

# 高速実験炉「常陽」FFD (DN法)設備に係る保守経験 ノイズ対策

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 941 84-121
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

1984年8月



動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

## 高速実験炉「常陽」FFD（DN法）設備に係る保守経験

### ノイズ対策

沢田 誠\* 中村 省一\*\* 奥田 英一\*\*\*

八木 昭\*\* 宮口 公秀\*\*\*\* 遠藤 順一\*\*\*

### 要 旨

燃料破損検出設備（FFD設備）のうち遅発中性子法（DN法）には、MK-I 75 MW 第6サイクル開始頃からさまざまなノイズが発生し、同設備の運転に悪影響を与えてきた。昭和58年2月から昭和59年3月にわたる原因調査の結果、ノイズは電源部、前置増幅器（プリアンプ）部、及びケーブル部からそれぞれ発生していることが判明したため以下のノイズ対策を行った。

#### 1) 電源部

- 安定化電源装置（AC LINE CONDITIONER）を電源ラインに設け、電源-アース間に生じていたノイズ電圧を除去した。

#### 2) プリアンプ部

- プリアンプの保護カバーがシールド箱と接触して多点アースとなっていたものを、カバーに絶縁処理を施し、多点アースを解消した。
- 発振防止用コンデンサを新たに設ける回路改造を行うと共に、回路内の電界効果トランジスタ（FET）の交換を行い、回路の安定性を向上させた。
- 検出器ケーブルコネクタでのシールド処理が不完全であったため信号が不安定で且つノイズを拾いやすい状態となっていたものを、シールド処理を施し耐ノイズ性を高めた。

#### 3) ケーブル部

- プリアンプ以降計数モニタまでの間の信号ケーブルを同軸ケーブルから光ファイバーケーブルに交換し、ノイズの誘導を防止した。（但し、ケーブルペネトレーション部等交換不可能な一部のケーブルは従来通り同軸ケーブルを使用している。）
- プリアンプ・シールド箱内の高圧ケーブルに電磁遮蔽を施し、高圧ケーブルから検出器ケーブルへのノイズ誘導を防止した。

上記の対策によってノイズを除去することが出来た。本報告書はこれら一連のノイズ対策を集大成し、他設備のノイズ対策の参考に供するものである。

---

\* 現高速実験炉部技術課  
 \*\* " 原子炉第2課  
 \*\*\* " 原子炉第1課  
 \*\*\*\* 現プラント安全工学室

Maintenance Experience of the Fuel Failure Detection System  
(Delayed Neutron Monitoring System) in Experimental Fast  
Reactor [ JOYO ]

Countermeasure for Electrical Noise

Makoto Sawada\*, Shouichi Nakamura\*\*,  
Eiichi Okuda\*\*\*, Akira Yagi\*\*,  
Kimihide Miyaguchi\*\*\*\*and Junichi Endou\*\*

Abstract

At the Delayed Monitoring system, which in one of the Fuel Failure Detection System in JOYO, some problems had occurred since the 6th cycle of 75MW power operation at MK-I core. As a result of inspection from Feb.1983 to Mar.1984, it was found that the various electrical noises interface with it's normal function. So many kinds of noise appeared at power supply circuit, pre-amplifier circuit and cable lines. Though this Phenomenon was a difficult problem to deal with, We could remove injurious electrical noises successfully. It's working effects were indicated as follows,

- 1) At first an AC Line Conditioner was built in power supply circuit.
- 2) An adjustment was made on the pre-amplifier circuit and some circuit parts were replaced in order to alter the circuit.
- 3) Most of signal line at BF-3 monitoring system was changed from coaxial cable to glass fiber cable partially.

---

\* Reactor Technology Section, Experimental Fast Reactor Division.

\*\* Maintenance Section, Experimental Fast Reactor Division.

\*\*\* Operating Section, Experimental Fast Reactor Division.

\*\*\*\* Plant Safety Engineering Section, Experimental Fast Reactor Division.

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. FFD (DN法) 設備の概要 .....	2
2.1 遅発中性子法 (DN法) 設備の概要 .....	2
2.2 電荷型前置増幅器 (プリアンプ) の概要 .....	6
2.3 対数計数率計 (計数モニタ) の概要 .....	9
2.4 電源装置の概要 .....	9
3. ノイズ状況とノイズ対策の経緯 .....	12
4. ノイズ対策とその結果 .....	16
4.1 電源部のノイズ対策 .....	16
4.2 プリアンプ部のノイズ対策 .....	20
4.3 ケーブル部のノイズ対策 .....	27
5. 検 討 .....	32
5.1 電源部におけるノイズ .....	32
5.2 プリアンプ部におけるノイズ .....	36
5.3 ケーブル部におけるノイズ .....	39
6. 考 察 .....	42
7. 結 言 .....	43
8. 謝 辞 .....	44
9. 参考文献 .....	45

## 図 面 リ ス ト

第- 1 図	遅発中性子法体系配置図	3
第- 2 図	遅発中性子法体系構造図	4
第- 3 図	遅発中性子法計装ブロック図	5
第- 4 図	プリアンプ・ブロック図	6
第- 5 図	プリアンプ出力信号波形	7
第- 6 図	プリアンプ・外形図及び取付図	8
第- 7 図	計数モニタ接続図	10
第- 8 図	計装電源系統図	11
第- 9 図	計数モニタ入力信号波形	17
第- 10 図	電源部に対するノイズ対策	19
第- 11 図	プリント基板保護カバーとシールドボックスとの接触	20
第- 12 図	発振状態のプリアンプ出力波形	21
第- 13 図	キャノンコネクタケーブルの端末処理	21
第- 14 図	プリアンプゲイン調整回路	22
第- 15 図	プリアンプ回路接続図	23
第- 16 図	歪の大きいプリアンプ出力波形	24
第- 17 図	BF <sub>3</sub> 用プリアンプ出力波形（模擬入力）	25
第- 18 図	B <sup>10</sup> 用プリアンプ出力波形（ “ ）	25
第- 19 図	プリアンプ部に対するノイズ対策結果	26
第- 20 図	光システムブロック図	28
第- 21 図	光システム出力波形	29
第- 22 図	プリアンプ収納ラック内ケーブル配線図	31
第- 23 図	B <sup>10</sup> ケーブル電磁遮蔽	31
第- 24 図	電源部ノイズ対策前後における電源波形の比較	33
第- 25 図	ノイズ結合機構	34
第- 26 図	ノイズ伝搬機構	35
第- 27 図	同相ノイズの差動ノイズへの変換	36
第- 28 図	多点アースとノイズ	36
第- 29 図	回路構成による磁束発生	37
第- 30 図	シールド線のアース	38
第- 31 図	静電誘導の等価回路	39
第- 32 図	電磁誘導の等価回路	40

## List of Figures

Fig. 1	Location of Delayed Neutron Monitoring Block .....	3
Fig. 2	Cut Away View of Delayed Neutron Monitoring Block .....	4
Fig. 3	Block Diagram of Delayed Neutron Monitoring System .....	5
Fig. 4	Block Diagram of Pre-Amplifier .....	6
Fig. 5	Pre-Amplifier Output Signal .....	7
Fig. 6	Location and Cut Away View of Pre-Amplifier .....	8
Fig. 7	Block Diagram of Logarithm Monitoring Meter .....	10
Fig. 8	Power Line of Delayed Neutron Monitoring System .....	11
Fig. 9	Logarithm Monitoring Meter Input Signal .....	17
Fig.10	Noise Countermeasures of Power Line .....	19
Fig.11	Contacting Condition between Protect Cover of Circuit Board and Shielding Box .....	20
Fig.12	Oscillation of Pre-Amplifier Output Signal .....	21
Fig.13	Treatment of Cable Connector .....	21
Fig.14	Adjustment Circuit of Pre-Amplifier Gain .....	22
Fig.15	Circuit Diagram of Pre-Amplifier .....	23
Fig.16	Big Distortion of Pre-Amplifier Output Signal .....	24
Fig.17	BF <sub>3</sub> Pre-Amplifier Output Signal (Sham Input) .....	25
Fig.18	B <sup>10</sup> Pre-Amplifier Output Signal (Sham Input) .....	25
Fig.19	Consequence of Noise Countermeasures to Pre-Amplifier .....	26
Fig.20	Block Diagram of Glass Fiber Cable System .....	28
Fig.21	Output Signal of Glass Fiber Cable System .....	29
Fig.22	Cable Location in Containment Rack of Pre-Amplifier .....	31
Fig.23	Electromagnetic Shielding of Cable (B <sup>10</sup> ) .....	31
Fig.24	Comparison of Power Wave by Modification of Power Line .....	33
Fig.25	Noise Connection Mechanism .....	34
Fig.26	Noise Transmission Mechanism .....	35
Fig.27	Changing from Common Mode Noise to Normal Mode Noise .....	36
Fig.28	Many Points of Earth and Noise .....	36
Fig.29	Generation of Flux by Circuit Component .....	37
Fig.30	Earth of Shield Cable .....	38

<b>Fig.31</b>	<b>Block Diagram of Induction Capacitance .....</b>	<b>39</b>
<b>Fig.32</b>	<b>Block Diagram of Electromagnetic .....</b>	<b>40</b>



表 リ ス ト

第-1表	FETバランス比較表	24
第-2表	光システムの仕様	28
第-3表	光システム校正試験記録	29

**List of Tables**

<b>Table-1</b>	<b>Comparison of Field Effect Transistor Balance .....</b>	<b>24</b>
<b>Table-2</b>	<b>Specification of Glass Fiber Cable System .....</b>	<b>28</b>
<b>Table-3</b>	<b>Calibration of Glass Fiber Cable System .....</b>	<b>29</b>

## 1. 緒 言

昭和56年7月のMK-I 75 MW第6サイクル開始以降、FFD(DN法)設備の運転に悪影響を与えてきたノイズは、1)電源部、2)プリアンプ部及び3)ケーブル部からそれぞれ個別に発生していたものであった。本報告書は昭和58年2月から昭和59年3月にかけて行った一連のノイズ原因調査及び対策を集大成し、他設備のノイズ対策の参考に供するものである。

## 2. FFD (DN法) 設備の概要

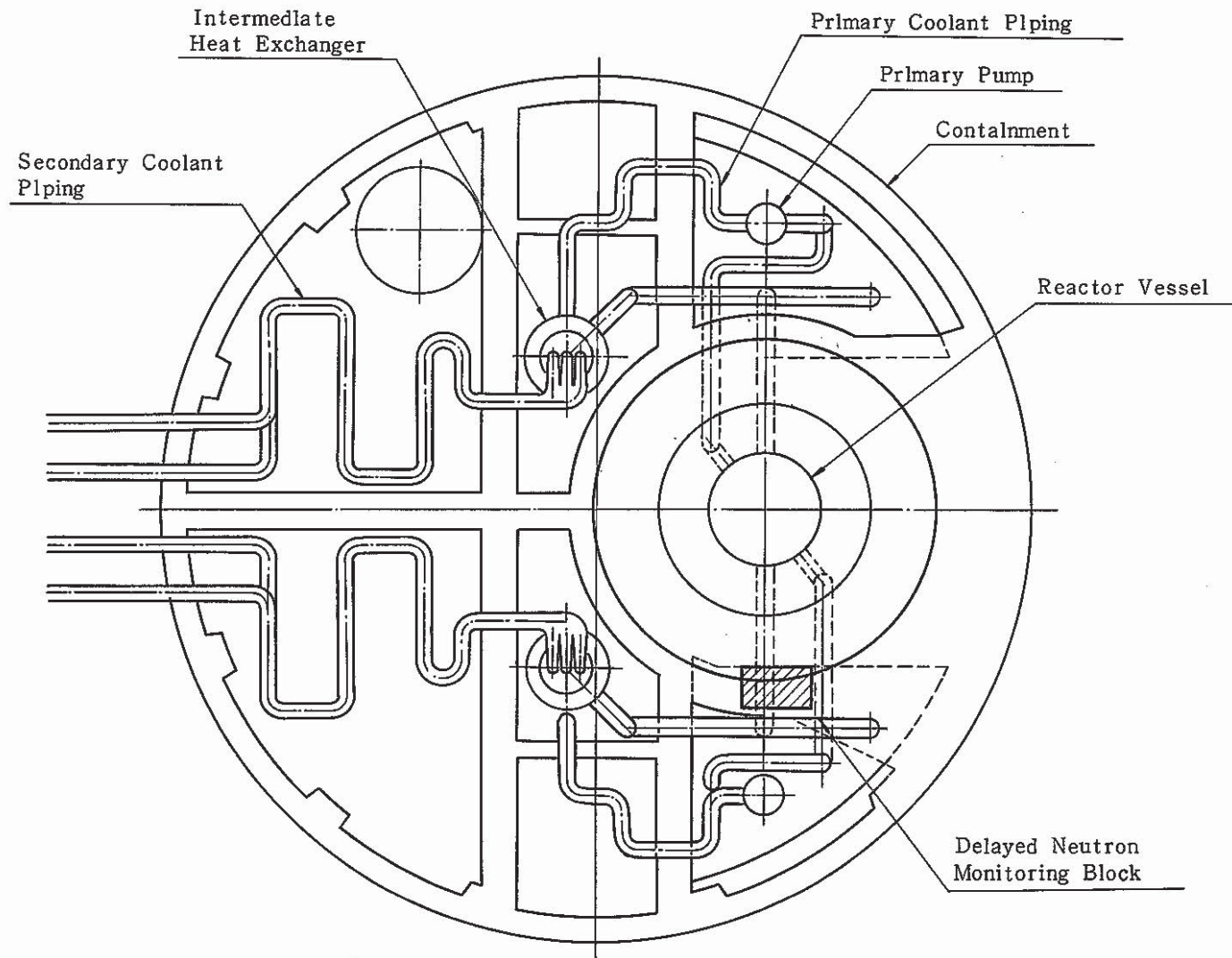
### 2.1 遅発中性子法 (DN法) 設備の概要

本設備は燃料ピンの破損によりナトリウム冷却材中に溶出した核分裂生成物 ( $\text{Br}^{87}$ ,  $\text{I}^{137}$ ) から放出される遅発中性子を検出するための設備で、遅発中性子を熱中性子化する黒鉛減速体系と、熱中性子を検出する計測設備とから構成される。黒鉛減速体系は、原子炉建家地下2階1次主循環ポンプ室(A)室 (R-206室) の1次主配管 (Aループ) に近接して設置されている。第-1図に体系配置図を、又第-2図に体系構造図を示す。計測設備は中性子検出器、前置増幅器 (以下プリアンプと称す。), 対数計数率計 (以下計数モニタと称す。), 記録計及び電源装置から構成される。

中性子検出器は、高感度の $\text{BF}_3$ 検出器と低感度の $\text{B}^{10}$ 検出器が用意され広範囲にわたって遅発中性子が検出できるよう配慮されている。尚、検出器には $\text{BF}_3$ 及 $\text{B}^{10}$ とも比例計数管が用いられている。検出器からの電荷信号はプリアンプ (原子炉建家オペフロ R-501室設置) にて電流パルス信号に変換・増幅された後、中央制御室の燃料破損検出監視盤 (以下、FFD計装盤と称す。) の計数モニタに伝送される。入力パルス信号は計数モニタのパルス波高弁別器、対数積分器、直流増幅器により信号処理が行われ、計数モニタの信号が指示計、記録計に送られる。

