

## RCNP サイクロトロン施設の現状

### PRESENT STATUS OF THE RCNP CYCLOTRON FACILITY

畑中吉治<sup>#</sup>、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、島田健司

Kichiji Hatanaka<sup>#</sup>, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Takane Saito, Hiroshi Ueda, Hitoshi Tamura,  
Keiichi Nagayama, Yuusuke Yasuda, Shunpei Morinobu, Keita Kamakura, Kenji Shimada  
Research Center for Nuclear Physics, Osaka University, 10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

#### Abstract

RCNP cyclotrons have delivered beams after the summer maintenance in 2014. The total operation time was 5,240 hours in the fiscal year 2014. 60 days beam time was allocated to the CAGRA campaign during March and May in 2015.  $^{24}\text{Mg}^{5+}$  104 MeV and  $^{40}\text{Ar}^{(12+/17+)}$  51.5A MeV beams were accelerated for the first time and used for the campaign. There were several short period unscheduled shutdowns due to malfunctions of aged components and beams were stopped for about 200 hours. Developments have been continued to resolve the short life time problem of the dissociator of the polarized ion source (HIPIS) and almost fixed. A pepper-pot emittance monitor was fabricated to enable the real-time optimization of ion sources. A switching magnet using high temperature superconducting (HTS) wire was successfully excited in pulse mode. We plan to make a time sharing of beams by exciting the HTS magnet.

#### 1. 運転、保守

RCNP サイクロトロンは、2014 年夏の定期保守後 10 月から共同利用を再開した。2015 年 3 月に約 10 日間の冬季保守をはさんで、7 月 26 日まで順調にビームを供給した。この間、2015 年 2 月末から約 60 日間の CAGRA (Clover Array Gamma-ray spectrometer at RCNP/RIBF for Advanced research) キャンペーンを実施した。新ビームとして  $^{24}\text{Mg}^{5+}$  104 MeV と  $^{40}\text{Ar}^{(12+/17+)}$  51.5A MeV を同キャンペーンに供給した。

図 1 に運転時間 (1 月-12 月間の統計) を示す。2000 年代には約 6,000 時間ビーム加速が行われていた。2012 年からは約 4,000 時間となり、電気代の高騰もあり、今後も運転時間は同程度になると予想される。2014 年度は CAGRA キャンペーン実施のため、5200 時間強の運転時間であったが、後年度の運転経費を先行消化したことになっている

機器の老朽化に伴う不具合が多く発生し、2014 年度の予定外停止時間は約 200 時間に達している。冷却水系回転部 (軸受等)、バルブを含む配管系統、電源内部品の故障が頻度している。AVF 高周波フィ

