

理研 AVF サイクロトロン運転の現状報告

STATUS REPORT OF THE OPERATION OF THE RIKEN AVF CYCLOTRON

月居 憲俊^{#,B)}, 石川 盛^{B)}, 大城 幸光^{C)}, 奥野 広樹^{A)}, 影山 正^{A)}, 加瀬 昌之^{A)}, 上垣外 修一^{A)}, 熊谷 桂子^{A)}, 小高 康熙^{B)}, 小林 清志^{B)}, 込山 美咲^{A)}, 小山 亮^{B)}, 坂本 成彦^{A)}, 柴田 順翔^{B)}, 須田 健嗣^{A)}, 中川 孝秀^{A)}, 長瀬 誠^{A)}, 仲村 武志^{B)}, 西田 稔^{B)}, 西村 誠^{B)}, 濱仲 誠^{B)}, 福沢 聖児^{B)}, 福西 暢尚^{A)}, 藤巻 正樹^{A)}, 真家 武士^{A)}, 矢富 一慎^{B)}, 山家 捷一^{C)}, 山田 一成^{A)}, 渡邊 環^{A)}, 渡邊 裕^{A)}
 Noritoshi Tsukiori^{#,B)}, Shigeru Ishikawa^{B)}, Yukimitsu Oshiro^{C)}, Hiroki Okuno^{A)}, Tadashi Kageyama^{A)}, Masayuki Kase^{A)}, Osamu Kamigatio^{A)}, Keiko Kumagai^{A)}, Yasuteru Kotaka^{B)}, Kiyoshi Kobayashi^{B)}, Misaki Komiyama^{A)}, Ryo Koyama^{B)}, Naruhiko Sakamoto^{A)}, Junsho Shibata^{B)}, Kenji Suda^{A)}, Takahide Nakagawa^{A)}, Makoto Nagase^{A)}, Takeshi Nakamura^{B)}, Minoru Nishida^{B)}, Makoto Nishimura^{B)}, Makoto Hamanaka^{B)}, Seiji Fukuzawa^{B)}, Nobuhisa Fukunishi^{A)}, Masaki Fujimaki^{A)}, Takeshi Maie^{A)}, Kazuyoshi Yadomi^{B)}, Shoichi Yamaka^{C)}, Kazunari Yamada^{A)}, Tamaki Watanabe^{A)}, Yutaka Watanabe^{A)}
^{A)}RIKEN Nishina Center, ^{B)}SHI Accelerator Service Ltd., ^{C)}CNS, the University of Tokyo

Abstract

The operation of the RIKEN AVF cyclotron was started in 1989. Since then, it has been operated not only as an injector for the RIKEN ring cyclotron but also as an independent supplier of various ion beams. In this report, we describe both the operational status and the improvement work for increasing accelerating ability of the AVF cyclotron performed in this past year (August 2012-July 2013).

1. はじめに

理研AVFサイクロトロン(AVF)は、K値 70 MeVで理研加速器研究施設 (RARF) において1989年に理研リングサイクロトロン(RRC)の入射器として稼動を開始して以来、毎年3000時間を超える運転を行ってきた。AVF及び周辺実験設備の全体をFigure 1 に示す。AVFはRRCの入射器として使用されるほか、単独でも低エネルギーの重イオンビームの供給に使用されており、それぞれ「RRC入射モード」、「AVF単独モード」と呼ぶ。

RRC入射モードでは、AVFで水素 (H_2^+) から ^{87}Rb までを $E=3.78\sim 7$ MeV/uに加速し、RRCでさらに65~135 MeV/uまで加速し各実験コースへビームを供給している。2009年からRIBFでの軽イオン加速が開始され、AVFはRIBF複合加速器群の入射器としての役割も果たしている¹⁾。

AVF単独モードでは、陽子 ($A/Q=1$) から ^{42}Ca ($A/Q=3.5$) まで多様な核種のイオンをエネルギー $E=3.8\sim 12$ MeV/u(陽子は14 MeV)まで加速し、各実験コースへ供給している。

また、3台の外部入射イオン源 (Hyper-ECRIS, SCECRIS, PIS) は金属イオン、ガス、偏極重陽子と加速する粒子によって使い分けられ、マシンタイムのスケジュールを開発や準備期間を考慮して組むことにより、ビーム切換えを短時間で円滑に実施できるように運用されている。

ここでは2012年8月から 2013年7月までのAVF 運

転状況を報告する。

2. 運転実績

AVF で加速された核種とエネルギーの実績を Figure 2 に示す。今回の対象期間において AVF 単独モード、RRC 入射モードでそれぞれこれまでに加速実績のあるビーム 8 種類と 7 種類、初めて加速するビーム 1 種類と 2 種類の運転を実施した。

