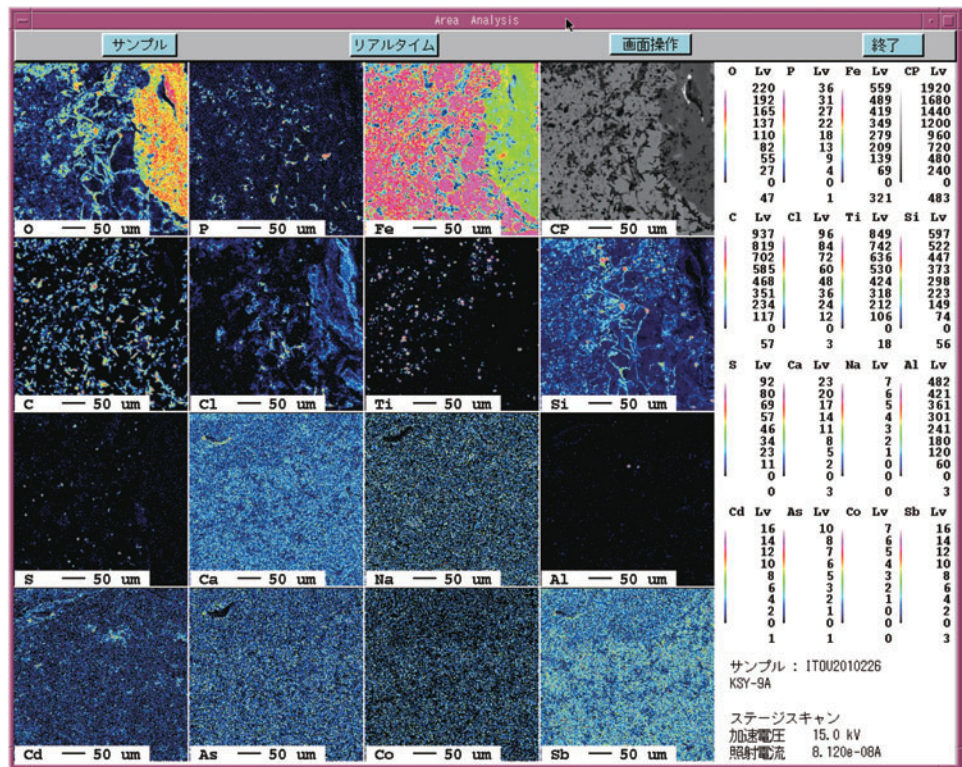


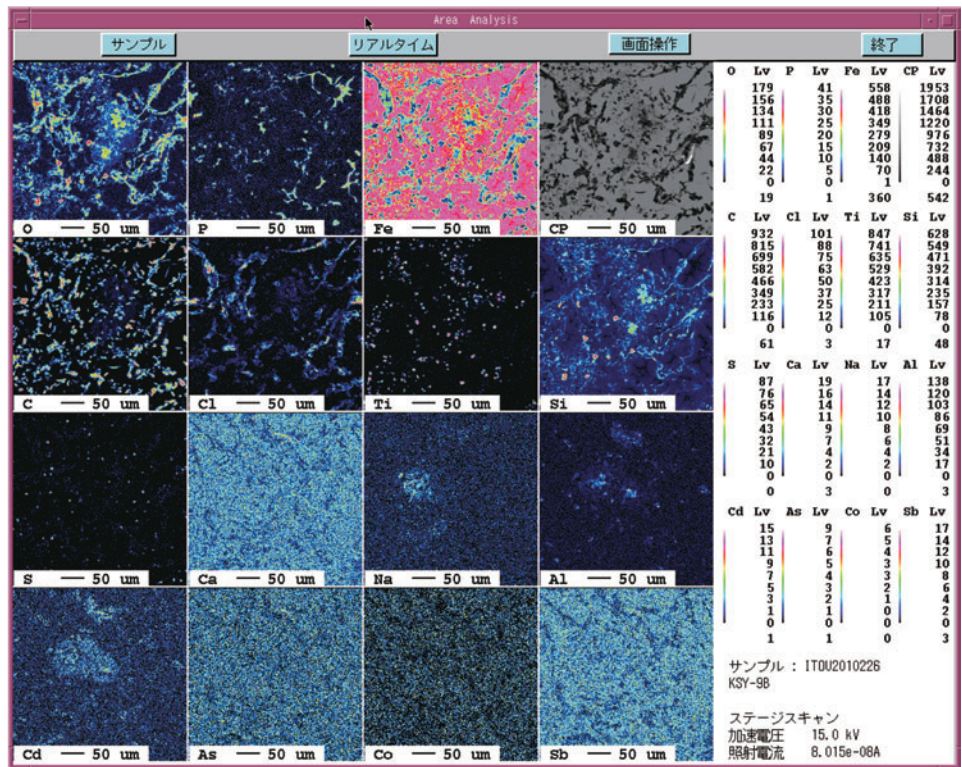
* KSY-9 (鉄塊・鉄滓)

EPMA 像では全体的に鉄金属相を観察している。

(a) では一部錆化相を見ているが、(b) では健全な Fe 相である。健全な Fe 相をみると、炭素が無数に析出しているのが観察され、Fe 相は鑄鉄であることが推察できる。炭素の周辺には O の存在がみられ、また、そのそばには P の存在が確認できる。



a

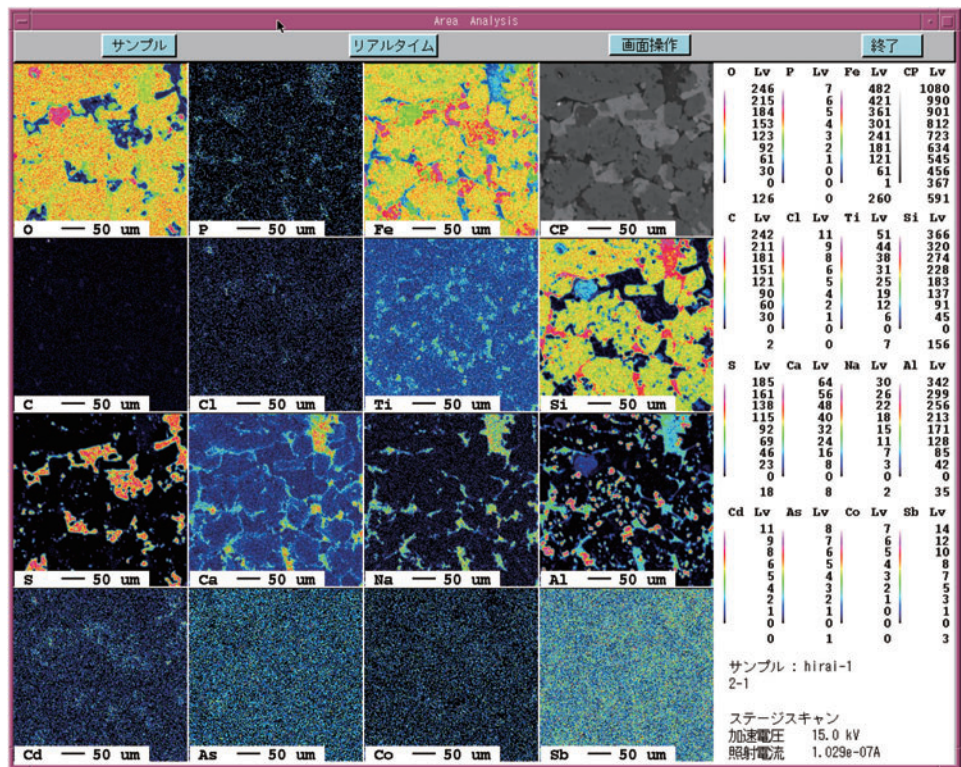


b

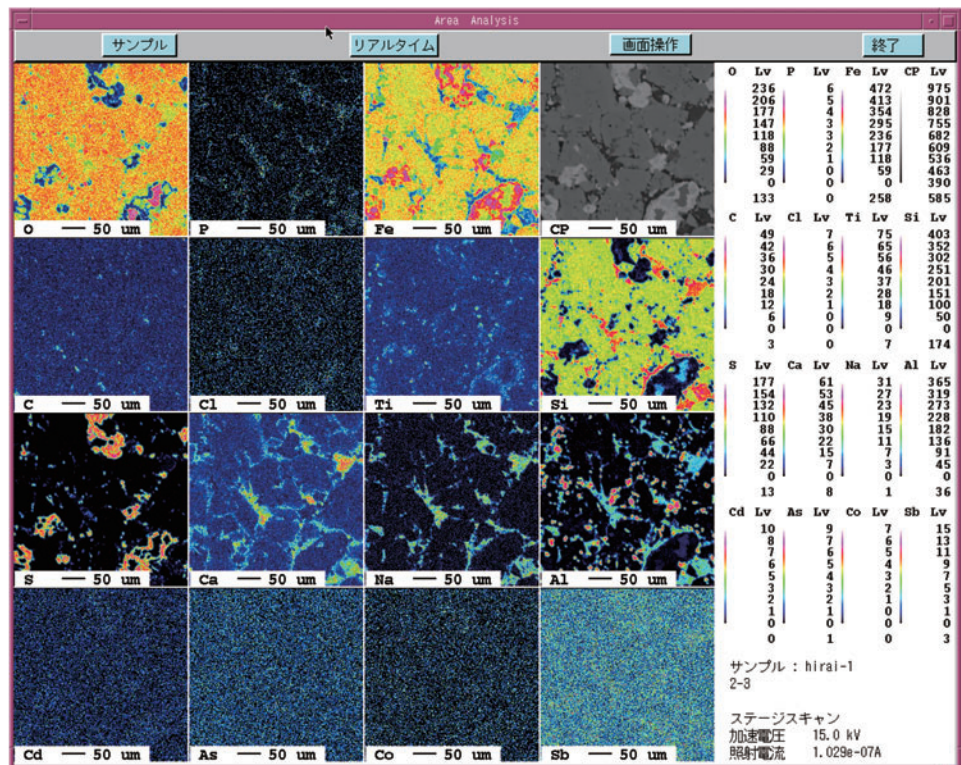
図 28 KSY-9 の EPMA 解析像 (a, b)

