

Performance of the permanent focussing magnets for the high power klystron in the PF Linac

K. Nakao, S. Fukuda, S. Anami, T. Shidara, Y. Saito,
H. Honma, H. Hanaki, N. Matuda and J. Tanaka.

National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

Abstract

The characteristics of the permanent magnet focusing pulse klystron are described. It is shown that the axial symmetry of the magnetic field takes an important role to the klystron performance. Generally $B_r/B_z = 0.6 \sim 0.7 \%$ leads to the output power of 27 \sim 28 MW but more improvements of symmetry might be required to obtain higher efficiency. Examples of the magnetic field dependence to the klystron performance are also shown.

1 序

放射光実験施設入射器用電子線形加速器では、大電力クライストロンのビームを集束する磁石として永久磁石を使用している。それはメンテナンスが楽であり、集束磁界が変化しないので安定な高周波出力が得られる等の利点の為である。しかし永久磁石を使いこなすのは簡単ではなく、如何にして使用するクライストロンの最適磁場を得るかという点で努力が続けられてきた[1], [2]。永久磁石は一度磁場を決めると容易には変えることが出来ない。従ってクライストロン自身の性能のばらつきがあると、永久磁石を用いたクライストロンの特性にも大きな影響を受ける。最近一連のクライストロンの性能改善（真空処理、排気炉や電子銃の改善等）が行われた結果、著しくクライストロンの出力のばらつきが少なくなった。特に個々のクライストロンのメーカーでの最適磁場のばらつきが少なくなった為、KEKに於ける永久磁石を用いたクライストロンの特性も向上した。以上の観点から永久磁石集束の問題点、特に磁場の軸対称性の効果について報告する。

2 最適軸上磁場分布

永久磁石本体の構造及び磁場の調整方法についてはすでに報告されている[1]が、ここでは最適軸上磁場分布について簡単に述べる。

納入されるクライストロン (MELCO-PV3030A) はすべて工場で性能テストが行われ、その電磁石による磁場分布データが添付される。KEKではこのテストデータをクライストロンに対する最適磁場分布と考え、軸上での磁場をそれに合わせることから出発する。図1に、今迄納入された80本余のクライストロンの平均軸上磁場分布、及びこの分布から上下に1標準偏差だけずれた分布を幅として示した。ここ1年間に納入されたクライストロンでは、このばらつきが非常に少なくなっている。図2にはKEKで着磁器により完全着磁した後、局所的な減磁調整による補正を行って得られる磁場の一例が示されている。この調整によりメーカー側の示めす最適磁場分布にかなり類似した軸上の磁場分布が得られる。その他永久磁石では両端ポールピースの外部で逆磁場が発生するのでそれに対する適当な調整を行うが、これについては他の報告にゆずる[3]。

