

近代日本の鑄造技術史

中 江 秀 雄*

1. はじめに

本報では鑄鉄鑄物を中心に、江戸時代から明治中頃までの鑄造技術史を論じる。それには地金、溶解炉、送風機とその製品(大砲)の変遷で話を進める。今日では資源に乏しい国とされている日本であるが、江戸時代には佐渡金山、岩見銀山と住友銅山などから世界に金、銀、銅の輸出が行われており、当時の日本はこれら金属の主要輸出国であった⁽¹⁾。

一方で鑄鉄鑄物の実用化は、中国が西欧よりも2000年以上(紀元前600～500年)早く、その原因は送風機と縦型溶解炉にあったとされている⁽²⁾。これらの技術が縄文後期から弥生前期にかけて韓国を経てわが国にもたらされたので、日本の鑄鉄鑄物の製造は西欧よりもずっと早かったのである⁽²⁾。

江戸時代、鑄鉄鑄物は鑪鉄を原料とした Fe-C 合金であった。それが明治時代になると鑄鉄鑄物は高炉鉄を用いた Fe-C-Si 合金になり、今日も同様である。この詳細は表 1 で後述する。

鑄鉄の Si は黒鉛化に作用することが良く知られている。鑄鉄は C が鉄炭化物(Fe_3C)に凝固すると、その破面は真っ白になるので、これを白鑄鉄と呼ぶ。一方で黒鉛に凝固すると破面はねずみ色を呈し、これをねずみ鑄鉄という。因みに Fe_3C と黒鉛の両者に凝固したものは斑鑄鉄と呼ぶ。

Si の鑄鉄凝固組織に対する影響は Maurer が最初に示し、Maurer 組織図(図 1)⁽³⁾として著名である。図 1 では肉厚の異なる板状鑄物で、白鑄鉄の生成域を I で、それに対して黒鉛が晶出したねずみ鑄鉄で基地組織にパーライトが生成する領域を II で、パーライトとフェライトが混在する領域を II + III で示してある。

この図より、例えば肉厚 90 mm の板状鑄物で黒鉛を晶出

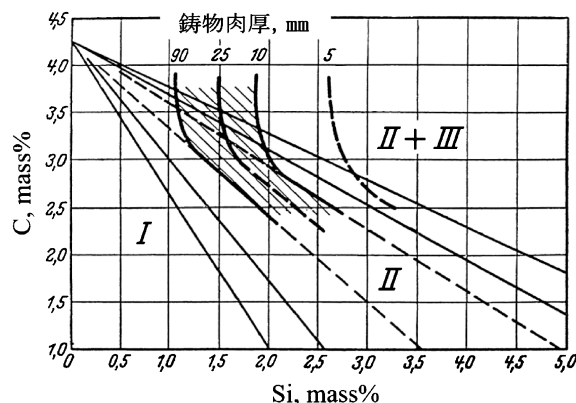


図 1 マウラーの組織図：鑄鉄組織に及ぼす C と Si の影響⁽³⁾。
I：白鑄鉄，II：パーライト鑄鉄，III：フェライト鑄鉄

させるには 1.0 mass% (これ以降単に % で記述する) 以上の Si が、肉厚 10 mm の鑄物では 1.8% Si が必要ことがわかる。これより、1.0% 以下の Si 量では殆んど全ての鑄鉄鑄物は白鑄鉄になってしまうこともわかる。これが鑄鉄鑄物組織に対する Si の影響である。したがって、現代の鑄鉄鑄物は Fe-C-Si 合金になっている。ちなみに、白鑄鉄は硬く・脆いため機械加工ができず、機械部品としては使用できなかったのである。

それでは江戸時代とそれ以前の鑄鉄鑄物は全て白鑄鉄かというそうではない。石野⁽⁴⁾は昔の鑄鉄鑄物を調べて表 1 を示している(この表は筆者が一部加筆・修正した)。これより、日本で造られた竹虎燈炉(1591年)と鳥居(1839年)は、その Si 含有量が 0.05% であるにもかかわらず黒鉛が出ていることが確認されており、これらの炭素含有量は過共晶であることを示している。しかし、石野はこれらの鑄物は和鉄を木炭吹き^{こしき}の甗で溶解したものであろうと推察しているが、黒

* 早稲田大学名誉教授

Japanese Modernization History of Casting Technology; Hideo Nakae (Professor Emeritus, Waseda University, Tokyo)

Keywords: Japanese iron castings, history, TATARA (鑪), KOSHIKI (甗), cupola, TATARA pig iron, reverberatory furnace, artillery, iron carbon alloy, iron carbon silicon alloy, blower

2023年1月13日受理[doi:10.2320/materia.62.458]

表1 昔の鑄鉄鑄物の化学組成と鑄鉄の種類(チル: 白鑄鉄, 片状: ねずみ鑄鉄)⁽⁴⁾.