* KSY - 10 (鉄滓)

EPMA 像 (a) と (b) とはほとんど類似している。全体は Si - Fe - O からなる Fe_2SiO_4 (ファイヤライト) とその中に SiO_2 , NaO, Al_2O_3 , CaO とからなるガラス質のスラグやわずかな還元途中の FeO や原料鉄鉱石由来と思われる FeS の存在が確認でき、製錬工程でできた製錬滓であることが示唆される。



a

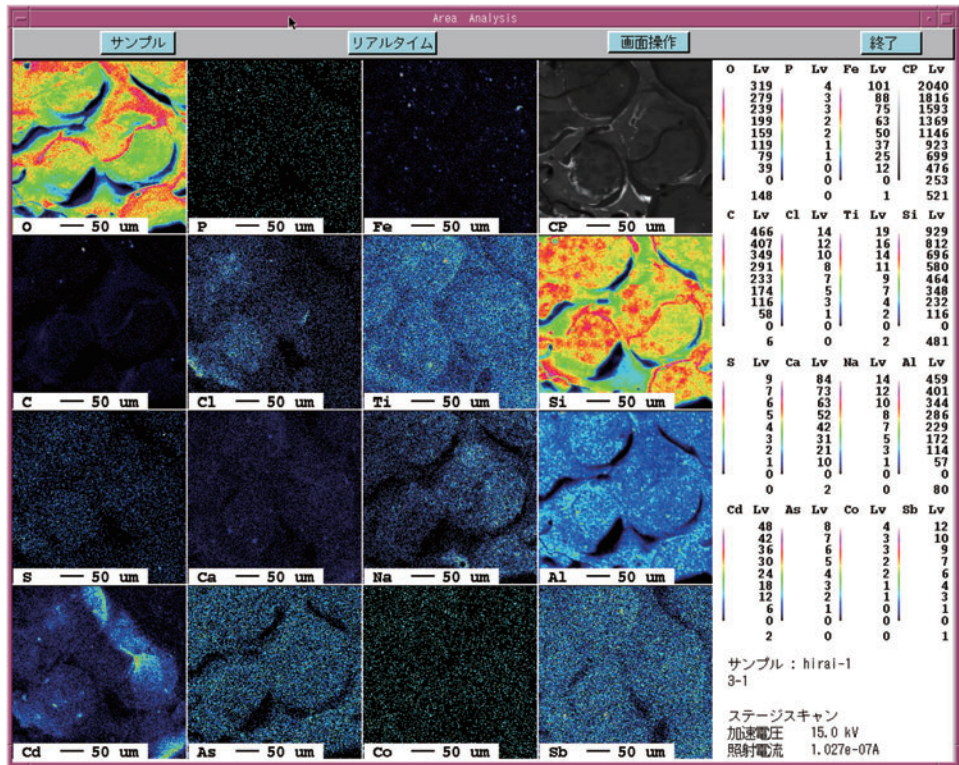


b

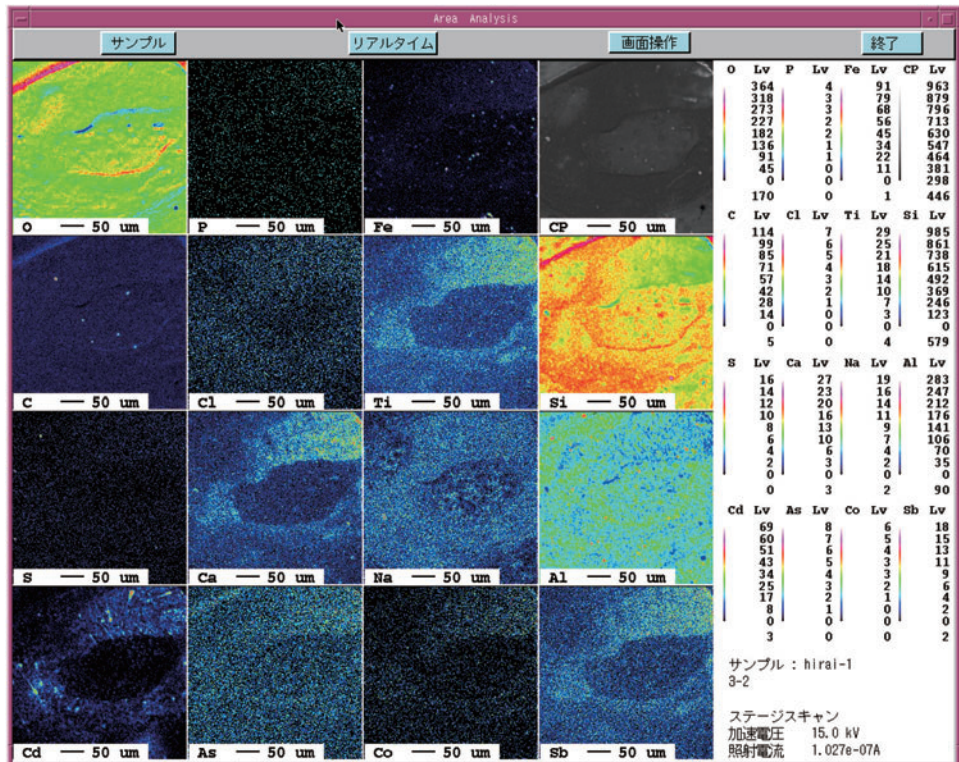
図 29 KSY-10 の EPMA 解析像 (a, b)

* KSY - 11 (羽口)

SiO₂ のガラス質の箇所と SiO₂ に Al₂O₃ が混在している箇所からなり、羽口の粘土部成分が溶解して固まったものと思われる。Fe の存在はほとんど確認できなかった。



a



b

図 30 KSY-11 の EPMA 解析像 (a, b)

5. 終わりに

光学顕微鏡観察及びEPMAによる元素分布により、それぞれの遺物は以下のようにまとめることができる。

KSY－1（鉄塊）：錆化した鑄鉄で、Pの存在によりその鉄原料は鉄鉱石である。

KSY－2（鉄板）：鉄板は錆化しているが、この箇所に溶けた鉄が黒鉛も包含し、付着している。

KSY－3（鉄塊）：ガラス質のスラグを包含した鉄であり、錆化している。一部であるが取り込まれた黒鉛が析出している。

KSY－4（鉄塊）：錆化した鉄であるが、周辺には多くの黒鉛が包含されている。

KSY－5（鉄塊）：錆化した鉄相中にガラス質のスラグが介在物として混入している。

KSY－6（鉄塊）：錆化した箇所と健全な箇所の鉄相から成り立っている。錆化箇所の一部には黒鉛の取り込みがみられるとともに、層状に錆化しているのも見える。

KSY－7（鉄板）：錆化した鑄鉄製の鉄板である。

KSY－8（鉄塊）：角が取れていないスラグや黒鉛を包含した錆化した鉄である。

KSY－9（鉄塊・鉄滓）：鉄塊部分は鑄鉄であり、一部錆化している箇所もある。

KSY－10（鉄滓）：鉄鉱石を原料として製錬し、流出してきた製錬滓である。

KSY－11（羽口）：羽口部の粘土が溶解したものである。

KSY－12（羽口）：トラブルにより分析不可となり、考察できなかった。

以上のことから、分析した遺物資料は、一つには鉄鉱石を原料として製錬して出てくる生成物と、一つには鑄鉄製の材料あるいは器具の一部にスラグが付着したものに分けられる。すなわち、製錬に関する炉は熔鉱炉になるので、この地で熔鉱がなされた証となる。

（東京都市大学）

6-2 青銅試料の分析

深川和良

発掘調査にて出土した金属塊に対し成分分析をおこなった。今回は破壊を伴う分析用の試料作成はおこなえないため、比較的大型試料も扱える X 線分析顕微鏡 (XGT-5000: 堀場製作所) を用いた。金属塊および分析結果を図に示す。分析結果より、主たる成分として Cu と Sn の他、不純物に加え Pb と As も検出されていることから、青銅塊であり、青銅砲の材料と予想できる。

幕末において、銅は輸出や青銅砲の生産により銅地金が不足し、薩摩藩では寺の鐘や火鉢などを再溶解して大砲を造ったと記されている¹⁾。原材料となったこれらの青銅製品はヒ素や鉛を大量に含んだものである。両者の成分とも銅の熔融温度を下げる効果があり、鑄込み時の湯流れの改善を目的としているが、これが大砲の材料としては不適切であった。通常、銅と鉛は合金化することはほとんどなく、靱性の低下をまねく。結果として、大砲としての強度は優れたものではなく、性能は西洋のそれと比べ劣るものとなった。これに青銅砲の製造コストも懸念されていた背景も加わり、鉄製砲の要求が高まったことが洋式高炉建設を含めた近代製鉄法導入を試みた理由の一つとなる。しかしながら、工業的に成功せず、薩英戦争後は反射炉を撤去し、溶解炉により青銅砲の製造が再び続けられている。大橋の著書によれば、少なくとも薩摩藩の製砲事業により少なくとも六百門近い青銅砲が作られたと思われる²⁾。

今回の分析は、当時の背景から予想すれば、Pb や As などの比率が小さかった。分析対象を非破壊で扱う必要があるため詳細な分析ができなかったが、薩摩藩における当時の青銅砲に対する科学的分析事例がないことから、今後の詳細な分析は諸説の裏付けを導くであろう。



