

## ペタワットレーザーでプラズマ物理のフロンティアを開拓する

— 科研費学術創成研究「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」 —



夢はバラ色

三 間 圀 興\*

Development of Frontier of Plasma Physics by Peta Watt Laser

Key Words : Peta Watt Laser, High Energy Density Plasma,  
Laser Acceleration, Integrated Simulation Code, Laser Fusion

レーザーの最高出力は発明以来、キロワットからペタワット(1000兆ワット)台へ毎年2倍以上増加してきました。このドラマチックなレーザー技術の発展は、従来は高エネルギー加速器によってのみ微視的に実現可能であった「超高エネルギー密度状態」を巨視的スケールで発生することを可能にしました。このことで、超新星爆発で発生する状態に相当する100億度以上の超高温の複雑な物理現象を実験室で研究することが可能になりました。このような超高エネルギー密度プラズマをペタワットレーザーにより発生し、その複雑な電磁現象や粒子加速、原子核反応や電子-陽子の対生成などの量子力学現象を実験的に研究したり、大規模計算機シミュレーションにより理論的に解明することが、プラズマ物理学のフロンティアとなっています。

現在、パルス幅がサブピコ秒でエネルギーが100Jを超える超高強度レーザー(ペタワットレーザー)の利用が日本をはじめ欧米で可能です。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形状の固体やガス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できます。現在、実験及び理論・シミュレーションの研究開発が急激に進んでおり、近い将来、レーザー出力はペタワットからエクサワットに

達し、GeVに達する光子や荷電粒子を含む、陽電子や中間子の発生を伴うプラズマを実現できると思われています。本学術創成研究では、標記のスローガンを目的に昨年度より平成19年度までの5年間、超高強度レーザープラズマに関連する物理を学術として高度化しようとしております。このプロジェクトが認められたのは、大阪大学レーザー研で今まで蓄積されてきたレーザープラズマの研究やレーザー技術開発が高く評価されたことによると思っております。

国内では、超高強度短パルスレーザーの開発による高密度プラズマの高速加熱の核融合応用、高エネルギー粒子加速やX線の放射等の研究に関し、大阪大学、日本原子力研究所関西研究所、東京大学、宇都宮大学、産業技術総合研究所等がしのぎを削って競争しています。また、欧米や中国等海外の大学・研究所でもペタワットレーザーの整備とあわせて種々の超高強度レーザープラズマの研究が進んでおり激しい競争となっています。その中で、日本(阪大レーザー研と原研・関西研・光量子科学研究センター)と英国(ラザフォードアップルトン研究所)は世界に先駆けてペタワットレーザーを完成させ、相対論プラズマ物理の研究を開始しています<sup>(1)</sup>。大阪大学の研究グループは大規模な粒子シミュレーション及び実験により相対論的レーザープラズマ相互作用で生じる電子ジェットの発見<sup>(2)</sup>や、自己収束による超高強度レーザービームの高密度プラズマ中への侵入<sup>(3)</sup>、<sup>(4)</sup>、<sup>(5)</sup>及び電子流の高密度プラズマとの相互作用による電子流のフィラメント化と自己組織化等の現象の観測と機構の解明<sup>(6)</sup>を世界に先駆けておこなっております。また、コーン形状のターゲットを導入することによりレーザー光の収束性が大幅に改善する



\* Kunioki Mima

1945年8月生

現在、大阪大学・レーザーエネルギー学  
学研究センター・高エネルギー密度  
科学部門、教授、理学博士、プラズ  
マ物理、レーザー核融合

TEL 06-6879-8724

FAX 06-6877-4799

E-Mail mina@ile.osaka-u.ac.jp

ことを発見し、日本や米国の物理学会で多くの招待講演をおこなう<sup>(7)</sup>等、多数の研究報告をおこない、ペタワットレーザーによる高密度プラズマの瞬間加熱とそれによる核融合反応の増加とそのレーザー核融合エネルギー開発への応用研究について、日本学術振興会・国際共同事業の支援により、英国のグループと共同研究をおこない、成果がNature<sup>(8),(9)</sup>に発表されるなど世界的に高い評価を得ています。

このプロジェクトでは、図1に示すように実験と理論シミュレーション研究を有機的に結合することで超高強度レーザープラズマの学術創成を進める予定です。超高強度レーザー整備とプラズマ実験研究では、 $10^{20}\text{W}/\text{cm}^2$ を超えるレーザープラズマ実験を、大阪大学レーザー核融合研究センターの既存のレーザー装置<sup>(1)</sup>ペタワットレーザー(出力500J/パルス幅0.5ピコ秒)<sup>(2)</sup>GMIIレーザー(出力30J/0.5ピコ秒)<sup>(3)</sup>及び京都大学のチタンサファイアレーザー(T6レーザー)(出力0.5J, 50フェムト秒)を用いて実施するとともに、

