

JAERI-M
92-045

高周波工学試験装置
(ジャイロトロン出力試験装置)
設計報告書

1992年3月

恒岡まさき・藤田 秀男・永島 孝

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1992

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

JAERI-M 92-045

高周波工学試験装置（ジャイロトロン出力試験装置）設計報告書

日本原子力研究所那珂研究所核融合工学部
恒岡まさき・藤田 秀男・永島 孝

（1992年2月21日受理）

本報告書はJT-60クライストロン出力試験装置を電子サイクロトロン共鳴加熱帯域（100GHz帯）のジャイロトロンをも出力試験が可能となる高周波工学試験装置へと改造する設計報告についてまとめたものである。

JAERI-M 92-045

Design of JAERI Gyrotron Test Facility

Masaki TSUNEOKA, Hideo FUJITA and Takashi NAGASHIMA

Department of Fusion Engineering Research
Naka Fusion Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 21, 1992)

This report describes the design of a high power Radio Frequency Test Facility at JAERI, Naka.

A high power Klystron Test Facility is modified into the high power Radio Frequency Test Facility that is also able to operate a high power gyrotron in the range of 100GHz for Electron Cyclotron Resonance Heating (ECRH) system.

keywords: ECRH, Gyrotron, Gyrotron Test Facility

目 次

1. 序論	1
2. 設計方針	1
2.1 主結線図	1
2.2 電気設備技術基準上問題となる点	2
2.3 機器配置	2
3. 各部設計	3
3.1 GTOスイッチ	3
3.1.1 過電流遮断の意義	3
3.1.2 電流遮断時のサージ検討	4
3.2 高圧切り替え器	6
3.3 特高切り替え器	6
3.4 シリーズレギュレータチューブ盤	7
3.4.1 4極管の動作特性と制御電源	7
3.4.2 シリーズレギュレータチューブの制御	8
3.5 ジャイロトロンアノード回路	11
3.6 クローバスイッチ盤クローバ動作指令受信回路増設	11
3.7 ジャイロトロンタンク	11
3.8 直流電圧発生装置出力電流検出装置	13
3.9 サージブッカー	13
3.10 低圧配電系統	13
3.11 制御設備	13
3.11.1 運転方案	14
3.11.2 制御装置の系統	14
3.11.3 保護時のジュール積分値	17
3.12 工事設計	18
3.12.1 ケーブルトレイ工事	18
3.12.2 ケーブル布設工事	18
3.12.3 安全フェンス拡張工事	18
3.12.4 盤の据付け工事	19
3.12.5 ブスバーの設置	19
4. まとめ	20
謝辞	20
参考文献	20

Contents

1.	Introduction	1
2.	Design of Gyrotron Power Supply System	1
2.1	Schematic of the Gyrotron Power Supply	1
2.2	Restriction from the Japan Electrical Facility Standard	2
2.3	Layout of the Components	2
3.	Specification of Each Component and Installation	3
3.1	GTO Switch	3
3.1.1	Advantage of Fast Over Current Protection Using GTO Switch	3
3.1.2	Surge Voltage Protection from Fast Switching	4
3.2	High Voltage Exchanger	6
3.3	Ultra High Voltage Exchanger	6
3.4	Series Regulator Tube	7
3.4.1	Characteristics of the Tetrode	7
3.4.2	Control Circuit of the Tetrode	8
3.5	Anode Circuit for Gyrotron	11
3.6	Inter-face of Crowbar Circuit	11
3.7	Gyrotron Tank	11
3.8	Current Detect Circuit of DC Generator	13
3.9	In-rush Current Protector for Gyrotron	13
3.10	Distribution of Control Power Supply	13
3.11	Control Circuit	13
3.11.1	Operating Scenario of the Gyrotron Power Supply	14
3.11.2	Schematic of Control Circuit	14
3.11.3	Joule Integral for Gyrotron Protection	17
3.12	Installation	18
3.12.1	Cable Tray	18
3.12.2	Cable	18
3.12.3	Safety Barrier	18
3.12.4	Installation of Each Cabinets	19
3.12.5	Bus-bar of UHV Circuit	19
4.	Summary	20
5.	Acknowledgment	20

1. 序論

本報告書はRF加熱研究室の既設設備JT-60クライストロン出力試験装置を電子サイクロトロン共鳴加熱帯域(100GHz帯)ジャイロトロンをも出力試験が可能となるよう改造して高周波工学試験装置とする設計報告についてまとめたものである。

2. 設計方針

ジャイロトロン用電源として具備しなければならない基本性能は以下に示すようである。

出力電圧	DC - 50 ~ - 90 kV
出力電流	30 A (短パルスモードでは40 A)
パルス幅	最大10 s
出力電圧安定度	±0.2%以下
電流立ち上げ時間	200 μs以下
電流立ち下げ時間	10 μs以下
リングング電圧	±0.2%以下
アノード・カソード間電圧	0 ~ - 40 kV (100 V分解能)
アノード電流	最大100 mA

この様にジャイロトロン用電源はMW級の電力設備で、かつ直流特別高圧電源でありながら高速の電流立ち上げ、高速遮断および電圧の安定度に対して極端に厳しい性能を満足しなければならない。しかし、ここではこの様な厳しい仕様を満足しながら、かつ経済設計を主眼とした。このために以下に示す方針に沿った設計を行うものとした。

- ・既存の機器を最大限に有効利用する設計とする。
- ・競争発注出来るレベルの設計を行うこと。

以上の主眼より既設JT-60クライストロン出力試験装置を改造して従来通りクライストロンも運転し、かつジャイロトロンをも出力試験する装置とすることとした。Fig. 1にその結線図を示すようにJT-60クライストロン出力試験装置用電源は6.6kV、F-28系統の受電盤(M/C①)、降圧変圧器(TLP④)、サイリスタスイッチ(THYS⑤)、直流電圧発生装置(DCG⑥)、平滑コンデンサ盤(Fc⑦)、クローバスイッチ(CWS⑧)、直流分圧器(MR1⑩)、ブリーダ抵抗器(VR⑨)、特高盤(HVP)、クライストロン盤より成る。また、6.6kV、F-27系統の受電盤(M/C66)、降圧変圧器(TLP69)も既設設備としてある。これらを利用しさらにジャイロトロンをも発振させる試験装置用電源として、装置名を新たに高周波工学試験装置と改めることとした。従って、高周波工学試験装置はジャイロトロン運転用のジャイロトロン出力試験装置とクライストロン運転用のクライストロン出力試験装置から構成される。

[1]

2.1 主結線図

高周波工学試験装置の主結線図をFig. 2に示す。この主結線図にあるように受電系

1. 序論

本報告書はRF加熱研究室の既設設備JT-60クライストロン出力試験装置を電子サイクロトロン共鳴加熱帯域(100GHz帯)ジャイロトロンをも出力試験が可能となるよう改造して高周波工学試験装置とする設計報告についてまとめたものである。

2. 設計方針

ジャイロトロン用電源として具備しなければならない基本性能は以下に示すようである。

出力電圧	DC - 50 ~ - 90 kV
出力電流	30 A (短パルスモードでは40 A)
パルス幅	最大10 s
出力電圧安定度	±0.2%以下
電流立ち上げ時間	200 μs以下
電流立ち下げ時間	10 μs以下
リングング電圧	±0.2%以下
アノード・カソード間電圧	0 ~ - 40 kV (100 V分解能)
アノード電流	最大100 mA

この様にジャイロトロン用電源はMW級の電力設備で、かつ直流特別高圧電源でありながら高速の電流立ち上げ、高速遮断および電圧の安定度に対して極端に厳しい性能を満足しなければならない。しかし、ここではこの様な厳しい仕様を満足しながら、かつ経済設計を主眼とした。このために以下に示す方針に沿った設計を行うものとした。

- ・既存の機器を最大限に有効利用する設計とする。
- ・競争発注出来るレベルの設計を行うこと。

以上の主眼より既設JT-60クライストロン出力試験装置を改造して従来通りクライストロンも運転し、かつジャイロトロンをも出力試験する装置とすることとした。Fig. 1にその結線図を示すようにJT-60クライストロン出力試験装置用電源は6.6kV、F-28系統の受電盤(M/C①)、降圧変圧器(TLP④)、サイリスタスイッチ(THYS⑤)、直流電圧発生装置(DCG⑥)、平滑コンデンサ盤(Fc⑦)、クローバスイッチ(CWS⑧)、直流分圧器(MR1⑩)、ブリーダ抵抗器(VR⑨)、特高盤(HVP)、クライストロン盤より成る。また、6.6kV、F-27系統の受電盤(M/C66)、降圧変圧器(TLP69)も既設設備としてある。これらを利用しさらにジャイロトロンをも発振させる試験装置用電源として、装置名を新たに高周波工学試験装置と改めることとした。従って、高周波工学試験装置はジャイロトロン運転用のジャイロトロン出力試験装置とクライストロン運転用のクライストロン出力試験装置から構成される。

[1]

2.1 主結線図

高周波工学試験装置の主結線図をFig. 2に示す。この主結線図にあるように受電系

統が6. 6 kV受電盤M/C①とM/C66の2系統に分かれている。これらをジャイロトロン/クライストロンの運転別に高圧切り替え器⑮で切り換えるようになっている。クライストロン運転の場合は、従来の受電盤M/C①、降圧変圧器(TLP④)、サイリスタスイッチ(THYS⑤)から受電する。ジャイロトロン運転の場合は既設の受電盤M/C66、降圧変圧器TLP69、および新設の交流スイッチ(ゲートターンオフサイリスタスイッチ、以後GTOスイッチと言う)から給電する設計とした。既設の直流電圧発生装置DCG⑥、平滑コンデンサ盤Fc⑦およびクローバスイッチCWS⑧はクライストロン運転とジャイロトロン運転とで共通使用機器としDCG⑥への入力はクライストロン用受電系統とジャイロトロン用受電系統とを、新設の高圧切り替え器⑮で切り換えるものとした。^[2]また、クローバスイッチ盤からの出力も新設の特高切り替え器⑬および、リターン線切り替え器⑭を用いてクライストロン運転とジャイロトロン運転の切り替えが出来るものとした。

ジャイロトロン運転には先に述べたように高速の電流立ち上げ特性と低電圧変動性が要求されるため、4極管を用いたシリーズレギュレータRV51を用いてその要求を満たすものとした。ジャイロトロンアノード・カソード間電圧は100V分解能で0~-40kVとするためにツェナーダイオードを用いた分圧器を用いた。ジャイロトロンタンクは高精度高磁場コイルの設置のため全ステンレス製とした。

このようにクライストロン運転とジャイロトロン運転のために受電系統を切り換えるシステム構成とすることで、既に完成状態にあるクライストロン用制御設備をほぼ変更することなくジャイロトロン運転機能を追設したことが設計上の大きな特長と言える。

2. 2 電気設備技術基準上問題となる点

電気設備技術基準上問題となる点は次の通りである。

第13条『電路はつぎの各号に掲げる部分を除き対地から絶縁しなければならない。ただし……』とあり、電路は原則的に対地から絶縁しなければならないが、クライストロンやジャイロトロンのコレクター部は対地との絶縁が困難な部分である。この点に関して関東通産局へ問い合わせたところ、『第13条七号の電路の一部を大地から絶縁しないで電気を使用することがやむを得ないもの』と理解を得られ特高直流系の接地が認められた。これにより、Fig. 2の主結線図を基に各部の設計を進めることが出来た。

2. 3 機器配置

高周波工学試験装置の機器はJT-60附属実験棟へ設置されるものである。旧JT-60クライストロン出力試験装置の電源関連機器が電源室へ配置されていること。ジャイロトロン試験装置が大実験室に設置されること。ジャイロトロン用M/Cが屋外トランスヤードへ設置されていること。以上の点より各機器間を最大65mのケーブルで接続することとなった。各機器の配置をFig. 3~8に記す。

新設の機器は高圧切り替え器⑮、特高切り替え器⑬およびリターン線切り替え器⑭を電源室へ設置した。GTOスイッチ70、シリーズレギュレータRV51、ジャイロトロンアノード分圧器、ジャイロトロンタンクは大実験室へ配置した。

3. 各部設計

各部の設計仕様を以下に示す。

3. 1 GTOスイッチ

GTOスイッチはFig. 9に示すように、ゲートターンオフサイリスタ（以後GTOと言う）を逆並列接続したGTOスタックを3相交流1.3kV高圧ラインへ入れたものである。3相高圧ラインの電力をGTOのゲート位相角制御により制御すると同時に、GTO素子の能力の範囲内での電流遮断ができる。高周波工学試験装置にはクローバスイッチがあるが、これは負荷であるクライストロン、レギュレータあるいはジャイロトロン真空管内での放電などの異常時に10μs以下の高速遮断を行いこれらの負荷の保護を行うものである。しかし、3相交流ライン側からみると、クローバスイッチが動作すると3相短絡となる。このために直流電圧発生装置DCG⑥や降圧変圧器69を短絡から保護するためにGTOスイッチで200μs以下の遮断を行うものである。

3. 1. 1 過電流遮断の意義

クローバスイッチ動作時の過電流の検討を行う。今変圧器短絡の単相モデルをFig. 10に示す。直流電圧発生装置DCG⑥の変圧器は%I_r=1.8、%I_X=5.7、%I_Z=6.4.5MVA、1.3kVである。変圧器の抵抗rと漏れインダクタンスL_lは

$$r = [\% I_r] \cdot (V/\sqrt{3}) \times I \times 100 = 6.76 \text{ m}\Omega$$

$$X = [\% I_X] \cdot (V/\sqrt{3}) \times I \times 100 = 21.4 \text{ m}\Omega$$

$$L_l = 68.1 \mu\text{H}$$

定格負荷の抵抗Rは

$$\sqrt{(\% I_r + \% I_R)^2 + (\% I_X)^2} = 100 \text{ より}$$

$$\% I_R = 98.03$$

よって、定格運転時の電圧と電流との位相差は

$$\theta' = \tan^{-1} (\% I_X) / [(\% I_r) + (\% I_R)] \\ = 3.27^\circ$$

ここで、クローバスイッチをONすなわち短絡すると、

$$L_l \frac{\partial i}{\partial t} + r i = V \sin(\omega t + \phi)$$

のような回路方程式が成立つ。この解のうち定常項は

$$i_s = I_m \cdot \sin(\omega t + \phi - \theta)$$

である。ここで、 θ は変圧器の短絡直前の電圧と電流との位相角であるから

$$\theta = \tan^{-1} (\omega L_l / r) = 72.47^\circ$$

また、ここで I_m は、 $\% I Z = 6$ より
 $I_m = |I| / 0.06 = 16.7 |I|$

この解の過渡項には

$$i_t = A \cdot \exp(-r/L) t$$

初期値は i_0 であるから

$$A = -I_m \cdot \sin(\phi - \theta) + i_0$$

よって、クローバスイッチによる短絡電流は

$$I(t) = I_m \sin(\omega t + \phi - \theta) - [I_m \sin(\phi - \theta) - i_0] \cdot \exp(-r/L) t$$

で表せる。今 $\phi = 10^\circ$ で短絡したとして、そのときの i_0 は

$$i_0 = I \sin(\phi - \theta')$$

$$\theta' = 3.26^\circ$$

$$i_0 = 0.12 \cdot I$$

この様に $\phi = 10^\circ$ で短絡を生じると Fig. 11 のようになる。すなわち、定格運転中において $\phi = 10^\circ$ でクローバスイッチによって短絡した場合、初期値 $i_0 = 0.12 \text{ pu}$ より電流は上昇し、 8.5 ms で 23 pu (定格電流の23倍) のピークを持つような波形となる。従来のサイリスタを利用した場合には少なくとも最初の電流零点でしか遮断することが出来ないために、このような直流バイアスのある短絡電流は 14.5 ms 後でないと遮断出来ない。この間に定格の23倍の短絡電流が流れることになる。しかし、GTOスイッチの場合、少なくとも $200 \mu\text{s}$ 以内に自己消弧が可能であるから Fig. 11 から明らかなように定格電流の範囲内の電流で遮断が出来ることになる。すなわち、直流電圧発生装置 DCG[®] や降圧変圧器⁶⁹ はクローバスイッチが動作しても GTO スwitch で電流遮断されるために、短絡現象から逃れることが出来る。直流電圧発生装置は既にクライストロン出力試験装置として10年に及ぶ運転でショット数も10万回を超えているため延命措置として GTO スwitch を用いることとした。

3. 1. 2 電流遮断時のサージ検討

GTO スwitch において、通電中に電流遮断すると回路中のリアクトル成分によりサージ電圧を発生する。これは他の機器への影響ばかりか GTO 自身の素子を破壊する可能性がある。そこで遮断時のサージ電圧の検討を行う。Fig. 9 にあるように GTO 素子にかかるサージ電圧は GTO 逆並列型アームと並列にダイードクリップ回路にて抑制する。そのサージ電圧は回路中のリアクトル成分が原因である。そして、そのサージ電圧をダイードクリップ回路のキャパシタンスで抑制するのだから、エネルギー保存則より

$$(1/2) L \cdot I^2 = (1/2) C \cdot (V - V_0)^2 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

- L : 回路中のインダクタンス
- I : 遮断電流値
- C : クリッパ回路のキャパシタンス
- V : 遮断後のコンデンサー電圧
- V_0 : 遮断前のコンデンサー電圧

である。

ここで、VはGTOの定格電圧値を超えてはならないので、最大4500Vを超えてはならない。 V_0 は相電圧の最大値 $1.3\text{ kV} \times \sqrt{2} / \sqrt{3} = 1061\text{ V}$ である。また、回路中のインダクタンスLは降圧変圧器、直流電圧発生装置の漏れインダクタンスをそれぞれL(TLP)、L(DCG)および線路インダクタンスをL(DCG)とすれば

$$\begin{aligned} L(\text{TLP}) &= 97.0 \mu\text{H} \\ L(\text{DCG}) &= L_l = 68.1 \mu\text{H} \\ L(\text{line}) &= 155.0 \mu\text{H} \end{aligned}$$

であるから、

$$L = 320.1 \mu\text{H}$$

である。電流IはLR回路の交流過渡現象の式より

$$I = i \cdot \sin(\omega t + \phi - \theta) - i \cdot \sin(\phi - \theta) \cdot \exp(-R/L)t$$

i : 定格電流の最大値 ($1777 \times \sqrt{2}$) = 2513 A

この式から分かるように、交流電流のスイッチングを行う場合、定格電流の最大値2倍の電流ピークを扱うことになるので、遮断電流Iは*i*の倍の5026Aとする。これらを(1)式に代入すると、 $C = 683 \mu\text{F}$ を得る。実際にはケーブルのインダクタンスはやや低めとなるし、ケーブルに静電容量があり、620 μF 程度のコンデンサーで良い。このコンデンサーはJT-60ポロイダル電源に用いられていたDC5kV、315 μF のコンデンサーを2台並列に用いることとした。また、GTOは5026Aの電流を遮断するから、先のサージ電圧を考慮して1素子4500V、2500Aのものを2素子並列に用いることとした。

これによりGTOスイッチの仕様は以下のようになった。

定格入力電圧	1300V
定格入力電流	1777A
定格周波数	50Hz
主力相数	3 ϕ 3W
定格出力電圧	1200V
遮断時間	200 μs 以下
規格	JEC-214 ^[3]

①位相制御機能(直流出力電圧制御機能)

特別高圧直流出力(DCG出力)電圧を制御するため交流1次側で別途発注のGTOスイッチの逆並列GTOを点弧位相制御して電圧制御機能をもたせた。

②高速遮断機能

外部信号（光ファイバー信号2点、無電圧接点1点）を受けて、別途GTOスイッチを200 μ s以内に遮断可能とした。

③信号変換機能

特別高圧直流出力の分圧器信号（DCG出力電圧信号）を受け光信号へ変換して中央制御装置レギュレータON/OFF指令回路（3.11制御設備参照）へ送信可能とした。

④GTOスイッチ保護機能

別途GTOスイッチ通電中に異常が発生したとき、GTOスイッチ遮断指令をGTOスイッチへ発すると同時に、高周波工学試験装置制御設備のロジックシーケンサ（後述）へ異常を伝達するものとした。

3.2 高圧切り替え器

直流電圧発生装置（DCG⑥）へのクライストロン／ジャイロトロン運転の交流母線の切り替えには3相交流断路器を用いて切り換えられるものとした。切り替え器の設置場所は直流電圧発生装置入力とサイリスタスイッチ出力間に設けるものとした。Fig. 12, 13に高圧切り替え器の平面図、立面図を示す。

切り替え器	明電舎 LWI-2RU (2KA)相当 ダブルスロータイプ	2式
取り付け架台		1式
碍子	NGK DA-20085A相当	24式

3.3 特高切り替え器

直流電圧発生器（DCG⑥）からの出力を平滑コンデンサー盤やクローバスイッチを経由した出力を、特高切り替え器によりクライストロン／ジャイロトロン運転を切り換えるものとした。切り替え方式は、ステーションポスト碍子を用いて対地絶縁した切り替えバーをボルト締め方式とした。Fig. 14に基本設計図を示す。また、リターン線切り替え器は単極断路器2式、相入防止棒により構成し、特に相断状態を禁止するために、リミットスイッチを各単極断路器に取り付けたものとした。Fig. 15にリターン線切り替え器の組立図を示す。

①特高切り替え器

碍子	NGK SP-1150A	6式
----	--------------	----

リミットスイッチ	オムロン D4E-1B20相当	2式
切り替えバー	リミットスイッチ押し棒付	1式
架台		1式
碍子ヘッド	Fig. 16, 17参照	6式

②リターン線切り替え器

単極断路器	明電 QCO-661A	2式
相入防止棒		1式
リミットスイッチ	オムロン WLANJ-2相当	2式

3.4 シリーズレギュレータチューブ盤

ジャイロトロンのコレクターおよびアノードの電圧変動を±0.2%以下の補償を行ない、かつジャイロトロンビーム電流立ち上げ時間を $200\mu\text{s}$ 以下、立ち下げ時間を $10\mu\text{s}$ 以下、リングング±0.2%以下に抑制するためにシリーズレギュレータチューブを設けるものとした。シリーズレギュレータチューブの外観をFig. 18に示すように4極管の制御回路を含めて対地から絶縁する構造とした。4極管はABB社製HS-203を使用しカソードをコモンとしたコントロールグリッド電源、スクリーングリッド電源、ヒーター電源および冷却装置を置く構造とした。

3.4.1 4極管の動作特性と制御電源

Fig. 19に4極管の定電流動作特性図を示す。この定電流動作特性図はスクリーングリッド電圧を一定とした場合のコントロールグリッドバイアスとアノード・カソード間電圧を示したものである。これによれば、アノード・カソード間電圧はコントロールグリッドのバイアス電圧によって決まる。さらに4極間の定電流特性線のうち0Aのラインをアノード・カソード電圧で100kVまで拡張し、それに対応したコントロールグリッド電圧をバイアスすれば4極間をカットオフ状態にすることができる。しかしながら、このコントロールグリッド電源には、レギュレータとして用いる動作領域でのコントロールグリッドバイアスからカットオフの動作領域まで100V~1.6kV程度の広いダイナミックレンジが必要とされる。このために4極管のコントロールグリッド回路は今日でも真空管を用いる例が多い。しかし、使用する真空管の選定やそれを使いこなす技術者の確保等を考えると、日本において真空管を用いたコントロールグリッド回路を構築するのは実践的ではない。そこで、本回路にはコントロールグリッドへのバイアスを基本バイアス、フィードバックおよびカットオフバイアスの各機能別に回路を分け、それぞれをファーストリカバリダイオードを用いてカスケード接続する回路とした。Fig. 20にシリーズレギュレータチューブの結線図を示す。

3. 4. 2 シリーズレギュレータチューブの制御

シリーズレギュレータチューブの制御には各グリッド電源等の立ち上げや立ち下げのON/OFF指令やその時間(タイミング)管理等のシーケンス制御とレギュレータの高速フィードバック制御がある。シーケンス制御では \sim msまでの高速信号は高速インターロック回路を構築して行うこととし、時間的な厳密性を論じないものに対しては、ロジックシーケンサーにより実行することとした。詳細は3. 1 1 制御設備の項で述べる。

フィードバック制御系に関しては、レギュレータチューブのアノード・リターン間電位差を分圧器で検出し、光アナログ電送装置を經由しオプティカルファイバケーブルを利用して耐電圧を満足させながらレギュレータチューブのコントロールグリッドフィードバック回路のバイアスを決定するものとした。

①レギュレータチューブ	ABB社製HS203 (4極管CQK200-4 およびソケットAK203HSA)	1式
②高速カソード過電流 検出器	過電流検出時間 8μ s以下 高速検出出力1点、自己保持接点1点 付 ラインフィルタ付、 絶縁AMP 付	1式
③ヒータ電源	AC21V、430A、突入電流抑制回路付 (突入電流 1800A以下)、遠隔微調機能付	1式
④コントロール グリッド回路		
遮断バイアス電源	直流 -2100 V、1A 高速スイッチ回路、フリーホイールダイオード付 対コモンDC3kV耐圧、不足電圧検出回路付	1式
基本バイアス電源	直流 $0\sim-300$ V、1A リップル電圧0.3%以下 200V、400VAスライダック付 ステップモータ付 フリーホイールダイオード付	1式
フィードバック回路部	可変ゲイン フィードバック応答 $0\sim200$ kHz -0.3 dB以下 高速アナログ伝送装置付 フリーホイールダイオード付 対コモンDC3kV耐圧	1式

コントロールグリッド バイアス抵抗	2 k Ω	1 式
過電圧検出回路	過電圧検出時間 8 μ s 以下 高速検出出力 1 点、自己保持接点 1 点 付 ラインフィルタ付、 絶縁 AMP 付	1 式
過電流検出回路	過電流検出時間 8 μ s 以下 高速検出出力 1 点、自己保持接点 1 点 付 ラインフィルタ付、 絶縁 AMP 付	1 式
遮断指令回路	<p>1) カソード過電流、コントロールグリッド過電流・過電圧、スクリーングリッド過電圧・過電流（後述）、V C B 入り状態での遮断電源不足電圧、カソード電流引出し時のスクリーン電圧不足時にクローバ動作指令、G T O 遮断指令を 2 μ s 以下の遅れで発するものとした。</p> <p>2) ジャイロトロンボディ過電流、及びカソード過電流を検出した場合には 2 μ s 以下の遅れでレギュレータチューブ遮断信号と G T O 遮断指令を発するものとした。</p> <p>3) 遮断信号を発して 3 0 μ s を経過しても遮断出来ない場合にはクローバ動作指令、G T O 遮断指令を発するものとした。</p> <p>4) 中央制御盤および本回路内のロジックシーケンサによりレギュレータチューブの遮断信号を受けた場合には、それぞれ 5 μ s、5 m s 以下の遅れでレギュレータチューブ遮断信号を発するものとした。</p>	1 式
⑤ スクリーン グリッド電源		
電源部	直流 + 1 5 0 0 V、1 8 0 0 V、2 3 0 0 V の 切り替えが可能とした。過電圧抑制回路付、 直流遮断回路付、不足電圧検出回路付 リップル平滑回路付、リップル電圧 0. 3 % 以下	1 式
過電流検出回路	過電流検出時間 8 μ s 以下 高速検出出力 1 点、自己保持接点 1 点 付	1 式

	ラインフィルタ付、 絶縁AMP 付	
不足電圧・ 過電圧検出回路	不足・過電圧検出時間 $8 \mu s$ 以下 高速検出出力1点、自己保持接点1点 付 ラインフィルタ付、 絶縁AMP 付	1 式
スクリーングリッド バイアス抵抗	4 k Ω	1 式
⑥カソードヒータ 冷却ファン	50 Hz、200 V、350 W	1 式
⑦盤内冷却ファン	50 Hz、200 V、50 W	2 式
⑧絶縁変圧器	3相、50 Hz、200 V / 200 V 容量30 kVA、 2次側対地絶縁耐圧 DC100 kV以上 シールド板付	1 式
⑨フィードバック用 直流分圧器	分圧器部 測定箇所 レギュレータチューブアノード - リターン線間 直流 -100 kV 周波数帯域 DC~1 MHz -1.0 dB ステップ応答 $1 \mu s$ 以下	1 式
	高速光アナログ伝送装置 (コントロールグリッド回路 フィードバック回路部に準ずる)	2 式
	ノイズカット変圧器、電源用ラインフィルタ付 200 / 100 V 400 VA	1 式
⑩光デジタル送受信器	DC~5 MBS	10 式
⑪サージアブソーバ	制御電源用	1 式
⑫温度計	警報接点付	1 式
⑬チャンネルベース	高さ200 mmとする	1 式