鑄造品名	製作年	鑄造場所	化学分析成分、%					鑄鉄の種類
			C	Si	Mn	P	S	
竹虎燈炉	1591年	京都	4.35 ~ 4.47	0.05 ~ 0.06	-	0.23 ~ 0.24	0.020	過共晶の粗大な片状黒鉛鑄鉄
茶湯釜	1600年代	京都	4.30	0.03	0.002	0.204	0.027	チル鑄物
茶湯釜	1700年代	京都	4.17	0.07	0.014	0.191	0.019	チル鑄物
IRON BRIDGE	1779年	イギリス	3.25	1.48	1.05	0.54	0.037	片状黒鉛鑄鉄
カノン砲(戸栗)	1820年頃	アメリカ	3.22	0.69	0.27	0.275	0.132	片状黒鉛鑄鉄
茶湯釜	1800年代	京都	4.30	0.04	0.025	0.279	0.020	チル鑄物
鳥居	1839年	奈良	4.57	0.05	0.006	0.240	0.025	過共晶の粗大な片状黒鉛鑄鉄



図2 佐賀の24ポンド砲(戸栗美術館蔵, 全長3025 mm, 口径148 mm, 重量2890 kg)⁽⁵⁾. (オンラインカラー)

鉛の生成に関してそれ以上の詳細な記述はない。

この表に『カノン砲(戸栗)』と記載されている大砲はアメリカ製であり, 国産のねずみ鑄鉄砲に関しては言及していない。このカノン砲を図2に示す。この砲は当初, 佐賀の反射炉で造られたとされていたが⁽⁵⁾, 後述するように斎藤⁽⁶⁾がアメリカ製であることを明らかにしている。江戸時代に造られたわが国の大砲は, その殆どが青銅鑄造砲と鍛鉄製の大砲(大筒: 大型の火縄銃)で, 鑄鉄砲は極めて少ないので表1に記載がないのであろう。

この砲は旧鍋島邸にあった24ポンド砲で, 1975年末に東京渋谷の戸栗 亨邸(江戸時代の鍋島家屋敷跡)で発見されたものである。その成分を九州大学が分析した結果, 次の値が得られている⁽⁵⁾。

3.22% C-0.69% Si-0.27% Mn-0.275% P-0.132% S

この化学組成に基づいて大橋⁽⁷⁾は当初, この砲が0.69% Siであることから, 『輸入銃又はその混入によって製造されたと推定される』として, (佐賀藩の)輸入銃説⁽⁵⁾を支持していた。それに疑問を抱いた斎藤⁽⁶⁾は, 大砲に刻印されたマークから, アメリカの Bell Foundry 社で製造されたもので, 薩英戦争の後に薩摩藩が緊急輸入したものの1門と推定した。この結果に基づいて大橋⁽⁷⁾はこの砲は佐賀製ではなく, アメリカ製であることを認め, その経緯の詳細を書き残している⁽⁵⁾。

2. 日本のねずみ鑄鉄製大砲

筆者はこれまでに, 国産の鑄鉄砲で黒鉛が晶出しているもの(ねずみ鑄鉄製)を2門で確認している。その1門が図3に示した永瀬家の鑄鉄砲(中)⁽⁸⁾で, 1844(弘化)年に川口の鑄物師増田安治郎が千葉の茂原に出向いて大・中・小の鑄鉄砲3門を鑄造し, その内の1門がこの大砲(中)である。全長は1.54 m, 口径は66 mm である。筆者が永瀬家を訪れた時は改築中で, 長年庭に放置されていたこの砲を工事中の床の間に移した, その直後であった。

