

## 都市大タンデムの現状(2024 年度)

### STATUS OF THE TCU-TANDEM (FY 2024)

羽倉尚人<sup>#, A), B)</sup>, 王聿恒<sup>C)</sup>, 劉洪甫<sup>C)</sup>

Naoto Hagura<sup>#, A), B)</sup>, Yuheng Wang<sup>C)</sup>, Hong-Fu Liu<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> Department of Nuclear Safety Engineering, Tokyo City University

<sup>B)</sup> Atomic Energy Research Laboratory, Tokyo City University

<sup>C)</sup> Cooperative Major in Nuclear Energy, Tokyo City University

#### Abstract

The 1.7 MV Pelletron Tandem Accelerator (TCU-Tandem) at the Tokyo City University (TCU) Atomic Energy Research Laboratory has been in operation since May 2018. Our laboratory has a research reactor that is under decommissioning. We would like to confirm that ion beams from this tandem accelerator will be useful as one of the rational disposal methods for structural materials from decommissioning. We are also working on applications in various fields, such as elemental analysis of pigments used in Japanese paintings. We held a tandem accelerator users' meeting in July 2018. We held a PIXE symposium in November 2019. We will continue to contribute to human resource development for accelerators using small electrostatic accelerators.

#### 1. はじめに

東京都立大学(旧名称:武蔵工業大学)の原子力研究所(川崎市、王禅寺キャンパス)は1960年に開設した。当研究所には、現在廃止措置中の研究用原子炉「武蔵工大炉」(熱出力100kW、TRIGA II型)がある。1963年から1989年まで運転し、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)や中性子放射化分析、中性子ラジオグラフィ、その他炉物理関係の実験研究などを実施し、数多くの研究成果を上げてきた。2003年に廃止措置へ移行することを決定し、燃料の搬出、屋外の廃液処理設備の解体撤去など廃止措置計画を着実に進めてきた。原子炉施設としては廃止段階に入ったが、放射性同位元素等の使用施設としては継続して運用しており学内外の学生および一般の方々への原子力・放射線に関する教育・研究の場として活動を継続している。2008年には工学部に原子力安全工学科(定員45名)が開設され、また、2010年には早稲田大学と共同原子力専攻(定員30名)を設置し、学部から大学院まで一貫した教育を提供できる環境を整えている。

2013年には当研究所に新たな教育・研究用の設備を導入する計画が検討され、最終的に1.7MVペレトロン・タンデム加速器[1, 2]を導入し、放射線発生、遮蔽、ビーム応用の研究をスタートさせることとなった。群馬県の株式会社パレオ・ラボ殿より本静電型加速器を譲っていただくこととなり、2014年より3年間をかけてイオン源、加速管、分析チャンバ等を整備していく計画を進めていくこととした。加速器システムを構築する段階を含めて人材育成の一環と位置付け学生、院生とともに加速器の整備を進めてきた[3]。2017年3月にはビームを通すことができるめどが立ったことから、規制当局への変更許可申請手続きを開始し、2018年2月に変更許可の認可、同年5月には施設検査の合格を受け、ビーム応用研究をスタートさせるに至った。2018年8月よりPIXE(荷電粒子

励起X線分光)法による微量元素分析実験をスタートさせ、2019年4月には学部3年生の実験実習科目(必修)においてPIXE分析法による実験を含めた加速器をテーマにした実験を開始した(Fig. 1)。今後、学内向けの教育・研究環境としての整備を進めていくとともに、学外からの利用者を積極的に受け、様々なビーム応用研究が実施可能な状況にしていくことを目指している。

2023年3月には、初めてとなる定期検査・定期確認を受審し合格した。様々なトラブルを経験するたびに加速器施設として成長することができていると実感している。引き続き多くのユーザーに利用していただける施設として運用していけるよう適切な管理を行ってきたい。

#### 2. 施設の現況

##### 2.1 施設の概要

本設備(以下、都市大タンデム)の主な仕様についてTable 1に示す。都市大タンデムは武蔵工大炉原子炉室内の一角にある原子炉運転当時、BNCTを行う際に施療室として使用されていたプレハブ小屋に設置している。運転中も遮蔽は不要であるという評価結果から加速タンクおよび分析チャンバの周りに遮蔽を設けてはならず、運転中は加速器エリアへの立ち入りを制限するため柵による区画をし、扉にはリミットスイッチを設け、扉開の信号でビームを停止する構成としている。

イオン源には冷陰極PIG負イオン源を用いている[4]。イオン種は現時点では水素イオンに限定している。ビームラインは、 $\pm 15^\circ$ 方向に2本整備しており、 $+15^\circ$ は主にPIXE分析チャンバを配置しているラインであり、 $-15^\circ$ はプロトンビーム照射試験用チャンバを配置している。

##### 2.2 ビーム応用研究の状況

廃止措置中の研究用原子炉施設の中に配置されているという特徴から本設備は廃止措置に関わる研究開発に役立てることを使用目的の一つとして掲げている。具体的には、60年以上前に作られた古いコンクリート中

# nhagura@tcu.ac.jp

の微量元素分析を中心に、コンクリート中への放射性同位元素の浸透・拡散挙動の把握、放射化物量評価に影響する微量元素の含有量の特定などを進めている[5]。物量の多いコンクリートを合理的に処理するために、イオンビーム技術を適用することの有効性を検証したいと考えている。



Figure 1: Student experimental program for undergraduate students.

Table 1: Specifications of TCU-Tandem

Model	MAS1700
Year of manufacture	1992
Manufacturer	National Electrostatics Corporation
Designed terminal voltage	1.7 MV
Number of chains	1
Stripper gas	N <sub>2</sub>
Ion source	Cold cathode PIG negative ion source
Species of acceleration ion	H <sup>+</sup>
Beam current	0.1 – 1nA @ target chamber
Installation location & Characteristic of facility	• Located in reactor room under decommissioning • Permission to use scaled radioisotope and nuclear fuel material

そのほかの分析例として、日本画に用いられる顔料である岩絵具を対象とした研究を行っている[6]。構成元素を明らかにすることでその顔料が作られた年代や産地の推定に役立つ情報を取得することを検討の対象としている。この様に廃炉関係だけではなく様々なテーマに取り組むことで、環境系や機械系、その他の様々なユーザーの開拓につなげたいと考えている。

コンパクトな波長分散型 PIXE 分析システムの開発を行っている。特徴としては、当研究室で中性子ラジオグラフィ技術開発を通じて培われた画像処理技術[7]を適用することで、CCD で捕らえる X 線の輝点の位置分解能を向上させる、高いエネルギー分解能を実現しようとするものである。化学結合状態の差異を検出することを目指し 1 eV 未満のエネルギー分解能を目標としている[8]。また、原子力機構との共同研究として荷電粒子誘起発行分光(IBIL)分析についても取り組んでいる。イオンビーム照射に伴って発生する可視光を分光することで測定対象物の化学形態の情報を得ようとするもので、核燃料再処理における抽出クロマトグラフィ法の開発に活

用しようと考えている[9, 10]。

-15° 方向のプロトンビーム照射試験用ラインでは、「月・惑星探査開発を見据えた、陽子線照射絶縁材料の帯電物性に関する研究」と題した研究テーマを主に進めている。この研究は、学内の機械系学科との連携で実施しているものである[11]。これらの連携を成果に結びつけるためには都市大タンデムからいつでも安定的にビームを引き出せるという状況が必要不可欠であり、その達成のために、日常的な整備、点検、および定期的なメンテナンスを実施できる体制及び環境を整えていく必要があると考えている。

### 3. まとめ

2003 年に原子炉施設としての廃止を決定した当施設であるが、放射線施設としては引き続き教育・研究に活用している。特に、2018 年 5 月より運用を開始した 1.7 MV ペレトロン・タンデム加速器(都市大タンデム)を中心としたビーム応用研究を今後充実させることで人材育成および研究開発に貢献していきたいと考えている。

第 31 回タンデム研究会[12]や第 35 回 PIXE シンポジウム[13]を通じて都市大タンデムのアクティビティを周知するとともに、学内外のユーザーを開拓し、活用のすそ野を広げていきたいと考えている。

### 参考文献

- [1] 東京都市大学加速器工学研究室(羽倉)HP.  
<https://www.comm.tcu.ac.jp/nhagura/>
- [2] 大学加速器連携協議会、大学加速器カタログ(第二版).  
[http://www2.kek.jp/accl/KEK\\_University/files/catalog2.pdf](http://www2.kek.jp/accl/KEK_University/files/catalog2.pdf)
- [3] 羽倉尚人ほか、“東京都市大学原子力研究所における 1.7 MV ペレトロン・タンデム加速器システムの構築作業及びそれを通じた人材育成”、日本原子力学会和文論文誌, Vol.17, No.3/4, pp.111-117 (2018).
- [4] Liu, H.-F. *et al.*, Journal of Physics: Conference Series, 2326 (1), art. no. 012018, (2022).
- [5] N. Hagura, K. Kashimata, K. Mochiki, Y. Oguri, PIXE analysis of concrete composition in a research reactor facility under decommissioning, International Journal of PIXE, Vol.28, Issue 3&4 (2018), 77-84.
- [6] N. Hagura, Y. Okada, “Trace element analysis of natural mineral pigments for Japanese paintings”, PIXE2019, 24-29 March 2019.
- [7] J. Koide *et al.*, Proc. of 2017 IEEE NSS/MIC,  
<https://doi.org/10.1109/NSSMIC.2017.8532787>
- [8] Koki Ushijima, Jun Kawarabayashi and Naoto Hagura, Development of an ultra-high-resolution WDS-PIXE system by using image processing, 2021 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (2021).
- [9] Arai, Y. *et al.*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 542, pp. 206-213, (2023).
- [10] Nakahara, M. *et al.*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 542, pp. 144-150, (2023).
- [11] 小森あかね ほか、放電学会年次大会、2021/12、B-2.
- [12] 第 31 回タンデム研究会 HP.  
<https://www.comm.tcu.ac.jp/nhagura/tandem/index.html>

[13] N. Hagura, J. Particle Accelerator Society of Japan, Vol.17, No.1, pp.48-49 (2020).