

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01209

研究課題名(和文)凍結によるマイクロ・ナノ空間制御に基づく計測化学の展開

研究課題名(英文) Developments of Analytical Chemistry Based on Dimension Control of Micro- and Nano-space by Freezing

研究代表者

岡田 哲男 (Okada, Tetsuo)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：20183030

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,100,000円

研究成果の概要(和文)：凍結を用いてマイクロ、ナノ液相空間の大きさを制御することで、新たな機能を開拓し、凍結系の本質を解明に資する以下の結果を得た。大きさを制御したマイクロ空間での粒子の電気泳動からAFPと氷の相互作用を明らかにした。蛍光プローブを用いて、マイクロ、ナノ凍結空間での分子凝集体形成、プローブ溶解度の特異的増加、それによる新たな化学種の生成を見出した。イオンの氷結晶への取り込み不均衡に起因する凍結濃縮溶液(FCS)のpH不均一、FCSのpH緩衝と氷の結晶欠損との関係を解明した。氷結晶に取り込まれたイオンの局所構造を明らかにした。凍結によりラマン分光を簡易に高感度化できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

凍結は環境、生命科学、エネルギー科学など重要な先端領域でも重要な役割を果たしている。たとえば、食品、薬品や細胞の凍結保存、メタンハイドレート、雲や高緯度地域での雪氷圏での物質循環と地球環境への関与などはいずれも凍結が深く関係している。しかし、凍結系での化学はほとんど解明されていない。本研究では、不純物を含む水溶液を凍結すると、ほとんどの場合氷と共存する溶液が生じること、その溶液と氷の界面が特異的な性質を持つこと、これが上記重要分野での凍結に関係すると考え、凍結系での新たな現象を見出し、その起源を明らかにした。また、凍結系の特徴を生かして新たな高感度、高機能な計測法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Our previous study indicates that the size of micro- or nano-liquid phase can be controlled by freezing. In this research, we develop novel methods based on this characteristic feature of freezing and elucidate fundamental aspects of water freezing. We have studied (1) the interaction between antifreeze proteins and ice surface probed by ice-grain boundary electrophoresis, (2) molecular aggregation of fluorescence probe molecules and their solubility enhancement in frozen solutions, (3) pH inhomogeneity and pH-buffering capacity in the liquid phase confined by ice, (4) the local structures of ions incorporated in the ice crystal lattice, and (5) high sensitivity Raman spectroscopy by sample freezing. Thus, this research has elucidated the fundamental aspects of water freezing and contributes to the developments of related scientific or technological fields, such as global environment, energy, and life science.

研究分野：分析化学

キーワード：氷 凍結 凍結濃縮 分光法 凍結圏の環境化学 pH

1. 研究開始当初の背景

マイクロ・ナノ化学は、MEMS などによる微細加工技術により格段の進歩を遂げ、バイオ分析を中心に実用化研究が進められている。数十 nm 程度までの精度良い空間制御が可能であり、実用化技術への展開だけでなく、基礎化学的な研究も盛んに行われている。その結果、マイクロ・ナノ空間特有の物理、化学現象が多数見出されている(粘性率の変化、スリップフロー、イオン伝導の促進など)。壁による効果としてしばしば説明されるが、多くは未解明である。

一方、代表者らは氷を用いてマイクロ・ナノ化学の推進が可能であることを示してきた。たとえば、アイスクロマトグラフィーを用いて、氷表面の水素結合特性や計測例のなかった nm オーダーの厚さをもつ界面擬似液層を捉え、その温度依存性を明らかにした。また、電解質や糖などの溶液の凍結条件を整えることで、マイクロ・ナノ空間の高精度サイズ制御が可能であることを示した。すなわち、温度や溶質濃度の調整により、氷内部では液相プールの大きさを、表面では液相チャンネルの幅をいずれも 100 nm 程度から数 μm の範囲で制御できることを示した。また、氷と共存する液相では、シクロデキストリンの光学異性体識別能の増加、クラウンエーテルの錯生成定数の 4 桁程度の増加、擬一次反応の促進、疎水性相互作用の抑制などの特異的現象が起こること、空間が小さいときにこれらの現象が顕著になることを見出した。この液相空間の大きさは、水の特異物性が起きるとされている nm 次元に比べるとはるかに大きい。氷共存液相が窒素酸化物の輪廻やオゾン層破壊などの大気化学反応でも重要な役割を果たしていることが示唆されているが、氷界面の役割が明確ではなかった。また凍結系での可逆反応の検討例はなかった。代表者らは、X 線を含む分光分析や電気化学分析法等を用いて氷制限空間での反応を *in situ* 計測することで、反応場の特定と可逆反応への適用が可能であることを示した。このように、代表者らは、水溶液の凍結を利用することで、氷で囲まれたナノ～マイクロ空間の次元を制御し、他の方法では検出すら不可能な現象を捉えることに成功している。

