

筑波大学タンデム加速器施設の現状

Status report of the Tandem Accelerator Complex at the University of Tsukuba

大和 良広^{1*}・石井 聡¹・高橋 努¹・吉田 哲郎¹・石本 和也¹・眞子 巧巳¹・松村 万寿美¹・
森口 哲朗^{1,2}・笹 公和^{1,2}

Y. Yamato^{1*}, S. Ishii¹, T. Takahashi¹, T. Yoshida¹, M. Matsumura¹, K. Ishimoto¹, T. Manako¹,
T. Moriguchi^{1,2} and K. Sasa^{1,2}

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
(UTTAC, Univ. of Tsukuba).

² 筑波大学数理物質系 (Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba).

* Correspondence to: Yoshihiro YAMATO; E-mail: yamato@tac.tsukuba.ac.jp

1. はじめに

筑波大学タンデム加速器施設(UTTAC)は、6MV タンデム加速器と 1MV 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]。施設概略図を図 1 に示す。6MV 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]。6MV 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。1MV タンデトロン加速器では PIXE、RBS、イオン注入、照射実験などを行うことができる。2025 年 3 月末における研究課題は、1MV タンデトロン加速器で 8 件 (学内 5 件、学外 3 件)、6MV 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。また、技術職員 2 名新任、シニア 2 名派遣による技術職員業務の引き継ぎを進めている。

2. 加速器運転状況

2.1 1MV 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図 2、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 年度はイオン注入による耐電圧向上を目指した機能性半導体セラミックスの研究や、医学系からの新規課題である 15N 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。

