

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 高速点火レーザー核融合におけるコーン付ターゲットの
爆縮特性に関するシミュレーション研究

氏 名 柳川 琢省

論 文 内 容 の 要 旨

レーザー核融合では、燃料を封入した球状のシェルターゲットに四方八方からレーザーを照射し、燃料を爆縮することで核融合の自己点火に必要な高温・高密度を達成する。しかし、爆縮で高温・高密度を同時に達成するには種々の流体力学的不安定性が誘起されるため、非常に均一な爆縮が要求される。そこで、爆縮で燃料の高密度化のみを行い、圧縮した燃料を外部から加熱することで点火を行う高速点火方式が考案された。現在大阪大学レーザーエネルギー学研究センターで実施されている高速点火実証実験では、ターゲットに先端の閉じた中空の金コーンを挿入した状態でレーザー爆縮が行われる。そして、最大圧縮時に加熱レーザーをコーン内に向けて照射し、コーン先端部の金との相互作用で発生する高エネルギー電子により圧縮された燃料を加熱し、点火させる。コーンを用いるメリットは周辺のコロナプラズマに阻害されることなく加熱レーザーが高密度燃料コア近傍まで伝播できることである。その一方で、コーンが存在していても爆縮による燃料の圧縮が十分に行えるかどうかが問題となっている。そこで本研究では、3次元流体コード **IMPACT-3D** を用いて流体シミュレーションによりコーン付ターゲットの爆縮特性を評価した。

コーン付ターゲットの爆縮シミュレーションを行うために、計算グリッドに適合しないコーンのような形状を持つ物体が埋め込まれた流体場を計算できる **Immersed Boundary** 法と呼ばれる手法を **IMPACT-3D** に導入した。そして、コーンの初期配置や開き角の大きさが燃料の圧縮率に及ぼす影響について調べた。その結果、コーンの開き角に関しては、大きければ大きいほど圧縮率が低下することがわかった。一方で、コーンの中心軸方向の挿入位置に関しては、最適な位置が存在することがわかった。

次に、実際に実験で用いられている激光 **XII** 号レーザー装置の照射配置で爆縮シミュレーションを行った。激光 **XII** 号は 12 本のビームが正十二面体の各面に照射されるように配置されているが、コーン付ターゲットを用いる場合はコーンへの照射を避ける必要がある。このため、コーン側の 3 本を正十二面体配置からずらしたオフセット配置が提案されているがアライメントが煩雑であり、多くの実験ではコーン側 3 面のビームを除いた 9 ビーム照射で爆縮が行われている。

そこで、オフセット配置を模擬した 12 ビーム照射と 9 ビーム照射でコーン付ターゲットの爆縮シミュレーションを行った。その結果、9 ビーム爆縮では圧縮率がおよそ 50%低下することがわかった。そして、圧縮率の低下は非対称な流れが発生することにより運動エネルギーが効率よく内部エネルギーに変換されないことが原因であることがわかった。そこで、コーン反対側のレーザー強度を弱めることで非対称性を低減し、圧縮率を改善できるかどうかを確認した。その結果、投入されるレーザーエネルギーは低下しても、圧縮率が向上することがわかった。

また、9 ビーム爆縮における Rayleigh-Taylor (RT) 不安定性について解析し、12 ビーム爆縮の場合との違いを調べた。そして、12 ビーム爆縮の場合は RT 不安定性の成長率はどの面でもほぼ同じ値を示したのに対し、9 ビーム爆縮の場合はコーン側の成長率が 12 ビームの場合より大きく、それ以外の部分では小さくなるということがわかった。9 ビーム爆縮の場合、コーン側はレーザーが照射されないため擾乱が小さく、それ以外の部分は RT 不安定性の成長率が小さい。その結果、9 ビーム爆縮の方が界面が崩れることがなく、滑らかな形状を保った。

さらに本研究では、爆縮シミュレーションで問題になっているレーザー吸収計算における光線追跡法について、本質的に数値的ノイズが発生しない新しい方法を開発した。これまでの光線追跡法では、レーザーを複数のビームレットに分割するため、計算メッシュを横切るビームレットの本数が常に一定とはならず、それがレーザー吸収分布に非物理的なノイズをもたらしていた。新しく開発した方法では、計算メッシュの中心からレーザーの入射方向に向けて光線追跡を行い、各メッシュをちょうど通るビームレットを求める。そして、そのビームレットを用いて各メッシュにおけるレーザー強度を計算し、レーザー強度から吸収分布を求める。これにより、これまで問題になっていたビームレット数の差に起因した数値的ノイズの発生を防ぐことができた。