

「萑山反射炉と大砲」

菅野 利猛

Nirayama Reverberatory furnace and its Cannon Casting

Toshitake KANNO

Nirayama reverberatory furnace is located at Izunokuni-city of Izu-Peninsula, Shizuoka-Prefecture. Hagi reverberatory furnace exists at Hagi-city, Yamaguchi-Prefecture, but Nirayama's one is the only one architecture that could make cast iron cannon. Several mysteries of the Nirayama reverberatory furnace still remain as follows; (1) whether cast iron was melted or not, (2) what kind of pig-iron was used, (3) whether bellows were used or not, (4) what kind of fuels were used, (5) where firebricks were made, etc. In this Nirayama reverberatory furnace study, with melting experiment, the possibility of cannon by iron casting was investigated, from a foundry engineering standpoint.

The following results are obtained. Firstly, at least three cannons of cast iron were manufactured. Secondly, high Silicon contained pig-iron could not be available, so cast iron cannon manufacturing did not do well. Finally, the melting time of reverberatory furnace, from preheating to pouring completion, was about eight hours and melting temperature was above 1633K.

Keywords: Nirayama reverberatory furnace, Cannon, cast iron, pig-iron, melting temperature, bellows, fuel, firebrick

1. 緒言

萑山反射炉は、静岡県の伊豆半島の旧萑山町（現在は町村合併により伊豆の国市となっている）にある。高さ15.6mの連双2基、合計4炉の反射炉(Reverberatory Furnace)である¹⁾。現存する反射炉としては、他に山口県萩市の反射炉があるが、鑄鉄の溶解が可能な反射炉としては世界に唯一残された反射炉である。その意味では、世界遺産にも匹敵する反射炉と言っても過言ではない。

日本では、佐賀築地（1850年）²⁾・鹿児島集成館（1852

年）・大分安心院（1853年）・静岡萑山（1854年）¹⁾・水戸那珂湊市（1854年）³⁾・山口萩（1856年）⁴⁾において反射炉の建設が着工された。特に、佐賀藩の反射炉に関しては、技術力が高く、鑄鉄製の大砲が多く製造されたことは歴史的事実として認知されている⁵⁾。しかしながら、佐賀藩以外の反射炉において、鑄鉄製の大砲が作られたか否かについては、諸説があり、明確な結論を得るまでにはいたっていない。萑山の反射炉に関しても、明確な根拠のないまま「鑄鉄製の大砲はできなかった」とする考え方が、現在の一般説となっている^{6,7)}。

歴史的問題は、主に古文書の解読を基礎として行われることが多く、技術的考察が不十分な場合が多い。特に、鑄造に関する歴史的な問題は、鑄造現場の経験と知識が必要不可欠であるために、古文書の解読において鑄造工学的見地からの考察が不十分な場合が多い。鉄鋼関係者によるいくつかの文献も見られるが、鑄鉄特有のチル化の問題などが欠落している⁸⁾。また、燐や硫黄についても、単純に悪いものと決めつけて結論を出している。例えば、佐賀藩の反射炉での溶解において、「花煙大フ立」²⁾と言う表現があるが、この意味を理解することは鉄鋼関係者ばかりではなく、鑄造技術者にとっても難解なことである。しかしながら、この意味するところは鑄鉄の溶解において非常に重要である。

萑山の反射炉においては、「鑄鉄の溶湯が溶けたか否か」という問題の他に、溶解原料の問題、送風の問題、燃料の問題、耐火物の問題など多くの謎を含んでいる。本研究は、萑山の反射炉のこれらの謎について溶解実験を行いながら、鑄造工学的見地から解析すると共に、鑄鉄製の大砲が製造されたか否かについて考察するものである。



Fig.1 萑山反射炉と24ポンドカノン砲
(Nirayama Reverberatory Furnace and 24 lb cannon.)

