

# 核融合プラズマの高周波電流駆動用ビーム電源装置

## Beam Power Supply for RF Current Drive Systems for Nuclear Fusion Plasmas

伊藤 智之<sup>\*1</sup> 佐藤 徹<sup>\*2</sup>  
Satoshi Itô Tōru Satō  
中村 幸男<sup>\*1</sup> 丹羽 裕彦<sup>\*2</sup>  
Yukio Nakamura Hirohiko Niwa  
桑原 祐<sup>\*2</sup>  
Tasuku Kuwahara

We have developed a 20 kV class beam power supply, which supplies a thyristor-controlled constant-voltage DC power to klystron as an RF power amplifier. An RF current drive method driven by such RF power has been given much attention in recent years as a new means of sustaining nuclear fusion plasmas.

In Kyusyu University, experiments and researches are proceeding with the TRIAM-1M (experimental superconducting Tokamak) combined with our beam power supply, and confirmed excellent characteristics such as constant voltage control less than  $\pm 0.5$ , high speed Crowbar operation less than  $5\mu\text{s}$ , which protects the RF tubes against internal short accident.

This paper introduces the RF current drive system briefly, and reports the beam power supply and thier test results.

## 1 まえがき

プラズマ核融合の実現のためには、プラズマの長時間閉じ込めと、高密度と高温度とが必要条件である。このうちの時間に関して、最近の研究成果として発表された九州大学のTRIAM-1Mによる3分間を超えるプラズマ閉じ込めの成功は、今までの1秒程度の記録を大幅に書き換え、定常核融合実現への大きなステップとして世界的に注目されている<sup>1)</sup>。

プラズマ電流の長時間維持は、従来の変流器の原理を利用した電流発生方式では不可能で、ここでは高周波(マイクロ波)をプラズマへ入射して、プラズマ内に進行波を発生させ、その波動により一方向の運動量を電子に与えて定常電流を得る、いわゆる電流駆動方式が用いられている。九州大学では、更に長時間、高密度のプラズマ実現をめざして、電流駆動用の高周波発生設備の大電力化を計画・実施中である。

当社では、この新しい計画設備のうちのビーム電源装置(直流高圧電源部)を担当し、新たに本装置を開発・製作し、九州大学に納入した。

このビーム電源装置は、負荷である高周波電力増幅管(クライストロン)の内部閃絡時に、事故電流を高速側路するクローバ回路を備えた、サイリスタ位相制御による20kV級の定電圧直流電源である。

## 2 高周波電流駆動システム

プラズマの高周波加熱については種々の方法があり、このうち数GHz帯のマイクロ波を利用した方法は、LHRF

(低域混成波帯)と呼ばれ、よく研究されて来たが、近年、追加熱の一手段のみならず、電流駆動によるプラズマ電流の維持に有効であることが認められてきた。この方式はLHCD(低域混成波電流駆動)と呼ばれ、大容量の変流器装置を必要としないコンパクトな定常トカマク型核融合装置の実現に非常に有効な手段と考えられている。

この高周波電流駆動システムの一般的なブロック図を図1に示す。ここでは、直流高圧電源部(ビーム電源)から供給される直流高圧によって、クライストロンは電子ビーム(電流)を発生し、数GHzの高周波電力増幅を行う。得られた高周波電力は導波管の伝送路を通り、導波管列アンテナ(ランチャ)からプラズマに放射され、プラズマに進行波を励起する。プラズマ内で、この進行波によって電子が移送されて、トロイダル方向にループ

