

原子力機構-東海タンデム加速器の現状

PRESENT STATUS OF JAEA-TOKAI TANDEM ACCELERATOR AND BOOSTER

松田 誠[#], 長明彦, 阿部信市, 石崎暢洋, 田山豪一, 仲野谷孝充,
株本浩史, 中村暢彦, 沓掛健一, 乙川義憲, 遊津拓洋
Makoto Matsuda[#], Akihiko Osa, Shin-ichi Abe, Nobuhiro Ishizaki, Hidekazu Tayama,
Takamitsu Nakanoya, Hiroshi Kabumoto, Masahiko Nakamura, Ken-ichi Kutsukake,
Yoshinori Otokawa, Takuhiro Asozu
Nuclear Science Research Institute, Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1195, Japan

Abstract

The tandem accelerator was operated over a total of 113 days and delivered 17 different ions to the experiments in the fields of nuclear physics, nuclear chemistry, atomic physics, solid state physics and radiation effects in material. The superconducting booster was operated for a total of 4 days to boost the energies from the tandem accelerator. The restoration work of the accelerator which was not completed in the 2011 and the repair work of accelerator building were performed for about four months. This paper describes the operational status of the accelerators and the major technical developments.

1. はじめに

原子力機構の東海タンデム加速器施設には 20UR 型ペレトロンタンデム加速器と、その後段ブースターである 1/4 波長型超伝導空洞 40 台で構成される重イオン超伝導リニアックが設置されている[1]。

タンデム加速器は地上電位にある 3 台の負イオン源と高電圧端子内の ECR イオン源[2]により H から Bi までの約 50 元素の多様なイオンを 10~500MeV のエネルギーまで加速することが可能である。またタンデム加速器からの重イオンビームを後段の超伝導ブースターで再加速することでビームエネルギーを 2~4 倍に増強することが可能である。このタンデム加速器と超伝導ブースターは加速電圧を連続的に設定でき、任意のエネルギーのビームを高品質で得ることができる。

現在、研究領域の拡大に伴い非密封 RI や核燃料を標的として利用できる新たな照射室（第 2 照射室）の整備を進めている。

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震によって東海タンデム加速器施設は震度 6 弱の揺れに襲われた。加速器スタッフの懸命な復旧作業の結果、同年 9 月には運転を再開することが出来た。

本報告では、加速器および施設のその後の復旧作業および 2012 年度の原子力機構-東海タンデム加速器施設の運転状況について報告する。

2. 2012 年度の加速器運転状況

2012 年度の加速器の運転状況を Figure 1 に示す。タンデム加速器の運転日数は、昨年度やり残した加速器の復旧作業および建家の補修工事を実施したため 113 日（約 2600 時間）となり、例年の 6 割ほどであった。そのうち超伝導ブースターの運転は 4 日で運転日数の 3.5%であった。超伝導ブースターは原子力機構の福島支援にむけた資源の再編成に伴いこの運転以降、休止状態となっているが、いつでも再稼働が出来るように必要最低限の整備は行っている。2 月には建家施設の受変電設備の電源トランスにトラブルが発生しこの修理に 5 日を要した。

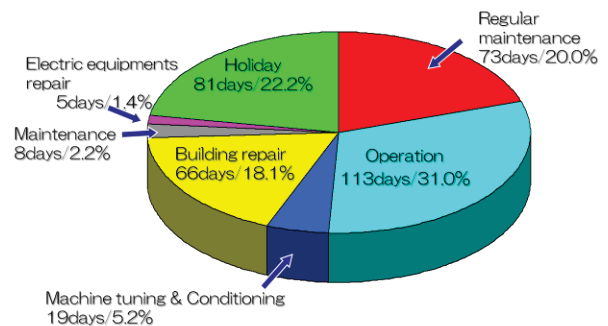


Figure 1: The operation status of the accelerator in the FY 2012.

Figure 2 は加速器の利用形態ならびに利用分野別の日数を示したものである。加速器の利用形態では、大学等の他の研究機関と共同で行う共同研究や機構

[#] matsuda.makoto@jaea.go.jp

内単独テーマによる利用のほか、科学技術振興機構 (JST) からの受託研究である「高速系革新炉の成立性に影響する核データの新規測定技術開発」の研究や、オンライン同位体分離器 (ISOL) からの ^8Li ビームを用いた「短寿命核ビーム ^8Li を用いたリチウムイオン電池材料内における拡散実験手法開拓」の研究がおこなわれた。利用分野は核物理、核化学関係がそれぞれ 4 分の 1 を占め、材料照射や原子物理実験が 3 分の 1、残りが加速器開発となっている。

