

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01372

研究課題名(和文) 微小ガラス電極による不均一イオン流動場の計測と μ イオンクロマトグラフィの開発

研究課題名(英文) Measurement of inhomogeneous ion flow fields using glass micro-electrodes and development of micro-ion chromatography

研究代表者

土井 謙太郎 (Doi, Kentaro)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20378798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マイクロ・ナノメートルスケールにおけるナノ粒子やイオン輸送現象に注目し、微小空間の局所的な濃度場や電場を測定する技術を開発した。狭小部(オリフィス)を持つ流路を用いて、先端径が約500 nmの微小ガラス電極を走査することにより液中の電位分布を明らかにし、電流電圧特性から導電率を導出して電解質濃度を定量評価した。その結果、誤差10%以下の精度で濃度測定が可能であることを確認し、標準液を用いた校正を必要としない絶対的な濃度測定技術を確立した。さらに、2連管のガラス電極を用いることにより、pH測定を可能とし、プロトン濃度については広範囲に濃度測定が可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マイクロ・ナノメートルスケールの微小空間におけるナノ粒子やイオン輸送現象について、力学的観点から現象を解明し、さらには局所的な電場や濃度場の測定技術を確立した。従来の導電率や濃度測定法では、標準液を用いた校正が必要であるが、ここで開発した手法は、液中の局所的な電場を直接的に測定することから、校正を必要とすることなく濃度を評価することが可能である。液中の電場と濃度場が明らかにされたことから、電気流体力学現象等に関する場の定量評価へと発展することが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, focusing on the transport phenomena of nanoparticles and ions in micro- and nanometer spaces, we developed a novel technique for measuring local concentration fields and electric fields. Electric potential distributions in the liquid were clarified by scanning a glass micro-electrode with a tip diameter of about 500 nm using a fluidic channel with an orifice, and the conductivity was derived from the current-voltage characteristics to determine the electrolyte concentrations. As a result of quantitative evaluations, we confirmed that the concentration could be measured with an accuracy of 10% or less, and established an absolute concentration measurement method that did not require calibration using standard solutions. Furthermore, it was shown that pH could be measured by using a double-barreled microelectrode, and that the proton concentration could be measured in a wide range of acid and alkaline solutions.

研究分野：分子流体力学

キーワード：分子流体力学 マイクロ・ナノ工学 イオン電流 イオンクロマトグラフィ

1. 研究開始当初の背景

近年のマイクロ・ナノ流体デバイスの発展により、機械工学をはじめ、物理学・化学・医学・生理学の幅広い分野において液中の微小粒子や表面・界面の流体現象が注目されている。特に、液相における離散的なイオンの集団運動は、溶媒との相互作用を介してやがて流体の運動へと発展するものと考えられ、巨視的視点では、一様に分散する電荷の電気力(体積力)による流動として Navier-Stokes 方程式で記述されると考えられてきた。しかしながら、溶質粒子と周囲環境の相互作用に基づく巨視的流動場の形成をマイクロな視点から統一的に理解するための理論体系と計測手法は確立されておらず、マイクロとマクロの間には未だ乖離がある。

本課題では、「マイクロなイオン輸送現象」と「マクロな流動場形成」の境界に着目しつつ、「流体を測るイオン」と「流動を創るイオン」の立場でマイクロ・ナノ流動場の計測技術を発展させる。特に、流れのある非平衡状態について、イオンで流動場を測るための技術開発に取り組む。

2. 研究の目的

離散粒子の運動を起源とする微小流れの実験的評価法を提案する。液中に分散するイオンをプローブとした流体現象の計測に挑戦し、特に、局所的なイオンの振る舞いを捉えて液体に作用する力の起源を明らかにする。これにより、イオンの運動が流体を駆動するメカニズムを探る。

