

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03013

研究課題名(和文) 軟X線内殻励起の化学シフトの顕微観測と化学的環境解析

研究課題名(英文) Microscopic Chemical State Analysis Based on Chemical Shift in Soft X-ray Inner-shell Excitation

研究代表者

小杉 信博 (KOSUGI, Nobuhiro)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・所長

研究者番号：20153546

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：位置によって化学的環境が異なるような不均一試料中の成分分子を内殻励起した場合、内殻準位に違いがなくとも、それぞれの周辺環境の違いによって励起先の空準位のエネルギーがわずかに違ってくることを理論的に裏付けた。エネルギー分解能の高い軟X線のマイクロビーム、ナノビームを使った、独自開発のその場観察顕微軟X線透過吸収分光装置の改良・最適化を進めることで、マイクロ流路液体混合系や経皮薬物輸送系等において特定成分分子について、10meV以下のわずかな内殻励起の化学シフトの位置依存性を観測することに成功し、化学状態マッピングも実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

独自開発した軟X線吸収試料セルを組み込んだナノスケール、マイクロスケールの顕微鏡の集光系を、対象となる試料の状態に応じて、改良・最適化することに成功したことは、国際的に独創的な技術革新となっている。新しい反応系を設計できるマイクロ流路や効率的な塗り薬開発に重要な経皮薬物輸送の研究にこれらの装置を応用し、特定分子の化学的環境のナノスケール及びマイクロスケールのイメージングが実現したことは、放射光顕微技術の発展に伴って研究対象が均一系から不均一系に拡大している放射光軟X線分野における学術研究の新しい展開につながるものとなっている。

研究成果の概要(英文)：Our theoretical approaches have predicted small chemical shifts in molecular inner-shell excitations at chemically different sites. Based on this idea, we have developed and improved nanoscale and microscale soft X-ray absorption spectromicroscopic techniques with in situ sample cells and successfully applied them to binary liquid reactions in microfluidic devices and to transdermal drug delivery systems, to get chemical shift images by less than 10 meV for chemical state mappings of reactive sites and inhomogeneous molecular distributions.

研究分野：X線分光

キーワード：量子ビーム 内殻励起 X線顕微分光 その場観測 マイクロ流路

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光源加速器技術と分光技術の最近の進歩により軟X線は硬X線よりもエネルギー分解能や空間分解能の点で優位になってきた。平成20年度より3年おきに連続して本研究代表者が配分を受けた科学研究費によって、UVSOR-光源性能を引き出したその場観測軟X線分光技術の開発を進めてきた。特に平成26年度から平成28年度の3年間で、軟X線の空間分解能を高めたその場観察顕微鏡の開発に取り組んだことによって、エネルギー分解能10meV(1meVの変化の議論が可能)空間分解能30nmの測定が可能となった。また、集光素子を使わない簡便な方法で作った10~30 μ mのマイクロビームによる顕微装置も完成させた。これらをいくつかの試料に応用した結果、吸収ピークを選べば、化学シフトとして数meVから数十meVの試料位置依存性が観測されることがわかった。このような背景があったため、化学的環境の違いを反映する内殻励起の化学シフトが不均一環境下にある実在系の局所解析の際の強力な指標になることを実証・応用できる準備が整ったと判断し、平成29年度から令和1年度の3年間でナノスケールとマイクロスケールでの「軟X線内殻励起の化学シフトの顕微観測と化学的環境解析」の研究に取り組むことにした。

2. 研究の目的

位置によって化学的環境が異なるような不均一試料の中の成分分子を内殻励起した場合、内殻準位に違いがなくとも、それぞれの周辺環境の違いによって励起先の空準位のエネルギーがわずかに違ってくる。このような内殻励起の化学シフトの位置依存性は、我々が独自開発してきたエネルギー分解能の高い軟X線のマイクロビーム、ナノビームを使ったその場観察顕微軟X線透過吸収分光装置で観測可能となる。本研究では、化学シフトの位置依存性から化学的環境の顕微イメージング(マッピング)が得られることを実証するために、経皮薬物輸送系やマイクロ流路液体混合系などを選び、それぞれの目的にあった集光素子や試料セルの開発を行うことにした。また、理論手法の開発にも取り組む。

