

1 GeV リニアック検討資料

1 GeV LINAC DESIGN NOTE

題目 (TITLE) 異なる設計基準で設計したRFQ Linacの性能(シミュレーション結果)の

比較

著者 (AUTHOR) 上野彰

概要 (ABSTRACT)

3つの異なる設計基準で設計した共振周波数432MHz、入射エネルギー50keV、加速エネルギー3MeVのRFQ Linacの性能の比較を行なう。一つは、東京大学原子核研究所で開発された計算コードGENRFQを使って徳田氏によって設計され、もう一つは、高エネルギー物理学研究所で開発された計算コードKEKRFQを用いて設計された。最後の1つは、加藤氏がTry & Errorで設計したものである。

加藤氏以外の設計には、技術的な条件、Killpatrick因子 $KL=1.8$ (最大電場=Killpatoric限界の1.8倍)以下、長さを2.7m以内を考慮している。加藤氏の設計では、 $KL=1.91$ 、長さ2.757mとなっているが、最適化も十分には行なわれていないとのことである。

KEY WORDS:

Ion source, RFQ, DTL, CCL, Magnet, Monitor, Beam Dynamics,
Transport, Vacuum, Cooling
Klystron, Low level rf, High power rf, Modulator
Control, Operation, Radiation, Others

大型ハドロン計画用のRFQ Linacに要求されている条件を次に示す。

加速エネルギー	3MeV
ビーム強度	20mA
横方向のアクセプタンス	0.15 pi*cm*mrad

これら以外に、技術的な条件として、次のものがある。

Killpatorick因子	1.8 (LBLの研究者の話では1.6が望ましい)
長さ	2.7m (高精度の加工機械からの条件)

以上の条件に基づき、3つの異なる設計基準でRFQ Linacの設計が行なわれた。イオン源とRFQ Linac間のビーム輸送系空間電荷効果と長さを2.7mにおさえることの両者を考慮して入射エネルギーは、50keVに設定した。

一つは、東京大学原子核研究所で開発された計算コードGENRFQを使って徳田氏による設計で、INSと名付ける。もう一つは、高エネルギー物理学研究所で開発された計算コードKEKRFQを用いた設計で、KEKと名付ける。最後の1つは、加藤氏がTry&Errorで設計したもので、KATOと呼ぶことにする。加藤氏の設計では、KL=1.91、長さ2.757mと条件が緩くなっているが、最適化も十分には行なわれていないとのことである。

計算コードPARMTEQを用いたシミュレーションの結果で、これらの設計の比較を行ってみる。

(1)ビーム透過効率

三種類の設計の入力ビーム強度とビーム透過効率及び出力ビーム強度の関係を図1-1から図1-3に示す。ここで、○と●は、入射ビームの横方向のエミッタンスが0.15pi*cm*mradの時の透過効率と出力ビーム強度であり、◇と◆は、入射ビームの横方向のエミッタンスが0.23pi*cm*mradの時の透過効率と出力ビーム強度である。

これらの図から、KEKが空間電荷効果に対して最も余裕のある設計になっていることがわかる。INSとKATOは、ほぼ同じような設計になっているのではないかと想像される。入射ビーム強度が50mAの時にKATOの方が、INSより少し透過効率が良いのは、Killpatorick因子を大きくしていることが主な理由であろう。

入力ビーム強度20mA、入射ビームの横方向のエミッタンス0.15 pi*cm*mradの時の透過効率の数値を次に示しておく。

INS	0.9364
KEK	0.9366
KATO	0.8980

INS

○ Tr.(Eti=1.5pi) ● lout (Eti=1.5pi)
 ◇ Tr. (Eti=2.3pi) ◆ lout (Eti=2.3pi)

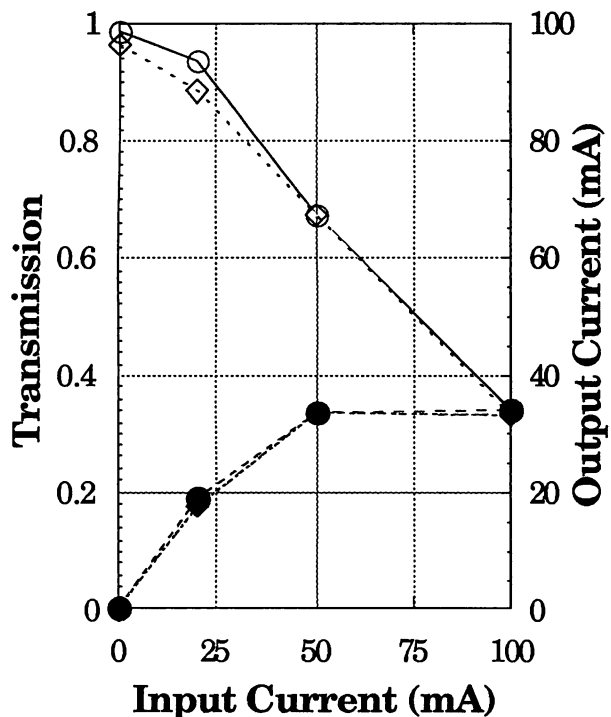


図1-1 INSの入射ビーム強度とビーム透過効率及び出力ビーム強度との関係

KEK

○ Tr.(Et=1.5pi) ● lout (Eti=1.5pi)
 ◇ Tr. (Eti=2.3pi) ◆ lout (Eti=2.3pi)

