

鑄造の歴史と技術から 葦山反射炉の10大ミステリーを解く

2022年2月19日(土曜日)
(株)木村鑄造所 開発部
菅野利猛

ちゅう てつ

鑄鉄とはー 炭素量の高い黒鉛と鋼の複合材



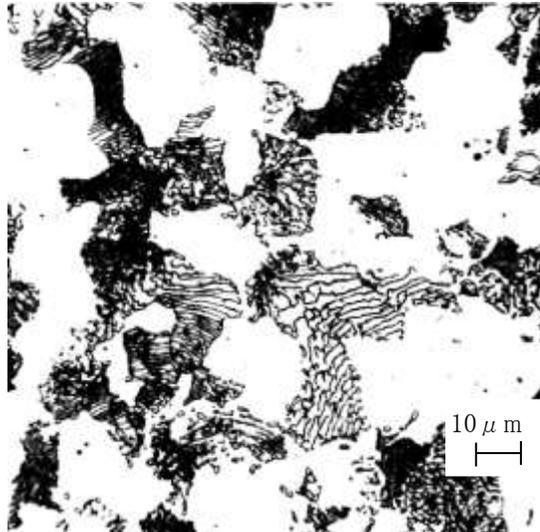
18-8ステンレススチール



刷毛目紋様鉄瓶



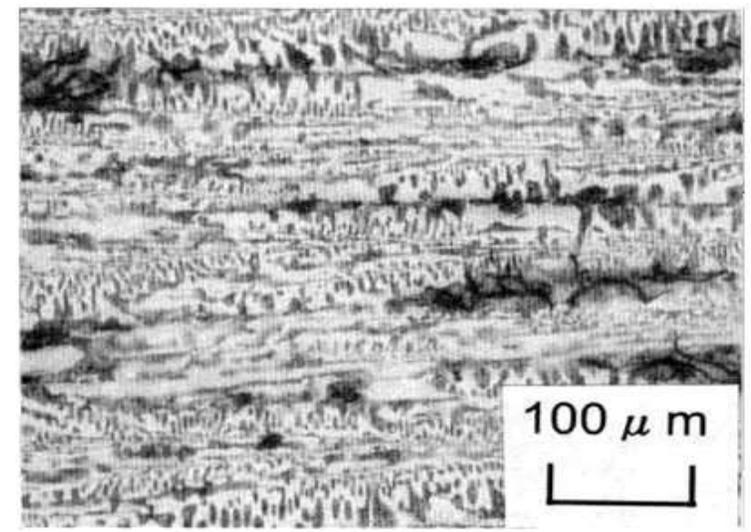
南部鉄瓶 膳(小)(抹茶)



(a) 鋼 (はがね)

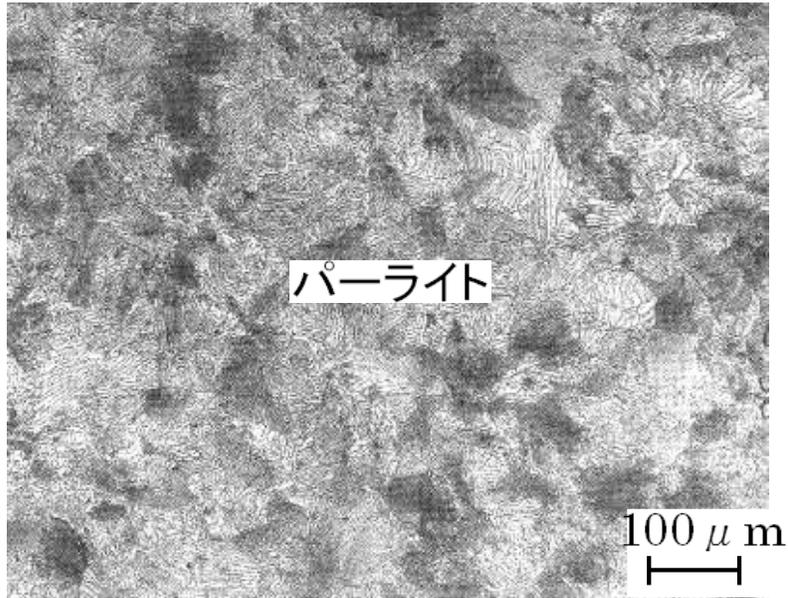


(b) 現代の鑄鉄
(片状黒鉛鑄鉄)

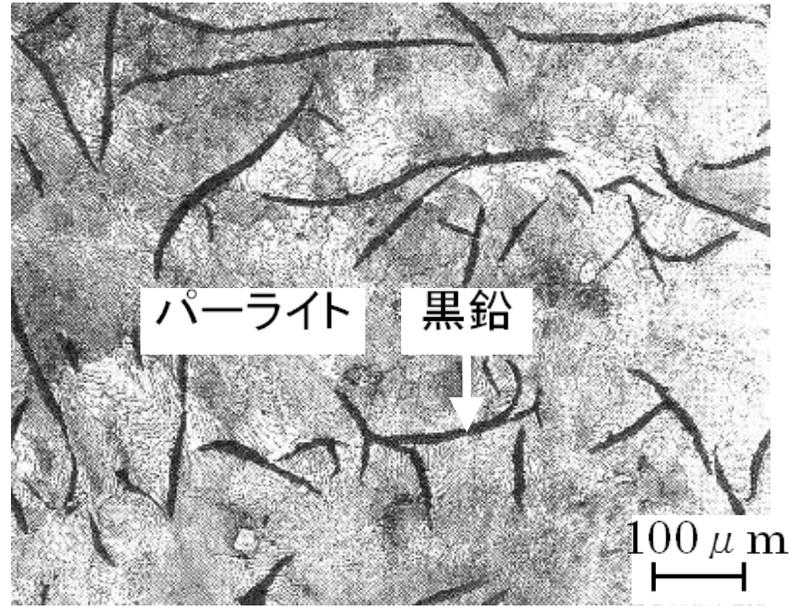


(c) 昔の鑄鉄(チル)

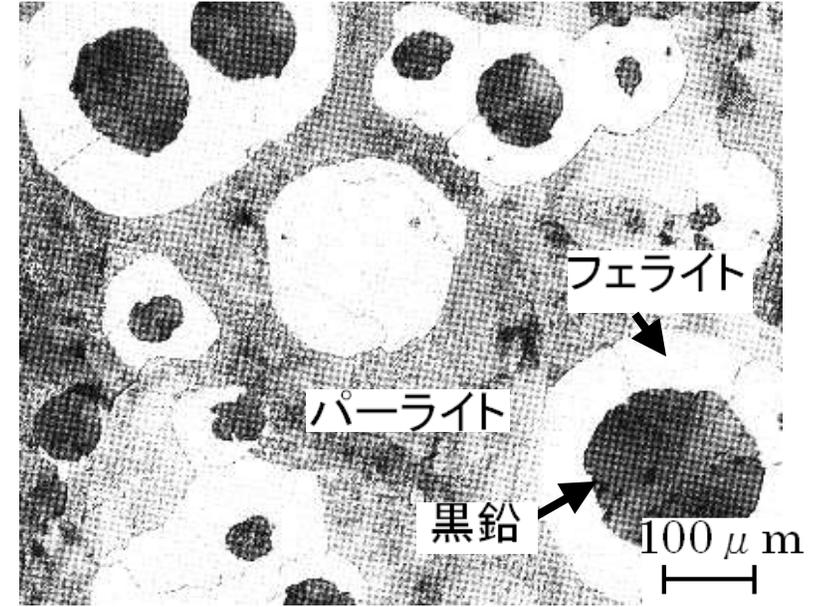
鋼と鋳鉄の組織



鋼



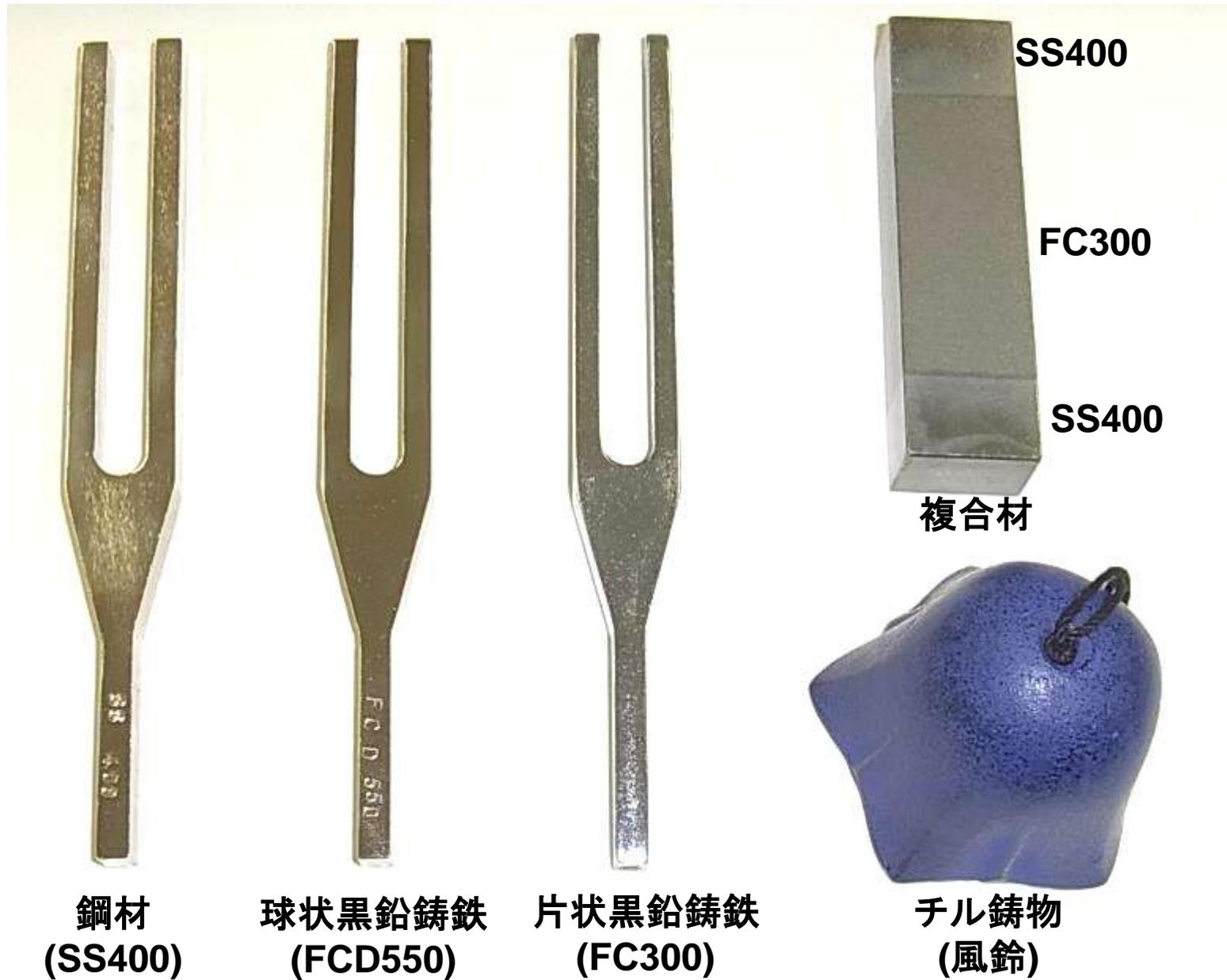
片状黒鉛鋳鉄



球状黒鉛鋳鉄

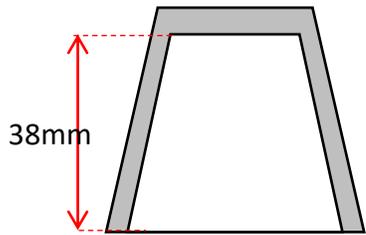
鋳鉄には片状黒鉛鋳鉄(FC・ズク・鼠鋳鉄・普通鋳鉄)と球状黒鉛鋳鉄(FCD・ダクタイル鋳鉄・ダク)のふたつがある。FCにはFC100～FC350までである。FCDにはFCD350～FCD800までである。鋳鉄は鋼と黒鉛の複合材と見なすことができる。複合材と同様に黒鉛の形状・分布状態が鋳鉄の機械的性質を変化させる。

音叉による減衰能の比較

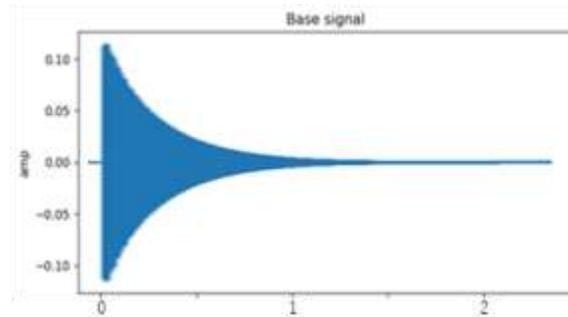


チル鋳物と鋼及び鋳鉄の音の差(減衰能の差)

チル鋳物(風鈴)



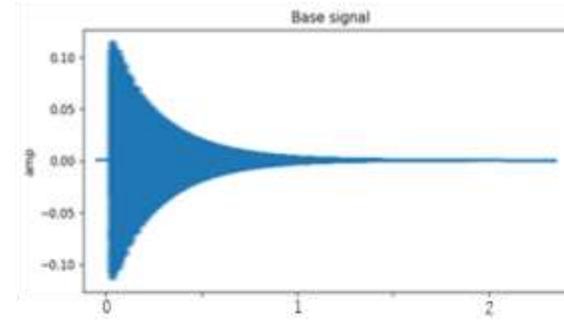
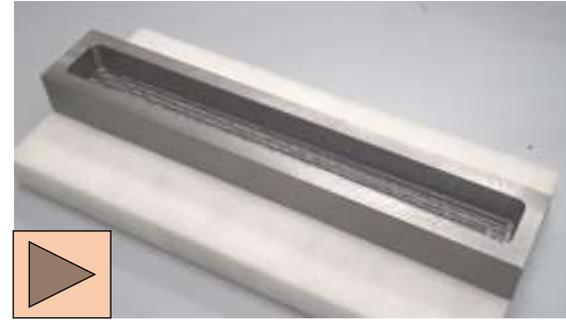
鋼材(SS400)



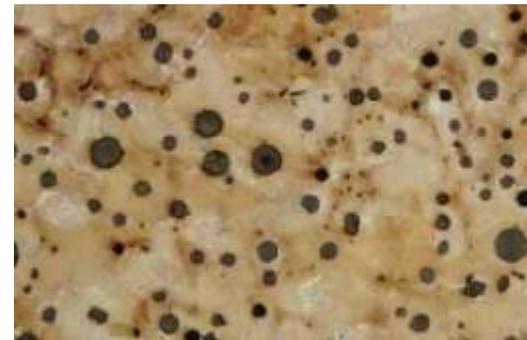
対数減衰率=0.0025



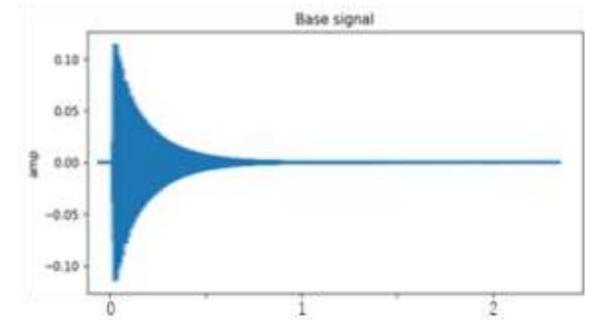
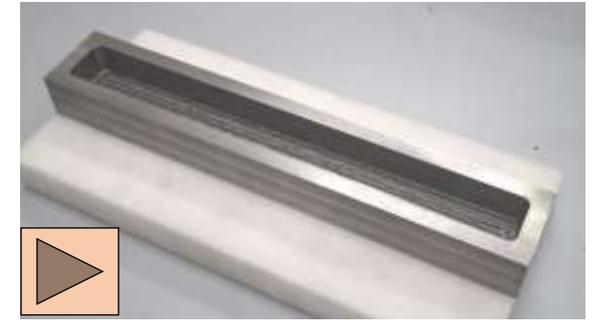
球状黒鉛鋳鉄(FCD700)



対数減衰率=0.0032



片状黒鉛鋳鉄(FC300)



対数減衰率=0.0052



大物鋳物の製造工程(フルモールド法の例)

プランニング ➡ プログラミング ➡ NC加工 ➡ 組立作業 ➡ 検査

FM模型
製作



鋳造計画 ➡ 塗型 ➡ 砂込 ➡ 注湯 ➡ 放置 ➡ 解枠

鋳造
製作

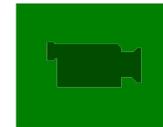


仕上げ ➡ 自動測定 ➡ 焼鈍 ➡ 加工 ➡ 発送

仕上げ
加工

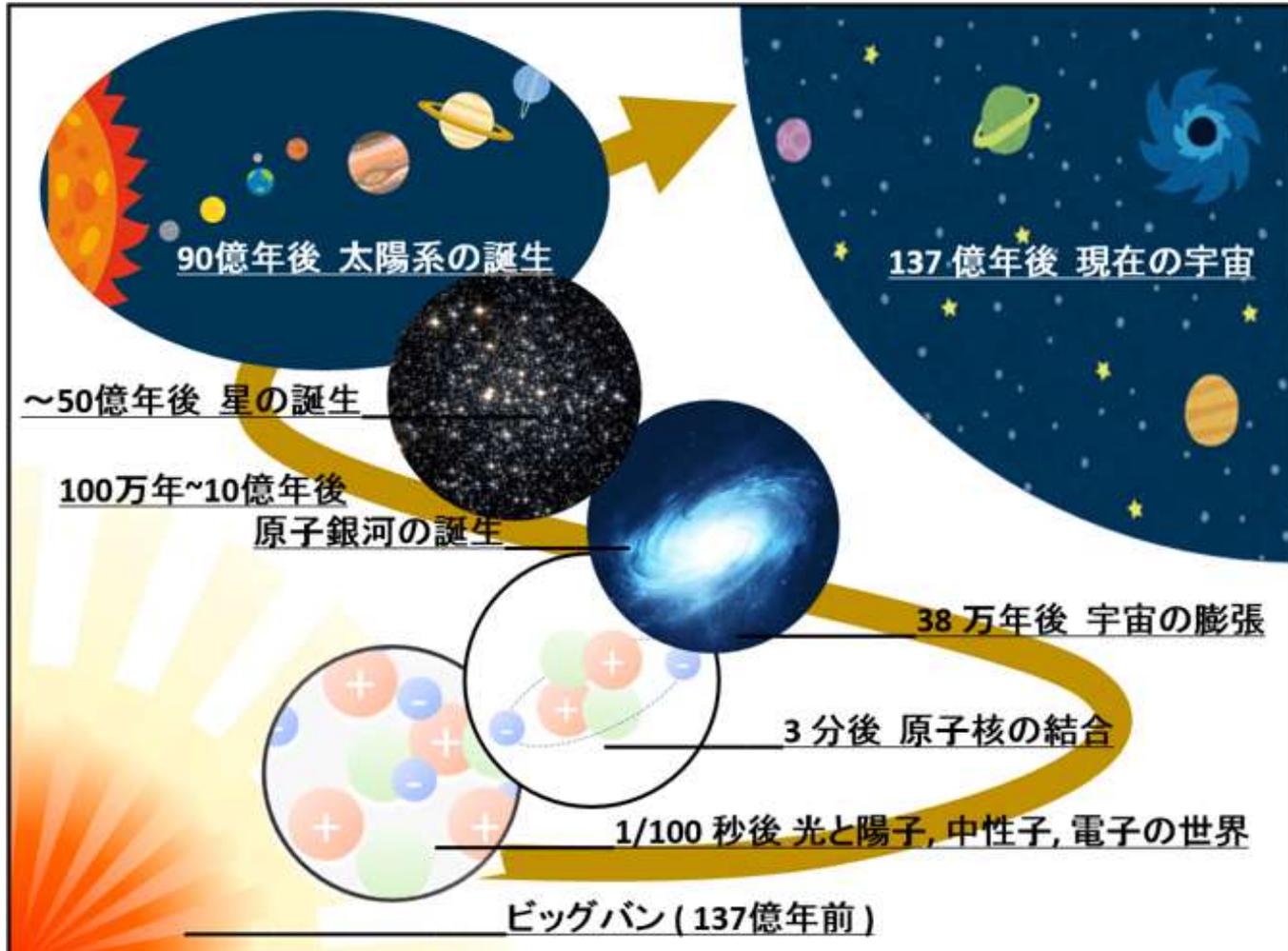


図 フルモールド鋳造法による鋳物の製造工程例



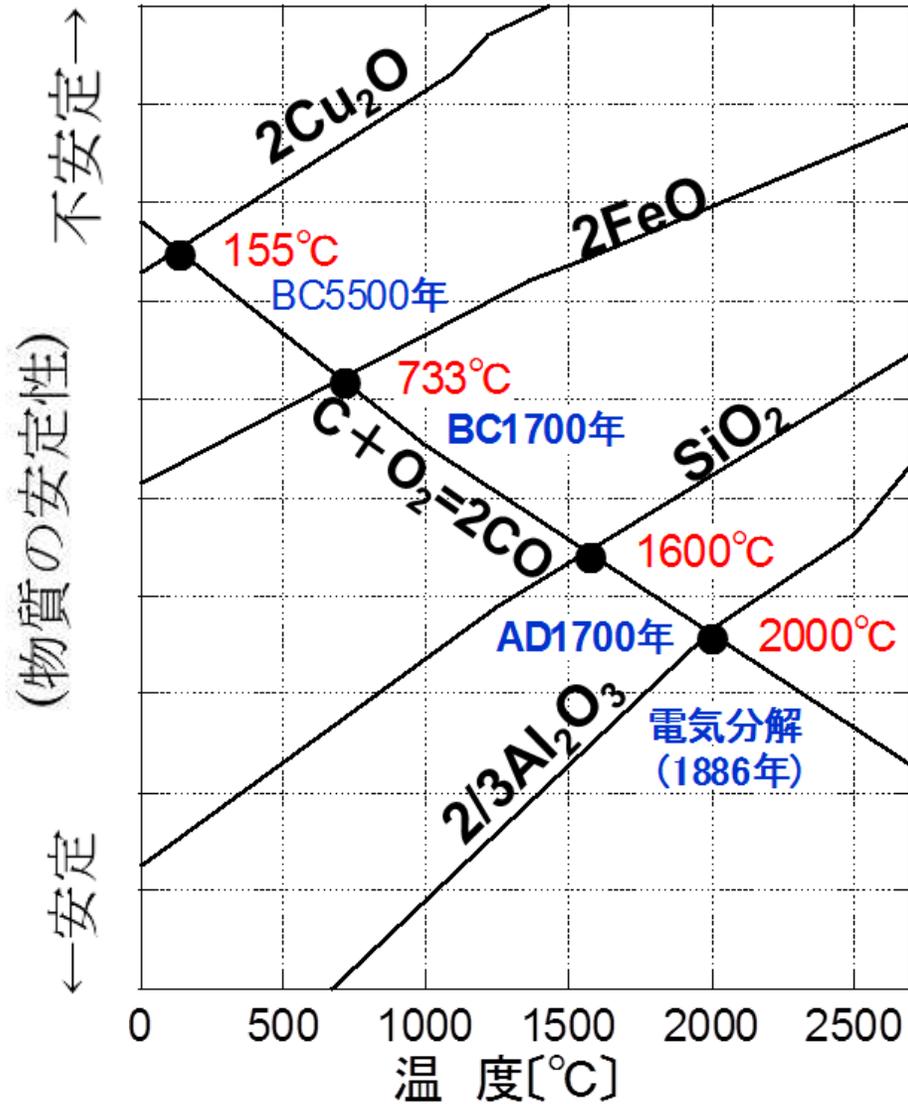
鑄造と鉄の歴史

鉄の不思議



鉄の起源は、宇宙の誕生まで遡(さ)かのぼります。137億年に起きたビッグバンより、何も無い状態から陽子や中性子が生まれ、これから現在ある色々な各種原子が生まれることとなります。鉄より軽い原子は核融合を起して重い鉄になり、逆に鉄より重い原子は核分裂して鉄になります。このため、鉄が宇宙で最も安定した元素となり、地球においても総重量の30%が鉄です。人間の体にとっても鉄は重要で、赤血球が赤いのもこの鉄の影響になります。

COガスの不思議



一酸化炭素(CO)の不思議と文明の誕生の関係
そして
水(H₂O)の不思議と生命の誕生の奇跡

通常物質は高温になるほど不安定になる。炭素の燃焼であるCOガスは高温ほど安定になる。神の不思議か？この反応がなければ、文明が栄えることはなかった。



$\text{Cu}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{CO} + 2\text{Cu}$ (BC5500年) 155°C (青銅器時代)
 $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{CO} + \text{Fe}$ (BC1700年) 733°C (鉄器時代)
 $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow 2\text{CO} + \text{Si}$ (AD1700年) 1600°C
 (1700年まで鑄鉄はSiを増せず、鑄鉄はチル鑄物であった。)
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{C} \rightarrow 2\text{C} + 4/3\text{Al}$ (電気分解) 2000°C



酸化物を還元し、金属を得ること、すなわち高温を得ることが文明の進化と連結している。

図 酸化物の安定度と温度の関係

青銅器時代

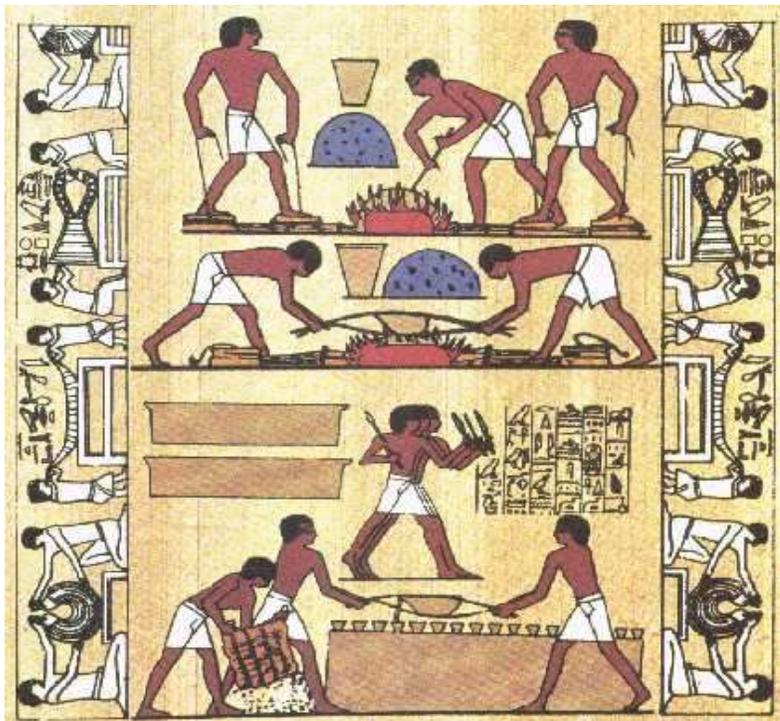


図 青銅の扉を鑄造している様子
(エジプト BC1500年)

上段: 足踏ふいごで風を送り溶解。
中段: 溶けた青銅の入ったるつぼを
取り出す。
下段: 扉の鑄型に鑄込む。

青銅の溶解は、BC3600頃、メソポタミアのシュメール人が始めた。銅に、錫を加える事により、以下の利点が生じた。

- ①銅の(1085°C)が、約700~900°Cに下がった。
- ②溶湯の流動性が増し、鑄造性が良くなった。
- ③錫を加えることにより、硬さが増し、農具・武器として使えるようになった。



青銅器は、その後世界に広がる。青銅器を主体とした時代を、青銅器時代として区別する。

インド: 約BC2600年 (か) インダス文明の時代

中国: 約BC2100年 夏の時代

日本: 約BC400年 青銅と鉄が、同時に
入って来た。(縄文晩期)



鑄物の起源を、青銅器の発明BC3600年と考えると、5600年に経っていることになる。

青銅器鑄物の進化



図 有翼人面獣身像裝飾轡

ルリスタン(イラン北西部)に
おける青銅器鑄物(BC約
1000年)



図 ホルス神に授乳するイシス
女神(エジプト)
末期王朝時代(第26王朝)
／紀元前600年頃
青銅:高さ:21.5 cm



図 鳳凰文ユウ

しょう
商末周初期(B.C.11～
B.C.10世紀)

鉄の発明

鉄の製法

木炭と鉄鉱石を何層にも重ね、木炭の燃焼の際に生じる一酸化炭素で酸化鉄を還元して、スポンジ状の鉄(海面鉄)を得る。これを何度も叩くことにより、鉄を製造していた。



図 紀元前6世紀ギリシャの壺に描かれた製鉄炉と鍛造

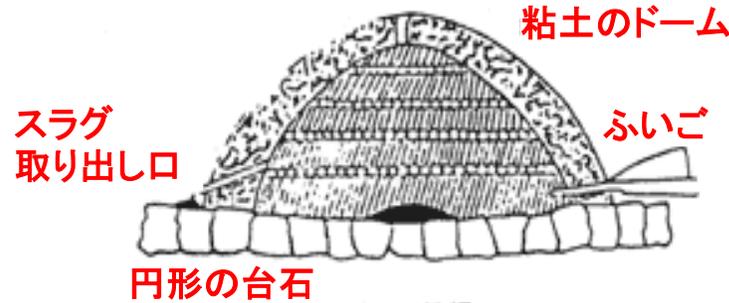


図 最古の製鉄炉

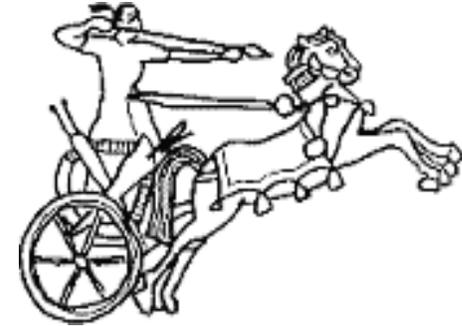


図 ヒッタイトの2輪戦車

不思議

鉄の起源: BC1700年[ヒッタイト(人)王国]

鉄は、金の5倍～10倍の価格であった。BC800年のホメロスの叙事詩にも、鉄が高価であったことが記されている。(ヒッタイトはトロイ陥落により、BC1200年頃に滅亡し、製鉄技術がエーゲ海の国々に広がることになる。)

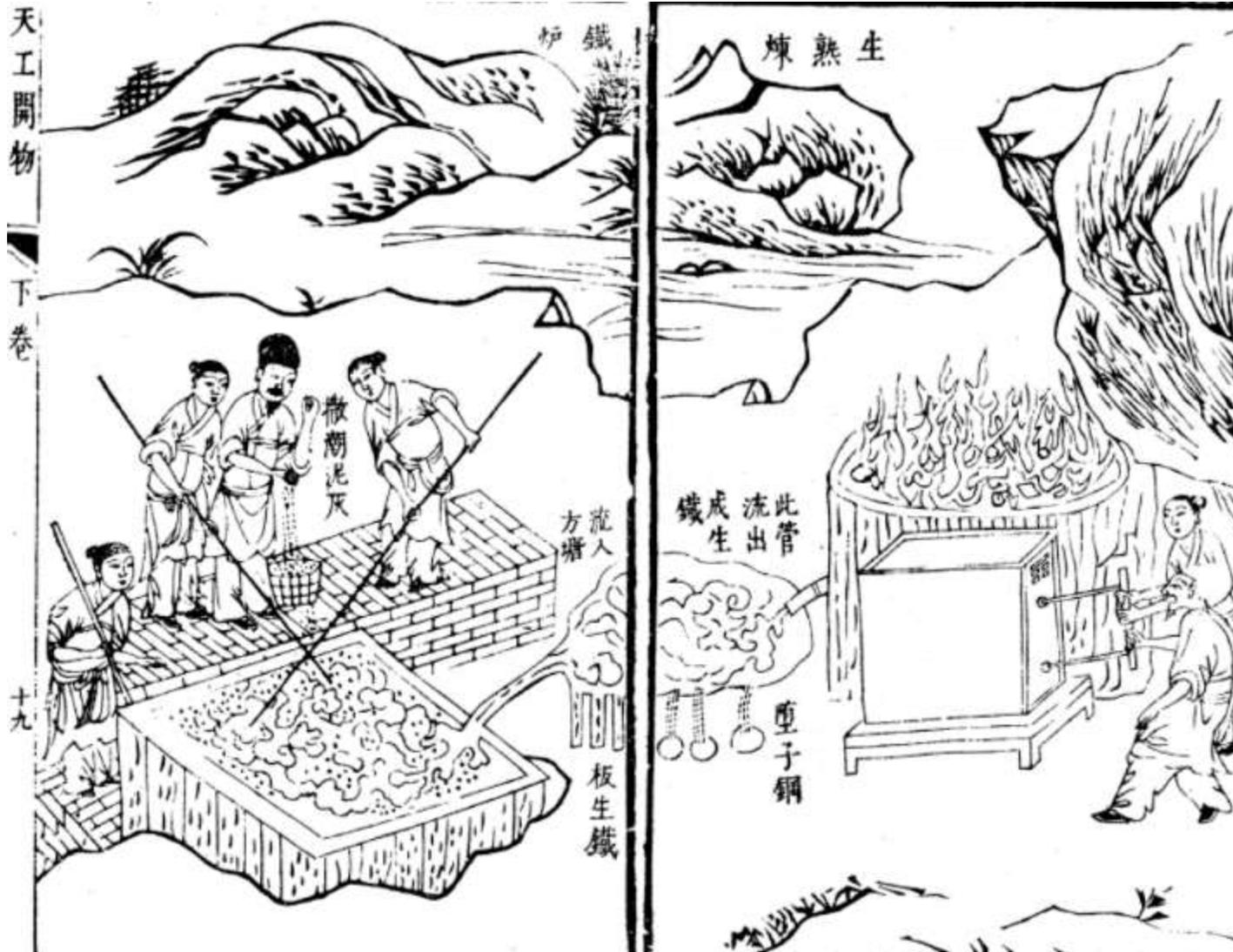
ヨーロッパにおいては、14世紀まで酸化鉄の還元と、鍛造による鉄作りが続くことになる。すなわち、14世紀まで鑄鉄の製造が行われることはありませんでした

欧州
鍛造技術
サーベルへ

日本
鑄造・鍛造
日本刀へ

中国
鑄造
剣へ

中国鑄鉄技術の不思議



1637年に出版された産業技術書の天工開物によれば、紀元前2～3世紀頃の漢の時代には、すでに鍊鉄を製造していた。

ヨーロッパでは、1784年にヘンリー・コートが発明する反射炉を使ったパドル法で、鍊鉄を作り始めた。

図 中国の銑鉄・鍊鉄の製煉炉

中国の鑄鉄技術

中国においては、青銅器の大半が、鑄造で製造されていた。
(欧州における古代の青銅器は、鍛造) 主体で製造されていた。



BC約1800年頃：中国において青銅による鑄造技術が確立



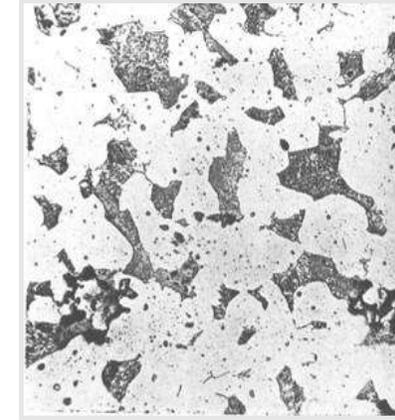
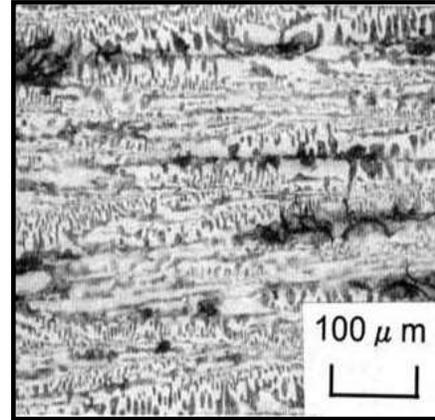
BC500年頃：鑄鉄の鑄造技術へ発展



