

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)

石月 秀貴 (特別訪問研究員)

佐藤 庸一 (特別訪問研究員)

松田 美帆 (技術支援員)

小林 純 (技術支援員)

水嶋 一彦 (技術支援員)

小野 陽子 (事務支援員)

稲垣 弥生 (事務支援員)

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), 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, 新たなフォトンニクス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 μm)、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 μm 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ンクスで実証した。アト秒発生に重要な中赤外 OPCPA では、LA-PPMgLN を用い波長 2.1 μm 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

H. ISHIZUKI and T. TAIRA, "Polarity Inversion of Crystal Quartz Using a Quasi-Phase Matching Stamp," *Opt. Express* **28**, 6505–6510 (2020). DOI: 10.1364/OE.386991

F. CASSOURET, A. KAUSAS, V. YAHIA, G. AKA, P. LOISEAU and T. TAIRA, "High Peak-Power Near-MW Laser Pulses by Third Harmonic Generation at 355 nm in Ca₅(BO₃)₃F Nonlinear Single Crystals," *Opt. Express* **28**, 10524–10530 (2020). DOI: 10.1364/OE.384281

O. SAITO, E. SEN, Y. OKABE, N. HIGUCHI, H. ISHIZUKI and T. TAIRA, "Laser Wavelengths Suitable for Generating Ultrasonic Waves in Resin-Coated Carbon Fiber Composites," *ASME J. Nondestructive Evaluation* **3**, 031103 (11 pages) (2020). DOI: 10.1115/1.4046719

K. TAMURA, H. OHBA, M. SAEKI, T. TAGUCHI, H. H. LIM, T. TAIRA and I. WAKAIDA, "Development of a Laser-Induced Breakdown Spectroscopy System Using a Ceramic Micro-Laser for Fiber-Optic Remote Analysis," *J. Nucl. Sci. Technol.* **57**(10), 1189–1198 (2020). DOI: 10.1080/00223131.2020.1776648

Y. SANO, "Quarter Century Development of Laser Peening without Coating," *Metals* **10**, 152 (11 pages) (2020). DOI: 10.3390/met10010152

Y. SANO, K. AKITA and T. SANO, "A Mechanism for Inducing Compressive Residual Stresses on a Surface by Laser Peening without Coating," *Metals* **10**, 816 (12 pages) (2020). DOI: 10.3390/met10060816

S. TOKITA, H. KOKAWA, S. KODAMA, Y. S. SATO, Y. SANO, Z. LI, K. FENG and Y. WU, “Suppression of Intergranular Corrosion by Surface Grain Boundary Engineering of 304 Austenitic Stainless Steel Using Laser Peening Plus Annealing,” *Mater. Today Commun.* **25**, 101572 (7 pages) (2020). DOI: 10.1016/j.mtcomm.2020.101572

鷺坂芳弘, 川崎泰介, **V. YAHIA**, 平等拓範, 佐野雄二, 「サブナノ秒マイクロチップレーザーによるレーザーピーンフォーミングの変形特性」, *塑性と加工 (日本塑性加工学会論文誌)* **62**, 8–13 (2021). DOI: 10.9773/sosei.62.8

Y. SATO and T. TAIRA, “Study on the Specific Heat of $Y_3Al_5O_{12}$ between 129 K and 573 K,” *Opt. Mater. Express* **11**, 551–558 (2021). DOI: 10.1364/OME.416480

B-2) 国際会議のプロシーディングス

H. H. LIM and T. TAIRA, “H>27 MW Peak Power Doughnut Mode Nd:YAG Microchip Laser,” *LASE, SPIE Photonics West 2020*, 11259-70 (2020).

T. KAWASAKI, V. YAHIA and T. TAIRA, “Sub-Ns Pulse Shaping of Microchip Laser Under Amplification,” *LASE, SPIE Photonics West 2020*, 11259-23 (2020).

