

公益財団法人 立松財団 御中
様式 2021A1,A2,B

2025 年 3 月 21 日

所属:核融合科学研究所

氏名:太田 雅人



2024 年度 助成
研究終了報告書

※ゴシック文字で記入下さい。

研究テーマ	超高速計測で探索する相対論的プラズマダイナミクス
研究の結果	目的 核融合プラズマのミクロな揺動は、不安定性を介して、短時間でマクロに成長し、プラズマ閉じ込め性能に悪影響を及ぼすことが理論・数値計算から明らかになっている。ここで、より微小な構造は、より高速で変化するため、プラズマ揺動計測には、高時空間分解能を有するプラズマ診断技術が必要である。そこで、本研究では、既存の電気回路を用いた電気計測ではなく、光の性質利用した光計測を導入することで、フェムト秒の時間分解能を達成し、核融合発電を見据えた、相対論的高エネルギープラズマの超高速計測を行う。 方法 実験は京都大学化学研究所の高強度レーザー施設(Ti:Sapphire laser、波長 800 nm、パルス幅 30 fs、エネルギー300 mJ、集光レーザー強度$\sim 10^{19}$ W/cm²)において実施した。実験セットアップを図 1 に示す。一つの光源(Ti: Sapphire laser)を二分して、ポンプ光とプローブ光に分けた、いわゆる、ポンプ・プローブ実験である。ポンプ光は、軸外し放物面ミラーを用いて、直径 8μm(FWHM)でターゲット(銅ワイヤー、直径 30 μm)に集光し、レーザー生成の高エネルギー相対論的プラズマを形成した。超高速計測手法として、今回、Sequentially Timed All-optical Mapping Photography (STAMP)計測(*1)[1]を用いたシングルショットのバースト計測を実施した。ここで、プローブ光は元々基本波(800 nm)であるが、BBO 結晶で倍波(400 nm)に変換し、回折格子対(TMD: Temporal Mapping Device)でチャープさせて、ターゲットに照射し、その後、Diffraction Optical Elementと傾斜をつけたバンドパスフィルター(Spatial Mapping Device: SMD)を組み合わせることで、イメージを空間的に波長(時間)分解した。 (*1) STAMP 計測：シングルパルスの計測光に波長分散(チャープ)をかけ、パルスの前方と後方で波長が分解された状態(例えば前方は短波長で後方は長波長)で、時事刻々と計測対象に照射する。この時、波長に時間情報が刻まれる。計測対象を通過した光をいくつか空間的に分離した状態でバンドパスフィルターを通過させることで、それぞれに対して分光イメージングを行い、シングルショットで二次元的な空間分布の時間発展を計測する。この時、分離したイメージング像の数がフレーム数に対応し、波長分散をかけた事で生じる波長に対する時間遅延がフレームレートに対応する。 [1] K. Nakagawa, et al., Nature Photonics 8, 695-700 (2014). 結果 STAMP で計測された高強度レーザーパルスと銅ワイヤーの相互作用の様子を図 2 に示す。上段(a-d)は低レーザー強度(10^{17} W/cm²: 非相対論的強度)の場合で、下段(e-j)は高レーザー強度(10^{19} W/cm²: 相対論的強度)の場合である。また、それぞれは単発で取得され、T = -8ps$\sim$127ps まで約 30ps 間隔で 5 フレームの 2 次元空間分布が撮像されている。

