

# TRANSMISSION OF THE 50MHz SCRFBQ PROTON MODEL

Masashi Shirakata, Shigeaki Arai, Akira Imanishi, Kazuaki Niki  
Yasuhiro Takeda, Eiki Tojyo, Noboru Tokuda

Institute for Nuclear Study, University of Tokyo  
Tanashi, Tokyo 188, Japan

## ABSTRACT

The performance of the 50MHz split coaxial RFQ has been clarified through the acceleration tests. Acceleration tests have been conducted to study the injection energy dependance of the transmission performance. In radial matching section of the SCRFBQ, the potential on the beam axis increases from zero to  $V/2$  ( $V$ : intervane voltage) along the axial distance. This longitudinal component of the electric field brings about the modulation of the  $\Delta\phi$ - $\Delta W$  acceptance: the  $\Delta\phi$ -acceptance for the beam with the designed energy becomes narrower. Consequently, the transmission efficiency as a function of the beam injection energy should reflect the performance of this section. In the real RFQ, however, the dip of the transmission efficiency caused by the radial matching section has not seen. The results show that the field in the radial matching section may be different from the designed one.

## 50MHz SCRFBQ 陽子モデルの透過効率

### 1、はじめに

核研では、SCRFBQの開発を1984年から行なってきたり、既に50MHz陽子加速モデル（直径40cm、全長2m）、25.5MHz原型器（直径90cm、長さ2.1m）を製作し、加速試験を続けている。ここでは、50MHz陽子加速モデルを用いてSCRFBQの透過効率の特性を評価した。加速空洞内でのビームの振る舞いについては、PARMTEQによる計算機シミュレーションで知ることができる。それによると、SCRFBQでは、Radial matching sectionに於ける電場のビーム軸成分がゼロとはならないために、透過効率の入射エネルギー依存性にディップを生じる。25.5MHz原型器では、製作費を安く抑えるために、ヴェイン表面を2次元的に加工したため、現実の電場とシミュレーションで仮定している電場との差が大きく、そのためデータとシミュレーションの合致は悪く、有意な結果は得られていない。

### 2、RFQ

RFQとは、高周波四重極電場を用いて、ビームの収束、加速を行なう、線形加速器である。RFQにはいくつかの型があるが、加速するイオンの種類、運転周波数、共振空洞の製作の難易度等に応じて使い分けられている。最も代表的なものとして、四翼型RFQが挙げられる。この型のRFQは、構造が単純で、空洞製作が容易であること、組立精度が出しやすいこと、空洞の高周波の性質をSUPERFISHを使って、計算機により精度良く調べることができること等から、これまでも数多くのが製作されてきた。しかしながら、非常に重いイオン、荷電数が質量数に対して小さい不安定核イオン等、運転周波数を低くする必要のあるイオンを加速する場合、四翼型RFQでは、空洞の径が大きくなり過ぎて、製作が困難になる。

Mueller（重イオン研究所GSI、ドイツ）は低い運転周波数に対しても、共振空洞を小さく抑えることの出来るRFQとして、分割同軸型のRFQ（SCRFBQ）を提案した。彼の提案した初期のSCRFBQは、ヴェインを持たず、角のついた棒を用いているが、核研ではいずれもヴェインを採用した。これは、今まで数多く作られた四翼型RFQによって、ヴェインの作る電場が理想的なものに近いということが実証されていることと、角つき棒を数多く並べる場合に比べ、取り付け精度を上げやすいということによる。

### 3、Radial matching section

RFQライナックのアクセプタンスは、高周波収束のため時間的に変動するので、入射ビームのエミッタンスと整合を取るために、入射部において何らかの工夫が必要とされる。LANL（Los Alamos 国立研究所、アメリカ）に於ける四翼型RFQ開発では、収束係数を十分に小さな値からビーム軸に沿って必要な値まで立ち上げる、という方法が効果的であることが示された。四翼型RFQでは、このセクションにおける電場のビーム軸成分はゼロであるが、SCRFBQに於ては、ビーム軸に沿って、電

