

6-9 社会連携研究部門

平 等 拓 範（特任教授（クロスアポイントメント*））（2019 年 4 月 1 日着任）

佐野 雄二（特命専門員）
竹家 啓（特任研究員）
YAHIA, Vincent（特任研究員）
LIM, Hwanhong（特任研究員）
鈴木 昌世（特任研究員）
角谷 利恵（特任専門員）
殖栗 敦（特任専門員）
CASSOURET, Florent（特任研究員）
BRUNETEAU, Baptiste（特任研究員）
花村 諭志（共同研究員）
川瀬 晃道（特別訪問教授）
吉田 光宏（特別訪問准教授）
石月 秀貴（特別訪問研究員）
佐藤 庸一（特別訪問研究員）
瀧上 浩幸（特別訪問研究員）
KAUSAS, Arvydas（特別訪問研究員）
田村 彰良（特別訪問研究員）
FLAMENT, Aliénor（インターンシップ）
松田 美帆（技術支援員（派遣））
小林 純（技術支援員（派遣））
水嶋 一彦（技術支援員（派遣））
伊吹 剛（技術支援員（派遣））
小野 陽子（事務支援員）
山崎 美鈴（事務支援員（派遣））
奥原 紀恵（事務支援員（派遣（理研）））

*理化学研究所放射光科学研究センター

A-1) 専門領域：量子エレクトロニクス，光エレクトロニクス，レーザー物理，非線形光学

A-2) 研究課題：

- a) マイクロドメイン構造制御に関する研究
- b) マイクロドメイン光制御に関する研究
- c) マイクロ固体フォトンニクスの開拓

A-3) 研究活動の概略と主な成果

分子科学に関連して重要な波長域にレーザーの高輝度光を展開する為の固体レーザー，非線形波長変換法につき包括的な研究を進めている。特には近年のマイクロ固体フォトンニクス [マイクロチップ Nd:YVO₄ レーザー（1990 年），

Yb:YAG レーザー (1993 年), セラミックレーザー (1997 年), パルク擬似位相整合 (QPM) 素子: 大口径周期分極反転 MgO:LiNbO₃ (PPMgLN) (3mm 厚 2003 年, 5mm 厚 2005 年, 10mm 厚 2012 年)] を先導すると共に, 共同研究を通し赤外域分子分光などにその展開を図っている。国際誌の雑誌編集, 特集号企画から国際シンポジウム・会議の企画提案, 開催に積極的に参加する事でその成果を内外に発信している。

- a) マイクロドメイン構造, 界面 (粒界面, 結晶界面, さらには自発分極界面) を微細に制御する固相反応制御法の研究として, レーザーセラミックス, レーザー素子, 分極反転素子の作製プロセスの高度化を図っている。特に, 固体レーザーの発光中心である希土類イオンの軌道角運動量を利用したマイクロドメインの配向制御は, これまで不可能だった異方性セラミックスによるレーザー発振を成功させただけでなく原理的にはイオンレベルでの複合構造を可能とする。さらに最近, 表面活性接合による異種材料接合に成功し, Distributed Face Cooling (DFC) 構造による Tiny Integrated Laser (TILA) なる次世代の高性能な高集積小型レーザーに関するコンセプトが検証された。これより, 新たなフォトリソを創出できるものと期待している。
- b) 光の発生, 増幅, 変換の高度制御を可能とする為の研究として, 希土類イオンの発光・緩和機構の解明, 固体中の光, エネルギー伝搬, さらにはマイクロドメイン構造と光子及び音子の相互作用機構解明, 非線形光学過程の解明, モデル化を進めている。Yb レーザーの機構解明, Nd レーザーの直接励起可能性, 希土類レーザーの励起光飽和特性, YVO₄ の高熱伝導率特性の発見, 実証に繋がったばかりでなく, マイクロ共振器の高輝度効果, レーザー利得と非線形光学過程の量子相関などの興味深い展開も見せている。特にレーザー科学発展の中で生じたパルスギャップ領域であるサブナノ秒からピコ秒の便利な光源開拓に関する貢献, パルスギャップレーザーによる新現象の解明などが期待できる。
- c) 開発した光素子を用いた新規レーザー, 波長変換システムの開発と展開を図っている。これまでもエッジ励起セラミック Yb:YAG マイクロチップレーザーによる高平均出力動作, 手のひらサイズジャイアントパルスマイクロチップレーザーからの高輝度温度光発生, マイクロチップレーザーからの UV 光 (波長: 266 nm) からテラヘルツ波 (波長: 100 ~ 300 μ m), さらには高効率・高出力のナノ秒光パラメトリック発生 (出力エネルギー約 1 J, 効率約 80%), 波長 5~12 μ m に至る広帯域波長可変中赤外光発生, 1.5 サイクル中赤外光からのコヒーレント軟 X 線 (波長: ~5 nm)・アト秒 (200 ~ 300 as) 発生などをマイクロ固体フォトリソで実証した。アト秒発生に重要な中赤外 OPCPA では, LA-PPMgLN を用い波長 2.1 μ m にてパルス幅 15 fs を平均出力 10 W と, この領域で世界最大出力を達成した。特にマイクロチップレーザーでは, パルスギャップであるサブナノ秒での高輝度光発生が望め, 光イオン化過程に有利なため極めて低いエネルギーで効率的なエンジン点火が可能となる。すでに世界ではじめての自動車エンジン搭載, 走行実験にも成功している。また, この高輝度光は光パラメトリック過程によるテラヘルツ (THz) 波発生にも有利である。また, LA-PPMgLN を用いてピコ秒領域で mJ に至る狭線幅 THz 波発生も可能となった。マンレー・ローによる量子限界を超える効率である。今後, 分子の振動状態についてのより詳細な分光学的情報を得ることから, THz 波による電子加速までと幅広い展開が期待される。