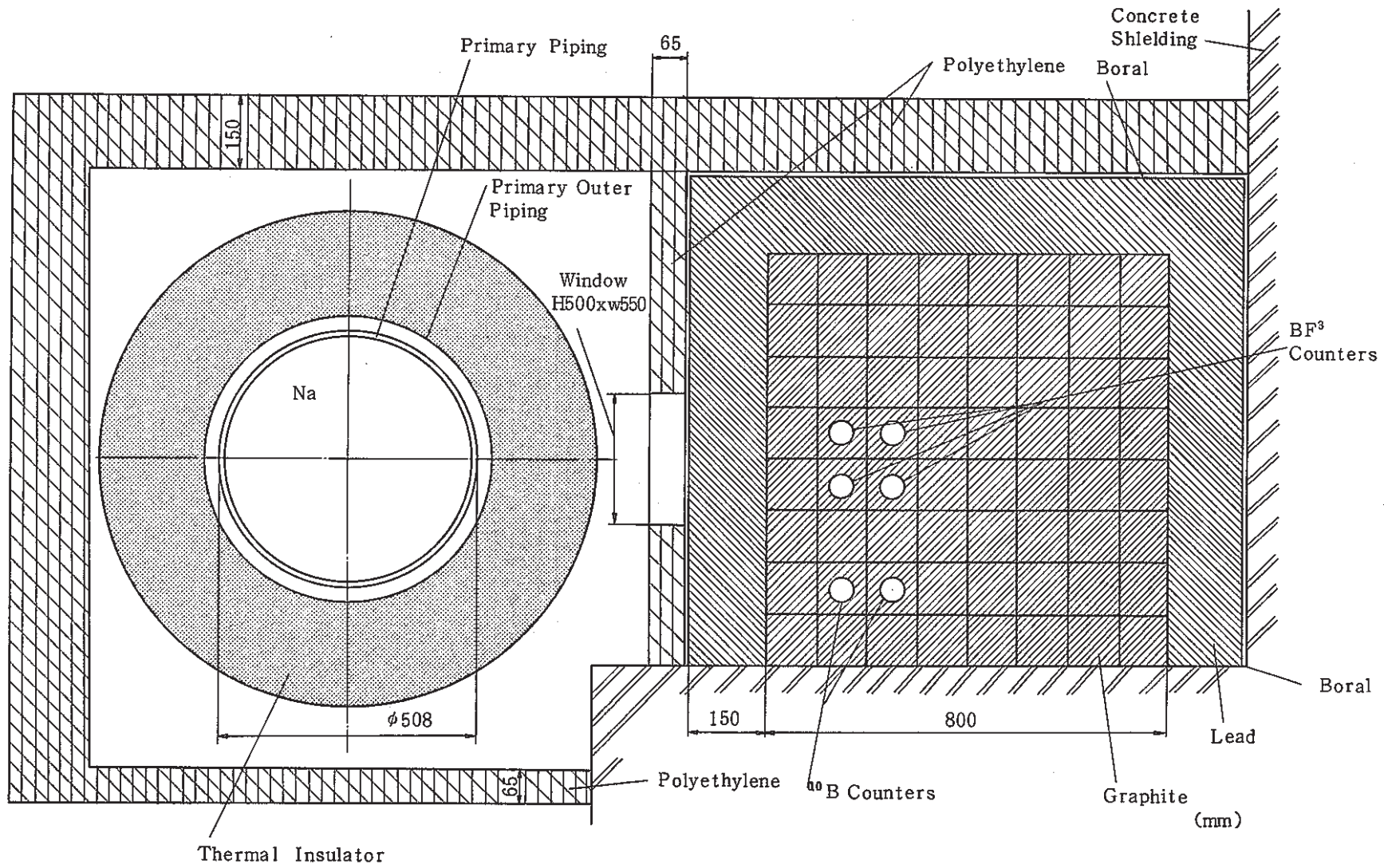
トリップ信号は、対数計数率高とモニタ動作不能のアラーム信号があり、原子炉制御盤(#423)の故障表示窓にアラーム表示が行われる。FFD計装盤には $\text{BF}_3$ 計数モニタ、 $\text{B}^{10}$ 計数モニタ、プレシペータ法と共用している記録計、アラーム出力用の補助リレーユニット及び検出器高圧電源、モニタ電源等を供給する±20V電源装置が設けられている。第-3図に計測設備の系統ブロック図を示す。

$\text{BF}_3$ 計測系と $\text{B}^{10}$ 計測とは検出器とディスクリレベルが異なるだけで、計測機器の構成、型式、等全て同一仕様の回路となっている。



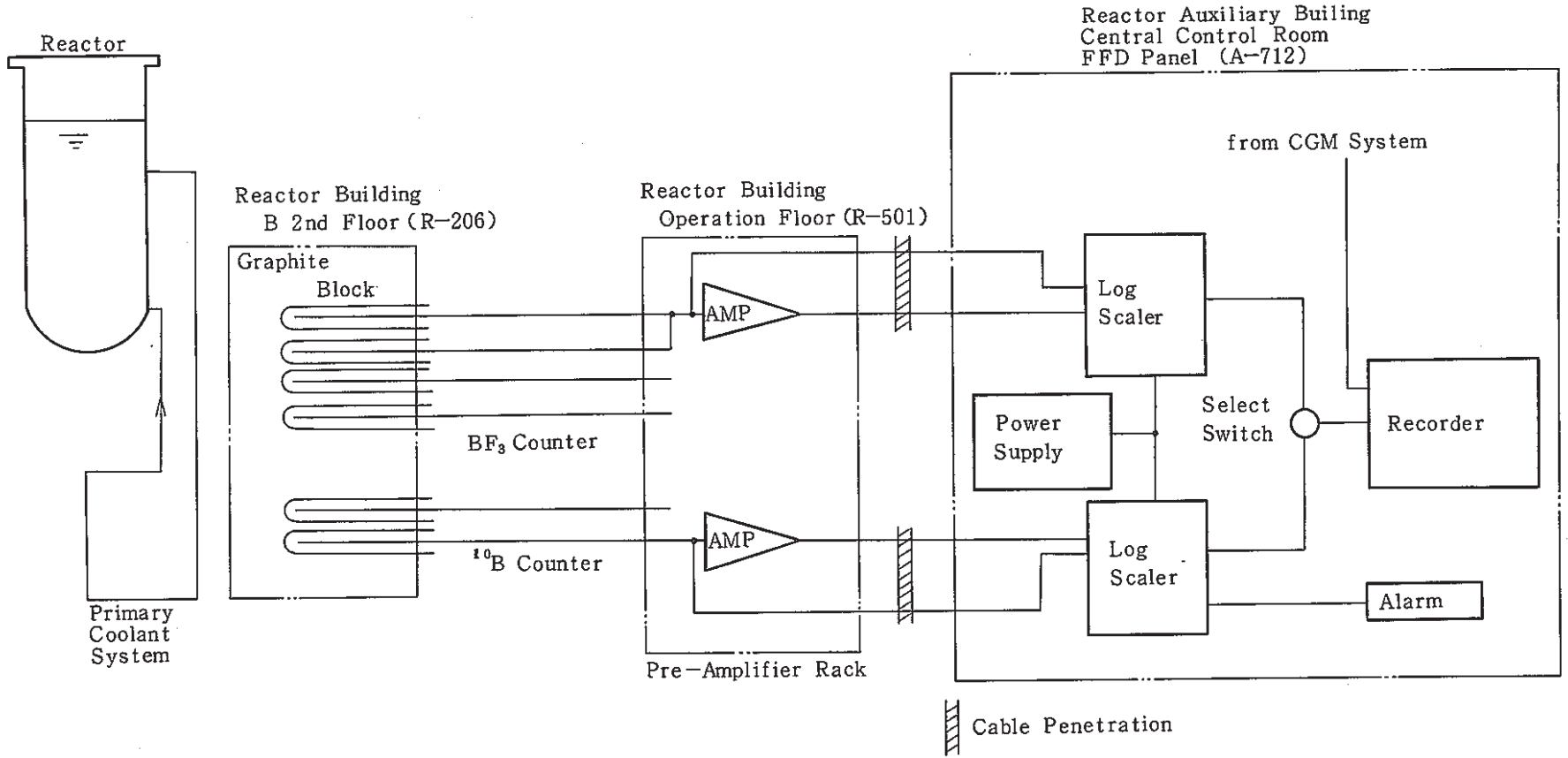
第一 1 図 遅発中性子法体系配置図

Fig. -1 Location of Delayed Neutron Monitoring Block



第一 2 図 遅発中性子法体系構造図

Fig.-2 Cut Away View of Delayed Neutron Monitoring Block

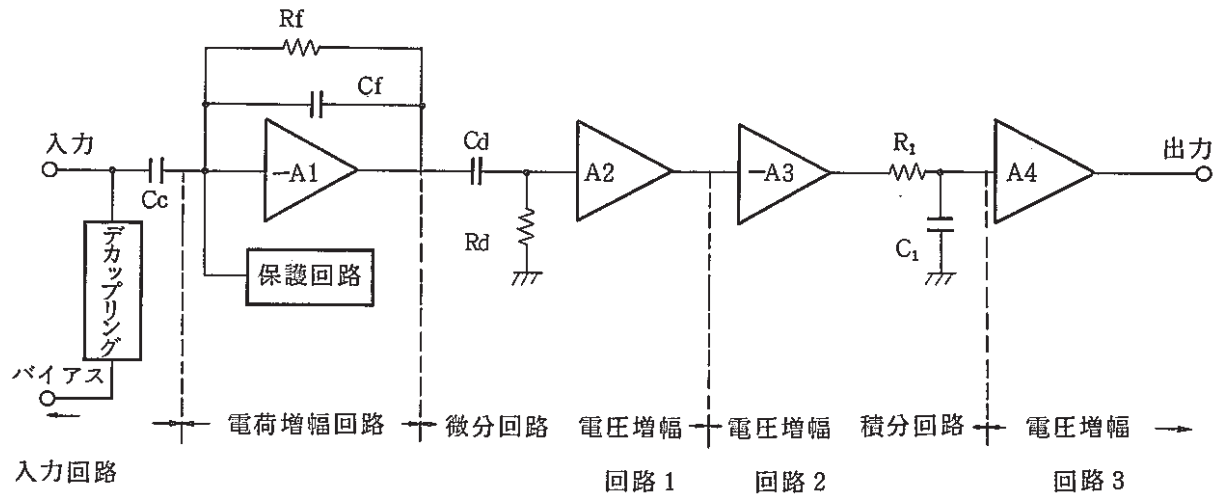


第一 3 図 遅発中性子法計装ブロック図

Fig. -3 Block Diagram of Delayed Neutron Monitoring System

## 2.2 電荷型前置増幅器（プリアンプ）の概要

プリアンプは放射線検出器で発生した電荷信号を、電流パルス信号に変換・増幅して出力するもので、次のブロック図に示す回路から構成されている。（詳細回路図は第-7図を参照のこと。）



第-4図 プリアンプ・ブロック図

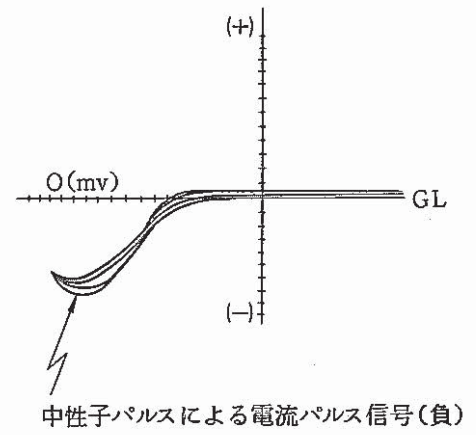
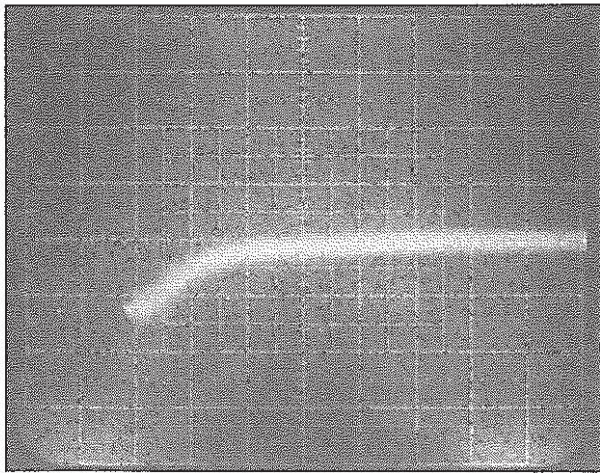
Fig.-4 Block Diagram of Pre-Amplifier

入力回路は検出器に高圧電源を供給する回路で、デカップリング回路及び高圧電圧をカットするための結合コンデンサCcより構成されている。

電荷増幅回路は入力からの電荷信号をCfの帰還容量で電圧に変換する。電荷増幅回路出力の出力波形は立下がり時間がRf、Cfで決まり約100μs程度なので、計数率特性をよくするため微分回路でクリッピングを行っている。微分時定数は約0.1μsで、入力パルスの立上り時間が長いとパルス波高も低くなるので、電圧増幅回路1, 2, 3, で増幅して出力している。又、積分回路は高い周波数成分を有した雑音をおさえて信号対雑音比(S/N比)を良くするために時定数はパルス幅との関係で決定される。

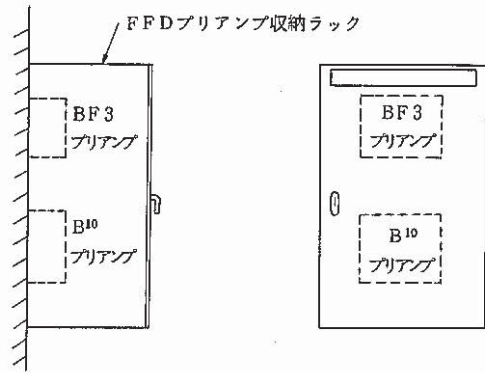
次の第-5図に中性子パルスによる実際のプリアンプ出力(負の電流パルス信号を例として図示する。尚、プリアンプは格納容器内のオペレーティングフロア(R-501室)に設置されているFFD・プリアンプ収納ラック内に取付けられている。第-6図にプリアンプ外形図及び取付図を示す。



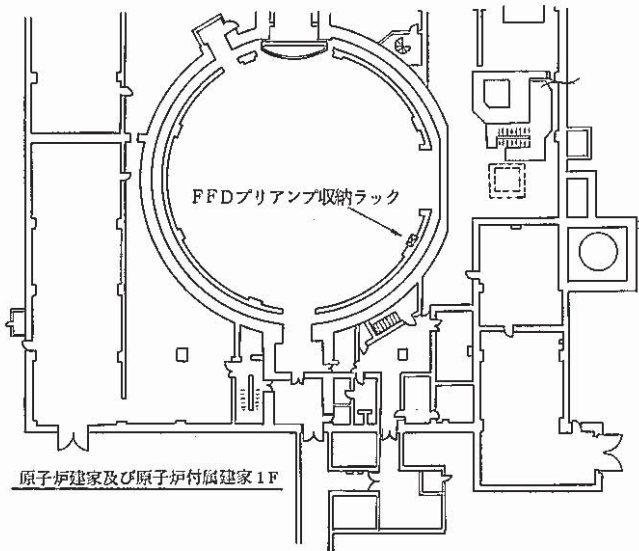
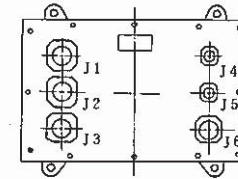
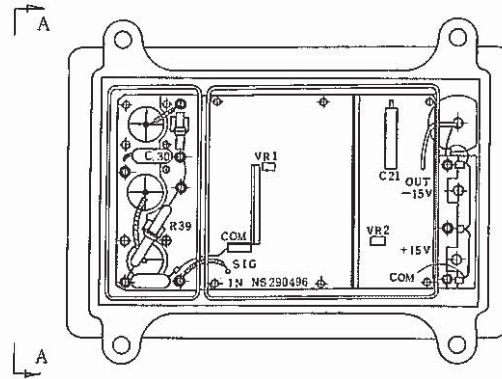


第一 5 図 プリアンプ出力信号波形

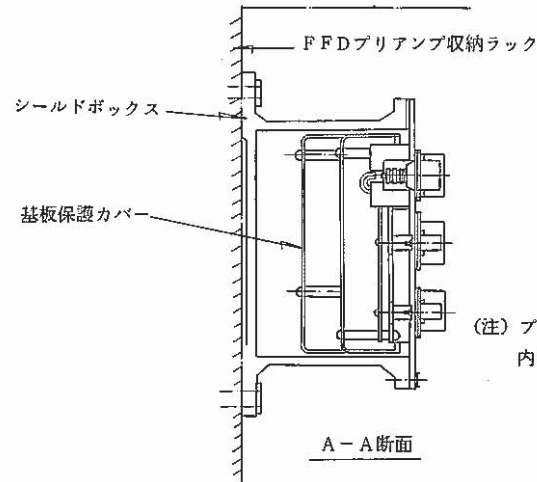
Fig. -5 Pre-Amplifier Output Signal



FFDプリアンプ収納ラック内プリアンプ配置



原子炉建家及び原子炉付属建家1F



(注) プリアンプは静電シールドのためシールドボックス内に収納されている。

A-A断面

第一6図 プリアンプ外形図及び取付図

Fig.-6 Location and Cut Away View of Pre-Amplifier

### 2.3 対数計数率計（計数モニタ）の概要

第一 7 図に計数モニタの計装接続図を示す。計数モニタは、パルス波高弁別器、対数積分器、直流増幅器、校正信号発生器、トリップ回路、計数指示計及び検出器高圧電源、±15 V 電源装置から構成されている。プリアンプからの電流パルス信号（負）は始めにパルス波高弁別器に入力され予め設定された弁別レベルを超えたパルスのみが取出され矩形波パルスに波形整形される。

ノイズ等で生じた振幅の小さいパルスはここでカットされる。波高弁別器からの電圧パルスは対数積分回路に入力され、入力パルスの常用対数に直接比例した直流電流に変換された後、直流増幅器にて指示計、トリップ回路及び記録計を動作するに十分な電圧まで増幅される。指示計、記録計は  $1 \sim 10^6$  cps の 6 デガード目盛となっている。

