

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本－フランス共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「触媒のための機能性無機-有機ハイブリッドナノ材料の開発」

2. 研究期間：2015年12月～2019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	黒田一幸	教授	早稲田大学・理工学 術院	2D, 3D 構造体 の設計および 研究全体の統 括
主たる 共同研究者	下嶋 敦	教授	早稲田大学・理工学 術院	2D, 3D 構造体 の合成
研究期間中の全参加研究者数			2 名	

フランス側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Michel Wong Chi Man	CNRS research director	Institut Charles Gerhardt Montpellier, Ecole Normale Superieure Chimie Montpellier	機能性有機リ ンカーの設計 および研究全 体の統括
主たる 共同研究者	Carole Carcel	Associate professor	Institut Charles Ger hardt Montpellier, E cole Normale Superi eure Chimie Montpe llier	機能性有機リ ンカーの合成
主たる 共同研究者	Guillaume Maurin	Professor	Institut Charles Gerhardt Montpellier, Université Montpellier	計算機シミュ レーションに よる2D, 3D構 造体の構造解 析
主たる 共同研究者	Naseem Ramsah ye	Associate professor	Institut Charles Gerhardt Montpellier, Ecole Normale Superieure Chimie Montpellier	計算機シミュ レーションに よる2D, 3D構 造体の構造解 析
主たる 共同研究者	Clément Sanchez	Professor	Chimie de la Matière Condensée de Paris, University Pierre et Marie Curie, Col lège de France	無機－有機ハ イブリッド材 料の設計
主たる 共同研究者	David Portehault	CNRS researcher	Chimie de la Matière Condensée de Paris	2D, 3D構造体 の合成

主たる 共同研究者	Sophie Carencu	CNRS researcher	Chimie de la Matière Condensée de Paris	2D, 3D構造体 への金属イオ ンの配位
主たる 共同研究者	Armelle Ouali	CNRS researcher	Institut Charles Gerhardt Montpellier, Ecole Normale Supérieure Chimie Montpellier	2D, 3D構造体 への金属イオ ンの配位
研究期間中の全参加研究者数			8名	

4. 共同研究の概要

無機-有機ハイブリッド材料は、ユニークな特性や機能発現の期待から注目を集めている。ケイ素 (Si) と酸素 (O) は、資源の豊富さに加え、安定なシロキサン (Si-O-Si) 骨格形成が可能であることから無機成分のコア元素として非常に重要である。さらに、安定な Si-C 結合を介して機能性有機化合物との分子レベルでの複合化も容易に達成できる。多くの産業応用がすでに実現されているが、高性能な触媒、分離材、センサー、薬剤キャリアなどとして利用するためには、より精密な材料設計が必要である。本プロジェクトでは、分子設計された機能性シロキサン系ハイブリッド材料の創製を可能にする新しい「分子技術」を確立することを目的としている。明確な構造を有するシロキサン系ナノビルディングブロックと機能性有機化合物をボトムアップ的に集積することで、複雑な二次元 (2D) あるいは三次元 (3D) 構造を有する材料を構築する。このようなハイブリッド材料は、エネルギー、環境、医療分野などさまざまな分野への応用が期待できるが、本プロジェクトでは、特に省エネルギーおよび省資源への貢献が大きい触媒応用に特化した材料開発を行う。

5. 共同研究の成果

5-1 共同研究の学術成果

多面体状オリゴシロキサン (POS) や層状ケイ酸塩などの様々なビルディングブロックを機能性有機官能基で架橋または修飾することで、規則的な骨格構造の 2D, 3D 構造体を作製した。POS の特定の頂点を Si-OH 基で修飾することに成功し、POS に修飾した Si-OH 基の数や位置に応じて、新規大環状化合物や結晶性骨格を有する多孔体、触媒としての利用が期待できる新たなメタロシロキサン化合物の合成に成功した。また、新たに合成した機能性有機リンカーを用いて、POS の分子間架橋や層状ケイ酸塩の層間修飾を行い、さらに金属種の導入にも成功している。これらの結果は、日本-フランス間での密な連携によって得られたものである。

