

# 負イオン源からタンデム加速器入射までのビーム輸送の改善について

○田窪 英法<sup>a)</sup>、清水昭博<sup>b)</sup>、西浦正樹<sup>b,c)</sup>、中村香織<sup>c)</sup>、神田基成<sup>a)</sup>

<sup>a)</sup>核融合科学研究所 技術部、<sup>b)</sup>核融合科学研究所 研究部、

<sup>c)</sup>東京大学大学院 新領域創成科学研究科

## 1. はじめに

核融合科学研究所では、世界最大級の超伝導プラズマ閉じ込め実験装置である大型ヘリカル装置（以下、LHD：Large Helical Device）を用いて、将来の核融合発電炉実現を目的として、プラズマの実験研究を実施している。重イオンビームプローブ（以下、HIBP：Heavy Ion Beam Probe）は、プラズマの閉じ込め性能を研究する上で重要なパラメータとなるプラズマ電位を計測する装置である。本稿では新しい負イオン源の開発状況について報告する。

図1はLHDとHIBPの外観図である。まずイオン源で金のマイナスイオン（Au<sup>-</sup>）を生成する。そのAu<sup>-</sup>イオンはタンデム加速器により3MeVに加速され、金の正イオン（Au<sup>+</sup>）に変換後6MeVに加速されプラズマに入射される。その際、イオンビームはLHDプラズマの下側から入射するように、円筒型静電偏向器でビームが曲げられる。その後、プラズマと衝突し2価になったイオンビーム（Au<sup>2+</sup>）電流を検出器で測定する。入射前後のイオンビームのエネルギー変化からプラズマ中の電位が求まる。

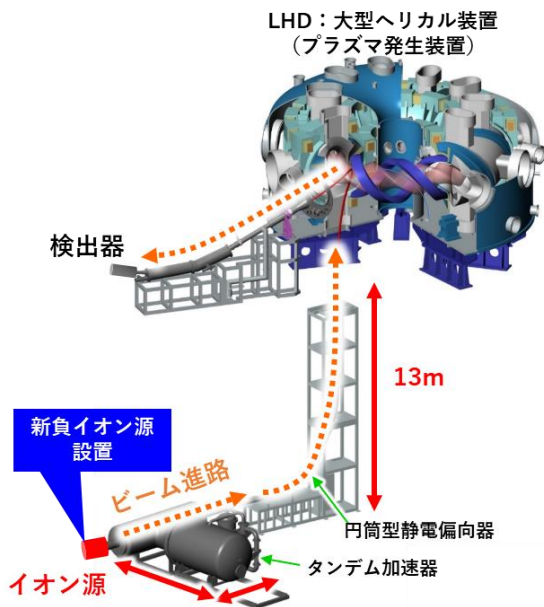


図1 LHDとHIBPの外観図

## 2. 3MV タンデム加速器の構成

図2はイオンビーム生成からタンデム加速器入射までの構成図である。負イオン源で1価のAu<sup>-</sup>イオンビームを生成し、多段加速管によってビームを引き出して加速させる。生成されたAu<sup>-</sup>の中には不純物（O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>Oなど）が含まれている為、セクターマグネット（以下、SMとする）により質量分析を行い、Au<sup>-</sup>のみを取り出し、静電ステアラによりビーム軸を調整して加速器へ入射している。加速器はLHD実験スケジュールに合わせて年間約33日運用している。

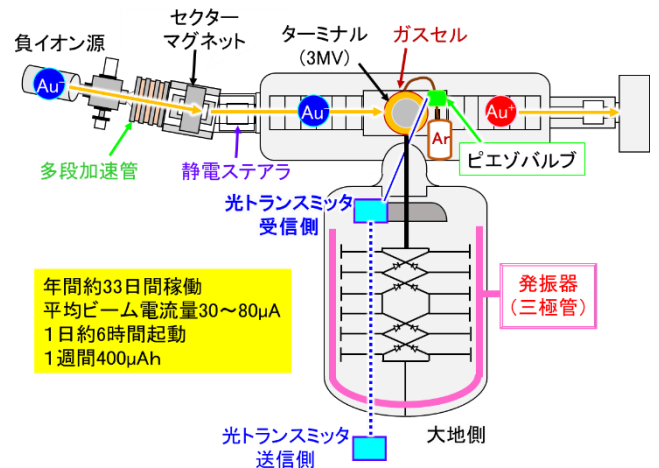


図2 3MV タンデム加速器の構成図

## 3. ビーム軌道用静電偏向器の故障

図3は製作した静電偏向器用電源システムを示している。実験中にビーム軌道を調整出来ない不具合が発生した。電源の出力制御信号に対し、出力電圧が通常約20%しか出力されていないことが判明し、故障していると判断した。高圧電源を更新することにしたが、加速器セットで特注に製作された電源であり、メーカーも撤退し設計図もないため、新規に電源から制御システムまで一式更新することとした。



図3 静電偏向器用電源システム

#### 4. 新イオン源によるビーム輸送の損失

研究者からより高いプラズマ密度での電位を測定したいという要望があったため、ビーム電流量を増やすべく新しいイオン源を開発することとした。テストスタンドで新イオン源のビーム電流量を測定したところ、積分値で94 $\mu$ Aであった。このイオン源をHIBP実機に装着し、イオン源から引き出された直後のビーム電流量を測定したところ、積分値では65 $\mu$ A、タンデム加速器直前の中心近傍の点では25 $\mu$ Aであり、どこかでビーム損失が発生している可能性が示された。テストスタンドとHIBP実機のビーム電流量を図4に示す。

