

## 高出力レーザーが拓く高エネルギー密度状態の科学

三間 圀興<sup>†</sup>

### High Energy Density Science Open Up by High Power Laser

Kunioki MIMA<sup>†</sup>

レーザーには、極めて高い時間空間的な制御性がある。その1つとして、高出力レーザービームを時間空間的に集中して高エネルギー密度状態を作り出すことができる。高エネルギー加速器は粒子ビームエネルギーを集中して物理学の最先端を切り拓いてきたように、高出力レーザーのビームを集中することで物理学や工学の最先端が拓かれつつある。Fig. 1に示すように、エネルギー密度は圧力の単位でもあり、例えば1気圧は約 $10^5 \text{ J/m}^3$  ( $10^5$ パスカル)に相当する。時速100 kmで走る1トンの自動車の運動エネルギーは $4 \times 10^5 \text{ J}$ であり、体積が数立方メートルだと、“大気エネルギー密度”と同程度になる。金属を構成している電子の運動エネルギー(フェルミエネルギー)密度はおおよそ $10^{11} \text{ J/m}^3$ であり、100万気圧である。従って、良く知られているように、100万気圧以上の圧力をかけると固体や液体といえども気体と同じように体積や状態が容易に変化する。例えばダイナマイトで岩石を砕くときの瞬間的なエネルギー密度は100万気圧になる。最近の短パルス超高強度レーザー；ペタワットレーザーでは1 kJの光エネルギーを $10^{-15} \text{ m}^3$ の空間に注入できるまでになっており、原子分子の状態や固体密度の物質を自由自在に制御できるようになっている。また、慣性核融合や太陽中心に相当するプラズマの発生に利用できる。原子核や中性子星の内部は $10^{32} \text{ J/m}^3$ の超高エネルギー密度の世界である。これには、さらに10桁以上のエネルギーの集中が必要であり、レーザー加速等の工夫があるが、近い将来原子核の状態の制御や中性子星の物性研究にまで、レーザーの研究領域が広がって行くと思われる。

レーザー核融合、レーザー加速や高輝度X線源のドライバーとして高出力レーザー技術が発展し、最高出力はギガワット、テラワット、ペタワットと増加し、エキサワットを望むまでになっている。Fig. 2は最近の超高強度レーザーの開発の進展を示すもので、世界各国で開発が進められている。また、ナノ秒のレーザーのパルスエネルギーは、ジュール、キロジュール、メガジュールと1年間に2倍の割合でピーク出力が増加している。2008年には大阪大学で建設中の超高強

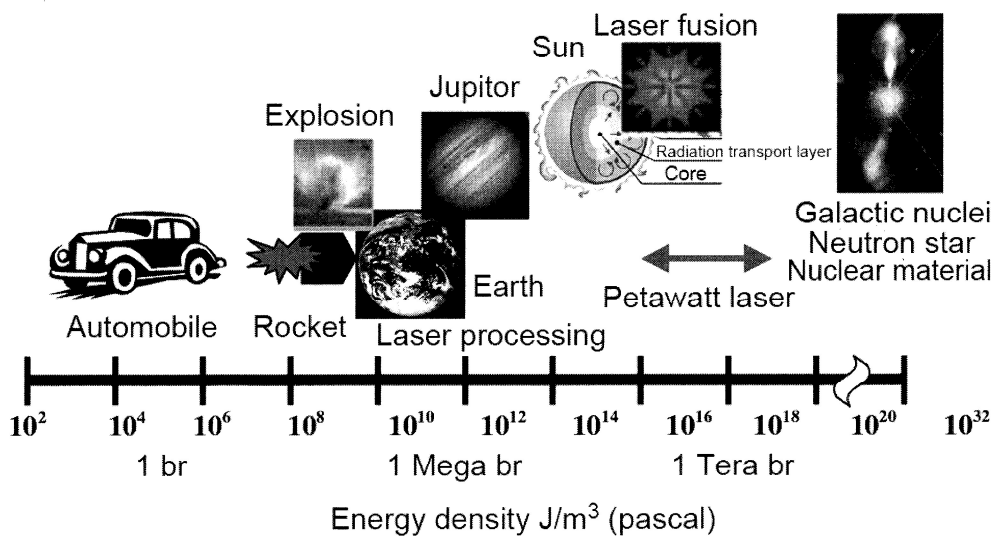


Fig. 1 Energy density and relevant phenomena.