5-2 国際連携による相乗効果

本国際共同研究により、当該分野における日本-フランス間の国際的なパートナーシップが強化された。特に重要な成果として、このプロジェクトに関わった 3 人の日本人学生と 1 人のフランス人学生が本研究期間中に博士号を取得したことが挙げられる。日本人学生はフランス側研究機関へ、フランス人学生は日本側研究機関へ訪問することで互いの実験技術や知見の交換を行い、プロジェクトの会議にも積極的に参加した。これらの若手研究者の交流は、本プロジェクトの遂行に大きく貢献しただけでなく、今後のさらなる国際共同研究にもつながるものである。

5-3 共同研究成果から期待される波及効果

資源豊富、低毒性、高い安定性、温和な条件下で製造可能などの特徴を有するシロキサン骨格からなる革新的な機能性材料の創出は、持続可能な社会の構築に大きく貢献することが予想される。本プロジェクトで確立された合成技術および材料設計のコンセプトは、高性能触媒のみならず分離膜、薬剤キャリアなど、様々な応用が可能な新しい材料の創出につながると期待される。

以上

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

1. Project Title : 「 Development of inorganic–organic hybrid functional nanomaterials for catalysis 」

2. Project Period : December, 2015 ~ March, 2019

3. Main Participants :

Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role
PI	Kazuyuki Kuroda	Professor	Waseda University (Faculty of science and engineering)	Design of 2D and 3D structures (Supervisor)
Co-PI	Atsushi Shimojima	Professor	Waseda University (Faculty of science and engineering)	Synthesis of 2D and 3D structures
Total number of participating researchers in the project:				2

France-side

	Name	Title	Affiliation	Role
PI	Michel Wong Chi Man	CNRS research director	Institut Charles Gerhardt Montpellier, Ecole Normale Supérieure Chimie Montpellier	Design of functional silane linkers (Supervisor)
Co-PI	Carole Carcel	Associate professor	Institut Charles Gerhardt Montpellier, Ecole Normale Supérieure Chimie Montpellier	Synthesis of functional silane linkers
Co-PI	Guillaume Maurin	Professor	Institut Charles Gerhardt Montpellier, Université Montpellier	Computational study for 2D and 3D structures
Co-PI	Naseem Ramsahye	Associate professor	Institut Charles Gerhardt Montpellier, Ecole Normale Supérieure Chimie Montpellier	Computational study for 2D and 3D structures
Co-PI	Clément Sanchez	Professor	Chimie de la Matière Condensée de Paris, University Pierre et Marie Curie, Collège de France	Design of hybrid inorganic-organic materials
Co-PI	David Portehault	CNRS researcher	Chimie de la Matière Condensée de Paris	Synthesis of 2D and 3D structures

Co-PI	Sophie Carencó	CNRS researcher	Chimie de la Matière Condensée de Paris	Metal complexation on 2D and 3D structures
Co-PI	Armelle Ouali	CNRS researcher	Institut Charles Gerhardt Montpellier, Ecole Normale Supérieure Chimie Montpellier	Metal complexation on 2D and 3D structures
Total number of participating researchers in the project:				8

4. Scope of the joint project

Inorganic–organic hybrid materials have attracted significant attention because of their unique properties and functions. The use of silicon (Si) and oxygen (O) as the core elements of the inorganic moiety is quite important because of their abundance and ability to construct stable siloxane (Si–O–Si) frameworks. Hybridization with functional organics at molecular level is easily achieved via stable Si–C bonds. Many industrial applications have already been realized; however, precise design is required for more advanced applications in high-performance catalysis, separation, sensor, biomedicine, and so on. The aim of this project is to establish a new “molecular technology” that allows for the creation of molecularly designed functional siloxane-based hybrid materials. The synthetic method is based on the bottom-up assembly of well-defined siloxane-based nano building blocks and functional organic compounds into complex two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) architectures.

