

## PRESENT STATUS OF JAEA-TOKAI TANDEM ACCELERATOR

Makoto Matsuda<sup>1,A)</sup>, Suehiro Takeuchi<sup>A)</sup>, Yoshihiro Tsukihashi<sup>A)</sup>, Susumu Hanashima<sup>A)</sup>, Shinichi Abe<sup>A)</sup>, Akihiko Osa<sup>A)</sup>, Nobuhiro Ishizaki<sup>A)</sup>, Hidekazu Tayama<sup>A)</sup>, Takamitsu Nakanoya<sup>A)</sup>, Hiroshi Kabumoto<sup>A)</sup>, Masahiko Nakamura<sup>A)</sup>, Kenichi Kutsukake<sup>A)</sup>, Isao Ohuchi<sup>A)</sup>, Katsuzou Horie<sup>A)</sup>, Shinichi Ichikawa<sup>B)</sup>, Tetsuya Sato<sup>B)</sup>, Takashi Hashimoto<sup>B)</sup>, Shin-ichi Mitsuoka<sup>C)</sup>, Hiroari Miyatake<sup>C)</sup>, Jeong Sunchan<sup>C)</sup>, Nobuaki Imai<sup>C)</sup>, Hironobu Ishiyama<sup>C)</sup>, Yutaka Watanabe<sup>C)</sup>, Shigeaki Arai<sup>D)</sup>, Masayuki Okada<sup>D)</sup>, Mitsuhiro Oyaizu<sup>C)</sup>, Masahiko Tanaka<sup>C)</sup>, Yoshikazu Hirayama<sup>C)</sup>, Yoshihide Fuchi<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> JAEA (Tokai), Nuclear Science Research Institute, Tandem Accelerator Section

<sup>B)</sup> JAEA (Tokai), Advanced Science Research Center

<sup>C)</sup> KEK, Institute of Particle and Nuclear Studies, <sup>D)</sup> KEK, Accelerator Laboratory  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

## Abstract

The tandem accelerator was operated over a total of 182 days and delivered 21 different ions over 93 beam times to the experiments in the fields of nuclear physics, nuclear chemistry, atomic physics, solid state physics and radiation effects in material. In the JAEA-KEK joint RNB (Radioactive Nuclear Beam) project, construction of the RNB facility, TRIAC (Tokai Radioactive Ion Accelerator Complex) was completed in the end of July, 2004. In March 2005,  $^{138}\text{Xe}(T_{1/2}=14.08\text{m})$  produced in the proton-induced fission of uranium was successfully accelerated through the charge breeder-ECR ion source to the end of the linac.

## 原子力機構-東海タンデム加速器施設の現状

## 1. はじめに

原子力機構-東海タンデム加速器施設における最近の加速器の運転状況および加速器の開発状況について述べる。現在、タンデム加速器施設には米国NEC社製の20MVペレットタンデム加速器、その後段ブースターである1/4波長型超伝導空洞で構成される超伝導リニアックおよび高エネルギー加速器研究機構(KEK)と共同で設置を進めてきたRNB加速器(通称: TRIAC)の3種類の加速器が設置されている。タンデム加速器は加速管の更新により18MVでの実験利用が開始された。また高電圧端子内ECRイオン源を高電圧端子の低エネルギー側に移設し、端子内でのビーム分析を容易にした。完成から10年以上経過した超伝導ブースターは空洞性能の低下が目立ちはじめ、それを回復させるため空洞の高圧純水洗浄試験を行なっている。昨年度の後半からTRIACの利用運転が開始され $^8\text{Li}$ ビームにおいて12日の実験利用が行われた。

## 2. 運転状況

2005年度のタンデム加速器の運転状況を図1に示す。運転は2度のマシンタイム期間で行なわれ、タンデム加速器の運転日数は182日(約4300時間)であった。そのうち超伝導ブースターの運転日数は34日で約19%となっている。昨年度からTRIACの利用運転も開始され、 $^8\text{Li}$ ビームにおいて12日間の利用