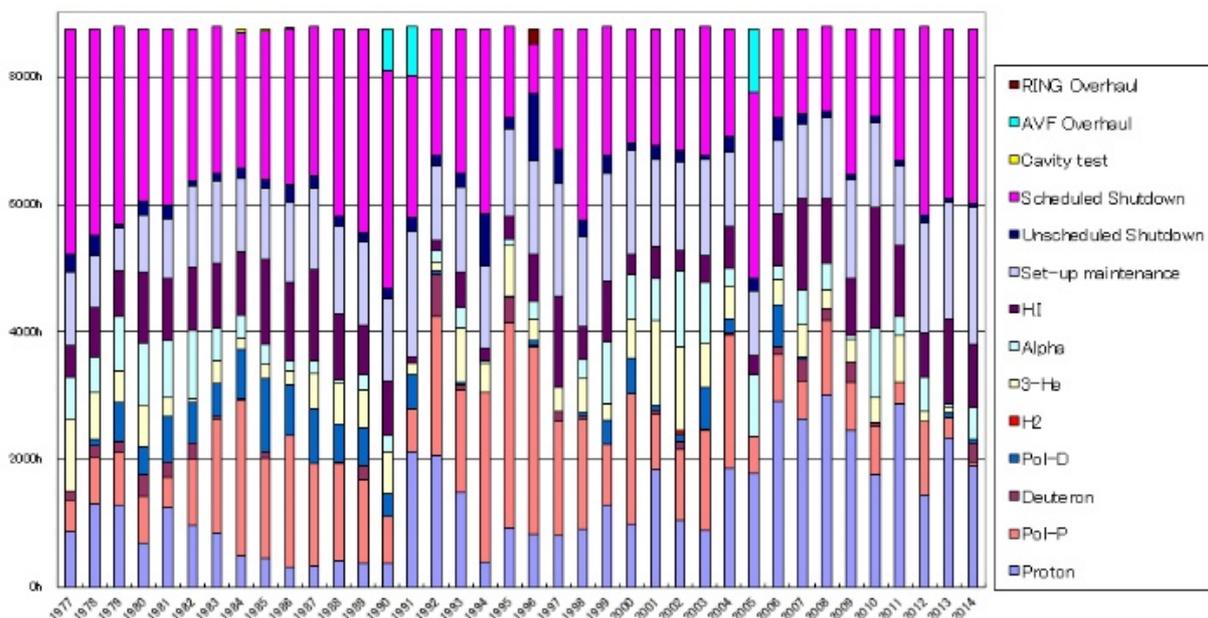


Figure 1: Operational statistics of the RCNP cyclotrons. The ring cyclotron was commissioned in 1991.

<sup>#</sup> hatanaka@rcnp.osaka-u.ac.jp

ラメント電源のスライダックに絶縁不良が生じたが、これも長時間使用による機械的不具合であった。重故障としては AVF トリムコイル 14 電源 (1500A) の電流検出 DCCT 内巻線が短絡し、暴走が起きた。某社の特注品であった現品を、制御回路を含めて HOLEC 社の既製品と交換した。偏極イオン源 (HIPIS) 解離器の寿命が短い問題<sup>[1]</sup>は、ガス配管系の更新によりほぼ解決された。超伝導 ECR イオン源に使用している 18 GHz クライストロンが破損した。稼働時間は 26.680 時間長であった。当該クライストロンは製造中止となっているため、今後は進行波管電源に切り替える必要がある。

最近、実験グループから、AVF 単独で加速される低エネルギービームを利用した高分解能ビームの要求が増えている。リングサイクロトロンを使用する場合には、アクセプタンスが比較的小さい (設計では  $3\pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ ) ため、リングサイクロトロンがフィルターとして働く。一方、AVF 単独加速では、AVF の性能 (シングルターン取出し, 時間的安定性, 等) がそのまま反映される。高分解能測定に向けて、加速、輸送、診断、分散整合の開発を進めている。例えば、65 MeV 陽子の静電デフレクター入口でのターン・セパレーションは約 1-2 mm である。周波数 1/3 のサブハーモニック・バンチングではターン・セパレーションは 3 倍になると期待される。入射バンチャーを加速周波数とその 1/3 周波数で作動した時のエミッタンスを図 2 に比較する。上段がサブハーモニック・バンチング作動時の結果で水平方向 (左側パネル) のビームのテールが少なく、90%エミッタンスが  $15\pi$  から  $6\pi$  と小さくなっている。一方、垂直方向 (右側) は約  $10\pi$  と変わらない。今後、エネルギー分解能との相関を調べる必要がある。

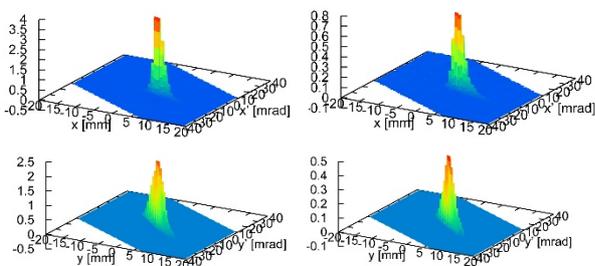


Figure 2: Beam emittance with (upper panels) and w/o (lower panels) subharmonic bunching. They were measured after the AVF cyclotron. Left panels are in the horizontal plane and right in the vertical plane.

## 2. エミッタンスモニター

数年来、イオン源の効率的開発のため高速エミッタンス測定装置を開発してきた<sup>[2]</sup>。リアルタイムでの測定を目指して、ペッパーポット型エミッタンスモニターを製作した<sup>[3]</sup>。構成を図 3 に示す。マスクは、リン青銅 (50  $\mu\text{m}$  厚) で、穴の間隔 3 mm、直径 70  $\mu\text{m}$  である。MCP アセンブリは 2 段 F2226 (浜

松)、蛍光面は P46 である。蛍光像は表面反射鏡を介して、高解像度レンズ M2514-MP2 (CBC) と CCD カメラ XCD-U100 (ソニー) で取り込まれる。測定されるグレースケール値からエミッタンスを求めるには、バックグラウンドの除去が重要であり、現在、バックグラウンドの評価方法を検討中である。