⑭直列抵抗	1 0 M Ω	1 式
⑮ビーム過電圧 検出回路	過電圧検出時間2 μ s 以下 高速検出出力1点、自己保持接点1点 付 ラインフィルタ付、 絶縁AMP 付	1 式
⑯SF6ガス配管	圧力計、バルブ付	1 式

3. 5 ジャイロトロンアノード回路

ジャイロトロンのアノード電位はレギュレータチューブアノード出力よりジャイロトロンアノード分圧器で分圧して供給されるものとした。ジャイロトロンのアノード・カソード電圧の仕様が最大-40 kV、分解能100 V、アノード電流最大100 mAを要求されているために、ツェナーダイオードを利用した分圧器を用いた。Fig. 21に分圧器の回路図を示す。

ジャイロトロン アノード分圧器	入力	最大-100 kV	1 式
	出力	分解能 100 V	
	タップ数	400タップ	
	出力電流	最大 100 mA	
	出力応答速度	20 μ s 以下	

3. 6 クローバスイッチ盤クローバ動作指令受信回路増設

シリーズレギュレータチューブ盤およびジャイロトロンからのクローバ動作指令を受け既設クローバ盤内のトリガー回路（サイロトロンアンプ）を起動させクローバ動作を行うクローバ動作指令受信回路を設けた。Fig. 22に既設クローバ回路結線図、Fig. 23にクローバトリガー受信回路を示す。

クローバ動作指令受信部	光デジタル伝送装置受信部	2 式
トリガー信号変換回路	Fig. 23による。	1 式
電源	+5 V	1 式
	+15 V	1 式
	ノイズカットトランス 200 V入力 400 VA	1 式
	ラインフィルタ、ヒューズ断検出接点付 端子台付	

3. 7 ジャイロトロンタンク

ジャイロトロン電子銃へカソード、アノード、ヒータの電力の供給を受け、かつ絶縁を確保するための油槽とした。また、本ジャイロトロンタンクにより、荷重2.5トンま

でのジャイロトロン用超電導マグネットを支えるものとした。

ジャイロトロンタンク	外形 1500×2500×800 mm 材質 SUS304、ドレンコック付	1 式
附属品		
①ヒータ電源	絶縁変圧器 AC200V/50V 容量 2kVA 対地耐電圧 DC-100kV連続 過電圧防止用アレスター付 絶縁の種類 F種	1 式
②カソード端子	入力端子 油中エポキシブッシング 配線 DC -100kV 電流 30A Duty 1/15 天板引き外しの為の切り替え器付 切り替えハッチ付	1 式
③アノード端子	入力端子 油中エポキシブッシング 配線 DC -100kV 電流 100mA Duty 1/15 天板引き外しの為の切り替え器付 切り替えハッチ付	1 式
	アノード電流検出器 フォトダイオードによる光出力方式	1 式
	アノード電圧検出器 分圧抵抗方式 周波数特性 DC~300kHz -0.3dB 外部端子付	1 式
④カソード冷却用 オイルポンプ	5 l/min.	1 式
⑤高速シャント抵抗	ジャイロトロンコレクター電流およびボデイ電流 検出のための同軸シャント抵抗	
	コレクター電流検出用 50A MAX.	1 式
	ボデイ電流検出用 100mA MAX.	1 式

⑥ ジャイロトロン タンク放圧管	警報接点付	1 式
⑦ オイルレベル 調整タンク	25 l、ブリーダ付	1 式
⑧ 油面計	レベル低警報接点付	1 式
⑨ ダイアル温度計		1 式
⑩ チャンネルベース	高さ 200 mm	1 式

3. 8 直流電圧発生装置出力電流検出装置

直流電圧発生装置の出力電流を検出するための D C C T を設けた。回路系を F i g. 20 に示す。

① D C C T	電流 最大 50 A	1 式
② 光アナログ伝送装置	温度特性 0 ~ 40 °C	1 組
③ アンプ回路	D C C T と光アナログ伝送装置とのレベル調整用	1 式
④ 電源	ノイズカットトランスおよび直流電源	1 式

3. 9 サージブッカー

① シリーズ抵抗	30 Ω	1 式
	耐圧 極間 - 100 k V (短時間)	
	対地 - 100 k V (連続)	
	対地絶縁方式	
	碍子 S P 1 1 5 0 A による	
	電流容量 35 A	
② チャンネルベース	高さ 200 mm	1 式

3. 10 低圧配電系統

低圧配電系統は基本的に既設枯化試験装置のものを用いることとした。低圧配電系統図を F i g. 24 に示す。

3. 11 制御設備

ジャイロトロンの運転を円滑に行いかつクライストロン運転制御に改造の影響を与えな

い制御装置とした。本制御装置の構成を Fig. 25 に示す。

3. 1 1. 1 運転方案

本電源は、下記の運転要領で運転されるものとした。

A. ジャイロトロン／クライストロン切り替え過程

制御電源の確立。ジャイロトロン／クライストロン運転の切り替えを行う。切り替えは現場にて交流高圧切り替え器、直流特高切り替え器、リターン線切り替え器を手動にて、切り換えることを言う。

B. ジャイロトロン／模擬負荷切り替え過程

ジャイロトロンの運転を行うか、模擬負荷抵抗器の運転を行うか直流特高ケーブルの切り替えることを言う。

C. レギュレータチューブ立ち上げ過程

レギュレータチューブの補機系の立ち上げを行う。1次冷却水、2次冷却水（それぞれ手動）の立ち上げ、クローバ盤の立ち上げ、レギュレータチューブのファン起動およびヒータの点火を行う。

C' 超電導コイル立ち上げ過程

超電導コイルをLN2、LHe冷却し、所定の電流まで立ち上げる過程。この過程は基本的に超電導コイル

D. ジャイロトロン立ち上げ過程およびジャイロトロン運転過程

ジャイロトロンのヒータおよびカソード冷却オイルポンプを起動し、レギュレータチューブのコントロールグリッド電源、交流系VCBの投入、GTOスイッチ、スクリーングリッド電源の立ち上げを行い、ジャイロトロンの運転を行う過程。

ジャイロトロンの運転にはショートパルスモードとロングパルスモードの運転モード設けた。各運転モードの動作を Fig. 26, 27 に示す。

ショートパルス運転モードとは平滑コンデンサーに蓄積されたエネルギーを利用して、ジャイロトロンを運転するモードである。これにより最大10msの運転を行うものである。

ロングパルス運転モードとはレギュレータチューブにより円滑な運転を行うと同時に、交流6.6kV系統からパワーを供給するものである。これにより最大10sの運転を行うものである。

基本的にA. B. の過程は運転員の手動により進められる。C. D. の過程を本制御設備により制御するものとした。C. D. の過程の制御シーケンス機能および状態遷移図を Fig. 28～39 に示す。

3. 1 1. 2 制御装置の系統

本装置の統括的運転を行うために、中央制御装置を中心に、シリーズレギュレータチュ

⑤ 非常停止スイッチ 1 式

C. GTOスイッチ

GTOスイッチ盤内にはロジックシーケンサーと高速インターロック（受信系のみ）とを設置し、GTOスイッチとジャイロトロン制御系の取合を行うものとした。

①ロジックシーケンサー 1 式

I/O子極 SYSMAC C1000H
SYSBUS光システム付

入出力ならびにインターロックについては
Fig. 40～53に示す。

D. レギュレータチューブ盤

シリーズレギュレータチューブ内のヒータ、冷却ファン、コントロールグリッド電源、スクリーングリッド電源の立ち上げ立ち下げをロジックシーケンサーで行うものとした。また、レギュレータチューブ系の故障の内、高速のインターロックを行うものについては、専用の高速回路によりクローバ動作指令、GTOスイッチ遮断指令を発するものとした。

①ロジックシーケンサー 1 式

I/O子極 SYSMAC C1000H
SYSBUS光システム付

入出力ならびにインターロックについては
Fig. 40～53に示す。

②高速インターロック 1 式

回路 高速インターロック線図Fig. 64参照

E. クライストロン現場制御追設盤

本制御設備と既設の平滑コンデンサー盤、直流電圧発生装置、およびクローバ盤との信号授受を行うためにクライストロン現場制御盤にロジックシーケンサーを追設するものとした。

① ロジックシーケンサー

1式

I/O子局 SYSMAC C1000H
 SYSBUS光システム付

入出力並びにインターロックについては
Fig 40～53に示す。

3. 11. 3 保護時のジュール積分値

高速インターロック動作時に直流電源よりジャイロトロン管内へ供給されてしまうエネルギーをジュール積分値で表す。負荷遮断時間を $10\mu\text{s}$ 、コンデンサー充電時間を 100kV として、回路抵抗値を考慮すると

$$i^2 t = [100\text{kV} / (20\Omega + 30\Omega + 4.5\Omega)]^2 \cdot 10\mu\text{s} = 33.7\text{J}/\Omega$$

となる。(実際上では遮断時間は $6\mu\text{s}$ 以下に抑えられ、上記値を十分に下回るものとなっている。)

パトライト黄、赤各1ヶ付

3. 12. 4 盤の据付け工事

機器を所定の位置へ据付けた。フロア面より200mm上げるものとした。

①	GTOスイッチ盤	幅900×奥行900×高1950	1式
	GTOスイッチ制御盤	幅900×奥行900×高1950	1式
②	レギュレータ スイッチ盤	幅1500×奥行1500×高3500	1式
③	フィードバック 分圧器	幅300×奥行300×高1500	1式
④	アノード分圧器	幅300×奥行750×高2000	2式
⑤	絶縁変圧器	幅750×奥行750×高1500	1式
⑥	ブリーダ抵抗	幅900×奥行2050×高2000	1式
⑦	分圧器	幅400×奥行400×高1150	1式
⑧	低圧分電盤	幅800×奥行700×高2300	1式
⑨	ジャイロトロン タンク	幅1500×奥行2400×高800	1式

3. 12. 5 ブスバーの設置

レギュレータチューブ回りの特高・リターン線のブスバーを布設した。

①	特高部	NGK SP-1150A(支給)により支持すること。導体は銅パイプφ10mmを用いた	1式
②	リターン部	NGK HC-6により支持した。	1式
③	碍子ヘッド	SP-1150A用碍子ヘッドをつけた。	4式

4. まとめ

高周波工学試験装置はJT-60クライストロン出力試験装置を改造して、大電力ミリ波源であるジャイロトロンをも運転可能とした機能を追備した装置である。本ジャイロトロン出力試験装置の基本仕様として、出力電圧は直流-50~90kVまで可変であり、出力電流としてはパルス幅10sにおいてジャイロトロン発振に要求される30A（短パルスモードでは40A）の運転が可能である。出力電圧の安定度は±0.2%以下であり、電流の立ち上げ時間は200μs以下の高速立ち上げを行うものである。その設計の大きな特徴はクライストロン出力試験装置の制御装置をほとんど改造することなくジャイロトロンをも運転可能とする経済設計を行ったことである。さらに、直流出力電圧を制御し、かつ短絡装置であるクローバスイッチが動作した場合の直流電圧発生装置が短絡するという従来の欠点を、交流系に採用したGTOスイッチによって高速遮断することにより克服した。また、4極管によるシリーズレギュレータによってジャイロトロンの運転に求められる厳しい電源電圧について高精度・高速制御性を満足させるものとした。この際、シリーズレギュレータの重要なダイナミック制御を司るコントロールグリッド回路には機能別に分けた固体素子回路をカスケード結合する独自の構成を用い製作を容易にしている。さらにシーケンス制御系において、絶縁耐電圧上の問題を満足しながらシリーズレギュレータへの制御を行い、既設クライストロン制御系との取合、ジャイロトロン系、GTOスイッチ系への制御を行うために、ロジックシーケンサーを採用しているのも特色となっている。

なお、高周波工学試験装置は平成3年4月に完成し、引き続き7月には短パルスジャイロトロンによる発振試験を行うことが出来た。

謝辞

高周波工学試験装置の設計・製作に当り 山本 巧 RF装置試験室室長、NBI装置試験室 伊藤 孝雄氏、那珂研工務課電気保安 紺野 俊男氏、糟谷 浩正那珂研工務課長より重要なコメントと御示唆をいただきました。本高周波工学試験装置の製作に当り、シリーズレギュレータ系・制御系に関して電気興業(株)、GTOスイッチ製作に関して(株)明電舎、据付・工事に関して開発電気(株)よりそれぞれ御協力いただきました。太田 充 核融合装置試験部次長、島本 進 核融合工学部長、田中 正俊 前那珂研究所所長、飯島 勉 前那珂研究所所長、鹿園 直基 那珂研究所所長より御理解・御支援いただきましたことを感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 本田正男、沢島正之、菅沼和明、原 充、北井達也、飯田一広：JT-60大電力クライストロン出力試験装置運転保守要領書
- [2] M. Tsuneoka, H. Fujita, T. Nagashima, et. al. : DESIGN AND TESTING OF POWER SUPPLIES FOR THE HIGH POWER GYROTRON
- [3] 電気学会 電気規格調査会標準規格 : サイリスタ交流電力調整装置 JEC-214

4. まとめ

高周波工学試験装置はJT-60クライストロン出力試験装置を改造して、大電力ミリ波源であるジャイロトロンをも運転可能とした機能を追備した装置である。本ジャイロトロン出力試験装置の基本仕様として、出力電圧は直流-50~90kVまで可変であり、出力電流としてはパルス幅10sにおいてジャイロトロン発振に要求される30A（短パルスモードでは40A）の運転が可能である。出力電圧の安定度は±0.2%以下であり、電流の立ち上げ時間は200μs以下の高速立ち上げを行うものである。その設計の大きな特徴はクライストロン出力試験装置の制御装置をほとんど改造することなくジャイロトロンをも運転可能とする経済設計を行ったことである。さらに、直流出力電圧を制御し、かつ短絡装置であるクローバスイッチが動作した場合の直流電圧発生装置が短絡するという従来の欠点を、交流系に採用したGTOスイッチによって高速遮断することにより克服した。また、4極管によるシリーズレギュレータによってジャイロトロンの運転に求められる厳しい電源電圧について高精度・高速制御性を満足させるものとした。この際、シリーズレギュレータの重要なダイナミック制御を司るコントロールグリッド回路には機能別に分けた固体素子回路をカスケード結合する独自の構成を用い製作を容易にしている。さらにシーケンス制御系において、絶縁耐電圧上の問題を満足しながらシリーズレギュレータへの制御を行い、既設クライストロン制御系との取合、ジャイロトロン系、GTOスイッチ系への制御を行うために、ロジックシーケンサーを採用しているのも特色となっている。

なお、高周波工学試験装置は平成3年4月に完成し、引き続き7月には短パルスジャイロトロンによる発振試験を行うことが出来た。

謝辞

高周波工学試験装置の設計・製作に当り 山本 巧 RF装置試験室室長、NBI装置試験室 伊藤 孝雄氏、那珂研工務課電気保安 紺野 俊男氏、糟谷 浩正那珂研工務課長より重要なコメントと御示唆をいただきました。本高周波工学試験装置の製作に当り、シリーズレギュレータ系・制御系に関して電気興業(株)、GTOスイッチ製作に関して(株)明電舎、据付・工事に関して開発電気(株)よりそれぞれ御協力いただきました。太田 充 核融合装置試験部次長、島本 進 核融合工学部長、田中 正俊 前那珂研究所所長、飯島 勉 前那珂研究所所長、鹿園 直基 那珂研究所所長より御理解・御支援いただきましたことを感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 本田正男、沢島正之、菅沼和明、原 充、北井達也、飯田一広：JT-60大電力クライストロン出力試験装置運転保守要領書
- [2] M. Tsuneoka, H. Fujita, T. Nagashima, et. al. : DESIGN AND TESTING OF POWER SUPPLIES FOR THE HIGH POWER GYROTRON
- [3] 電気学会 電気規格調査会標準規格 : サイリスタ交流電力調整装置 JEC-214

4. まとめ

高周波工学試験装置はJT-60クライストロン出力試験装置を改造して、大電力ミリ波源であるジャイロトロンをも運転可能とした機能を追備した装置である。本ジャイロトロン出力試験装置の基本仕様として、出力電圧は直流-50~90kVまで可変であり、出力電流としてはパルス幅10sにおいてジャイロトロン発振に要求される30A（短パルスモードでは40A）の運転が可能である。出力電圧の安定度は±0.2%以下であり、電流の立ち上げ時間は200μs以下の高速立ち上げを行うものである。その設計の大きな特徴はクライストロン出力試験装置の制御装置をほとんど改造することなくジャイロトロンをも運転可能とする経済設計を行ったことである。さらに、直流出力電圧を制御し、かつ短絡装置であるクローバスイッチが動作した場合の直流電圧発生装置が短絡するという従来の欠点を、交流系に採用したGTOスイッチによって高速遮断することにより克服した。また、4極管によるシリーズレギュレータによってジャイロトロンの運転に求められる厳しい電源電圧について高精度・高速制御性を満足させるものとした。この際、シリーズレギュレータの重要なダイナミック制御を司るコントロールグリッド回路には機能別に分けた固体素子回路をカスケード結合する独自の構成を用い製作を容易にしている。さらにシーケンス制御系において、絶縁耐電圧上の問題を満足しながらシリーズレギュレータへの制御を行い、既設クライストロン制御系との取合、ジャイロトロン系、GTOスイッチ系への制御を行うために、ロジックシーケンサーを採用しているのも特色となっている。

なお、高周波工学試験装置は平成3年4月に完成し、引き続き7月には短パルスジャイロトロンによる発振試験を行うことが出来た。

謝辞

高周波工学試験装置の設計・製作に当り 山本 巧 RF装置試験室室長、NBI装置試験室 伊藤 孝雄氏、那珂研工務課電気保安 紺野 俊男氏、糟谷 浩正那珂研工務課長より重要なコメントと御示唆をいただきました。本高周波工学試験装置の製作に当り、シリーズレギュレータ系・制御系に関して電気興業(株)、GTOスイッチ製作に関して(株)明電舎、据付・工事に関して開発電気(株)よりそれぞれ御協力いただきました。太田 充 核融合装置試験部次長、島本 進 核融合工学部長、田中 正俊 前那珂研究所所長、飯島 勉 前那珂研究所所長、鹿園 直基 那珂研究所所長より御理解・御支援いただきましたことを感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 本田正男、沢島正之、菅沼和明、原 充、北井達也、飯田一広：JT-60大電力クライストロン出力試験装置運転保守要領書
- [2] M. Tsuneoka, H. Fujita, T. Nagashima, et. al. : DESIGN AND TESTING OF POWER SUPPLIES FOR THE HIGH POWER GYROTRON
- [3] 電気学会 電気規格調査会標準規格 : サイリスタ交流電力調整装置 JEC-214

表1 ケーブルリスト (レギュレータチューブ系)

発	着	ケーブル種類	内	容	本数	距離
ジャイロトロン用分電盤	絶縁変圧器	CV	AC 200 V 40 KVA 低圧パワーライン		1	
絶縁変圧器	レギュレータチューブ	CV	AC 200 V 40 KVA 対地耐圧 DC 100 K V		1	
レギュレータチューブ	G T O S W 盤	オプティカルファイバー	G T O 遮断指令 (昭和電線)		1	
"	クローバ盤	オプティカルファイバー	クローバ動作指令 (昭和電線)		1	
"	M / C 盤	オプティカルファイバー	V C B 切 (昭和電線)		1	
"	フィードバック用 分圧器電圧信号器	オプティカルファイバー	電圧フィードバックライン (アナログ系) (藤倉電線)		1	
ジャイロトロン用分電盤	フィードバック分圧器用 絶縁変圧器	CV	AC 100 V 低圧パワーライン		1	
レギュレータチューブ用 リレーケーケンサ	ジャイロトロンタンク	オプティカルファイバー	リレーケーケンサ用オプティカルファイバー		1	

B-1

表 1 ケーブルリスト LP1'

発	着	ケーブル種類	内	容	本数	距離
ジャイトロノン用分電盤	LP1'	CVT	AC 200 V 低圧パワーライン		1	
LP1'	LP1	オプティカルファイバー	リレーシケンセンサ用		1	
LP1'	レギュレータチューブ盤	"	"		1	
LP1'	GTO盤	"	"		1	
LP1'	M/C	CVV	M/Cインターロック接点制御指令		10 P	
LP1'	降圧変圧器	CVV	変圧器故障接点		4 P	

B-2

表 1 ケーブルリスト M/C

発	着	ケーブル種類	内	容	本数	距離
ジャイロトロン用分電盤	M/C	CVT	AC 100V パワーライン		1P	

C-1

表 1 ケーブルリスト (GTO 盤)

発	着	ケーブル種類	内	容	本数	距離
ジャイロトロン用分電盤 GTO 盤	GTO 盤 分圧器	CVT	3φAC 200V 低圧パワーライン 分圧信号		1P	

D-1

表 1 ケーブルリストジャイロトロン

発	着	ケーブル種類	内 容	本 数	距 離
ジャイロトロン用分電盤	ジャイロトロンタンク	CVT	1φ AC 200V 5KVA	1P	
ジャイロトロンタンク	クローバ盤	光ファイバー	ボディ過電流あるいはコレクタ過電流によるクローバ動作指令	1	
"	レギュレータ盤	"	によるレギュレータ遮断	1	
"	GTO盤	"	によるGTO遮断	1	
"	レギュレータ盤	"	ロジックシーケンサ 通信信号	1	
			アノード電圧信号		
			" 電流信号		

E-1

表 1 ケーブルリスト LPI

発	着	ケーブル種類	内 容	本 数	距 離
DCC	LPI	CVT	DCC入力選択信号	4P	
直流ケーブル切替器	LPI	CVT	DCC出力選択信号	4P	
低圧分電盤	LPI	CVT	LPI 拡長部電源増設 AC 200V	1P	

F-1

表 1 ケーブルリスト C P

発	着	ケーブル種類	内	容	本数	距離
中央制御計算機	L P 1'	光ファイバー	ロジックシークセンサ		1	
中央制御表示	L P 1'	光ファイバー	ロジックシークセンサ	I/O	1	
中央制御	R V 盤	光ファイバー	遮断指令 昭和電線		1	
中央制御	中央分電盤	C V T	低圧パワーケーブル		1	

G-1

表 1 ケーブルリスト特別高圧ケーブル

発	着	ケーブル種類	内	容	本数	距離
直流ケーブル切替器	ジャイロトロロン用 サージプロック	同軸特高	直流 - 100KV			100 m
クローバ盤	直流ケーブル切替器	"	"			5 m
ジャイロトロロンタンク アノード端子	アノードスバー	"	"			5 m
ジャイロトロロンタンク カソード端子	カソードスバー	"	"			5 m

表 1 ケーブルリスト 高圧ケーブル

発	着	ケーブル種類	内	容	本数	距離
3φ4MVA 6.6/1.3KV トランス	GTO盤	CVT 3.3KV	3φ 1.3KV 高圧ケーブル		3P 1本	8m
GTO盤	切替器	CVT 3.3KV	3φ 1.3KV "		3P 1本	100m
3φ4MVA 6.6/1.3KV トランス	切替器	CVT 3.3KV	中性点ケーブル		2本	100m

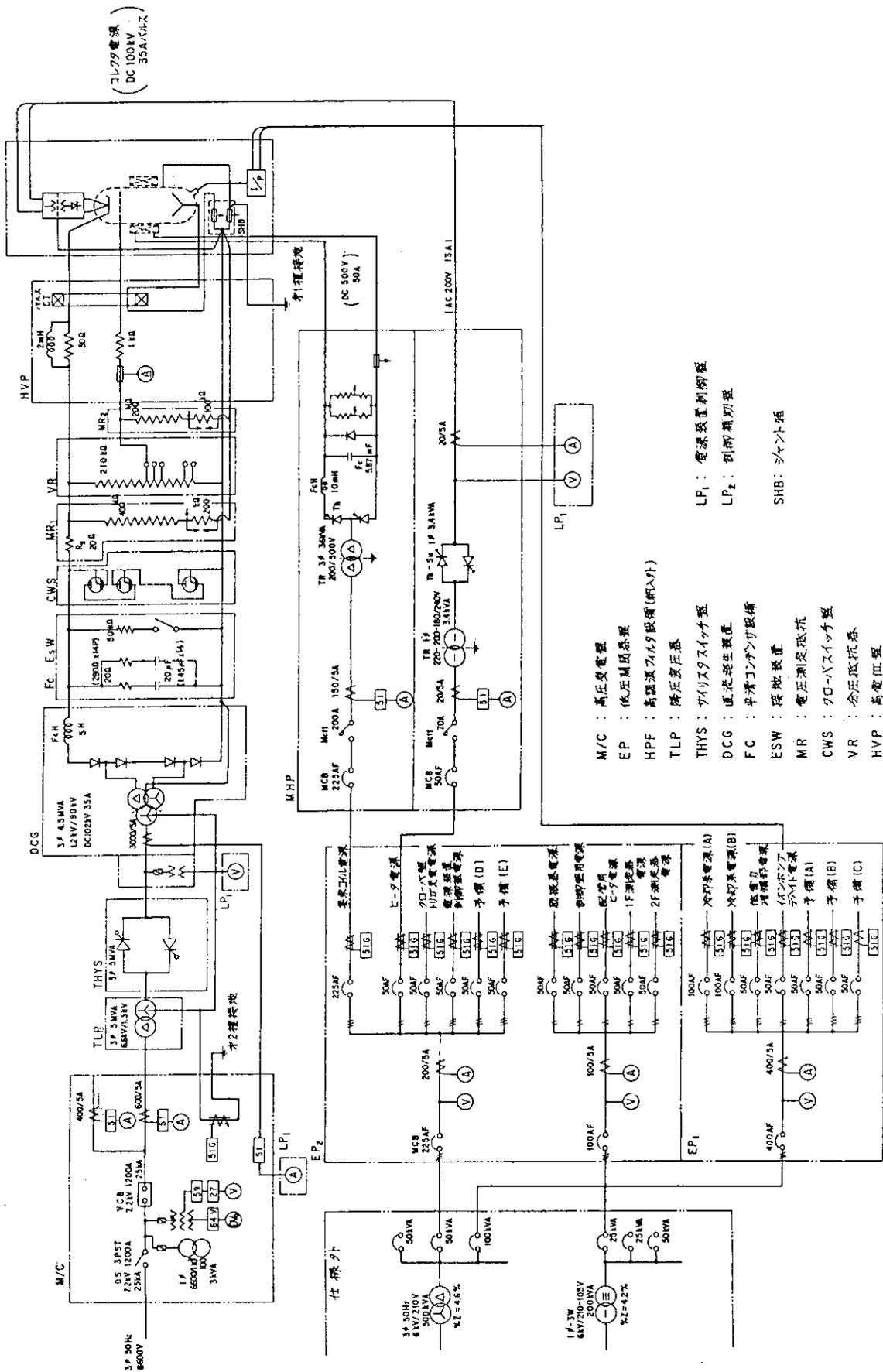
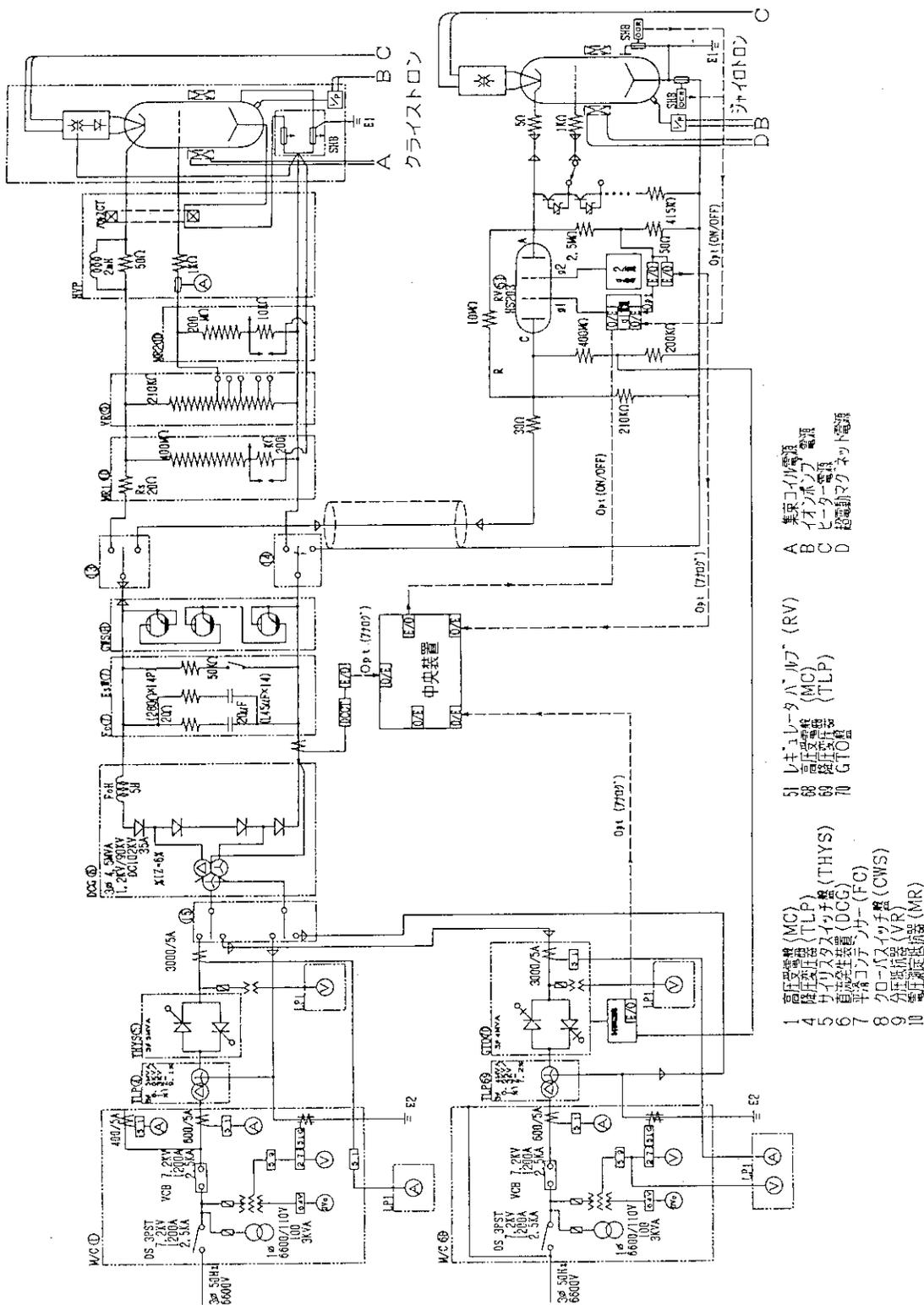


