

BEAM MATCHING BETWEEN THE SCRFQ AND THE IH OF THE HEAVY ION LINAC COMPLEX FOR UNSTABLE NUCLEI BEAM

Kazuaki NIKI, Heavy Ion Linac Working Group

Institute for Nuclear Study, University of Tokyo,
Midori-cho, Tanashi-shi, Tokyo 188

ABSTRACT

The beam dynamics at the transport system composed of a charge stripper, a rebunching cavity and quadrupole magnets has been studied for a beam matching between a 25.5 MHz split-coaxial RFQ (SCRFQ) and a 51MHz interdigital-H type linac (IH) of the heavy ion linac complex in a prototype E-arena project at INS. The longitudinal matching requires the rebunching cavity with the frequency of 25.5MHz.

短寿命核用重イオン線形加速器でのSCRFQとIH間のビーム整合

1. はじめに

核研では大型ハドロン計画の一つであるEアレーナの準備研究として荷電質量数比1/30以上の不安定核イオンを約1MeVまで加速する重イオン線形加速器施設の建設が行なわれる。この施設では主な加速器として25.5MHzの分割同軸型RFQ (SCRFQ) と51MHzのIH型リニアック (IH) の二つを用いる。そしてこのSCRFQとIHの間に荷電質量数比を増加させるためのストリッパーフォイルとリバンチのためのRF空胴 (リバンチャー)、そして四重極電磁石などを配置し、SCRFQからの170keV/uの重イオンを輸送して後段のIHと整合をとる。本論文では、この輸送系のビームダイナミクスを調べた結果について報告する。

2. ビーム輸送系

SCRFQからIHへのビーム輸送系の概要を図1に示す。SCRFQから出射される粒子は荷電質量数比が最小で1/30、エネルギーは170keV/uである。SCRFQの直後にストリッパーを置いてこの荷電質量数比を1/30から1/10に増加させる。この時エネルギーは10 μ g/cm²のカーボンフォイルを用いた場合約6keV/u減少する。後段のリバンチャーはSCRFQからのビームがIHに輸送されていく過程でデバンチするのを再びバンチさせるためと、ストリッパーでのエネルギー損失を補正するために用いられる。リバンチャーの周波数としてはSCRFQと同じ25.5MHz、IHと同じ51MHz、さらにその倍の102MHz等が考えられるが、空胴構造の安定性、空胴のサイズ、必要な電圧等を考えると周波数は高い方が望ましい。

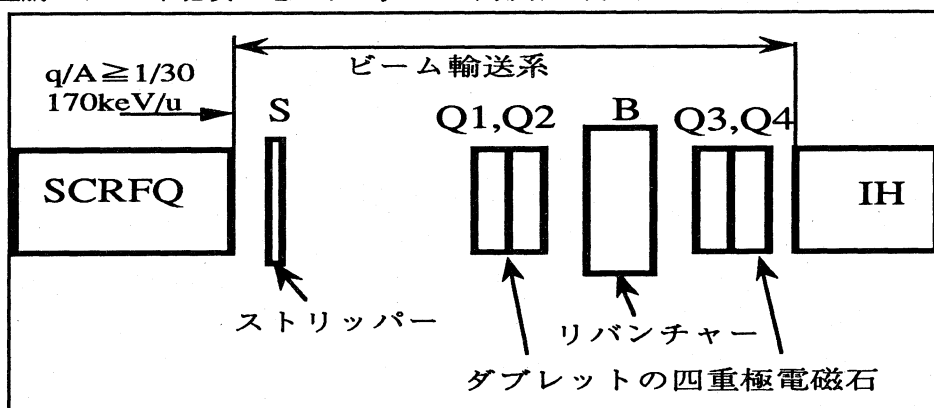


図1 ビーム輸送系の概要

表1 ビーム輸送系への入射及び出射のパラメータ

	入射 (SCRFAQのエミッタンス)	出射 (IHのアクセプタンス)
軸 $\Delta\phi$ (deg.)	30°	図2参照
方 ΔT (keV/u)	2.5keV/u	図2参照
向 大きさ (keV/u deg)	75 π	(200 π)
横 β_x (m)	0.5305	1.0
方 α_x	1.7290	3.0
向 β_y (m)	0.3620	1.0
α_y	-1.5030	3.0
大きさ (mm mrad.)	31 π	90 π