BC300年頃：鑄鉄脱炭鋼や可鍛鑄鉄の開発(塊煉鋼かいれんこう)



BC119年:漢王朝 鑄鉄所を国営化
「生鉄」=鑄鉄 「熟鉄」=練鉄
小刀, 斧, のみ, 鋸, 鍋釜などを製造



当時の鑄鉄は、C: 2.5~4.3%, Si: 0.1~0.2%と、Siが低いために、チル組織となっていた。硬いが、脆い欠点があった。Siの高い鑄鉄が欧州で出来るのは、16世紀になってからである。

チル鑄物(左図)を酸化鉄中で、900°C3日間以上加熱すると脱炭が起こり、鋼の組織へと変化する。この技術を、BC300年頃に有していたことは、驚きである。その後1722年に、Reaumurにより、再度発明されることになる。

鑄鉄と鋼の歴史

鋼: BC1700年頃、ヒッタイト。叩いて作る鉄

ヨーロッパ

中国

白心可鍛鑄鉄: BC470年頃、中国にて
チル鑄物を酸化鉄内で加熱

中国

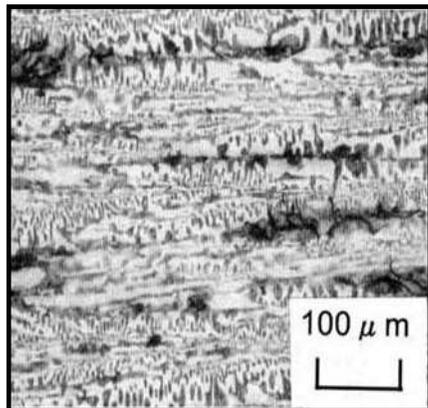
錬鉄: BC200~BC300年、中国にて
炭素量が0~0.25%と低い鋼である

1735年頃チルしない加工できる鑄鉄: ダービー高炉発明アイアン・ブリッジ頃、シリコンが高いため、チルしない。産業革命の基礎材料となる。

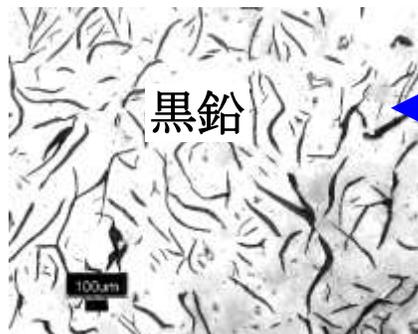
1772年頃チルから作る白心可鍛鑄鉄の再発見: フランスのラミオーレが発見。黒鉛がない、現在の鋼に近い鑄鉄。中国よりかなり遅れている。

1784年にヘンリー・コーンが反射炉とバトル法を組み合わせて、錬鉄の製造に成功

1856年、ベッセマーが転炉を発明。本格的鉄の時代に入る。

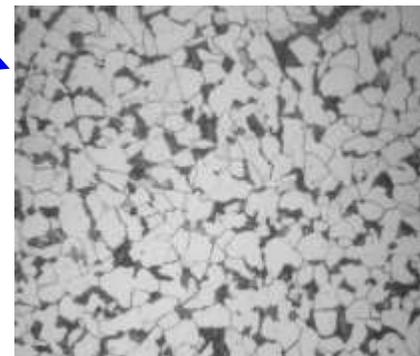
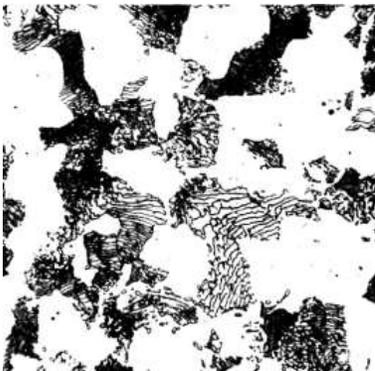


チル

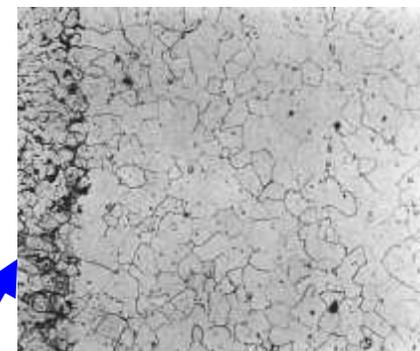


黒鉛

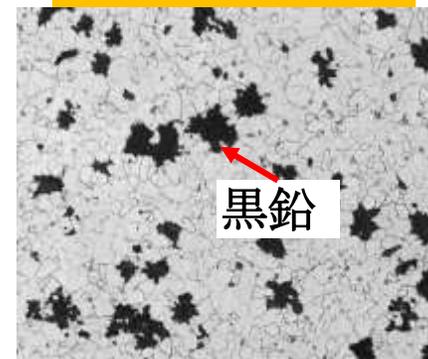
片状黒鉛鑄鉄



鋼(はがね)



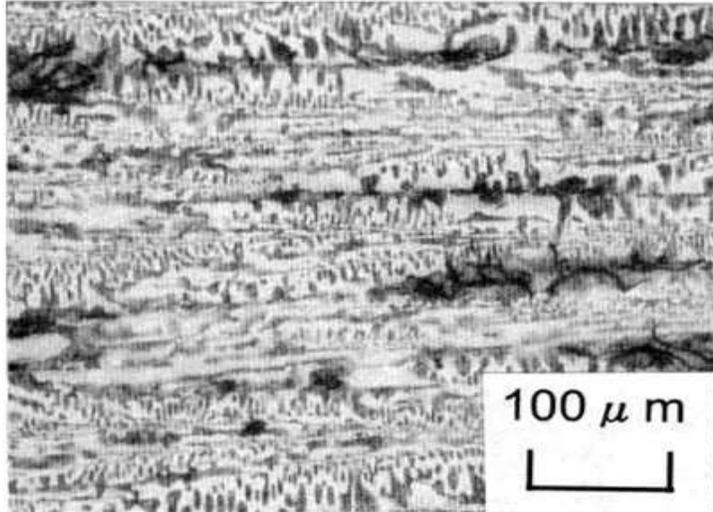
白心可鍛鑄鉄



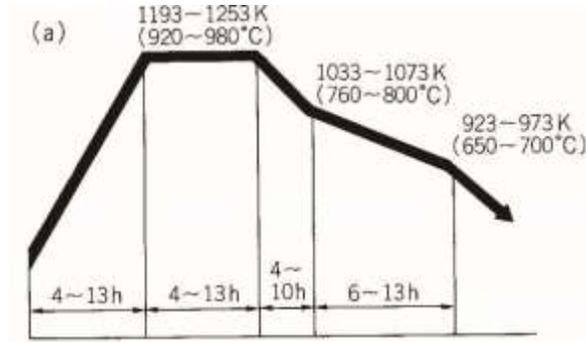
黒鉛

黒心可鍛鑄鉄

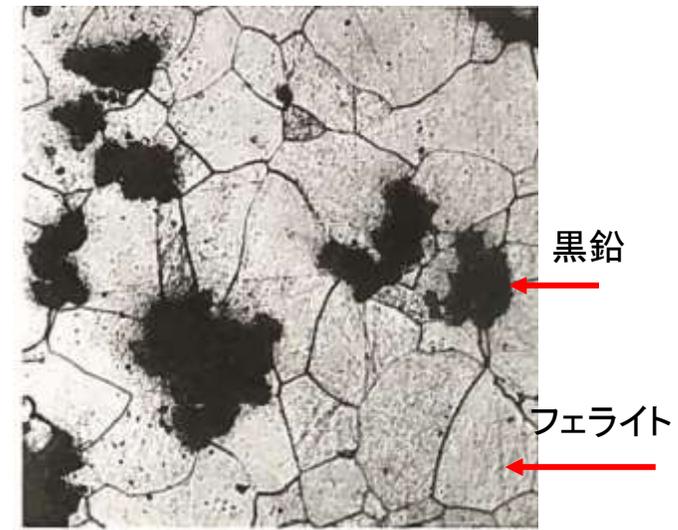
可鍛鑄鉄(マリアブル)の作り方



チル鑄物

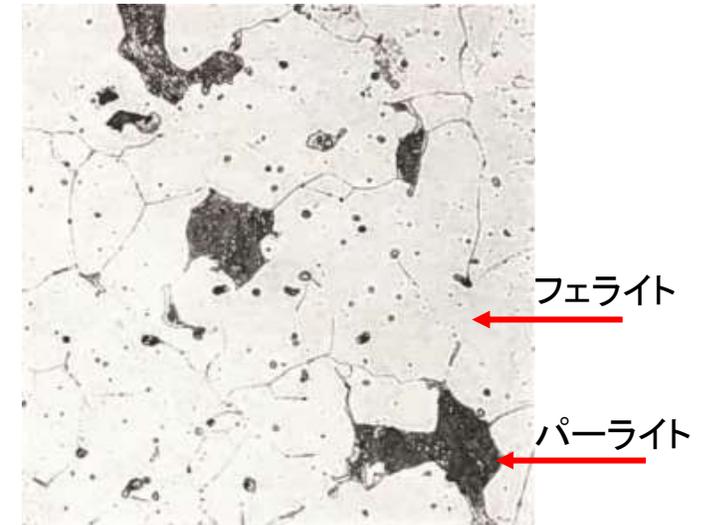
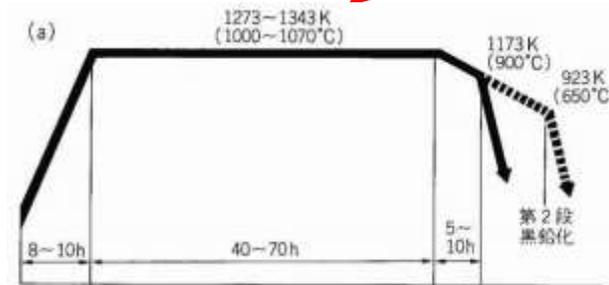


空气中で熱処理



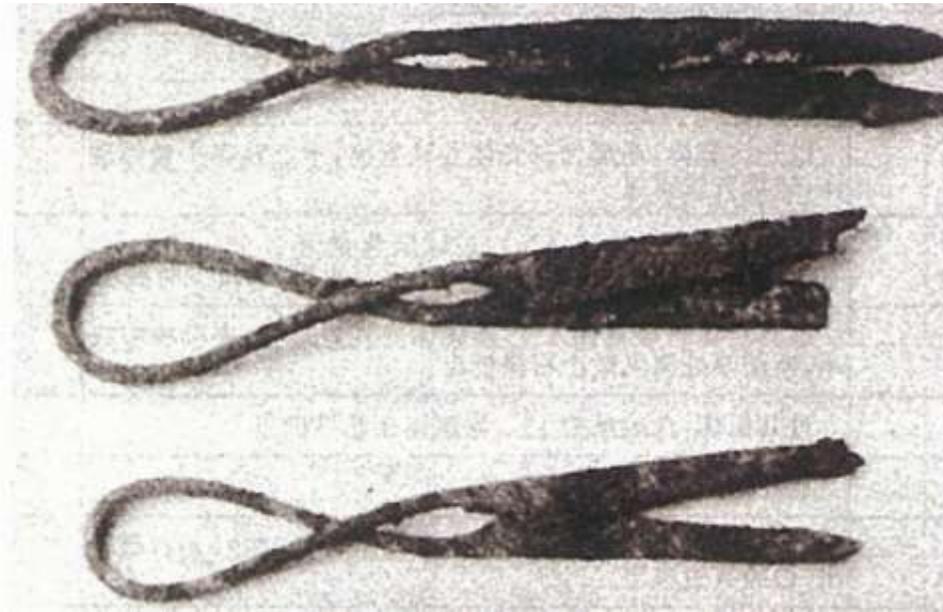
(b)黒心可鍛鑄鉄の組織
(現在の球状黒鉛鑄鉄に近い組織)

酸化鉄中で熱処理

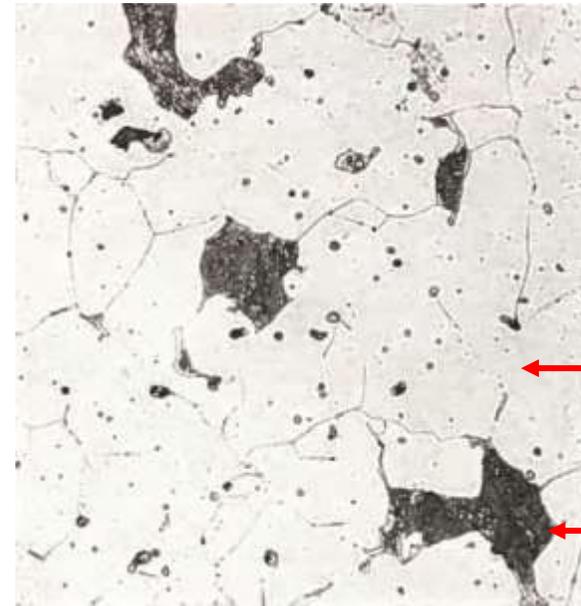


(c)白心可鍛鑄鉄の組織
(現在の鋼に近い組織)

中国における可鍛鑄鉄(マリアブル)の製造



(a)ハサミの外観



フェライト

パーライト

(b) ハサミのミクロ組織

(白心可鍛鑄鉄)

(現在の鋼に近い組織)

春秋時代(BC770-473)のハサミ

(Tan Derui: 「The ancient Chinese casting technique」、The 69th WFC paper (2011,2) P129)

中国鑄鉄技術の不思議

年代	時代(人)	内容	不思議
BC400年頃	春秋末期	「考工記」に青銅兵器のCu, Sn, Pbの配合割合が記してある。	成分は、どのようにして求めたのか？
BC300年頃	戦国時代	鑄鉄脱炭鋼や白心可鍛鑄鉄を製造していた。(塊煉鋼)	欧州では1722年に、Reaumurにより発明される。
BC200年頃	秦始皇帝	青銅剣にクロムメッキ(兵馬俑)	20世紀にドイツで発明
BC119年頃	漢武帝	製鉄業を国有化	
AD100年頃	後漢	百煉鋼(日本刀のルーツ)の刃部に焼入れをし、背部はなしの刀	百煉鋼とは何回も叩く鋼の事。
AD200年頃	三国時代	曹操「百辟刀」(ひやくへき)	三国志に出て来る張飛が用いた銘刀が「神刀」であると考えられる。
		諸葛亮「神刀」 焼入れの研究	
AD300年頃		火薬の発明(世界の四大発明)	中国で火薬を軍事に使用するのは10世紀初め。
AD500年頃	南北朝	「横法鋼」と「灌鋼」→宿鉄刀	Cの高い鑄鉄とCの低い錬鉄を混ぜて溶解(欧州では1864年)



図 兵馬俑坑（秦. BC771～BC206年）

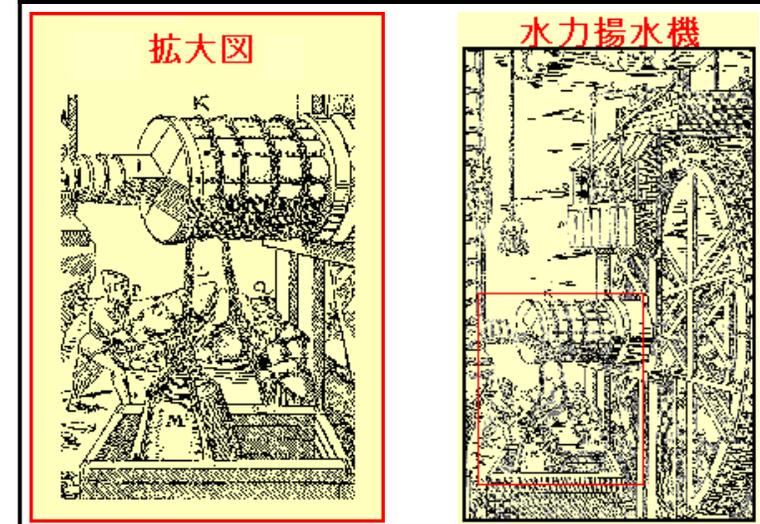
兵馬俑の青銅剣には**クロムメッキ**がしてあった。(BC200年頃)
欧州で出来るのは、20世紀になってドイツで発明されてからである。

中世の西欧における製鉄技術の進歩

- ・紀元前2～3世紀頃 低シャフト炉(ルッペ炉、レン炉など) --- 人力による冷風送風(人力フイゴ) 炉の高さ1m前後、直径40-50cm程度の大きさ。日産数Kg
- 8世紀頃 シュトゥック炉(高炉とレン炉の中間形態): 炉の高さ3-4m。生成した半熔鉄(海綿鉄、ルッペ)を鍛造によって精錬するという点において、中世のシュトゥック炉と古代のレン炉の間に違いはない。古代と異なるのは、生成する半熔鉄が百キログラムのオーダーというよう大きくなった
- ・14世紀頃 木炭高炉(木炭を還元材・燃料源とした製鉄法): 15世紀の高炉は、高さ4.5m、内径約1.8mで、1昼夜に約1600kgの銑鉄を生産した。

1550年、ゲオルグ・アグリコラによって書かれた『**デ・レ・メタリカ**』は、当時の世界の鉱業・冶金技術の集大成であると共に、近代技術の夜明けを告げる画期的な技術書です。300葉にのぼる版画は精緻で当時の鉱山・工業のありさまをハッキリと描いています。

この本の中に、たくさんのチェーンの使用例があります。物を吊る道具・水を汲む道具・物を運ぶ道具として、版画で表現されています。



『**デ・レ・メタリカ**』

英国における製鉄技術とアイアンブリッジ

1707年 ダービー I 世は、湿った砂を鑄型として使う**生砂鑄造法**(水と粘土で鑄型を作る)を発明。

1709年 ダービー I 世は、製鉄所で木炭の代わりに**コークス**を用いて鉄を製造することに成功。

1735年 **ダービー II 世**は、**高炉**においてコークスだけで鉄鉱石を精錬することに成功。

1769年 ジェームス・ワット:**蒸気機関発明**。

1777年 11月アイアンブリッジの建設工事開始。

1779年 アイアンブリッジ完成。

1784年 ヘンリー・コートが銑鉄を精錬するパドル法と圧延技術を開発。(反射炉+パドル法)

反射炉で溶湯を攪拌することで、空気との接触により鑄鉄中の炭素を除去。圧延により、鉄の板が出来るようになった。パドル法の限界量は1回180~227kgであった。

1839年 ネスミス:スチームハンマーの発明

1856年 ヘンリー・ベッセマー**転炉の発明**。熱源不要。空気 or 酸素の吹き込みによる炭素除去。

1864年 **平炉法**:炭素含有量の高い鉄(鑄鉄)と炭素含有量の低い鉄(練鉄)を混ぜ合わせて溶融することで炭素含有量を調節(屑鉄の再利用)。中国のA.D.5世紀の共融解法による「横法鋼」と「灌鋼」がその先駆。

鑄鉄の
全盛期

世界で初めてのまともな鑄鉄(多量に作れるようになった加工できる鉄)による建造物

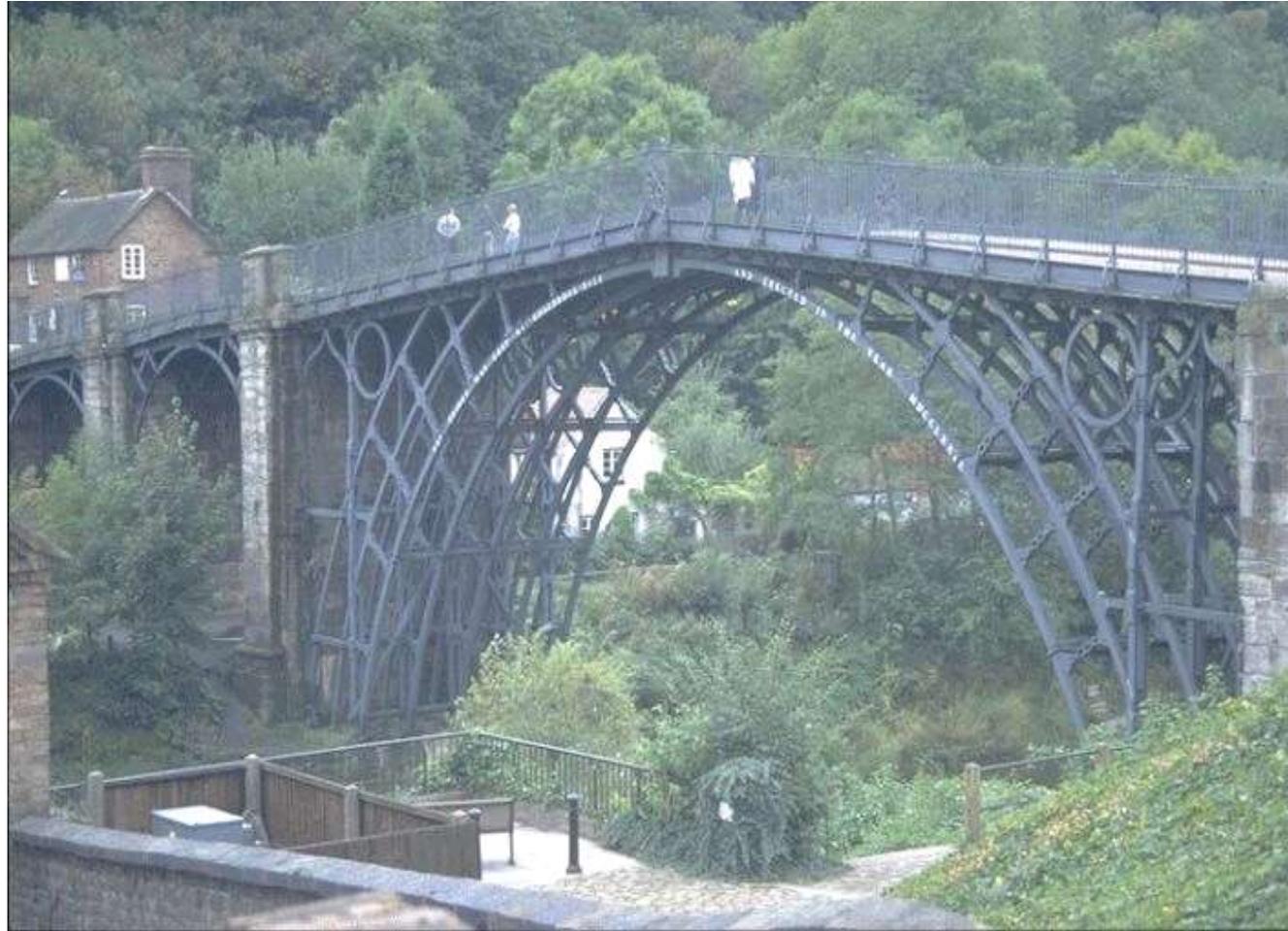
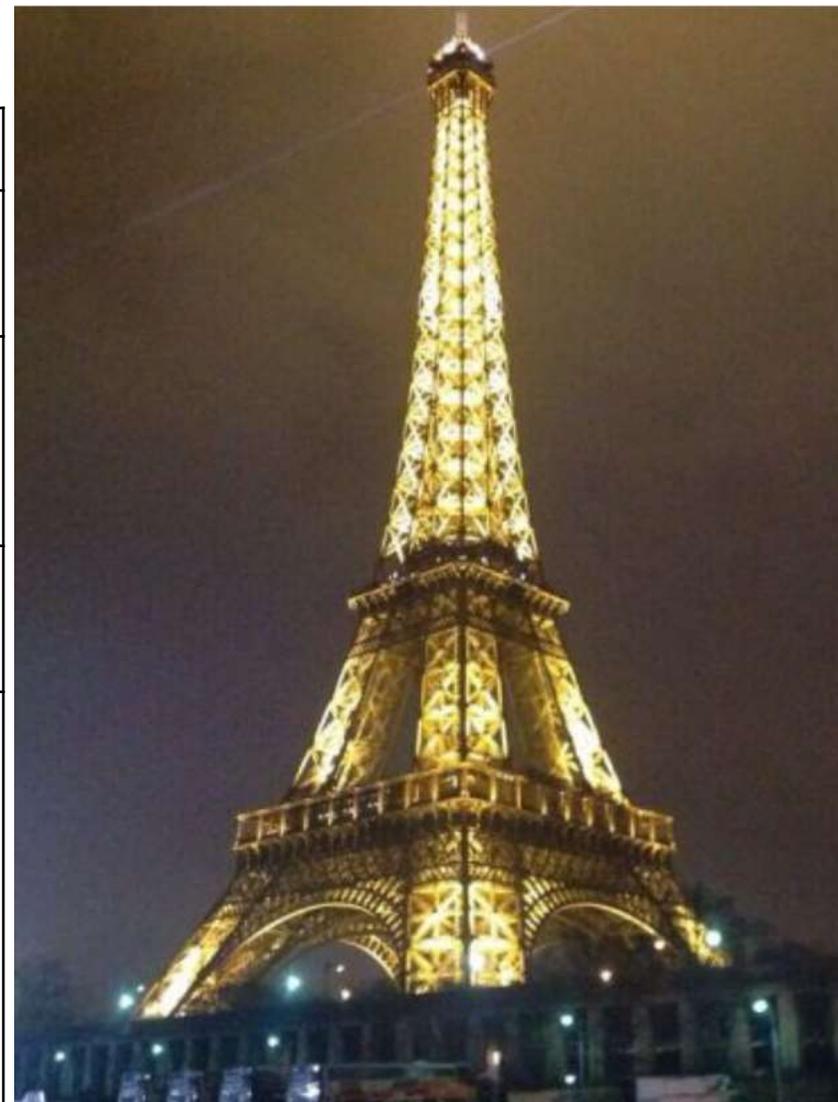


図 アイアンブリッジの様子〔1779年完成〕

成分(C:3.25%, **Si:1.48%**, Mn:1.05%, P:0.54%, S:0.037%)ねずみ鑄鉄

鑄鉄の時代・錬鉄の時代・鋼の時代

	年度	名称	発明者	内容・歴史的意義
鑄鉄の時代	1735年	高炉	ダービ2世	シリコンの高い加工できる鑄鉄製造を可能にした。
	1766年	反射炉	クラネージ兄弟	高炉から独立して大量の鑄鉄溶湯を手に入れることができるようになった。
	1772年	白心可鍛鑄鉄	レミオール	現在の鋼のような鉄
錬鉄の時代	1784年	反射炉 + パドル法 (1回 200Kg)	ヘンリー・コート	反射炉の湯をかき混ぜることにより(パドル法)、炭素量を少なくして錬鉄を作る方法。1889年の万国博覧会で建てられたエッフェル塔は錬鉄で作られている。
鋼の時代	1856年	ベッセマー転炉	ベッセマー	叩いてつくる鋼ではなく、直接溶湯から炭素が2.1%以下の鋼が直接つくれようになった。



エッフェル塔
 (反射炉の錬鉄7000Tonで作られた。)
 (参)東京タワーは4000Ton、
 スカイツリは36000Ton

スチームハンマーの発明(1839年)



図 18世紀の水車による家内工業的鍛造



図 スチームハンマーによる鍛造



図 ヴェルニー記念館のスチールハンマー



ヴェルニー記念館
ヴェルニー公園内
(JR横須賀駅前)

転炉の出現により鉄の大量生産の時代に入った



ベッセマーの転炉
(ロンドン化学博物館)



1875年に英国王と女王
が転炉を見学した様子

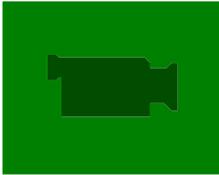


図 ベッセマー転炉の作業図

フルモールド法によるリバーースエンジニアリング事業(鑄造品)



ATOSを使った世界文化遺産富岡製糸場のブリュナーエンジンの再現



1914年(大正3年)1月作製の重要文化財門司港駅鑄鉄製支柱の再現

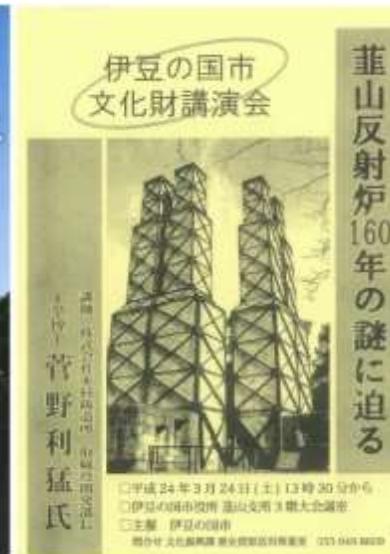


製鋼所用耐摩耗材料のリバーースエンジニアリング

葦山反射炉の研究と反射炉に 隠された10の謎を解く

- 1998年3月、木村鋳造所 24ポンドカノン砲寄贈
- 2004年ころ葦山反射炉の調査をスタート
- 2011年10月頃葦山反射炉応援団の発起人会を立ち上げる。

● 2015年7月5日、葦山反射炉世界文化遺産に決定



世界近代化産業遺産は、9エリア、30資産



鹿児島 集成館



長崎 軍艦島



八幡製鉄東田第一高炉跡



山口萩の反射炉



静岡韮山反射炉



岩手橋野高炉跡



アイアンブリッジの館長だったスミス氏と世界遺産のコーディネーターの
キャンブル氏及びニール・コソン卿が日本の近代化世界遺産の推進を進
めて頂いた。



木村鑄造所

9 km

葦山反射炉

戸田
造船所跡

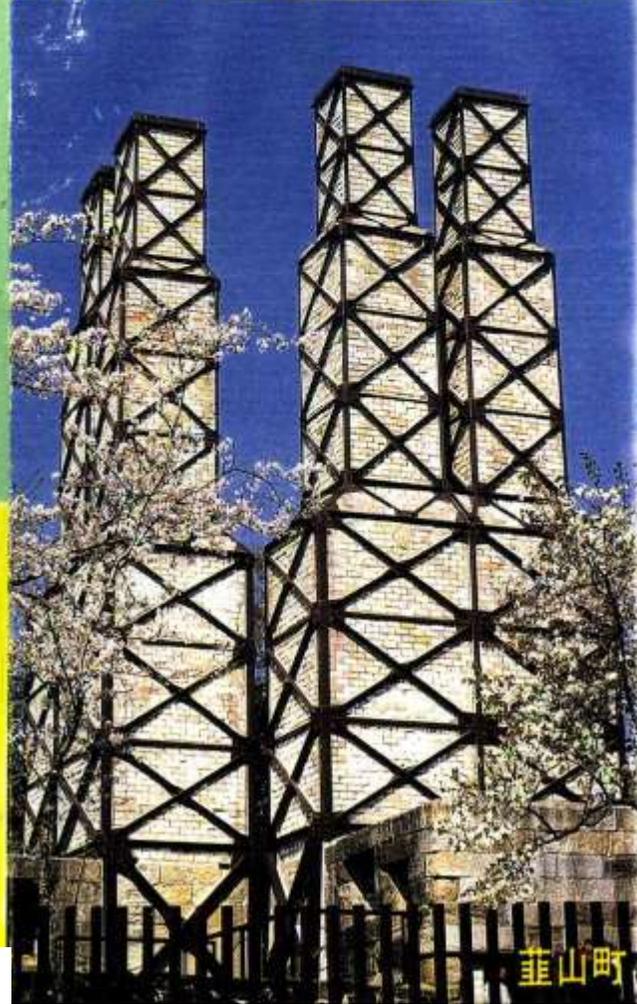
梨本煉瓦

下田
反射炉跡

葦山町史跡案内図



国指定史跡
葦山 反射炉
NIRAYAMA REVERBERATORY FURNACE



反射炉
全景

木村鑄造所から直線距離にして9kmの場所に葦山反射炉はある。木村鑄造所寄贈の大砲

世界遺産登録に向けての地元・関係者一体での取組み

●子供鋳物教室の様子(2013年2月24日)



世界遺産登録にとって重要なのは、その資産の周辺住民の保存への協力と登録へ向けての盛り上がりである。

韮山反射炉世界遺産シンポジウムの時(2013年2月24日)に、キュポラによる大砲づくりと、アクセサリ等を作る子供鋳物教室を行った。

葦山反射炉の溶解量

連双2基・合計4炉



鉄製 カン大砲	所要 鉄量	葦山反射炉の 溶解量
6ポント砲	1250kg	1炉 500～700貫目 (1.9～2.6Ton)
8ポント砲	1600kg	
12ポント砲	2700kg	1双(2炉) 1200～1300貫目 (4.5～4.9Ton)
24ポント砲	3500kg	
36ポント砲	4500kg	4炉合計:約8～10Ton

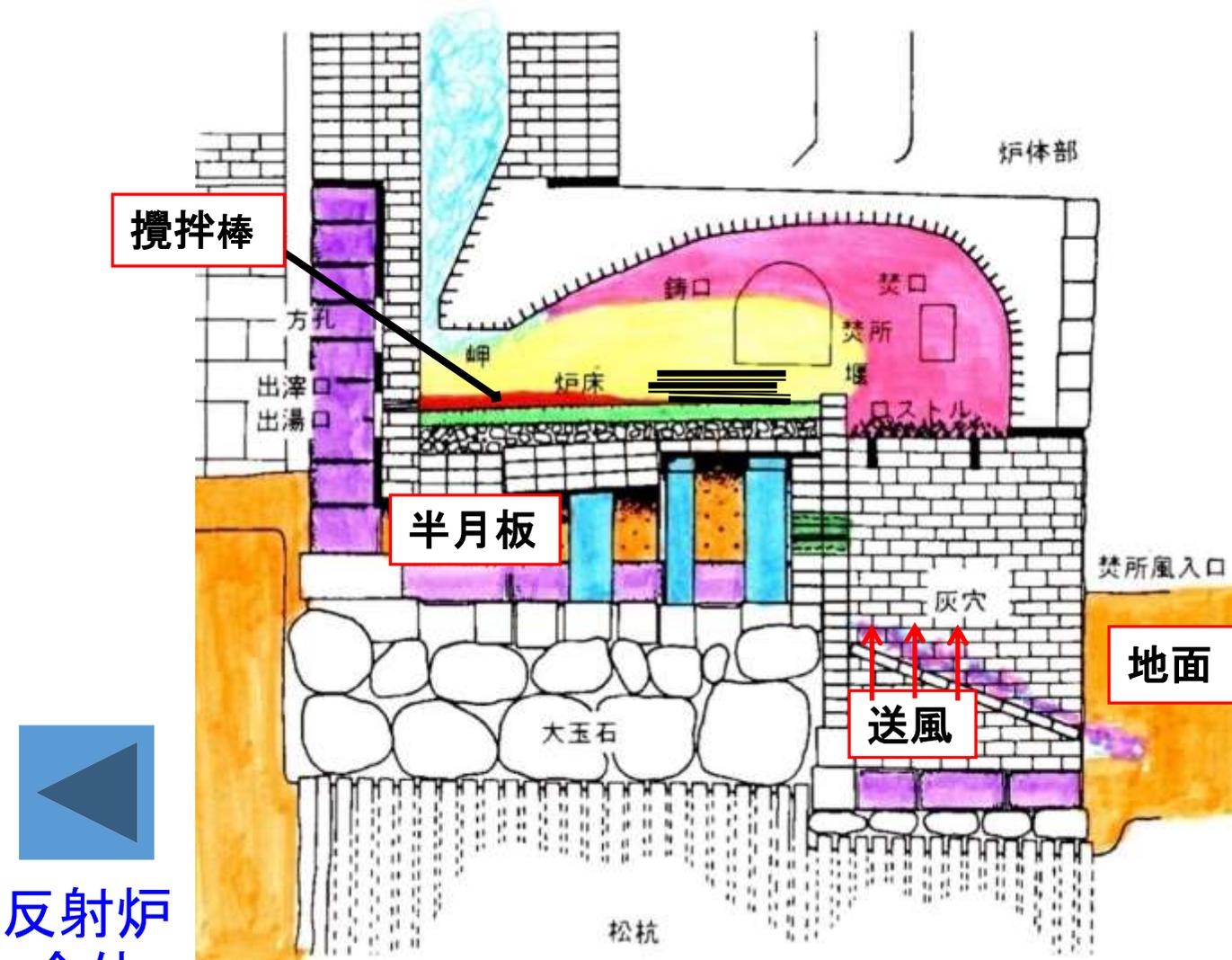
※ 1貫目 = 3.75kg

反射炉は、1炉のみで溶解することは不可能である。なぜならば、もう1つの炉に熱を奪われてしまうためである。基本的に、溶解は1双(2炉)の溶解である。

反射炉とは — 鉄(鑄鉄)を溶かして大砲を作る炉



(a) 反射炉の全景



反射炉
全体

(b) 反射炉の断面図

青銅の強度

(砲金と呼ばれるもの、JIS-BC3)

