

6-9 社会連携研究部門

平 等 拓 範（特任教授）（2019年4月1日着任）
（クロスアポイントメント；理化学研究所放射光科学研究センター）

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）
KAUSAS, Arvydas（特任研究員）
鈴木 昌世（特任研究員）
市井 智章（特任研究員）
角谷 利恵（特任専門員）
殖栗 敦（特任専門員）
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）
辻 明宏（特別訪問研究員）
吉岡 孝史（特別訪問研究員）
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））
鄭 稀燮（技術支援員（派遣（理研）））
小野 陽子（事務支援員）
稲垣 弥生（事務支援員（派遣））
奥原 紀恵（事務支援員（派遣（理研）））

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リソグラフィの展開

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リソグラフィ [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），バルク擬似位相整合（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。これまでに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

K. TAMURA, H. OHBA, M. SAEKI, T. TAGUCHI, H. H. LIM, T. TAIRA and I. WAKAIDA, “Radiation Dose Rate Effects on the Properties of a Laser-Induced Breakdown Spectroscopy System Developed Using a Ceramics Micro-Laser for Fiber-Optic Remote Analysis,” *J. Nucl. Sci. Technol.* **58**(4), 405–415 (2020). DOI: 10.1080/00223131.2020.1854880

Y. SANO, K. MASAKI, Y. MIZUTA, S. TAMAKI, T. HOSOKAI and T. TAIRA, “Effects of Laser Peening with a Pulse Energy of 1.7 mJ on the Residual Stress and Fatigue Properties of A7075 Aluminum Alloy,” *Metals* **11**(11), 1716 (9 pages) (2021). DOI: 10.3390/met11111716

Y. SANO, “Impact: Innovation in Manufacturing with Palmtop High-Power Pulsed Lasers [ImPACT: 掌サイズの高出力パルスレーザによるものづくりの革新],” *Yosetsu Gakkai Shi/Journal of the Japan Welding Society*, **89(1)**, 16–20 (2020). DOI: 10.2207/jjws.89.16

H. TOMITA, K. HASHIMOTO, K. TAKEYA and S. R. TRIPATHI, “Development of a Terahertz Wave Circular Polarizer Using a 2D Array of Metallic Helix Metamaterial,” *Opt. Lett.* **46(9)**, 2232–2235 (2021). DOI: 10.1364/OL.422025

H. H. LIM and T. TAIRA, “>50 MW Peak Power, High Brightness Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG Microchip Laser with Unstable Resonator,” *Opt. Express* **30**, 5151–5158 (2022). DOI: 10.1364/OE.450335

Y. SATO and T. TAIRA, “Comparative Study on the Linear Thermal Expansion Coefficient of Laser Host Crystals by First Principles Calculations,” *Opt. Mater. Express* **12**, 1397–1407 (2022). DOI: 10.1364/OME.450163

B-2) 国際会議のプロシーディングス

A. KAUSAS, V. YAHIA, A. TSUJI, R. ZHANG, X. ZHOU, Y. HONDA, M. YOSHIDA and T. TAIRA, “Tailor-Made Laser Chip by Bonding for High Energy Laser System,” *2021 7th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration (LTB-3D 2021)* (2021). DOI: 10.1109/LTB-3D53950.2021.9598355

Y. SATO and T. TAIRA, “Thermal Expansion Coefficient of Garnet and Bixbyite Laser Crystals Evaluated by First Principles Calculation,” *2021 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe and European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC 2021)* (2021). DOI: 10.1109/CLEO/Europe-EQEC52157.2021.9542669

Y. SATO and T. TAIRA, “Evaluation of Thermal Expansion Coefficients of Laser Gain Media by First Principles Calculation,” *The 10th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS2021), OPIC2021*, April 19–22, ALPS-15-02 (2021). (online)

K. YOSHII, N. ARAI, H. ISHIZUKI and T. TAIRA, “12 kW Peak Power at 266-nm Generation by QPM Quartz Device,” *The 10th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS2021), OPIC2021*, April 19–22, ALPS-19-05 (2021). (online)

