

RCNP サイクロトロン施設の現状

PRESENT STATUS OF THE RCNP CYCLOTRON FACILITY

畑中吉治[#]、福田光宏、依田哲彦、斎藤高嶺、植田浩史、田村仁志、
永山啓一、安田裕介、森信俊平、鎌倉恵太、濱谷紀彰

Kichiji Hatanaka[#], Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Takane Saito, Hiroshi Ueda, Hitoshi Tamura,
Keiichi Nagayama, Yuusuke Yasuda, Shunpei Morinobu, Keita Kamakura, Noriaki Hamatani

Research Center for Nuclear Physics, Osaka University

10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

Abstract

Accelerators of the RCNP cyclotron facility were not operated from the middle of July in 2012 to the end of March in 2013, since the AVF building was reformed for the anti-earthquake reinforcement. During the shutdown, the wired interlock system was replaced by a system using programmable logic controllers (PLC). It took about 2 weeks to test the new system. We started user's beam time in the beginning of May. Cyclotrons were operated till 21st July and the summer maintenance is going on now.

We had two accidents of vacuum leaks in April and June. The first one was in the injection line to the ring cyclotron. An O-ring in the BNC connector was damaged by radiation. The line was used to read the current of a baffle slit in front of the dipole magnet BI4. Another leak was observed at the feedthrough of the magnetic extraction channel MEC2 of the ring cyclotron. A rubber gasket was radiation damaged, too. Recently the proton polarization from the polarized ion source HIPIS is much worse than before. The quartz tube of the dissociator is severely damaged and some white stuff accumulates on the surface of the aluminum nozzle. The problem has not been resolved yet.

A supplementary budget was approved for the restoration of aging facility. The installation will be performed during January and March in 2014. Accelerators are stopped in this period.

1. 運転、保守

RCNP サイクロトロン施設 (図 1) は、AVF 棟耐震改修工事のため 2012 年 8 月から 2013 年 3 月の間運転を休止した。このため、2012 年度の加速器運転時間は 2,500 時間弱となり、例年の半分以下となった。休止期間中に、通常のメンテナンス以外に電源の回路素子等の経年による劣化部品を交換した。また、AVF 建設時から 40 年間使用してきた計器盤内の回路、配線を PLC 化し、コンソールから計器盤を一掃した。4 月からの運転再開時に放射線管理システムと関連するインターロックを含めた新システムのバグ出しを行い、約 2 週間で終了した。5 月始めから共同利用を開始し、7 月 21 日までビーム

を供給した。現在は、夏季メンテナンスを実施しており、9 月 23 日に転再開の予定である。表 1 に

Table 1: Accelerated ions

Ion	Hours	Ratio
Unpolarized proton	820	44.1
Polarized proton	931	10.0
3-He	175	12.2
4-He	202	10.0
6-Li	212	2.6
16-O	25	1.6
18-O	94	10.7
20-Ne	9	0.4
総計	5905	100.0

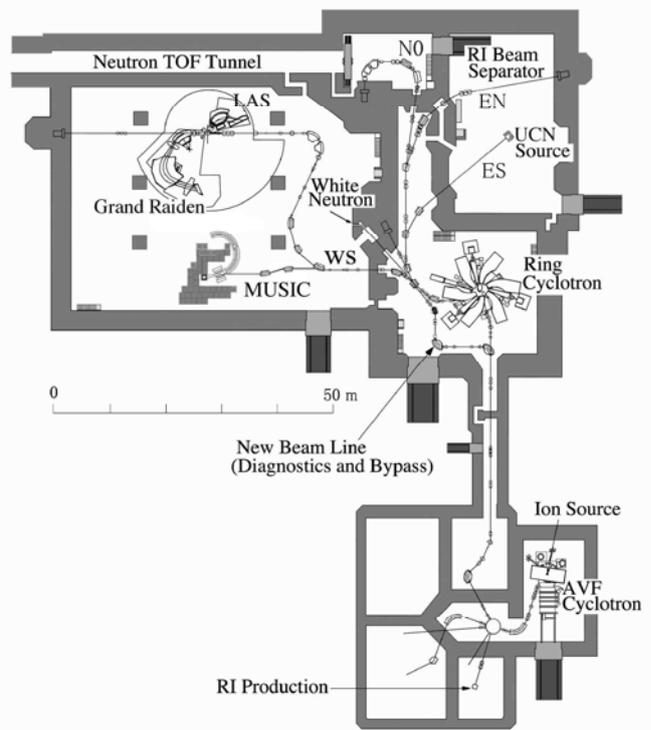


Figure1: Layout of the RCNP cyclotron facility.

