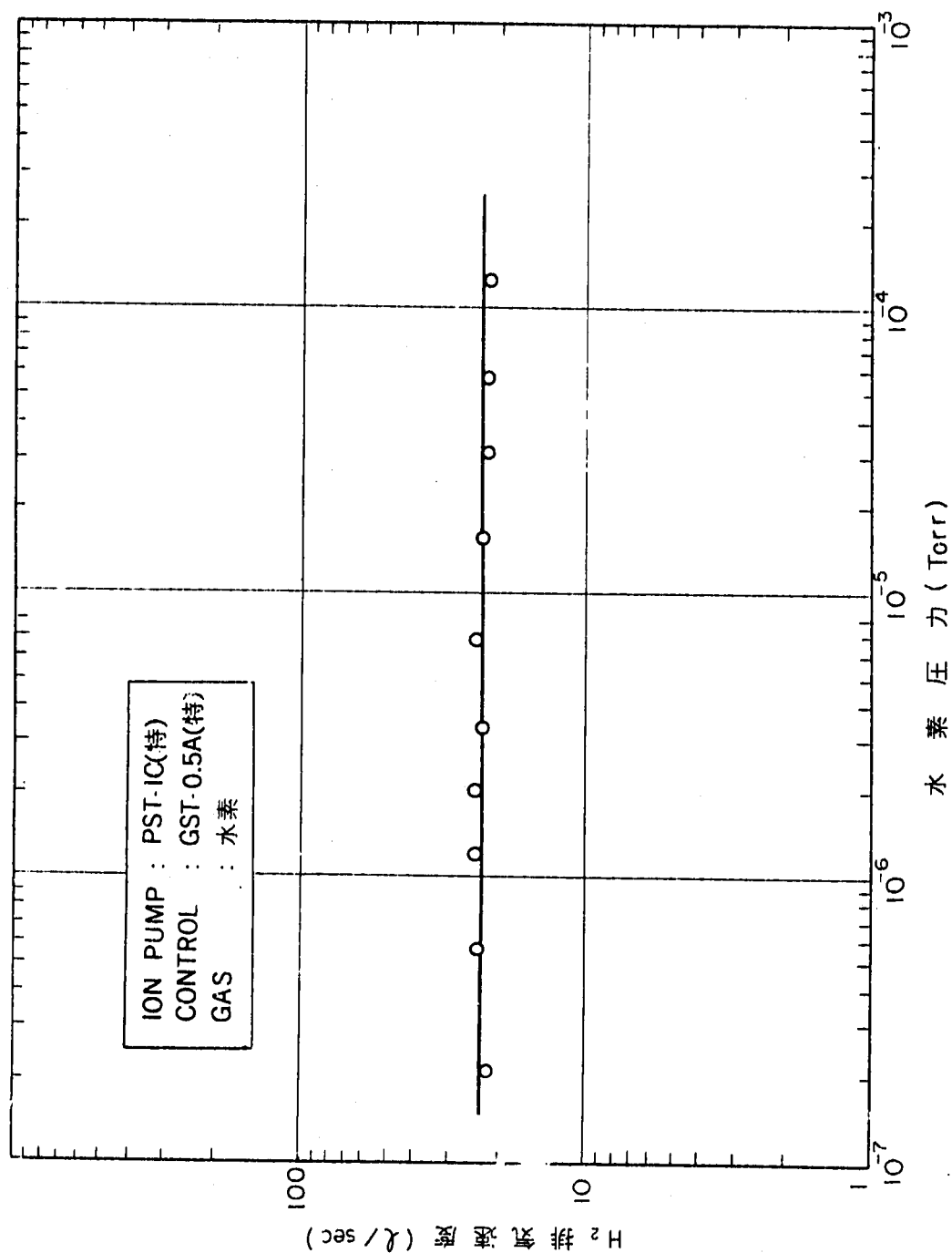


図4.3-25: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.3 イオンポンプ(大)(PST-1C特)排気速度(水素基準)

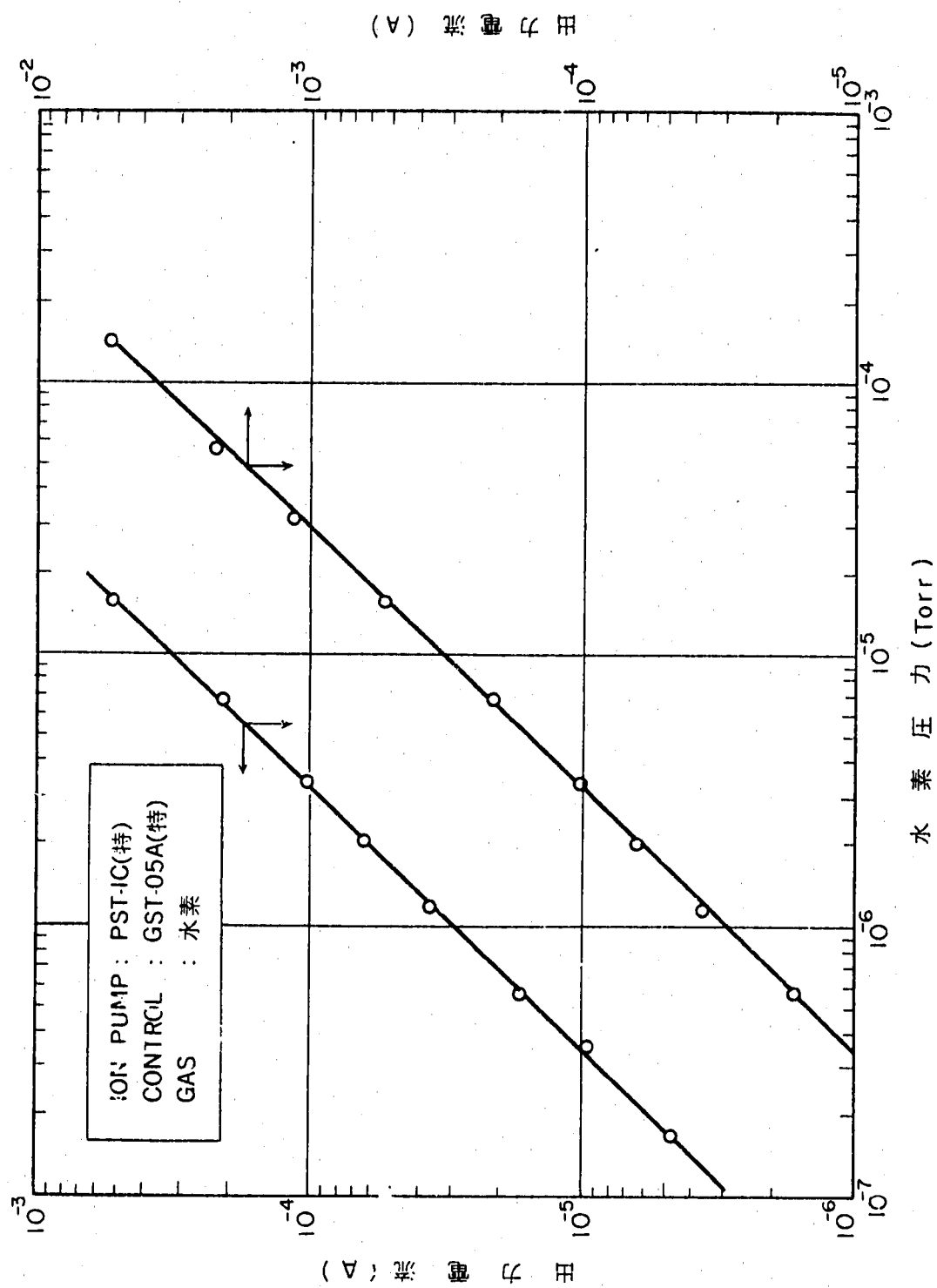


図4.3-26: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II, No.3 イオンポンプ(大)(PST-IC特) 校正曲線

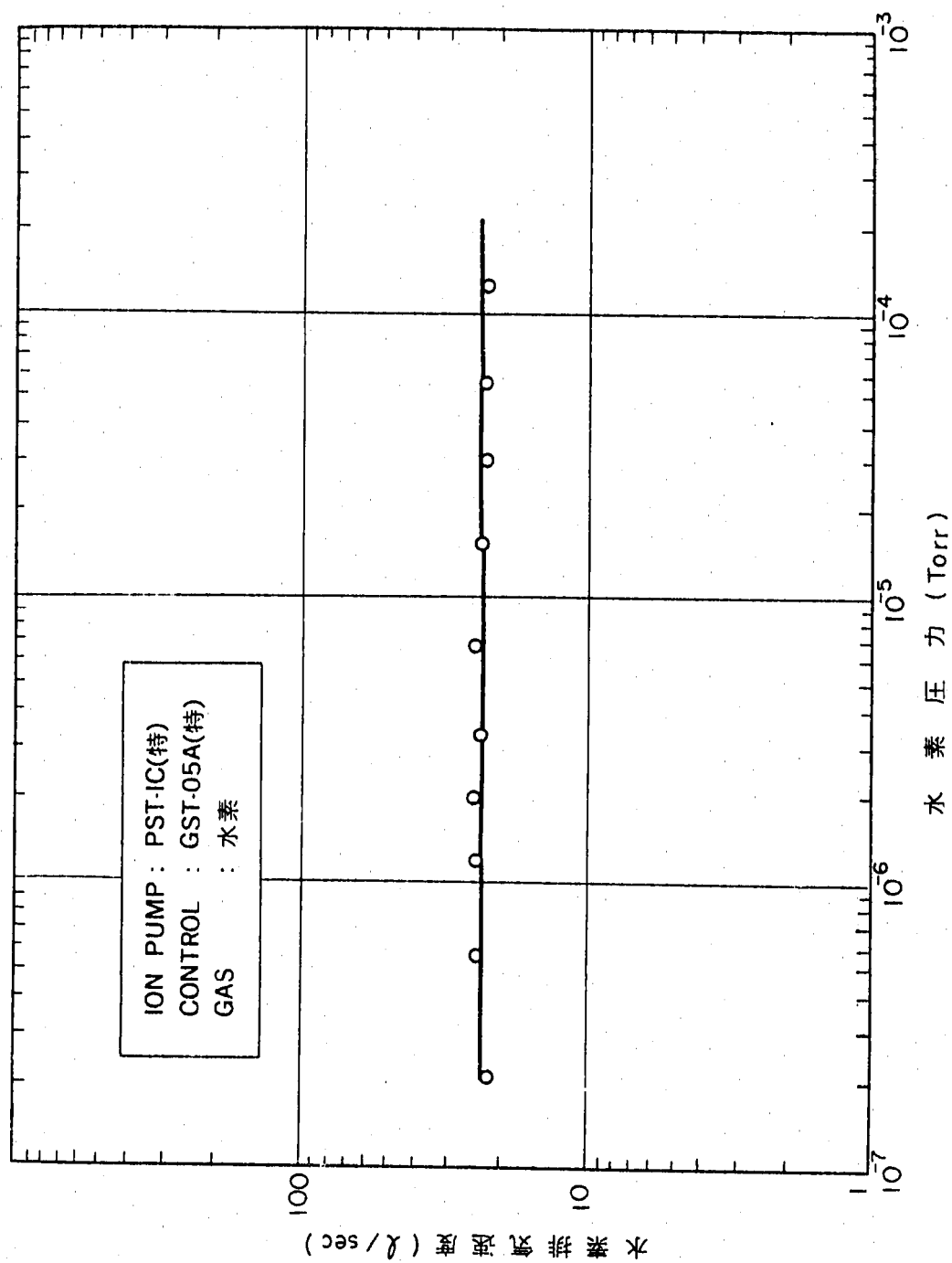


図4.3-27: PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II, No.4 イオンポンプ(大)(PST-IC特) 排気速度(水素基準)

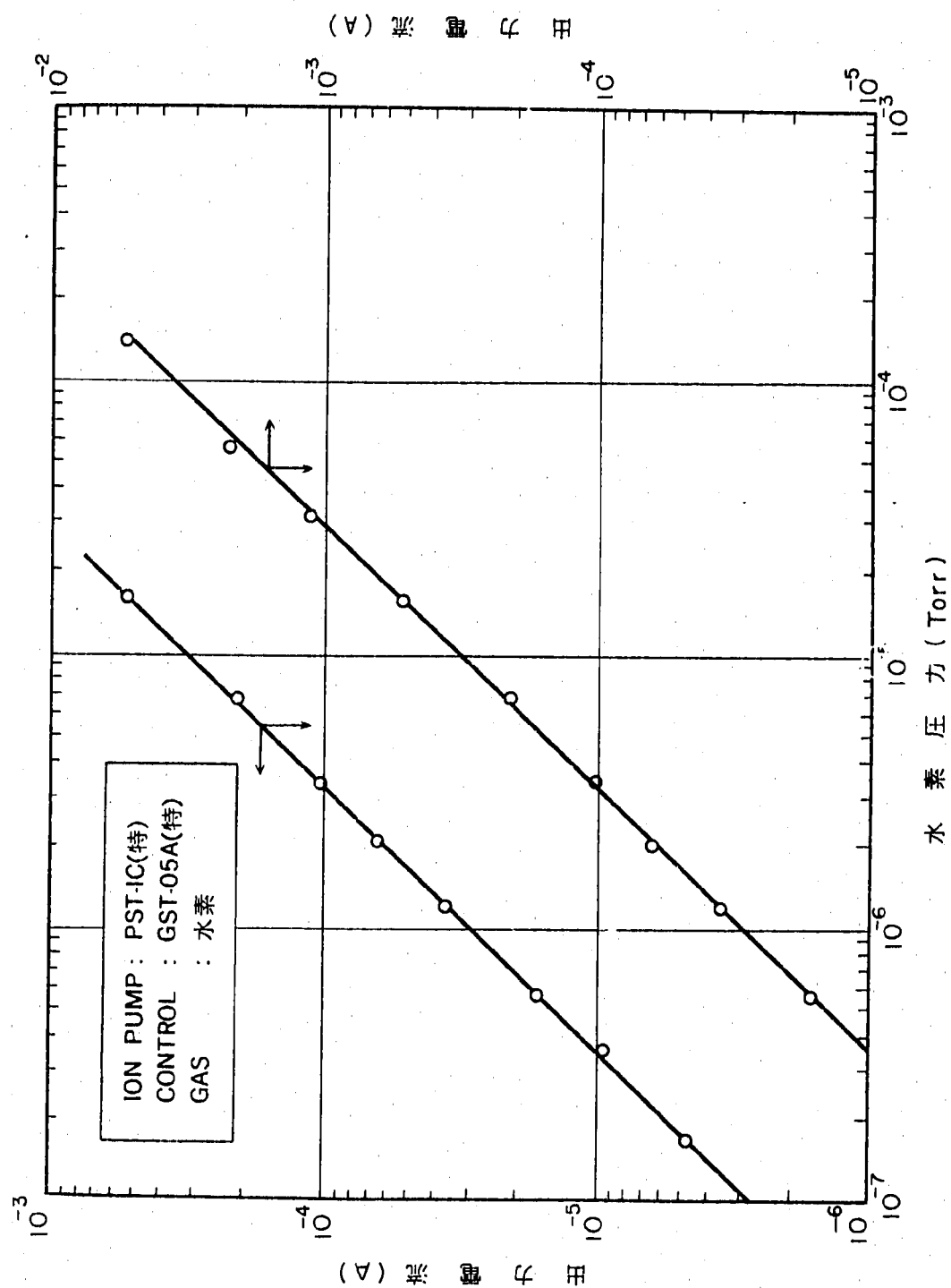


図4.3-28: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-II No.4 イオンポンプ(大)(PST-IC特) 校正曲線

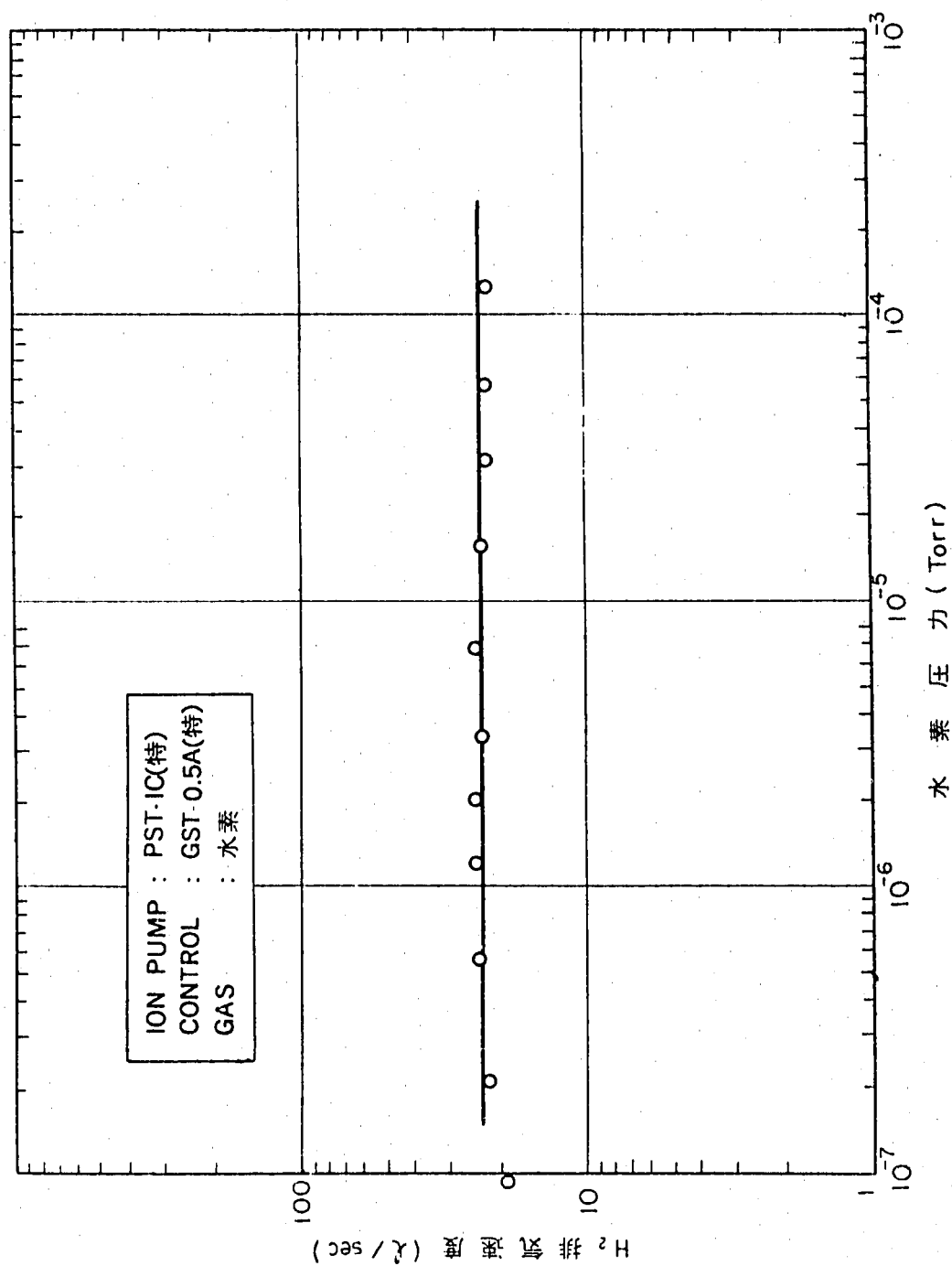


図4.3-29: PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.5 イオンポンプ(大)(PST-1C特)排気速度(水素基準)

