

# SIMULATION AND TEST OF THE KEK PV3030A2 S BAND HIGH POWER KLYSTRON

S.FUKUDA, K.NAKAO, Y.SAITOH, S.MICHIZONO AND S.ANAMI

NATIONAL LABORATORY FOR HIGH ENERGY PHYSICS  
OHO 1, TSUKUBA, IBARAKI, JAPAN

## ABSTRACT

Performance of the 30 MW S-band klystron (PV3030-A2) used in PF linac was simulated using FCI code, which showed the possibility of producing more than 60 MW at 350kV beam voltage. A 300kV test was conducted in KEK and an output power of 47.3 MW with reasonable efficiency of 44 % was obtained by varying the focusing magnetic field. An improving plan of this tube for higher voltage application was also described.

## KEK PV3030A2 Sバンド大電力クライストロンの シミュレーションとテスト

### (1) 始めに

放射光実験施設2. 5 GeV電子線形加速器では、30 MW出力のSバンド大電力クライストロン (MELCO-PV3030) を48本使用している。より信頼性を増すために長年種々の改造を行ってきたが、その試みの一つとして、電子銃の電極の曲率を大きく取った低電界型クライストロン (PV3030A2) もまた、平行して実用に供されている [1]。KEKでは将来計画が色々話題になっているので、これとの関係でこのPV3030A2の効率の向上、高電圧化を目標として、計算機によるクライストロンの動作シミュレーションを行い、同時にこの結果を踏まえてテストを行った。この結果、PV3030A2に定格を越えた高電圧を印加し、集束磁界を調整することにより更に大きなマイクロ波出力が効率を落とさずに得られることがわかった。

### (2) PV3030A2クライストロンの計算機シミュレーション

最近クライストロンの動作をシミュレートするコードが多く開発され、その動作特性がかなり理解されるようになった。特にFCIコード [2] は集束磁場を含めた解析が可能であり、より現実的な動作特性がシミュレート出来るようになった。PV3030A2に関して通常の運転モード (265 kV,  $P_0 = 33$  MW) をFCIを用いて計算したところ、利得を除いて動作値をよく再現することが解った。利得が合わないのはこの管のドリフト管径が途中から広がっており、入力空洞でのビームとの結合が他と異なるのを完全にはFCIに取り込めないためと思われる。

る。FCIを用いて更に電圧を変化させて数点のシミュレーションを行った所、集束磁界特に出力空洞付近の磁界を強くすることで、より高い電圧でも効率が上昇することが解った。この結果について部分的には以下のような解釈が出来る。従来用いてきた265kV程度で最適な集束磁界のまま印加電圧を上げると、パンチ内の電流密度の上昇による空間電荷の反発と大信号動作による動径方向への軌道の振動のため出力空洞付近でドリフト管壁にビームが衝突し始める。同時に効率が低下し始め、電圧をかけた割には大きな出力電力が得られない。このような条件が成立しているときには、出力空洞付近の磁場を強くするとパンチビームの透過性がよくなり出力が増加する。図1に示すようにPV3030A2の集束磁界を変えたときの350kV印加時のシミュレーション結果を示す。驚くべきことに350kV印加時には出力70MWがこの管で可能とFCIは示している。FCIの精度については現在の所、一部信頼性に欠けるところがあり、シミュレーションによっては効率60%近い結果も与えている。一次元模型JPNDISKコード[3]で同時に同じ様な条件の計算をすると、40%以上の効率が可能であり、これらの結果を総合的に判断するとPV3030A2により高い電圧を印加した際、効率を犠牲にせずより高い出力電力が期待できそうであると判断された。

