

煉瓦造文化遺産の保存環境と塩類析出に関する調査  
—INAX ライブミュージアム「窯のある資料館」を事例に—

佐々木 淑美・犬塚 将英

独立行政法人国立文化財機構  
東京文化財研究所

保存科学 第56号 別刷

平成28年度

# 〔報告〕 煉瓦造文化遺産の保存環境と塩類析出に関する調査 —INAX ライブミュージアム「窯のある資料館」を事例に—

佐々木 淑美\*・犬塚 将英

## 1. はじめに

近代化遺産の保存に多くの関心が向けられるようになり、特に煉瓦造建造物の保存とその文化財登録はますます活発になっている。西洋では一般的な煉瓦造建造物であるが、日本ではそのほとんどが近代、つまり明治期以降のものであり、現在に至るまで実際に使用あるいは活用されている場合が多い。また、近年の近代化遺産の保存意識の高まりから、現在、修復あるいは保存方策を講じている物件も多い。

近代化遺産の修復・保存方策として、耐震補強される事例は多く、比較的積極的な新規材料ならびに補強材の付加が散見される。また、近代化遺産にかぎらず、塩類析出への対策としては、水分供給源の遮断・軽減や温湿度管理が一般的であると言える。これらの対策が講じられる場合、現状を正確に把握し、その保存状況および劣化状況を評価すること、そして対策実施後と比較し、その効果を確認することが重要である。

また、建造物の調査では、建築材料やその表面にある劣化生成物（析出塩類や付着物など）のサンプル採取を実施する 경우가多く、特に析出塩類の採取は他に比べて採取の許可を得られる場合がほとんどである。これは、析出塩類は建造物の美観を損ねるものでありその採取によって外観を損ねたり損傷を与えたりすることがないため、そして他の文化財とは異なり建造物の内外壁面（壁画は除く）からのサンプル採取に関する規範がないためであると言える。発表者もこれまで、海外の文化遺産における調査で、その内外壁面から析出する塩類を採取し、その同定と保存方策の検討をおこなってきた<sup>1)</sup>。しかし、他の文化財と同様に、その建造物が文化財とみなされる場合には、原則として非破壊・非接触による調査・分析が理想的であり、将来的にはその実践が望まれる。また、保存環境の変化（温度湿度の年次変化）により塩類が水和・脱水和（相変化）することによる劣化の進行は知られているが<sup>2)</sup>、サンプル採取後の移動・時間経過によっても塩類が相変化している可能性も考慮しなければならない。今後より一層進展する近代化遺産の保存方策を検討するにあたり、保存環境の適切な評価と調査手法を十分に検討する必要がある。

そこで本研究では、近代化遺産のうち煉瓦造建造物の保存方策および劣化対策を検討するための基礎研究として、愛知県常滑市にあるINAX ライブミュージアムの「窯のある資料館」を対象とし、その保存方策を検討するための保存環境調査を実施した。特に、博物館が長い間苦慮してきた塩類析出について、その析出状況の記録・分析と析出塩類の同定をおこなった。析出塩類の同定においては、従来の研究室分析だけでなく、非破壊・非接触によるオンサイト分析を導入し、将来的な調査手法の検討と新規装置の有効性も評価した(図1, 2)。現地調査は、6月30日、7月7日～7月8日に実施し、温湿度計測(約24時間)と析出塩類のサンプル採取、可搬型X線回折装置を用いたオンサイト分析から得られた成果は、今後の対策および保存方策

\*関西大学国際文化財・文化研究センターPD



図1 INAX ライブミュージアム「窯のある資料館」外観



図2 「窯のある資料館」内部

の検討の一助となるよう博物館に提出した。

## 2. 「窯のある資料館」内に保存されている石炭窯とその保存状況

### 2-1. INAX ライブミュージアム「窯のある資料館」と石炭窯

INAX ライブミュージアムは、愛知県常滑市にある平成18年にグランドオープンした企業博物館で、住環境設備で著名な LIXIL の一部門である INAX が運営している。

昭和61年からすでに資料館として公開されてきた「窯のある資料館」では、大正10年につくられた建物と煉瓦造の倒焰式石炭窯、そして煙突が保存されている。これらは全て、平成9年に国の文化財に登録され、平成19年には近代化産業遺産にも認定されている。現在、保存のための修繕が計画されており、平成28年12月12日から約2年間、資料館を閉鎖し石炭窯および建物の壁面ならびに屋根の修繕を実施する予定である。

この石炭窯では、陶管や焼酎瓶、クリンカータイルを主に焼成していた。焼成時には、石炭と共に岩塩を窯の中に投入することで、陶管やタイルの表面に塩釉を施していた。そのため、窯内部の煉瓦表面も同様に塩釉がかかった状態となっている。この内壁面には、かつて樹脂による保存処置が実施されており、現在は、塩釉の上にさらに樹脂がかかった状態である。

また、この窯は、昭和33年に一度改修され、煉瓦の積み直しがおこなわれている。INAX ライブミュージアムの学芸員への聞き取り調査によると、この改修では、すべての煉瓦を一度に交換するのではなく、耐久性を維持している煉瓦は再利用されたと伝えられている。さらに、博物館として公開する際には、新たに耐火性の高い煉瓦も数種類ほど付加しており、様相の異なる煉瓦が混在する状態である。煉瓦の色調には、黄土色のものから黒褐色のものまでおよそ4つの色調があり、またその積み方も短辺側面あるいは長辺側面が見えているものから表面が見えているものまで様々である(図3)。

