

筑波大学マルチタンデム加速器施設における 6 MV タンデム加速器システムの導入状況

INSTALLATION STATUS OF THE 6 MV TANDEM ACCELERATOR SYSTEM AT THE UNIVERSITY OF TSUKUBA, TANDEM ACCELERATOR COMPLEX

笹 公和^{#,A)}, 石井 聡^{A)}, 大島弘行^{A)}, 木村博美^{A)}, 高橋 努^{A)}, 田島義一^{A)},
大和良広^{A)}, 関場大一郎^{A)}, 喜多 英治^{A)}

Kimikazu Sasa^{#,A)}, Satoshi Ishii^{A)}, Hiroyuki Oshima^{A)}, Hiromi Kimura^{A)}, Tsutomu Takahashi^{A)}, Yoshikazu Tajima^{A)},
Yoshihiro Yamato^{A)}, Daiichiro Sekiba^{A)}, Eiji Kita^{A)}

^{A)} Tandem Accelerator Complex, University of Tsukuba (UTTAC)

Abstract

A new tandem accelerator facility has been designed and constructed at the University of Tsukuba after the Great East Japan Earthquake. The accelerator system consists of the 6 MV Pelletron tandem accelerator, four negative ion sources, a Lam-shift polarized ion source, a vertical irradiation line and 12 beam lines. A high energy beam transport line is connected from the accelerator room to present experimental facilities at the experimental room. The 6 MV tandem accelerator system will mainly be applied for AMS, IBA, heavy ion irradiation and nuclear physics. A high-voltage test was already tried with a great deal of success at the National Electrostatics Corp. (NEC), USA in January, 2014. The main accelerator tank was installed at the University of Tsukuba on 6 March, 2014. At present, we have constructed ion sources and beam lines. The accelerator operation will start for fall 2014.

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 (UTTAC)では、1 MV タンデトロン加速器の他に、2012 年度に導入した高分解能イオン散乱装置 (1 MV)が稼働している。その他、放射性同位元素利用機器として、陽電子消滅実験装置、⁵⁷Fe メスバウアー分光装置の維持管理をおこなっている。2013 年度の加速器施設の年間利用時間は 2,064 時間であり、前年度比で 125%であった。文科省補助事業「先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業」^[1]での「マルチタンデム加速器施設の学術・産業共用促進事業」では、648 時間の施設利用実績があり、計 12 件の産業・学術共用実験が実施された。筑波大学 UTTAC では、2011 年の東日本大震災により主加速器である 12UD ペレトロンタンデム加速器が損壊した^[2]。しかし、震災復興計画により米国 National Electrostatics Corp. (NEC)製のペレトロン型 6MV タンデム加速器の導入が決定している^[3]。その他、筑波大学 UTTAC では、文科省補助事業の高度化設備として宇宙用素子照射装置、マイクロビーム装置、全自動放射性炭素試料処理装置、CO₂ ガス導入型 MC-SNICS などの導入が認められている。ここでは、筑波大学 6 MV タンデム加速器システムの導入及び整備の現況について報告をおこなう。

2. 6 MV タンデム加速器の概要

筑波大学 6 MV タンデム加速器システムは、12UD ペレトロンタンデム加速器の更新加速器として、3 年計画で建設を進めている。なお、12UD ペレトロンタンデム加速器は、2012 年に放射線発生装置の登録を解除してシャットダウンしている。

6 MV タンデム加速器本体は、旧 12UD ペレトロンタンデム加速器の第 2 測定室(23.6 m×14.5 m)を改装して設置する。なお、新加速器の建設に伴い、第 2 測定室は加速器室に名称を変更している。6 MV タンデム加速器システムには、4 台の負イオン源とラムシフト型偏極負イオン源、5 本の新設ビームラインと既存の 7 本のビームライン及び垂直照射ラインが設置される。Figure 1 に筑波大学 6 MV タンデム加速器システムの全体図を示す。加速器本体は、米国 NEC において設計・開発が行われた。なお、2014 年 1 月に米国 NEC において加速電圧試験を実施し、6 MV の加速電圧を達成している。

3. 6 MV タンデム加速器の搬入及び設置作業

3.1 加速器本体搬入作業

6 MV タンデム加速器本体は、2014 年 1 月末に米国 NEC から発送されて、日本には船便で輸送された。筑波大学には、2014 年 3 月 6 日に大型トレーラーに搭載して搬入された(Figure 2)。加速器本体は、60 ton ラフタークレーン車を 2 基使用して架台に設置後(Figure 3)、重量物運搬電動コロ台車を 4 台使用して加速器室に搬入した(Figure 4)。なお、加速器導入に併せて施設改修工事を実施しており、全長 8.8 m、直径 2.7m の加速器本体を室内に導入するために、加速器室搬入口の拡張工事が行われた。また、偏極イオン源実験棟が新たに建設され、施設 9 階に設置されていたラムシフト型偏極イオン源を移設した。Figure 5 に加速器室に設置された 6 MV タンデム加速器本体の写真を示す。