この輸送系への入射及び出射のパラメータつまりSCRFAQのエミッタンスとIHのアクセプタンスを表1に示す。SCRFAQからのビームの軸方向のエミッタンスはおおよそ正立楕円で近似できて、その大きさは約75 π keV/u deg.である。ビームのエネルギー及び位相の拡がりは半幅でそれぞれ2.5keV/u、30°である。ただし位相に関しては周波数をIHの51MHzに換算している。IHの軸方向のアクセプタンスを図2に示す。ビーム整合の最適化パラメータを見つけるためにアクセプタンスを図に示したような実線やの破線の楕円と仮定すると、その大きさは約200 π keV/u deg.となりSCRFAQのエミッタンスの2.7倍程となる。SCRFAQの出口でのビームの横方向のエミッタンスは31 π mm mrad.である。IHは四つのタンクからなりタンク間には四重極電磁石を置くが、各タンク内には収束要素はなくRFの発散力だけが働く。そのためIHへはかなりの急角度で入射しなければならない、IH入口での入射の条件はTWISSパラメータで $\beta=1.0, \alpha=3.0$ となる。またIHの横方向のアクセプタンスはSCRFAQ出口のエミッタンスの約3倍である。

図2 IHのアクセプタンス
実線、破線は本文参照

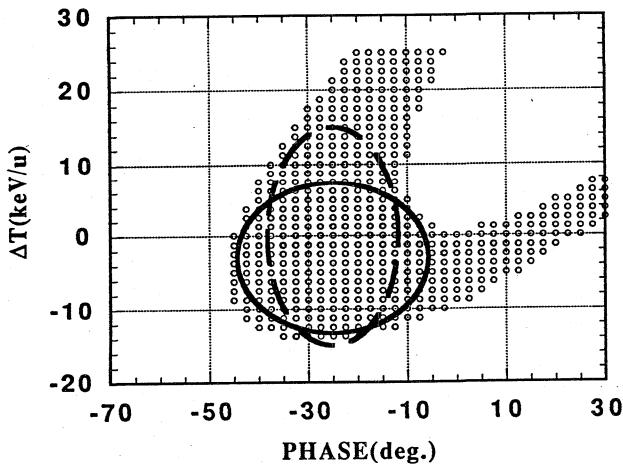
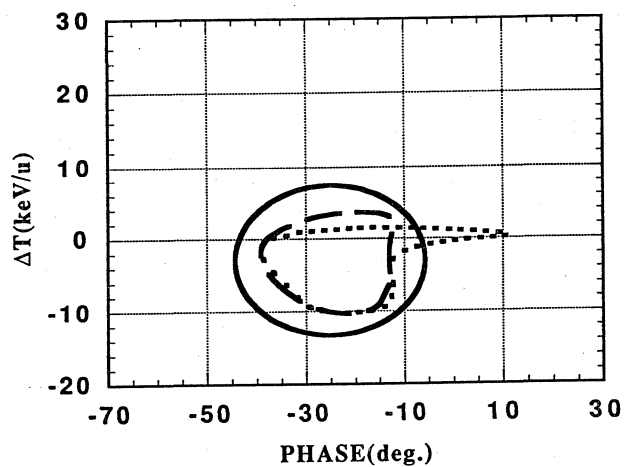


図3 IH入口でのビームのプロファイル
実線は図2と同じ。破線、点線は本文参照



3. 軸方向のビーム整合

軸方向のビーム整合を行なうために必要なパラメータはリバンチャーのギャップ電圧とそれを置く位置である。ギャップ電圧に関しては、リバンチャー自身の構造は無視して有効電圧 (=トランジットタイムファクター×ギャップ電圧) を使って設計を行なう。SCRFAQから出射されるビームの軸方向のエミッタンスの形は正立楕円で近似できる。そしてリバンチャーでは時間とともに線形のエネルギー変化を受けるとするとIH入口でもエミッタンスはほぼ楕円で近似できるので、図2のアクセプタンスに内接する正立