そして、窯内壁面および窯外壁面のいずれにおいても、塩類析出が顕著にみとめられ、特に進行した箇所では煉瓦が粉状化し、外縁を残して剥落している。内壁面では樹脂の内側で塩類が析出したため樹脂膜が割れ、美観を損ねている(図4)。また、外壁面ではほぼ全面で塩類が析出しており、健全な煉瓦は散見される程度しかない。そして、先述した通り、塩類析出により粉状化した煉瓦が足元に堆積しており、内側での塩類析出により浮き上がった煉瓦表面が剥落しそうになっている箇所もみられることから、美観だけでなく観覧者への影響も考慮すべき状態といえる。



図3 窯南東隅の煉瓦の積み方および色調



図4 窯内部北東隅の樹脂膜内から析出した塩類

## 2-2. 保存環境

「窯のある資料館」の内部には、空調機が、資料館入り口のすぐ北側に1台と南東隅に1台、そして窯入り口すぐに1台設置されており、それらにより温度のみが調整されている。空調機は毎日、職員により開館後（おおよそ10時頃）に稼働を開始し、閉館前（おおよそ17時）に停止される。7月7日正午から7月8日正午までの24時間に、資料館内部（窯外北）および窯内部（北東隅）、資料館外部（煙突近傍）の3か所で計測した温度および相対湿度、絶対湿度を図5～7に示す。

まず資料館内部の温度は、空調により十分に調整されており、屋外の温度と比較しても、外気からの影響を緩和できているとともに、昼夜を通して比較的安定した状態を維持できていることがわかる。湿度については、空調機を停止した閉館後に上昇しているものの夜間は安定した状態を維持しており、翌日に空調機が再稼働すると速やかに低下していることがわかる。この空調機は温度のみ調整しているとの話であったが、この計測結果をみれば、湿度も同時に調整できていることがわかった。

また、建物の窓は比較的大きく設けられており(図8)、屋根の南面にはいくつかの採光窓も設けられている。これらの窓から外光が十分に建物内部に入っており、また各所に光源も設けられているため、建物内で窯ならびに展示パネルを見る際にも暗さを感じることはない。しかし、南北で日射の影響に差があることが確認できた。特に窯の南側では窓からの日射が多く明るいものに対して、北側では窓からの日射が少ないため南に比べて薄暗い。そして、特に窯の屋

