

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料
〔事後評価用〕

平成16年度採択分

平成21年 3月31日現在

研究課題名（和文） ペタワットレーザーによる高エネルギー密度
プラズマの研究

研究課題名（英文） Research on High Energy Density Plasmas Produced
by Peta Watt Laser

研究代表者

氏名 三間 罔興 (Mima Kunioki)

所属研究機関・部局・職

大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター



研究の概要：最近のレーザー技術の進歩により可能となった、出力がペタワット級のレーザーを用いることで、密度-温度の相図上で空白の領域（超高温、超高密度）すなわち、高密度かつ相対論的高エネルギー密度プラズマを発生することが可能になっている。本学術創成研究では、このような極限プラズマ物理中で起きる多様な電磁・素粒子原子核現象の研究を行うことにより、宇宙物理学、高エネルギーレーザー加速器、レーザー核物理学や核融合の研究に新展開をもたらす新しい学術基盤を構築する。

研究分野：プラズマ物理学

科研費の分科・細目：プラズマ科学 4501

キーワード：ペタワットレーザー、相対論プラズマ、レーザー加速、高速点火

1. 研究開始当初の背景

1985年に短パルス超高強度レーザーの基盤となるチャープパルス増幅法：CPAが発明されて以来、急速にレーザー出力が増大し、相対論レーザープラズマが研究対象として注目を集めている。この分野の研究成果としてレーザー核融合、レーザー粒子加速、高エネルギー宇宙物理、等の分野への貢献が期待される。

2. 研究の目的

ペタワットレーザーを低Zから高Zの種々の原子種からなる多様なターゲットに照射することにより、密度-温度の相図上で空白の領域（超高温、超高密度）の色々な原子核種を含む高エネルギー密度プラズマを発生し研究を行う。現在、実験及び理論・シミュレーションによる研究成果が蓄積されつつあり、本研究により、相対論的高エネルギー密度プラズマの動特性を体系的に明らかにする事を目指す。すなわち、レーザー出力はペタワットを超え、GeVに達する光子や荷電粒子を含む極限プラズマを実験室で実現し、宇宙物理学、高エネルギーレーザー加速器、レーザー核物理学や核融合の研究に新展開をもたらす学術を創成する。

3. 研究の方法

具体的には以下の研究課題に挑戦する。

① ペタワットレーザーとプラズマの相互作用における自己収束、誘導ラマン散乱や高エネルギー電子の発生や超短パルスのテ

ラヘルツ放射などの相対論的非線形現象の物理を実験及び計算機シミュレーションと理論により総合的に理解する。

② 数10MAで数10MeVの電子流やイオン流と高密度プラズマとの相互作用に伴う電磁乱流の発生や自己組織化・構造形成に関連するシミュレーションと実験による総合的理解。そのため、ペタワットレベルでのレーザープラズマ実験と理論・シミュレーションの比較検討により得られるデータベースにもとづき、高エネルギー密度相対論プラズマの統合計算機シミュレーションを可能にする。

4. 研究の主な成果

ペタワット級の超高強度レーザー技術の進歩によって発生可能となった高エネルギー密度相対論プラズマの物理を学術として体系化することを目指し、レーザー加速やレーザー核融合、高エネルギー宇宙物理等多様な関連する分野の研究と連携しする研究成果を得た。すなわち、相対論プラズマの実験と理論・シミュレーション研究を有機的に結合して、超高強度レーザープラズマ物理の解明を進めた。

