

＜調査研究シリーズ 137＞

スウェーデンにおける 鑄造鋳滓煉瓦（からみ煉瓦）の世界遺産

市原 猛 志

要 旨

鑄造鋳滓煉瓦（からみ煉瓦）は、主に金属製錬時に発生する冶金スラグ（鋳滓）を鑄造することによってつくられるリサイクル素材であり、16世紀にヨーロッパでの生産が開始されて以降、コークスを用いたスラグが登場するまで世界各地の製鉄所及び銅製錬所で様々な形の鑄造鋳滓煉瓦生産がなされ、一部では1950年代まで銅鋳滓や鉄鋳滓を用いた鑄造鋳滓煉瓦の生産が行われていた。このような鑄造鋳滓煉瓦造建造物は、スウェーデンなどの北欧圏を中心にヨーロッパ各地で現存するほか、日本においても銅鋳山を中心に鑄造鋳滓煉瓦造の建造物群が散在しており、鋳山集落において独特の景観を呈している。

本研究では、鑄造鋳滓煉瓦の歴史について概観し、代表的な鑄造鋳滓煉瓦造建造物としてスウェーデン南部に位置するベリスラーゲン・エコミュージアムにおける各種の鑄造鋳滓煉瓦建造物群や、世界文化遺産「ファールンの大銅山地域」における鑄造鋳滓煉瓦の保存事例とその活用について述べ、その保存手法から日本における鑄造鋳滓煉瓦造建造物との比較を通じて、現在一部地域で懸案事項となっている鑄造鋳滓煉瓦造施設の保存問題に関する一助としたい。

【目 次】

はじめに

1. 研究の背景と目的
 - (1) 鑄造鋳滓煉瓦（からみ煉瓦）とは
 - (2) 鋳滓の活用と鑄造鋳滓煉瓦の歴史
 - (3) 研究の目的
2. 既往研究
3. スウェーデン・ベリスラーゲン地域およびファールンにおける鑄造鋳滓煉瓦の活用
 - (1) グランガルデ地区における鑄造鋳滓（スラブチップ）
 - (2) エンゲルスベリ製鉄所における鑄造鋳滓煉瓦
 - (3) アーベスタ製鉄所における鑄造鋳滓煉瓦
 - (4) ファールンの大銅山地域における鑄造鋳滓煉瓦
4. 鑄造鋳滓煉瓦に関する保存手法について

- (1) モルタルの補修
 - (2) 鑄造鋳滓煉瓦の「腐食」問題
- 結語

はじめに

国内外における建築素材の違いは、観光資源の分野においてはそれぞれのものが観光対象となりえるが、見た目以上の差異については一見してなかなか理解が及びがたい。それは研究分野にも同様のことが当てはまる。

建築資材の歴史については、その設計思想や工法の差異について言及が及ぶものが多いが、建築資材の変化やその原因については、木材や石材の使用から、近代の日本において煉瓦材が使用されるようになった過程や今回紹介する金属製錬時のスラグ利用過程の中で生まれた鑄造鋳滓煉瓦や1900年代から日本で本格化する水硬鋳滓煉瓦の発展と衰退、そして鉄筋コンクリート造建造物の急速な普及に関して、概観的に紹介されているものが少ない。

そこで本研究は、それら未開拓の建築素材の歴史に関する分野のうち、鑄造鋳滓煉瓦の諸外国における歴史について、現地調査や文献から明らかになってきたことをとりまとめ、日本において未だ用語としての混同が見られる鑄造鋳滓煉瓦の歴史的経緯について概説する。合わせて日本国内における鑄造鋳滓煉瓦造建造物が現在抱えている問題点を踏まえ、諸外国における事例を求めていく。

1. 研究の背景と目的

(1) 鑄造鋳滓煉瓦（からみ煉瓦）とは

製鉄業をはじめとした金属製錬において発生する副産物であるスラグの処理は、継続して事業を行う上で支障となる要素のひとつであった。古代から山間地にあった製鉄所においては、周辺の未利用地を活用してスラグをそのまま谷地などに投棄していたが、高炉製鉄法の発明など生産量が増大することに伴い比例して増加するスラグをどのように処理するかについて世界各国で大きな課題となっていた。この解決方法として一時期世界各国で重宝されたのが、鑄造鋳滓煉瓦（鍍（からみ）煉瓦）¹⁾である。

現在の日本において、鋳滓煉瓦と呼ばれる素材には、二種類の異なる性質を持つものが存在する。ひとつは高炉スラグに高圧の水をかけ続けることで粉末化した水砕

1) 日本国内においては、官営八幡製鐵所製鋳滓煉瓦と分別する形で、からみ煉瓦と呼称されることが多い。

に、石灰を一定比率混交することによって発生する水硬性を用い、一～二ヶ月程度の自然養生を経て硬化したもので、これは官営八幡製鐵所が鋳煉瓦と命名し、日本国内の一部製鐵所で製造され民間の建物にも使用されている。本稿では、これら一連の素材については水硬鋳煉瓦と称して主に言及する素材とは分けて記述する。

もうひとつの素材が、鉄鋳山を含む金属鋳山において採掘された鋳石の製錬時に発生した熔融鋳滓（鍍（からみ））を鑄造して作られるもので、日本国内の研究では、日本国内への導入初期のものに関してはからみ石、のちにはからみ煉瓦・カラミレンガなどと記載されることが多い。本稿では、前述した水硬鋳煉瓦と区別しやすくするためにこれ以降、鑄造鋳煉瓦と統一して呼称する。

