

OPERATION REPORT ON RIKEN RING CYCLOTRON & AVF CYCLOTRON

Minoru Nishida^{1,B)}, Shigeru Ishikawa^{B)}, Kiyoshi Kobayashi^{B)}, Yasuteru Kotaka^{B)}, Ryo Koyama^{B)},
Noritoshi Tsukiori^{B)}, Takeshi Nakamura^{B)}, Makoto Hamanaka^{B)}, Seiji Fukuzawa^{B)}, Kunikazu Masuda^{B)},
Kazuo Miyake^{B)}, Kazuyoshi Yadomi^{B)}, Eiji Ikezawa^{A)}, Hiroki Okuno^{A)}, Tadashi Kageyama^{A)}, Osamu Kamigaito^{A)},
Masanori Kidera^{A)}, Hironori Kuboki^{A)}, Shigeo Kohara^{A)}, Misaki Kobayashi-Komiyama^{A)}, Akira Goto^{A)},
Naruhiko Sakamoto^{A)}, Kenji Suda^{A)}, Takahide Nakagawa^{A)}, Makoto Nagase^{A)}, Hiroo Hasebe^{A)},
Yoshihide Higurashi^{A)}, Nobuhisa Fukunishi^{A)}, Masaki Fujimaki^{A)}, Takeshi Maie^{A)}, Kazunari Yamada^{A)},
Shigeru Yokouchi^{A)}, Hiromichi Ryuto^{A)}, Masanori Wakasugi^{A)}, Yukimitsu Ohshiro^{C)}, Masayuki Kase^{A)}

^{A)}RIKEN Nishina Center, ^{B)} SHI accelerator Service, ^{C)}CNS, Univ. of Tokyo

Abstract

We report the status of operation of RIKEN ring cyclotron (RRC) and AVF cyclotron (AVF) during July 2007 - June 2008. The total operational time of RRC and AVF were 2742 hours and 3815 hours, respectively. Unscheduled shutdown was as short as less than 4 % of the total operational time. Since the commissioning of RIKEN RI-beam Factory (RIBF) started in the end of 2006, RRC was used as an injector machine of a new cyclotron cascade of RIBF. Improvement of RRC has been made to supply heavy ion beams with high intensity and good stability for RIBF. AVF were frequently used as low energy machine not only for nuclear physics experiments but RI production. The 10 GHz ECRIS has been replaced by a newly constructed SCECRIS to obtain high intensity.

理研リングサイクロトロン・AVFサイクロトロン運転の現状報告

1. はじめに

理研リングサイクロトロン (RRC) は、1986年の稼働開始以来、核物理実験を中心に多くの分野の実験に多種のイオンビームを供給してきた。図1に理研加速器研究施設 (RARF) の配置を示す。

AVFサイクロトロン (AVF) と理研重イオン線型加速器 (RILAC) を入射器として使用し、加速する核種とエネルギーによって使い分けされる。

2006年の理研RIビームファクトリー (RIBF) の完成に伴い、RRCは後段の新しいサイクロトロン (SRC, IRC, fRC) への入射器としての性能を求められるようになった。以来、それまで行われてきたRARFの実験へのビーム供給と並行して入射器とし

ての性能向上に向けいくつかの改良を行ってきた。また稼働年数が20年を超えており、各所に老朽化が目立ってきている。設計性能を維持する為、電源系の安定度チェックやRF系の更新を行っている。

AVF (1989年稼働) は、RILACが主に重イオンの入射器として使われているのに対し、主に核子当たり100MeV以上の軽イオン加速時の入射器として使われている。また低エネルギーのビームの供給のために単独の加速器としても使われ、RI製造などの多くの分野の実験に使われてきた。AVFには重イオン用の2台のECRイオン源と偏極イオン源を装備している。

