

筑波大学タンデム加速器施設の現状報告

STATUS REPORT OF THE TANDEM ACCELERATOR COMPLEX AT THE UNIVERSITY OF TSUKUBA

笹 公和^{#, A), B)}, 石井 聡^{A)}, 高橋 努^{A)}, 大和良広^{A)}, 吉田哲郎^{A)}, 松村万寿美^{A)}, 中沢智幸^{A)}, 森口哲朗^{A), B)}, 上殿明良^{A), B)}

Kimikazu Sasa^{#, A), B)}, Satoshi Ishii^{A)}, Tsutomu Takahashi^{A)}, Yoshihiro Yamato^{A)}, Tetsuro Yoshida^{A)}, Masumi Matsumura^{A)}, Tomoyuki Nakazawa^{A)}, Tetsuaki Moriguchi^{A), B)}, Akira Uedono^{A), B)}

^{A)} Advanced Accelerator Section, CRiES (UTTAC), University of Tsukuba

^{B)} Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba

Abstract

The University of Tsukuba Tandem Accelerator Complex (UTTAC) maintains and operates a complex tandem accelerator facility consisting of the 6 MV tandem accelerator and the 1MV Tandetron accelerator to promote collaborative research within and outside the University. In 2023, the UTTAC at the Research Facility Center for Science and Technology was reorganized and became the Advanced Accelerator Section of CRiES at the University of Tsukuba. The 6 MV tandem accelerator has 5 negative ion sources and 12 beamlines. The main research fields of the 6 MV tandem accelerator are Accelerator Mass Spectrometry (AMS), Ion Beam Analysis (IBA) using microbeams, nuclear experiments using polarized proton and deuteron beams, radiation resistance tests and irradiation experiments.

1. はじめに

筑波大学タンデム加速器施設 (UTTAC) は、2023 年 4 月に改組となり、研究基盤総合センターの所属から放射線・アイソトープ地球システム研究センター (CRiES) 応用加速器部門となった。CRiES の組織概要を Fig. 1 に示す。CRiES は、筑波大学のアイソトープ関連研究組織を統合して一体的な研究・教育体制を構築するために設立されたセンターである。放射線医学、加速器を用いた環境変動研究やデバイス研究などアイソトープを用いた新たな研究の活性化、研究基盤の強化、安全教育の充実が可能となる。また、共同利用・共同研究拠点の機能を持つことから、広く国内外の大学、研究機関、関連コミュニティに共有の研究基盤としても利用されることが期待されている。

応用加速器部門では、6 MV タンデム加速器と 1 MV タンデトロン加速器の維持管理と運用をおこなっている。学内共同利用施設であるが、施設共用事業により、学外利用者も受け入れている[1]。2022 年度は、学内課題 18 件、学外の施設共用課題 10 件 (トライアルユース 1 件を含む) が採択されている。6 MV タンデム加速器の利用分野としては、加速器質量分析 (AMS) による極微量核種の検出とマイクロビームを用いたイオンビーム分析 (IBA)、ラムシフト型偏極イオン源 (PIS) を用いた原子核実験および宇宙素子の放射線耐性試験が中心となっている。また、1 MV タンデトロン加速器では、ターミナル電圧が不安定になる事象が続いているが、主にラザフォード後方散乱分析法 (RBS) や弾性反跳粒子検出分析法 (ERDA) に利用されている。2022 年度の筑波大学タンデム加速器施設の整備および運用状況を報告する。

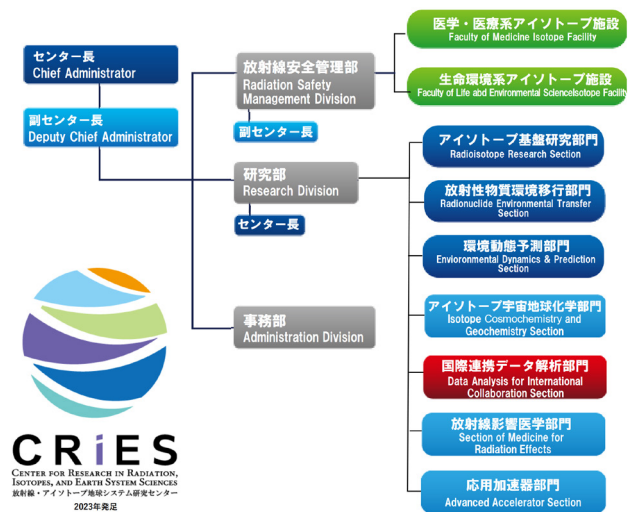


Figure 1: Outline of the Center for Research in Radiation, Isotopes, and Earth System Sciences (CRiES) at the University of Tsukuba.

