

S1-5

核融合燃焼プラズマ構造形成過程 Structure formation process of nuclear burning plasma

有川 安信、

Yasunobu Arikawa¹,

(1大阪大学レーザー科学研究所)

(1. Institute of Laser Engineering, Osaka University)

2023年7月に米国レーザー核融合研究において、レーザーによる入力エネルギーを2倍上回る核融合燃焼が実現した。今後は核融合発電に向けて、ハイゲイン核融合の実現を目指して、核燃焼燃焼をより爆発的にするための物理的知見が重要となる。

レーザー核融合における核融合燃焼プラズマに関して世界中の関心が高まっている。レーザー核融合の点火燃焼プラズマとは、中心部に核融合点火条件（高温：10keV以上、燃料密度100g/cm³、半径50μm）のDTプラズマがあり、そこで発生した核融合燃焼波が、周辺部の高密度DTプラズマ（燃料密度1000g/cm³、高温部の外側に厚さ50μm）に燃え広がっていく。核融合燃焼によりプラズマ温度は上昇し、プラズマ圧力があがり体積が膨張し、それに伴い温度が下がり核融合燃焼が終了する。このプラズマ膨張より先に爆発的な核融合燃焼が起これば核融合燃焼率が高くなり、ゲインが高くなる。

実験室サイズのレーザー核融合DTプラズマ燃焼では、核融合燃焼波のスケール長が燃料全体と同程度であることから、細かな乱流は消失し燃焼波起こらず安定で、燃焼率が低いというのが定説であった[1]。一方で、核融合燃焼波にもランダウ・ダリウス流体的不安定性があることが指摘され、実験室レーザー核融合燃焼波も爆発的に進む可能性があるが予測されている[2]。核融合燃焼プラズマは流体力学的でありながら、核融合反応生成エネルギーがプラズマ全体エネルギーを支配する特異なプラズマである。シミュレーション計算でも核融合燃焼波の全貌を理解するには至っていない。また核融合燃焼プラズマを実験的に高速度撮影して観測することはできていない。我々の研究では核融合燃焼プラズマを計測できる超高速応答・超高解像度中性子計測器を開発している[3]。近年中にも日米共同研究によって、米国の実験において核融合燃焼プラズマの計測実験が行われようとしている。

ところで、宇宙における超新星爆発も核融合

燃焼プラズマである。Ia型超新星爆発は太陽の数倍程度の超申請爆発の中では比較的小規模で、レーザー核融合と近いプラズマ温度・密度条件で起こる核融合燃焼プラズマの実例である。図中左下の宇宙写真のように超新星爆発では明らかな乱流構造が見られ、爆発的に核融合が進んだ証拠が観測されている。理論研究が進んでおり、いくつかの核融合燃焼の着火モデル提唱されている[4]。図左下の中シミュレーション画像はその一例を示している。核融合燃焼が着火するには乱流構造形成が重要な役割を果たしていると予測されている。しかしながら宇宙で起こる超新星爆発を実験室で再現することはできないため、予測を検証することが困難であることが最大のボトルネックとなっている。

一方で、水素の化学燃焼は、水素燃料エンジンが実用化されているように、地上実験においては最も理解が進んでいる。図の右下は水素と酸素の酸化反応をスローモーション高解像度で撮像したものである。独特の乱流構造形成が見られる。爆発の推進はこの乱流構造が必須であることが知られている。化学実験では観測技術が発展しており、プラズマの密度・温度・構造を観測することに成功している。

我々はレーザー核融合の燃焼プラズマを理解するにあたり、これら2つの燃焼プラズマにおける構造形成過程に関して類似性があると睨んでいる。レーザー核融合における核融合燃焼波の実測がこれから成し遂げられようとしている。レーザー核融合燃焼プラズマ・宇宙超新星爆発核融合燃焼プラズマ、化学燃焼プラズマの3つからなるトリケトラ科学を形成し、英知を結集することで、レーザー核融合のハイゲインの実現、超新星爆発の物理解明など多くの研究成果を創出すると期待される。

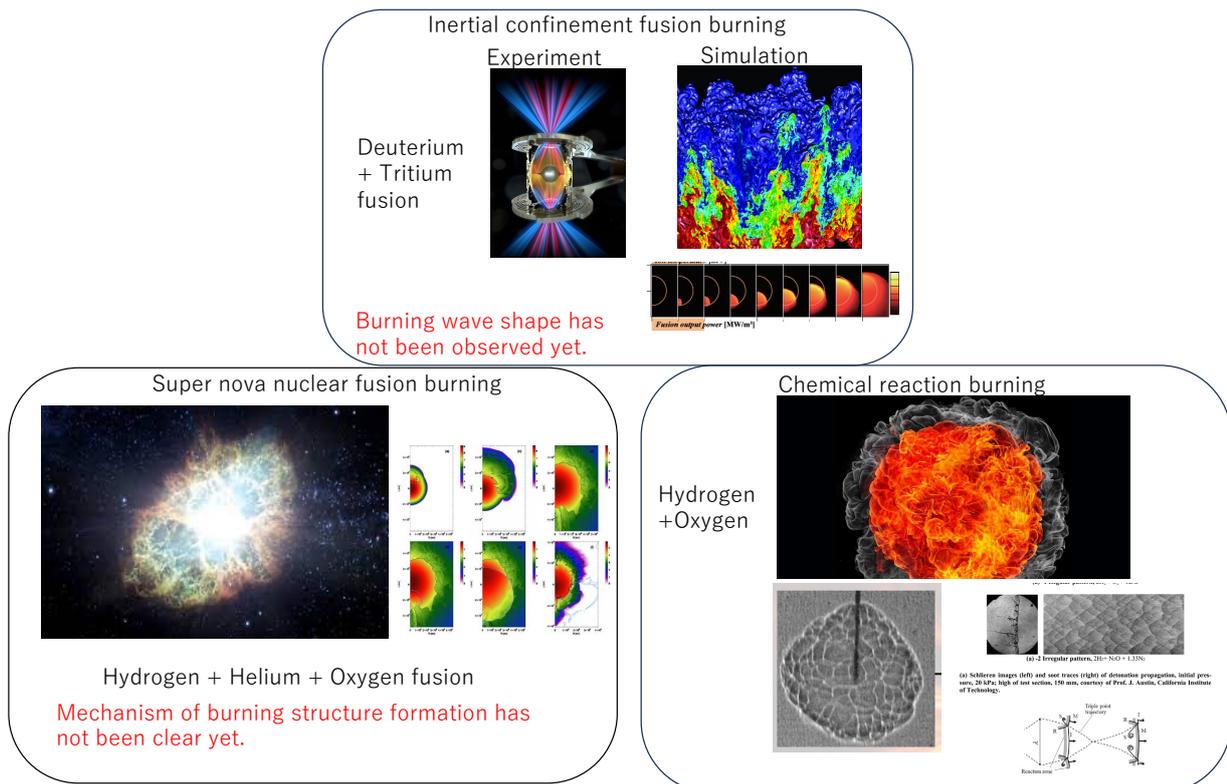


図1 レーザー核融合における核融合燃焼波（上）と Ia 型超新星爆発における核融合燃焼波（左下）と水素化学反応爆発における燃焼プラズマ（右下）

参考文献

[1] T Johzaki, et al., plasma and fusion reserch, 2, p. 041, (2007)
 [2] G. Thibault, et al., APS Division of Plasma Physics Meeting 2020, abstract id.NO06.011
 [3] Y. Arikawa, et al., Review of Scientific Instruments. **91**, 053306, (2020)
 [4] K. Maeda, *Nature*, , 466,7302,,82, (2010)