(1) ナノスケールX線顕微吸収分光

軟X線吸収の化学シフトから分子の分布や化学状態分布を得られることを示すために、経皮薬物輸送系における薬物分布、染色体中のDNA、RNA分布、リチウムイオン電池中のリチウム状態分析などに応用する。皮膚中の薬物分布は高空間分解能(25nm以下)と光量及要求されるため、最適化したフレネルゾーンプレート(FZP)を設計・製作して、その適用可能性を調べる。また、リチウムK殻吸収は55eVと低く、高次光を抑えることのできるローパスフィルターの機能を付加した低エネルギー用FZPを世界で初めて設計・製作し、その適用可能性を調べる。

(2) マイクロスケールX線顕微吸収分光

マイクロ流路を用いた溶液反応は、高効率な溶液反応を実現できる有用な化学環境である。マイクロ流路上における2液混合の乱流や層流を用いることにより、溶液混合、抽出、蒸発などの様々な化学操作が可能である。しかし、マイクロ流路はガラス基板上に作製するため、マイクロ流路を軟X線などの短波長の光が透過できず、分光測定が不可能である。そこで、PDMS樹脂上のマイクロ流路に100nm厚のSi₃N₄膜を挟むことで、軟X線照射可能なマイクロ流路セルを作製する。二液反応系T字型流路を50 μ mの幅・深さで設計し、軟X線ビームは30 μ m以下に切り出す。適用可能性を調べるための対象として、ピリジンと水の間生成する層流の局所構造解析に取り組む。

(3) 理論解析

マイクロ流路の二液混合系(水溶液を含む)を想定して、量子化学手法に基づく溶液中の分子・イオンの電子状態理論計算手法の確立を進める。

3. 研究の方法

(1) ナノスケールX線顕微吸収分光

図1に走査型透過X線顕微鏡(STXM)光学系の概略図を示す。単色光の入射X線を、X線用集光光学素子であるフレネルゾーンプレート(FZP)を用いてOrder Select Apertureを通し、試料上に数十ナノメートルオーダーのスポットサイズで集光し、走査を行いつつ、試料の下流の検出器で透過X線強度を検出することで2次元XAS観測を行うものである。本研究においては、特定の用途に特化したパラメータを有するFZPを開発するなど、光学系の最適化をそれぞれ行い、ナノスケールX線顕微吸収分光の化学状態分析への拡大を試みた。

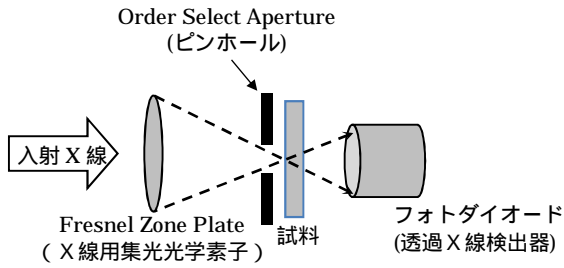


図 1. 走査型軟 X 線透過顕微鏡の概略図

(2) マイクロスケール X 線顕微吸収分光

図 2(a)に本研究で開発した軟 X 線 XAS 測定用のマイクロ流路セルの模式図を示す。マイクロ流路セルは常圧のヘリウム環境下であり、超高真空下の軟 X 線ビームラインとは 100 nm 厚の SiC 膜で隔てている。SiC 膜の窓サイズは $30 \times 30 \mu\text{m}^2$ であり、軟 X 線のビームサイズとなる。蛍光収量(FY)法を使って、シリコンドリフト検出器で XAS 測定した。