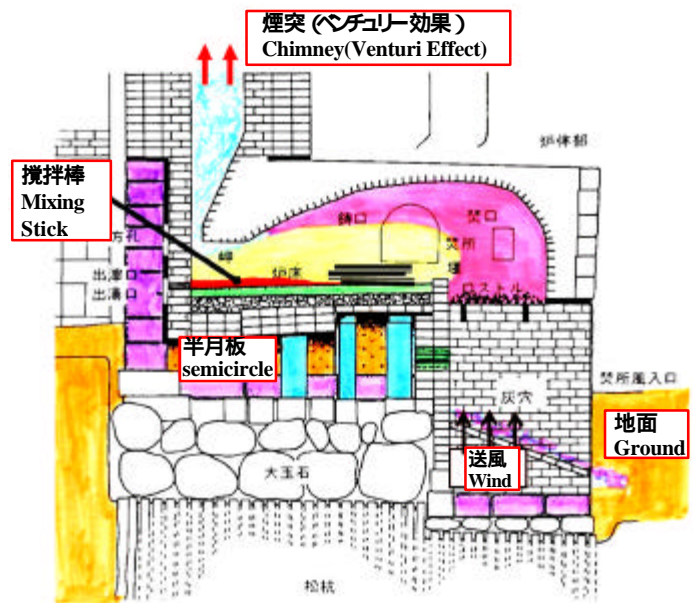
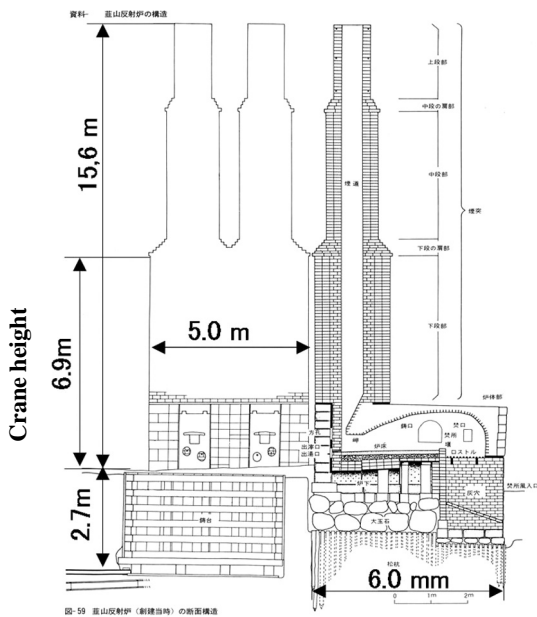


Fig.2 葦山反射炉の構造
(Structure of Nirayama Reverberatory Furnace)

2. 実験方法と葦山反射炉の構造及び反射炉日記

2.1 葦山反射炉の構造

Fig.2 に葦山反射炉の構造を示す。葦山反射炉は、煙突高さ 15.6m、幅 5.0×6.0m の双連炉 2 基、合計 4 炉及び深さ 2.7m の鑄台を有した炉である。ロストルと呼ばれる部分に、木炭や石炭もしくはコークスなどの燃料を置いて、燃焼させる構造である。鑄口と呼ばれる部分に、溶解材料（葦山の反射炉では、鞆であらかじめ作成した 100×100×1000mm の溶解材料を用いていた）を挿入し、これを反射炉の熱により溶かす。溶けた溶鉄は、のろと共に傾斜した出湯口付近に溜まる構造になっている。この溶湯を方孔と呼ばれる穴から攪拌棒で攪拌して、溶湯温度を均一にすると共に、のろと溶湯の分離を促進させている。初期に完成した南炉では、溶解材料の付近に輻射熱が集中する構造となっているが、後で完成した北炉では、溶湯に熱が集中する構造となっている。煙突部は、岬と呼ばれる凸形状になっており、熱は逃げないが、煙突によりベンチュリー効果が発生し、自然通風が可能となっている。

2.2 反射炉築造記録

Table 1 に、葦山反射炉築造記録（以下反射炉日記と呼ぶ）からの抜粋記事を示す¹⁾。反射炉日記から、鑄鉄製の 18 ポンドカノン砲を少なくとも 3 砲は鑄造していたことが分かる。また、石炭 60 トン、天城炭 1 万俵（煉瓦製作分を含む）、のろを軟化させる造宰剤である石灰や蠣（かき）殻なども注文している。溶解材料としては、銑鉄 43 トン、鉄 13.7 トン（18 ポンド砲約 12 挺分）、銅 2700kg、錫 270kg（ちょうど Sn10% の青銅となる配合）を注文している。鉄