図1 金属塊

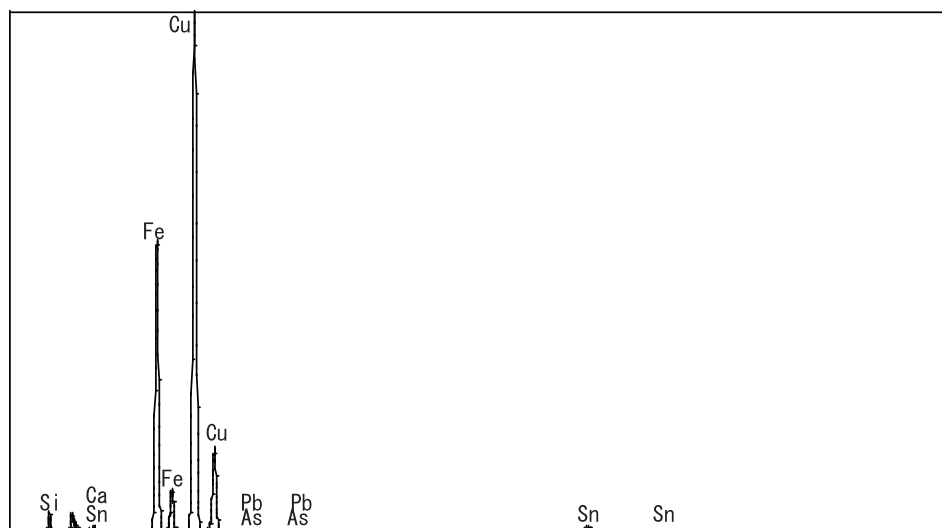


図2 分析結果

参考文献

- 1) 中野俊雄、鑄造工学、72(2)、2000、pp.117-122
- 2) 大橋周治、幕末明治製鉄史、アグネ、1975、pp.59-78

6-3 出土耐火レンガの試験結果

1. 経緯

供試れんがは、幕末に鹿児島集成館で作られた熔鋇炉跡の発掘調査で出土した耐火れんがである。発掘調査は平成15年3月21日～23日にかけて実施された。その際出土したものについて評価試験を行った結果を以下に述べる。

2. 供試試料

集成館・洋式熔鋇炉跡推定地から発掘された試料から採取した。

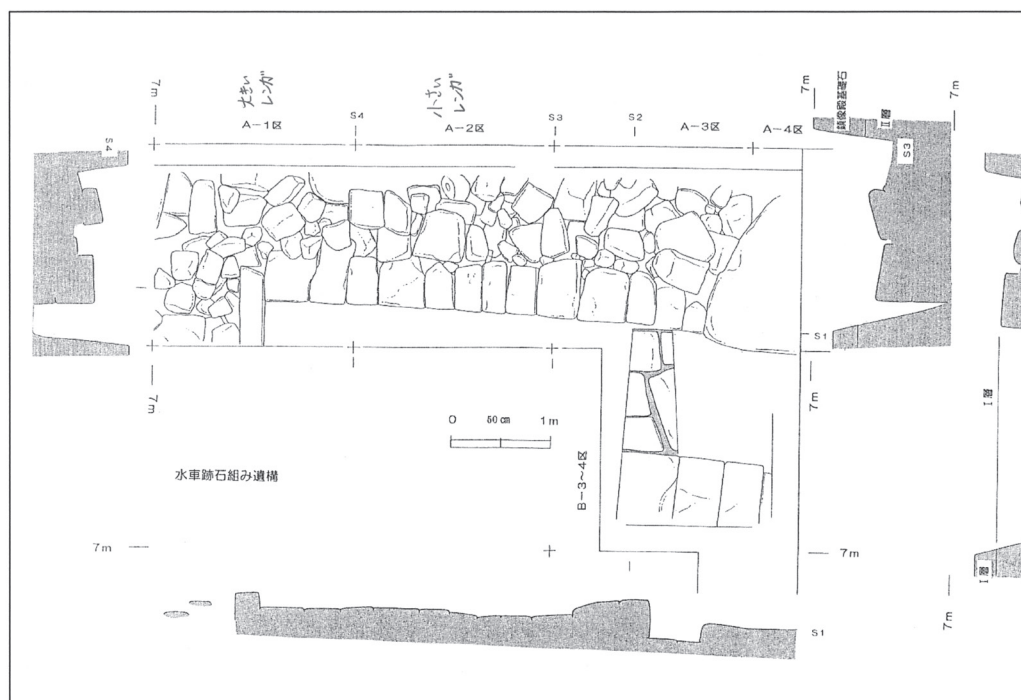
- 1) 試料 No. 1 A-1 II外下層
- 2) 試料 No. 2 A-2 II層

3. 試験結果

- 1) 供試れんがは、 Al_2O_3 値が 28.32% クラスのれんがである。
- 2) 構成鉱物は、No. 1 (A-1 II外下層) 試料には、カオリナイトが多く含まれ、アナターゼ等、生に近い原料で構成されたものである。No. 2 (A-2 II層) 試料は石英及びムライト、クリストバライト、と非晶質が含まれた構成となったもので、特に組織は緻密に焼結していて高温焼成又は、高熱にさらされる部位に使用されていた可能性がうかがえる。
- 3) 試料には、丸い貫通穴、V字型の貫通溝のようなものがあり、反射炉に使用されていたれんがと類似した加工が施されている。
- 4) 測定結果より、No. 1 (A-1 II外下層) 試料は焼成(加熱)されたものではなく、成形したものを日干ししたもの、No. 2 (A-2 II層) 試料の焼成(加熱)温度は1200°C位と考えられる。

以上

(本試験は、寄田栄一氏に依頼して実施した。)



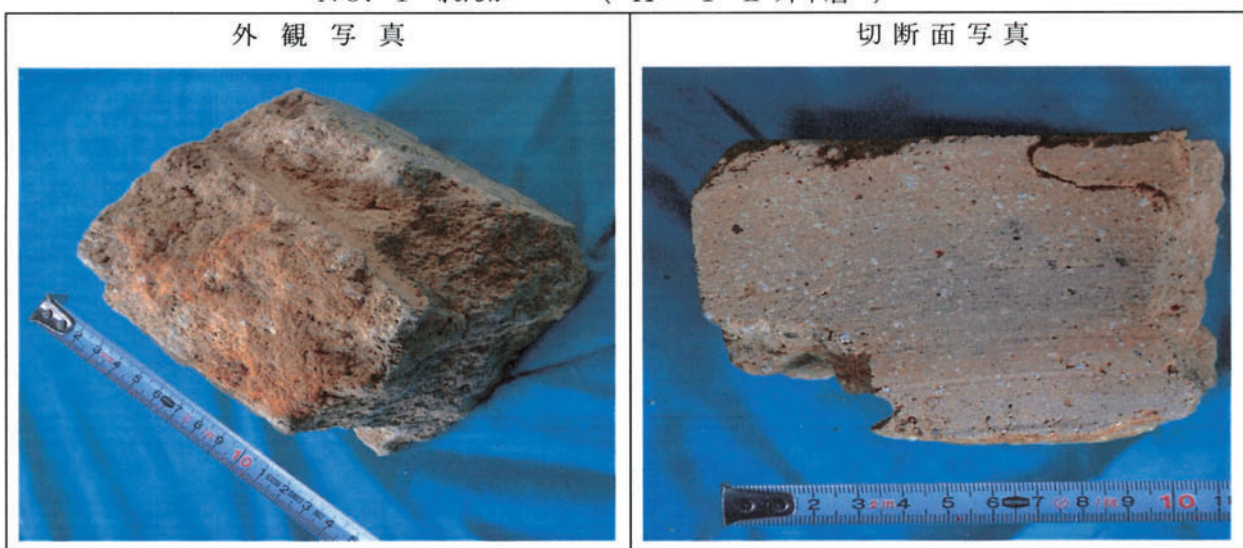
1. 試験項目

- 1) 外観観察 (外観及び切断面写真)
- 2) 化学組成 (JIS R 2216)
- 3) 鉱物組成 (エックス線回析)
- 4) 吸水率, 見掛気孔率, 嵩比重及び見掛比重 (JIS R2205)
- 5) 溶倒温度 (ゼーゲルコーン)
- 6) 残存線変化率 (1200°C, 1300°C)
- 7) 熱膨張率 (1400°C)
- 8) 顕微鏡観察
- 9) 圧縮強度

2. 試験結果

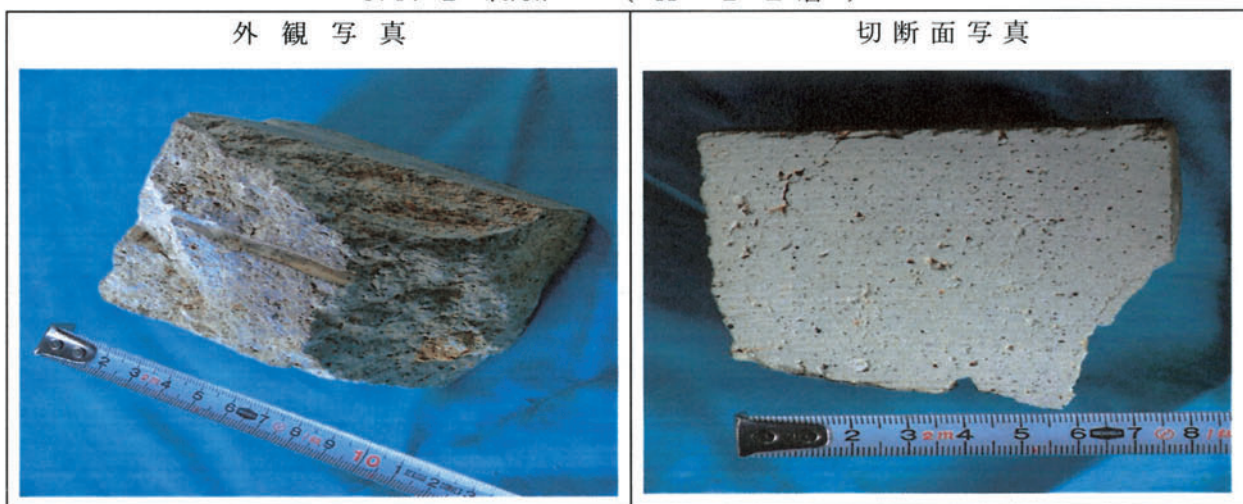
- 1) 供試れんがの外観及び切断面写真

No. 1 れんが (A - 1 II 外下層)