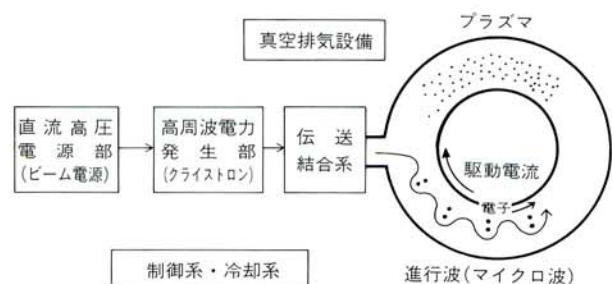


図1/高周波電流駆動システム  
Fig. 1/RF current drive system

※1 九州大学 応用力学研究所  
※2 システム開発本部 開発部  
愛知電機技報No.8

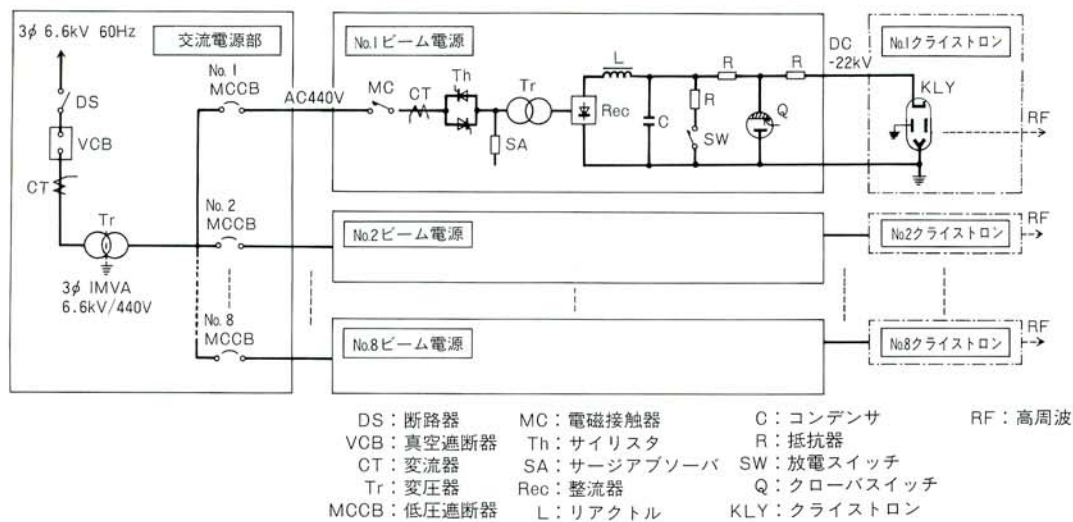


図2/ビーム電源装置の全体構成図

Fig. 2/Overall block diagram of beam power supply system

電流が流れ続ける。すなわち、定常的（直流的）なプラズマ電流が維持できることとなる。

TRIAM-1Mでは超電導トロイダル磁場（8～11Tesla）のもとに上記のシステムを構成しており、新たに高周波電力の増力を実施中である。増力は25kWのクライストロンを8系統で、総合200kWの高周波電力となる。電源装置も同じく8系統のビーム電源に分割構成されることとなった。

## 3 ビーム電源装置

### 3.1 装置の概要

ビーム電源には、低リップルで高い電圧安定度をもった良質な直流電力を供給でき、長期の安定した運転が可能な信頼性の高さが要求される。更に、クライストロン管内部閃絡事故を高速検出し、管内に流入するエネルギーを $10\mu\text{s}$ 以下の高速度で側路（クローバ）すると同時に交流電源側を開放する機能が必要とされる。

本装置は図2に示す基本構成をとっている。8系統のビーム電源と、それらに交流電力を供給する1系統の交流電源部とで構成されている。交流電源部は、高圧6.6kVを受電し、1MVAの変圧器にて440Vに降圧し、各々のビーム電源に電力供給を行う。ビーム電源は、交流側をサイリスタ位相制御し、変圧器で昇圧した後ダイオード整流し、平滑回路を通して高圧直流を得ている。また、イグナイトロンによるクローバ回路を直流出力側に備えている。

従来のビーム電源には、その発生するノイズがクローバ検出回路に与える影響が大きいことから、サイリスタ電圧制御は敬遠され、摺動変圧器方式が多く用いられていた。当社では、十分にノイズ対策を実施する事により、高速クローバ動作を損なうことなく、安定に運転できる

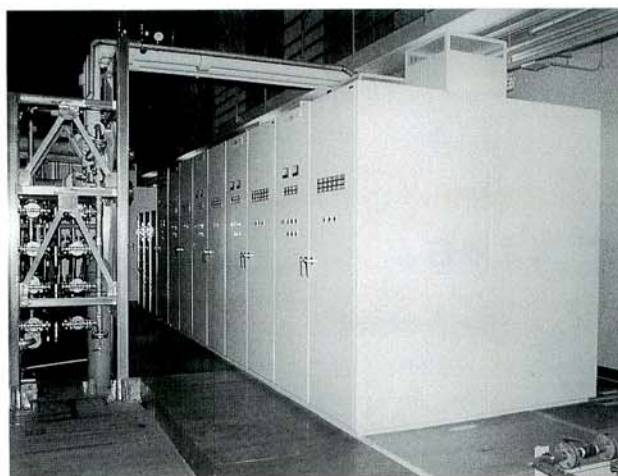


図3/ビーム電源（4系統分）

Fig. 3/Beam power supply (4 blocks)

