

CONSTRUCTION STATUS OF FFAG ACCELERATOR AT KYUSHU UNIVERSITY

Yujiro Yonemura^{#, A)}, Hidehiko Arima^{A)}, Kenji Ishibashi^{A)}, Nobuo Ikeda^{A)}, Yusuke Uozumi^{A)}, Kenshi Sagara^{B)}, Nobuhiro Shigyo^{A)}, Takashi Teranishi^{B)}, Tetsuo Noro^{B)}, Kunihiro Fujita^{B)}, Keisuke Maehata^{A)}, Tsuneyasu Morikawa^{B)}, Tomotsugu Wakasa^{B)}, Genichiro Wakabayashi^{A)}, Tadashi Korenaga^{A)}, Tadahiko Hasuo^{A)}, Takashi Matsunaga^{A)}, Tatsuya Fujinaka^{A)}, Shogo Kuratomi^{C)}, Yoshiharu Mori^{D)}, Akira Takagi^{E)}, Hisayoshi Nakayama^{E)}, Takio Tomimasu^{F)}

^{A)} Department of Applied Quantum Physics and Nuclear Engineering, Kyushu University,
744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, 810-0395

^{B)} Department of Physics, Kyushu University,
6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581

^{C)} Department of Energy Science and Engineering, Kyushu University,
744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, 810-0395

^{D)} Research Reactor Institute, Kyoto University,
2 Asashiro-Nishi, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-0494

^{E)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{F)} SAGA Light Source
8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

Abstract

A new accelerator facility of Center for Accelerator and Beam Applied Science is under construction on Ito Campus to promote research and education activities at Kyushu University. The construction of the main ring has been almost finished. In this paper, the overview of the construction status is described.

九州大学における FFAG 加速器の整備状況

1. はじめに

九州大学では、伊都キャンパスへの移転を機に、コッククロフト加速器実験室、原子核実験室および量子線照射分析実験施設を統合した加速器・ビーム応用科学センターを発足させた^[1]。本センターでは、ビームを利用した教育および原子核科学、医療応用、基礎科学等におけるビーム応用研究を推進することを目的として、固定磁場強集束(FFAG)加速器を主加速器とした加速器施設の整備が進められている。

加速器施設の建設は平成 20 年 7 月より開始され、平成 21 年度までに入射器サイクロトロン¹のビーム調整、電磁石のアライメント、純水冷却システムおよび電源装置の整備、修理は完了した。現在、ビーム調整に向けた真空機器、電磁石電源およびビーム入出射機器の運転調整が行われている。

2. 加速器施設の概要

加速器施設は入射器の小型の AVF サイクロトロン(日本製鋼所製 Baby Cyclotron)と 150 MeV FFAG 加速器によって構成されている。150 MeV FFAG 加速器は平成 17 年度に高エネルギー加速器研究機構

において世界で初めて開発に成功した新型の陽子シンクロトロンである。この加速器は陽子 FFAG 加速器を様々な応用分野で利用するために開発された実用実証プロトタイプ機であり、平成 17 年 11 月に運転繰り返し周波数 100 Hz のビーム取出しに成功した^[2]。図 1 と表 1 に 150 MeV FFAG 加速器の機器配置図と基本パラメータを示した。

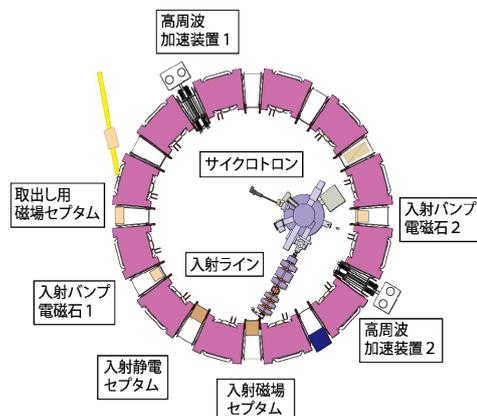


図 1 : 150 MeV FFAG 加速器の機器配置図

表 1 : 150 MeV FFAG 加速器の基本パラメータ

電磁石タイプ	Radial セクター型(DFD triplet)
セル数	12
K 値	7.62
ビームエネルギー	10~125 MeV (陽子)
周回周波数	1.5~4.2 MHz
平均軌道半径	4.47~5.20 m
運転周波数	100 Hz
ベータトロンチューン (入射エネルギー)	水平: 3.62 垂直: 1.45
磁場強度	発散電磁石: 0.78 T 集束電磁石: 1.63 T
取出し平均電流	1.5 nA

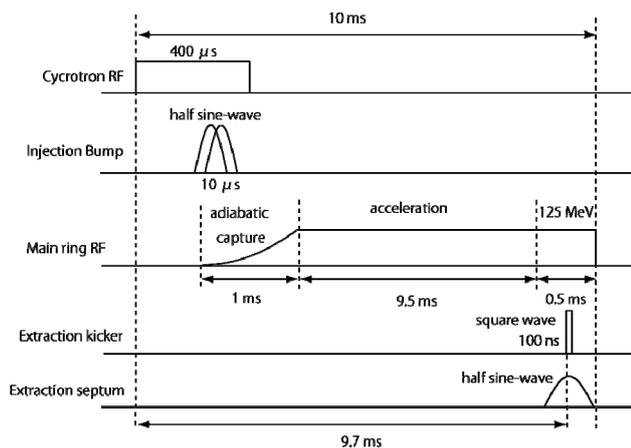


図 2 : 入出射・加速装置のタイミングチャート

入射器サイクロトロンによって 10 MeV まで加速された陽子ビームは、入射ラインを経由して主リングに入射される。その後、入射磁場セプタム (60 度偏向電磁石) と入射静電セプタムを通過した後、2 台のバンプ電磁石を利用した多重入射法を用いて周回軌道に入射される。さらに、2 台の高周波加速装置によって最終エネルギーまで加速され、キッカー電磁石と取出しセプタム電磁石によってリングの外側へ取り出される。図 2 に各機器の動作タイミングを示した。

3. 加速器の整備状況

建屋完成直後の平成 20 年 7 月に加速器の建設は開始されたが、移設前の約 2 年間、湿度や温度が管理されない状態で屋外のテントハウス内に保管されていた電磁石や機器類には錆や劣化が目立ち、補修が必要であった^[3]。また、建屋工事に含まれない基盤設備(純水冷却装置や受電設備等)の整備を行う必

要があった。予算的な制約により全ての機器の対処を行う事は困難であったため、必要最低限な補修と整備を行った後、平成 21 年 5 月より主リングのアライメントを開始した。

3.1 電磁石のアライメント

150 MeV FFAG 加速器の電磁石に要求される設置精度は±0.5 mm 以下であるので^[4]、九州大学における設置精度も同様に±0.5 mm 以下を目標とした。

アライメントに使用する光学機器は予算的制約から、近年多用されるレーザートラッカーではなく、比較的安価なトータルステーションとセオドライトを用いた。使用したトータルステーションは測角精度 0.5"、測距離精度 0.5 mm のソキア製 NET05 である。また、セオドライトはトプコン製 DT212 であり、測角精度は 5" である。各機器の機器誤差(水平軸誤差や鉛直軸誤差など)は測角を行う度に確認し、誤差が生じた場合は専門業者に依頼して校正した。セオドライトの求心望遠鏡に関しては、視準線の製作精度が高い製造ロットのものとの交換し、機器を移動させる毎に遠近誤差を校正することで機器の設置誤差を低減した。

図 3 に電磁石アライメント用に設置した基準点と電磁石の位置を示す。基準点は加速器原点 T_{00} を中心とする正 12 角形の頂点であり、金属製のマーカーが設置されている。各基準点の設置は、空調設備により加速器室内の温度を一定に保った状態で、長さ 1650 ± 0.02 mm の基準尺とトータルステーションの測角機能を使用して行った。次に、2 つの基準点上に設置した 2 台のセオドライトを用いて高精度な三角測量を行い、電磁石の位置を決定した。

図 4 と図 5 に設置した電磁石の位置 (図 3 の点 A と点 B) と高さ (図 3 の点 a, b, c, d の位置) を示した。図に示す通り、設置位置の設計値からのずれは最大で 0.3 mm であり、目標の設置精度が達成された。