鑄造鋳煉瓦は比重的に他の煉瓦様素材より非常に重量物であることから、長距離の移動には向かず、銅鋳山近隣あるいは硫酸などの化学製品生産現場などで現存例を見ることができる。混同を招きやすい各素材の分類法について製造方法別に分類²⁾したものが、下図である。

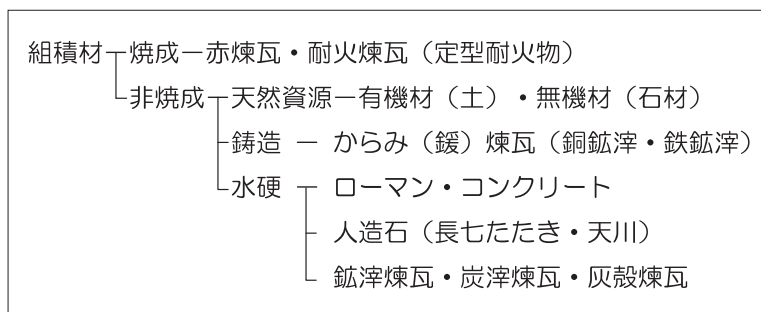


図1 各組積材の製造過程及び素材の性質別分類法

(2) 鋳滓の活用と鑄造鋳煉瓦の歴史³⁾

① 鋳滓の活用に関する経緯

スラグを熔融したまま型に入れ、鑄造成型してつくられる鑄造鋳煉瓦は、原材料となる素材に鉄鋳滓のほか、銅鋳滓や鉛鋳滓などが用いられていたが、はじめ大量に生産されていた鉄鋳滓の分野で発明された。従来山中や水中に破棄していたスラグの活用方法を神聖ローマ帝国時代のドイツにおいて1570年に歴史上最初に開発したが、ブラウンシュバイク・ヴォルフエンビュッテルのユリウス公爵である。ユリウス公爵はギテルテ製鐵所にて鉄スラグを大砲の砲弾とすることに成功し、のちにゾフィ

2) 市原猛志「日本における鋳煉瓦の導入とその盛衰に関する技術史的研究：時代を作った近代新建材の代表例として」『耐火物』76巻5号、2024より

3) 本項は、参考文献のうち『高炉スラグ』及び『Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter』の記述に多くを拠っている。

ア製錬所 (Goslar) でも鑄造利用し、大量生産が行われた⁴⁾。

はじめ内部に空洞が出来やすいなどの鑄造技術的な問題から建材としては用いられなかったスラグであったが、製鉄時に大量に木炭を使用していた時代、建材としての木材が不足を来したために、イギリスにおいて建材としての代用品として鑄造鋳滓煉瓦が重宝されるようになった。現在イギリスにおける鑄造鋳滓煉瓦造建造物は、確認事例が比較的少ないため、その製造時期もスウェーデンに比べ短い期間のみの使用ではなかったかと想像されるものの、イギリス西部・ウェールズに位置するコールウォールなど数カ所に点在して現存しており、土木構造物などの形で見ることが出来る。

②スウェーデンにおける鑄造鋳滓煉瓦の導入

現在鑄造鋳滓煉瓦が世界で最も多く現存すると考えられるスウェーデンでは、18世紀後半から20世紀初頭にかけて鑄造鋳滓煉瓦を使用した建築や土木構造物が多く建造された。そのきっかけとして知られている話としては、世界で初めて鑄造鋳滓を煉瓦形状に使用された地域と目されるイギリス・ウェールズ地方における鑄造鋳滓の建造物への使用を視察した大工棟梁のクラス・エリアンデルによって、スウェーデンに初めて長形状の鑄造鋳滓煉瓦が導入され、主に建造物へ使用された⁵⁾。程なく鑄造鋳滓煉瓦を建材に用いることによって木材の保護にも貢献できることから、国を挙げた奨励、一部地域において鑄造鋳滓煉瓦の使用の義務化がなされるなど、鑄造鋳滓煉瓦は比較的早くスウェーデン各地の製鉄所に普及した。

先に掲げた図より鑄造鋳滓煉瓦には、主に鉄鋳滓を用いるものと銅鋳滓を用いるものがそれぞれ存在するが、スウェーデンにおいてはまず鉄鋳滓を鑄造したものがはじめに導入され、後に銅鋳滓を用いた鑄造鋳滓煉瓦が導入された。もっとも、スウェーデンにおける銅鋳滓利用の鑄造鋳滓煉瓦の歴史は短く、1920年代には姿を消すことになるが、これは銅鋳滓の鑄造鋳滓煉瓦利用としての技術導入が比較的遅かった日本国内における鑄造鋳滓煉瓦の使用例が20世紀後半期まで存在⁶⁾することとは極めて対照的である。しかも、2025年現在確認できる限りでは、日本において鉄鋳滓を鑄造鋳滓煉瓦として使用した形跡が見られない。これは世界的に見ても特異な事例として考える必要がある。

表は、本研究の遂行に当たって主に研究対象として取り扱うスウェーデンとヨーロッパ各国、また日本国内における鑄造鋳滓煉瓦の導入状況を比較するために、いくつかの鑄造鋳滓煉瓦関連書籍から判明した諸外国における鑄造鋳滓煉瓦の技術的経緯