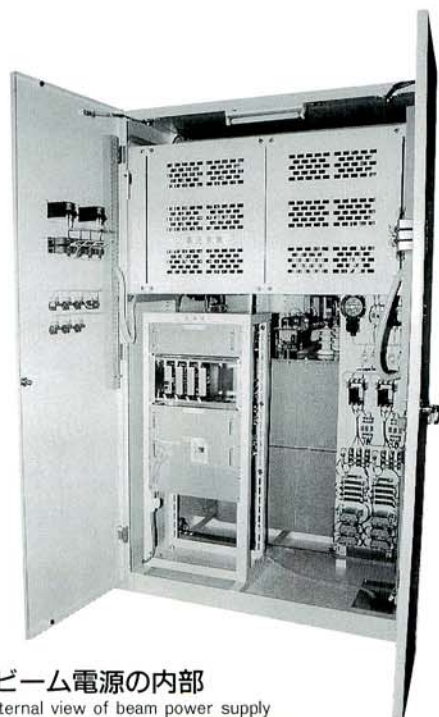


図4/ビーム電源の内部

Fig. 4/Internal view of beam power supply

サイリスタ方式を実現した。このため、摺動変圧器を用いる方式に比べて大幅にコンパクト化、軽量化が図られた。また同時に、交流側の1サイクル遮断が可能となったため、限流リアクトルを用いることなく、電源側及び装置自身に与える影響を最小限に抑えることができ、信頼性の著しい向上が図られた。

ビーム電源の4系統分の外観を図3に、内部を図4に示す。

### 3.2 装置の仕様

本装置の主な仕様は次の通りである。

- |               |                    |
|---------------|--------------------|
| (1) 定格        | 連続                 |
| (2) 入力        | 3φ、6.6kV、60Hz、1MVA |
| (3) 直流出力      | 616kW (77kW×8系統)   |
| (4) 出力電圧      | 直流22kV             |
| (5) 出力電流      | 直流 3.5A×8系統        |
| (6) 整流方式      | 3φブリッジダイオード整流      |
| (7) 電圧制御方式    | 一次電圧のサイリスタ位相制御     |
| (8) 電圧リップル    | 0.5% (rms) 以下      |
| (9) 定電圧性能     | ±0.5%以内            |
| (10) クローバ方式   | イグナイトロン・スイッチ       |
| (11) クローバ動作速度 | 10μs以下             |

### 3.3 サイリスタ式直流高圧電源回路

直流電源において、一次側サイリスタ制御方式は、直流側が高電圧の場合及び極めて低い電圧(数V程度)の場合に広く用いられている。本装置においても直流側が22kVと高電圧であるため、交流440V側でこの方式を採用している。2次側はダイオードによる単なる3φブリッジである。この主回路を図5に示す。制御特性は主回路の結線方

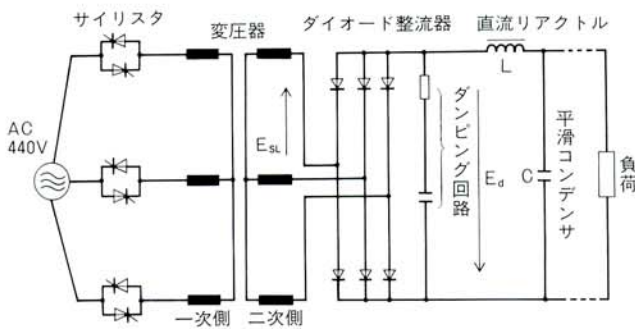


図5/主回路基本構成  
Fig. 5/Basic diagram of main circuit

式によって異なるが、図5の場合では、サイリスタのゲート制御角 $\alpha$ と直流出力電圧 $E_d$ との関係は、

$$E_d = \begin{cases} E_{d0} \cos \alpha & (0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ) \\ E_{d0} \{1 - \sin(\alpha - 30^\circ)\} & (60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ) \end{cases} \dots\dots (1)$$

ただし、 $E_d$ : 直流出力電圧 (V)

$E_{d0}$ : 無制御直流出力電圧 (V)

$$= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_{sL}$$

$E_{sL}$ : 二次線間電圧 (V, rms)

$\alpha$ : ゲート制御角 ( $^\circ$ , el)

となる。その関係を図6に示す。この場合はサイリスタ整流の場合のように制御角を遅らせて $E_d$ が負になるようなことは無い。これは、サイリスタ整流器に還流(フライホイール)ダイオードを付加した場合と同様に考えれば理解しやすい。式(1)は原理式であるので、設計に際しては転流リアクタンス降下を考慮する必要があるが、 $\alpha \leq 60^\circ$ では一次電流は連続であるので、通常の整流回路と全く同様に考えて良い。

サイリスタは1600V300Aの素子を使用している。制御角が $60^\circ$ よりも遅れると、電流が断続するので、ゲート駆動は幅広パルス方式を用いている。

ダイオードは3kV12Aの素子を12個直列として1アームを構成し、合計6アームで72素子を変圧器タンク内に収納している。直流側で強制短絡(クローバ)されるため半導体素子のサージ電流耐量については充分裕度をもたせてある。