H. H. LIM and T. TAIRA, “37 MW Peak Power Unstable Resonator Microchip Laser,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2021*, October 3–7, JTu1A.21 (2021). (poster) (online)

A. KAUSAS, V. YAHIA, A. TSUJI, R. ZHANG, X. ZHOU, Y. HONDA, M. YOSHIDA and T. TAIRA, “Smart Gain Medium of DFC Chip for >2J Micro-Laser Amplifier under Room Temperature,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2021*, JTu1A.27 (2021). (poster) (online)

Y. SATO and T. TAIRA, “Thermal Expansion Coefficient of Materials for Laser Ceramics Evaluated by the First Principles Calculation,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2021*, October 3–7, AW1A.7 (2021). (online)

Y. SANO, T. TAIRA, K. YOKOFUJITA, Y. MIZUTA, S. TAMAKI, T. HOSOKAI, K. MASAKI, T. KATO and Y. SAKINO, “Development of Laser Peening Device to Prolong Fatigue Life of Metallic Infrastructure,” *Extended Abstract, The 10th Australasian Congress on Applied Mechanics (ACAM10)*, November 29–December 1, 168 (2021). ISBN: 978-1-925627-59-6 (online)

H. T. OLGUM, M. PERGAMENT, T. TAIRA, H. ISHIZUKI, F. X. KAERTNER and N. MATLIS, “Large-Aperture, Manually Poled LiNbO₃ and KTP for High-Energy, Narrowband THz Generation,” *LASE, SPIE Photonics West 2022*, 11985-29 (2022).

H. H. LIM and T. TAIRA, “>40 MW Peak Power Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG Unstable Resonator Microchip Laser,” *LASE, SPIE Photonics West 2022 On Demand*, 11980-48 (2022). (poster) (online)

B-3) 総説, 著書

Y. SANO, K. MASAKI, K. AKITA, K. KAJIWARA and T. SANO, “Effect of Laser Peening on the Mechanical Properties of Aluminum Alloys Probed by Synchrotron Radiation and X-Ray Free Electron Laser,” *Metals* **10(11)**, 1490 (19 pages) (2020). DOI: 10.3390/met10111490

H. OHBA, I. WAKAIADA and T. TAIRA, “Remote Laser Analysis Technique for Decommissioning of Nuclear Power Station,” *J. Inst. Electr. Eng. Jpn.* **142**, 77–80 (2022). DOI: 10.1541/ieejjournal.142.77 (in Japanese)

B-4) 招待講演 (* 基調講演)

平等拓範, 「擬似位相整合 (QPM) 素子による短パルス光制御」, Q-LEAP 第7回ATTO懇談会, オンライン開催, 2021年4月.

平等拓範, 「新発想のレーザー技術で狭帯域の高エネルギーテラヘルツ波を発生」, オプトロニクスWEBセミナー「6G通信, 次世代計測を拓くテラヘルツデバイスの現状と将来～発信器, 検出・受信機, 制御素子～」, オンライン開催, 2021年4月.

平等拓範, 「マイクロフォトンクスによる先進的小型集積レーザー (Micro-photonics for Advanced Tiny Integrated Lasers)」, 第17回原子・分子・光科学 (AMO) 討論会, オンライン開催, 2021年6月.

平等拓範, 「室温動作 $2\text{J} \times 100\text{Hz}$ DFC チップレーザーの開発」, JST 未来社会創造事業「レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証」シンポジウム, オンライン開催, 2021年6月.

平等拓範, 「レーザの開発と加工への応用展開」, 天田財団第4回レーザプロセッシング助成研究成果発表会, 横浜 (オンライン・ハイブリッド開催), 2021年6月.*

佐藤庸一, 平等拓範, 「配向制御異方性レーザーセラミックス研究開発」, 日本光学会年次学術講演会「Optics & Photonics Japan 2021」, 東京, 2021年10月.

平等拓範, 「オプトセラミックスの未来: クロージングリマークス」, 日本光学会年次学術講演会「Optics & Photonics Japan 2021」, 東京, 2021年10月.

