

陶板素材の検討

安藤明珠*、大塚オーミ陶業株式会社

Material and Structure of the Ceramic

Mitsumi Ando*, OTSUKA OHMI CERAMICS CO.,LTD

Toward development of exquisite replication of ceramics, first of all, we had to select the material and decide the structure of the ceramic base. Our ceramic is two-layered with different materials: (1) bigger particles to be hard after burning for base part, (2) smaller particles to make 3D machined for upper part. However, the difference of shrinkage ratio made two-layer separated. To solve this problem, we change the method to make a layer from pouring over which is normally used to spraying. Finally, we successfully could make ceramic base for our project.

Key Words: ceramic, exquisite replication, mural paintings, material, structure

キーワード: 陶板、精巧な複製、壁画、素材、構造

1. 陶板作成の工程

1.1 一般的な工程

陶板は、基本的には、陶器の作成と同じ工程で作られると言ってよい。Fig.1 に一般的な工程を示す。まず、土を成形する。生乾きの状態で2~3mmの化粧泥を表面に塗り、焼成する。陶器の場合の「締め焼き」と呼ばれる作業で、乾燥させた素地に釉薬をかけずに高温(1100~1300℃)で焼成する工程である。陶器の素地は吸水性があり、それを防ぐため釉薬をかけることが多い。「締め焼き」では、素地に含まれる長石が高温で焼かれることによって液状化(ガラス質に変化)し、素地にしみこむことで釉薬としての役割を果たし水止めとなる。備前焼、伊賀焼、信楽焼、丹波焼、常滑焼などに代表される陶器は、あえて釉薬を使用せず、「締め焼き」による自然釉を利用した焼き物である。焼き上がりの状態は、窯の種類や大きさ、窯の中の位置、火流れ、天候、薪の種類によって多種多様な変化をみせる。

(Wikipedia: 締め焼き 参照) 自然釉によってのみ色を出すのであれば、化粧泥は用いられないが、焼成後に着色する場合には、素地の色に左右されないよう白い化粧泥を表面に塗る。色を焼き付けるには、釉薬で着色後、さらに焼成する必要がある。これは比較的低温で行われる。陶板は、各段階の焼成で収縮する。特に高温での「締め焼き」の際の変化は大きく、素材にもよるが、収縮率はおよそ12%と言われている。これは粘土に含まれている水分が、高温で焼成する際に蒸発するためである。精巧な複製陶板を作成するにあたり、この収縮率を考慮した工程、素材を検討しなければならない。

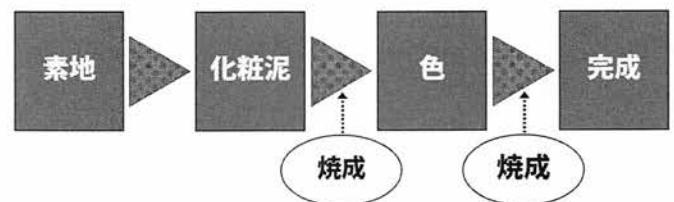


Fig.1 一般的な工程

1.2 今回の工程

今回の複製陶板の作成にあたっては、Fig.2のような工程で行った。陶板による複製を行う際に、最も注意を払わなければならないのは焼成による収縮である。素材、焼成方法などによって、収縮率は変化するが、その変化もまた一様ではない。今回、対象壁画の特徴から化粧泥を通常よりも厚くしなければならず、素材による収縮率の違いを考え、陶板を2段階で焼成することにした。

まず、基台となる素地を約1200℃で焼成する。そして、その上に化粧泥を厚く盛土のようにおく。この2層になったものを、今度は約1150℃で焼成する。2回の焼成は、「焼き締め」とほぼ同等の高温であり、陶板は収縮する。ここで3D加工を行う。陶板が収縮した後に加工を行えば、焼成での収縮による凹凸の変化を軽減することができる。その後、色を転写する。この際、焼成温度は約880℃で、3D加工前の2回の焼成温度よりも低いため、この焼成では収縮しないと考えられる。

