

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：87111

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800094

研究課題名(和文) X線CTスキャナーを活用した出土木製品の構造解析に係る基礎研究

研究課題名(英文) Basic research concerning the structural analysis of the Waterlogged Wood under a X-ray Computed Tomography

研究代表者

小林 啓 (Kobayashi, Akira)

九州歴史資料館・その他部局等・研究員

研究者番号：20638457

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,100,000円、(間接経費) 0円

研究成果の概要(和文)：本研究は、遺跡から出土する水浸出土木製品を対象に、X線CTスキャナーを活用して木製品内部の状態や保存処理における薬剤の分布を非破壊で可視化することを目的とした。木製品の保存処理薬剤として一般的に広く普及しているトレハロースを対象として、木製品内部の薬剤分布について、トレハロースの濃度・含浸時間・種類毎に検証を行い、各調査項目毎に薬剤分布の状況や傾向を明らかにした。トレハロースは木製品内部では針葉状・塊状となり内部にまで広く浸透する傾向があることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This research aimed at utilizing an X-ray CT scanner and visualizing the state inside wooden goods, and distribution of the medicine in preservation processing by un-destroying for the water-leaching engineering-works products excavated from ruins. About the agent distribution inside wooden goods, it verified for every concentration, impregnation time, and kind of trehalose, and targeted [the situation or tendency of agent distribution] the trehalose which has generally spread widely as a preservation medicine of wooden goods for every survey item. It checked that trehalose tends to permeate widely even the inside of the shape of a needle leaf, and a massive next door inside wooden goods.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：文化財科学・博物館学

キーワード：X線CTスキャナー 出土木製品 保存処理

1. 研究開始当初の背景

1.1 はじめに

科学機器の活用は文化財の調査・研究・診断・展示・保存・活用などの分野において、これまでも革新的な成果をもたらしてきた。近年では、X線CTスキャナをはじめとするデジタル3次元計測機器による新たな手法によって、従来のX線透過撮影をはじめとするアナログ手法による調査では得ることのできなかった調査成果が報告されている。

本稿では博物館施設で展示・保存・管理する文化財の中から、遺跡出土の木製品を調査対象として、X線CTスキャナを活用した調査成果について報告する。

1.2 X線CTスキャナの概要

X線CTスキャナ(以下CT)は、コンピュータ断層撮影の一種である。CTの基本はX線管球と検出器を対向に設置してその間に被写体を置き、回転走査して得られたX線減弱係数からコンピュータ処理することで物体の内部画像を構成する。CTの技術は1968年に英国で発明され1973年に商品化された。日本でも1975年(昭和50年)に医療用CTが導入され、現在では全国の主要病院に普及している。さらに医療用よりも透過能力の高い高出力のX線を利用した工業用X線CTも自動車産業、航空機産業の検査装置として産業界に導入されている。

CTの原理は、360度から照射したX線がそれぞれの方向でどの程度吸収されたかを検出器で捉え、コンピュータ処理して画像を再構成する。開発時期や走査方法により作業時間は数分から数十時間まで差がある。得られた画像は横断面が基本だが、最近では画素単位のボクセルデータから立体像を構築し

て認識できる3D-CTが主流になっている。さらに、X線源に微小X線光源をもつマイクロフォーカスX線を使用したマイクロフォーカスX線CTでは幾何学的に拡大することにより、高分解能な拡大像を得ることができる。

CTの最大の利点は短時間のうちに、正確に3次元計測し、内部構造まで詳細に解析できることである。正確な3次元画像や断面画像から計測値を得られるので、従来のX線写真のように、像の歪みや不明瞭な輪郭を生じることがない。画像表示は断面を基本とするが、立体的な表示や擬似カラー表示が進み、長さ・面積・体積・密度などの精密な計測機能も装備されている。しかし、装置が高価で巨大なために、調査できる機会が限定される欠点がある。すでに、全国の中核的な病院には医療用のCTが設置されており検査体制が整っているため、医療用CTを文化財に適用することも可能である。しかし、医療用のCTは人体用に設計(X線の出力が100kvp程度の軟X線を使用)されているので、線の透過力に限界があり、金属を含む文化財には適用できないことがある。また、寝かせることができない文化財や不定形の文化財の調査には不向きである。