Fig. 1 J T-60kV クライストロン出力試験装置結線図



- 1 高圧受電機 (MC)
 2 高圧受電機 (TLP)
 3 サイリスタブリッジ (THYS)
 4 サイリスタブリッジ (DCG)
 5 整流コンデンサ (FC)
 6 コーヒーカップ (CWS)
 7 分圧抵抗 (VR)
 8 電圧調整装置 (MR)
 9
 10
- 51 レギュレータハルブ (RV)
 52 高圧受電機 (MC)
 53 高圧受電機 (TLP)
 54 高圧受電機 (DCG)
 55 整流コンデンサ (FC)
 56 コーヒーカップ (CWS)
 57 分圧抵抗 (VR)
 58 電圧調整装置 (MR)
- A 集束コイル電源
 B イオンポンプ電源
 C ヒーター電源
 D 超電動機/ネット電源

Fig. 2 高周波工学試験装置主結線図

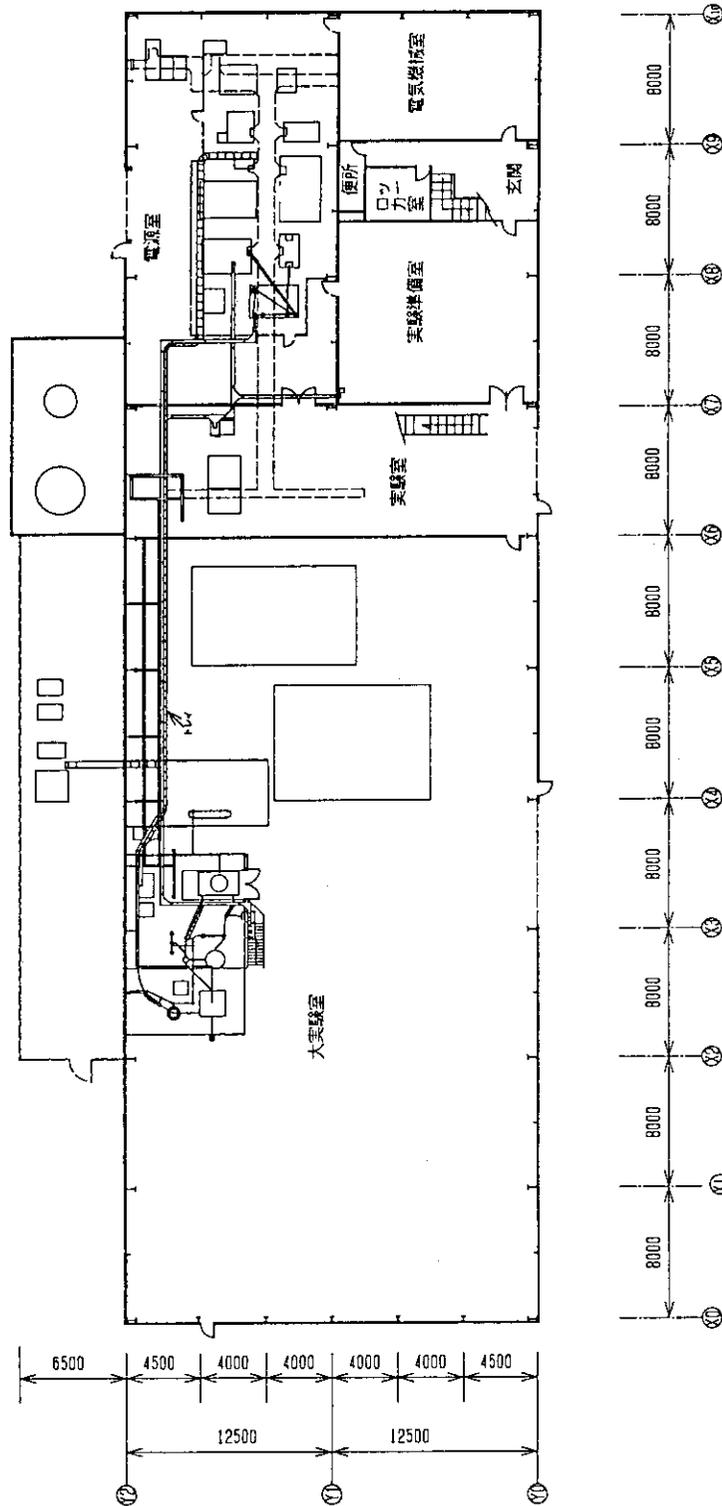


Fig. 3 ケーブルトレイ平面図

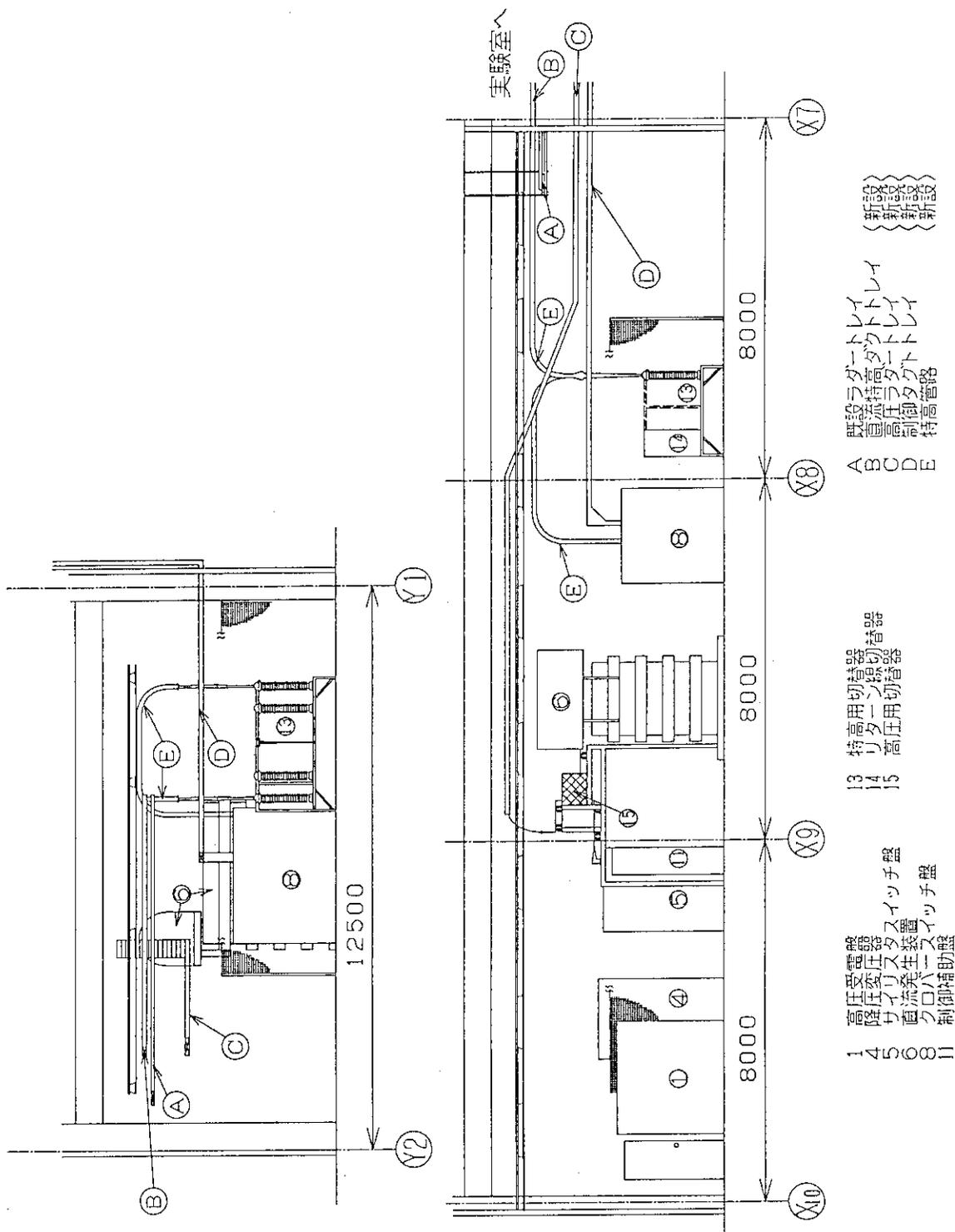


Fig. 5 高周波工学試験装置電願配置図 (立面図)

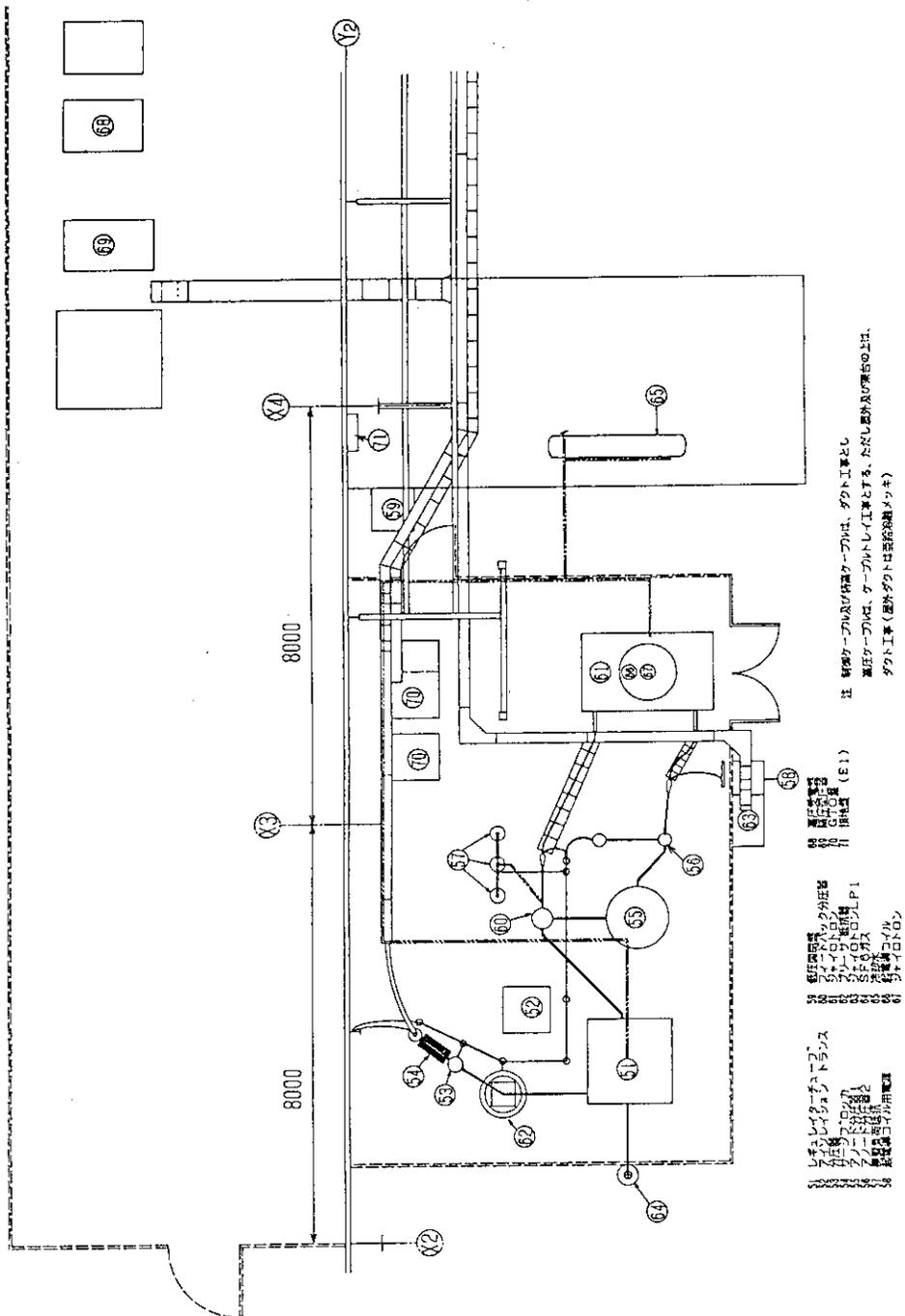
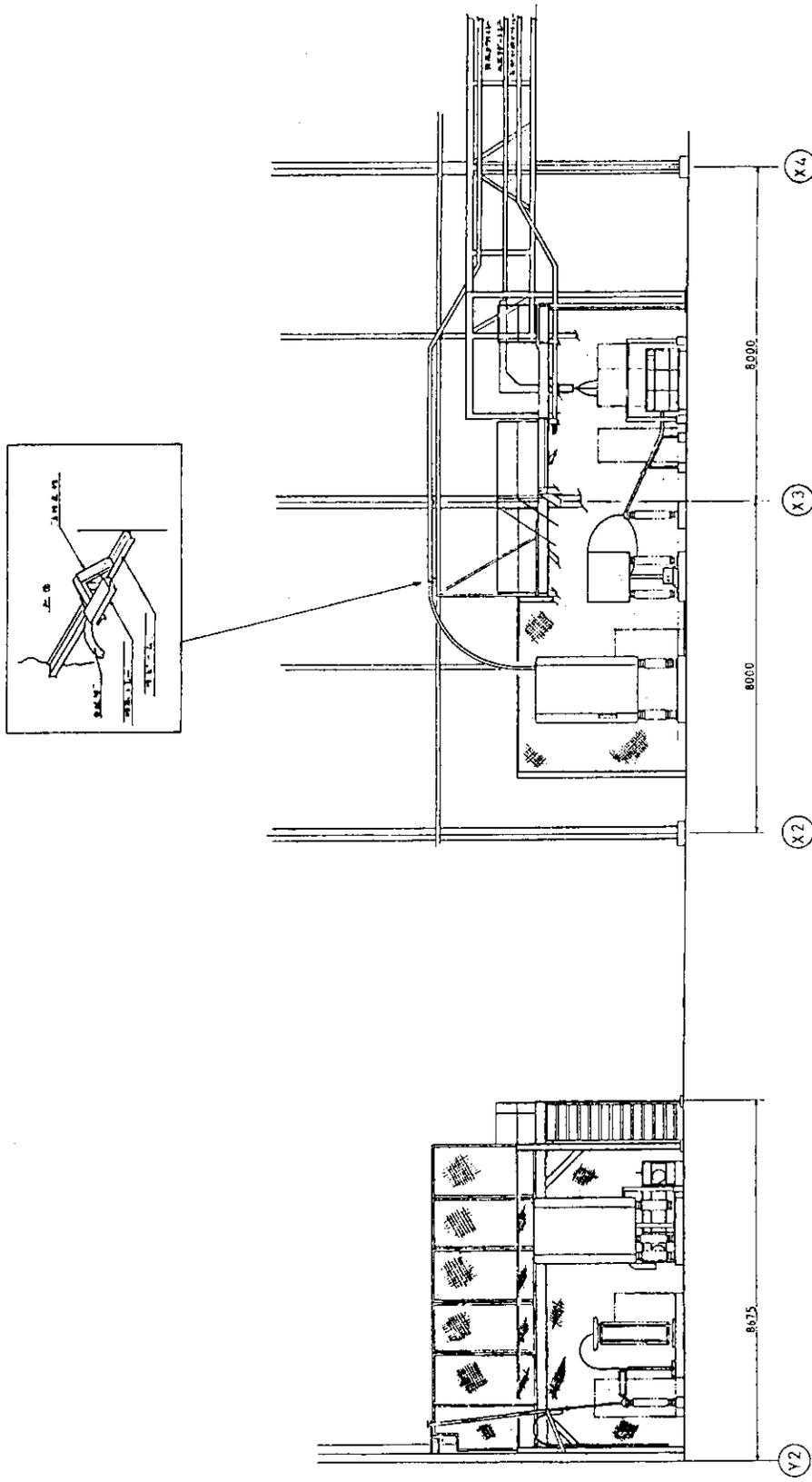


Fig. 6 ジャイロトロン機器配置図



工業技術院原子力研究所
加速器部
サイクロトロン装置
設計図

Fig. 7 ジャイロトロン機器配置図 (立面図)

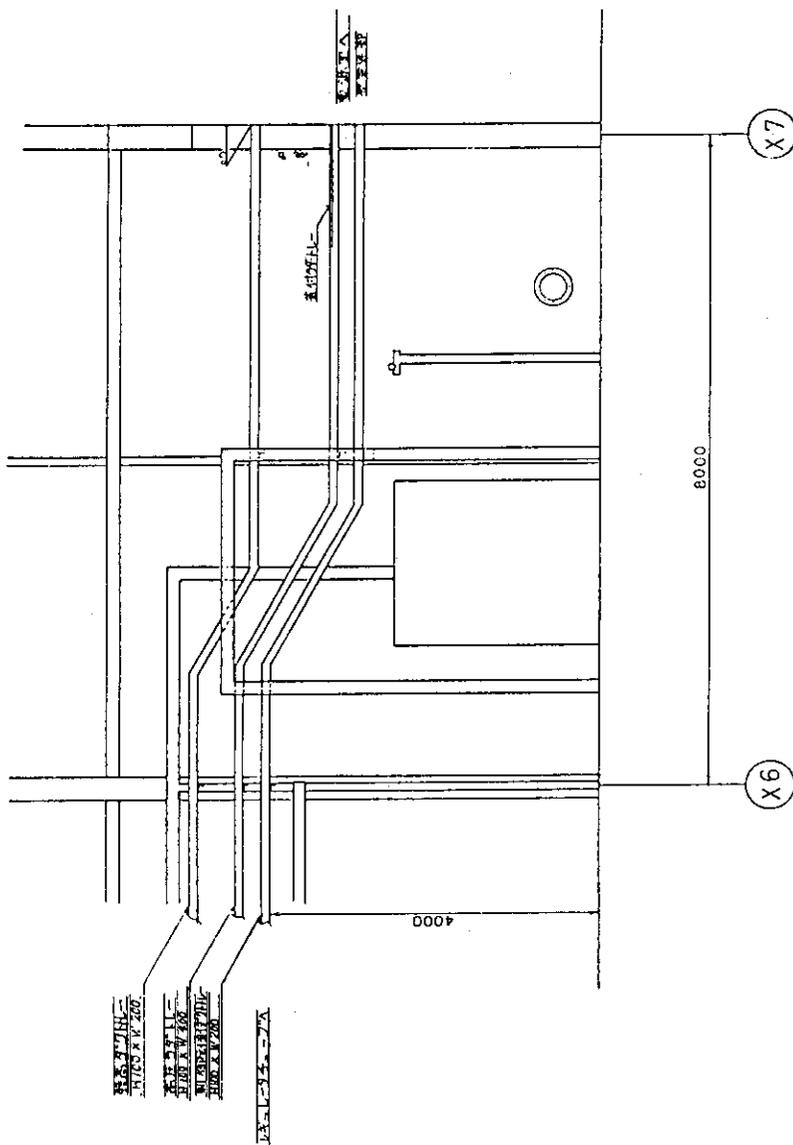


Fig. 8 実験室入口トロー配置立面図

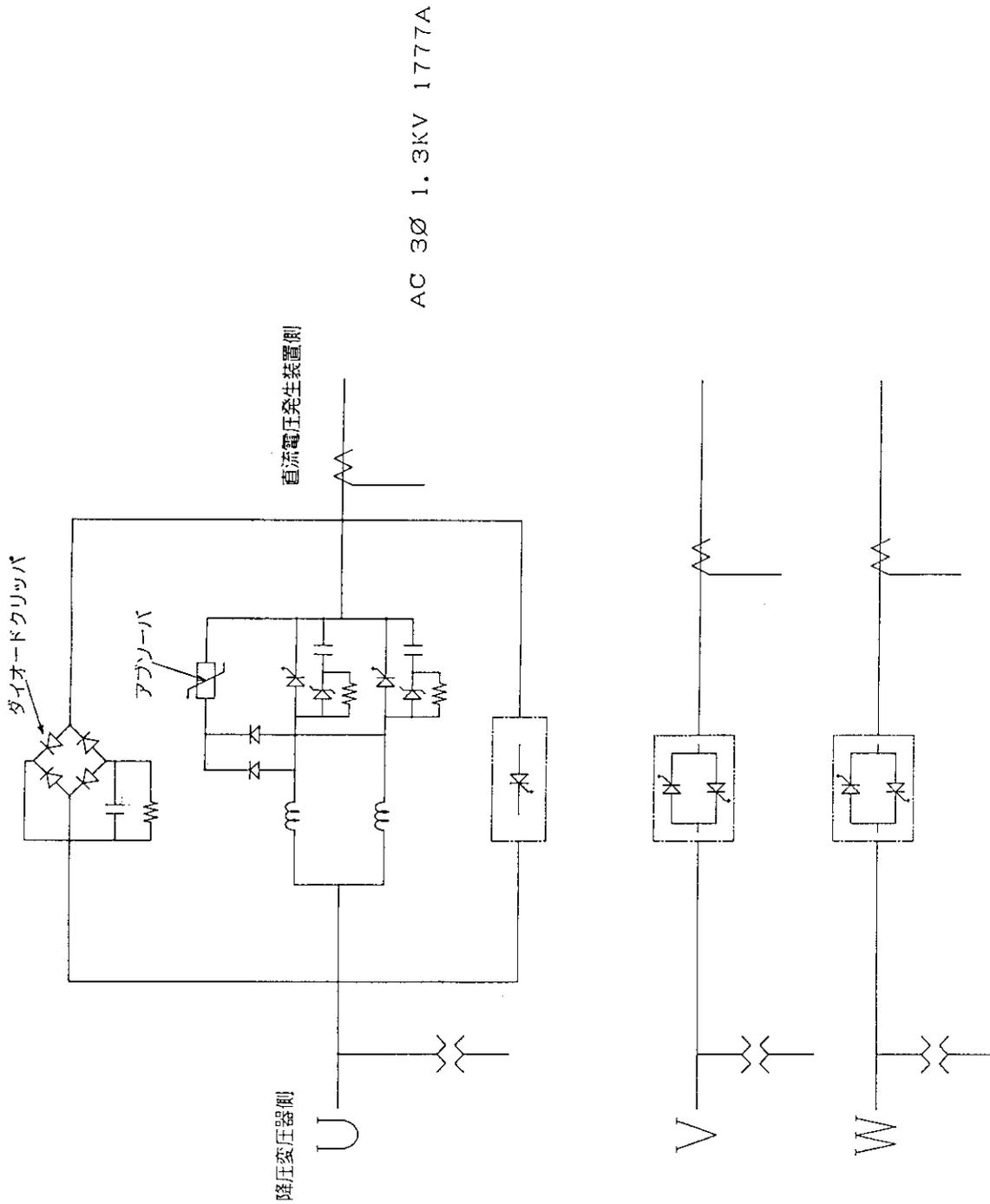


Fig. 9 交流スイッチ主回路構成

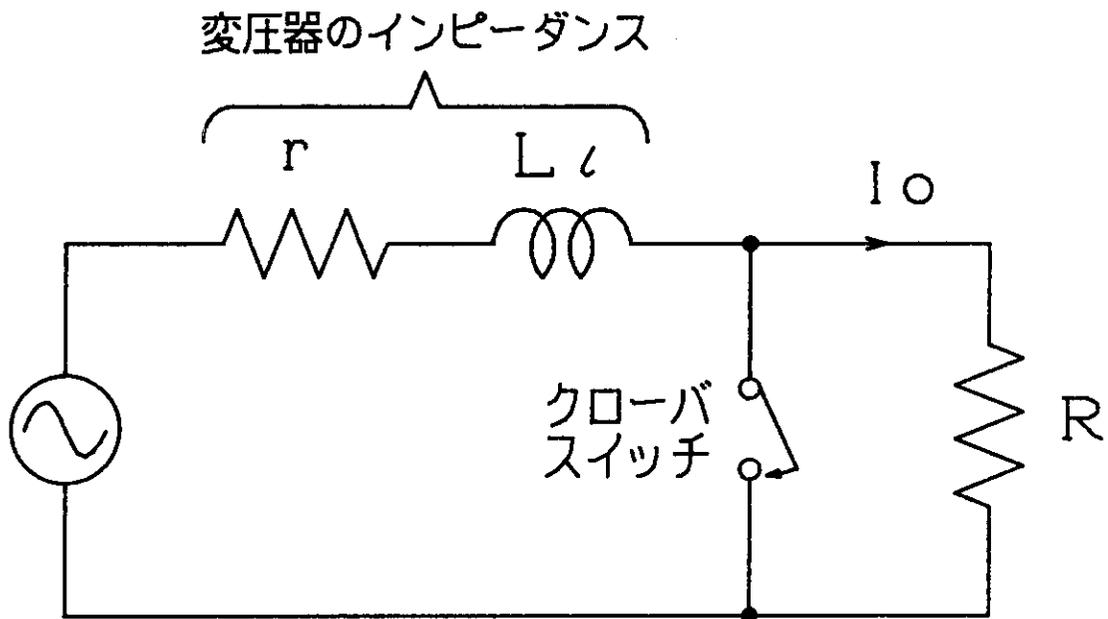


Fig.10 変圧器短絡の单相モデル図

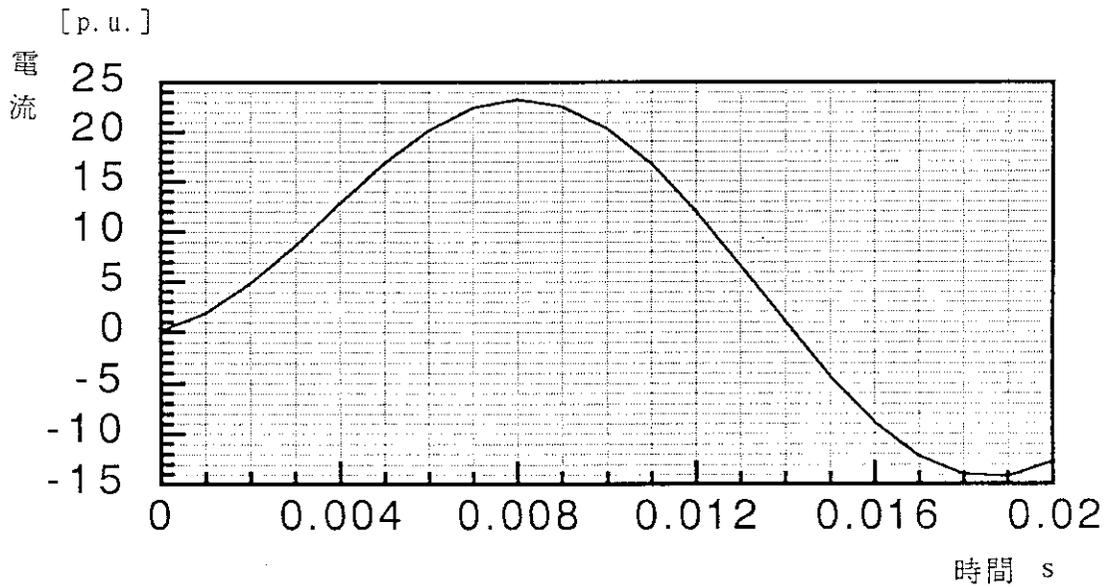


Fig.11 変圧器の短絡電流波形 (单相モデル)