引張強さ	285 N/mm ²
伸び	30 %
硬さ	80 HB
疲れ強さ	90 N/mm ²
衝撃値 (ノッチなし試験片)	100 J

鋳造温度(現在)

溶解温度	1200~1250°C
鋳込温度	1120~1200°C

成分 (wt%)

Cu	Sn	Zn
86.5~89.5	9.0~11.0	1.0~3.0

鋳鉄の強度

(佐賀藩の大砲より推察)

引張強さ	250 N/mm ²
伸び	0.5 %
硬さ	210 HB
疲れ強さ	110 N/mm ²
衝撃値 (ノッチなし試験片)	4 J

鋳造温度(現在の大型鋳物)

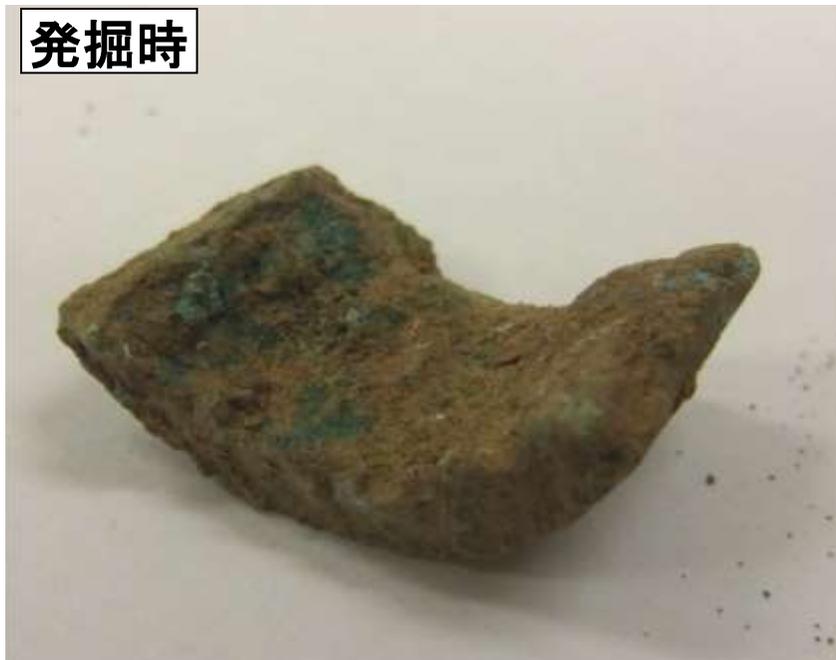
溶解温度	1400~1450°C
鋳込温度	1320~1380°C

佐賀藩大砲の成分 (wt%)

Cu	Si	Mn	P	S
3.22	0.69	0.27	0.27	0.13

青銅の比重は鋳鉄よりも20%重いですが、鋳鉄よりも青銅の方が耐衝撃性が高く、大砲としては青銅製で問題なかったと考えられる。ただし、青銅はコスト的に高価(約2倍?)という欠点があった。鋳鉄製大砲の開発が行なわれたのは銅の不足とコスト的問題と考えて良い。 34

銅切粉の成分調査による融点と切削力の推測



(a)発掘時の状態

(b)洗浄後の状態

(Cu:89.7% Sn:9.20% Pb検出されず)

図 葦山反射炉の発掘調査で発見された青銅の切粉

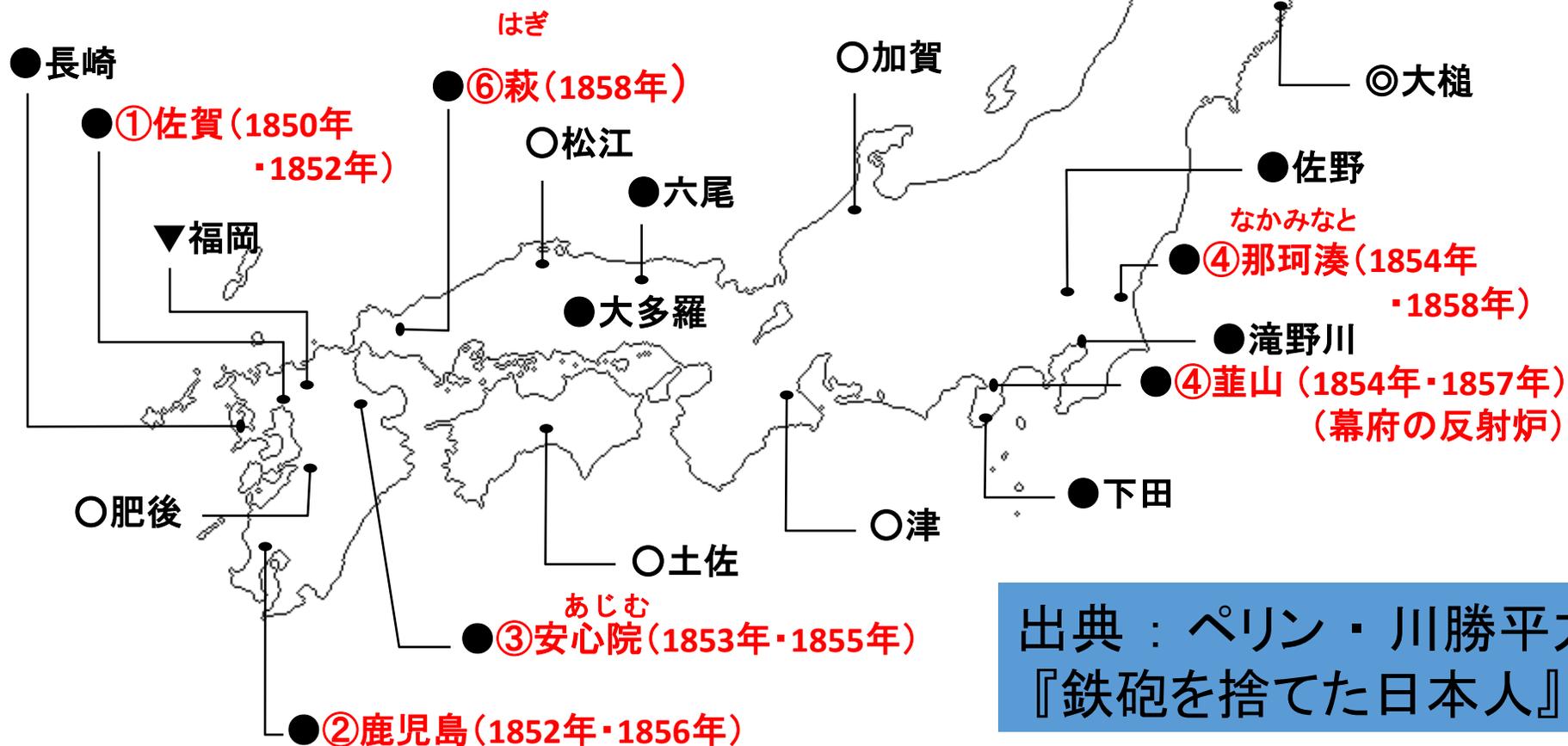
2013年の発掘調査の時に発見された青銅の切粉は銅と錫のみからできており、鉛は含まれていない。錫の割合は10%程度であり、葦山反射炉築造記録で購入した銅2700kg、錫270kgと一致する。

この切粉より、反射炉日記に記載のように、凝固開始温度約1020°Cの青銅製の大砲を鑄造したと予測される。切粉の凝固開始温度は約1028°Cであるから、必要な溶解温度は+100°Cの1128°Cとなる。

切粉の厚さは約1.5mmであり、一度に1.5mmづつ加工していたことになる。大砲の加工に何日もかかるような加工ではないことが分かる。

日本国内の反射炉建設場所(着手年・鉄製大砲製造年)

- 建設もしくは着工した反射炉
- ▼建設の可能性はあるが未確認
- ◎反射炉の計画があったもの
- 反射炉に関心を持っていた藩



出典：ペリン・川勝平太訳
『鉄砲を捨てた日本人』

佐賀藩の反射炉(築地)^{ついち}

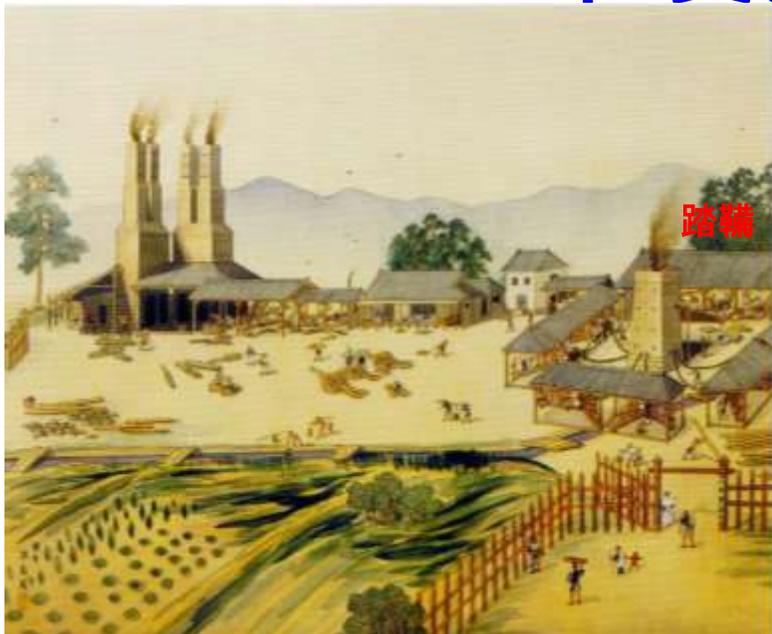


図 佐賀藩築地の反射炉絵図
(昭和初期に書かれた絵図)

佐賀藩築地における反射炉の踏鞴(たたら)は、絵図から見る限り、非常に大きい。また、「ふいご」の数も多い(絵で書き加えただけで、本当はなかったとする説がある)。良い材料(Siの高い材料)を得るために電流丸のバラストを使用したことは有名な話である。(鉄製大砲:57門) (文献:反射炉 I 大砲をめぐる社会史 金子功(1995))



佐賀(鍋島)藩の教育

弘道館(6歳入学25歳卒業)での「超スパルタ教育」を行い、25歳で卒業できないと家禄の8割が没収された。

「ゆとり教育」って何なんでしょうね？

はぎ
萩の反射炉



1856年:着工

1858年:1双2炉完成

高さ11m

玄武岩製(上部の煙突部分のみ耐火レンガ)

実験炉として製作された可能性が高い。

(門数不明)

(文献:史跡萩反射炉 山口県萩市(1987))

水戸藩の那珂湊(なかみなと)反射炉と大砲



那珂湊の反射炉は、後に釜石市において洋式高炉をつくる大島高任らによってつくられました。水戸藩の藩内抗争である天狗党の乱によって焼失崩壊しました。

各地の反射炉で作られた大砲の数

場所	反射炉 着工年	鉄製 大砲 製造年	文献名					
			反射炉 I・II (金子功) (1995)	史跡萩 反射炉 (萩市) (1987)	幕末明治 製鉄論 (大橋周治) (1991)	洋式製鉄 の萌芽 (芹澤正雄) (1991)	金属の 文化史 (黒岩俊郎) (1991)	
佐賀(築地)	1848年	1852年	鉄57門	青銅		約200門		
佐賀(多布施)	1853年	1854年	鉄120門	235門		(材質不明)		
薩摩(集成館)	1852年	1856年	鉄数10門			58門? (材質不明)		
大分(安心院)	1853年	1855年	青銅100門以上			30門以上 (材質不明)	10門 (材質不明)	10門 (材質不明)
韮山	1854年	1857年	鉄数門			鉄2門?	青銅含めて 128門	
水戸(那珂湊)	1854年	1858年	5~6門 (材質不明)			20門以上 (材質不明)	約20門 (材質不明)	
萩	1856年	—	なし		不可能と 思われる	不明		試験炉か?

大砲が必要とされた歴史的背景

1808年 フェートン号事件

当時オランダと交戦状態にあったイギリスが、日本と国交のあるオランダ船を拿捕しようとして長崎にやってきた事件。来港時はオランダ国旗を掲げていたため、イギリス船だとわからなかった。慣例として、オランダからの定期便が来航する時期以外は、ほとんどの兵を引き上げているため、フェートン号は港内をくまなく探索した上、水と食料の補給まで行っていった。この事件で、内港の警備責任者である長崎奉行は責任をとって切腹し、外港の警備責任者である佐賀藩は藩主が逼塞(ひっそく)100日、家臣7人が切腹するという事態になった。この事件により、佐賀藩は外国船に対する警戒心が他藩より強くなった。

1840年 アヘン戦争

アヘン禁輸問題をめぐる英・清間の戦争。東アジア最強の清が敗れるという事態に有識者は強い衝撃を受ける。アヘン戦争終結後、イギリス・フランスの艦船が琉球に来航して通商・布教許可を求め、薩摩藩はその対応に追われた。こうした事態に危機感を強めた島津斉彬は、外国の艦隊に対抗できるように軍備の増強を考えるようになる。

1853年5月4日 ペリー来航(下田)

ペリー来航により幕府及び各藩は、外国との技術力差を思い知らされた。1853年には、下田の反射炉建設準備が行われている。



大量の大砲を必要とした各地のお台場

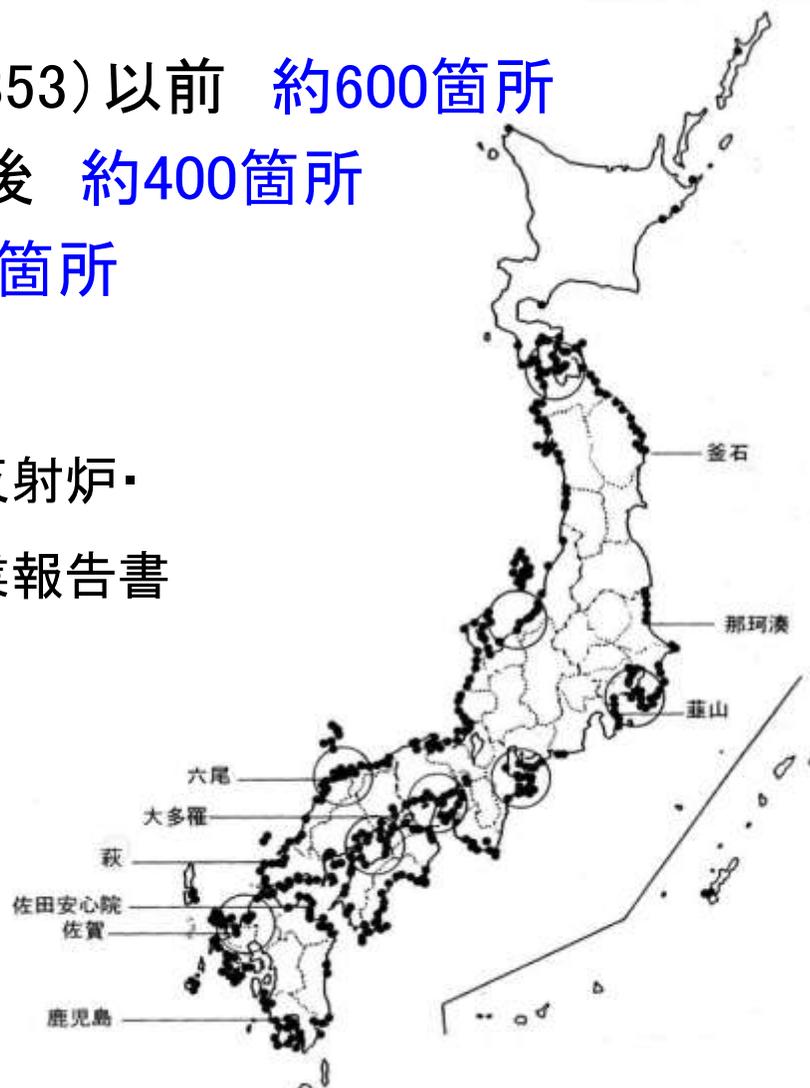
嘉永6年(1853)以前 約600箇所

嘉永6年以後 約400箇所

改築は約50箇所

(文献: 葦山反射炉・

保存修理事業報告書
(1989)P28)



幕末における全国
約1000箇所の台場



東京湾の台場と品川のお台場の位置

(文献: 葦山反射炉・保存修理事業報告書(1989)P20)

江川太郎左衛門(担庵)^{たんなん}とは・・・



江川太郎左衛門(1801～1855) (英龍・担庵)^{ひでたつ・たんなん}

伊豆韮山代官(1835～1855)
20年という短い時間で多くの偉業をなした。スーパーマン的存在。



韮山反射炉建設



品川お台場建設



戸田号建造



日本最初の種痘



農兵の採用



パンの祖



戸田号模型
(戸田号造船郷土資料館)

安政元年(1854年)の大地震による津波でロシア船のディアナ号が下田で船底を破損。その後戸田曳航中、悪天候のため座礁。安政2年(1855)100トンクラスの戸田号(日本で初めての西洋式帆船)を完成。
コールタールを戸田号の造船に用いた。



たんなん
江川坦庵の絵

左は自画像
右は1837年甲州徼行に出かけ、一揆を事前に抑えたときの、刀売りに化けた自分と齊藤弥九郎の姿をユーモラスに描いた絵。



農兵記念碑(三島市役所前)

「富士の白雪アノーエ」で知られる三島農兵節の元歌は嘉永年間(1848~1854)頃にはすでに盆踊り唄や、地唄として唄われていたとされています。(異説もあります。)



種痘記念碑(伊豆の国市北江間)

嘉永三年(1850年)正月息子英敏と娘卓子に種痘を受けさせ成功しています。江戸の種痘所は、東京大学医学部の前身になります。

葦山塾と塾生

1841年	<small>たかしましゅうはん</small> 高島秋帆から西洋砲術の実演を受ける。その後入門し、高島流砲術を修める。
1842年 9月	江戸塾を開く。 (<small>しょうざん</small> 佐久間象山、 <small>としあきら</small> 川路聖謨、ジョン万次郎 入塾) 10月までに門人100人余になる。
1842年10月	葦山塾始まる。
1855年 1月	<small>たんあん</small> 担庵の死と共に終了。

塾の間は18畳 塾生は約10名程度
在世中の門人は約280人 (4000人余名というのは調練を行なった
ときの人数を含めている)

パンの祖 江川太郎左衛門



江川邸

天保13年(1842)4月12日江川邸にて「兵糧(ひょうろう)パン」(乾パン風のもの)をパン焼き釜を使い焼く。



水戸, 薩摩, 長州, 後の官軍が兵糧パンを採用する。



1854年 鎖国が解かれると、横浜, 神戸などでパンが広がる。



1869年 「木村屋総本店」が銀座に開業。



1875年 日本独特の「あんパン」が発売される。

たかしましゅうはん
高島秋帆の従者であり長崎でパンを作っていた作太郎の協力を得て、パン焼き釜を作りパンを焼く。

1170年から一度も焼けていない江川邸の不思議

①日蓮大聖人の自筆の棟札の威力

②屋敷内の不思議な植物たち(千利休由来の下が割れた葎山竹・桜と楓と榎の宿り木)

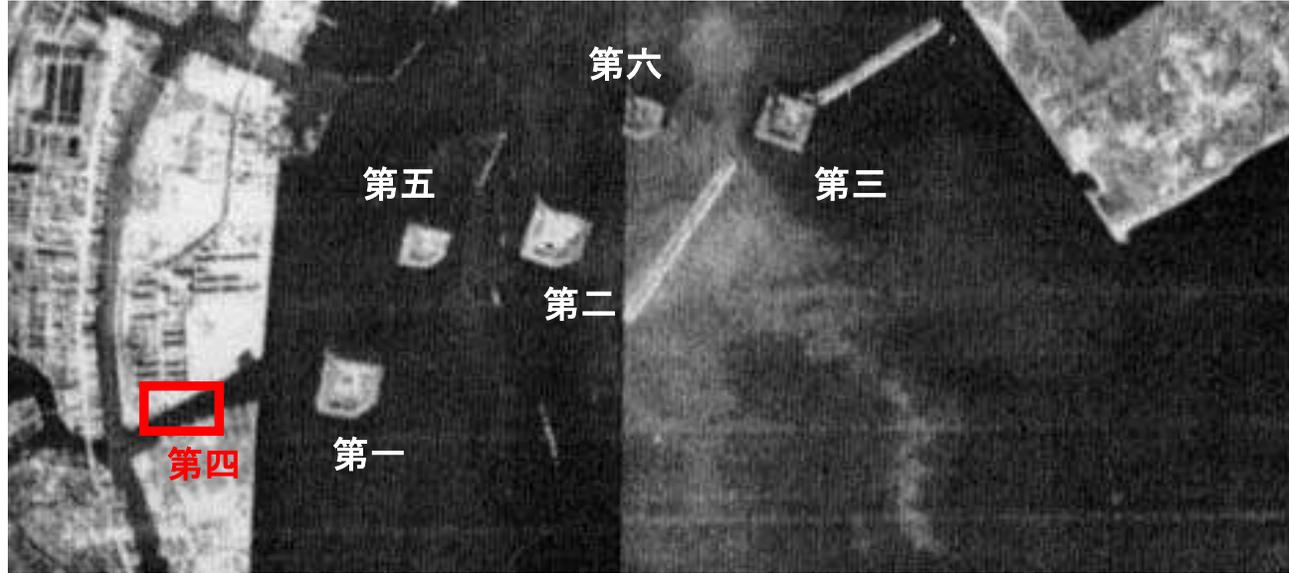
③江川家の井戸水で作られた米5割カットの秀吉・家康献上の純米大吟醸の江川酒

④大量に残る、調べても調べつくせない古門書や刀・銃



2020年古門書見つかる。
2021年米から作る。



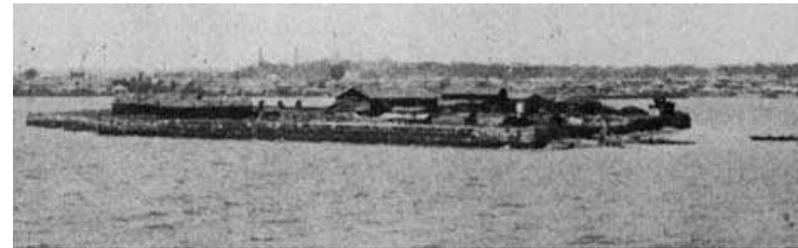


大砲の射線が
 死角無く交わ
 る配置となっ
 ている。^{たんなん}担庵
 がドイツの築城
 教本を参考に
 考えた。

終戦直後(昭和 20年秋)の品川お台場 GHQ空撮



第一品川お台場
 (大正末~昭和初期頃)



第四品川お台場
 (大正末~昭和初期頃) 台場内の建物は緒明造船所



お台場の様子



現在の第三品川お台場

お台場は、ペリーの再来航に備えるために作られた。

嘉永6年8月(1853) 第1～3 着工

安政元年1月(1854) 第4～7 着工

同年 5月 第1～第3完成 第4、第7は工事中止

お台場は6箇所(御殿山下台場を含む)完成したが、予定は12箇所作る予定だった。

総工費:約75万両(約262億円)

埋立土量:48万m³

大砲:155門

きゅうはち

三島市大場のヤクザ久八(配下2000人)がお台場建設を助けたという話がある。



石垣



大砲台の跡



三島市大場 久八の墓

にんきょう きゅうはち
任侠「大場の久八」

「清水港は鬼より怖い。
もっと怖いのは大場の久八」

上州三大親分の1人

一に大前田英五郎

二に大場の久八

三に伊勢の丹波屋伝兵衛



任侠大場の久八の墓所

業績

お台場の建設を助けた(配下2000人)

安政大地震(1854年)に大前田を通じて義援金を集め、被害者に分配。

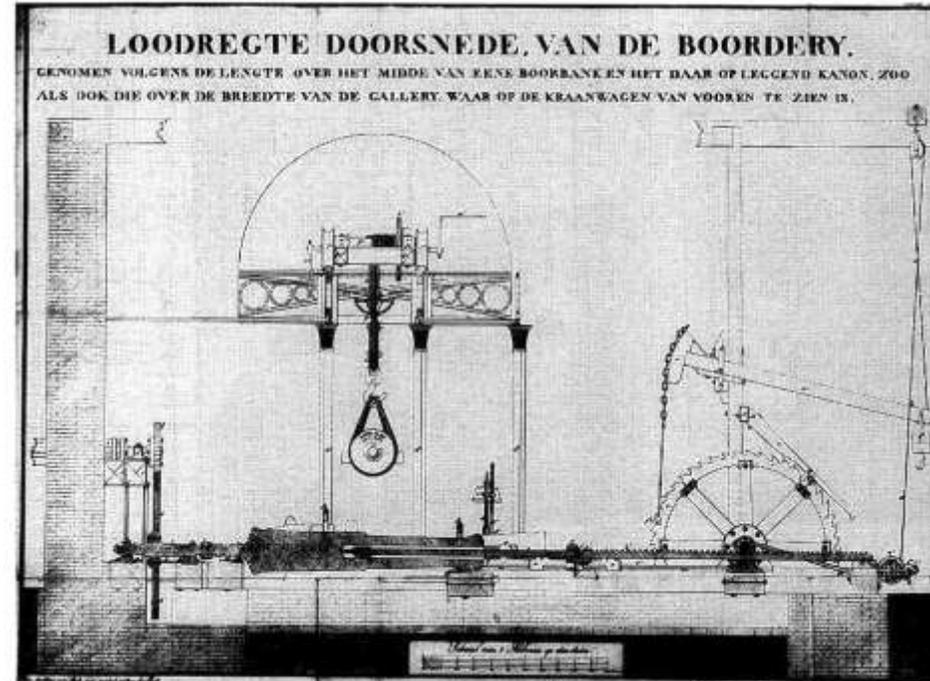
ロシア軍艦ディアナ号の援助

小学校を造る。

まなづる きざえもん

「十国峠の戦い。」真鶴の喜左衛門親分と喧嘩になる。

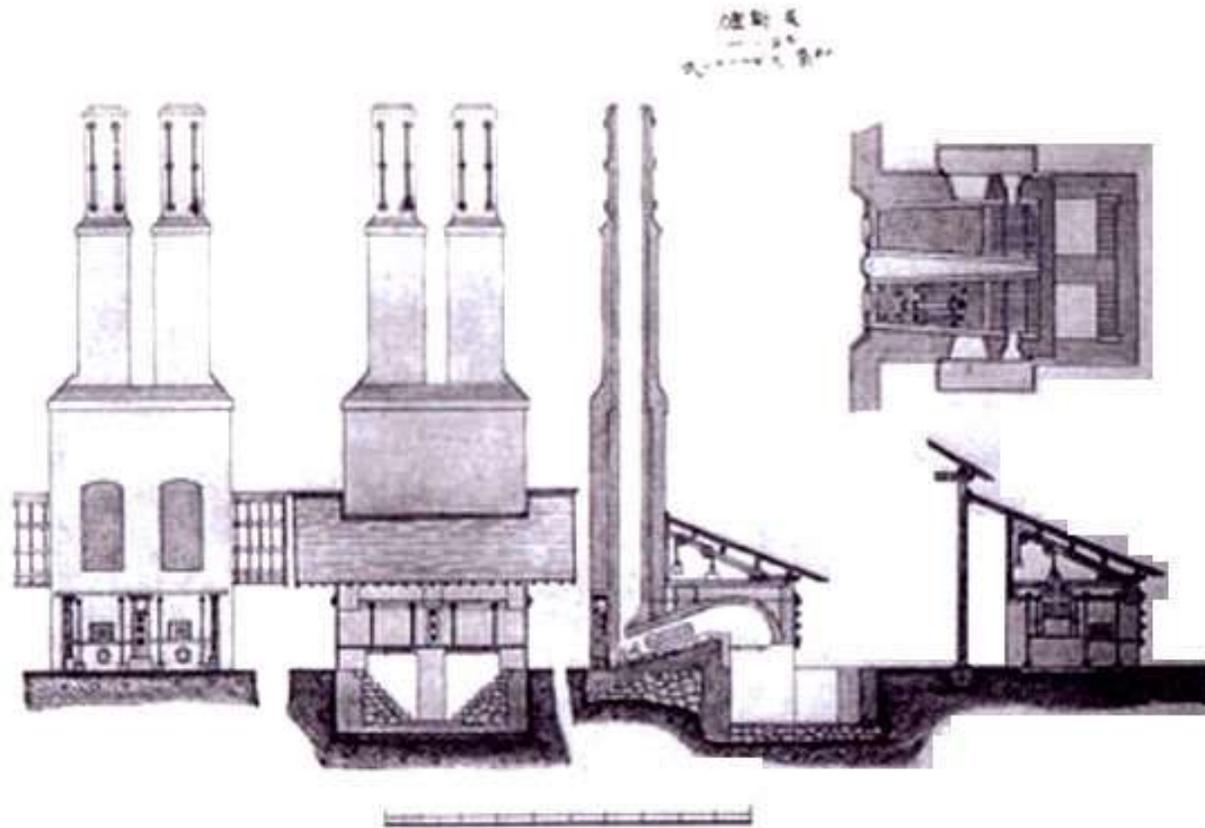
ヒュゲーニン著 「大砲鑄造法」 1826年出版



たかしましゅうはん

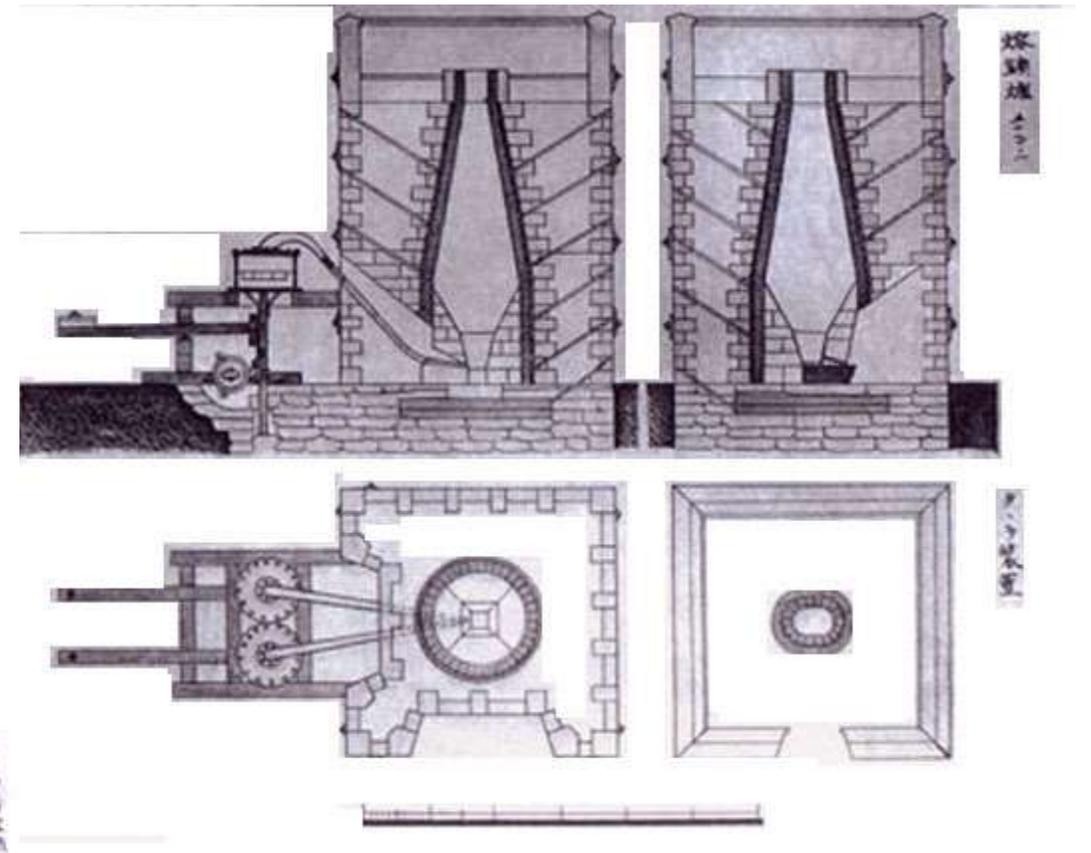
- 天保6年(1837年)高島秋帆によって輸入される。
- 手塚謙蔵てつか けんぞう訳「西洋鉄煩鑄造編」、伊東玄朴いとうげんぼく他共訳「鉄煩全書」、
かなもり
金森錦謙訳「鉄煩鑄鑑」などの翻訳書がある。

ロイク王立鉄製大砲鑄造法からの写本図



反射炉図

この図とから想像して改良していった。初期の大砲鑄造法の反射炉内の角度は急になっているが、再版される本はなだらかになっている。



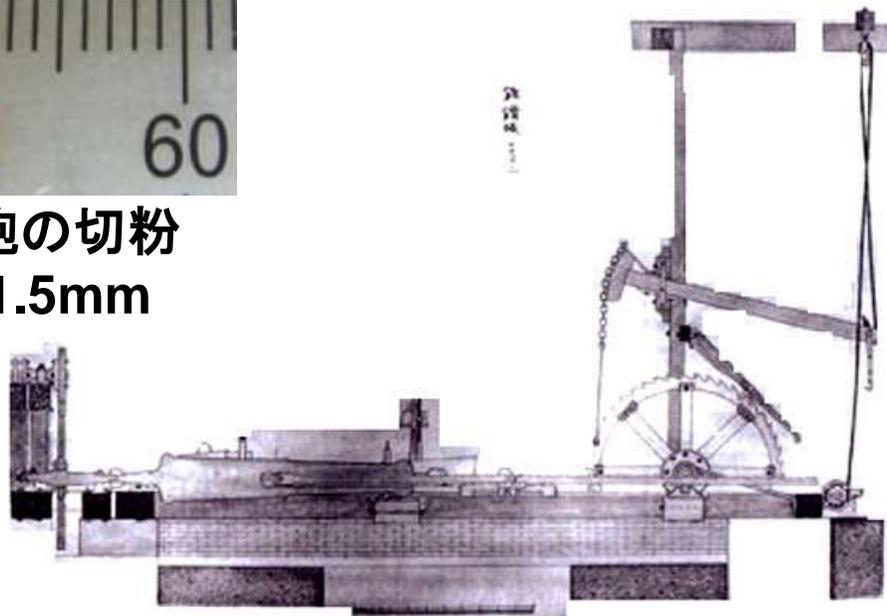
溶鋳炉

ふいごが使用されている。高炉のシリコンの高い銑鉄が必要なことが分かっているのに、なぜ高炉をつくらないで、反射炉をつくったか？

大砲鑄造法からの写本図

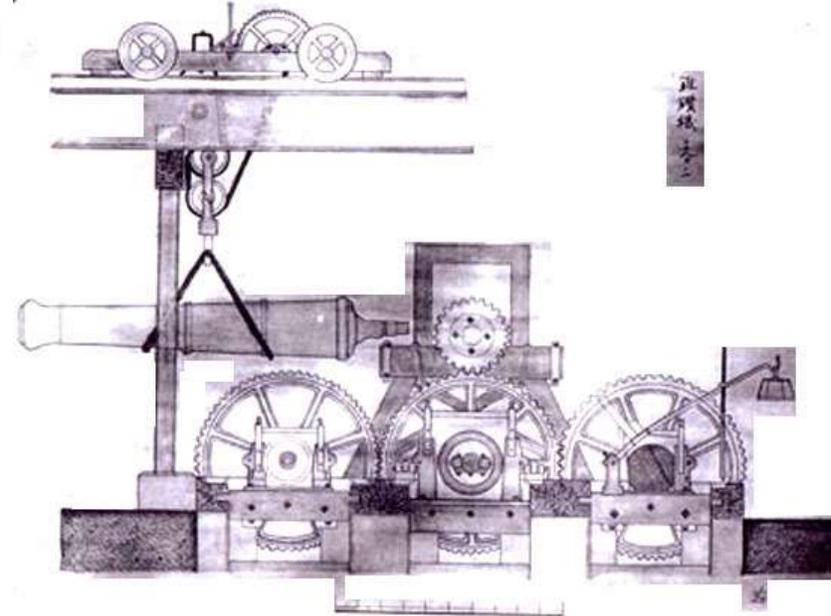


青銅砲の切粉
厚さ1.5mm



すいだい
錐台による穴加工

鑄物は無垢から加工であったことがわかる。

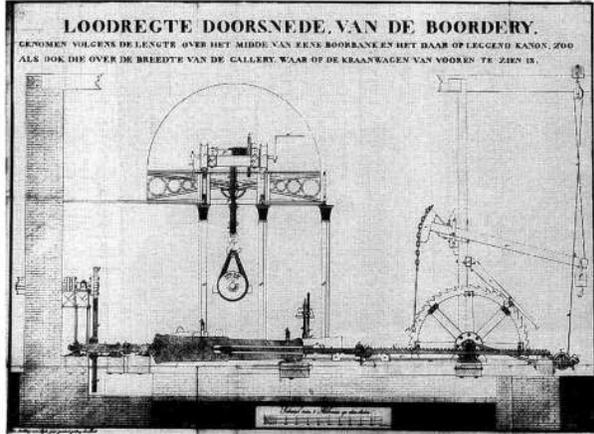


錐台とクレーン

木製のクレーンが使われたものと思われる。

加工は、水車の力で大砲を回転させながら行っていたことがわかります。どんな刃具であったかは、まだ良く分かっていません。

ロイク王立鉄製大砲鑄造法の目次(鑄鉄関係)



