

古代エジプトファイアンス復元実験—白華技法

山花 京子

Replicating Ancient Egyptian Faience using an Efflorescence Technique

Kyoko YAMAHANA

古代のファイアンス研究において、物質を解明するための自然科学的研究は多く存在する。しかしながら、実際に古代人はどのように練り粉を作り、成形し、焼成したか、という製作工程に関する研究はほとんど行われていない。本稿は古代エジプトのファイアンス製品のような青緑色の滑らかなガラス質光沢を持ったものを復元すべく、白華技法を用いて実験を行った。実験では焼成後のガラス化と発色が最も艶やかになるように乾燥や焼成温度などの条件を変更して行った結果、ガラス化と発色を最良の状態に仕上げるための原材料調合比と乾燥（白華）、焼成温度を探すことに成功した。本稿では試作の成功事例と失敗事例を挙げながら、今までに知られていなかったファイアンス作りに関する知見を述べる。

キーワード：古代エジプト、美術、ファイアンス、復元実験、白華技法

A number of publications have analyzed ‘ancient faience’ as a material. However, less effort has been placed on analysis of its production - how ancient artisans made paste, shaped, and fired. The aim of this research was to reproduce blue-green faience with a smooth glassy surface using the efflorescence method. Many attempts were undertaken: changing the ingredients, drying rate and firing temperatures. Consequently the best range of ingredient mixture as well as drying and firing conditions were determined. Listing the successful and unsuccessful attempts, the author discusses the important information gained from these experiments.

Key-words: Ancient Egypt, art, faience, reproduction, efflorescence

I. はじめに

古代のファイアンスは紀元前 4500 年頃のエジプトとメソポタミアに現れ (Nicholson 1993: 9; 山花 2006: 6)、西アジアと東地中海世界沿岸地域に拡散し、ローマ時代以降は西方のヨーロッパや東方のアジアなどへも伝えられた。しかしながら、その後は製法が継承されていない「幻」の物質である。そのファイアンスを物質として解明しようとする自然科学的研究は A. ルーカス (Lucas) (Lucas 1962) を皮切りに A. カチマールチック (Kaczmarczyk) と R. ヘッジス (Hedges) (Kaczmarczyk and Hedges 1983) ら、主にオックスフォード大学の研究者たちによって主導されてきたが、古代人がファイアンスを「どのように」作ったか、に焦点を当てた製法復元についての研究論考は非常に少ないのが現状である。本稿は未だ謎の多いファイアンスについて古代の製作者の視点に立ち検証した復元実験の第 1 段階の報告である。

まず、ファイアンスを定義しておこう。ファイアンスはガラスと同じ石英・石灰・アルカリを主原料としつつも、

ガラスのように熔解せず、細かく搗った原材料を混ぜ合わせて素地を作り、成形・乾燥・焼成といった焼き物と同じ製作工程を経て作られる、いわば「ガラスと陶器の中間物質」のことである¹⁾。古代のファイアンス製品は艶やかな青緑色のガラス質被膜によって覆われている場合が多いが、青緑地の上に黒紫色の線画が施された例や赤・白・黒・黄などの多色ファイアンスも存在する。

ファイアンス製品の製作方法には「白華技法」、「浸灰技法」、そして「塗り付け技法」²⁾があるとされており、先行研究ではファイアンス作りの初期の段階³⁾では白華技法が多用されていた可能性が指摘されている (Nicholson 1993: 8)。しかし、初期のファイアンスが白華技法で作られたとされている科学的根拠は曖昧で、高倍率顕微鏡の剥片観察例においても白華技法と他の技法との決定的な違いについては多くの議論の余地が残されている⁴⁾。

白華技法は原材料を混ぜ合わせて素地（練り粉）を作るところから始まり、成形後の乾燥時に素地のアルカリ成分が表面に白く粉を噴くように析出するのが特徴である。素

地の焼成後は表面にガラス光沢のある着色された被膜が形成されるが、製品のコア部分はガラス化も発色もせず白いまま残されるのである。しかしこの技法でのファイアンス作りは、古代において貴重であったと思われる銅粉なども素地にすべて混入し消費するため、後出の塗り付け技法（石英粉を樹脂などで固めて表面のみファイアンス懸濁液⁵⁾を塗り付ける方法）と比較してコストパフォーマンスは悪い。白華技法は現代人にとっては聞きなれない高度な技法のように思われるのだが、果たしてどのように作っていたのだろうか。製作の詳細を知るために、自ら復元実験を行い、その実験過程より得られた知見を本稿にまとめた。

II. 白華技法によるファイアンス復元実験の下準備

II-1. 原材料

古代ファイアンスの原材料は石英質の小石あるいは砂漠の砂⁶⁾を精製したものが主原料と考えられている。今回の実験では日本国内で入手できる天然の福島硅砂⁷⁾（粒く100 μm）と、日本画の顔料として販売されている牡蠣殻由来の「胡粉」⁸⁾を石灰源として使用した。アルカリ源はエジプトでは全時代を通じてナトロン（炭酸ナトリウムの水和物や重曹などの混合物）⁹⁾が主であったことが数々の分析結果（c.f. Kaczmarczyk and Hedges 1983: 21-22）によって判明しているが、今回の実験では試薬の炭酸ナトリウム¹⁰⁾を使用した。天然のナトロンには重曹や塩化ナトリウムなど不純物も多く混入しており、それらが完成した製品にどのような影響を与えるかが明らかになっていないため、不純物の影響が少ない実験結果を得たいと考えたからである。青緑色の着色剤については、従来の分析方法¹¹⁾がファイアンスの構成元素とその割合を出すためのものであったため、分析の結果検出された「銅」という元素がどのような銅化合物であるのかわからない。したがって、今回の実験では試薬の酸化銅と塩基性炭酸銅（緑青）の2種類を使用した。以上がファイアンス製品の主要な原材料だが、今回の実験ではファイアンス作りにおいて直面した可塑性（粘りがなく成形し難い）の問題に対する解決策を模索するために、石英を部分的に長石（曹長石：ソーダ長石）と置換したり、粘土鉱物（ベントナイト）や小麦でんぷんなどを添加し試作した（表1：Nos. 8~17）。詳細については第III章で述べる。