5. Outcomes of the joint project

5 – 1 Intellectual Merit

Various molecular building blocks such as polyhedral oligomeric siloxanes and layered silicates were successfully cross-linked or modified with functional organic groups to construct two-dimensionally or three-dimensionally ordered frameworks. Polyhedral oligomeric siloxane (POS) was site-selectively functionalized with Si–OH groups to form novel macrocyclic compounds, crystalline 3D porous materials, and novel metallosiloxane compounds that are potentially applicable as catalysts. Intermolecular linking of POS and interlayer modification of layered silicates have been achieved using newly designed functional organic linkers. Furthermore, metal incorporation into these organically functionalized nanomaterials was successfully performed. These results were obtained by close collaboration between Japanese and French teams.

5 – 2 Synergy from the Collaboration

This international collaborative work has strengthened the international partnership between Japanese and French teams. Importantly, during the research period, three Japanese and one French students who involved in this project obtained PhD degrees. They attended the project meetings and spent some time in Japan (French student) and in France (Japanese students) to perform laboratory research. The exchange of these motivated young researchers strongly contributed to this project and will surely lead to further collaborations in future.

5–3 Potential Impacts on Society

The creation of innovative functional materials based on siloxanes, which are abundant resources, non-toxic, and highly stable, will contribute to the construction of a sustainable society. The synthetic techniques and design concept developed in this project will lead to the creation of novel materials with diverse applications such as high-performance catalysts, separation membranes, drug carriers in future.

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)

* 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)

1. * 査読有り

S. Saito, N. Yamasue, H. Wada, A. Shimojima, and K. Kuroda, Cubic Siloxanes with Both Si-H and Si-OtBu Groups for Site-Selective Siloxane Bond Formation, *Chem. Eur. J.*, **2016**, 22 (39), 13857–13864. (doi: 10.1002/chem.201601906)

2. * 査読有り

M. Koike, Y. Asakura, M. Sugihara, Y. Kuroda, H. Tsuzura, H. Wada, A. Shimojima, and K. Kuroda, Topotactic Conversion of Layered Silicate RUB-15 to Silica Sodalite through Interlayer Condensation in N-Methylformamide, *Dalton Trans.*, **2017**, (46), 10232–10239. (doi: 10.1039/C7DT01287J)

3. * 査読有り

S. Hara, K. Hirota, Y. Tabe, H. Wada, A. Shimojima, and K. Kuroda, Formation of Concentric Silica Nanogrooves Guided by the Curved Surface of Silica Particles, *Langmuir*, **2018**, 34 (4), 1733–1741. (doi: 10.1021/acs.langmuir.7b03777)

4. * 査読有り

E. Yamamoto, S. Uchida, A. Shimojima, H. Wada, and K. Kuroda, Transformation of Mesoporous Silica Nanoparticles into Colloidal Hollow Nanoparticles in the Presence of a Bridged-Organosiloxane Shell, *Chem. Mater.*, **2018**, 30 (2), 540-548. (doi:10.1021/acs.chemmater.7b04860)

5. * 査読有り

M. Koike, Y. Asakura, Y. Kuroda, H. Wada, A. Shimojima, and K. Kuroda, Effect of Intercalated Amide Molecules on Interlayer Condensation of Layered Silicate RUB-15, *Clay Science*, **2018**, 22 (1): 1–11. (doi:10.11362/jcssjclayscience.22.1_1)

6. * 査読有り

N. Sato, Y. Kuroda, H. Wada, A. Shimojima, and K. Kuroda, Preparation of Siloxane-Based Microporous Crystals from Hydrogen-Bonded Molecular Crystals of Cage Siloxanes, *Chem. Eur. J.*, **2018**, 24 (64), 17033–17038. (doi:10.1002/chem.201804441)

