

CONSTRUCTION OF AN 8 MV TANDEM ACCELERATOR AT KYUSHU UNIVERSITY – PRESENT STATUS REPORT

Tetsuo Noro^{A)}, Takashi Teranishi*^{A)}, Kenshi Sagara^{A)}, Tomotsugu Wakasa^{A)}, Kunihiro Fujita^{A)}, Satoshi Sakaguchi^{A)}, Nobuo Ikeda^{B)}, Yujiro Yonemura^{B)}, Hidehiko Arima^{B)}, Kenji Ishibashi^{B)}, Yusuke Uozumi^{B)}, Nobuhiro Shigyo^{B)}, Takio Tomimasu^{C)}, Yoshiharu Mori^{D)}

^{A)}Faculty of Sciences, Kyushu University

6-10-1, Hakozaki, Higashi, Fukuoka, 812-8581 Japan

^{B)}Faculty of Engineering, Kyushu University

744 Motoooka Nishi-ku Fukuoka 819-0395 Japan

^{C)}Center for Accelerator and Beam Applied Science, Kyushu University

744 Motoooka Nishi-ku Fukuoka 819-0395 Japan

^{D)}Kyoto University Research Reactor Institute

2, Asashiro-Nishi, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-0494 Japan

Abstract

An 8 MV tandem accelerator is being installed at Center for Accelerator and Beam Applied Science, Kyushu University. The tandem accelerator will be operated as a heavy-ion injector to the main FFAG accelerator. The tandem accelerator can be also used independently for AMS, student experiments, RI beam production, and low-energy heavy-ion experiments. Originally, the tandem accelerator had been operated at Faculty of Science, Kyoto University until 2011, when the accelerator was shut down. The accelerator components have been sent to Kyushu University. The accelerator will be reconstructed in FY2012 and tuned in FY2013 for the first beam.

九州大学加速器・ビーム応用科学センターにおける 8 MV タンデム加速器建設計画の現状

1. はじめに

現在、九州大学加速器・ビーム科学応用センター（伊都キャンパス）において 8MV のタンデム型静電加速器（タンデム加速器）を京都大学理学部から移設する計画を進めている。このタンデム加速器は現在同センターで開発中の FFAG 加速器^[1]への入射器としての役割を担うほか、単独で低エネルギー実験にも使用する。2011 年度に京都大学における加速器解体と九大への移送作業が終わり、2012 年度には組み立て・調整作業が行われる予定である。以下に、箱崎キャンパスの現有タンデム加速器の状況、伊都キャンパスにおける 8 MV タンデム加速器設置計画の概要、タンデム加速器移設作業の経緯と今後の計画について報告する。

2. 箱崎キャンパスにおける現有タンデム加速器

九州大学理学研究院・原子核実験室（箱崎キャンパス）にあるタンデム加速器は 1972 年に設置されて以来、原子核物理実験、学生実験、加速器質量分析 (AMS) 等に使用されてきた。本加速器は九州大学の研究者がゼロから作り上げたもので、昇圧はペレット方式で行っている。ターミナル電圧は 1980 年に最高電圧 11 MV を記録しているが、現在は約 7 MV 以下で運転している。箱崎キャンパスにある理学研究院は早ければ約 3 年後に移転することになっている。しかし、このタンデム加速器

を伊都キャンパスに移設することは困難であるため、約 3 年後にシャットダウンすることにした。後継機として京都大学理学部で使用されてきた 8 MV タンデム加速器を九州大学伊都キャンパスに移設することになった。

3. 伊都キャンパスにおける 8 MV タンデム加速器設置計画の概要

現在、FFAG 加速器の入射器として 10 MeV 陽子サイクロトロンが用いられているが、今回設置する 8 MV タンデム加速器はこれにかわる入射器として使用される予定である。ここでは、8 MV タンデム加速器加速器の仕様および利用計画の概要を説明する。

3.1 8 MV タンデム加速器の仕様

今回、京都大学から移設するタンデム加速器は米 National Electrostatic Corporation (NEC) 製の 8 MV 横置き型 (8UDH 型) ペレットロンである^[2]。主な仕様を表 1 に示す。

3.2 将来の利用計画

本加速器は入射加速器として使用するほか、単独で AMS、低エネルギー重イオン実験、学生実験、および RI ビームの生成・加速テストに用いる予定である。このうち RI ビームの生成・加速について簡単に説明する。タンデム加速器はエミッタンスが小さい、加速粒子を素早く変えることができる、エネルギーを正確に素早く変化させることができる、運転経費が安価、等の特長が

