

## 筑波大学加速器センター施設報告

笹 公和、石井 聡、大島 弘行、木村 博美、高橋 努、田島 義一、  
大和 良広、小松原 哲郎、島 邦博、工藤 博  
筑波大学加速器センター

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

### 概要

筑波大学加速器センターでは、1975年に導入した12UDペレットロンタンデム型静電加速器と1999年に電子技術総合研究所(現産業技術総合研究所)より移管された、1MVタンデトロン加速器の2台の静電加速器を用いて加速器科学研究を推進している。また2000年には、多価イオンビームやクラスター科学研究用の14.5GHz超伝導ECRイオン源(SHIVA)が完成した。加速器センターの施設紹介と各装置の現状について報告を行う。

### 1 12UD ペレットロンタンデム加速器

加速器の設置から28年を経過するが、加速エネルギー等の性能は維持されている。加速科学研究としては、加速イオン種の拡大やビーム輸送技術開発、加速器工学上重要な荷電変換断面積の系統的研究を行っている。図1に現在の主な加速イオン種とその加速可能エネルギー範囲を示す。

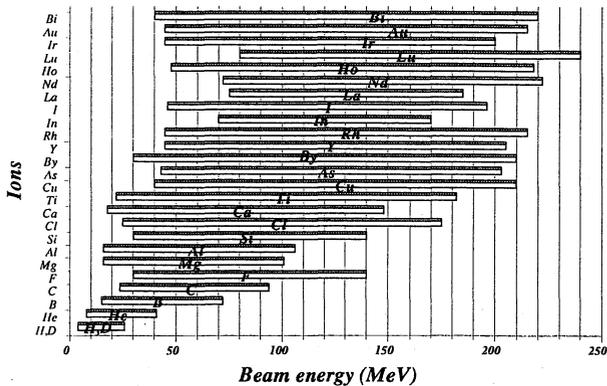


図1 主な加速イオン種とそのエネルギー範囲

#### 1.1 加速器運転状況

現在、加速器のターミナル電圧は、2MV から 11MV の範囲で運転を行っている。2002 年度の加速器運転時間は総計 2012 時間であった。ビーム実験利用時間は、1663 時間である。イオン源は、スパッター型重イオン源とラムシフト型偏極イオン源(PIS)及び加速器質量分析(AMS)用イオン源の3台のイオン源が稼動している。図2に2002年度におけるターミナル電圧別運転時間を示す。また図3には、各イオン源別の加速イオン種の割合を示す。加速イオン種の割合は、陽子が30%以上であるが、最近では新機能材料開発等の重イオン照射の為の Au や Er 等の重いイオンの加速も増えつつある[1]。

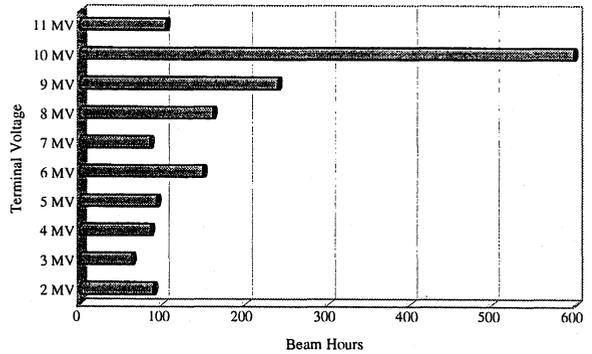


図2 ターミナル電圧別運転時間 (2002 年度)

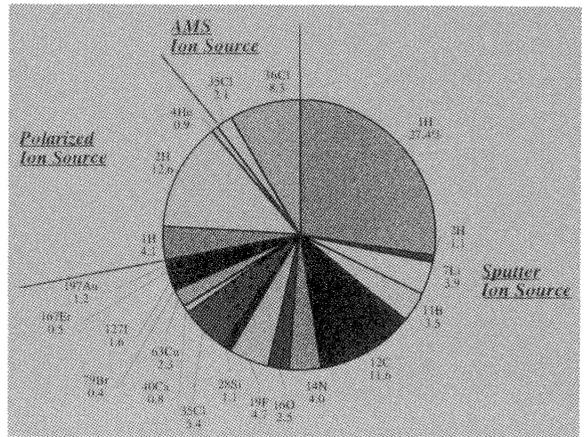


図3 イオン源別加速イオン種の割合(2002 年度)