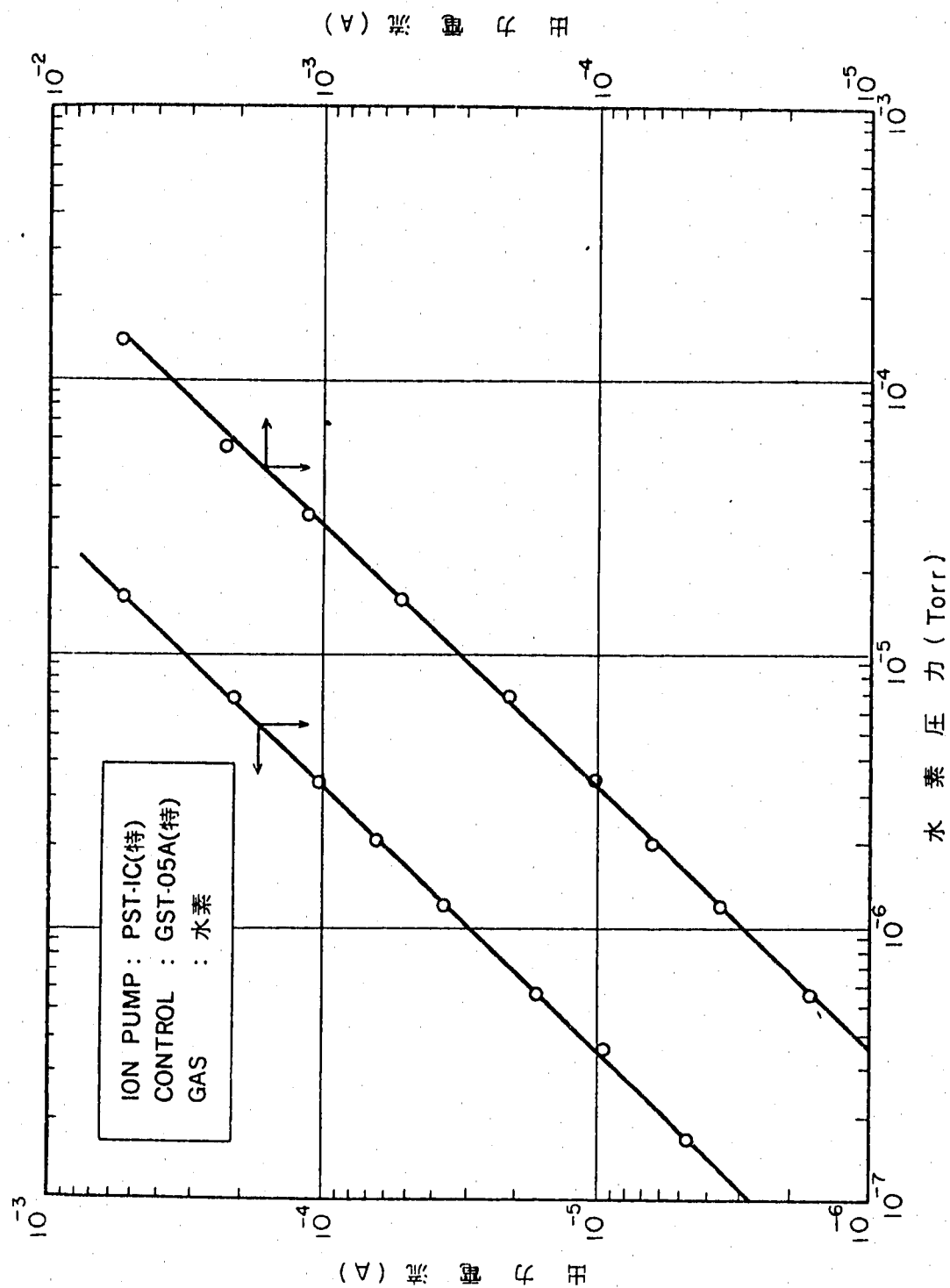


図4.3-30: PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II No.5イオンポンプ(大)(PST-IC特)較正曲線

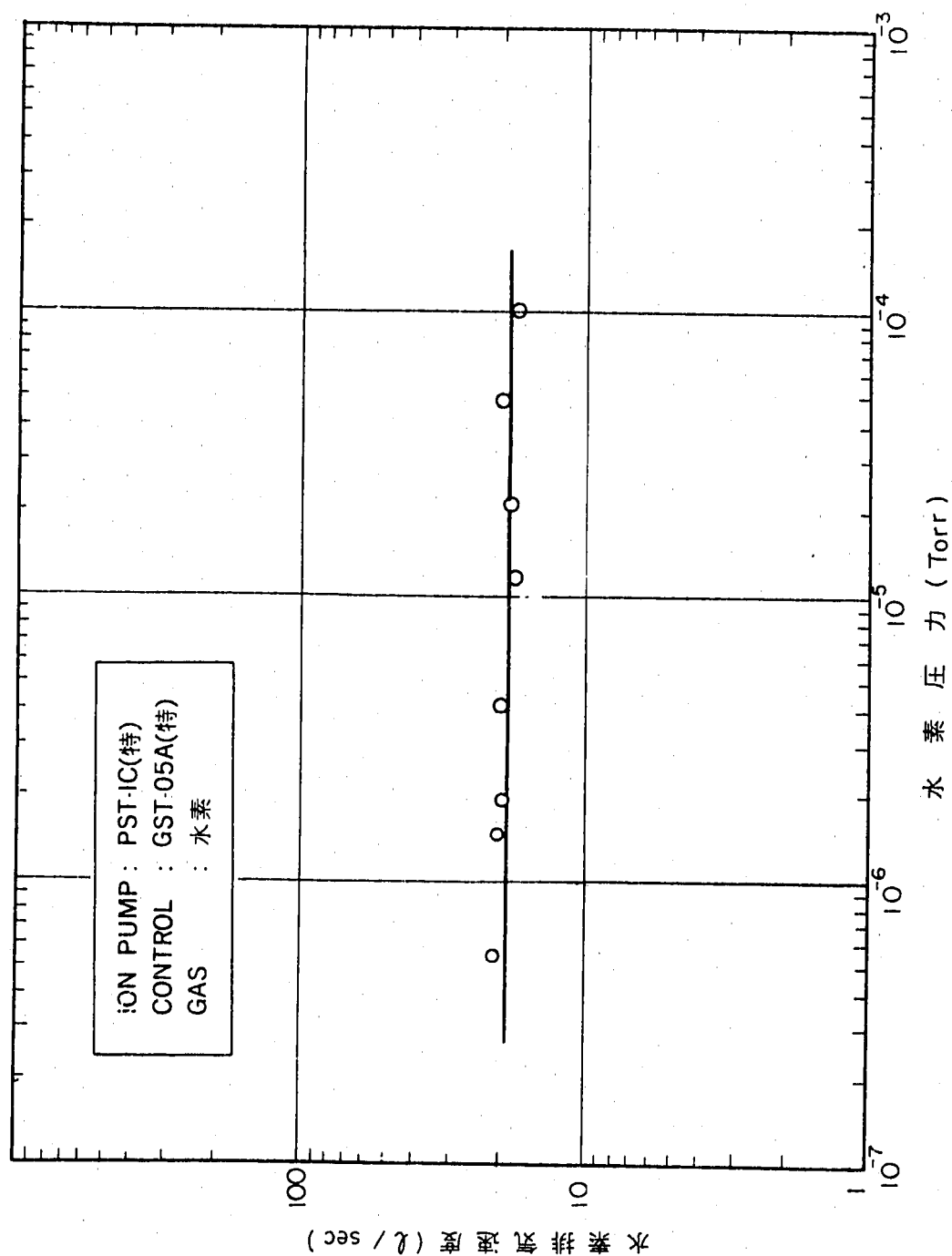


図4.3-31: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-IIIイオンポンプ(大)(PST-IC特)排気速度(水素基準)

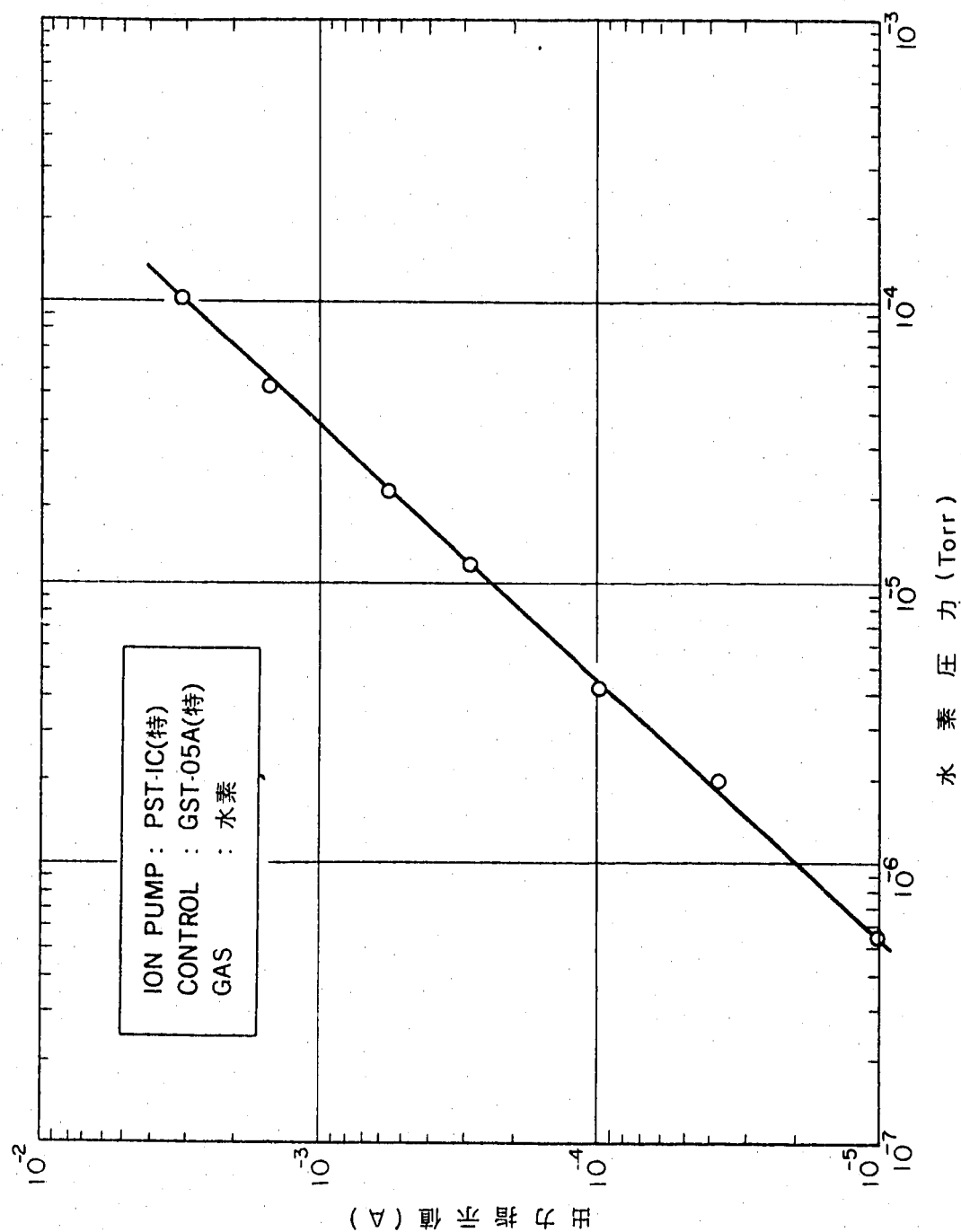


図4.3-32: PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-IIIイオンポンプ(大)(PST-IC特)校正曲線