変圧器の一次側を位相制御することによって二次側に発生するスイッチングサージ電圧は、CRダンピング回路を設けて吸収し、ダイオードの過電圧破壊を防止している。整流出力電圧には、基本周波数360Hzの大きなリップルが重畳されているため、直流リアクトルとコンデンサによるLCフィルタで平滑し、良質な直流電圧を得ている。

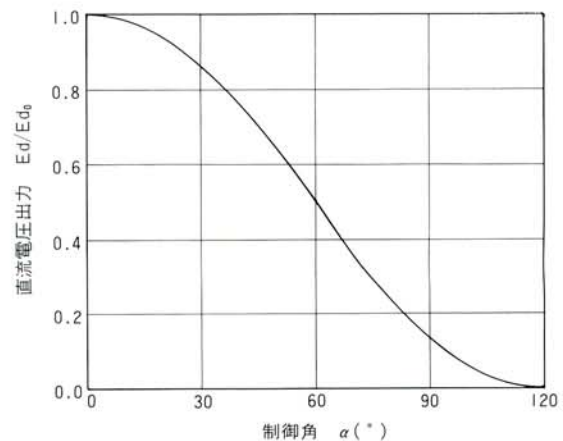


図6/位相制御出力特性  
Fig. 6/Characteristics of phase control

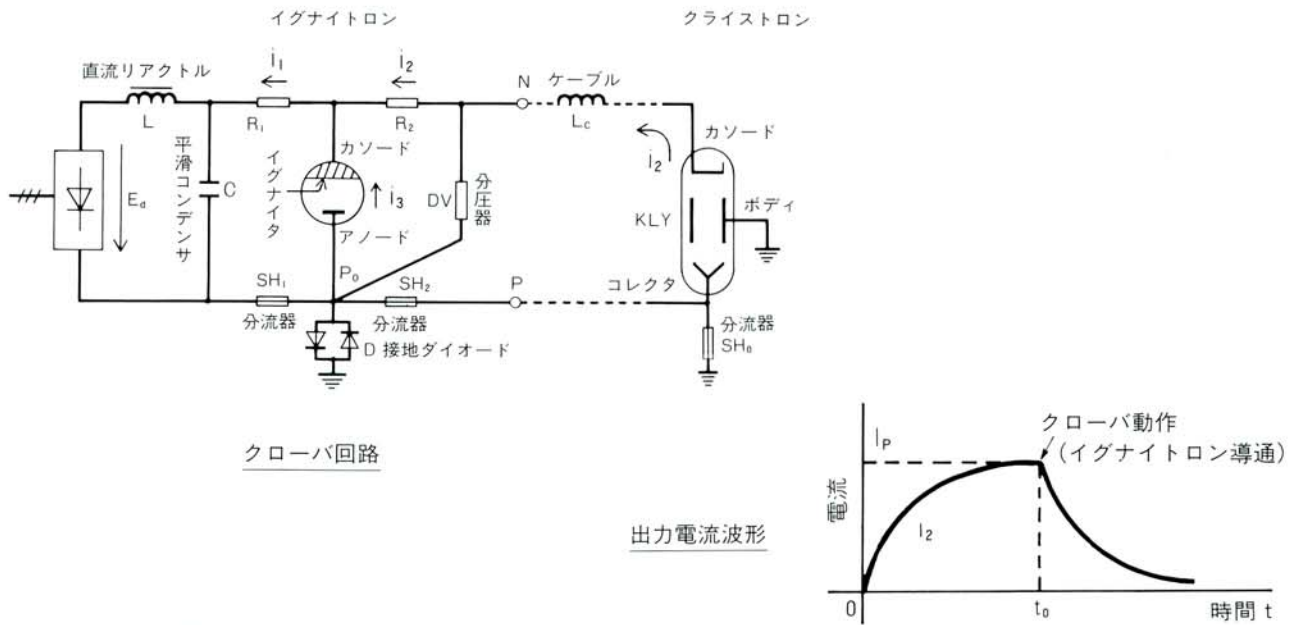


図7/クロウバ回路  
Fig. 7/Crowbar circuit

### 3.4 クロウバ回路

直流出力側には図7に示すクロウバ回路が設けられている。クライストロンの管内でカソード・コレクタ間で閃絡事故が発生すると、管内流入電流は、短時間(μsオーダー)では、充電された平滑コンデンサから供給され、整流器側からの電流は、リアクトルの大きなインダクタンスによって速くは立ち上がらない。

このため、管内流入電流は、

$$i_2 = \frac{Ed}{R_1 + R_2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{R_1 + R_2}{L_c} t\right) \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $i_2$  : 管内流入電流 (A)

$Ed$  : 直流電源電圧 (V)

$R_{1,2}$  : 限流抵抗 (Ω)

$L_c$  : 出力ケーブルインダクタンス (H)

となる。

短絡電流を分流器により検出して、その信号を受けて、制御回路が  $t_0$  秒後にイグナイトロンを点弧すると、管内電流は、図7の  $L_c \rightarrow R_2 \rightarrow Q$  (短絡)  $\rightarrow$  KLY (短絡) のループで流れ、 $L_c/R_2$ の時定数で減衰する。クロウバ動作時の  $i_2$  を  $I_p$  とすると、その後の  $i_2$  は、

$$i_2 = I_p \cdot \exp\left\{-\frac{R_2}{L_c}(t - t_0)\right\} \dots\dots\dots (3)$$

$(t \geq t_0)$

$$\text{ただし、} I_p = \frac{Ed}{R_1 + R_2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{R_1 + R_2}{L_c} t_0\right) \right\}$$

$t_0$  : クロウバ動作時間 (s)

となる。

なお、この場合  $i_2$  はQの内部では逆方向と一見思われるが、 $i_3 = i_1 - i_2$  であり、かつ  $i_1 > i_2$  であるため、等価的にQの内部に  $i_2$  が流れると考えて良く、(3)式が成立する。

本装置の場合、クロウバ動作時間  $t_0$  が  $10\mu\text{s}$  以下であれば、クライストロンは損傷を受けないが、一般的には、負荷である真空管によって保護レベルが異なる。その規定は、電流の自乗時間積 ( $\text{A}^2\text{s}$ ) や規定短絡抵抗での短絡エネルギー (J) などがある。簡便な方法は、規定電線 ( $\phi 0.25$  など) で短絡して、その電線の不溶断を確認することである。

これらは実質的には等価な内容をもっている。電流の自乗時間積  $I^2t$  については、

$$I^2t = \int_0^\infty i_2^2 dt = \int_0^{t_0} i_2^2 dt + \int_{t_0}^\infty i_2^2 dt \dots\dots\dots (4)$$

の右辺の各々前出(2)、(3)を代入して求められる。一方、短絡エネルギー  $E_s$  は、規定短絡抵抗を  $R_s$  とすると、 $R_s \ll R_1, R_2$  であるから、

$$E_s = \int_0^\infty i_2^2 R_s dt = R_s \times I^2t \dots\dots\dots (5)$$

となり、(4)式の  $I^2t$  に  $R_s$  を掛けた値となる。

一般的によく用いられる規定保護レベルは、それぞれ  $900\text{A}^2\text{s}$ 、 $50\text{J}$  ( $R_s = 55\text{m}\Omega$ ) 及び  $\phi 0.25 \times 150\text{mm}$  不溶断の3種類である。しかし、規定電線の抵抗値は約  $55\text{m}\Omega$  であり  $R_s$  と同じになり、 $900\text{A}^2\text{s} \times 55\text{m}\Omega \approx 50\text{J}$  となる。更に、規定電線が  $50\text{J}$  以上で溶断することは社内の実験でも確認されており、すべてが同じ保護レベルであるといえる。

本装置の負荷のクライストロンについては、短絡エネルギー規定値は少し小さく  $20\text{J}$  であるが、仕様の  $t_0 = 10\mu\text{s}$  においては、直流出力ケーブルの静電容量充電エネルギー

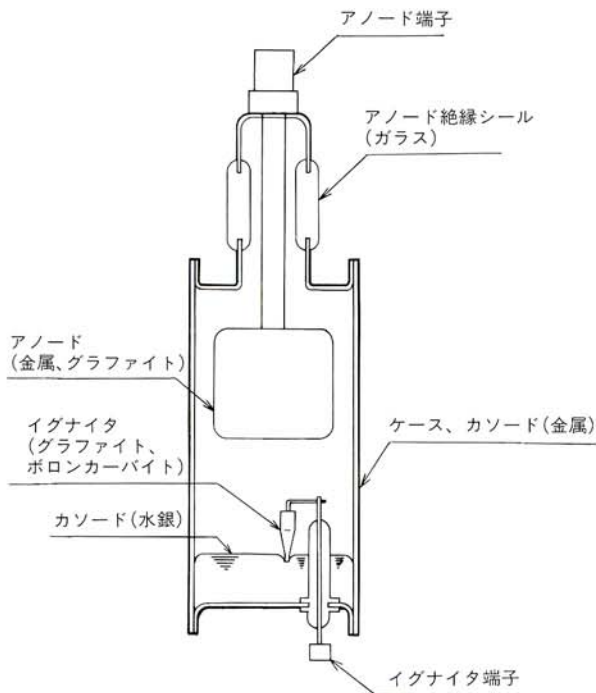


図8/イグナイトロンの内部構造

Fig. 8/Internal structure of ignitron

ーを加味しても1J以下となり、問題のない値に設計されている。

### 3.5 イグナイトロン及び周辺回路

本装置ではクローバスイッチにイグナイトロンを使用している。最近ではイグナイトロンは殆どサイリスタによって置き換えられ、一般に使用例を見ることは稀になった。しかし、高電圧・大電流の放電回路への応用に関しては、未だ、サイリスタにその優位性を譲っていない。特に、繰り返し頻度の少ないクローバ回路では、寸法・重量・価格とも約1/10以下でスイッチを構成できる。

