

Title	単一分子をトレーサとするナノチャンネル時空間流動計測法の創成
Sub Title	Creation of spatially and temporally resolved flow measurement method for nanochannels utilizing single molecule as tracer
Author	嘉副, 裕(Kazoe, Yutaka)
Publisher	
Publication year	2020
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2019. )
JaLC DOI	
Abstract	<p>様々な流体操作を微小化・集積化するマイクロ流体工学が急速に進展し、近年ではナノ流体工学へと展開している。本研究では、極小のナノ空間の流動現象を理解するために、流れの中の1分子の移動量から流速分布を計測する分子画像流速計 (MIV) を提案した。サイズが制御された高分子であるデンドリマーを蛍光修飾したトレーサ分子を開発し、これをナノ流路における圧力駆動流の計測に応用した。本手法と得られた知見は、ナノ空間の流れと物質輸送の理解に寄与すると期待される。</p> <p>Microfluidics has rapidly developed to miniaturize and integrate various fluidic operations. Recently, it has been further downscaled to nanofluidics. In this study, in order to understand fluid flows in ultrasmall nanospaces, we proposed a measurement method of flow velocity distribution by tracing the motion of single-molecules in fluid flows, which we call molecular image velocimetry (MIV). A tracer molecule with controlled size was developed by fluorescence modification of dendrimer, and applied to measurements of pressure-driven flow in a nanochannel. The proposed method and obtained knowledge will contribute to understand fluid dynamics and molecular transport in nanospaces.</p>
Notes	研究種目：若手研究 (A) 研究期間：2015～2018 課題番号：15H05507 研究分野：マイクロ・ナノ流体工学
Genre	Research Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_15H05507seika">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_15H05507seika</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

令和 2 年 8 月 11 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05507

研究課題名（和文）単一分子をトレーサとするナノチャンネル時空間流動計測法の創成

研究課題名（英文）Creation of spatially and temporally resolved flow measurement method for nanochannels utilizing single molecule as tracer

研究代表者

嘉副 裕（Kazoe, Yutaka）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・講師

研究者番号：20600919

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,300,000円

研究成果の概要（和文）：様々な流体操作を微小化・集積化するマイクロ流体工学が急速に進展し、近年ではナノ流体工学へと展開している。本研究では、極小のナノ空間の流動現象を理解するために、流れの中の1分子の移動量から流速分布を計測する分子画像流速計（MIV）を提案した。サイズが制御された高分子である dendrimer を蛍光修飾したトレーサ分子を開発し、これをナノ流路における圧力駆動流の計測に応用した。本手法で得られた知見は、ナノ空間の流れと物質輸送の理解に寄与すると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

分析装置や医療診断機器、リアクター等の様々な流体システムの小型化・デバイス化が進み、微小空間の流体（液体、気体）の流れの理解が重要になっている。これまでに10 $\mu$ mのマイクロ空間の流れの研究が進んできたが、ナノ空間は極めて小さく研究が難しかった。本研究は、極小のナノ空間の流れを計測する新たな方法論を提案し、この空間の流体力学と移動現象論の確立に寄与するものである。また、生物物理における細胞間・細胞内ナノ空間の分子輸送、膜工学における物質分離など他分野で扱うナノ空間の現象解明に有用な知見を提供するものである。

研究成果の概要（英文）：Microfluidics has rapidly developed to miniaturize and integrate various fluidic operations. Recently, it has been further downscaled to nanofluidics. In this study, in order to understand fluid flows in ultrasmall nanospaces, we proposed a measurement method of flow velocity distribution by tracing the motion of single-molecules in fluid flows, which we call molecular image velocimetry (MIV). A tracer molecule with controlled size was developed by fluorescence modification of dendrimer, and applied to measurements of pressure-driven flow in a nanochannel. The proposed method and obtained knowledge will contribute to understand fluid dynamics and molecular transport in nanospaces.

