



第11図 島津斉彬も利用した矢越海岸の砂鉄
(南九州市穎娃町)



第12図 炭屋の製鉄炉

炉心が主に川沿いを向いており、凝灰岩製の切石または川原石を高く積み上げ、砂鉄と木炭を投入しやすくするために、一方向にスロープ(歩廊)が築かれている。炉内には粘土が貼られ、炉形は長形状、石組みの石と石の間には隙間を埋めるため粘土を充填している。川に近接し、炉の存在する後背部に水路が見られるのも一つの特徴である。

前述したように、現在発見されているものとしては肝付町(旧内之浦町)大谷添1基、南大隈町(旧根占町)二川1基(第9図)、鹿児島市(旧喜入町)上茶筌松1基、南九州市(旧知覧町)二ツ谷1基、志布志市(旧志布志町)荒田1基(小村2004)である。このうち知覧町厚地松山では2基の炉が発掘調査によって発見されている(知覧町教委2000)。

もう一方のタイプは、根占町炭屋にある土台に偏平な自然石を配し、その上に粘土を積み上げたもので、古記録から江戸時代後期にはすでに存在していた。今日、熊本県内において発見されている12世紀から13世紀代の炉(竪型炉)に似ているとして注目されている(穴澤1993)。これら一連の製鉄炉は、鹿児島県内で発見されているいわゆる石組製鉄炉の前段階に位置付けられると推定している。

3) 炉の技術的な系譜と見解

鹿児島では江戸時代、石を高く積み上げた高炉状の炉と水車を動力とした送風装置(水車ふいごと呼ぶ)が利用されるなど特徴的な鉄生産技術が存在していた。薩摩藩政下これらの技術はいつどこから伝わったのだろうか。

(i) 水車利用の系譜に関して

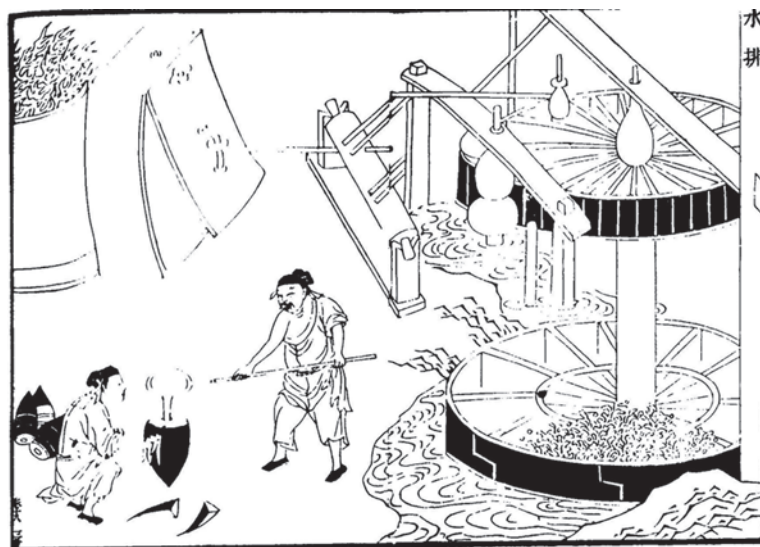
まず水車の利用から考えてみよう。日本書紀では、代表的なものとして大宝3年(703)の条に「是歳、水碓を造りて鉄治かす」という記事がある。この「水碓」の解釈については水車を利用した送風、あるいは鉾石の破碎に水車を利用したという双方の見解がある(飯田・田淵1970)。

時代は下って、水車の利用に関しては、天明4年(1784)に完成した下原重仲の『鉄山必要記事』の中に「薩

州出産の鉄あり（中略）鉄の吹やう違ふ也。鞆（火力を高めるための風を送る装置）は琉球人の細工にて、水車にて鞆を為差申すよし（後略）」とあるように薩摩の鉄づくりは他とは違って、水車を使ってふいごを動かしている。ふいごは琉球人の細工によって作られ、水車とふいごの途中には仲介する坊主木（ぼうずぎ）といわれる回転棒がある（第3図）。これも琉球人の僧が伝えたことからこう言われている、と記されている。

また、天保14年（1843）に編纂された『三國名勝図会』には大隅半島根占の製鉄のことが記されており、それによると「（前略）たたら設けたる所は、皆水辺にて其の風箱は水排を用ゆ（中略）」とある。水排とは14世紀編さんの中国の『王氏農書』や16世紀編さんの『農政全書』〈第13図〉では、水力で動く冶金用送風装置のことをさすが、一般に日本のたたら吹きに水車が広く普及するのは明治時代にはいつてからと言われている（飯田・田淵1970）。もちろん「水車ふいご」だけではなく、古代から使われていた「踏鞆」（足踏みふいご）や「差ふいご」（さしふいご）も使用されていたことは、始良鍋倉の鉄山（1968『薩藩海軍史』上巻）や志布志（盛田1951）での記録からもわかっているが、江戸時代すでに鹿児島では、鉄の生産に関わり水車ふいごが利用されていたようだ。普通、ふいごから炉に風を送るためにはフイゴを可動させる番子（だわり番子の由来）など人手が必要であるが、鹿児島では、それを水車による無人の方法（機械化）を取り入れたことに鉄づくりの先進性が伺える。薩摩ならではの特徴ある製鉄技術へと発展・展開を遂げていく契機となったのも、こうした製鉄職人たちの蓄積された経験に基づく知恵と工夫によって生まれた技術の結晶であったと考えられるのである。さらに知覧では、水車利用の技術が民間芸能の「水車からくり」として形を変え今に引き継がれている。

薩摩では、江戸時代のいつごろから水車ふいごが使用されはじめたのであろうか。江戸時代の元文元年（1736）～天明4年（1767）ごろ、諸国の代表的な鉄産地として、出雲（島根県）・安芸（広島県）、伯耆（鳥取県）・石見（島根県）など中国地方と共に薩摩があげられている（『大阪市史』1913）。薩摩産の鉄は品質が劣り安値の代名詞となっていたらしいが、粗悪品鉄とはいえ、大坂市場に流通し、全国的にも出回っていたわけである。薩摩藩の経済に対する食欲さがうかがえる。伯耆（鳥取県）の鉄山師下原重仲による『鉄山必要記事』が編纂されはじめたのが18世紀中頃なので、このころには確実に薩摩では水車ふいごが利用され、鉄づくりにおける一部の動力は機械化されていたことになる。



水排——横型水車でフイゴを動かし金属を溶解する

第13図 『農政全書』

(ii) 炉の系譜に関して

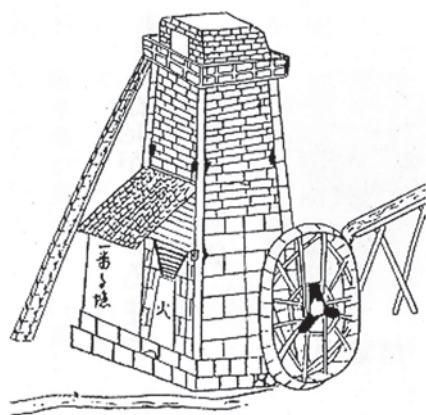
次に炉について考えてみたい。鹿児島には切石や自然石を組んで積み上げた製鉄炉が存在している。石組製鉄炉という高炉状のもので、一方向に燃料と原料を投入するための歩廊（スロープ）を設けているところに大きな特徴がある（第3図）。これは幕末の島津斉彬による集成館の熔鋳炉や南部藩（岩手県）の大島高任による橋野高炉などにも似た構造のものがあり、両藩の技術交流の証をみることができるとして注目されているものである（第14図）。

昭和7年、島袋盛範が古老に聞いて描いた知覧の製鉄炉は、高さ約5メートルの高炉状のものが記されている（島袋1932）。しかし、現存する喜入町上茶筌松や知覧町二ツ谷、内之浦大谷添の炉の場合は高さ約1.2メートル～1.5メートル程度のものである（上田1998）。切り石で築かれた炉の内側には粘土が貼り付けてある。粘土は鉄を精製するときに交じり合っカス（鉄滓）が排出し易いようにしてくれる効果があり、造滓剤の役割を担った。

出雲や安芸など中国地方の製鉄では、出来上がった鉄塊を取り出すためには、粘土で作られた炉のすべてを取り壊さなければならないが、鹿児島の場合、石を外すだけで済み、またその石を炉壁に再利用できるという利点があった。

もう一方の根占町に残る炭屋の製鉄炉は、土台に偏平な石をコの字状に配して、その上に粘土を積み上げた炉である。炭屋の製鉄炉は、熊本県荒尾市西原遺跡1号炉など中・北九州で発見されている12世紀代の炉（西原Ⅱd型）に似ていることがすでに指摘されており、九州における中世以来の系譜を引くものと考えられている（穴澤1997）。同じく12世紀代の八代市木下し遺跡で発見された炉の基礎には敷石を配し、偏平な石を炉壁に用いている点とその形態から根占の炭屋の炉に類似している（第15図）。炭屋の炉は現在、町の史跡となっていて、伝承では江戸時代後半の弘化年代（1844～1847）にはすでにあつたといわれるものである。片側に燃料と原料投入のための残土らしいものがかつてはあつたことや土台に石を利用する点で、厚地松山製鉄遺跡で発見された2号炉や二川や内之浦大谷添、上茶筌松、二ツ谷の石組製鉄炉へとつながっていく要素を備えている（上田2000a）。