II-2. 窯道具

古代ファイアンスの復元実験はなるべく古代と同じ条件の下で行うのが理想的である。筆者も当初は地面を浅く掘り窪めた穴を使い、そこに木炭を敷き詰めて熱源としていたが、ファイアンスの焼成が行える温度帯に達するまで数時間を要し、最高温度に達した後も温度を安定させること

が難しいことがわかった。今回の実験の目的はファイアンスが焼成できる温度領域を特定することにあつたため、温度が変動する野焼きではなく、安定した温度管理ができる陶芸用の電気窯 Petit¹²⁾を使用した。

実験用の電気窯にはエゴロ（鞘）を入れ、底にはアルミナボールを敷き詰めた。これは釉がガラス化した際に底面との熔着を避けるためである。実際、アビュドス（Abydos）¹³⁾ やリシュト（Lisht）¹⁴⁾ のファイアンス工房址と考えられる場所からは小さな粘土製¹⁵⁾の玉が大量に出土しており、それらの玉には釉が付着しているものもある。また、ファイアンス遺物の底面にはガラス化した表面に目痕の痕跡があるものが多い。これらの考古学遺物の観察より、古代エジプトにおいても焼成粘土製の小玉が焼成の際の支持具（日本の陶芸での「爪」）として使用されていたことが推測される。

II-3. 原材料調合から成形まで

上述の原材料は、科学分析の先行研究で明らかになっている調合比をもとに独自の調合を考えた。P. ヴァンダイバー（Vandiver）の分析結果によると、古代エジプトで最も多い青緑色ファイアンスは石英（シリカ）92~99 %、酸化カルシウム 1~5 %、酸化ナトリウム 0.3~0.5 %で、着色剤として微量の銅化合物が入っている（Vandiver 1983: A18）。この数値をもとに実験初期の段階においては石英分を90%以上で試作したが、石英分が高すぎると可塑性が殆どなく、平面的な造形以外の成形が困難になることが判明した。今回の実験では平面的な形状を作ること以外にも壺のような立体造形も可能にしたいと考えたため、原材料の石英分を80%前後に下げて実験を行った。表1には今回の実験の調合比が示してあるが、基準調合比を石英 87 wt%、石灰 6 wt%、炭酸ナトリウム 5 wt%、着色のための銅化合物 2 wt%（合計 100 wt%）を設定した。

さて、原材料の調合の後には少量の水を加えて素地（練り粉）にするのだが、主原料となる材料を練るために圧力をかけると粒子間の水分が押し出され、石英粒の微細な粒子が密集して粒子間の隙間が小さくなるダイラタンシーという性質がある。そのため、石英主体の素地を握ると表面に水分が浮き出て流動性が増すが、素地を曲げようとするとう亀裂が走って割れてしまう性質を持つ。手づくね成形には厄介な物質である。

筆者が行った実験で最も難しかったのが成形と、成形した形を保ったまま乾燥させることであった。実際に復元実験を行い、成形方法と可塑性については大きな問題があることを認識した。成形では手づくねの他に抜き型や鋳型を使ったが、詳細は第III章で詳細に述べる。さらに、原材料の素地を扱いやすくするためにはどうすればよいのか、と

いう疑問の解決を試みるために実験では水分の調整や可塑性を出すために様々な物質を添加した。

II-4. 焼成条件の設定

ファイアンス焼成に関する文献には、ファイアンスは比較的低温で焼成されたと記述されている例が多いが、この見解はファイアンス焼成実験で得られた結果ではなく、X線回折や顕微鏡写真を科学的に解釈した結果による。X線回折により得られる結晶構造では、ファイアンス製品の表

面のガラス質の部分以外からは石英が高温域に達したことにより生成されるクリストバライトが存在せず、ファイアンス剥片試料の顕微鏡写真では、ガラス化するのは表面のみで下層は熔融していない石英の粒が観察されるからである。

科学的な推測をもとに行われた数少ない焼成実験の結果はあまり芳しいものではなく、多くの場合ガラス化や発色が不十分なものや（Kenoyer 1995-2016）、表面がガラス化せずに気泡が目立つものが出来上がった（Eccleston 2008: 33-35）。M. タイト（Tite）らは白華技法で直径 1 cm