氷はありふれた物質であるが、多くの未解明現象に関与しており、学術的興味は尽きない。近年、環境科学、宇宙科学、エネルギー、バイオテクノロジー、材料科学などの分野でも氷やその関連物質の研究が盛んになっており、氷の基礎物性の解明と新物性の開拓はこれらの先端科学・技術を支える基盤の一つとなっている。しかし、氷や凍結現象を積極的に機能発現にまで展開しようとする研究は、研究代表者らによる検討例を除くとほとんど類例がない。凍結溶液は、巨視的には固相/液相が安定に共存しているが、マイクロ界面では二相間の相転移が継続的に起こり、ゆらいでいる特異な系である。このような系では物性が不連続に変化する可能性が示唆されており、水溶液系では液液相転移など議論の多い水の本質に解明につながると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、凍結により生じる液相空間サイズとモルホロジーを決定論的に制御することで、新しい計測化学を展開する。また、次元制御された凍結空間で起きる新現象を発見・解明すると共に、新たな機能発現に展開する。具体的には、サイズチューナブル分離や氷界面での相互作用解明への展開などを指向する“氷ナノテクノロジー、氷マイクロ・ナノフルイディクス”を確立する。また、凍結濃縮に基づく超高感度分析、効率的試料処理システム、クライオリアクターとしての凍結溶液等の検討を行い、これらを通じて氷界面での物質挙動を解明する。新たな分離や計測概念の開拓を通じて、水の本質の理解、環境科学、大気化学、生命科学、食品化学など関連他分野に影響力のある成果を生み出す。

具体的には、氷界面・液相空間制御、凍結濃縮に基づく高機能化、水の凍結現象の理解と洞察に関する検討を行う。

3. 研究の方法

ラマン測定および蛍光による顕微鏡下での測定は、ペルチェまたは低温ステージにより温度を制御して既設装置を用いて行った。蛍光分光測定、蛍光寿命測定はそれぞれの所有装置の試料室を改造してペルチェにより温度制御して反射測定により行った。蛍光 X 線分光は、高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーにおいて行った。その他の実験では、ペルチェ、低温恒温槽、温度制御冷凍庫、低温リアクターなどを適宜用いて温度を制御した。

4. 研究成果

4. 1 氷粒界電気泳動によるタンパク質と氷表面の相互作用

生物の中には、不凍タンパク質(AFP)と呼ばれる物質を生産し、低温での細胞凍結を防いでいるものがある。AFP と氷との相互作用は、AFP 存在下での氷結晶の形状変化から評価されることが多い。他の方法はほとんどなく、AFP-氷間の相互作用を検討するための実験手法は限られている。以前の検討で、温度や溶質濃度により氷粒界の幅を制御できること、スクロースを用いると

直線上の粒界が調製できること等を見出し、氷を用いてナノ・マイクロ粒子の大きさを識別できることを示した。これを利用して、AFP 修飾したマイクロ粒子の氷粒界電気泳動で AFP と氷の相互作用を評価した。

スクロース溶液にマイクロ粒子を予め混ぜておくことで、粒子は自動的にチャンネル内に導入される。この粒子を泳動させ粒子が動かなくなる温度を探索した。種々の条件でこの操作を繰り返す行うことで、粒子直径に等しいチャンネル幅を与える温度とスクロース濃度を決定した。たとえば、 -8.0 で 40 mM スクロースを凍結して調製したチャンネルは、ほぼ $1 \mu\text{m}$ であった。この条件で、未修飾、タンパク質修飾 $1 \mu\text{m}$ ポリスチレン粒子の泳動開始電圧を決定した。泳動開始電場の頻度分布を図 1 に示す。未修飾粒子に比べて、BSA 修飾の粒子では約 3 Vm^{-1} 、2 種類の AFP を修飾した粒子では $13 \sim 17 \text{ Vm}^{-1}$ 程度泳動開始閾電場が大きくなっている。これは、AFP と氷壁の相互作用が起きていることを示唆する。閾電場から AFP 修飾粒子に働いている化学的相互作用力を見積もったところ、AFP-I で 330 pN 、AFP-III では 65 pN であることがわかった。

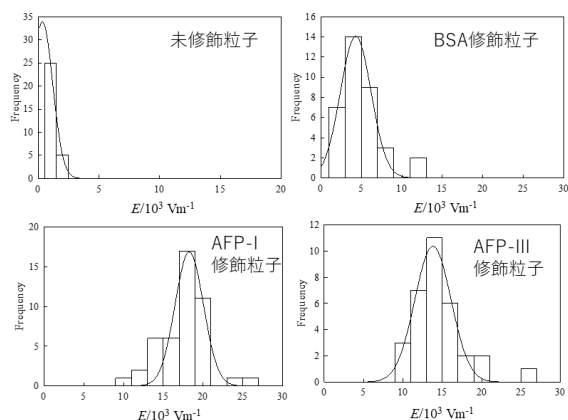


図 1 未修飾、タンパク質修飾粒子の泳動開始電場 (E) の頻度分布。

4.2 蛍光測定による FCS での特異的分子集合体生成の評価

反射蛍光測定を用いると凍結試料表面付近の FCS を計測することができる。FCS のサイズが小さくなると、氷界面の影響が大きくなる。蛍光プローブを利用して、この効果を分光学的に検討した。テトラフェニルエチレンカルボン酸 (TPEC) と 6-シアノナフトール (6CN) をプローブとして、蛍光分光と蛍光寿命測定により検討を行った。

