

[09-A07]

## MEASUREMENTS OF THE LONGITUDINAL EMITTANCES OF THE RFQ/IH LINAC BY USING A SSD

Niki K., Arai S., Arakaki Y., Okada M., Takeda Y., Tojyo E. and Tomizawa M.

High Energy Accelerator Research Organization (KEK) Tanashi Branch  
3-2-1, Midori-cho, Tanashi, Tokyo 188-8501, Japan

**Abstract** The heavy ion linac complex composed of a 25.5-MHz split coaxial RFQ and a 51-MHz interdigital-H linac has come into operation at KEK-tanashi. The SCRFBQ was designed so as to accelerate ions upto 172 keV/u, and the IH linac upto 1.05 MeV/u. In order to measure the longitudinal emittance of the beam from the linacs, the monitor using a silicon semiconductor detector (SSD) has been prepared. The distribution in the longitudinal phase space can be provided by measuring the ion energy and the time difference between the RF and the SSD signal simultaneously. The longitudinal emittance of the  $N^{2+}$  output beam from the third IH tank was measured using this monitor. A preliminary result shows that the gross size of the measured emittance is consistent with the simulation results. To investigate the fine structure of the emittance profile, better time resolution is required.

### SSDによるRFQ/IH加速器の軸方向エミッタンスの測定

#### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構田無分室では大型ハドロン計画E-アレーナの開拓研究として不安定核用線形加速器を建設し [1]、97年3月に $^{19}\text{Ne}^{2+}$ の初加速に成功した [2]。この複合線形加速器はイオンを172 keV/uまで加速する分割同軸型RFQ(SCRFBQ)と4台の加速空洞で最大1.05 MeV/uまで加速できるIH型ライナック(IH)からなる。これらのライナックの軸方向エミッタンスを測定する方法として、偏向電磁石で分析したイオンビームを時間応答性の良い収電板等でエネルギーごとにビームのパンチを見る方法などがある。しかしRFQの下流にはこのための大きな電磁石を置く余地はないため、コンパクトなモニターの開発が必要である。そこでシリコンの固体検出器(SSD)を用いたモニターを検討した。我々のRFQはエネルギーが172 keV/uで広がり3%程度なのでエネルギー分解能の良いSSDを使うことは重要である。位相についてはRFとSSDの信号の時間差を測定することによって求める。つまりこのシステムではSSDでどの程度の時間分解能が得られるかが問題となる。我々のライナックは重イオン用なのでRF周波数がRFQで25.5MHz、IHで51MHzと比較的低い。そのためエネルギー分解能には優れているが、時間分解能が他のデバイスと比べ少し劣るSSDでもエミッタンスの分布を測定可能と考えた。今回、 $^{14}\text{N}^{2+}$ ビームでこのモニターをテストし、RFQ/IHライナックの軸方向エミッタンスを測定したのでその結果を報告する。

#### 2. モニターのシステム構成

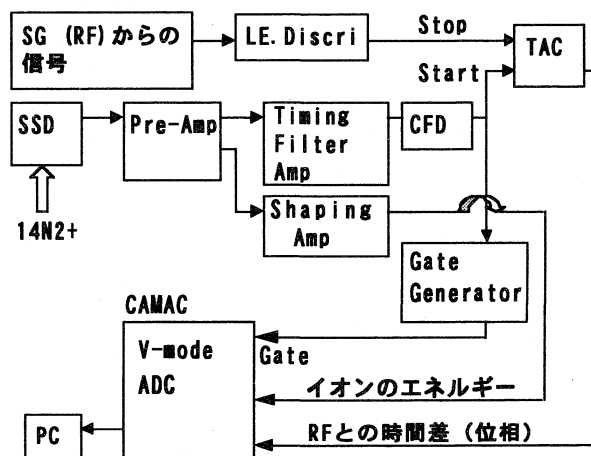


図1: 軸方向エミッタンス測定システム

図1にモニターのシステム構成を示す。SSDからの信号をプリアンプ(ORTEC142A)でエネルギー測定用とタイミング測定用の二つに分け、シェイピング・アンプ、タイミング・フィルター・アンプのそれぞれに入れる。タイミング測定用の信号はコンスタント・フラクションのディスクリミネーター(CFD)を通して時間波高変換器(TAC)のスタート信号とする。25.5MHzの信号発生器(SG)の出力をディスクリミネーターを通してTACのストップ信号とする。シェ

イピング・アンプと TAC の出力を CAMAC の ADC で測定し、PC に取り込む。SSD は松定プレジジョン製の MSC-0901 (空乏層厚 300  $\mu\text{m}$ ) を用いた。またこのモニターで測定する時にはビームの強度を SSD で測定可能な程度 (kHz 程度以下) に十分落とす必要がある。実際の測定では、イオン源の下流に 0.2 $\phi$  のピンホールのコリメーターをつけ、さらに RFQ 上流のレンズ系をオフにして、入射するビームを横方向に分散させることで強度を落とした。

