

S. Fukuda, S. Anami, T. Shidara, U. Saito, H. Honma and J. Tanaka
 National Laboratory for High Energy Physics, Tsukuba, 305, Japan

ABSTRACT

The rf system of the Photon Factory 2.5 GeV injector electron linac now under construction is described. The rf system is composed of four stages: a master oscillator, a main booster amplifier (cw, 476 MHz), five sub-booster amplifiers (pulse, 2856 MHz) and forty two high power klystrons. The output rf power of the klystron is 30 MW and the rf power of each klystron is split and fed into four accelerator guides composing one acceleration unit.

Almost all of the rf equipment and components have been installed in their positions and are in the final adjustment stage.

Performance of the rf equipment and technical problems are also reported.

高エネルギー物理学研究所に於いて、1978年度より4年計画で始まり、放射光実験施設建設の最終年度を迎え、最後の追い込み時期と存に、本稿では放射光実験施設入射管用2.5 GeV電子線型加速器のマイクロ波源に関する現状を報告する。

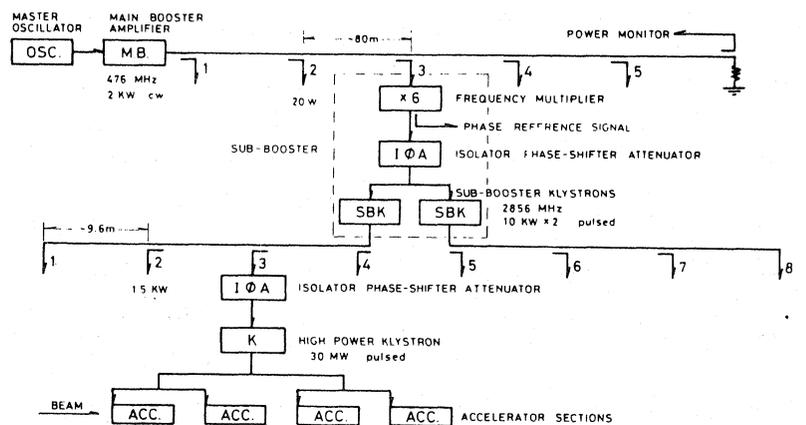


図 1 Block diagram of the rf system.

[I] マイクロ波励振系

第1図にマイクロ波源全体のブロック図を示した。メインブースターは主発振器(476 MHzをシンセサイザーで発振)、トランジスター増幅器、

クライストロン及びクライストロン電源より成り、昭和55年度製造が終了し現在調整中である。476 MHzの給電線の布設工事も55年度終了した。サブブースターは各セクターに1台あり、周波数逆倍器、IΦAユニット(アイソレータ、移相器、及び減衰器)、2本のクライストロン(トムソン TH2436)及びサブブースタークライストロンのパルスモジュレーターから成っている。56年度試作機を1台製造し、それに基づいて57年度3台製造し、据付け終了、現在調整中である。試作機との主な変更点は直流高圧電源を試作スイッチングレギュレータからSpelman社の高圧電源にした事、モジュレータのスイッチ管を4PR1000から4PR60に変更した事、及び全体的にコンパクトな形状になった事等である。現在クライストロンは最大18 kVのパルスを印可し、尖頭電力最大14 kWの出力が得られている。7本のサブブースタークライストロンからのマイクロ波出力

は、女本の火電カクライストコンへ供給される。サブグースターからの各ユニットへの給電線は位相安定化ケーブルで行うが、その布設工事は55年度後半から56年度前半にかけて終了し、テスト実験には使用可能状態に保っている。各ユニット毎に給電線から工本Aユニットに入り、火電カクライストコンに供給されるが、この入口での実測値によると400W内至それ以上が供給されている。(但し第1セクターの場合。)

