

Operation status of RIKEN AVF Cyclotron

Junsho Shibata^{B)}, Masayuki Kase^{#,A)}, Hiroshi Imao^{A)}, Eiji Ikezawa^{A)}, Shigeru Ishikawa^{B)}, Yukimitsu Ohshiro^{C)}, Jun-ichi Ohnishi^{A)}, Hiroki Okuno^{A)}, Tadashi Kageyama^{A)}, Osamu Kamigaito^{A)}, Masanori Kidera^{A)}, Hironori Kuboki^{A)}, Keiko Kumagai^{A)}, Yasuteru Kotaka^{B)}, Kiyoshi Kobayashi^{B)}, Misaki Komiyama^{A)}, Ryo Koyama^{B)}, Naruhiko Sakamoto^{A)}, Kenji Suda^{A)}, Noritoshi Tsukiori^{B)}, Takahide Nakagawa^{A)}, Makoto Nagase^{A)}, Takeshi Nakamura^{B)}, Minoru Nishida^{B)}, Makoto Nishimura^{B)}, Hiroo Hasebe^{A)}, Makoto Hamanaka^{B)}, Seiji Fukuzawa^{B)}, Yoshihide Higurashi^{A)}, 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
2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

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 2011-July 2012).

理研 AVF サイクロトロンの運転状況

1. はじめに

理研AVFサイクロトロン(AVF)は、K値:70MeVで1989年に理研リングサイクロトロン(RRC)の入射器として導入以来、毎年3000時間を超える運転を行ってきた。このAVF及び周辺実験設備の全体を図1に示す。AVFは、RRCの入射器としてだけでなく、単独で低エネルギーの重イオンビームの供給にも使用されてきた。それぞれ「AVF単独モード」、「AVF-RRCモード」と呼ぶ。

AVF単独モードでは、陽子(A/Q=1)から⁴²Ca(A/Q=3.5)まで、多様な核種のビーム(E=3.8-12 MeV/u; 陽子は14MeV)を生成し、実験装置CNS Radio Isotope Beam separator (CRIB)での核物理実験、核化学実験、そしてRI製造等へビーム供給している。2006年末にRIビームファクトリー^[1](RIBF)が稼動してからは、その入射器としてRILAC^[2](可変周波数型重イオンリニアック)が利用されることによりAVF単独運転の需要が増加した。RIBF用入射器としては、昨年度よりウラン等の超重イオン用にRILAC^[3](固定周波数型リニアック)と呼ばれる入射器も新たに導入され、こちらはAVF本体室内に設置され、AVF単独運転との並列運転が可能な仕様になっている。

一方、AVF-RRCモードでは、AVFで重陽子から⁸⁷Rbをエネルギー3.8-7MeV/uに加速し、RRCでさらに65~135MeV/uに加速する。2009年からRIBFでの軽イオン加速が開始され、AVFはRIBF加速器群の入射器として、RIBFの初段加速器としての役割も果たしている。近年、AVFから偏極重陽子と窒素ビームをRRCへ供給し、最終段加速器である超伝導リングサイクロトロン(SRC)で250MeV/uまで加速する事に

成功している。

現在、AVFサイクロトロンの高度化計画が進行中であり、K値を上げる作業、フラットトップ共振器の設置、ビーム入射と取り出しの効率を上げる改造を行っている。また、外部入射イオン源は3台(Hyper-ECRIS、SC-ECRIS、PIS)を装備しており、日常の運転とビーム開発を両立しながらビーム供給している。

2011年8月から2012年7月までのAVF運転状況を報告する。

2. 加速実績

AVFで加速された核種とエネルギーの実績を図2に示す。2011年7月以前に加速実績のあるものを○で示し、それ以降に初めて加速したものを●で示した。さらに対象期間のAVF単独を赤、AVF-RRCを青とし、それ以外の実績を黒と色分けした。

今回の対象期間においては、AVF単独モードで13種類のビームを加速し、そのうち7種類は初めて加速したビームである。AVF-RRCモードの場合は、11種類のビームを加速し、そのうち1種類は初めて加速したビームである。