原書	目次	序	緒言	本文	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	12					
鉄煩全書(宮内庁本)	卷	一	一	二	二	二	三	四	五	五	六	六	七	十						
項目名		序(訳藁未成)	総論	鋳鉄、鋳種並溶化ニ準備スル方	溶鋳炉	溶鋳炉最初投火並作用	鋳鉄溶化法	鋳鉄	型料、粘土并砂	砂製ノ砲型ヲ造ル方	長円体ノ器ノ模型ヲ直立シテ製造スル方	反射炉	火ニ耐ル焼石、石炭	反射炉を装填シ及鉄を溶解スル方ヲ論ス	鋳鉄並坑中ニ型ヲ排列シ鉄湯ヲ注瀉スル等ノ法方	実弾虚弾柘榴弾等模型ヲ製造并溶冶ノ法方ヲ論ス	第一、型砂ノ種類並模型製造法	第二、鋳鉄ノ性質	第三、炉ノ種類并鋳鉄溶解ノ法	型砂ノ種類并模型製造法

1826年:ロイク王立鉄製大砲鑄造法出版(ヒューゲニン)

1837年:高島秋帆が大砲鑄造法の本を入手

たかしましゅうはん

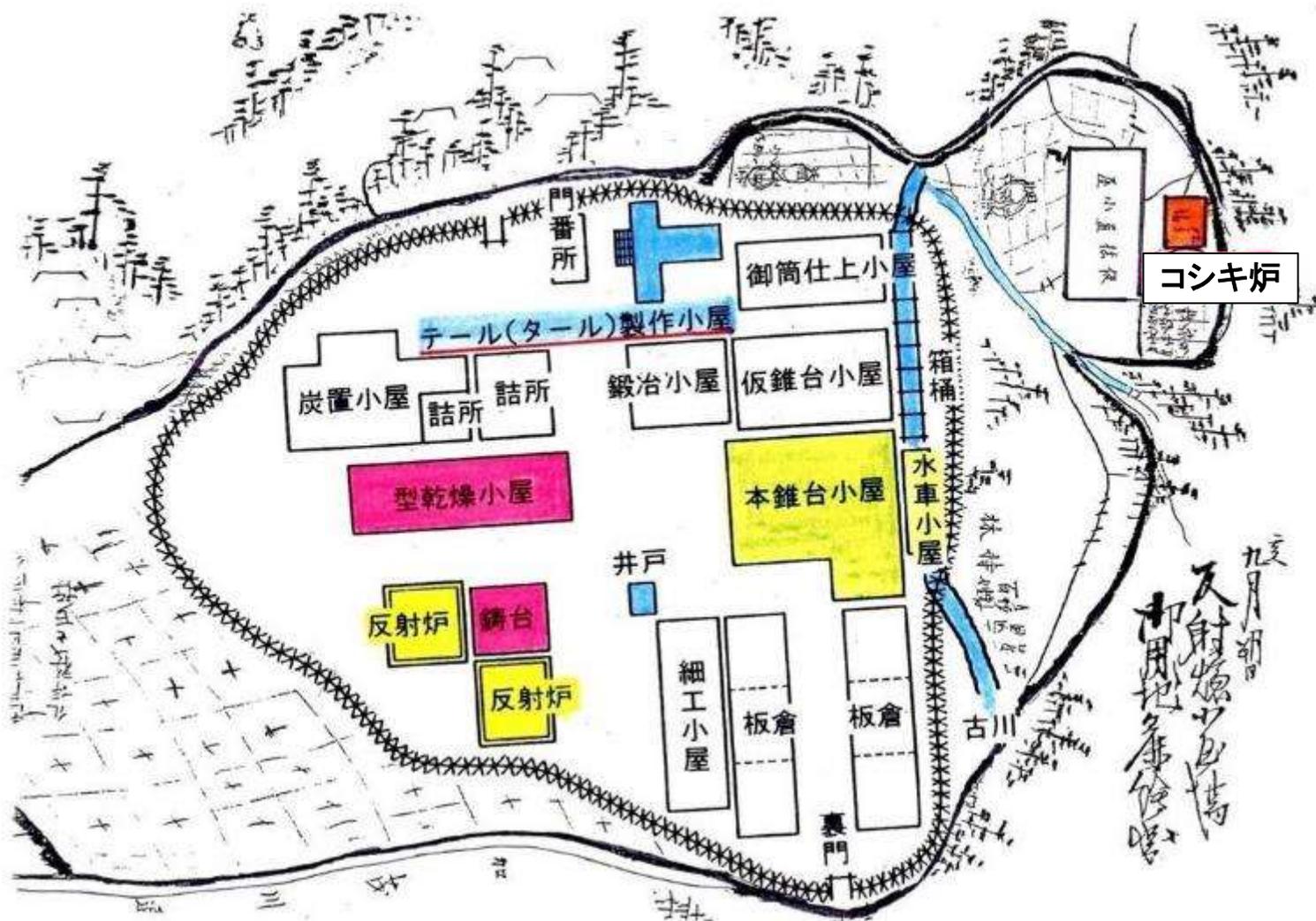
後年、手塚謙蔵、伊藤玄朴、金森錦謙らによって翻訳される

てつか けんぞう いとう げんぼく かなもり

葦山反射炉に残された10大ミステリーと一般説

	葦山反射炉に残された謎	一般説
溶解関係	①葦山反射炉で鑄鉄の湯は溶けたか？	鉄が溶ける温度は1600℃なので、葦山反射炉では鉄が溶ける温度に達しなかった。
	②反射炉の溶解温度は？	
	③反射炉の溶解時間は？	燃料が木炭なので、長時間かかった。
	④鑄込み方法は直接湯を入れる直注か？取鍋に一度受けて鑄込んだか？	シャチ台があることからクレーンで吊って取鍋で鑄込んだ。
	⑤「ふいご」は用いられたか？	煙突のベンチュリー効果により、風が入るので「ふいご」は使わなかった。
	⑥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。
	⑦溶解材料は？岩見の砂鉄・岩手の岩鉄（鉄鉱石）・輸入鉄（南蛮鉄）・バラスト	佐賀藩では船の底に敷くバラストを用いたが、葦山では用いなかった。
瓦煉	⑧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	⑨葦山反射炉での大砲の鑄込み数と完成品の数	鉄製は2門／青銅含めて128門。
	⑩鑄鉄製の大砲の成分の問題	TiやSなどの不純物が多かった。温度が上がらなかった。

軍需工場群としての反射炉

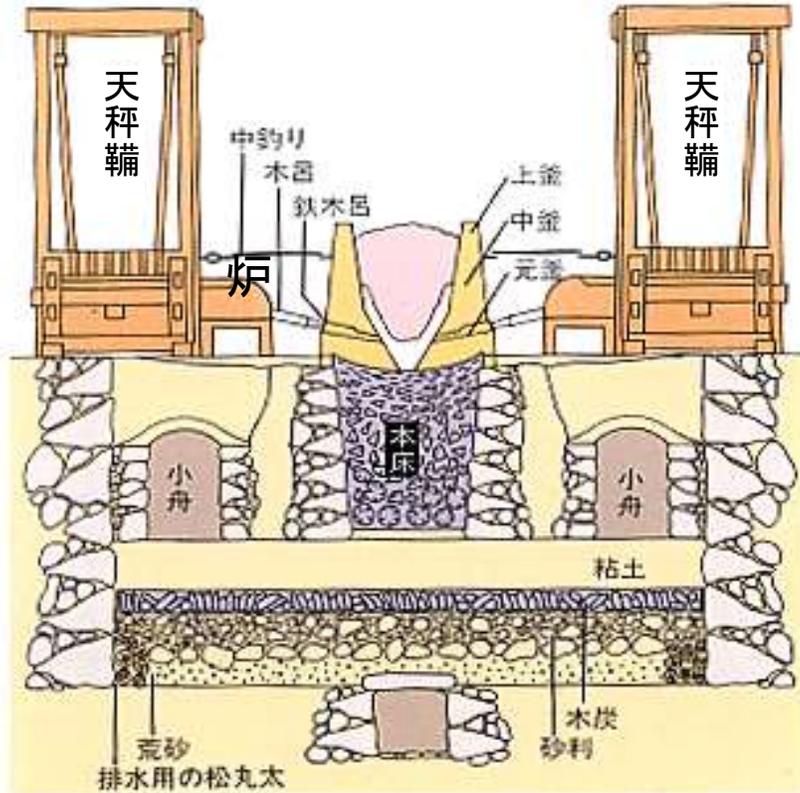


反射炉とは、反射炉を中心とした軍事工場であった。コシキにより反射炉に使う鑄物を製作していたこと、**石炭よりタール**を作っていたこと、**鑄型の乾燥(焼き型)**で鑄型をつくっていたこと、水車で砲身を加工していたことなどがわかる。

この古絵図は反射炉が廃止される前年に書かれていることから、**真実ではない可能性が否定できない**とされている。

古絵図(文久3年(1863年)「反射炉小屋場御用地鹿絵図」)

たたら こしき
踏鞴炉と甑炉の差



踏鞴炉の断面図

踏鞴(たたら)炉とは？

砂鉄と木炭を交互に重ねて、刀などに用いる玉鋼を作った。



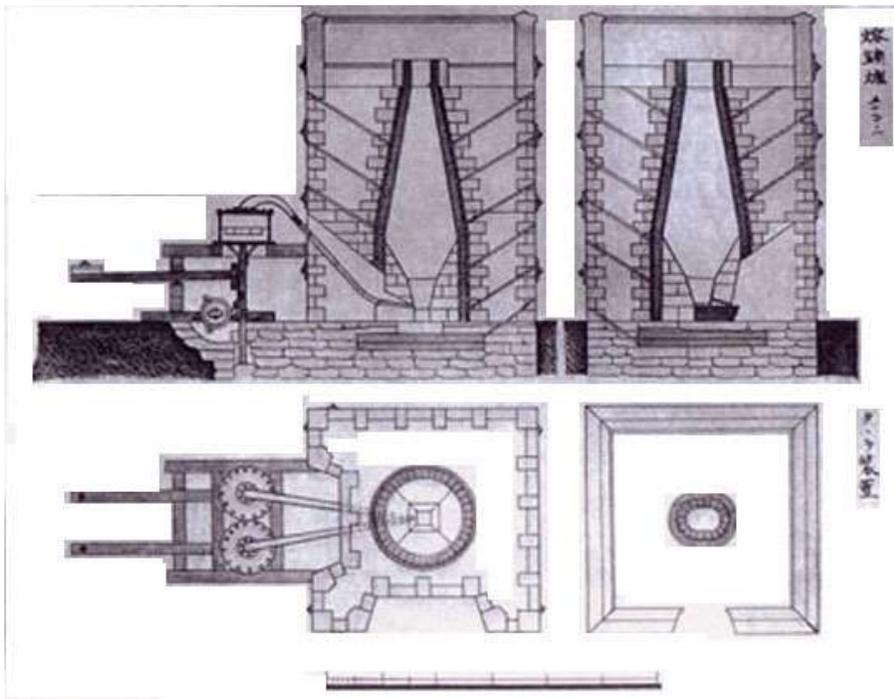
こしきの現物

中部産業
遺産研究会 会報 第54号、P8

甑(こしき)炉とは？

伝統的に使われてきた日本独自の溶解炉。木炭と砂鉄を交互に入れて鍋や釜などを作った。

高炉とは一溶けた銑鉄を造るための炉



ヒュゲーニンの高炉



はしの
岩手県釜石の高炉(橋野高炉(1858年))

薩摩藩の高炉(1854年)
岩手大橋高炉(1857年)

登り窯とは ー 陶器を焼くための窯



登り窯の全景



さむ穴

(前の部屋からの炎が入ってくる穴)



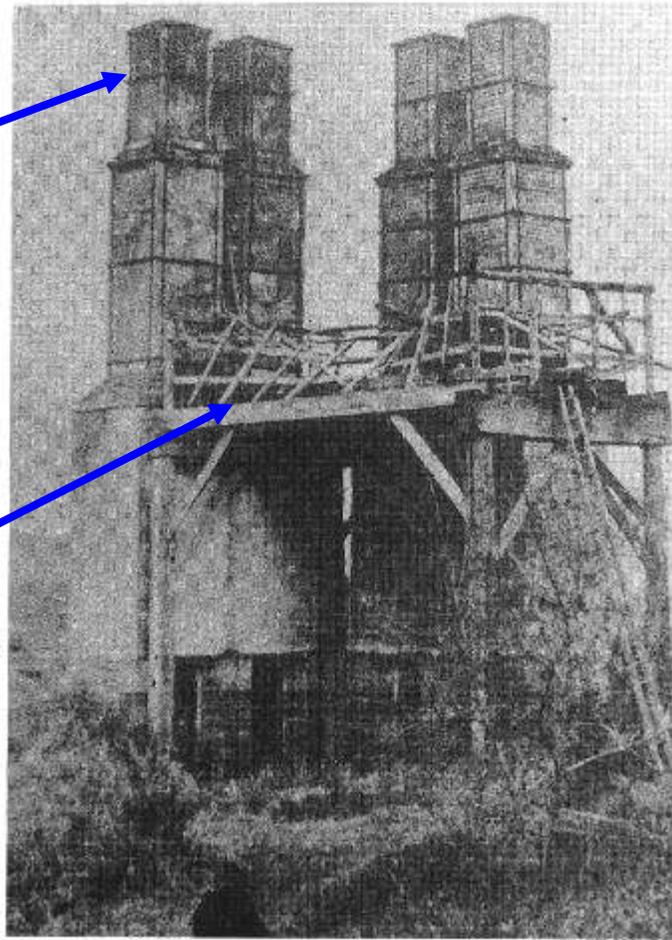
梨本の登り窯跡

栃木県益子町の登り窯

登り窯は傾斜地に窯を階段状に造るのが特色で、下からまきを燃やし、熱、煙、灰、を上の方へ順送りしていく。約1200～1250℃で焼くことが多い。江戸時代初期(1610年頃)から始まり、滋賀県の信楽焼が最も知られる。江戸初期の初期伊万里なども登り窯で焼いた。

煙突を鉄の輪
でしばって
あったので地
震でこわれな
かった。

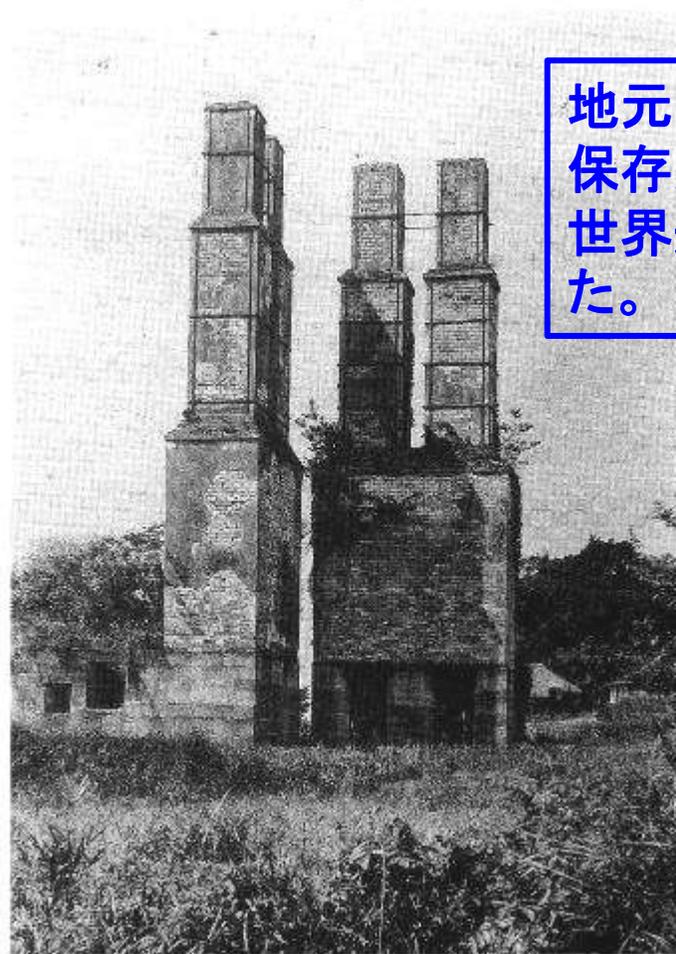
木製の台があ
るので、鍋に
溶けた湯を入
れて鑄込んだ
とする説が
あった。溶湯
の熱で燃える
ので不可能！



1872年(明治5年)兵部省に引き渡した
時の反射炉(江川家所蔵)

明治元年(1868)に陸軍省へ移管。
煙突に鉄帯補強(第1回)

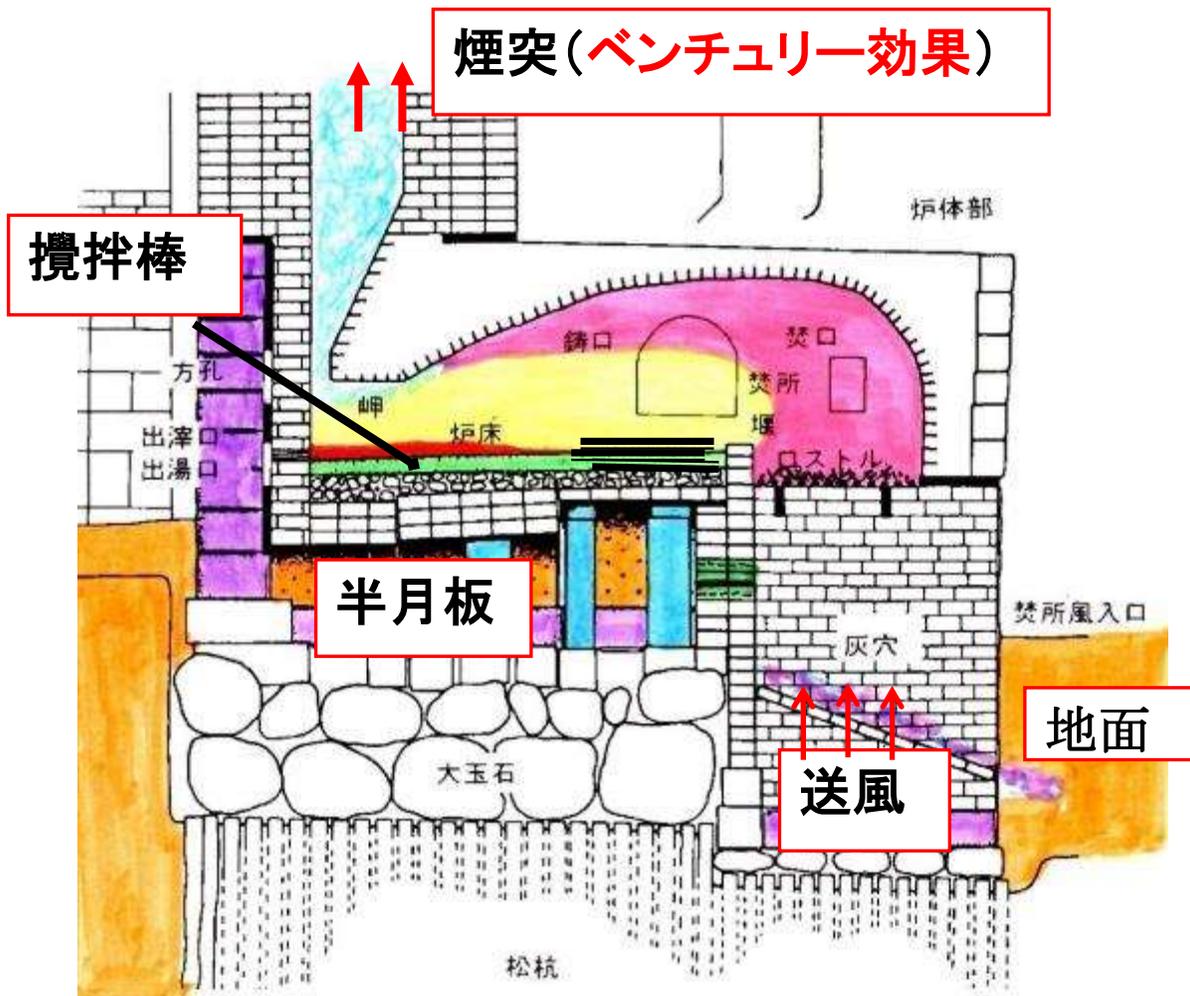
地元の人たちの
保存活動により、
世界遺産となっ
た。



1909年(明治42年)陸軍省保存工
事前の反射炉(江川家所蔵)

明治6年(1873)に付属品が造兵司令
へ渡され、煙突と炉体のみとなる。

(文献: 葦山反射炉・保存修理事業報告書(1989)P31)



煙突(ベンチュリー効果)

攪拌棒

半月板

送風

地面

●燃料

石炭を66トン購入している事及びタール小屋がある事から考えると、コークスを燃料として用いたと考えるのが妥当である。

●溶解材料

踏鞴によって作られた10cm□×1mの鑄鉄材を使用していた。大阪から送られた銑鉄材の原料は、石見(島根)の砂鉄もしくは岩手の岩鉄とする考えがあるが、半月板等の成分から考えるならば、いずれにしてもSiの低い粗悪なものであった。

●送風

自然送風とする説が多いが、斜めの吹き出し口らしきものがあり、「ふいご」による強制通風と考えられる。炎の向きを調整しないと高温が得られない可能性が大きい。(葦山高校実験)

●溶湯攪拌

ヒュゲーニンのほんにも書いてある。佐賀藩では、溶湯攪拌により成功したとの記録あり。

●半月板

ヒュゲーニンの本にはないが、炉床の水分を逃がすために、炉床の下部を空間にしてある。

●岬

岬口を絞ることにより、熱が逃げにくい。また、ベンチュリー効果により、炉内の通風量を増す効果もある。

焚所風入口

現在は埋まっているが、下部に「吹き出し口」のような斜めの穴が見つかっており、葦高生の言うように「ふいご」による強制通風が行われていた可能性もある。

(文献:ものと人間の文化史 77-II・反射炉II (1995)P249)

佐賀藩の反射炉ではふいごで熱風を送ったという記録が残っている。佐田(大分県)の反射炉(1855年鑄造開始)や、鳥取藩六尾の反射炉(1857年9月完成)でも、送風に大型のふいごが用いられていた可能性がある。

(文献:佐賀県立博物館、「鑄造の大砲とその復元」, P43)

○印のある煉瓦は伊豆の梨本で焼いた煉瓦、印のないものは葦山で焼いた耐火煉瓦。

南炉の鑄鉄製のロストルは熱で曲がっており、この部分の温度は共析変態温度(760°C)以上になっていたことがわかる。



焚所の様子

通気穴を有した半月板と伊豆石



炉床下部を空間とし、通気性を持たせることは、**ヒュゲーニンの大砲鑄造法**には記されていない。当時の**日本の反射炉全て**に通気孔が見られることから、踏鞴(たたら)等の技術から溶湯が水分(特に水素)を嫌うことを知っていたと思われる。

表 反射炉の試し吹きで鑄造された反射炉材料の成分(%)

鉄材名	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ti
半月鉄	3.5	0.016	—	—	0.026	—	0.003
まぐさ鉄板	4.2	0.02	—	0.14	0.014	—	0.008

Si値が低いことより、1番砲と2番砲の鑄造に使われた材料も、Si値の低い物であったと考えられる。反射炉に使われた鑄鉄品は、**過共晶**になっていないので、大砲用と反射炉用では異なる成分に分けていたと考えられる。多くの文献が問題としているSとTiは十分に低いので、問題はない。

鑄口の様子と反射炉の溶解材料



鑄口の様子

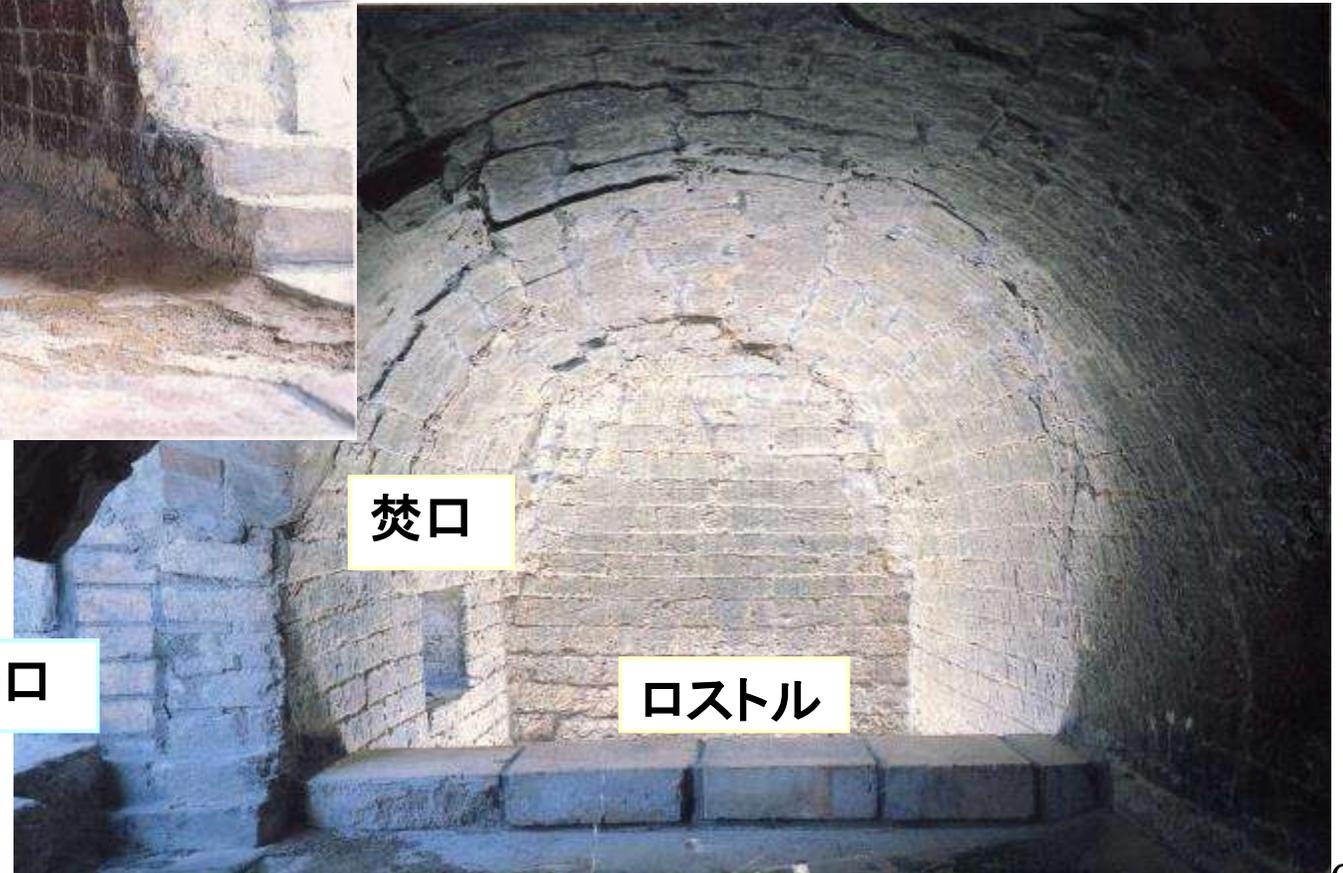


焚口に比べて鑄口は、かなり大きくなっていることがわかる。溶解時は、鑄口は扉で完全に蓋をした状態になるようになっている。熱効率から考えるならば、かなり大きい。溶解材料は、踏鞴で溶かした10cm□×1mの銑鉄が用いられたとの記述ありることから、長い銑鉄(過共晶)の棒を入れるために、大きく作られていたと推察される。

焚口は、最終段階ではコークスを使ったとすると、必要以上に大きくする必要はなかったと考えられる。



萑山反射炉の 内部の様子



方孔・出滓口・出湯口と鑄台



ほうこう
方孔・出滓口・出湯口

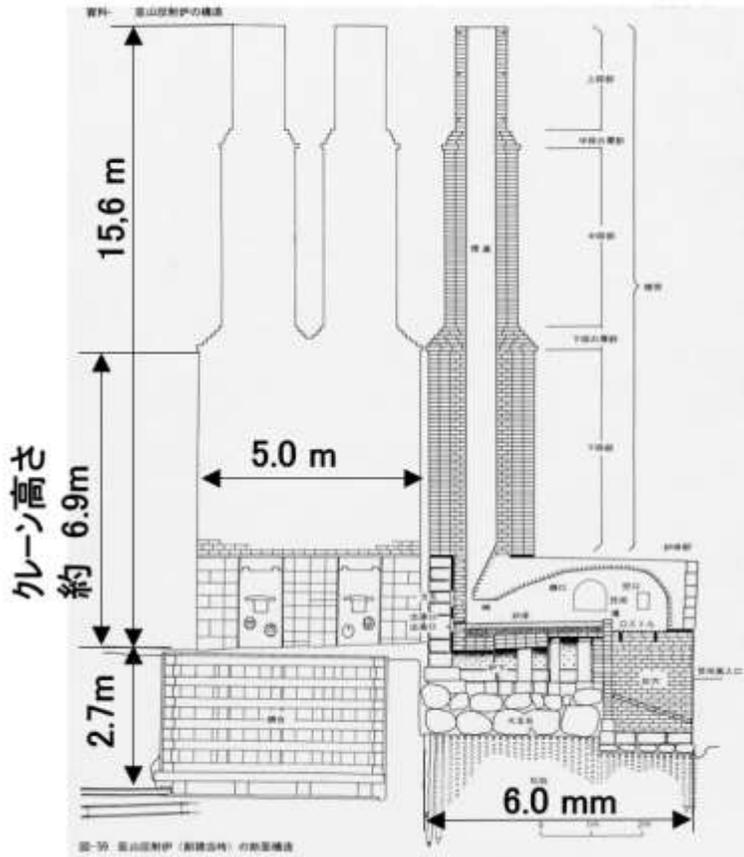


鑄台^{いだい}

①**反射炉＝バトル法**(1783年ヘンリー・コート発明)という発想から、**葦山の反射炉**では悪い鉄を方孔から掻き混ぜて**精錬**したと、昔はよく言われていました。葦山の反射炉で溶解したのは、**カーボンの高い過共晶鑄鉄**なので、精錬したら硬くて削れない**チル鑄物**になってしまっています。反射炉は単に多量の溶湯をつくるための溶解炉であったと考えられます。よって方孔は、**溶湯やノロの状態を観察したり、溶湯上面のノロをかくためのもの**であったと考えられます。

②鑄台は鑄枠をセットし、鑄込みを行った場所です。**深さ2.7m**の所に**作業台**があることが確認されていますが、この深さが**大砲の長さ3.5m**よりも浅いことがミステリーになっています。

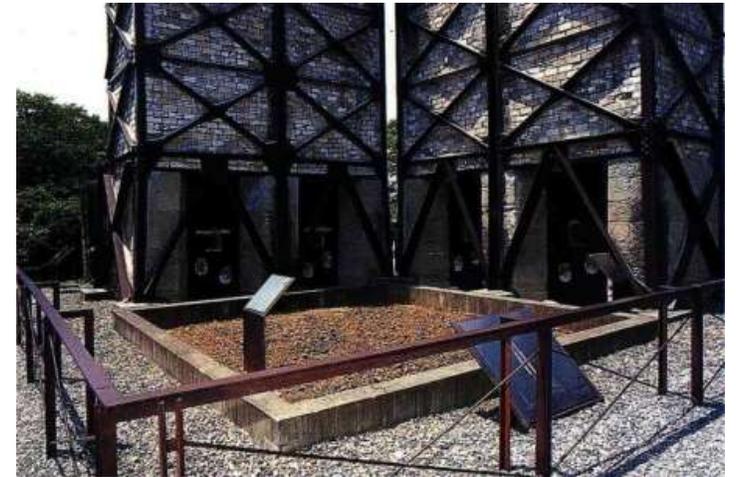
直接注湯と鑄台深さの謎



現在の注湯風景



ほうこう
方孔(溶湯をかき混ぜるところ)
出滓口・出湯口



いだい
鑄台

鑄台の寸法4.06m × 4.06m × H2.7m
(24ポンド大砲長さ: 3502mm) 18ポンド砲も約3.5m

鑄台の高さ(深さ)は2.7mと18ポンド砲の長さ3.5mよりも短いため、出湯口から直線大砲へ鑄造することはできなかったと考えられるが、発掘は出銑口ぎりぎりの部分の調査は行っておらず、作業台より深い所に鑄型が設置されていた可能性は高い。「史跡葦山反射炉」では、 坦庵が佐賀藩に直接溶湯を鑄込むようアドバイスをしたとある。予熱した取鍋に湯を受けると約100°C温度が下がる。さらに、製品に注ぐと鑄型内でも100°C下がる。

葦山反射炉築造記録

建設費:見積額 3,773両, 総工費 5,311両
諸経費 約2,000両。

(1855年頃の一両は、現在の約3.5万円)
よって総工費+諸経費は**約2.5億円**

安政3年~4年の補修・再築工事の資材・経費

スズ:270kg, 銅:2,700kg
銑鉄:43トン, 鉄:13.7トン
合計金:4,529両1分永40文5歩

→ スズ10%になる
→ 約20回溶解分

築造関係者: < 反射炉御取建係 > 八田兵助, 松岡正平, 岩嶋源八郎, 山田熊蔵,

市川来吉(蘭書翻訳) 矢田部郷雲, 石井修三(佐賀藩協力派遣者)

