

## RCNPにおけるサイクロトロン入射部の開発

### DEVELOPMENT OF INJECTION SYSTEM FOR CYCLOTRONS AT RCNP

依田哲彦<sup>A)</sup>, 畑中吉治<sup>A)</sup>, 福田光宏<sup>A)</sup>, 安田祐介<sup>A)</sup>, 斎藤高嶺<sup>A)</sup>, 田村仁志<sup>A)</sup>, 森信俊平<sup>A)</sup>, 鎌倉恵太<sup>A)</sup>  
Tetsuhiko Yorita<sup>A)</sup>, Kichiji Hatanaka<sup>A)</sup>, Mitsuhiro Fukuda<sup>A)</sup>, Yusuke Yasuda<sup>A)</sup>, Takane Saito<sup>A)</sup>, Hitoshi Tamura<sup>A)</sup>,  
Shunpei Morinobu<sup>A)</sup>, Keita Kamakura<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Research Center for Nuclear Physics (RCNP), Osaka University, Japan

#### Abstract

Several developments of injection systems for cyclotrons at Research Center for Nuclear Physics (RCNP) have been carried recently in order to improve the highly intense ion beam of MeV region like intense protons for secondary nucleons or muons, and intense heavy ions for secondary RI beam. One of those is additional glazer lens on axial injection of AVF cyclotron for the purpose of increasing beam transmission to the inflector in center region. Another development is additional bancher for the heavy ion injection like Xe beam which requires high voltage in comparison with proton case. Extension of baffle slits on injection line of Ring Cyclotron also has been done to extend the flexibility of injection orbit. Modification of low energy beam transport (LEBT) from ion source to AVF injection axis also has been carried.

#### 1. はじめに

近年、中性子やミュオンなどの大強度陽子ビームにより生成される2次ビームや、大強度重イオンにより生成されるRIビームの需要は高まっており、サイクロトロンによる中高エネルギーのイオンビームの大強度化は非常に重要なテーマである。大阪大学各物理研究センター(RCNP)サイクロトロン施設ではこのイオンビーム大強度化を目指して、サイクロトロン入射部においていくつかの改良・開発を行った。ひとつは、AVFサイクロトロンの中心軸入射グレーザーレンズの増強である。AVFの軸入射ラインは元々3つのグレーザーで構成されるビーム輸送系であったが、終端のインфлекターへ向けてビームを十分透過させるのが難しかったため、更に1台グレーザーを追加することによりこの問題の解決を図った。もうひとつの改良は、バンチャーの増強である。AVFサイクロトロン軸入射ラインには既に1台バンチャーが設置されているが、近年需要の多いXeなどの重イオンに対しては電圧が十分ではなかった。このためもう1台バンチャーを追加することにより、特に重イオンのバンチングに対応した。このほか、リングサイクロトロンの入射効率向上を目指して、入射ライン上のバフスリットの開口を拡げ、入射軌道の自由度を高めるということも行った。更にイオン源からAVF軸入射部までの輸送ラインLEBTの更新も行った。

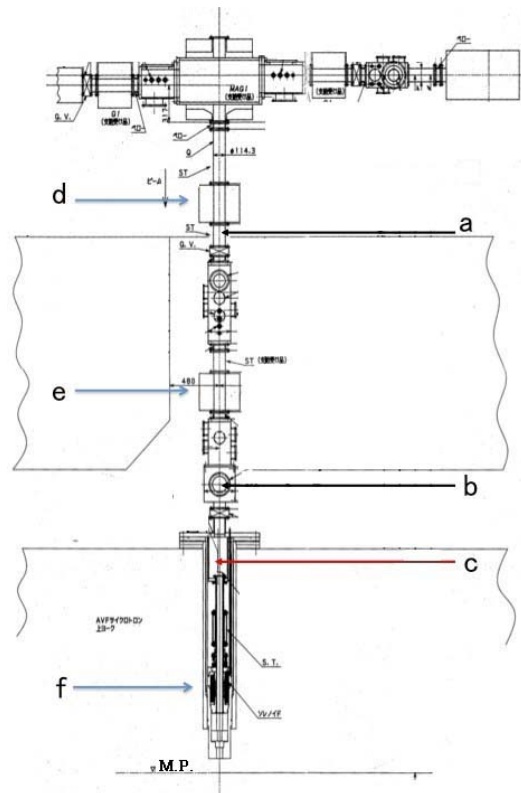


Figure 1: AVFサイクロトロン軸入射部の配置図。  
a:新設バンチャー、b:既設バンチャー、c:新設グレーザー、d~f:既設グレーザーである。

#### 2. AVFサイクロトロン入射部

##### 2.1 バンチャーの増設

Xeなどの重イオンビーム強度向上のためAVF軸入射部にバンチャーを増設した。Figure 1のbで示

# yorita@rcnp.osaka-u.ac.jp

したメディアンプレーン(MP)より2550mmの位置に既設のバンチャーがあるが、これは高周波の基本波、2倍波、3倍波の合成により最大±600Vの鋸歯状波を形成するが、m/qが小さく加速周波数の速い陽子などのバンチングには十分機能するものの、Xeなど



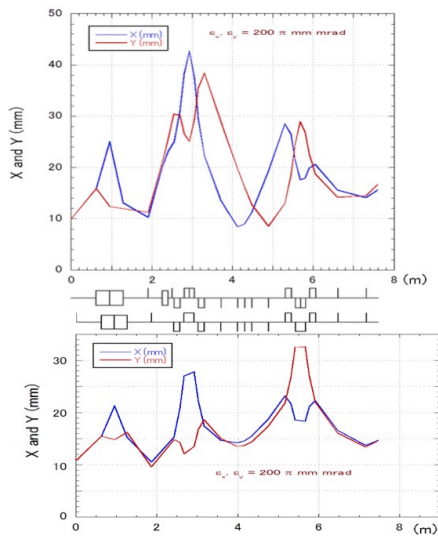


Figure 5: MadX の計算による更新前後の LEBT のビームエンベロープ。下図が更新後の場合。両図ともイオン源からのビームのエミッタンス  $200 \pi \text{ mm mrad}$  を想定している。

エネルギービーム輸送系(LEBT)、とくに 18GHz S C E C R からの輸送系の更新を行った。旧 L E B T は Figure 4 の上図に示すとおりで、イオン源直後の分析電磁石が  $110^\circ$  の偏光角を持ち、その下流で  $20^\circ$  の静電偏向板で角度を戻す配置となっているが、図中のファラデーカップ FC1 から FC3 へのビーム透過率が 80%より向上しないという問題があった。これに対し、M a d X [1]を使用したビームエンベロープの計算によると旧 L E B T ではエミッタンス  $200 \pi \text{ mm mrad}$  以上のビームは  $80 \phi$  のバップルで制限されてしまうことがわかった[2](Figure 5 上図参照)。また  $110^\circ$  偏向磁石と  $20^\circ$  静電偏向板の部分をも  $90^\circ$  偏向磁石に置き換える(Figure 4 下図)ことによりビームの透過効率の向上が見込まれる[2](Figure 5 下図参照)ため L E B T 系の変更電磁石

ION	FC1	FC3	FC3/FC1	MAINC	adSTH	adSTV	
	[ $\mu\text{A}$ ]	[ $\mu\text{A}$ ]	[%]	[A]	[A]	[A]	
old LEBT	12C5+	240	200	83.3	0	0	0
New LEBT	13C5+	85	75	88.2	734	0.52	0.45
	22Ne8+	180	105	58.3	1125	0.7	1
	22Ne6+	125	110	88	0	0.16	0.15
	4He2+	250	200	80	440	0.23	0.21

Table 1: LEBT 更新前後でのビーム透過効率の比較。MAINC は AVF 主コイルの電流設定値、FC1, FC3 はファラデーカップのビーム電流測定値、adSTH, adSTV は AVF からの漏れ磁場対策に導入したステアリング磁石の設定値である。旧 LEBT では AVF 主コイルからの漏れ磁場がないという好条件で 80%強の透過効率であるが、新 LEBT では条件によっては 90%近い透過効率を得られた。

部分の更新を行った。更新後いくつかの種類イオンについて透過効率を測定したが、条件によって 90%近いビーム透過率が実現した(Table 1 参照)。ただし輸送されるビームのエミッタンスも大きくなっていると考えられるので、今後エミッタンス測定を詳細に行うことなどにより、入射のマッチングも最適化した上で加速ビームの大強度化を目指していく。また、AVF 主コイルの電流が大きいときの透過効率が依然悪いので改善策を模索していく。

## 5. まとめ

イオンビーム大強度化を目指して、サイクロトロン入射部においていくつかの改良・開発を行った。AVF サイクロトロンについては軸入射部のグレーザーレンズの増設、及びバンチャーの増設を行った。また、リングサイクロトロンについては入射ラインのバップルスリットの拡張を行った。AVF 軸入射部上流側のイオン源 LEBT についても更新を行い、ビームの透過効率が向上した。今後これらのコンポーネントの運用の最適化を行い、陽子から重イオンにいたるまで各イオンの大強度化を順次進めていく。

## 参考文献

- [1] CERN MAD-X Page: <http://frs.home.cern.ch/frs/Xdoc/>, MAD-X Primer CERN-AB-2004-027-ABP
- [2] T. Yorita, et. Al, Rev. Sci. Instrum. 85, 02A741 (2014)