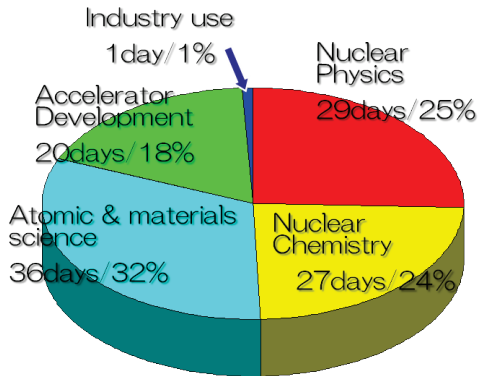


Figure 2: Usage of beam-times in different research fields.

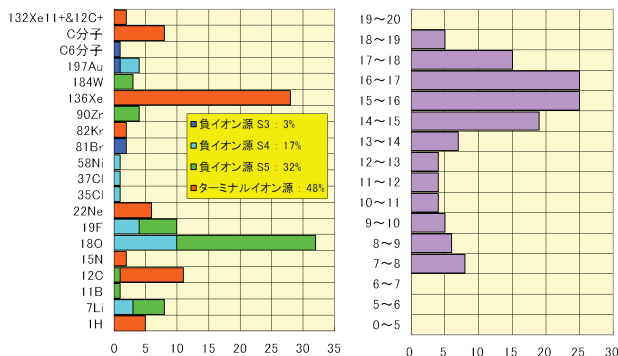


Figure 3 (Left): Distribution of beam species accelerated for experiments. (Right): Distribution of terminal voltages.

Figure 3 に 2012 年度のタンデム加速器の電圧発生状況と加速イオン種を示す。イオン種別では ^{18}O の利用が最も多く核化学、核物理実験等に利用された。次いで Xe イオンが材料の照射実験等に利用された。近年、高電圧端子内の ECR イオン源からのビーム利用が増加してきており、全体の約半分を占めるようになっている。ターミナルイオン源からの C_2 分子クラスターイオンを用いた原子物理実験や ^{132}Xe と ^{12}C ビームを同時に加速するデュアルビームを用いた照射実験も実施された[3]。 C_6 分子は負イオン源からの炭素クラスタービームの引き出し試験を行ったものであり、 C_4 で 150nA、 C_6 で 80nA、 C_8 で 25nA、 C_{10} で 2.5nA を確認している。負イオン源は 250kV の高電圧デッキ上に搭載されているので、これらの負のクラスターイオンが 250keV 程度のエネ

ルギーで得られる。将来的にはこれらのクラスターイオンを利用することも検討中である。

加速電圧の発生も順調であり最高電圧は 18MV を保持している。13MV 以上の運転が全体の 8 割、15MV 以上の運転が約 5 割であり、大型タンデム加速器として有効に活用されている。7MV 付近の低電圧での運転は、 C_2 分子クラスタービームの開発試験に利用された。クラスターイオンの場合、その質量電荷比 (m/q) が大きい為、既存のターゲット室にビームを導くにはエネルギーを下げざるを得ない。現在、20MeV 程度の高エネルギーのクラスターイオンを利用すべく、タンデム加速器の直下に新実験室を整備しているところである。

超伝導ブースターの加速運転は 4 日間実施され、 ^{90}Zr イオンを 354 および 420MeV に再加速した。

3. 主な整備・故障

3.1 絶縁カラムポストの交換 (震災復旧)

2011 年の地震によりタンデム加速器本体の絶縁カラムを支えるセラミクスでできたカラムポストに多数のひび割れが生じた。カラムポストは 1MV ユニット 12 本であり、20 ユニットの計 240 本でカラムを支えている。昨年はひび割れポストのうち 20 本の予備品を何とか調達し交換を実施したが残り 18 本については納期の都合ですぐに入手できなかったためそのままになっていた。東海タンデムでは建設時に絶縁カラムの電圧分割の新たな提案としてエンクロズドコロナチューブを用いることが試みられた。ここでは詳細は略すが、結果としてはこの電圧分割の手法は失敗であった。その名残でカラムポストとほぼ同じ形状のセラミクスポストが手元にあったのでこれをメーカーで再加工しカラムポストに転用することで残りのカラムポストの交換を実施した。最終的にはひび割れのあったポストの数は 38 本であり、20 段目 (最上部) の 1 本を除いて交換作業を完了させた。



Figure 4: Exchanging work of insulating column posts.

