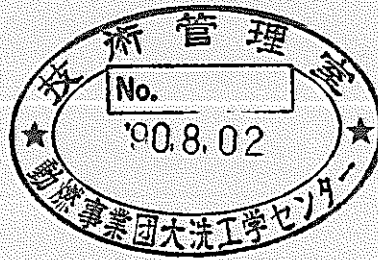


区分変更	
変更理由	←
決裁年月日	平成13年7月31日

高速実験炉「常陽」核計装設備の更新



1990年3月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
S	N9410 90-063
<p>この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です</p> <p>動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室</p>	

動力炉・核燃料開発事業団
 大洗工学センター

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

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

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

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



配 布 限 定

PNCT 9N9410 90-063

1990年 3 月

高速実験炉「常陽」核計装設備の更新

高須宏雄*, 鹿志村洋一*, 砂押 博*

要 旨

高速実験炉「常陽」の計測制御系統施設の一部である核計装設備は、昭和52年4月よりその使用を開始して以来、現在まで10年以上にわたり運転を継続してきた。しかし、近年において設備の老朽化が目立ちはじめ、部品交換やトラブル対策の頻度も多くなってきている。このため核計装設備の重要度と特殊性を考慮し、より一層の信頼性の向上をはかって原子炉の安全な運転に寄与すべく設備の更新を実施した。

更新した機器は中間出力系モニタ、線形出力系モニタ及びこれらの付属機器1式である。これらのハードウェアの設計にあたっては、これまでの運転・保守経験を反映して十分な信頼性と保守性の向上をはかった。

更新後の運転では、核計装設備として必要な設計通りの性能を有していることが確認された。また、保守性向上によるメンテナンスコストの低減もはかることができた。本報告書では近年における核計装設備の保守履歴と、更新にあたって実施したエンジニアリングの内容について述べる。

* 大洗工学センター実験炉部原子炉第2課



NOT FOR PUBLICATION

PNCT8N9410 90-063

March, 1990

Replacement of Nuclear Instrumentation System of Experimental Fast Reactor "JOYO"

Hiroo Takasu*, Youichi Kashimura*
and Hiroshi Sunaoshi *

Abstract

The nuclear instrumentation system (NIS) of the experimental fast reactor "JOYO" has been operated over 10 years since the initial criticality in 1977. Recently, degradation of devices in the NIS was accelerated, and the parts were frequently exchanged. Thus, it was planned to replace the NISs to enhance the reliability and consequently the reactor safety.

In the course of design of these monitors, it was taken into account to improve the reliability and maintainability by reflecting operation and maintenance experience of NIS in JOYO.

Operation of the installed NISs indicates that their performance satisfies the specification and the maintenance cost is reduced. In this report, troubles of the NIS in recent years and engineering in the design and replacement of the NIS are described.

* Maintenance Section, Experimental Reactor Division, O-arai Engineering Center

目 次

1. 緒 言	.....	1
2. 核計装設備の概要	.....	2
2.1 核計装設備の構成	.....	2
2.2 中性子計装設備	.....	2
2.3 中性子検出器保持駆動装置	.....	6
3. 核計装設備の保守及び運転における問題点	.....	9
3.1 核計装設備の故障履歴	.....	9
3.2 核計装設備の運転における問題	.....	11
4. 設備の更新	.....	15
4.1 更新にあたっての基本方針	.....	15
4.2 更新内容	.....	16
4.3 線形出力系の更新	.....	17
4.4 中間出力系の更新	.....	20
4.5 試験検査	.....	24
5. 据付調整における特記事項	.....	30
5.1 線形出力系モニタ更新時の問題と対策	.....	30
5.2 線形出力系モニタの時定数に関する検討	.....	32
5.3 中間出力系モニタの利得の設定	.....	32
5.4 中間出力系モニタ更新時の問題と対策	.....	37
6. 更新結果と運転	.....	40
6.1 線形出力系モニタ	.....	40
6.2 中間出力系モニタ	.....	40
7. 結 言	.....	41

8. 謝 辞	42
9. 参考文献	43
10. 付 録	44
10.1 中性子検出器の交換実績と計画	44
10.2 線形出力系モニタの利得推移	45

L i s t o f T a b l e s

Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (1/6)	47
Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (2/6)	48
Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (3/6)	49
Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (4/6)	50
Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (5/6)	51
Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (6/6)	52
Table 3.2 Number of Failures	53
Table 3.3 Number of Adjustment of Alarm Setpoints	54
Table 3.4 Results of Testings for Noise Problems in NIS	55
Table 4.1 Comparison of Characteristics of Signal Cables	56
Table 4.2 Contents of Testings and Inspections in Manufacture	25
Table 4.3 Contents of Testings and Inspections for Exchanged Cables	26
Table 4.4 Contents of Testings and Inspections at Installation of NIS Components.....	27
Table 4.5 Contents of Testings and Inspections of Load-cells	28
Table 5.1 Combinations of Monitors and Cables for Testings of Oscillation Problems...	56
Table 5.2 Result of Testings of Oscillation of Amplifiers of Range 6 and 7	56
Table 5.3 Parameters of R.s, C.s in Model Circuit	57
Table 5.4 Comparison of IRM Gain in Channels	57
Table 10.1 Drift of PRM Gain through Reactor Operations	58

L i s t o f F i g u r e s

Fig. 2. 1 Measuring Range of NIS(Design Staged)	59
Fig. 2. 2 Location of Neutron Detectors	60
Fig. 2. 3 Flowchart of Nuclear Instrumentation Channels	61
Fig. 2. 4 Measuring Circuit Blockdiagram of SRM	63
Fig. 2. 5 Measuring Circuit Blockdiagram of IRM (Before Exchange)	64
Fig. 2. 6 (1)Measuring Circuit Blockdiagram of PRM	65
Fig. 2. 6 (2)Blockdiagram of Graphite Temperature Compensation Ciurcuit	66
Fig. 2. 7 Structure of Neutron Detector	67
Fig. 2. 8 Detail Structure of Neutron Detector	69
Fig. 2. 9 Structure of Connector-box	70
Fig. 4. 1 Overview of Power Range Monitor Unit	71
Fig. 4. 2 Measuring Unit of PRM	72
Fig. 4. 3 Circuit of Power Supply Unit	73
Fig. 4. 4 Comparison of Cable Specification	74
Fig. 4. 5 IRM Measureing Circuit(New)	75
Fig. 4. 6 Overview of Intermediate Range Monitor Unit	76
Fig. 4. 7 Overview of Intermediate Range Monitor Unit	77
Fig. 4. 8 Overview of Pre-Amprifier	78
Fig. 4. 9 Modification of Comparator Circuit	79
Fig. 4. 10(1)Structuer of Load-cell Measuring System (After replace)	80
Fig. 4. 10(2)Structuer of Load-cell Measuring System (Before replace)	81
Fig. 5. 1 Testing Circuit of PRM	82
Fig. 5. 2 Countermeasure for Signal Oscillation of PRM Output	83
Fig. 5. 3 Model Circuit of CR Oscillation	83
Fig. 5. 4 Time Constant of Circuit in PRM	84
Fig. 5. 5 Blockdiagram of Performance of IRM(New)	85
Fig. 5. 6 Characteristics of New IRM(start up to 1MW)	86
Fig. 5. 7 Characteristics of New IRM(start up to 15MW)	87

Fig. 5. 8 New IRM Characteristics (to 100MW)	88
Fig. 5. 9 New IRM Characteristics(LCRM)	89
Fig. 5. 10 Discrimination Characteristics of Ch-9 (1)	90
Fig. 5. 11 Discrimination Characteristics of Ch-9 (2)	91
Fig. 5. 12 New Pre-Amp. Characteristics (Ch-3)	92
Fig. 5. 13 New Pre-Amp. Characteristics (Ch-6)	93
Fig. 5. 14 Period Output of New IRM	94
Fig. 5. 15 Period Output of IRM(Ch-3,5)	95
Fig. 5. 16 Blockdiagram of IRM Performance Test(after replace)	96
Fig. 5. 17 Result of IRM Caliblation	97
Fig. 5. 18 Caribration curve of SRM and IRM	98
Fig. 5. 19 Characteristics of IRM After Caribration	99
Fig. 5. 20 Result of IRM and Pre-Amp. Gain after Caribration	100
Fig. 5. 21 Countermeasure for Loop Oscillation of PRM Output	101
Fig. 5. 22 Noise Suppressing of Pre-Amp.	101
Fig. 5. 23 Noise Suppressing of Isolator	102
Fig. 6. 1 PRM Gain at Ch-6	103
Fig. 6. 2 PRM Gain at Ch-7	104
Fig. 6. 3 PRM Gain at Ch-8	105
Fig. 10.1 Drifts of PRM Gain	106

L i s t o f P h o t o s

Photo 1 Wave-form Characteristics of Noise (Ch-8)	107
Photo 2 Oscillation of PRM Signal Output(Ch-8)	108
Photo 3 Oscillation of PRM Signal Output at Range 6 and 7	109

1. 緒 言

高速実験炉「常陽」は昭和52年の初臨界以来、現在に至るまで10年以上にわたって順調な運転が続けられている。

核計装設備は、原子炉の中性子束を常時モニタし異常を検出したときには直ちに原子炉を安全に停止させる信号を発するもので、安全保護系として原子炉の運転に重要な設備である。本設備はこれまで概ね順調に運転されてきたが、近年になって設備の老朽化が進んだため、原子炉のより一層の安全な運転及び保守性の向上を目的として設備の更新を行った。本報告書は昭和56年から昭和61年度に更新するまでの核計装設備に関する保守履歴（昭和52年度から昭和55年度までは別途報告^{*)}されている）と、更新にあたって実施したエンジニアリングについてまとめたものである。

2. 核計装設備の概要

核計装設備は原子炉の起動から定格出力運転までの全領域の中性子束を測定することにより原子炉の出力及びペリオドを監視し、異常な出力の上昇があった場合には直ちに原子炉を安全に停止させる信号を発することを目的とした設備である。以下に本設備の構成を述べる。

2.1 核計装設備の構成

核計装設備は中性子計装設備と、中性子検出器保持駆動装置及びこれらの付属機器から構成されている。中性子計装設備は原子炉停止時の未臨界状態から定格出力までの約10デカードを有する広い中性子束全域をカバーするために、起動系・中間出力系・線形出力系の3系統に分けられており、起動系が2チャンネル、中間出力系・線形出力系はそれぞれ3チャンネルに多重化され、信頼性の向上がはかられている。Fig. 2.1 に中性子計装設備各系統の計測範囲分担を示す。中性子検出器は、起動系及び中間出力系が核分裂計数管（F.C）、線形出力系がガンマ線補償型電離箱（C.I.C）を使用している。

中性子検出器保持駆動装置は起動系及び中間出力系の中性子検出器を保持・駆動するための装置である。起動系・中間出力系の中性子検出器は、原子炉の定格出力運転中は本装置により中央制御室からの遠隔操作により上方へ引き上げ、無駄な中性子の照射を少なくして寿命を引き伸ばすように配慮している。

2.2 中性子計装設備

(1) 中性子計装設備の概要

中性子計装設備の各チャンネルの中性子検出器は全て原子炉容器の外側に設置されており、炉心から漏れてくる中性子束を炉外で検出して原子炉出力を測定するようになっている。起動系及び中間出力系については炉心中心から水平方向2.9mの黒鉛遮蔽体中に設けられた案内管に挿入されている。また、線形出力系の中性子検出器は炉心中心から水平方向3.55mの安全容器外側の窒素雰囲気中に設けられた案内管に挿入されている。Fig. 2.2 に中性子検出器の据付位置を示す。

起動系及び中間出力系は中性子検出器から出力されるパルスもしくはパルスの重なりによって生じるゆらぎ電流を計測するため、信号のS/N比を良くする目的で前置増幅器を使用している。この前置増幅器は原子炉格納容器内の壁に設置された前置増幅器盤に収納されている。線形出力系については微小電流出力であり、前置増幅器は使用していない。中性子検出器から前置増幅器を介して、または直に出力された信号は中央制御室に設置さ

れた起動系、中間出力系及び線形出力系の各モニタに入力される。これらのモニタは直流電源ユニット、補助リレーユニット及びアイソレータ等の付属機器と共に中性子計装盤に収められている。また、原子炉の運転制御に必要な各モニタの出力は原子炉制御盤設置された指示計、記録計に表示される。原子炉制御盤にはまた、線形出力系用レンジスイッチ及び警報表示用アナンシェータも収められている。これらの機器の構成を Fig. 2.3 に示す。

(a) 起動系

起動系は原子炉の未臨界状態及び原子炉起動時に使用されるもので、核分裂計数管からのパルス信号を計測することにより原子炉定格出力の約 $2 \times 10^{-2}\%$ までをカバーするものである。モニタはチャンネル 1 及びチャンネル 2 の 2 台からなり、 7.0×10^5 cps 及び 9.5×10^5 cps でそれぞれ中性子束高アラーム、中性子束高スクラム信号を発するようになっている。また、起動系は原子炉周期測定機能も有しており、ペリオド 25Sec 及び 5Sec でそれぞれペリオド短アラーム、ペリオド短スクラム信号を発する。モニタの回路はパルス波高弁別器、対数増幅器、直流増幅器、ペリオド増幅器、低圧電源 (± 15 V)、高圧電源 (Max. + 750 V) 及びトリップ回路で構成されている。これらの回路のブロック図は Fig. 2.4 に示したとおりである。

(b) 中間出力系

中間出力系は核分裂計数管から出力されるパルスの重なりによって生じるゆらぎ電流の半波整流平均値が中性子束の $1/2$ 乗に比例することを利用して原子炉出力を計測するもので、原子炉定格出力の約 $1 \times 10^{-3}\%$ から 10% までの中性子束領域で使用されるものである。モニタはチャンネル 3, 4, 5 の 3 台で構成され、70% 及び 95% でそれぞれ中性子束高アラーム、中性子束高スクラム信号を発するようになっている。また、中間出力系は原子炉周期測定機能も有しており、ペリオド 25Sec 及び 5Sec でそれぞれペリオド短アラーム、ペリオド短スクラム信号を発する。モニタの回路は帯域増幅器、広帯域整流器、対数増幅器、ペリオド増幅器、低圧電源 (± 15 V)、高圧電源 (Max. + 750 V) 及びトリップ回路で構成されている。これらの回路のブロック図を Fig. 2.5 に示す。

(c) 線形出力系

線形出力系は中性子検出器 (ガンマ線補償型電離箱) の直流電流が中性子束に比例することを利用して原子炉出力を測定するもので、原子炉定格出力の約 1% ~ 125% までの範囲で使用される。モニタはチャンネル 6, 7, 8 の 3 台で構成され、103% 及び 106% でそれぞれ中性子束高アラーム、中性子束高スクラム信号を発する。モニタの回路

は微小電流計，低圧電源（±1.5V），高圧電源（Max. ±750V）及びトリップ回路より構成されている。また，原子炉制御盤に設けられたレンジスイッチにより約1/2デカード毎に利得の切り替えを行うことができる。

また，線形出力系には3台のモニタのそれぞれに黒鉛温度補償回路⁽²⁾が設けられている。線形出力系の中性子検出器は原子炉容器の周囲に設けられた黒鉛遮蔽体の外部に設置されているため，炉心からの中性子束はこの黒鉛遮蔽体による遮蔽・減速効果の影響を受ける。この影響の大きさは黒鉛遮蔽体の温度に依存し，この温度は原子炉の出力上昇に伴って上昇，原子炉出力100MW到達後，約2週間で130℃前後で安定する。従って，原子炉起動後，約2週間はこの温度変化の影響によって計測した中性子束は原子炉出力に正確に比例しなくなる。このため，黒鉛温度，原子炉出口Na温度と計測した中性子束との関係を調べ，次に示す補正式が求められている。ここで，原子炉出口Na温度を補正式に加えた理由は，この温度も原子炉の出力上昇とともに上昇するため，本補正式に加えてその相関関係を調べた結果，本補正式に加えた方が良く一致することが確認されたためである。従って，黒鉛温度補償回路は，線形出力系モニタの出力信号を入力としてこの補正式に基づいて補正した信号を出力するものである。線形出力系モニタと黒鉛温度補償ユニットのブロック図を Fig. 2.6(1)， Fig. 2.6(2)にそれぞれ示す。

(2) 中性子計装設備の構成

中性子計装設備の構成は以下に示すとおりである。

(a) 中性子計装盤

① 形式	閉鎖自立形
② 数量	1面
③ 外形寸法	約1830W×2300H×760D
④ 設置場所	原子炉付属建物2階中央制御室
⑤ 取付機器	

(イ) 中性子計装盤A

直流電源ユニットA (PS-1)
 起動系モニタ (Ch-1)
 中間出力系モニタ (Ch-3)
 線形出力系モニタ (Ch-6)
 黒鉛温度補償ユニット (Ch-6)
 補助リレーユニットA (AR-1)

(ロ) 中性子計装盤B

直流電源ユニットB (PS-2)
 中間出力系モニタ (Ch-4)
 線形出力系モニタ (Ch-7)

	黒鉛温度補償ユニット (Ch-7)
	補助リレーユニットB (AR-2)
(ハ)中性子計装盤C	直流電源ユニットC (PS-3)
	起動系モニタ (Ch-2)
	中間出力系モニタ (Ch-5)
	線形出力系モニタ (Ch-8)
	黒鉛温度補償ユニット (Ch-8)
	補助リレーユニットC (AR-3)
(b) 前置増幅器盤	
① 形式	壁面取付形
② 数量	3面
③ 外形寸法	約610W×610H×470D
④ 設置場所	原子炉建物1階壁面
⑤ 取付機器	
(イ)前置増幅器盤A	起動系Ch-1前置増幅器
(ロ)前置増幅器盤B	中間出力系Ch-3前置増幅器
(ハ)前置増幅器盤C	中間出力系Ch-4前置増幅器 起動系Ch-2前置増幅器 中間出力系Ch-5前置増幅器
(c) 中性子検出器	
① 核分裂計数管	
(イ)形式	KSA-51
(ロ)数量	起動系 2本 中間出力系 3本
(ハ)外形寸法	約φ38×L550
(ニ)熱中性子感度	約0.1 cps/nv (パルス) 約 2×10^{-11} A/nv (電流)
(ホ)熱中性子束範囲 (最大)	約 2×10^6 nv (10% 計数損失) (パルス) 約 5×10^{10} nv (1mA出力) (電流)
(ヘ)γ線束範囲 (最大)	約 2×10^5 R/h
(ト)作動電圧	200~400V
(チ)ケーブル	MIケーブル
② ガンマ線補償型電離箱	

(イ)形 式	SK-400MI
(ロ)数 量	線形出力系 3本
(ハ)外形寸法	約 $\phi 76 \times L 360$
(ニ)熱中性子感度	約 $2 \times 10^{-14} \text{A/nv}$
(ホ)熱中性子束範囲 (最大)	約 $1 \times 10^3 \text{nv} \sim 1 \times 10^{10} \text{nv}$
(ヘ) γ 線感度	約 $1 \times 10^{-11} \text{A/R/h}$
(ト) γ 線量率範囲	約 $10 \sim 10^7 \text{R/h}$
(フ)作動電圧	200～600V
(リ)ケーブル	MIケーブル

2.3 中性子検出器保持駆動装置

(1) 中性子検出器保持駆動装置の概要

中性子検出器保持駆動装置は、中性子検出器を定位置に保持する保持装置とこれを駆動する駆動装置とに分けられる。保持装置は中性子検出器を案内管の中に挿入・保持するためのもので、操作床または炉上部ピット壁からペDESTAL部を貫通して起動系・中間出力系は黒鉛遮蔽体中に、線形出力系は安全容器外側の窒素ガス空間に設置されている。案内管には内部に挿入された中性子検出器の冷却用窒素ガス配管がもうけられ、格納容器雰囲気調整系の給排気ラインに接続されている。駆動装置は起動系及び中間出力系に設けられており、線形出力系については保持装置のみである。起動系及び中間出力系の中性子検出器は原子炉の起動時・出力上昇時には炉心中心と同じ高さまで挿入した状態で使用されるが、定格運転時には約2m上方に引き上げ、検出器に無駄な中性子の照射を防ぎ、寿命を引き伸ばすように考慮されている。これらの構造図は Fig. 2.2に示す。

中性子検出器保持装置は、Fig. 2.7及びFig. 2.8に示したように中性子検出器を収納する保持具及びフレキシブルチューブ等により構成され、フレキシブルチューブ内には中性子検出器の信号ケーブル、保持具を吊るためのワイヤーロープ、中性子検出器の雰囲気温度を測定するための熱電対等が収納されている。ペDESTAL部を貫通する部分のフレキシブルチューブ内には放射線遮蔽用の鋼球が充填されている。また、ペDESTAL貫通部の上部に密封管が設けられ、内部にコネクタボックスが収納されている。この部分は Fig. 2.9に示したように案内管内の窒素ガス雰囲気と操作床の空気雰囲気とのバウンダリとなっており、パッキングによりシールしている。起動系・中間出力系では、この密封管が約2mの長さを有し、コネクタボックスはこの内部を上下にしゅう動する構造となっている。中性子検出器の信号は、この部分でMIケーブルから同軸ケーブルに、熱電対は補償導線に接続される。

中性子検出器駆動装置は、操作床（Ch-2, Ch-4, Ch-5）と炉上部ピット（Ch-1, Ch-3）に設置されており、電動機・減速機・ワイヤ及びケーブル巻き取りドラム等の主要機器で構成されている。ワイヤ巻き取りドラムのワイヤーロープはコネクタボックスに接続されており、コネクタボックスを上下させることにより、コネクタボックス下部のワイヤーロープに接続された中性子検出器が上下に駆動される。ワイヤーロープ巻き取りドラムの近傍にロードセルが設置されており、常にワイヤーロープにかかる荷重を測定し、駆動時の異常を速やかに検知して警報を発するとともに、駆動装置を停止させるインターロックを有している。中性子検出器の駆動操作は中央制御室の原子炉制御盤で行われ、制御盤には中性子検出器の上限、中間、下限の位置がランプ表示される。また、駆動中に荷重に異常が検知された場合はアナンシェータに表示される。

(2) 中性子検出器保持駆動装置の構成

(a) 案内管

① 数 量	起動系用	2 本
	中間出力系用	3 本
	線形出力系用	3 本
	予 備	1 本
② 材 料	S U S - 3 0 4	
③ 寸 法	全 長	約 8 m
	径（検出器位置）	
		5 B × S c h 4 0（起動，中間出力系）
		6 B × S c h 4 0（線形出力系，予備）
④ 窒素ガス配管		
(イ) 数 量	9 組	
(ロ) 材 料	S U S - 3 0 4（ペDESTAL貫通部）	
	S T P G 3 8（炉上部ピット）	
(ハ) 寸 法	2 B × S c h 4 0	
⑤ 保持装置		
(イ) 数 量	9 組	
(ロ) 主要部材	検出器保持具	
	フレキシブチューブ	
	ワイヤーロープ	
	熱電対	
	コネクタボックス	

⑥ 駆動装置

(イ) 数量

5 組

(ロ) 主要機器

駆動モータ

ロードセル

巻き取りドラム

⑦ 遮蔽プラグ

(イ) 数量

9 本

3. 核計装設備の保守及び運転における問題点

核計装設備は昭和52年4月の「常陽」臨界試験時から原子炉出力のモニタとして使用開始以来、昭和62年で10年の運転実績を有している。この間、多少のトラブルはあったものの概ね順調に運転されてきた。しかし、近年になって設備の老朽化が進み、これに起因すると考えられる計器の測定誤差の増大、部品の劣化による誤作動等の障害が増加する傾向がみられるようになった。また、これらの補修に際しても部品の入手難、チェック端子の不足による作業時間のロス等メンテナンスコストの増加が問題となってきた。このため、設備の機能低下とこれによる信頼性の低下が懸念され、何らかの対策が必要と考えられるに至った。これらの詳細内容を次に述べる。

3.1 核計装設備の故障履歴

核計装設備は原子炉保護系の一部となっているため、メンテナンス作業についてはその重要度と特殊性等を考慮し、十分な内容でなければならない。これまでに実施してきた点検は次に示したとおりである。

核計装設備の点検は次の3項目に分けられる。

(a) 月例点検（1回/月）

運転状態で目視により異常の有無を確認する。

- ① 指示計・記録計の指示値の確認
- ② 設備の外観チェック

(b) 原子炉保護作動点検（1回/月）

原子炉の運転中及び停止中の如何に関わらずアラーム・スクラム条件設定値の確認を行う。

- ① 中性子束高（アラーム）
- ② ペリオド短（アラーム）
- ③ 中性子束高（スクラム）
- ④ ペリオド短（スクラム）

(c) 定期点検（1回/年）

計装盤・計装モニタの外観点検及び内部回路の諸特性の確認・調整を行い、性能の確認・維持を図る。

昭和56年度から昭和61年度までに生じた異常、故障の内容、原因とそれに対する対策をTable 3.1に示した。なお、昭和55年以前のデータについては別途報告されている*⁽¹⁾。

各年度毎の故障件数を Table 3.2 に示した。

Table 3.2 から、昭和60年度以降の故障件数が減少しているのがわかる。これは60年度以降、年毎の定期点検時に予防保全の観点から点検補修・部品の交換等の対策を強化した結果である。これらの対策のうち、重点的に交換を行った部品は各回路に使用されている電解コンデンサで、全体の約8割について実施した。

また、Table 3.1 から故障の原因は、スイッチ接点部の汚れ等による接触不良、他系統のスイッチ操作により発生したノイズの影響によるものが大部分を占めていることがわかり、これらは昭和56年度以前にはほとんど見られなかった故障である。このことから本設備の老朽化が進んでいることが推定される。以下、これらについて更に詳しく述べる。

(1) 可変抵抗器の劣化

前に述べた(b)原子炉保護作動点検において、モニタの各アラーム・スクラムの設定値を確認し、設定値にズレが発見された場合はその都度調整を行っている。この調整方法は回路に組み込まれている可変抵抗器（スライダ式）を調整して行うが、この可変抵抗器内のスライダ部の接触不良、調整ネジの摩耗等により微調整が非常に困難になった。また、設定値の調整後に外部からの振動によると考えられる原因でズレを起こす現象がみられるようになった。このため、本点検時の調整頻度が増加するようになった。Table 3.3 に昭和56年度以降の調整回数を示す。

(2) コンデンサの劣化

電子回路にはデカップリング用、位相補償用、時定数用、サージキラー用などの目的でコンデンサが使用されている。このうち、比較的大きい容量を必要とするか、精度を要しない回路には電解コンデンサが使用されている。この電解コンデンサは、一般的に約5年程度で容量ヌケや、内部の腐食等による断線を起こし、その機能を果たさなくなるとされている。このため、昭和60年度に各回路内の電解コンデンサ約150個を交換し、取り外したコンデンサの点検を行なった。この結果、完全に使用不能となっていたものが5個、規格値を満足していなかったもの7個が発見された。これらの中には、前者は回路のサージキラー用、後者はOPアンプの発振防止用として用いられていたものが含まれていた。また、これらの電解コンデンサ以外のコンデンサについては個々の点検は行っていないが製作後10年以上経過していることから、劣化しているものがあることも考えられる。従って、この結果からコンデンサの劣化により内部ノイズあるいは外部から進入してくるノイズの影響を受け易くなっている一つの要因であると推定される。これらをデータで示したものが Table 3.1の昭和57～59年度の故障内容で、その大部分が外部からのノイズの影響と考えられるトラブルである。

(3) その他の部品等の劣化

昭和56年度以降の定期点検及び原子炉保護作動点検時に発見されたもので数は少ないものの点検の結果交換を行なったもの、あるいは交換等の対策が必要と認められたもの等があり、これらの部品は次のとおりである。

(a) ダイオード

アラームの出力用リレーに並列に接続し、サージキラーとして使用しているダイオード1個が不良のため交換した。

(b) ロータリースイッチ

本設備で使用しているロータリースイッチは各モニタに設けられているモード切り換えスイッチと、線形出力系のレンジスイッチがある。これらのロータリースイッチは定期点検の都度、接点部の清掃・導通試験を行い異常のないことを確認している。しかし、これらのスイッチのうちモニタのモード切り換えスイッチが接点部の摩耗により接触不良を起こし、モニタの出力電圧のふらつき、オーバースケール等の異常がみられるようになった。このため、モニタ全数について同スイッチを交換した。

(c) プリント基板の接続ソケットの接触不良

プリント基板は1枚ずつソケットを介してバック配線で接続されている。モニタの点検時にこのソケットとプリント基板の端子間の接触不良により誤作動を起こすことが時々発生した。

(d) プリント基板配線からの電流リーク

プリント基板は、その製作時に表面を絶縁物によりコーティング処理がなされているが、経年劣化によりこのコーティング材の剝離、絶縁抵抗の低下に加えて表面の汚れのため、プリント基板表面にリーク電流が流れ易くなり、その影響でモニタの出力の揺らぎや誤作動等を起こすことがあった。但し、これらの問題は点検時に発見されたものであり、これまでに原子炉の運転に支障を及ぼしたことはない。

以上で述べたように、回路を構成している部品等の劣化により種々の問題が発生してきており、その対策として交換可能なものはその都度交換を行い、それなりの効果をあげてきた。しかし、長期間の運転を考えた場合、設備としての信頼性の低下や部品交換に要するメンテナンスコストの増加等のデメリットが考えられ、また、上記(c)、(d)項のような問題には通常のメンテナンスでは対処できないことは明らかである。

3.2 核計装設備の運転における問題

核計装設備で取り扱う信号は微小信号（パルス、微小電流）である。従って、本質的に外部で発生したノイズ等の影響を受けやすい特性を持っている。このため、本設備の設置にあたっては多重化した個々の計測系の信号ケーブル配線を可能な限り離れたルートとして影響

の軽減を図り、また、シールドを施す等の種々の対策が行われている。しかしながら、このノイズの問題はこれまで原子炉の運転に影響を及ぼすほどではなかったにしろ、設置当初から多少なりとも発生しておりその都度対策を行ってきた。この問題は昭和58年頃より顕著になってくる傾向がみられ、起動系・中間出力系のペリオド短アラーム及び線形出力系の中性子束高アラームの発報等が起こるようになった。

(1) 起動系・中間出力系のペリオド計に及ぼすノイズの経緯

ペリオド計の出力は起動系・中間出力系の対数計数率及び対数出力信号の微分信号である。このためある一定の大きさのノイズが影響を与えた時、ペリオド出力の大きさは対数計数率及び対数出力信号の絶対値が小さい時ほど大きくなる。すなわち、原子炉出力が小さい時ほどペリオド計の出力が振れやすくなる。従って、これまでの問題は原子炉の起動時または停止時に他系統の操作スイッチの操作（制御棒の操作、運転モード切り替えスイッチの操作、燃料取扱作業等）に伴って発生している。このことから、操作を行ったときに作動するリレー等から発生するノイズの影響を受けているものと推定された。そこで、これらの操作を行った時のモニタの入力信号（プリアンプ出力）の波形観察を行った。この結果、信号にノイズが重畳しており、この影響によりペリオド短アラームが発報したことが明らかになった。

(2) 線形出力系に対するノイズの経緯

線形出力系モニタは中性子検出器（ガンマ線補償型電離箱）からの微小電流を増幅して各レンジ毎に0～10VDCを出力する。原子炉出力100MW時はこの出力は約8Vであり、この値を超えて運転されることはない。一方、中性子束高アラーム・スクラムの設定値はそれぞれ8.24V（103MW）、8.48V（106MW）である。ノイズによる影響は常陽MK-IIの第1サイクル運転時よりみられ、時々中性子束高アラームが発報することがあった。また、アラームの発報回数は運転サイクル毎に増加する傾向を示した。このアラームは瞬間的なものであるため、記録計・モニタのアラーム表示ランプのいずれでも検出できず、当初は3台ある線形出力系モニタ（Ch-6, 7, 8）のどれから発報されたか確認することができなかった。

アラームが発報したときのモニタ出力信号波形の一例（Ch-8）をPhoto-1に示す。アラーム発報時の出力信号波形の観察から、原因となっているノイズは次に示す特徴を有していることが分かった。

- (a) ノイズのピークは1MWから10MW（100MWをベースとした相対値）を越える範囲で分布しており、いずれの波形も相似形である。
- (b) 波形はいずれも立ち上がりは急で立ち下がりは一定の遅れをもっている。
- (c) このノイズの発生に対する前兆は見られない。

(d) ノイズの発生に周期性はない。

また、その後の調査・試験の結果、このノイズに関しては更に次のことが明らかになった。

(e) アラームの原因となっているノイズの幅は約 0.5 mSec～5 mSecの範囲である。

(f) ノイズの波形は単発のパルス状である。

(3) ノイズ源の調査と対策

アラーム発報の原因となっているノイズには内的なものと外的なものがある。内的なものは設備内で発生するものであり、外的なものは設備外から回路に進入するものである。この両者には一般的に次のような差異があると考えられる。すなわち、内的なノイズは回路・部品の劣化等の不具合を伴っており、このためノイズの発生に周期性があることが多い。これに対して外的なノイズは他の機器の作動に関係していることがあり、ノイズの発生に周期性がないことが多い。従って、このことから起動系・中間出力系のノイズ源は外的なものであり、線形出力系についても外的なものである可能性が強いと考えられた。

しかし、内的なノイズである可能性も完全に否定できないため、昭和60年度の第5回定期点検時にノイズの発生要因を追求する目的で各種の試験検査を行った。このうちの主な項目を Table 3.4に示した。この点検の結果、いくつかの不良部品が発見されたが、これらはノイズの発生要因とは無関係なものであった。

以上の結果からノイズは設備外で発生したものが回路に進入する外的なノイズであることが明らかになった。そこで、このノイズの進入個所について検討した結果、アース回路がノイズに対して弱い回路になっていると考えられた。すなわち、「常陽」のアース回路は弱電用（計装用）と強電用とが区別されておらず、全て共通になっていることから、他の設備で発生したノイズの影響を受けやすくなっている。また、本中性子計装設備の回路についても多点アース、ループアースとなっている個所があるため、これらを改良する必要が認められた。このため、中性子計装設備全体のアース回路の見直しを行い、次に示した改良を実施した。

(a) 中性子計装設備専用アースの設置

中性子計装設備の信号系アースを新たに設置した。アースは第1種接地（接地抵抗 10 Ω以下）とした。

(b) 中性子計装設備のアース回路の改良

設備のアース回路を改良し、各モニタ相互間及びモニタ内の多点アース、ループアースとなっていた部分を可能な限り一点アースとなるようにした。なお、信号系アースと電源（DC）系アースもできる限り分離した。

この結果、線形出力系についてはノイズの影響低減に効果があったことが認められた。

しかし、起動系、中間出力系については有効な対策とはならなかった。

4. 設備の更新

これまで述べたように、本設備は長年の使用による老朽化に起因すると考えられる故障頻度の増加と、これらの補修に際しての交換部品の入手難、作業性の不良等によるメンテナンスコストの増大等が問題となってきた。また、運転においてはノイズによる障害の発生が起こるようになったため、種々の原因調査及び対策を実施し、一定の効果がみられた。しかし、予防保全及び設備としての信頼性向上の観点から根本的な対策を行う必要が認められ、このため設備の更新を行った。

4.1 更新にあたっての基本方針

核計装設備は原子炉の安全保護系の一部として使用される、原子炉の運転に不可欠で重要な設備である。従って、本設備の設計・製作にあたっては十分な品質管理と性能に関する信頼性の確保及びその評価が必要である。このため、設計・製作時には十分な計画のもとに必要な性能上の特性や使用部品の信頼性の確認（使用実績の調査）等を行い、これらの結果に基づいてその仕様を決定した。また、これらの機器の設計条件及び基本的な回路構成は更新前と同様であるが、これまでの運転・保守経験を反映して主として次の項目に留意した改良を行った。

- (a) ノイズの影響を避けるため、接地系には十分に留意し、回路は可能な限り一点アースとした。
- (b) ハードウェアの設計にあたっては耐ノイズ性及び保守性を十分に考慮した。これらの具体的な内容は次に示したとおりである。
 - ① 基板は回路別にまとめた。特に、ノイズの影響を受けやすいと考えられる回路は密閉シールドボックス内に収納し、また、高圧電源回路と他の回路間にシールド板を設け、あるいは可能な限り離れた位置に配置して外部からのノイズ、高調波ノイズ等に対する遮蔽を行った。
 - ② モニタから外部指示計、記録計、計算機等の外部への出力はアイソレータを使用して、これらの機器側からモニタ内へのノイズの進入を防止した。また、モニタ内部に出力保護回路を設け、外部配線の誤配線、短絡時の影響が波及することの防止及び外部からのノイズの進入防止を図った。
 - ③ 通常の点検はモニタの前面パネルで実施できるようにするため、必要なチェック端子、調整ボリューム等を前面パネルに設けた。但し、誤操作防止のためカバーを設けた。
 - ④ モニタ内の各基板は所定の取付け位置に装荷するが、誤って他の位置に誤装荷するこ

とのないよう基板の固定ビスの位置や基板のソケットの形状を変えた。また、基板を装荷した状態では基板間の間隔が狭く、そのままでは基板に設けられているテストピンを外部から使用できないため、基板の取付け位置を工夫し、全てのテストピンを使用できるように考慮した。

