

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：84604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289255

研究課題名(和文)文化財および美術工芸材料のナノ構造と物性・機能の解明

研究課題名(英文) Nanostructures of cultural properties and arts materials

研究代表者

北田 正弘 (Kitada, Masahiro)

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・客員研究員

研究者番号：70293032

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,700,000円

研究成果の概要(和文)：文化財の知的情報とともに保存・修復の基礎知識を得る目的で、高松塚古墳、日本刀の鋼および絵画に使われる顔料の微細構造などの解明を行った。高松塚古墳材料では、赤色顔料が辰砂(HgS)と砂鉄の混合物、緑が塩基性炭酸銅{CuCO<sub>3</sub>(CuOH)<sub>2</sub>}、青が藍銅鉱、黄が黄土、表面の汚染物質は粘土系物質と酸化鉄ナノ粒子、金箔の純度が約97%、地の漆喰の微細なトンネル状の形状と生成機構などを明らかにした。日本刀では、刃のマルテンサイトの電子線後方散乱によるナノ構造の解析、たたら製鉄に由来する鋼中の非金属介在物の同定と結晶構造などを明らかにした。顔料では油絵具に含まれる発色粒子と添加物粒子の微細構造を分析した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to obtain an intellectual knowledge and a basic knowledge of conservation and restoration for cultural properties. On Takamatsuzuka tumulus materials, red, green, blue, and yellow pigments are a mixture of cinnabar(HgS) and iron-sand, basic copper carbonate CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub>, azurite 2CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub>, and yellow ocher, respectively. The purity of gold foil is about 97%. The surface contaminant consists of nanoscale clay and iron oxide grains. The nano-shape and productive mechanism of micro-tunnel in matrix stucco are clarified. Nanostructure of steel in Japanese swords is analyzed by a transmission electron microscope and electron backscattering diffraction pattern method, and crystal structures of nonmetallic inclusions originated from Tataro steel making are clarified. Nanostructures of colored and additive grains in oil colors are analyzed.

研究分野：材料工学

キーワード：文化財 材料 微細構造 高松塚古墳 顔料 劣化機構 日本刀 結晶構造

## 1. 研究開始当初の背景

文化財の保存・保全是従来考古学の分野であったが、多くの文化財で材料科学的情報の不足により劣化・破損などを招いた。その一例が高松塚古墳壁画の損傷である。文化財の保存と保全には材料科学で培われてきた学術的成果が必要不可欠であるが、材料科学にとって文化財は未知の森であった。申請者はこれを切り拓きつつあり、申請者の日本刀、古代刀、青銅、陶磁器、顔料、染色布、その他のナノ構造研究では、従来得られていなかった物質・材料構造が各種明らかにされた。これによって、文化財の本質を知る上で、ナノ構造の解明が必須であるとの認識が高まり、文化財科学の一部を先端科学の水準に引き上げた。文化財はそれぞれ独特の技法を駆使して作られており、それぞれの目的に沿った機能を有するので、材料科学的にみて、新しい構造と物性・機能の宝庫でもある。このように、文化財のナノ構造・物性・機能の材料科学研究は、文化財の分野にとどまることなく、材料科学の先端分野にも大きな影響をもつ学術的背景をもっている。

## 2. 研究の目的

文化財は国あるいは民族の伝統を含む重要な知的財産で、国の誇りである。わが国は世界に誇る高度工業国であるが、世界に尊敬される文化面の充実も必要で、本分野を世界的な知的水準へ高めることが必要である。文化財は子々孫々に伝えるべきもので、保存と修復が欠かせない。しかし、伝統技術を除けば、高松塚古墳壁画の劣化のように、材料科学的技術水準は低い。文化財は物質・材料からなり、適切な保存修復には材料の知識が必要不可欠である。しかし、古代に作られた文化財の基礎となる物質の構造・物性・機能とその経時変化の機構については不明な点が多く、原子・分子水準の微細構造の研究が必要である。本研究の目的は、文化財のナノ構造を解明し、保存・修復技術の向上に役立つ知識・情報を得、本分野を世界的にリードしようとするものである。このため、文化財を材料工学の面から総合的に理解することが大きな目的である。したがって、研究対象は広く、高松塚古墳、日本刀、槍および鎧など、西欧とアジアの刀、油絵具、陶磁器、貨幣、青銅製品など多岐にわたる材料研究を目的とする。また、これらの微細構造の研究を通して、さらなる新しい研究課題を探索することも目的のひとつである。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究試料

