

OPERATION REPORT ON RIKEN AVF CYCLOTRON

Hiroshi Imao ^{#,A)} Akira Goto^{A)}, Eiji Ikezawa^{A)}, Shigeru Ishikawa^{B)}, Yukimitsu Ohshiro^{C)}, Hiroki Okuno^{A)},
Tadashi Kageyama^{A)}, Masayuki Kase^{A)}, Osamu Kamigaito^{A)}, Masanorii Kidera^{A)}, Hironori Kuboki^{A)},
Yasuteru Kotaka^{B)}, Kiyoshi Kobayashi^{B)}, Misaki Komiyama^{A)}, Ryo Koyama^{B)}, Naruhiko Sakamoto^{A)}, Junsho Shibata^{B)},
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)},
Kazunari Yamada^{A)}, Shigeru Yokouchi^{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 (July 2009-July 2010).

理研 AVF サイクロトロン の 運 転 状 況

1. はじめに

1989年に稼動した理研 AVF サイクロトロン (AVF) は低エネルギーで比較的質量が軽い軽イオンのビームの供給に使用されると共に、理研リングサイクロトロン (RRC) の入射器としても使用されてきた。前者を「AVF 単独」、後者を「AVF-RRC」とする。

「AVF 単独」では陽子 ($A/Q=1$) から ^{87}Rb ($A/Q=4.35$) まで、多様な核種の低エネルギービーム (3.8~12 MeV/u; 陽子は 14 MeV) を生成し、原子核実験、RI 製造、検出器のスタディ等にビームを供給する。一方、「AVF-RRC」では AVF で 3.8~7 MeV/u (陽子は 10 MeV) に加速し、RRC でさらに 65~135 MeV/u (陽子は 210 MeV) に加速する。

2006 年末に RI ビームファクトリー (RIBF) が稼動してからは、その入射器として RILAC (重イオンリニアック) が利用されたことにより AVF 単独でのマシンタイムが増えてきた。一方、2009 年に入ってから 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。AVF のイオン源に関しては、2008 年 10 月に 14.5 GHz ECR イオン源 (Hyper ECR) に加え、新たに超電導イオン源 (SC-ECR) の稼動が開始された。

本論文では 2009 年 7 月から 2010 年 7 月までの AVF 運転の現状を報告する。

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 1

に示す。2009 年 6 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。図 1 の加速実績は設計上の性能の大部分を満たしている。

今回の対象期間においては AVF 単独で 22 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 運転の場合は、9 種類のビームを加速した。

3. 運転状況

加速器の運転時間の内訳を図 2 に示す。図 2 の「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、AVF-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 3)。C03 コースは AVF 取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。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。

「AVF-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 2400 時間、AVF-RRC が 1587 時間であった。このうち故障による停止時間はそれぞれ 5.3%、0.7%であり全体で 3.5%であった。
 運転中の主なトラブルとしては、冷却配管の劣化

による RF アンプ水漏れ (42 時間)、マグネティックチャンネルからの真空漏れ (25 時間)、などがある。また、運転期間以外で対応したトラブルとして RF コンペンセータのコンタクトフィンガ焼損、デフレクター直後に新たに取付けたファラデーカップ取付け部焼損があった。