2. 施設現況

2.1 施設の概要

筑波大学タンデム加速器施設の概略を Fig. 2 に示す。6 MV タンデム加速器は、5 台の負イオン源と 12 本のビームラインを有している[2]。ラムシフト型偏極イオン源 (PIS) については、偏極陽子と偏極重陽子の供給が可能である。また、1 MV タンデトロン加速器には、2 台の負イオン源と 4 本のビームラインが備わっている。その他、陽子消滅実験装置や ⁵⁷Fe メスバウアー分光分析装置などの放射性同位体利用機器についても、その維持管理と運用を担当している。

ksasa@tac.tsukuba.ac.jp

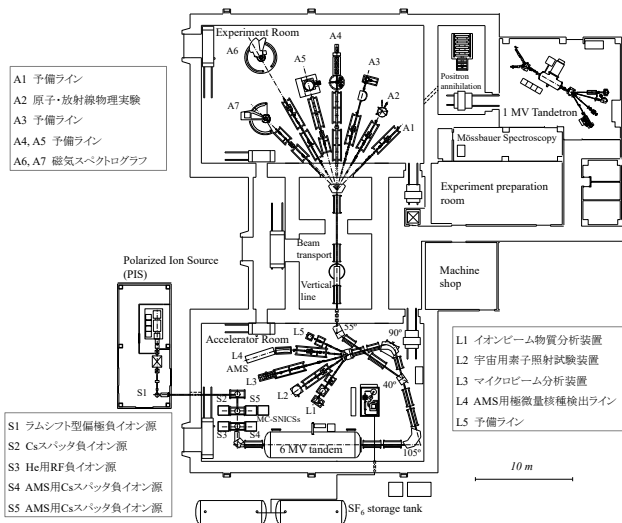


Figure 2: Schematic layout of the UTTAC.

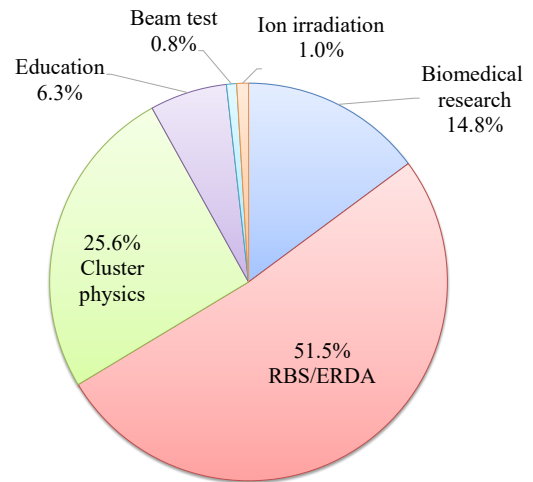


Figure 4: Experimental purposes of the 1MV Tandatron accelerator in FY 2022.

2.2 1 MV タンデトロン加速器の運用状況

2022 年度の 1 MV タンデトロン加速器の稼働時間は 576 時間であり、ビーム加速時間は 158 時間であった。加速器利用日数は 42 日間であり、37 件の実験が実施され、利用者は延べ 137 名であった。加速イオン種の割合を Fig. 3、研究分野別の利用割合を Fig. 4 に示す。

利用分野としては RBS や ERDA などの IBA が最も多く、主に He が用いられている。その他、高速クラスターによる原子物理研究では、Li や Al の 2 原子分子の加速が行われた。また、 $^{15}\text{N}(\text{H}, \alpha \gamma)^{12}\text{C}$ 共鳴核反応を用いた生物・医学研究に用いられている。

現在、老朽化による昇圧回路の不具合が原因と想定されるターミナル電圧の不安定現象が頻発している。加速器本体の製造から 35 年以上が経過しているため、加速器の更新等について検討を進めている。

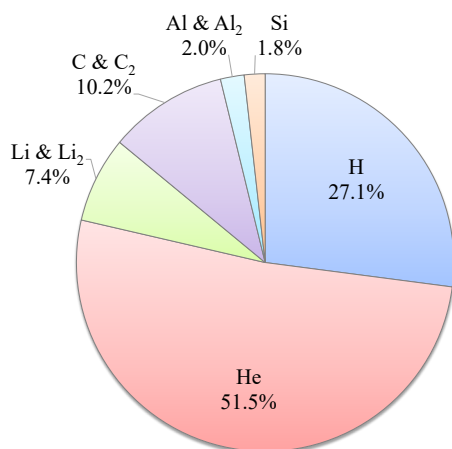


Figure 3: Accelerated ions of the 1 MV Tandatron accelerator in FY 2022.