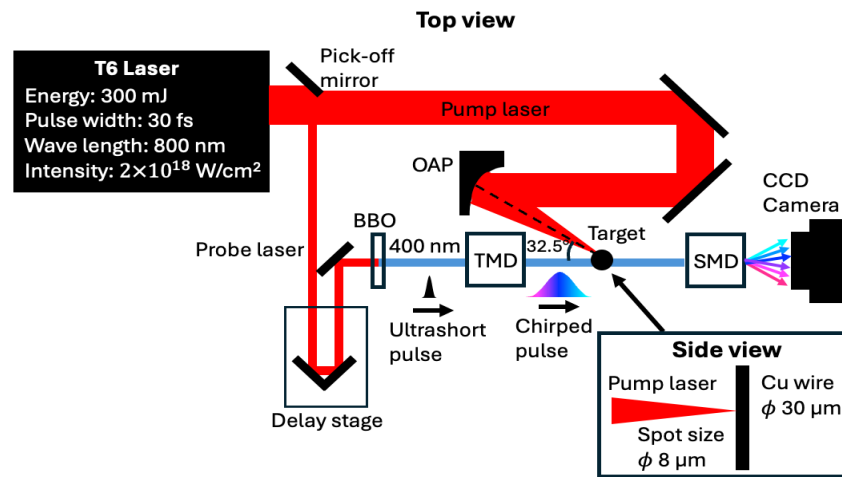


図 1. STAMP の実験セットアップ模式図。

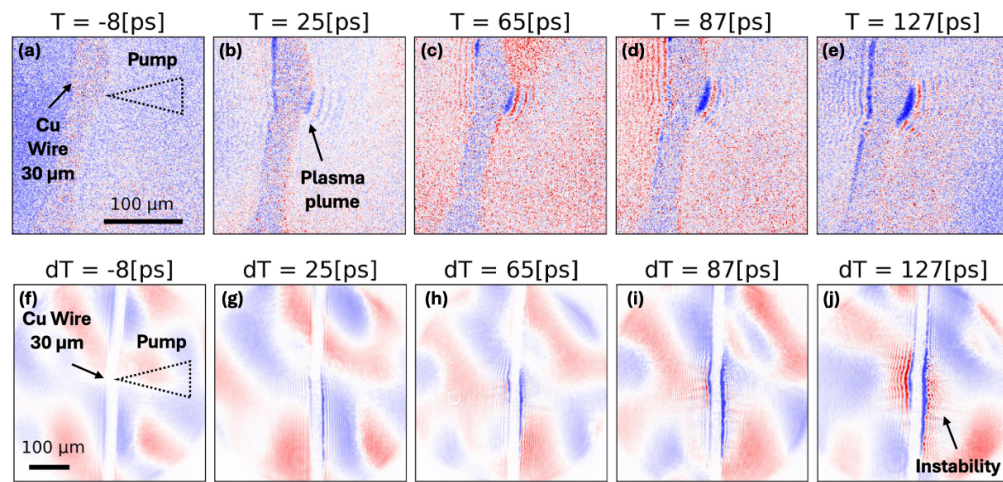


図 2. STAMP で計測されたレーザー生成プラズマの時間発展分布。(a) 非相対論的な低レーザー強度。(b) 相対論的な高レーザー強度。

る。低レーザー強度の場合は、集光点からプラズマのブルームが時間と共に自由空間中へと広がって行く様子が観察された。一方で、高レーザー強度の場合は、 $dT = -8\text{ps} \sim 25\text{ps}$ の間にワイヤー表面上の広域に渡って、瞬時にプラズマ化が形成されることがわかった。さらに、時刻 $dT = 127\text{ps}$ では、表面のプラズマにモデレーションが形成され、プラズマの不安定性を示唆する結果が得られた。このプラズマ不安定性の候補としては、レーザーとワイヤーの相互作用で電子が自由空間へ弾き飛ばされたことによる電化の非中性状態を打ち消すために、ワイヤー表面に沿って大電流が流れ、ソーセージ不安定性等が生じる事が考えられる。図 2 の上段と下段を比較することで、相対論的レーザー強度に特有な現象を観測することに成功した。本研究成果は、理論数値計算によって、その物理的な機構を解明した後に論文化を行う。

研究発表 (実績)	2024 年度は特になし。2025 年度に日本物理学会秋季大会での発表予定。
--------------	--

提出期限：研究期間終了後、すみやかに助成金の「必要経費使途明細書」「領収書」と合わせて提出下さい。
年度をまたぐ場合は毎年3月末日までに、途中経過をご記入の上、報告願います。