TPEC は単独ではほとんど光らないが、凝集すると高い強度の蛍光を発する、いわゆる凝集発光性のプローブである。TPEC を含む 200 mM スクロース水溶液を凍結したときに得られた蛍光スペクトルの温度依存性を図 2 に示す。低温になるほど蛍光強度が増加し、スペクトルが短波長シフトしている。低温ほど FCS 体積が小さくなり、FCS 中の TPEC 濃度が増加する。その結果 TPEC が凝集して J 会合体を生じ、凝集発光により蛍光強度が増加する。

蛍光最大強度 (I_{max}) と濃縮率 ($V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$) の比をとることにより FCS への濃縮による濃縮効果をキャンセルできる。TPEC の集合体の分光特性が一定であれば、 $I_{\text{max}}/V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$ は凍結溶液の FCS 体積分率 ($V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$) に比例すると考えられる。そこで、種々のスクロース濃度、温度で $I_{\text{max}}/V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$ を測定し、 $V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$ に対してプロットした (図 3)。多少のばらつきはあるが、 $V_{\text{FCS}}^{\text{rel}} < 0.06$ の範囲では、 $I_{\text{max}}/V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$ 間に直線関係が見られる。つまり、この範囲では TPEC の凝集状態があまり変化していないことがわかる。これに対し、 $V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$ が 0.06 を越えると $I_{\text{max}}/V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$ プロットが負の傾きを示している。また拡大図に示すように $V_{\text{FCS}}^{\text{rel}} < 0.01$ でも異なる傾向を示している。蛍光の極大波長は、 $V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$ の減少と共に短波長シフトしたが、 $0.06 > V_{\text{FCS}}^{\text{rel}} > 0.01$ では変化が小さく、 $V_{\text{FCS}}^{\text{rel}} > 0.06$ と $V_{\text{FCS}}^{\text{rel}} < 0.01$ では変化が大きかった。

これらは以下のように解釈できる。FCS 空間がある程度大きいときには ($V_{\text{FCS}}^{\text{rel}} > 0.06$)、FCS の収縮により TPEC の凝集が進み AIE により蛍光強度が大きくなる。この間、凝集体の構造は FCS

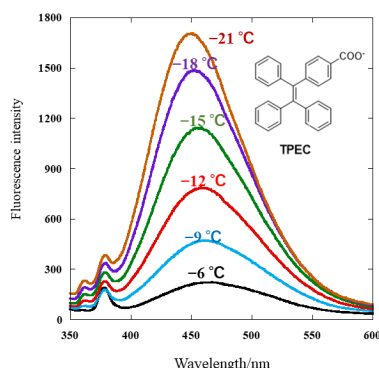


図 2 TPEC の凍結蛍光スペクトルの温度変化。スクロース凍結前濃度、 200 mM 。TPEC 凍結前濃度、 $14 \mu\text{M}$ 。励起波長、 320 nm 。

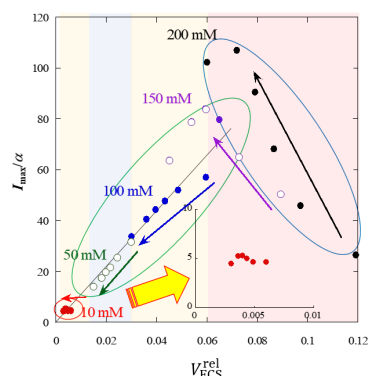


図 3 TPEC の $I_{\text{max}}/V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$ の $V_{\text{FCS}}^{\text{rel}}$ 依存性。スクロース濃度、図に記載。温度、 $-6.0 \sim -21.0$ 。

体積に応じて変化する。しかし、ある程度 FCS が小さくなると、TPEC 凝集体構造が安定になり、FCS がさらに縮んでも一定の凝集状態が保たれる。これが、図3の直線領域である。また、凝集体構造が変化しないので、蛍光の波長も変化しない。しかし、さらに FCS が小さくなる ($V_{FCS} < 0.01$) と凝集体が氷壁から圧力を受け、より密な凝集状態に変化する。したがって、この領域では蛍光波長も変化する。これらのことは、蛍光寿命測定から求めた凝集体の分散度からも支持され、緩い凝集が起きている領域に比べ、TPEC 分子が氷壁から圧力を受けている領域では凝集体分散度が小さくなっていることがわかった。