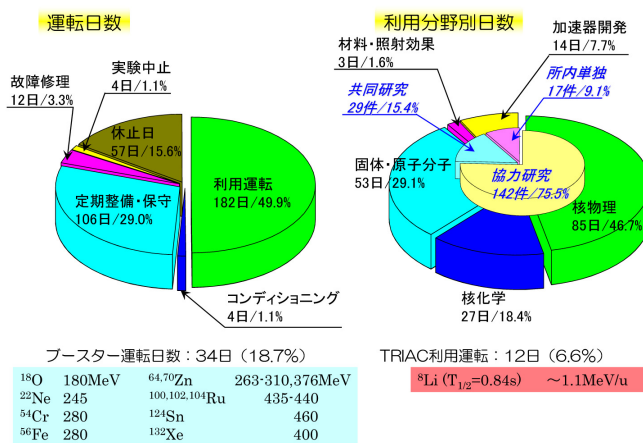


図1 2005年度の運転日数および利用分野

があった。タンデム加速器の最高端子電圧は19.1MVを記録し、18MVで4日間の実験利用が2度行なわれた。利用されたイオン種は21元素(28核種)であり、 $^{18}\text{O}$ の利用が全体の約2割で、主にアクチノイド核の核化学実験に利用された。 $^1\text{H}$ 、 $^7\text{Li}$ 、 $^{136}\text{Xe}$ の利用はそれぞれ約1割を占め、 $^1\text{H}$ 、 $^7\text{Li}$ は主にTRIACでの一次ビームに利用された。

<sup>1</sup> E-mail: makoto.matsuda@jaea.go.jp

### 3. タンデム加速器

#### 3.1 加速管の更新と端子電圧の上昇について

2003年にそれまでの16MVから設計値である20MVの端子電圧を目指し、旧加速管からコンプレストジオメトリ型加速管に更新した。加速電圧が18-20MVに向上することで、単にビームエネルギーが増加するだけでなく後段の超伝導ブースターへの入射条件が高質量数の重イオンビームにおいて飛躍的に改善され、ビーム強度、エネルギーを増強でき、最重核のイオンビームまで加速が可能となる。

1MVユニットあたりの加速ギャップ数を33から42に増加させることで、1ギャップに印加される電圧を低くし、放電の発生を抑制することにより端子電圧の向上を目指した。加速管更新の前に、放電のきっかけとなる管内のごみ、汚れなどを取り除くために加速管に超音波洗浄ならびに超伝導加速空洞で行なわれている高圧純水洗浄を施し、十分なベーキングを行った。この前処理の効果により更新直後に僅か1週間のコンディショニングでそれまでの運転電圧である16MVを発生でき、順調に利用運転に入ることが出来た。その後のコンディショニング等により徐々に電圧が上昇し、現在の最高電圧は19.1MVに達している。18MVでの実験利用も安定に実施できた。

#### 3.2 高電圧端子内ECRイオン源の開発

タンデム加速器の高電圧端子には10GHzの永久磁石型ECRイオン源が設置され主に気体元素の加速に利用されている。高電圧端子内ECRイオン源から得られるイオンビームのエネルギー、強度を増強するために、イオン源を14.5GHzの永久磁石型ECRイオン源へ更新する計画を進めている。新たなイオン源は高電圧端子の低エネルギー側（負イオン加速管側）の旧ガスストリッパーのあった位置に入射90°偏向電磁石を配置しイオン源および入射系を水平に設置する。この配置によりイオン源の設置空間を確保でき、かつ高電圧端子内で十分なビーム分析能力とビームハンドリングの自由度を持たせることが可能である。

2005年に計画の第1段階として、使用されてきた実績と信頼性のある10GHzのECRイオン源を移設し、期待通りの性能が得られることを確認することとした。移設後の高電圧端子内イオン源入射系の配置の概略を図2に示す。移設後のビーム加速試験やマシンタイム実験により高電圧端子内イオン源からの加速管への入射条件が改善されたことが確認された。

2006年度にイオン源をより高性能な14.5GHzのECRイオン源に置き換える予定である。

### 4. 超伝導ブースター

超伝導ブースターは1994年の利用開始以来高エネルギービームの加速に利用されてきた。近年になり冷却用のヘリウムが真空リークトラブルや熱サイクルの繰り返しによって空洞周波数が低下するトラブ

