

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820444

研究課題名(和文) 金属表面に塗布されたアルカリ金属層の表面分析の測定

研究課題名(英文) Cesium recycling in the large cesiated negative ion source

## 研究代表者

吉田 雅史 (Yoshida, Masafumi)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門 那珂核融合研究所・研究員

研究者番号：80638825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：メートル級大型負イオン源内にて使用するセシウムの添加量を最適化し、セシウムを有効利用するとともに、一様で高強度の負イオンビーム安定生成に向けて、JT-60負イオン源内のプラズマ中のセシウムを計測した。セシウムと負イオンビームはセシウム添加口付近直下のプラズマ電極から徐々に増加しており、セシウムがプラズマによって輸送されることを明らかにした。また、負イオン源の内壁に吸着したセシウムは壁温度が約70 から再放出されることが分かった。

研究成果の概要(英文)：For clarification of Cs recycling in large cesiated negative ion source, time evolution of spatial profile of negative ion production during an initial conditioning phase has been experimentally investigated in the JT-60 negative ion source, where a Cs nozzle is installed in the center of the negative ion source. Up to 0.4 g Cs injection, there is no enhancement of the negative ion production and no observation of the Cs emission signal in the source, suggesting the injected Cs is mainly deposited on the water-cooled wall near the nozzle. After 0.4 g Cs injection, enhancement of the negative ion production appeared only at the central segment of the PG. The expansion of the area of the surface production was saturated after ~2 g Cs injection. From the results, it is found that Cs ionization and its transport plays an important role for the negative ion production. In addition, Cs, which is absorbed on the inner wall, is desorbed at more than 340 K.

研究分野：プラズマ加熱

キーワード：核融合 負イオン中性粒子入射装置 セシウム プラズマ

1. 研究開始当初の背景

中性粒子入射装置(NBI)は、核融合プラズマの加熱および電流駆動として使用される。その NBI の根幹を担う負イオン源では水素負イオンの電流密度を増加させるために、金属セシウムを高温(180~200 )に加熱し、蒸気として負イオン源内に添加している。添加したセシウムは、負イオンの生成されるプラズマ電極表面へ塗布されることで同電極表面の仕事関数が低下し、その結果、負イオン電流密度が増加する。しかし、負イオン源へのセシウム添加量は、表面物理から予測される値よりもはるかに多く、添加したほとんどのセシウムは負イオン源の水冷された内壁低温部に吸着している。すなわち、添加したセシウムに対して負イオン生成に寄与するセシウムは極めて少ない。一方で、セシウムの添加を停止すると大電流負イオンビーム生成が維持できないために、長期の実験期間中連続してセシウムを添加し続ける必要がある。このような長期にわたる連続的なセシウム(Cs)添加によるセシウムの大量消費、および負イオン源内にセシウムが蓄積することによる不安定なプラズマ生成や、加速部へセシウムが漏洩することによる耐電圧の劣化は、JT-60SA や ITER 等の将来の NBI 装置の定常運転に向けた大きな課題となっている。

2. 研究の目的

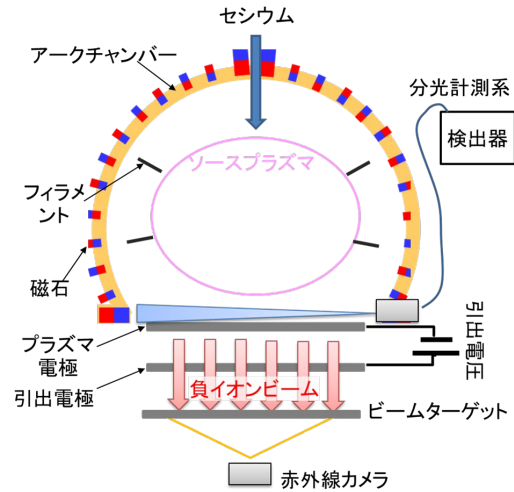
本研究の目的は、多量の負イオンを生成可能とするセシウム添加型大型負イオン源の課題であるセシウムの多量消費および加速部への漏洩を抑制するために、負イオン源でのソースプラズマ中のセシウムの振る舞い、空間分布を実験的に明らかにすることである。それに基づいて大面積の引出領域から生成される負イオンビームの一様性改善を図る。

