

固体水素溶発観測のための高速可視分光器

Fast visible spectrometer for observing solid hydrogen ablation

坂本隆一¹, Bernard Pégourié², Elénore Geulin²
Ryuichi Sakamoto¹, Bernard Pégourié², Elénore Geulin²

核融合科学研究所¹, CEA/IRFM²
NIFS¹, CEA/IRFM²

高温プラズマ中で溶発する固体水素によって形成される溶発プラズモイドが、どのようにしてバックグラウンドの高温プラズマに均質化していくのかを調べるため、高温プラズマ中における固体水素溶発プラズモイドの空間分布とその時間発展を、「高空間分解能イメージング分光計測」と「高時間分解能スペクトル計測」を組み合わせた計測手法で調べ、溶発プラズモイドの均質化過程を定量的に捉えることを目指している。ここでは、新たに開発した時間分解能 $1 \mu\text{s}$ 、波長分解能 $\sim 1 \text{ nm}$ で、可視光スペクトルを計測できる高速可視分光器を紹介する。

固体水素ペレット入射による燃料供給制御は、磁場閉じ込め核融合炉における重要な燃焼制御アクチュエータである。高温かつ大規模な核融合プラズマへの燃料供給は、既存のプラズマ閉じ込め装置における粒子供給実験とは大きく異なり、現在のプラズマへの粒子供給実験の結果から直接外挿することはできない。固体水素の溶発と溶発後に形成される高密度プラズモイドの素過程の理解によって、核融合プラズマにおける燃料供給特性を理論的に予測する試みがなされているが、理論モデルの検証は十分に行われていない。

磁場閉じ込めプラズマ中における固体水素ペレットの溶発・均質化の素過程を知るためには、時間的にも空間的にも高分解能な分光計測が必要である。このような計測を実効的に可能とするために、高速カメラを用いた「高空間分解能イメージング分光計測」と高速分光器を用いた「高時間分解能スペクトル計測」を組み合わせた計測を始めているが、これまで、二つの計測を同時に満たす溶発プラズモイドのパラメータを一意に求めることができていない。その理由として、ペレット溶発発光は 100 kHz 程度で振動しており、時間分解能に制限 ($>16 \mu\text{s}$) がある分光器では、異なるパラメータを持つ溶発プラズモイドからの発光を積分して計測することとなり、露光時間が $1 \mu\text{s}$ の高速カメライメージと比較して溶発プラズモイドのパラメータ

を矛盾なく推定することができていない。そのため、分光器のセンサとして、CCD 素子に代えて高速 PIN フォトダイオードアレイを使用し、溶発発光の振動よりも十分早い時間分解能で計測できる高速分光器の開発を行った。

ここでは、観測対象としている溶発プラズモイドからの発光はとても高強度で、比較的大きなセンササイズとなる PIN フォトダイオードアレイ (35 ch, ピッチ 1 mm) において、 1 nm/mm の波長分散を確保しつつ、フォトダイオードのアンプ類が設置できるように長焦点 ($f = 12.5$) の分光器とした。さらに、水素の発光がスペクトルを支配していると仮定できることを利用して、水素のバルマー系列のスペクトル (H_α , H_β , H_γ) および 575 nm 付近の連続光のみを、各 35 ch の PIN フォトダイオードアレイで計測し、計測チャンネルを 96 ch に制限し、時間分解能 $1 \mu\text{s}$ 、波長分解能 $\sim 1 \text{ nm}$ で計測可能であることを示した。今後、分光器の較正等を行い、プラズマ閉じ込め装置における固体水素ペレット入射実験に供する。

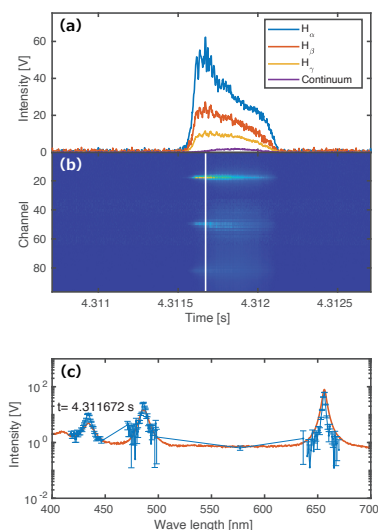


Fig. 1: (a) ペレット溶発時の水素の発光の時間変化, (b) 発光スペクトルの時間変化, (c) 最大発光強度時の典型的な発光スペクトル。