人体を対象とした医療用CTに対して、工業用のCTは150kvp以上の硬X線を使用し、木・土・石・金属の複合資料を透過する能力がある。しかし、企業の工場や研究施設に設置されている場合がほとんどなので、文化財を企業の施設に持ち込むことは難しい。しかも、一般的な工業用CTはラインセンサを使用した装置がほとんどであり、計測時間が数時間から数十時間に及ぶことがある。(註1 2014 今津 引用・加筆)

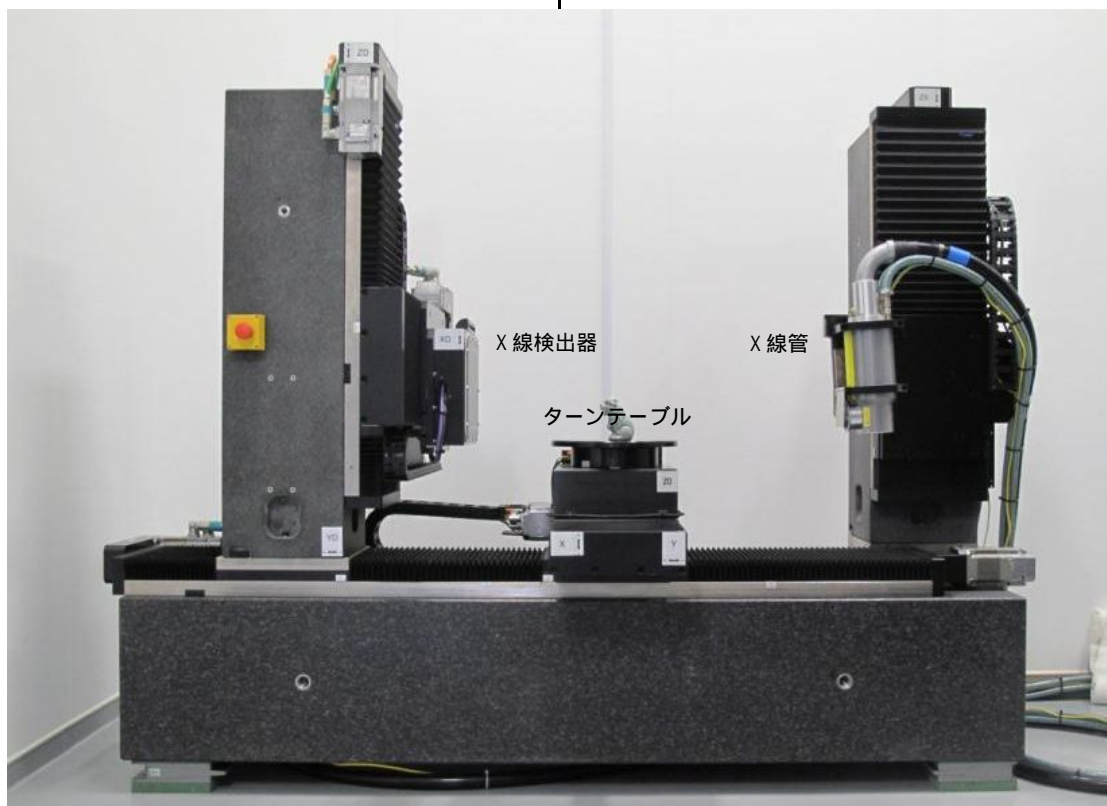


図1 九州歴史資料館に設置されたX線CTスキャナ

2. 研究の目的

本研究の目的は、遺跡から出土する水浸出土木製品（以下木製品）を対象に、CT を活用して木製品内部の状態や保存処理における薬剤の分布を非破壊で可視化することにある。

CT の活用により従来は可視化が困難とされていた木製品の内部状態について、非破壊且つ 3 次元的な構造解析が期待されている。当館は X 線管球の焦点寸法 0.1mm の高分解能の CT を設置することで小型資料に特化した調査体制が整っている。従来の X 線透過撮影によるアナログ手法や、ラインセンサによる 2D-CT、焦点寸法の大きい 3D-CT では困難な情報を得ることができる。

