

文化財建造物及び伝世品の分析とその活用

窯業系チーム	田口 肇, 岡崎 友紀
デザインチーム	竹浪 祐介
高分子系チーム	島村 哲朗
研究室副室長	菊内 康正
文化財修復研究フェロー	大藪 泰

要 旨

地方独立行政法人京都市産業技術研究所（以下、産技研）は、これまで文化財の修復に関する材料分析や技術相談等の業務を行ってきた。産技研はこれらの業務の経験を踏まえて、平成26年度より本格的に文化財修復に関わるプロジェクトチーム（以下、文化財修復PT）を立ち上げ、文化財修復に関する業務をより一層組織化し、知見の蓄積や研究課題の抽出等を行い、これからの産技研独自の文化財修復に関する技術の確立とその成果の普及に努めてきた。

今回、重要文化財二条城東大手門修理工事並びに個人収蔵品の複製品作製事業における、文化財修復PTの取り組みについて報告する。まず、京都市文化市民局元離宮二条城事務所（以下、二条城事務所）より、東大手門修理工事における金具等調査協力の依頼を受け、保有の機器等を活用した分析の結果、東大手門の修理に有用な情報を提供することができた。次に、個人収蔵品について、素材分析や形状計測を行い、当時の使用材料や製作技術を明らかにすることで複製品作製の手掛かりとすることができた。

1. はじめに

京都市は市内に国宝の2割を保有する全国でも稀な文化財（埋蔵物、伝世品、建造物等）保有都市であり、その結果、文化財修復事業に携わる企業等も多く存在する。

京都市が設立した地方独立行政法人京都市産業技術研究所（以下、産技研）では、これまで文化財に使用されている天然高分子、金属、無機原料等の各種素材について材料分析を行い、その結果から導き出される情報を基に修復技術についての技術相談等を行ってきた。

一方、文化財の保存及び活用に関する事務を担っている文化庁は、平成28年に京都への移転を正式決定し、平成31年以降に全面的に移転する予定となった。これを契機に文化財保有都市である京都市の文化財修復において果たす役割が大きくなり、文化財修復とその周辺事業の拡大が予想され、同時に産技研が果たす役割も大きくなると考えられる。

産技研では従来からの文化財修復に関連する業務を踏まえ、平成26年度より文化財修復に関わるプロジェクトチーム（以下、文化財修復PT）を立ち上げ、文化財修復に関わる各種依頼事業を通じて、知見の蓄積

や研究課題の抽出等を行い、産技研独自の文化財修復に関する技術の確立とその成果の普及に取り組んできた。また、その成果を雇用創出と修復技術の継承に繋げるための試みも視野に入れた検討も行ってきた。

特に、最近ではその技術支援等が文化財修復関連団体並びに企業から評価され、文化財等に関する分析や計測、技術支援相談等も増え、それらのニーズに対応できる技術の構築を進めた。

今回、重要文化財二条城東大手門（以下、東大手門）修理工事並びに個人収蔵品の複製品作製における、文化財修復PTの取り組みを報告する。

2. 事業内容と考察

2.1 東大手門修理工事に関する分析

今回、産技研は設計監理者の京都市文化市民局元離宮二条城事務所（以下、二条城事務所）より、東大手門修理工事における金具等調査協力の依頼を受けた。東大手門は過去幾度となく修理が実施されており、寛永、寛文、天保の各時代の修理と推察される箇所（びょう）釘、座金、柱の銅板包みについて、金属の材質、表面に加飾されている素材や座金の下地材などの調査、分析を行った。その表面に施されたものが金

箔か鍍金かを中心に分析を行うことで、その時代毎の製作、修復技術を推察して、時代背景も含めた新たな知見が得られないかを検討した。

まず、取り外された東大手門や同門に使用されている鋳釘の状態および座金の下地の状態をそれぞれ写真1～3に示した。また、分析作業の様子を写真4に示した。



写真1 取り外された東大手門



写真2 鋳釘と座金



写真3 座金の下地状態



写真4 分析作業の様子

次に、鋳釘と座金の成分分析は、修理工事現場で携帯型蛍光X線分析装置(携帯型EDX)を用いて行った。測定条件を表1に示した。

表1 携帯型EDX測定条件

装置名	Thermo Fisher Scientific社 Niton XL3t-950S
小型蛍光X線管	対陰極Agターゲット
最大規格	50 k V, 2.0W (電流値は自動化変)
測定径	3 mm