表1 ファイアンス復元実験の調合比（wt%）および温度記録

試作 No.	石英(福島珪石)	長石(曹長石)	石灰(胡粉)	炭酸ナトリウム	塩基性炭酸銅(着色)	酸化銅(着色)	その他	焼成温度と時間推移	成形方法 鋳型・型抜き・手づくね・コア・泥漿
1	87	0	6	5	2	0		60min ⇒ 560℃ ⇒ 60min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 30min ⇒ 850℃・ 120min ⇒ 90min ⇒ 300℃ ⇒ 自然徐冷	手づくね
2	87	0	6	5	2	0		120min ⇒ 900℃・120min ⇒ 850℃・ 180min ⇒ 90min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	手づくね
3	87	0	6	5	0	2		90min ⇒ 560℃ ⇒ 90min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 120min ⇒ 850℃・ 120min ⇒ 90min ⇒ 450℃ ⇒ 自然徐冷	手づくね
4	85	0	6	7	2	0		210min ⇒ 560℃ ⇒ 90min ⇒ 800℃・ 90min ⇒ 60min ⇒ 850℃・ 120min ⇒ 180min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	合わせ鋳型 (樹脂型)
5	87	0	6	5	2	0		90min ⇒ 560℃ ⇒ 90min ⇒ 800℃・ 90min ⇒ 60min ⇒ 120min ⇒ 850℃ ⇒ 180min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	手づくね
6	87	0	6	5	2	0		120min ⇒ 560℃ ⇒ 90min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 60min ⇒ 850℃・ 180min ⇒ 120min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	泥漿流し込み 開放鋳型 (石膏型)
7	87	0	6	5	2	0		90min ⇒ 560℃ ⇒ 90min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 30min ⇒ 850℃・ 180min ⇒ 90min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	泥漿流し込み 開放鋳型 (石膏型)
8	70	17	6	5	2	0		90min ⇒ 560℃ ⇒ 60min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 30min ⇒ 850℃・ 180min ⇒ 90min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	合わせ鋳型 (樹脂型)
9	70	17	6	5	2	0		90min ⇒ 560℃ ⇒ 60min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 60min ⇒ 850℃・ 180min ⇒ 120min ⇒ 350℃ ⇒ 自然徐冷	手づくね・コア
10	70	17	6	5	2	0		60min ⇒ 560℃ ⇒ 60min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 30min ⇒ 850℃・ 120min ⇒ 90min ⇒ 300℃ ⇒ 自然徐冷	合わせ鋳型 (樹脂型)
11	70	17	6	5	2	0		90min ⇒ 560℃ ⇒ 90min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 60min ⇒ 850℃・ 180min ⇒ 90min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	解放鋳型
12	79	0	5.5	4.5	1.8	0	ベントナイト 9%	90min ⇒ 560℃ ⇒ 90min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 60min ⇒ 850℃・ 180min ⇒ 120min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	合わせ鋳型 (石膏型)
13	50	34	5	3	3	0	ベントナイト 5%	90min ⇒ 850℃・210min ⇒ 120min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	型抜き
14	40	24	8	8	4	0	ベントナイト 16%	90min ⇒ 300℃ ⇒ 120min ⇒ 700℃・ 60min ⇒ 60min ⇒ 950℃・120min ⇒ 自然徐冷	型抜き
15	82	0	5.6	4.7	1.8	0	セスキ炭酸ナトリウム 5.6% Na ₂ CO ₃ ・ NaHCO ₃ ・2H ₂ O	90min ⇒ 560℃ ⇒ 90min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 60min ⇒ 850℃・ 180min ⇒ 120min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	合わせ鋳型 (石膏型)
16	85	0	6	5	2	0	トラガカントゴム 2%	90min ⇒ 560℃ ⇒ 90min ⇒ 800℃・ 240min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	手づくね
17	85	0	5.8	4.8	1.9	0	小麦デンプン 2.4%	90min ⇒ 560℃ ⇒ 60min ⇒ 800℃・ 60min ⇒ 30min ⇒ 850℃・ 180min ⇒ 90min ⇒ 400℃ ⇒ 自然徐冷	手づくね

推移の読み方例：試作 No. 1 の場合
60 分かけて ⇒ 560℃ まで上げ ⇒ 60 分かけて ⇒ 800℃・60 分
(800℃を 60 分キープ) ⇒ 30 分かけて ⇒ 850℃・120 分 (850℃
を 120 分キープ) (下線部分は最高温度と維持時間を示す) ⇒ 90
分かけて ⇒ 300℃に落とし ⇒ 自然徐冷

のファイアンス玉を作成し、その切片の分析を行っているが、焼成後の写真は掲載されていないため、古代エジプトのファイアンス製品と外見的共通性がどこまであるのか不明である (Tite et al. 2007: 1570)。

また、ファイアンス製品は表面がガラス化していることから、ガラスと同じように繊細な温度管理が行える環境が必要であろうか。アマルナ (Amarna) より出土している第18王朝時代のガラス炉には徐冷炉が併設されているが、隣接した場所より発見されたファイアンス窯に徐冷施設が存在していた痕跡はない (Nicholson 1995)。

ファイアンス製品の焼成温度の設定については、アビュドスの古王国時代中期から中王国時代初期の住居址群より発見されたファイアンス窯とおぼしき遺構が参考となる。この窯遺構には天井構造がなく、野焼きと考えられている (Nicholson 1998: 56-57, Fig. 32) ことから、達成できる温度もそれほど高温にはならないと考えられている。そのため、本実験では温度帯を摂氏 800~1050 °C の間であろうと予測し、最高温度を 850 °C と 900 °C の2設定とし、焼成を試みた。しかし、まだ問題は残る。最高焼成温度の持続時間をどの程度にすれば表面だけがガラス化するのか。焼成時間に関する有用な民族調査例は H. ヴルフ (Wulff) らによるイランのファイアンスの調査例 (Wulff et al. 1968) しかないが、この民族例では火入れから火を落とすまで8時間費やしている (徐冷時間はその後12時間)。今回の実験も民俗例にならい、火入れから火を落とすまで7.5~9時間の間で時間の設定を行った。

Ⅲ. 復元実験

Ⅲ-1. 原材料調合と温度との関連

表1には今回行った実験の原材料調合比と焼成温度、最高温度と最高温度維持時間、成形方法を示した。焼成後の写真は図4、図6~21を参照されたい。ファイアンスの主要原材料となる石英の熔解温度は約1650 °Cであるが、ファイアンスは石英粉に石灰¹⁶⁾、アルカリ¹⁷⁾などを加え、低い温度でガラス化を可能にする。特にアルカリ (ナトリウム化合物あるいはカリウム化合物) の加減が熔解温度を左右し、アルカリの添加が多くなるほど低い温度で熔け始める。

今回の実験では、炭酸ナトリウムが5 wt%で十分なガラス化が起こることが確認されたため、ほとんどの試作品の炭酸ナトリウムの分量を5 wt%に固定したが、試作 No. 4 (図9) と No. 13 (図17) においては分量を変更した。

試作 Nos. 1~7 (図4, 6~12) までは石英・石灰・炭酸ナトリウム・銅化合物 (塩基性炭酸銅もしくは酸化銅) を混ぜた素地で成形を行ったが、Nos. 8~11 (図4, 13~16) までは石英の分量を減らし粘結性を出すために曹長石

($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)¹⁸⁾ を混入した。Nos. 12~17 (図16~21) までは可塑性の問題を解決する糸口をつかむために粘土鉱物ベントナイト¹⁹⁾ やセスキ炭酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) を混入しサンプルを作った。結果についてはⅢ-3にて述べる。

さて、原材料と温度の関連であるが、今回の実験で使った標準的な調合 (石英 87 wt%、石灰 5 wt%、炭酸ナトリウム 6 wt%、銅化合物 2 wt%) は 800 °C でガラス化し始め、850 °C を約2時間保っておくと表面にはファイアンス独特の青緑色 (ターコイズブルー) の艶のあるガラス被膜が形成されることが分かった。実験では室温から 560 °C に上げた後 800 °C に上げ、そして 850 °C に上げて温度を維持するよう窯温度を設定した。560 °C は有機物が燃焼する温度だが、ファイアンスの場合は有機物を混ぜない限りこの操作は必要ないことを確認した。試作品の中で最もガラス化や発色が良好だったのは Nos. 1~4 (図6~9) と Nos. 8~10 (図4, 13~14) であった。