Y. SATO and T. TAIRA, “Difference Between Experimental Value and Debye-Model in the Specific Heat of $Y_3Al_5O_{12}$,” *The 9th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS2020), OPIC2020, ALPSp-02* (2020). (Online)

T. TAIRA, “Giant Micro-Photonics Toward Tiny Integrated Power Lasers,” *The 9th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS2020), OPIC2020, ALPS5-02* (2020). (Online)

H. ISHIZUKI and T. TAIRA, “Characterization of QPM Quartz Device Fabricated by a Stamp Method,” *The 9th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS2020), OPIC2020, ALPS15-05* (2020). (Online)

H. OHBA, K. TAMURA, R. NAKANISHI, M. SAEKI, H.H. LIM, T. TAIRA, K. AKAOKA and I. WAKAIDA, “Rare Earth Elements Detection in Mixed Oxide Using a Fiber Optic LIBS with a Ceramic Micro-Laser,” *11th International Conference on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS 2020)*, P2-10 (2020). (Online)

A. KAUSAS, R. ZHANG, X. ZHOU, Y. HONDA, M. YOSHIDA and T. TAIRA, “Room Temperature 2J Laser Amplifier with Direct Bonded DFC Chip,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2020, ATu2A.2* (2020). (Online)

T. TAIRA, “Microchip Lasers,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2020, JTu7A.1* (2020). (Online) (Tutorial)

H. H. LIM and T. TAIRA, “High-Brightness Unstable Cavity Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG Microchip Laser,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2020, JTh6A.9* (2020). (poster) (Online)

V. YAHIA and T. TAIRA, “Investigation on Gain Aperture as a Compact Tool for Spatial Beam Shaping,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2020, JTh6A.10* (2020). (poster) (Online)

K. TAKEYA, H. ISHIZUKI and T. TAIRA, “Quantitative Evaluation of Birefringence of Quartz Crystal in Terahertz Region,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2020, JTh6A.20* (2020). (poster) (Online)

Y. SATO and T. TAIRA, “Specific Heat of $Y_3Al_5O_{12}$ Under Cryogenic and Room Temperature Conditions,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2020, JTh6A.21* (2020). (poster) (Online)

T. TAIRA, “Giant Micro-Photonics Toward Table-Top XFEL,” *Ceramic and Crystal Materials for Optics and Photonics-Session II, Materials Science & Technology 2020 (MS&T20)*, November 2-6 (2020). (Invited) (Online)

H. ISHIZUKI and T. TAIRA, “Stamp Method for QPM Quartz Fabrication,” *Mid-Infrared Coherent Sources (MICS)*, MTu3C.1 (2020). (Online)

T. TAIRA, “Opening Remarks,” *LASE Plenary and Hot Topics I and II, SPIE Photonics West 2021*, 6–11 (2021). (Invited) (Online)

H. H. Lim and T. TAIRA, “Life-Time Evaluation of Monolithic >MW Peak Power Nd:YAG/Cr:YAG Ceramic Microchip Lasers,” *LASE, SPIE Photonics West 2021*, 11664-16 (2021). (Online)

B-3) 総説, 著書

佐藤庸一, 平等拓範, 「非等方性結晶の透明セラミックス化」, *レーザー研究* **47**, 442–447 (2019).

平等拓範, 「マイクロドメイン制御による小型集積パワーレーザー」, *協会誌セラミックス* **55**, 113–116 (2020).

平等拓範, 「レーザーの開発と加工への応用展開」, *説苑, FORM TECH REVIEW 2019* **29**, 63–64 (2020).

大場弘則, 若井田育夫, 平等拓範, 「過酷環境下での遠隔レーザー分析技術」, *日本原子力学会誌* **62**, 263–267 (2020).

平等拓範, 「マイクロ固体フォトニクスによる小型集積レーザー——ビッグサイエンスから社会実装にわたるイノベーション“ジャイアント・マイクロフォトニクス”に向けて——」, *応用物理* **90**, 155–161 (2021).

H. H. LIM and T. TAIRA, “Life-Time Evaluation of Monolithic >MW Peak Power Nd:YAG/Cr:YAG Ceramic Microchip Lasers,” *Proc. of SPIE*, 116640L (6 pages) (2021). DOI: 10.1117/12.2578393

B-4) 招待講演

平等拓範, 「進化するレーザーと自動車・移動体応用」, レーザー学会学術講演会第40回年次大会, 仙台, 2020年1月.

T. TAIRA, “Giant Micro-Photonics Toward Tiny Integrated Power Lasers,” The 9th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS2020), OPIC2020, Yokohama (Japan) (Online), April 2020.

平等拓範, 「バーチャル見学会:プロモーションビデオと併用【SPRING-8】→【SACLA】→【レーザー加速プラットフォーム】」, 光産業技術振興協会, 2020年度多元技術融合光プロセス研究会第2回研究交流会, オンライン開催, 2020年9月.

平等拓範, 「マイクロフォトニクスの自動車応用——点火, 加工, 計測など——」, 日本光学会, 第27回レーザーディスプレイ技術研究会, オンライン開催, 2020年9月.

平等拓範, 「レーザー科学と革新にかかる光源に関する考察」, 日本光学会, 光エレクトロニクス産学連携専門委員会, 第321回研究会「光エレクトロニクスの将来」, オンライン開催, 2020年10月.

T. TAIRA, “Microchip lasers,” OSA Topical Meeting on Advanced Solid State Lasers (ASSL), OSA Laser Congress 2020, Online, October 2020. (Tutorial)

平等拓範, 「マイクロフォトニクスによるチップレーザーこれからの30年」, 光産業技術振興協会, 研究会設立30周年記念行事2020年度第3回光材料・応用技術研究会, オンライン開催, 2020年11月.

T. TAIRA, “Giant Micro-Photonics Toward Table-Top XFEL,” *Ceramic and Crystal Materials for Optics and Photonics-Session II, Materials Science & Technology 2020 (MS&T20)*, Online, November 2020.

平等拓範, 「マイクロチップ小型集積パワーレーザーの開発」, 第94回レーザー加工学会講演会, オンライン開催, 2020年11月.

平等拓範,「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」, 超高速光エレクトロニクス時限研究専門委員会, 超高速光エレクトロニクス (UFO) 研究会第5回研究会, オンライン開催, 2020年12月.

平等拓範,「ロボット適用マイクロフォトンクスによる小型集積レーザー」, レーザー学会学術講演会第41回年次大会, オンライン開催, 2021年1月.

平等拓範,「マイクロフォトンクスによるレーザー駆動電子加速光源」, レーザー学会学術講演会第41回年次大会, オンライン開催, 2021年1月.

吉田光宏, 張 勳, 周翔宇, 平等拓範, 石月秀貴, A. KAUSAS, 佐藤庸一, V. YAHIA, 辻 明宏,「マイクロフォトンクスを利用したKEKにおける高出力パルスレーザー開発・レーザー加速研究」, レーザー学会学術講演会第41回年次大会, オンライン開催, 2021年1月.

平等拓範,「国際会議Photonics West 2021 報告」, 光産業技術振興協会, 第4回光材料・応用技術研究会, オンライン開催, 2021年3月.

平等拓範,「マイクロチップレーザーの開発および展開」, 日本非破壊検査協会, 2020年度第2回先進超音波計測に関する萌芽技術研究会, オンライン開催, 2021年3月.

T. TAIRA, “Opening Remarks,” LASE Plenary and Hot Topics I and II, SPIE Photonics West 2021, Online, March 2021.

B-5) 特許出願

特願 2020-044709,「光発振器, 光発振器の設計方法およびレーザー装置」, 平等拓範, LIM, Hwan Hong (自然科学研究機構), 2020年.

特願 2021-008025,「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.

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-).

レーザー学会評議員 (2005-).

応用物理学会日本光学会レーザーディスプレイ技術研究グループ顧問 (2008-2012), 実行委員 (2012-).

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-).

米国光学会 The Optical Society (OSA) 評議員 (Council, Board of Meeting) (2014-).

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

レーザー学会「ユビキタス・パワーレーザー」技術専門委員会主査 (日本, 大阪府) (2018-2021).

科学技術交流財団「マイクロ固体フォトンクス」研究会座長 (日本, 豊田市) (2018-2020).

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) (2020-2023).

Mid-Infrared Coherent Sources (MICS) 2020, テクニカル・プログラム委員会委員 (チェコ, プラハ) (2019-2020).

Pacific Rim Laser Damage 2020 (PLD2020), 国際会議国際委員会委員 (日本, 横浜) (2019-2020).

Advanced Solid State Laser Conference (ASSL'20), 国際会議プログラム委員会委員 (Materials Program Committee) (2020).

SPIE, SPIE Laser Award 委員 (米国, ベリンハム) (2020).

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

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向研究センター専門調査員 (2006–).

日本学術振興会光エレクトロニクス第 130 委員会委員 (2007–), 幹事 (2008–).

日本学術振興会接合界面創成技術第 191 委員会委員 (2017–).

B-8) 大学での講義, 客員

大阪大学, 「Micro Solid-State Photonics (1)(2)—Introduction of Lasers—」, 2020 年 6 月 1 日, 3 日.

光産業創成大学院大学, 客員教授, 2020 年 7 月–.

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), 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」 (② a.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).

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 (2020 年).

(株) 村田製作所, 「水晶波長変換デバイスの研究」, 平等拓範 (2020 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 (2020 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 (2020 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、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。