

PRESENT STATUS OF THE RCNP CYCLOTRON FACILITY

Kichiji Hatanaka[#], Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Takane Saito, Hiroshi Ueda, Hitoshi Tamura,
Mitsuru Kibayashi, Keiichi Nagayama, Yuusuke Yasuda, Shunpei Morinobu,
Hirofumi Yamamoto, 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 operated for 5,905 hours in the fiscal year 2011. Recently demands for heavy ions have been growing. $^{132}\text{Xe}^{29+}$ ions were accelerated for the first time up to 6.8MeV/u by the AVF cyclotron and delivered to experiments. There were no serious unscheduled shutdowns. In the summer maintenance, we replaced contact fingers on tuning panels of flat-topping cavity of the ring cyclotron and put copper plates to avoid mutipactor effects. The cavity has been operated with better stability in voltage than before the maintenance. Developments are ongoing to improve the intensity and quality of protons and heavy ions. Accelerated orbits are being re-analyzed with magnetic fields numerically calculated by TOSCA. To avoid the deterioration of the beam quality at the extraction region of the AVF cyclotron, a gradient corrector was designed and fabricated. It will be installed in 2012. Tow kinds of emittance monitors were installed in the low energy beam line after the ion sources and one in the 0-degree beam line after the AVF cyclotron. They contribute to optimize ion sources and the AVF cyclotron whose good performance is inevitably required to accelerate high quality beams by the ring cyclotron.

RCNP サイクロトロン施設の現状

1. 運転、保守

大阪大学核物理研究センター (RCNP) サイクロトロン施設 (図 1) の AVF サイクロトロン、リングサイクロトロンは 2011 年度も大きな故障もなく、約 6,000 時間運転された。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 陽子のタンゲステン標的からの核破碎中性子による半導体照射は需要が増えており、20 日間利用された。核医学関連の利用も増える傾向にある。さらに、2011 年

は東日本大震災に対する支援として、被災地の加速器施設で実施予定であった実験に対してビームタイムを優先的に充当した。表 1 に示すように、加速ビーム種としては重イオンビームの要求が増えてい

表 1 : 加速イオン

イオン	加速時間	比率
非偏極陽子	2605	44.1
偏極陽子	592	10.0
3-He	722	12.2
4-He	641	10.0
12-C	151	2.6
16-O	97	1.6
18-O	628	10.7
40-Ar	62	1.0
20-Ne	22	0.4
22-Ne	36	0.6
129-Xe	145	2.5
132-Xe	204	3.5
総計	5905	100.0

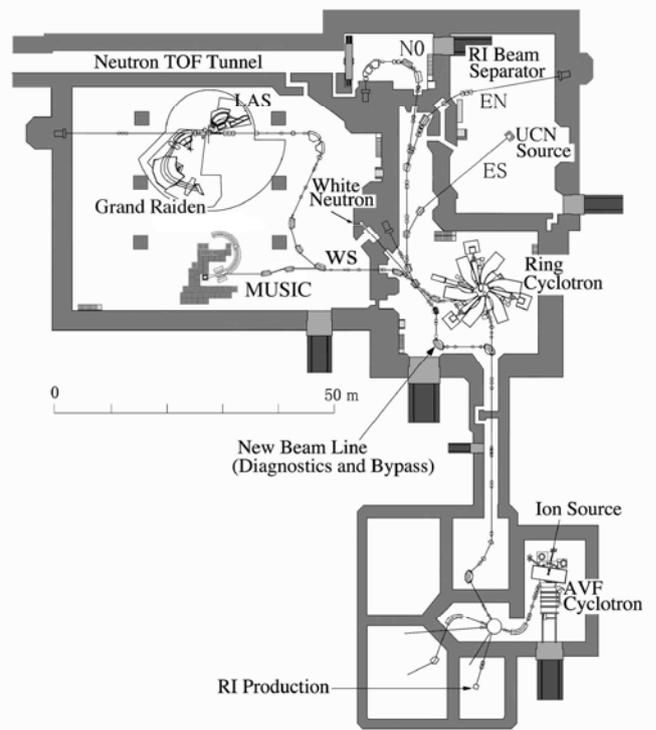


図 1 : RCNP サイクロトロン施設

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

る。 $^{132}\text{Xe}^{29+}$ ビーム（核子あたり 6.8MeV）を AVF サイクロトロンで初めて加速し、共同利用実験に供給した。

Ne より重いイオンの加速に際して、AVF 中心領域でビームの急激な減少が観測されている。アネルバ製ミニチュア IG により測定したところ、加速電極内の真空度が中心領域で悪いことが判明した。電極外部の約 2 倍の値となっている。真空系の強化が必要である。