Nos. 1~3 (図6~8) から Nos. 5~7 (図10~12) は原材料の調合比が全く同じである。しかし、Nos. 5~7 (図10~12) の焼成はガラス化せず、No. 7 (図12) は全く色もつかずに終わった。焼成温度は Nos. 1~3 (図6~8) と比較して大きな変化はない。ガラス化せず、発色も不良であった原因は焼成温度ではなく、以下のⅢ-2で述べるように乾燥 (白華) と大きな関係があると思われる。つまり、成形後に製品の表面からゆっくりと水分が蒸発し同時に白華を促すような環境が、この白華技法を成功させる不可欠な条件である。

Nos. 8~11 (図4, 13~15) はガラス化、発色ともに良好であった。これらも原材料は硅石に長石を混ぜた同一の原材料が使われている。詳細についてはⅢ-3で述べる。

発色に関わる銅化合物については、前述したように従来の蛍光 X 線分析による組成分析では、銅化合物の表記には酸化物の形の CuO とされるのが常であるため、実際のファイアンス作りに添加された材料が果たして酸化銅であるのか、それともクジャク石や緑青に由来する塩基性炭酸銅 $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ なのか判然としない。そこで今回はこれら2種類の銅化合物を使って実験を行った。塩基性炭酸銅は2 wt%で十分な発色を呈することが判明し (図6, 7, 9~16, 19~21: Nos. 1, 2, 4~12, 15~17)、酸化銅も2 wt%で濃紺青色を呈した (図8: No. 3)。試作 No. 14 (図18) には塩基性炭酸銅を4 wt%加えた結果、暗い色調の濃青色 (スペクトルブルー) に発色した。古代エジプトのファイアンスの銅化合物の添加は時代によって異なるが、カチマールチックとヘッジスが分析したファイアンス製品のうち、青色ないし青緑色ファイアンス製品の銅化合物の含有量の平均は2.67 wt%であり²⁰⁾、今回の実験で

は古代のファイアンス製品と同じようなターコイズブルーの色調が得られる銅化合物の分量は2 wt%であることが判明した。

本稿では青緑色のファイアンス製品を試作することに焦点を置いたが、青緑地に黒紫色の線画を施した遺物も古王国時代から王著時代を通じて出土しているため、黒紫色の顔料による着色も試みた(図11: No. 6)。顔料は二酸化マンガンが主成分として作られていることが判明している²¹⁾ ため今回の実験でも二酸化マンガン粉を水で溶いたものを文様付けに用いた。

Ⅲ-2. 成形、乾燥(白華)と焼成

白華技法では原材料をすべて混ぜて素地を作る。成形した品はそのまま空气中に晒し、製品の表面を乾燥させ、ガラス化に必要なアルカリ成分を製品の表面に析出させる必要がある。白華の速度は製品の形によって異なり、例えば神像護符などでは、耳や鼻などの突出しているところでは白華が早く進み、護符のベースとなる基盤部分では素地に厚みがあるため乾燥が遅く、白華速度も遅い。白華現象(図1)は手づくね成形後は30分程度であられ始めるが、製品の全体が白華し乾燥してしまうには平均湿度60%以上の日本の環境では3 cm角の大きさのものだと5日以上要することがわかった。

今回の実験では、1) 手づくね、2) 型抜き、3) 鋳型(陶製・土製・樹脂・石膏)による成形を試みた。このうち、平たく伸ばしたファイアンス素地を金属などの型を使って抜く2) が最も簡便な成形方法であるが、平たい形状のものしか作ることができなかった。1) の手づくね成形も前述と同様、平たいものならば成形可能だが、壺や鉢など立ち上がる壁を持つ形状のものを作るのはほぼ不可能である。したがって、立体の製品を作るためには鋳型が必要と考え、3) の鋳型を使用した。鋳型は片面(製品の裏面)が開いた開放鋳型と、立体造形用の合わせ鋳型を使用した。

鋳型に充填する素地は水分を絞った固い素地を使う方法と、素地を懸濁液にした緩い泥漿を使う場合と2通りが考えられたため、2種類の方法で試作した。前者の方法であれば土器型・陶器型・石膏型・樹脂型のいずれも型離れが比較的良好で、合わせ鋳型も比較的細部まで型を写し取ることができた。この方法だと、素地を型に充填してすぐに型から外すため、表面(装飾面)の白華化も良好であった。土製や石膏製鋳型は泥漿の水を吸収するため乾燥が早く、型離れも比較的良好であった。しかし、乾燥時には白華化がほとんど起こらず、焼成後はガラス化も色も不良であった(図11~12: Nos. 6~7)。これは、白華に必要なアルカリ分が型にいち早く吸い込まれ、素地にはアルカリ分

(今回の実験ではナトリウム化合物)がほとんど残らなかったことが原因と思われる。この推論を裏付けるかのように実験後の型から白華現象が顕著に見られた。型成形を行う場合には吸水を最小限にとどめ工夫をする必要がある。

上記は型と素地との関連について得られた知見であったが、それとは別に白華に関する問題もあることがわかった。まず、開放鋳型では、空気に触れる側(裏面)は白華が進むが、肝心の鋳型の内側(製品の表面)は白華が起らない。内側を再白華させるために、1) ガラス化させたい部分にスポイトで水をしみこませ、形を保ったまま再白華させる方法と、2) 成形したものの表面に素地と同じ成分で作った懸濁液を塗り付ける方法を試みた。図2は1)の実験結果であるが、乾燥して白華した部分の表面を一部削り落とし、削り取った部分に水分を与え、再白華を促し焼成してみた。しかし、すでに白華していた部分を削り取り、再び水分を与え白華させ焼成してもガラス質の被膜はできなかった。次に、合わせ鋳型で成形した作品を乾燥後、左半分の白華を落とし、2) の懸濁液を塗り付けた。白華は良好で、乾燥後焼成したものが図3である。

