

平成 22 年 6 月 21 日現在

研究種目：若手研究(B)
研究期間：2008～2009
課題番号：20740323
研究課題名（和文）プラズマ波イオン加速を目指したビート波レーザーによる遅波プラズマ波の制御
研究課題名（英文） Slow wave excitation by Beat Laser for plasma wave ion acceleration

研究代表者
森 芳孝 (MORI YOSHITAKA)
光産業創成大学院大学・光産業創成研究科・助教
研究者番号：60440616

研究成果の概要（和文）：新原理に基づくイオン加速器実現に挑戦する。レーザーとプラズマを用いて加速電場を励起且つ制御し、イオンが直接加速可能であることを実証する。具体的には、位相速度が光速より遥かに遅いプラズマ波（遅波）を、波長の異なる 2 本のレーザー（ビート波レーザー）により励起することを試みた。レーザーをプラズマ生成ガスジェットターゲットへ対向照射したとき、分光計測により遅波励起に起因すると思われる散乱光スペクトルを捉えた。

研究成果の概要（英文）：In order to demonstrate new principle of an ion accelerator, I applied experimental investigation for laser plasma ion acceleration. In detail, I examined slow wave excitation driven by double-line beat laser. When the laser was focused into the gas jet, the spectrometer detects some signals those are supposed from the slow wave.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：プラズマ物理、レーザー加速、ビート波、遅波励起、イオン加速

1. 研究開始当初の背景

レーザープラズマ粒子加速の分野で、加速イオンの最大加速エネルギー値は、2000年より進展していない。58MeV(光の34%の速度)にとどまっている(Snavely 他、PRL85 2945 2000)。これは、現在、主流のレーザーによるイオン加速機構が、光速近くで運動する電子雲によって生成される電場により加速する一段直線加速であることに起因している。この機構で、陽子を静止質量近く(930MeV)まで加速するためには、レーザー強度は、少なくとも、現状よりも2桁以上高い(>10²²W/cm²)必要があると報告されているが(Esirkepov 他、PRL9 2 175003 2004)、レーザー技術はそこまで成熟していない。異なるレーザーイオン加速手法が望まれる。

今回、申請者は、遅波進行プラズマ波によるイオン加速実現へ向けた実験を提案した。イオンも電子と同じように進行波プラズマ波に捕獲されれば、100MeVを超える加速が可能である。レーザーによるイオンのプラズマ波加速は、益田、小方らにより理論検討が行われているが(益田、小方他、Nucl. Instr. and Meth. A 455172 2000)、実験的検証は全くなされていない。

申請者は、プラズマ波の安定励起ということに着目し、テーブルトップビート波レーザーの開発を行ってきた。2006年までにビート波レーザーを構築(森他、Int. Jour. Mod. Phys. B21 572-578 2007)し、2007年3月、出力1TWを達成した。中心発振波長の異なる2本のレーザーパルスを重ねることにより、パルス中にビート(うなり)を発生させ、プラズマ中へ集光することで電子プラズマ波(加速電場)を外部制御しながら線形成長させるものである。2007年8月、開発したビートレーザーにより、固体とガスを組み合わせたターゲットにより、プラズマ波を強制振動で励起し、固体より生成した電子を加速することに成功した。さらに、加速電子エネルギー(温度)が制御可能であることを見出した。

2. 研究の目的

研究の目的は、レーザー航跡場で、イオンが直接加速可能であることを実証することである。

2ビームビート波レーザーを対向照射することにより、重イオンプラズマ中に位相速度の遅いプラズマ波を外部強制振動により励起する。エネルギー50keV以上の陽子が捕獲される位相速度の遅い進行波プラズマ波を制御することを目指す。

陽子をプラズマ波によって加速するためには、以下の3つの課題を明らかにする必要がある。

- I. 位相速度の遅い重イオンプラズマ波の励起
 - II. 重イオンプラズマ波へ陽子の入射とその加速実証
 - III. 加速陽子をプラズマ波に捕獲及び加速し続けるための、プラズマ密度、加速電場強度及び位相速度の制御
- 本研究期間内では、Iに着手する。