#### 1.2 加速器利用現況

12UD ペレットロンタンデム加速器には、現在 10 本のビームラインが設置されている(図4)。現在の主な加速器利用研究テーマは、以下の通りである。

- 原子核実験
  - 短寿命核  $^8\text{Li}$  加速
  - 重陽子融合反応におけるスピン相関
- イオンビーム結晶学
- 荷電変換断面積の系統的研究
- 陽子マイクロビームによる地球科学試料水素分析[2]
- $^{36}\text{Cl}$  の加速器質量分析(AMS)[3]
  - $^{36}\text{Cl}$  による環境汚染の分析
  - 加速器施設遮蔽壁中の  $^{36}\text{Cl}$  濃度測定
  - 広島原爆試料の中性子線量再評価
- 重イオンビームを用いた新機能素材開発[4]

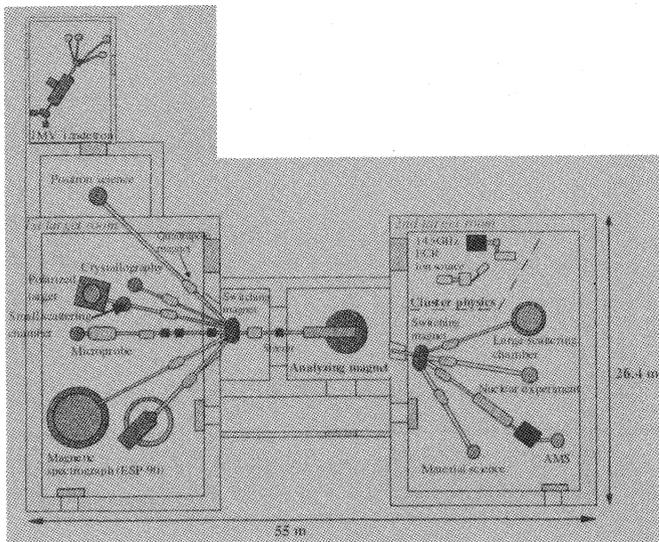


図4 加速器実験室平面図

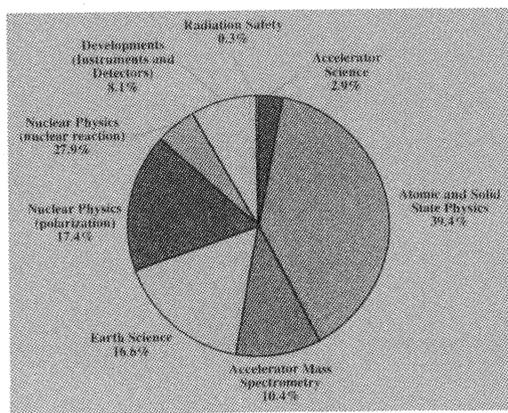


図5 加速器の研究分野別利用割合(2002年度)

図5に研究テーマ別の加速器利用割合を示す。最近の傾向として、原子核実験の利用割合が減少して、AMSやイオンビーム分析、素材開発等の研究利用が増加している。

### 1.3 ビーム輸送技術開発

タンデム加速器のイオン種別のビーム透過率  $Tr$  及び荷電変換断面積の系統的測定を行っている[5]。12UDペレットロンタンデム加速器では、ターミナルでの荷電変換材として炭素フォイルを使用している。タンデム加速器の透過率は、ターミナル電圧  $V_T$ 、荷電変換炭素フォイル厚、加速イオン種の原子番号  $Z$  や質量数  $M$ 、入射イオンの形体(原子・分子)等により変化する。ターミナル電圧  $V_T$  が高く、加速イオンが軽くて速いほど透過率は高くなる。Fイオン加速で、加速器入射側でのビーム電流値に対する出射側ビーム電流値の比  $Tr(tank)$  を  $V_T=3.5MV$ 、 $10MV$  について測定した結果を図6に示す。同じエネルギーのイオンだと、 $M$  が大きくなると荷電変換フォイル位置での速度が遅くなり、かつフォイル通過時の多重散乱とエネルギーストラグリング効果によりビームが拡がり、透過率の低下を招く。図7に炭素フォイル  $5\mu g/cm^2$  に対し