7. * 査読有り

S. Saito, H. Wada, A. Shimojima, and Kazuyuki Kuroda, Synthesis of Zeolitic Macrocycles Using Site-Selective Condensation of Regioselectively Difunctionalized Cubic Siloxanes, *Inorg. Chem.*, **2018**, 57 (23), 14686-14691. (doi:10.1021/acs.inorgchem.8b02402)

8. * 査読有り

N. Sato, K. Tochigi, Y. Kuroda, H. Wada, A. Shimojima, and K. Kuroda, Synthesis and Crystal Structure of Double-Three Ring (D3R)-Type Cage Siloxanes Modified with Dimethylsilanol Groups, *Dalton Trans.*, **2019**, 48(6), 1969-1975. (doi:10.1039/C8DT04244F)

＊その他の著作物（相手側研究チームとの共著のみ）（総説、書籍など）

＊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）

1. 佐藤尚人, 和田宏明, 下嶋敦, 黒田一幸, かご状元素ブロックを用いたシロキサン系多孔体の構築, 粉体および粉末冶金, **2017**, 64, (3), 126-129.

2. S. Saito., N. Sato, M. Yoshikawa, A. Shimojima, and K. Kuroda, Siloxane-Based Building Blocks for Molecular Technology (Chapter 6) in Molecular Technology, volume 4: Synthesis Innovation (Edited by Hisashi Yamamoto and Takashi Kato.), Wiley-VCH. (2019 年 4 月)

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：5 件（招待講演：0 件）

1. N. Rey, S. Carenco, A. Ouali, D. Portehault, C. Carcel, A. Shimojima, K. Kuroda, C. Sanchez, M. Wong Chi Man, 「Synthesis of self-assembled 3D hybrid materials」、日本化学会第 98 春季年会、千葉、2018 年 3 月.
2. N. Rey, S. Carenco, A. Ouali, D. Portehault, C. Carcel, A. Shimojima, K. Kuroda, C. Sanchez, M. Wong Chi Man, 「Synthesis of 2D self-assembled hybrid materials」 Société Chimique de France、Montpellier (France)、2018 年 7 月.
3. N. Rey, S. Carenco, A. Ouali, D. Portehault, C. Carcel, A. Shimojima, K. Kuroda, C. Sanchez, M. Wong Chi Man, 「Original siloxane linkers for 2D self-assembled hybrid materials」 3rd International Conference on Nanostructured Materials for health, energy and the environment、Mooloolaba (Australia)、2018 年 7 月.
4. N. Rey, S. Carenco, A. Ouali, D. Portehault, C. Carcel, A. Shimojima, K. Kuroda, C. Sanchez, M. Wong Chi Man, 「Synthesis of self-assembled 3D hybrid silicas」、Matériaux, Strasbourg (France)、2018 年 11 月.
5. M. Yatomi, N. Rey, Y. Murakami, M. Koike, S. Saito, H. Wada, A. Shimojima, D. Portehault, S. Carenco, C. Sanchez, A. Ouali, C. Carcel, M. Wong Chi Man, K. Kuroda, 「Effect of tetrabutylammonium fluoride (TBAF) on silylation of interlayer surfaces of layered octosilicate」 日本化学会第 99 春季年会、兵庫、2019 年 3 月.

＊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：24 件（招待講演：11 件）

1. 矢澤佑介、朝倉裕介、望月大、黒田義之、下嶋敦、和田宏明、黒田一幸、「チタン種を修飾した層状オクトシリケートの合成」、第 55 回セラミックス基礎科学討論会、岡山、2017 年 1 月.
2. K. Kuroda, 「Synthetic Aspects of Nanoporous and Nanohybrid Materials」、NANOAPP2017、スロベニア（ブレッド）、2017 年 6 月.
3. M. Koike, Y. Asakura, Y. Kuroda, H. Tsuzura, H. Wada, A. Shimojima, K. Kuroda, 「Topotactic conversion of layered silicate RUB-15 to silica sodalite through interlayer condensation in N-methylformamide」、16th International Clay Conference、Spain(Granada)、2017 年 7 月.
4. 下嶋 敦、「自己組織化に基づくシロキサン系材料の機能開拓」、第 11 回 新機能無機物質探索研究センター・シンポジウム、宮城、2017 年 7 月.
5. A. Shimojima, 「Construction of Nanoporous Materials from Cage Siloxanes」、Silsesquioxanes-Based Functional Materials (SFM 2017)、中国(済南)、2017 年 8 月