楕円（図2の実線や破線）を書きこれに整合するようにリバンチャーのパラメーターを決める。破線はエネルギー方向が出来るだけ大きくなるように選んだもので、実線は位相方向が出来るだけ大きくなるように選んだものだが実線の場合はエネルギーの中心が3keV/uほど170keV/uより下がっている。楕円の面積はどちらも約 200π keV/u deg.である。実際の整合の条件であるが、IH入口でのエミッタンスの楕円がアクセプタンスの正立楕円と相似形になるようにリバンチャーの位置と強さを決める。このような方法を取ると、SCRFAQからリバンチャーまでの距離を決めると一意的にリバンチャーの強さとリバンチャーからIHまでの距離を決めることができる。後に述べるがリバンチャーとIHの間にはダブレットの四重極電磁石を置くことが横方向の整合から要請されるので、ダブレットの四重極電磁石を設置するのに十分な空間（80cm以上）が必要である。このようなことから必要な条件を満たす解として図2の実線の場合のアクセプタンスに対して25.5MHzのリバンチャーを用いSCRFAQとリバンチャー間の距離を2.0m、リバンチャーとIH間の距離を0.95mとした時が最もよい整合の条件となった。この時のIH入口でのエミッタンスのプロファイルを図3の破線で示す。アクセプタンス内によく収まっていることがわかる。このプロファイルにはストリッパー $10\mu\text{g}/\text{cm}^2$ の場合のエネルギー損失6keV/u、エネルギーストラグリング $\pm 0.5\text{keV}/\text{u}$ といった効果や実際のリバンチャーの電圧が線形ではなくサインカーブをしているといった効果が反映されている。その他51MHzのリバンチャーを用いた場合の結果を図3の点線で示すが実際のリバンチャーが非線形であるため、アベレーションが大きくなりうまくアクセプタンス内に収まらない。またリバンチャー二台を使った場合の条件も調べた。この場合一台目はストリッパーによるエネルギーの損失等を補正するため、もう一台はリバンチャーするためののみ用いる。結果はリバンチャー一台の時と基本的には大差ない結果となり結局リバンチャーは一台で十分であると考え。最終的に問題となるのはリバンチャーの周波数が低いことである。25.5MHzのRF空洞として適当なものがなく、単純な $\lambda/4$ 共振器だと長さが約3mもするものになる。スパイラル型¹⁾をしたステムの空洞などを検討中だが構造的に安定なものが可能かどうか問題となる。

4. 横方向の整合

横方向の整合に関する難しさはIHへの入射のパラメータ、つまりTWISSパラメータの α が3と大きいことである。計算機プログラムMAGICを使って検討した結果、整合をとるにはダブレットの四重極電磁石を2セット用いる、とくにIHの直前にダブレットの四重極電磁石をおく必要があることがわかった。結果としてリバンチャーの前後に二台ずつ計四台の四重極電磁石を配置することになる。

5. まとめ

このビーム輸送系を最適化してビーム整合をとるには軸方向の整合が特に重要であった。本論文ではストリッパーを $10\mu\text{g}/\text{cm}^2$ とした場合について述べたが、 $5\mu\text{g}/\text{cm}^2$ とした場合はもう少し整合が容易になる。しかしこの場合もリバンチャーの周波数は51MHzでは十分な整合をとることは困難である。ストリッパーによるエネルギー損失を小さくするつまりストリッパーを薄くすること、そしてリバンチャーの周波数を下げることは整合を容易にする上で重要となる。しかしストリッパーの薄さには限界があり、リバンチャーの周波数もSCRFAQが25.5MHzなのでこれが最低である。そしてこの25.5MHzの周波数をもったRF空洞を実際に開発することができるかどうか、今後のビーム輸送系全体の設計にとって非常に重要となる。

参考文献

- 1) A. Schempp et al., Nucl. Instr. and Meth. 135 (1976) 409.
P. Z. Peebles et al., Part. Acc. 6 (1975) 201.