この砲は厚い錆で覆われており, 厚い錆層を砲尾部から採取し, 黒鉛組織の調査に供した。錆層に樹脂を含浸させ, SEMにより元素分布の調査を行った結果を図4⁽⁹⁾に示す。これより, 酸化鉄の基底中に片状黒鉛の存在が明確に認められ, この砲はねずみ鑄鉄であることを確認した。

残りの1門は安乗神社の鑄鉄砲⁽¹⁰⁾である。同神社は, 「この大砲は, 鳥羽城主稲垣藩の抱き若荷の紋が刻まれている黒船来航時の大砲である。1853(嘉永6)年13代徳川家定の時代に海岸護衛の必要の為, 鳥羽藩は伊勢神宮警護の役があり志摩国海岸各所に砲台を築いた。その砲が, 安乗神社境内に保存されている。志摩国に現存する唯一の記念物である。」としている。この砲も川口の鑄物師・増田安治郎の作と言われている。

筆者はこの砲の小片を入手することができ, その組織観察



図3 永瀬家の大砲(中)⁽⁸⁾. (オンラインカラー)

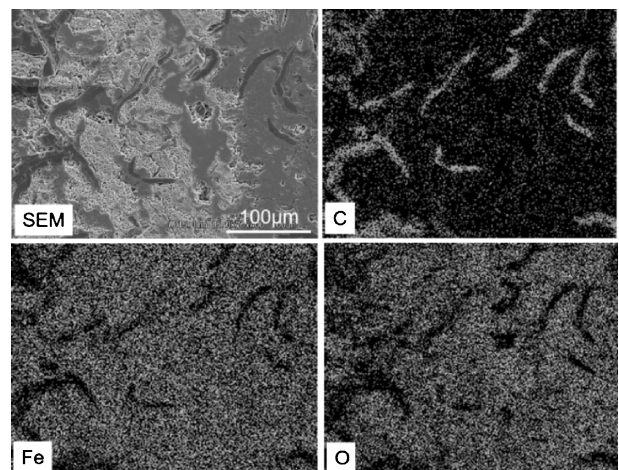


図4 大砲(中)の錆層内の元素分布(SEMによる解析)⁽⁹⁾.

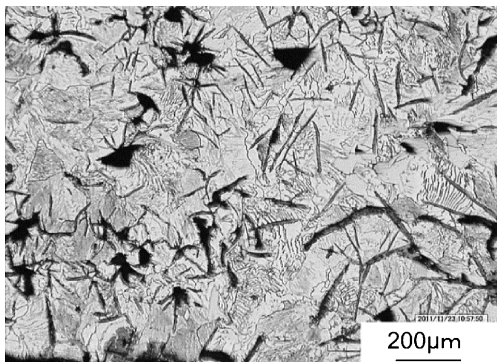


図5 安乗神社の鑄鉄砲の光学顕微鏡組織⁽¹⁰⁾。

を行った結果を図5⁽¹⁰⁾に示す。この砲の化学組成は4.48%C, 0.13%Si, Mn<0.001%, 0.117%P, 0.034%S, 0.005%Tiであった。この化学組成は鑄鉄の特徴である極低Siであるにも関わらず、ねずみ鑄鉄であることが確認できた。これらの事実は、川口の鑄物師・増田安治郎がねずみ鑄鉄を製造する秘伝の技術を習得していたことを示している。この秘伝に関しては以下に論じる。

3. 江戸時代の鑄鉄溶解炉と送風機

(1) 甌による鑄鉄の溶解

これまでに記述した2門のねずみ鑄鉄製の大型砲は、増田安次郎が甌で溶解・鑄造したものと筆者は考えている。その根拠としては、当時の反射炉ではねずみ鑄鉄製大型砲は製造できなかった⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、のである。それは、反射炉では脱炭が生じるため⁽¹²⁾、鑄鉄(極低Si)ではねずみ鑄鉄を製造するのは不可能であった、と考える。それ故、甌による溶解が行われたのであろう。