[#] hatanaka@rcnp.osaka-u.ac.jp

2012 年度のに加速粒子をまとめておく。ビームは共同利用実験、大阪大学を含む関西地区および九州地区の大学の学部学生教育、民間等との共同研究、核化学・核医学等の応用研究に利用されている。392MeV 陽子のタングステン標的からの核破砕中性子による半導体照射は需要が増えており、2013 年度は新規に 2 社が加わった。核医学関連の利用も増えており、AVF の F コースを復活し、核医学専用ラインとして整備を進めている。2013 年度後期から運用を開始する予定である。

最近、リングサイクロトロンで真空リーク事故が 2 件発生した。1 件は入射ラインの偏向磁石 BI4 上流のバップルスリットからの電流読み出しに利用していた BNC コネクタの O-リングが放射線劣化したことによる。応急処置としてアラルダイトで封入したが、処置後、加速器箱の真空が事故前よりも改善したので、長期間にわたりシークがあったものと疑われる。他もビーム取り出し磁気チャネル MEC2 のホローコンダクタ用絶縁フランジのゴムガasket の放射線劣化が原因であった。2014 年 1-3 月の加速器停止期間中に同様箇所の点検を予定している。

ここ 1 年ほど、偏極陽子ビームの偏極度が低いことが問題になっている。2-3 日使用後に、イオン源 HIPIS^[1] の解離器に使用している石英管の汚れが目立ち、ノズル表面に多量の析出物が認められる (図 2、3)。析出物を分析した結果、主成分は Si であった。石英管が放電で損傷されていると考えられるが、以前と比較して寿命が 10 倍以上短く、原因は特定されていない。



Figure2: Quartz tube of the dissociator after 1-2 days operation.



Figure3: White stuff accumulated on the surface of aluminum nozzle.

2. 開発

2.1 イオン源

RCNP では原子線型偏極イオン源、NEOMAFIOS (10GHz)、超伝導 ECR イオン源 (SCECR : 18GHz)、大強度 ECR 陽子源 (HIPECR 2.45Hz) 計 4 台のイオン源が稼働している。SCECR については本年会での発表がある^[2]。HIPECR は高輝度陽子専用源であり、多極磁場を用いずリング型永久磁石のみで構成しミラー磁場も採用していない。高周波源を 2kW に増強し、ビーム加速に利用を開始した。ビーム加速と平行してイオン源単独の開発をすすめており、15kV で $0.3\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 程度の小さい規格化エミッタンスが得られている。

2.2 エミッタンス測定

これまで、リングサイクロトロンに入射されるビームのエネルギー幅とエミッタンスはビーム分析コーで測定されてきた。このエミッタンス測定器を入射ラインに移設し、リングサイクロトロンに入射されるビームのエミッタンスを常時測るようにした。測定された 65MeV 陽子のエミッタンスは $5\sim 10\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ である。

2.3 グラディエント・コレクター

AVF サイクロトロンのビーム取り出し部には、従来、静電デフレクター 2 台、磁気チャネル、磁気シールドが設置されており^[3]、ビーム軌道の補正は可能であったが、加速器出口付近には収束要素が無かった。このため、ビームが水平方向に発散する。また、ビーム軌道の位置調整に制約があり、当初の設計よりもビームが 10 mm 程度中心側に寄っている。このため水平方向に発散したビームの一部が加速器出口のダクトやゲートバルブを放射化することが観測されていた。これは、ビーム強度増強に伴い深刻な問題となっている。解決策として、これまで設置していた磁気シールドと置き換えて収束と偏向の機能を兼ね備えたアクティブ型のグラディエント・コレクターを導入することにした^[4] (図 4)。

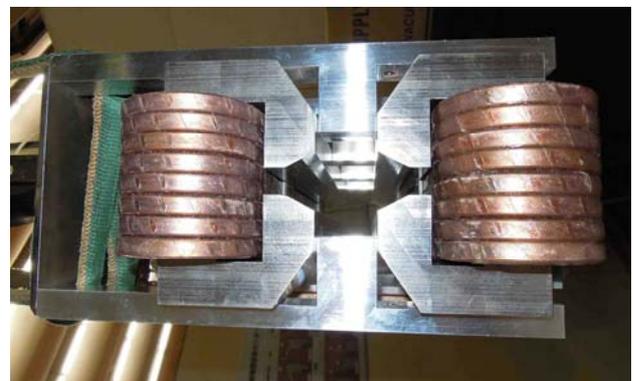


Figure4: Gradient corrector for the AVF cyclotron.

磁極は四重極磁石と同様の形をしていおり、左右のコイルは2台の電源で独立に励磁出来る。このため、AVFサイクロトロン本体の励磁レベルの変化にかかわらず収束に必要な四重極場成分を発生すると共に、四重極場の磁場勾配を維持した状態で磁場の絶対値を増減させることにより、偏向機能が付加されている。ビーム軌道に合わせてグラディエント・コレクターの位置調整と磁場勾配の微調整が出来るように、ビーム軸に対して垂直方向に±20 mm 手動での駆動が可能な構造となっている(図5)。



Figure5: Gradient corrector installed on the exit vacuum flange of the AVF cyclotron.

2013 春から運用を開始し、所期の性能が確認されている。図6に従来のビーム像との比較を示す。ここで、BV1はグラディエント・コレクターから約750 mm 下流のビーム・ビューアーであり、BV2bはビーム輸送系の物点にある。BV1で、収束とともにビーム位置の修正が出来ていることが分かる。

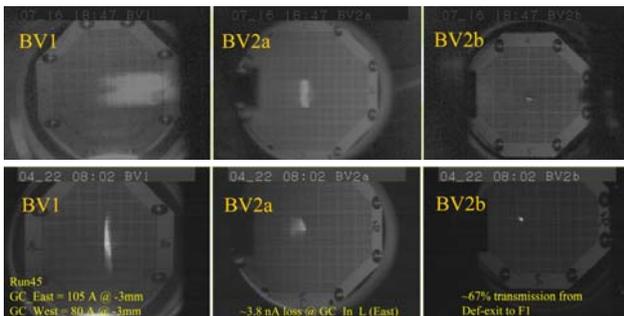


Figure6: Beam images observed by screens at the exit of the AVF cyclotron. Upper and lower panel shows images without and with the gradient corrector, respectively.

3. まとめ

RCNPのサイクロトロンは2012年度は耐震改修工事のため約2,500時間の運転点であったが、2013年度4月からは例年並の運転を再開した。加速する重イオンの種類を増やすとともに、陽子ビームの強度増強に向けた開発を進めている。平成24年度の補正予算で「サイクロトロンカスケード装置」の一部が認められた。

- AVFサイクロトロン共振器異形部の交換
- 放電型バンチャーとグレーザーレンズ追加による軸入射系増強
- リングサイクロトロン入射用静電チャンネルと磁気チャンネルの更新
- リングサイクロトロンFT共振器の密同調機構改良
- 輸送系偏向磁石の一台を高温超伝導化
- μ 粒子輸送系(MUSIC)の延長
- 磁気スペクトロメータ Grand Raiden の前方測定用輸送系新設
- 加速器制御上位系の更新

工事は2014年1月-3月を予定しており、この間は加速器は停止する。

参考文献

- [1] K. Hatanaka et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 384 (1997) 575-582
- [2] T. Yorita, et al., in these proceedings, SAP042
- [3] H. Ikegami, et al., RCNP Annual Report 1976, pp. 76-79.
- [4] H. Ueda, et al., Proceedings of the 9th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEPS054, Osaka, August, 8-11, 2012