

## 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<sup>#</sup>, 石井 聡, 高橋 努, 大和良広, 田島義一, 吉田 哲郎, 松村万寿美,  
森口哲朗, 上殿明良  
Kimikazu Sasa<sup>#</sup>, Satoshi Ishii, Tsutomu Takahashi, Yoshihiro Yamato, Yoshikazu Tajima,  
Tetsuro Yoshida, Masumi Matsumura, Tetsuaki Moriguchi, Akira Uedono  
UTTAC, University of Tsukuba

#### Abstract

The University of Tsukuba, Tandem Accelerator Complex (UTTAC) has been promoting maintenance, management and operation of the complex tandem accelerator facility consisting of the 6 MV tandem accelerator and the 1 MV Tandemtron accelerator for cooperative researches inside and outside the University. The operating hours of the 6 MV tandem accelerator in FY2020 decreased by about 22% from the previous year due to the impact of measures to prevent infection with the new coronavirus, but in FY2021 it increased by 34%. As for the 6 MV tandem accelerator, we have been working to expand the usable beam nuclides, and from FY2021, we have started using a polarized deuteron beam. The main research fields for the 6 MV tandem accelerator are Accelerator Mass Spectrometry (AMS), Ion Beam Analysis (IBA) using microbeams, detector developments, nuclear experiments using polarized proton and deuteron beams, radiation resistance tests and irradiation experiments. AMS mainly focuses on the measurement of radioactive halogens such as  $^{36}\text{Cl}$  and  $^{129}\text{I}$  in FY2021, but we have newly started the trial experiment of  $^{135}\text{Cs}$  AMS. In addition, the SC-PIXE using the STJ detector has started operation for light element analysis.

#### 1. はじめに

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門[1]では、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。2021年度は、学内課題 21 件、学外の施設共用課題 10 件(成果占有 1 件)が採択されており、6 MV タンデム加速器では 132 日間、1 MV タンデトロン加速器は 68 日間の実験を実施した。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用素子の放射線耐性試験が中心となっている。2021年度の加速器施設の整備および運用状況を報告する。

#### 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、 $^{22}\text{Na}$  線源を用いた陽電子消滅実験装置や  $^{57}\text{Fe}$  メスバウアー分光分析装置などについても、その維持管理と運用を担当している。

<sup>#</sup> ksasa@tac.tsukuba.ac.jp

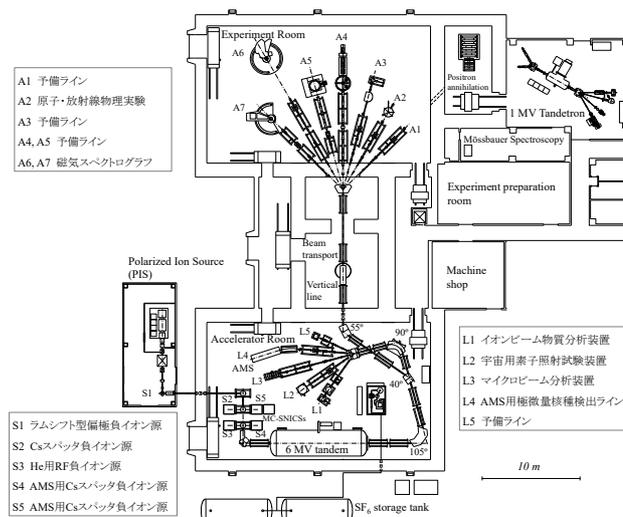


Figure 1: Schematic layout of the UTTAC.

##### 2.2 1 MV タンデトロン加速器の運用状況

2021年度の1 MV タンデトロン加速器の稼働時間は644時間であり、ビーム加速時間は286時間であった。また、39件の実験が実施され、利用者は延べ212名であった。2021年度の加速イオン種の割合を Fig. 2 に示す。また、研究分野別の利用割合を Fig. 3 に示す。「NRA を用いた全固体 Li イオン電池の界面分析」、 $\text{Li}_2$  や  $\text{H}_2$  クラスターを用いた「コンボイ電子収量におけるクラスター効果」、生物医学利用分野の「 $^{15}\text{N}(\text{H}, \alpha \gamma)^{12}\text{C}$  共鳴核反応を利用した新規放射線育種法および複合陽子線力学療法の開発」の実験課題を中心に利用された。

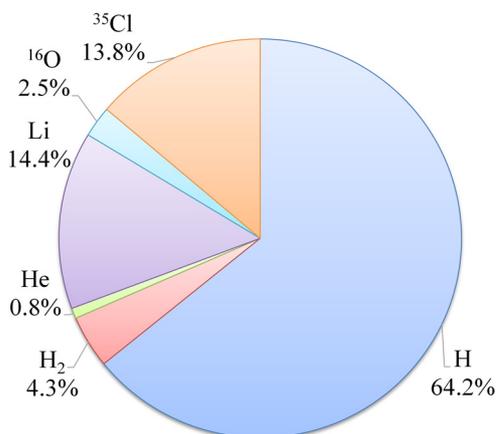


Figure 2: Accelerated ions for the 1 MV Tandetron accelerator in FY 2021.