6CN では全く異なる現象が見られた。図4に溶液と凍結状態の蛍光スペクトルを示す。励起状態では 6CN から水へのプロトン移動が容易になるため、基底状態における酸解離状態によらず発光は解離種の励起状態から起こる。したがって、溶液の pH によらず、常に 440 nm 付近の解離種からの蛍光が主で、非解離種からの弱い蛍光が 360 nm 付近に見られる。一方、6CN の水への溶解度は、 -8.0 の 2.5 M NaCl 水溶液中で 0.25 mM 程度である。そのため、濃度が 1 mM を越えると、解離種の蛍光に加えて溶けきらなかった固体からの蛍光が 360 nm 付近に見え始め、6CN 濃度の増加と共に強度が大きくなった。それに対し、凍結状態では、100 mM でも 6CN 固体からの蛍光は観察されず、また濃縮率 () が高いほど固体の蛍光が見え始める濃度が高くなった。このことは、凍結により 6CN の溶解度が著しく大きくなっていることを示唆する。また、凍結状態では濃度の増加と共にスペクトルが短波長シフトした。Alternating Least-Squares 法で分離した成分スペクトルを図4右側に示す。溶液では励起した解離種と固体からの発光、凍結状態ではこれらに加えて 400 nm 付近にピークを持つ第3の成分が明確に見られることがわかった。

蛍光寿命測定を併用して解析したところ、この第3成分は 6CN の凝集体であることがわかった。溶液では、低濃度で固体が生じるのに対し、凍結条件では 6CN の溶解度が高くなり飽和濃度も高くなる。その結果、溶液条件では見られない凝集体が生じる。さらに、凍結条件では 6CN の溶解促進が起こるため溶液条件では見られないエキシマーからの発光も含まれていることがわかった。

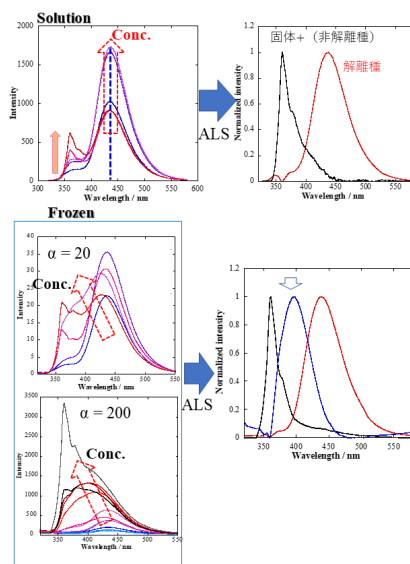


図4 NaCl 水溶液中(上段)、凍結 NaCl 水溶液(下段、 $\alpha=20$ および 200)で測定した 6CN 蛍光スペクトルの 6CN 濃度依存性(左列)と ALS により分離された成分スペクトル(右列)。測定温度、 -8.0 。励起、300 nm。

4.3 FCS の pH

塩の水溶液を凍結すると、ほぼすべてのイオンが氷結晶から排除され、粒界で FCS または塩の結晶を形成する。しかし、一部のイオンが氷結晶に取り込まれる。アルカリ金属の塩化物塩の場合、塩化物イオンの方がわずかに氷に取り込まれやすいため氷が陰イオン過剰、FCS が陽イオン過剰になる。この電荷不均衡は水の解離により緩和される。その結果、水素イオンが氷側に、水酸化物イオンが FCS 側に供給されるため FCS は凍結前より塩基性になる。

陽イオンと陰イオンの取り込みの差で FCS の pH が変化することから、氷/FCS 界面と沖合では pH が異なる可能性があると考えた。そこで、共焦点蛍光顕微鏡を用いて FCS における pH の不均一性についても検討した³⁸⁾。界面の影響が顕微鏡で見える範囲に広がっているはずがないとの指摘が予想されるが、これまでの検討結果から FCS の大きさがサブ μm レベルでも界面の影響を受けている可能性が示唆されており、光学顕微鏡の分解能でも界面の影響を視覚化できる可能性があると考えた。FCS の深さは不均一であり、蛍光強度は場所により異なる。ピラニンを用いると 2 つの異なる波長で励起して得られた蛍光強度比から pH を決定できるため、FCS の深さによる影響を受けない。ここでは、405 nm と 473 nm の励起レーザーを用いて FCS の pH 分布を決定した。また、アポクロマートレンズを用いることで、2 つの励起波長における縦方向の収差を 50 nm まで抑制し、ほぼ無視できる条件で検討を行った。

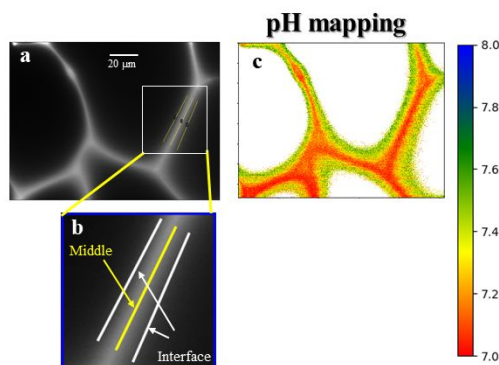


図5 凍結 NaCl の FCS における pH 不均一。a, 473nm レーザーによる表面の蛍光画像。b, FCS チャンネルの界面 pH 計測位置。c, pH マッピング。凍結前濃度、20nM NaCl, 20 μM ピラニン。温度、 -7.2 。