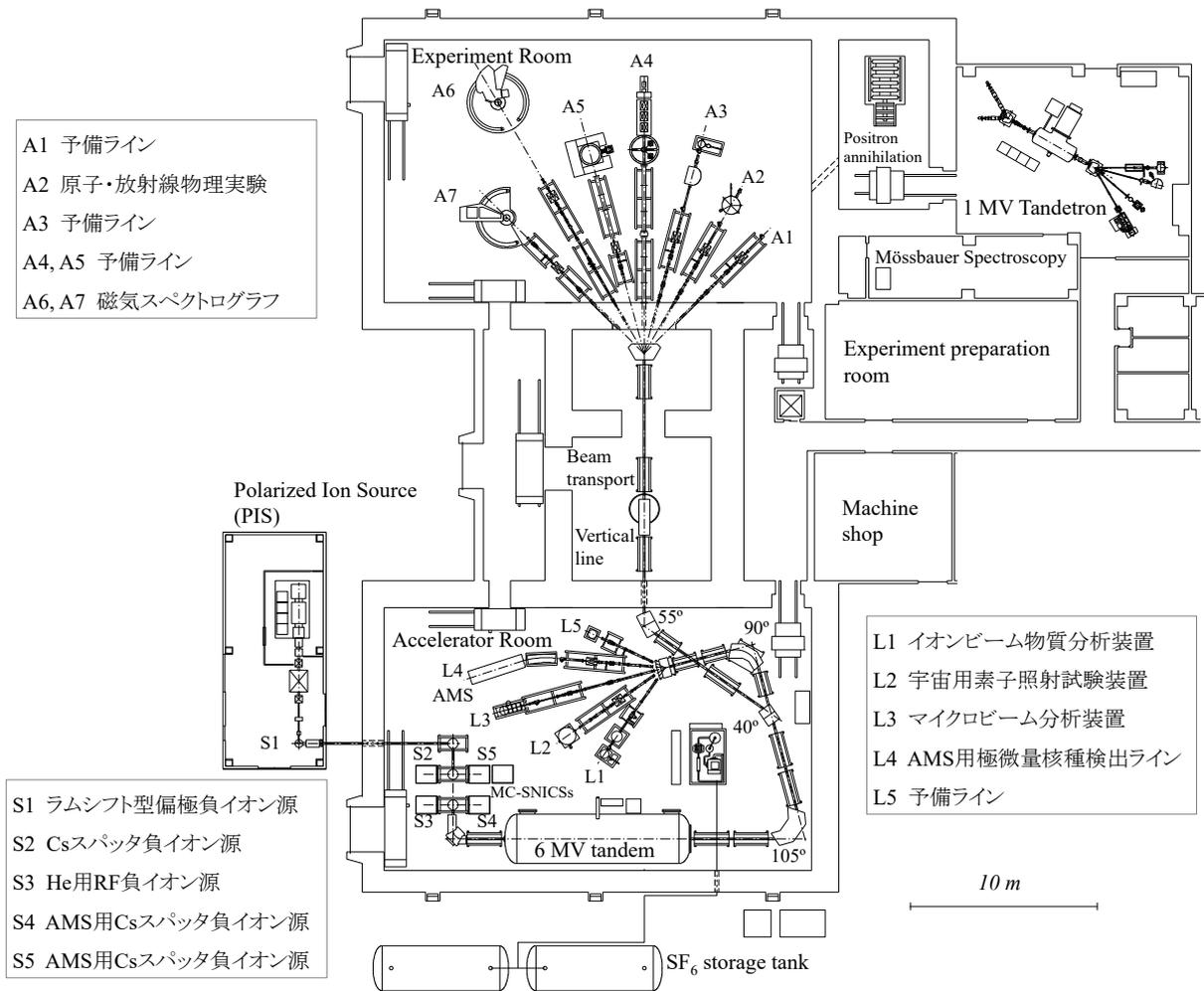


図1 筑波大学タンデム加速器施設の平面図

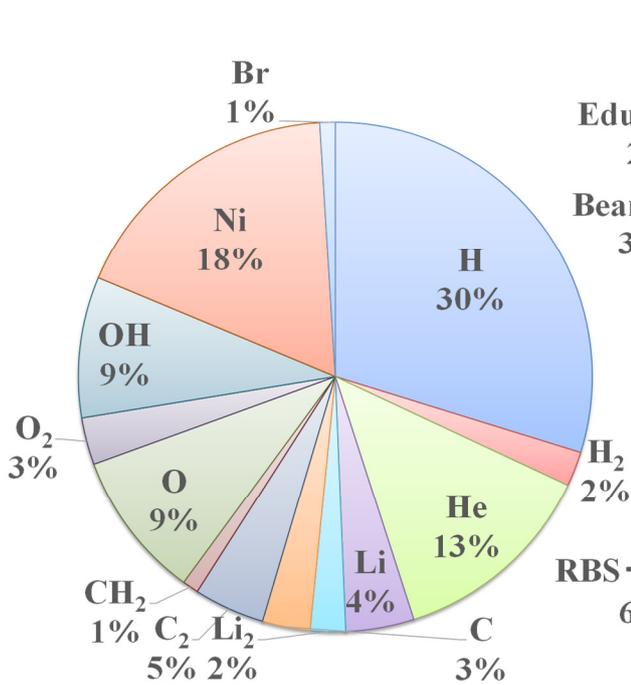


図2 2024年度 1MV タンデトロン加速イオン

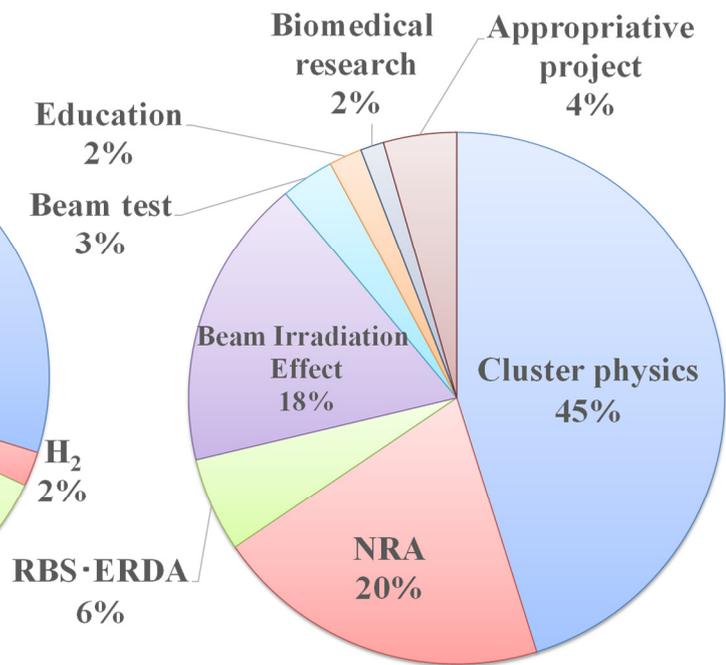


図3 2024年度 1MV タンデトロン利用分野

2.2 6MV 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図 4 に示す。2024 年度はターミナル電圧を 6MV にした実験が約 800 時間と最も多くなっている。また、2024 年度の加速イオン種の割合を図 5 に示す。AMS で使用する C1 や I がそれぞれ 37.8%、30.8%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 6MV タンデム加速器の利用分野の割合を図 6 に示す。AMS の利用割合が 67%となり、主に 36Cl や 129I による AMS 測定が行われている。36Cl 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トロン施設内の電源ケーブル被覆中 36Cl 定量手法の確立といった研究が進められている。129I 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 10Be や 14C 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。

