

# 平成 30 年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

## 調査研究報告書(公開版)

【研究題目】最先端光材料・光テクノロジー国際研究拠点形成に向けた TIA 連携

【整理番号】TK18-028

【代表機関】筑波大学

【調査研究代表者】

山本洋平、029-853-5030、yamamoto@ims.tsukuba.ac.jp

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】

物質材料研究機構：長尾忠昭

産業技術総合研究所：則包恭央

【TIA 外連携機関】なし

【報告書作成者】山本洋平 【報告書作成年月日】2019 年 3 月 23 日

【連携推進】

本プロジェクトの目的の一つである筑波地区関係、さらに国際研究拠点形成に向けた国際共同研究に関する取り組みを進めた。研究拠点の国際化の一環として、筑波国際マテリアルズイノベーション学位プログラムとも関連し、マレーシア国民大学（2018 年 5 月 9-11 日、マレーシア）、バンドン工科大学（2019 年 2 月 27 日-3 月 1 日、バンドン、インドネシア）を訪問し、シンポジウム開催と研究交流、学生勧誘を行った。これらに関連し、筑波大学で国際シンポジウムを 2 回開催し（SACSEM 1<sup>st</sup>, 2018 年 11 月 8-9 日、SACSEM 2<sup>nd</sup>, 2019 年 1 月 28-29 日）、両国からの要員・学生を招待し、討論等を行った。また、TGSW2018 にセッションを設置し（2018 年 9 月 22 日、セッションタイトル：Ensemble of Light with Molecules, Materials, and Life for Sustainable Society、持続可能な社会の実現に向けた光と分子・物質・生命科学のアンサンブル）、筑波地区からは筑波大学、NIMS、AIST の研究者が、海外からは、Indiana 大学（米国）、Leibniz 光技術研究所（ドイツ）、Korea 大学（韓国）、ローマ CNR（イタリア）の研究者が登壇し、講演を行った。また 2019 年 3 月 29-30 日には、科研費新学術領域との共催で、 $\pi$  造形国際シンポジウムを大阪大学で開催予定である。JSPS 2 国間共同研究などのプログラムとも併用して、ドイツ、スペイン、クロアチアを訪問し、共同研究の推進とシンポジウムでの講演を行った。筑波大学においても物質科学セミナーを計 10 回開催し、国内外の研究者によるセミナー講演を行った。産総研においても国内外の研究者を招待し、計 4 回のセミナー講演と意見交換を行った。また、プリントドエレクトロニクスの実用化に向け、筑波大学山本と NIMS 三成が NIMS 発ベンチャーとして株式会社プリウエイズを設立した（2018 年 4 月 17 日登記）。

（国際会議）

2018 年 5 月 10-11 日：CMD2018@マレーシア国民大学

2018 年 9 月 22 日：TGSW2018@筑波大学

2018 年 11 月 8-9 日：SACSEM 1<sup>st</sup>@筑波大学

2019 年 1 月 28-29 日：SACSEM 2<sup>nd</sup>@筑波大学

2019 年 2 月 27 日-3 月 1 日：Tsukuba-ITB workshop@バンドン工科大学

2019 年 3 月 29-30 日： $\pi$ -System Figuration International Symposium@大阪大学  
（セミナー）筑波大学にて 10 回、産総研にて 4 回開催

### 【調査研究内容】

平成 30 年度は、TIA 連携および国際共同研究拠点形成のための共同研究推進を念頭に複数の共同研究を進行した。特に、光機能材料開発と物性評価、デバイス作製に関して、3 研究機関での連携を強化すると共に、国際的な共同研究へと展開し、将来のコンソーシアム構築に向けた国際共同研究と国際ネットワークの構築を進めた。

TIA かけはし内では計 8 つの共同研究を進行した。具体的には、

- ・マイクロ結晶レーザー共振器の開発
- ・白色有機 EL 素子
- ・強誘電高分子半導体の開発
- ・多色発光有機結晶
- ・多孔性有機結晶の開発

などについて共同研究を進行した。その結果、5 件のプロジェクト内共同研究成果を含む 41 報の原著論文 を発表した (*Science*, *Nat. Commun.*, *Nano. Lett.* など。うち 国際共著論文 3 報)。発表論文のうち 3 報について、プレスリリースを行った。特許 3 報を申請した。計 211 件の学会発表 (うち招待・依頼講演 52 件、海外講演 50 件) を行った。関連して 7 件の受賞 (森：日本物理学会若手奨励賞、中村：第 33 回若い世代の特別講演会、桑原：Polymer Journal 論文賞-日本ゼオン賞、山本・三成：次世代アントレプレナー育成事業 EDGE-NEXT 最優秀賞など) および、11 件の学生ポスター賞 を受賞した。

