高強度レーザプラズマ物理学 新しい世界を開く

日本と台湾の研究グループが、先頃、日本の関西光科学研究所（KPSI）で、世界最薄、最強の材料、グラフェンを超高強度レーザ（J-KAREN）で照射することで直接エネルギーイオン加速を達成した。

理論の示すところでは、イオン加速を高めるには薄いターゲットが必要である。しかし、極薄ターゲットレジームでイオンを直接加速することは、難しいことで有名である。レーザパルスのメインピークが到達する前に、高強度レーザからの光のノイズ成分がターゲットを破壊するからである。

「われわれは、高強度レーザを備えたレーザ駆動イオン加速器に取り組んできた。室内の天体物理学実験のために電磁場診断にイオンビームを必要としていた時、同僚の一人が深刻な問題を警告した。比較的厚いターゲットを照射したときのターゲットチャンバーの放射能汚染だ」と大阪大大学院工学研究科の蔵満康浩教授は言う。

通常、研究者は、レーザとターゲットの相互作用からの放射能を止めるために鉛を使う。この場合、物理学部内で構築された比較的小さなレーザシステムで対処していた。それは、電子加速実験のためにすでに多くの鉛ブロックを使用していた」と同教授は付け加えている。「しかし、フロアは、さらなる重量増には耐えられなかった」。

ソリューションはグラフェンの形でもたらされた。グラフェンは、図らずも薄い2D材料である。単層グラフェンは透明で、電気伝導性と熱伝導性が高く、軽量であり、レーザ駆動イオン源には理想的である。

ある日、蔵満教授とウェイイェン・ウーン氏（Wei-Yen Woon）が、幼稚園で娘を待つ列に並んでいた。ウーン氏は、グラフェンを専門にする研究者である。蔵満教授は同氏に質問した。「フリースタンディングの大面積グラフェンを作れるか」。ウーン氏は、「簡単だ。大面積グラフェンターゲット（LSG）サンプルを持ってこよう」と答えた。

「今日までのところ、グラフェンには運輸、医療、エレクトロニクス、エネルギーなどさまざまなアプリケーションがある」とウーン氏は言う。「われわれは、レーザイオン加速でもう1つの破壊的アプリケーションを実証することができた。ここでは、グラフェンの機能が必要不可欠な役割を担っている」。

研究者は、光パラメトリックチャープパルス増幅器（OPCPA）及び短焦点距離軸外しパラボリックミラー（OAP）タイトフォーカスビームとともに用いたJ-KAREN超高強度短パルスレーザによりこれを達成した。結果は、強度～1022W/cm^{2}である（**図**参照）。そのような高強度でエネルギッシュな陽子と炭素イオンを実現したことに研究者は驚愕した。グラフェンターゲットを照射するプラズマミラーが不要だったので