この3D加工した時点で、複製陶板の精度検証を行うため、凹凸の精度分析を行った。また、色の検証については、凹凸加工を施していない陶板に色を転写し、焼成したものを精度分析した。凹凸と色を別々に評価した上で、現段階で最高精度の凹凸陶板に、最高精度の色を転写し、複製陶板の完成とした。

* フレスコ壁画研究センター 研究員

Research Center of Italian Mural Paintings

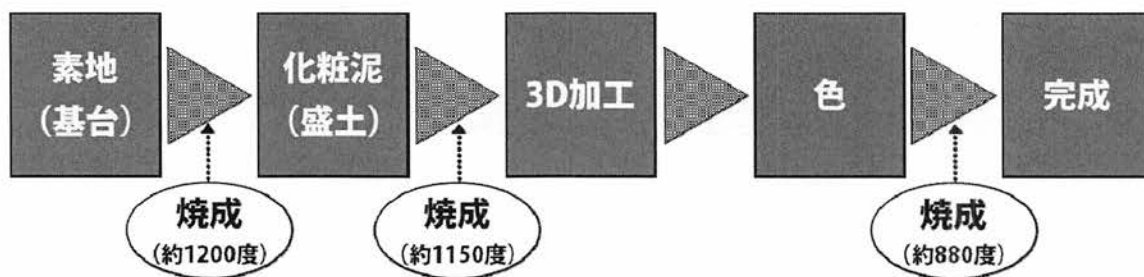


Fig.2 今回の工程

2. 素材の特性

いくつかの試行に伴い、焼成や加工条件をクリアした以下の2種類の素材を使用した。

- ・基台部：大塚オーミ陶業特性の大型陶板素材
- ・盛土部：大塚オーミ陶業特性の化粧泥を#100番でふるい通したものを。(比重 1.41/kg)

基台となる素材は、強度に優れているものを採用した。3D加工を行う際、加工機に陶板を固定する。精度の高い加工を行うには、切削加工の振動で陶板が動かないようにしっかりと固定する必要がある。とはいえ、周囲4方向に対して固定器具を取り付ける際には、その圧力で陶板がゆがまないような適切な強度でなければならない。

また、盛土については、3D加工がより精密にできるよう、できるだけ粒子の小さいものを使用した。#100番はふるいの目開きが0.150mmであり、使用した3Dスキャナの測定間隔0.28mmよりも細かいことから、3Dデータによる再現が十分可能であると判断したからである。また、ふるいによって粒子の大きさをそろえることにより、安定した3D加工の精度を維持できると予測された。

収縮率は、素地の組成によっても多少変化するが、粒子の大きさによって大きく変わる。粒子の大きさと収縮率との関係をFig.3に示す。粒子が大きいとその隙間に水分が多く含まれるため、焼成し、水分が蒸発すると大きく収縮する。一方で、粒子が小さいと、隙間が小さく水分の量も少ないので、焼成しても収縮は小さい。

今回使用した素材のうち、基台は粒子の大きいものを、盛土には粒子の小さいものを使用した。このため、焼成によって2種類の接合面に大きなずれが生じることが予想された。

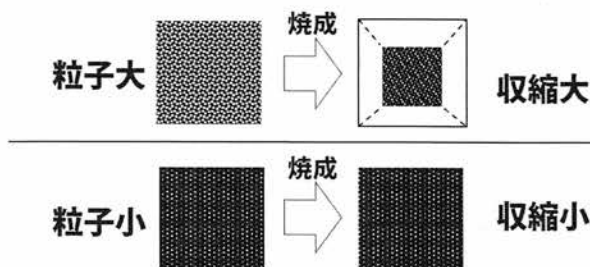


Fig.3 粒子の大きさと収縮率の関係

3. 構造

第1章で示したように、対象壁画に描かれた聖人像のあごひげ部分には鋭く引っ掻いた刻線（インチジョーネ）が施されており、円光には漆喰を塗った際の縷ムラや彩色の際の刷毛目の跡が確認できる。また、石灰白による盛り上げ装飾が、服や円光周囲にみられる。斜光線での写真では、このような壁面に作られた凹凸を容易にみることができ、3Dデータの画像からは、むしろ壁面そのものが平面でないことがわかった。

Fig.4に対象壁画の立体構造を示す。グレースケールによってZ方向の深さ（厚み）を示しており、黒いほど奥行きがあることを示している。左下隅を0.0mmの基点とすると、左上はかなり奥にへこんでいることがわかる。その差は約13mmであった。複製陶板の作成にあたり、この曲面をも再現するには、加工する盛土部の厚みを13mm以上にすると必要であると判断された。つまり、通常の陶器では化粧泥として2~3mmの厚みを素地の上に塗れば良かったのだが、今回はそれよりも厚くしなければならなかったわけである。

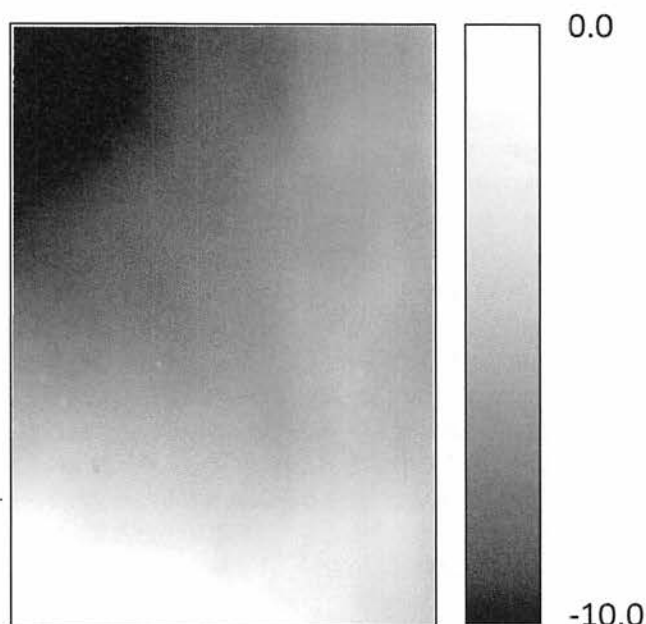


Fig.4 対象壁画の立体構造

Fig.5 に陶板素材の断面構造を示す。断面は基台部と盛土部の2層構造となっている。基台部は3D加工機の固定によって変形しない強度をもち、いわば支持体の役割を果たしている。このため基台部は、焼成後の厚みが20mmになるようにした。また、盛土部はあとの工程で3D加工を行う面であるため、ふるいにかけることで3D計測間隔よりも小さい粒子を使用し、後述する理由で基台部と同様に厚みが20mmになるようにした。

盛り土部に3D加工を行う際、加工面に原点を決定する必要がある。3Dデータは点の集合であり、XYZの座標によって表現されている。このため、原点の位置によって、全体の位置が変わってくる。実際には加工機の起点となる原点を設置できるよう、陶板のサイズを左右上下1cmずつ大きくした。つまり、陶板素材の制作過程においては、焼成後の大きさを縦62cm×横44cmになるようにした。また、焼成によって加工面自体が曲面になったり、凹凸を生じたりしてしまう可能性がある。このような加工面には高精度の凹凸再現を施すことができない。そこで、3D加工を施す前に、加工面自体を完全に平面にするための切削を行った。この切削分も盛土部の厚みに加算する必要があるわけで、結局、盛土部の厚みを20mmとすることで、平面加工と凹凸再現加工の両方が十分にできるようにした。



Fig.5 陶板素材の断面構造 (焼成後の厚み)

4. 接合面

Fig.5のような異なる2種類の素材を用いた2層構造を作るには、収縮率の違いを再検討する必要がある。基台部は粒子が大きいので、収縮率が大きいのにに対し、盛土部は粒子が小さいために収縮率が小さい。ところで、基台部は1度焼成しているため、2回目の焼成ではほとんど収縮しなかったが、盛土部は、基台部の2度目の焼成時の収縮率よりも大きかったため、接合

面で収縮の差異が生じ、剥離やひび割れが生じた。通常の化粧泥の厚みでは収縮はほとんどみられないが、今回のように厚みがあり、体積が大きいと、層内で重く大きい粒子と軽く小さい粒子に分離し、下の方で収縮率がやや大きくなったことに原因があると思われた。

そこで、盛土部の積層方法を検討することにした。Fig.6に2種類の積層方法と、その接合面の違いを示す。注型式は従来のように、素地の上に盛土部を一気に注ぎ入れる方法である。この方法では、作業時間が短く、表面を平面にできる一方で、底面に重く大きい粒子、表面に軽く小さい粒子と分布にムラができてしまうことがわかった。一方、噴霧式は噴霧器に化粧泥を入れ、少しずつ表面に噴射することで積層していくので、注型式よりも時間はかかるが、粒子の分布にムラは生じない。また、Fig.7のように手作業で噴霧するので、表面を平面にすることが難しい。しかし、平面加工を施すので、この問題は解決できる。よって、噴霧式を採用し、陶板素材を作成した。実際に完成した陶板の断面はFig.8のようになった。

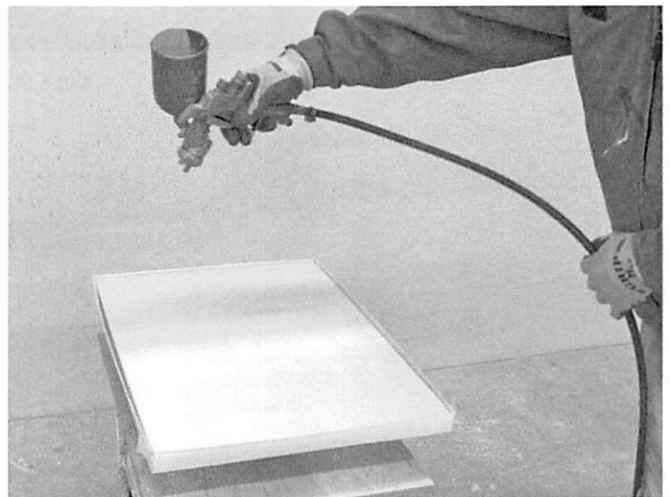


Fig.7 噴霧式での積層の様子

注型式



噴霧式

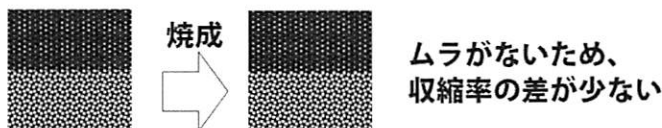


Fig.6 積層方法による接合面の違い

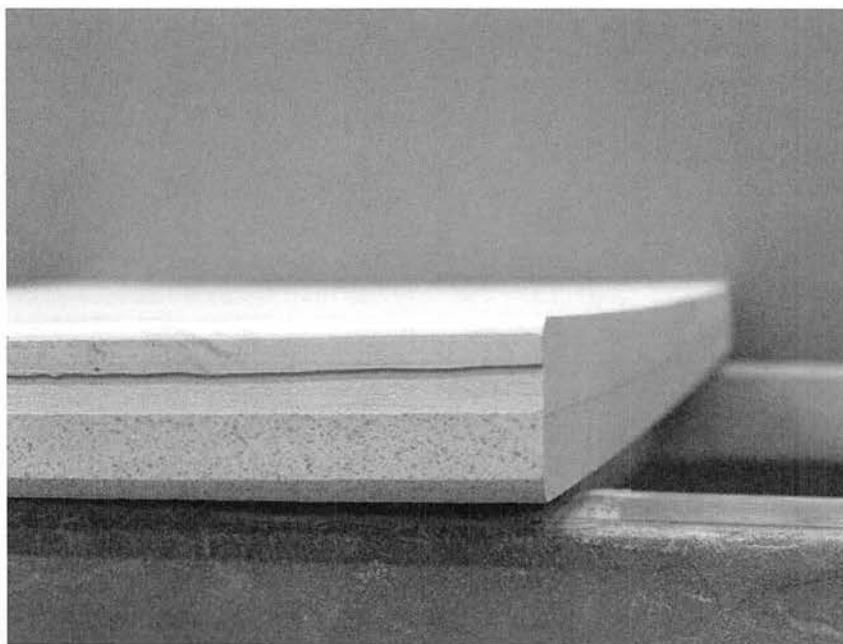


Fig.8 実際の陶板の断面