関係の注引量が圧倒的に多いことから考えて、葦山反射炉が鑄鉄を溶かす目的で作られた炉であることは間違いない。また、反射炉日記からは、銑鉄に問題はあったが、少なくとも 1 門の鑄鉄製大砲の試射までに行っていることが読みとれる。

2.3 葦山反射炉の溶解条件に関する実験

葦山の反射炉において、炉内の温度が何度にまで達したかを推察するには、輻射熱を含む熱解析を行う必要がある。この熱解析は、後日行う予定である。ここでは、佐賀藩の 24 ポンドカノン砲の成分を基本として、大砲鑄造に必要な溶解温度及びシリコンの有無による溶湯性状の差について調査した。Table 2 に、実験に用いた溶湯成分を示す。葦山反射炉に使われた銑鉄は、品質が悪いとされる大阪の物が山陰岩見の砂鉄から作った銑鉄であると考えられる。また、品質の多少良い江戸からの物が、釜石の岩鉄（比較的純度の高い鉄鉱石の一種である磁鉄鉱）から作った銑鉄（柔鉄とも呼ぶ⁸⁾）であると考えられる。鉄鋼関係の研究者の中には、溶解材料の善し悪しを、チタンと硫黄の観点から考察した物が見られるが、著者はシリコン量に注目して実験を行った。Fig.3 に、溶解過程を示す。溶解材料としては高純度銑鉄と高純度鉄を用い、硫化鉄・リン鉄・フェロマンガ・フェロシリコン・電極黒鉛などを調整剤として目標成分になるように溶解し、溶解温度と湯面模様の変化・火花の発生の有無・黒鉛坩堝への溶湯の付着度合いなどの関係について調査した。接種等の処理は行わなかった。

Table 1 葦山反射炉築造記録からの抜粋¹⁾
 (Extracts from the construction records of Nirayama Reverberatory Furnace¹⁾.)

嘉永6年(1853年) 〔伊豆下田〕 12月 現下田高馬で建設準備 安政元年(1854年) 1月 梨本より耐火用白土採掘 2月 1日 反射炉地形始め 2月 17日 耐火煉瓦製造開始 3月 4日 ベリー艦船下田入港 3月 8日 江戸銑鉄他発送通知 3月 16日 錐台小屋建前 3月 18日 大阪より銑鉄着 3月 27日 反射炉場所外人侵入 4月 筑後産石炭 60トン買上 炭(天城炭 1万俵) 4月 6日 反射炉場所替え下知 4月 9日 常盤炭 6トン 4月 17日 土台石船積, 役員一同引払	安政2年(1855年) 1月 16日 江川太郎左衛門没 2月 21日 1番反射炉半双 暁9つ半 銑鉄2トン吹初 朝4つ半 18ポンド金棒鑄造 暁9つ半終了 4月 23日 36ポンド金棒鑄造の件, 久 能鑄物師来葦 8月 佐賀藩への協力要請 12月 佐賀藩協力要請了承 安政3年(1856年) 4月 11日 タール製造所完成 同月中4回鑄造	安政5年(1858年) 1月 8日 1番18ポンド砲孔加工 (2月17日まで) 2月 22日 3番18ポンド砲鑄造。〔4,870kg〕 2月 晦日 廃頭, 切断ひけ業なし 3月 2 双錐台3連の内1連完成。 長崎鑄鋸炉の銑鉄を使用すれば, 西 洋通りの大砲可能。ただし, 試験の 結果耐久性があるので, 急ぎの大砲 は今までの銑鉄を使用する 3月 13日 3番18ポンド打様し 3月 22日 佐賀藩派遣者離葦終了 10月 銅製大砲鑄造について幕府 へ解答。 銅製鑄造の反射炉は煙突がなく, 熱度7倍の 相違あり。木棒砂型にては, 鉄砲の出来が悪 く, 金棒が良い。
〔中村葦山〕 5月 29日 御用材沼津荷揚げ 6月 4日 廻送耐火煉瓦仕訳 7月 25日 石灰2俵, 蠣殻4俵注文 7月 18日 耐火煉瓦積み開始 7月 22日 板鉄鑄造 8月 8日 前板18ポンド鑄造 8月 14日 板鉄18ポンド鑄造 9月 17日 左官仕事始め 11月 4日 安政の大地震 (反射炉別条なし)	安政4年(1857年) 2月 5日 佐賀藩 杉谷ら来着 (南一番炉は, ほぼ完成) 7月 1日 南反射炉試鑄 9月 日 東反射炉半双試鑄 9月 9日 18ポンド砲鑄込み 今夜9つ半時 暁9時鑄込済 11月 7日 2番北反射炉溶解 開始〔銑鉄 2,270kg〕 11月 19日 2番南反射炉 〔銑鉄 2,660kg〕 12月 4日 18ポンド砲加工開始 暁7つ時~ 暁8つ時終了 12月 6日 2番炉(北炉) 〔銑鉄 4,500kg〕(2炉使用)(恐らく2 番18ポンド砲)	安政6年(1859年) 1月 25日 銅製80ポンド 4挺 24ポンド 1挺 8月 21日 銅製80ポンド 24ポンド砲鑄造の下知 10月 28日 反射炉修復 万延元年(1860年) 1月 5日 1番反射炉の煙突大破修復 文久3年(1863年)7月~元治元年(1864年) 2月 講武所派遣者と江川家関係者による鑄砲が行 われる。製品は殆ど失敗 元治元年(1864年) 11月 葦山反射炉廃止提案される。