図5に凍結 NaCl 水溶液における、FCS の pH 分布の一例を示す。2つのレーザーで取得した蛍光画像をデータ処理して pH 分布に変換した。NaCl 水溶液では氷界面付近の pH が高くなる傾向があることが確認できる。しかし、界面位置が不明である。そこで、蛍光強度が最大強度の半分になる位置を仮の界面として pH を求め、中央付近の pH と比較した。図5の Interface または Middle と書かれた線がそれに相当する。中央の pH が 7.09 ± 0.02 ($n = 256$)、界面の pH が 7.33 ± 0.09 ($n = 517$)であり、約 0.2 界面の pH の方が高かった。他の測定でも同条件では一貫して 0.2 程度の違いが見られた。この pH 差はわずかであるが、氷/FCS 界面の特性を良く表している。このような pH の不均一は、pH 緩衝成分を加えたり、塩を用いずにグリセロールで FCS を調製したりすると見られなくなった。このことからイオンの氷への取込が、pH の不均一に関与していると結論できる。

この他、氷の結晶欠損により FCS における pH 緩衝能が生じること、また結晶欠損が氷表面の荷電を抑制していることを明らかにした。

4.4 氷結晶に取り込まれたイオンの局所構造

FCS の pH と氷結晶へのイオンの取り込みには密接な関係があることを述べた。氷結晶に微量取り込まれたイオンの実験的な検討例はこれまでに報告されていない。そこで、KCl 水溶液から成長させた単結晶氷を用いて検討を行った。KCl の場合氷結晶に取り込まれるイオンの濃度は数十 μM 程度であった。X 線吸収微細構造(XAFS)による測定 と DFT 計算を用いて K^+ と Cl^- の構造を決定した。その結果、いずれのイオンも、氷結晶中の水 1 分子を置換していることがわかった。

4.5 X 線分光による凍結電解質溶液のキャラクタリゼーション

複数種類のイオンを含む溶液の凍結した際、イオン間の挙動に違いがあるかどうかは非常に興味深い。複数の遷移金属イオンを含む NaCl 水溶液を凍結して、蛍光 X 線(XRF)イメージングを用いてイオンの濃縮挙動を検討した。これは海洋等における、凍結相へのイオンの取込みのモデルにもなり得る。

ほとんどのイオンが FCS 中に濃縮されていることがわかった。

また、水圏での遷移金属イオンの循環に関与すると思われる三価鉄の水酸化物への吸着挙動を凍結溶液中で測定し、in situ で吸着率を測定できることを示した。

4.6 凍結によるラマン分光の高感度化

ラマン分光は物質の構造や配向などを測定できる優れた方法であるが、感度が低いという問題がある。これを克服する方法に表面増強ラマン散乱(SERS)があるが、有効な SERS 基板の調製が困難であったり、再現性が低かったりする点で、広く用いられる方法にはなっていない。凍結により、溶質が FCS に濃縮されラマン分光を高感度化できるが、それに加えて凍結濃縮により SERS を起こす金属ナノ粒子の凝集を促進できる。これを利用して SERS の凍結による高感度化を検討した。

凍結による銀ナノ粒子(AgNP)の凝集状態を評価するために、凍結融解前後の AgNP の UV-Vis スペクトルを測定した。AgNP の表面プラズモン共鳴による電子吸収帯のピークは、凝集により吸収強度の低下やレッドシフトを起こす。その結果、グリセリンやスクロースなどの中性凍結保護剤の初期濃度に応じて吸収スペクトルが変化することがわかった。また、その結果から、AgNP の凝集は、凍結濃縮によりその濃度が臨界凝集濃度に達したときに起こり、35 nM を越えると凝集が起こることを明らかにした。

クリスタルバイオレット (CV) を試料として、凍結による SERS 高感度化の検証を行った。図 6 (a) に 10 nM CV の凍結 SERS スペクトルを示す。比較のため、未凍結時の 100 nM CV の SERS スペクトルも示した。未凍結時にはほとんどラマンピークが見えていないが、凍結により明確なラマンスペクトルが得られていることがわかる。次に、凍結による SERS 高感度化における増強度を評価した。SERS 増強度を評価する指標として Enhancement Factor (EF) を求めた。EF を FCS 内の AgNP 濃度に対してプロットした結果を図 6 (b) に示す。AgNP 濃度が臨界凝集濃度 (35 nM) に近づくほど EF は高くなり、38 nM のときに極大値 1.3×10^6 を示した。以上の結果から、凍結により FCS 内のナノ粒子濃度を最適化し、凝集を促すことで SERS による高感度が可能であることがわかった。

