

電総研リニアック入射系の設計、製作

——特にバンチャについて——

電総研 冨増多喜夫

三菱電機 上冨 勇、菊地 宏、藤内武徳

1. はじめに

電総研リニアックの入射系は、ビームエネルギー1 MeV以上、ビーム電流500 mA以上(4 μsの時、10 msの時は1 A以上)の電子を加速管に入射させるもので、電子銃、電子銃電源、電子銃パルス変調器、インフレクタ、プリバンチャ、バンチャ等から構成されている。この入射系の特徴はインフレクタを使用していることである。以下、入射系各部の概要を述べるが特にバンチャについて詳細に報告する。入射系の構成を第1図に、またバンチャの性能を第1表に示す。

2. 各部の概要

(1) 電子銃 ピアスタイプの三極管で含浸形のカソードを使用しており、カソード電圧は-100 kV、グリッド電圧は2 kV、カソード電流は最大3 Aである。

(2) 電子銃電源 電子銃を駆動するための電源で、グリッドパルサ、グリッドバイアス電源、ヒータ電源、パルストランス、などから構成されている。グリッドパルサはライン形パルサであり、500~1200 Vまで連続可変できる。パルス幅4, 3, 2, 1, 0.5, 0.2 μsについてはPFNのセクション数と自動切換(ているが)100 ms, 50 ms, 10 msについてはPFNケーブルを自動切換(ている)。

(3) 電子銃パルス変調器 パルス出力12 kV, 200 Aのライン形パルス変調器で、電子銃電源と組み合わせて電子銃のカソードに-100 kVのパルス電圧を供給している。PFNは20セクションでインピーダンスは60 Ωである。出力パルス幅は半値幅で8 μs、平坦部で5 μsである。IVRとディキレーイング回路を使用しており、パルス波高安定度は0.5%以下である。

(4) インフレクタ 暗ビーム電流を除去するための偏向電極とスリットから構成されている。スリットは入口と出口に7 mmφのものを取り付けており、偏向電圧は直流7 kVとパルス-7 kVである。

(5) プリバンチャ リエントラント形の空洞で運転RF周波数は2856 MHzで尖頭電力は10 kWである。±120°のビームを60°幅に集群する。

(6) バンチャ プリバンチャで集群されたビームを10°幅に集群し加速する進行波形バンチャ

である。詳細は第3項で述べる。

(7)集束コイル ドリフトチューブを密度変調を受けて集群されたビームの径方向の発散を防止するための集束コイルFC1とバンチャで集群されたビームの発散を防止するための集束コイルFC2とがあり、FC1の中心磁束密度は610ガウス、FC2は820ガウスである。

