

学位申請者：加藤 弘樹

日時：2018年2月6日（木） 14:40 - 16:10

場所：理学研究科 H 棟 7 階セミナー室（H701 号室）

論文題目：Formation of spatial perturbation on diamond foils due to nonuniform laser irradiation on direct-drive inertial confinement fusion（慣性核融合における非一様レーザー照射によるダイヤモンド表面擾乱の形成）

主査：藤岡 慎介

副査：田島 節子, 近藤 忠, 中井 光男, 千徳 靖彦, 重森 啓介

論文要旨：

直接照射方式による慣性核融合では、核融合燃料が十分に圧縮及び加熱されるように多本数のレーザービーム照射で燃料カプセルが爆縮される。この方式で、高温（約 1 億度）・高密度（固体密度の約 1000 倍）状態のプラズマが実現すると、10~100 ピコ秒という短時間内にレーザーの投入エネルギーを超える核融合反応が可能となる。

現状では、非一様なレーザー照射によって、カプセル表面上に形成されるプラズマの圧力が不均一になる。その結果、表面に振幅 1 μm にも満たない微小な凸凹（インプリント擾乱）が形成する。このインプリント擾乱が燃料圧縮段階で生じるレイリー・テラー不安定性により増幅され、燃料の圧縮・加熱を妨げている。したがって、非一様なレーザー照射下でもインプリント擾乱を抑えることが安定な燃料圧縮に対して重要課題となっている。これまで、レーザー照射時に物質表面上に形成されるプラズマの拡散的な熱伝導効果（熱平滑化効果）によって圧力不均一が緩和されることが実証されてきた。一方で、この熱平滑化効果は照射極初期時に対してはプラズマ形成が不十分であり有効でないという欠点があった。

本研究では、インプリント低減機構解明に向けて物質の圧縮率（硬さ）や密度に着眼し、非一様照射による極めて硬いダイヤモンドの表面擾乱形成について包括的に数値シミュレーション及び基礎実験を実施した。実験では、グリッドマスクで意図的に強度非一様性（強度擾乱/平均強度）を付加させたレーザー光によって生じる擾乱の時間発展を X 線シャドウグラフ法により観測した。さらに、メガバールオーダーの高圧下における物質の圧縮率を記述するプラズマ流体シミュレーションとの比較を行った。

実験及びシミュレーションの結果、圧縮率と密度の効果によりダイヤモンドのインプリント擾乱は従来のカプセル材であるポリスチレンの約 30 %にまで低減されていることが示唆された。本研究で着眼した硬さや密度の効果により照射極初期での熱平滑化効果の欠点を補うことが可能となり、更に、硬い物質と従来の熱平滑化効果との組み合わせで、さらなるインプリント低減が期待されている。また、照射非一様性が増大すると、固体強度がダイヤモンド表面擾乱の形成に影響することも示唆された。

本研究では更に、原料ガスをフィラメント加熱によって熱分解し結晶成長させる方法で慣性核融合用ダイヤモンドカプセル（直径 0.5-2 mm, 膜厚 10 μm 以下）を作製した。その結果、大量作製が見込める手法で、真球度 99.7 %, そして数十 nm 以下の表面平滑性をもつ高精度な球殻状カプセルの作製が可能となった。