次に乾燥速度について、強制乾燥よりも徐乾燥の方が白華を促す結果が出た。試作No. 5(図10)はNos. 1~4(図6~9)と調合比や焼成温度において大きな違いはないのだが、No. 5の乾燥時に雨が続いたため、乾燥を早く促すために強制乾燥を行った。この強制乾燥が原因で焼成不良の結果となったと考えられる。INAX(現LIXIL)にて行った実験でも、ファイアンス製品をガラス化させるためには強乾燥よりは徐乾燥の方が良好な結果が得られている(竹多 2011: 90)。

最後にファイアンスの焼成回数は1回だけである、という先行研究の仮説を検証してみた。今回の白華技法による実験では、1回焼成でガラス質の被膜を持つ製品が完成した。しかし、二酸化マンガンの文様付け(図11: No. 6)においては、文様部分は全くガラス化せず、今後への大きな課題を残した。また、今回は象嵌を試していないため、象嵌が1回焼成で完成するのかが確認することができなかった。したがって、多くの研究者が常識のごとく唱えるファイアンス1回焼成説が本当に正しいのかどうか、今回の実験だけでは判断がつかない。今後の実験に期待しなければならないところである。

Ⅲ-3. 立体造形への課題

今回の復元実験では、立体造形を作ることが最も困難な、そして未だ解決できない問題として残った。石英粉を主体とした原材料に水を加えて素地とするだけでは、平面的な造形物しか作ることができない。上述したように、抜き型や開放鋳型による平たい作品—例えばビーズやペンダ

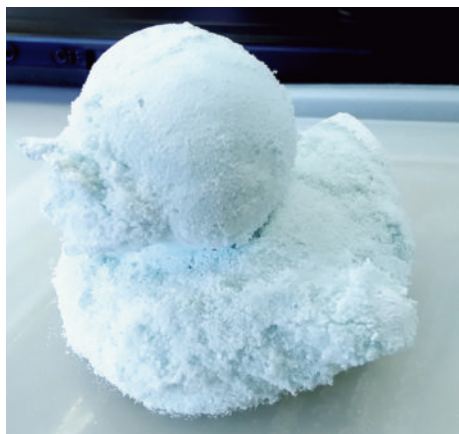


図1 白華現象 (試作 No. 10)

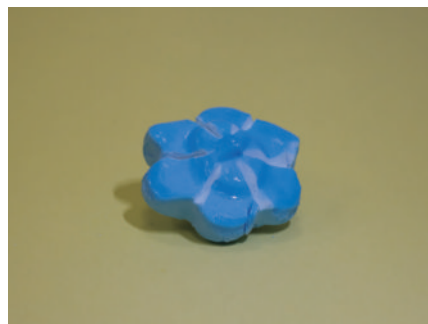
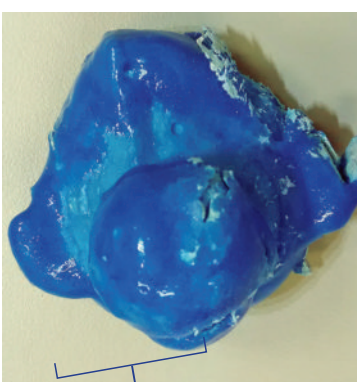


図2 再白華の検証
白い筋が白華を削り取った痕



再度塗り付けた側



再度塗り付けた側

図3 素地懸濁液塗り付けによる再白華



図4 試作 No. 9



図5 乾燥時に起こる割れ



図6 試作 No. 1



図7 試作 No. 2



図8 試作 No. 3



図9 試作 No. 4



図10 試作 No. 5



図 11 試作 No. 6



図 12 試作 No. 7



図 13 試作 No. 8



図 14 試作 No. 10



図 15 試作 No. 11



図 16 試作 No. 12



図 17 試作 No. 13



図 18 試作 No. 14



図 19 試作 No. 15



図 20 試作 No. 16

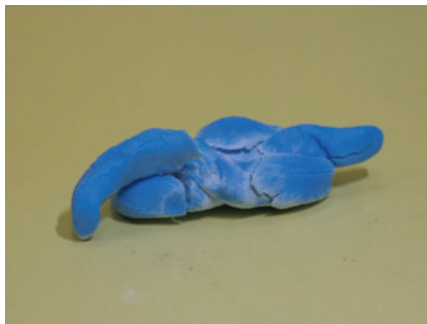


図 21 試作 No. 17

図2, 4, 6, 8~21のスケール

0 3 cm

ントーは比較的簡単に作ることができる。しかし、容器や小像などのような立体物を作るためには、手づくね成形は不可能である。筆者が作成することができた容器の最大高は6 cmであった。この容器(図4)を作る際には木の枝を芯(コア)として使用したが、このように芯に有機物を使い、その芯にファイアンス素地を付け成形する方法もある程度は有効である。しかし、この場合、芯に巻き付けるファイアンス素地の層が薄いと、乾燥による芯材の収縮率とファイアンス素地の収縮率が合わないで亀裂が入り割れてしまう。筆者は芯材をシリコンや割りばしで試したが、結果として粉々になってしまった(図5)。この原因には、芯材と素地の乾燥時の収縮率が異なること、そしてファイアンスの素地が自重で垂下するためであると考ええる。

このように現時点では成形性に大きな課題を残しているが、今回の実験で使用した石英(粒<100 μm)の粒の大きさをより細粒へと変更した場合には立体造形が容易になる可能性もある。これは、予備的な実験段階にて傾斜を乳鉢で400回磨り潰した粉を使用した際に練り粉が比較的形をよく保ったことによる。次回の実験にて実証確認を行いたい。

今回は型離れにも多くの問題を残したため、試作No. 11では型の内側に石鹼水を塗り付けたが、焼成後の作品を見ると石鹼水を塗り付けた場所では白華が起こり難く、表面のガラス質釉が剥がれ落ちたように見える場所が見受けられた(図15)。