平成16年度末までには、レーザー研の激光MII号レーザーを高性能化し100TW超の高精度のレーザーパルスを利用した実験を実施します。高性能化激光MII号レーザーではプレパルスレベルを $10^{-8}$ 以下にすることで、精密に制御された実験が可能になります。このことで、明確な実験条件での統合シミュレーションコードのベンチマークのための実験データを取得することが出来、信頼性が評価されたシミュレーションコードを完成することが出来ます。また、この研究成果を高輝度高エネルギープロトンの発生や高エネルギー電子加速の実証に役立て、100MeV超の高電流超短パルスの粒子ビームを発生させることを目指します。これらの成果は、図1の下部に示したような利用分野の開拓に寄与するものと夢見ています。

ペタワットレーザープラズマを総合的に再現する統合計算機シミュレーションは、複数の大学で実施する種類の異なるいくつかのシミュレーションを結合することで初めて可能になります。既に、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テストを開始しました。このようなシミュレーションシステムが完成し、ペタワットレーザー実験を精度よく再現出来れば、宇宙物理や新しいレーザー核融合方式の「高速点火」の研究が飛躍的に進歩すると期待されます。

最後に、これらの研究成果は、ペタワットレーザーで生成する高エネルギー粒子線を利用する治療・診断などの医療応用等に寄与すると考えています。粒子線によるがん治療はその一例です。現在、癌治療には大型で高価な加速器が使われています。レーザーにより、100MeV以上のイオンビームを高輝度に発生できれば、格段に小型のがん治療装置を提案できると期待されます。我々は基礎学術とその応用の両方を見据えて今後4年間一所懸命努力をしたいと思っていますのでご指導ご支援をよろしくお願いいたします。

参考文献

- (1) 三間閑興, パリティー, 2004, 01, 11, プラズマ物理
- (2) H.Ruhl, Y.sentoku, K.Mima, etal, Phys. Rev. Letters, vol.82(1999), 743

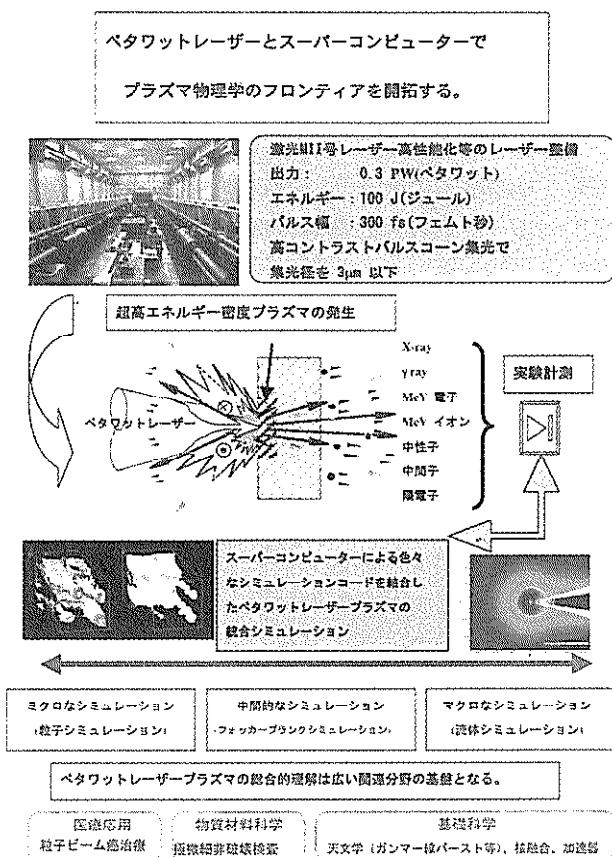


図 1

- (3) R.Kodama, etal, Phys. Rev. Letters, vol.77 (1996)4906
- (4) K.A.Tanaka, etal, Phys. Rev. E, vol.60 (1999)3658
- (5) H.Sakagami and K.Mima , Phys. Rev. E, vol.54(1996)1870
- (6) Y.Sentoku, K.Mima, etal, Phys. Rev. Letters, vol.90, (2003)155001
- (7) K.A.Tanaka, R.Kodama, K.Mima, etal, Phys. Plasmas, vol.10(2003)1925
- (8) R.Kodama, P.Norreys, K.Mima, etal, Nature, vol.412, (2001)798
- (9) R.Kodama, etal, Nature, vol.418 (2002) 933