本稿では、従来の非破壊調査では困難とされてきた木製品の保存処理における薬剤の含浸状況や処理中・処理後の状態変化について CT により解析する。併せて、木製品内部の木材組織に薬剤が含浸する状況について解析を行う。

3. 研究の方法

本稿の研究目的である、木製品内部の状態や保存処理における薬剤の分布を可視化するために、調査項目に以下の 4 条件を設定した。

【木製品内部の可視化における調査項目】

水溶液中における薬剤の状態

時間経過による薬剤の状態

濃度変化による薬剤の状態

薬剤差異による薬剤の状態

上記 4 項目により木製品内部の可視化における調査を行った。各々の調査項目における調査方法を以下の 3-1 から 3-4 に示す。

3-1 水溶液中における薬剤の状態

水溶液中の薬剤の状態を確認するため任意の濃度の水溶液を作成した。使用する薬剤は、木製品の保存処理に一般的に利用されるトレハロースを使用した。

作成した水溶液は 5 種類、サンプル瓶に 0%（蒸留水）トレハロース 20wt%・40wt%・60wt% 水溶液を入れ、CT による撮影を行った。撮影は、管電圧 200kv、管電流 1.5mA、距離 700mm、スライス数 540 の条件で行った。

3-2 濃度変化による薬剤の状態

濃度変化による薬剤の状態を確認するため、遺跡出土の自然木によるサンプル材（30mm×30mm×15mm 樹種：ケヤキ）を作成した。サンプル材に任意の濃度の薬剤を含浸させて CT による撮影を行った。薬剤の濃度は 50wt%・70wt% とし、使用する薬剤は木製品の保存処理に一般的に利用されるトレハロースを使用した。

薬剤の含浸期間は各濃度共に 1 週間とした。含浸後はサンプル材の重量が恒量に達するまで結晶化と乾燥を行った後、CT による撮影を行った。なお、撮影条件は 3-1 と同条件で行った。

3-3 時間経過による薬剤の状態

遺跡出土の自然木によるサンプル材（30mm×30mm×15mm 樹種：ケヤキ）を作成した。サンプル材に任意の濃度の薬剤を含浸させて CT による撮影を行った。薬剤の濃度は全て 70wt% とし、使用する薬剤は木製品の保存処理に一般的に利用されるトレハロースを使用した。

薬剤の含浸期間は 16 時間・1 週間・4 週間・12 週間とサンプル毎に含浸期間に間隔を設けた。含浸後は、通常の保存処理と同様にサンプル材の重量が恒量に達するまで結晶化と乾燥を行った後、CT による調査を行った。なお、撮影条件は 3-1 と同条件で行った。

3-4 薬剤差異による薬剤の状態

薬剤の差異による木製品内部の薬剤の状態を確認するため使用薬剤の異なる木製品の調査を行った。

調査対象は、木製品の保存処理方法として一般的に採用されている 5 種類の処理方法を選択した。調査は、PEG 含浸法・真空凍結乾燥法・トレハロース含浸法・アルコール・キシレン樹脂法の各処理方法により保存処理を行った木製品とし、それぞれ CT による撮影を行った。なお、撮影条件は 3-1 と同条件で行った。

4. 研究成果

各項目における調査結果及び成果は以下のとおりである。

4-1 水溶液中における薬剤の状態（図 1）

CT による調査の結果、トレハロース 20wt%・40wt% 水溶液は、水溶液中の水分量が多いためか、水による X 線散乱の影響が著しい。そのため画像からは両者の濃度差による明確な状態の差異を確認することができない。一方、トレハロース 60wt% 水溶液は水溶液中におけるトレハロースの割合が高いためか、20wt%・40wt% 水溶液と比較して全体に X 線の吸収が大きい範囲が確認できる。

水溶液中における薬剤の状態は、水による X 線散乱の影響が大きく、薬品の細かい濃度差による状態変化を確認することは困難であった。しかし、水溶液中の薬品濃度が 60wt% を超える高濃度の場合、それ以下の低濃度の状態と比較して X 線吸収の多寡によりわずかながら画像に変化が確認された。