位がゼロから  $V/2$  ( $V$ : ヴェイン電圧) まで増加するためゼロでない一定値を取り、ビームのエネルギー変調に大きく寄与する。この軸方向の電場成分によるビームへの影響は、入射エネルギーが設計値に等しい  $\Delta W_{in} = 0$  付近で、透過効率が著しく低下する、という形で現われる。これは、四翼型 RFQ では、入射エネルギーの設計値  $\Delta W_{in} = 0$  に於て  $\Delta\phi$  アクセプタンス ( $\Delta\phi$ : 高周波位相と同期位相の差) が最大になるが、SCRFFQ では、そうはなっていないからである。

#### 4、加速試験

透過効率をヴェイン間電圧を変えて測定した。図1に結果を示す。図の横軸  $V_n$  は規格化ヴェイン電圧であり、実際のヴェイン電圧を設計値で割ったものである。PARMTEQによるシミュレーションには電場係数として、二項電位関数の係数  $A$  を用いるものと、Crandall がプログラム CHARGE-3D を用いて算出した値  $A_{10}$  を用いるものの、2種類がある。前者を Original PARMTEQ、後者を Modified PARMTEQ と呼ぶ。この二つの PARMTEQ の結果を比較すると、曲線の立ち上がりの傾斜はほぼ同じで、 $V_n$  に適当なファクターをかければ双方が重なることが分かる。従って、これら二つの PARMTEQ が想定している2台のRFQのうち、どちらが実際のRFQを良く再現しているかについての判断は、 $V_n$  の測定精度に大きく依存することになる。現在のデータでは、この判断は難しい。

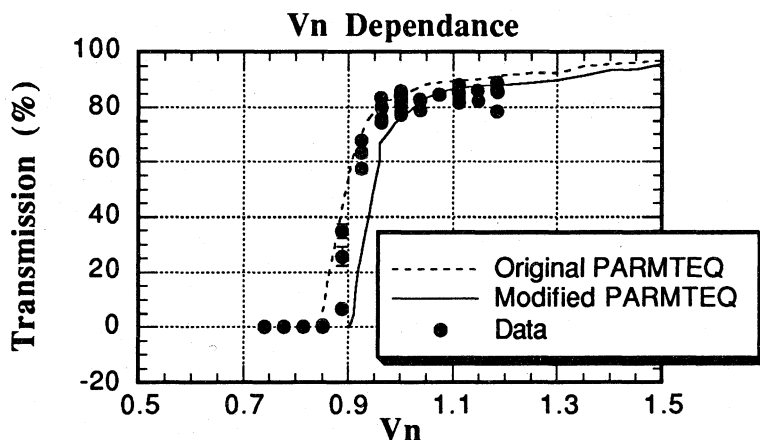


図1、透過効率のヴェイン電圧依存性。

図2に透過効率の入射エネルギー依存性を示す。シミュレーションの結果(1)では、Radial matching sectionでのビーム軸方向の電場の効果により、 $\Delta W_{in}/W_{in} = 0$  の付近で透過効率にディップが見られるが、データには認められない。この原因として、実際のビームのエミッタンスが、RFQのアクセプタンスに合っていないこと等が考えられたが、この効果によるディップの消失は、図2の(2)に示されるように、起きないことが分かった。図3にビームのエミッタンス楕円とRFQのアクセプタンス楕円を示す。二つの楕円の一致はよくない。しかし、シミュレーションに対して、実験値の方が10%程高くなっている。これには入射ビームのエミッタンス測定に際してエラーがあり、実際には、ビームのエミッタンスとRFQのアクセプタンスの整合が、仮定されているものより良いのではないかと、ということが考えられる。また、このディップのないデータを再現するためには、シミュレーションにおいて、Radial matching section内での、ビーム軸方向の電場を強制的にゼロとすることが必要になる。このとき、曲線の立ち上がり、立ち下りの傾斜が、よりデータに近くなる。

