

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

吉田哲郎^{#,A)}, 石井聡^{A)}, 高橋努^{A)}, 大和良広^{A)}, 石本和也^{A)}, 眞子巧巳^{A)}, 松村万寿美^{A)},
森口哲朗^{A,B)}, 笹公和^{A,B)}

Tetsuro Yoshida^{#,A)}, Satoshi Ishii^{A)}, Tsutomu Takahashi^{A)}, Yoshihiro Yamato^{A)}, Kazuya Ishimoto^{A)},
Takumi Manako^{A)}, Masumi Matsumura^{A)}, Tetsuaki Moriguchi^{A,B)}, Kimikazu Sasa^{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 Tandetron 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), nuclear experiments using polarized proton and deuteron beams, radiation resistance tests and irradiation experiments. In fiscal year 2024, the 6 MV tandem accelerator recorded its longest experimental beam time since fiscal year 2020, which was impacted by the COVID-19 pandemic. The 1 MV Tandetron accelerator occasionally exhibits voltage instability; however, stable operation is maintained through extended conditioning procedures. The University of Tsukuba has also participated in the Metaverse Accelerator Museum within the VRChat, creating a dedicated UTTAC world. This virtual environment allows detailed observation of both the exterior and interior of the accelerator tank. Future improvements are planned, including the addition of beam animations.

1. はじめに

筑波大学タンデム加速器施設(UTTAC)は、6 MV タンデム加速器と1 MV タンデトロン加速器からなる複合タンデム加速器施設の維持管理と運用、および学内外との共同利用研究を実施している[1]。施設概略図を Fig. 1 に示す。6 MV タンデム加速器では、負イオン源を加速器室に4台と偏極イオン源棟に1台の計5台所有し、ビームラインは加速器室に5本と測定室に7本の計12本を所有している。また、1 MV タンデトロン加速器では、2

台の負イオン源と4本のビームラインを所有している[2]。6 MV タンデム加速器では水素から金まで、多種類のイオンを広いエネルギー範囲で加速することが可能で様々な実験を行うことができる。1 MV タンデトロン加速器では PIXE、RBS、イオン注入、照射実験など行うことができる。2025年3月末における研究課題は、1 MV タンデトロン加速器で8件(学内5件、学外3件)、6 MV タンデム加速器で20件(学内14件、学外6件)が承認され、学内だけでなく学外からの利用も受け入れている。また、UTTAC では、施設見学に来る高校生や大学生向けに高エネルギー加速器研究機構(KEK)と連携してバーチャルリアリティ(VR)技術を開発してきた[3, 4]。今回 KEK が主導しているメタバース加速器博物館に参加し、VRchat 上で UTTAC の施設を詳細に見ることができるようになった。

2. 加速器運転状況

2.1 1 MV タンデトロン加速器運転状況

2024年度の1 MV タンデトロン加速器の稼働時間は2368.5時間、ビーム加速時間は517.1時間であった。稼働時間が多いのは、ターミナル電圧の不安定現象が起こることがあるため、コンディショニングの時間を多くし、実験前日から加速器を稼働させているためである。また、加速器利用日数は102日間であり、58件の実験課題が実施され、利用者は延べ382名であった。加速イオン種の割合と、研究利用分野別の割合をそれぞれ Fig. 2、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45%となり、H₂やC₂などの原子クラスターの加速実験がおこなわれた。2024年度はイオン注入

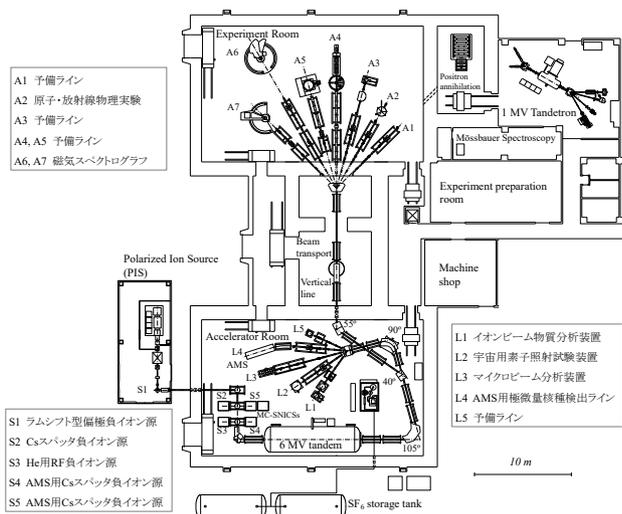


Figure 1: Schematic layout of the UTTAC.