このように薩摩・大隅で発見されている炉は、九州北部・中部で発見されている12世紀～13世紀ごろの竪形炉に系譜を求めることができ、近世に至っても引き続き、その伝統技術を維持している可能性がある。その一方で、朝鮮半島の李氏朝鮮時代に石組製鉄炉に似た炉が見られることから、その関連性が指摘さ

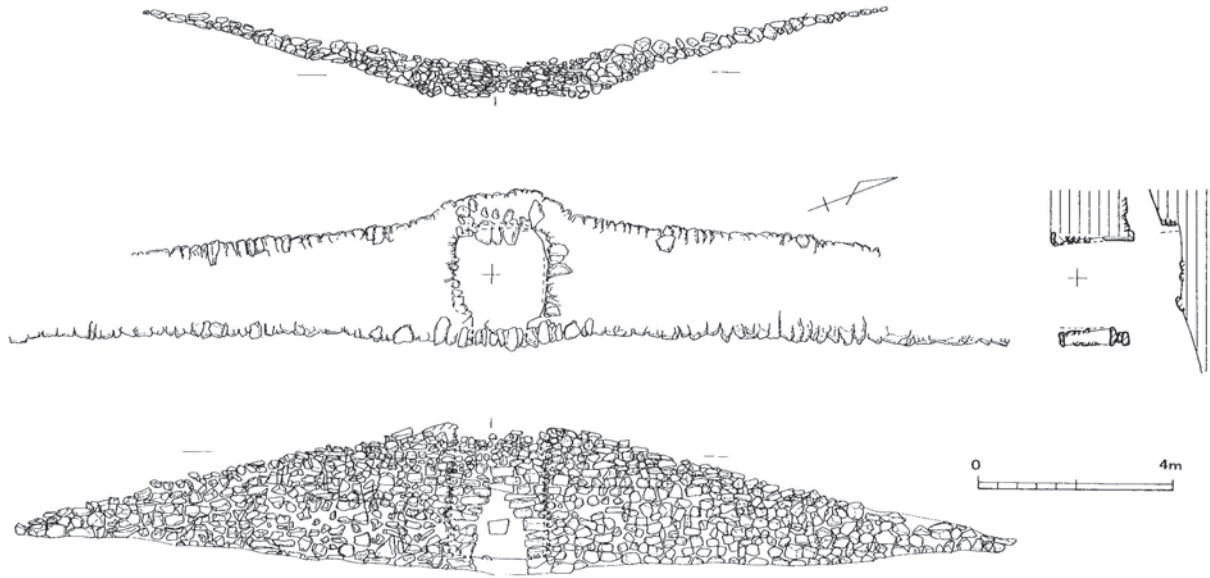


大橋一番高炉
（『大島高任行実』（1938）より）

第14図 大橋一番高炉（岩手県釜石市）



第15図 木下し遺跡の出土製鉄炉
（熊本県八代市）



第16図 鹿洞里製鉄炉実測図

れている（六澤1993）。これはセブリタイプといわれる鉄鉱石利用の熔鉱炉である。島津氏は豊臣秀吉の文禄・慶長の役の際に、多くの陶工を連れてきている。これにともなって製鉄職人も同行してきたと（李・松井2006・2007）想定されている（第16図）。

一方では、嘉永5年（1852）島津斉彬のわが国初の高炉建設にともなって、藩内の製鉄関係者が刺激を受けた結果、高炉に似た石組炉への変換を促したため、石組製鉄炉が使用された時期は、洋式高炉完成以後ではないかという説もある（中山1998）。しかし、厚地松山製鉄遺跡（南九州市知覧町）発見の製鉄炉の理化学的分析の成果でも下限が19世紀前半だったこともあり、さらに荒田製鉄遺跡（志布志市志布志）で2006年に発見された石組製鉄炉に伴う採集遺物等の年代も19世紀前半代であったことから（小村2004）、集成館事業より先行してすでに石組製鉄炉が使われていた可能性がある。

冶金学的（冶金の原理・方法・技術などを研究する学問）な立場から、薩摩藩内では海岸で採れる^{りん}燐を多く含む在地の砂鉄を用い、なるべく品位の高い鉄を作るために、低い温度（約1250度程度）で製錬し、低炭素鉄塊（炭素分の少ない鉄の塊、鉄中に炭素を多く含むと鉄はもろくなる）を生成することが志向された。県内で採集できる浜砂鉄に大きく影響された結果、経済的コストと品質の双方を満たす技術の試行錯誤が展開された。それが南九州地域独特の製鉄技術^{じょうせい}を醸成させ、中国地方の長方形型をしたタタラ吹き製鉄炉とは違う背の高い石組製鉄炉を誕生させたとする（鈴木2001）。技術の伝播も重要な要素としながらも鉄の生成に悪影響を及ぼす南九州の浜砂鉄で鉄づくりを行うために必要な地元の職人たちの知恵と努力の結晶として、南九州独特の石組製鉄炉が誕生したというわけである。それが幕末に島津斉彬の集成館事業の洋式高炉建設に応用され、やがてわが国の近代化の礎となったと考えられるのである。

4) 南九州における製鉄遺跡解明のための展望と課題

考古学的な研究成果では、わが国における鉄生産は、古墳時代後期頃（6世紀代）にすでに始まっており、原料となる鉱石は岩鉄と砂鉄が用いられていた。日本列島では、8世紀～13世紀代に竪型炉と箱型炉といった炉の形態の技術的な系統が見られ、13世紀～14世紀には竪型炉の衰退期に入り、中国地方を中心とする西日

本の箱型炉が一気に大型化する。その要因は、古代律令経済体制から荘園経済体制、そして、より流通経済体制の深化の過程を経る中で、鉄経済も大きく転換していくという構図がみえるという（古瀬1996）。

江戸時代のはじめには、送風装置としての天秤ふいごの発明による近世たたら吹き製鉄法が確立した。鹿児島では文献等において、中国地方からの技術者の移動が記録されているものの、考古学的には捉えられていない。むしろ鹿児島県内で発見されている石組製鉄炉は、技術的に中・北九州で今日発見されている12世紀～13世紀代の竪型の製鉄炉にその系譜の一端を求めることができる。水車利用に関しては、14世紀に編集された『王氏農書』や16世紀の『農政全書』、17世紀の『天工開物』に登場しているものに類似しているのも、中国がそのルーツなのか、一方炉の形態と燃料の投入のスロープの装置を見る限りは、韓国にルーツがある可能性もある。しかし、現状では南九州地域において中世と考えられる明らかな製鉄炉が発見されていないため、その期間の空白を埋められないのも事実である。確実に分かっているのが近世以降のものである。

鹿児島県は、加地至氏の調査によって、中国地方の諸県と共に明治維新以降も鉄生産が存続していた地域として注目されている。『日本帝国統計年鑑』『鹿児島県統計書』をみると、明治33年・34年砂鉄を原料とする銑鉄生産が認められ、大正6年・7年には、第一次世界大戦の影響もあって、鉄の価格が高騰し、砂鉄製錬が復活している(1)。そして、県内に数十人の砂鉄採集業者が登録されている。内之浦の大谷添製鉄炉は明治初期まで、知覧、赤崎休右衛門の池之河内製鉄や厚地松山製鉄遺跡も明治のはじめごろまで操業されていたとされる。喜入町上茶筌松の炉は、昭和のはじめ頃にも使われていたと伝えられている（上田2003）。

このように近代に至っても復活できた背景には、在来製鉄業が盛んであったことの名残を留めていたことと同時に、技術を継承した職人たちが当時なお県内には多く生存していたことなどがその理由としてあげられる。

幕末に藩主島津斉彬が進めた集成館事業において、わが国で始めて操業に成功した熔鋳炉は、オランダの設計図に基づくものとされているが、当時の絵図や文献からわかる様子では、この炉が、石を積み上げた背の高い炉体に片方をスロープが取付けられていたこと、ふいごの送風に水車を利用していたことなどが明らかとなっている。岩手県（当時南部藩）釜石でも高炉による銑鉄が生産されていることから藩相互の人的交流の賜物であることも視野にいれて研究がなされている（朝日新聞2009）。

薩摩のものづくり研究会（長谷川雅康代表）では、高炉の水車とスロープなど併せてキーワードとなるパーツが今日県下で発見されている石組製鉄炉と共通する部分があり、洋式高炉成功の陰には、基盤となる在来技術の応用があったとみて集成館の発掘調査を通じて検証を試みている（渡辺・出口・長谷川・上田2006）。

江戸時代末期、知覧の赤崎休右衛門の残した赤崎家文書には、地元の製鉄職人を官営の始良鍋倉の鉄山に移動するよう命令を受けており、藩内の製鉄職人達の移動によって技術の情報交換があったことが分かってきた（上田2007）。

昭和7年の島袋盛範の論考以来、近代以前の鹿児島の鉄生産研究については、知覧町厚地松山製鉄遺跡の調査を皮切りにしてようやく動き出した（知覧町教委2001）。中世の製鉄炉の発見には至っていないものの志布志町宝満寺境内の調査による製鉄炉材や排出された鉄滓の発見は（小村2003）、大隅半島地域の鉄生産のルーツを探れるものとして注目される。南さつま市の万ノ瀬川沿いの上水流遺跡出土の中世から近世に排出された多数の製錬滓や鍛冶滓は、薩摩半島における鉄生産の立地のあり方と流通を考える上で重要である。

