

02pC02

ITER 級高パワー密度の負イオンビーム加速試験

ITER class high power density H⁻ negative ion beam acceleration

柏木美恵子、井上多加志、谷口正樹、大楽正幸、花田磨砂也、渡邊和弘、坂本慶司

日本原子力研究開発機構

KASHIWAGI Mieko, INOUE Takashi, TANIGUCHI Masaki, DAIRAKU Masayuki, HANADA Masaya, WATANABE Kazuhiro and SAKAMOTO Keishi

Japan Atomic Energy Agency, Naka 311-0193, Japan

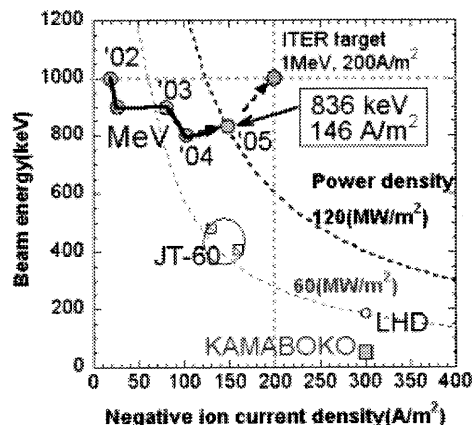
1. はじめに ITER 用中性粒子入射装置 (NBI) に向けた MeV 級加速器開発の現在の目標は、電流密度 200 A/m² の水素負イオンを発散角 7 mrad 以下で 1 MeV まで加速することである。これまでに、MV 級高電圧の真空絶縁技術を確立して[1]、1 MV を 8500 秒間、安定に保持することに成功し[2]、現在、大電流密度負イオンビームの高エネルギー加速試験を行っている。

2. 実験装置 MeV 級加速器は、カマボコ型負イオン源と真空絶縁方式の 5 段静電加速器で構成される。今回、直径 14 mm の円孔 9 個からビームを引き出し、ビーム電流は、加速器の最終段である接地電極から 2.6 m 下流に設置した 180 mm×180mm、厚さ 6 mm の銅製の慣性冷却式カロリメータを用いて測定した。

3. 実験結果とまとめ MeV 級加速器における負イオン電流密度とビームエネルギーの進展を右図に示す。負イオン表面生成を促進するために、ガス圧、フィルター磁場強度、プラズマ電極温度、セシウム導入量、及びフィラメントの本数、径、長さを調整して、負イオン源を高出力運転し、大電流密度負イオン生成を可能とした。また、フッ素系 O リングからの SF₆ 浸透リークの抑制、逆流正イオンによるイオン源ポートの溶融対策、沿面放電により FRP 内面に付着した炭素化合物の除去、等を実施し、負イオン電流密度と加速管耐電圧の向上を図った。その結果、836 keV で 146 A/m² (電流値 206 mA) の負イオン加速に成功した。発散角は 5 mrad と小さく、ITER 要求値を満足することを確認した。ビームのパワー密度を負イオン電流密度とビームエネルギーの積で定義すると、今回得られたビームのパワー密度は 120 MW/m² であり、従来負イオン源 (JT-60 並びに LHD の負イオン NBI) の 2 倍以上に達し、世界で初めて ITER 級の高パワー密度負イオンビームを実現した。また、加速電圧/引出電圧比を固定し、アークパワーで負イオン生成量を調整してビーム光学条件を維持しつつ加速電圧を上げると、ターゲットで受ける負イオン電流はチャイルド・ラングミュア則に従って飽和することなく増加した。これにより、加速電圧 1 MV、アークパワー 40 kW で ITER の要求値である電流密度 200 A/m² の負イオンを収束よく加速できる見通しを得た。今回の試験では、負イオンビームのパルス幅はビームダンプの除熱性能により 0.2 秒に制限されたが、今後ビームダンプを換装し、1 MeV、200 A/m² の長パルス負イオンビーム発生に向けて試験を行う。

[1] T. Inoue, M. Hanada, T. Iga et al., Fusion Eng. Design 66-68, 597-602 (2003).

