

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-2

著者 (AUTHOR) 上野彰

概要 (ABSTRACT)

2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。

これらの設計では、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。

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、2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って設計されたもので、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。

GENRFQは、低ビーム強度の重イオン加速用のRFQを設計するために開発された計算コードで、ビームのエネルギーが低いところで、素早くビームバンチを形成するため、加速効率の高い設計ができ、RFQの長さも非常に短くできる。しかも、縦方向のエミッタンスも良いビームになる。しかし、空間電荷効果を考慮していないので、ビーム強度が高くなると、透過効率が落ちが大きく、出力ビームの性質もビーム強度により変化する傾向がある。

一方、KEKRFQは、従来から高ビーム強度の陽子用のRFQ設計用にLANLで用いられてきたKapchinskiiとTepliyakovにより提案された方法を改良し、ビーム強度が中程度で20~30mAの場合には、GENRFQ程ではないが、従来よりも低いエネルギーで早くビームバンチを形成し加速効率を高めてRFQの長さが短くできるようにしている。ビームバンチをWanglerの定義した縦方向の電流限界が一定であるという条件下で形成することにより、縦方向のエミッタンスが不必要に大きくなることも防いでいる。

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

二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1-2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(100%エミッタンス *PARMTEQの標準的な入力方法であるxx'yy'の4次元エミッタンス空間上にランダム分布するエミッタンスを使用、90%エミッタンスは、0.1pi*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0.184pi*cm*mrad(100%エミッタンス、90%エミッタンスは、0.123pi*cm*mrad)の時の透過効率と出力ビーム強度である。なお、前者のエミッタンスは、大型ハドロン計画でイオン源のからのビーム強度が20mAの時に達成されると考えられているエミッタンスで、後者のエミッタンスは、イオン源からのビームの輝度が

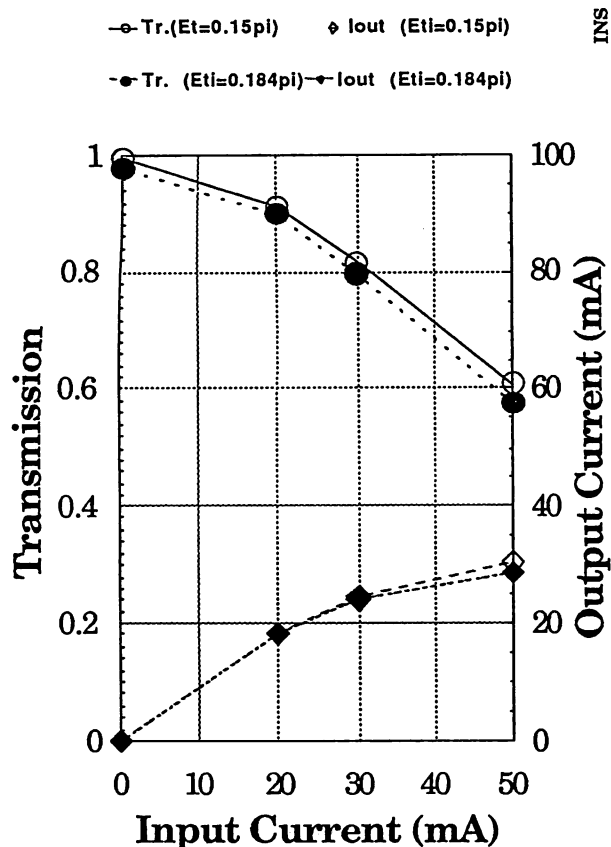


図1-1 INSの入射ビーム強度とビーム透過効率及び出力ビーム強度との関係

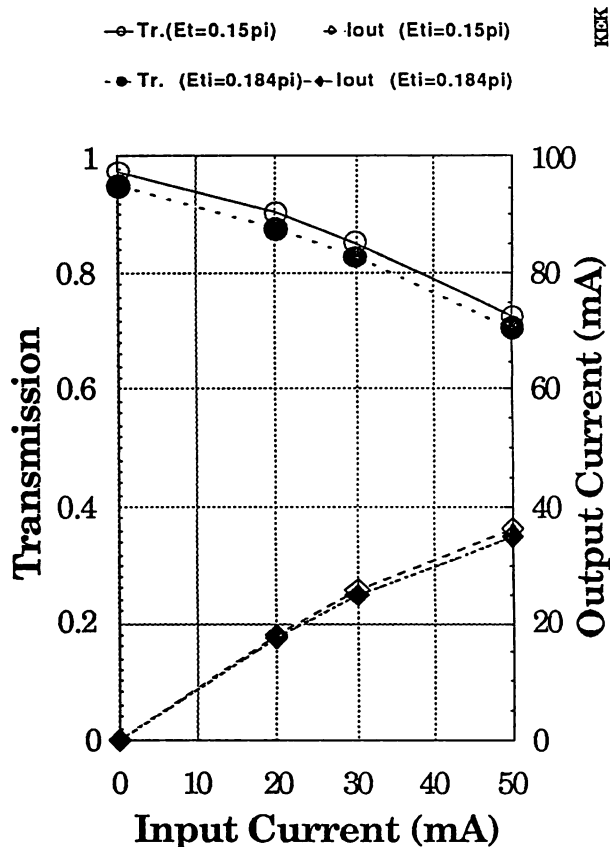


図1-2 KEKの入射ビーム強度とビーム透過効率及び出力ビーム強度との関係

一定でビーム強度を20mAから30mAに増加させた場合を想定している $\{0.1837=0.15 \cdot \sqrt{(30/20)}\}$ 。

これらの図から、ビーム強度が強いほどKEKの方がINSより透過効率が良くなっていることがわかる。このことは、KEKの方が空間電荷効果の影響を受けにくい設計になっていると言い換えることができる。

