

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01848

研究課題名(和文) 1分子液滴アレイの創製による「1分子制御化学」の確立

研究課題名(英文) Development of single-molecule regulated chemistry by single molecule droplet array

研究代表者

許岩(XU, YAN)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90593898

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、独自のナノ流体デバイス技術を用いて、フェムト・アトリットル(fL~aL)極微量流体の自在制御技術を開発し、わずかaL体積を有する1分子液滴のアレイを創製した。これにより、通常反応濃度溶液中の膨大な量の分子を1分子単位で計測、操作、反応を可能とした。本研究を通じて、研究代表者が提唱してきた「1分子制御化学」の基本プロセスを確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で確立した1分子制御化学の基本プロセスは化学やバイオの基礎と応用に関連する幅広い分野を革新する可能性がある。例えば、溶液反応の分子ダイナミクス解明や、集団平均化により隠蔽された個々の生体分子の挙動と特性の多様性究明、自然状態の長鎖DNAの任意合成やポリマー構造の自由構築に繋がる分子を積み木とする、究極の精密合成法の創出などが期待される。従って、本研究成果は、1分子化学や1分子生物学、化学工学、プロセス工学、合成化学、合成生物学、定量生物学、分子診断、薬物スクリーニング、創薬など幅広い領域への学術的・科学技術的・社会的波及効果は極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed fundamental mechanisms and technologies for manipulating femtoliter to attoliter (fL~aL) fluids using our nanofluidic device technology. Based on these developed mechanisms and technologies, we have achieved the fabrication of single-molecule droplet arrays. The use of the single-molecule droplet arrays has allowed the detection, manipulation, and reaction of single molecules at normal concentration range. Through this study, we have established the basic processes for "single molecule regulated chemistry" proposed by us.

研究分野：ナノ化学システム工学

キーワード：1分子制御化学 1分子液滴 ナノ流体デバイス 1分子操作 1分子反応 液滴輸送 液滴融合 Nano-in-Nano集積化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

従来の化学では分子集団を取り扱い、濃度で量を表わし、膨大な量の分子の平均的な性質と反応性を中心に研究されてきた。一方で、近年、分析化学の分野では様々な新技術により、化学、バイオの物質を1分子レベルで観察、計測できるようになった。この1分子検出を基盤とした化学の新分野は、1分子化学と呼ばれ、平均化により隠蔽された実際の分子挙動と特性の多様性を理解する手段として注目されている。しかしながら、現在の1分子化学は検出機構やデバイス等の制約を受け、ほとんどの場合極めて低濃度領域 ($pM=10^{-12}M$ 以下) でのみ意味のある結果が得られる。このため、 pM より数桁ほど高い μM 、 nM 濃度領域を必要とする通常の液相合成反応、および細胞内反応や多くの酵素反応、生体分子相互作用 (protein-protein、DNA-protein interactions) などといった大多数の化学、バイオ系に応用することは困難である。1分子化学をより幅広く有用なツールに発展させるためには、このような数桁に及ぶ濃度領域の乖離を解消しなければならない。また、現在の1分子化学は、「反応」といった化学的な視点ではなく、主に「測定・分析」の視点から1分子を研究することであった。化学反応の視点から見ると、分子は化学的性質を有する物質の最小ビルディングブロック (building block) でもある。このような背景の中、研究代表者は、分子をビルディングブロックとして直接的に取り扱い、通常反応濃度領域における化学反応や生体反応に携わる分子の計測・輸送・混合・反応・分離などのすべてのプロセスを1分子単位で行おうとする「1分子制御化学」を提唱してきた。これまで、この「1分子制御化学」のコンセプトの実現に向けて、超微量流体操作に適したナノ流体デバイス[1]を用いて、1分子液滴反応場となるアトリットル (aL) 液滴を形成する方法を開発してきた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者が独自のナノ流体デバイス技術を用いて実現したフェムト・アトリットル (fL~aL) 極微量流体の自在制御技術をさらに進化して、わずか aL 体積を有する1分子液滴のアレイの創製により、通常反応濃度溶液中の膨大な量の分子を1分子単位で計測、操作、反応を可能にするという研究代表者が提唱してきた1分子制御化学を確立することである。

3. 研究の方法

マイクロ流体デバイスなどを用いる従来の微小液滴の作製手法では、fL 液滴の作製が限界であり、aL 液滴 (= 1分子液滴) を作製することはできない。また、ナノ流路では比表面積が極めて大きくなるため、マイクロ流路で行われるような液-液二相系エマルション原理に基づく微小液滴アレイの生成は困難である。これに対して本研究では、独自の