* teranishi@phys.kyushu-u.ac.jp

表 1: 8 MV タンデム加速器の仕様

ターミナル電圧	8 MV
イオン源	Cs スパッター型 (SNICS II/MC SNICS), RF+荷電交換セル型 (Alphatross)
入射電圧	-200 kV (-60 kV に変更予定)
ペレット電流	150 μ A \times 2
荷電ストリッパ	C フォイルおよび窒素ガス
タンク	直径 3 m, 全長 13.6 m
絶縁ガス	SF ₆ 5 気圧

ある。伊都キャンパスの新施設ではタンデム加速器の特長を生かして中・長寿命不安定核 (^{11,14}C, ¹³N, ¹⁵O, ¹⁸F, ³H など寿命が数十分以上の核種) の高分解能 RI ビームを生成・加速し、低エネルギー核反応や天体核反応に関する次世代型の実験手法の開発を目指している。

第一段階としては、タンデム加速器による陽子・重陽子ビーム照射により生成された RI をガス分子の形で媒質ガスとともに負イオン源に注入し、再び同じ加速器で加速するという手法を試みる。将来の段階では FFAG 用入射サイクロトロンを利用して RI を生成し、タンデム加速器のイオン源まで RI 分子を含んだ媒質ガスを輸送するという事も考えられる。タンデム加速器により生成された RI ビームは単独で照射実験に使うだけでなく、FFAG に入射し、蓄積・加速して内部標的による反応実験や、引出したあとの核子あたり 10MeV 以上のエネルギーでの反応実験に使用できる可能性もある。このほか、単純に安定核の重イオンビームを FFAG に入射することによっても、さまざまな実験研究・応用の可能性が開けてくると考えられる。

3.3 スケジュール

8 MV タンデム加速器の設置に関する大まかなスケジュールを表 2 に示す。なおこの表および以下で説明するスケジュールは暫定的なものであり、大学のキャンパス移転計画と連動して変更される可能性がある。

京都大学においては昨年度加速器の解体が済みであり、今年度は SF₆ ガスを回収する予定である。九州大学理学研究院が伊都キャンパスに完全移転する約 3 年後には、同キャンパスにおいてタンデム加速器室およびいくつかの実験室を含んだ加速器棟が増設される予定である。しかし、これより先に、タンデム加速器を設置、調整し、2014 年度末までに FFAG までの接続ビームラインを制作するという研究プロジェクトが現在進行中である。そのため、正式な建屋が増設される前に、タンデム加速器だけを収める仮設建屋 (プレハブ棟) を建設することになった。2011 年度にはプレハブ棟の建設とタンデム加速器のタンクの設置が完了した。2012 年度に加速器組み立てを行い、2013 年度に加速器の調整を行い、2014 年度以降に実験を開始する。箱崎キャンパスの現有タンデム加速器は約 3 年後に廃止する予定である。

表 2: 8 MV タンデム加速器移設関連のスケジュール

	2011 (H23) 年度	2012 (H24) 年度	2013 (H25) 年度	2014 (H26) 年度	2015 (H27) 年度
京都大学	加速器解体	SF6回収			
九大伊都	加速器 タンク設置 プレハブ棟 建設	加速器 組立	加速器調整 (実験室建設)	テスト実験 FFAGへの接続	学生実験など 本格利用
九大箱崎				タンデム 運転終了	タンデム廃止 理キャンパス 移転

4. タンデム加速器移設作業の経緯と今後の計画

4.1 京都大学理学部におけるタンデム加速器の解体作業と九州大学への移送

京都大学理学部における解体作業および解体された機器の九州大学への移送は 2011 年 8 月から 2012 年 3 月までの間に行われた。イオン源、加速器機器、ビームライン機器は解体後、九州大学へ直接移送された。加速管は米 NEC 社に一旦送られ、検査により異常がないことが確認された後、九州大学へ移送された。加速器タンクは運搬し再利用することがコスト的に見合わないことから、解体処分することにした。

4.2 加速器タンクの製作および仮設タンデム加速器棟の建設

九州大学で使用する加速器タンクは 2011 年度に製作が行われた。タンクの形状は京都大学のものとほぼ同じである (表 1)。仮設タンデム加速器棟 (プレハブ棟) への加速器タンクの設置は、プレハブ棟の屋根ができる前の 2012 年 2 月に行われた (図 1)。加速器タンクが設置された後に、プレハブ棟の壁および屋根が設置され 2012 年 3 月にプレハブ棟が完成した (図 2)。



図 1: 加速器タンクの設置。2012 年 2 月 18 日撮影。

4.3 放射線施設変更申請

タンデム加速器の設置にともない加速器・ビーム応用科学センターの放射線施設変更申請を行った。新たに建設されたタンデム加速器用プレハブ棟は現在はまだ



図 2: 仮設タンデム加速器棟 (プレハブ棟) の外観。プレハブ棟の向こうに FFAG 加速器棟が見える。2012 年 3 月 11 日撮影。

だ FFAG 棟とは接続されていない。当面の間は、タンデム加速器単体でのビームテストが行われる予定であるので、プレハブ棟を独立した管理区域として、従来の FFAG 棟における管理区域とは別に、設定することになった。また、プレハブ棟の壁や屋根の厚さを考慮して、当面の間使用するビームを最大エネルギー 14 MeV の陽子に限定し、ビーム最大電流を 1 nA に抑え、管理区域境界での線量率が、上限基準より十分下まわるようにした。変更申請は 2012 年 3 月に受理された。施設検査は 2013 年度中を目標としている。

加速器の単独調整が終わった段階で、プレハブ棟と FFAG 棟を結ぶビームラインを建設する予定である。さらには理学研究院の移転にあわせて本格的な加速器棟・実験棟が建設される。また、陽子以外の核種を加速する必用も生じてくる。このため、将来のある時点で再び放射線施設変更申請がなされる予定である。

4.4 今後の加速器組み立て・調整

加速器の組み立ては 2012 年 9 月から開始され、2012 年度中にイオン源、加速器、加速後の直線ビームラインが組み上げられる予定である。2013 年度には調整運転がおこなわれる予定である。また、平行して 2012 年 9 月以降に京都大学に残されている SF₆ ガスを回収して九州大学に移送する予定である。加速器の組み立てに際しては、古い消耗部品の交換が行われるほか以下の改良が施される予定である。

- 入射エネルギーを -200 keV から -60 keV に変更する。これにより、AMS において入射粒子^{12,13,14}C の素早い切り替えを静電ポテンシャルの制御により容易に行うことができるようになる。入射エネルギーの変更に伴い、入射ビームラインの静電レンズの位置を変更する。
- 加速管および加速コラムの電位勾配を発生するために使用されていたコロナ・ニードルをすべて抵抗に置き換える。これにより加速器保守作業の簡素化が図られる。
- 従来の制御系では CAMAC クレート 2 台分の I/O により各加速器機器が制御されていた。CAMAC

I/O は再利用することにし、制御室までのシリアルハイウェイと制御室にあるコンピューターは老朽化のために廃止することにした。かわりに EPICS^[3] ベースの制御システムを構築し、加速器棟とは別の部屋から Ethernet により CAMAC を制御することにした。ビームラインや実験室機器の制御用には CompactPCI や VME 等の I/O を追加していく予定である。

5. まとめ

九州大学箱崎キャンパスにあるタンデム加速器は約 3 年後にシャットダウンさせる予定である。後継機として九州大学伊都キャンパスにおいて設置中の 8 MV タンデム加速器は 2013 年度末には稼働させる予定である。その後、FFAG への重イオン入射、AMS、学生実験、RI ビーム生成実験、低エネルギー重イオン実験などの活動を展開していく予定である。

タンデム加速器の解体・移送作業は、京都大学理学部および同タンデム実験室の方々のご協力のもと進めることができた。また、タンデム加速器における RI ビーム生成のための研究の一部は科学研究費補助金 (課題番号 No. 24510124) により行われている。

参考文献

- [1] Y. Yonemura et al., “九州大学加速器・ビーム応用科学センターの状況”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 1-3, 2011, Tsukuba, Japan, p246-248.
- [2] M. Nakamura et al., Nucl. Instr. Meth. A268, p.313-315 (1988); M.L. Sundquist, R.D. Rathmell and J.E. Raatz, Nucl. Instr. Meth. A287, p.87-89 (1990).
- [3] Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS), <http://www.aps.anl.gov/epics/>.