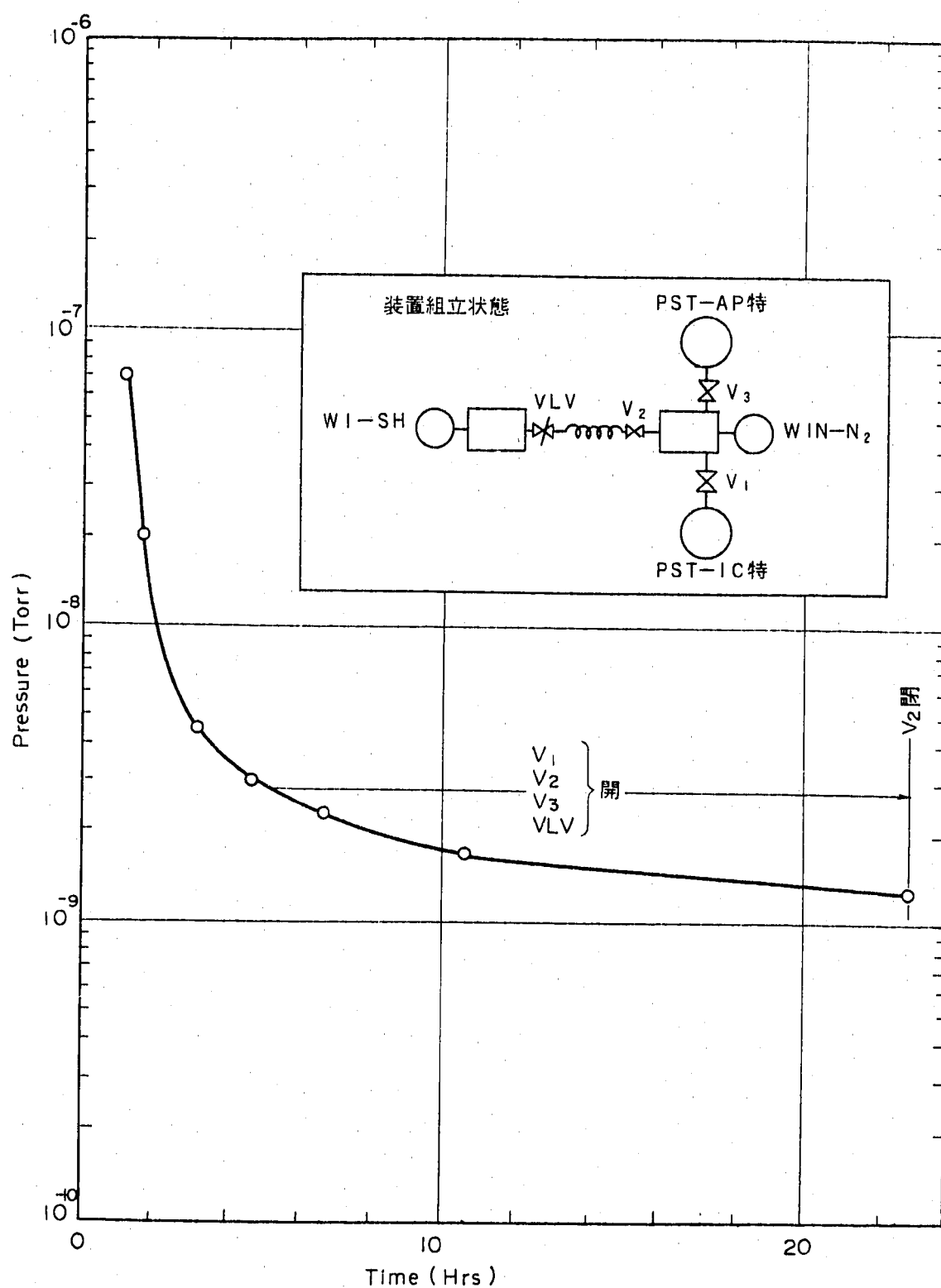


図4.4 - 1 : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-1到達真空試験結果

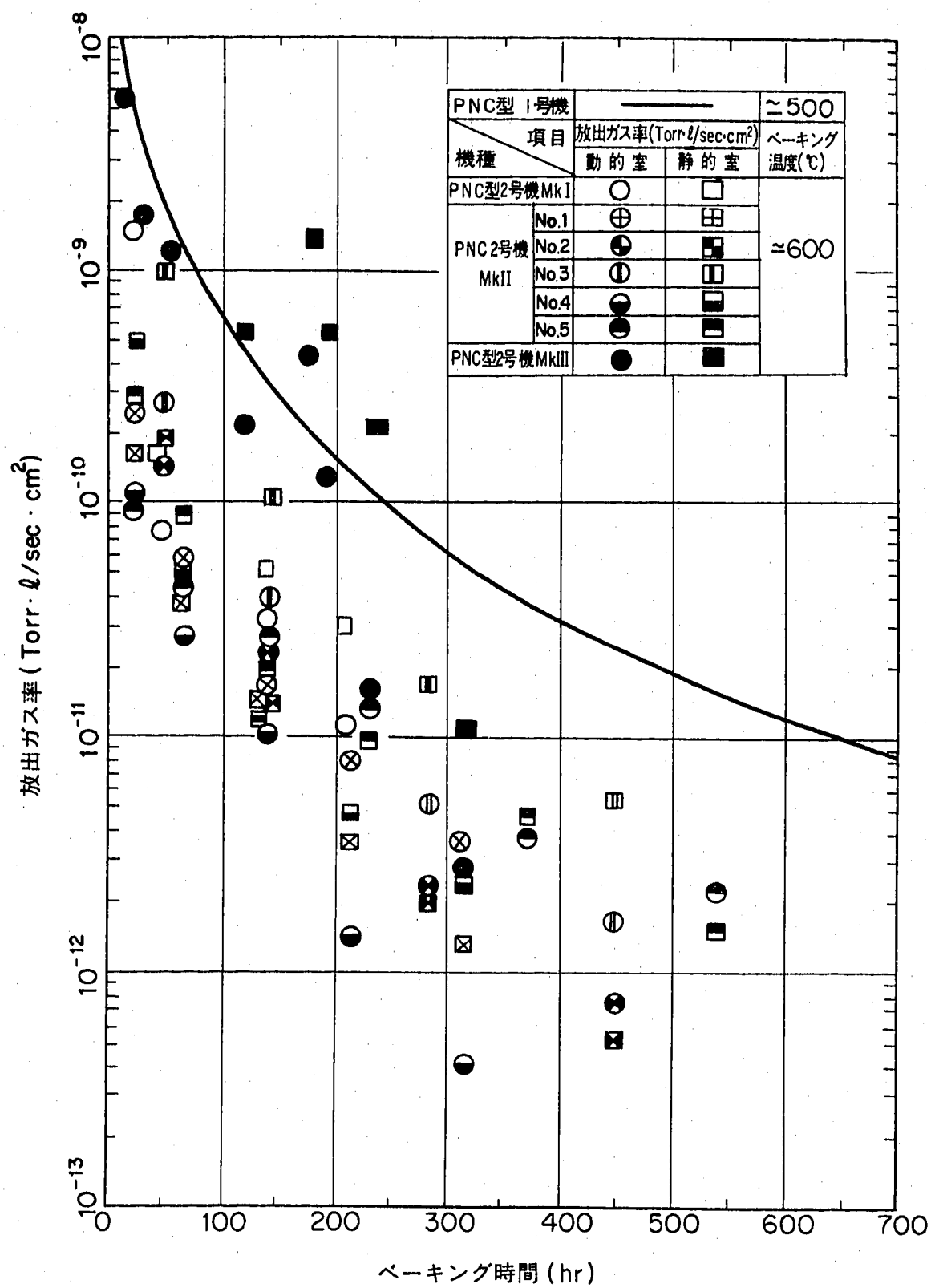


図4.4-3 : PNC型Na中水素検出計ベークアウト試験結果

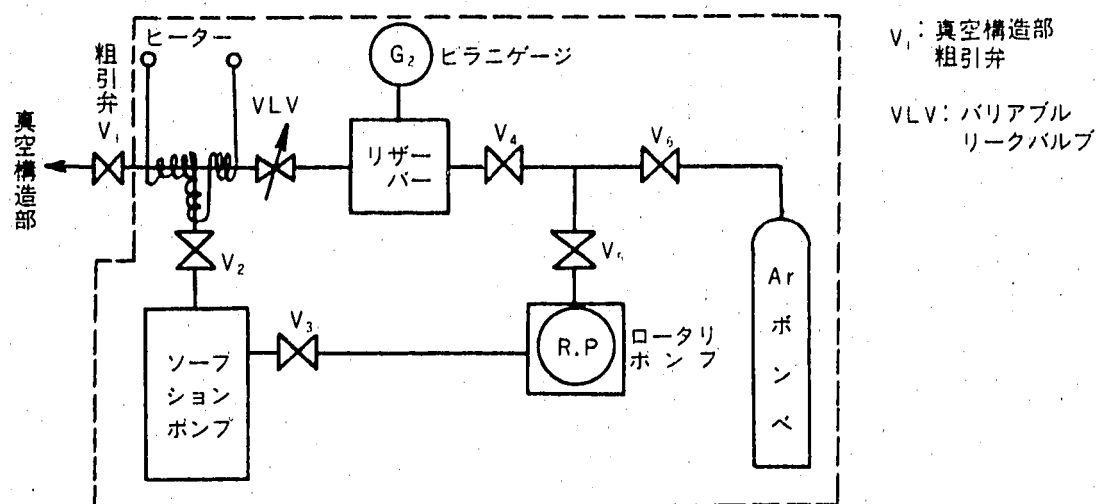


図4.4-4: アルゴンボンバード用ガス導入系

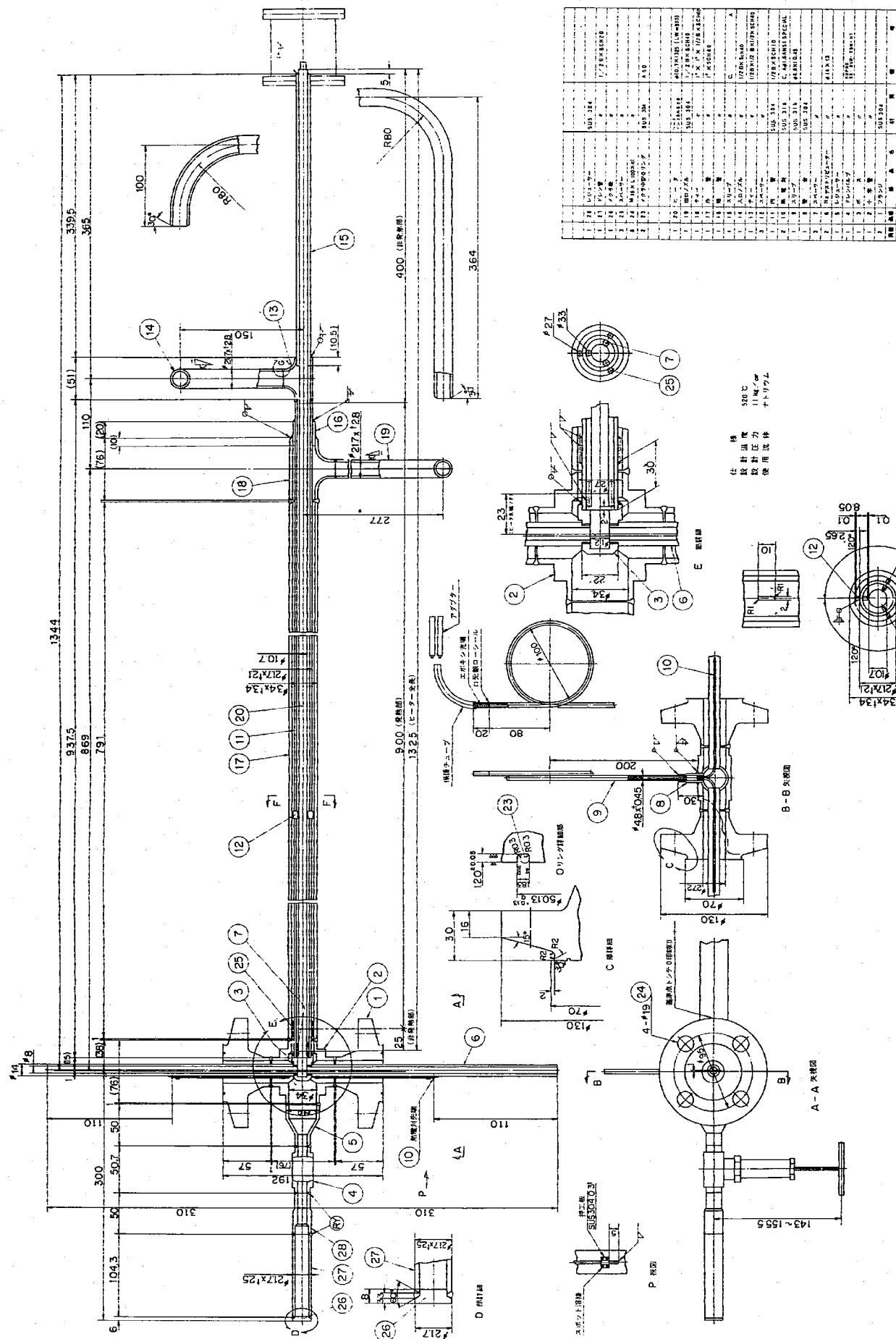


図5.1-1 : PNC型Na中水素検出計(2号機)用ヒート内蔵エコノマイザ組立図

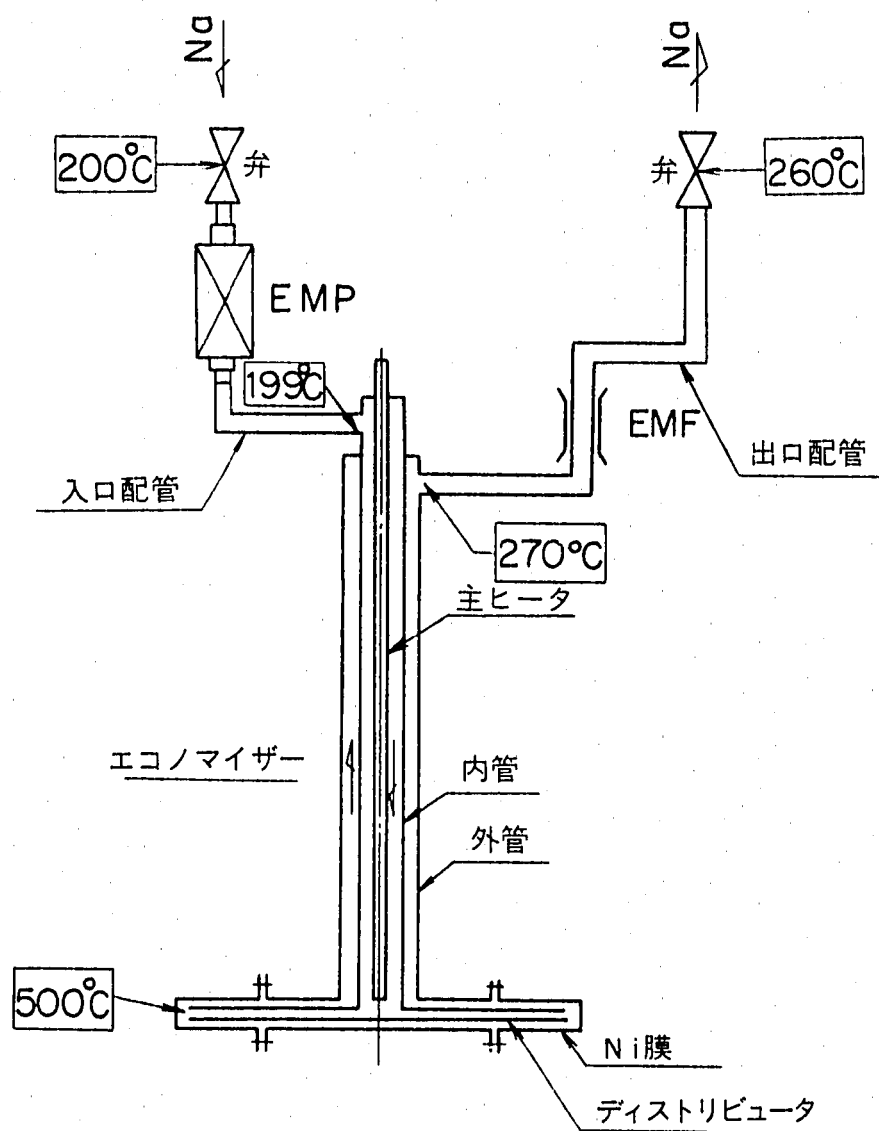
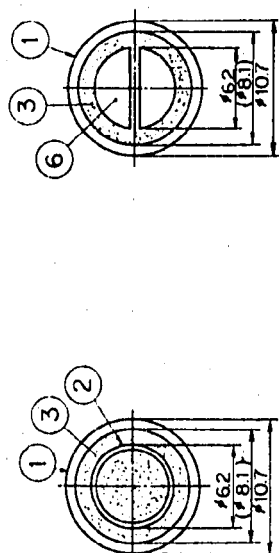
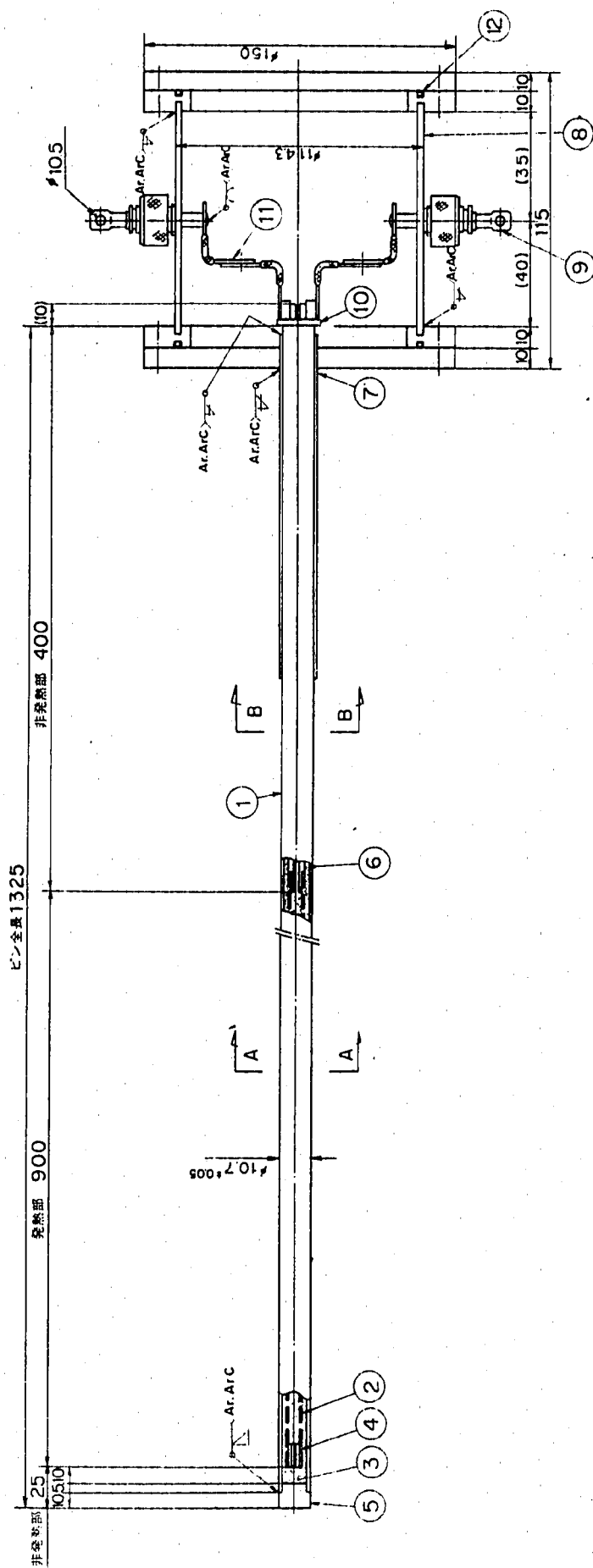


図5.1-2 : PNC 型 Na 中水素検出計(2 号機)用ヒートバランス



数量	品名	単位	材料
2	リング		チタニウム
1式	11 電極リード部		Cu
1	10 絶縁ワッシャー		セラミックス
2	9 セラミックス端子		A123 銅石
1	8 電極筒		SUS 304
1	7 電極スリーブ		SUS 304
1式	6 リード部		Cu Ni
1	5 下電極筒		SUS 316
1	4 発熱体端子		Ni
1式	3 絶縁材料		BN
1式	2 発熱体		NCH I
1	1 レース		ステンレス 600