3. 研究の方法

3. 1. 微小ガラス電極を用いた局所場の測定

狭小部(オリフィス)を持つ流路を用いることにより、液の流動や電流を集中させ、可視化観察および電気計測を用いて現象を解明する。直径が約1mmのガラス管をプラーで加熱伸長することにより先端径を約500nmとすることができ、このような針状のガラス管をプローブ電極として液中の電場および濃度場を測定する。本研究では、流路内部にオリフィスを設けることで電極から遠方の液中に強い電場を集中させ、そこに生じる電場と濃度場を明らかにする。図1に示すように、切削加工によりアクリル板表面にオリフィスを持つ流路構造を作製する。10×10×1mm³の二つのリザーバ間に2×1×1mm³のオリフィスが配置されている。両リザーバに銀塩化銀線電極(作用極と対極)を挿入し、ガルバノスタット(定電流電源)を用いて定常電流を発生させる。ガラス管を伸長したプローブ電極には、一定濃度のKClまたはNaCl水溶液と銀塩化銀線が挿入されており、これを参照極として液中を走査する。定電流条件下で、流路に沿って作用極と参照極の間の電位差を測定することにより、液中の電位分布が明らかにする。

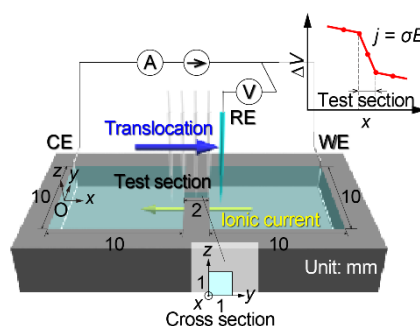


図1. 微小ガラス電極による電場および濃度場測定の模式図。[1]

3. 2. 微小ガラス電極によるH⁺濃度(pH)の測定

本研究ではさらに、液中のイオン種毎の濃度測定を目的とした技術開発を行う。ガラス管内液のH⁺濃度と外液のそれに差があるとき、さらには、絞られたガラス管先端にイオン選択性があるとき、両液間に定常電流を印加すると、その向きに応じた整流作用が期待される。内液のpHを一定として、外液のpHを定量的に評価する。ここでは、先述にあるガラス管の2本を並列にして伸長した2連管を電極として用いる。一方のガラス管にpH1.68の標準液と10mmol/LのKCl溶液を充填し、銀塩化銀線の参照極と対極を挿入する。他方のガラス管には10mmol/LのKCl溶液のみを充填して作用極を挿入する。H⁺は他のイオンに比べて導電率が約1桁大きいことから、ガラス管先端にアガロース(寒天)を充填して抵抗を増大させることにより、定常的に安定した電流電圧特性を得る。定常電流の印加に対して電極間の電位差を計測してpHとの相関を調べる。

3. 3. 電気流体力学流れの生成および可視化

次に、水溶液中のイオン輸送現象を利用して流動を生成する方法を提案する。液体に電荷を注入して電氣的に流体を駆動する現象は、電気流体力学流れとして知られているが、一般的に、液体に電荷を注入するために高電圧を必要とする。しかしながら、我々が扱うのは主に水系溶媒であるため、高電圧の印加は水の電気分解を引き起こすために用いることができない。一方、マイクロ・ナノスケールの流路を用いる場合は、流路壁面の影響が強く現れるため、壁面の帯電により電気浸透流が発生することが知られているが、マイクロ・ナノスケールの流路に制限されることから、切削加工の程度で作製できる流路構造においては、未だ水系溶媒の電気流体力学流れの生成方法は確立されていない。本研究では、水系溶媒において、高電圧の印加を必要としない電荷注入方法を提案する。2層の濃度の異なる電解質溶液をイオン交換膜で区切ることにより、高濃度側から低濃度側への選択的なイオン輸送を発生させ、液中に分散するイオンが溶液の電気流体力学流れを駆動する可能性について可視化観察により確かめる。低濃度側の溶液に観察用のトレーサ粒子としてポリスチレン粒子を分散させておく。ポリスチレン粒子は水溶液中で負に帯電することから、個々の粒子は電気泳動により、陽極のほうへ移動すると考えられる。一方、

