

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)},
中沢智幸^{A)}, 松村万寿美^{A)}, 森口哲朗^{A), B)}

Kimikazu Sasa^{#, A), B)}, Satoshi Ishii^{A)}, Tsutomu Takahashi^{A)}, Yoshihiro Yamato^{A)}, Tetsuro Yoshida^{A)},
Tomoyuki Nakazawa^{A)}, Masumi Matsumura^{A)}, Tetsuaki Moriguchi^{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 1 MV Tandatron accelerator to promote collaborative research within and outside the University. 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. In FY2023, the UTTAC was reorganized as one of the divisions under the Center for Research in Radiation, Isotopes, and Earth System Sciences (CRiES). In October 2023, during the construction work in a campuswide power outage, a mistake was made in connecting 400 V to a 200 V power supply line. As a result of this mistake, the inverter power supplies for the chain motors of the 6 MV tandem accelerator and the relay switches in the distribution board failed, and the beam time was canceled for about two months. The 6 MV tandem accelerator was fully restored to its original condition in March 2024.

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 は、筑波大学のアイ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。共同利用・共同研究拠点 (連携ネットワーク型拠点) としても認定されており、広く国内外の大学、研究機関、関連コミュニティに対して、共有の研究基盤として利用されることが期待されている。

UTTAC では、2 台の静電加速器 (6 MV タンデム加速器、1 MV タンデトロン加速器) を所有しており、水素から金までの広い範囲のイオン種をビームとして加速することができる。当施設は学内だけでなく、産業あるいは学術目的の学外者の利用も可能となっている[1]。2024 年 7 月現在、承認課題は 6 MV タンデム加速器で 15 件 (学内 8 件、学外 7 件)、1 MV タンデトロン加速器で 7 件 (学内 3 件、学外 4 件) である。

2023 年 10 月に実施された法令点検における施設停電において、電気系統工事の施工ミスが発生した。加速器配電盤の損傷やチェーンモーターの電源等が故障する事故が発生して、6 MV タンデム加速器の運用が約 2 ヶ月間停止となった。12 月にマシンタイムが再開された後も、一部の機器の修理等の対応があり、最終的に 2024 年 3 月後半に原状復帰となった。2024 年 8 月現在、6 MV タンデム加速器は通常の稼働状況になっている。

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図を Fig. 1 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) [3] 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。

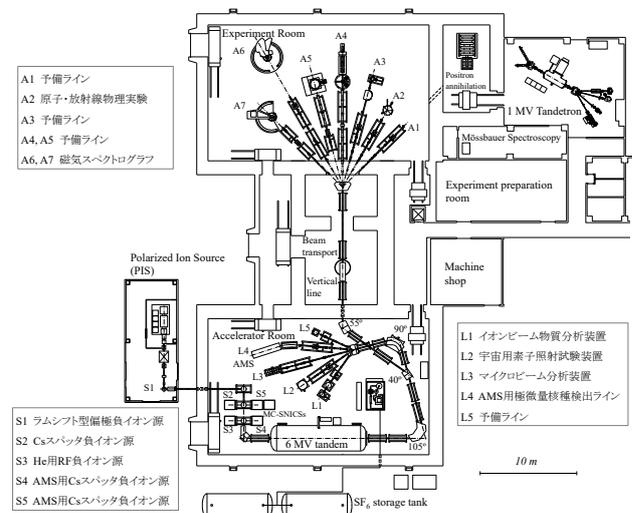


Figure 1: Schematic layout of the UTTAC.

2.2 1 MV タンデトロン加速器の運用状況

2023 年度の 1 MV タンデトロン加速器の稼働時間は 908.4 時間、ビーム加速時間は 250.4 時間であった。また、加速器利用日数は 50 日間であり、37 件の実験課題が実施され、利用者は延べ 163 名であった。加速イオン種の割合を Fig. 2、研究利用分野別の割合を Fig. 3 に示す。利用分野としては、高速クラスターによる原子物理研究が 62%となった。H₂の他に、CH、CH₂、OH、OH₂などの新たな原子クラスターの加速実験がおこなわれた。また、Hビームとの核反応分析(NRA)を用いたLiイオン電池の研究やラザフォード後方散乱分析法(RBS)、弾性反跳粒子検出分析法(ERDA)などのイオンビーム分析が多く実施された。1 MV タンデトロン加速器については、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ため、加速器の更新等について検討を進めている。

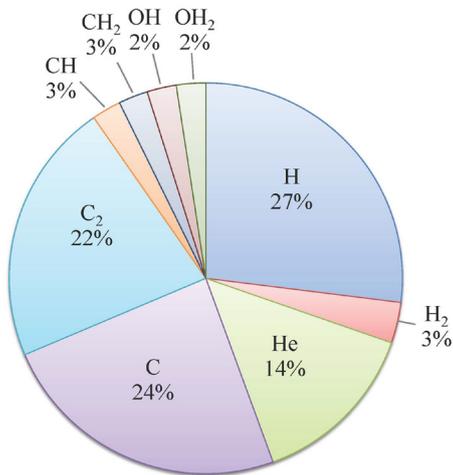


Figure 2: Accelerated ions of the 1 MV Tandetron accelerator in FY 2023.