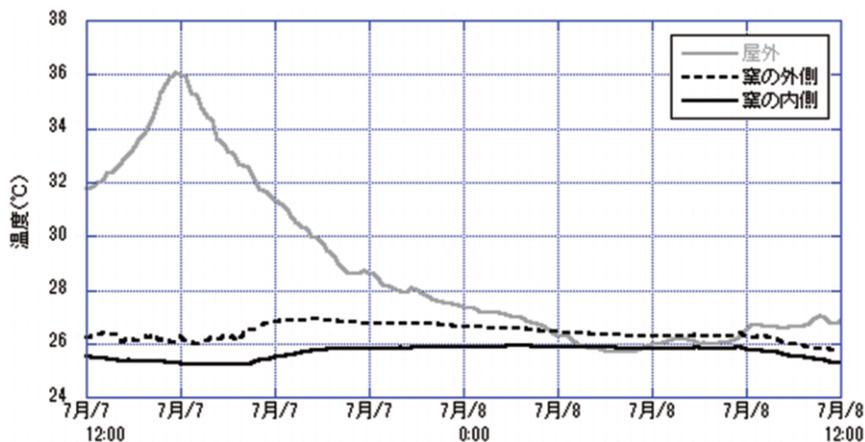


図5 「窯のある資料館」の温度日変化（平成28年7月7日正午～7月8日正午）

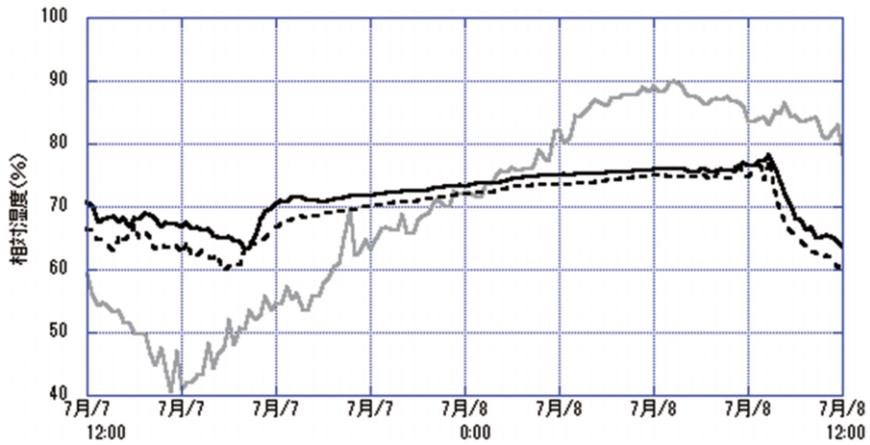


図6 「窯のある資料館」の相対湿度日変化（平成28年7月7日正午～7月8日正午）

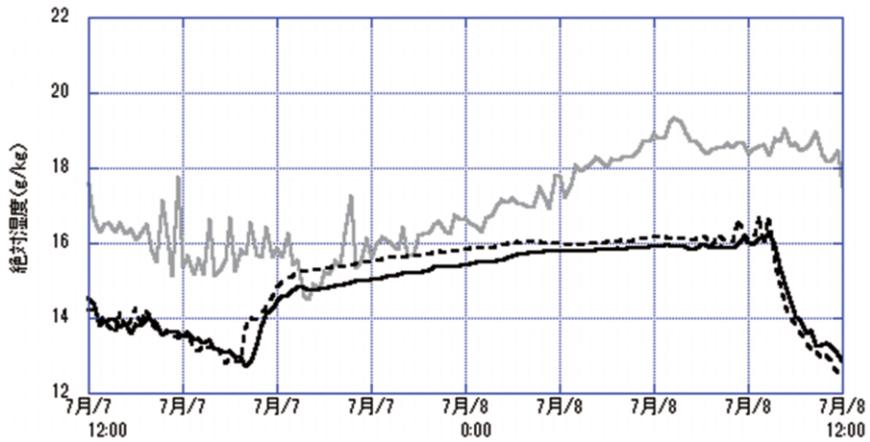


図7 「窯のある資料館」の絶対湿度日変化（平成28年7月7日正午～7月8日正午）



図8 資料館南壁面に設けられている窓



図9 窯の屋根 採光窓からの直射光が当たる箇所



図10 窯の屋根南面 塩類析出箇所



図11 窯の屋根北面 直射光が当たる様子

根部分では、南面のみには設けられた採光窓からの日射により全体的にかなり明るさが維持されているが、窓からの直射光が当たる箇所が屋根の南北で局所的に散見された(図9)。屋根部分での塩類析出は下部に集中しており、煉瓦内部からの塩類析出による浮き上がりや粉状化が局所的にみとめられた(図10, 11)。文化財の保存環境においては、日射および照明についても十分に考慮する必要がある。しかし、本研究対象においては窓の配置ならびに窓からの直射光の影響についてはこれまで検討されていない。

### 3. 析出塩類の種類とその分布

#### 3-1. 窯の内外壁面から析出している塩類とその分布

今回の調査で筆者らは、博物館から許可を得て、窯内外壁面および建物外にある煙突から計142点(うち可搬型X線回折との照合点として11点)の析出塩類を採取した。採取にあたっては、煉瓦表面に損傷を与えないよう、また過度に塩類を採取したことで再析出を促すことがないように、サンプル量を少量に留めるとともに細心の注意を払い作業を実施した。また、窯の内外壁面および屋根部分において、東西南北まんべんなく様々な高さから採取するよう心掛けた。これは、方位および高さ方向での塩類析出状況の分布を把握するためである。加えて、煉瓦の色調にも留意し、色調と塩類析出の関係の考察も試みた。

採取したサンプルは、東京文化財研究所に持ち帰り、同研究所が所管する据え置き型のPANalytical社製X線回折装置(X'pert PRO)を用いて結晶相の同定をおこなった。この装置のX線管球は銅(Cu)で、管電圧・管電流を45kV・40mAに設定し、走査範囲は回折角( $2\theta$ ) $5-70^\circ$ 、 $2\theta$ のステップ角度 $\Delta 2\theta$ を $0.017^\circ$ とした。

分析の結果は表1の通りである。採取したサンプルには、採取年月日(20160707および20160708)と1から131までの通し番号を付し、今後の調査において採取時期および採取箇所を判別できるようにした。また、表の冒頭にある計11サンプル(20160707TM-M1から20160708TM-M8)については、可搬型X線回折装置により同箇所を分析した。研究室および可搬型装置による分析結果の照合と、その結果に基づく装置の有効性についての検討は次節で詳細に述べる。

分析結果を、図12のようにサンプル採取箇所と照らし合わせてみたところ、次のような傾向をみとめることができた。

まず、窯全面を通してカルサイト(calcite,  $\text{CaCO}_3$ )が確認された。これは、煉瓦および目地材に含まれていると考えられる。そして特に注目したいのは、テナルダイト(thenardite,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )ならびにエプソマイト(epsomite,  $\text{Mg}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )、アストラカナイト(astrakhanite,  $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$ )の析出状況である。テナルダイトが窯外南面でほとんど析出