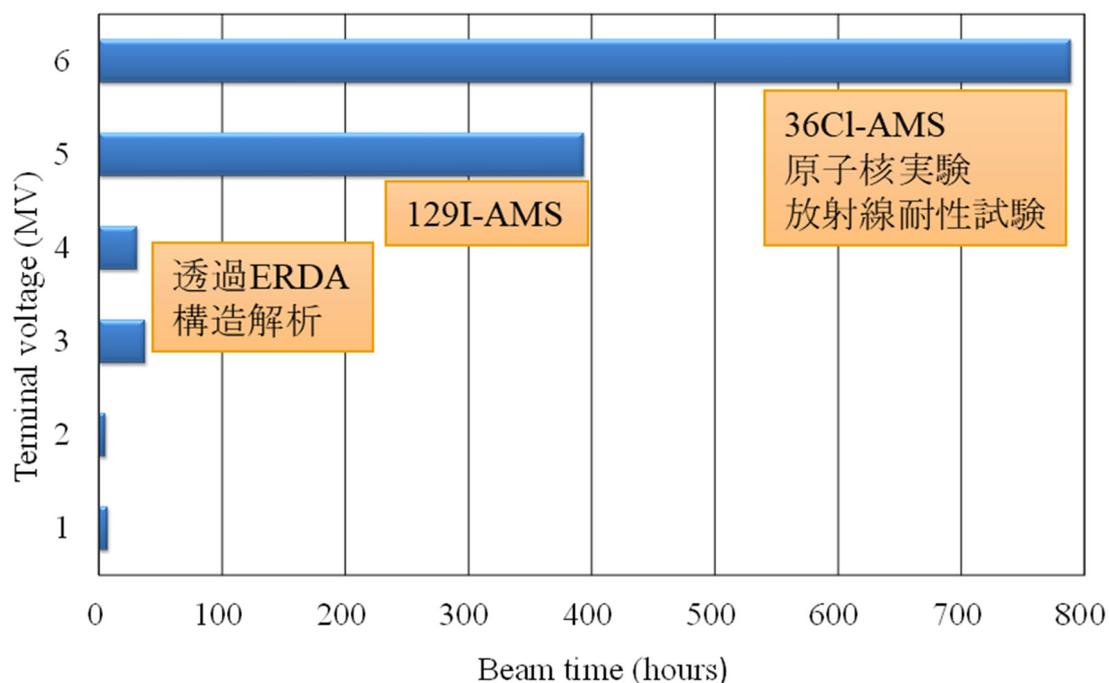


図 4 6MV タンデム加速器ターミナル電圧別運転時間

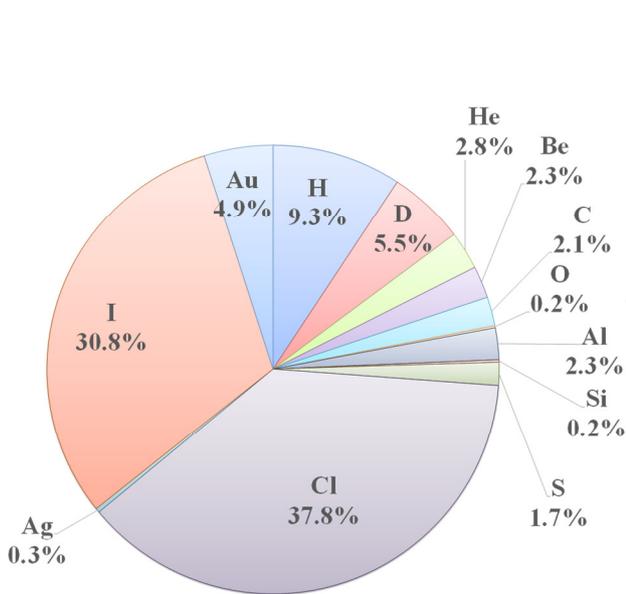


図5 2024年度 6MV タンデム加速器加速イオン

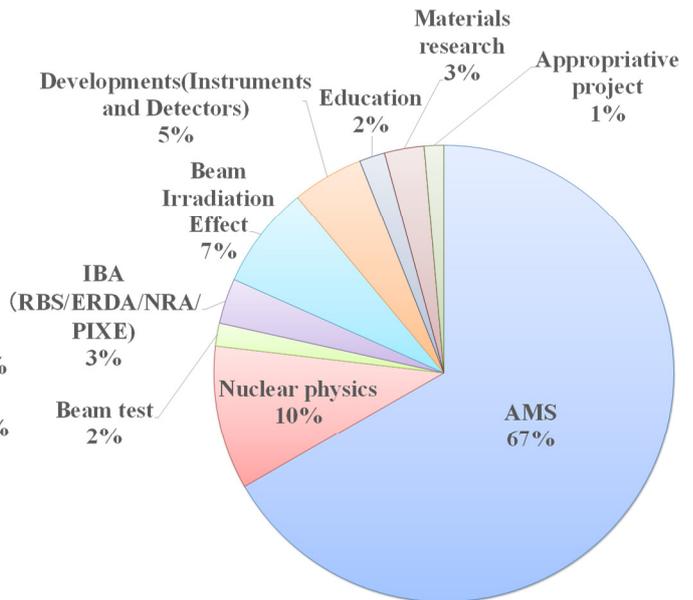


図6 2024年度 6MV タンデム加速器利用分野

3. 加速器整備状況

3.1 1MV タンデトロン加速器整備状況

1MV 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。実験前日からターミナル電圧を 0.3MV 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。ランダムに不安定になる原因は不明であるが、今後も調査を続けていく必要がある。また、スパッタイオン源のアイオナイザーが断線したため交換を行った。

3.2 6MV タンデム加速器整備状況

6MV タンデム加速器の 2024 年度は、チェーンモーターフィードスルー固定ナット部が緩んで SF6 リークが起こるなど何件かのトラブルはあったが、大きなトラブルはなく予定された実験を遂行することができた。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、左右に 2 つあるシリンダーの片方を使ってピンを押し出すことで時計回りと反時計回りに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 日の実験中に両方のシリンダーが出たまま戻らなくなり回転不能によるエラーが起こった。図 7 のように、シリンダーを交換すると戻りようになった。しかし、カソードを時計回りに回転させている途中でエラーによって停止する別のエラー(ERROR - MCS S4-1 - timeout IDXposSR false)が発生した。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てみるなどを行ったが解決には至っていない。エラー頻度が低い調整できていないが、INDEX AT STOP SR 用の圧力スイッチの感度調整で直せる可能性があることがわかった。