- ・全体的に茶褐色を呈しているが、試料は二層 (茶褐色部、薄い茶褐色部) に分かれており、薄い茶褐色部には丸い孔があったと思われる跡が二箇所ある。又、変色した方向には若干の熱が加わっていたものと推察される。

No. 2 れんが (A - 2 II 層)



- ・全体的に緻密で白色を呈し、試料の側面に V 字型の溝がある特殊な形状であるが、変色した部分は見られない。

2) 品質試験

れんが名		No.1れんが A-1 II 外下層	No.2れんが A-2 II 層
化学組成 (%)	SiO ₂	51.08	65.46
	Al ₂ O ₃	31.64	28.85
	Fe ₂ O ₃	2.02	0.67
	TiO ₂	1.24	0.84
	CaO	1.27	0.19
	MgO	0.39	0.13
	Na ₂ O	0.83	0.48
	K ₂ O	0.52	2.21
	I g. L	9.99	0.46
鉱物組成 ※1	主体鉱物	Kaolinite	Quartz
	随伴鉱物	Quartz Cristobalite (Ca _{0.5} Mg _{0.45} Fe _{0.48})SiO ₃ Anatase (Na,Ca)(Al,Si) ₄ O ₈	Mullite Cristobalite 非晶質
一般物性	吸水率 (%)	21.5	15.6
	見掛気孔率 (%)	35.5	29.0
	嵩比重	1.66	1.86
	見掛比重	2.56	2.63
溶倒温度 (SK) ※2		28	30
残存線変化率 (2hrskeep)	1200°C	-5.06	-0.12
	1300°C	-6.84	-1.02
熱膨張率 (%)	1000°C	-2.05	0.38
	1400°C	-7.29	-0.52
圧縮強度 (MPa)		2.5	27.9

※1 Anatase : TiO₂

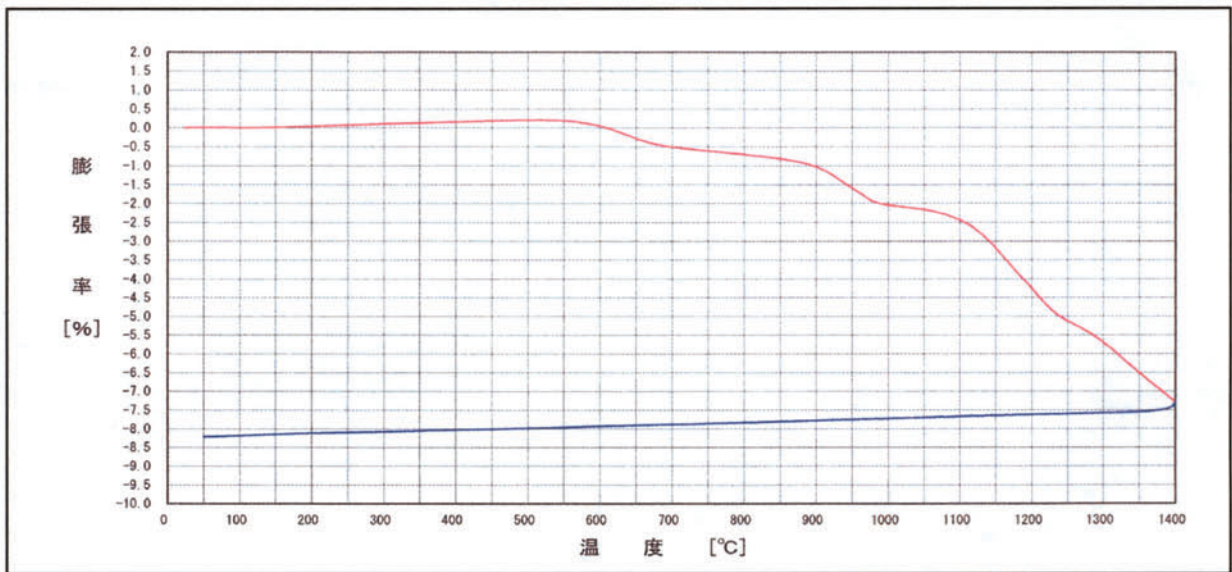
SK 番号	SK 28	SK 29	SK 30
※2 溶倒温度 (°C)	1630	1650	1670

(所見)

- 1) 供試れんがは、Al₂O₃ 値が 28.32%クラスのれんがである。
- 2) 構成鉱物は、No.1 (A-1 II 外下層) 試料には、カオリナイトが多く含まれ、アナターゼ等、生に近い原料で構成されたものである、No.2 (A-2 II 層) 試料は石英及びムライト、クリストバライト、と非晶質が含まれた構成となったもので、特に組織は緻密に焼結して高温焼成又は、高熱にさらされる部位に使用されていた可能性がうかがえる。
- 3) 測定結果より、No.1 (A-1 II 外下層) 試料は焼成 (加熱) されたものではなく、成形したものを日干ししたもの、No.2 (A-2 II 層) 試料の焼成 (加熱) 温度は 1200°C位と考えられる。

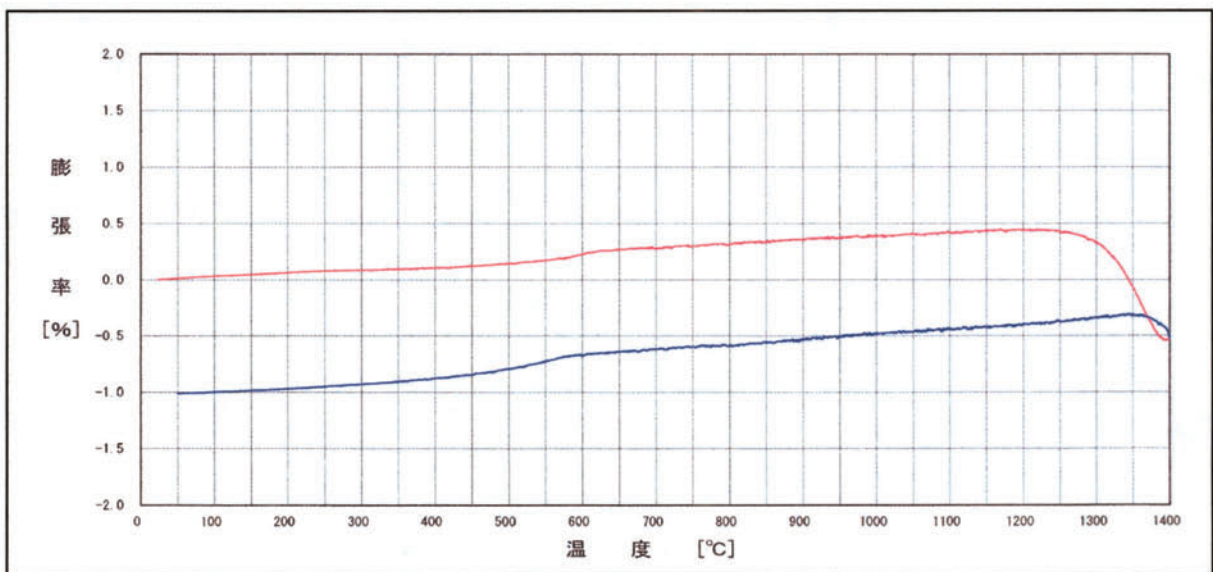
3) 熱膨張曲線

① No.1 れんが



- 100°C付近に若干の収縮と、500°C以上の温度域での大きな収縮が見られることから、焼成れんがではなく、日干しれんがのようなものと推察される。

② No.2 れんが

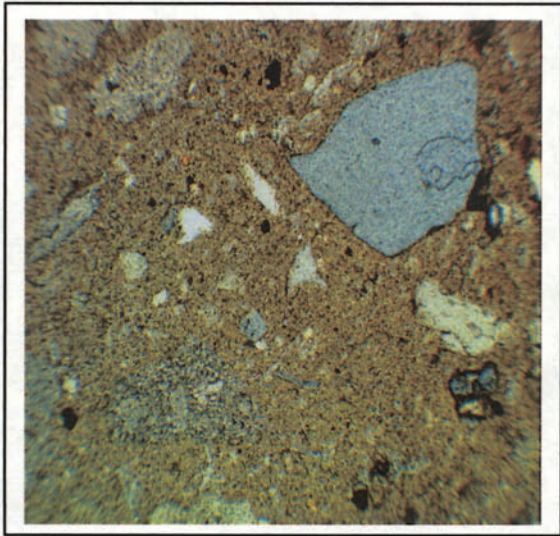


- 500～600°C付近に α -Quartz $\rightleftharpoons\beta$ Quartzの転移に伴う変化が見られ、1200°C以上の温度域では収縮していることから、焼成（加熱）温度は1200°C位と考えられる。

