

## DEVELOPMENT OF A HIGH-POWER, HIGH-EFFICIENCY KLYSTRON USING DEPRESSED COLLECTOR TECHNOLOGY

K. Masuda, Y. Yamamoto, K. Yoshikawa, M. Ohnishi

Institute of Atomic Energy, Kyoto University, Uji, Kyoto 611, Japan

### ABSTRACT

A program for incorporating depressed collector technology into high-power (1.2MW) CW klystron was initiated. The objective of this program is to develop a klystron with over 80% power recovery efficiency and the overall efficiency exceeding 90%.

The first step in the design process is to get the detail information on the spent electron beam. For this purpose, a self-consistent klystron numerical simulation code was developed, which uses particle-in-cell method (2-D in space and 3-D in velocity coordinates). The output data on particle velocities and radial positions at the exiting boundary are to be used as the input conditions for the collector design.

A depressed collector analysis was done by using a recently developed simulation code which traces particles through electrostatic and magnetostatic fields. The result indicates 47% power recovery, which is very encouraging as the first collector design.

### 使用済み電子ビームエネルギー回収による 大出力クライストロンの高効率化

#### 1. はじめに

近年、核融合プラズマ加熱や放射性廃棄物消滅処理に代表される大出力 CW クライストロンの工業利用化に伴い、その高効率化が重要な課題となっている。

クライストロンの効率を高める最も有効な手段は使用済み電子ビームエネルギーの回収であり、従来のクライストロンの効率を 65% とした場合、80% の回収効率を達成すれば総合効率は 90% 近くまで飛躍的に改善される。直接エネルギー変換によるビームエネルギーの回収については、以前我々が行った単色イオンビーム直接発電解析および実験で 90% 以上の回収効率を実現しており<sup>1)</sup>、エネルギー分布のある電子ビームの場合についても高効率エネルギー回収は原理

的に可能である。

そこで、使用済み電子ビームエネルギーを回収して大出力クライストロンを高効率化する目的で、クライストロン内およびエネルギー回収電極部での粒子シミュレーションを行った。対象としたクライストロンは、動作周波数 1.2GHz、飽和出力 1.2MW の CW クライストロンで、電子銃の加速電圧は 90kV、入射ビーム電流は 22A である。

#### 2. 電子・高周波相互作用解析

エネルギー回収効率は回収電極部へのビーム入射条件に強く依存するため、高効率エネルギー回収電極を設計するためには入射ビームの位置および速度分布を精度良く求める必要がある。

そこで、クライストロン内における電子・高周波相互作用シミュレーションを行い、回収電極部への入射ビーム条件を同定した。

シミュレーションは、既存のクライストロン設計用コード (FCI コード<sup>2)</sup>) を参考にして、新たに複雑な形状の境界により精度良く対応できる有限要素法を用い、時間発展を追う軸対称二次元・速度三次元の粒子コードを作成して行っ

た。

図1および図2にシミュレーション結果を示す。図1はある時刻におけるクライストロン内粒子の空間分布、図2はクライストロン出口、すなわち回収電極部入射口における使用済みビームのエネルギー分布である。

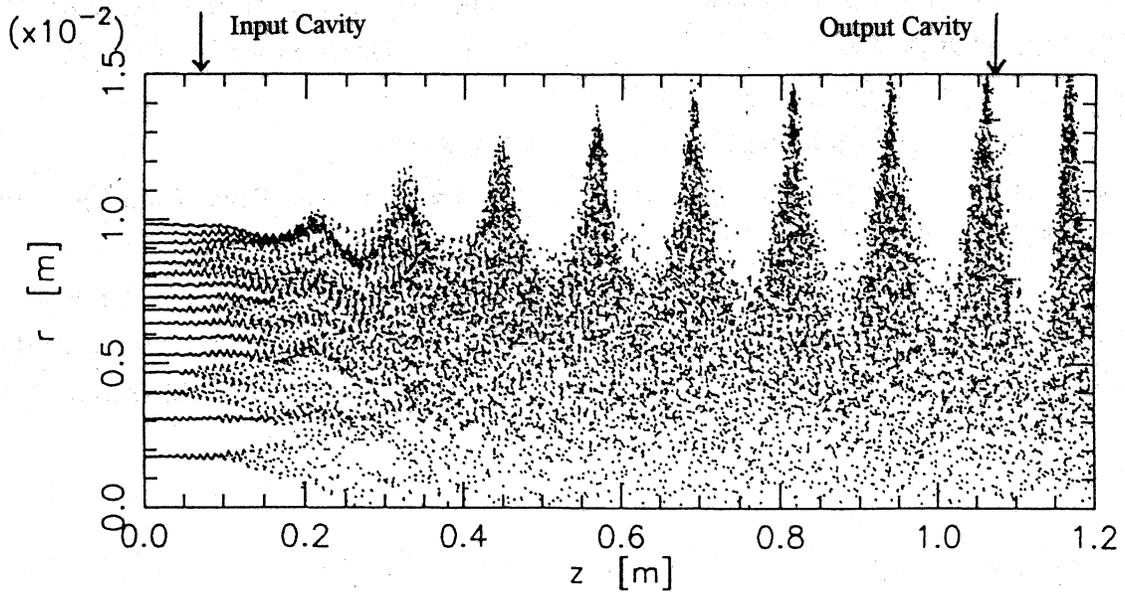


図1 クライストロン内粒子分布 (r-z 面)

