



Title	高速点火レーザー核融合実験用トレーサー添加ターゲット開発に関する研究
Author(s)	岩佐, 祐希
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69587
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (岩佐 祐希)	
論文題名	高速点火レーザー核融合実験用トレーサー添加ターゲット開発に関する研究
論文内容の要旨	
<p>高速点火方式のレーザー核融合は燃料の圧縮と加熱を分離した方式のレーザー核融合である。この方式ではナノ秒のレーザーによって爆縮された燃料プラズマにピコ秒のレーザーを用いて高温点火部を作製する。これにより中心点火方式で課題とされた流体不安定性の影響を小さくすることができ、少ないレーザーエネルギーでの核融合点火を達成できると期待されている。</p> <p>第一章では、本研究の背景として高速点火レーザー核融合の現状と問題点について述べ、本研究での課題を明らかにした。高速点火方式の原理実証では、1)必要な半径密度積を持つ高密度コアの作製、2)加熱レーザーから高速電子へのエネルギー変換、3)高速電子による高密度コアへのエネルギー付与、などの素過程を明らかにするための実験が行われている。これらの実験では、発生したX線や中性子を計測することで評価を行う。基礎物理の理解には、あらかじめ燃料にトレーサーとなる原子を含有させておき、発生した特性X線や核反応を計測することによって現象の理解を進める手法が有用である。このため、燃料へのトレーサー添加技術は非常に重要な技術である。また、近年、様々な燃料デザインが実験に用いられるようになったことから、燃料作製も幅広いアプローチの作製技術が求められるようになった。本研究ではこれらのターゲット作製技術の開発について研究を行った。</p> <p>第二章では燃料作製を均一かつ再現性良く行うためにマイクロ流体デバイスによるエマルション生成の操作性の検討を行った。従来、用いられてきた二重ノズルデバイスでは安定したエマルション生成が可能であったものの、拡張性に欠けるという問題点があった。マイクロ流体デバイスはキャピラリーの組み合わせによって簡易かつ安価に作製可能であり、拡張性に優れている。このデバイスを用いた際の生成したエマルションの①サイズ均一性、②サイズ制御性について検討を行った。この結果、1%以下のばらつきで精度よくエマルションを生成できることが分かった。また、流量をコントロールすることで、様々な実験用及び発電用のレーザー核融合燃料容器の作製が可能であることが分かった。これらの結果より、マイクロ流体デバイスが核融合燃料作製に有用であることを示した。</p> <p>第三章では銅トレーサーを含有した中実燃料の作製手法の開発について述べた。燃料プラズマ中で高速電子によって加熱された領域を測定することは加熱過程の解明において非常に重要となる。この測定には原子比で1%程度銅を含有した燃料が必要である。銅を化学的に含んだオレイン酸銅を燃料材料として用いることで銅トレーサー含有中実燃料の作製を行った。エマルション法を用いて直径$200\mu\text{m}$級の中実球を作製した。この中実燃料は原子比で0.93%の銅を含み、燃料中で均一に分布していた。また、燃料形状は真球度で97%以上を示したが、表面には$1\mu\text{m}$程度の凹凸が見られた。流体シミュレーションを用いることでこの擾乱は中実球爆縮に影響がないことを示した。以上の結果より、銅含有中実球の作製手法を確立した。</p> <p>第四章ではポリスチレンへのトリチウム添加技術の開発について述べた。高速点火方式の実証には加熱によってイオン温度がどこまで上昇したのかを確認する必要がある。DD、DT核融合中性子の比からイオン温度を測定するために、重水素化ポリスチレン中の重水素を1%程度トリチウムに置き換えるためのトリチウム添加技術の開発が必要である。トリチウム雰囲気下でのトリチウムの添加を促進するため、①添加促進手法の検討、②トリチウム添加量、③ポリスチレン中のトリチウムの空間分布の測定を行った。添加手法では紫外線およびプラズマを用いることでトリチウムの添加を10-100倍促進できることが分かった。また、紫外線の照射量とトリチウム添加量の関係を示し1日以内で目標のトリチウム添加量を達成できることを示した。ポリスチレン中のトリチウム分布は紫外線の吸収減衰分布に一致していることがわかり、表面からおよそ$4\mu\text{m}$までの領域にトリチウムが存在していることを明らかにした。これらの結果からトリチウム添加技術の基礎的な特性を示した。</p> <p>第五章はまとめであり、以上の3項目の研究によって、多様な実験用トレーサー燃料の作製が可能となったことを示した。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (岩 佐 祐 希)		
	(職)	氏 名
	主 査	(教授) 乗松孝好
論文審査担当者	副 査	(教授) 猿倉信彦
	副 査	(教授) 村田 熱