また、近年では、鍛冶炉と思われる遺構もいちき串木野市（旧串木野市）の^{かこいじょう}柵城跡（鹿児島県埋蔵文化財センター2010）の石切場から発見されているが、鍛冶炉の遺構と確実に判明したものはいまだ少なく、はき出し口のあるカマド遺構と混同して金属関係の炉として報告されている例も少なくない。留意する必要がある。さらに歴史時代の遺跡で度々発見される滓（カス）は、よくわからない厄介な遺物と思われがちだが、炉の技術変遷や製造過程、製造施設の場所の特定など様々な情報を提供してくれる実は宝の山なのである。これまで南九州で発見された鉄生産関係の遺物を再度、見直して検討してみる時期にきている。



第17図 製鉄炉の上に築かれた祠
(旧根占町野尻野)

【注】

(1) たたら研究会加地至氏のご教示による。

※ 第17図は南大隅町辺田別府，野尻野にある金山様の祠である。廃校の辺田分教場跡南側隅に4基の祠があり，そのうちの一つである。よくみると炉跡らしい石積み上に祠がある。近くにはたくさんの鉄滓やふいご羽口など製鉄操業に関わる遺物がみられる。年代は不明だが，民俗学的にも留意すべき遺跡である。

(参考文献)

大阪市 1913『大阪市史』第一巻

公爵島津家編纂所 1968「製鐵所並びに熔鑛爐」『薩藩海軍史 上巻』明治百年史叢書第71巻

五代秀堯・橋口兼柄 1982「大隅国大隅郡小根占 物産」『三國名勝圖會（復刻版）』巻之四十五青潮社

朝日新聞社 2009「富国の人—斉彬と集成館④—溶鋳炉—」

上田耕・長谷川雅康 2004「薩摩藩集成館熔鋳炉の探求—発掘事前調査概要報告—『薩摩藩集成館事業における反射炉・建築・水車動力・工作機械・紡績技術の総合的研究』薩摩のものづくり研究会

渡辺芳郎・出口浩・上田耕・長谷川雅康 2006「旧集成館熔鋳炉跡推定地第1・2次発掘調査概要」『近代日本黎明期における薩摩藩集成館事業の諸技術とその位置付けに関する総合的研究』

渡辺芳郎・出口浩・上田耕・長谷川雅康 2006「旧集成館熔鋳炉跡推定地発掘調査の成果」『鹿児島県考古学会大会発表要旨』薩摩のものづくり研究会

穴澤義功 1993「鹿児島県根占町のタタラ製鉄—炉体現存—」『日本の産業遺産』3 産業考古学会

穴澤義功 1993「鹿児島県根占町のタタラ製鉄—炉体現存—」『日本の産業遺産300選—』三巻 産業考古学会

穴澤義功 1997「東日本を中心とした古代末～中世の鉄生産」『平成9年度たたら研究会大会資料』たたら研究会

穴澤義功・田口勇 1994「附論 本研究開発用語解説」『国立歴史民俗博物館研究報告』59集

飯田賢一・田淵実夫 1970「鉄山必要記事—補注—水車輪」『日本庶民生活史料集成』第10巻

井澤英二 2000「鹿児島県の砂鉄に含まれるチタン分について」『知覧町埋蔵文化財発掘調査報告書』第9集
知覧町教育委員会

- 上田耕 1998「鹿児島県の製鉄遺跡調査の現状と課題」『ミュージアム知覧紀要』第3号ミュージアム知覧
 ” 2000a「厚地松山製鉄遺跡の調査—南九州の近世鉄生産の様相—」『日本歴史』第625号
 ” 2000b「鹿児島の製鉄遺跡と鉄生産の様相」『製鉄史論文集』たたら研究会編
 ” 2002「知覧の鉄生産遺跡」『ミュージアム知覧紀要』第8号
 ” 2003「近代以前の鹿児島県の鉄生産」『鹿児島考古』第37号 鹿児島県考古学会
 ” 2007「知覧，赤崎家文書の紹介」『ミュージアム知覧館報・紀要』第11号 ミュージアム知覧
- 大橋周治 1975「薩摩の在来製鉄業」『幕末明治製鉄史』アグネ
- 小村美義 2004「荒田たたら跡(荒田製鉄遺跡)—宝満製鉄遺跡—」『志布志町埋蔵文化財発掘調査報告書(33)』
 志布志町教育委員会
- 小村美義 2003「宝満寺跡ほか」『志布志町埋蔵文化財発掘調査報告書(31)』志布志町教育委員会
- 島袋盛範 1932「藩政時代に於ける製鉄鉱業について」鹿児島県立図書館
- 鈴木瑞穂 2001「近世の薩摩藩政下における鉄生産について」『鉄の歴史—その技術と文化—フォーラム』社
 団法人日本鉄鋼協会
 ” 2007「鹿児島県下の採集砂鉄の分析調査結果」『ミュージアム知覧館報・紀要』第11号 ミュージ
 アム知覧
- 下原重仲 1970「鉄山必要記事」天明四年(1767)『日本庶民生活史料集成』第十卷三一書房
- 中山光夫 1998「薩摩藩における近世末期の鉄生産の実情」『ミュージアム知覧紀要』第4号 ミュージアム
 知覧
- 徐光啓 選 1979『農政全書校注』上海古籍出版社
- 館 充 訳 2001現代語訳『鉄山必要記事』丸善
- 知覧町教育委員会 2000「厚地松山製鉄遺跡」『知覧町埋蔵文化財発掘調査報告書』第9集
- 古瀬清秀 1996「近世たたら吹き製鉄への道」『季刊考古学』第57号 雄山閣出版
- 町健次郎 1993「南九州の製鉄研究」『日本民俗学会年会研究発表要旨』
- 松尾千歳 1998「在来製鉄技術と熔鉱炉」『島津家おもしろ歴史館2』尚古集成館
- 盛田一穂 1951「明治初期に於ける志布志の製鉄」『大隈』16号大隈史談会誌
- 山畑敏寛ほか 1996「製鉄所跡」『田之浦郷土誌』志布志町田之浦地区公民館刊
- 李南珪・松井和幸 2006「朝鮮半島南部に分布するセブリタイプの製鉄炉について」『たたら研究』第45号
 たたら研究会
- 李南珪・松井和幸 2007「朝鮮半島南部に分布するセブリタイプの製鉄炉と鹿児島県下の近世製鉄炉」『北九
 州市立自然史・歴史博物館研究報告』B類 歴史第4号

1. はじめに

藩政時代から明治、大正、昭和に掛けて薩摩藩内あるいは鹿児島県内の金山や離島における水車利用などに薩摩固有の水力利用の特徴を見ることができる。例えば、永野金山における搗鋸水車、奄美大島などにおける搾糖水車、敷根・滝の上の火薬製造水車や、骨粉水車、カラクリ水車などである^{(1)～(18)}。特に礮の集成館事業においては、近代工場を建設するために稲荷川上流の川上地区から約4kmの距離にわたって水路や隋道の工事を行い、礮の集成館まで導いている。平成14年の夏にはその水路を踏破して調査を行い、さらに取水口で行った水量測定の結果、集成館において約0.2m³/sの水量を確保していたことが推定できた。

また、礮近辺の水路跡の調査、礮地区の測量図と工場配置図を参考にして、水車位置における落差を推定し、当時に使用されていた水車の動力見積を行った。平成14年度末には、明治5年に撮影された礮の建物群の写真を解析して、各建物の配置と寸法などを推定して、建物に関する明確な情報を得ることができた。

平成18年3月に行われた熔鋸炉跡の発掘調査において、水車を設置したと思われる石組みの水路が発見された。水路底からは長さ5m程度、幅60cm程度の木製水路と思われる遺物が見つかった。これは、山側の水路から水車の上に水を掛けるために設置されていたものと考えられる。同じ場所に水車の残骸が全く発見されなかったことから、この木製水路は水車廃棄後も暫く放置されていた後に、水車跡の石組み水路内に投棄され埋められた可能性がある。

以上のように、薩摩藩の集成館事業では、近代的な工場建設のための動力として水車動力を用いたが、発掘調査によってその一箇所が明らかとなったと考えている。

2. 写真解析による建物寸法の推定



左図に示す明治5(1872)年の写真は元治元(1864)年以降の工場群を撮影したものにほぼ相当していると考えられ、明治4年に海軍省の所管となった翌年である。機械工場(現尚古集成館本館)の建物が現存し、この建物を基準にして解析を行った結果、四斤砲を製造した鋳物工場は幅27.1m、奥行34.5m、四隅の柱高さ7.8m、屋根高さ11.8mという大きな建物であった。機械工場から山側に三つ目の鑽開機工場は、幅29.7m、奥行14.5m、四隅の柱高さ4.2m、屋根高さ8.9mであった。しかし、水力・汽力共用の製材所は山の陰になり写真には写っていない。また

明治35年に機械工場横に設置された40馬力のペルトン水車についても写真には写っていない。

3. 水車動力と水車諸元の見積り

以上のことから、水車動力見積については平成14年に行われた礮地区の測量図面と水路位置に基づき、水車諸元の算定を行い、以下のような結果を推定した。

○文久3(1863)年以前

- ・送風用水車 : 木製上掛け、流量(最大)0.2m³/s、落差5m
- ・鑽開用水車 : 木製上掛け、流量(最大)0.2m³/s、落差7m

送風用水車（文久3年以前）の諸元決定値					
流量 0.2 m ³ /s			回転数 15 rpm		
水輪外形		水受深さ		水受幅	
尺	m	尺	m	尺	m
16	4.848	1	0.303	2	0.606
出力 : $\eta \rho g QH = 0.7 \times 1000 \times 9.8 \times 0.2 \times 5$ = 6.9 kW (最大) ただし、 $\eta = 0.7$ Q = 0.2 m ³ /s H = 5 m g = 9.8 m/s ²					