高松塚古墳試料は文化庁および橿原考古学研究所および奈良教育大学所蔵の発掘品である。高松塚古墳発掘品の多くは国宝に指定されているが、本研究で使用した試料は国

宝指定外の元の位置に戻せない断片で、諸処の倫理的および技術的検討を経て実験に供されたものである。

日本刀などについては、鎌倉時代から江戸時代までの日本刀と古墳出土刀、海外の古代刀、槍、鎧、兜などを用いたが、これらは代表研究者が蒐集・所蔵しているものである。西洋刀の一部は英・独の収集家より寄贈された。また、比較として用いた現代に作られた日本刀は刀匠の河内国平氏他から提供されたものである。

油絵は代表研究者の所蔵する 20 世紀前半の油画、油絵具は所蔵品と購入した市販品である。油画の表面から試料を採取し、絵具は台紙に塗布したのち約半年から 1 年間乾燥したものをを用いた。

### (2) 微細構造等の観察法

本研究では微細構造を解析するために、走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡を主に用いたが、マクロ撮影カメラ、光学顕微鏡、分光光度計、自家製の反射率測定器を用いた。結晶構造の同定には X 線回折装置、局所部の解析には電子線回折、電子顕微鏡に付属するエネルギー分散 X 線分光(EDS)、元素マップ、電子線後方散乱(EBSD)などを用いた。透過電子顕微鏡用の薄膜はフォーカスト・イオンビーム法により作成した。微細構造の観察では、(株)日立ハイテクノロジーズ、文科省ナノ支援実施機関である東北大学、北海道大学、名古屋大学、物質・材料機構、および(株)日本電子などの支援を受けた。これらに感謝する。

### (3) 機械的性質の測定

機械的性質では、マイクロピッカース硬度計、引張試験機、衝撃試験機、自家製の針貫入強度測定器などを用いた。

## 4. 研究成果

上述のように、本研究の対象は広いので、主な研究である高松塚古墳、日本刀関係、油絵具で得られた結果を中心に述べる。

### (1) 高松塚古墳材料

高松塚古墳については、使われた顔料、金箔、漆喰、石材、表面の黴、表面の茶色の汚れなどについて微細構造を明らかにした。赤色の試料を光学顕微鏡で観察すると、赤色と少数の黒色の粒子からなっていた。赤色は辰砂(HgS)粒子で、黒色の粒子は砂鉄(主に $Fe_3O_4$ )であった。走査電子顕微鏡で観察した粒子の見かけの大きさは 0.2-10  $\mu m$  である。HgS 粒子は癩開{六方晶 HgS は(10-10)面で完全癩開する}した状態を示し、機械的に砕かれたものである。さらに、HgS 粒子を透過電子顕微鏡で観察すると、100nm 前後の微粒子も多く、双晶がみられる。したがって、溶液中で沈殿したか、あるいは加熱により黒辰砂から辰砂へ相変態した可能性がある。砂鉄を走査電子顕微鏡で観察すると、HgS と同様に癩開の痕跡がある。電子線回折および EDS に

よる組成分析などから、砂鉄はマグネタイト( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )とイルメナイト( $\text{Fe}_3\text{TiO}_4$ )が主成分である。イルメナイト結晶にはすべりによって生じたとみられる転位が存在し、これは砕いたときに導入されたものと推定される。辰砂に黒色の砂鉄を混じたのは、赤の色味を深くするためであろう。

緑色顔料は X 線回折でマラカイト $\{\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2\}$ と同定され、鉱物由来の緑青である。マラカイトの表面の一部からは微細な針状のナノ結晶(ウスカ)が生じており、水に濡れたマラカイト表面から Cu が溶け出し、乾燥時に過飽和になった Cu 成分が再びマラカイトなどの化合物として析出したと考えられる。緑青は変質しやすい顔料として知られているが、1000 年以上の時間を経ても原形を充分に残している。