田代孫三郎, 杉谷雍助。

炉の溶解量: 1炉1.9~2.6トン, 1双(2炉)4.5~4.9トン

製作大砲: 当初予定 18ポンド 8 挺, 24ポンド47挺
36ポンド13挺, 60ポンド 9 挺

諸原材料入手先: 銑鉄(江戸, 大阪), 石炭(筑後等:66トンの記有り),
木炭(天城炭:一万俵の記有り),
耐火粘土(天城梨本 後に葦山)

表 蕪山反射炉に関連する出来事

1709年	ダービー1世 コークス高炉 に成功		
1735年	ダービー2世は、高炉においてコークスだけで 鉄鉱石を精錬 することに成功。		
1766年	クラネージ兄弟 反射炉 に石炭を使用して鉄を溶かす。青銅を溶かす木炭反射炉は15世紀末から有った。		
1769年	ジェームス・ワット: 蒸気機関発明		
1777年	アイアンブリッジ建設開始 (ダービー3世・高炉・Si1.48%)		
1783年	ヘンリー・コーン(英) パドル法 特許出願。 石炭焚きの反射炉の湯を鉄棒で攪拌し、脱炭させ、そのまま圧延する方法。板の製造が可能となった。鉄道のレール・		
1799年~1815年	ナポレオン戦争		
1826年	ロイク王立鉄製大砲鑄造法出版		
			たかしましゅうはん
		1837年	高島秋帆大砲鑄造法入手
		1842年	高島秋帆逮捕。1853年7月3日まで
		◎1842年	蕪山塾始まる
		1850年7月	佐賀藩築地反射炉着工・11月1基完
		1853年7月	佐賀藩多布施反射炉築造
		◎1853年12月	下田の高馬で反射炉建設準備
		◎1854年3月	下田反射炉にペリー艦隊の外人侵入
		◎1854年6月	伊豆蕪山で反射炉建設開始(杭打ち)
		1854年7月	佐賀藩オランダ船船長に反射炉で質問状
		〃	薩摩藩様式高炉試験操業(58年まで)
		1854年11月	安政の大地震・露軍艦ディアナ号遭難
		◎1855年1月	江川太郎左右衛門急死
		1856年2月	水戸藩反射炉火入れ(8月まで7回鑄造)
		◎1856年4月	タール製造所完成
		◎1857年2月	佐賀藩から応援到着・1番炉ほぼ完成
		◎1857年9月	第1回大砲鑄込み(18ポンド砲)
		1857年12月	釜石大橋高炉で銑鉄製造成功(大島高任)
		◎1858年10月	青銅製大砲鑄造に関して幕府へ解答 以後青銅製大砲が主体となる
		1859年6月	佐賀藩バラストで150ポンド砲鑄込み
		1861年4月	長崎製鉄所落成・日本初のキュポラ
		◎1863年7月	鉄製大砲鑄造するがほとんど失敗
		◎1864年11月	蕪山反射炉廃止案提出

葦山反射炉の築造記録等1

葦山反射炉の築造及び稼働記録

嘉永6年(1853年)



下田反射炉跡

〔伊豆下田〕

12月 現下田高馬^{たこうま}付近で建設準備

安政元年(1854年)

1月 梨本より耐火煉瓦用白土を採掘

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 ペリ一米艦船下田港に入港

3月 8日 江戸より銑鉄他発送通知

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 反射炉築造場所に外人浸入

4月 石炭(筑後産60トン買上)
炭(天城炭1万俵)

4月 6日 反射炉場所替えの下知

4月 9日 常磐炭6トン

4月17日 土台石船積, 反射炉役員一同
引払

〔中村葦山〕

5月29日 御用材沼津市下香貫に荷揚げ

6月 4日 三津浦廻送の耐火煉瓦仕訳

6月 7日 地形松杭打込始め

7月 1日 反射炉土台石据方開始

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 6日 瓦師仕事始め

8月 8日 前板鉄, 18ポンド鑄造

8月14日 板鉄, 18ポンド鑄造

9月17日 左官(沼津)仕事始め

11月 4日 安政の大地震

(反射炉別条なし)

葦山反射炉の築造記録等2

安政2年(1855年)

- 1月16日 江川太郎左衛門英龍没
2月21日 1番反射炉半双
暁9つ半 銑鉄2トン吹初め
朝4つ半 18ポンド金杵鑄造
昼9つ半終了
4月23日 36ポンド金杵鑄造の件,
久能鑄物師来葦
8月 佐賀藩の協力要請
12月 佐賀藩の協力要請了承

安政3年(1856年)

- 4月11日 タール製造所出来る
同月中4回鑄造

安政4年(1857年)

- 2月5日 佐賀藩 杉谷ら来着
(一番炉(南炉)は、ほぼ完成していた)
7月1日 南反射炉試鑄
9月 日 1番反射炉東半双試鑄

9月9日 1番18ポンド1挺鑄込み
今夜9つ半時 昼9時鑄込済

11月7日 2番反射炉の内北炉
溶解開始 [銑鉄2,270kg]

11月19日 2番反射炉の内南炉
[銑鉄2,660kg]

12月4日 18ポンド砲孔加工開始
暁7つ時~
昼8つ時終了
1番砲だとすると意味が不明

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)

葦山反射炉の築造記録等3

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, 更に切断してもひけ巢なし

3月 報告

2双完成錐台3連の内1連完成。
長崎鑄鋳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 佐賀藩派遣者随時離葦終了

10月 銅製大砲鑄造の得失について
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
木枠砂型にては、鉄砲の出
来が悪く、金枠が良い

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(1860年)

11月 葦山反射炉廃止
提案される



ライフルリング(施条砲)

葦山で造られたとされている靖国神社のカノン砲
葦山反射炉での大砲も玉砲弾からライフル砲弾に代わってゆく

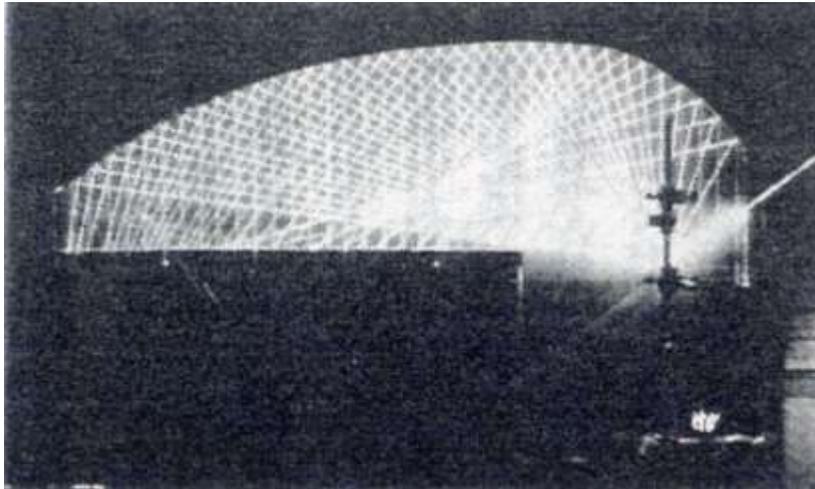


葦山反射炉の鑄台で発掘されたライフル砲弾

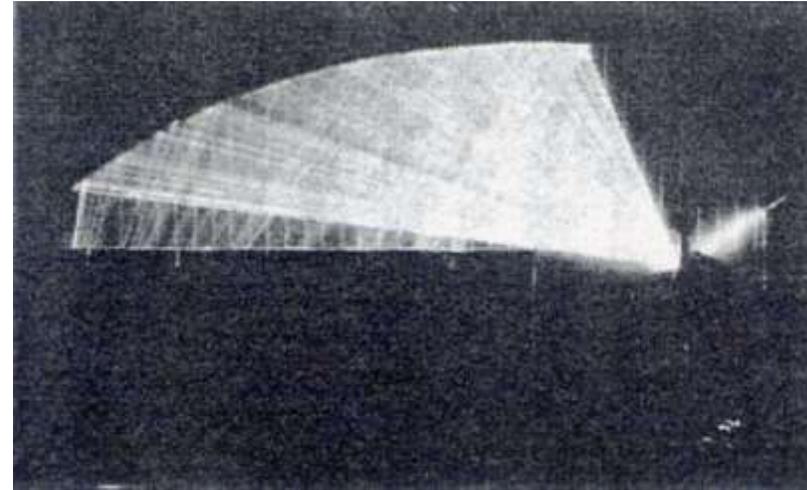
三百匁玉旋條砲
 材質 鑄鉄
 全長 132センチ
 口径 6・7センチ
 幕末に葦山の反射炉で鑄造された前装火繩式のカノン砲。六條の旋條(ライフル)が刻まれ、砲耳によって俯仰角の変換が容易に作られている。

明治十五年二月十五日
 砲兵第一方面から進撃館に移管

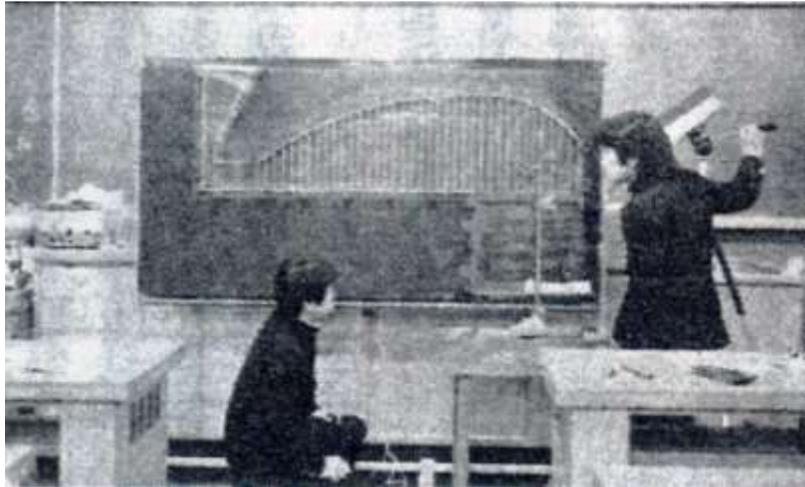
レーザー光線による炉内壁の熱反射の推定 〔北A(Na)炉縦断面〕・**葦山**高校生の実験



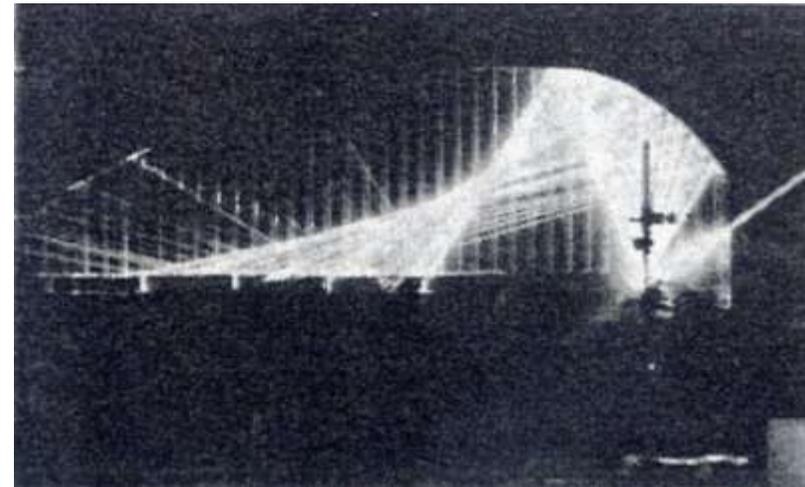
炉内天井部全体



溶解室天井部



1/3縦断面実験装置



燃焼室天井部

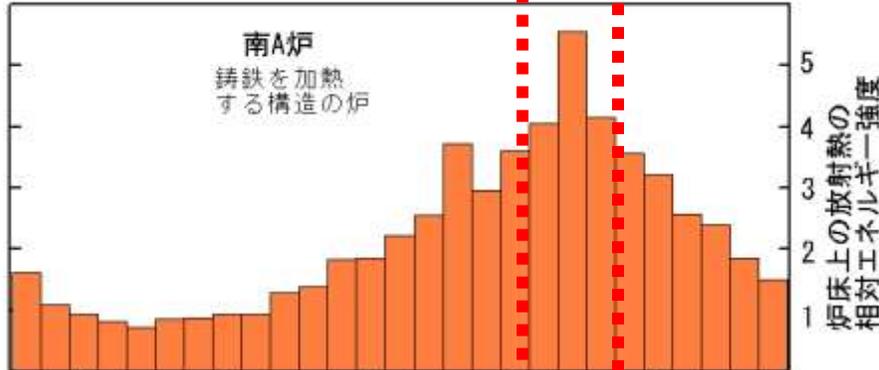
韮山独自の南炉の構造

南炉の溶解

(1857年7月1日溶解)

縦断面

出湯口



出湯口

強度が最も弱い部分

溶湯が冷める

出湯口

溶湯

材料

強度が最も高い部分

ロストル部

ロストル部

熱が一点に集中しない
→ 鉄が溶けにくい。

鑄口(材料投入口)で熱エネルギーが最も高くなる

材料は良く溶ける

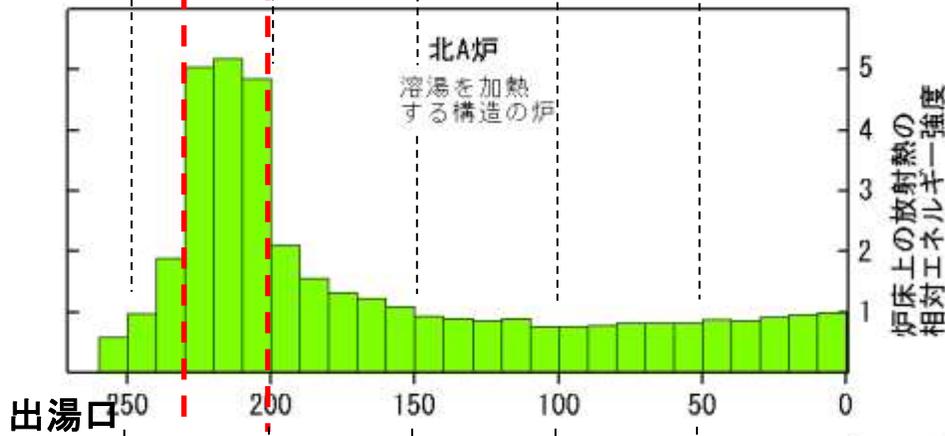
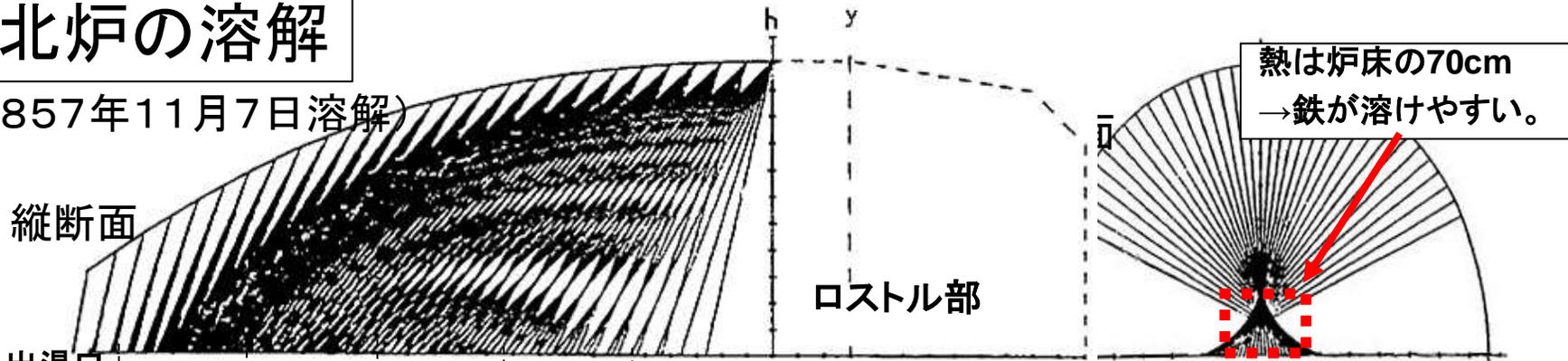
出湯口では温度が低くなる、欠点がある

佐賀藩からのアドバイを受け、北炉を建設

佐賀藩の協力を得た北炉の構造

北炉の溶解

(1857年11月7日溶解)



輻射熱が集中すること及び
びふいごを使った熱風の
調整により、効率よく鉄を
溶かせる。

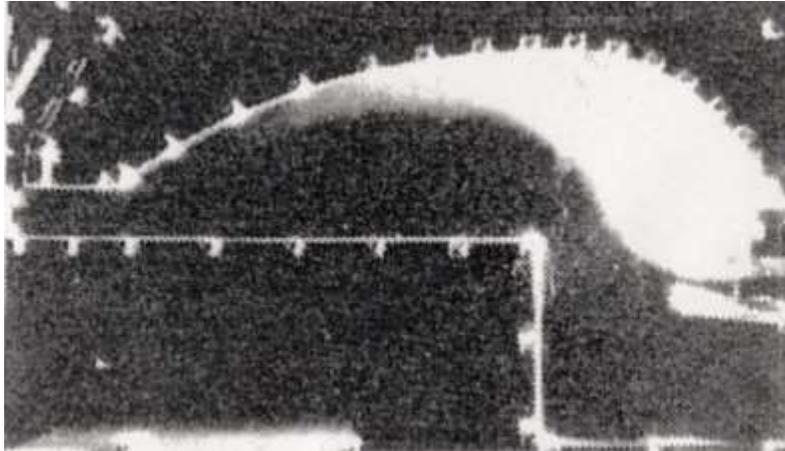


出湯口の手前で熱エネ
ルギーが最も高くなる。

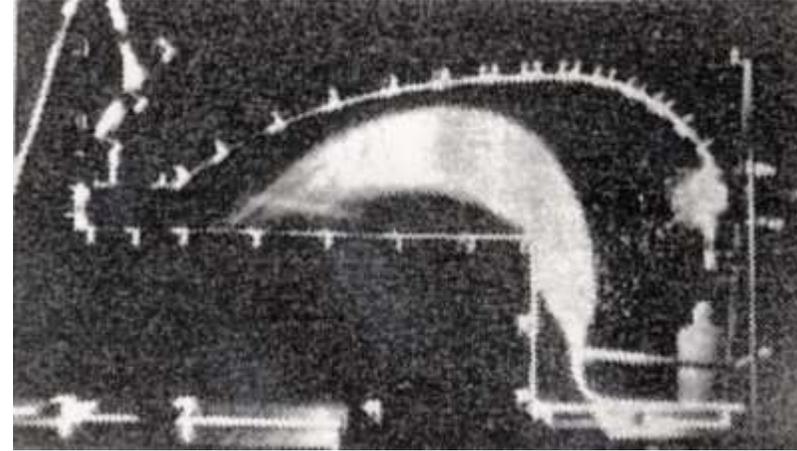


より高い温度で出湯がで
きるようになった。

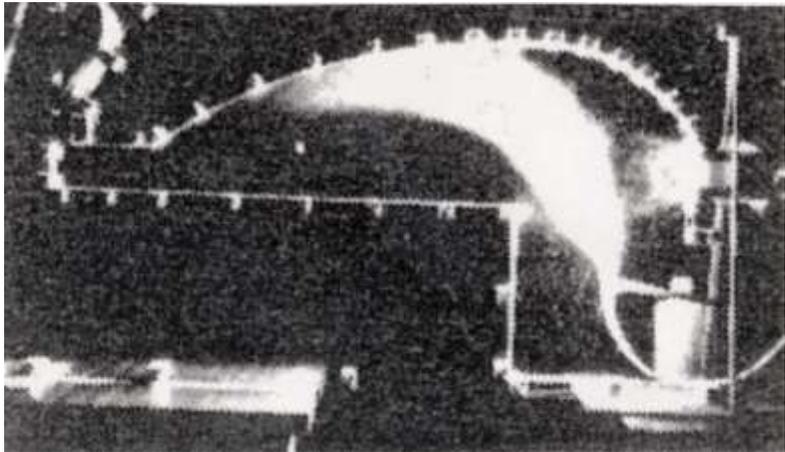
萐山反射炉における強制通風(ふいご)と炎の動き



(A) ロストル**後部**からの熱風は、炉内壁後部を熱する。



(C) ロストル**前部**からの熱風は、直接に鉄塊に向かう。



(B) ロストル**中央部**からの熱風は、炉内壁の中部を熱する。

強制通風の目的=炎(熱風)のコントロール

(A)(B) 炉の天井部を熱する

(C) 材料(鉄塊)を熱する

反射炉は、熱を一点に集中させて溶解する方法であるから、炎の動きが重要になる。一般的に言われている自然通風では、理想的な炎の動きを得ることは出来ない。また、強制通風は燃焼を助ける意味合いよりも、炎の制御が主目的ではなかったと考えられる。

(萐山高等学校物理部・反射炉研究班)

蕪山高校物理部・反射炉研究班の活動 —偉大な業績に敬意を表します—

1982年9月西岡先生(物理部担当)赴任
研究スタート

83年～84年 反射炉の実測をして
コンピュータ・データ化

「蕪山反射炉の熱反射・熱放射・熱
気流の研究」の受賞歴
1984年 鈴木梅太郎賞
1985年 山崎賞
1987年 日本学生科学賞知事賞

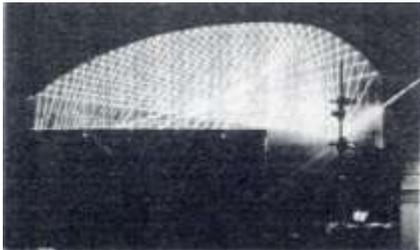
生徒たちのプログラミング技術の向上

熱反射の様子を解析



85年10月 反射炉断面1/3サイズ
プラスチック模型完成

レーザー光線による反射熱の可視化
熱気流実験



86年1学期

徹夜で実験
もしばしば

夏休み

パソコン5台を先生宅に
持ち込み研究合宿

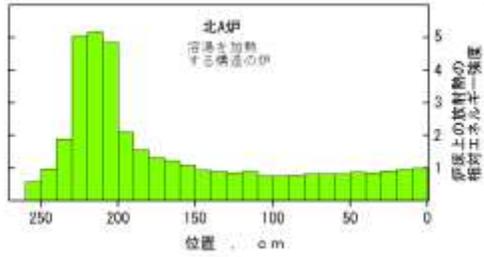
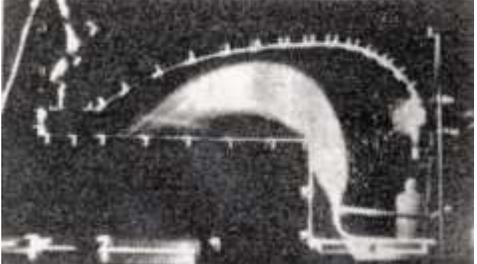
86年9月
西岡先生、病に倒れ
入院



病室での勉強会
電話連絡

先生の入院後も生徒た
ちは研究活動を続ける。

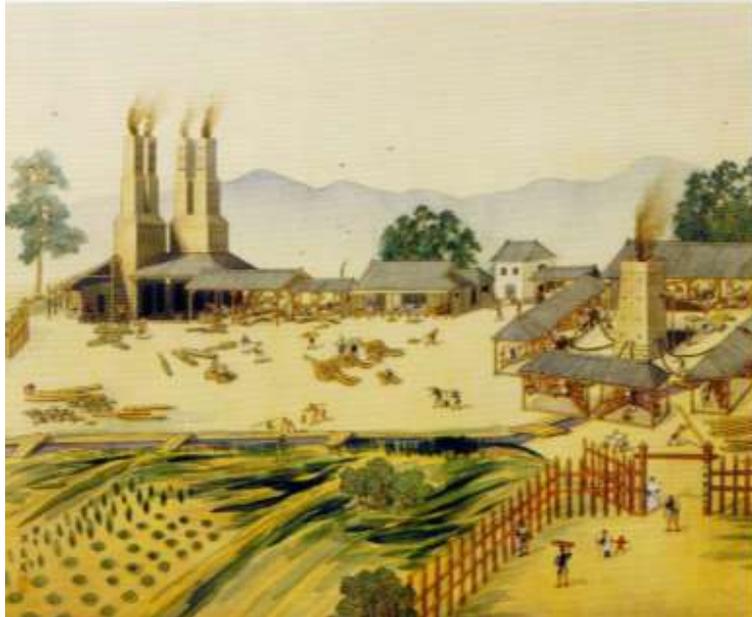
86年11月 熱気流解析完成、
熱エネルギー強度分布完成



佐賀藩の反射炉の溶解材料について

大砲鑄造法では、高炉の銑鉄を反射炉で用いることになっている。大砲鑄造法を忠実に再現した大砲作りのなかで、高炉の話だけが抜けている。

- 説1 外国の銑鉄(南蛮銑)を輸入したのではないか。(一般的)
- 説2 踏鞴を高炉の代わりとして使用したのではないか。
- 説3 岩手の岩鉄(磁鉱鉄)を原料としたものを使用。
- 説4 砂鉄(島根、石見の砂鉄)を原料としたものを使用。



佐賀藩築地における反射炉の踏鞴(たたら)(私には甑(こしき)にしか見えない)は、絵図から見る限り、非常に大きい。また、「ふいご」の数も多い(絵で書き加えただけで、本当はなかったとする説がある)。良い材料(Siの高い材料)を得るために、オランダから佐賀藩が購入した電流丸のバラストを使用したことは有名な話である。

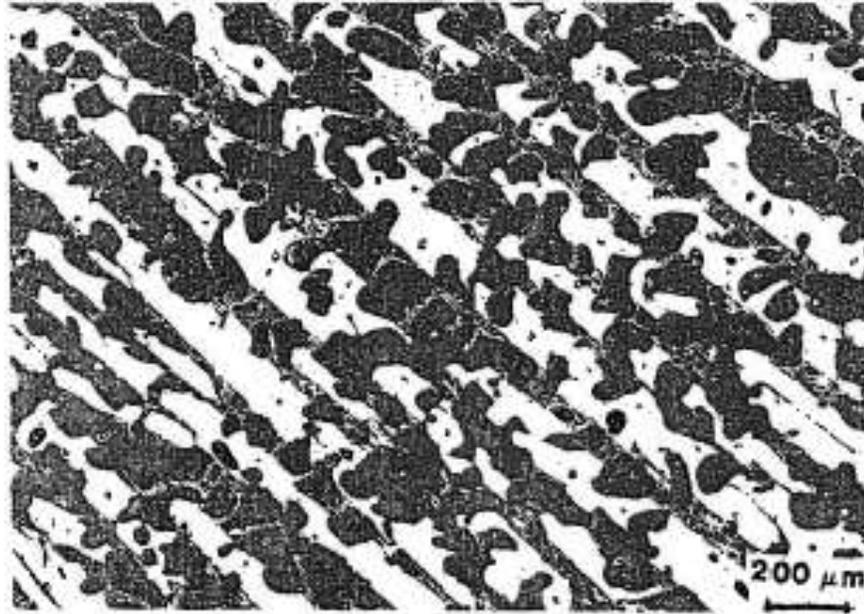
図 佐賀藩築地の反射炉絵図 (昭和初期に書かれた)
(1850年1基完成～1857年1月まで大砲製造)
多布施の反射炉は、1853年7月築造～約1865年まで製造

佐賀藩が使ったとされるバラストの分析値例

	C	Si	Mn	S	P	Ti	Cu	V
大砲の分析値	3.5	0.5	1.1	0.03	0.6	0-0.4	—	—
バラストの分析値	3.01	0.01	0.25	0.03	1.17	0.005	0.02	0.007



(a) 大砲の組織



(b) バラストの組織

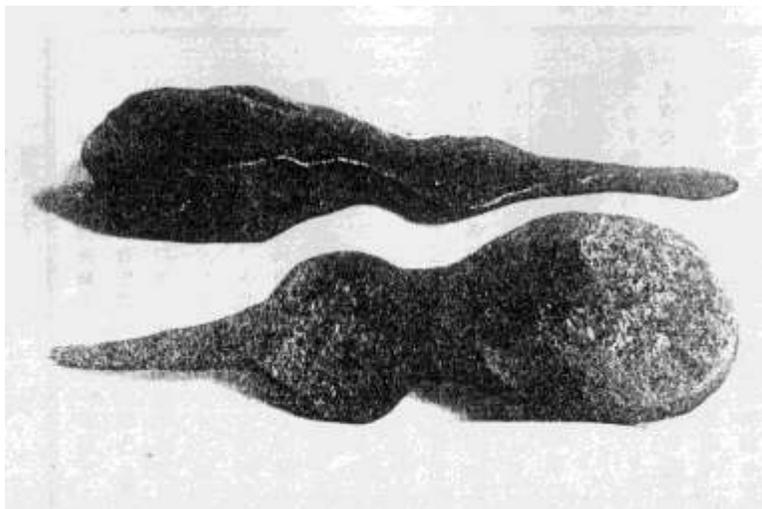
(L.E.Samuels: 「The metallography of Cast Iron Relics from the Bark Endeavour」、Metallography 13 (1980) P345) 参考:ダービーⅡ世、高炉に成功 1735年、アイアンブリッジ建設開始 1777年

1770年オーストラリア沿岸で難破した船(キャプテン・クックの船)の大砲とバラストの分析

積み残されていた大砲のシリコンは0.5%であり、片状黒鉛鑄鉄となっているが、この船に積み残されていたバラストのシリコンは0.01%と少なく、チル組織となっている。明らかに大砲を作るための鉄源とバラスト用の鉄源に違いがある。佐賀藩の電流丸のバラスト使用説には疑問が残る。量も足りない。

南蛮鉄の形状と名称

元東京都立産業センター佐藤健二様資料提供



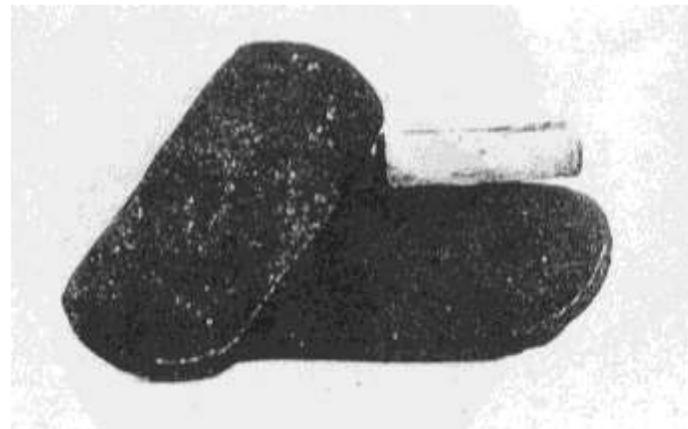
153~155 × 47~53 × 21~23(d) mm 320~350 g

瓢箪 (ひょうたん) 形南蛮鉄



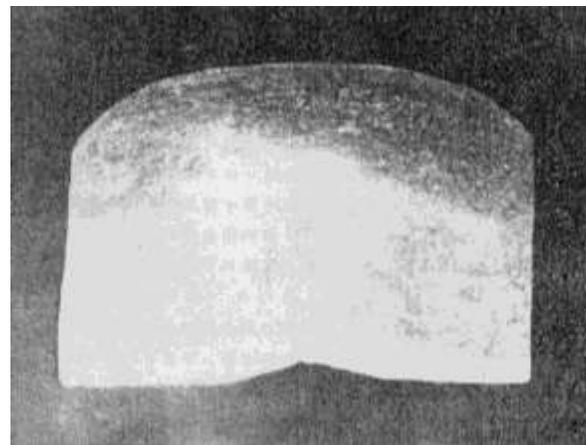
120~390 × 10~12 × 10~12(d) mm

細條 (さいじょう) 南蛮鉄



30~32 × 8~9(d) mm, 123~124 g

小判形南蛮鉄



790 × 25(底) × 16(d) mm 2300 g

太條南蛮鉄

南蛮鉄の化学組成 (mass%)

元東京都立産業センター佐藤健二様資料提供

試料	C	Mn	S	P	Si	鋳滓
瓢箪形い	1.44	0.01	0.005	0.106	×	0.54
ろ	0.92	0.03	0.002	0.126	×	1.96
は	1.96	0.04	0.005	0.123	×	×
小判形	1.60	0.009	0.003	0.076	0.08	—
細条形甲	1.58	0.017	tr	0.011	0.016	—
表面側・乙	0.49	tr	0.002	0.037	0.038	—
太条形左	0.06	ナシ	tr	0.101	0.07	—
右	0.01	tr	—	0.012	—	—
中央	0.03	—	—	—	—	—

* 瓢箪形：内部 2.49%C(粗大針状セメントイト・焼戻し黒鉛)
外部 1.47%C ×：分析せず

銑鉄(溶解原料)の成分

(%)

原料\元素	C	Si	Mn	P	S	Ti	Cu
佐賀藩24ポンドカノン砲	3.22	0.69	0.27	0.28	0.13	0.01	<0.01
韮山 まぐさ銑板	3.5	0.016	—	0.14	0.014	0.008	
石見(島根)産地金銑 (砂鉄よりつくった銑鉄)	3.63	0.03	0.01	0.033	0.01		
南蛮鉄	1.58	0.016	0.02	0.011	0.003		
大橋(岩手釜石)高炉出土銑	3.80	0.52	0.09	0.135	0.085		
アイアンブリッジ(英)の成分	3.25	1.48	1.05	0.54	0.037		
明治42年 釜石木炭銑	2.46	2.18	0.35	0.13	0.02		

表 佐賀藩24ポンドカノン砲の成分(%)

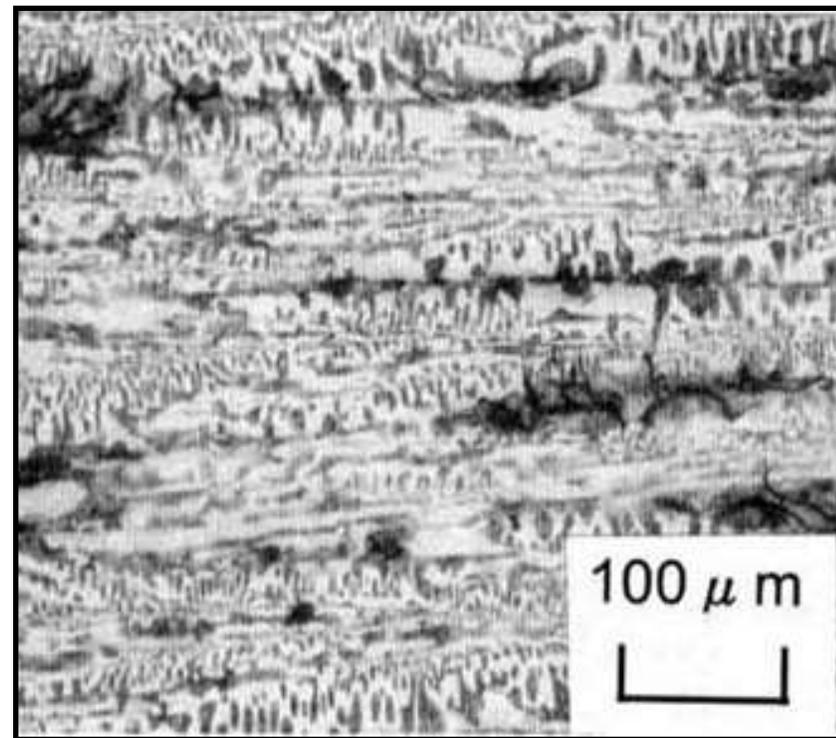
C	Si	Mn	P	S	Ti	Cu
3.22	0.69	0.27	0.27	0.13	0.01	<0.01



佐賀藩24ポンドカノン砲のSiが高いために片状黒鉛鑄鉄となっている。SとTiは高くない。ただし、この大砲はアメリカ製であることが後に分る。

半月鉄、まぐさ鉄板成分

	C	Si	Mn	P	S	Ti
半月	3.5	0.016	-	-	0.026	0.003
まぐさ	4.2	0.02	-	0.14	0.014	0.008



Siが低いために、恐らくは硬いチル組織となっているものと考えられる。チルした鑄物は加工はできない。

佐賀藩の大砲はアメリカ製？（奥村・斉藤の論争）

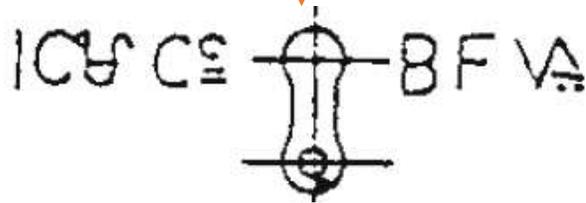
BFVAの意味

V: Virginia

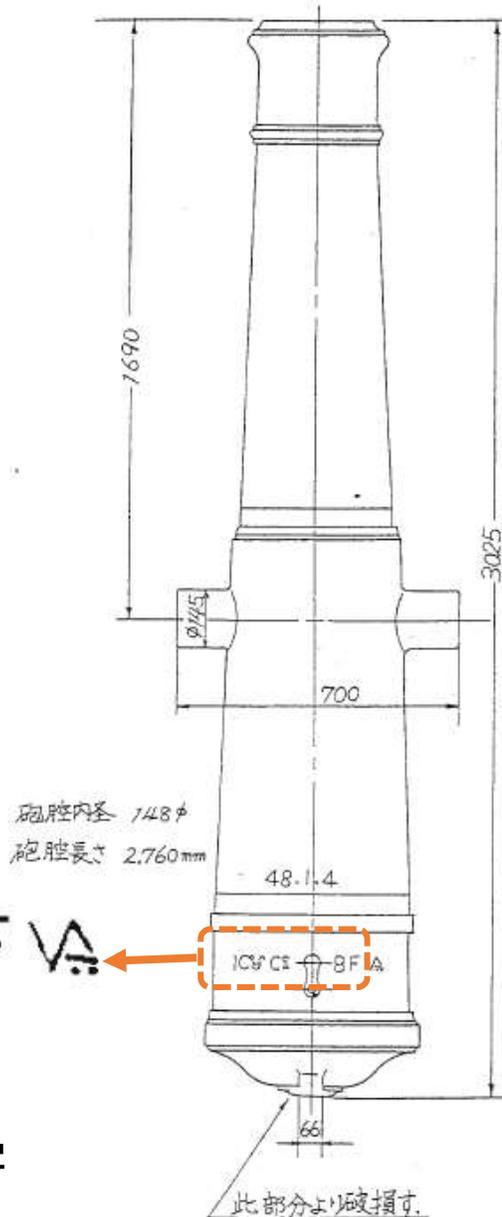
BF: Bellona

Foundry

A: America ?