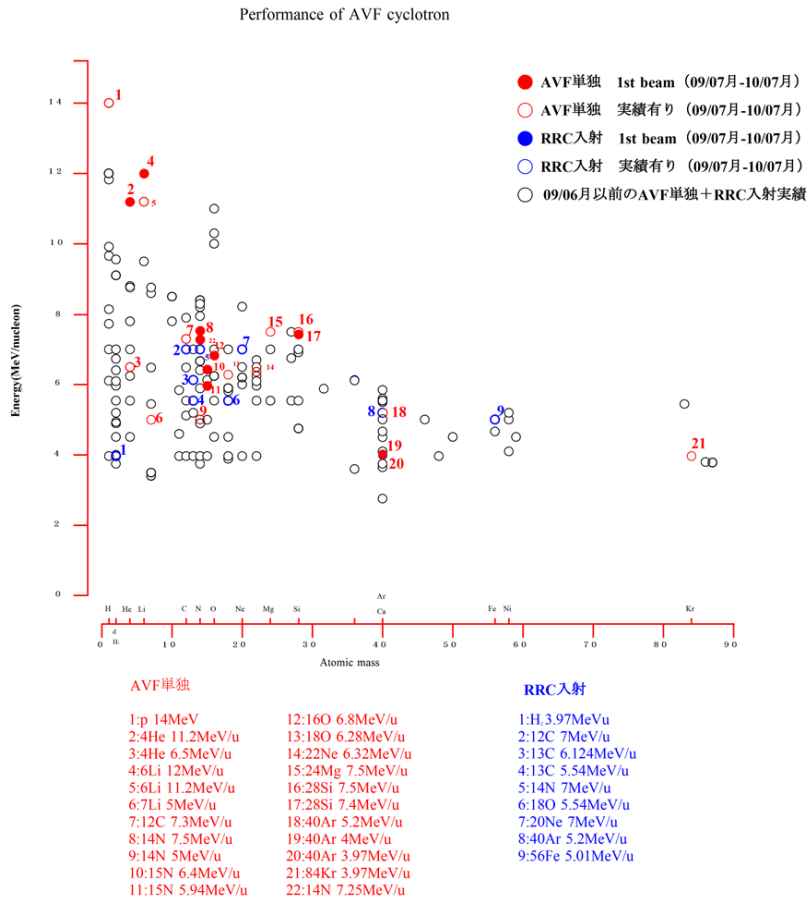


図 1 : AVF 加速実績

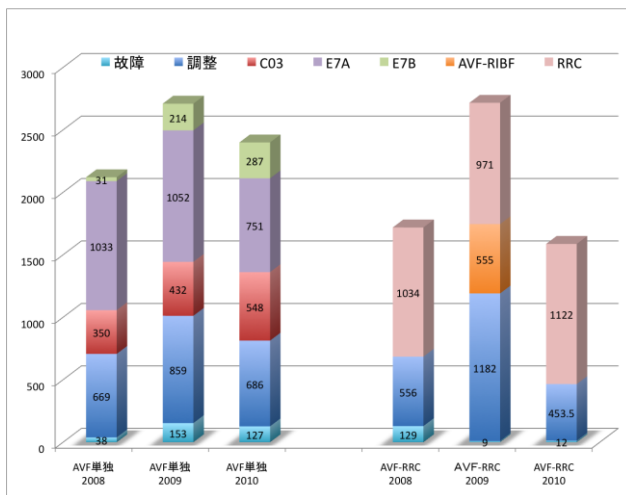


図 2 : 運転状況の内訳

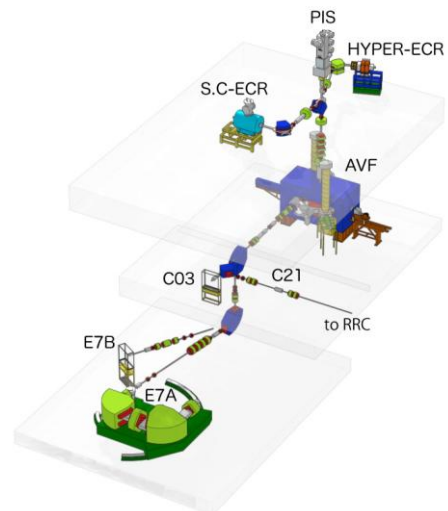


図 3 : AVF および各実験コース

4. 改良

$^{16}\text{O}^{7+}$ と $^6\text{Li}^{3+}$ イオンビームの利用可能な最大エネルギーを 12 MeV/u へと増加させる事を目標とした取り組みを行ってきた。AVF サイクロトロンで初期設計以上の加速を行うに当り、問題となるのはその中心部の形状であり、3次元電磁場計算を駆使した3次元ビーム軌道シミュレーションを入念に行ってきた[1,2,3]。計算結果に基づき、2009年8月にAVF中心部分の改造を行った。まず、3次元ビーム軌道計算から予想される中心ビーム軌道に干渉しないように、インフレクターとディー電極先端部保護用のRFシールドをよりコンパクトな形状のものに全交換した(図4)。また、インフレクター電極の入り口、出口にそれぞれ2mmの銅板を取り付け、電極長を引き延ばした(図5)。