最後に、エミッタンス $0.15 \text{pi} \cdot \text{cm} \cdot \text{mrad}$ 入力ビーム強度20mAの場合とエミッタンス $0.1837 \text{pi} \cdot \text{cm} \cdot \text{mrad}$ 入力ビーム強度30mAの場合の透過効率の具体的な値を次に示しておく。

| 入射ビーム | $0.15 \text{pi} \cdot \text{cm} \cdot \text{mrad} / 20 \text{mA}$ | $0.1837 \text{pi} \cdot \text{cm} \cdot \text{mrad} / 30 \text{mA}$ |
|-------|---|---|
| INS | 91.06% | 79.76% |
| KEK | 90.50% | 82.96% |

(2)出力ビームエミッタンス

入射ビームの横方向のエミッタンスが $0.15\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ の場合と $0.184\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ の場合のそれぞれについて、入射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2-4に示す。出力ビームの横方向の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。

これらの図から、INSの方が縦方向のエミッタンスが少し良く、KEKの方が横方向のエミッタンスが僅かに良いことがわかるが、2つの設計の間で、大きな違いはない。

最後に、入射ビームエミッタンス $0.15\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ 強度20mAの場合とエミッタンス $0.1837\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ 強度30mAの場合の出力ビームの90%エミッタンスの具体的な値を次に示しておく。

| 入射ビーム | $0.15\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}/20\text{mA}$ | $0.1837\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}/30\text{mA}$ |
|--------|--|--|
| INS Et | $0.117\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ | $0.136\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ |
| El | $4.69\pi\text{keV}\cdot\text{rad}$ | $5.65\pi\text{keV}\cdot\text{rad}$ |
| KEK Et | $0.107\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ | $0.123\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ |
| El | $6.18\pi\text{keV}\cdot\text{rad}$ | $6.52\pi\text{keV}\cdot\text{rad}$ |

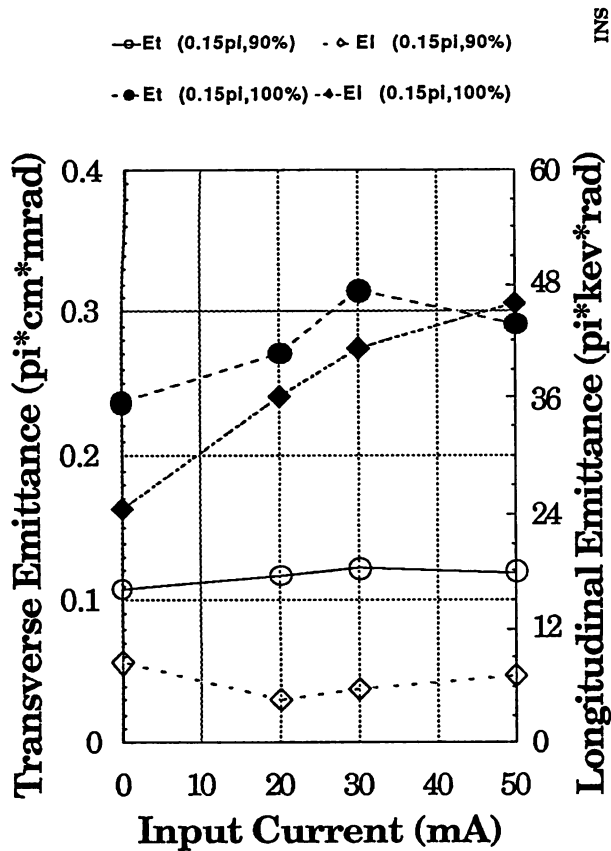


図2-1 INSの入射ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係 ($E_{ti}=0.15\pi \cdot \text{cm} \cdot \text{mrad}$)