図5.1-3 : PNC 型 Na 中水素検出計(2号機)用主ヒータ構造図

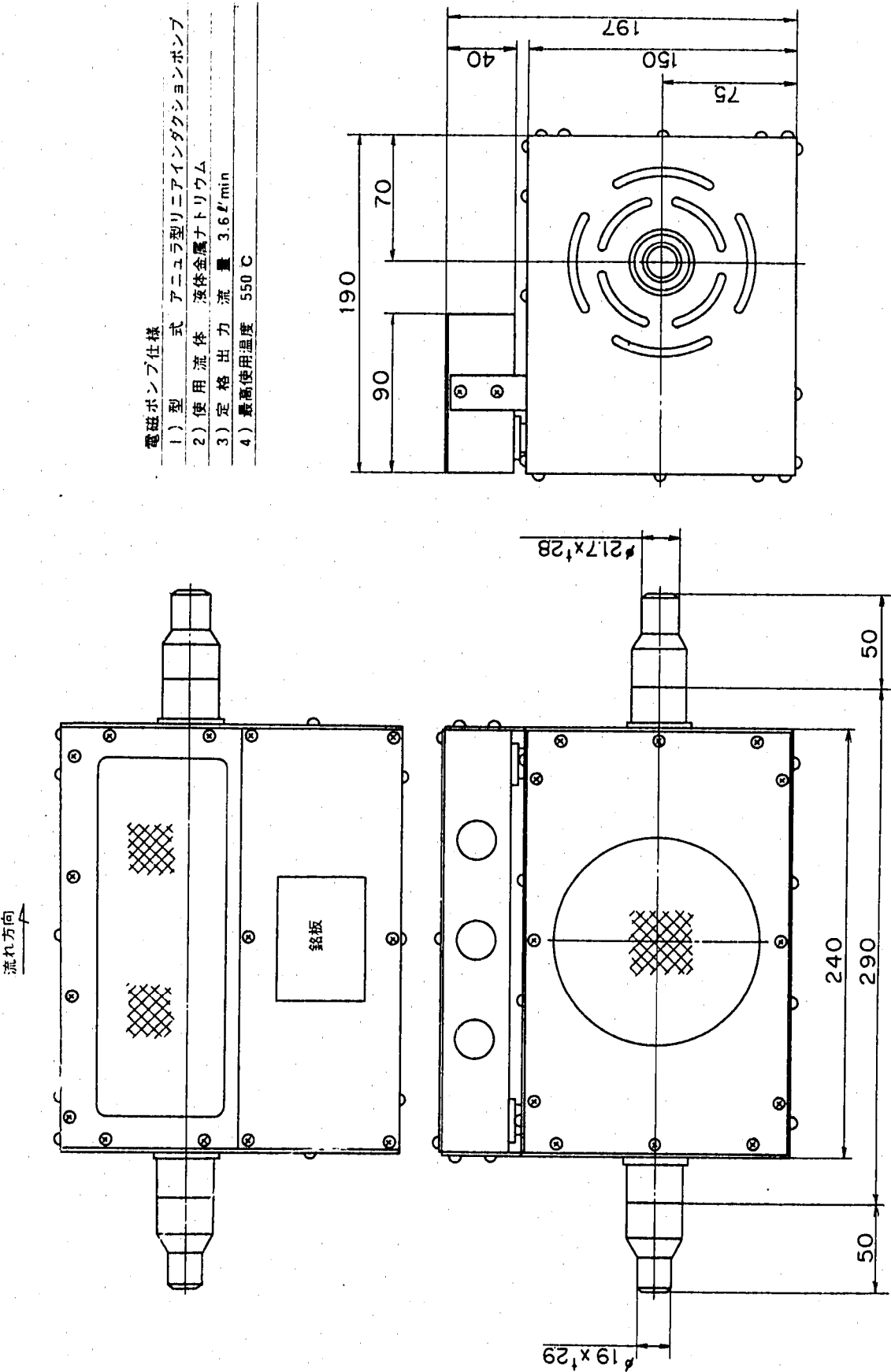
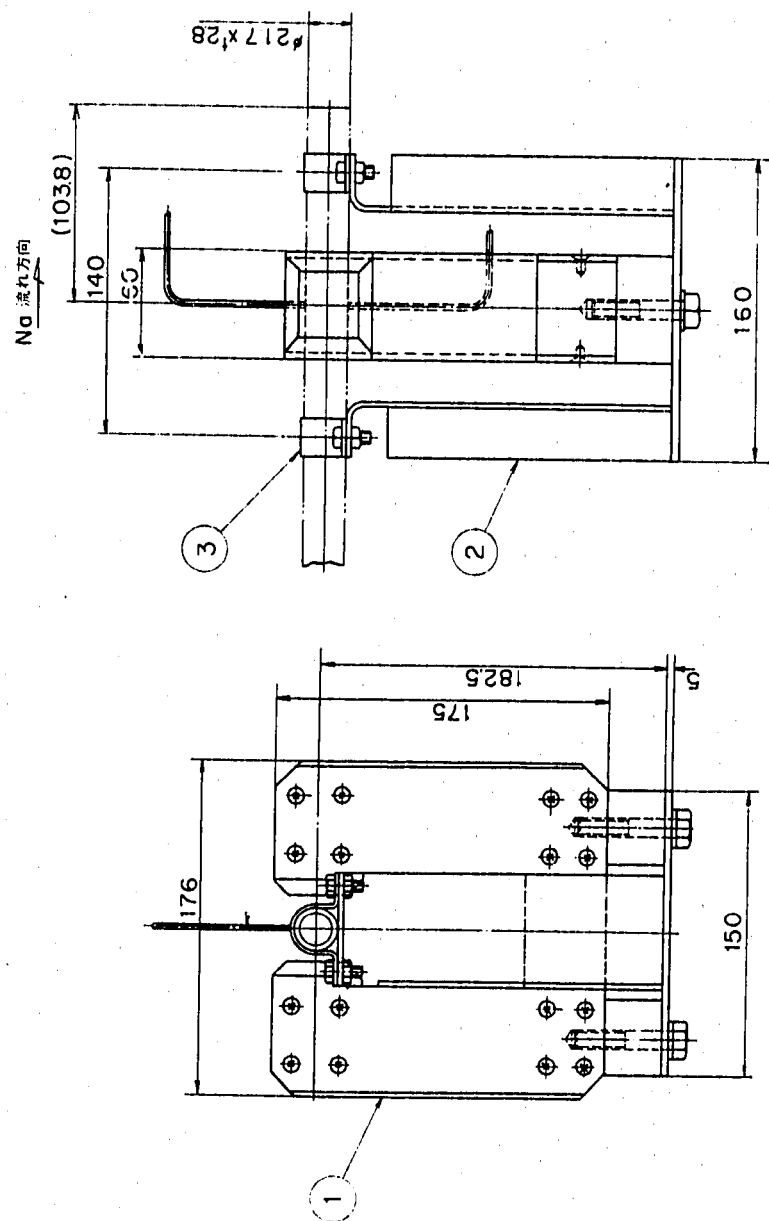


図5.1—4：PNC型Ⅰa中水素検出計(2号機)用電磁ポンプ外形図



数量	品番	部品名	材質	備考
2	3	サポート	SUS 304	
1	2	ブラケット	SUS 304	
1	1	流量計	(永久磁石)	

図5.1-5 : PNC 型Na中水素検出計(2号機)用電磁流量計外形図

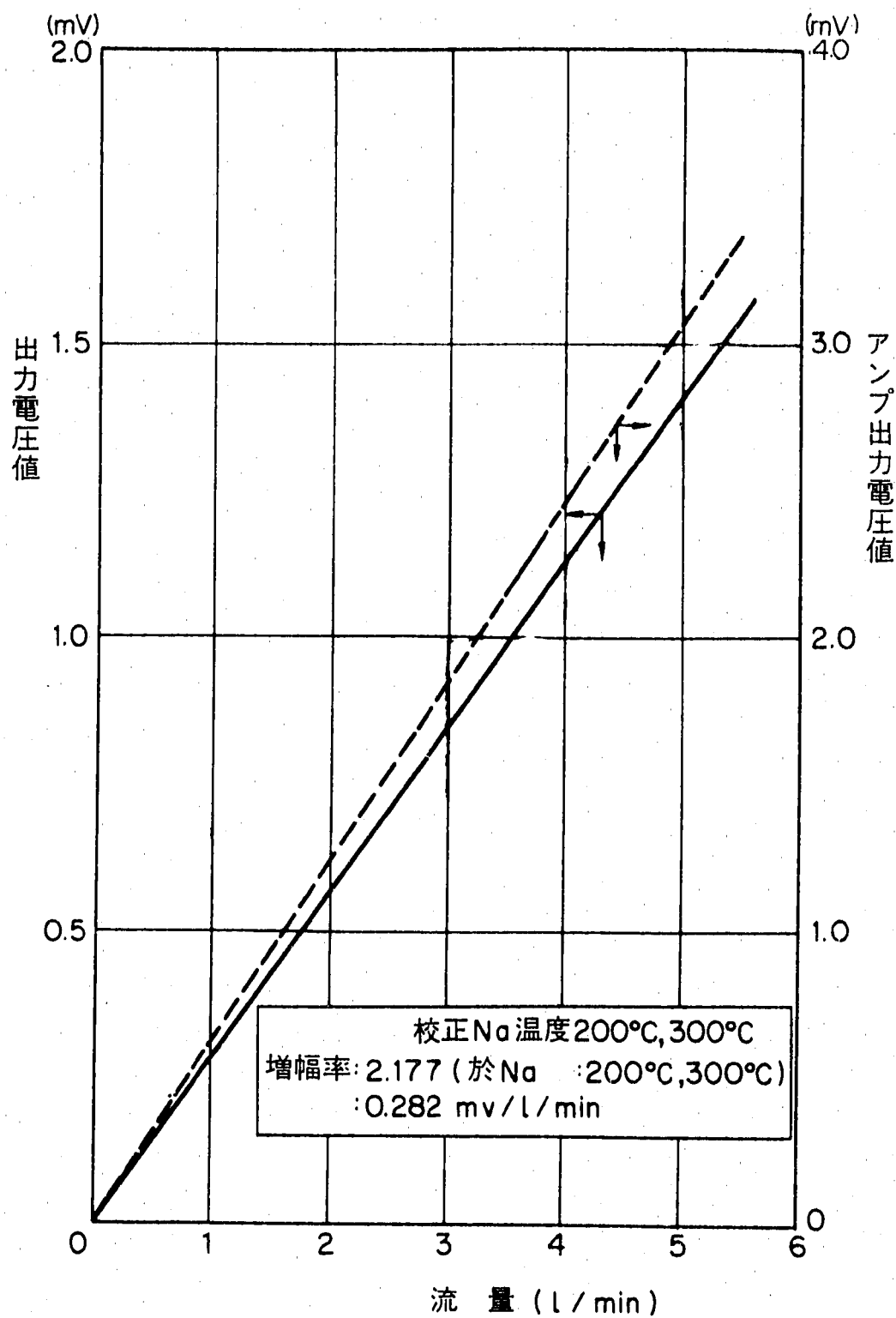


図5. 1-6 (1/2) : PNC型Na中誓素検出計(2号機)用電磁流量計特性曲線(その1)

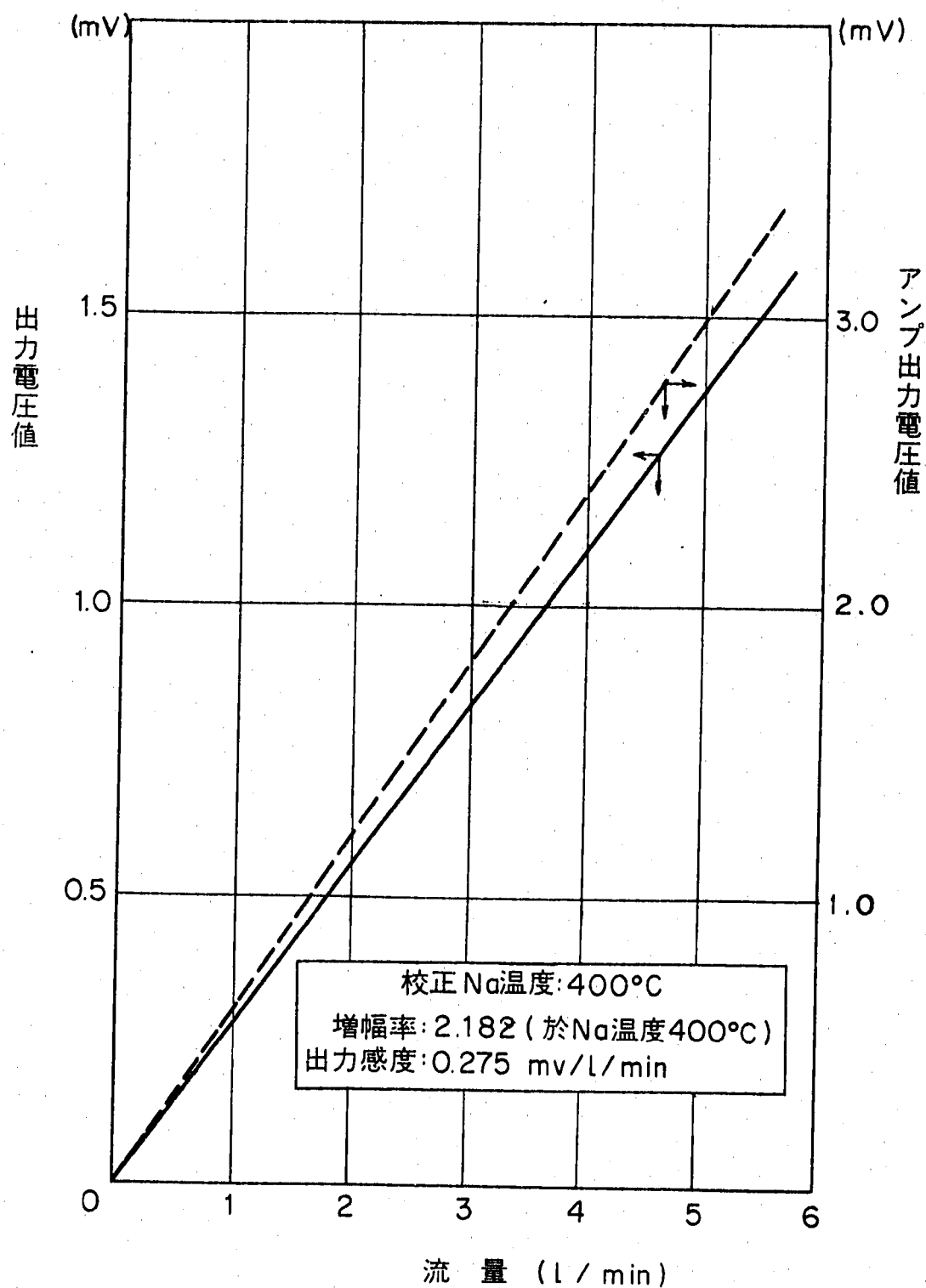
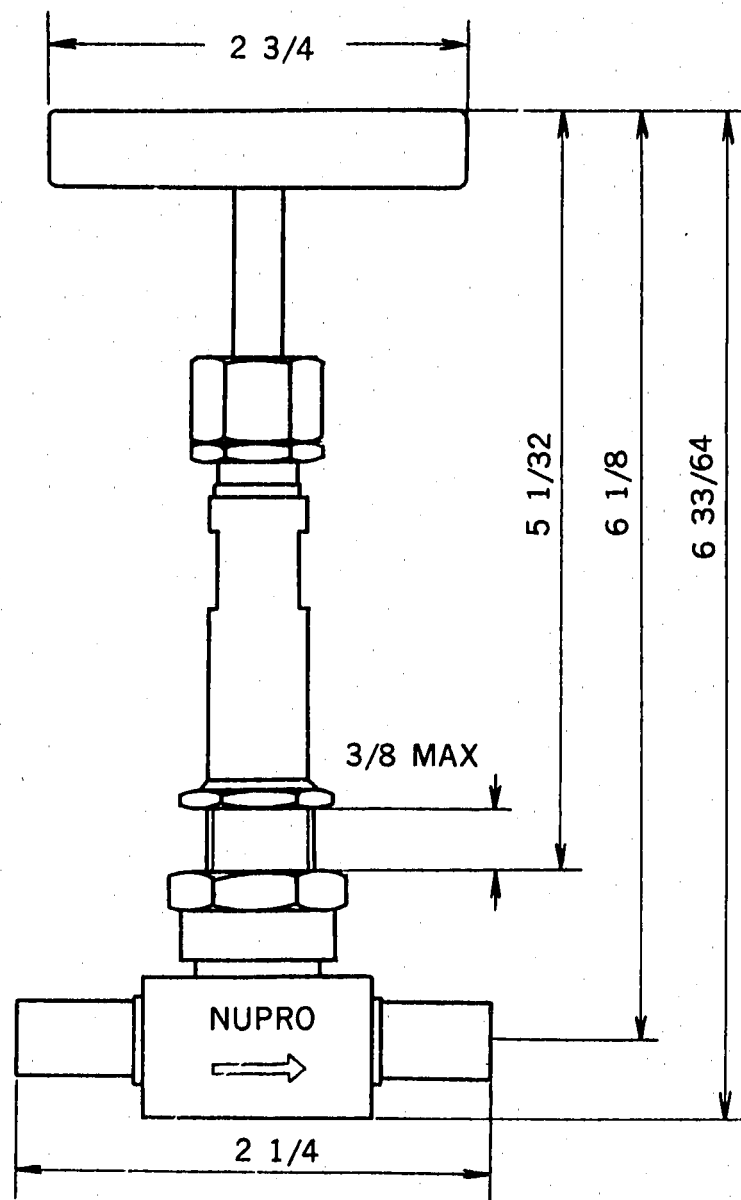
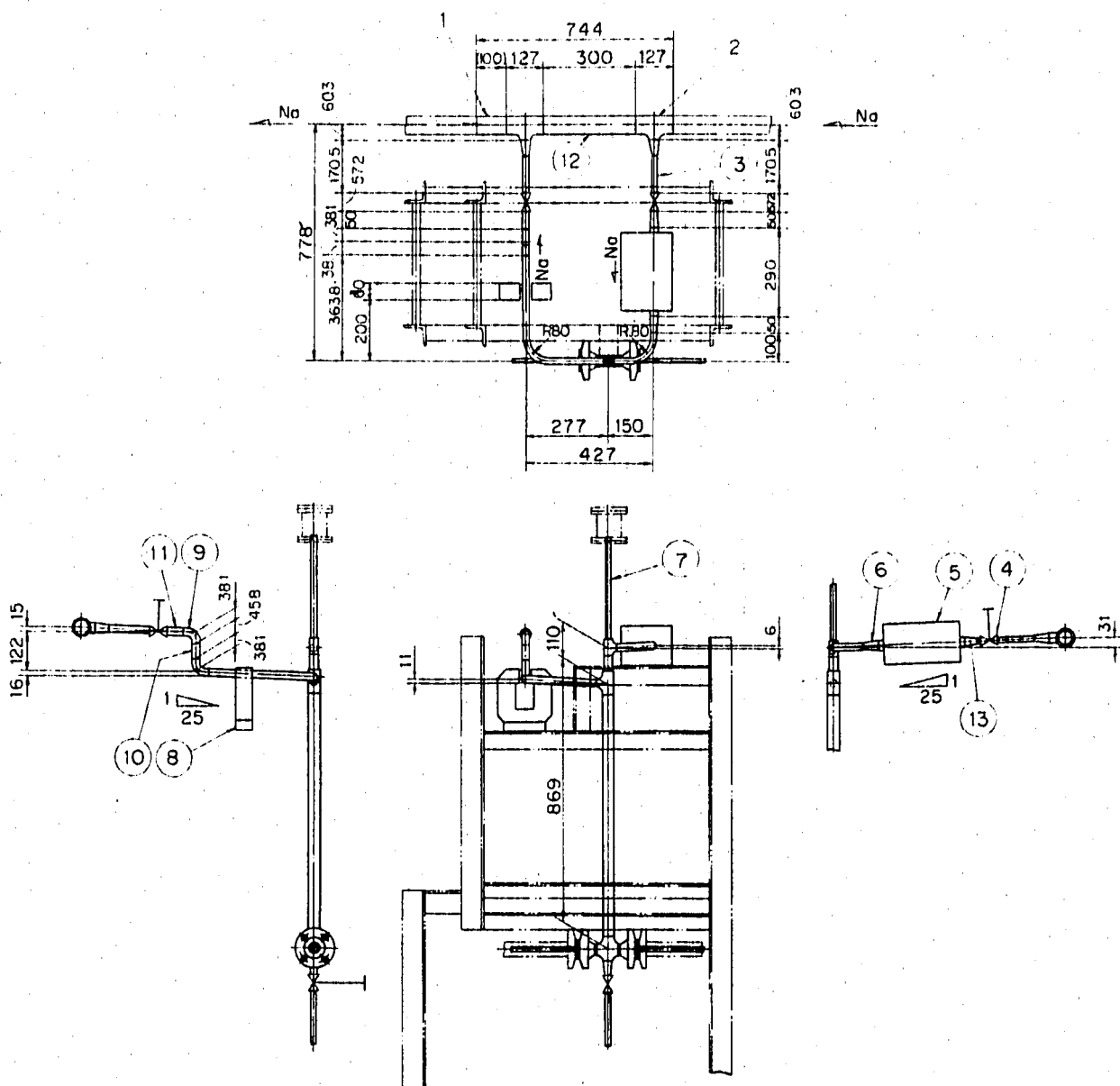