4) Fritz Keil (著), 沼田晉一 (訳)『高炉スラグ』(セメントジャーナル社、2001 (原著1963刊)), P161

5) Annmarie Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, P18, 2016

6) 市原猛志「瀬戸内「鍛造景」資料館と直島のからみ煉瓦」『産業考古学』第159号, 2022

に関する流れを年表化したものである。

表 鑄造鋳滓煉瓦に関する歴史年表*

年	世界での出来事（うちゴシック体はスウェーデンでの出来事）
14c	鍛冶場での床材へのスラグ使用が確認されている
1570	ユリウス公爵（ドイツ）による鉄スラグの砲弾としての利用
1728	ジョン・ペイン（イギリス）が鑄造鋳滓煉瓦を使用した地下酒蔵及び煙突用組積煉瓦を建造（20世紀初頭まで建築材料として限定的に使用）
1748	クラス・エリアンデルによるプリストル周辺域からの鑄造鋳滓煉瓦技術スウェーデン導入
1761	鑄造鋳滓煉瓦を活用した高炉シャフトの閉塞活用
1766	アクセル・フレドリック・クロンシュテットが石灰分の少ない鋳滓が鑄造鋳滓煉瓦に適していることを発見、建造を奨励
同	スウェーデン鉄工組合、鉦山町における鑄造鋳滓煉瓦建造物に対する報奨金制度
1761	ファールンにおける火災以降、スラグチップを用いた建造物が増加する
1771	ファールンにて銅鋳滓を用いた鑄造鋳滓煉瓦の製造を試みるが失敗
18c末	アーベスタにて銅鋳滓を用いた鑄造鋳滓煉瓦の製造が開始される
1811頃	コーンウォール地方における鑄造鋳滓煉瓦造橋梁・ブラックブリッジ竣工
1844	ドイツ・ハルツ地方における黒鉛のスラグを用いた鑄造鋳滓煉瓦の大量生産開始
1862	スウェーデン・ウッデホルム社、従業員の鑄造鋳滓煉瓦の無料回収を許可
1865	Friz Lürmann による石灰と水砕高炉スラグを加圧成形する水硬鋳滓煉瓦製法の発明
19c	鑄造鋳滓煉瓦の製造技術がウェールズの銅製錬業者を介しオーストラリアに導入される
19c後	高炉内の炉内温度上昇に伴い、各製鉄所で鑄造鋳滓煉瓦が作られるようになる
同	生野銀山（兵庫県）で鍍石（鑄造鋳滓煉瓦）の生産を始める
1897	この頃までに尾小屋鉦山（石川県）にて鑄造鋳滓煉瓦の生産が始まる
1908	関東酸曹株式会社（東京）による「鐵煉瓦」（鑄造鋳滓煉瓦）生産開始
1916頃	持倉鉦山（新潟県）事務所（鑄造鋳滓煉瓦造2階建建築）がつくられる
1921	この頃までにファールンにおける鑄造鋳滓煉瓦生産が停止される
同	この頃までに尾小屋鉦山における鑄造鋳滓煉瓦生産が停止される
20c後期	日本では直島製錬所（香川県）で鑄造鋳滓煉瓦の生産が行われていた
1966	スウェーデン最後の木炭高炉であるスヴァルタ・ヒュッテの閉鎖（鑄造鋳滓煉瓦生産の終了）

*…『高炉スラグ』p160表-48「塊状高炉スラグ、スラグ石材および軽量レンガの製造と利用に関する歴史的展開」をベースにして、『Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter』を中心に各種参考文献から市原作成。

(3) 研究の目的

本稿では、鑄造鋳滓煉瓦の歴史について表から概観し、その歴史において導入及び普及期に関する遺構が多く現存する、スウェーデン王国ダーラナ地方に位置するベリスラーゲン・エコミュージアム域内における代表的な事例及び世界文化遺産に登録されている「ファールンの大銅山地域」における保存代表例を紹介し、日本国内と比較

することによって、それぞれの国における鑄造鋳滓煉瓦の置かれている保存状況やその課題を確認し、とりわけ日本国内において近年問題視されている鑄造鋳滓煉瓦の保存手法に一助となることを目的としている。

2. 既往研究

鑄造鋳滓煉瓦に関する研究論文は、日本国内においては研究が進められていない現状にある。前章における歴史紹介の際に典拠として用いたアンマリー・ガンナーソン (2016) 研究⁷⁾が近年発行されたスラグ歴史研究に関する書籍としてスウェーデンの鑄造鋳滓煉瓦を最も良く総合的に説明していると言え、今回研究対象とするベリスラーゲン・エコミュージアムの定期刊行誌においても「スラグストーンに関する究極の書籍」⁸⁾として紹介されている。スラグの性質に関する研究としては、フリッツ・カイル・沼田晋一 (2001)⁹⁾が筆者を含め原典としてしばしば採りあげられる。

日本国内においては、鑄造鋳滓煉瓦発生地である各鋳山または製錬所に縁を持つ地域ごとに研究が進められており、代表例として、小田 (2017)¹⁰⁾、領塚 (2018)¹¹⁾や四ツ目 (2022)¹²⁾が挙げられ、これまで西日本地域に集中していた鑄造鋳滓煉瓦については、銅鋳山の建造物に関する総合的な把握が行われていなかっただけで、近年それほど地域的な偏りはないと考えられるようになった。また下道 (2021)¹³⁾によって瀬戸内国際芸術祭における企画展示会も開催されるなど、注目は以前より増していると言えるが、体系的な研究が行われているとは言いがたい。