図4：中心部の改造前後の違い。白線は旧中心構造を、塗り部が新しい中心構造を表している。

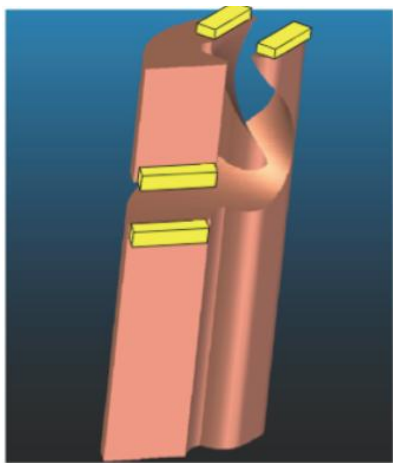


図5：スパイラルインフレクターの改造。インフレクター電極は2mmの銅板を入口、出口にそれぞれ付ける事で引き延ばされた。

2009年9月から $^6\text{Li}^{3+}$ と等価な $^4\text{He}^{2+}$ イオンビーム

を用いた入射・加速・ビーム取り出しの試験を行い、11.2 MeV/u までの加速を行った(図1の赤丸2)[4]。ビーム透過効率について、新しい中心構造を用いた場合と2008年12月に測定された旧中心構造における場合の比較を図6に示す。

入射効率(136とR=74mmの比)について新しい中心構造を用いた場合では旧中心構造の場合の約5倍、効率50%にも達しており、入射部における軌道計算の成功を物語っている。一方ビーム取り出し効率に関しては約10%程度と低い。ビーム取り出し系には未だ大きな最適化の余地が残されており、新中心構造からのビームに対応すべく順次最適化を進める。また、12 MeV/u までの加速試験も今後行う。

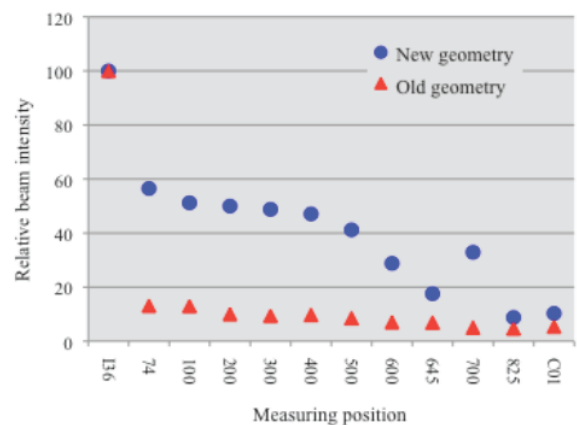


図6：相対ビーム電流値の旧中心構造と新構造での比較。I36とC01はAVFの直前と直後に配置されているファラデーカップの名称である。横軸数値はmmを単位とした径方向の位置を表している。500-700mmの電流値の乱れはビームのオフセンタリング振動のためメインプローブで電荷が全回収されていない事による。

5. まとめ

2009年7月から2010年7月の期間におけるAVFサイクロトロンの総運転時間は3987時間。このうち予定外の停止は139時間(3.5%)であった。加速エネルギー範囲の拡大のため、3次元ビーム軌道計算に基づいた中心領域構造の改良に取り組んでおり、新しい中心構造における実験的研究を進めている。

参考文献

- [1] A.S. Vorozhtsov et al.; RIKEN-NC-AC-2.
- [2] E.E. Perepelkin et al.; RuPAC 2008, p.40.
- [3] A.S. Vorozhtsov et al.; RuPAC 2008, p. 51..
- [4] A.Goto, et al., Renovation of the central region of RIKEN AVF cyclotron and results of beam acceleration test.