B-1) 学術論文

B. BRUNETEAU, B. FAURE, J. DEBRAY, G. SOUHAITÉ, P. SEGONDS, H. ISHIZUKI, T. TAIRA and B. BOULANGER, “Widely Tunable Near-Infrared Optical Parametric Oscillator Based on a 5%MgO:PPLN Partial Cylinder Pumped at 1064 nm by a 1-kHz Sub-Nanosecond Microchip Laser,” *Opt. Lett.* **48(14)**, 3669–3672 (2023). DOI: 10.1364/OL.492778

R. MIYAGAWA, T. OHGAI, S. YOSHIKAWA, H. H. LIM, SA. REZVANI, T. TAIRA and O. ERYU, “Effects of Laser Pulse Duration on the Formation Dynamics of Laser-Induced Periodic Nanostructures,” *Opt. Express* **32(7)**, 11863–11872 (2024). DOI: 10.1364/OE.520565

B-2) 国際会議のプロシーディングス

F. CASSOURET and T. TAIRA, “Cr:LiSAF DFC Chip for High Power and Broadband Tiny Integrated Laser,” *Proc. of SPIE, vol. 12864, Solid State Lasers XXXIII: Technology and Devices* (2024). DOI: 10.1117/12. 3003293

B-3) 総説, 著書

平等拓範, 「常温直接接合による小型集積ハイパワーレーザー」, 特集ヘテロジニアス集積技術と光デバイス応用, *OPTRONICS*, **42(503)**, 128–132 (2023). ISSN0286-9659

平等拓範, 「マイクロチップレーザー開発の最前線：小型集積パワーチップレーザー」, マイクロチップレーザーの開発とその応用, スマートプロセス学会誌, **13(2)**, 38–45 (2024). ISSN2186-702X

大場弘則, 若井田育夫, 平等拓範, 「原子炉廃炉措置に向けたマイクロチップレーザーによる遠隔分析技術の開発」, マイクロチップレーザーの開発とその応用, スマートプロセス学会誌, **13(2)**, 51–58 (2024). ISSN2186-702X

B-4) 招待講演

A. KAUSAS and T. TAIRA, “Advancing Laser Systems through Optimal Direct Bonding: Insights into Laser-Induced Damage Threshold Variability,” Advanced Solid-State Lasers (ASSL), Optica Laser Congress & Exhibition 2023, Greater Tacoma Convention Center Tacoma, WA, Tacoma (USA), October 2023.

平等拓範, 「中赤外レーザー Cr:ZnSe の常温接合」, Q-LEAP 第 30 回 ATTO 懇談会, 東京, 2023 年 9 月.

平等拓範, 「新寄光源とその応用——加工, 計測から医療まで——」, 第 2 回光材料・応用技術研究会, 東京 (ハイブリッド開催), 2023 年 9 月.

