

九州大学加速器・ビーム応用科学センターの現状報告 2017

STATUS REPORT OF CENTER FOR ACCELERATOR AND BEAM APPLIED SCIENCE OF KYUSHU UNIVERSITY IN 2017

米村祐次郎^{#, A)}, 有馬秀彦^{A)}, 池田伸夫^{A)}, 魚住裕介^{A)}, 執行信寛^{A)}, 森田浩介^{B)}, 寺西高^{B)}, 若狭智嗣^{B)},
藤田訓裕^{B)}, 坂口聡志^{B)}, 岩村龍典^{B)}, 中山久義^{C)}, 高木昭^{C)}, 森義治^{D)}
Yujiro Yonemura^{#, A)}, Hidehiko Arima^{A)}, Nobuo Ikeda^{A)}, Yusuke Uozumi^{A)}, Nobuhiro Shigyo^{A)}, Kosuke Morita^{B)},
Takashi Teranishi^{B)}, Tomotsugu Wakasa^{B)}, Kunihiro Fujita^{B)}, Satoshi Sakaguchi^{B)}, Tatsunori Iwamura^{B)},
Hisayoshi Nakayama^{C)}, Akira Takagi^{C)}, Yoshiharu Mori^{D)}

^{A)} Faculty of Engineering, Kyushu University

^{B)} Faculty of Science, Kyushu University

^{C)} KEK

^{D)} Kyoto University

Abstract

The accelerator facility, which consists of the 8-MV tandem accelerator and the 150-MeV FFAG accelerator, has been constructed in Center for Accelerator and Beam Applied Science of Kyushu University. The beam operation of the tandem accelerator has been started in 2016. The construction of the extraction beam line of the FFAG accelerator has nearly been completed, and the beam commissioning for the beam extraction will be started. In this paper, the present status of the tandem accelerator and the FFAG accelerator are reported.

1. はじめに

九州大学加速器・ビーム応用科学センターでは、FFAG 加速器と 8 MV タンデム静電型加速器を利用した加速器施設の整備が進められている。タンデム加速器棟・実験棟では、AMS ビームラインと大型散乱槽を用いたビーム利用と並行して、タンデム加速器のビーム強度とエネルギー増強のための機器調整が行われている。FFAG 加速器棟では、FFAG 加速器のビーム利用へ向けた機器の整備と加速器の性能向上を目的とした研究開発が進められている。本発表では、FFAG 加速器とタンデム加速器の現在の整備状況について報告する。

2. 加速器施設と整備計画の概要

九州大学ではビームを利用した教育および原子核科学、医療応用、基礎科学などにおけるビーム応用研究を推進するために、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。箱崎キャンパスの加速器や実験装置は老朽化が進み、移設が困難な状況であったため、新キャンパスにおいて新しい加速器施設の整備が進められることになった。

加速器施設の整備計画は 2 期に分けて進められた。第 1 期の整備計画では FFAG 加速器を主加速器とした工学系の加速器施設の整備が行われ、2008 年 7 月に建屋が完成した。第 2 期の整備計画ではタンデム加速器を主加速器とした理学系の加速器施設・実験棟の建設が行われ、2014 年 3 月に建屋が完成した。同年 9 月に建屋の放射線安全に関する施設検査に合格した後、

タンデム加速器のビームを FFAG 加速器と各実験室に供給するビームラインの整備を行い、2015 年 6 月に施設検査を再度受検し、合格した[1][2]。

箱崎キャンパスのタンデム加速器は、加速器・ビーム加速器センターの建屋完成に伴い、2015 年 12 月にシャットダウンした[3]。2016 年 9 月には放射化物の処理が完了し、2016 年 10 月に廃止措置完了届を提出し、管理区域が解除された。

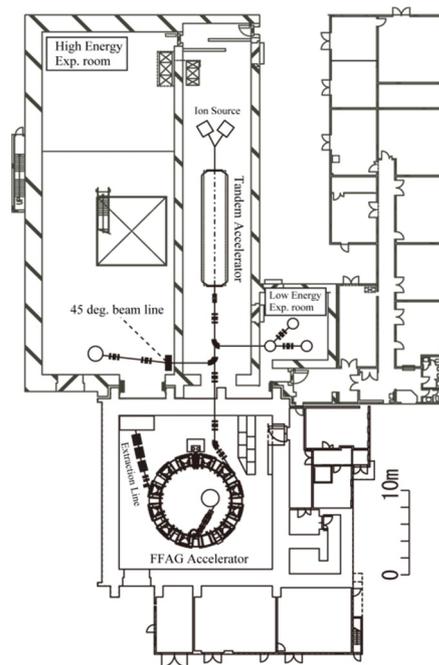


Figure 1: Schematic view of Center for Accelerator and Beam Applied Science in 2017.

