

Title	レーザー核融合点火実験用高速応答中性子計測器の開発
Author(s)	有川, 安信
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2283
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	あり かわ やす のぶ 有 川 安 信
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 24207 号
学位授与年月日	平成22年9月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
学位論文名	レーザー核融合点火実験用高速応答中性子計測器の開発
論文審査委員	(主査) 准教授 中井 光男 (副査) 教授 掘池 寛 教授 乗松 孝好 教授 猿倉 信彦

論 文 内 容 の 要 旨

将来のクリーンかつ永久的持続可能なエネルギー源として核融合エネルギーの実現が期待されている。レーザー核融合では重水素・三重水素で構成された燃料球に四方八方からレーザーを照射して、高温・高密度の状態を作り出し、核融合点火を引き起こして燃焼に導く。点火条件を達成するためには、圧縮から点火・燃焼に至る過程を詳細に調べる事が重要である。点火前の始状態である燃料の密度・半径積（燃料面密度）を実験によって明らかにして点火に必要な燃料面密度を実現する事、また点火に至る加熱と燃焼のダイナミクスを実験的に明らかにする事が重要である。そのために著者は、前者については燃料面密度計測のための核融合散乱中性子器を開発し、後者については燃焼履歴（中性子の生成履歴）を観測するための高速応答中性子計測器を開発した。

本研究では核融合燃焼履歴計測のための高速応答中性子計測器の開発、および燃料面密度計測のための散乱中性子計測器の開発に関する成果をまとめる。本論文は以下の四章から構成されている。

第一章では本研究の背景として、レーザー核融合における高密度圧縮の重要性と高温点火部の必要性、点火条件について理論的基礎について述べ、さらに中性子計測の意義について述べた。

第二章では大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおける高速点火核融合原理実証実験FIREXプロジェクトにおいて燃焼履歴を計測するために、高速応答かつ高感度中性子計測器の開発を行った。この計測器は中性子生成数 10^6 程度で燃焼履歴のピーク時刻を ± 50 psの精度で観測できる事が実験的に示された。また本研究によってこれまで明らかにされてこなかったプラスチックシンチレーターBC-422の発光立ち上がり時間が20 psであり、ベンゾフェノン消光材入りのBC-422Qの立ち上がり時間は8 psである事が明らかになった。さらにこの計測器には高速点火核融合独特の問題である高強度X線ノイズへの対策がとられており、エネルギー1 kJでパルス幅4 psの追加熱レーザーを用いた実験において、X線によるノイズを許容レベルまで抑えることに成功した。

第三章では燃料面密度計測のための散乱中性子計測手法の開発について述べた。散乱中性子計測を可能にするためには散乱中性子のみ感度が高くかつ高速中性子シンチレーターが必要である。我々は新素材の ^6Li ガラス中性子シンチレーター「APLF80+3Pr」を開発した。APLF80+3Prの性能評価実験を行った結果、すべての要求を満たす性能が得られ、米国National Ignition facilityにおける点火実証実験において散乱中性子の観測が十分に可能である事が示された。APLF80+3Prを用いたカレントモード中性子Time-of-Flight計測器の設計を行い、数値計算によって現状実験環境である中性子生成数 10^{10} 、燃料面密度 0.1 g/cm^2 において散乱中性子信号を観測できる事を示した。また大阪大学のFIREX実験でも適用できるようさらなる高感度化のために、多チャンネルカウンティングモード計測器の開発を行った。このシステムはFIREXのこの1年程度先に見込まれる核融合出力である中性子生成数 10^7 以上、燃料面密度 21 mg/cm^2 以上で散乱中性子が観測できるよう設計された。このシステムを設計するなか

で最も重要な構成要素であるシンチレータアレーの開発を行い、中性子源を用いた実験により多チャンネル計測が可能であることを示した。

第四章はこの論文を総括する。

論文審査の結果の要旨

本論文に於いては、慣性核融合実験用の2種類の高速応答中性子シンチレーション検出器の開発成果が報告されている。

レーザーを用いた慣性核融合研究に於いては、米国の国立点火施設における人類初の中心点火方式による点火実証と、わが国における高速点火方式による点火温度までへの加熱の実証が間近に迫っている。点火条件を達成するためには、点火に必要な燃料の密度並びに面密度（密度と半径の積）を実現し、点火に到る加熱のダイナミクスを制御する必要がある。実験的には、加熱前の密度・面密度の測定と加熱の時間履歴を観測することが重要な課題となっている。本研究に於いては、原理的な提案は既に報告されているも、具体化が難しく実現されていなかった「散乱中性子による面密度計測法」に必要な高速応答の検出器（シンチレータ）の開発し、それを用いた具体的な計測システムの設計と動作テストを完成させ、従来の観測限界（ $<0.3\text{g/cm}^2$ ）を大幅に拡大することに成功した。また、既存のプラスチックシンチレータのピコ秒オーダーでの応答特性を実験的に初めて観測し、加熱のタイミング測定を目的とした高感度高速中性子検出器の開発、低中性子発生（ 10^6 個/ショット程度）実験に於いても50 psの時間分解能を実現した。これらの成果は、今後の点火実証へ向けた実験にとって重要であり、不可欠のものである。

散乱中性子計測開発のポイントは、既存の製品を凌駕するLiガラスシンチレータの開発にある。開発目標に沿った材料設計により、遅発発光を1/1000に抑えた新たな高速応答のLi含有ガラスシンチレータを開発（原著論文2編、特許1件あり）し、その特性を生かした計測システムを構築した（原著論文2編）。本論文は、慣性核融合研究における福音となるのみならず、理想的な開発例として今後の光材料開発に資すること大と考える。

高速応答の中性子検出器開発（原著論文1編）に於いては、既存のプラスチックシンチレータ等の構成要素の性能を実験的に詳細にしらべ、数値的にモデル化することによって、限界性能を明らかにするとともに、信号再生などの信号処理を可能としており、上記、散乱中性子計測用検出器の開発とともに、中性子シンチレーション検出器の開発指導書としても価値あるものとなっている。

以上の様に、本論文は、新たな中性子シンチレーション材料と計測システムを開発することによって点火燃焼に必要なパラメーター領域での面密度計測、中性子の発生時刻計測を可能にする物で、慣性核融合研究に貢献するのみならず、光材料並びに計測技術開発の論文として優れたものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。