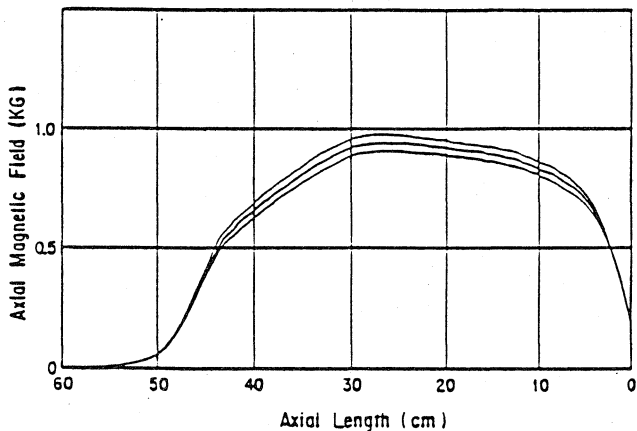


図1 電磁石による最適軸上磁場分布

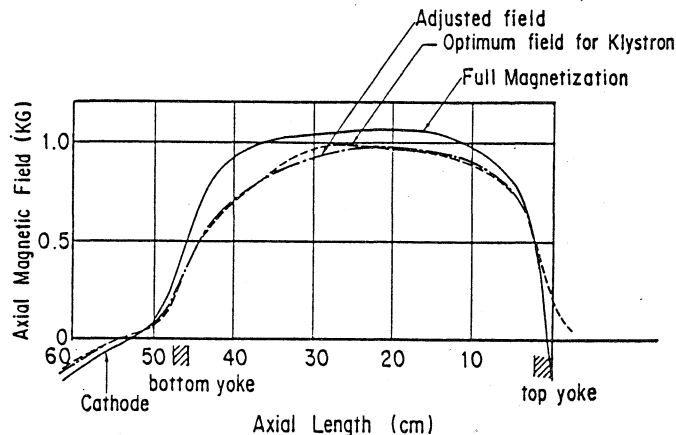


図2 調整軸上磁場分布

3 集束磁場の軸対称性について

永久磁石を使用する場合、集束磁場分布の軸対称性は大変重要である[2],[3]。電磁石ではコイルや外部鉄磁気回路は、回転対称的に製造するのは容易である。一方永久磁石は大型の場合、ブロックや棒磁石をスタックして作るのが普通である。又磁石本体の材料となるアルニコ9は特性をそろえることがむずかしく、精密機械加工も容易ではない。KEKでは集束磁場の横方向磁場を測定した後、マイクロ波出力テスト中に鉄片等を磁石側面に貼りつけてこの集束磁場の軸対称性を改善している。図3に軸対称性の向上が出力特性の改善に大きく結びついている一例を示す。

図3 鉄片調整前後の横方向磁場分布及び出力特性

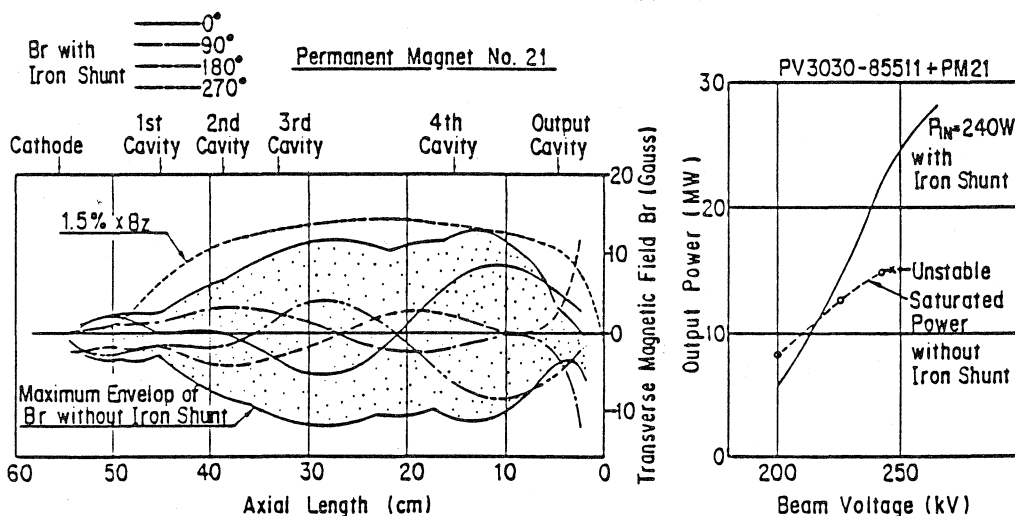


図3の左図で点で示す領域は、鉄片調整を行う前の横方向磁場 B_r の最大値の分布を示している。点線は軸方向磁場 B_z の1.5%を示している。この値は一方向に B_z が傾いていると仮定した時に、クライストロンドリフトチューブの長さ、径及びビームの径から算出したビームが管壁に衝突せずに通過出来る目安を与えるものである。鉄片調整を行う前では B_r/B_z が1%以上あり、その時には図3の右図の破線で示すように、ビーム電圧が増加しても出力が増加しない現象が起っている。更に、ビーム電圧240KV以上では不安定な動作となり、クライストロン内部の真空も悪化し、電子ビームが管壁に衝突しているものと思われる。この様な時に、出力電力をモニターしながら鉄片調整を行なうと、これが改善され260KVで28MWの出力が得られる。鉄片調整後の B_r は図3の左図の4本の曲線群で示されている。このデータを見ると、 $B_r/B_z \sim 0.5\%$ ぐらいに改善されているのがわかる。他のクライストロンにおいて同様の測定を繰返した結果、一般的な傾向として、 B_z の軸上磁場分布が適切であれば、特に第1～第3空洞付近の B_r/B_z が0.5～0.7%ぐらいに改善されると、27～28MW程度の出力が得られることがわかった。一方出力空洞付近の横方向磁場については、必ずしも上記の様な事は言えず、中には出力が増加する様に調整されたも

