

短寿命核ビーム KEK・原研共同研究施設での 重イオンリニアックビーム輸送系の設計

仁木和昭¹、新井重昭、新垣良次、岡田雅之、武田泰弘、富沢正人
高エネルギー加速器研究機構
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

KEK 田無分室に建設された短寿命核分離加速実験装置(線形加速器部は 25.5 MHz の SCRFB と 51 MHz の IH 型リニアックから構成)を原研東海研究所のタンデム施設に移転し、新しい施設を建設するための準備が進んでいる。この計画ではリニアックをタンデム施設の超伝導ブースター・リニアックに結合する予定である。この論文ではタンデム施設に移設する SCRFB と IH リニアック間、そして超伝導ブースターと結合するために新たに製作する IH2 リニアックまでのビーム輸送系の設計について報告する。特に SCRFB と IH リニアック間にある既設のバンチャー(RB)の周波数を 25.5 MHz から 26 MHz へ変更するための設計について、及び IH から IH2 リニアックまでの 1.05MeV/u ビーム輸送系に新たに設置する 26 MHz のバンチャー(RB2)の基本設計について述べる。

1. はじめに

KEK の短寿命核分離加速実験装置は大型ハドロン計画 E-アレナのプロトタイプとして田無キャンパスに建設され、短寿命核用リニアックの R&D と短寿命核ビームによる天体核物理等の研究・実験が行われた。1999 年秋の運転停止後、短寿命核施設の移転計画が検討され、原研東海研究所のタンデム施設に移転する計画が具体化、現在両研究所の関係者を中心に新しい施設の建設に向けた作業が行われている。この計画では、将来我々のリニアックをタンデム施設の超伝導ブースター・リニアックに結合でき、短寿命核ビームを核子当たり約 5 MeV まで連続可変できる世界初の実験施設となる。

超伝導ブースター・リニアックは周波数が 129.8 MHz であるので、マッチングをとるためには 25.5 MHz の SCRFB と RB をブースターの周波数の 5 分の 1 である 25.96 MHz に、また 51 MHz の IH リニアックを 51.92 MHz に変更する必要がある。また IH リニアックは最大出射エネルギーが 1.05 MeV/u であるので、超伝導ブースター・リニアックで加速可能のようにブースター直前に IH2 を新設し 2.0 MeV/u までエネルギーアップする。そして IH リニアックと IH2 間は 30 m 以上のビーム輸送系となるため複数台の RB2 を新設することになる。

2. リバンチャーの周波数変更

SCRFB と IH リニアック間の配置は、田無キャンパスに設置した時と基本的に同じであるが、リバンチャー(RB)の周波数は 25.5 MHz から 25.96 MHz に変更する必要がある。この変更はドリフトチューブの形状を変え静電容量を減らすことを行うことを考えている。具体的には(1)ドリフトチューブの内径又は外径を変えて肉厚 2 cm を薄くする、(2)ドリフトチューブのギャップ間隔 2 cm を広げるという方法である。2次元の静電磁場コード POISSON で静電容量の変化を計算した結果を図 1 に示す。横軸は全 6 ギャップ分の静電容量にある定数(ステムの C 相当分)を加えたものである。あとで述べるように周波数を 0.5 MHz 上げるためには現在の 39.3pF から 37.6pF まで下げる必要がある。POISSON の計算結果から分かるように(1)の内側を削ることであまり静電容量を変化させることが出来ない。外側を削れば必要な静電容量にすることが十分できるが、ドリフトチューブの取り付け部の工作が問題となる。その結果(2)のギャップ間隔を広げることにした。ギャップ間隔を広げることはトランジットタイムファクター(TTF)を小さくすることになる