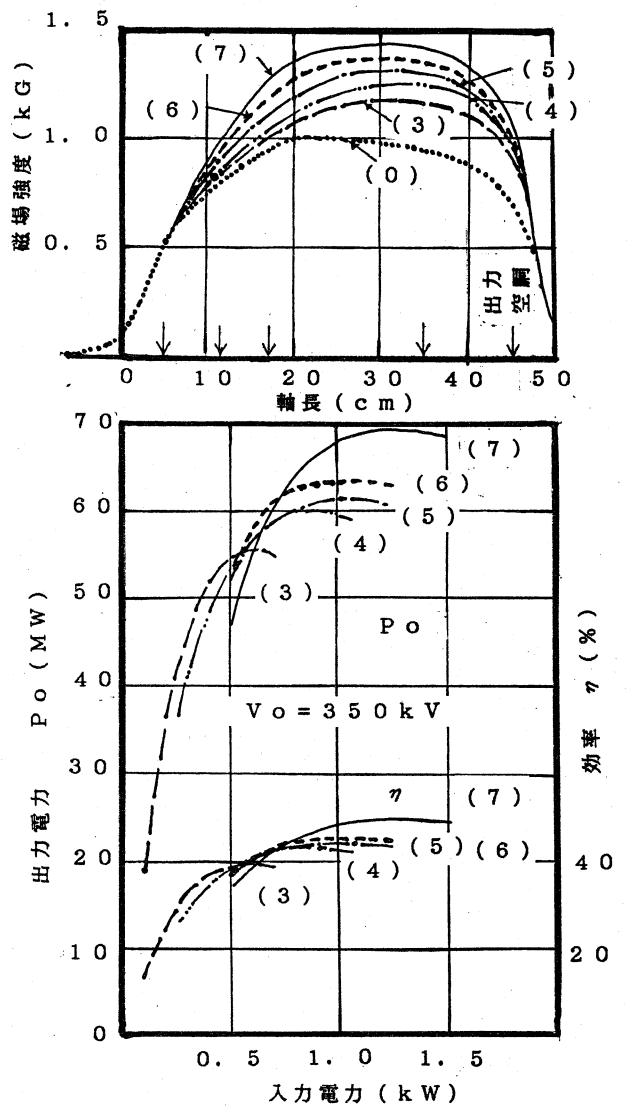


図1. FCIシミュレーションの結果

### (3) PV3030A2の300kV高電圧試験

PV3030A2は270kVが最大定格であり、高電圧をそのままかけることは出来ない。しかし(2)節のシミュレーションの結果を確かめるために、多少の危険性を覚悟して高圧テストを試みた。この試験に対して先ず準備したことはシミュレーションで必要とした集束磁界が最大1400ガウスと強いため、現在使用中の電源では無理があるので、簡単なインターロックシーケンスを持った集束磁石電源を作ったことである。また集束磁界を大幅に変えて試験をするために、ビームがドリフト管壁に当たって管を破損する恐れがあるので、管の冷却水路の一部(出力空洞付近)に直接水晶温度計を入れてビームロスによる温度上昇をモニター出来るようにした。350kV印加するためにパルストランスは従来のものを巻き変えて昇圧比を1対15にしたものを用いた。管を破損する危険性が高いのでテストの際には次のことに留意した。(イ) 定格以上の電圧をかけるので、絶縁セラミックが破損する恐れがあるため、繰り返しは10ppsに抑える。(ロ) 窓の破損を防ぐためにマイクロ波のパルス幅を1 $\mu$ secに抑える。(ハ) 電圧は低い電圧から細かいステップで上げ、異常が無いか注意をする。このようにして260kVか

ら300kV迄の試験を行った。ここで止めたのは他の例で280kV印加時に絶縁セラミックが破損した例があるためである。

シミュレーションで予測された集束磁界では出力空洞付近の磁場は強すぎ(ビームが絞られ過ぎ) 出力電力は小さかった。しかしながら260kVで最適な磁場で電圧を上げると、ビームロスが急激に増加し 出力電力の増加率が減ることが観測された。ビームロスを小さくするように出力空洞付近の磁界を強くし、更に全体を調整すると出力電力が増加し、シミュレーションの定性的な結果は再現することがわかった。試行錯誤的に以上で述べたことを繰り返すことにより、300kV印加時、出力47.3MW、効率44%を得た。この時の集束磁場は最大で1100ガウスと比較的低かった。また電圧印加と共にPV3030A2の場合効率は上昇する傾向にあるので

310kV前後で50MWは容易に可能であると思われる。図2にテストのまとめたものを示す。なお図2中にあるSLACとあるのは、PV3030AのモデルとなったXK-5管の前身に当たるXM-16cについて1例だけテストされたものである[4]。

#### (4) まとめと今後の予定

PV3030A2は270kVぐらいで最適化されたクライストロンであり、ドリフト管長(相互作用領域長)は比較的短い。しかし集束磁界を調整することで電圧を上げると設計値の2倍もの電力が得られる見込みがあることが解った。普通の設計では電圧を上げると電子の速さも増すのでドリフト長を長くするが(低減プラズマ波長で規格化して $L/\lambda_q \sim 0.5$ 程度)、今回の試験はこれと磁場が相補的な関係にありそうであることを示して 興味深い。

より大電力の出力を実用化するために、この管の改造-特に絶縁セラミックの大型化-に着手しており、それが完成後更に高い電圧での試験を行う予定である。クライストロンの相互作用領域が同じであると 比較的小型の集束磁石(従来型)でライナックのエネルギーアップが可能で有り コストパフォーマンス上期待が持てると思われる。

#### 参考文献

- [1] K.Nakao et al., Proc. of the 15th Linear Acc. Meeting in Japan,239(1990)
- [2] T.Shintake, KEK Report 90-3, May 1990 A/D
- [3] H.Yonezawa et al., SLAC-TN-84-5, May(1984)
- [4] R.L.Stringall et al., Proc. of 8th MOGA,14(1970)

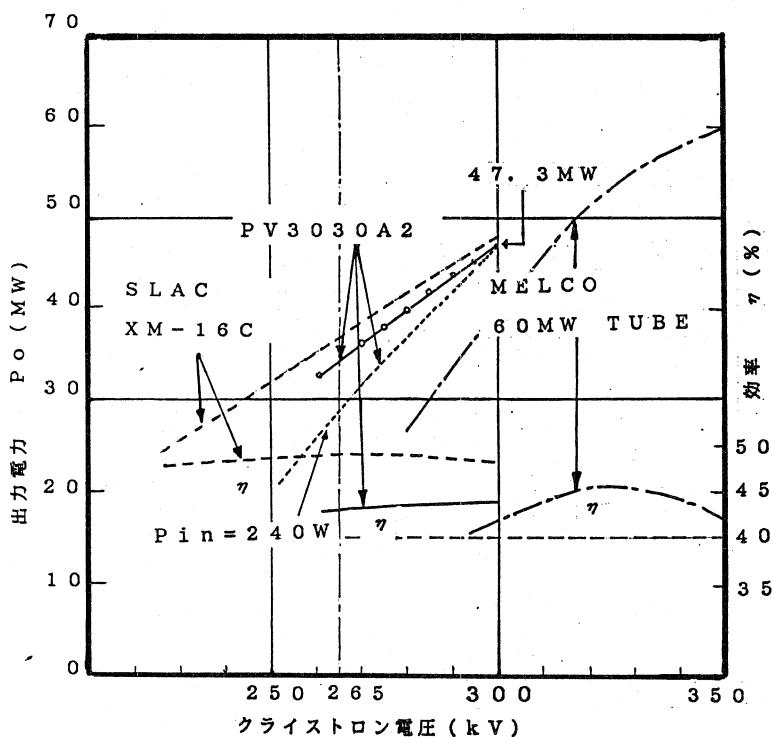


図2. PV3030A2のテスト結果