



Title	高速点火レーザー核融合の加熱現象診断のための中性子計測器の開発に関する研究
Author(s)	長井, 隆浩
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52160
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（長井 隆浩）	
論文題名	高速点火レーザー核融合の加熱現象診断のための中性子計測器の開発に関する研究
論文内容の要旨	
<p>本論文では、申請者が大阪大学大学院工学研究科環境エネルギー工学専攻前期課程および後期課程在学中に、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおいて行った、高速点火レーザー核融合の加熱現象診断のための中性子計測器の開発に関する研究について、まとめたものである。</p> <p>高速点火レーザー核融合とは、ロングパルス(~ns)レーザーにより爆縮された高密度燃料を超高強度($>10^{18} \text{ W/cm}^2$)レーザーにより生成される高速電子による追加熱により点火燃焼に至らしめる点火方式である。2009年に加熱レーザーであるLFEX(Laser For EUV Experiment)レーザーが完成し、kJレーザーを用いた高速加熱実験ができるようになった。核反応中性子は燃料プラズマに対しても充分高い透明性を持つため、高速点火実験において加熱現象の診断のために重要なプローブとして有用である。しかし、超高強度レーザーにより発生する制動放射X線（ガンマ線）が正常な中性子計測を阻害してしまい、正常な加熱現象診断ができていない。筆者は、高速点火レーザー核融合の加熱効率を導出するために、イオン温度を測定するTOF型カレントモード中性子スペクトロメータの開発を行った。開発した中性子スペクトロメータは、爆縮実験において中性子イールドとイオン温度測定の校正をして、高速点火実験において中性子イールドとイオン温度の測定を行った。</p>	
<p>第1章は、序論として、高速点火レーザー核融合における中性子計測について述べたものである。</p> <p>第2章は、中性子計測による加熱現象の計測原理について述べたものである。加熱現象の有無を調べるために、追加熱レーザーエネルギーに対する燃料の内部エネルギーの変化率（加熱効率）の導出を行う必要がある。加熱効率の導出には、加熱される燃料の密度分布とイオン温度の変化量を計測する必要がある。従来のX線計測器を用いて密度分布を計測する事は実証されている為、高速点火実験用のイオン温度の測定を確立する必要があった。イオン温度の測定手法には、中性子スペクトロメータを用いた中性子発生量の変化率とイオン温度の直接測定がある。イオン温度の直接測定には、核融合中性子のスペクトルのドップラー拡がりの計測とDT/DD中性子発生比計測がある。</p>	
<p>第3章は、カレントモードTOF型中性子スペクトロメータの開発について述べた。ガンマ線バックグラウンドを低減するために、低残光の液体シンチレータとダイノード型ゲート光電子増倍管で組み合された検出器と、光核反応中性子を遮蔽する中性子コリメータで構成された計測システムを開発した。また、加熱効率の導出の為に、中性子イールドの検出効率とイオン温度測定の分解能の設計を行った。爆縮実験において、開発した中性子スペクトロメータを用いて、中性子イールドとイオン温度の校正実験を行ったものである。</p> <p>第4章は、高速点火レーザー核融合実験における中性子計測について述べた。高速点火実験において、短パルス高エネルギーの制動放射X線による計測障害を、モンテカルロシミュレーションと対比して、検証した。そして、開発した中性子計測器を用いて、中性子イールド・イオン温度の測定を行い、中性子発生量の変化率から評価できる加熱効率を求めたものである。</p>	
第6章は、結論であり、本研究で得られた成果をまとめたものである。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名(長井 隆浩)		
論文審査担当者	(職)	氏名
主査	教授	乗松孝好
副査	教授	村田 勲
副査	教授	猿倉信彦

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実験環境下で用いられる高感度、高速応答、耐ノイズ特性に優れた中性子検出システムに関する研究をまとめたものである。高速点火方式は爆縮した高密度、低温プラズマを超高強度レーザーで点火温度まで加熱し、核融合点火に導くもので、従来の方法に比べ、少ないエネルギーで核融合点火ができるものと期待されている。その加熱プロセスの研究過程では超高強度レーザーを用いるため MeV 級の超硬 X 線が発生し、従来の中性子シンチレーターを用いた計測システムを飽和状態にし、観測を困難にする。核反応中性子は燃料プラズマに対しても充分高い透明性を持つため、高速点火研究において加熱現象の診断のための重要な計測手段である。

申請者は液体シンチレーター4,4"-Bis[(2-butyloctyl)oxy]-1,1':4',1":4",1""-quarterphenyl(BBQ)に着目すると共に高速ゲートシステムなどを導入し、高感度、低アフターグローのシステムを開発するとともに、多くの散乱、2 次中性子がある中でデータ解析にも成功し、実験結果を完全に説明できるシステムを構築した。

高速点火実験における計測障害の対策について 1) ゲートダイノード型光電子増倍管を用いた高速ゲーティングにより、 γ 線による光電子増倍管の電子増倍の飽和、チャージの枯渇の抑制を実験的に確認した。2) 開発した酸素溶存 BBQ 液体シンチレーターの性能を評価し、プラスチックシンチレータ(BC-422)と比較して同等の即発成分の減衰時定数で、2 枠程度低い残光成分である事が確認された。3) 2 つの中性子計測システムに対し、光核反応中性子用の中性子遮蔽体を開発し、シミュレーションにより 9 割程度の遮蔽率を確認した。

カレントモード TOF 型中性子スペクトロメータの開発については 1) γ 線バックグラウンドを低減するために、低残光の液体シンチレーターとダイノード型ゲート光電子増倍管で組み合された検出器と、光核反応中性子を遮蔽する中性子コリメータで構成された計測システムを開発した。2) 中性子イールドの検出効率とイオン温度測定の分解能の設計を行った。爆縮実験において、開発した中性子スペクトロメータを用いて、中性子イールドとイオン温度の校正実験を行った。

高速点火レーザー核融合実験における中性子計測については 1) シンチレーション信号をシミュレーションと比較し、シミュレーションの妥当性を検証した。2) 中性子バブルディテクターを用いて、モンテカルロシミュレーションと対比して、光核反応中性子発生量を実験的に検証した。3) 開発した中性子計測器を用いて、中性子イールドの測定を行い、中性子発生量 10^6 程度の検出が可能である事を確認した。

以上のように、本論文はノイズとして超硬 X 線が存在する過酷環境下での中性子計測に道を開き、高速点火加熱プロセスの解明に道を開いたもので、今後の同分野の発展に貢献できる内容を持っている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。