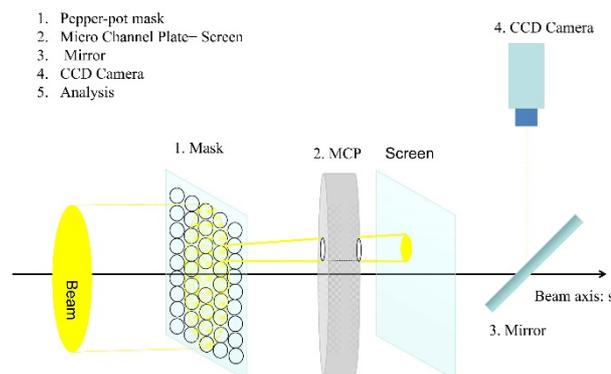


Figure 3: Pepper pot emittance monitor.

## 3. 高温超伝導振り分け磁石

RCNP では高温超伝導 (HTS) コイルを利用した磁石の開発を進めている。実用機として、リングサイクロトロンビームラインに設置する振り分け磁石を製作した。線材は住友電工製 DI-BSCCO TYPE Hti-CA50 を採用した。線材の臨界電流は自己磁場中 180A@77K 以上である。上下コイルは各 128 ターンのエポキシ含浸されたダブルパンケーキ 2 台を端面冷却銅板、中間冷却銅板でスタックしている。空隙部には真空含浸でエポキシ樹脂を充填してある。磁石は最速 20 A/s でパルス励磁され、2 コース間でビームの時間的振り分けを計画している。磁石の仕様を Table 1 にまとめる。磁極間隔は 70 mm である。

Table 1: Specifications of the HTS Magnet

コイル (上下)	256×2 ターン
コイル長辺側内法	1,142 mm
コイル短辺側内法	580 mm
最大電流	200 A
最大磁場	1.5 T
電流掃引	20 A/s 以下

スタック前に測定された各ダブルパンケーキの発生電圧は 40 A で 0.003  $\mu\text{V}/\text{cm}$ 、N 値は 15 であった。コイル製作時の線材の劣化は無いと判断される。図 4 にコイル、図 4 に磁石の全景の写真を示す。鉄芯はパルス励磁を想定して 0.5 mm 厚ケイ素鋼板を積層している。クライオスタットは上下コイル用に 2 分割され、各々 GM 冷凍機で冷却される。コイル温度は、冷凍機近辺と反対側の 2 カ所でセルノックス温度計により測定されている。初期冷却試験では、全測定点で温度は 6.8~7.1 K、遠近 2 カ所の温度差は 0.2 K であった。励磁試験の際、上コイルで発熱が観

測された。クライオスタットを解体し調べた結果、コイルと輻射シールド間にクリアランスの少ない箇所があり、通電に際し、電磁力でコイルが変形してシールドに接触したと考えられ、改造を行った。励磁、消磁速度 20 A/s でパターン運転した時のコイル温度を図 6 に示す。問題なく連続運転できることがわかる。9 月から磁気特性を測定する予定である。



Figure 4: Stacked upper coil.



Figure 5: HTS switching magnet.

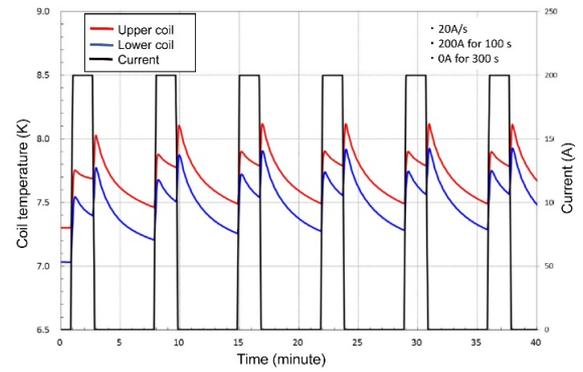


Figure 6: Temperature of upper and lower coils during pattern operation. Current is changed at 20 A/s and kept at 200 A for 100 seconds and 0A for 300 seconds.

### 参考文献

- [1] K. Hatanaka, et al., Proceedings of the 9th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEPS075, Toyonaka, August, 8-11, 2012.
- [2] K. Kamakura, et al., Proceedings of Real Time Conference (RT), 2014, 19<sup>th</sup> IEEE-NPSS; K. Kamakura, et al., Proceedings of the 9th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, WEPS075, Toyonaka, August, 8-11, 2012.
- [3] Y. Yasuda, et al., in these proceedings, THP032.