#### 5、まとめ

PARMTEQによるシミュレーションで見られたような、Radial matching section内でのビーム軸方向の電場による、 $\Delta W_{in}/W_{in} = 0$  付近での透過効率の低下は、実験データには、認められなかった。実際のRFQでは、この軸方向の電場が小さいと推測される。この原因については、まだ良く分かっていない。

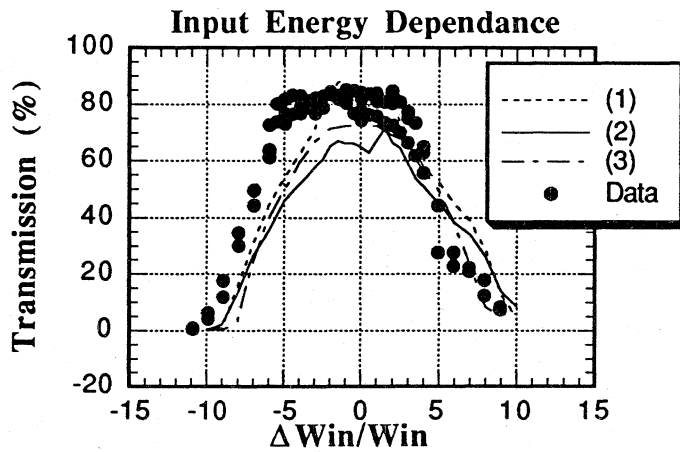


図2、 $V_n = 1$ の時の、透過効率の入射エネルギー依存性。

Modified PARMTEQによる。

- 1) 破線は、ビームエミッタンスとRFQアクセプタンスが等しい場合。
- 2) 実線は、実際のビームエミッタンスをシミュレーションに組み込んだもの。
- 3) 2)に於いて、Radial matching section内のビーム軸方向の電場をゼロとしたもの。

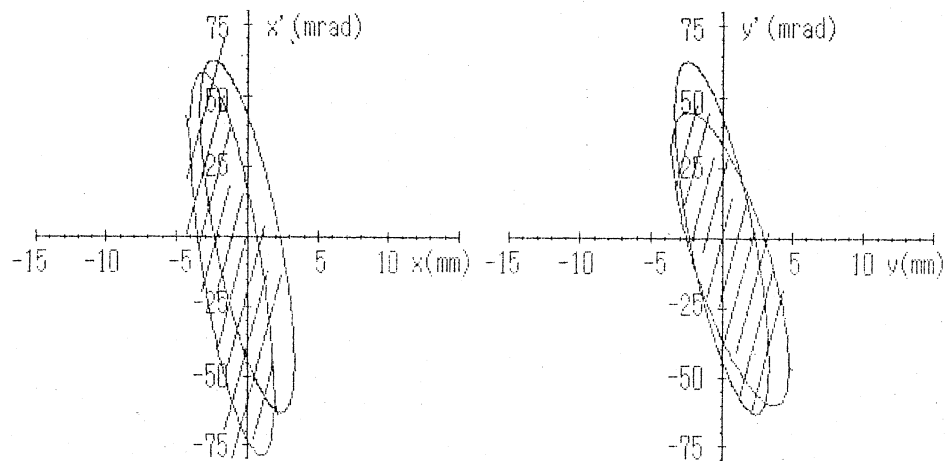


図3、ビームのエミッタンス楕円とRFQのアクセプタンス楕円。

斜線は、RFQ入口でのビームプロファイル。

#### 参考文献

- 1) N.Tokuda et al., "Performance Characteristics of the INS 25.5-MHz Split Coaxial RFQ", Institute for Nuclear Study, University of Tokyo, Third European Particle Accelerator Conference, March 24-28, 1992.
- 2) その他、SCR FQ関連のグループ内報告書。