

X線CT装置による陶磁器構造の技術的研究～平泉出土資料等を例として

研究代表者：岩手大理工 會澤純雄

共同申請者：岩手大平泉 佐藤嘉広

研究分担者：東北大金研 藤田全基 杉山和正 藤澤敦

日本原子力研究開発機構 篠原武尚 岩手大理工 桑静

Technical Research of Ceramics Structure by X-ray CT System – Examples from excavated materials in Hiraizumi and other sites in Japan

Sumio Aisawa¹, Yoshihiro Sato², Masaki Fujita³, Kazumasa Sugiyama³, Atsushi Fujisawa³, Takenao Shinohara⁴, Sang Jing¹

¹Faculty of Science and Engineering, Iwate University, Morioka 020-8550

²Center for Hiraizumi Studies, Iwate University, Morioka 020-8550

³Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577

⁴Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki 319-1184

Keywords: Hiraizumi, porcelain, celadon, X-ray CT, production technique

Abstract

This study aims to elucidate the manufacturing techniques of 12th-century ceramics, including white porcelain, pale blue porcelain and celadon. These ceramics were imported to Japan from China's Song Dynasty and consumed in political and commercial bases across the Japanese archipelago, such as Hakata, Kyoto, and Hiraizumi. In order to consider the historical significance of Hiraizumi in 12th-century Japan, we will investigate the quality of the ceramics brought to Hiraizumi. The quality of the ceramics was examined using X-ray CT and digital microscopy.

The observation results can be summarized in the following four points:

1. The beaded rim of a white porcelain was formed by bending the edge of the clay and maintaining the thickness of the rim. The use of X-ray CT facilitated the observation of the internal structure of the ceramics.
2. X-ray CT revealed horizontal cracks indicating voids within the clay body of the ceramics. These cracks may be traces left of the use of potter's wheel during the molding process.
3. X-ray CT revealed several differences in the density of the clay body. While pale blue porcelain is thought to be of higher quality than white porcelain or celadon, this view has not been confirmed.
4. Two distinct patterns were observed at the interface between the clay body and the glaze. A clear boundary was observed in the pale blue porcelain and celadon; however, this boundary was indistinct in the white porcelain.

To verify the above hypotheses, additional observations were conducted using a microscope. We plan to confirm these results through neutron analysis using the same samples.

1. 緒言 (Introduction)

12世紀に繁栄した平泉では、発掘調査によって陶磁器が多数出土している。当時、磁器は日本列島内では製作されていなかったため、中国又は朝鮮半島で製作され、平泉にもたらされていた。したがって、それらは為政者の権力や財力を一定程度反映していると考えられている。

平泉から出土する磁器はその多くが中国産であり、色調や形状の特徴などから、白磁、青磁、青白磁に分類されている。これまで日本国内において行われてきた研究は、おもに、その特徴などから考古学的に分類して産地や年代を特定しようとするもので、その成果は研究者間でおおむね共有されている。また、磁器の産地を詳細に特定することを主眼として、蛍光X線などによる元素分析も行われ、考古学的な研究成果との対比が試みられている。

一方、原料採取から加工・焼成をへて製品化に至るまでの、磁器の製作技術や技法についての研究はほとんど行われてこなかった。そのため、磁器の成形過程には、推測に基づく部分が多い。また、製作の途上でどのように不具合が生じ、具体的に最終成果品の品質にどのように影響していたかも明らかでない。さらに、平泉へ搬入された磁器が、博多や京都においてどのように評価・選択されたのかについても不明である。

したがって、12世紀平泉の歴史的な位置を議論するためには、平泉から出土する磁器が全体のどの部分に位置づけられるのかを確認する必要がある。より技術的な観点から磁器の品質等を検討することで、輸入陶磁器の視点からみた平泉について、一定の理解が得られると考えられる。

2. 研究方法 (Research procedure)

