

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630472

研究課題名(和文) 衝撃波加熱による新しい高速点火方式の開発

研究課題名(英文) Fast ignition scheme with strong converging shock wave

研究代表者

重森 啓介 (SHIGEMORI, KEISUKE)

大阪大学・レーザーエネルギー学研究センタ・准教授

研究者番号：50335395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：慣性核融合において、燃料の高密度圧縮と点火温度への加熱を分離するのが高速点火方式であり、これまで超高強度レーザーによる高速電子を使用する手法が主であった。本課題では収束衝撃波による加熱を目指した研究を行った。実験では、低密度プラスチックフォームを封入したコーン型ターゲットを用い、その衝撃波の収束過程を計測した。衝撃波計測には、収束衝撃波面観測のために1次元・2次元の可視光計測系を整備し、発光の空間・時間分布を計測した。実験結果より、コーン先端部において生成される収束衝撃波面が観測された。今後、この成果をベースに衝撃波加熱法の実用化を検討する。

研究成果の概要(英文)：We have been developing an alternative scheme of fast ignition of inertial confinement targets with converging shock. Experiments were carried out on GEKKO-XII laser facility at ILE, Osaka University. We employed Au cone targets filled with low-density RF foam (2 mg/cm³). The foam-filled cone targets were irradiated by three beams of the GEKKO-XII, with pulse duration of 1.3 ns, intensity of ~ 10¹⁴ W/cm².

研究分野：プラズマ理工学

キーワード：衝撃波 慣性核融合 高速点火 光学計測

1. 研究開始当初の背景

慣性核融合点火・燃焼を実現するには、高温で低密度のホットスパーク部と、それを取り巻く低温で高密度の燃料部を形成する必要がある。米国の National Ignition Facility (NIF) では、「中心点火方式」というオーソドックスな方法で点火を目指しており、その成功の一手手前の段階まで進んでいる。一方我が国では、より小規模・低コストの手段として、圧縮した燃料に対して超高強度レーザー照射によって発生する高速電子等で燃料を追加加熱する「高速点火方式」の研究がすすめられている。ここで視点を変え、我が国の慣性核融合研究の歴史を振り返ると、大阪大学のレーザー装置によって固体密度の 1000 倍の高密度圧縮 (1990 年)、および 10 keV の高温圧縮 (1986 年) という条件が「別々に」ではあるが達成されている。前者は流体不安定性を抑えた標準的な条件で、後者は LHART と呼ばれる大半径・肉薄の高アスペクト比ターゲットを用いた成果であった見方を変えると、上記の事実は現状装置でも工夫次第では点火が可能であることを示唆している。

2. 研究の目的

本研究はこれら「別々の」2 つを統合し、レーザー駆動衝撃波の最近の内外の研究成果を踏まえた上で図 1 のような概念の新しい点火方式を提案する。球殻ターゲットを高密度に圧縮し (図 1 の右部分)、同時に低密度フォームで満たされたコーン内部にもレーザーを照射して圧縮する。右の球殻部分は低速に圧縮し、高密度燃料部を形成する。フォーム部分は高速に圧縮され、収束衝撃波が先端部に到達して約 10 keV の高温点火部を形成し、これが高密度燃料部を加熱する、というシナリオである。

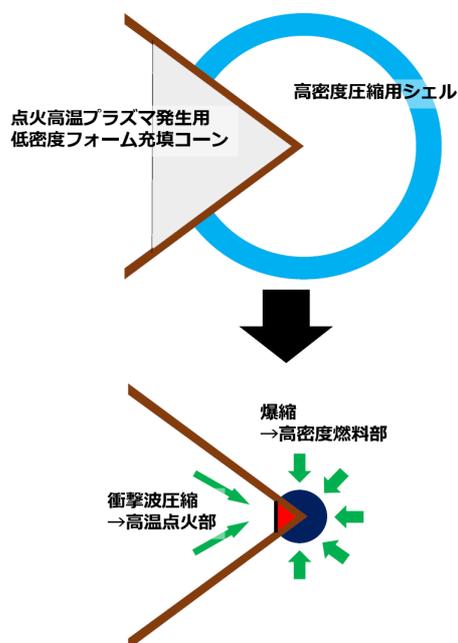


図1「衝撃波点火」核融合方式の概略

本研究では、容易に実現可能な新しい点火方式として「衝撃波点火方式」を提案し、現状の装置によって核融合点火の道筋を拓くことを目的とする。研究期間内に以下の項目を明らかにする。

- ・加熱源となる低密度フォーム中を伝播する収束衝撃波の特性の解明
- ・加熱温度等を計測するための超高速 2 次元可視光計測器の開発
- ・爆縮統合実験による点火性能向上の実証

3. 研究の方法

本研究では、衝撃波加熱による高速点火方式の実証のため、現状の装置条件でのサーベイを行い、実験とシミュレーション解析をベースに最適設計を実施する。以下の項目に関して順を追って行い、2 年間で原理実証段階を終結させる。

- ・低密度フォーム充填コーンターゲットを用い、加熱部に必要なプラズマパラメータを得る
- ・コーン内の衝撃波伝播、加熱温度を詳細に定量評価し、統合実験のための最適化を行う
- ・統合爆縮・加熱実験を行い、イオン温度や発生中性子数等より本研究内容の有用性を評価する。

4. 研究成果

ターゲットおよび照射概念図を図 2 に示す。ターゲットには低密度 RF フォーム (CH₀, 密度: 2 mg/cm³) を充填した金コーン (厚さ約 7 μm) であった。上述の通りターゲット室 1 の集光チェンバーを使用したため、激光 XII 号レーザーの 3 ビームが入射するように 90° の開き角をもったコーンを使用した。金コーンの照射側には CH、先端側には Al の薄膜 (厚さは両方とも 5 μm) でフォーム層を封じている。

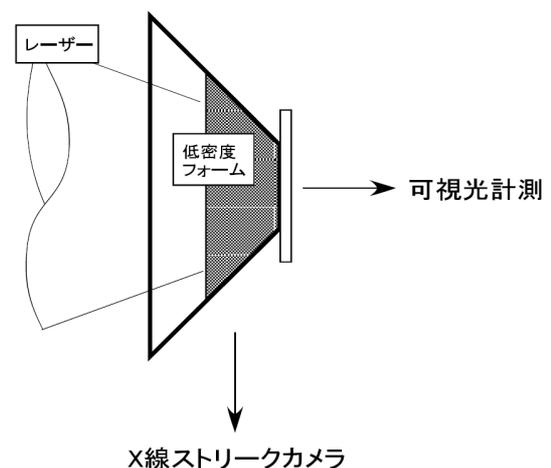


図 2. 照射配置とターゲット構造

衝撃波伝播の諸特性に関しては、衝撃波面の計測を主に行い、コーンの先端側に光学計測系を配置した。図 3 に光学計測系のセッ

トアップを示す．コーン先端に収束衝撃波面が通過する際の自発光を中心に，反射光を速度干渉計（VISAR: Velocity Interferometer System for Any Reflector）も併せて使用した．なお，本実験では収束衝撃波の波面の様性が重要な計測対象の一つであるので，自発光計測については従来の空間一次元分解計測 SOP（Streaked Optical Pyrometer）に加えて，空間2次元計測のために HISAC（High speed visible sampling camera）を導入した．計測する対象はコーン底面での衝撃波面通過時の情報のみであり，コーン内の伝播過程を観測することは出来ない．このため，コーンの深さを複数種類用意し，別々のデータを繋ぎあわせることによって収束衝撃波伝播の時間変化を得ることとした．これらとは独立に，コーン軸と直交する方向に X 線ストリークカメラを配置し，コーン側面からの X 線自発光および後述の X 線バックライト計測を実施した．また，照射面のモニターとして，X 線ピンホールカメラを照射面側に配置した．

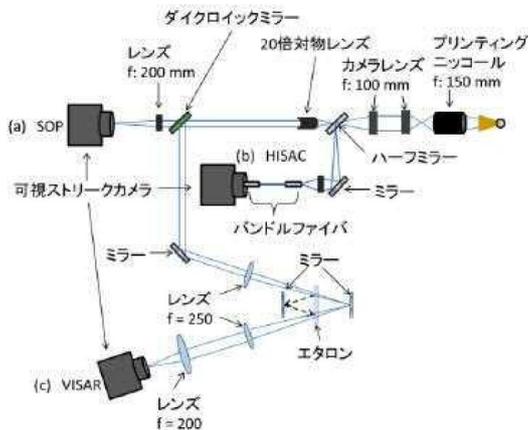


図3 光学計測系の配置図

図4にSOPの計測結果を示す．3種類のターゲット，すなわちコーンの先端径を変化させ，衝撃波の伝播距離を変えることにより，先端付近からの自発光の時間変化を比較した．結果より，3種類のターゲットの先端より，その先端径に応じた大きさの自発光が観測され，その発光のタイミングはほぼ同様であった．発光の時間履歴はほぼレーザー波形に対応し，1次元シミュレーションによる衝撃波到達時刻よりも明らかに早いことから，これらの発光は衝撃波到達による温度上昇ではなく，先行加熱による温度上昇である可能性が考えられる．先行加熱の要因としては，コロナプラズマからの高速電子のほか，金コーンの内側からの輻射などが挙げられる．一方で，先端径 100 μm のターゲットについては，2回目の自発光が観測されている．この発光が収束衝撃波によるものと思われ，現在解析をすすめている．

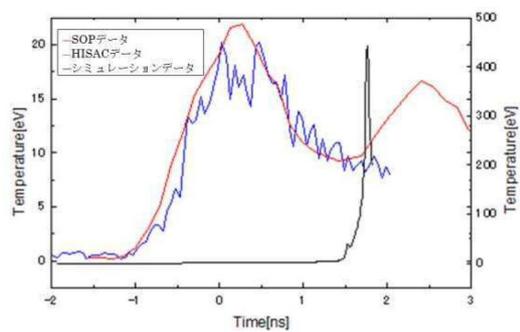


図4 SOPおよびHISACによるコーン先端部の発光時間履歴と1次元シミュレーションによる裏面温度時間変化．

図5に先端径 100 μm ターゲットにおける HISAC による計測結果を示す．絶対較正された SOP の計測結果と比較することにより，2次元での温度分布を得ることが可能となった．2次元の自発光時間分布が観測され，その発光点のずれが観測された．SOPでの観測領域を考慮すると，最大発光点であるコーンの先端中心が SOP の視野から外れていることがわかる．また，今回の実験では視野を重視した結果，収束衝撃波の波面不安定性を得るような条件が困難であり，今後の実験条件設定に考慮すべき点を残した．以上の結果より，コーン型ターゲットによる収束衝撃波生成実験に関して，その計測系の開発を中心に進展がみられた．先行加熱による自発光が顕著であり，照射配置の見直しやターゲット設計（材質，幾何学的配置）について改良すべき点が明らかになった．今後は多次元流体シミュレーションによる解析をすすめ，実験条件の最適化などを行う予定である．

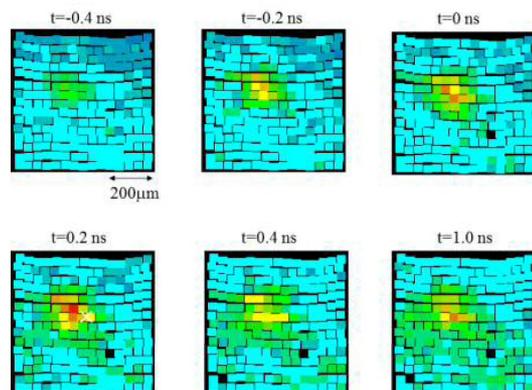


図5 HISACによる自発光2次元空間分解計測結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

K. Shigemori, T. Yamamoto, Y. Hironaka, T. Kawashima, S. Hattori, H. Nagatomo, H. Kato, N. Sato, T. Watari, M. Takagi
Journal of Physics Conference Series 717
(1) :012050 (2016),

DOI:10.1088/17426596/717/1/012050

〔学会発表〕(計 1 件)

山本拓未,重森啓介,服部祥治,弘中陽一郎,
周暁,加藤弘樹,佐藤仲弘,渡利威士,高木
勝「収束衝撃波加熱による新しい高速点火方
式の検討」

日本物理学会第 70 回年次大会(早稲田大学),
2015 年 3 月 24 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

(1) 研究代表者

大阪大学・レーザーエネルギー学研究セン
ター・准教授

重森 啓介 (SHIGEMORI, Keisuke)

研究者番号 : 50335395