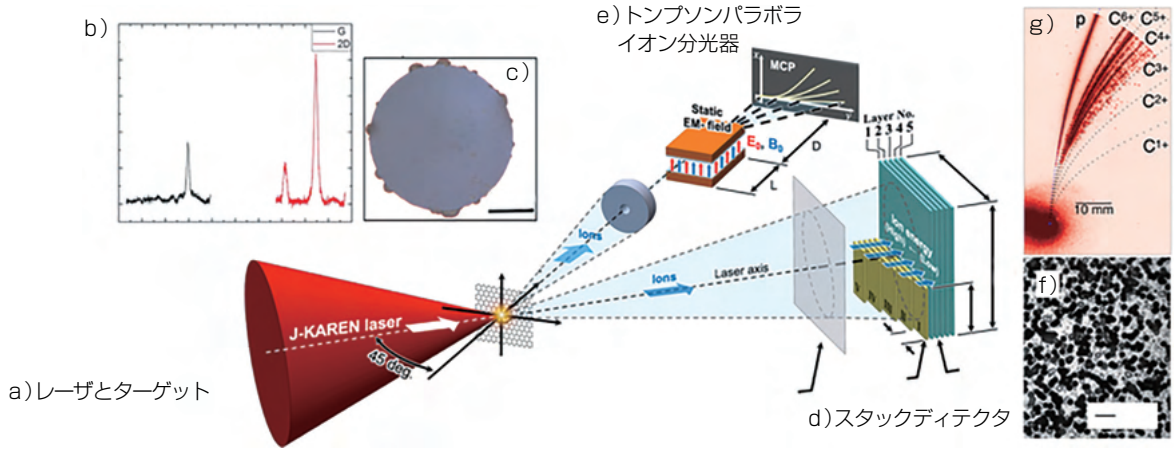

図　実験の概略図を示す。高強度J-KARENレーザで大面積サスペンディッドグラフェンターゲット（LSG）を照射することで、高速イオンが生成される（a）。（b）と（c）は、それぞれラマンスペクトルとグラフェンの顕微鏡図を示している。（d）と（e）は、それぞれ、固体パストラッカーを使うスタックディテクタとトムソンパラボラ分光器（TPS）の略図。また、（g）と（f）は、それぞれTPSとスタックからの典型的なデータを示している。（画像提供・大阪大学蔵満教授）

ある。プラズマミラーは通常、ノイズ成分除去に必要とされている。

LSGターゲットの直接照射が、超相対論から相対論的レーザ強度、低から高コントラスト条件まで、プラズマミラーなしで、MeVプロトンと炭素イオンを生成する。これは、グラフェンの耐性がいかに高いかを示している。「一見したところでは、誰もその結果が信じられなかった。われわれの同僚でさえ信じられなかった者がいた。レーザプラズマ物理学研究者は、グラフェンをよく知らないのである」と蔵満教授は、書き留めている。

プリパルス及びペデスタルは常に、高強度レーザパルスを伴う。これらが、主パルス到着前に薄いターゲットを破壊する。「通常、極薄ターゲットが高強度レーザで照射される時、プリパルスとペデスタルを除去するためにダブルプラズマミラーが必要である」と同教授は説明している。「われわれは、さまざまなタイプのレーザで多くの実験を行った。また、グラフェンが、われわれが通常、レーザターゲットに使用する3D材料とは全く異なることを理解した」。

研究者の成果は、超高強度炭素イオンエネルギーを示しているが、炭素イオンがどのように加速されるかは、研究者はまだ理解していない。「われわれは、グラフェンと高強度レーザが、極端レーザプラズマ物理学の新しい世界を開きつつあると信じている。われわれは、グラフェンを他の物質を加速するためのマウントとして利用する計画である。つまり、極薄金属、ナノ構造ターゲットなど、それ自身では自立しないような物質である」と蔵満教授は話している。

研究成果は、コンパクトで効率の良いレーザ駆動イオン加速器の開発に役立つ可能性がある。用途は、ガン治療、レーザ核融合、高エネルギー物理学、実験室天体物理学である。研究チームは、最初の成果をScientific Reports誌に発表し、間もなくさらなる成果を共有すると話している。

（Sally Cole Johnson）

参考文献

(1) Y. Kuramitsu et al., Sci. Rep.（2022）.

LFWJ

最適なレーザースキャニングソリューションを提供します！

■ 取り扱い製品

CAMBRIDGE TECHNOLOGY
A Novanta Company

高速・高性能ガルバノスキャナ

高速ポリゴンスキャナ

● 豊富なラインナップ
対応ビーム径φ3mm～φ100mm

● 標準ラインナップを常備 NEW
お急ぎの案件にも対応可能　昨年末に標準ラインナップを拡大!!

● 国内技術センター完備
ミラー / ドライバ / スキャナマウントカスタム対応や技術的なお問い合わせ・修理などにスピード対応！

sercalo
microtechnology ltd

MEMS ミラー

その他レーザー関連機器、光学、ソフトウエア、画像機器も豊富に取り揃えております。

カタログ請求・製品に関するお問い合わせは下記まで

株式会社ティー・イー・エム 営業部
URL：https://www.tem-inc.co.jp
Mail：info@tem-inc.co.jp

〒101-0035
東京都千代田区神田紺屋町17番地 ONEST神田スクエア3階
TEL:03-3258-0612（直通）