ITER, JT-60SA用負イオン源に向けた負イオンの長パルス生成 Long-pulsed negative ion beam production for ITER and JT-60SA

吉田 雅史、花田 磨砂也、小島 有志、柏木 美恵子、渡邊 和弘、戸張 博之、梅田 尚孝、
平塚 淳一、秋野 昇、大楽 正幸、NB加熱開発グループ
M. Yoshida, M. Hanada, A. Kojima, M. Kashiwagi, K. Watanabe, et al.

日本原子力研究開発機構 Japan Atomic Energy Agency

はじめに

ITERおよびJT-60SAの負イオン中性粒子加熱 装置(N-NBI)では、大電流負イオンビームの長 パルス生成が求められている(20アンペア(A)以 上、100秒以上)。この根幹を担うのが負イオン を生成する負イオン源であり、ITERではRF放 電型、JT-60SAではアーク放電型の負イオン源 が採用されている。これらは共通してセシウム (Cs)を導入して負イオン生成効率を上げること で大電流ビームを生成する。原子力機構では、 両N-NBIの負イオンビームの長パルス化を目指 しており、その一環としてCsに関連する共通課 題解決に向けた研究開発を進めている。

これまでJT-60SA負イオン源では負イオン生成の劣化により、13A、30秒が長パルスの限界であった。ここでのビーム電流値が減少する原因は、断熱構造を有するプラズマ電極(PG)がプラズマによって過熱されて、PG上に被膜していたセシウム(Cs)が脱離してしまい、その結果負イオン生成効率が劣化するためだと考えられる。そのため、PGの温度を通じてCs被膜を制御し、高い負イオン電流値を維持することが大きな課題であった。

本稿は、当機構で開発したPGの温度制御手法、 ならびにそれにより得られた成果について報 告する。

プラズマ電極温度制御手法の開発

用いた負イオン源は、原子力機構のJT-60SA 負イオン源である(図1参照)[1,2]。負イオンは、 この負イオン源(長手方向110 cm、半径68 cmの 大型カマボコ型チャンバー)内で生成したプラ ズマが、Csで被膜されたPG(全引出領域45 x 110 cm², 穴数1080)上に到達することで生成される。 このときの負イオン生成効率は、約150~ 250 ℃の高温状態がよいことがわかっている。 そこで、PGを高温に制御するために、200 ℃ の高温流体(GALDEN ©Slovay Solexis, 1気圧で 沸点270°C)をPG内部に循環させることで、負イ オン生成に適した高温に加熱するだけでなく、 プラズマからの輻射熱を除去することが可能 なPGの電極構造を提案した(図2参照)。



図2. 高温流体を用いたPG温度制御モデル図

大電流負イオンビーム生成の実証

まず、原理実証としてJT-60負イオン源のPG 全引出領域の10%に温度制御を適用し、PG温度 の時定数および負イオン電流の減衰を調べた。 その結果、時定数はJT-60SAの要求値100秒パル スに対して5%の5秒程度であり、100秒間PG 温度を高温に維持するのに成功した(図3.上参 照)。また、温度制御前と比較して負イオンビー ム電流密度の減衰を抑えており、JT-60SAの要 求電流値22Aのために必要なビーム電流密度 である120~130 A/m²の100秒維持を実証できた。

この結果に基づいて、温度制御手法を適用した実機PGを開発した。その際、全引出領域に対してPGに高温流体配管部を追加するには、従来の電極厚さである6 mmから9 mmに変更する必要があり、ビームの孔形状を従来の負イオン生成効率を下げることなく改良する必要があった。そこで、新たな電極形状でもJT-60SAで要求される負イオン電流密度が得られる形状を実験に基づいて明らかにしている。



図3. PG温度制御原理実証時に得られた、100秒 ビームパルス時の制御前後におけるPG温度 (上)、および負イオンビーム電流密度(下)の時間 変化



図4. PG温度制御手法を全引出領域に適用した際の100秒負イオンビーム波形

これらにより、PGの全引出領域からこれまで 最大13 A、30秒であったビーム性能を、15 A、 100秒にまで伸長できた(図4参照)[3]。この大電 流負イオンビーム生成のための基礎技術は、 ITER用NBIにおける負イオンビームの長パル ス生成にも応用できる見通しを得ている。

今後の課題

さらに長パルス生成を進める上で、パルス60 秒付近から負イオンビームが漸減する新たな 現象を捉えた(図5.上参照)。この現象は、同時 に負イオン源内に導入するCsの空間中の発光 強度の増加が計測されたことから(図5.下参照)、 PG表面上の負イオン生成効率を向上させるた めに導入するCsの輸送が、この長い時定数をも つ負イオンビームの減少に深く関わっている ことを示唆できている[4]。つまり、CsのPGへ のフラックスをいかに制御するが今後の課題 であり、更なる負イオンビームの長時間安定生 成に向けた新たな研究開発を進める予定であ る。



図5.100秒放電中の負イオン源内壁温度(上)、水素(Hα)、酸素(Oxygen)、Csの発光強度(下)の時間変化

参考文献

- M. Hanada, N. Akino, et al., J. Plasma Fusion Res. SERISE 9 (2010) 208.
- [2] M. Yoshida, M. Hanada, et al., Fusion Eng. Des. 96-97 (2015) 616-619.
- [3] A. Kojima, N. Umeda, M. Hanada, et al., Nucl. Fusion 55 (2015) 063006 (9pp)
- [4] A. Kojima, M. Hanada, M. Yoshida, et al., AIP Conference proceedings 1655 (2015) 060002