

[F18p30]

Development of a Charge-State Multiplier System for the RIKEN RI-Beam Factory

O. Kamigaito, M. Kase, Y. Miyazawa, T. Chiba, M. Hemmi,
E. Ikezawa, S. Kohara, A. Goto, and Y. Yano,
The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)
Wako-shi, Saitama 351-01, Japan.

ABSTRACT

In the RIKEN RI-beam factory project, a Charge-State Multiplier system (CSM) is planned to be placed between the existing heavy ion linac (RILAC) and the ring cyclotron (RRC) in order to increase the charge-to-mass ratio (q/A) of ions without changing the injection radius of the RRC. The CSM consists of an accelerator, a charge stripper and a decelerator. For the accelerator and decelerator sections, drift tube linacs of variable-frequency type will be used, whose rf frequency should be varied from 36 to 76 MHz. Development of the low energy section of the CSM is under going. For the resonators of the variable-frequency linacs, quarter-wavelength structure with a movable shorting plate has been designed.

理研RIビームファクトリーのための 「重イオン荷電状態増幅装置 (CSM)」の開発

1. 「重イオン荷電状態増幅装置 (CSM)」とは

現在建設が進められている理研RIビームファクトリー計画では、既存のリングサイクロトロン (RRC) からのビームを4セクターおよび6セクターのリングサイクロトロン (IRCとSRC) によりさらに加速する。最終的なエネルギーは酸素等の軽いイオンで核子当たり400 MeV、最も重いウランで核子当たり150 MeVになる予定で、100pAから最高1 μ Aのビーム強度を得ることを目標にしている。初段の加速器は既存の重イオンリニアック (RILAC) である。最近新しい入射器が完成してビーム強度が大幅に増強された[1]。

さて、この計画で重いイオンを加速する場合、リングサイクロトロンの磁場の制限により、かなり高い価数のイオンを入射する必要がある。問題となるのは、RILACの加速エネルギーがあまり高くないため、RILAC直後に置かれている現在のチャージストリッパでは十分に高い価数が得られないことである。

この状況と、その解決法を図1を用いて説明す

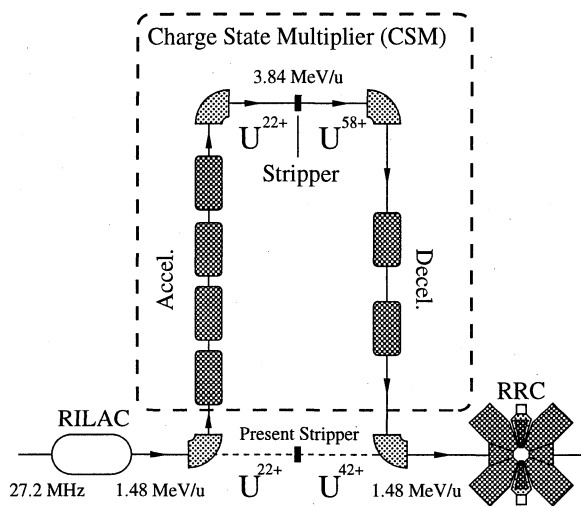


図1 CSMの原理

る。SRC出口で150 MeV/uのウランを得ようとする、RF周波数は27.2 MHzになり、RRCには最低58価のイオンを入射しなければならない。一方このときのRILACの加速エネルギーは1.48 MeV/uとなる (RILACは最低22価のイオンまで受け入れられる) が、このエネルギーで炭素膜による荷電変換を行うと生成効率が最大になるのは42価になって

しまい、必要な58価は得られない[2]。そこで、図に示すようにRILACからのビームを3.84 MeV/uまで加速し、そのあと元と同じスピードまで減速すれば、RRCに手を加えることなく58価のイオンを入射することができる。なお3.84 MeV/uでの58価の生成率は約13%であり、十分高いといえる。

以上が重イオン荷電状態増幅装置 (Charge State Multiplier) の原理である[3]。以下この頭文字をとって「CSM」とよぶことにする。

2. 開発の経緯

CSMはこれまでいくつかの案に基づいて検討が進められてきた[4,5]。いずれの案も、ア) 加速および減速部にドリフトチューブリニアックを用いること、イ) 単位長さ当りの加速効率を上げるため運転周波数を基本周波数の2倍にすること、という共通点がある。すなわち、加減速部分は36-76 MHzの範囲で周波数可変なりニアックになる。