3. 研究の方法

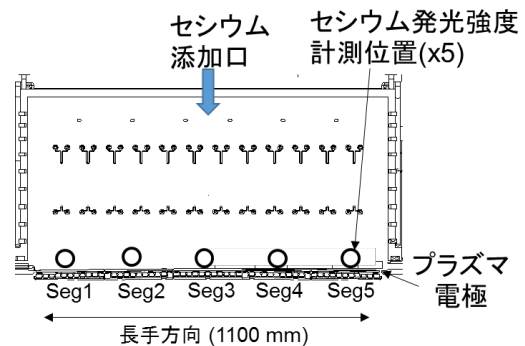
本研究には、独立行政法人日本原子力研究開発機構が所有する JT-60 負イオン源を用いた。JT-60 負イオン源の概略を以下に示す(図 1 参照)。当イオン源は主に直径約 640 mm、長さ約 1200 mm のコマボコ型アークチャンバー、長手方向に等間隔に 12 本 x 4 系列(計 48 本)設置したタングステンフィラメント、およびチャンバー外部に装填した永久磁石で構成される。負イオンの親粒子と考えられている水素正イオンおよび水素原子は、フィラメントから放出される高速電子によって生成され、チャンバー壁面に形成したカスプ磁場内に閉じ込められる。セシウムは 180 に加熱してセシウム蒸気としてアークチャンバーの天井中央から添加している。

負イオン源内のセシウムの振る舞いを計測するために、セシウムの指標となるソースプラズマ中のセシウムの発光強度(波長: 852 nm)を分光法にて計測した。添加したセシ

ムがプラズマ電極上に塗布されると負イオンビーム電流値が増加する。そこで、負イオン生成分布を調べるために、5~8 kV の引出電圧にてプラズマ電極(1100 cm x 450 cm)から引き出した負イオンビームを、4 cm 下流のビームターゲットで熱負荷分布として赤外線カメラにて計測した。



(a)



(b)

図 1. JT-60 負イオン源断面図  
(a)短手方向、(b)長手方向

4. 研究成果

ソースプラズマ中のセシウムの発光強度を、プラズマ電極表面上を見込む視線から計測した(図 1 参照)。また、長手方向に配置された計 5 枚の各電極表面上でのセシウムの発光強度を計測した。その結果、セシウムの添加量約 1 g まで、セシウムの発光強度および負イオン生成に変化はなかった。これは、セシウムが添加口付近の水冷されたイオン源内壁に吸着しているものと考えられる。その後、セシウムの発光強度および負イオン生成は添加口直下付近の電極(Seg3)から増加した。セシウムの中性・イオン輸送計算結果によると、負イオン生成が増加し始めた領域と、添加口付近でソースプラズマによりイオン化したセシウムの輸送位置は概ね一致した。さらにセシウムを添加し続けることで Seg3 で

のセシウム（Cs）の発光強度が増加するだけでなく、隣接する電極（Seg2 および 4）も増加し始めた。それに伴い、負イオン電流分布も徐々に拡大し、添加量約 2 g で一様大電流ビームを生成した（図 2 参照）。

以上の結果より、負イオン生成にはイオン化したセシウムの輸送が重要な役割を担っていることが分かった。このことは、セシウムの輸送にはソースプラズマが不可欠であるだけでなく、一様に負イオンを生成するには、セシウムの輸送を担うソースプラズマを一様に生成する必要があることを示唆している。