平等拓範, 「国際会議 OSA Laser Congress 2021 報告」, 光産業技術振興協会第3回光材料・応用技術研究会, オンライン開催, 2021年11月.

平等拓範, 「マイクロチップレーザーの開発」, 第112回中部レーザ応用技術研究会, オンライン開催, 2021年11月.

平等拓範, 「高エネルギー密度室温動作 DFC チップレーザーの開発」, レーザー学会学術講演会第42回年次大会, オンライン開催, 2022年1月.

平等拓範, 「マイクロ固体フォトンクスによるスマートエネルギー変換」, 分子研研究会「エネルギー科学の最前線: 階層横断的な理解に向けて」, オンライン開催, 2022年2月.

B-5) 特許出願

特願 2021-107782, 「皮膚レーザ治療器」, 高橋 勉, 高橋一哲, 平等拓範 (ユニタック, 自然科学研究機構), 2021年.

特願 2021-180007, 「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, カウシャス アルヴィダス, 吉田光宏 (自然科学研究機構), 2021年.

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.

特願 2021-520629,「光学素子の製造方法及び光学素子」, 平等拓範, カウシャス アルヴィダス, 鄭麗和(自然科学研究機構), 2021 年.

特願 2021-546950,「レーザ装置及びパルス幅変更方法」, 平等拓範, 川崎泰介, ヤヒア ヴァンサン(自然科学研究機構), 2021 年.

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–).

光産業技術振興協会光材料・応用技術研究会幹事 (2004–).

光産業技術振興協会多元技術融合光プロセス研究会幹事 (2009–).

レーザー学会諮問員 (2012.4–2022.5).

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–).

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 (2021–2022).

SPIE Maiman Laser Award Subcommittee 委員 (2020–2022).

日本光学会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–).

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) (2019–2023).

CLEO/Europe 2021, Solid-State Lasers, 国際会議分科委員(ドイツ, ミュンヘン) (2020–2021).

The 4th International Conference on Optics, Photonics and Lasers (OPAL'2021), 国際会議国際プログラム委員会委員 (2021).

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

Advanced Solid State Laser Conference (ASSL'21), 国際会議プログラム委員会委員 (Materials Program Committee) (2021).

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

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).

日本学術振興会生体ひかりイメージング技術と応用第 185 委員会委員 (2011–2022.3).

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 (2021–2023).

B-10) 競争的資金

科学技術振興機構CREST 研究,「ホログラム光刺激による神経回路再編の人為的創出」(代表:神戸大学和氣弘明), 平等拓範(再委託)(2017年-2022年).

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-2020年), 自然科学研究機構佐野雄二(2021年-2026年)), 平等拓範(再委託)(2017年-2026年).

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」(②a.10KHz 赤外OPCPA 光源の開発), 再委託(東京大学), 平等拓範(2018年-2027年).

中小企業経営支援等対策費補助金 戦略的基盤技術高度化支援事業(サポイン),「狭隘部への適用が可能な可搬型レーザーピーニング装置の開発」(事業管理機関:公益財団法人名古屋産業科学研究所, 総括研究代表者:LAcubed), 平等拓範(副総括研究代表者), (2020年-2022年).

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-2024年).

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:南出泰亜), 平等拓範(研究分担者)(2020年-2024年).

B-11) 産学連携

(株)コンボン研究所,「マイクロ固体フォトンクスの基礎研究」, 平等拓範(2021年).

(株)村田製作所,「水晶波長変換デバイスの研究」, 平等拓範(2021年).

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(2021年).

(株)ユニタック,「超小型皮膚疾患用レーザー治療器の開発」, 平等拓範(2021年).

トヨタ自動車(株),「小型集積レーザー(TILA)による窒化の研究」, 平等拓範(2021年).

日本原子力研究開発機構,「マイクロチップレーザー適用長尺光ファイバ伝送LIBS分析技術に関する研究」, 平等拓範(2021年).

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ン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,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。