

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05253

研究課題名(和文) 多次元X線タイコグラフィによる次世代放射光顕微分光プラットフォームの構築

研究課題名(英文) Creation of platform for the next generation synchrotron radiation
microspectroscopy by multi-dimensional X-ray ptychography

研究代表者

高橋 幸生 (TAKAHASHI, Yukio)

東北大学・国際放射光イノベーション・スマート研究センター・教授

研究者番号：00415217

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 136,400,000円

研究成果の概要(和文)：タイコグラフィ XAFS法をX線光学・情報科学的アプローチを駆使して高度化することで、マイクロメートルオーダーのバルク試料内部のナノスケール微細構造と化学状態を可視化する多次元X線タイコグラフィを確立した。大型放射光施設SPring-8の複数のビームラインにおいて、触媒材料、電池材料、半田材料など様々な実用材料の微細構造と機能の相関解明に関する応用研究を推進することで、多次元X線タイコグラフィを活用する放射光顕微分光イメージングのプラットフォームを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した多次元X線タイコグラフィは、X線光学的アプローチを用いた次世代の顕微分光イメージング法であり、放射光科学や顕微鏡学の観点から重要な成果である。また、本研究で構築した放射光顕微分光イメージングのプラットフォームを活用することで、不均一・複雑である実用材料の機能発現や劣化機構を理解し、新材料の設計にフィードバックすることが可能となり、様々な社会課題の解決に繋がる新材料の設計・開発が促進されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：By upgrading the ptychography-XAFS method with X-ray optics and informatics approaches, we have established multidimensional X-ray ptychography to visualize nanoscale structures and chemical states inside micrometer-order bulk samples. A platform for synchrotron radiation nanospectroscopic imaging utilizing multidimensional X-ray ptychography was established by promoting applied research on the elucidation of the correlation between nanostructures and function of various practical materials such as catalyst materials, battery materials, and solder materials at several beamlines of SPring-8.

研究分野：放射光科学

キーワード：放射光 タイコグラフィ XAFS 機能性材料

1. 研究開始当初の背景

物質科学研究では、X線回折法、電子顕微鏡、プローブ顕微法などを駆使して、原子・分子レベルでの構造、物性、反応過程を調べることが求められる。そこで得られた知見を基に新材料の開発へと繋げるためには、ナノメートルからサブミクロンスケールでのドメイン構造を有する不均質・複雑系として、ナノ・メソスケールでの反応・劣化プロセスを理解することが極めて重要である。特に、蓄電池用電極材料、燃料電池用触媒材料、自動車用排ガス浄化触媒材料の開発に際し、ナノ・メソスケールでの構造と機能の相関解明が重要な研究課題となっている。現在、電子線エネルギー損失分光 (Electron Energy Loss Spectroscopy, EELS) 法を透過型電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscopy, TEM) を用いて行う TEM-EELS や X線吸収微細構造 (X-ray Absorption Fine Structure, XAFS) を走査型透過 X線顕微鏡 (Scanning Transmission X-ray Microscopy, STXM) を用いて取得する STXM-XAFS が微細構造と機能の相関を解析する顕微分光ツールと普及している。卓越した空間分解能を有する TEM-EELS は電子線の侵入深さの問題から数十 nm 以上の厚みを有する試料観察を苦手とする。一方、硬 X線領域の STXM-XAFS は、ミクロンオーダーの厚みを有する試料観察を得意とするが、光学素子作製技術の制約から分解能は数十 nm に停滞している。

X線タイコグラフィは、干渉性の良い X線ビームを試料に照射し、X線ビームの一部が試料上で空間的に重複するように試料を二次元走査させ、走査各点でコヒーレント X線回折強度パターンを計測する。そして、計算機上で回折強度パターンに位相回復計算を実行することで、シングルナノメートルの空間分解能を有する試料電子密度分布像と X線吸収分布像を再構成する。また、入射 X線をエネルギー軸方向に発展させることで XAFS (タイコグラフィ-XAFS) が得られ、元素の価数や局所配位などの化学状態の空間分布も可視化される。現状のタイコグラフィ-XAFS 法の測定は、試料の走査と入射 X線のエネルギー掃引を伴うため、SPring-8 を使用しても、測定に数日から数時間を要し、様々な実試料観察や時間発展可視化への展開が困難な状況にある。

2. 研究の目的

本研究課題では、「タイコグラフィ-XAFS 法」を X線光学・情報科学的アプローチを用いて高度化し、多次元 (三次元空間+エネルギー+時間) X線タイコグラフィとする。そして、様々な実用材料の微細構造・化学状態イメージングに応用することで、次世代の放射光 X線顕微分光プラットフォームを構築することが目的である。この目的を達成するために必要な研究項目は以下の 4 つに大別される。

- (1) X線タイコグラフィ計測システムの高度化
 - (2) タイコグラフィ位相回復計算法の高度化
 - (3) 次世代放射光施設 NanoTerasu での計測を志向したタイコグラフィ-XAFS 測定装置の開発
 - (4) 多次元 X線タイコグラフィによる実用材料の微細構造・化学状態イメージング
- これらの項目に含まれるより具体的な内容は、3. 研究の方法で述べる。

3. 研究の方法

(1) X線タイコグラフィ計測システムの高度化

空間的あるいは時間的に干渉しないマルチ X線ビームを試料面上で空間的に重複させる光学系を SPring-8 の硬 X線ビームライン BL29XUL にて開発する。マルチ X線ビームにより、放射光 X線の利用効率を大幅に向上させ、タイコグラフィ-XAFS 法の測定時間を大幅に短縮させる。また、試料直前にランダムホールアレイを配置することで、位相回復計算の収束性が向上させ、マルチ X線ビームを高効率で利用可能にする。

(2) タイコグラフィ位相回復法の高度化

マルチスライス法を導入することで、測定角度点数の少ない回折強度パターンデータからの像再生が可能なアルゴリズムを開発する。また、Kramers-Kronig 関係の性質を利用したスーパータイコグラフィ-XAFS 解析アルゴリズムを開発し、測定エネルギー点数の少ない回折強度パターンからの XAFS スペクトル再構成を可能にする。

