

CURRENT STATUS OF CENTER FOR ACCELERATOR AND BEAM APPLIED SCIENCE OF 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)}, Tomotsugu Wakasa^{B)}, Tadashi Korenaga^{A)}, Tadahiko Hasuo^{A)}, Tatsuya Fujinaka^{A)}, Shogo Kuratomi^{A)}, Mutsuhito Yonekura^{A)}, Kazuho Omote^{A)}, Daijiro Morokuma^{C)}, Yushi Inaoka^{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, 819-0395

^{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, 819-0395

^{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

The construction of the 150-MeV FFAG accelerator has been completed in December 2010 at Center for Accelerator and Beam Applied Science of Kyushu University. Beam commissioning of the main ring has been started in March 2011. In this paper, details of the accelerator facility and status of beam commissioning are described.

九州大学加速器・ビーム応用科学センターの状況

1. 諸言

九州大学では、伊都キャンパスへの移転を機に、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 22 年 12 月に完了した。平成 23 年 3 月から入射器から主リングへビームを入射し、主リングのビーム調整を開始した。

2. 加速器施設の概要

加速器施設は小型の陽子サイクロトロンと 150 MeV FFAG 加速器^[2]によって構成されている。図 1 に加速器施設の機器配置図を示した。入射器サイクロトロンと 150 MeV FFAG 加速器は加速器室に設置されており、加速器制御室に設置したコンソールから遠隔制御されている。加速器電源室にはサイクロトロン用電源、FFAG 電磁石電源、RF 陽極電源、高圧直流電源等が設置されている。冷却水装置室には加速器室と加速器電源室に純水を循環させるため

のポンプやイオン交換器等が置かれている。電気室には伊都キャンパスのエネルギーセンターから受電した高圧電圧を変圧し、各電源へ供給するための受電設備が設置されている。管理室と汚染検査室では、放射線の安全管理が行われる。

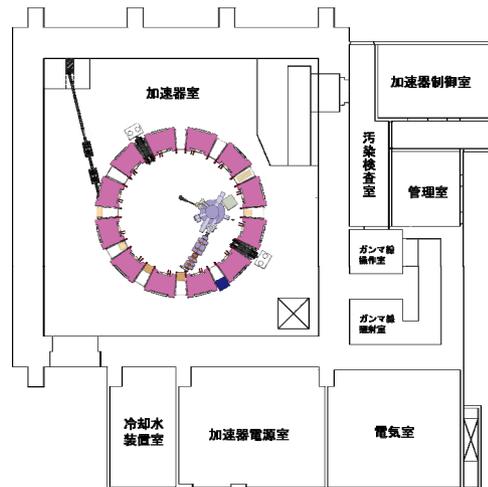


図 1 : 加速器施設の機器配置図

2.1 加速器の構成

主加速器の 150 MeV FFA 加速器は陽子 FFA 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。サイクロトロンは主に FFA 加速器の入射器として使用されるが、単体で照射実験などに利用する事も計画されている。図 2 と表 1、表 2 に入射器サイクロトロンと 150 MeV FFA 加速器の機器配置図と基本パラメータを示した。

表 1 : 入射器サイクロトロンの基本パラメータ

タイプ	AVF サイクロトロン
ビームエネルギー	10 MeV
RF 周波数	47 MHz (第 2 高調波加速)
イオン源	PIG 型負イオン源 (LaB ₆)
ビーム取出し半径	0.3 m / 静電デフレクター
取出し平均電流	2 μA (100Hz 運転時)

表 2 : 150 MeV FFA 加速器の基本パラメータ

タイプ	Radial セクター型(DFD triplet)
セル数	12
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
取出し平均電流	1.5 nA

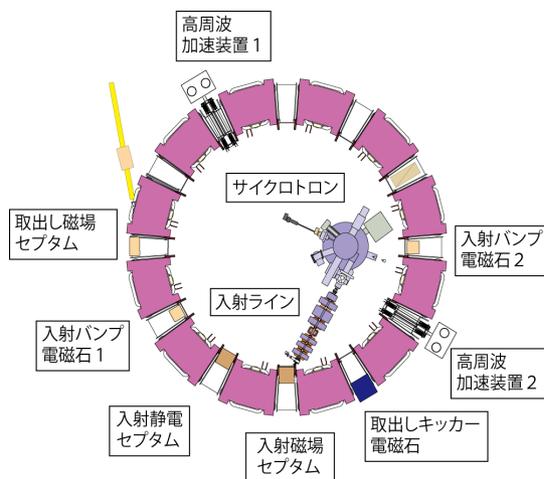


図 2 : 150 MeV FFA 加速器の機器配置図

2.2 ビーム入出射、加速システム

入射器サイクロトロンから取り出されたビームは

ビーム輸送ラインを通過した後、FFAG 加速器へ入射される。入射されたビームは入射磁場セプタムによって 60 度内側へ偏向された後、入射静電セプタムで 1.5 度偏向される。さらに、2 台の入射バンパ電磁石を用いた多重入射法によって周回軌道へ入射される^[3]。その後、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、取出し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。FFAG 加速器のビーム入出射・加速装置の動作タイミングを図 3 に示した。

図 4 に FFA 加速器の入出射・加速装置を駆動するためのトリガー系のブロックダイアグラムを示した。FFAG 加速器は主リングの電磁石の磁場が時間によらず一定であり、ビームのエネルギーと主リングの磁場を同期させる必要がないため、トリガー系は任意波形発生器とディレイモジュールを組み合わせることで、比較的簡単に構成することができる。

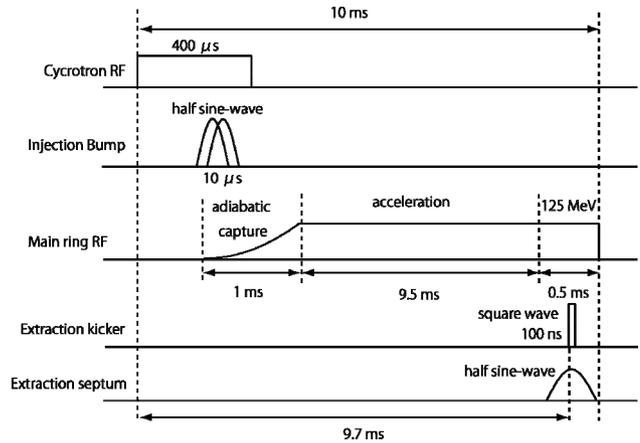


図 3 : 入出射・加速装置のタイミングチャート

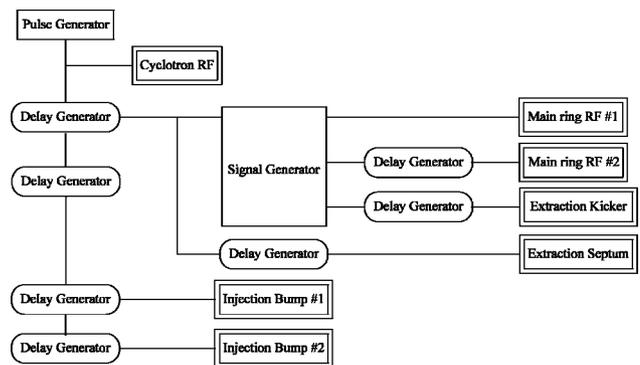


図 4 : FFA 加速器のトリガー系

2.3 真空排気系

入射器サイクロトロンには排気速度が 1600 L/s のターボ分子ポンプが取り付けられている。また、FFAG 加速器には排気速度が 500 L/s のベアリング式ターボ分子ポンプが 4 台、1600 L/s のピポット軸受式ターボ分子ポンプが 2 台取り付けられている。

これらの真空ポンプによって加速器運転時の主リングの真空槽内の真空圧力は約 2×10^{-4} Pa に維持されている。

主リングの真空排気系を構成する真空ポンプは製造から 20 年以上経ったものが多く、メンテナンスが出来ないため、今後行われるビーム調整中に故障が発生する可能性が高い。現在、代替機と運転中の真空ポンプの故障に対応できるような真空排気系のインターロックシステムを準備中である。

2.4 純水冷却系

純水冷却システムは純水系循環ポンプ（キャンドモーター）、熱交換器、解放型冷却塔、イオン交換器によって構成される。電磁石のコイルや電源から発生した熱は純水系（1 次冷却系）を循環する冷却水で除去される。1 次冷却水の温度は熱交換器で 2 次冷却水と熱交換を行うことで一定に保たれる。2 次冷却水の熱は解放型冷却塔で大気へ放出される。

純水系循環ポンプから吐出される純水の流量は 2000 L/min、圧力は 0.78 MPa である。熱交換器の交換熱量は 1200 kW であり、純水の温度が設定値に対して ± 2 度以内になるように自動調整される。イオン交換器では伊都キャンパス給水センターから供給される実験用再生水からイオン交換樹脂によって各種イオンを取り除き、純度 $1 \mu\text{S/cm}$ 以下の純水を精製している。解放型冷却塔には加速器施設の裏山から砂塵や木葉が舞い込むため、1 か月に 1 回程度の清掃が必要である。予算節約のため冷却塔の清掃は職員と大学院の学生が行っている。

2.5 電力

電力会社から供給された 66 kV の特別高圧電圧は、伊都キャンパスのエネルギーセンターで 6.6 kV まで変圧された後、加速器・ビーム応用科学センターの受電設備へ接続されている。平成 23 年 7 月時点での伊都キャンパス全体の契約電力が 6000 kW であるのに対して、夏季の日中のピーク時の使用電力は 5500 kW を超えており、加速器の運転に必要な電力（最大 1200 kW）を確保できない。今後のビーム調整は、キャンパス内の余剰電力が加速器の消費電力を上回る時間帯（夏季、秋季は 20 時から翌 7 時）に行われる予定である。

2.6 放射線安全管理

加速器が設置されている加速器室の天井部と周囲の壁は普通コンクリートによって遮蔽されている。天井部と壁のコンクリートの厚さはそれぞれ 1 m と 2 m である。さらに、加速器から取り出されたビームを捨てるビームダンプの周囲は、鉄とコンクリートブロックによって遮蔽されている。

運転中に発生する放射線は、管理区域境界に設置されたエリアモニターと施設敷地境界に設置したモニタリングポストを用いて監視されている。加速器

の運転による冷却水と空気の放射化はほとんど無視できるレベルであるが、冷却水と空気の放射能濃度は RI 排水モニターとガスモニターで常時監視を行っている。各モニターの測定値は加速器制御室に集められ、放射線レベルが基準値を超えた場合は加速器が緊急停止するようになっている。

放射線管理区域への入退域管理は、IC カードを用いた認証システムで行われ、管理室に設置したコンソールで集中管理される。加速器室への入室状況や遮蔽扉の開閉状態等に関する情報は、光ケーブルで加速器制御室へ伝送され、加速器のインターロックシステムに組み込まれている。ビーム調整中の FFAG 加速器を図 5 に示した。



図 5：運転調整中の FFAG 加速器

3. 加速器の構成要素の開発

FFAG 加速器のビーム調整と並行して、加速器の性能向上を目的とした様々な機器の研究開発が進められている。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入射バンプ電磁石、高周波加速空洞、サイクロトロンイオン源、取出しキッカー電磁石、大口径非破壊型ビーム位置モニターの開発及び技術的な改良がおこなわれている。

4. 結言

加速器施設の建設は平成 22 年 12 月に完了し、平成 23 年 3 月に入射器から主リングへビームを入射した。主リングの本格的な運転調整は平成 23 年 8 月から開始される予定である。また、本年より京都大学 8 MV タンデム加速器の伊都キャンパスへの移設事業が開始され、将来的にはタンデムからの多彩なビーム種を FFAG 加速器で供給するための研究開発が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] T. Fujinaka et al., in these proceedings