●大砲の外国文字



佐賀藩の大砲に、**外国の文字(?)**が刻まれている。
成分的に炭素が3.2%と低い。



佐賀藩の大砲はアメリカから購入した大砲であることが判明した。

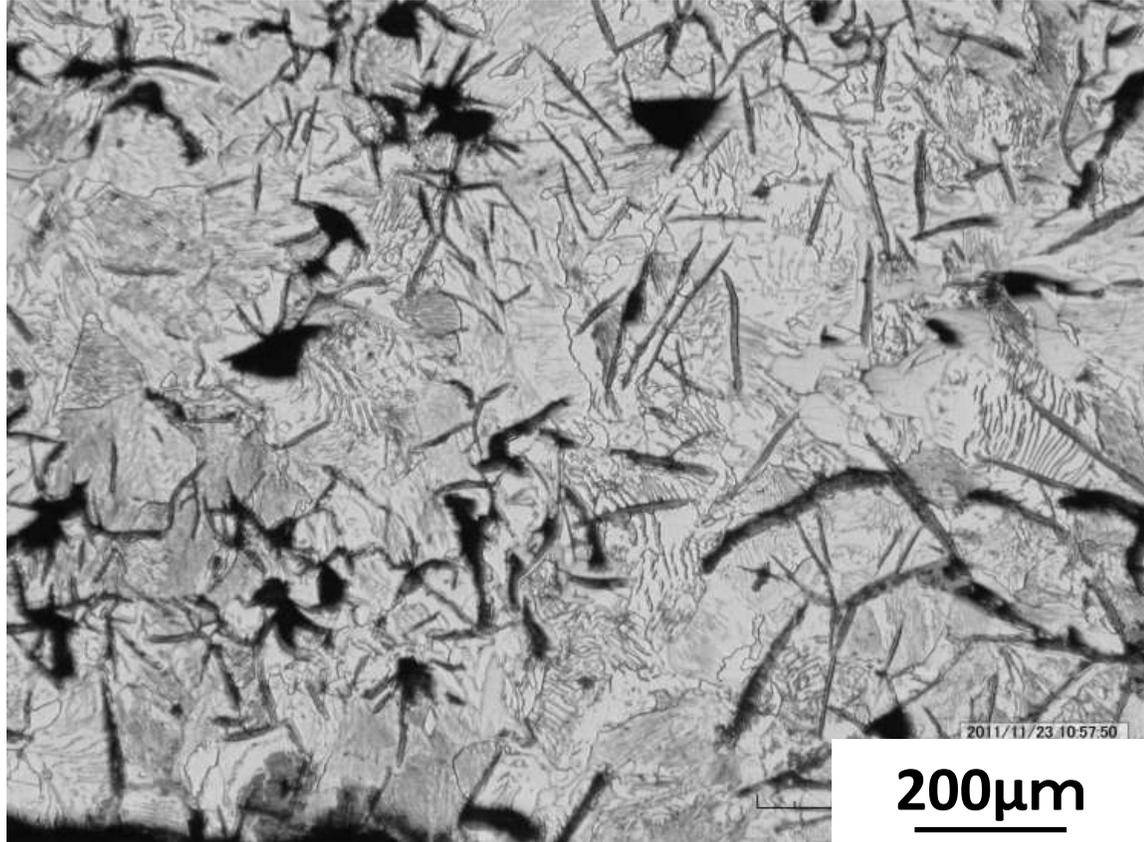
南北戦争: 1861年～1865年
 蕪山反射炉: 1854年～1864年
 鳥羽・伏見の戦い: 1868年

幕末の頃に使われた大砲は南北戦争で使われなくなった大砲である可能性が大きい。

表 佐賀藩24ポンドカノン砲

C	Si	Mn	P	S	Ti	Cu
3.22	0.69	0.27	0.28	0.13	0.01	<0.01

幕末の安乗神社の過共晶(ハイカーボン) 鑄鉄製大砲



4.48%C, 0.13%Si, Mn<0.001%, 0.117%P, 0.034%S,

↑
Siを含んだ銑鉄がどう
しても少量必要

中江先生データ

安乗(あのり)神社の大砲

この大砲は、黒船来航時の大砲である。嘉永6年(1853)、13代将軍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に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。川口の鑄物師、増田安二郎の作と伝えられている。シリコンが微妙に高い所にもう一つのミステリーがある。



カーボン(C)量とチル発生の関係

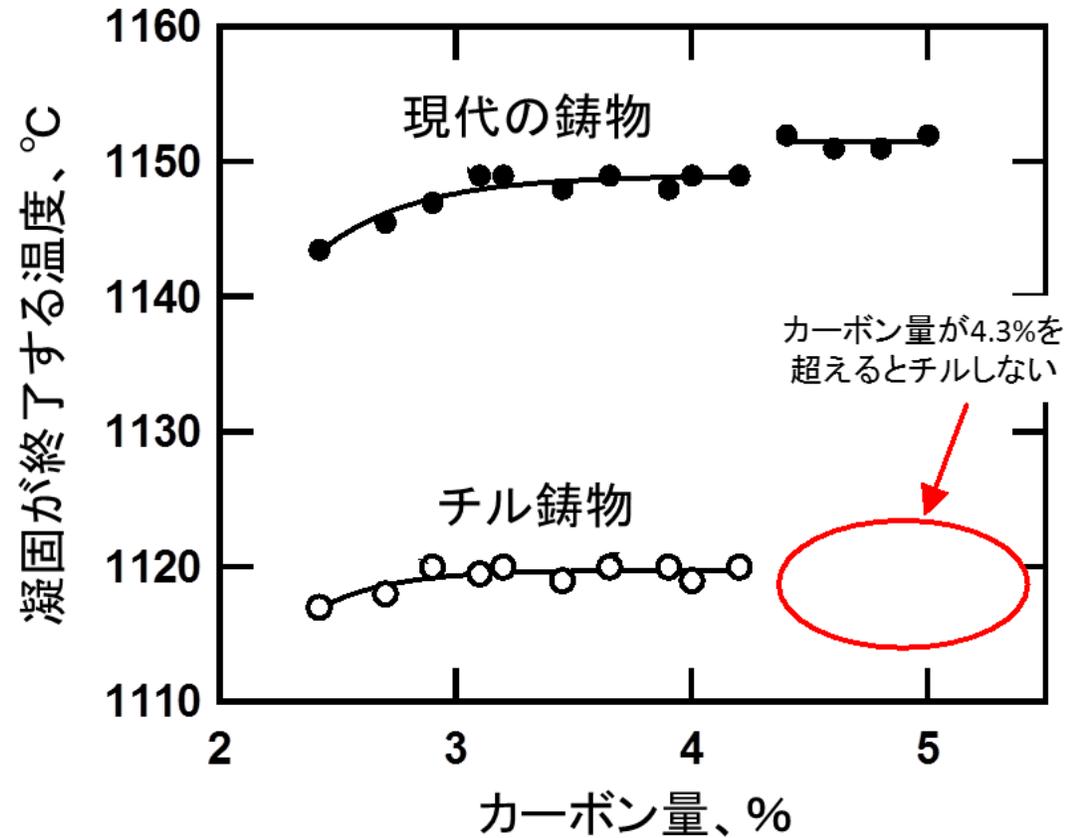


図 炭素量とチル鋳物

この図は、現代のシリコンの高い加工できる鋳鉄(黒丸)と、その溶湯にテルル(Te)と云う元素を添加させてチルさせた鋳鉄の凝固完了温度が、炭素量を増すとどのように変化するかを見たものである。

炭素(C)量が4.3%を越えると同時にチル鋳物は無くなり、加工出来る現代の鋳鉄に変化する。このことから炭素4.3%以上の鋳鉄になると加工できる鋳鉄になることは明白である。

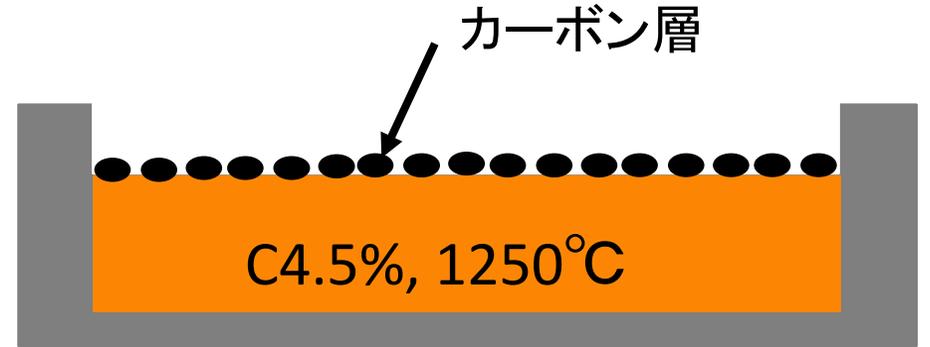
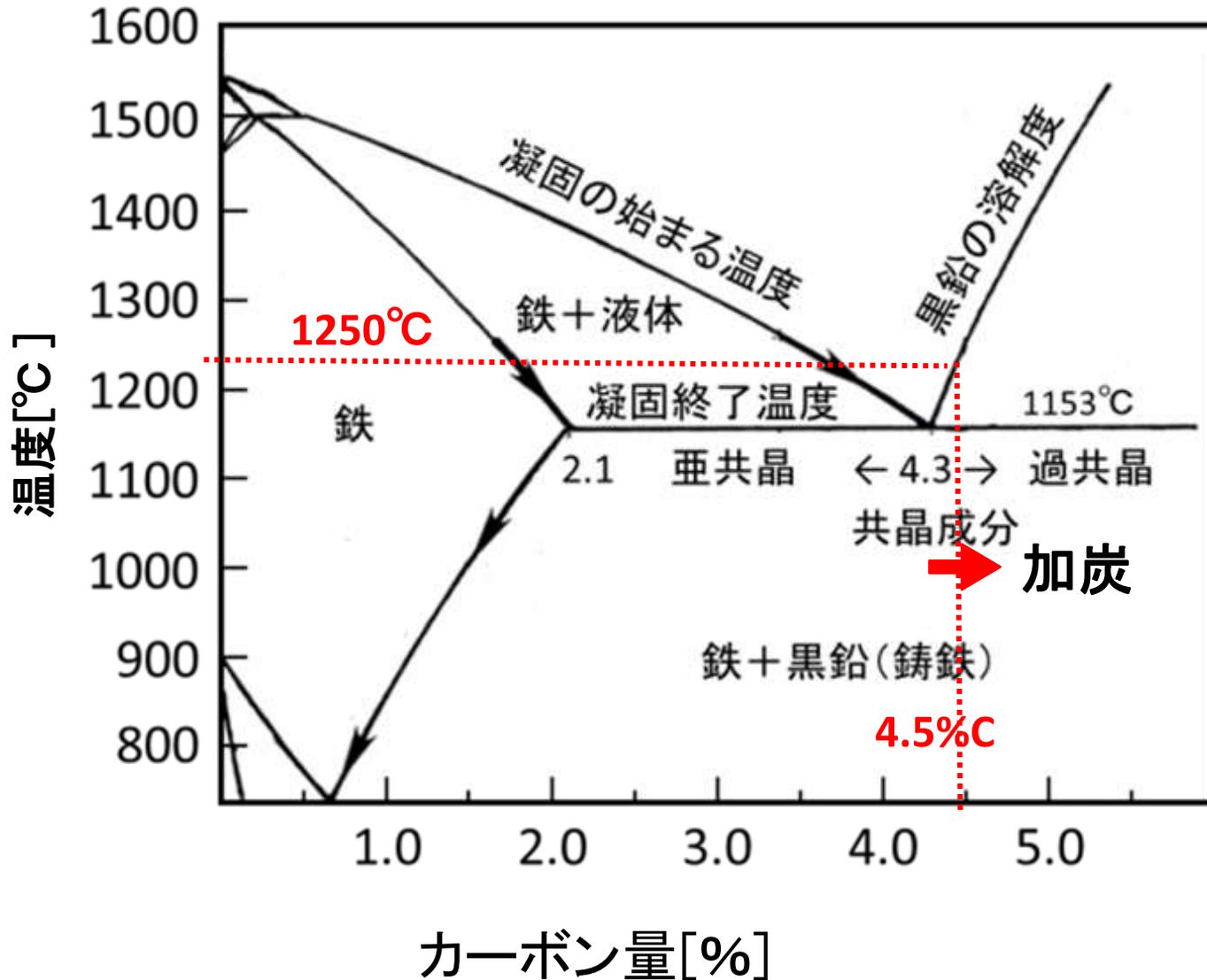
鑄鉄鑄物(溶解原料)の成分

No.	鑄造品名	製作年	鑄造場所	化学分析成分、%					鑄鉄の種類	溶解炉
				C	Si	Mn	P	S		
1	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	こしき炉
2	茶湯釜	1600年代	京都	4.30	0.03	0.002	0.204	0.027	チル鑄物	こしき炉
3	茶湯釜	1700年代	京都	4.17	0.07	0.014	0.191	0.019	チル鑄物	こしき炉
4	茶湯釜	1800年代	京都	4.30	0.04	0.025	0.279	0.020	チル鑄物	こしき炉
5	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	こしき炉
参考	IRON BRIDGE	1779年	イギリス	3.25	1.48	1.05	0.54	0.037	加工できる鑄鉄	キュポラ
	カノン砲(東京)	1820年頃	アメリカ	3.22	0.69	0.27	0.275	0.132	加工できる鑄鉄	キュポラ?

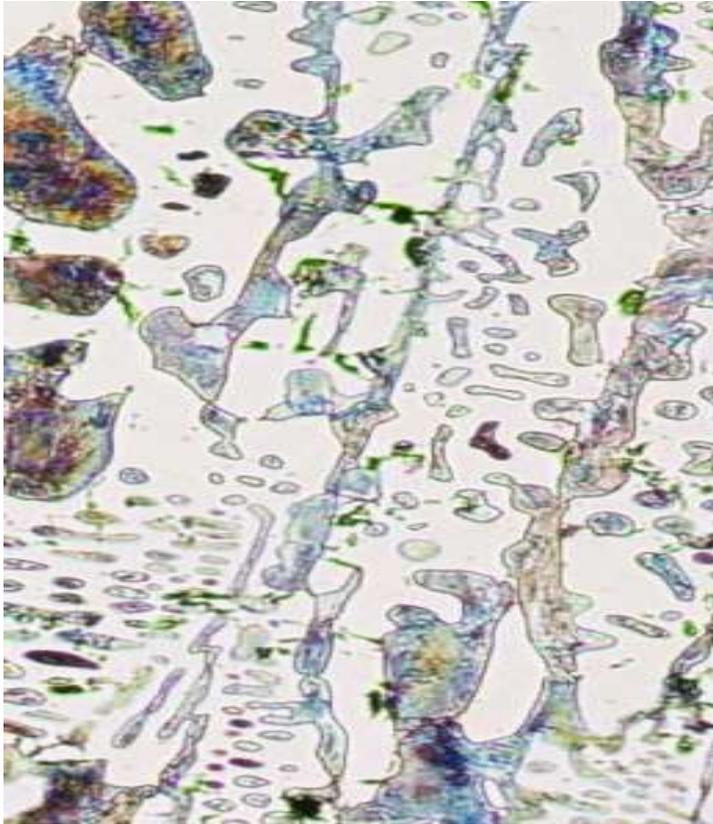
茶釜の専門家(岩手大堀江先生)の話によれば、茶釜は完全チルでは割れるので、少し黒鉛が出るようにするとのこと。ハイカーボンの技術は当時一般的であったと考えられる。

[石野亨「鑄物五千年の足跡」日本鑄物工業新聞社(1994)P5, 15, 159]

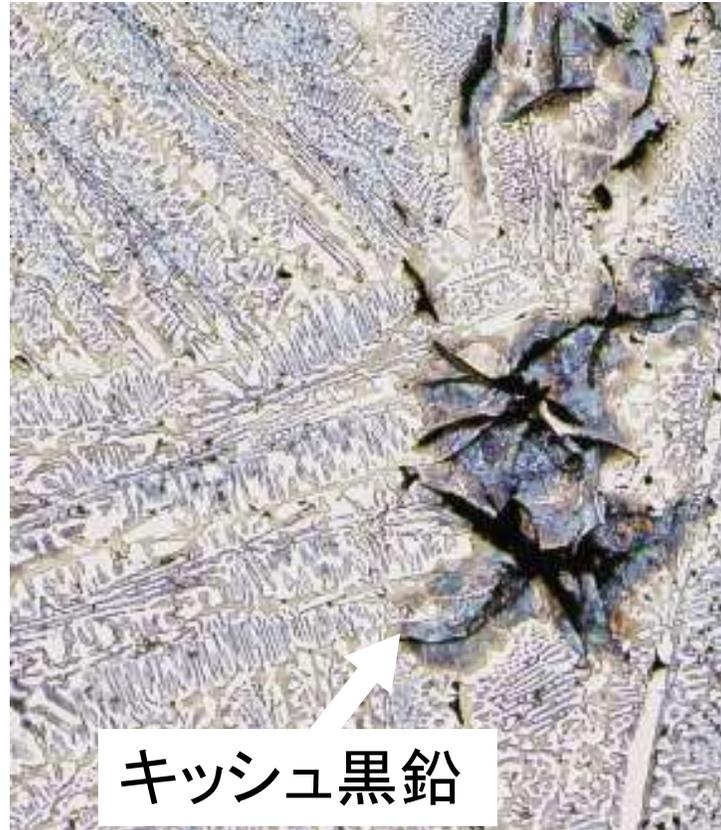
反射炉における過共晶鑄鉄の製造方法



反射炉においてカーボンを溶湯表面に敷いて1250°Cで保持すると溶湯中のカーボンは自然と4.5%になる。従来考えられている脱炭や精錬でなく、その逆の加炭であった可能性は否定できない。溶解温度は1250°Cになる。

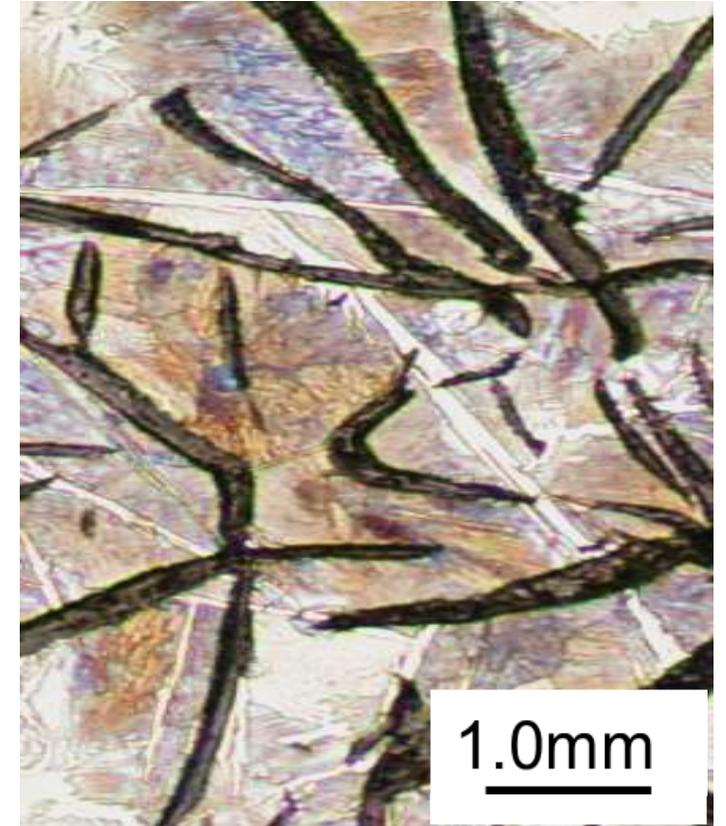


C 4.24%
(チルにより加工不可)



キッシュ黒鉛

C 4.31%
(チルにより加工不可)



1.0mm

C 4.53%
(引張強度: 100MPa)

図 φ 30 × 250mmの組織写真

1/5反射炉における溶解実験



煙突からの直接観察



溶けた材料の様子

1/5サイズ反射炉で材料の溶解に成功した！



溶ける前の様子



銅切粉の成分調査による融点の推測

発掘時



洗浄後



(a)発掘時の状態

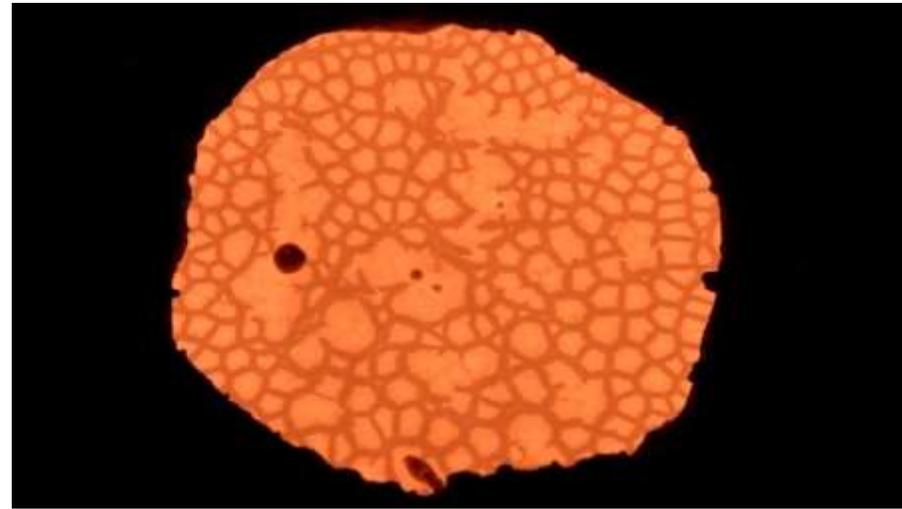
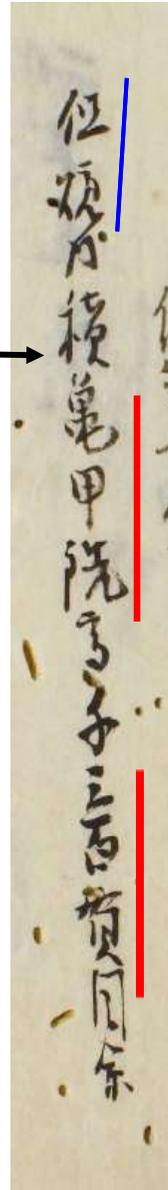
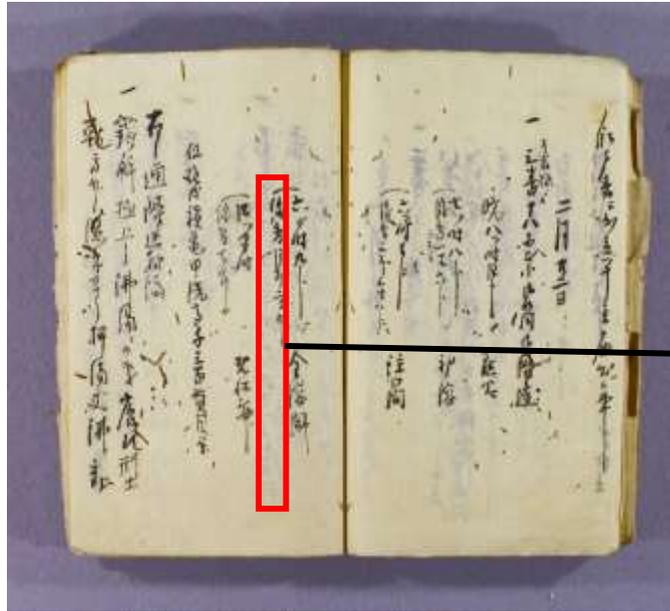
(b)洗浄後の状態

(Cu:89.7% Sn:9.20% Pb検出されず)

図 葦山反射炉の発掘調査で発見された青銅の切粉

- ① 2013年の発掘調査の時に発見された青銅の切粉は銅と錫のみからできており、鉛は含まれていない。
- ② 錫の割合は10%程度であり、葦山反射炉築造記録で購入した銅2700kg、錫270kgと一致する。
- ③ この切粉より、反射炉日記に記載のように、凝固開始温度約1020°Cの青銅製の大砲を铸造したと予測される。
- ④ 切粉の凝固開始温度は約1028°Cであるから、必要な溶解温度は約1130°Cであることが予測される。

亀の甲鉄と鑄鉄の湯面模様



鑄鉄溶湯に見られる亀甲模様
(表面張力の差によって発生するマランゴニ対流の一種)

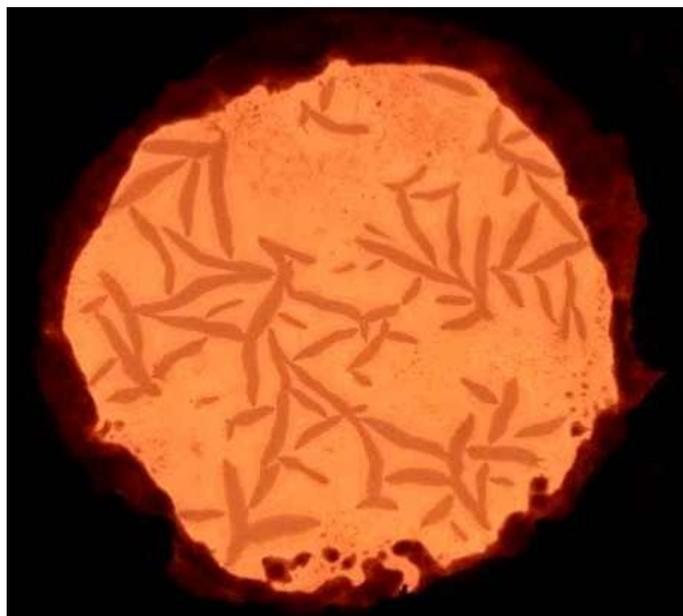
図 安政5年2月22日の
溶解日記(江川家所蔵)

3番目の大砲を鑄造する
ときのみ亀甲鉄300
貫(1125Kg溶湯全体の
23%)使っている。

良い鑄鉄溶湯に現れる亀甲模様と、溶解日記に示される3番目の大砲を鑄造する時のみに用いられた亀甲鉄の名称がいみじくも一致する。亀の甲鉄によるシリコン添加説は残る。安乗神社の成分4.48%C, 0.13%Siを再度考察すると、例えば亀甲鉄のSiが0.5%だったとすると、 $0.5\% \times 0.23 = 0.12\%$ になる。

鑄鉄溶湯の良否と湯面模様

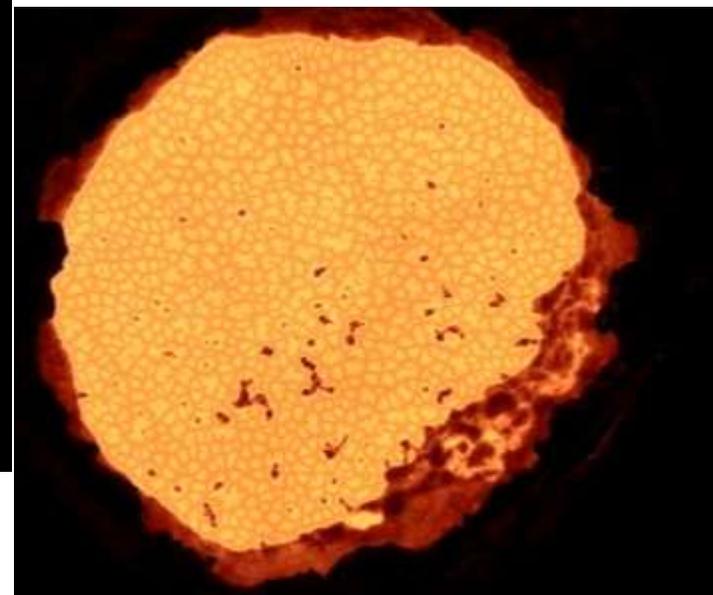
(50kg高周波炉)



笹の葉模様
(悪い湯)



亀甲模様(接種0.2%)

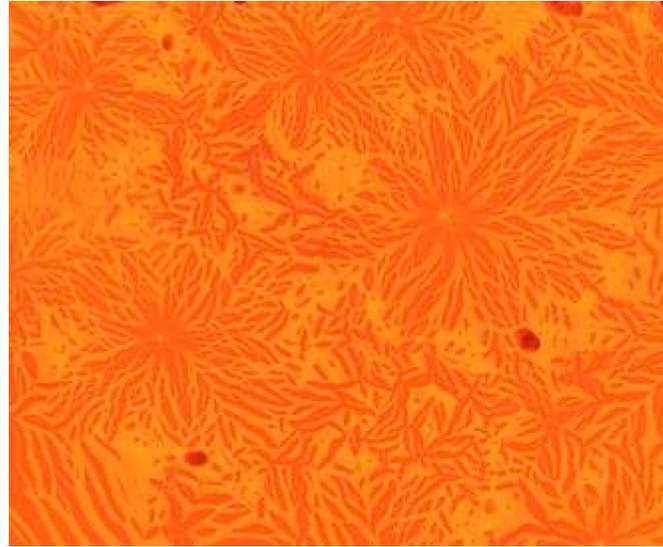


細かい亀甲模様
(接種0.6%)

鑄鉄溶湯に現れる湯面模様(マランゴニ対流)



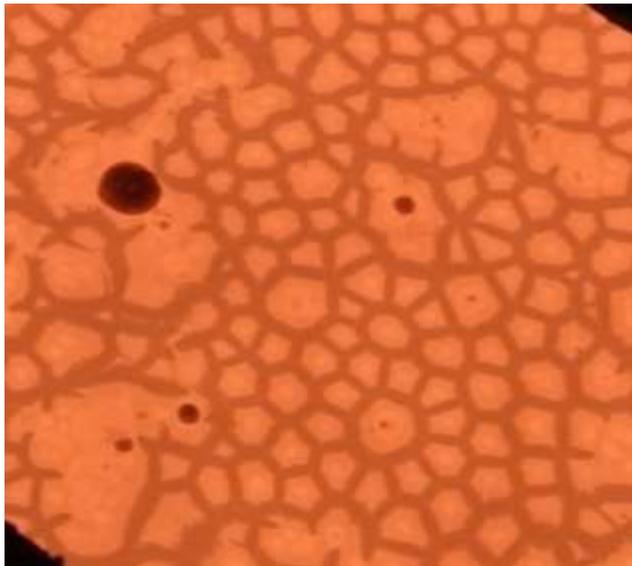
笹の葉状(悪い溶湯)



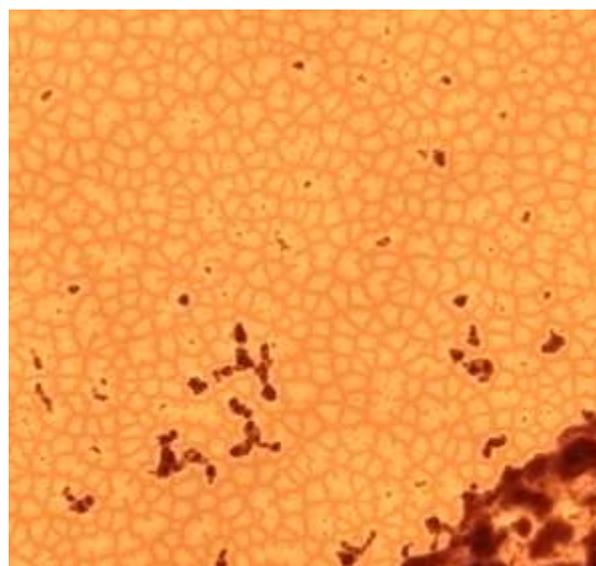
楓の葉状



麻の葉状



亀の甲状(良い溶湯)

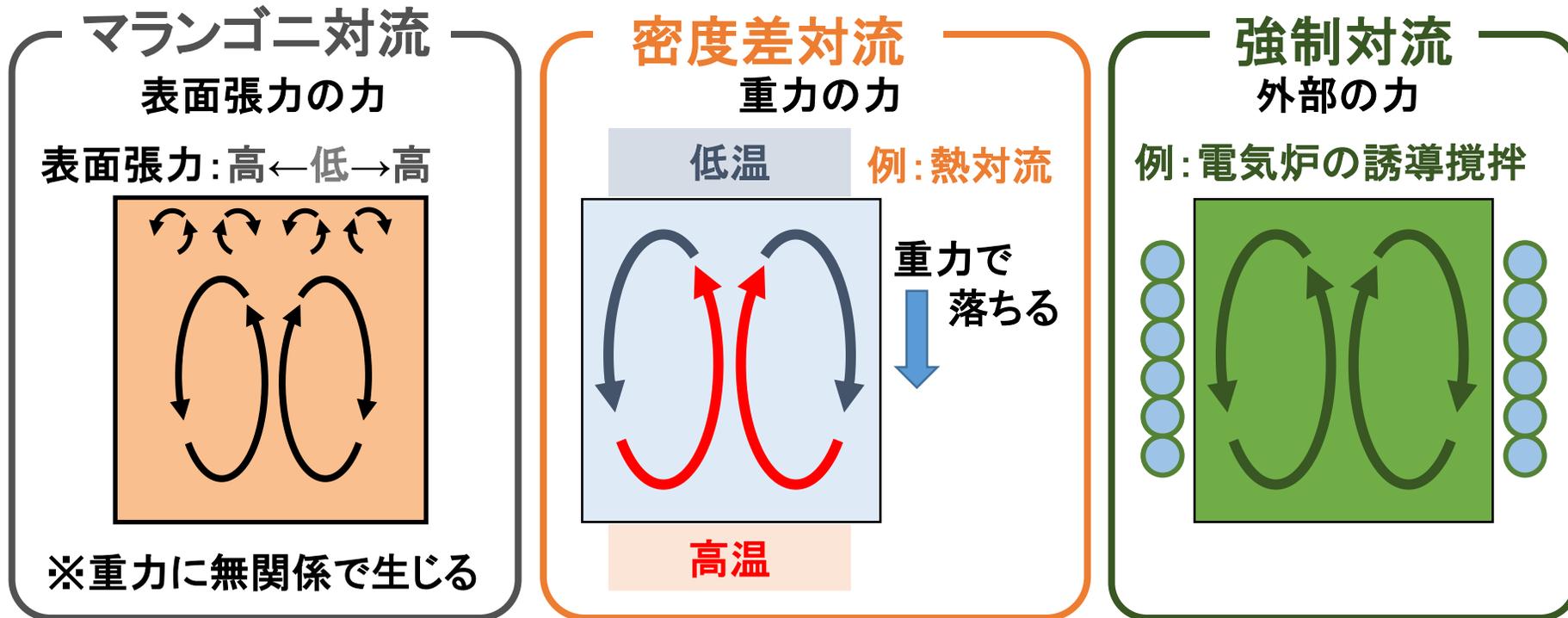


細かい亀の甲状

マランゴニ対流について

対流について

- ・ マランゴニ対流: **表面張力**の不均一によっておこる対流。 **※重力に無関係**
- ・ 密度差対流: 密度差によって起こる対流。(熱対流、溶質対流) **※重力が必要**
- ・ 強制対流: 外部の力によって起こる対流。
- ・ etc



