

## 高速トムソン散乱法による過渡的プラズマ現象の観測 Observation of transient plasma phenomena by the high time-resolved Thomson scattering method

安原亮<sup>1)</sup>, 舟場久芳<sup>1)</sup>, 上原日和<sup>1)</sup>, Daniel Den Hartog<sup>2)</sup>  
Ryo Yasuhara<sup>1)</sup>, Hisamichi Funaba<sup>1)</sup>, Hiyori Uehara<sup>1)</sup>, Daniel Den Hartog<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>核融合科学研究所, <sup>2)</sup>ウィスコンシン大学マディソン校  
<sup>1)</sup>National Institute for Fusion Science, <sup>2)</sup>University of Wisconsin-Madison

### はじめに

トムソン散乱 (TS) 計測システムは、核融合プラズマの電子温度 ( $T_e$ ) ・電子密度 ( $n_e$ ) の計測手法である。レーザー光をプローブとして用いることで、プラズマに接触することなく  $T_e$  と  $n_e$  を評価することができ、用いる物理モデルも単純であるために高い信頼性を得て、広くプラズマ研究に用いられている。大型ヘリカル装置 (LHD) では、30Hzから100Hzの繰り返し周波数で、高い空間分解能 (144空間点) を持った TS データが得られる [1]。この高い空間分解能の  $T_e \cdot n_e$  測定は、LHDでのプラズマ研究にとって強力なツールとなっている。

一般的に測定可能なパラメータの拡大は、研究をさらに深めるための有効な手段である。我々は、TS計測システムの時間分解能の向上を目指し研究に取り組んでいる。本稿では、LHDプラズマ実験の結果をもとに、最大20kHzまで  $T_e \cdot n_e$  測定可能な高時間分解能TSシステム (高速TSシステム) を紹介する。

### 高速トムソン散乱計測装置

本システムは、従来のLHDトムソン散乱計測装置に加えて、新たに開発した高繰り返しレーザーシステムと、ポリクロメーターからのトムソン散乱をデジタルデータに変換する、アナログ・デジタル変換器 (ADC) で構成されている。高繰り返しレーザーシステムは、フラッシュランプ励起のNd:YAGレーザー光源のバーストモード動作によって実現した [2, 3]。これはフラッシュランプ励起のNd:YAGレーザー光源を、レーザー結晶の熱緩和時間よりも早くバーストモード動作することによって、固体レーザーで発生する熱効果による繰り返し率の上限を回避したものである。結果として、レーザーエネルギー1J、パルス幅20nsで100パルス以上の20kHzレーザー出力が可能となった。出力され

たビームパターンは滑らかな2次元の強度分布であり、100パルスの動作中、レーザー媒質の熱効果による顕著な強度のピークや収縮は見られなかった。

このバーストレーザーは、ミラーにより、既存のLHD TSレーザーのビームラインと平行にLHDへ導光し、同時に運用可能とした。ADC (TechnoAP APV85G32L) は、本計測のために新開発のモジュールで、20kHzまでの高繰り返しTS信号を波形として記憶することが可能である。このADCシステムは、スイッチングキャパシタ型のADCチップであるDRS-4を中心に構成されている。現在、高速TSシステムの測定のために、約70の空間チャンネルが新しいADCに接続されている。

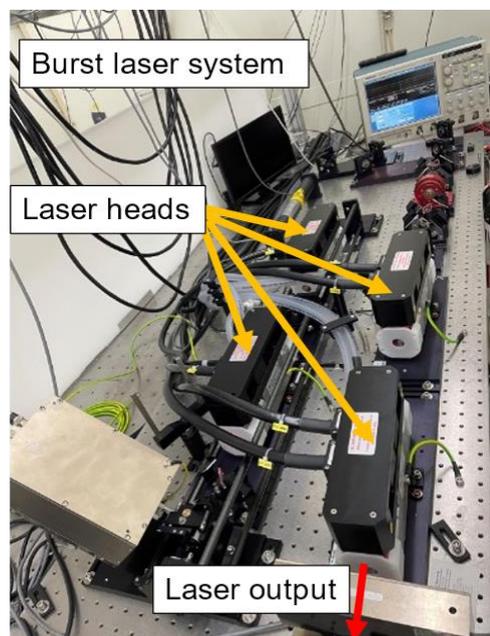


Fig.1 Pulse burst laser system for the fast Thomson scattering measurement in LHD.