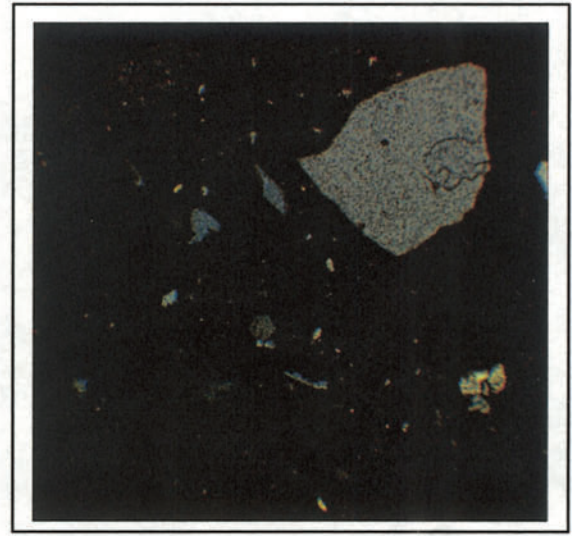
4) 顕微鏡観察結果

No.1 れんが

オープンニコル ×40



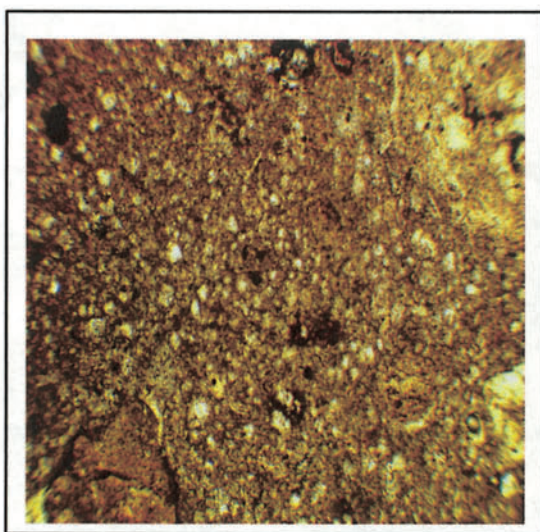
クロスニコル ×40



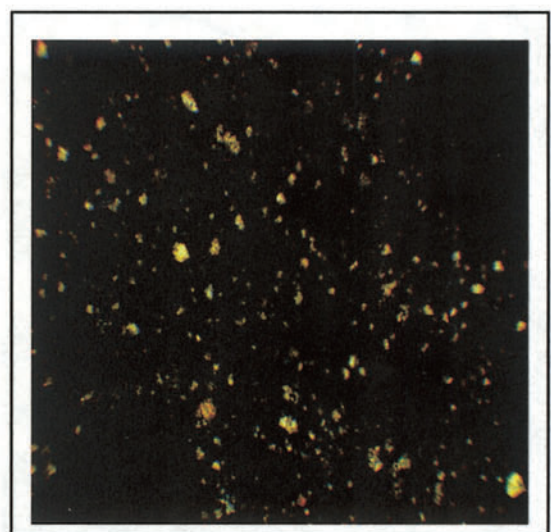
- ・粘土を固めたようなもので、石英のやや大きな結晶と小さな結晶が見られる

No.2 れんが

オープンニコル ×40



クロスニコル ×40



- ・砂状の細かい粒とやや大きな粗粒で構成され、石英結晶は小さな結晶として見られる。

第4章 考 察

4-1 ヨーロッパの製鉄史におけるヒュゲーニン著『ロイク王立鉄製大砲鑄造所における鑄造法』の 熔鋳炉

1. はじめに

1854（安政元）年に完成したといわれる集成館熔鋳炉（洋式高炉）の構築は、斉彬が佐賀藩主鍋島直正から贈与された『西洋鐵煇鑄造篇』（手塚謙蔵訳）を基に行われたと考えられる¹⁾。この訳書は、ヒュゲーニン（Ulrich Huguenin）著『ロイク王立鉄製大砲鑄造所における鑄造法（Het Gietwezen in 'sRijks Ijzer-Geschutgieterij te Luik）』（1826年）（以下、『大砲鑄造法』と記す。）を原著としている。

この小論では、原著にある熔鋳炉の製鉄技術史における位置を少しく考察したい。熔鋳炉による製鉄法の歩みと原著が書かれた現在のベルギー・リエージュ周辺地域の製鉄業の当時の状況などとの関わりで『大砲鑄造法』の熔鋳炉の位置を検討する。

2. 熔鋳炉の歩み²⁾

熔鋳炉による製鉄法は、大よそ15世紀にドイツのライン河中流域のジエゲルランドで発したとされている。そして、ワロン人の地方、ベルギーのリエージュで発展し、一方では西のルクセンブルグ、ロレーヌ、シャンパーニュなどのフランスの諸地方で発展した。他方では、さらに西に進み、英仏海峡のダンケルクに達して海を渡り、イングランドに達し、サセックス州ウィールドの森に定着した。1500年前後には、これらの地方ですでに従来の規模と異なる新時代の製鉄所が成立するに及んだ。さらに、もう一つの流れは北欧に向かい、特異で重要な製鉄業を発展させた。

これらの製鉄所は、水車のまわる谷川に、冶金場の建物、水車、ふいご、碎鋳場を有し、熔鋳炉を軸にして精錬場とハンマー場を連結した大規模な製造場として出現した。それまでの製鉄法では半熔鉄ができていたが、熔鋳炉による製鉄法では水車による強力な動力で恒常的な送風が得られ、木炭の燃焼が加速され、炉内に高い温度が発生し、鉄が「湯」になった。鉄鋳石から還元された鉄が高温に晒され、木炭中の炭素を盛んに吸収して、鉄の熔融点を下げ、熔融状態になる。熔けた鉄の出現である。この鉄が銑鉄であり、鑄造に使われるものを鑄鉄と呼ぶ鉄である。

しかし、この鉄は当初可鍛性のない銑鉄のため、「使いものにならぬ鉄」として始末に窮したが、やがてこれが青銅や銅のように鑄造できることが発見された。「鉄の鑄造」が形成され、こうした鉄を安定的に製造できるよう炉形の根本的变化が進行した。すなわち、風を炉内に送り込む下部の羽口（送風口）の前で十分に熱がこもるように、下部（炉床）の直径を小さくする。また、木炭が燃焼して発生するガス量が膨大になるため、炉の上部から装入され降下する鉄鋳石や木炭にガスの顕熱を有効に与えるため、羽口から炉頂までを長くして、シャフトの部分が形成された。これにより、一酸化炭素が鉄鋳石を有効に還元できることになった。この炉を、ドイツ語でホッホ・オーフェン（高い炉）、英語でブラスト・ファーネス（衝風の炉）と呼ぶ。熔鋳炉（高炉）の誕生である。

しかし、熔鋳炉でつくられる銑鉄は鑄造できるが、鍛造できない。可鍛性の鉄（鍛造ができる鉄）は炭素の少ない鉄であるので、銑鉄中の炭素を除去する必要がある。経験的に銑鉄と木炭を一緒にして、羽口から風を送って木炭を燃やし、銑鉄を熔し、さらに過剰な酸素を送り、銑鉄を脱炭する技術が生まれた。精錬炉の誕生である。

これらの技術により、まず熔鋳炉で銑鉄をつくり、これを精錬炉で可鍛鉄に変える方法が確立した。間接製鉄法という新しい製鉄体系が出現し、従来の直接製鉄法よりはるかに大量迅速に可鍛鉄を製造できるよう

になった。

こうした製鉄法の流れを念頭に置いて、木炭熔鋳炉に注目し、『大砲鑄造法』の熔鋳炉図を検討する。

3. 木炭熔鋳炉（高炉）

15世紀以来、熔鋳炉の操業は木炭を使って永く行われた。後述するように、イギリスにおける深刻な木炭危機が木炭から石炭への転換を余儀なくしたが、多くの地域では相当期間木炭による製鉄が行われた。その木炭熔鋳炉の流れと特徴をみることにしたい。

なお、参考までに今日の熔鋳炉には図4-1で示す各部の名称が付けられている。

16世紀の熔鋳炉の多くは、二つの開口部を異なる側面に持つ。一つは羽口用、他の一つは出鉄用である。羽口への送風は、水車により2機の鞴（ファイゴ）を交互に圧して行われる。水車は大きく、狭く、普通上掛けであった。重要なことは継続性であり、熔鋳炉の安定な操業の条件である。図4-2には当時の深い朝顔型の熔鋳炉を、図4-3には浅い朝顔型の熔鋳炉を示す³⁾。

なお、ベルギーのリエージュにある「鉄と木炭の博物館」には、17世紀の木炭高炉が保存され、展示されている。筆者らは2003年11月に当博物館を訪れて、木炭高炉を見学した。構造と配置は、ほぼ図4-2に示されたものであり、写真4-1～写真4-5にその炉を示す。屋外に水車が置かれ、その回転軸が屋内に水平に通されて2基のファイゴを駆動する。ファイゴは革製で、かなり破れていたが、