6. N. Sato, Y. Kuroda, H. Wada, A. Shimojima, K. Kuroda, 「Construction of Supramolecular Networks of Silanol-modified Cage Siloxanes」、IUMRS-ICAM 2017、京都、2017 年 8 月.
7. K. Kuroda, 「Critical Role of Sol Gel Chemistry for Preparation of Porous and Hierarchically Structured Materials」、The 19th International Sol-Gel Conference、Belgium(Liege)、2017 年 9 月.
8. 川村謙太, 齋藤祥平, 佐藤尚人, 和田宏明, 下嶋敦, 黒田一幸, 「かご型シロキサンを有する分岐状チタノシロキサン化合物の合成」、日本セラミックス協会第 30 回秋季シンポジウム、兵庫、2017 年 9 月.
9. 齋藤祥平, 和田宏明, 下嶋敦, 黒田一幸, 「ジオールを用いた二官能性かご型シロキサンの位置選択的合成と反応性」、日本セラミックス協会第 30 回秋季シンポジウム、兵庫、2017 年 9 月.
10. 小池正和, 朝倉裕介, 甘楽英宏, 黒田義之, 下嶋敦, 和田宏明, 黒田一幸, 「層状ケイ酸塩 RUB-15 の薄層化とその層間縮合による sodalite への転換」、第 61 回粘土科学討論会、富山、2017 年 9 月.
11. 内田早紀, 山本瑛祐, 下嶋 敦, 和田宏明, 黒田一幸, 「シリカナノ粒子の有機シロキサン被覆による中空粒子の形成過程」、第 33 回ゼオライト研究発表会、岐阜、2017 年 11 月.
12. K. Kuroda, 「Preparation of nanobuilding blocks toward siloxane-based nano- and mesoscale architectures」、群馬大学未来先端研究機構、2018 年 1 月.
13. 小池正和, 坂井梨花, 下嶋 敦, 和田宏明, 黒田 一幸, 「銅イオンを含有した層状ケイ酸塩 RUB-15 の調製」、日本化学会第 98 春季年会、千葉、2018 年 3 月.
14. K. Kuroda, 「Preparation of mesoporous silica and related materials based on silicate-organic interaction」、ARECES WORKSHOP Mesoporous materials:from 1991 to 2018、Madrid (Spain)、2018 年 4 月.
15. A. Shimojima, 「Design of Ordered Siloxane-based Nanomaterials by Controlled Assembly」、3rd International Conference on NanoMaterials for health, energy and the environment、Mooloolaba (Australia)、2018 年 7 月.
16. M. Koike, Y. Asakura and K. Kuroda, 「Chemical design of layered silicates」、3rd International Conference on NanoMaterials for health, energy and the environment、Mooloolaba (Australia)、2018 年 7 月.
17. S. Saito, H. Wada, A. Shimojima and K. Kuroda, 「Construction of Zeolite-Like Rings by Site-Selective Condensation of Regioselectively Functionalized Cubic Siloxane」、International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2018、Kanagawa (Japan)、2018 年 8 月.
18. N. Sato, K. Tochigi, Y. Kuroda, H. Wada, A. Shimojima and K. Kuroda, 「Preparation of Zeolite-like Porous Materials from Silanol-Modified Cage Siloxanes」 International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2018、Kanagawa (Japan)、2018 年 8 月.
19. 三輪竜汰, 佐藤尚人, 和田宏明, 下嶋 敦, 黒田一幸, 「シラノール基とアルコキシ基を有するかご型シロキサンの合成と水素結合による結晶化」、日本セラミックス協会第 30 回秋季シンポジウム、名古屋、2018 年 9 月.
20. 黒田一幸, 「[RSiO₃/2]単位を含む物質創製～その魅力と可能性～」、日本化学会秋季事業第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018、東京、2018 年 10 月.
21. 黒田一幸, 「シロキサン結合が関わる物質化学の展開」、第 22 回 ケイ素化学協会シンポジウム、栃木、2018 年 10 月.
22. 川村謙太, 齋藤祥平, 佐藤尚人, 和田宏明, 下嶋 敦, 黒田一幸, 「かご型シロキサンを用いた分岐状メタロシロキサン化合物の合成」、第 37 回無機高分子研究討論会、東京、2018 年 11 月.
23. 廣橋武, 杉原めぐみ, 小池正和, 朝倉裕介, 黒田義之, 下嶋敦, 和田宏明, 黒田一幸,

