

佐野孝好¹⁾、藤岡慎介¹⁾、森芳孝²⁾、三間罔興¹⁾、千徳靖彦¹⁾、兒玉了祐¹⁾
 T. Sano¹⁾、S. Fujioka¹⁾、Y. Mori²⁾、K. Mima¹⁾、Y. Sentoku¹⁾、R. Kodama¹⁾

¹⁾大阪大学レーザー科学研究所、²⁾光産業創成大学院大学

¹⁾ILE, Osaka University、²⁾GPI

レーザープラズマを用いてキロテスラを超える強磁場を発生・制御することができるようになってきた。このような強磁場を応用した実験を検討するためには、強磁場中におけるレーザー・プラズマ相互作用という基礎過程を理解する必要がある。もちろん磁化プラズマ中の電磁波の特性は数多く研究されてきているが、相対論的強度のレーザーとの相互作用など、まだまだ面白い問題が残されている状況である。我々は対向ホイッスラー波のつくる定在波を活用した、臨界密度を超える高密度プラズマ中での効率的なイオン加熱過程を発見した[1-3]。この機構の最も重要な特徴は、電磁波のエネルギーが電子を介することなく直接イオンに輸送されることである。この利点を生かして、レーザー駆動慣性核融合の新しいプラズマ加熱機構としての有用性を検討している。簡単な数値シミュレーションの結果から、爆縮された高密度DT燃料プラズマにホイッスラー波を照射することで数10 keVを超えるようなイオン温度の実現が確認されている。さらに、水素とボロンを含むターゲットを熱的なpB核融合反応が可能で数100 keVに加熱することも原理的に可能であることも示した。今後は、将来的に実験可能なより現実的なシステムデザインの構築や、実験を模擬するような多次元幾何学構造の元での加熱実現性などを調べるのが理論シミュレーションの課題になるであろう。

また、もう一つ重要な研究アプローチとして、レーザー実験による原理実証が考えられる。将来的なレーザーイオン加熱実験では、大阪大学レーザー科学研究所の激光XII号レーザーシステムを利用することを考えている。キャパシターコイルとよばれる特殊ターゲットにレーザーを照射して、電流駆動の強磁場を発生させる。ただし、現状で10キロテスラ以上を実現するのは不可能なため、実績のある数キロテスラの磁場を想定している。波長10ミクロンの炭酸ガスレーザーを持ち

込むことで、この磁場強度でもホイッスラー波を作り出すことが可能と考えている。おそらく、最初の実験目標としては、ホイッスラー波の伝播過程を確認することになる。磁場強度が1キロテスラの場合には、ホイッスラー波と固体中の電子との相互作用の結果、サイクロトロン共鳴加熱が起こる。その場合、電子がレーザーエネルギーのほとんどを吸収し、電子のみが高温に加熱される。その結果として、固体表面に強い電場が発生することでイオンが加速される。この時の電子温度や加速イオンのエネルギーを計測することで、ホイッスラー波とプラズマとの相互作用の検証になる。

我々のイオン加熱機構に必要な実効的な磁場の強度は、ホイッスラー波の波長に依存する。高強度レーザーを想定した波長1ミクロンで100キロテスラに相当する磁場は、波長1センチメートルでは1テスラとなる。ITERなどのトカマクプラズマで使われる5テスラの磁場を利用して、磁力線に沿った方向にホイッスラー波を励起できれば、磁場閉じ込め核融合プラズマのイオンを加熱できるかもしれない。また、惑星磁気圏で観測される波長100 kmを超えるホイッスラー波と、ナノテスラの惑星間磁場でも相似的な現象が十分に起こりうる。これらの例だけに留まらず、パルサーなどのコンパクト天体周辺における輻射とプラズマの相互作用への応用なども可能であると考えており、「強磁場中での波動粒子相互作用」をキーワードにした学際的な展開を積極的に進めていきたい。

[1] T. Sano et al., Phys. Rev. E, 100, 053205 (2019).

[2] T. Sano et al., Phys. Rev. E, 101, 013206 (2020).

[3] M. Hata et al., Phys. Rev. E, 104, 035205 (2021).