

平澤屏山作アイヌ絵の彩色材料の科学的調査と制作時期に関する考察

Scientific Analysis of Coloring Materials in Ainu Paintings
by Hirasawa Byozan and Estimation of Their Production Periods

古田嶋智子 (KOTAJIMA Tomoko, Dr.)

国立アイヌ民族博物館 室長補佐 (Assistant Manager, National Ainu Museum)

赤田昌倫 (AKADA Masanori, Dr.)

国立アイヌ民族博物館 研究主査 (Senior Fellow, National Ainu Museum)

大江克己 (OE Katsuki)

国立アイヌ民族博物館 研究員 (Research and Curatorial Fellow, National Ainu Museum)

霜村紀子 (SHIMOMURA Noriko)

国立アイヌ民族博物館 研究主幹 (Senior Researcher, National Ainu Museum)

要旨

本研究は、代表的なアイヌ絵師である平澤屏山の作品を対象に彩色材料の科学的調査を実施し、その結果に基づき制作時期の区分を試みたものである。屏山作品の多くは紀年銘がなく、制作時期の考証は描写や落款などに基づいて論じられてきた。本研究では、可視反射分光分析及び蛍光 X 線分析、さらに赤外線画像を用い、特に青色及び緑色の彩色に着目して彩色材料の同定を行った。その結果、一部の青色部分から合成ウルトラマリンブルー、緑色部分からエメラルドグリーンを推定した。これらの合成顔料はいずれも 19 世紀前半にヨーロッパで開発され、1860 年代には日本で流通していたことが先行研究により示されており、本研究の推定結果は対象作品が箱館開港後に制作された可能性を示唆している。ただし、制作年代の検討には、時代背景や描写、落款、基材など多くの情報を総合的に考慮する必要があるとあり、本研究の成果は、その一部として、制作時期の検討に科学的根拠を付与するものである。

キーワード：平澤屏山、アイヌ絵、彩色材料、ウルトラマリンブルー、緑色彩色材料、制作時期

Abstract

This study presents a scientific examination of coloring materials in the works of Hirasawa Byozan, a representative painter of Ainu paintings (paintings depicting the life and customs of the Ainu people), with the aim of classifying their production periods. Most of Byozan's works lack chronological inscriptions, and their dating has traditionally relied on motifs, stylistic features, and seals. In this study, visible reflectance spectroscopy, X-ray fluorescence analysis, and infrared imaging were applied, focusing on blue and green areas. Synthetic ultramarine blue was detected in several of the analyzed blue areas, and emerald green in some of the measured green areas. These synthetic pigments were developed in Europe in the early nineteenth century and had already been imported into Japan by the 1860s, as shown in previous studies.

The findings suggest that some of the examined works were likely produced after Hakodate port was opened to foreign trade in 1859. While further consideration of historical context, stylistic features, and inscriptions is necessary, this study demonstrates that pigment analysis provides scientific evidence to support the dating of Byozan's works.

Keywords: Hirasawa Byozan, Ainu paintings, coloring materials, ultramarine blue, green coloring materials, production period

1. はじめに

アイヌの人々の生活や風俗を描いたアイヌ絵は、描かれた時期のアイヌの文化や生活様式を知ることができる貴重な資料群である。なかでも、代表的なアイヌ絵師である平澤屏山（以下、屏山）（1822-1876）は、アイヌの人々と生活を共にした経験を持ち、日常の様子などを緻密に描いたことで知られる。屏山の作品は、当時来航していた外国人からも人気を博したことから、国外にも多くの作品が残されている。そのため写本も多く、作者や制作年代が明確でない作品も少なくない。また、屏山の作品には年記がないものが多い点も、作品の変遷をたどることを困難にしている。これまでに越崎（1945）や佐々木（1983、2004）、新明（2011）などにより、時代背景や作品の描写、落款などをもとに、その変遷について考察がなされている。

一方で、越崎（1959）は、屏山作品は青色の使用に特徴があることを指摘している。屏山がアイヌ絵師として活躍した箱館（現在の北海道函館市¹）は、1854年の日米和親条約に基づき開港し、1858年に締結された安政五カ国修好通商条約に基づき1859年より通商を開始した。以降、多くの資材が流通し、新しい彩色材料の入手も可能であったと考えられる。加えて、アイヌ絵が隆盛した江戸時代後期から明治時代は、合成顔料の登場など彩色材料にも大きな変化がもたらされた時期でもあった。同時期に箱館で活動していた屏山が、当時流通し始めた新しい顔料を入手していた可能性は大いに考えられた。したがって、作品に使用された材料を明らかにすることは、作品の制作時期を考察する一助となる。また、幕末期の北海道では広範な交易が行われており、そこで流通した絵画材料の実態を把握することは、同時代の国内絵画作品における彩色材料や制作技法の研究に有用な情報を提供するものである。

本研究では、国立アイヌ民族博物館の展示に際して借用した2点の屏山作品を調査する機会を得たことを契機に、同館所蔵の屏山作品3点を加えた計5点の作品を対象として、科学的情報の収集と蓄積を目的に調査を実施した。そして、屏山作品において特徴的とされる青色彩色材料や合成顔料、また緑色彩色材料の使用に着目して、作品の制作時期に関する考察を行った。

2. 平澤屏山のアイヌ絵と制作時期

『北海道史人名字彙』（河野1932）及び『大迫町史』（大迫町1979）によれば、平澤屏山は、文政5（1822）年8月10日、奥州稗貫郡大迫村（現在の岩手県花巻市大迫町）に生まれた。本名は国太郎（または助作）で、号を屏山とした。生家は大迫村の名主を務める裕福な家であったが、父、四郎兵衛の死後は生活が困窮し、弘化年間（1844-1847）には箱館に弟と共に移り住み、制作した絵馬を売って生計を立てたと伝えられている。その後、場所請負商人であった福島屋杉浦嘉七と出会い、嘉七の請負場所であるトカチ（十勝地方）やホロイズミ（日高地方幌泉郡）を訪れて、アイヌの人々と生活を共にすることもあった。そうした経験をもとに精緻に描かれた屏山のアイヌ絵は評判を呼び、多数の注文を受けるようになった。発注者には、来航した外国人も多かったとされる。明治9（1876）年、屏山は函館にて死去した。

幕末から明治時代にかけて多く描かれたアイヌ絵は、制作年代が不明な作品も多い。屏山の作品も、制作年代が示されているものは少ない。佐々木（2004）は、「わたくしがみたおよそ六十例ほどの作品の中でも、落款のあるものが数例を数えるだけであり、制作年次が判るもの（すなわち紀年銘のあるもの）についてはわずか三例のみであった」と述べている。制作年次が判る「三例」とは、『オムシャ図』（個人蔵）と『熊送り図』（個人蔵）でいずれも明治4（1871）年、『神祈り図』（個人蔵）で明治2（1869）年の作品であり、屏山の晩年期の作としている（佐々木2000、2004）。また、佐々木は、国外に所蔵される屏山作品には在銘（落款、紀年）のものがあるとして、欧米の所蔵作品を例示している。

制作時期の区分について、新明（2011）は次のように整理している。屏山が箱館に渡ったとされる弘化年間（1844-1847）から1854年の箱館開港までを初期、安政年間（1854-1859）から明治時代初期前後を中期、それ以降の作品を後期、さらに屏山の晩年の作品と認められている『蝦夷風俗十二ヶ月屏風』の成立以後を晩期とする区分である。ここで後期にあたる作品は、在銘があり制作年が1871年と明らかな『オムシャ図』と『熊送り図』及びPeabody Essex Museum蔵の『弾琴図』としている。なお、『蝦夷風俗十二ヶ月屏風』は、アイヌの風俗を旧暦の12ヶ月の各月にあわせて描いた作品であるが、『七月 鱒漁

之図』に関連する下絵に『壬申』の年紀があることから、明治5(1872)年以降の制作の可能性が示唆されている(佐々木1991、新明2011)。

また、越崎(1945)は、屏山の作品に用いられる基材には紙本が多く、絹本は初期だけではないかとして、材料から制作時期の区分について言及している。これに対して佐々木(2004)は、日本国内の屏山作品における見解であるとして、後期作品にも絹本を用いた作品は存在することを指摘している。実際、紀年銘の残されている屏山作品の多くは絹本に描かれ、それらは明治時代に入ってからのものである。これは、新明による区分では、後期に位置づけられる。

3. 平澤屏山作アイヌ絵の科学的調査

3.1 アイヌ絵と合成顔料に関する科学的調査

これまでに報告されているアイヌ絵の科学的調査事例は限られており、その一例として、朽津(2000)は、屏山のアイヌ絵作品の中で銘記により制作年代が明らかな『オムシャ図』と『熊送り図』に対する可視反射分光分析(以下、分光分析)による顔料調査を実施している。そして、両作品の青色に合成ウルトラマリンブルー(以下、ウルトラマリン²⁾)、緑色にエメラルドグリーン、赤色に朱、橙色には鉛丹が用いられていることを明らかにした。また、朽津他(2001)は、幕末から明治期の制作と考えられている函館に残るアイヌ絵を中心に分光分析及び蛍光X線分析(XRF)による顔料調査も実施し、調査対象に5点の屏山作品を含めている。調査結果から、5点の屏山作品の制作時期については、2点は箱館開港以降、1点は開港以前の可能性を示し、残りの2点は不明と区分している。制作時期を箱館開港前後に分けた根拠は、ウルトラマリンやエメラルドグリーンの検出によるところが大きい。

ウルトラマリンは1828年にフランスで開発された合成顔料であり、エメラルドグリーンは1814年にドイツで工業化された合成顔料である(Roy ed. 1993)。朽津(2002)は、制作年代が特定できる東北地方の絵馬を対象に科学的調査を実施し、ウルトラマリンは1858年の日米修好通商条約締結に象徴される「開国」に伴う輸入顔料である可能性が高いと指摘し、調査した岩手県中部の『供養絵額』におけるウルトラマリンの初出は1864年頃と推定している。島津他(2021)は、山形県に納められている仏像の彩色材料の分析を

実施し、対象とした仏像のうち、1800-1850年頃までに制作された仏像から確認されなかったウルトラマリンやエメラルドグリーンが、1862年以降に制作された仏像からは確認されていることを明らかにした。一方、佐賀藩の武雄鍋島家に伝来した、第28代領主・鍋島茂義(1800-1862)が所有していた『皆春齋御絵具』には、180種類を超える顔料が収められており、プルシアンブルーやウルトラマリンなどの輸入合成青色顔料が多数含まれていた(文化庁(2025年8月26日閲覧))。この顔料は、科学的調査からもウルトラマリンの存在が確認されている(加藤他2007)。以上より、ウルトラマリンやエメラルドグリーンといった合成顔料は、1860年代にはすでに東北地方で流通していたことが先行研究より明らかであり、ウルトラマリンについては対外貿易が行われていた長崎などの地域では、さらに早い時期に存在していた可能性が示唆されている。本研究では、こうした流入時期が明確である合成顔料が作品の制作年代を検討する上での目安となる点に着目し、屏山作品の彩色の中でも特に青色及び緑色に焦点をあてて科学的な分析を実施することとした。

3.2 基準試料及び近赤外線画像用試料

作品に使用された彩色材料の同定は、基準試料の分析データとの比較により行った。基準試料は、先行研究を参考に選定した江戸時代から明治時代にかけて日本国内の絵画や彫刻作品に用いられた顔料や染料を中心に、塗布試料を作成した。基準試料の作成では、雲肌麻紙の表面に礬砂(水、膠、明礬の割合100:10:1)を塗布し、乾燥後に顔料や染料を塗布した。材料は、市販されている製品を購入して用いた。用いた顔料と染料を以下に示す。なお、本報では、基準試料の顔料や染料名は入手時の名称を用いた。

【基準試料】

青色：群青、ウルトラマリン、プルシアンブルー、スマルト、藍(粉末藍)

緑色：緑青

緑色(混色)：石黄と緑青、石黄と藍、石黄と藤黄

赤色：辰砂、鉛丹、ベンガラ、紅花

黄色：黄土、石黄、藤黄

白色：胡粉、鉛白

青色彩色材料の同定では、近赤外線画像を用いた判別を試みた。近赤外線画像で用いる試料として、一つ

の試料の上半分には、各彩色材料と胡粉などを混ぜた具（具有）を塗布し、下半分には彩色材料のみ（具無）を塗布した。具とは、彩色材料に胡粉を混ぜる技法であり、彩色材料が持つ色の中間色を得ることができる（東京藝術大学大学院文化財保存学専攻日本画研究室編 2007）。また、下地の平滑化にも効果がある。用いた顔料及び染料を以下に示す。藍は濃度が異なる2種の試料を作成した。なお、日本画の技法に則り、白色顔料である鉛白の具は胡粉ではなく鉛白を重ね、青色顔料である群青は具有に天然白群を塗布した。材料は基準試料と同じものを用いて作成した。

【近赤外線画像用試料】

青色：群青、ウルトラマリン、プルシアンブルー、
藍（粉末藍）
白色：胡粉、鉛白

3.3 調査作品

調査を実施した屏山作とされる作品5点と調査箇

所を以下に示す³。

①『アイヌ風俗図』（岩手県立博物館蔵）、絹本着色、軸装、125.0 × 77.5 cm（図1）

印章：「平澤」（白文方印）、「屏山」（朱文方印） 関防印：「背水臨水」（朱文長方印）

本作品は、今回の調査では唯一の絹本作品である。図像は、祭壇の前に花ごぎを敷き、人々が儀礼を行う様子が描かれている。赤色や緑色を配した鮮やかな陣羽織と黒地の衣服で盛装した長老が中央に座し、赤色の腕を載せた高坏とイクパスイを手にしてしている。その傍らで、右手には踊りや手を叩く男性が、左手には女性や子供が描かれている。

多数の彩色が施された作品であり、青色は目視で確認できるだけでも、衣服の裾や背に施された切伏の黒色に近い濃い青色、子供の衣服などにみられる水色、また背景の淡い青色までと幅が広い。明るい緑色は、中央の長老が羽織る陣羽織や漆器に施されている。



図1 ①『アイヌ風俗図』（岩手県立博物館蔵）

②『蝦夷風俗十二ヶ月屏風（三月）』・『蝦夷風俗十二ヶ月屏風（四月）』（花巻市博物館蔵）、紙本着色（「三月」「四月」とも）、二曲一隻屏風、各 127.9 × 53.0 cm（図2）

印章（「三月」「四月」とも）：「平澤氏印」（白文方印）、「屏山」（朱文方印）、関防印（「三月」「四月」とも）：「背水臨水」（朱文長方印）

『蝦夷風俗十二ヶ月屏風』は、アイヌの風俗を旧暦

の「一月」から「十二月」まで各月にあわせて描いた作品で、その画風から屏山晩年の作品とされる。「三月」では、海岸の岩場で布海苔を採取している人々が描かれている。作品は基材の劣化により画面全体が茶色く変色する、いわゆる日本画の「ヤケ」という現象を呈しており、彩色もあまり残っていない。手前で布海苔を採取する女性や奥でしゃがんでいる子供の耳飾りの赤色、中央の女性の衣服の背に用いられている水色がわずかに確認できる。「四月」では、屋内で囲炉

裏を囲んでいる様子が描かれている。画面左側の女性は、樹皮衣を織るための繊維を口で柔らかくほぐしている（佐々木 2004）。囲炉裏の上には魚などが焼かれている。こちらも作品の傷みがはげしく、色数も少ない作品であるが、漆器の内側や囲炉裏の火、耳飾りに用いられている鮮やかな赤色、また左側の女性の衣服の背の切伏の青色や囲炉裏の火をのぞき込む者の衣服の柄の水色が確認できる。

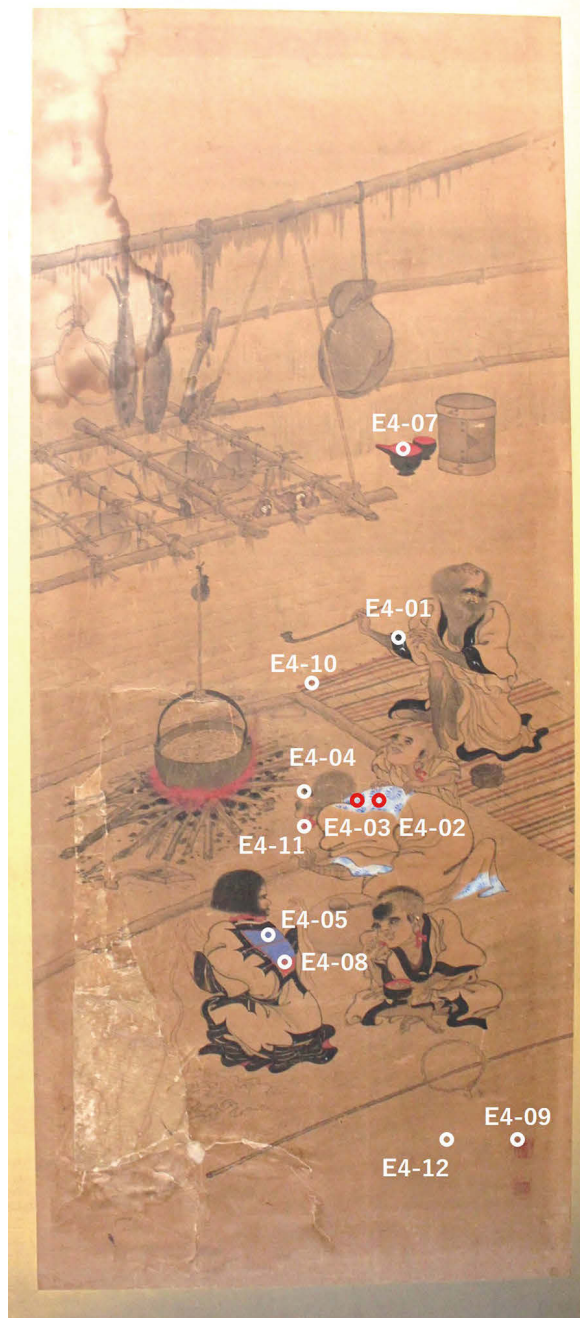


図2 ②『蝦夷風俗十二ヶ月屏風（左：三月、右：四月）』（花巻市博物館蔵）

③『アイヌ出漁図』(国立アイヌ民族博物館蔵)、紙本着色、掛軸装、62.5 × 58.7 cm (図 3)

印章：「平澤氏印」(白文方印)、「屏山」(朱文方印)
関防印：「背水臨水」(朱文長方印)

丸木舟で漁に向かう2名の男性と背景に山肌が描

かれた簡素な構成の作品である。

衣服の切伏は黒一色で、背景は淡い色彩の作品である。本作品も折ジワや画面全体にヤケが確認できる。もとより色数が少ないのか、褪色などにより残った彩色かは不明である。



図3 ③『アイヌ出漁図』(国立アイヌ民族博物館蔵)

④『蝦夷人昆布採取図』(国立アイヌ民族博物館蔵)、紙本着色、軸装、98.0 × 47.5 cm (図 4)

印章：「平澤氏印」(白文方印)、「屏山」(朱文方印)

アイヌの男性達が板綴舟から昆布を下ろし、女性達が浜で昆布を干している様子が描かれている。また、遠景や中景が詳細に描かれており、中景には崖の上に鳥居が立ち、川の向こうに会所と思われる建物が見える。海で昆布を取る人の姿も細かく描かれており、その奥に和船とみられる船も見える。アイヌの人々の衣

服の切伏は黒または濃い青色であり、その他、脚絆や一部の衣服の切伏には鮮やかな青色、海には薄い青色が用いられている。山並みには薄い緑色、樹木には濃い緑色が用いられている。

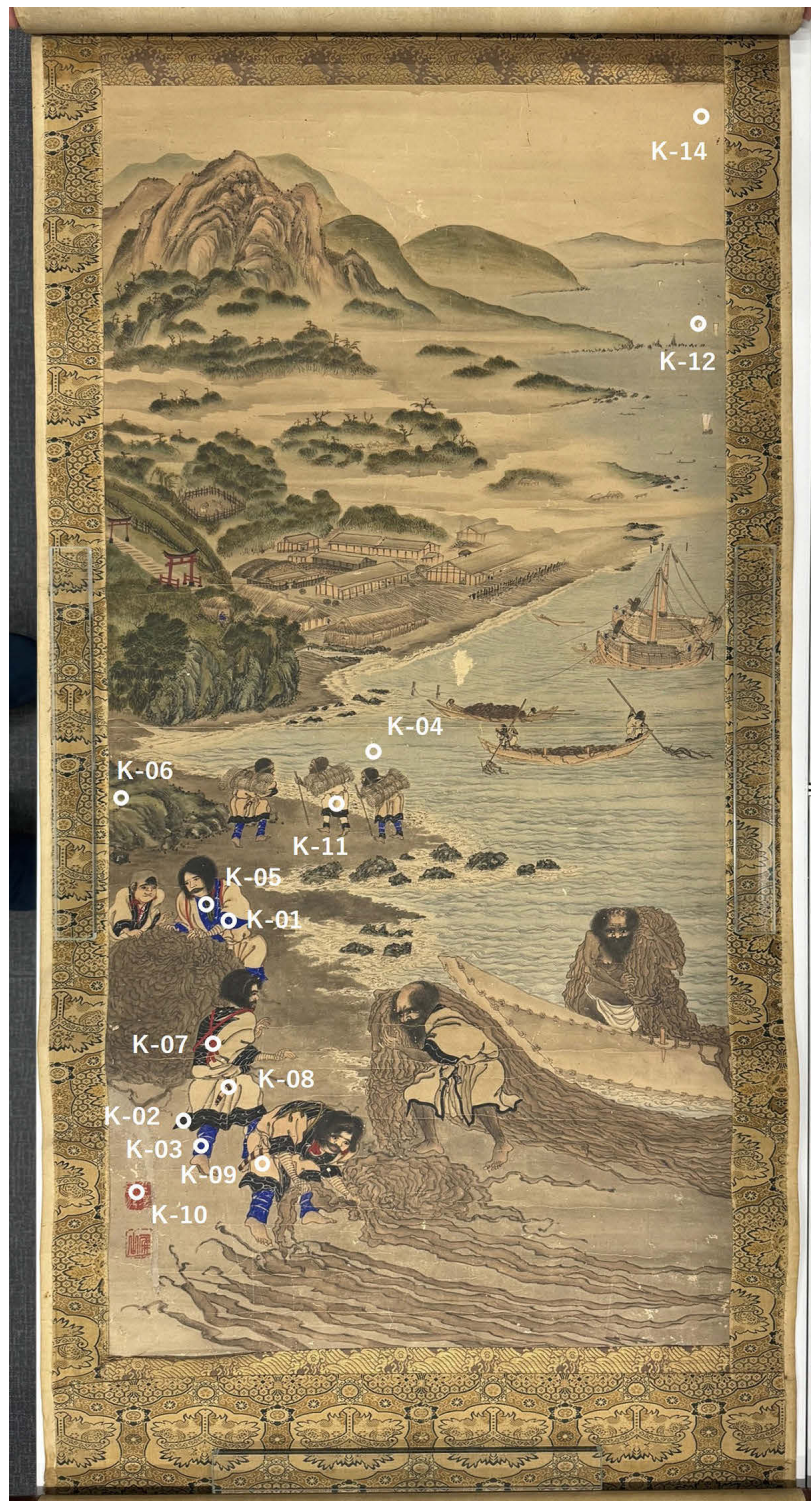


図4 ④『蝦夷人昆布採取図』(国立アイヌ民族博物館蔵)

⑤『酒宴図』(国立アイヌ民族博物館蔵)、安政2(1855)年／慶応3(1867)年、紙本着色、掛軸装62×48cm(図5)

款記：「卯秋仲日 屏山寫」印章：「平澤氏印」(白文方印)、「屏山」(朱文方印) 関防印：「印文不明」(白文長方印)

本作品は、数少ない紀年銘がある屏山作と推定される作品である。款記から考えられる制作年代としては、屏山の活動時期から没年までの卯年では1855年または1867年が該当する。画面左奥では祭壇に祈りを捧げる男性、左手前では酒を振る舞う男性がおり、画面右側では輪踊りの群衆やそれを取り巻く人々が描

かれています。この作品は色数が多く、青色では人々の衣服の切伏にみられる黒色または濃い青色や鮮やかな青色、衣服の地の色に薄い青色を配しているものがあ

る。緑色は衣服の切伏、遠景の山肌に確認できる。また、この作品では、黄色や紫色の衣服も確認できる。



図5 ⑤『酒宴図』(国立アイヌ民族博物館蔵)

3.4 調査方法

科学的調査は非破壊・非接触を原則として、基準試料と調査作品に対し、無機顔料の同定にはXRFによる元素検出を、XRFでは検出困難な軽元素を含有する顔料や有機染料の確認には分光分析を実施した。これら基準試料と調査作品の分析データを比較して彩色材料の同定を行った。基準試料の表面観察には、デジタルマイクロスコープを用いた。また、基準試料及び一部の調査作品に対して、赤外線撮影を行った。調査に用いた装置と測定条件を以下に示す。

[蛍光 X 線分析 (XRF)]

装置：ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置 Tracer 5i (BRUKER)
測定条件：X 線管球ターゲット Rh (ロジウム)、X 線照射径 3 mm、測定雰囲気：大気、測定距離 2 mm、管電圧 40 kV、管電流 8 μ A、測定時間 120 s

[可視反射分光分析 (分光分析)]

装置：ハイパースペクトルカメラ Pika XC2 (RESONON)
測定条件 1：測定距離 400 mm、測定波長 390–1000 nm、スキャンスピード 0.0158 cm/s、フレームレート 1.5、1 ピクセルのサイズ約 0.10 cm、光源キセノン
測定条件 2：測定距離 1000 mm、測定波長 390–1000 nm、スキャンスピード 0.028 cm/s、フレームレート 1.0、1 ピクセルのサイズ約 0.25 cm、光源キセノン

※測定条件 2 は、③『アイヌ出漁図』のうち 3 点の測定のみに適応。

測定では、反射率標準試料により試料の測定強度を相対的に補正した。得られたスペクトルは、補正された相対反射 (relative reflectance) として定義し、任意単位 (a.u.) で表記した。得られた反射スペクトルは、Savitzky-Golay Smoothing 法 (データ点数 39) により二次微分スペクトルとした。

[表面観察]

装置：デジタルマイクロスコープ VHX-6000 (KEYENCE)
観察条件：レンズ ZS20、落射照明、倍率 20 倍

[赤外線撮影]

GFX100IR (富士フィルム)
撮影条件：FUJI FILTER OPTICAL IR76 (760 nm)

4. 結果と考察

4.1 基準試料

基準試料の XRF による検出元素と、分光分析により得られた特徴的な反射スペクトル及び吸収波長を表 1 に示す。本結果が概ね先行研究 (朽津他 1999、吉田 2011、紀他 2022) と一致したため、これらを基準試料として用いた。全ての試料のデジタルマイクロスコープ画像は、口絵と巻末に、XRF スペクトル、反射スペクトル及び二次微分スペクトルは巻末に付記した。

表 1 基準試料の主な検出元素と特徴的な波長

| 区分 | 試料名 | 一般的な化学組成 | XRF による 主な検出元素 | 特徴的な反射 (nm) | 特徴的な吸収 (nm) |
|----|--------------|---|-------------------|----------------|----------------|
| 青色 | 群青 | $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ | Cu | 450 付近 | >510 |
| | ウルトラマリン | $\text{Na}_{6-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_{2-4}$ | N.D. | 450, >750 | 510-700 |
| | プルシアンブルー | $\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})_{14}$ | Fe | 460 | >580 |
| | スマルト | Si, K, Co などを含む | Co | <490, >700 | 540-660 付近 |
| | 藍 | 有機染料 | – | >760 | < 700 |
| 緑色 | 緑青 | $\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)$ | Cu | 530 | >600 |
| | (混色) 緑青 + 石黄 | $\text{As}_2\text{S}_3, \text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)$ | As, Cu | 560 | >650 |
| | (混色) 藍 + 石黄 | As_2S_3 、有機染料 | As | > 520, >700 | 420-450 付近 |
| | (混色) 藍 + 藤黄 | 有機染料 | – | >520, >30 | 420 付近 |

| | | | | | |
|----|------|---|------|-----------|--------|
| 赤色 | 辰砂 | HgS | Hg、S | >640 | <580 |
| | 鉛丹 | Pb ₃ O ₄ | Pb | >600 | <540 |
| | ベンガラ | Fe ₂ O ₃ | Fe | 620, 750 | <570 |
| | 紅花 | 有機染料 | — | 440, >610 | <540 |
| 黄色 | 黄土 | ケイ酸塩鉱物など複数の化合物 | Fe | 460, >580 | 500 |
| | 石黄 | As ₂ S ₃ | As | >600 | 440 付近 |
| | 藤黄 | 有機染料 | — | >600 | 430 付近 |
| 白色 | 胡粉 | CaCO ₃ | Ca | — * | — * |
| | 鉛白 | 2PbCO ₃ ·Pb(OH) ₂ | Pb | — * | — * |

Cu：銅、Fe：鉄、Co：コバルト、As：ヒ素、Hg：水銀、S：硫黄、Pb：鉛、Ca：カルシウム、N.D.：非検出、—：未測定

*本調査における分光分析では、白色は測定波長全域で非常に高い反射を示し、特徴的な反射吸収は確認できない。

4.2 青色彩色材料の判別

プルシアンブルーは少量でも濃い青色を作ることができるため、含有元素である鉄がXRFではわずかな検出、または非検出となる可能性がある。また、藍やウルトラマリンについても、材料を構成する主成分が軽元素や有機質であるため、XRFでは検出が困難である。これら三種の彩色材料の同定には、分光分析が有効である。基準試料の反射スペクトル及び二次微分スペクトルを図6に示す。反射スペクトルでは、三種とも青色を示す波長域 (< 525 nm) に一つピークが確認できる。藍は500 nm付近に小さな反射が確認され、670 nm付近から大きく上昇し760 nm以降に高い反射を示した。一方、プルシアンブルーは、460 nm付近の反射を示した後、600 nm付近に吸収が見られた。ウルトラマリンでは、450 nm付近に反射を示した後、520 nm付近に吸収が見られ、650 nm付近より再度上昇する凹型の特徴的なスペクトル形状を示した。二次微分スペクトルは、反射スペクトルの変化をより明確に示し、類似した反射スペクトル形状を持つ彩色材料や、色調が薄く変化が微弱な場合でも特徴的なピークを検出するのに有効である。三種の二次微分スペクトルを比較すると、ウルトラマリンでは460 nm付近に大きい下向きのピークが確認され、510 nm付近と700 nm付近に上向きのピークを確認した。これは、反射スペクトルにおける反射域と吸収域を示す波長と一致し、より強調された結果となっている。プルシアンブルーは、470 nm付近に小さな下向きのピーク、580 nm付近に小さな上向きのピークを確認した。藍は、720 nm付近に大きい上向きのピーク、740 nm付近に下向きのピークを示した。三種の反射スペクトルはそれぞれに特徴的な形状を有し、二次微分スペクトルではそれがより顕著に示され

ることから、三種の彩色材料の判別を可能とする。

また、青色彩色材料の別の判別方法として、近赤外線画像がある。彩色材料の近赤外線を吸収、反射する特性を利用したものである (Roy ed.1993)。例として、青色の基準試料の可視画像及び近赤外線画像を示す (図7)。一つの試料では、上半分は各彩色材料と胡粉を混ぜた具有試料であり、下半分は彩色材料のみの具無試料となる。近赤外線画像では、群青やプルシアンブルーは近赤外線を吸収するため黒色として映り、ウルトラマリンや藍は近赤外線を反射するため白色として映ることが確認できる。また、プルシアンブルー (具有) の試料上部は、近赤外線を反射する胡粉が存在していても黒色を示した。胡粉は赤外線を反射するが、各顔料の赤外線を吸収する特性が優勢となり、黒色を示したと考えられる。これは、混色においても顔料を判別できる可能性を示唆している。このように近赤外線画像は、赤外線の反射特性を利用して青色彩色材料を区別する判断材料として有効である。ただし、彩色の濃度によっても画像の濃淡は変化するため、判定には注意が必要である。

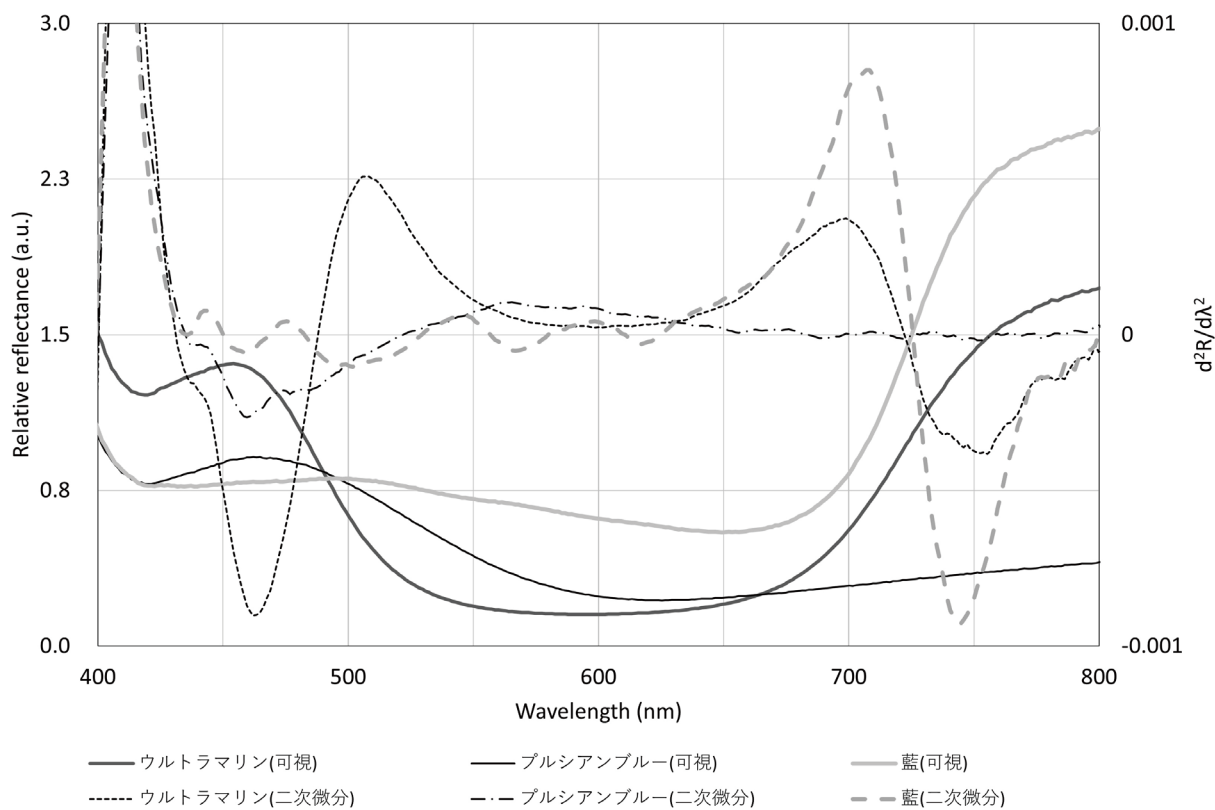


図6 反射スペクトル、二次微分スペクトル（ウルトラマリン、プルシアンブルー、藍）

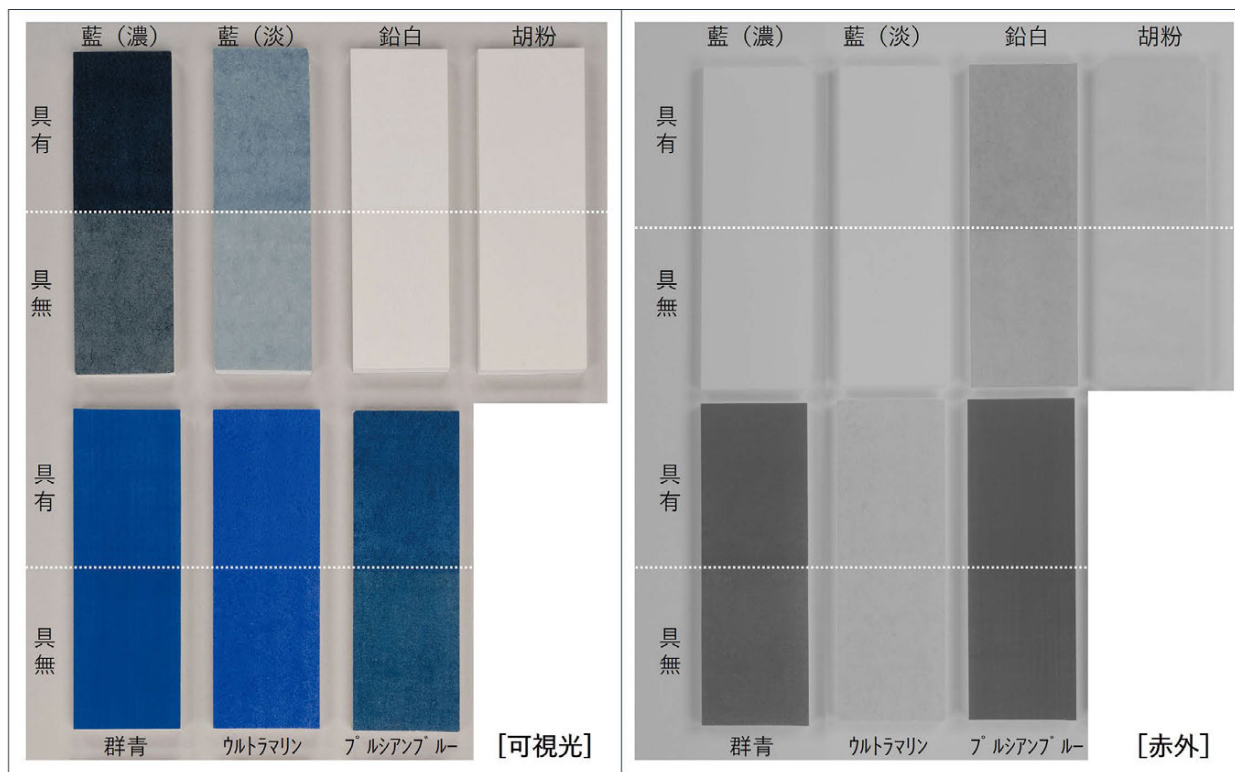


図7 各試料における可視光画像と近赤外線画像

4.3 ①『アイヌ風俗図』

測定結果に基づき推定した彩色材料を表2に示す。測定箇所は、目視観察により青色、緑色、赤色、黄色及び白色に分類した。XRFにおける元素の検出は、各作品で彩色が施されていない無地部分を測定し、無地部分より検出された元素の強度をバックグラウンドとして、彩色部分で検出された元素の強度から差し引いた値を用いて判定した。

青色：本作品では、衣服の切伏に用いられた濃い青色、衣服の水色及び少しくすんだ青色の3種類の青色を確認した。衣服模様の濃い青(F-01)は、XRFによりわずかに鉄が検出された。鉄を含有する青色顔料としては、主成分がフェロシアン化第二鉄であるプルシアンブルーが挙げられる。反射スペクトルを確認すると、色が濃いためか特徴的な反射が確認できず、670 nm付近より小さく上昇した。本作品の近赤外線画像を確認すると、F-01の測定箇所は濃い色を示した(図8)。F-01は、近赤外線を吸収する彩色材料であり、XRFにより鉄が確認されたことからプルシアンブルーが想定されたが、反射スペクトルの形状と合致しないことから特定には至っていない。

衣服や陣羽織に用いられた水色(F-02、F-03、F-05)では、F-02とF-03でXRFより主に銅とカルシウムが、F-05ではカルシウムを検出した。検出元素から推定される彩色材料として、銅を含む青色顔料では群青が、カルシウムを含む白色顔料では胡粉が挙げられる。一方で、全ての反射スペクトル及び二次微分スペクトルは、藍と類似した形状を示した。また、目視観察では水色が施されている箇所、色むらのようなものが確認できた。有機質材料である藍は、青色色素成分のインディゴが水に不溶のため、そのままでは膠液に分散しづらい。そのため、体質顔料を加えて塗りむらを軽減する(島津2021)。体質顔料となる白色顔料には、胡粉の他にもアルミナケイ酸塩を主成分とする鉱物 kaolinite ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) やケイ酸マグネシウムを主成分とする talc ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) が挙げられるが、これらの主成分であるケイ素やアルミニウム、マグネシウムはどれも軽元素のため、今回用いたXRFの測定方法では検出が困難であった。したがって、ここでは体質顔料としてXRFで検出されたカルシウムから胡粉を推定し、藍と共に用いられたと考えた。近赤外線画像では、F-05の測定箇所は白く映り、藍と胡粉とした推定と一致する。一方、F-02、

F-03はくすんだ色を呈しており、やや赤外線を吸収していることを確認した。この結果から、XRFで検出された銅を含む群青の存在が考えられた。したがって、F-02、F-03は、藍と胡粉そして群青、F-05は藍と胡粉と推定した。

衣服裾に用いられた青色(F-04)は少しくすんだ色であり、XRFではカルシウムが検出され、二次微分スペクトルの形状が藍と類似した。近赤外線画像でも、F-04は白く映っていることから藍と胡粉とした。

なお、子供の衣服の水色(F-05)の近赤外線画像では、衣服の臀部や右肩部、また袖の部分に目視ではわからなかった柄のようなものが薄く映っていることが確認できた(図9)。臀部や右肩の部分は、黒く映る切伏から連続しているようにも見える。これらのことから、先に描かれていた切伏に似た絵柄に、F-05で推定した胡粉と藍を混ぜた顔料を上塗りした可能性が考えられた。理由や手法は明らかではないが、制作過程などを検討する上で有益な事例と考える。

緑色：草に用いられた薄い緑(F-06)や陣羽織の裾(F-07)と腕(F-08)に施された鮮やかな緑色からは、XRFより主に銅、亜鉛、ヒ素が検出された。検出元素から推定される顔料として、銅を含む緑色顔料では緑青、ヒ素を含む黄色顔料では石黄、また緑色合成顔料であるエメラルドグリーン(アセト亜砒酸銅($\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$))などが挙げられる。しかし、先行研究によれば、エメラルドグリーンの銅とヒ素の検出強度比($\text{Cu-K}\alpha / \text{As-K}\alpha$)は、2:3、または1:1程度とされる(星他2003、荒井他2024)。つまり、ヒ素に対する銅の比率は、およそ0.7または1程度となり、銅の検出強度がヒ素より小さいか、同等程度である必要がある。しかし、XRFの結果は、いずれも銅の検出強度がヒ素に比べて非常に大きく一致しなかった(図10)。また、緑青と石黄の混色による基準試料も、銅の検出強度がヒ素より大きく一致しない。緑青と石黄の混色は、両者の混合配分によって検出強度が変化するが、ヒ素の検出強度を大きくするためには、ヒ素を含む石黄を多く混合する必要がある、基準試料よりも黄色みが強い緑色になることが想定され、測定箇所とは異なる色味となる可能性がある。反射スペクトルは、F-06、F-07、F-08でおおむね同じ形状を示したため、ここではF-08と緑色の基準試料として緑青、緑青と石黄の混色の反射スペクトル及び二次微分スペクトルをそれぞれ図11、図12に示す。

F-08の反射スペクトルでは、560 nm 付近に大きい反射があり、その後は670 nm 付近に吸収が確認できた。反射スペクトルの形状は緑青や緑青と石黄の混色と類似するが、ピーク位置が両試料と比較するとやや長波長側に位置していた。二次微分スペクトルでも、F-08は560 nm 付近に下向きのピークを確認し、650 nm 付近に上向きのピークが確認できた。対して、緑青の二次微分スペクトルでは530 nm 付近に下向きのピークがあり、600 nm 付近に上向きのピークが確認できた。緑青と石黄の混色では500 nm 付近になだらかな上向きのピーク、590 nm 付近にもなだらかな下向きのピークを確認した。F-08の二次微分スペクトルの形状は緑青と類似したが、ピーク位置は全体的にやや長波長側にシフトした。なお、エメラルドグリーンは、反射スペクトルで520 nm 付近に特徴的な反射を持ち、420 nm と700 nm 付近に大きな吸収を示す凸型のスペクトルである(朽津他 2001)。この特徴はF-08と類似するが、反射の位置は異なる。

早川(2009)は、銅系緑色顔料として、銅の他に亜鉛やヒ素を含む顔料の存在を示している。その顔料は、天然の緑青であるMalachiteを主構成成分として、その他にAdamite、Philipsburgiteといった鉱物が含まれており、Malachiteや天然群青のAzuriteに伴い産出されることがあるという。そして、これらの鉱物は、亜鉛やヒ素を含有している。早川による銅とヒ素の検出強度比($Cu-K\alpha/As-K\alpha$)は、およそ2-4:1、銅と亜鉛($Cu-K\alpha/Zn-K\alpha$)は1-2:1とある。つまりヒ素に対する銅の比率は2-4、亜鉛に対する銅の比率は1-2となり、銅の検出強度がヒ素や亜鉛よりも大きくなる。今回のXRFの結果から、ヒ素に対する銅の検出強度比率は、F-06で約4、F-07で約10、F-08で約12であり、亜鉛に対する銅の比率はF-06で約4、F-07で約8、F-08で約7であった。早川と比較するとF-07とF-08で強度比率がやや大きくなるが、亜鉛が検出された結果とも一致する。また、ヒ素を含有することで黄色みが増し、反射スペクトルが基準試料の緑青よりも全体的に長波長側にシフトしたと推測できる。これらの結果から、F-06、F-07及びF-08の顔料は、緑青他の複合化合物である可能性が考えられた。

人物の目(F-09、F-10)の濃い緑色からは、XRFではわずかに鉄を検出したが、同定には至っていない。

赤色：2種類の赤色が確認された。衣服(F-13、F-15)や漆器類(F-14、F-16)に用いられた鮮やかな赤色からは、XRFにより水銀が、F-13、F-14、F-16からは鉛と硫黄も共に検出された。水銀と硫黄を含む赤色顔料では辰砂が、鉛では鉛丹が想定された。基準試料の反射スペクトルでは、辰砂は580 nm 付近、鉛丹では540 nm 付近より反射が急激に上昇し、二次微分スペクトルでもそれぞれ対応するピークが確認できる。F-13、F-14、F-15では、580 nm 付近より上昇する辰砂の特徴を示しており、F-16の反射スペクトルはやや緩やかに550-560 nm 付近から上昇している。顔料を混ぜて用いた場合、反射スペクトルの波長はシフトする可能性がある。鉛が検出された測定箇所の赤色は、どれもやや黄みがかっており、彩色材料として辰砂と共に鉛丹を用い、やや黄みがかかった赤色を表現したものと推測した。耳飾りに用いられた赤色(F-17)と落款(F-11、F-18)からはXRFで水銀を、F-11、F-18ではわずかに硫黄も共に検出し、反射スペクトルでは辰砂の特徴と一致した。ござの線に用いた薄い赤色(F-12)は、反射スペクトルは辰砂と類似したが、XRFで辰砂に固有の元素が検出されなかったため、同定には至っていない。

黄色：衣服に用いられた薄い黄色(F-19、F-20)は、XRFで銅とヒ素を検出した。ヒ素を含む黄色顔料では石黄が想定される。しかし、反射スペクトルでは彩色が薄いためか特徴を得られず、同定には至っていない。漆器の模様を用いられた黄土色(F-21、F-22)からは、XRFでは主に金と水銀、また鉛が検出された。検出された元素のうち水銀と鉛は、周囲に彩色されている赤色に起因すると考えられた。同様に漆器と見られるF-14の行器の蓋裏の鮮やかな赤色に辰砂と鉛丹の使用が確認されている。このことより、F-21の模様がある漆器の赤色においても同様の顔料の使用が想定され、水銀と鉛の検出はこれらに由来すると考えられた。F-22は、模様の輪郭線に赤色が用いられていることから、F-21と同様に赤色顔料に由来する水銀と鉛を検出したと考えられた。これらの推察に基づき、黄色部分のみを選択した分光分析⁴を実施したところ、辰砂や鉛丹のスペクトルは得られなかった。したがって、黄色部分には、検出元素から金が用いられていると同定した。陣羽織の裾にみられる黄色(F-23)からは、XRFにより鉛が検出された。鉛を含む黄色顔料では、一酸化鉛である密陀

僧 (PbO) があるが、近代での事例はあまり見られない。また、明治期に開発された黄鉛 (PbCrO₄) は、近代日本画でも存在の可能性が示唆されているが (荒井他 2004)、クロムの検出が確認できないため、ここでは同定には至っていない。人物の肌の薄い茶色 (F-24) は、XRF ではわずかに鉄が検出された。反射スペクトルでは判定しづらいが、二次微分スペクトルでは 550 nm 付近に上向きのピークが、590 nm 付近に下向きのピークを確認し、赤色がもつ特徴を示した。よって、鉄を含む赤色顔料であるベンガラの可能性が

考えられた。衣服の模様の線描に用いられた黄色 (F-25、F-26) は、XRF で金を検出したことから、金と同定した。

白色：イノウ (F-27) と衣服の模様 (F-28) に用いられた白色からは、XRF によりカルシウムを検出した。あわせて、銅や金を検出したが、両者とも測定箇所が小さいため、周囲の色成分をあわせて検出したと考えられた。したがって、カルシウムを主成分とする白色顔料である胡粉と推定した。

表2 分析結果と推定彩色材料 (①『アイヌ風俗図』)

| 色み | 調査 No. | XRF による 主な検出元素 * | 分光分析による 推定彩色材料 | 推定彩色材料 | 測定部位 |
|-------|--------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|
| 濃青 | F-01 | (Fe) | 不明 | 不明 | 衣服背模様 |
| 水色 | F-02 | Ca, Cu, (Pb), (Zn) | 藍 | 胡粉、藍、群青か | 衣服裾 |
| 水色 | F-03 | Cu, Ca, (Pb) | 藍 | 胡粉、藍、群青か | 陣羽織肩 |
| くすんだ青 | F-04 | Ca | 藍 | 胡粉、藍 | 衣服裾 |
| 水色 | F-05 | Ca, (Pb) | 藍 | 胡粉、藍か | 衣服 |
| 薄緑 | F-06 | Cu, Zn, As | エメラルドグリーンか | 緑青他の複合化合物か | 草 |
| 鮮やかな緑 | F-07 | Cu, Zn, As, Fe | エメラルドグリーンか | 緑青他の複合化合物か | 陣羽織裾 |
| 鮮やかな緑 | F-08 | Cu, Zn, As Fe | エメラルドグリーンか | 緑青他の複合化合物か | 椀 |
| 濃緑 | F-09 | (Fe) | 不明 | 不明 | 人物の目 |
| 濃緑 | F-10 | (Fe) | 不明 | 不明 | 人物の目 |
| 赤 | F-11 | Hg | 辰砂 | 辰砂 | 落款 |
| 薄赤 | F-12 | N.D. | 辰砂 | 不明 | ござの線 |
| 鮮やかな赤 | F-13 | Hg, Pb, S | 辰砂 | 辰砂、鉛丹か | 陣羽織裾 |
| 鮮やかな赤 | F-14 | Hg, Pb, S | 辰砂 | 辰砂、鉛丹か | 行器の蓋裏 |
| 鮮やかな赤 | F-15 | Hg, (As), (S) | 辰砂 | 辰砂 | 衣服裾 |
| 鮮やかな赤 | F-16 | Hg, Pb, S | 辰砂 | 辰砂、鉛丹か | 椀の内側 |
| 赤 | F-17 | Hg, S | 辰砂 | 辰砂 | 耳飾り |
| 赤 | F-18 | Hg, (S) | 辰砂 | 辰砂か | 落款 |
| 薄黄 | F-19 | Cu, (As) | 不明 | 不明 | 衣服 |
| 薄黄 | F-20 | Cu, As, (Zn) | 不明 | 不明 | 衣服 |
| 黄土色 | F-21 | Hg, Pb, Au, Zn, Cu | 不明 | 金 (椀の赤地に Hg, Pb か) | 椀模様 |
| 黄土色 | F-22 | Au, Hg, Pb, S, Cu | 不明 | 金 (椀の赤地に Hg, Pb か) | 行器模様 |
| 黄 | F-23 | Pb | 不明 | 不明 | 陣羽織裾 |
| 薄茶 | F-24 | (Fe) | ベンガラか | ベンガラか | 人物の肌 (首元) |
| 黄 | F-25 | Au, (As) | 不明 | 金 | 衣服模様 |
| 黄 | F-26 | Au | 不明 | 金 | 衣服模様 |
| 白 | F-27 | Ca, Cu, (As) | - | 胡粉 | イノウ |
| 白 | F-28 | Ca, Cu, Au | - | 胡粉 | 衣服模様 |
| 無地 | F-30 | Ca, (Fe) | - | - | 素地 |

S: 硫黄、Ca: カルシウム、Fe: 鉄、Cu: 銅、Zn: 亜鉛、As: ヒ素、Au: 金、Hg: 水銀、Pb: 鉛、N.D.: 非検出、() わずかに検出、- : 未測定・未推定 * XRF による検出元素は検出強度が高い順に記した。



図8 ①『アイヌ風俗図』(岩手県立博物館蔵) 近赤外線画像



図9 ①『アイヌ風俗図』(岩手県立博物館蔵)
近赤外線画像拡大図(矢印部分、目視では未確認)

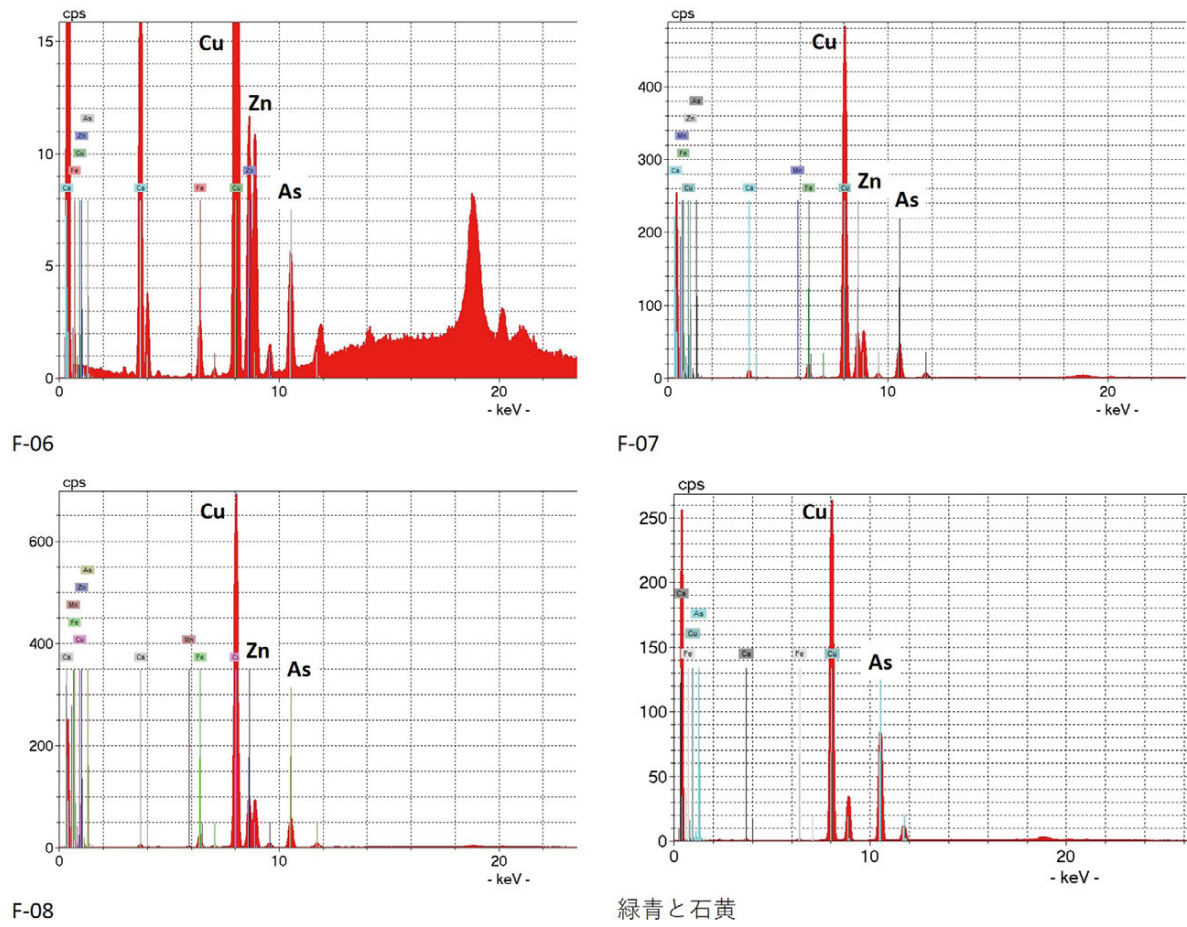


図10 XRF スペクトル (上段左: F-06、右: F-07、下段左: F-08、右: 基準試料 (緑青+石黄))

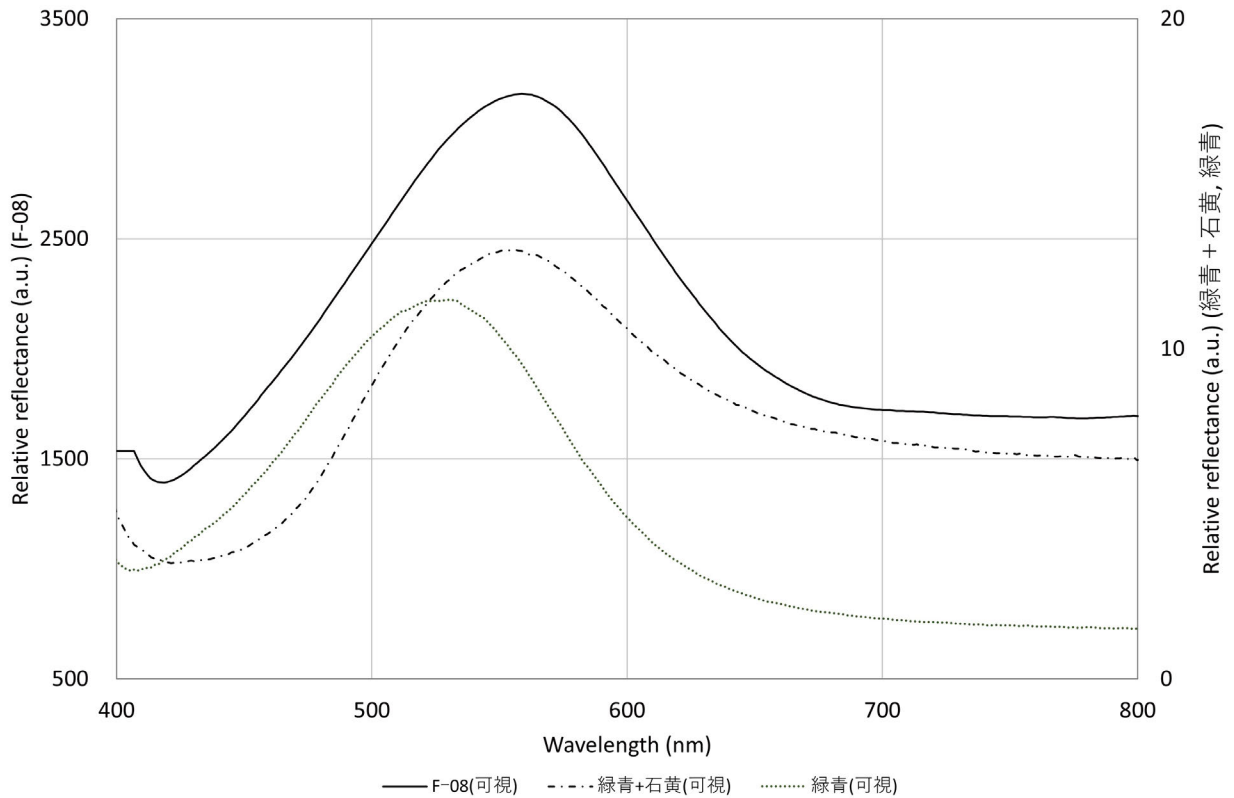


図11 反射スペクトル (F-08、緑青 + 石黄、緑青)

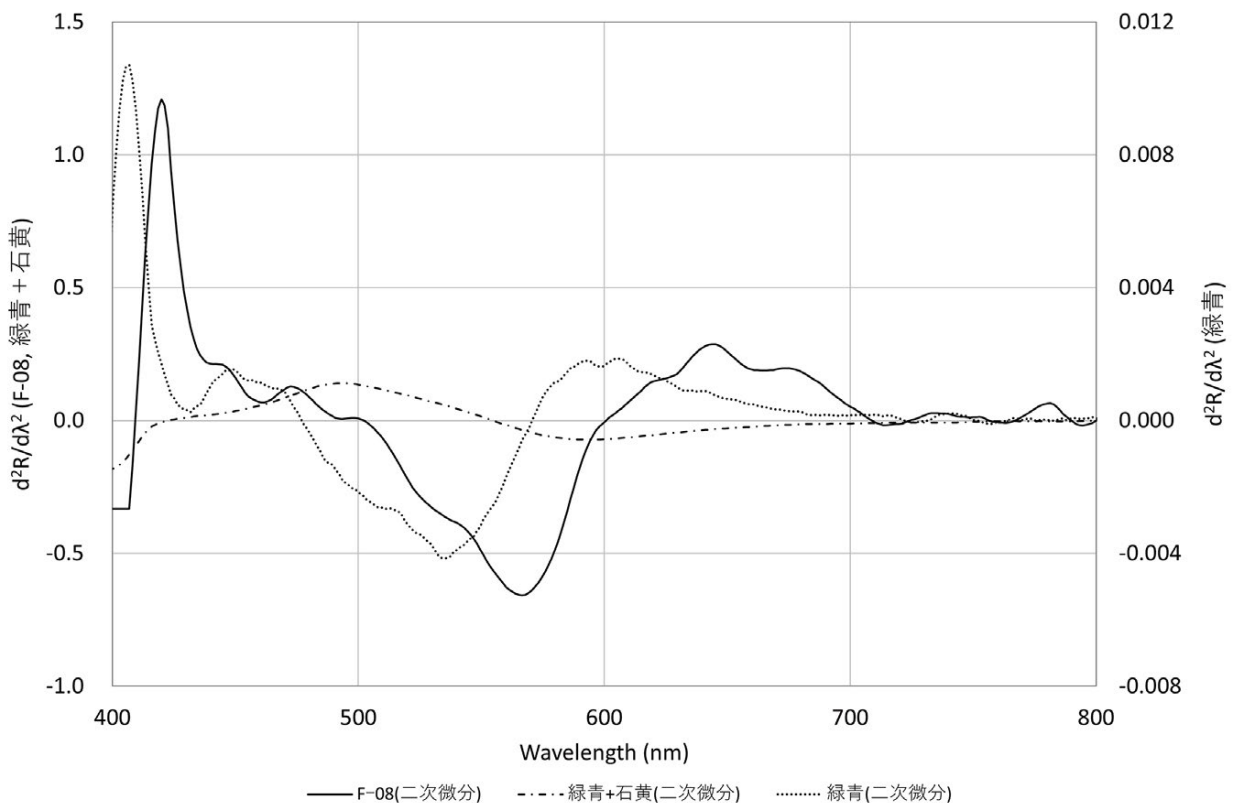


図12 二次微分スペクトル (F-08、緑青 + 石黄、緑青)

4.4 ②『蝦夷風俗十二ヶ月屏風 (三月)、(四月)』

青色：「三月」では、衣服の袖に用いられた水色 (E3-01) と濃い青色 (E3-02) を確認した (表3)。E3-01の水色は、XRFでカルシウムを検出したことから胡粉の使用を同定した。反射スペクトルでは、500 nm 付近の小さいピークは確認できなかったが、680 nm 付近より上昇するスペクトルの特徴が藍と類似したことから藍と推定した。したがって、E3-01は藍と胡粉が用いられていると推定した。E3-02は、XRFではわずかにヒ素が検出されたが、反射スペクトルでは特徴を得られなかった。

「四月」では、衣服袖に用いられた濃い青色 (E4-01) は、XRFでは検出されず、反射スペクトルでも同定には至らなかった。衣服模様の地に用いられた水色 (E4-02) は、XRFでカルシウムとヒ素を検出した。二次微分スペクトルでは、680 nm 付近から上昇する反射などから藍と判定し、胡粉と藍と推定した。E4-02と同じ衣服模様の柄に用いられた青色 (E4-03) は、XRFでカルシウムとヒ素を検出、二次微分スペクトルはウルトラマリンのスペクトルに類似したことから、胡粉とウルトラマリンと推定した。ただし、E4-03は測定箇所が小さいため、XRFでは周囲の地

の水色 (E4-02) も同時に測定している可能性があり、検出したカルシウムはE4-02に含まれる成分とも考えられた。背を向けている左側の人物の衣服の背の切伏に用いられた青色 (E4-05) は、XRFより銅が検出された。二次微分スペクトルはウルトラマリンに類似した。E4-05は、切伏の刺繍線を表す部分に緑色が確認でき、銅の検出はこの緑色に用いられた緑青によるものと考えられた。近赤外線画像では、E4-05の切伏部は白く映り、二次微分スペクトルからウルトラマリンとした推測と一致する (図13)。また、刺繍線とみられる部分は赤外線を吸収し、黒い線として確認できる。これらのことから、青色には胡粉とウルトラマリンの使用を推定した。人物の目の濃い青色 (E4-04) は、XRFでは非検出であり、反射スペクトルでも特徴が得られなかった。

緑色：「三月」の山岳部 (E3-03) や苔 (E3-04) に用いられた緑色では、XRFにより銅を、E3-03ではその他に主に亜鉛を検出した。E3-03で亜鉛に対する銅の検出強度比は約19で、3.5.3で示した早川の事例よりも大きい値であった。反射スペクトルでは、580 nm 付近に反射が確認でき、その後もやや上昇気

味の形状を示した。黄色の色みが存在するために、緑青の 550 nm 付近の特徴的な反射が長波長側にシフトしたと推測した。この特徴は、①『アイヌ風俗図』F-06、F-07、F-08 の緑色に見られた特徴と類似する。そのため、E3-03 は緑青他の複合化合物と推定した。E3-04 は、銅以外の元素が確認できていないため、緑青と考えられた。

赤色：XRF では、「三月」、「四月」の E4-09 を除く全ての測定箇所から水銀と硫黄を検出し、反射スペクトルの特徴とも合致したことから、辰砂と同定した。XRF で水銀のみの検出であった E4-09 も、反射スベ

クトルから辰砂と同定した。なお、衣服の背の模様の赤色 (E4-08) からは銅も検出されたが、これは青色の E4-05 と同様に、切伏の刺繍線を表す部分に用いられた緑青と推定した緑色を共に測定した結果と考えられた。

白色：「三月」で舟の帆に用いられた白色 (E3-07) では、XRF でわずかに亜鉛を検出した。亜鉛を含有する白色顔料では酸化亜鉛である亜鉛華が該当するが、検出強度が小さいことから同定には至っていない。

表3 分析結果と推定彩色材料 (②『蝦夷風俗十二ヶ月屏風 (三月、四月)』)

| 色み | 調査 No. | XRF による 検出元素 * | 分光分析による推 定彩色材料 | 推定彩色材料 | 測定部位 |
|------|--------|-------------------|-------------------|-----------------------------|--------|
| 「三月」 | | | | | |
| 水色 | E3-01 | Ca, (As) | 藍 | 胡粉、藍 | 衣服模様 |
| 濃青 | E3-02 | (As) | 不明 | 不明 | 衣服袖 |
| 緑 | E3-03 | Cu, Zn, (Pb) | 緑青 | 緑青他の複合化合物か | 山の緑 |
| 緑 | E3-04 | (Cu) | 緑青か | 緑青か | 草 |
| 赤 | E3-05 | Hg, S | 辰砂 | 辰砂 | 耳飾り |
| 赤 | E3-06 | Hg, (S) | 辰砂 | 辰砂 | 落款 |
| 白 | E3-07 | (Zn) | - | 不明 | 舟の帆 |
| 無地 | E3-08 | (Ca), (Fe), (Zn) | - | - | 素地 |
| 「四月」 | | | | | |
| 濃青 | E4-01 | N.D. | 不明 | 不明 | 衣服の袖 |
| 水色 | E4-02 | Ca, As | 藍 | 胡粉、藍 | 衣服背の模様 |
| 青色 | E4-03 | Ca, As | ウルトラマリン | 胡粉とウルトラマリン | 衣服背の模様 |
| 濃青 | E4-04 | N.D. | 不明 | 不明 | 人物の目 |
| 青色 | E4-05 | Cu, (Ca) | ウルトラマリン | 胡粉、ウルトラマリン (Cu は緑色線描由来か) | 衣服背の切伏 |
| 赤 | E4-07 | Hg, S | 辰砂 | 辰砂 | 漆器内側 |
| 赤 | E4-08 | Hg, Cu, S | 辰砂 | 辰砂 (Cu は緑色線描由来か) | 衣服背の模様 |
| 赤 | E4-09 | Hg | 辰砂 | 辰砂 | 落款 |
| 薄赤 | E4-10 | Hg, (S) | 辰砂 | 辰砂 | ごごの線 |
| 赤 | E4-11 | Hg, S | 辰砂 | 辰砂 | 耳飾り |
| 無地 | E4-12 | (Zn), (Ca), (Fe) | 不明 | - | 素地 |

S：硫黄、Ca：カルシウム、Fe：鉄、Cu：銅、Zn：亜鉛、As：ヒ素、Hg：水銀、Pb：鉛、N.D.：非検出、() わずかに検出、-：未測定・未推定 * XRF による検出元素は検出強度が高い順に記した。

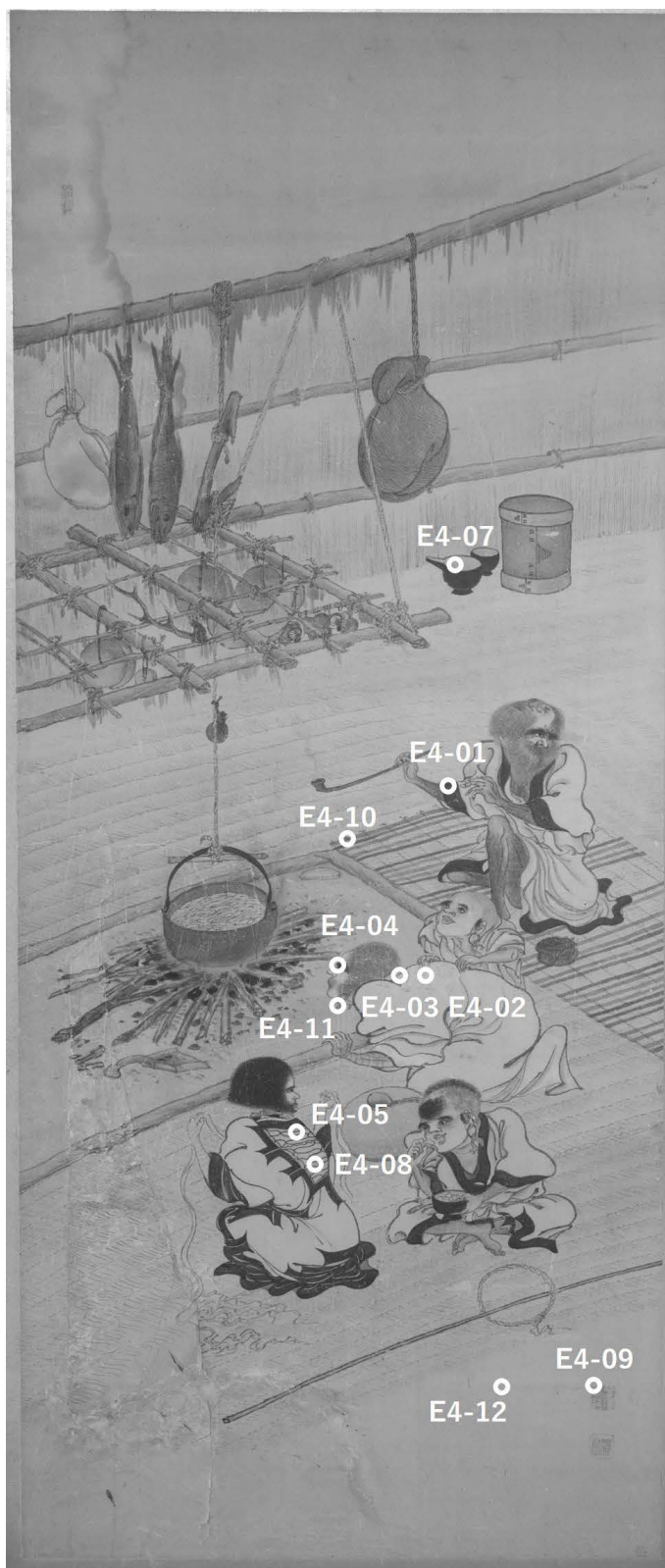


図13 ②『蝦夷風俗十二ヶ月屏風(四月)』(花巻市博物館蔵 近赤外線画像)

4.5 ③『アイヌ出漁図』

測定結果と結果に基づき推定した彩色材料を表4に示す。

青色：衣服の背の模様部分 (SY-01) の濃い青色は、XRF からヒ素を検出した。しかし、反射スペクトルは、全ての波長域で低い反射を示すのみで同定できなかった。

緑色：山肌の薄い緑色 (SY-02) は、XRF では検出されず、二次微分スペクトルでは 680 nm 付近に上向きのピーク、720 nm 付近に下向きのピークがあり藍

と類似した。

赤色：人物頭部 (SY-03) の薄い赤色からは XRF によりわずかに鉄を検出したが、反射スペクトルは赤色の基準試料と一致せず、同定には至っていない。衣服に用いられた薄い赤色 (SY-04) では、わずかにヒ素が検出されたが、反射スペクトルは素地である SY-06 とほぼ同じ形状であり、同定には至っていない。落款 (SY-05) に用いられた赤色は、XRF では水銀と硫黄が検出された。反射スペクトルでも辰砂と合致したことから辰砂と同定した。

表4 分析結果と推定彩色材料 (③『アイヌ出漁図』)

| 色み | 調査 No. | XRF による 検出元素 * | 分光分析による 推定彩色材料 | 推定彩色材料 | 測定部位 |
|----|--------|-------------------|-------------------|--------|-------|
| 濃青 | SY-01 | As | 不明 | 不明 | 衣服背 |
| 薄緑 | SY-02 | N.D. | 藍か | 藍か | 山 |
| 薄赤 | SY-03 | (Fe) | 不明 | 不明 | 人物の頭部 |
| 薄赤 | SY-04 | (As) | 不明 | 不明 | 衣服 |
| 赤 | SY-05 | Hg, S | 辰砂 | 辰砂 | 落款 |
| 無地 | SY-06 | (Ca), (Fe) | N.D. | — | 素地 |

S：硫黄、Ca：カルシウム、Fe：鉄、As：ヒ素、Hg：水銀、N.D.：非検出、() わずかに検出、—：未測定・未推定 * XRF による検出元素は検出強度が高い順に記した。

4.6 ④『蝦夷人昆布採取図』

青色：XRF では測定した4か所のうち、3か所でわずかにヒ素が検出されたが、それ以外に主だった元素は検出されなかった (表5)。女性の衣服の袖に用いられた青色 (K-01) と、その人物の下に位置する人物の足元に用いられた青色 (K-03) は、反射スペクトルからウルトラマリンと推定した。海に用いられた薄い青色 (K-04) は、反射スペクトルより藍を推定した。衣服の裾に用いられた濃い青色 (K-02) からはわずかにヒ素が検出されたが、反射スペクトルでは特徴を得られず、同定には至っていない。

緑色：測定した2か所のうち、衣服に用いられた緑色 (K-05) は、XRF では銅とヒ素、また亜鉛を検出した。ヒ素に対する銅、亜鉛に対する銅の検出強度比率は、それぞれ約5と約7であり、①『アイヌ風俗図』の F-06 の検出強度比率と近似した。反射スペクトルの特徴は、藍と類似した。この結果から緑青他の複

合化合物、そして藍と推定した。山肌の薄い緑色 (K-06) からは XRF でヒ素が検出され、反射スペクトルでは藍の可能性が示唆された。ヒ素を含む黄色顔料では石黄があり、藍と石黄の混色も考えられたが、反射スペクトルでは短波長側の反射形状が混色の基準試料と一致せず、同定には至っていない。

赤色：XRF では、測定した4か所のうち、衣服に用いた赤色 (K-09) 以外の全てで水銀と硫黄を検出した。反射スペクトルでも辰砂と一致したことから、辰砂と推定した。K-09 は、XRF では元素は検出されず、反射スペクトルでも特定できなかった。

白色：帆船の帆の部分 (K-12) からはカルシウムが検出され、胡粉と推定した。衣服の白色 (K-11) からは、わずかにヒ素を検出したが、同定には至っていない。

表5 分析結果と推定彩色材料 (④『蝦夷人昆布採取図』)

| 色み | 調査 No. | XRF による 検出元素 * | 分光分析による 推定彩色材料 | 推定彩色材料 | 測定部位 |
|----|--------|-------------------|-------------------|--------------|------|
| 青 | K-01 | As, (Ti), (Cu) | ウルトラマリン | ウルトラマリン | 衣服袖 |
| 濃青 | K-02 | (As) | 不明 | 不明 | 衣服裾 |
| 青 | K-03 | (As) | ウルトラマリン | ウルトラマリン | 足元 |
| 薄青 | K-04 | N.D. | 藍 | 藍 | 海 |
| 緑 | K-05 | Cu, As, Zn | 藍、緑または黄色彩色材料 | 緑青他の複合化合物、藍か | 衣服内側 |
| 薄緑 | K-06 | (As) | 藍か | 不明 | 山 |
| 赤 | K-07 | Hg, S | 辰砂 | 辰砂 | たすき |
| 赤 | K-08 | Hg, S | 辰砂 | 辰砂 | マキリ |
| 薄赤 | K-09 | N.D. | 不明 | 不明 | 衣服 |
| 赤 | K-10 | Hg, S, (Pb) | 辰砂 | 辰砂 | 落款 |
| 白 | K-11 | (As) | — | 不明 | 衣服 |
| 白 | K-12 | Ca | — | 胡粉 | 舟 |
| 無地 | K-14 | Ca, (Fe) | N.D. | 不明 | 素地 |

S: 硫黄、Ca: カルシウム、Ti: チタン、Fe: 鉄、Cu: 銅、Zn: 亜鉛、As: ヒ素、Hg: 水銀、Pb: 鉛、N.D.: 非検出、() わずかに検出、—: 未測定・未推定 * XRF による検出元素は検出強度が高い順に記した。

4.7 ⑤『酒宴図』

測定箇所は、目視観察により青色、緑色、赤色、黄色、白色に加えて、紫色に分類した。

青色: 衣服に用いられた薄い青色 (S-01) は、XRF では元素は検出されず、分光分析では反射スペクトルよりウルトラマリンと推定した (表 6)。衣服の袖や背の切伏に用いられた濃い青色 (S-02、S-06) は、XRF ではわずかにヒ素を検出するのみであった。分光分析では、S-02 は切伏に描かれている描線を測定し、反射スペクトルは藍と類似した。この結果から、S-02 は藍と推定した。S-06 は、特定できなかった。衣服袖や背の模様の水色 (S-03、S-05) は、XRF では S-03 でわずかなヒ素の検出のみであり、反射スペクトルより S-03、S-05 はウルトラマリンと推定した。海の薄い青色 (S-04) では、反射スペクトルから藍の可能性が考えられた。

緑色: XRF では、測定した 7 か所のうち S-10 を除く 6 か所で銅とヒ素が検出された。6 か所のヒ素に対する銅の検出強度比率は約 0.65–0.85 であり、エメラルドグリーンの割合である 0.6 または 1 と概ね一致した。このうち、S-07、S-08、S-09 は反射スペクトルが類似したが、どれも 550 nm 付近に特徴的な反射を持つエメラルドグリーンのスペクトルとは一致せず、670 nm 付近より上昇する藍の特徴を示した。ただし、520 nm 付近にもなだらかな反射が確認でき、基準試

料の藍と石黄の混色の反射スペクトルの形状と類似した。しかし、彩色は濃い緑色を呈していることから、透過性の高い染料の藍と石黄との混色とは考えにくい (口絵基準試料)。よって、他の黄色や緑色彩色材料の使用の可能性も考えられた。これらの結果から S-07、S-08、S-09 は、検出元素よりエメラルドグリーンまたは緑青他の複合化合物、反射スペクトルより藍の可能性が示された。衣服に用いられた薄い緑色 (S-10) では、XRF よりわずかに銅を検出したが、反射スペクトルでは藍を推定し、銅を含む緑青の特徴は得られなかった。藍を用いて緑色とするために黄色染料などの使用も考えられるが、S-10 は色も薄く、彩色自体が少ない可能性もあり検出が困難であった。漆器や衣服に用いられた緑色 (S-11、S-12) は、他の緑色と比べて鮮やかな緑色であり、反射スペクトルがエメラルドグリーンの特徴と一致した。したがって、検出強度比及び反射スペクトルから、S-11、S-12 はエメラルドグリーンと推定した。山肌に用いられた薄い緑色 (S-13) は、反射スペクトルは S-07、S-08、S-09 に類似するがやや不明瞭であり、同定に至っていない。

赤色: XRF では薄い赤色である S-19、S-20 以外は、測定した全ての赤色から水銀と硫黄が検出され、反射スペクトルも辰砂と一致したことから、辰砂と同定した。S-14、S-15、S-16 ではあわせて銅を検出したが、周囲に銅を含む顔料の使用は確認できず、由来は

不明である。衣服 (S-19) や人物の肌 (S-20) に見られた薄い赤色は、XRF で元素は検出されなかった。二次微分スペクトルでは、S-19、S-20 ともに 550 nm 付近に上向きのピーク、600 nm 付近に下向きのピークが確認でき、赤色の特徴を示しているが同定には至っていない。落款 (S-18) からは水銀以外に鉛を検出し、鉛丹の存在が考えられた。

黄色：シントコの模様を用いられたくすんだ黄色 (S-23) では、XRF より銅が検出された。しかし、反射スペクトルでは特徴的なスペクトルは得られなかった。検出された銅については、シントコの傍らに描かれている人物の衣服の背の緑色 (S-09) で銅が検出されていることを踏まえると、同人物の衣服の裾の緑色にも同様に銅を含む緑色顔料が使用されている可能性が高い。S-23 の測定範囲に、この緑色が含まれた

ことで共に銅を検出した可能性が考えられたが、同定には至っていない。陣羽織に用いられた黄色 (S-24) では、XRF では主な元素は検出されず、反射スペクトルでも特定できなかった。

紫色：衣服に用いられた薄紫色 (S-25) は、XRF では主に銅とカルシウムを検出した。反射スペクトルでは、600 nm 付近から上昇していく赤色の特徴が見られたが、XRF で赤色顔料に由来する元素は検出されなかった。紫色を作るために青色と赤色の彩色材料を混ぜたと考えると、銅を含有する青色顔料として群青、赤色には XRF では検出できない有機質の彩色材料の可能性が考えられたが、同定には至っていない。

白色：全ての測定箇所 XRF によりカルシウムを検出したことから、胡粉と同定した。

表6 分析結果と推定彩色材料 (㊦『酒宴図』)

| 色み | 調査 No. | XRF による 検出元素 * | 分光分析による 推定彩色材料 | 推定彩色材料 | 測定部位 |
|----------|--------|-------------------|------------------------------|---|---------------------------|
| 薄青 | S-01 | N.D. | ウルトラマリン | ウルトラマリン | 衣服 |
| 濃青 | S-02 | (As) | 藍 | 藍 | 衣服袖の切伏 (分光分析では 模様線) |
| 水色 (白線有) | S-03 | Ca, (Fe), (As) | ウルトラマリン | ウルトラマリン | 衣服袖の端 |
| 薄青 | S-04 | N.D. | 藍 | 藍 | 海 |
| 水色 | S-05 | (Fe) | ウルトラマリン | ウルトラマリン | 衣服背の模様 |
| 濃青 (線あり) | S-06 | (As) | 不明 | 不明 | 衣服背の切伏 |
| 緑 (柄有) | S-07 | As, Cu, Zn | 藍、黄または緑色彩色材料 | エマルト [®] グリーンまたは緑青他の 複合化合物、藍か | 陣羽織 |
| 緑 | S-08 | As, Cu | 藍、黄または緑色彩色材料 | エマルト [®] グリーンまたは緑青他の 複合化合物、藍か | 草 |
| 緑 (水色線有) | S-09 | As, Cu | 藍、黄または緑色彩色材料 | エマルト [®] グリーンまたは緑青他の 複合化合物、藍か | 衣服背 |
| 薄緑 | S-10 | (Cu) | 藍か | 藍、黄色染料か | 衣服 |
| 鮮やかな緑 | S-11 | As, Cu | 緑青、またはエマルト [®] グリーン | エマルト [®] グリーン | 漆器模様 |
| 鮮やかな緑 | S-12 | As, Cu | 緑青、またはエマルト [®] グリーン | エマルト [®] グリーン | 衣服 |
| 薄緑 | S-13 | As, Cu | 不明 | 不明 | 山 |
| 赤 (柄有) | S-14 | Hg, S, Cu | 辰砂 | 辰砂 | 陣羽織 |
| 赤 | S-15 | Hg, S, Cu | 辰砂 | 辰砂 | 漆器 |
| 赤 | S-16 | Hg, S, Cu | 辰砂 | 辰砂 | 漆器 |
| 赤 | S-17 | Hg, S | 辰砂 | 辰砂 | ござの線 |
| 赤 | S-18 | Hg, S Pb, (Cu) | 辰砂 | 辰砂、鉛丹か | 落款 |
| 薄赤 | S-19 | N.D. | 不明 | 不明 | 衣服 |
| 薄赤 | S-20 | N.D. | N.D. | 不明 | 人物の肌 (首元) |

| | | | | | |
|-------|------|-----------------------|------|----|---------|
| 薄赤 | S-21 | Hg, Fe, (S) | 辰砂 | 辰砂 | 容器 |
| 赤 | S-22 | Hg, S | 辰砂 | 辰砂 | 陣羽織 |
| くすんだ黄 | S-23 | Cu, Zn | 不明 | 不明 | シントコの模様 |
| 黄 | S-24 | N.D. | 不明 | 不明 | 陣羽織 |
| 薄紫 | S-25 | Cu, Ca, (Zn), (As) | 不明 | 不明 | 衣服 |
| 白 | S-26 | Ca | — | 胡粉 | 頭骨 |
| 白 | S-27 | Ca, (As) | — | 胡粉 | 衣服背 |
| 白 | S-28 | Ca | — | 胡粉 | 舟 |
| 無地 | S-30 | (Ca), (Fe) | N.D. | — | 素地 |

S：硫黄、Ca：カルシウム、Fe：鉄、Cu：銅、Zn：亜鉛、As：ヒ素、Hg：水銀、Pb：鉛、N.D.：非検出、（）わずかに検出、—：未測定・未推定 * XRF による検出元素は検出強度が高い順に記した。

4.8 彩色材料から推定される作品の制作時期区分

今回の調査で推定された彩色材料のうち、主に1860年代以降に日本国内での使用が確認されているウルトラマリンとエメラルドグリーンの有無から、本調査作品の制作時期を考察した。③『アイヌ出漁図』は色数が非常に少なく、作風により顔料が限定されている可能性もあるため、考察には含めない。また、ここでは、修好通商条約締結による通商が開始される1859年を「開港」として述べる。

今回の科学的調査及び先行研究で確認された、屏山作品のウルトラマリン及びエメラルドグリーンの使用状況を表7に示す。ウルトラマリンの日本国内での流通時期を箱館開港後と考えれば、ウルトラマリンが使用されていない①『アイヌ風俗図』は開港前、それ以外の作品は開港後に制作されたと考えられる。①『アイヌ風俗図』で、緑色は緑青の複合化合物と推定したが、この顔料の使用は1700年代に描かれた日本画の作品に確認されており（早川2009）、箱館開港前とする考えとも一致する。

エメラルドグリーンは、先行研究より屏山の1871年の銘記がある作品で使用が確認されていることから（朽津2000）、他の作品にもこの顔料を用いた可能性は十分に考えられた。しかし、今回の調査においてエメラルドグリーンと推定されたのは、⑤『酒宴図』に用いられた緑色のみであり、ウルトラマリンの使用と必ずしも一致しなかった。彩色材料の観点に限定すれば、エメラルドグリーンはウルトラマリンより遅れて作品に取り入れられた可能性がある。⑤『酒宴図』は、款記から1855年または1867年が制作時期と考えられるが、ウルトラマリンやエメラルドグリーンの使用からは1867年とするのが妥当である。しかし、

今後の調査により1855年の制作とされる余地は十分にあり、その場合は日本国内におけるウルトラマリンやエメラルドグリーンの使用事例として、最も早い時期の作品となる。『蝦夷風俗十二月屏風（十一月）、（十二月）』は、先行研究によりウルトラマリンの使用が推定されている（朽津他2001）。これは、今回の『蝦夷風俗十二月屏風（四月）』の調査結果とも一致する。『蝦夷風俗十二月屏風』は屏山晩年の作品とされるが、エメラルドグリーンの使用は確認されなかった。しかし、『蝦夷風俗十二月屏風』は、作風からかどれも緑色自体が乏しく、エメラルドグリーンの存在を根拠として制作時期を言及することは難しい。また、本作品は、十二月からなる一連の作品のため、残りの月に用いられた彩色材料の知見を得るなどにより全容の把握が可能と考える。

その他の顔料では、多くの作品に描かれている漆器の模様で金を検出したのは①『アイヌ風俗図』のみであった。①『アイヌ風俗図』は、金以外にも今回調査を実施した作品の中では他とは異なる彩色材料の使用が確認されており、制作時期を考察する上では慎重を期す必要がある。今後の研究において、更なる情報が追加されることを期待する。

表7 科学的調査に基づく屏山作品のウルトラマリン及びエメラルドグリーンの使用状況

| | 調査作品 | ウルトラマリン | エメラルドグリーン | 推定制作年代 |
|--------------|--|---------|-----------|---------------|
| 本調査 | ①『アイヌ風俗図』 | | | 開港前 |
| | ②『蝦夷風俗十二ヶ月屏風（三月）』 | | | 開港後 |
| | ②『蝦夷風俗十二ヶ月屏風（四月）』 | ✓ | — | 開港後 |
| | ③『アイヌ出漁図』 | | | 不明 |
| | ④『蝦夷人昆布採取図』 | ✓ | | 開港後 |
| | ⑤『酒宴図』※紀年あり （安政2（1855）年 / 慶応（1867）年 | ✓ | ✓ | 開港後 |
| 朽津 (2000) | 『オムシャ図』（個人蔵） | ✓ | ✓ | 紀年から1871年 |
| | 『熊送り図』（個人蔵） | ✓ | ✓ | 紀年から1871年 |
| 朽津 (2001) | 『蝦夷風俗十二ヶ月屏風（十一月）、 （十二月）』（市立函館博物館蔵） | ✓ | — | 開港以降*（明治5-9年） |
| | 『神祈り図』（市立函館博物館蔵） | ✓ | ✓ | 開港以降*（明治初期か） |
| | 『オヒョウ採り図』（市立函館博物館蔵） | | — | 不明 |
| | 『熊送り図』（市立函館図書館蔵） | | | 不明 |
| | 『ウイマム図絵馬』（市立函館図書館蔵） | | | 開港以前*か |

—：緑色彩色が観察されていない。*先行研究表記のまま。「開港」…1859年以降としている。

5. おわりに

本研究では、屏山のアイヌ絵に対する科学的調査を実施し、推定した彩色材料から作品の制作時期の区分を試みた。その結果、ウルトラマリンやエメラルドグリーンといった合成顔料の検出を根拠として作品を箱館開港前後に区分し、その区分は先行研究の考察とも一致した。制作時期の考証に一定の科学的根拠を付加できたと考える。しかし、制作時期の検討は、作品の背景や描写、落款など様々な情報を総合的に検討する必要があり、科学的調査で得られる情報は、その一要素としての寄与に留まるものである。

また、本研究では、彩色層の下に下絵のような痕跡も確認された。これは、屏山の作風や表現技法を検討する上で有益な情報と考える。今後も屏山を含めアイヌ絵の継続した科学的調査により情報を蓄積することで、系統的な研究へと発展させていけると考える。

6. 謝辞

本調査の実施にあたり、岩手県立博物館、花巻市博物館にご協力を賜りました。ここに記して感謝申し上げます。貴重な顔料資料をご提供いただきました東京藝術大学大学院 塚田全彦教授、東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター 成瀬正和氏に謝意を表します。基準試料作成にご協力いただいた石井恭子氏に御礼申し上げます。

本研究は、国立アイヌ民族博物館調査研究プロジェクト「アイヌ民族資料の科学的保存に関する基礎研究」（2021A05）の助成を主として実施され、調査研究プロジェクト「アイヌ文化を画題とした絵画史料について—揺籃と終焉—」（2021B05）及び調査研究プロジェクト「17～19世紀の蝦夷地像に係る図像史料等の基礎的調査」（2022A01）の一部支援を受けて行われたものです。

参考文献

赤田昌倫

2022「ハイパースペクトルカメラによる染料分析の測定方法—アイヌの織維資料を前提とした分析方法の検証—」『国立アイヌ民族博物館研究紀要』1:132-149.

荒井経, 二宮修治

2004「狩野芳崖遺品顔料の分析調査報告」『東京学芸大学紀要』第5部門 芸術・健康・スポーツ科学, 56:33-41.

荒井経, 貴田啓子, 蔵品真理, 寺島海, 久安敬三

2024「商品として流通した花緑青・エメラルドグリーンに関する科学的調査」文化財保存修復学会第46回大会研究発表要旨集:154-155.

大迫町史編纂委員会編

1979「大迫町史 交通編」大迫町.

加藤将彦, 丹沢穰, 平井昭司, 早川泰弘, 三浦定俊

2007「武雄鍋島家所蔵皆春齋絵具の材質分析」『保存科学』46:61-74.

紀芝蓮, 犬塚将英

2022「文化財の2次元的な分光分析を行うためのハイパースペクトルカメラの性能評価」『保存科学』61:93-107.

朽津信明, 黒木紀子, 井口智子, 三石正一

1999「顔料鉱物の可視光反射スペクトルに関する基礎的研究」『保存科学』38:108-123.

朽津信明

2000「平沢屏山作『オムシャ図』と『熊送り図』の彩色について」『Museum』566:22-25.

朽津信明, 下山進

2001「函館市に残る幕末・明治絵画の顔料調査」『市立函館博物館研究紀要』11:5-20.

朽津信明, 霜村紀子

2002「幕末期の絵馬に観察される青色顔料の変化について—岩手県中部地方に伝わる「供養絵額」の例—」『保存科学』41:121-129.

河野常吉編

1979『北海道史人名字彙 下』北海道:北海道出版企画センター(初出は1932年).

越崎宗一

1945『アイヌ絵』北海道:北海道出版企画センター.

越崎宗一

1959『アイヌ絵誌』北海道:北海道出版企画センター.

佐々木利和

1983「[蝦夷風俗十二月月図]について—平澤屏山とその作品—」海保嶺夫編『北海道の研究 第3巻 近世編1』大阪:清文堂出版.

佐々木利和

2000「平沢屏山の新出二作品をめぐって」『Museum』566:7-21.

佐々木利和

2004『アイヌ絵誌の研究』東京:草風館.

島津美子, 岡田靖

2021「近世・近代の木彫仏像に施された彩色の技法と色材:山形県下に安置されている諸尊像の事例」島津美子編『国立歴史民俗博物館研究報告』230:135-167.

新明英仁

2011『「アイヌ風俗画」の研究 近世北海道におけるアイヌと美術』北海道:中西出版.

早川泰弘

2009「銅系緑色顔料の多様性とその使用例」『保存科学』48:109-117.

文化遺産オンライン「皆春齋御絵具」

<https://bunka.nii.ac.jp/heritages/detail/234732>, (2025/8/28 参照).

星恵理子, 北田正弘

2003「江戸時代後期の絵画和紙試料のCuによる劣化」『日本金属学会誌』67(7):336-341.

吉田直人

2011「可視反射スペクトルと二次微分スペクトルによる青色色材の判別に関する検討」『保存科学』50:207-215.

Roy, Ashok. (ed.)

1993 *Artists' pigments: A handbook of their history and characteristics* (Vol. 2), Washington, DC: National Gallery of Art.

注

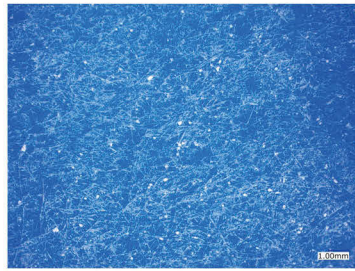
- 1) 現在の北海道函館市は、享徳3年(1454年)より「箱館」と呼ばれ、明治2年(1869年)に「函館」と改められた。本論文では、1869年を境として1868年までの内容については「箱館」、1869年以降の内容について触れる場合は「函館」を用いた。(函館市ホームページ <https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014020600063/> (2024/10/10 参照))
- 2) ウルトラマリンブルーには天然の顔料も存在し、発色や主要成分は合成ウルトラマリンブルーとほぼ同様となる。そのため、本研究で用いた調査方法では両者を区別することは極めて困難である。しかし、天然のウルトラマリンブルーは非常に高価であり、さらに屏山が活動した幕末から明治期には合成ウルトラマリンブルーが流通していたこと、加えて箱館という環境から新しい彩色材料を比較的容易に入手できたと推察する。これらの点を鑑みて、本研究では合成ウルトラマリンブルーを対象とした。
- 3) 印刷の関係上、本稿(冊子版)では図は白黒で表示する。ただし、図1-5、図7は口絵にてカラー画像を掲載している。
- 4) ハイパースペクトルカメラによる分光分析は、撮影した画像に対して1画素単位で分光情報を得ることができる。また、分析箇所は画像撮影後に任意に選定できるため、不規則な形状や微小領域の彩色箇所の分析に効果的である。なお、装置の原理などについては参考文献(赤田(2022)、紀他(2022))を参照されたい。

* 本研究では、調査作品に関する選定などを霜村が担当し、科学的調査を古田嶋、赤田、大江が担当した。(蛍光X線分析:古田嶋・大江、分光分析:古田嶋・赤田、資料撮影・赤外線撮影:赤田)

【巻末資料1】基準試料画像



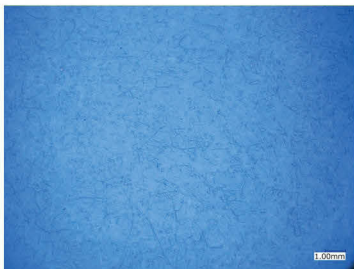
群青



ウルトラマリン



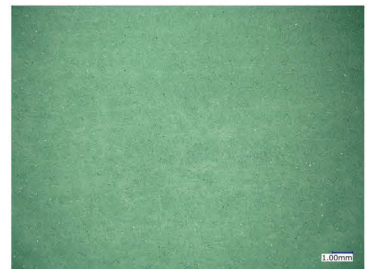
プルシアンブルー



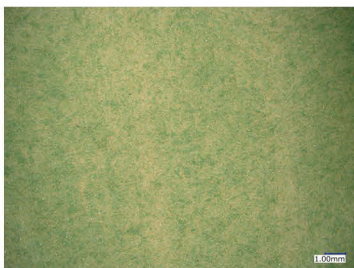
スマルト



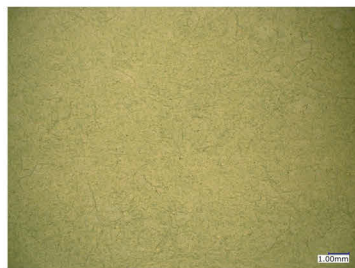
藍



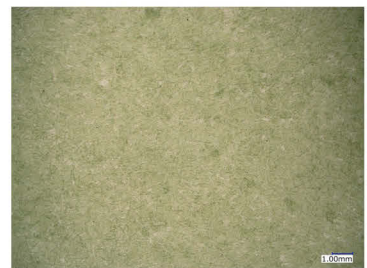
緑青



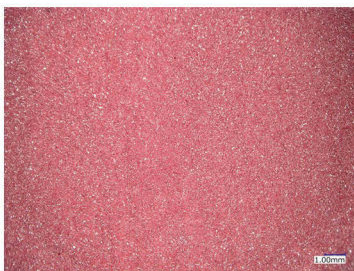
緑青 + 石黄



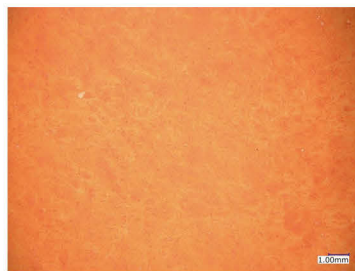
藍 + 石黄



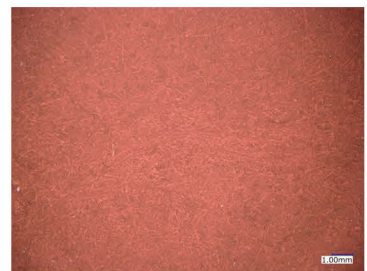
藍 + 藤黄



辰砂



鉛丹



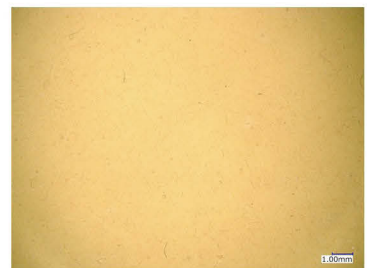
ベンガラ



紅花



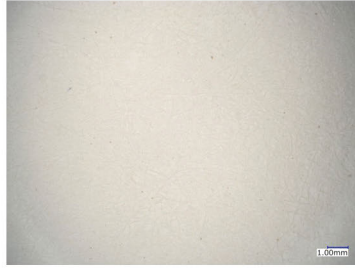
黄土



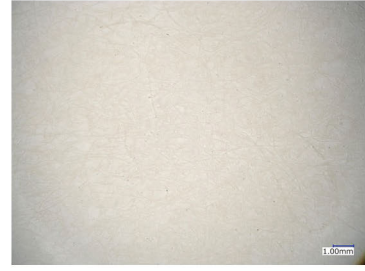
石黄



藤黄



胡粉

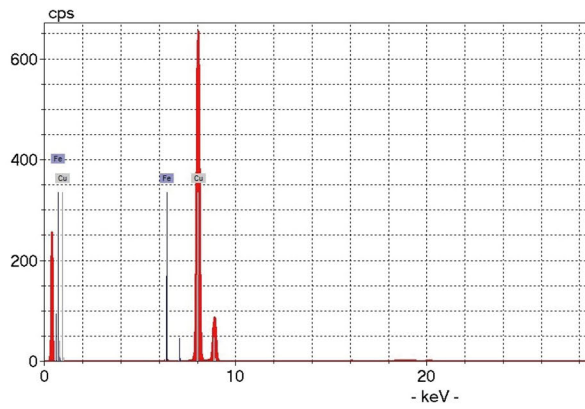


鉛白

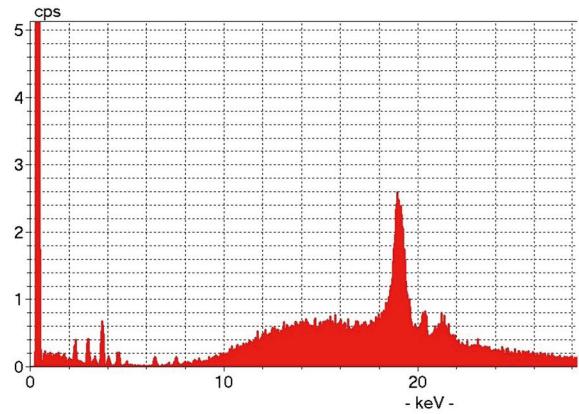


無地

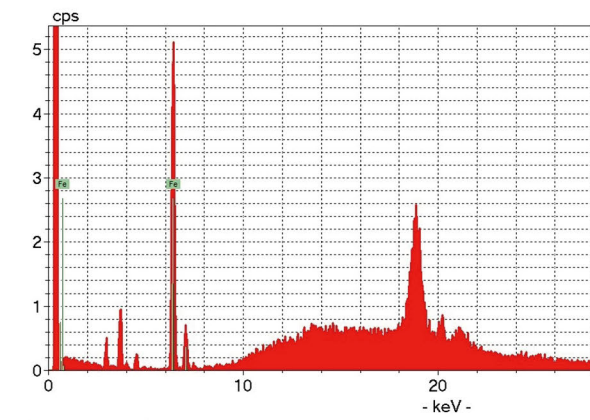
【巻末資料 2】 基準試料及び調査資料の XRF スペクトル



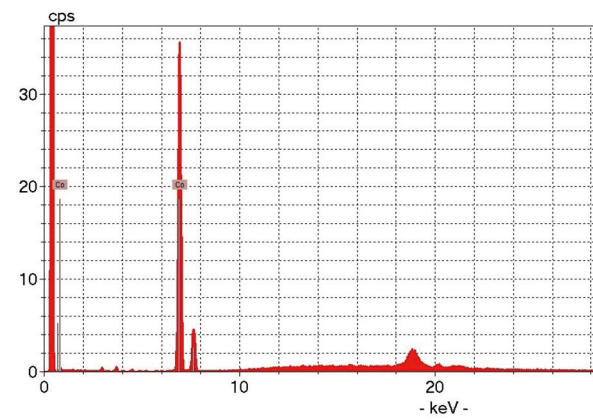
群青



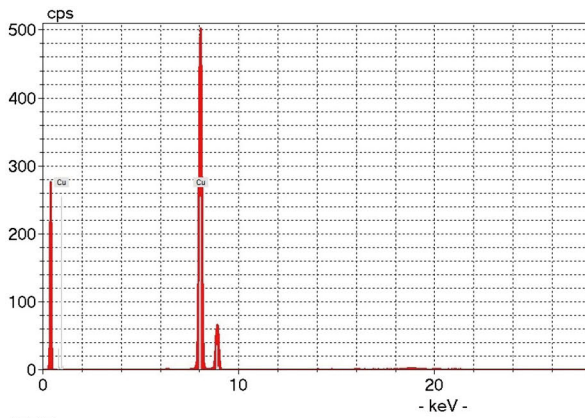
ウルトラマリン



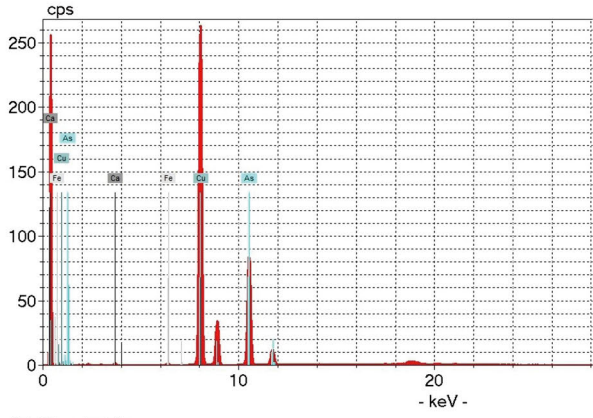
プルシアンブルー



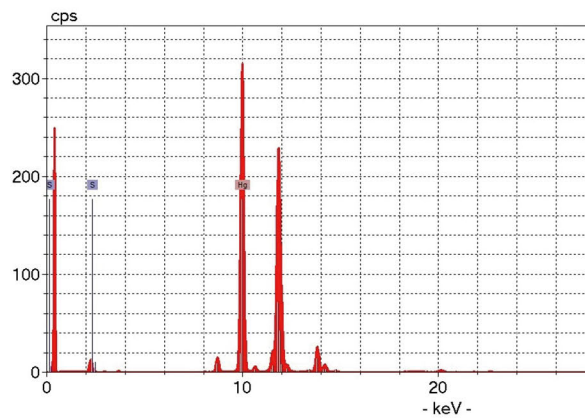
スマルト



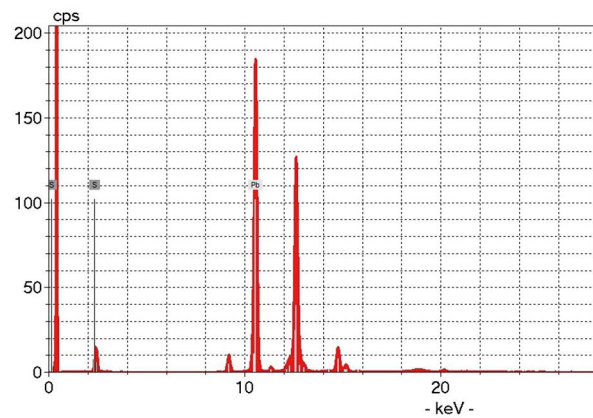
緑青



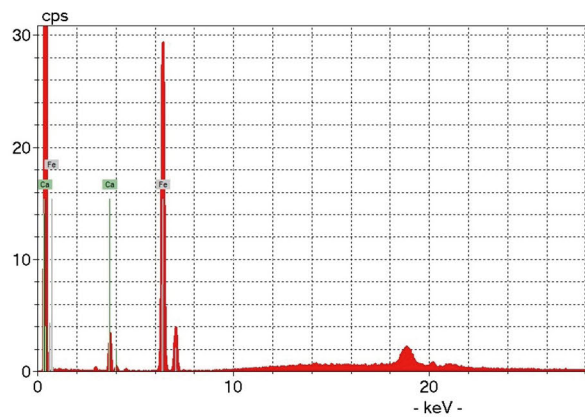
緑青 + 石黄



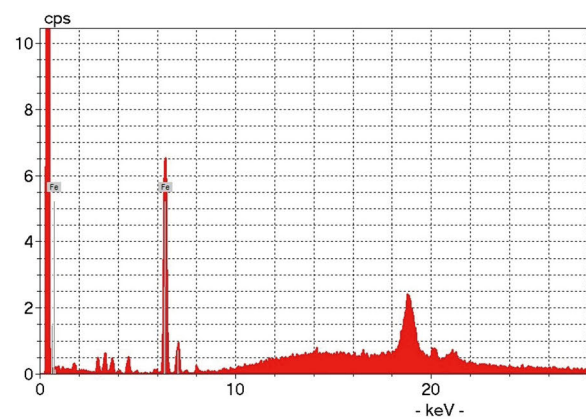
辰砂



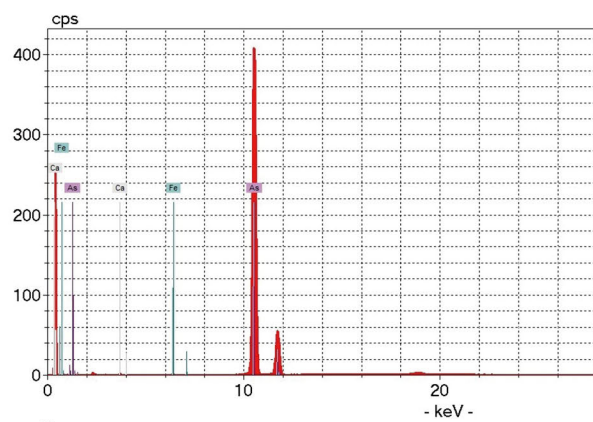
鉛丹



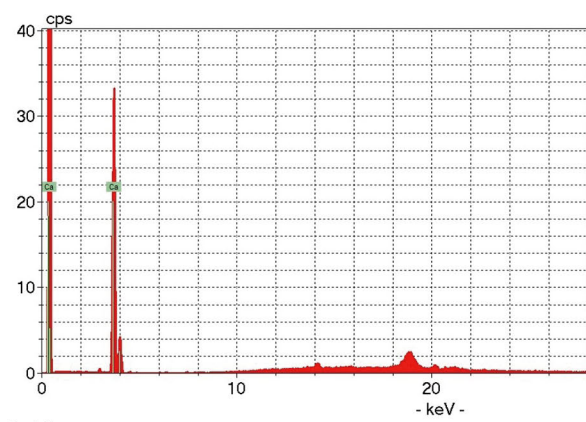
ベンガラ



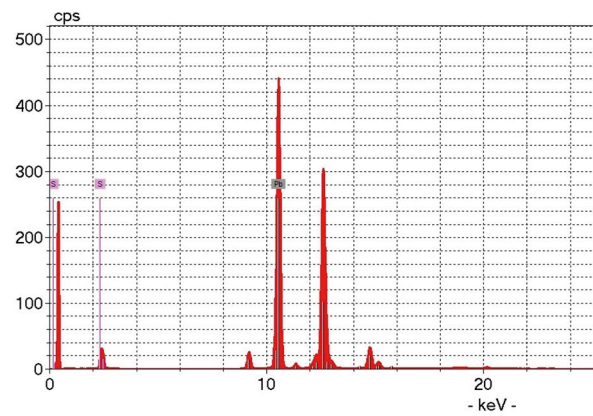
黄土



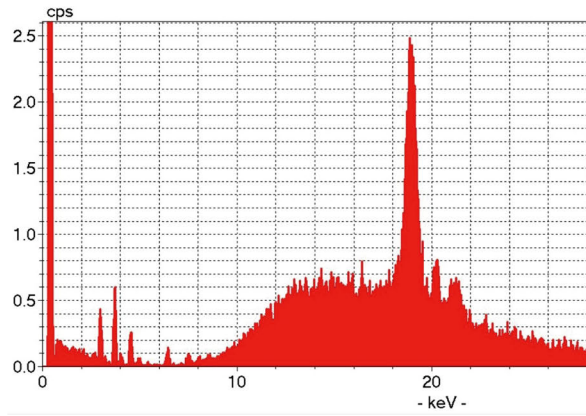
石黄



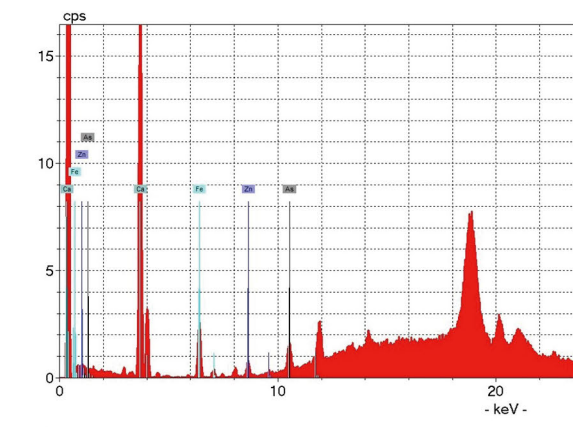
胡粉



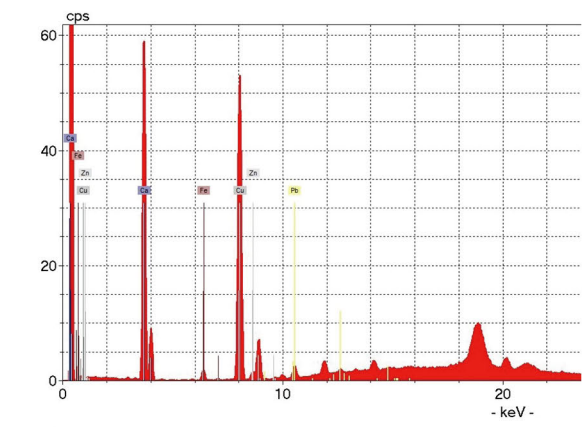
鉛白



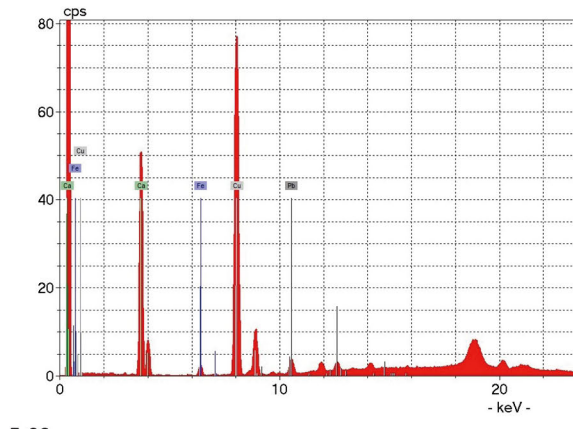
無地



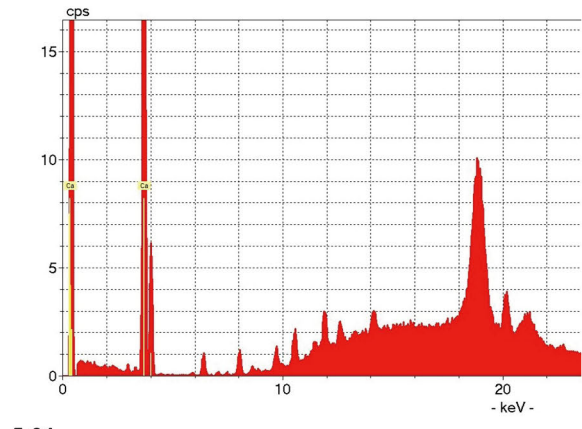
F-01



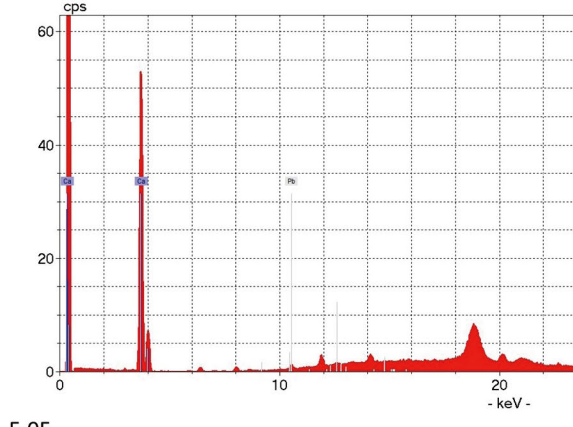
F-02



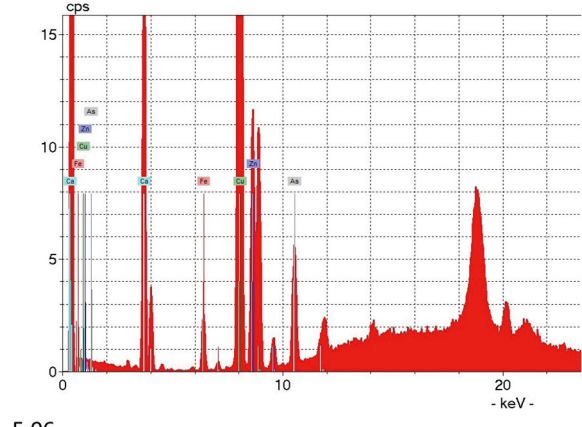
F-03



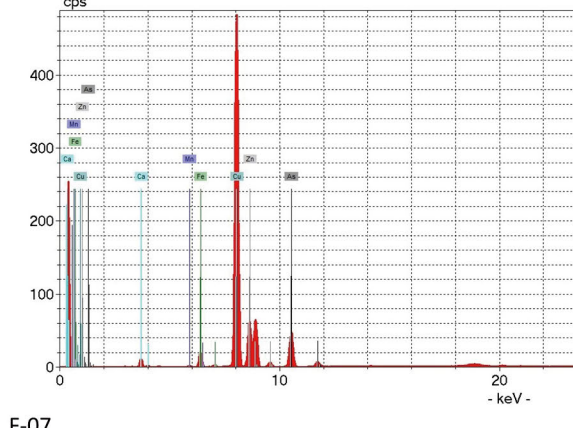
F-04



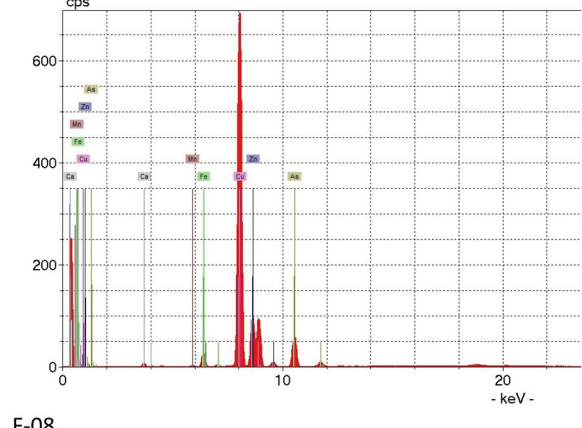
F-05



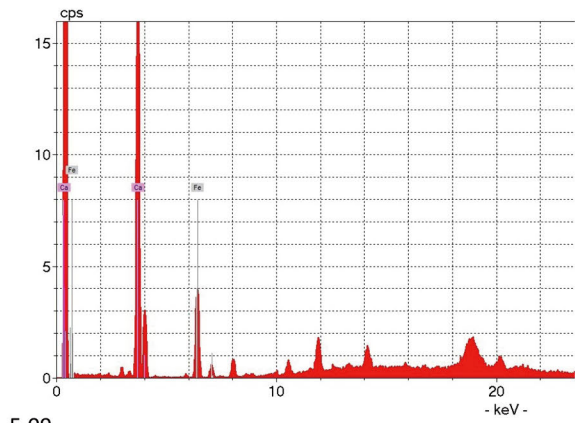
F-06



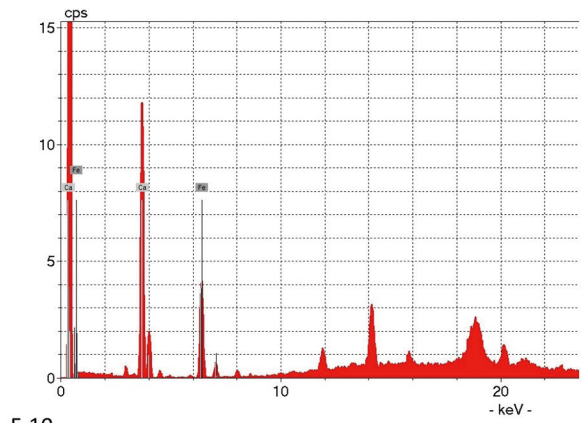
F-07



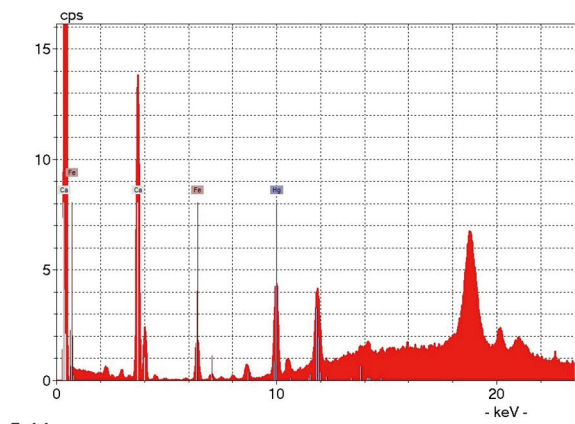
F-08



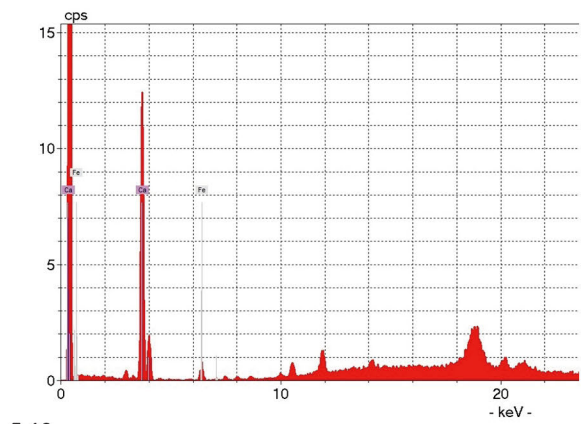
F-09



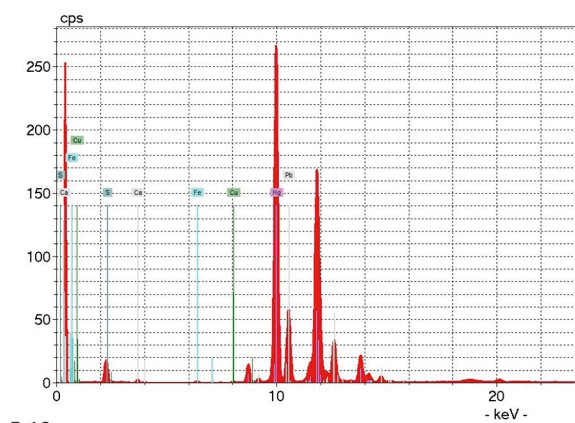
F-10



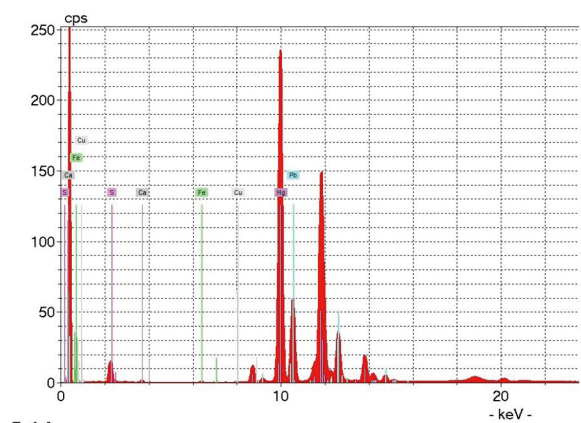
F-11



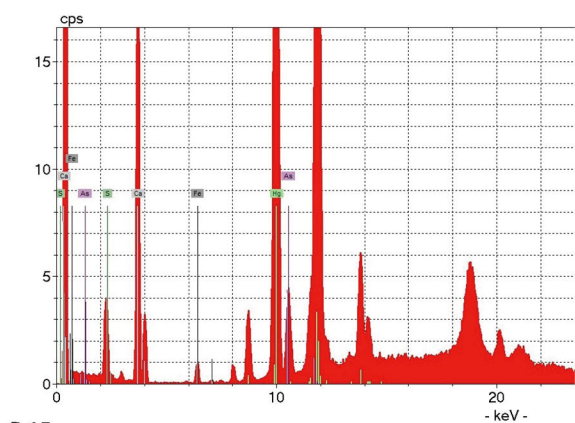
F-12



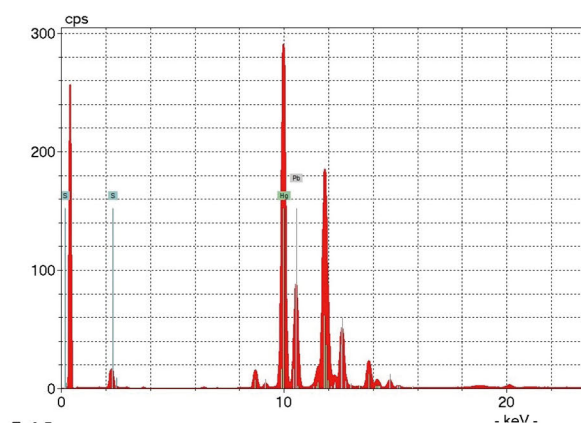
F-13



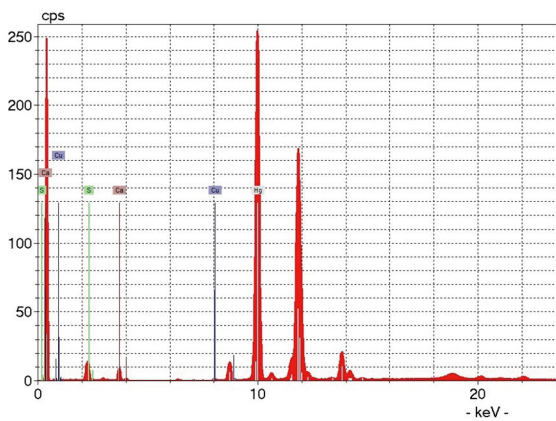
F-14



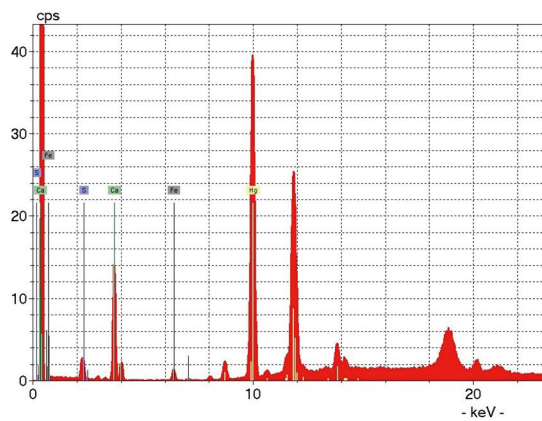
F-15



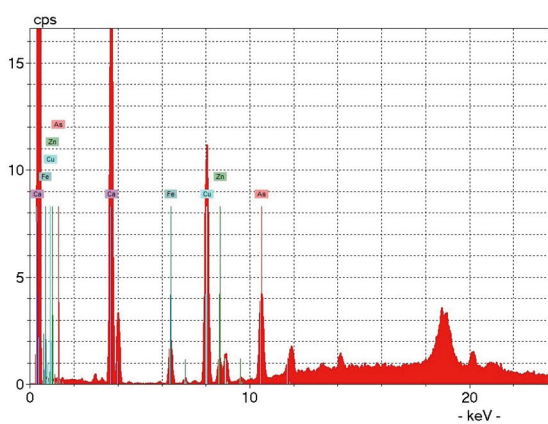
F-16



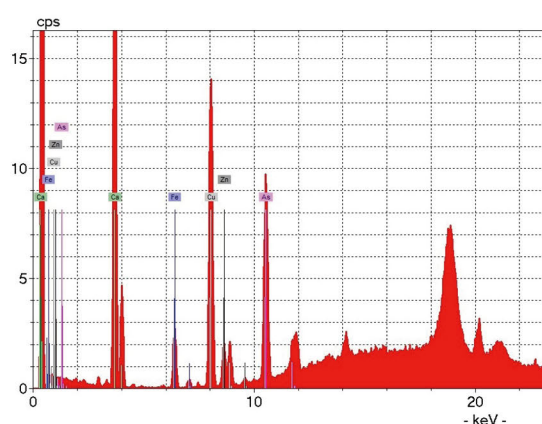
F-17



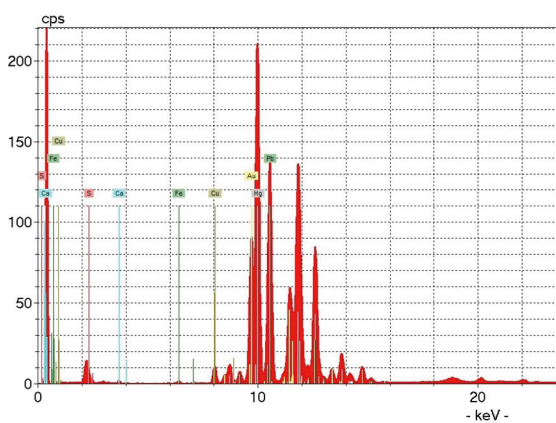
F-18



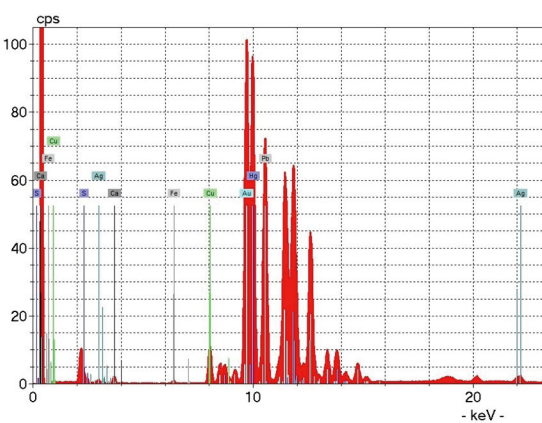
F-19



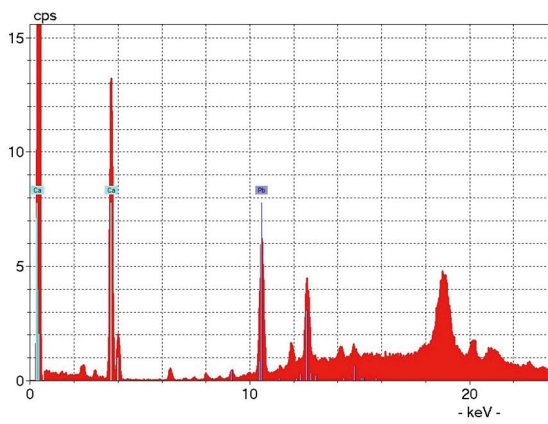
F-20



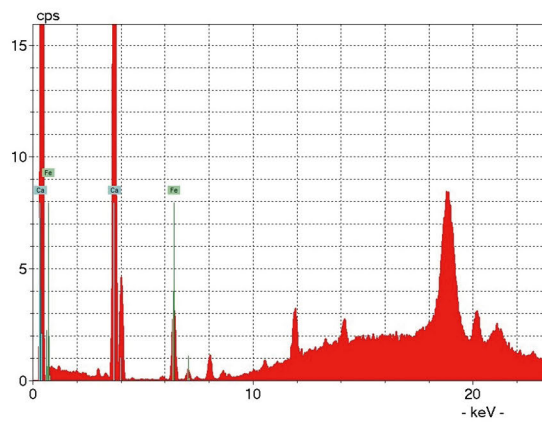
F-21



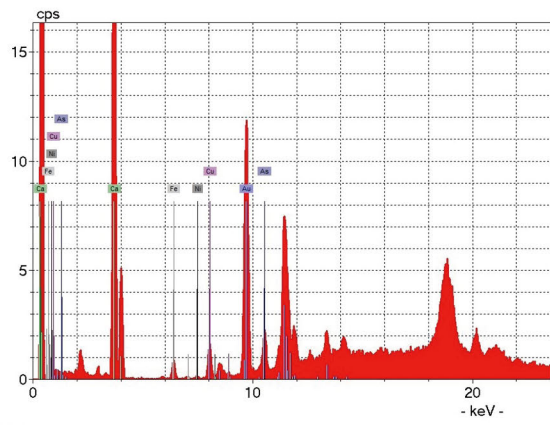
F-22



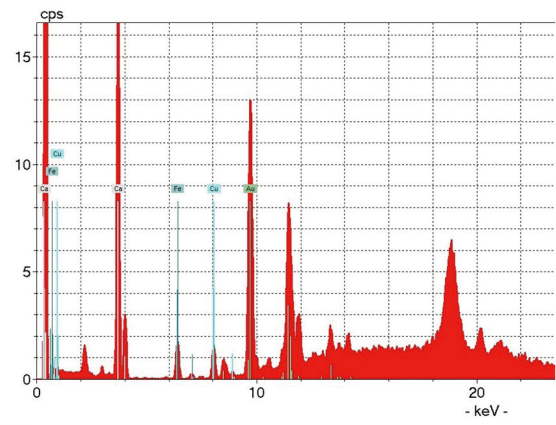
F-23



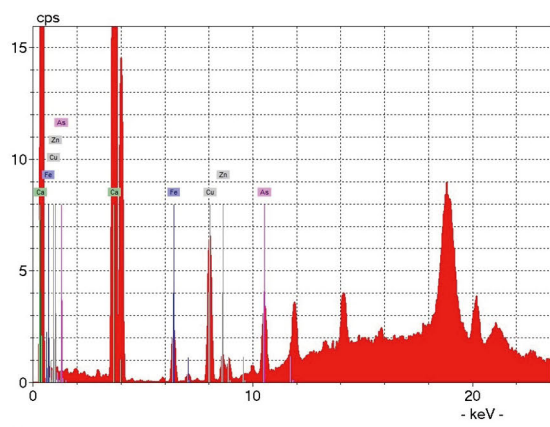
F-24



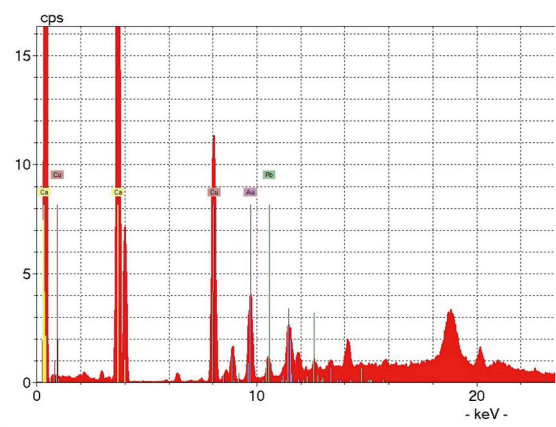
F-25



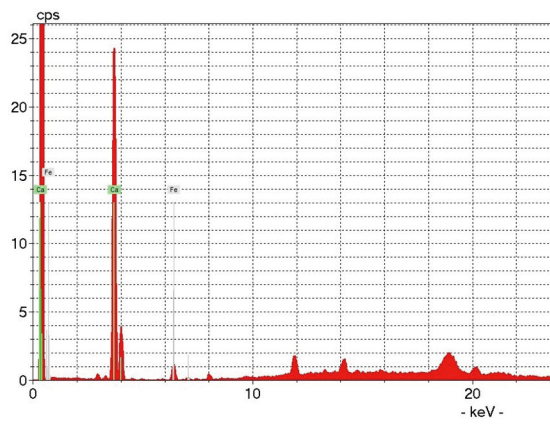
F-26



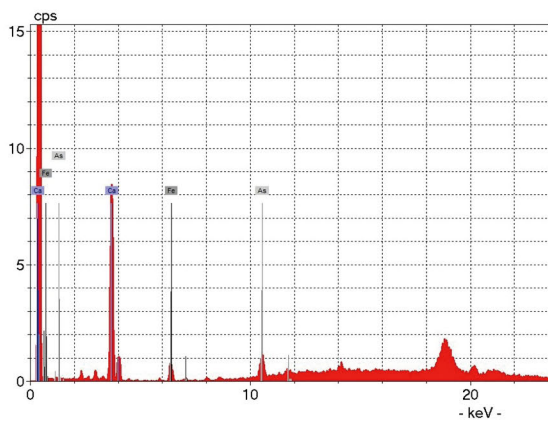
F-27



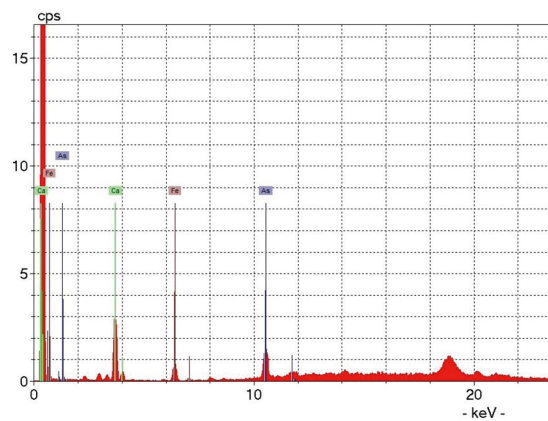
F-28



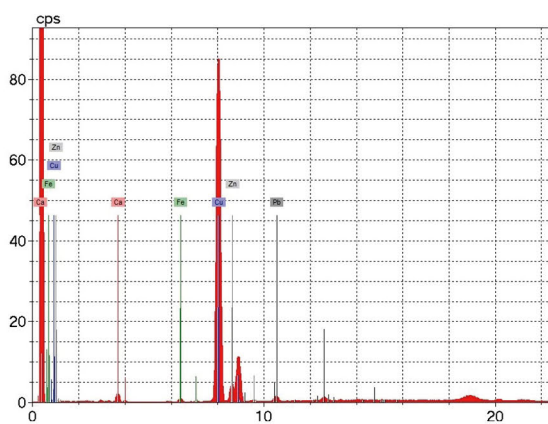
F-30



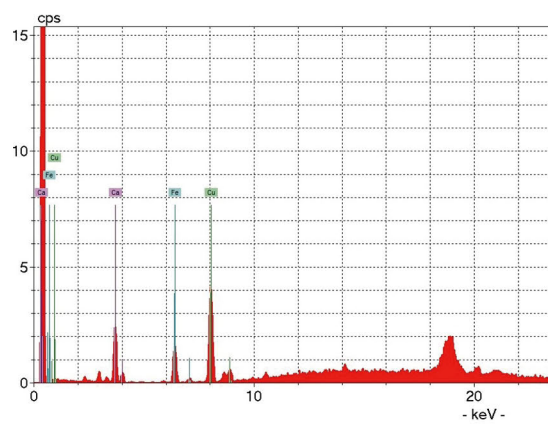
E3-01



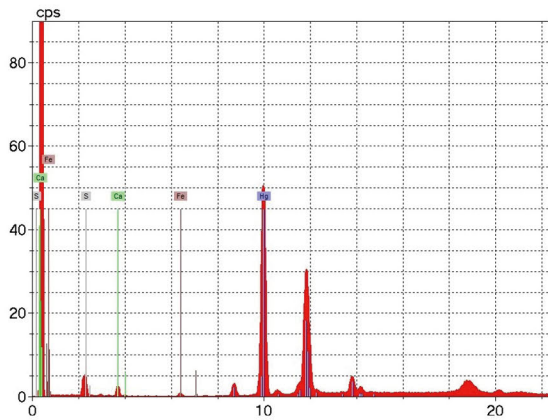
E3-02



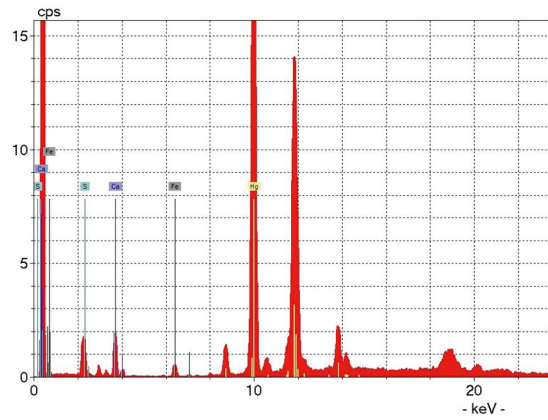
E3-03



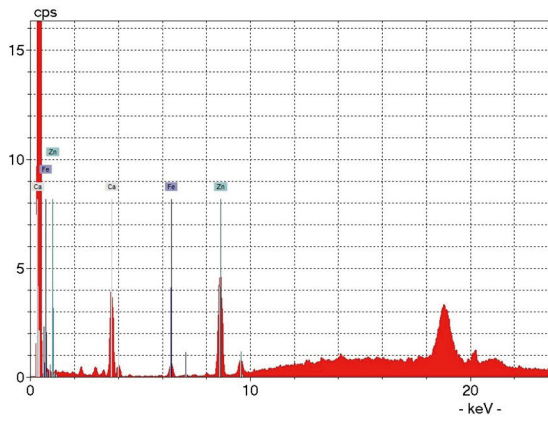
E3-04



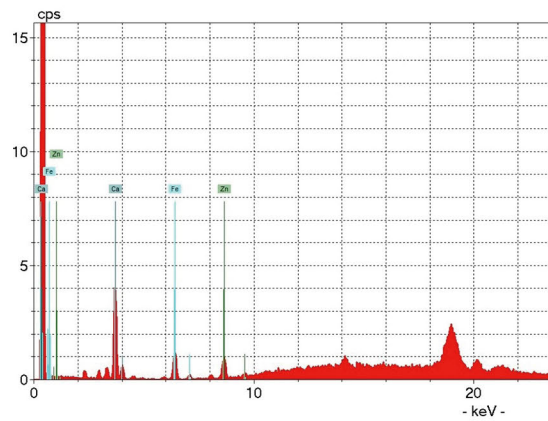
E3-05



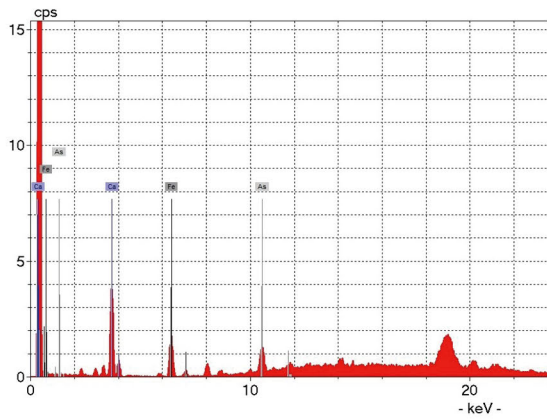
E3-06



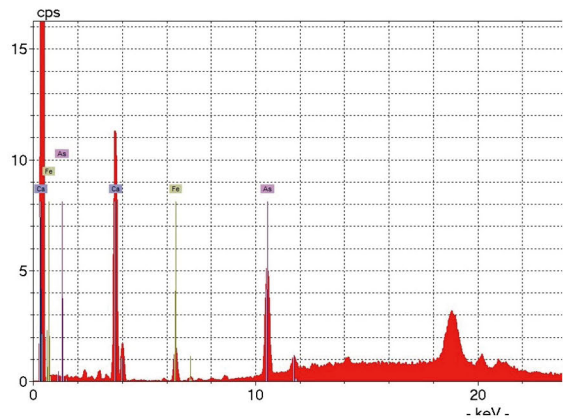
E3-07



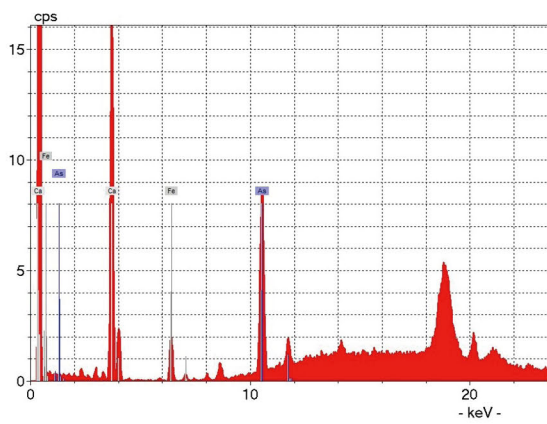
E3-08



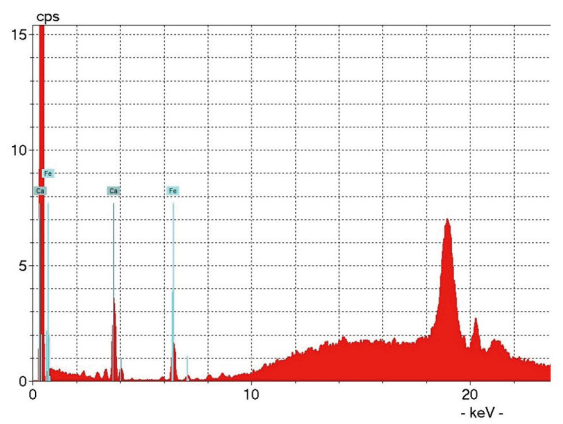
E4-01



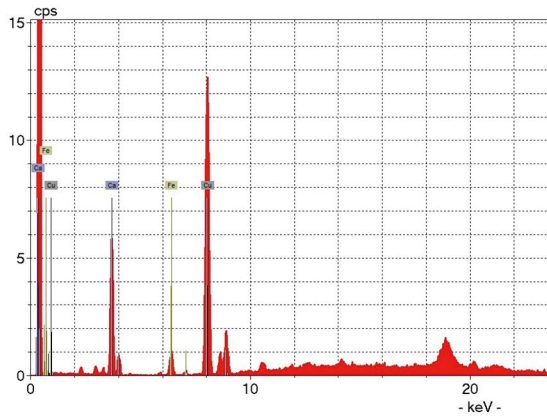
E4-02



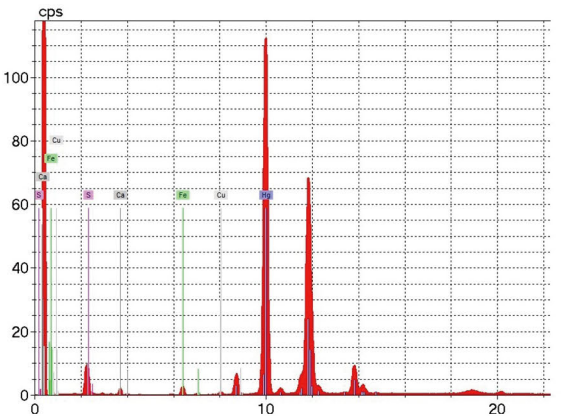
E4-03



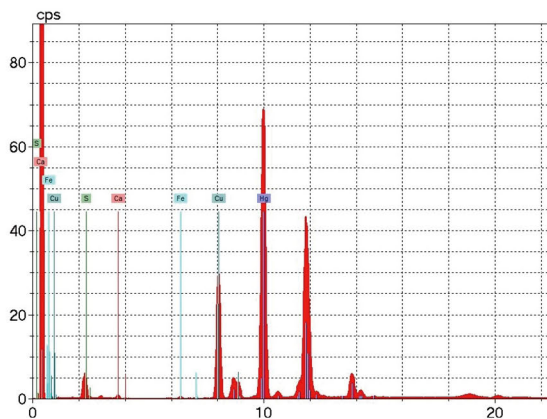
E4-04



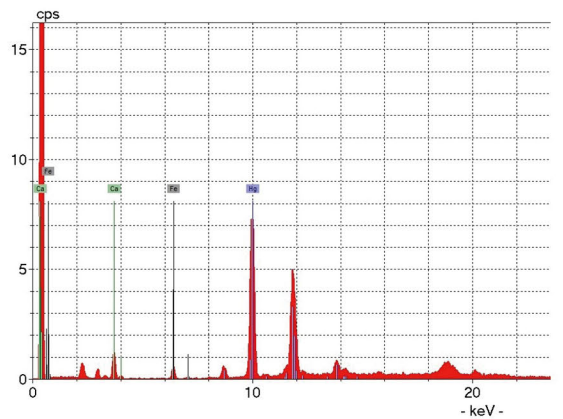
E4-05



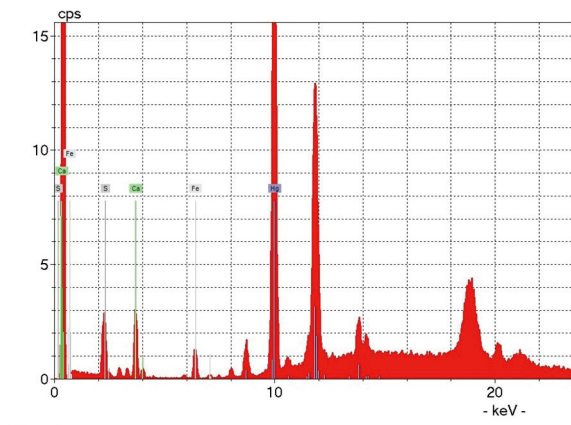
E4-07



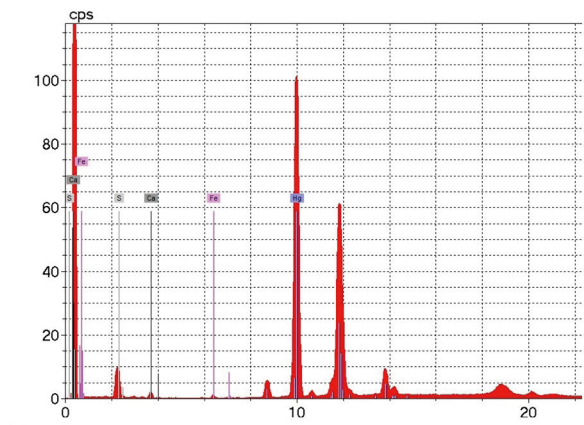
E4-08



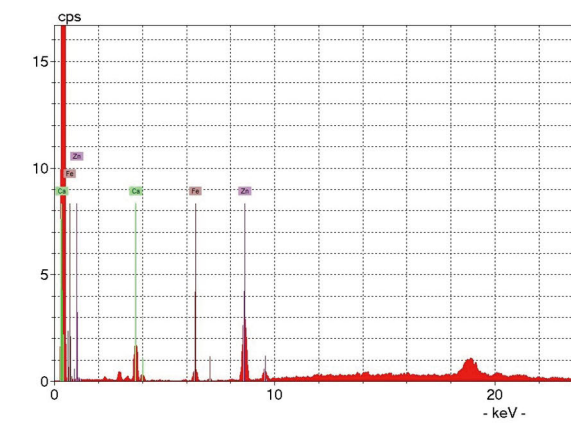
E4-09



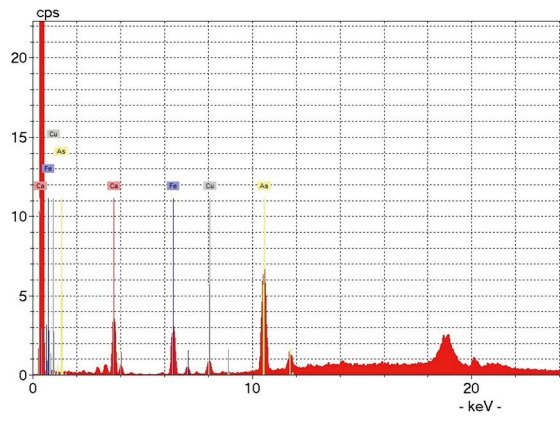
E4-10



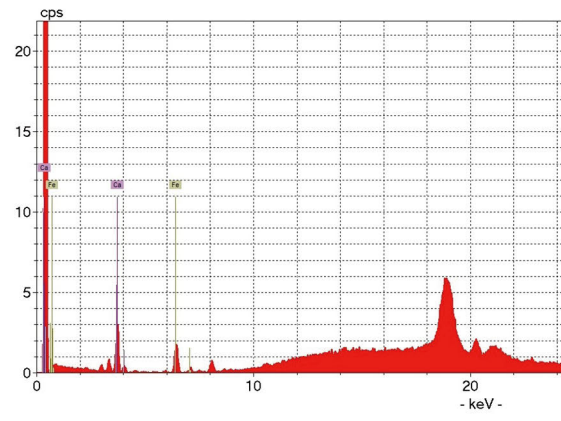
E4-11



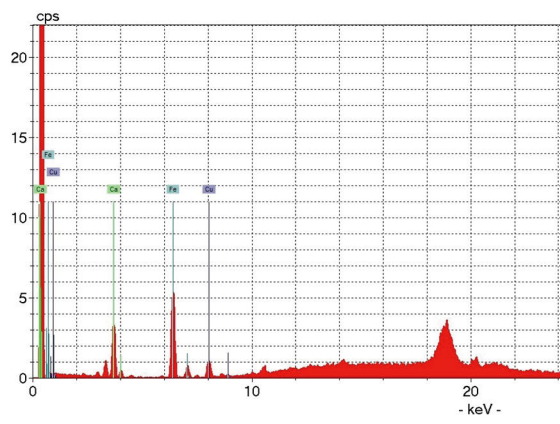
E4-12



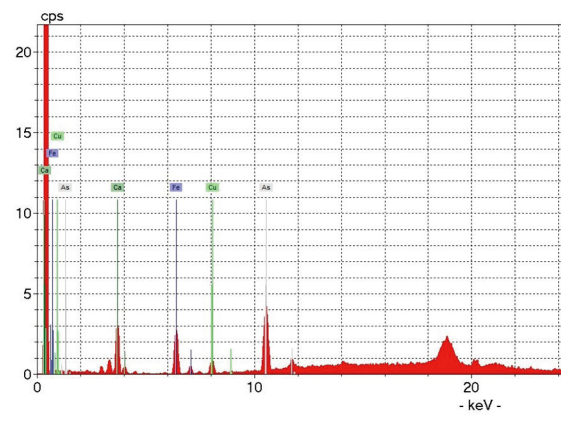
SY-01



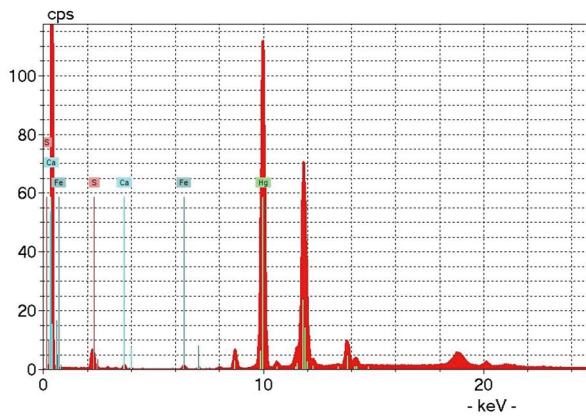
SY-02



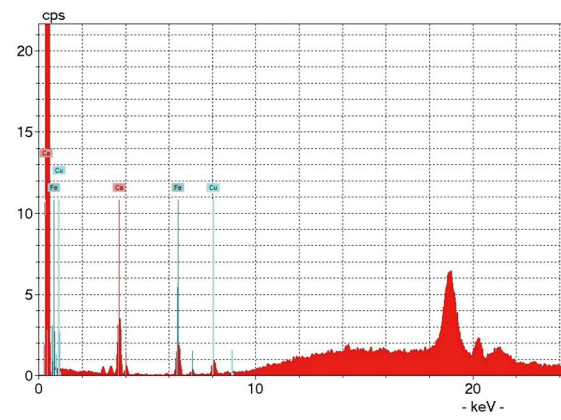
SY-03



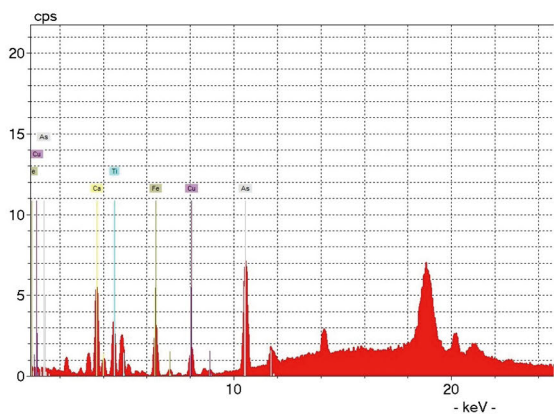
SY-04



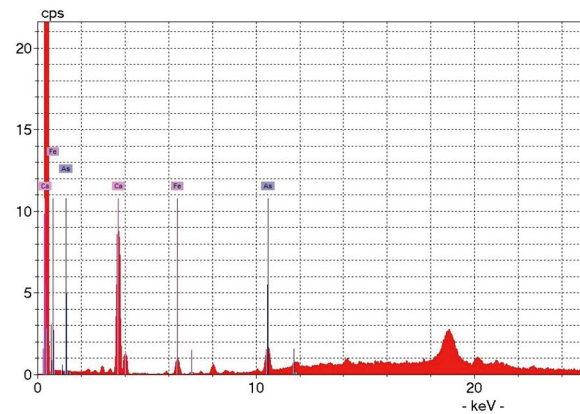
SY-05



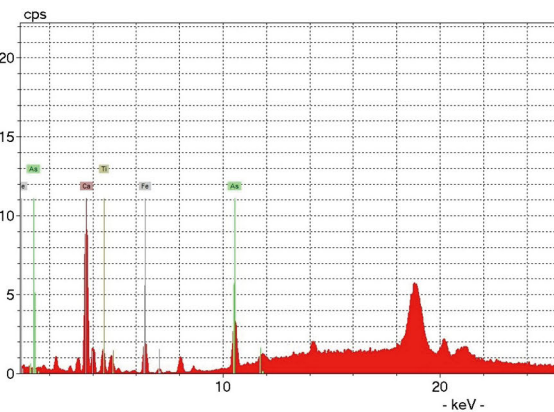
SY-06



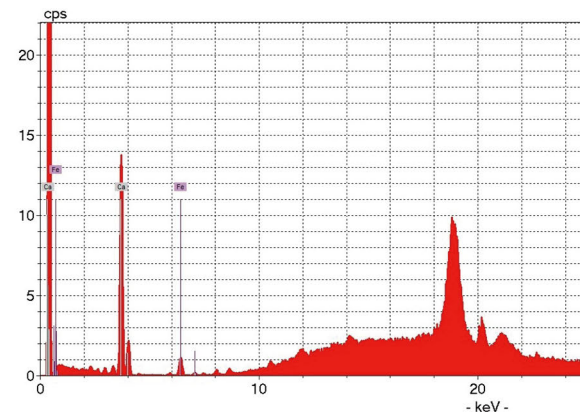
K-01



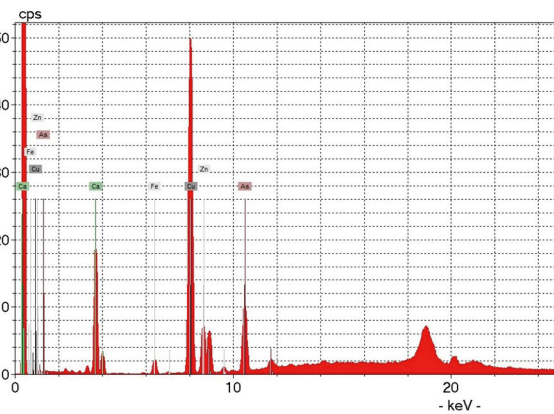
K-02



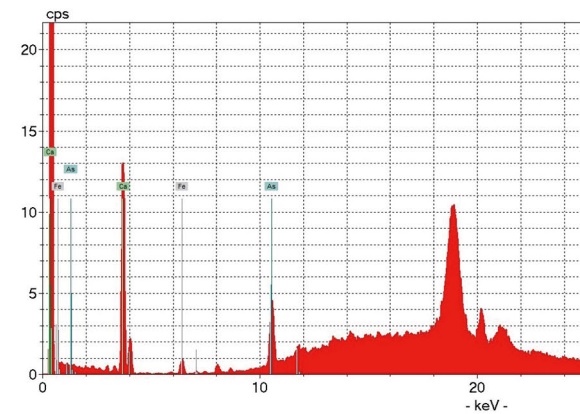
K-03



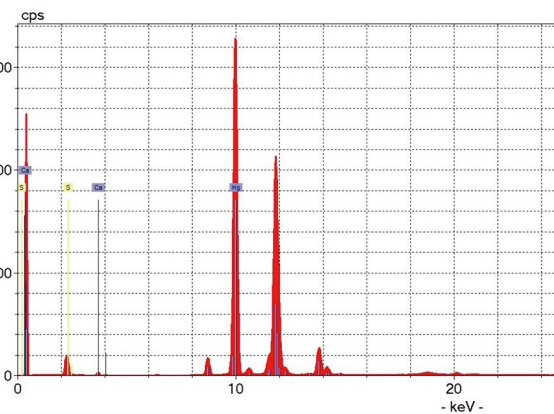
K-04



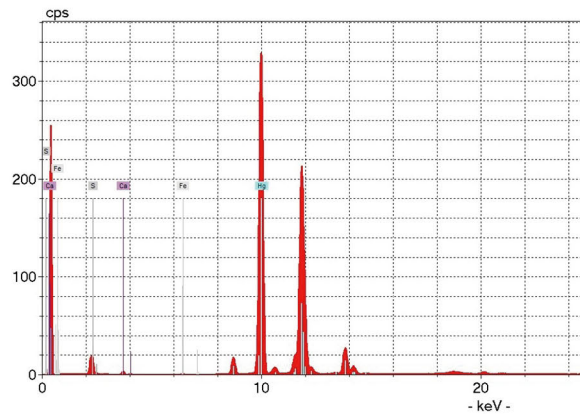
K-05



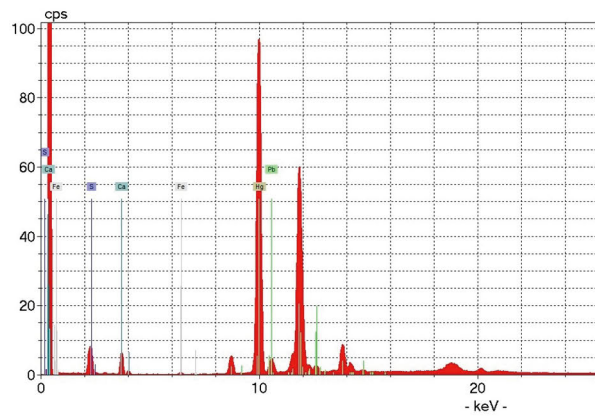
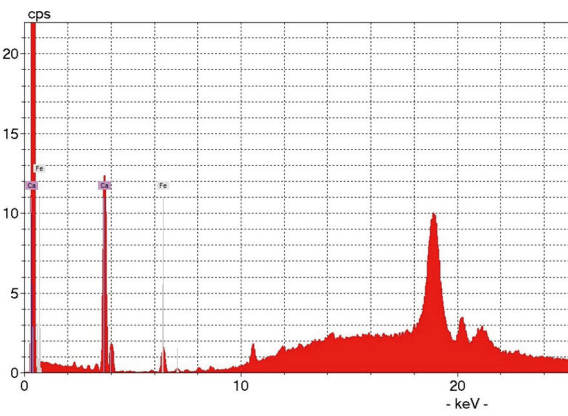
K-06



K-07

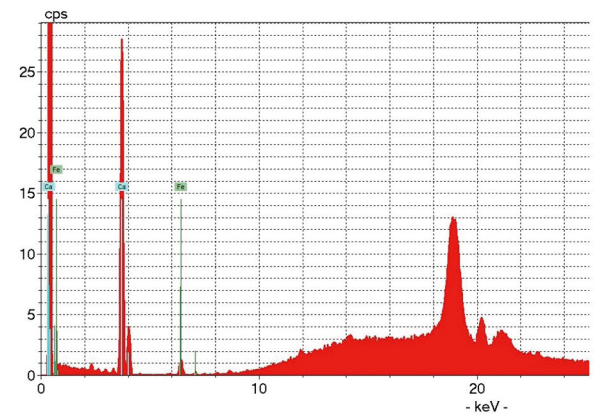
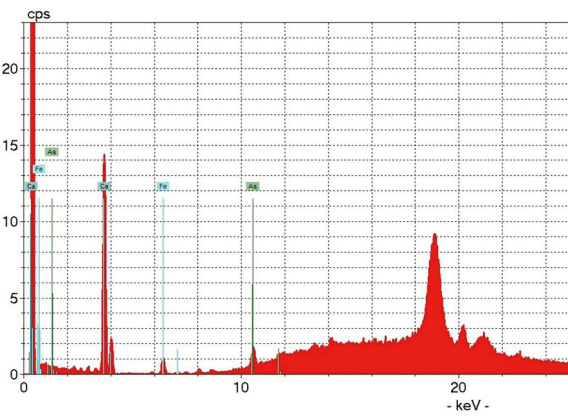


K-08



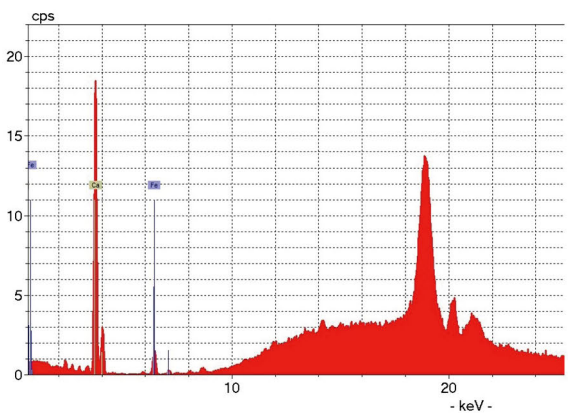
K-09

K-10

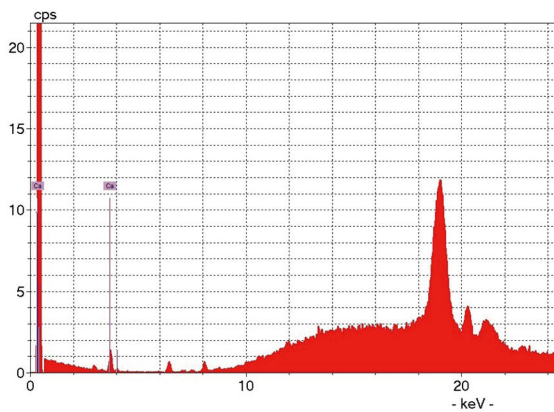


K-11

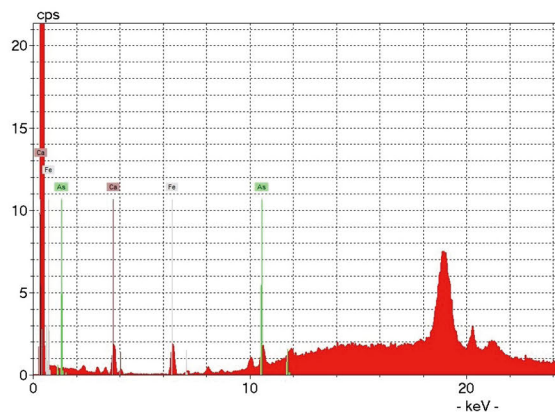
K-12



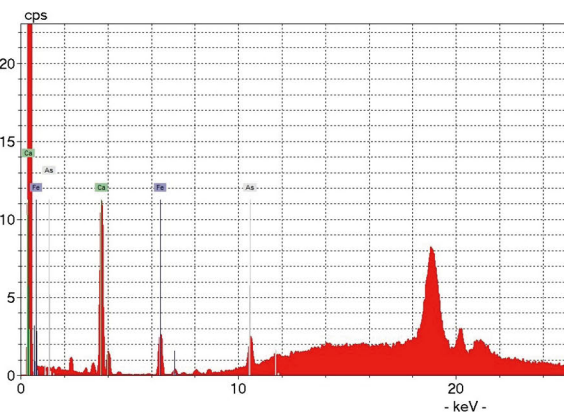
K-14



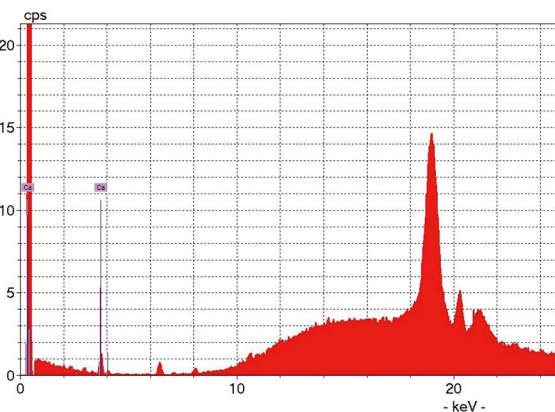
S-01



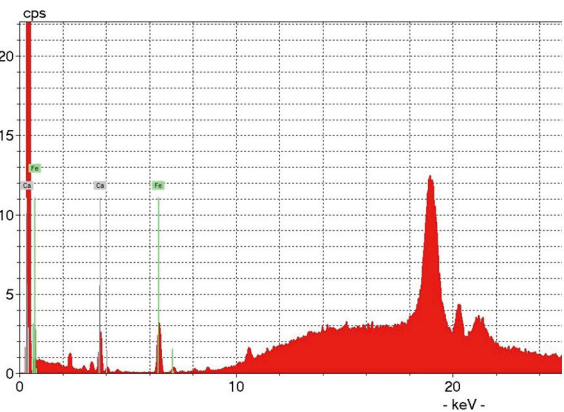
S-02



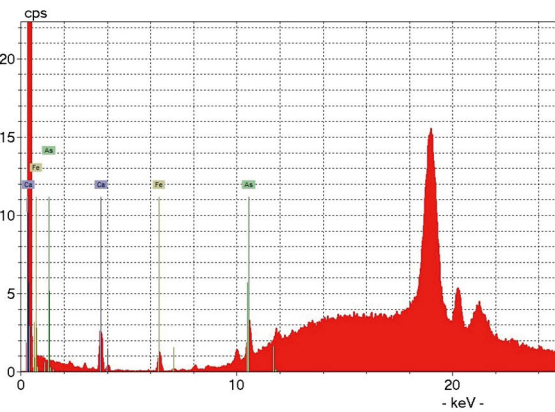
S-03



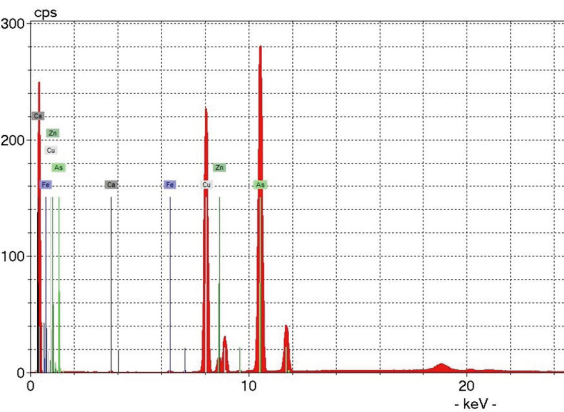
S-04



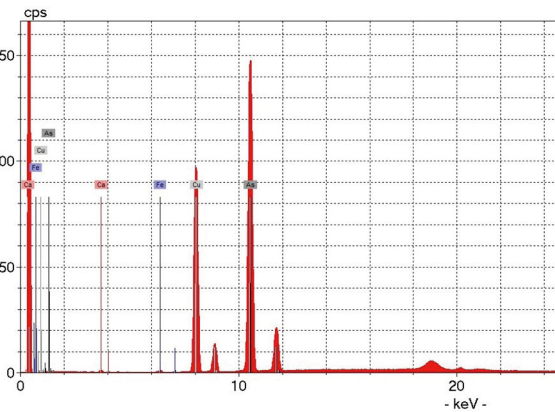
S-05



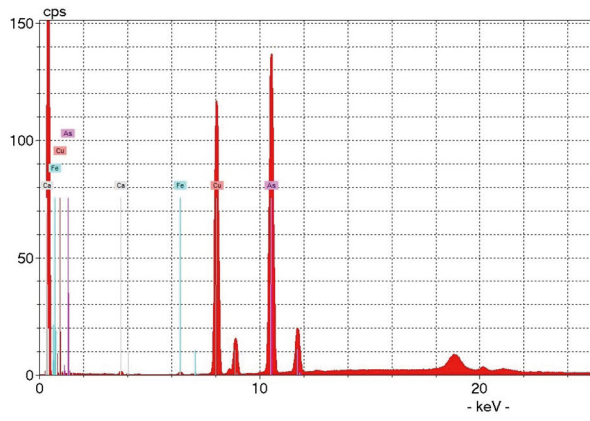
S-06



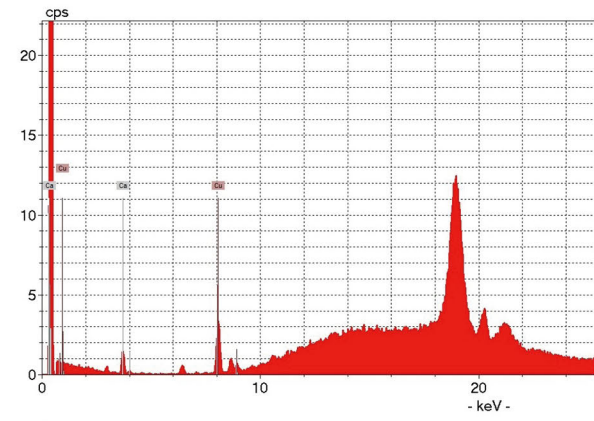
S-07



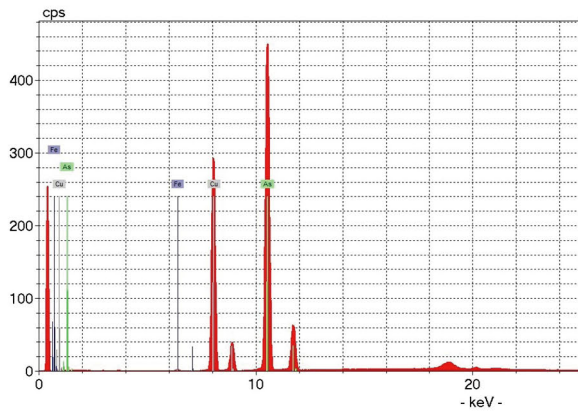
S-08



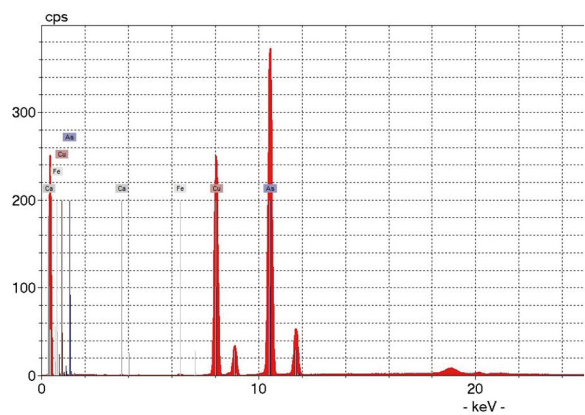
S-09



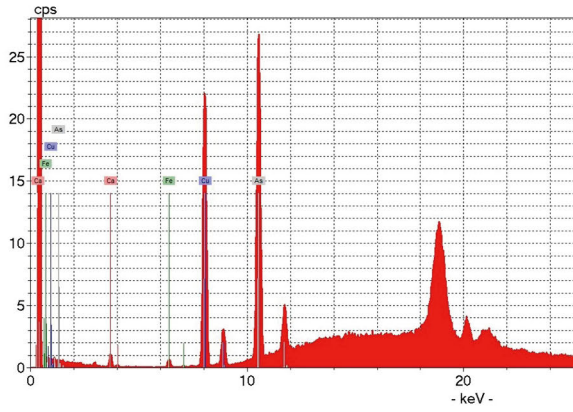
S-10



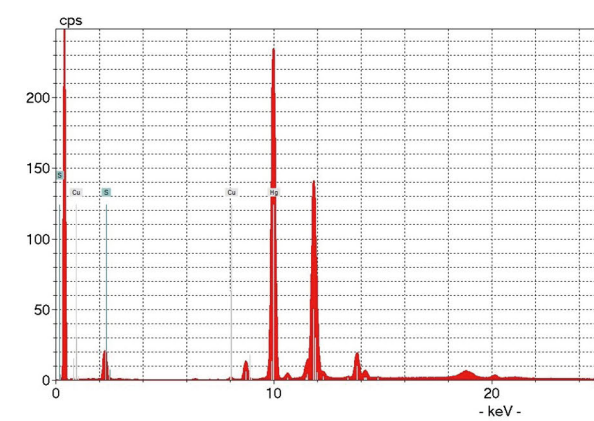
S-11



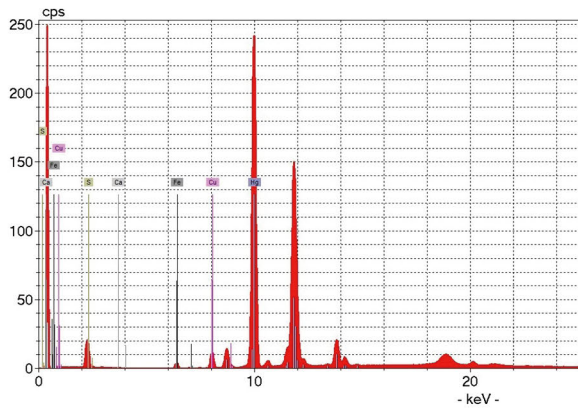
S-12



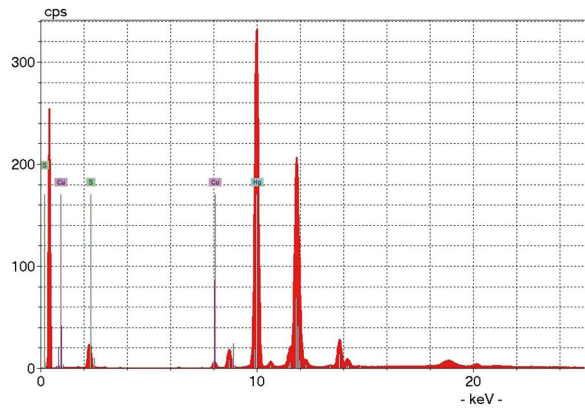
S-13



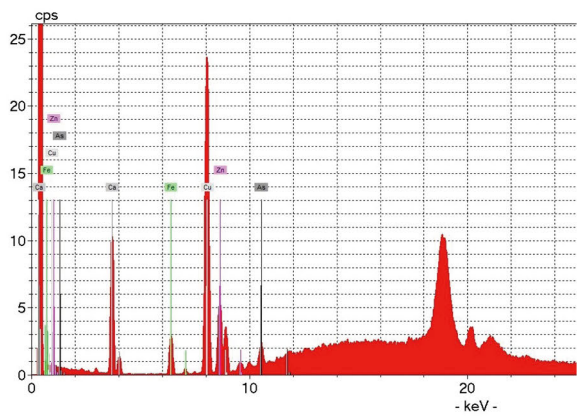
S-14



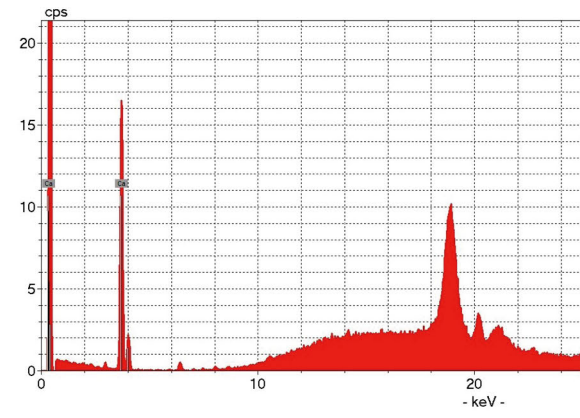
S-15



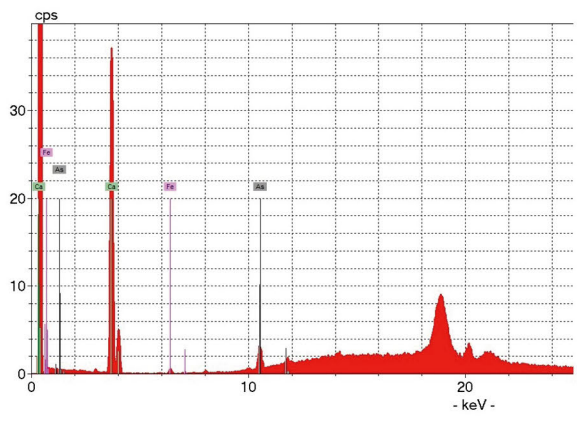
S-16



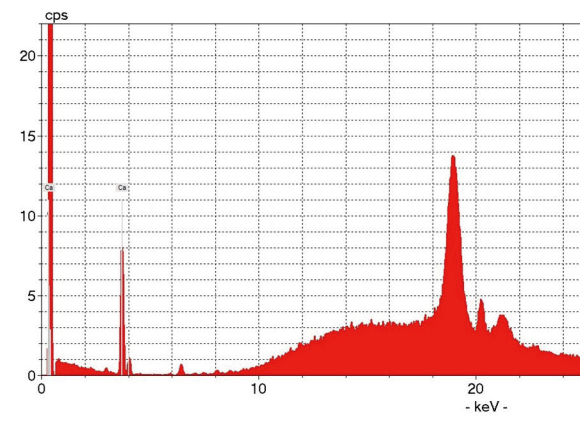
S-25



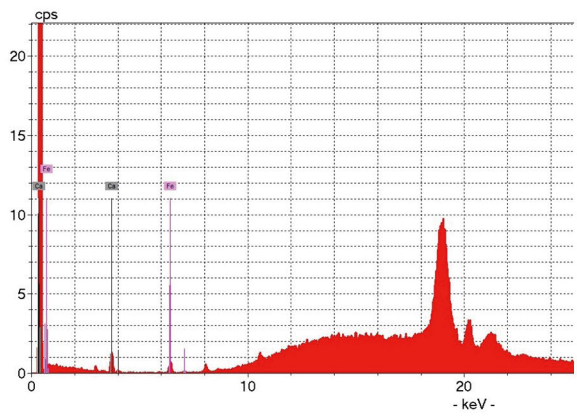
S-26



S-27

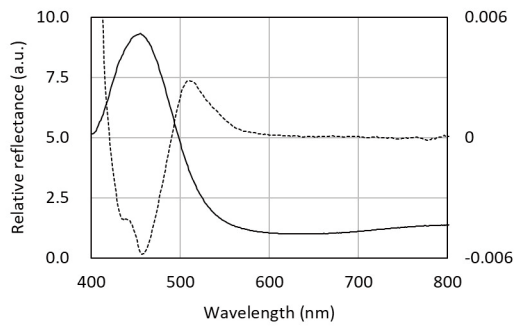


S-28



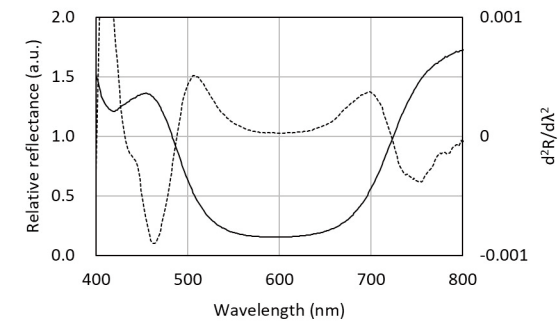
S-30

【巻末資料3】 基準試料及び調査資料の反射スペクトルと二次微分スペクトル



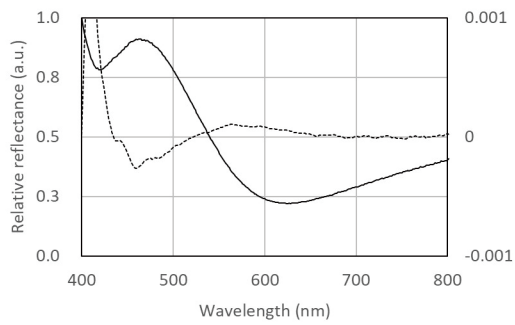
—— 群青(可視) - - - - - 群青(二次微分)

群青



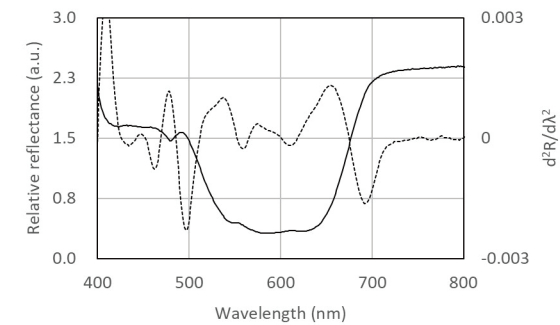
—— ウルトラマリン(可視) - - - - - ウルトラマリン(二次微分)

ウルトラマリン



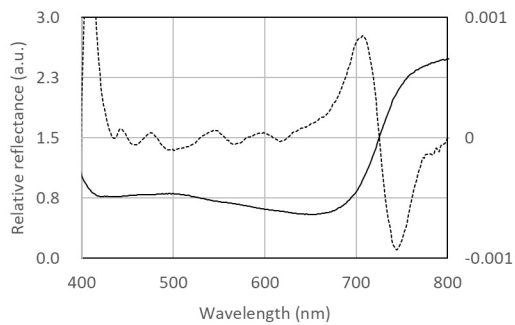
—— プルシャンプルー(可視) - - - - - プルシャンプルー(二次微分)

プルシアンブルー



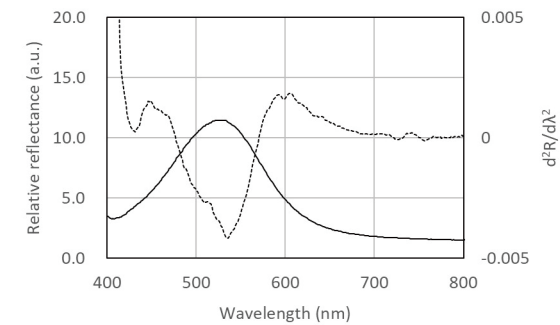
—— スマルト(可視) - - - - - スマルト(二次微分)

スマルト



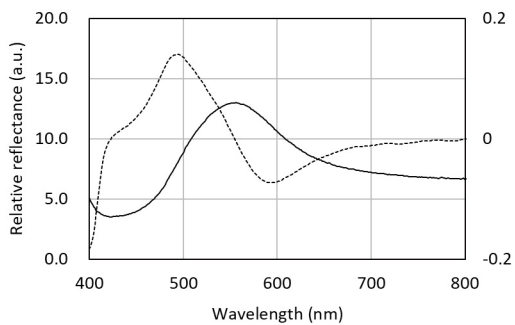
—— 藍(可視) - - - - - 藍(二次微分)

藍



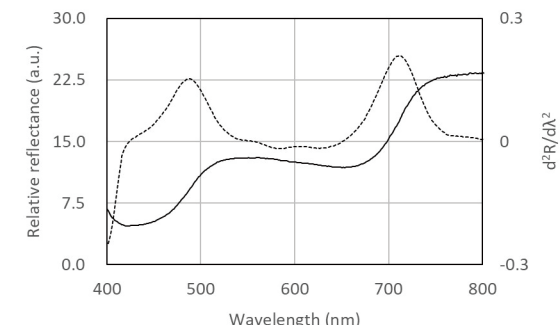
—— 緑青(可視) - - - - - 緑青(二次微分)

緑青



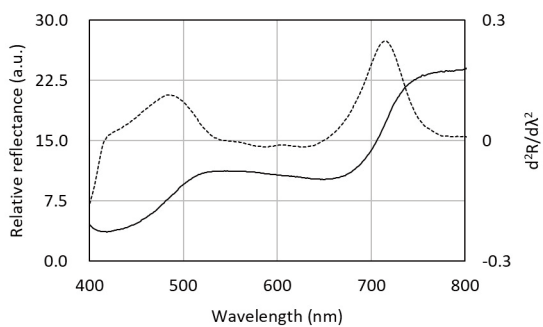
—— 緑青+石黄(可視) - - - - - 緑青+石黄(二次微分)

緑青 + 石黄



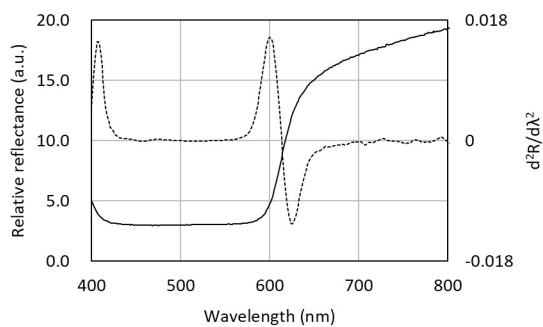
—— 藍+石黄(可視) - - - - - 藍+石黄(二次微分)

藍 + 石黄



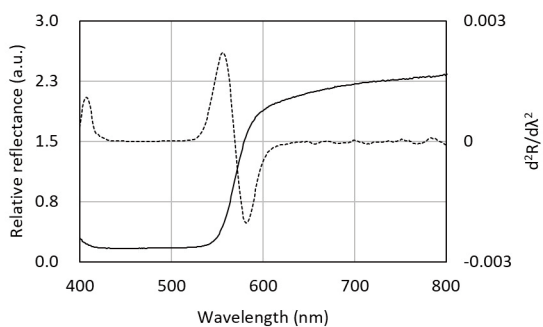
—— 藍+藤黄(可視) - - - - 藍+藤黄(二次微分)

藍+藤黄



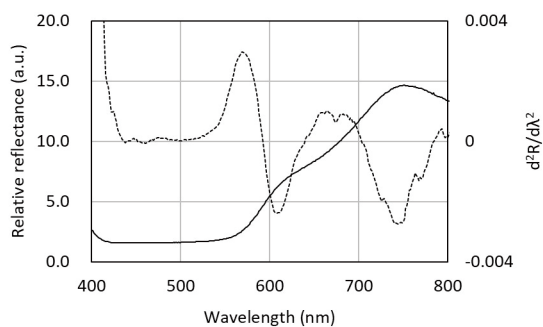
—— 辰砂(可視) - - - - 辰砂(二次微分)

辰砂



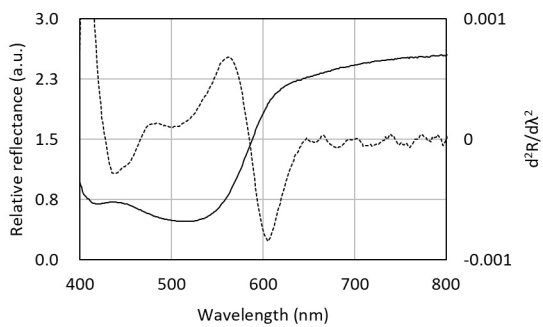
—— 鉛丹(可視) - - - - 鉛丹(二次微分)

鉛丹



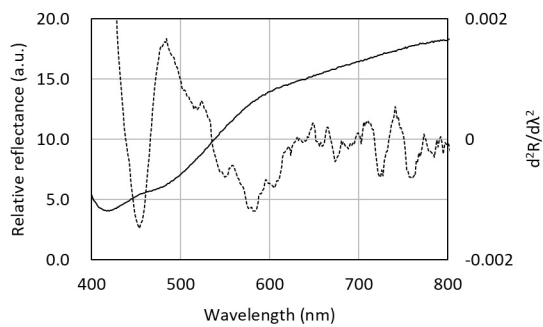
—— ベンガラ(可視) - - - - ベンガラ(二次微分)

ベンガラ



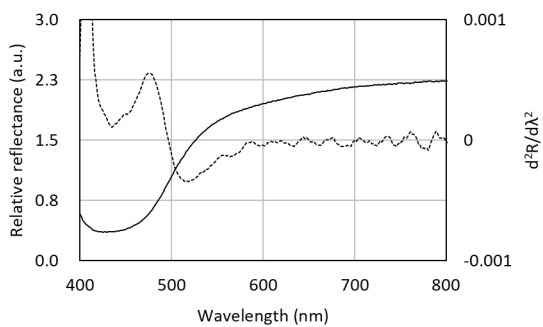
—— 紅花(可視) - - - - 紅花(二次微分)

紅花



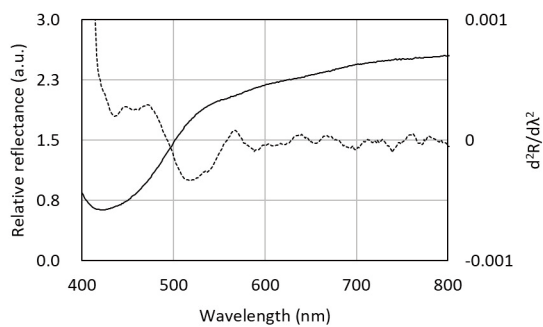
—— 黄土(可視) - - - - 黄土(二次微分)

黄土



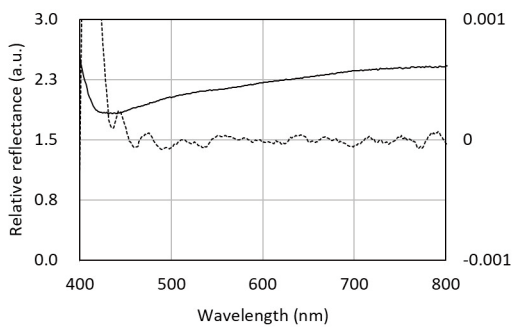
—— 石黄(可視) - - - - 石黄(二次微分)

石黄



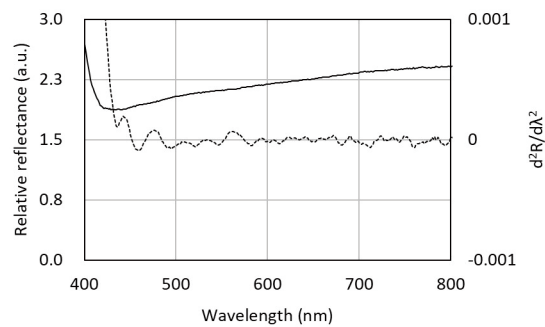
—— 藤黄(可視) - - - - 藤黄(二次微分)

藤黄



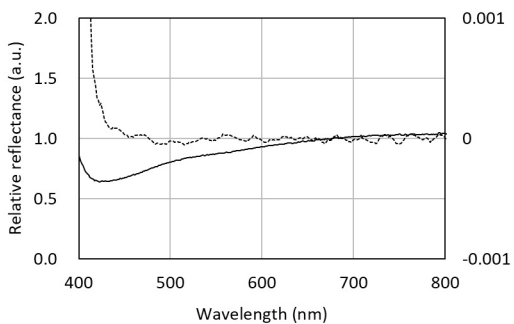
—— 胡粉(可視) 胡粉(二次微分)

胡粉



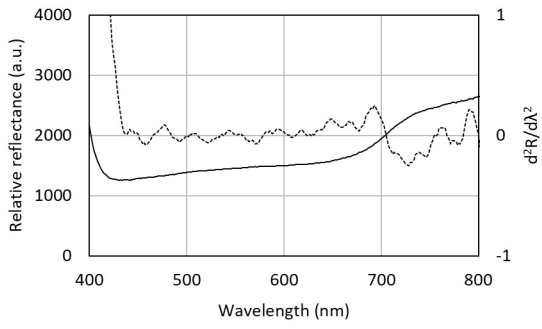
—— 鉛白(可視) 鉛白(二次微分)

鉛白



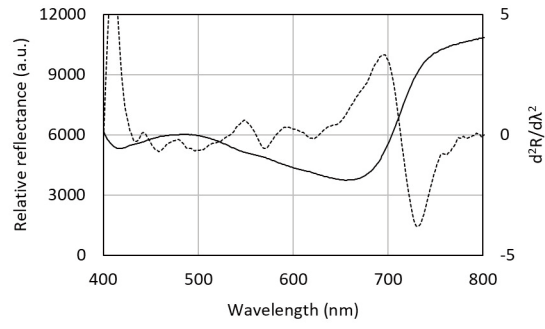
—— 無地(可視) 無地(二次微分)

無地



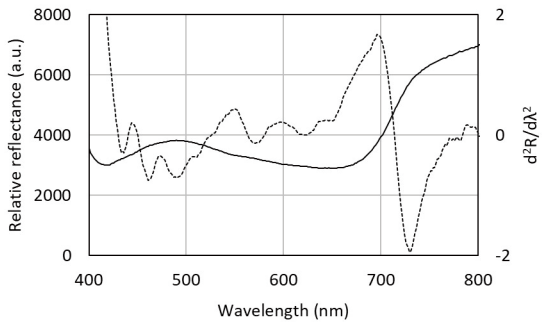
—— F-01(可視) - - - - F-01(二次微分)

F-01



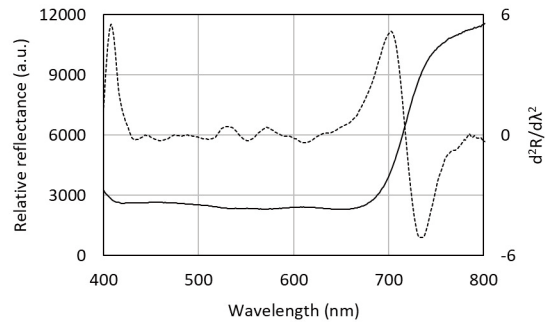
—— F-02(可視) - - - - F-02(二次微分)

F-02



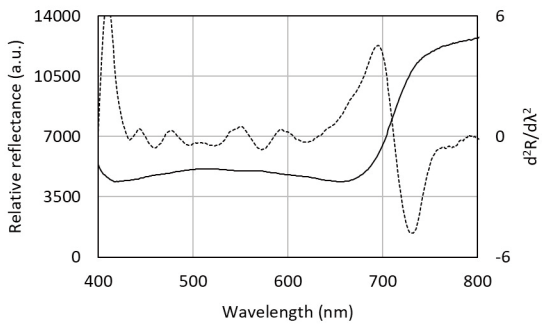
—— F-03(可視) - - - - F-03(二次微分)

F-03



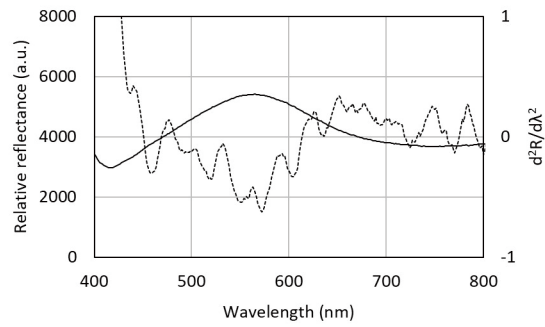
—— F-04(可視) - - - - F-04(二次微分)

F-04



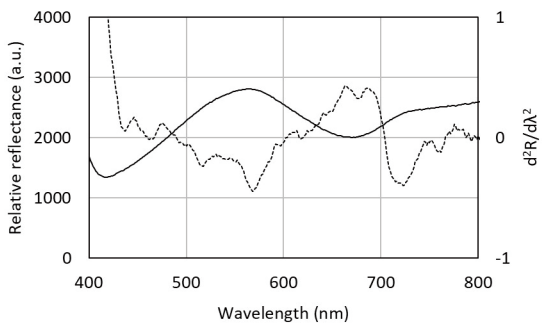
—— F-05(可視) - - - - F-05(二次微分)

F-05



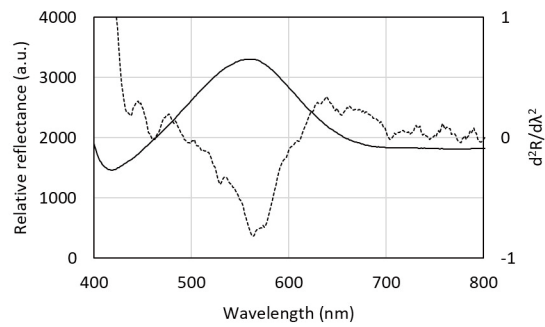
—— F-06(可視) - - - - F-06(二次微分)

F-06



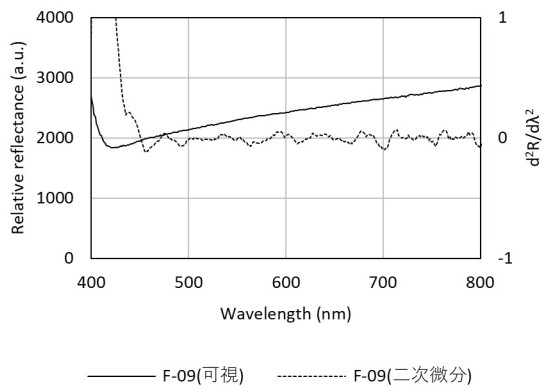
—— F-07(可視) - - - - F-07(二次微分)

F-07

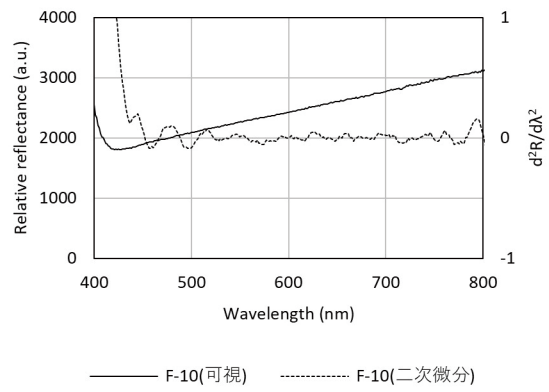


—— F-08(可視) - - - - F-08(二次微分)

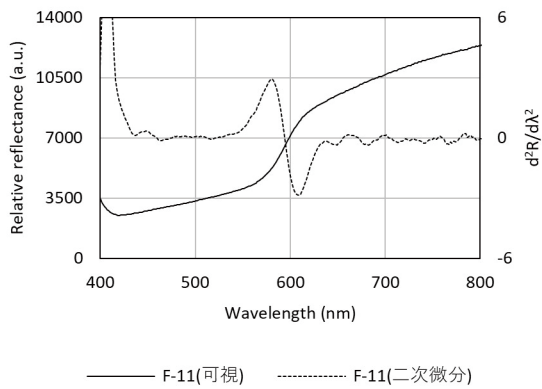
F-08



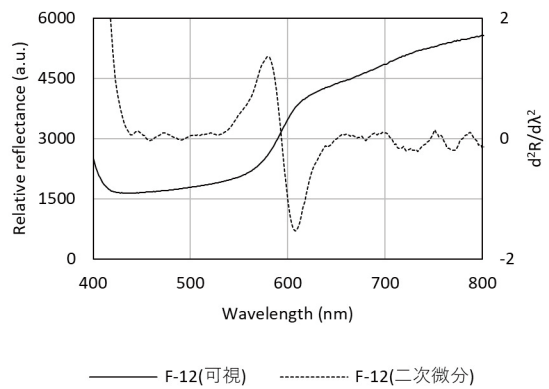
F-09



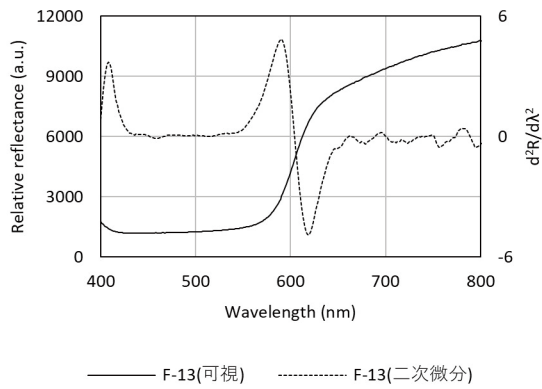
F-10



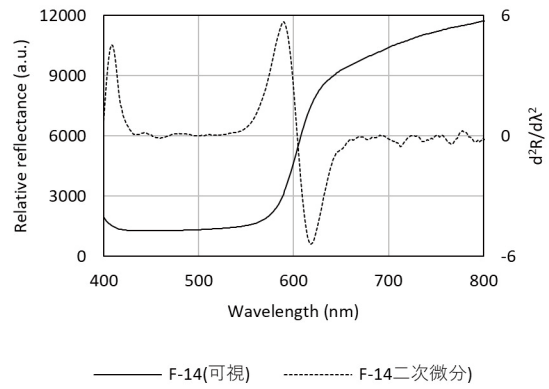
F-11



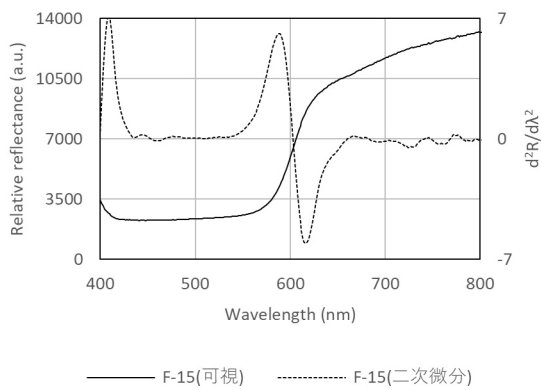
F-12



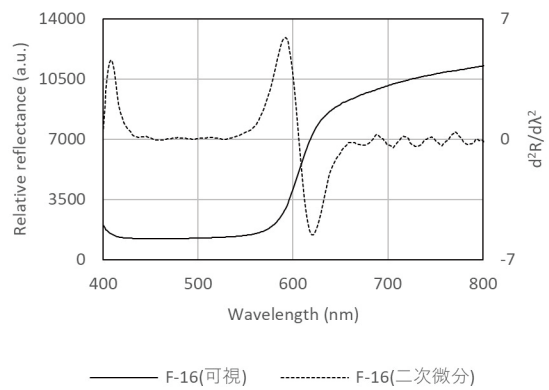
F-13



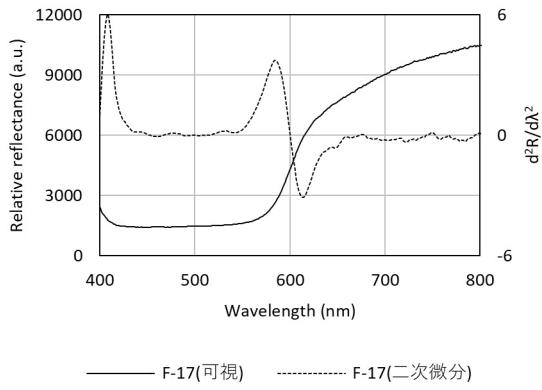
F-14



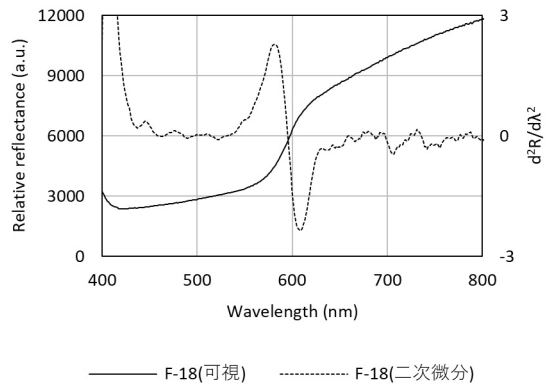
F-15



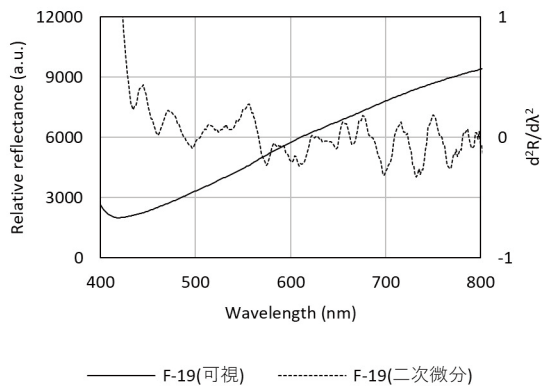
F-16



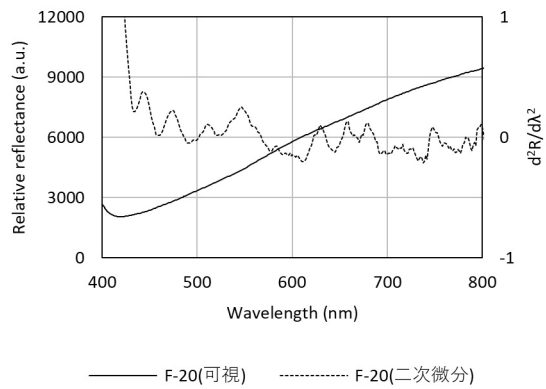
F-17



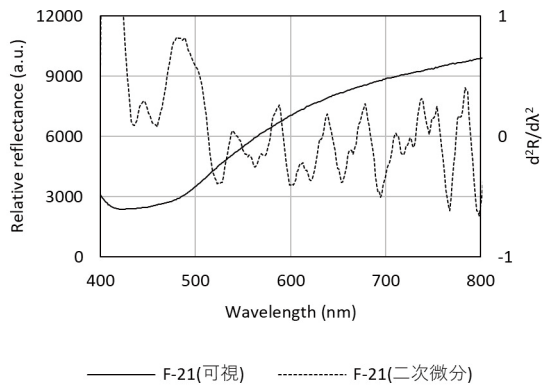
F-18



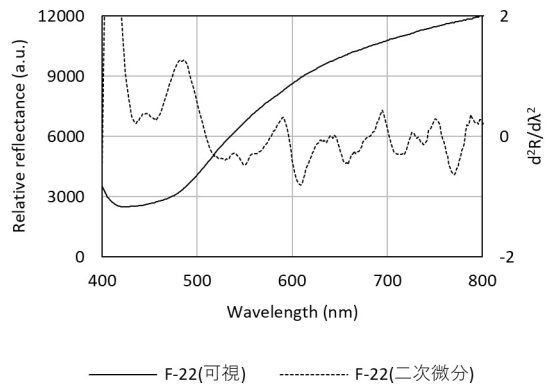
F-19



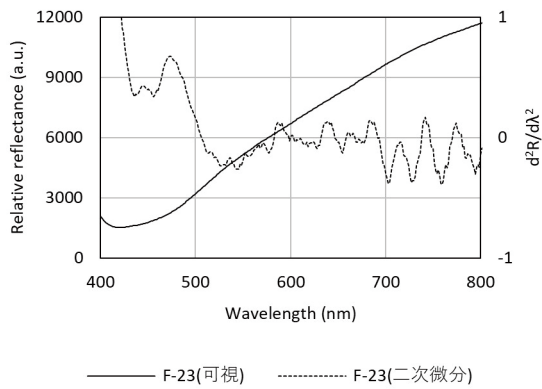
F-20



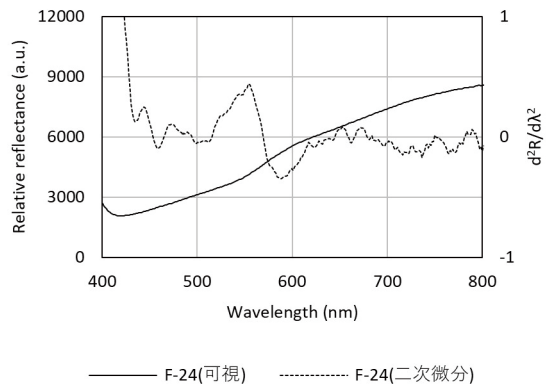
F-21



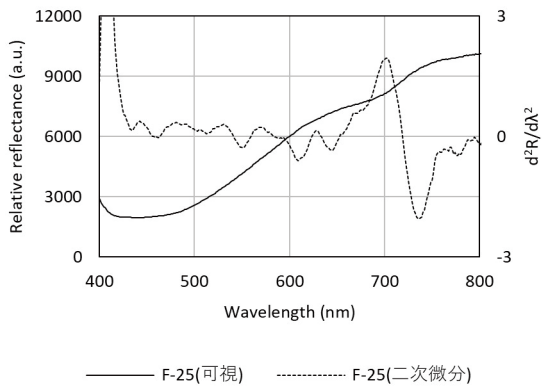
F-22



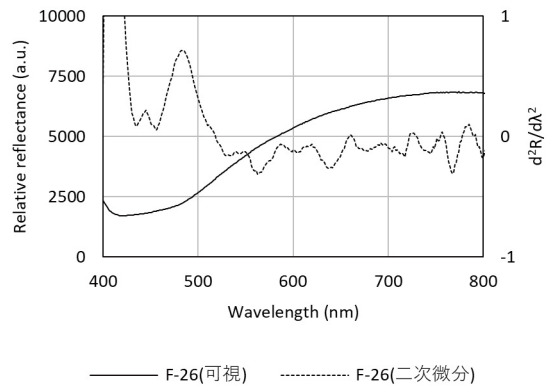
F-23



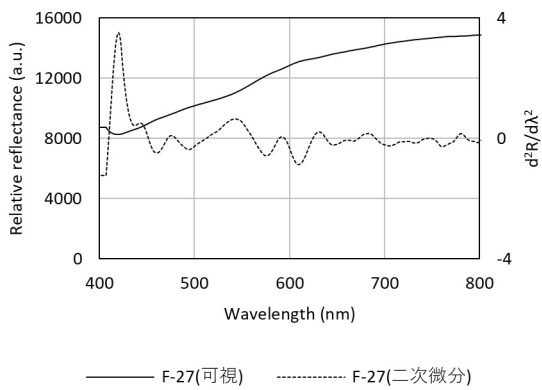
F-24



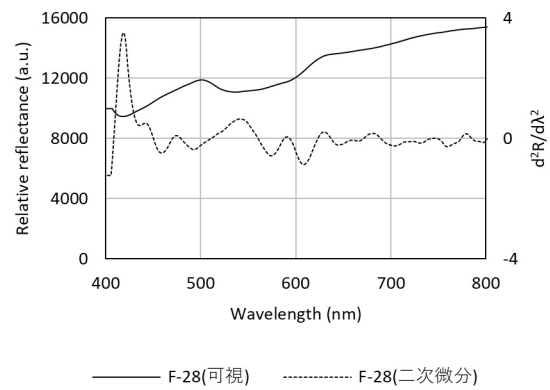
F-25



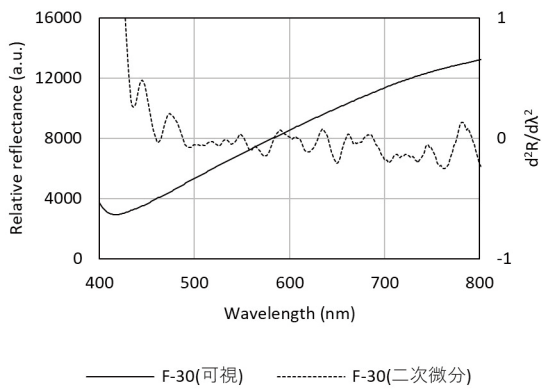
F-26



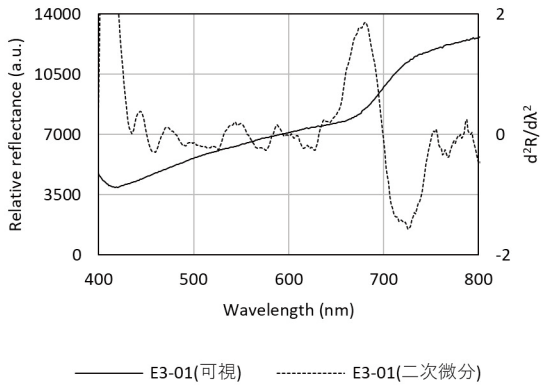
F-27



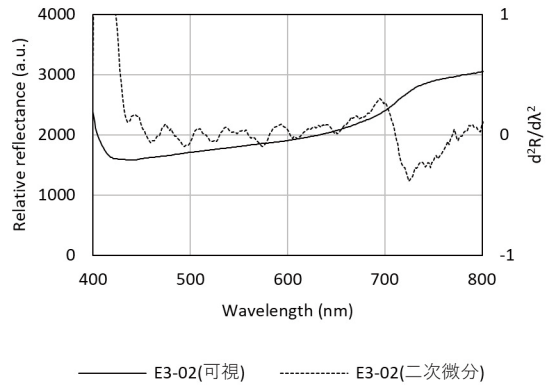
F-28



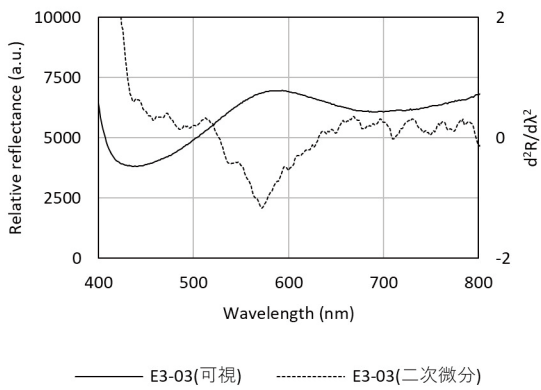
F-30



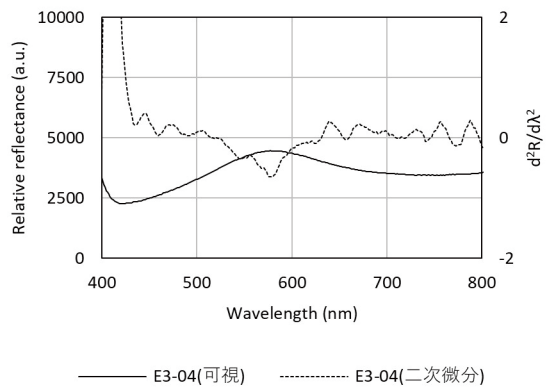
E3-01



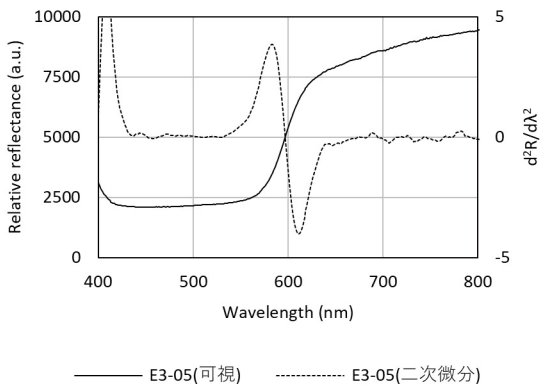
E3-02



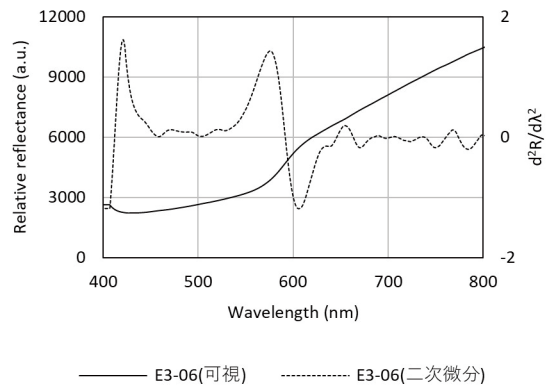
E3-03



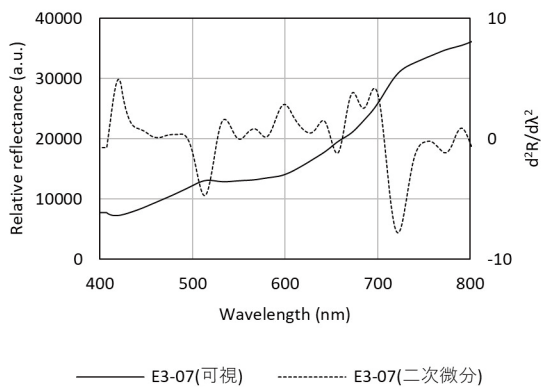
E3-04



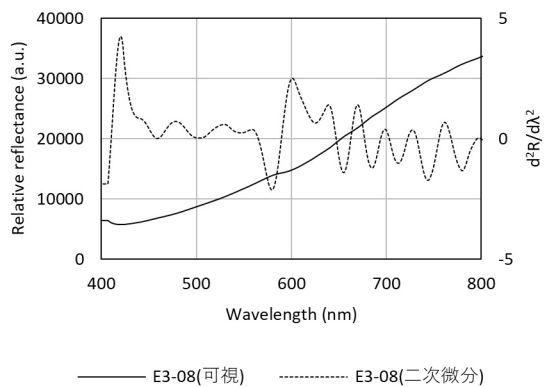
E3-05



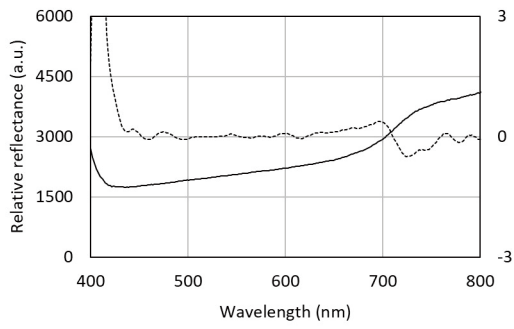
E3-06



E3-07

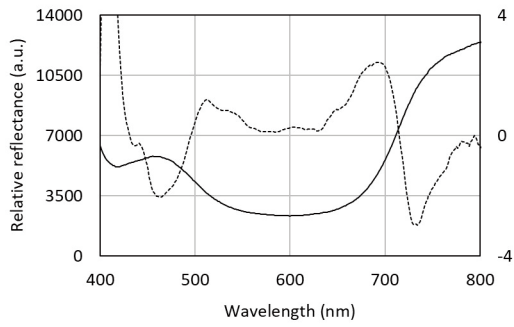


E3-08



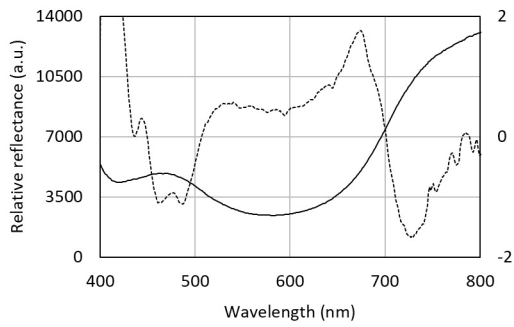
—— E4-1(可視) - - - - E4-1(二次微分)

E4-01



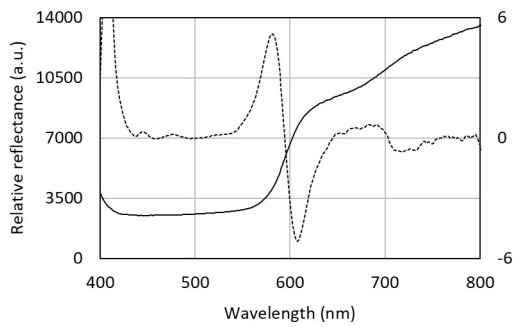
—— E4-3(可視) - - - - E4-3(二次微分)

E4-03



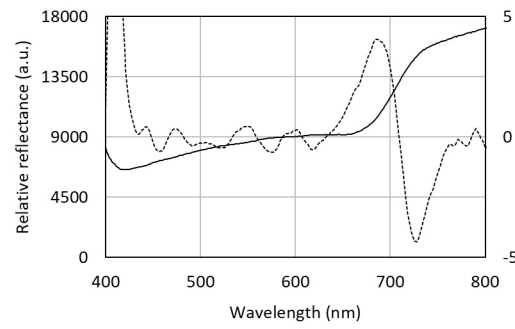
—— E4-5(可視) - - - - E4-5(二次微分)

E4-05



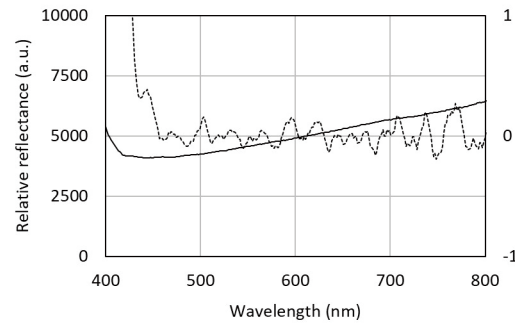
—— E4-8(可視) - - - - E4-8(二次微分)

E4-08



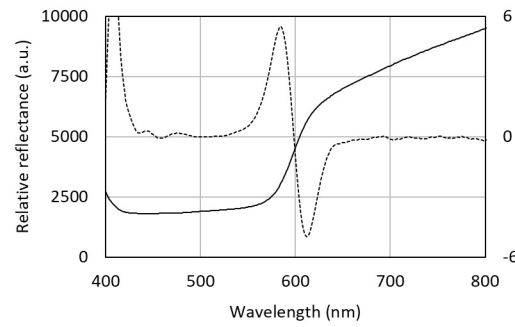
—— E4-2(可視) - - - - E4-2(二次微分)

E4-02



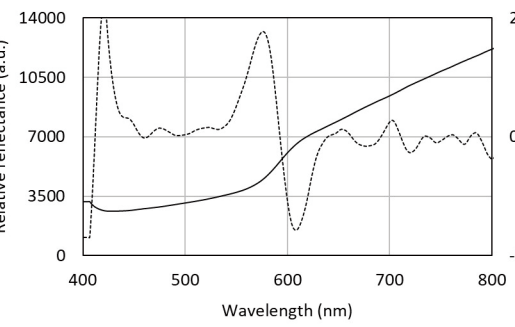
—— E4-4(可視) - - - - E4-4(二次微分)

E4-04



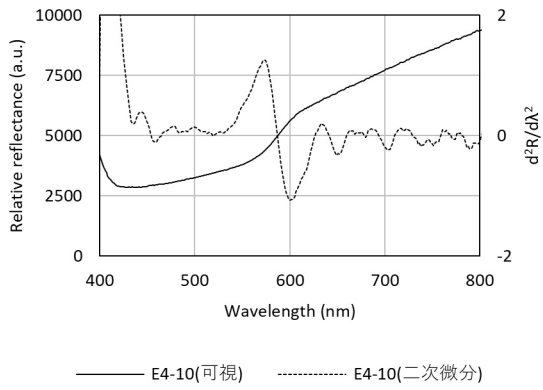
—— E4-7(可視) - - - - E4-7(二次微分)