2 つのモードの運転時間の内訳を Figure 3 に示す。図中の調整時間は、加速の準備の開始時刻からターゲット上のスポット調整の完了時刻までの時間を積算したものです。また「C03、E7A、E7B、RIBF、RRC」は各コースのユーザーにビームを供給した時間 (スポット調整完了時刻から実験終了時刻、ただし途中の加速器事由のトラブルによる停止時間を除く) とした。C03 は AVF 取出し後の直線ビームラインをまっすぐ延長した先にあり RI 製造のために増設したコースである。供給するビームは主に 14 MeV の陽子であるが、一昨年より新たに 12 MeV/u の重陽子ビーム供給を開始している。昨年までとは異なり、今回の対象期間においてはこのコースの利用時間が最も長かった。E7A コースは東京大学原子核科学研究センター(CNS)が管理するコースで、学生実験を含む原子核実験を行っている。E7B コースは非原子核実験と一部の RI 製造を行う。

RRC 入射モードのうち RRC からのビームを利用する RARF 実験施設の実験コースへ供給したものは「RRC」、RRC の後段に増設した RIBF サイクロトロン群で加速したビームを利用した実験については「RIBF」と記した。RARF 実験施設の実験においては故障によってビーム供給時間に支障がある場合は、

[#] tsukiori@riken.jp

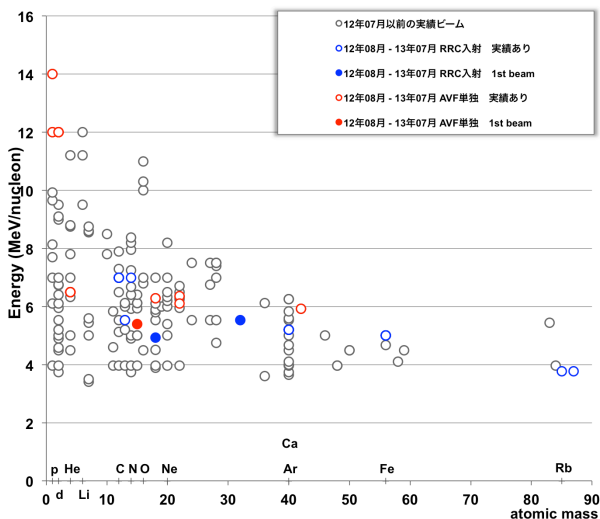
調整時間の短縮、または実験終了時間を延長して供給時間をユーザーに補償している。今回の対象期間では AVF 単独モードが 729 時間(前年 : 1919 時間)、RRC 入射モードが 1481 時間(前年 : 1831 時間)であり、このうち故障による停止時間の占める割合はそ

れぞれ 2.0%(前年 : 0.5%)、1.4%(前年 : 0.4%)であった。

AVF 単独モードでは C03,E7A,E7B の 3 つの実験設備にビームを供給する。



Figure 1 : AVF cyclotron and circumference experiment equipment. The AVF cyclotron has three external ion sources (Hyper-ECRIS, 18 GHz SC-ECRIS, and Polarized ion source (PIS)). Ions accelerated by the AVF are supplied to experimental area C03 (course for RI manufacture), E7A (course for University of Tokyo nucleus Scientific Research Center), and E7B (course for a non-nucleus experiment and RI manufacture).



AVF 単独

- p 12MeV
- p 14MeV
- d 12MeV/u
- α 6.5MeV/u
- $^{15}\text{N}^{5+}$ 5.4MeV/u**
- $^{18}\text{O}^{6+}$ 6.28MeV/u
- $^{22}\text{Ne}^{7+}$ 6.1MeV/u
- $^{22}\text{Ne}^{7+}$ 6.36MeV/u
- $^{42}\text{Ca}^{12+}$ 5.92MeV/u

* 太字 : 1st beam

RRC 入射

- $^{12}\text{C}^{4+}$ 7.0MeV/u
- $^{13}\text{C}^{4+}$ 5.54MeV/u
- $^{14}\text{N}^{5+}$ 7.0MeV/u
- $^{18}\text{O}^{6+}$ 4.93MeV/u**
- $^{32}\text{Si}^{9+}$ 5.54MeV/u**
- $^{40}\text{Ar}^{11+}$ 5.2MeV/u
- $^{56}\text{Fe}^{15+}$ 5.01MeV/u
- $^{85}\text{Rb}^{20+}$ 3.78MeV/u
- $^{87}\text{Rb}^{20+}$ 3.78MeV/u

* 太字 : 1st beam

Figure 2 : AVF Acceleration track record.

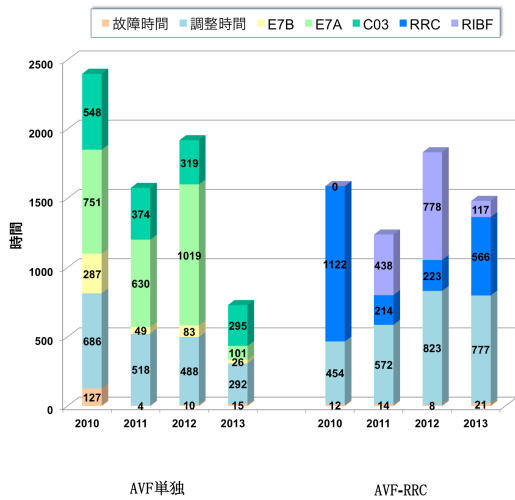


Figure 3 : 2010.8 – 2013.07 Machine time items.