### 【発表論文 (計 41 報)】

- [1] **H. Yamagishi**, H. Sato, A. Hori, Y. Sato, R. Matsuda, K. Kato, T. Aida "Self-assembly of lattices with high structural complexity from a geometrically simple molecule" *Science* 361, 1242 (2018). (プレスリリース (東京大学、国立環境研究所) : 2018 年 9 月 21 日)
- [2] **Y. Yue, Y. Norikane**, R. Azumi, E. Koyama. "Light-induced Mechanical Response in Crosslinked Liquid-crystalline Polymers with Photoswitchable Glass Transition Temperatures" *Nat. Commun.* 9, 3234 (2018).
- [3] D. Okada, S. Azzini, H. Nishioka, A. Ichimura, H. Tsuji, E. Nakamura, **F. Sasaki**, C. Genet, T. W. Ebbesen, **Y. Yamamoto**, " $\pi$ -Electronic Cocystal Microcavities with Selective Vibronic-Mode Light Amplification: Toward Förster Resonance Energy Transfer Lasing" *Nano Lett.* 18, 4396 (2018). (国際共同研究、プレスリリース (筑波大学) : 2018 年 6 月 22 日、プロジェクト内共同研究)
- [4] K. Tabata, T. Yamada, H. Kita, **Y. Yamamoto**, "Carbazole-Dibenzofuran Dyads as Metal-Free Single-Component White-Color Photoemitters" *Adv. Funct. Mater.* 29, 1805824 (2019). (企業との共同研究)
- [5] S. Kushida, E. Smarsly, I. Wacker, R. Schröder, O. Oki, **Y. Yamamoto**, C. Melzer, U. H. Bunz "Dipole Switchable Poly(para - phenyleneethynylene)s: Ferroelectric Conjugated Polymers" *Angew. Chem. Int. Ed.* 57, 17019 (2019). (国際共同研究)
- [6] A. Asaithambi, D. Okada, G. Prinz, H. Sato, A. Saeki, **T. Nakamura, T. Nabeshima, Y. Yamamoto**, A. Lorke "Polychromatic Photoluminescence of Polymorph Boron Dipyrromethene Crystals and Hetero structures" *J. Phys. Chem. C* 123, 5061 (2019). (表紙絵に採択、プロジェクト内共同研究、国際共同研究)
- [7] A. Faradhiyani, Q. Zhang, K. Maruyama, **J. Kuwabara, T. Yasuda, T. Kanbara**, "Synthesis of bithiazole-based semiconducting polymers via Cu-catalysed aerobic oxidative coupling" *Mater. Chem. Front.* 2, 1306 (2018). (プロジェクト内共同研究)
- [8] A. Ichige, H. Saito, **J. Kuwabara, T. Yasuda**, J.-C. Choi, **T. Kanbara**, "Facile Synthesis of Thienopyrroledione-based  $\pi$ -Conjugated Polymers via Direct Arylation Polycondensation under Aerobic Conditions" *Macromolecules* 51, 6782 (2018). (プロジェクト内共同研究)
- [9] H. Saito, **J. Kuwabara, T. Yasuda, T. Kanbara**, "Synthesis of Polyfluoro Arylene-based Poly(arylenevinylene)s via Pd-catalyzed Dehydrogenative Direct Alkenylation" *Macromol. Rapid Commun.* 39, 1800414 (2018). (プロジェクト内共同研究)

