速 報

JIPP T-IIU SUS リミターの表面分析*

雨宮 進**・金内 明宏**・三輪 仁**・加藤 敏郎**
野田 信明***・棚橋 秀伍***・東井 和夫***・G.M.McCracken****

(昭和59年12月13日 受理)

Surface Analysis of the JIPP T-II U Stainless Steel
Limiter by MeV Ion Beam Analysis

Susumu AMEMIYA**, Akihiro KANEUCHI**, Hitoshi MIWA**
Toshio KATOH**, Nobuaki NODA***, Shugo TANAHASHI***
and G. M. McCracken****

(**Department of Nuclear Engineering, Nagoya University, Nagoya)

(***Institute of Plasma Physics, Nagoya University, Nagoya)

(****Culham Laboratory, United Kingdom)

(Received December 13, 1984)

1. はじめに

核融合炉研究は、従来のプラズマ物理を中心とした研究から次第に炉材料の開発研究へと移行しつつあり、プラズマ壁相互作用 (PWI) の研究は重要な課題となっている。中でも不純物の生成とその輸送、及び水素同位体の壁面におけるリサイクリングに関する問題は特に重要となってきている^{1,2)}。

現在、稼動中の多くのトカマク型核融合実験装置においては、プラズマ位置の制御のためにリミターが使用されている。このリミターの表面は直接プラズマ放電に曝される為、表面の一部は大きな熱負荷を受け蒸発したり、高い粒子束によってスパッターされ損傷を受け不純物の発生原因ともなる³⁾。又、リミター以外の部分で発生した不純物イオンはリミター材中にエネヤギーを持って打込まれるであろうことが示唆されている⁴⁾。

この様にプラズマと最も強く相互作用を受けるリミター表面には PWI に関する多くの情報が蓄積されているものと思われる。

我々は、名古屋大学プラズマ研究所、プラズマ実験装置 JIPP T-IIU のリミターとして 1983 年 11 月 1 日から 1984 年 3 月 26 日までの約 5 カ月間使用されたステンレス鋼製リミターの表面を MeV 領域のイオンビームによる粒子励起 X 線分析法 (PIXE)、ラザフォード後方散乱分析法 (RBS) 及び核反応法 (NRA) 等の分析手法を用いて分析した。

2. 実 験

JIPP T-IIU は先の JIPP T-II ステラレータ/トカマク型プラズマ実験装置から改造されたトカマク型プラズマ実験装置であり、その大半径は 93 cm、小半径は 22.5 cm である⁵⁾。Fig. 1 にその概略図を示す。リミターは P7 及び P17 の二カ所に設置されているが今回分析を行なったのは P7 のリミターであり、SUS-304 ステンレス鋼製である。Fig. 2 にリミターの配置と分析箇所を示す。分析はポロイダル磁場に沿った方向及びトロイダル磁場に沿った方向について行ない不純物量及び重水素量を求めた。

リミターから夫々の分析箇所を $10 \times 10 \times 2 \text{ mm}^3$ の大きさに切出し、超音波洗浄後、温風乾燥し分析試料とした。PIXE, RBS, NRA による分析は名古屋大学 3.75 MV ヴェン・デ・グラフ加速器を用いて行なった。不純

* 昭和59年10月29日 第25回真空に関する連合講演会にて講演 (30 Aa-2)

** 名古屋大学工学部原子核工学科 (名古屋市千種区不老町)

*** 名古屋大学プラズマ研究所 (名古屋市千種区不老町)

**** Culham Laboratory U.K.

Fig. 1 Plan view of JIPP T-II U.

Fig. 2 Sectional view of vacuum vessel and the positions examined in this study.

Fig. 3 Schematic diagram of the experimental set-up for PIXE, RBS and NRA.

物の分析は、2 MeV の α 粒子による PIXE-RBS 同時分析法、重水素の分析には D (^3He , α) H 反応による NRA 分析法を用いた。 ^3He の加速エネルギーは 700 KeV である。Fig. 3 に分析用散乱槽の概略図を示す。散乱槽には、PIXE 用 Si (Li) X 線検出器、RBS 用の環状 Si 表面障壁型検出器及び NRA 用の Si 表面障壁型検出器が配置されており PIXE-RBS-NRA 同時分析が可能である。PIXE 及び RBS は、金属不純物に対していずれも高い検出感度を有しており、夫々、 10^{14} atoms/cm 2 、 10^{13} atoms/cm 2 程度の分析が出来る。NRA による重水素の検出感度は $\sim 10^{14}$ /cm 2 である。