[#] yoshida@tac.tsukuba.ac.jp

による耐電圧向上を目指した機能性半導電セラミックスの研究や、医学系からの新規課題である ^{15}N 安定同位体と陽子線による共鳴核反応を用いた複合型陽子線力学療法の開発などにより照射実験の割合が増加した。

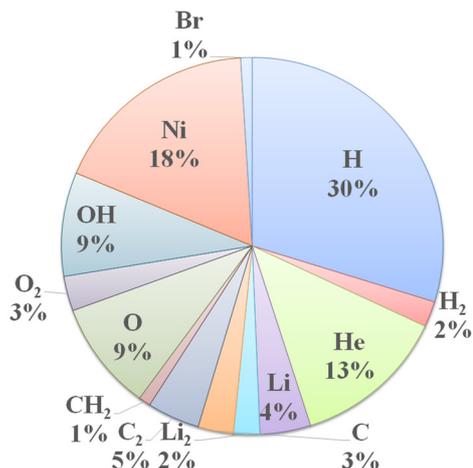


Figure 2: Accelerated ions of the 1 MV Tandatron accelerator in FY 2024.

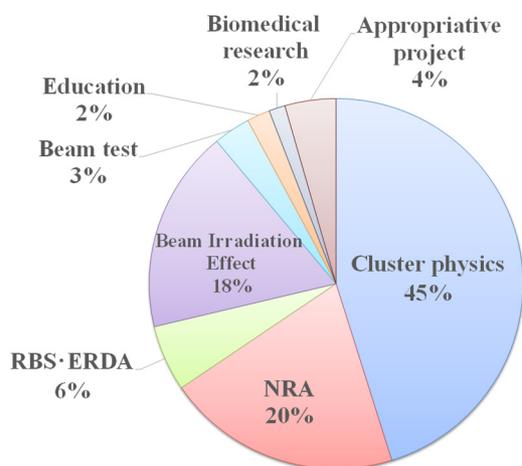


Figure 3: Experimental purposes of the 1 MV Tandatron accelerator in FY 2024.

2.2 6 MV タンデム加速器運転状況

2024 年度の 6 MV タンデム加速器の稼働時間は 1481.7 時間であり、ビーム加速時間は 1265.1 時間であった。また、加速器利用日数は 133 日間であり、83 件の実験課題が実施され、利用者は延べ 599 名であった。2023 年度と比較するとビーム加速時間は 52%増加した。2023 年度は施設停電時の配電盤の更新作業の際に、電気系統工事の施工ミスがあったため、利用時間が少なかったこともあるが、2024 年度は COVID-19 禍以降では最多時間となっている。

2024 年度のターミナル電圧別の利用割合を Fig. 4 に示す。2024 年度はターミナル電圧を 6 MV にした実験が約 800 時間と最も多くなっている。これは、 ^{36}Cl を用いた加速器質量分析(AMS)や原子核実験、照射実験などをおこなう際のターミナル電圧である。次いで、ターミナル

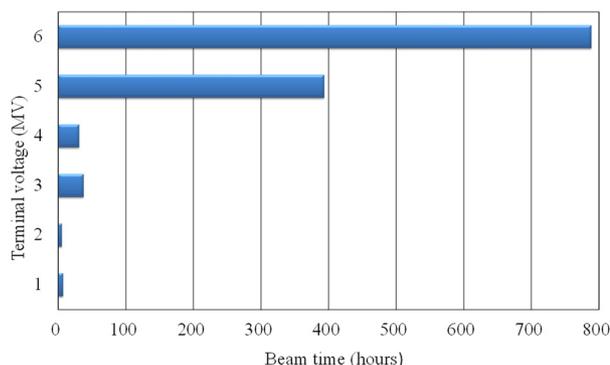


Figure 4: Beam time histogram as a function of the terminal voltage for the 6 MV tandem accelerator in FY 2024.