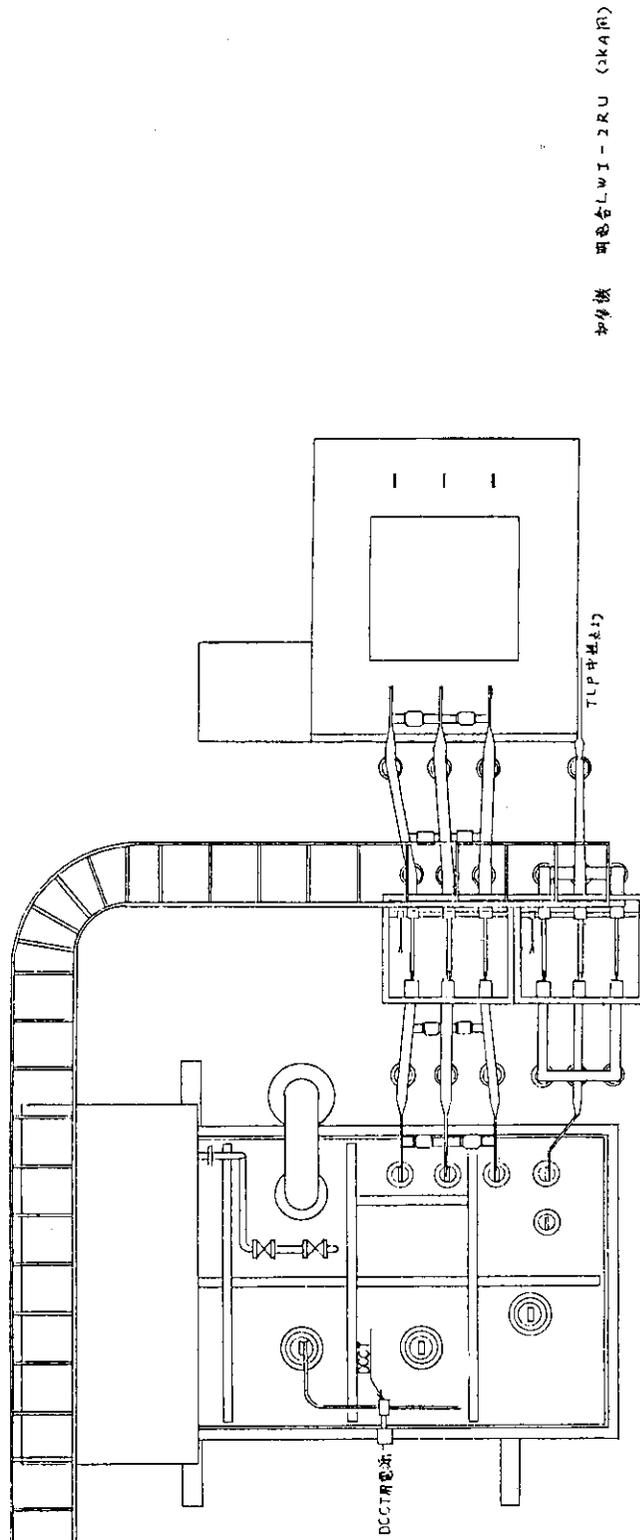
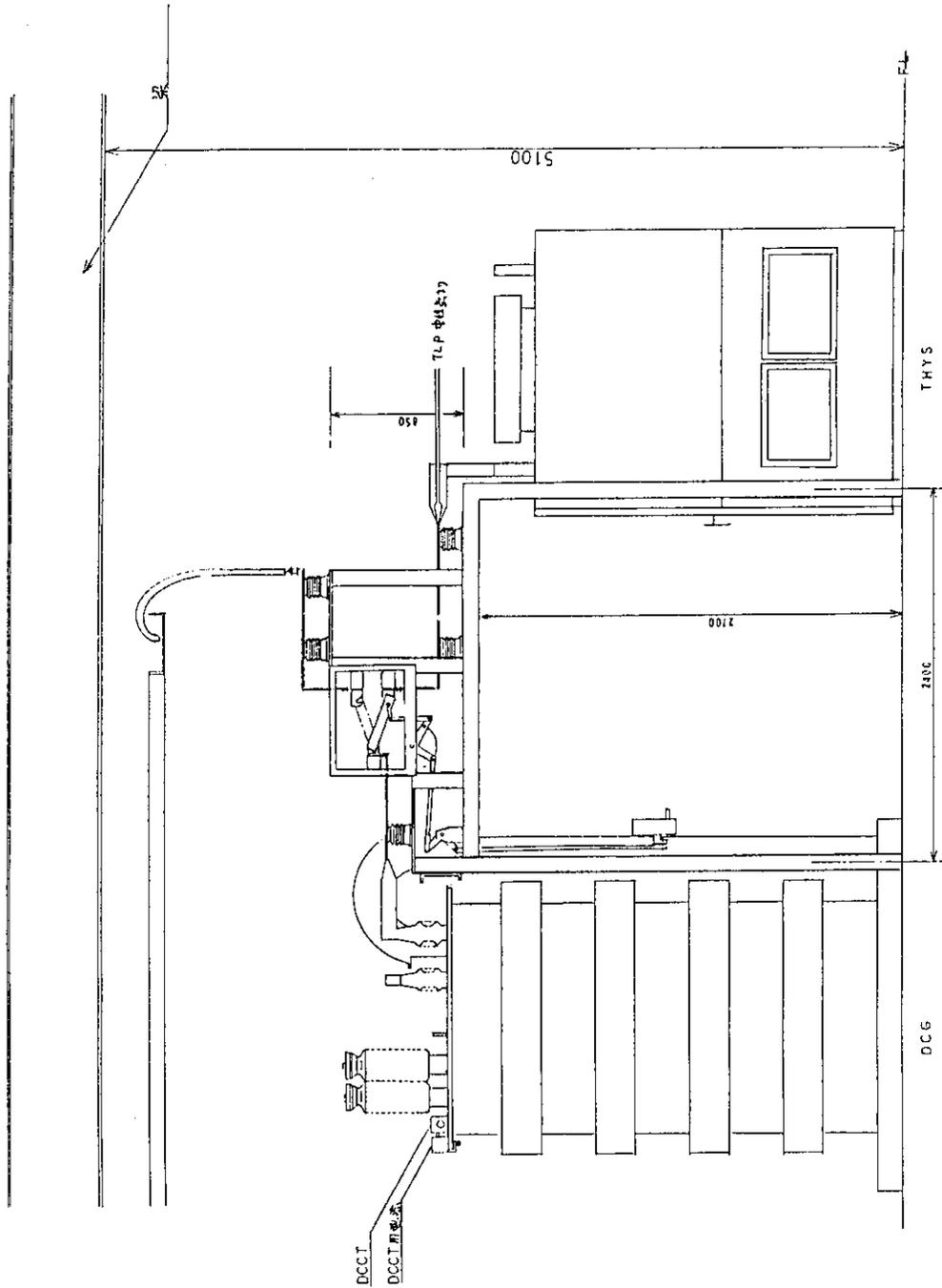


Fig.12 高圧切り替え器組立図 (平面図)



切替機
容量 2000A
型式 DA-20081A

Fig.13 高圧切り替え器組立図 (立视图)

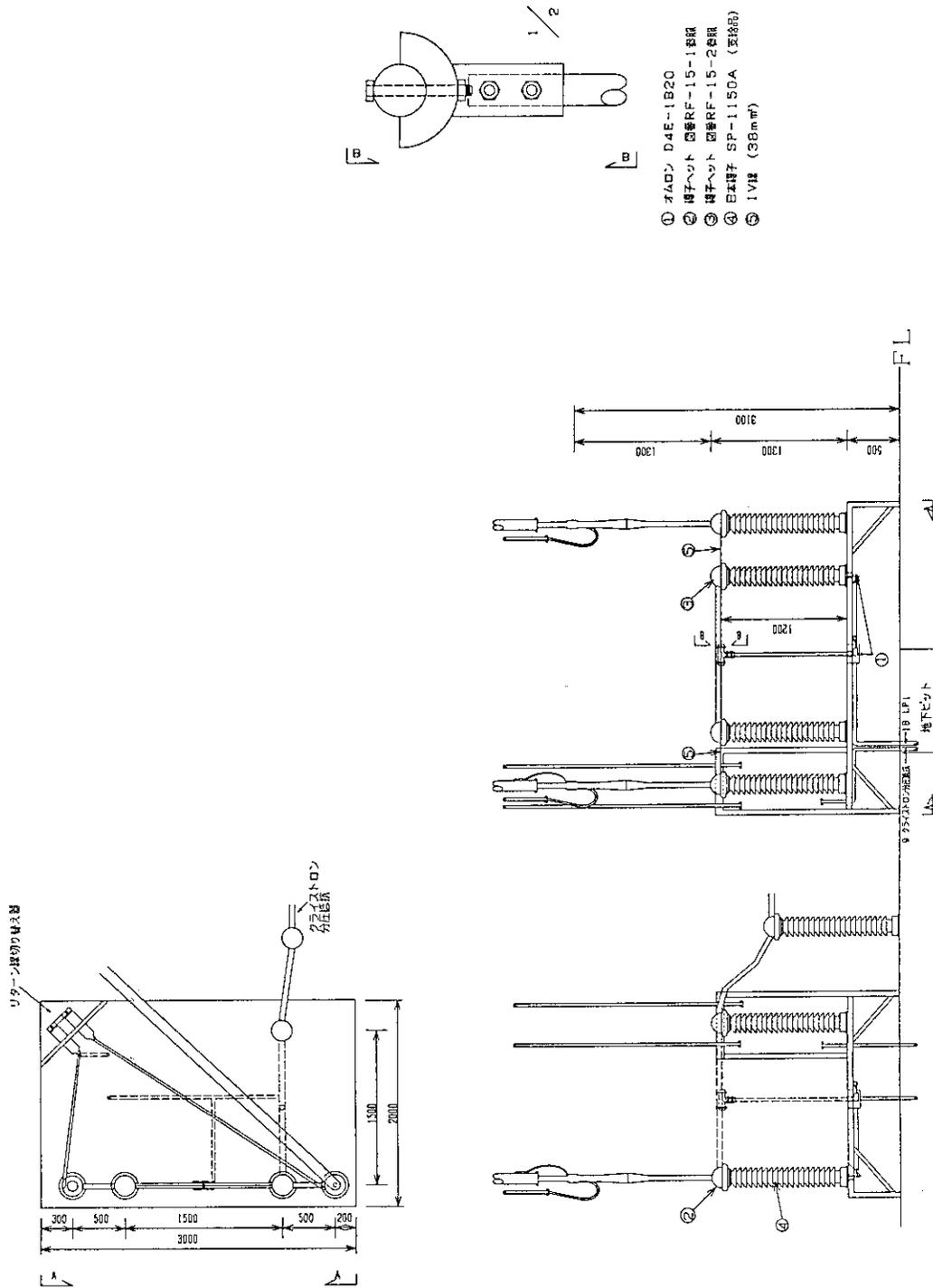
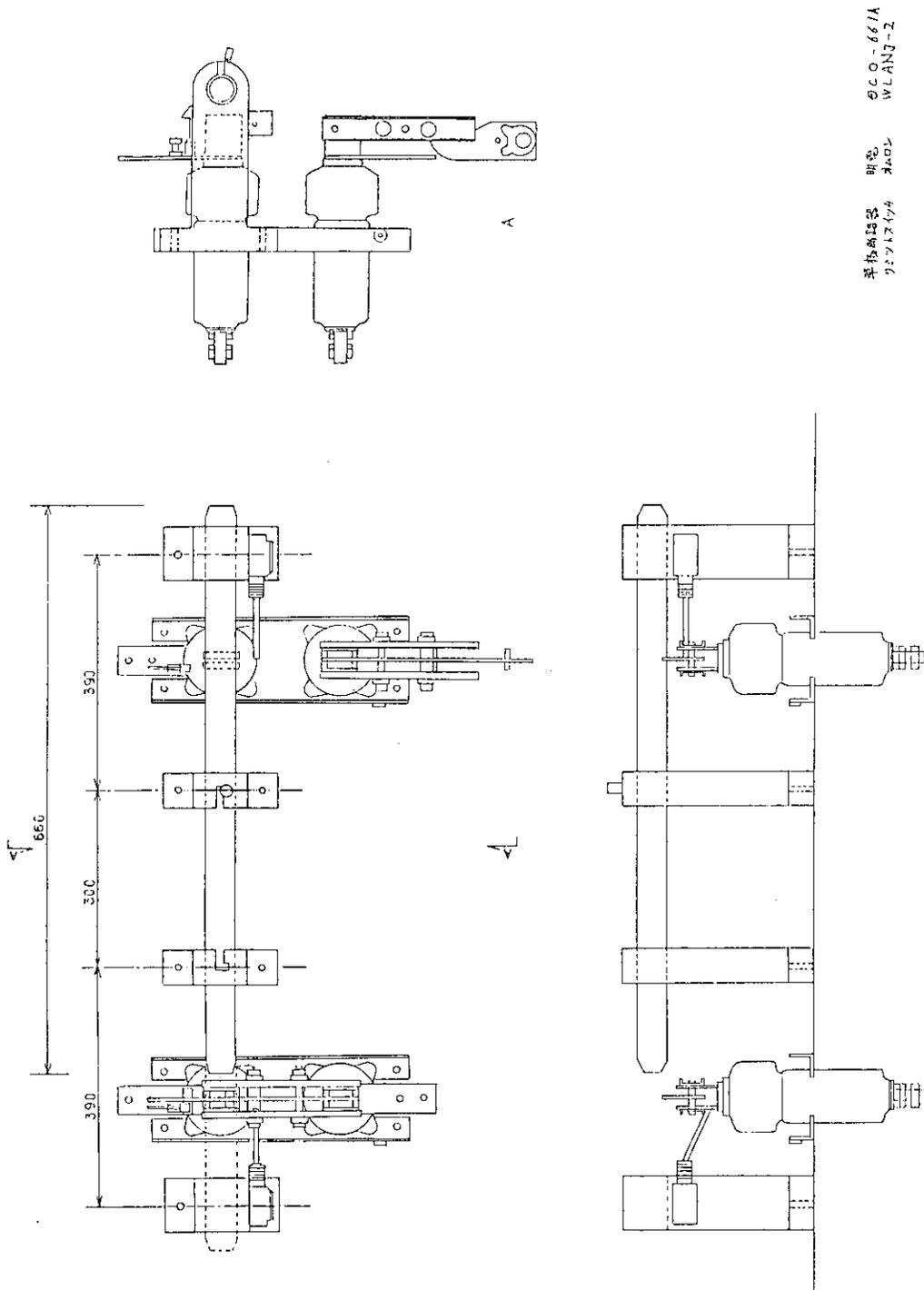


Fig.14 直流特高切り替え器設計図



検出器
 ディスタンス
 型名
 WCO-661A
 WLANG-2

Fig.15 リターン線切りの替え器組立図

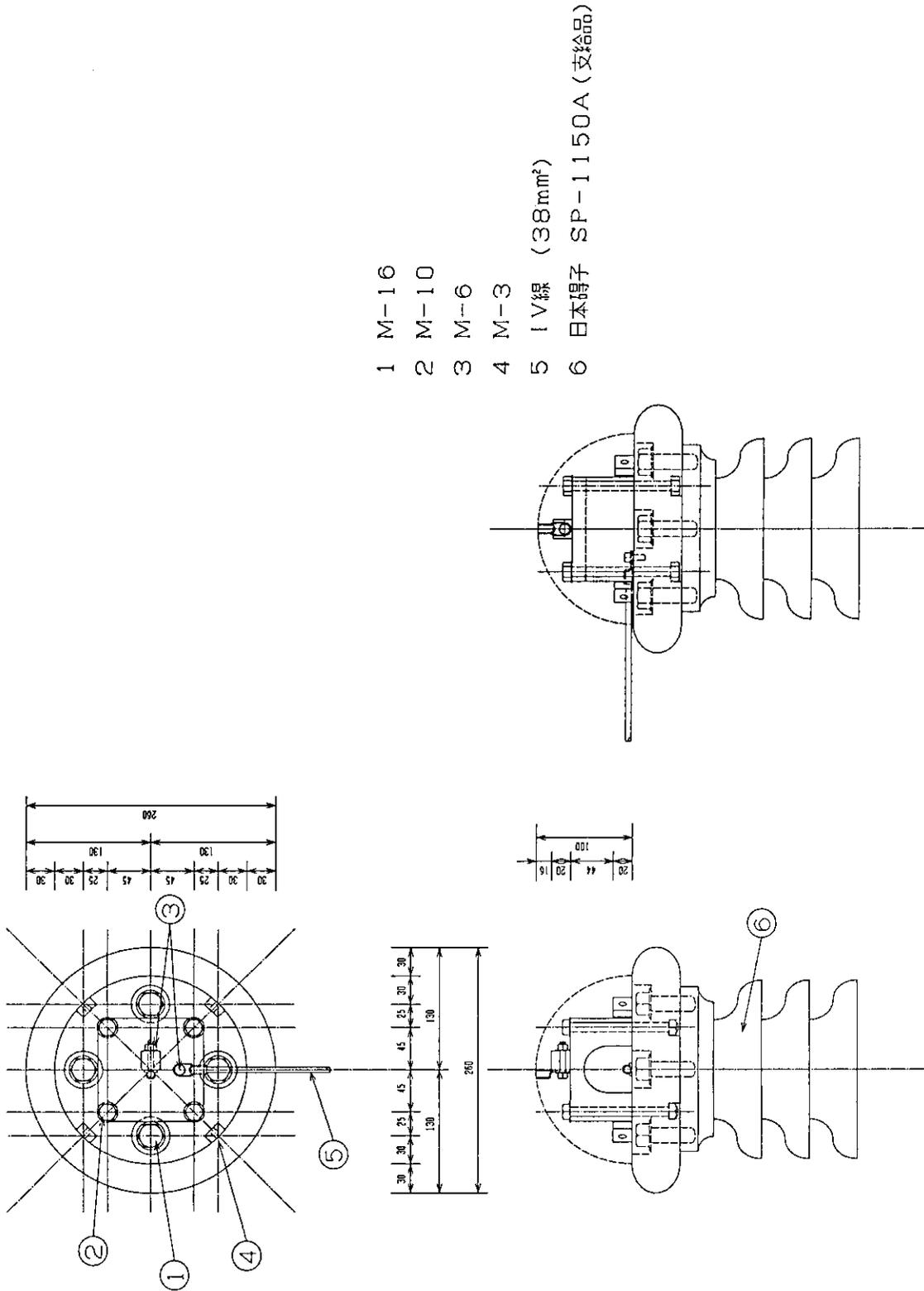


Fig.16 特高ケーブル用碍子ヘッド外觀図

- 1 M-16
- 2 M-10
- 3 M-6
- 4 M-3
- 5 $\varnothing 50$ (中実)
- 6 日本碍子 SP-1150A (支給品)
- 7 IV線 (38mm²)

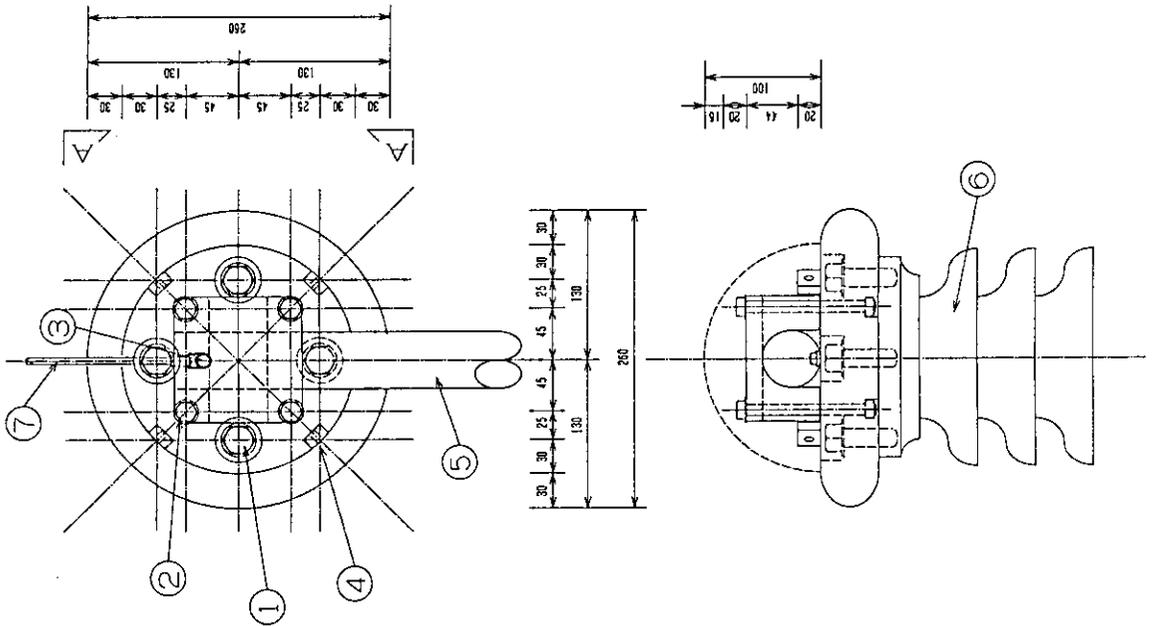


Fig.17 碍子ヘッド外觀図

Tetrode CQK200-4A

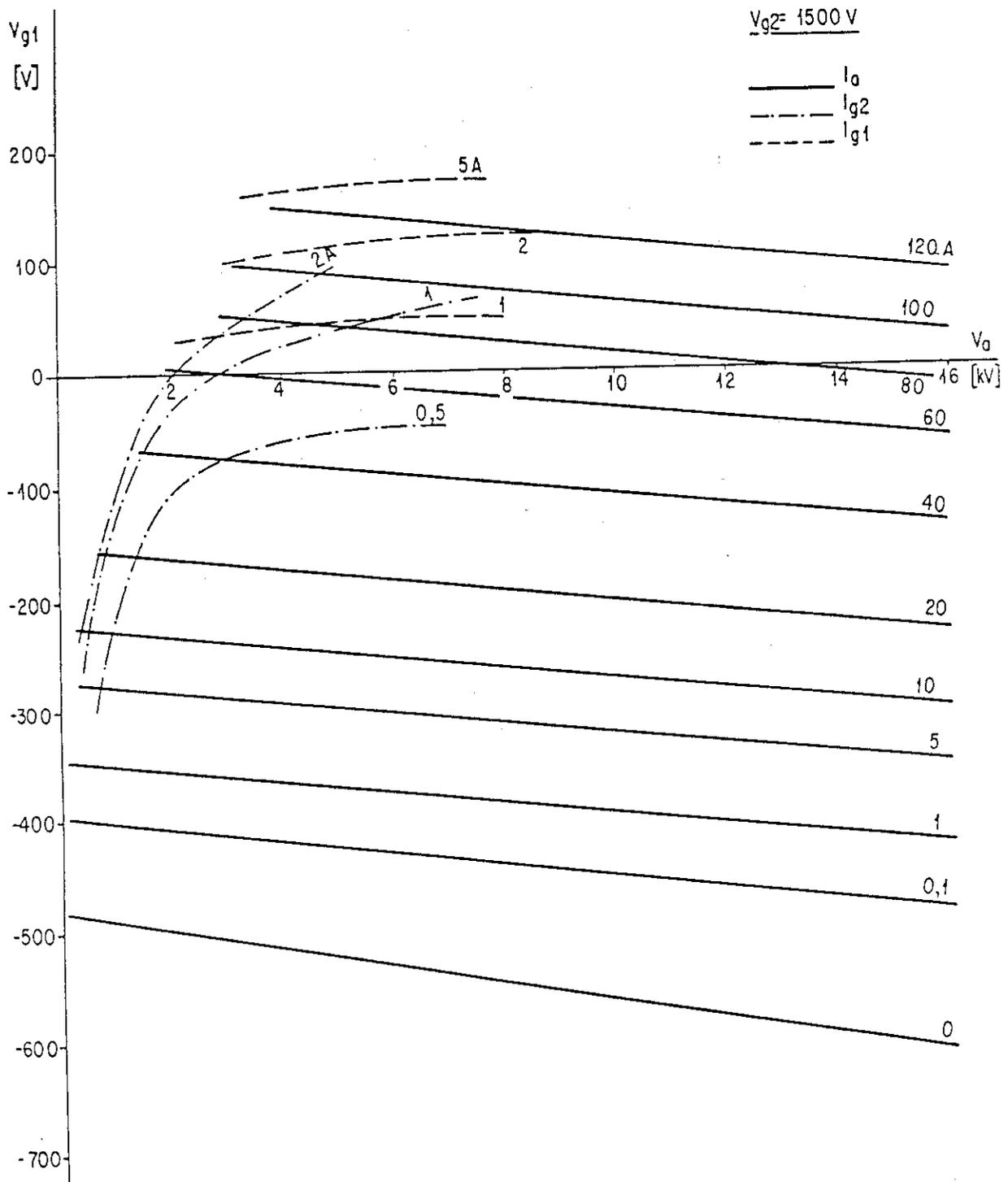


Fig.19 4 極管の動作特性

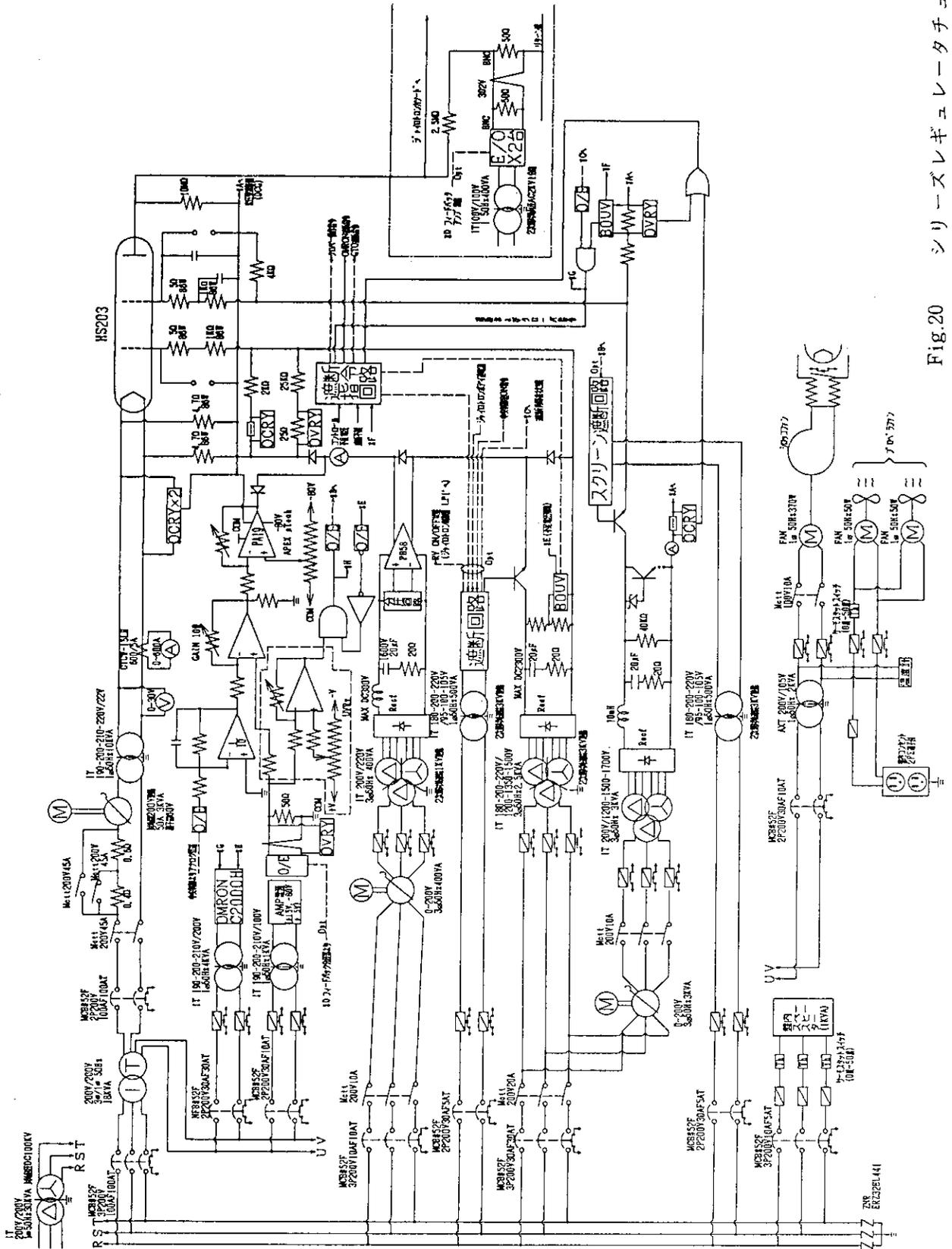


Fig.20 シリーズレギュレタコンピュータ結線図

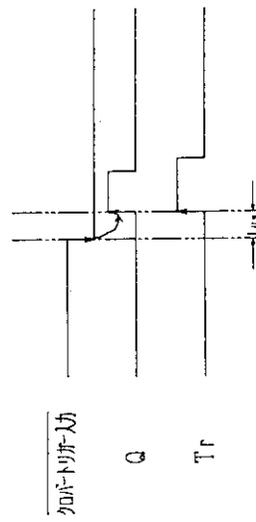
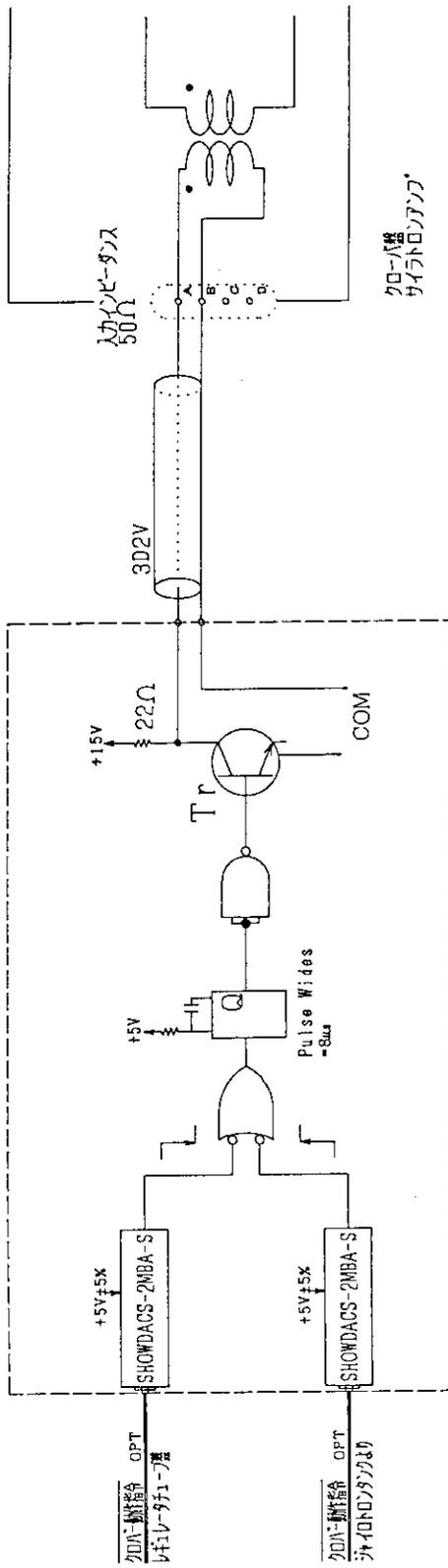


Fig.23 クロバトリガー受信回路

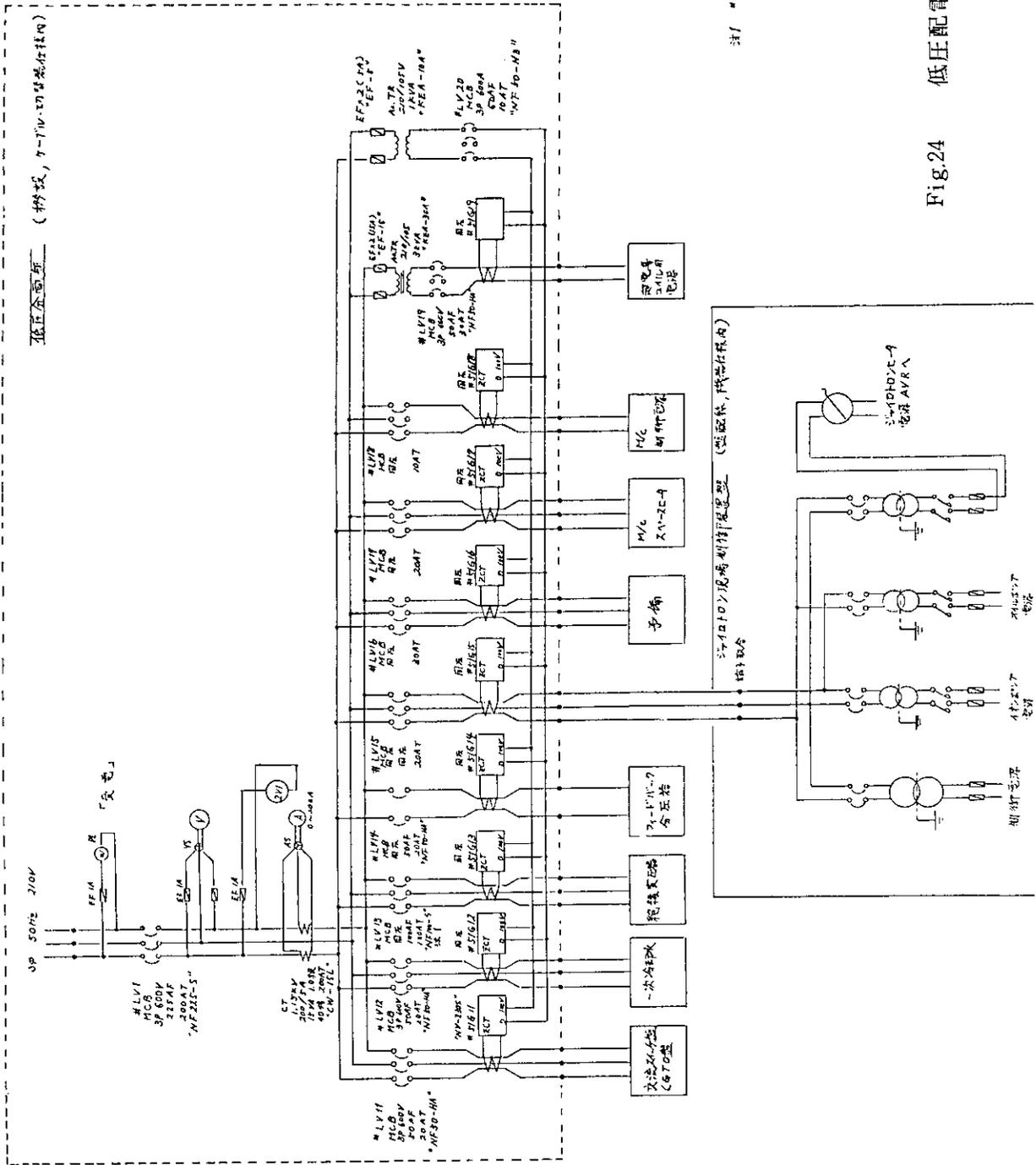
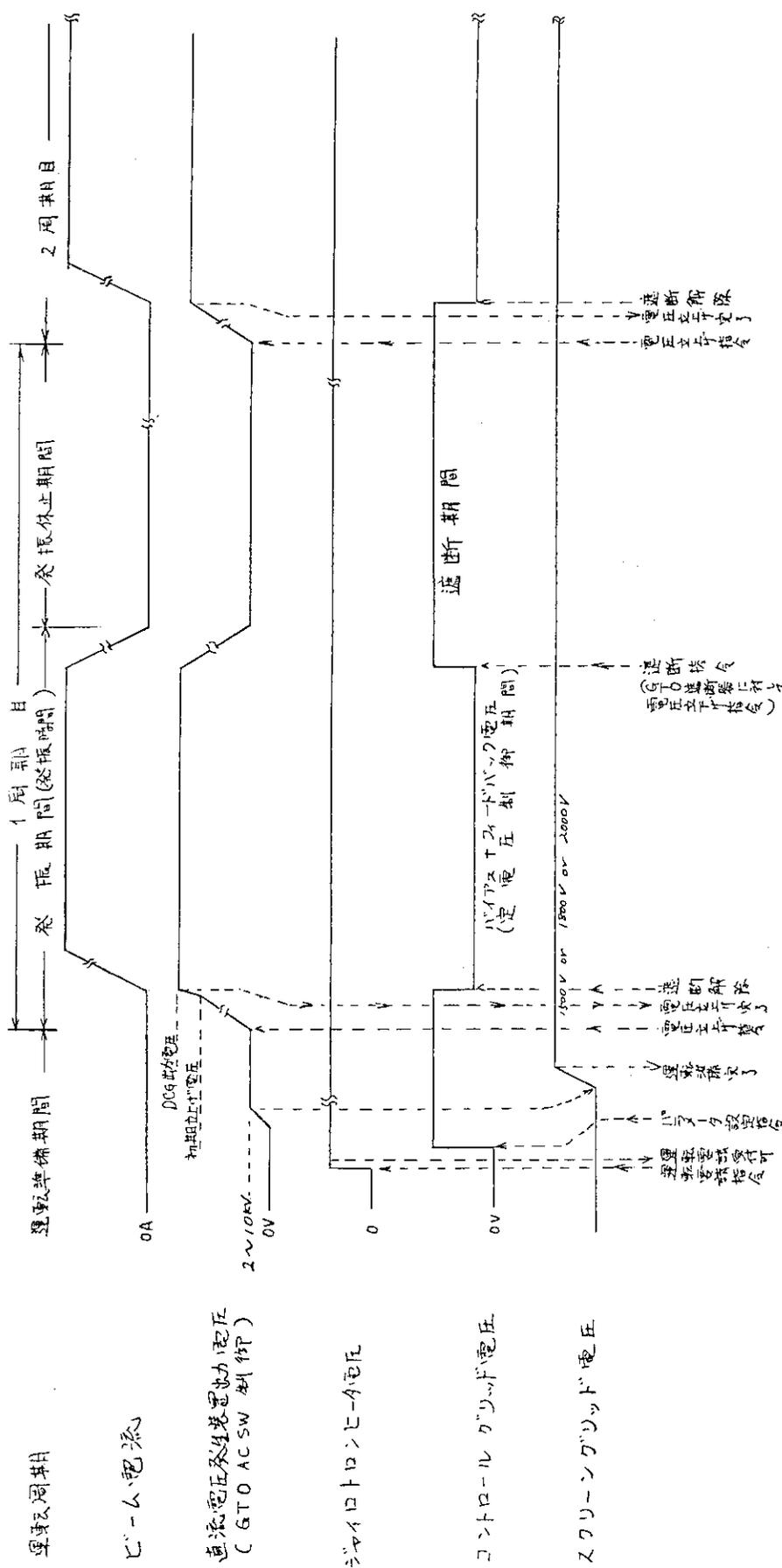


Fig.24 低圧配電盤配電計画図



ハロータ入力
 運転準備期間 duty 1/3 発振期間(時間) T(sec) と同じ 発振周期は 15 T(sec) 以上である。(発振休止期間 14 T(sec) 以上である)
 休止期間 設定値 t(sec) ≧ 14 T(sec)
 発振期間 T(sec) Max、10 sec min、10 msec 分解能



Fig.27 ロングパルス発振モード運転タイミング図 ロングパルス発振モード運転法

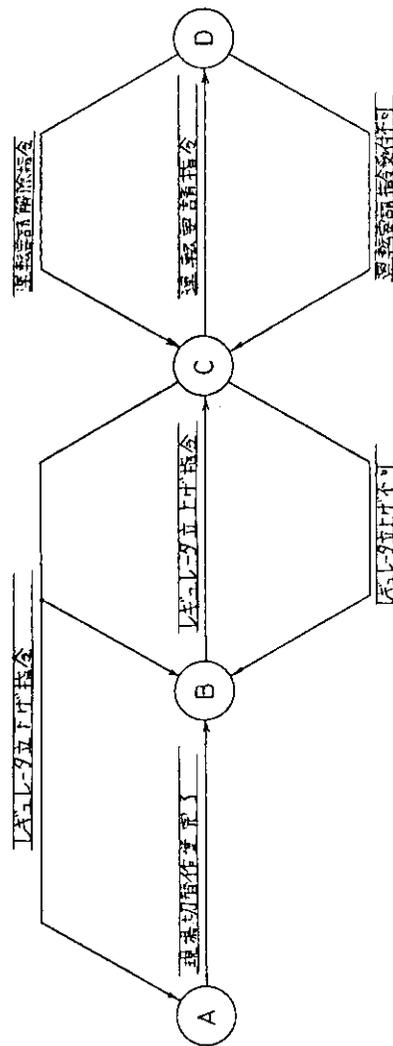


Fig.28 制御状態遷移図

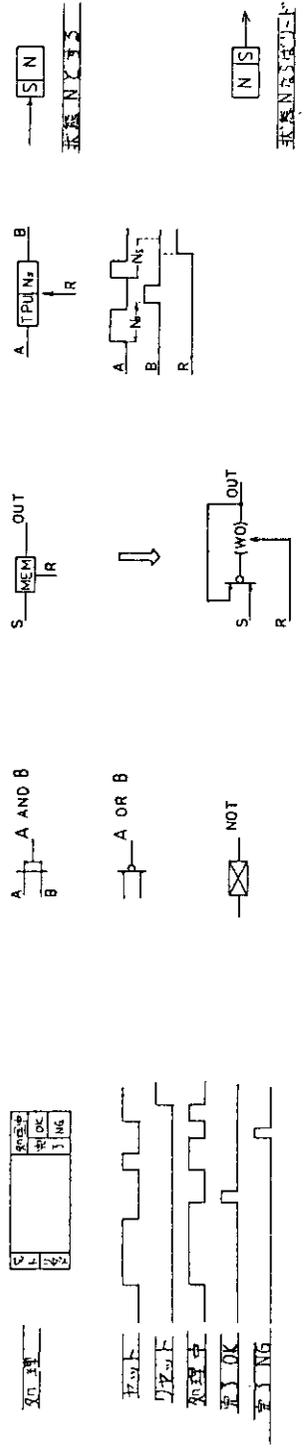
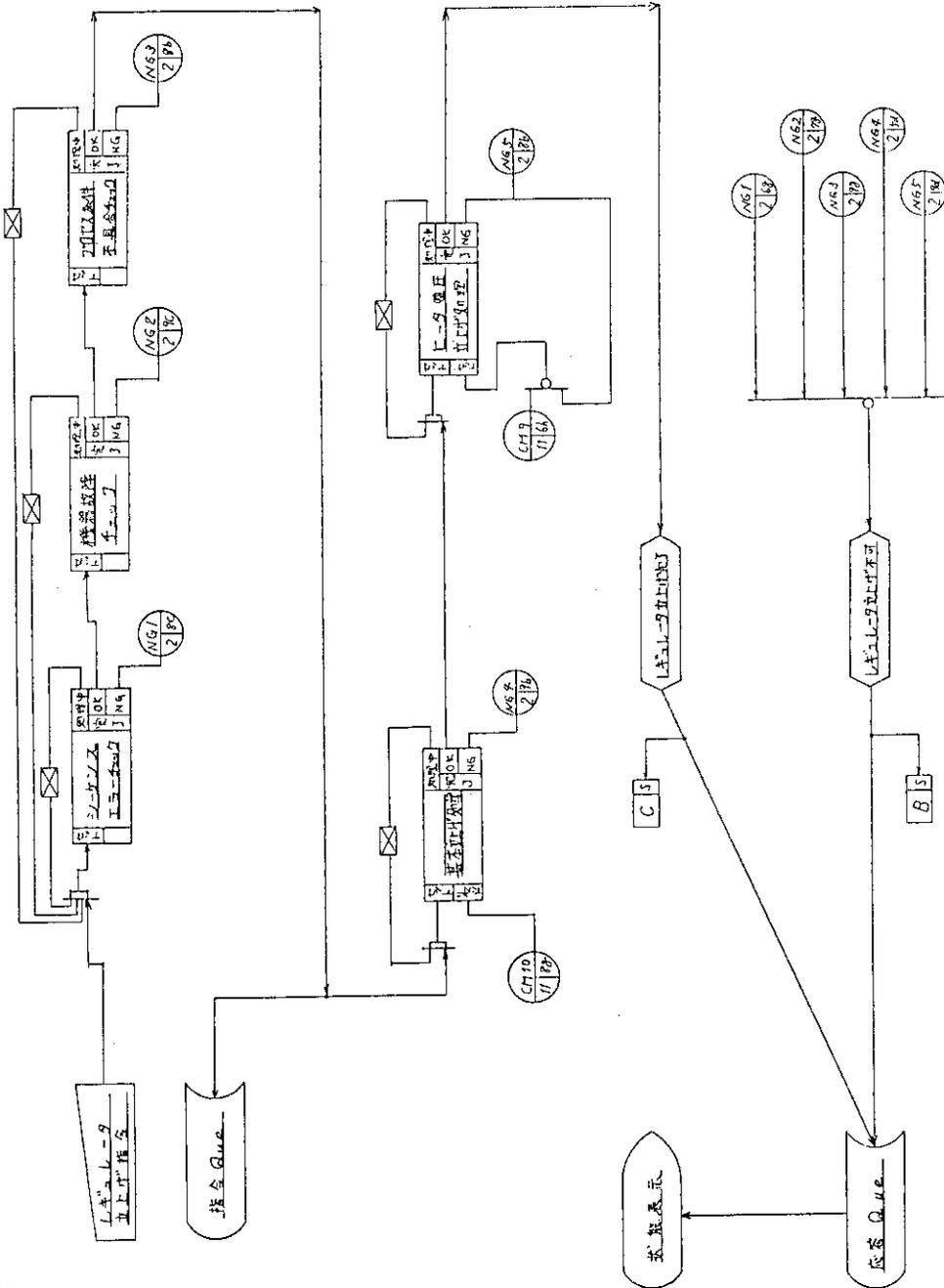


Fig.29 シーケンス機能図インタラック線図記号説明図



- 1. リレーAの動作がリレーBの動作を抑制する
- 2. リレーBの動作がリレーCの動作を抑制する
- 3. リレーCの動作がリレーAの動作を抑制する

Fig.30 レジスタ立上げ指令

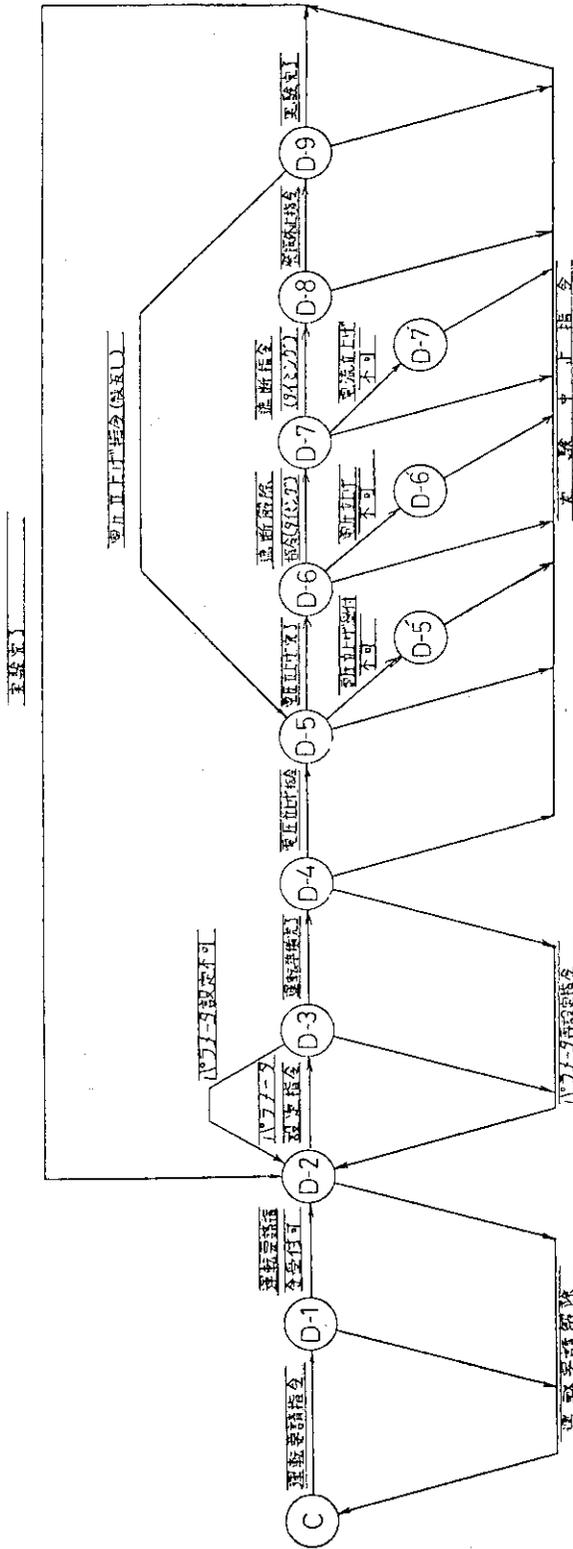


Fig.31 ジャイロトロンノ模倣負荷運転状態遷移図

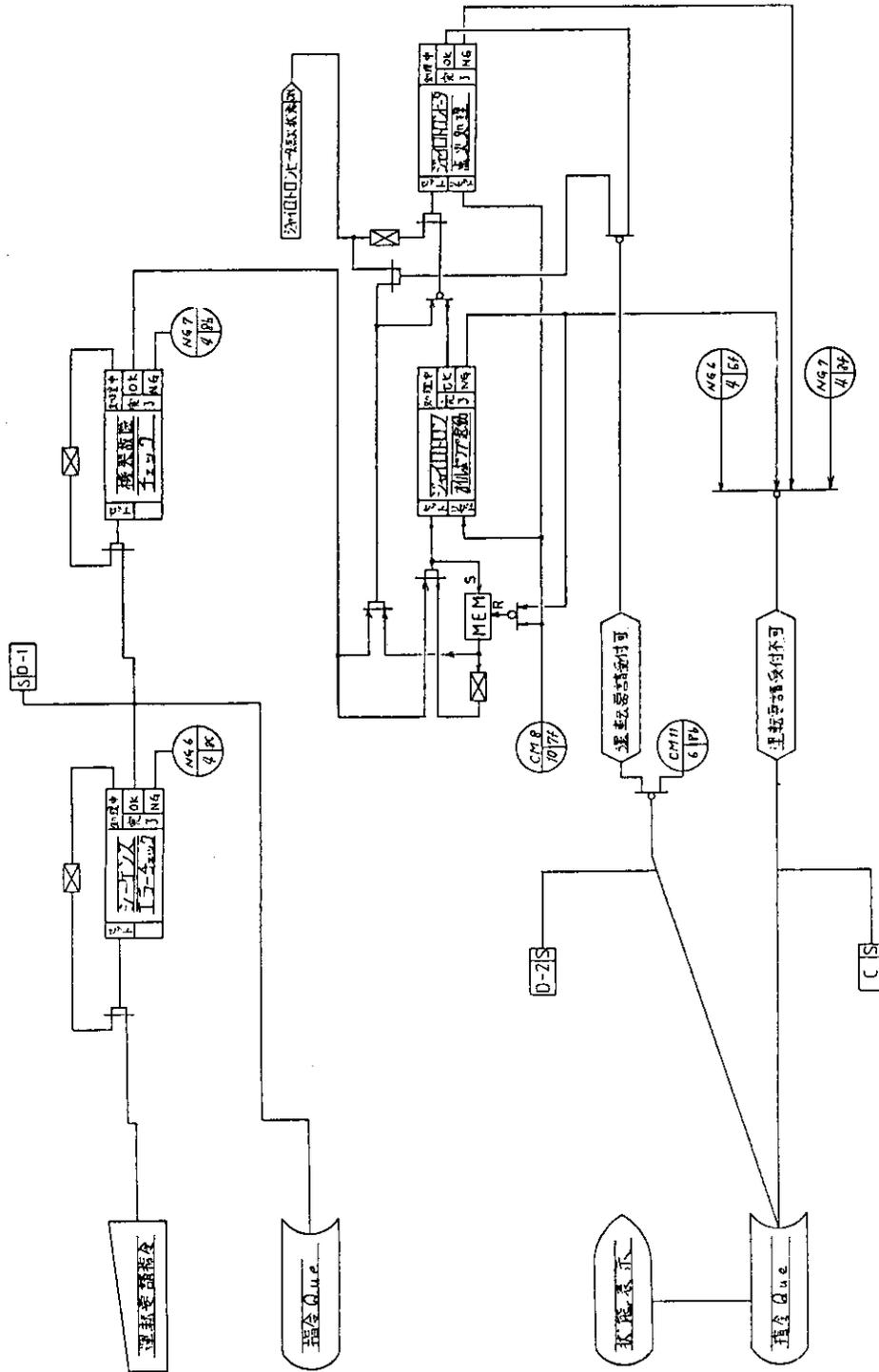


Fig.32 運転要請指令および応答信号

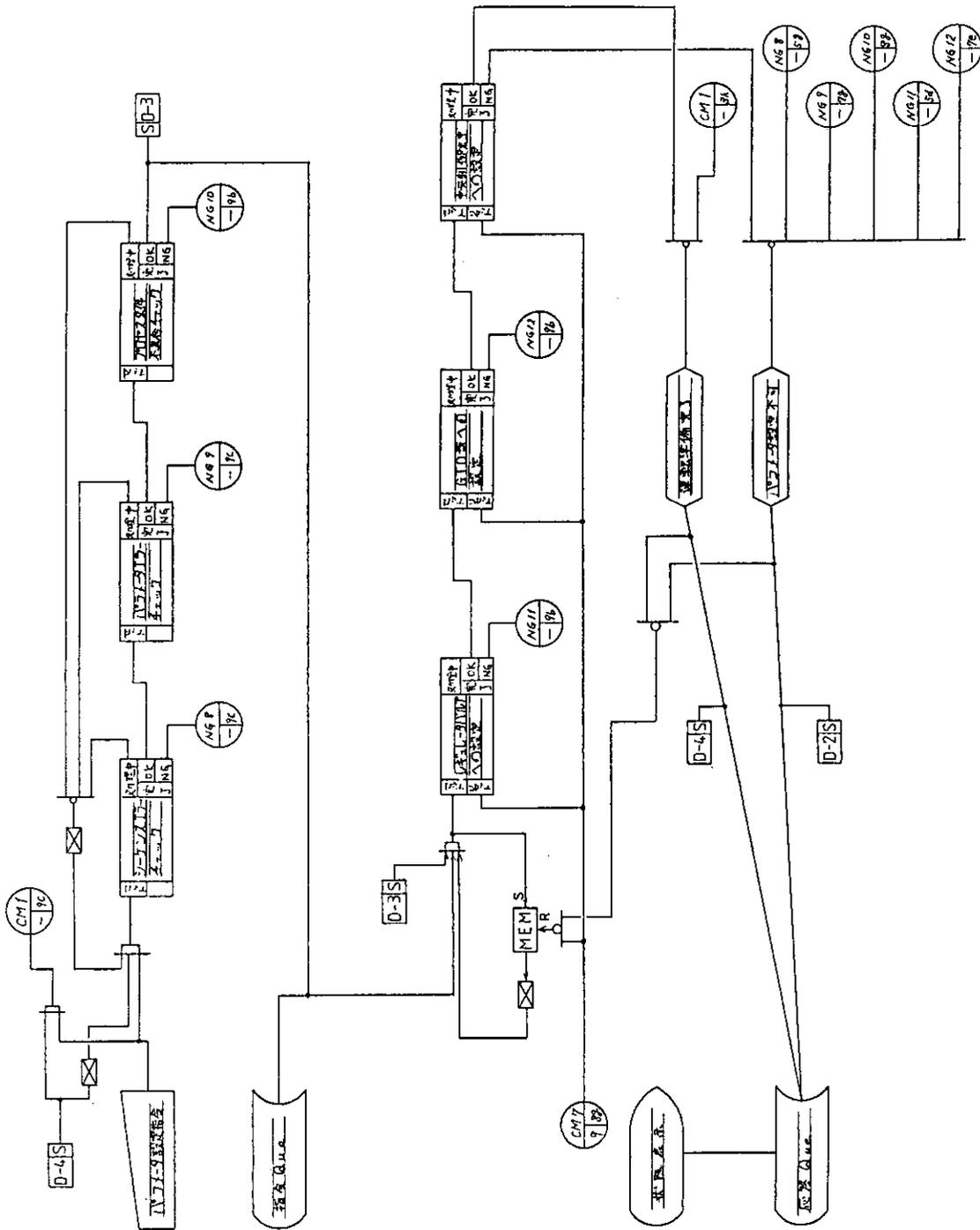
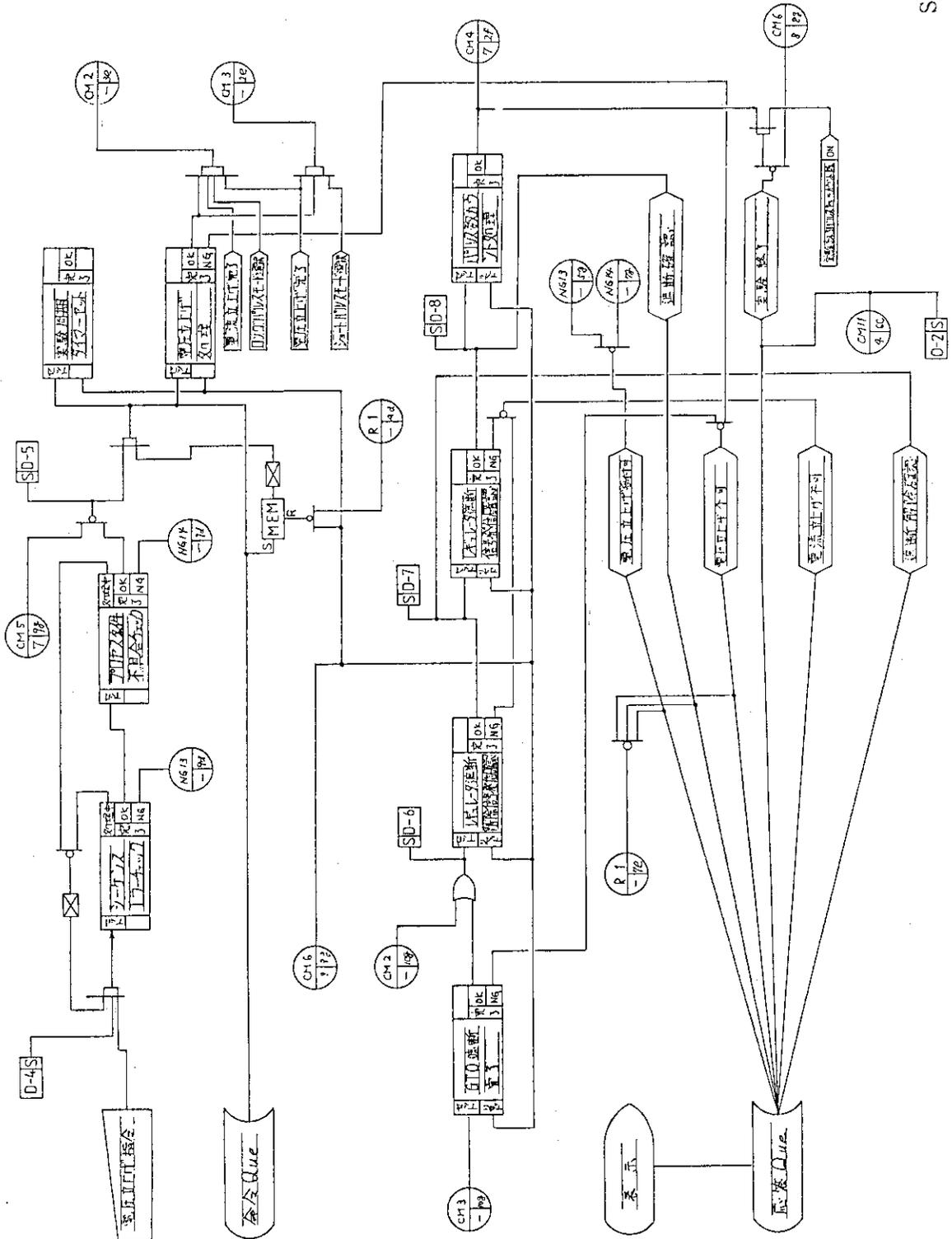


Fig.33 パラメータ設定指令及び応答信号

Fig.33

- 1. AV-11 設置項目
- 2. AV-11 への設定
- 3. AV-11 電源 (コンソール (制御室) の設置)
- 4. AV-11 電源の配線
- 5. AV-11 への設定
- 6. AV-11 への設定
- 7. AV-11 への設定
- 8. AV-11 への設定
- 9. AV-11 への設定
- 10. AV-11 への設定
- 11. AV-11 への設定
- 12. AV-11 への設定
- 13. AV-11 への設定
- 14. AV-11 への設定
- 15. AV-11 への設定
- 16. AV-11 への設定
- 17. AV-11 への設定
- 18. AV-11 への設定
- 19. AV-11 への設定
- 20. AV-11 への設定
- 21. AV-11 への設定
- 22. AV-11 への設定
- 23. AV-11 への設定
- 24. AV-11 への設定
- 25. AV-11 への設定
- 26. AV-11 への設定
- 27. AV-11 への設定
- 28. AV-11 への設定
- 29. AV-11 への設定
- 30. AV-11 への設定
- 31. AV-11 への設定
- 32. AV-11 への設定
- 33. AV-11 への設定
- 34. AV-11 への設定
- 35. AV-11 への設定
- 36. AV-11 への設定
- 37. AV-11 への設定
- 38. AV-11 への設定
- 39. AV-11 への設定
- 40. AV-11 への設定
- 41. AV-11 への設定
- 42. AV-11 への設定
- 43. AV-11 への設定
- 44. AV-11 への設定
- 45. AV-11 への設定
- 46. AV-11 への設定
- 47. AV-11 への設定
- 48. AV-11 への設定
- 49. AV-11 への設定
- 50. AV-11 への設定



Sh 6

Fig.34 電圧立ち上げ指令および応答(I)

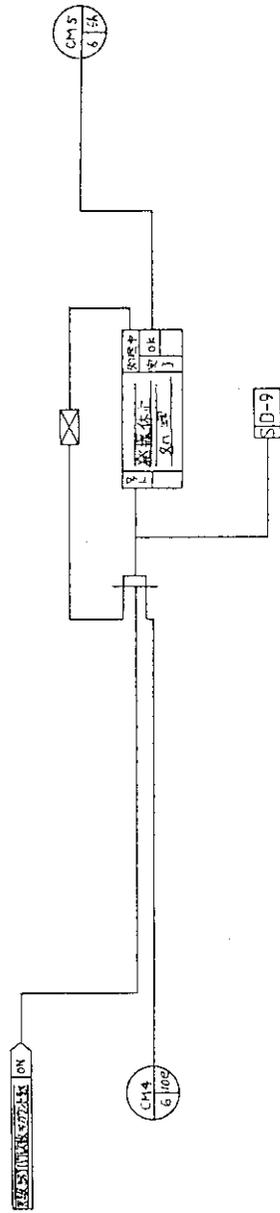


Fig.35 電圧立ち上げ指令および応答②

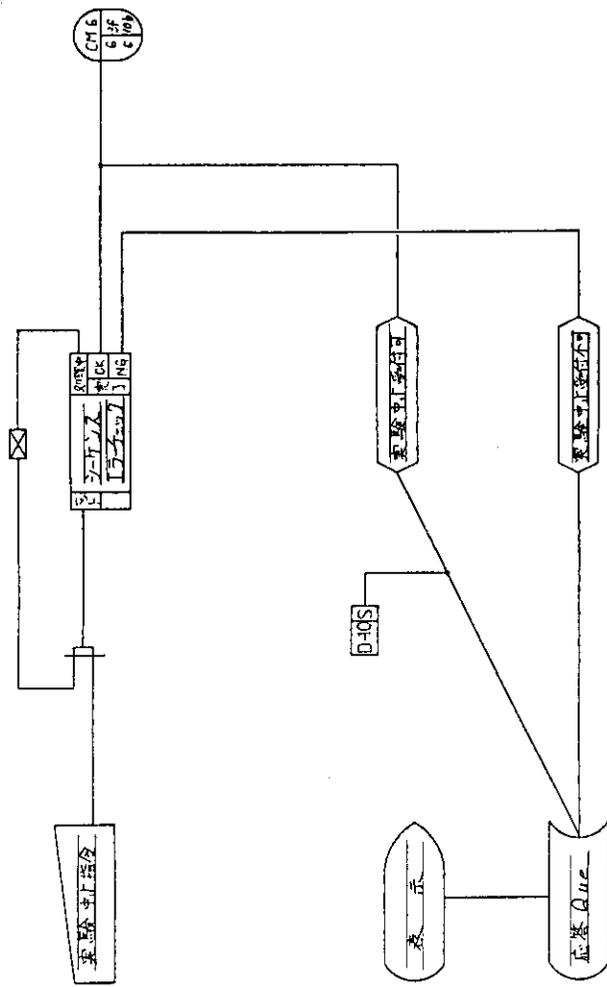
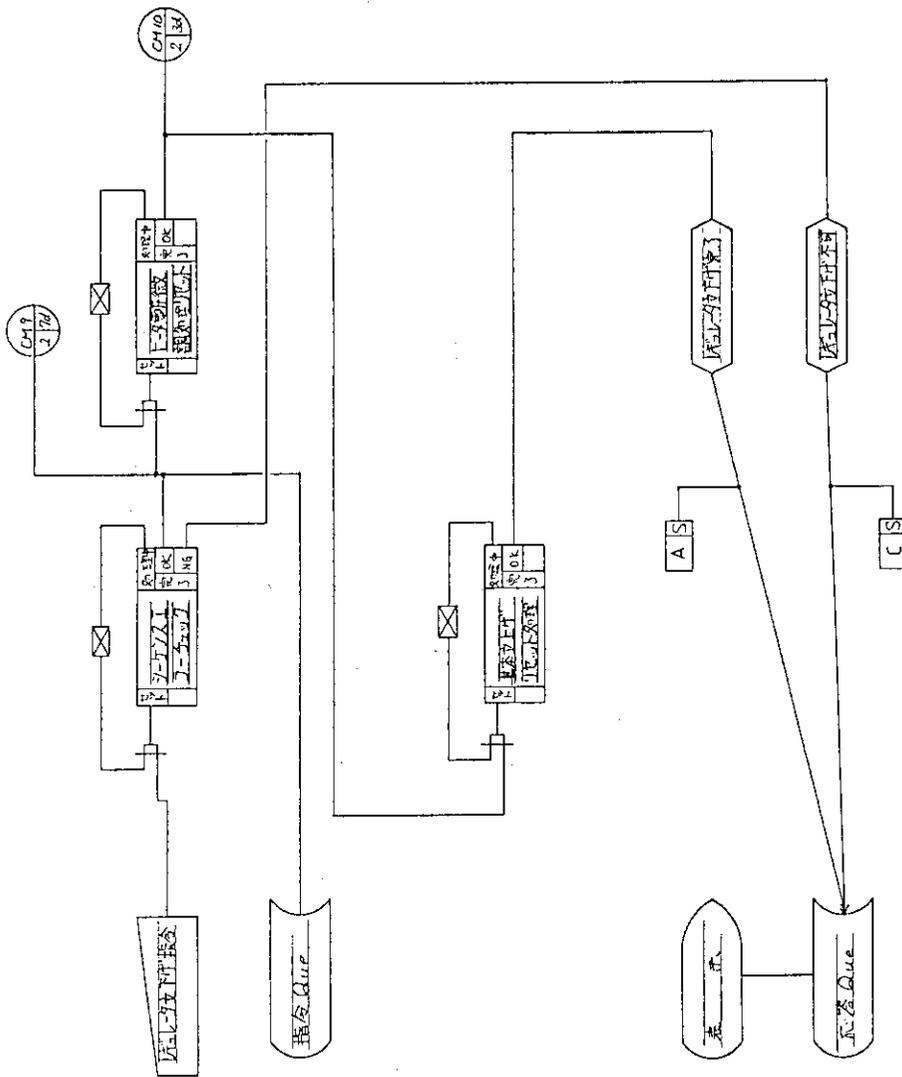


Fig.36 実験中止指令および応答



レギュレータの動作の停止はトータリ停止後5分以上の時間を要する。

Fig.39 レギュレータ立ち下げ指令および応答

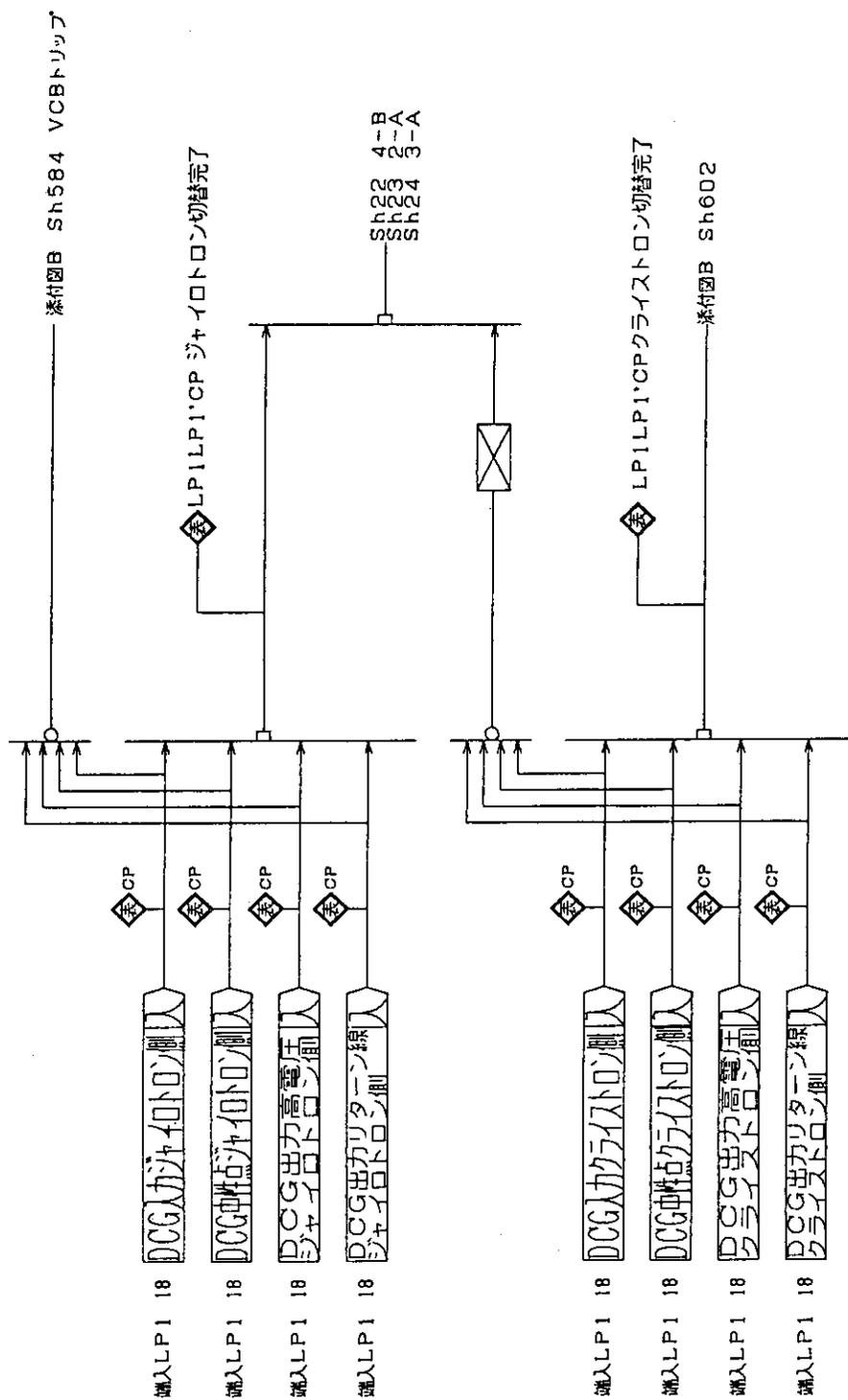


Fig.40 高圧特高切り替え器

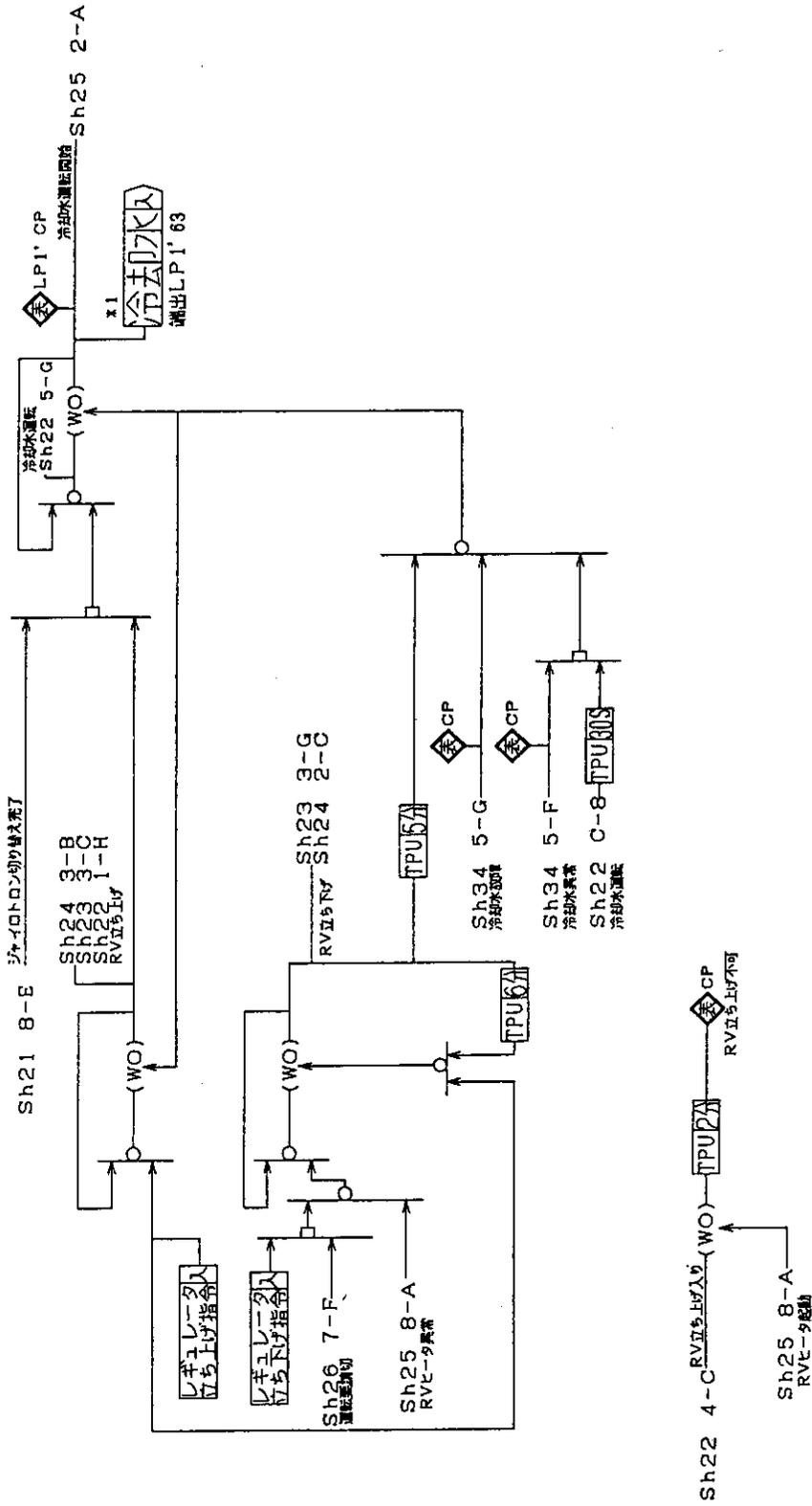


Fig.41 冷却水運転

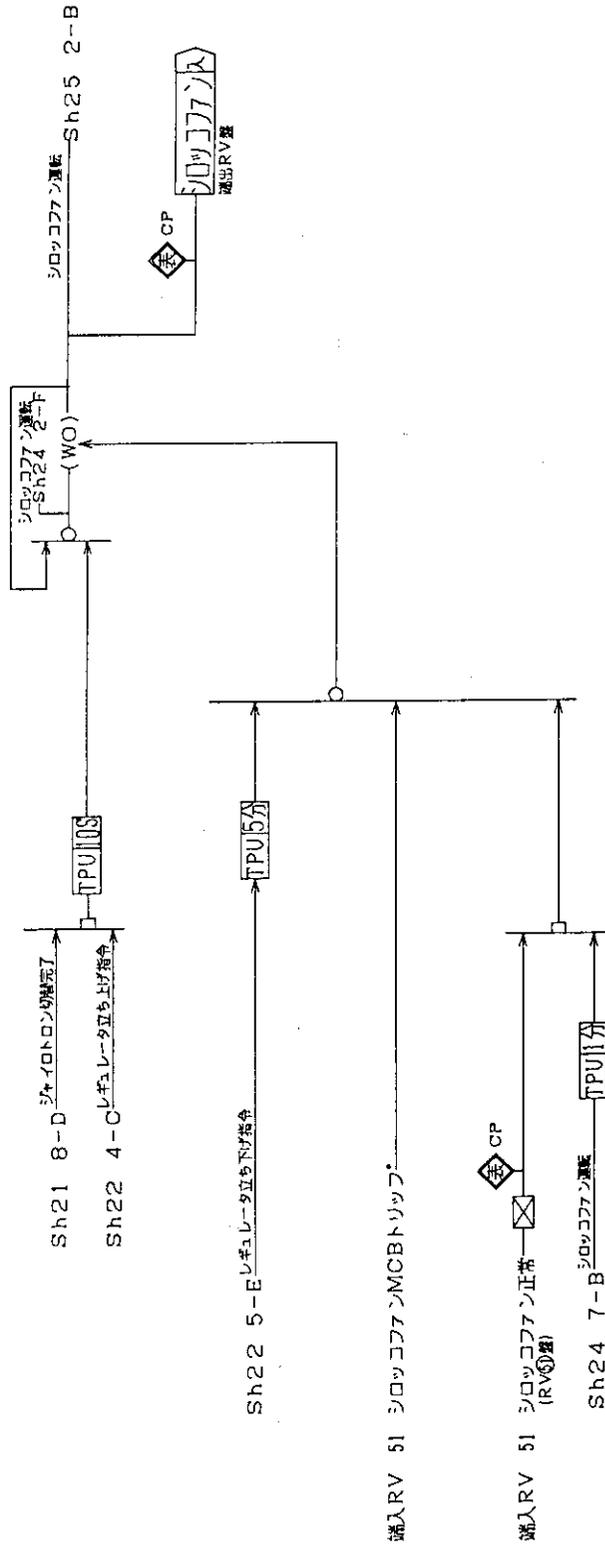


Fig.43 シロココフアノ運転

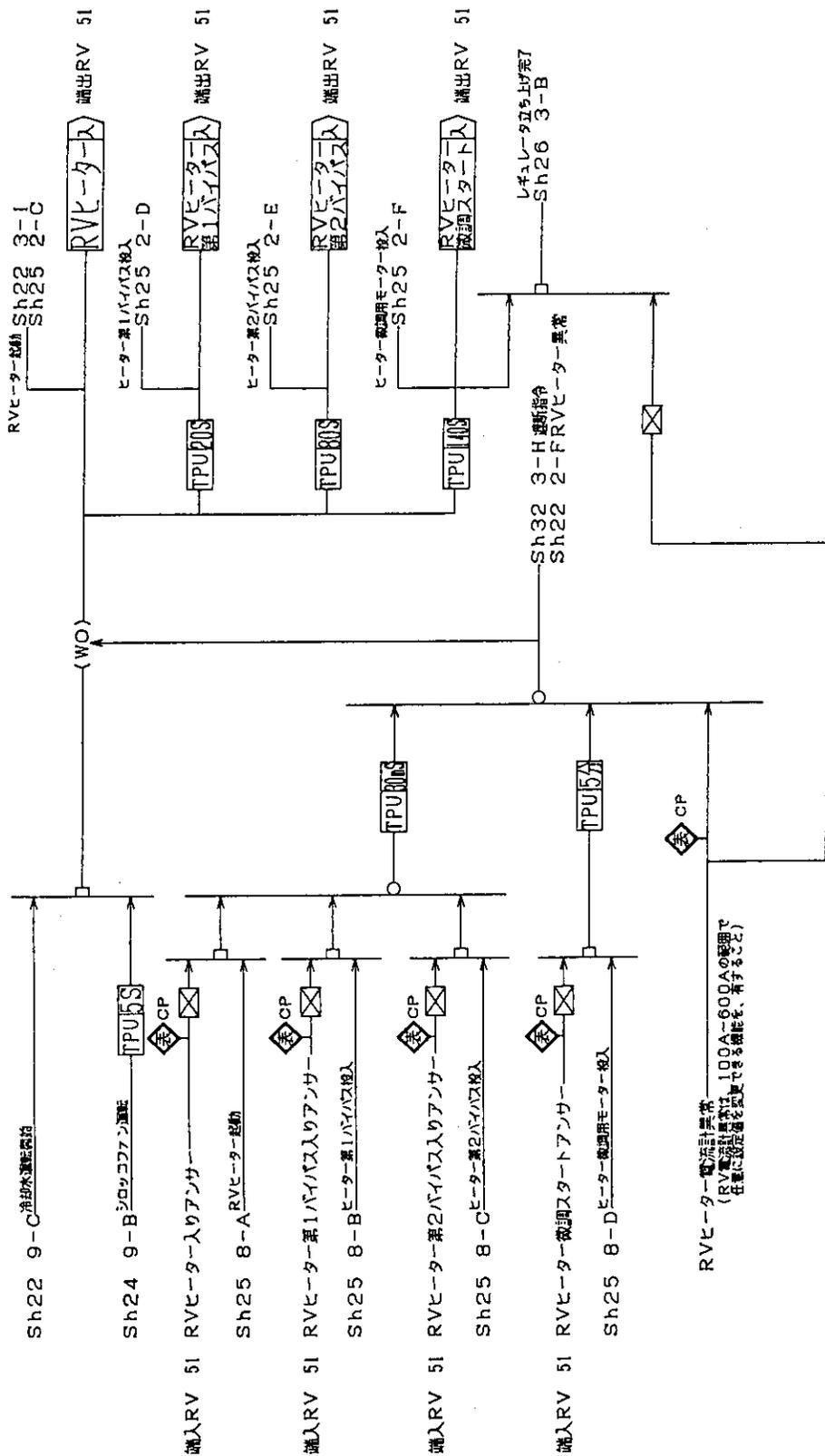
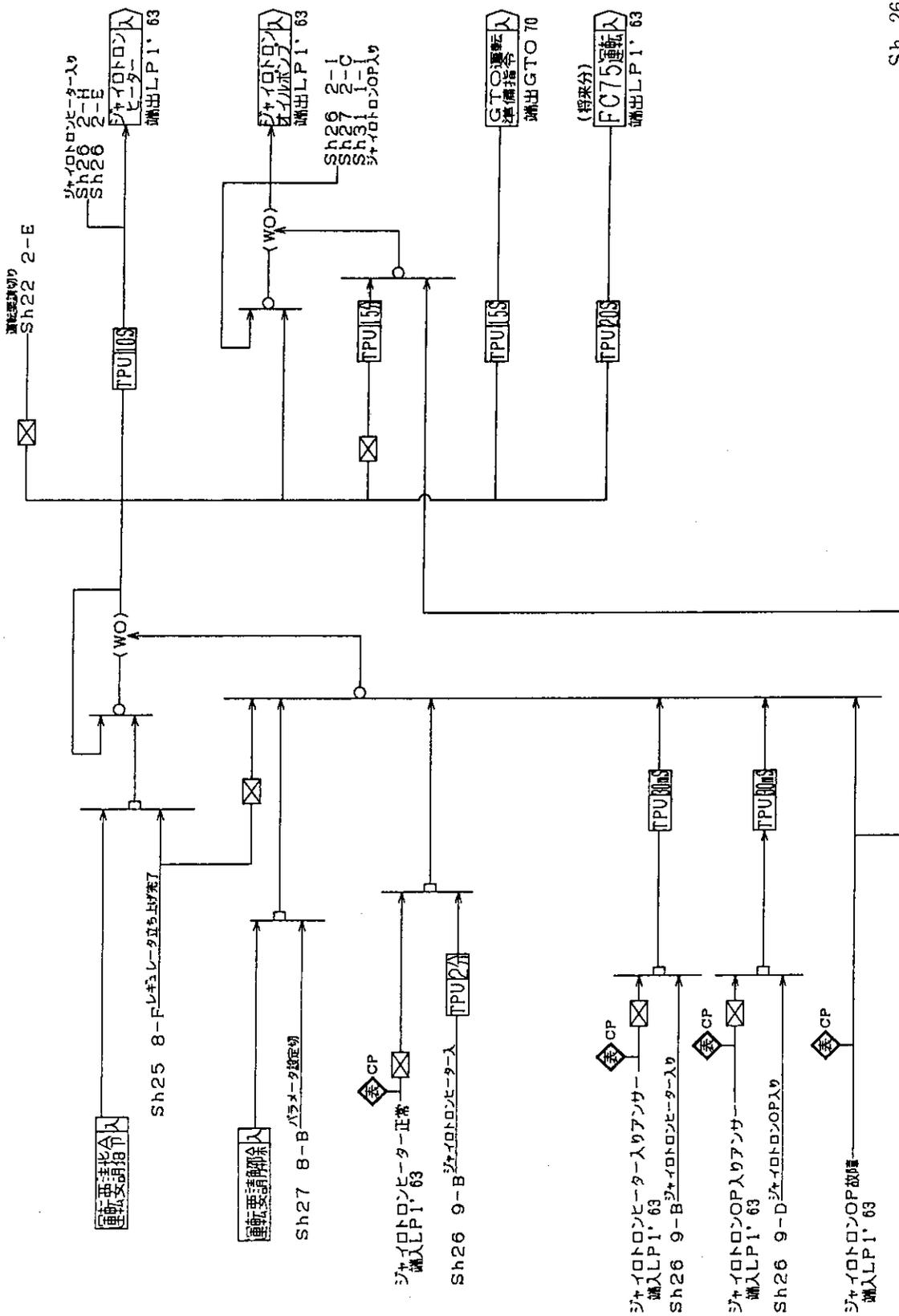


