

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本ーフランス共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「配位高分子結晶の分子配列を利用した相転移メモリ素子の開発」
2. 研究期間：平成 28 年 9 月～令和 2 年 3 月
3. 主な参加研究者名：
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	堀毛悟史	准教授	京都大学高等研究院	研究総括
主たる共同研究者	犬飼宗弘	講師	徳島大学社会産業理工学研究部	分光による解析
主たる共同研究者	鶴岡孝章	准教授	甲南大学フロンティアサイエンス学部	試料の成形加工評価
研究参加者	ナガカル サンジョグ	博士研究員	京都大学高等研究院	試料合成
研究参加者	小原勇輝	修士課程学生	京都大学大学院工学研究科	試料合成
研究参加者	大橋卓史	博士課程学生	甲南大学フロンティアサイエンス学部	試料膜作成
研究期間中の全参加研究者数 9 名				

フランス側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Aude Demessence	CNRS 研究員	リヨン環境・触媒研究所 (IRCELYON) 持続性化学材料グループ	研究総括
主たる共同研究者	Alexandra Fateeva	CNRS 研究員	リヨン環境・触媒研究所 (IRCELYON) 持続性化学材料グループ	試料合成
主たる共同研究者	Nathalie Guillou	CNRS 研究員	ラボアジェ研究所ベルサイユ	試料構造解析
研究参加者	Oleksandra Veselska	博士課程学生	リヨン環境・触媒研究所 (IRCELYON) 持続性化学材料グループ	試料合成、デバイス評価
研究参加者	William Salomon	博士研究員	リヨン環境・触媒研究所 (IRCELYON) 持続性化学材料グループ	試料合成、デバイス評価
研究参加者	Shefali Vaidya	博士研究員	リヨン環境・触媒研究所 (IRCELYON) 持続性化学材料グループ	試料合成、デバイス評価
研究期間中の全参加研究者数 9 名				

4. 国際共同研究の概要

固体状態において、外部刺激により結晶と非結晶（おもにガラス）の2つの相を可逆的に取りうる物質＝相転移物質はメモリ素子として利用が期待される。本研究では新たな相転移物質として、金属イオンと架橋性配位子からなる配位高分子（**Coordination Polymer, CP**）を取り扱う。結晶／非結晶を示す **CP** を数多く合成し、光・熱を外部刺激として利用し、相転移挙動に伴う物理特性の変化を追跡した。日本側は **3** グループ（合成・解析・材料加工）、フランス側も **3** グループ（合成・解析×2）で体制を組み、それぞれ異なる **CP** を扱うとともに解析・合成・加工法を連携させることにより、より包括的な理解に努めた。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

研究開始後、1年以内に日本側、フランス側のコアとなる **CP** を見出すことができ、それらは相転移挙動によって伝導、発光の変化を示す系であることを示した。2年目以降はそれら両国のコア **CP** の構造の制御を様々な配位子で行い、より明確かつ高速で相転移する **CP** の合成へと進めた。相転移挙動を理解するために必須である放射光X線測定においては、日本：**SPring-8**（播磨）、フランス：**SOLEIL**（グルノーブル）の各放射光施設においてそれぞれのグループおよび共同研究者の協力を得て精密に実施した。合成およびこれら解析により、相転移 **CP** において、どのような金属イオン＋配位子の組み合わせが相転移を示すのか・伝導や発光特性の変化と構造変化の相関・**CP** 試料の膜化技術 の知見を蓄積した。

これら研究を通し、**3** 報（含 **Angew. Chem. Int. Ed.**、**Chem. Sci.**）の日仏共著論文を報告し、また、フランス側研究チームを著者には含まないが当該研究成果として **27** 報の査読付き論文を日本側研究チームから発信した。中には2つのコンセプトレビュー（**Nat. Rev. Mater.**、**Angew. Chem. Int. Ed.**）が含まれ、新たな相転移材料の学術を世界に発信した。日本側においては研究期間中に2名の研究協力者が昇任し、また研究開始当初から従事したポスドク（インド人）が当該成果を評価され、インド工科大学ムンバイ校にて **faculty** 職を得るなど、人材育成においても良い波及効果を生んだ。