T. TAIRA, “Tiny Integrated Laser for Big Science,” Siegmán International School on Lasers, Dublin (Ireland), June 2023.

T. TAIRA, “Micro Solid-state Photonics for Ubiquitous Power Laser,” Siegmán International School on Lasers, Dublin (Ireland), June 2023.

T. TAIRA, “Tiny Integrated Lasers toward Ubiquitous Power Lasers,” The 9th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO2023), Ishikawa, June 2023.

平等拓範, 「小型集積高強度な極限固体レーザー」, OPIC セミナー, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2023, 横浜, April 2023.

T. TAIRA, “Tiny Integrated Lasers towards Giant Micro-photonics,” Tiny Integrated Laser and Laser Ignition Conference (LIC 2023), OPIC 2023, Yokohama, April 2023.

B-5) 特許出願

特願 2021-181857, 「光学素子, 光学装置および光学素子の製造方法」, 平等拓範 (自然科学研究機構), 2021 年.

WO2023080242, 「光学素子, 光学装置および光学素子の製造方法」, 平等拓範 (自然科学研究機構), 2022 年.

WO2023080205,「光学素子, レーザ装置および光学素子の製造方法」, 平等拓範, KAUSAS, Arvydas, 吉田光宏(自然科学研究機構), 2022 年.

20230137277, “Optical Oscillator, Method for Designing Optical Oscillator, and Laser Device,” T. TAIRA and H. H. LIM, 2021 年.

B-6) 受賞, 表彰

K. TAMURA, M. SAEKI, T. TAGUCHI, H. H. LIM, T. TAIRA and I. WAKAIDA, 第 56 回 (2023 年度) 日本原子力学会賞 (論文賞) (2024).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

レーザー学会研究会委員 (1999–), 「小型集積レーザー」技術専門委員会主査 (2021–2025).

光産業技術振興協会光材料・応用技術研究会幹事 (2004–), 多元技術融合光プロセス研究会幹事 (2009–).

日本光学会レーザーディスプレイ技術研究グループ実行委員 (2015–), 光エレクトロニクス産学連携専門委員会学会委員及び主査 (2020.4–), 生体ひかりイメージング産学連携専門委員会委員及び幹事 (2022–2026).

米国光学会 The Optical Society (OSA) フェロー (2010–).

国際光工学会 The International Society for Optical Engineering (SPIE) (米国) フェロー (2012–).

米国電気電子学会 The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) フェロー (2014–).

The International Academy of Photonics and Laser Engineering (IAPLE) フェロー (2018–).

OPTICA(Formerly OSA), OPTICA Fellow Members Committee 委員 (2021–2023), 委員長 (2022), 副委員長 (2023), 会議評議員 (Meetings Council)(2023–).

SPIE Maiman Laser Award Subcommittee 委員 (2020–2023).

科学技術交流財団「ジャイアント・マイクロフォトンクス」研究会座長 (2021–2023).

(公財) 天田財団理事 (2023–).

学会の組織委員等

SPIE Photonics West, LASE, 国際会議委員会共同議長 (米国, サンフランシスコ) (2019–2024).

Mid-Infrared Coherent Sources (MICS) 2022, テクニカル・プログラム委員会委員 (2021–2023).

OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022 (OPIC2022), 国際会議組織委員会委員 (2021–2023).

CLEO/Europe 2023, Solid-State Lasers, 国際会議プログラム委員会委員 (ドイツ, ミュンヘン) (2022–2023).

9th International Symposium on Optical Materials (IS-OM'9), 国際会議諮問委員 (スペイン, タラゴナ) (2023–).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 事前書面審査 (2013–2024.3).

科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 ACT-X 研究領域「リアル空間を強靱にするハードウェアの未来」領域アドバイザー (2021–).

学会誌編集委員

Applied Sciences (<https://www.mdpi.com/journal/applsci>, ISSN 2076-3417), MDPI, 編集委員会委員 (2021–2024).

理科教育活動

OPTICA, Siegman International Summer School on Lasers 講師 (June 18–25, Dublin City University, Dublin, Ireland).
(Hosted by Optica Foundation and Dublin City University)

その他

ハイティラ株式会社 CTO (2023–).