$V_T=10MV$  の条件で測定した種々のイオンの加速器透過率を示す。 $Tr(FC5)$ は分析電磁石通過後に到達する全ての電荷  $q$  について足し合わせた透過率である。重イオンのビーム透過率を増加させるには、薄く長寿命の荷電変換フォイルが必要になる。現在、12UDペレットロンタンデム加速器では、重イオン用荷電変換フォイルとして、主に  $3\mu g/cm^2$  の炭素フォイルを使用している。

2003年3月にターミナル部に設置されている荷電変換系の改良を行い、内部にあるアパーチャー径の拡大とアライメント補正を実施した。これは主にビーム透過率の向上と加速器の広いフラットトップ特性を得る目的で行われた。改良後の加速器フラットトップ幅は約2倍に改善された。また加速器の入射側と出射側等に新たにBPMの設置を行った。

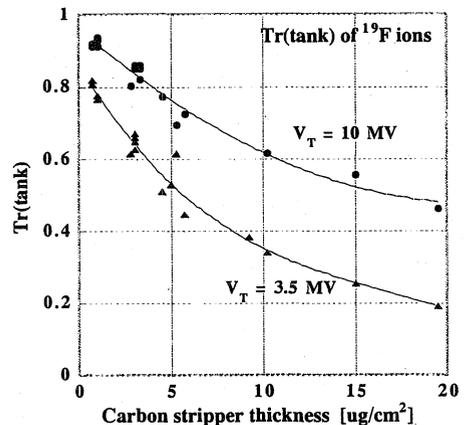


図6  $V_T=3.5, 10MV$ におけるFイオンの炭素フォイル厚に対するビーム透過率

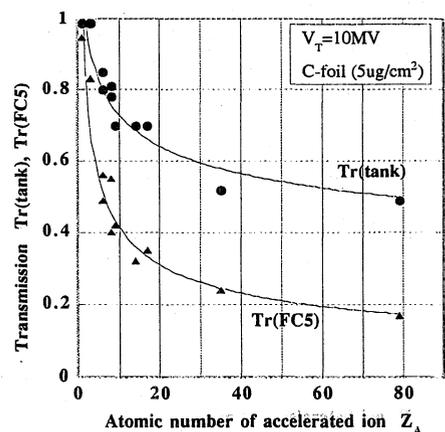


図7 種々のイオンに対するビーム透過率。荷電変換フォイルとして、炭素フォイル( $5\mu g/cm^2$ )を使用。 $V_T=10MV$ に設定。

2002年に新規ビームラインとして、高エネルギーマイクログリッドの建設を行った。ビーム輸送系の制御システムとして、Windows2000をプラットフォームにし

て、Visual C++で記述した制御用ソフトウェアの開発を行った(図 8)[6]。通信は 100BASE-TX TCP/IP を使用している。高速キャンパスネットワークで施設内の各フロアに 100BASE-TX 端末が設置されており、今後他のビームラインにもこの制御システムの導入を考えている。

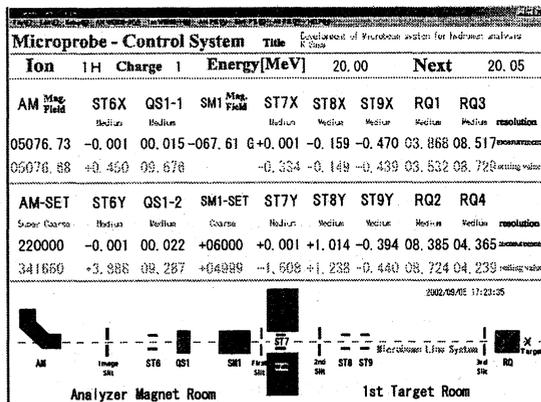


図 8 ビームライン制御用コントロール画面

## 2 1MV タンデトロン加速器

1999 年から稼動を始めている。現在、ターミナル電圧 0.1MV から 1MV の範囲で運転している。年間運転時間は 2002 年度で 182 時間であった。2003 年度より RBS 分析関連の利用が急増しており、加速器稼動時間の増大が予想されている。

