

Design Study of 432 MHz RFQ Linac and Construction of Cold model

Akira UENO, Yoshiharu MORI, Akira TAKAGI and Yoshishige YAMAZAKI
National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

It is believed that the long four vane type RFQ linac with the length of more than four times of the wave length is very difficult, because the frequency of the higher order mode becomes very close to the frequency of the acceleration mode (TE₂₁₀ mode). Especially, the mixing of the higher order dipole mode (TE_{11n} mode) has very bad effect on the beam dynamics. So an optimizing method for the RFQ linac design was developed in order to minimize the length. Two new criteria were used in a new program KEKRFQ which determines the cell parameters: one was to keep constant longitudinal limited current for gentle buncher and the other to keep the constant transverse acceptance for accelerator section. The computer code PARMTEQ was used to simulate the beam dynamics. Our design based on the KEKRFQ led to good beam transmission and quality with short length. A 2.7 m cold model without modulation was constructed to study the characteristics of the long RFQ linac.

432 MHz RFQ リニアックの設計及びコールドモデルの製作

1. はじめに

4波長より長い4ヴェイン型RFQリニアックは、非常に難しいと言われている。これは、長さが長くなることにより、使用される四重極モード (TE₂₁₀ mode) の高次のモード (TE_{21n} mode) が接近してくることに加え、より基本的なモードであり、そのためにより周波数の低い二重極モード (TE₁₁₀ mode) の高次モードも接近するからである。二重極モードは、ビームに対して偏向力として働くため、四重極の高次モードよりさらに悪い影響をビームダイナミクスに与えることになる。本研究は、大型ハドロン計画のRFQリニアックの開発を目的として行われており、加速エネルギー 3 MeV、ビーム電流 20 mA という要求がなされている。RFQリニアックを設計するための計算コードの代表的なものとして、東京大学原子核研究所で低ビーム電流の重イオン用に開発された GENRFQ¹⁾ と Kapchinskii²⁾ らにより提案された設計基準を一般化し Los Alamos 研究所で開発された RFQUIK とがある。前者は、長さを短く設計できるが、加速できるビーム電流が少なくなる。一方、後者は、前者の2倍近い電流のビームを加速できるが、長さが20% (加速エネルギー 3 MeV の場合) 程度長くなり、縦方向のビームエミッタンスも悪くなる。そこで、我々は、これら2つのプログラムをよく研究した上で、新しい設計基準を設定し、設計プログラムを開発した。設計の善し悪しは、計算コード PARMTEQ³⁾ を使いビームの軌道をシ

ミュレーションして判断した。

イオン源とRFQリニアック間での空間電荷効果によるエミッタンスの増大を防ぐためには、入射エネルギーは、50 keV 以上必要と考えられている。この場合、徳田氏⁴⁾が行った GENRFQ を使用した設計では、長さが約 2.7 m (波長の4倍弱)となっている。そこで、この長さのRFQリニアックのRF特性を、調べるためにモデレーションの付いていないシンプルなコールドモデル空洞を製作することにした。

2. RFQリニアックの設計

RFQUIK では、RFQリニアックをビームの進行方向で、機能により Radial Matcher, Shaper, Gentle Buncher, Accelerator と呼ばれる4つの部分に分割して設計を行っている。我々は、これらのうちで長さ及びビームの質に強く関係する Gentle Buncher と Accelerator について見直しを行い、新しい設計基準を導入した。Gentle Buncher では、Wangler⁵⁾ の定義した縦方向の電流限界が一定になることを条件とし、Accelerator では、Raparia⁶⁾ の提案に類似した、横方向のアクセプタンスが一定になることを条件に置いた。

図1、図2、図3にビームの進行方向の位置とRFQリニアックの各セルのパラメータ、位置と電流限界、位置と横方向のアクセプタンスの関係を図示する。図4、図5に入力電流と出力電流及び透過率、入力電流と出力ビームのエミッタンスの関係を図示する。また、設計したRFQリニアックの諸元を表1にまとめる。