Table 2 実験に用いた溶湯成分²⁾
 (Chemical composition used for experiments²⁾.)

	C	Si	Mn	P	S	Ti	Cu
佐賀藩 24ポンドカノン砲の成分 (Chemical composition of Saga-han 24 lb Cannon)	3.22	0.69	0.27	0.27	0.13	0.01	<0.01
シリコンの少ない成分 (Chemical composition of lower Silicon)	3.2	0.05	0.3	0.27	0.13	0.01	<0.01

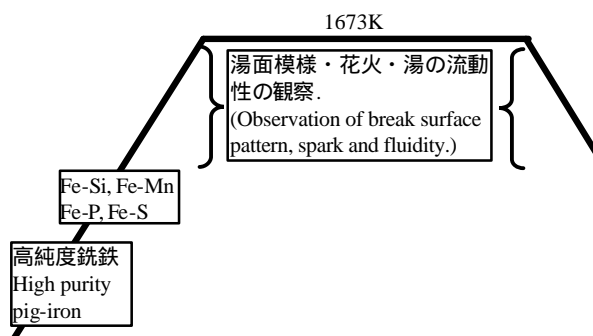


Fig. 3 溶解工程図
 (Melting procedure)

3. 実験結果と考察

3.1 葦山反射炉に残された謎

葦山反射炉に残された謎について、整理した物を Table 3 に示す。一般説については、明確な表現を強いて避けたものが多く、どちらとも取れる表現をした文献が多い。これらの謎について、実験結果と文献を参考にしながら考察を加えてゆく。

3.2 反射炉の溶解時間

佐賀藩及び葦山の反射炉日記より、反射炉の溶解時間について考察する。江戸時代の時間は、日の出から日の入りまでの昼間と日の入りから日の出までの夜をそれぞれ6等分する、不定時法と呼ばれる時刻制度である。すなわち、夏至では昼の「一つ(とき)」が2時間38分になるが、冬至では1時間50分になる。

葦山の反射炉日記には、溶け始めから出銑までの時間が五寸五分の線香の本数で示されている。およそ線香7本分の時間(約4~5時間)である。佐賀藩の反射炉もほぼ同様の時間となっている。佐賀藩の記録が火入れからの時間等が詳細に述べられているので、これを参考に溶解時間の平均値を出すとTable 4に示すようになる。恐らく、反射炉全体を暖めるのに3時間程度を要し、その後材料を投入した後に2時間で溶け始め、その後は連続的に溶解しながら注湯したものと考えられる。木炭などの火力の弱い燃料は、最も熱量を要する炉の予熱に使われたのではないかと考えられる。葦山の反射炉においては、佐賀藩の溶解開始時間が溶け始めの時間として記されている。

出銑から鑄込み完了まで約1時間を要していることから、溶湯はキュボラのように連続的に出てくるものであったと考えるのが妥当である。2.3トンから4.5トンの溶湯を1

時間で連続的に出す炉であったとするならば、湯の冷める速さから考えて取鍋で処理することは難しい。よって、大砲に直接連続的に注湯していたものと考えられる。しかしながら、鑄台から出銑口までの高さは3m程度しかなく、18ポンドカノン砲の長さが3.5mもあることと矛盾が生じる問題が残る。鑄台の深さが、4.5m程度であったのではないかという疑問が生じる。