のが、鉄片調整前よりも横方向磁場が大きい場合もある。このことはクライストロン個々の性能のばらつきや、出力空洞部での高周波の非対称の問題もあり、現象は複雑である。KEKでは陽電子リニアック用として電磁石も使用しているが、それらについての同様の測定では、両端ポールピース部を除くと、 $B_r / B_z = 0.3\%$ 以下である。図4に永久磁石と電磁石（MELCOテスト結果）の場合の代表的な出力特性を比較したものを示す。永久磁石の場合260kV前後で効率が低下しているのは、永久磁石による磁場が完全にクライストロンに整合しないために生じたものと思われる。図5はここ一年半の間に使用したクライストロンの出力特性をまとめたものである。●が永久磁石、○が電磁石のものである。永久磁石の場合に、効率にばらつきがめだつのは、やはり磁場に起因するものであると思われる。

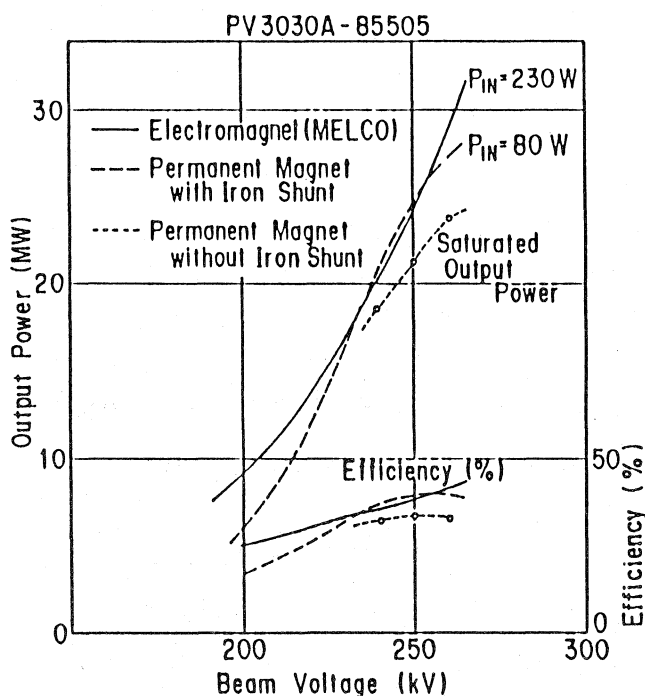


図4 電磁石及び永久磁石の出力特性

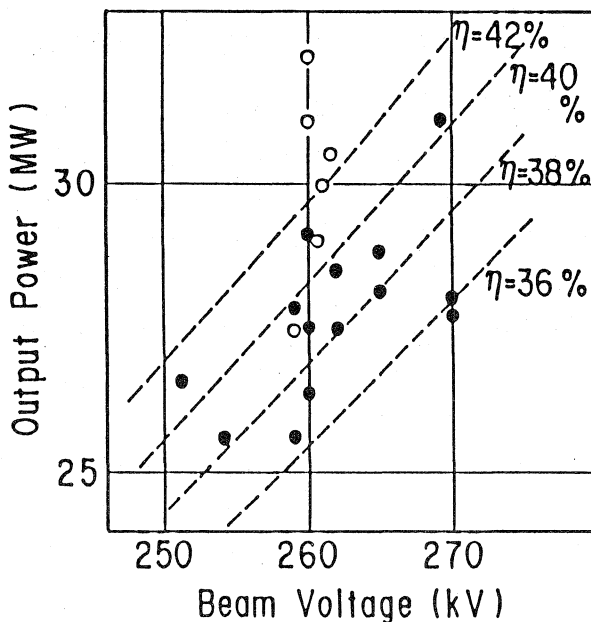


図5 電磁石及び永久磁石の出力と効率のまとめ

4 今後の課題

今迄述べた事から、集束磁場の軸対称性の改善はクライストロンの出力特性に大きな影響を与える事が明らかになった。一方磁場測定を詳しく行うには、あまりにも測定に時間がかかり過ぎ、又データを整理するのにも多大な労力を要する。このため全てのものについて磁石単体での横方向磁場の調整を行わず、クライストロンの出力テスト中に出力電力をモニターしながら鉄片調整を行う方法をとっているわけであるが、今後の課題として磁場測定の効率化が重要と思われる。このためにマルチ・ホール素子で各方向の磁場を同時に測定する事や、パソコン制御で、測定したい偏磁分布を直視する事などを検討中である。将来クライストロンの出力増強の要求も予想されるので、図4の効率低下の解決は重要な問題であり、更に磁石を改造する必要がある。

参考文献

- [1] 福田他, 第5回リニアック研究会報文集, P54 (1980)
- [2] 福田他, 第6回リニアック研究会報文集, P63 (1981)
- [3] S.Fukuda et al, to be published in KEK - Report.