3. コールドモデルの製作

製作したコールドモデルの概略図を図6に示す。まだ、測定を開始したばかりで、ビーズを用いた磁場分布等の測定は行っていないが、両方の端板に各4個ずつ設置した、ループカップラーモニターを使って測定された共振モードと周波数の関係を図7に示す。

4. まとめ

新しい設計基準を設定し、プログラムを開発することにより、GENRFQ を使って設計したものと同じ長さで、ビーム電流に余裕のあるRFQリニアック設計することが可能になった。また、コールドモデルの予備的な測定から、2.7 m のRFQリニアックは、二重極モードの周波数は、使用する四重極モードから 4 MHz 以上離れており問題はないのではないかと考えられる。ただ、四重極の次の高次モードが、1.2 MHz のかなり近いところに出てきているので、混合が生じている可能性がある。今後、より詳しい測定を行っていく予定である。

References

- 1) T. Nakanishi et al., Part. Accl. 20(1987)183.
- 2) I. M. Kapchinskii and V. A. Teplakov, Prib. Tekh. Eksp. 2(1970)19.
- 3) JHP-10 KEK Internal 88-88 Sep. 1988.
- 4) K. R. Crandall et al., IEEE Tran. Nucl. Sci. NS-26(1979)3469.
- 5) T. P. Wangler, LANL Report LA-8388, Dec. 1980.

表1 R F Q リニアックの設計諸元

Frequency (f)	432 MHz
Kinetic Energy (W_s)	50 keV → 3 MeV
Vane Length (L)	2.63 m
Normalized emittance (ϵ_N)	1.5 $\pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$
Killpatrick factor (fk)	1.8
Intervane Voltage (V)	87.4 kV
Mean bore radius (a_0)	3.29 mm
Maximum modulation (m_{max})	2.032
Focusing strength (B)	4.14
Transmission efficiency (20 mA input)	93.7 %
Output beam emittance (20 mA input, 100 %)	$\epsilon_{NX}=2.37 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$
	$\epsilon_{NY}=2.24 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$
	$\epsilon_{NZ}=2.46 \pi \cdot \text{keV} \cdot \text{rad}$

