

Title	核融合用ハイパワーレーザーにおける光波制御と照射 均一性向上に関する研究
Author(s)	中野, 人志
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3065936
DOI	10.11501/3065936
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	中野人志
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第10765号
学位授与年月日	平成5年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電磁エネルギー工学専攻
学位論文名	核融合用ハイパワーレーザーにおける光波制御と照射均一性向上に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 中井 貞雄 (副査) 教授 西原 功修 教授 加藤 義章 教授 西川 雅弘 教授 三間 罔興 教授 青木 亮三 教授 三宅 正宣 教授 井澤 靖和 教授 権田 俊一

論文内容の要旨

本論文は核融合研究用ハイパワーレーザーにおける光波制御と照射均一性向上に関する研究の成果をまとめたものであり、8章より構成されている。

第1章は緒論であり、ペレット爆縮の一様性の観点から、レーザー光のコヒーレンス制御によるレーザー照射均一性向上の重要性について述べ、本論文の目的と意義について述べている。

第2章では、レーザーエネルギーと爆縮プラズマとの結合効率向上のために提案したレーザー波面の動的制御について述べ、大出力レーザーシステムへの導入の可能性と有効性を示している。

第3章では、レーザー照射均一性を向上するための基本概念および種々の改善手法の詳細について述べ、均一照射を達成するためには部分コヒーレント光の利用が最も有効であることを示している。

第4章では、部分コヒーレント光の発生技術について記述している。ガラスレーザー媒質から発生する自然放出増幅光の利用、および光ファイバー中の自己位相変調と空間モード変換を用いる手法において、安定で実用性のある部分コヒーレント光源を開発した。各光源の制御性とコヒーレンス特性について詳細に議論している。

第5章では、部分コヒーレント光の増幅伝播諸特性について述べている。エネルギー利得の減少とスペクトル狭帯域化に着目して増幅特性を調べ、高出力増幅が可能な条件を明らかにすることにより、レーザー光と同レベルの高出力部分コヒーレント光の発生が実現可能であることを示した。また、コヒーレンスゾーンモデルを用いた部分コヒーレント光の伝播特性の解析結果から、部分コヒーレント光を用いるとレーザー光に比べて回折構造のない高品質なビーム伝播が行えることを示している。

第6章では、部分コヒーレント光の高調波変換諸特性について述べている。変換特性のコヒーレンス依存性の計測結果から、高効率変換が可能な条件を考察している。

第7章では、本研究の最重要項目である集光照射特性について記述している。集光強度の平滑化特性が空間時間コヒーレンスと密接な関係を持つことを実験的に明らかにした。また、スペckルの統計モデルが平滑化特性の評価に有効であることを示している。

第8章は結論であり、以上の研究で得られた成果をまとめ、本論文の総括を与えている。

論文審査の結果の要旨

直接照射型レーザー核融合において、超高密度圧縮を達成するには、ターゲット上に球対称で一様なプラズマ噴出面を形成する必要がある。レーザー光の高いコヒーレンスは、不可避免的に回折、干渉による不均一強度分布を発生させる。

本論文はコヒーレンス制御による強度分布の平滑化が核融合点火に向けての重要な研究課題となることを指摘し、部分コヒーレント光の発生、増幅、伝播諸特性の解明と集光照射強度の均一性向上に関する研究をまとめたものであり、主要な成果を要約すると次の通りである。

- (1) レーザー波面の動的制御によりレーザー光と爆縮プラズマとの結合効率を大幅に向上させることが可能であることを示した。電気光学結晶KD*Pに不均一分布電界を供給することにより動的波面制御が可能であることを実験的に示した。また、激光XII号レーザーシステムにおいて動的波面制御を実現するための考察と設計を実施し、高いレーザー損傷しきい値、高速応答性、大きな電気光学定数を有するMgO:LiNbO₃が有望であることを示した。
- (2) レーザー照射均一性の向上に関する歴史的経過をまとめ、従来法の欠点を大幅に改良するものとして部分コヒーレント光の応用を指摘した。レーザー光とランダム位相板で発生する集光パターンの干渉スペckル構造を除去するには、部分コヒーレント光による時間的および空間的平滑化が有効であることを示した。

