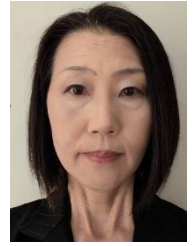


極高強度極限における 光と相対論的プラズマの相互作用の実験的解明

Experimental exploration of light-relativistic plasma interactions at extreme intensities



関西光量子科学研究所 西内 満美子

PW 級の超高強度極短パルスレーザーを時間的・空間的に集束することで生じる極高強度電磁場中に物質を曝すと、物質は瞬時にプラズマ化し、プラズマ中の電子が光速に近い速度で運動する相対論的プラズマが形成される。このような特異なプラズマでは、光との相互作用によって電子の運動状態がダイナミカルに変化し、それに伴い光の伝播特性や応答も強い非線形性を示す。

本研究では、相対論的プラズマ中において理論的には予測されているものの、これまで実験的実証には至っていない現象の一つである「非等方的な電子温度分布に起因する複屈折現象」に着目し、その観測に挑戦している。この現象の理解が進み、プラズマ中の電子密度や複屈折率を制御する技術が確立されれば、超高強度レーザーの時間波形と偏光状態を同時に制御する新たな手法の実現が期待される。特に、「円偏光」かつ「デルタ関数的な急峻な立ち上がり」を有する時間波形を持つレーザーパルスを生成できれば、従来の加速技術では実現が困難な超重元素や短寿命核を高電荷状態・高エネルギーで加速・取り出すことが可能となる。その結果、宇宙物理学や核物理学をはじめとする幅広い分野に波及効果をもたらす小型重イオン加速器の実現につながると期待される[1]。

この効果を実験的に検証するため、QST 関西研究所の PW 級レーザーシステム J-KAREN を用いて、直線偏光レーザーパルスをプラスチックターゲットへ強集光し、相対論的プラズマを生成した。生成されたプラズマを透過した光を偏光計測系へ導き、偏光状態の変化を測定した。また、ターゲット厚を変化させることで、透過光の偏光状態の変化を系統的に調査した。

その結果、透過光エネルギーが入射レーザーエネルギーの 1%以下となる条件において、透過光の偏光状態に最も顕著な変化が現れ、楕円偏光成分が観測されることが明らかとなった。この領域では、プラズマが相対論的不透明状態にあることが示唆される[2]。そのため、観測された偏光成分は、レーザーによって加速された電子がターゲット裏面から真空中へ飛び出す際に発生するコヒーレント遷移放射 (Coherent Transition Radiation: CTR) [3]に由来している可能性があると考えられる。

一方で、プラズマ粒子シミュレーションの結果からは、プラズマが相対論的透明状態にある場合、透過光に含まれる入射レーザーとは異なる偏光成分を持つ光は、プラズマ中の電子がレーザー場によって加速・減速される過程で放射された電磁波に起因することが示された。

今後は、レーザーから電子へのエネルギー変換効率を向上させることで、この異なる偏光成分を持つ放射光の発生量を増加させ、その発生機構をより詳細に解明する。また、偏光変換効率と相対論的プラズマの状態との関係を明らかにすることで、相対論的プラズマを利用した新しい偏光制御技術の確立を目指す。

【キーワード】 超高強度レーザー、相対論的プラズマ、小型重イオン加速器

【参考文献】

- [1] M.Nishiuchi, H. Sakaki, T. Esirkepov et al., PoP, 22, 033107 (2015).
- [2] N.Dover, T.Ziegler, ... M. Nishiuchi et al., LSA, 12, 71 (2023).
- [3] C.Schroeder, E. Esarey, et al., Physical Review E **69**, 016501 (2004)