なお、定量値については装置の材料別アプリケーションでの測定値である。また、試料の表面形状が平滑でなく、装置を手を持った状態での測定のため測定中の装置の静止が困難であったことから、定量値については目安程度である。

鋳、座金、帯鉄等に残存する黒色塗料の成分分析は、修理工事現場から試料を採取して、エネルギー分散型蛍光X線分析装置(EDX)、熱分解ガスクロマトグラフ(Py-GC)、並びにフーリエ赤外分光分析装置(FT-IR)を用いて行った。各測定条件は表2～4にそれぞれ示した。

まず、座金の携帯型EDX分析結果の一部を表5に示した。なお、試料の採取位置名については修理工事

表2 EDX測定条件

装置名	(株)島津製作所 EDX-800HS
X線管	Rhターゲット
1次フィルター	なし
電圧・電流	Ti～U: 50kV・1～1000 μ A (自動) C～Sc: 15kV・1～1000 μ A (自動)
雰囲気	大気
測定径	1 mm, 10mm
定量	ファンダメンタルパラメーター (FP) 法

表3 Py-GC測定条件

装置名	熱分解装置:(株)ジェイ・サイエンス・ラボ GPY-201 ガスクロマトグラフ(GC):(株)ジェイ・サイエンス・ラボ GC Labostage FW-PKD/SSL
キャリアガス	He
検出器・温度	FID・310 $^{\circ}$ C
カラム	J&W Science DB-5 (L=30m ID=0.32mm Film=0.25 μ m)
熱分解温度	550 $^{\circ}$ C (窒素雰囲気下)
GC条件	50 $^{\circ}$ C -(1min)-50 $^{\circ}$ C -(5 $^{\circ}$ C/min)-300 $^{\circ}$ C -(5min)-300 $^{\circ}$ C

表4 FT-IR測定条件

装置名	(株)パーキンエルマージャパン Spectrum100FT-IR
検出器	FR-DTGS
分解能	4 cm ⁻¹
積算回数	10回
測定方法	Diamond ATR 法

報告書¹⁾に従った。表5より北鏡柱には金が検出され、表面に金が施されていた可能性が高い。測定値の違いについては、修理内容もしくは修復された時期が異なることを示唆しているのか、または取り付ける場所によって装飾を変えていたのかどうかは、携帯型EDX分析結果だけでは判断が困難であった。また、北鏡柱の金が水銀を使用した鍍金であるか、もしくは漆等により金箔を貼り付けたものであるかの判断材料の一つに水銀(Hg)の有無があるが、水銀が検出されなかった北鏡柱の金は金箔(漆箔)の可能性があると考えられた。

表5 座金の携帯型EDX分析結果

座金の採取位置	分析対象元素 定量値(wt%)
北鏡柱	Cu:92.7, Au:5.5, Fe:0.9, Ti:0.1, Pb:0.7
帯鉄	Cu:96.1, Ag:0.2, Fe:0.4, W:2.5, Hg:0.2, Se:0.2

次に、黒色塗料の成分分析結果の一部として、鋳, 座金に残存する黒色塗料のEDX分析結果を表6, Py-GCで得られたパイログラム並びにFT-IRスペクトルを図1~4にそれぞれ示した。

表6 黒色塗料の成分分析

黒色塗料の採取位置	分析対象元素 定量値(wt%)
大扉(内側)鉄鋳	Si:59, Fe:21, K:11, Ca:5.7, Ti:2.0, Mn:0.4, Cu:0.2
大扉(外側)銅座金	Cu:75, Si:17, Au:2.1, Fe:1.7, K:1.4, S:0.9, Ca:0.9, As:0.4, Ti:0.3

表6並びに図1~4より、鋳並びに座金に残存する黒色塗料について、FT-IRスペクトルのみでは材質の判断が困難であったが、Py-GCで得られたパイログラムと既報²⁾のパイログラムから、漆もしくは油(松脂含む)を添加した漆の可能性が高いことがわかった。