B-8) 大学等での講義, 客員

三重大学, 非常勤講師, 2022 年–2023 年.

核融合科学研究所, 客員教授, 2023 年–.

B-10) 競争的資金

科学技術振興機構未来社会創造事業 (大規模プロジェクト型) 「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」
(代表: 公益財団法人高輝度光科学研究センター熊谷教孝 (2017 年度–2020 年度), 自然科学研究機構佐野雄二 (2021 年度–2026 年度)), 平等拓範 (再委託) (2017 年度–2026 年度).

安全保障技術研究推進制度, 「ジャイアント・マイクロフォトンクスによる高出力極限固体レーザー」, 平等拓範 (2020 年度–2024 年度).

文部科学省平成 30 年度科学技術試験研究委託事業 (Q-LEAP) 「先端レーザーイノベーション拠点「次世代アト秒レーザー光源と先端計測技術の開発」部門」, 「次世代アト秒レーザー光源と先端計測技術の開発」 (② a.10KHz 赤外 OPCPA 光源の開発), 再委託 (東京大学), 平等拓範 (2018 年度–2027 年度).

安全保障技術研究推進制度, 「超小型ロバストテラヘルツ波イメージング装置の研究開発」 (代表: 南出泰丞), 平等拓範 (研究分担者) (2020 年度–2024 年度).

科学技術振興機構ムーンショット型研究開発事業, 「2050 年までに, 経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」 (代表: 大森賢治), 「高安定・高強度小型集積レーザーシステムの研究開発」, 平等拓範 (研究分担者) (2023 年度–2025 年度).

日本原子力研究開発機構廃炉・汚染水対策事業費補助金, 「燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発」 (代表: 若井田育夫), 「DFC 型高出力マイクロチップレーザーの開発に関する研究」, 平等拓範 (研究分担者) (2023 年度–2024 年度).

B-11) 産学連携

受託研究, (株) コンボン研究所, 「物質, 生命, コンピューター科学の融合領域における光科学視点の調査研究」, 平等拓範 (2023 年度).

共同研究, 東芝エネルギーシステムズ (株), 「マイクロチップレーザーを用いた非接触超音波検査」, 平等拓範 (2023 年度).

共同研究, 東海光学 (株), 「透明樹脂内部へのレーザー加工にかかる研究開発」, 平等拓範 (2023 年).

共同研究, 東海光学 (株), 「高出力密度レーザー材料に適した表面処理法の開発」, 平等拓範 (2023 年).

共同研究, トヨタ自動車 (株), 「量子 LiDAR や量子イメージング向けに, 高輝度レーザーと PPLN 等の多機能非線形光学材料を用いた量子光源の研究を行う」, 平等拓範 (2022 年度–2023 年度).

共同研究, 三菱電機 (株), 「小型集積化に向けた高強度レーザー光源研究開発」, 平等拓範 (2022 年度–2023 年度).

共同研究, (株)ハナムラ옵ティクス,「ジャイアントパルス・マイクロチップレーザーによる波長変換」, 平等拓範 (2023年度-2024年度).

共同研究, ハイティラ (株),「小型集積レーザーの研究」, 平等拓範 (2023年度-2024年度).

C) 研究活動の課題と展望

先端的レーザー光源の中で、特にビーム高品質化(空間特性制御)ならびに短パルス化(時間特性制御)などの高輝度化、そしてスペクトルの高純度化を広い波長領域(スペクトル特性制御)でコンパクト化と同時に実現することは、極めて重要な課題である。一方、極限的な粒子加速が期待されるレーザー加速では、物質の性質を原子・分子レベルで解明し、さらに化学反応などの超高速の動きを捉えることができ、広範な分野の最先端研究に利用される加速器、特にX線自由電子レーザー SACLA をトレーラーサイズにまで小型化できると期待される。しかし、その加速のための高強度レーザーが非常に大型であることが深刻な問題となり、マイクロ固体フォトニクスへの期待が高まっている。今後、レーザー加速による小型加速器の構築を目指すと共に、レーザー加速に資する先端レーザー科学を、別途、社会連携研究、小型集積レーザー (TILA, Tiny Integrated Laser) コンソーシアムにて製造、医療、量子コンピュータ、環境・エネルギー問題などに展開し、基礎研究の推進が社会貢献に繋がることを検証して行きたい。