3. 運転状況

加速器の運転時間の内訳を図3に示す。図3における「調整」は、加速器の初期化(磁石のサイクリング)の開始時刻からターゲット上のスポット調整の終了時刻までの時間とした。また「C03、E7A、E7B、RIBF、RRC」は、実験にビームを供給した時間(スポット調整終了時刻から実験終了時刻)とした。故障によってビーム供給時間に支障がある場合

mkase@riken.jp

は、調整時間を短縮、または予定時間を延長して供給時間を補償している。

「C03、E7A、E7B」は AVF 単独の場合の実験コースである(図 1 参照)。C03 コースは AVF 取り出し後の直線部分のビームライン上にあり、RI 製造専用コースで、供給されるビームは主に 14MeV 陽子である。昨年より新たに重陽子ビーム 12MeV/u を供給している。ここで製造した RI は日本アイソトープ協会と共同で国内の研究機関に有償頒布されている。E7A コースは東大原子核科学研究センター(CNS)の専用コースで、東大の学生実験を含む原子核実験を行う。AVF 単独実験ではこのコースの利用時間が最も長い。E7B コースは非原子核実験と一部の RI 製造を行う。「RRC」は AVF-RRC のうち RRC から各実験コースにビームを供給した場合である。「RIBF」は RIBF の軽イオン加速実験で、AVF-RRC のうち、RRC で加速したビームをさらに SRC で加速した場合である。

今回の期間では、AVF 単独が 1919 時間(前年：1577 時間)、AVF-RRC が 1831 時間(前年：1239 時間)であった。このうち故障による停止時間はそれぞれ 0.5%(前年：0.3%)、0.4%(前年：1.2%)であり、全体で 0.5%であった。

4. トラブル

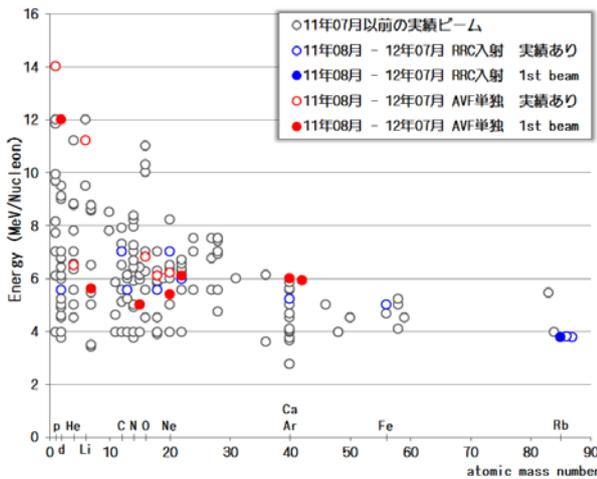
2011 年 5 月に AVF #2 ディー電極内部の冷却配管から真空箱への水漏れがあった。銅製の配管の老朽化が原因とみられ、8 月に新しく製作されたディー電極#1、#2 を共に交換した。3 ヶ月間の運転停止後、2011 年 9 月から各実験へビーム供給を再開した。

その他、AVF サブバキュームに真空漏れが発生した。リーク調査により、C9 トリムコイルフィードスルーから漏れている事が判明した。この箇所を押さえナットの増し締めを実施し、サブバキュームの真空度も回復した。緩んだ原因は経年変化によるものだと考えられる。



図 1：AVF サイクロトロンと周辺実験設備

AVF サイクロトロン施設では Hyper-ECRIS、18GHz SC-ECRIS、偏極イオン源(PIS)の三台の外部入射イオン源を有している。イオン源からのイオンビームは AVF サイクロトロンで加速後、C03 (RI 製造専用コース)、E7A (東大原子核科学研究センター専用コース)、E7B (非原子核実験と一部の RI 製造用のコース) といった実験コースへと供給される。