(8)ビームモニタ 電子銃出口および入射系出口のビームをモニタするために取り付けている。

(9)電磁レンズ 100 keVの電子ビームをビームラインに沿って集束する鉄心ギャップ方式の磁界レンズで3ヶ所に配置し、中心磁束密度は1700ガウスである。

(10)ゲートバルブ 電子銃交換の時にそれ以後のビームラインと真室的に遮断するバルブである。

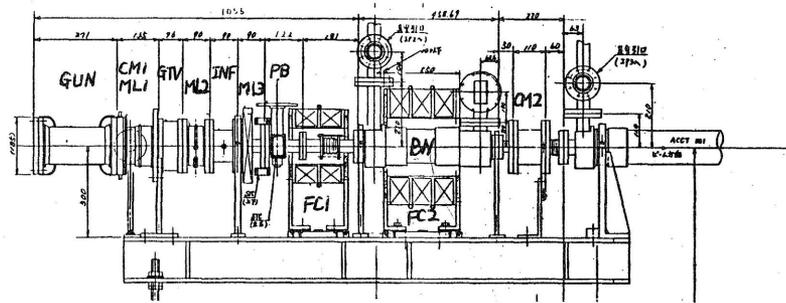
3. バンチャ

バンチャ入射空洞は $v_p/c = 0.757$ を選び、出力空洞は $v_p/c = 1$ にする。これらの空洞に対して、バンチャ特性を運動方程式により解く場合、減衰定数、シャントインピーダンス等の定数を求めておかなければならない。ここでは、ディスク厚 $t = 5.84 \text{ mm}$ 、周波数 2856 MHz に対して、 $2a$ と $2b$ の関係は原研バンチャ、東北大ML-300L およびスタンフォードのデータを参考にし、 $2a$ と減衰定数およびシャントインピーダンスの関係は東北大のデータを参考にした。また、入力電力 2 MW で、約 400 mm 前後の間に 500 mA を 1 MeV に加速するためのバンチャは高電界形となる。正規化電界 α に対するバンチャの入射におけるビームトラップを計算すると、 $\alpha = 1.4$ が最適となり、透過率が 70% 以上にすることが可能である。(しかしながら、バンチャにおいても加速とビームローテイングを考慮すれば、 α は更に高めに選んでおく方がよいので $\alpha = 1.5 \sim 1.55$ を目標とする。以上の検討より、バンチャ入射部におけるパラメータは $P_0 = 2 \text{ MW}$ 、 $\beta_w = 0.75$ 、 $I = 0.312 \text{ A/m}$ 、 $\gamma = 45.2 \text{ M}\Omega/\text{m}$ 、 $E_0 = 75.1 \text{ kV/cm}$ 、 $\alpha = 1.543$ と決定される。そこで、加速管の中におけるビームの運動方程式を計算機で解けば最適バンチャの空洞組合せがわかる。バンチャ特性に影響する第4~6空洞の電界強度を高くするのが良いが、このためには $2a$ を小さくしていかねばならない。RFの伝送路として加速管を考えた場合、 $2a$ の変化はインピーダンスの不連続点を形成し、反射を生じるため隣接する空洞の $2a$ の変化は $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ 程度が限度である。ステップワイズのこの程度の $2a$ の変化はバンチャ特性を大幅に改良することにはならない。コンスタントグラディエント的な $2a$ の変化も同様に大幅な改良とはならずバンチャ部では D と $2a$ が共に変化するのでいたずらに加速管の製作を困難にし、高価にするばかりである。従って、コンスタントインピーダンスにおいて、仕様を十分満足するものであれば、その空洞構成に

おいて、ほぼ最適バンキングの解が得られる。以上の検討結果より最適の空洞構成が得られた。この空洞構成でビーム電流500mAに対する位相バンキングの様子を計算機プロッターに出力させた結果が第2図である。第3図は入射位相に対するビームエネルギーの分布である。第4図はバンキヤの入口出口における位相の関係を示している。出力位相幅の10°に相当する入射位相は80°である。従って、仕様を十分満足している。この時のビームエネルギー幅は約0.58 MeVである。更に、仕様値に対応する60°の入射位相幅(-10°~50°)に対する出力位相幅は4°にバンキングされていることがわかる。

4. まとめ

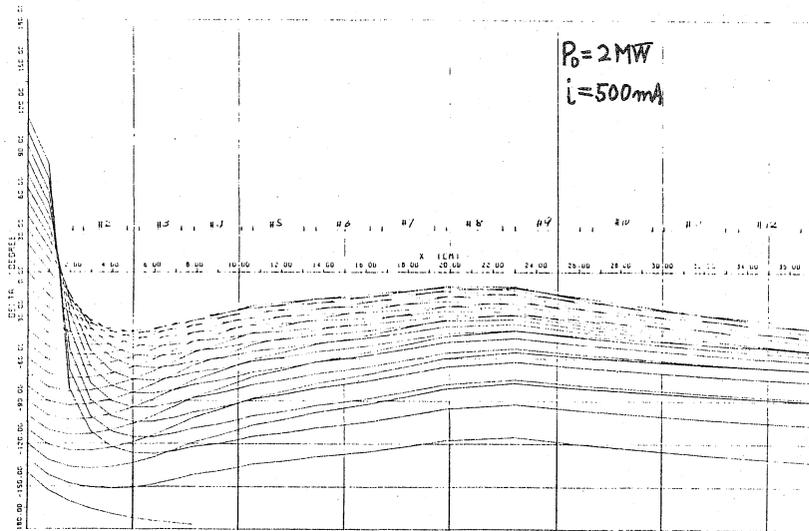
以上のようにして、バンキヤおよびその他の入射系が製作された。なお、アリバンキヤは電総研殿の製作によるものである。