研究分野：マイクロ・ナノ流体工学

キーワード：流体計測 ナノチャンネル 単一分子

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

様々な流体操作を微小化するマイクロ流体工学が急速に進展し、近年ではナノ流体工学へと展開している。10-100 nm のナノ空間を利用することで単一分子分析や高速イオン輸送など革新的機能デバイスの実現が期待されている。ナノ空間は分子から連続体への過渡的領域であり、表面効果が支配的な空間であるため、バルクとは異なる現象が発生する。これまでに、ナノ空間の高粘度・低誘電率・高プロトン移動度などの物性変化や水の構造化が報告されてきた (Mawatari *et al.*, *Anal. Chem.*, 2014 など)。しかし、ナノ空間に適用可能な流速分布計測法がないため、この空間の流動現象は未解明であった。

一般的な流速分布計測法として、流れの中のトレーサ粒子の動きから流速を求める粒子画像流速計 (particle image velocimetry: PIV) が広く用いられている。これまでの研究では、主に光学的手法による PIV の分解能向上と微小空間への応用が進められてきた。代表的な手法であるマイクロ PIV (Santiago *et al.*, *Exp. Fluids*, 1998 など) は、顕微鏡法を用いることで数  $\mu\text{m}$  の空間分解能を達成したが、far-field optics であるため光の波長より小さいナノ空間への適用は難しい。一方、代表者は、近接場光のエバネッセント波を用いて、壁面近傍数 100 nm の流速分布計測法 (ナノ PIV) を開発してきた (Yoda & Kazoe, *Phys. Fluids*, 2011; Kazoe *et al.*, *Meas. Sci. Technol.*, 2010 など)。これをさらに発展させ、直径 60 nm の蛍光ポリスチレン粒子をトレーサとして用いて 400 nm 空間の流速分布計測をはじめて検証した (Kazoe *et al.*, *Anal. Chem.*, 2013)。

しかし、現状ではトレーサとして用いる固体粒子は最小 20 nm 程度であるため、100 nm 空間では分解能に乏しく、10 nm 空間には粒子が導入できずそもそも適用できない。また、粒子径のばらつきが 10~20% 程度あるため、ナノ空間流速分布計測の大きな誤差となる。従って、PIV の限界を打破する新たな方法が必要となる。

一方、近年の高分子化学では、サイズを制御した高分子である dendrimer が開発されてきた。また、検出器や顕微鏡の発達により、単一分子イメージングも可能になってきた。そこで、dendrimer を用いてサイズが均一なトレーサ分子を開発し、代表者独自の方法にもとづき光の回折限界以下の超分解能を実現すれば、流れる分子一つ一つを追跡してナノ空間流速分布を把握できる新たな計測法を創成できると着想した (図 1)。

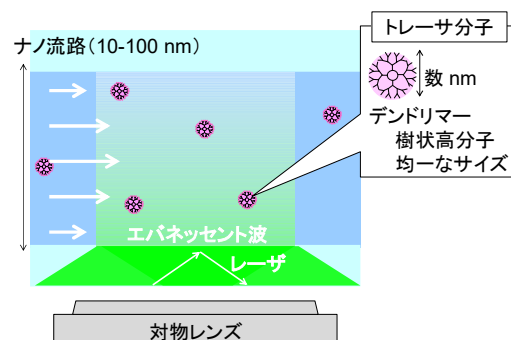


図 1 研究構想：分子画像流速計 (MIV)

### 2. 研究の目的

本研究では、単一分子をトレーサとするナノ空間流速分布計測法、即ち分子画像流速計 (molecular image velocimetry: MIV) を開発する。これを用いてナノ空間の流速分布を実現することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) dendrimer を利用したトレーサ分子の開発

dendrimer の末端化学基に蛍光分子を修飾することで、サイズが制御されたトレーサ分子を開発した。dendrimer と蛍光分子を選定してトレーサ分子作製のための反応系を設計した。反応の繰り返し回数等の条件を検討し、蛍光分子の修飾反応の効率改善に取り組んだ。

#### (2) MIV 計測システムの構築

代表者独自の的方法論 (Kazoe *et al.*, *Anal. Chem.*, 2013) にもとづき、光の全反射に伴うエバネッセント波を利用した計測システムを構築した。また、開発したトレーサ分子がナノ空間の計測に利用できることを検証した。

#### (3) ナノ空間の流速分布計測

開発した MIV をナノ流路の流速分布計測に応用した。得られた結果から、本研究で提案した計測法の有効性を検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) dendrimer を利用したトレーサ分子の開発

末端にサクシニミジルエステル基を有する直径 14 nm の dendrimer と量子収率が高い蛍光分子 Alexa Fluor 546 を選定して反応系を設計し、dendrimer と蛍光分子の濃度、反応温度を検討した。検討した反応条件で得られた蛍光修飾 dendrimer をカバーガラスに吸着させ、蛍光観察した。図 2 に示すように、蛍光修飾 dendrimer の蛍光強度の標準偏差は 4.9% であった。蛍光強度はサイズの 2 乗に比例するため、蛍光修飾 dendrimer の直径のばらつきは  $\pm 0.3$  nm (2%) であると見積もられる。以上より、従来のトレーサ粒子に比してサイズのばらつきが 1 桁小さい蛍光トレーサ分子を作製することに成功した。

一方で、質量分析計を用いて dendrimer に修飾された蛍光分子数を評価したところ、dendrimer の末端化学基 (4096 個) の反応率が約 7% (300 個) に留まっていることが判った。そこで、反応の繰り返し、溶媒の検討、スパーサーの導入による立体障害の低減を検討した。これに

より、修飾される蛍光分子数が増加して蛍光強度が 2.2 倍増加した。反応の高効率化については今後も引き続き検討が必要である。

### (2) MIV 計測システムの構築

図 3 に構築した MIV 計測システムを示す。ナノ流路を流れるトレーサ分子にレーザの全反射により発生するエバネッセント波を照射し、蛍光を 60 倍対物レンズを介して EMCCD で撮像する。エバネッセント波の強度は壁面から指数関数的に減衰する。そこで、励起光強度の指数関数的減衰にもとづき蛍光強度からトレーサ分子の位置を測定する。得られたトレーサ分子の速度分布から流速分布を求める。

開発したトレーサ分子がナノ空間流速分布計測に利用できるか検証するために、圧力駆動流によるナノ流路へのトレーサ分子の導入実験を行った。図 4 に示すように、石英ガラス基板に深さ 155 nm のナノ流路を作製して、ナノ流路へのトレーサ分子の導入量を測定した。その結果、壁面からの静電力が働く距離の指標であるデバイ長が流路サイズと同オーダーの 100 nm 以上ではナノ流路にトレーサ分子が導入されないことが判った。トレーサ分子が負に帯電しているため、負に帯電した壁面との相互作用によるクーロン斥力が支配的に働き、トレーサ分子の導入が阻害されたと考えられる。よって、ナノ流路にトレーサ分子を導入するためには、作動流体へのイオン添加によるデバイ長の制御が必要である。得られた知見は MIV の方法論だけでなく、ナノ空間の溶質分子挙動を理解する上でも重要である。

### (3) ナノ空間の流速分布計測

MIV 計測システムを用いて深さ 155 nm のナノ流路における圧力駆動流の計測を試みた。得られた結果を図 5 に示す。時間分解能 1 ms において流れるトレーサ分子の蛍光画像取得に成功した。蛍光強度を用いてトレーサ分子の深さ方向位置  $z$  と移動量の関係を求めたが、圧力駆動流を反映した放物線状の分布ではなく、平坦な分布となった。これは、時間分解能 1 ms ではブラウン運動によるトレーサ分子の移動量  $\sqrt{2D\Delta t}$  ( $D$ : 拡散係数、 $\Delta t$ : 時間分解能) が流路サイズより大きい 264 nm となり、トレーサ分子の位置測定が困難になったためと考えられる。また、トレーサ分子の蛍光強度が小さいため蛍光画像の S/N 比が低くなり、得られた結果にはアーチファクトが多く含まれると考えられる。これらの問題を解決するには、 dendrimer-蛍光修飾における反応率改善および検出器の高感度化により計測システムの感度を数 10 倍に増強し、ブラウン運動の移動量が数 10 nm に低減される時間分解能 10  $\mu$ s で高 S/N 比の計測を実現する必要がある。

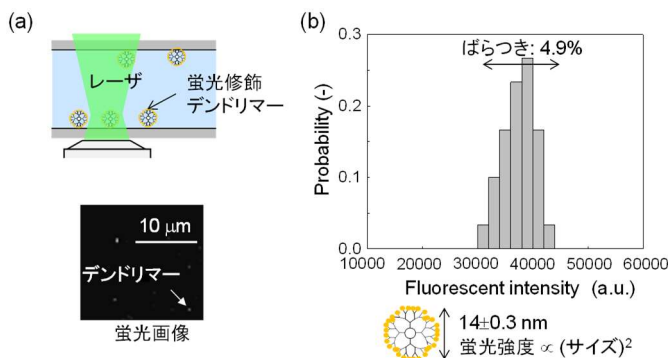


図 2 蛍光画像を用いたトレーサ分子の均一性の評価：(a) ガラスに吸着させた蛍光修飾 dendrimer の蛍光画像、(b) 蛍光強度分布

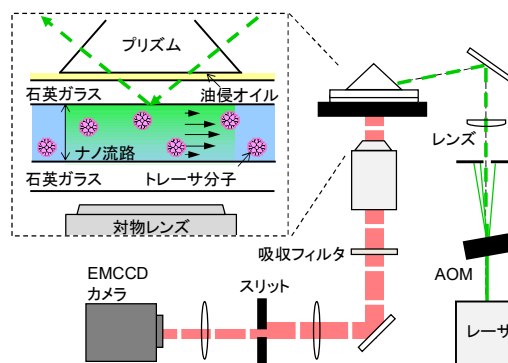


図 3 MIV 計測システム

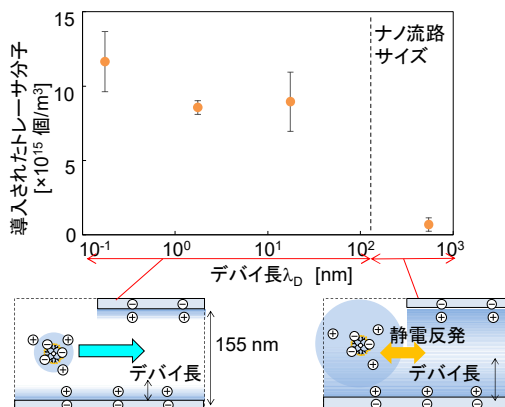


図 4 ナノ流路へのトレーサ分子導入実験

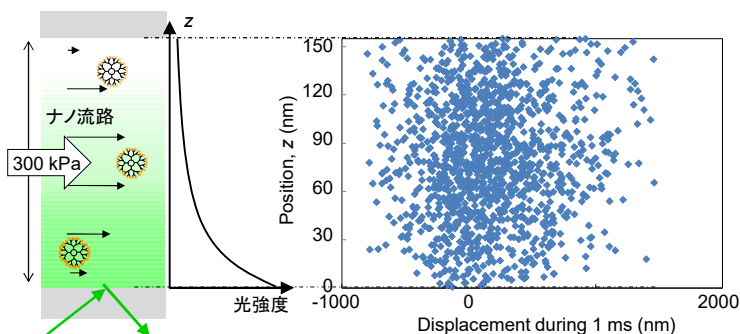


図 5 MIV を用いたナノ流路における圧力駆動流の計測

エバネッセント波を用いた流速分布計測法では、蛍光強度からトレーサの位置を求めるため、上記のように低 S/N 比の蛍光画像ではノイズによるアーチファクトが発生する。そこで、トレーサの蛍光強度から位置を求める方法ではなく、トレーサの画像形状から位置を求める計測法を検討した。非焦点領域におけるトレーサのデフォーカス画像の形状が深さ方向位置に依存することに着目し、10 nm 分解能でのトレーサの位置測定が可能であることを検証した。今後はこの新たな計測法を開発し、トレーサ分子に展開していく。

以上、極小のナノ空間の流動現象を理解するために、流れの中の 1 分子の移動量から流速分布を計測する分子画像流速計 (MIV) を提案した。サイズが制御された高分子である dendrimer を蛍光修飾したトレーサ分子を開発し、これをナノ流路の流速分布計測に応用した。本手法と得られた知見は、極微小なナノ空間における流体力学と物質輸送の理解に寄与すると期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Itsuo Hanasaki, Yutaka Kazoe, Takehiko Kitamori	4. 巻 22
2. 論文標題 Time resolution effect on the apparent particle dynamics confined in a nanochannel evaluated by the single particle tracking subject to Brownian motion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microfluidics and Nanofluidics	6. 最初と最後の頁 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s10404-018-2073-1">https://doi.org/10.1007/s10404-018-2073-1</a>	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 Kazuma Okamoto, Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori	4. 巻 -
2. 論文標題 Pressure-driven injection of charged solute molecules from micro to nanochannel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS2018	6. 最初と最後の頁 438-439
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 Kazuki Shibata, Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori	4. 巻 -
2. 論文標題 Defocusing nano particle image velocimetry for nanochannel flows	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS2017	6. 最初と最後の頁 261-262
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 Yutaka Kazoe, Keisuke Ikeda, Kyojiro Morikawa, Yuriy Pihosh, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori	4. 巻 -
2. 論文標題 Characterization of fluid flows in 10 <sup>4</sup> nm extended-nano space	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS2016	6. 最初と最後の頁 798-799
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 Shigenori Takeda, Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurement of flow velocity distribution in extended-nano spaces by molecular image velocimetry	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS2016	6. 最初と最後の頁 798-799
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 Yutaka Kazoe, Ippei Yamashiro, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori	4. 巻 7
2. 論文標題 High-pressure acceleration of nanoliter droplets in the gas phase in a microchannel	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi7080142	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 Yutaka Kazoe, Yojiro Hiramatsu, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori	4. 巻 -
2. 論文標題 Molecular image velocimetry for measuring flow velocity distribution in extended-nanochannel	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS2015	6. 最初と最後の頁 1127-1129
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 Yutaka Kazoe, Takuya Ugajin, Ryoichi Ohta, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori	4. 巻 -
2. 論文標題 Formation of parallel aq/org two-phase flows in extended-nanochannel by partial hydrophobic modification	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS2015	6. 最初と最後の頁 1029-1031
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 北森武彦、馬渡和真、嘉副裕	4. 巻 84
2. 論文標題 流体流路の階層サイズ構造とバイオデバイスへの応用	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 882-888
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 嘉副裕	4. 巻 14
2. 論文標題 拡張ナノ空間の流体科学に関する研究	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 化学とマイクロ・ナノシステム学会誌	6. 最初と最後の頁 10
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 -

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Hiroki Sano, Takuya Ugajin, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Nanoscale fluid flows in nanofluidic devices
3. 学会等名 FFSCI-Nano Science/EMN Croatia Meeting (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Hiroki Sano, Takuya Ugajin, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Study on aqueous/organic two-phase flow in nanochannel for femto-liter solvent extraction
3. 学会等名 Implementation of Microreactor Technology in Biotechnology 2017
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Kazuki Shibata, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Development of measurement method of fluid velocity distribution in nanochannels utilizing defocused particle image
3. 学会等名 Microfluidic Compartmentalization Workshop (OIST) "Fundamentals and Applications of Microfluidic Compartmentalization"
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 嘉副裕
2. 発表標題 エバネッセント波を利用した拡張ナノ空間の流速分布計測
3. 学会等名 第30回先端光量子科学アライアンスセミナー「ナノ・マイクロファブリケーションを活用した光科学の展開」シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 嘉副裕
2. 発表標題 マイクロ・ナノ流体工学の進展と新機能デバイスへの応用
3. 学会等名 先進システムデザイン工学（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Keisuke Ikeda, Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Study on fluid flows in $10^4$ nm extended-nano space
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 竹田薫識、嘉副裕、馬渡和真、北森武彦
2. 発表標題 デンドリマー蛍光修飾法の開発と拡張ナノ空間流速分布測定への応用
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第33回研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 嘉副裕
2. 発表標題 拡張ナノ空間の流体科学に関する研究
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第31回研究会（招待講演）
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Takuya Ugajin, Ryoichi Ohta, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Formation of parallel two-phase flow in extended-nanochannel by partial hydrophobic modification
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Takuya Ugajin, Ryoichi Ohta, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Parallel aq./org. two-phase flow in extended-nanochannel formed by partial hydrophobic modification
3. 学会等名 The 22nd International Symposium, Exhibit & Workshops on Electro- and Liquid Phase-separation Techniques (ITP2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Keisuke Ikeda, Yutaka Kazoe, Takehiko Tsukahara, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Surface-solvent interaction and fluid properties in extended nanospace
3. 学会等名 RSC Tokyo International Conference 2015-Analytical Technology Towards Life Innovation (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 嘉副裕、宇賀神拓也、馬渡和真、北森武彦
2. 発表標題 拡張ナノ流路内疎水部分修飾による平行二相流の形成
3. 学会等名 日本分析化学会第64年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Fluid science in extended-nano space for novel chemical devices
3. 学会等名 The International Conference on Small Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Formation of parallel aq./org. two-phase flow in extended-nano channel for fL chemical analysis
3. 学会等名 IEEE International Conference on Nano/Molecular Medicine & Engineering 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Takuya Ugajin, Ryoichi Ohta, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Formation of parallel two-phase flow in nanochannel and application to solvent extraction
3. 学会等名 68th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kyojiro Morikawa, Yutaka Kazoe, Chih-Chang Chang, Takehiko Tsukahara, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Investigation of liquid properties in extended nanospaces using streaming potential/current system
3. 学会等名 68th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 池田啓輔、嘉副裕、塚原剛彦、馬渡和真、北森武彦
2. 発表標題 拡張ナノ空間の表面-溶媒相互作用と流体特性
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第32回研究会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 嘉副裕
2. 発表標題 さらに小さく！10-6と10-9の間・・・拡張ナノ化学
3. 学会等名 先進環境材料・デバイス創製スクール「手のひらに化学工場 - マイクロ化学チップコース - 」(招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Yoshitaka Tsuchiya, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 NMR study on neurotransmitter diffusion in synaptic cleft using biomimetic extended-nanospaces
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem 2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Keisuke Ikeda, Yutaka Kazoe, Takehiko Tsukahara, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Unique properties of water induced by surface chemical groups in extended nanospace
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem 2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yutaka Kazoe, Keisuke Ikeda, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Unique liquid properties by surface silanol groups in extended-nano spaces
3. 学会等名 PITTCON Conference & Expo 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 嘉副裕, 馬渡和真, 北森武彦
2. 発表標題 エバネッセント波を利用した拡張ナノ空間の流速分布計測
3. 学会等名 第30回先端光量子科学アライアンスセミナー「ナノ・マイクロファブリケーションを活用した光科学の展開」シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 池田啓輔、嘉副裕、森川響二郎、塚原剛彦、馬渡和真、北森武彦
2. 発表標題 拡張ナノ空間の表面化学基と流体特性
3. 学会等名 日本化学会第96春季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 竹田薫識、嘉副裕、馬渡和真、北森武彦
2. 発表標題 デンドリマー蛍光修飾法の開発と拡張ナノ空間流速分布測定への応用
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第33回研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 嘉副裕
2. 発表標題 マイクロ・ナノ空間の高度流体制御技術とデバイス化
3. 学会等名 第3回東工大応用化学系次世代を担う若手シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北森武彦、嘉副裕
2. 発表標題 Pioneering nanofluidics
3. 学会等名 4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム10周年記念シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本一真, 嘉副裕, 馬渡和真, 北森武彦
2. 発表標題 マイクロ/拡張ナノサイズインターフェースにおける溶質分子挙動
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuma Okamoto, Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Pressure-driven injection of charged solute molecules from micro to nanochannel
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本一真, 嘉副裕, 馬渡和真, 北森武彦
2. 発表標題 マイクロ/拡張ナノサイズインターフェースにおける溶質分子挙動の支配因子
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 花崎逸雄, 嘉副裕, 北森武彦
2. 発表標題 TIRFによるナノ流路内のトレーサー可視化における露光時間の影響
3. 学会等名 第46回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 嘉副裕, 柴田和輝, 馬渡和真, 北森武彦
2. 発表標題 デフォーカスナノ粒子像を利用したナノ流路の流速分布計測法の開発
3. 学会等名 第46回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuma Okamoto, Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Effect of electrostatic interaction on solute molecules behavior at sampling into nanochannel
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田和輝, 嘉副裕, 馬渡和真, 北森武彦
2. 発表標題 拡張ナノ空間流速分布測定に向けたデフォーカス粒子像の解析
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第37回研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

北森研究室ホームページ <a href="http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/kitamori/">http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/kitamori/</a> 熱流体工学研究室 <a href="http://www.tfe.sd.keio.ac.jp/">http://www.tfe.sd.keio.ac.jp/</a>
---



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
--	---------------------------	-----------------------	----