5-2 国際共同研究による相乗効果

研究期間を通して1ヶ月～1年の中長期滞在を両国の研究者が連続的に実施し、相転移 **CP** の合成や解析法の共有、アップデートを随時できる環境で進めた。これにより研究遂行を加速でき、また実験上の無駄を減らし、効率的に検討できた。特に解析における放射光X線測定において、お互いの国では難しい特殊実験をそれぞれの試料について実施できたことにより、**CP** の相転移挙動と物性（伝導、発光）の相関の理解を可能とした。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

見出した相転移 **CP** はメモリ素子としての応用以外の機能展開も期待されている。外部刺激によって多孔性を制御できる **CP** や、触媒として働く **CP** など、特に非結晶（ガラス）状態で機能化し、一部あるいは全体を結晶化させることにより、機能性複合材料の合成が可能であり、研究の広がりを見せている。両国のグループともに本成果を軸に次のプロジェクトへの拡張を図っており、世界的にも関連分野の報告が急激に増えている。幅広い意味での有機－無機ハイブリッドガラスとして新たな材料展開が期待できる。今後見いだされた材料のスケールアップ、エンジニアリングを産官学で検討し、具体的な応用へと繋げたい。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)
 Japan - France Joint Research Program
 Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「Molecular Memory with Phase Change Coordination Polymers for future PCRAM」
2. Research period : September, 2016 ~ March, 2020
3. Main participants :
 Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Satoshi Horike	Associate Professor	Institute for Advanced Study, Kyoto University	Directing research, synthesis
Co-PI	Munehiro Inukai	Lecturer	Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University	Analysis by spectroscopies
Co-PI	Takaaki Tsuruoka	Associate Professor	Graduate School of Frontier Science, Konan University	Engineering of materials
Collaborator	Sanjog S. Nagarkar	Postdoc	Institute for Advanced Study, Kyoto University	Synthesis
Collaborator	Yuki Ohara	Master course student	Graduate School of Engineering, Kyoto University	Synthesis
Collaborator	Takashi Ohashi	PhD student	Graduate School of Frontier Science, Konan University	Fabrication of membrane
Total number of participants throughout the research period: 9				

France-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Aude Demessence	CNRS Researcher	Institute of research on catalysis and the environment of Lyon (IRCELYON)	Directing research, synthesis
Co-PI	Alexandra Fateeva	CNRS Researcher	IRCELYON	Synthesis
Co-PI	Nathalie Guillou	CNRS Researcher	Institut Lavoisier de Versailles (ILV)	Analysis by Synchrotron
Collaborator	Oleksandra Veselska	PhD student	IRCELYON	Synthesis and device fabrication
Collaborator	William Salomon	Postdoc	IRCELYON	Synthesis and device fabrication
Collaborator	Shefali Vaidya	Postdoc	IRCELYON	Synthesis and device

				fabrication
Total number of participants throughout the research period: 9				

4. Summary of the international joint research

Phase change materials are expected to be used as memory devices because they can reversibly take two phases, crystalline and amorphous (glass), by external stimuli in the solid state. In this project, we focused on coordination polymers (CPs) consisting of metal ions and bridging organic ligands as a new phase change material. We synthesized a number of CPs and traced the physical properties associated with the phase change behavior by using external stimuli such as light and heat. The Japanese side was organized into three groups (synthesis, analysis, and materials processing) and the French side into three groups (synthesis and analysis x 2), each of which promoted different CPs and linked analysis and synthesis methods to achieve a more comprehensive understanding.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

In a first year, the core CPs of the Japanese and French sides were found, and they show ion/electron conduction and luminescence depending on the phase change. In the second year, the structures of the core CPs in both countries were controlled by organic ligands, and the synthesis of CPs with faster phase transitions was progressed. Synchrotron radiation X-rays, which are essential for understanding the phase change behavior, were measured in SPring-8 (Harima, Japan) and SOLEIL (Grenoble, France) with the cooperation of the respective groups and collaborators. We have accumulated knowledge on what kind of combination of metal ions and ligands shows the phase change, the correlation between changes in conduction and luminescence properties and structural changes, and the techniques for film formation of CP samples.