鑛開用水車（文久3年以前）の諸元決定値					
流量 0.2 m ³ /s			回転数 15 rpm		
水輪外形		水受深さ		水受幅	
尺	m	尺	m	尺	m
23	6.969	1.2	0.364	1	0.303
出力 : $\eta \rho g QH = 0.7 \times 1000 \times 9.8 \times 0.2 \times 7$ = 9.6 kW (最大) ただし、 $\eta = 0.7$ Q = 0.2 m ³ /s H = 7 m g = 9.8 m/s ²					

これらの表は、送風用と鑛開用水車について水車の緒元を計算した結果である。寸法については尺で見積もってある。流量を最大にした場合の出力はそれぞれ 6.9kW と 9.6kW とかなり大きくなっている。文久3年には薩英戦争により集成館の工場群が焼失したが、翌年の元治元（1864）年には大規模に復興され、水車は製材所で水力・汽力共用で利用された。また、明治35年には機械工場用に40馬力のペルトン水車が設置された。これらの緒元を以下に示す。

○元治元（1864）年以降

- ・製材用水車 : 木製上掛け、流量（最大）0.2 m³/s、落差 5m
- ・ペルトン水車 : 鉄製、流量 0.042 m³/s、落差 90m

製材用水車（元治元年以降）の諸元決定値					
流量 0.2 m ³ /s			回転数 15 rpm		
水輪外形		水受深さ		水受幅	
尺	m	尺	m	尺	m
16	4.848	1	0.303	2	0.606
出力 : $\eta \rho g QH = 0.7 \times 1000 \times 9.8 \times 0.2 \times 5$ = 6.9 kW (最大) ただし、 $\eta = 0.7$ Q = 0.2 m ³ /s H = 5 m g = 9.8 m/s ²					

機械工場の40馬力（公称）ペルトン水車		
水車タイプ	ペルトン水車	
流量	0.042	m ³ /s
落差	90	m
効率	0.8	
出力	29.4	kW
	40	HP; 馬力

4. 薩英戦争と集成館事業の西洋化

幕末における集成館事業は、近代化の進んだヨーロッパ列強国に対する国防力と経済力の早急な強化を目指したものであった。そのために、日本の在来技術を基盤としながら先進国の技術力を取り入れるという政策を取っていた。しかし、近代工場には動力源が不可欠であり、当時のイギリスのように石炭を採掘する炭鉱などは全くなかったことから、水力を利用する以外に術はなかった。この政策は、明治政府以降も水力の重視という形で引き継がれていた。

集成館事業における水車動力の利用を、表3-1の年表に示す。嘉永2（1849）年の滝の上火薬製造所、安政元（1854）年の溶鉱炉用水車輪、安政2（1855）年の大砲鑛開用水車、安政3（1856）年の郡元水車館の完成、安政5（1858）年の田上水車館の完成、文久3（1863）年の敷根火薬製造所建設など、水車動力による近代工場の建設が急速に行われていることがわかる。

しかし、文久3（1863）年の薩英戦争により集成館の工場群が破壊されるに至り、イギリスの先進技術との差をまざまざと見せ付けられることとなった。薩摩藩はこの後、集成館の機械工場の建設に取り掛かり、長崎を通じてヨーロッパから機械を輸入することにより、わずか2年後の慶応元（1865）年に工場の試運転まで漕ぎ着けている。近代化に対する判断力の素早さは当時としては画期的なものと言えるであろう。これ以降、蒸気機関と水力の併用へと移行し、明治以降の近代化の方向を決定付けることとなった。

5. おわりに

薩摩藩の集成館事業における水車動力利用について調べてきた。そして近代化においては動力の確保が不可欠であったこと、集成館では大規模な水路工事によって大量の水力を確保することにより、近代工場の先駆けに成功したこと、更に薩英戦争後には全面的なヨーロッパの先進機械の輸入により、僅か2年という短期間で新鋭機械工場を立ち上げたことなどがわかった。この集成館事業は、明治以降の近代化における大きな指針を与えたといっても過言ではないと思われる。

(鹿児島大学工学部教授)

表 3-1 薩摩を中心とした幕末から明治にかけての動力利用年表

西 暦	和 暦	薩 摩 ・ 磯	世 界 ・ 日 本
1697 年頃	元禄 10 年頃	搦鉢用動力に水車の利用が始まる？（琉球僧の教示によると言われている）	
1699 年	元禄 12 年	枕崎神殿金山発見	
1717 年	享保 2 年	奄美大島で田畑左文仁が水車による搾糖を導入	
1722 年頃	享保 7 年頃	磯邸用水のため疏水工事？ 稲荷川の上流精木川を川上村と下田村の間で分水し、磯邸に至る距離約一里。その間、長きは一町（約109m）、短きは4、5間（7.2～9m）の隋道17箇所。（後日の整備）	
1823 年			ポンスレー水車（下掛け）：効率70～80%
1832 年			タービン水車（反動型）完成 B.フルネーロン（仏）
1849 年	嘉永 2 年	滝の上火薬製造所を設立。水車により硝石・硫黄の粉碎を行う	反動タービン水車 J. B. フランシス（米）
1850 年頃	嘉永 3 年		佐賀藩反射炉建造に着手／サーージュビアン水車（低胸掛け）：70～94% サージュビアン（仏）
1851 年	嘉永 4 年	薩摩藩反射炉雛型製造に着手	
1852 年	嘉永 5 年	反射炉雛型完成するも鉄の溶解に失敗 反射炉一号炉建設に着手。溶鉱炉建設に着手	
1853 年	嘉永 6 年	反射炉一号炉完成 大砲鑽開機製造に着手	6 月 3 日 ペリー艦隊浦賀に来航
1854 年	安政元年	溶鉱炉完成（日本で最初） 輪駆動は水車を使用	
1855 年	安政 2 年	3月に鑽開機完成。一時に6門の砲を鑽開できるもので、動力に水車を利用。	
		郡元に水車動力の精油所を設置。後に米搗き水車、紡績水車も設置。 集成館のガラス工場操業開始。	
1856 年	安政 3 年	郡元水車館完成。	
1857 年	安政 4 年	磯の工場群を集成館、城内の精錬所を開物館と命名。	
1858 年	安政 5 年	1月に田上水車館建設着工、3月頃完成	
		7月16日斉彬死去	6月19日 日米通商条約締結
1863 年	文久 3 年	薩英戦争の砲撃で集成館の工場などが焼失し、全面的に破壊された。	
		敷根火薬製造所を建設。	
1864 年	元治元年	工作機械を長崎に注文し、集成館機械工場の建設に着手。	
1865 年	慶応元年	諸機械全て到着し、試運転を開始。（この機械工場は現在の尚古集成館）	
1868 年	明治元年	明治維新	高島炭鉱に蒸気機関
1869 年	明治 2 年		版籍奉還
		9月8日集成館・銃薬方・兵器方を廃止。	
1870 年			衝動型水車 L. A. ベルトン（米）
1871 年	明治 4 年	薩摩置県	
		集成館は陸軍省の所管となる。	
1872 年	明治 5 年		工部大学校を設立
1874 年	明治 7 年	海軍省に移管され鹿児島製造所と改称	
1876 年	明治 9 年	鹿児島造船所に改称	

1877年	明治10年	1月～9月 西南の役	
		5月 永野金山再興のため、フランス鉱山技師ペ・オージェを招聘	
		山ヶ野に蒸気機関の搗鋳精錬所(50ポンド杵10本)、永野に水車利用の搗鋳精錬所(50ポンド杵20本)を運転	
1878年	明治11年		明治11年から38年に掛けて、水車製粉は97%から56%、輸入粉は1%から32%、機械製粉は2%から12%
1880年	明治13年	8月 新式精錬所の成果が思わしくなく、ペ・オージェを解雇して直営と自稼請負法による採金システムを導入	
1883年	明治16年	奄美大島で552台の搾糖水車が稼動	
1884年	明治17年		蒸気タービン C.A. パーソンズ
1887年	明治20年		井口在屋博士が日本水車と米搗機械の調査 東海地方各地、京都、大阪、神戸、生野方面
1888年	明治21年		宮城紡績会社が工場内に40馬力の水力タービンにより発電を行った(東北地方での最初の発電)
1889年	明治22年	集成館の土地・建物全てが島津家の所有となり、鑄造会社へ貸与される	
1890年	明治23年		○栃木県鹿沼市の下野麻紡績が、アメリカ製の水車・発電機を用いて出力17kWの水力発電 ○足尾銅山間藤原動所で、ドイツシーメンス社の横軸水車400馬力を用い、揚水、巻上、電灯の発電を蹴上発電所で20基のベルトン水車(1760kW)と19基の発電機を用いた発電所が完成(明治23年～/24年11月から送電開始/明治45年には4800kWとなった)
1897年	明治30年		
1902年	明治35年	集成館機械工場の東端に40馬力のベルトン水車を設置。以前溶鋳炉に使用した水道を6吋(約150mm)鉄管で導き、山上に貯水池を設けて落差300呎(約90m)とした。	
1908年	明治41年	3月 水車位置図によれば、栗野村幸田に49台、横川村上ノに242台、永野村永野に188台、計479台の自稼請負搗鋳用水車水車が存在。この頃、芹ヶ野金山で202台、鹿籠金山で21台の搗鋳水車。	
1912年	大正2年		カプランタービン カプラン(米)/田熊式ボイラー
1925年	大正14年		東京放送局、ラジオ放送開始
1927年	昭和24年		○地下鉄上野浅草間開通 ○戦車第1号試作
1930年頃	昭和5年頃		○明治工業史発刊される ○日本各地に小水力タービン水車の製造メーカーが多数活動し始める
1935年	昭和11年		国会議事堂完成
1940年	昭和15年		○農林省が全国各地で小水力タービン水車の普及活動を行う ○10万kVAの水車発電機と変圧器を製作 ○戦艦大和完成
1949年	昭和24年	鹿児島県が小水力発電事業の普及活動を行う	

