

連続ターゲットインジェクションによる高繰り返しレーザー核融合実験および運用 Repetitive Laser Fusion Experiment and Operation using a Target Injection system

西村靖彦¹, 米田 修², 佐藤伸弘³, 高木 勝³, 森 芳孝, 石井勝弘, 花山良平, 北川米喜, 関根尊史³,
栗田隆史³, 竹内康樹³, 加藤義則³, 栗田典夫³, 川嶋利幸³, 日置辰視⁴, 元廣友美^{4,5}, 西 哲平⁵,
砂原 淳⁶, 千徳靖彦⁷, 三浦永祐⁸, 岩本晃史⁹, 坂上仁志⁹

NISHIMURA Yasuhiko¹, KOMEDA Osamu², SATO Nakahiro³, TAKAGI Masaru³, MORI
Yoshitaka, ISHII Katsuhiko, HANAYAMA Ryohei, KITAGAWA Yoneyoshi, SEKINE Takashi³,
KURITA Takashi³, TAKEUCHI Yasuki³, KURITA Norio³, KAWASHIMA Toshiyuki³,
HIOKI Tatsumi⁴, MOTOHIRO Tomoyoshi^{4,5}, NISHI Teppei⁵, SUNAHARA Atsushi⁶,
SENTOKU Yasuhiko⁷, MIURA Eisuke⁸, IWAMOTO Akifumi⁹, and SAKAGAMI Hitoshi⁹

光産業創成大, トヨタテクニカルディベロップメント¹, トヨタ自動車 先端材料技術部²,
浜松ホトニクス³, 名大 未来社会創造機構⁴, 豊田中研⁵, レーザー総研⁶, 阪大レーザー研⁷,
産総研⁸, 核融合研⁹

GPI, Toyota Technical Development Corp.¹, Advanced Material eng. div., Toyota Motor Corp.,²,
Hamamatsu Photonics K.K.³, Green Mobility Collaborative Research Center, Nagoya University⁴,
Toyota Central Research and Development Laboratories Inc.,⁵ Institute for Laser Technology⁶,
ILE⁷, AIST⁸, NIFS⁹

1 はじめに

炉心プラズマ物理の理解と科学的ブレークイーブンを目指して、米国 NIF (National Ignition Facility) や大阪大学レーザーエネルギー学研究所などで行われてきた [1-5]. それらの研究施設では、パルスエネルギーがキロジュールないしメガジュールの大出力レーザー光を用い、静止させたターゲットに対して、いわゆる“シングルショット”による高密度爆縮、高効率の中性子発生などが行われてきた。そこで用いるレーザーシステムは、フラッシュランプでレーザー媒質であるレーザーガラスを励起する方式のため、レーザーガラスの熱の問題により、ショット率が1日あたり数ショットに制限されている。

一方、光産業創成大学院大学の研究グループでは2008年より、繰り返しレーザーを用いた高速点火方式によるレーザー核融合開発共同研究プロジェクトを、複数の共同研究機関と共に実施してきた。このプロジェクトでは、まず、将来のレーザー核融合炉ドライバとして最有力候補である半導体励起固体レーザー (DPPSL : Diode Pumped Solid State Laser) である KURE-1 レーザー [6] を励起用光源とした、1 Hz の繰り返しレーザー (HAMA レーザードライバ) を開発した [7-9].

その後、直径 1 mm の重水素化ポリスチレン (C₈D₈) の中実球ターゲット (以下、ターゲット) を 1 Hz で自由落下させるターゲットインジェクションシステムを開発した。2013年に、開発してきた1 Hz の繰り返しレーザーおよび連続ターゲットインジェクションシステムを統合した。統合システム実験装置を用い、将来のレーザー核融合炉に必須技術である投入するターゲットにレーザーを命中させることで核融合反応を起こすことに世界に先駆けて成功した [10-13].

講演では、研究グループにおいてこれまで実施してきた繰り返し動作でのターゲット投入と制御技術および可視光や X 線、荷電粒子、中性子の繰り返しデータの蓄積と解析、研究グループの最近のインジェクション装置開発などについて述べる。

2 開発したターゲットインジェクション装置

図1に開発したターゲットインジェクション装置の模式図と照射されたターゲットのスナップショットを示す。図1(a)に示す同装置は、ターゲットを充填するターゲットローダー、一定回転してターゲットを射出位置へ運ぶための回転ディスクとディスクを動かすためのモーター、自由落下するターゲットの通

過検知をする2対の光電センサー，そしてモーターと照射レーザーのタイミングを調整する制御装置から構成されている．なお同装置は，真空容器内（直径 700 mm，深さ 600 mm）に設置されている．