トレハロースによる保存処理中の木製品を CT 調査の対象と仮定した場合には、処理の序盤となる低濃度下では薬剤の状態を確認することは困難と推測される。一方、処理の終盤となる高濃度下においては薬剤の分布や状態を確認できることが予想される結果となった。

なお、医療用 CT では約 80% が水分の人体であっても内部の状態を詳細に把握することが可能である。これは、人体が比較的均一な素材で構成されているために撮像の適正条件を設定できるためであり、素材や劣化状況などが不均一な文化財資料では画一的な撮像条件を設定することは困難である。

4-2 濃度変化による薬剤の状態 (図2)

調査の結果、薬剤(トレハロース)の濃度が高くなるにつれてX線吸収係数の大きい範囲が広がる様子が確認された。

含浸濃度0wt%(水浸状態)のサンプル材は内包する水分量が多いためか、X線は十分に透過しているにも関わらずX線の散乱が著しいために内部の状態を詳細に確認することはできていない。40wt%・70wt%のサンプル材と比較すると、他のサンプル材では年輪など木材組織や内部の亀裂など状態を確認することができるが、0wt%のサンプル材では外形は明瞭であるが内部の状態は不明瞭であり詳細を確認するに至らなかった。

含浸濃度が40wt%のサンプル材では、サンプル材の表面を中心として内部にまでX線吸収の大きい範囲が確認された。X線吸収の大きい箇所がサンプル材の内部に広がっていることから、薬剤がサンプル材の内部に含浸されていることが分かる。薬剤はサンプル材内部に均一に分布するが年輪付近に一部偏在する箇所が確認できる。この他、サンプル材の内部には放射方向に伸びる大小の亀裂も確認された。この様な亀裂は、サンプル材の外観からは見ることはできない。亀裂は放射方向に複数本が長く伸びており、薬剤の含浸濃度がサンプル材の収縮や変形を抑制するためには不十分であることから生じたものと考えられる。40wt%のサンプル材と比較すると薬剤の分布は広く明瞭となっていることが確認できる。またサンプル材表面の木口面では、薬剤が細かいコロニー状又はパッチワーク状となりながら広がり分布する様子が確認できる。サンプル材の内部では、サンプル材の外側から内側に向けて針状に薬剤が分布する状態が見て取れる。この分布状態は、サンプル材の放射方向における外面で顕著に確認できる。放射方向と接線方向の分布を比較すると2~5数倍程の差異が確認できる。含浸中の薬剤は通常サンプル材の木口面(導管要素)を中心に内部に浸透・含浸されると考えられている。しかし、この結果からは、サンプル材の周囲を含むあらゆる面、取り分け放射方向からも積極的に浸透していくことが考えられる。

4-3 時間経過による薬剤の状態 (図3)

調査の結果、サンプル材は含浸期間に比例して内部にX線吸収の大きい箇所が広がっている様子が確認された。

含浸期間の最も短い16時間含浸では、サンプル材の表面と木口面の年輪に沿う導管付近の一部にのみX線吸収の大きい箇所が確認できる。サンプル材の形状は外観からは歪みや割れなど目立った変形は確認できないが、内部には著しい亀裂や変形が生じていることが見て取れる。含浸期間が短く内包する薬剤が不十分であるにも係らず比較的外観上の形状を維持できているのは、サンプル材の表面及び各辺付近に薬剤が集中しているためと考えられる。内包した少ない薬剤がサ

ンプル材の表面及び四方に集まりラーメン構造状に結晶化することで形状を維持しているものと考えられる。

含浸期間が1週間を超えるサンプル材は、一様にX線吸収の大きい箇所が、サンプル材の内部にまで範囲が拡大している様子が確認できた。

含浸期間が1週間のサンプル材では、内部の薬剤の分布が粗い簾状で空隙も多く見られるが、16時間のサンプル材と比較すると内部の中心付近にまで薬剤が広がっている様子を確認することができる。またサンプル材表面の木口面では、16時間含浸では導管付近の一部にのみ薬剤が確認できるに留まっていたものが、木口面全面に広がっていることが確認できる。木口面の薬剤分布は粗密の差があり細かいコロニー状又はパッチワーク状となり広がっている様子が見て取れる。

