



Title	Study on Adaptive Optics for Wavefront Control of High-Power Laser for Fusion
Author(s)	尹, 根榮
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40617
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、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	尹 根 繁
博士の専攻分野の名称	博士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 13820 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 10 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気工学専攻
学 位 論 文 名	Study on Adaptive Optics for Wavefront Control of High-Power Laser for Fusion (核融合高出力レーザーの波面制御用補償光学に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 中塚 正大
	(副査) 教授 佐々木孝友 教授 山中 龍彦 教授 松浦 虔士 教授 辻 賀一郎 教授 熊谷 貞俊

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は核融合高出力レーザーの波面制御用補償光学に関する研究成果についてまとめたもので、以下の 7 章から構成されている。

第 1 章は緒論であり、レーザー核融合の原理や核融合用レーザーシステムにおいての補償光学系の重要性について述べ、本研究の目的と意義を明らかにしている。ついで補償光学系の原理や様々な分野において世界で行われてきた補償光学系の研究動向についてまとめている。

第 2 章では、補償光学系において重要である波面収差について理論的な考察を行い、各種の波面計測系を総合的に評価している。開発した大口径レーザー光用波面計測系と使用した長焦点マイクロレンズアレーの開発や光学性能について述べている。これらの波面計測系の測定精度の評価についても示している。

第 3 章では、レーザー光の波面制御用光学素子である可変形ミラーの試作開発について述べている。試作した可変形ミラーの光学的な性能やミラー面の変形についての理論的解析を行っている。

第 4 章では、開発した波面計測系と可変形ミラーを用いたレーザー光の静的または動的な波面歪の補償実験の研究成果について述べている。今後の効率的な波面補償のために、アクチュエーター配置の最適化設計について新提案をしている。

第 5 章では、可変形ミラーの X 線レーザー実験への応用を検討し、X 線レーザー用線集光光学系の幾何光学的な考察と可変形ミラー利用の有効性について述べている。X 線レーザー実験の改善のために開発した直径 40cm 級大口径可変形ミラーの特性について述べ、実際に実験に導入して得られた高輝度 X 線レーザーの発振実験の結果を示している。

第 6 章では、レーザー光の波面歪補償以外に、積極的な波面制御によって任意の集光パターン整形が可能であることを実験的に明らかにしている。エネルギー利用効率を高めるビーム整形のために、任意の集光パターンを得るために必要な波面分布を設計できる新アルゴリズムを提案し、その性能を計算によって評価している。

第 7 章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめ、本論文の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

核融合研究用高出力レーザーの波面歪に関する問題点を明らかにし、その解決法を提案し、有効な結果を得ると共に応用例をも示している。研究で得られた主な結果は以下のように要約できる。

(1) 波面計測用のF数の大きい長焦点プラスティックマイクロレンズアレーの開発に成功し、形成されるスポットは回折限界まで集光できることを示している。光学性能は、焦点距離10–20mm、大きさ200–300 μm の四角または六角レンズを30×30個に構成し、F数は30–100である。

波面計測系の測定精度は20分の1波長で、最も一般的な波面測定法であるフィゾー干渉計の精度に匹敵する値である。高い測定精度を得るために画像データの積算方法を提案し、スポット中心の読み取り精度を100分の1ピクセル ($0.1 \mu\text{m}$) まで向上させ、波面測定精度も大幅に改善できることを示している。

(2) 波面制御素子として機械式アクチュエーターを用い、低次の波面成分の制御用として原型可変形ミラー（有効径140mm）の設計、試作を行っている。設計において、アクチュエーターの数、配置、変位量、ヒステリシス、硬度などのパラメータや、ミラー基板の材料、厚さなどのパラメーター、ミラー面変形の空間特性、周波数応答に関するパラメーターなどの考慮が重要であることを明らかにしている。

可変形ミラーが、十分な初期平面度、ミラー面変形の精密性、再現性、大きな変形量などをもつためには、接着の前のアクチュエーター位置の高精度調整、ミラー用基板の薄板化、基板とアクチュエーター間の接着剤の薄膜化などが重要であることを明らかにしている。有限要素法を用いてミラー面の変形解析やアクチュエーター配置の最適化をするためのコードを開発している。

高い空間周波数成分の波面制御が可能な可変形ミラーの開発を行っている。アクチュエーターには自動化のため圧電素子を使用している。可変形ミラーの初期鏡面精度は平均値で0.08波長であり、空間的なミラー面変形特性は解析コードによる計算結果と良く一致することを示している。

(3) 大型ガラスレーザーシステムにおいて波面補償実験を行った結果、ピーク値で4.5波長の低次数の静的波面歪を、数回のフィードバック制御で0.5波長まで補償可能であり、ほぼ回折限界の2倍に近い集光スポットを実現できることを示している。補償誤差の限界は初期鏡面精度とアクチュエーターの数によって制限されることを明らかにしている。ショット後の3.5波長の熱的波面歪を自動補償によって、1波長以下に保つことが可能で、試作した光学系がレーザー稼働率の向上に有効であることを示している。

(4) 新しい線集光補償光学系を提案し、少ないアクチュエーターを用いてエネルギー損失のないアスペクト比700以上の均一な線集光パターンを実現できることを示している。X線レーザー実験に導入し波長7.92nmで、従来の光学系を使用した場合に比べ、約6倍強いX線レーザー発振を実現している。

(5) 核融合ターゲット上での照射均一性の向上のため、可変形ミラーを用い、連続波面制御により焦点近傍で、均一な三角、四角、リング状などの形にエネルギー損失なく集光パターンが整形可能であることを示している。

効率よく集光ビーム整形を行うための波面分布を設計するため、新アルゴリズムを提案している。従来の位相回復法アルゴリズムを改良したものでフーリエ変換と逆フーリエ変換を反復的に使用する際の、高空間周波数成分のフィルタリングが新規性である。設計波面分布は一般的に不連続境界が生じるが、位相情報を失うことなく連続分布に変換する位相回復を実現している。

以上の結果は、高機能波面計測法と高出力レーザー用補償光学技術を確立し、レーザー照射均一性の向上に関して大きな意義を持つと共に、核融合研究以外の高平均出力レーザー装置の改良にも大きく貢献する。これらの成果はレーザー工学、電気工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。