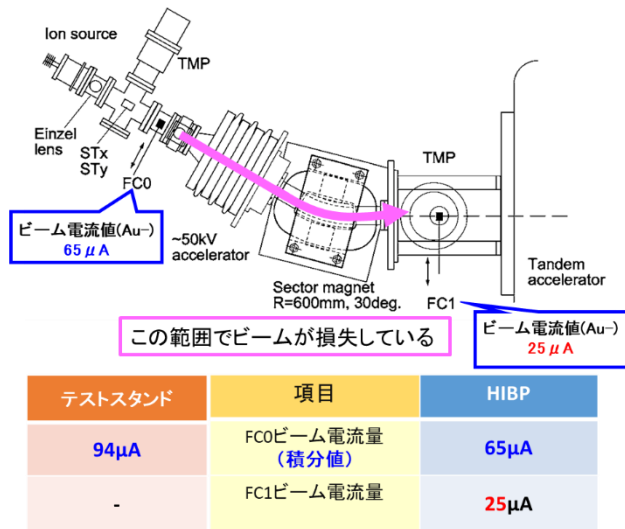


図4 テストスタンドと実機のビーム電流量

#### 5. 新規静電偏向器の設置によるビーム輸送の改善

イオン源から引き出され、アインシュエルレンズでビームが集束された直後に手動ファラデーカップを設置し、ビームプロファイルを測定した。図5はビームプロファイルの測定を示している。結果、ビーム軌道の中心から約6mm軸がずれていることが判明し、ビームが多段加速管に干渉していることで、ビームが損失していると判断した。解消するために新規に静電偏向器を設置したが、約10%程度しかビーム損失は改善されなかった。

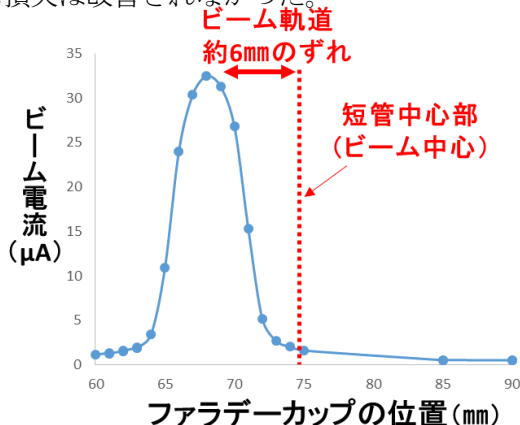


図5 ビーム軌道調査用プロファイル測定

#### 6. 多段加速器によるビーム輸送の改善

多段加速管は335M $\Omega$ の抵抗器により電圧比を等分圧にしてビームを加速させている。抵抗分割を最適化することで、静電レンズによるビーム集束効果でビーム輸送を改善することとした。図6は等電位面の図を示している。

多段加速管によるビーム輸送最適化試験では、ビーム電流量が19 $\mu$ Aの時に抵抗の分圧比を最適化した結果、ビーム電流量が28 $\mu$ Aまで増加し、約1.5倍増加した。そのデータをもとに最適な分圧比になるように抵抗器を交換し、HIBP実験によるプラズマ電位計測時のビーム電流量の改善状態を調べた。結果、従来よりビーム電流量が約2倍増加したことを図7に示す。

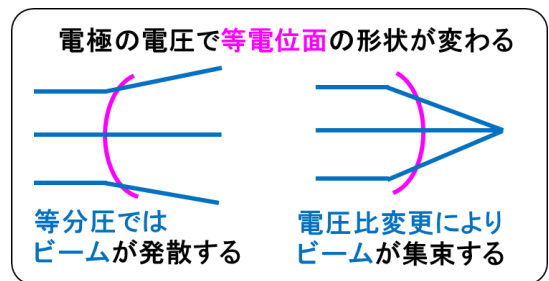


図6 イオンビームの等電位面の概略図

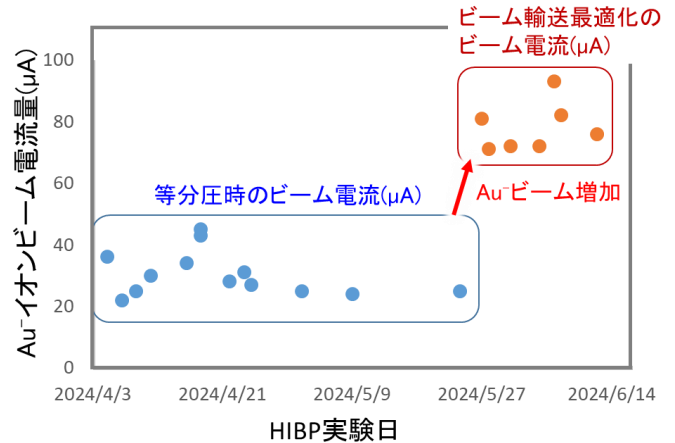


図7 多段加速管によるAu-ビーム電流量( $\mu$ A)

#### 7. まとめ

実験中に低エネルギー側の静電偏向器の高圧電源が故障したため、新規に電源から制御システムも含めて更新した。

高密度領域でのプラズマ電位を測定するため新イオン源に交換したが、多段加速管によりビーム損失が発生した。多段加速管へのビーム輸送の最適化を実施した結果、約2倍のビーム電流量が得られるようになった。