(3) 次世代放射光施設 NanoTerasu を志向したタイコグラフィ測定装置の開発

X線集光素子として Advanced Kirkpatrick-Baez (AKB) 集光鏡を備えた硬 X線タイコグラフィ用照明光学系を SPring-8 BL29XUL にて開発する。従来の Kirkpatrick-Baez (KB) 集光鏡より試料位置でのビーム安定性が向上することで、光学再調整が不要となり、実効的な測定時間を短縮させる。また、テンダー X線領域 (2~5keV) でのタイコグラフィ測定システムを SPring-8 の軟 X線ビームライン BL27SU にて開発する。装置恒温化、ピンホールの精密加工、Fresnel Zone Plate 照明光学系の改良など様々な技術開発を行うことでテンダー X線領域での計測精度を向上させる。

(4) 多次元 X線タイコグラフィによる実用材料の微細構造・化学状態イメージング

多次元 X線タイコグラフィにより触媒材料、電池材料、半田材料の微細構造化・化学状態イメージングを行い、データ科学的アプローチによる構造機能相関解析を行う。また、その場/オペランドでの観察が行えるように、試料加熱機構や電池セルの開発を行う。そして、本計測・解析

手法を次世代の放射光顕微分光イメージング技術としてプラットフォーム化する。

4. 研究成果

(1) X線タイコグラフィ計測システムの高度化

微小開口スリットを入射 X 線の空間コヒーレンス長以上の間隔で水平方向に一次的に配置した光学系を構築した。微小開口スリットは、タンタル金属箔に集束イオンビーム加工を施すことによって作製した。スリットチャンバーを設計・製作し、一次元アレイ開口をチャンバー内に配置することでマルチビーム光学系を完成させた。そして SPring-8 BL29XUL においてマルチビーム光学系を用いたタイコグラフィの実証実験を行った。単一ビームを用いた従来の X 線タイコグラフィと比較したところ、同じ測定時間で広い観察視野が得られることが分かった。これにより、部分コヒーレント光である放射光 X 線の利用効率が 3 倍程度向上し、タイコグラフィの測定時間を従来の半分程度に短縮することが可能になった。また、光学素子として位相モジュレーター(ランダムホールアレイ)を用いることで位相回復計算の収束性を向上させ、ビームの数を 10 程度に増やすことが可能であることが分かった。実際に、窒化ケイ素膜上に白金を 100nm 成膜し、集束イオンビーム加工によってランダムホールアレイを製作し、タイコグラフィ装置に実装した。

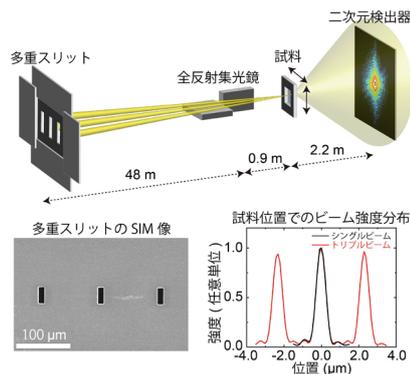


図1 マルチビーム光学系。

(2) タイコグラフィ位相回復法の高度化

① Kramers-Kronig 関係の性質を利用したスパースタイコグラフィ-XAFS 解析アルゴリズムの開発
X 線タイコグラフィの特徴の一つに、吸収像と位相像が同時に再構成できる点が挙げられ、空間分解 XAFS・位相スペクトルは吸収・位相像をエネルギー軸方向に発展させることで得られる。XAFS と位相スペクトルとの間には Kramers-Kronig 関係 (KKR) が成り立ち、一方のスペクトルは他方と相補的關係であるため、計測エネルギー点間のスペクトル情報を潜在的に含んでいる。この KKR の性質に注目し、少エネルギー点からの XAFS・位相スペクトルを復元するアルゴリズムを構築した。まず、MnO 結晶データと FEF 9.6 から生成した EXAFS 領域 ($k \sim 18 \text{ \AA}^{-1}$) の XAFS・位相スペクトルについて復元アルゴリズムの計算機シミュレーションを行った。その結果、エネルギー点間隔を $\Delta k = 0.8 \text{ \AA}^{-1}$ に間引いたデータに対しても、Mn-O、Mn-Mn 配位の定量解析が可能でスペクトルの復元に成功した。また、タイコグラフィ-XAFS 測定から得られた MnO 粒子の EXAFS データ ($k \sim 10 \text{ \AA}^{-1}$) についても $\Delta k \sim 0.4 \text{ \AA}^{-1}$ 程度まで点数を間引いても定量的 EXAFS 解析可能なスペクトルを復元することができた。本アルゴリズムにより、タイコグラフィ-XAFS の計測時間が従来の半分程度まで短縮することが可能になった。

② マルチスライス位相回復計算を組み合わせた三次元再構成アルゴリズムの開発
タイコグラフィ-XAFS 法に計算機断層撮影 (CT) を組み合わせたタイコグラフィ-XAFS-CT 測定を行う際、試料厚さが被写体深度を超えると空間分解能が低下するという問題があった。この問題を解決するために、マルチスライス位相回復計算と CT 再構成を組み合わせた新しい三次元再構成アルゴリズムを考案した。これにより、10 μm を超える厚い試料であっても 10 nm より優れた空間分解能で試料像を再構成することが可能となった。また、従来の CT 再構成アルゴリズムに比べて、投影数を数分の 1 程度に減らせることも明らかとなった。SPring-8 において X 線タイコグラフィ-CT により多層配線基板の測定を行い、上述の三次元再構成アルゴリズムを用いて解析した結果、従来法に比べて鮮明に多層配線構造を再構成することができた。

(3) 次世代放射光施設 NanoTerasu を志向した X 線タイコグラフィ装置の開発

① Advanced Kirkpatrick-Baez 集光鏡を備えた硬 X 線タイコグラフィ装置の開発
X 線集光素子として Advanced Kirkpatrick-Baez (KB) 集光鏡を備えた硬 X 線 (>5keV) タイコグラフィ用照明光学系を SPring-8 の BL29XUL にて開発した。Advanced KB 集光鏡はコマ収差がないため、従来の KB 集光鏡と比較し、集光点の位置安定性が向上する。実測した結果、7 時間での集光点の位置ドリフトが垂直方向 65.1nm、水平方向 43.3nm であり、タイコグラフィ測定におけるドリフト修正の頻度を半分程度に減らすことが可能となり、KB 集光鏡使用時と比較して測定時間を半分程度に短縮させることが可能になった。また、集光ビームの波面が長時間安定していることから、測定に長時間を要する実験も安定的に実施できるようになり、タイコグラフィ-XAFS 測定を広域 X 線吸収微細構造 (Extended X-ray Absorption Fine Structure, EXAFS) 領域まで拡張することが可能と