注目度に比例して進められた研究のひとつとして、山口 (2022) が茨城県立日立第一高等学校科学部にて執り行った一連の実験成果¹⁴⁾がある。これは鑄造鋳滓煉瓦に関する製造技術が喪われ、また金属鋳山における鑄造による製造方法が化学実験における復元作業に向かないことから、原材料をカーボンるつぽに入れてから加熱して融かす粉末冶金法によって鑄造鋳滓煉瓦の再現を行っている。

7) Annmarie Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, P67, 2016

8) EKOMUSEUM BERGSLAGEN 「MAGASINET」 Vol.4, p7, 2017

9) Fritz Keil (著), 沼田晋一 (訳) 『高炉スラグ』(セメントジャーナル社、2001 (原著1963刊))

10) 小田辰兵衛『持倉鋳山』自家版, 2017

11) 領塚正浩「関東酸曹(株)が製造した鋳煉瓦とその現況」『北区飛鳥山博物館研究報告』第20号, 2018

12) 四ツ目圭吾『鋳考 -From Ogoya-』自家版, 2022

13) 下道基行『瀬戸内「鋳造景」資料館』2021年8月14日～9月12日, 直島・宮浦ギャラリー六区

14) 山口悟「茨城県立日立第一高等学校 化学部 安全な日立製カラミ煉瓦の作製方法の確立」『化学と教育』70巻10号, 2022

全体を俯瞰する形で研究概要について述べられている研究としては、小野崎（2020）¹⁵⁾によるものを挙げるが、製造方法及び分布状況の紹介という側面が強い。

これら研究における課題はいくつか挙げられるが、本研究において特に明らかにしたいこととして、海外における鑄造鋳滓煉瓦との比較検証を一番に掲げる。既に前章で明らかにしたとおり、鑄造鋳滓煉瓦は元々ヨーロッパ地域において開発された技術が日本に導入されたものであり、日本国内の導入経緯を含め、分かっていないことが非常に多い。まず海外における鑄造鋳滓煉瓦の歴史を辿り、その現存状況を知ることは、国内における鑄造鋳滓煉瓦の歴史的経緯やこれからを考える上で大きな示唆となり得る。

本研究では、海外調査の一環として鑄造鋳滓煉瓦の現存状況及び保存手法について現時点で明らかになったことを紹介し、日本国内における保存に貢献していきたいと考える。

3. スウェーデン・ベリスラーゲン地域およびファールンにおける鑄造鋳滓煉瓦の活用

スウェーデンの首都・ストックホルムにも近いダーラナ地方に位置するベリスラーゲン・エコミュージアムは、世界最大規模の領域面積を持つ「鉄の歴史のエコミュージアム」であり、長辺の長さが約 150km、幅の狭いところでも約 50km の領域を範囲に指定する、生活環境博物館との別称を持つエコミュージアムの中でも初期の事例である¹⁶⁾。

このエコミュージアムは、スウェーデンの木炭製鉄時代を象徴する産業遺産や集落（本研究では、これ以降製鉄業と密接な関係性がある独自の集落に対して、bruk と表記する）、生活風景などをサイトごとに運営している中心施設を持たない緩やかな連合方式のエコミュージアムである。ベリスラーゲン・エコミュージアムの各地域には、鑄造鋳滓煉瓦で作られた施設が多く現存し、事例として後述する世界文化遺産に登録されたエンゲルスベリ製鉄所や世界最大の鑄造鋳滓煉瓦遺構と目されるルドヴィカのアーベスタ製鉄所をはじめとしていくつもの施設が公開され、また活用のために改装を行った上で転用されている。

ここでは鑄造鋳滓煉瓦が最も普及していた地域であるスウェーデンのベリスラーゲン・エコミュージアムの事例を中心にして、それぞれの地域における鑄造鋳滓煉瓦の

15) 小野崎敏「鍔と鍔のレンガ：熔融金属製錬における鍔・鋳滓の発生とそのスラグ類の活用について」『鋳山研究』95号，2020

16) 大原一興『エコミュージアムへの旅』鹿島出版会，1999

成立及び保存活用事例をとりまとめる。

(1) グランガルデ地区における鑄造鉍滓（スラグチップ）

グランガルデ地区は、スウェーデン全体の中でも避暑地として親しまれているエリアであり、1978年に国際産業遺産保存委員会（TICCIH）の第3回大会が開催された場所として産業遺産研究者にはよく知られているところであるが、元々は鉍物資源が豊富な場所に位置しており、長年製鉄業が営まれてきた。ここグランガルデを含むベリスラーゲン・エコミュージアムに所在する各鉄鉍山の多くの建物外壁に鑄造鉍滓煉瓦を多数確認したが、そのどれも色合いや製造方法が大きく異なっている。近隣で採れる鉄鉍石の種類や石灰などの配分量、また鑄造温度などによって大きく異なるのではないかと考えられる。図2では、やはりかつてのbrukであるグランガルデ（Grangärde）地区で確認した鑄造鉍滓（スラグチップ）である。一部のスラグチップが青く発色しているが、これはスラグ内部に含まれる鉄分のうち二価鉄が影響したものであり、日本国内のスラグでは水硬鉍滓煉瓦の製造直後など特殊な状況下のみ見ることができる。グランガルデにおける鑄造鉍滓の建造物への使用事例については長方形のレンガ形状になっていない素材が多く、これらは鑄造鉍滓煉瓦の製造開始以前からここスウェーデンで建材の一部に使用されていたものであり、スラグチップあるいはテールスラグと呼称されている¹⁷⁾。