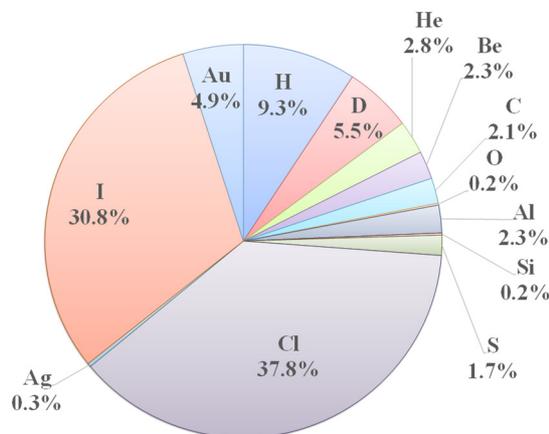


Figure 5: Accelerated ions of the 6 MV tandem accelerator in FY 2024.

電圧 5 MV が約 400 時間となり、これは ^{129}I を用いた AMS 実験などで利用されている。

また、2024 年度の加速イオン種の割合を Fig. 5 に示す。AMS で使用する Cl や I がそれぞれ 37.8% と高くなっている。次いで、原子核実験で使用される偏極陽子(H)や偏極重陽子(D)がそれぞれ 9.3%、5.5%となっていて、加速イオンは全部で 13 種類であった。

2024 年度 6 MV タンデム加速器の利用分野の割合を Fig. 6 に示す。AMS の利用割合が 67%となり、主に ^{36}Cl や ^{129}I による AMS 測定が行われている。 ^{36}Cl では、アイスコアや堆積物中の宇宙線生成核種と人為起源核種の検出や大型陽子シンクロtron施設内の電源ケーブル被覆中 ^{36}Cl 定量手法の確立といった研究が進められている。 ^{129}I では、原子力施設周辺と縁辺海・外洋における放射性ヨウ素の動態解明や西部太平洋亜熱帯モード水における人為起源 I-129 の分布などの研究が進められている。また、2024 年度は新たに AMS システムを使用した宇宙線生成核種を用いた不安定核ビーム開発のために ^{10}Be や ^{14}C を用いた実験も行われた。原子核実験の利用割合は 10%となっており、ラムシフト型偏極イオン源から生成された偏極陽子および偏極重陽子ビームを利用し、不安定核の核モーメント測定を進めている。他には、イオン照射の利用割合 7%となり、JAXA や産業技術総合研究所などからも継続的に利用されている。

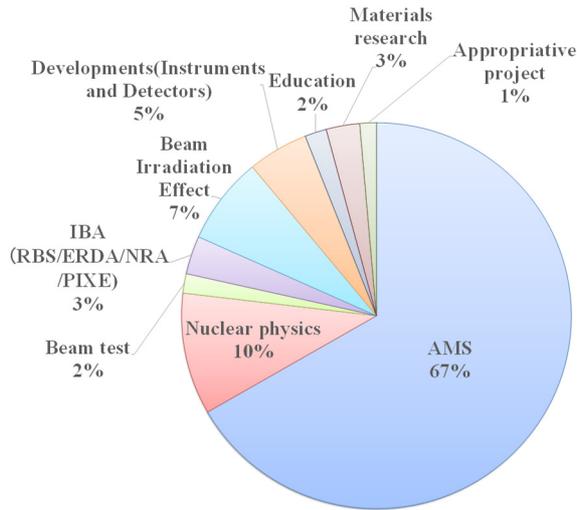


Figure 6: Experimental purposes of the 6 MV tandem accelerator in FY 2024.

3. 加速器整備状況

3.1 1 MV タンデトロン加速器整備状況

1 MV タンデトロン加速器は、老朽化の影響によりターミナルの電圧が不安定になることもあるが、実験前日からターミナル電圧を 0.3 MV に上げて調整運転して、実験中はターミナル電圧を落とさないような運用をすることで、実験はできている。この原因は制御回路にある可能性もあるが、正確には分かっていないので今後も調査をしていく必要がある。その他には、スパッタイオン源のアイオナイザーが断線したため、アイオナイザーの交換などを行った。