陽イオン交換膜を用いて2液を区切る場合は、低濃度側に陽イオンが選択的に透過することが期待されることから、陽極から陰極の向きに陽イオンの電気泳動に駆動される電流流体力学流れが生じると考えられる。流路内部のトレーサ粒子の速度分布を解析して液中に発生する体積力を見積もる。図2に示すような、 $10 \times 10 \times 1 \text{ mm}^3$ のリザーバ間に $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ のオリフィスがある流路形状とし、2液層は陽イオン交換膜(Nafion[®] 115)により仕切られている。低濃度側の液層の底面はスライドガラスであり、電圧を印加するために金の薄膜電極が成膜されている。倒立顕微鏡のステージ上に設置し、ファンクションジェネレータにより電圧波形を設定して印加する。

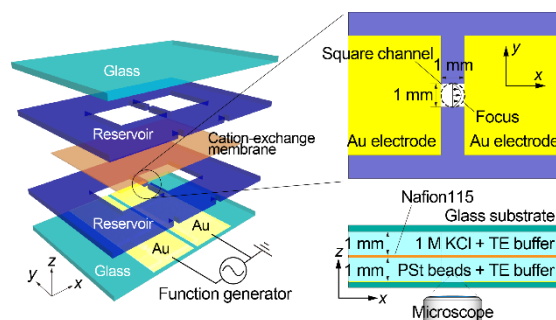


図2. 電流流体力学流れを発生させるための流路デバイスと実験系の模式図. [2]

4. 研究成果

4. 1. 液中の電場および濃度場の測定 [1]

図1に示した流路構造を用いて、流路に沿って微小ガラス電極を走査した結果を図3に示す。ガラス管内液を100 mmol/LのKClとし、流路を満たす試料液を1 mmol/LのKClまたはNaClとした場合の結果である。いずれの試料液を用いた場合でも、微小ガラス電極を走査することにより液中の電位差が明らかになり、特に、流路中央のオリフィスを通過するときに急激な電圧降下が見られる。これは、一定電流条件下において、流路形状によって電場が変化するためであり、特に、オリフィスでは電圧降下が直線的であることから一様電場が明らかである。このことより、オリフィスでは濃度が一定であることが示唆され、オームの法則に従って導電率を評価することができる。1 mmol/LのKCl水溶液の電場は21 V/mであり、NaCl水溶液の電場は23 V/mであった。この結果から、1 mmol/LのKCl水溶液とNaCl水溶液の導電率を計算すると、それぞれ $(1.40 \pm 0.05) \times 10^{-2} \text{ S/m}$ および $(1.30 \pm 0.04) \times 10^{-2} \text{ S/m}$ と求まり、25℃における標準液の導電率はそれぞれ $1.4695 \times 10^{-2} \text{ S/m}$ および $1.2374 \times 10^{-2} \text{ S/m}$ であることより、約5%の誤差の範囲で一致することが確かめられた。また、図4は、試料液を(a) 0.5, (b) 1.0, (c) 5.0および(d) 10.0 mmol/LのKClとして、ガラス電極を走査した場合の液中の電位分布と、数値解析結果の比較である。この結果から、電解質濃度に対応して液中に生じる電位差がよく一致していることが確かめられた。これまで、電極から遠方の液中の電場の解析は数値解析により理論的に示されるにとどまっていたが、本研究で開発した測定法により、実験的に電場の存在を明らかにすることに成功した。

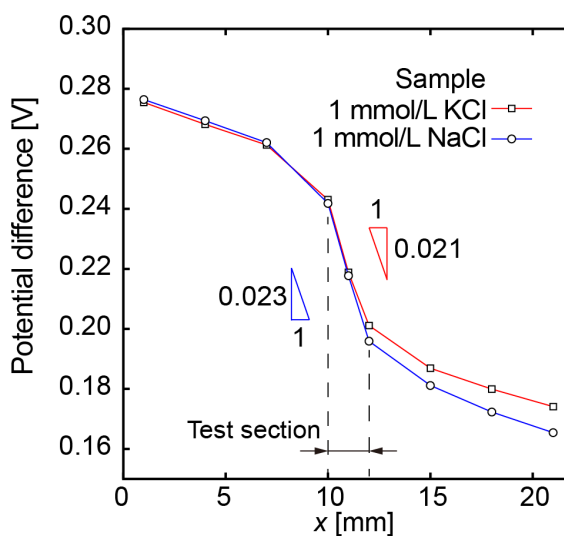


図3. KClおよびNaCl溶液中の電位分布. [1]