図2 グランガルデ地区における鑄造鉍滓

17) Annmarie Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, p97, 2016



図3 スラグチップを使用した建物（グランガルデ）

スラグチップとは、金属製錬時に発生するスラグの処理の際に、処理を簡便化するために水をかけるなどして破碎し、ある程度の塊となった不定形のスラグの破片のことを指す。このようなスラグチップは、少なくとも1760年代以降に建造物のモルタル材使用を少なくするために、スウェーデンにおいて採用されるようになった。スラグチップを使用した建造物は木材が製錬用に広く用いられていたスウェーデンにおいて伝統的な丸太小屋に代替えしうる有力な素材として広く用いられ、図3のような建物を湖畔沿いに今も散見できる。グランガルデにおけるスラグチップの製造は、表にも記載したとおり遅くとも1761年には建造され始めていたと考えられる。

このようなモルタルなどと併用したスラグチップの使用は、鑄造鉍滓煉瓦の製造方法確立以降も続いていたと目されるが、その終焉期など詳細については明らかになっていない。

このようなスウェーデンにおける高炉スラグの建材としての使用は、長方形の鑄造鉍滓煉瓦の製造に成功すると、組積造建材として本格的に使用されるようになり、1761年から組積用煉瓦の代わりにスラグ石材を鑄造し、高炉シャフトの開閉に使用されていたほか、英国に次いで世界で二番目にあらゆる種類の組積構造物に使用されていたという。

ちなみに、グランガルデ地区における鑄造鉍滓煉瓦の使用は、郊外のニーハンマル製鉄所にて20世紀初頭に行われ、大型の鑄型を用いた鑄造鉍滓煉瓦（例として図4）が作られ大量生産が試みられていたが、これは1920年代には生産が停止されてい



図4 グランガルデの鑄造鋳滓煉瓦造建造物

る¹⁸⁾。

(2) エンゲルスベリ製鉄所における鑄造鋳滓煉瓦

ベリスラーゲン・エコミュージアムの一角を占めるエンゲルスベリ製鉄所は、スウェーデンにおける独自の製鉄集落である bruk の典型的な存在であり、敷地は 9.596 平方キロメートルの面積を持つ。この地域では、少なくとも 13 世紀頃には製鉄が行われていたと言われており、1681 年にはエンゲルスベリ製鉄所が建設された。現在世界文化遺産に登録されている施設群は、1779 年までに製鉄所の拡張に伴って建設された象徴的な存在である高炉（図 5）をはじめとして、領主の館であるマナーハウスや計量小屋、倉庫などが立地しており、それぞれの竣工年代にはばらつきが見られるが、これは製鉄所自体がその時期の需給に応じて拡張や変化を繰り返してきた結果であり、産業遺産の分野では画一的に同じ年代の施設が現存することが必ずしも評価の対象とはなっていない。これら建物の一部には組積材として鑄造鋳滓煉瓦が使用されている。

また、地域の歴史を伝えるための専門のアーカイブ・センター（図 6）があることもこの遺産の中で特徴的なところと言える。もともとは納屋として建てられた施設を世界遺産登録以前である 1974 年からエンゲルスベリ集落に関連する文書を保管するアーカイブ・センターとして使用されており、その壁面にはやはり鑄造鋳滓煉瓦が使

18) Annmari Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, p46, 2016



図5 エンゲルスベリ製鉄所高炉

用されていた。筆者が訪れた2025年8月の際は改装工事のため見学することは出来なかった。

このエンゲルスベリ製鉄所には鑄造鋳滓煉瓦の建物がいくつか建てられており、それらのうち、一定の比率は同地域で生産されたものと考えられている。それらの中でもとりわけ象徴的な施設が世界遺産登録申請書類の中でも“Slag-stone pavilion”と記載された納屋（図7）である。この施設は、1872年に建てられ、記念碑的な施設として位置づけられる。使用されている鑄造鋳滓煉瓦も素材が含有する二価鉄の影響によっ



図6 エンゲルスベリ製鉄所アーカイブ・センター



図7 “Slag-stone pavilion”

てやや青みがかっており、スウェーデンの伝統的な製鉄集落であるエンゲルスベリのマナーハウス敷地の中心部分に建てられている。この鑄造鉍滓煉瓦施設を含むエンゲルスベリ製鉄所は、1993年コロンビア共和国カルタヘナにて開催された第17回世界遺産委員会にて世界文化遺産に登録されている。登録要件は（iv：歴史上の重要な段階を物語る建築様式，建築技術，科学技術の総合体，もしくは景観の顕著な見本）であり，ヨーロッパにおける木炭製鉄時代を代表する遺構として顕著な普遍的価値を示していると評価された。

(3) アーベスタ製鉄所における鑄造鉍滓煉瓦

アーベスタ（Avesta）郊外のルドヴィカ地区にあるかつての製鉄所は，木炭製鉄の際に必要な前工程である焙焼炉と大規模な高炉とが一体化した鑄造鉍滓煉瓦造の施設（図8）が資料館とアートセンターなどの複合用途で活用されている。