当時の甌の溶解を詳述する。甌の詳細な内部構造を『倉吉の鑄物師』⁽¹³⁾の図に筆者が一部加筆・修正したもので図6に示す。甌は地金(鑄鉄や銅)と木炭を炉頂から交互に層状に投入し、踏鞴(タタラ)からの送風を1本の羽口で炉内に吹き込み、木炭を燃焼させ、その燃焼熱で地金を溶解する炉である。基本的には、甌の構造はキューポラ(コークスを用いる洋式の近代甌)とほぼ同じであるが、甌はキューポラに比べて、有効高さ比(炉の高さを内径で除した数値)が小さい(背が低い)のが特徴である⁽¹¹⁾。

図6の炉には左下に3か所に出湯口(ノミ口1, 2, 3)が設けられている。これは、ノミ口1から湯(溶けた金属、溶湯)が出せれば、炉内の湯の高さはそれ以上に達していることがわかる。ちなみに、この炉底は直径490 mmで、炉底に溜め得る湯の高さを500 mm程度とすると、炉底部には約660 kgの鑄鉄の湯を溜めることができる。その時に、一番下のノミ口3を開ければ全量の鑄鉄の湯を取り出すことができる。したがって、この炉2基を同時に操業すれば一度に1320 kgの湯を、5基同時に操業すれば一度に3300 kgの湯を鑄造することができる。この様な操業法で大型砲や梵鐘を鑄

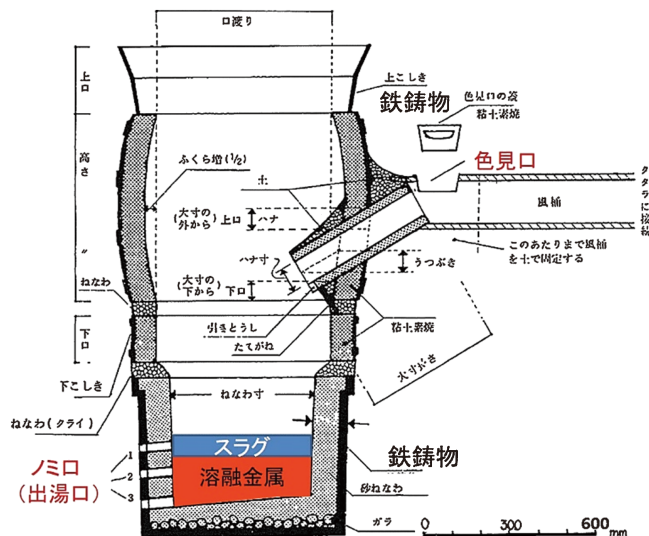


図6 江戸時代の甌の内部構造⁽¹³⁾(筆者が加筆・修正)。(オンラインカラー)

造していた。

この様に記述したの、鑄物はゆっくり鑄込むと途中で湯が凝固してしまい、湯が鑄型を満たし得ない。これを湯回り不良という。それ故に鑄込む速度、すなわち鑄込み時間が重要になる。鑄込み時間とは、溶湯を鑄型に入れ始めてから終わるまでの時間をいう。

一般的な鑄鉄鑄物の鑄込み時間は、250 kg以下の鑄物で4~6 s, 500~1000 kgで6~20 s, 1000~3000 kgでは10~30 sが良いとされている⁽¹⁴⁾。この様に、鑄込みは極めて短時間で行なう。これ以上に速く鑄込むと鑄型を壊し、遅く鑄込むと湯回り不良が発生し易くなる。また、鑄込み時間は同じ重量の鑄物でもその肉厚によって変化するので、上記の様に幅ができる。薄肉鑄物では湯回り不良を起こさないためにも短時間で鑄込まなければならず、厚肉鑄物ではゆっくり鑄込む。したがって、鑄込みに必要とされる分の湯を炉底に溜め、その湯をノミ口3から取り出し、鑄物(大型砲)に適した鑄込み時間で鑄込むのが良いとされてきた。

因みに1250 kgの梵鐘の鑄造では鑄込み時間は180 sくらい、と『倉吉の鑄物師』⁽¹³⁾に示されている。大型砲に関してはこれらの数値を見いだせなかったが、ほぼ同じであろう。180 sという鑄込み時間は上記の数値と比べると長い、梵鐘や大型砲では製品の肉厚はほぼ均一で比較的肉厚である。それ故に、このようにゆっくりと鑄込まれてきたのであろう。