含浸期間が4週間のサンプル材では、1週間含浸のサンプル材と同様、内部の薬剤の分布は簾状を呈する様子が確認できる。1週間含浸のサンプル材と比較すると、簾状となる内部の空隙の幅が狭くなり、より密集した広範囲に薬剤が分布している様子が確認できる。サンプル材表面の木口面では、1週間含浸のサンプル材と比較してX線吸収の大きい箇所がさらに広がっている。時間の経過と共に薬剤が密に分布していく工程が見て取れる。木口面の薬剤分布はコロニー状又はパッチワーク状を呈するが、より細かく密な状況で分布する様子が確認できる。また、サンプル材の内部は、1週間含浸で見られた中心付近の空隙が縮小している様子が確認され、表面の薬剤分布も厚みが増していることが確認できる。

含浸期間が12週間のサンプル材では、サンプル材の内部・表面付近共に全サンプル中で最もX線吸収の大きい箇所が広く分布する様子が確認できる。中でも、サンプル材表面の木口面では、薬剤分布の広がりが顕著に確認できる。4週間含浸のサンプル材ではコロニー状又はパッチワーク状に薬剤が分布していたが、12週間含浸では細かいコロニー状の薬剤が結合して面的な広がりが見られるようになっており、表面内部の薬剤分布も全サンプル中最も厚くなっていることが確認できる。サンプル材の内部の薬剤が簾状に広がる箇所では、簾状に見える薬剤分布の1本1本が太くなり、空隙の範囲が狭まっている様子が確認できる。

4-4 薬剤差異による薬剤の状態 (図4~8)

調査の結果、全ての保存処理方法において木製品内部には保存処理に使用する薬剤と推測されるX線吸収の大きい範囲が分布すること確認された。

木製品内部の薬剤分布は、保存処理に使用する薬剤の差異により異なり、薬剤毎に特徴が確認できる。保存処理に使用する薬剤の差異による、木製品内部の状態と薬剤分布の詳細について以下の図4から図8に示す。