We reported 4 French-Japanese collaborative papers (including *Angew. Chem. Int. Ed. and Chem. Sci.*), and 29 original papers were published by the Japanese research teams. Among them were two conceptual reviews (*Nat. Rev. Mater. and Angew. Chem. Int. Ed.*), which brought the scholarship of this new phase change material to the world. In Japan, two Co-PIs were promoted during the research period, and a postdoc (Indian) who had been engaged in the research since the beginning of the project was recognized for his achievements and obtained a faculty position at the Indian Institute of Technology, Mumbai.

5-2 Synergistic effects of the joint research

Researchers from both countries stayed in Japan/France for one month to one year in an environment where they could share and update the synthesis and analysis of phase transition CP. This allowed us to speed up the conducting of the research efficiently. In addition, we were able to perform special experiments for each sample, which are difficult to perform in both countries, especially in the analysis of synchrotron radiation X-ray measurements, which enabled us to understand the correlation between the phase transition behavior and physical properties of CPs.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

We expect to develop other applications with phase transition CPs as well as memory device. It is possible to synthesize functional composites by use of the amorphous (glass) state, such as CPs whose porosity can be controlled by external stimuli and CPs that act as catalysts. Both groups are seeking to build on this outcome and expand it to the next project, and there has been a rapid increase in reports in related fields worldwide. We would like to examine the scale-up of the discovered materials in the future and the engineering of these materials by industry, government, and academia, and connect them to specific applications.

国際共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) : 発表件数 : 計 3 件

・査読有り : 発表件数 : 計 3 件

1. Sanjog S. Nagarkar, Satoshi Horike, Tomoya Itakura, Benjamin Le Ouay, Aude Demessence, Masahiko Tsujimoto, Susumu Kitagawa, "Enhanced and Optically Switchable Proton Conductivity in Melting Coordination Polymer Crystal", *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, 56, 4976-4981. DOI:10.1002/anie.201700962R1
2. Tomoya Itakura, Hiroshi Matsui, Tomofumi Tada, Susumu Kitagawa, Aude Demessence, Satoshi Horike, "Role of Lattice Vibration in Terahertz-region for Proton Conduction in 2D Metal-Organic Frameworks", *Chem. Sci.* **2019**, 10, 6193-6198. DOI:10.1039/C9SC05757A
3. T. Tsuruoka, T. Ohhashi, J. Watanabe, R. Yamada, S. Hirao, Y. Takashima, A. Demessence, S. Vaidya, O. Veselska, A. Fateeva, K. Akamatsu, "Coordination-Driven Self-Assembly on Polymer Surface for Efficient Synthesis of [Au(SPh)]_n Coordination Polymer-Based Films", *Cryst. Growth. Des.* **2020**, 20(3), 1961-1968. DOI: 10.1021/acs.cgd.9b01622