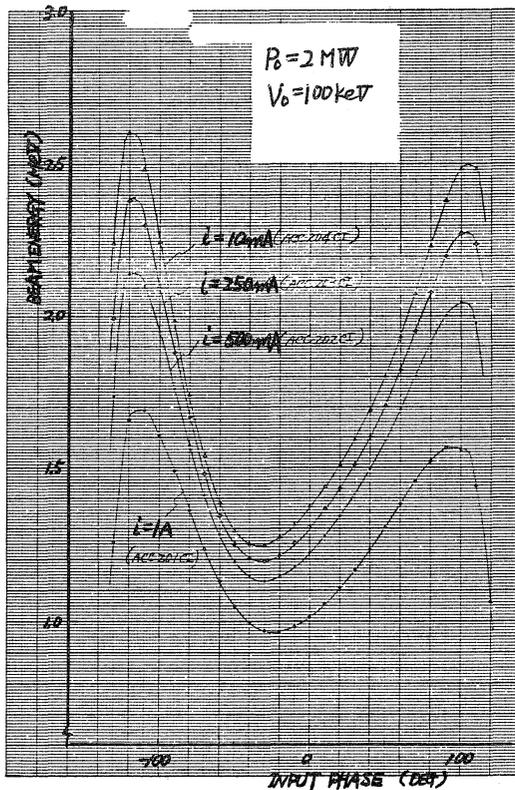
第1図 入射系構成図

(1) バンキヤ入力RF尖頭電力	2 MW
(2) RF運転周波数	2856 MHz
(3) 入射電子ビームエネルギー	100 keV
(4) 加速管形式	進行波形, 2π/3 モド, コンスタントインピーダンス
(5) 加速空洞数	12 空洞 (結合空洞も含む)
(6) 導波管との結合	結合空洞方式
(7) 全長 (フランジ間)	458.69 mm
(8) 出力ビームエネルギー	1.17~1.58 MeV (500 mA, 60° 入射幅)
(9) 60° 入射位相幅に対する集群	4° (500 mA, 入射位相 -10°~50°)
(10) 10° 集群に対する入射位相幅	80° (500 mA, 入射位相 -20°~60°)
(11) 入口における電界強度	75 kV/cm, $\alpha = 1.543$
(12) タミ-ロード先端電力	0.63 MW (500 mA 加速時)
(13) 伝送損失	-0.91 dB 3 dB は IL = 0.105 N
(14) 群速度	0.0083 ~ 0.0087
(15) フライニングタイム	0.15 μs

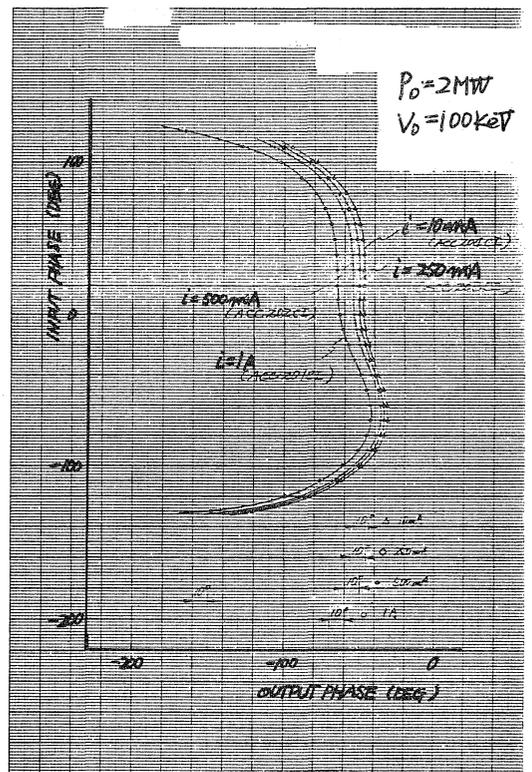
第1表 バンキヤの性能



第2図 ビームバンチング



第3図 入射位相とビームエネルギーの関係



第4図 入出力位相の関係