加速器科学研究として、クラスタービーム加速を行っている[1]。加速器により、MeV レベルのエネルギーまで加速されたクラスターと物質との相互作用研究が目的である。現在は主に炭素クラスター $C_n(n=1-8)$ の加速を行っている。イオン源はスパッター型イオン源を用いて、グラファイト試料より炭素クラスターを 20kV で引き出している。4 本あるビームコースの中で、11°コースに炭素クラスターを 240keV/atom (20keV/amu)で原子当りのエネルギーを揃えて加速している。図 9 にイオン源から引き出された炭素クラスターのビーム電流値と 11°コースに加速された  $n=1, 4, 8$  の炭素クラスタービーム電流値を示す。現在、 $C_8$  クラスターで、標的上最大 1nA 程度の電流値が得られている。

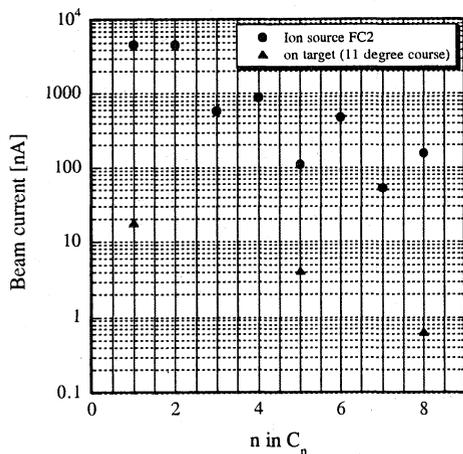


図 9  $C_n$  クラスタービーム加速

## 3 14.5 GHz 超伝導 ECR イオン源

筑波大学クラスター実験グループが理化学研究所と共同で開発した液体 He フリーの超伝導 ECR イオン源で、2000 年から稼動を始めている。 $Xe^{30+}$ 以上の多価の領域で優れた性能を発揮しており、 $Xe^{32+}$ で 6 $\mu$ A、 $Xe^{33+}$ で 4 $\mu$ A の電流値を得ている[7]。14.5GHz ECR イオン源としては、世界最高性能を有している。クラスターと多価イオンの相互作用実験用に開発されたイオン源であるが、多価イオンビーム物理や微量元素分析装置などの応用研究への展開も考えている。

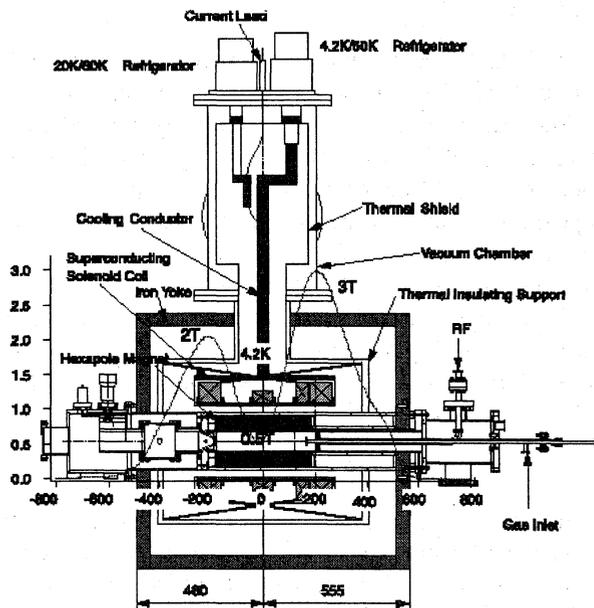


図 10 14.5GHz 超伝導 ECR イオン源(SHIVA)

## 4 まとめ

筑波大学加速器センターの施設現状について報告した。12UD ペレットロンタンデム加速器の設置から 28 年が経過して、施設の老朽化が進んでいる。しかし、加速器の性能は維持されており、12UD ペレットロンタンデム加速器と 1MV タンデトロン加速器の 2 台の静電加速器を有効に研究利用出来るように、加速イオン種の拡大とビーム電流値の増強を図っている。また荷電変換断面積等の系統的研究を行い、加速器工学上必要なデータの集積を行っている。今後は、クラスタービーム科学や多価イオンビーム物理研究の展開も考えている。

## 参考文献

- [1] K. Sasa *et al.*, Annual Report UTTAC-71 (2003) 1.
- [2] K. Furuno *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. B210 (2003) 459.
- [3] Y. Nagashima *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. B172 (2000)129.
- [4] K. Awazu *et al.*, Phys. Rev. B62 (2000) 3689.
- [5] K. Shima *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A460 (2001) 233.
- [6] K. Sasa *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. B210 (2003) 48.
- [7] T. Kurita *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. B192 (2002) 429.