実験研究

大阪大学における研究では、激光MII号レーザーを整備しコントラスト比の良いレーザーパルスの発生を実現し相対論レーザープラズマの基礎研究を行った。激光MII号と

〔4. 研究の主な成果 (続き)〕

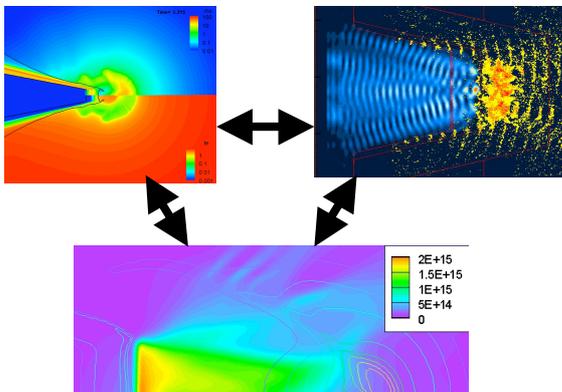
ペタワットレーザー実験とそのシミュレーション解析により、キャピラリーやコーン形状のターゲットによる電子の加速と伝播や高密度 MeV イオンの発生研究を進めた。これらの実験では、英国ラザフォード研究所や米国ローレンスリバモア研究所及びジェネラルアトミックス社の研究グループとの共同実験を行った。また、激光 MII レーザーでは、超高強度レーザー技術として、組み合わせグレーティングの開発を進め、その結果は、世界最大級のショートパルスレーザー装置 LFEX レーザーの建設に生かされた。また、京都大学との共同研究では、高繰返し回しの T⁶ レーザーにより、固体ターゲットとの相互作用で K α X 線分光計測し異常輸送現象の物理の解明を進めるとともに、T⁶ レーザーとクラスターターゲットを用いて高効率イオンの発生に成功し、レーザー・クラスターターゲットの利用への道を開いた。

「理論研究」

ペタワットレーザープラズマを総合的に再現するため、複数の大学、研究機関で、種類の異なるシミュレーション（粒子シミュレーション、ハイブリッドシミュレーション、フォッカープランクシミュレーション等）による相対論レーザープラズマの研究を進めるとともに、それらを結合した統合計算機シミュレーションをこの分野で初めて可能にした。すなわち、下図に示すように、粒子シミュレーションとフォッカープランクシミュレーション及び輻射流体シミュレーションをプロトコルで結合したシミュレーションを実施し高密度プラズマの加熱による核融合反応の増加に関する実験結果の再現に成功した。

Fast Ignition Integrated Interconnected Code (FI3 Code)

放射流体シミュレーション 粒子シミュレーション



フォッカープランクシミュレーション

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究ではペタワットレーザーにより発生するプラズマ中での高エネルギーの粒子や光子の発生・消滅にからむ高エネルギー密度状態の物理に実験と理論・シミュレーションの両面からアタックしており、その成果は高強度レーザー関連の世界の学術分野の進展に寄与すると確信している。また、超高強度レーザーと物質との相互作用を利用して、小型加速器、プロトンラジオグラフィ、短寿命原子核の発生、レーザー核融合の高速点火及び短パルステラヘルツ放射光及び高エネルギーの天体現象の研究等多くの関連分野の進歩と展開に、本研究の成果は貢献するものである。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者は二重下線、連携研究者は一重下線)

1) Nakamura, T; Mima, K, Magnetic-dipole vortex generation by propagation of ultraintense and ultrashort laser pulses in moderate-density plasmas, PHYSICAL REVIEW LETTERS, 2008, 100, 205006-1~4

2) Ter-Avetisyan, S; Schnurer, M; Sokollik, T; Nickles, PV; Sandner, W; Reiss, HR; Stein, J; Habs, D; Nakamura, T; Mima, K, Physical review E, 2008, 016403-1~5

3) Johzaki, T; Sakagami, H; Nagatomo, H; Mima, K, Holistic simulation for FIREX project with FI3, LASER AND PARTICLE BEAMS, 2007, 25, 621~629

4) Inubushi, Y; Nishimura, H; Ochiai, M; Fujioka, S; Johzaki, T; Mima, K; Kawamura, T; Nakazaki, S; Kai, T; Sakabe, S; Izawa, Y, X-ray line polarization spectroscopy to study hot electron transport in ultra-short laser produced plasma, JOURNAL OF QUANTITATIVE SPECTROSCOPY & RADIATIVE TRANSFER., 2006, 99, 305~313

5) H. Habara, R. Kodama, Y. Sentoku, N. Izumi, Y. Kitagawa, K. A. Tanaka, K. Mima, T. Yamanaka, Fast ion acceleration in ultraintense laser interactions with an overdense plasma Phys. Rev. E 69, 36407.1-36407.10 (2004)

6) K. A. Tanaka, R. Kodama, K. Mima, Y. Kitagawa, H. Fujita, N. Miyanaga, K. Nagai, T. Norimatsu, T. Sato, Y. Sentoku, K. Shigemori, A. Sunahara, T. Shozaki, M. Tanpo, S. Tohyama, T. Yabuuchi, J. Zheng, and T. Yamanaka, Basic and Integrated Studies for Fast Ignition, Physics of Plasmas, Vol. 10, No. 5, Part 2, pp.1925-1930, May 2003

ホームページ等

<http://www.ile.osaka-u.ac.jp>