参考文献

- (1) 松村・門・黒川、鹿児島県下における小水力型水車の利用実態の調査研究(続報、昭和62年度および昭和63年度の調査結果)、鹿児島県資源開発協議会調査研究報告 No. 26-2 (ローカルエネルギー)、1989、pp. 3-32
- (2) 松村・門、鹿児島県における水車利用の実態、技術と文明、6巻1号、1990、pp. 29-46
- (3) 松村・門、鹿児島県の水車利用に関する研究 第1～3報、鹿児島大学工学部研究報告 第32号、1990、pp. 21-61
- (4) 門・松村、鹿児島県の水車利用に関する研究 第4～7報、鹿児島大学工学部研究報告 第33号、1991、pp. 23-77

- (5) 地方史研究協議会、日本産業史体系8（九州地方編）、東京大学出版会、昭和35（1960）年、pp.208-209
- (6) 鹿児島県横川町郷土館収蔵の絵地図、山ヶ野金山の搗鉦水車位置図
- (7) 川越重昌、鹿児島県滝の上火薬製造所址（3）、鉄砲史研究、第186号、昭和62（1987）年、p.27
- (8) 公爵島津家編纂所、薩藩海軍史、昭和3（1928）年、pp.887-894
- (9) 鹿児島県立鹿児島工業学校、薩藩工業史、昭和11（1936）年、pp.110-111
- (10) 川越重昌、鹿児島県敷根火薬製造所、鉄砲史研究、第177号、昭和61（1986）年、p.1
- (11) 名瀬市役所、名瀬市誌上巻、昭和43（1968）年、p.361
- (12) 國分直一・恵良宏編集復刻、名越左源太著 南島雑話－幕末奄美民俗誌、平凡社、昭和59（1984）年、pp.106-107
- (13) 鹿児島県、奄美大島之糖業、大正9（1920）年、p.306
- (14) 鹿児島県、鹿児島県勸業年報、明治16・17（1883・4）年、pp.5-46
- (15) 島袋盛範、藩政時代に於ける製鐵鑛業、昭和7（1932）年
- (16) 大橋周治、幕末明治製鐵史、アグネ、昭和50（1975）年、pp.75-77
- (17) 山崎構成、曳山の人形戯、東洋出版株式会社、昭和56（1981）年、pp.931-956
- (18) 鈴木一義、微笑に隠された江戸ハイテクの秘密 からくり人形、学習研究社、平成6（1994）年、p.84

4-6 幕末期の西欧技術導入と在来技術*

(盛岡藩の高炉水車を例として)

小野寺英輝

1. はじめに

わが国は、欧米の先進国が工業国としての地歩を確立し、農業国であった多くの後進国を植民地化した中であって、世界で唯一宗主国を持たず近代化を成し遂げた独立国家として諸外国からも注目を集めている⁽¹⁾。このことは、九州・山口の近代化遺産を世界遺産へ登録しようとする動きの中で、自力資本によって先進国へ転換を果たしたことの指標として近代化遺産を位置づけることで、それらが世界唯一のものとしての価値を持つことを前面に出していることにも現れている⁽²⁾。

この時期の科学技術導入に関してはこれまでも多くの研究がなされており、特にその中心となった江戸の箕作阮甫や大坂の緒方洪庵らをはじめ、長崎を窓口とした西欧文化だけでなく、科学技術の導入に関しては枚挙に暇が無いほどである⁽³⁾。

また、このほかにも長崎に学んだ者たちが各地で起こした洋学私塾は、洋学の普及に大きな影響を与えているが、その私塾が具体的に地域文化や地域の技術発展に影響を及ぼしたものとなると、その例はあまり多くは無い⁽⁴⁾。本報では、近代製鉄業の発祥の地とされる盛岡藩での西欧技術の受容に関して中心的な役割を果たした大島高任に焦点を当て、技術伝承の様相とそこから現代が学ぶべきことについて考察する。

2. 江戸期の西欧技術の受容と社会体制

戦国時代末期には世界最大の銃火器保有国家となり、火器製造技術でも先端を走っていたわが国も、徳川時代の訪れとともに、その製造技術の向上が図られることはなくなり、武士のたしなみとしての剣術は残ったものの、単なる戦闘手段としての銃火器の製造はほとんどなされなくなっていた⁽⁵⁾。すなわち、西欧の技術哲学であった大量生産・大量消費という思想は、旧来の日本文化の中には受け入れ難かったという事である。そしてわが国は、三百年にも及ぶ徳川治世の間、国内に大きな騒乱もなく、一般に“鎖国”と呼ばれる幕府による外国交流の制限政策の故に、外患とてもほとんど存在しない時代が続いた。このような中、からくり人形や、大名の櫓・枕時計に代表されるような精密技術が独自とも言える発達を続けていたのである⁽⁶⁾。しかし、西欧とは異なり、その技術水準を他の分野に応用し、例えば機織りを自動化し、生産性を向上させるという資本主義経済に繋がるような試みがなされることはなく、自動織機は製作されても見世物小屋の出し物にしかならなかった⁽⁷⁾。この事は現代、一つの謎とされたりもするが、必要以上のものを欲せず、徹底したりサイクルを行っていた人々にとって資本主義的大量生産・大量消費という西欧の生産哲学は全く縁のない思想、あるいは思考だったと言うことであろう⁽⁸⁾。

また、幕府による情報独占の政策が採られていたこの時代のわが国では、西欧の先端的科学技術知識の裾野は、幕府組織とそこに接触を許された大名・武士層周辺に限られていた。そして、水準的には十分西欧に対抗うる技術の蓄積がなされていたが、それは、武士あるいは富裕層の地位顕示に用いられることが専らで、その域を越えることはなかった。この点では、初期の科学が王侯貴族や僧侶の趣味的領域として成長していた西欧の状況⁽⁹⁾と類似しているとも言えよう。

この安穏な状況を打ち破る事になったのは、第一に外国船の沿岸出沒に伴う国防意識の高揚であった。この様な思想の元に技術発展がほとんどなされることがなかった⁽⁵⁾ わが国の火器は、幕末期、西欧列強と対峙するにはあまりに貧弱であった。幕府は早急に西欧に対峙し得る技術を獲得する必要に迫られたのである。

*本論文は、『日本機械学会論文集』2008年10月号(第74巻 第746号) C編に掲載されたものを転載させていただいた。

3. 技術開発と社会体制の関係

外国からの技術移転は唯一の国際社会への窓とも言うべき長崎を通して行われていたわけであるが、この西洋技術に接した日本人技術者達は、それまでの平和の中での民生用の技術で培った技術の蓄積により、外国書籍と見聞を基にして、模型の蒸気機関車をはじめとして比較的大型の実用船用蒸気機関まで造つてのけたのである⁽¹⁰⁾。

情報の幕府独占政策の中で、それぞれの地方に直接外国人を招いて技術の伝習を図ると言うことはほとんど不可能であり、今で言う所のノウハウの領域にあった課題は、実際に日本人が試行錯誤の上で解決しなければならなかった。このため、あるものはそのノウハウを会得し、地域に適合した技術の細部について確立し、またあるものは十分にそのノウハウを会得しきれなかったために失敗に終わることになった。このような時期の先人の努力は、技術導入を日本の資源風土に対する知識のない外国人に頼ることになった明治維新直後の技術移入と比して、決して系統だつて行われたわけではなかったにしろ、新技術の導入方法の一つとして、基礎的問題解決能力を涵養するという意味で非常に意義のあったことである。

さて、当時の技術は、西欧とていまだ手作業による加工で十分追従できる程度の精度で十分と言うべきレベルであり、たとえ工作機械が完備していなくとも、単品の試作に関しては十分に見よう見まねが効く水準であったと言う时期的幸運が非常に大きく作用した。このことが、我が国が一つのステップを登ることが出来た大きな要因である。

このことは、遙か百年の後、昭和中期の半導体技術の定着にも通ずる。我が国が半導体技術の開発に乗り出そうとした時、世界は未だ手探りで試行錯誤を繰り返しながら、その開発を行っていた。したがって、現代のように半導体の開発・生産に天文学的な投資を要する時代とは異なり、大学や企業の中の一研究室レベルで、スタートが可能であった事で、非常に短期間で、世界レベルに追いつくことが出来たのである。