[#] ynmr@nucl.kyushu-u.ac.jp

Figure 1 に加速器施設の概略図を示した。加速器施設は FFAg 加速器棟とタンデム加速器棟から構成されている。タンデム加速器で加速されたビームは FFAg 加速器室、低エネルギーイオン室、核科学実験室に供給される。

タンデム加速器棟では、低エネルギーイオン室の加速器質量分析(AMS)ビームラインと核科学実験室の大型散乱槽を用いて、研究・教育でのビーム利用が行われており、本格的なビーム利用へ向けた準備が進められている。また、FFAg 加速器棟では、FFAg 加速器のビーム利用へ向けた機器調整とビーム実験が行われている。

3. タンデム加速器の整備状況

タンデム加速器は 2014 年 9 月に施設検査に合格し、10 月からはタンデム加速器室において 14 MeV 1nA のビームが使用可能になった。その後、実験室へのビームライン拡張と新たなビーム核種(重陽子・重イオン)を増やすための承認を 2015 年 2 月に受け、6 月に施設検査に合格した。同年 7 月から研究・教育での利用が開始された。Table 1 にタンデム加速器の設計パラメータを示す。

Table 1: Parameters of Tandem Accelerator

| | |
|-------------------|---|
| Accelerator Type | Horizontal Tandem Van de Graaff |
| Model | NEC Pelletron (8UDH) |
| Terminal Voltage | 7 MV (max. 8MV) |
| Accelerator Tank | Diameter: 3.0 m Length: 13.6 m |
| Insulation Gas | SF ₆ (pressure: 0.6 MPa) |
| Ion Source | Sputter Ion Source (NEC MC-SNICS) RF Ion Source (NEC Alphatross) |
| Injection Voltage | -70 kV |
| Beam | p, d, H.I. |
| Current | 1 nA |
| Terminal Stripper | C Foil and Ar Gas |
| Charging Device | Double Pellet Chains (Current: 150 μA×2) |

2016 年度のタンデム加速器の総運転時間は約 300 時間であり、AMS システムの開発や不安定核ビーム実験の検出器の開発、学生実験等に利用された。また、中性子利用へ向けたテスト実験も行われた。

京都大学から移設された加速器本体には老朽化している箇所が多く、2016 年 10 月にはタンク内で SF₆ ガスを冷却するラジエーター配管に亀裂が生じて冷却水が漏れ、SF₆ ガスが冷却水配管を通じて漏洩する故障が発生した。ラジエーターの修理が技術的に困難であったためタンク内から撤去し、現在は暫定的に加速器室内の空調により加速器タンクの冷却を行っている。

タンデム加速器の運転時のターミナル電圧はこれまで最大 6 MV であったが、2016 年度より開始された加速器高圧系のエージング作業により、最大ターミナル電圧を 6.7 MV まで昇圧することに成功した。現在もエージング作業は継続されており、近日中に 7 MV のターミナル電圧が達成される見込みである。今後、将来の変更申請に備え、定格電圧である 8 MV へ向けてエージング作業を進めていく予定である。

2017 年度後半もしくは 2018 年度に変更申請を行い、タンデム加速器のビームの最大強度を現在の 1pnA から 1μA に増強することが検討されている。ビームの大強度化に備え、2017 年度にペレットチェーンを 1 本から 2 本に増やした。

核科学実験室では理化学研究所で進められている超重元素合成実験のための検出器開発や中性子利用実験に利用するための新たなビームラインの設置が予定されており、今年度後半から建設が開始される予定である。

4. FFAg 加速器の整備状況

工学系の加速器施設は入射器サイクロトロンと FFAg 加速器によって構成されている。FFAg 加速器のビームコミッションは 2011 年 12 月から開始され、2013 年 7 月にビームの加速に成功した。その後、タンデム加速器から重イオンビームを入射するためのビーム入射ラインが 2015 年 3 月に整備され、重イオンビーム入射のための準備が進められている。また、高エネルギー加速器研究機構から譲渡・移設された電磁石を利用して、2016 年度に抽出しビームラインの建設が行われ、ビーム取出しのための機器調整とビーム実験の準備が進められている。Table 2 と Figure 2 に FFAg 加速器の設計パラメータと FFAg 加速器の機器配置を示した。