[2] M. Taniguchi et al., Nucl. Fusion, 43, 665-669 (2004).



MeV 級加速器開発の進展

02pC03

凹型電極を用いたアルファ粒子計測用ヘリウム水素正イオンビームの生成

Production of helium-hydrogen positive ion beam for the alpha particle measurement using concave electrodes

梶田 創、木山 學、平野洋一、小口治久、八木康之、笹尾真美子*

産総研、東北大*

Hajime SAKAKITA, Satoru KIYAMA, Yoichi HIRANO, Haruhisa KOGUCHI, Yasuyuki YAGI, Mamiko SASAO*

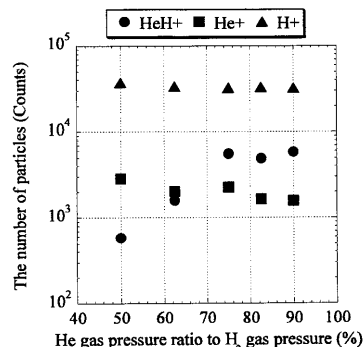
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tohoku University*

DT 反応核融合プラントにおいて生成されるアルファ粒子の振る舞いを調べることは重要である。そこで、アルファ粒子の空間分布及び速度分布を計測するために、集束性の良い高電流密度のヘリウム以上の重い粒子のイオンビームを燃焼プラズマ中に入射するシステムが候補の一つとして考えられている。例えば、入射された中性ヘリウム (He⁰) 粒子は、アルファ粒子 (ヘリウムイオン) と荷電交換反応を行う。その際、アルファ粒子は高エネルギーのヘリウム中性粒子に変換され、エネルギーアナライザーにより計測される。

He⁰ ビームを生成するために、次の二つの方法が考えられている。1) 約 20 keV の He⁺ をアルカリガスセルに通し一度負イオンに変換した後、約 1 MeV まで加速する。加速されたヘリウム負イオンは約 30 m 飛行することで自然に中性化される。この場合、アパーチャーが限られたアルカリガスセルへのビーム入射及びアルカリガスの影響など考慮するべき課題もある。2) He⁺ ビームを負イオンに変換せずに直接中性化する簡便なシステムとして、イオン源内でヘリウム水素正イオン (HeH⁺) を生成し約 20 keV に加速後、HeH⁺ 成分のみを磁場で分離し電極で 1 MeV まで加速する。その後、中性化セルで He⁰ に変換しプラズマ中に入射する (1 MeV の時、中性化効率約 10% と高いことが利点の一つである)。しかしながら、HeH⁺ 生成に関するイオン源としての基礎研究が確立されていなかった。そこで、産総研で開発した高集束性・高電流密度ビームシステムを用いて、どのような条件で HeH⁺ の生成率等が増加するのかを実験的に調べた。(ここで、高集束性・高電流密度イオンビームシステムとは、バケット型イオン源、凹型電極 3 枚を有した NBI システムであり、高集束性 (2θ ~ 1.6 deg) かつ高パワー密度 (約 1 GW/m²) が達成されている。)

今回、エネルギー分解型質量分析器 (500 eV Max.) を用いたため、加速電圧は 300 V で実験を行った。イオン源のアーク電圧、フィラメント電圧などの最適化を行うとともに、水素ガスに対するヘリウムガスの圧力比をスキャンすることで、どのような条件において HeH⁺ が増加するか

を計測した。図に示す通り、ヘリウムの割合が約 75 % 以上において HeH⁺ がより多く生成されているのがわかる。計測器のヘリウムの感度は水素より低い値となっており、感度校正は実施していないが、25 keV HeH⁺ の加速実験結果から、最低でも約 8.5 mA/cm² 以上の電流密度が得られていると見積もられ、要求される値 (2 mA/cm²) よりも大きい可能性が高い。

Fig. 1. 水素ガスに対するヘリウムガスの圧力比をスキャンした際に質量分析器を用いて計測した HeH⁺ (●), He⁺ (■), H⁺ (▲) のカウント数