ここでは2007年7月から2008年6月までのRRCとAVFの現状を報告する。

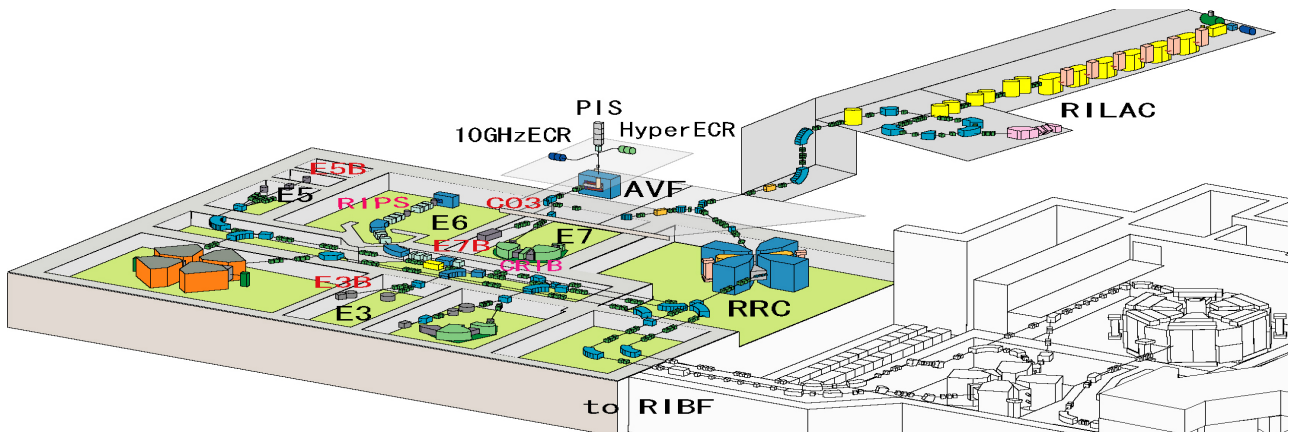


図1 RARFの配置

¹ E-mail: nishidam@riken.jp

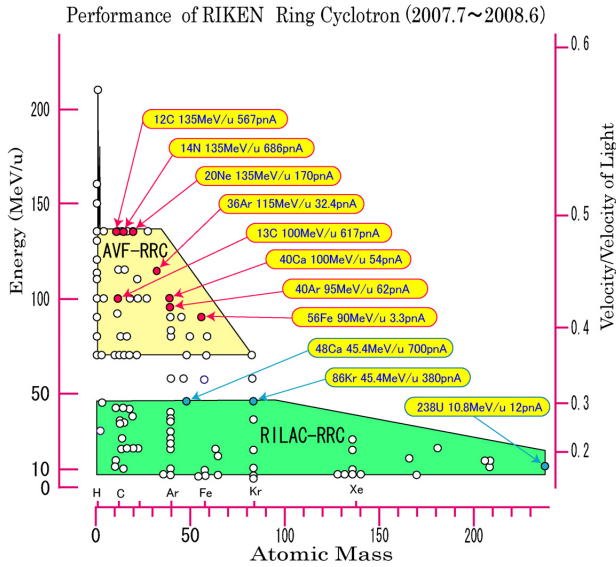


図2 RRCで加速された粒子

2. 運転

2007年7月から2008年6月までのRRCの運転時間は2742時間であった。入射器の利用割合はAVF入射 (AVF-RRC) が62%で、RILAC入射 (RILAC-RRC) が38%。この期間AVF-RRCはRARFの各実験室 (E3、E5、E6) へのビーム供給が行われた。E3、E5実験室では生物照射など主に非原子核実験に用いられ、E6実験室ではRIPSで生成されるRIビームを用いた原子核実験が行われた。一方、RILAC-RRCは全てRIBFのコミショニングに使用された。

図2にAVF-RRC及びRILAC-RRCの加速実績を原子核の質量数とエネルギーの関係図で示す。クリーム色で示された領域がAVF-RRC、緑の領域がRILAC-RRCでビーム供給可能な範囲である。赤い丸は2007年7月から2008年6月にAVF-RRCで供給したビームを示し、青い丸は同期間中にRIBFに使用されたビームを示す。それぞれに核種、エネルギー、ビーム電流値(pA)を示した。ビーム電流値は対象期間中の最大値を記入した。

AVFの運転時間は3815時間。その中でAVF-RRCの利用割合は44%、単独運転は56%であった。AVFの単独運転の機会が増えてきているのはRRCがRIBFに利用されるようになった為である。

AVF室内にあるターゲット (C03) とE7実験室Bコース (E7B) では主にRI生成など非原子核実験に使われ、E7実験室Aコース (E7A) では、東京大学核物理センター (CNS) によるCRIBを用いた原子核実験が行われた。

AVFのイオン源として装備している重イオン用の2台のECRイオン源 (10GHzECR, HyperECR) のそれぞれの運転時間の利用割合は42%と58%であった。他に偏極重陽子ビームを発生する偏極イオン源 (PIS) を装備するが、RIBFでの実験準備が整うまで運転を停止している。重イオン用のECRイオン源は加速するビームの種類で使い分ける事もあるが、

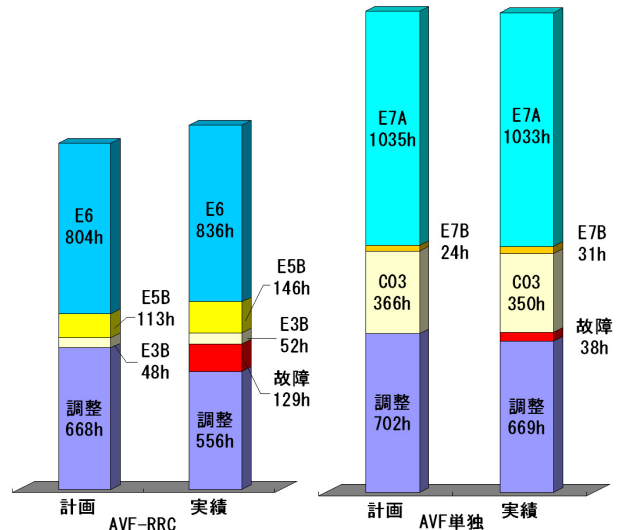


図3 AVF-RRCとAVF単独の運転内訳

マシンタイム進行中に次のビームの準備をもう一方のイオン源で行うことにより粒子切り替えを効率よく行う事が出来るよう運転スケジュールを決めている。またイオン源のビーム開発を行うため、他方を連続で使用することもある。