3. 研究の方法

位相速度の遅いプラズマ波をビート波レーザーにより、外部制御して励起するために、2段階のハードルを設けた。

1. レーザー伝搬軸に沿って均一密度プラズマを生成する超音速ガスジェットを準備する。

2. 対向照射することにより、位相速度の遅い進行プラズマ波(遅波)の励起

(1) 長尺(3mm以上)超音速ガスジェットターゲットを整備する。

マッハツウエンダー干渉計(現有)によるプラズマ密度分布の計測を行う。対向照射系の設計及び整備を行う。

(2) 対向照射により、プラズマ波(分散関係z
図1)励起とその検出を実施する(図2)。

図1 遅波と速波のプラズマ波分散関係

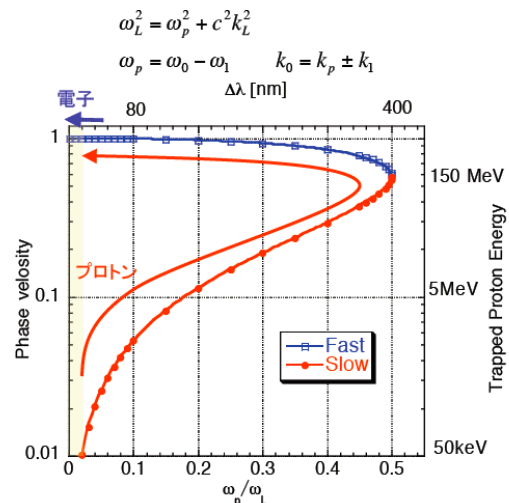
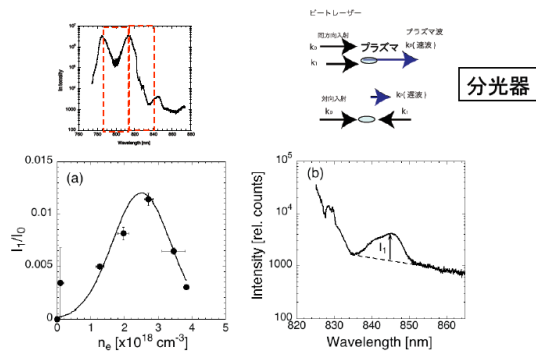


図2 プラズマ波励起とその検出

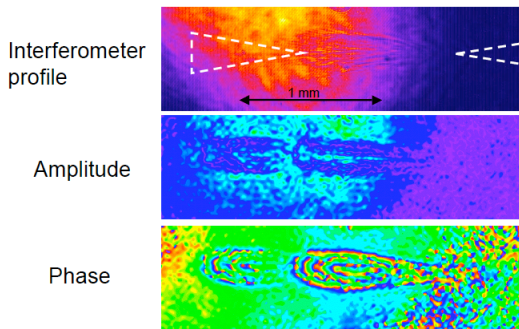


4. 研究成果

(1) 主な成果

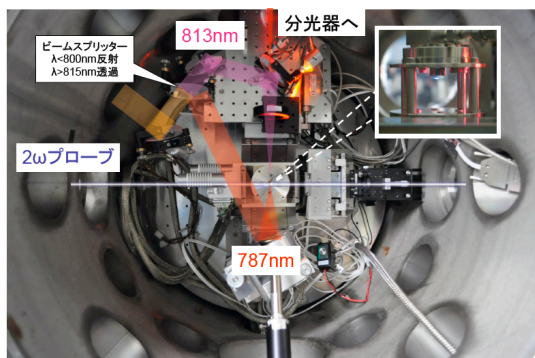
- ① 長尺ガスジェットを整備し、プラズマ生成及び電子加速実験を行った。レーザーとプラズマの相互作用で発生する高速電子のエネルギーを観測し、加速エネルギー20MeVを超える高速電子発生に成功した。10MeVを超える高速電子の発生は、本レーザーが遅波励起に十分なレーザー強度を有していることの証左である
- ② プローブ計測システムを構築し、プラズマシャドウグラフ計測と干渉計測を整備した。レーザー対向照射のアライメント(図3)及びプラズマ密度計測に用いた。

図3 干渉計測系でとらえた対向照射の様子



- ③ 遅波励起のためのレーザー対向照射系を構築した(図4)。図4中右上にみえるのが、今回整備したガスジェットである。

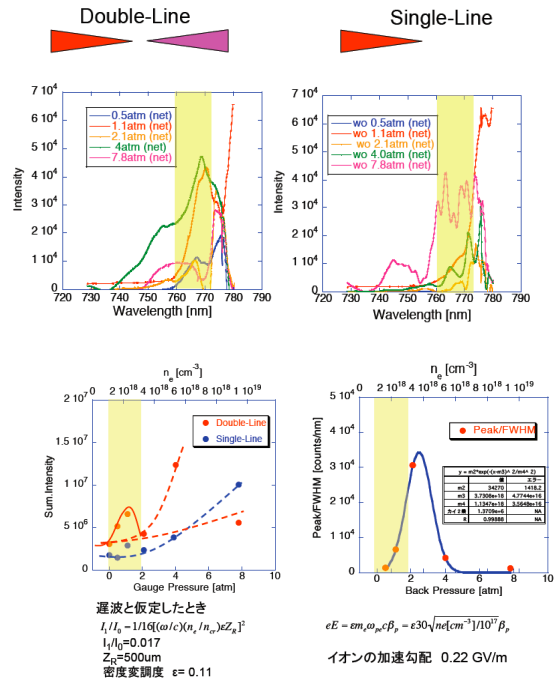
図4. 照射装置レイアウト



④ 散乱光計測図4

プラズマ密度に対する対向レーザーの有無による散乱光スペクトルの違いを計測した(図5)。解析の結果、対向レーザーを照射したとき(Double-Line)に、散乱スペクトル光の増強を確認した(図6)。これが、遅波励起に起因すると仮定すると、電子密度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ において、変調度 0.11、加速電場は 0.22GV/m と推定される。