4. 2. 2連管微小ガラス電極による液中のpH測定 [1]

液中の電位分布の測定を可能とする微小ガラス電極の作製に成功したことから、次に、ガラス管の内液と外液のイオン濃度差を測定するための電極の開発を試みる。一般的な濃度測定は、平衡状態においてNernstの式に従って、電極間電位と濃度差の関係を与えるものである。本研究の目標とするところは、イオン種を識別しながら濃度測定を実現することであり、平衡状態の測定ではイオン種毎の特性を見極めることは難しい。そこで本研究では、微小ガラス電極を用いて、微弱な定常電流条件下の非平衡状態における電流電圧特性から導電率を導出してイオン濃度を得る。本研究ではまず、 H^+ に注目し、pH 1.68, 4.01, 6.86, 9.18の標準液を試料として測定を行った。図5(a)は、試料がpH 4.01の標準液の場合に、2連管の電極間に $\pm 1.0 \text{ nA}$ の定常電流を発生させた場合の電極間電位差の時間応答である。定電流が $+1.0 \text{ nA}$ の場合には、作用極側が対極と参照極側に対して電位が高く、定電流が -1.0 nA の場合には逆向きの電位差が発生している。両方向を比較すると、 $+1.0 \text{ nA}$ の電流の場合のほうが -1.0 nA の場合よりも応答時間が長いことがわかる。 $+1.0 \text{ nA}$ の電流の場合には、 H^+ が低濃度の外液から対極と参照極があるガラス管内液のほうに移動する。イオンは濃度勾配に従って高濃度側から低濃度側へ拡散するため、この場合は、拡散と電気泳動の向きが逆向きとなり定常に至るまでに時間がかかるものと考えられる。一方、 -1 nA の場合は、拡散と電気泳動の向きが等しいため、 $+1 \text{ nA}$ の場合に比べて短時間で定常に落ち着く。このことは、試料のpHに依らず同様の傾向が見られた。また、試料液が内液のpHに等しく1.68の場合には、電流の向きに依らず過渡応答は瞬時に収束が見られた。図5(b)は定常状態の電流電圧特性である。これより、特に、 $+1 \text{ nA}$ の定電流条件において、pHの値が大き