Fig.44 RVヒーター投入



Sh 26

Fig.45 運転要請

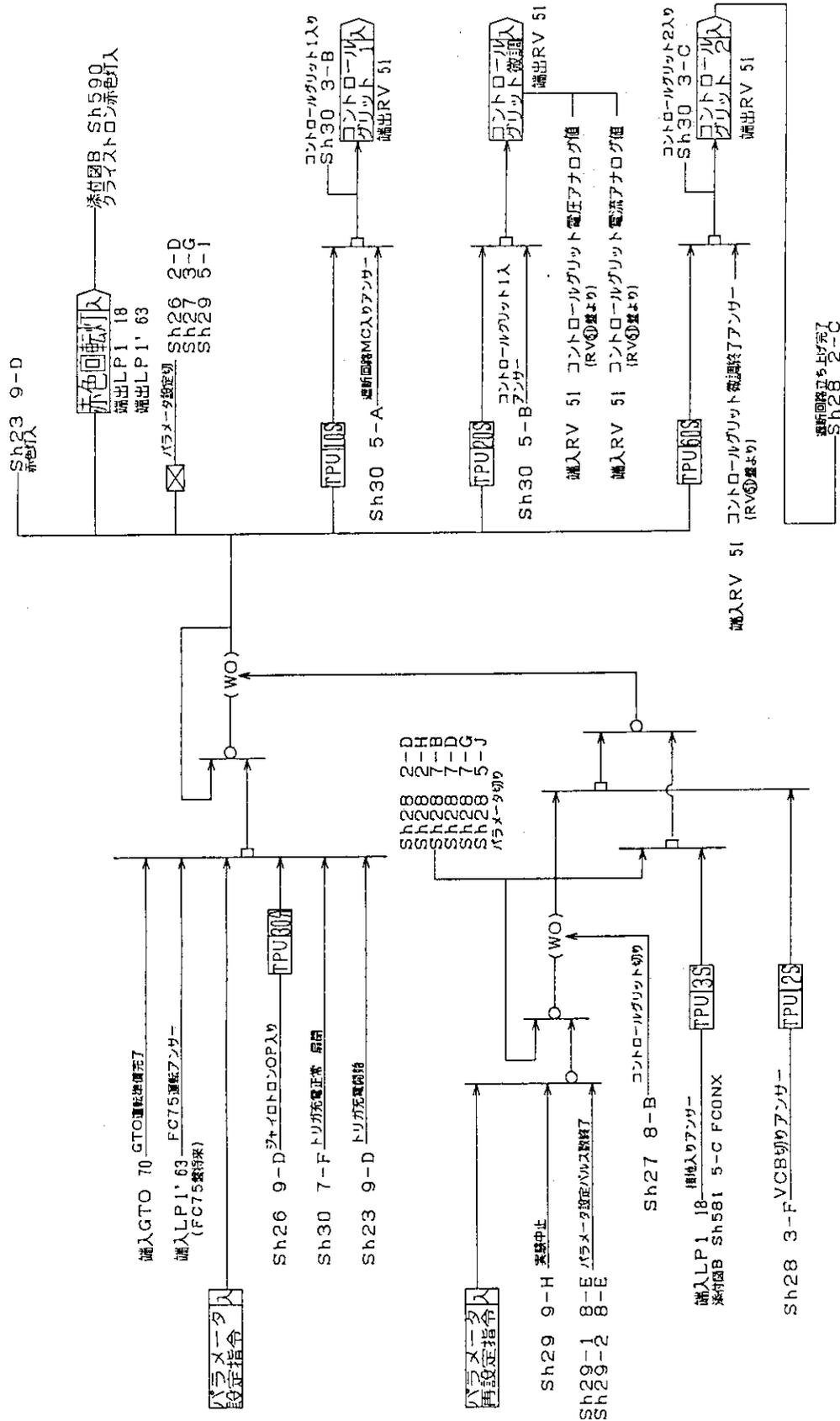


Fig.46 遮断回路投入

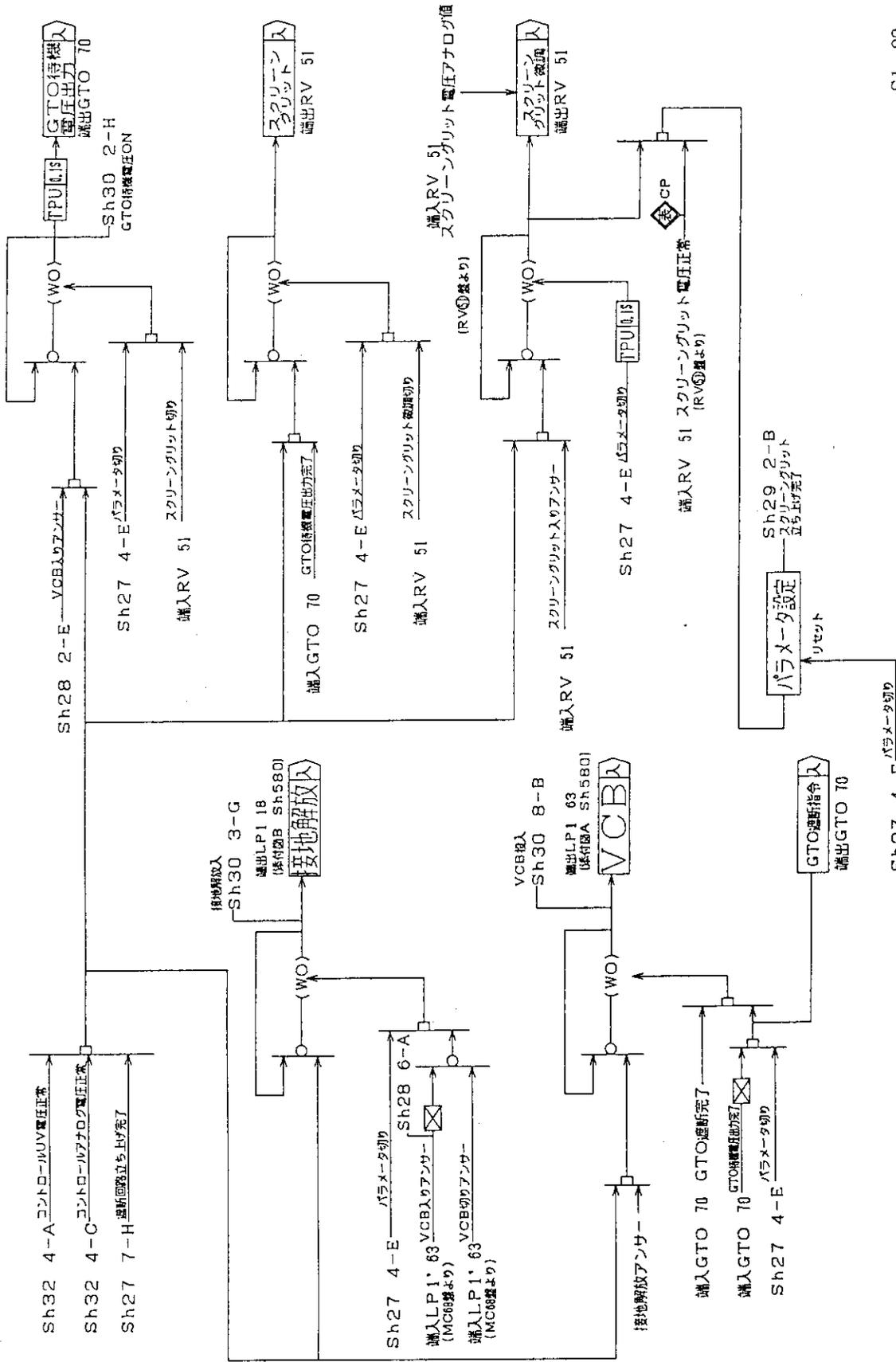
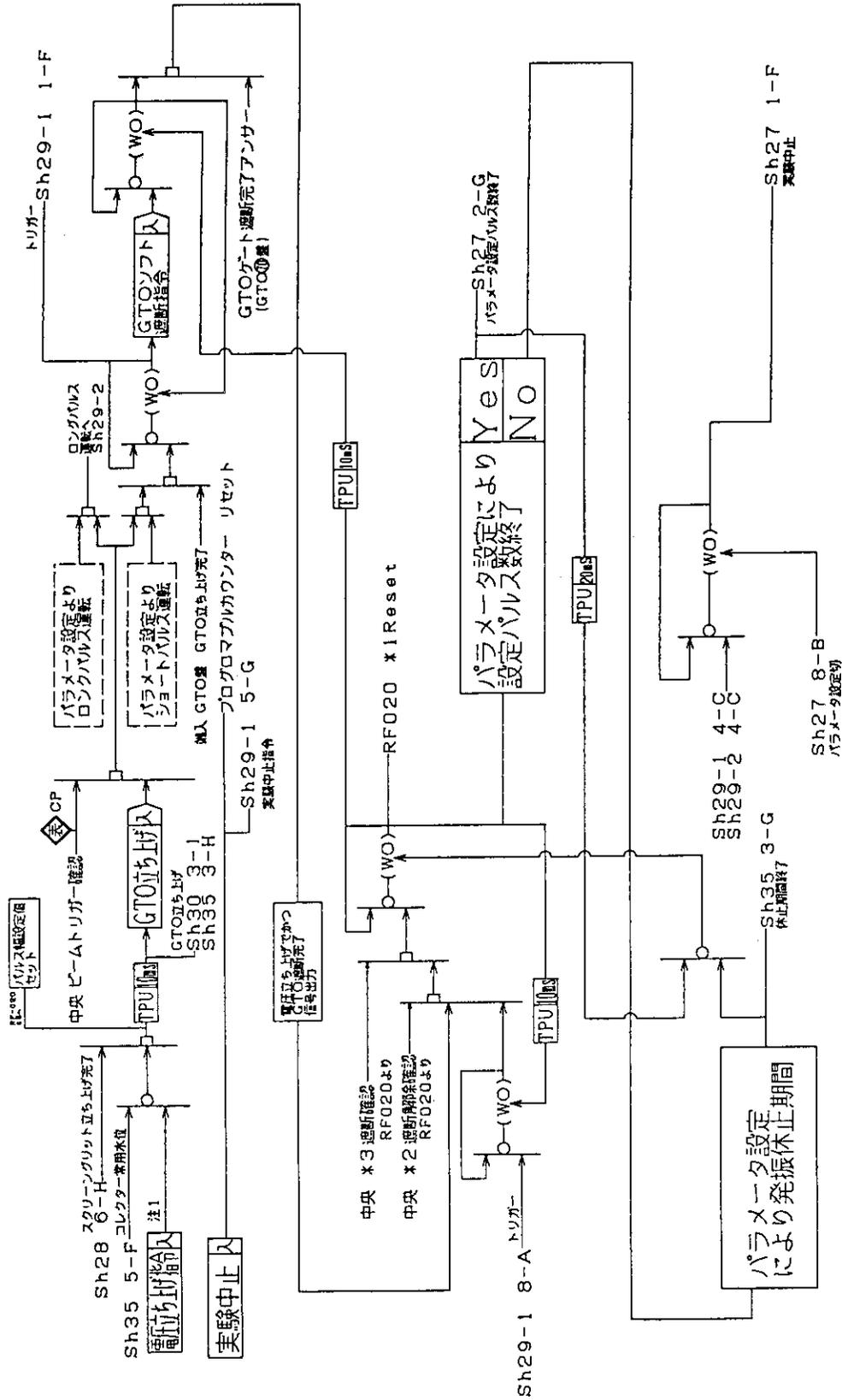


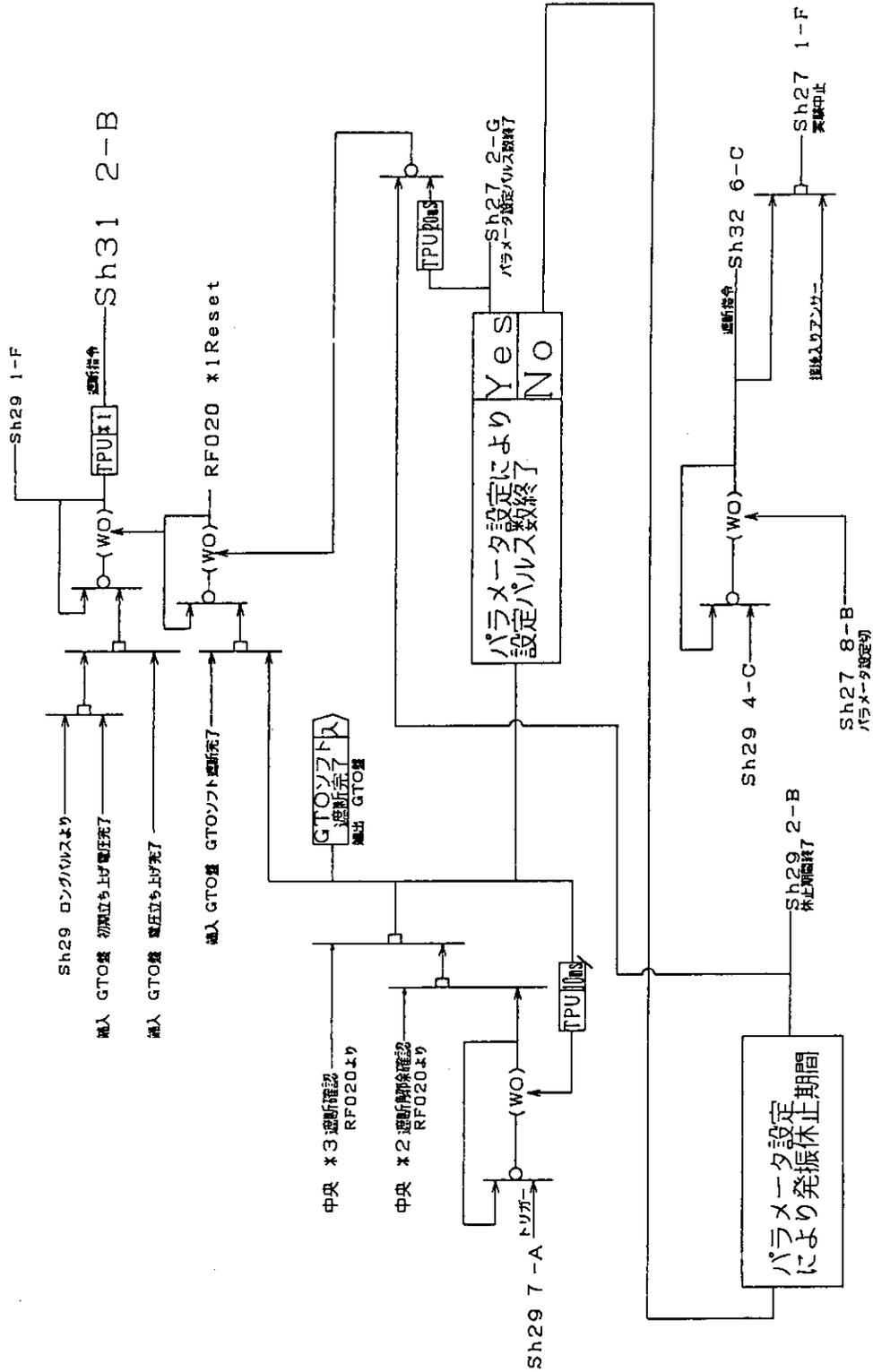
Fig.47 VCB投入

Sh 28



注1 パルス出力で100msとする。

Fig.48 電圧立ち上げ (ショットパルスモード)



*1 パラメータ設定パルス幅より0.15加算した値とする。

Fig.49 電圧立ち上げ (ロングパルスモード)