<sup>†</sup> 大阪大学 レーザーエネルギー学研究中心 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-6)

<sup>†</sup> Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2-6 Yamada-oka, Suita, Osaka 5650-871

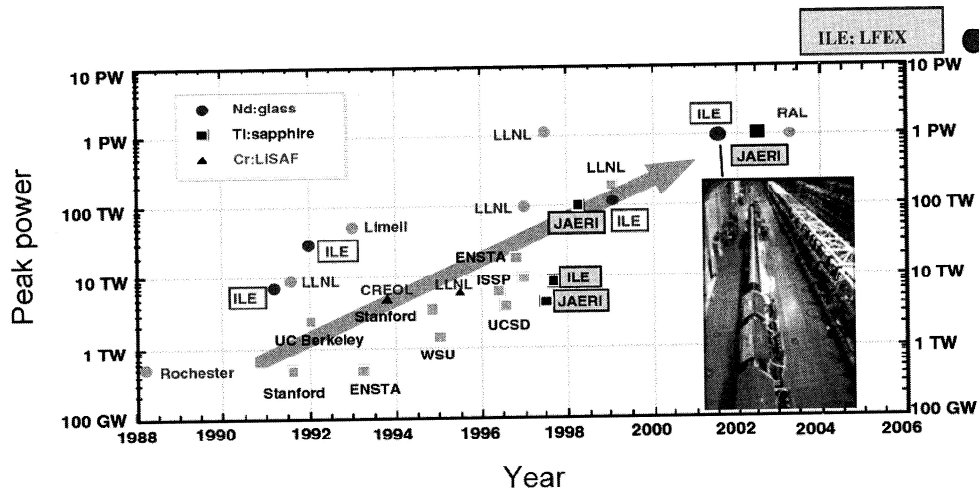


Fig. 2 Technology development of high power laser.

度レーザーの出力は10 PWを超える。

超高圧の発生と応用研究の1例を紹介する。波長 $0.35 \mu\text{m}$ の激光XII号レーザーをダイヤモンド、固体水素、鉄等の平板ターゲット上の直径 $1 \text{mm}$ 以下のスポットに集光すると、おおよそ1ナノ秒にわたり $1 \sim 10$ メガバールの圧力(レーザーアブレーションに伴う圧力)がレーザー照射面に発生し強い衝撃波がたつ。衝撃波の背後は固体密度の数倍に圧縮された超高圧状態の炭素や水素になる。このような高温高密度状態は、金属炭素や金属水素等の相を含み、超高圧物性研究に今までに無い素材を提供する。このような実験研究の成果は、地球、木星等の惑星の形成や内部構造の研究に役立つとともに、太陽や矮星の構造のモデルに“実験科学”の目を当てることになる。

上記のアブレーション圧力を利用して、 $10 \text{ km/s} \sim 100 \text{ km/s}$ の速度で薄膜を飛翔させることが可能である。これはレーザー核融合の爆縮の素過程であるとともに、高速飛翔体の衝突実験は、小惑星の衝突による恐竜絶滅の謎の解明や原始惑星の形成のモデル構築に役立つと期待されている。

21世紀に入り、日本、中国、欧米で高強度レーザー装置の整備がさらに進みつつあり、新たなプロジェクトが立ち上がっている。我が国でも、大阪大学等の大学や日本原子力研究開発機構関西光科学研究所でレーザー核融合、EUV光源開発、X線放射やレーザー粒子加速などの“高エネルギー密度状態の科学”研究が進んでいる。海外でも、英国ラザフォード研究所や米国のロチェスター大学、ローレンスリバモア研究所等、フランスのエコールポリテクニクやLOA等で、高出力レーザープラズマの物理研究が進んでいる。このように、大型の高出力レーザーによる研究により、レーザー核融合、レーザー宇宙物理、X線や粒子ビーム放射等の高エネルギー密度状態のプラズマ科学が開拓され、全世界で高出力レーザーの研究領域が一層広がることを期待したい。