3. 結果と考察

SUS リミター表面を 2 MeV の α 粒子による PIXE-RBS 同時分析を行なった際得られた PIXE 及び RBS の

スペクトルの一例を Fig. 4 a), b) に示す。PIXE 分析の結果からは SUS リミターの構成元素である Cr, Fe, Ni と不純物としての Mo, Ti, Si, Ca が検出された。Mo については、JIPP T-II U ではベローズの保護用と Mo 製のリミターを使用している為に、これがプラズマ衝撃を受け不純物として放出されたものと思われる。又、Ti については、放電管内の残留ガスの低減化のために行なっている Ti フラッシュによるものと思われる。Cr, Fe, Ni の濃度比は分析各点において統計誤差の範囲を越えた変化があった。これは、Si, Ca の濃度分布、変化の様子をも考慮すると SUS リミター表面には起源を異にする SUS 成分元素が堆積されていることが推測される。Fig. 4 b) の RBS スペクトルからは、Mo の表面濃度を求めることが出来、その最大値は 10%、約 300 Å の深さにまで分布していた。RBS 分析では Ti は SUS 成分からの

連続スペクトル中に埋没してしまい、測定不可能であった。

3.1 Ti, Mo 及び重水素の分布 (ポロイダル方向)

SUS リミター表面に堆積、吸蔵された Ti, Mo 及び D の分布を夫々イオンドリフトサイド (イオンはトロイダル磁場方向にドリフトして来る) 及びエレクトロンドリ

フトサイド (イオンドリフトサイドの逆側) について測定を行なった結果, Mo は $10^{16} \sim 10^{17}$ atoms/cm², Ti は $10^{15} \sim 10^{16}$ atoms/cm², 重水素については $10^{15} \sim 10^{17}$ atoms/cm² の範囲で堆積, 吸蔵されていた。Ti の分布は, Ti ポールの配置に大きく依存し, エレクトロン側に片寄った分布となっていた。重水素のポロイダル方向分布はイオンサイドではプラズマと最も強く接する内側及び外側で多くなっていた。又, エレクトロンサイドでは外側のリミターに最も多く吸蔵されていた。Fig. 5 にイオンサイドにおける Ti, Mo 及び D の分布を示す。

3.2 トロイダル方向分布

内側リミターについて Ti, Mo 及び D のトロイダル方向の分布を測定した結果, いずれもその濃度はリミター

Fig. 4 Typical spectra from bombardment of SUS limiter with 2 MeV α particles, a) detected in a high-resolution Si(Li) detector; (PIXE), b) detected in Si surface barrier detector; (RBS).

Fig. 5 Impurities (Ti and Mo) and deuterium distributions along the limiter surface (Poloidal direction of Ion side).

Fig. 6 Impurities (Ti and Mo) and deuterium distributions along the limiter surface (Toroidal direction).

のイオン及び電子両端面で最大値を示した。**Fig. 6** にトロイダル方向の分布を示す。Mo 及びDが最小となる位置は、中心近くの両側二カ所であった。これは、リミター表面の粒子束及び温度分布に依存しているものと思われる。

4. ま と め

JIPP T-II U SUS リミターの表面分析を MeV 領域のイオンビームを用いて行なった結果、リミター表面に堆積、吸蔵された Ti, Mo 及びDのポロイダル方向及びトロイダル方向の分布が求められた。

それぞれの表面濃度は、予想された値よりも2～3桁低い値であり、その最大値はいずれも 10^{17} atoms/cm²程度であった。

謝 辞

分析に使用したリミターの提供並びに有意義な議論をして頂いた名古屋大学プラズマ研究所藤田順治教授をはじめ JIPP T-II U 研究グループの各位に感謝致します。分析に当って、協力頂いた名古屋大学工学部 KN-ヴァン・デ・グラフ実験室の各位に感謝致します。

〔文 献〕

- 1) G. M. McCracken and D. H. J. Goodall: Nuclear Fusion **184** (1978) 537.
- 2) A. Miyahara: J. Nucl. Mater. **111 & 112** (1982) 461-478.
- 3) N. Noda, et al.: IPPJ-682 and to be published in J. Nucl. Mater.
- 4) M. Mohri, et al.: J. Nucl. Mater. **111 & 112** (1982) 147-152.