

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE TIT RFQ

Osamu TAKEDA, Yoshio TANABE, Kiyokazu SATOH, Shoshi KAWATSU,
*Masahiro OKAMURA, *Yoshiyuki OGURI AND *Toshiyuki HATTORI

Toshiba Corporation
2-4, Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama 230
*TIT, Tokyo Institute of Technology
12-1, Ohokayama, Meguro-ku, Tokyo 152

ABSTRACT

At Tokyo Institute of Technology(TIT) a four-vane RFQ is to be applied for inertial confinement fusion research. The RFQ(TIT RFQ) is designed for acceleration of particles with charge to mass ratio(q/A) of 1/16 from 5keV/amu to 213keV/amu. The planned maximum injection current is 10mA for $^{16}\text{O}^+$ and beam transmission is expected to be 60% as a result of a PIC code simulation. Structural and thermal analyses were carried out.

東工大向RFQの設計と製作

1. はじめに

昨年の本研究会では、空洞形状の決定とコールドモデルによる高周波特性試験の結果について報告した^[1]。最初の設計では、電力損失を抑制するためベインチップの曲率半径を $0.75r_0$ とし、ベインパラメータの最適化を計算機コードGENRFQとPARMTEQとを使って行った。得られたビーム透過率は、0mAと10mAの入射電流に対してそれぞれ92%と72%であった。PARMTEQには電界の高次成分の影響を取り入れることができないので、報告者の一人が新しいシミュレーションコードQLASSI(Quadrupole Linear Acceleration Simulator with Space and Image charge effects)を開発し^[2]、高次成分の影響を含めたビームシミュレーションを行った。その結果、入射電流10mAの時のビーム透過率が34%となることが分かったので、空洞の再設計を行った。

本報告では空洞の再設計の結果と、コールドモデルによる高周波特性試験の結果について述べる。また、実機設計のための熱解析、構造解析についても触れる。

2. 新シミュレーションコード"QLASSI"

QLASSIでは粒子の運動方程式を

$$\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = q\mathbf{E}/m = - (q/m)\nabla(U_{rfq} + U_{sc} + U_{ic}) \dots(1)$$

と表現している。 U_{rfq} , U_{sc} , U_{ic} はそれぞれ、高次

成分を含んだRFQポテンシャル、空間電荷によるポテンシャル、鏡像電荷によるポテンシャルである。 U_{rfq} については12極成分まで考慮し、 U_{sc} は他のすべての粒子によるクーロンポテンシャルの総和をとった。また、 U_{ic} はバンチと空洞壁による三次元境界問題を解いて決定する。

図1に入射電流10mAの時の、ビーム透過率の空洞の長さに沿ったプロファイルを示す。PARMTEQを使った計算では72%あった透過率が、高次成分の影響を含めた計算では34%になることが分かる。

3. 再設計の結果

TIT RFQの再設計では電界の高次項の成分を抑制するため、ベインチップの曲率半径を r_0 としてパラメータの最適化を行った。決定したパラメータを表1に示す。rfフォーカス力を強くするために、 r_0 を0.495cmから0.466cmに変更した。この結果、ベイン長は約20cm長くなり422cmになった。セル数は273で、20セル分のラジアルマッチングセクションを含んでいる。図2に入射電流10mAの時の、ビーム透過率の空洞の長さに沿ったプロファイルを示す。ビーム透過率が、60%にまで回復していることが分かる。

計算機コードSUPERFISHを使って決定した、おもなrfパラメータを表2に示す。 r_0 の変更にともない、空洞径が76.6cmから72.5cmに、電力損失が81kWから89kWになった。断面形状の決

表1
TIT RFQのデザインパラメータ

Charge-to-mass ratio	≥16
Operating frequency (MHz)	80
Input energy (keV/amu)	5
Output energy (keV/amu)	213
Normalized acceptance (cm·mrad)	0.05π
Vane length (cm)	422
Total number of cells	273
Characteristic bore radius, r_0 (cm)	0.466
Minimum bore radius (cm)	0.294
Margin of bore radius, a_{\min}/a_{beam}	1.1
maximum modulation, m_{\max}	2.05
Focusing strength, b	3.4
Maximum defocusing strength, Δ_b	-0.051
Synchronous phase, ϕ_s (deg.)	-90→-20
Intervane voltage (kV)	79
Maximum field (Kilpat.)	2.2
Transmission (%) (0mA input)	87
(10mA input)	60