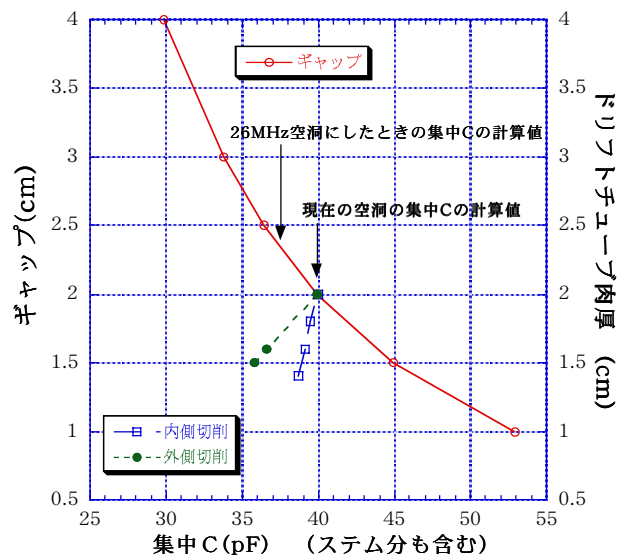


図 1: ドリフトチューブの形状に対する静電容量の変化

¹ E-mail: kazuaki.niki@kek.jp

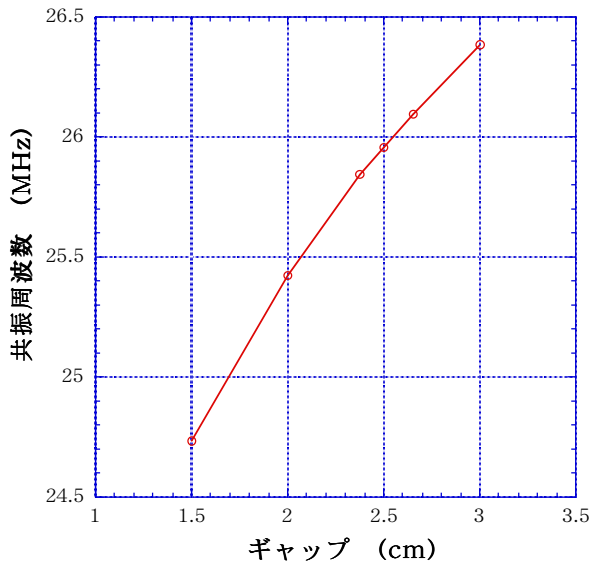


図2：リバンチャーの共振周波数

が、その量は0.5%程度である。

RBは6ギャップのドリフトチューブを持つ1/4共振器を基本とした2重同時軸構造をしている^[1]。共振周波数の計算はSUPERFISHコードで計算した。SUPERFISHは2次元計算コードであるのでドリフトチューブのギャップ間の静電容量をそれに相当する集中Cを持った円板に置き換えている。ギャップ間隔とリバンチャーの共振周波数の関係を図2に示す。また表1は現在と25.96 MHzに変更した場合の計算結果である。現在の実機は固定Cチューナーで70kHz程下げ、可動Lチューナーで50kHz上げている。変更後は可動Lチューナーによる50kHzアップ分で調整できるように25.91 MHzにすることに

する。目的の周波数にするためにはギャップ間隔を0.31 cm 拡げればよいことになる。消費電力はトランジットタイムファクターが小さくなったことを考慮しても逆に下がる傾向であった。ドリフトチューブの変更はモデルを作らず計算だけで決める予定なので、今後は3次元計算コードであるMAFIAを用いてさらに検討を進める。

表1：リバンチャーの周波数変更

	現在	変更後 (予定)
共振周波数 (実機相当)	25.52 MHz	25.91 MHz
共振周波数 (SUPERFISH)	25.42 MHz	25.81 MHz
ギャップ間隔	2.0 cm	2.31 cm
集中C (POISSON)	39.31 pF	37.62 pF
TTF	0.833	0.829
最大消費電力	1002 W	989 W

3. IH-IH2 間ビーム輸送系の設計

3.1 ビーム輸送系のオプティクス

IHからのビームはタンデム施設のスイッチングマグネット室に設置される2台の偏向電磁石で90度曲げられて超伝導ブースター室へ輸送される。輸送系の全長は約32 m、ビームは荷電対質量数比で1/7以上、エネルギーで1.05 MeV/uである。幾つかのマッチング条件でIHからIH2リニアックまでの軌道計算をTRACE3Dで行った。図3はその例である。