4.2 更新内容

更新した機器は次に示したとおりである。なお、(1)から(6)までは第6回定期点検期間、(7)から(12)までは第7回定期点検期間に更新を行った。

- (1) 線形出力系モニタ (3台)
- | | | |
|----------------|-------|----|
| (a) 線形出力系 Ch-6 | ..... | 1台 |
| (b) 線形出力系 Ch-7 | ..... | 1台 |
| (c) 線形出力系 Ch-8 | ..... | 1台 |
- (2) 指示計 (広角指示計) (13台)
- | | | |
|--------------|-------|----|
| (a) 対数計数率指示計 | ..... | 2台 |
| (b) 対数出力指示計 | ..... | 3台 |
| (c) ペリオド指示計 | ..... | 5台 |
| (d) 線形出力指示計 | ..... | 3台 |
- (3) 記録計 (5台)
- | | | |
|-------------------|-------|----|
| (a) 対数計数率/対数出力記録計 | ..... | 1台 |
| (b) ペリオド記録計 | ..... | 1台 |
| (c) 線形出力記録計 | ..... | 3台 |
- (4) 直流電源ユニット (3台)
- | | | |
|------------------------|-------|----|
| (a) Ch-1, 3, 6用 (PS-1) | ..... | 1台 |
| (b) Ch-4, 7用 (PS-2) | ..... | 1台 |
| (c) Ch-2, 5, 8用 (PS-3) | ..... | 1台 |
- (5) 黒鉛温度補償ユニット (3台) (新規設置)
- | | | |
|-----------------|-------|----|
| (a) 線形出力系 Ch-6用 | ..... | 1台 |
| (b) 線形出力系 Ch-7用 | ..... | 1台 |
| (c) 線形出力系 Ch-8用 | ..... | 1台 |
- (6) 計装ケーブル (5式)
- | | | |
|-----------------------|-------|----|
| (a) 起動系 Ch-1, 2用 | ..... | 2式 |
| (b) 線形出力系 Ch-6, 7, 8用 | ..... | 3式 |
- (7) アイソレータ (6台) (新規設置)

(a) 線形出力系 Ch - 6 用	2 台
(b) 線形出力系 Ch - 7 用	2 台
(c) 線形出力系 Ch - 8 用	2 台
(8) 中間出力系モニタ (3 台)	
(a) 中間出力系 Ch - 3	1 台
(b) 中間出力系 Ch - 4	1 台
(c) 中間出力系 Ch - 5	1 台
(9) 前置増幅器 (3 台)	
(a) 中間出力系 Ch - 3 用	1 台
(b) 中間出力系 Ch - 4 用	1 台
(c) 中間出力系 Ch - 5 用	1 台
(10) 計装ケーブル (3 式)	
(a) 中間出力系 Ch - 3, 4, 5 用	3 台
(11) アイソレータ (6 台) (新規設置)	
(a) 中間出力系 Ch - 3 用	2 台
(b) 中間出力系 Ch - 4 用	2 台
(c) 中間出力系 Ch - 5 用	2 台
(12) ロードセル計装計器 (5 式)	
(a) ロードセル (Ch - 1 ~ 5 用)	5 台
(b) ロードセル変換器 (Ch - 1 ~ 5 用)	5 台

次に更新の詳細内容を述べる。

4.3 線形出力系の更新

(1) 線形出力系モニタ

更新した線形出力系モニタの概要を次に述べる。本モニタの回路は大きく分けると次の 9 回路より構成されている。Fig. 4.1~2 にモニタの外形図を示す。

- (a) 微少増幅回路
- (b) 利得設定回路
- (c) 微少電流計回路 1
- (d) 微少電流計回路 2
- (e) 出力保護回路
- (f) トリップ回路 1
- (g) トリップ回路 2

(h) 電源回路 1

(i) 電源回路 2

これらは回路毎に1枚のプリント基板に収納されている (h), (i)の一部を除く)。次にこれらの回路について簡単に述べる。

(a) 微少増幅回路

中性子検出器からの微少電流信号を増幅する初段の増幅器で、次項の利得設定回路で設定された一定の利得に従って増幅する回路である。

(b) 利得設定回路

前記(a)の増幅器の利得設定回路で、設定可能利得は10段を有している。利得設定は中央制御盤に設けられたレンジスイッチにより選択される。

(c) 微少電流計回路 1

微少増幅回路からの出力信号をさらに増幅し、利得設定回路で設定された各利得に対し、それぞれ電圧出力として0～10VDCを出力するための信号処理を行う回路である。

(d) 微少電流計回路 2

本回路は、アラーム・スクラム設定値確認時及び出力校正試験時の模擬信号（微少電流）の発生回路で、これらの出力を調整するための調整ボリュームを有している。

(e) 出力保護回路

本回路は、コンデンサ、及びヒューズで構成されており、モニタのアナログ出力、トリップ出力等について外部からのノイズの進入を防止すること及び外部での誤配線、短絡等によりモニタ内回路に故障等の影響が波及することを防止する目的で設けられている。

(f) トリップ回路 1 及びトリップ回路 2

本回路は、いずれも同一回路で構成されており、モニタからのアラーム・スクラム信号を出力するための比較設定器である。

(g) 電源回路 1

本回路は、直流電源ユニットからの入力電源（DC±21V）をモニタ内増幅器の作動電源とトリップ回路 1 の作動電源（DC±15V、DC+5V）及び中性子検出器の高圧電源（正）（DC+50～+750V）として供給するための回路で構成されている。

(h) 電源回路 2

本回路は、前記(g)項と同様であるが、出力はトリップ回路 2 の作動電源（DC±15V、DC+5V）及び中性子検出器の補償高圧電源（DC-50～-750V）として

供給するための回路で構成されている。

この他、本モニタの設計・製作及び更新工事に際して次に示すような改良を行った。

- ① 基板は回路別にまとめ、微小電流回路・利得設定回路は密閉シールドボックス内に収納し、また、高圧電源回路と他の回路間にシールド板を設けて外部からのノイズ、高調波ノイズ等に対し遮蔽を行った。
- ② モニタの入力電源（DC±21V）を各モニタ単体でON-OFFできるように電源スイッチを設けた。但し、誤操作防止のためロック機構付とした。
- ③ モニタの表示ランプ（アラーム・スクラム表示用）はランプ切れのないLEDを使用した。また、ランプ表示はリセットするまでは点灯したまま保持する（ランプのみ）ようにし、短時間のアラーム・スクラム発報に対しても後から確認できるようにした（確認後はリセットボタンを押す）。
- ④ 通常の点検はモニタの前面パネルで実施できるようにするため、必要なチェック端子、調整ボリューム等を前面パネルに設けた。但し、誤操作防止のためカバーを設けた。この前面パネルに配置したチェック端子、調整ボリューム等は次に示すとおりである。
 - (イ) 外部入力端子（BNCコネクタ）
 - (ロ) モニタ出力端子（BNCコネクタ）
 - (ハ) モニタ出力端子
 - (ニ) 高圧電源モニタ端子（正・負）
 - (ホ) 高圧電源電圧設定ボリューム（正・負）
 - (ヘ) 低圧電源（±15V, +5V）電圧モニタ端子
 - (ト) 各アラーム・スクラム設定用ボリューム（上限・下限用）
 - (チ) モニタの利得調整用ボリューム
 - (リ) トリップテスト用ボリューム
 - (ヲ) 出力校正用ボリューム
 - (ル) モード切替スイッチの動作不能インターロックバイパス用スイッチ
- ⑤ アラーム・スクラム等の設定値は比較設定器の比較電圧設定回路を変更して、アース電位の影響を受けないようにした（詳細は4.4(2)(1)項に示す）。
- ⑥ 線形出力系モニタから外部へ出力する信号は、中央制御盤に設置されている指示計、記録計と計算機（JOYDAS）への出力及び黒鉛温度補償ユニットとの入出力がある。これらへの出力は全てアイソレータを介して行い、モニタ外のこれらの機器側からノイズがモニタ内へ進入しないようにした。このため、モニタの出力はアイソレータを通った後に指示計・記録計用の分圧回路を設けて調整ボリュームによってこれらの計器への出力（零・スパン）を調整できるようにした。また、黒鉛温度補償ユニットについては

入力と出力とがあり，その両方をアイソレータにより分離した。

(2) 直流電源ユニット

本電源ユニットは中性子計装の各モニタ，前置増幅器及び補助リレー用の電源で，AC 110 Vの供給電源を入力としてDC ±21 Vを出力するユニットである。更新前の電源ユニットはスイッチング方式の整流回路を使用しており，電源のリプル及び高調波が大きいことが欠点であった。このため，更新後の電源ユニットはこの欠点をなくすため，ダイオードを使用したダイオード整流回路とした。これにより，前述の欠点が改善されるとともに回路自体も大幅に簡素化された。本ユニットの回路図を Fig. 4.3に示す。

(3) ケーブル

ケーブルは起動系2チャンネル及び線形出力系3チャンネルの計5チャンネル分を更新した。更新範囲は Fig. 4.4に示したように，起動系が中性子検出器駆動装置部から起動系モニタ間，線形出力系が格納容器内のRPU部の中性子検出器上部コネクタから線形出力系モニタ間である。ケーブルペネトレーション及びケーブルコンジットは既設と同じ場所を使用した。コンジットについては接続及びアース線のチェックを行い，不良箇所の手直しを実施した。

交換したケーブルは耐放射線及び難燃性のものを使用した。また，線形出力系の中性子検出器の出力は微少電流であるため，微少電流にノイズ（高調波）が重畳していると信号を検出する際に障害となる。このため，信号ケーブルに重畳したノイズ（高調波）がモニタまで到達することを少しでも防止することを考慮して信号ケーブルは高調波減衰量の大きいものを選択した。交換前後のケーブルの比較を Fig. 4.4に示す。また，線形出力系の信号ケーブルの高調波減衰量の比較を Table 4.1 に示した。

4.4 中間出力系の更新

(1) 中間出力系モニタ

更新した中間出力系モニタと前置増幅器の概要を次に述べる。Fig. 4.5～4.7 に中間出力系モニタの回路ブロック図及び外観図を示す。本モニタの基本回路は大きく分けると次に示す9回路より構成されている。

- ① 信号選択回路 (SIG-SEL)
- ② 対数計数率回路 (LCRM)
- ③ 対数キャンベル系回路 (IRM)
- ④ ペリオド回路 (PERIOD)
- ⑤ トリップ回路 (TRIP) (2回路)
- ⑥ 低圧電源回路 (LVPS)

- ⑦ 高圧電源回路 (HVPS)
- ⑧ 補助回路 (AUX)
- ⑨ 出力保護回路 (OUT-PRO)

これらはその回路毎に1枚の基板に収納されている(⑦を除く)。次にこれらの回路について簡単に述べる。

① 信号選択回路 (SIG-SEL)

信号選択回路は前置増幅器からの信号を増幅する交流増幅器である。この出力は2つに分けられ、一方は対数計数率回路 (LCRM) へ、もう一方は対数キャンベル系回路 (IRM) へそれぞれの回路特性に応じた特性の信号を出力する。このうち、対数キャンベル系への出力は入力信号の大きさに応じて本回路内で増幅器の利得切り替えが行われる。

② 対数計数率回路 (LCRM)

対数計数率回路は信号選択回路の対数計数率回路用信号 (パルス) を入力として、波高弁別回路を介し、0~10V (1~10⁹cps) のアナログ信号を出力する回路である。この回路は核計装の起動系 (SRM) と同じ回路である。

③ 対数キャンベル系回路 (IRM)

対数キャンベル系回路は中間出力系モニタとしての主要な回路であり、前段の信号選択回路の対数キャンベル系用信号を入力として整流平均回路・対数変換回路等により0~10V (10⁻¹~10²%) のアナログ信号を出力するものである。

④ ペリオド回路 (PERIOD)

ペリオド回路は対数キャンベル系の出力を微分回路により微分してペリオドを測定するものである。ペリオドの全測定範囲は-30~∞~+3秒で、この範囲で0~10Vを出力する。従って、ペリオド (秒) と出力電圧の関係は次式で示される。

$$V = 0.91 \left[1 + \frac{30}{T} \right] \quad (V)$$

又は、

$$T = \frac{27.3}{V - 0.91} \quad (\text{秒})$$

ここで、 V : ペリオド回路出力 (V)
T : ペリオド (秒)

⑤ トリップ回路 (TRIP)

トリップ回路は基板2枚で構成され、基板1枚に同一の比較回路が8回路実装されて

いる。この比較回路に前項②～④の各回路の出力を入力することにより、それぞれのアラーム・スクラム信号を出力するものである。

⑥ 低圧電源回路 (LVPS)

低圧電源回路はモニタ外部の直流電源ユニットからのDC±2.1V電源を入力電源として、前置増幅器・モニタ内の各増幅回路等の作動電源を供給するものである。出力はDC±1.5V及びDC+5Vの3種類の直流電源であり、それぞれ2回路ずつ実装されている。

⑦ 高圧電源回路 (HVPS)

高圧電源回路は中性子検出器に印加するための高圧電源発生回路で、DC+50～+500Vの範囲で可変することができる。通常は+200Vに設定されている。

⑧ 補助回路 (AUX)

補助回路は⑤のトリップ回路のトリップ比較設定回路と、動作不能アラームのバイパススイッチで構成されており、各アラーム・スクラム作動値の設定と、モニタのモードスイッチが「測定」以外の時出力する「動作不能」アラームをバイパスすることができる。

⑨ 出力保護回路 (OUT-PRO)

出力保護回路はヒューズ・コンデンサで構成されており、モニタのトリップ出力・アナログ出力を保護することと、外部からのノイズが信号に重畳しないようにするものである。

(2) 前置増幅器

前置増幅器は中性子検出器からのパルス信号とキャンベル信号の両方を一括して増幅する広帯域増幅器であり、周波数帯域は約180kHz～20MHz（但し、-3dBの点）である。

Fig. 4.8 に前置増幅器の外形図を示す。

以上で述べた中間出力系モニタ及び前置増幅器は基本回路は更新前の機器と同様である。更新前の機器と比べて大きく異なる点は次に示したとおりである。

(a) 対数計数率回路 (LCRM)

対数計数率回路は更新前の中間出力系モニタには実装されていなかった回路であるが、後に述べる広域核計装設備に変更することを可能とするために設けたもので、中間出力系（キャンベル系）の機能とは独立したものとなっている。また、本回路の出力はモニタ前面のアラーム・スクラム表示ランプのみで、外部への接続はなされていない。

(b) 周波数帯域の変更

更新した中間出力系モニタ及び前置増幅器は、広域核計装設備として使用することが可能となることを考慮して、前述したようにキャンベル信号のみでなくパルス信号も同

時に計測できるものとした。すなわち、広域核計装設備として使用する場合にはパルス計数率は 10^6 cps以上まで測定する必要がある。このため前置増幅器の周波数帯域は更新前の2 KHz ~ 110 KHz に対して約180 KHz ~ 20 MHz, また、モニタは同様に、5 KHz ~ 60 KHz から約61 KHz ~ 110 KHz (キャンベル系) と、大きく変更した。なお、パルス系については約775 KHz ~ 14 MHzの周波数帯域である。これらの周波数帯域変更後の特性試験では更新前のモニタと比較して、特に原子炉の高出力領域で直線性が良くなっていることが確認されている。

(c) ペリオドアラーム・スクラム設定値確認回路の追加

ペリオドアラーム・スクラム設定値の確認及び設定を厳密に行うにはトリップ回路の出力のON-OFF確認により行う。この場合、入力信号が電圧または電流等のある一定の値のときには入力信号及び出力信号を電圧計あるいは電流計で確認しながら調整ボリュームで調整すればよい。しかし、ペリオド計の場合は出力が入力信号の微分値となっているため入力信号はある一定の割合で増加するランプ電圧であり、ランプ電圧の勾配に対して設定値を決定する。このため、設定値の確認はランプ電圧を入力したときのペリオド出力とトリップ回路の出力信号をレコーダのチャート上で確認する等、点検調整作業の能率が悪く、改良する必要があった。

更新したモニタはこの点を改良し、ペリオド校正回路の出力であるランプ電圧を可変するトリマーをモニタの前面パネルに設けて任意の勾配のランプ電圧を設定できるようにした。これにより、レコーダを使用せずにアラーム・スクラム設定値の確認及び調整が可能となり点検作業の能率向上が図れた(但し、ペリオド計が正しく校正されていることが前提となることは言うまでもない)。この他、次に示した改良を行った。

- (d) 核計装設備全体のアースは可能な限り一点アースとした。
- (e) 基板は回路別にまとめ、特に重要な信号選択回路(SIG-SEL)は、シールドボックス内に収め、ノイズ等の影響から保護した。また、電源回路(低圧電源・高圧電源)はこれらを増幅器の基板から可能な限り離れた位置に配置した。
- (f) モニタの入力電源(± 21 V)を各モニタ単体でON-OFFできるようにし、誤操作防止のためのロック付スイッチを設けた。
- (g) モニタの表示ランプ(アラーム・スクラム用)は、ランプ切れのないLEDを使用した。また、ランプ表示のみをホールド式とし、短時間のアラーム・スクラム発報に対しても後から確認できるようにした(確認後はリセットボタンを押す)。
- (h) 通常の点検はモニタ前面のパネルで実施できるようにした。このため、必要なチェック端子・調整用ボリューム等を前面パネルに設けた。但し、誤操作防止のため前面パネルにはカバーを取りつけた。

- (i) アラーム・スクラムの設定値は比較設定器の比較電圧設定回路を変更して、アース電位の影響を受けないようにした。これまでの比較設定回路は Fig. 4.9 に示したように、抵抗の両端に+15Vと-15Vを印加し、中間に設けた可変抵抗器で設定電圧を調整するものであった。この回路では抵抗の両端に印加されている電圧(±15V)の絶対値が等しいという条件のもとでのみ設定した電圧が決定される。一方、比較設定回路に印加する電圧(±15V)を出力する電源回路の出力電圧はアースに対しての相対電圧である。このためアースに電位の変動があると、それに応じてこの電源回路の出力電圧も変動する。即ち、アースに+1Vの電位があると+15V電源回路の出力は+16Vに、同様に-15V電源回路の出力は-14Vになる。従って、比較設定回路で設定した電圧はアースの変動に一对一に対応して変動することになる。このアース電位の変動はこれまでに得られた測定値のなかで最大が約290mVであった。この変動値は本核計装設備のアラーム・スクラム各設定値のなかでも特にペリオドアラームの設定値に影響を及ぼしている。即ち、ペリオドアラームの設定値は上記比較設定回路の設定電圧が0.486Vで、これにアース電位の変動値 290mVを加えれば確実に設定基準から外れ、この結果、頻繁に調整を行うこととなる。

以上の問題を解決するため、更新したモニタは比較設定回路を Fig. 4.9 に示したような回路を採用し、アース電位の変動の影響を受けないようにした。

- (j) モニタからの外部出力(外部指示計・記録計・計算機用出力など)はアイソレータを使用してこれらの機器側からのノイズの進入を防止した。また、モニタ内部の外部出力部には前述の⑨出力保護回路(OUT-PRO)を設け、外部出力信号の誤配線・短絡時のモニタ内部回路の保護及び外部からのノイズの進入防止をはかった。
- (3) ロードセル計装計器

ロードセル計装計器は中性子検出器駆動装置の一部で、起動系及び中間出力系の5チャンネルについて1式ずつ設けられたロードセル及びロードセル用増幅器等から構成されている。本計装は駆動装置により中性子検出器を引抜き・挿入するときの荷重を測定し、荷重に異常があったときに駆動装置を停止させるための装置である。既設の計器はロードセル(5台)、ロードセル用増幅器(5台)及び荷重設定器(15台)から構成されていた。更新にあたっては1台のロードセル用増幅器に荷重設定器が組み込まれている機種を選定し、計器台数の削減をはかった。この結果、ロードセルを除いた更新後の計器台数は15台から5台に削減できた。更新後の計装系の構成は Fig. 4.10 (1) に示したとおりである。なお、更新前の計装系の構成を Fig. 4.10(2) に示す。

4.5 試験検査

更新にあたって実施した主な試験検査項目は次に示したとおりである。

(1) 試験検査内容

(a) 工場検査

工場検査の内容は次の Table 4.2 に示したとおりである。

Table 4.2 Contents of Testing and Inspections in Manufacture

項目	機器	線形出力系モニタ 中間出力系モニタ	前置増幅器	電源ユニット	アイソレータ
外観・構造検査	構造、塗装、銘板等の異常のないこと及び承認図と相違のないことを目視にて検査する。				
寸法検査	機器の各部寸法が承認図と相違ないこと。				
員数検査	構成・数量に相違のないこと。				
絶縁抵抗検査	DC \pm 21Vライン-シャーシ間にDC 100Vを印加し、5 M Ω 以上であること。 高圧ライン-シャーシ間にDC500Vを印加し、5 M Ω 以上であること。	高圧ライン-シャーシ間にDC500Vを印加し、5 M Ω 以上であること	AC110V電源ラインにDC500Vを印加し、5 M Ω 以上であること。		
耐電圧試験	高圧ライン-シャーシ間にDC1000V/1分間印加し、放電・焼損等のないこと。	高圧ライン-シャーシ間にDC1000V/1分間印加し、放電・焼損等のないこと。	AC110V電源ラインにAC1500V/1分間印加し放電・焼損等のないこと		—
ノイズ試験	機器の作動状態で電源ラインにパルスサージノイズ、減衰形サージノイズを印加し、異常な作動を起こさないこと。			—	—
性能試験	<ul style="list-style-type: none"> ・校正出力検査 :1.08\pm0.01% ・トリップ作動検査 :1%F.S以下 ・波高弁別特性試験:5%F.S以下 ・入出力直線性試験:2%F.S以下 ・電源出力電圧検査 DC\pm15V\pm0.15V, DC\pm4.9\pm0.1V ・高圧電源電圧可変範囲検査 線形出力系モニタ \pm50$\sim$$\pm$750V 中間出力系モニタ +50$\sim$+500V ・動作不能インターロック試験 任意の汎用基板引抜き及びモードスイッチが「測定」以外で動作不能ANNがでること。 	<ul style="list-style-type: none"> ・利得試験 (入出力直線性試験) 設定利得が180倍であること。 ・分解能検査 パルス間隔0.5μSを識別できること。 	出力電圧測定 DC \pm 21V \pm 1V 出力安定度試験 入力電圧が110V \pm 10%の変動に対して出力が変化しないこと。 リップル測定 1V以下であること。	入出力直線性試験 0.5%F.S以下であること。	

(b) 現地検査

① ケーブル交換工事

ケーブルの交換にあたり実施した試験検査は次の Table 4.3 に示したとおりである。

Table 4.3 Contents of Testing and Inspections for Exchanged Cables

項目 \ 機器	電 線 管	ケ ー ブ ル	前置増幅器ラック(c)
外観・構造検査	次の内容を目視にて検査する。		
	<ul style="list-style-type: none"> ロックナット, プッシングの締め付けの状態 接地の状態 フレキシブルコネクタの取付状態 	<ul style="list-style-type: none"> ケーブル整線の状態 接地の有無(端末部) ケーブルの番号表示状態 末端処理状態 	<ul style="list-style-type: none"> 塗装, 傷, 汚れ 扉の開閉具合 固定ボルトの状態 収納機器の取付け状態
導通試験	—————	<ul style="list-style-type: none"> テスターにより各ケーブル端子間の導通及び接地の有無を確認する。 	—————
絶縁抵抗検査	—————	<ul style="list-style-type: none"> DC100Vを印加し, 同軸ケーブルについてはケーブル内外導体間の絶縁抵抗を測定する。 その他についてはケーブルの端子部でアース間の絶縁抵抗を測定する。 いずれも100MΩ以上であること。 	—————
静電容量検査	—————	<ul style="list-style-type: none"> 同軸ケーブルの芯線-シールド間の静電容量を測定し所定の値であること 	—————

② 機器据付工事

線形出力系モニタ, 中間出力系モニタ及び前置増幅器等の機器の据付にあたって行った試験検査は次のTable 4.4, 4.5 に示したとおりである。

Table 4.4 Contents of Testing and Inspections at Installation of NIS Components

項目 機器	線形出力系モニタ 中間出力系モニタ	前置増幅器	電源ユニット	中性子計装盤 (#403)
外観検査	次の内容を目視にて検査する。 ・ 盤内機器の据付状態，損傷の有無 ・ 配線状態，端子台のビスの緩みの有無			
電源電圧検査	<ul style="list-style-type: none"> モニタ内の低電圧電源の出力が次の値であること。 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> DC+15V±0.15V DC-15V±0.15V DC +5V : 4.8~5.0V </div> <ul style="list-style-type: none"> 高圧電源の可変範囲が次の値であること。 +50~+500V (設定値 : +200V) 	—	<ul style="list-style-type: none"> 入力電圧がAC110V ±10% であること。 出力電圧が <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> DC+21±1V DC-21±1V </div> <ul style="list-style-type: none"> であること 	—
絶縁抵抗検査	<ul style="list-style-type: none"> 検出器～前置増幅器～モニタ間のケーブルの絶縁抵抗を印加電圧DC100Vにて測定し，$1 \times 10^8 \Omega$以上であること。 			—
静電容量検査	<ul style="list-style-type: none"> 同軸ケーブルについて芯線-シールド間の静電容量を測定し，所定の値であること。 			—
特性試験	<ul style="list-style-type: none"> 校正出力検査 : 1.08±0.01% トリップ作動検査 : 1%F.S以下 応答速度試験 : 規定の値であること。 入出力直線性試験 : 2%F.S以下 波高弁別特性試験 : 5%F.S以下 動作不能インターロック試験 任意のプリント基板引抜き及びモードスイッチが「測定」以外で動作不能ANNがでること。 零点校正 : ±15mV以下であること。 計器単体校正 : 規定の精度を満足すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 利得・分解能検査 : 規定の利得であること及びパルス間隔の識別が0.5 μs以下であること。 	—	—
作動試験	原子炉の運転時に各機器が正常に作動すること。			—

Table 4.5 Contents of Testing and Inspections of Load-cells

検査場所 項目	工場	現地
外観・寸法検査	外観面に傷・変形等のないこと及び図面通りの寸法であること。	盤内の配線状態，計器の取付け状態に異常のないこと及び図面どおりの取付け状態であること。
絶縁抵抗検査	ロードセルのピンとコネクタのシールド間に DC25Vを印加し， $5 \times 10^8 \Omega$ 以上であること。	
実荷重試験	ロードセルとアンプを組合せた状態でロードセルに実荷重（引張）をかけ，この時のアンプの出力が次の基準値を満足していること。 ・定格出力 $8V \pm 3\%$ (200kgf) ・非直線性 $0.2\%R0$ (Rated Output) ・ヒステリシス $0.2\%R0$	_____
警報作動試験	ロードセルとアンプを組み合わせた状態で次の設定値で警報出力が OFF から ON になること。 H : 180kg (180kg以上で ON) L : 15kg (15kg以下で ON) LL : 3.9kg (3.9kg以下で ON)	_____
インターロック試験	_____	ロードセル用アンプの出力を可変して，所定の設定値で警報が出力されること。
作動試験	_____	駆動装置を駆動させて中性子検出器を引抜き・挿入したときの実荷重を測定し，次の基準値を満足していること。 ・引抜き時 : 15 ~ 180kgの範囲内 ・挿入時 : 4kg以上 (Ch-1 ~ 4) " : 3kg以上 (Ch-5)

以上で述べた試験検査の結果は何ら問題はなく、全て判定基準を満足し良好な結果が得られた。また、更新工事にあたって受検した科学技術庁による使用前検査も無事に合格した。

(2) 撤去ケーブルの目視検査

更新工事で撤去したケーブルの全数について目視検査を行なった。この結果、ケーブルの布設時あるいはそれ以降についたと思われる傷が発見された。この結果を次に示す。なお、ケーブルは全て同軸ケーブルである。

(a) Ch-8用信号ケーブル (Tag No. N12S01)

付属建家側に布設されていたケーブルの被覆に長さ約3cmの強い力で押されたような傷が1ヵ所があった。被覆の破れはなし。

(b) Ch-8用高圧電源ケーブル (正側) (Tag No. N12S02)

格内側に布設されていたケーブルの被覆に熱が加えられてできた直径約5mmの円形の凹みがあり。被覆の破れはなし。

(c) Ch-8用信号ケーブル (Tag No. N12S01)

格内側に布設されていたケーブルの被覆が鋭利な刃物で斜めに切り込みを入れた状態になっており、その上からビニールテープが巻いてあった。切り込みは内部のシールド線まで達していた。

(d) Ch-1用高圧電源ケーブル (Tag No. N05S02)

格内側に布設されていたケーブルの被覆に長さ約10mmの角の擦れてできたような傷があった。内部のシールド線の露出はなし。

(e) Ch-3用高圧電源ケーブル (Tag No. N07S03)

付属建家側に布設されていたケーブルの被覆にピンで刺したような傷が1ヵ所あり、ケーブル内部のシールド線が露出していた。この部分はビニールテープが巻いてあった。

(f) Ch-4用高圧電源ケーブル (Tag No. N08S03)

付属建家側に布設されていたケーブルの被覆に溶けたような傷が1ヵ所あり、ケーブル内部のシールド線が露出していた。この部分はビニールテープが巻いてあった。

5. 据付調整における特記事項

本設備の更新工事に際していくつかの問題が発生したが、それぞれについてその原因の究明及び必要な対策を施し解決した。この詳細内容を次に述べる。

5.1 線形出力系モニタ更新時の問題と対策

(1) 線形出力系モニタ出力信号の発振現象

線形出力系モニタについてケーブル交換、モニタ交換の各段階毎に交換前後のノイズの発生または外部からの進入の有無をTable 5.1に示す組合せで実施した。対象チャンネルはこれまで最もノイズの影響が多かったCh-8とした。

試験方法は、この表の組合せの各々に対し現場（格納容器内、RPU）の中性子検出器上部コネクタ部より原子炉出力100MWに相当する模擬信号（微少電流）を入力し、この時のモニタの出力波形をストレージオシロスコープ及びトランジェントレコーダで1～3日の期間にわたって監視を続けた。この結果、Table 5.1に示す組合せのうち①については何ら問題となるノイズは観察されなかった。しかし、②及び③については発振と考えられる波形が観察された。次にこの原因と対策について述べる。

(a) 検出器上部コネクタ（場所：RPU）から模擬信号を入力したときのモニタ出力の発振現象

Table 5.1の②の組合せで模擬信号を入力したところ、Photo-2に示したような波形が観察された。この波形の周波数は最も低いもので50Hzであり、他に100Hz、1kHz、100kHzが重畳していたことから、何らかの原因で50Hzが回路に進入し、それが回路内で発振しているものと考えられた。このため、この原因を調べた。このときの回路をFig 5.1に示す。

種々の原因調査の結果、次のことが明らかになった。

- ① 模擬信号源として使用しているピコアンペアソースの筐体がアンテナになっている。
- ② ピコアンペアソース筐体と信号ケーブル（同軸ケーブル）のシールド側は電氣的に接続されている（回路上そうになっている）。
- ③ 信号ラインに進入した50Hzの周波数はCh-8モニタでそのまま増幅される。
- ④ また、ピコアンペアソース内の抵抗と信号ケーブルの静電容量及びCh-8モニタ内のアンプ部の帰還回路に使用されている帰還抵抗、コンデンサの相互の関係から発振回路が形成され、100kHz以上の高調波（観察されたものは全て50Hzの整数倍）が発生する。

従って、対策としてはピコアンペアソースの筐体を中性子検出器のシールド側（他に適当な場所がなかった）にアースすることにより本問題は解決できた。このときの回路をFig. 5. 2に示す。

(b) 線形出力系モニタのレンジスイッチ位置 6, 7 でのモニタ出力の発振

前項(a)で述べたように模擬信号入力時の 50Hz の影響を防止することができたため、必要なチェックを行い、その後ケーブルの交換を行った。この間に先にケーブル及びモニタ交換の完了している Ch - 6, 7 のうち Ch - 6 について調査のため(a)項で述べた方法と同様に現場から模擬信号を入力したところ、モニタのレンジ 6, 7（測定レンジはそれぞれ 0~35%, 0~125%）のみに Photo - 3 に示すような発振がみられた。念のため Ch - 7, 8（Ch - 8 はケーブル交換後）についても同様にチェックし、Table 5. 2 に示すような結果が得られた。

検討の結果、この発振現象は基本的には(a)項の④で示した原因により発生すると考えられた。すなわち、モニタのレンジ 1~7 を順に切替えると、対応するアンプの帰還抵抗及び帰還抵抗に並列に設けられたコンデンサが順に切り替えられる。このコンデンサの容量はレンジ毎に異なっており、レンジ 1 からレンジ 7 へ向かって大きくなる。このためコンデンサ容量がある一定値以上になったとき発振する場合があると考えられた。そこで中性子検出器（模擬信号源）からアンプまでの全体の回路をFig. 5. 3 に示すようなモデルと考え、この回路で発振しない条件を満足するように帰還回路のコンデンサ容量を決定した。

Table 5. 3 及びFig. 5. 3 に示す表及び図の条件で発振を起こしているため、発振しないようにコンデンサ C_r の値を次のように決定した。発振しないための条件式は $R_i \cdot C_i = R_r \cdot C_r$ で与えられ、*⁽⁴⁾この式より C_r は、

$$C_r = \frac{R_i \cdot C_i}{R_r}$$

従って、 C_r の値は、

$$\text{レンジ 6 の場合 ; } C_r = \frac{1 \times 10^5 \times 5000 \times 10^{-12}}{560 \times 10^3} \approx 1000 \text{ (pF)}$$

$$\text{レンジ 7 の場合 ; } C_r = \frac{1 \times 10^5 \times 5000 \times 10^{-12}}{200 \times 10^3} \approx 2500 \text{ (pF)}$$

実際にはこの C_r の値の合致する市販のコンデンサはないため、この値に近く、容量の大きいものを選択した。実際に使用したコンデンサはつぎのとおりである。

$$\text{レンジ 6 の場合 ; } C_r = 2200 \text{ (pF)}$$

レンジ7の場合； $C_r = 3300$ (pF)

この結果にもとづいて 上記 C_r のコンデンサ交換を行った。コンデンサ交換後のモニタ出力は発振がなくなり、良好な結果が得られた。なお、この結果が発振に対して安定しているかどうかを確認するために、ステップ状の模擬信号を入力し、この時の応答出力波形を調べた。この結果は安定した良好な状態であることが確認できた。

以上の対策の完了後、Table 5.1の③についてノイズの有無（外部から進入してくるもの）を確認したが、結果は良好で問題となるノイズは確認されなかった。

5.2 線形出力系モニタの時定数に関する検討

前項で決定したコンデンサにより回路の時定数が大きくなったため、測定系全体の時定数の調査を行った。この結果、Fig.5.4に示す値となった。更新前のモニタの時定数は微小電流回路、利得設定回路等全てを含めてレンジ1～7とも6.6mSであった。今回は前項の検討結果と過去の経験から時定数を大きくし、外部からノイズが進入した場合でも影響ができるだけ少なくなるように配慮した。

Fig.5.4 中の時定数はモニタ単体で最大約30mS、アラーム・スクラム発報までの全回路までを含めると最大で約70mSである。この時定数（約70mS）はこれまでの経験から、ノイズが進入した場合にアラーム・スクラム発報の影響が出なくなる最低値であることがわかっている。

5.3 中間出力系モニタの利得の設定

今回の中間出力系モニタ及び前置増幅器の更新にあたって、これらのモニタ及び前置増幅器の利得を確認し、決定する必要があった。この理由は、前項4.4で述べたようにこれらの機器の周波数帯域が更新前の機器と異なっているため、同一の入力信号による利得の比較ができないことによる。このため「常陽」に設置されている予備チャンネル（Ch-9）の中性子検出器を使用して、製作した中間出力系モニタ（以下、新モニタと略す）について更新前の中間出力系モニタ（Ch-3）を基準とした実機ベースでの特性試験及び相対校正を行うこととした。基準としてCh-3を選択した理由は、Ch-3の中性子検出器が中間出力系3チャンネルのうち予備チャンネル（Ch-9）の中性子検出器に最も近い位置に設置されているためである。なお、予備チャンネル（Ch-9）の中性子検出器は、既設Ch-1～5に使用されているものと同一の型式（KSA-51）である。

試験はCh-9の中性子検出器の信号を入力として新モニタと次に示した各モニタの出力との比較を行った。なお、(b)、(c)については原子炉の高出力領域及び低出力領域での新モニタの特性を確認するために行ったものである。(d)については新モニタにはFig.4.5に示した

ようにパルス計数率の測定回路も有しており、ディスクリ特性はモニタを含めた測定系全体のノイズレベルの確認及び中性子検出器の特性のチェックに必要なため測定を行ったものである。また、(f)についてはペリオド出力について既設の中間出力系モニタと比較・確認する目的で実施した。

- (a) 中間出力系 Ch-3 と新モニタとの比較
- (b) 線形出力系 Ch-6 と新モニタとの比較
- (c) 起動系 Ch-1 と新モニタとの比較 (パルス系)
- (d) ディスクリ特性の確認 (パルス系)
- (e) 原子炉出力に対する前置増幅器の出力特性の確認
- (f) ペリオド出力の中間出力系 Ch-3, 5 と新モニタとの比較

以上の項目のうち(a)のみについては昭和63年6月の第15'サイクル運転時に、同年8月の第16サイクル運転開始時に(a)~(f)について予備試験を行なった。本試験時の試験回路は Fig. 5.5 に示したとおりである。

