



Title	Suppression of hydrodynamic instability and development of plasma diagnostics to demonstrate impact fast ignition scheme
Author(s)	渡利, 威士
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/49716">https://hdl.handle.net/11094/49716</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について <a href="#"></a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

【41】

氏 名	渡 利 威 士
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 2 2 6 7 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 21 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	Suppression of hydrodynamic instability and development of plasma diagnostics to demonstrate impact fast ignition scheme (衝撃点火方式の実証へ向けた流体不安定性抑制に関する研究とプラズマ診断法開発)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 疇 地 宏 (副査) 教 授 岸 本 忠 史 教 授 白 神 宏 之 准 教 授 中 井 光 男 准 教 授 重 森 啓 介

## 論文内容の要旨

近年、レーザー核融合の新しい点火方式として衝撃点火方式が提案された。衝撃点火方式ではレーザーにより圧縮させた主燃料部にインパクターと呼ばれる別の燃料片を球収縮効果によって圧縮させつつ超高速で衝突させ、衝突加熱により熟化し、燃焼したインパクターより生じる核融合反応 $\alpha$ 粒子によって主燃料部を点火に導く。この方式ではインパクターを 1000-2000 km/s もの超高速に加速させる必要があるため、その安定加速を妨げる要因となる加速中のインパクター表面でのレーリー・テラー不安定性の成長を抑制することが最も大きな課題である。また主燃料部が点火条件を満たす密度にまで圧縮されているかを測定する上で高密度プラズマの密度診断法を開発することも重要な課題である。

本研究では加速中のインパクター表面でのレーリー・テラー不安定性を抑制するために低密度フォームターゲットを用いる手法を提案した。低密度フォームターゲット上ではその低密度効果によりレーリー・テラー不安定性を抑制する効果を期待できる。実験では初期擾乱を付与した低密度フォームターゲットを用いてその擾乱が成長する様子をX線バックライト法により計測した。また、比較のために同じ面密度で同じ擾乱を付与した固体密度ポリスチレンターゲットでも同様の測定をした。測定されたレーリー・テラー不安定性の成長率は低密度フォームと固体密度ポリスチレンでそれぞれ、 $0.84 \pm 0.15$  (1/ns)、 $1.33 \pm 0.1$  (1/ns)となり低密度フォームターゲットでは明らかにレーリー・テラー不安定性の成長率が抑制されることが確認された。

高密度プラズマ診断法に関しては、フェルミ縮退効果を用いたプラズマ密度診断法の開発を行った。これは縮退したプラズマ中では荷電粒子の阻止能が低下する効果を用いおり、核融合燃料に重水素を用いた時の1次核融合反応中性子数と2次核融合反応中性子数をそれぞれ測定しその比を求め、同時に計測する電子温度の値とからプラズマの縮退度、及び密度を計測する。本研究では縮退プラズマ中での荷電粒子阻止能を記述するモデルを構築し、精度良い計測をするために多チャンネル型中性子スペクトロメーターを導入した。この密度診断法により実際の爆縮実験で  $350 \pm 50$  g/cm<sup>3</sup> の高密度プラズマが生成されたことを確認できた。

これらの成果を踏まえ、衝撃点火方式実現へ向けた基礎実験と統合実験を行った。それぞれの実験の目的は超高速のインパクターを生成すること、球収縮効果による飛行中のインパクターの密度上昇を得ることである。平板ターゲットを用いた基礎実験では前人未到の速度  $6 \times 10^7$  cm/s のインパクターを作り出すことに成功し、平板衝突実験によりインパクターの運動エネルギーが衝突によって理論的な予測に従い熱エネルギーに変換されている事を示した。統合実験では半球状のインパクターを用い球収縮効果によって飛行中の密度が平板インパクターに比べて 10 倍程度上昇していることを確認できた。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、慣性核融合の新しい点火方式である、衝撃点火の原理実証を目的とした研究をまとめたものである。慣性核融合研究に於いては、従来の中心点火方式よりも低いドライバーエネルギーで高効率の核融合点火・燃焼が期待される高速点火方式の開発が精力的に進められている。これまでの高速点火方式では、圧縮された燃料プラズマを高速 (MeV 程度) の電子あるいはイオンによって追加加熱することが考えられていた。そのため、高速荷電粒子生成のための超強度レーザーが必要であるのみならず、そのような高速荷電粒子を効率よく発生、輸送するための研究・開発が必要であった。衝撃点火方式は、そのような煩雑な道具立てを必要としない画期的な高速点火方式である。本論文は、衝撃点火方式に関する初めての総括的な実験データベースを提供するものであり、今後の慣性核融合研究に資するところ大である。

衝撃点火方式に於いては、高密度に圧縮された主燃料プラズマに、別途、高速に加速された点火燃料プラズマ (「インパクター」と呼ばれる) を衝突させることによって点火・燃焼に至らしめる。インパクターの加速に必要

となるレーザー装置の仕様は主燃料圧縮用のドライバーのものと本質的には変わらず、極端な超高強度レーザー装置は必要ではなく、考慮すべき物理過程も従来のレーザー噴出加速の研究で培われてきたレーザー・プラズマ相互作用の範囲である。研究開発の課題となるのは、1. これまでの高利得中心点火方式では想定されていなかった高速度領域へのインパクターの加速 2. (他の高速点火方式同様)非球対称な燃料ターゲットによる高密度、高面密度の達成。である。

第一の課題に於いては、インパクター部を如何に流体力学的に安定に加速できるかが問題となっており、申請者は、レーザーによって噴出加速されるプラズマ上の流体不安定性 (ablative Rayleigh-Taylor 不安定性) の成長を詳細に調べると共に、平板ターゲットを用いた加速実証実験を行った。ablative Rayleigh-Taylor 不安定性の分散関係についてはこれまでに多くの理論的、実験的研究が報告されているが、そのプラズマ密度に関する依存性は実験的には確認されていなかった。申請者は、将来のターゲット材料の有力な材料でもある低密度プラスチックのターゲットを用い、プラズマの低密度化によって ablative Rayleigh-Taylor 不安定性が抑制されることを直接的な実験によって初めて検証した。また、臭素添加による流体不安定性の安定化を利用し、平板プラスチックターゲットを既存の装置で予測通りの速度まで安定に加速できることを示した。

第2の課題については、レーザー照射実験によってターゲット、レーザー条件の最適化を図る必要があるが、最終的に実験によって達成される高密度状態を如何に計測するかが問題となっている。申請者は、主燃料圧縮コアにインパクターを衝突させる衝撃点火の統合実験を初めて実施し、インパクター衝突による加熱、熱核融合反応を実証した。プラズマ密度の計測に関しても、高密度プラズマ中での電子縮退効果を利用した高密度計測法の開発を行い、測定装置の改良と新たな解析手法を開発することによって、世界に先駆けて重水素化プラスチックターゲットの圧縮密度を測定することに成功している。

これらの成果は、衝撃点火核融合実現に向けて不可欠の物理的理解と技術的知見を与えるものとなっている。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十価値あるものと認める。