表2
TIT RFQのrfパラメータ

Resonant frequency (MHz)	80
Calculated Q value	20000
Wall loss (at nominal intervane voltage)	89
Shunt impedance (MΩ/m)	29.5
Calculated maximum field (Kilpat.)	2.2
Vane-tip radius (cm)	0.466
Cavity diameter (cm)	72.5
Cavity length (cm)	440

定に際しては構造解析を行い、自重によるキャビティの変形が原因のベイン先端の変位が20μm以下になるようにした。またSUPERFISHの計算結果を用いて熱解析を行い、熱変形による周波数変化をなるべく抑えるように冷却水路の配置を決定した。冷却水路の配置と、熱解析の結果得られた温度分布を図3に示す。

TIT RFQの外観図を、図4に示す。TIT RFQ

は1.4mずつに3分割して製作する。分割した空洞外筒それぞれにベインを取り付けた後で、フランジ結合する。空洞外筒は電氣的にコンタクトをとるが、分割したベイン間はギャップを開けている。ベインで区切られた各クワドラントには、6本のプランジャ型サイドチューナが取り付けられている。6本の内5本は調整後固定とし、1本のみを運転中可動とした。エンドチューナにはモデル試験の結果から、エンドキャップと呼ばれる鋼型の構造を採用した。

4. コールドモデル試験

当初、ベイン先端間隔のばらつきが大きくて四重極モードが観測できなかった。ピンゲージを使ってベイン先端間隔を直接測定しながら、全長にわたる平均値がそれぞれのギャップで等しくなるようにベイン取り付け位置の再調整を行った結果、四重極モードが観測されサイドチューナによる電界分布のバランス調整が可能になった。実験では、調整板によりエンドカットの大きさを変えて電界分布を測定し、最適なエンドカットの大きさを決定した。またエンドチューナについては、プランジャ型とエンドキャップ(鋼)型の両方についてチューニング特性試験を行い、結果を比較した。

電界分布の測定結果の例を、図5に示す。各クワドラント間での電界強度のばらつきは±3%以内に、空洞中心部の電界強度と端部の電界強度との比は0.97になっている。図5の例では、エンドキャップ型チューナを用いて電界の平坦度の調整を行ったが、チューナ先端とベイン端面の距離は5.4mmであった。同じ効果をプランジャ型エンドチューナを使って得ようとする、チューナ先端とベイン端面の距離は1.5mmになる。このことから、実機ではエンドキャップ型エンドチューナを採用した。

5. まとめ

TIT RFQの最初の設計は、新シミュレーションコードQLASSIで計算したビーム透過率が非常に悪かったので再設計を行った。再設計ではrfフォーカス力を強くするために、 r_0 を0.495cmから0.466cmに変更してパラメータの最適化を行った。この結果、ビーム透過率は60%に回復した。空洞の断面形状は構造解析の結果を考慮しながら決定し、自重による変形が原因のベイン先端の変

位が $20\mu\text{m}$ 以下になるようにした。

コールドモデル試験ではベインの再アライメントとチューナの調整で、各クワドラント間の電界強度のばらつきが3%以内、空洞中心部の電界強度と端部の電界強度との比が0.97の電界分布を得た。また、空洞の端部形状を実験により決定した。

6. 参考文献

- [1] O. Takeda et al., "RF Measurement of an RFQ Cold Model for an Intense Heavy-Ion Linac System", Proc. of the 17th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, September 1992, 85-87
- [2] Y. Oguri et al., "Beam Tracking in an RFQ Linac with Small Vane-Tip Curvature", J. Nucl. Sci. And Tech., 30[5],477-480,(1993)

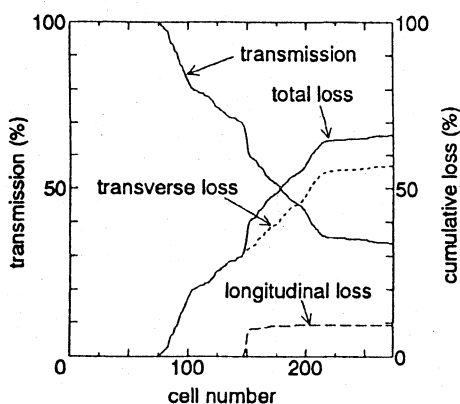


図1 ビーム透過率のプロファイル

当初の設計に対してQLASSIを用いて行った計算
(入射電流10mA)

