

「超短パルス超高強度レーザーが拓く科学と技術」解説小特集号によせて

大道 博行

日本原子力研究所 関西研究所 光量子科学研究センター(〒619-0215 京都府相楽郡木津町梅美台8-1)

**Preface to Topical Papers on Science and Technology Created
by Ultra-Short and Ultra-High Intensity Lasers**

Hiroyuki DAIDO

*Advanced Photon Research Center, Kansai Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute,
8-1 Umemidai, Kizuchō, Souraku-gun, Kyoto 619-0215*

(Received July 4, 2003)

1990年代初めから盛んになった超短パルス超高強度レーザーの研究・開発が進み、現在、集光レーザー光強度 10^{20} W/cm²が達成されており、ターゲット照射実験が活発に行われている。レーザーパルス幅を10フェムト秒、集光サイズを10 μmとすれば、繰り返し運転が容易なエネルギーである1 Jで強度 10^{20} W/cm²が達成可能である。この超短パルスレーザーと物質との相互作用は、極限的に短く且つ強い周期電場により、レーザーのコヒーレントエネルギーが物質中の電子の相対論的運動エネルギーに変換される過程とも解釈でき、電子はレーザー光の伝播方向に集団加速される。このためプラズマ化した物質より発生するX線放射、イオン・電子ビームには鋭い指向性が期待される。また発生した高エネルギー電子、硬X線(ガンマ線)を介して原子核の励起、核変換、対創生等も大量に起こり、核反応を伴う高エネルギー密度状態の物性研究など、基礎科学に対する大きな貢献が期待されている。その一方で、繰り返し運転と相まって、これらの現象をそのまま比類のない高輝度X線源、イオン源として活用可能であり、応用にも直結している。

本小特集では、最初に超短パルス超高強度レーザーと物質との相互作用に関する紹介を行う。レーザー光による物質の電離、レーザーエネルギーのプラズマへの吸収、電子加熱、プラズマからの粒子、X線の放射等について順を追って解説する。続いて、超高強度レーザーと相対論工学と題し、相対論的レーザープラズマ中で、電子のみでなく陽子も相対論効果が顕著になる 10^{24} W/cm²以上のレーザー光強度を得るためにレーザープラズマをその集光のために用いる方法について解説する。また、超高エネルギーに加速された電子による一般相対論的現象の検証可能性を論じる。また、このような超高強度場により誘起される、真空の非線形分極による新分野開拓の夢を述べる。

高繰り返し高強度超短パルスレーザーを用いた実験室

宇宙物理学の可能性と題する解説では、小型繰り返し超短パルス高強度レーザーの特徴を生かした関連研究を紹介する。例えば、このようなレーザーの集光照射で生じる物質の極限物性状態の研究は、レーザーでなければ成し得ないユニークなものである。すなわち、地上では通常安定に存在しえない物質の状態を、レーザー照射により極短時間過渡的に発生させ、時間同期した他の超短パルスレーザーをプローブ光として用い、物性値を精密に測定しようとするものである。また、超強磁場生成等、超高強度レーザー生成プラズマ中で起こる現象を、天体現象の要素物理と見立てて詳細に特性評価することにより、天体現象解明に役立てる方法を検討する。これら種々の研究の紹介を通じ、宇宙物理学に寄与しうる研究の取りまとめを試みる。

産業利用を目指した研究も始まっており、本小特集でもその一つを取り上げた。超短パルス超高強度レーザーを用いた癌治療用イオン源の開発と題し、小型超短パルス超高強度レーザーを用いたイオン発生およびその利用研究について紹介する。最初に癌治療用イオンビーム装置の紹介を行い、小型イオン源開発の重要性を述べる。次にパルス幅数十フェムト秒の超高強度レーザーを用いたイオン発生の物理モデル及び比例則について検討し、装置の実現可能性について議論する。

超短パルス超高強度レーザーをガス中に照射することにより、パルス幅~100 fs、粒子エネルギー数十MeVの電子パルス発生が実証され、その利用研究が最近活発に議論されている。電子パルス発生の物理機構、種々の発生手法、測定手法を解説するとともに、それを用いた極短X線パルス発生への展望をまとめ、今後の研究開発の方向を示す。また本小特集号には、特集テーマに関連した優れた原著論文も多数掲載されている。さらに本特集号で紹介することができなかった数多くのユニークな研究があることも強調しておきたい。



より強い、より短い時間幅のレーザーパルスの発生とその利用を目指した研究は、大局的にはレーザーの特長を生かした極めて自然な方向に沿っているものと位置付けられる。大河の流れの如く若干の曲折を経ながらも、研究は確実にその方向に向かって進展している。レーザーの時間・空間的制御技術の進展と相まって集光レーザー光・高強度化の先端を切り開き、それを被照射物質の物理パラメーターの極限を切り開くことに用いるので

ある。本小特集では、このような問題意識で各論文を配置した。

以上を通じて、小型超短パルス超高強度レーザーの科学研究への貢献、それと表裏一体となって展開しうる新しい産業の基盤技術開発に関し、その勢いと目指す方向を感じ取っていただけると確信している。本小特集が、多くの方のこの分野への関心を増す契機となることを願ってやまない。