3.3 溶解実験による考察

Table 5 に溶湯の湯面模様の変化と1563Kの時点での黒鉛坩堝などへの溶湯の付着度合いを示す。シリコンの高い溶湯には湯面模様が見られ、シリコンの少ない溶湯には明確な湯面模様が見られない。また、シリコンの低い溶湯では低温域で、急激な火花の発生が見られると共に、この火花の発生と同時に湯が盛り上がり、湯が噴き出しそうになる。このような現象は、佐賀藩の溶解記録にも記録されており、「花煙大フ立」²⁾という表現がある。鋼と異なり鑄鉄においては、適度のチタンや硫黄はむしろ溶湯性状を良くする元素であり、問題となるのはチル化防止元素であるシリコンの含有量である。シリコンの有無が大砲の品質と大きく関係したと結論づけることができる。また、当時の技術者たちが、湯の状態を見ることにより、溶湯の善し悪しを判断できたことが、湯面模様などからわかる。

溶湯の温度については、当然湯面模様が発生する温度で注湯することは避けなければならないことは、経験的にわかっていたと思われる。このことから考えるならば、低くても1623K程度で注湯したものと考えられる。現在の木型法における大物鑄物での注湯温度が1633K程度であることを考えると、ほぼ同じ程度の温度で溶解していたと考えるのが実験結果から妥当であると判断できる。

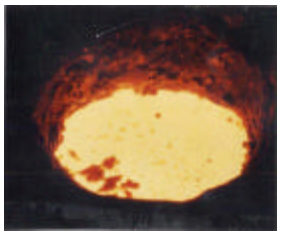
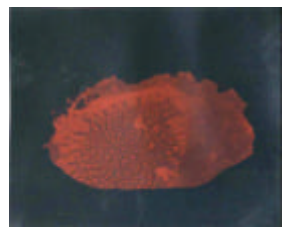






Table 3 葦山反射炉に残された謎
(Mysteries remained in Nirayama Reverberatory Furnace.)

	葦山反射炉に残された謎	一般説
溶解関係	葦山反射炉で鑄鉄の湯は溶けたか?	葦山反射炉では鉄が溶ける温度に達しなかった。
	反射炉の溶解温度は?	
	反射炉の溶解時間は?	100時間以上かかった ⁸⁾ 。
	「ふいご」は用いられたか?	自然通風説が多い ⁹⁾ 。
	溶解燃料は? コークスは使われたか?	コークスは使わなかった ⁸⁾ 。
	溶解材料は? 岩見の砂鉄・岩手の岩鉄(鉄鉱石)・輸入鉄(南蛮鉄)	佐賀藩では輸入鉄を用いたが、葦山では用いなかった。
煉瓦	反射炉の煉瓦はどこで焼いたか?	河津梨本と葦山の裏山
その他	葦山反射炉での大砲の鑄込み数と完成品の数	鉄製は数門 / 鉄製は2門 / 青銅含めて128門 ⁸⁾
	鑄鉄製の砲作りが巧いかなかった理由	Ti や S の問題 ²⁾ 。温度が上がらなかった。

Table 4 反射炉の溶解時間(佐賀藩の例)
(Melting time of Saga-han Reverberatory Furnace)

火入れ(炉の予熱) (Preheating)	溶解開始 (Melting start)	溶け始め (Beginning to melt)	出銑開始 (Tapping start)	鑄込みの完了 (Pouring end)
約 3H (about 3 hours)	約 2H (about 2 hours)	約 2H (about 2 hours)	約 1H (about 2 hours)	トータル 8H (Total 8 hours)

Table 5 シリコン値の違いによる湯面模様之差
(Difference of melt break surface pattern with Si amount)