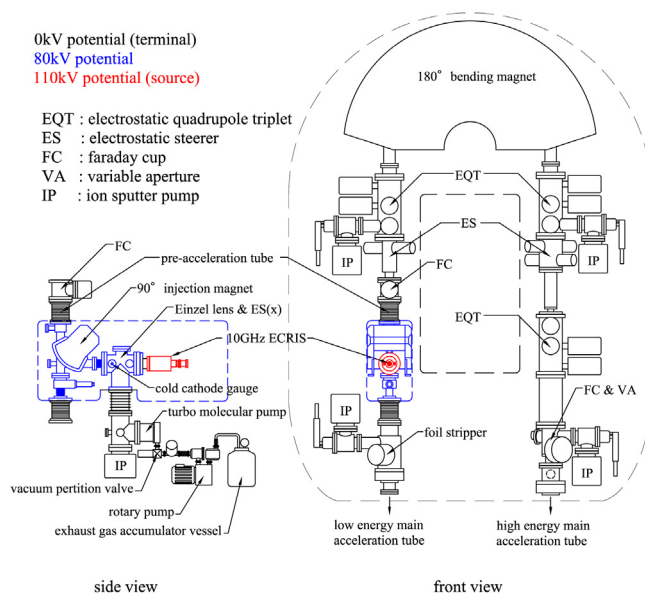


図2 高電圧端子内イオン源の新配置図

ルなどが発生してきた。リークの原因はインジウムガスケットによるものであり、増締めやガスケットの交換で対応している。また空洞のQ値も徐々に下がってきており空洞内面が汚れてきた為と考えている。その対策として空洞に高圧超純水洗浄を施し空洞性能を復活させる計画を進めている。

### 5. TRIAC

2001年度から短寿命核ビームおよび大強度安定核ビームの加速を目指しKEKと共同でTRIACの建設を進めてきた。TRIACは2005年3月に完成し昨年の10月から共同利用が開始され<sup>6</sup>Liビームの実験利用が行なわれた。図3に施設の概要を示す。タンデム加速器

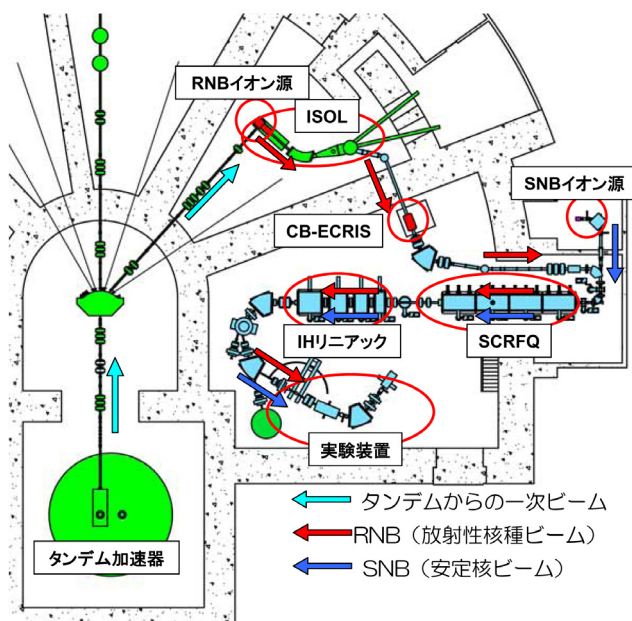


図3 TRIAC概要

からの安定核ビームをRNBイオン源内の標的に照射し、核反応により多様な放射性核種を生成する。反応にはウランの陽子誘起核分裂反応やタンデム加速器からの様々なイオンビームによる重イオン核反応を利用する。RNBイオン源より引き出された放射性イオンはISOLにより質量分離され、隣室のRNB加速器室の分割同軸型RFQ線形加速器 (SCRFQ) およびIH型線形加速器 (IHリニアック) により最大1.1MeV/uのエネルギーまで加速される。SCRFQの上流にはこれらの線形加速器で効率よく加速するために1価から多価イオンに荷電変換するチャージブリーダー (CB-ECRIS) が設置されている。