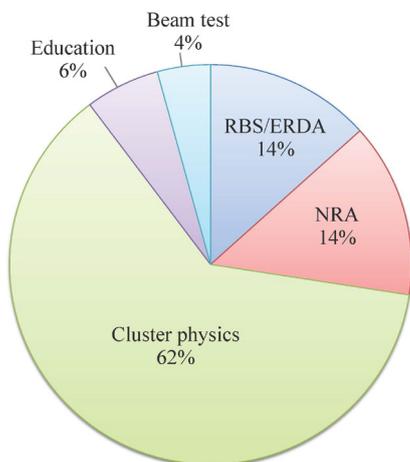


Figure 3: Experimental purposes of the 1MV Tandetron accelerator in FY 2023.

2.3 6 MV タンデム加速器の運用状況

2023 年度の 6 MV タンデム加速器の稼働時間は 1021.5 時間であり、ビーム加速時間は 832.3 時間であった。また、加速器利用日数は 96 日間であり、57 件の実験課題が実施され、利用者は延べ 355 名であった。施設配電盤の更新作業において、配線工事ミスが発生して加速器設備機器が破損したため、約 2 か月の加速器稼働停止の期間があった。そのため、前年度より加速器運転時間が約 10%減少した。2023 年度のターミナル電圧別の利用割合を Fig. 4 に示す。また、加速イオン種の割合を Fig. 5 に示す。

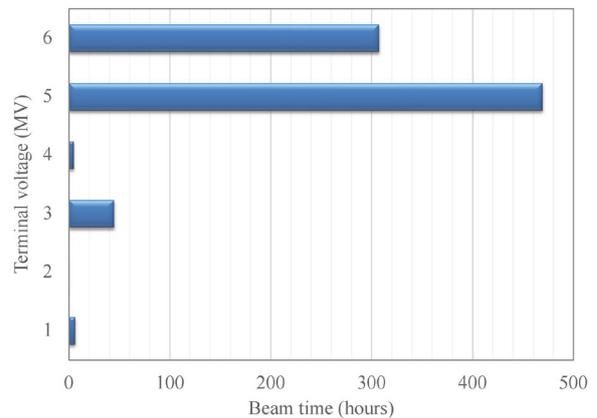


Figure 4: Beam time histogram as a function of the terminal voltage for the 6 MV tandem accelerator in FY 2023.

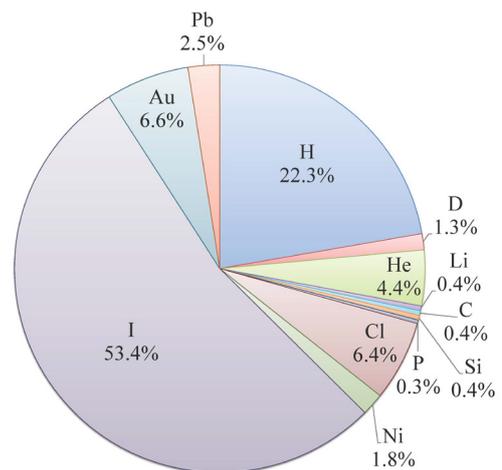


Figure 5: Accelerated ions of the 6 MV tandem accelerator in FY 2023.

2.4 6 MV タンデム加速器の研究利用状況

6 MV タンデム加速器の研究利用分野別の割合を Fig. 6 に示す。加速器質量分析(AMS)が利用時間全体の 63%を占めており、主に ³⁶Cl や ¹²⁹I による AMS 測定が行われている[4]。¹²⁹I-AMS では、福島沖の海洋放出

後の ALPS 処理水の環境動態や南極海やインド洋における海洋循環の研究が進められている。 ^{36}Cl -AMS では、主にアイスコアを用いた宇宙線物理の研究が進んでいる。また、新たな AMS 測定法として ^{210}Pb -AMS の開発を進めている。原子核実験分野は約 20% の利用割合となっており、偏極陽子と偏極重陽子ビームを用いた不安定核の核モーメントの測定を進めている。現在、核磁気モーメントが未測定である ^{30}P を中心に実験を進めており、最近では、NiO ストッパーを用いた ^{58}Cu や、赤燐ストッパーを用いた ^{31}S の核磁気モーメントの測定を試みている。その他、宇宙用素子の放射線耐性試験とイオン照射実験が約 7% の利用割合となっている。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 比の測定がおこなわれた[5]。また、ターミナル電圧 2 MV により加速した H ビームを用いて、超伝導トンネル接合型検出器 (STJ) の特性 X 線測定試験が実施されている[6]。その他の検出器開発では、プラスチックシンチレータやファイバースチンチレータを用いた位置検出器の性能試験も進めている。

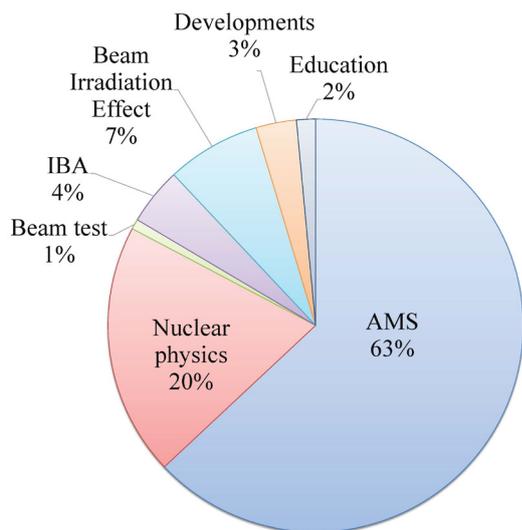


Figure 6: Experimental purposes of the 6 MV tandem accelerator in FY 2023.