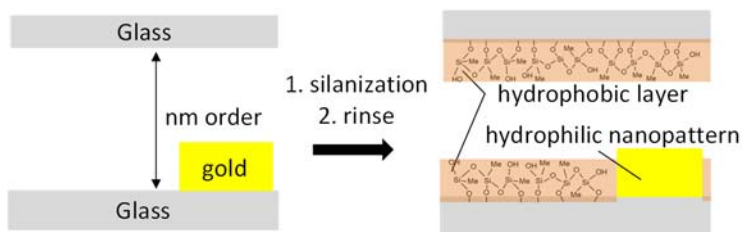


図1. 親水ナノアレイを有する疎水ナノ流路の作製手法の概念図

の Nano-in-Nano 集積化技術[2-4]を用いて親水の金表面ナノアレイを有する疎水ナノ流路配列 (図1) を作製し、液-気二相系原理に基づく1分子液滴アレイを作製する手法を提案した。また、より簡単な操作でより体積が均一なアトリットル液滴アレイを作製することを目指して、プラス圧力差原理とエネルギー変化原理を融合した新しい気-液、液-液界面の生成原理を提案して、新たに設計、作成した特別なナノ流路構造を用いて、均一なアトリットル液滴アレイの簡単作成法も開発した。

4. 研究成果

(1) 親水ナノアレイを有する疎水ナノ流路の作製

本研究提案の技術基盤の一つである親水ナノアレイを有する疎水ナノ流路の作製手法の確立に取り組んだ。まず、図1に示した提案手法で親水ナノアレイを有する疎水ナノ流路を作製した。具体的には、接触角などの評価 (図2) によりガラス基板上実験で最適化した溶媒、濃度、反応時間、洗浄方法などの条件を指針として、ナノ流路において実験を実施し、導入した水の挙動の顕微鏡観察、導入圧力評価などによって、実験手順と条件をさらに最適化し、親水ナノアレイを有する疎水ナノ流路の作製手法を確立した。

(2) ナノ流路内液-気界面物理化学の解明

親水ナノアレイを有する疎水ナノ流路を用いて、アトリットル液滴を形成することを目的とした。この目的を達成するために、ナノ流路における液-気界面物理化学を解明しなければならない。そこで、圧力による水の導入方法や界面を安定化するための操作を検討しながら、形成した液-気界面を顕微鏡で観察し、ナノ流路における安定的な液-気界面を形成させる物理化学条件を明らかにした (図3)。

(3) アトリットル液滴アレイの作製手法の確立

最適化した物理化学条件の下、微小液滴のアレイを生成することができた。さらに生成した微小液滴の数や体積、体積分布について評価した。微小液滴の体積は主に aL オーダーで、かつ狭い分布を有することが分かった。これにより、提案の手法によるアトリットル液滴アレイの生成が実証できた。

また、水の導入方法は圧力導入以外に他にも様々なものが考えられるため、振動法や炭酸水導入法などの手法を用いてより良い気-液界面の構築法も探索したが、その結果、液滴生成の改善は見られなかった。

さらに、特別なナノ流路構造により形成する気-液または液-液界面を用いて、ラプラス圧力差原理及びエネルギー変化原理に基づいて、アトリットル液滴アレイ作製の新たな手法の開発にも挑戦した。より簡単な操作でより体積が均一なアトリットル液滴アレイを作製することに成功した。

(4) 1分子制御化学の確立

アトリットル液滴アレイを用いて1分子計測により1分子液滴のコンセプトを実証した。まずは、代表的な蛍光色素をモデル分子とし、その nM~ μ M の溶液をナノ流体デバイスに導入することでアトリットル液滴アレイを作製した。そして、レーザー誘起蛍光法を用いて作製したアトリットル液滴内の蛍光分子を検出した。さらに、蛍光計測解析により1分子の蛍光色素に由来する蛍光信号を確認し、1分子液滴のコンセプトを実証した。

そして、上記の1分子液滴のコンセプトの実証を行いながら、アトリットル液滴の移動や融合などの操作手法を開発した。具体的には、まずは、独立操作可能な複合ナノ流路構造を設計して作製した。次に、複合ナノ流路構造における独立操作可能な安定的な界面を形成させる物理化学条件を明らかにして、独立操作可能なアトリットル液滴配列の作製手法を確立した。このアトリットル液滴配列を利用して、液滴の移動と融合の手法を開発した。