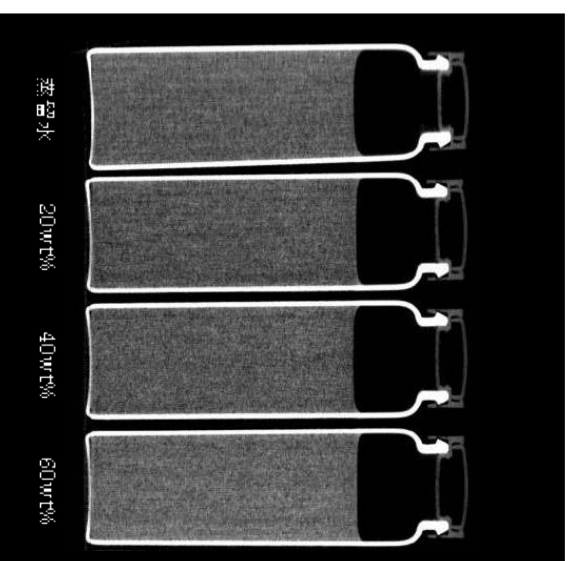


図 1 トレハロース水溶液の濃度別 CT 画像

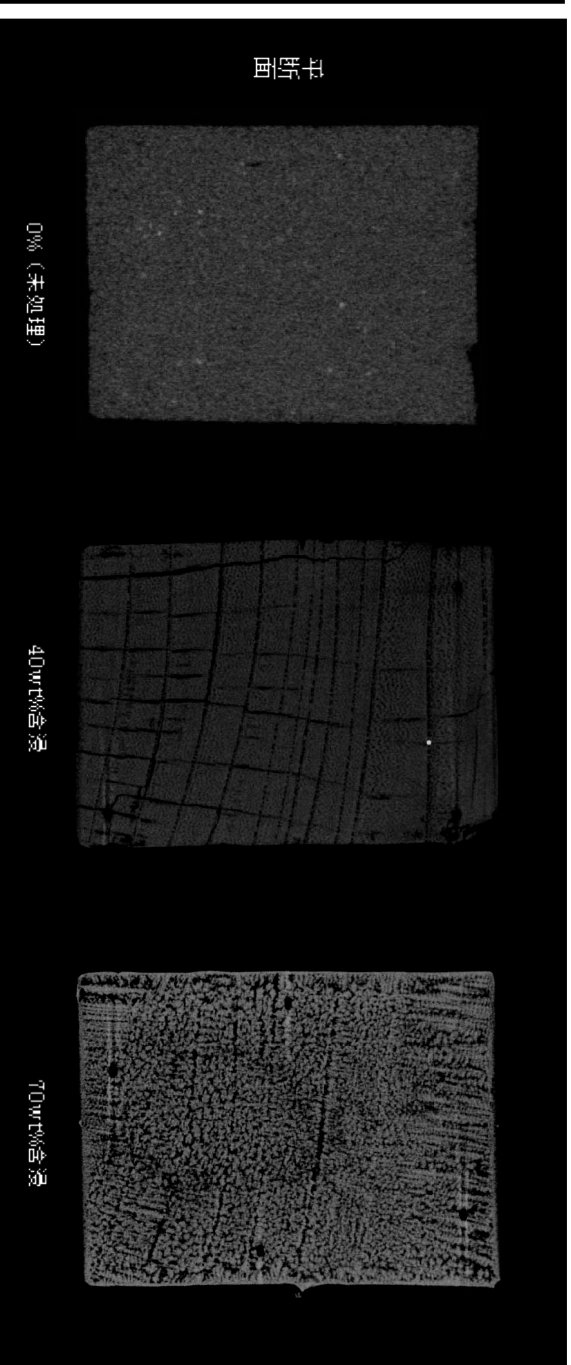


図 2 濃度変化による薬剤の状態

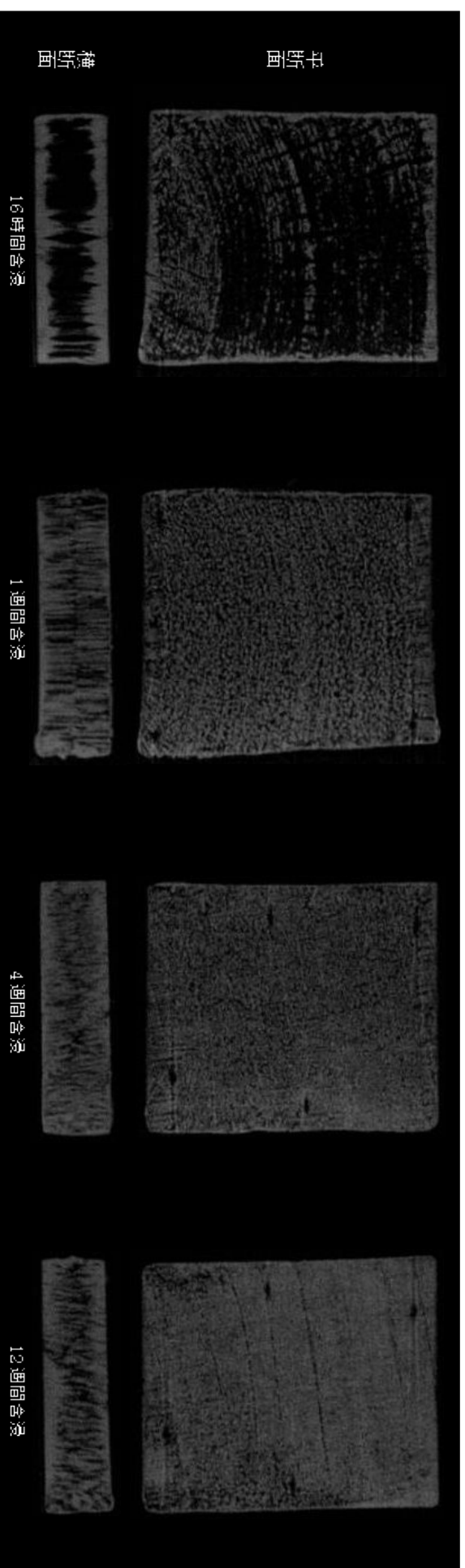


図 3 時間経過による薬剤の状態①

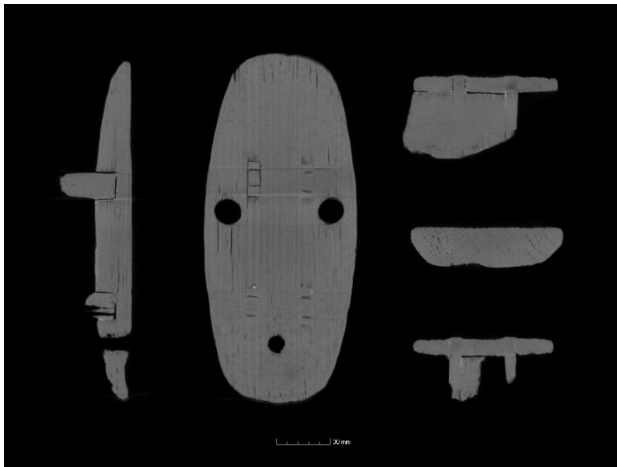


図4 保存処理後の木製品 CT 画像 (PEG 含浸処理法)



図5 保存処理後の木製品 CT 画像 (PEG 真空凍結乾燥法)

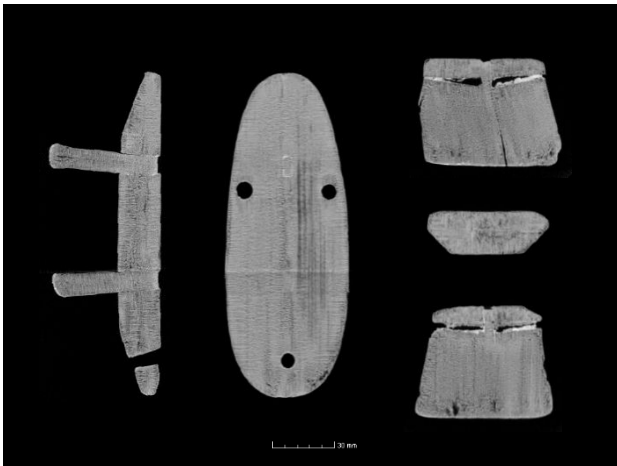


図7 保存処理後の木製品 CT 画像
(トレハロース含浸処理法)