最近の設計[5]では、加速部分に4台、減速部分に2台のIH型共振器を配置し、1台の共振器に16ないし18の加速ギャップを設けている。ドリフトチューブ内には収束要素を入れず、タンク間に三連四重極電磁石を入れる。周波数はショート板を上下することで可変にする。MAFIAによるIH型共振器の詳細な検討および現実的な電圧分布を考慮にいたした軌道計算が行われ、その結果ビームの通過効率の点では問題がないことがわかった。

この設計では、CSM全体を既存の建物に収めるためギャップ間に最低410 kVの電圧を発生させることを想定していた。しかしながらこの条件ではタンク一台当りの電力損失が100 kWを大きく超え、またコンタクトフィンガーでの電流密度も90 A/cmという非常に高い値になることが予想された。タンクがかなり長くなるのも問題の一つであった。

3. 現状

そこで今回新たに共振器の再検討を行った。変更点はタンク1台当りのギャップ数を8にし、タンクの台数を倍に増やしたことである。すなわち、8台のタンクで加速し、4台のタンクで減速する。こうすると共振器が比較的小型になり、一台当りの

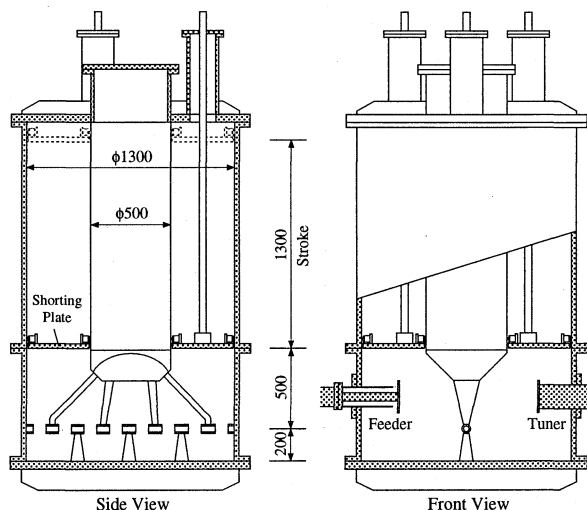


図2 CSM低エネルギー部の共振器

電力損失が100 kW以下に抑えられる。なおギャップ間の最高電圧は500 kVを想定している。収束要素としてタンク2台ごとに三連四重極電磁石を挿入する。

現在、低エネルギー部 (加速タンクのはじめの2台及び減速タンクの最後の1台) の詳細設計を行っている。第2加速タンク出口でのエネルギーは、基本周波数27.2 MHzのとき2 MeV/uである。

図2に示すように、共振器は1/4波長の円筒同軸構造を基本にしている。同軸部は3台とも同じ寸法 (外筒の内径1300mm、内筒の外径500 mm) である。共振周波数はショート板を上下に動かすことにより変える。円筒形を基本にしたのは、内筒の上およびショート板内側のコンタクトフィンガーでの電流密度を減らすためである。同時にドリフトチューブ用ステムの形状を詳しく検討し、コンタクトフィンガーでの電流密度の最大値を60 A/cmに抑えた。

図3にMAFIAによる共振周波数の計算値を載せる。ここに示したのと同様、他の共振器でも1300 mmのストロークで所定の周波数範囲が実現する。

図4と図5にはQ値とシャントインピーダンスを示す。ただしここでのシャントインピーダンス R_s は、電力損失 P 、ギャップ間の平均電圧 V としたとき、 $R_s = V^2/2P$ で与えられるものである。図からわかるようにいずれも周波数によらずほぼ一定である。計算による電力損失は約60から70 kWであるが、実際の共振器ではQ値とシャントインピー