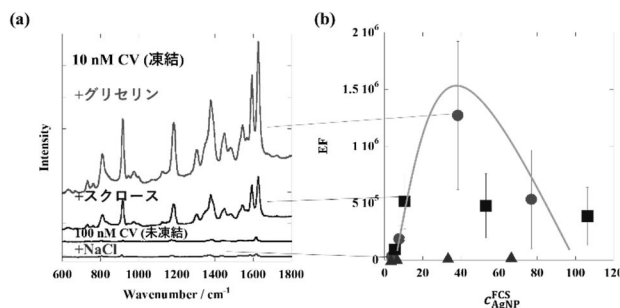


図6 (a)CV の凍結 SERS スペクトル、(b) FCS 内 AgNP 濃度と EF の関係。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計43件（うち査読付論文 43件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Arinori Inagawa, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 123
2. 論文標題 Charging of the Ice/Solution Interface by Deprotonation of Dangling Bonds, Ion Adsorption, and Ion Uptake in an Ice Crystal as Revealed by Zeta Potential Determination	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 6062 - 6069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b12435	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 Makoto Harada, Tetsuo Okada, Keisuke Nakamura, Shingo Saito, Masami Shibukawa	4. 巻 4
2. 論文標題 Facilitated Dehydration of Rb ⁺ in Cation-Exchange Resin When Surrounded by Cs ⁺ . A Marked Phenomenon in Superheated Water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 4718-4725
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/slct.201900388	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 Saori Fujino, Arinori Inagawa, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 4
2. 論文標題 Size-Tunable Micro/Nano Fluidic Channels Fabricated by Freezing Aqueous Sucrose	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 13570-13576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b01966	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 Yusuke Okada, Makoto Uyama, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 58
2. 論文標題 Quasichemical Approach to pH Shifts in Frozen Phosphate Buffers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 18422-18431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.9b03755	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 Akihisa Miyagawa, Julien Eng, Tetsuo Okada, Yoshihisa Inoue, Thomas Penfold, Gaku Fukuhara	4. 巻 5
2. 論文標題 Hydrostatic Pressure-Induced Spectral Variation of Reichardt 's Dye: A Polarity/Pressure Dual Indicator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 897-903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b03880	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 該当する

1. 著者名 Akihisa Miyagawa, Yusuke Okada, Tetsuo Okada	4. 巻 5
2. 論文標題 Aptamer-Based Sensing of Small Organic Molecules by Measuring Levitation Coordinate of Single Microsphere in Combined Acoustic-Gravitational Field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 3542-3549
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b03860	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 Koki Iijima, Makoto Harada, Gaku Fukuhara, Tetsuo Okada	4. 巻 85
2. 論文標題 Frozen Solution-Mediated Asymmetric Synthesis. Critical Control of Enantiomeric Excess	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 4525-4529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.9b03415	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 Akihisa Miyagawa, Makoto Harada, Gaku Fukuhara, Tetsuo Okada	4. 巻 124
2. 論文標題 . Space Size Dependent Transformation of Tetraphenylethylene Carboxylate Aggregates by Ice-Confinement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 2209-2217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b11345	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 Arinori Inagawa, Yusuke Okada, and Tetsuo Okada	4. 巻 183
2. 論文標題 Electrophoresis in Ice Surface Grooves for Probing Protein Affinity to a Specific Plane of Ice Crystal	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Talanta	6. 最初と最後の頁 345-351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.talanta.2017.12.073i	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 Akihisa Miyagawa, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 90
2. 論文標題 Zeptomole Detection Scheme Based on Levitation Coordinate Measurements of a Single Microparticle in a Coupled Acoustic-Gravitational Field	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 2310-2316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.7b04752	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 Junji Ohashi, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 81
2. 論文標題 Excess Adsorption of Organic Eluent Components from Mobile Phases Containing Electrolytes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chromatographia	6. 最初と最後の頁 1127-1133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10337-018-3552-y	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 Kensuke Yanagisawa, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 6
2. 論文標題 Liquid-Liquid Extraction from Frozen Aqueous Phases Enhances Efficiency with Reduced Volumes of Organic Solvent	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry and Engineering,	6. 最初と最後の頁 10120-10126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.8b01434	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 Arinori Inagawa, Mao Fukuyama, Akihide Hibara, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 532
2. 論文標題 Zeta Potential Determination with a Microchannel Fabricated in Solidified Solvents	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 231-235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2018.07.137	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 Akihisa Miyagawa, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 3
2. 論文標題 Zeptomole Biosensing of DNA with Flexible Selectivity Based on Acoustic Levitation of a Single Microsphere	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Sensors	6. 最初と最後の頁 1870-1875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssensors.8b00748	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 Yoshiharu Fukui, Akihisa Miyagawa, Hui Qu, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 19
2. 論文標題 Growth and Morphology of Liquid Phase in Frozen Aqueous NaCl Probed by Voltammetric Measurements and Simulations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 3150-3157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.201800788	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 Akihisa Miyagawa, Makoto Harada, Tetsuo Okada	4. 巻 90
2. 論文標題 Multiple MicroRNA Quantification Based on Acoustic Levitation of Single Microspheres after One-Pot Sandwich Interparticle Hybridizations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 13729-13735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.8b04143	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 Kouki Tokumasu, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 18
2. 論文標題 Freezing-Facilitated Dehydration Allowing Deposition of ZnO from Aqueous Electrolyte	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 329-333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.201601192	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 Arinori Inagawa, Tomoki Ishikawa, Takuma Kusunoki, Shoji Ishizaka, Makoto Harada, Takuhiro Otsuka, and Tetsuo Okada	4. 巻 121
2. 論文標題 Viscosity of Freeze-Concentrated Solution Confined in Micro/ Nanospace Surrounded by Ice	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 12321 - 12328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b03792	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 Akihisa Miyagawa, Yoshinori Inoue, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 33
2. 論文標題 Acoustic Sensing Based on Density Shift of Microspheres by Surface Binding of Gold Nanoparticles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 939-944
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.33.939	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 Yusuke Imura, Mao Fukuyama, Akihide Hibara, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 508
2. 論文標題 Enhanced Chiral Recognition by beta-Cyclodextrin at Liquid/Liquid Interfaces as Revealed by Chromatographic and Interfacial Tension Measurements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 469-475
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2017.08.073	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 Akihisa Miyagawa, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 90
2. 論文標題 Zeptomole Detection Scheme Based on Levitation Coordinate Measurements of a Single Microparticle in a Coupled Acoustic-Gravitational Field	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 2310-2316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.7b04752	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 Junji Ohashi, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 40
2. 論文標題 An efficient method for measuring excess adsorption isotherms of organic eluent components on reversed-phase packing materials	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Separation Science	6. 最初と最後の頁 842-848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jssc.201601032	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 Tetsuo Okada	4. 巻 17
2. 論文標題 Micro- and Nano-Liquid Phases Coexistent with Ice as Separation and Reaction Media	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Records	6. 最初と最後の頁 415-428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tcr.201600097	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 Chisako Kanzaki, Arinori Inagawa, Gaku Fukuhara, Tetsuo Okada, and Munenori Numata	4. 巻 2
2. 論文標題 Proton-gradient-driven self-assembly of porphyrin and in situ dynamic analysis in a microflow platform	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemSystemsChem	6. 最初と最後の頁 e2000006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/syst.202000006	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 Tomoya Muto, Makoto Harada, Gaku Fukuhara, and Tetsuo Okada	4. 巻 124
2. 論文標題 Ice Confinement-Induced Solubilization and Aggregation of Cyanonaphthol Revealed by Fluorescence Spectroscopy and Lifetime Measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 3734-3742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c01451	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 Hinako Sakai, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 577
2. 論文標題 Reverse Micelle Chromatography for Evaluation of Partition of Organic Solutes to Micellar Pseudophases	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 191-198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2020.05.074	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 Akihisa Miyagawa, Tomokazu Kinoshita, Yue Zheng, Makoto Harada, Gaku Fukuhara, and Tetsuo Okada	4. 巻 124
2. 論文標題 Multiphase Behavior of Tetraphenylethylene Derivatives with Different Polarities at High Pressures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 7263-7271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c05912	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 該当する