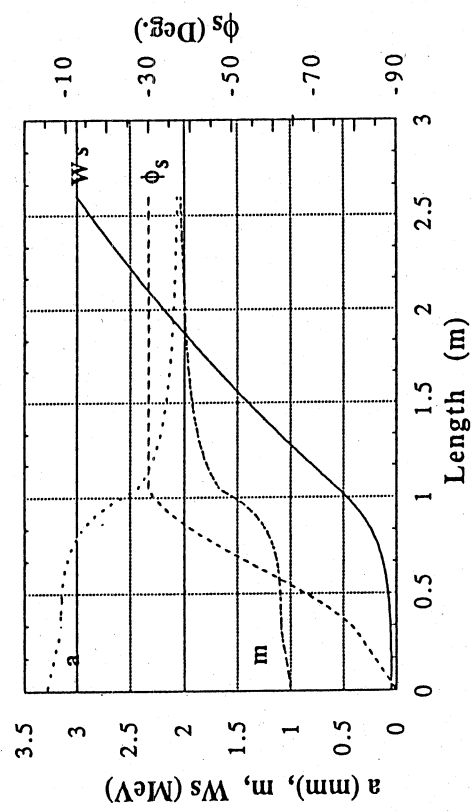


図1 R F Q リニアックのパラメータの変化

W_s : エネルギー, a : 最小ボア半径,
 m : モデュレーション因子, ϕ_s : 同調位相

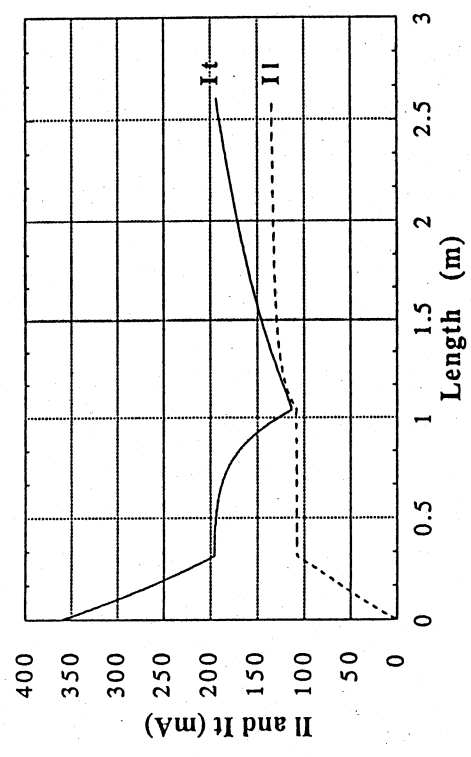


図2 Wangler の定義に基づく電流限界の変化

I_l : 縦方向, I_t : 横方向

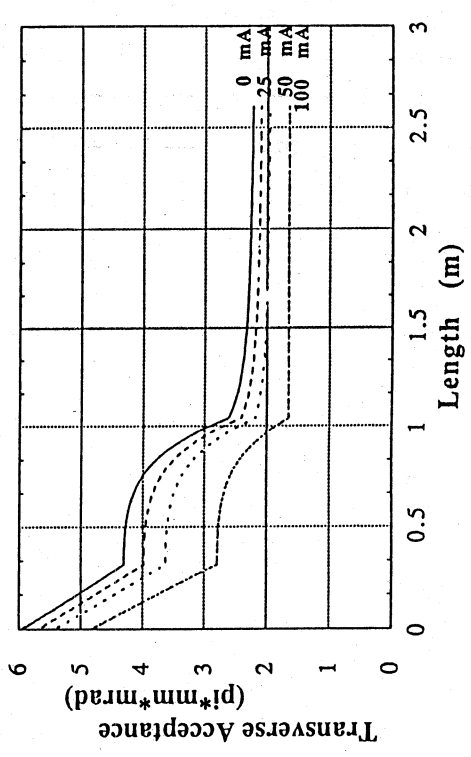


図3 横方向のアクセプタンスの変化

ビーム電流: 0mA, 25mA, 50mA, 100mAの場合

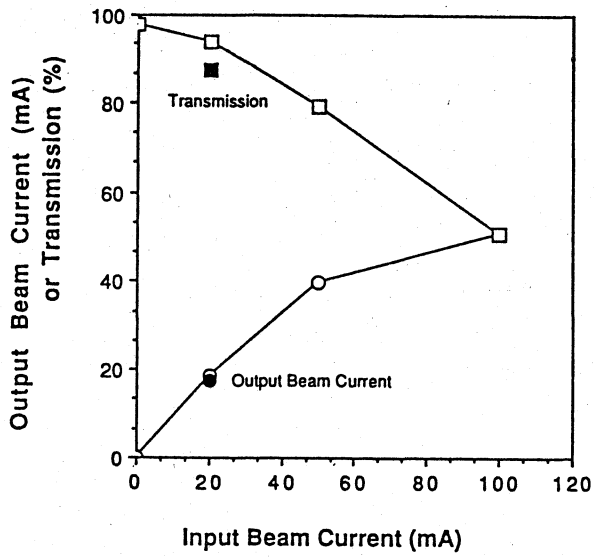


図4 PARMTEQ を用いたシミュレーションで得られた、入力ビーム電流と出力ビーム電流及び透過効率の関係
 ○□:入力ビームエミッタンス=1.5pi*mm*mrاد
 ●■:入力ビームエミッタンス=2.3pi*mm*mrاد

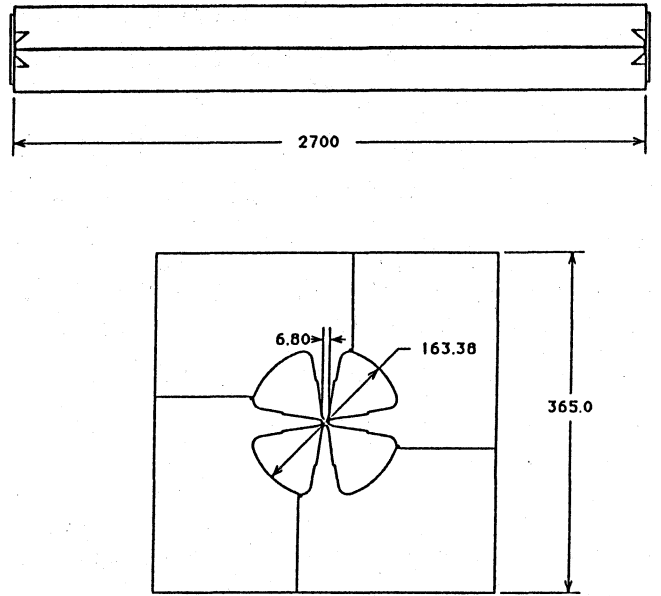


図6 コールドモデルの概略図

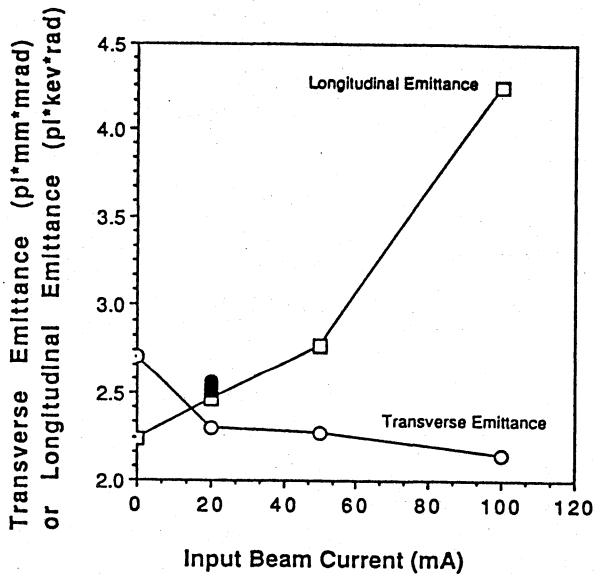


図5 PARMTEQ を用いたシミュレーションで得られた、入力ビーム電流と出力ビームのエミッタンスの関係
 ○□:入力ビームエミッタンス=1.5pi*mm*mrاد
 ●■:入力ビームエミッタンス=2.3pi*mm*mrاد

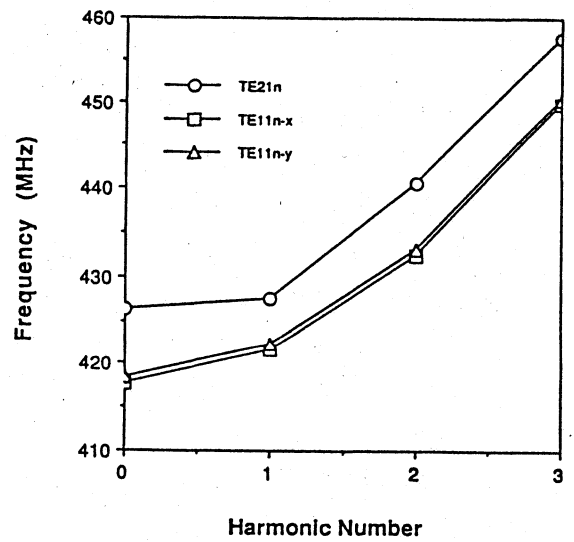


図7 コールドモデルの共振モードと周波数の関係