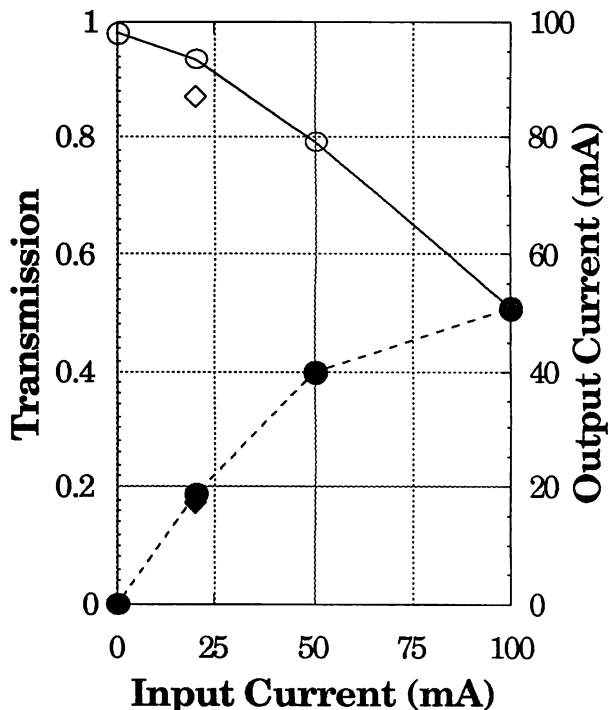


図1-2 KEKの入射ビーム強度とビーム透過効率及び出力ビーム強度との関係

KATO

○ Tr.(Eti=1.5pi) ● lout (Eti=1.5pi)
 ◇ Tr. (Eti=2.3pi) ◆ lout (Eti=2.3pi)

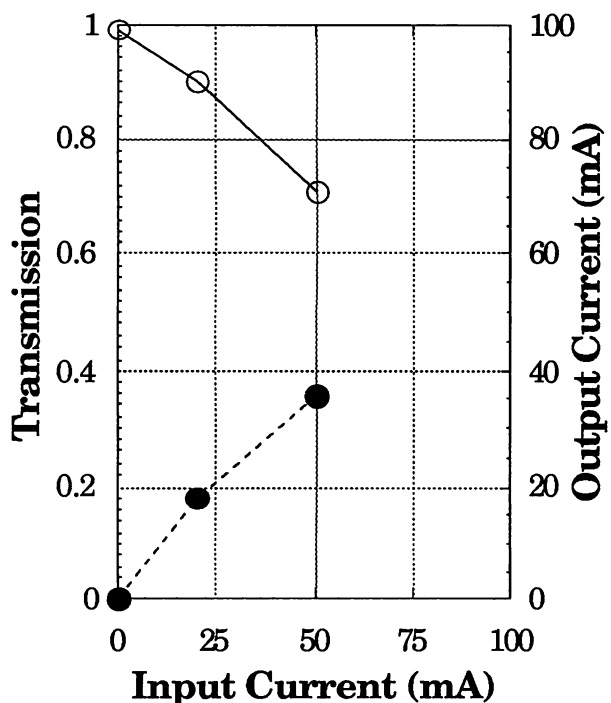


図1-3 KATOの入射ビーム強度とビーム透過効率及び出力ビーム強度との関係

(2)出力ビームエミッタンス

入力ビームの横方向のエミッタンスが $0.15\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ の場合の入力ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係を図2-1から図2-3に示す。横方向の90%エミッタンスと100%エミッタンスを○と●で示し、縦方向の90%エミッタンスと100%エミッタンスを◇と◆で示している。

入力ビーム強度の設計値20mAで、三種類の設計を比較すると、横方向のエミッタンスは、KATOが僅かに悪い。一方、縦方向のエミッタンスは、90%エミッタンスでは、KEKが悪く、外の二つの設計に比べ二倍近くになっている。しかし、100%エミッタンスでは、KEKが他の二つに比べ僅かに良くなっている。

