

QUEST長時間放電時における発光強度の上下非対称性観測 Up/Down asymmetry of visible light intensity in observing in long duration discharge on QUEST

大和田裕晃¹, 出射浩², 花田和明², 吉田直亮², QUEST group²
Hiroaki Ohwada¹, H. Idei², K. Hanada², N. Yoshida², QUEST group

¹九州大学総合理工学府先端エネルギー理工学, ²九州大学応用力学研究所,

¹IGSES, Kyushu University. ²RIAM, Kyushu University

1. 研究背景・目的

QUESTでは容器内に設置された高温壁の温度管理によって、プラズマ・壁相互作用、粒子リサイクリングを制御し、超長時間連続放電の実現を目指している。現在、1時間55分の連続した水素プラズマ放電に成功している。この放電では、時間の経過とともにプラズマ発光強度に上下非対称性が生じることがカメラ観測によって観測された。

本研究では上下発光強度非対称性を定量的に観察するため、分光計受光部の視線を放電中に上下に稼働させて発光強度の上下分布を計測し、波長ごとの上下発光強度非対称性を明らかにし、各波長の発光強度から容器内の中性粒子の分布がどのように時間変化するかを解明することを目指す。

2. 実験装置と計測

QUESTは体積 $\sim 13.5\text{m}^3$ の球状トカマク装置である。容器内の上下コニカル部分(図1矢印部)には、温度を 500°C まで昇温可能な高温壁(Hot wall)が設置されている。容器自体はステンレス(SUS316L)製で、内側表面はタングステンでコーティングされている部分のAPS-W(高温壁・CS)とタングステンブロック、ステンレスで構成されている。プラズマ対向壁の面積は約 20m^2 であり、64%がAPS-W、36%がSUSである。しかし中性粒子は壁の裏側にも回り込めるため、対向壁以外の部分も含めると総面積は対向壁の数倍に達すると考えられる。

分光計測には $194.9\sim 957.9\text{nm}$ の波長を 0.8nm ごとに計測できるPlasma Process Monitor(PPM)を使用する。その受光部である光ファイバーの視線を上下方向 33° づつ振ることでプラズマの発光分布を放電中に観測する。(図1参照)

3. 結果

PPMで得られたH γ 線(波長 $=464\text{nm}$)の時間変化を図2に示す。PPMが真空容器内上部を見ていた時間帯のデータを並べたものが図2中の間隔”大”破線(Up),真空容器内下部を見ていた時間帯のデータを並べたものが間隔”小”破線(Down)である。図2中の連続線(Up/Down)はそれらの比を示す。

図3は1時間55分放電時のH ϵ 線(410nm)の上下発光強度比の様子である。放電前期の比は ~ 1.5 だが、放電後期では ~ 2.5 まで上昇した。特に 4000s を超えたあたりから上部発光強度の上昇が大きい、下部発光強度はさほど上昇していない。このような傾向は他の波長にも見られた。

これは、発光源粒子が下部に比べて上部が比較的豊富に存在しているためと考えられ、時間経過とともに粒子数の差が増大したと考えられる。

次にプラズマ電流の方向を逆転させ 1000 秒間放電し計測した。正転時、H α 線(656nm)の上下発光強度比の 1000 秒間の平均は ~ 1.5 程であったのに対し、逆転させると ~ 2.0 まで上昇した。これは上部発光強度が顕著に上昇したのに対し、むしろ下部発光強度はむしろわずかに減少したためと考えられる。H α 線以外の波長も逆転させると発光強度比の上昇がみられ、特にCIII線(229nm)の発光強度比平均は、正転時 ~ 3 だったが逆転時は ~ 6 と 2 倍に上昇した。これも上部の発光強度が顕著に上昇したためである。

CIII線の顕著な上昇は、容器内壁表面に存在する堆積物が、正転時に比べて多くスパッタされたためと考えられる。容器内表面の様子をTEM(Transmission Electron Microscope)観察したところ、表面には微細な凹凸が認められた。さらに深さ方向の様子を観察すると、母材金属の上に堆積層が形成されていて、凸部の左右で堆積層の厚さに差があることが確認された(図4)。この堆積層厚さ不均一性は容器上部に顕著に起こっていた。XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)による詳細な分析では、堆積層は主にC, Fe, Wによって形成されている事が分かっている。電流方向逆転時、正転時ではイオンの流れにさらされていなかった凸部側面にイオン流が衝突し、より多くの堆積物がスパッタされると考えられる。特に上部は正転時よりも多くスパッタされたために発光強度比平均が上昇したと考えられる。

講演では、PPMの絶対値校正データを用いて長時間放電時における上下粒子数分布の時間変化を明らかにし、考えられる原因について議論する。

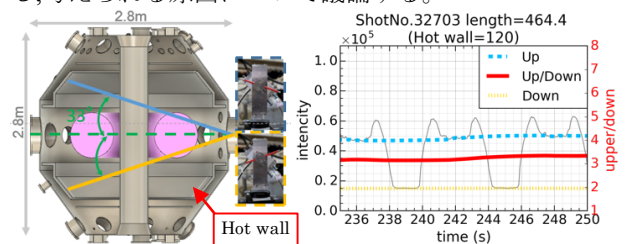


図1 QUEST断面図と PPM の視線

図2 PPM 計測結果

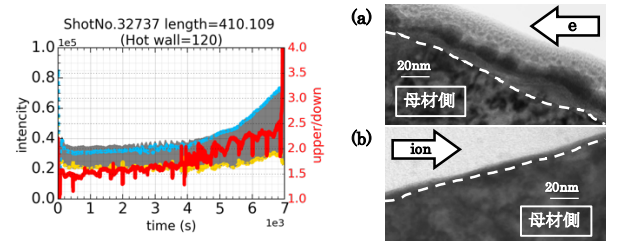


図3 長時間放電

図4 凸部右側(a)と左側(b)の深さ方向の様子。矢印は正転時のionと電子の入射方向。