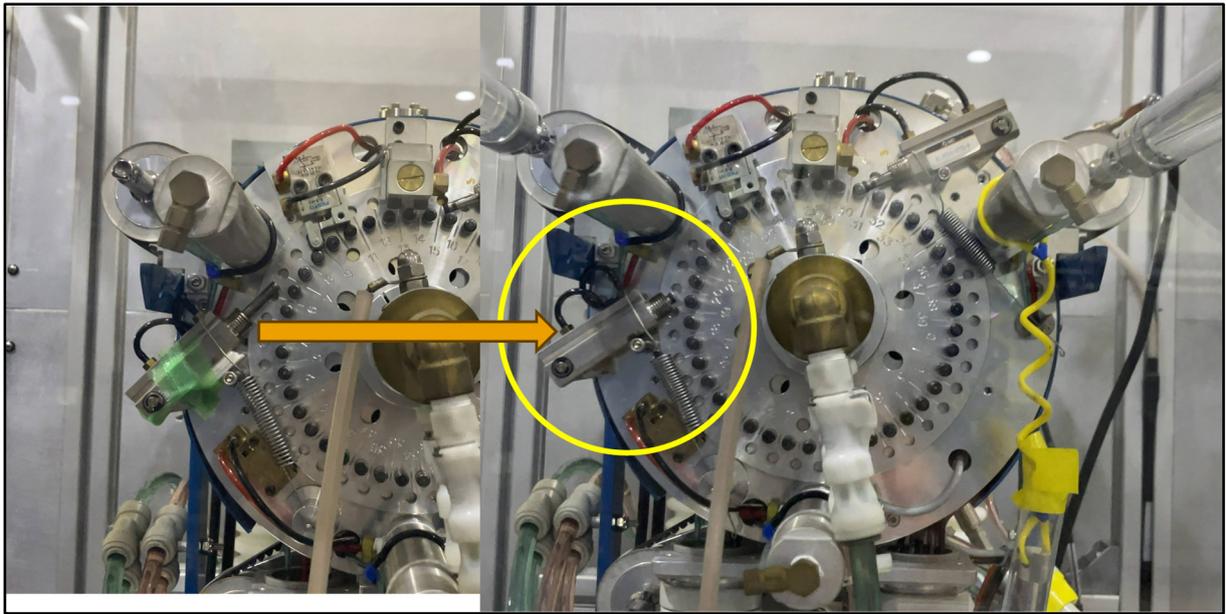


図 7 MC-SNICS(S4)の時計方向回転用シリンダー交換

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 [5] に筑波大学も参加し、図 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、図 9, 10 のように加速器の内部も詳細に見ることができる。メタバース加速器博物館により、いつでもどこでも加速器を見て体感し学習することができる。授業に使うこともできるなど様々な可能性が広がった。今後はタンデム加速の内部にあるペレットチェーンやフォイルチェンジャーをユーザーの意思で動かしたり止めたりすることや、アルファトロス (S3) の He プラズマの再現などを目指している。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、見に来た人が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。1MV タンデトロン加速器は電圧が不安定になることがあるが、コンディショニングを長くして運用している。6MV タンデム加速器は、2024 年度はコロナ禍以降、最長のビーム加速時間となった。運用開始から来年で 10 年となり故障箇所も増えることが予想されるため修理や整備の体制を整えて新任職員と共に職員全体のスキルアップにも務めたい。