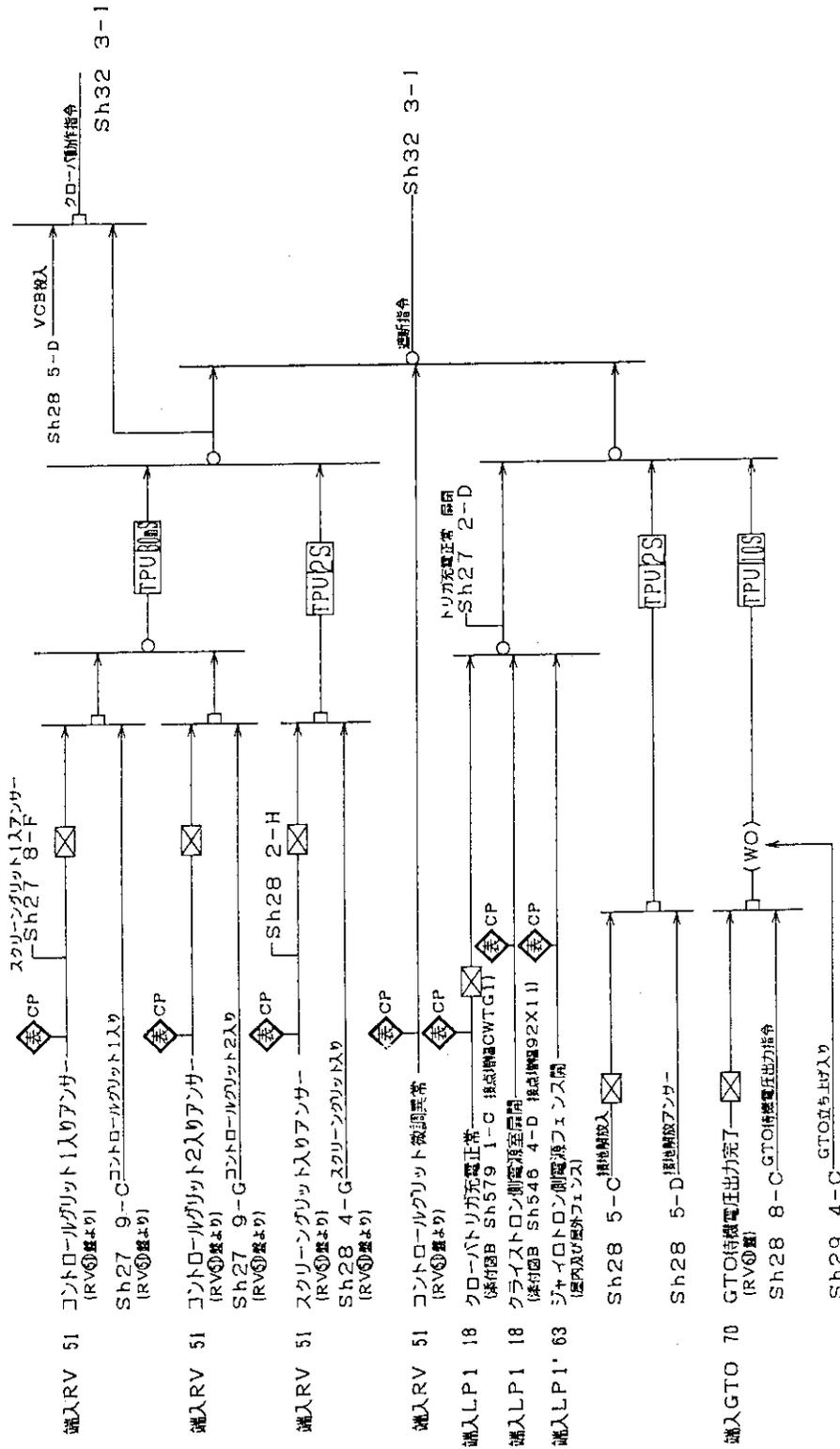


Fig.50 遮断指令 1

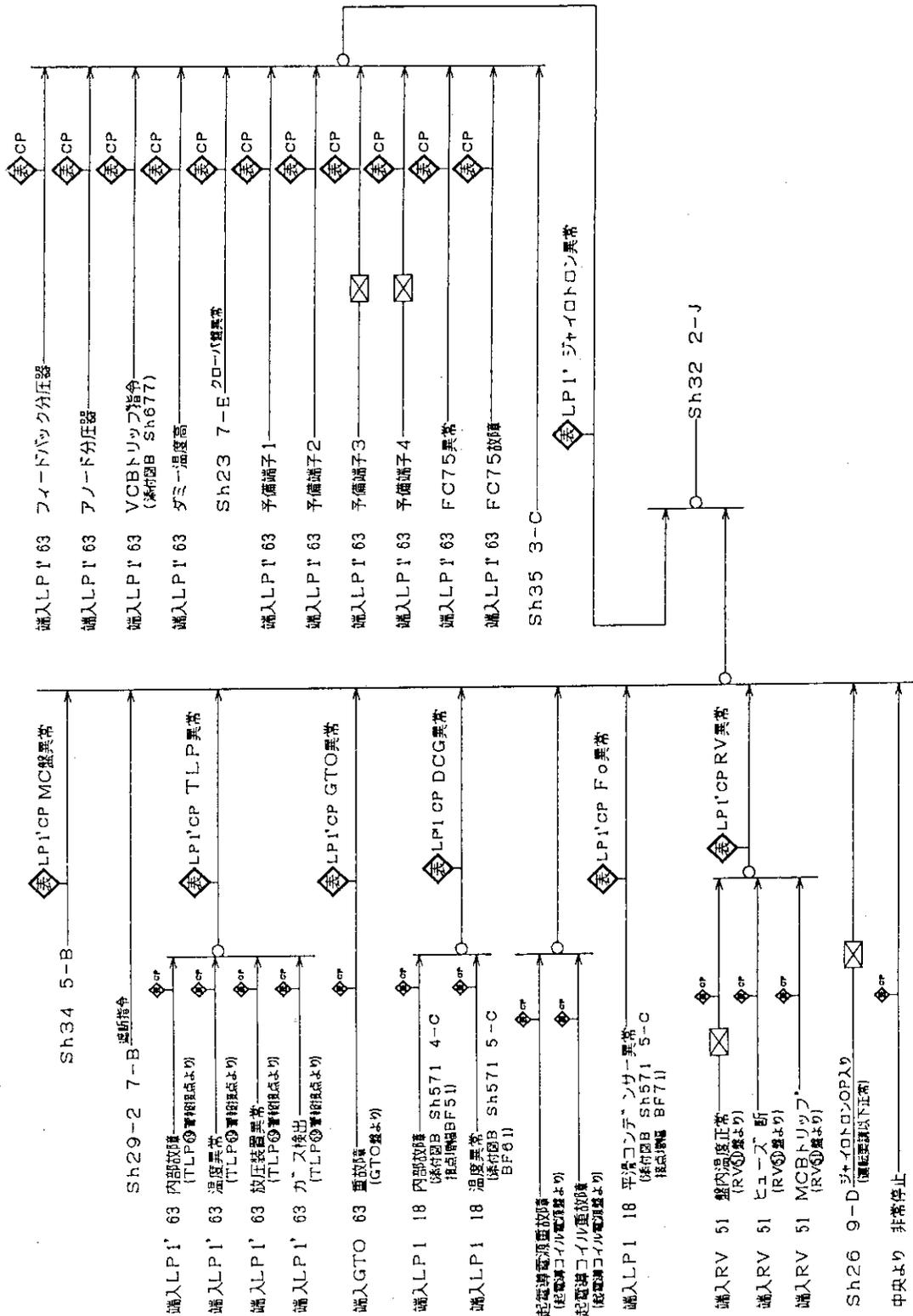


Fig.51 遮断指令 2

Sh 31

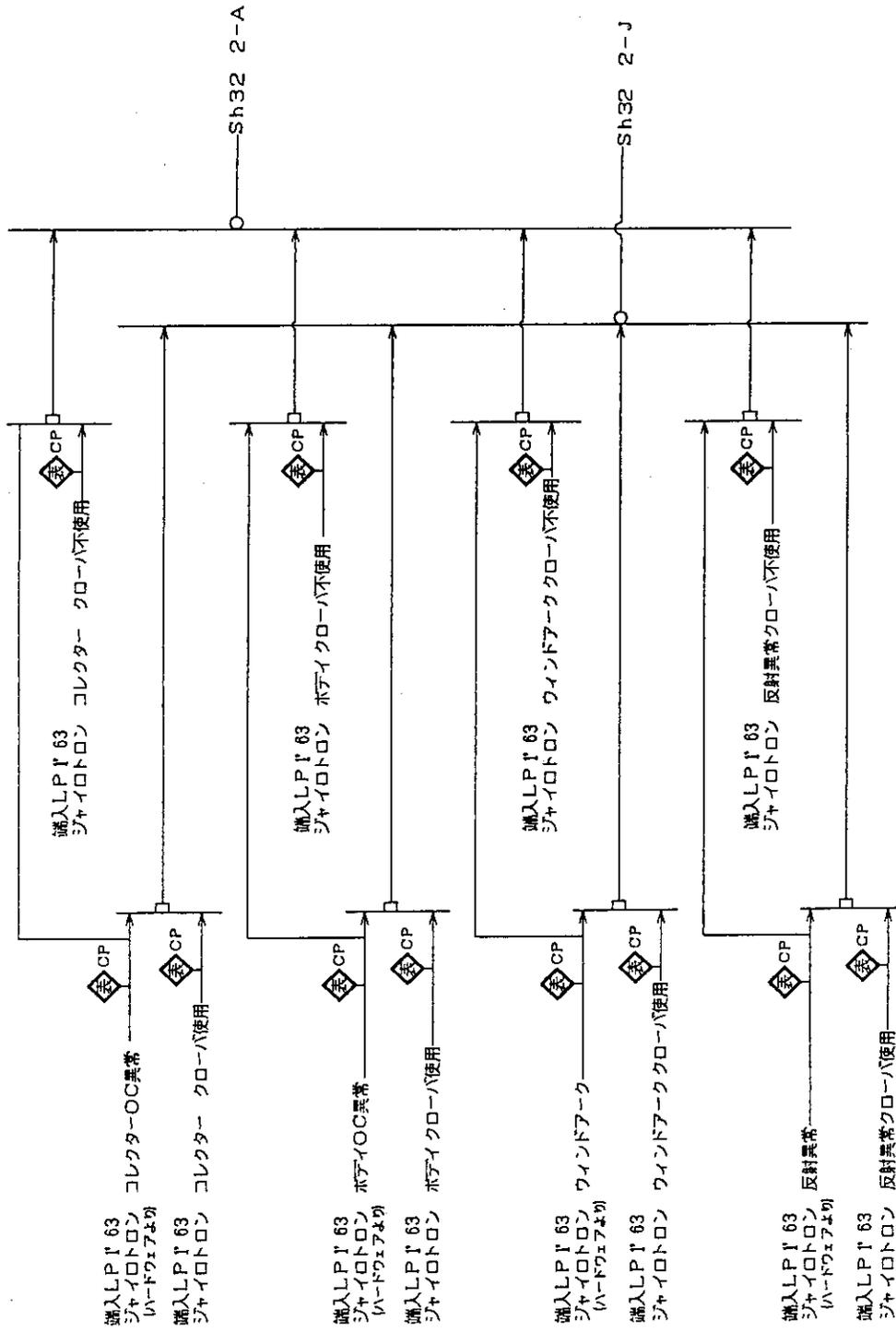


Fig.53 クロバ選択

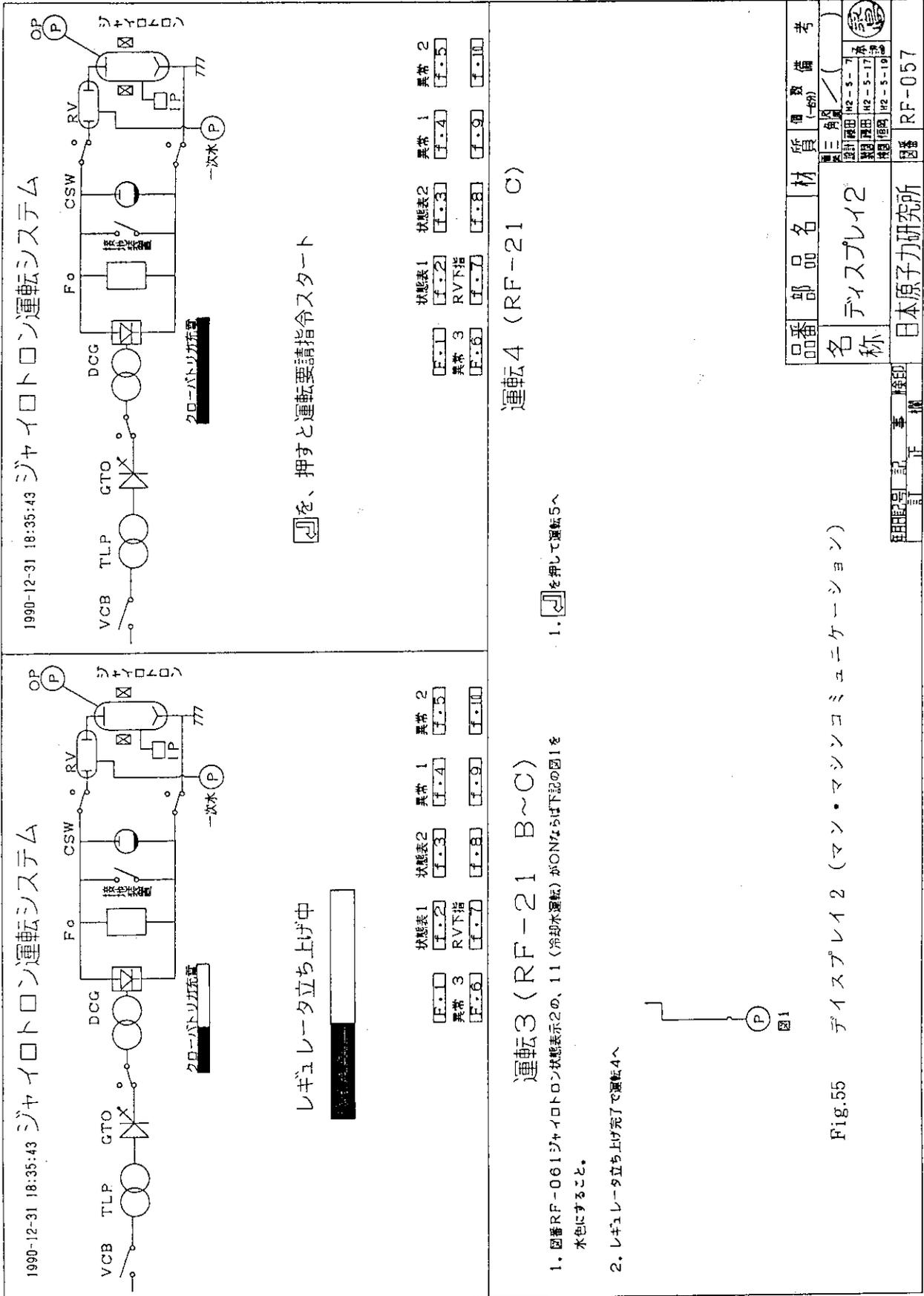


Fig.55 デイスプレイ2 (マン・マシンコミュニケーション)

品番	部品名	材質	備	数	備	考																
	ディスプレイ2																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>設計者</td> <td>設計</td> <td>校核</td> <td>承認</td> </tr> <tr> <td>設計</td> <td>校核</td> <td>承認</td> <td>設計</td> </tr> <tr> <td>設計</td> <td>校核</td> <td>承認</td> <td>設計</td> </tr> <tr> <td>設計</td> <td>校核</td> <td>承認</td> <td>設計</td> </tr> </table>							設計者	設計	校核	承認	設計	校核	承認	設計	設計	校核	承認	設計	設計	校核	承認	設計
設計者	設計	校核	承認																			
設計	校核	承認	設計																			
設計	校核	承認	設計																			
設計	校核	承認	設計																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>品番</td> <td>RF-057</td> </tr> <tr> <td>名称</td> <td>日本原子力研究所</td> </tr> </table>							品番	RF-057	名称	日本原子力研究所												
品番	RF-057																					
名称	日本原子力研究所																					

1990-12-31 18:35:43 ジャイロトロン運転システム

200-Vボルトリカ赤電

パラメータ設定

ビーム電圧	100 KV
初期立上げ電圧	100 KV
DCG出力電圧	110 KV
バイアス電圧	2000 V
スクリーン電圧	2000 V
予熱ビーム電流	100 A
パルス数	225 回
パルス幅	10000 mS
パルスモード	パルス/パルス
運転周期	110000 mS
全周体止期間	110000 mS

状態表1 異常 1 異常 2
 [F.1] [F.2] [F.3] [F.4] [F.5]
 異常 3 パラ再指
 [F.6] [F.7] [F.8] [F.9] [F.10]

パラメータ立ち上げ中

1990-12-31 18:35:43 ジャイロトロン運転システム

200-Vボルトリカ赤電

パラメータ設定

ビーム電圧	100 KV
初期立上げ電圧	100 KV
DCG出力電圧	110 KV
バイアス電圧	2000 V
スクリーン電圧	2000 V
予熱ビーム電流	100 A
パルス数	225 回
パルス幅	10000 mS
パルスモード	パルス/パルス
運転周期	110000 mS
全周体止期間	110000 mS

状態表1 異常 1 異常 2
 [F.1] [F.2] [F.3] [F.4] [F.5]
 異常 3 パラ再指
 [F.6] [F.7] [F.8] [F.9] [F.10]

パラメータ設定

ビーム電圧	100 KV
初期立上げ電圧	100 KV
DCG出力電圧	110 KV
バイアス電圧	2000 V
スクリーン電圧	2000 V
予熱ビーム電流	100 A
パルス数	225 回
パルス幅	10000 mS
パルスモード	パルス/パルス
運転周期	110000 mS
全周体止期間	110000 mS

状態表1 異常 1 異常 2
 [F.1] [F.2] [F.3] [F.4] [F.5]
 異常 3 パラ再指
 [F.6] [F.7] [F.8] [F.9] [F.10]

運転7 (RF-23 D-3)

1. RVコントロール電圧(アナログ)が連続電圧ならば図1を、赤色で表示すること。
 2. 図番RF-061ジャイロトロン状態表示2の、25(接地開放)が緑色のときは、図2
 赤色のときは、図3のようになること。
 3. 図番RF-061ジャイロトロン状態表示2の、27(VCB)がONのときは、図4
 及び図5の線の部分を緑色にすること。
 4. パラメータが立ち上げ完了で運転8へ

図1

図2

図3

図4

図5

運転8 (RF-23 D-4)

1. [F.1] を押して運転9へ

品番	部品名	材質	備	数量	備考
	ディスプレイ4				
日本原子力研究所					
RF-059					

Fig.57 ディスプレイ4 (マン・マシンコミュニケーション)

1990-12-31 18:35:43	1990-12-31 18:35:43
<p>1990-12-31 18:35:43 ジャイロトロン異常表示 1</p> <p>クローバ動作 RV遮断 GTOゲート遮断 VCB切</p> <p>MC 内部故障 1 高圧受電装置制御電源異常 2 高圧受電装置異常 3 高圧受電装置異常 4 内部故障 5 温度異常 6 放圧装置異常 7 ガス検出</p> <p>TLP 8 GTO軽故障 9 GTO重故障</p> <p>DCG 10 内部故障 11 温度異常 12 放圧装置異常 13 ガス検出</p> <p>Fo 14 コンテンザ-異常</p> <p>CWS 15 クローバ駆トリガ充電電源遮断</p> <p>16 クローバ駆異常</p> <p>17 クローバ駆異常</p> <p>18 クローバ駆トリガ充電電源故障</p> <p>19 トリガ充電異常</p> <p>20 クローバトリガ</p>	<p>1990-12-31 18:35:43 ジャイロトロン異常表示 2</p> <p>クローバ動作 RV遮断 GTOゲート遮断 VCB切</p> <p>RV 異常 21 RV室内温度異常</p> <p>22 ヒューズ断</p> <p>23 MCBトリップ</p> <p>24 コントローラグリット電圧異常</p> <p>25 シロックコファン異常</p> <p>26 ヒーター電圧異常</p> <p>27 ヒーター電流異常</p> <p>28 スーベスヒーター異常</p> <p>29 軽故障</p> <p>30 電源異常故障</p> <p>31 コイル異常故障</p> <p>32 ヘルウム量低下</p> <p>33 一次水冷却水故障</p> <p>34 冷却水異常</p>
<p>運転表示 状態表1 状態表2 異常 2</p> <p>異常 1 異常 2</p> <p>異常 3 RV下指 異常解除 パラ異常 実験中止</p> <p>異常 4 異常 5</p> <p>異常 6 異常 7 異常 8 異常 9 異常 10</p>	<p>運転表示 状態表1 状態表2 異常 1</p> <p>異常 3 RV下指 異常解除 パラ異常 実験中止</p> <p>異常 4 異常 5</p> <p>異常 6 異常 7 異常 8 異常 9 異常 10</p>

1. クローバ動作 RV遮断 GTOゲート遮断 VCB切は、Sh32クローバトリガ RV遮断 GTOゲート遮断 VCBにビットが立った時赤色で表示すること。
2. 上記以外の異常表示はSh21~32の表示にビットが立った時、異常項目前に四角で赤色表示すること。
(F.3—赤色)
3. ジャイロトロン異常表示23にも異常のあるときは、キーボード枠内を赤色表示とすること。
4. フランクションキーは、運転状態によりオンのできない項目は空白とすること。

注 10 クローバ異常
赤色

Fig.60 異常表示 1 2 (マン・マシンコミュニケーション)

品番	部品名	材質	種数	備考
名	異常表示1 2			
称				
印刷記号 正 様 印 番号 RF-062				

1990-12-31 18:35:43 ジャイロトロン異常表示 3

クローバ動作 RV遮断 GTOゲート遮断 VCB切

42 RVコントロール不足電圧
 43 RVコントロール(アナログ)電圧異常
 44 RVカソード過電流
 45 RVスクリーン過電流
 46 RVスクリーン過電圧
 47 RVスクリーン不足電圧
 48 RVコントロール過電流
 49 RVコントロール過電圧
 50 RV遮断用MC断
 51 RV遮断用MCBトリップ
 52 RV遮断用ヒース断
 53 RV遮断異常
 54 ビーム電圧過電圧

運転表示 状態表1 状態表2 異常1 異常2
 [F.1] [F.2] [F.3] [F.4] [F.5]
 RV下指 運要解除 パラ再指 実験中止
 [F.6] [F.7] [F.8] [F.9] [F.10]

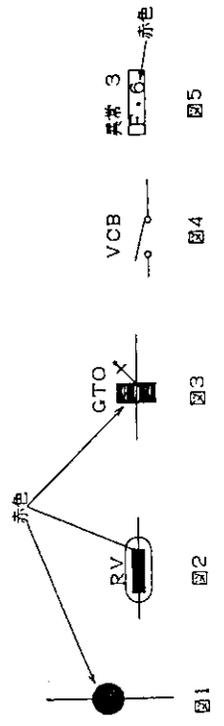
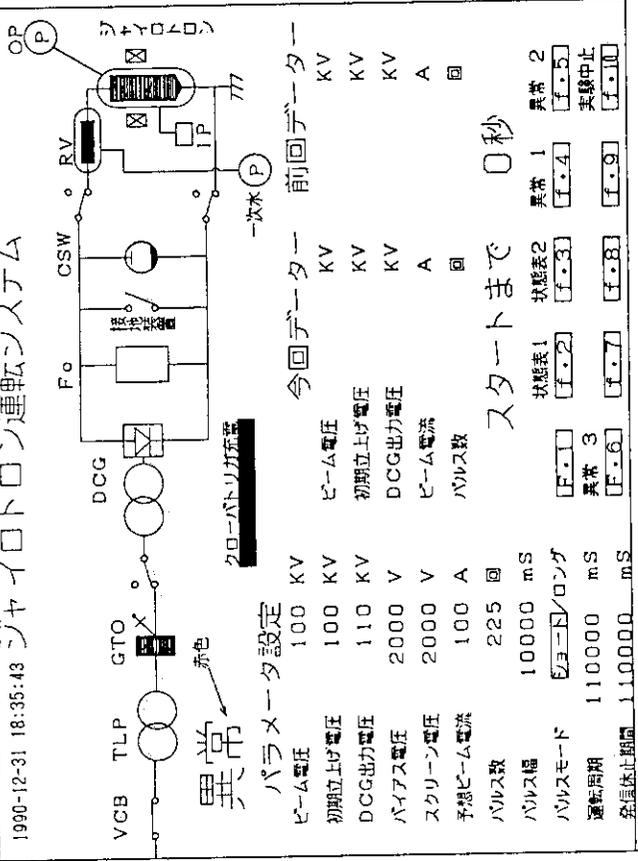
1. クローバ動作 RV遮断 GTOゲート遮断 VCB切は、Sh32クロバトリガ RV遮断 GTOゲート遮断 VCBにビットが立った時赤色で表示すること。
2. 上記以外の異常表示は、インターロック線図Sh21~32の表示にビットが立った時、異常項目前に四角で赤色表示すること。
 ([F.3]—赤色)
3. ジャイロトロン異常表示23にも異常のあるときは、キーボード枠内を赤色表示とすること。
4. ファンクションキーは、運転状態によりオレオレのできない項目は空白とすること。

注 4 RVカソード過電流
 赤色

Fig.61 異常表示 3 (マン・マシンコミュニケーション)

品番	部品名	材質	数量	備考
	異常表示3		1	
日本原子力研究所				
RF-063				

1990-12-31 18:35:43 ジャイロトロン運転システム



1. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示1 1 2 3の項目で異常が発生した時は、左面上文字 VCBを赤色で表示すること。
2. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示1 4~7の項目で異常が発生した時は、左面上文字 TLPを赤色で表示すること。
3. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示1 8 9の項目で異常が発生した時は、左面上文字 GTOを赤色で表示すること。
4. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示1 10~13の項目で異常が発生した時は、左面上文字 DCGを赤色で表示すること。
5. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示1 14の項目で異常が発生した時は、左面上文字 F0を赤色で表示すること。
6. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示1 15~20の項目で異常が発生した時は、左面上文字 CWSを赤色で表示すること。
7. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示2 21~28及び図番RF-63ジャイロトロン異常表示3 42~53の項目で異常が発生した時は、左面上文字RVを赤色で表示すること。
8. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示2 29~32及び35及び図番RF-63ジャイロトロン異常表示3 54~58の項目で異常が発生した時は、左面上文字ジャイロトロンを赤色で表示すること。
9. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示2 33, 34の項目で異常が発生した時は、左面上文字 一次水を赤色で表示すること。
10. 1~9まで及びその他の異常にあっては、画面上の「異常」を赤色表示し、そうでない時は、空白とする。
11. クローバ動作の時は、画面上図を図1図とする。
12. RV燃断の時は、画面上図を図2図とする。
13. GTOケード燃断の時は、画面上図を図3図とする。
14. VCB切りの時は、画面上図を図4図とする。
15. 図番RF-62ジャイロトロン異常表示1 2及び、図番RF-62ジャイロトロン異常表示3の異常項目があるときは、ファンクションキーを赤色とする。図5図

Fig.62 ディスプレイ6 (マン・マシンコミュニケーション)

口番	部名	材	質	種	数	備	考
	ディスプレイ6						
RF-064							

日本原子力研究所

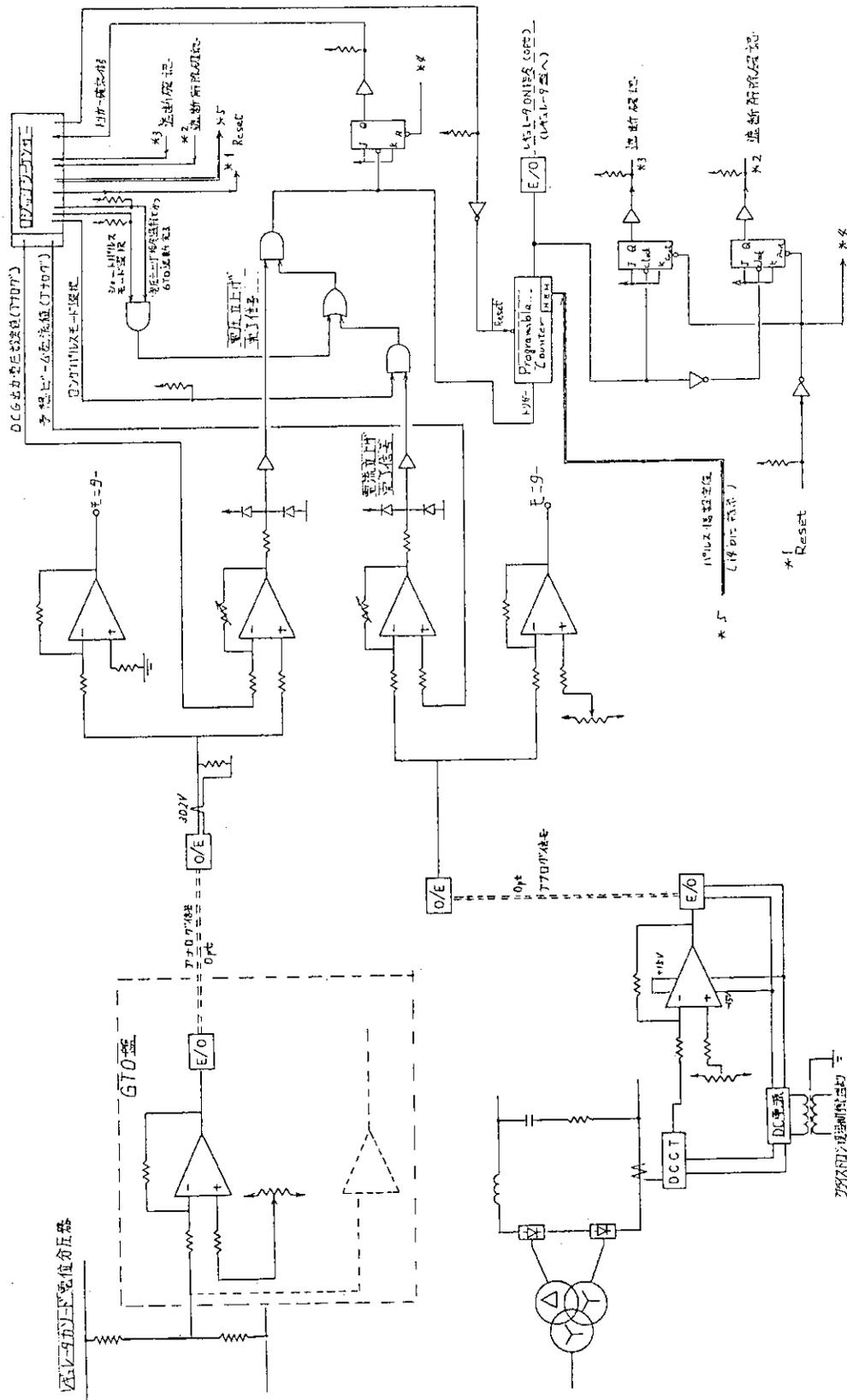


Fig.63 レギュレーターON/OFF指令回路図

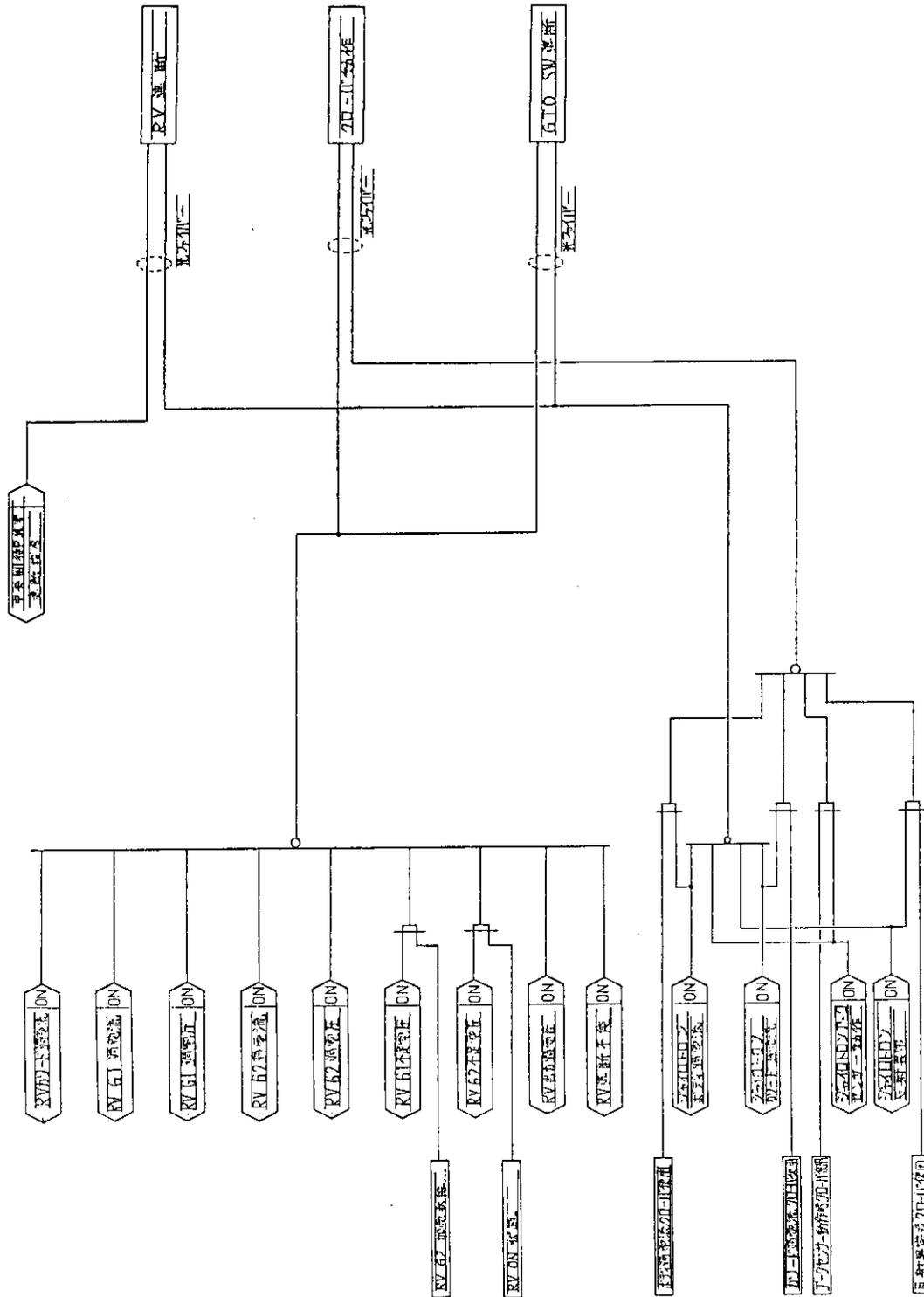


Fig.64 高速インターロック線図 (光系)

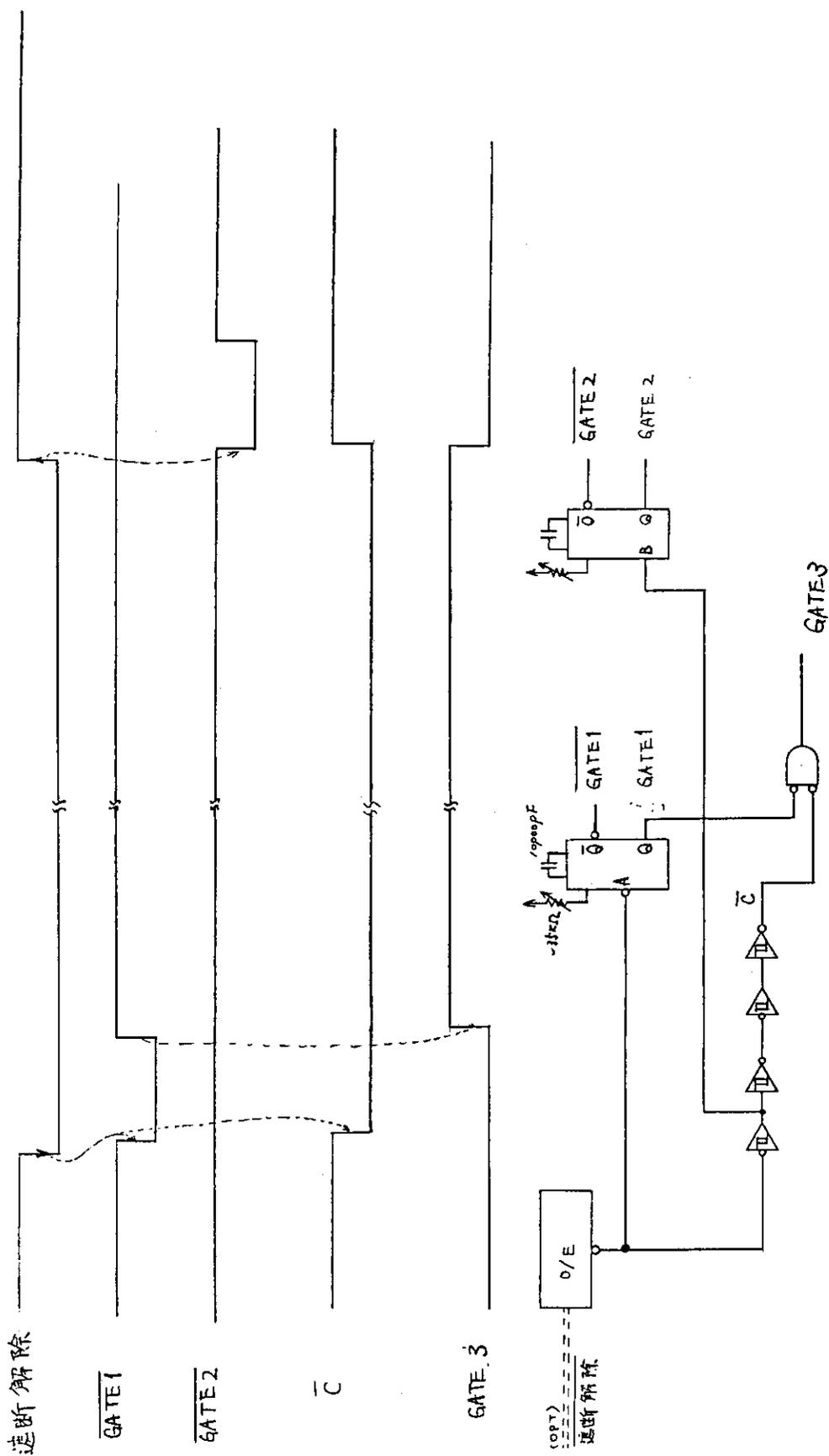


Fig.65 ジャイロトロン保護検出ゲート回路