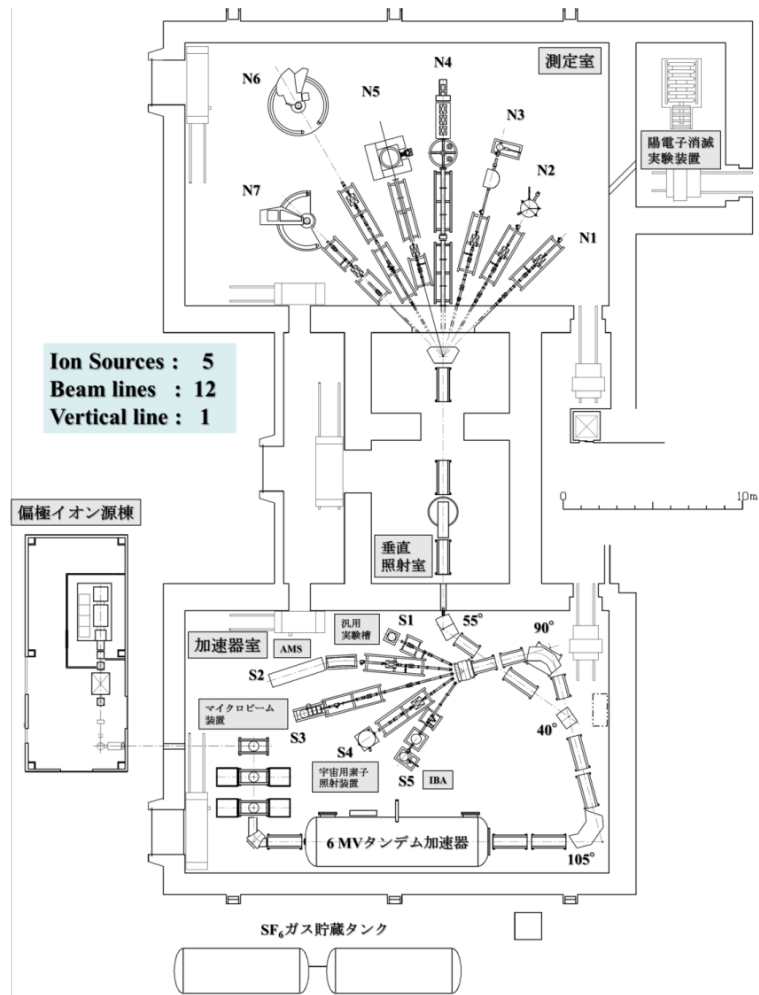


Figure 1: Layout of the 6 MV tandem accelerator system at the University of Tsukuba.



Figure 2: Transportation of the accelerator tank by a heavy equipment trailer truck.



Figure 3: Installation operation of the accelerator tank on the support.



Figure 4: Location movement of the accelerator tank by electric movable carriages.



Figure 5: The accelerator tank located at the accelerator room at UTTAC (6 March, 2014).

3.2 6 MV タンデム加速器の組み立て状況

6 MV タンデム加速器システムは、現在、ビームライン、イオン源及び SF₆ ガス回収装置等の据付及び調整作業を実施している。また、現在までに加速器室空調設備の更新、制御室の改修、SF₆ 貯蔵タンク設置等がおこなわれた。2014 年末頃までにビーム供給を開始する予定であり、ビームライン等の組み立て作業も最終段階にきている。Figure 6 に現在の 6 MV タンデム加速器本体の写真と Figure 7 に加速器室の全景を示す。



Figure 6: Photograph of the 6 MV tandem accelerator tank at the accelerator room (August, 2014).



Figure 7: Panoramic photograph of the accelerator room (August, 2014).

3.3 低エネルギービーム輸送ライン

6 MV タンデム加速器の低エネルギー側の磁場強度は $ME/q^2 = 15$ であり、90° 偏向電磁石は加速器質量分析に対応して逐次入射法が行える。180° 回転が可能な曲率半径 200 mm、電極間隙 35 mm の 3 台の 90° ESA (Electrostatic Spherical Analyzer) が設置されている。負イオン源としては、40 試料を装填可能な加速器質量分析用 Cs スパッタ負イオン源(MC-SNICS)が 2 台、He 用 RF 負イオン源(Alphatross)、大電流イオン用 Cs スパッタ負イオン源(SNICS II)の 4 台を設置している。2 台の MC-SNICS のうち 1 台は、極少量の試料からの炭素 14 年代測定研究に対応可能な CO₂ ガス導入型であり、¹⁴C-AMS 測定を CO₂ ガス試料から直接測定可能なシステムとなっている。Figure 8 に負イオン源の配置図、Figure 9 に現在のイオン源装置群と低エネルギービーム輸送ラインの写真を示す。

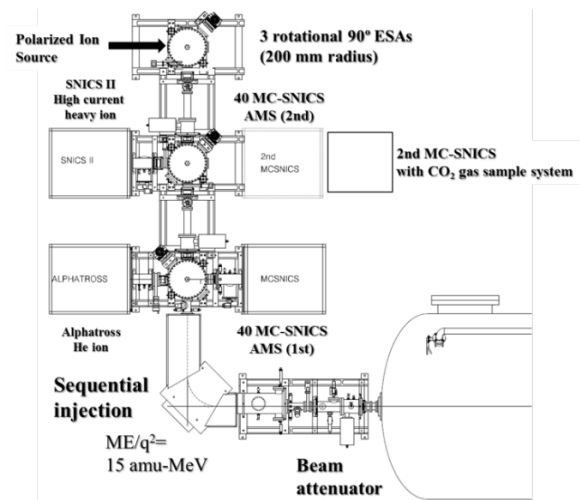


Figure 8: Layout of the low energy beam transport and ion sources.



