

レーザープラズマにおける界面流体不安定性 Interfacial hydrodynamic instabilities in laser plasmas

佐野 孝好
Takayoshi Sano

大阪大学レーザー科学研究所
Institute of Laser Engineering, Osaka University

1. はじめに

Richtmyer-Meshkov不安定(RMI)とは、圧力一定で密度の異なる面(接触不連続面)に衝撃波が入射した場合に起こる流体力学的不安定性である。衝撃波通過後に界面の揺らぎが増幅する現象で、界面に瞬間的に発生する渦度が原因という特徴を持っている。慣性核融合では、レーザー駆動衝撃波でシェル状の多層ターゲットを爆縮させ、高密度にすることが必要である。しかし、界面の揺らぎがRMIにより増幅されると、十分な圧縮ができずに高密度状態が達成できない。そのため、慣性核融合の実現には、この不安定機構を解明し抑制することが鍵となる。一方、磁場中でこの不安定性が成長すると、プラズマの乱流運動によって磁力線が引き伸ばされ、磁場が増幅される[1]。この特性により、RMIは超新星残骸衝撃波近傍で観測される強磁場の発生機構として有力視されている。したがって、RMIの特性を解明することは宇宙物理学においても関心が高まっている。

RMIに関する研究は理論・実験両方のアプローチより長年行われてきている。しかし、高出力レーザーを用いた実験や、磁場中での実験例は多くはない。特に先述の磁場増幅過程は、未だ実験的に観測されていない。そのため、磁場中でのRMIの特性を実験的に検証していくことは、非常に重要な研究課題であると言える。

2. レーザープラズマ実験

我々は、磁化プラズマ中においてレーザー駆動衝撃波を発生させ、RMIによる擾乱の成長過程を観測する実験を進めている。実験は大阪大学の激光XII号レーザーを用いている。実験のセットアップとしては、永久磁石により生成された静磁場内に、表面擾乱付きのポリスチレン薄膜をターゲットとして置いた。5トールの窒素ガスをチャンバーに封入し、窒素ガスとポリスチレンとの間で接触不連続面を生成させている。そこに激光レーザーを一方向から照射し、衝撃波を駆動しRMIを起こす。プローブレーザーをターゲット側面から入射し、激光レーザー照射後のターゲットの時間発展の様子をシャドウグラフとして撮像した。このような方法を用い、様々な実験条件下での擾乱の成長速度を計測に成功している。本講演では、それらの結果から示されるRMIの各種物理量依存性などについて報告する。

3. レーザー宇宙物理実験の今後の展開

大型レーザーを用いることで天体現象に見られる極限プラズマ状態を実験室で創り出すことができる。我々のRMI実験だけでなく、例えば、木星内部に匹敵する超高圧下での金属水素状態の検証や、無衝突衝撃波の形成を目的とした研究などが精力的に進められている。

理論シミュレーションの予測では、RMIにおける磁場の影響はアルヴェン数という1パラメータできれいに説明できる[2,3]。ここで、アルヴェン数 RA は「アルヴェン速度」に対する「RMI成長速度」の比であり、基本的に磁場強度に逆比例する関数である。理論では $RA=1$ となる磁場強度を境に、RMIの成長と抑制が区別される。磁場が比較的弱くRMIが成長する場合には、界面成長に伴う磁力線の引き伸ばしにより、磁場強度が局所的に100倍以上も増幅される。我々のレーザー実験パラメータでは、この臨界強度は10テスラ程度と見積もられており、この数値を実験的に検証することは十分に可能であると考えている。このレーザープラズマによる実験室宇宙物理実験の現状についても簡単に紹介する。

参考文献

- (1) Sano et al., *Astrophysical Journal*. 758, 126 (2012).
- (2) Sano et al., *Physical Review Letters*. 111, 205001 (2013).
- (3) Matsuoka et al., *Journal of Nonlinear Science*. 27, 531 (2017).