図5. 散乱光スペクトル



(2) 得られた成果の国内外の位置づけ
 プラズマ波によるイオン加速の実験的報告は、国内外にて皆無である。2010年3月に本結果を物理学会年会(岡山大)にて報告した。報告終了後の議論より、研究の重要性を支持するコメントを受けた。今後、本成果の検証を更に進めていくとともに、米国物理学会やレーザープラズマ加速の国際会議にて発表を検討している。

(3) 今後の展望

今回の研究において、以下の課題が明らかとなった。

- ① 遅波励起と散乱スペクトルの相関
 対向照射による散乱スペクトルを捉えることには成功したが、これが遅波との関連性はまだ確認できない。この確認のためには、実際にイオンを加速させることが最有力である。
- ② イオン加速の検証
 外部から加速イオンを入射し、イオンの追

加速を検証する。
今後、以上の課題解決に挑む。【「ビート波レーザーによる遅波プラズマ波の制御とイオン加速実証」 課題番号 22740366 H22-23年度 科研費若手(B)】

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 森芳孝、小特集 レーザー電子加速の進展 3. 高エネルギー加速に向けた進展、プラズマ・核融合学会誌、査読有(解説)、巻86、2010、151
- ② Y. Mori, Y. Sentoku, K. Kondo, K. Tsuji, N. Nakanii, 他13名, Autoinjection of electrons into a wake field using a capillary with attached cone, Physics of Plasmas, 査読有, 巻16, 2009, 123103
- ③ Y. Kitagawa, Y. Mori, H. Kuwabara, S. Ootsuka, T. Makino, M. Ohta, and T. Suzuki, Ultra-intense Laser Applications to the Industries at GPI, Proceedings of Advanced Accelerator Concepts (13th Advanced Accelerator Concepts Workshop at Santa Cruz, Cal. 27 July- 2 August 2008, 査読無, 2008
- ④ Y. Mori and Y. Kitagawa, Electron injection into a forced excited plasma wake field driven by femto-sec beat wave, Proceeding of International Interdisciplinary-Symposium on Gaseous and Liquid Plasmas, 査読無, 2008, 167
- ⑤ N. Nakanii, K. Kondo, Y. Kuramitsu, Y. Mori 他15名, Spectrum modulation of relativistic electrons by laser wakefield, Applied Physics letters, 査読有, 巻93, 2008, 081501.

[学会発表] (計7件)

- ① 森芳孝、北川米喜、藤田和久他4名、「プ

ラズマ波イオン加速を目指したビート波レーザーによるプラズマ遅波励起」、日本物理学会第65回年次大会、2010年3月22日、岡山大学(岡山)

- ② 森芳孝、川島利幸、安原亮他8名、「核融合用10TW級半導体励起レーザーHAMAと統合実験装置」、レーザー学会学術講演会第30回年次大会、2010年2月2日、千里ライフサイエンスセンター、(吹田)
- ③ 森芳孝、桑原一、北川米喜、「超短パルスレーザー生成X線による後方散乱X線透視技術の開発」、第26回プラズマ・核融合学会年会、2009年12月3日、京都市国際交流会館(京都)
- ④ Y. Mori, H. Kuwabara, K. Kondo and Y. Kitagawa, "Acceleration of Cone-Produced Electrons by Double-line Ti-Sapphire", 第51回米国物理学会プラズマ物理分科会年会、2009年11月3日、アトランタ(米国).
- ⑤ 森芳孝、石井勝弘、北川米喜「ダブルラインレーザーによる電子加速II」、日本物理学会第64回年次大会、2009年3月28日、立教大学(東京).
- ⑥ 森芳孝、桑原一、北川米喜、「OPCPAレーザー生成X線による遠隔透視法」、日本物理学会2008年秋季大会、2008年9月20日、岩手大学(盛岡).

- ⑦ Y. Mori and Y. Kitagawa, Electron injection into a forced excited plasma wake field driven by femto-sec beat wave, International Interdisciplinary-Symposium on Gaseous and Liquid Plasmas (ISGLP2008), 2008年9月5日, 秋保(仙台)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 芳孝 (MORI YOSHITAKA)

光産業創成大学院大学・光産業創成研究科
・助教

研究者番号：60440616