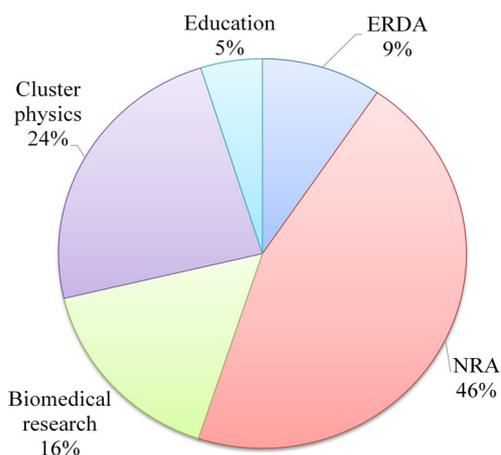


Figure 3: Experimental purposes of the 1 MV Tandetron accelerator in FY 2021.

### 2.3 6 MV タンデム加速器の運用状況

2021 年度の 6 MV タンデム加速器の稼働時間は 1,441 時間であり、ビーム加速時間は 1,148 時間であった。2020 年度と比較すると、加速器運転時間は 34% 増加した。また、74 件の実験が実施され、利用者は延べ 477 名であった。2021 年度の加速イオン種の割合を Fig. 4 に示す。研究分野別の利用割合は、Fig. 5 に示す。加速器質量分析(AMS)の利用割合が 46% となっており、その他にマイクロビームを用いたイオンビーム分析(IBA)が 21%、検出器開発が 15%、偏極陽子・重陽子を用いた原子核実験が 13%、放射線耐性試験および照射実験が 3% となっている。AMS では、<sup>36</sup>Cl (42 試料) と <sup>129</sup>I (427 試料) の合計 469 試料の測定が実施された。PIS からの偏極重陽子ビームの加速試験では、PIS 下流での偏極度は約 65% となり、ビーム強度として約 30 nA を得ている。また、<sup>135</sup>Cs (T<sub>1/2</sub> = 230 万年) の AMS 開発を目指して、Rb スパッタ負イオン源による Cs の負イオンビームの生成試験をおこなった。

ターミナル電圧別の利用割合を Fig. 6 に示す。<sup>129</sup>I と <sup>135</sup>Cs の AMS での 5 MV とイオン照射と原子核実験及び <sup>36</sup>Cl-AMS における 6 MV が主に使用されている[3]。

3 MV は、He<sup>2+</sup>ビームを用いた透過 ERDA による水素分析に用いられており[4]、2 MV はマイクロ PIXE の実験に用いられた。

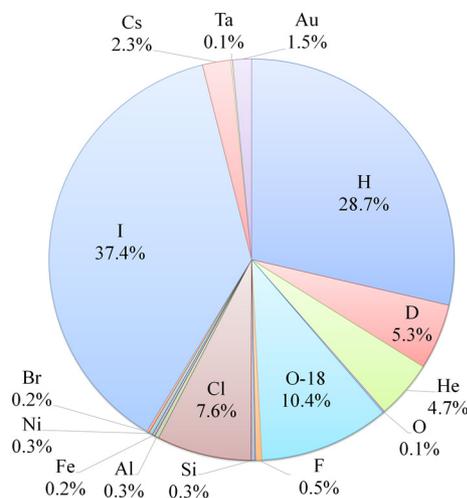


Figure 4: Accelerated ions for the 6 MV tandem accelerator in FY 2021.

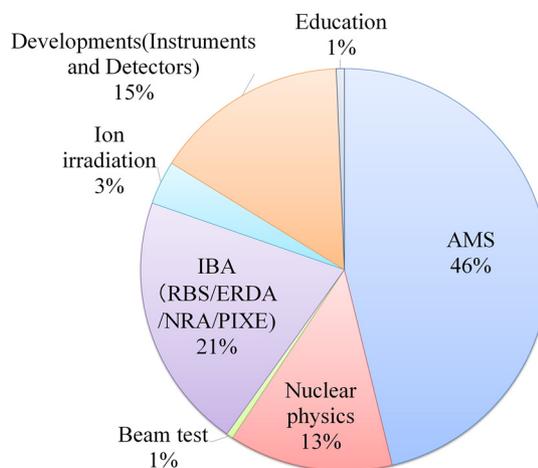


Figure 5: Experimental purposes of the 6 MV tandem accelerator in FY 2021.

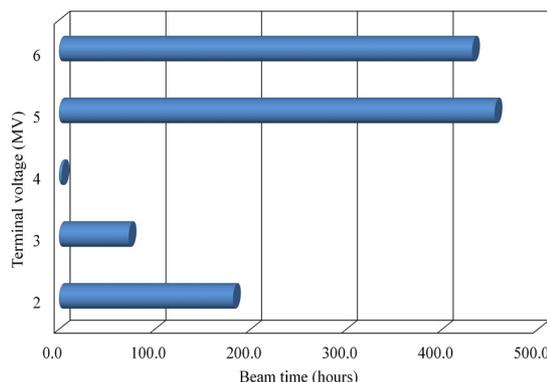


Figure 6: Beam time histogram as a function of the terminal voltage for the 6 MV tandem accelerator in FY 2021.