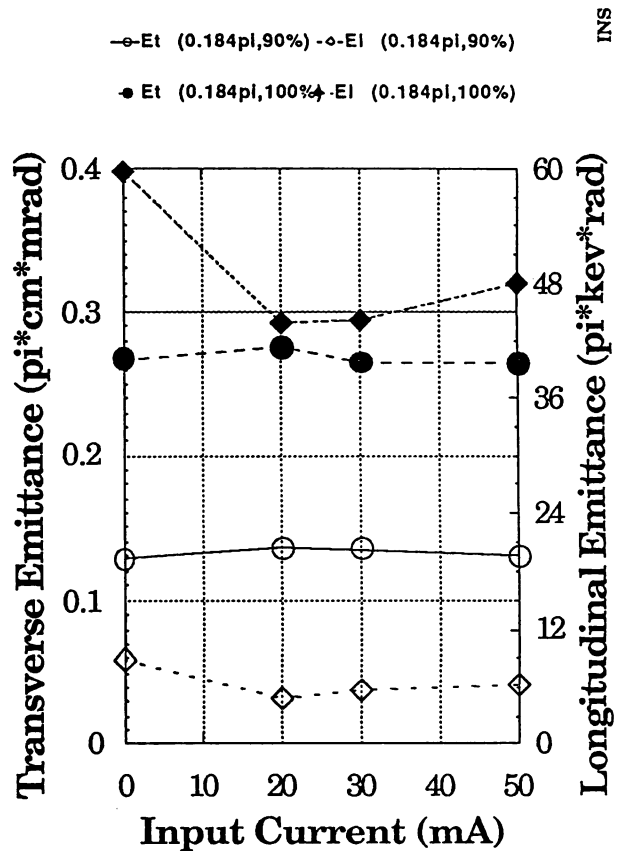


図2-2 INSの入射ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係 ($E_{ti}=0.184\pi \cdot \text{cm} \cdot \text{mrad}$)

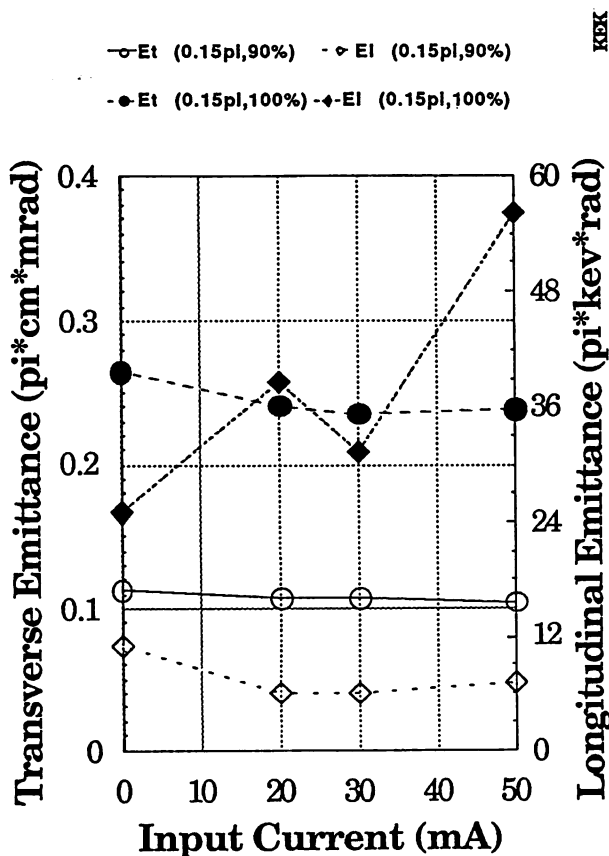


図2-3 KEKの入射ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係 ($E_{ti}=0.15\pi \cdot \text{cm} \cdot \text{mrad}$)

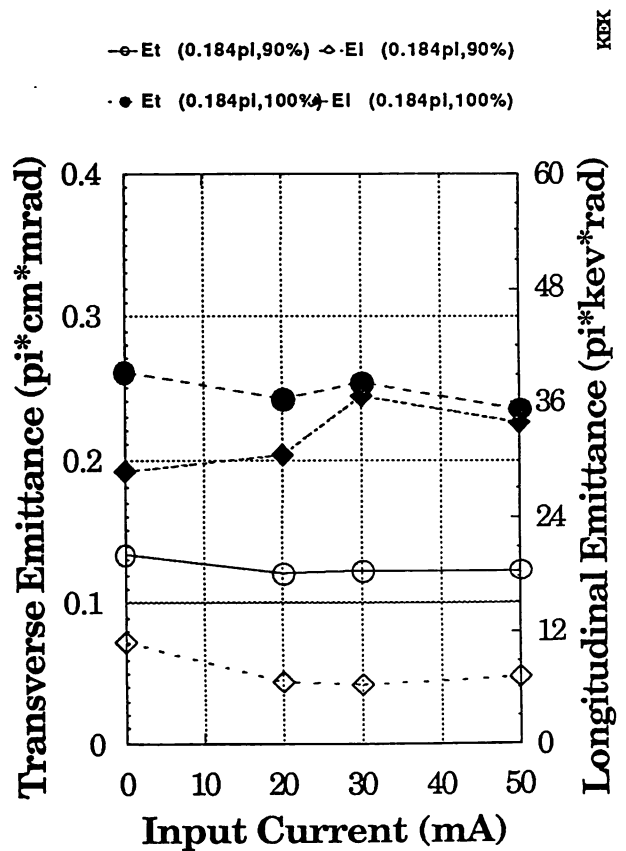


図2-4 KEKの入射ビーム強度と出力ビームのエミッタンスの関係 ($E_{ti}=0.184\pi \cdot \text{cm} \cdot \text{mrad}$)