

グラフェンを用いたレーザーイオン加速におけるエネルギーフロンティアの開拓

Energy frontier in laser-driven ion acceleration with large-area suspended graphene

蔵満 康浩^{1,2}, 南 卓海¹, 境 健太郎¹, 田口 智也¹, 姫野 公輔¹, 小田 和昌¹,
鈴木 蒼一郎¹, 二階堂 颯佳¹, 倉本 恭誓¹, 酒井 優一¹, 安井 稔遥¹, 田中 崇寛¹,
安部 勇輝¹, Tatiana Pikuz¹, Chu Che-Men³, Wu Kuan-Ting^{3,4}, Woon Wei-Yen^{3,4},
Chen Shih-Hung³, Liu Yao-Li⁵, Jao Chun-Sung⁵, 太田 雅人², Lan Zechen²,
余語 覚文², Morace Alessio², Kumar Harihara Sudhan⁶, 大西 直文⁶, 田中 周太⁷,
時安 敦史⁸, 郡 英輝⁹, 小平 聡¹⁰, 楠本 多聞¹⁰, 金崎 真聡¹¹, 浅井 孝文¹¹,
鍛冶 賢志¹¹, 田邊 寛之¹¹, 井上 千裕¹¹, 望月 政一郎¹¹, 尾崎 玲於奈¹¹,
豊永 啓太¹¹, 前川 馨¹¹, 諫山 翔伍¹², 今 亮¹³, 近藤 康太郎¹³, 早川 岳人¹³,
桐山 博光¹³, 福田 祐仁¹³,

¹ 大阪大学工, ² 大阪大学レーザー研, ³ 国立中央大, ⁴ Academia Sinica,
⁵ 国立成功大学, ⁶ 東北大学工, ⁷ 青山学院大学, ⁸ 東北大学 ELPH,
⁹ 大阪大学核物, ¹⁰ QST 放医研, ¹¹ 神戸大海事, ¹² 九大総理工 ¹³ QST/KPSI
Yasuhiro Kuramitsu^{1,2}, Takumi Minami¹, Kentaro Sakai¹, Tomoya Taguchi¹,
Kosuke Himeno¹, Kazumasa Oda¹, Soichiro Suzuki¹, Fuka Nikaido¹,
Kiyochika Kuramoto¹, Yuichi Sakai¹, Toshiharu Yasui¹, Takahiro Tanaka¹,
Yuki Abe¹, Tatiana Pikuz¹, Che-Men Chu³, Kuan-Ting Wu^{3,4}, Wei-Yen Woon^{3,4},
Shih-Hung Chen³, Yao-Li Liu⁵, Chun-Sung Jao⁵, Masato Ota², Zechen Lan²,
Akifumi Yogo², Alessio Morace², Harihara Sudhan Kumar⁶, Naofumi Ohnishi⁶,
Tanaka Shuta⁷, Atsushi Tokiyasu⁸, Hideki Kohri⁹, Satoshi Kodaira¹⁰,
Tamon Kusumoto¹⁰, Masato Kanasaki¹¹, Takafumi Asai¹¹, Kenji Kaji¹¹,
Hiroyuki Tanabe¹¹, Chihiro Inoue¹¹, Seiichiro Mochizuki¹¹, Reona Ozaki¹¹,
Keita Toyonaga¹¹, Hajime Maekawa¹¹, Shogo Isayama¹², Akira Kon¹³,
Kotaro Kondo¹³, Hiromitsu Kiriya¹³, Yuji Fukuda¹³

¹ Eng., Osaka Univ., ² ILE, Osaka Univ., ³ National Central Univ.,
⁴ Academia Sinica, ⁵ National Cheng Kung Univ., ⁶ Eng., Tohoku Univ.,
⁷ Aoyamagakuin Univ., ⁸ ELPH, Tohoku Univ., ⁹ RCNP, Osaka Univ.,
¹⁰ NIRS, QST ¹¹ Kobe Univ., ¹² Kyushu Univ., ¹³ KPSI, QST

(概要)

近年の目覚ましいレーザーの高強度化・高輝度化により、これまで人類がアクセスできなかった未踏領域を実験室で実現できるようになってきた。本研究では、高強度レーザーJ-KARENを新たに導入されたプラズマミラーを用いて両面が自由表面のグラフェンターゲット large-area suspended graphene (LSG)に照射し、レーザーに対するターゲットの最適化と、ターゲットに対するレーザーの最適化の2つの方法で最高エネルギーのイオン加速を目指す。

キーワード：グラフェン、超高強度レーザー、イオン加速

(1行あける)

1. 目的

両面が自由表面のグラフェン[1, 2]をターゲットとして用い、国内最高強度のレーザーJ-KAREN[2]を新たに整備されたプラズマミラー[3]を用いて照射することで、高エネルギーのイオンを生成・加速し、レーザーイオン加速とその応用の新たなフロンティアを開拓する。

