

## 九州大学加速器・ビーム応用科学センターの現状報告 2020

### STATUS REPORT OF CENTER FOR ACCELERATOR AND BEAM APPLIED SCIENCE OF KYUSHU UNIVERSITY IN 2020

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>, 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>, 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 FFA 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 extraction of FFA (Fixed Field Alternating gradient) accelerator has been started in 2019. In this paper, the present status of the tandem accelerator and the FFA 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、FFA(Fixed Field Alternating gradient)加速器と8MV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。FFA 加速器棟では、取り出しビーム強度増強のためのビーム実験と並行して、FFA 加速器の性能向上を目的とした加速器要素技術の研究が行われている。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増強のための機器調整と本格的なビーム利用へ向けた実験室の整備が進められている。本発表では、FFA 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FFA 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FFA 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FFA 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。FFA 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。

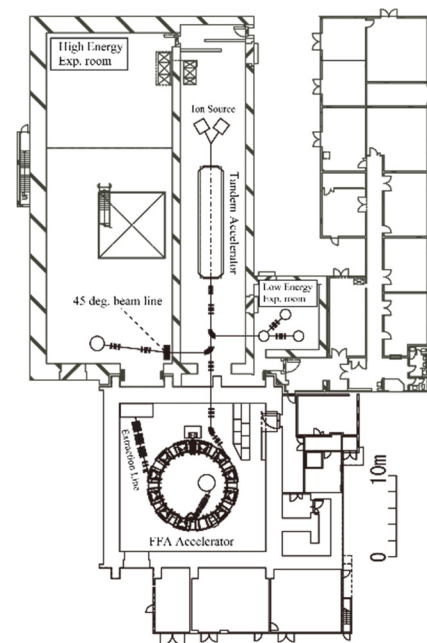


Figure 1: Schematic view of Center for Accelerator and Beam Applied Science in 2020.

<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。

2019年度のマシンタイムは合計51日であり、理学部物理学科学生実験に4日、ビーム開発に5日、陽子共鳴散乱測定に7日、 $\alpha$ 非弾性散乱測定に2日、 $\alpha$ 移行反応測定に5日、フォスウィッチ型検出器テストに3日、重イオン準弾性散乱測定に7日、重イオンビーム多重散乱測定に1日、AMS システムの開発に11日、熱中性子発生試験に1日のマシンタイムを実施した。

昨年度までの最高電圧7.1 MV を更新し短時間ではあるが7.3 MV までの昇圧を達成した。また、現在のビーム使用時の許可最大電圧7 MV でのマシンタイムを1日実施した。今後、仕様上の最高電圧である8 MV までのテストを実施していく予定である。

マシンタイム中に加速器ターミナルのガス荷電ストリッパ装置のガスバルブ駆動装置が経年劣化のため故障したため、1週間の修理作業を行った。新型コロナウイルス感染防止のため2020年3月末から2020年6月まで、加速器の運転および例年この時期に行っていたメンテナンス作業を見合わせた。2020年7月から感染防止対策をとりながら加速器運転を再開した。

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 p nA から1  $\mu$  nA 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/週へ変更する変更申請を検討している。技術的には目途がついており、変更申請に向けた書類作成を行っている。

### 4. FFA 加速器

工学系の加速器施設は入射器サイクロトロンとFFA 加速器によって構成されている。現在、FFA 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]。

FFA 加速器のビームコミッショニングは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。タンデム加速器からFFA 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

り出し機器の運転調整、制御・タイミング系の改修作業は2018年度末までに完了し、2019年度からビーム利用へ向けた機器調整とビーム実験が継続して行われている。

2019年度のマシンタイムは合計27日であり、主にビーム加速やビーム取り出しにおけるビーム損失を低減するための機器開発やビーム調整にマシンタイムが割り当てられた。2020年4月から新型コロナウイルス感染対策のため、ビーム実験が中断しており、現在、加速器の性能維持のためのメンテナンス作業が行われている。

ビーム調整と並行して、FFA 加速器の要素技術の開発が行われた。前年度に引き続き、加速中のビーム損失を低減するために集束力可変型ベータトロンチューン補正磁極の研究開発が行われており、磁場・軌道計算とビーム実験から補正効果の詳細な評価が行われている。また、取り出し軌道付近のビーム損失を低減するための補正磁極が電磁石に取り付けられ、ビーム損失低減の効果が確認された。

エネルギー可変取り出しに対応するために、取り出しキッカーの位置調整機構の改良を行った。また、ビーム取り出しのタイミング調整の自由度を高めるために、ビーム取り出し機器のタイミング系の改良と遠隔制御機能の機能強化を行った。ビーム取り出し軌道上のビームを測定するためのビームプローブを取り出しセプタムの出入口や取り出しポートに新たに設置した。

経年劣化のため、主リングの高周波加速システムの前段増幅器の故障が発生したため、半導体部品の交換を行った。また、入射器サイクロトロンの主高周波増幅器、前段増幅器、主電磁石電源の冷却水系の流量計やフロースイッチが経年劣化のため故障したため、代替品へ交換した。

今後、タンデム加速器からFFA 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FFA 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、FFA 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。

### 5. まとめ

九州大学加速器・ビーム応用科学センターでは、FFA 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ターミナル電圧を8 MV へ昇圧し、最大ビーム強度を1  $\mu$  nA へ増強するための変更申請を行う予定である。FFA 加速器棟では、FFA 加速器のビーム利用へ向けた、ビーム取り出し実験が開始された。

### 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.