今回の実験では、石英が多いと成形が困難であることを実感した。それでは、ファイアンス素地に粘性を持たせるためには何を添加すればよいだろうか。試作Nos. 8~11、No. 14(図13~15, 18)では長石(曹長石 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)を加えた²²⁾。長石は石英とともに珪長質鉱物であるため、古代においてこれらの識別は困難であったことが推測される。しかし、石英の主成分は SiO_2 であるのに対し、曹長石ではNaやAlも含まれている。つまり、曹長石を使うメリットは石英と同じ珪質でありながらアルカリ分とアルミニウム酸化物(アルミナ)が天然に混入していることによって、粘結性を増しガラス化を促進することにある。試作Nos. 8~11(図13~15)では、石英を70 wt%に減らし、長石を17 wt%加えた。さらにNo. 14(図18)では石英を40 wt%、長石を24 wt%加えた。長石を添加した試作品はいずれもガラス化が良好で、成形時の扱いやすさも石英80 wt%以上の時より向上した。No. 14(図18)は粘結性をさらに追及してベントナイトを加えた。ベントナイト添加によりさらに成形が容易になり、立体造形も可能であった(Nos. 12~14, 図16~18)。

立体造形を可能にするためには、上記のような長石の混合やベントナイトの添加が有効である。しかし、曹長石や

ベントナイトはアルミナ(Al_2O_3)を含んでおり、R. ブリル(Brill)の示す古代エジプトのファイアンス製品の分析値のうち、最もアルミナの含有量が高いものは中王国時代のリシュトより発見されたもので、4.21%であるが、リシュトの分析値を除外すると1.5%を超えるものはない(Brill 1999: 460~463)。アルミナはファイアンスの原材料の砂からも検出されるが、分析によって得られたアルミナの値は最大で8.2%であった²³⁾。アルミナ分の高い砂を精製せずに使ったとしても、10%を超えることはまずないと考える。したがって、古代においてはベントナイトやカオリンなどのアルミナ分の高い原材料を添加したとは考えられない。それでは可塑性を出すための工夫としてどのような粘結剤が使われたのだろうか。

試作Nos. 16~17(図20~21)では有機系の粘結剤を試みた。古代でも入手できる材料のうち、トラガカントゴム²⁴⁾とコムギデンプンを少量添加して粘性を確認したところ、いずれも石英あるいは石英と長石の混合素地よりは成形は良好であった。ファイアンス素地を紐のように伸ばしてウラエウス(コブラ)を手づくねで試作したが、紐がひび割れて切れることもなく、乾燥後や焼成中も形を保った。しかし、成形性とは裏腹に白華は不良で、そのためガラス化もせず、実験は失敗に終わった。

このように、有機物の粘結剤選びにはまだ課題が残ったままである。現状では有機物が燃え、ガスとして放出される560℃付近で一度窯の蓋を開けガスを逃がしているが、乾燥の段階から白華が非常に少ないため、ガラス化に至らないと推測する。今後は乾燥時に白華化を促進する工夫を考える必要がある。

IV. まとめ

今回の実験結果より得た知見を整理すると、1) 石英が主成分であると可塑性がないため、粘結剤を添加する必要がある。粘土鉱物を混合した素地が最も完成度が高かったが、構成成分からアルミナが多く検出されるため、古代のファイアンスとは「似て非なるもの」である。さらに、長石を加えると粘性が増し、白華化も促進されることが判明したが、それでもあまり大きな立体造形を作ることはできない。石英砂の細粒による成形の可能性を模索したり、素地の可塑性を増すために現在まで試みていない物質を粘結剤として加えることを検討する必要がある。2) 平面的な造形は手づくねでも可能であるが、立体造形を作成するには鋳型を使用する必要がある。鋳型は石膏製、石製、木製、土製などが考えられるが、水分量を絞って練った素地を型に充填する方法をとり、すぐに型から外し、乾燥して白華化を促す。特に石膏製の鋳型はファイアンス素地の余分な水分を素早く吸水し、複雑な成形を可能にし、型離れ

も良いことが今回の実験で証明されたが、型離れを促す潤滑剤を型に塗付する工夫が必要であることも同時に判明した。3) 素地は徐乾燥で白華させ、窯内の最高温度は850~900℃を120~180分維持すれば発色のよいガラス質の被膜を持つ完成品が出来上がる。乾燥時に白華の析出が顕著なほど焼成後のガラス質被膜が厚く光沢を帯びることがわかった。さらに、青緑色のガラス質被膜をつけるためには素地を成形した後、1回焼成で十分であるが、二酸化マンガンで模様を描く実験はまだ多くの課題を残している。今後はさらに多色の文様を付ける、あるいは象嵌を施す方法も検証する必要がある。

以上、白華技法の復元実験と考察を行ったが、今後は検証が不十分な部分を補うとともに、他の「浸灰技法」や「塗り付け技法」の実験にも着手したい。特に新王国時代中期にファイアンス製護符が大量生産されるようになった背景には「塗り付け技法」の発展が見られると考えられているため、検証実験を行いたいと考える。

註

- 1) 古代の「ファイアンス」とは、「石英または石英質の粉をガラス質のマトリックスで結合させている人工物質で、表面には色釉が施され、ガラス質の光沢を持つもの」と定義されるのが一般的である。たとえば古代エジプトで最も多い青緑色ファイアンスの成分組成を見てみると、シリカ92~99%、酸化カルシウム1~5%、酸化ナトリウム0.3~0.5%で、着色剤として微量の酸化銅が入っている (Vandiver 1983: A18)。
- 2) ファイアンスには大きく分けて3種類の製作技法がある。1) 白華 (Efflorescence)、2) 浸灰 (Cementation)、3) 塗り付け (Application) と、これらの技法のコンビネーションである (山花 2000: 39-40)。白華技法では石英と石灰の粉そしてナトリウム (天然のナトリウム化合物) か植物灰 (カリウム化合物) を混ぜてファイアンスの素地を作った上に着色剤となるもの (たとえば青緑色ならば銅化合物の粉など) を練りこみ、成形した後乾燥させる。この乾燥途中でアルカリ分が表面に浮き出てくる (白華現象)。これを焼成すると表面の成分がガラス質の膜を作り、光沢のあるファイアンスが出来上がる。浸灰技法は現在でもイランのゴム (Ghom) やハマダン (Hamadan) で使われている技法で、石英の粉に水、ゴム樹液、樹脂、動物性脂などを加えて練った素地を成形し乾燥させておく。次に石英と石灰の粉、植物灰に着色剤となる銅の粉を混ぜて作った釉のパウダーを耐火容器にいれ、パウダーの中に素地を埋め込む。そして容器ごと焼成すると、素地と接触している釉の粉が反応してガラス質の表面が形成される。最後の塗り付け技法とは、石英と石灰の粉にバインダーとなる水や樹液などを混ぜ成形した素地を浸灰技法の時と同じように釉の粉をつくり、それを水または樹液などの液体で溶いたものに直接漬け込んで釉を付着させるか、刷毛で塗りつける。それを乾燥させた後焼成すると上記の2つの技法同様、光沢のある表面をもったファイアンスが出来上がる (山花 2005: 128)。
- 3) 初期王朝時代以前から第1中間期まで (紀元前3200~2040年頃) の間を指す。
- 4) 白華技法では乾燥具合によって釉の厚みが不均一になるため、釉の厚みを観察することによって識別することもできる。一方、浸灰技法での釉の付き方は比較的厚くほぼ均一で焼き台の痕がないのが特徴的である。そして、塗り付け技法で製作されているファイアンスには刷毛目が残っていることがある (Peltenburg 1992: 10)。しかし、肉眼で識別できる例は極めて少ない。タイトらは中王国時代のファイアンス碗と新王国時代の指輪の製法を確認するために、研究室で白華技法と浸灰技法で作ったファイアンス玉の切片の顕微鏡観察を行った (Tite et al. 2007)。その結果、彼らは表面のガラス化の度合いや中間層の有無などの構造の違いは白華や浸灰といった製法の違いに由来するのではなく、原材料の違いとその割合によって左右される可能性が高いことを示した (Tite et al. 2007: 1582-1583)。
- 5) ファイアンスの原材料を水で溶いたもの、という意味だが、ファイアンスの主原料である石英がイオン化して水に溶けてしまわない限り「水溶液」という語の使用は適切ではないため「懸濁液」とした。
- 6) ルーカスはエジプトの砂 (カルナック、アシユムネイン、ギザ、アスワン、アレクサンドリア、アマルナ、ルクソール、マアディ、ファイユーム、シナイ半島) の分析値を掲載している (Lucas 1962: 481, Appendix) が、アレクサンドリアを除きすべての砂の主成分は石英 (平均約88%) で、次いで石灰 (各地で0.2~35%と大きなばらつきがある) である。
- 7) 実験材料として使用した福島珪石の正確な分析値はないが、滋賀県工業技術総合センターによって行われた福島珪石の分析値は SiO_2 99.4%, Al_2O_3 0.09%, Fe_2O_3 0.02%, TiO_2 0.03%, CaO 0.02%, MgO 0.01%, K_2O 0.02%, Na_2O 0.04%, I.g. loss 0.40% である (滋賀県工業技術総合センター http://www.shiga-irc.go.jp/scri/tech_info/bunsekichi/, 2017年1月3日閲覧)。
- 8) 中川胡粉絵具株式会社 金風印 <http://www.nakagawa-gofun.co.jp/product/paints/Gohun/kinhou.html>
- 9) ナトリウム $\text{Na}_2(\text{CO}_3) \cdot 10(\text{H}_2\text{O})$ はエジプトのワディ・ナトリウムやエル・カブなどの塩湖が蒸発した場所から採取される。
- 10) 和光純薬工業 炭酸ナトリウム 500g ボトル <http://www.si-yaku.com/uh/Shs.do?dspCode=W01W0119-0159>
- 11) 従来の分析方法とは、蛍光X線分析 (XRF)、電子線プローブマイクロアナライザ (EPMA)、誘導線プラズマ発光分光分析法 (ICP)、原子吸光分析 (AAS) などが考古学資料分析に使われてきたが、これらの分析法は試料となる物質にはどの元素がどれくらい含まれているかを数値化する。したがって、銅が検出された場合の表記はCuであるが、地球上に存在している物質は酸化を受けるため、通常の状態 CuO で示すことが通例となっている。
- 12) 日本電産シンボ㈱ 炉内 $\phi 240 \times 200$ mm コイル式電気窯
- 13) 報告書が未刊行であるため、詳細は不明だが、古王国時代中期から中王国時代に位置付けられている遺構 (ローカス14) では、直径7.5 mmほどの小玉が大量に発見されている (Nicholson and Shaw eds. 2000: 177-195)。
- 14) リシュトでは、中王国時代のファイアンス窯跡と思われる遺構が「ファイアンス工房の長」デベニの墓近くから発見されている (Nicholson 1998: 50-64, Table V)。
- 15) 粘土製小玉は主成分がアルミナである。
- 16) 炭酸カルシウムの融点は825℃である。
- 17) 炭酸ナトリウムの融点は851℃で、ガラスの軟化温度を下げる働きをする。
- 18) 今回使用したのは中国ソーダ長石 (曹長石 albite: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) の細粒である。実験に使用した材料の分析値ではないが、類似

- した中国ソーダ長石の分析値が提示されている。それによると SiO_2 67.7 %, Al_2O_3 19.3 %, Fe_2O_3 0.13 %, TiO_2 0.07 %, CaO 0.56 %, MgO 0.01 %, K_2O 0.10 %, Na_2O 11.4 %, Ig.loss 0.25 % である (滋賀県工業技術総合センター http://www.shiga-irc.go.jp/scrit/tech_info/bunsekichi/ 2017年1月3日閲覧)。
- 19) ペントナイトとは、粘土鉱物の1種で、モンモリロナイトや石英、長石、ゼオライトなどを含む混合物である。今回使用したペントナイトは和光純薬工業製品である。 (<http://www.siyaku.com/uh/Shis.do?dspCode=W01W0102-0055>)
実験に使用した材料の分析値ではないが、滋賀県工業技術総合センターのインターネットサイトには類似したペントナイト3種の分析値が示されている。例としてペントナイトSBの分析値は SiO_2 68.6 %, Al_2O_3 16.3 %, Fe_2O_3 3.88 %, TiO_2 0.15 %, CaO 1.49 %, MgO 1.72 %, K_2O 0.49 %, Na_2O 1.80 %, Ig.loss 4.96 % である (滋賀県工業技術総合センター http://www.shiga-irc.go.jp/scrit/tech_info/bunsekichi/ 2017年1月3日閲覧)。
- 20) 2.67 wt% という数値はカチマールチックとヘッジスが分析した3041 データ中 (Kaczmarczyk and Hedges 1983 Appendix C1-C58)、ファイアンス製品の中から青ないし青緑色のファイアンス製品134点の分析結果を抽出し、銅化合物の含有率を平均した値である。
- 21) ファイアンス製品の分析において、黒色部分からマンガンが検出されていることは多くの分析事例が実証しているが、主原料や時代による変化は Kaczmarczyk and Vandier 2008: 76-78 にまとめられている。
- 22) しかしながら、これまで数多く行われてきた蛍光X線分析のような分析方法では、分析結果は曹長石 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ という結晶の形では出てこない。例えば曹長石が使われていたとしても、組成表記上では Al_2O_3 (酸化アルミニウム)、 Na_2O (酸化ナトリウム)、そして SiO_2 (二酸化ケイ素) とバラバラに酸化物として記されたためと考える。したがって、曹長石が意図的にファイアンス原材料に添加されたことを示す文献はない。
- 23) エジプトの砂の分析では、アルミナ含有量が最も高かったのがルクソールの8.2%で、アマルナ、マアディ、ファイユーム、シナイ半島から採取した砂のアルミナ含有量平均は1.3%である (Lucas 1962: Appendix 481)。このような砂を材料としてファイアンス製品を作ると想定した場合、例えばアルミナの含有量が10%以上であると石英だけではなく何か別の材料の意図的な添加を考えた方がよいと言える。
- 24) マメ科 *astragalus spp.* の樹液で、イラン、シリア、トルコなどの半砂漠地帯の標高1200~2100 m 地帯に繁茂するトラガカントゴムノキの幹の分泌物である。現代のエジプトには植生が確認されているが、古代においては確認されていない (Newman and Serpico 2000: 477)。古代においてもエジプトではアカシアが多く繁茂していたと考えられており、樹液 (アラビアゴム) を抽出したり、木炭を燃料として使用していたことが知られている (Newman and Serpico 2000: 476-477)。トラガカントゴムと同様にアラビアゴム (アカシア樹液) をを加え試作したが、成形性は良いがガラス化が起こらなかった。
- analytical Survey of Egyptian Faience from Predynastic to Roman Times.* Warminster, Aris & Phillips.
- Kaczmarczyk, A. and P. B. Vandiver 2008 *Faience Production in Egypt.* In M. S. Tite and A. J. Shortland (eds.), *Production Technology of Faience and Related Early Vitreous Materials*, 57-91. Monograph 72. Oxford, Oxford University School of Archaeology.
- Kenoyer, J. M. 1994 *Faience from the Indus Valley Civilization.* *Ornament* 17/3: 36-39.
- Kenoyer, J. M. 1995-2016 *Harappa.com*, <https://www.harappa.com/indus3/257.html>. (2016年9月30日閲覧)
- Lucas, A. 1962 *Ancient Egyptian Materials and Industries*, Fourth Edition revised by J. R. Harris. Oxford, Oxford University Press.
- Newman, R. and M. Serpico 2000 *Adhesives and Binders.* In P. T. Nicholson and I. Shaw (eds.), *Ancient Egyptian Materials and Technology*, 475-494. Cambridge, Cambridge University Press.
- Nicholson, P. T. 1993 *Ancient Egyptian Faience and Glass.* Aylesbury, Shire Publications.
- Nicholson, P. T. 1995 *Glassmaking and Glassworking at Amarna: Some New Work.* *Journal of Glass Studies* 37: 11-19.
- Nicholson, P. T. 1998 *Materials and Technology.* In F. D. Friedman (ed.), *Gifts of the Nile: Ancient Egyptian Faience*, 50-65. New York, Thames and Hudson.
- Nicholson, P. T. and I. Shaw (eds.) 2000 *Ancient Egyptian Materials and Technology.* Cambridge, Cambridge University Press.
- Peltenburg, E. J. 1992 *Early Faience: Recent Studies, Origins and Relations with Glass.* In M. Bimson and I. C. Freestone (eds.), *Early Vitreous Materials*, 5-29. British Museum Occasional Papers No. 56. London, British Museum.
- Peltenburg, E. J. 2000 *Egyptian Faience.* In P. T. Nicholson and I. Shaw (eds.), *Ancient Egyptian Materials and Technology*, 177-194. Cambridge, Cambridge University Press.
- Tite, M. P. Manti and A. J. Shortland 2007 *A Technological Study of Ancient Faience from Egypt.* *Journal of Archaeological Science* 34: 1568-1583.
- Vandiver, P. B. 1983 Appendix. In A. Kaczmarczyk and R. E. M. Hedges, *Ancient Egyptian Faience*, A1-A144. Warminster, Aris & Phillips.
- Wulff, H. D., H. S. Wulff and L. Koch 1968 *Egyptian Faience: A Possible Survival in Iran.* *Archaeology* 21: 98-107.
- 滋賀県工業技術総合センター「市販粉末土石原料の化学分析値」
http://www.shiga-irc.go.jp/scrit/tech_info/bunsekichi/. (2017年1月3日閲覧)。
- 竹多 格 2011「ファイアンス・タイルとその復元の試み」横浜ユーラシア文化館 (編)『古代エジプト—青の秘宝ファイアンス—』84-93 頁 横浜ユーラシア文化館。
- 山花京子 2000「古代エジプトのファイアンス研究—現状と展望」『古代文化』52巻5号 39-44 頁。
- 山花京子 2005「「ファイアンス」とは?—定義と分類に関する現状と展望: エジプトとインダスを例として—」『西アジア考古学』6号 123-134 頁。
- 山花京子 2006『古代エジプトのファイアンス研究』博士論文 東海大学。

参考文献

- Brill, R. 1999 *Chemical Analysis of Early Glasses*, Vol. 2. New York, The Corning Museum of Glass.
- Ecceleston, M. 2008 *Replicating Faience in a Bread Oven at Amarna.* *Egyptian Archaeology* 32: 33-35.
- Kaczmarczyk, A. and R. E. M. Hedges 1983 *Ancient Egyptian Faience: An*

山花 京子
東海大学文学部アジア文明学科
Kyoko YAMAHANA
School of Letters, Department of Asian Civilization
Tokai University