



Title	コヒーレンス制御によるレーザー照射一様性の改善に関する研究
Author(s)	松岡, 伸一
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40203
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	まつ 松	おか 岡	しん 伸	いち 一
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)			
学位記番号	第 1 3 1 2 7 号			
学位授与年月日	平成 9 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	コヒーレンス制御によるレーザー照射一様性の改善に関する研究			
論文審査委員	(主査)			
	教授 中塚 正大			
	教授 青木 亮三	教授 山中 龍彦	教授 白藤 純嗣	
	教授 松浦 虔士	教授 辻 毅一郎	教授 佐々木孝友	
	教授 熊谷 貞俊			

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、コヒーレンス制御によるレーザー照射一様性の改善に関する研究成果をまとめている。直接照射型レーザー核融合において、高密度圧縮を実現するには高い爆縮効率と爆縮の対称性が必要となり、レーザードライバには、優れた均一照射技術が要求される。レーザー集光強度が非一様となる原因は、有限開口による回折効果、光学素子の波面収差、増幅過程での非線形効果などの影響が近視野領域の位相及び強度分布を大きく乱すことにある。これらの乱れの影響を除くために、ランダム位相板によるビーム分割照射が広く採用されているが、干渉によるスペックル構造が集光強度分布中に現れる。このスペックルは、レーザー光の高いコヒーレンス特性に起因する。従って、集光ビームの強度分布を均一化するためには、伝搬ビームのコヒーレンスを制御してスペックル構造を時間的に平滑化する方法が有効である。

本研究では、コヒーレンス制御されたレーザードライバとして、部分コヒーレント光とスペクトル空間分布レーザー光による整形パルスを提案し、高効率で球対称性の高いターゲット爆縮を可能にしている。これらの実験的成果に加えて、コヒーレンス制御の役割を理論的にも明らかにし、均一レーザー照射技術を確立している。

本論文は、6章より構成されている。

第1章では、燃料球ターゲットの均一圧縮の観点からレーザー照射一様性の改善の必要性を述べ、レーザー照射一様性の評価方法、一様性改善のための基本概念及び種々の改善手法についてまとめている。また、部分コヒーレント光とスペクトル空間分布レーザー光による整形パルスの有用性について述べている。

第2章では、コヒーレンス制御の基本概念を述べ、理論及び計算機シミュレーションを用いて、部分コヒーレント光及びスペクトル空間分布レーザー光とスペクトル空間分布レーザーのフロントエンドシステムの開発についてまとめ、集光パターンの照射一様性の評価を行っている。

第3章では、波形整形された部分コヒーレント光発生のためのフロントエンドシステムの開発について述べ、集光パターンの照射一様性の評価を行っている。コヒーレンス制御及び波形整形のために、光ファイバー光学系を用い、制御性が高くかつ安定で実用性のある部分コヒーレント光源を開発している。

第4章では、スペクトル空間分布レーザーのフロントエンドシステムの開発について述べ、集光パターンの照射一様性の評価を行っている。フロントエンドでは、光ファイバー中での相互位相変調とドメイン反転した疑似速度整合型変調器から構成される2段位相変調器と回折格子によるスペクトル角度分散を組み合わせ、世界に先駆けて空間2

次元スペクトル分布レーザーの有用性を示している。

第5章では、2値キノフォーム位相板とマルチレンズアレイの設計を行い、包絡線形状の制御に有効であることを示している。部分コヒーレント光又はスペクトル空間分布レーザー光と組み合わせたときのシミュレーションを行い、集光パターンの特性の評価を行っている。

第6章は、結論であり、以上の研究で得られた成果についてまとめ本論文の総括としている。

論文審査の結果の要旨

本研究は、コヒーレンス制御によるレーザー照射一様性の向上を目的とし、核融合用レーザードライバとして、波形整形された部分コヒーレント光とスペクトル空間分布レーザー光の光源の開発を行い、球ターゲットの照射一様性等の評価を行っている。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

a) コヒーレンス制御による照射一様性向上の理論予測に関して、

- 1) 従来のコヒーレンス理論から出発して時空間コヒーレンスについて考察を行い、部分コヒーレント光の理論的取り扱い方法を明らかにしている。さらに、それらの議論に基づいて、スペクトル角度分散された部分コヒーレント光のシミュレーション手法を確立している。
- 2) スペクトル空間分布レーザー光に関するシミュレーションの手法を開発している。1次元平滑化、簡易型2次元平滑化及び2次元平滑化の集光パターンの一様性の評価を行い、2次元スペクトル空間分布レーザー光の有効性を示している。