味噌汁などで見られる対流は熱対流で、温度差(重力の力)と関係する。

鑄鉄溶湯においてマランゴニ対流が起こる理由

Sによる表面張力の低下と対流の発生

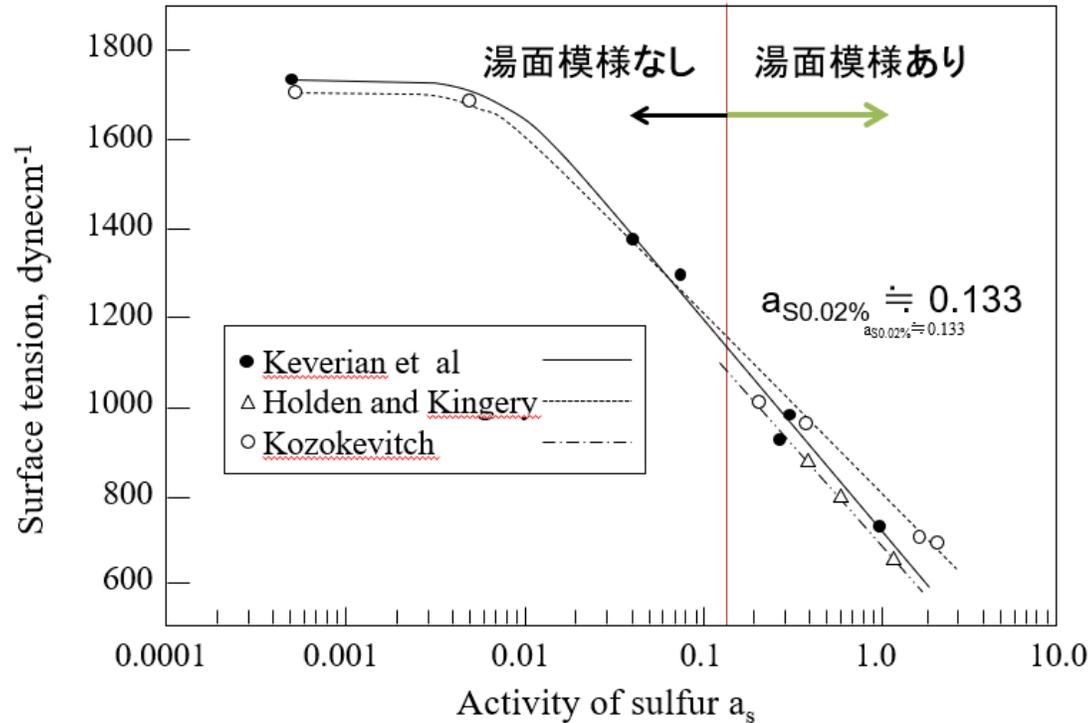


図 Fe-C合金の表面張力に対するSの影響⁸⁾

Sは溶湯表面に偏析し、表面張力を下げる

8) J. Keverian and H. F. Taylor: Trans. AFS, **65** (1957) 212

表面張力の温度依存性におけるSの影響

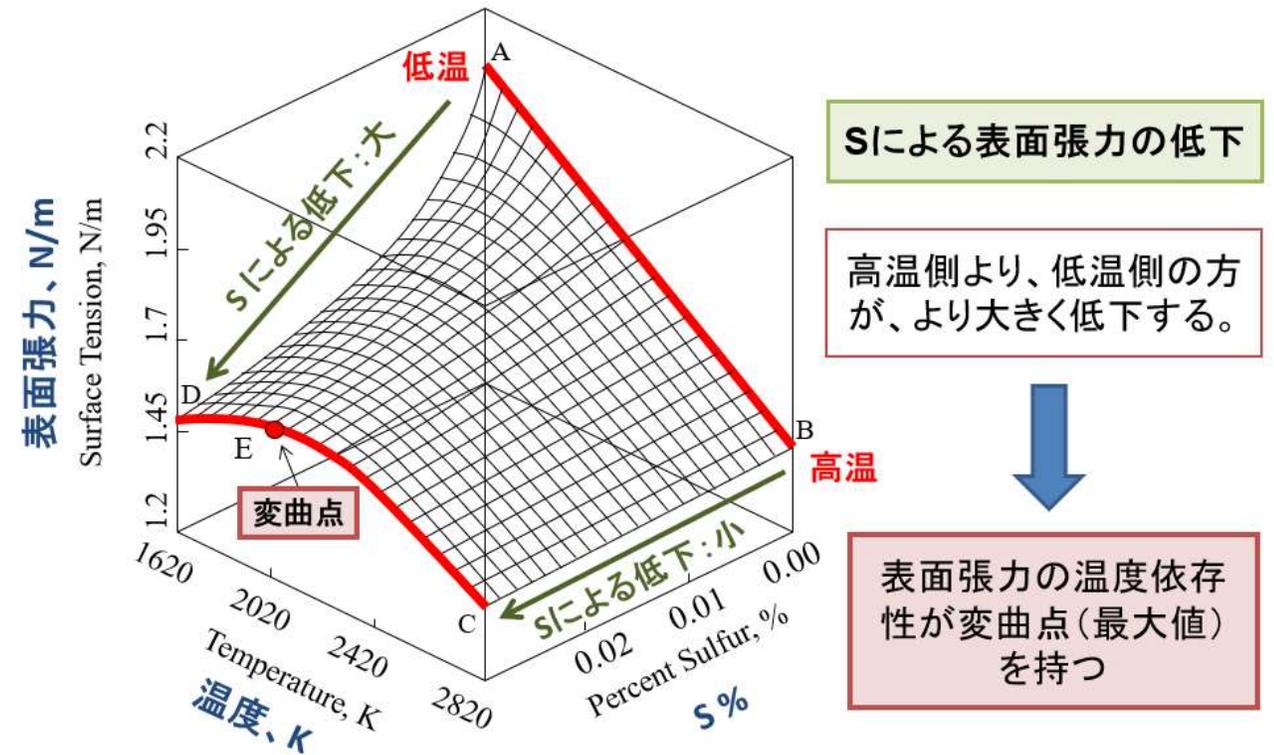


図 18-8ステンレス鋼における表面張力に及ぼすS量の影響⁹⁾

9) W. Pitscheneder, T. DebRoy, K. Mundra and R. Ebner: 75Welding Journal March, (1996) 71

溶湯温度による湯面模様の変化

(3 kHz高周波炉: 炉径 φ 200mm) 溶湯成分: C3.2%-Si1.7%-Mn0.75%-P0.07%-S0.03%

平衡温度(約1380°C)

平衡温度より

C歩留まる



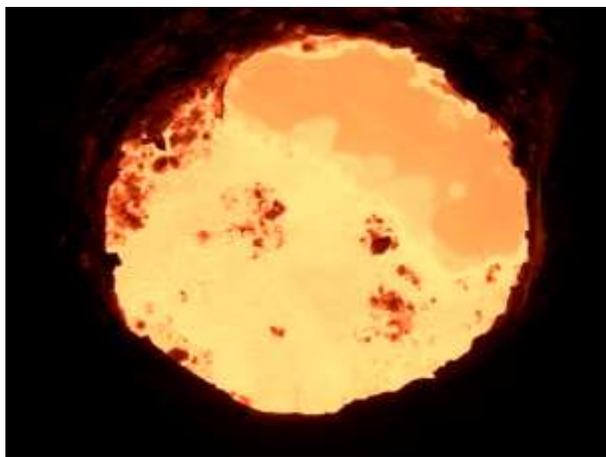
高温CO 優先



低温: SiO₂優先

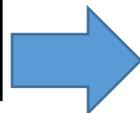


Si 歩留まる



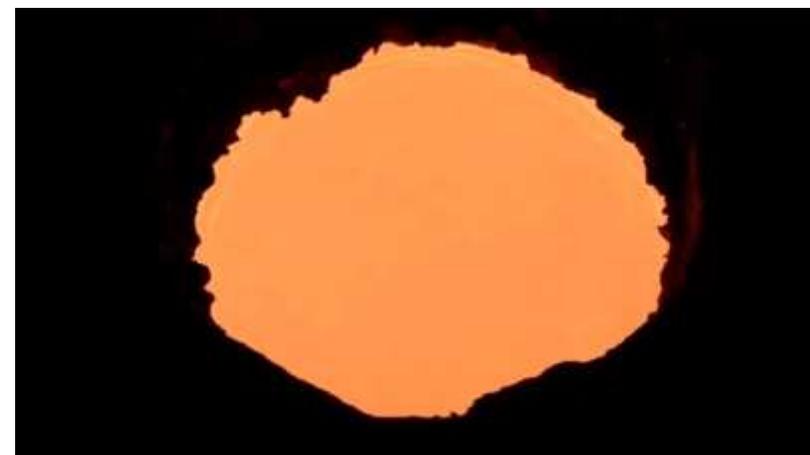
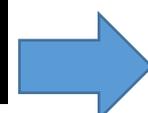
平衡温度以下(1260°C)

液相線に近くなるため、全面が真っ白の膜(FeO-SiO₂)に覆われる。



平衡温度付近(1341°C)

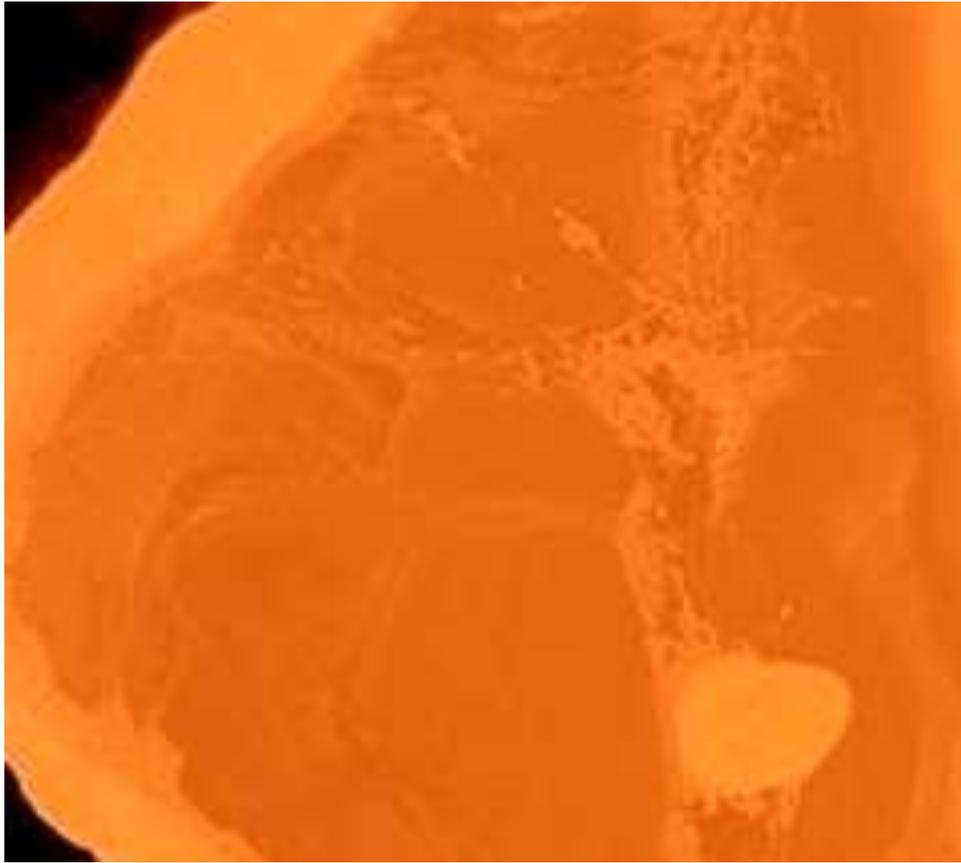
Si が優先的に酸化し、Si の酸化膜(SiO₂)が形成されるため、湯面模様が現れる。



平衡温度以上(1389°C)

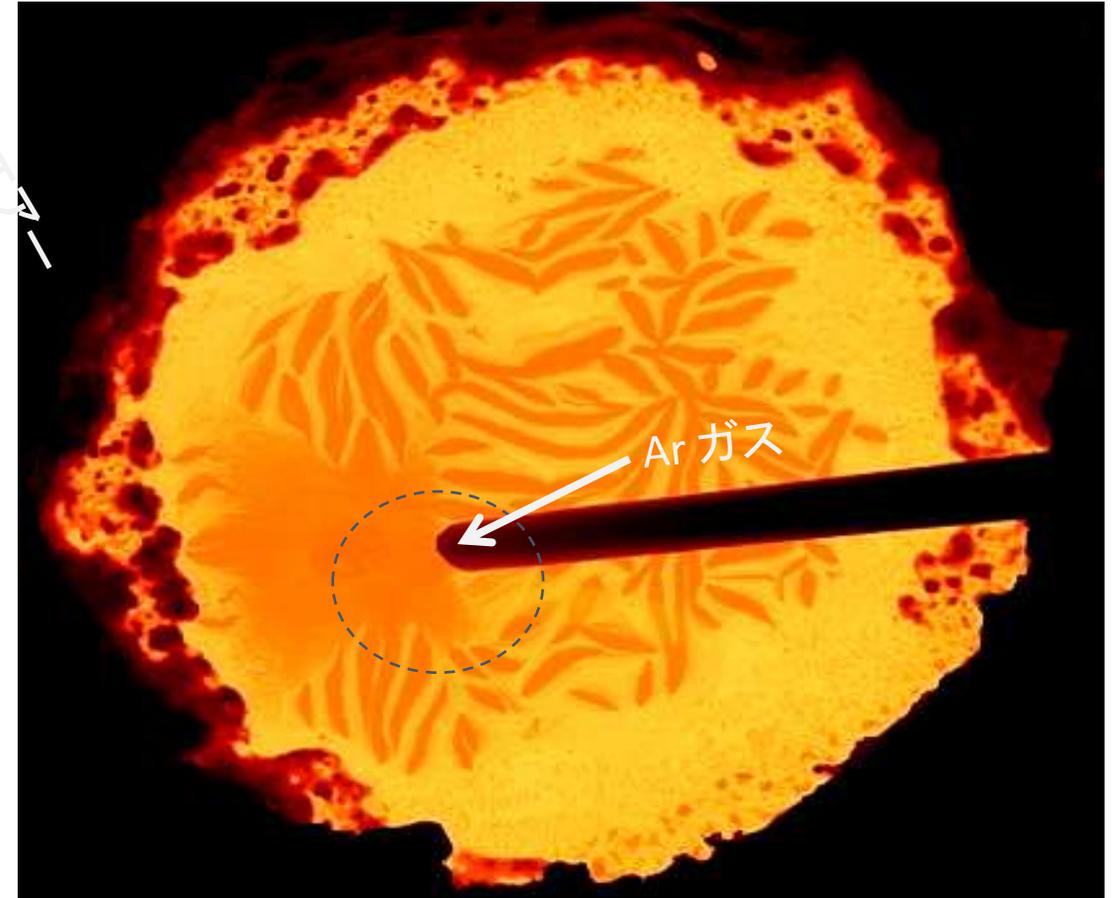
C が優先的に酸化し、Si の酸化膜(SiO₂)が形成されないため、湯面模様が現れない。

エアフローによる湯面模様の出現



高温で湯面模様が見えない状況に、酸素を供給すると、Siが強制的に酸化され、瞬時に湯面模様が現れる。

Ar フローによる湯面模様の消失確認



Fe-3.2%C-1.7%Si-0.75%Mn-0.07%P-0.12%S: 約1350°C

Ar フローにより、Si の酸化(SiO_2 黄色の部分)を抑えると湯面模様は見えなくなる。

江戸時代の時間区切り

新暦	暦	旧暦	日の出	日の入り	昼の2時間	夜の2時間
2月4日	立春	12月18日	6:38	17:12	1:45	2:15
3月21日	春分	2月4日	5:45	17:53	2:01	1:59
5月6日	立夏	3月21日	4:45	18:31	2:17	1:43
6月21日	夏至	5月8日	4:25	19:00	2:25	1:35
7月23日	大暑	6月11日	4:41	18:53	2:22	1:38
9月23日	秋分	8月14日	5:29	17:38	2:01	1:59
10月24日	霜降	9月5日	5:55	16:55	1:50	2:10
11月23日	小雪	10月5日	6:24	16:30	1:41	2:19
12月22日	冬至	11月4日	6:47	16:32	1:37	2:23
1月21日	大寒	12月4日	6:48	16:56	1:41	2:39

江戸時代は、日の出から日の入りを6等分して一刻いっとき(平均約2時間)としていました。このため、一刻の時間が変化することになります。和時計は朝夕2回分銅を掛け替えて不定時法に対応していました。

佐賀藩反射炉における溶解時間

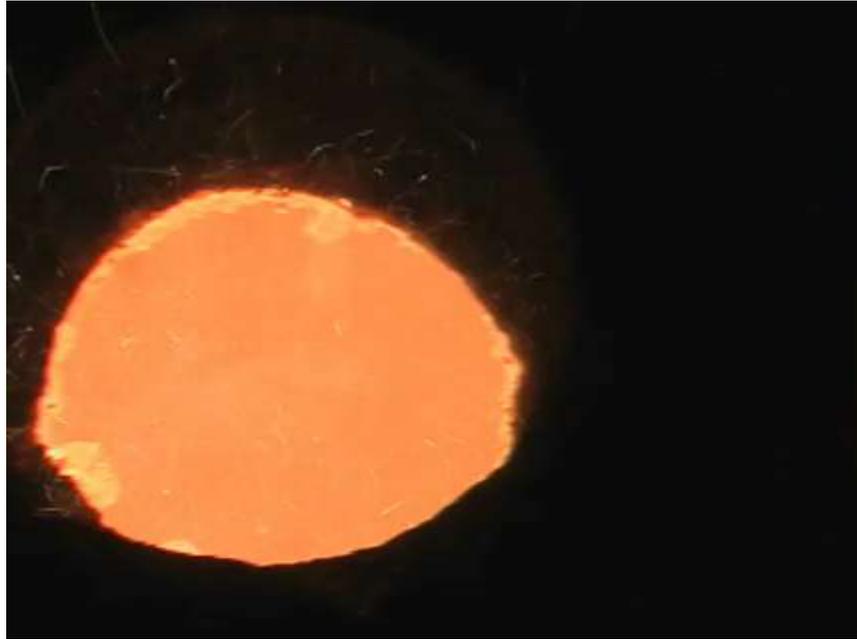
安政4年	三十六封度銃御鑄立(東炉一双)	暁八ツ半時ヨリ火入始七ツ八分時ヨリ鎔始明六ツ半時過皆鎔四ツ時開口、四ツ半時鑄込相済、鎔湯宜敷最上
正月7日	(現代訳) 36ポンド砲の鑄込み	午前4時に点火して午前7時に溶け始め、午前9時には全て溶けた。午前10時栓を開けて11時で鑄込み終わり溶湯は良く流れた。
9日	阿波守殿御頼二十四封度於築地鑄立(西炉一双)	暁七ツ時ヨリ火入始、明六ツ半時前ヨリ鎔掛五ツ八分時皆鎔四ツ半時開口、鎔湯至極宜
23日	三十六封度御鑄立(西炉一双)	暁七ツ時ヨリ火入始、明六ツ半時前ヨリ鎔掛五ツ半時皆鎔四ツ半時前開口九ツ時鑄込相済、鎔湯最上ナリ
29日	三十六封度御鑄立(東炉一双)	明六ツ六分時ヨリ火入始、五ツ半時ヨリ鑄掛、四ツ半時皆鎔、九ツ八分時開口八ツ半時前鑄込相済鎔湯極上々、地金一万七百五十斤
	(現代訳) 36ポンド砲の鑄込み	午前8時過ぎから点火し、午前10時前に溶け出し午前11時半に全て溶け、午後2時から3時にかけて鑄込み、溶湯はとても良かった。使った金属材料は5 t。
10月5日	三十六封度御鑄立(炉三番、四番)	朝五ツ半時ヨリ火入始明八ツ時皆鎔、七ツ半時鑄込相済鎔宜敷鉄花煙大フ立、地金十万千四百斤
23日	三十封度ミッテルカノン為御試生石灰入ニテ御鑄立	暁七ツ時ヨリ火入始明六ツ半比鎔掛、暁七ツ半時比相済、鎔湯至極若湯、地金五千斤内

火入れ → 溶解開始 → 溶け落ち → 出銃 → 鑄込み完了
 約3H 約2H 約2H 約1H

佐賀藩操業記録には、溶湯の良否が詳細に記されている。火花が散った溶湯や、温度が高くなり過ぎた溶湯のことが記されている。反射炉の溶解温度は、最初は低いことが多かったことが記録されているが、後には十分に高くなったことが記録されている。文献に見られるように、1200℃程度とはとても考えられない。佐賀藩(実はアメリカ製)の成分における凝固開始温度は1200℃である。佐賀藩の大砲も過共晶成分で作っていたと考えられるとすると溶解温度は韮山と同じ1250℃と考えられる。鑄込みには1時間を要している、これは連続的に高温の溶湯を作ったことを意味しているが、通常は反射炉内に湯を十分に溜めて90秒以内で注湯を完了しないと照らされなどの鑄造欠陥が発生する。開口の意味が湯を出したという意味ではない可能性が高い。

「花煙大フ立」の意味

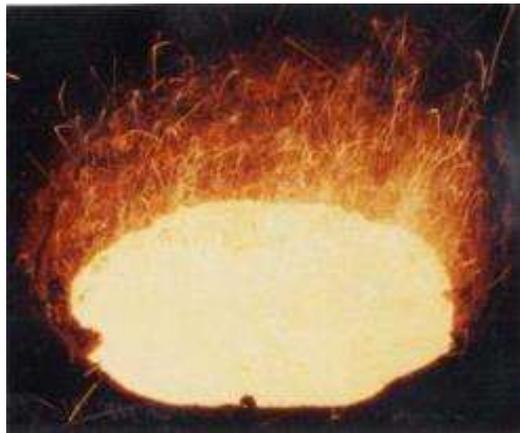
Siの低い成分 (Si: 0.05%) と佐賀藩大砲成分 (Si0.65%) での湯面変化



Siの低い成分 (Si: 0.05%)



佐賀藩大砲成分 (Si0.65%)



溶湯の沸騰及び火花発生[1400°C]

Siが少ないと、 $2C + O_2 = 2CO$ の反応によると思われる**沸騰と火花の発生**が起こる。これ以上温度を上げると、湯が膨れ上がり炉から流れ出る。

『大阪の銑鉄は悪く、江戸の銑鉄は良い』という話が反射炉日記に記述されているが、江戸の銑鉄の方が少しSiが高かったのではないかと推察される。東北の銑鉄は、橋野高炉に見られるように岩鉄(磁鉄鉱)を原料としたものが多いのでSiが少し高かったのかもしれない。ただし、分析結果がないので真実は不明。

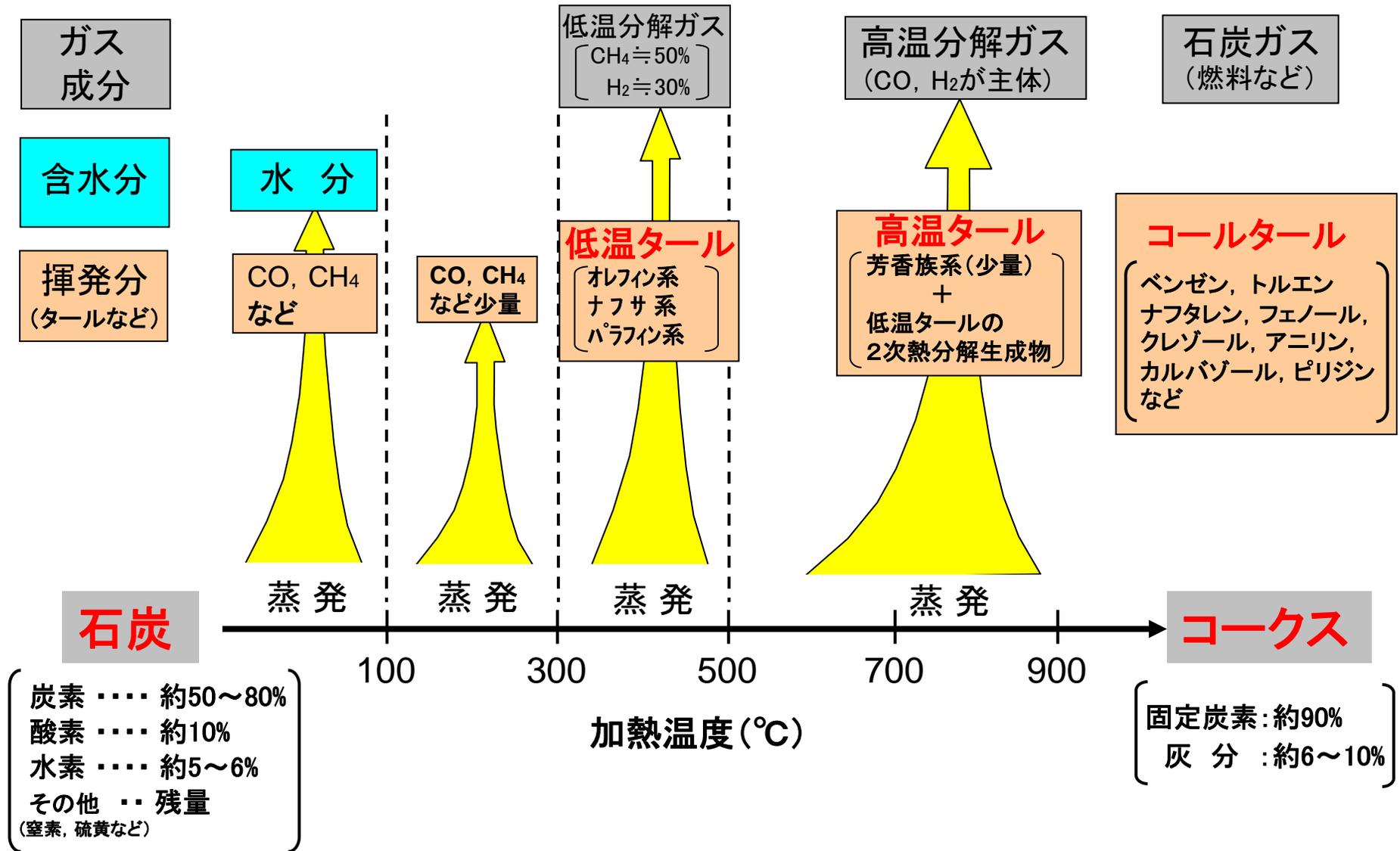
葦山反射炉の溶解時間

安政四年 七月朔日	南反射炉吹試	今朝日、夜九つ半時より南反射炉吹試相始、晩七つ時湯涌く出し夫より翌二日朝五つ半時式分解湯、鑄流し相濟候事但、吹初より鑄流濟迄、線香七本式寸八分
(現代訳)	南反射炉の試験溶解	午前1時に南反射炉に点火したものが午前4時に溶け始め、午前9時には全て溶けた。溶湯は良く流れた。(溶解開始より終了まで線香7.5本分の時間が掛かった)
安政四年 九月朔日	壺番反射炉東半双試鑄	安政四年九月朔日線香式本四分五厘(線香長 五寸五分)二而...中略...六本四寸二而注口開候事
(現代訳)	南反射炉(Sb)での試験溶解	1857年9月1日、溶湯を流し始められるまで線香約6.7本分時間が掛かった。
安政四年 十一月七日	式番反射炉北炉溶解 (銃606貫)三番砲の鑄込み	亀甲銃六〇六貫目...中略...線香一本者、五寸四分二厘...中略...明ヶ六時 二分 線香六本七分九厘 惣仕舞
(現代訳)	北反射炉(Na)での溶解	亀甲銃鉄約2270kgを溶解した。午前6時に線香6.8本分(約四時間)で溶け落ちた。

※1貫目=約3.75kg

南炉	火入れ → 溶け始め → 出銃 → 鑄込み完了 3時間 5時間 ? (トータル時間: ?)
北炉	火入れ → 溶け始め → 出銃 → 鑄込み完了 ? 4時間 ? (トータル時間: ?)

溶解重量
約2.3t



コークス製造過程(熱乾留)における石炭からの精製物質

蕪山反射炉で使用されたと推測されるコークスについて

コークス

粘結炭を主成分とする配合石炭を高温乾留(1000°C以上での蒸し焼き)して得られる、金属光沢のある黒灰色の孔質団体。石炭より火力が強い。



コークスの外観
(鋳物1号塊)

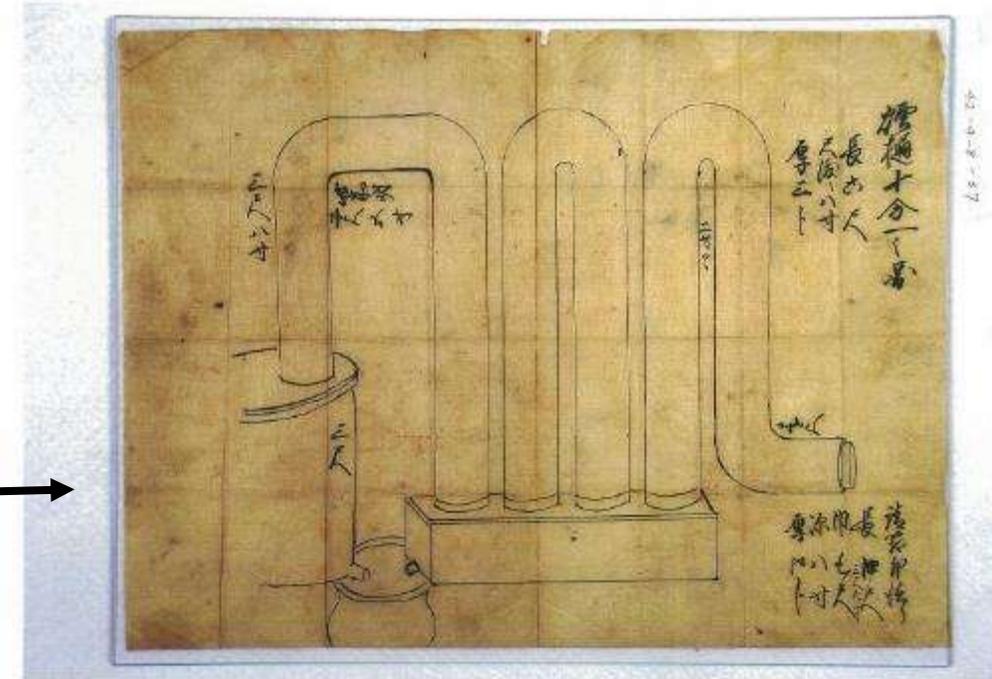
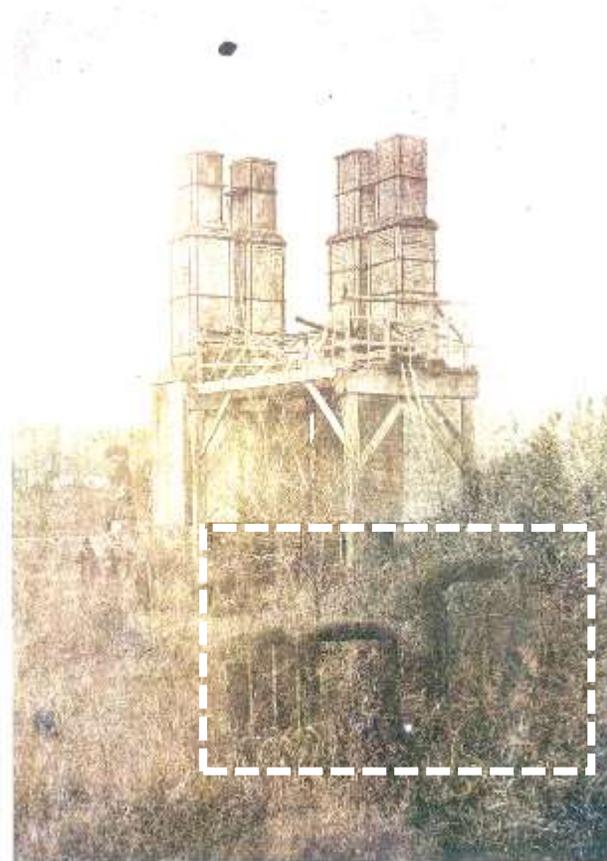
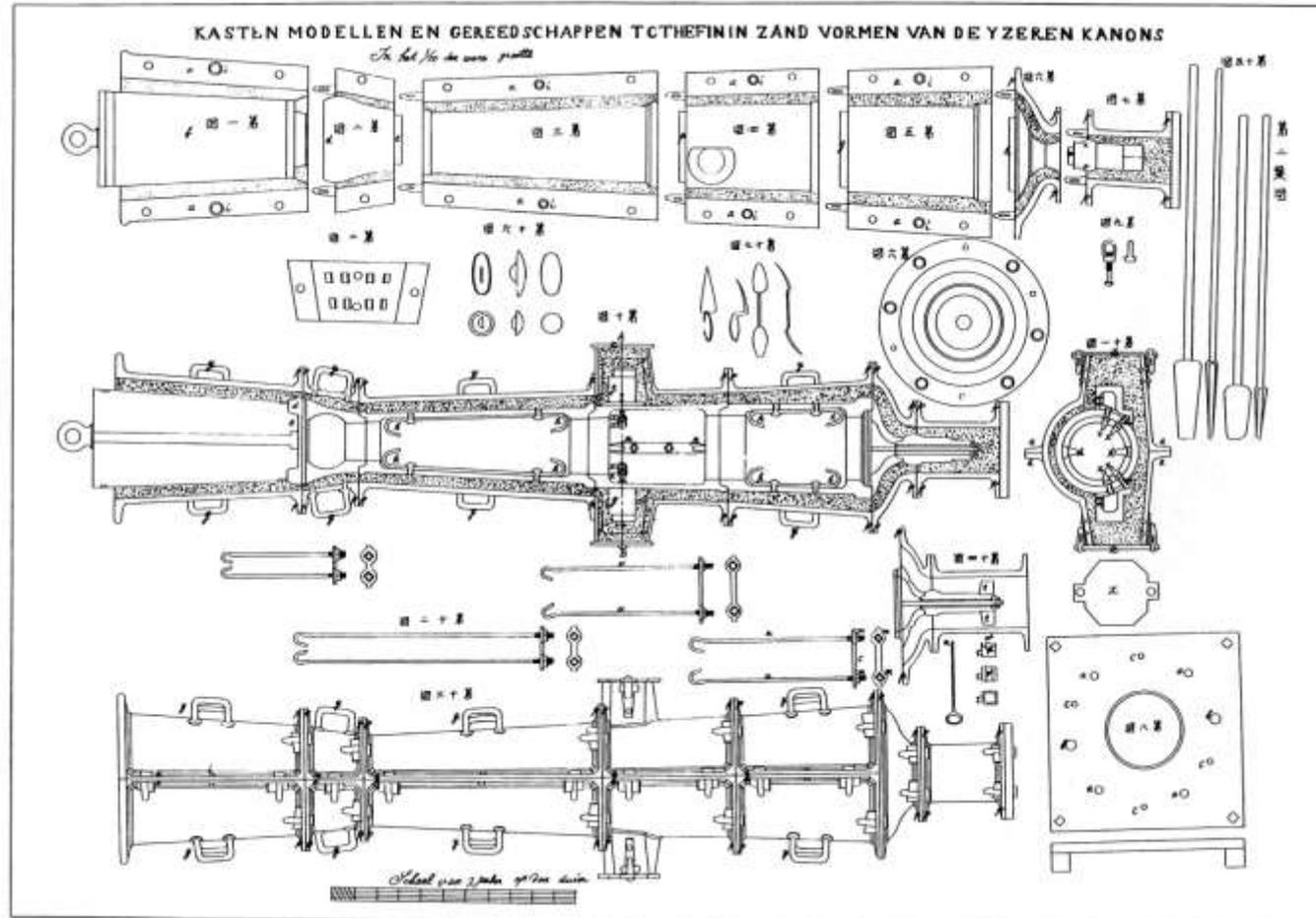