大きな大型砲や梵鐘を鑄込むときには、例えば図7(鑄鞴八挺之次第)のように8基の甌による操業法が『石火矢鑄方伝』⁽¹⁵⁾に掲載されている。この図では甌はタ・ラと、大型の鑄型は石火矢之形と書かれている。この方式を採用すれば10 t以上の大型大型砲の鑄造も可能になる。ただし、これら8基の甌の出湯時間を合わせなければならず、かなりの技量が必要になったであろうことは容易に推察できる。

江戸時代に甌に用いられた送風機は踏鞴(タタラ)であった。その構造と踏板を踏む人夫を図8⁽¹⁶⁾に示す。当時の踏

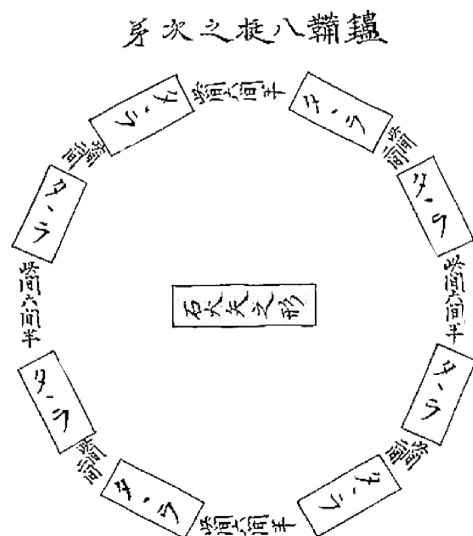


図7 甌(タタラと記されている)8基操業による大砲{石火矢之形(型)}铸造の図⁽¹⁵⁾.

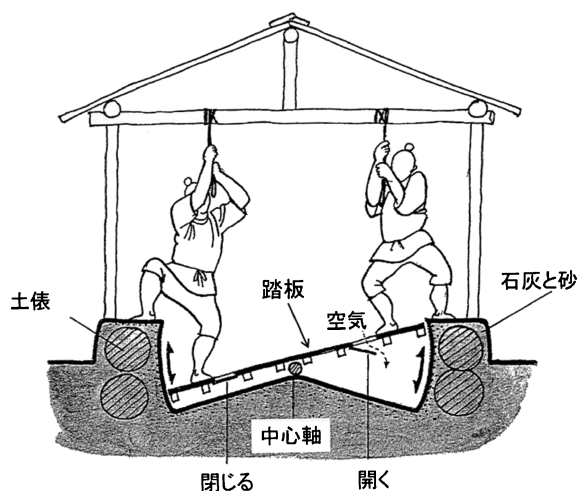


図8 踏輪(タタラ)の仕組みと踏板を踏む人夫⁽¹⁶⁾.

甌は気密性が不十分で、送風圧力を上げ得なかったため、甌の通風抵抗を少なくするために炉高を低くせざるを得なかった⁽¹¹⁾、と筆者は考える。

この踏輪は製鉄炉(鑪, たたら)用の送風機(天秤吹き)⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾とその大まかな構造はよく似ているが、本質的には異なる送風機である⁽¹⁷⁾⁽¹⁹⁾。その理由は、甌は短時間で大量の金属をとくす炉で、鑪は精錬(製鉄)炉であり、例えば現在操業中の出雲たたらでは3日操業で2~3tの鋳(鉄)を製造している。これに対して、図6の甌は1時間に1.0t程度の地金を溶解できる炉である、と筆者は推定している。したがって、甌の方が鑪よりも大量の空気(大量の木炭を燃焼させるために)を送りこむために多くの人夫が必要であった。例えば、図9の加賀藩の甌の踏輪(タタラ)⁽²⁰⁾では踏板を踏む人夫は4人で描かれている。

図9⁽²⁰⁾は加賀藩の甌による大砲となまこ铸造の様子を示している。左の甌は大砲の鑄型に铸造している様子が、右の

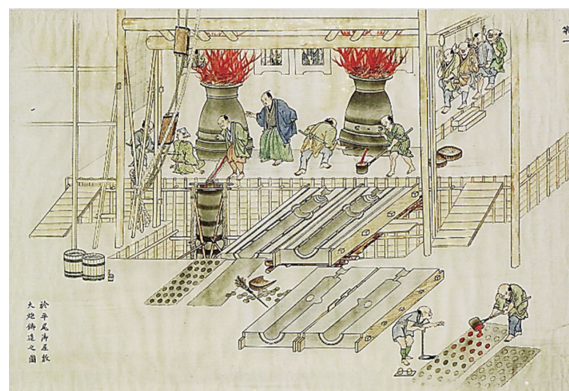


図9 加賀藩の大砲となまこ铸造の図 鈴木一義蔵⁽²⁰⁾。(オンラインカラー)