・査読無し : 発表件数 : 計 0 件

*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文) : 発表件数 : 計 27 件

・査読有り : 発表件数 : 計 27 件

1. Takashi Ohhashi, Takaaki Tsuruoka, Kohei Inoue, Yohei Takashima, Satoshi Horike, Kensuke Akamatsu, "An integrated function system using metal nanoparticle@mesoporous silica@metal-organic framework hybrids", *Micropor. Mesopor. Mater.* **2017**, 245, 104-108. DOI:10.1016/j.micromeso.2017.02.074
2. Tamas Panda, Satoshi Horike, Keisuke Hagi, Naoki Ogiwara, Kentaro Kadota, Tomoya Itakura, Masahiko Tsujimoto, Susumu Kitagawa, "Mechanical Alloying of Metal-Organic Frameworks", *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, 56, 9, 2413-2417. DOI:10.1002/anie.201612587
3. Chen, W.; Ogiwara, N.; Kadota, K.; Panyarat, K.; Kitagawa, S.; Horike, S., "Imidazolium cation transportation in a 1-D coordination polymer", *Dalton Trans.* **2017**, 46 (33), 10798-10801. DOI:10.1039/c7dt02625k
4. Fujiwara, Y.; Ohara, Y.; Tabori, N.; Kitagawa, S.; Horike, S., "Porosity Distribution Control in Carbon by Tuning the Carbonization Rate in Porous Coordination Polymers", *Chem. Lett.* **2017**, 46 (11), 1650-1653. DOI:10.1246/cl.170759
5. Fujiwara, Y. I.; Kadota, K.; Nagarkar, S. S.; Tabori, N.; Kitagawa, S.; Horike, S., "Synthesis of Oligodiacylene Derivatives from Flexible Porous Coordination Frameworks", *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, 139 (39), 13876-13881. DOI:10.1021/jacs.7b07699
6. Kadota, K.; Sivaniah, E.; Bureekaew, S.; Kitagawa, S.; Horike, S., "Synthesis of Manganese ZIF-8 from [Mn(BH₄)₂·3THF].NaBH₄", *Inorg. Chem.* **2017**, 56 (15), 8744-8747. DOI:10.1021/acs.inorgchem.7b01322
7. Takaaki Tsuruoka, Ayumi Miyanaga, Takashi Ohhashi, Manami Hata, Yohei Takashima, Kensuke Akamatsu, "Rational composition control of mixed-lanthanide metal-organic frameworks by an interfacial reaction with metal ion-doped polymer substrates", *J. Solid State Chem.* **2017**, 253, 43-46, DOI:10.1016/j.jssc.2017.05.025
8. Zhang, G.; Tsujimoto, M.; Packwood, D.; Duong, N. T.; Nishiyama, Y.; Kadota, K.; Kitagawa, S.; Horike, S., "Construction of a Hierarchical Architecture of Covalent Organic Frameworks via a Postsynthetic Approach", *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, 140 (7), 2602-2609. DOI:10.1021/jacs.7b12350
9. Takashi Ohhashi, Takaaki Tsuruoka, Seiya Fujimoto, Yohei Takashima, Kensuke Akamatsu, "Controlling the Orientation of Metal-Organic Framework Crystals by an Interfacial Growth Approach Using a Metal Ion-Doped Polymer Substrate", *Cryst. Growth Des.* **2018**, 18, 402-408, DOI:10.1021/acs.cgd.7b01402
10. Takaaki Tsuruoka, Kohei Inoue, Ayumi Miyanaga, Kaho Tobiishi, Takashi Ohhashi, Manami