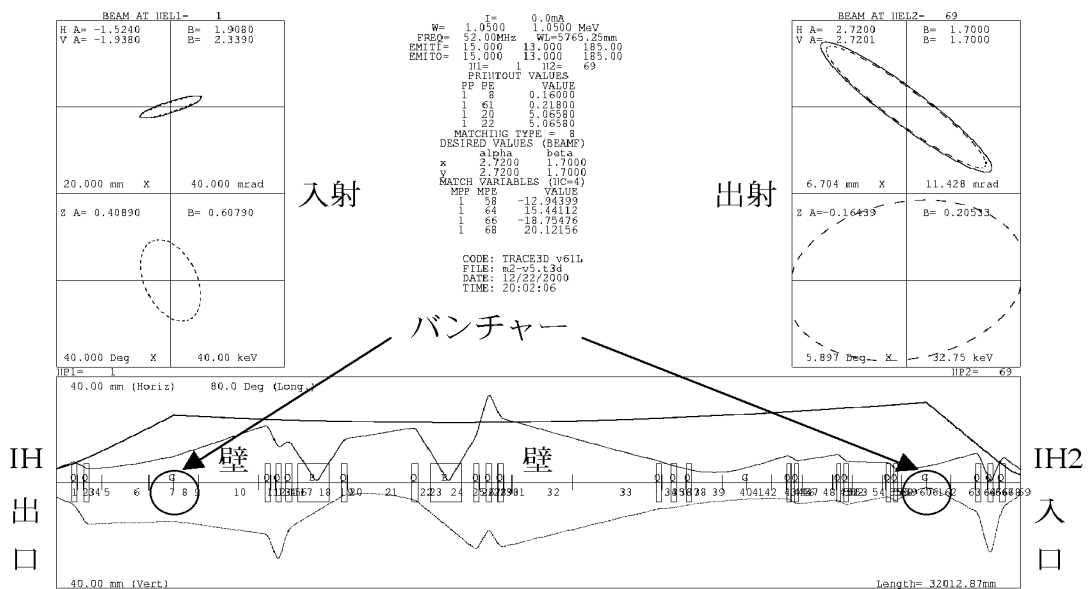


図3：IH-IH2間のビームトレース

IH 出口でのビームのエミッタンスは横方向 $1.3 \sim 1.5 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 、軸方向 $9.2 \sim 1.85 \pi \text{ deg} \cdot \text{keV/u}$ (52 MHz 換算) である。軸方向のエミッタンスの違いは RB と IH の運転パラメータの調整による。図 3 は $1.85 \pi \text{ deg} \cdot \text{keV/u}$ の時の計算結果である。IH2+ブースターのアクセプタンスはビームエミッタンスの 2~3 倍程度しかなく、リバンチャーや電磁石は既存のタンデム施設の遮蔽壁やビームライン等をまたいで設置する必要があるので配置はかなり制約される。またビームライン上にはタンデムビームをブースターに入れるためのボア径の小さな超伝導のバンチャー (IH からビーム輸送には使わないもの) もあり、今後さらにビーム径を小さくするようにオプティクスを改善を検討する必要がある。軸方向のビームのアベレージョンを押さえるため 2 台のリバンチャー (RB2) の周波数は 25.96 MHz とした。その結果 RB2 の場所でのビームの位相広がりには ± 30 度程度に抑えられる。RB2 でのビーム半径は 2 cm 以下である。結果として RB2 の仕様としては 25.96 MHz、最大電圧 440kV、ボア直径 4~6cm となり、軸方向のスペースから全長は最大で 120 cm 程度に抑える必要がある。

3.2 リバンチャー 2 の構造設計

RB2 は 25.96MHz と低い周波数であるため単純な $\lambda/4$ 共振器だとステム長が約 3m 程になり非常に大きなものとなる。この周波数のバンチャーは SCRFQ と IH 間の既存の RB としても製作しており、共振線路として 2 重同軸構造を採用することでコンパクトにすることができた。同様の共振構造を RB2 でも考えているが、RB の輸送ビームのエネルギーが 172 keV/u であるのに対し RB2 は 1.05 MeV/u と速度にして 2.5 倍程もあるためビーム軸長がさらに長くなる。ギャップ電圧をできるだけ下げるために複数ギャップにするが、軸方向の大きさ ($\beta \lambda/2$ は 27.42 cm) を考えて 4 ギャップのタンク内径 109.5 cm とした。これだと 1/2 モデルを製作する時、呼び径 550 の JIS フランジを使うことができる。ドリフトチューブのギャップ間隔は平均電界で Kilpatrick limit の 0.5 倍以下を目安に 4 cm とし、ボア径はトランジットタイムファクターが 0.96 以上あるので 6 cm にした。以上のような基本設計をもとにドリフトチューブ部を集中 C をもった円板に置き換え SUPERFISH で計算した結果が図 4 である。外導体は内半径 54.75 cm、高さ 114.05 cm のドラム缶型である。共振周波数 25.96 MHz、ギャップ電圧約 110kV で消費電力は 7.77kW となった。2001 年度中に上記の仕様に従って RB2 の 1/2 モデルを製作する予定である。このバンチャーの構造、共振周波数は更に

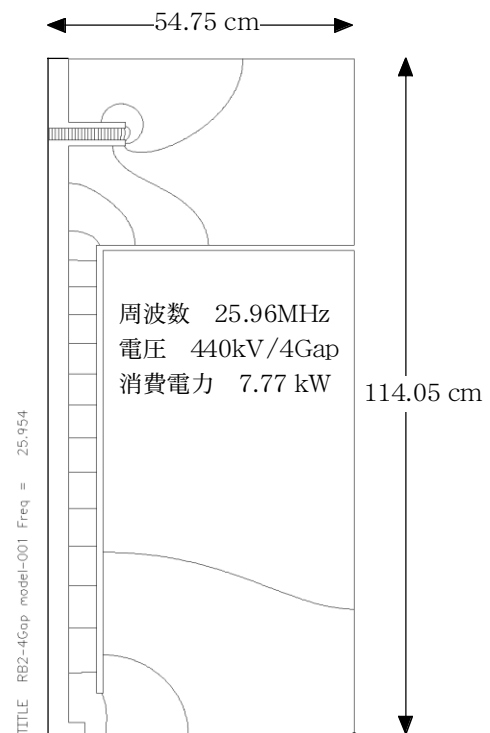


図 4 : SUPERFISHによるRB2 の計算

MAFIA による計算で詰めるが、最終的な線路長、フォーク型ステムの構造、ドリフトチューブのサイズ等はモデルを製作し、周波数、電場分布、共振抵抗を測定して決定する。

4. まとめ

原研東海研究所のタンデム施設への移転で既存の RB の周波数を 25.5 MHz から 26 MHz に変更するため、ドリフトチューブのギャップ間隔を約 0.31 cm 拡げることにした。また IH から超伝導ブースター直前の IH2 へのビーム輸送系を設計し、新たに製作する予定の RB2 の基本仕様を決定した。

今後、MAFIA による計算を行い、RB の周波数変更に関して最終決定する。また RB2 のコールドモデルの製作、測定を行う予定である。

参考文献

- [1] K.Yoshida et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A430(1999) 189-197.