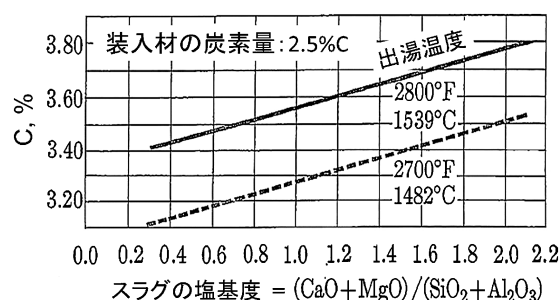


図10 キュボラ溶解の加炭に対する溶解温度とスラグ塩基度の影響⁽²¹⁾.

甌はなまこに铸造している様子が描かれており、その右奥にはタタラを4人で踏んでいるのが見える。なまことは、鑄鉄や青銅などの蒲鉾状の金属塊で、溶解炉の湯(溶けた金属)を再溶解に用いる金属塊に铸造したものを指す。一説には、この形が海鼠に似ていることからなまこと呼ぶようになったとも云われている。

それでは何故になまこを铸造していたのであろうか。鑄鉄をキュボラ(甌でも同様であろう)で溶解するとその炭素含有量が增大することが図10⁽²¹⁾のように知られている。この図では2.5%Cの原料地金をキュボラ(コークス)で1482°C溶解すると3.2%C以上の溶湯が得られることを示している⁽²¹⁾⁽²²⁾。一般に甌(木炭)で得られる鑄鉄溶湯の温度は1482°Cよりも低いであろうが、コークスよりも木炭の方が加炭に優れているので、甌でも1%程度の加炭が得られると推測する。なまこを甌で繰返し溶解することで加炭が進み、ねずみ鑄鉄を得ることができたのであろう。実際の作業では、溶解で得たなまこを割って、その破面が白鑄鉄かねずみ鑄鉄かを判定し、ねずみ鑄鉄の破面が得られるまで甌による再溶解を繰り返す。ねずみ鑄鉄のなまこが得られるとなると、これを溶解し大砲の鑄型に铸造することでねずみ鑄鉄製の大型砲を造りえた、との仮説をたてた。

筆者らはこの仮説を証明するために、50 kgの高周波誘導炉を用い、安乗神社砲の0.13%Siを基準に、炭素量だけを3.95~5.1%に変化させ、直径30 mmの丸棒に铸造した。こ

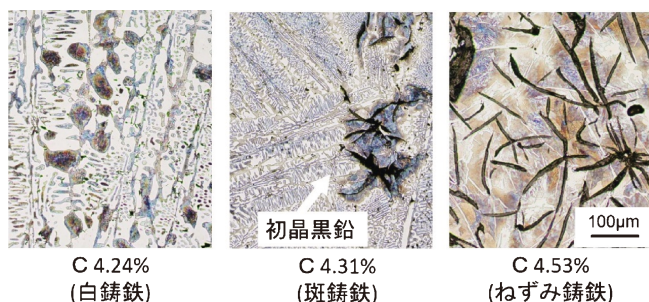


図11 0.13%Si 铸铁(直径30 mm)の黒鉛晶出に及ぼす炭素量の影響⁽²²⁾。(オンラインカラー)

の試料の組織を図11⁽²²⁾に示す。これより、炭素量が4.3%を超えると黒鉛(初晶)が晶出し始め(矢印で示した)、4.5%以上の試料では完全に黒鉛組織になることを確認した⁽²²⁾。これより、江戸時代の川口の鋳物師 増田安治郎が甌で和鉄を繰り返し溶解をすることで、ねずみ鉄製の名まこが得られた時点で鉄砲に鋳造していた、と推察した。この技法を秘伝とし、ねずみ鉄製の大砲と砲弾の製造を独占したのであろう。しかし、この現象は図1のマウラーの組織図からは読み取れず、筆者らも知らなかった現象で、増田の秘伝技法と位置付けるのが正しいのであろう。