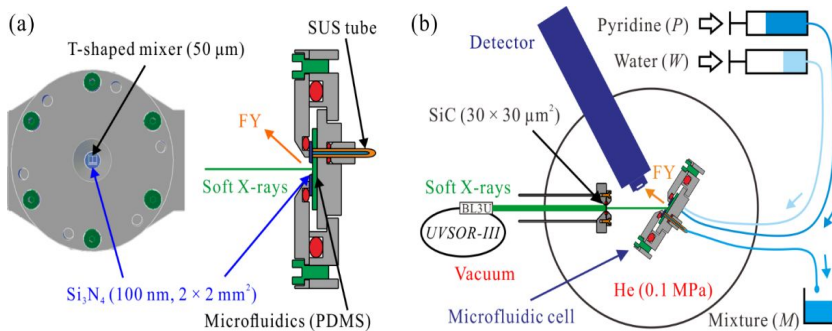


図 2. (a) XAS 測定用のマイクロ流路セルの模式図。(b) マイクロ流路セルを用いた顕微 XAS 測定の実験セットアップの模式図。分子研 UVSOR-III の軟 X 線ビームライン BL3U に設置

(3) 理論解析

独自に開発している、内殻励起計算に最適化した量子化学計算コード GSCF3 の拡張を行った。

4. 研究成果

(1) ナノスケール X 線顕微吸収分光

経皮薬物輸送系における薬物分布への応用

近年、患部に直接作用し、胃腸への負担もなく代謝(肝臓)も経ずに血中濃度を一定に保てる経皮薬の開発が進んでいるが、薬剤が効率的に皮膚を透過する分子機構はよくわかっていない。皮膚は親水性部分と疎水性部分が複雑に絡んだ構造体(組織)を作っており、薬剤分子が皮膚を透過する際の化学的環境の違いによって、化学シフトが観測されることから、経皮薬剤の主薬分子の輸送機構を明らかにする。本研究はドイツの研究グループと共同で行った。

免疫抑制薬であるラパマイシン分子が、投与したヒトの皮膚表皮の角質層を通して表皮下層領域から真皮、皮下血管に至る経路を主薬成分分子の酸素 1s 内殻吸収ピークに注目して 25nm の高空間分解 XAS スペクトル分布を取得することによって明らかにした。試料は EPON レジンに包埋し、ウルトラマイクロトームにより 300 nm 厚の切片として、窒化シリコン膜上に固定したものを使用した。図 3 に測定結果、解析結果を示した。新たに開発した FZP によって経皮薬物輸送系の研究に応用できることが実証できた。

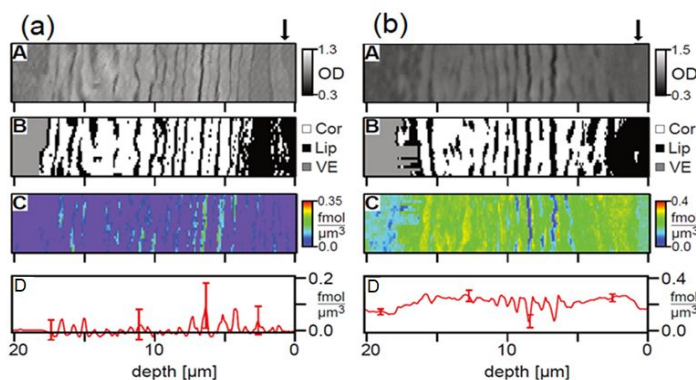


図 3. (a)未処理の参照用皮膚試料と(b)ワセリンを用いたラパマイシンを塗布した皮膚の STXM 分析結果。A: 532 eV における Optical Density 像、B: スペクトル分離による分子の分布、C: ラパマイシンの濃度分布、D: 深さ方向へのラパマイシンの積分的濃度分布

染色体中の DNA、RNA 分布への応用

細胞内の生体内分子に関し、より定量的な解析を行うことを目的として、有機物を構成する主要元素である炭素 (283 eV)、窒素 (399 eV)、酸素 (531 eV) の K 吸収端 X 線吸収スペクトルを連続的に利用する解析手法の開発を行った。Single Value Decomposition 法による解析アルゴリズムによってスペクトル分離を行うことで、図 4 に示したようにチャニーズハムスターの卵巣細胞を培養して抽出された染色体内の DNA と RNA の定量的空間分布が決定でき、RNA の分布は、明瞭に DNA の分布と異なることがわかった。

