

九州大学加速器・ビーム応用科学センターの現状

PRESENT STATUS OF CENTER FOR ACCELERATOR AND BEAM APPLIED SCIENCE OF KYUSHU UNIVERSITY

米村祐次郎^{#, A)}, 有馬秀彦^{A)}, 池田伸夫^{A)}, 石橋健二^{A)}, 魚住裕介^{A)}, 執行信寛^{A)}, 是永忠志^{A)},
野呂哲夫^{B)}, 寺西高^{B)}, 若狭智嗣^{B)}, 藤田訓裕^{B)}, 坂口聡志^{B)}, 森田浩介^{B)}, 相良建至^{B)},
中山久義^{C)}, 高木昭^{C)}, 森義治^{D)}

Yujiro Yonemura^{#, A)}, Hidehiko Arima^{A)}, Nobuo Ikeda^{A)}, Kenji Ishibashi^{A)}, Yusuke Uozumi^{A)}, Nobuhiro Shigyo^{A)},
Tadashi Korenaga^{A)}, Tetsuo Noro^{B)}, Takashi Teranishi^{B)}, Tomotsugu Wakasa^{B)}, Kunihiro Fujita^{B)},
Satoshi Sakaguchi^{B)}, Kosuke Morita^{B)}, Kenshi Sagara^{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 Research Reactor Institute

Abstract

The construction of a new facility of a tandem accelerator and experimental rooms has been completed in March 2013 at Center for Accelerator and Beam Science of Kyushu University. The accelerator facility consists of the 8-MV tandem accelerator and FFAG accelerator. The beam commissioning of FFAG accelerator has been performed since December 2011. The tandem accelerator will be employed as an injector of FFAG accelerator. In this paper, the present status of the tandem accelerator and details of beam commissioning of 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 加速器のビーム調整と並行して、京都大学理学部から移設した 8 MV のタンデム型静電加速器の整備が進められている。2013 年度にタンデム加速器棟の建屋工事が完了し、タンデム加速器の本格的なビーム加速に向けた準備が整った。タンデム加速器は FFAG 加速器の入射器として利用されるだけでなく、単独で低エネルギー実験や AMS 実験のためにも用いられる予定である。FFAG 加速器ではビームの加速実験とビーム取出しのための機器調整と並行して、タンデム加速器からのビーム入射システムの整備が進められている。本発表では、タンデム加速器と FFAG 加速器の整備状況について報告する。

2. 施設整備計画

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、基礎科学等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^[1]。旧キャンパスの加速器や実験装置は老朽化し、移設が困難であったため、新キャンパスにて、新しい加速器施設の整備が 2 期に分けて行われることになった。

工学系の移設に併せて、量子線照射施設と工学系の加速器施設の建設が行われた。新しい加速器施設の主加速器として、高エネルギー加速器研究機構から FFAG 加速器が移設された。FFAG 加速器の整備は 2008 年 7 月から開始され、2011 年 12 月からビームコミッショニングが開始された^[2]。

理学系の移転に先駆けて、2011 年度末に仮設プレハブ棟が建設され、2012 年度にプレハブ棟内でタンデム加速器本体、入射ビームライン、イオン源の組み立てが行われた^[3]。次に、理学系の移転に併せて、2013 年 6 月からタンデム加速器棟と実験室の増設工事が開始され、2014 年 3 月に完了した。現在、タンデム加速器の本格的なビーム加速に向けた準備が行われている。新キャンパスの加速器施設の完成に伴い、旧キャンパスのタンデム加速器は 2014 年 12 月にシャットダウンし、2016 年 3 月までに廃止される予定である。

3. 加速器施設の概要

Figure 1 に示すように、加速器施設は既設の FFAG 加速器棟と新たに増設されたタンデム加速器棟から構成される。タンデム加速器で加速されたビームは FFAG 加速器室、低エネルギー実験室、核科学実験室へ供給される。

低エネルギー実験室へ供給されたビームは AMS や低エネルギー実験に利用される。また、核科学実験室へ輸送されたビームは散乱槽に入射され、原子

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

核実験に利用される。また、核科学実験室には FFAG 加速器から取り出されたビームが供給され、中高エネルギーの原子核実験や中性子を利用した医療、基礎実験等で利用される予定である。

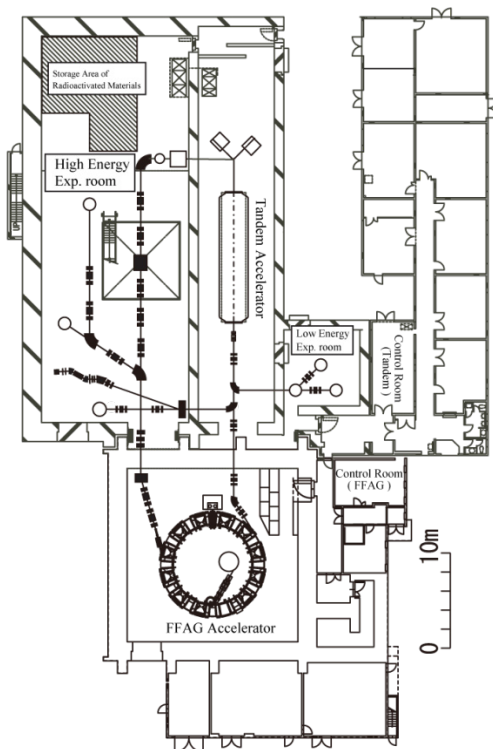


Figure 1: Schematic view of Center for Accelerator and Beam Applied Science of Kyushu University.

4. タンデム加速器の整備状況

現在、タンデム加速器棟では、2014年9月以降に予定されている施設検査へ向けて、タンデム加速器の取出しビーム輸送ラインの建設とターミナル電圧の印加試験が行われている。Table 1 にタンデム加速器の仕様を示した。

4.1 SF₆ 貯蔵タンク

タンデム加速器は、絶縁ガスとして絶対圧 6 気圧に加圧した SF₆ ガスを充填し、運転を行う予定である。2013 年度末に SF₆ を貯蔵するためのタンクを新たに 2 基製作し、建屋の屋上に設置した。1 基当たりの容量は 150 m³ であり、2 基で本体のタンク容量 (100 m³) の 1.5 倍の容積を有している。2014 年 6 月に貯蔵タンクに絶対圧 4 気圧の SF₆ ガスを移送・収納した後、配管およびタンクから漏れがないことを確認した。

4.2 イオン源の試験

タンデム加速器では、荷電交換型 RF イオン源とマルチカソード型スパッタイオン源の二種類のイオ

ン源を利用する予定である。

これまでに荷電交換型 RF イオン源の立ち上げ作業を行い、He ガスから He⁺イオン、CO₂ ガスから C⁺イオンが生成されることを確認した。今後、ルビジウム蒸気を使用して荷電変換を行い、負イオンの生成テストを行う予定である。また、上記と並行して、マルチカソード型スパッタイオン源の立ち上げを行っている。

4.3 今後の整備計画

施設検査合格後に変更申請を行い、今年度中に FFAG 加速器室、低エネルギー実験室、核科学実験室へビームを供給するためのビーム輸送ラインを整備する。また、核科学実験室には原子核実験用大型散乱槽、低エネルギー実験室には加速器質量分析用の電磁石、FFAG 加速器室には重イオン入射用の入射システムを設置する。さらに、タンデム加速器のターミナル電圧を 8 MV へ引き上げ、陽子ビーム以外に重陽子や重イオンを加速し、ビーム強度を 1 Particle μA へ増加させる予定である。来年度前半からは、理学部学生実験用にビーム利用を開始することが計画されている。

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 SNICS II) RF Ion Source (NEC Alphasross)
Injection Voltage	-70 kV
Beam current (in the 1 st stage)	Proton 1 nA
Terminal Stripper	C Foil and N ₂ Gas
Charging Device	Double Pellet chains (Current: 150 μA×2)

5. FFAG 加速器の現状

FFAG 加速器のビームコミッションングは、2011 年 12 月から開始され、2013 年 7 月に初めてビームの加速に成功した。Table 2 に FFAG 加速器の設計パラメータを示した。現在、加速中のビーム損失を低減するための機器の改良、ビーム取出し機器の整備、ビームモニターの開発が行われている。タンデム加速器と FFAG 加速器を接続するためのビーム輸送ラ

インを設置する許可を得るため、2014年6月に既設建屋の放射線安全と入射器サイクロロンに関する加速器運転時施設検査を受検し、合格した。

FFAG 加速器の取出しビーム輸送ラインの整備は、電磁石や電源を製作する予算が確保され次第、行われる。取出しビーム輸送ラインの整備が完了した後にFFAG 加速器の施設検査を受検する予定である。

Table 2: Design Parameters of 150 MeV FFAG

Type	Radial sector (DFD triplet)
Number of Cells	12
Proton Energy	10 - 125 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)

5.1 高周波加速システム

ビーム加速中のビーム損失は、高周波加速電圧が変動し、縦方向の位相空間上の安定領域が減少することによって発生すると考えられる。Figure 2 に高周波加速空洞のインピーダンスと、主増幅器に一定電力を投入したときの加速ギャップの電圧の測定結果を示した。

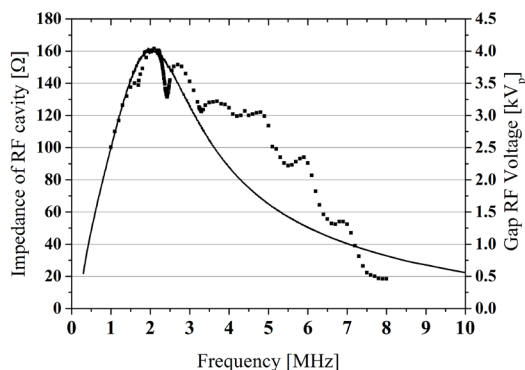
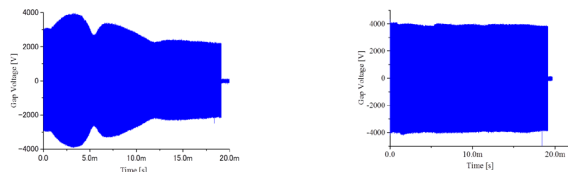


Figure 2: Measured impedance of the RF cavity and gap voltage. Solid line and broken line show impedance and gap voltage, respectively.

Figure 2 に示す通り、加速電圧は、加速空洞のインピーダンスと同様に变化するが、特定の周波数で共振現象が発生し、急激に変化していることが分かる。高周波増幅器の出力段回路と高周波加速空洞との間で共振現象が発生していると考えられ、原因の調査が行われている。

機器の改良が行われるまでの対策として、測定された加速電圧の逆関数を用いて主増幅器に入力する電圧の振幅を変調させ、加速ギャップに出力される電圧を一定にすることを試みた。Figure 3 は、ビー

ムを加速する際に用いる加速電圧の変調パターンの測定結果である。Figure 3 に示す通り、加速電圧の変動が低減されたことが分かった。



(a) Without amplitude modulation (b) With amplitude modulation

Figure 3: Measured RF gap voltage.

5.2 共鳴線の強さの測定

入射エネルギーで共鳴線の強さの測定を行った。FFAG 加速器では発散電磁石と集束電磁石の磁場の比を変えることで、垂直チューンを変化させることができる。垂直チューンを変化させ、チューンダイアグラム各点におけるバンチモニターの信号を観測した。信号の単位時間当たりの減少量を Figure 4 に示した。Figure 4 に示す通り、半整数共鳴と共鳴線 $\nu_x + \nu_y = 5$ 付近でビームが大きく減少することが分かった。

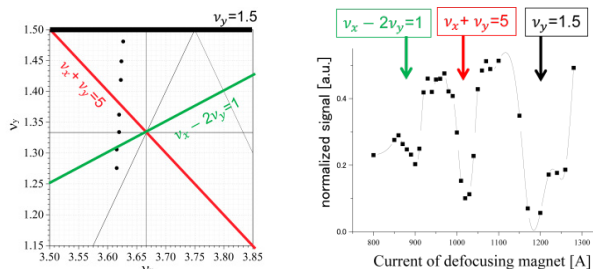


Figure 4: Resonance line and beam loss.

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 加速器のビーム調整とタンデム型静電加速器の整備が進められている。2013年度までにタンデム加速器棟の建屋工事が完了し、タンデム加速器の本格的なビーム加速に向けた準備が整った。タンデム加速器の施設検査に合格した後に変更申請を行い、タンデム加速器からFFAG 加速器や実験室へビームを供給するためのビーム輸送ラインや大型散乱槽等の実験機器の整備を行う。また、施設の整備と並行して、タンデム加速器やFFAG 加速器の性能向上の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, pp.3521-3523, 2008
 [2] Y. Yonemura et al., Proc. of the 10th PASJ, pp.452-455, August 3-5, 2013, Nagoya, Japan
 [3] T. Teranishi et al., Proc. of the 10th PASJ, pp.310-312, August 3-5, 2013, Nagoya, Japan