- [10] K. Ohtake, Y. Onose, **J. Kuwabara**, **T. Kanbara**, "Synthesis and characterization of a thermally cross-linkable polyolefin from oleic acid" *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.* 57, 85 (2019).
- [11] D. Taguchi, **T. Nakamura**, H. Horiuchi, M. Saikawa, **T. Nabeshima** "Synthesis and chiroptical properties of phenanthrene-fused N<sub>2</sub>O-type BODIPYs" *J. Org. Chem.* 83, 5531 (2018).
- [12] Y. Gobo, R. Matsuoka, Y. Chiba, **T. Nakamura**, **T. Nabeshima**, "Synthesis and chiroptical properties of phenanthrene-fused N<sub>2</sub>O-type BODIPYs" *Tetrahedron Lett.* 59, 4149 (2018).
- [13] M. Saikawa, T. Noda, R. Matsuoka, **T. Nakamura**, **T. Nabeshima**, "Heterodinuclear Group 13 Element Complexes of N<sub>4</sub>O<sub>6</sub>-Type Dipyrrin with an Unsymmetrical Twisted Structure" *Eur. J. Inorg. Chem.* 2019, 766 (2019).
- [14] T. Hojo, R. Matsuoka, **T. Nabeshima**, "A Conformationally Flexible Macrocyclic Dipyrrin Tetramer and Its Unsymmetrically Twisted Luminescent Zinc(II) Complex" *Inorg. Chem.* 58, (2019).
- [15] T. Hojo, **T. Nakamura**, R. Matsuoka, **T. Nabeshima**, "Uniquely folded shapes, photophysical properties, and recognition abilities of macrocyclic BODIPY oligomers" *Heteroat. Chem.* 29, e21470 (2019).
- [16] **Y. Sonoda**, M. Tohnai, Y. Zhou, Y. Shimoi, R. Azumi. "Structures and Fluorescence Properties for the Crystals, Powders, and Thin Films of Dithienylhexatrienes: Effects of Positional Isomerism" *Cryst. Growth Des.* 18, 6477 (2018).
- [17] **Y. Kikkawa**, M. Nagasaki, E. Koyama, S. Tsuzuki, K. Hiratani, "Hexagonal array formation by intermolecular halogen bonding using a binary blend of linear building blocks: STM study", *Chem. Commun.* 2019, DOI: 10.1039/C9CC00532C.
- [18] **F. Sasaki**, S. Dokiya, H. Yanagi, "Optically pumped lasing of cyano-substituted thiophene/phenylene co-oligomer microcrystals fabricated by the slide boat method", *Jpn. J. Appl. Phys.* 58, SBBG05 (2019).
- [19] H. D. Ngo, T. D. Ngo, A. Tamanai, K. Chen, N. T. Cuong, O. S. Handegard, A. Pucci, N. Umezawa, T. Nabatame, **T. Nagao**, "Structure and optical properties of sputter deposited pseudobrookite Fe<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> thin films" *CrystEngComm*, 21, 34 (2019).
- [20] L. Shi, Z. Li T. D. Dao, **T. Nagao**, Y. Yang, "A synergistic interaction between isolated Au nanoparticles and oxygen vacancies in an amorphous black TiO<sub>2</sub> nanoporous film: toward enhanced photoelectrochemical water splitting" *J. Mater. Chem. A* 6, 12978 (2018).
- [21] **S. Ishii**, R., S. L. Shinde, **T. Nagao**, "Photocurrent generation with transition metal nitrides and transition metal carbides", *IEEE XPLORE*, 2018.
- [22] **S. Ishii**, R. Kamakura, H. Sakamoto, T. D. Dao, S. L. Shinde, **T. Nagao**, K. Fujita, K. Namura, M. Suzuki, S. Murai, K. Tanaka, "Demonstration of temperature-plateau superheated liquid by photothermal conversion of plasmonic titanium nitride nanotstructures" *Nanoscale*, 10, 18451 (2018).
- [23] S. L. Shinde, **S. Ishii**, **T. D. Dao**, R. P. Sugavaneshwar, T. Takei, K. K. Nanda, **T. Nagao**, "Enhanced Solar Light Absorption and Photoelectrochemical Conversion Using TiN Nanoparticle-Incorporated C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Dot Sheets", *ACS Appl. Mater. Interfaces* 10, 2460 (2018).
- [24] R. P. Sugavaneshwar, **S. Ishii**, **T. D. Dao**, A. Ohi, T. Nabatame, **T. Nagao**, "Fabrication of Highly Metallic TiN Films by Pulsed Laser Deposition Method for Plasmonic Applications" *ACS Photon.* 5, 814 (2018).