AVF 単独	RRC 入射
p 14MeV	d 5.54MeV/u
d 12MeV/u	$^{12}\text{C}^{4+}$ 7.0MeV/u
α 6.5MeV/u	$^{13}\text{C}^{4+}$ 5.54MeV/u
$^6\text{Li}^{3+}$ 11.2MeV/u	$^{18}\text{O}^{6+}$ 5.54MeV/u
$^7\text{Li}^{2+}$ 5.6MeV/u	$^{20}\text{Ne}^{7+}$ 7.0MeV/u
$^{15}\text{N}^{5+}$ 5.0MeV/u	$^{22}\text{Ne}^{7+}$ 5.97MeV/u
$^{16}\text{O}^{6+}$ 6.8MeV/u	$^{40}\text{Ar}^{11+}$ 5.2MeV/u
$^{18}\text{O}^{6+}$ 6.1MeV/u	$^{56}\text{Fe}^{15+}$ 5.01MeV/u
$^{20}\text{Ne}^{7+}$ 5.4MeV/u	$^{85}\text{Rb}^{20+}$ 3.78MeV/u
$^{20}\text{Ne}^{7+}$ 6.2MeV/u	$^{86}\text{Kr}^{20+}$ 3.81MeV/u
$^{22}\text{Ne}^{7+}$ 6.1MeV/u	$^{87}\text{Rb}^{20+}$ 3.78MeV/u
$^{40}\text{Ca}^{12+}$ 5.98MeV/u	
$^{42}\text{Ca}^{12+}$ 5.92MeV/u	

図 2 : AVF 加速実績



図 3 : 2009.8 - 2012.7 運転時間内訳

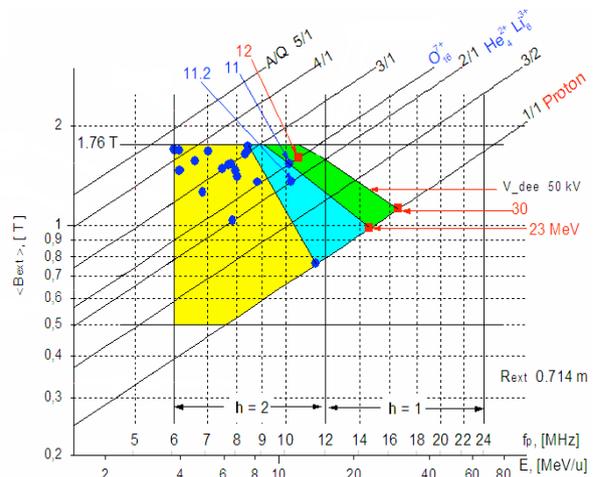


図 4 : AVF 加速性能

5. 改良

2009 年より現在のハーモニック数 $h=2$ と、 $h=1$ ができる入射系の改造^[4]が進んでいる。図 4 に示すとおり最大エネルギー類の増加が期待される。

入射効率、取り出し効率を解析するため、入射位置 I36 と取り出し位置 C01 でのエミッタンスの測定をはじめデータを累積することによりビームの加速効率向上を図っている。

3 台目の外部イオン源として超伝導 ECR イオン源 (SC-ECRIS) の整備を進めている。18GHz-RF 源の整備と引き出し系の改造を進めている。14GHz 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が期待される。イオン源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ビームの同定に役立っている。

6. まとめ

2011 年 8 月から 2012 年 7 月の期間における AVF サイクロトロン運転状況はおおむね順調であり、

総運転時間は 3750 時間であった。単独利用、RRC への入射、さらには RIBF へと精力的にビームを供給してきた。

参考文献

- [1] M.Hamanaka, et al., "Operation status of RIKEN RIBF Ring cyclotrons, RRC, fRC, IRC, SRC", in this Proceedings.
- [2] E.Ikezawa, et al., "Present Status of RILAC", in this Proceedings.
- [3] K.Yamada et al., "Beam Commissioning and Operation of New Linac Injector for RIKEN RI-beam Factory", Proc. of IPAC 2012, New Orleans, LA, USA, May 2012
- [4] 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