図5.1-6 (2/2) : PNC型Na中水素検出計(2号機)用電磁流量計特性曲線(その2)



(単位：インチ)

図5. 1 - 7 : PNC 型Na中水素検出計(2号機)用Na止弁外形図



1	13	レジャーサー	SUS 304	φ31×φ19	
1	12	管	"	2 B×SCH40	
1	11	レジャーサー	"	φ21.7×φ19	
1	10	管	"	1 2 B×SCH40	
2	9	エルボー	SUS 304	1 2 B×SCH40	
1	8	流量計			
1	7	エコノマイザー			
1	6	レジャーサー	SUS 304	φ31×φ21.7	
1	5	電磁ポンプ			
2	4	バルブ	SUS 304	NUPRO SS 8 UW TSW HT	
2	3	レジャーサー	"	φ48.6×φ19	
2	2	ティ	"	2 B×2 B×1 1 2 B×SCH40	
1	1	管	SUS 304	2 B×SCH40	
品番 部品名 材質 備考					

図5.1-8: PNC 型 Na 中水素検出計(2号機) Na系配管, 特器配置図

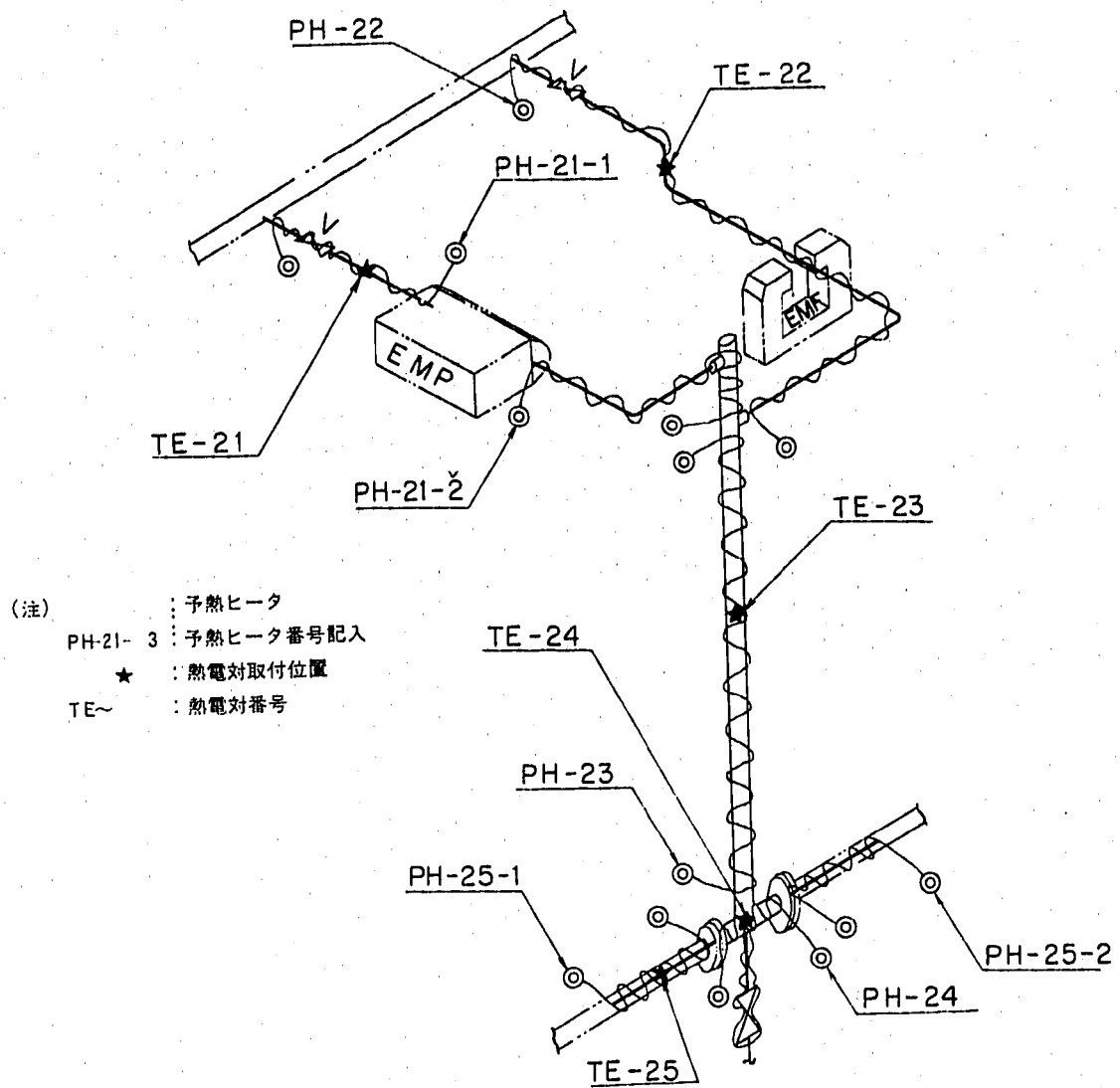
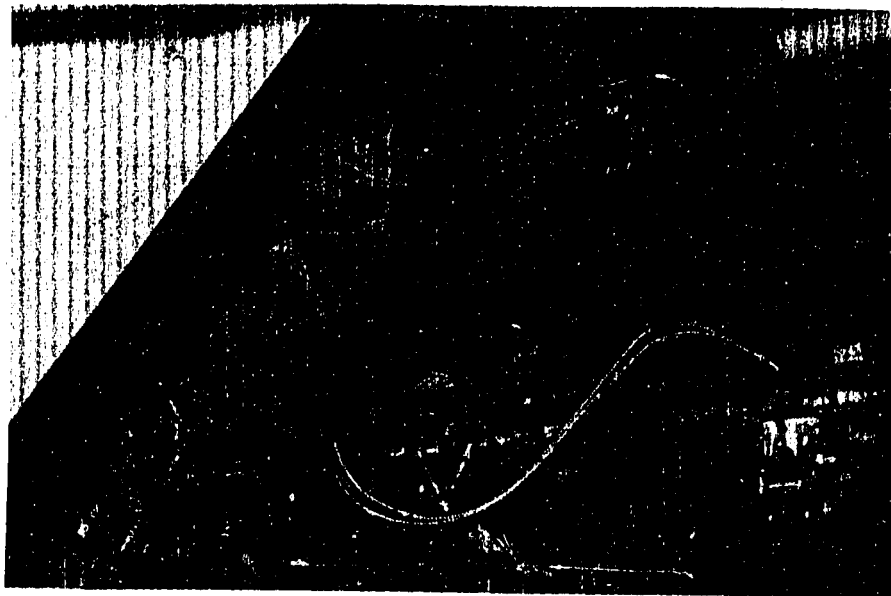
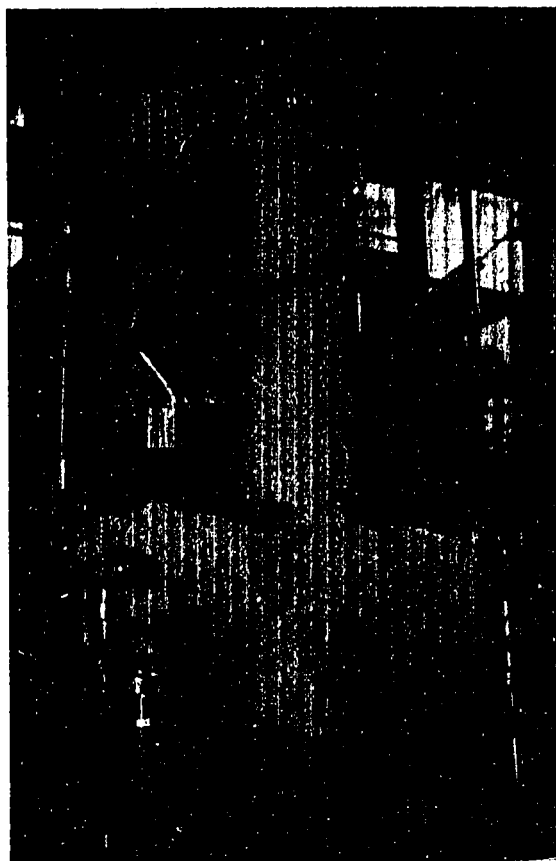


図5.1-9 : PNC 型 Na 中水素検出計(2号機)予熱ヒータ及び熱電対取付位置図



写真－2：PNC型Na中水素計2号機Mk－Ⅱ現地組立状態



写真－3：PNC型Na中水素計2号機Mk－Ⅲ現地据付状態

記号	記号	板名	称
1	PNC型Na中水素検出計2号機真空系制御盤		
2	電離真空計		
3	イオンポンプ		
4	PNC型Na中水素検出計2号機Na系制御盤		
5	主ヒータ漏電		記名表示
6	Ni膜温度高		"
7	Na流量低		"
8	EMPダクト温度高		"
9	EMPコア温度高		記名表示
10	電磁ポンプ		
11	主ヒータ温度設定		
12	電磁ポンプ		
13	電磁ポンプスライダー		
14	流量低インターロック解除スイッチ		
15	主ヒータ		
16	Ni膜・電磁ポンプ温度		
17	Na流量		
18	テスト		
19	プザーストップ		
20	リセット		
21	入		
22	切		
23	増		
24	減		
25	100 V安定化電源		
26	200 V安定化電源		
27	モードゲージコントローラ		
28	イオンポンプ (大) コントローラ		
29	イオンポンプ (小) コントローラ		
30	シュルツゲージコントローラ		