論文審査の結果の要旨

本論文は高速点火方式によるレーザー核融合原理検証実験用ターゲット開発に関する報告である。高速点火ではパルス幅ナノ秒クラスのレーザーで高密度の爆縮プラズマを作り、パルス幅ピコ秒クラスのレーザーで短時間に加熱して核燃焼状態に導く。この研究を行うためには1) 高密度コアの作成、2) 加熱レーザーのエネルギーの吸収と高速電子の生成、高速電子の伝搬、3) 爆縮コアでの高速電子の吸収、の各物理過程でのパラメーターの実験的把握が全体の効率改善、新しいターゲット設計に必須となっている。学位申請者は1) に関し、マイクロ流体デバイスを導入し、現在の原理検証実験に適したプラスチック模擬燃料ターゲットを製作することに成功し、必要な密度×半径積の爆縮プラズマを作るのに貢献した。2) についてはオレイン酸銅を用いたターゲットを開発し、高速電子による加熱効率の測定を可能にした。3) に関しては低損傷の紫外線励起法でトレーサーとして三重水素を1%含有する重水素化プラスチック中空球が製作できる見通しを付けた。

論文は5章で校正され、1章は序章であり、本研究の重要性、高速点火レーザー核融合研究における位置づけについて述べられている。

2章はマイクロ流体デバイスに関するもので、従来用いられてきた二重ノズルデバイスでは組み立て調整に技能を要し、拡張性に欠けるという問題点があった。マイクロ流体デバイスはキャピラリーの組み合わせによって簡易かつ安価に作製可能であり、拡張性に優れている特徴がある。申請者は模擬燃料球製作に導入し、生成したエマルジョンの①サイズ均一性、②サイズ制御性について検討を行った。この結果、1%以下のばらつきで精度よくエマルジョンを生成できることが分かった。また、得られたスケーリング則で装置を拡張し、現在の様々な実験用に使用可能な寸法の模擬燃料球を製作するとともに、将来の実験炉用のレーザー核融合燃料容器の大きさまで作製が可能であることを示した。

第3章は高速電子の方向、それによる加熱効果を測定するために銅原子をトレーサーとするターゲット開発に関する章である。トレーサー添加が模擬燃料の条件を損なわないためにC,Hを主元素とし、1%程度銅元素を含むターゲット材料が必要である。学位申請者は数ある銅化合物からオレイン酸銅を見いだし、加工法を開発し、実際の爆縮加熱実験に導入した。本ターゲットにより、プラズマ温度が2.2keVにまで加熱されたことが実験的に検証された。この成果は高速点火研究で重要な成果となっている。

第4章は放射性物質である三重水素を1%程度含有する模擬燃料ターゲットの開発に関する章で、このターゲットを用いDD中性子とDT中性子の比およびスペクトル広がりを測定することによりイオン温度が決定できる。申請者は三重水素雰囲気下で紫外線を当てて置換反応を促進するWilzbach法に着目し、オプティカルファイバーを用いて波長266nmの紫外線レーザーを照射し、深さ分布、置換率を定量的に評価することにより、1%置換の可能性を示した。現時点では置換された三重水素は表面に局在している。模擬ターゲット中心付近を選択的に置換するには高速点火で用いられるガイドコーンを取り付ける穴を用いて中心付近に挿入できる。従来の紫外線ランプを用いた方法に比べ格段に実現性が高い。

以上のように、本論文は高速点火方式の物理的过程を研究するのに必要なターゲット開発に成功、あるいは開発に道筋を示した物で、今後の学術に対する貢献は大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。