## 計測結果：水素ペレット溶発現象

Figure 2は、水素ペレットがプラズマ中に入射され、溶発される際の電子温度プロファイルの時間変化を示している。コンタープロットの縦軸は小半径、横軸は時間である。カラーバーは電子温度である。高速トムソン散乱計測を用いることで、20kHzという高い時間分解能を得ることができた。各時間フレームの間隔は $50\mu\text{s}$ で、5msの間に計測された合計100フレームである。図中の矢印 $t1$ では、ペレットを入射すると半径外側から電子温度が低下していることが分かる。 $t2$ では内側の温度も低下して、最終的には対称的な温度プロファイルが形成される。このように、通常の数Hzの時間分解能では不可能な、水素ペレット蒸発時のプラズマの挙動を詳細に観察すること可能となった。

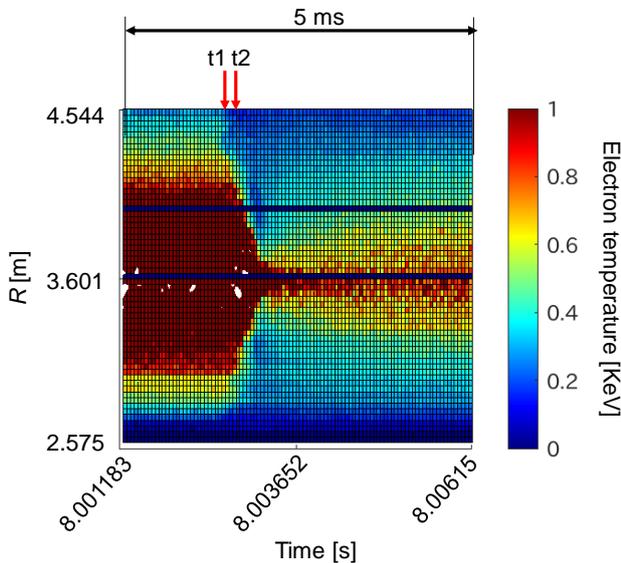


Fig.2 Contour plot of temporal dynamics less than 5 ms of  $T_e$  profile during hydrogen pellet evaporation, Plasma shot #169474,

## まとめ

LHDの高温ヘリカルプラズマ研究をさらに深化させるために、高速TS測定システムを開発した。本システムは、20kHzまでの $T_e \cdot ne$ プロファイルを測定することが可能である。水素ペレットを用いた実証実験では、従来では観測できなかった水素ペレットの蒸発のメカニズムを詳細に観測可能であることが示された。

本手法は、潜在的には空間ポイントは144ポイントまで増やすこと可能である。このように高い空間分解能を持ち、これまでにない高速計測可能なTSシステムを用いることで、プラズマ

研究の可能性が大きく広がることを期待している。

## 謝辞

本研究の一部は、JSPS科研費15KK0245, JSPS科研費26709072の支援を受けたものです。研究の遂行にあたって、LHD Experiment Group, LHDトムソン散乱計測グループに感謝します。

## 参考文献

- [1], K, Narihara, I, Yamada, H, Hayashi, and K, Yamauchi, Design and performance of the Thomson scattering diagnostic on LHD, Review of Scientific Instruments 72, 1122 (2001),
- [2], DJ, Den Hartog, et al, Pulse-burst operation of standard Nd: YAG lasers, In: Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2010, p, 012023,
- [3], DJ, Den Hartog, , et al, "A pulse-burst laser system for Thomson scattering on NSTX-U, " Journal of Instrumentation 12, 10 (2017): C10002,