

CONCEPTUAL STUDY OF THE RCNP NEW INJECTOR

Yusuke Yasuda, Kichiji Hatanaka, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroshi Ueda, Takane Saito, Shunpei Morinobu, Hitoshi Tamura, Mitsuru Kibayashi, Keiichi Nagayama
 Research Center for Nuclear Physics, Osaka University
 10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

Abstract

Conceptual study on a new injector to the ring cyclotron is in progress at RCNP. A separated sector cyclotron (SSC) with Cockcroft-Walton accelerator as a pre-injector is a candidate and has been discussed. Design of high-temperature superconducting sector magnets and a RF cavity have been studied for the SSC. The RF cavity needs structure to vary a resonant frequency of the cavity. Studies on sizes and structures of the cavity have been performed.

RCNP 新入射器の概念検討

1. 導入

現在、大阪大学核物理研究センターでは AVF サイクロトロンとリングサイクロトロンが稼働しており、AVF サイクロトロンの単独運転で 65MeV、さらにリングサイクロトロンの運転で 400MeV まで陽子ビームを加速し、実験、照射に利用している。

近年 RCNP では、超冷中性子 (UCN) 生成、ミュオンビーム生成 (MuSIC)、中性子の半導体照射などで、強度の高い陽子ビームのニーズが高まっている。また、不安定原子核の 2 次ビーム生成には重イオンを加速するが、不安定原子核の生成量および核種の増加のためにも、重イオンビーム強度の増加が期待されている。

ビーム強度の増強は、既存の AVF サイクロトロンでは限界があることから、RCNP では、リングサイクロトロンへの新たな入射器の検討に着手した。

入射半径 2m、加速ハーモニクス数が 6 または 10、加速周波数が 30~52MHz の既存のリングサイクロトロンとの整合を考慮し、現在 $1\mu\text{A}$ 程度の陽子ビームの強度を $10\mu\text{A}$ まで引き上げることを目指して、我々はコッククロフトウォルトン加速器と分離セクター型サイクロトロン (Separated Sector Cyclotron: SSC) の組み合わせを新入射器の候補として概念検討を行っている。

表 1: 新入射器 SSC の主な仕様

Injection radius	0.371 m
Extraction radius	3.0 m
Harmonic number	9, 15
Frequency	30-52 MHz
Dee 開き角度	17°
Injection Energy	900 keV
Extraction energy	65 MeV

2. 分離セクター型サイクロトロン(SSC)

新入射器は既存の施設に設置することを前提としており、建屋からの制約も含めて検討を行っている。SSC の概念仕様を表 1 に示す。ハーモニクス数を 9 (軽イオン) または 15 (重イオン) とすると、対応するリングサイクロトロンでのハーモニクス数が 6、10 となる。SSC は 4 台のセクター磁石に高温超伝導電磁石を用いることでコンパクト化と省電力化を目指している[1]。

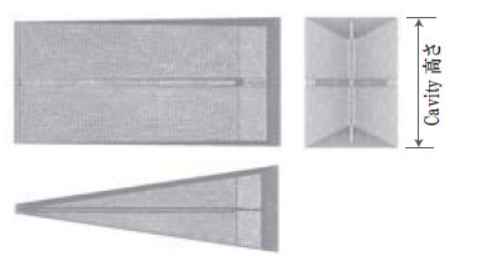


図 1: Cavity 内部のシミュレーションモデル

3. RF Cavity の検討

概念仕様とセクター磁石の検討が進んだことから、現在、我々は RF Cavity の検討を進めている。RF Cavity は、リングサイクロトロンと同じ 30-52 MHz の周波数を用いるため、この範囲で周波数を変動させる機構を必要とする。

RF Cavity には、2ギャップ $\lambda/2$ 型を検討している。このタイプの Cavity は PSI の Injector II [2] でデルタ型として採用されている。PSI の Injector II は固定周波数であるが、この Cavity を参考にし、SSC の仕様とセクター磁石による空間的制約を考慮した Cavity をデザインし、有限要素法を用いた 3 次元電磁場解析ソフト SOPRANO/EV(Opera-3d) を用いて Cavity 内に発生する電磁場、共鳴周波数、Q value を調べた。

3.1 Cavity 高さ

$\lambda/2$ 型 Cavity は Cavity の両端にショート板を設置し、これを動かすことによって周波数を変えることができる。このことから、ショート板の位置を変えて必要な周波数を得るために必要な Cavity の大きさを検討した。Dee 電極の厚さは 100mm とした。この結果を図 2 に示す。