表 1 採取したサンプルのX線回折分析結果

20160707TM-M1	Therandite, $\alpha$	20160707TM37	astrahkanite	20160706TM84	Eusesterite, Calcite
20160707TM-M2	Therandite, Calcite	20160707TM38	Humberstonite	20160706TM85	Therandite, Calcite, $\alpha$
20160707TM-M3	Therandite, Humberstonite	20160707TM39	Perovskite?	20160706TM86	Calcite, Eusesterite
20160708TM-M1	disodium magnesium sulfate	20160707TM40	astrahkanite, Calcite	20160706TM87	Therandite, Calcite
20160708TM-M2	Epsomite	20160707TM41	Unosite?	20160706TM88	Therandite, Calcite
20160708TM-M3	Epsomite	20160707TM42	astrahkanite/disodium magnesium sulfate	20160706TM89	dialuminum silicate oxide?
20160708TM-M4	Humberstonite	20160707TM43	astrahkanite	20160706TM90	Therandite, Calcite
20160708TM-M5	disodium magnesium sulfate, Bblotite (=astrahkanite)	20160707TM44	Therandite	20160706TM91	astrahkanite/disodium magnesium sulfate
20160708TM-M6	sodium alum/potassium alum	20160707TM45	Therandite, Calcite	20160706TM92	calcium disodium sulfate?
20160708TM-M7	Therandite, $\alpha$	20160707TM46	Therandite, $\alpha$	20160706TM93	astrahkanite/Graftonite/disodium magnesium sulfate
20160708TM-M8	Therandite, Calcite	20160707TM47	Therandite, $\alpha$	20160706TM94	Therandite, $\alpha$ , (calcium manganese?)
20160707TM1	Humberstonite	20160707TM48	Trona	20160706TM95	Therandite, Calcite
20160707TM2	Therandite, Calcite	20160707TM49	astrahkanite, Therandite	20160706TM96	Therandite, $\alpha$
20160707TM3	Calcite, $\alpha$	20160707TM50	astrahkanite/disodium magnesium sulfate	20160706TM97	Graftonite
20160707TM4	Halite, $\alpha$ (Humberstonite)	20160706TM51	astrahkanite, Calcite	20160706TM98	Humberstonite, $\alpha$
20160707TM5	Halite, $\alpha$ (Humberstonite)	20160706TM52	astrahkanite, Calcite	20160706TM99	Perovskite, Humberstonite
20160707TM6	Therandite	20160706TM53	astrahkanite, Calcite	20160706TM100	Humberstonite
20160707TM7	Therandite	20160706TM54	astrahkanite, Epsomite	20160706TM101	Humberstonite
20160707TM8	Therandite, Calcite	20160706TM55	astrahkanite, Epsomite	20160706TM102	Gypsum, Calcite
20160707TM9	Humberstonite	20160706TM56	astrahkanite	20160706TM103	Humberstonite, Calcite
20160707TM10	Humberstonite	20160706TM57	Trona, Aphthallite	20160706TM104	Therandite, Calcite
20160707TM11	Epsomite	20160706TM58	astrahkanite	20160706TM105	Humberstonite
20160707TM12	Calcite, (Titanium oxide?)	20160706TM59	astrahkanite/disodium magnesium sulfate	20160706TM106	Therandite, Humberstonite
20160707TM13	disodium magnesium sulfate	20160706TM60	astrahkanite	20160706TM107	Trona, Aphthallite
20160707TM14	Therandite	20160706TM61	astrahkanite, Humberstonite	20160706TM108	Calcite, $\alpha$
20160707TM15	disodium magnesium sulfate	20160706TM62	disodium zinc sulfate/tripotassium heptasodium dimagnesium hexakis	20160706TM109	Therandite, Calcite, $\alpha$
20160707TM16	disodium magnesium sulfate	20160706TM63	Humberstonite, Calcite	20160706TM110	Therandite, Humberstonite
20160707TM17	Humberstonite, Therandite	20160706TM64	Humberstonite	20160706TM111	Therandite, Calcite
20160707TM18	Epsomite	20160706TM65	Graftonite	20160706TM112	Therandite, Aphthallite
20160707TM19	disodium magnesium sulfate, Calcite	20160706TM66	Therandite, Calcite	20160706TM113	Therandite, Aphthallite
20160707TM20	Humberstonite, $\alpha$ (Halite?)	20160706TM67	trisodium carbonate hydrogen carbonate dihydrate, $\alpha$	20160706TM114	Gypsum
20160707TM21	Humberstonite, $\alpha$ (Halite?)	20160706TM68	Graftonite	20160706TM115	Gypsum, Therandite
20160707TM22	Epsomite	20160706TM69	Eugsterite, Calcite	20160706TM116	Gypsum
20160707TM23	Gypsum, Calcite	20160706TM70	Humberstonite	20160706TM117	Therandite, Aphthallite
20160707TM24	disodium magnesium sulfate, Calcite	20160706TM71	Humberstonite, Calcite	20160706TM118	Therandite, Aphthallite, disodium magnesium sulfate
20160707TM25	disodium magnesium sulfate, Calcite	20160706TM72	astrahkanite	20160706TM119	Therandite, Aphthallite
20160707TM26	Humberstonite	20160706TM73	Epsomite	20160706TM120	Therandite, Aphthallite, Calcite
20160707TM27	Humberstonite	20160706TM74	Therandite, Calcite	20160706TM121	astrahkanite, disodium magnesium sulfate, Therandite
20160707TM28	Humberstonite	20160706TM75	Aphthallite, Therandite, Calcite	20160706TM122	astrahkanite, Therandite, disodium magnesium sulfate
20160707TM29	Humberstonite	20160706TM76	Aphthallite, Therandite, Calcite	20160706TM123	astrahkanite, Therandite
20160707TM30	Humberstonite	20160706TM77	Humberstonite	20160706TM124	astrahkanite, Therandite
20160707TM31	Humberstonite	20160706TM78	Calcite, Perovskite	20160706TM125	Epsomite, Berillite, Calcite
20160707TM32	Humberstonite, Calcite	20160706TM79	Epsomite, Calcite	20160706TM126	Epsomite, Calcite
20160707TM33	Humberstonite	20160706TM80	Graftonite	20160706TM127	Epsomite
20160707TM34	Humberstonite	20160706TM81	Humberstonite, Therandite	20160706TM128	Epsomite
20160707TM35	astrahkanite, Calcite	20160706TM82	Therandite, Eusesterite	20160706TM129	Calcite, Epsomite
20160707TM36	astrahkanite/disodium magnesium sulfate	20160706TM83	Gypsum, Calcite	20160706TM130	Gypsum
		20160706TM84	Gypsum, Calcite	20160706TM131	Gypsum, Calcite