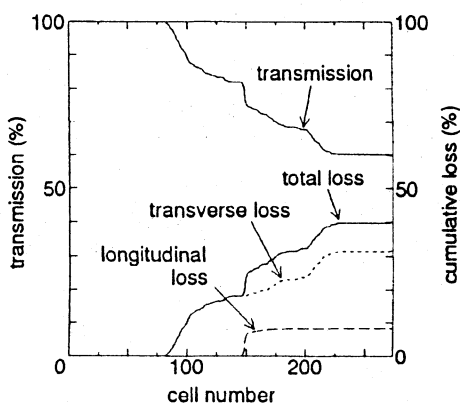


図2 ビーム透過率のプロファイル

再設計の結果に対してQLASSIを用いて行った計算
(入射電流10mA)

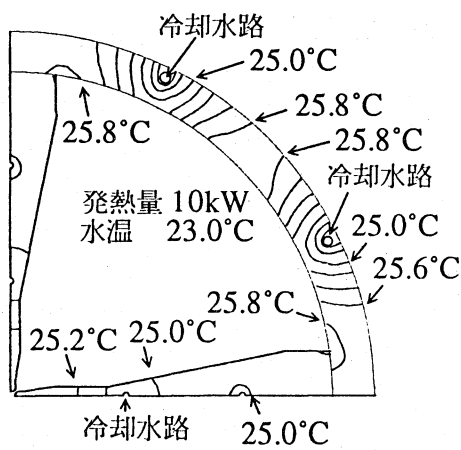


図3 冷却水路と温度分布

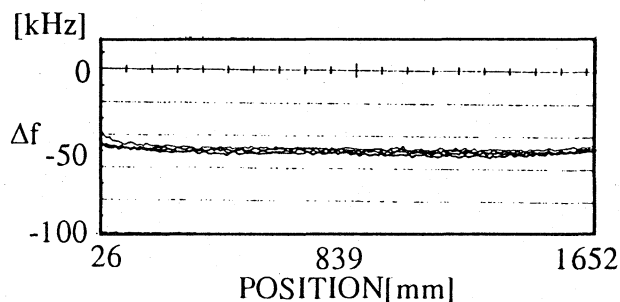


図5 振動法による電界分布測定例

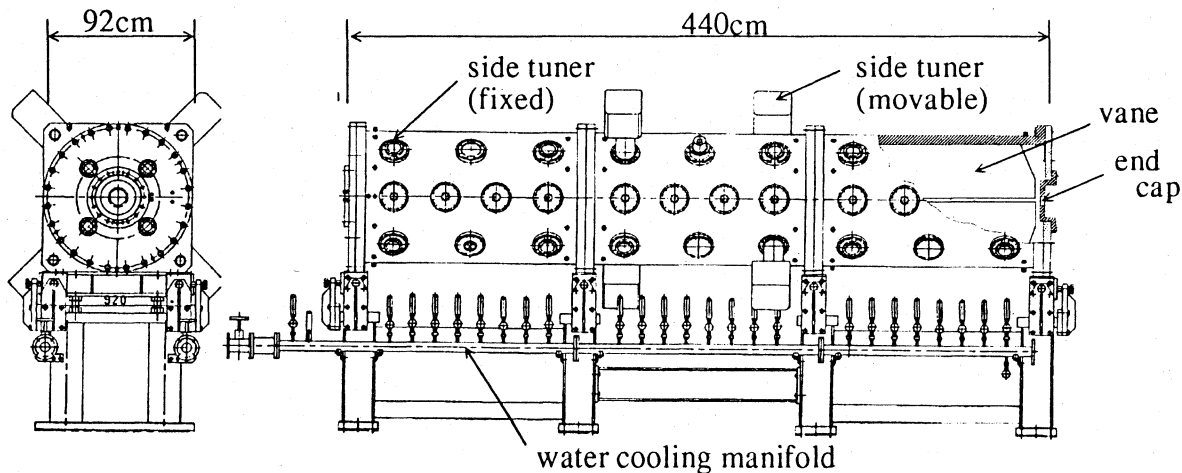


図4 TIT RFQの外観図