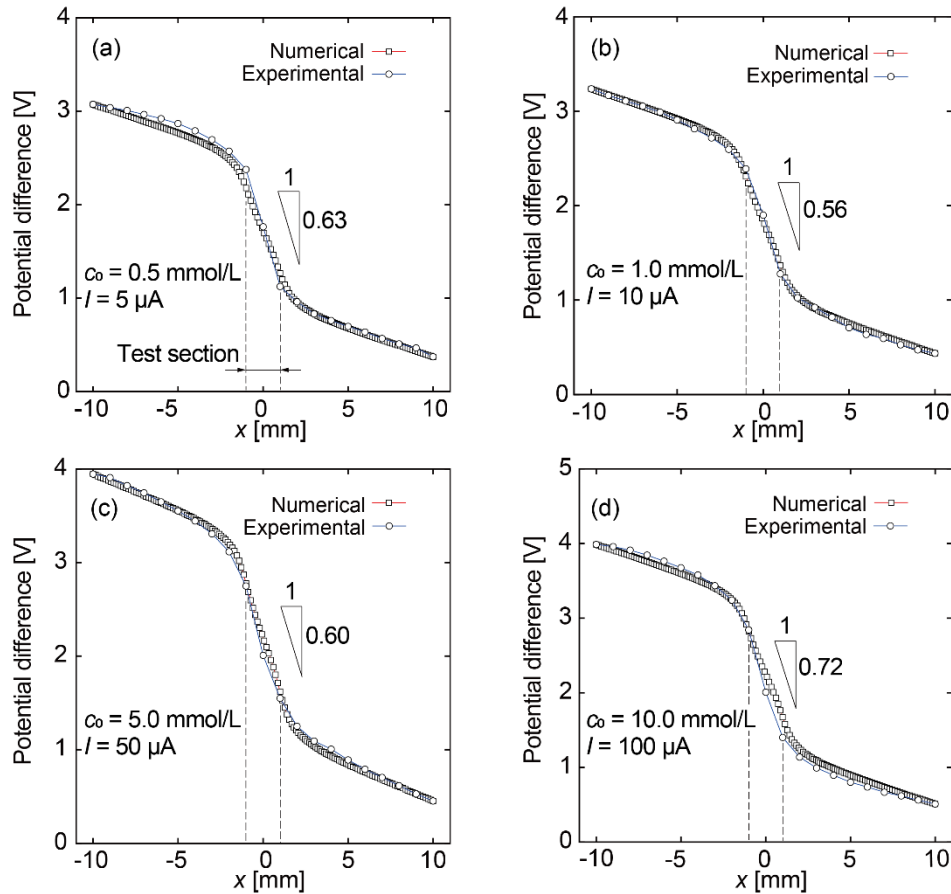


図 4. (a) 0.5, (b) 1.0, (c) 5.0 および(d)10.0 mmol/L KCl 溶液中の電位分布について、実験結果と数値解析結果との比較. [1]

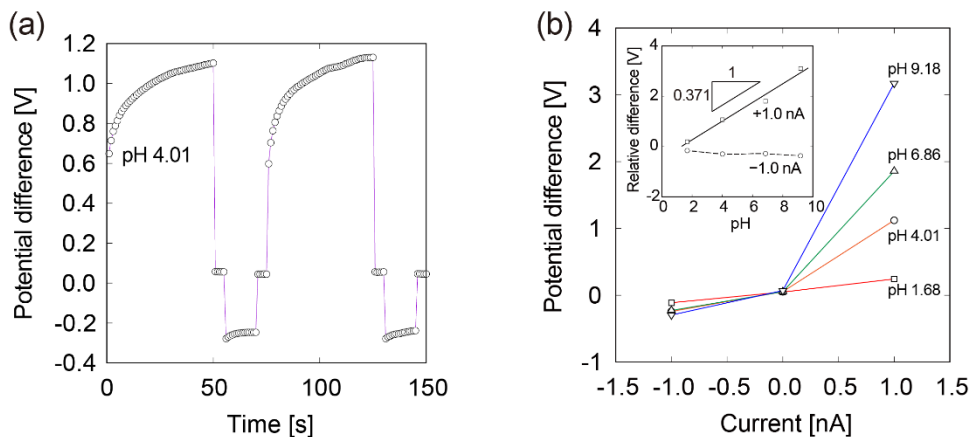


図 5. 2 連管微小ガラス電極による(a) pH 4.01 の試料液の電位差応答, (b)各 pH 試料液の電流電圧特性と pH と電位差の相関. [1]

くなるほど電極間電位差が大きくなっていることがわかる。この結果は、試料の H^+ 濃度が低くなるほど、+1 nA の定電流を維持するために高い電圧を必要とすることを意味している。一方、pH が 7 を超えると液は塩基性になるために OH^- 濃度が上昇して液の伝導性を向上させる可能性があるが、実験結果では、pH が 7 を超えても直線的に電圧は増加している。これは、ガラス管先端の細孔において OH^- の透過が妨げられるためであり、ガラスのイオン選択性が機能した結果と考えられる。本研究の結果では、多種のイオンが存在する試料液を対象として、その中で H^+ の濃度を定量的に評価することができた。 H^+ は他のイオン種に比べて圧倒的に大きな輸送特性を持っていることから、本研究では明確な結果が得られたと考えられるが、今後は、ここで開発された測定手法をもとに H^+ に限らず各種イオンの識別を可能とするシステムに改良する。