さらに、開発した液滴の移動と融合の操作方法を用いて、1分子液滴の操作による1分子反応への挑戦を前倒して、早期に1分子反応の実現に挑戦した。

以上から、本研究の目的である1分子制御化学の確立を当初計画より前倒しで達成した。

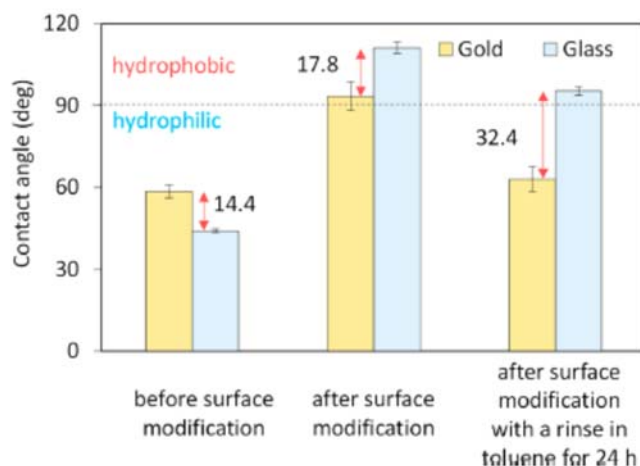


図2. 表面修飾前後、及び洗浄後の金表面とガラス表面の接触角評価

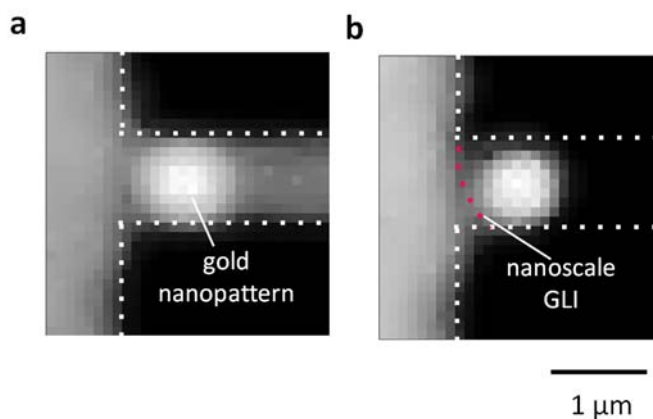


図3. (a) 2D ナノ流路内の金ナノパターンと (b) 作製したナノスケール液-気界面 (nanoscale GLI) のグレースケール反射光画像。

<引用文献>

- [1] Xu Y., Nanofluidics: a new arena for materials science, *Advanced Materials*, 2018, 30, 1702419.
- [2] Xu Y., Matsumoto N., Wu Q., Shimatani Y., Kawata H. Site-specific nanopatterning of functional metallic and molecular arbitrary features in nanofluidic channels. *Lab on a Chip*, 2015, 15, 1989-1993.