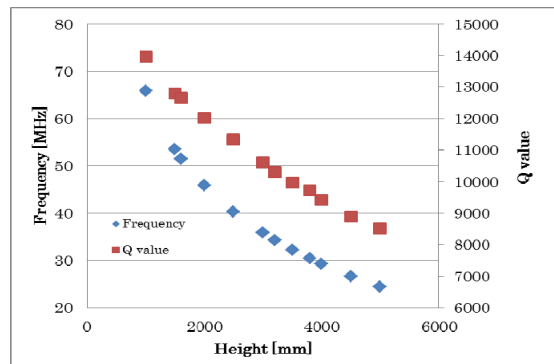


図 2: RF Cavity の高さ と 共鳴周波数の関係

得られる共鳴周波数は Cavity の高さが高いときに低い周波数が得られる。今回の場合、必要な周波数の最小値である 30MHz の共鳴を発生させるためには、約 4m の高さが必要であることが分かった。新入射器を設置する予定の建物では、クレーンの高さから高さの制限が約 4m であるので、真空箱や駆動装置を含めて考えるとこの方式では制限内に収めることが難しいことが分かった。

3.2 Cavity のその他の検討

$\lambda/2$ 型 Cavity では、ショート板による周波数変調の他に、周波数を微調整するための装置が必要となる。PSI Injector II に習って、Cavity 内で 2 つの導体板を動かして Cavity 内の静電容量を変えることにより周波数を変える方法を検討した。導体板は大きさ、厚さを変えて検討したが、例えば、200x200x40^t mm で、周波数 30MHz、52MHz のいずれの場合においても周波数値の 1% 程度の変調を行うことができ、運転時の周波数の自動調整に必要な性能を満たすことができると考えられる。

また、加速ギャップの開き方による電場分布の変動も計算し、変動の様子を調べた。必要な電場分布は加速粒子の速度に応じて今後検討を行う。

3.3 Movable box

RIKEN Ring Cyclotron(RRC)では、我々が検討している 2 ギャップ $\lambda/2$ 型の RF Cavity を使用している。RRC の Cavity では、低周波数での Cavity の高さが大きくなることを避けるために、Cavity 内に Movable Box と呼ばれる構造体を入れて動かすことにより、2m 程度の高さの Cavity で 20 MHz の共鳴周波数を実現した[3]。これを参考に、ショート板の

代わりに Movable Box を用いた Cavity のシミュレーションを行った。Cavity の高さを 1.8 m、Movable Box の厚さを 200mm とした場合の結果を図 3 に示す。図 3 において、横軸は粒子が通る Median plane からの Movable Box の距離を示す。この Cavity では 30-52 MHz の周波数を実現できており、かつ高さの制限も十分満たしているので、Movable Box が新入射器 RF Cavity の周波数調整機構の 1 つの方法といえる。

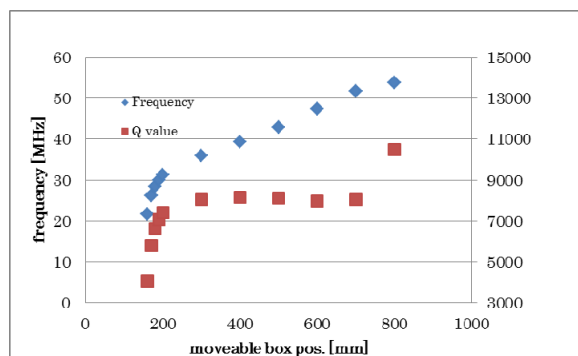


図 3: Movable box を用いた場合の Movable Box と共鳴周波数の関係

4. まとめ

RCNP では、コッククロフトと SSC の組み合わせによるリングサイクロトロンへの新しい入射系の検討に着手した。概念検討と高温超伝導セクター磁石の設計に続き、有限要素法による 3 次元磁場解析を用いて新入射器の Cavity 形状の検討を行っている。新入射器 Cavity には周波数を変化させる機構が必要であるが、スライド板方式では Cavity の大きさが大きくなり、建物の制約を満たすことが難しい。一方、Movable Box 方式では、1.8 m の高さで必要な 30-52 MHz の周波数を得ることができた。今後、さらに検討を進め、新入射器の RF Cavity の設計を進める予定である。

参考文献

- [1] K. Hatanaka, *et al.*, Proceedings of this conference.
- [2] U. Schryber, *et al.*, 9th International conference on cyclotrons and their applications, p43, 1981
- [3] T. Fujisawa *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A292 (1990) 1-11