

令和 2 年 7 月 12 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02018

研究課題名(和文) 絵画の保存修復のための最先端非破壊分析技術の開発

研究課題名(英文) Development of analytical techniques for the conservation and restration of paintings

研究代表者

中井 泉 (NAKAI, Izumi)

東京理科大学・理学部第一部応用化学科・教授

研究者番号：90155648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：色材の分析で最も信頼できる物質情報を与える、絵画分析に適した世界最先端のポータブル粉末X線回折計と、日本画の染料の分析に有用な光分析装置を開発した。その応用として小布施の北斎館に収蔵の葛飾北斎の浮世絵、男浪、女浪の実地分析を行って、色材の概要を明らかにし、成果はNHKでTV放映された。優れた回折計の開発により、ノルウエーのオスロ国立美術館に招待され、開発した回折計を用いて、世界的な名画、ムンクの「叫び」を分析しムンクが用いた色材について、重要な知見を与えることができた。さらに放射光を使った絵画の透過イメージング法を開発し、大原美術館のマティスの絵を分析し、塗り込められた下絵を解き明かした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は文化財の保存修復に役立つポータブル分析装置の開発および放射光分析技術の開発である。絵画などの文化財は人類の貴重な財産であり、それを守り、理解するのに役立つ非破壊分析技術・装置の開発と、北斎やムンクの著名な作品への応用研究は社会的に大きな意義がある。開発した回折計のX線管の交換方式は独創的であり、国際的にも高く評価されている。放射光を使って絵画を分析するのは本邦初の研究であり、層状構造をもつ油彩画の解析に適した、新しい原理に基づく絵画の分析技術の開発と世界的名画への応用は、学術的にも大きな意義がある。

研究成果の概要(英文)：We have developed the world's most advanced portable X-ray powder diffractometer suitable for painting analysis, which provides the most reliable material information in the analysis of coloring materials, and the UV-vis absorption/fluorescence spectrometer suitable for the analysis of dyes in Japanese paintings. As an application, we performed a field analysis of Ukiyoe, Onami and Menami of Katsushika Hokusai, which are stored in the Hokusai-kan, Obuse. Invited to the Oslo National Museum in Norway because of the development of our high performance diffractometer, we analyzed the world famous painting Munch's "scream" using the developed diffractometer, and made important findings about the coloring material used by Munch. In addition, we developed an imaging method for paintings using synchrotron radiation. We successfully analyzed Matisse's paintings from the collection of the Ohara Museum of Art, and revealed hidden paintings.

研究分野：文化財科学

キーワード：絵画分析 その場分析 分析装置開発 大原美術館 ポータブルUV-vis分光計 ポータブル粉末X線回折計 絵画の放射光イメージング 葛飾北斎

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) ポータブル分析装置の開発と絵画分析への応用

歴史的な文化財の絵画の分析は、日本は欧米に比べて非常に遅れている。それは、日本では油彩画の分析を専門に行う理系の研究者が皆無であることが最大の原因と思われる。研究代表者は、文化財の分析は、西アジアの考古資料の分析が中心であったが、2011年に岡本太郎の絵を分析する機会に恵まれ、引き続き尾形光琳の「紅白梅図屏風」の分析を行い、絵画の分析に日本で初めてポータブル X 線回折計を開発導入することで、きわめて有用な知見が得られることを実証した。これらの背景を元に、絵画の分析装置の開発と応用に興味をもつようになった。

(2) 日本画の分析では有機染料の分析が重要で光スペクトルが使われるが、可搬性に富むポータブル分析装置の開発は行われていなかったため、本研究の開発項目に加えて、研究をすすめた。

