

## 九州大学加速器・ビーム応用科学センターの現状報告 2019

### STATUS REPORT OF CENTER FOR ACCELERATOR AND BEAM APPLIED SCIENCE OF KYUSHU UNIVERSITY IN 2019

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

<sup>A)</sup> Faculty of Engineering, Kyushu University

<sup>B)</sup> Faculty of Science, Kyushu University

<sup>C)</sup> KEK

<sup>D)</sup> 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 beam commissioning of FFAG accelerator for the beam extraction has been started in 2018. 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、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整備と並行して、研究・教育を目的としたビーム利用が行われている。FFAG 加速器棟では、FFAG 加速器のビーム利用へ向けたビーム調整と並行して、加速器の性能向上を目的とした加速器要素技術の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、加速器・ビーム応用科学センターを発足させた。旧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。

加速器施設の建設は 2 期に分けて進められた。Figure1 に加速器施設の概略図を示す。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]。

核科学実験室において FFAG 加速器のビームを利用して照射実験や中性子利用を行うための実験室の整備が計画されている。FFAG 加速器室から核科学実験室までのビームライン、垂直ビーム入射用電磁石、遮蔽コンクリート等の整備が計画されており、現在、予算申請中である。

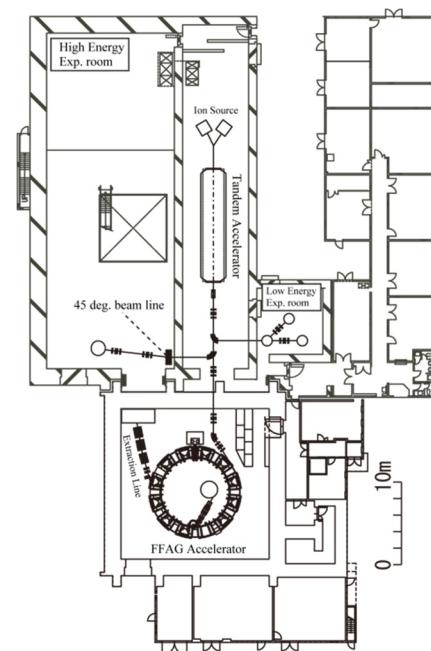


Figure 1: Schematic view of Center for Accelerator and Beam Applied Science in 2019.

<sup>#</sup> ynmr@nucl.kyushu-u.ac.jp

### 3. タンデム加速器

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 1 nA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。

既存のビームラインは低エネルギーイオン室にAMSコースと汎用コース、核科学実験室に大型散乱槽コースがあり、RIビーム実験のための検出器開発、学生実験、重イオン反応の融合障壁の測定、逆運動学散乱測定系のテストなどの実験が行われている。また、2017年の超重元素研究センターの発足に伴い、核科学実験室にビームラインが1本増設された。このビームラインは主に超重元素実験用検出器を開発する場として活用される予定である。

2018年度のマシンタイムは合計29日であり、理学部物理学科学生実験に4日、ビーム開発に2日、重陽子入射中性子生成反応測定に2日、陽子共鳴散乱の励起関数測定及び測定システム開発に14日、ブラッグカーブ検出器のテストに1日、TOF-ERDA(飛行時間・弾性反跳検出分析)法の開発に3日、重イオン弾性散乱の角度分布測定に3日のマシンタイムを実施した。

ペレット・チェーンおよびプーリーの消耗を抑えるため、インバーターを介してペレット・チェーン用モーターを駆動し、緩やかな加速や回転設定ができるようにシステムの改修が行われ、2系統あるペレット・チェーンの低速運転および緩やかな加減速が可能になった。

原子核反応の励起関数測定を効率よく行うため、加速器入口から標的までのビームラインの静電系や電磁石系のパラメーターを加速エネルギーと同期させて、自動的に短時間で設定するシステムを整備中である。現在までのところ、ビームエネルギー4 keV程度のステップで測定を行う際、一部手動操作があるものの、1ステップ2分程度でエネルギーを変更することができるようになった。

現在、安定してビーム実験に使用可能な最高ターミナル電圧は約6.5 MVである。ビームを出さないターミナル電圧の昇圧テストを実施し、ビーム使用時の許可最高電圧である7 MVを超える7.1 MVが達成された。今後、仕様上の最高電圧である8 MVへ向けたエージング作業を進めていく予定である。

今後、最高ターミナル電圧を7 MVから8 MVへ昇圧し、最高ビーム強度1 pAから1  $\mu$ Aへ増強することに加えて、最大使用時間を現在の45時間/週から168時間/週へ変更する申請を行い、今年度末または来年度の承認を受けることを目指している。

### 4. FFAG 加速器

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。現在、FFAG加速器のビーム利用へ向けたビーム調整と並行して、加速器の性能向上を目的とした加速器要素技術の研究開発が進められている[3]。

タンデム加速器からFFAG加速器へ重イオンビームを入射するためのビーム入射ラインは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整った。2016年に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た取出しビームラインの整備、ビーム取り出し器機の運転調整、制御・タイミング系の改修作業は2018年度末までに完了し、現在、ビーム利用へ向けたビーム実験が継続して行われている。

今後、タンデム加速器からFFAG加速器へ12 MeV以上の陽子ビームを入射し、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、陽子ビームラインの増設が計画されている。また、第3期計画としてFFAG加速器のビームを核科学実験室に輸送し、ビーム照射実験や中性子場を発生させるための実験室の整備が計画されているが、未だ整備予算が承認されない状態である。予算が承認されるまでは、FFAG加速器室内のビームダンプ付近に実験スペースを確保し、ビーム利用のための予備実験等を行う予定である。

前年度までは昼間にFFAG加速器の運転を行うと伊都キャンパスの契約電力を大幅に超過するため、加速器の運転が可能な時間は夜間から早朝に限定されており、人員不足のため継続的な機器調整やビーム実験が困難であった。しかし、2018年9月に伊都キャンパスへの統合移転が完了したことに伴い契約電力の見直しが行われた結果、昼間にFFAG加速器の運転が可能になった。

ビーム調整と並行して、FFAG加速器の要素技術の開発が進められている。加速中のベータトロン振動の共鳴現象によるビーム損失を低減するために新たに開発された集束力可変型ベータトロンチェーン補正磁極の評価試験が行われ、ビーム損失を低減する効果が確認された。

経年劣化のため故障頻度が増加していた真空排気系とインターロックシステムの更新は前年度までに完了し、現在、試験運用中である。制御系、電源装置、純水冷却系の更新とメンテナンスについては、限られた予算の範囲内で部分的に前年度から継続して行われている。

### 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。タンデム加速器の本格的なビーム利用へ向けて2019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1  $\mu$ A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た、ビーム調整が開始された。

### 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] Y. Waga *et al.*, Proc. of the 15th PASJ, Nagaoka, Japan, August 7-10, 2018, pp. 987-991.