2. 方法

自由表面グラフェンターゲット (LSG) [1, 2]を、J-KAREN を用いて照射し、高エネルギーイオンを生成する。本実験は、シンチレータを用いた準相対論的イオン計測器開発 (PI:安部)、極限光トムソン散乱を用いたプラズマ診断 (PI:境)、予備加速を用いたイオン航跡場加速 (PI:諫山)、超高輝度場における誘導コンプトン散乱 (PI:田中)、そしてクラスターイオン加速実験 (PI:福田) と共同で行い、例えばイオン計測器開発実験に対して高エネルギーイオンをグラフェン実験が提供するよう相補的な研究を同時に行なっている。グラフェン実験とクラスター実験は、イオン航跡場加速の予備加速として用いることを想定している。LSGは、台湾国立中央大学 (NCU) W. Y. Woon 教授との共同研究により、高品質の世界最薄、最高強度のターゲットを作成する。実験は J-KAREN の短焦点チャンバー[3]で行い、プラズマミラー[4]を用いて LSG に対して、レーザーを斜め照射から始めて、戻り光モニターを見ながら、normal incidence に近づけてゆく。ターゲットの駆動装置とターゲットの監視システムを用いて、ターゲットのアライメントを行う。オンライン計測器として独自開発のシンチレーションカウンター[5, 6]とトムソンパラボラ、オフライン計測器に固体飛跡検出器のスタック[7]を用いる。これまでの実験では、最も薄いターゲットを最も高い強度でプラズマミラーを用いずに照射することで高エネルギーイオンを生成し、LSG の頑丈さを示してきた[8]。本研究では、単層から 100 層を超える多層グラフェンを用い、J-KAREN の最高強度に対してターゲットの厚みを最適化し、最高エネルギーのイオン加速を目指す。また、極薄膜領域に最適な加速強度についても実験的に調べる。加速過程を明らかにするために、J-KAREN レーザーによる極限光トムソン散乱を用いて、プラズマの状態も診断する。

3. 結果及び考察

結果は現在解析中であるが、全ての実験が高いレベルで成功しており、近いうちにハイインパクトジャーナルへの投稿を予定している。ここでは間違いなく実験のハイライトになる2層 LSG を用いたショットの結果を紹介する。前回の実験では2層 LSG を、これまで最も薄いターゲットとして、プラズマミラー無しで照射し、低コントラスト条件にも関わらず、直接照射で、J-KAREN の超高強度域での ~ 1 MeV プロトン加速を実現し、LSG のターゲットとしての頑強さを示した[8]。今回はこれにプラズマミラーを導入し、超高コントラストでの実験を行った。図1は、トムソンパラボラで得られたデータで、プロトン (P) と前回は計測されなかった6価のカーボン (C^{6+}) が、それぞれ30 MeV と100 MeV を超える高エネルギーまで加速されたことを示している。今回の実験ではプラズマミラーの効果がはっきりと現れており、特に極薄膜領域では非常に大きなイオンエネルギーの増大となっている。ここでは紹介しないが、1原子厚みの単層 LSG を用いたショットも高エネルギーイオンを生成しており、前回の実験で打ち立てたこれまでで最も薄いターゲットという記録を塗り替えた。単層グラフェンより薄い二次元物質は存在しないため、今後も絶対に破られることのない記録を達成できた。

4. 引用(参照)文献等

[1] N. Khasanah et al., High Power Laser Sci. Eng.,

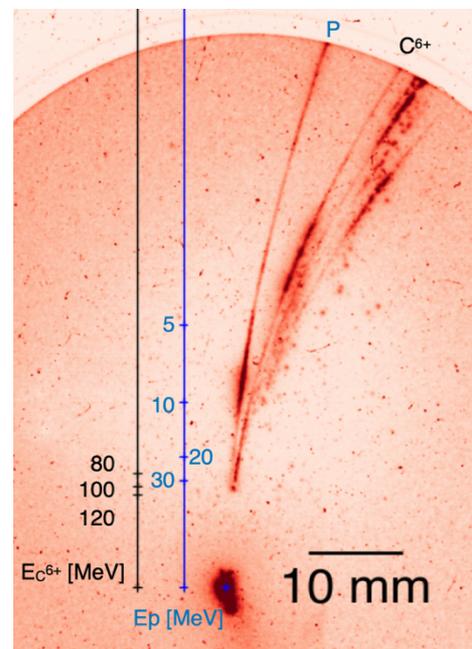


図1 これまで最も薄いターゲット 2 層 LSG を用いたトムソンパラボラデータ。

5, e18 (2017)

[2] Y.-T. Liao, et al., *Nanoscale*, 14, 42 (2022)

[3] H. Kiriya et al., *Opt. Lett.* 43, 2595, 2018

[4] A. Kon et al., *High Power Laser Sci. Eng.*, 10, e25 (2022)

[5] Y. Abe et al., *Rev. Sci. Instr.*, 93, 063502 (2022)

[6] T. Minami et al., *Rev. Sci. Instr.*, 93, 113530 (2022)

[7] T. Hihara et al., *Sci. Rep.*, 11, 16283 (2021)

[8] Y. Kuramitsu et al., *Sci, Rep.*, 12, 2346 (2022).