0.69% Si				
	(a) 1563Kで完全に膜が張る。 (The surface of molten metal is completely covered with a skin at 1563K.)	(b) 1563K~1613Kで亀の子状の湯面模様が見られる。 (Like the tortoise-shell figure, brake surface pattern is shown at 1563K~1613K.)	(c) 1673Kでも、溶湯の色はオレンジ色を呈している。 (Even at 1673K, the color of molten metal is orange.)	(d) 1563K以下では黒鉛坩堝への溶湯の付着が見られる。 (Below 1563K, the molten metal adhere to crucible.)
0.05% Si				
	(e) 1563Kになると急激な火花の発生が見られる。 (Sparks are rapidly generated at 1563K.)	(f) 1563K~1593Kで湯面模様らしきものが現れたが明確でない。 (From 1563K to 1593K, something like a brake surface patter is shown, but it is not clear)	(g) 1623Kでも、溶湯の色が白色を呈している。 (Even at 1623K, the color of molten metal is white.)	(h) 1553Kで、溶湯を攪拌すると鑄鉄が付着してくる。 (Agitated with a graphite bar at 1553K, molten metal adhere to the bar.)

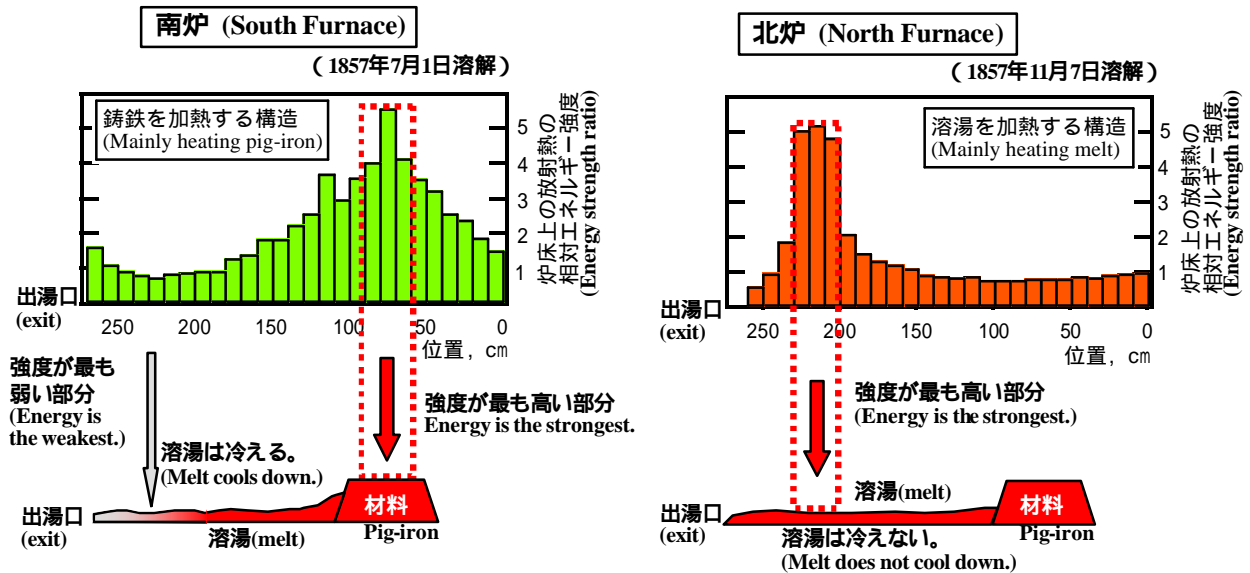


Fig.4 南炉と北炉における熱強度比の比較
(Difference of energy strength ratio between South furnace and North furnace.)

3.4 葦山反射炉の熱分布

Fig.4 に、葦山高校の学生による 1857 年の 7 月に初吹きを行った南炉と 1857 年 11 月に初吹きを行った北炉の熱エネルギー強度比を示す¹⁰⁻¹¹⁾。南炉は佐賀藩の応援が来る前に完成していた炉であり、北炉は佐賀藩の協力を仰ぎながら建設した炉である。南炉は、溶解材料の部分に熱が集中する構造となっているが、北炉は溶けた溶湯に熱が集中する構造となっている。反射炉本来の意味から言えば、後からできた北炉の熱分布が理想的である。

また、葦山高校の学生は鞆による炎の制御実験を行い、葦山の反射炉では鞆を使用したとする説を提唱している¹⁰⁻¹¹⁾。外部からの通風口が煙突に向かって設置されていたことが明らかになった事から考えても¹²⁾、鞆説を簡単に否定することはできない。

