



|              |                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | レーザー核融合ドライバー実現に向けたLD励起固体レーザーの高平均出力化に関する研究                                                                                                       |
| Author(s)    | 安原, 亮                                                                                                                                           |
| Citation     | 大阪大学, 2008, 博士論文                                                                                                                                |
| Version Type |                                                                                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/48622">https://hdl.handle.net/11094/48622</a>                                                             |
| rights       |                                                                                                                                                 |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

|               |                                                            |
|---------------|------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | やす はら りょう<br>安 原 亮                                         |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工 学)                                                  |
| 学 位 記 番 号     | 第 2 2 0 6 8 号                                              |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 20 年 3 月 25 日                                           |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>工学研究科原子力工学専攻                           |
| 学 位 論 文 名     | レーザー核融合ドライバ実現に向けた LD 励起固体レーザーの高平均出力化に関する研究                 |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>准教授 河仲 準二<br>(副査)<br>教 授 宮永 憲明 教 授 乗松 孝好 教 授 猿倉 信彦 |

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文はレーザー核融合炉用ドライバ実現に向けた LD 励起固体レーザーの高平均出力化に関する研究をまとめたものであり、全 8 章より構成されている。

第 1 章は緒論であり、レーザー核融合炉用ドライバ開発の重要性について述べ、本研究の意義と目的を明確にした。

第 2 章では、レーザー核融合炉用ドライバに求められる要求仕様を明示し、レーザー核融合炉用ドライバを実現するために必要な研究開発課題を検討し、達成目標値を示した。

第 3 章では、レーザー核融合炉用ドライバの候補として提案されている、LD 励起 Nd : glass ジグザグスラブレーザー増幅器モジュールの開発成果についてまとめた。増幅器に必要な小信号利得、蓄積エネルギー密度、動作温度等を測定し、設計に用いた基本パラメーターが実現可能であることを示した。また水冷却、均一側面励起、電気ヒーターによる温度制御とジグザグ光路による熱効果補償設計によって高平均出力動作を実現した。

第 4 章ではレーザー核融合炉用ドライバに求められる高品質なビームを得るための波面補償技術開発について述べた。まず誘導ブリルアン散乱 (SBS) による波面補正の原理について述べ、3 章で開発したレーザーシステム中に SBS ミラーを導入することにより、大エネルギー、高平均出力での波面補正を実証した。次に広帯域なレーザー光を安定に波面補償するために可変形鏡による波面補正法の開発について述べた。

第 5 章では従来のガラス素材を用いた炉用ドライバに比べ、高平均出力動作に適した次世代の炉用ドライバのとして期待される、冷却 Yb : YAG セラミックを用いた炉用レーザーについて検討した結果について述べた。

第 6 章では高平均出力レーザー用光学素子の開発として、高平均出力レーザーにファラデー素子を用いた場合に発生する熱複屈折損失を定量的算出する計算コードを開発し、高平均出力動作時にファラデーローテーターで発生する熱複屈折損失量を評価した。

第 7 章では高平均出力レーザー用ファラデー素子の開発成果について述べた。次世代の大口径高平均出力用ファラデー材料として期待されている TGG セラミックについてヴェルデ定数の温度依存性と熱伝導率の温度依存性を評価した。

最後に、第 8 章で本研究による成果をまとめ、結論としている。

## 論文審査の結果の要旨

従来、レーザー核融合研究に供するレーザーはすべてフラッシュランプを励起源としたガラスレーザーである。ガラスレーザー材料の熱耐力が小さく繰り返し動作が困難であるため数時間に1回の単一ショットレーザーである。また、フラッシュランプを励起源としていることから電気から光へのエネルギー変換効率も1%以下と低い。エネルギー源としてのレーザー核融合炉には4 MJ以上のパルスエネルギー、16 Hz以上の繰り返し周波数、10%以上の効率を有するレーザードライバーが必要である。本研究は、炉用ドライバーへのパワースケーリングが可能なレーザーシステムについてエネルギー引き出し効率の向上、ビーム品質の改善、能動光学素子の高性能化などの一連の研究をまとめたものであり、その成果は以下のように要約できる。

(1) 炉用ドライバーにおける重要な課題である熱問題について、レーザー材料内部の発熱や光学素子の吸収による発熱に起因する熱波面歪、熱複屈折、熱破壊が高平均出力動作を阻害することを計算により定量的に示し補償方法の開発の必要性を示唆している。

(2) 炉用ドライバーの候補として半導体レーザー(LD)励起Ndガラスレーザー増幅モジュールを提案し、同時に、レーザー材料の熱波面歪および熱複屈折の低減のために高効率な熱除去と空間的な均一光路長の実現を両立するジグザグスラブ方式の増幅器形状を組み合わせることで20 J級繰り返しレーザーを詳細設計している。加えて、実機を開発し、10 HzのLD励起固体レーザーとして世界2位のパルス出力21.5 Jを達成すると同時に、スケールングに必要なパラメータを取得し、炉用ドライバーの設計精度を上げることに寄与している。

(3) 空間的に高品質なレーザー光を得るために、誘導ブリルアン散乱(SBS)ミラーによる波面補正技術を開発し、空間形状のアスペクト比を1に近づけることにより位相共役波の忠実度が向上することを計算で示した。実機による試験では、出力ビーム回折限界の2倍のスポット径に60%のエネルギー包括度が得られる高い集光特性が得ている。また、パルス出力についても補正前とほぼ変わらない21.3 Jを10 Hzで得ている。

(4) レーザーシステムにおける重要な能動光学素子の1つであるファラデー回転子としてTGGセラミクスを新たに提案し、さらにベルデ定数および熱伝導率の温度依存性を評価した。ベルデ定数は温度逆数に比例して大きくなり7.8 Kで室温時の40倍が得られている。一方、熱伝導率は室温から100 Kまでの間で単結晶と同等の高い性能を示していることから、炉用ドライバーにおける有効なファラデー光学材料となる。さらに、ベルデ定数の向上に伴いセラミクスそのものを薄くすることにより低分散の超短パルスレーザー用のファラデー素子としての可能性を示唆している。

以上のように、本論文はレーザー核融合炉用レーザードライバーのスケールングに必要なパラメータの取得および実証実験、さらには新規の高性能の能動光学素子の開発を実現し、理論的な根拠に基づいた評価を行ったことは次世代の大出力レーザーの発展に寄与するところが大きいと思われる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。