

令和元年6月14日現在

機関番号：87106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01192

研究課題名(和文) X線CTを用いた文化財有機質材料の同定方法の確立

研究課題名(英文) Establishment of identification method of cultural property organic material using X-ray CT

研究代表者

赤田 昌倫 (Akada, Masanori)

独立行政法人国立文化財機構九州国立博物館・学芸部博物館科学課・客員研究員

研究者番号：90573501

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：異なる有機材料からなる複数の塗膜について、X線CTスキャナを用いて調査し、そのヒストグラムを検証した。その結果、塗膜の材料によっては異なるヒストグラムパターンとなる範囲があることが分かった。次に、ヒストグラムの中で塗膜の質量に由来するピークについて抽出したところ、CTデータ内で特定の塗膜のみを現すことができた。

CTは塗装を有する大きな部材を短時間で計測できることから、目視による観察や1点1点の分光分析よりも短時間かつ一度の調査で判別できる可能性がある。これまでCTによる調査では材料の状態調査を主として行っていたが、本研究の成果によって、材料調査も同時に可能となったと考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CTスキャナは非破壊非接触で資料の内部調査が有効であることから、漆塗りの工芸品や、表面に彩色が施された仏像の内部の劣化状態の観察が主な目的とされてきた。一方で表面の塗装については、他の分析に依存することが多く、塗膜があることの認識にとどまっていた。本研究成果は、同一資料の中で異なる塗装材料を用いている場合の区別化が可能となったこと、ポイント分析ではなく資料の表面・内部全てに対して検証が可能となったことである。この方法によって、今後は塗膜のヒストグラムの違いについても着目することで、より資料全体に対してマクロな視点から文化財を見ることができるようになる。

研究成果の概要(英文)：Multiple coatings of different organic materials were examined using an X-ray CT scanner and their histograms verified. As a result, it was found that there is a range in which different histogram patterns are obtained depending on the material of the coating film. Next, when a peak derived from the mass or density of the coating was extracted in the histogram, only a specific coating could be revealed in the CT data. Since a CT scanner can measure a large substance having a paint in a short time, there is a possibility that it can be determined in a single examination in a shorter time than visual observation or spectral analysis. So far, CT surveys have mainly conducted material condition surveys, but I believe that the results of this research have also enabled material surveys at the same time.

研究分野：保存科学

キーワード：X線CT 塗膜 文化財

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

文化財には漆工芸品のような、表面に塗膜層があり、複数の下地層を含む資料や部材間の接着がある資料がある。貴重な文化財であるため、構造調査や修理を前提とした材料分析が行われる。構造調査にはミリフォーカス X 線 CT が多く用いられ、非破壊で内部調査の報告ができるようになった。一方でミリフォーカス CT 像では塗膜や補修に用いられた充填剤、部材間を接合する接着剤などは全て薄膜状に見えてしまうため、CT による材質情報を得ることは困難とされてきた。近年、X 線 CT 装置の発達により微小な焦点と細かなピクセル分解能でより微小な物質を立体的に可視化することが可能となった。この装置は 20 μ m 程度の層厚であればその内容物まで立体的に可視化することができる。これを塗料などの調査に応用することで、刻苧といった微細に砕いた植物繊維を漆に混ぜたものや、地の粉・砥の粉といった微粉末を漆や膠に混ぜたものについて塗料と内容物について同定が可能となると考えられた。しかしながら、この装置では撮影可能な大きさが約 7cm と小さい。そこで、これらの微細な有機質材料がどこにどのような目的で使用されているかを明らかにするためには、微細な資料をマイクロフォーカス CT でピンポイント調査し、その情報を基に、調査したい有機質材料の輝度値と同一材料の部位を指定し抽出する方法が有効であると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は文化財に使用される有機質材料について、X 線 CT データを用いることで同定し、さらにはその分布域を可視化することにある。そこで、マイクロフォーカス CT、ミリフォーカス CT による各種有機質資料の見え方の違いを明らかにし、基礎データとして蓄積することにある。また物質の密度による X 線の線減弱係数の変化を利用し、CT データのヒストグラムから各有機材料の材質分析が可能であるか検証を行う。最終的には CT データから特定の有機質材料について立体的に可視化・抽出することで、どの部位に何の材料を用いて塗装や接着がなされたのか明らかにする。これらの検証結果は実際の文化財調査時において調査目的による撮影パラメータの参考となり、構造調査や修理に反映させることを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 予備実験

予備実験では膜厚による輝度値変化について検証し、CT の電圧が 60 ~ 225kV の場合、50 μ m、250 μ m、1 mm の膜厚の試験片の輝度はほとんど変化しないことを確認した。また、10 立方マイクロメートル、25 立方マイクロメートル、50 立方マイクロメートルでデータサンプリングし算出した輝度値については、空気層を含まない限りは近い数値を示すことを確認した。

(2) マイクロフォーカス CT による有機質材料の観察

マイクロフォーカス CT による有機質材料の観察を行った。これはミリフォーカス CT による観察の限界を検証したのち、前述の有機質材料がマイクロフォーカス CT においてどこまで観察可能かを検証するためである。実験用試料はアプリケーションで 100mm の厚さに調整した 5cm 四方の透漆、三千本膠、荏胡麻油の乾性油の試験片とした。

次に、刻苧試料を作製し、マイクロフォーカス CT による観察を行った。刻苧は麦漆（糊漆）や膠に対して、繊維くず、木粉、骨粉などを練り混ぜたもので、主として漆塗りの下地の合わせ目・割れ目など充填や接着などに用いられる。刻苧は用途に応じて練り混ぜの材料や製法、粉末の目の細かさ（粒度）は異なる。そこで本研究では以下の試料を作製した。

試料 麦漆（小麦粉 5 : 水 2.2 : 生漆 3）に麻繊維と木粉を練り合わせたもの。試料 膠に麻繊維と木粉を練り合わせたもの。試料 上記の試料に骨粉を練り合わせたもの（骨粉は牛骨を炭火で焼成後に油分を除去し、すり鉢で粉末化（最大で 300 μ m）したものを使用）。

また木粉の大きさによる見え方の比較を行うため、約 1000 μ m 前後・約 460 μ m 前後・約 200 μ m の木粉がそれぞれ入った試料を作製した。

(3) ミリフォーカス CT 撮影条件の検証

ミリフォーカス CT の撮影条件による資料の見え方の変化とヒストグラムの変化を検証した。使用機器は九州国立博物館の文化財用大型 X 線 CT スキャナ YXLON International 社製 Y.CT Modular 320FPD(ミリフォーカス CT)で、撮影条件としては、管電圧を 225kV、管電流を 1.3mA、積分時間を 400ms とした。データ解析には VolumeGraphics 社製 VGStudioMAX 3.0 を用いた。またフラットパネル検出器のピクセルサイズは 200 μ m で固定とした。

試料は漆塗りの手板を使用した。この試料は漆塗りの各工程と層構造がわかるように階段状に製作したもので地付け 1 回目の工程の下には、木地固め・刻苧・布着せ・布目揃え・布目擦りの工程の層が含まれている。なお塗膜部の膜厚は 100~150 μ m である。

分解能とプロジェクション数を変化させ撮影を行い、得られたデータについて解析した。分解能は 0.31mm, 0.20mm, 0.13mm と変化させた。この時の試料とフラットパネルとの距離はそれぞれ 0mm, 471mm, 800mm であった。また、プロジェクション数は 900, 2970, 5040 とした。

(4) ミリフォーカス CT の撮影条件と CT データのヒストグラム

前述の段階的な撮影条件の変化による、CT データの塗膜部分のヒストグラムの比較を行った。ヒストグラムは CT データのコントラストに依存するため、撮影条件による見え方の違いがヒストグラムにおいてどのコントラスト範囲で変化しているかを検証した。

4. 研究成果

(1) マイクロフォーカス CT による有機質材料の観察

図 1 に ~ の試料の上部から平行面でスライスした CT 像を示す。膠着材を比較すると試料 麦漆は木粉や繊維よりも高密度であるため白く見えるのに対して、試料 膠は木粉や繊維は見られるが、その表面をはじめ、肉眼ではフィルム状になっている部位は確認できなかった。また膠は水分とともに木粉や繊維に吸収または吸着されていると考えられた。以上のことから、今回の撮影条件(60kV)では膠着材としての膠を確認することは困難であるといえる。

次に試料 の麦漆と骨粉添加試料の CT 像を見ると、骨粉は木粉や漆などと比べて高密度であるため、骨粉の有無を判断することは容易であった。また、膠着材については、相対的にコントラストが抑えられているが、木粉や骨粉の間を充填している様子は明瞭に確認できた。

その他、 ~ の試料の全体像を見ると、資料の凝集性が膠着材や骨粉などの添加物の違いによって大きく異なることがわかった。試料 は空隙の様子は試料 と大きくは変わらないが、木粉が 200 μ m の画像では細かい空隙が増加しており、凝集性が試料 よりも高くなっていると考えられる。膠着材についてはマイクロフォーカス CT 像の観察から判断できる可能性があることがわかった。

次に木粉の粒度ごとの差を見ると、試料 の、木粉粒度が 1000 μ m と 460 μ m の CT 像からは断面の様子からも木粉の柎目や木口(導管・仮道管)の様子を確認することができた。一方で木粉粒度が 200 μ m の試料については麦漆とコントラストが近しいため、図 1 のスライス像からは木粉の確認は困難であった。また、木粉粒度が 200 μ m の試料については織

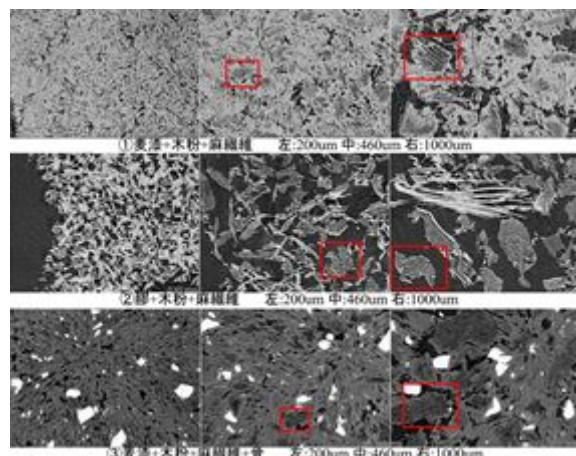


図 1 試料 ~ CT 画像(平面スライス像)

維の形状を認識するのに複数の断面から詳細な解析と観察が必要であり、CT 撮影の分解能によっては繊維の有無の判別は困難であった。また、試料の木粉粒度が $200\mu\text{m}$ の CT 像については膠着材が凝集したことや麦漆と木粉や繊維のコントラスト差がほとんど認められなかったため、観察が困難であった。

(2) ミリフォーカス CT における撮影条件の検証 (撮影条件による CT 像の変化)

マイクロフォーカス CT では刻苧の漆や木粉、一部繊維を観察することができた。そこで次にこれらの試料をミリフォーカス CT で判別するための検証を行う必要があると考えた。ミリフォーカス CT は撮影条件で試料の観察性が大きく変わるため、各種パラメータの検証が必要であった。図 2 の上部に手板試料を木口方向に対して平行にスライスした CT 画像を示す。これらの画像を比較すると、分解能が高くなることで細かい木目や全体の輪郭の鮮明度が上昇した。特に分解能 0.13mm の CT データでは三角形の溝に充填

された刻苧の様子を明瞭に見ることができ、さらに刻苧と下地のわずかな空間の判別が可能となった。ただし、この調査だけでは刻苧の根拠となる繊維や木粉の混在の様子までは観察できなかった。またプロジェクション数を増加したことで幾何学的なボケが緩和され全体的に明瞭なデータが得られるようになった。分解能 0.13mm ・プロジェクション数 5040 の CT データでは塗膜層とその下層の布着せを区別できるようになり、布着せの断面の特徴を見ることができた。図 1 の下部は、2 枚の板を板目面で接合し、その境界部の界面を示した CT 画像である。分解能が高くなることで塗膜層と布着せの隙間が見えるようになり層構造の様子を確認することができた。またプロジェクション数の増加による空間分解能の向上によって、木材と木材の間の接着剤を観察することができた。分解能 0.13mm ・プロジェクション数 5040 の CT データでは、接合個所の接着剤の斑点模様が鮮明に見えるだけでなく、他の条件では見えなかった部位の斑点模様も新たに確認することができた。これらの検証結果から層構造を確認するには 0.20mm 以上の分解能と 2970 以上のプロジェクション数が必要であることがわかった。この数値よりも分解能やプロジェクション数が低いと木材の境界や塗膜と布着せの境界の判別が困難であることがわかった。

(3) ミリフォーカス CT の撮影条件と CT データのヒストグラム

図 2 に分解能 0.13mm で撮影した CT データのヒストグラムを示す。これまでの研究が

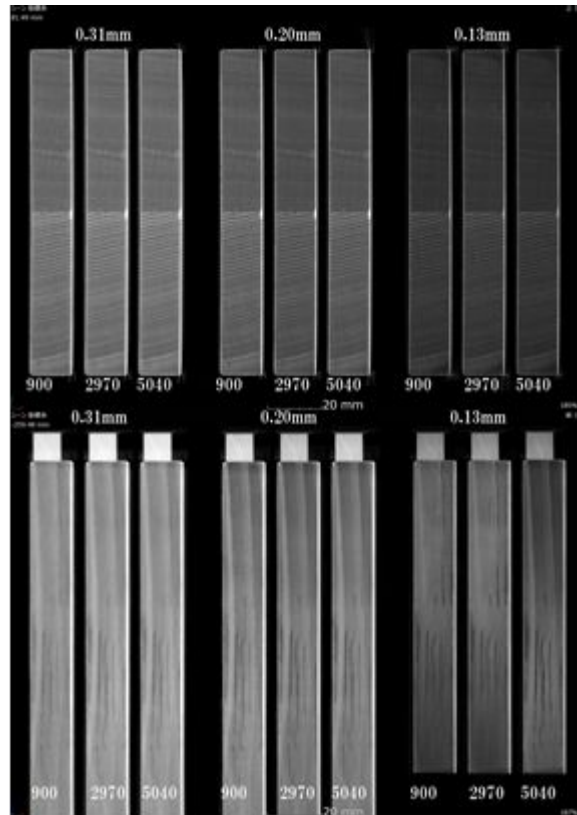


図 2 分解能とプロジェクション数ごとの漆塗り手板の CT 画像

(上部：木口方向に対して平行にスライスした CT 画像、下部：接合部界面の CT 画像)

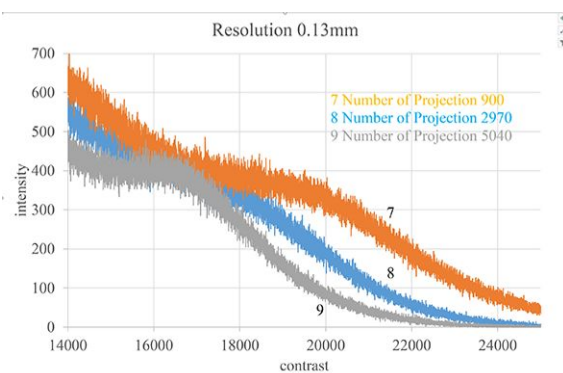


図 2 分解能 0.13mm の CT データのヒストグラム

ら塗膜や刻苧のコントラストを示す範囲は 16000 から 20000 であることがわかっている。分解能が 0.31mm と 0.20mm の CT データではプロジェクション数の増加によるヒストグラムの大きな変化は見られなかったが、分解能が 0.13mm の CT データでは、コントラストの 16000 ~ 20000 の範囲でプロジェクション数の増加による塗膜・刻苧由来のショルダーピークが出現した。これは分解能が 0.31mm と 0.20mm の CT データでは一つの大きなピークであった塗膜・刻苧と木材のコントラスト成分が木材などのブロードなピークと塗膜・刻苧のショルダーピークへと分離したことを示している。つまり、空間分解能の向上に伴って塗膜・刻苧の幾何学的ボケが解消し見え方も改善される。このことは塗膜・刻苧に由来する密度情報も他の成分と分離された CT データが得られたためと考えられた。さらに分解能が 0.13mm のヒストグラムにおいてプロジェクション数を 900 から 2970、5040 に上げると塗膜・刻苧のコントラストを示す範囲がより明確にピークの形状を示すようになった。また、プロジェクション数の増加によって幾何学的ボケが改善されたことで Intensity の振れ幅もプロジェクション数の増加に伴って小さくなることがわかった。

以上のことから資料に対する最適な撮影条件は解像度 0.13mm・プロジェクション数 5040 であるが、CT データからは解像度 0.20mm・プロジェクション数 2970 の条件以上であれば幾何学的なボケが改善され材料調査の解析に用いるのに適していると判断することができた。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

赤田昌倫、Study of painting materials using X-ray CT scanner、東アジア文化遺産学会、2017、pp.492-502

〔学会発表〕(計 2 件)

赤田昌倫、X 線 CT スキャナを用いた刻苧の調査と解析、日本文化財科学会第 35 回大会、2018 年 7 月 6 日~7 日、奈良女子大学

赤田昌倫、Study of painting materials using X-ray CT scanner、東アジア文化遺産学会、2017 年 8 月 24 日~25 日、復旦大学

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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