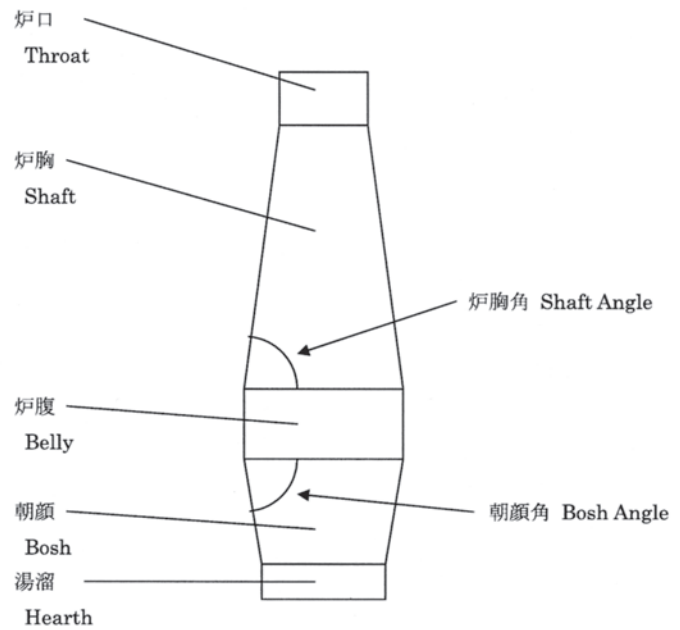


図 4-1 熔鋳炉の各部の名称

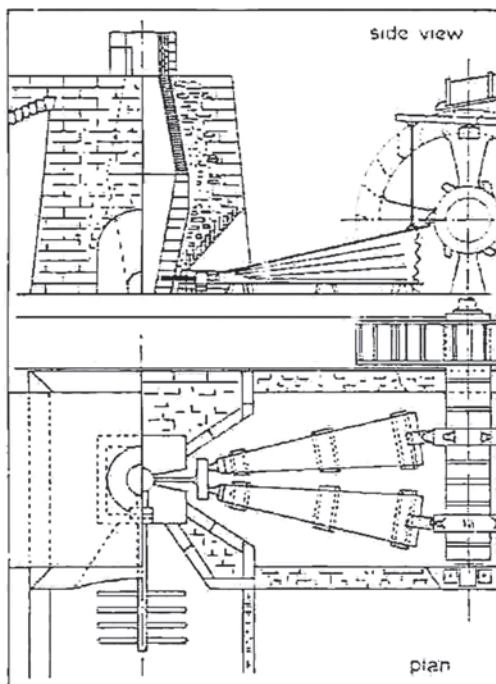


図 4-2 16 世紀熔鋳炉

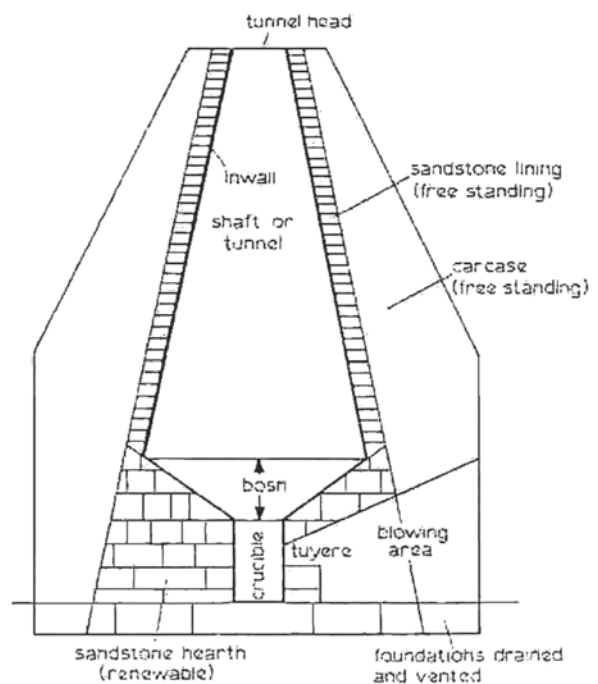


図 4-3 16 世紀熔鋳炉

構造ははっきりとわかった。

階段で2階に上がると、炉頂部に行くことができた。炉頂は四角をなし、4隅に柱があり、それら柱の間から鉄鉱石や木炭などを操入したとみられる。そこから、炉内をのぞき見ると、シャフト部は耐火モルタルのようなものが塗りつけられており、炉底部に繋がっていた。湯溜は明確には判別できなかった。炉頂部の床面の隅に鉄鉱石や木炭、石灰石などが当時のままに秤量器などの用具とともに置かれていた。



写真 4-5 炉内の様子

表4-1は16世紀から18世紀にかけての木炭高炉の形状を示すデータである。この2世紀間に炉の大きさが増加したことを示している。すなわち、炉高が6 m程度から13m余りまで。一方、炉高／朝顔径（H／B）についてはばらつきはあるが、ほぼ3.7とみられる。これらの関係は図4-4で示される³⁾。

木炭は炉内で13.5m程度の高さに積み重ねても耐えうる強度を持っているため、当時の熔鉱炉の高さの限界を規定



写真 4-3 出銑口側開口部



写真 4-4 炉 頂 部



写真 4-1 羽口（手前 フイゴの出口）



写真 4-2 フイゴ（窓の外に水車）

リエージュ「鉄と木炭の博物館」の17世紀熔鉱炉

所在地	年代	炉高 m	朝顔径 m	朝顔角 °	炉高/朝顔径
Cannock	1561			78	
Coed Ithel	1651	6.1	2.2	77	2.9
Shapley	1652	7.6	1.8	80	4.2
Lamberhurst	1695	7.2	1.6	75	4.5
Dovey	1735	10.4	2.8	60	3.7
Bonawe	1752	9.2	2.44		3.7
Cawthorne	1761	7.6	2.1	80	3.6
Osek	1750-1800	7.2	1.9	62	3.8
Larvik	1767	7.3	1.8	60	4.0
Vordernberg	1770	5.5	1.5	81	3.6
Le Creusot	1777	10.7	2.9	72	3.7
Komarov	1780	9.0	2.1	64	4.3
Adamov	1793	8.5	2.3	61	3.7
Nevyansk	1794	13.5	3.7	53	3.7

表 4-1 16 - 18 世紀熔鉱炉の形状データ

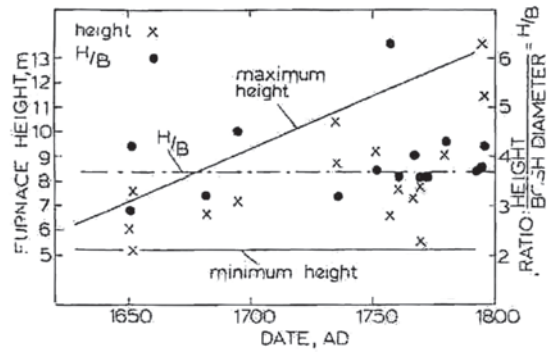


図 4-4 木炭熔鉱炉の進展

したのは主に送風圧力であったと考えられている。このため、前述のH/B比がほぼ3.7を示している。なお、炉高はかなりのばらつきを示している。地域の事情により、炉形を変えず永く同様の形状を保ったところもある³⁾。

一方、朝顔角については、大きな変化を示した時期が認められる。図4-5は17世紀半ばから19世紀末までの熔鉱炉の朝顔角の変化を示している³⁾。これには木炭熔鉱炉とコークス熔鉱炉が含まれているが、木炭熔鉱炉について述べる。朝顔角が18世紀半ばから、それまでの約75°だったものから50°~60°の浅い朝顔角の高

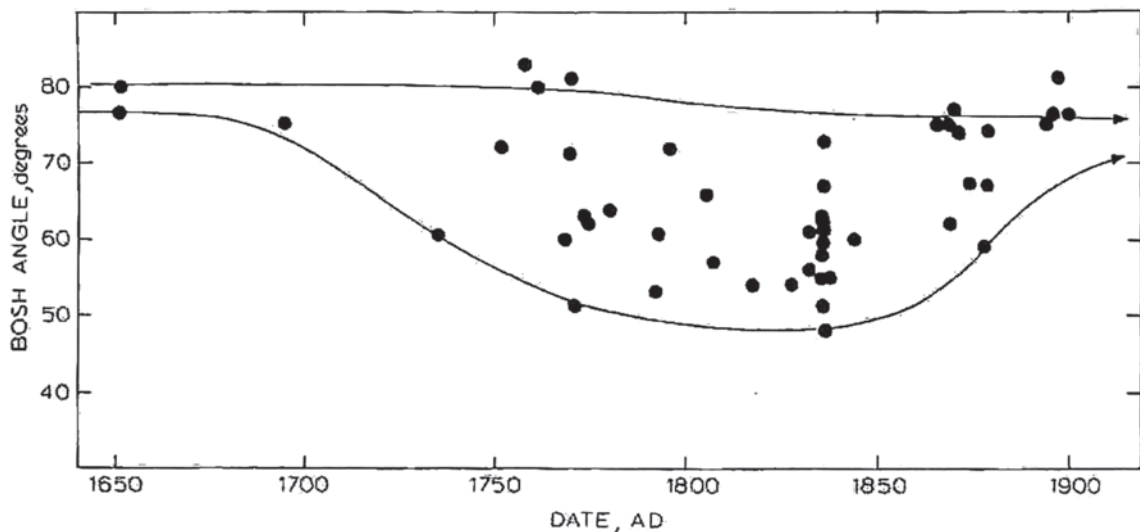


図 4-5 朝顔角の変化

炉が増加している。この変化の主因は炉容積の拡大の試みのためと見られているが、その一方で経済的な理由から炉高と湯溜り径は維持されていた（18世紀中は）。

ところで、木炭熔鉱炉などの操業が増加すると、木炭の消費量が増大し、その源である森林資源の枯渇が進行した。とくに、先進地イギリスでは深刻化して、製鉄業が沈滞することになった。このため、熔鉱炉に木炭の代わりに石炭（コークス）を使用する技術が求められ、イギリスで最初に開発された。1709年エブラハム・ダービー1世がコークス熔鉱炉を初めて成功した。その後、コークス熔鉱炉はイギリス各地のみならず、次第にヨーロッパ各地に伝わった。表4-2に各地域でその使用が始まった年代を示す。ヨーロッパでは18世紀後半から19世紀前半にかけてこの転換が行われた。

4. ベルギーの製鉄業について

ヨーロッパの製鉄史に関する文献はイギリスを中心に書かれているものが多い。本論で注目するベルギーに関する文献は少ないが、バックの『鉄の歴史』には具体的な記述がみられる⁵⁾。それを基に、当時のベルギー

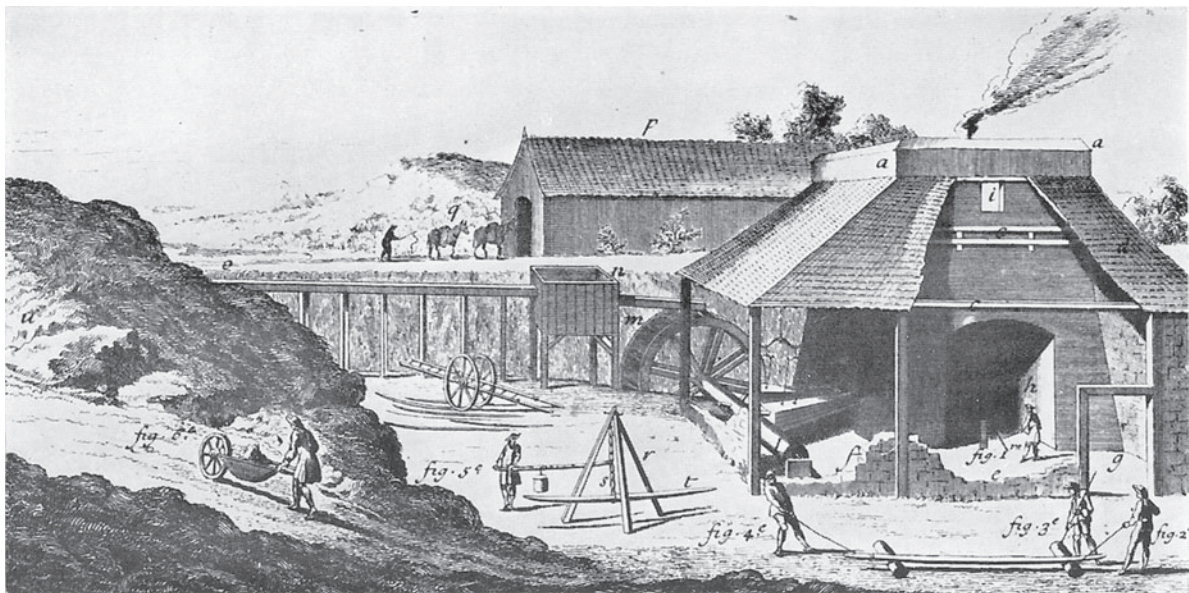


図 4-6 18 世紀の典型的な木炭熔鋳炉の配置 ⁴⁾

所在地(国)	開始年
Le Creusot (France)	1785
Glewitz (Silesia)	1796
Konigshütte(Silesia)	1800
Seraings (Belgium)	1823
Mülheim(Ruhr)	1849
Vitkovice (Czech)	1836
East Pennsylvania (USA)	1835
Donetz (Russia)	1871