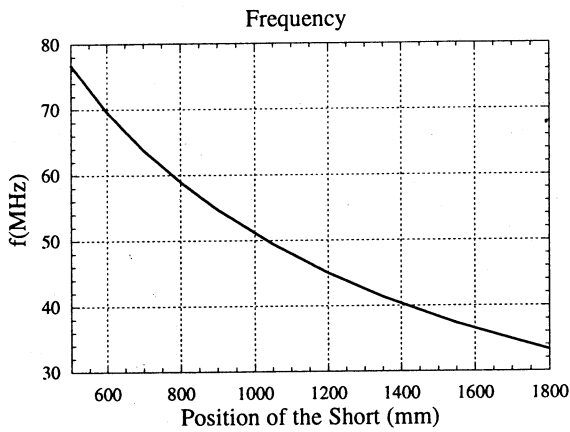


図3 第2加速タンクの共振周波数

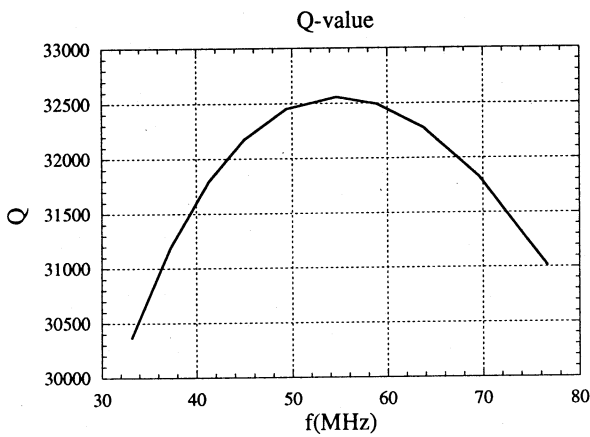


図4 第2加速タンクのQ値

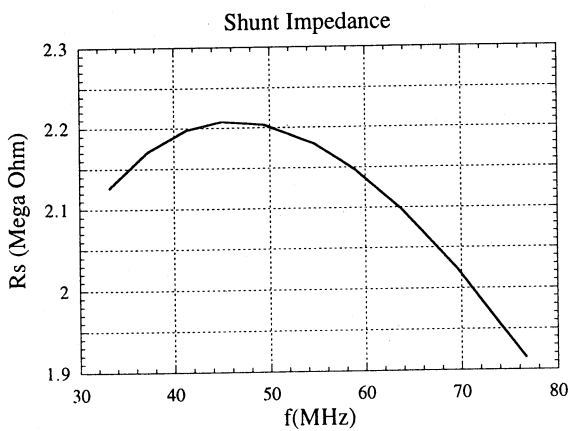


図5 第2加速タンクのシャントインピーダンス

ダンスが小さくなることが予想されるので、アンプには最大出力100 kWのものを用いる予定である。

この共振器では、電圧分布が一様でなく、端のギャップほど小さくなる。たとえば最高周波数(76MHz)での両端のギャップ間電圧は中心部の8割程度である。この電圧分布がビームの透過効率に与える影響を調べたが、平均の電圧が設計値を超えるよう十分な電力を入れれば、問題がないことがわかった。引き続き四重極電磁石の最適化を行っている。

4. 今後の予定

現在設計中の低エネルギー部を製作し、実際にRILACとRRCの間に設置してCSMとしての動作を調べる予定である。その後徐々にタンクの数を増やし、最終的に12台のタンクからなるシステムを構築する。これと平行して大電流に耐えうる荷電変換装置を製作する必要がある。

謝辞

高エネルギー加速器研究機構の富沢正人氏には、軌道計算について基本的な考え方を教えていただき、またインドVECCのArup Bandyopadhyay氏には、IH型共振器の詳細な検討をしていただきました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] O. Kamigaito et al., Proc. PAC97, Vancouver, Canada, May 1997, in press.
- [2] K. Shima et al., Atomic Data & Nuclear Data Tables 51, 173 (1995).
- [3] Y. Yano et al., Proc. 10th Symp. on Accelerator Science and Technology (1995), p.191.
- [4] M. Tomizawa, RIKEN Accel. Prog. Rep. 29 (1995), p.228.
- [5] A. Bandyopadhyay et al., RIKEN Accel. Prog. Rep. 31 (1997), p.203.