図3にAVF-RRCとAVF単独の運転詳細を計画と実績で示す。故障によるトラブルが発生したが概ね予定通りの運転を行うことが出来た。

3. 調整時間と供給時間

粒子の切り換え作業開始から実験にビームを供給するまでの故障時間を除く時間を調整時間、実験にビームを供給した時間を供給時間とし、その内訳をAVF-RRC、AVF単独運転についてそれぞれスケジュールされた時間と共に図3に示す。紫色の部分が調整時間、クリーム色、黄色、青色が供給時間、赤色が故障修理の時間である。調整時間が予定されていた時間よりも短くなっているのは、調整時の故障対応による遅れが出た場合にも調整の能率を上げて調整時間を短縮することによりユーザーにビームをスケジュール通りに供給できるようにした結果である。実績として、調整時間は全体の32%、供給時間64%、残りの4%が故障などによりスケジュールされていなかった修理、メンテナンス作業の時間である。

4. 故障による停止時間

対象期間における故障による運転停止時間はAVF-RRCが129時間でRILAC-RRCが19時間、AVF単独は38時間であった (図3参照)。主な故障内容と運転停止時間を表1にまとめる。RF系のトラブルがその大半を占める。

表1 主な故障内容と停止時間

AVF-RRC	時間
AVF#1キャビティショート板コンタクトフィンガ焼損	48.8
RRC MDP2冷却配管真空漏れ	35.7
AVF#2アンプ真空管の絶縁不良	22.7

RILAC-RRC	時間
RRC#2終段アンプダミーロード結合コンデンサ耐圧低下	8.0
RRC#1終段アンプフィラメント電源ヒューズ切れ	4.2
RRC#2中間段アンププレート電源ファン故障	2.8

AVF単独	時間
#1キャビティショート板コンタクトフィンガ焼損	24.6
コントロールグリッド電源インターロックリレー接点不良	8.0
ラディアルプローブ動作不良	5.3

5. 維持・改善

5.1 電磁石電源の安定度測定

RARFでは20年以上前に製作された電磁石電源を現役で使用しているが、かなり老朽化が進んでいる。それらの古い電源の出力電流の安定性および精度が問題になっている。2007年夏より、DCCTを用いて出力電流の長時間安定度測定並びに絶対値の測定を継続的に行っている。このデータを元に電源の改善を計画的に行っている。具体的には、例えば四重極電磁石電源の長時間安定性は通電開始から電流のドリフトが100ppm未満であること、設定値の精度は1%未満に収まることを基準として、それに大きく満たない電源の更新・改良を検討、実施している。

5.2 RFの老朽化と更新

RRCの前段アンプ（半導体アンプ）は運転開始以来20年が過ぎており経年変化による出力パワーの不足があり新しく製作し交換した。

また今回の対象期間に起こったRRC RFの故障をここで紹介しておく。#2キャビティのD電極を支えているステムの上端にあるCリング（銀メッキ）が焼損してしまった。また#1カブラの駆動系異常でカブラの外筒とトリマを接地しているコンタクトフィンガが折れてしまった。RIBFにビームを供給する為にRFの電圧と位相がより安定である事が要求されており、電圧位相のフィードバックのローレベル回路の更新を行う。

5.3 超伝導ECRの導入

実験者のビーム強度要求量は年々増えてきている。

その希望に答えるため、今回10GHzECRをシャットダウンし超伝導ECR^[1]を導入する。超伝導ECRのオフラインテストでは⁴⁰Ar¹¹⁺が10GHzECRの約3倍引き出されている。2008年9月初旬の稼動開始に向けて現在工事が進行中である。

5.4 ビーム位相、及びRF安定性の常時監視

RIBFではビームの安定供給を目指し、ビームラインにインストールされたピックアップを用いてビーム位相を非破壊で監視している。また、加速RFの安定度及びビーム位相との相関を調べる為に、全キャビティの電圧と位相をモニターする必要がある。ビーム位相、RF共にロックインアンプを用いたシステムで監視している^[2]。得られたデータの解析により、ビーム位相とRFの挙動には強い相関があり、また、RFの挙動は受電電力、外気温等の外的因子と相関があることが解ってきた^[3]。今後、より詳細な解析を行い、RF系機器の安定化に必要な情報が得られると期待される。

6. まとめ

2007年7月から2008年6月の期間にAVF-RRC、AVF-RILAC、AVF単独は合計4886.7時間の運転を行った。それに対する故障による停止時間は3.8%であった。ビーム供給を安定に、スケジュール通りに供給する為に老朽化対策、各機器の単体性能試験、システムの更新などを随時行っている。

参考文献

- [1] T. Kurita, et al., Nulc. Instr. and Meth. B192(2002)429.
- [2] R. Koyama, et al., "Beam Phase and RF-fields Monitoring System using Lock-In Amplifier for RIKEN RIBF", in this proceedings.
- [3] K. Suda, et al., "Stability of Radio Frequency system at RIBF", in this proceedings.