- Hata, Yohei Takashima, Kensuke Akamatsu, "Crystal conversion between metal-organic frameworks with different crystal topologies for efficient crystal design on two-dimensional substrates", *J. Cryst. Growth*, **2018**, 487, 1-7. DOI:10.1016/j.jcrysgro.2018.02.007
11. Munehiro Inukai, Masanori Tamura, Satoshi Horike, Masakazu Higuchi, Susumu Kitagawa, Koichi Nakamura, "Storage of CO₂ into porous coordination polymer controlled by molecular rotor dynamics", *Angew. Chem., Int. Ed.*, **2018**, 57, 8687-8690 DOI:10.1002/anie.201805111
 12. Fujiwara, Y.-i.; Lee, J.-S. M.; Tsujimoto, M.; Kongpatpanich, K.; Pila, T.; Imura, K.-i.; Tabori, N.; Kitagawa, S.; Horike, S., "Fabrication of ϵ -Fe₂N Catalytic Sites in Porous Carbons Derived from an Iron-Triazololate Crystal", *Chem. Mater.* **2018**, 30 (6), 1830-1834. DOI:10.1021/acs.chemmater.7b04762
 13. Ohara, Y.; Hinokimoto, A.; Chen, W.; Kitao, T.; Nishiyama, Y.; Hong, Y. L.; Kitagawa, S.; Horike, S. "Formation of coordination polymer glass by mechanical milling: dependence on metal ions and molecular doping for H⁺ conductivity", *Chem. Commun.* **2018**, 54 (50), 6859-6862. DOI:10.1039/c8cc02399a
 14. Das, C.; Upadhyay, A.; Ansari, K. U.; Ogiwara, N.; Kitao, T.; Horike, S.; Shanmugam, M., "Lanthanide-Based Porous Coordination Polymers: Syntheses, Slow Relaxation of Magnetization, and Magnetocaloric Effect", *Inorg. Chem.* **2018**, 57 (11), 6584-6598. DOI:10.1021/acs.inorgchem.8b00720
 15. Bennett, T. D.; Horike, S., "Liquid, glass and amorphous solid states of coordination polymers and metal-organic frameworks", *Nat. Rev. Mater.* **2018**, 3 (11), 431-440. DOI:10.1038/s41578-018-0054-3
 16. Nagarkar, S. S.; Tsujimoto, M.; Kitagawa, S.; Hosono, N.; Horike, S., "Modular Self-Assembly and Dynamics in Coordination Star Polymer Glasses: New Media for Ion Transport", *Chem. Mater.* **2018**, 30 (23), 8555-8561. DOI:10.1021/acs.chemmater.8b03481
 17. Zhang, G.; Hong, Y. L.; Nishiyama, Y.; Bai, S.; Kitagawa, S.; Horike, S., "Accumulation of Glassy Poly(ethylene oxide) Anchored in Covalent Organic Framework as Solid-state Li⁺ Electrolyte", *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, 141, 1227-1234. DOI:10.1021/jacs.8b07670
 18. Lee, J.-S. M.; Sarawutanukul, S.; Sawangphruk, M.; Horike, S., "Porous Fe-N-C Catalysts for Rechargeable Zinc-Air Batteries from an Iron-Imidazololate Coordination Polymer", *ACS Sustain. Chem. & Eng.* **2019**, 7, 4030-4036. DOI:10.1021/acssuschemeng.8b05403
 19. Sanjog S. Nagarkar, Haruna Kurasho, Nghia Tuan Duong, Yusuke Nishiyama, Susumu Kitagawa, Satoshi Horike, "Crystal Melting and Glass Formation in Copper Thiocyanate based Coordination Polymers", *Chem. Commun.* **2019**, 55, 5455-5458. DOI:10.1039/C9CC02172H
 20. Kentaro Kadota, Nghia Tuan Duong, Yusuke Nishiyama, Easan Sivaniah, Susumu Kitagawa, Satoshi Horike "Borohydride-containing Coordination Polymers: Synthesis, Air Stability and Dehydrogenation", *Chem. Sci.* **2019**, 10, 6193-6198. DOI:10.1039/C9SC00731H
 21. Jet-Sing M. Lee, Yu-ichi Fujiwara, Susumu Kitagawa, Satoshi Horike "Homogenized Bimetallic Catalysts from Metal-Organic Framework Alloys", *Chem. Mater.* **2019**, 31, 11, 4205-4212. DOI:10.1021/acs.chemmater.9b01093
 22. Munehiro Inukai, Yusuke Nishiyama, Kayako Honjo, Chinmoy Das, Susumu Kitagawa, Satoshi Horike "Glass-Phase Coordination Polymer Displaying Proton Conductivity and Guest-Accessible Porosity", *Chem. Commun.* **2019**, 55, 8528-8531. DOI:10.1039/C9CC02744K
 23. Kentaro Kadota, Nghia Tuan Duong, Yusuke Nishiyama, Easan Sivaniah, Satoshi Horike "Synthesis of Porous Coordination Polymers using Carbon Dioxide as a Direct Source", *Chem. Commun.* **2019**, 55, 9283-9286. DOI:10.1039/C9CC04771A
 24. Watthanachai Jumpathong, Taweesak Pila, Yuwanda Lekjing, Prae Chirawatkul, Bundet Boekfa, Satoshi Horike, Kanokwan Kongpatpanich "Exploitation of missing linker in Zr-based metal-organic framework as the catalyst support for selective oxidation of benzyl alcohol", *APL Mater.* **2019**, 7, 111109. DOI:10.1063/1.5126077
 25. T. Ohhashi, T. Tsuruoka, Y. Takashima, K. Akamatsu "Control of the nucleation and growth processes of metal-organic frameworks using a metal ion-doped polymer substrate for the construction of continuous films", *CrystEngComm* **2019**, 21, 4851-4854. DOI:10.1039/C9CE01054H
 26. T. Tsuruoka, M. Hata, S. Hirao, T. Ohhashi, Y. Takashima, K. Akamatsu "Formation of