4. 3. 水溶液における電気流体力学流れの生成 [2]

図 2 の実験方法に示したように、陽イオン交換膜を介した低濃度側の液に直流電圧を印加して液中に分散するトレーサ粒子の挙動を解析した。緩衝液で pH 8 に調整した 1 mol/L の KCl と、同緩衝液とトレーサ粒子のみを含む液をイオン交換膜で仕切った後、その直後に電極に電圧を印加してもトレーサ粒子の過渡的な電気泳動の応答が見られるのみで定常的な輸送は確認され

なかった。その後、約 18 時間以上静置した後に、再び電圧を印加すると粒子の電気泳動に加えて、電場の向きに沿った粒子の移動が見られた。一定電圧を印加している間、粒子の定常的な輸送が確認された。このことから、一定時間静置した後は、電気流体力学流れが発生したものと考えられる。図 6 に示すように、流路の深さ方向に焦点をずらして観察を行った結果、流れの向きに垂直方向に速度分布が見られたことから、粒子個々の運動ではなく、巨視的な流れが発生していることが確認された。金の薄膜電極に対して印加電圧を 2 V 以上としたときに液の流動が確認されたことから、電極表面での必要最小限の水の電気分解反応で定常的な電気流体力学流れを発生させることに成功した。電極付近に目立った気泡の発生はなく、 $1 \times 1 \text{ mm}^2$ の正方形断面の流路に定常的に高々 $100 \text{ } \mu\text{m/s}$ の最大流速の流れが確認された。実験より得られる速度分布について、理論解析の結果と比較すると、イオン交換膜を透過するイオンが流路壁面に集中しながら液中に広く分散していることが示唆された。流れに速度勾配が見られることから Poiseuille 流の様相に近く、液体に対して体積力が作用した結果であることが示された。また、速度分布から体積力を算出し、さらに液を駆動するために必要なイオン濃度に換算すると約 $1 \times 10^{-11} \text{ mol/L}$ と見積もられた。一般に、このような低濃度を直接的に測定することは困難であり、本研究において電気流体力学流れを可視化したことにより確認されたものである。従来、電解質溶液はいたるところ電気的に中性が保たれると考えられてきたが、本研究の結果から、極低濃度では、局所的な電気的中性は必ずしも成り立っていないことが示唆された。その結果として、電気流体力学流れの発生が確かめられた。

4. 4. その他の研究成果 [3,4]

本研究期間内に、微細加工技術を用いたマイクロ・ナノ流路の作製とそれを用いた微粒子のイオン電流検出を行うための実験系を構築した。石英ガラスに電子線描画装置と反応性イオンエッチング装置を用いて加工を施し、オリフィス構造を持つ流路を設計製作した。これを用いて直径 $200 \text{ nm} \sim 500 \text{ nm}$ 程度のポリスチレン粒子および金粒子のイオン電流検出に成功した。先述にあるように、オリフィス構造を持つ流路が電解質溶液で満たされているところに一定電流が生じるとき、オリフィス部に抵抗が集中するために強い電場が発生する。一定電圧を印加する場合、流路中を泳動する微粒子がオリフィスを通過すると、粒子の排除体積により、オリフィス部を満たしていた電解質イオンが排除されるために抵抗が大きくなる結果として電流値が低下する。このように、粒子が検出部を通過するとき抵抗性パルスが得られる現象は Coulter の原理として知られてきたが、本研究では、粒子数を数えるためのカウンターとしてだけではなく、粒子の表面性状を識別するために電流波形の詳細を解析することを試みた。光ピンセットを用いることにより、流路中の検出対象の粒子を捕捉してオリフィスを往復運動させることにより、周期的な電流信号を得ることが可能となった。これを同期加算平均することによりノイズを低減して S/N 比を改善して明瞭な電流波形を得ることに成功した。その結果、粒子がオリフィスを通過する過程で電流波形の変化があることが明らかになった。今後は、粒子表面の性状と電流波形の関係について理論モデルを構築することにより、その理由を明らかにする。

一方、検出対象がポリスチレン粒子の場合には、オリフィス形状に依らず抵抗性のパルスが得られたが、金粒子を光ピンセットにより捕捉し、さらに光渦として、流路中の二重スリット構造を周期的に通過させて同期加算平均処理した結果、粒子の通過に伴って電流が増加する導電性のパルスが得られた。詳細の解明については今後の課題であるが、先行研究をもとに考察すると、金粒子が光を吸収することにより表面温度が上昇し、周囲溶媒の温度上昇に伴って粘度が変化することが考えられる。また、金粒子の光吸収による分極により周囲のイオン濃度場に変化が生じ、それが電流波形として現れている可能性が考えられる。また、二重スリット構造を用いることにより、電流波形から、背景にある流れ場と粒子運動の相対的な差が明らかとなった。詳細の解明については、今後の課題であるが、本研究で目標としていた課題、「流体を測るイオン」、「流動を創るイオン」については一定の成果を得ることができたといえる。

4. 5. 参考文献

- [1] K. Doi, N. Asano, and S. Kawano, *Sci. Rep.*, 10:4110 (2020).
- [2] K. Doi, F. Nito, and S. Kawano, *J. Chem. Phys.*, Vol. 148 (2018), pp. 204512-1-204512-17.
- [3] K. Doi, F. Nito, R. Koyama, and S. Kawano, *J. Phys. Chem. C*, Vol. 124 (2020), pp. 10627-10637.
- [4] R. Nakatsuka, S. Yanai, K. Nakajima, K. Doi, and S. Kawano, *J. Phys. Chem. C*, Vol. 125 (2021), pp. 9507-9515.

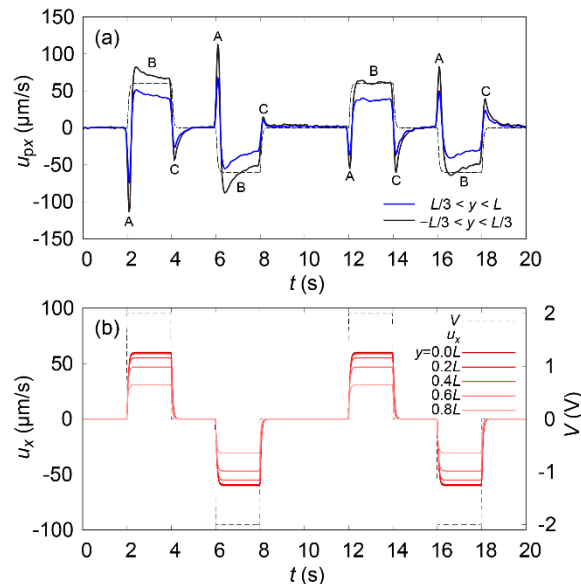


図 6. 電気流体力学流れの(a)印加電圧に対する時間変化および(b)理論解析の結果。[2]