INSとKATOでは、ビームをエネルギーの低いところでバンチングしているために空間電荷効果の影響で縦方向のアクセプタンスが小さくなり、90%エミッタンスが良くなっている。しかし、不安定領域で加速されたビームのために100%エミッタンスが大きくなっていると考えられる。一方、KEKは、空間電荷効果に対して余裕を持たせた設計にするために、エネルギーの低いところでバンチングを行っていないので、縦方向のエミッタンスは、大きくなる。しかし、この場合20mA程度では、空間電荷効果は、余り大きくなく、不安定領域で加速されていないようである。

シミュレーションでは、メッシュの数や分布に制限があるので、ビーム強度や空間電荷効果に対して余裕をみておくべきだと筆者は考えている。

最後に、INSとKEKについて、入力ビームの横方向のエミッタンスが $0.23\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ の場合の入力ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係を図2-4から図2-5に示しておく。

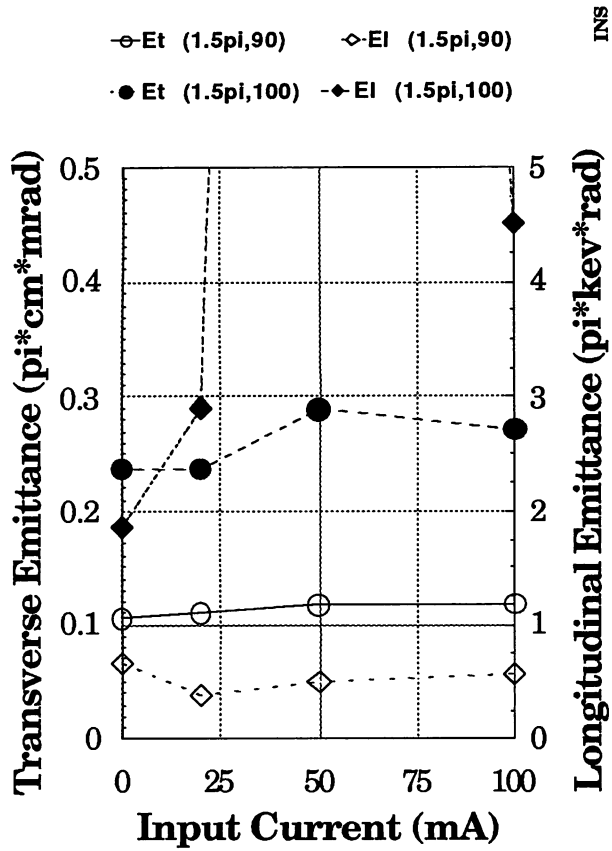


図2-1 INSの入射ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係

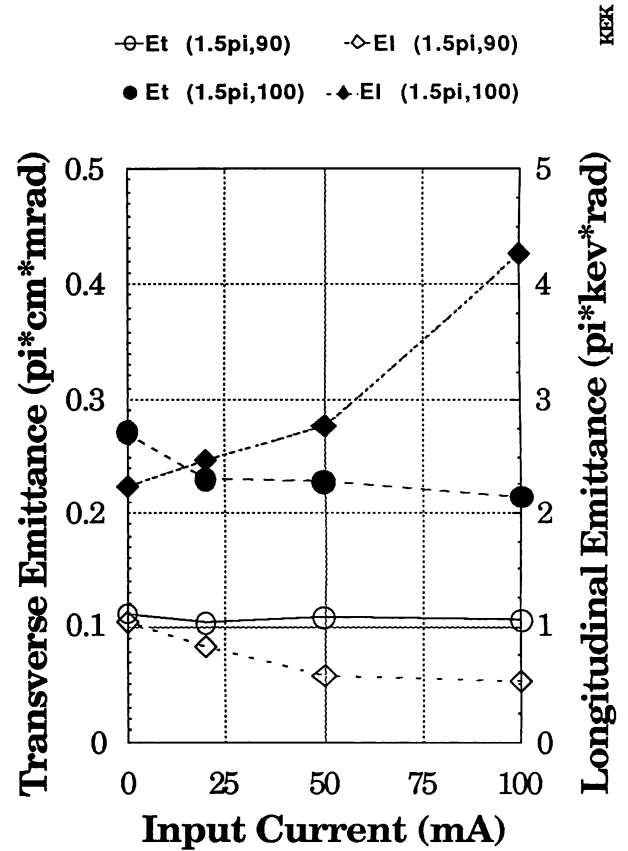


図2-2 KEKの入射ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係

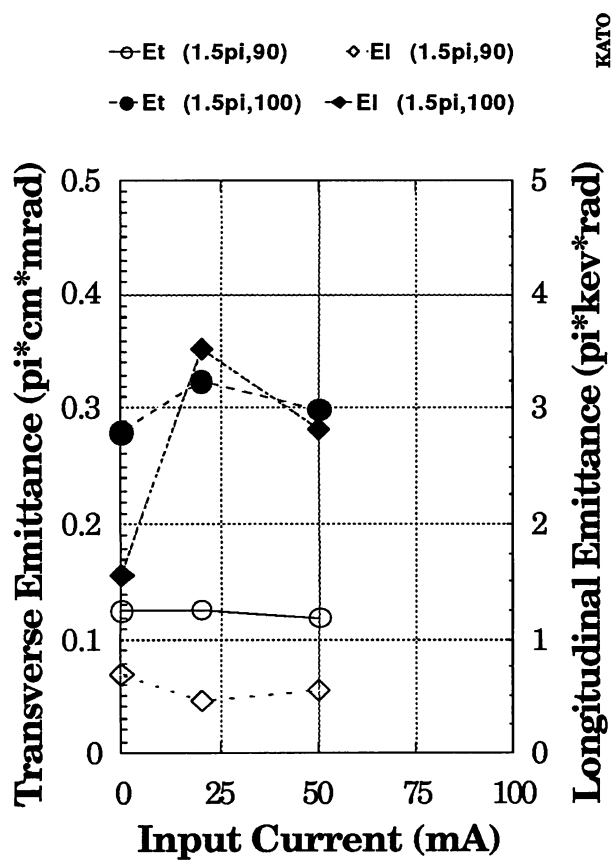


図2-3 KATOの入射ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係

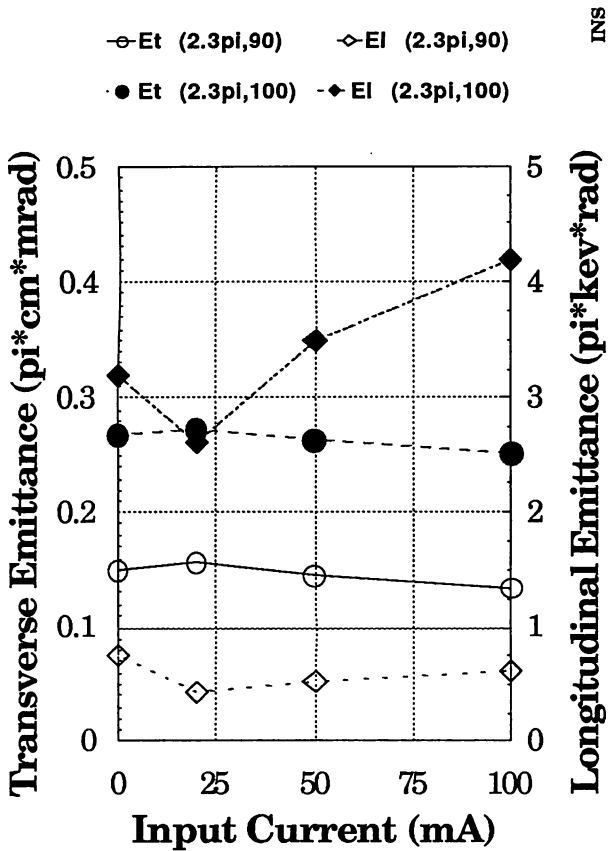


図2-4 INSの入射ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係

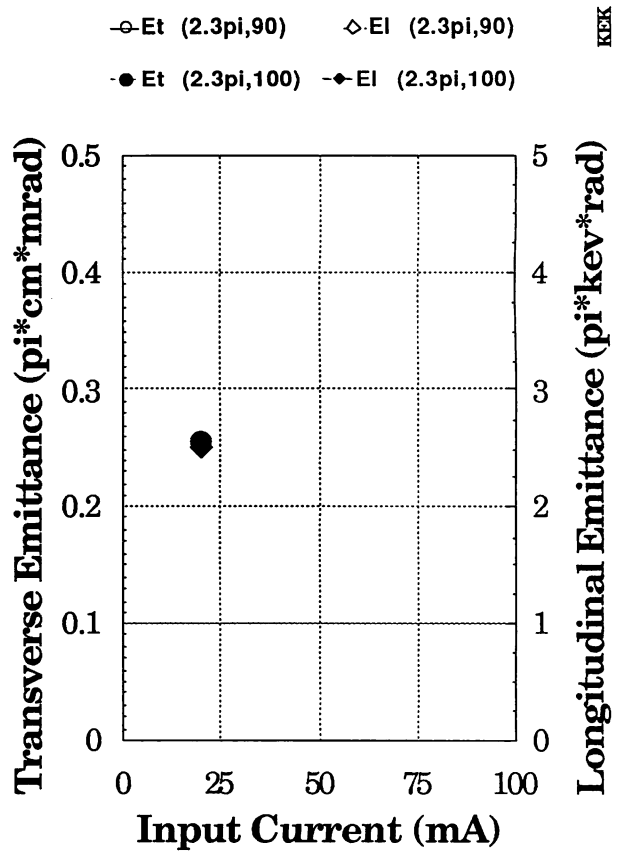


図2-5 KEKの入射ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係