Metal-Organic Frameworks on Metal Ion-Doped Polymer Substrate: In-Depth Time-Course Analysis using Scanning Electron Microscopy”, *Langmuir* **2019**, 35, 10390-10396. DOI:10.1021/acs.langmuir.9b01676

27. Satoshi Horike, Sanjog S. Nagarkar, Tomohiro Ogawa, Susumu Kitagawa "New Dimension of Coordination Polymers and Metal–Organic Frameworks toward Functional Glasses and Liquids", *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, 59, 6652-6664. DOI:10.1002/anie.201911384

・査読無し：発表件数：計 0 件

該当なし

*その他の著作物（相手側研究チームとの共著総説、書籍など）：発表件数：計 0 件

該当なし

*その他の著作物（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など）：発表件数：計 0 件

該当なし

2. 学会発表

*口頭発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：計 0 件（うち招待講演：0 件）

*口頭発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）

発表件数：計 61 件（うち招待講演：43 件）

*ポスター発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：計 0 件

*ポスター発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）

発表件数：計 0 件

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

1. International Conference on Coordination Chemistry, 2018、主催者:堀毛悟史(京都大学・准教授)、仙台国際会議場、宮城、日本、2018年8月2日、参加人数 80 名

4. 研究交流の実績（主要な実績）

【研究者の派遣、受け入れ】

- 2017年1月31日–2月4日:日本から共同研究者が5日間リヨン、フランス、IRCELYONに滞在し、共同研究実験を行った。
- 2017年9月4日–10月1日:日本から博士前期課程学生が28日間、リヨン、フランス、IRCELYONに滞在し、グルノーブル出張を含め、放射光の共同研究実験を行った。
- 2017年10月23日–10月28日:日本から博士前期課程学生が6日間、リヨン、フランス、IRCELYONに滞在し、共同研究実験を行った。
- 2017年5月22日–5月29日:日本から研究代表者が8日間、フランス、ストラスブールに滞在し、現地にてフランス側研究代表者と共に論文執筆を行った。
- 2017年9月1日–2018年2月28日:フランス、リヨン、IRCELYONから博士研究員を約6ヶ月受け入れ、共同研究実験を行った。
- 2018年8月5日–8月17日:フランス、リヨン、IRCELYONから博士後期課程学生が京都に13日滞在し、共同研究実験および論文執筆を行った。
- 2018年8月5日–8月8日:フランス、リヨン、IRCELYONからフランス側研究代表者

および共同研究者が4日間滞在し、共同研究実験および論文執筆を行った。

8. 2019年3月28日-2020年3月31日:日本から共同研究者がサバティカル制度も併用し、1年間、フランス、リヨン、IRCELYONに滞在し、共同研究実験を行った。

【合同ミーティング】

1. Japan 1st Workshop of MEMOL project、主催者:堀毛悟史(京都大学・准教授)、京都大学、京都、日本、2017年10月19日、参加人数5名
2. France 1st Workshop of MEMOL project、主催者:Aude Demessence (IRCELYON、研究員)、IRCELYON、リヨン、フランス、2017年10月26日
3. Japan 2nd Workshop of MEMOL project、主催者:堀毛悟史(京都大学・准教授)、京都大学、京都、日本、2018年2月26日、参加人数10名
4. France 2nd Workshop of MEMOL project、主催者:Aude Demessence (IRCELYON、研究員)、IRCELYON、リヨン、フランス、2019年1月21日
5. France 3rd Workshop of MEMOL project、主催者:Aude Demessence (IRCELYON、研究員)、IRCELYON、リヨン、フランス、2019年4月8日
6. Japan 3rd Workshop of MEMOL project、主催者:堀毛悟史(京都大学・准教授)、京都大学、京都、日本、2017年11月18日、参加人数12名

5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0件

6. 受賞・新聞報道等

1. 第3回徳島県科学技術大賞 若手研究者部門、犬飼宗弘、2017年10月30日
2. 平成30年度徳島大学若手研究者学長表彰、犬飼宗弘、2018年11月27日
3. 英国王立化学会 ChemComm Emerging Investigators、堀毛悟史、2018年6月19日

7. その他

該当なし