(1) 予備試験

予備試験は第15'サイクル(6/14, 15, 6/19及び6/23)運転の起動時及び8/7の第16サイクル起動時に実施した。この試験では原子炉出力が約1MWまでの範囲で主として中間出力系 Ch-3 と新モニタとの相対校正を行なった。この結果、6/14~15の最初の試験時に前置増幅器を含めた新モニタ全体の利得が約10倍低いことが判明した(既設の中間出力系モニタとは入力信号の周波数が異なるため直接比較することができない)。このため次の対策を行なった。

- (i) 前置増幅器の利得変更(約1.4倍増, $G=180$ 倍)
- (ii) モニタ内交流増幅器の利得変更(定数の変更により, 約7.8倍に増加)

この結果、全体の利得を約10.9倍増加させ、これにより新モニタの出力が原子炉出力1MWにおいてCh-3モニタと良い一致を示すことが確認できた。その後、6/23の原子炉起動時に起動から1MWまでの原子炉出力に対するCh-3との比較を行なった。この結果を Fig. 5.6 に示す。

この図から新モニタの出力はCh-3に対して原子炉起動時から約1MWまで良い一致を示すことが確認できた。ここで、原子炉出力(Ch-3)が約 7×10^{-2} %付近で不連続になっている原因は新モニタの交流増幅器内で入力信号のレベルに応じた利得の切り替えを行っており(4.4項(1)を参照)、この切り替え前後の出力にズレがあったためである。これについてはその後調整を行ない良好となった。

次に8/7の第16サイクル起動時の試験結果について述べる。

- (a) 中間出力系 Ch-3 と新モニタとの比較

Fig. 5.7 に原子炉出力 (Ch-3) 約 15 MW までの比較結果を示す。この図より、 $1 \times 10^{-3}\%$ 以下で若干ズレがあるものの全体的にみて良い一致を示している。この $1 \times 10^{-3}\%$ 以下での違いは主として新モニタの前置増幅器の出力信号のレベル (後に述べる) 及び Ch-3 の特性 (中間出力系の使用領域における出力の直線性を得るために、低出力領域の出力が若干大きくなるように調整してあることによる測定誤差) に起因するものである。

(b) 線形出力系 Ch-6 と新モニタとの比較

Fig. 5.8 に原子炉出力 100 MW までの測定結果を示す。ここで、Ch-6 の出力は黒鉛温度フィードバックシステム (GAPS) による補正を行なった値であり、この値は原子炉出力 90 MW で熱出力に対し -0.92 MW の差がある (90 MW での熱出力校正で調整した) のみで、その後は ± 0.5 MW 以内で一致していることが確認されている。

この図より、Ch-6 の測定誤差の大きい低出力側でやや差が大きいものの、原子炉出力 100 MW まで良く一致している。

(c) 起動系 Ch-1 と新モニタとの比較 (パルス系)

Fig. 5.9 に新モニタのパルス計数率出力と起動系 Ch-1 のパルス計数率の比較を示す。この図で、新モニタのパルス計数率が低めになっているが、この原因として次のことが考えられる。

- (i) 中性子検出器の特性の違い
- (ii) 上記 (i) に伴うディスクリ特性の変化に対する設定電圧が不適當
- (iii) 中性子検出器の据付位置の違いによるもの

などが考えられるが、いずれにしても新モニタの特性上の問題とはならない。なお、この図から新モニタの計数率出力は約 3×10^6 cps まで計測できることが確認された。

(d) ディスクリ特性の確認

前述したように、モニタを含めた測定系全体のノイズレベルを調べ、運転時にノイズによる支障をきたさないことを確認するために本モニタに付加してある対数計数率回路 (LCRM) を使用してディスクリ特性 (積分波高分布特性) を測定した。この結果を Fig. 5.10 及び Fig. 5.11 に示す。Fig. 5.10 は新モニタによる特性を計数率が 1 cps 付近になるまでのディスクリ電圧について測定したものである。この図でディスクリ電圧が 0 ~ 約 100 mV の範囲で計数率出力が小さくなっている原因は、ディスクリ電圧が入力パルス波高より低くなったためにモニタのアンプが飽和したことによるものである。また、このディスクリ特性が妥當であることを確認するために、新モニタとは別の試験装置により以前に測定したデータと比較を行った。Fig. 5.11 は Fig. 5.10 のデータをディスクリ

電圧が-300mVまでについて比較したものである（中性子検出器は共通）。この結果はディスクリ特性に若干の違いがみられるもののほぼ同様の結果が得られ、データに間違いのないことを確認した。

以上の結果、ノイズレベルについては殆ど同じであり、データは示していないが起動系Ch-1, 2と比較してもほぼ同じであるので、ノイズレベルについては問題となることはないと考えられた。

(e) 原子炉出力に対する前置増幅器の出力特性

Fig. 5.12及び Fig. 5.13 にそれぞれCh-3, Ch-6のモニタ出力に対する前置増幅器の出力特性を示す。両図とも約 $3 \times 10^{-3}\%$ 以上から100%（100MW）まで良い直線性を有しており、Fig. 5.13からわかるように100MWにおいても飽和していない。約 $3 \times 10^{-3}\%$ 以下の範囲で直線性が悪くなる原因は、前置増幅器の出力レベルがこの付近で約 $1.5 \text{ mV}_{\text{rms}}$ 以下（原子炉停止中で約 $3 \text{ mV}_{\text{rms}}$ ）となり、ノイズ（内部ノイズ）の影響がでてくるためである。この値は既設の中間出力系の前置増幅器のノイズレベルが大きい時で約 $0.2 \text{ V}_{\text{rms}}$ であることと比べると大幅に改良されたとと言える。

(f) ペリオド出力の中間出力系Ch-3, 5と新モニタとの比較

Fig. 5.14及び Fig. 5.15 にそれぞれ新モニタのペリオド出力、中間系Ch-3及び5のペリオド出力の記録を示す。本データは第16サイクル起動時の制御棒校正試験時の記録である。両図を比較してわかるとおり、ペリオド出力の大きさにほとんど差がなく、問題はないと考えられた。

(2) 中性子検出器の設置位置の違いによる利得の評価

前項で述べた予備チャンネル（Ch-9）の中性子検出器を使用した中間出力系（Ch-3）との相対校正により、更新用モニタ及び前置増幅器の利得を決定したが、炉容器周囲方向での中性子束密度の分布に違いがあることが考えられるため、この結果にはさらに次の2点の差異が含まれている。

(a) 中間出力系Ch-3と新モニタ（Ch-9）の中性子検出器の据付位置の違いに起因する差異

(b) 中間出力系Ch-3と他のチャンネル（Ch-4及びCh-5）の中性子検出器の据付位置の違いに起因する差異

この2点の差異については、(b)の違いがどの程度あるかを更新前のモニタについて調べた結果、Ch-3に対するCh-4の利得の差が一番大きく、7.2% Ch-4の利得が高いことが明らかになった。この原因は主として中性子検出器の据付位置の違いによるものと考えられ、Fig. 2.2 に示したように、Ch-3とCh-4の据付位置が最も

離れており、Ch-3に対するCh-5及び予備チャンネル（Ch-9）とはほぼ同じ距離になっている。このことから、(a)のCh-3と予備チャンネル（Ch-9）との違いはこれ以下と考えられたが、安全を見込んで±20%の違いがあるものとした。すなわち、Ch-3と予備チャンネル（Ch-9）に±20%の違いがあっても新モニタの利得が調整可能なように調整可能範囲に余裕をもたせた。また、他のチャンネル（Ch-4, 5）については更新前のCh-3モニタを基準とした利得の違いを相対校正により求め、それぞれ調整することとした。Ch-3を基準とした他のモニタとの利得の違いは次のTable 5.4に示したとおりである。

(3) 更新後の原子炉運転中における校正

前項で述べたように、設定した中間出力系モニタの利得には基準としたCh-3の中性子検出器と比較した予備中性子検出器との設置位置の違いによる誤差が含まれている。このため更新後の最初の原子炉運転時にこの誤差の確認を行うとともに、必要時の調整、更に設備としての性能の確認を行った。これらの結果を次に述べる。

試験は、原子炉の起動、臨界点（ $5 \times 10^4 \text{ cps}$ ）から約1 MWまで原子炉出力を変化させ、次の確認及び調整を実施した。

- ① 中間出力系（Ch-3, 4, 5）の出力の相互比較及び調整（同一指示を示すように調整する）。
- ② 起動系（Ch-1）と中間出力系とのオーバーラップ特性の確認
- ③ 線形出力系（Ch-6）と中間出力系とのオーバーラップ特性の確認

(a) 試験回路

Fig. 5.16に試験回路を示す。起動系及び線形出力系との比較は、起動系はCh-1、線形出力系はCh-6のモニタ出力で行った。これらのモニタ出力は既設のアイソレータの出力（0-10 V）をレコーダで記録することにより、レコーダ側のトラブルがプラントに影響しないよう配慮した。なお、本アイソレータは今回の定期点検で校正済みである。

(b) 試験結果

- ① 中間出力系（Ch-3, 4, 5）の出力の比較及び調整

原子炉出力が $5 \times 10^4 \text{ cps}$ （臨界点）での中間出力系モニタの各指示値はCh-3, 4, 5がそれぞれ $2.0 \times 10^{-3}\%$ 、 $2.2 \times 10^{-3}\%$ 、及び $1.6 \times 10^{-3}\%$ であった。臨界点における中間出力系の各指示値は、これまでのデータから約 $1.1 \times 10^{-3}\%$ であることが明らかになっており、本来はこの値に調整すべきであるが、今回は原子炉を安全に運転すること及び熱出力校正後の線形出力系モニタの出力に合わせる方がより精度の良い調整が可能と考え、やや高めの指示である $1.6 \times 10^{-3}\%$ に調

整した。この結果はFig. 5.17に示してあるように、Ch-3, 4, 5ともほぼ同一の指示となるように調整できた。

② 起動系 (Ch-1) 及び線形出力系 (Ch-6) とのオーバーラップ特性の確認

Fig. 5.18に中間出力系及び起動系 (Ch-1) の出力を線形出力系 (Ch-6) に対してプロットした図を示す (正確には原子炉熱出力に対する起動系・中間出力系・線形出力系の各出力を比較するのが良いのであるが、起動系・中間出力系の領域では原子炉熱出力が正確に測定できないので線形出力系を基準とした)。この図からわかるように、起動系 (Ch-1) とのオーバーラップは線形出力系 (Ch-6) の出力で約 $2 \times 10^{-3}\%$ から $2 \times 10^{-2}\%$ までの1デカドを有している。ここで、Ch-6の出力が約 $2 \times 10^{-3}\%$ 以下の範囲でCh-1の出力が急速に下がっている理由は、この領域は線形出力系モニタの測定領域外のため、Ch-6モニタの出力がほとんど変化しないことによるものである。

また、線形出力系 (Ch-6) とのオーバーラップは、この図で直線になっている領域、すなわち約 $1 \times 10^{-2}\%$ 以上から18%での中性子検出器の上限引抜きまでの約3デカド以上を有していることが明らかである (中性子検出器を引き抜かなければ100MWまで直線性を有する)。

なお、参考として中間出力系モニタ・前置増幅器の校正後の利得及び線形出力系 (Ch-6) に対する中間出力系 (Ch-3, 4, 5) の各出力を原子炉出力100MWまでの範囲でプロットした図をそれぞれ Fig. 5.19 に示した。また、この結果から予想される中間出力系モニタの中性子束に対する利得特性をFig. 5.20に示した。

5.4 中間出力系モニタ更新時の問題と対策

(1) 予備試験時のモニタ出力信号の発振

5.3項の予備試験に先立ち、Fig. 5.21に示したように試験装置をセットし、モニタ各部の出力信号等のチェックを行なった。この結果、パルス計数率のチェック時にモニタ出力信号が発振する現象が発見された (発振周波数、約1.3MHz)。このためパルス計数率の測定が不可能となった。

種々の調査・試験の結果、この発振の原因はFig. 5.21に示すように、モニタ～前置増幅器間で信号用同軸ケーブルのコモン (シールド側) と高圧用同軸ケーブルのコモン (シールド側) がループを構成しており、このため信号コモン側に流れる電流の変化がモニタの入力信号に影響を及ぼしていたものと判明した。

この対策としてFig. 5.21の(二)で示した配線を撤去した。これにより、その後発振はみられなくなり、良好なデータが得られた。

(2) 中間出力系モニタのペリオド短アラームの発生

機器の据付工事が完了した後、これらの機器の出力（対数出力，ペリオド出力）をそれぞれ記録計にて監視を行った。この結果，Ch-4及び5にペリオド短アラームが頻繁に出ることがわかった（Ch-3については問題なし）。この頻度は約12分の周期的なものであることから，外来のノイズによるものと推定された。このため，炉容器周囲，ケーブルペネトレーション，各配線ルート毎に入念に調べたが，発生源は特定できなかった。そこでこのノイズに対する防止対策を次のように行った。

(a) ケーブルペネトレーション部のケーブルのシールド

核計装に使用しているケーブルペネトレーションはケーブルペネトレーション番号PK-8のK-189（Ch-1, 3, 6），K-190（Ch-4, 7），K-192（Ch-2, 5, 8）である。これらのケーブルペネトレーション内のケーブルは他の機器のケーブルと共にまとめてある。このためこれらのケーブルのいずれかから誘導によるノイズが進入している可能性があると考え，ケーブルを編素線によりシールドし，これをケーブルペネトレーションの外壁（金属製）にアースした。この結果，Ch-4についてはペリオド出力が約半分になり，大きい効果が見られた。

(b) 前置増幅器のノイズ対策

次に前置増幅器周りでノイズを除去することを種々試みた。このうち効果があったものは次の2点である。

① 前置増幅器の入力信号コネクタのコモン側のアース

中性子検出器からの信号は1本の同軸ケーブルで前置増幅器に入力されている。この同軸ケーブルのシールド側は前置増幅器のコモンに接続されており，このコモンは前置増幅器筐体を介して格納容器内のアース母線に接続されている。従って，同軸ケーブルのシールド側に重畳したノイズが前置増幅器内のコモンに入る前にアースすべく，信号入力コネクタのコモン側を前置増幅器筐体に直接接続した。

② 前置増幅器のアースラインへのコンデンサの追加

前述のように前置増幅器の筐体は格納容器内のアース母線に接続されている（このアースを外すとノイズは逆に大きくなる）。このアース母線は信号レベルの電圧に対してはアース効果が小さく，逆にアース母線側から前置増幅器へノイズが進入してくる可能性が考えられた。ここで，問題となっているのノイズの周波数が数十kHz～数百kHzの高調波であるので，この高調波を除去できればよい。このため，前置増幅器のアースラインにFig. 5.22に示したようにノイズ除去用のコンデンサを取りつけた。

以上の(a)，(b)の対策の結果，Ch-3, 4についてはペリオド短アラームレベルに達

するものは殆どみられなくなったが、まだCh-5については充分とはいえないためさらに次の対策を行った。

(c) 中間出力系モニタ回路内の対策

① 中間出力系モニタの対数出力系の時定数変更

中間出力系モニタの対数出力系の最終段アンプのコンデンサを交換し、時定数を大きくした（コンデンサの容量を $0.033\mu\text{F} \rightarrow 1\mu\text{F}$ とした）。

② ペリオド計の高調波除去回路の時定数変更

ペリオド計の微分回路に使用されている高調波除去用のコンデンサ（回路図のC7）を $0.0047 \rightarrow 0.01 \rightarrow 0.0147(\mu\text{F})$ と段階的に増加させ、最終的なコンデンサ容量を $0.0147\mu\text{F}$ としたことで問題がなくなった。

これらの対策により、中間出力系モニタのペリオド計の外来ノイズの影響に関しては、問題のないレベルまで下げることができた。

(3) アイソレータのノイズによるLCRM系への影響

中間出力系モニタの対数出力及びペリオド出力はアイソレータを介して中央制御盤の指示計・記録計へそれぞれ送られている。このアイソレータはスイッチング回路を内蔵しているため、このスイッチングノイズがモニタ内のアンプに影響を与え、LCRM系信号に重畳してパルス波形の観察及びディスクリ特性の測定に障害を及ぼした。このため、アイソレータ周りに次のノイズ対策を施した。この内容をFig. 5.23に示す。

(a) アイソレータ側にノイズ除去用のコンデンサ（Fig. 5.23のCa, Cb, Ccで示す）を追加した。

(b) 中間出力系モニタからのアナログ信号のコモン線を外し（Fig. 5.23のA部で示す）、アイソレータ側の負側入力を筐体にアースした（Fig. 5.23のB部で示す）。

以上の対策により発生したノイズによる障害はすべて取り除かれた。その後、制御棒の引抜挿入操作、運転モードスイッチの切り替え操作及びアラーム発報時に作動する補助継電器盤のリレーの作動による影響について試験及び影響調査を行ったが、このすべてについて影響のないことが確認できた。

6. 更新結果と運転

6.1 線形出力系モニタ

第6回定期検査期間に更新した線形出力系モニタ、電源ユニット等の機器について4項で述べた各種の試験検査を行い、全て良好な結果が得られた。この試験検査のなかで原子炉の運転に必要なモニタの利得については更新前のモニタと同じになるように調整してある。このため、その後の第13サイクル運転に際してもトラブルの発生はなく、十分な性能及び信頼性を有していることが実証された。参考として第13サイクル運転終了後に測定したモニタの入出力特性を Fig.6.1~3 に示す。また、メンテナンスに関しても、可能な限り省力化すべく設備対応を図ったため、毎月実施する原子炉保護系の性能検査に要する時間は更新前と比較して、約1/2に短縮でき、また、定期点検についても約半分の時間で実施することが可能となる等、大きい効果があった。

6.2 中間出力系モニタ

第7回定期点検期間に更新した中間出力系モニタ、前置増幅器及びロードセル計装計器等の機器についても、4項で述べた各種の試験検査を行い、全て良好な結果が得られた。中間出力系モニタの更新にあたっては、新規製作したモニタ・前置増幅器の入力信号に対する周波数帯域が旧モニタ・前置増幅器と異なることから、利得の決定を行うために同モニタ・前置増幅器を前もって製作しておき、これを使用して原子炉運転時に実機レベルでの校正試験（調整）を行った。この校正試験で得られたデータを基に決定した利得で行った更新後の性能試験では、原子炉の出力（線形出力系モニタ出力）に対して数%の範囲内で一致していることが確認され、僅かな調整を行うことのみで作業を完了することができた。また、中間出力系モニタの特性については、原子炉出力が100MWまで良い直線性を有しており、起動系及び線形出力系とのオーバーラップ特性も良好で、起動系に対しては1デカード、線形出力系に対しては約3デカードを有していることが実証され、十分な性能を有していることが確認できた。

メンテナンスに関しては線形出力系と同様に中間出力系モニタ、ロードセル計装計器ともに可能な限り省力化するための設備対応を行い、毎月の原子炉保護系の性能検査に要する時間は約1/3に、定期点検についても従来の約半分の時間で実施することが可能となる等、通常の点検作業時の操作の簡素化を図ることができた。

7. 結 言

高速実験炉「常陽」の計測制御系統施設の一部である核計装設備について、設備の老朽化対策及びメンテナビリティのより一層の向上を目的として更新を行った。更新工事は昭和62年度の第6回定期点検及び昭和63年度の第7回定期点検期間中に、それぞれ線形出力系モニタ、中間出力系モニタについて実施し、いずれも当初の計画どおりに完了した。更新後の性能・運転状態については、線形出力系・中間出力系ともに良好で、第6回定期点検後の第13～16サイクル運転及び第7回定期点検後の第17サイクル運転ともにトラブルもなく順調に運転がなされ、設備の信頼性の向上及び原子炉のより一層の安全な運転がはかれた。また、メンテナビリティについては更新した機器の月例点検、定期点検のいずれも点検に要する作業時間が従来の約半分になり、メンテナンスコストの低減、作業能率の向上がはかれたと考えられる。

8. 謝 辞

本設備の設計，製作，及び更新にあたり，高所から御指導頂いた八谷実験炉前部長はじめ，運転及び試験に際して御協力頂いた原子炉第一課並びに技術課の方々に感謝の意を表します。

9. 参考文献

- (1) 佐久間, 小沢, 他 高速実験炉「常陽」核計装設備の運転特性及び保守経験
PNC SN941 81-213, 1981年10月
- (2) 小倉, 深見, 他 高速実験炉「常陽」における出力系中性子計装への黒鉛温度のフ
ィードバック
PNC ZN9410 88-032 1988年3月
- (3) 永井, 高須, 他 高速実験炉「常陽」運転・保守経験報告書, 核計装設備の運転・
保守履歴
PNC N9410 88-023 1988年2月
- (4) 岡村勉夫 著 OPアンプ回路の設計 昭和61年10月 CQ出版(株)

10. 付 録

今回はモニタを主とした機器の更新を行ったが、中性子検出器についても将来更新する可能性も考えられるため、今後の資とするためにこれまでの経緯を次に述べる。

10.1 中性子検出器の交換実績と交換計画

当初、「常陽」に設置された中性子検出器は全て輸入品であり、次に示す型式のものであった。

・核分裂計数管 (FC) : 起動系・中間出力系用

型 式 : P7A

メ - カ : 20th Century社 (英国)

・ガンマ線補償型電離箱 (CIC) : 線形出力系用

型 式 : SK-400MI

メ - カ : Reuter & Stokes社 (米国)

この内、起動系・中間出力系の中性子検出器は逐次交換を行い、現在は全て国産品 (KSA-51) である。次に交換の経緯を示す。

(1) 起動系Ch-2の交換 (昭和54年12月)

使用中に出力パルスの波高値が小さくなったことによるもので、その原因はコネクタボックス部付近で信号ケーブルの絶縁不良等が発生したためと推定された。検出器は交換前と同じ型式 (P7A) である。

(2) 起動系Ch-1及び中間出力系Ch-4の交換 (昭和57年12月)

「常陽」のMK-II炉心移行作業に伴い実施された臨界近接試験に使用する高感度の中性子検出器を設置する必要が生じたため、本検出器を引抜き、試験終了後に新検出器 (KSA-51) を据えつけたものである。

(3) 中間出力系Ch-3及びCh-5の交換 (昭和57年12月)

当初からの交換計画に従い交換を行ったものである。交換後の検出器はKSA-51である。

(4) 起動系Ch-2の交換 (昭和62年1月)

当初からの交換計画及び性能上の改善を目的として交換を行ったものである。交換後の

検出器はKSA-51である。

中性子検出器の交換計画としては、これまでの運転実績より⁽³⁾中性子の照射量からの性能の劣化等の問題はないものと考えられるが、Ch-1・Ch-4については平成4年度で使用年数が10年となるため耐用年数上から第9回あるいは第10回定期点検時に交換することが妥当であると考えられる。また、線形出力系用の中性子検出器についてはこれまでのところ問題なく良好に作動しており、中性子照射量についてもまだ余裕がある。しかし、電氣的・機械的な耐用年数を考慮すると早期に交換することが望ましいと考えられる。

10.2 線形出力系モニタの利得推移

3.1項でも述べたように線形出力系に使用している中性子検出器は設置後10年以上経過しているため、検出器の電氣的・機械的な劣化の可能性が考えられる。現在まで劣化あるいは劣化の兆候はみられていないが、これらの評価をするための一つの方法として線形出力系モニタの利得推移を調べた。次にこの方法及び結果を述べる。

線形出力系の中性子検出器はガンマ線補償型電離箱であるため、その出力信号は微少の直流電流である。この信号は原子炉出力100MW時に約30 μ A程である。この検出器に何らかの異常（封入ガス、電極部の絶縁低下等）が生じた場合、出力電流に変化が表れることが考えられる。線形出力系モニタは検出器の出力電流を電圧に変換、増幅して出力しており、この時の利得は各運転サイクルの初期に実施する熱出力校正により原子炉出力に合わせて調整されている。従って、各運転サイクル毎のモニタの利得（V/ μ A）を調べることにより原子炉出力100MW時の検出器出力電流の増減傾向を知ることができる。

モニタの利得は模擬信号を入力することによりモニタの入出力特性を求め、これを最小二乗法により1次式に近似して求めた。

近似式 ；

$$Y = A * X + B \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Y : モニタ出力電圧 (v)
 X : モニタの入力電流 (A)
 A, B : 係数

モニタの利得は式(1)の係数Aで表せる。よって、係数Aの値を比較すれば検出器の出力電

流（感度）の大小を知ることができる。MK-II 炉心における線形出力系の各モニタ（Ch-6, 7, 8）の利得を運転サイクル（MK-II 第1サイクル～第12サイクル）に対してプロットした結果をFig. 10.1に示す。この図では主として炉心構成，炉内貯蔵ラック内の使用済燃料の有無等による影響と考えられる利得の違いが見られるものの，総じて大きな変化は認められない。従って，これまでのところ原子炉出力100MW に対する検出器の出力に変化はなく，良好に作動していると言える。なお，参考として式(1)で近似したときの係数A, Bの値を Table 10.1に示した。

Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (1/6)

No.	昭和56年度故障状況			
	件名	内容	原因及び調査	対策・処置
①	No56-77 中性子検出器荷重不良	Ch-1 の中性子検出器挿入時に「中性子検出器荷重超過ANN」が発報し、リセットできなくなった。この時荷重指示計は 0Kg を指示していた。	中性子検出器を挿入する場合は中性子検出器保持装置全体の自重で挿入される構造になっている。この場合はコネクタボックスと密封管の間に使用しているOリングと密封管との間の摩擦抵抗が大きくなり、挿入できなくなったものである。	外部から振動を加えて強制的に挿入した。
②	No56-146 出力系レンジスイッチ切り替え時「中性子束低ANN」発生	線形出力系のレンジスイッチの切り替え時（レンジアップ、レンジダウン）、中性子束低ANN が発生した。	レンジの切り替えはアンプの帰還抵抗を切り替えて行われるが、切り替え時に帰還回路がオープンとならないようにするため切り替え前と後の帰還抵抗が一時的に並列になる。この時の帰還回路の合成抵抗は切り替え前後より小さくなるため、アンプの出力がアラーム設定値付近にあるときにレンジスイッチをゆっくり切り替え操作した場合アラームが発報することがある。	
③	No56-187 中間系モニタCh-5零調不良	Ch-5モニタのモードスイッチを「零調」にしたとき、モニタの出力が100%を指示しない	対数増幅器の出力が不足していた。	対数増幅器の出力を調整し、良好になった

Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (2/6)

No.	昭和57年度故障状況			
	件名	内容	原因及び調査	対策・処置
①	No57-202 423 盤リセットPBノイズ発生	423盤（原子炉制御盤）のアラームリセットボタンをおすと起動系モニタのペリオド計が振れ、ペリオド短のアラームが発報する。	ノイズ源はCRD 用Arガス流量計のANN リセット用コンタクトのON-OFF時に発生するサージノイズであり、ペリオド短アラーム発報はこの影響によるものであった。	当該コンタクトにサージフィルタを取付、影響がなくなったことを確認した。
②	No57-216 Ch-2中性子束低（下限アラーム）レベルのずれ	Ch-2（起動系）の中性子束低（下限アラーム）が、計数率 4cps 以上にならないとリセットできない。	下限アラーム設定値(3cps)のずれによるものであった。	3cpsに調整し、良好となった。
③	No57-237 起動系モニタ (Ch-2) バッファアンプ作動不良(OP)不良	バッファアンプからの出力がでない。	バッファアンプの入力信号ケーブルのコネクタが外れていた。	ケーブルを接続し、正常となった。
④	No57-238 中間系モニタCh-3動作不良	Ch-3モニタのモードスイッチを「出力校正」にし、選択スイッチを「10 ⁻³ %」にしたとき、指示計が10 ⁻³ % を指示しない（10 ⁻⁴ % を指示）。	モニタ内の広帯域整流器のプリント基板のコネクタ部の接触不良と判明した。	コネクタ部の接点を清掃して良好となった
⑤	No57-257 中性子検出器荷重超過ANN 発生	中性子検出器挿入時、Ch-5の中性子検出器荷重超過アラームが発報した。アラームはリセットできたが、荷重指示は 0kgとなったままである。	駆動装置のカバーを外し内部を点検した結果、検出器駆動用ワイヤーロープが巻き取りドラムから外れ、弛みが生じてロードセルに荷重がかからない状態になっていた。	ワイヤーロープの巻き直し、調整を実施して良好となった。
⑥	No57-267 中間系Ch-5動作不良	中間出力系Ch-5の出力指示がダウンスケールした。原因調査のためモード切り替えスイッチ	モード切り替えスイッチを分解し接点部の点検を行った結果、接点部に汚れが認められ	接点部の清掃を行い、良好となった。

Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (3/6)

No.	昭和58年度故障状況			
	件名	内容	原因及び調査	対策・処置
①	No58-2 ペリオド計(Ch-1)動作不良	Ch-1のペリオド計が作動したり、作動しなくなったりする。	モニタの各部を点検したが、全て正常で再現性がみられなかった。	—————
②	No58-65 運転モードスイッチ ノイズ発生について	運転モードスイッチを「停止」から「起動」に切り替えたとき、Ch-2のペリオド短アラームが発報した(再現性あり)。	運転モードスイッチの切り替えによってON-OFFする補助リレーから発生するサージ電圧の影響であることが判明した。	関連する補助リレー(複数)のコイル間、電源ラインの大地間のそれぞれにサージフィルタを取付け、影響がなくなったことを確認した。
③	No58-98 Ch-8レンジスイッチ切り替え時に中性子束低ANN発生	Ch-8のレンジスイッチを1.25%から0.35%に切り替えた時及び0.35%から0.125%に切り替えたときに中性子束低ANNが発報した。	各チャンネルの中性子束低アラームの設定値の確認を行い、異常のないことを確認した。模擬信号により右記アラーム発報したときの状況を模擬して再現性を確認したが、再現性はみられなかった。	—————
④	No58-162 単一チャンネルANN動作不良	中性子束高(Ch-8)アラームが発報したがロジック盤A,Bの7B(CH-8)ランプが点灯したのみで、単一チャンネル作動アラーム及びロジック盤の警報が作動しなかった。	線形出力系の「中性子束高」信号を模擬的に発生させ、再現性を試験したがCh-6,7,8とも全て正常に作動し、異常はみられなかった。	現ロジック盤の回路は、事故信号が1チャンネルだけ70mSec以上継続して発生した場合のみ「単一チャンネル作動」の警報が発報するように構成されているため、本件はCh-8のアラームが70mSec以下の短時間で発生したものと推定された。
⑤	No58-311 起動系ノイズによるペリオド短発生(Ch-2)	試験のため1次主ポンプの起動・停止を行ったところ、起動のたびにCh-2のペリオド短アラームが発報した。	ペリオド短アラームの発報原因は中性子検出器からモニタ入力端子間のケーブルあるいはこの間のアースラインからのノイズによるものと推定された。また、前置増幅器の利得が高いために、進入したノイズを増幅して影響を助長していると考えられた。	昭和61年12月に中性子検出器の交換を行ったのを機に前置増幅器の利得及びディスクリ設定電圧を再検討し、それぞれ元の約1/2、約1.5倍に変更してS/N比の改善をはかった。これによりノイズの影響を小さくでき、その後この種の問題は発生しなくなった。

Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (4/6)

No	昭和59年度故障状況			
	件名	内容	原因及び調査	対策・処置
①	Na59-007 核計装モニタモード切り替えスイッチ不良 (Ch-4)	モニタの点検時に外部から所定の模擬信号を入力したところ、モニタの出力電圧が前回の点検時と大きく異なり、モード切り替えスイッチに手を触れると出力電圧がふらつく現象が発生した。	モード切り替えスイッチ（ロータリースイッチ）の接点部を点検し、接点部の汚れ及び摩耗による接触不良と判明した。	モード切り替えスイッチをCh-1～8の全モニタについて交換した。
②	Na59-008 核計装モニタ表示ランプ不良	Ch-8モニタの表示ランプ交換時、ランプとランプホルダ間で短絡し、モニタのメインヒューズが切れた。	本ランプホルダはランプを出し入れするとき、ランプとランプホルダ間で短絡（接地）し易い構造となっていた。	短絡しないように絶縁されたランプホルダに全数交換した。
③	Na59-027 電解コンデンサの劣化	第5回定期点検の結果、全モニタの高圧電源回路に使用されている電解コンデンサの劣化が認められた。	—————	全モニタの該当するコンデンサの交換を実施した。
④	Na59-028 微小電流回路利得調整用可変抵抗器の不良	線形出力系モニタの利得調整時、可変抵抗器の微調整が困難になった。	可変抵抗器の調整用ネジの摩耗と考えられた。	出力系モニタ 3台の可変抵抗器を交換し、良好となった。
⑤	Na59-57 中性子計装動作不能ANN 発生	「中性子計装動作不能」のANN のみが発報し、すぐリセットできた。	アラーム出力用補助リレーの誤動作または接点の不良と考えられた。	当該補助リレーの交換を行い、取り外したリレーの点検を行ったが異常は見られなかった（明確な原因は不明）。
⑥	Na59-152 「中性子束低」ANN 誤動作	原子炉出力25MWから30MWに出力上昇中にCh-8のレンジスイッチを35% から125%に切り替えた時「中性子束低」ANN が発報した（再現性有り）。	—————	昭和56年度Na56-146に同じ
⑦	Na59-157 「中性子計装動作不能」ANN 誤動作	「中性子計装動作不能」ANN のみが発報、すぐリセットできた。	明確な原因は特定できなかったが、リレー、プリント基板のコネクタ等の接触不良と推定された。	—————
⑧	Na59-211 ペリオド短ANN 発生	原子炉運転モードスイッチを「停止」から「起動」に切り替えたところ、起動系Ch-2のペリオド短アラームが多発するようになった	—————	昭和58年度Na58-311に同じ
⑨	Na59-260 起動系ペリオド短ANN 発生	原子炉運転モードスイッチが「燃料交換」位置の時、起動系Ch-2のペリオド短アラームが発生した。	—————	昭和58年度Na58-311に同じ

Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (5/6)

PNC SN9410 90-063

昭和60年度故障状況				
No	件名	内容	原因及び調査	対策・処置
①	No.60-159 線形出力(Ch-8)レコーダ指示値ゆらぎ増加	線形出力系Ch-8のレコーダ指示のゆらぎが他のCh-6.7より3倍程度大きい現象がみられた。	本レコーダのアンプゲインが高いためであることが判明した。	適正なゲインに調整し、良好となった。

Table 3.1 Failure Descriptions of NIS (6/6)

昭和61年度故障状況				
Na	件名	内容	原因及び調査	対策・処置
①	Na61-76 中性子検出器温度記録計打点Na2 乱点	中性子検出器温度記録計の打点Na2 (起動系Ch-2) の温度指示が乱点している。	記録計の入力信号切り替え用セレクトスイッチの接触不良であったことが判明した。	セレクトスイッチの接点部の清掃及びブラシホルダの交換を行い、良好となった。
②	Na61-112 中性子検出器温度記録計打点Na2 乱点	中性子検出器温度記録計の打点Na2 (起動系Ch-2) の温度指示が乱点している。	記録計のセレクトスイッチの接点部が摩耗し、接触不良を起こしていた。また、記録計の打点機構・ギャ及び軸受に摩耗がみられ、修理は不可能と判断した。	記録計 1台を更新した。
③	Na61-149 手動スクラムリセット時ペリオド短スクラム発生	試験のため作動させた手動スクラムをリセットするため、リセットボタンを押したところCh-2ペリオド短スクラムが発報した。	—	昭和58年度Na58-311に同じ

Table 3.2 Number of Failures

年 度	5 2	5 3	5 4	5 5	5 6	5 7	5 8	5 9	6 0	6 1
故障件数	5	2	6	4	3	6	5	9	1	3

Table 3.3 Number of Adjustment of Alarm Setpoints

モニター年度		56	57	58	59	60	61	62	備考
起 動 系	Ch-1	2	2	1	1	12	10	14	調整項目 ・中性子束高 上限アラーム ・中性子束高 上限スクラム ・ベリド短アラーム ・ベリド短スクラム
	Ch-2	2	3	0	5	12	14	11	
中 間 出 力 系	Ch-3	5	2	0	3	17	17	6	調整項目 ・中性子束高 上限アラーム ・中性子束高 上限スクラム ・ベリド短アラーム ・ベリド短スクラム
	Ch-4	4	1	5	1	7	12	9	
	Ch-5	3	1	2	7	15	7	15	
線 形 出 力 系	Ch-6	0	0	0	0	0	0	0	調整項目 ・中性子束高 上限アラーム ・中性子束高 上限スクラム
	Ch-7	1	1	2	0	0	0	0	
	Ch-8	0	1	0	2	0	0	0	

Table 3.4 Results of Testings for Noise Problems in NIS

No.	試験・検査項目	対象機器・回路	内 容 ・ 結 果	交換部品等
1	・ AC100V電源の検査	—	電源電圧の変動、交流波形の歪みがみられた。このため、ACラインコンディショナを使用して電源電圧の変動を抑え、整形されたクリアな波形にしたが、ノイズ防止に対する効果はみられなかった。	なし
2	・ 出力電圧検査 ・ 安定度試験 ・ リップル含有率検査 ・ 高調波含有率検査	・ 20V電源ユニット ・ 15V " ・ 750V "	各試験検査項目とも全て規格を満足しており、特に問題となった箇所はなかった。	なし
3	・ 絶縁耐電圧検査 ・ 絶縁抵抗検査 ・ 静電容量検査 ・ 分解能検査	・ 前置増幅器 ・ 同軸ケーブル (信号, LV, HV)	各試験検査項目とも全て規格を満足しており、特に問題となった箇所はなかった。	なし
4	・ 導通作動試験 ・ 応答速度試験	・ リレー, スイッチ, 部品 ・ 各回路	リレー, スイッチの導通・作動試験, ダイオードの導通試験及び回路の入出力応答速度試験を実施した。この結果, ノイズの発生原因と考えられる異常はみられなかった。	電解コンデンサを 全数交換した。
5	・ 波高弁別特性試験	・ 波高弁別回路 (起動系モニタ)	波高弁別特性は良好であり, 作動状態等に何ら異常はみられなかった。	なし
6	・ 絶縁抵抗検査 ・ 静電容量検査 ・ リーク電流検査	・ 中性子検出器 ・ 同軸ケーブル(検出器側)	測定値は全て規格を満足しており, 検出器の異常・絶縁劣化を示すデータは発見されなかった。	なし