他 17 報を発表

#### 【著書】

- [1] **Y. Yamamoto** "Optical Microresonators from π-Conjugated Polymers" *Light-active Functional organic materials 2019*, in press, Chapter 3, Pan Stanford Publishing
- [2] 藤本 信貴, 桑原 純平, 神原 貴樹, "生物の優れた機能から着想を得た新しいものづくり—バイオミメティクスからの発展—" (第 1 編材料, 第 3 章 26-36 頁), シーエムシー出版 (2018).

- [3] **J. Kuwabara, T. Kanbara**, "Facile Synthesis of  $\pi$ -Conjugated Polymers via Direct Arylation Polycondensation" *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2019**, 92, 152-161.
- [4] **J. Kuwabara**, "Direct Arylation Polycondensation for Synthesis of Optoelectronic Material" *Polym. J.* **2018**, 50, 1099-1106.
- [5] **T. Mori**, Y. Fujii, "THz Raman spectroscopy" *Integrated Optics: Recent Advances and Prospects*, to be published in 2019, Chapter 18, IET.

#### 【特許】

- [1] **山本洋平**, 岡田大地, "有機マイクロ共振器、有機マイクロ共振器アレイ、偽造防止システム、スイッチング素子、有機マイクロ共振器の製造方法、有機マイクロ共振器アレイの製造方法" 特願 2019-021022
- [2] **神原貴樹**, **桑原純平**, 市毛明斗, "高分子化合物の製造方法および製造装置" 特願 2018-148883.
- [3] **桑原純平**, **神原貴樹**, 佐藤亮太, "遷移金属含有化合物及びその製造方法" 特願 2018-202429.

#### 【受賞】

- [1] **中村 貴志**, 「ユニークな構造をもつ環状多量体の精密合成と機能」、第 33 回若い世代の特別講演会、日本化学会第 99 春季年会 (2019)
- [2] **中村 貴志**, "Synthesis of Multinuclear Macrocyclic Complexes that Orderly Assemble Labile Coordination Sites and Its Supramolecular Structure" 日本化学会第 98 春季年会 (2018)
- [3] **桑原 純平**, 「Direct Arylation Polycondensation for the Synthesis of Bithiazole-based Conjugated Polymers and Their Physical Properties」 *Polymer Journal* 論文賞-日本ゼオン賞
- [4] **森 龍也**, Best Poster award, PNCS-ESG 2018 (15th International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids & 14th European Society of Glass Conference) (於 : Le Grand Large, Saint Malo, France, 2018 年 7 月 9 日~7 月 13 日)
- [5] **森 龍也**, 第 13 回 (2019 年) 日本物理学会若手奨励賞
- [6] **森 龍也**, 日本セラミックス協会国際交流奨励賞 21 世紀記念個人冠賞倉田元治賞
- [7] **山本 洋平**, **三成 剛生**, 次世代アントレプレナー育成事業 EDGE-NEXT 最優秀賞

#### 【競争的獲得資金】 (2019 年度の総額 : 約 100 百万円)

JST	CREST
科研費	基盤研究 A、基盤研究 B x 4、基盤研究 C x 2、若手研究 A、若手研究 B、新学術領域 x 5、国際共同研究加速基金、挑戦的研究 (萌芽) 2 国間共同研究 (日本-ドイツ)
NEDO	エネルギー・環境新技術先導プログラム
財団	三菱財団研究助成、野口財団研究助成など
学内 P	筑波大学産学連携強化プロジェクト、筑波大学プレ戦略イニシアティブ

#### 【今後の活動予定】

- ・ JSPS 2 国間共同研究 (Leibniz 光技術研究所 (Jena, ドイツ) との共同研究) 「電気駆動半導体ポリマー WGM レーザーとナノオプティクスへの応用」
- ・ 株式会社プリウエイズによる製品の実用化・販売
- ・ 筑波大学クラウドファンディング
- ・ 光テクノロジー国際共同研究拠点、国際コンソーシアムの形成

#### 競争的資金獲得 :

- ・ 科学技術振興機構 CREST、さきがけ、ACT-X
- ・ 科研費 未来創造研究事業、科研費基盤研究 S/A/B、挑戦的研究、国際共同研究強化
- ・ NEDO プロジェクト

以上