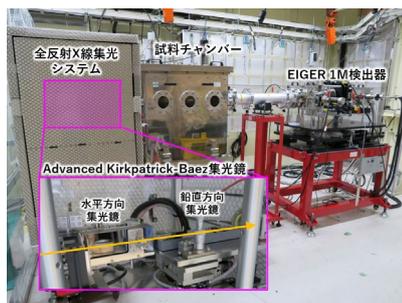


図2 Advanced KB 集光鏡を備えた硬X線タイコグラフィ装置の外観。

なった。MnO 粒子のタイコグラフィ-XAFS 測定を行い、Mn の K 吸収端から EXAFS 領域までの 139 エネルギーで回折強度パターンを 3 日かけて収集し、位相回復アルゴリズムを用いて解析した結果、これまで困難であった微小領域 (48 nm×48 nm) からの EXAFS 振動を取得し、Mn 元素周囲の第一、第二近接の原子位置を決定することができた。

② フレネルゾーンプレート縮小結像照明光学系を備えたテンダーX線タイコグラフィ装置の開発

テンダーX線は 2-5 keV の光子エネルギーを有する X 線である。テンダーX線の特徴として、エネルギー領域内に硫黄やリンなどをはじめとする様々な元素の吸収端が含まれるため化学状態分析に有用なことや、比較的高い透過力を活かして厚さ数 μm 程度のバルク試料内部の情報を取得できることなどが挙げられる。SPring-8 BL27SU においてテンダーX線タイコグラフィ計測の基盤技術の開発に取り組んだ。ここでは、照明光学系としてフレネルゾーンプレートによる縮小結像照明光学を採用した。光学系の温度ドリフトの影響を抑制するために、装置全体をビニルテントで覆い、精密空調機により 25 $^{\circ}\text{C}$ の空気を送り込むことでビニルテント内の温度変化を制御した。試料位置におけるビーム位置のドリフト量を計測したところ、3 時間の測定において温度調整前は水平、垂直方向のそれぞれに 4.3 μm 、8.9 μm のドリフトがあったのに対し、恒温化後ではそれぞれ 920 nm、2.9 μm となり、恒温化により熱ドリフトが大幅に抑制された。2.5 keV における 200 nm 厚 Ta テストチャートのタイコグラフィ計測を実施したところ、50nm の最小構造が鮮明に再構成された。

(4) 多次元X線タイコグラフィによる実用材料の微細構造・化学状態イメージング

① 触媒材料粒子の三次元化学状態イメージングとデータマイニングによる酸素拡散経路の解析

セリウム-ジルコニウム酸化物固溶体 ($\text{Ce}_2\text{Zr}_2\text{O}_x$: 以下 CZ-X と略) に触媒活性種となる白金ナノ粒子を担持させた触媒粒子 ($\text{Pt}/\text{Ce}_2\text{Zr}_2\text{O}_x$: 以下 Pt/CZ-X と略) の三次元ナノ構造・セリウム価数分布を可視化した。この 3 次元可視化されたセリウム価数分布のビッグデータから反応の鍵となる因子を抽出するために、教師なし学習によるデータマイニングの解析手法を取り入れた。3 次元空間内の任意の点 (x, y, z) の周辺 $3 \times 3 \times 3$ ボクセル ($42 \times 42 \times 42 \text{ nm}^3$) からなるドメイン内のセリウム価数の局所平均とその標準偏差 (セリウム価数分布の局所的な勾配に相当) の間に潜む相関性を、 $452 \times 450 \times 136$ 個の各ボクセルドメインをデータサンプルとして、教師なし学習により調べたところ、統計的に $G_1 \sim G_4$ の四つの相関グループに分けることができた。それぞれセリウムの酸化反応において、 G_1 は Pt/CZ-7 \rightarrow Pt/CZ-7.5 への反応第 1 段フェーズ、 G_2 は中間相 Pt/CZ-7.5 付近での第 2 段フェーズ、 G_3 は Pt/CZ-7.5 \rightarrow Pt/CZ-8 への第 3 段フェーズ、 G_4 は Pt/CZ-8 での反応終了フェーズを表している。そして、各グループに属するドメインを 3 次元空間に再描写したところ、 $G_1 \sim G_4$ が $G_1 \rightarrow G_2 \rightarrow G_3 \rightarrow G_4$ の順で、粒子の表面から内部へ伝播・進行していく様子が捉えられた。