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 Ryoji Nakatsuka, Syuhei Yanai, Kichitaro Nakajima, Kentaro Doi, and Satoyuki Kawano	4. 巻 125
2. 論文標題 Electrical Sensing of Au Nanoparticles Manipulated by an Optical Vortex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 9507-9515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c01804	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 Kentaro Doi, Fumika Nito, Ryota Koyama, and Kawano Satoyuki	4. 巻 124
2. 論文標題 Repetitive Electrical Sensing of Optically Trapped Microparticles in Motorized Liquid Flows	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 10627-10637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c00575	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 Kentaro Doi, Naoki Asano, and Satoyuki Kawano	4. 巻 10
2. 論文標題 Development of glass micro-electrodes for local electric field, electrical conductivity, and pH measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-60713-z	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 Kentaro Doi, Fumika Nito, Ayako Yano, Ryo Nagura, and Satoyuki Kawano	4. 巻 139
2. 論文標題 Generation and Control of Electrohydrodynamic Flows in Aqueous Electrolyte Solutions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Visualized Experiments	6. 最初と最後の頁 e57820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3791/57820	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 Kentaro Doi, Fumika Nito, and Satoyuki Kawano	4. 巻 148
2. 論文標題 Cation-induced electrohydrodynamic flow in aqueous solutions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 204512 ~ 204512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5006309	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 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Kentaro Doi and Satoyuki Kawano
2. 発表標題 Ionic Current Analysis of Tiny Particles Using Micro- and Nanofluidic Channels
3. 学会等名 Seventeenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土井謙太郎, 藤森和哉, 川野聡恭
2. 発表標題 微小Pt電極によるマイクロ・ナノ粒子流動の電気応答解析
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中塚遼治, 柳井修平, 中島吉太郎, 土井謙太郎, 川野聡恭
2. 発表標題 光渦とダブルオリフィス構造による単一ナノ粒子の高スループット微小電流検出
3. 学会等名 日本機械学会第11回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土井謙太郎, 川野聡恭
2. 発表標題 微小ガラス電極を用いた液体環境の局所測定
3. 学会等名 日本機械学会第98期流体工学部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Odani, Takashi Fukuda, Kentaro Doi, and Satoyuki Kawano
2. 発表標題 Visualization and Electrical Measurement of Single Nanoparticles in Liquid Flows
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics and BioElectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Doi and Satoyuki Kawano
2. 発表標題 Liquid Flow and Particle Transport Control in Nano fluidic Channels
3. 学会等名 Sixteenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土井謙太郎, 福田敬志, 川野聡恭
2. 発表標題 ナノ流路を用いたCoulter原理による一粒子の電気計測と可視化
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小谷孝平, 土井謙太郎, 川野聡恭
2. 発表標題 —粒子識別を目的とするナノ流路の作製と流動現象の可視化
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 F. Nito, K. Doi, and S. Kawano
2. 発表標題 Evaluation of Electrohydrodynamic Flows Driven by a Low Bias Voltage of 2.0 V with Water Electrolysis
3. 学会等名 The 29th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP29) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Doi, F. Nito, A. Yano, S. Kawano
2. 発表標題 Electrohydrodynamic Liquid Flows Rectified by Cation and Anion Current with a Few Voltage Application
3. 学会等名 Fifteenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤森和哉, 福田敬志, 辻徹郎, 土井謙太郎, 川野聡恭
2. 発表標題 ナノスリット流動場と非正常電場による粒子操作
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅野直暉, 辻徹郎, 土井謙太郎, 川野聡恭
2. 発表標題 局所イオン濃度場とイオン電流特性を同時評価する微小ニードルプローブの開発
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土井謙太郎, 佐藤智弘, 矢野絢子, 川野聡恭
2. 発表標題 CuSO ₄ 水溶液に誘起されるEHD流れの電流電圧特性
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐伯祐哉, 辻徹郎, 土井謙太郎, 川野聡恭
2. 発表標題 ナノスリット流路のイオン選択性による起電力の評価
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊嶋菜見, 土井謙太郎, 川野聡恭
2. 発表標題 ガラスキャピラリーを用いたイオンダイオードの作製
3. 学会等名 第9回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田敬志, 土井謙太郎, 川野聡恭
2. 発表標題 マイクロ・ナノギャップにおける電解質溶液の電氣的応答特性
3. 学会等名 第9回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土井謙太郎, 佐藤智弘, 矢野絢子, 川野聡恭
2. 発表標題 CuSO4水溶液に誘起されるEHD流れの3次元可視化計測
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 土井謙太郎, 佐藤智弘, 矢野絢子, 川野聡恭
2. 発表標題 CuSO4水溶液中の陽イオン電流に誘起されるEHD流れの評価
3. 学会等名 第96期流体工学部門講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪大学基礎工学研究科機能創成専攻機能デザイン領域 川野研究室 https://bnf.me.es.osaka-u.ac.jp/ 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 環境熱流体工学研究室 http://www.me.tut.ac.jp/tfe/</p>

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 分 担 者	川野 聡恭 (Kawano Satoyuki) (00250837)	大阪大学・基礎工学研究科・教授 (14401)	

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