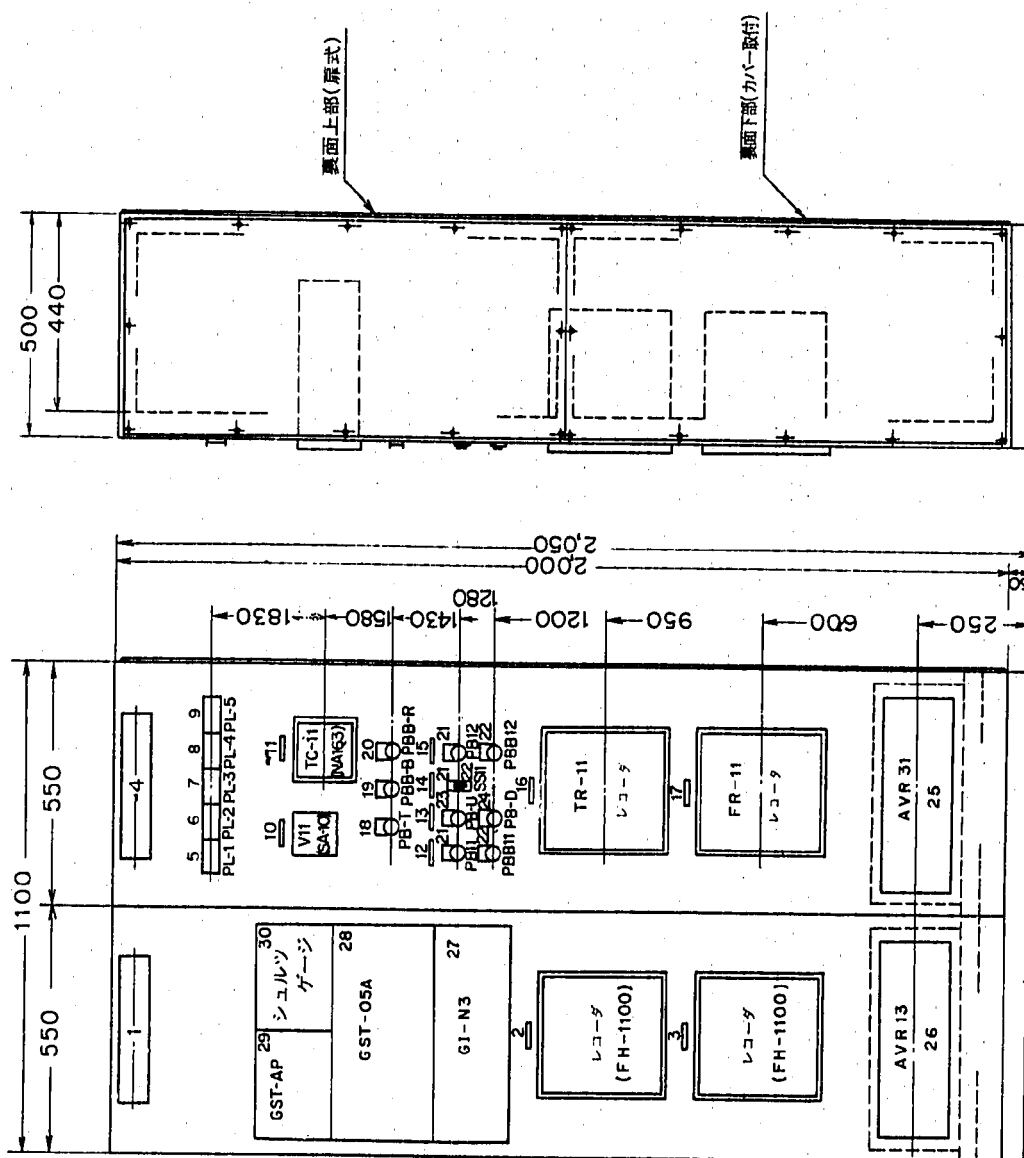


図5.2-1: PNC型Na中水素検出計(2号機)用制御盤外形図

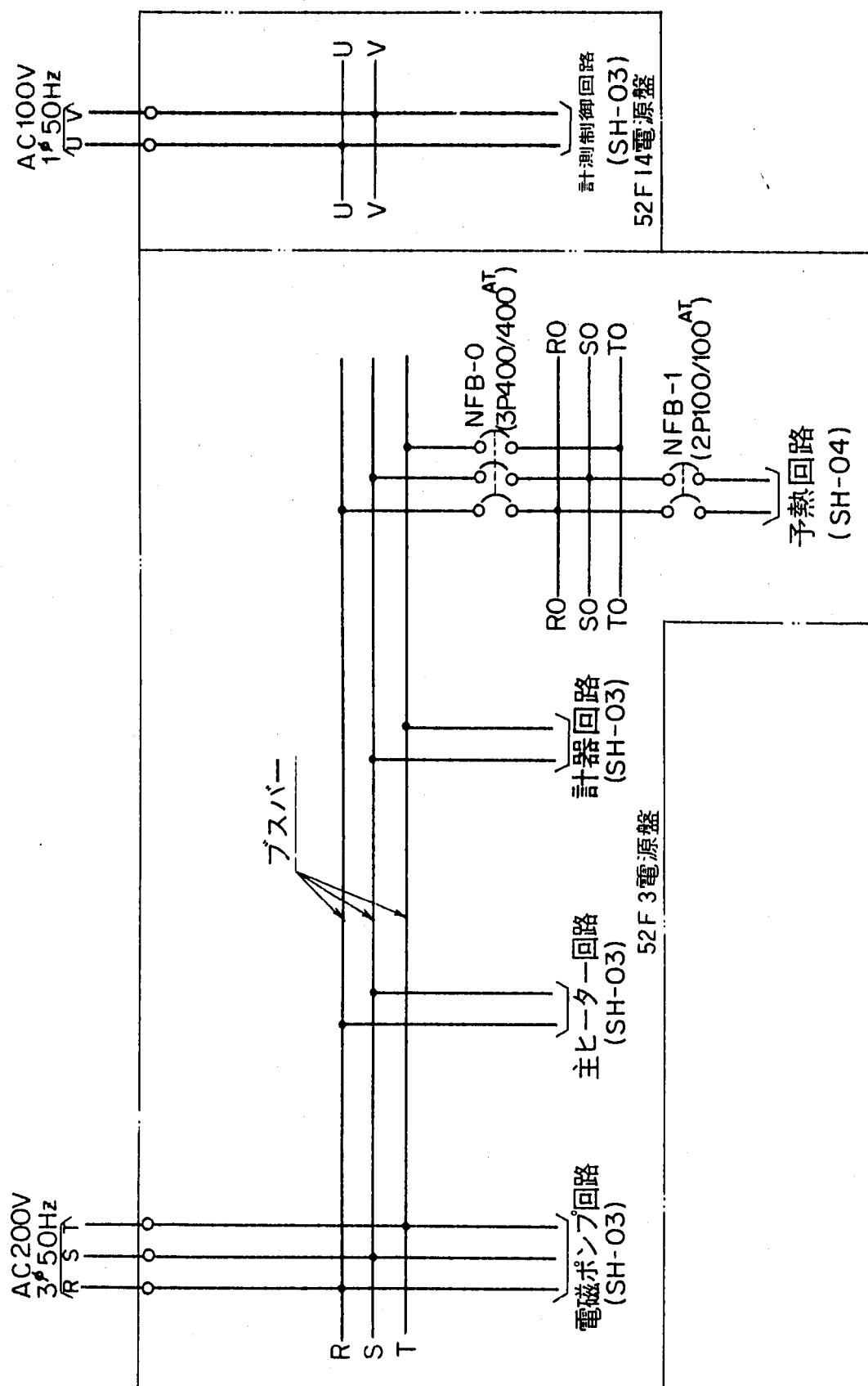


図5.2-2 : PNC 型 Na 中水素検出計 (2 号機) 用電源構成図

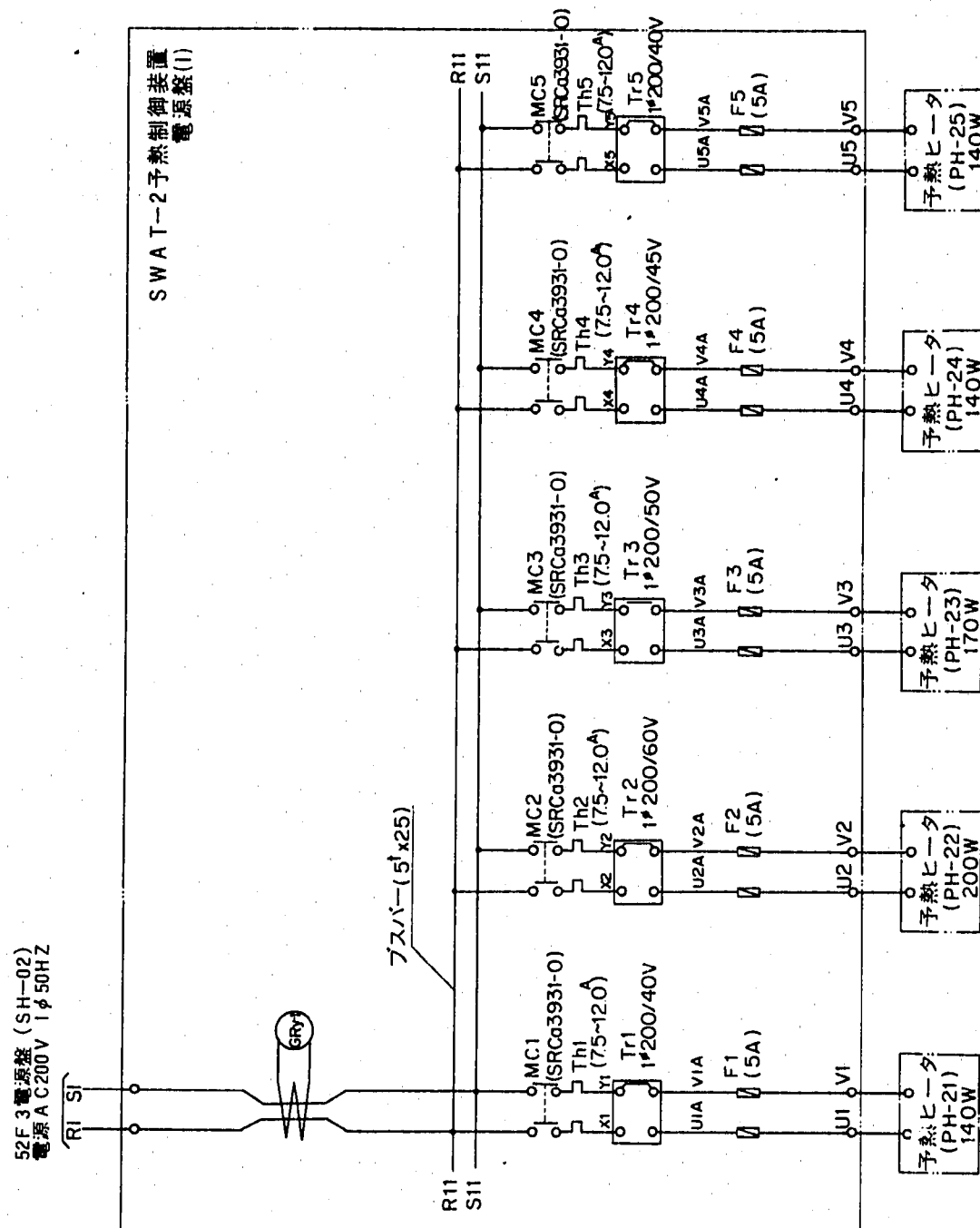


図5.2-3 (1/2) : PNC型Na中水素検出計 (2号機) 主回路系統図 (その1)

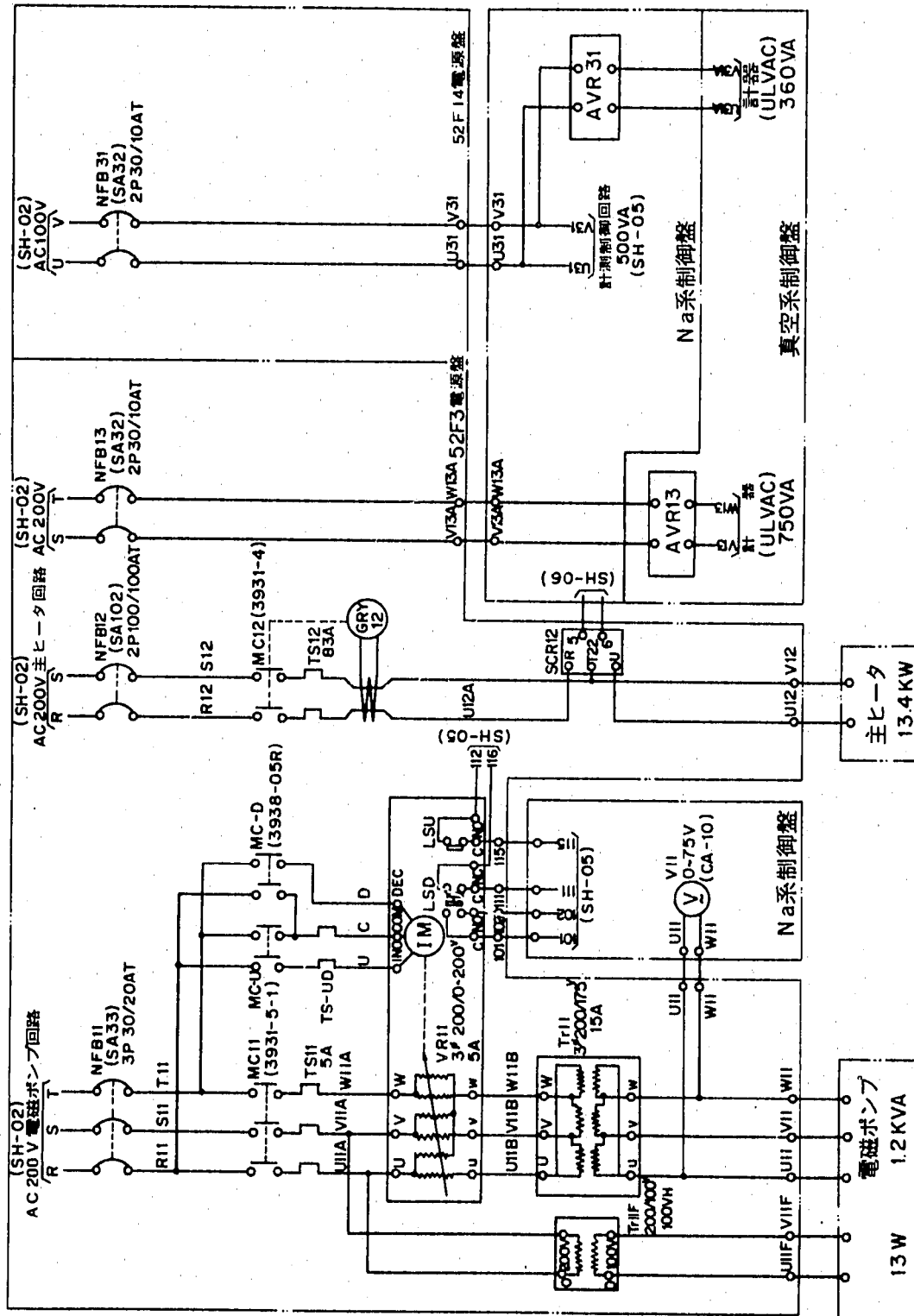


図5.2-3 (2/2) : PNC型Na中水素検出計の号機)主回路系統図(その2)

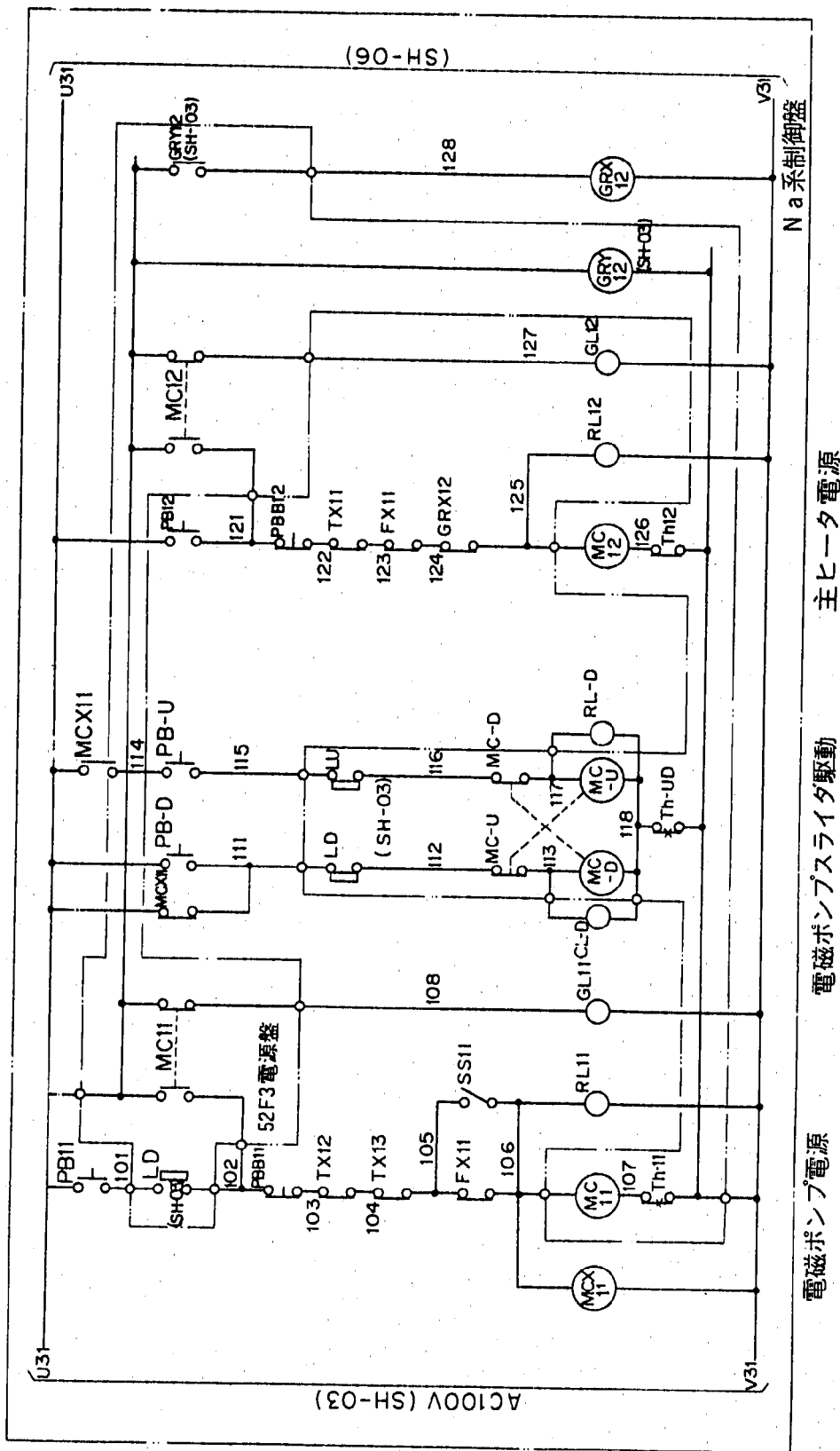


図5.2-4 : PNC 型Na中水素検出計(2号機)制御回路系統図

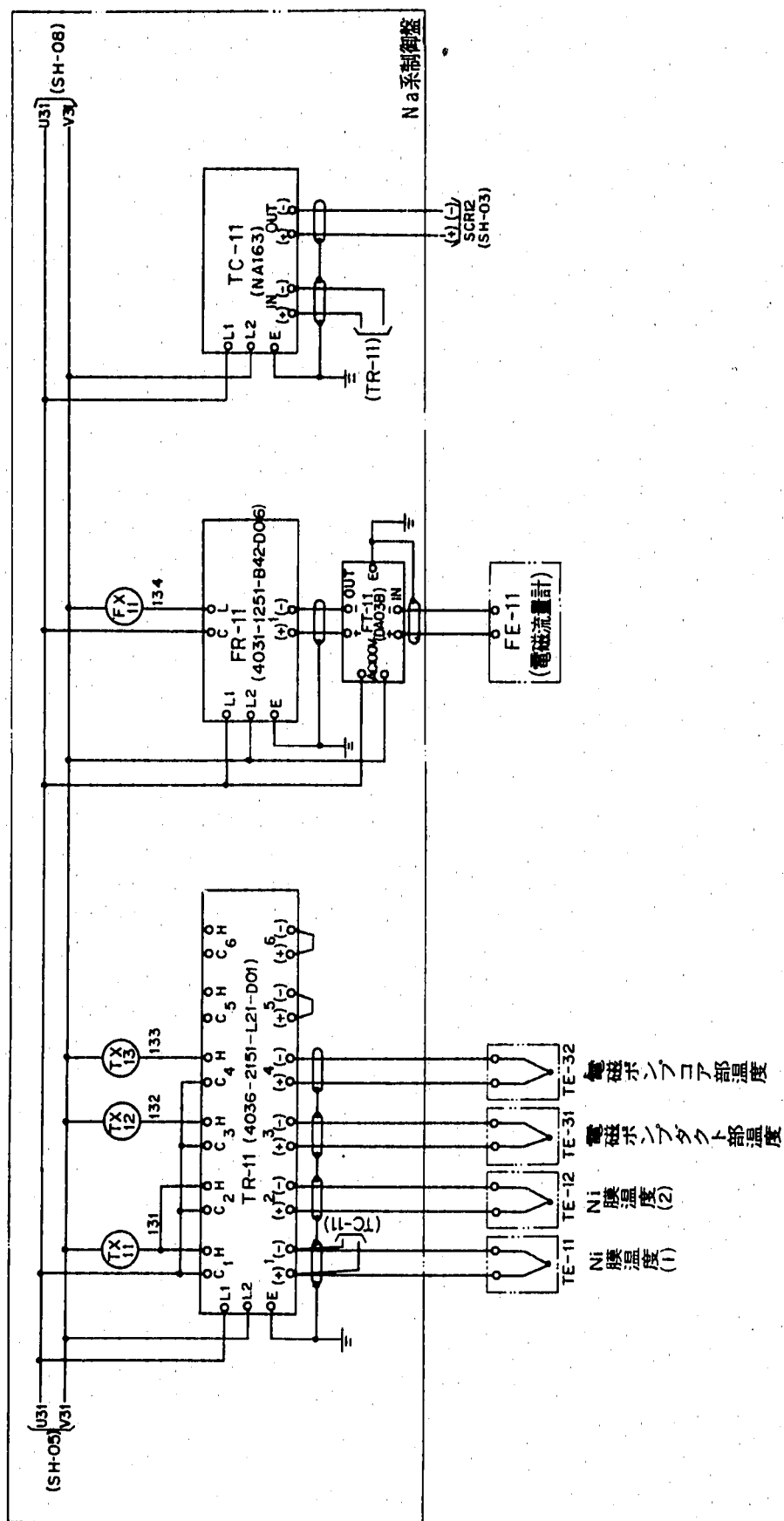


図5.2-5 : PNC 型 Na 中水素検出計(2号機)計測回路系統図

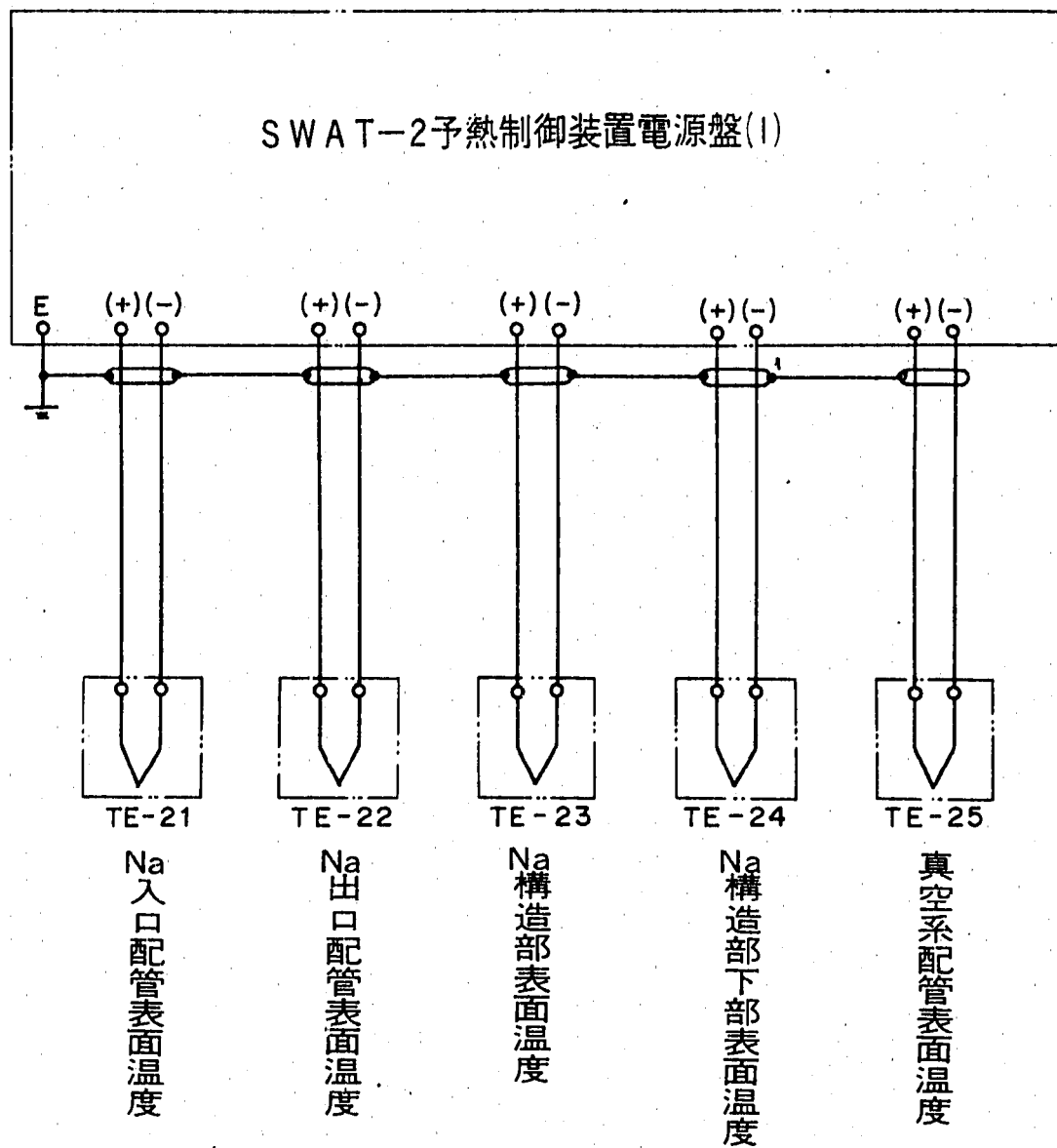


図5.2-6 : PNC 型 Na 中水素検出計(2号機)予熱計測回路系統図

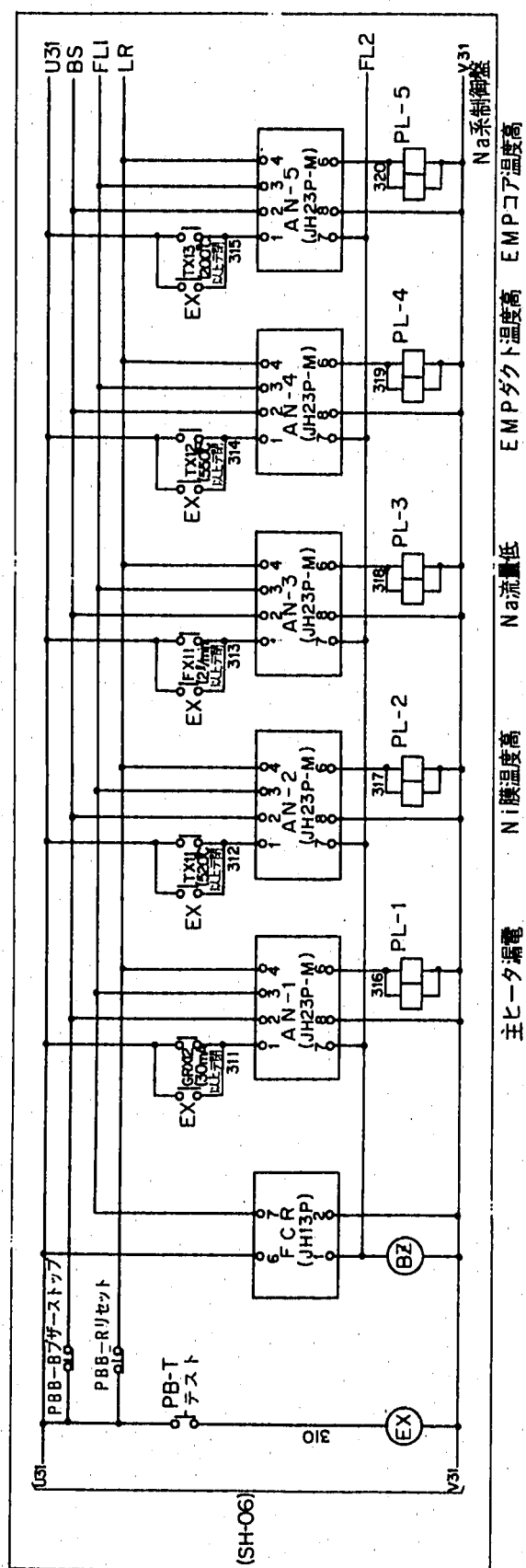


図5.2-7 : PNC 型Na 中水素検出計(2 号機)警報表示回路図

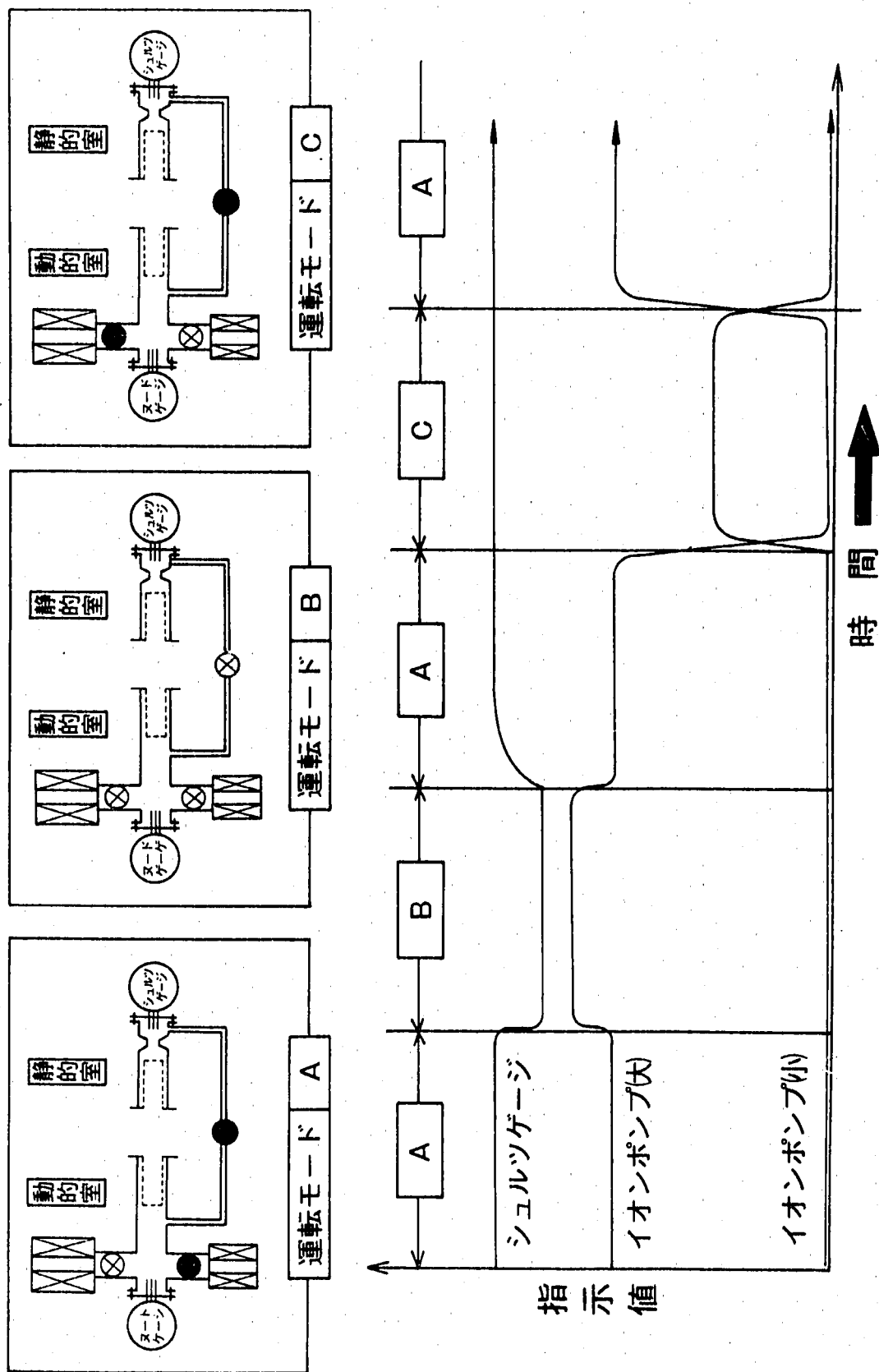


図 6-1 : PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-I, 運転モード説明図

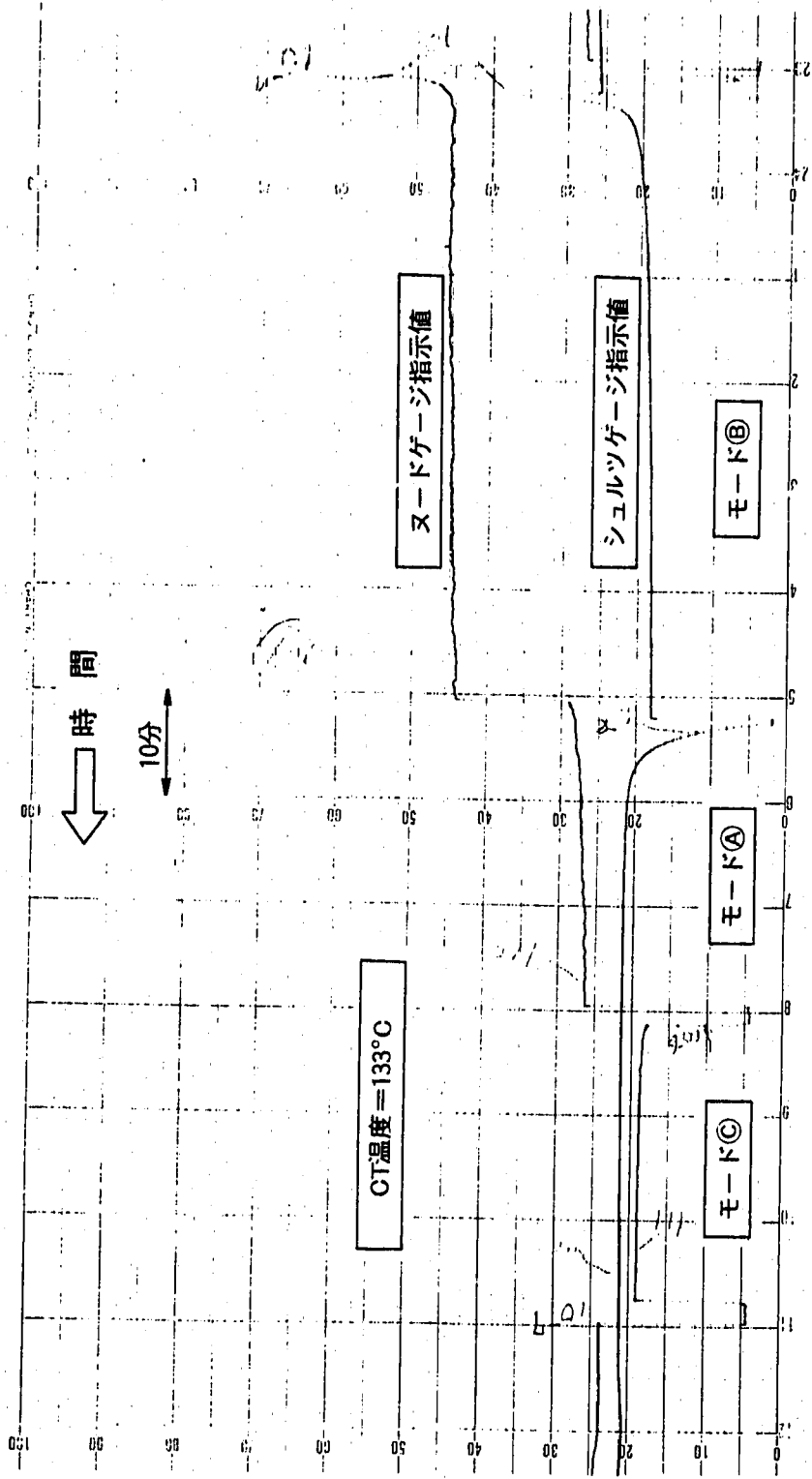


図6-2 : PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-I, 較正試験測定結果例