「種々の層状ケイ酸塩のナノスクロール」、第 34 回ゼオライト研究発表会、北海道、2018 年 11 月。

24. K. Kuroda, 「Chemical approach for the synthesis of silica-based porous materials」、6th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials, Sitges (Spain)、2019 年 3 月。

＊ポスター発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：1 件

1. N. Rey, S. Carencio, A. Ouali, D. Portehault, C. Carcel, A. Shimojima, K. Kuroda, C. Sanchez, M. Wong Chi Man, 「Original siloxane linkers for 3D self-assembled hybrid materials」、ISGS Summer School, Alghero-Sardinia (Italy)、2018 年 9 月。

＊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：14 件

1. 内田早紀, 山本瑛祐, 永田皓也, 下嶋敦, 和田宏明, 黒田一幸, 「架橋型有機シロキサン
の被覆によるコロイド状メソ構造体シリカナノ粒子の中空構造への自発的変換」、日本
ゾル-ゲル学会 第 14 回討論会、東京、2016 年 8 月。
2. 内田早紀, 山本瑛祐, 永田皓也, 下嶋敦, 和田宏明, 黒田一幸, 「ナノコロイド状中空有
機修飾シロキサン粒子のワンポット作製」、第 6 回 CSJ 化学フェスタ 2016、東京、
2016 年 12 月。
3. 程 鹿々, 森 聖矢, 山本 瑛祐, 下嶋 敦, 和田 宏明, 黒田 一幸, 「水熱処理による大細
孔径メソポーラスシリカナノ粒子の細孔閉塞」、日本ゾル-ゲル学会第 15 回討論会、大
阪、2017 年 8 月。
4. 村上優樹, 矢澤佑介, 朝倉裕介, 小池正和, 黒田義之, 下嶋敦, 和田宏明, 黒田一幸, 「ソ
ルボサーマル法を利用した層状オクトシリケート層間へのエチルアミノ基の固定化」、
第 61 回粘土科学討論会、富山、2017 年 9 月。
5. 内田早紀, 山本瑛祐, 下嶋敦, 和田宏明, 黒田一幸, 「ワンポットで作製可能な中空有機
修飾シロキサンナノ粒子の細孔制御」、第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017、東京、2017
年 10 月。
6. 川村謙太, 齋藤祥平, 佐藤尚人, 和田宏明, 下嶋敦, 黒田一幸, 「かご型シロキサンを用
いた分岐状チタノシロキサン化合物の合成」、第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017、東
京、2017 年 10 月。
7. 村上優樹, 矢澤佑介, 朝倉裕介, 小池正和, 黒田義之, 下嶋敦, 和田宏明, 黒田一幸、
「層状オクトシリケートへの第 2 級アミン部位の固定化及び膨潤挙動調査」、第 7 回
CSJ 化学フェスタ 2017、東京、2017 年 10 月。
8. 廣橋 武, 杉原めぐみ, 朝倉裕介, 小池正和, 黒田義之, 下嶋 敦, 和田宏明, 黒田一
幸, 「層状オクトシリケートからのナノスクロール形成に及ぼす第四級アンモニウムイ
オンの影響」、第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017、東京、2017 年 10 月。
9. 程 鹿々, 山本瑛祐, 森 聖矢, 下嶋 敦, 和田宏明, 黒田一幸, 「水熱処理による大細孔
径のクロズドポアを持つメソポーラスシリカナノ粒子の作製」、第 7 回 CSJ 化学フ
ェスタ 2017、東京、2017 年 10 月。
10. S. Saito, H. Wada, A. Shimojima and K. Kuroda, 「Site-selective Hydrolysis and
Condensation of Regioselectively Functionalized Cage-type Siloxanes」、The 10th US-
Japan Organic-Inorganic Hybrid Materials Workshop, Newark (USA)、2018 年 6 月。
11. M. Koike, Y. Asakura, Y. Kuroda, A. Shimojima, H. Wada and K. Kuroda, 「Topotactic

Conversion of Layered Silicate RUB-15 to Sodalite Through Interlayer Condensation」、International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2018、Kanagawa (Japan)、2018 年 8 月。

12. T. Hirohashi, M. Sugihara, M. Koike, Y. Asakura, Y. Kuroda, A. Shimojima, H. Wada and K. Kuroda、「Formation of Crystalline Silicate Nanoscrolls from Layered Silicate Magadiite」、International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2018、Kanagawa (Japan)、2018 年 8 月。
13. 三輪竜汰, 佐藤尚人, 和田宏明, 下嶋 敦, 黒田一幸、「アルコキシ基とシラノール基を用いたかご型シロキサン配列制御」、日本化学会秋季事業 第 8 回 CSJ 化学フェスタ 2018、東京、2018 年 10 月。
14. K. Kawamura, S. Saito, N. Sato, H. Wada, A. Shimojima, K. Kuroda、「Synthesis of Branched Titanosiloxane with Cage Siloxanes」、The 6th International Symposium of Gunma University Initiative for Advanced Research、Gunma (Japan)、2018 年 12 月。

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. Japan-France Workshop、主催者：黒田一幸（早稲田大学・教授）、早稲田大学、東京、日本、2015 年 9 月 14 日、参加人数 80 名程度（プロジェクト開始直前に開催）

4. 研究交流の実績

【学生・研究者の派遣、受入】

- ・2016 年 7 月：日本から学生 2 名が 2 週間フランスの研究機関に留学し、研究内容および実験技術を共有した。
- ・2018 年 3 月：フランス側の学生 1 名を 1 ヶ月受け入れ、研究内容および実験技術を共有した。

【合同ミーティング】

- ・2016 年 1 月 30 日：キックオフミーティング、早稲田大学、東京、日本
- ・両国のメンバーを交えて合計 15 回、合同会議を開催した。

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. 日本ゾル-ゲル学会 第 14 回討論会、ベストポスター賞、内田早紀、2016 年 8 月
2. 第 6 回 CSJ 化学フェスタ 2016、優秀ポスター発表賞、内田早紀、2016 年 12 月
3. 日本ゾル-ゲル学会第 15 回討論会、ベストポスター賞、程 鹿々、2017 年 8 月
4. 日本粘土学会平成 29 年度学術振興賞、小池正和、2017 年 9 月
5. 日本セラミックス協会第 30 回秋季シンポジウム、特定セッション「元素ブロック：セラミックス科学と合成化学のクロスロード」、学生優秀講演賞、齋藤祥平、2017 年 11 月
6. 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017、優秀ポスター発表賞、内田早紀、2017 年 11 月
7. 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017、優秀ポスター発表賞、川村謙太、2017 年 11 月
8. 第 7 回 CSJ 化学フェスタ 2017、優秀ポスター発表賞、程 鹿々、2017 年 11 月
9. International SOL-GEL society, Lifetime achievement award、黒田一幸、2019 年 8 月

以上