加えて、それぞれの藩で、それぞれの興味に従って国外からの技術導入を行ったことも技術の定着に大きな影響を及ぼしている。現代のような中央集権国家の場合であれば、為政者の意志に左右される全国的規模の政策決定が、幕藩体制という連邦国家的形態により、現代から見れば大幅な地方分権、すなわち、それぞれの藩が独自の考えを持って、外国の技術の導入を図ることができたのである。各藩の施策は、当該藩主の意志に全く委ねられており、幕末期日本の各地で、もちろん十分な成果を得られなかったものも含みつつも、最新の西欧技術は日本人によって咀嚼され、それぞれの土地に適合するような形で導入されたことになる。

しかし明治維新を迎え、科学技術を含めた情報の管理、適用の権限が中央政府に一元管理される形となったのである。ただし、この明治政府の取った、最も短期間に西欧に追いつくための施策は、いってみれば日本あるいは東洋伝統の暗記手法だった。確かに、学術あるいは科学のレベルを西欧のそれに引き上げるのに必死で、独自のものを考えるいとまがなかったという考えもできようが、明治政府による初期の外国技術の導入策は、国内産も存在する石炭などの資源はもちろんのこと、スコップ、ツルハシ、コップといった国内でも同等品が十分製造あるいは調達可能なものまで全て輸入するという、なりふり構わないものであった。そしてそこには、互いの文化を見比べ取捨選択し、過去の伝統を生かしつつ導入を図るという思想、あるいは精神的余裕はほとんど見られなかった。

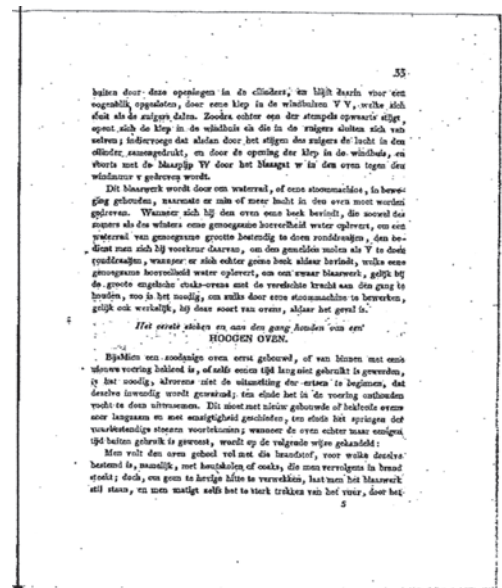


Fig.1 Blast furnace part in original Dutch book

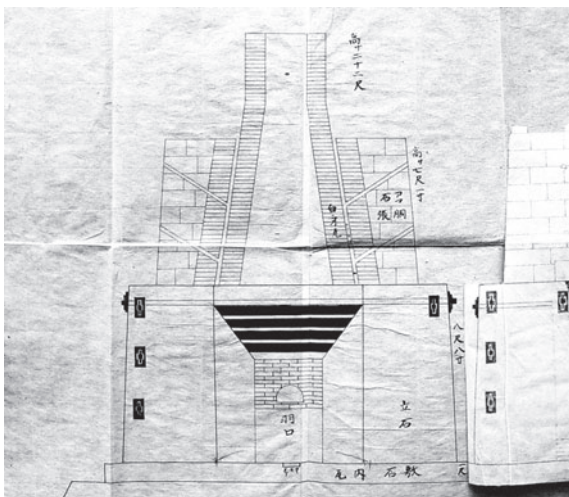
4. 大島高炉の技術的考察

4・1 その背景

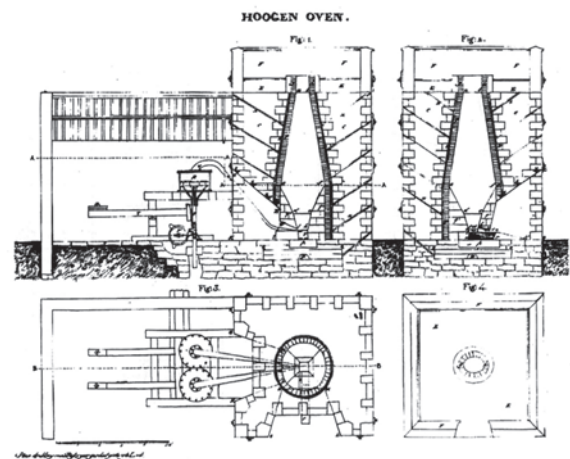
さて、2007年12月1日、岩手県沿岸部の釜石で日本の近代製鉄事業開始150周年が盛大に祝われた。これは盛岡藩の侍医の息子に生まれた大島高任（たかとう）が、江戸末期の1858年1月15日（旧暦：安政4年12月1日）釜石西方の大橋に築造した製鉄高炉で鉄鉱石を用いての連続製鉄（出鉄）に成功した日付にちなんでいる。また、近代製鉄100周年記念となる1958（昭和33）年に社団法人日本鉄鋼連盟によって制定された「鉄の記念日」でもある。

盛岡藩における近代製鉄事業の中心人物である大島は、十七歳で江戸へ藩費留学、箕作阮甫、坪井信道という当時の洋学の第一人者に入門したのち1846（弘化3）年、二十一歳で長崎へ留学し、貿易商であり蘭学者でもあった上野俊之丞（本邦初の職業写真家上野彦馬の父）宅に寄寓し、当時医学の一分野であった化学を出発点として西洋の科学・技術を学んだのである。この過程で彼は、オランダ生まれ（刊行当時はネーデルランド王国）の砲兵大佐で、現在のベルギー領リエージュにあった王立鑄造所長ヒューゲニンの著書 HET GIETWEZEN IN 'sRIJKS IJZER - GESCHUTGIETERIJ, TE LUIK, 1826, xiii（「ロイク王立鉄製大砲鑄造所における鑄造法」以下“鑄造法”と略記）に接する機会を得た。この書籍は本文262ページに、別冊の図版が13枚加わったもので、大島は、同宿であった手塚律蔵が行っていた読解作業にも関わっている（この邦訳は「西洋鉄焔鑄造篇」として稿本が残っている）。

その内容は、表題が示す通りに大砲の鑄造法を中心としており、その基礎として錬鉄・鋼鉄・鑄鉄の組成とそれに起因する鉄の特性の差異に多くの紙幅が割かれている。盛岡藩の高炉操業前に、大島が築造に関わった水戸藩那珂湊の反射炉を用いて鑄造した大砲には砂鉄銃が用いられたが、その試射時砲身の破裂事故が発生した。このとき大島は即座に「砂鉄銃はじん性に劣り、大砲には不向き」と明確に記されている記述に思いが至ったであろう。



(a) Drawing of Ohashi No.2 furnace



(b) Drawing of Blast furnace in Dutch textbook

Fig.2 Comparison between Oshima's furnace and Dutch textbook

4・2 その設計思想

前記の通りヒューゲニンの原書は、主題が鑄造であり、その原料となる銑鉄を供給する高炉操業に関して触れた部分はわずか14頁、鉄鉱石の種類とその事前処理方法を入れても合計で23頁程度、すなわち全体の9%以下に過ぎず、内容的にも概論的なものである。また、付図も高炉、反射炉

Table1 Dimensions of domestic blast furnace

	Dutch book	Ohashi	Syuseiken
Furnace Height	22-30ft	22 syaku	22 syaku
Inlet width	1.6-2.4ft	2 syaku	
Belly angle	80°	80°	

※ 1 syaku = 0.994ft

の全体図各1頁を除けば他の11頁は全て大砲関連の図で占められており、高炉事業をゼロから始めるための参考書としては不十分極まりないものであった。

図1に原書にある高炉(HOOGEN OVEN)に関する記述の一部を示す。高炉操業に関連する頁中で定量的な記述は、高炉の高さが石炭炉では22~30ft、コークス炉では60ftという部分や、炉中の炭がどの程度減容したら再投入するのかという程度であり、高炉内部のふくらみ(Belly:炉腹)などの形状は、場合によって異なると記されているのみで、他の諸元値決定の根拠は示されていない。

この書籍を参考にして、大島の主導で築造された大橋(新暦1858年1月)および橋野(同1859年1月)の両高炉に関しては、岩手県指定文化財の「両鉄鉱山御山内並高炉之図」(通称「高炉絵巻」)に一部設備の縮尺付きの彩色外観図が描かれているほか、墨で描かれた設計図断片も残っている。以下では彼の技術哲学を探るため、これらの図から得た各種寸法と共に、前記の明治期の技術移転思想と比較対照し考察を行う。

図2(a)に大橋2番高炉の図面、(b)に“鑄造法”の付図を示す。鑄造法では前述の通り高炉の高さが22~30ft(約6.7~9.2m)とされているが、大橋の図面にある高炉の高さは図の脇に高さ22尺(約6.7m)と注記されており、全く同一寸法といてよい(当時の大工が用いた矩尺で1尺=0.303m)。高炉の内部形状に関して鑄造法の図を高さ22ft、大橋高炉を22尺換算した場合の寸法を表1に示す。この表から明らかな通り炉口形状が“鑄造法”では楕円形であるのに対し、大橋高炉ではその平均径の円形としたと考えれば、内部形状はほぼ相似であるが、高炉最外殻の石組みには傾斜が付けられている。