(3) 放射光 X 線分析の絵画への応用

絵画の分析に放射光を使うことで、通常の X 線では得られない魅力ある情報が得られることから欧米では盛んに応用されているが日本では手つかずの状態であった。

2. 研究の目的

美術館で所蔵されている絵画は、年月とともに保存修復が必要となる。絵の具は一種の化学薬品であり、常に反応・変質・劣化しており、当初どのような絵の具が使われ、現在どのように変質しているかを知ることは、保存修復において重要な課題である。また油彩画は層状構造をもち、キャンバスに塗こめられた絵にも興味がある。本研究はそのような情報を非破壊で高精度に計測する技術の開発である。本研究では国際水準の絵画分析のための先端的ポータブル分析装置並びに放射光を用いた X 線分析技術を開発し、保存修復の専門家と協力して実際の絵画・壁画の分析手法のスタンダードを構築することを目的として以下の研究を行った。

(1) 絵画の分析に適したポータブル粉末 X 線回折計の開発と応用

本研究では、文化財一般の分析装置として我々が開発した装置では、絵画分析に必要な低角度側の回折情報が得られないために、Cu X 線源を Cr X 線源にその場で変更できるポータブルの粉末 X 線回折装置を開発することをめざした。

(2) 絵画の色材の分析のためのポータブル紫外可視吸収・蛍光分光分析装置の開発と応用

XRD が適用できない、有機染料の分析に有用で、日本画の分析に欠かすことができない手法の開発である。本研究では北斎の肉筆画の分析で威力を発揮した。

(3) 放射光 X 線吸収端差分法による絵画の透過 X 線イメージング法の開発と応用

欧米では、放射光 X 線分析による絵画の分析が進んでいるが日本では著しく遅れていることから、独自の X 線吸収端差分法による絵画の透過イメージング技術の開発をめざした。

3. 研究の方法

(1) 可搬型粉末 X 線回折計の開発 絵画の分析に適した、可搬型粉末 X 線回折計の開発をめざした。回折計は、ゴニオメータと小型軽量の MAGPRO™ X 線管球、SDD 検出器から構成されている。X 線源は Cu 管球と Cr 管球を容易に交換でき、角度精度がよく、可搬性に優れた軽量の装置の開発をめざした。

回折計では、試料を中心に X 線管球は時計方向に、検出器は時計方向に回転して、試料からの回折 X 線を検出するので $\theta-\theta$ 型とよばれる。絵画の分析では、試料が平面であるため、できるだけ試料に近接することが必要で、前年度の装置では $2\theta=28^\circ$ より低角側は絵にぶつかって測れない。Cu 管球を Cr 管球に交換すると、波長が長くなるので、回折角 2θ は大きくなり、Cu 管球で測れないピークが測れるようになる。 $2\theta=23^\circ$ が最大 d 値となり、Cu では 3.86\AA だが、Cr では 5.74\AA まで測定できる。例えば黄色顔料の石黄の最強線 (020 反射) は 4.8\AA なので、Cr 管球なら測定できるが、Cu 管球では 23° 以下で測定できない。Cr 管球と Cu 管球を併用できる利点は大きい。

(2) 紫外可視吸収・蛍光分光分析装置の開発 文化財へのダメージを最小限に抑えることができ、かつ汎用的に複数モードで使用可能な分光分析装置の開発をめざした。紫外可視吸収分光分析法 (UV-vis) と蛍光分光分析法に着目し、これら双方の分析が可能な可搬型装置の開発を 2013 年より開始していたので、本研究で完成をめざした。UV-vis は、実際の文化財も含めた顔料および着色剤の同定において高い有効性が報告されている。一部の有機染料は特徴的な蛍光特性を示すが、本装置は XRF や XRD、MRS では同定が困難な物質の同定を主な目的としている。

(3) 放射光 X 線吸収端差分イメージング法の開発 まず、絵画の絵具の同定をシンクロトロン X 線吸収端イメージングで実現できるか検討を加えた。ターゲット元素の吸収端の上下 100 eV の 2 つの異なるエネルギーで、2 つの吸収画像を取得し、2 つの画像を差し引くことにより、元素の分布画像が得られた。実験は兵庫県のシンクロトロン放射光施設 (SPring-8) で行った。X 線吸収端イメージングは BL20B2 で、大型の絵画を効率よく分析可能な、大きなサイズ ($12\times 1\text{cm}^2$) の単色ビームを利用して行った。実験システム (Fig. 1) は、絵画試料用の $\theta-Z$ ステージとフラットパネル検出器 ($12\times 12\text{ cm}^2$) で構成されている。