Table 4. 1 Comparison of Characteristics of Signal Cables

	ケーブル型式	インピーダンス	減衰量 (10MHz)
旧ケーブル	RG-6A/U	75±3 (Ω)	28 (dB/km) 以下
新ケーブル	SPRG-59B/U-1	75±3 (Ω)	63.7 (dB/km) 以下

Table 5.1 Combinations of Monitors and Cables for Testings of Oscillation Problems

		ケーブル	
		旧	新
モニタ (Ch-8)	旧	①	
	新	②	③

Table 5.2 Result of Testing of Oscillation of Amplifiers of Range 6 and 7

	Ch-6	Ch-7	Ch-8	Ch-8とCh-7の モニタを入れ替える
発振の有無	発振あり	発振あり	発振なし	発振あり (Ch-7, 8とも)

Table 5.3 Parameters of R_i s, C_i s in Model Circuit

測定レンジ	入力電流 i	抵抗 R_i	コンデンサ C_i	抵抗 R_i	コンデンサ C_i
6 (0~35%)	1×10^{-5} (A)	560 (k Ω)	0.01 (μ F)	1×10^5 (Ω)	5000 (pF)
7 (0~125%)	1×10^{-5} (A)	200 (k Ω)	0.01 (μ F)		

Table 5.4 Comparison of IRM Gain in Channels

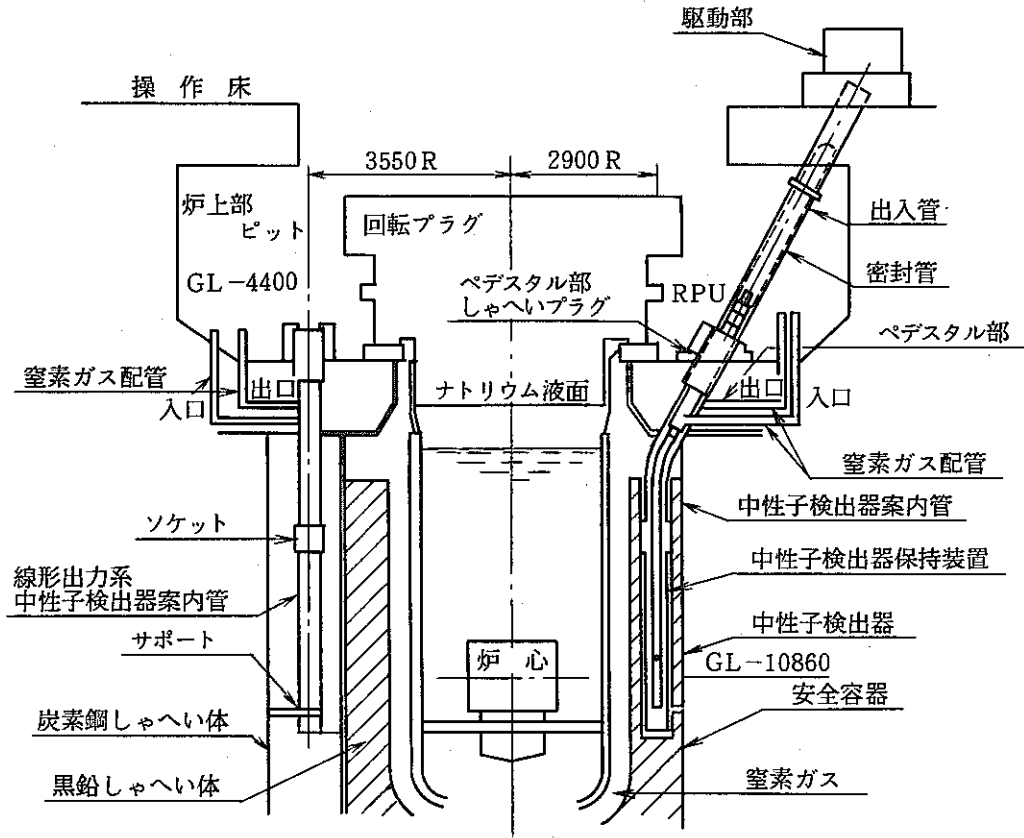
モニタ	Ch-3	Ch-4	Ch-5
利得差 (倍)	1.000	1.072	1.041

※Ch-3を基準とした比較

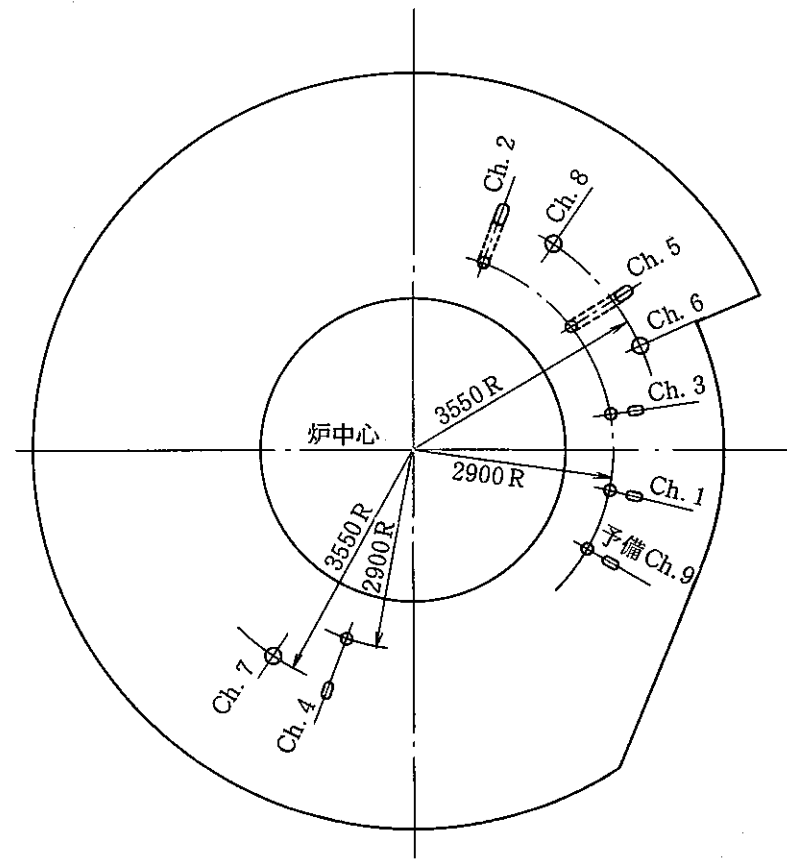
Table 10.1 Drift of PRM Gain through Reactor Operations

(近似式; $Y=A * X+B$)

No.	運転サイクル	測定日	CH-6		CH-7		CH-8	
			$A \times 10^6$	B	$A \times 10^6$	B	$A \times 10^6$	B
1	75MW 第6Cycle	S. 58. 5. 28	0. 352	-	0. 392	-	0. 312	-
2	100MW 第1Cycle	9. 29	0. 317	-	0. 341	-	0. 278	-
3	" 2 "	S. 59. 3. 30	0. 3201	-0. 01236	0. 3720	-0. 04270	0. 2881	-0. 1233
4	" 3 "	4. 20	0. 3199	-0. 01946	0. 3723	-0. 08918	0. 2883	-0. 1268
5	" 3 "	5. 14	0. 3261	-0. 02673	0. 3638	-0. 00815	0. 2981	-0. 1385
6	" 3 "	6. 19	0. 3273	-0. 02438	0. 3623	-0. 1189	0. 2976	-0. 1088
7	" 4 "	8. 23	0. 3114	0. 02991	0. 3368	-0. 1003	0. 2732	-0. 1161
8	" 5 "	10. 25	0. 3130	0. 04496	0. 3214	-0. 06654	0. 2766	-0. 06189
9	" 5 "	11. 21	0. 3131	0. 03780	0. 3214	-0. 06579	0. 2767	-0. 02753
10	" 6 "	S. 60. 1. 23	0. 3110	0. 02347	0. 3194	-0. 01519	0. 2610	-0. 08567
11	" 7 "	2. 25	0. 3044	0. 02625	0. 3159	0. 02000	0. 2605	-0. 02191
12	" 7 "	4. 22	0. 3164	0. 04157	0. 3215	0. 1205	0. 2726	-0. 05138
13	" 7 "	6. 24	0. 3176	-0. 01016	0. 3287	-0. 2197	0. 2728	-0. 09048
14	" 8 "	S. 61. 1. 21	0. 3018	-0. 00835	0. 3134	0. 1265	0. 2517	-0. 05051
15	" 9 "	2. 25	0. 3054	-0. 01916	0. 3176	0. 1518	0. 2530	-0. 06962
16	" 9 "	4. 21	0. 3076	-0. 02058	0. 3078	0. 4795	0. 2549	-0. 08909
17	" 10 "	6. 25	0. 3082	-0. 01548	0. 2962	0. 1671	0. 2573	-0. 09627
18	" 11 "	8. 27	0. 3161	-0. 01432	0. 3029	0. 1870	0. 2609	-0. 09075
19	" 12 "	9. 30	0. 3179	-0. 02072	0. 2956	0. 1986	0. 2707	-0. 1141
20	" 12' "	11. 28	0. 3717	-0. 01829	0. 3379	0. 2288	0. 3160	0. 1083
21	" 12'' "	12. 8	0. 3687	-0. 01648	0. 3379	0. 2474	0. 3132	0. 1192
22	" 12''' "	S. 62. 5. 20	0. 3668	0. 01516	0. 3400	0. 2505	0. 3106	-0. 05128
23								
24								
58								
26								
27								

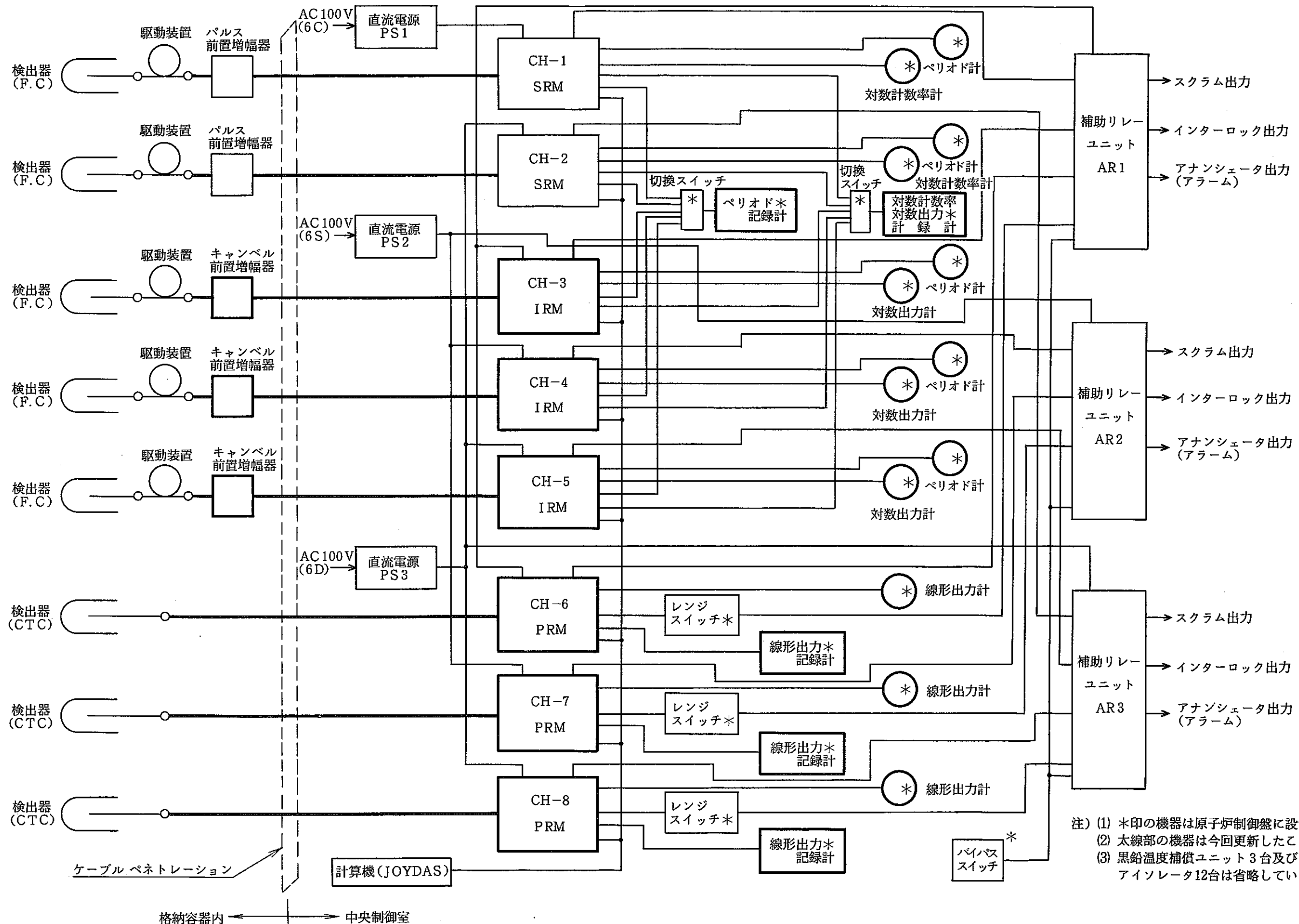


中性子検出器保持駆動装置配置図 (断面図)



中性子検出器保持駆動装置配置図 (平面図)

Fig. 2.2 Location of Neutron Detectors



注) (1) *印の機器は原子炉制御盤に設置されている。
 (2) 太線部の機器は今回更新したことを示す。
 (3) 黒鉛温度補償ユニット3台及び
 アイソレータ12台は省略している。

Fig. 2.3 Flowchart of Nuclear Instrumentation Channels

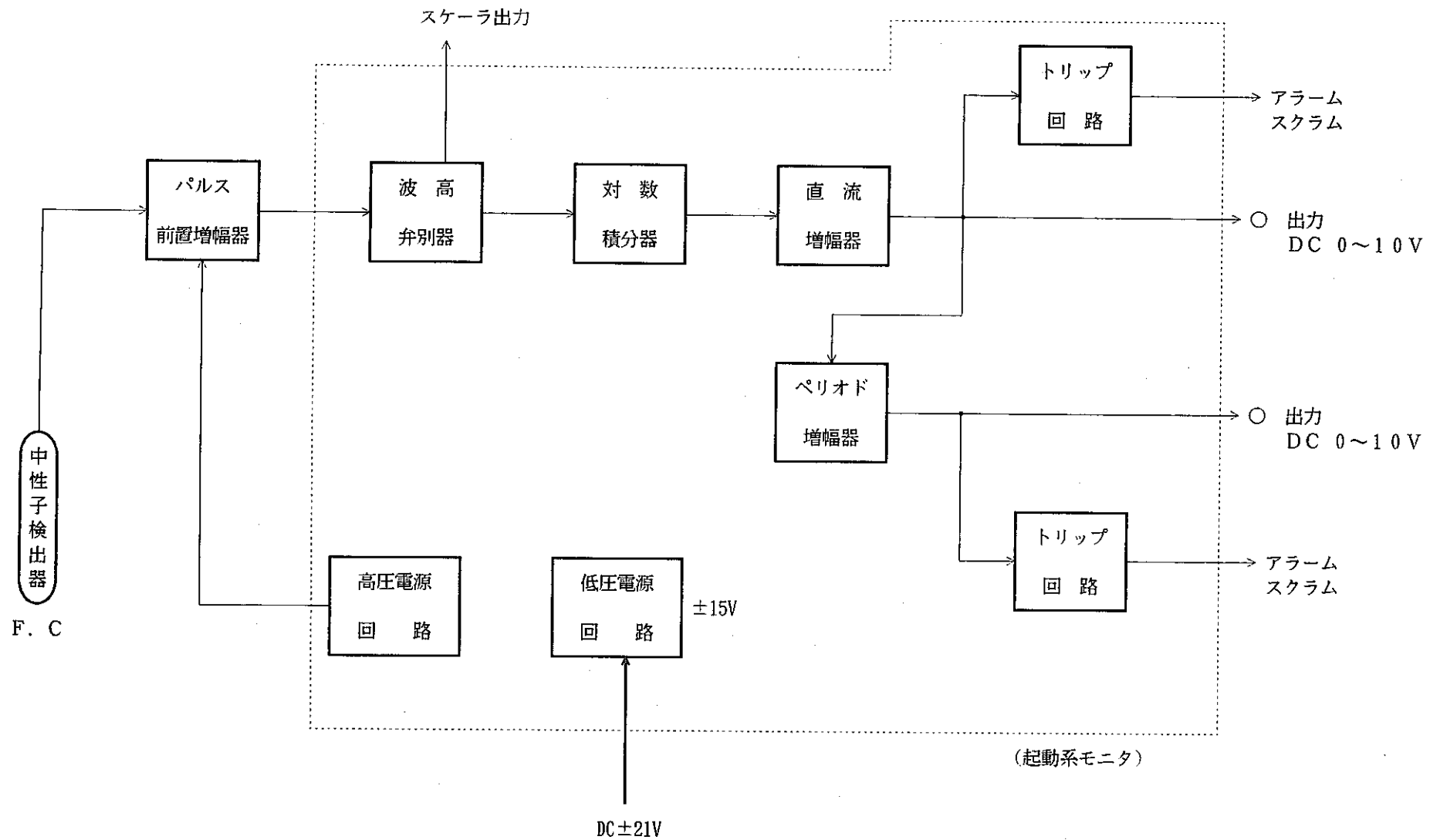


Fig. 2. 4 Measuring Circuit Blockdiagram of SRM

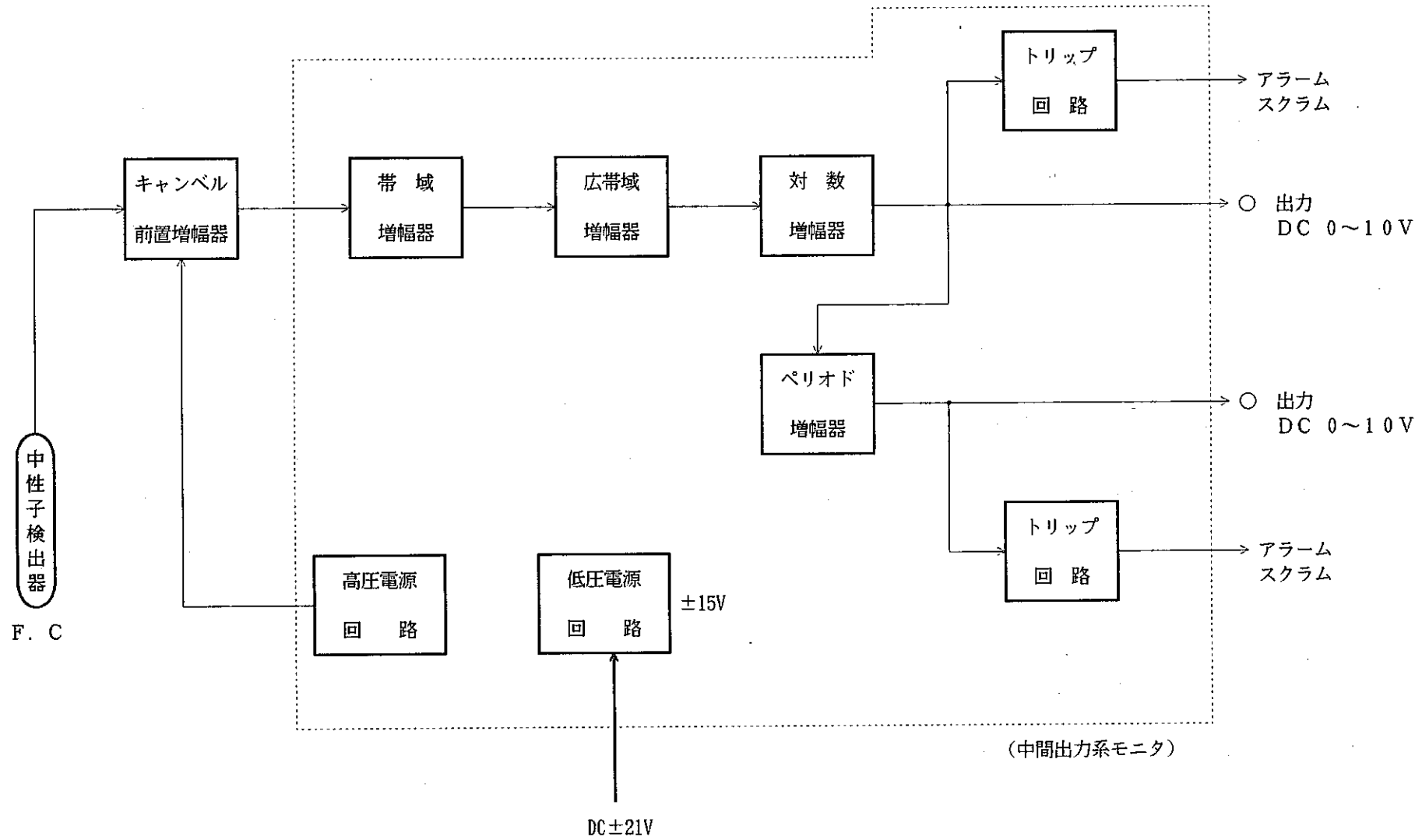


Fig. 2. 5 Measuring Circuit Blockdiagram of IRM (Before Exchanged)

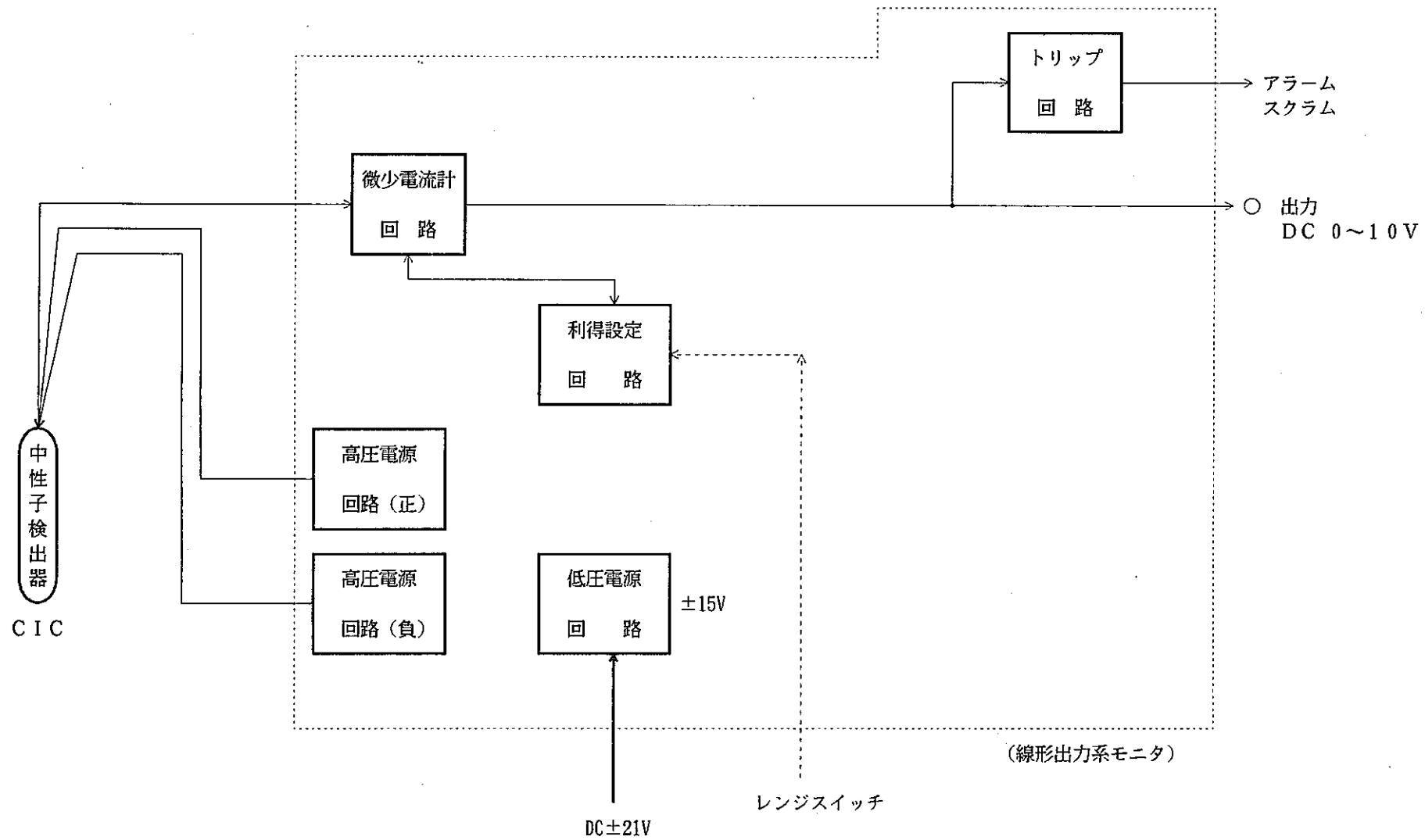
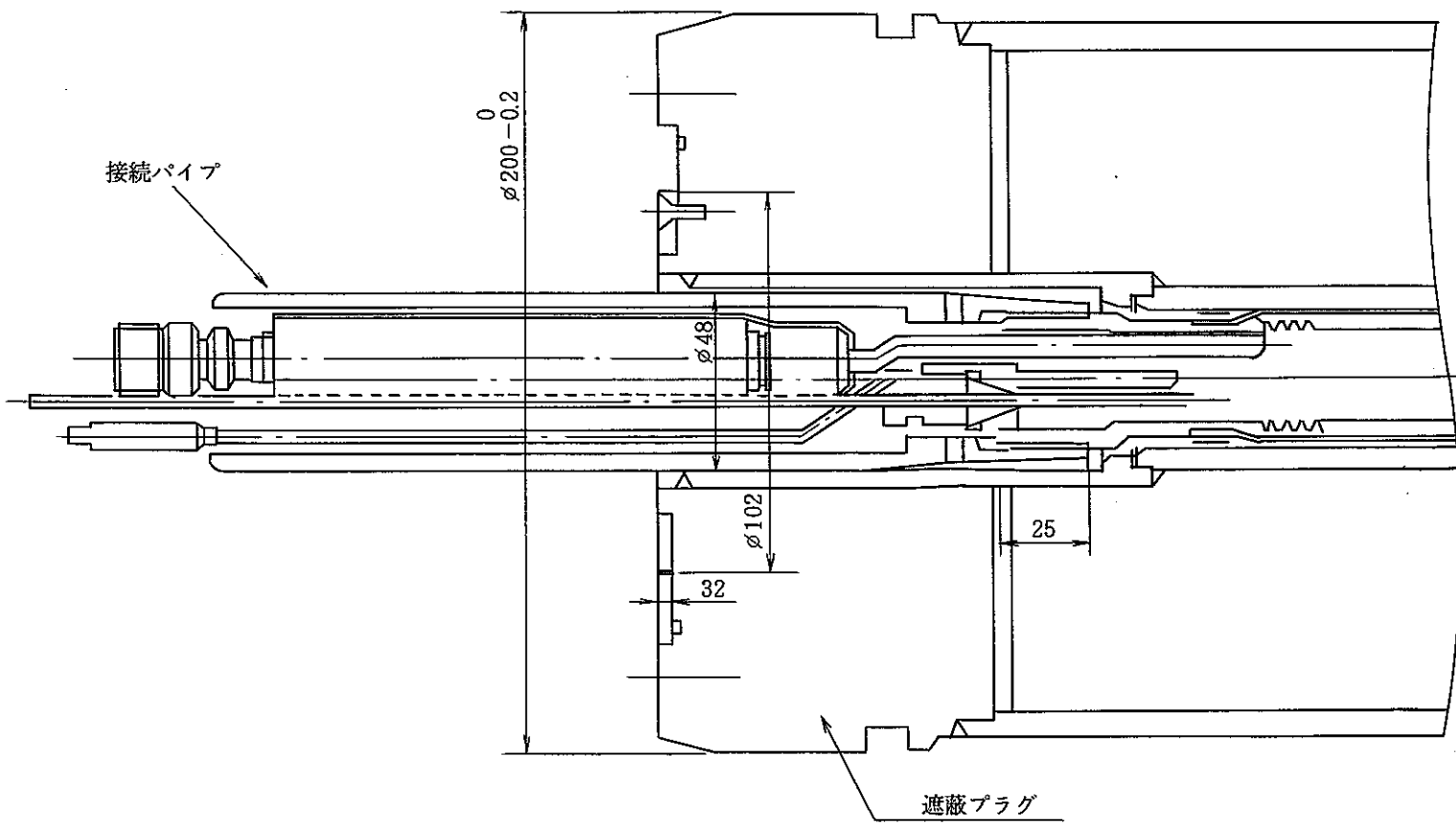
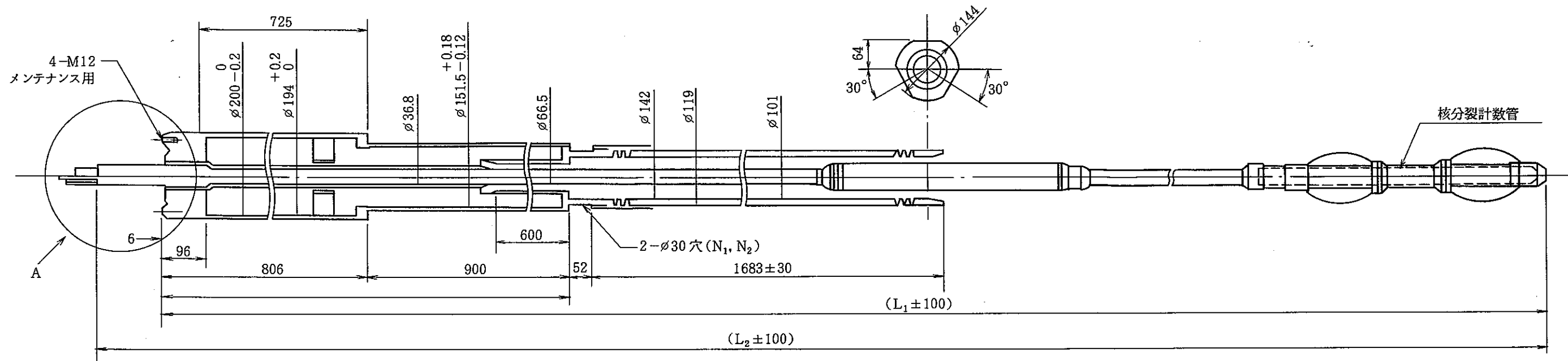


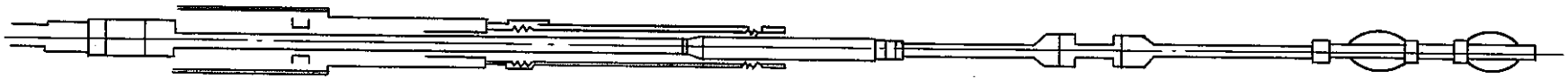
Fig. 2. 6(1) Measuring Circuit Blockdiagram of PRM



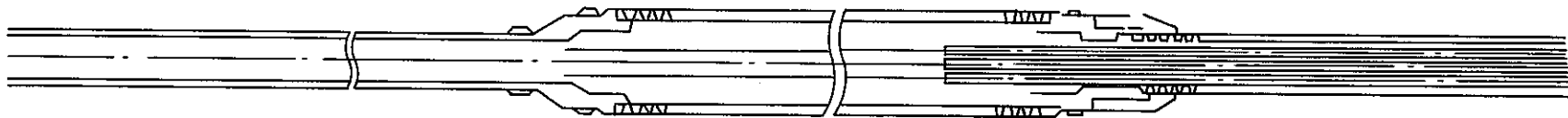
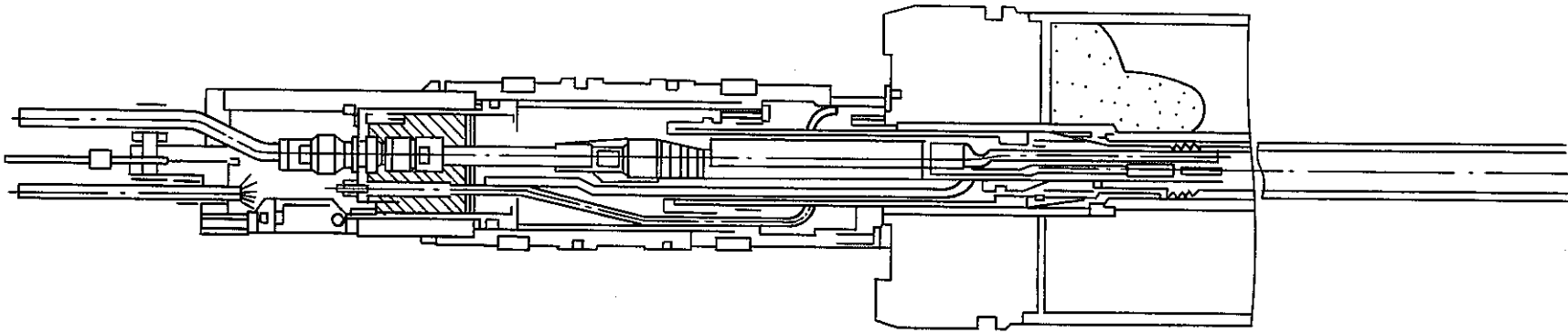
Ch No	寸法	
	L ₁	L ₂
Ch 1~4	7411	7530
Ch 5	7727	7846

A部詳細

Fig. 2.7 Structure of Neutron Detector



全体図



検出中心

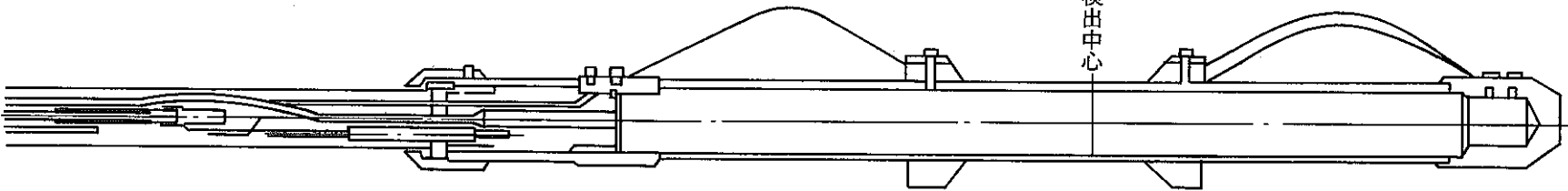


Fig. 2.8 Detail Structure of Neutron Detector

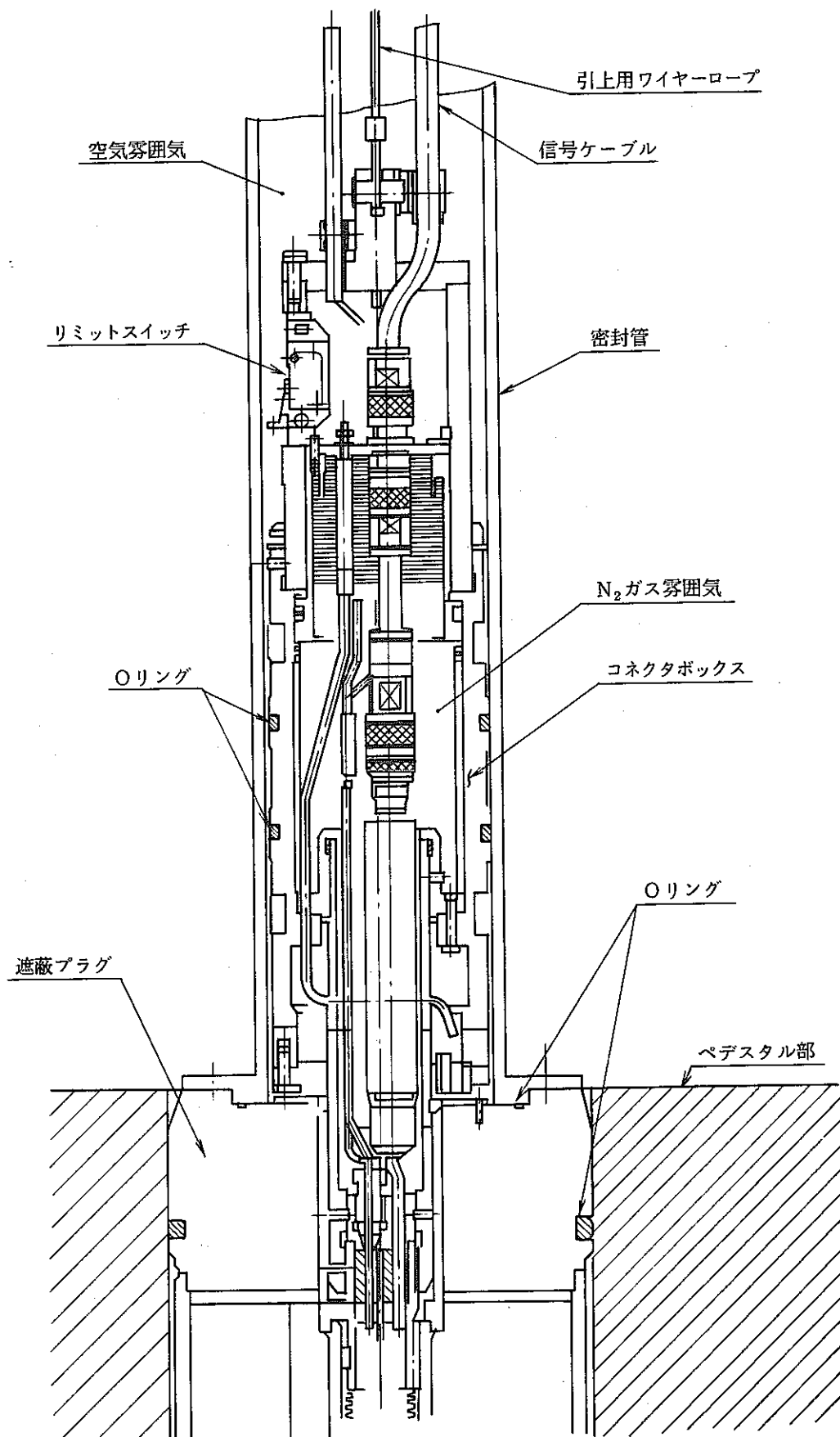


Fig. 2.9 Structure of Connector-Box

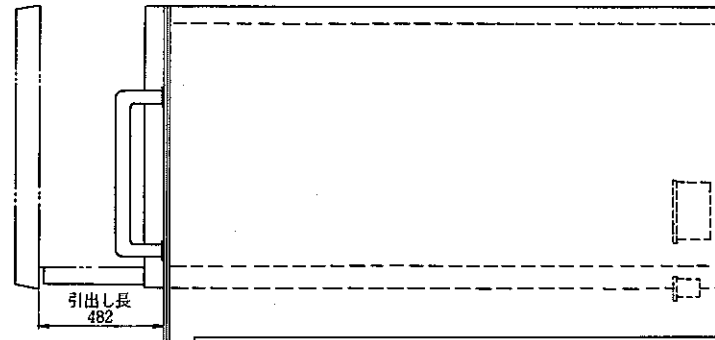
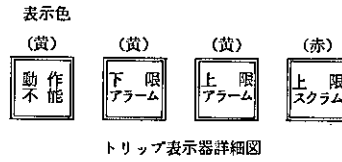
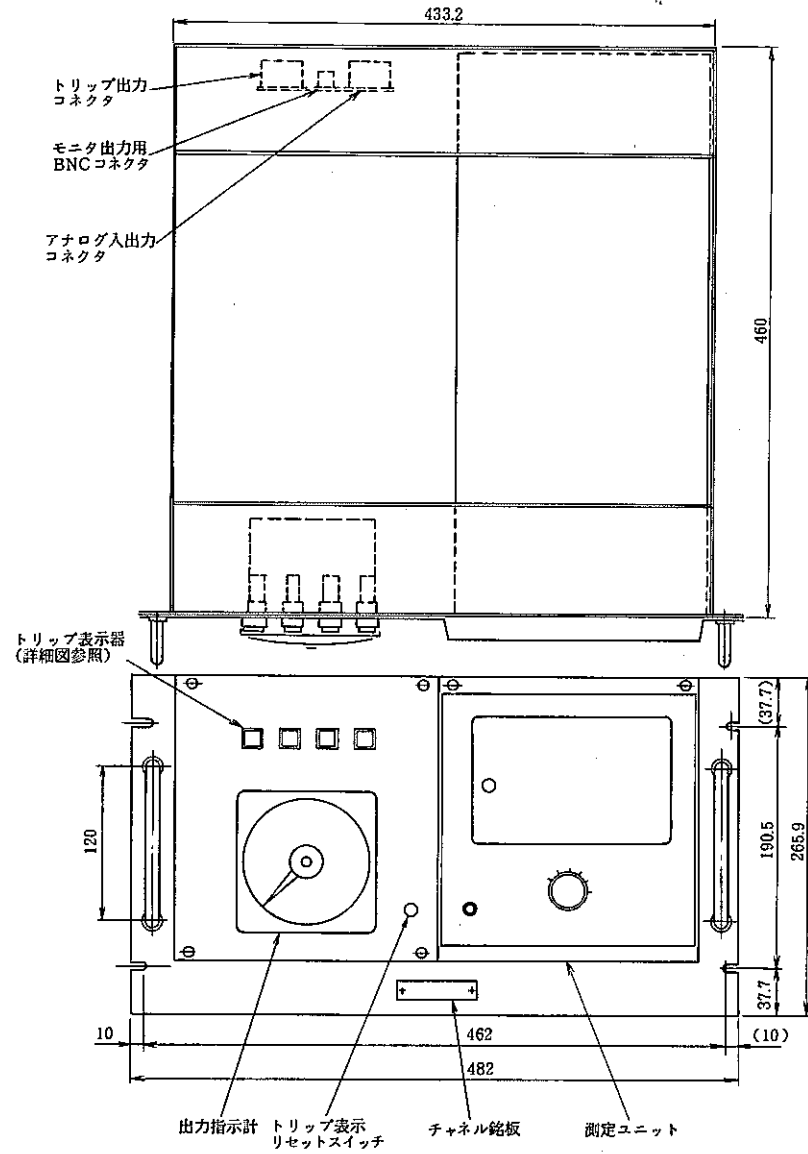


Fig. 4.1 Overview of Power Range Monitor Unit

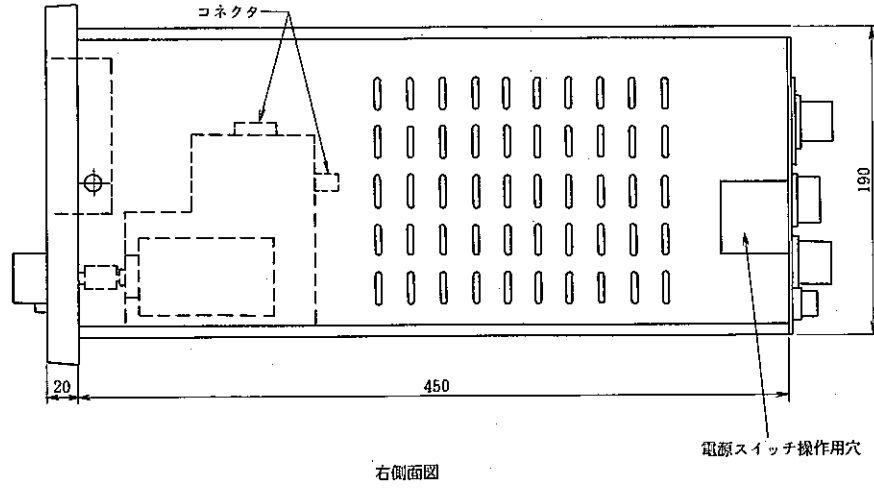
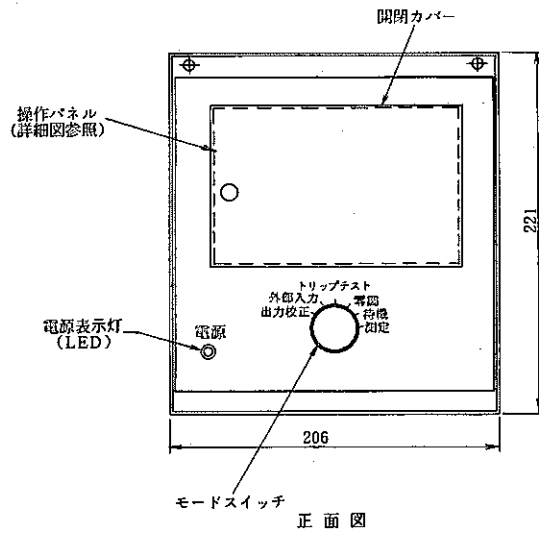
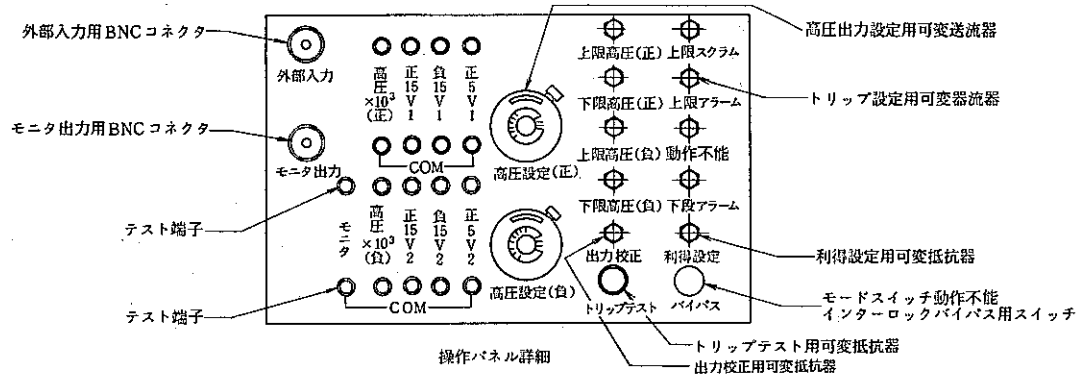
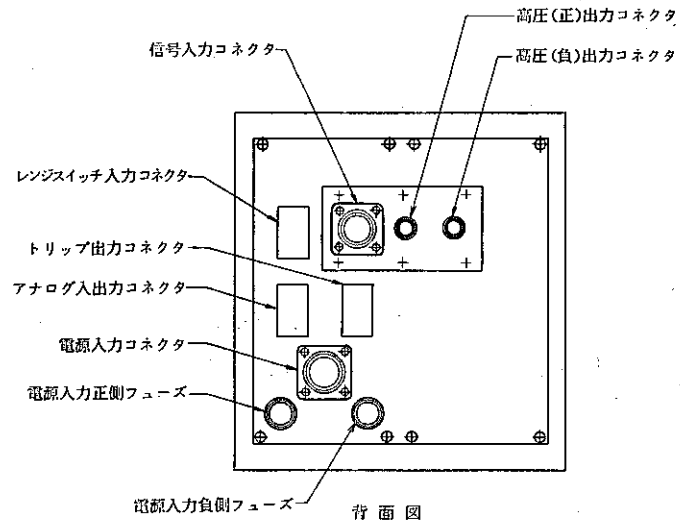


Fig. 4.2 Measuring Unit of PRM

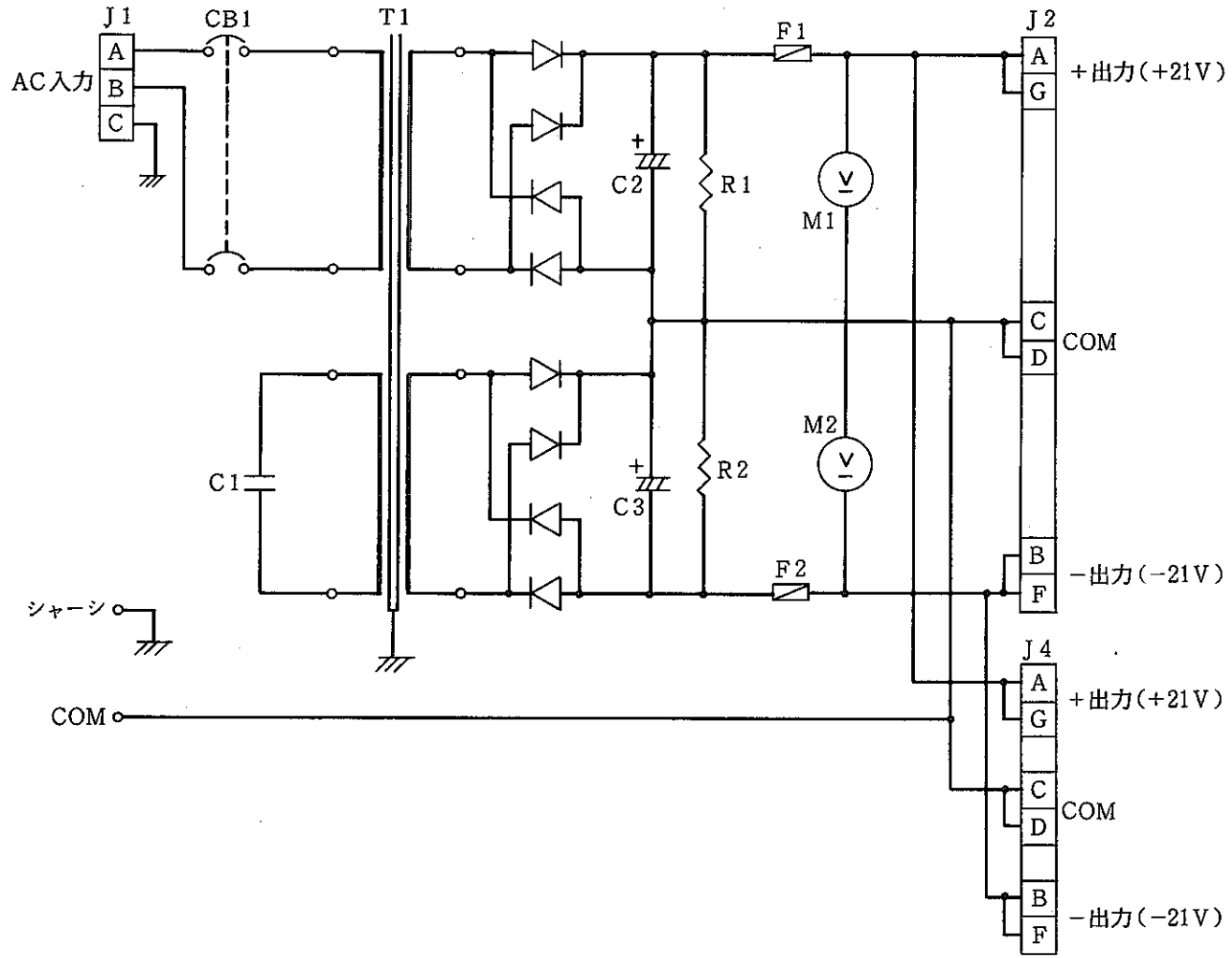
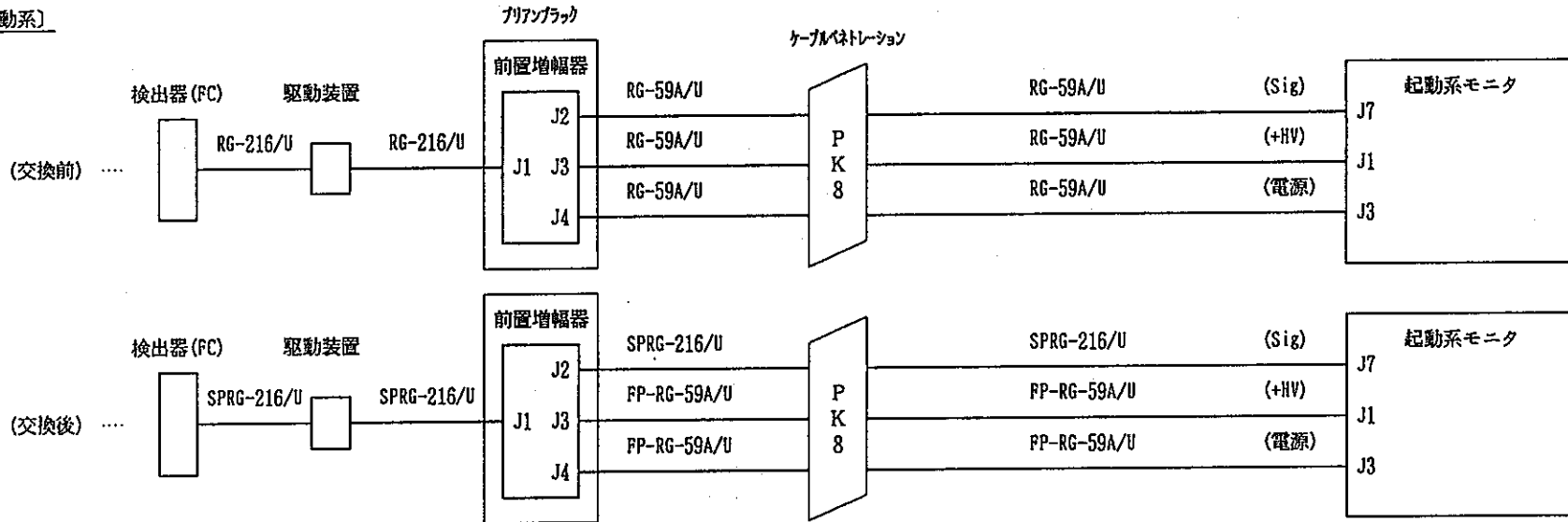


Fig. 4.3 Circuit of Power Supply Unit

〔起動系〕



〔線形出力系〕

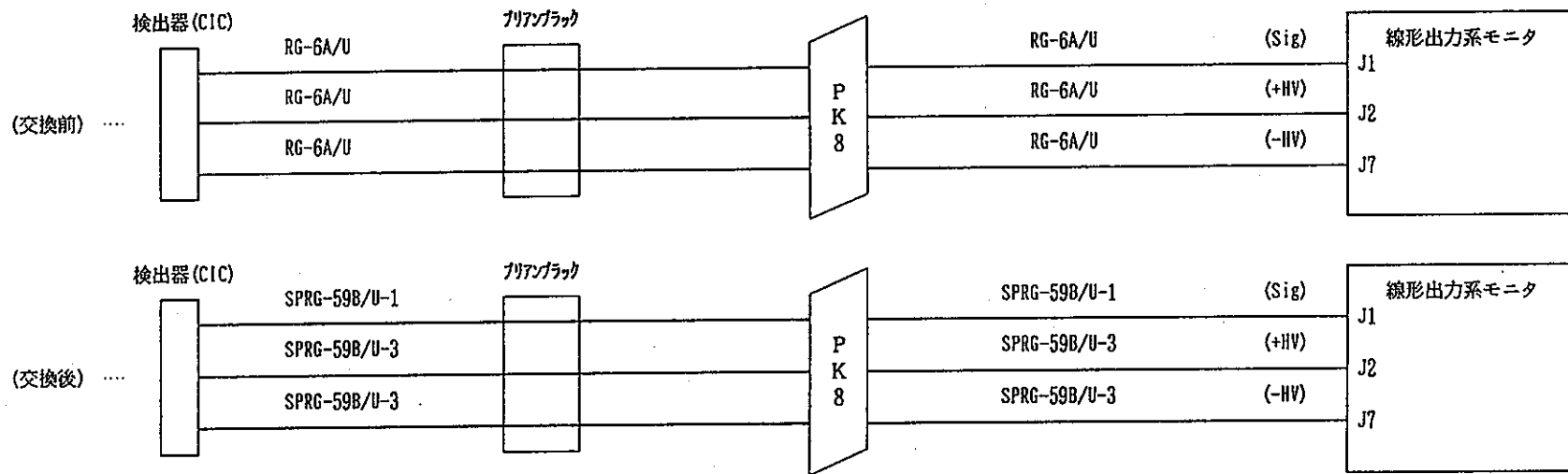


Fig. 4.4 Comparison of Cable Specification

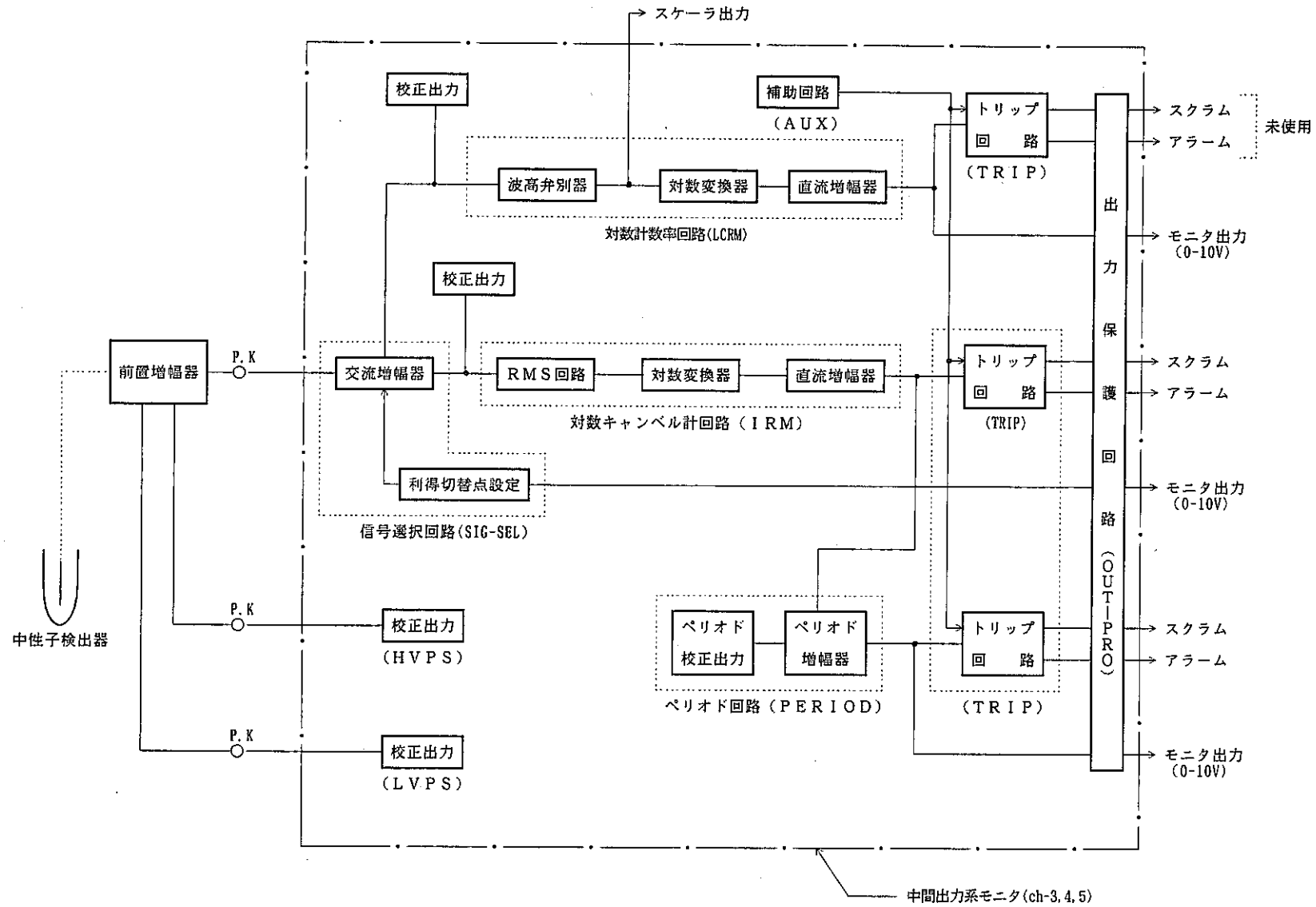
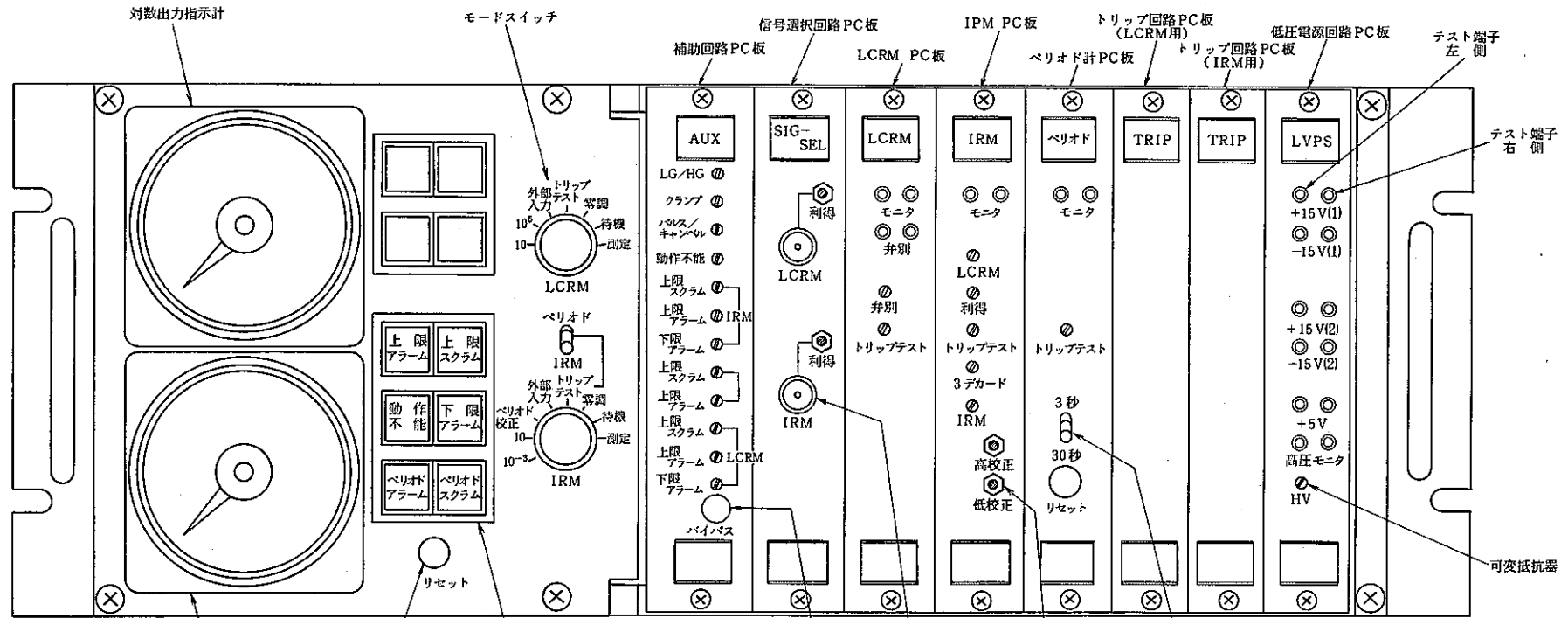


Fig. 4.5 IRM Measuring Circuit (New)



トリップ表示器

機能名称	表示色
赤	黄
上 限 スクラム	○
上 限 アラーム	○
動作不能	○
下 限 アラーム	○
上 限 スクラム	○
上 限 アラーム	○
動作不能	○
下 限 アラーム	○
ベリオドスクラム	○
ベリオドアラーム	○

Fig. 4.7 Overview of Intermediate Range Monitor Unit

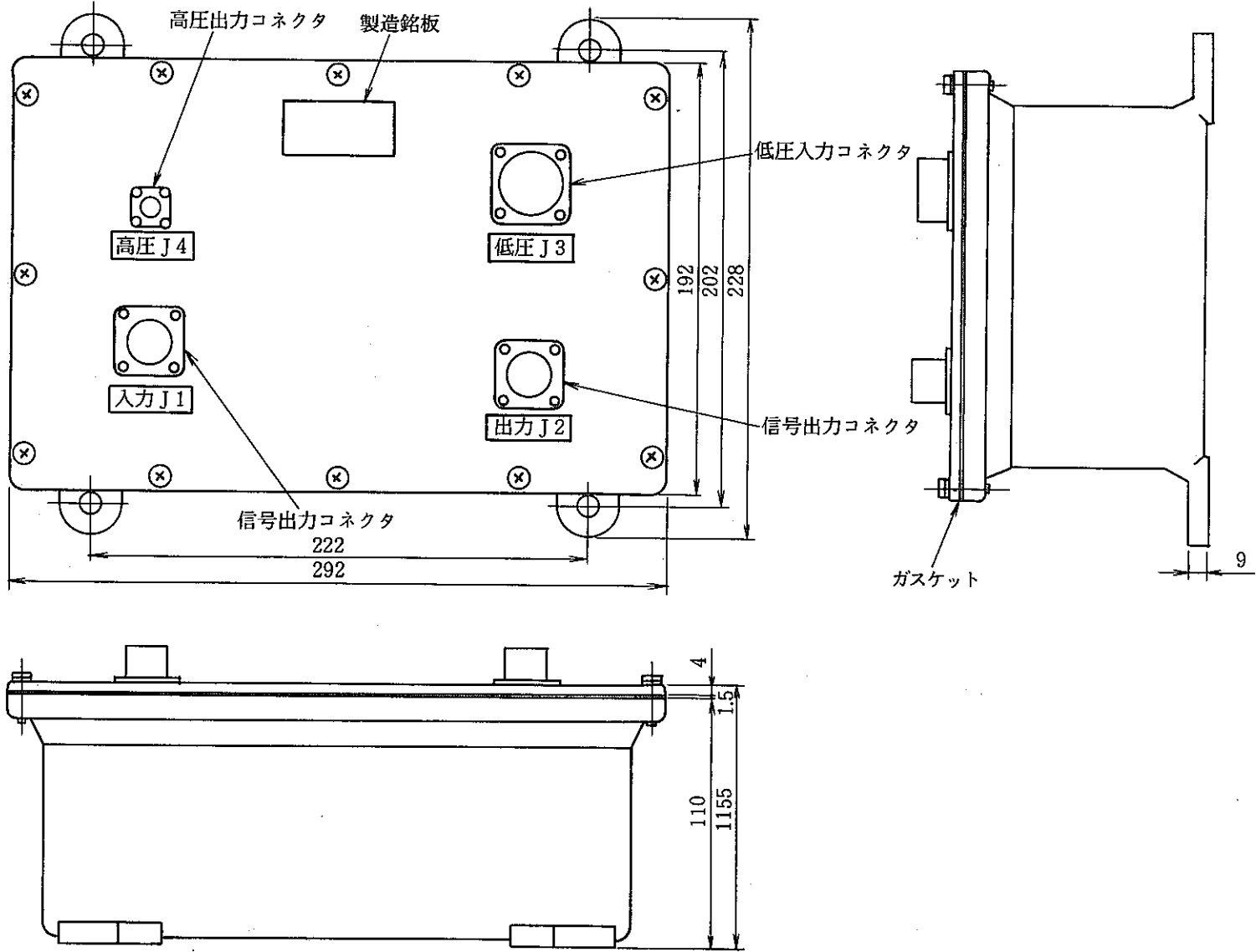
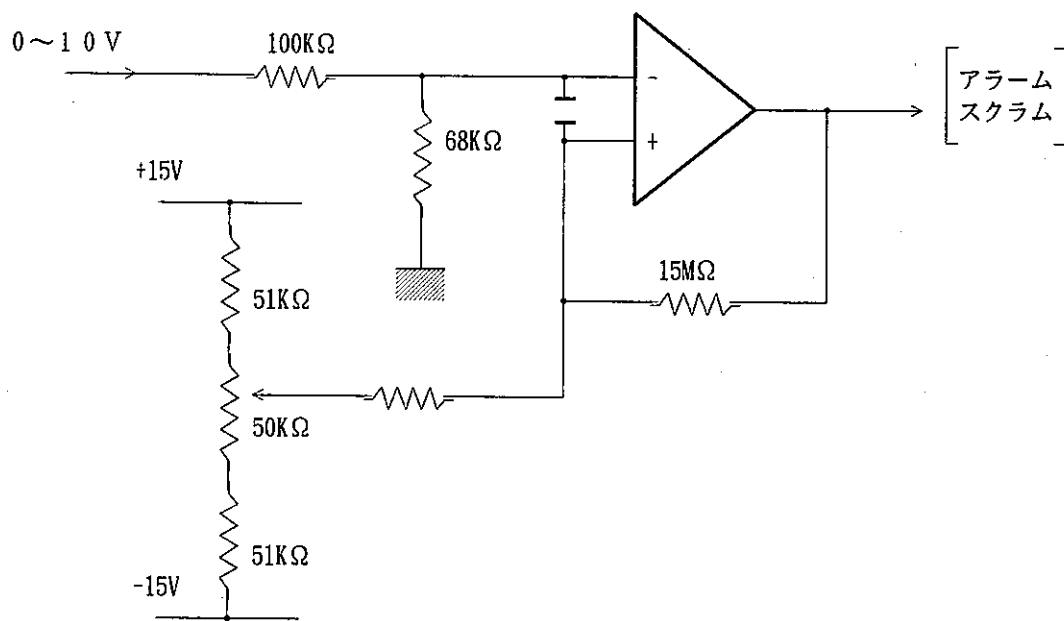
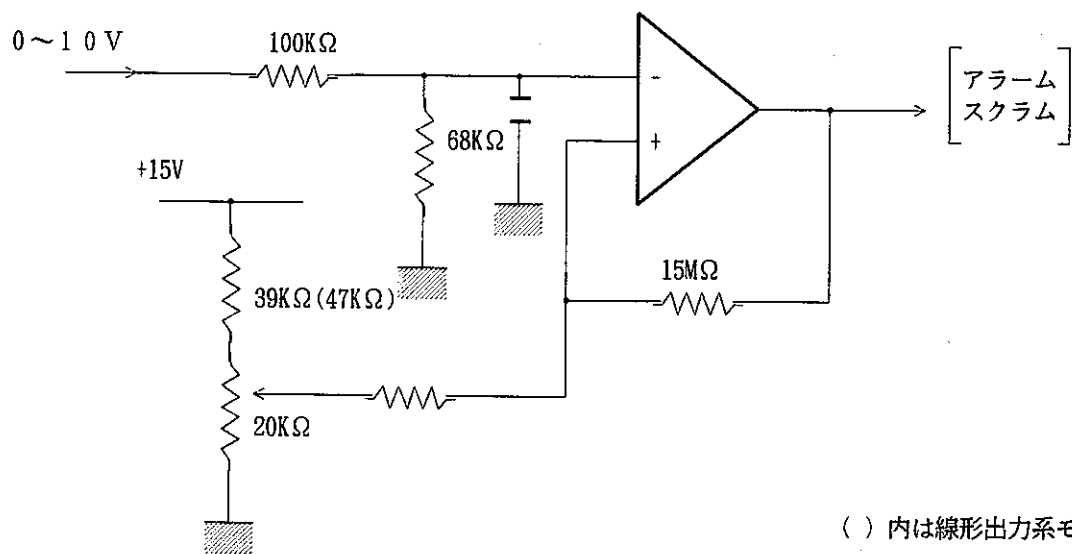


Fig. 4.8 Overview of Pre-Amplifier



比較設定回路 (更新前)



() 内は線形出力系モニタ

比較設定回路 (更新後)

Fig. 4.9 Modification of Comparator Circuit

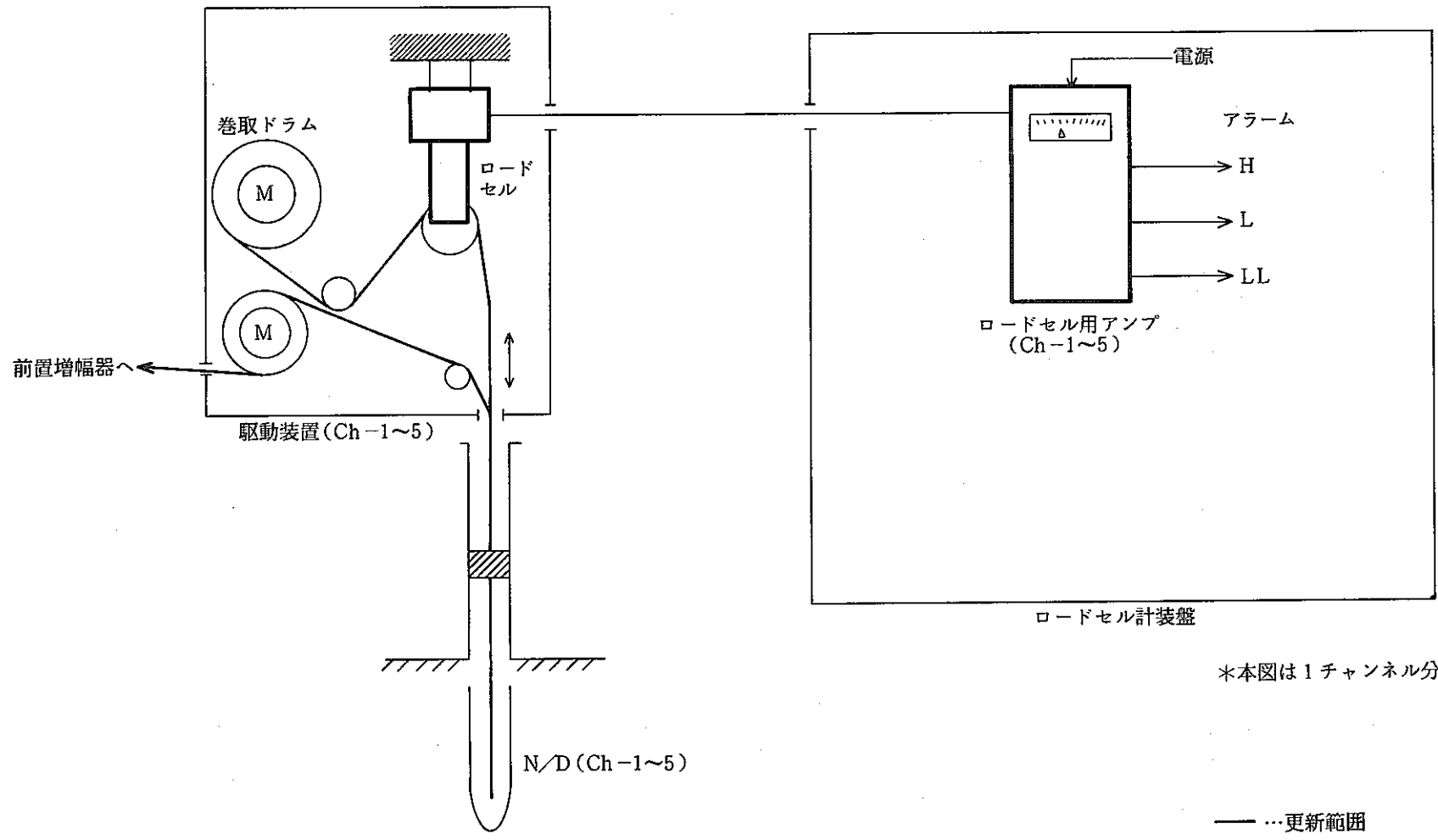
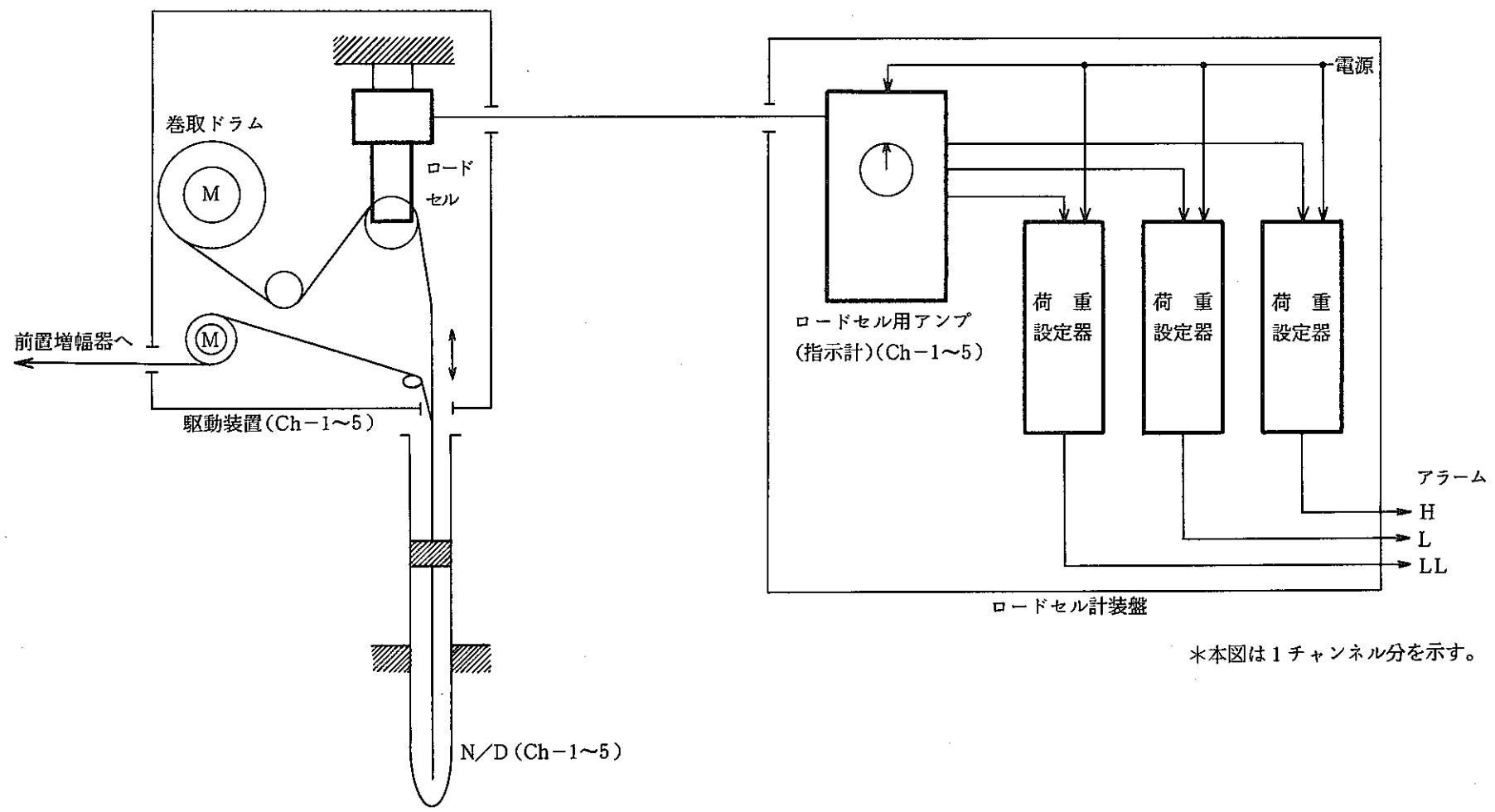


Fig. 4.10(1) Structure of Load-cell Measuring System (After Replace)



*本図は1チャンネル分を示す。

Fig. 4.10(2) Structure of Load-cell Measuring System (Before Replace)

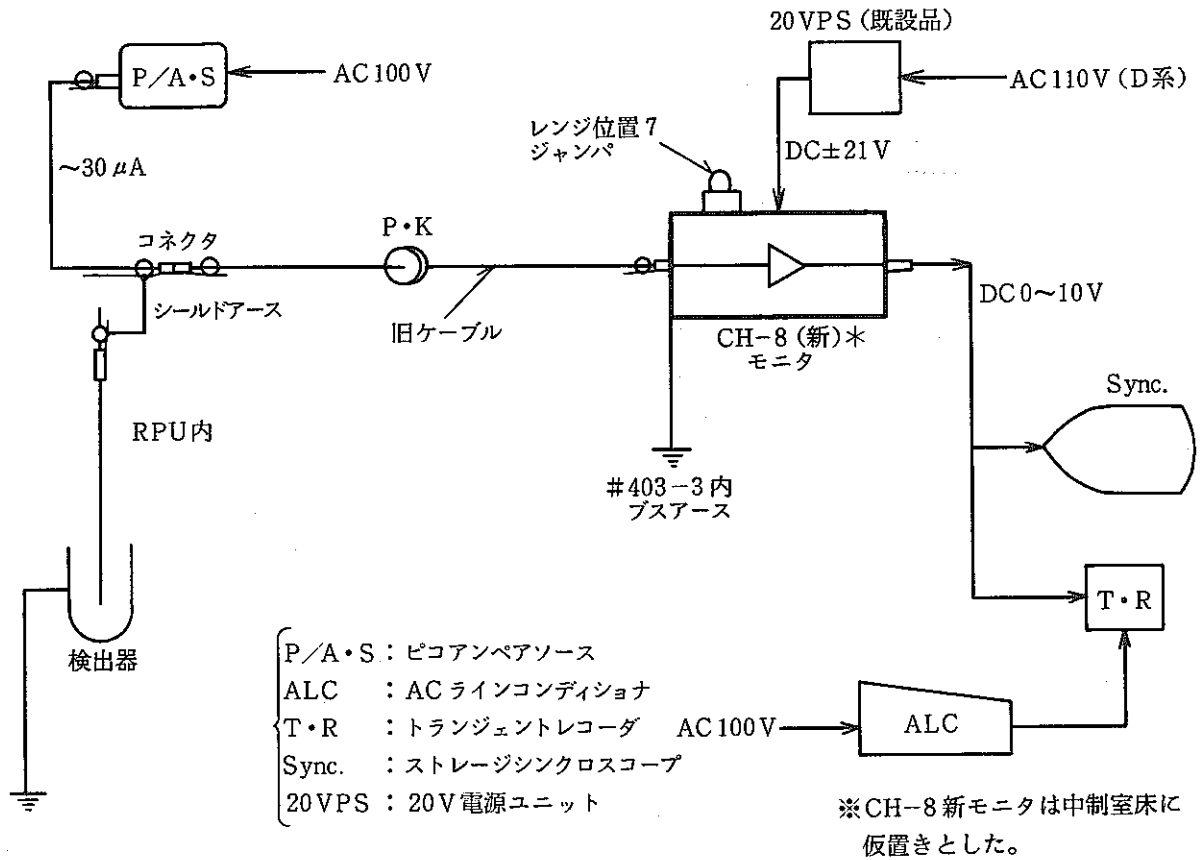


Fig. 5.1 Testing Circuit of PRM

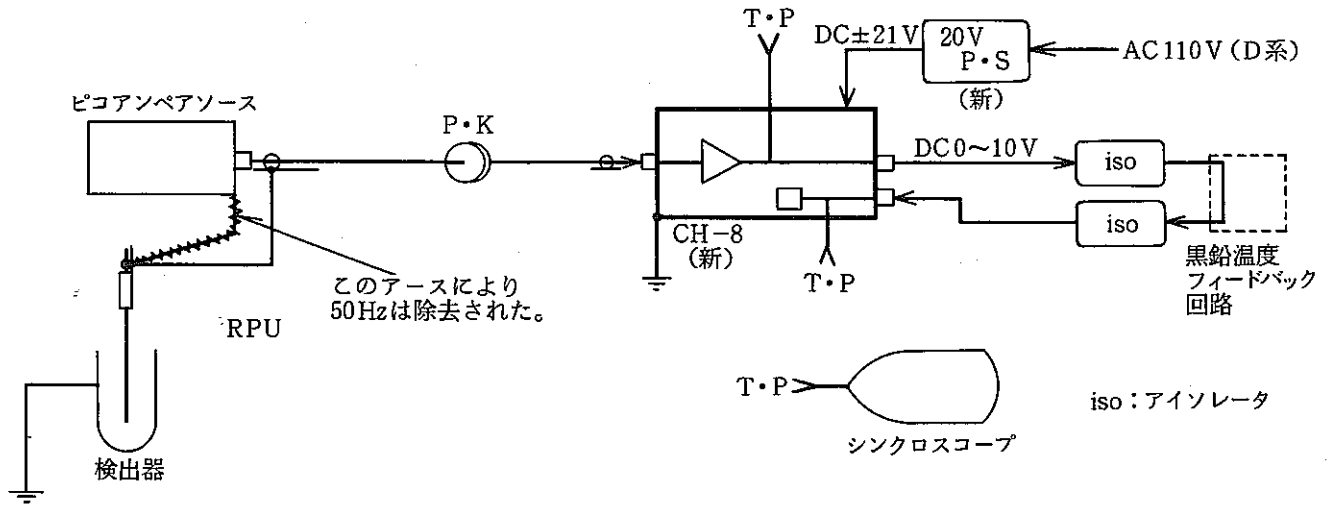


Fig.5.2 Countermeasure for signal Oscillation of PRM Output

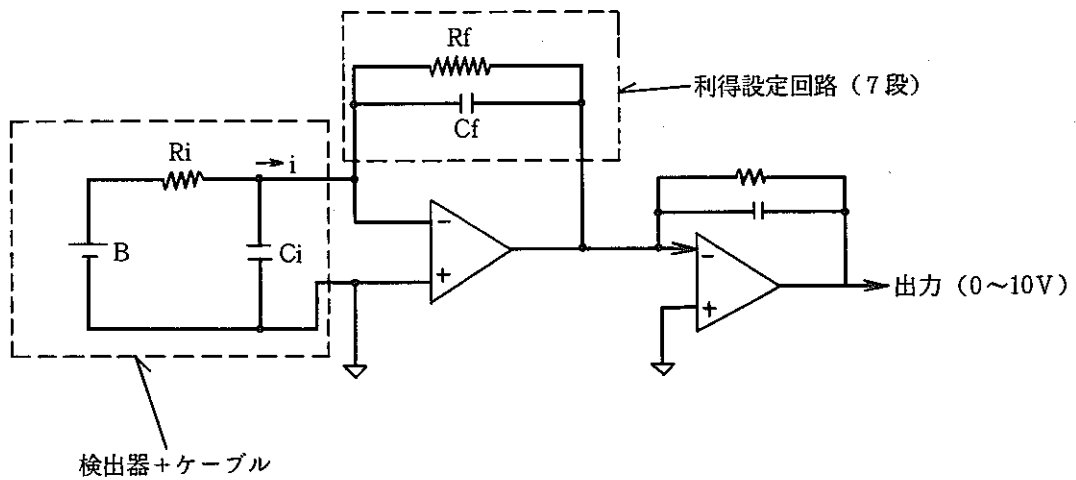
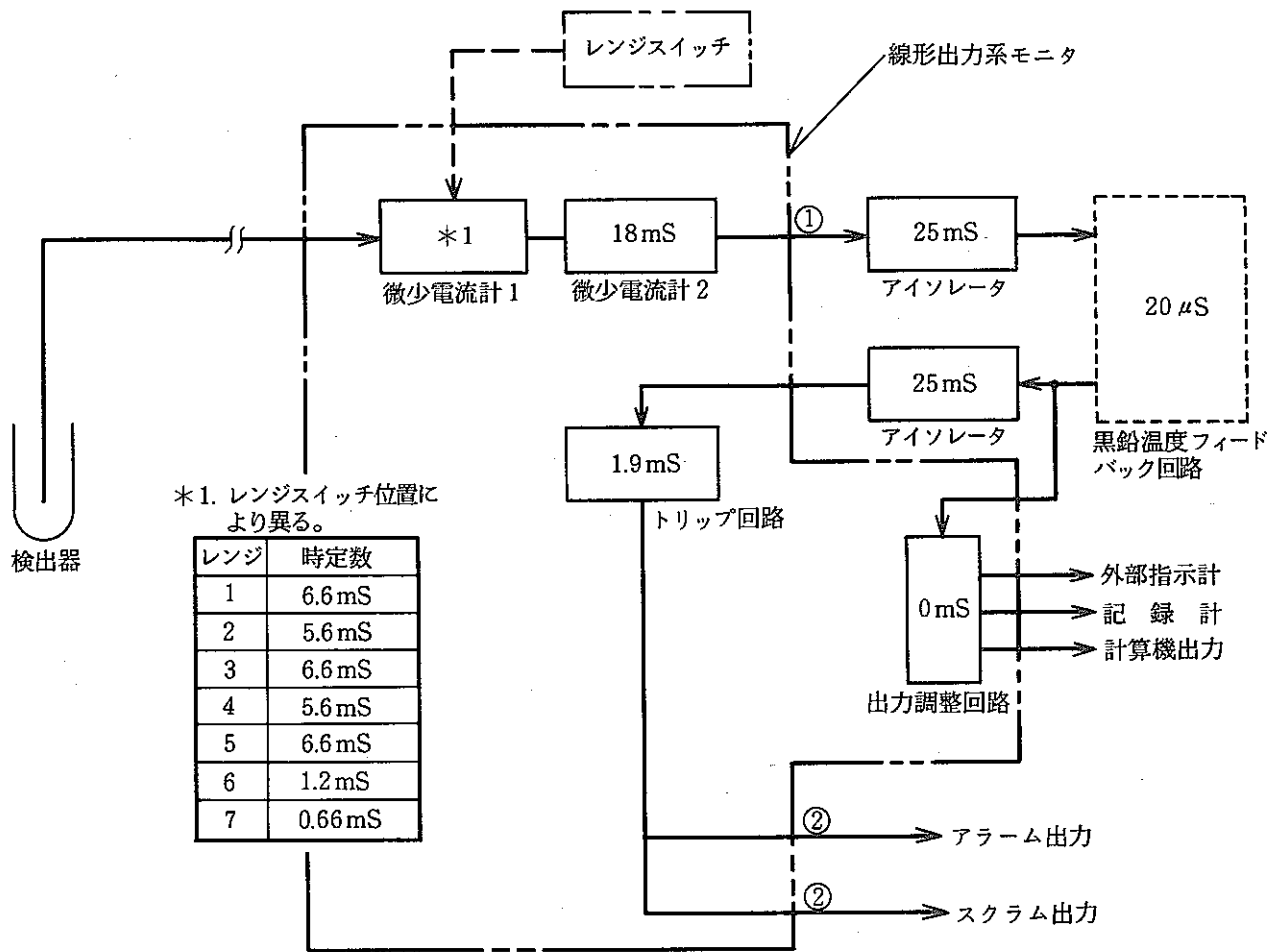


Fig.5.3 Model Circuit of CR Oscillation



線形出力系モニタの時定数 (実測値)

レンジ	モニタ	時定数		レンジ	モニタ	時定数	
		モニタ単体① 実測値 (ms)	全体実測値② (ms)			モニタ単体① 実測値 (ms)	全体実測値② (ms)
1	6	29.2	70.0	2	6	26.8	71.0
	7	26.4	66.0		7	26.0	69.0
	8	24.8	64.0		8	22.4	62.0
3	6	29.6	73.0	4	6	26.8	70.0
	7	26.0	68.0		7	24.8	66.0
	8	24.4	65.0		8	22.4	62.0
5	6	29.2	70.0	6	6	22.0	70.0
	7	26.4	66.0		7	20.4	65.0
	8	23.6	66.0		8	18.4	64.0
7	6	24.0	69.0				
	7	20.8	68.0				
	8	18.4	62.0				

Fig. 5.4 Time constant of Circuit in PRM

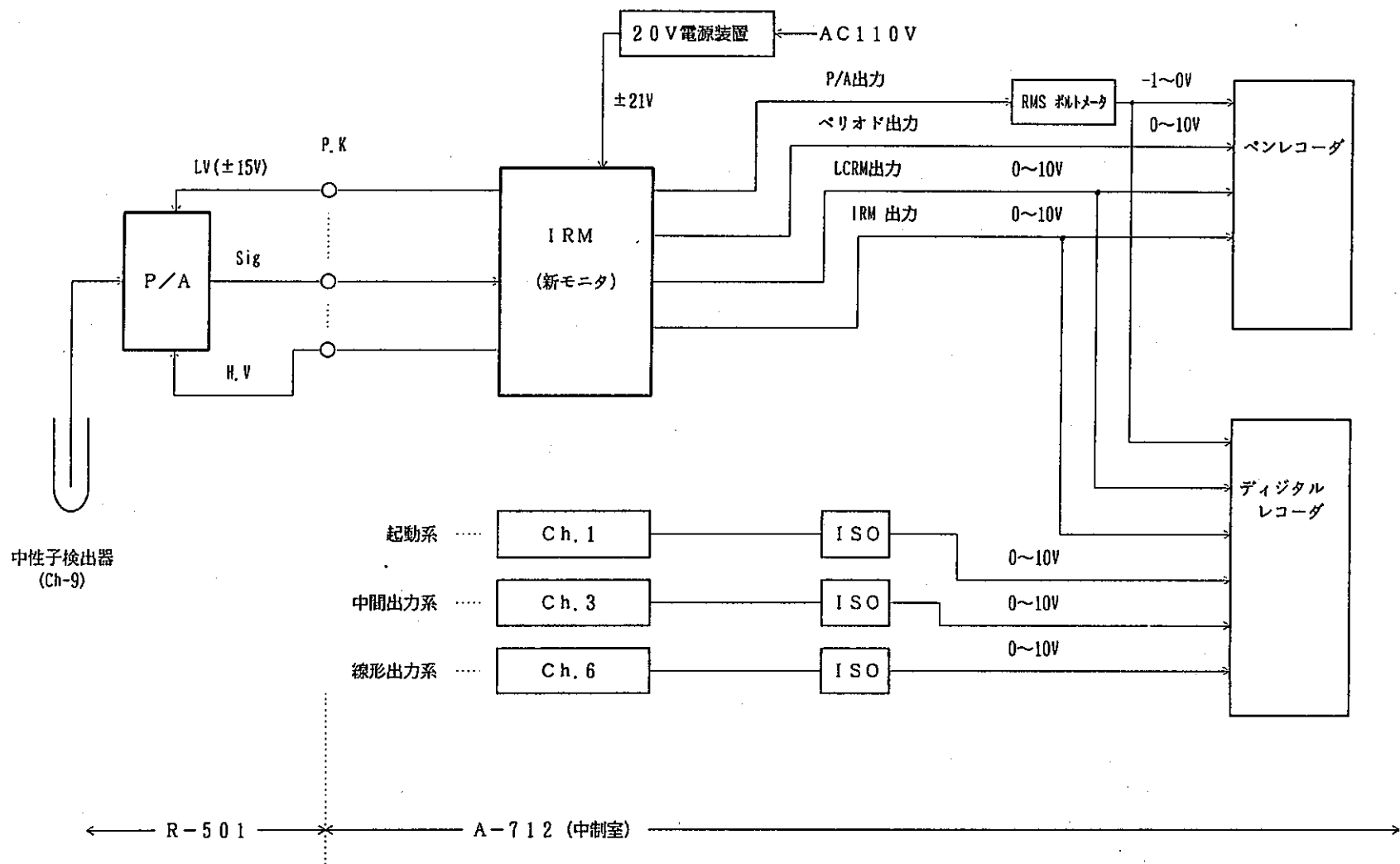


Fig. 5.5 Blockdiagram of Performance of IRM (New)

ISO:アイソレータ
P/A:前置増幅器

Fig. 5.5 Blockdiagram of Performance of IRM (New)

DATE = S. 63 / 6 / 23

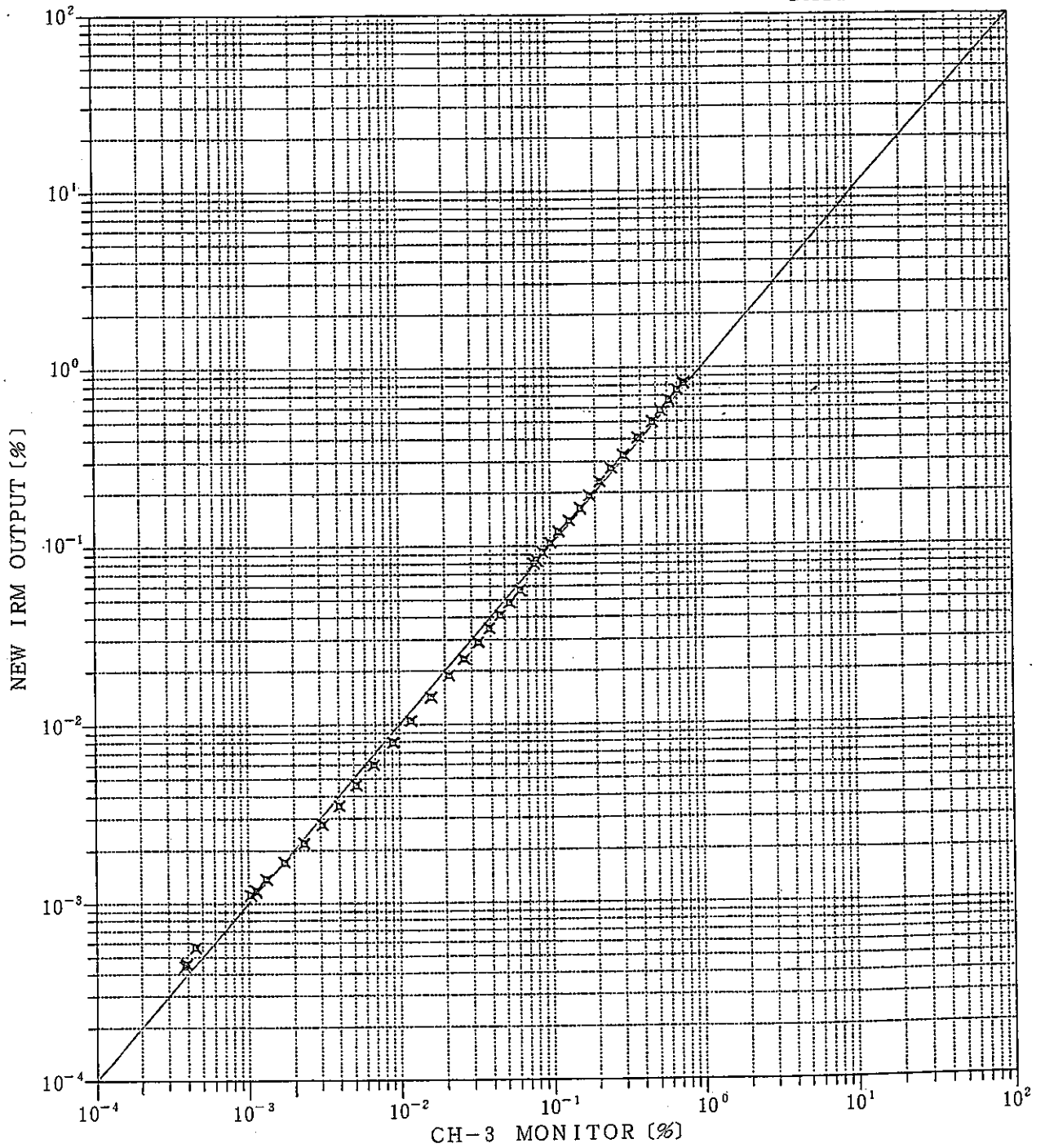


Fig. 5.6 Characteristics of New IRM (start up to 1MW)

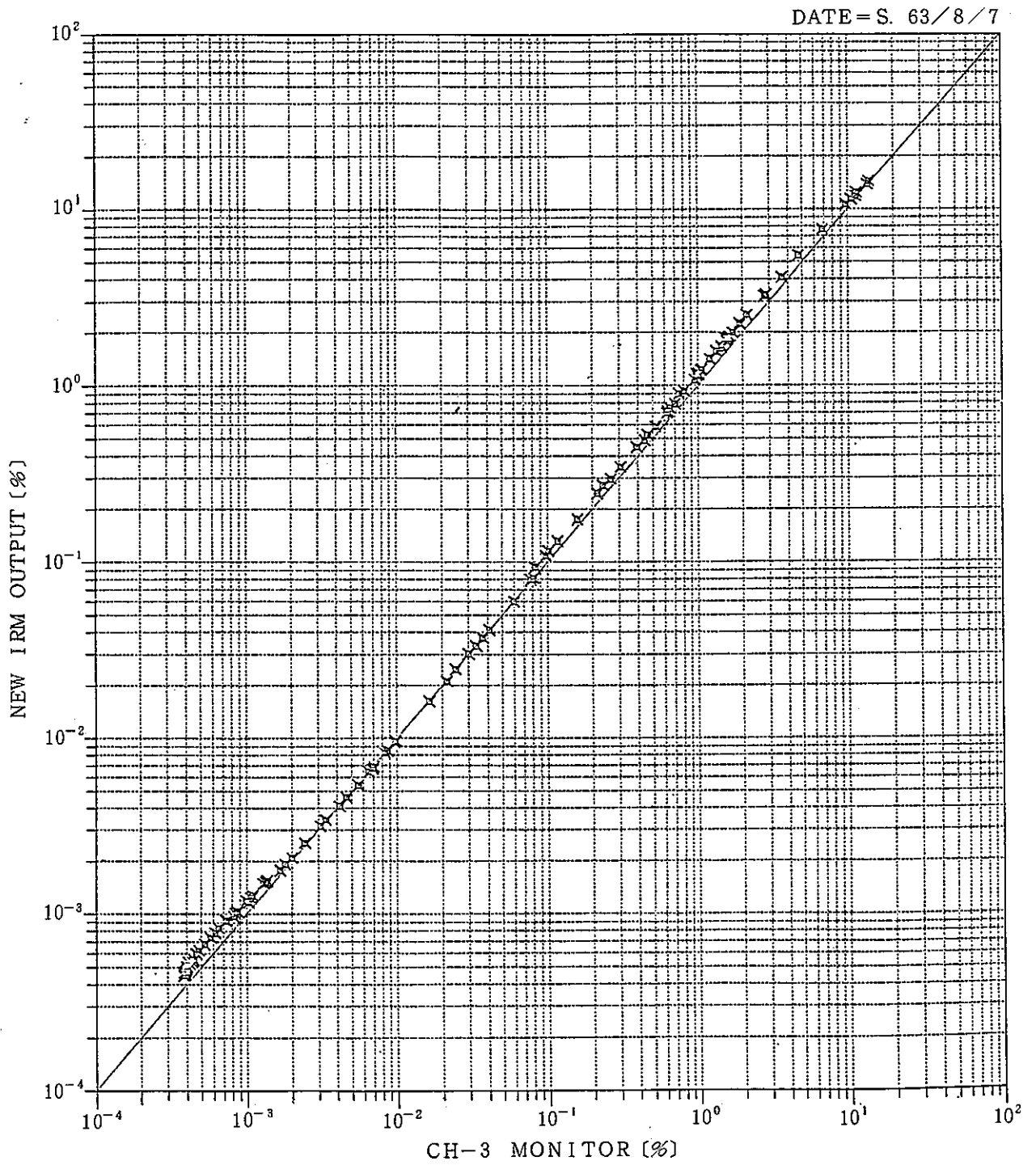


Fig. 5.7 Characteristics of New IRM (start up to 15MW)

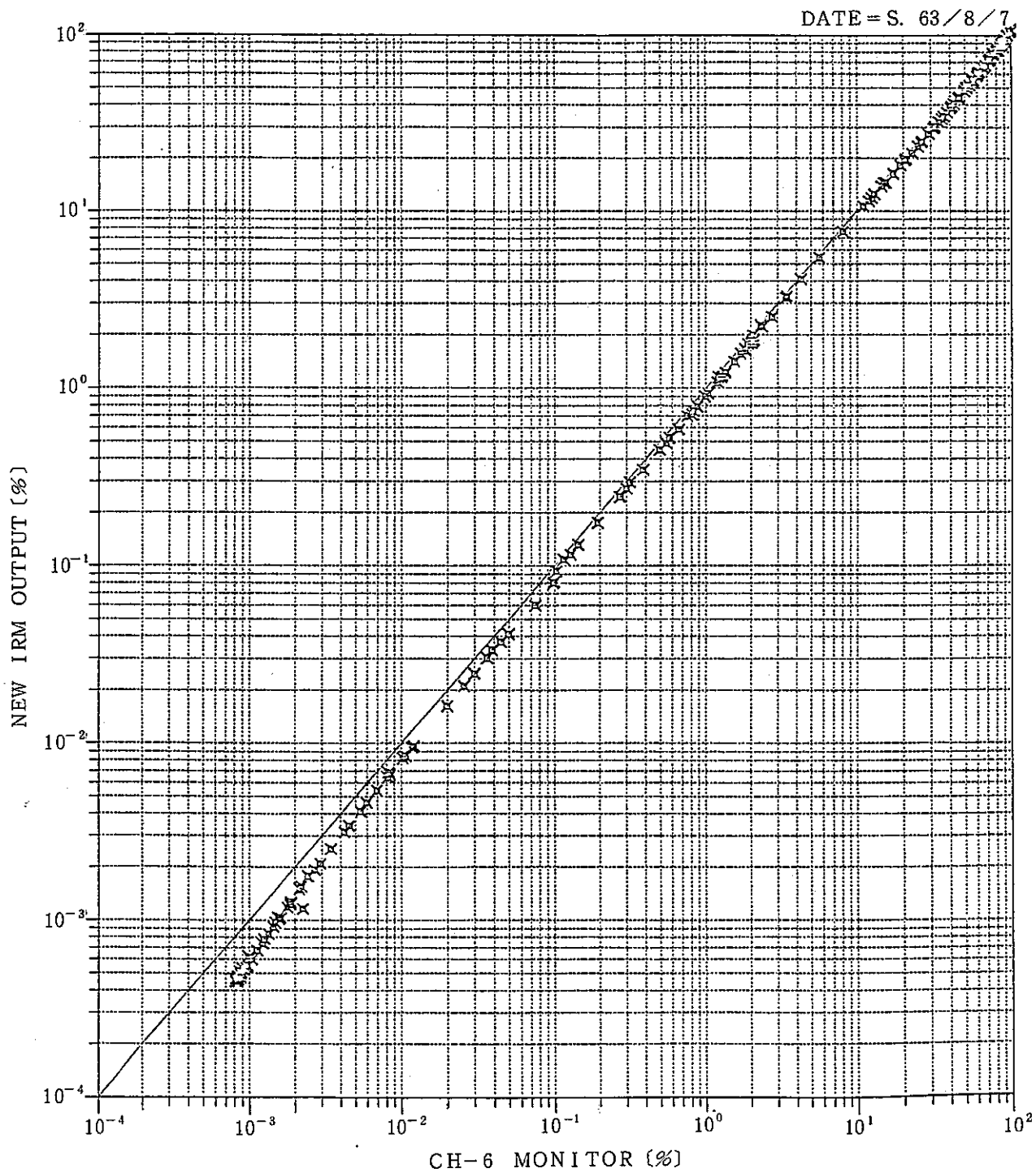


Fig. 5.8 Ne IRM Characteristics (to 100MW)

DATE = S. 63/8/7

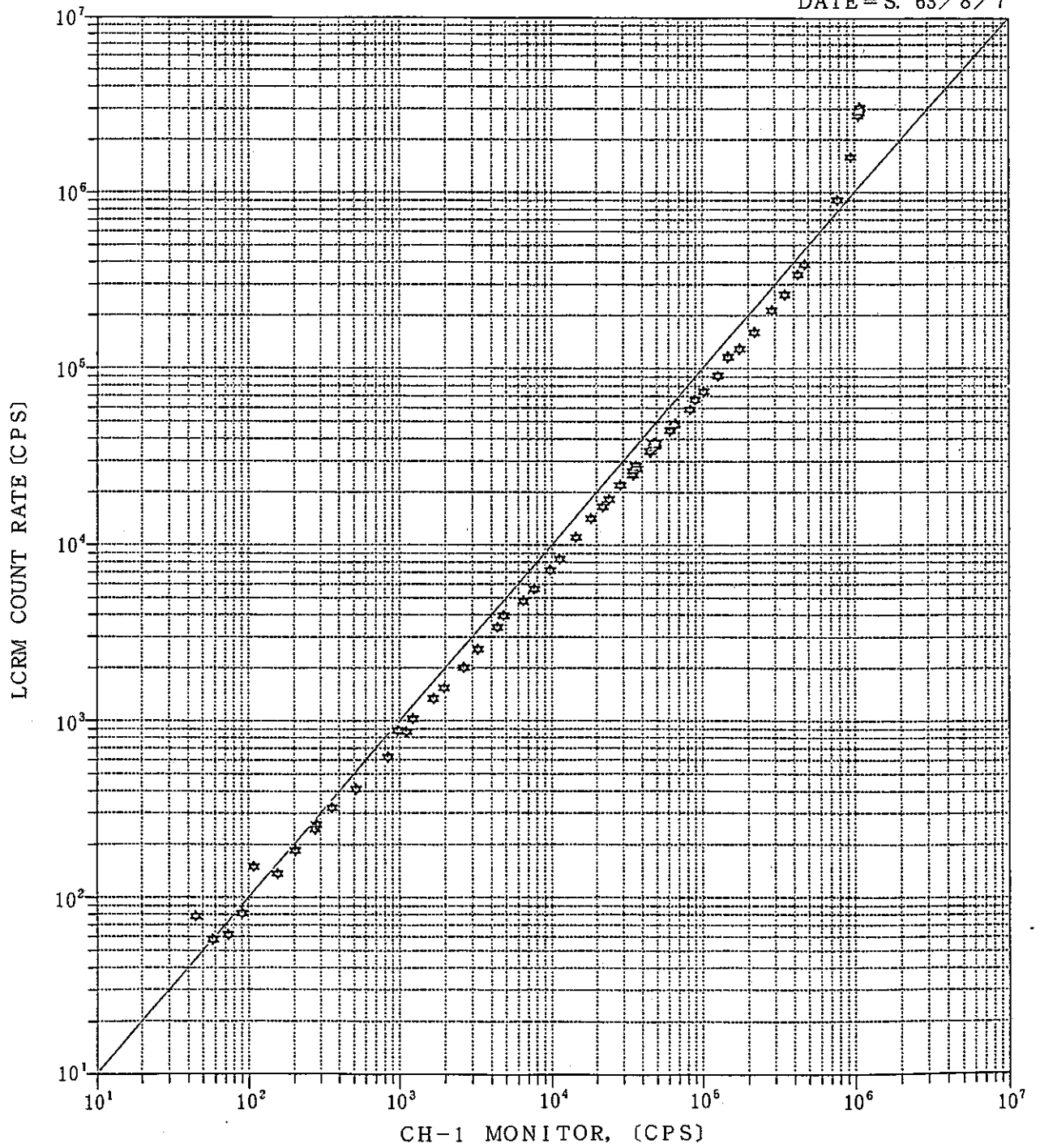


Fig. 5.9 New IRM Characteristics (LCRM)

DATE = S. 63/8/2

PNC SNG410 90-063

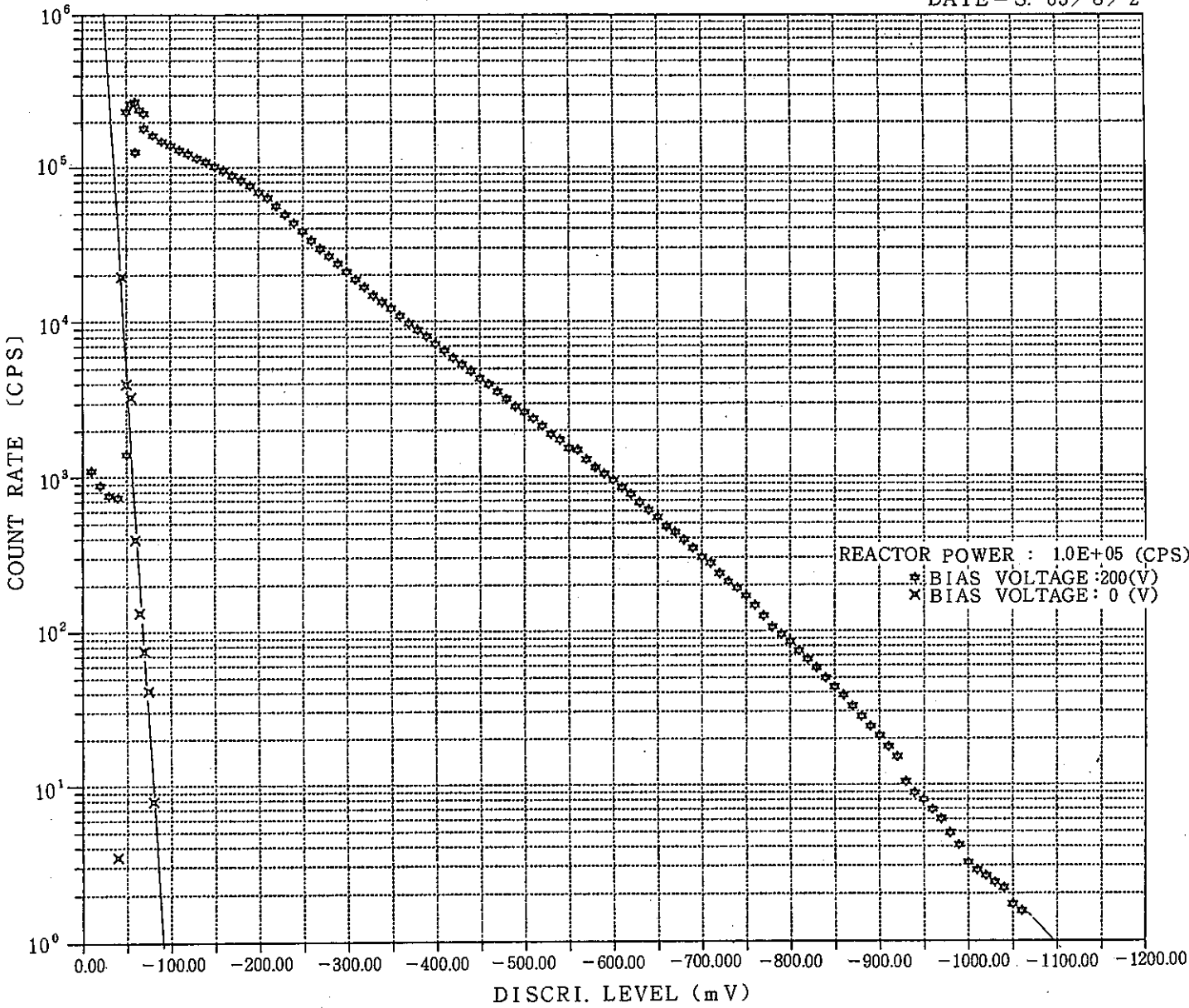


Fig. 5.10 Discrimination Characteristics of Ch-9(1)

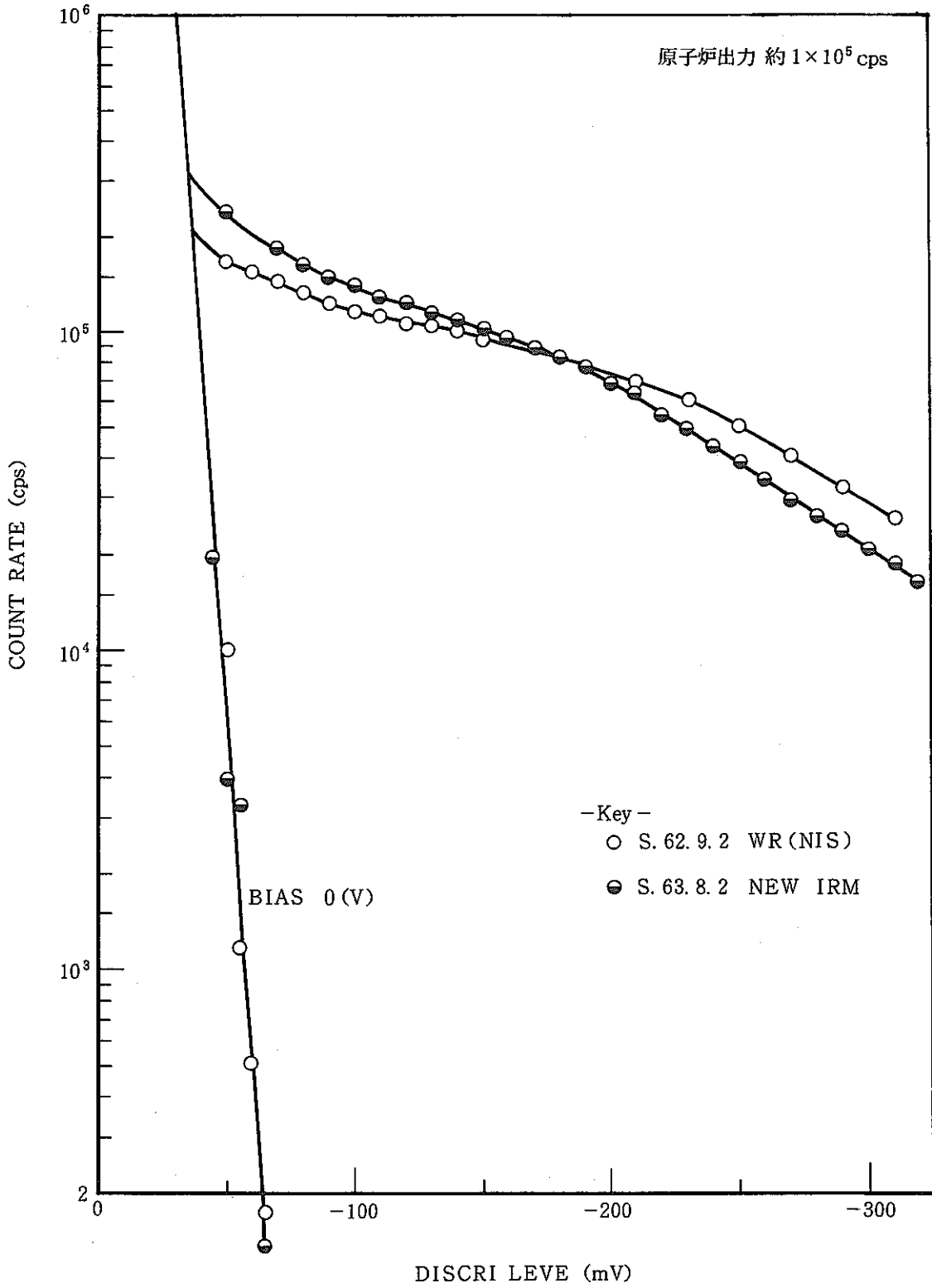


Fig. 5.11 Discrimination Characteristics of Ch-9(2)

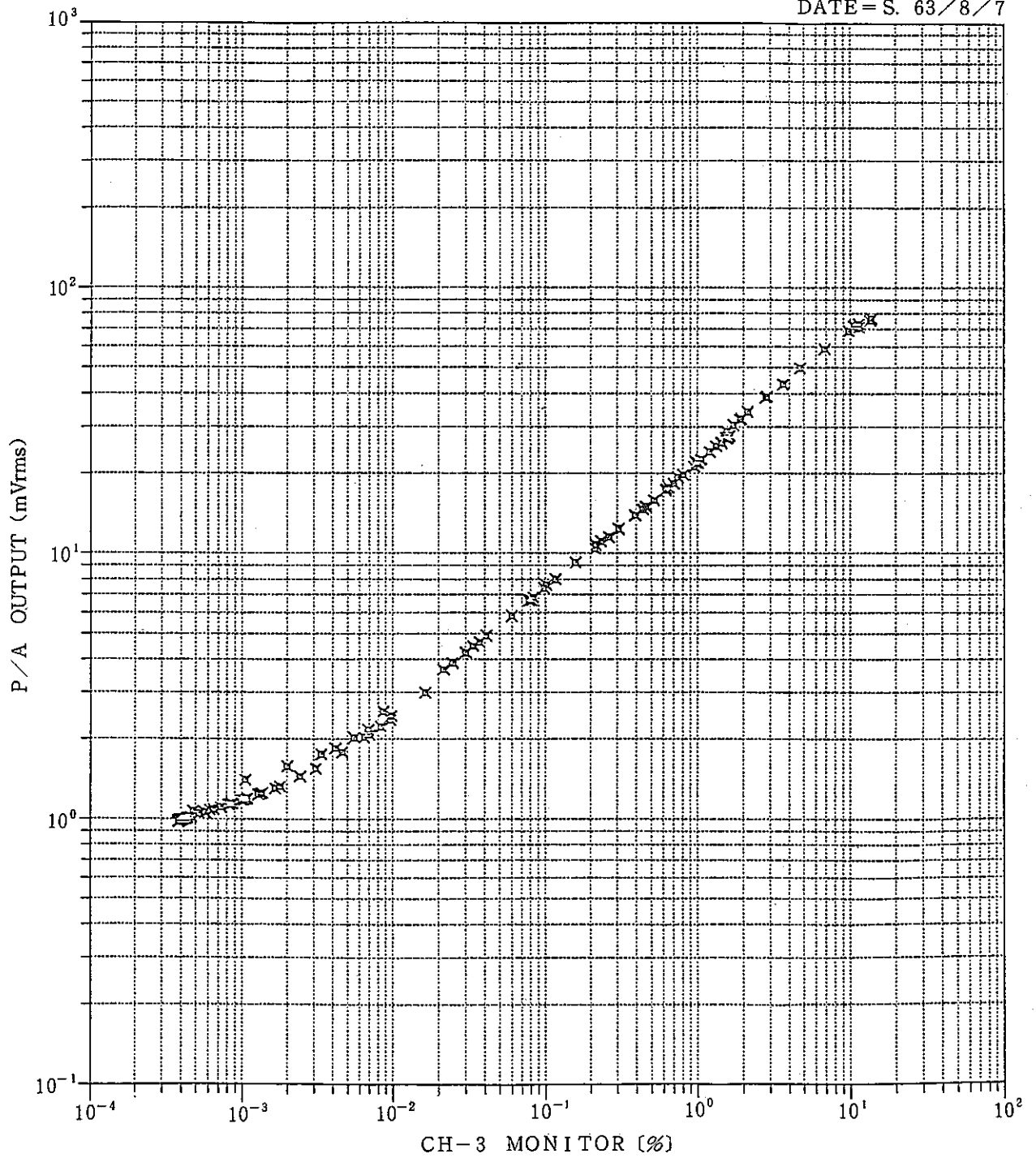


Fig. 5.12 New Pre-Amp. Characteristics (Ch-3)

DATE = S. 63/8/7

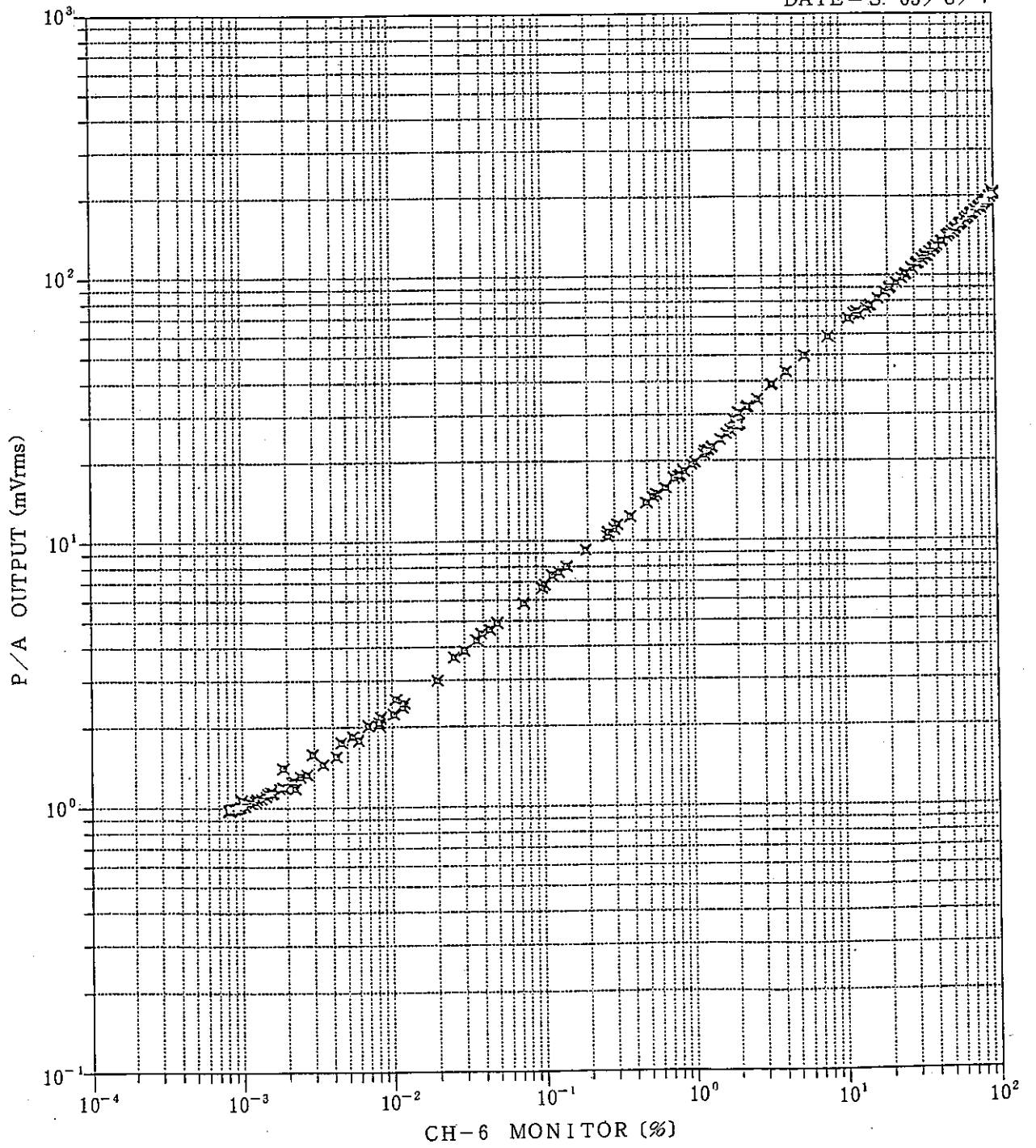


Fig. 5.13 New Pre-Amp. Characteristics (Ch-6)

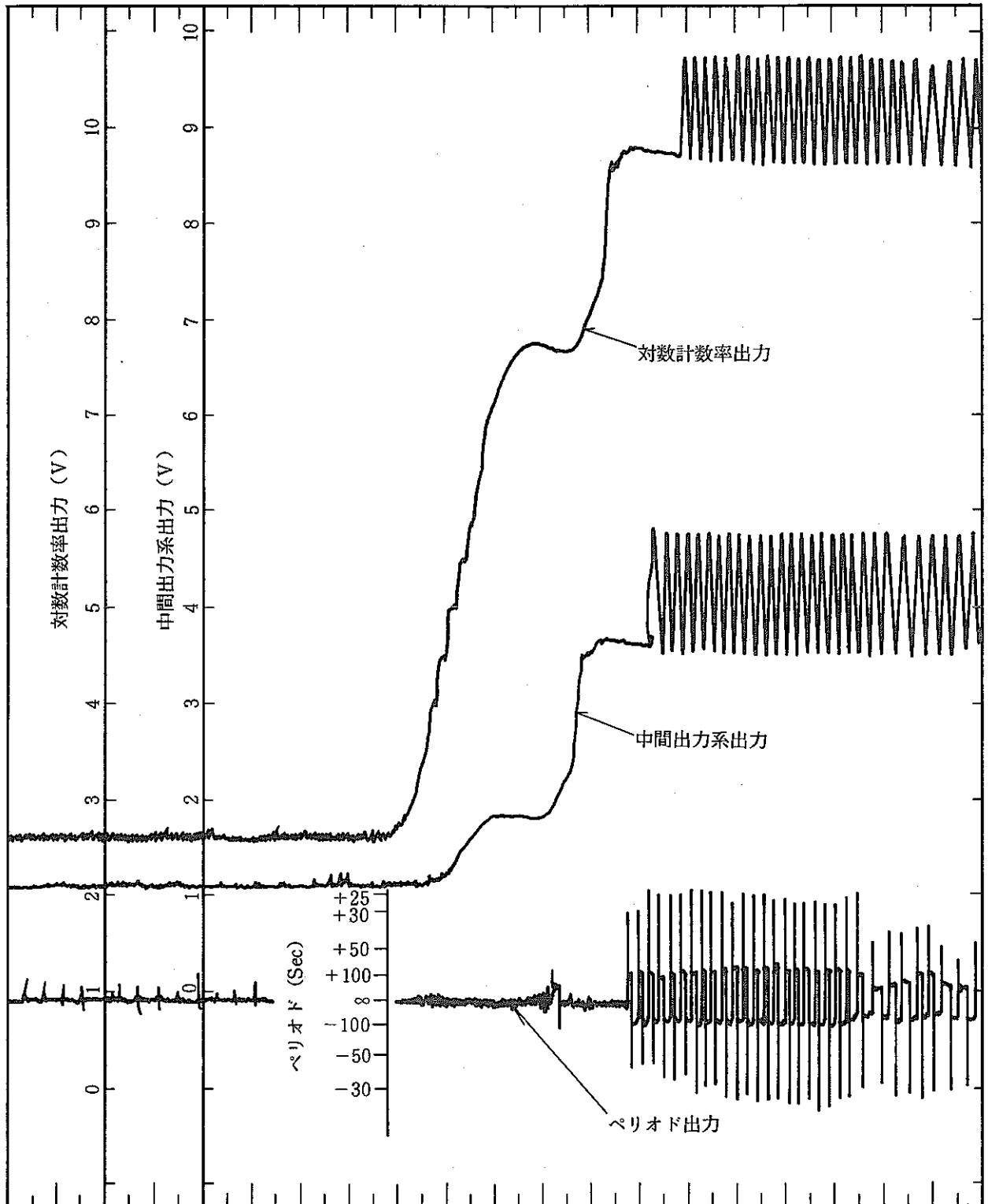


Fig.5.14 Period Output of New IRM

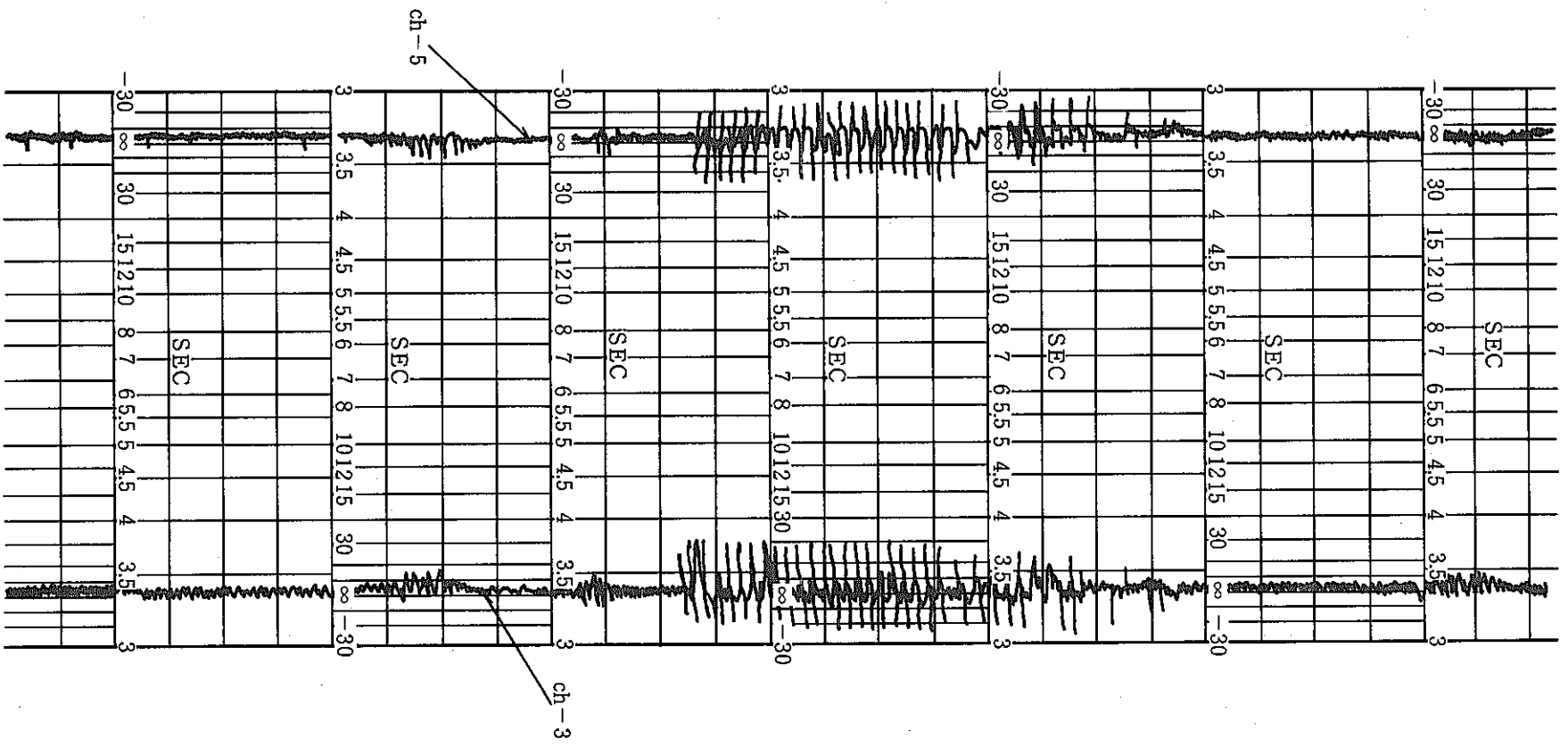


Fig. 5.15 Period Output of New IRM (Ch-3, 5)

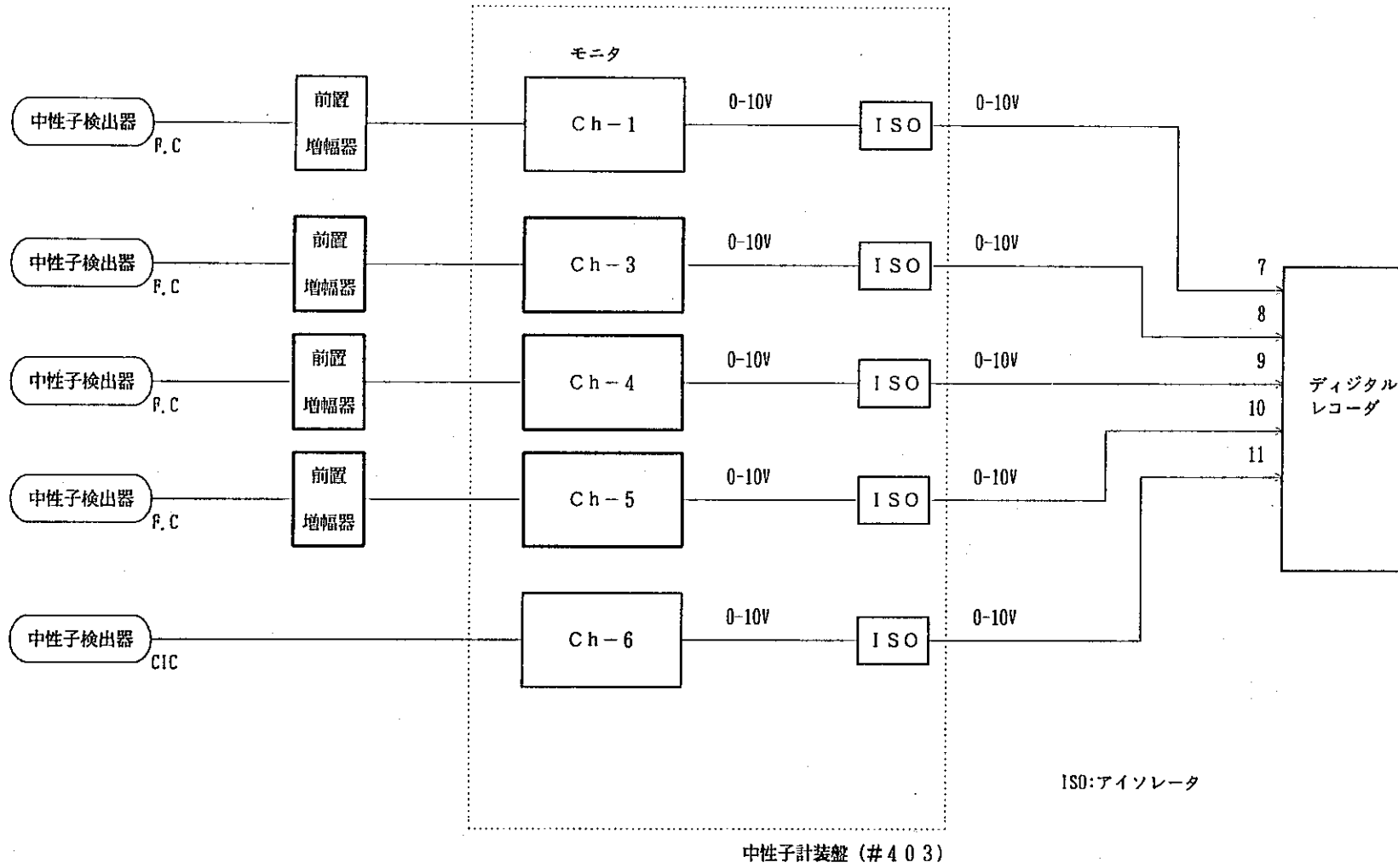


Fig. 5.16 Blockdiagram of IRM Performance Test (after replace)

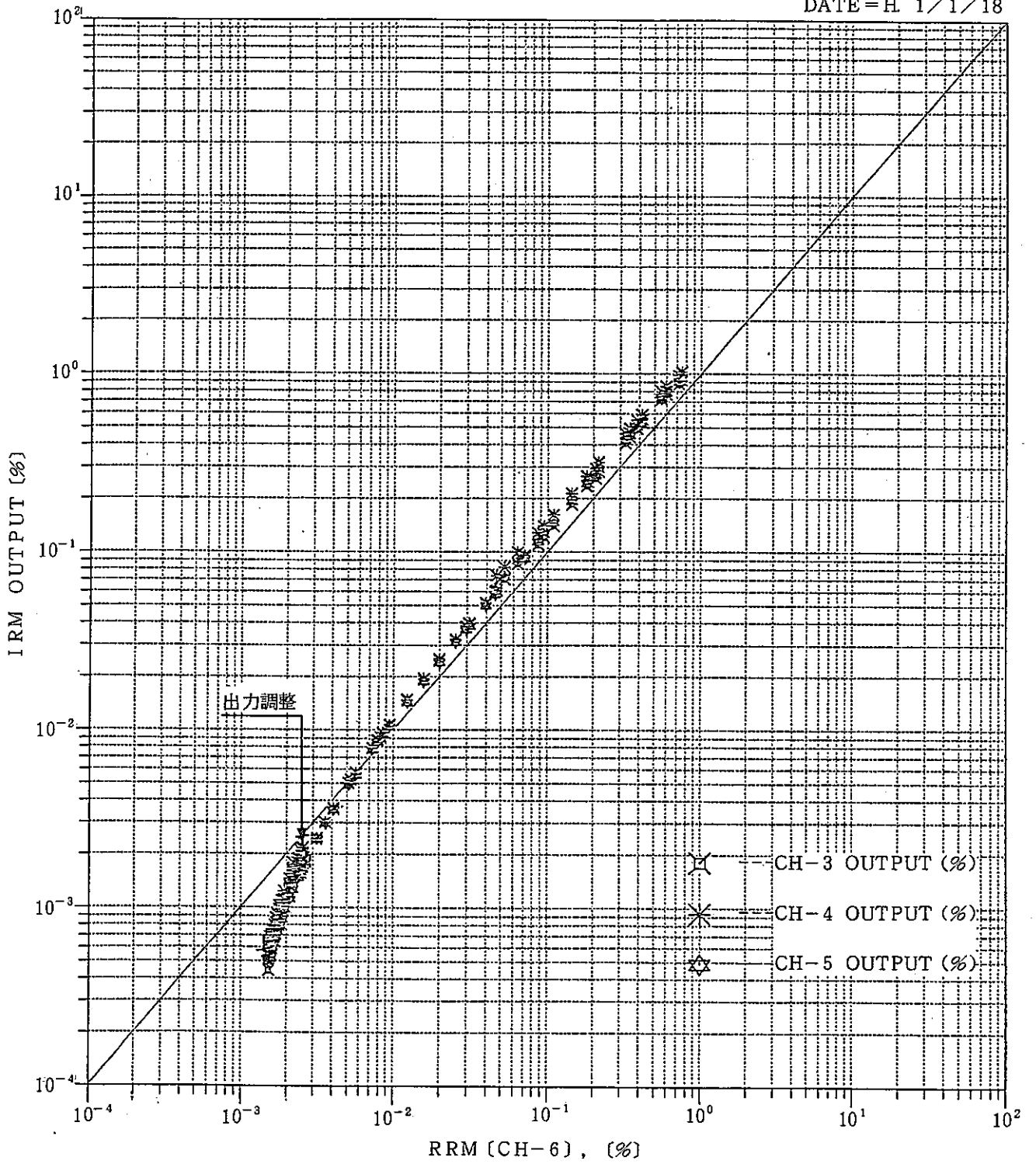


Fig. 5.17 Result of IRM Caribration

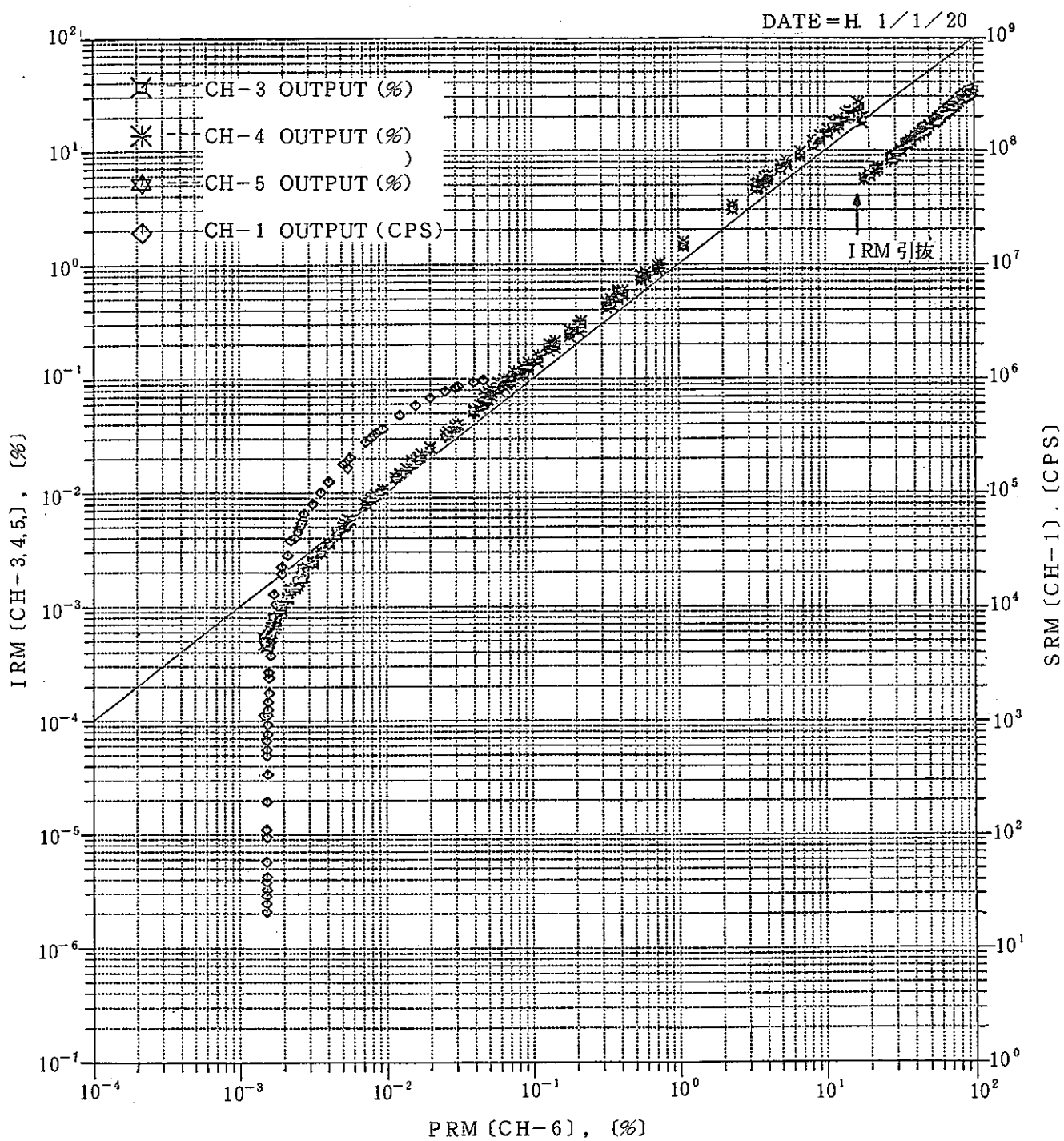


Fig. 5.18 Caribration Curve of SRM and IRM

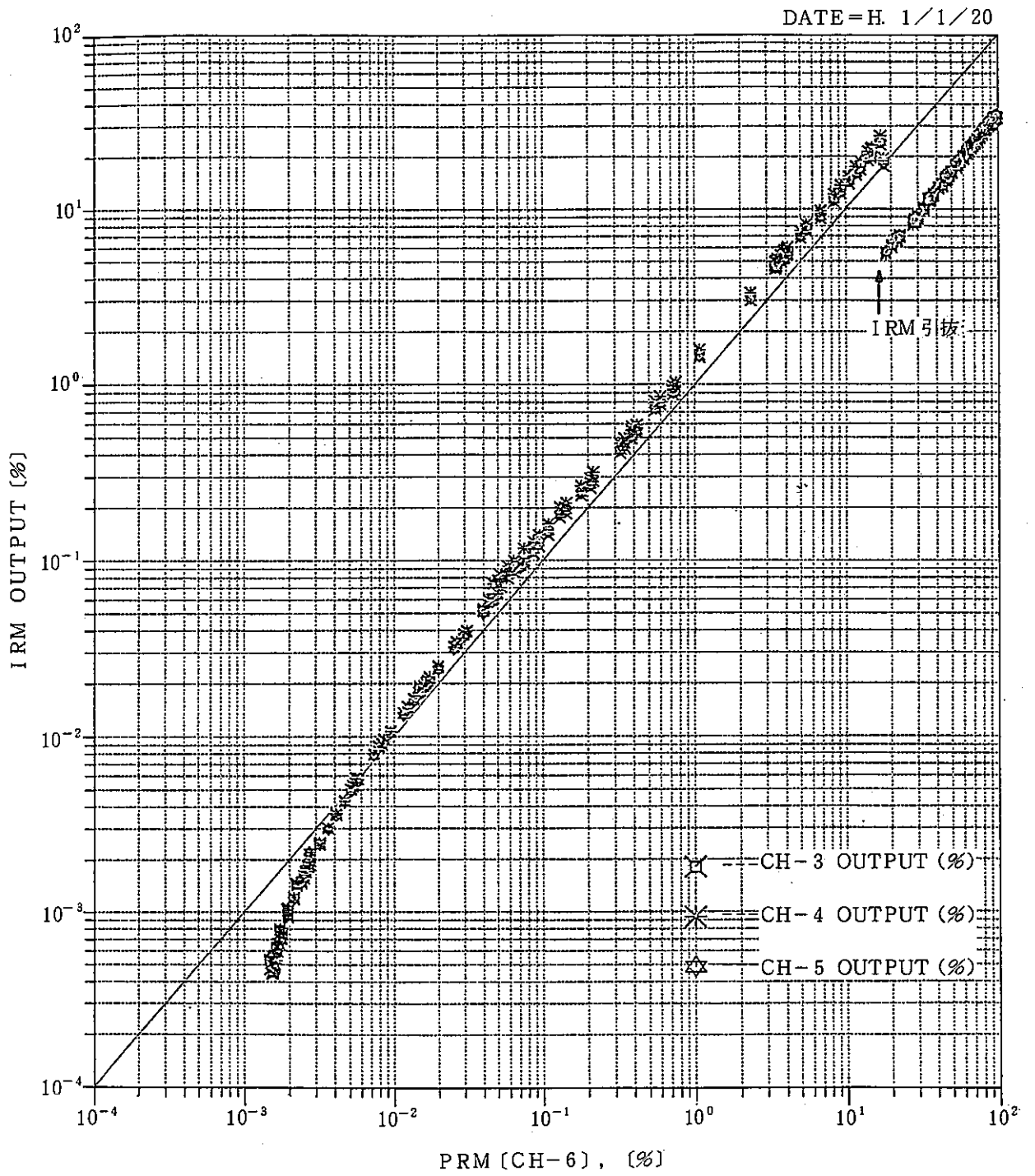


Fig. 5.19 Characteristics of IRM after Caribration

Na 16 CYCLE DATA

中性子束	$\times 10^3$ 4.6	$\times 10^4$ 4.6	$\times 10^5$ 4.6	$\times 10^6$ 4.6	$\times 10^7$ 4.6	$\times 10^8$ 4.6	$\times 10^9$ 4.6	$\times 10^{10}$ 4.6 (nv)
パルス系出力 (Ch-1)	$\times 10^2$ 4.6	$\times 10^3$ 4.6	$\times 10^4$ 4.6	$\times 10^5$ 4.6	$\times 10^6$ 4.6	$\times 10^7$ 4.6	$\times 10^8$ 4.6	$\times 10^9$ 4.6 (cps)
前置増幅器出力		0.217	0.686	2.17	6.86	21.7	68.6	217 (mV rms)
交流増幅器出力		6.48	20.5	64.8	20.5	20.5	64.8	205 (mV rms)

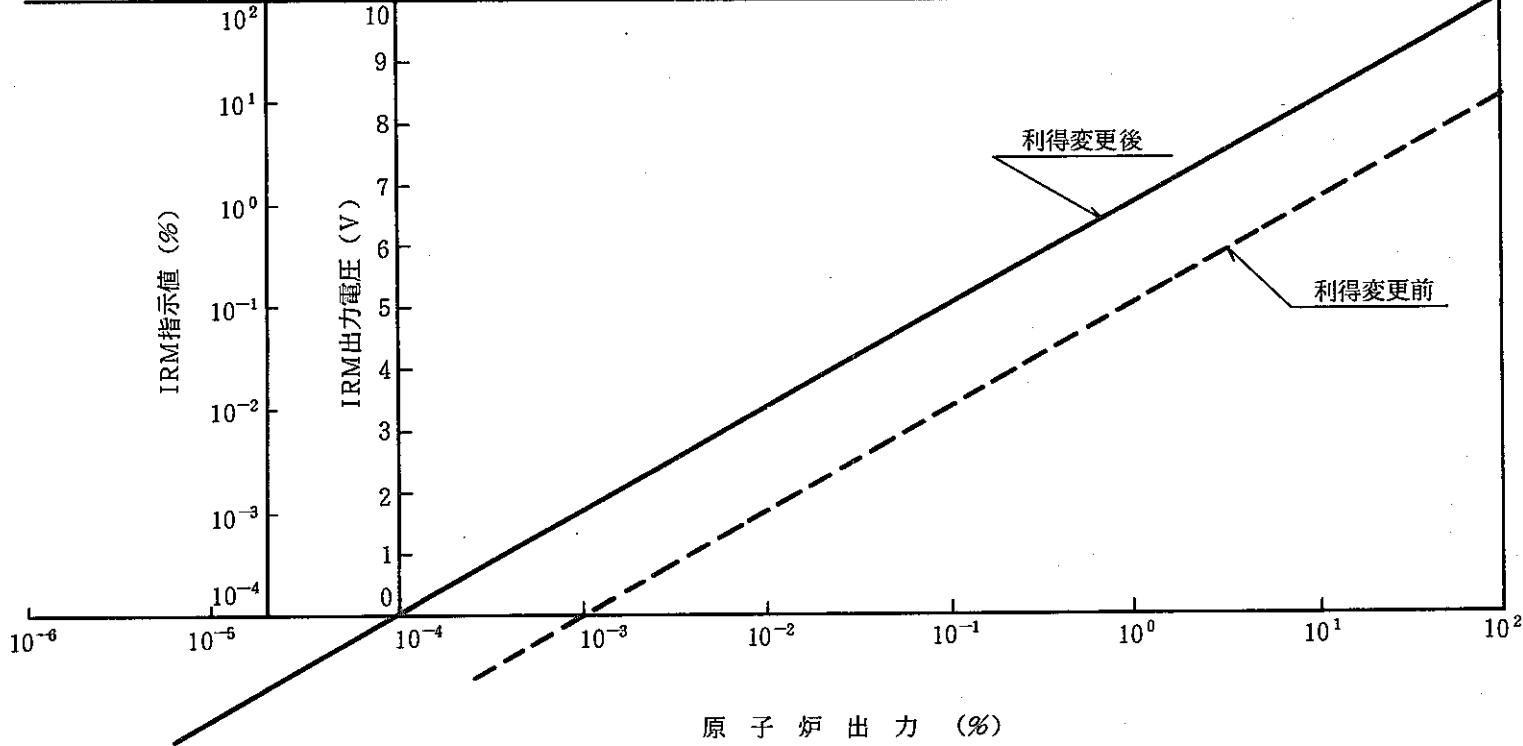


Fig. 5.20 Result of IRM and Pre-Amp. Gain after Caribration

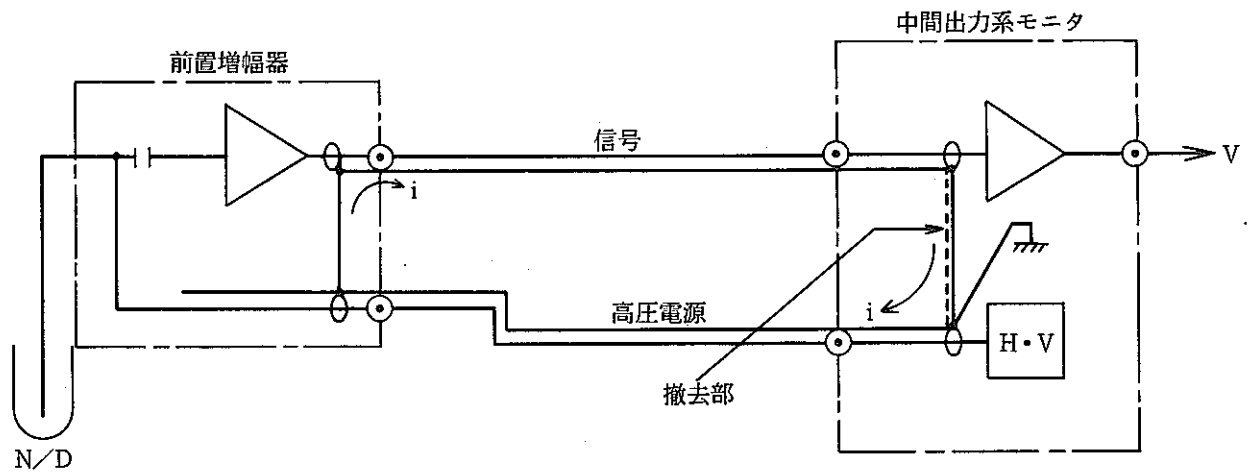


Fig. 5.21 Countermeasure for Loop Oscillation of PRM Output

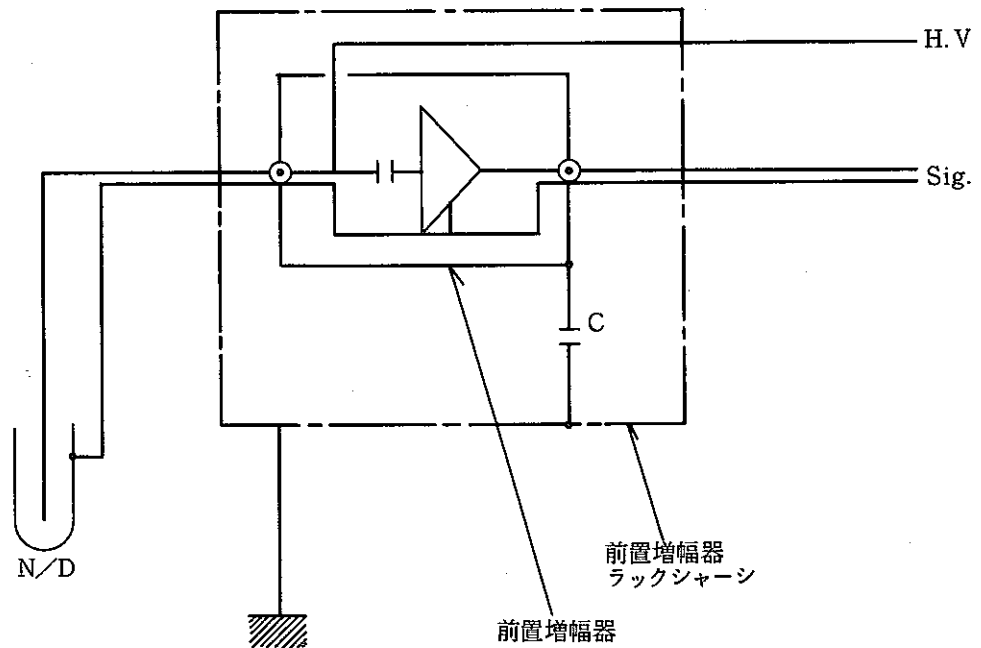


Fig. 5.22 Noise Suppressing of Pre-Amp.

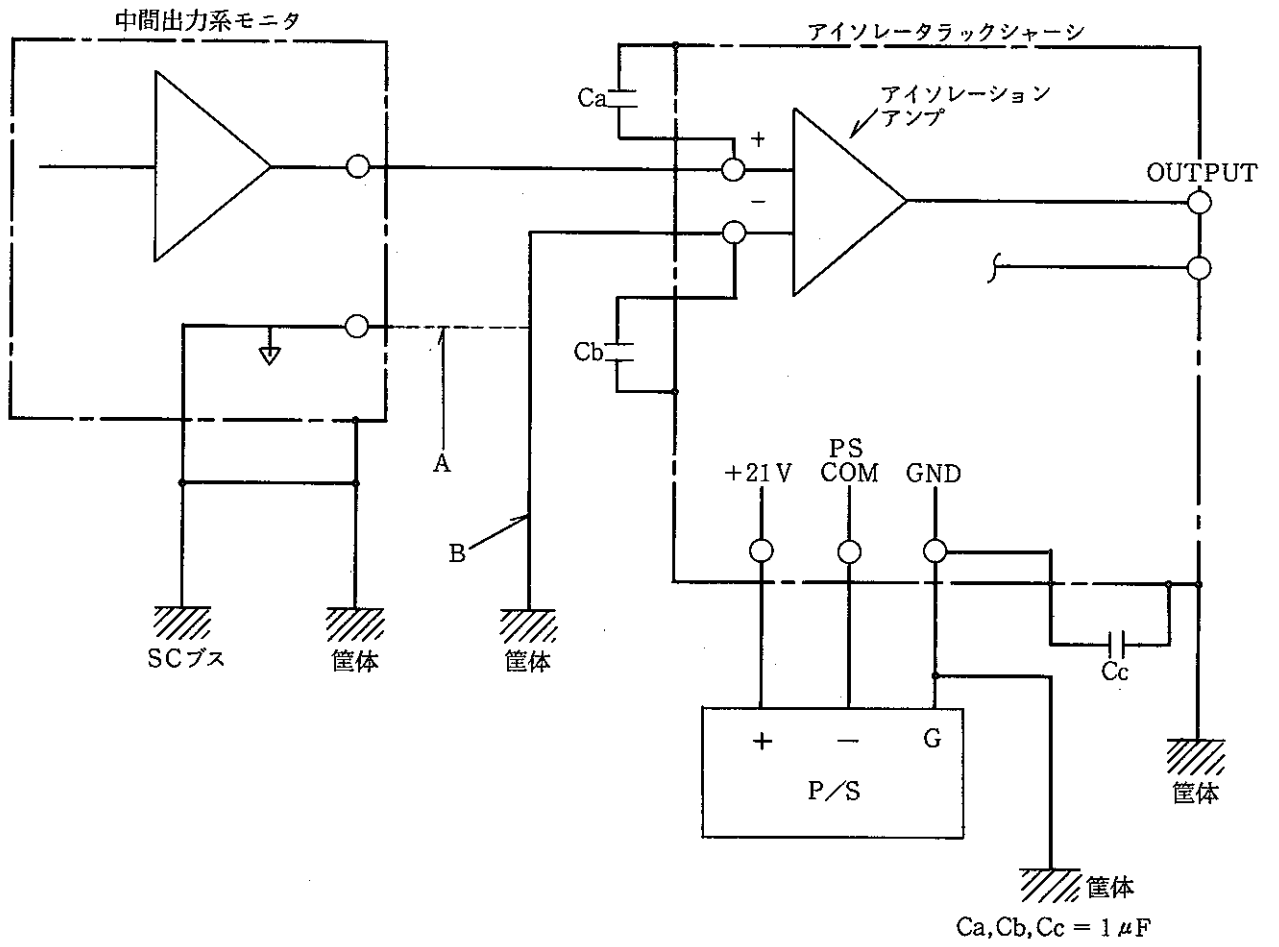


Fig. 5.23 Noise Suppressing of Isolator

DATE = S. 62/8/12 CHANNEL No = 6

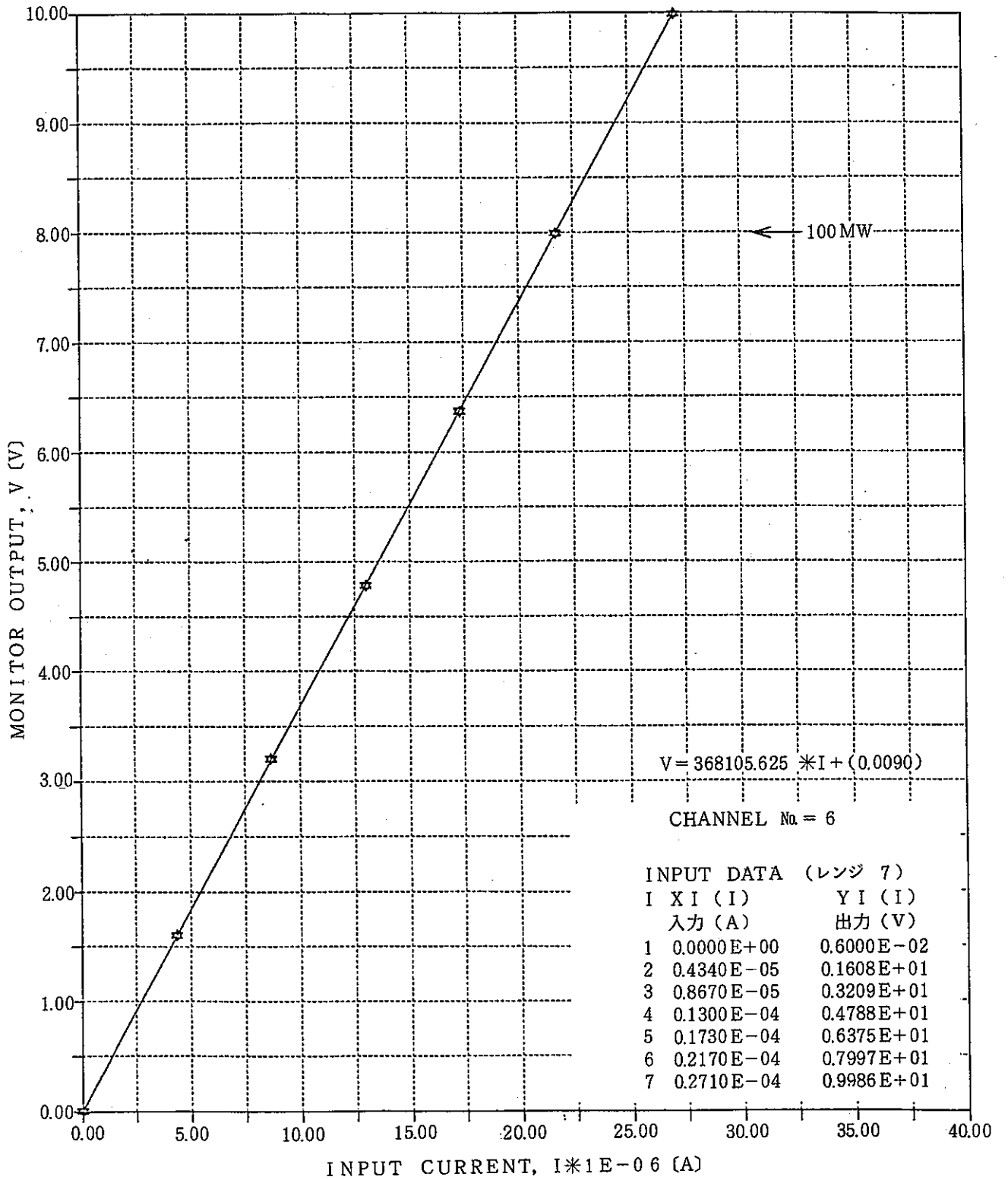


Fig. 6.1 PRM Gain at Ch-6

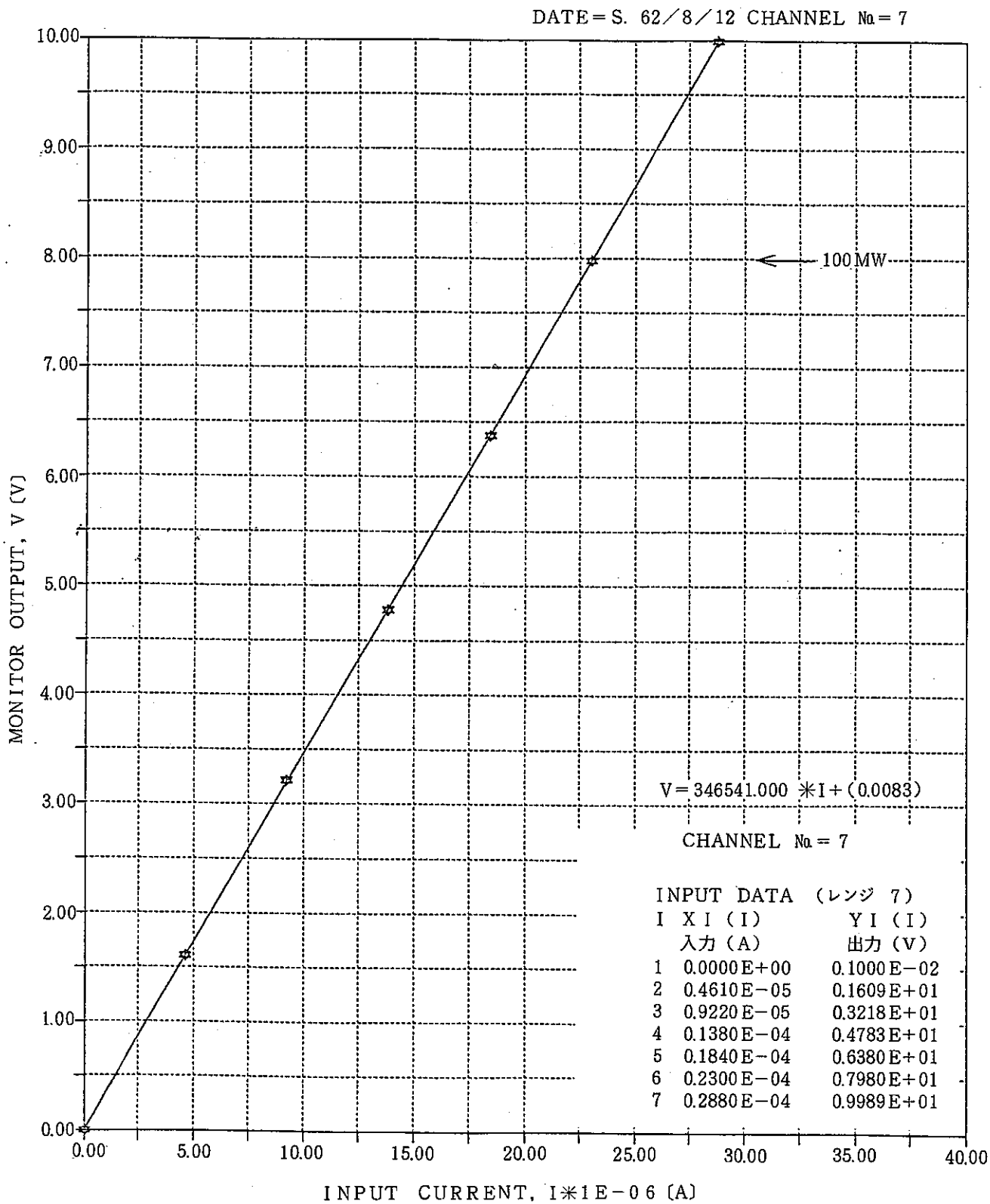


Fig. 6.2 PRM Gain at Ch-7

DATE = S. 62/8/12 CHANNEL No. = 8

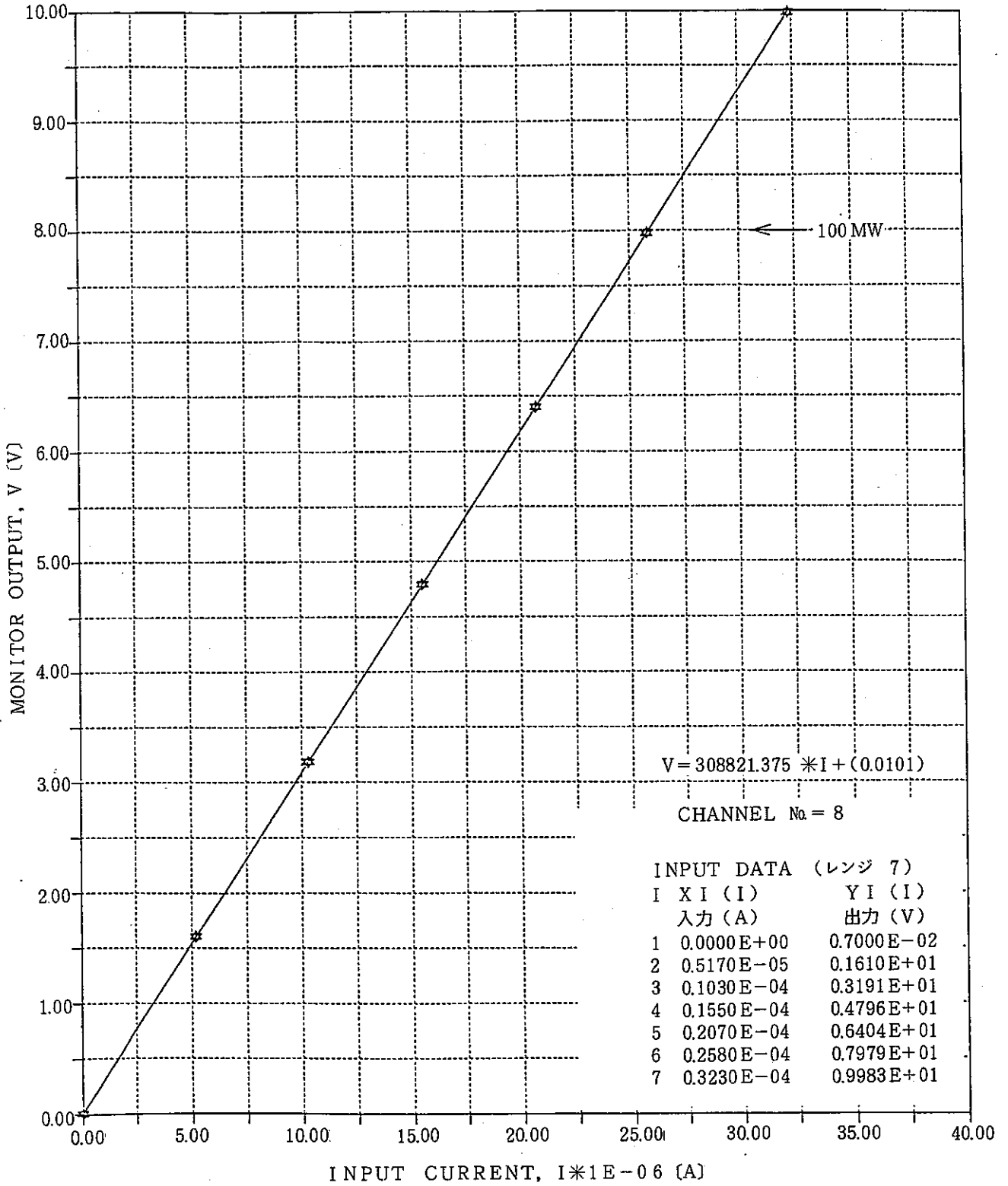


Fig. 6.3 PRM Gain at Ch-8

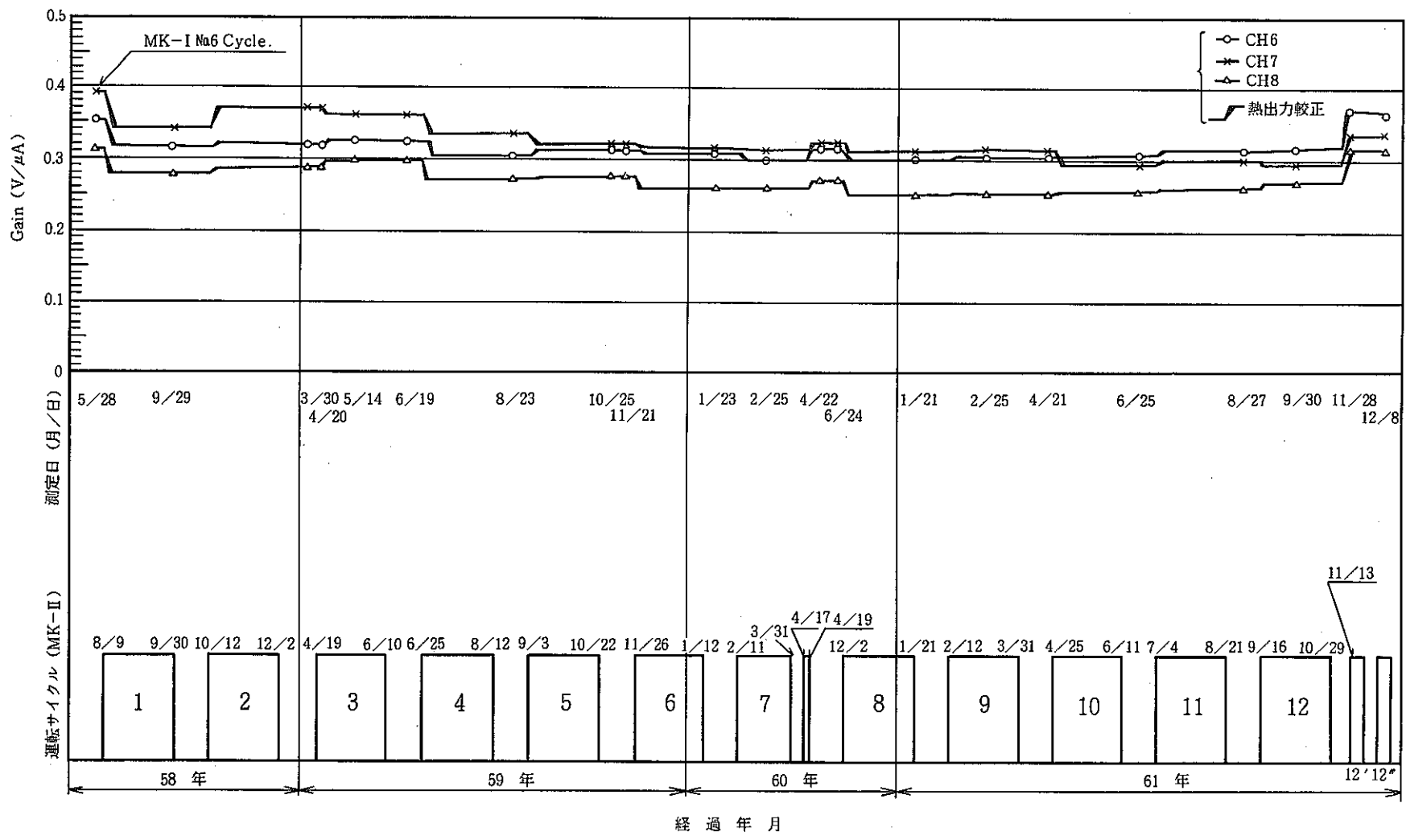
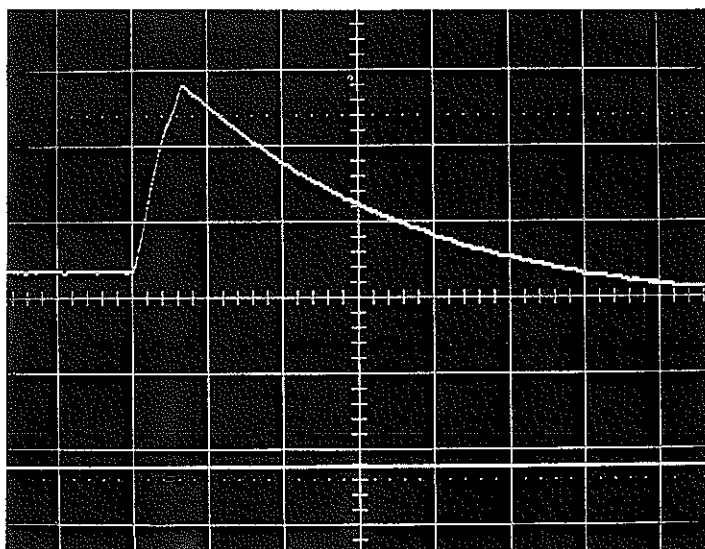


Fig. 10.1 Drifts of PRM Gain

No.5 cycle



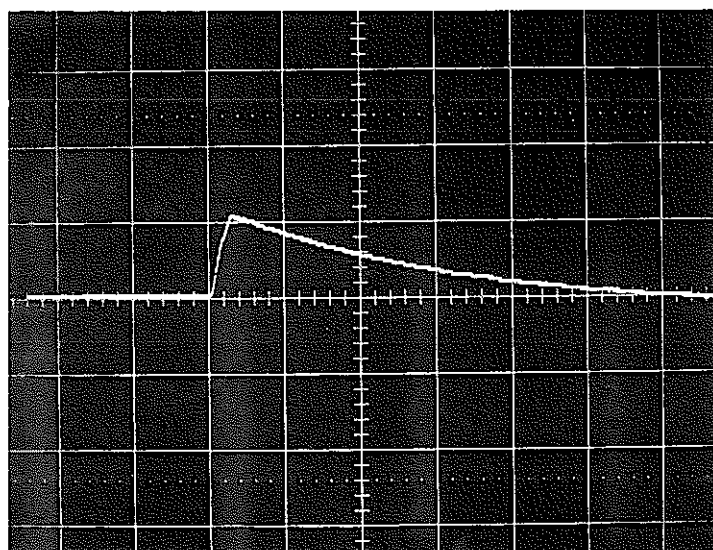
S. 59. 9. 19 8:30
(9/18 17:00~9/19 8:30)

10msec/div.

上; CH 8 } 0.1V/div.
下; CH 7

DCモード

$$0.24 (V_p) \times 12.5 = 3.0 (MW)$$



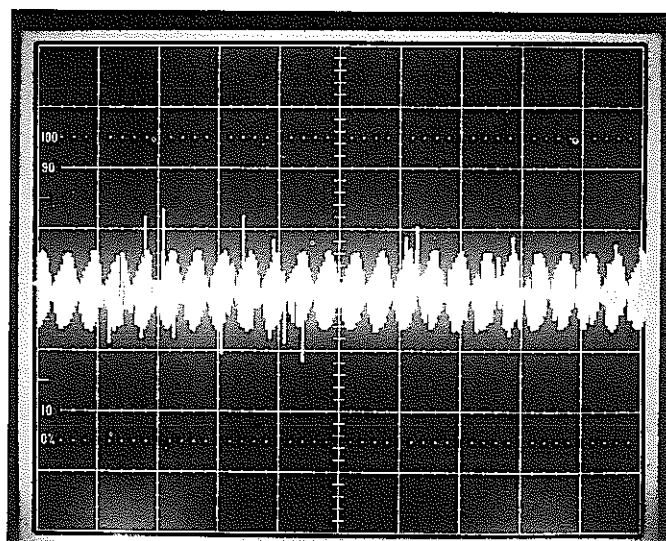
S. 59. 9. 19 18:05
(9/19 14:20~18:05)
原子炉出力 100MW

{ 10msec/div.
0.1V/div.

DCモード

$$0.11 (V_p) \times 12.5 = 1.4 (MW)$$

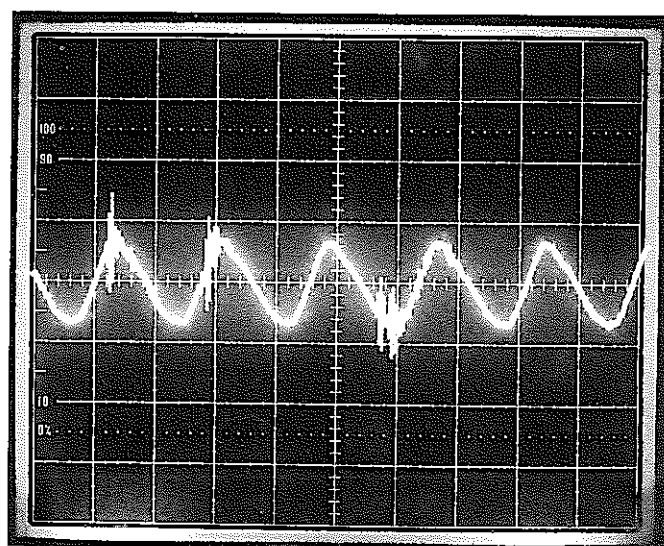
Photo 1 Wave-form Characteristics of Noise (Ch-8)



{ 0.2V/D
2ms/D

125%レンジ
98MW模擬入力

(1000Hz)



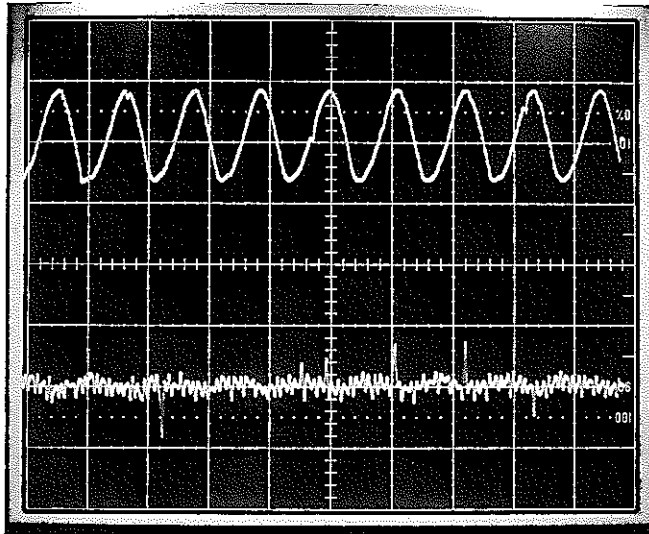
{ 0.2V/D
5 μ S/D

125%レンジ
98MW模擬入力

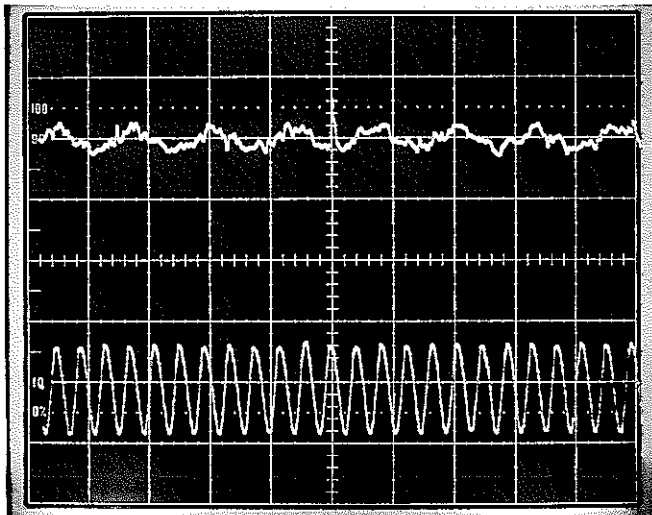
(100kHz)

現場より模擬入力

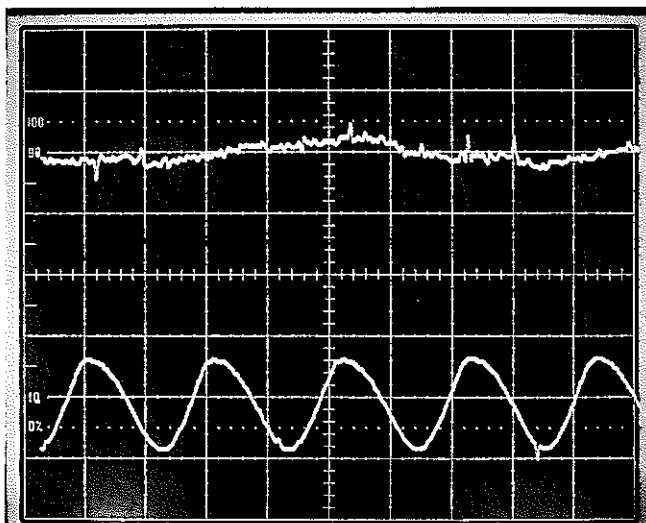
Photo 2 Oscillation of PRM Signal Output (Ch-8)



CH 6
レンジ 6 (35%)
現場より模擬入力 (35%相当)
上 : アイソレータ出力
下 : モジュール出力 T P 8
上 : 50mV/DIV
下 : 0.5V/DIV
20msec/DIV
コンデンサーは交換していない。



CH 6
レンジ 6 (35%)
現場より模擬入力 (35%相当)
上 : アイソレータ出力
下 : モジュール出力 T P 8
上 : 50mV/DIV
下 : 0.5V/DIV
1 msec/DIV
コンデンサーは交換していない。



CH 6
レンジ 6 (35%)
現場より模擬入力 (35%相当)
上 : アイソレータ出力
下 : モジュール出力 T P 8
上 : 50mV/DIV
下 : 0.5V/DIV
0.2msec/DIV
コンデンサーは交換していない。

Photo 3 Oscillation of PRM Signal Output at Range 6 and 7