表 4-2 熔鋳炉への石炭・コークス使用開始年

の状況を概観する。

ベルギーの製鉄業は18世紀に絶えず発展した。その最重要地がリエージュであり、そこでは銃と釘の製造が最も重要な部門であった。1730年頃には、リエージュ地方には熔鋳炉が8基あり、またナムールなどにも熔鋳炉や精錬炉、鉄ハンマーなども操業していた。リエージュの熔鋳炉は、伝来の四角の形が永く固執されていた。1767年にベルギーを旅行したヤールスによれば、熔鋳炉がナムールに13基、リエージュに10基あり、それらのほとんどが精錬炉48基のための銑鉄供給用で、それら精錬炉で棒鉄がつくられ、さらに釘などが製作され、大部分フランスに売られていた。

その時代の熔鋳炉は、高さが約20ft.で長方形断面をもち、炉頂は狭かった。湯溜まりの耐火材は砕けやすかったが、うまくすると3～4年中断なしに操業できた。熔鋳炉も精錬炉も鞴(ファイゴ)は18世紀末まで革製であったが、1796年の記述には、ナムールで鉄のシリンダー送風機が使われ始めたとある。

1794年ベルギーとフランスの合併時には、熔鋳炉がナムールで45基あり、リエージュにも18基あった。リエージュの板ハンマーの製品が名声を博していた。しかし、この間に生じたフランス革命とその後の戦争により、ベルギーの製鉄業は2年間完全にストップするなど甚大な影響を被った。

ナポレオン時代(19世紀初頭)、ベルギーの製鉄業者は頑固に伝来の木炭作業に固執していた。多数の熔鋳炉が木炭で操業され、国土の木材を食い尽くしていたほどであった。一部地方で、木炭と石炭を配合して熔鋳炉操業を試みてはいたが、リエージュの石炭が鉄に害があるとして、多くの製鉄業者は木炭に固執した。また、熔鋳炉の断面が四角から円形に移行したのは、19世紀始めになってからであった。鉄板の製造も鉄板圧延機の導入により、決定的に進歩した。これに伴い、ブリキの製造も進歩し、1806年のパリ博覧会でも好成績



参考図 リエージュ周辺図

を得て、発展した。

1803年リエージュに大砲製造所が設立されたことは重要であった。フランス人 J.C. ペリエがフランス艦隊の36ポンド砲3000丁を受注し、リエージュに反射炉6基、蒸気機関6台などを設備して創業した。しかし、その事業はうまく行かず、政府がやむなく引き受け帝政期約7000個の砲身を鋳造した。それには木炭鉄だけが使用された。

1815年ナポレオンの支配が打倒され、この地域はフランスの支配から解放された。しかし、当地の製鉄業にとっては最重要の販路を失い、見通しは暗かった。一方、その頃ベルギー製鉄業の驚くべき変革と躍進を成し遂げたジョン・コックリルが登場した。コックリルはイギリス人で、父のウィリアム・コックリルは機械製造家で、紡績機械を製造・販売するため大陸にわたり、ベルギーに落ち着いた。ウィリアムは1807年に息子のジェームスとジョンとともにリエージュに機械製作所を設立した。1810年頃には、ジョンがその事業の先頭に立ち、特に技術面で才能を発揮した。プロイセンなどにも事業を拡大したが、ジョンはリエージュを定住地として、ベルギーの地下資源の活用に強い関心を持つようになる。

ジョンは、その地にイギリスやフランスに匹敵する大工業を建設する計画を立て、マース河岸の豊かな炭田地帯の真ん中セライングに着目した。1817年に政府と国王の承認を得て、その地に工場設備をつくるための用地を得た。亜麻紡績工場建設後、ジョンは機械製作工場を有する製鉄所の建設を、国家工業基金からの補助金を得て、実現した。1820年には、ベルギー最初のパドル炉を操業し、1823年にはセライングの第1熔鋳炉に火入れした。これも同国最初のコークス熔鋳炉であった。日産10tを記録している。その後も国王との関係を密にして、セライングの工場は拡張され、同国だけでなく、隣接諸国にとっても機械製作と機械作業の大学となった。同工場は、採炭部門、製鉄部門（鋳造部門を含む）、機械製作部門などからなる大工場であった。まさにイギリスの近代的精神によりつくられた。1830年までイギリス人がいたが、革命によりベルギー人にとってかわられた。

なお、1822年のベルギーには、熔鋳炉93基、精錬炉206基、ハンマー68台、鋳造所19工場、圧延工場17工場があった。こうしたベルギーの技術革新の時期に、ヒュゲーニンは当鋳造所の所長（1816年）となり、その復活に奮闘していた。その在任中に、『大砲鋳造法』が彼により執筆されたのである。

5. 『大砲鋳造法』の熔鋳炉図

『大砲鋳造法』については、芹澤正雄が数回論じている⁶⁾。それらの代表作の中で、『大砲鋳造法』は緒言と製鉄関係項目ならびに反射炉関係項目、そして巻末に図解編からなり、別冊として付図が13枚綴じられて

いと記している。その製鉄関係項目は次の諸項目であり、本文の約10%を占め、その内訳を示している。

異なる種類の鉄鉱石と事前処理法（9頁）

鉱石から鉄を溶解する炉（4頁）

最初の点火と炉の保持（3頁）

高炉における鉱石の鉄製錬（7頁）

次いで、鑄鉄の項目が30頁で、鑄鉄の品質、および鑄造の型砂や型取について記述する。

付図の第一図が熔鉱炉（高炉）、第五図が反射炉、それぞれ炉の側面と断面を示す。図4-7は当該熔鉱炉図を示す。なお、この図には、リエージュにある一般的なものとの付記がある。また、本文には、この熔鉱炉の図は、フランスのJ.H. アッセンフラッツが書いた“Siderotechnique”（鉄冶金学4巻）1812年から引用したとある。この図の由来に関する記述については、節を改めて検討する。

さて、この図4-7に示された炉の形状について、前述の木炭熔鉱炉の流れと対照し、その位置を考察する。

まず、この図に書かれた開口部は2カ所で、一つが羽口用で、他の一つが出鉄用とみられる。18世紀後半にみられるものと同様である。また、この図において炉高と朝顔径の比をとると、3.8が得られる。前述の図4-4での平均3.7に近い値である。さらに、朝顔角を測ると約60°を示し、前述の図4-5においては18世紀半ばから19世紀半ばに該当する。

また、この図の炉胸内壁がレンガで積まれていること、朝顔部と湯溜の部分に炉胸部と異なる耐火物が使われているようにみられる。こうした炉の構造は、19世紀初頭のヨーロッパの高炉図にみられる構造である。