## 2. 1 エネルギー分解能の評価

エネルギー分解能を  $^{241}\text{Am}$  からの  $\alpha$  線を使って調べた。 $^{241}\text{Am}$  からは分岐比で 85% の 5.486 MeV と 13% の 5.443 MeV の 2 つの  $\alpha$  線が放出される。SSD のメーカーの測定によるとこの 2 つの分布のピークが十分分離できる  $\sigma$  で約 0.1% (5.1 keV) の分解能が得られている。我々の環境下での測定では  $\sigma$  で約 0.3% (16 keV) であった。これはオシロスコープで確認した  $\pm 10\text{mV}$  のノイズレベルにほぼ対応していて、エネルギー分解能が SSD 自身ではなくてノイズで決まっていることを示している。ノイズによって分解能が決まってしまうとすると、イオンの種類やエネルギーによらず、 $^{14}\text{N}^{2+}$  ビームに対しては分解能約 1 keV/u となる。実際の  $^{14}\text{N}^{2+}$  ビームのエネルギーは RFQ 出口で 2.4 MeV であり、 $^{241}\text{Am}$  からの  $\alpha$  線の半分程度である。また RFQ/IH ライナックの場合は今回測定した IH 第 3 空洞までの加速で約 10 MeV で  $\alpha$  線源のエネルギーの 2 倍程度となる。

## 2. 2 時間分解能の評価

RF 系はフェーズロックがかかっているため、各空洞間の位相の変動は 25.5MHz に対して平均で  $0.4^\circ$  (44 ps) 以下である。またパルサーを用いて測定した回路系の時間的なジッターは全体で 150 ps 以下であった。SSD 本体の時間分解能はプリアンプのノイズの影響等も含めて現在評価方法を検討中である。しかし今回の  $^{14}\text{N}^{2+}$  ビームの測定時は SG と空洞の RF 系との間のフェーズロックがかかっていなかったことが測定後判明した。測定した位相の時間依存性を見ると 51MHz に対して  $10^\circ$  程度の変動が見える。これと測定結果を考慮して  $\sigma$  で約 500 ps の時間分解能に相当すると考えた。

## 3. 軸方向エミッタンスのシュミレーション

### 3. 1 SCRFQ 出口でのエミッタンス形状

図 2 に RFQ 出口での軸方向エミッタンスの計算結果を示す。(c) と (d) は検出器のエネルギー分解能を 1 keV/u、時間分解能を 300 ps とした計算である。右の 2 つの図は RFQ のベーン間電圧を設計値の 2 倍に

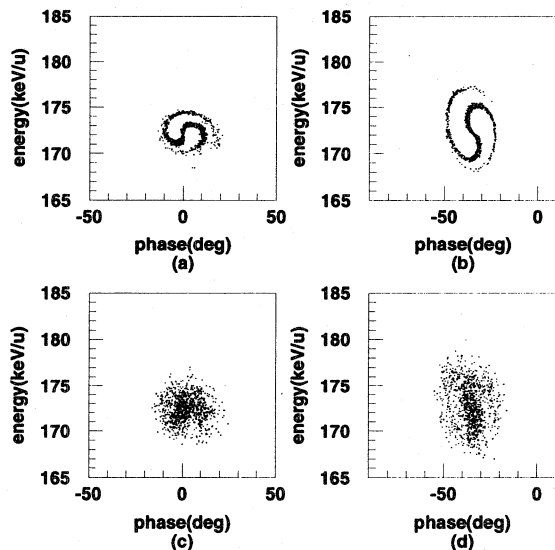


図 2: SCRFQ の軸方向エミッタンスの計算結果。(a)、(c) は RFQ のベーン間電圧が設計値、(b)、(d) は設計値の 2 倍。(c)、(d) は検出器のエネルギー分解能を 1 keV/u、時間分解能を 300 ps とした計算。

した場合である。エネルギー方向に 2 倍程広がってエミッタンスの大きさが約 2 倍となる。渦巻き状の内部構造の回転の向きも変わっている。エミッタンスの大きさは設計電圧の時、エネルギーの拡がりりが 5 keV/u、位相の拡がりりは  $30^\circ$  (3.2 ns) である。分解能を考慮した計算を見ると 1 keV/u、300 ps の分解能でぎりぎり渦巻きの構造が見える。しかし 500 ps の分解能ではエミッタンスの内部構造を見るのは困難で、全体の大きさが分かる程度である。

### 3. 2 RFQ/IH 出口でのエミッタンス形状

IH 第 3 空洞まで運転した場合の出射ビームの軸方向エミッタンスの計算の一例を図 3 に示す。計算位置は実際に SSD を設置した IH 下流 153 cm の場所である。(b) は検出器のエネルギー分解能 1 keV/u、時間分解能 500 ps を考慮した計算である。エミッタンスの中心部の大きさはエネルギーの拡がりりが約 10 keV/u、位相の拡がりりは約  $50^\circ$  (2.7 ns) である。やはり 500 ps の分解能だと全体の大きさが分かる程度で微細構造を見るのは困難である。

## 4. RFQ/IH の軸方向エミッタンスの測定結果

IH 第 3 空洞まで運転した時の RFQ/IH ライナックの軸方向エミッタンスの preliminary な測定結果を図 4 に示す。加速したイオンは  $^{14}\text{N}^{2+}$  である。エネルギーの較正パラメータは RFQ だけで加速して測定したデータ、IH 第 1、2、3 空洞まで運転して測定したデータのそれぞれを設計エネルギーの関数で直線