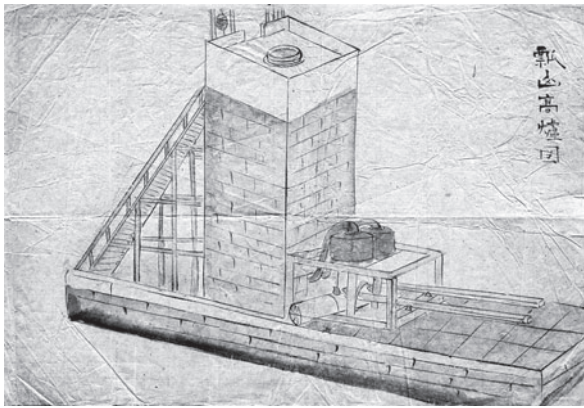
図3(a)は大橋一番高炉の外観図と言われている物であるが、こちらの場合外壁は垂直でしかもふいごも円筒形であり、“鑄造法”の形態と非常に類似している。このことは図3(b)に示した、大島の3年半前に試験操業を実施したとされる鹿児島藩の集成館高炉にも言え、この高炉も高さは22尺と明記されている。このように双方とも“鑄造法”付図およびわずかに本文中に記されたデータを拠り所としていることが明白である。ただし、後に建てられた高炉周囲の作業小屋は我が国伝統の木造軸組工法を用いた日本家屋であった。

高炉本体部分については、なぜそのような形状になるのかの理論的な説明は無く、集成館高炉も大橋高炉も“鑄造法”の高炉と相似形とならざるを得なかったわけである。ここでは、基幹部分は模倣の域を出ることが出来なかったにせよ、石積みや耐火レンガはそれまで培った築城技術や陶器の製造技術を駆使し、西洋のものと遜色の無い精密さで築造して行ったことに注目すべきである。ヒューゲニンの本では一切触れられていない積石の接合も日本古来の技術を用い、石に切欠きを設け鉄製の締結器具“契り”をはめ込んで行っているなど、加工法が不明な部分では、在来技術を駆使し、試行錯誤により独自にノウハウ化を行っている。この方法は、後に明治政府が行った、些細なものまで全てを輸入して済ませようとするような技術移転政策に比して、時間と経費は要するものの、当時の技術規模を考えると現代に比べれば相対的に安価であり、当時の技術伝習に関しては有効な方法ということもできよう。しかし、この状況も、政権の大変化により中央集権の枠組みの中に埋没し、歴史の表面から一時姿を消して行くことになった。

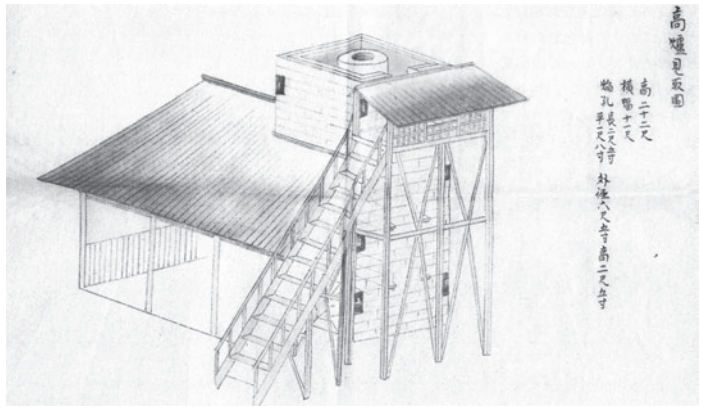
4・3 ふいごの形式変更と動力水車

これまでの大島高炉に関する考察は、経済史あるいは製鋼分野の視点からのものであり、機械工学的側面から検討されていない。特に高炉に付帯する動力機構については、その技術的評価が行われたことは無く、大島の残した記述⁽¹¹⁾に基づいた主観的な検討がなされているのみであった⁽¹²⁾。

大島は“大橋高炉製鉄日記”の中で、鑄造法の図面に従った丸ふいごでは送風量が不足したので、日本式の角ふいごに変更し成功したと述べている。図2(b)中の丸ふいごはピストンの上昇時のみ送気が行われるようになっているのに対し、大島が換装改造した日本式の角ふいご(図4)は一箇所角に通気領域を設けた複動式のものであり、往復両行程で送風が可能になっている。これによって水車1回転あたりの送風量が倍増したことで、炉内の温度上昇に繋がり連続出鉄の成功に至ったとされている。



(a) Ohashi No.1 furnace (Kamaishi city museum)



(b) Syuseikan furnace (Takeo city museum)

Fig.3 Shape of the furnaces in Shogunate age

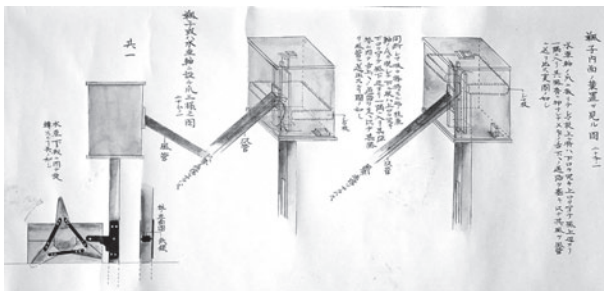


Fig.4 Furnace Blower designed by Oshima

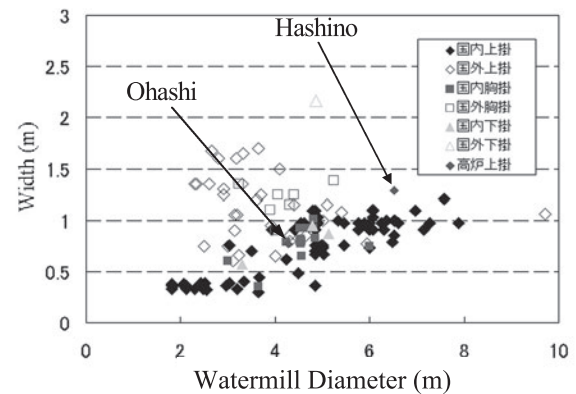


Fig.5 Domestic and overseas watermill ratio (Blank: overseas, Solid: domestic)

この件に関しては、これまで、西洋式では送風量が不足したという結果論的視点で評価がなされてきたわけであるが、本報告では水車発達史の面から再評価を行ってみたい。

さて、上述のヒューゲニンの図には丸ふいごとカム機構及び釣合い重りは描かれているが、水車を含めその駆動部は描かれていない。したがって大島は当然ながら日本の従来型重力式水車の利用を考えることになる。前述した高炉絵巻の精密複写本（釜石市立鉄の歴史館所蔵）から各寸法を計測した所、大橋高炉では直径約14尺（4.3m）、幅約2.5尺（0.77m）の上掛け水車が用いられていた。また、水樋の幅は約500mm、高さは側面図が無いので不明であるが橋野高炉の図は横方向からも描かれており、そちらは約300mmであったのでそれを参考にし、水路の勾配*i*を、上掛け水車としては平均的な1/100、水路の粗度*n*を0.02、水路幅*b*を0.5m、水路の水深*h*を水路高さの80%程度（0.24m）とすると、水樋を流れる水量*Q*はマンニングの式⁽¹³⁾より以下のようなになる。ただし、式中*A*は流れの断面積、*S* = *b*+2*h*は濡れ縁長さを表す。

$$Q = \frac{A}{n} \left(\frac{A}{S} \right)^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \cong 0.148 (m^3/s) \quad (1)$$

水車の有効落差を水車直径（4.27m）+ α = 4.5m、水車効率 η を上掛け水車の上限近くの0.7とすれば水車の出力*L*は、

$$L = \eta \rho g Q H / 1000 \cong 4.57 (kW) \quad (2)$$

である。

図5に諸外国⁽¹⁴⁾とわが国(文献15等から現存および水車職人の記録を取り纏めたもの)の水車直径と幅の分布状況を示す。図から明らかなように、わが国の平均的な動力水車(主に粉挽き用)の幅は上・胸・下掛けを問わず約4m(12尺)程度までは約0.3m(1尺)、約4.6m(14尺)以上では約0.9m(3尺)付近に分布し、直径で12から14尺の間は連続的に幅が変化するように見える。図中に示したように、大橋高炉の送風用水車も、このわが国の伝統的寸法比の延長線上にあると言える。

図6に鹿児島島の集成館跡で行われた発掘調査の際、高炉跡と推測される場所周辺から発掘された水路の遺構を示す。江戸のモノづくり鹿児島班によるこの上流の取水口跡での流量計測に基づく動力の試算では、流量が0.1~0.2m³/s、落差5m、効率0.7として水車出力は3.4~6.9kWとされており⁽¹⁶⁾、大橋高炉の送風水車とほぼ同規模であったことがわかる。

このような出力、直径の同等性からも“鑄造法”には掲載されていない水車諸元などに関する情報は、那珂湊反射炉築造事業に参画した鹿児島藩の竹下清右衛門、あるいは同じく鹿児島藩から派遣された、集成館反射炉等の建設に従事した経験を持つ職人から大島が得た可能性が高い。この時代の水車を取巻く環境は、西欧とわが国では大きな差があったが、当時の技術者たちはその情報を十分に得ることが出来なかったため、いずれの高炉についても、伝統的日式水車が用いられたということであろう。

すでに産業革命が進展していた西欧では、動力用水車の設置場所は、大規模工場が立地しやすい平地が一般的で、そのような場所は水量が豊富であるものの落差は低くならざるを得なかった。このような状況から、わが国で集成館高炉や大橋高炉が作られていた1850年代の西欧における動力用水車は、低落差に対応し、水頭の変化によらず水量調節が容易で、バケット内の水の重量を有効に動力に変換でき、更に回転数も大きい特性を持つ鋼製の胸掛け式(図7参照)への移行がほぼ完了していた⁽¹⁷⁾。