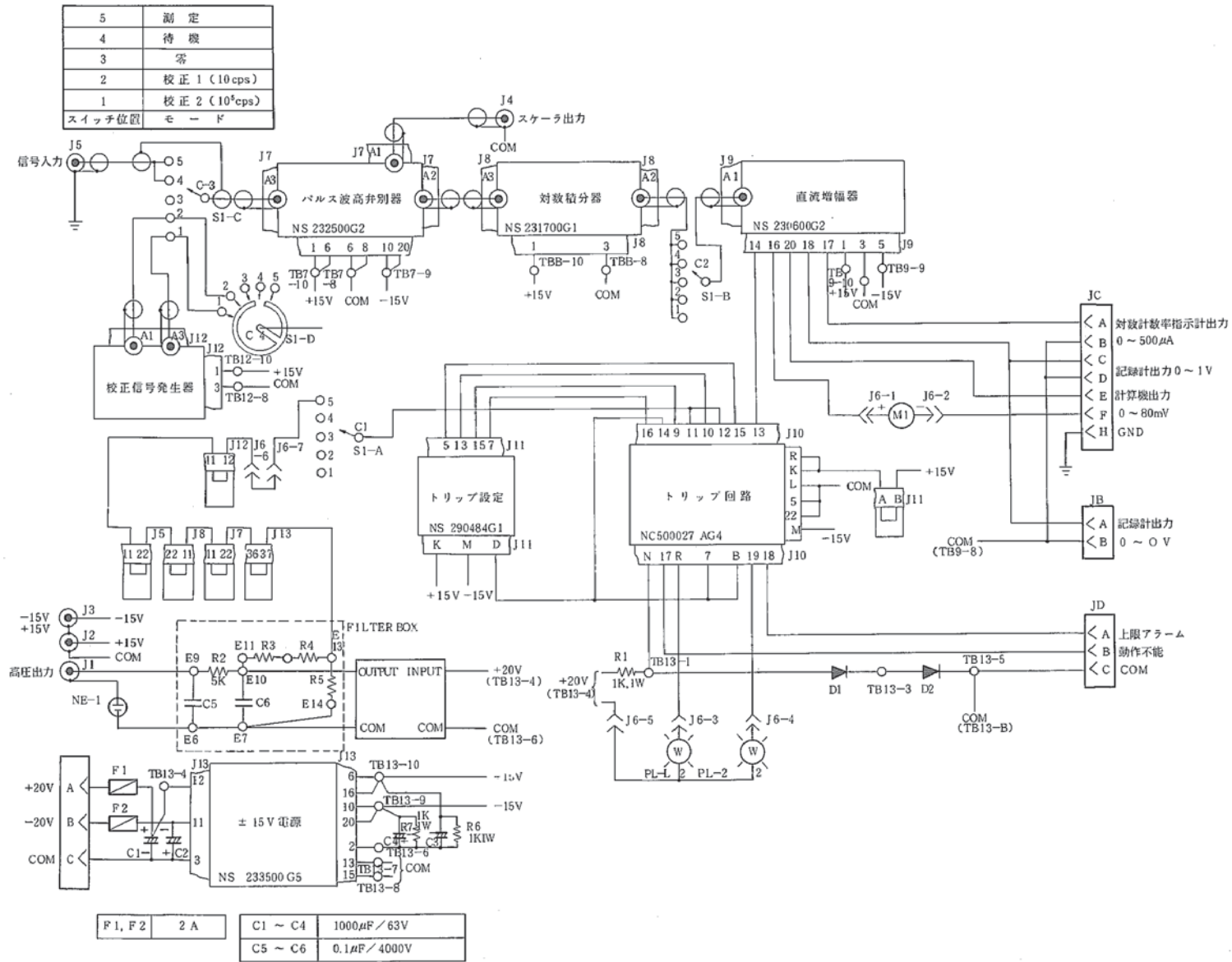
### 2.4 電源装置の概要

第一 8 図に FFD・DN 法設備に係る電源系統図を示す。FFD 計装電源は電源喪失時でも燃料破損の監視ができるように交流無停電電源が用いられている。計装電源は中制分電盤（#426）の交流無停電電源 6 S 系から FFD 計装盤の 20 V 電源装置に給電され、±20 V 電源がそれぞれ計数モニタ、記録計及び補助リレーユニットの電源として供給される。計数モニタ内には 20 V 電源を電源として更に±15 V 電源回路及び高圧電源回路とが設けられている。±15 V 電源は、パルス波高弁別回路等の計数モニタ内の回路電源の他にプリアンプにも回路電源を供給している。

高圧電源回路は検出器のバイアス電源として計数モニタからプリアンプへ給電している。尚、検出器のバイアス電圧は次の通りに設定されている。

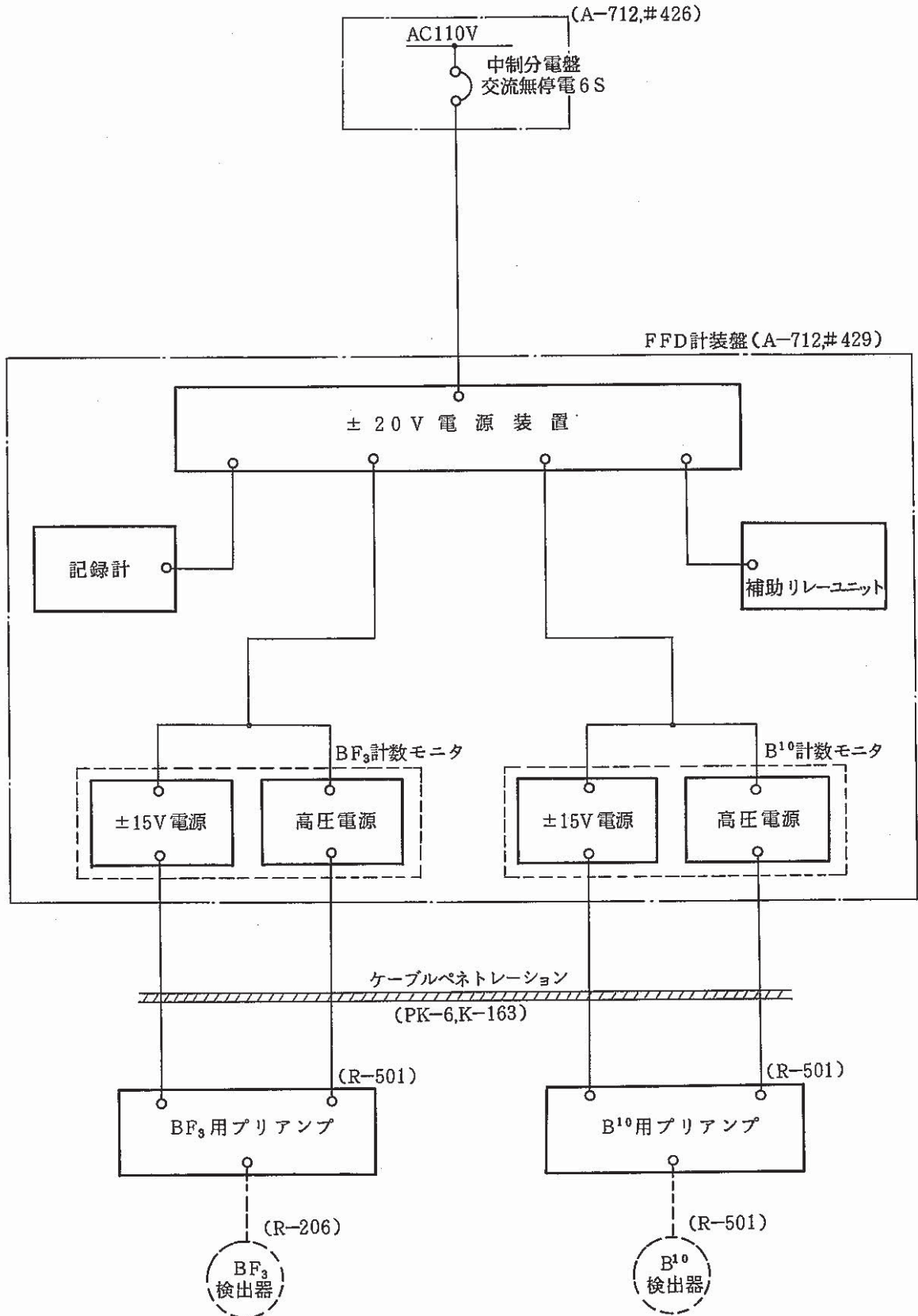
BF<sub>3</sub> 検出器：3450 V

B<sup>10</sup> " : 1000 V



第-7図 計数モニタ接続図

Fig.-7 Block Diagram of Logarithm Monitoring Meter

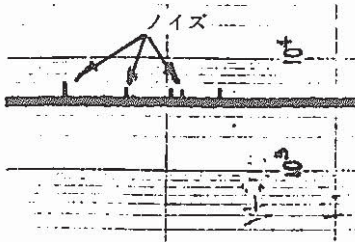
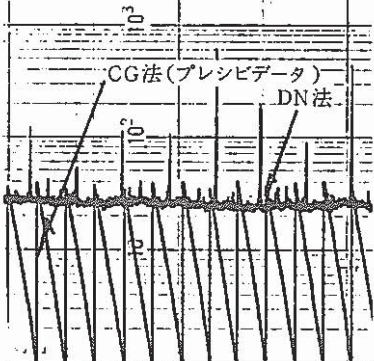


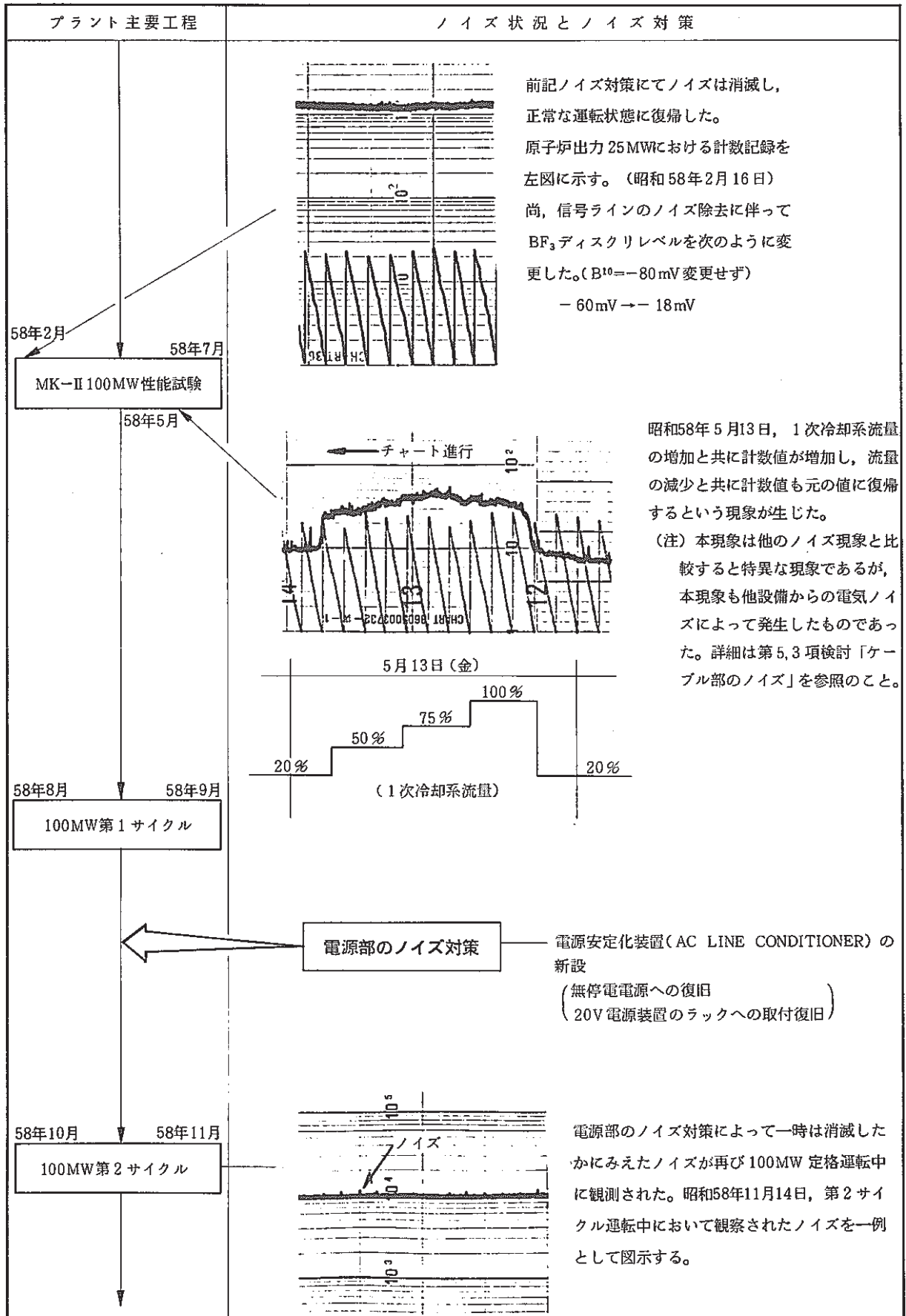
第一 8 図 計装電源系統図

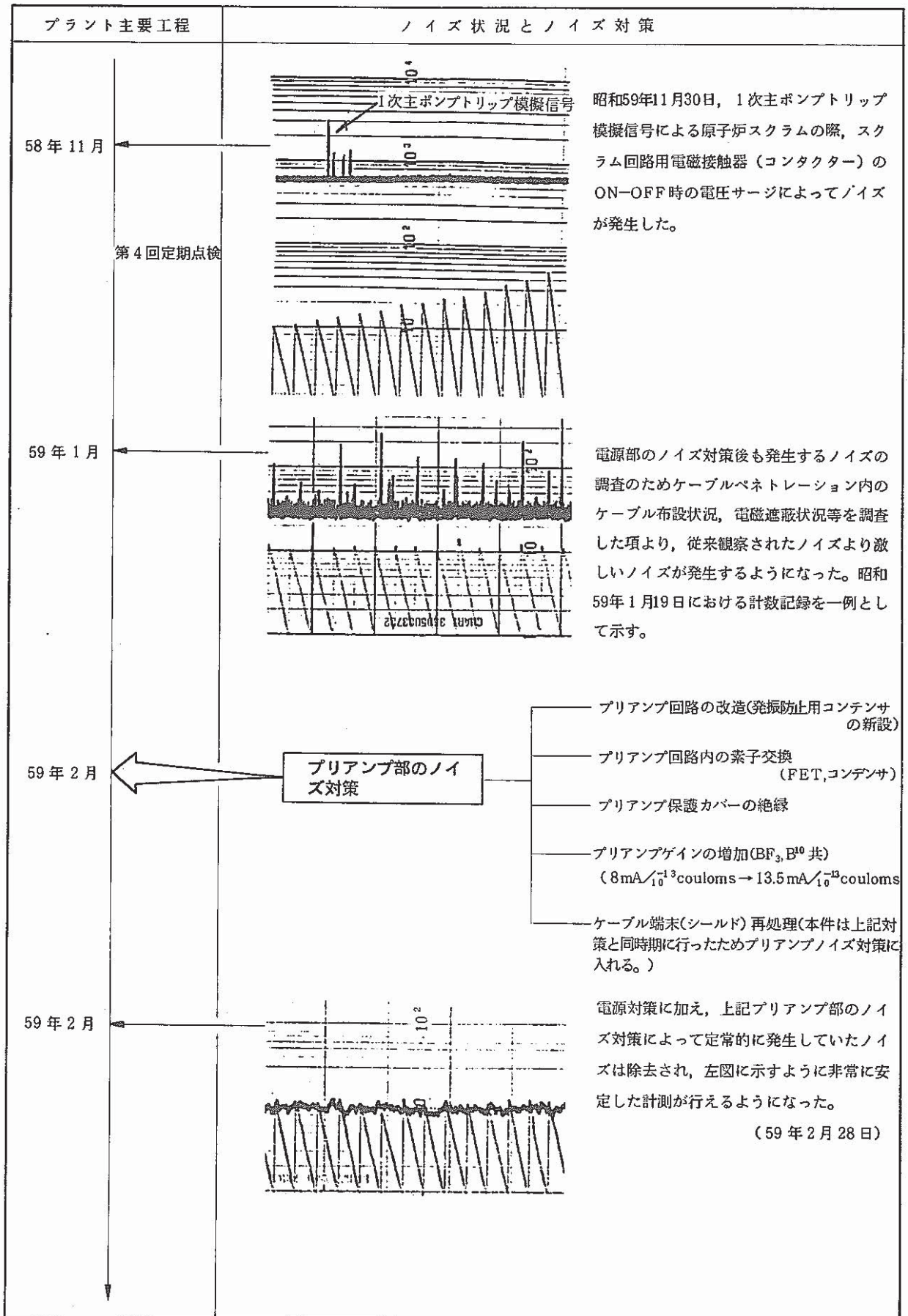
Fig.-8 Power Line of Delayed Neutron Monitoring System

### 3. ノイズ状況とノイズ対策の経緯

以下に過去FFD・DN法計装設備において発生したさまざまなノイズ及びそれに伴うノイズ対策の経緯を示す。尚、表中図示するノイズ記録はBF<sub>3</sub>計測系において観察されたものであったが、B<sup>10</sup>計測系においても同様に指示計の指針の振れによって観察された。

プラント主要工程	ノイズ状況とノイズ対策
56年/11月      56年/12月 MK-175MW第6サイクル	 <p>MK-I 75MW第6サイクル開始頃からノイズによるヒゲが発生し始めた。昭和56年11月27日に発生したノイズを一例として左図に図示する。</p>
57年9月 MK-II 炉心移行	<p>ノイズ原因調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ノイズ成分除去の目的からBF<sub>3</sub>ディスクリレベルを変更した。 - 30 mV → - 60 mV (B<sup>10</sup> = -80 mV 変更せず)</li> <li>プリアンプが発振しやすいとの事からゲインをBF<sub>3</sub>, B<sup>10</sup> 共変更した。 13.5 mA / 10<sup>-9</sup> couloms → 8 mA / 10<sup>-10</sup> couloms</li> </ul>
58年2月 第3回定期点検	 <p>MK-II炉心移行が終了し100MW性能試験開始前の計数記録を示す。バックグランド約30 cas に対して10<sup>3</sup> cps を超えるようなノイズが頻発した。</p>
58年2月	<p>ノイズ原因調査及び対策</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(注) 電源変更(無停電電源(6S) → 補助電源(2D))</li> <li>(注) 20V電源装置の絶縁(ラックからの取外し)</li> </ul> <p>(注) 上記対策は暫定処置として行った対策であり、後述の電源部のノイズ対策にて恒久対策を講じている。</p>