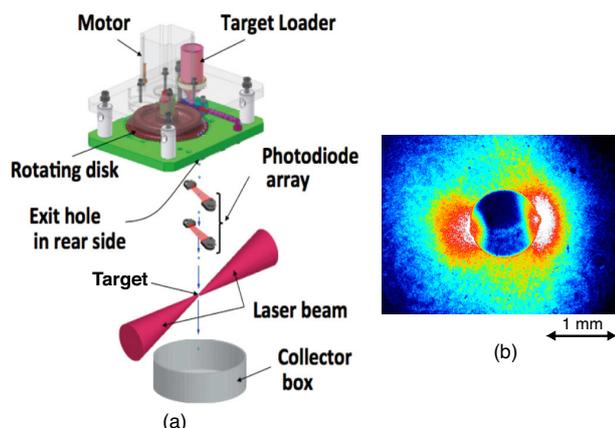


図 1: (a) ターゲットインジェクションシステム. (b) 射出されたターゲットにレーザーが照射された瞬間のスナップショット.

研究グループでは，同装置を用いて繰返しレーザー核融合実験を複数年に渡って継続している．実験中はレーザー照射時のターゲット位置を計測するシステムを用い，ターゲットに照射される様子を計測している．図 1(b) に示すように，真空中に射出されたターゲットがレーザー照射位置に到達するとレーザーが照射される．

3 繰返し実験から得られる計測結果

繰返しレーザー核融合実験から取得される計測結果の一例として，図 2 に中性子の繰返し計測について示す．

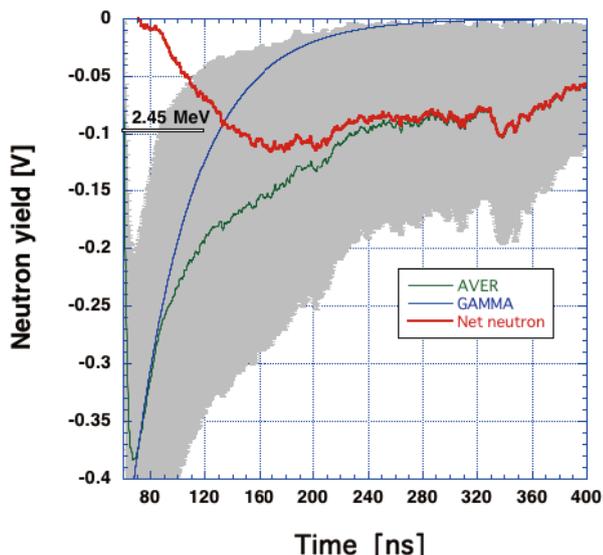


図 2: 連続レーザー核融合実験で取得した中性子計測結果.

同図の緑線は計測したシンチレータシグナルの平均，青線は統計処理した γ 線シグナル，そして赤線は繰返し核融合反応により生成された正味中性子シグナルを示している．赤線の波形に示すように，連続レーザー核融合反応中の中性子発生を定量化が可能になった．

繰返し実験における計測結果は発生する中性子だけでなく，レーザー照射位置でのターゲット位置計測と突合せをすることにより，射出（飛翔）するターゲットに対するレーザー照射との相関を得ることも出来る．例えば，強い中性子や γ 線が発生する条件を見出すこともできる．このように繰返しレーザー核融合実験と計測評価を行うことにより，将来のレーザー核融合発電実現に向けた計測技術や要素技術開発が推進される．

4 まとめ

開発してきた 1 Hz の繰返しレーザーおよび連続ターゲットインジェクションシステムを統合した研究成果の一例を報告した．統合装置を用いた研究を推進することで，レーザー核融合による発電実証・実現が近づくものになるであろう．

- [1] M. J. Edwards, et al., Phys. Plasmas, **20**, 070501 (2013).
- [2] O. A. Hurricane, et al., Nature, **506**, 7488 (2014).
- [3] R. Kodama, et al., Nature, **412**, 798 (2001).
- [4] Y. Kitagawa, et al., Phys. Rev. E, **71**, 016403 (2005).
- [5] H. Shiraga, et al., Plasma Physics and Controlled Fusion, **53**, No.12 124029 (2011).
- [6] T. Sekine, et al., Opt. Express, **18**, 13927-13934 (2010).
- [7] Y. Kitagawa, et al., Phys. Rev. Lett. **108**, 155001 (2012).
- [8] Y. Mori, et al., Nuclear Fusion, **53**, No. 7, 073011 (2013).
- [9] Y. Mori, et al., The Review of Laser Eng., **42**, No.2,154-159 (2014).
- [10] O. Komeda, et al., Scientific Reports **3**, 02561 (2013).
- [11] O. Komeda, et al., Plasma Fusion Res., **8**, 1205020 (2013).
- [12] 西村靖彦, 米田修, 佐藤仲弘, 高木勝. J. Plasma Fusion Res., **91**, No. 8, 544-547 (2015).
- [13] R. Hanayama, et al., J. Phys.: Conference Series, **688**, No. 1, 012026 (2016).