b) 波形整形された部分コヒーレント光源の開発と照射一様性に関して、

- 1) 光ファイバー光学系を用いることによって、任意に波形整形できる部分コヒーレント光源の開発を行い、ビーム発散角：48TDL，スペクトル幅：0.6nm，スペクトル角度分散量：90TDL/nm，パルスの立ち上がり時間：50ps，パルス波形整形：200ps毎に調整可能で最大3ns，安定性：6.3%のフロントエンドシステムを構築している。
- 2) 部分コヒーレント光を激光XII号ガラスレーザーシステムに導入し、集光パターンの照射一様性の評価を行っている。部分コヒーレント光を用いることによって、非一様性が通常のレーザー光に比べて、中間から高次モードに互って1桁以上改善されることを確認している。部分コヒーレント光のパルス幅を変化させることによって、単一ビームの非一様性を9%（平均時間100ps）および3%（平均時間1600ps）に、また球面照射の非一様性を2.3%（平均時間100ps）および1.9%（平均時間1600ps）に改善し、照射一様性の時間特性を実験的に明らかにしている。
- 3) 部分コヒーレント光の出力エネルギーを変化させることによって、集光パターンの照射一様性の出力パワー依存性を調べている。高出力（0.6GW/cm²）にすると、照射一様性が改善されることを確認し、高速立ち上がりパルスの必要性を明らかにしている。

c) スペクトル空間分布レーザー光源の開発と照射一様性に関して、

- 1) 光ファイバー中の相互位相変調を用いて周波数変調光を発生させる方法を提案し、スペクトル空間分布レーザー光の光源として用いている。相互位相変調を用いることによって、ある程度任意な変調周波数と変調度を得ることができることを示している。さらに自己位相変調を相互位相変調と組み合わせることによって、変調周波数を時間的に変化させることを可能にしている。
- 2) 2次元スペクトル空間分布レーザー光源の2段目の変調器として、疑似速度整合型電気光学変調器を採用し、比較的厚いバルク型LiTaO₃変調器の設計および製作を行った。この変調器は、発散角を持つビームに対して、深い変調度を得るのに有効であることを示している。
- 3) 上述の位相変調器を用いて、1次元、簡易型2次元および2次元スペクトル空間分布レーザー光源の開発を行い、初段周波数変調：ファイバー中の相互位相変調、5.4から18GHz可変、第2段周波数変調：疑似速度整合型電気光学変調器、9.4GHz，ビーム発散角：20TDL，スペクトル幅：0.6nm，スペクトル角度分散：42TDL/nm，パルス幅：約200ps～500ps可変のフロントエンドシステムの構築を行っている。
- 4) 1次元（1-D SSD）、簡易型2次元（準2-D SSD）および2次元スペクトル空間分布レーザー光（2-D

D SSD)の各々の集光照射一様性の評価及び比較を行っている。実験結果より2次元スペクトル空間分布レーザー光の照射一様性が他に優れていることを明らかにしている。さらに、変調周波数を時間的に変化させることによって、単一ビームの非一様性7.3% (平均時間500ps), 球面照射の非一様性3.2% (平均時間500ps) へと照射非一様性がさらに低減できることを示している。

d) シミュレーション計算による集光強度分布包絡線の制御に関して、

- 1) 2値キノフォーム位相板の設計を行い、高次のスーパーガウス形状の集光パターンの製作が可能であることを示している。設計値11次のスーパーガウスに対してコヒーレントレーザー光では7.8次となることを示している。
- 2) 2値キノフォーム位相板とスペクトル角度分散された部分コヒーレント光または2-D SSDを組み合わせた場合でも、スーパーガウス形状が維持可能であることを示している。ビーム発散角が約 $130\mu\text{rad}$, スペクトル角度分散量が $480\mu\text{rad}/\text{nm}$ の部分コヒーレント光を用いた場合には、3.2次のスーパーガウス形状となった(コヒーレントレーザー光では7.8次)。最大ビーム発散角 $140\mu\text{rad}$ の2-D SSDを用いた場合には、2.8次のスーパーガウス形状となった。2-D SSDのビーム発散角成分には偏りがあるために、矩形の2値キノフォーム位相板と組み合わせた集光パターンの軸対称性は劣化することを示している。
- 3) マルチレンズアレイの位相分布を求めて、スペクトル角度分散された部分コヒーレント光または2-D SSDと組み合わせた場合の集光パターンの計算を行っている。部分コヒーレント光のコヒーレンス面積よりレンズエレメントの方が大きい場合、集光パターンに空間低次モードの強度変動が生じることが明らかとなった。これはレンズサイズの最適化により改善可能である。また、2-D SSDと組み合わせた場合は、高次モード不均一の除去のためにもレンズサイズの最適化が必要であることを明らかにしている。
- 4) 多方向平滑化スペクトル空間分布レーザー光を提案している。キノフォーム位相板と組み合わせた場合、スペクトル分散を多方向にする程スーパーガウスの次数が大きくなり、望みの包絡線形状が得られ易く、また軸対称のパターンが得られることを明らかにしている。
- 5) 結果的に球ターゲット上での最適照射強度分布を得るためのキノフォーム位相板の設計が可能であることを示している。

以上のように本論文は、核融合研究用ドライバーとして部分コヒーレント光とスペクトル空間分布レーザー光とを組み合わせたテーラードパルスを提案した上、実験的に実証し、照射均一性の格段の改善を与え、今後、自己点火に向けた爆縮実験の進展と臨界核融合用レーザーシステム的设计、構築に大きく寄与するものと考えられる。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。