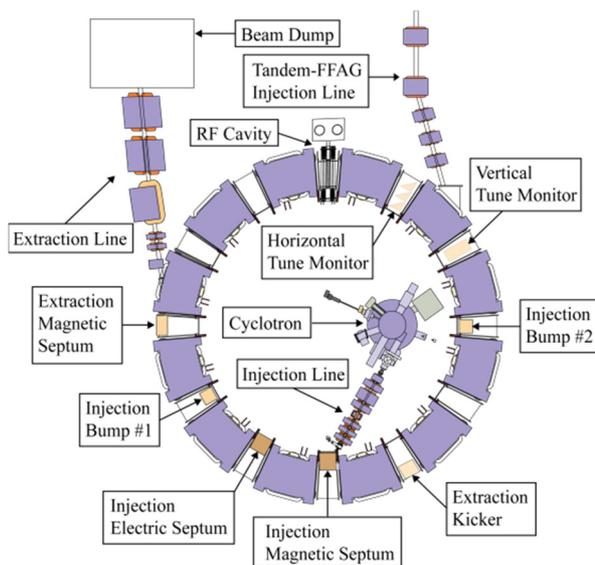


Figure 2: Schematic view of FFAg accelerator.

Table 2: Design Parameters of 150 MeV FFAG

| Type | Radial sector (DFD triplet) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Number of Cells | 12 |
| Proton Energy | 10 → 125 MeV (Max. 150 MeV) |
| Average radius | 4.47 - 5.20 m |
| Repetition | 100 Hz (2 Cavities) |
| Beam Current | 1.5 nA |
| Betatron Tune (Injection Energy) | 3.61 (Horizontal) 1.46 (Vertical) |

4.1 ビーム輸送ラインの整備

高エネルギー加速器研究機構から移設・譲渡された電磁石や電源を利用してビームラインの整備が行われ、これまでに、取出し機器の運転調整、取出しビーム輸送ライン用の冷却水配管や電気配線追加工事は完了した。

機器調整中に取出しビーム輸送ラインの電磁石の励磁に利用される直流電源に経年劣化による故障が発生したため、保守部品が入手可能な電源は修理を行い、修理不能な電源は代替機への切り替えを行った。また、電源構成の変更に伴い、冷却水配管と配線経路の変更を行った。現在、真空ダクト、真空排気装置、ビームモニター等の設置作業と取出し機器用のトリガー系やインターロック機器の整備が進められている。

タンデム加速器から重イオンビームをFFAG加速器に入射するための既設のビーム輸送ラインに加えて、陽子ビームを入射するためのビーム輸送ラインの建設が予定されている。このビーム輸送ラインは将来的にタンデム加速器からFFAG加速器に12 MeV以上の陽子ビームを入射し、FFAG加速器の最大エネルギーを150 MeVまで引き上げることを目的としている。

FFAG加速器から取り出したビームを核科学実験室へ輸送するためのビーム輸送ラインの整備が第3期整備計画で予定されており、予算申請中である。

4.2 チューン補正機構の開発

FFAG加速器のビーム調整と並行して、FFAG加速器の新しい要素開発が進められている。前年度はビーム加速中のベータatronチューンの制御手法に関する研究開発が行われ、垂直チューン補正用追加磁極の開発と電磁石への取り付けが完了した。今年度のビーム実験で補正磁極の性能評価が行われる予定である。水平チューンに関しては補正コイルを用いた補正手法が提案されており、前年度に補正コイルの試作機が開発され、原理検証のための磁場測定とビーム実験が行われた。現在、実験結果の解析が行われている。

4.2 インターロック・制御システムの更新

FFAG加速器の制御・インターロックシステムはプログラマブルロジックコントローラー(PLC)と制御用PCによって構成されており、ラダー・ロジックとLabVIEWによって制御が行われている。制御・インターロックシステムは加速器を移設した当時から利用しているものであり、経年

劣化による故障率の増加が問題になっていた。これらの問題を解決するために前年度までに制御用PCと制御システムの一部の更新を行った。

5. まとめ

九州大学加速器・ビーム応用科学センターでは、FFAG加速器のビーム実験と並行して、8 MV タンデム静電型加速器の整備が進められている。タンデム加速器棟では、2016年度から研究・教育でのビーム利用が開始された。本格的なビーム利用へ向けて2017年度中にターミナル電圧を8 MVへ昇圧し、最大ビーム強度を1pμAへ増強するための変更申請を行う予定である。FFAG加速器棟では、FFAG加速器のビーム利用へ向けて、ビーム取出し機器の整備とビーム調整が進められている。

参考文献

- [1] Y. Yonemura *et al.*, Proc. of the 13th PASJ, Chiba, Japan, August 8-10, 2016, pp.1361-1363.
- [2] T. Teranishi *et al.*, Proc. of the 10th PASJ, Nagoya, Japan, August 3-5, 2013, pp.310-312.
- [3] 第29回「タンデム研究会及びその周辺技術の研究会」ブローディングス.