本装置に使用したイグナイトロンと、市販の高圧サイリスタとの特性比較を表1に示す。このようにサイリスタは耐電圧が低いので多段直列接続せねばならず、また

表1/イグナイトロンとサイリスタの特性比較

Tab. 1/Comparison between ignitron and thyristor

項目	イグナイトロン NL-37248	サイリスタ 4kV500Aクラス一般用
耐電圧	30kV (40℃) 13kV (50℃)	3.2kV
ピーク電流	25kA	5kA
平均電流	0.5A	320A
臨界オン電流 上昇率	制限なし	100A/μs
ターンオン時間	0.5μs	2~5μs
点弧パルス	1500V 100A	15V 4A
ターンオフ時間	数~数十ms	0.5~0.8ms
ブレイクオーバ	破壊せず	破壊
エージング	必要	不要
寿命	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>5</sup> ショット	制限なし



図9/イグナイトロンの外観

Fig. 9/Exterior of ignitron

電流についても耐量が小さいので種々の工夫が必要である。

イグナイトロンの構成は図8に示すように、カソードは液体水銀で、その表面に接触させたグラファイト及びボロンカーバイド製のイグナイタが設けられ、金属若しくはグラファイト製のアノードがガラスで金属ケースから絶縁して保持された構成であり、内部は真空に保たれている。その外観を図9に示す。動作原理は簡単で、点弧パルスによりイグナイタ・カソード間で放電を起こさせ、水銀表面近傍がイオン化（電離）されることによりアノード・カソード間を閃絡させて導通状態とする。

しかし、使用上は種々の注意が必要で、高温使用では耐電圧が著しく低下し、またアノードのガラスシール部分の内部表面に水銀蒸気が結露し自己放電（ブレイクダウン）を引き起こすといった問題がある。装置の安定な運転のためには、このあたりの対策が不可欠で、本装置においてはカソード部をファン冷却し、アノード部にはヒータを密着取付して、アノード・カソード間に常に温度差（約10℃）を与えて水銀の結露を防止している。

アノードヒータには数Wの抵抗ヒータを用いており、アノード部の温度は

$$T_A = R_{th} \cdot P_h + T_a \dots \dots \dots (6)$$

ただし、 $T_A$ ：アノード部温度（℃）

$R_{th}$ ：アノード・周囲（空気）間の熱抵抗  
（℃/W）

$P_h$ ：ヒータ消費電力（W）

$T_a$ ：周囲温度（℃）

となる。通常、 $R_{th}$ 及び $P_h$ は変化せず、 $T_a$ はカソード部の温度と同じなので、アノード部は常に $R_{th} \cdot P_h$ 分だけカソ

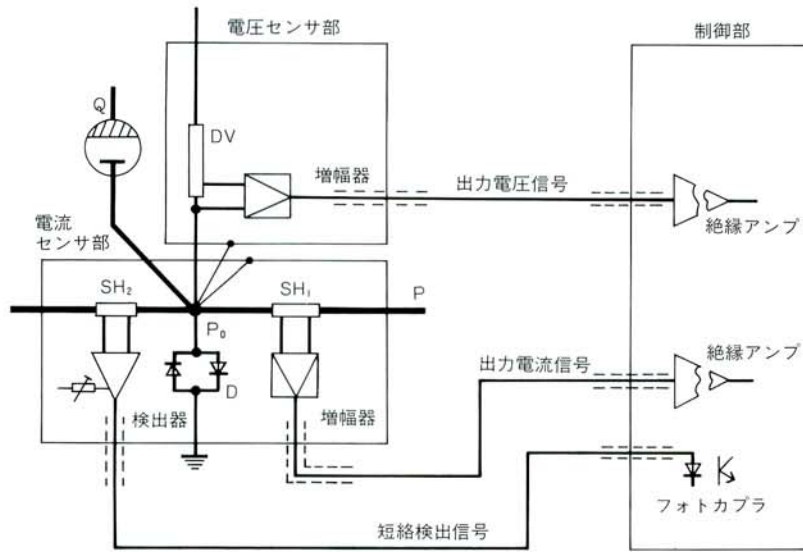


図10/測定・検出回路

Fig. 10/Measurement and detection circuit

ード部より高い温度になり、特に温度調節器を設けなくても一定の温度差が得られる。これにより、ブレークダウンの問題はほとんど解消されている。

イグナイトロンは、長期間運転しているとイグナイトア表面が水銀で濡れた状態に陥りやすく、イグナイト・カソード間の抵抗値が、新品時に100Ω以上あったものが10Ω以下に低下し、小電流・狭幅パルスでは点弧失敗を引き起こすおそれがある。クローバ回路においては、点弧失敗は負荷の損傷を引き起こし許容できないことである。長期間にわたって確実に点弧させるために、本装置では、イグナイトに100A以上、100μs以上の強力な電流パルスを供給している。