3.5 反射炉全体の様子

反射炉全体の様子を示した古絵図を Fig.5 に示す。反射炉自体が軍需工場群であったことがわかる。型乾燥小屋があることから考えて、生型を焼く焼き型であったと考えられる。また、蹈鞆炉が見られることより、反射炉建設に用いる材料や反射炉の溶解材料をあらかじめ蹈鞆炉で製造していたものと考えられる。

タール製作小屋があることより、石炭からコークスを作っていたことはまず間違いないであろう。コークスの使用については、否定的な意見⁸⁾と肯定的な意見^{1,13)}があるが、古絵図から見る限りは、否定する根拠は何処にもない。古川と呼ばれる川の水を利用して水車を回し、砲身の穴加工を行っていたことがわかる。加工に要した時間は、40 日との記録がある。



Fig.5 反射炉工場群の古絵図

(Old picture of Nirayama Reverberatory Furnace factory group.)

3.6 鑄枠と押し湯

Fig.6 にヒュゲーニンの「大砲鑄造砲」に記された、鑄枠の図面を示す。非常に強固な鑄枠となっている。また、砂付きも非常に少なく、鑄枠としては、現在のものよりを優れていると言える。葦山の反射炉製造記録にも「木枠砂型にては鉄砲の出来が悪く、金型が良い。」との記述がある。

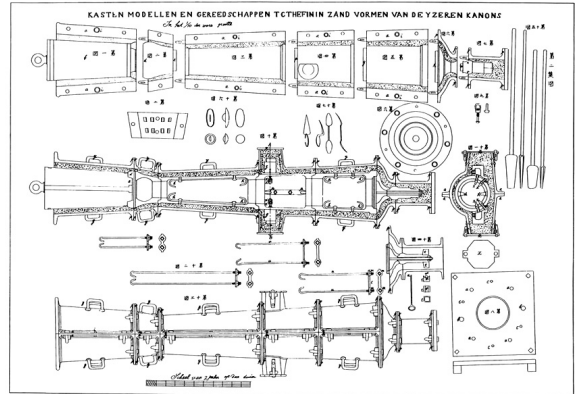
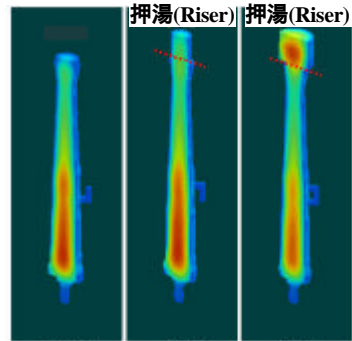


Fig.6 大砲の鑄枠
(Molding flask for making Cannon)



押湯なし 押湯(Riser) 押湯(Riser)
(No riser) (300×H400) (500×H500)

Fig.7 大砲の凝固シミュレーション
(Solidification simulation of Cannon)

Fig.7 に、鑄枠のサイズから求めた押し湯を施工した場合の、凝固解析結果を示す。凝固解析の結果、直径 300mm 高さ 400mm の押し湯では、押し湯部が最終凝固部にならない。最終凝固部を押し湯に持ってゆき、ひけ巣をなくすためには、直径 500mm 高さ 500mm の押し湯が必要である。ヒュゲーニンの「大砲鑄造砲」に記された押し湯の大きさも、おおむねこのサイズとなっている。

3.7 葦山反射炉の大砲の数

葦山反射炉で鑄造された大砲の数については諸説あり、今ひとつ明確ではない。Table 6 に比較的信憑性の高い文献からの調査結果を示す。これらの調査結果から推測すると、反射炉日記に記されている 3 門のみが鑄鉄製の砲であったと考えるのが妥当である。また、かなり不良品が多かったことも、事実である。

4. まとめ

紙面の都合で、全ての項目(謎)について説明することができなかったが、葦山反射炉の謎について整理すると、Table 7 のようになる。

Table 6 葦山にて鑄造した鑄鉄製大砲の推測数
(Guess about the number of the cast iron Cannons made by Nirayama Reverberatory Furnace.)