理論的取り扱いとして部分コヒーレント光学を進展させ、またスペckルの統計理論を用い激光XII号レーザーで改善可能な不均一性の値を導出した。ランダム位相板上での残留空間コヒーレンスが、改善可能な不均一性を制限することを示し、残留空間コヒーレンスの低減には、部分コヒーレント光の波長角度分散技術の導入が望ましいことを明らかにした。

- (3) 部分コヒーレント光の発生技法として、ガラス増幅器からの自然放出増幅光(ASE)の利用、及び光ファイバーによるレーザー光の自己位相変調と空間モード変換を利用した手法を提案し、安定で実用性のある部分コヒーレント光源を開発した。

両光源ともに出力エネルギー($>10\mu\text{J}/\text{ns}$)および伝播ビーム拡がり角($>30\text{TDL}$)など激光XII号ガラスレーザーシステムとの良い整合性を示し、爆縮実験の要求にも対応できる優れたコヒーレンス制御性を持つことを明らかにした。

- (4) 広帯域部分コヒーレント光の増幅伝播について、エネルギー利得の減少とスペckル狭帯域化の側面から部分コヒーレント光の増幅特性を調べた。入力スペckル幅2nm以下の条件においてレーザー光と同等の高出力化が可能であることを理論的、実験的に明らかにした。部分コヒーレント光の高出力増幅実験(1,300J/ns)で、自己集束効果が制御できる条件を実験的に示し、今後の方針を与えた。

また、部分コヒーレント光の伝播特性をコヒーレンスゾーンモデルにより解析し、部分コヒーレント光はコヒーレント光に比べて回折による強度変調構造の低減において優れていることを示した。また、部分コヒーレント光の近視野像を直接計測し、開口利用率80%以上が達成できることを確認した。

以上のことから激光XII号において部分コヒーレント光はレーザー光と同等以上の動作が可能であることを明らかにした。

- (5) 部分コヒーレント光でレーザー光と同程度の2倍高調波変換効率を達成するには、波長角度分散を用い、スペckル幅0.6nm以下、ビーム発散角が回折限界の22倍(22TDL)以下の条件を満たすことが必要であることを示した。ビーム自己集束効果は位相不整合を引き起こし、高調波変換効率を大きく低下させることがわかった。非線形光学結晶KTPは大きな非線形光学定数と許容発散角を有し、インコヒーレンス性を保持した状態での高効率波長変換に見通しを与えることを示した。

- (6) 部分コヒーレント光による集光照射特性を検討し照射均一性の向上に有効であることを示した。スペckルの時間的平滑化特性を空間時間分解像から評価した。スペckル平滑化時間を短くするには空間コヒーレンスを低下させ、かつ、波長角度分散を導入することが有効であることを実験的に検証した。スペckル幅0.6nm、ビーム拡がり角22TDLにおいては平滑化時間は20ps程度まで短縮できることを示し、プラズマの動特性に整合性のある照射

光源となることを示した。

波長角度分散した部分コヒーレント光はほぼ完全にスペックル構造を消滅させることが可能で、照射不均一性を3.8%まで改善できることを示した。

完全にインコヒーレントな光を用いた場合の理想的な照射不均一性の値を検討し、現在の部分コヒーレント光源で1%の照射不均一性が達成可能であることを示した。また、2次元の波長角度分散技術を導入することにより、0.6%まで照射不均一性の改善が見込めることを示した。

以上のように、本論文はコヒーレントなレーザー光の誘起する球ターゲット照射不均一性に関して、部分コヒーレント光という全く新しい手法を提起し、照射不均一性を従来の20%レベルから4%以下へと大きく改善する方策を与えている。また、本研究は理論的解析法からシステム的设计まで一貫した結果を示しておりレーザー核融合研究を新しい段階に導くものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。