Figure 9: Photograph of the ion sources (August, 2014).

3.4 ラムシフト型偏極イオン源

平成 25 年度末に偏極イオン源実験棟(12 × 5 m²)が、施設 1 階に完成した。施設 9 階において震災により損壊したラムシフト型偏極イオン源は、修復して実験棟に移設し、6 MV タンデム加速器に接続される。Figure 10 に新たに建設された偏極イオン源実験棟の写真を示す。また、Figure 11 には偏極イオン源実験棟の概略図を示す。現在、偏極イオン源の組み立て作業をおこなっている。偏極イオン源実験棟からの偏極イオン生成及び 6 MV タンデム加速器への入射は、2014 年末頃を見込んでいる。



Figure 10: Photograph of the Polarized Ion Source room.

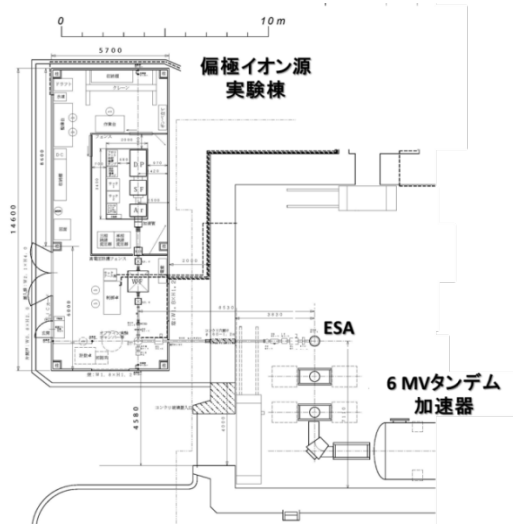


Figure 11: Layout of the Polarized Ion Source room and the low energy beam transport.

3.5 6 MV タンデム加速器システムの研究利用分野

Figure 1 で示した 6 MV タンデム加速器の各ビームコースでは、以下の研究利用が想定されている。

1) 加速器質量分析法 (AMS) : S2 ライン



Figure 12: Photograph of the AMS line (S2 line).

加速器により放射性核種を 1 個単位で計測可能であり、同位体比 10^{-15} レベルの超高感度分析を実施する。Figure 12 に AMS 装置の写真を示す。

- ① 宇宙線生成核種による地球環境年代測定。
- ② 原子力施設環境モニタリング。
- ③ 文化財・考古学分野の年代測定。
- ④ ^{14}C -AMS による創薬試験・食品産地同定。

2) ナノ材料物質分析: S5 ライン



Figure 13: Photograph of the IBA line (S5 line).

ナノデバイスの構造解析・微量元素組成分析をおこなう。Figure 13 に IBA 装置の写真を示す。

- ① イオンチャンネルリング法による物質構造解析。
- ② 重イオンラザフォード散乱による重元素分析。
- ③ 水素顕微鏡：デバイス中の水素 3 次元マップ。
- ④ 半導体デバイスの特性改善。

3) 重イオンビーム照射ナノ加工: N3, S4 ライン
高エネルギー重イオン照射により、ナノサイズの穴開け、3 次元ナノ加工を実施する。

- ① 有害物質センサー、フィルターの開発。
- ② 光導波路の改質。

4) 宇宙環境実験: S4 ライン

宇宙放射線環境を模擬する (Figure 14)。

- ① 人工衛星用半導体素子の放射線耐性試験。
- ② 宇宙線観測衛星の検出器校正試験。
- ③ 宇宙線による雲粒形成の模擬実験。



Figure 14: Photograph of the irradiation test equipment for space-use devices (S4 line).

5) イオンビーム物質分析法 : S3, S5, N4 ライン

- ① 高エネルギー陽子線を用いた水素分析
- ② マイクロ PIXE 分析による地球科学試料分析

6) 生物・細胞照射：垂直照射室

7) 原子核実験：N6, N7 ライン

4. まとめ

6 MV タンデム加速器システムは、2014 年内からの運用開始を予定している。既存実験装置である偏極イオン源、大型汎用真空槽、原子核実験装置なども活用する予定であり、高精度な多核種 AMS 測定やイオンビーム分析、原子核実験が可能となる。また、筑波大学 UTTAC では、文科省「先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業」に採択されており、6 MV タンデム加速器を用いた学外機関及び産業界の加速器利用研究を積極的に推進する予定である。

参考文献

- [1] <http://kyoyonavi.mext.go.jp/>
- [2] 笹 公和, 日本加速器学会誌「加速器」, Vol.9(1), 2012, 14-21.
- [3] Kimikazu SASA, AIP Conf. Proc.1533, 184-188, 2013.