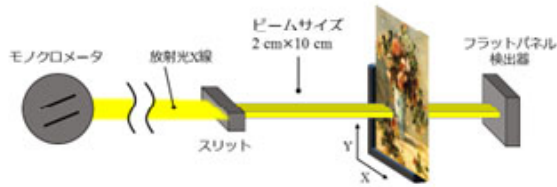


Fig.1 放射光 X 線イメージングの構成

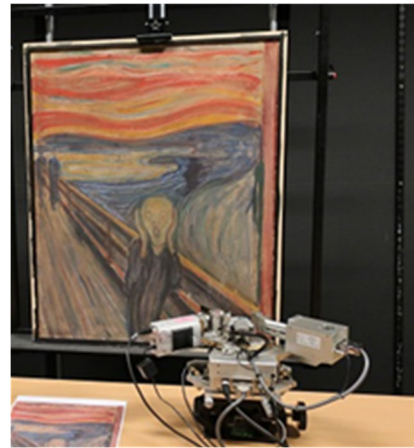


Fig.2 ムンク「叫び」と回折計

4. 研究成果

(1) ポータブル粉末 X 線回折計の開発

Fig. 2 に開発したポータブル粉末 X 線回折計の写真を示す。以下に完成した装置の仕様を紹介する。可搬型粉末 X 線回折計 PT-APXRD III は テクノエックス(株)との共同開発品である。回折計はゴニオメータ部、測定コントローラ部、制御用のノートパソコンで構成されており、持ち運ぶ際にはこれら全てをアルミニウム製のトランクケース 2 つに収めることができる。総重量は 16 kg で可搬性に優れている。X 線管のターゲットとして Cu を、検出器として SDD (silicon drift detector) を採用している。Cu 管球は、Cr 管球等に変更可能である。検出器は Cu K α 線のみを選択して検出することができるため、フィルターやモノクロメータによる X 線の単色化が不要である。X 線管球と検出器の両方が、基板上的円弧状レールに沿って、軸を中心として回転する。パルスモータで最小送り角 0.01° で駆動し、現在の角度はエンコーダで読み取っている。ゴニオメータの稼働や X 線の発生、測定の開始・終了などの操作は全てノートパソコン上の専用ソフトから行うことができる。

Fig. 2 ムンク「叫び」と回折計

(2) 可搬型の紫外可視吸収／蛍光分光分析装置の開発

開発した装置は、著者らと東京インスツルメンツ (株) との共同開発品である。完成した装置の仕様を以下に示す。本装置 (Fig. 3a) は光源・測定部・受光部の 3 つの部分から構成され、装置を組み替えることで UV-vis スペクトル測定と蛍光スペクトル測定を容易に切り替えることができる。本装置の概要を Fig. 3 にまとめた。受光部は UV-vis と蛍光分光分析で共通である。受光部の検出器には CCD 搭載のマルチチャンネル分光器を用いた (Fig. 3e)。この分光器は、測定可能な波長範囲は 200~1080 nm、分解能は 2.0 nm である。UV-vis 測定では、光源として重水素タングステンハロゲンランプを用いる (Fig. 3c)。光源の波長範囲は 50~2000 nm、最大出力は 100 W である。測定部は、試料形状や分析法に応じて透過測定用あるいは拡散反射測定用に積分球を変更することが可能である (Fig. 3d)。拡散反射用はペン型のプローブになっており、専用の遮光ホルダーに固定することも可能である。これらの光源、測定部、受光部が 600 μ m コア光ファイバーによって接続されて装置を構成する。蛍光測定では、光源と測定部を一体化させた専用の測定ヘッドを用いる (Fig. 3f)。この測定ヘッドには、励起光源として紫外、緑色、赤色 3 種類

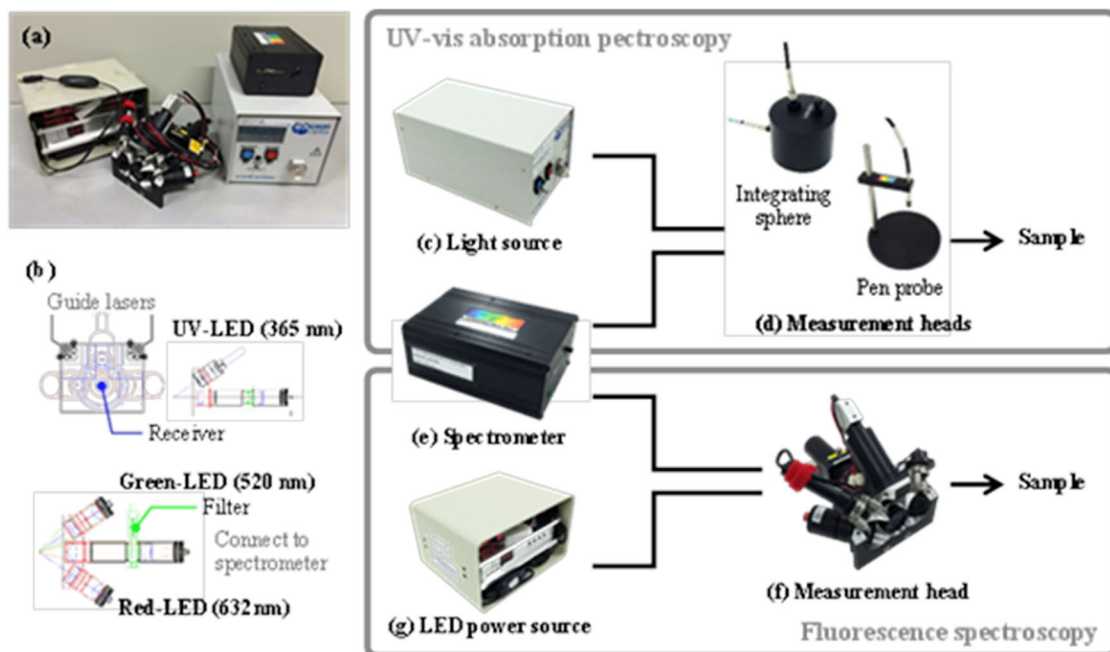


Fig.3 開発した紫外可視吸収・蛍光分光分析装置

の LED を搭載しており、これらを切り替えることで 3 種類の励起波長に対する蛍光スペクトルを測定可能である。3 種類の LED の電源は 1 つのユニットにまとめられている (Fig. 3g)。本研究では露光時間を 150 ms×10 回とし、UV-vis と同様に暗幕の利用や照明の消灯などを行った。

(3) 放射光 X 線吸収端差分イメージング法の開発

モデル試料の場合、塗布した絵の具の配置と元素の分布はよく一致しており、この方法によって絵画の素早い元素イメージングが可能であることがわかった。油彩画試料では、7.1 keV (Fe-K 吸収端) から 37.4 keV (Ba-K 吸収端) までの間で 14 元素の分析が可能であることを確認したが、今回の自作のモデル試料を用いた検証によりさらに Ni, Se, Br, Sb についても分析が可能であることが確認できた。さらに、Pb と Cd のイメージングから、描画時の筆の跡を詳細に観察することができ、2 種の絵の具を重ねて描いたのではなく、混ぜて描いたことが明らかになった。新し試みとして、化学状態によって X 線の吸収端エネルギーがケミカルシフトすることを利用し、金属銅と 1 価、2 価の酸化銅、マラカイト中の銅などの化学状態別のイメージングにも成功した。これらの基礎的研究をもとに、以下の(5)でマティスの絵画のイメージングを行った。

(4) 北斎肉筆画への応用。

開発した XRD 装置を使って、葛飾北斎 (1760-1849) の肉筆画を分析する機会をえた。我々は長野県小布施市の北斎館に本研究で開発した可搬型の粉末 X 線回折計 (p-XRD) をはじめ、蛍光 X 線分析装置 (p-XRF)・ラマン分光分析装置 (p-MRS:MiniRam)・赤外カメラなどを持ち込み、非破壊オンサイト分析を行った。

分析資料は北斎が晩年に描いた天井図「男浪」「女浪」(1845 年)と双幅の掛け軸「菊図」(1840-1849 年)である。

はじめに、青色に着目したところ、北斎が好んで用いたと言われている プルシアンブルーをはじめ、複数の青色色材の同定に成功した。次に黄色顔料のラマン分光法による分析を行い、「菊図」では当時開発されたばかりの人工黄色顔料 As-S ガラスを同定し、美術史的に新しい知見を得ることができた。さらに、複数の赤色顔料の同定にも成功し、北斎が同じ色調の顔料を使い分けていることが確認された。葛飾北斎が様々な色を用いることで鮮やかな色彩を描いていたことが、科学的に立証された。

一方、我々が開発したポータブル分光分析装置を用いて、「怒濤図」と「菊図」に使用された色材の非破壊オンサイト分析調査を実施し、その有用性を実証した。「怒濤図」においては、紫外可視吸収スペクトルにより合成青色顔料であるベロ藍と青色染料である藍の同定に成功した。また蛍光スペクトルにより、脂肪酸や紅花など、X 線分析では同定困難な有機染料についても非破壊で同定することができた。本装置で得られた成果に加えて、可搬型の蛍光 X 線分析装置や粉末 X 線回折計、顕微ラマン分光分析装置で得られた成果を組み合わせることで、晩年の北斎が肉筆画に用いた色材の実態が明らかになった。浮世絵版画の世界で活躍した北斎ならではの柔軟な発想力や高い絵画表現技術が、晩年の肉筆画制作でも現れていたと言えよう。

(5) 「ムンクの叫び」の分析

分析の対象は、エドヴァルド・ムンクによる 1893 年制作の油彩画作品「叫び」(Fig. 2:以下、本作品)である。分析調査はオスロ国立美術館内において、2018 年 1 月 22 日から同 24 日までの 3 日間で行われた。我々が (1) で開発した回折計のポータブルでゴニオメータ方式というユニークな機構が評価され、オスロ国立美術館の研究者らに招待されて分析をおこなった。本研究で使用した可搬型分析装置は、本研究で開発した Fig. 2 に示す粉末 X 線回折計 ((株) テクノエックス製 PT-APXRD-III) とポータブル蛍光 X 線分析装置 100FA、市販のポータブルラマン分光装置 (MRS: B&W TEK Inc. 製 MiniRam) である。測定は全て非破壊かつ非接触で行った。作品の表側 37 点および裏側 21 点について蛍光 X 線分析 (XRF) を行い、化学組成情報を元に顔料種を推定した。さらに、一部の点において XRD および MRS を実施して、顔料の相同定を行った。

本研究により、本作品で使用された 13 種類の顔料が同定・推定された。以下では、その代表的な成果を報告する。緑色顔料について、XRF から Cr を主成分とする物質であることが示された。当時利用された緑色顔料のうち、Cr を主成分とするものは複数存在するが、本作品に使用された緑色顔料は非晶質のものであることが XRD により明らかとなった。よって、二クロム酸塩やホウ酸の混合物を高温で熔融して得られるガラス質の合成顔料 Guignet's green であると推定された。オレンジ色顔料については、XRF により Pb と Cr の化合物であることが示された。これら 2 元素を含む暖色系の顔料として、化学式 $PbCrO_4$ で表される chrome yellow と、Pb 過剰な組成を持つ chrome orange が挙げられるが、XRD および MRS によってこれら 2 種類の顔料を混合したものであると同定された。黄色部分では XRF により Cd と S が検出され、また XRD により hawleyite (立方晶型 CdS) と greenockite (六方晶型 CdS) の双方を検出し、cadmium yellow であると同定された。青色顔料については、本研究により以下の 3 種類の顔料が同定・推定された: ultramarine blue ($Na_{8-10}Al_6Si_6O_{24}S_{2-4}$)、Prussian blue ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$)、Smalt (Co 着色ガラスの粉末)。まず ultramarine blue については、表側の人物画および背景に加え、裏側の線画でも使用されていた。また、XRF により得られた組成的特徴、および XRD のピーク位置から、ラピス・ラズリを粉砕したものではなく、人工的に合成されたものである可能性が高いと判断された。続いて Prussian blue については、表側に描かれた人物の輪郭描画において特徴的に使用さ

れていた。本作品に関する先行研究として、背景が目立たない箇所や縁周辺で微量のサンプリングが行われ、電子顕微鏡等を用いた材質同定が行われている。本研究の非破壊オンサイト分析で得られた成果は、この先行研究とも矛盾なく対応していることが確かめられ、開発したポータブル回折計の優れた性能を国際的に立証できた。

6) アンリ・マティス《マティス嬢の肖像》非破壊元素イメージング

上記(3)で開発した放射光X線吸収端差分法の応用として大原美術館所蔵アンリ・マティスの油彩画(Fig. 4)の分析をおこなった。SPring-8で、美術品としての絵画が分析されたのははじめてのことである。かねてより黒色背景下に別のイメージが存在する可能性が考えられていた作品《マティス嬢の肖像》について分析を実施し、本法の有用性を検証するとともに、背景下の別のイメージ像の取得を試みた。

分析試料は大原美術館から美術品専用トラックで放射光施設に運んだ。放射光実験は、SPring-8のBL20B2で行った。これまでと同様に、電動ステージ上に分析対象を立てて保持し(Fig. 4)、その真後ろにフラットパネルセンサ(浜松ホトニクス社製C10502D-43)を設置、放射光X線をモノクロメータで単色化後、ビーム幅約160mm×高さ6mmにスリットで成形してから試料に照射し、透過したX線を試料後方のフラットパネルセンサで検出した。試料を電動ステージによって縦方向に一定のスピードでスキャンし、得られた透過X線像を積算しつなぎ合わせることで、二次元のX線透過画像を取得し、広い面積のイメージングを可能にした。

本作は肘掛け椅子に座る人物と背景の間に明らかに両者と無関係な水色が視認でき、また同様のモチーフを描いた他の作品では海や空が背景に描かれていることから、本作においても黒色背景の下に海景が存在する可能性が考えられていた。事前に行った分析により、青色顔料としてCobalt Blue (CoAl_2O_4)、白色顔料(および体質顔料)としてLead white ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$)が推定された。黒色背景部分からは特徴的な金属元素が検出されず、カーボンブラックが使用されていると推定された。そこで、本作について、Pb-L₃吸収端でイメージングを行った(Fig. 5)。これより、現在見ることができる画面の肘掛け椅子の手すりの形状とは異なる直線的な図像や線描も多数見受けられ、現在とは異なるイメージが下層に存在している可能性が示唆された。また、人物の目の高さを境界として右側背景のみに明確なPbの濃淡が確認された。これよりマティスは黒色絵具で背景を塗りつぶす前には、人物の目の高さで背景部分の色調を変えるなどしていた可能性が明らかとなり、作者の芸術的試みを示すきわめて興味深い結果が得られ、本法の有用性が実証された。

(7) まとめと今後の展望

本研究では絵画の分析に有用な、ポータブルの粉末X線回折計、紫外可視吸収・蛍光分光分析装置と放射光分析技術の開発に成功し、国際的な美術作品でその有用性を検証できた。期待を上回る成果が得られ、当初の目標は十分に達成できたとと言える。今後は開発した装置・手法を活用しての絵画分析への広範な応用が期待される。

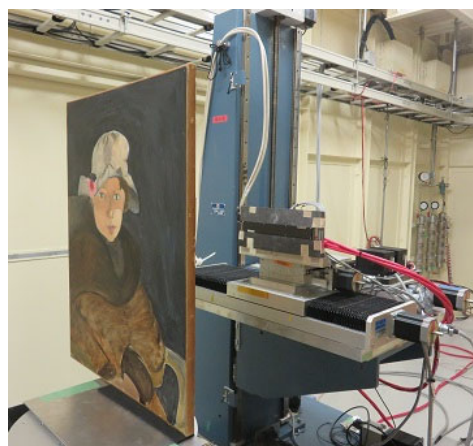


Fig.4 放射光実験のセットアップ



Fig. 5 Pb-L₃ イメージング像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Abe Yoshinari, Nakamura Ayana, Suzuki Shusaku, Tantrakarn Kriengkamol, Nakai Izumi, Zoldfoldi Judit, Pfalzner Peter	4. 巻 27
2. 論文標題 Use of variscite as a gemstone in the Late Bronze Age Royal Tomb at Qatna, Syria	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Archaeological Science: Reports	6. 最初と最後の頁 101994 - 101994
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.101994	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 赤城 沙紀, 阿部 善也, 和泉 亜理沙, 平山 愛里, 村串 まどか, 中井 泉, 下山 進	4. 巻 68
2. 論文標題 可搬型紫外可視吸収/蛍光分光分析装置の開発および葛飾北斎肉筆画の非破壊オンサイト分析への応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 519, 525
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 阿部 善也, 扇谷 依李, 和泉 亜理沙, 中井 泉	4. 巻 7
2. 論文標題 クフ王第2の船出土遺物の非破壊オンサイト分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 昌平エジプト考古学会紀要	6. 最初と最後の頁 21, 34
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 Yoshinari Abe	4. 巻 2020
2. 論文標題 Synchrotron radiation-based X-ray analysis for cultural heritage and art	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SPRING-8/SACLA Research Frontiers	6. 最初と最後の頁 -, -
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 中井 泉, 平山愛里, 阿部善也, 小野慎之介, 星野真人, 上杉健太郎, 八木直人	4. 巻 50
2. 論文標題 放射光X線吸収端差分法による絵画の透過X線イメージング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 261, 269
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 Airi Hirayama, Yoshinari Abe, Annelies van Loon, Nouchka De Keyser, Petria Noble, Frederik Vanmeert, Koen Janssens, Kriengkamol Tantrakarn, Kazuo Taniguchi, Izumi Nakai	4. 巻 138
2. 論文標題 Development of a new portable X-ray powder diffractometer and its demonstration to on-site analysis of two selected old master paintings from the Rijksmuseum	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microchemical Journal	6. 最初と最後の頁 266, 272
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 該当する

1. 著者名 Yoshinari Abe, Ryuji Shikaku, Masakazu Yamamoto, Naoto Yagi, Izumi Nakai	4. 巻 20
2. 論文標題 Ancient glassware travelled the Silk Road: Nondestructive X-ray fluorescence analysis of a fragment of a facet-cut glass vessel collected at Kamigamo Shrine in Kyoto, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Archaeological Science: Reports 20, 362-368	6. 最初と最後の頁 362, 368
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 該当する

1. 著者名 Annelies van Loon, Petria Noble, Anna Krekeler, Geert Van der Snickt, Koen Janssens, Yoshinari Abe, Izumi Nakai, Joris Dik	4. 巻 5
2. 論文標題 Artificial orpiment, a new pigment in Rembrandt's palette.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Heritage Science	6. 最初と最後の頁 -
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 該当する

1. 著者名 中井 泉, 赤城 沙紀, 平山 愛里, 村串 まどか, 阿部 善也, K. タンタラカーン, 谷口 一雄, 下山 進	4. 巻 49
2. 論文標題 新開発のポータブルX線粉末回折計による北斎肉筆画の分析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 X線分析の進歩	6. 最初と最後の頁 257, 270
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 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Giulia Sara de Vivo, Annelies van Loon, Petria Noble, Airi Hirayama, Yoshinari Abe, Izumi Nakai, Duncan Bull
2. 発表標題 An unusual pigment in 16th century Ferrara: 'Egyptian Blue' in Garofalo's Adoration of the Magi and Ortolano's St Margaret
3. 学会等名 Trading Paintings and Painters' Materials 1550-1800 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井泉
2. 発表標題 耳を澄ませば物語が聞こえる
3. 学会等名 千葉大学国際学術講演賞受賞講演 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井泉
2. 発表標題 放射光X線分析で物質史を読む、
3. 学会等名 第1回「量子ビームで歴史を探る。-加速器が紡ぐ文理融合の地平-」シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井泉
2. 発表標題 SPring-8を文化財に応用すると何がわかる
3. 学会等名 日本文化財科学会第36回大会ランチセミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井泉
2. 発表標題 文化財を分析する楽しみ いにしへのガラスの物語を聞く
3. 学会等名 日本ガラス工芸学会大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井泉
2. 発表標題 内蒙古出土のガラス器分析
3. 学会等名 内蒙古考古学最新成果学術報告会、奈良県立橿原考古学研究所講堂（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中井泉
2. 発表標題 SPring-8 の文化財科学への応用
3. 学会等名 第5回 SPring-8 文化財分析技術ワークショップ「SPring-8 を用いた文化財研究」日本文化財科学会第34回大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中井 泉
2. 発表標題 ポータブル粉末X線回折計の開発とアムステルダム国立美術館収蔵絵画のオンサイト分析」 2017年3月16日.
3. 学会等名 日本機械学会関東支部総会・講演会、東京理科大学、葛飾キャンパス、(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀口明日馨、阿部善也、塚本貴之、孝岡睦子、星野真人、上杉健太郎、八木直人、塚田全彦、中井泉
2. 発表標題 放射光X線吸収端差分法による大原美術館所蔵 アンリ・マティス マティス嬢の肖像 非破壊元素イメージング
3. 学会等名 日本文化財科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部 善也、平山 愛里、赤城 沙紀、中井 泉、Thierry Ford、Geert Van der Snickt、Frederik Vanmeert、Koen Janssens
2. 発表標題 可搬型装置を用いた非破壊オンサイト分析による ムンクの「叫び」の顔料同定
3. 学会等名 日本文化財科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 村串 まどか、阿部 善也、中井 泉、米井 善明、内田 篤呉	4. 発行年 2019年
2. 出版社 淡交社	5. 総ページ数 11
3. 書名 「科学分析からみた色絵金銀菱文重茶碗と色絵藤花文茶壺」 MOA美術館 編 『仁清 金と銀』	

1. 著者名 中井 泉、馬場慎介	4. 発行年 2017年
2. 出版社 MIHO MUSEUM	5. 総ページ数 12
3. 書名 江戸のガラスの化学組成、和ガラスの美を求めて 瓶泥舎コレクション	

1. 著者名 Izumi NAKAI	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer, Cham	5. 総ページ数 5
3. 書名 X-ray fluorescence analysis In: White W. (eds) Encyclopedia of Geochemistry. Encyclopedia of Earth Sciences Series.	

〔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	由井 宏治 (Yui Hiroharu) (20313017)	東京理科大学・理学部第一部化学科・教授 (32660)	
研究分担者	阿部 善也 (Abe Yoshinari) (90635864)	東京理科大学・理学部第一部応用化学科・講師 (32660)	
研究分担者	木島 隆康 (Kijima KijimaTakayasu) (10345340)	東京藝術大学・大学院美術研究科・教授 (12606)	

6. 研究組織（つづき）

	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	星野 真人 (Hoshino Masato) (30508461)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・利用研究促進部 門・主幹研究員 (84502)	