一方、山間部の落差の大きい流水を利用していたわが国の高炉水車は木製の上掛け式正回転のもので、他の動力用水車でも胸掛け式はほとんど用いられていなかった。もちろん、胸掛けであっても西欧のようにバケットからの水漏れを防ぎ重力を最後まで利用し効率の上昇を図る機構が作られることは無かったのである。



Fig.6 Excavated old canal at Syuseikan⁽¹⁶⁾

さらに、水車の幅に関してもわが国と西欧では大きくその思想が異なっていたようである。西欧では立地場所が主に平地で低落差であったこともあるが、上掛け水車でも直径に対する幅の割合(水車比)がわが国のものに比べて大幅に大きい。しかも、大島高炉が作



Fig.7 Modern western style chest shot water mill⁽¹⁷⁾



Fig.8 Blower of Hashino blast furnace

られた当時、鋼体化の進んだ西欧型の胸掛け水車の効率は上掛けに比べても遜色が無い80%に達していたのである。即ち、“鑄造法”に描かれた水車軸高さに合わせて日本式の水車を製作した場合、横幅が西欧に比べて狭いため、図5から明らかなような幅の差異を考えると、原書が想定するものに比べて出力が2/3から1/2になってしまうということである。加えて、記録によると大橋高炉送風水車の回転速度はおおよそ3 min^{-1} であったのに対し、西洋の水車の回転速度は直径が大橋クラスの4 m台の胸掛け水車の場合、平均的には7~10 min^{-1} 程度であり⁽¹⁸⁾、西欧の図と同じ寸法比の円形ふいごを製作したとすると、送風周期も長くなり、たとえ所要出力が満たされたとしても送風量は想定量の1/2以下となる。

これまでは洋式ふいごでは送風量が十分確保出来ず、鍛冶屋ふいごの仕組みを用いた複動式のふいごに変更したことで操業に成功したというのが大島の築造した高炉に関する定説であった。確かにこの考察は間違いではないが、機械工学的に考えれば、在来の日本型水車比を用いたことによる出力不足と形式の違いによる回転数の不足という負の相乗効果による不具合と解釈することが出来る。

現存する橋野高炉で用いられた複動式のふいご(図8)の場合、上昇行程は水車動力によってなされるが、下降行程はピストンの自重によるので、負荷を増加させないで送風量を増やすことが出来た。これが、大島の導入した技術の正当な評価といえるのではないであろうか。

このことは、彼がその年の内に築造を指揮した橋野高炉の水車(図9)から傍証される。橋野高炉の送風水車は、大橋高炉に比べて直径が2.25m(7.4尺)、幅が0.5m(1.7尺)大きくなっている。直径自体は在来型水車としても通常に存在する範囲であるが、幅に関しては明らかに平均より広く、水車比も当該直径の在来型水車のおよそ1.5倍となっている。加えて単なる水受けにたまった水の落差を利用する上掛けではなく水勾配約22°、長さ約8.28m(4間3尺)の水路を流下した流れがバケットに衝突する衝動を利用し、回転速度を向上できるような箱状の水流誘導機構(プレスト)を含めて設計されている。さらに、水車パドルにも動圧を効率よく受けられるように角度がつけられている。ただし、この形式の場合、回転数は向上するもののガバナが附属していないので効率は若干低下するという問題はある。この場合の有効落差を斜水路分も含め9.6mとし、効率を上掛け水車では中位の0.6とすれば、先述の式と同様の方法で、跳水による損失を無視して出力を算出すると、 $L=8.34\text{kW}$ が得られ、大橋の4.57kWに比べて約1.8倍の出力となる。このことから大橋の出力不足を踏まえての新しい高炉での水車設計変更であったことが読み取れるのである。

大島自身の寸法選定理由を記した文書は残されていないが、通常の水車比から大きく外れている事実は意図的なものを想起させる。最初の大橋では出力が不足していたことを踏まえ設計を改めたことの証左ではなかろうか。

江戸期にわが国にもたらされた技術書は内容的に入門書が多く⁽¹⁹⁾、側面図や斜投影図はあるが三面図が掲載されていることは少なかった。更に、記述面からもシステム全体が再構成可能な情報が得られたわけ

ではない。したがって、日本在来技術との融合を図る必要のあった幕末期の技術導入ではこのような齟齬が起きることもあり、これを、それまでの技術・知識の蓄積によって日本的に解決して行った時期とも言えるであろう。

5. おわりに

わが国で初めて本格的商用高炉の操業に成功した大島高任の高炉設備に関して、その技術史的な意味およびこれま

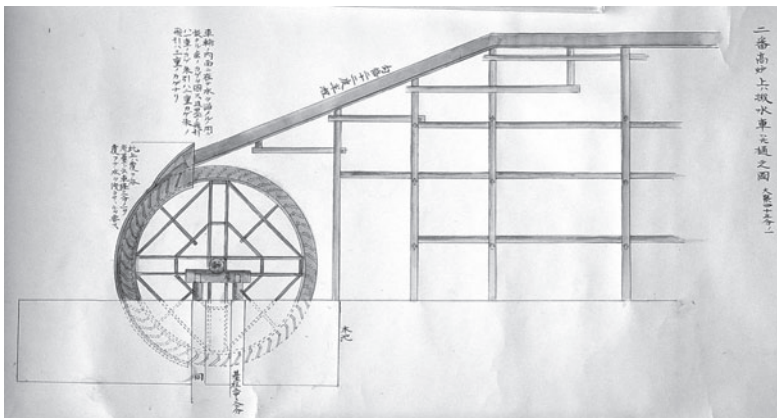


Fig.9 Watermill and canal of Hashino No.2 furnace

での経済史的考察ではなされて来なかった水車や高炉本体に関して機械工学的視点からの考察を行った。その結果を要約すれば下記の通りである。

- 1) 幕末期の西欧技術導入は、地方分権的藩治政治下で各藩の主体的意志によってなされ、各地の技術的蓄積の上に新技術知識を加えることになった。
- 2) わが国の水車は西欧のものに比して水車比が小さく、幕末期には平地での産業革命の開始もなかったの
で胸掛け水車への移行も無かった。
- 3) わが国最初の商用高炉の送風不具合は、原書付図の軸の高さに相当する在来型の上掛け水車を用いたこ
とによる出力の不足に起因する。
- 4) 大島総左衛門（高任）は、大橋高炉の送風出力不足の事実と原書付図との対照から、西欧の水車の水車
比が日本在来型に比べ大きいことを認識し、橋野では水車比の大きい水車を設計し性能改善を図ったと
思われる。

最後に、西欧の水車に関しては川上顕治郎元多摩美術大学教授から多くの資料提供を頂いた。また、研究の実施に当たっては釜石市立鉄の歴史館諸氏、及び文部科学省科学研究費補助金、特定領域研究14023201・16018201の援助を得た。それぞれ付記し謝意を表する。

注記と文献

- (1) Olive Checkland: *Britain's Encounter with Meiji Japan, 1868-1912* (1992) Macmillan.
- (2) Kagoshima prefectural government ed., *Aims at the World Heritage registration*, available from <<http://www.pref.kagoshima.jp/kyouiku-bunka/isan/kindai/touroku.html>> ,(accessed 2008-4-10).
- (3) Over 400 researchers participated in specific area research of Grants-in-Aid for Scientific Research "Edo no Monodukuri" which had been done from 2001 to 2005.
- (4) Onodera H., *Report of Grants-in-Aid for Scientific Research 14023201* (In Japanese) (2004).
- (5) Noel P., *Japanese who threw away gun* (In Japanese) (1998) Chuo-koronsya
- (6) Tachikawa S., *The KARAKURI revives* (In Japanese) (1994) NTT Press.
- (7) Personal communication with Mr. Suzuki K. of the National Science Museum
- (8) Ishikawa E., *Energy situation of Edo period* (In Japanese) (1990) Kodan-sya.
- (9) Miwa S., *History of Mechanical Engineering* (In Japanese) (2000) Maruzen.
- (10) National science museum ed., *Edo big exposition pictorial record* (In Japanese) (2003) National science museum.
- (11) Mori K., *Research of Mutsu iron industry*, (In Japanese) (1994) Housei Univ. Press.
- (12) Oshima S. ed., *Chronicle of Oshima Takato* (In Japanese) (1938) Private edition.
- (13) Tamai N. ed., *Hydraulics*, p.145 (In Japanese) (2001) Ohm Press.
- (14) A. Jespersen ed., *Report on Watermills*. Vol.3, (1957), Virum.
- (15) Imizu T., *Technological history of watermill* (In Japanese) (1987) Shibunkaku.
- (16) Hasegawa M. ed., *The overall research on various technologies of Satsuma clan Syuseikan business at dawn of modern Japanese*, Grants-in-Aid for Scientific Research 16018216 report (In Japanese) (2005).
- (17) Reynolds T.S., *History of watermill* (In Japanese) (1989) Heibon-sya.
- (18) Fujiwara Y. et al., *History and the performance of conventional type watermill in Western Europe*, Journal of Japan society of mechanical engineers 90-819, pp.68-74 (In Japanese) (1987).
- (19) Japan society of mechanical engineers ed., *Engineering book bibliography at the end of shogunate and the Meiji era* (In Japanese) (1997) Japan society of mechanical engineers.