平泉及び京都から出土した磁器（白磁、青磁、青白磁）のX線CT画像の撮影は、東北大学総合学術博物館に設置された高出力大型標準用CT装置（コムスキャンテック株式会社製 ScanXmate-D180RSS270 または株式会社 Voxel Works による改造後の同装置）を用いて行った。資料の撮影条件は、X線管電圧 180～200kV、X線管電流 100～150 μ A、プロジェクション数 2500、解像度 10.9～67.1 μ m で撮影した。CT画像の再構成は、有限会社ホワイトラビット社製のソフトウェア Molcer 及び Wayne Rasband によって開発された Imagej を用いて行った。

撮影した陶磁器類は全部で 23 点であり、その内訳は平泉出土資料 17 点、京都出土資料 6 点。種類別では、白磁 8 点、青磁 7 点、青白磁 3 点、陶器・土器 5 点である。また、焼成技術を参照するための実験試料 2 点

も測定した。測定は、準備を含めてのべ5日間で行った。

当初、X線CTに期待していたのが、磁器の成形方法や工程が明らかになる画像が得られるのではないかと、いう点であった。そのため、X線管電圧、X線管電流については、それらが最適な状態で撮影されるよう調整した。解像度についてもまた、資料のサイズによって調整することとした。

X線CT画像とともに、岩手大学平泉文化研究センターで所有するデジタル顕微鏡（キーエンス社製 VHX-2000）によって磁器の表面及び断面の観察を行い（×50，×200，×1000など）、素地及び釉の状態、及び磁器表面に表出する製品の不具合の状態などを記録した。

3. 結果および考察 (Results and discussion)

X線CT画像によって観察できたのは、①白磁碗玉縁口縁の成形技法、②磁器のロクロ成形痕と思われる横方向に連続した空隙、③素地の粗密、④素地と釉との関係性、などである。

①については、口縁部の肥厚がロクロ成形途上の口縁端部の折り返しによるもの、ロクロ成形後の粘土帯の貼り付けにより形成するもの、の二通りが考えられたが、連続する断面のCT画像から、前者である可能性が高まったといえる。

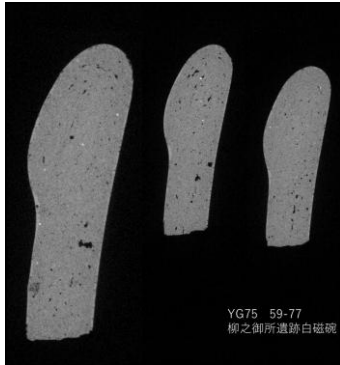


図1 白磁碗口縁部片（平泉出土）断面で観察された口縁端部の折り返し

②については、一部の碗皿類において顕著に見られ、連続画像においても横方向に遷移する状態が観察される資料もあることから、ロクロ成形痕と考えている。同様に、底部から立ち上がりを残す碗皿類では、ロクロの回転方向も特定できる可能性を有している。

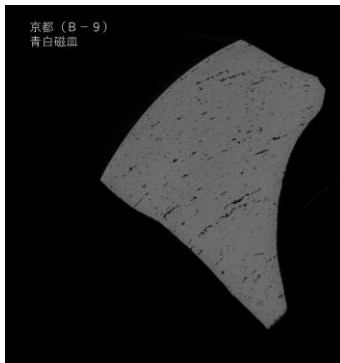


図2 青白磁皿片（京都出土）で観察された横方向に延びる空隙

③については、白磁・青白磁に比して、青磁に素地が密といえるものが多く観察された。一般に、白磁・青磁に比して青白磁には優品が多いとされるが、今回対象とした資料からは、必ずしもそのような結論が導かれなかったと考えられた。撮影資料を増やし、素地の粗密と磁器の器種との関係などについて検討を進める必要がある。

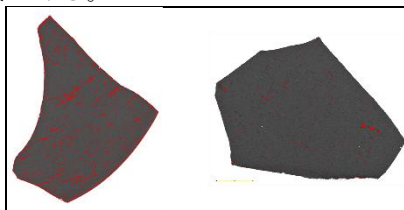


図3 青白磁皿片及び青磁碗片（左：京都出土、右：平泉出土）における素地の粗密（赤色箇所が空隙）

④については、青白磁・青磁が素地と釉との差が明瞭に表れるのに対し、白磁ではその区分が不明瞭のものが多く観察された。顕微鏡観察においても、白磁表面の釉に透明度（純度）が低い資料が観察されることなどから、今後、素地と釉との関係を検討するうえで考慮しておく必要がある。

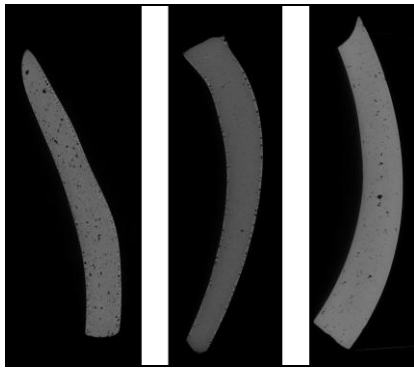


図4 素地と釉の区分（右端が鮮明さを欠く）

左から青白磁皿（京都出土）、青磁碗（京都出土）、白磁碗（平泉出土）

また、磁器の仕上がりの色味については、これまで青磁などの釉薬の生成方法についてさまざまな分析が行われていたところであるが、今般、断面の顕微鏡観察により素地の明度差を定量化できる可能性が出てきたことから、今後方法を精査して磁器の色味が釉薬と素地との関係により決定されることを明らかにしていきたい。

なお、磁器表面の不具合のうちもっとも頻繁に見られるのは、ピンホールと呼ばれるものである。これは、素地中又は釉中の不純物等が気泡化して表面に複数の小孔となって現れるもので、白磁にとくに多い。ピンホールの成因は複数あるとされるが、顕微鏡により孔が素地まで達していることが観察できることから、ピンホールが製作のどの段階で出現するかについて、今後の検討材料となると考えられる。

4. まとめ (Conclusion)

今回、磁器を X 線 CT で撮影できたことによって、これまであまり注目されてこなかった磁器の製作技術・技法の側面にアプローチできた。これらの観察においては、デジタル顕微鏡等を補助的に用いることにより、さらに合理的で明確な解釈につながる可能性が考えられた。

また、磁器の品質に関しては、磁器表面に観察されるさまざまな不具合現象に限らず、磁器素地の粗密や釉の純度などについても考慮する必要があると考えられた。

なお、同じ磁器資料を対象として、並行して中性子ビームで撮影を行っているところである。今後、両者による撮影画像を比較検討し、磁器製作に関する所期の目的に迫っていきたいと考えている。

謝辞 (Acknowledgement)

本研究は、学際ハブとの連携によって進めているもので、藤田全基先生をはじめとする研究分担者及び学際ハブ関係者には広くご指導・ご協力をいただいた。特に、東北大学総合学術博物館の藤澤敦先生には X 線 CT 装置の使用に便宜をおはかりいただいた。また、同じく鹿納晴尚先生には CT 装置を稼働させていただき、画像を撮影していただいた。

磁器の不具合については、土岐市立陶磁器試験場の安江大次長及び長島崇氏から丁寧なご教示をいただいた。

また、出土磁器の使用について、岩手県櫻井友梓氏、平泉町島原弘征氏、京都市新田和央氏・赤松佳奈氏に便宜をおはかりいただいた。各地における磁器の出土状況や磁器 X 線 CT 画像撮影結果の解釈などについては、加えて、福岡市田上勇一郎、鎌倉市鈴木弘太、宮城県高橋透、岩手県西澤正晴、平泉町鈴木博之、出光美術館徳留大輔の各氏にご議論・ご検討いただいた。

引用文献 (Reference)

https://www.city.toki.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/002/172/toujiki.pdf