リングサイクロトロンは運転開始以来約 20 年が経過し、フラットトップ (FT) 加速空洞の電圧に小振幅の雑音が頻繁に観測されるようになった。2011 年夏季の定期保守の間に空洞を解放したところ、側壁の全長にわたり放電痕が観測され、炭素が蒸着されていた。同調用ショート板と側壁の間にコンタクトフィンガーの厚さに相当する 5mm の隙間があり、マルチパクタ放電が生じていたと考えられる。側壁の炭素膜層を紙やすりで除去しコンタクトフィンガーの健全性を全数確認するとともに、ショート板上面にマルチパクタ放電防止用の銅板を取りつけた（図 2）。秋以降の運転では、安定な状態が再現している。その他、長期運転による部品の劣化に起因する軽微な不具合が多く生じるようになっている。例えば、リングサイクロトロン静電引出チャンネル (EEC1) の冷却水パイプから水漏れが生じた。放射線により、シンフレックスパイプが固化し、接続部の密封性が保てなくなっていた。2012 年 8 月から、AVF 付属棟の耐震改修工事があり 2013 年 3 月まで加速器を停止する。この間に AVF 制御の完全 PLC 化と集中的な保守作業を行う予定である。



図 2：マルチパクタ放電防止用の銅板を取りつけた、リングサイクロトロン FT ショート板。

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。後者 2 機については本年会での発表がある^[1,2]。重イオンに関しては、イオン種の増加と多価イオンの強度増強に向けた開発を進める一方、Li イオン用オープンの長時間連続運転のテストを行っている。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]。

2.2 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。この分析コースはリングサイクロトロン本体室に設置されており、AVF から約 100m の距離があり使用頻度が限られていた。このため、AVF 直後の 0° コースに水平方向のエミッタンスモニタを増設した。

これまでの AVF 下流のビーム光学設計では、水平面と垂直面内の物点が異なる位置に設定されていた^[3]。全コースのビーム光学を再検討し、水平・垂直面内の物点が同じ位置になる解を求めた。このために、一部の四重極磁石および診断機器の位置を変更した。増設したエミッタンスモニタは新しく設定した物点の直前にあり、ビーム輸送系の調整に不可欠な初期条件を与える。測定された 65MeV 陽子のエミッタンスは $5\sim 10\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ であり、分析コースでの測定結果と良い一致が得られている。

ビーム強度増強のためイオン源開発が進められているが、条件の最適化にはビーム診断が重要となる。非偏極イオン源からのビーム合流コースに 2 種類のエミッタンスモニタを設置した。図 3 に配置を示す。従来型のエミッタンス測定システムは可変幅スリットと TPM (三線式ビームプロファイルモニタ) で構成されている。他方は高速駆動スリットと National Electrostatics Corp.製のヘリカルワイヤ回転式ビームプロファイルモニタ BPM83 を使用している。詳細は本年会での発表^[4]を参照のこと。

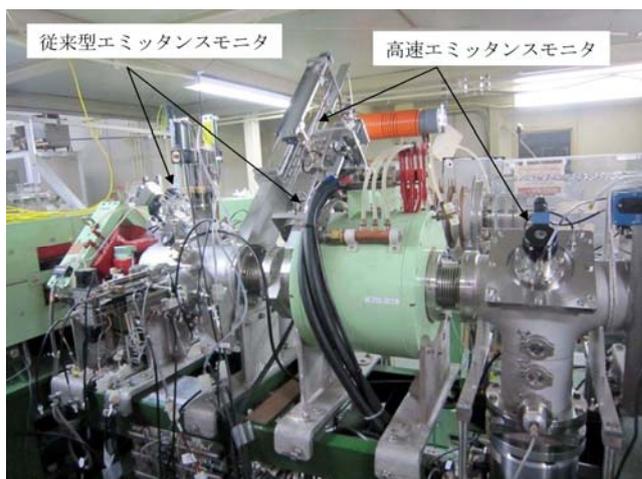


図 3：イオン源ビームラインに設置された二種類のエミッタンスモニタ。

2.3 AVF 加速軌道解析

これまで、AVF サイクロトロンの等時性磁場は建設時に測定された磁場を用いた平衡軌道の計算

から求められていた。磁場の測定励磁点数が限られており、内挿の精度が十分ではなく、加速軌道の解析を詳細に行えなかった。最近、有限要素法により磁場の三次元解析が可能となった。計算で得られた磁場を用いて、入射から取出しまでの加速軌道の詳細な再解析を始めている^[5]。

磁場計算の結果をもとに AVF サイクロトンの引出ビームの集束力と、引出ビーム軌道とビーム輸送ラインの整合性を改善することを検討している。サイクロトン出口部の磁気チャンネルの下流にある既存の磁気シールドと置換して、偏向機能を付加した新型のグラディエントコレクターを設置することにした。詳細は本年会での発表を参照のこと^[6]。図4に製作したグラディエントコレクターの本体を示す。加速箱への設置は2012年内に行う予定である。

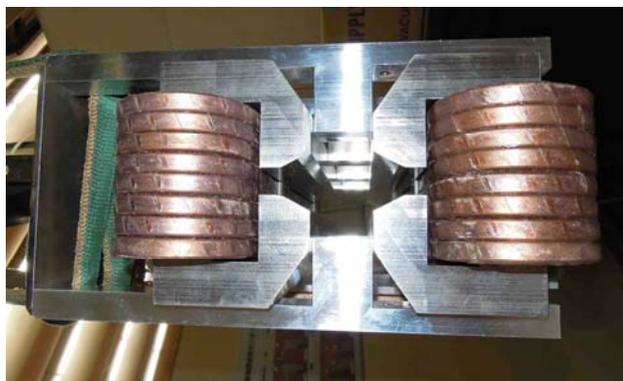


図4：AVF グラディエントコレクター。

2.4 ビームの時間構造測定

リングサイクロトンの FT 空洞は加速周波数の3倍高調波で励振される。加速電圧の幅が 5×10^{-5} 以下となる位相アクセプタンスは $\pm 6.2^\circ$ であり、65MeV 陽子では時間幅 0.7ns に相当する。リングサイクロトンへの入射直前での測定結果は 1ns (FWHM) であった。この値は加速電圧幅 2×10^{-4} に相当する。

実験グループから、加速されたビームの強度に商用周波数 (60Hz) の高調波数の変動が観測されることが指摘されている。AVF サイクロトンとリングサイクロトンのビームダンプで測定された電流の出力波形を図5に示す。ダンプからの距離は数 m で、入力インピーダンスは 10M Ω である。いずれも $\pm 10\%$ 程度の変動が観測されている。変動の主な周期は 120Hz に相当している。

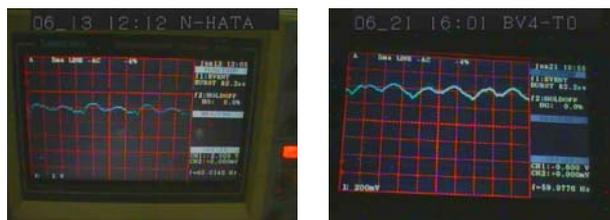


図5：AVF サイクロトン (左) とリングサイクロトン (右) のビームダンプ信号。観測されている大振幅変動の周波数は 120Hz である。

3. まとめ

RCNP のサイクロトンは年間約 6,000 時間運転されている。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。2012年度は8月から AVF 附属棟の耐震改修工事があるため7月中旬で運転を終了した。運転再開は、2013年4月の予定である。

参考文献

- [1] T. Yorita, et al., in these proceedings, WEPS019.
- [2] H. Yamamoto, et al., in these proceedings, THPS071.
- [3] H. Ikegami, et al., RCNP Annual Report 1976, pp. 76-79.
- [4] K. Kamakura, et al., in these proceedings, WEPS075.
- [5] N. Hamatani, et al., in these proceedings, WEPS031.
- [6] H. Ueda, et al., in these proceedings, WEPS054.