[2] メインモジュレーター

火電カクライストコンへ必要の電力を供給するモジュレーター電源は全部で42台必要である。この電源は3年間に渡る単年度契約で製造され54年度12台、55年度15台の製造、据付が終了し、抵抗負荷による全負荷の通電テスト等は終了している。56年度分15台分は現在進行中であり、9月には納入予定である。53年度試作機1台に基づいて、数ヶ所の改良点があるため、それについて次に述べる。モジュレーターを考える上で仕様もさる事ながらノイズに関する考慮が必要である。ノイズに関しては(1)ノイズを発生源で抑える、(2)ノイズを発生源から出さない、(3)ノイズに強い周辺回路を作る、以上の三原則に基づいて考慮した。(1)に関してはサイラトコンの頭にインダクタンスを入れる、パルス出力回路にフーショソ回路を入れる、パルス回路のリターン側のインピーダンスを下げる、等の対策を講じた。(2)に関してはパルス回路に関係した部分(デスバイカー回路、サイラトコン関係ユニット、クライストコン関係ユニット、サイラトコントリガー回路等)をすべて一つの筐体へ収納し、筐体の合めせ部分やドアのノイズシールドを強化する、制御信号・接点信号等はパルス部筐体の出口にフィルソーを強化し、アナログ信号は同軸ケーブル等を介してコモンスモードノイズを除去する、等の対策を行った。(3)に関してはロジック回路のICの選定、電源部の安定化、回路構成の配慮等で誤動作のないユニットを作る努力を行った。特に本電源ではコントロールI(ローカル制御)とコントロールII(遠隔制御)の2つの制御方式が組込まれていて、TTLレベルのICやMOS-IC、マイクロプロセッサ等が大量にモジュレーター内に使用されているのでノイズ問題は重要である。現在コントロールIIの一部が動作し、インターロックのファーストステータスの記録等がマイクロプロセッサのプログラミング動作しているが満足すべき結果を得ている。負荷異常時の保護回路は試作機のEOLクリッパー回路から、リバースシャント回路に変更した。これはEOL回路に用いているZNRの寿命の問題の為であり、ZNRの改良とともに将来再検討される。

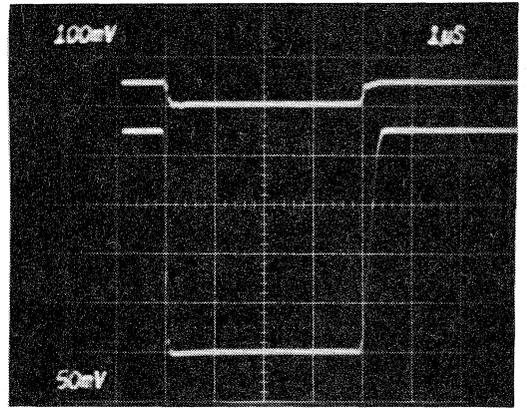


図2 サブグースターからの出力マイクの波形(上:反打波, 下:出力波)
50mV/div 100mV/div

パルス電源の大きな問題点としてPFN(パルス形成回路)コンデンサーがある。従来の用いているPFNコンデンサーは双信電機のマカパーバコンデンサーというタイプのものを採用している。このコンデンサーは1素子当り耐圧8kVのものを10段直列にスタックして80kVの直流耐圧テストを終了したものであるが、パルス負荷(最大40kV程度)に対して余りマージンがなく全負荷で破損するものが10%程あった。これはサイラトコン短絡時の過渡的サージ電圧等が原因と思われる。従って55年度分のモジュレーターよりPFNコンデンサー1ヶ当り8kV耐圧のものを15段スタックし、PF

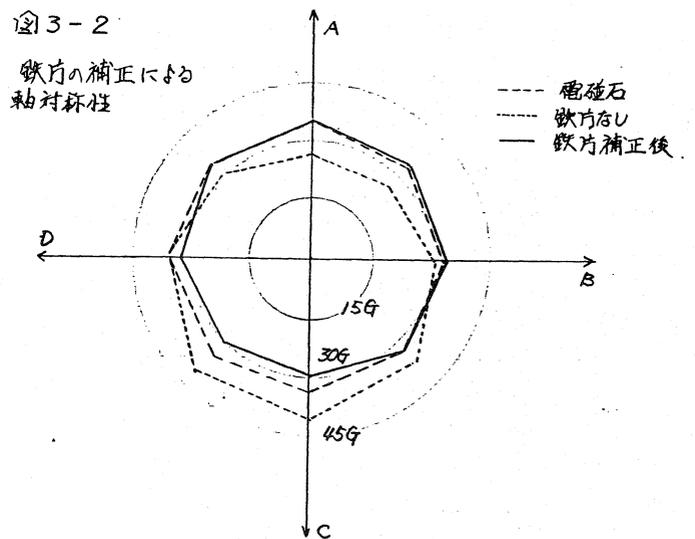
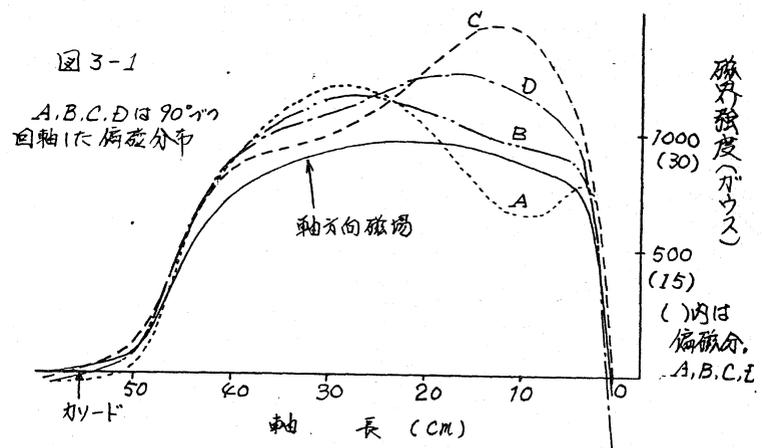
4回路の鉄数は16枚から20枚に変更している。但し上述問題と存、(c)コンデンサーでも42kV印加時のMTBFは実用上問題が存せうであり、又この電圧の時大電力クライストロンからのマイクロ波出力は当初の設計値20MW以上が取り出されるので、当度1はらくはそのまゝ使用する予定である。