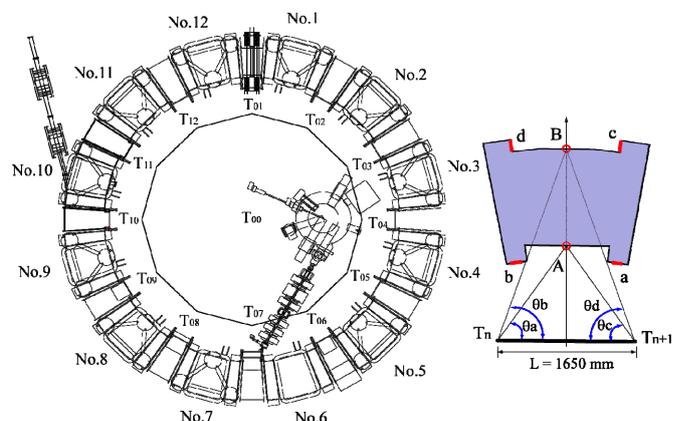


図 3 : アライメント用基準点と電磁石の位置関係

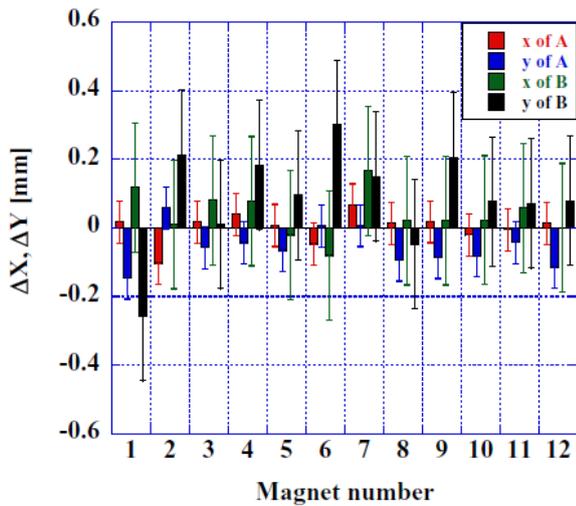


図 4 : 電磁石の位置と設計値の差

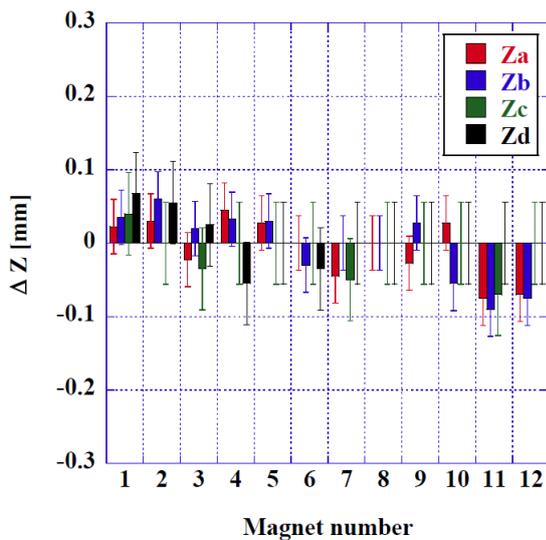


図 5 : 基準高さと電磁石の高さの差

3.2 電源装置の運転試験

KEK における 150 MeV FFAG 加速器の開発は、トリスタンや KEK PS 等の過去の資産を積極的に活用して進められたため、製作から 20 年以上経過した電源が多数使用されている。回路部品の経年劣化が進行し、輸送時の振動または保管時の湿度、温度などの影響で故障が発生する可能性があったため、電源の運転を開始する前に筐体内部の目視による点検、受電回路の耐圧試験や制御回路の動作確認を行った。

その結果、一部の電源に制御回路の故障、コンデンサの液漏れや冷却水配管の劣化等の軽微な故障が発見され、部品の交換や修理を行った。また、主要な回路部品が製造中止になり、修理が難しいと判断された電源は代替機と交換した。

平成 22 年 1 月より、電力線・冷却水配管の敷設を

行い、電源を負荷に接続した状態で運転試験を開始した。図 6 に加速器室内の装置の状態を示す。これまでに、主リングの電磁石、入射セプタム電磁石、取出しキッカー電磁石等の励磁試験を行い、必要な性能を満たしていることを確認した。

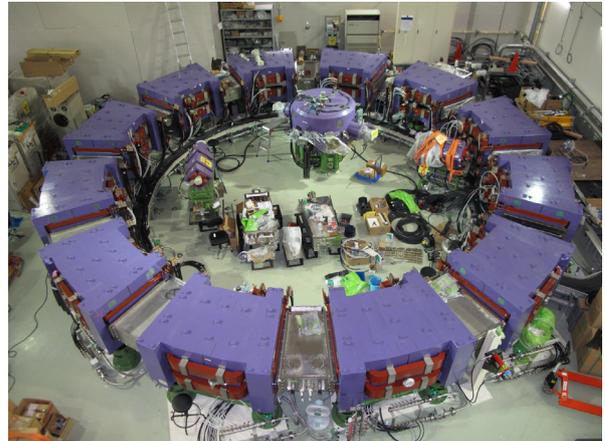


図 6 : 建設中の 150 MeV FFAG 加速器

4. 加速器要素の開発

150 MeV FFAG 加速器の建設と並行して、加速器の性能向上を目的とした様々な加速器要素の開発が行われている。現在、KEK や同型の加速器がある京都大学原子炉実験所と共同で高周波加速空洞、サイクロトロンイオン源、取出しキッカー^[5]、大口径非破壊型ビーム位置モニター^[6]の開発及び技術的な改良がおこなわれている。

5. まとめ

150 MeV FFAG 加速器の電磁石のアライメント、純水冷却システムおよび電源装置の整備、修理は完了し、現在、ビーム調整に向けて、真空槽の取り付け、真空機器およびビーム入射機器の運転調整が行われている。本格的なビーム調整は機器の調整が完了する 9 月以降に行われる予定である。

参考文献

- [1] Y. Yonemura et al., Proc. of EPAC08, pp3521-3523
- [2] M. Aiba et al., Proc. of EPAC06, pp1672-1674
- [3] N. Ikeda et al., Proc. of PASJ 2009
- [4] T. Yokoi et al., Proc. of PAC 2003, pp3452-3454
- [5] T. Matsunaga et al., in these proceedings
- [6] S.Mochizuki et al., to be published, Proc. of ISORD-5