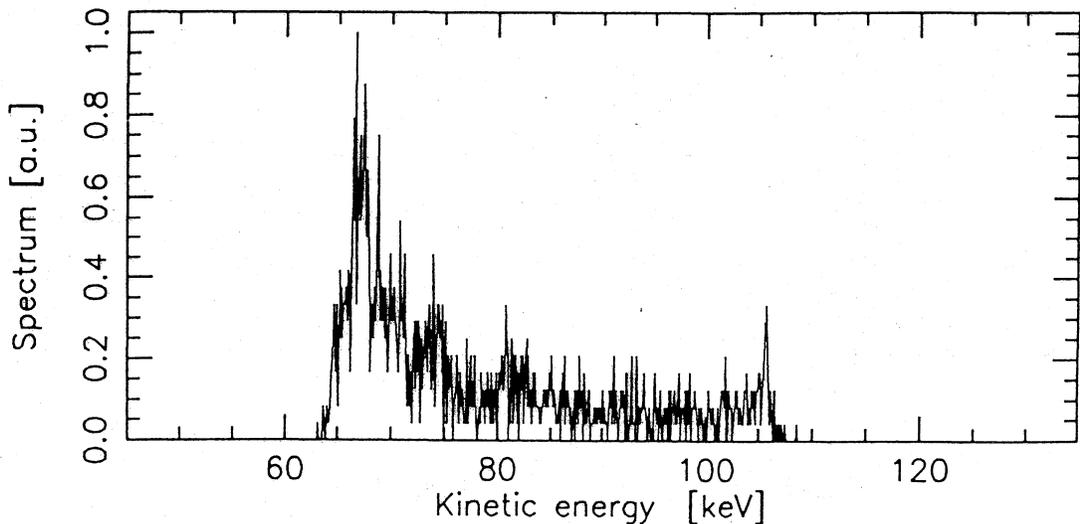


図2 使用済み電子ビームのエネルギー分布

### 3. エネルギー回収解析

クライストロンは他のマイクロ波電子管に比べて効率高く電子と高周波電磁界との相互作用が強いため、使用済み電子ビームのエネルギー広がりが大きく、高効率エネルギー回収のためには詳細な回収電極設計を要する。今回は予備的検討として、 $60 \pm 35 \text{keV}$  のトップハット型エネルギー広がりのある電子ビームを入射した場合のエネルギー回収解析を行った。回収電極は5段、各電極の電圧は20kV刻みとした。

シミュレーションは、軸対称二次元・速度三次元で行った。また、回収電極部ではビームおよび電磁界は定常もしくは周期定常と考えられるので、定常問題として扱った。

図3にビーム軌道解析結果を示す。回収効率は47%と計算され、初期的な設計段階としては十分な結果が得られた。

### 4. まとめ

使用済み電子ビームエネルギーを回収してクライストロンを高効率化する目的で、クライストロン内および回収電極部での粒子シミュレーションを行った。その結果、簡単な回収電極の場合で回収効率47%が得られ、エネルギー回収によってクライストロンの効率を飛躍的に改善できる可能性を示した。

今後、回収電極の形状や電圧を最適化することにより、回収効率の向上が期待される。

### REFERENCE

- 1) K. Yoshikawa et al., *Fusion Technology*, vol.15, pp.1541-1559(1989)
- 2) T. Shintake, 'HIGH-POWER KLYSTRON SIMULATIONS USING FCI-FIELD CHARGE INTERACTION CODE', KEK-Report(1990)

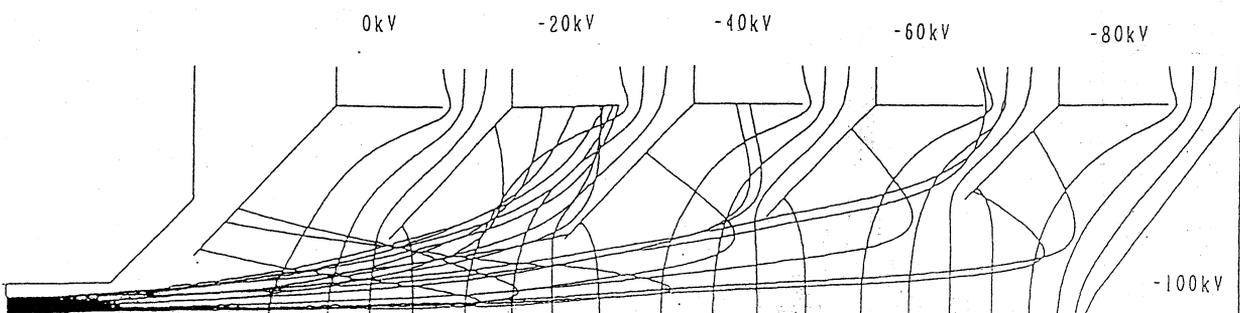


図3 エネルギー回収電極内の電子軌道