図 石炭からコークスをつくる時のタール集積管
(江川家所蔵)

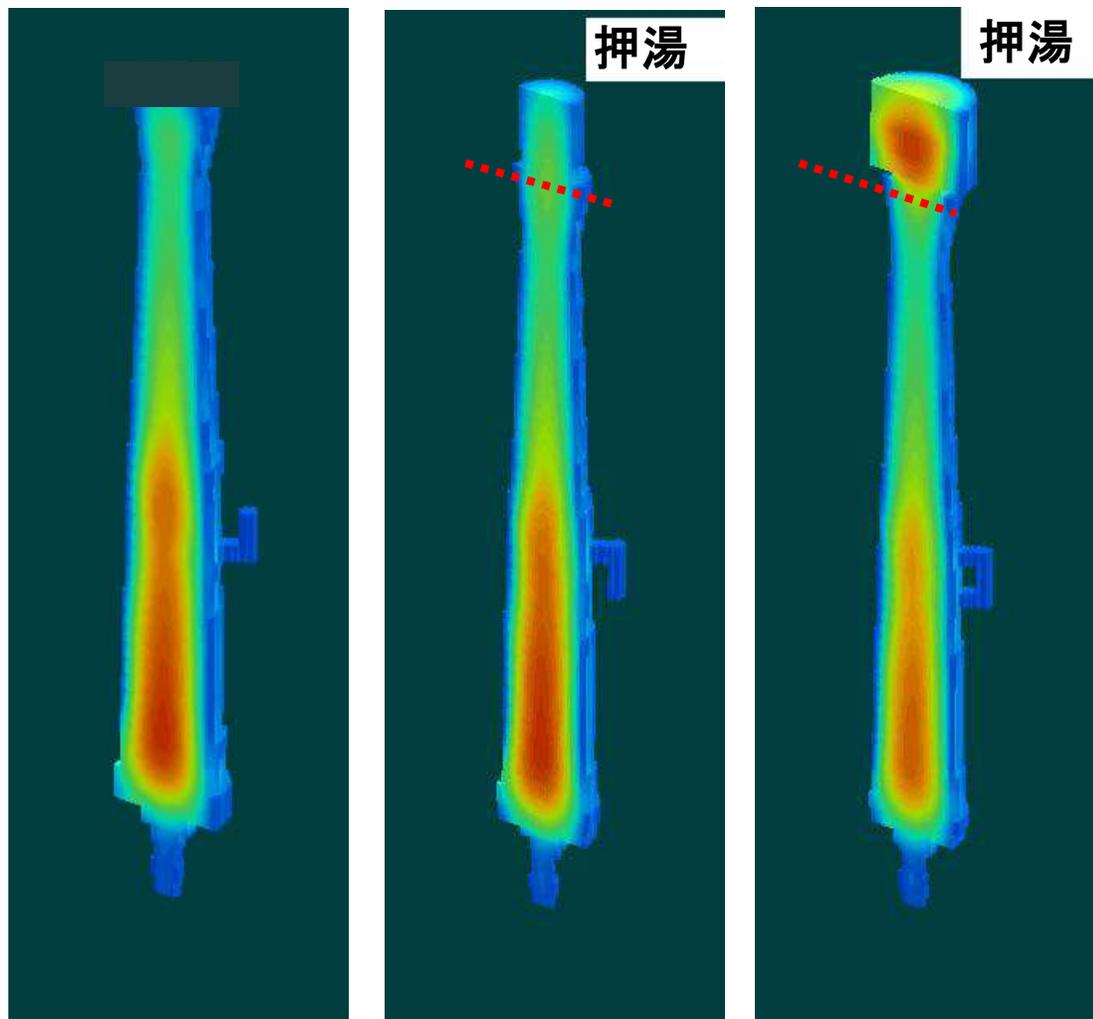


ヒュゲーニン「大砲鑄造法」の翻訳本

葦山反射炉の製造記録：木枠砂型にては鉄砲の出来が悪く、金型が良い。
現在の鑄物造りにおいても、鑄枠の強度は非常に重要である。

(文献：幕末における 佐賀藩 鑄造の大砲とその復元(1979)P69)

コンピューターによる凝固解析 (鋳込み温度: 1250°C)



押湯なし

押湯
〔φ 300 × H400〕

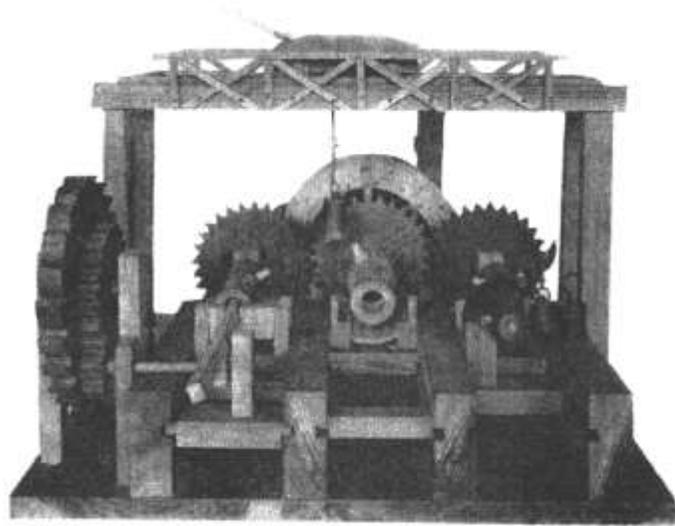
押湯
〔φ 500 × H500〕

24ポンドカノン砲
においては、押湯が
φ500以上程度にな
ると、押湯部が最終
凝固部となり、押湯効
果が出てくることが分
かる。大砲鋳造法の
押湯も概ね妥当な容
量になっている。

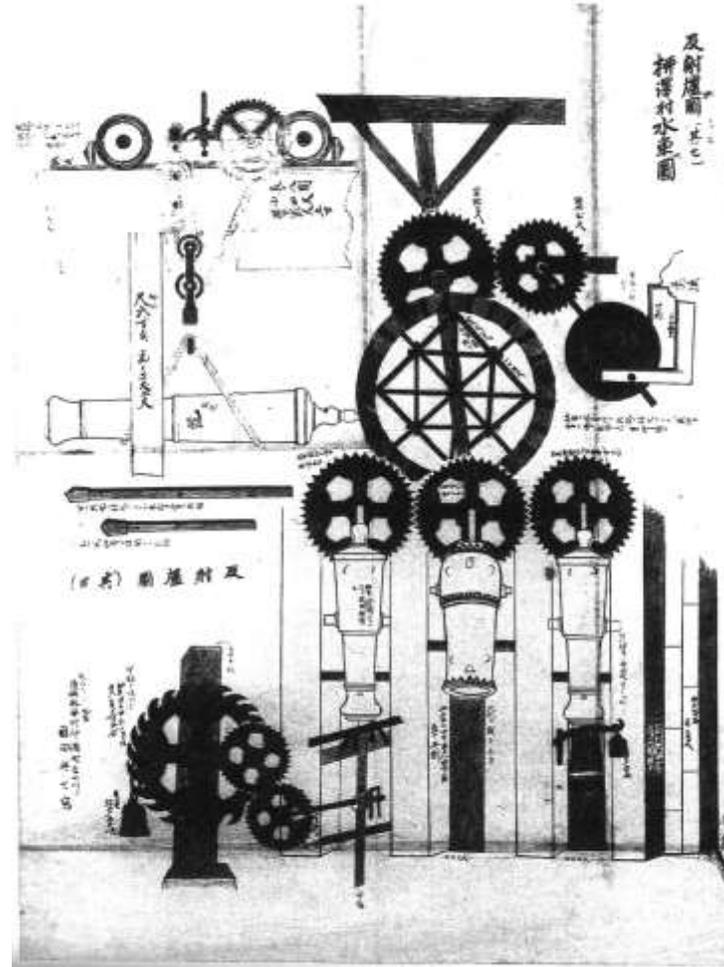
葦山にて鑄造した鑄鉄製大砲の数の推測

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個鑄込んでいる。1番18ポンド砲は加工は行っている。3番18ポンド砲は加工し、試打まで行っている。 銅製80ポンド4挺、24ポンド1挺、計5挺。	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1門
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。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
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。	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作製した大砲が、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。	28門
洋式製鉄の萌芽 芹澤正雄: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ポンド砲の鑄造が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;金属(1967, p.67)	鑄鉄製砲75門を作り、巢などの欠陥がなかったのは12門。	75門つくり12門成功

すいこうき
錐鑽機(砲身孔を開けるための機械)



すいこうき
幕末の砲身錐鑽機
(水戸常盤神社義烈館にある模型)



水車場と錐鑽機
(古文書)



木村鑄造所寄贈の24ポンドカノン砲
(全長:3.5m、重量:3.5t)



砲口栓
(蓋)

きゅうほう

臼砲とカノン砲の説明

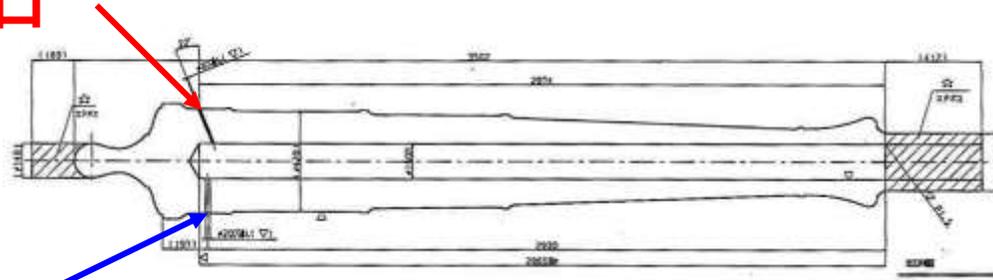
当時は、水車の力で加工していた。加工期間は、1番目では73日かかり、3番目では14日以下との記録がある。



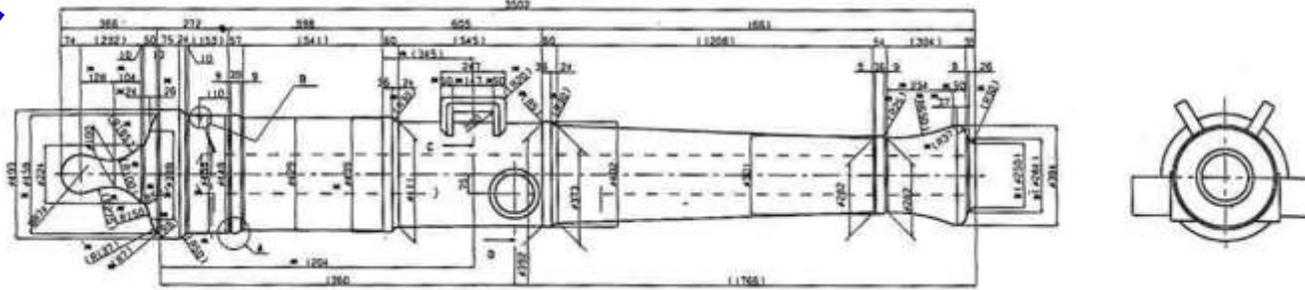
大砲の砲身加工の様子

大砲復元鑄造における銃刀法違反の問題

φ 8mm着火口



φ 20mm穴



兵器製造法規制・銃刀法規制の問題があるとの連絡有り



φ 150mm穴加工は完了したので、φ 8mm穴(着火口)を肉厚の1/3までとし、φ 20mm穴の加工を中止。先端に蓋を取り付けた。



条件: ①火が着かないこと。 ②玉が発砲できないこと。
③固定されていること。

大砲の飛距離



24ポンドカノン砲と29ドイム砲



1500m

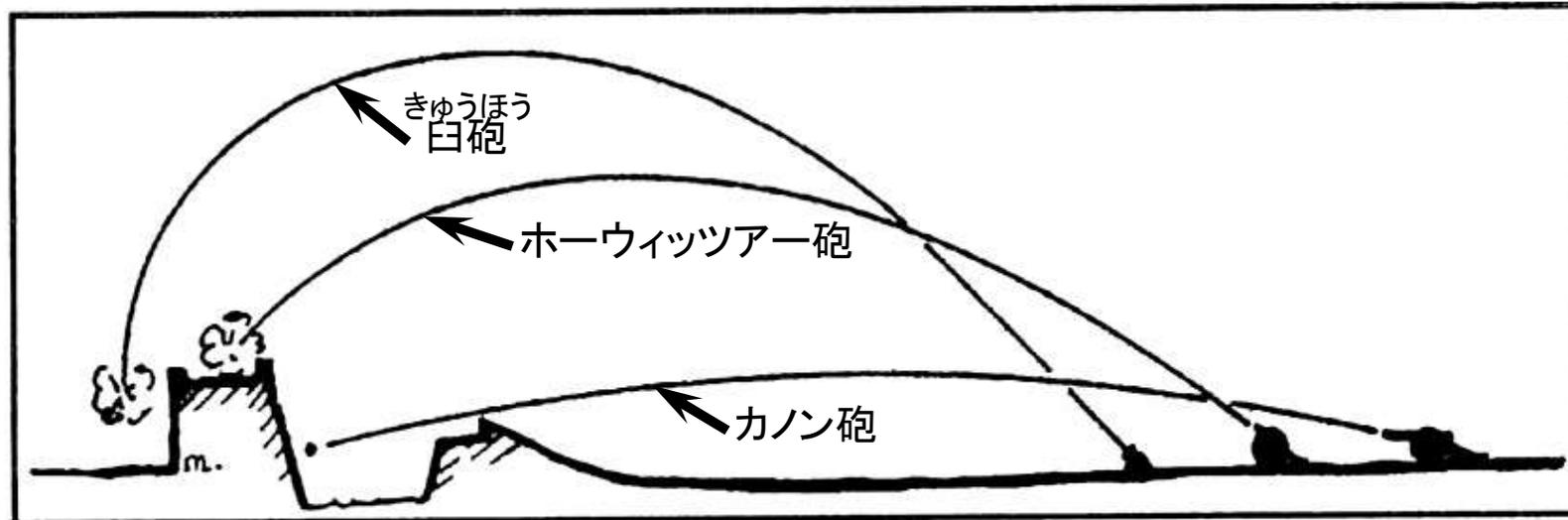
萩反射炉の飛距離約1.2km。練習なので、火薬量半分で試射をしたものと考えられる。

	発射薬療	照準角度と弾丸飛行距離		
		30度	45度	60度
20ドイム 臼砲 きゅうほう	157.5g	283m	463m	431m
	468.8g	1214m	1364m	1086m
18ポンドカノン砲		最大射程距離: 2600m		
24ポンドカノン砲		最大射程距離: 2793m		

大砲のいろいろ

砲術の世界では、弾道(目的)によって大砲を3つに分類している。

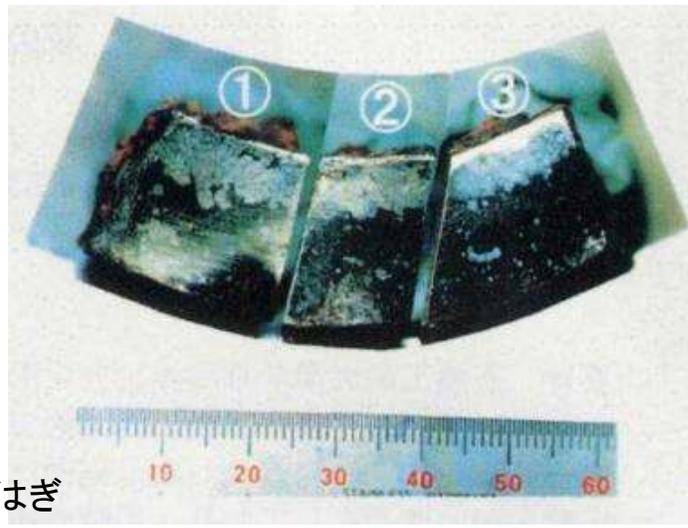
1. 「フラット」弾道のカノン砲 : 水平弾道で目標を破壊する大砲
2. 「高い」弾道の臼砲 : 空高く打ち上げ、高い障害物を越す攻撃砲
3. 中間のホーウィッツアー砲 : 臼砲並の大口徑で移動が容易な砲



大砲の弾

外周部は、脱炭組織で鋼と同じフェライト・パーライト組織となっている。その下は、チル組織となっている。また、中心部はパーライト基地の片状黒鉛鑄鉄となっている。砲弾は完全な複合材料より構成されている。いかにして、製造したのか興味が沸くところである。

(芝浦工業大学、中田毅先生)



はぎ
萩反射炉の大砲の弾(断面)

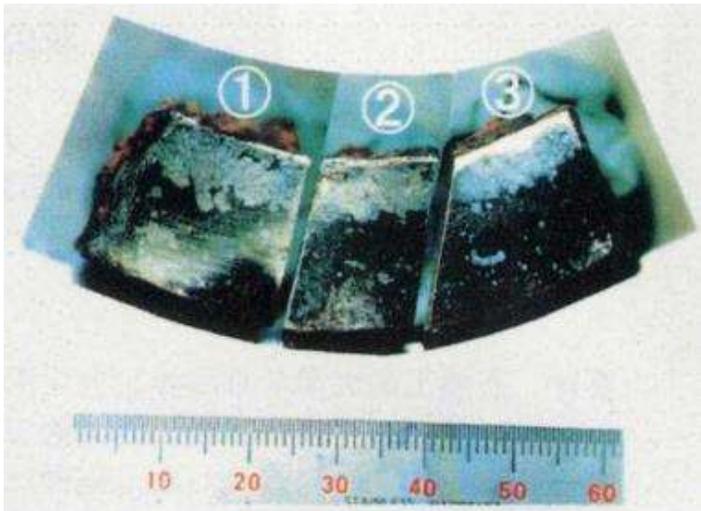


爆裂弾
焼夷弾
葦山反射炉の大砲の弾



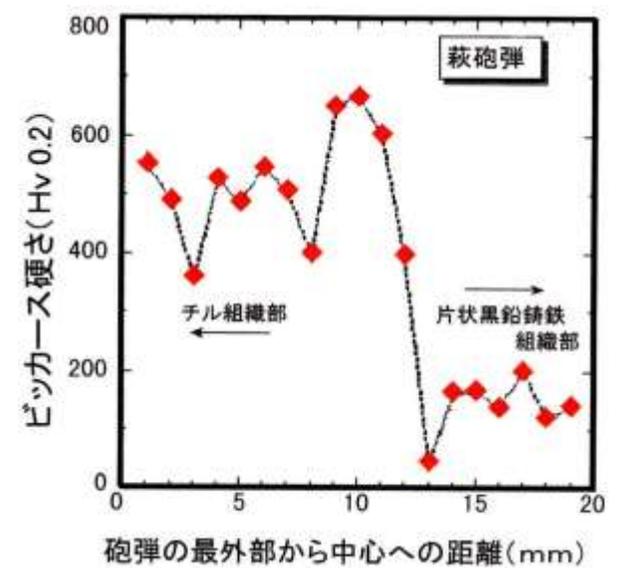
時代は、球形の砲弾から、先端が凸のライフルカノン砲弾へと変わっていた。これが、葦山反射炉が使われなくなった最大の理由と考えられる。

鑄台発掘時に出土された鉄製ライフルカノン砲弾



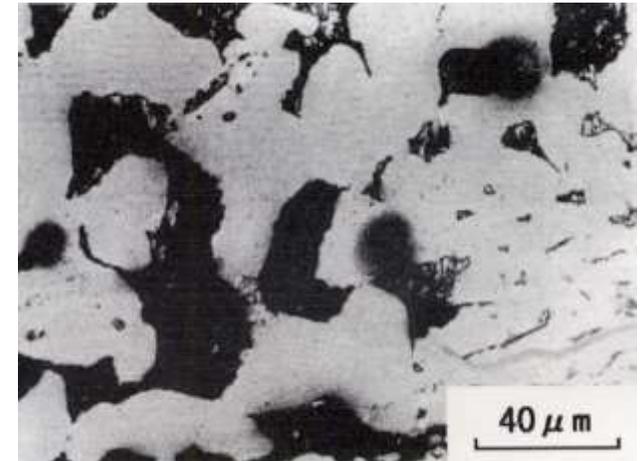
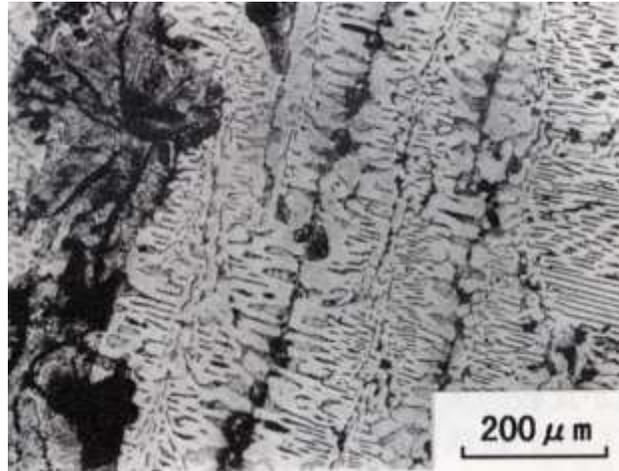
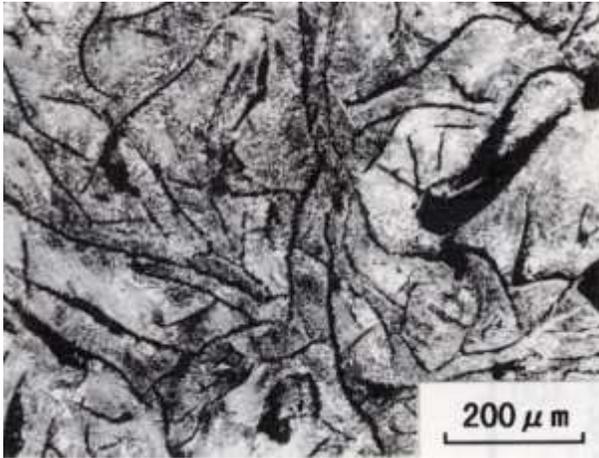
はぎ 萩の砲弾の成分(%)

	C	Si	Mn	P	S
萩砲弾の成分範囲	3.7 ~4.3	0.0015 ~0.16	—	0.05 ~0.16	0.05 ~0.14
片状黒鉛部	4.32	0.17	< 0.005	0.15	0.018



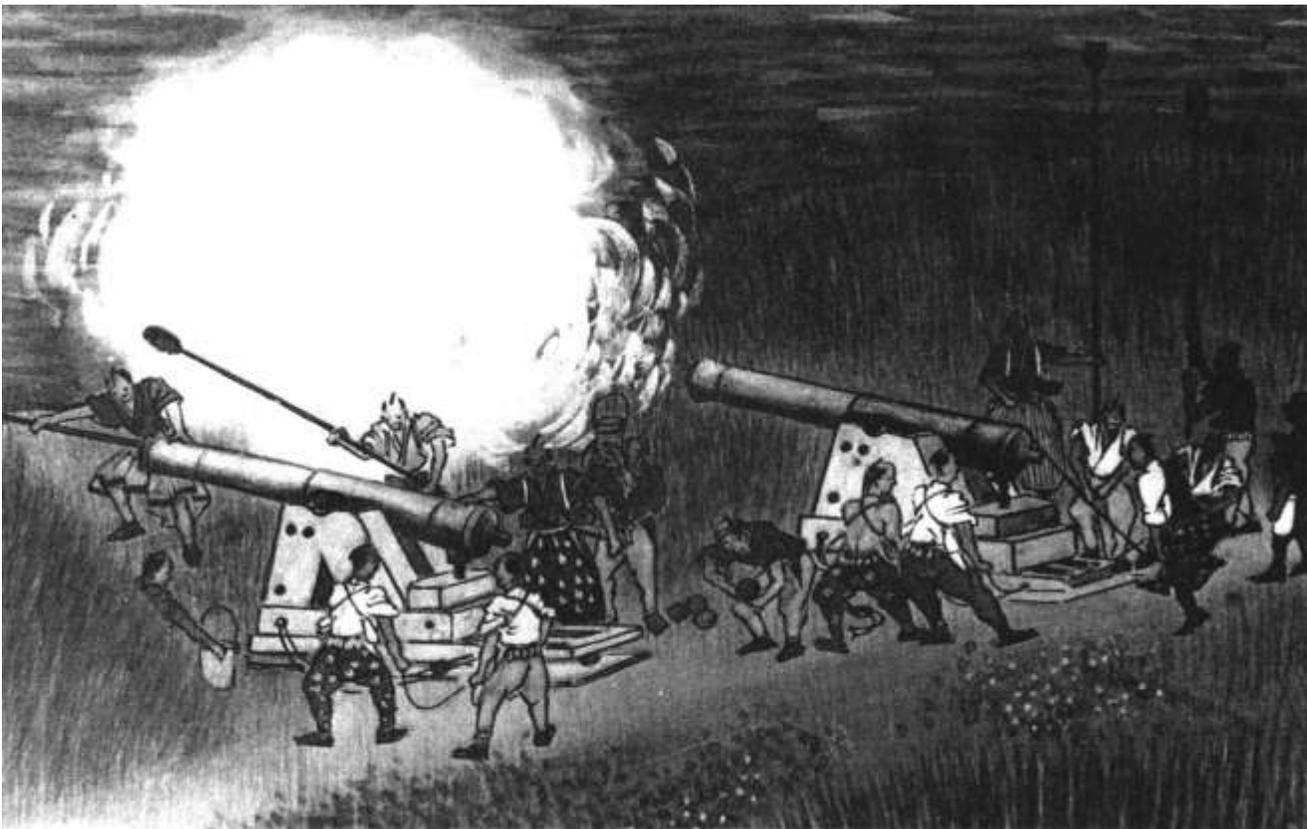
萩反射炉の大砲の弾(断面)

図 マイクロビッカース試験結果



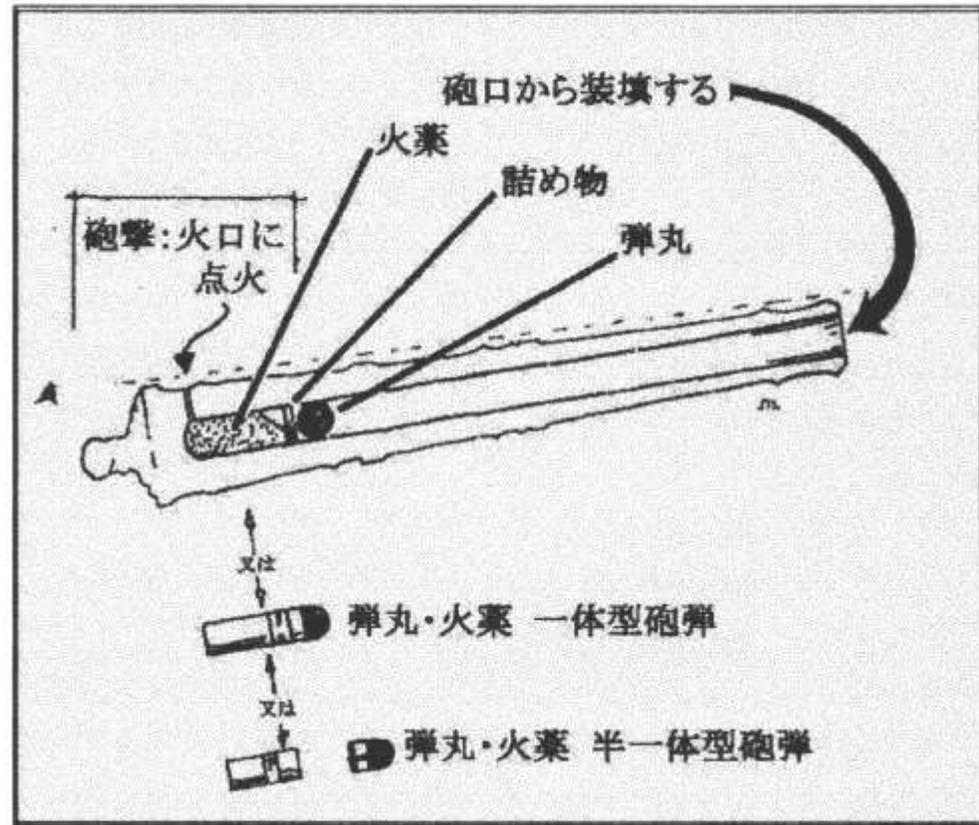
中心部(片状黒鉛の組織) 外周部(チル部の組織) 外周表面(マリアブルの組織)

- ① 砲弾は、1854年に撃たれたものである。(葦山反射炉建設開始の年)
- ② 砲弾は、成分の異なる二つの溶湯を、外部と内部に分けて鋳込んだように思われる。いかなる方法か？



鍋島直正 品川砲台巡視絵図
陣内松齡 筆

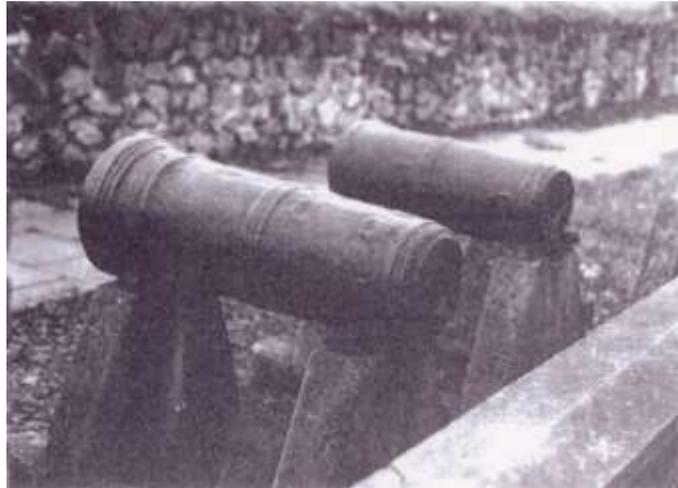
(文献:幕末における 佐賀藩 鑄造の大砲とその復元
(1979)P34)



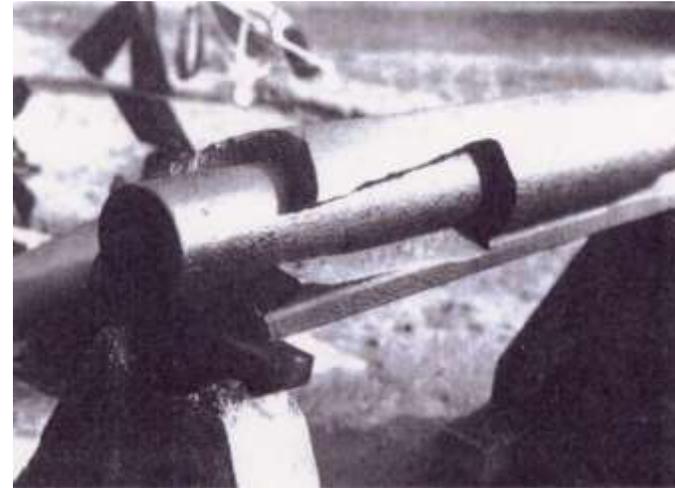
先込め(砲口から装填)式滑腔カノ
ンの砲弾装填方法

(文献:今津浩一・訳 大砲の歴史
(2004)P131)

ポーランド・ワルシャワ国立博物館の大砲



二つに割れた鑄鉄大砲



鑄鋼のスリーブを鑄鉄で鑄ぐるんだ大砲



鋼のパイプを鑄ぐるんだ大砲

各種大砲の概要 (アンヴァリット(廃兵院)、現在は軍事博物館)



図 木製の大砲



図 1780年製の青銅製大砲



図 青銅製大砲

梨本の登り窯(明治6年築造)



粘土の発見は、弘化(こうか)2年(1845年)で、煉瓦を焼き始めたのは安政元年3月1日(1854年)で、下田反射炉建設と同じ年である。日本で最初に耐火煉瓦を焼いたとされる貴重な場所である。

葦山反射炉のうち、丸印の付いた物が梨本の煉瓦とされている。粘土は美しい白色である。

(文献: 竹内清、耐火煉瓦の歴史(竹田老鶴圃)(1999)P8)



登り窯の説明



登り窯まで

葦山反射炉10大ミステリーへの私案

	葦山反射炉に残された謎	私案
溶解関係	①葦山反射炉で鑄鉄の湯は溶けたか？	溶解温度は、川口の鑄物師増田安治郎が作った安乗神社の大砲と同じ炭素が約4.5%になる1250℃程度である。
	②反射炉の溶解温度は？	
	③反射炉の溶解時間は？	火入れから注湯完了まで8時間。鑄込時間は約1時間？
	④鑄込み方法は？	大砲は立てて直接溶湯を注いだと思われる。取鍋やクレーンは使っていない。
	⑤「ふいご」は用いられたか？	「ふいご」を炎の調整に用いた可能性は残る。
	⑥溶解燃料は？コークスは使われたか？	最初は炉を予熱するために木炭等を用い、その後温度が上がるにつれ石炭、最後にコークスを使用した。
	⑦溶解材料は？岩見の砂鉄・岩手の岩鉄（鉄鉱石）・輸入鉄（南蛮鉄）・バラスト	佐賀藩ではバラストを用いてシリコンを高くしたといわれているが、バラストにはシリコンは含まれていない可能性が高い。葦山では、3番目の大砲にシリコンの高い（約0.5%）と思われる亀甲鉄を使用している。亀甲鉄をどこから手に入れたかが次なるミステリーである。
瓦煉	⑧反射炉の煉瓦はどこで焼いたか？	○印の付いた煉瓦は河津梨本のものであり、付いていないものは葦山の裏山。煉瓦は白色のアルミナ系粘土を焼いて作った耐火煉瓦である。
その他	⑨葦山反射炉での大砲の鑄込み数と完成品の数	*鉄製4門鑄造し、試打は2門、青銅製は5門。
	⑩鑄鉄製の大砲の成分の問題	シリコンの高い溶解材料が入手できなかったことが主原因である。このため、川口の鑄物師増田安治郎が作った安乗神社の大砲成分と同じ、炭素量約4.5%以上のチルしない過共晶溶湯で鑄込んだものと思われる。過共晶成分ならば、加工と火薬量半分の試打までは可能である。しかしながら、実戦では強度と耐衝撃性不足で破裂した可能性が高い。佐賀や葦山の大砲が実在しないのは、この事が原因と思われる。

*最近の調査で、鉄製は4門であることが分かった。