OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	相対論的超高強度短パルスレーザー光の発生及びプラズマとの相互作用に関する研究
Author(s)	森, 道昭
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42061
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	森（もり） 道（みち） 昭（あき）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 15447 号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学位論文名	相対論的超高強度短パルスレーザー光の発生及びプラズマとの相互作用に関する研究
論文審査委員	（主査） 教授 中井 貞雄 （副査） 教授 三間 圀興　教授 西川 雅弘　教授 堀池 寛 教授 飯田 敏行　教授 権田 俊一　教授 西原 功修 助教授 田中 和夫

論文内容の要旨

1980年代半ばに考案されたレーザー光の位相変調を用いた短パルス増幅法（チャープパルス増幅（Chirp Pulse Amplification:CPA）法）は、レーザー光強度に飛躍的な向上をもたらし、この強度の高さと短パルス性を利用した研究もレーザーの発展とともにさかんにおこなわれている。本研究は、超高強度短パルスレーザーシステム開発、およびプラズマとの相互作用基礎実験を行い、実験に使用できる信頼度の高いレーザーシステムの構築とそれを用いて相対論領域における新しい物理知見を得ることを目的とする。本論文は、これらの研究をまとめたものであり、5章より構成されている。

第1章では、緒論であり、研究の背景となる高強度レーザーシステムの発展と、本研究にておこなったレーザー核融合高速点火、レーザープラズマ粒子加速の背景について述べ、本研究の目的と意義を明らかにしている。

第2章は、超高強度短パルスレーザーシステムの応用研究、およびペタワットレーザーに向けた基礎開発を目的に45TW／0.45psチャープパルス増幅レーザーシステムの開発について述べ、特に圧縮部での回折格子（グレーティング）対を用いたパルス圧縮において、技術課題の解決の方策について考察をおこない、実際の開発を通して技術的な課題の解決を確認している。

第3章では、超高強度レーザーシステムのレーザープラズマ相互作用に関する応用研究としておこなった、2プラズモン崩壊不安定性に関する研究について、レーザー照射実験をおこない、この不安定性特有の3ω／2高調波について、散乱光スペクトルの角度分布を調べている。そして、3ω／2高調波生成に関するモデルの構築をおこなっている。

第4章では、超高強度レーザー光を用いた自己変調型レーザーウェーク場粒子加速の研究について、低密度ガス生成のためにガスパフの開発をおこない、超高強度レーザー光照射実験での前方散乱計測をおこない、得られた散乱光スペクトルの解析からプラズマ波振幅の評価と密度変調について評価をおこなっている。

第5章では、結論としてこれらの研究成果をまとめ、本研究で得られた知見の総括をおこなっている。

論文審査の結果の要旨

超高強度レーザーの実験的研究は、レーザー核融合に於ける高速点火、相対論的レーザープラズマ相互作用、粒子加速、実験室宇宙物理、X線レーザーなど複数の分野において全く新しい知見を与え、大きく研究を進展させる可能性を秘めている。本研究では超高強度レーザーシステムの建設、そしてそのレーザーシステムを用いた実験及び実験の為のレーザーの技術的課題克服のための開発・研究をまとめたもので、要約すると以下の通りである。

1）回折格子対を用いたパルス圧縮の技術的な課題である回折格子対の平行性と出射ビームの分散について、回折格子面2軸および格子面法線1軸、計3軸における回折格子対の平行性とビームの分散の関係と集光性への影響を解析的に明らかにしている。また、この課題に対し、具体的に回折格子対を平行に配置するため、高次の回折光を用いた検出器の開発をおこなっている。その結果、外部からの誤差要因の少なく、3軸全てにおいて平行性の検出精度の高い連続的に評価可能な計測器を完成している。

さらに、実際のパルス圧縮部の開発において、開発した検出器を用いて回折格子対の調整をおこない、実効的な集光径の下限であるGEKKO MII号レーザーシステムの波面歪みによる集光限界の1.0倍の集光径が得られ、回折格子対の平行性の向上による、集光スポット劣化の抑制を確認し、この検出器の超高強度レーザー開発における有用性を実証している。

2）短パルスモニター部を構築し、2次、3次自己相関計およびプレパルスモニター装置を開発している。この開発を通して、短パルスレーザー光計測の基礎技術向上に貢献している。

3）レーザー照射実験における実験条件の信頼性向上を目的に、可飽和吸収体によるプレパルス抑制効果の検証をおこなっている。その結果、可飽和吸収体がプレパルス比の改善に有効であることを実験的に認め、今後のプレパルス抑制の一手法となることを明らかにしている。

4）Al20μmターゲット上にパルス幅～500fs（$=10^{-15}$秒）、集光強度5×10^{16}～6×10^{18}W／cm^{2}のレーザー光照射をおこない、3ω／2散乱光スペクトル計測をおこなっている。（ω：レーザー周波数）。この得られた3ω／2散乱光スペクトルは、3ω／2光生成に関するk（波数ベクトル）－マッチングモデルと比較し、まずモデルの妥当性の考察をおこなっている。その結果、モデルは実験結果と良い一致をし、モデルの妥当性を確認している。

5）妥当性を確認したモデルを用い、n_c／4近辺でのバックグランド電子温度を評価している（n_c：プラズマ臨界密度）。その結果、強度の増加とともに電子温度は増加し、特に強度6×10^{18}W／cm^{2}でのバックグランド電子温度は約6keVに達することを明らかにしている。

6）自己変調型レーザーウェーク場粒子加速研究のためのガスパフの開発をおこなっている。具体的には、既存のCO_2レーザービート波加速に用いていた低密度生成用ガスパフ（密度10^{17}cm^{-3}）を高密度生成用（密度10^{19}cm^{-3}）に向け改造をおこない、可視光干渉計測によってガス密度とスケールの評価をおこなっている。その結果、ガス密度ピーク2.7×10^{19}cm^{-3}、スケール長2mm（半値全幅）の密度のガスパフを開発したことを確認している。

7）レーザー照射実験をおこない、前方散乱光スペクトル計測をおこなっている。得られたスペクトルを解析し、プラズマ密度1.5×10^{19}cm^{-3}・プラズマ振幅25%のウェーク場を示唆する結果が得られている。これは従来のRFライナックの1500倍にあたる150GV／mの加速電場に相当し、超高強度レーザーの粒子加速への有用性を明らかにしている。

以上のように、本論文は、45TW／0.45ps／1×10^{19}W／cm^{2}のピーク出力／パルス幅／強度の超高強度短パルスレーザーシステムを完成し、ペタワットレーザーに向けた基礎技術開発に有用な研究開発をおこなったもので、レーザープラズマ相互作用の研究では、高速点火実験とレーザーウェーク場粒子加速実験をおこない、前者はn_c／4近辺で、レーザー強度6×10^{18}W／cm^{2}の照射で6keVの電子温度、また後者では約150GV／mの高加速勾配のウェーク場が励起を示す結果を得たもので、これらの結果は、超高強度レーザーとプラズマ相互作用の物理において新しい知見を与えるばかりでなく、高速点火や粒子加速分野の研究の発展に貢献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。