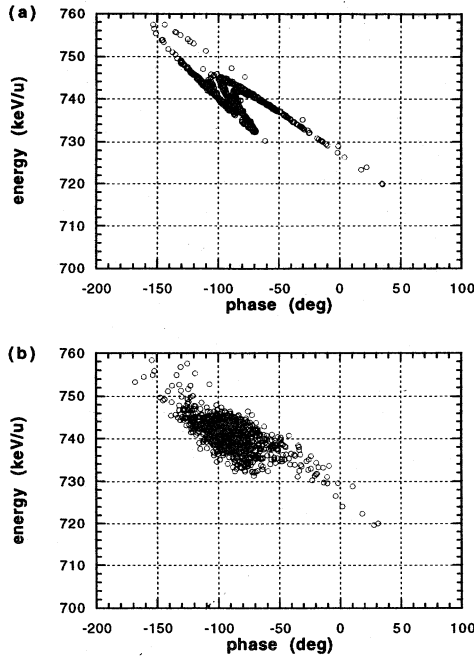


図3: RFQ/IHの軸方向エミッタンスの計算結果。IH第3空胴まで運転。(b)は検出器のエネルギー分解能を1 keV/u、時間分解能を500 psとして計算。

フィットして決めた。(b)は(a)と比べてIH第2空胴と第3空胴に供給するRFの位相差を $-20^\circ$ だけ変えて測定した。つまりRF加速電場の $20^\circ$ だけ深いところで加速している。そのためエネルギーが少し下がり拡がりも少し大きくなっており、定性的な傾向は説明できる。また図3(b)と比較してエミッタンスの大きさは計算とほぼ合っている。しかしエネルギーの絶対値や分布の微妙な形状等は十分に合っていない。これはエネルギーの較正方法の問題と、測定中の各空胴に供給するRFの電圧や位相を計算の中で完全に再現できないためと考えられる。

## 5. まとめ

RFQやRFQ/IH加速器の軸方向エミッタンスをSSDを用いて測定するモニターをテストした。 $^{14}\text{N}^{2+}$ イオンをIH第3空胴まで加速した場合の軸方向エミッタンスを測定し、大きさや大まかな分布は検出器の分解能を考慮したシミュレーションで再現できた。今後はRFQ下流にもモニターを置いてRFQの軸方向エミッタンスを測定する。特にエミッタンスの内部構造を測定できるようにSSDのエネルギー分解能を0.5 keV/u、時間分解能を300 ps程度まで改善することを考える。ノイズ・レベルを下げるのが重要で、メーカーのテストでは $^{241}\text{Am}$ からの $\alpha$ 線でエネルギー分解能につい

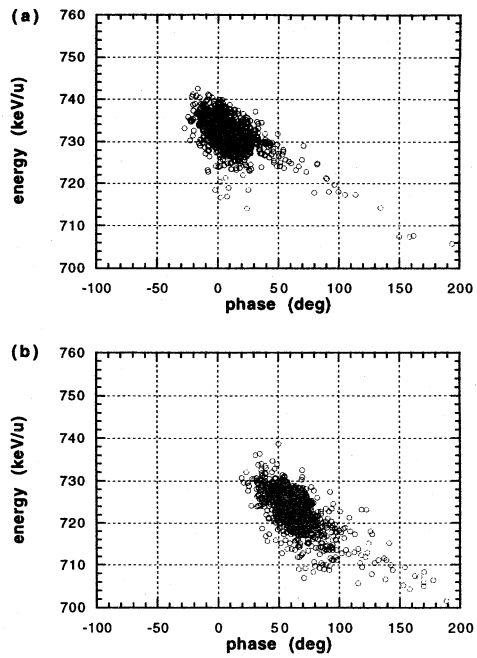


図4: RFQ/IHの軸方向エミッタンスの測定結果 (preliminary)。IH第3空胴まで運転。(b)は(a)と比べてIH第2空胴と第3空胴のRF位相差を $-20^\circ$ だけ変えて測定。

て約3倍良い分解能が得られている。また今回の測定はSGと各空胴のRF系との間のフェーズロックがかかっていなかった。SGを使うより直接空胴からのピックアップ・ループの信号を使う方がよいと思われる。これによりどのくらいまで時間分解能が上がるかを検討し、さらに空乏層厚や有感面積(今回は使ったものは $9\phi$ )の違うSSDでさらにテストする予定である。

## 謝辞

本研究を進めるに当たり数々のサポートをしてくださった野村教授他、KEK田無分室のE-グループの方々に感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] S. Kubono *et al.*: "Low-Energy Radioactive Nuclear Beam Project at INS", 3rd INS-RIKEN Symp. on Heavy Ion Collisions, Shinrin-Koen, Saitama, Japan, 1994, INS-Rep.-1084, 1994.
- [2] M. Tomizawa *et al.*: Proc. 1997 Particle Accelerator Conference, Vancouver, B.C., Canada, 1997.