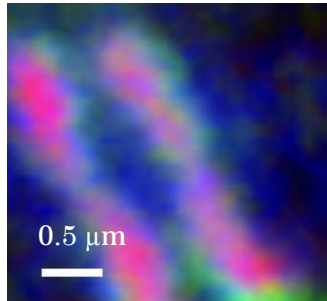


図 4. チャニーズハムスター卵巣細胞中の染色体中の DNA (赤)、RNA (緑)、そのほかの分子 (青) の分布

リチウムイオン電池中のリチウム状態分析への応用

リチウムイオン電池の主要元素であるリチウムイオンの挿入/脱離過程については未だ明らかになっていない。これまでに電子顕微鏡、オージェ電子顕微鏡、光電子顕微鏡が利用されてきたが、高空間分解能でリチウムを直接分析可能な手法が必要である。照射ダメージが小さく、化学状態分析が可能な走査型透過 X 線顕微鏡 (STXM) は最適な手法と考えられる。本研究では、光学系の最適化を行うことによって、リチウムの化学状態の高分解能観察を世界で初めて可能とした。新たに開発した FZP では高次光強度がメインビームの 0.1% に抑えられ、空間分解能も 72 nm と優れたものとなった。図 5 に示したように、100 nm 厚のリチウムイオン電池の正極試料において Li_2CO_3 が存在している化学状態分布を得ることに成功した。

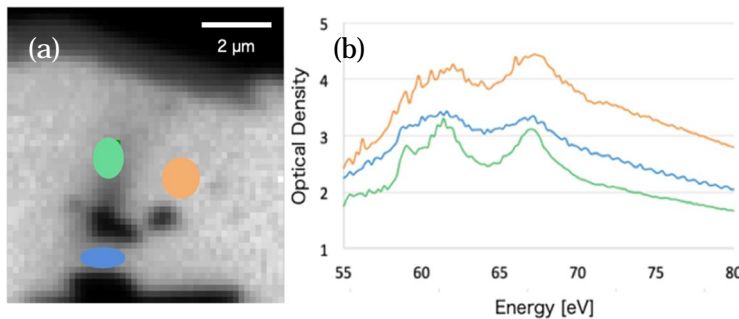


図 5. リチウムイオン電池電極の (a) STXM 像と (b) それぞれの箇所におけるリチウム K 吸収端 XAS スペクトル

(2) マイクロスケール X 線顕微吸収分光

図 6 (a) に 550 eV の軟 X 線照射による、T 字型マイクロ流路の $\text{O K}\alpha$ 蛍光イメージを示した。

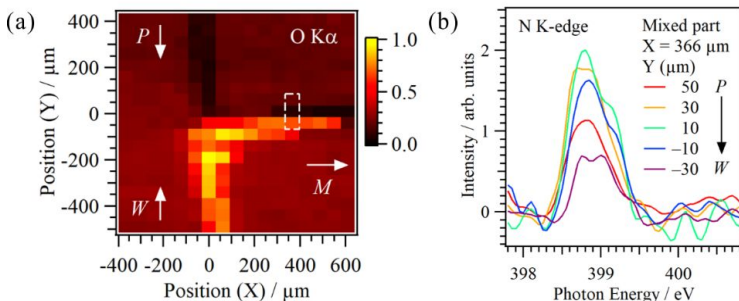


図 6. (a) 550 eV の軟 X 線照射時の $\text{O K}\alpha$ 蛍光収量イメージ。上部ピリジン (P) と下部水 (W) による層流が混合流路 (M) で観測。 (b) 混合部における異なる位置の N-K XAS スペクトル。測定領域は蛍光イメージの破線囲みの部分。

$\text{O K}\alpha$ 蛍光イメージのため、水のある部分で大きな強度となり、ピリジンでは小さな強度となる。図 6 (b) にマイクロ流路の混合部における N-K 吸収端での顕微 XAS スペクトルを示した。水平方向は $X = 366 \mu\text{m}$ に固定して、垂直方向をピリジンの位置 ($Y = 50 \mu\text{m}$) から水の位置 ($Y = -30 \mu\text{m}$) に $20 \mu\text{m}$ の間隔ごとに XAS 測定した。ピーク強度の最大値は $Y = 14 \mu\text{m}$ となり、この位置が層流中におけるピリジンの中心位置 (P) となる。図 6 (b) に示したように、液体ピリジン π^* ピ

ークは、ピリジンの位置から水の位置に行くにつれて、高エネルギー側へ 20meV 程度、化学シフトを示すことが分かった。更に、XAS のピークシフトとピリジンのモル比率の関係式から、ピリジンの中心付近において、モル比率は $x = 0.52$ となり、水の中心付近において $x = 0.35$ となることが分かった。ここから、層流の位置を境にして水とピリジンが完全に分離しているのではなく、ピリジン部分に水が、水部分にピリジンが混入する濃度勾配が層流近傍に存在することが明らかになった。本研究では、軟 X 線強度を得るために軟 X 線ビームサイズを大きくせざるを得なかったが、ビームサイズを $10 \mu\text{m}$ 程度にしても十分な軟 X 線強度が確保できる物質構造科学研究所 PF 施設において発展的に研究を行うことにした。

(3) 理論解析

軟 X 線吸収による軽元素 K 殻励起の理論計算手法はすでに上記の研究例にも応用して確立してきているので、次の計画として、生体反応でも重要になってくる、溶液中の遷移金属サイトに応用するために L 殻励起への拡張を進めた。L 殻励起の最初の計算対象として、フランス SOLEIL 施設やアメリカ ALS 施設の共同研究者らによる 0.5 M の CaCl_2 の水溶液、メタノール溶液およびエタノール溶液の実験結果を用いた。図 7 に Ca L 吸収端 XAS 測定の結果を示す。スピン-軌道相互作用の影響のため 346-350 eV に L_3 端由来の吸収が、351-355 eV に L_2 端由来の吸収が観察された。この分裂幅は図中のピーク b_2 と a_2 のエネルギーの差で評価できるが、溶媒による変化は観察されなかった。一方、 a_1 および b_1 の吸収は配位子場による 3d 軌道の分裂に由来し a_2 と a_1 (b_2 と b_1) のエネルギー差は配位子場の強さを反映する。したがって、この結果から得られる強さの序列はエタノール > メタノール > 水となった。また、 a_1 (b_1) と a_2 (b_2) の吸収強度比が異なることがわかった (エタノール > メタノール > 水)。これらの原因を検討するために水が 8 配位した Ca における XAS スペクトルのシミュレーションを、独自開発している量子化学計算プログラム GSCF3 を拡張して行った。

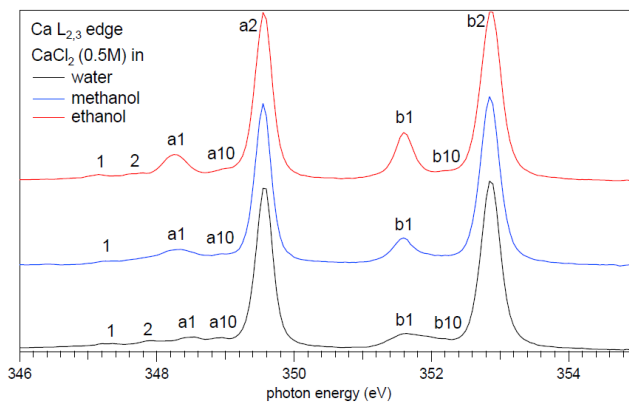


図 7. CaCl_2 溶液の Ca L 吸収端 XAS

計算結果は図 8 に示したが、 Ca-O の結合距離をパラメータとした際に a_1 (b_1) と a_2 (b_2) の強度比の変化を再現し、 Ca-O の結合長が長いほど a_1 (b_1)/ a_2 (b_2) が大きくなる傾向がある。この結果を基に考えると、図 7 のスペクトルから得られる各溶媒の Ca-O の距離の序列はエタノール > メタノール > 水となり、矛盾しない。以上のように、本研究によって軟 X 線吸収分光を用いても、L 殻吸収の一例として Ca^{2+} の配位状態を詳細に解析できる可能性を示すことができた。

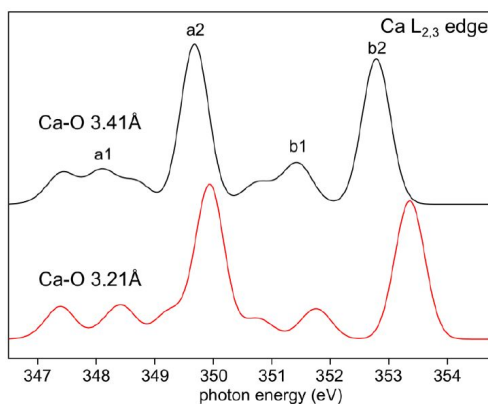


図 8. 水が 8 配位した Ca の Ca L 吸収端 XAS のシミュレーション結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 8件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Nagasaka Masanari, Yuzawa Hayato, Takada Noriko, Aoyama Masaki, Ruehl Eckart, Kosugi Nobuhiro	4. 巻 151
2. 論文標題 Laminar flow in microfluidics investigated by spatially-resolved soft X-ray absorption and infrared spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 114201-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5115191	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 Nagasaka Masanari, Yuzawa Hayato, Kosugi Nobuhiro	4. 巻 124
2. 論文標題 Microheterogeneity in Aqueous Acetonitrile Solution Probed by Soft X-ray Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 1259-1265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c00551	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 NAGASAKA Masanari, YUZAWA Hayato, KOSUGI Nobuhiro	4. 巻 36
2. 論文標題 Soft X-ray Absorption Spectroscopy of Liquids for Understanding Chemical Processes in Solution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 95-105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19R005	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 Ismail Mostafa Y., Patanen Minna, Sirvi? Juho Antti, Visanko Miikka, Ohigashi Takuji, Kosugi Nobuhiro, Huttula Marko, Liimatainen Henrikki	4. 巻 218
2. 論文標題 Hybrid films of cellulose nanofibrils, chitosan and nanosilica?Structural, thermal, optical, and mechanical properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Carbohydrate Polymers	6. 最初と最後の頁 87-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbpol.2019.04.065	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 Lu Y.R., Wang Y.F., Chang H.W., Huang Y.C., Chen J.L., Chen C.L., Lin Y.C., Lin Y.G., Pong W.F., Ohigashi T., Kosugi N., Kuo C.H., Chou W.C., Dong C.L.	4. 巻 209
2. 論文標題 Effect of Fe2O3 coating on ZnO nanowires in photoelectrochemical water splitting: A synchrotron x-ray spectroscopic and spectromicroscopic investigation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solar Energy Materials and Solar Cells	6. 最初と最後の頁 110469-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solmat.2020.110469	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 Uesugi Masayuki, Hirahara Kaori, Uesugi Kentaro, Takeuchi Akihisa, Karouji Yuzuru, Shirai Naoki, Ito Motoo, Tomioka Naotaka, Ohigashi Takuji, Yamaguchi Akira, Imae Naoya, Yada Toru, Abe Masanao	4. 巻 91
2. 論文標題 Development of a sample holder for synchrotron radiation-based computed tomography and diffraction analysis of extraterrestrial materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 035107-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5122672	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 M. Nagasaka, H. Yuzawa, N. Kosugi	4. 巻 232
2. 論文標題 Intermolecular Interactions of Pyridine in Liquid Phase and Aqueous Solution Studied by Soft X-ray Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Z. Phys. Chem.	6. 最初と最後の頁 705-722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/zpch-2017-1054	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 M. Nagasaka, H. Yuzawa, K. Mochizuki, E. Ruehl, N. Kosugi	4. 巻 9
2. 論文標題 Temperature-Dependent Structural Changes in Liquid Benzene	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 5827-5832
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.8b02615	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 Shinohara Kunio, Tone Shigenobu, Ejima Takeo, Ohigashi Takuji, Ito Atsushi	4. 巻 8
2. 論文標題 Quantitative Distribution of DNA, RNA, Histone and Proteins Other than Histone in Mammalian Cells, Nuclei and a Chromosome at High Resolution Observed by Scanning Transmission Soft X-Ray Microscopy (STXM)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cells	6. 最初と最後の頁 164-1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cells8020164	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 M-H. Li, H-H Yeh, U-S. Jeng, C-J. Su, H-W. Shiu, Y-J. Hsu, N. Kosugi, T. Ohigashi, Y-A. Chen, P-S. Shen, P. Chen, T-F. Guo	4. 巻 30
2. 論文標題 Highly Efficient 2D/3D Hybrid Perovskite Solar Cells via Low-Pressure Vapor-Assisted Solution Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1801401-1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201801401	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 K. Shinohara, T. Ohigashi, S. Tone, M. Kado, A. Ito	4. 巻 194
2. 論文標題 Quantitative analysis of mammalian chromosome by scanning transmission soft X-ray microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ultramicroscopy	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultramic.2018.07.001	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 Y.F. Wang, Y.C. Shao, S.H. Hsieh, Y.K. Chang, P.H. Yeh, H.C. Hsueh, J.W. Chiou, H.T. Wang, S.C. Ray, H.M. Tsai, C.W. Pao, C.H. Chen, H.J. Lin, J.F. Lee, C.T. Wu, J.J. Wu, Y.M. Chang, K. Asokan, K.H. Chae, T. Ohigashi, Y. Takagi, T. Yokoyama, N. Kosugi, W.F. Pong	4. 巻 8
2. 論文標題 Origin of Magnetic properties in carbon Implanted ZnO nanowires	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7758-1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-25948-x	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 M. Nagasaka, H. Yuzawa, N. Kosugi	4. 巻 121
2. 論文標題 Interaction between Water and Alkali Metal Ions and Its Temperature Dependence Revealed by Oxygen K-Edge X-ray Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 10957-10964
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b09789	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 M. Nagasaka, H. Yuzawa, T. Horigome, N. Kosugi	4. 巻 224
2. 論文標題 Reliable absorbance measurement of liquid samples in soft X-ray absorption spectroscopy in transmission mode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.	6. 最初と最後の頁 93-99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elspec.2017.05.004	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 T. Ohgashi, Y. Inagaki, A. Ito, K. Shinohara, N. Kosugi	4. 巻 849
2. 論文標題 Investigation of Measurement Condition for 3-Dimensional Spectroscopy by Scanning Transmission X-ray Microscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys.: Conf. Ser.	6. 最初と最後の頁 012044-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/849/1/012044	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 A. Khodabandeh, R.D. Arrua, B.R. Coad, T. Rodemann, T. Ohgashi, N. Kosugi, S.C. Thickett, E. Hilder	4. 巻 9
2. 論文標題 Morphology control in polymerized high internal phase emulsion templated via macro-RAFT agent composition: Visualizing surface chemistry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 213-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7py01770g	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 長坂将成, 小杉信博	4. 巻 67
2. 論文標題 軟X線吸収分光法による水溶液の局所構造解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 分光研究	6. 最初と最後の頁 2-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.64.163	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

[学会発表] 計19件(うち招待講演 5件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 M. Nagasaka, N. Kosugi
2. 発表標題 Intermolecular Interactions Revealed by Precise Energy Shift Analysis in Soft X-ray Absorption Spectroscopy for Liquid
3. 学会等名 The 40th International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Physics (VUVX19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Ohigashi
2. 発表標題 Recent Status and Developments of a Scanning Transmission X-ray Microscopy Beamline in UVSOR-III Synchrotron
3. 学会等名 The 25th NSRRC User 's Meeting and Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長坂将成, 湯沢勇人, 小杉信博
2. 発表標題 軟X線吸収分光法によるアセトニトリル水溶液の微小不均一性の解明
3. 学会等名 第22回XAFS討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小杉信博
2. 発表標題 3d遷移金属化合物の内殻励起から何がわかるか
3. 学会等名 第22回XAFS討論会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長坂将成, 湯沢勇人, 小杉信博
2. 発表標題 軟X線吸収分光法によるアセトニトリル水溶液の微小不均一性の解明
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大東琢治, 湯沢勇人, 小杉信博
2. 発表標題 走査型透過X線顕微鏡を用いたリチウムの顕微分析手法
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Nagasaka, A. A. Vu, H. Yuzawa, N. Takada, M. Aoyama, E. Ruehl, N. Kosugi
2. 発表標題 Microfluidics of Liquid Mixtures Observed by Spatially Resolved Soft X ray Absorption Spectroscopy
3. 学会等名 International Workshop on Trends in Advanced Spectroscopy in Materials Science, TASPEC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Ohigashi, K. Shinohara, S. Tone, H. Yuzawa, A. Ito, N. Kosugi
2. 発表標題 3-Dimensional Chemical Mapping of an Isolated Cell Nucleus
3. 学会等名 International Workshop on Trends in Advanced Spectroscopy in Materials Science, TASPEC (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Kosugi
2. 発表標題 Progress in Molecular Inner-shell Spectroscopy
3. 学会等名 International Workshop on Trends in Advanced Spectroscopy in Materials Science, TASPEC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長坂将成, 湯沢勇人, 高田紀子, 青山正樹, E. Ruehl, 小杉信博
2. 発表標題 軟X線吸収分光法によるマイクロ流路上の層流の構造解析
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 M. Huttula, M. Patanen, R. Piispanen, T. Ohigashi, N. Kosugi, S. Swaraj, R. Belkhou, A. Pranovich, T. Jyske, P. Kilpelainen, A. Karkonen, R. Korpinen, T. Laakso, S. Valkonen and P. Saranpaa
2. 発表標題 STXM Chemical Mapping of Norway Spruce Knotwood Lignans
3. 学会等名 14th International Conference on X-ray Microscopy, XRM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Ohigashi, A. Ito, K. Shinohara, S. Tone, Y. Inagaki, H. Yuzawa, N. Kosugi
2. 発表標題 3-Dimensional Chemical Structures of an Isolated Cell Nucleus by a Scanning X-ray Transmission Microscope
3. 学会等名 14th International Conference on X-ray Microscopy, XRM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M.M. Shiroikar, Y.F. Wang, Y.C. Shao, K.H. Chen, H.T. Wang, X.S. Qiu, J.S. Yang, J.J. Wu, J.W. Chiou, T. Ohigashi, N. Kosugi, W.F. Pong
2. 発表標題 Probing the Electronic Structure of BiVO ₄ Coated ZnO Nanodendrite Core-Shell Nanocomposite Using X-ray Spectroscopic and Spatially Resolved Scanning Transmission
3. 学会等名 14th International Conference on X-ray Microscopy, XRM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nagasaka
2. 発表標題 Interactions of organic molecules with water in aqueous solutions studied by soft X-ray absorption spectroscopy
3. 学会等名 Freigeist Workshop 2018 on Carbon Nanomaterials in Aqueous Environment: From Characterization to Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長坂将成
2. 発表標題 軟X線吸収分光法による液体の局所構造解析と溶液反応のオペランド観測
3. 学会等名 日本分光学会遠紫外分光部会 第3回講演会「遠/深紫外分光と材料物性」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Ohigashi, Y. Inagaki, N. Kosugi
2. 発表標題 Advances in Scanning Transmission X-ray Microscopy at UVSOR-III Synchrotron
3. 学会等名 24th Congress of the International Commission for Optics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ohigashi, Y. Inagaki, N. Kosugi
2. 発表標題 Advanced Analyses in Scanning Transmission X-ray Microscopy at UVSOR-III Synchrotron
3. 学会等名 24th International Congress on X-ray Optics and Microanalysis (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大東琢治、稲垣裕一、小杉信博
2. 発表標題 UVSORの走査型透過X線顕微鏡の現状
3. 学会等名 X線結像光学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大東琢治、稲垣裕一、伊藤敦、篠原邦夫、刀祢重信、小杉信博
2. 発表標題 走査型透過X線顕微鏡を用いた3次元化学状態マッピング法の開発
3. 学会等名 日本放射光学会年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

BL4U STXM Beamline
<https://www.uvsor.ims.ac.jp/staff/BL4U/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
研究分担者	大東 琢治 (OHIGASHI Takuji) (50375169)	分子科学研究所・極端紫外光研究施設・助教 (63903)	
連携研究者	長坂 将成 (NAGASAKA Masanari) (90455212)	分子科学研究所・光分子科学研究領域・助教 (63903)	
連携研究者	山根 宏之 (YAMANE Hiroyuki) (50402459)	分子科学研究所・光分子科学研究領域・助教 (63903)	