1. 著者名 Akihisa Miyagawa, Hiroshi Yoneda, Hiroaki Mizuno, Munenori Numata, Tetsuo Okada, Gaku Fukuhara	4. 巻 5
2. 論文標題 Hydrostatic-Pressure-Controlled Molecular Recognition: A Steroid Sensing Case Using Modified Cyclodextrin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemPhotoChem	6. 最初と最後の頁 118-122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cptc.202000204	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 Chisako Kanzaki, Shota Matoba, Arinori Inagawa, Gaku Fukuhara, Tetsuo Okada, Tetsuya Narushima, Hiromi Okamoto, and Munenori Numata	4. 巻 94
2. 論文標題 Linear Momentum of a Microfluid Realizes an Anisotropic Reaction at the Ends of a Supramolecular Nanofiber	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 579-589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200279	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 Mao Fukuyama, Lin Zhou, Tetsuo Okada, Kristina V. Simonova, Mikhail A. Proskurnin, Akihide Hibara	4. 巻 1149
2. 論文標題 Controlling Water Transport between Micelles and Aqueous Microdroplets during Sample Enrichment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 338212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aca.2021.338212	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 該当する

1. 著者名 Akihisa Miyagawa, Gaku Fukuhara, and Tetsuo Okada	4. 巻 328
2. 論文標題 Acid Dissociation under Hydrostatic Pressure: Structural Implications for Volumetric Parameters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Molecular Liquids	6. 最初と最後の頁 115512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molliq.2021.115512	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 Yu Fukunaga, Akihisa Miyagawa, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 7
2. 論文標題 Freeze Control of Nanoparticle Aggregation and Exploration as Surface Enhanced Raman Scattering (SERS) Platform	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 434-438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.202000669	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 Makoto Harada, Hinako Sakai, Yu Fukunaga, and Tetsuo Okada	4. 巻 599
2. 論文標題 Hydration of Bromide at Reverse Micelle Interfaces Studied by X-ray Absorption Fine Structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 79-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2021.04.070	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 Minori Doi, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 5
2. 論文標題 Freezing Enhances Leaching of Ferrous Ion but Hinders Reductive Dissolution of Ferric Ion from Iron Oxides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 1544-1551
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.1c00071	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 S.Matoba, C.Kanzaki, K.Yamashita, T.Kusukawa, G.Fukuhara, T.Okada, T.Narushima, H.Okamoto, and M.Numata	4. 巻 143
2. 論文標題 Directional Supramolecular Polymerization in a Dynamic Microsolution: A Linearly Moving Polymer's End Striking Monomers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 8731-8746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c02644	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 Yuga Yashima, Yusuke Okada, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 23
2. 論文標題 Structures of Ions Accommodated in Salty Ice Ih Crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 17945-17952
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP01624E	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 Yu Fukunaga and Tetsuo Okada	4. 巻 1181
2. 論文標題 Quantification Using Statistical Parameters Derived from Signal Intensity Distributions in Surface Enhanced Raman Scattering (SERS)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 338931
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aca.2021.338931	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 Shun Kataoka, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 23
2. 論文標題 Microscale pH Inhomogeneity in Frozen NaCl Solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 18595-18601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP01655E	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 Yu Fukunaga, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 188
2. 論文標題 Surface Enhanced Raman Scattering (SERS) of DNA Bases Using Frozen Silver Nanoparticle Dispersion as Platform	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Microchimica Acta	6. 最初と最後の頁 406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00604-021-05055-x	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 Minori Doi, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 6
2. 論文標題 In Situ X-Ray Fluorescence Evaluation of Metal Ion Adsorption on Ferric Oxyhydroxide in Frozen Solutions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 218-227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.1c00358	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 Masaki Komiya and Tetsuo Okada	4. 巻 1208
2. 論文標題 Aqueous-Nonaqueous Solvent-Switching Ion Chromatography of Halide Impurities in Ionic Liquids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Analytica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 339826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aca.2022.339826	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 Shun Kataoka, Makoto Harada, and Tetsuo Okada	4. 巻 126
2. 論文標題 pH-Buffering Capacity of Ice	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 8113-8120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c01181	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 Akihisa Miyagawa and Tetsuo Okada	4. 巻 37
2. 論文標題 Particle Manipulation with External Field; from Recent Advancement to Perspectives	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 69-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.20SAR03	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 9件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Yusuke Okada, Makoto Harada, Tetsuo Okada
2. 発表標題 Distributions and Structures of Ions in Polycrystalline and Monocrystalline Ice
3. 学会等名 ACS Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Arinori Inagawa, Tetsuo Okada
2. 発表標題 Measurements of Interaction Forces Using Ice Grain Boundary Electrophoresis of Microparticles
3. 学会等名 International Symposium on Miniaturization Systems for Chemical Separation and Analysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Arinori Inagawa, Tetsuo Okada
2. 発表標題 Charging of Ice Surfaces Studied by Zeta Potential Determination
3. 学会等名 Colloid 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田哲男
2. 発表標題 分析化学って何? 仲間を増やし、アカデミアでのプレゼンスを高めるために
3. 学会等名 日本分析化学会第70年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hinako Sakai, Tetsuo Okada, Makoto Harada
2. 発表標題 9 Partition Characteristics of Reverse Micelles
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihisa Miyagawa, Makoto Harada, Tetsuo Okada
2. 発表標題 Zeptomole biosensing based on levitation coordinate shift induced by gold nanoparticle binding
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu Fukunaga, Makoto Harada, Tetsuo Okada
2. 発表標題 High-sensitivity Raman spectroscopy with Ag nanoparticle aggregation controlled by freezing
3. 学会等名 Okinawa Colloids 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Arinori Inagawa, Tetsuo Okada
2. 発表標題 Ice Grain Boundary Electrophoresis for Particle Size Resolution and Evaluation of Molecular Interactions
3. 学会等名 International Symposium for Separation Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯島弘貴、原田誠、福原学、岡田哲男
2. 発表標題 不斉List-Barbas-Mannich反応の凍結によるエナンチオマー過剰率への影響
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Arinori Inagawa, Tetsuo Okada
2. 発表標題 Ice Nano/Microfluidics
3. 学会等名 Asianalysis XIV (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田哲男
2. 発表標題 凍結水溶液の電気化学測定
3. 学会等名 H2Oを科学する20182018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田悠佑、岡田哲男
2. 発表標題 XAFSによる単結晶氷中に取り込まれたイオンの検出と解析
3. 学会等名 H2Oを科学する20182018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Arinori Inagawa and Tetsuo Okada
2. 発表標題 Size-selective separation with grain boundary channels on doped-ice
3. 学会等名 Pittcon 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihisa Miyagawa, Makoto Harada, and Tetsuo Okada
2. 発表標題 Detection of Microsphere Surface Reaction Using Acoustic-Gravity Field
3. 学会等名 Acoustofluidics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田哲男
2. 発表標題 氷とその界面への 分離科学的アプローチと 分離の新概念への展開
3. 学会等名 第28回クロマトグラフィー科学会議 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲川有徳、岡田哲男
2. 発表標題 氷と物質の相互作用への分離科学的アプローチ
3. 学会等名 第38キャピラリー電気泳動シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田哲男
2. 発表標題 凍結ナノ・マイクロフルイデイクス
3. 学会等名 第34回イオンクロマトグラフィー討論会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田哲男
2. 発表標題 水を用いる分離・分析システム
3. 学会等名 第66回日本分析化学会年会（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Tetsuo Okada	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 72
3. 書名 Encyclopedia of Physical Organic Chemistry	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	火原 彰秀 (Hibara Akihide) (30312995)	東北大学・多元物質科学研究所・教授 (11301)	
研究分担者	原田 誠 (Harada Makoto) (60313326)	東京工業大学・理学院・助教 (12608)	

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