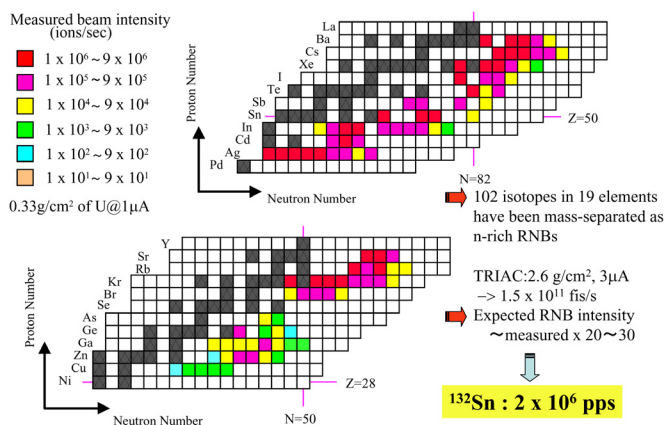


図4 ウランの陽子誘起核分裂反応により生成確認した放射性核種ビーム

図4にタンデム加速器からの陽子ビームによるウランの核分裂反応により生成を確認した放射性核種を示す。これまでに19元素、102核種のビーム開発に成功した。予定では<sup>132</sup>Snを毎秒 $2 \times 10^6$ 個供給することが可能である。現在得られているCB-ECRISの1価イオンから多価イオンへの荷電変換効率は<sup>129</sup>Xe<sup>20+</sup>で7%、<sup>138</sup>Ba<sup>20+</sup>で2%となっている。Xeの効率が高いのは入射イオンがプラズマ中でトラップされずに内壁に衝突し中性化したものが再イオン化されるものを含むためである。

### 6. 将来計画

TRIACからの放射性核種ビームを既存の超伝導ブースターに入射し5~8MeV/uのエネルギーまで加速する計画を進めている。TRIACのビームラインを超伝導ブースターまで接続し、途中にバンチャーおよびプレブースターを設置する。完成すれば放射性核種ビームだけでなく、安定核用ECRイオン源からの大強度ビームも利用可能となる。また超伝導ブースターへの入射器がタンデム加速器とTRIACの2台となることにより、施設の有効な利用が可能である。

既存の超伝導空洞は最適入射速度が光速の10%であり、5.5%以上で加速が可能となる。TRIACからのビームは1.1MeV/u ( $\beta=4.8\%$ ) であるので、効率よくブースターで加速するため、プレブースターとしてlow $\beta$  空洞の開発を行なっている。図5および表1に

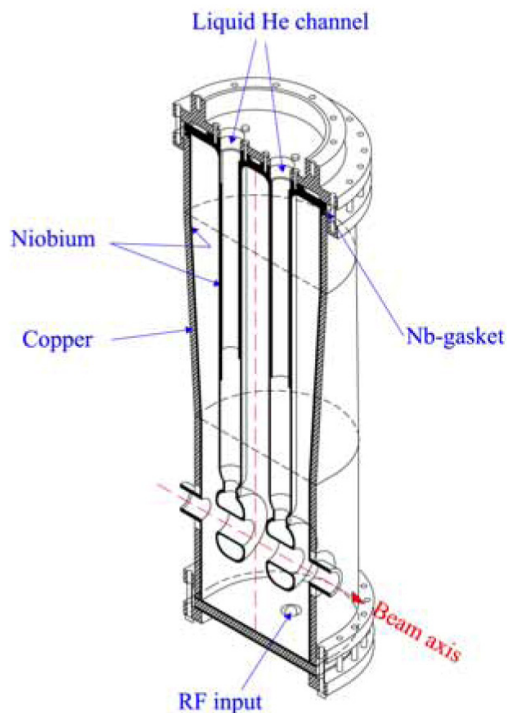


図5 low $\beta$ 超伝導空洞の断面図

表1 low $\beta$ 超伝導空洞の主要パラメータ

Cavity	Twin-SC quarter wave resonator
Frequency	$f_0 = 129.8 \text{ MHz}$
Optimum ion velocity	$\beta_{opt} = 0.06 (\sim 1.7 \text{ MeV/u})$
Input velocity	$\beta_{min} > 0.04 (\sim 0.75 \text{ MeV/u})$
Accelerating electric field	$E_{acc} > 5 \text{ MV/m @4W}$
Reference acceleration length	$L = 0.15 \text{ m}$
Number of resonators	8

開発中のlow $\beta$ 空洞の断面図と空洞パラメータを示す。空洞は既存のクライオスタットに取り付けられるように2芯1/4波長型超伝導空洞とし、3gap構造であり中心導体を逆位相で発振させる。最適ビーム速度は光速の6%であり、3.5%以上であれば加速可能である。

### 参考文献

- [1] 松田誠., “原子力機構-東海タンデム加速器の現状”, 第19回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集, (株) パレオ・ラボ, 2005.
- [2] S.Takeuchi, et al., “Acceleration of heavy ions by the JAERI tandem superconducting booster”, Nucl. Instr. Meth. A382(1996)153-160.
- [3] H.Miyatake, et al., “The KEK-JAERI joint RNB project”, Nucl. Instr. Meth. B204(2003)746-751.
- [4] 株本裕史. “低速度重イオン加速用 超伝導2芯1/4波長型空洞共振器の開発”, in this proceedings.
- [5] 岡田雅之. “TRIACから超伝導リニアックへのビーム輸送用リバンチャーのモデルテスト”, in this proceedings.