### 3.6 制御・保護回路

#### (1) 接地方式

本電源システムは負荷(クライストロン)側で一端(正側)接地されるので、ビーム電源自身としては非接地で運転される。通常の場合は問題ないが、負荷短絡や高圧地絡時には、ビーム電源の正側に数kV以上の異常サージ電圧が発生する。本装置では、多段直列したダイオードによって図7に示すように正側を接地している。通常時には、出力ケーブルによる電圧降下は小さいのでダイオードは非導通であるが、負荷短絡時等に導通して異常電圧発生を防止している。

#### (2) 測定・検出回路

本ビーム電源は、出力電圧・電流を測定しメータ指示すると共に、全体システム制御系に送っている。また、同時に電源自身の定電圧制御、クローバ制御にも利用している。

クローバスイッチは20kV以上を0.5μs以下の立下り率で放電し、また低圧交流回路は大電流のサイリスタ位相制御であるから、装置内のノイズ環境は劣悪である。それにも拘らず、クローバ回路は負荷の異常電流を数μs以内に検出しなければならず、測定・検出回路は十分なノイズ耐量をもったものにする必要がある。

上記を考慮した上で、測定・検出基準点は、最も電位の安定する、図7に示すダイオード接地点(P<sub>0</sub>)としている。そのセンサ部には検出器を内蔵して、信号レベルを大きくして送ることにより、センサ部・制御部間配線に誘導されるノイズの影響を小さくしている。更に、制御部入力では、それらの信号を絶縁アンプ、フォトカプラを用いて絶縁することにより、コモンモードサージの侵入を防止している。これら、測定・検出回路を図10に示す。

#### (3) ソフトスタート

クライストロンの内部閃絡を防止するためには、印加

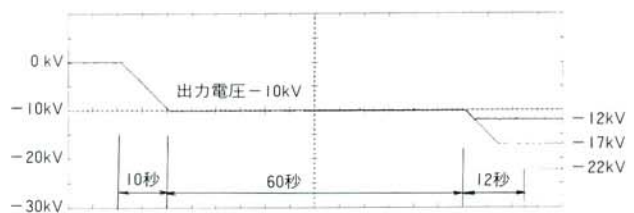


図11/ソフトスタートの出力電源パターン

Fig. 11/Output voltage patterns at soft-starting

電圧を徐々に上昇させることが望ましい。このため、本電源にはソフトスタート機能を持たせた。これは、図11の試験例に見られるように、まず1kV/秒の立上げ率で出力電圧を上昇させ、10kVで1分間保持し、その後、前と同じ立上げ率で設定電圧までもって行くものである。この一連の動作は自動的に行われるようになっており、誤って急激にクライストロンに電圧が印加されるのを防止している。

#### (4) 保護回路

電源としての通常の保護回路以外にクローバ回路を備えているのがビーム電源の特徴である。前出図10の分流器SH<sub>2</sub>で短絡電流を検出することにより、負荷短絡のみでなく、イグナイトロンのブレークダウンをも検出して交流側をサイリスタで遮断している。

その他、直流過電圧・過電流、交流過電流、変圧器温度上昇等についても保護回路を備えており、交流側を遮断するだけでなく、直流高圧側も放電スイッチによって充電タ荷を放電するようにしている。

交流電源部の高圧側についても真空遮断器による標準的な保護を行っている。

## 4 試験結果

製作完了後の工場試験、及び現地における実負荷（クライストロン）との結合試験を入念に実施し、ビーム電源装置としての機能を充分満足する下記の結果が得られた。

#### (1) 電圧直線性

設定に対する出力電圧精度・直線性は、抵抗負荷及び%乗特性を持ったクライストロン負荷において±0.5%以内の結果を得た。



図12/出力電圧安定度試験結果

Fig. 12/Result of output voltage stability test

#### (2) 出力電圧リップル

出力電圧リップルは、6相整流の360Hz成分及び3相アンバランスによる120Hz成分が主要リップルであるが、定格実負荷にて0.16% (rms) 以内に収まり、仕様を充分満足した。

#### (3) 出力電圧安定性

クライストロンのビーム電流は高周波出力の変化に依存せずほぼ一定であるので、出力電圧変動を引き起こす主要外乱は交流電源の電圧変動である。確認試験は、商用電源にての長時間運転と、強制的に交流電源を±10%変化させる方法とで行った。試験結果の例を図12に示すが、このように、入力電圧の大きな変動時においても直流出力電圧は安定しており、概ね±0.3%以下に収まっている。