この点に関連して大橋⁽⁷⁾は、水戸藩史料を引用し次のように記述している。「増田安治郎の場合は、1850(嘉永3)年からの3年間で、1856(安政3)年からの3年間にわたって、合計213門の大砲(うち(ねずみ)鉄砲9門)と、41,323発の(ねずみ)鉄砲製の砲弾を鋳造し巨満の富を築いた。その納入先は、北は津軽藩から西は肥後藩まで、日本全国にまたがったとされる」。幕府や有力藩が全力を挙げて挑んだ反射炉ではねずみ鉄製の大砲を製造できなかったと、筆者らは考えているが⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、川口の鋳物師が甌を使ってねずみ鉄砲の製造に成功していた事実⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾は極めて興味深い。

(2) 反射炉による鉄の溶解

これまでは炉と送風機を同時に論じてきた。しかし電気炉を除くと、反射炉は送風機が不要な溶解炉であり、一度に大量の溶けた金属を出湯できる炉である⁽¹²⁾。反射炉は煙突による空気の吸引効果で、空気を取り入れる炉である。

我が国では江戸時代の中頃までは甌による(鉄や青銅)の溶解が行われてきたが、なかなかねずみ鉄製大砲が得られず反射炉ブームが起こった、と考えている。30基もの反射炉が鉄砲の製造を目的に江戸時代後期に建設されたのである⁽⁷⁾⁽¹²⁾。しかし、反射炉では脱炭が生じるため、極低Siの鑪鉄では白鉄しか得られず、たとえ大砲の形はできても砲弾の実射に耐えなかったものであろう。

図12に徳川幕府による葦山の反射炉を示す⁽²³⁾。ここで鋳台とは、大砲の鋳型を設置した場所のことである。この炉では良質の(ねずみ)鉄製大砲ができなかったため、幕府はこれを取り潰し江戸の滝野川に移すことにした。この時に徳川幕府の瓦解が生じ、滝野川反射炉は、残念ながらその完成は

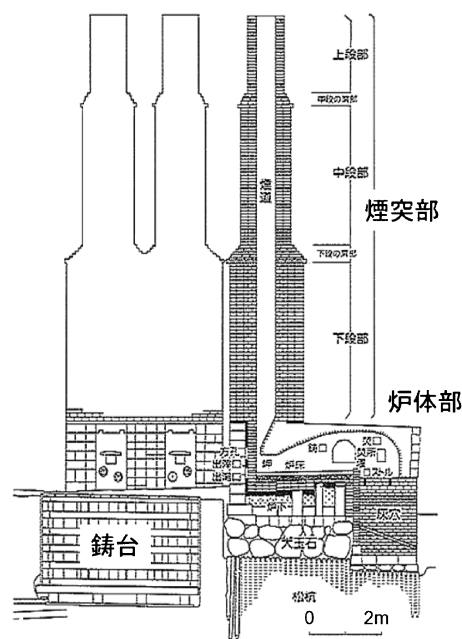


図12 創建当時の葦山反射炉の断面構造⁽²³⁾(筆者が加筆)。

定かになっていない⁽²⁴⁾。藤井⁽²⁵⁾によると、「しかしながら、1868(慶応4)年に徳川幕府は崩壊し、(滝野川の)大砲製造所の経営(建設か)も頓挫することになる。」としている。

江戸時代末期に反射炉ブームが起こったが良質の(ねずみ)鉄製大砲は造り得なかった。それが尾を引いて、明治時代になって大阪造幣局に第一号反射炉が銅合金用として導入され、これに遅れること約10年で大阪砲兵工廠に鉄溶解用の反射炉が設置された、と筆者⁽¹²⁾は推測している。ここで良質の鉄製大砲とはねずみ鉄で砲孔の機械加工ができ、実弾の発射に耐える大砲の意味である。

