

衝撃点火レーザー核融合の概念実証 Concept Exploration of Impact Fast Ignition

疇地 宏 (Azechi Hiroshi)
大阪大学・レーザーエネルギー学研究センター・教授



研究の概要

研究代表者が提案する衝撃点火方式は、核融合の実現に向けて、大幅な小規模化を実現可能とする。小規模ながら、中心点火方式と同様、現象の予測性の高さが特徴である。本研究の目的は、衝撃点火方式による核融合が可能であるか否かを判断するために、物理的・工学的理解を得ることと、衝撃点火レーザー核融合の概念を実証することである。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：核融合学

キーワード：慣性核融合

1. 研究開始当初の背景

レーザー核融合は、固体密度の1000倍以上の高密度プラズマを生成し、その一部に高温点火部を形成することにより、入力レーザーエネルギーの100倍以上の高いエネルギー利得を実現しようとするものである。点火方式には、爆縮による燃料中心の加熱を狙った中心点火方式と、爆縮された燃料に、外部から追加加熱を施す高速点火方式があり、後者は、中心点火方式に比べてはるかに小規模化が見込まれるものの、物理的な予測が難しい。

2. 研究の目的

本研究では、高速点火同様、小規模化が見込まれ、かつ、中心点火方式と同様の物理的予測性を兼ね備えた衝撃点火方式を提案し、衝撃点火実現のための3つのマイルストーン（1. 高速飛翔流体の生成。2. レーザー波形の整形と動圧力の増幅。3. 統合実験。）を検証することにより、結果的に核融合中性子発生数の増加と、衝撃点火の可能性を明らかとすることである。

3. 研究の方法

研究計画の遂行は、目的に挙げた3つのマイルストーンに沿って行われる。その目的達成のためには、計測法の開発、高速飛翔体の実証（1000km/s 0.1g/cc）、波形整形による高密度化（1g/cc）、球集束による高密度化（10g/cc）、及び統合実験による中性子の発生。といったプロセスからなる。さらに、各プロセスにおいて、計測器など

の開発も並行して行い、衝撃点火のダイナミクスを明らかにすることによって、最終的に衝撃点火方式の概念実証を目指す。

4. これまでの成果

本研究の大きな課題の一つは、飛翔体を1000km/sに加速しなければならないことである。ところが、飛翔体をこのような高速度域まで加速しようとする、流体不安定性の成長により、飛翔体そのものが崩壊してしまうという問題が生じる。このことが、衝撃点火方式の最も大きな問題であった。

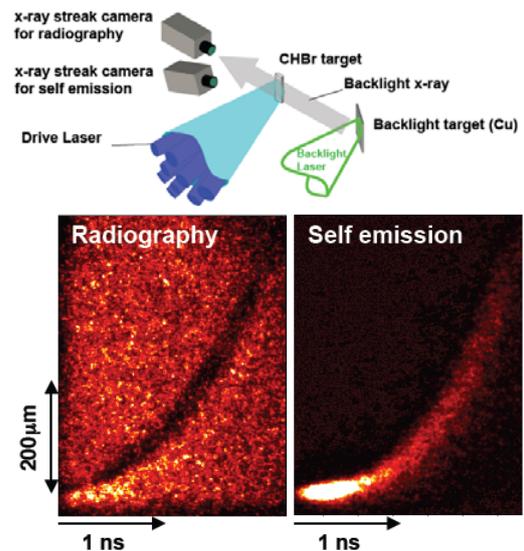


図1. 飛翔体加速実験における飛翔体の加速軌跡。実験配置図（上）とX線バックライト像（下左）と自発光（下右）のストリーク画像

しかし、研究代表者等は、Brを適量ドーピングすることによって、この流体不安定性が抑制されることを考案し、衝撃点火方式における飛翔体加速に適用することで、飛翔体の崩壊の問題を回避することに成功した。

図1は、Brを0.3%ドーピングした22 μ m厚のCD箔を加速させたときの飛翔体の加速履歴をX線のバックライトと自発光計測の同時測定でとらえたものである。飛翔体を0.2g/ccの密度をたもったまま、700km/s以上の速度まで加速させることに成功した。

これは、計画半ばにして、当初の目標の70%をすでに達成したことを意味している。

このことから、計画の大幅な前倒しを計画し、現段階で得られている知見をもとに、予備的な統合実験を行った。

図2は、予備的な統合実験に用いたターゲット写真と、発生中性子量のグラフである。主燃料が最も高密度に爆縮された瞬間に飛翔体が衝突したとき、 2×10^6 の中性子が観測された。2桁の中性子量の増加を観測し、予備的な高速点火実験で得られている中性子量に迫るものである。

本研究の目的は、衝撃点火方式の概念実証であったが、原理実証にも匹敵する結果を得ることができた。これは、衝撃点火方式が小規模な設備で可能なだけでなく、予測性に優れていることが、最大の要因である。

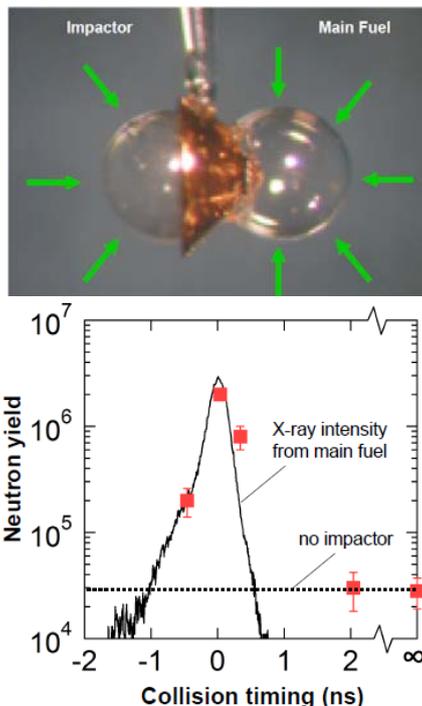


図2. 予備的な統合実験。統合実験に用いたターゲット(上)と、ImpactorとMain Fuelの衝突のタイミングの違いによる、生成中性子量(下)。時間ゼロは、Main Fuelが最も高密度に爆縮された瞬間にImpactorが衝突するタイミング。

5. 今後の計画

今後、さらなる最適化を行い、1000km/sの達成と、統合実験の準備を進める予定である。

6. これまでの発表論文等

"Fast ignition by detonating hydrodynamic flow", S.Yu. Gus'kov¹ and M. Murakami, Accepted for publication in Plasma Phys. and Contr. Fusion 2009.

"Impact-driven shock waves and thermonuclear neutron generation", S.Yu. Gus'kov, **H. Azechi**, N.N. Demchenko, I.Ya. Doskoch, M. Murakami, V.B. Rozanov, T. Sakaiya, T. Watari, N.V. Zmitrenko, Accepted for publication in Plasma Phys. and Contr. Fusion 2009

"Neutron generation from Impact Fast Ignition", T. Watari, T. Sakaiya, **H. Azechi**, M. Nakai, H. Shiraga, K. Shigemori, H. Hosoda, H. Saito, Y. Arikawa, Y. Sakawa, S. Fujioka, Y. Hironaka, M. Murakami, M. Karasik, J. Gardner, J. Bates, D. Colombant, J. Weber, S. Obenschain, Y. Aglisky, P. A. Norreys, S. Eliezer, and K. Mima, J. Phys., 022065, 2008

"Self-similar ablative flow of nonstationary accelerating foil due to nonlinear heat conduction", M. Murakami, T. Sakaiya, and J. Sanz, Phys. Plasmas, 14, 022707, 2007

"Development of TOF neutron spectrometer for the measurement of degenerated plasma in fast ignition experiment", H. Hosoda, M. Nakai, H. Furukawa, T. Watari, **H. Azechi**, N. Izumi, Y. Arikawa, Y. Sakawa, S. Dono, T. Fujiwara and K. Mima, J. Phys., 032079, 2008

"Comprehensive Diagnosis of Growth Rates of the Ablative Rayleigh-Taylor Instability" **H. Azechi**, T. Sakaiya, S. Fujioka, Y. Tamari, K. Otani, K. Shigemori, M. Nakai, H. Shiraga, N. Miyanaga, and K. Mima, Phys. Rev. Lett, **98**, 045002-1-4, 2007

"From physics understanding of the ablative Rayleigh-Taylor instability to impact fast ignition", M. Murakami et al., Fifth International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications, 2007