### 3. ビーム実験装置の研究開発状況

#### 3.1 超伝導トンネル接合(STJ)検出器

産総研との共同研究により、軽元素分析用の SC-PIXE の研究開発を進めている。Figure 7 に示した超伝導トンネル接合 (STJ: Superconducting Tunnel Junction) 検出器[5]は、He-3 クライオスタット、512 pixels の STJ アレイ、16 ch の電荷検出増幅器と MCA で構成されており、冷却ステージ温度は約 320 mK となっている。4 MeV 陽子ビームを用いた試験測定では、Al-K 線のエネルギー分解能として約 50 eV を得ている。



Figure 7: Photo of the STJ detector for the SC-PIXE.

#### 3.2 Rb スパッタ負イオン源

$^{135}\text{Cs}$  の AMS 開発を進めており、Fig. 1 における S5 イオン源(MCG-SNICS)において、スパッタリングに用いている Cs を Rb に交換して負イオンビームの生成を確認した[6]。試料( $\text{Cs}_2\text{SO}_4+\text{PbF}_2$ )からは、Cs の負分子イオン  $^{133}\text{Cs}^{19}\text{F}_2^-$  について、最大で 0.2  $\mu\text{A}$  の生成に成功している。また、Rb スパッタリングによる一般的な負イオンの生成についても確認した(Table 1)。

Table 1: Beam Current of Negative Ions from the Rb Sputtering Negative Ion Source

Negative Ion	Material	Maximum Beam Current ( $\mu\text{A}$ )
$\text{H}^-$	$\text{TiH}_2$	~ 10
$^{18}\text{O}^-$	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Ag}$ ( $^{18}\text{O}$ エンリッチ 94%)	~ 1
$^{27}\text{Al}_2^-$	Al (99.99%)	~ 2
$^{28}\text{Si}^-$	Si (99.999%) + Ag	~ 3
$^{56}\text{Fe}^-$	Fe (99.99%)	~ 0.5
$^{79}\text{Br}^-$	AgBr	~ 10
$^{181}\text{Ta}^-$	Ta (99.95%)	~ 0.02
$^{133}\text{Cs}^{19}\text{F}_2^-$	$\text{Cs}_2\text{SO}_4+\text{PbF}_2$	~ 0.2

### 4. 加速器整備状況

2021 年度は、 $\text{He}^-$  用の RF 荷電変換イオン源(アルファトロス)の整備とタンデトロン実験室の中性子エリアモニタの更新などを主に実施した。例年、3 月と 8 月に加速器

の定期整備を実施しており、3 月には加速器タンクを開放して内部の点検整備をおこなっている。加速器タンク内部では、シートの導電性プラスチックと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おり、Krytox™ 等の潤滑剤をペレットチェーンに塗布するか検討中である。2021 年 8 月の定期整備では、ファイバー製 TMP 4 台のオーバーホールを実施したが、RP-TMP 間のベローズにおける NW25 クランプの O リングにひび割れが多数見つかった。合計 23 台の RP-TMP 真空排気システムについて、計 115 本の O リングの交換を実施した。その他、ガストリッパー用回転ロッドの駆動部に不具合が発生してガス漏れが発生したため、修理をおこなった。2022 年 5 月には、Rotating Shaft (RS) が停止しているのが見つかり、2022 年 5 月 16 日-6 月 3 日の期間に加速器タンクを開放して緊急の修理を実施した。その際、加速器ターミナルに搭載している発電機のベアリングに異常が見つかったため、ベアリングの交換作業を実施した。

### 5. まとめ

6 MV タンデム加速器については、利用可能なビーム種の拡大を図っており、2021 年度からは偏極重陽子の利用を開始している。AMS では、 $^{135}\text{Cs}$ -AMS の試験開発を開始した。また、軽元素分析用の SC-PIXE (STJ 検出器) が稼働を開始した。6 MV タンデム加速器は、稼働を開始してから 5 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。加速器タンク内では、ペレットチェーンによるシートの削片が多く発生しており、対応を検討中である。その他、RF 荷電変換イオン源(アルファトロス)が所定の性能を発揮しておらず、運用方法について他施設の状況確認をおこなっている。

### 参考文献

- [1] 筑波大学研究基盤総合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.*, “Determination of hydrogen concentration in solids by transmission ERDA under nuclear-elastically enhanced recoiling of H by 8 and 9 MeV He”, Journal of Physics: Condensed Matter, 34, 2022, 435902.
- [5] S. Shiki *et al.*, “X-ray Detection Performance of 100-pixel Superconducting Tunnel Junction Array Detector in the Soft X-ray Region”, J. Low Temp. Phys. 167, 2012, pp. 748-753.
- [6] K. Sasa *et al.*, “6 MV タンデム加速器を用いた長半減期放射線セシウム 135 の加速器質量分析法の開発”, presented at the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2022), Oct. 2022, TUP026.