3.2 6 MV タンデム加速器整備状況

6 MV タンデム加速器では、2024 年度は電磁弁の交換やドレン配管つまりによる水漏れなどの何件かのトラブルはあったが、大きなトラブルはなく実験することができた。

2024 年度に起きたトラブルの 1 つが AMS 用イオン源の MC-SNICS の回転エラーである。MC-SNICS は、40 個のカソードを円状に装填することができ、2 つあるシリンダーのうちの 1 つを使ってピンを押し出すことで時計回りと反時計回りの両方の回転をさせてカソードを交換することができるイオン源である。2025 年 3 月 7 日の実験中

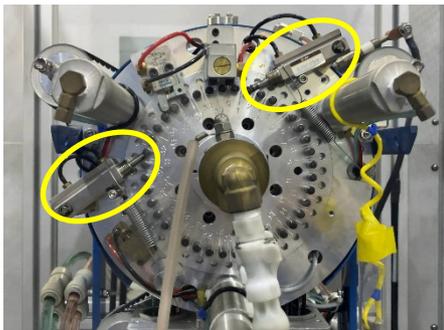


Figure 7: Cylinders extending from both sides.

に Fig. 7 のように、両方のシリンダーが出たまま戻らなくなってしまい、回転ができないことによるエラーが起こった。シリンダーを交換すると戻るようになったが、カソードを動かして時計回りに回転させている途中でエラーによって回転しないことが起こることがある。シリンダーは、圧縮空気を送って動作しているため、圧縮空気の圧力を変える調査などを行ったが原因は分かっていない。そのため、今後は位置を読み取るマイクロスイッチの調整や電磁弁の交換を行う予定である。

4. メタバース加速器博物館

KEK 加速器科学国際育成事業 (IINAS-NX) の支援を受け KEK が先導している VRchat 内にあるメタバース加速器博物館に筑波大学も参加し、Fig. 8 のように UTTAC のワールドを作成した。加速器の外側だけでなく、Fig. 9 のように加速器の内部も詳細に見ることができる。このようなメタバース加速器博物館に参加することで、いつでもどこからでも加速器を見て・体験し・学習することができることや、家からでも大学・大学院の授業に使うこともできるなど様々な可能性が広がった。



Figure 8: A view of the UTTAC world in VRchat.

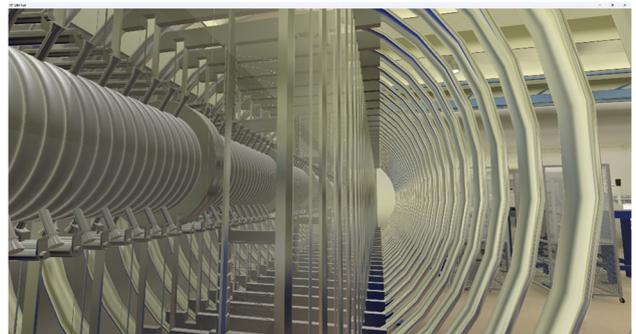


Figure 9: Inside of the accelerator tank in VRchat.

今後はタンデム加速の内部にあるペレットチェーンが動くようにすることや、ビームシミュレーションを行いビームのアニメーションを表示することで、ビームを可視化することを目指している。さらに、加速器の構成要素の説明をポップアップ表示できるようにして、見に来た人に分かりやすく、加速器について学ぶことができる仕組みを作っていく予定である。また、KEK と筑波大だけでなく、他の加速器の施設のワールドもこれから増えていく予定であり、メタバース加速器博物館に来れば様々な加速器を一度に見ることができるようになる。

5. まとめ

筑波大学タンデム加速器施設での所有する 2 つの加速器は、2024 年度は大きなトラブルはなく実験することができた。1 MV タンデトロン加速器は電圧が不安定になることはあるが、コンディショニングを長くして運用している。6 MV タンデム加速器は、2024 年度はコロナ以来では最長のビーム加速時間となった。運用から来年で 10 年となり、イオン源の故障なども発生してきているため定期的な整備をして今後も運用していきたい。

VRchat のメタバース加速器博物館に UTTAC のワールドができたので、今後はビームアニメーションの追加などの改良も加えていく予定である。

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] T. Yoshida *et al.*, “タンデム静電加速器に関する VR 教材の開発”, Proc. PASJ2023, Funabashi, Japan, Aug.-Sep. 2023, pp. 617-619.
- [4] T. 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”, Proc. PASJ2024, Yamagata, Japan, Jul.31-Aug.3, 2024, pp. 591-593.