4. おわりに

ここでは明治時代の鉄砲に言及する。明治政府は鉄砲の製造が難しく、かつその大砲は信頼性に掛けていた。一方で、鉄砲(クルップ)が優秀なことは十分に承知していたが、その国産化は難しかった。そこでわが国の実情から、明治政府は青銅砲を正式なものと決め、明治19年から青銅砲を大阪砲兵工廠で製造を始め、明治21年には全国の野戦砲兵隊に配布した⁽²⁶⁾。

一方で鉄砲は、釜石再生(精錬)鉄を用いて海岸要塞砲(鉄装箍砲)の製造を始めている。これらの装箍砲は本体を鉄で造り、それを鋼の箍で締め付ける構造になっている。鉄砲が信頼性に欠ける欠点を、この様な手法で解決した。大口徑の鉄装箍砲は明治18年の十九糎加農砲と二八糎榴弾砲で、翌年には二四糎加農砲が鋳造された。これらの装箍砲の造り方は明治44年に完成したが、その翌年には鉄砲の製法が完成し、鉄砲の時代は終焉を迎えたのである⁽²⁶⁾。そして、鉄砲も鍛鋼砲に置き換えられてしまったのである。

文 献

- (1) 村上 隆：金・銀・銅の日本史，岩波新書，(2007)，1085.
- (2) 井川克也：日本機械学会誌，**87**(1984)，703-709.
- (3) E. Maurer und P. Holzhausen: Stahl Eisen, **47**(1927)，1805-1812, 1977-1984.
- (4) 石野 亨：鑄物五千年の足跡，日本鑄物工業新聞社，(1994)，158, 159.
- (5) 佐賀県立博物館編：幕末における佐賀藩鑄造の大砲とその復元 (1979).
- (6) 斎藤利生：防衛大学校，**45**(1982)，231-256.
- (7) 大橋周治編：幕末明治製鉄論，アグネ，(1991)，2, 70.
- (8) 中江秀雄，安井純一：銃砲史研究，**362**(2009)，9-10.
- (9) 峯田元治，中江秀雄：季刊 考古学，**109**(2009,11)，69-72.
- (10) 中江秀雄，峯田元治，岡崎 清，安井純一：銃砲史研究，**374**(2012,12)，25-30.
- (11) 中江秀雄：鑄造工学，**90**(2018)，467-472.
- (12) 中江秀雄：鑄造工学，**94**(2022)，492-498.
- (13) 倉吉市教育委員会：倉吉の鑄物師，(1986)，22, 191, 194.
- (14) 阿部喜佐男，師岡利政，中村幸吉，斎藤和夫：金属材料加工学，共立出版，(1966)，320.
- (15) 米村治太夫：石火矢鑄方伝，江戸科学古典叢書，**42** 恒和出版，(1982)，81-166.
- (16) 香取忠彦，穂積和夫：新装版 奈良の大仏，草思社，(2010)，41.
- (17) 岡田廣吉編：たたらから近代製鉄へ，平凡社，(1990)，53.

- (18) 渡辺ともみ：たたら製鉄の近代史，吉川弘文館，(2006)，79-84.
- (19) JFE21世紀財：たたら 日本古来の製鉄，(2004).
- (20) 小西雅徳：銃砲史研究，**367・368**合併号，(2010,11)，30-48.
- (21) R. A. Flinn: Fundamentals of Metal Casting, Addison-Wesley Pub., (1963)，273.
- (22) 中江秀雄：大砲からみた幕末・明治，法政大学出版，(2016)，91.
- (23) 静岡県韮山町：史跡韮山反射炉，(1989)，109.
- (24) 北区飛鳥山博物館編：近代工業化のルーツ 滝乃川反射炉展，(2016).
- (25) 東京都北区教育委員会：滝野川村 戸部家文書 調査報告書，(2013)，137.
- (26) 中江秀雄：ぶらすとす，**2-17**(2019)，290-295.



中江秀雄

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1970年3月 早稲田大学大学院理工学研究科博士課程 中退

1970年10月 工学博士(早稲田大学)

1971年1月 株式会社 日立製作所 機械研究所

1977年8月 同 上 主任研究員

1983年4月 早稲田大学理工学部金属工学科教授

2012年4月 同 上 名誉教授

専門分野：鋳造工学，凝固工学，濡れ(固液界面工学)

◎如何にして金属材料に形を付与するかとの観点から，鋳造工学に始まって凝固，濡れ性の研究に従事。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★