3. トラブル

2013年2月にAVFビーム真空箱の真空悪化(通常 $\sim 10^{-7}$ mbarが $\sim 10^{-4}$ mbar)が発生した為、Heリークディテクターを用いてリークハントを実施した。複数の漏れ箇所がある事が発覚したが、大きなリーク箇所が第二共振器(RF#2)碇子下のOリング付近である事が判明した。これまでもこの箇所がリークしているのではないかと疑われていたが、交換作業が非常に困難なため増締めなどで対処してきた。今回、外筒を吊り上げ碇子を外した際に確認した完全に硬化していたOリングをFigure 4に示す。Oリングとクラックが入っている可能性があったため碇子を交換し、真空が以前の状態まで回復した。

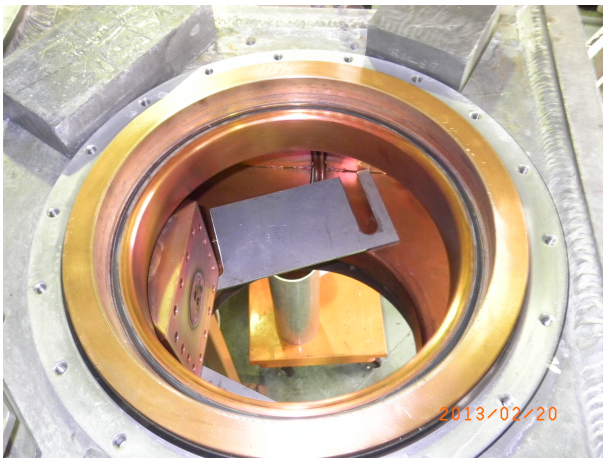


Figure 4 : Picture of resonator AVF RF#2 .

また3月にはRF#2を周波数 $f=15.22$ MHzで励振時に共振点が見つからない事象が発生した。内部点検でDee電極とインフレクターを囲んでいるシールドとの接触を確認し、Dee電極の位置調整で励振

可能となった。更に4月にはRF#2を $f=13.7$ MHz・Dee電圧=35 kVで励振中に放電が多発した。ショート板付近で放電音がした為、ショート板を外し点検すると外筒側のコンタクトフィンガー焼損が判明した。後日、交換により復旧した。

2013年5月と6月にRF#1と#2のピックアップ電圧比測定を実施し較正值を求めた。

4. 改良

MT毎に入射位置I36とC01の2個所でエミッタンス測定を行っている。それぞれAVF入射効率向上、及び実験室への最適なビームトランスポート設計のためのAVF取出位置の探索を目的としている。

3台目の外部イオン源としての超伝導ECRイオン源(SC-ECRIS)が昨年、ほぼ整備を完了し、14 GHz Hyper-ECRイオン源のバックアップとして大強度重イオンの生成等を行い、すでに実戦投入されている。

またイオン源から取り出されたイオンのスペクトルを自動的に測定し解析するシステムを開発し、重イオンの生成の際にイオン種同定のスピード化と確実性に役立っている。

塩化ルビジウム試料でのイオン源スペクトルをFigure 5に示す。

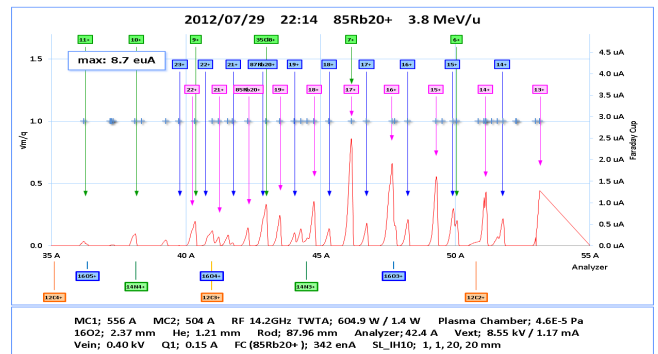


Figure 5 : Spectrum of the extracted ions from the Hyper-ECR.

5. まとめ

2012年8月から2013年7月の対象期間におけるAVFサイクロトロンは運転状況はおおむね順調であり、単独利用、RRCへの入射、更にはRIBFへと精力的にビームを供給してきた。現在、AVFサイクロトロンの高度化計画を進行しておりK値を上げる、フラットトップ共振器設置、ビーム入射と取出効率を上げる等の改造を予定している。

参考文献

[1] R.Koyama, et al., "STATUS OF THE OPERATION OF THE RIBF RING CYCLOTRONS Operation status of RIKEN RIBF Ring cyclotrons", in these proceedings.
 [2] E.Ikezawa, et al., "Present Status of RILAC", in these

proceedings.

[3] A.Goto, et al., “Renovation of the central region of RIKEN AVF cyclotron and results of beam acceleration test”. RIKEN Acc. Prog. Rep. 43, 2010, p.127