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、今後も改良を加え充実させていく予定である。

Keywords: 施設報告; 6MV タンデム加速器; 1MV タンデトロン加速器; イオンビーム利用研究

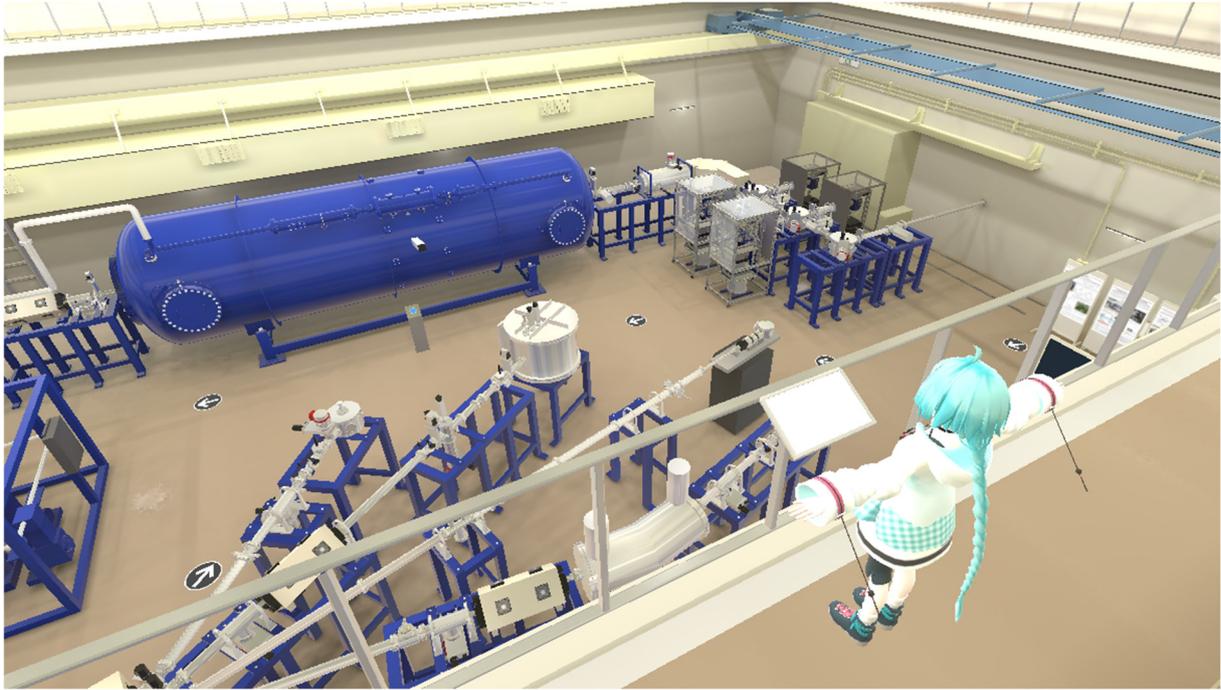


図 8 メタバース加速器博物館 UTTAC ワールド仮想見学台から鳥瞰

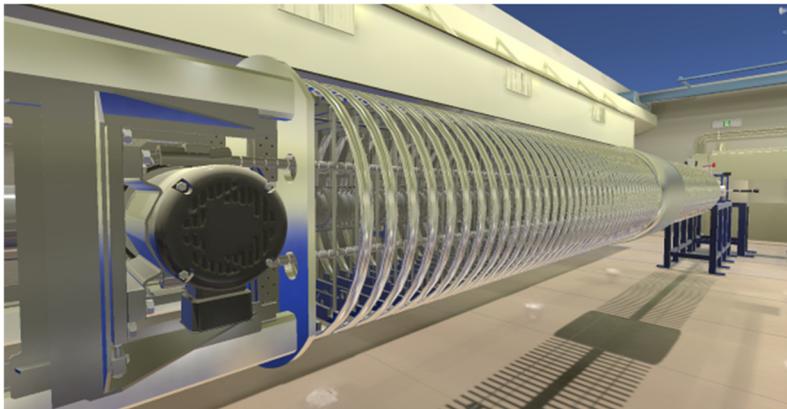


図 9 高圧タンクを取り除くスイッチ ON した状態

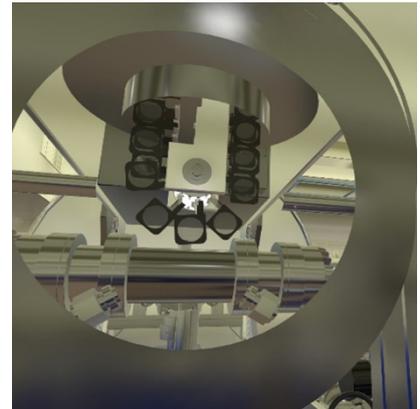


図 10 VR フォイルチェンジャー

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.
- [5] メタバース加速器博物館 (MAM). <https://www2.kek.jp/APD/mam/>