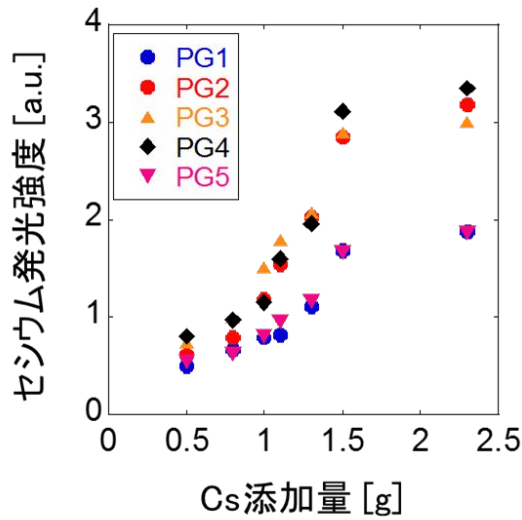


図 2. セシウム(Cs)添加量と各電極上のセシウム発光強度の関係

次に、上述のように、負イオン生成のために添加したほとんどのセシウムは水冷された負イオン源の壁面に吸着する。このセシウムの挙動を明らかにするために、負イオン源壁面に吸着したセシウムと負イオンビームとの相関を調べた。まず、負イオンビームの強度が飽和するまで十分な量のセシウム (>5 g) をイオン源内に添加した。その後、長時間プラズマ放電による負イオンビーム生成を実施すると、30 秒以上から負イオンビーム強度が漸減した。この時のイオン源壁の温度と負イオンビーム強度を比較すると、温度が約 70 度からビーム強度が低下することが分かった。

そこで、負イオン源の壁温度を変えた場合の空間中のセシウムの発光強度を計測したところ、壁温度が 70 度以上になるとセシウムの発光強度が急激に上昇することが明らかとなった。これは、セシウム添加口のある負イオン源中央部 (Seg3) だけでなく、イオン源端部 (Seg5) でも計測された（図 3 参照）。

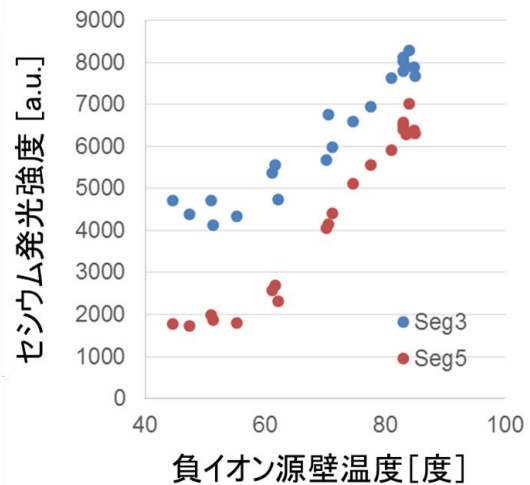


図 3. 負イオン源壁温度とセシウムの発光強度の関係

このことは、壁面の温度上昇に伴って吸着したセシウムが放出されると同時に、プラズマによって負イオン源全体に輸送されることを示している。この放出・輸送されたセシウムによって、プラズマ電極へのセシウム添加量に変化して、負イオン生成量を減少させたと考えられる。また、長時間プラズマ放電時にはセシウムだけでなく酸素の放出も増加も計測されており、これら不純物の増加に伴う局所的な放電破壊も確認した。この放出量は負イオン源内のセシウムの吸着量、あるいはコンディショニング時間にも影響を受ける。これらの結果は今まで明確にされていない新たな知見であり、今後の負イオンビームの安定生成に向けて極めて重要な知見が得られた。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 4 件)

吉田雅史、花田 磨砂也、小島有志、柏木美恵子、NB 加熱開発グループ、ITER 級大型負イオン源でのビーム一様・安定生成に向けた研究開発、2015 年原子力学会北関東支部「若手研究者発表会」、2015 年 4 月 17 日、東海会館(東海村)

吉田雅史、花田 磨砂也、小島有志、柏木美恵子、梅田尚孝、NB 加熱開発グループ、改良型磁気フィルターを用いた大面積一様負イオン生成の開発、第 31 回プラズマ核融合学会年会、2014 年 11 月 18 日~21 日、朱鷺メッセ(新潟市)

吉田雅史、花田 磨砂也、小島有志、柏木美恵子、Larry R Grisham、NB 加熱開発グループ、High current production of the uniform beams by modifying the magnetic filter in JT-60 negative ion source、第 4 回負イオン国際シンポジウ

ム、2014年10月6日~10日、ガルヒン(ドイツ)

吉田雅史、花田 磨砂也、小島有志、柏木美恵子、Larry R Grisham、NB加熱開発グループ22A production of uniform negative ion beams in the JT-60 negative ion source、第28回核融合技術シンポジウム、2014年9月29日~10月3日、サンセバスチャン(スペイン)

〔その他〕

2015年原子力学会北関東支部「若手研究者発表会」にて優秀発表賞を受賞

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

吉田 雅史 (YOSHIDA Masafumi)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構  
核融合研究開発部門 那珂核融合研究所  
研究員  
研究者番号：80638825