3. 加速器整備状況

3.1 配電盤の更新作業での事故による影響

2023 年 10 月 28-29 日に法令点検のための施設停電が実施され、同時に低圧配電盤改修工事が行われた。その際、配線作業ミスにより 200 V の分電盤に 400 V が供給されるトラブルと三相のつなぎ間違いが発生した。

この影響で、加速器配電盤の一部が損傷し、加速器のチェーンモーター電源等が故障するトラブルが発生した。これらの加速器関連設備の損傷により、2 カ月間の加速器稼働停止となり、この期間に予定されていたマシンタイムは中止となった。

3.2 ターミナル真空計の改良

2023 年 3 月に、高電圧ターミナル内部に新たに真空

計(ミラプロ CCTG200C)を設置して[7]、試験的な運用を開始したが、6 月に真空度が読み出せなくなった。2024 年 3 月に実施した加速器タンク内の定期整備において、この原因が、加速器で発生した放電による光ファイバー(ターミナル部との通信に利用)の断線であることがわかった。放電対策として、光ファイバーの敷設方法の改良 (Fig. 7 (a)) や、ターミナルシェルへの接触子の取り付けをおこなった (Fig. 7 (b), (c))。

3.3 加速器 HE ビームライン補助 TMP の設置

加速器出口側の HE ビームラインに補助 TMP を設置した。HE 側の真空状態について、2 倍程度の改善を確認した。

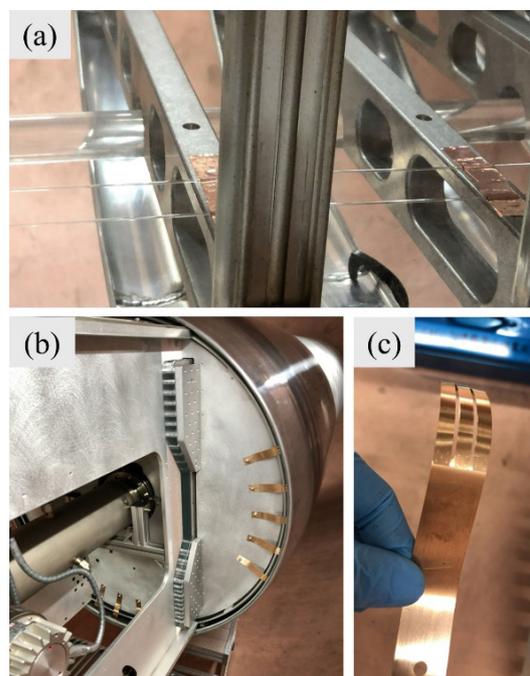


Figure 7: Items for consideration regarding measures to prevent discharge of the terminal vacuum gauge, (a) improved fiber optic installation method, (b) terminal contact band installation, (c) produced terminal contact band.

4. まとめ

筑波大学タンデム加速器施設では、新型コロナウイルスの感染拡大が終息してから、高校生などの施設見学の受け入れを再開している。2023 年度は、計 646 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) 教材を開発しており[8]、施設見学や加速器科学の人材育成および技術研修などに活用している。

2023 年 10 月に配電盤の更新工事における配線工事ミスが発生して、加速器の設備機器と部品が損傷したが、2024 年 3 月に完全復旧となった。現在、夏場の落雷による停電などで、イオンポンプ電源の故障などが発生しているが、その他で特に大きな問題は発生していない。最

近、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。また、1 MV タンデトロン加速器について、老朽化によるターミナル電圧の不安定現象が発生している。1 MV 程度の小型タンデム加速器の更新について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 卷 1 号, 2017, pp. 5-14.
- [3] Y. Yamato *et al.*, “筑波大学タンデム加速器施設における
偏極イオン源の現状”, Proceedings of the 21th Annual
Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Jul.31-
Aug.3, 2024, in these proceedings (TFSP19).
- [4] 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.
- [5] H. Kudo *et al.*, “Transmission ERDA of ubiquitous
deuterium in H-containing materials”, Nuclear Instruments
and Methods in Physics Research B, 554, 2024, 165404.
- [6] S. Shiki *et al.*, “Particle induced X-ray emission apparatus
utilizing superconducting tunnel junction detector”, Nuclear
Instruments and Methods in Physics Research B, 554, 2024,
165451.
- [7] 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, pp.74-77.
- [8] Y. Yoshida *et al.*, “タンデム静電加速器に関する VR を利用
した教育用教材の開発”, Proceedings of the 21th Annual
Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Jul.31-
Aug.3, 2024, in these proceedings (THP016).