この施設は，スウェーデンを代表する産業用ロボットメーカーで，現在はスイスのブラウン・ボベリと合併したアセアがかつて製鉄所として利用していたところである。アーベスタ製鉄所の設立経緯としては，かつて近接してあった製鉄所の拡張計画の際，その製鉄所の高炉スラグで生産した鑄造鉍滓煉瓦を全面的に使用した大規模な建物として1873年から翌年にかけて建てられ，この規模及び鑄造鉍滓煉瓦の型の種類としてもスウェーデンでは最大級であるという¹⁹⁾。

19) Annamarie Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, p173, 2016



図8 アーベスタ製鉄所

この施設は1986年には廃墟となっていたものをアーベスタ市が買い取り、現在は建物そのものがコッパルダレン・ヴェルケット（Koppardalen Verket）という名称の資料館となっている。資料館内ではスウェーデンが当時行ってきた木炭を燃料として用いた高炉式製鉄法と鉄鉍滓を利用したからみ煉瓦の製造法、さらにはイギリス産業革命によってコークス式製鉄法へと変化するまでの鋼鉄製品製造方法に関する展示を見ることが出来る。また敷地の一部を活用する形で工場内部空間を操業当時のまま保存整備し、工場空間を活用したいくつかのアート作品展示を行っていた。

この施設では、他の建造物群で用いられているような長方形の鑄造鉍滓煉瓦のみならず、階段の手すりや屋根などに様々なかたちの役物煉瓦が使用されている。これはこの地域が鑄造鉍滓煉瓦の製造技術においてスウェーデンの他地域よりも優れていたことを意味している。

アーベスタ地域における代表的な駐在鉍滓煉瓦の技術力を示す例として、“Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter”では、修道院学校（図9）を挙げている²⁰⁾。この学校は1880年にアーベスタ製鉄所の鉍滓を利用して作られていることが判明しており、ネオゴシック様式の教会風建築として建てられている。この学校用に特別に作られた役物煉瓦は20パーツにも及び、主に開放型砂型で作られており、また同著ではそのために鑄造鉍滓煉瓦によく見られる表面上の光沢が喪われていると記述されている。筆者が訪れた際に現地で鑄造鉍滓煉瓦の表面をまじまじと見る機会

20) Annamarie Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, p52, p123, 2016



図9 アーベスタの修道院学校

に恵まれたが、確かに金属光沢もガラス質が持つ表面のなめらかさもなく、遠くから見る限りは玄武岩などの火山岩質の石造建造物と見間違えを起しやすい。このような傾向は日本においては直島に現存する鑄造鋳滓煉瓦造建造物の一部に見られており、日本における光沢のない鑄造鋳滓煉瓦に関しても製造方法の違いに起因するものと考えられる。

(4) ファールンの大銅山地域における鑄造鋳滓煉瓦

金属資源が豊富な地であったスウェーデンの中でも、ファールンは、17世紀から18世紀にかけてヨーロッパ世界における銅生産量の70%を占める、世界の銅生産の中心地であった。この歴史的事実は世界的に評価され、2001年にフィンランド・ヘルシンキにて開催された第25回世界遺産委員会において「ファールンの大銅山地域」として世界文化遺産に登録されている。

このファールンの地において鑄造鋳滓煉瓦を使用した建造物群が多く建てられたのには、明確な理由がある。そのきっかけとなったのは、1761年にこの地で発生した火災であった。もともとファールンでは銅製錬のために大量の木材を木炭として使用していたため、火災に伴い大量に発生した建材需要に際して木材の使用を節約する必要があった。

鋳山の経営陣や科学者のアントン・フォン・スヴァーブは、木材による各施設の再建を行った場合、再度の火災発生に伴って木炭製錬による金属生産に影響が及ぶことを危惧して、建材への金属スラグの活用を提案し、ドイツ・ハルツ山地の鋳山にてモルタルと破碎スラグでつくられた家を視察した経験から、建築資材にスラグを活用し



図 10 ファールンの大銅山敷地内の旧噴霧室

た²¹⁾。この頃は、まだファールン地方において鑄造鋳滓煉瓦が本格的に生産される前であったことから、ここで使用されていた素材は不定形スラグであるスラブチップ²²⁾（鑄造鋳滓）であったと考えられ、モルタルや石などとの併用によって家屋が建設された。

19世紀中期から後半までのあいだにはファールンにおいても鑄造鋳滓煉瓦造の建造物が建てられるようになり、うち世界文化遺産のコアゾーンには旧噴霧室と呼ばれる施設（図10）が現存している。ファールン地域における鑄造鋳滓煉瓦使用の歴史は長いものとは言えず、19世紀末頃までに生産が開始されているものの、表1に記載したように1921年には生産を中止している。2016年現在ファールンには12棟の銅鋳滓を用いた鑄造鋳滓煉瓦造建造物が確認できるという。

4. 鑄造鋳滓煉瓦における保存手法について

スウェーデンにおいては鑄造鋳滓煉瓦造の施設が多く、またそれらの多くが現役施設として活用されていることなどから、保存手法に関するノウハウも蓄積されている。ここでは“Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter”に書かれている内容を中心に、鑄造鋳滓煉瓦の保存手法について紹介するとともに、日本国内における鑄

21) Annmarie Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, p101, 2016

22) ここでは鑄造鋳滓煉瓦と分ける形でこのような名称とした。

造鉍滓煉瓦造施設が抱える事情と併せて考察を加えていきたい。

日本国内における鉍滓煉瓦の製造方法について、山口（2022）による一連の実験では、江戸時代において伝統技法として「摸（か）」という鑄型に融けた原料を流し込む鑄造法とドイツにおけるマンスフェルト製錬所で用いられていたような鉄板格子の鑄型を作り、融けた自溶炉スラグを流し込む鑄造法との折衷した方法²³⁾がなされたのではないかとの推論が述べられている。筆者としては明治初期に生野銀山において外国人技術者として技術指導に当たっていたフランス人技術者フランソワ・コワニエまたは彼に関連した外国人技術者におけるヨーロッパ圏から日本への鑄造鉍滓煉瓦に関する技術導入が図られたのではないかと推察しているが、いずれも推論の域を免れ得ない。

（1）モルタルの補修

スウェーデンでは鑄造鉍滓煉瓦の目地材に石灰モルタルが多く用いられていた。この石灰モルタル劣化時の補修の際、より硬度の高いセメントモルタルが使用されたことで、モルタルに湿気を閉じ込め、鑄造鉍滓煉瓦自身に悪影響を及ぼすことがある²⁴⁾。補修に当たっては同じ石灰モルタルを用いることで、適度な湿度の放出を行い、セメントモルタルのような性質の場合モルタルが劣化しても鑄造鉍滓煉瓦の部分まで接着したまま削れてしまう危険性が指摘されている。スウェーデンでは水硬性石灰モ



図 11 エンゲルスベリ製鉄所の鑄造鉍滓煉瓦目地補修

23) 山口悟「茨城県立日立第一高等学校 化学部 安全な日立製カラミ煉瓦の作製方法の確立」『化学と教育』70 巻 10 号, P479, 2022

24) Anmarie Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, P151, 2016

ルタル（日本においては高炉セメントが代表的な存在として挙げられる・図 11）を目地の補修剤として推奨している。

（2）鑄造鉍滓煉瓦の「腐食」問題

鑄造鉍滓煉瓦には、銅鉍滓・鉄鉍滓ともに微量の鉄分が残存している。これが長年風雨にさらされることによって徐々に酸化が進み、躯体そのものにひび割れが生じることがある。これに対する対処方法は存在せず、この章で多くの知見を引用している“Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter”においてもどうしようもないプロセスである、と記述されている²⁵⁾。同様の避けられない劣化要因として同書では霜害による内部凍結に伴って発生するひび割れについても指摘されている。内部要因に伴う劣化に関しては、製造時にある程度リスクが既に備わっており、根本的な改善に際しては素材の性質そのものを転換させることも検討せねばならず、それは建築素材としての真正性に影響を及ぼすことから、慎重に検討していく必要がある。

このような劣化現象は日本国内における鑄造鉍滓煉瓦施設においても確認されている。代表的な事例としては、新潟県阿賀町の持倉鉍山事務所遺構（図 12）が挙げられよう。この施設も長年風雨にさらされることによって、内部からひび割れが発生しそのことに伴い煉瓦の一部が破砕している部分が存在する（図 13）。これらについては、従来ひび割れのメカニズムが判然としていなかったが、スウェーデンにおける鑄



図 12 持倉鉍山事務所

25) Annamarie Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, p153, 2016



図 13 持倉鉱山遺構における鑄造鋳滓煉瓦劣化事例

造鋳滓煉瓦の劣化要因に関する事例から照合して断面の破裂状況を確認する限り，①セメント目地を用いていることによる目地起因の劣化，及び②鑄造鋳滓煉瓦の残存鉄分の酸化に伴う劣化のふたつの要因が原因として考えられ得る。後者の劣化起因の場合は，出来るだけひび割れの進行を食い止めるほか，解決策が存在しないこととなる。

ただし，①で指摘したように，モルタルの劣化に伴う表面のひび割れについては，当該施設はセメントモルタル目地を使用している可能性が高く，これは劣化要因として十分考えられることから，本研究では水硬性を持つ石灰モルタルを使用した適切なモルタル補修を行うことによって，施設の観光利用に当たっての安全対策として，鑄造鋳滓煉瓦そのものの落下に伴う事故を防止し，煉瓦そのものについてもある程度の延命措置は施せるのではないかと指摘しておきたい。

結語

本研究では，スウェーデンにおける鑄造鋳滓煉瓦造建造物の歴史について概説し，それらのなかで代表例として掲げた鑄造鋳滓煉瓦造施設の現存・活用事例とその保存手法について，主にベリスラーゲン・エコミュージアムに現存する各種の事例を・煉瓦形状になっていない事例（グランガルデ地区の施設）・世界文化遺産に登録された事例（エンゲルスベリ製鉄所）・大規模製鉄所に全面的に採用された事例（アーベスタ製鉄所と周辺施設）・銅鋳滓を用いた鑄造鋳滓煉瓦事例（ファールンの大銅山地域）としてそれぞれ紹介することで，日本国内における鑄造鋳滓煉瓦造施設が抱える保存

に関する諸問題を解決するための糸口として比較考察を行ってみた。鑄造鋳煉瓦は、スウェーデンの金属製錬の歴史を代表する素材のひとつとして、一定の評価がなされ、銅鋳滓を用いた鑄造鋳煉瓦では世界文化遺産「ファールンの大銅山」構成資産内の一部施設に、また、同じく世界文化遺産に登録されているエンゲルスベリ製鉄所の構成資産にも鉄鋳滓煉瓦を用いた鑄造鋳煉瓦の施設が含まれている。

日本国内においては新潟県の持倉鋳山遺跡において事務所及び製錬所遺構をはじめとした周辺域の鑄造鋳煉瓦造建造物群が産業遺産学会の推薦産業遺産第123号に認定されており、また岡山県の犬島製錬所美術館はやはり銅鋳滓を用いた鑄造鋳煉瓦施設が経済産業省近代化産業遺産におけるストーリーを示す代表的事例として認定されているものの、明確な鑄造鋳煉瓦に対する評価指針や保存の方向性については、未だ手探りの状況から抜け出していない。

鑄造鋳煉瓦は、赤煉瓦や耐火煉瓦に比べ非常に知名度が低いことから、他の焼成煉瓦素材などと混同しやすく、また水硬鋳滓煉瓦のように素材は同じものを使用しながらもその性質が全く異なるものも存在することによって、保存の第一段階におけるその素材の特性について誤解を招きやすい状況にある。このように保存の方策が明確に見えない限り、文化財保護法による文化財あるいは史跡の指定に結びつきづらい状況にある。

鑄造鋳煉瓦そのものは、金属製錬における技術革新に伴い、日本国内が自熔炉を中心とする製錬手法が主流となった結果、すでにその素材としての製錬方法が大きく変化し、鑄造鋳煉瓦として製造することに適したスラグが発生しにくくなった。この現状から「再現することが不可能」という条件の下、それぞれの遺構が製造100年近くを迎えつつある現状から国登録有形文化財の条件を既に達成している。本研究は事例研究と保存方法を紹介することを通じ、それら遺構の持つ価値を一般市民の理解の及びやすい文化財へと導き出すきっかけとなれればと願っている。

【謝辞】 本稿は、熊本学園大学海外事情研究所学術研究助成「2025年度海外調査研究費」からの助成を受けた成果の一部である。また、世界文化遺産・ファールンの大銅山やベリスラーゲン・エコミュージアムの調査の一部（2017年実施）については、科学研究費助成金（17H04728）「喪失技術としての鉄鋳滓煉瓦の官営製鐵所導入と盛衰及び持続的影響に関する研究」の助成を受けた。

参 考 文 献

- 大原一興『エコミュージアムへの旅』鹿島出版会、1999
- Fritz Keil (著)、沼田晉一 (訳)『高炉スラグ』(セメントジャーナル社、2001 (原著 1963 刊))
- 中村正和「コークス技術の系統化調査」『技術の系統化調査報告共同研究編 Vol.9』2016
- 柴田悦郎、中村崇「銅製錬におけるスラグ/マット分離の状況と課題」一般社団法人 資源・素材学会『Journal of MMIJ』第 129 巻 5 号、2013
- Annmarie Gunnarsson (text), Peter Nyblom (Photo), Slaggsten och slagghus - unika kulturskatter, Balkong, 2016
- EKOMUSEUM BERGSLAGEN「MAGASINET」Vol.4, 2017 7 ページ
- 小田辰兵衛『持倉鉍山』自家版、2017
- 領塚正浩「関東酸曹(株)が製造した鍍煉瓦とその現況」『北区飛鳥山博物館研究報告』第 20 号、2018
- 市原猛志「からみ煉瓦から鉄鉍滓煉瓦へー煉瓦様素材の比較による鉄鉍滓煉瓦技術に関する研究ー」産業考古学会『産業考古学』第 155 号、2018
- 小野崎敏「鍍と鍍のレンガ: 熔融金属製錬における鍍・鉍滓の発生とそのスラグ類の活用について」『鉍山研究』95 号、2020
- 小西伸彦「からみの再利用例など」自家版『焼かないれんがたちから見る「材料史学」の可能性 鉍滓煉瓦研究報告シンポジウム』、2021
- 下道基行『瀬戸内「鍍造景」資料館』2021 年 8 月 14 日～9 月 12 日、直島・宮浦ギャラリー六区
- 山口悟「茨城県立日立第一高等学校 化学部 安全な日立製カラミ煉瓦の作製方法の確立」『化学と教育』70 巻 10 号、2022
- 四ツ目圭吾『鍍考 -From Ogoya-』自家版、2022
- 市原猛志「日本における鉍滓煉瓦の導入とその盛衰に関する技術史的研究: 時代を作った近代新建材の代表例として」『耐火物』76 巻 5 号、2024
- 市原猛志「持倉鉍山のからみ煉瓦造施設」中部産業遺産研究会『産業遺産研究』第 31 号、2024

Slag stones in Sweden, World Heritage sites of Slag stone construction

Takeshi ICHIHARA

Summary

Slag stones are a recycled material made by casting metallurgical slag, which is mainly generated during metal smelting. Since production began in Europe in the 16th century, various types of slag stones were produced at steel mills and copper smelters around the world until the advent of slag with high lime content made from coke. Production continued using copper and iron slag until the 1950s. This study provides an overview of the history of Slag stones, and describes the Slag stones in the Grangårdet area and the bruk (mining settlement) of the Engelsberg Ironworks, a World Heritage Site, from among the various cast slag brick buildings at the Bergslagen Ecomuseum in southern Sweden, a representative Slag stones building. By comparing this with Slag stone buildings in Japan, the study hopes to contribute to consideration of methods for preserving cast slag brick facilities, which are currently a problem in some areas.

