

# 論文審査の結果の要旨

氏名 後藤 拓也

本論文は **Design Study on Fast-Ignition Laser Fusion Reactor with a Dry Wall Chamber** (固体壁チェンバーを用いた高速点火方式レーザー核融合炉設計研究) と題している。気候変動等の環境問題が顕在しエネルギー需要が逼迫する中、核融合エネルギーは将来の革新的エネルギー源のひとつの候補として世界各国で精力的に研究されている。核融合燃焼の実証に向けては、強力な磁場内に高温のプラズマを閉じ込める磁場閉じ込め方式と、レーザーやイオンビームを固体燃料ペレットに球対称照射し、超高密度に圧縮・点火させる慣性閉じ込め方式の2方式が並行して研究されている。磁場閉じ込め方式では日・欧・米・露・韓・中・印の7極が参加する国際熱核融合実験炉 (ITER) の建設が仏・カダラッシュにおいて始まり、核融合燃焼プラズマ実験が予定されている。また ITER 後を見据えた原型 (DEMO) 炉や実用炉の概念設計活動も精力的に展開されている。一方慣性閉じ込めにおいては、大阪大学の FIREX 計画および米国リバモア研究所の NIF において点火・燃焼の実証を目指した研究が推進されている。また大阪大学および米国の ARIES グループにおいて実用炉の概念設計活動も進められている。本論文では、新しいレーザー核融合方式である高速点火方式に着目し、核融合炉としての物理・工学的課題を明確にしつつ、高速点火方式の特性を最大限生かすべく、固体壁チェンバーを用いたレーザー核融合炉の概念設計を行っている。論文は以下のように構成されている。

第1章は緒論に当てられている。核融合反応の特徴および磁場閉じ込めおよび慣性閉じ込め方式の特性が紹介されている。特に、慣性閉じ込め方式において、高速点火方式の特性を十分に生かした設計がまだ行われていない現状が指摘され、固体壁チェンバーを用いた設計の可能性について検討する必要性が述べられている。

第2章では慣性核融合の基礎物理が概観されている。慣性閉じ込めを特徴付ける面密度等のパラメータや、爆縮・点火の必要性、また中心点火方式と高速点火方式の特徴、流体不安定性の抑制などの物理・工学的な要請について定量的な解説がなされている。

第3章では本論文の研究の対象となっている固体壁チェンバーを用いた高速点火方式レーザー核融合炉の設計概念 FALCON-D (Fast ignition Advanced Laser reactor CONcept with a Dry wall chamber) の全容が概観されている。0次元物理モデルを用いた炉設計点の選出や、建屋等全体設計、セクター分割方式のメンテナンスシナリオ、最終光学系および中性子遮蔽設計などが解説されている。

第4章では、1次元および2次元流体シミュレーションコードを用いた炉心プラズマ設計が行われている。前半では爆縮に関する理論モデルが概観され、後半ではその知見に基づき、高速点火方式のメリットを生かした流体不安定性に対する裕度の高い爆縮により高密度コアを生成することを目指して、ペレット形状およびレーザー波形の最適化が図られている。これにより設計点として選択した核融合出力および核融合利得の妥当性を評価している。

第5章では、固体第一壁の設計成立性について論じている。ここではタングステンアーマー被覆低放射化フェライト鋼を候補とし、1次元熱構造連成解析モデルによる第一壁の熱的・機械的解析に加え、ひずみ速度、再結晶などの動的効果の影響、スパッタリング・プリスタリングなど、多面的な評

価が行われている。また超微細粒材料などの高機能材料の可能性についても言及している。

第6章では総合システム設計が行われている。コストモデルや炉の運転シナリオなどについての議論がなされ、プラント全体を概観した設計パラメータおよびコスト評価がまとめられている。

第7章は考察に当てられ、本論文で設計された高速点火方式レーザー核融合炉の特徴について、他のレーザー核融合炉設計や磁場閉じ込め方式との比較を通じて議論が展開されている。

第8章はまとめに当てられている。

以上を要するに、本研究は新しいレーザー核融合方式である高速点火に着目し、核融合炉としての物理・工学的課題を明確にしつつ、高速点火方式の特性を最大限生かすべく、固体壁チェンバーを用いたレーザー核融合炉の概念設計を行っており、ここでの知見や結果は核融合エネルギー開発研究への応用が期待できるものであり、先端エネルギー工学、とくに核融合炉工学の発展に貢献するところが大きい。

本論文の第3章、第4章、第5章および第6章は小川雄一、岡野邦彦、朝岡善幸、日渡良爾、染谷洋二の各氏との共同研究であるが、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。