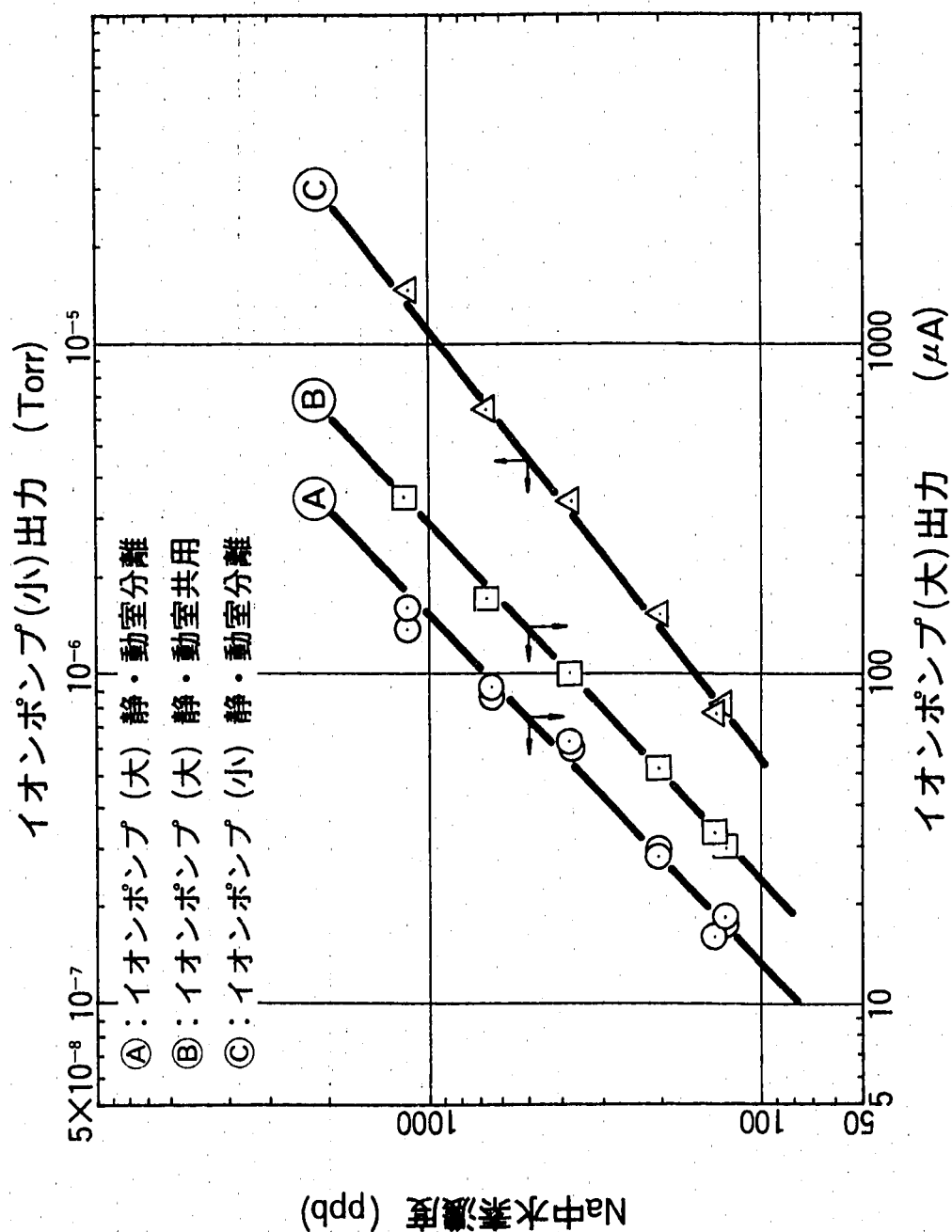


図 6-3 : PNC型Na中水素検出計(2号機) Mk-I, 校正曲線

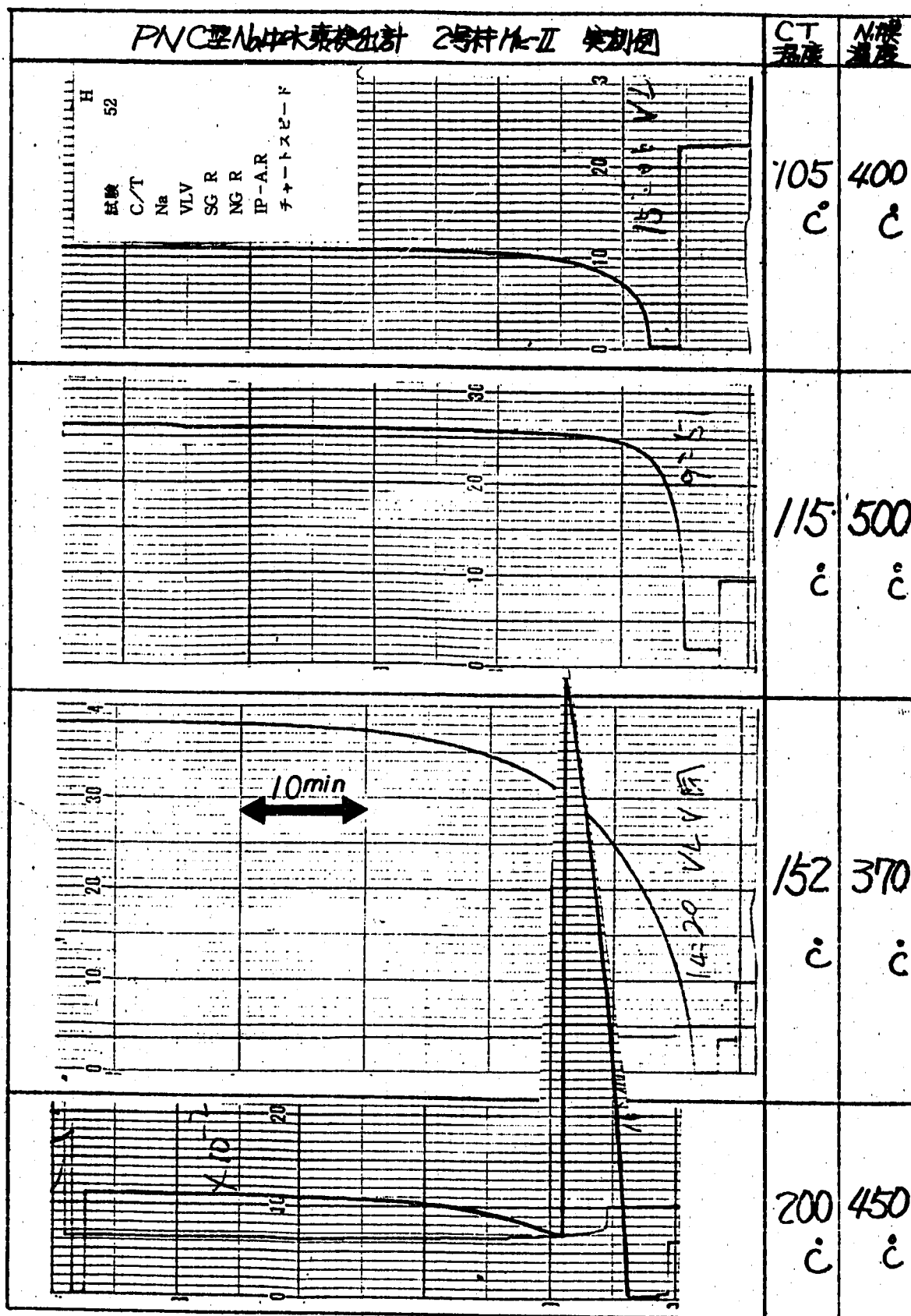


図 6-4 : PNC型Na中水素検出計 (2号機) Mk-II 静的平衡測定結果例

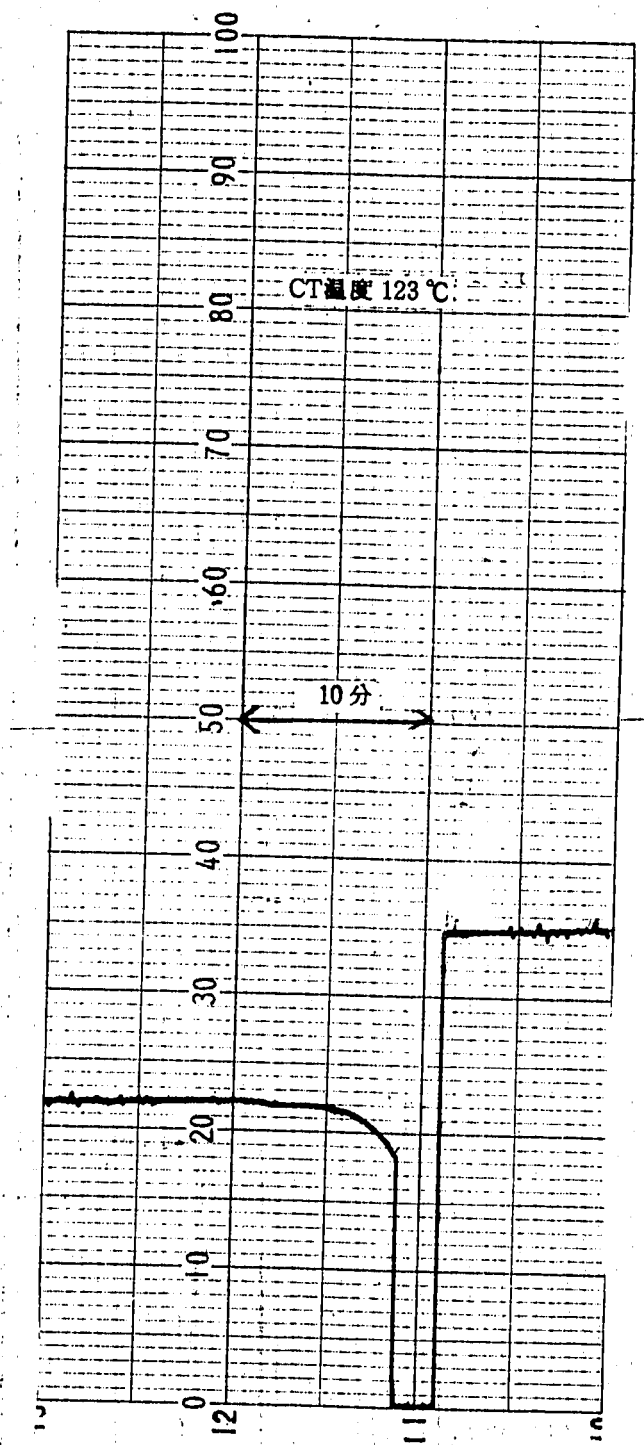


図6-5：PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-III 静的平衡測定結果例

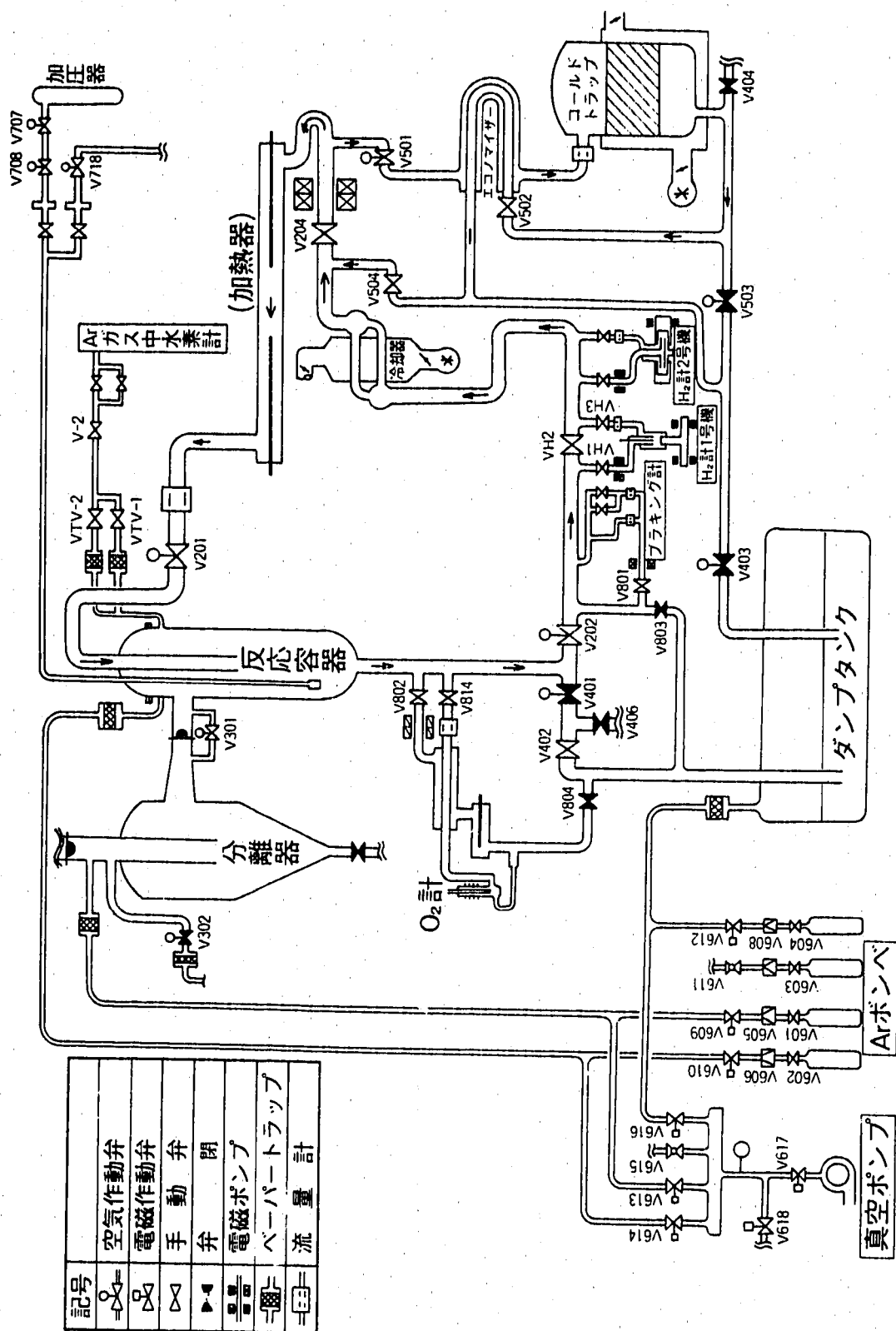


図 6-6: SWAT-270シート

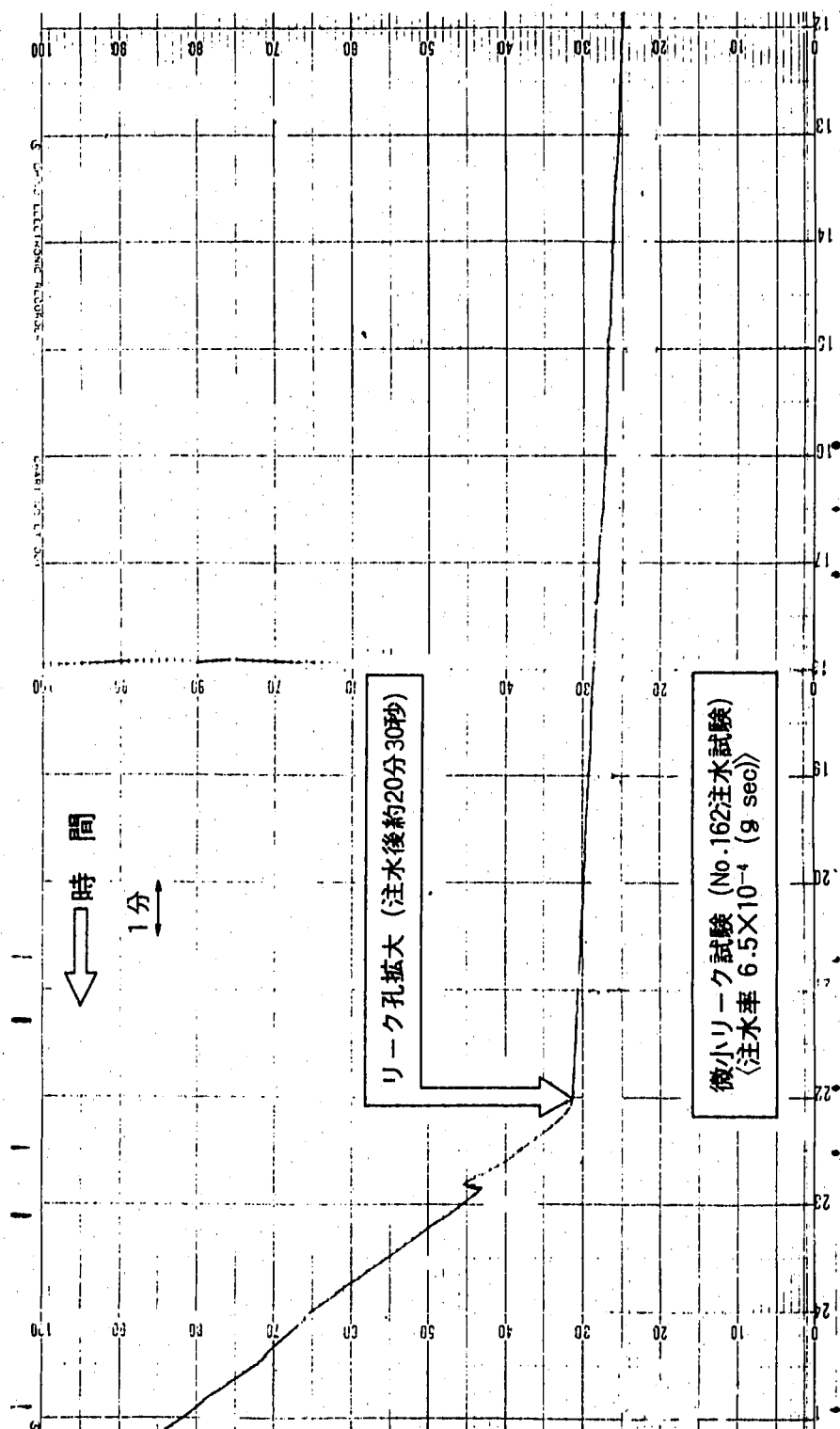


図6-7：PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-I水注入微小リーク試験時応答測定例

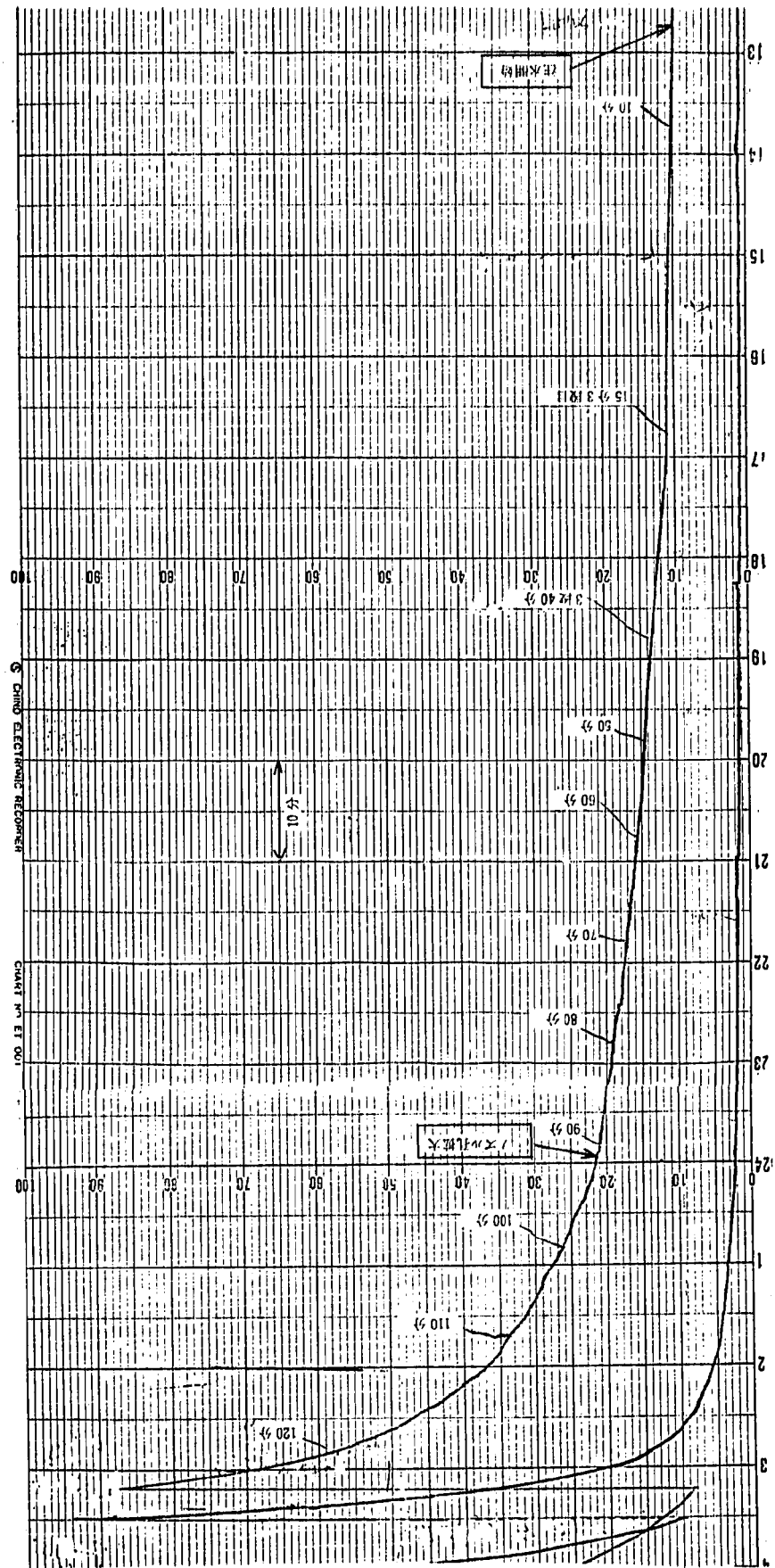


図 6-8 : PNC型Na中水素検出計(2号機)Mk-II水注入微小リーク試験応答測定例