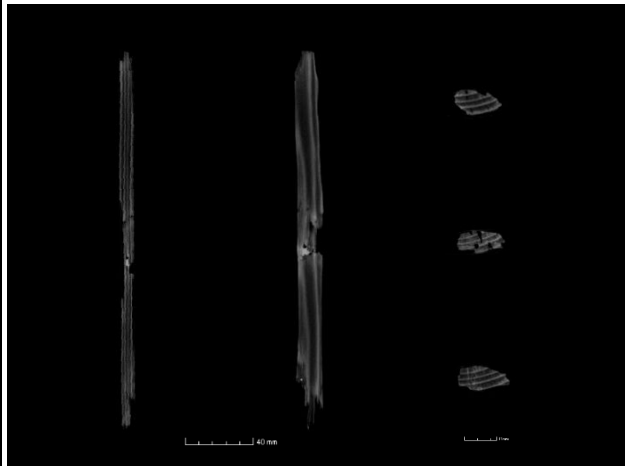


図8 保存処理後の木製品 CT 画像
(アルコール・キシレン樹脂法)

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0件)

〔学会発表〕(計2件)

日本文化財科学会第20回大会(2013年7月)
X線CTスキャナを活用した出土木製品の構造解析に係る基礎研究

日本文化財科学会第21回大会(2014年7月)
X線CTスキャナを活用した出土木製品の構造解析に係る基礎研究

〔図書〕(計0件)

〔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

小林啓 (九州歴史資料館)

研究者番号: 20638457

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号: