

平城宮・京跡出土漆刷毛の構造調査2

はじめに 奈文研の所有する島津製作所製SMX-100CTD(以下、X線CT)は、高感度検出器と低X線出力(最大管電圧100kV、最大管電流200μA)を微細に制御する機能を持ち、生物遺存体や土器片といった遺物など、X線が透過し易く画像の濃淡がつきづらい物質を観察することに適している。この機能を利用し、2016年度より平城宮・京跡から出土した漆刷毛の構造・材質に関する調査と、それにもとづいた復元模造と現代漆刷毛の比較研究を進めている。調査成果の一部はすでに報告され¹⁾、X線CTによる非破壊での内部構造観察法の有効性が示された。一方で、取得した画像の解像度やX線階調値は、資料とX線源の距離やX線出力強度といった撮像条件の誤差に加え、資料の材質やサイズに大きく依存するため、観察した構造物についての検証が喫緊の課題として挙がってきた。そこで今回は、1) 刷毛の毛部分のX線CT取得画像の解像度、2) 出土漆刷毛の毛の遺存構造と復元模造刷毛の毛構造の比較、3) 3次元刷毛構造解析におけるX線階調値分布の特徴についての3つの課題について検討した結果を報告する。

(村田泰輔)

資料と方法 検討資料は、『紀要 2017』で報告した刷毛2(No.2188)・8(No.6036)に加え、それぞれの復元刷毛No.2188-1~3およびNo.6036-1~3を用いた。出土漆刷毛の形態や出土遺構などについては、前出の紀要を参照されたい。出土漆刷毛の遺存状態は、刷毛2は毛が刷毛先端部10mm程度遺存するほかに、毛の底部に一部であるが毛束を折り曲げて挟んだ様相が残る。刷毛8は、持ち手が大きく欠損する。毛先が複数の束に分かれ、柄元から先端に向かって捻れ、底部では毛束をU字に折り曲げている。復元刷毛は、いずれも選定保存技術「漆刷毛」保持者である田中信行氏が出土漆刷毛の目

視観察およびX線CT画像にもとづき復元制作したものである。No.2188もNo.6036も毛部分については人髪を使用し、1は制作したままの状態、2は制作後に漆塗りに使用し洗浄したもの、3は漆塗りに使用後洗浄しなかったものである。また毛部分に使用される素材は、一般に人髪以外に馬毛、イタチ毛があるため、現在の刷毛制作に使用されているものを毛の比較材料として用意した。ただしこれらは刷毛制作にあたって硝酸溶液で洗浄されたものであるため、比較用に未洗浄の人の頭髪も用意した。また刷毛2の毛部分付近の微少付着物と考えられる破片が目視観察時に剥離していたため、それも観察資料として加えた。これらの毛などの観察、計測には奈文研の所有する日本電子製走査型電子顕微鏡(JSM-IT100)を用い、観察条件は表12にまとめた。X線CT撮像にあたっては、ウレタンフォームブロックにより柄を固定し自立させ、調査部位となる刷毛部を中心に露出させた。積層撮像条件については表13にまとめている。撮像後、画像をSV3PostRecon.Ink(島津製作所)により再構成し、MultiConeBindMFC1.002(同社)で積層データ化した。積層データはExFact2.0(日本ビジュアル・サイエンス)を用いてレンダリングし、3次元画像として可視化した。レンダリング解像度については表13に記載した。

(芝康次郎・村田)

毛部分観察成果 電子顕微鏡観察の結果、薬品未洗浄の人髪(図74a-b)には毛表皮がみられるが、硝酸溶液による洗浄を経たその他の毛にはみられなかった(図74c-e)。洗浄工程は、この毛表皮の除去を目的としていると考えられる。毛の直径の5点計測平均値をみると、洗浄後の人毛は未洗浄のものよりもあきらかに瘦せており(表12)、馬毛、イタチ毛も本来の太さよりも細くなっている。

表13 X線CTによる撮像条件と三次元解析精度条件

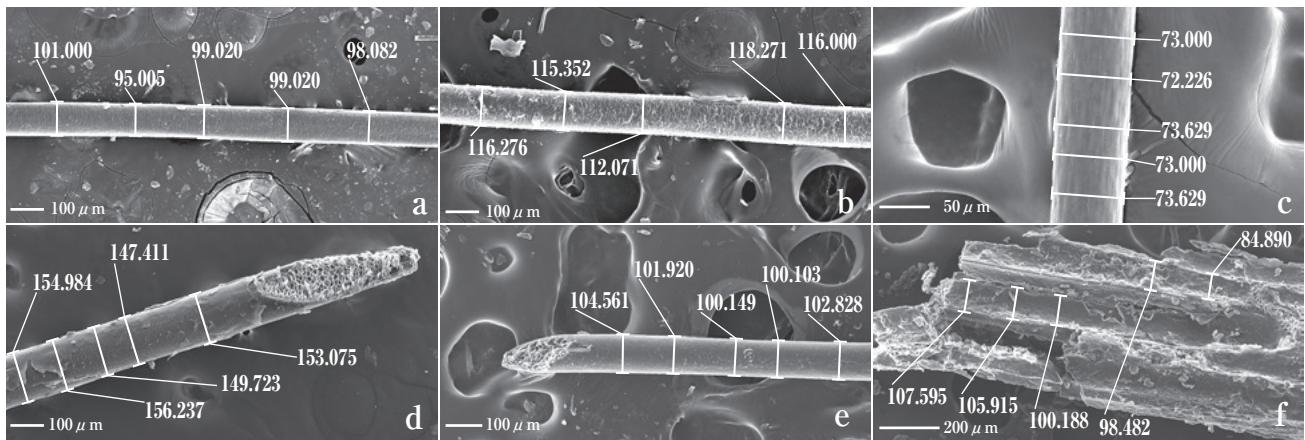
試料	電圧(kV)	電流(μA)	FOV(xy)(mm)	FOV(z)(mm)	撮像精度(μm)	レンダリング精度(μm)
出土漆刷毛6036	60	100	39.571438	13.989122	19.3220	38.6440
復元漆刷毛6036-1	60	100	30.172655	10.607574	14.8461	29.6922
復元漆刷毛6036-2	60	100	30.424714	10.577342	14.8558	29.7116
復元漆刷毛6036-3	60	100	30.423880	10.577052	14.8554	29.7108
出土漆刷毛2188	60	100	25.468592	8.854315	12.4358	12.4358
復元漆刷毛2188-1	60	100	22.336301	7.939857	10.9064	21.8128
復元漆刷毛2188-2	60	100	22.601697	7.681045	10.6390	21.2780
復元漆刷毛2188-3	60	100	31.038947	10.305900	15.1557	30.3114

*FOVの値はX線管と検出器、および撮像対象物の距離関係からxy平面、z軸における撮像範囲として算出されている。

*撮像精度はFOVから算出される1ボクセル(立方体)の1辺の値となり、レンダリング精度は撮像精度から算出した任意に設定される立体画像構成時の1ボクセルの1辺の値を示す。

表12 走査型電子顕微鏡による観察条件と毛の直径5点計測平均値

試料	対象別	検出型	対物距離(mm)	加速電圧(kV)	観察倍率	毛平均径(mm)
a	人毛	SED	10	20	100	98.425
b	人毛	SED	10	20	100	115.594
c	人毛	SED	10	20	300	73.097
d	馬毛	SED	10	20	100	152.286
e	イタチ毛	SED	10	20	110	101.912
f	印象化石	SED	10	20	90	99.414

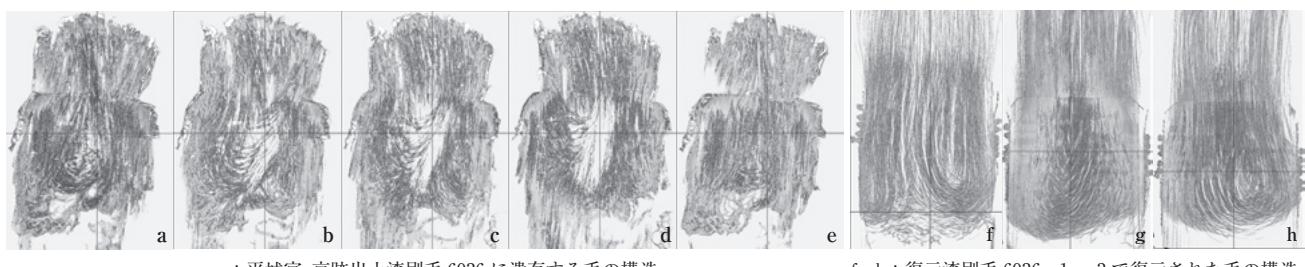


a: 人髪（男性）、b: 人髪（女性）、c: 人髪（薬品表面処理）、d: 馬毛（薬品表面処理）、e: イタチ毛（薬品表面処理）、

f: 漆刷毛 2188 剥落印象化石（毛の付着物に毛の構造が写し取られているもの）

※ a、b は人毛の提供を受けたもの。c-e は現在の漆刷毛の制作で使用される毛素材

図74 漆刷毛に使用される毛素材と刷毛2から剥落した毛付着物の走査型電子顕微鏡写真



a-e: 平城宮・京跡出土漆刷毛 6036 に遺存する毛の構造

f-h: 復元漆刷毛 6036-1 ~ 3 で復元された毛の構造

図75 刷毛8に遺存する毛部分の連続スライス構造と復元刷毛6036-1～3の毛の透過構造

ていることが予想される。一方、剥離片からは、毛の印象化石と考えられる構造が観察された。剥離片の材質などは引き続き分析を進めるが、印象部分には毛表皮に似た構造が観察される。この問題も引き続き検討を進めながら、この剥離片が毛表皮構造を持つ毛部分の印象化石であるとすれば、未洗浄の人髪、あるいは洗浄後ではあるがイタチ毛の直径が近似する。結果的に毛の構造観察をする場合、撮像解像度は少なくとも1ボクセルの1辺が50μm未満であれば存在の有無について有意値を得ることができることがあきらかとなった。

毛部分の構造観察成果 毛構造が明瞭に遺存する刷毛8について毛部分の3次元構造解析をおこなった（図75）。撮像解像度およびレンダリング精度は表13の通りであり、前項の成果から毛の1本ずつが観察されていることが保証されている。さらに刷毛8について、毛の構造がわかりやすいように0.77mm厚で奥行き方向に連続スライスした。その結果、復元刷毛のうち、6036-1（図75-f）が構造的には比較的類似するが、刷毛8の毛部分と較べると、毛の流れは刷毛頂部に向かって整然としており、刷毛の塗布機能が優先されていることが見てとれる。こ

の傾向は、いずれの復元刷毛でも明瞭であった。一方、刷毛8の毛構造は、柄に挟むことが優先され、強引に捻り込むような様相を示す。詳細な構造解析については、今後も引き続き様々な角度から観察をおこないたい。

X線階調値分布の特徴 X線階調値は物質密度に相関し、物質組成を検討する手がかりとなる。この階調値の任意の閾値領域（ROI）について閾値を設けて色分けし、3次元化した（巻頭図版2下）。その結果、出土刷毛と復元刷毛の毛部分の密度は近似値（巻頭図版2下の緑～橙）を示した。また漆塗りに使用した復元刷毛のX線階調値の分布から、漆の付着部位は高密度（巻頭図版2下の白～濃紺）を示し、出土刷毛にも近似値を示す部位があることが判った。今後、X線階調値をCT値に変換する検量をおこない、変換式を作成することが課題となる。（村田）

註

- 1) 竹村祥子ほか「平城宮・京跡出土漆刷毛の構造調査」『紀要 2017』。