E4-07

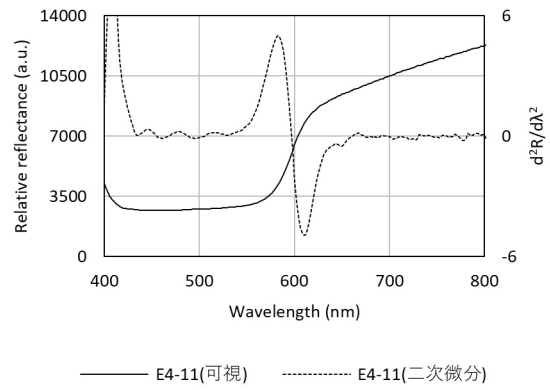


—— E4-9(可視) - - - - E4-9(二次微分)

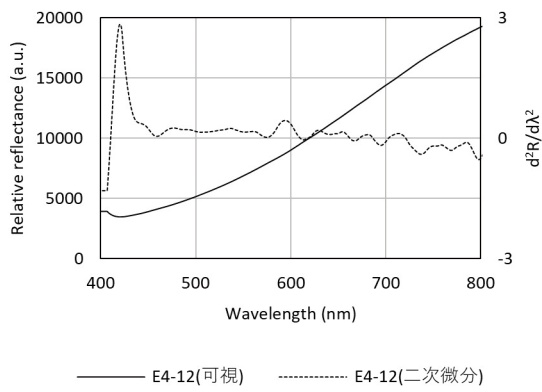
E4-09



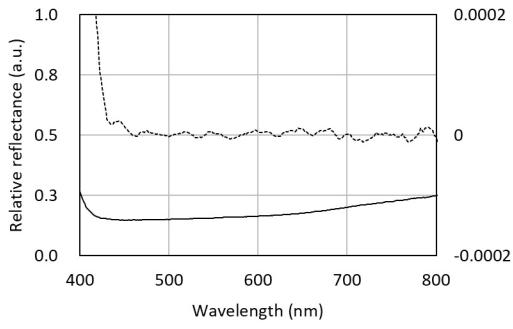
E4-10



E4-11

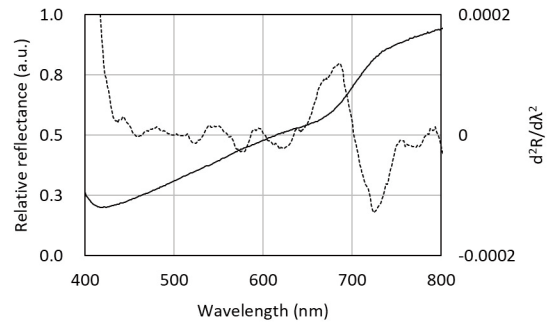


E4-12



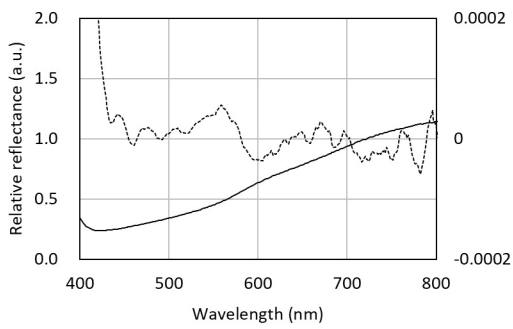
— SY-01(可視) - - - SY-01(二次微分)

SY-01



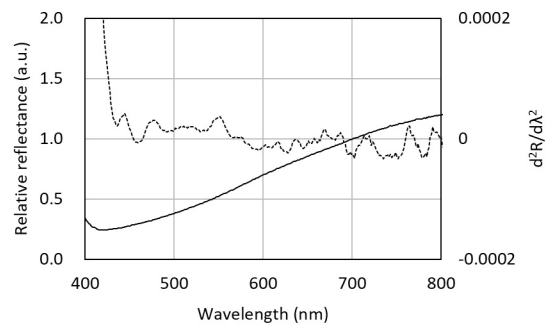
— SY-02(可視) - - - SY-02(二次微分)

SY-02



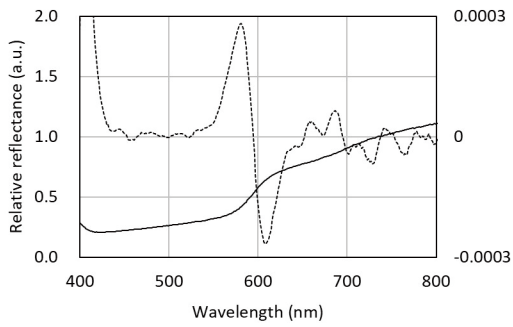
— SY-03(可視) - - - SY-03(二次微分)

SY-03



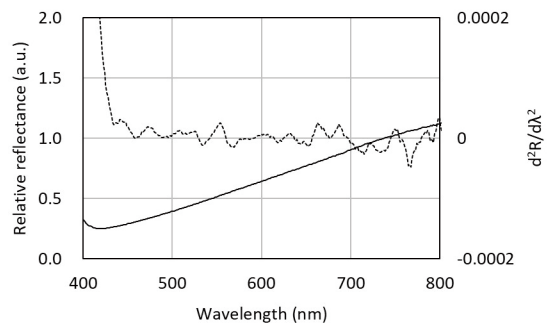
— SY-04(可視) - - - SY-04(二次微分)

SY-04



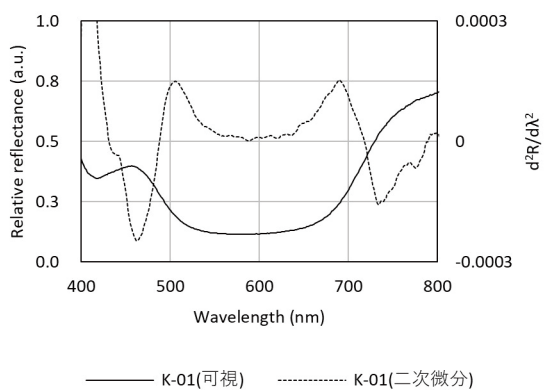
— SY-05(可視) - - - SY-05(二次微分)

SY-05

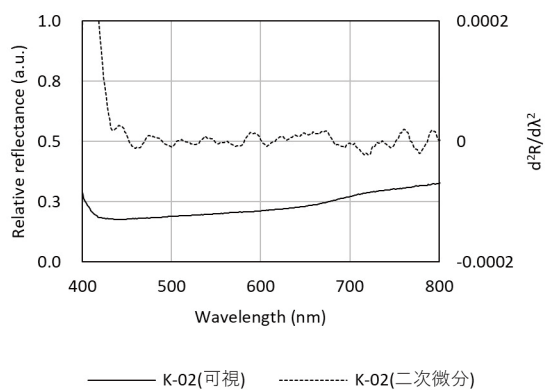


— SY-06(可視) - - - SY-06(二次微分)

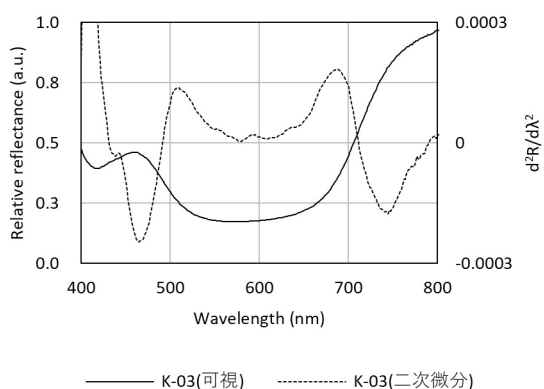
SY-06



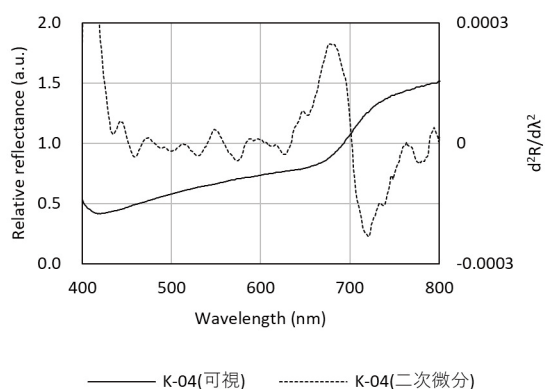
K-01



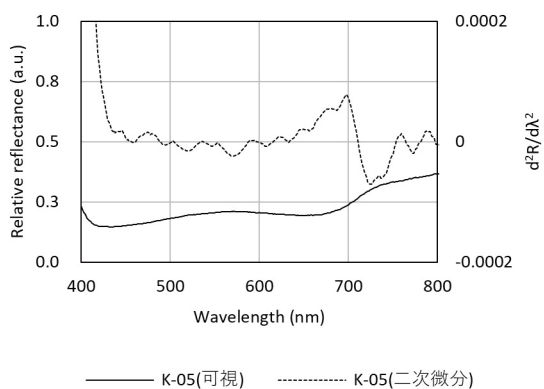
K-02



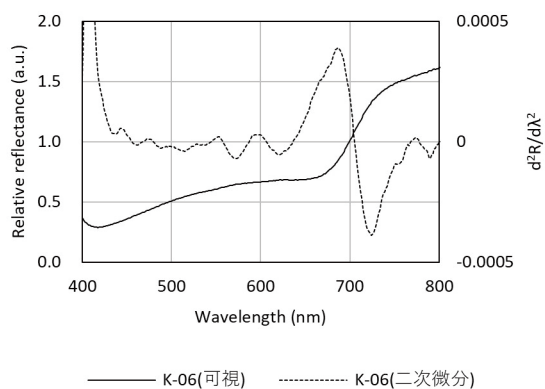
K-03



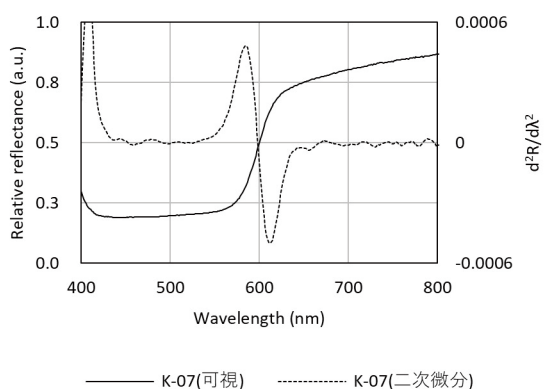
K-04



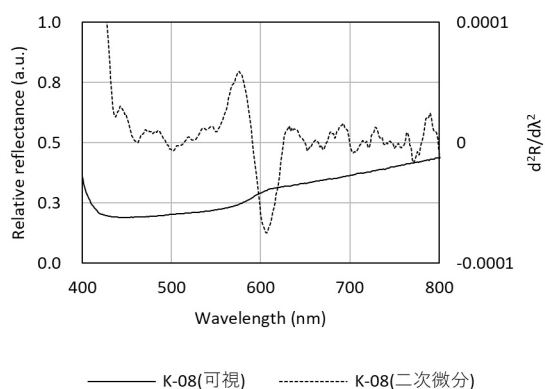
K-05



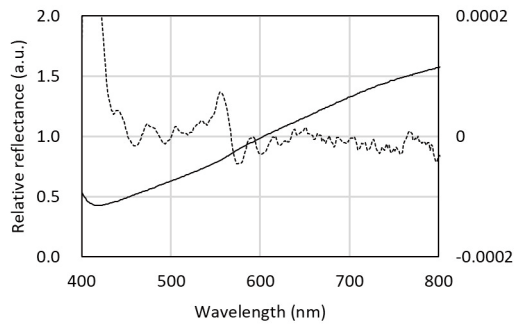
K-06



K-07

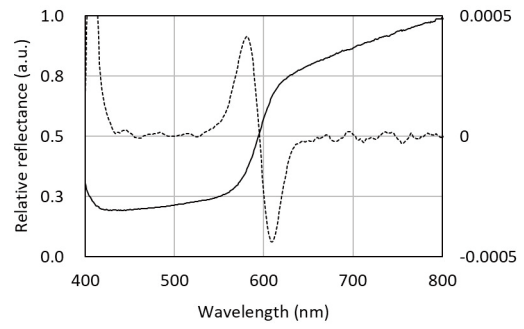


K-08



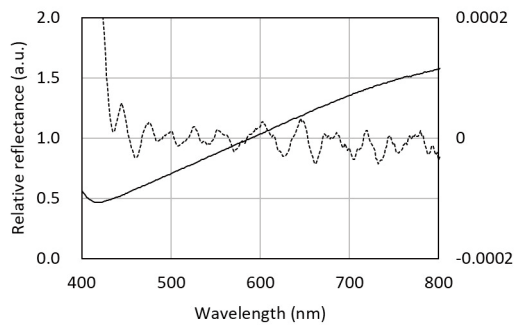
—— K-09(可視) - - - - K-09(二次微分)

K-09



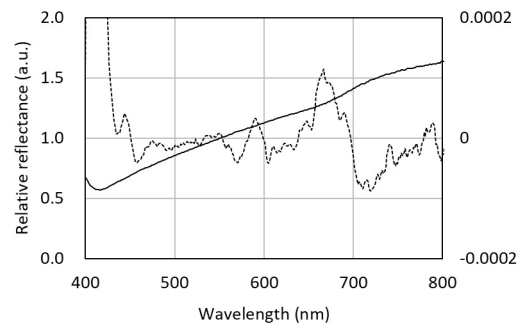
—— K-10(可視) - - - - K-10(二次微分)

K-10



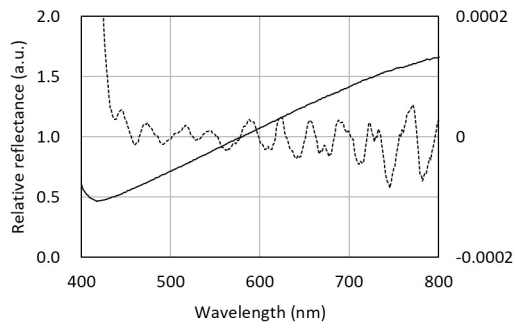
—— K-11(可視) - - - - K-11(二次微分)

K-11



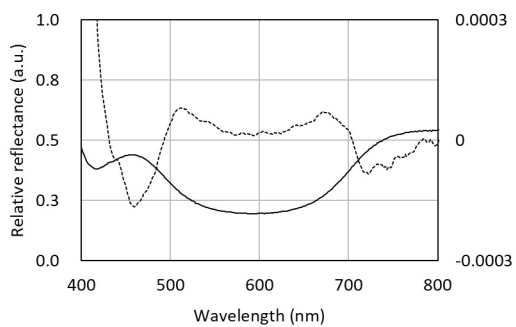
—— K-12(可視) - - - - K-12(二次微分)

K-12



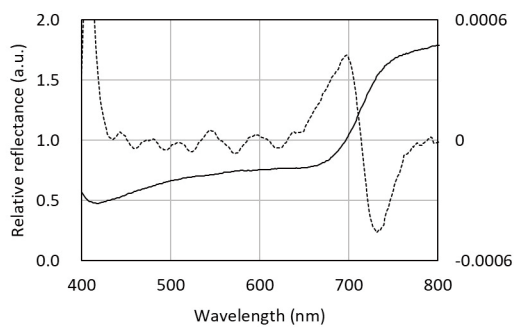
—— K-14(可視) - - - - K-14(二次微分)

K-14



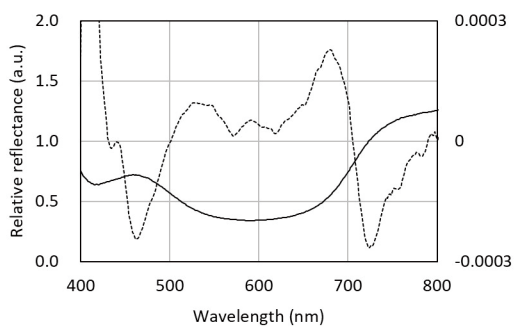
—— S-01(可視) - - - - S-01(二次微分)

S-01



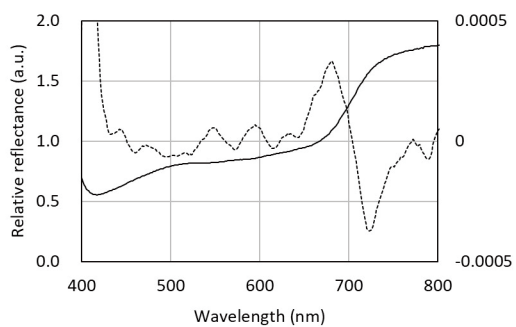
—— S-02(可視) - - - - S-02(二次微分)

S-02



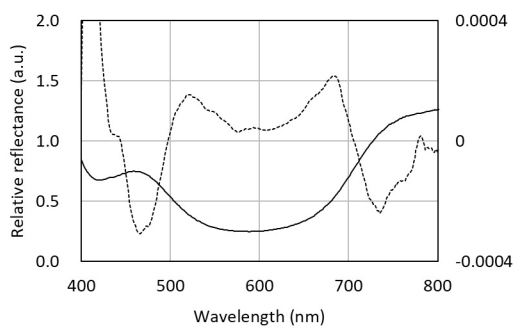
—— S-03(可視) - - - - S-03(二次微分)

S-03



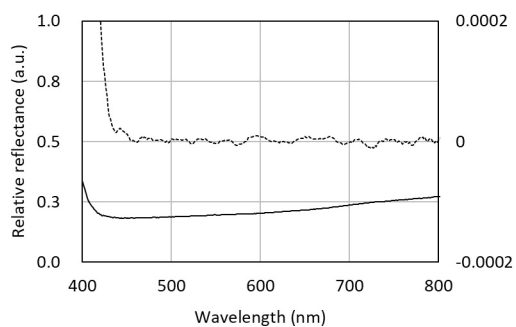
—— S-04(可視) - - - - S-04(二次微分)

S-04



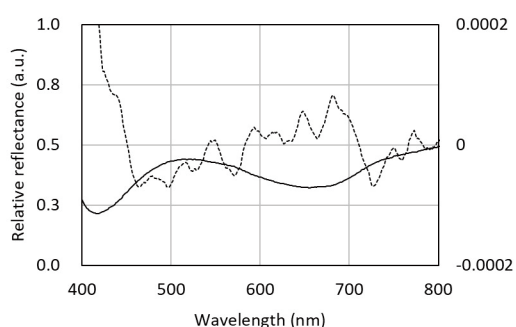
—— S-05(可視) - - - - S-05(二次微分)

S-05



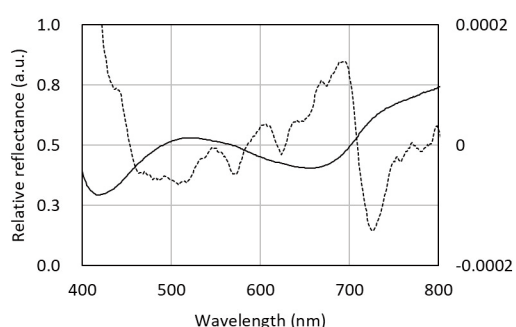
—— S-06(可視) - - - - S-06(二次微分)

S-06



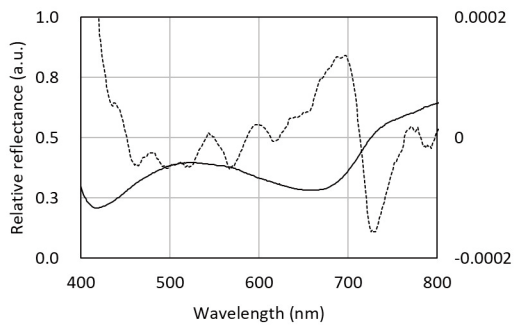
—— S-07(可視) - - - - S-07(二次微分)

S-07



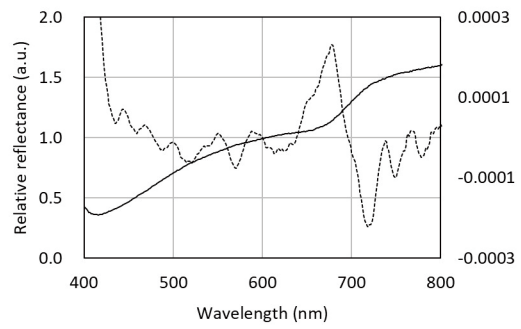
—— S-08(可視) - - - - S-08(二次微分)

S-08



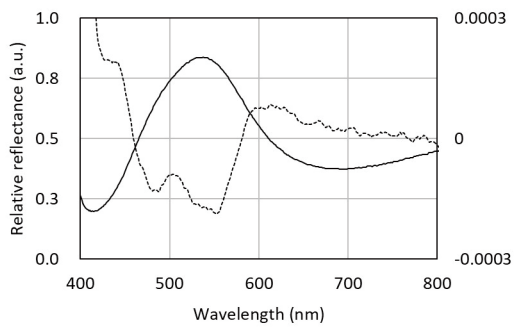
—— S-09(可視) - - - - S-09(二次微分)

S-09



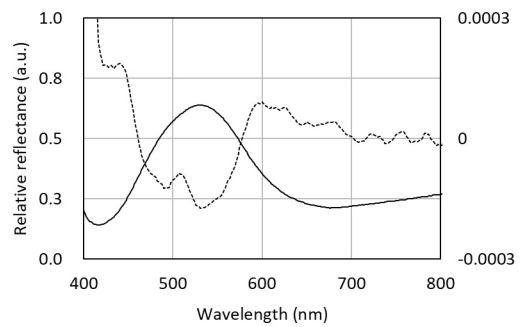
—— S-10(可視) - - - - S-10(二次微分)

S-10



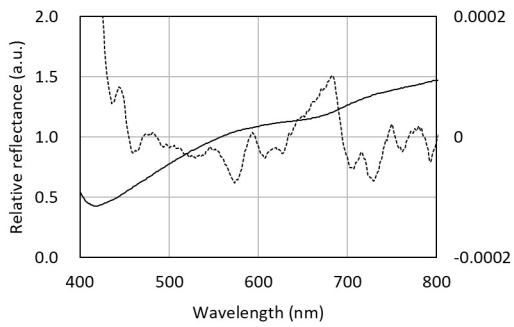
—— S-11(可視) - - - - S-11(二次微分)

S-11



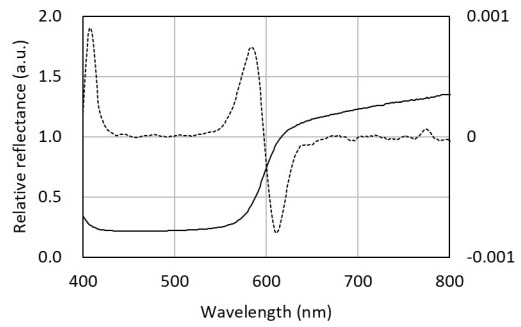
—— S-12(可視) - - - - S-12(二次微分)

S-12



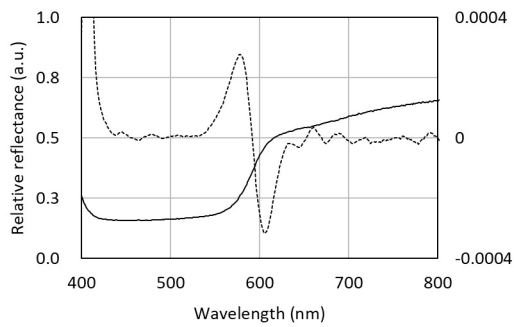
—— S-13(可視) - - - - S-13(二次微分)

S-13



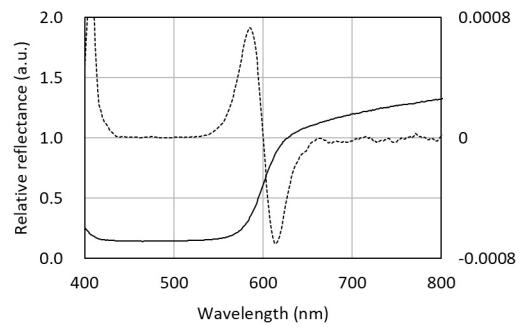
—— S-14(可視) - - - - S-14(二次微分)

S-14



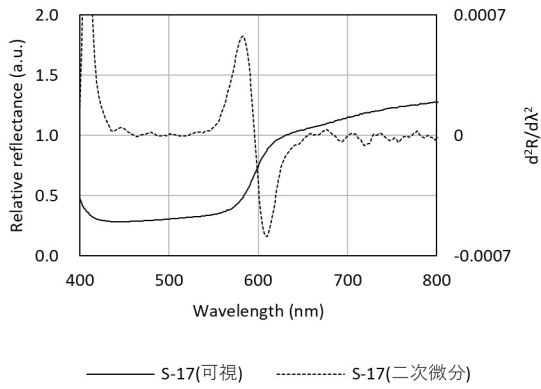
—— S-15(可視) - - - - S-15(二次微分)

S-15

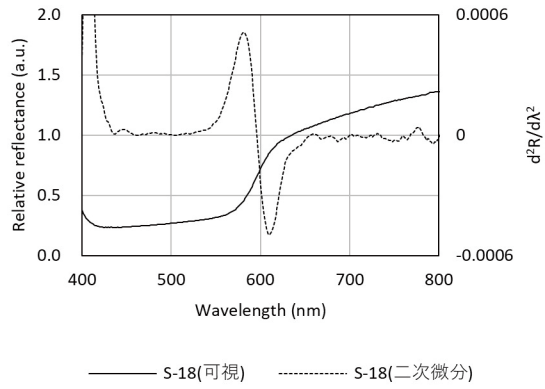


—— S-16(可視) - - - - S-16(二次微分)

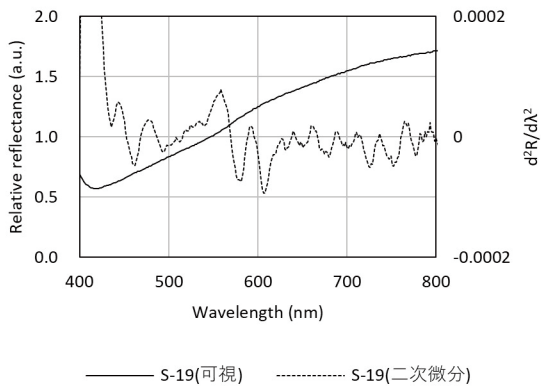
S-16



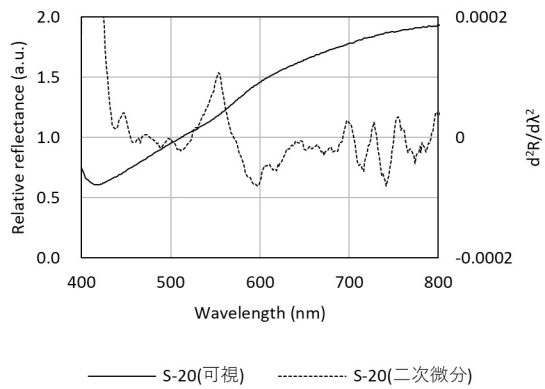
S-17



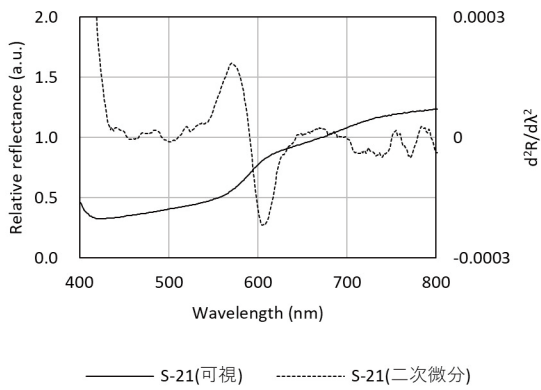
S-18



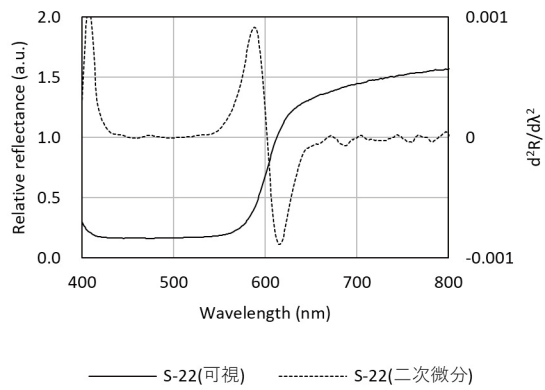
S-19



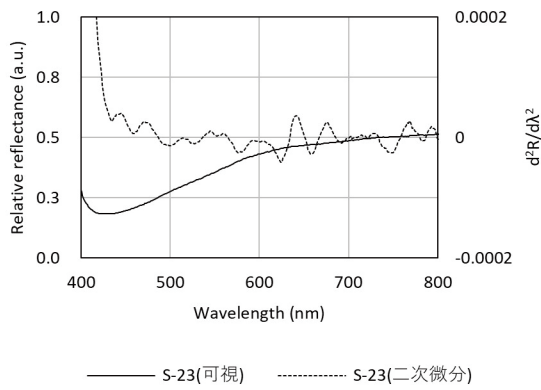
S-20



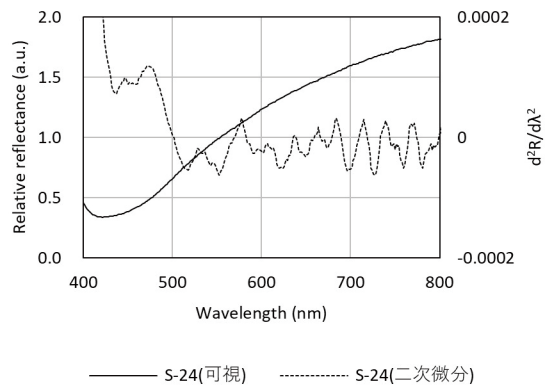
S-21



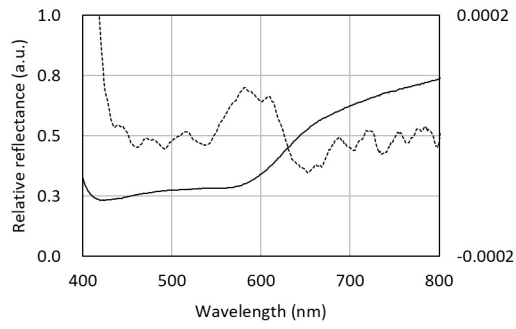
S-22



S-23

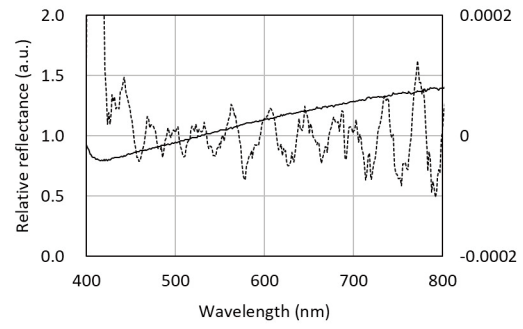


S-24



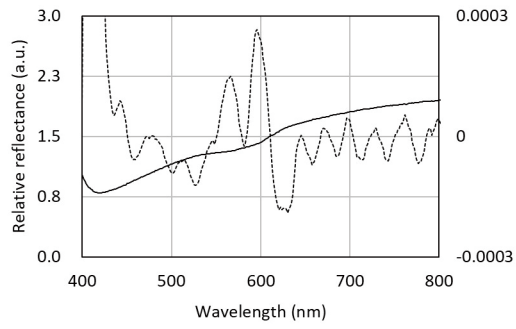
—— S-25(可視) S-25(二次微分)

S-25



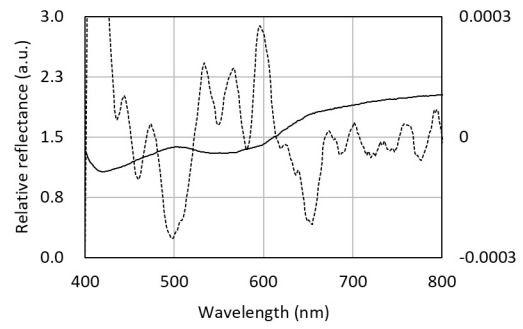
—— S-26(可視) S-26(二次微分)

S-26



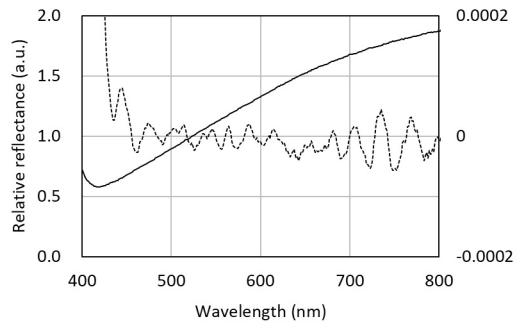
—— S-27(可視) S-27(二次微分)

S-27



—— S-28(可視) S-28(二次微分)

S-28



—— S-30(可視) S-30(二次微分)

S-30