- [3] Xu Y., Xu B., An integrated glass nanofluidic device enabling in situ electrokinetic probing of water confined in a single nanochannel under pressure-driven flow conditions. *Small*, 2015, 11, 6165-6171.
- [4] Xu Y., Shinomiya M., Harada A., Soft matter-regulated active nanovalves locally self-assembled in femtoliter nanofluidic channels, *Advanced Materials*, 2016, 28, 2209-2216.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hiroto Kawagishi, Shuichi Kawamata, Yan Xu	4. 巻 1
2. 論文標題 Generation of Nanometer-Scale Geometrical Gas-Liquid Interfaces in Hydrophilic/Hydrophobic Patterned Nanochannels.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of Micro Total Analysis Systems	6. 最初と最後の頁 190-191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroki Kamai, Yan Xu	4. 巻 1
2. 論文標題 Fabrication of Sub-40-Nanometer Nano-in-Nano Structures in Nanofluidic Channels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of Micro Total Analysis Systems	6. 最初と最後の頁 366-367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Kawagishi, S. Kawamata, Y. Xu.	4. 巻 なし
2. 論文標題 Nanofluidic fabrication and manipulation of attoliter droplets.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Micro Total Analysis Systems 2019	6. 最初と最後の頁 117-118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R.Takane, H.Kawagishi, Y. Matsui, H.Ikeda, Y. Xu	4. 巻 なし
2. 論文標題 Fabrication and evaluation of attoliter droplets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Micro Total Analysis Systems 2019	6. 最初と最後の頁 991-992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Kawagishi, S. Funano, Y. Tanaka, S. Kawamata, Y. Xu	4. 巻 なし
2. 論文標題 Fabrication and evaluation of flexible nanovalves in 2D-nanochannels.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Micro Total Analysis Systems 2019	6. 最初と最後の頁 1182-1183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川岸啓人, 許岩	4. 巻 19.1
2. 論文標題 1分子制御化学に向けたアトリットル液滴のアレイ化と混合	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学とマイクロ・ナノシステム	6. 最初と最後の頁 29-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Kawagishi, S. Kawamata, Y. Xu.	4. 巻 -
2. 論文標題 Fabrication of attoliter droplets by hydrophilic/hydrophobic nano-in-nano integrated structures.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Micro Total Analysis Systems	6. 最初と最後の頁 381-382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukuda Sumire, Xu Yan	4. 巻 10
2. 論文標題 A biomimetic anti-biofouling coating in nanofluidic channels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry B	6. 最初と最後の頁 2481 ~ 2489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TB02627E	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Seetasang Sasikarn, Xu Yan	4. 巻 10
2. 論文標題 Recent progress and perspectives in applications of 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine polymers in biodevices at small scales	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry B	6. 最初と最後の頁 2323 ~ 2337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TB02675E	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawagishi Hiroto, Kawamata Shuichi, Xu Yan	4. 巻 21
2. 論文標題 Fabrication of Nanoscale Gas-Liquid Interfaces in Hydrophilic/Hydrophobic Nanopatterned Nanofluidic Channels	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 10555 ~ 10561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.1c02871	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kamai Hiroki, Xu Yan	4. 巻 12
2. 論文標題 Fabrication of Ultranarrow Nanochannels with Ultrasmall Nanocomponents in Glass Substrates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 775 ~ 775
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi12070775	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yang Jinbin, Xu Yan	4. 巻 33
2. 論文標題 Nanofluidics for sub-single cellular studies: Nascent progress, critical technologies, and future perspectives	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chinese Chemical Letters	6. 最初と最後の頁 2799 ~ 2806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccllet.2021.09.066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazoe Yutaka, Xu Yan	4. 巻 12
2. 論文標題 Advances in Nanofluidics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 427 ~ 427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi12040427	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計54件 (うち招待講演 33件 / うち国際学会 39件)

1. 発表者名 許岩
2. 発表標題 Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science(Tentative)
3. 学会等名 第137回分析技術研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川岸啓人, 川又修一, 許岩
2. 発表標題 ナノ流路内親水/疎水ナノパターンによる気液ナノ界面の形成と応用
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第42回研究会, CHEMINAS42th
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroto Kawagishi, Shuichi Kawamata, Yan Xu
2. 発表標題 Generation of Nanometer-Scale Geometrical Gas-Liquid Interfaces in Hydrophilic/Hydrophobic Patterned Nanochannels.
3. 学会等名 The 24rd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, (MicroTAS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Kamai, Yan Xu
2. 発表標題 Fabrication of Sub-40-Nanometer Nano-in-Nano Structures in Nanofluidic Channels
3. 学会等名 The 24rd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, (MicroTAS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 釜井弘樹, 許岩
2. 発表標題 超微細Nano-in-Nano構造を駆使したNanofuidic SERS検出
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第42回研究会, CHEMINAS42th
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高根里咲, 川岸啓人, 許岩
2. 発表標題 1 分子ダイナミクス解明に向けたaL液滴アレイの作製と条件検討.
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第39回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川岸啓人, 川又修一, 許岩
2. 発表標題 1 分子制御化学に向けたアトリットル液滴の形成と移動.
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第39回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kawagishi, S. Funano, Y. Tanaka, S. Kawamata, Y. Xu
2. 発表標題 Fabrication and evaluation of mechanical nanovalves in nanochannels.
3. 学会等名 The 11th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川岸啓人, 川又修一, 許岩
2. 発表標題 1分子制御化学に向けたアトリットル 液滴のマニピュレーションと融合.
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西岡賢史, 許岩
2. 発表標題 ナノ流体デバイスにおける光圧によるナノ粒子間反応ダイナミクスの解析.
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川岸啓人, 川又修一, 許岩
2. 発表標題 局所的に構築したナノ流路内蒸気圧差による気-液ナノ界面の形成と応用.
3. 学会等名 日本分析化学会第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kawagishi, S. Kawamata, Y. Xu
2. 発表標題 Nanofluidic fabrication and manipulation of attoliter droplets.
3. 学会等名 The 23rd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS2019), (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R.Takane, H.Kawagishi, Y.Matsui, H.Ikeda, Y. Xu
2. 発表標題 Fabrication and evaluation of attoliter droplets.
3. 学会等名 The 23rd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS2019), (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Kawagishi, S. Funano, Y. Tanaka, S. Kawamata, Y. Xu
2. 発表標題 Fabrication and evaluation of flexible nanovalves in 2D-nanochannels.
3. 学会等名 The 23rd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS2019), (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川岸啓人, 許岩
2. 発表標題 1分子制御化学に向けたアトリットル液滴のアレイ化と混合.
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第40回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Xu
2. 発表標題 What can we expect with nanofluidics. An exciting arena for new chemistry, biology, and materials science.
3. 学会等名 The 11th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 許岩
2. 発表標題 Pioneering nanofludics for new chemistry, biology, and materials science.
3. 学会等名 奈良先端科学技術大学院大学光ナノサイエンス特別講義 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Xu
2. 発表標題 Beyond Phenomena: Pioneering Applied Nanofluidics
3. 学会等名 Shanghai University of Traditional Chinese Medicine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Xu
2. 発表標題 Pioneering nanofludics for new chemistry,biology,and materials science.
3. 学会等名 Invited Talk at Zhejiang Univeristy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at Northeastern University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Xu
2. 発表標題 Pioneering nanofludics for new chemistry,biology,and materials science.
3. 学会等名 DICP 70th Anniversary Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at nternational Iberian Nanotechnology Laboratory (INL) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at Changzhou University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Towards molecular manual-assembly: nanofluidic manipulation of single nanometric objects and extracellular vesicles.
3. 学会等名 The 2nd Symposium for Cell Analysis on Micro/Nanofluidics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Xu
2. 発表標題 Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Seminar at The University of Tokyo (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at Beijing Advanced Innovation Center for Biomedical Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Nanofluidics for NanoBioChem Integration at Femtoliter, Attoliter, and Single-Molecule Scales.
3. 学会等名 The 13th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Nanofluidics: Pioneering NanoBioChem Integration at Femtoliter, Attoliter, Single-Nanoparticle, and Single-Molecule Scales.
3. 学会等名 BIGHEART Lecture of National University of Singapore (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kawagishi, S. Kawamata, Y. Xu,
2. 発表標題 Fabrication of attoliter droplets in hydrophobic nanochannels with hydrophilic nanopatterns.
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kawagishi, S. Kawamata, Y. Xu
2. 発表標題 Cutting of nanofluids using difference of vapor pressure in nanochannels.
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at Peking University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 NanoBioChem Integration at Femtoliter, Attoliter, and Single-Molecule Scales through Nanofluidics.
3. 学会等名 Microsystems & Nanoengineering Summit 2018 (MINE 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Nanofluidics for NanoBioChem Integration at Femtoliter, Attoliter, and Single-Molecule Scales.
3. 学会等名 Invited Talk at Beijing University of Chemical Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Beyond Phenomena: Pioneering Applications of Nanofluidics through Nano-in-Nano Integration.
3. 学会等名 The 9th Japan-China-Korea Joint Conference on MEMS/NMES (JCK MEMS/NEMS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Outstanding Alumni Lecture of Dalian Insititute of Chemical Physics (DICP) Chinese Academy of Sciences(CAS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at Tongji University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at Lanzhou University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at Taiyuan University of Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at Shanxi University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at Northwest A&F University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry Biology and Materials Science.
3. 学会等名 The First symposium for Cell Analysis on Micro/Nanofluidics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Nanofluidics: A New Arena for Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 20th Annual Conference of the Chinese Society of Micro-Nano Technology 9th International Conference of the Chinese Society of Micro-Nano Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials (ICEAN 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Queensland Micro- and Nanotechnology Centre (QMNC) Seminar of Griffith University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kawagishi, S. Kawamata, Y. Xu
2. 発表標題 Fabrication of attoliter droplets by hydrophilic/ hydrophobic nano-in-nano integrated structures.
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 The 12th NanoSquare Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Takane, H. Kawagishi, Y. Matsui, H. Ikeda, Y. Xu
2. 発表標題 Fabrication of single molecule droplets for elucidation of single molecule dynamics.
3. 学会等名 The 12th NanoSquare Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at The BME Seminar of Pennsylvania State University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering and Advancing Nanofluidics for New Chemistry, Biology, and Materials Science.
3. 学会等名 Invited Talk at The BME colloquium of New York University (NYU) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Xu
2. 発表標題 Pioneering nanofluidics for new chemistry, biology, and materials science.
3. 学会等名 BDR Symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 許岩
2. 発表標題 Nanofluidics for NanoBioChem Integration at Femtoliter, Attoliter, and Single-Molecule Scales
3. 学会等名 平成30年度 生理研研究会「生体コモンスペース研究会」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高根里咲, 川岸啓人, 松井康哲, 池田浩, 許岩
2. 発表標題 1分子ダイナミクス解明に向けた1分子液滴の作製
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第38回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川岸啓人, 船野俊一, 田中陽, 川又修一, 許岩
2. 発表標題 Nano-in-Nano集積化とフレキシブルなガラスによるナノ流路内バルブの作製
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第38回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川岸啓人, 川又修一, 許岩
2. 発表標題 1分子制御化学へ向けた親水/疎水ナノパターンニング法による1分子液滴の大量生成
3. 学会等名 RIMEDシーズ発掘・人材育成講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計6件