以上のように今回調査、分析した結果を基に、装飾

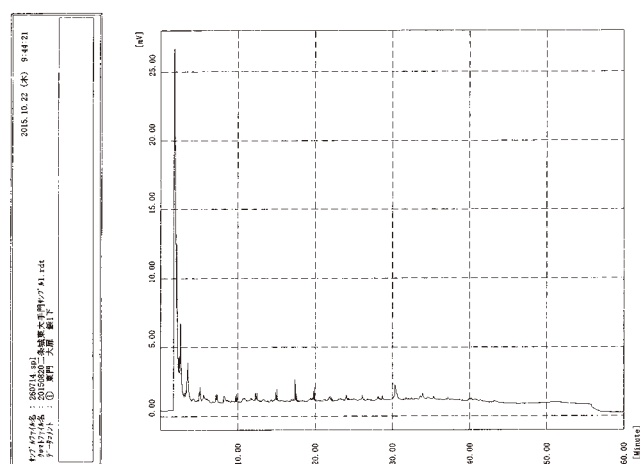


図1 黒色塗料(大扉(内側)鉄鋳)のパイログラム

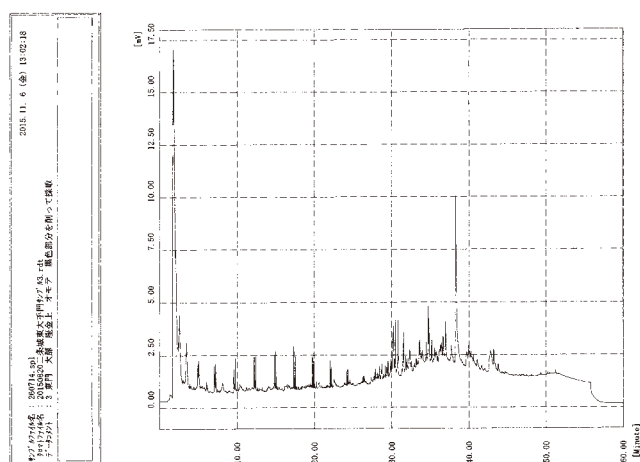


図2 黒色塗料(大扉(外側)銅座金)のパイログラム

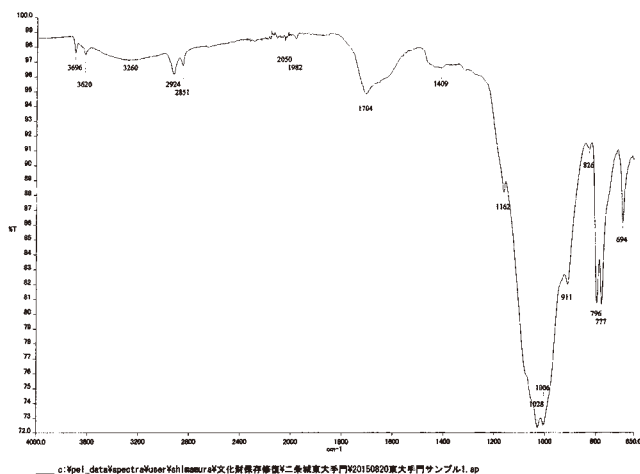


図3 黒色塗料(大扉(内側)鉄鋳)のFT-IRスペクトル

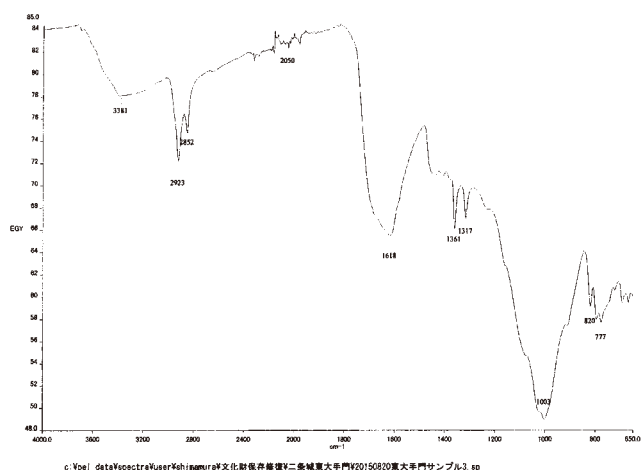


図4 黒色塗料(大扉(外側)銅座金)のFT-IRスペクトル

金具の製作が行われ、修復工事を終えた東大手門の内部公開が行われた(公開期間:平成29年3月24日~7月31日)。

2.2 個人収蔵品の複製品作製について

2.2.1 材質等の成分分析

今回、文化財等の複製品作製事業を行うにあたり、個人所有の収蔵品を入手した。なお、これらの収蔵品名を「富士蒔絵椀蓋」(以下、椀蓋と略す)、「扇稻蒔絵香合」(以下、香合と略す)、「蓮唐草蒔絵汁椀(長野横笛作)」(以下、汁椀と略す)、「牡丹模様堆朱箱」(以下、堆朱箱と略す)とした。各収蔵品の塗装箇所や加飾箇所の材質等を調査するため、デジタルマイクロスコープを用いた拡大観察並びにエネルギー分散型蛍光X線装置(EDX)を用いた元素分析を行った。EDX測定条件は表2と同様であった。拡大観察画像並びにEDX分析結果を表7~10にそれぞれ示した。

また、汁椀の朱色地、堆朱箱の朱色地並びに黒色地は、分析用試料の採取を行い、熱分解ガスクロマトグラフ(Py-GC)並びにフーリエ変換赤外分光分析装置(FT-IR)を用いた成分分析を行った。なお、Py-GC、FT-IR測定条件は表3、4と同様であった。Py-GC測定で得られたパイログラム並びにFT-IRスペクトルを図5~10にそれぞれ示した。

まず、椀蓋、汁椀、堆朱箱の朱色地について、EDX分析結果から水銀と硫黄が多く検出されたため、顔料として水銀朱(HgS:硫化第二水銀)を用いていることがわかった。汁椀、堆朱箱の朱色地並びに堆朱箱の黒色地について、図6、8、10から材質の特定は困難であったが、図5、7、9と既報²⁾のパイログラムか

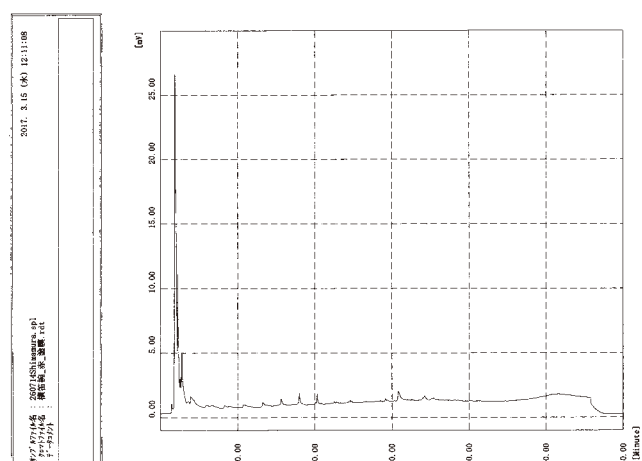


図5 蓮唐草蒔絵汁椀(長野横笛作)の朱色地のパイログラム

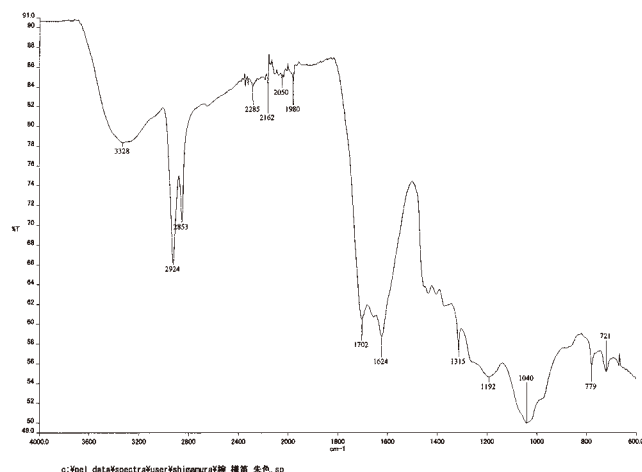


図6 蓮唐草蒔絵汁椀(長野横笛作)の朱色地のFT-IRスペクトル

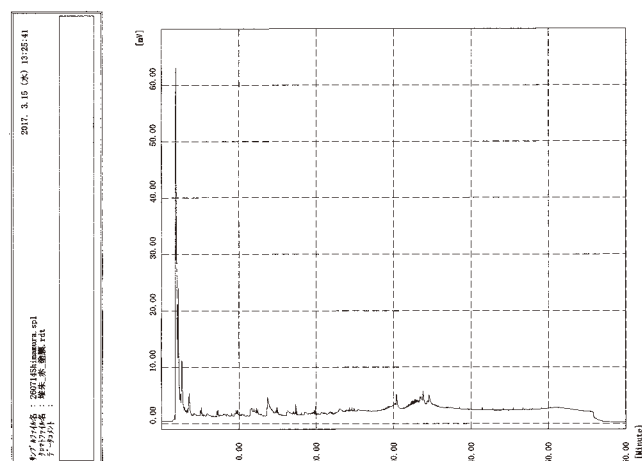


図7 牡丹模様堆朱箱の朱色地のパイログラム

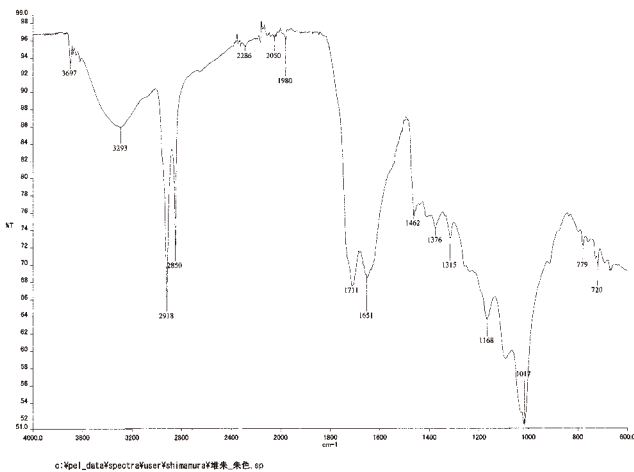


図8 牡丹模様堆朱箱の朱色地のFT-IRスペクトル

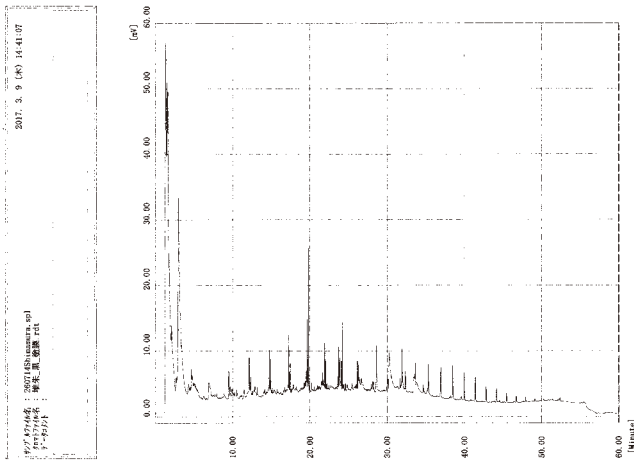


図9 牡丹模様堆朱箱の黒色地のパイログラム

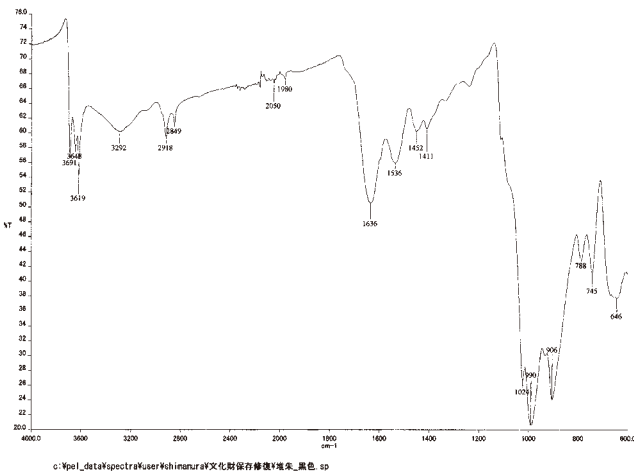


図10 牡丹模様堆朱箱の黒色地のFT-IRスペクトル

ら、汁椀、堆朱箱の朱色地のビヒクル成分は漆である可能性が高いと推察した。しかし、一方で有油漆（亜麻仁油や荏油等、乾性油を添加した漆）の可能性も考えられた。その中で、堆朱箱の黒色地については、パイログラムから材質の特定は困難であったが、図10より1630と1530 cm^{-1} 付近に吸収が認められ、これらの吸収はアミド結合における、それぞれC=O伸縮振動（アミドⅠ）、N-H変角振動（アミドⅡ）に帰属するものと考えられた。よって、堆朱箱の黒色地のビヒクル成分は、漆や植物油ではなくアミド結合を持った膠等、タンパク質由来の物質ではないかと考えられた。今後、熱分解ガスクロマトグラフ質量分析装置（Py-GC/MS）を用いた詳細な成分分析を行う予定である。

次に、椀蓋の金色蒔絵、汁椀の蓮唐草蒔絵について、EDX分析結果から金が多く検出されたため、金粉を用いた蒔絵であることがわかった。なお、共に水銀が多く検出されたのは、蒔絵文様間の朱色地の影響によるものと思われた。椀蓋の黒色松、香合の扇（重ね上）金色部、香合の扇青色部について、金と共に銀が約12～17wt%検出されたため、青金（金と銀の合金）が使用された可能性があることがわかった。また、これは青味を帯びた金粉の色彩とも整合していた。香合の扇（閉）黒色部について、銀は77wt%検出され、金は約2 wt%検出された。色彩も黒色であり、銀の腐食した色彩と整合していた。一方、扇稲穂について、色彩は金色にもかかわらず銀が47wt%検出された。これは高上げ（文様を高く盛り上げること）を銀粉で行った高蒔絵の可能性が考えられた。

最後に、表7の椀蓋内面の富士の拡大観察画像（1000倍）から、直径100 μm 未満のかなり大きな金粉を使用した蒔絵であることがわかった。表8より香合について、扇（重ね上）金色部並びに梨地（内面）の拡大観察画像（1000倍）から、それぞれ直径50 μm 未満の金粉並びに直径100 μm を超える梨地粉を使用した蒔絵であることがわかった。現在、金銀粉の種類や大きさ、さらには前述の高上げ材料等の異なった、蒔絵の標準手板を作製中であり、今後これと比較した詳細な検討を行う予定である。

2.2.2 3Dスキャンによる形状計測と複製品の製作

文化財のレプリカ制作及び商品展開を見据えて、椀蓋、香合、汁椀について、3Dデジタイザを用いてスキャンを行った。装置の仕様を表11、椀汁を例にした

表7 富士蒔絵椀蓋の拡大観察画像並びにEDX分析結果

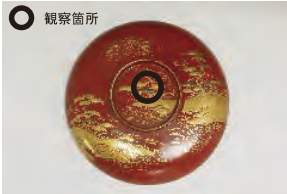

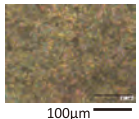

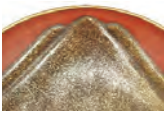
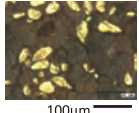
収藏品名	全体画像	入手場所	製作場所	製作年代	塗装, 加飾 箇所名	塗装, 加飾 箇所画像	拡大観察画像(1000倍)	EDX分析対象元 素定量値 (wt%)
富士蒔絵椀蓋 (外面)		ロンドン (イギリス)	日本	明治初期か	金色蒔絵			Hg:47.489 Au:32.380 Fe:14.774 Ca:1.948 Ag:1.199
					黒色松			Au:54.133 Hg:18.237 Ag:12.792 Br:4.906 Fe:4.203
富士蒔絵椀蓋 (内面)		ロンドン (イギリス)	日本	明治初期か	朱色地			Hg: 49.908 S:43.395 Ca:2.845 Fe:2.016 K:1.475
					富士			

表8 扇稲蒔絵香合の拡大観察画像並びにEDX分析結果

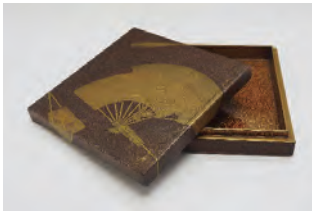

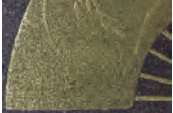
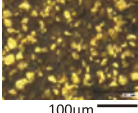



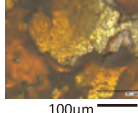
収藏品名	全体画像	入手場所	製作場所	製作年代	塗装, 加飾 箇所名	塗装, 加飾 箇所画像	拡大観察画像(1000倍)	EDX分析対象元 素定量値 (wt%)
扇稲蒔絵香合		ロンドン (イギリス)	日本	17~18 世紀	扇稲穂			Au:49.573 Ag:47.367 Fe:1.635 Ca:1.009
					扇(重ね上)金 色部			Au:77.497 Ag:11.596 Fe:6.989 Ca:2.279
					扇青色部			Au:63.414 Ag:17.800 Fe:12.317 Ca:3.254
					扇(閉)黒色部			Ag:76.706 Fe:12.391 S:5.984 Au:2.346 Cu:1.359
					梨地(内面)			

表9 蓮唐草蒔絵汁椀(長野横笛作)の拡大観察画像並びにEDX分析結果


収藏品名	全体画像	入手場所	製作場所	製作年代	塗装, 加飾 箇所名	塗装, 加飾 箇所画像	拡大観察画像(1000倍)	EDX分析対象元 素定量値 (wt%)
蓮唐草蒔絵汁椀 (長野横笛作)		京都 (日本)	日本	19世紀 前半	朱色地			Hg:73.080 S:25.803 Fe:0.477
					蓮唐草蒔絵			Hg:47.840 Au:40.976 Fe:4.934 Cu:2.187 Ag:1.971

表10 牡丹模様堆朱箱の拡大観察画像並びにEDX分析結果

収蔵品名	全体画像	入手場所	製作場所	製作年代	塗装, 加飾 箇所名	塗装, 加飾 箇所画像	拡大観察画像(1000倍)	EDX分析対象元 素定量値(wt%)
牡丹模様堆朱箱		イギリス	中国	19~20 世紀	朱色地			Hg:77.312 S:15.373 K:3.965 Ca:3.025
					黒色地			Ca:40.466 Fe:39.846 K:13.482 Ti:2.468 Hg:1.529

表11 3Dデジタイザ仕様

装置名	コニカミノルタ RANGE5
光源	半導体レーザー λ=660nm
撮像像素数	131万画素(1280×1024)
確度	球間距離 ±80μm

スキンの様子を図11に示した。

様々な角度からレーザー光を照射して得られた部分的な形状を合成し、全体の形状データを作成した。正方形の掃引体である香合や回転体である汁椀は、異なる箇所のスキャンでも得られる形状が相似するため、コンピュータでのデータ合成が困難な場合が多く、目印となる別形状のポイントを設ける等の工夫を施し、多くのノウハウを得た。また、汁椀の平蒔絵の厚さ(約20~30μm)はスキャンで検出できなかったが、香合の高蒔絵(厚さ約100μm)は検出できた。

香合のデータから、3Dプリンタ(Stratasys社製FORTUS360mc-L)にてポリカーボネート製素地を出力した。また、得られた寸法を基に木製(尾州檜)の素地も委託製作した。今後、この2種類の素地について材料などの成分分析結果等を基に漆塗りと加飾を施して複製品の作製を行う。

3. まとめ

3.1 東大手門修理工事に関する分析

産技研保有の機器等を活用し分析した結果、東大手門の修理に有用な情報を提供することができ、修理工事報告書¹⁾にもその内容が掲載された。

しかし、非破壊による分析手法については課題も多く、今後はX線CT装置による構造解析も含めた分析手法を取り込みながら、さらに多くの検体を分析することで、分析技術の高度化と知見の蓄積に努める。なお、二条城事務所より新たな修理工事に向けた分析調

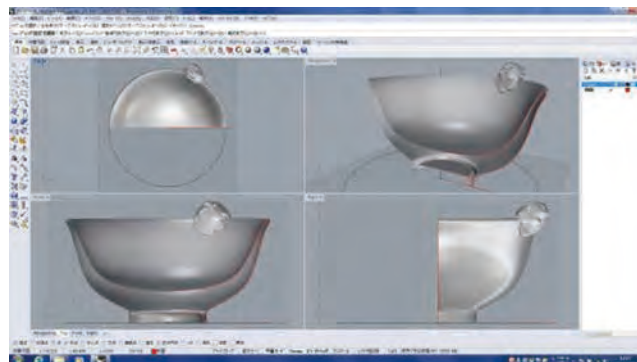


図11 3Dスキャンの様子(蓮唐草蒔絵汁椀(長野横笛作))

査依頼もあり、今後引き続き協力を行うことで、産技研の文化財修復に対する役割を担っていく。

3.2 個人収蔵品の複製品作製について

4点の貴重な個人収蔵品に対して、素材分析や形状計測を通し、当時の使用材料や製作技術を明らかにする段階まできており、今後はX線CTによる構造解析も行いながらそれらのデータを総合的に活用し、完全な複製品の作製を目指す。

作製については、伝統産業技術後継者育成研修の修了生をはじめとする若手伝統工芸従事者と職員が協力して行う。また、その成果は文化財修復PTの目的の一つである雇用創出と修復技術の継承に繋げて行く。

参考文献

- 1) 京都市文化市民局元離宮二条城事務所：“重要文化財二条城東大手門修理工事報告書 第九集”，p.56 (平成29年3月)。
- 2) 島村哲朗，安藤信幸：京都市産業技術研究所研究報告，No.5，p.51－58 (2015)。