熔鉱炉の形状は、多くの要因によって決められる。送風機的能力、使用する鉱石や燃料の成分や性質、造

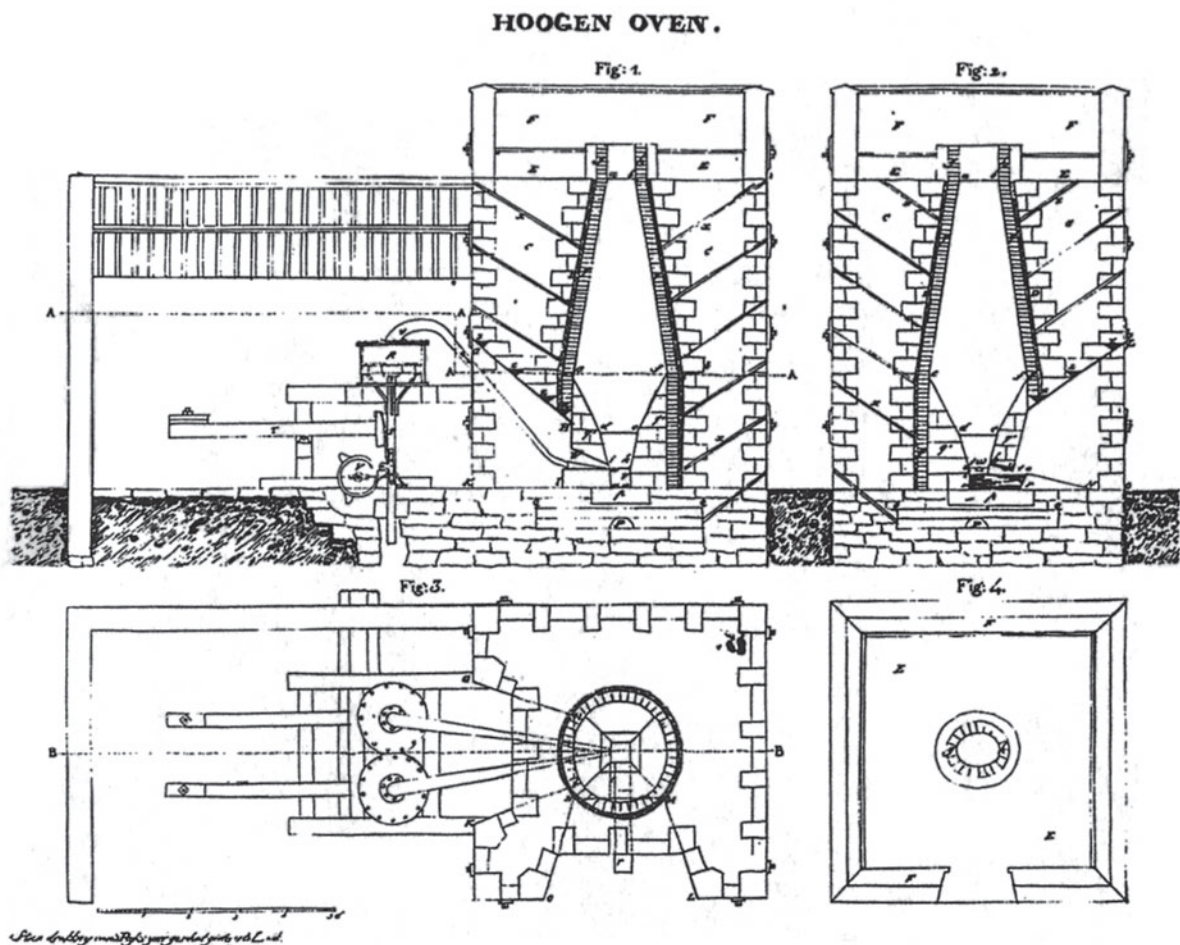


図 4-7 熔鉱炉図

滓剤の性質等極めて多い。このため、一義的に熔鋳炉の位置づけをすることは出来ないが、当該の熔鋳炉は18世紀後半から19世紀にかけての木炭熔鋳炉の小さ目ではあるが、リエージュ周辺地域で使用されていた標準的な炉と考えられる。当時、コークス熔鋳炉への転換が進む時代であったが、リエージュという地域の製鉄業者の慎重さが、一時代前の構造を保持しており、それをヒュゲーニンも受け継ぎ、『大砲鑄造法』に採用したと考えられる。

6. 原著者ヒュゲーニンについて⁷⁾

U. ヒュゲーニン (Ulrich Huguenin) は、1755年2月2日に現在のリエージュに近いオランダのマーストリヒトに生まれた。父はオランダの軍功ある砲兵将校で、幼児の頃から砲兵になる志をもっていた。11歳で士官候補の生徒となり、17歳で砲兵少尉となった。その後、砲兵および工兵の技術的知識の修得に専念しつつ、多面的な勉強をした。砲兵将校であるとともに砲術家として励んだ。生まれたころ、オランダは黄金期を過ぎ、国内の抗争を抱え、かつフランス・イギリスなどの諸外国との戦争を余儀なくされていた。

ヒュゲーニンは、要塞の防備や重要な任務にあたりながら、城壁構造についての考察を発表していた。列国間の闘争の中、砲兵将校としての任務もめまぐるしかった。1789年にはブレダの砲工兵学校の設立に関与し、そこで校長になった。1793～95年オランダ軍に属し、フランス軍と戦った。オランダの敗戦により、バタヴィア共和国となり、ヒュゲーニンは祖国を離れ、プロシアの砲兵大尉となる。その後、ナポレオン軍とも戦うが、敗れた。1807年家族とともにオランダに戻り、オランダ王国の国防省の砲兵部門の担当部長となった。

1810年に同王国がフランスに併合後、フランス軍の砲兵指揮官となる。1813年ナポレオンがライプチヒで敗れて、オランダはフランスから離脱し、ヒュゲーニンはベルギー砲兵隊の大佐となる。1815年エルバ島を脱したナポレオンの軍隊と戦った連合軍で重要な役割を果たした。

ウィーン会議の結果、オランダは現在のベルギーの地域を含めてネーデルランド王国となる。ヒュゲーニンはアントワープに移り、1816年軍務を離れて、ロイク (リエージュ) の王立大砲鑄造所の管理を委任され、所長として鑄造所の復活を果たした。この任を果たしながら、『ロイク王立鉄製大砲鑄造所における鑄造法』を著したのである。この所長時代に、ユトレヒト科学技術協会会員、アムステルダム王立科学文学芸術院一級会員となっており、砲術さらには製鉄技術の発展に貢献する科学技術者としての業績が高く評価されていた。

1830年ベルギー人が独立宣言し、ネーデルランド王国は1831年ベルギー王国とオランダ王国に二分された。ロイクはベルギー王国領となり、リエージュと呼ばれるようになる。そこで、彼はリエージュを離れ、オランダに戻り、1833年軍職を離れ、年金生活となる。しかし、早くも1834年79歳で多彩な生涯を閉じた。

7. おわりに

本論で、薩摩藩がわが国で初めて構築した熔鋳炉のテキストとしたヒュゲーニンの『大砲鑄造法』に書かれた熔鋳炉の製鉄技術史 (熔鋳炉の発展史) における位置を検討した。主に依拠した文献はルートウィヒ・ベック著、中沢護人訳『鉄の歴史』とR.F. タイルコートの“A HISTORY OF METALLURGY” (冶金の歴史) などである。しかし、一口で熔鋳炉の発展史と言っても、それぞれの地域性や民族性等々、実に多様な要因によって規定されているため、一義的に同書の熔鋳炉の位置を断定することは困難であったが、大略の位置を考えることはできたといえよう。

<参考文献>

- 1) 三枝博音編『日本科学古典全書 第九巻』第三部 産業技術篇 採鋁冶金 (一) 昭和17年、朝日新聞社
- 2) 中沢護人『鋼の時代』1964、岩波書店
- 3) R.F.Tylecote “A HISTORY OF METALLURGY” SECOND EDITION,1992,The Institute of Materials
- 4) T.A.Wertime “The Coming of the Age of Steel” 1962,Chicago
- 5) ルートウィヒ・ベック著、中沢護人訳『鉄の歴史』第4巻第1分冊1969、たたら書房
- 6) 芹沢正雄「U. ヒュギエニンのはなし」『鉄鋼界』1974年7月号 pp.68-71、芹澤正雄『洋式製鉄の萌芽 (蘭書と反射炉)』1991、アグネ技術センター
- 7) 青木國夫他編『江戸科学古典叢書7』1977、恒和出版

長谷川 雅康

4-2 日本の製鉄史における薩摩藩熔鋳炉

1. はじめに

わが国の製鉄技術の近代化は、幕末期以降に洋式の反射炉と熔鋳炉（洋式高炉）を構築することから始められた。その過程はかなり複雑な様相を呈したが、本論ではとくに熔鋳炉の形状に注目して導入過程を辿る。その中で薩摩藩熔鋳炉の構築の意義を考察する。また、外来の熔鋳炉を導入する際の日本人技術者の対応を検討することにより、技術文化の移植のあり方を考え、近代化の意義を考察したい。

2. 幕末期の洋式熔鋳炉

(1) 薩摩藩

これまで述べてきたように、薩摩藩が1854（安政元）年に構築した日本初の熔鋳炉が実在したこと、そしてその構築された位置がほぼ推定されるに至った。その結果、1857（安政4）年に集成館を訪れた佐野常民ら佐賀藩士の見聞に基づいて描かれた『薩州鹿児島見取絵図』の信憑性が極めて高いことが判明した。その絵図に描かれた集成館熔鋳炉図（図4-8）もその信憑性が高いと考えられる。この絵図に示された炉体形状は、テキストとして使われたヒュゲーニンの『ロイク王立鉄製大砲鑄造所における鑄造法』（1826）の熔鋳炉図の形状に類似している。わが国で最初の洋式熔鋳炉構築であったため、テキストを忠実に再現しようと努めた結果と考えられる。

この構築に関わった技術者の薩摩藩士竹下清右衛門は、その後水戸藩主徳川斉昭の要請を受けて那珂湊で大島高任らに協力して反射炉を建設した。その際、薩摩の種々の経験が大島に伝えられたと考えられる。さらに、その後大島が南部藩で構築した熔鋳炉に繋がったとみられる。

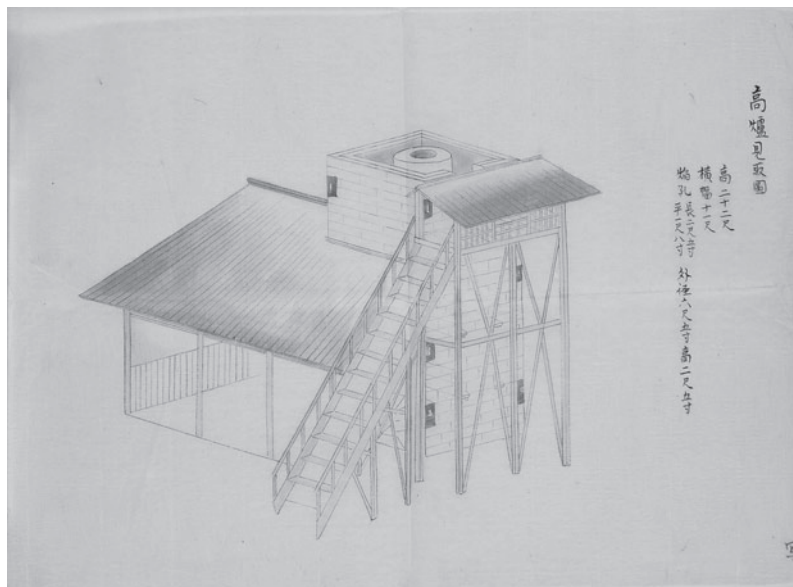


図4-8 『薩州鹿児島見取絵図』の熔鋳炉(高炉)図

(2) 南部藩

水戸藩の反射炉構築を指導して、1855（安政2）年に完成させた大島高任は、反射炉に必要な良質の鉄の必要に迫られ、南部藩領釜石で洋式高炉を建設し、鉄鋳石精錬の実用化に成功した。表4-3には幕末・明治初期の釜石鉄鋳山地域の高炉の概要を示す¹⁾。大島がヒュゲーニンの『ロイク王立鉄製大砲鑄造所