文献名	内容	個数
葦山反射炉築造記録等より (史跡葦山反射炉, 1989, p.23)	鑄鉄製の18ポンド砲を3番(個)まで鑄込み, 1番18ポンド砲は試打で問題無かった。3番18ポンド砲も試打はしているが, 良かったかどうかは不明。 銅製80ポンド4挺, 24ポンド1挺, 計5挺 銅製80ポンド, 24ポンド砲鑄造の下知	鑄造を行ったのは鑄鉄製18ポンド3門, 銅製3挺以上 試打は鑄鉄製2門 (1門はチルで加工できなかったか?)
慶応2年(1866年)陸軍奉行への目録(史跡葦山反射炉, 1989, p.23)	完成大砲14. 鑄放し(半製品)50. 不良砲36挺.	材質は不明。 購入品もあるかも知れないが, 14砲.
大筒数調査帖 (史跡葦山反射炉, 1989, p.20)	品川お台場へ, 葦山より86門, 佐賀藩50門, 湯島桜馬場鑄立分175門, 大阪表取寄分5門を鑄造し, 送られる予定となっていると記されている。	予定なので不明
島津家調「各藩兵器及反射炉」 (史跡葦山反射炉, 1989, p.21)	1番お台場には葦山反射炉で製作した大砲が, 80ポンド10門, 24ポンド2門, 12ポンド12門, ランゲホウィッスル4門の計28門となっている。(鑄鉄製か青銅製か不明)	28門(鑄鉄製か青銅製か不明)
洋式製鉄の萌芽 芹澤正雄 ⁸⁾ : アグネ技術センター(1991, p.94)	試し溶解が5回, 2炉合わせによる18ポンド砲の鑄造から3回行われている。文久3年末(1863)から元治元年(1864)にかけて, 銅砲が128挺鑄造され, 100挺が不良。	鑄鉄製18ポンド3門, 銅製128挺(内100挺が不良)以上
窪田蔵郎 ¹⁴⁾ ; 金属(1967, p.67)	文久3年(1863)より翌年にかけて, 鑄鉄製砲75門を作り, 巣がなかったのは12門にすぎなかった。	75門つくり12門成功(少し多すぎる)

Table 7 葦山反射炉の残された謎に対する結論
(Conclusions of the mysteries remained in Nirayama Reverberatory Furnace.)

	葦山反射炉に残された謎	結論
溶解関係	葦山反射炉で鑄鉄の湯は溶けたか?	溶解温度は1360以上であり, 直接注湯であった。 火入れから注湯完了まで8H 炎の調整に用いた。 コークスを使用した 佐賀藩では輸入鉄を用いたが, 葦山では用いなかった。
	反射炉の溶解温度は?	
	反射炉の溶解時間は?	
	「ふいご」は用いられたか?	
	溶解燃料は? コークスは使われたか?	
	溶解材料は? 岩見の砂鉄・岩手の岩鉄(鉄鉱石)・輸入鉄(南蛮鉄)	
煉瓦	反射炉の煉瓦はどこで焼いたか?	河津梨本と葦山の裏山
その他	葦山反射炉での大砲の鑄込み数と完成品の数	鉄製3門鑄造し, 完成品は2門
	鑄鉄製の大砲作りが巧いかなかった理由	Siの高い溶解材料が入手できなかった為

参考文献

- 1) 葦山町: 史跡葦山反射炉(保存修理事業報告)(葦山町)(1989)
- 2) 佐賀県立博物館: 幕末における佐賀藩・鑄造の大砲とその復元(佐賀県立博物館)(1979)
- 3) 那珂湊市: 那珂湊市史料第12集(反射炉編)(那珂湊市)(1991)
- 4) 萩市教育委員会: 史跡萩反射炉・保存整備事業報告書(萩市)(1987)
- 5) 萩市教育委員会: 反射炉シンポジウム記録集(萩市教育委員会)(1994)
- 6) Hiroshi Arai: J.JFS 76(2004)599
- 7) Toshio Nakano: J.JFS 72(2000)117
- 8) 芹澤正雄: 様式製鉄の萌芽・欄書と反射炉(アグネ技術センター)(1991)
- 9) 日本鑄造工学会: 鑄物の技術史(日本鑄造工学会)(1997)
- 10) 西岡昭夫: 龍城論業(静岡県立葦山高等学校)11号(1986)
- 11) 西岡昭夫: 龍城論業(静岡県立葦山高等学校)12号(1986)
- 12) 金子功: 反射炉・大砲をめぐる社会史(法政大学出版局)(1995)
- 13) 仲田正之: 江川担庵(吉川弘文館)(1985)
- 14) T.Kubota: Met. Technol. (Jpn.) (1967) 67