プラント主要工程	ノイズ状況とノイズ対策
<p>59年3月</p>	<p>ケーブル部のノイズ対策</p> <p>光ファイバケーブルの使用 (BF<sub>3</sub>系のみ)                      (注) プリアンプ収納ラック内の高圧ケーブル電磁遮蔽(アスベルトの巻付け) (B<sup>10</sup>系のみ)</p> <p>(注) プリアンプ収納ラック内のケーブル配置関係より B<sup>1</sup>系のみ高圧ケーブルの布設状況によってはノイズが発生する。(光ケーブル交換工事にてノイズが B<sup>10</sup>系にのみ再々度生じた。)</p>
<p>59年4月</p>	<p>光ファイバケーブルによるノイズ対策によって流量変動によるノイズ及び原子炉スクラム時のノイズが除去出来たことが100MW第3サイクル運転前確認期間中の試験で確認された。尚、B<sup>10</sup>系のノイズについても電磁遮蔽によってノイズを除去することが出来た。</p>
<p>57年4月</p> <p>100MW第3サイクル</p>	<p>ノイズ対策による信号波形変化に伴って100MW出力におけるディスクリ特性の見直しを行った結果、次のようにディスクリレベルを変更、設定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BF<sub>3</sub> -18mV → -210mV</li> <li>• B<sup>10</sup> -80mV → -160mV</li> </ul>

## 4. ノイズ対策とその結果

前項にてFFD・DN法計測系において発生したさまざまノイズを紹介したが、これに伴い58年2月から59年3月にわたって種々のノイズ対策を行った。ノイズ対策は次のように大別される。

- 1) 電源部のノイズ対策
- 2) プリアンプ部のノイズ対策
- 3) ケーブル部のノイズ対策

以下、各部のノイズ対策及びその結果を報告する。

### 4.1 電源部のノイズ対策

#### (1) 昭和58年2月の暫定対策

昭和58年2月に行ったノイズ調査より第一9図(a)～(d)に示す調査結果が得られた。同図は計数モニタの入力信号(プリアンプ出力信号)を示すものであるが、前述の第一5図にて図示した正常時の波形と比較すると(d)の波形を除いてノイズの発生が一目瞭然である。以下に第一9図(a)～(d)を表形式にまとめる。表中×印がノイズ発生、○印はノイズ除去を意味する。

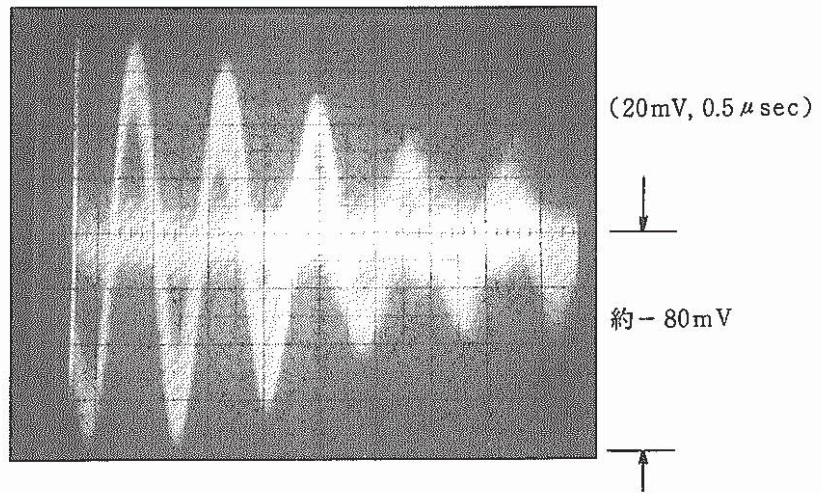
	交流無停電電源(6S)	非常系電源(2D)
20V電源装置シャーシ・アース 有り	(a) ×	(c) ×
” ” 無し	(b) ×	(d) ○

(注) ここで交流無停電電源とは一般商用電源(D/G電源含む)を整流・インバータ変換した電源であり、非常系電源はD/Gからの供給が可能な一般商用電源である。また、20V電源装置はラック収納タイプとなっており、シャーシアース有りととは通常の取付状態を、シャーシアース無しとは盤ラックから取外した状態を示す。

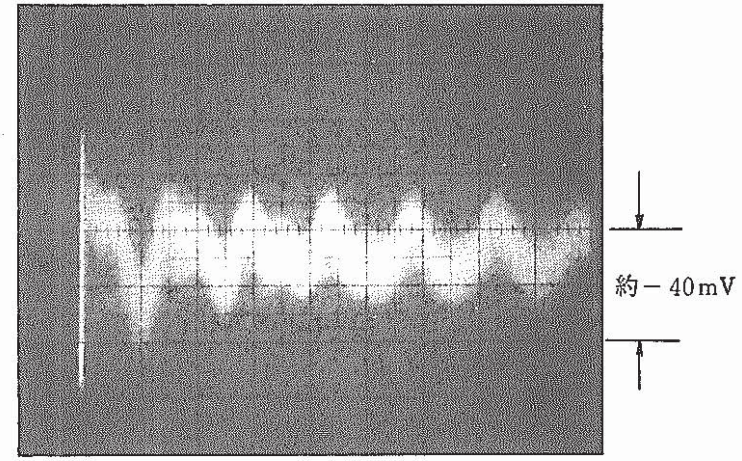
上表から明らかなようにノイズは非常系電源で且つ20V電源装置のシャーシ・アースが無い場合にのみ除去出来ている。

すなわちこれは、電源波形に歪がなく且つ電源装置が絶縁された状態で始めてノイズが除去出来るという事を示している。これより58年2月の時点では、ノイズは無停電電源の波形歪とアースラインに生じていたノイズ電圧との複合作用により発生しているものと考えられた。以上の調査結果を受けて同月、次の暫定対策を施し100MW性能試験、100MW第1サイクル定格運転に対処した。

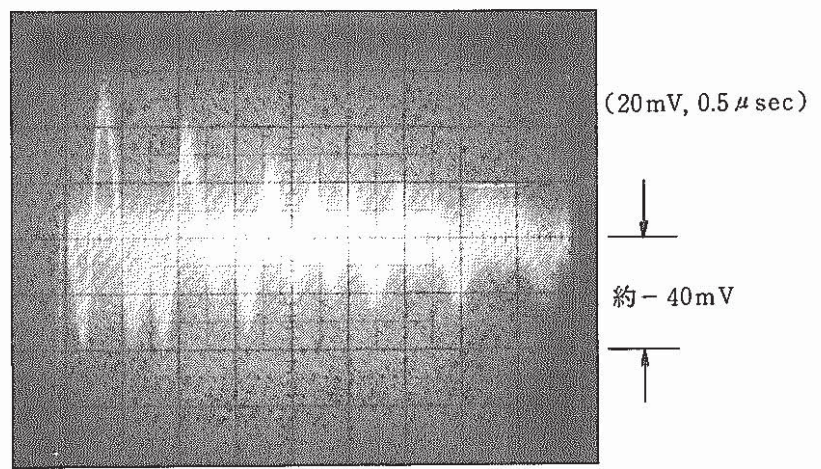
- a) 電源の変更(交流無停電電源(6S)→補助電源(2D))
- b) 20V電源装置の絶縁(ラックからの取外し)



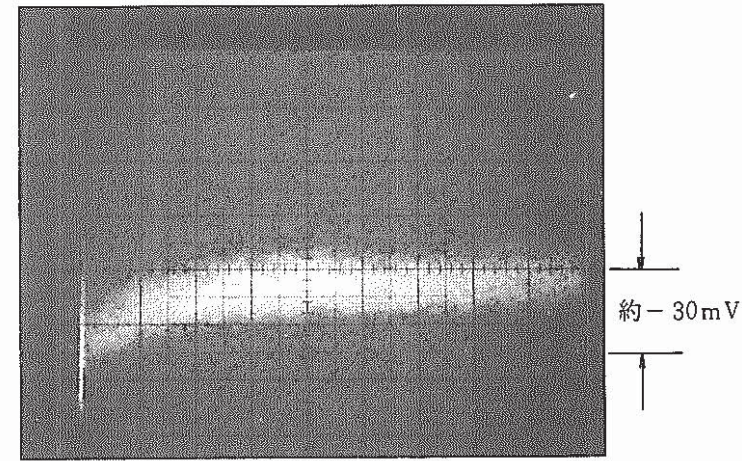
(a) 交流無停電電源 + 20V電源シャーシアース有り



(c) 非常系電源 + 20V電源シャーシアース有り



(b) 交流無停電電源 + 20V電源シャーシアース無し



(d) 非常系電源 + 20V電源シャーシアース無し

第-9図 計数モニタ入力信号波形 (BF<sub>3</sub>)

Fig.-9 Logarithm Monitoring Meter Input Signal

(2) 電源安定化装置 (AC LINE CONDITIONER) の新設

昭和58年2月に行ったノイズ対策では電源喪失時の燃料破損監視が出来ないという致命的な欠陥があるため、ノイズ対策としては採用出来ない。これより同年10月恒久的なノイズ対策として電源ラインに電源安定化装置 (AC LINE CONDITIONER) を新設した。第-10図に改造前と改造後の各部の波形を図示する。改造前の交流無停電電源ラインには電源波形に歪が生じていると共に、電源-アース間に一定周期で約2V (P-P間) の歪の激しいノイズ電圧が観察されていたが、AC LINE CONDITIONERを設けたことにより電源は一般商用電源と同程度に整形波形され、且つ電源-アース間にみられていたノイズ電圧も消去された。この結果として、改造前信号ラインに生じていた最大波高-40mVのノイズは除去され、本来のFission Pulseを計数出来る状態に改善出来た。尚、この結果は20V電源装置のシャーシ・アース有り無しに拘わらず同一結果が得られた。

(計数值による改造前後の比較)

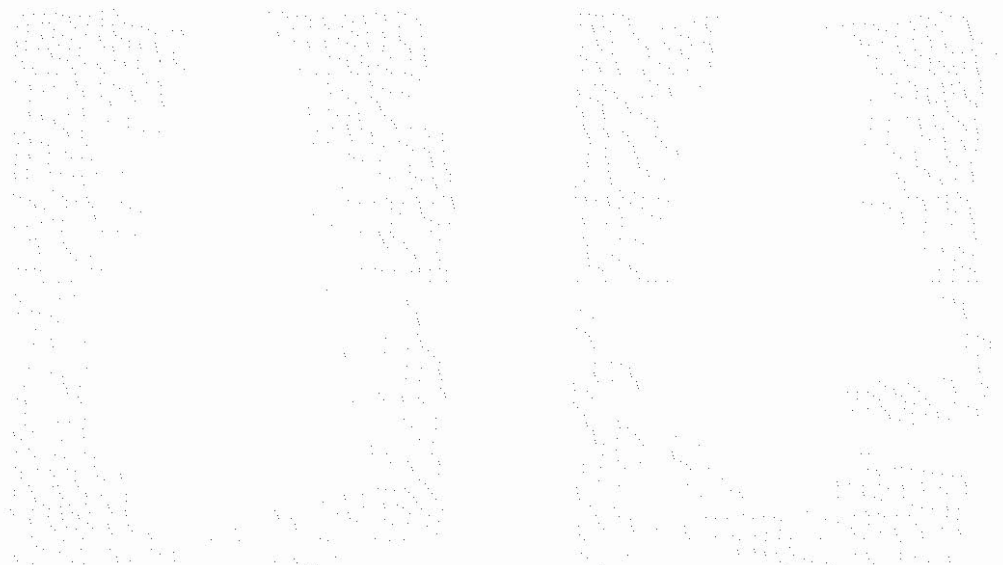
改造前— 交流無停電電源をそのまま使用

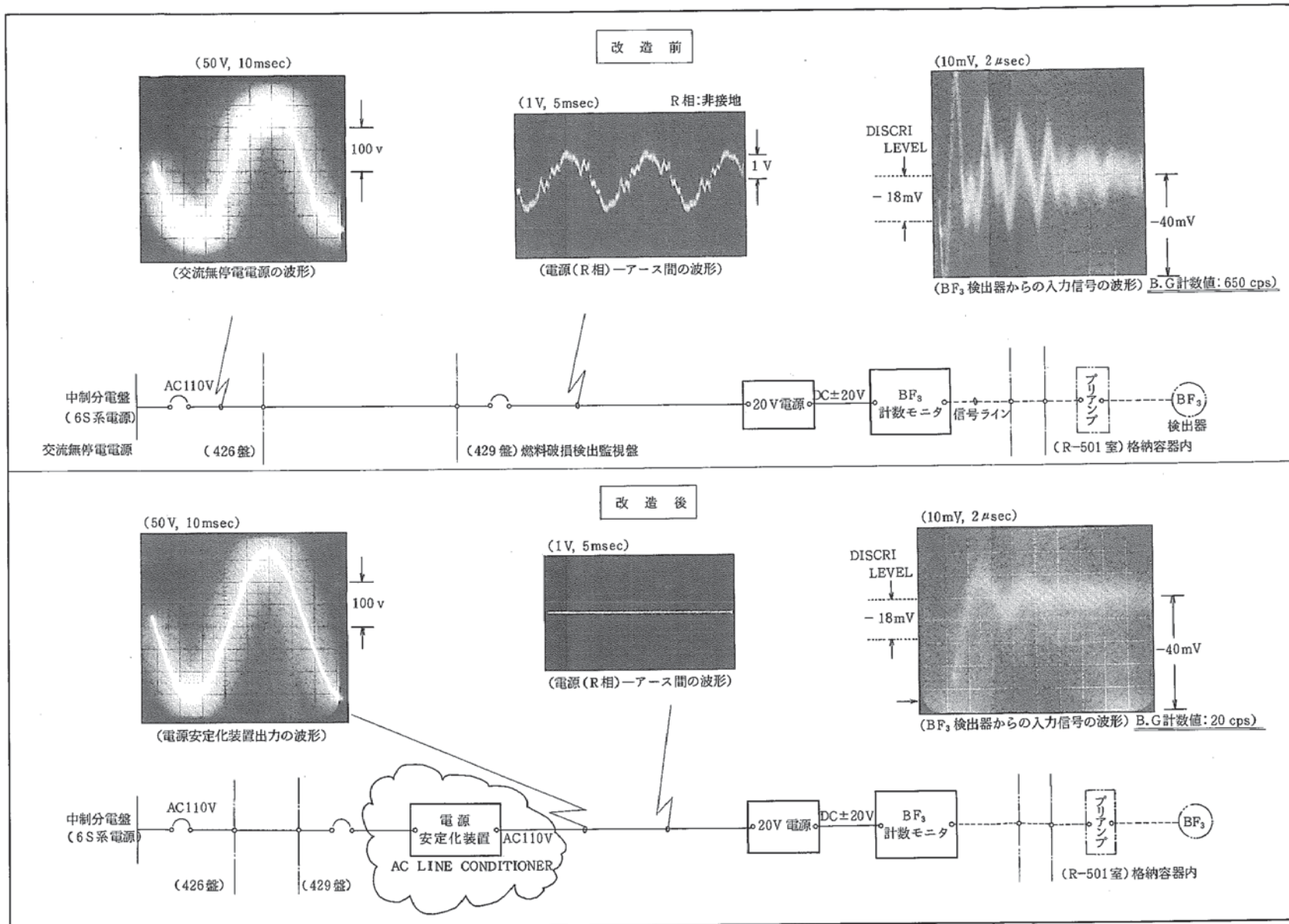
(注)  
→ 650 cps (異常値)

改造後— 交流無停電電源+ AC LINE CONDITIONER

→ 20 cps (正常値)

(注) BF<sub>3</sub>計測計での指示値を示す。



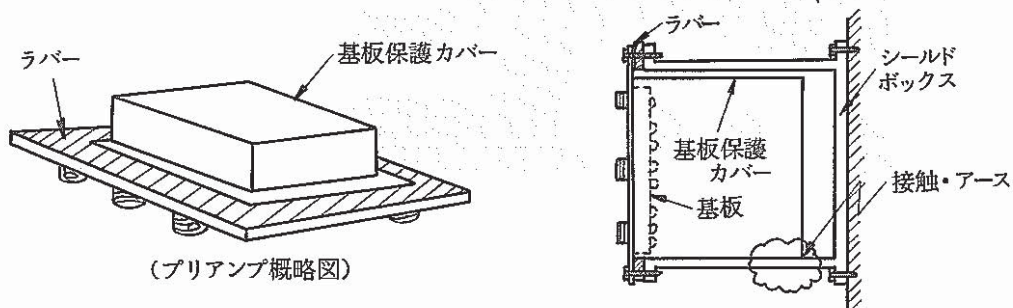


第一10図 電源部に対するノイズ対策  
Fig.-10 Noise Countermeasures of Power Line

#### 4.2 プリアンプ部のノイズ対策

電源部のノイズ対策によって一時は消滅したかにみえたノイズが再び100 MW第2サイクル運転中から発生するようになり、ケーブルペネトレーション部のケーブル調査と共に従来発生したノイズより激しいノイズが発生するようになった。これに伴い昭和59年2月システム全搬の再調査を行った結果、プリアンプからの出力信号ラインに電源部のノイズ対策以前にみられたノイズとは若干異なった波形のノイズが発生している事が判明した。これを受けてプリアンプ部廻りの詳細ノイズ調査を行った結果、次の不具合点が明らかにされた。

- 1) 次の第-11図に示すように、プリント基板保護カバーとシールドボックスとが接触し、多点アースとなっていた。(第-6図参照)



第-11図 プリント基板保護カバーとシールドボックスとの接触

Fig.-11 Contacting Condition Between Protect Cover of Circuit Board and Shielding Box

- 2) キャノンコネクターを使用したケーブル端末処理方法は、輪形の金具にシールド線をハンダ付けし、その金具をコネクターで締め込むことによってコネクターとケーブル側とのシールドラインを形成する方式となっているが、BF<sub>3</sub>及びB<sup>10</sup>計測系とも検出器ケーブルにはシールド用金具がないためシールドが浮いた状態になっていた。尚、キャノンコネクターは検出器ケーブル（検出器～プリアンプ）及び高圧ケーブル（プリアンプ～計数モニタ）に使用されている。(後述の第-13図を参照のこと。)

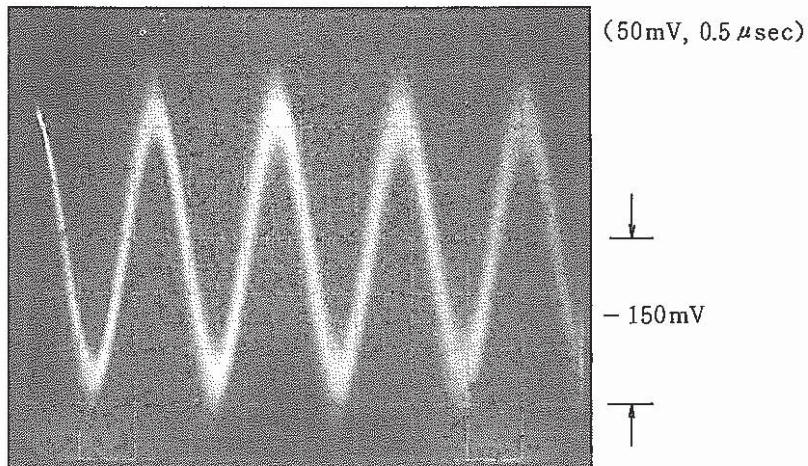
(注) 本件は本来は後述の「ケーブル部のノイズ対策」に属するものであるが、他のプリアンプ部ノイズ対策と同時期に行ったため敢えてプリアンプ部ノイズ対策の項にて記述する。

- 3) 昭和57年10月当時のノイズ原因調査の際、プリアンプの発振を防止する目的（プリアンプが何度か発振状態に至ったため）から仕様で定められたゲインより低いゲインに変更したが、これによりプリアンプ出力はより更に低出力の信号となり、他の影響を受けやすい耐ノイズ性の悪い計測系となっていた。尚、プリアンプゲインはBF<sub>3</sub>、B<sup>10</sup>とも同一ゲインである。

(対策前ゲイン) -  $8\text{mA}/10^{-3}\text{ couloms}$

(仕様ゲイン) -  $13.5\text{mA}/10^{-3}\text{ couloms}$

4) 上記不具合点の調査の際、プリアンプゲインを高める事を試みたが、少しでもゲインを高めるとプリアンプは発振状態に至ってしまった。次の第-12 図に発振状態となったプリアンプ出力波形を示す。



第-12 図 発振状態のプリアンプ出力波形

Fig.-12 Oscillation of Pre-Amplifier Output Signal

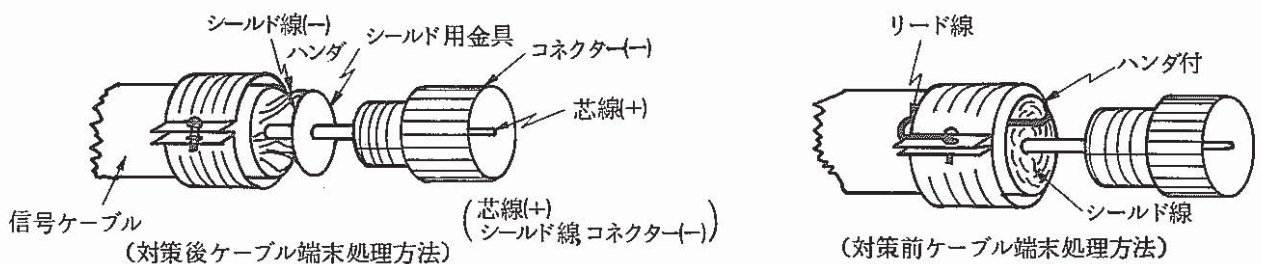
以上の調査結果に基づいて、以下のノイズ対策を講じた。

1) 多点アースの防止

プリント基板保護カバーに絶縁テープを巻いて絶縁処理を施した。

2) 検出器ケーブルの端末処理

シールド金具のないものについては次の第-13 図に示すようなシールド用リード線を設け、シールドを行った。尚他のシールド金具のあるものについても、よりシールドを完全なものにするため同様にシールド用リード線を新たに設けた。



第-13 図 キャノンコネクターケーブルの端末処理

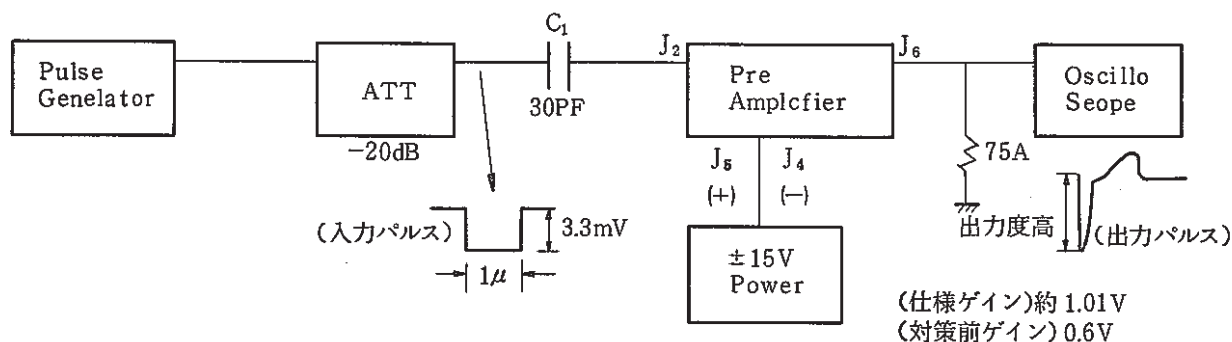
Fig.-13 Treatment of Cable Connector

3) プリアンプ・ゲインの変更

プリアンプ・ゲインは第-14 図に示すパルスジェネレータからの模擬信号入力による調整回路にて調整される。同調整回路に従って出力パルスの波高をそれまでの 0.6 V から 1.01 V に高めた。これは仕様ゲインに設定し直したものである。

(対策前ゲイン) -  $8\text{mA}/10^{-13}\text{ coulows}$  (出力波高約 0.6 V)

(仕様ゲイン) -  $13.5\text{mA}/10^{-13}\text{ coulows}$  ( " 1.01 V)



第一 14 図 プリアンプゲイン調整回路

Fig.-14 Adjustment Circuit of Pre-Amplifier Gain

4) 回路の安定性向上

回路の安定性を向上させるため次の 2 点の対策を講じた。本件はノイズの発生とは直接的には関連しないが、回路の安定性を高めることは間接的なノイズ防止につながるとの考えからノイズ対策の一環として報告する。

(i) 発振防止用コンデンサの新設

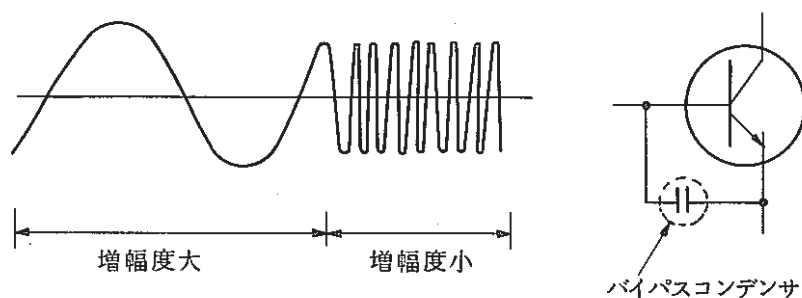
第一 15 図にプリアンプ回路図を示すが、発振防止用コンデンサ (バイパス・コンデンサ) を新たに回路中最終トランジスタ ( $Q_{12}$ ) の C (コレクタ) - B (ベース) 間に設け、回路の安定性を向上させた。尚、バイパスコンデンサには次の仕様のものを使用した。

(品 名) ディップマイカ・コンデンサ

(仕様) 容量:  $200\text{PF} \pm 5\%$ , 耐圧:  $500\text{V}$

(注) バイパスコンデンサとは低周波成分である信号 (ここでは中性子パルス信号が該当する) に対しては大きな増幅度を有するが、ノイズ成分である高周波成分に対しては増幅度が小さくなって発振を防止するというものである。

高周波成分の入力  $\rightarrow$  コンデンサのインピーダンス ( $\frac{1}{\omega c}$ ) 小  $\rightarrow$  トランジスタ・ベース電位低下  $\rightarrow$  増幅度低下

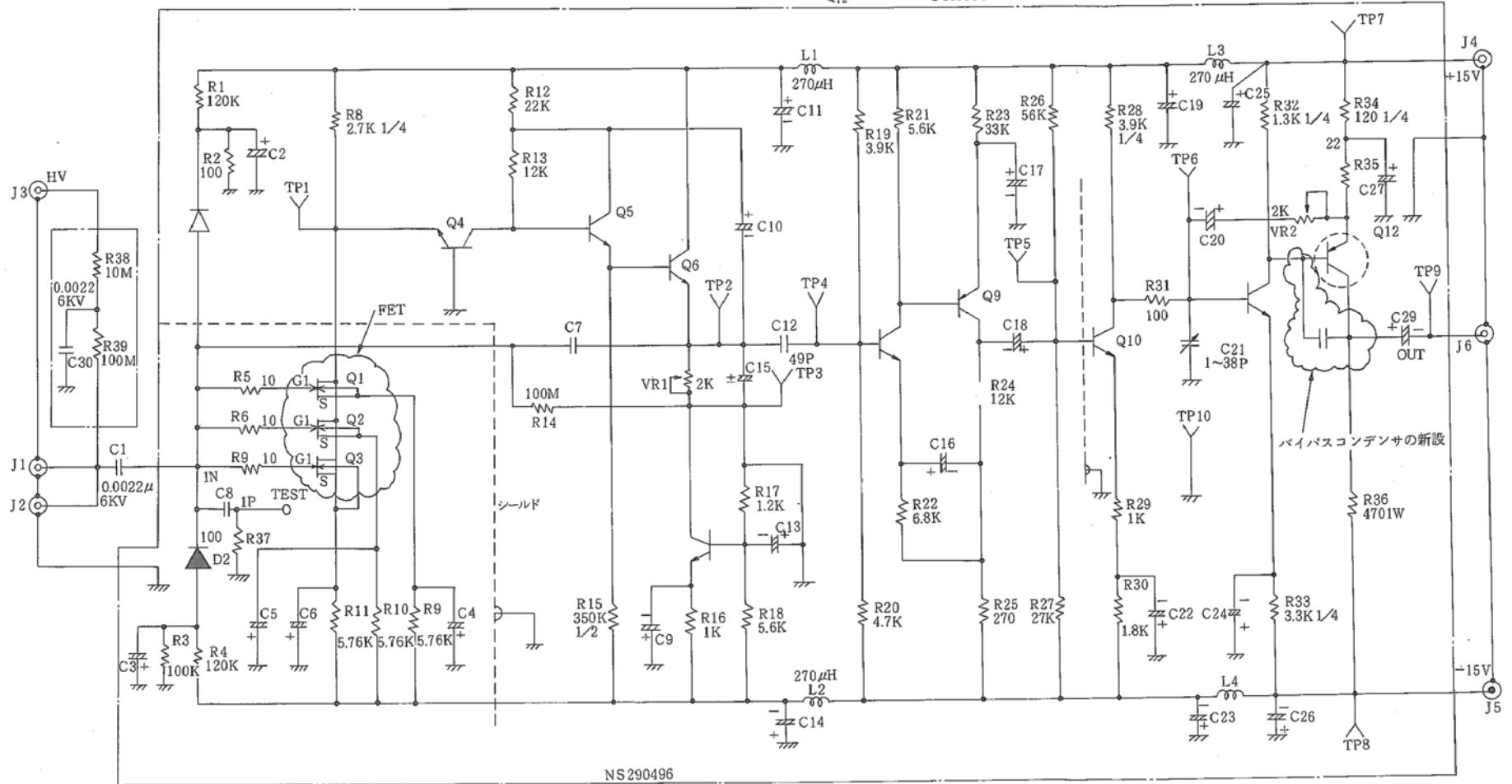




D<sub>1</sub> D<sub>2</sub> IS1585  
 Q<sub>1</sub> ~ Q<sub>3</sub> 3SK28Y

Q<sub>4</sub> ~ Q<sub>7</sub> 2SC105

Q<sub>8</sub> Q<sub>12</sub> Q<sub>11</sub> 2SA400-Y  
 Q<sub>9</sub> 2SA500-Y  
 Q<sub>1,2</sub> 2SA504-



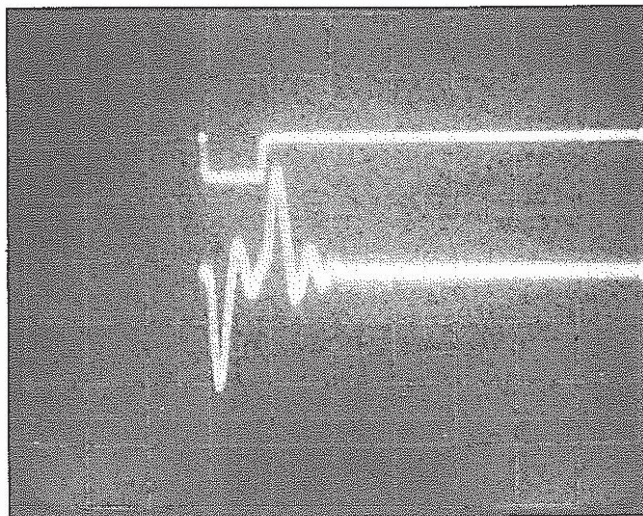
- 1) 特に指定しない抵抗は1/8 watt
- 2) 特に指定しないコンデンサは10μF/35w
- 3) C<sub>15</sub> C<sub>28</sub> 欠番

第-15図 プリアンプ回路接続図

Fig.-15 Circuit Diagram of Pre-Amplifier

(ii) 電界効果トランジスタ (FET) の交換

FETは前述の第-15 図中 $Q_1$ ,  $Q_2$ , 及び $Q_3$ にあたり入力信号の初段増幅を行うもので、増幅度を高めるため3個並列接続されている。プリアンプの特性はこのFETの特性に大きく左右され、特性のバラついたものを使用すると次の第-16 図に示すような歪の大きな出力波形となる。歪、すなわち高周波成分は回路の発振につながると共に、ノイズ源の要因となるもので回路上好ましくないものである。従って同一特性のFETを3個使用することが歪の少ない出力を得られることになり、安定性及び耐ノイズ性の優れた理想のアンプとなる。



(入力) 5mV, 1 $\mu$

(出力) 0.5V, 1 $\mu$

約-1.1V

(注) 本図はプリアンプケイン調査回路(模擬入力)を用いた時に得られた出力波形を示す。

第-16 図 歪の大きいプリアンプ出力波形

Fig.-16 Big Distortion of Pre-Amplifier Output Signal

過去、プリアンプが発振状態に至った経緯と使用素子の劣化度とを考慮して今回バイパス

- コンデンサの新設と共に、FETの交換を行った。

次の第-1 表に交換後のFETのバイアス電圧特性を示す。

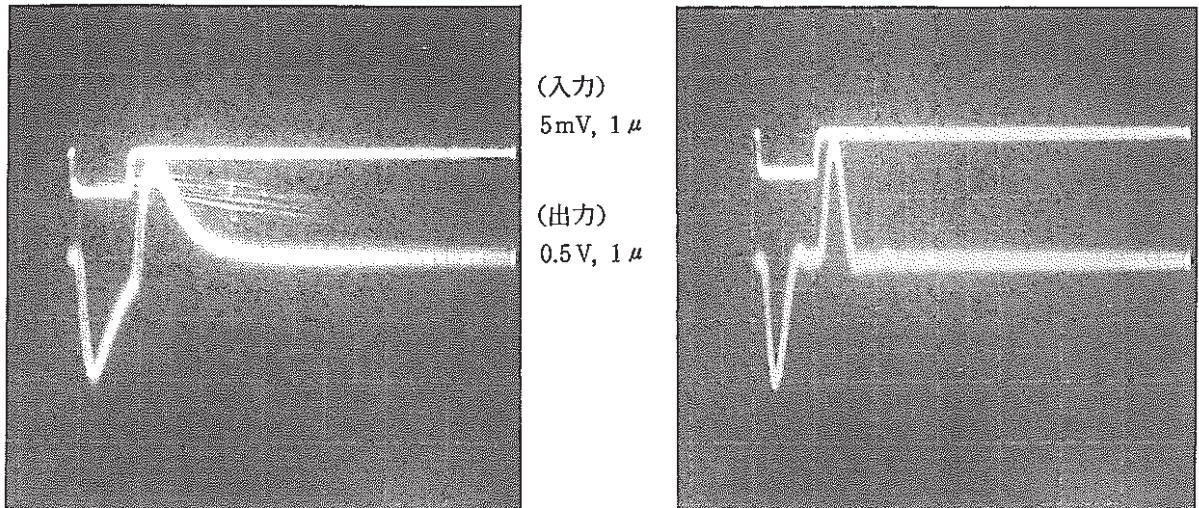
第-1 表 FETバランス比較表

Table-1 Comparison of Field Effect Transistor Balance

	BF <sub>3</sub> 用プリアンプ			B <sup>10</sup> 用プリアンプ		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
Dピン (V)	-0.649	-0.649	-0.649	-0.629	-0.629	-0.629
Sピン (V)	-2.92	-2.92	-2.92	-3.07	-3.03	-2.97

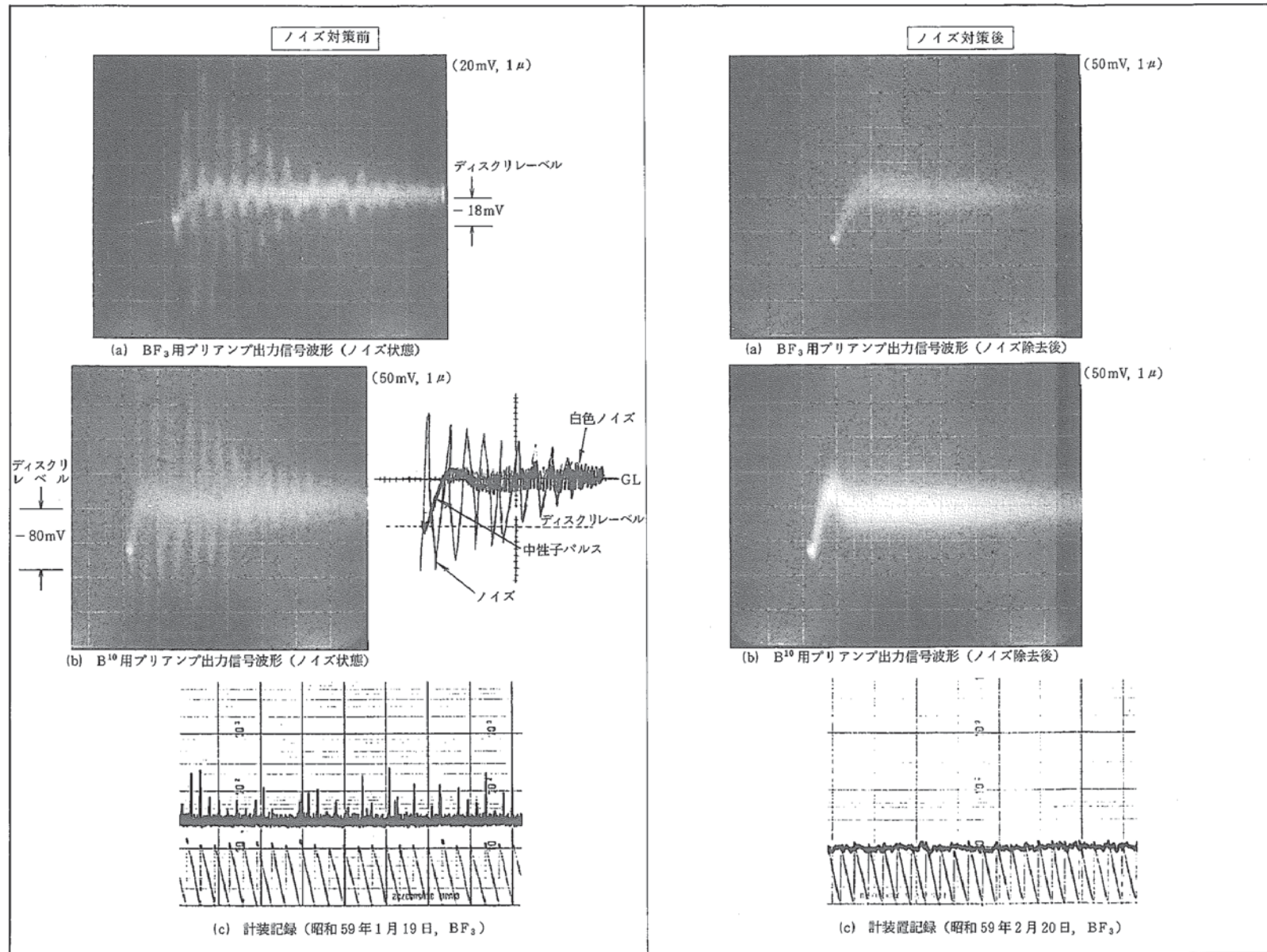
同表から明らかなようにBF<sub>3</sub>用プリアンプについてはバランスのとれた理想の交換が行えたが、B<sup>10</sup>用プリアンプについては若干バラツキのある交換となった。第-17 図にBF<sub>3</sub>用プリアンプ出力波形を、そして第-18 図にB<sup>10</sup>用プリアンプ出力波形を示すが、B<sup>10</sup>用プリアンプに比べて歪の大きい波形となっている。尚、同図は3.3mVの模擬パルスを入力し

た時に出力が- 1. 01 V得られるようにゲイン調整した時の波形である。



第- 17 図  $BF_3$ 用プリアンプ出力波形(模擬入力) 第- 18 図  $B^{10}$ 用プリアンプ出力波形(模擬入力)  
 Fig.-17  $BF_3$  Pre-Amplifier Output Signal (Sham Input) Fig.-18  $B^{10}$  Pre-Amplifier Output Signal (Sham Input)

以上4点のノイズ対策を講じた結果、定常的に発生していたノイズは消滅し、安定した計測が行えるようになった。第- 19 図に対策前と対策後の比較を図示する。尚、併せて $B^{10}$ 系のプリアンプに於いて、ノイズ対策期間中にノイズフィルター用の電解コンデンサ(電源-アース間に設けられているコンデンサで第- 15 図中 $C_{14}$ ,  $C_{23}$  etc. が該当する。)が劣化による機能喪失(静電容量の低下)に至ったためフィルター用に関連するコンデンサについて交換を行ったことを報告する。但し、予備コンデンサが9個しかなかったため全数について交換することは出来なかった。



第一19図 プリアンプ部に対するノイズ対策結果

Fig.-19 Consequence of Noise Countermtasures to Pre-Amplifier

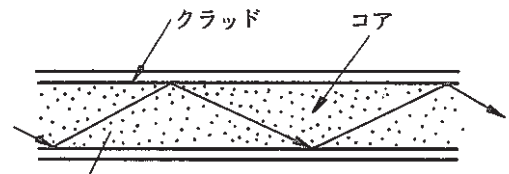
### 4.3 ケーブル部のノイズ対策

#### (1) 光ファイバーケーブルによるノイズ対策 (BF<sub>3</sub>系)

プリアンプ部のノイズ対策とは並行して、電磁誘導によって発生したと考えられる「1次流量変動によるノイズ」及び「原子炉スクラム時のノイズ」に対するノイズ対策として外部からの電氣的な影響を全く受けない光ファイバーケーブルの導入を検討した。

その結果ノイズ効果及び予算等の面から今回は取り敢えずBF<sub>3</sub>計測系にのみR&D的に導入することとした。通信用光ファイバー用ガラスには、二酸化ケイ素 (SiO<sub>2</sub>) を主成分として、屈折率を変化させるためわずかな添加物 (ドーパント) を含む石英系ガラスと、アルカリ酸化物など数種類の成分を有する多成分系ガラスがある。一般には、石英系ガラスの方が多成分系ガラスより伝送損失が少なく、本設備に導入したケーブルも石英系ガラスのものである。

光ファイバーの構造は中心部の屈折率の高いコア部と、これを取囲むクラッド部から成りコア径が60μm程度、外径が150μm程度のガラス細線である。ファイバー心線をケーブル化したものが光ファイバーケーブルであり、無誘導性、絶縁性に非常に優れた特性を有している。



光エネルギー

$$u = \frac{C}{n}$$

U : コア中の光エネルギー速度  
C : 光速 (3×10<sup>8</sup> m/s)  
n : コアの屈折率

P(λ): 波長

$$P(\lambda) = \frac{I}{q}$$

I : 光子(フォトン)放出時の電流  
n : 光子放出効率  
q : 電子の電気量

(光ファイバーケーブルへの交換範囲)

昭和59年3月10日～14日にかけてプリアンプ～計数モニタ間のケーブル交換工事を実施した。本来、信号ケーブルとしては検出器～プ

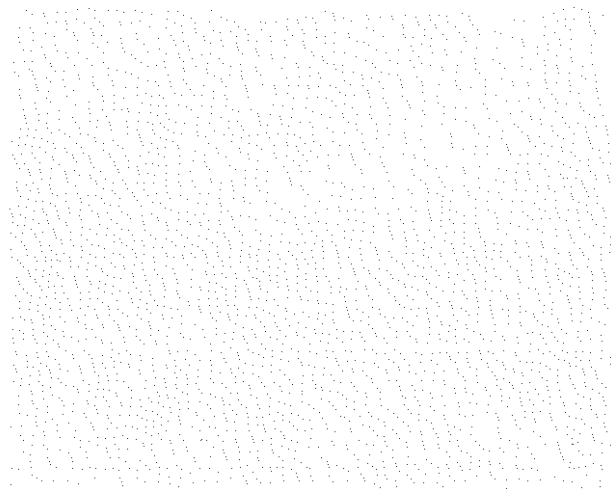
リアンプ～計数モニタ間が対象となるが、検出器～プリアンプ間はその大部分が壁埋め込みであり他の影響を受けないとの判断からその間の同軸ケーブルについては交換対象外とした。第一20図に交換範囲を図示する。尚、同図から明らかなように、プリアンプ～計数モニタ間の100%の同軸ケーブルが光ケーブルに交換された訳ではなく、ケーブルペネ部等の極一部のケーブルについては実質上交換が不可能であるため、検出器～プリアンプ間同様交換対象外となっている。

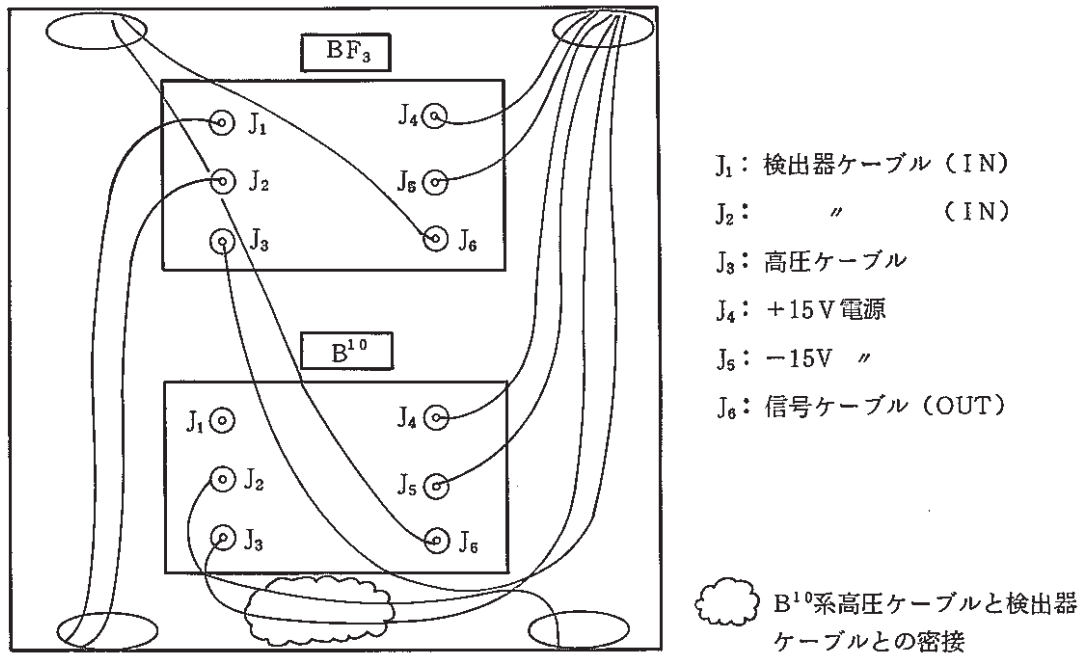
(光システムのブロック図)

第一20図に示すように光システムは光ケーブル、送信ユニット及び受信ユニットから構成されている。送信ユニットは電気信号を光信号に、受信ユニットは光信号を電気信号に変換するもので、前述のケーブルペネを介して光信号を伝送出来ない理由から、それぞれ2ユニットずつ設けられている。光信号の伝送方式にはアナログ方式とデジタル方式とがあるが、本システムでは本設計装設備側との関連性からアナログ方式による伝送方式を採用した。これは、アナログ方式は本設側に影響を与えない最少限度内の改造で良いのに対し、デジタル伝送では送信ユニット側に於いて弁別機能を持たせる必要性からアナログ方式に比べて回路が複雑且

(2) 高圧ケーブルの電磁遮蔽 (B<sup>10</sup>系)

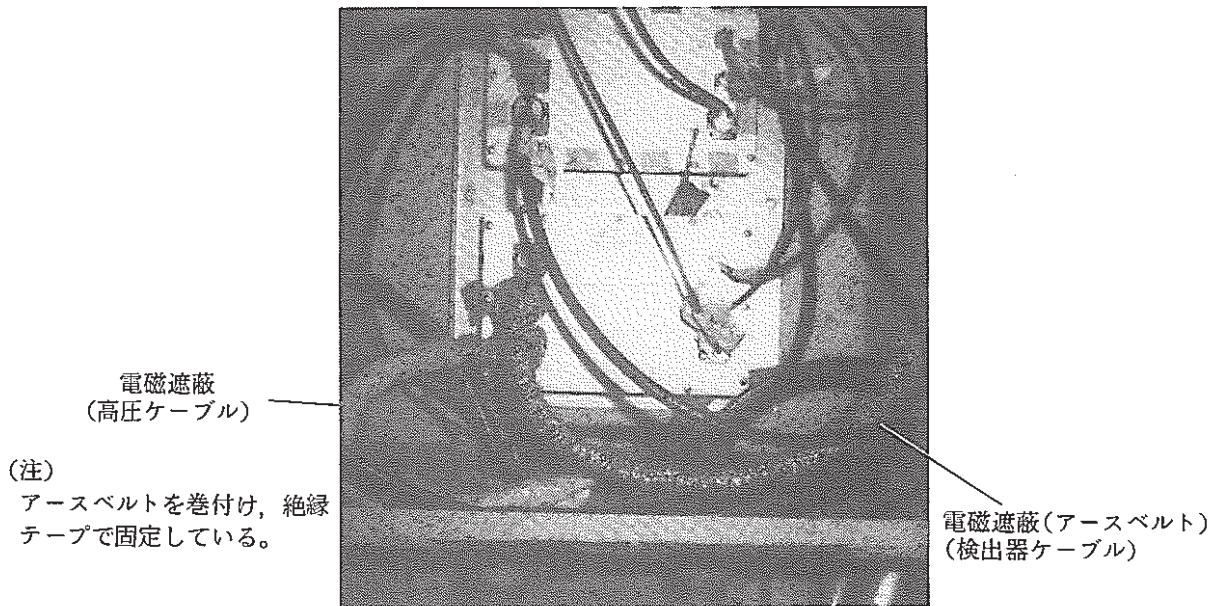
光ケーブル交換工事に伴ってB<sup>10</sup>系にのみ再々度第-19図に示したと同様なノイズの発生が認められた。原因調査の結果、同ノイズはプリアンプ収納ラック内のB<sup>10</sup>系高圧ケーブルの布設状況に依存して発生又は消滅することが判明した。第-22図にプリアンプ収納ラック内のケーブル配線状況を図示する。同図から明らかなように、BF<sub>3</sub>系については高圧ケーブルと信号ケーブルとが密接する位置関係にはないが、B<sup>10</sup>系は高圧ケーブルと検出ケーブルとが密接してしまう位置関係となっており、信号ケーブル側に高圧電源からのノイズが誘導されてしまうものと推察された。これより、B<sup>10</sup>系の高圧ケーブル及び検出器ケーブルにアースベルトを巻き付け電磁遮蔽を施した。(第-23図参照) この結果、第-19図の対策後にて得られたと同様な正常波形が得られ、ノイズを除去することが出来た。





第一 22 図 プリアンプ収納ラック内ケーブル配線図

Fig.-22 Cable Location in Containment Rack of Pre-Amplifier



第一 23 図 B<sup>10</sup>系ケーブル電磁遮蔽

Fig.-23 Electromagnetic Shielding of Cable (B<sup>10</sup>)

## 5. 検 討

ノイズを完全に除去するまでには電源部、プリアンプ部及びケーブル部についてさまざまなノイズ対策を講じなければならなかった。以下各部毎に、原因調査から得られた結果を基にしてノイズ原因の推察・検討を行った。

### 5.1 電源部におけるノイズ

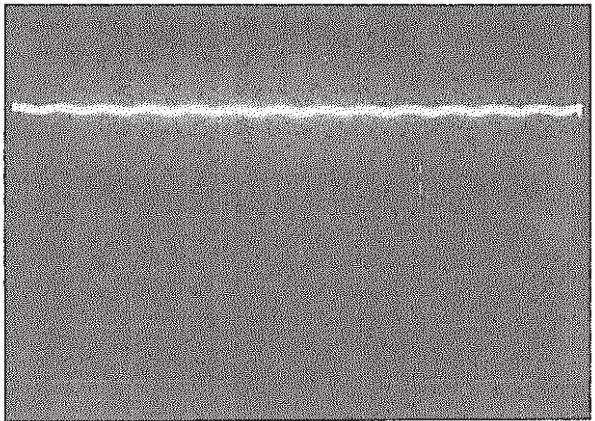
電源部におけるノイズは当初、電源波形の歪とアースラインからの誘導ノイズとの複合作用によるものであると推察したが、これは第-9図に示したように、非常系電源で且つ電源装置のシャーシアースがない場合にのみ初めてノイズが除去出来たという点から判断されたものであった。

しかしながら、ノイズ対策前後の電源ライン波形歪の比較を行ったところ、20V電源、15V電源及び高圧電源ともAC電源(110V)波形の歪の有無に関係なく安定した電源が供給されていることが確認された。第-24図に各電源の供給源となる20V電源について、ノイズ対策前後の電源波形の比較を図示する。他電源については20V電源よりリップルの小さいより安定した電源であるため図示するのは省略する。尚、BF<sub>3</sub>系、B<sup>10</sup>系ともほぼ同一波形である。

(電圧リップル)		BF <sub>3</sub> 系	B <sup>10</sup> 系	許容リップル電圧 (P-P電圧)
20V電源	+	40 mW	40 mW	300 mW
	-	30 mW	30 mW	
15V電源	+	5 mW	2 mW	15 mW
	-	10 mW	2 mW	
高圧電源		5 mW	7 mW	100 mW



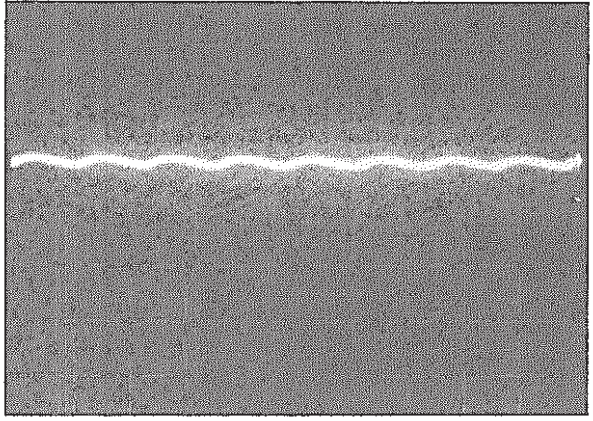
ノイズ対策前



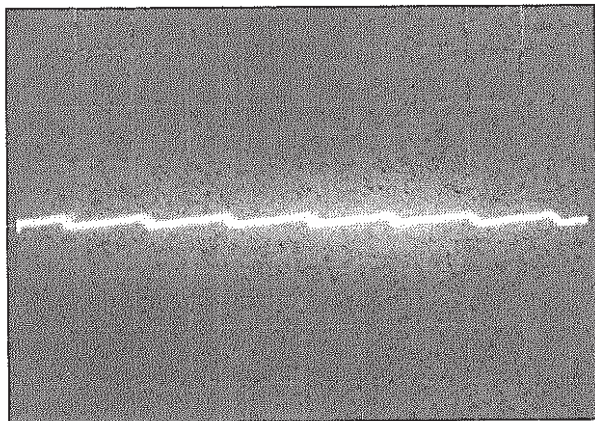
(+) 20 V 電源波形

(2V, 2msec)

ノイズ対策後

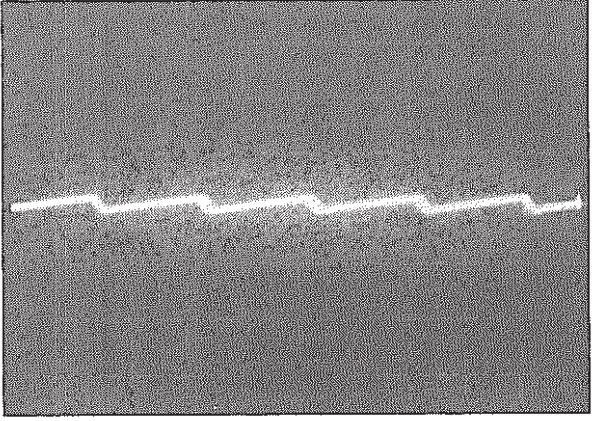


(+) 20 V 電源波形



(-) 20 V 電源

(2V, 2msec)



(-) 20 V 電源波形

第-24 図 電源部ノイズ対策前後における電源波形の比較

Fig.-24 Comparison of Power Wave by Modification of Power Line

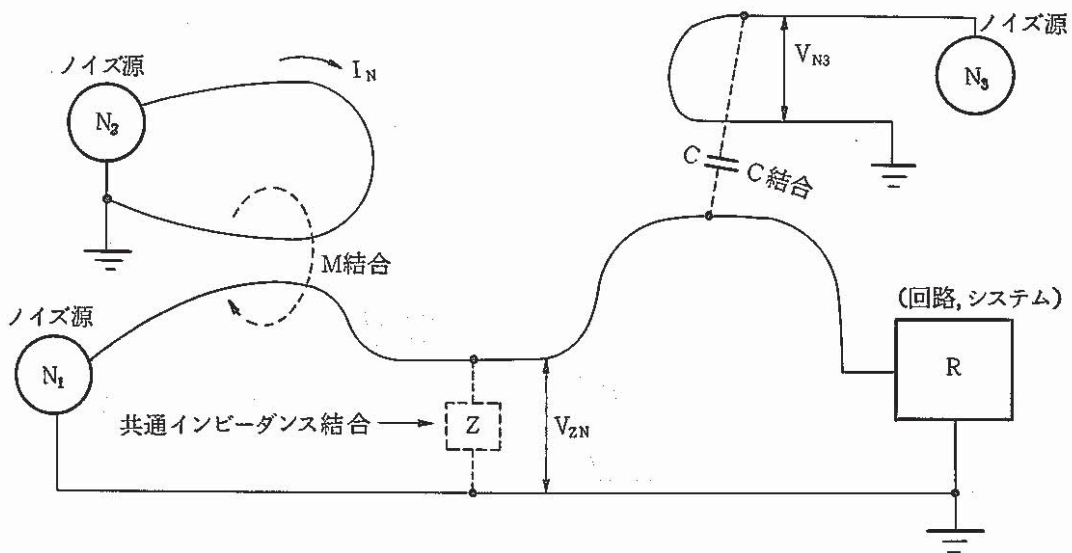
又、AC LINE CONDITIONERを設ける以前は電源装置のシャーシアースの有無がノイズ発生の有無に関連していたが、AC LINE CONDITIONERを設けた後、すなわち電源-アース間にノイズ電圧の発生していない(第-10図参照)改造後では、シャーシアースの有り無しに拘わらずノイズの発生は認められなかった。以上2点の現象を総合的に判断すると、当初ノイズ発生に関係あると考えられていた交流無停電電源の波形歪はノイズ発生には関係なく、改造前電源(R相)-アース間において観察されたノイズ電圧(P-P=約2V)に起因して計測系信号ラインにノイズが発生していたものと推定される。以下、電源-アース間のノイズ電圧が信号ラインにノイズを発生させるメカニズムについて説明する。

(ノイズの伝搬と侵入)

ノイズが回路やシステムに結合して侵入する結合機構には第-25図に示すように、

- ① 静電結合 (C結合)
- ② 電磁結合 (M結合)
- ③ 共通インピーダンス結合

とがある。同図で $N_1$ (ノイズ源)とR(回路)の結合は共通インピーダンス $Z$ により $V_{ZN}$ なるノイズ電圧が侵入する。次に $N_2$ とRの結合は $I_N$ (ノイズ電流)の電磁誘導によるM結合であり、 $N_3$ とRは $V_{N3}$ が線間の静電容量 $C$ で結合する。すなわち、M結合はノイズ電流の結合であり、C結合はノイズ電圧の結合である。又、共通インピーダンス結合は回路の作成上の問題であるから、これを避けるような回路を作る必要がある。



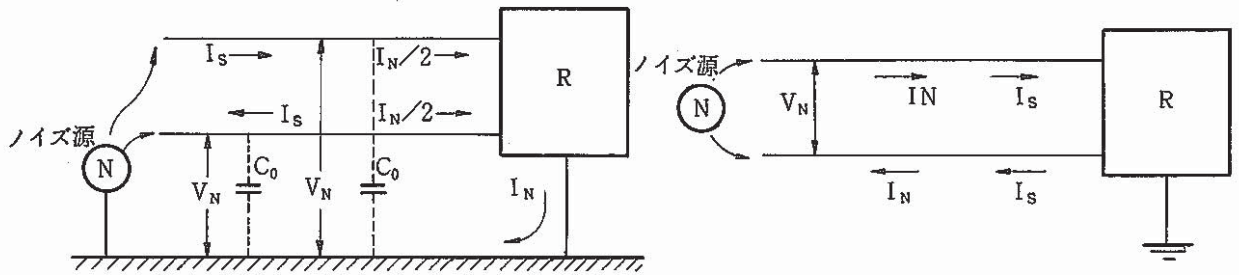
第-25図 ノイズ結合機構

Fig.-25 Noise Connection Mechanism

以上のような結合機構を介してノイズは回路と結合し線路を伝搬して回路に侵入するが、侵入の仕方には第-26図に示すように、

- ① 同相ノイズ(コモンモード・ノイズ) - 2本線路とアース間に乗るもの

② 差動ノイズ（ノルマルモード・ノイズ）－2本線路間に乗るもの  
 の2通りがある。同図(a)は同相ノイズで2本の線路とアースの間に $V_N$ なるノイズが誘導しており、これによりノイズ電流 $I_N$ がアースを帰路として流れている。2本の線路には信号電流 $I_s$ と $1/2 I_N$ のノイズ電流がそれぞれに流れる。これに対して(b)の差動ノイズでは2本の線路間に $V_N$ なるノイズ電圧が加わり、 $I_s$ と $I_N$ とが同じように流れている。



第-26図 ノイズ伝搬機構

Fig.-26 Noise Transmission Mechanism

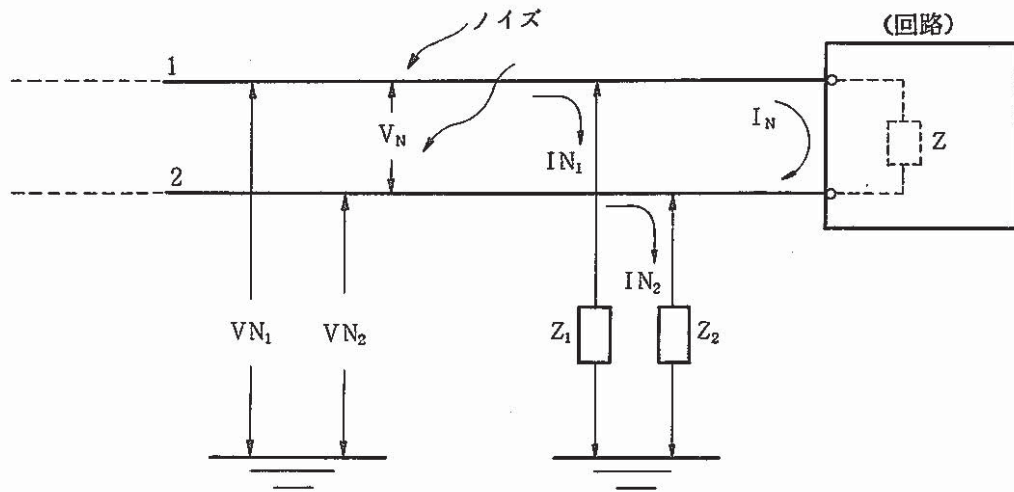
以上ノイズ伝搬機構について述べたが、差動ノイズについては線路間にいきなりノイズ電圧が生じるという単独発生の場合は殆どなく、その多くは同相ノイズからの変換によって生じている。

第-27図に示すように2本の線路間にそれぞれ $V_{N1}$ 及び $V_{N2}$ なるノイズ電圧が生じたとする。線路とアース間には必ず分布容量（ストレキャパシティーと呼ばれるもので、静電容量と考えて良い）が存在するが、2本の線路とアース間の分布容量に差がある場合（線路の布設状況、周囲の環境状況等によって差が生じる。）、すなわち $Z_1 \neq Z_2$ の場合には $V_{N1} \neq V_{N2}$ で、従って $I_{N1} \neq I_{N2}$ となり線路間には電位差によって、

$$V_{N1} - V_{N2} = V_N$$

$$V_N / Z = I_N \quad (Z: \text{負荷のインピーダンス})$$

なる差動ノイズが生じることになる。



第一 27 図 同相ノイズの差動ノイズへの変換

Fig.-27 Changing From Common Mode Noise to Normal Mode Noise

ノイズ原因調査において、ノイズ電圧は非接地相である R 相側にのみ観察されたことから線路間には線路-アース間のノイズ電位差により差動ノイズが生じたものと考えられる。この差動ノイズがどのような経路を介して信号ラインに発生したかを明確にすることは出来ないが、以上の検討より電源-アース間のノイズ電圧はノイズ発生の原因となることが明らかにされた。AC LINE CONDITIONER は整形波形機能の他に、フローティング機能及びフィルター機能を兼ね備えたものであり、第一 10 図からも明らかのように電源部のノイズ対策に有効であったと考える。尚、電源-アース間に生じていたノイズ電圧はその周期が 50 Hz であることから、無停電電源からの漏出によるものと推察される。

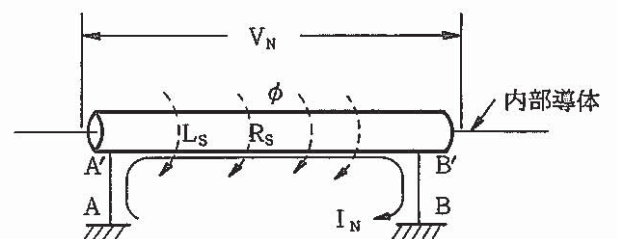
## 5.2 プリアンプ部のノイズ

本項では次の 3 点について検討を行った。

- 1) 多点アースによるノイズループの形成
- 2) 検出器ケーブルのシールド接触不良
- 3) 発振防止用コンデンサの新設

### 1) 多点アースによるノイズループの形成

プリアンプの基板保護カバーとシールドボックスとが内部接触を起し、多点アースによるノイズループを形成していた。多点アースによるノイズループの形成、それによるノイズの発生メカニズムを第一 28 図を用いて説明する。これは本項で問題としている実機のモデルとは異なるものであるが、多点アースの問題を検討する例としては最



第一 28 図 多点アースとノイズ

Fig.-28 Many Points of Earth and Noise

適例であるため、敢えてこのモデルで検討を行う。同図はA点とB点がアースしてあるシールド線を示すが、AA'B'Bなるループが出来るので外部からここに鎖交する磁束 $\phi$ によってシールドに $I_N$ なる電流が流れることになる。この電流によってループには、次に示す $V_{NS}$ なる電圧が発生する。

$$V_{NS} = I_N (j\omega L_s + R_s) \quad \left( \begin{array}{l} L_s : \text{シールドのインダクタンス} \\ R_s : \text{シールドの抵抗} \end{array} \right)$$

シールドに $I_N$ なる電流が流れると、内部導体には

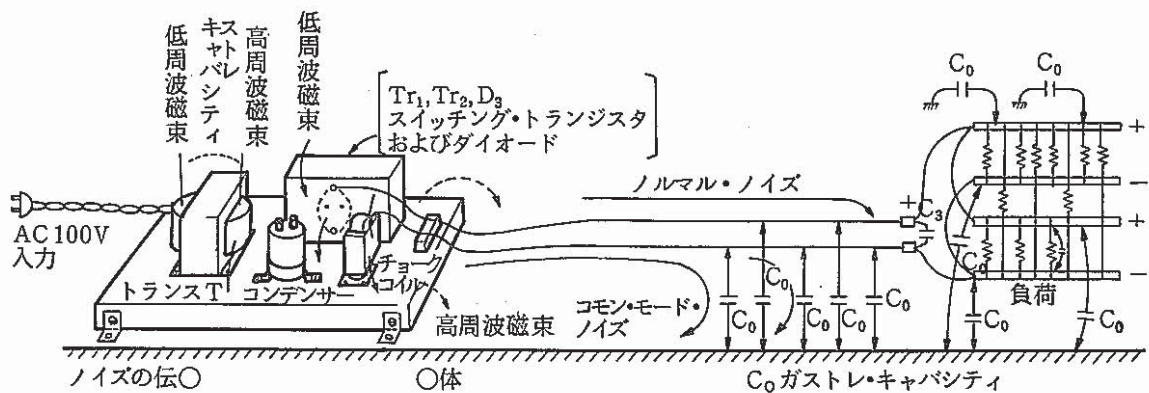
$$V_N = j\omega M I_N \quad (M : \text{シールドと内部導体間の相互インダクタンス})$$

なるノイズ電圧が誘起される。

$V_{NS}$ と $V_N$ との関係を求めると、

$$V_N = \frac{V_{NS}}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_s}{\omega L_s}\right)^2}}$$

となり、周波数が高くなると $V_N \approx V_{NS}$ となる。すなわち周波数が高い場合には、ノイズ電流によってシールドに発生した電圧が、そのまま内部導体に誘起される事になる訳である。従ってノイズ対策上からは1点アースの原則（次項参照のこと）を励行することが重要である。ここでノイズ誘発の基となる磁束 $\phi$ の発生源が気になるところであるが、これには第一29図に示すような内部回路からの磁束、及び近接する高圧ケーブルからの磁束等が考えられる。実機のプリアンプ回路においてノイズループがどのようなループを形成し、上述のシールドがどれに、また内部導体がどれに該当するかを明確にすることは出来ないが、プリアンプ基板保護カバーに絶縁処理を施した途端にノイズが除去出来た点から、ノイズループが形成されたことによってノイズが発生していた事は間違いのない事実である。



第一29図 回路構成による磁束発生

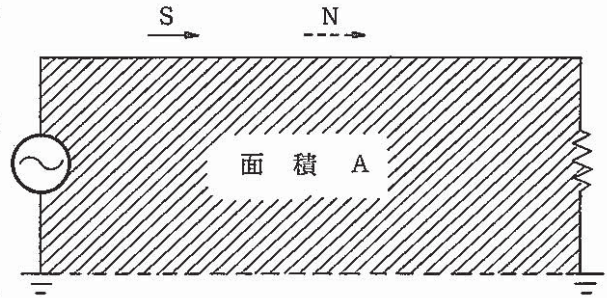
Fig.-29 Generation of Flux by Circuit Component

2) 検出器ケーブルのシールド接触不良

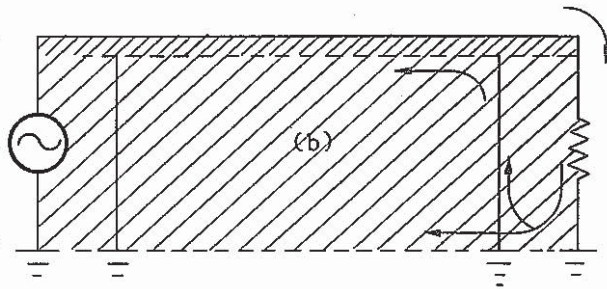
第一 30 図はノイズ磁界によるノイズ誘起の過程を示す。ノイズ電圧は信号の伝送線路と接地電位面とが作るループ面積  $A$  に比例することが知られている。(b)のように両端接地した場合

には大部分の電流がシールド導体を通り、ループ面積が(a)の単ループに比べて実効的に小さくなるので多少静電シールドに対しては効果が認められるものの、両端接地は接地間でループを形成するためノイズ発生の要因となりノイズ対策上は好ましくない方法である。(c)は1点アースのシールド線を示すが、接地電位の相異によって接地面を流れる電流がないので(a)、(b)に比べ確実にループ面積は減少し、ノイズ誘起を抑制出来る。しかし(c)より更に(d)に示すような2本より線にシールドを施した形の方がより良い結果が得られている。これより、シールドはシールド専用、信号線は信号伝送専用で本設備のように信号帰線(-)をシールドに共用することは、ノイズ対策上余り好ましくないことが分った。また、以上の検討よりシールドが浮いた状態は(a)の単ループに等価出来、ノイズが誘起しやすい状態にあったことが確認された。

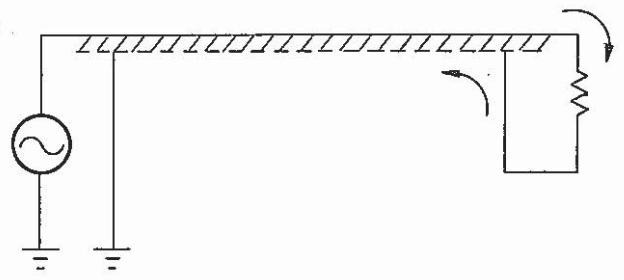
尚、コネクター部でのシールドの方法は、面接触+点接触が理想の形である。今回のノイズ対策においては時間的な制約から応急的な対策としてリード線によるシールド接続を行ったが理想的なシールド接続がシールド金具(面接触)+リード線(点接触)であることを考慮すると、今後、金具のないケーブルについては何らかの処置を講じた方が望ましいと考えられる。



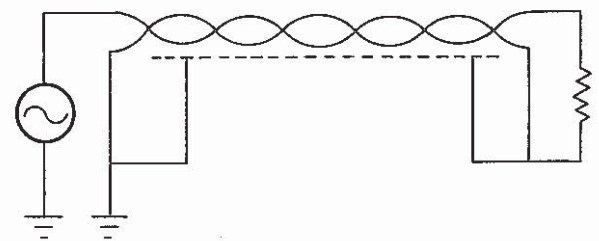
(a) 単線ループの拾う雑音



(b) 両端接地シールド線の拾う雑音



(c) 片端接地シールド線の拾う雑音



(d) 片端接地遮蔽つきツイストペアの拾う雑音

第一 30 図 シールド線のアース

Fig.-30 Earth of Shield Cable

### 3) 発振防止用コンデンサの新設

第一 15 図中トランジスタ  $Q_{11}$  の B (ベース) - アース間に設けられている可変型コンデンサ  $C_{21}$  (1 ~ 38 PF) が設計上回路の発振防止調整用コンデンサに該当する。しかしながら、同コンデンサを最大容量まで変化させてもプリアンプは発振状態に至り、同コンデンサが余り効果的に作用していないことが判明した。すなわち、回路の発振防止を図る上で、発振防止用コンデンサの設ける位置及びその容量等について余り好ましい回路設計ではなかったことが指摘される。今回の調査にて発振防止用コンデンサの取付位置及びその容量について実験的経験から以下の結果が得られた。

- i) 取付位置 - 最終段トランジスタ  $Q_{12}$  の B (ベース) - C (コレクタ) 間
- ii) コンデンサ容量 - 200 PF 以上

### 5.3 ケーブル部のノイズ

光ケーブルによるノイズ対策によって 1 次冷却系流量変動による計数変化及び原子炉スクラム時のノイズ現象を解消することが出来た。光ケーブルの無誘導性を考慮するとケーブル部からノイズを誘導していたことは明らかであったと考えられる。この場合のノイズ誘導には静電誘導と電磁誘導とがある。

#### (静電誘導)

静電誘導は、ノイズ源である外部電圧源と被誘導回路との静電容量  $C_N$  とによって起こるノイズ成分を言う。第一 31 図は静電誘導の等価回路を示す。この場合、被誘導回路には次に示す  $V_N$  なるノイズ電圧が誘起される。

$$V_N = \frac{Z}{\frac{1}{j\omega C_N} + Z} V_{NG}$$

$V_{NG}$  : ノイズ源電圧

$V_N$  : 誘起ノイズ電圧

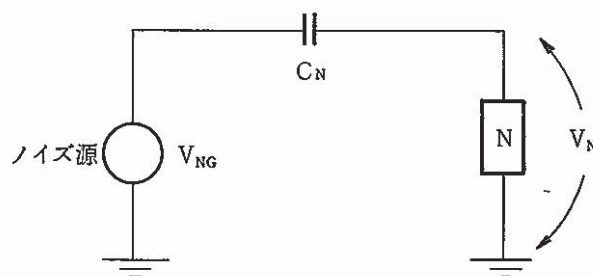
$Z$  : 被誘導回路のインピーダンス

$C_N$  : ノイズ源と被誘導側との静電容量

前述式よりノイズ電圧を小さくする方法と

して次の点が掲げられる。

- ①  $C_N$  を小さくする。
  - 距離を離す
  - シールド線を使う
  - 配線を束にしない
- ② 負荷インピーダンスを小さくする。
  - 回路のインピーダンスを下げる
- ③ ノイズ源電圧を小さくする。
  - サージアブソーバあるいはスナバ素子を



第一 31 図 静電誘導の等価回路

Fig. -31 Block Diagram of Induction Capacitance

回路に付加する。

④ wを小さくする。

◦ R-C, L-Cなどのノイズフィルタを使う

(電磁誘導)

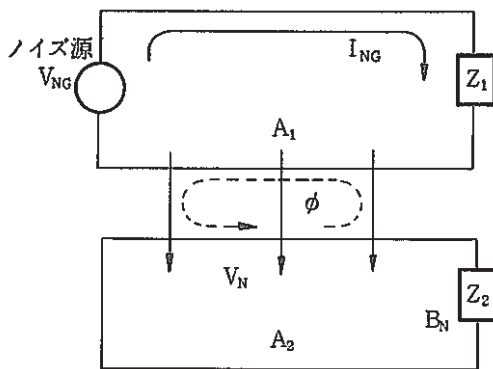
電磁誘導は、ノイズ源である外部電源の磁界の強さの変動によって被誘導回路と磁束とが相互インダクタンスで結合されて、ノイズ電圧が誘起される成分である。第一 32 図は電磁誘導の等価回路を示す。これを式化すると、次式となる。

$$V_N = N \frac{d\phi}{dt} = N \int A_2 \frac{dB_N}{dt} dA_2$$

$$= M \frac{dI_{NG}}{dt}$$

N : ターン数

M : 相互インダクタンス



I : ノイズ電源流

$\phi$  : 被誘導回路と交差する磁束

$B_N$  :  $\phi$  による磁束密度の被誘導回路との直交分

$A_1$  : 誘導源のループ面積

$A_2$  : 被誘導回路のループ面積

$Z_1, Z_2$  : 両者の回路インピーダンス

$V_N$  : 誘起ノイズ電圧

第一 32 図 電磁誘導の等価回路

Fig.-32 Block Diagram of Electromagnetic Induction

前式よりノイズ電圧を小さくする対策として次の点が考えられる。

① 相互インダクタンスMを小さくする。

- 距離を離すことが最も重要である。
- ループ面積を小さくする (シールド付ツイスト・ペア線, 同軸ケーブル等の使用)
- 磁束を直交させる。
- Nを小さくする (ぐるぐる巻いたり, 必要以上に長い配線をしない)
- 電磁シールドを施す

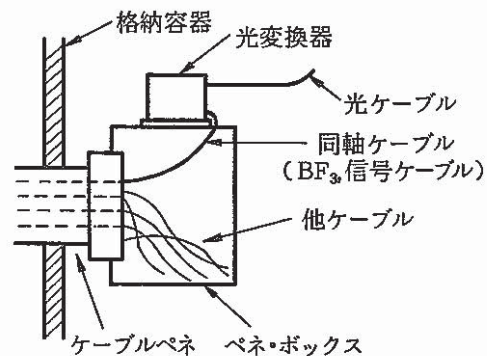
②  $dI_{NG}/dt$ を小さくする。

- サージアブソーバを入れる
- ノイズフィルタを入れる (同相ノイズフィルタが有効)

1次冷却系流量時の計数変化及び原子炉スクラム時のノイズ現象がどちらの誘導によって発生したのか, 又は両誘導の相乗効果によるものか, その発生メカニズムについては興味のあるとこ



ろではあるが、現場の状況、確認方法等の問題から實際上調査不可能であり、残念ながらその発生メカニズムを明らかにすることは出来なかった。尚、光ケーブル化出来なかったケーブルペネ部での同軸ケーブルは約30 cm程度と短く且つ他ケーブルとは十分距離を離して配線することが出来たため、対策前懸念されたケーブル・ペネ部でのノイズ誘導は防止出来たものと推定される。又、プリアンプ収納ラック内での電磁シールドについて、 $B^{10}$  検出器ケーブルについてはラック内のケーブル全体にシールドを施すことが出来たが、 $B^{10}$  高圧ケーブルについてはアースベルトの長さ不足でケーブル全体にシールドを施すことは出来なかった。従って現時点ではノイズ発生は防止出来ているが、次回点検時期等においてシールドの補強を行うことが望ましいと考える。



## 6. 考 察

ノイズの発生は内部ノイズと外来ノイズとに大別される。内部ノイズとは電子機器内部の素子の劣化等に起因して発生するノイズで第-19図にて示した白色ノイズが該当する。これに対してノイズ源が外部にある場合を一括して外来ノイズと称しており、本設備において発生したノイズは外来ノイズに分類されると言える。ここでノイズ源の発生原因について考察すると、FFD・DN法設備自体がノイズを拾いやすい微弱信号を取扱い且つ耐ノイズ性の悪いシステムであったとは言え、設備据付から7～8年経過後にノイズが発生し始めたという点を考慮すると、他設備の改造等による周囲環境の変化がノイズ発生の大きな要因となった事が考えられる。近年電気工学界では「EMC」(Electromagnetic Compatibility)<sup>(注)</sup>と呼ばれる環境電磁工学が注目を浴び、システムはEMC設計を取入れて設計が行われるようになってきた。EMC設計とは予め環境電磁工学を考慮してシステムの設計を行うことを言う。すなわち、ノイズを出す可能性のあるものについてはノイズが発生しないよう又逆にノイズの障害を受けそうなシステムの場合はどの程度のノイズに耐えられるかというImmunity(耐ノイズ性)設計を行うことを意味し、これには①ラインフィルタの挿入、②シールドの仕方、③アース線の取り方等の手法が用いられる。

上述のノイズ発生を考慮すると、残念ながら「常陽」プラントではこのEMC設計は余り考慮されていないのが現状である。ノイズが発生してしまうとその原因究明及び対策には非常な困難を伴うのが一般的であり、且つ安定な設備の運転が損われるという点から発生してほしくない、発させたくない現象である。従って今後の設備改造、設備保守にあたってはEMCなる環境電磁工学に配慮することが必要であると考察する。尚、ノイズ防止対策をより完全に行うという意味から次の4点について次回定検時期等に処置を講じることとする。

- 1) B<sup>10</sup>系の光ケーブル化
- 2) 検出器ケーブルコネクタのシールド再処置(シールド金具のなかったものについて)
- 3) プリアンプ収納ラック内ケーブルの電磁シールド(B<sup>10</sup>系高圧ケーブル等)
- 4) プリアンプ及び計数モニタの素子交換(電解コンデンサ等)

(注) 環境電磁工学とは「電磁エネルギーの利用の発達に伴い変化してきた、地球及び天体の電磁氣的周囲環境の把握とその予測・更に調和のとれた環境とするための制御方法、電気装置のあり方を追求し、電磁環境の調和と電磁エネルギーの有効利用に資する、工学、理学、経済学、社会学などの多方面にわたる学際的研究の基礎学問分野」と定義されている。

## 7. 結 言

FFD・DN法設備において観察されたさまざまなノイズは電源部、プリアンプ部及びケーブル部の各部から発生していたものであった。

### 1) 電源部のノイズ

交流無停電電源－アース間のノイズ電圧によるノイズ誘起

### 2) プリアンプ部のノイズ

i) 多点アース（プリント基板保護カバーとシールドボックスとの接触）によって生じたノイズループ形成によるノイズ誘起

ii) 検出器ケーブルのシールド接触不良によるノイズ誘起

iii) プリアンプゲイン低下による耐ノイズ性低下

iv) 回路不安定（プリアンプゲイン調整不可）

### 3) ケーブル部のノイズ

i) 他設備改造等に伴う周囲環境変化（環境電磁変化）によるノイズ誘起

ii) プリアンプ収納ラック内B<sup>10</sup>高圧ケーブルの電磁誘導によるノイズ誘起

これより以下のノイズ対策を講じた結果、全てのノイズを除去することが出来た。

### 1) 電源部のノイズ対策

電源安定化装置（AC LINE CONDITIONER）の新設

### 2) プリアンプ部のノイズ対策

i) プリント基板保護カバーの絶縁

ii) 検出器ケーブルコネクタのシールド処置

iii) プリアンプゲインの増加

iv) 発振防止用コンデンサ新設による回路改造及び素子交換（FET, コンデンサ）

### 3) ケーブル部のノイズ対策

i) 光ケーブルファイバーケーブルの使用（BF<sub>3</sub>系のみ）

ii) プリアンプ収納ラック内B<sup>10</sup>ケーブルの電磁遮蔽

尚、次に示す点については種々の事情から今回の対策期間中に完全なる対策が行えなかったものであり、次回定検時等において処置を講じる計画である。

① B<sup>10</sup>系の光ケーブル化

② 検出器ケーブルのシールド再処置（シールド金具のなかったものについて）

③ プリアンプ収納ラック内B<sup>10</sup>系ケーブルの電磁シールド（電磁シールドの不完全な高圧ケーブルについて）

④ プリアンプ及び計数モニタ内の素子交換（電解コンデンサetc.）

## 8. 謝 辞

本ノイズ対策作業は東芝電気株式会社の技術員の御協力により遂行できたものであることを記し、感謝の意を表する次第である。

## 9. 参 考 文 献

- 1) 「高木相, 発生ノイズ・侵入ノイズの原因とその究明法, 電子技術, 第23巻第5号」
- 2) 「越後宏, 佐藤利三郎, EMC (環境電磁工学) からのノイズ対策, 電子技術, 第23巻第5号」
- 3) 「SWレギュレータをとりまく各種ノイズ, トランジスタ技術, March 1982」
- 4) 「古谷勝美, 電磁雑音の発生源とその防止対策, 電磁雑音対策便覧, トリケップス」
- 5) 「小林栄, 光絶縁・光伝送, 電磁雑音対策便覧, トリケップス」