[3] パルストランス及び収納タンク

42台のバルストランス関係アッセンブリも三年間に渡る単年度契約に基づいて製造され、54年度12台、55年度5台分のバルストランスアッセンブリ及び収納タンクが製造終了した。これらは当初の試作と大きな変更が存く1:1.2の昇圧比、コアバイアス電流なしのトランスで全負荷時使用できた。56年度分は15台分の鉄心が納入済、トランス巻線等の製造もほぼ終了し、又収納タンクの入孔も終了している。

[4] クライストロン集束磁石及び大電力クライストロン

放射光実験施設にはクライストロンの集束磁石としてはメンテナンス上の配慮から永久磁石を採用する方針であった。54年度分42台のクライストロンを製造し、そのマイクロ波テストを通じて集束磁石に関する問題点が明らかになった。問題点の一つとしては電磁石を用いた集束磁界では30MWの出力が得られるのに、永久磁石で同じ軸方向磁場分布を作っても、半分程度の出力しか得られないという事があった。これに関しては永久磁石の偏磁成分が大きく効く事がわかった。図3に示すように磁場分布測定器で中心磁場の積成分を調べた結果、電磁石では軸対称性がよいのに対して、永久磁石ではおぼろの偏磁成分が存在している。この偏磁成分は外部から鉄片を永久磁石につける事で補正でき、その結果として、大出力が得られる集束磁界はかなり軸対称性がよく存している事がわかった。次の問題としては、永久磁石は一度磁場調整を終了すると外部から大きく磁場を変えてクライストロンの出力を大きくする調整は出来ない。従ってクライストロンからの出力や利得と集束磁石の磁界分布の相関関係を明確にしておかなければならない。残念なのがこの点に関



しては製造ヌ-カーモデーターを把握しきれない状況にあるため、我々は永久磁石の下部スカート(主にクライストロンのカソード近傍に付着する)に電磁石を取付けて、カソード付近の磁場と制御出力の関係を調べた。

この結果我々が使用しているクライストロンはカソード近傍で磁場が0となるよりも、その前後に0クロスを持つ磁場分布の方が効率の良い事がわかった。しかし第4図に示すように、同じ磁場でもクライストロンによって残りのばらつきが存在し、クライストロンと某束磁石のマッチングは個々に

ついで調整が必要と思われる。その一方で何故同じ機械的構造でばらつきが生ずるか原因を突き止める必要もあると思われる。以上某束磁石に関する問題は54年度12台の某束磁石製造後判明し、55年度20台分は軸方向磁場以外に偏磁成分に注意を払って製造を行った。

55年度クライストロンは20本発注し、納入完了して現在テストを継続中である。55年度分クライストロンに関する問題点としては、基本的に前年度と同じ構造であるにもかかわらず、高電圧絶縁部の硝子の破損が生じ、硝子部の変色が数台生じた事である。色々調べた結果、硝子内部のメタライズ部のロー付部分から高圧印水時の電界分布により二次電子放出、バーミアの発生で放電という現象が存在する事が判明した。クライストロン保護のためやむを得ず若干高圧電極の周辺の設計変更を行い使用する事となった。主な変更点は某束磁石の鉄スカート部(カソード近傍で磁場をほぼ0ガウスにする働きをもち)を短くする事及びクライストロンの高圧電極にコマリングを追加し、高圧側の硝子のロー付部を保護した事である。

テスト終了のものは、クライストロン・ギャラリへ据付けをわけたが、現在56年7月のドームテストのため1セクターから据付けを始めしている。図5は立体回路につなぎ込まれたクライストロンアセンブリの写真である。