2.3 6 MV タンデム加速器の運用状況

2022 年度の 6 MV タンデム加速器の稼働時間は 1,154 時間であり、ビーム加速時間は 1,010 時間であった。また、加速器利用日数は 103 日間であった。6 MV タンデム加速器については、前年度より加速器運転時間が約 20% 減少した。2022 年度は、53 件の実験が実施され、利用者は延べ 307 名であった。2022 年度のターミナル電圧別の利用割合を Fig. 5 に示す。また、加速イオン種の割合を Fig. 6、研究分野別の利用割合を Fig. 7 に示す。

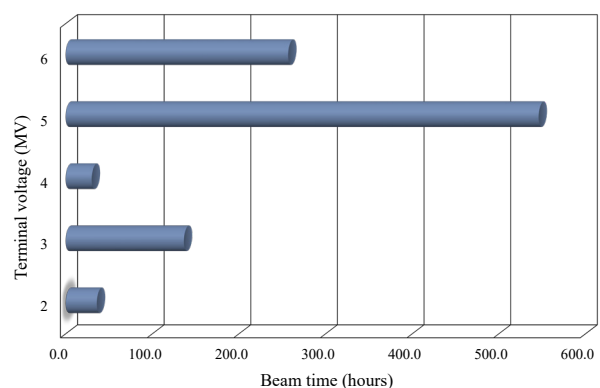


Figure 5: Beam time histogram as a function of the terminal voltage for the 6 MV tandem accelerator in FY 2022.

利用分野としては、加速器質量分析 (AMS) が最も多く、利用時間全体の 64% を占めた。主に ^{36}Cl や ^{129}I による AMS 測定が行われている[3]。次いで、原子核実験での利用が多く(19%)、ラムシフト型偏極イオン源からの偏極陽子や偏極重陽子を用いた不安定核の核モーメント測定が行われた。現在、 ^{30}P ($I^{\pi} = 1^+$, $T_{1/2} = 2.50$ min)の

核磁気モーメントの測定を進めている。イオンビーム分析(IBA)では、 ^4He ビームを用いた透過型の弾性反跳粒子検出分析法(T-ERDA)の開発が進められており、水素原子の3次元分布測定やD/H比の測定が行われている[4]。

加速電圧別では、 ^{129}I -AMSでの5 MVの利用割合が最も多くなっている。イオン照射と原子核実験及び ^{36}Cl -AMSでは、主に6 MVが使用されている。3 MVは、 He^{2+} ビームを用いたT-ERDAによる水素分析に利用されており、2 MVは超伝導トンネル接合型検出器(STJ)のPIXE試験測定に用いられている。

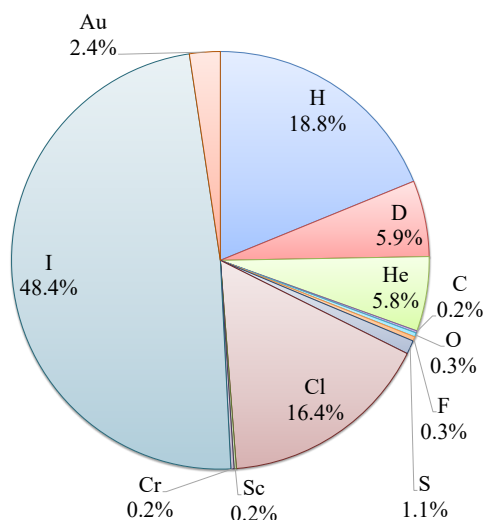


Figure 6: Accelerated ions of the 6 MV tandem accelerator in FY 2022.

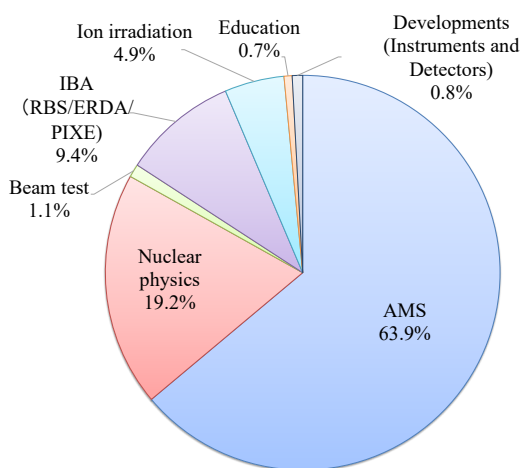


Figure 7: Experimental purposes of the 6 MV tandem accelerator in FY 2022.

3. 加速器整備状況

2022年度は、加速器制御システム(AccelNET, National Electrostatic Corp., USA)において、ターミナル

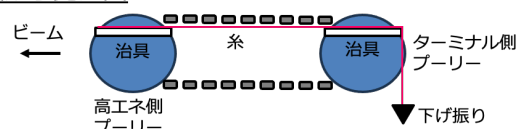
への電荷付与のための Charging Power Supply (CPS) の表示異常が発生して、インターロックにより加速器が停止するトラブルが発生した。原因を調査したところ、ターミナルCPS(負電源)のControl値(CPS TX-1 VC)とRead値(CPS T-1 -VR)に大きな差が生じたことが原因であった。この表示異常は、その後に発生した加速器ターミナル電圧の放電により解消された。2023年3月の加速器タンク内整備において、ターミナル内にあるリモートコントロールの端子が緩んでいることが確認された。リードバックの不具合が原因であった可能性が考えられる。

2022年10月に実施された全学一斉停電の後に、3台の偏向電磁石について、冷却水フローズスイッチに動作不良が見つかった。3台ともスイッチ付きのフローメータに交換した。

筑波大学タンデム加速器施設では、3月と8月に加速器の定期整備を実施している。2023年3月には、加速器タンクを開放してタンク内部の点検整備をおこなった。整備では、高電圧ターミナル内部の真空度測定のためにコールドカソードゲージと通信用の光ファイバケーブルを新設した。荷電変換用Arガスの圧力調整等について、より高真空領域をモニターできるようになった[5]。

加速器タンク内部では、シーブの導電性プラスチックと2本のペレットチェーンとの擦れにより、多量の削片が発生していた。今回は、ペレットチェーン(#2)のアイドラーの交換を実施した。また、Fig. 8に示すように、2本あるチェーンについての傾きの確認をおこなった。下げ振りを用いた確認では、糸1本分のずれがあったが、今回の整備では補正等の実施はおこなわなかった。

横から見た図



上から見た図

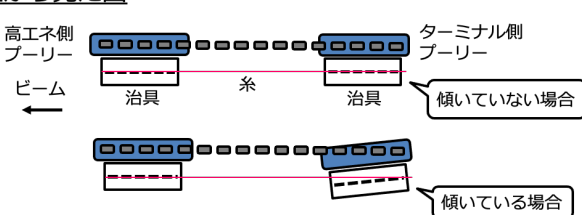


Figure 8: Conducting inclination measurements of the charging chains for the 6 MV tandem accelerator.

4. まとめ

現在、筑波大学タンデム加速器施設では、新型コロナウイルス感染予防対策の影響が無くなり、通常の加速器運用体制となっている。しかし、電気利用料金の高騰を理由とした施設運営経費の削減があり、外部資金獲得の必要性が高まっている。6 MV タンデム加速器では、ビーム核種の拡大を図っている。2022年度は偏極重陽子ビームの他に、CrやScのイオン供給を新たに行った。筑波大学タンデム加速器施設では、大学見学の高校生などの施設受け入れを積極的におこなっている。2022

年度は、計 258 名の見学者を受け入れた。KEK 加速器科学国際育成事業 (IINAS-NX) における加速器科学育成プログラムの支援により、タンデム静電加速器に関する Virtual Reality (VR) 教材の開発を推進している[6]。VR ゴーグルを用いて加速器タンク内の 360 度写真を見することで、加速器タンク内を疑似的に体験することが可能となっており、加速器科学の人材育成や技術研修などに活用している。

6 MV タンデム加速器については、稼働開始から 7 年が経過しており、付属機器について不具合が発生し始めている。また、老朽化による不具合が発生している 1 MV タンデトロン加速器については、更新の検討を開始している。

参考文献

- [1] 筑波大学放射線・アイソトープ地球システム研究センター 応用加速器部門;
<https://www.tac.tsukuba.ac.jp>
- [2] K. Sasa, “イオンビーム多目的利用研究のための筑波大学 6 MV タンデム型静電加速器”, 日本加速器学会誌「加速器」, 14 巻 1 号, 2017, pp. 5-14.
- [3] K. Sasa *et al.*, “The 6 MV multi-nuclide AMS system at the University of Tsukuba, Japan: First performance report”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 437, 2018, pp. 98-102.
- [4] H. Kudo *et al.*, “Extended use of elastic recoil detection analysis: Measurement of D/H ratio in solids and acquisition of nuclear reaction data”, arXiv:2304.00777, 2023.
- [5] Y. Yamato *et al.*, “ターミナル真空計の開発”, Proceedings of the 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aug.29-Sep.1, 2023, in these proceedings (WEOB8).
- [6] Y. Yoshida *et al.*, “タンデム静電加速器に関する VR 教材の開発”, Proceedings of the 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aug.29-Sep.1, 2023, in these proceedings (WEP44).