3.2 バリアブルアパーチャーおよびエネルギー分析スリットの位置ずれ

2012 年の 5 月頃から負イオン源からのビームを加速する際に高電圧端子入り口にあるファラデーカップ (FC) にビームが通らないという事象が生じた。この FC 直前のバリアブルアパーチャー (VA) の口径を 25φ にすると正常にビームが通過した。定期整備期間にこの VA を外し確認してみると Figure 5 に示すように VA の支持ロッドの固定ネ

ジがゆるみ真空側にベローズ部が引き込まれて位置がずれていることが原因であった。

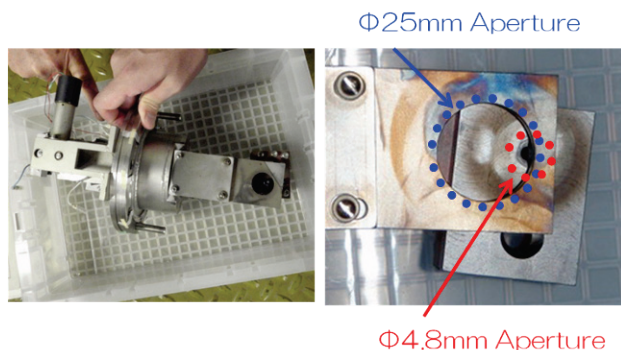


Figure 5: Variable aperture from which the position shifted

同様なトラブルとして、タンデム加速器のエネルギーを分析電磁石出口のスリットの位置ずれが生じた。このスリットはタンデム加速器で加速されるイオンビームのエネルギーを決める重要なスリットであり、この上下のスリットにあたるビーム量で加速器の加速電圧にフィードバックをかけ加速電圧を安定化させている。そのためスリット位置の精度が重要であるが、スリットのナイロンブッシュとスリット支持棒にすべりが生じ、ベローズが真空側に引き込まれることで下側（高エネルギー側）のスリット位置が下がるトラブルが発生した。不良スリットを予備品と交換したがこれも同様のトラブルが発生した。設置から 30 年以上経過しているため、ナイロンブッシュと支持棒の接着が弱くなっていたようである。この部分を分解し再接着した物に交換することで対応した。現在の製品はこの部分の改良がなされている。

またこのスリット電極から 0.3nA 程度の暗電流が流れており、加速器の電圧安定化回路が誤作動するトラブルが発生した。スリット電流が流れない場合は、Generating Volt Meter (GVM) 制御により加速電圧が制御されるが、スリット電流が流れることでスリット制御による電圧安定化となる。実際のビーム加速時のスリット電流に比べ僅かな電流であったので、現在は電圧安定化回路の GVM モードと SLIT モードの切り替え閾値を上げて対応した。この暗電流の原因は分かっていない。

4. 建家の補修工事

東海タンデム加速器施設は 2011 年の地震で震度 6 弱に襲われ、建家にも多数の被害が生じた。2011 年度の補正予算の 2012 年執行という形で補修工事を実施した。工事は 11 月後半から 2 月前半までの約 3 ヶ月をかけ、主に壁や柱、外壁のひびの補修を実施した。10 月に実施した調査により、ひび割れの長さの合計は、ひびの幅が 2-3mm で 6m、1-2mm で 30m、0.2-1mm で 3800m 程度に及ぶことが分かった。予算の都合から 0.2mm 以上のひび割れのみ補修を実施した。補修方法はひび割れにエポキシ樹脂

を流し込んで固めるスクイズ広報を採用した。作業としては壁一面に作業用の足場を組みひび割れ表面をシールして手作業でエポキシ樹脂を流し込み硬化後に塗装をして仕上げた。Figure 6 にブースター加速器室の作業の様子を示す。



Figure 6: Repair work of the wall in a building.

加速器建家は高さ 45m のタワー部を持つため建家外壁の補修においては、2 階までは外壁に足場を組みそれより高いタワー部は屋上よりゴンドラを下げて補修工事を行った (Figure 7)。



Figure 7: Repair work of the outer wall.

4. まとめ

震災後の 2011 年度および 2012 年度は加速器の復旧や建家の補修が続いたために運転日数が約 110 日となりそれまでの 6 割に減少した。また原子力機構では福島復興へ向けた予算・人員の重点化により当施設の予算は大変厳しくなり、加速器の運転費は利用者の負担で実施されている。一方で今や世界的にも唯一のユニークな大型静電加速器でありその価値は重要であると認識している。今後も静電加速器の特徴を活かした加速器・ビーム開発により、ユニークな研究が展開できると信じている。

参考文献

- [1] S. Takeuchi et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A382(1996)153-160.
- [2] M. Matsuda et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A654(2011)45-51.
- [3] M. Matsuda et al., Proceedings of the 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 8-11, Osaka, (2012) 362