#### (4) クローバ動作性能

この試験専用短絡器を製作してクローバ動作確認試験を実施した。試験では規定電線不溶断を確認すると共に短絡電流を観測し動作速度を調べた。クローバ動作時の出力短絡電流（図7における $i_2$ ）の波形を図13に示す。短絡開始からクローバ動作までの所要時間は5 $\mu$ sであり仕様は10 $\mu$ s以下であることから充分満足できる性能である。

一方、このような高速検出部は一般にサージノイズに弱く、誤動作しやすいのが通例であるので、抵抗負荷にてスパークノイズを伴った検出設定電流以下の短絡を発生させて誤検出しないことを確認した。

また、イグナイトロンのブレークダウンについても、長時間の実負荷試験運転においても問題は発生せず、良好な結果を得た。

本装置は、これら現地での実証試験終了後、九州大学によって実運転に入り、現在、順調に稼働中である。

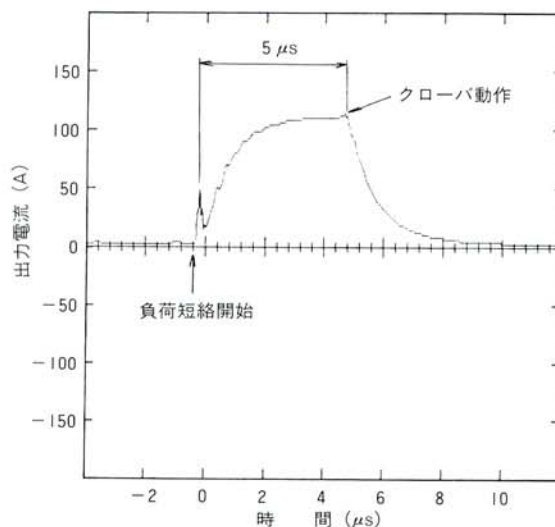


図13/クローバ動作時の出力電流波形

Fig. 13/Output current wave-form at crowbaring

## 5 あとがき

九州大学のTRIAM-1Mの電源システムについては、当社もポロイダル磁場電源に関し何種類かの装置を納入し、現在の増力計画にも参加している。ポロイダル電源が大電流（数～数十kA）であるのに対して、今回のような高周波関連の電源は高電圧（数十kV）である。また、イグナイトロンを利用したりするように、使用素子、制御技術などその分野に若干の差異があり、また違った視点からの技術開発が必要となる。

核融合開発は、このようなバラエティに富んだ電源が必要とされ、この方面での技術はプラズマ核融合以外の新分野にも発展の可能性は大である。

おわりに、本装置の開発・製作に当たり、適切な御助言・御指導をいただいた九州大学関係各位殿に感謝する次第である。また、全体のシステムをまとめられ、当社に対して格別な御支援・御指導いただいた㈱日立製作所関係各位殿にも厚く御礼申し上げたい。

## 参考文献

- (1) S. Itoh, et al.: "Steady-State Current Drive by Lower-Hybrid Wave in TRIAM-1M Tokamak" Proc. 12th Int. Conf. on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, IAEA (Nice, 12-19 Oct. 1988)

## 昭和63年度に公開された愛知出願( I )

特許

公開番号	名 称	発 明 者	共同出願人
63-11036	電動機及びその製造方法	岡田太郎 後藤 武一	
63-11085	1相ブラシレスモータの駆動方法及び駆動装置	土本 僚一	
63-61840	電気温風機及びその製造方法	法月仙一郎 山下 直治	
63-110610	ブッシングのリード線接続装置	遠山 鎮雄	
63-148890	1相ブラシレスモータの起動装置	土本 僚一	
63-167677	無停電電源装置の制御方式	佐藤 徹 望月浩一郎	
63-168188	電動バチンコ機の打球装置	宮島 武秀 土本 僚一	
63-168189	バチンコ機における打球用ソレノイドの制御回路	土本 僚一	

公開番号	名 称	発 明 者	共同出願人
63-168190	バチンコ機の打球用ソレノイド	宮島 武秀 山田 智	
63-178514	鉄心鋼帯の切断装置	矢後 克二 廻間 正樹	中部電力(株)
63-213442	永久磁石付回転子	岡田太郎	
63-213443	永久磁石付回転子	岡田太郎	
63-213444	永久磁石付回転子	岡田太郎	
63-240608	実効値検出回路	佐藤 徹 神部 晃	
63-272823	衛生洗浄装置	横山 武弘 法月仙一郎 平塚 保博	東陶機器(株)
63-316112	湯温制御装置	立松 聡	