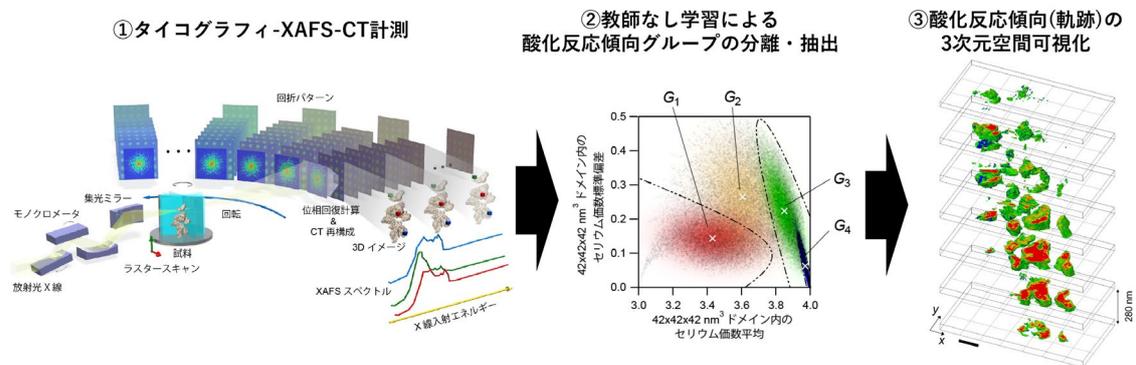


図 3 タイコグラフィ-XAFS-CT 計測とデータマイニングによる触媒材料粒子内の酸素拡散経路の可視化。

② 半田合金粒子の熔融過程のその場観察

試料の局所加熱機構の開発を行い、加熱による Sn-Bi 共晶はんだ粒子の融解過程のその場 X 線タイコグラフィ観察を行った。ヒーターは試料のマウントに用いられる Si_3N_4 薄膜メンブレンチップの透過窓の上に Pt の細線をイオンプレATING法により作製した。このヒーター付きメンブレンチップに真空雰囲気下で直流電流を印加すると、与えた電流量に応じてメンブレン透過窓部が再現性よく加熱されることが確認された。微小加熱ヒーター機構付き試料メンブレン上に、Sn-Bi 合金粒子を担持したものを観察試料として、X 線タイコグラフィ計測を行った。各試料温度で Sn-Bi 合金粒子の再構成位相像が 25 nm 空間分解能得ることができ、試料の熱ドリフトの影響を最小化する

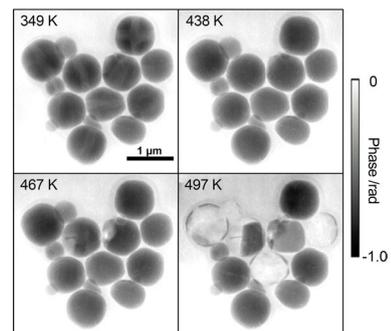


図 4 加熱条件下での Sn-Bi 合金粒子のその場 X 線タイコグラフィ再構成位相像。

ことに成功した。Sn-Bi 合金は室温付近で Bi リッチな相と Sn リッチな相が混在した共晶組織を形成することが知られており、室温での Sn-Bi 合金粒子はその共晶組織を反映した位相コントラストを示した球形になっている。試料温度を徐々に加熱していくと、349 K では粒子の球形は維持されているが、内部の共晶組織の界面の位置が動いていき、438 K で最終的に 1 つの均一な結晶相に変化する様子を観察することができた。更に加熱すると、467 K までに加熱すると粒子の球形が崩れ Sn-Bi 合金が外部へ融解していく様子を捉えることに成功した。

③ リチウムイオン電池正極材料の化学状態イメージングと機能因子の可視化

スピネル型ニッケルマンガン酸リチウム (LNMO) 粒子は高いエネルギー密度と作動電圧を有する正極活物質として注目されている。しかしながら、充放電サイクルに伴う性能劣化が実用化への大きな課題となっており、その主要因として LNMO 粒子内部のナノスケールでの構造不均一性が関連すると予想されていた。Ni 及び Mn の 2 元素の各 K 殻吸収端近傍の X 線エネルギー一点で、LNMO 粒子のタイコグラフィ XAFS 測定を行い、位相回復計算を実行することで、Ni 及び Mn の各 K 殻吸収端でそれぞれ 80 nm、60 nm の空間分解能の再構成振幅・位相画像と対応する XAFS 及び位相スペクトルを得ることに成功した。そして、再構成像から得られる XAFS 及び位相スペクトルを分析することで、Ni 及び Mn の元素組成比分布や価数分布粒子全体の電子密度分布を得た。これらの各化学状態パラメータの空間分布は、LNMO 粒子内に組成・化学状態に複数の要素が不均一に分布していることを示唆するものであった。この結果を踏まえて、これらのパラメータ間の相関性を分類抽出するために、データクラスタリングを用いて調べたところ、統計的に 3 つの相関性分布 G₁、G₂、G₃ にグループ分けすることができた。G₁、G₂、G₃ 各グループのもつ相関関係を注視すると、それぞれ規則型、不規則型、不純物相と予想される構造分布をもち、主成分である G₁ 粒子中心部、その他は粒子が外郭部に分布する傾向があるということが示唆された。

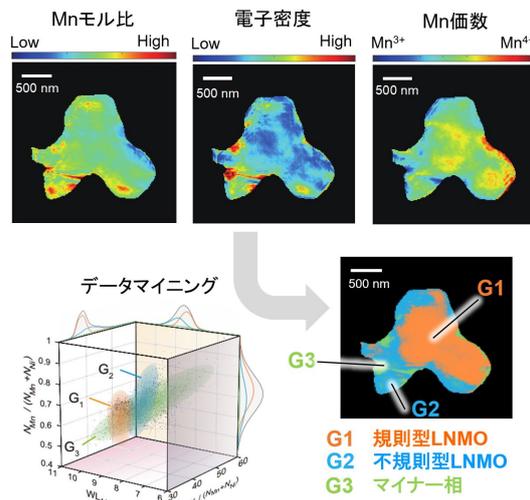


図5 スピネル型 LNMO 粒子の化学状態イメージ(上)とデータクラスタリングによる分類・抽出により得られた相関グループの 2次元実空間内の分布図(下)。

④ 含硫黄高分子材料の硫黄化学状態イメージング

テNDER-X 線領域のタイコグラフィ計測システムによる硫黄化学状態イメージングの実証実験として、リチウム硫黄電池の正極材料として新たに開発された含硫黄高分子材料硫黄変性ポリブチルメタクリレート (主要構成元素：硫黄、炭素) の粒子を硫黄の K 吸収端 (~2.47 keV) 近傍である 2.46-2.50 keV の 30 点で計測した。走査型電子顕微鏡像と同様の形状を示す吸収像の再構成に成功したほか、吸収像より取得した空間分解 X 線吸収スペクトルが試料粉末から得られた参照スペクトルと相似形状を示したことから、計測精度の高さを確認できた。粒子内の元素分布や化学状態について詳細に解析するため、位相シフト量や空間分解 X 線吸収スペクトル中の硫黄-硫黄 (S-S) 結合と硫黄-炭素 (S-C) 結合の量を反映するピーク強度を硫黄量で規格化し、二次元的にマッピングした。これらの分布は粒子の中心付近ほど炭素が多く、表面付近ほど硫黄が多い傾向を示唆しており、この結果は電子顕微鏡により得られた別粒子の断面における元素分布とも整合していた。

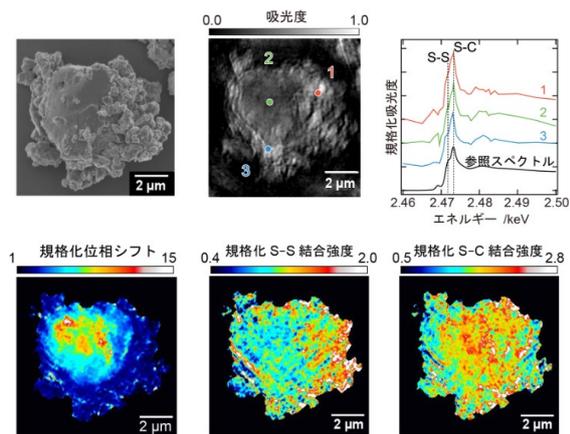


図6 テNDER-X 線タイコグラフィによる含硫黄高分子粒子の測定結果。

以上のように、大型放射光施設 SPring-8 の複数のビームラインにおいて、触媒材料、電池材料、半田材料など様々な実用材料の微細構造と機能の相関解明に関する応用研究を推進することで、多次元 X 線タイコグラフィを活用する放射光顕微分光イメージングのプラットフォームが構築された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Ishiguro Nozomu, Takahashi Yukio	4. 巻 55
2. 論文標題 Method for restoration of X-ray absorption fine structure in sparse spectroscopic ptychography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Crystallography	6. 最初と最後の頁 929 ~ 943
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S1600576722006380	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 Abe Masaki, Kaneko Fusae, Ishiguro Nozomu, Kubo Tatsuya, Chujo Fumiya, Tamenori Yusuke, Kishimoto Hiroyuki, Takahashi Yukio	4. 巻 126
2. 論文標題 Visualization of Sulfur Chemical State of Cathode Active Materials for Lithium/Sulfur Batteries by Tender X-ray Spectroscopic Ptychography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 14047 ~ 14057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c02795	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 Uematsu Hideshi, Ishiguro Nozomu, Abe Masaki, Takazawa Shuntaro, Kang Jungmin, Konuma Itsuki, Yabuuchi Naoaki, Takahashi Yukio	4. 巻 25
2. 論文標題 Nanoscale domain imaging of Li-rich disordered rocksalt-type cathode materials with X-ray spectroscopic ptychography	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 3867 ~ 3874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CP04087E	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 籠島 靖, 上杉 健太郎, 亀島 敬, 高橋 幸生, 武市 泰男, 竹内 晃久, 原田 哲男, 松本 浩典, 三村 秀和, 矢代 航	4. 巻 51
2. 論文標題 X線・極端紫外光における真の回折限界に向けて	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 光学	6. 最初と最後の頁 167 ~ 168
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 高橋幸生	4. 巻 6
2. 論文標題 X線タイコグラフィによる三次元微細構造イメージング	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 光技術コンタクト	6. 最初と最後の頁 24 ~ 29
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 高橋 幸生, 阿部 真樹, 石黒 志, 金子 房恵, 岸本 浩通, 松本 崇博, 工藤 統吾, 初井 宇記, 為則 雄祐	4. 巻 27
2. 論文標題 長期利用課題報告 テンダーX線タイコグラフィの基盤技術開発とその応用展開	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SPRing-8/SACLA利用者情報	6. 最初と最後の頁 336 ~ 341
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 Umatsu Hideshi, Ishiguro Nozomu, Abe Masaki, Takazawa Shuntaro, Kang Jungmin, Hosono Eiji, Nguyen Nguyen Duong, Dam Hieu Chi, Okubo Masashi, Takahashi Yukio	4. 巻 12
2. 論文標題 Visualization of Structural Heterogeneities in Particles of Lithium Nickel Manganese Oxide Cathode Materials by Ptychographic X-ray Absorption Fine Structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 5781 ~ 5788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c01445	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 Abe Masaki, Kaneko Fusae, Ishiguro Nozomu, Kudo Togo, Matsumoto Takahiro, Hatsui Takaki, Tamenori Yusuke, Kishimoto Hiroyuki, Takahashi Yukio	4. 巻 28
2. 論文標題 Development and application of a tender X-ray ptychographic coherent diffraction imaging system on BL27SU at SPring-8	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Synchrotron Radiation	6. 最初と最後の頁 1610 ~ 1615
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S1600577521006263	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 ISHIGURO Nozomu, TAKAHASHI Yukio	4. 巻 87
2. 論文標題 Visualization of Material Functions through Collaboration between X-Ray Spectro-Ptychography and Data Science	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society for Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 7_597 ~ 7_600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.87.7_597	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 Ishiguro Nozomu, Higashino Takaya, Hirose Makoto, Takahashi Yukio	4. 巻 26
2. 論文標題 Nanoscale Visualization of Phase Transition in Melting of Sn-Bi Particles by In situ Hard X-ray Ptychographic Coherent Diffraction Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microscopy and Microanalysis	6. 最初と最後の頁 878 ~ 885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1431927620024332	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 広瀬真, 高橋幸生	4. 巻 48
2. 論文標題 X線タイコグラフィによるX線吸収微細構造のナノスケール計測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 414 ~ 418
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 Hirose Makoto, Shimomura Kei, Higashino Takaya, Ishiguro Nozomu, Takahashi Yukio	4. 巻 27
2. 論文標題 Nanoscale determination of interatomic distance by ptychography-EXAFS method using advanced Kirkpatrick-Baez mirror focusing optics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Synchrotron Radiation	6. 最初と最後の頁 455 ~ 461
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S1600577519017004	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 Hirose Makoto, Higashino Takaya, Ishiguro Nozomu, Takahashi Yukio	4. 巻 28
2. 論文標題 Multibeam ptychography with synchrotron hard X-rays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 1216 ~ 1216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.378083	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 Hirose Makoto, Ishiguro Nozomu, Shimomura Kei, Nguyen Duong-Nguyen, Matsui Hirosuke, Dam Hieu Chi, Tada Mizuki, Takahashi Yukio	4. 巻 2
2. 論文標題 Oxygen-diffusion-driven oxidation behavior and tracking areas visualized by X-ray spectro-ptychography with unsupervised learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-019-0147-y	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 Kei Shimomura, Makoto Hirose, Takaya Higashino, Yukio Takahashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Multislice imaging of integrated circuits by X-ray ptychography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microscopy and Microanalysis	6. 最初と最後の頁 24-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1431927618012552	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 Makoto Hirose, Nozomu Ishiguro, Kei Shimomura, Hirosuke Matsui, Mizuki Tada, Yukio Takahashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Nanoscale Chemical Imaging of Three-Way Catalyst Pt/Ce2Zr20x particles by Ptychographic-XAFS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microscopy and Microanalysis	6. 最初と最後の頁 12-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1431927618012497	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 Kei Shimomura, Makoto Hirose, Takaya Higashino, Yukio Takahashi	4. 巻 26
2. 論文標題 Three-dimensional iterative multislice reconstruction for ptychographic X-ray computed tomography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 31199-31208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.26.031199	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 -

[学会発表] 計82件 (うち招待講演 45件 / うち国際学会 26件)

1. 発表者名 阿部真樹、金子房恵、石黒志、為則雄祐、岸本浩通、高橋幸生
2. 発表標題 テングラフイの開発と硫黄化学状態ナノイメージングへの応用
3. 学会等名 SPRUC研究会「コヒーレント構造科学研究会」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阿部真樹、金子房恵、石黒志、久保達也、中条文哉、為則雄祐、岸本浩通、高橋幸生
2. 発表標題 テングラフイによるリチウム硫黄電池正極の硫黄化学状態イメージング
3. 学会等名 第36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 2023年

1. 発表者名 上松英司、石黒志、阿部真樹、高澤駿太郎、姜正敏、小沼樹、藪内直明、高橋幸生
2. 発表標題 硬X線スペクトロタイコグラフィによるLi過剰不規則岩塩型酸化物のLi脱離反応分布の可視化
3. 学会等名 第36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 2023年

1. 発表者名 石黒志、高橋幸生
2. 発表標題 Kramers-Kronig関係の性質を利用したスパースX線スペクトロタイコグラフィの提案
3. 学会等名 第36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 2023年

1. 発表者名 佐々木雄平、戸塚務、石黒志、上松英司、高澤駿太郎、山本和生、入山恭寿、高橋幸生
2. 発表標題 X線スペクトロタイコグラフィによる薄膜型全固体電池のオペランド化学状態イメージング
3. 学会等名 第36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 2023年

1. 発表者名 金子房恵、阿部真樹、石黒志、久保達也、中条文哉、工藤統吾、松本崇博、初井宇記、為則雄祐、岸本浩通、高橋幸生
2. 発表標題 テンダーX線タイコグラフィを用いたリチウム硫黄電池の化学状態の可視化
3. 学会等名 SPring-8シンポジウム2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 コヒーレント光で拓くナノの世界
3. 学会等名 第14回日本放射光学会 放射光基礎講習会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石黒志
2. 発表標題 X線スペクトロタイコグラフィによる機能性材料粒子のナノ化学イメージング
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第78回学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nozomu Ishiguro
2. 発表標題 Chemical States Visualization of Cathode Active Materials by X-ray Spectroscopic Ptychography
3. 学会等名 47TH INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXPOSITION ON ADVANCED CERAMICS AND COMPOSITES (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hideshi Uematsu, Nozomu Ishiguro, Masaki Abe, Syuntaro Takazawa, Syuntaro Takazawa, Jungmin Kang, Itsuki Konuma, Naoaki Yabuuchi, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Chemical Imaging of Li-rich Disordered Rocksalt-type Vanadium Oxide Particles Using Hard X-ray Spectroscopic Ptychography
3. 学会等名 47TH INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXPOSITION ON ADVANCED CERAMICS AND COMPOSITES (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Towards high-resolution coherent X-ray diffraction imaging at NanoTerasu
3. 学会等名 The 2nd Workshop on Novel Application of Next Generation Synchrotron Facility (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Visualization of nanoscale structures and chemical states by coherent X-ray diffraction imaging
3. 学会等名 The 6th QST International Symposium “ Innovation in Science and Technology from NanoTerasu (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukio Takahashi, Nozomu Ishiguro
2. 発表標題 Development and Application of X-ray Spectroscopic Ptychography Towards the Use of NanoTerasu BL10U
3. 学会等名 Asia Oceania International Conference on Synchrotron Radiation Instruments 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuhei Sasaki, Tsutomu Totsuka, Nozomu Ishiguro, Hideshi Uematsu, Syuntaro Takazawa, Kazuo Yamamoto, Yasutoshi Iriyama, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development of Operando Imaging Method of Thin-Film All-Solid-State Batteries by X-ray Spectroscopic Ptychography
3. 学会等名 Asia Oceania International Conference on Synchrotron Radiation Instruments 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaki Abe, Fusae Kaneko, Nozomu Ishiguro, Togo Kudo, Takahiro Matsumoto, Takaki Hatsui, Yusuke Tamenori, Hiroyuki Kishimoto, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development of Tender X-ray Ptychography Measurement System and Its Application to Sulfur Chemical State Imaging
3. 学会等名 Asia Oceania International Conference on Synchrotron Radiation Instruments 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Recent progress in coherent diffraction imaging at SPring-8
3. 学会等名 CMSWS1 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development of coherent diffraction imaging technique and its application to nanoscale visualization of catalyst material
3. 学会等名 Post Symposium of TOCAT9 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nozomu Ishiguro
2. 発表標題 Nano-scale Chemical State Visualization of Functional Materials Using Hard X-ray Spectroscopic Ptychography
3. 学会等名 Coherence 2022: International Conference on Phase Retrieval and Coherent Scattering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shuntaro Takazawa, Jungmin Kang, Masaki Abe, Hideshi Uematsu, Nozomu Ishiguro, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development and application of single-frame coherent X-ray diffraction imaging using triangular aperture
3. 学会等名 Coherence 2022: International Conference on Phase Retrieval and Coherent Scattering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaki Abe, Fusae Kaneko, Nozomu Ishiguro, Togo Kudo, Takahiro Matsumoto, Takaki Hatsui, Yusuke Tamenori, Hiroyuki Kishimoto, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development of Tender X-ray Spectroscopic Ptychography Mesasurement System and Its Application to Sulfur Chemical State Imaging of Sulfur-Containing Polymer
3. 学会等名 XRM 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideshi Uematsu, Nozomu Ishiguro, Masaki Abe, Shuntaro Takazawa, Jungmin Kang, Itsuki Konuma, Naoaki Yabuuchi, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Ptychography-XAFS Imaging of Li-excess Rock-salt Type Vanadium Oxide Particles Synthesized by Mechanical Milling
3. 学会等名 XRM 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development and Application of Spectroscopic Ptychography in Hard and Tender Energy Ranges at SPring-8
3. 学会等名 XRM 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上松英司、石黒志、阿部真樹、高澤駿太郎、姜正敏、細野英司、大久保将史、高橋幸生
2. 発表標題 タイコグラフィXAFS法により可視化した蓄電固体材料の化学状態不均一性
3. 学会等名 第24回XAFS討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部真樹、金子房恵、石黒志、工藤統吾、松本崇博、初井宇記、為則雄祐、岸本浩通、高橋幸生
2. 発表標題 テンダー-X線タイコグラフィの基盤技術開発と硫黄高分子材料観察への応用
3. 学会等名 SPring-8シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部真樹、金子房恵、石黒志、工藤統吾、松本崇博、初井宇記、為則雄祐、岸本浩通、高橋幸生
2. 発表標題 テンダー-X線スペクトロタイコグラフィの開発と含硫黄高分子粒子の化学状態イメージング
3. 学会等名 第35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 2022年

1. 発表者名 Nozomu Ishiguro
2. 発表標題 Nano-scale Chemical State Visualization of Functional Materials Using Ptychography-XAFS
3. 学会等名 XOPT 2021: International Conference on X-ray Optics and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideshi Uematsu, Nozomu Ishiguro, Eiji Hosono, Masaki Abe, Shuntaro Takazawa, Jungmin Kang, Masashi Okubo, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Visualization of Structural Heterogeneities in Spinel Lithium Nickel Manganese Oxide Particle by Ptychography-XAFS
3. 学会等名 XAFS 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Mesoscale Chemical State Visualization Using X-ray Spectro-Ptychography
3. 学会等名 VASSCAA-10 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nozomu Ishiguro, Yukio Takahashi
2. 発表標題 In Situ Visualization of Chemical States in Functional Materials Using X-ray Ptychography Imaging
3. 学会等名 Pacifichem 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development and application of spectroscopic ptychography in the tender and hard X-ray regions at SPring-8
3. 学会等名 14 th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation(SRI2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaki Abe, Fusae Kaneko, Nozomu Ishiguro, Yusuke Tamenori, Hiroyuki Kishimoto, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development of Tender X-ray Ptychography Measurement System
3. 学会等名 14 th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation(SRI2021)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideshi Uematsu, Nozomu Ishiguro, Masaki Abe, Shuntaro Takazawa, Jungmin Kang, Eiji Hosono, Masashi Okubo, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Visualization of Chemical State in Spinel Lithium Nickel Manganese Oxide Particle by X-ray Spectro-Ptychography
3. 学会等名 14 th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation(SRI2021)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石黒志、高橋幸生、細野英司、大久保將史
2. 発表標題 タイコグラフィXAFS法による充放電過程におけるチタン酸リチウム粒子の化学状態可視化
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石黒志
2. 発表標題 X線イメージングと分光の組み合わせによる機能性材料系の化学状態解析
3. 学会等名 第12回日本放射光学会 放射光基礎講習会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石黒志
2. 発表標題 タイコグラフィXAFS計測による物質構造-機能関連の空間可視化
3. 学会等名 第3回日本表面真空学会若手部会研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 X線タイコグラフィによるナノ構造可視化の新展開
3. 学会等名 第51回セミコンファレンス・第33回若手の会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上松英司、石黒志、阿部真樹、高澤駿太郎、姜正敏、細野英司、大久保将史、高橋幸生
2. 発表標題 硬 X 線タイコグラフィ XAFS 法による $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 正極活物質粒子の化学状態可視化
3. 学会等名 第34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 2021年

1. 発表者名 阿部真樹、金子房恵、石黒志、為則雄祐、岸本浩通、高橋幸生
2. 発表標題 テンドーX線領域におけるタイコグラフィ法の開発
3. 学会等名 第34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 2021年

1. 発表者名 石黒志
2. 発表標題 コヒーレントX線の最先端利用～タイコグラフィ-XAFSの機能性材料解析への応用
3. 学会等名 第61回SPring-8先端利用技術ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 放射光を用いた微細構造イメージングの新展開：メソスケールでの物性を可視化する
3. 学会等名 日本素材物性学会令和2年度第2回研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development and application of Ptychography XAFS method at SPring-8
3. 学会等名 Perspectives and new opportunities for X-ray absorption spectroscopy at PETRA IV（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 XAFS-Ptychography at 4th generation storage rings
3. 学会等名 PETRA IV Workshop - Materials and Processes for Energy and Transport Technology（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nozomu Ishiguro
2. 発表標題 Nano-scale Chemical State Visualization using Ptychography-XAFS
3. 学会等名 Next Generation Spectro-Microscopy and Micro-Spectroscopy Workshop（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nozomu Ishiguro, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Nano/Meso-scale Chemical State Visualization of Functional Materials Using Ptychography-XAFS
3. 学会等名 The 4th Symposium for The Core Research Cluster for Materials Science and the 3rd Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 放射光を活用したナノスケール可視化とデータ科学との融合
3. 学会等名 第2回MI2I・JAIST合同シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 X線タイコグラフィによるナノスケール非破壊解析と次世代放射光への期待
3. 学会等名 第3回極限ナノ造形・構造物性研究会 公開講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 タイコグラフィ XAFS法による触媒粒子のナノ構造・化学状態可視化
3. 学会等名 SPring-8シンポジウム2019（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 放射光による新たな触媒のキャラクタリゼーション
3. 学会等名 触媒討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 コヒーレント回折イメージングのこの10年と今後の集光技術への期待
3. 学会等名 X線ナノ集光技術研究会 10周年記念研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石黒志
2. 発表標題 X線スペクトロタイコグラフィー法による固体触媒材料の化学状態イメージング
3. 学会等名 日本真空表面学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 X線タイコグラフィによる次世代の放射光イメージング研究
3. 学会等名 東日本合同セミナー 表面・薄膜分析シリーズ Vol.5「放射光」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 広瀬真、東野嵩也、石黒志、高橋幸生
2. 発表標題 マルチビームX線タイコグラフィによる広視野ナノイメージング
3. 学会等名 第32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 東野嵩也、広瀬真、石黒志、高橋幸生
2. 発表標題 その場X線タイコグラフィによるはんだ合金粒子の融解過程の観察
3. 学会等名 第32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 高橋幸生
2. 発表標題 コヒーレント回折イメージングとCITIUSへの期待
3. 学会等名 第32回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Future Perspective for Coherent Diffraction Visualization
3. 学会等名 1st International Forum for Next Generation SR innovation（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nozomu Ishiguro
2. 発表標題 Chemical States Visualization Using Hard X-ray Spectro-Ptychography in SPring-8
3. 学会等名 Ptycho Developer 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Hirose, Takaya Higashino, Nozomu Ishiguro, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development and application of hard X-ray spectro-ptychography
3. 学会等名 The 15th Symposium of Japanese Research Community on X-ray Imaging Optics (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nozomu Ishiguro, Makoto Hirose, Takuya Higashino, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Ptychographic Imaging Using Hard X-ray Multibeam
3. 学会等名 The 15th Symposium of Japanese Research Community on X-ray Imaging Optics
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaya Higashino, Makoto Hirose, Nozomu Ishiguro, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Observation of structural changes in melting process of Pb-Sn eutectic alloy particles by in situ X-ray ptychography
3. 学会等名 The 15th Symposium of Japanese Research Community on X-ray Imaging Optics
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nozomu Ishiguro
2. 発表標題 CHEMICAL STATE IMAGING USING HARD X-RAY SPECTRO-PTYCHOGRAPHY
3. 学会等名 APPC2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Hard X-ray spectro-ptychography: Visualization of heterogeneous oxygen storage behavior in three-way catalyst particles
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM2019) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 X線タイコグラフィによるナノ構造可視化法の開発とその応用
3. 学会等名 関西高分子同友会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 X線タイコグラフィ技術の最近の進展
3. 学会等名 SPRUC研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 情報科学を活用したコヒーレントX線イメージングの新展開
3. 学会等名 第10回放射光学会若手研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 広瀬真、石黒志、下村啓、松井公佑、唯美津木、高橋幸生
2. 発表標題 タイコグラフィXAFSによる三元触媒Pt/Ce2Zr20x粒子の酸化状態ナノイメージング
3. 学会等名 第21回XAFS討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 X線スペクトロタイコグラフィによるナノ構造・化学状態の可視化
3. 学会等名 第7回実用スピントロニクス新分野創成研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 情報科学を活用した次世代のコヒーレントX線イメージング
3. 学会等名 第2回 計測とデータ科学の協奏（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 次世代放射光源で切り拓くコヒーレント回折イメージングの未来
3. 学会等名 東京大学物性研究所、短期研究会 軟X線放射光科学のアップシフト（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 コヒーレントX線によるナノ構造可視化の新展開
3. 学会等名 フロンティアソフトマター開発専用ビームライン産学連合体 第8回研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀬戸洋介、下村啓、広瀬真、東野嵩也、高橋幸生
2. 発表標題 Advanced KB ミラー集光光学系を利用した X 線タイコグラフィの高安定測定システムの開発
3. 学会等名 第32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 2019年

1. 発表者名 東野嵩也、下村啓、広瀬真、瀬戸洋介、高橋幸生
2. 発表標題 ランダムアレイと全変動正則化を用いた非孤立物体のコヒーレント X 線回折イメージング
3. 学会等名 第32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 2019年

1. 発表者名 広瀬真、下村啓、東野嵩也、高橋幸生
2. 発表標題 タイコグラフィ EXAFS によるナノスケール結合長決定
3. 学会等名 第32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 2019年

1. 発表者名 下村啓、広瀬真、東野嵩也、高橋幸生
2. 発表標題 マルチスライス逐次近似再構成法を利用した高分解能三次元 X 線タイコグラフィ
3. 学会等名 第32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 2019年

1. 発表者名 高橋幸生
2. 発表標題 次世代放射光を活用した可視化で加速するデータ科学との融合
3. 学会等名 多元物質科学研究所次世代放射光セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development and application of high-resolution hard X-ray spectro-ptychography
3. 学会等名 2018 MRS Spring meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development and application of high-resolution X-ray ptychography using total-reflection focusing mirrors
3. 学会等名 SRI2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Hirose, Nozomu Ishiguro, Kei Shimomura, Hiroshige Matsui, Mizuki Tada, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Development and application of hard X-ray spectro-ptychography using Kirkpatrick-Baez mirrors
3. 学会等名 SRI2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Hirose, Nozomu Ishiguro, Kei Shimomura, Hiroshige Matsui, Mizuki Tada, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Three-dimensional chemical imaging of oxygen storage and release particles by hard X-ray spectro-ptychography
3. 学会等名 Coherence 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kei Shimomura, Makoto Hirose, Takaya Higashino, Yukio Takahashi,
2. 発表標題 Multislice observation of integrated circuits by X-ray ptychography
3. 学会等名 Coherence 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Hirose, Nozomu Ishiguro, Kei Shimomura, Hirosuke Matsui, Mizuki Tada, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Nanoscale Chemical Imaging of Three-Way Catalyst Pt/Ce2Zr2Ox Particles by Ptychographic-XAFS
3. 学会等名 The 14th International Conference on X-ray Microscopy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kei Shimomura, Makoto Hirose, Takaya Higashino, Yukio Takahashi
2. 発表標題 Multislice Imaging of Integrated Circuits by X-ray Ptychography
3. 学会等名 The 14th International Conference on X-ray Microscopy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukio Takahashi
2. 発表標題 X-ray spectro-ptychography: Next-generation synchrotron imaging
3. 学会等名 ACSIN-14 and ICSPM26 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/takahashi-y/html/index.html 東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター 高橋幸生研究室

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	石黒 志 (Ishiguro Noaomu) (20752455)	東北大学・国際放射光イノベーション・スマート研究センター・助教 (11301)	

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1件

国際研究集会 The 15th Symposium of Japanese Research Community on X-ray Imaging Optics	開催年 2019年～2019年
---	--------------------

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