1. 著者名 Dong Y., Wang S., Zhao L., Yang J., Xu Y.	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 475
3. 書名 Some frontier technologies for aptamers in medical applications in 'Aptamers for Medical Applications. From Diagnosis to Therapeutics' Pages 375-403	

1. 著者名 Xu Y., Takai M., Ishihara K.	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 636
3. 書名 Functional coatings for lab-on-a-chip systems based on phospholipid polymers, in 'Handbook of Modern Coating Technologies. Applications and Development ', pp555-595	

1. 著者名 Xu Y.	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Taylor & Francis (CRC Press)	5. 総ページ数 488
3. 書名 Beyond Phenomena: Functionalization of Nanofluidics Based on Nano-in-Nano Integration Technology, in ' 21st Century Nanoscience - A Handbook, Exotic Nanostructures and Quantum Systems (Volume Five) ', pp13-1-13-18	

1. 著者名 Jinbin Yang, Yan Xu	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 312
3. 書名 Nano-in-Nano Integration Technology for Advanced Fabrication of Functional Nanofluidic Devices, in " Advanced MEMS/NEMS Fabrication and Sensors ",pp111-132	

1. 著者名 Jinbin Yang, Yan Xu	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 462
3. 書名 Principles and applications of the nano-in-nano integration for multidisciplinary nanofluidics, In " Multidisciplinary Microfluidic and Nanofluidic Lab-on-a-Chip: Principles and Applications, pp407-428	

1. 著者名 Yiyang Dong, Sai Wang, Lianhui Zhao, Jinbin Yang, Yan Xu	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 462
3. 書名 Some frontier technologies for aptamers in medical applications, In "Aptamers for Medical Applications. From Diagnosis to Therapeutics" pp 375-403	

〔産業財産権〕

〔その他〕

許研究室HP http://www.chemeng.osakafu-u.ac.jp/group8/index.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	川岸 啓人 (KAWAGISHI Hiroto)	大阪府立大学・大学院工学研究科・博士後期課程学生	
研究協力者	高根 里咲 (TAKANE Risa)	大阪府立大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生	
研究協力者	小林 丈 (KOBAYASHI Jo)	大阪府立大学・工学域物質化学系学類・学域生	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	釜井 弘樹 (KAMAI Hiroki)	大阪府立大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生	
研究協力者	西岡 賢史 (NISHIOKA Satoshi)	大阪府立大学・大学院工学研究科・博士前期課程学生	
研究協力者	伊都 将司 (ITO Syoji) (10372632)	大阪大学・基礎工学研究科・准教授 (14401)	
研究協力者	池田 浩 (IKEDA Hiroshi) (30211717)	大阪府立大学・大学院工学研究科・教授 (24403)	
研究協力者	松井 康哲 (MATSUI Yasunori) (90709586)	大阪府立大学・大学院工学研究科・教授 (24403)	
研究協力者	田中 陽 (TANAKA Yo) (40532271)	国立研究開発法人理化学研究所・生命機能科学研究センター・チームリーダー (82401)	
研究協力者	川又 修一 (KAWAMATA Shuichi) (50211868)	大阪府立大学・大学院工学研究科・教授 (24403)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------