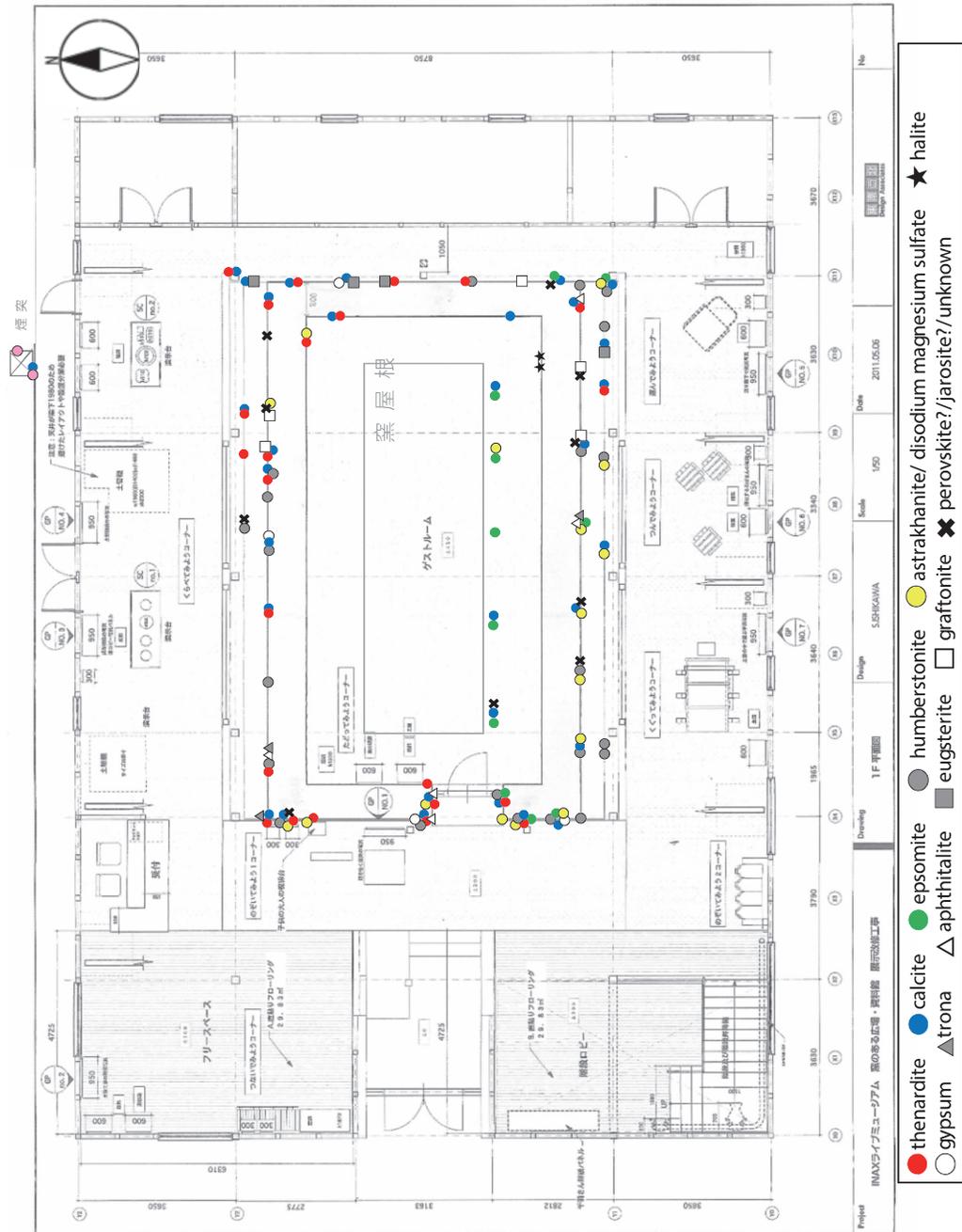


図12 採取した全サンプルの採取箇所および分析結果

しておらず、北面および西面北側、東面北側に集中して析出しているのに対して、エプソマイトは窯外南面および窯の屋根部分でのみ析出している。また同様にアストラカナイトについても、窯外南面および西面南側で多く析出していることがわかる。このアストラカナイトは、先行研究<sup>3)</sup>で煉瓦からの析出が報告されているブレードイト (bloedite,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) と同義である。

このほかに、ジプサム (gypsum,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) やアフシタライト (aphthitalite,  $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)$ ), エウグステライト (eugsterite,  $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ) の析出が散見されており、これらの塩類は先行研究<sup>4)</sup>でも煉瓦からの析出が確認されている。

なお、ハライト (halite,  $\text{NaCl}$ ) が、窯内部の南東でのみ析出していた。先にも述べた通り、窯の操業時に塩釉を得るために岩塩が添加されており、窯内部の煉瓦表面は全て塩釉で覆われている。つまり、窯内壁面および壁内部にこの岩塩を由来とする成分が多く存在していると考えられる。しかし、ハライトの析出はこの南東で確認されたのみで、周囲壁面からは析出していない。これは、この南東のハライト析出箇所では、壁面に向けてかなり近い距離に設置されている間接照明によって局所的に温められた壁面が、周囲に比べ乾燥状態となり、ハライトの析出が優勢となっているためであると考えられる。

また、煉瓦の色調と析出塩類の種類には明確な相関がみられなかったのに対して、色調と析出状況および劣化進行度には相関がみられた。まず、黒味および赤味を強く帯びた煉瓦では塩類が析出している場合も多くみとめられた。これに対して、最も使用頻度の高い茶色の煉瓦 (黒および赤味を帯びていない) では、表面を覆うように塩類が析出している場合が多く、また崩壊・粉状化をとともなう塩類析出も顕著にみとめられた。煉瓦の色調の差異は、その焼成温度との関係が知られており、黒味および赤味を強く帯びた煉瓦は焼成温度が高く、茶色の煉瓦は焼成温度が低い<sup>5)</sup>。つまり、窯には焼成温度の異なる煉瓦が混在しているが、そのなかでも低温で焼成された茶色の煉瓦は、高温で焼成された黒色および赤色を帯びた煉瓦に比べて、塩類析出が顕著かつ進行している。

### 3-2. 可搬型X線回折によるオンサイト分析

析出塩類や劣化生成物は、サンプルを採取し、それらを分析機器のある研究機関に持ち帰り分析を実施することが可能である。しかし、析出した塩類を採取する際に、その塩類の種類と採取時期によって、またその採取法が不適切であると、その箇所に新たな塩類が析出する等の新たな劣化を引き起こす可能性が懸念される。また、塩類析出状況の分布を把握するためには相当数のサンプルが必要であり、採取した塩類を分析装置を有する研究機関等へ持ち込むまでの環境の変化、そして実際に分析するまでの時間の経過により、塩類の種類によっては水和・脱水和が生じる恐れもある。以上のような問題点を克服する方法として、可搬型分析装置を現地に持ち込んで、試料採取をせずにその場で分析を行う方法が考えられる。

ところで、一般的に文化財の分析調査では、貴重な文化財への損傷を最小限に抑えるために、試料採取が許されず、非破壊・非接触を大前提とした手法を要求されるケースが多い。また、調査を実施したい文化財の輸送が困難な場合も多い。このような状況を鑑みて、東京文化財研究所では平成27年度に可搬型X線回折分析装置(理研計器社製、「ポータブル複合X線分析装置XRDF」)を導入した<sup>6)</sup>。本研究では同装置をINAX ライブミュージアム「窯のある資料館」に持ち込んで分析調査を行い、3-1で得られた結果と比較することにより、同装置のオンサイト分析における有効性と将来的な非破壊・非接触調査の可能性について検討した。

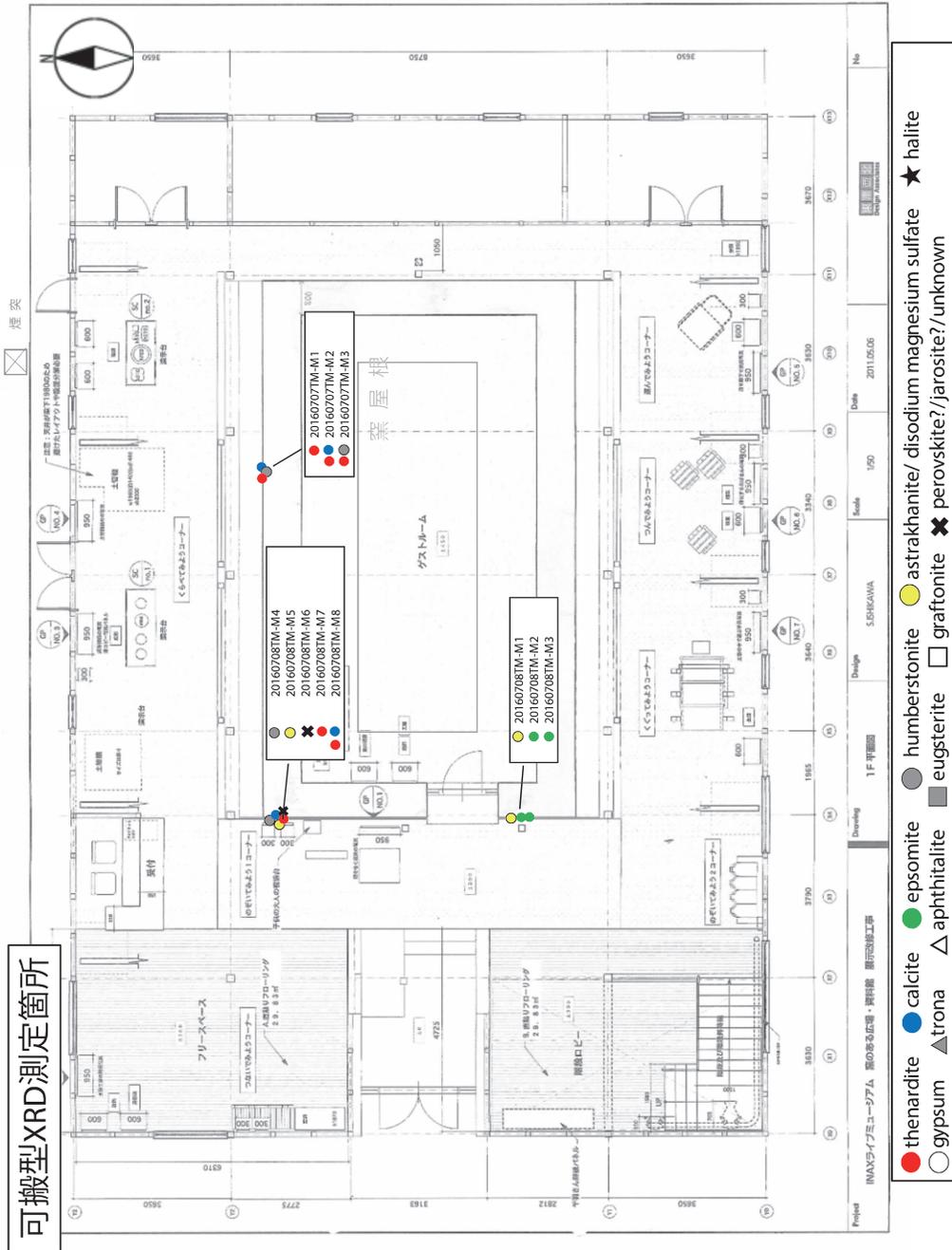


図13 可搬型X線回折分析装置を用いた調査箇所

同装置のX線管球にはクロム (Cr) のターゲットが用いられており、分析中の管電圧と管電流はそれぞれ35kVと0.8mAである。今回の調査では分析条件として、 $\theta$ のステップ角度 $\Delta\theta$ を $0.2^\circ$ 、各ステップの計測時間を2s、 $2\theta$ の測定範囲を $30^\circ\sim 120^\circ$ と設定して分析を行った。図13と表1に示した11箇所について分析調査を実施した。図14に可搬型X線回折分析装置を用いたオンサイト分析の様子の一例を示す。

図15では、3-1の分析でテナルダイト (thenardite,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) とエプソマイト (epsomite,  $\text{Mg}_2\text{SO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) が検出された分析箇所20160707TM-M2と20160708TM-M2に関して、可搬型X線回折分析装置から得られたスペクトルと3-1で得られたスペクトルとの比較を行った。可搬型X線回折装置と3-1で分析に用いた装置のX線管球ではそれぞれCrとCuをターゲットとして用いているため、両者を直接比較するために、可搬型X線回折装置から得られた分析結果の $2\theta$ の値を適切に変換して図15を作成した。可搬型X線回折分析装置から得られたスペクトルは3-1で得られたスペクトルを良く再現しており、本研究の考察で重要なテナルダイト (thenardite,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) とエプソマイト (epsomite,  $\text{Mg}_2\text{SO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) の検出を十分に行うことが可能である。

以上の結果から、可搬型X線回折分析装置を用いることで、サンプルを採取することなくオンサイトで析出塩類の現状を同定できることを確認した。



図14 可搬型X線回折分析装置を用いたオンサイト分析

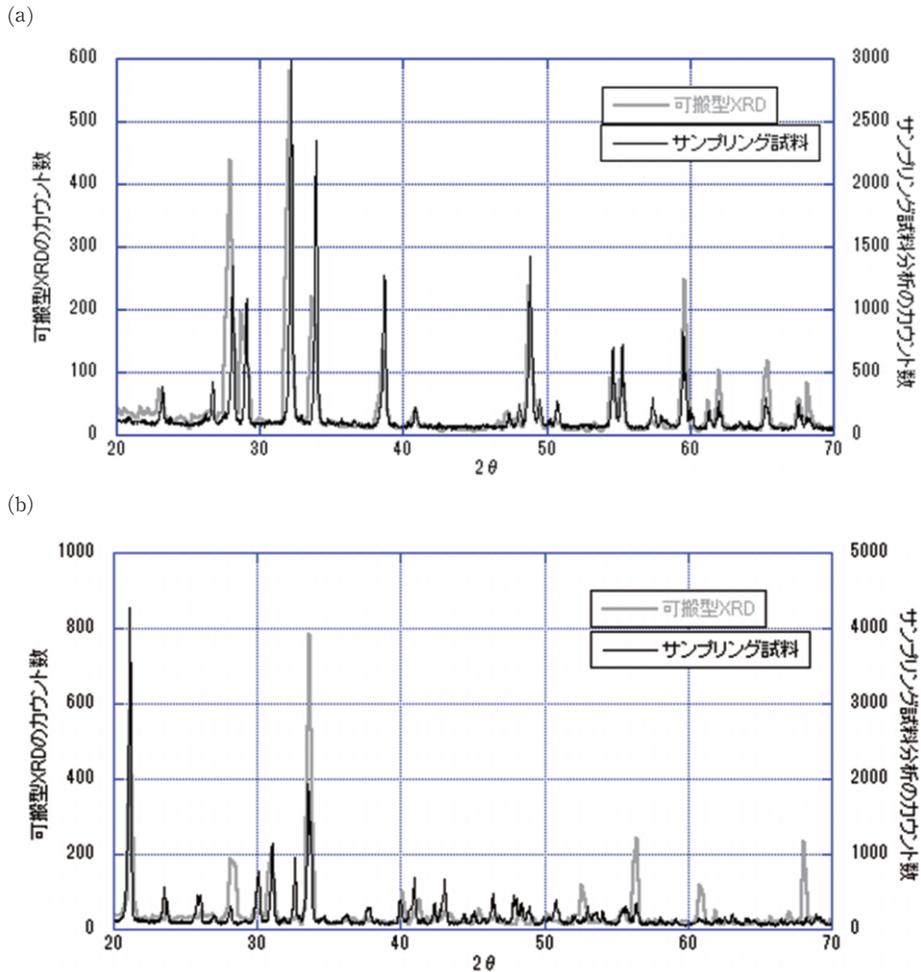


図15 (a)分析箇所20160707TM-M2と(b)分析箇所20160708TM-M2における可搬型X線分析装置と採取試料の分析結果比較

#### 4. まとめと今後の課題

INAX ライブミュージアム「窯のある資料館」で保存展示されている石炭窯では、顕著な塩類析出がみとめられ、主たる展示物であるにもかかわらずその劣化状況は窯の美観を損ね、博物館の懸念事項であった。筆者らは、現在計画中の修繕に先立ち現地調査をおこない、その保存環境、特に煉瓦表面でみとめられる塩類の析出状況を記録・分析し、窯の内外壁面における析出塩類の分布を確認した。

まず、窯外壁面では南北で析出する塩類に分布がみとめられた。つまり、北面および西面北側、東面北側に集中してテナルダイトが析出しているのに対して、窯外南面および窯の屋根部分ではエブソマイトが析出していた。またアストラカナイトは、エブソマイトと同じく窯外南面および西面南側で多く析出していた。

次に、窯内の南東壁面でのみハライトの析出がみとめられた。これは窯の操業時に釉を得るために石炭とともに添加された岩塩を由来とし、間接照明による温度上昇とそれにとまう乾

燥状態が原因で局所的に優先的に析出していると考えられる。

また、煉瓦の色調と析出状況および劣化進行度には相関がみられ、低温で焼成された茶色の煉瓦は、高温で焼成された黒色および赤色を帯びた煉瓦に比べて、塩類析出が顕著であり、また崩壊や粉状化などの劣化も進行していることがわかった。

さらに、可搬型X線回折装置によるオンサイト分析の有効性を確認できたことで、将来的に近代化遺産群の調査におけるオンサイトでの非破壊・非接触による精度の高い分析の実現への予備的検討もおこなうことができた。

今後は、窯外面の南北における塩類の析出分布の要因を明らかにするとともに、温度湿度や日射が塩類析出におよぼす影響について、冬季の調査の実施と長期的な環境モニタリング結果の検証、そして研究室実験から検討していく必要がある。

また、修繕完了後に資料館が再開する際に、塩類析出が進行することのない適切な保存環境を提案できるよう調査を継続していく。

## 謝辞

本研究の一部は、平成28年度関西大学若手研究者育成経費の助成を受けたものである。INAX ライブミュージアムの住宮和夫館長ならびに竹多格主任学芸員の理解と協力を得て析出塩類のサンプルを採取することができた。また、組成分析については、東京文化財研究所保存科学研究センターの岡田健センター長ならびに早川泰弘副センター長のご理解をいただき、実施することができた。ここに記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 佐々木淑美、吉田直人、小椋大輔、安福勝、水谷悦子、石崎武志：ハギア・ソフィア大聖堂をはじめとした歴史的建築物の内壁の劣化と材料に関する調査、保存科学、54、215-226 (2015)
- 2) 吉田夏樹、松浪良夫、永山勝、坂井悦郎：温度条件が硫酸ナトリウムによるモルタルの塩類風化に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集32(1)、677-682 (2010)
- 3) 小口千明、松倉公憲、朽津信明：旧下野煉瓦窯壁面における塩類析出の空間分布および季節変化に与える環境要因、地形、23(2)、335-348 (2002)
- 4) 朽津信明：博物館明治村で観察された蒸発岩、岩鉱、87、388-391 (1992)
- 5) 「赤煉瓦倶楽部舞鶴HP 水野博士の赤煉瓦講座」<http://www.redbrick.jp/mizu/kouza3.htm> (2016/12/27)
- 6) 犬塚将英、早川泰弘、皿井舞、藤岡穰：可搬型X線回折分析装置を用いた銅造釈迦如来坐像(飛鳥大仏)の材質調査、保存科学、56、65-75 (2017)

キーワード：INAX ライブミュージアム (the INAX Live Museum)；塩類析出 (salt crystallization)；石炭窯 (coal kiln)；岩塩 (halite)；可搬型X線回折装置 (portable X-ray diffractometer)

# Study on Conservation Environment and Salt Crystallization on Brick Cultural Heritage: The Case of “Museum of Kiln” in the INAX Live Museum

Juni SASAKI\* and Masahide INUZUKA

There is increasing interest in modern heritage, especially brick heritage, and its conservation and registration as cultural property have been examined actively. Many examples of brick heritage suffer from salt crystallization and, for the conservation of such heritage, it is necessary to eliminate supply of moisture and control the environment.

As a basic study to examine deterioration and effective measures for conservation, surveys were conducted at the “Museum of Kiln” in the INAX Live Museum on June 30, July 7 and July 8, 2016.

The environment in the “Museum of Kiln” is air-conditioned and is not influenced by outside air. On the inner and outer walls of the kiln in the museum, various kinds of noticeable salt crystallizations were observed through analysis using an X-ray diffractometer: calcite( $\text{CaCO}_3$ ), thenardite( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), epsomite( $\text{Mg}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), astrakhanite( $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$ ), gypsum( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), apthitalite( $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)$ ), eugsterite( $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ) and halite( $\text{NaCl}$ ). Depositions of thenardite were concentrated in the northern half of the kiln, whereas those of epsomite were confirmed in the southern half and the roof. Halite was identified only on the southeastern inner wall of the kiln, which was heated and dried by an indirect lighting placed near the wall. It seems that salt crystallizations tend to occur on brown bricks, which were made at low temperature, and cause significant deterioration.

The possibility of using a portable X-ray diffractometer was also evaluated as a non-invasive analytical method for investigation of cultural properties on site.

---

\*PD in Center for the Global Study of Cultural Heritage and Culture, Kansai University