青色顔料は X 線回折および EDS などの分析から、アズライト $\{2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2\}$ である。粒子の大きさは数  $10\ \mu\text{m}$  で、この粒子も癖開されており、機械的に砕かれている。

試料の一部に板状の黄色の顔料があり、これを分析した結果、Fe を含む粘土系物質の成分である Mg、Al、Si、K、Ti などが検出された。結晶系などは確認できなかったが、成分と色から黄土と推定される。

壁画の広い領域から Pb が検出されており、走査電子顕微鏡で確認された Pb の存在する領域の微細構造を解析した。透過電子顕微鏡による成分分析と電子回折の結果、Pb は白鉛鉱(炭酸鉛:  $\text{PbCO}_3$ )であった。粒子の大きさは  $100\text{-}200\text{nm}$  と非常に細かく、凝集した状態である。この試料では下地が漆喰(炭酸カルシウム:  $\text{CaCO}_3$ )であり、表面層の炭酸鉛と炭酸カルシウムの間で拡散反応が生じている。漆喰である炭酸カルシウムの表面には  $7\text{-}8\ \mu\text{m}$  の Pb を含む層状の領域があり、炭酸鉛から炭酸カルシウムへ Pb が拡散して生じたものである。炭酸カルシウム結晶中の Pb の状態は固溶した Pb と酸化鉛として析出したものがある。酸化鉛には 2 種あり、四酸化三鉛( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ )と三酸化二鉛( $\text{Pb}_2\text{O}_3$ )である。これらの化合物は石室の温度変化によって過飽和になった Pb 原子が析出したものである。Pb の拡散は室温近傍で生じたものであり、約 1300 年かけて  $7\text{-}8\ \mu\text{m}$  の拡散深さとなった。Pb の炭酸化合物は被覆力(粘着力)が強く、漆喰表面の安定化と上塗りの顔料の安定化、および彩色の下地効果などを目的にしたものと推定される。

壁画の表面の多くは茶色の汚染物質で覆われているが、この表面汚染層の微細構造を調べた。断面試料における汚染層の厚さは  $200\text{-}300\ \mu\text{m}$  である。X 線回折では、酸化鉄(hematite:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、マスコバイト{muscovite:  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ }、カオリナイト{kaolinite:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ }、モンモリロナイト{montmorillonite:  $\text{NaMgAlSi}_2\text{O}_7(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$ }が検出された。これらの他、パイロフィライト、などが少量存在する。ヘマタイトは見かけが

数  $10\text{nm}$  から数  $100\text{nm}$  の凝集体粒子であり、凝集体は  $10\text{-}20\text{nm}$  の微結晶からなっている。Fe 系化合物として、透過電子顕微鏡によりイルメナイトの微粒子も観察された。

マスコバイトなどの Al と Si を主成分とする化合物は粘土鉱物で、EDS によっても含まれる元素が検出された。透過電子顕微鏡観察によれば、幅が  $15\text{-}200\text{nm}$ 、長さが  $200\text{nm}\text{-}1\ \mu\text{m}$  の針状結晶である。一方、これらの粘土鉱物は雨水にコロイド状に溶けて壁面を伝わり、静電気によって壁表面に吸着したものである。茶色は Fe の 3 価イオンによるものである。粘土系物質はモース硬度が約 2 と低く、コロイド化し易いので、除去は可能である。

壁画は黴によって大きな損傷を受けたが、漆喰の上の黴について走査電子顕微鏡で調べた。糸状の黴、樹枝状の黴など形態的に数種の黴が観察され、高湿性の Cladsporium と推定される。この黴をアルコールに 30 分浸漬した後再度観察した場合、黴の形状に変化はなかった。これに対して、塩素系漂白剤に 30 分浸漬した場合、黴の大部分が溶解した。黴自体を完全に除去するには、完全に溶解することが必要と考えられる。

石室の凝灰岩について調べた結果、凝灰岩はアルミノシリカ系ガラス、アルバイト、アルノーゲン、石英( $\text{SiO}_2$ )、ジプサム( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )などからなっている。

古墳を形成する土壌についても調べた。土壌はサブミクロンから数 mm の粗い石英とアルバイト、アノルサイトなどの粘土鉱物、淡水産珪藻骨格などからなっている。粗い石英により粘着性の低い土壌になっている。

## (2) 日本刀の微細構造

主に断面のマクロ像から軟らかい芯鉄と硬い皮鉄などの組み合わせ状態を調べた。芯鉄を皮鉄で包む組み合わせが多いが、硬い刃鉄を刃先に鍛接する方法、刃鉄を芯鉄で挟む方法、片刃の刀、などの種々の断面組織のあることを明らかにした。

焼入れた刃のマルテンサイト組織を電子線後方散乱回折像で観察し、マルテンサイトのブロック(同結晶方位の集団)などについて解析した。また、刃先から棟に向かってのマルテンサイト晶は刃先で小さく棟に向かって大きくなるが、逆に刃先で若干大きく、一度小さくなった後、再び大きくなっている例もあった。これは、薄い刃先が過熱されたものである。マルテンサイトと微細パーライトの遷移領域では、低炭素鋼の場合微細なマルテンサイト晶とパーライト晶の混合であるが、高炭素鋼領域では粗大なマルテンサイトの塊が生じている。また、高炭素鋼領域では、線状にマルテンサイトが連なる現象も認められた。これらの組織変化が刃紋などの微細な紋様変化に寄与している。

一部の試料では焼入れ温度が比較的 low、Fe と Fe の 2 相領域から焼入れられたものがあり、マルテンサイトの中に初析の Fe

が分散している。また、一般に刃の紋様は焼入れ速度を調整して刃紋を得るために、粘土を表面に塗る(土置き)が、これを使わずに直接焼入れした実験試料では、炭素量の多い領域で残留オーステナイトが観察された。

日本刀の刃紋の起源を探るために、直接焼入れした実験試料で焼入れの状況を調べた、刃先表面においては、冷却水の核沸騰と膜沸騰領域が交互に生じ、刃紋が生成される。日本刀の初期の刃紋は土置き法ではなく、沸騰様式の違いによって生じたものと推定される。

日本刀は現代の鉄鋼に比較して非金属介在物が非常に多い。非金属介在物の組織はたたら製鉄に用いられた砂鉄の組成や諸特性を反映しており、鍛錬温度、室温加工の有無など多くのことが明らかになる。数 10 試料の日本刀に含まれるたたら製鉄由来の非金属介在物を分析した。非金属介在物は数種の酸化物とガラスからなり、多くは初晶の FeO(ウスタイト)がデンドライト状であり、鍛錬あるいは焼入れ温度(850-900 )において融解していたことが明かになった。酸化物の融点は化合物によって異なるが約 1500 以上である。これがデンドライトになるのは、酸化物が多成分であるために融点が 1000 以下になったためである。一部の試料の非金属介在物には亀裂が生じており、非金属介在物の融点が低い、あるいは鍛錬温度が低かったために、機械的に破壊されている。室温で加工して非金属介在物を破壊し、850 以上に過熱すると介在物は融解する。低温で線引きした細線中の非金属介在物は破壊されている。

非金属介在物を構成する酸化物は FeO(ウスタイト)、 $Fe_2SiO_4$ (ファヤライト)、 $Fe_3O_4$ (マグネタイト)、チタン化合物が主である。ファヤライトはウスタイトあるいはマグネタイトの次に晶出し、ガラスが最後に凝固する。多くのガラス中にナノ酸化物が析出しており、これは、ガラス転移中に析出したもので、原子の拡散が可能な粘度の低いガラスとなっている。

非金属介在物中の Ti は砂鉄特有のものであるが、Ti が非常に少ないものと、酸化チタンの結晶が晶出しているものとがある。Ti 化合物はルチル( $TiO_2$ )—ウスタイト(FeO)—ヘマタイト( $Fe_2O_3$ )系であるが非化学量論的化合物になっている。これは、製錬が還元雰囲気なので、酸素の量が少ない化合物となるためである。ウスタイトの出現する場合は還元雰囲気が強く、マグネタイトが出現する場合は還元雰囲気が相対的に弱い。また、Ti を含む典型的な化合物は酸化チタン( $TiO$ 、 $Ti_2O_3$  など)、イルメナイト( $FeTiO_3$ )、ウルボスピネル( $Fe_2TiO_4$ )、シュードブルッカイト( $Fe_2TiO_5$ )、 $(FeTiO_3)_{1-x}(Fe_2O_3)_x$  で表されるチタノヘマタイトなどであるが、純粋な化合物ではなく、Si、Al、V、Zr、などの多くの元素を含んでいる。将来の鉄の産地同定、製錬技術などを

解明する重要な方法論になる。

現代の日本刀との比較のため、刀匠の河内国平氏の協力により試作刀を作成し、内部構造を調べた。また、槍、鎧および兜の内部構造、紀元頃の古代の青銅で被覆された斧と刀などの構造を解析した。

そのほか、古代の鉄精錬との関係を把握するため、銅および青銅に含まれる鉄の状態を調べた。紀元前(古代ペルシャのルリスタン)から江戸時代に至る鉄含有量の多い銅合金では、地である Cu あるいは CuSn 中に数 10nm の鉄粒子が析出している。一部の鉄粒子は地の Cu と整合しており、透過電子顕微鏡で特有のひずみコントラストが観察される。これらの銅は鉄粒子由来の磁性を示し、飽和磁化は 10kOe と高い。これは、鉄粒子が微細なものと結晶方位が分散しているためと考えられる。古代の銅および青銅中に鉄粒子が存在することは、青銅時代に鉱石中の鉄酸化物あるいは硫化物が還元されたことを示し、青銅時代から鉄時代の製錬法が連続していたことを示す証拠のひとつとみなされる。

日本刀以外では、世界三大名刀のひとつである東南アジア製のクリース剣の微細構造を明らかにした。刀表面に紋様を出すために、数種の鋼を組み合わせている。また、鉄の量が非常に多い銅鉄合金の構造についても検討し、鑄型に鑄造した場合、融点の高い鉄が表面側に最初に凝固し、残った銅が内部に凝固している。それぞれの中には析出物として銅と鉄の微粒子が存在する。高濃度の銅鉄合金となっているのは、高価な銅の量を減らすために安価な鉄を加えたものと考えられる。

### (3) 油絵具の微細構造

油絵具の顔料である金属酸化物等の微細構造を市販の油絵具、1900 年代前半の油画試料について、走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡で微細構造を調べた。

1921 年に製作された油画に塗られた主な色である青、茶、黄、緑色部について透過電子顕微鏡で観察した。微細構造の例を挙げると、青は空の領域で空色が正確な表現であるが、発色物質は Co を含む  $MgCoSnO_4$  と  $CoAl_2O_4$ 、Fe を含むプルシアンブルーで、青色を薄めるために白色の塩基性炭酸鉛と酸化亜鉛が混ぜられている。緑色部では、Cr が発色元素である  $Pb_2(CrO_4)O$  と PbO、ZnS が混ぜられている。黄色領域では、Cd を発色元素とする CdS に  $BaSO_4$ 、 $Pb_2(CrO_4)O$  が混ぜられている。顔料粒子の大きさは数 10nm から  $1\mu m$  で、平板状、針状、塊状と結晶粒子形状は多岐にわたる。このように数種の化合物が存在するのは、作者が望みの色を出すために、複数の絵具を混じた結果である。Pb と Cd を含む絵具は毒性があるために、現在では殆ど使われていないが、分析によって絵具の時代変遷と作者の発色の技術が明らかになる。このような油画の微細構造はこの研究で初めて明らかにされた。

以上のような実際に描かれた絵では、作者が複数の絵具を混じて使用しており、内部構造は極めて複雑である。このため、絵具の基礎データをを得るためと絵具の変遷を調べるため、昭和 30-50 年代に市販された絵具、現在市販されている絵具約 20 種について走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡で微細構造を研究した。昭和 30 年代に国内で製造されたレモンイエローディープでは、黄色化合物粒子である (Cd, Zn)S のほか、黄色の 6 価 Cr を含む BaCrO<sub>4</sub> が主材で、白色の BaSO<sub>4</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が添加剤として存在した。これらの粒子はナノメートルスケールである。Cd 化合物と 6 価 Cr は有毒であるが、この時代までは Cd と Cr による公害は周知されずに使われていた。同年代のカドミウムイエローペールでは、(Cd, Zn)S のほか、BaSO<sub>4</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> および SiO<sub>2</sub> が添加されている。昭和 50 年代に国内で製造された茶系絵具のパーントシェンナでは、着色元素が Fe で、粒子径が 15-20nm の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、針状の長さが 0.1-1 μm、幅が 0.02-0.1 μm のゲーサイト (FeOOH) が存在する。このほかに、白色の BaSO<sub>4</sub>、CaSO<sub>4</sub> が含まれている。パーントシェンナは黄土の一種であるシェンナを焼いたもので、シェンナに含まれるゲーサイトが脱水して Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に変化したものである。これによって色味が変化する。

現在作られている同様な絵具の一例として、イエローオーカーを例に挙げる。英国製、仏国製、国産 2 種の 4 種を調べた結果、英国製はゲーサイトを含む天然の黄土(ocher)を使用しており、仏国製と国産の 1 種は人工のゲーサイト、1 種はゲーサイトと炭酸カルシウムの混合物であった。これらの絵具の色調には差がみられる。この結果を X 線回折の結果などと照合することにより、非破壊で絵具の特定が可能になる。

このように、絵具の基礎データを積み上げることによって、最も適切な修復などの技術につなげることができる。

#### (4) その他の研究

繊維関係では古代の泥染めを近代化したカーキ染めの微細構造を調べた結果、繊維中に Fe および Cr 原子が拡散し、これらの原子の発色によることが分かった。一部のカーキ染めではケイ酸塩ナノ結晶が存在していた。

日本刀砥石では、砥石がゲーサイト、層状構造のケイ酸塩、SiO<sub>2</sub> およびアモルファス SiO<sub>2</sub>・nH<sub>2</sub>O などのナノ粒子からなり、SiO<sub>2</sub> が研磨剤、ケイ酸塩が潤滑剤の役割を果している。研磨粉の鉄切削片を透過電子顕微鏡で観察した結果、ナノスケールの針状であった。西洋の剣を磨くのに使われた 1-2 世紀頃のローマ時代陶器の構造も同様であった。

陶磁器では元禄伊万里の金彩のナノ構造を調べ、Au が釉薬中に拡散し、数 nm のナノ粒子として再析出しているのを明らかにした。赤釉薬などの構造も解析した。

古墳関係では宮内庁が大正年代に調べた

前方後円墳について調べた。この名称は幾何学的形状から名づけられたが、地形図を見ると方形の両側に突起(造り出し)部が残されているものがある。単なる幾何学的形状ではなく、突起部が何らかの意味を持っているとすれば、その一つの解釈として円が頭部、方形が胴脚部、突起部が両腕を示すものである。したがって、古墳から出土する人形埴輪に類似しており、葬られた人の形を模した埴輪形古墳と呼べる。

また、明治大正期の絵画における人物形状の相似などの検討、清朝木活字の CT による形状、江戸末の木活字印刷の活字形状、などの研究を行った。これらの課題は次の研究で継続する。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 18 件)

M. Kitada, Y. Kohzuma, T. Tateishi, Microstructure of Surface Layer Containing Pb on Stucco of Takamatshuzuka Tumulus, Mater. Trans. 査読有、Vol.58, No.7, 2017, 掲載決定、

北田正弘、文化財における微細構造研究の進展、まてりあ(日本金属学会)、査読有、Vol.56, No.3, 2017, pp.121-115、

北田正弘、高妻洋成、建石徹、高松塚古墳の Pb を含む漆喰表面層の微細構造、日本金属学会誌、査読有、Vol.80, No.5, 2016, PP.326-333、

北田正弘、奥山誠義、柳田明進、高松塚古墳壁画の白色顔料、金箔および石材の材料科学的研究、奈良県立橿原考古学研究所彙報・青陵、No.146, 2016, pp.1-6、

北田正弘、高妻洋成、建石徹、高松塚古墳石室の目地漆喰表面汚染層の微細構造、日本金属学会誌、査読有、Vol.79, No.8, 2015, PP.404-412、

北田正弘、高妻洋成、肥塚隆保、建石徹、高松塚古墳の黒色顔料の微細構造、日本金属学会誌、査読有、Vol.80, No.2, 2015, PP.71-75、

北田正弘、高妻洋成、肥塚隆保、建石徹、高松塚古墳壁画の赤色顔料の微細構造、日本金属学会誌、査読有、Vol.79, No.2, 2015, PP.64-70、

北田正弘、奥山誠義、柳田明進、高松塚古墳の緑色顔料試料の材料分析研究、査読無、奈良県立橿原考古学研究所紀要、考古学功攷 No.38, 2015, pp.14-18、

柳田明進、北田正弘、奥山誠義、高松塚古墳の赤色顔料試料の材料分析研究、奈良県立橿原考古学研究所紀要、考古学功攷 No.38, 2015, pp.8-12、

奥山誠義、北田正弘、柳田明進、高松塚古墳出土青色顔料の成分分析、奈良県立橿原考古学研究所紀要、No.38, 2015, PP.1-6、

桐野文良、北田正弘、奈良時代に製作され

た和銅開珎の表面腐蝕層の微細構造、日本金属学会誌、査読有、Vo.79、No.2、2015、pp.57-63、

崔禎恩、北田正弘、高麗青銅製浄瓶(じょうへい)の金属組織、日本金属学会誌、査読有、Vol.79、No.1、2015、PP.29-33、

北田正弘、伊坂紀子、油絵具バートンシェンナの微細構造、東京藝術大学美術学部紀要、査読有、No.53、2015、pp.39-55、

北田正弘、伊坂紀子、西嶋雅彦、昭和30年代に製造された油絵具・レモンイエローデープおよびカドミウムイエローペールの微細構造、東京藝術大学美術学部紀要、査読有、No.52、2014、pp.17-32、

北田正弘、油絵具の微細構造観察、東北大学ナノ支援報告書、査読無、A-14-TU-0007、2014、p.178、

釘屋奈都子、永田和弘、北田正弘、室町時代末期から江戸時代の鎧に用いられた鎖の製作方法、日本金属学会誌、査読有、Vol.78、No.4、2014、PP.149-158、

釘屋奈都子、永田和弘、桐野文良、北田正弘、江戸時代の草摺に用いられた小札の鋼板作成方法、日本金属学会誌、査読有、Vol.77、No.8、2013、PP.318-327、

桐野文良、北田正弘、江戸時代貨幣「明和五匁銀」の表面構造、アジア鑄造技術史学会誌、査読有、Vo.6、2013、pp.77-84、

〔学会発表〕(計3件)

H. Matsushima, M. Kitada, M. Suzuki and T. Kanazawa, 3D Elemental Mapping of Non-metallic Inclusions of Japanese Sword with FIB-SEM / EDS system, 17th EMC (Europe Microscopy Conference), 2016, Lyon(France), Aug. 28 - Sep. 2, Material Science Vol. 2-2, pp. 1200-1201.

H. Matsushima, M. Kitada and G. Brunetti, 3D EDS Mapping of Non-metallic Inclusions of a Japanese Sword with an FIB-SEM/EDS system, 12th MCM (Multinational Congress on Microscopy), 2015, Eger(Hungary), Aug. 23-28, p.531.

H. Matsushima, M. Kitada, N. Mori, G. Brunetti, Three Dimensional EDS Elemental Mapping of Nonmetallic Inclusions of a Japanese Sword with an FIB-SEM, 18th IMC (International Microscopy Congress), Prague(Czech), Sep. 7-12, 2014, Abstract: ID-7-P-2317.

〔図書〕(計2件)

北田正弘、日本刀の材料科学、雄山閣、2017、pp.415、印刷中。

M. Kiatada, Beauty of Arts, from Material Science, Uchida-Rokakuho, 2013, pp.200.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北田 正弘 (Kitada Masahiro)

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・客員研究員  
(東京芸術大学名誉教授)  
研究者番号：70293032

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )