

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	たたら製鉄の復元と「日刀保たたら」の操業技術の解明
Title(English)	
著者(和文)	鈴木卓夫
Author(English)	
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第3543号, 授与年月日:2001年6月30日, 学位の種別:論文博士, 審査員:
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第3543号, Conferred date:2001/6/30, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

たたら製鉄の復元と「日刀保たたら」の操業技術の解明

鈴木卓夫

たたら製鉄の復元と「日刀保たたら」の操業技術の解明

目 次

第1章 緒論	1
1. 1 本研較究の内容ならびに目的	2
1. 2 従来の研究と本研究との比較	3
1. 3 本論文の構成	4
文献及び付記	6
第2章 日刀保たたらの源流	7
2. 1 緒言	8
2. 2 「古今鍛冶備考」「鉄山略弁」による考察	9
2. 2. 1 地下構造の比較	9
2. 2. 2 築炉法の比較	11
2. 2. 3 生産品の比較	12
2. 2. 4 操業日数の比較	13
2. 3 室町期から昭和期にいたるまでの鋤押し法	13
2. 4 日刀保たたらの前身「靖國鑪」	13
2. 4. 1 「靖国文献」よりみた靖國鑪の設立	14
2. 4. 2 近代から現代におけるたたら操業（鋤押し）の諸比較	14
2. 4. 3 玉鋼の生産量からみた「靖國鑪」の操業技術	19
2. 4. 4 靖國鑪と日刀保たたらの玉鋼の生産量と砂鉄量に対する玉鋼の 生産歩留の比較	22
2. 4. 5 靖國鑪の村下とその技術の系列	22
2. 5 結言	24
文献及び付記	25
第3章 たたら製鉄「日刀保たたら」の復元	26
3. 1 緒言	27
3. 2 炉床の改築	27

3. 2. 1	炉床の構造と工事の概要	27
3. 2. 2	本床の構築	29
3. 2. 3	小舟の構築	30
3. 2. 4	灰床づくり	31
3. 3	靖國鑪の炉床と備後國小鳥原の炉床との比較	35
3. 4	たたら製鉄用具類の復元	37
3. 4. 1	各種用具類とその特徴	37
3. 4. 2	砥波鑪の用具類と日刀保たたらの用具類との比較	39
3. 5	砂鉄	42
3. 5. 1	日刀保羽内谷鉾山の開設	42
3. 5. 2	砂鉄の採取方法	43
3. 5. 3	砂鉄の性状	44
3. 5. 4	靖國鑪と日刀保たたらの砂鉄における性状の比較	45
3. 6	たたら炭	47
3. 6. 1	たたら炭の造り方	47
3. 6. 2	たたら炭のたたら製鉄に及ぼす効用	48
3. 7	釜土	51
3. 7. 1	釜土の採取方法	51
3. 7. 2	釜土の性状	52
3. 7. 3	釜土成分のノロ生成に及ぼす効用	54
3. 8	下灰作業	56
3. 8. 1	下灰の準備作業－灰木づくりと灰木の燃焼	56
3. 8. 2	下灰作業の工程	57
3. 9	築炉の基礎作業と手順	59
3. 9. 1	筋金の据え付け	60
3. 9. 2	焼き粘土の散布	60
3. 9. 3	中板の設置	60
3. 9. 4	はぐれの設置	61
3. 9. 5	トモ木の据え付け	61
3. 10	たたら炉の構築	62

3. 10. 1	釜土の混錬	62
3. 10. 2	元釜の構築	64
3. 10. 3	ホド穴の穿孔	65
3. 10. 4	中釜の構築	66
3. 10. 5	元釜・中釜の乾燥	67
3. 10. 6	上釜の構築	68
3. 11	つぶり台・鋳口・木呂管等の据え付け	71
3. 12	神事	73
3. 13	操業	74
3. 13. 1	送風の開始	75
3. 13. 2	砂鉄と木炭の装荷	76
3. 13. 3	ホド穴の観察	79
3. 13. 4	ノロの取り出し	81
3. 13. 5	磨り上げ	81
3. 13. 6	停風と鋳出し	82
3. 13. 7	なめくじりと床むくめ	83
3. 14	結言	84
	文献及び付記	85
第4章	たたら製鉄（鋳押し法）の復元と村下安部由蔵の技術	97
4. 1	緒言	98
4. 2	操業の実施	98
4. 2. 1	炉の構造	98
4. 2. 2	操業条件	99
4. 2. 3	聞き取り調査	99
4. 3	結果	99
4. 3. 1	操業結果	101
4. 3. 1. 1	砂鉄の装荷法	101
4. 3. 1. 2	木炭の装荷法	101
4. 3. 1. 3	排出鋳滓量	104

4. 3. 2	聞き取り調査	104
4. 3. 2. 1	砂鉄の装荷法	105
4. 3. 2. 2	木炭の装荷法	105
4. 4	考察	105
4. 4. 1	安部由蔵のたたら操業技術	105
4. 4. 1. 1	砂鉄に関する聞き取り調査から	105
4. 4. 1. 2	木炭装荷に関する聞き取り調査から	106
4. 5	結言	107
	文献	108
第5章 たたら生産物「玉鋼」の性質に及ぼす「籠り砂鉄」使用の影響		109
5. 1	緒言	110
5. 2	実験	110
5. 2. 1	砂鉄採取の場所および期間	110
5. 2. 2	砂鉄の採取方法	110
5. 2. 3	操業実施日	111
5. 2. 4	操業方法	111
5. 3	結果	113
5. 3. 1	操業結果	113
5. 3. 2	玉鋼の性質	115
5. 3. 2. 1	元素分析	115
5. 3. 2. 2	組織観察	115
5. 4	考察	116
5. 4. 1	砂鉄の性状	116
5. 4. 2	「籠り期」における籠り砂鉄使用の効果	118
5. 4. 3	玉鋼の組成と組織からみた籠り砂鉄使用の効果	118
5. 4. 4	「籠り期」の炉内反応	118
5. 5	結言	120
	文献	120

第6章 たたら製鉄の炉内反応機構と操業技術	122
6.1 緒言	123
6.2 日刀保たたら炉の構造	123
6.3 操業	124
6.4 操業結果	126
6.4.1 炎の観察	127
6.4.2 ホド穴の観察	130
6.4.3 ノロの観察	131
6.4.4 音の状態	132
6.4.5 生産量と品質	132
6.5 考察	133
6.5.1 炎と炉内反応	133
6.5.2 ホド穴管理の重要性	133
6.5.3 輪による断続通風の効果	133
6.5.4 ノロによる炉内状況判断	134
6.5.5 早種について	135
6.6 浸炭のプロセス	138
6.7 鋤押し法における「日刀保たたら」の操業技術の位置づけ	138
6.8 砂鉄中の酸化チタン量と釜土中の酸化ケイ素量 並びに砂鉄の装荷法からみた鉄の生成機構	140
6.6 結言	146
文献	147
第7章 鋤押し法と鉄押し法における操業技術の比較	148
7.1 緒言	149
7.2 調査の方法	149
7.3 結果	150
7.3.1 炉床の構築法の比較	150
7.3.2 炉の構築法の比較	150
7.3.3 ホド穴の比較	153

7. 3. 4 操業の比較	156
7. 4. 考察	159
7. 4. 1 炉床の構築法	159
7. 4. 2 炉の構築法	159
7. 4. 3 ホド穴	161
7. 4. 4 操業	161
7. 5 鋤押し法と銑押し法における鋤と銑の生成機構の比較	164
7. 5. 1 砂鉄と木炭の装荷法	164
7. 5. 2 送風法（ホド穴の形状）	165
7. 6 結言	168
文献	170
第8章 真砂砂鉄のみを使用した玉鋼による日本刀の組織と強度	171
8. 1 緒言	172
8. 2 調査の項目と調査の方法	172
8. 2. 1 調査の項目	172
8. 2. 2 調査の方法	172
8. 3 結果	175
8. 3. 1 生産品（玉鋼・銑）の分類と成分組成	175
8. 3. 1. 1 生産品（玉鋼・銑）の分類	175
8. 3. 1. 2 玉鋼の成分	175
8. 3. 1. 3 銑の成分	177
8. 3. 2 日刀保たたら産の玉鋼で製作した試作刀と江戸期までに造られた古作刀との比較	177
8. 3. 2. 1 成分	177
8. 3. 2. 2 ミクロ・マクロ組織	179
8. 3. 2. 3 非金属介在物	179
8. 3. 2. 3. 1 清浄度	179
8. 3. 2. 3. 2 非金属介在物の種別	187
8. 3. 2. 4 硬度	187

8. 4 考察	189
8. 4. 1 日刀保たたら産の玉鋼・銑の成分とリン濃度の日本刀鍛錬に与える脆性の影響	189
8. 4. 2 日刀保たたら産の玉鋼で製作した試作刀と江戸期までに造られた古作刀との組織と硬度の比較	191
8. 5 結言	200
文献及び付記	201
第9章 総括	202
9. 1 本論文の結論	203
9. 2 日刀保たたらの操業における今後の研究課題	208
謝辞	210

第1章 緒論

1. 1 本研究の内容ならびに目的

たたら製鉄とは、後の章でも述べているが、粘土で築いた箱型の低炉で、原料に砂鉄を用い、木炭を燃料とし、送風動力に竈（ふいご）を使用して行う、日本古来の製鉄技術であると概念規定することができる。そしてこれによって生産された鉄は極めて品位が高く、俄国一は日本産の鉄の特徴について、「日本刀は概ね銅を含有せず、また其の含有する満俺及び硫黄量は何れも痕跡又極めて少量に留まるべし。此等は純日本産たる鋼の特徴に一致するものというべし。」と述べている¹⁾。表1-1に通常の現代の炭素鋼の五元素の成分²⁾と、古来のたたら製鉄によって得られた「玉鋼」（たまはがね）との成分³⁾分析比較を示したが、特に玉鋼のSの含有量は桁外れに少ないものとなっている。

表1-1 現代の炭素鋼と玉鋼の成分分析 (重量：%)

区 分	C	Si	Mn	P	S	備 考
現代の炭素鋼	0.1~1.5	0.1~0.4	0.5~0.8	0.03以下	0.03以下	
玉 鋼	1.33	0.04	痕跡	0.014	0.006	砥波鑑の「最上」品

日本における製鉄技術の開始期は、製鉄遺跡からみた場合、上限は6世紀後半で朝鮮半島から伝えられた技術と考える⁴⁾。そして時代が進むにつれて変革がなされ、江戸中期に技術的に完成し、これは「永代鑑（えいだいたたら）」、あるいは「企業たたら」⁵⁾と呼ばれ、その技術的特徴は、「高殿（たかどの）」という建物の中で、湿気の防止と保温のため大がかりな地下構造を設け、その上に箱形の炉を粘土で築き、炉の下部から空気を脈動的に吹き込むと同時に、木炭と砂鉄を交互に装荷し、3昼夜1操業で約3トンの鋸（けら）と鉄鉄を生産し、1操業毎に炉を造り直すことなどにある。

前述の通り、日本産の鉄（和鉄という）は極めて優秀ではあるが、明治以降たたら製鉄は生産性に劣るため、輸入鋼（洋鉄という）に対抗できず、ついに大正12年に商業生産を終えた⁶⁾。明治期におけるたたら製鉄の研究は俄国一が詳細に行っている³⁾。その後も日本刀の原料としての需要があり断続的に生産され、昭和8年から20年にかけては島根県仁多郡横田町において「靖國鑑」が生産を続けていた。たたら製鉄は戦後しばらく途絶えていたが、昭和52年に（財）日本美術刀剣保存協会が、国の重要無形文化財に指定さ

れている日本刀の製作技術を使用材料の面から保護し、併せて伝統文化財であるたたら製鉄技術者の伝承者を養成することを目的として、文化庁の補助事業により、島根県仁多郡横田町に残されていた靖国鐘の遺構を利用し、たたら製鉄を復活することに成功した。そしてここに復活したたたら製鉄を「日刀保（にっとうほ）たたら」といい、この技術は国の「選定保存技術」⁶¹に認定された。たたら製鉄の復元が可能となった要因の中で最も大きなことは靖国鐘時代村下職（むらげしやく：たたら操業の長（おさ））を動めたことのある安部由蔵（あべよしぞう、明治35年生・平成7年没）の努力が甚だ大であったことによる。日刀保たたらにおける同氏の技術の特徴は、「籠り期」（こもりき）に用いる「籠り砂鉄」の入手が困難であったことから、通常の真砂砂鉄（まささてつ）のみによる「鋸押し法（けらおしほう）」の開発を行ったところにある。そしてこの技術は、現在木原明（きはらあきら、昭和10年10月7日生）村下によって引き継がれ、技術の伝承がはかられている。

著者は最初から日刀保たたらの事業に携わってきたが、この復元事業に関して極めて多くの資料、とくに安部由蔵村下の仕事に関しては貴重な記録を収集することが出来た。本論文はこの復元の記録から、また、以下に述べる俄国一の研究などから日刀保たたらの系譜とその操業技術について解明するものである。

1. 2 従来の研究と本研究との比較

たたら製鉄に関する研究は、江戸期の伝書は別として俄国一による「古来の砂鉄製錬法」（以下倭本という）⁶²が最も古く、これは「明治時代に於ける古来の砂鉄製錬法」と「鉄山秘書解説」からなり、発刊された1933年（昭和8年）から70年近く経過した今日にあっても不動の研究書となっている。そして戦後においては1958年（昭和33年）広島大学たたら研究会（初代会長向井義郎氏 現会長潮見浩氏）より「たたら研究会」第1号⁶³が発刊され、今日まで継続し、幅広い分野の研究が行われ大きな業績を上げている。また、1971年（昭和46年）に（社）日本鉄鋼協会たたら復元計画委員会による「たたら製鉄の復元とその鋸について」の「報告書」⁶⁴（以下報告書という）が、1977年（昭和52年）に長谷川熊彦による「わが国古代製鉄と日本刀」⁶⁵が、同年に小塚寿吉による「日本古来の製鉄法」⁶⁶（以下小塚本という）が、1982年（昭和57年）に「古代日本の鉄と社会」⁶⁷が東京工業大学製鉄史研究会より発刊され、これらが第1級の研究書となっている。そしてこ

これらの内、実際に操業に携わった上での技術書として詳細に書かれたものは「俵本」と「報告書」と「小塚本」で、「俵本」においては、明治期の伯耆国の砥波鍾（となみたたら）「鋸押し法」と石見国の傾谷鍾（あたいだにたたら）「鉄押し法」の操業機構について解明したものであり、「報告書」においては、島根県 飯石郡吉田村で昭和44年に行われた「菅谷鍾」（すがやたたら）の復元実験における操業機構について解明し、「小塚本」においては「靖國鍾」（鋸押し法）の操業機構について解明したものとなっている。これに対し本論文は、「日刀保たたら」の操業技術について解明したところに従来の研究と相違するところがあり、この日刀保たたらの技術の特徴については前述したとおりで、村下安部由蔵が、籠り砂鉄を用いず、通常の実砂砂鉄のみを使用した新規操業技術を開発したところにある。

1. 3 本論文の構成

本論文は全9章からなり、第2章以下の内容は次の通りである。

第2章では、「日刀保たたらの源流」と題し、その前半では、日刀保たたらの技術を、大量の玉鋼生産を目的とした大型炉による直接製鋼法（鋸押し=三日押し）と位置づけた上で、この技術の源流がどこにあるかについて考察したものとなっている。

後半においては、日刀保たたらの前身である「靖國鍾」について、「靖國文献」から、設立の経緯と技術について考察したものとなっている。

第3章では、「たたら製鉄『日刀保たたら』の復元」と題し、(財)日本美術刀剣保存協会が、旧「靖國鍾」を「日刀保たたら」として復元するまでの様子を記録としてとりまとめ、また、操業に不可欠である砂鉄・木炭・釜土につき、①靖國鍾と日刀保たたらの砂鉄における性状の比較、②たたら炭のたたら製鉄に及ぼす効用、③釜土（かまつち）成分のノロ生成に及ぼす効用について考察したものとなっている。

第4章では、「たたら製鉄『鋸押し法』の復元と村下安部由蔵の技術」と題し、安部由蔵が日刀保たたらの開設に当たり、籠り砂鉄を用いず全工程を真砂砂鉄とした新規操業技術を開発したことを述べ、その操業技術とはどのようなものであるかについて考察したものとなっている。

第5章では、「たたら生産物『玉鋼』の性質に及ぼす『籠り砂鉄』使用の影響」と題し、籠り期に籠り砂鉄を用いた場合と、全量真砂砂鉄のみを用いた操業とにおける実験比較が

ら、籠り砂鉄を使用した場合の優位性と、その操業機構について考察したものとなっている。

第6章では、「たたら製鉄の炉内反応機構と操業技術」と題し、日刀保たたらの操業技術の総括的研究となっている。日刀保たたらは、今までも述べてきた通り、それまでのたたら操業とは少し異なり、3昼夜全工程を一種類の「真砂砂鉄」だけで操業し鋳を生産している。その開発には村下安部由蔵の功績が甚だ大きく、この技術は現在木原明村下に引き継がれている。従来、たたら製鉄は一家相伝であり、村下から直接得た技術のノウハウとも言うべきものはほとんど記載がない。そこで本章では、「日刀保たたら」の操業から、村下の操業技術について調査を行い、その内容と化学反応機構について考察したものとなっている。

第7章では、「鋳押し法と鉄押し法における操業技術の比較」と題し、両技術の相違がどこにあるのかを、①炉床と炉の構築法、②操業法、③鋳押し法と鉄押し法における鋳と鉄の生成機構から考察したものとなっている。

第8章では、「真砂砂鉄のみを使用した玉鋼による日本刀の組織と強度」と題し、①生産品（玉鋼・鉄）の分類と成分組成の調査から、②玉鋼による試作刀と江戸期にまで造られた古作刀の比較から日刀保たたらで生産された玉鋼の品質について調査をおこなったものとなっている。この調査の目的は、真砂砂鉄のみによって生産された玉鋼が実際に使用してみて、使用に耐えられることが確認されて初めてたたら製鉄の復活に成功したといえることによる。

そして、この調査の過程において、非金属介在物の調査から、日本刀、即ち玉鋼はA系介在物が主流をなし、これにC系が加わることがわかり、このA系介在物が発生する由来についても考察したものとなっている。またさらに日本刀には一見するとC系介在物に見紛うが、仔細にみると細かくて短いながらも鍛錬により確実に粘性変化したものが存在することを発見し、調査の結果これもA系介在物であることを立証し、この発生要因についてまで言及したものとなっている。なお、本論文ではこの介在物を「新型A系介在物」として初めて分類した。

第9章総括では、本論文の結論と、日刀保たたらはの操業における今後の研究課題について述べた。

文献及び付記

- 1) 俵国一：日本刀の科学的研究, p. 64, 丸善, 東京, (昭和28年).
- 2) 大和久重雄：鋼のおはなし, p 12, 日本規格協会, 東京 (1984).
- 3) 俵国一：古来の砂鉄製錬法, p 86, 丸善, 東京, (昭和8年).
- 4) 鈴木卓夫：たたら製鉄と日本刀の科学, p 24, 雄山閣出版, 東京, (平成2年).
- 5) 高橋一郎：奥出雲横田とたたら, p 57－p 58, 横田史談会, (1990).
- 6) 「選定保存技術」とは、文化財保護法により、国が文化財保存のために欠くことのできない伝統的な技術又は技能に対し、保存の措置を講じる制度をいう。
- 7) 潮見浩・古瀬清秀：たたら研究, たたら研究会, 広島, (1985-2001).
- 8) たたら製鉄の復元とその鐸について (たたら製鉄復元計画委員会報告), 日本鉄鋼協会, 東京, (昭和46年).
- 9) 長谷川熊彦：わが国古代製鉄と日本刀, 技術書院, 東京, (昭和52年).
- 10) 小塚寿吉：鉄と鋼, 52 (1966), 1763.
- 11) 東京工業大学製鉄史学研究会：古代日本の鉄と社会, 平凡社, 東京, (1982).

第2章 日刀保たたら源流

2. 1 緒言

「日刀保たたら」の前身「靖國鑪」では、細本文之介、安部由蔵、後藤林市の三氏が村下（むらげ）職を勤めた。日刀保たたらの安部由蔵は、明治35年1月14日、島根県仁多郡横田町大字竹崎に生まれた。幼少の頃から「ト蔵（ぼくら）たたら」（横田町）で、小廻りや番子の仕事に従事し、大正6年、15歳になると、父の勤めるト蔵たたらに村下見習として入門し、岸本亀次郎村下の指導のもとに、まず炭焚の仕事から始めた。

当時のト蔵たたらには、岸本亀次郎、亀山秋蔵、安藤仙太郎が村下を勤めていたが、安部の直接の師匠である岸本はその筆頭にあった。岸本は鳥取県日南町の出身で、安政6年（1859）10月11日に生まれ、日南町茶屋の「谷中（たになか）たたら」で専属の村下職を勤め、ト蔵たたらへは、かげはまり村下（「かげはまり」とは出向村下の意）として勤務した。以来、安部は炭焚の仕事をしながら村下見習を勤めるが、やがて靖國鑪が開設すると村下見習兼炭焚となり、昭和9年正式に村下に昇格した。

したがって日刀保たたらの技術は、安部が大正6年から昭和20年にかけて、つまりト蔵たたら時代と靖國鑪時代にかけて得た技術がそのまま引き継がれたものと言ってよい。さらに、この安部が取得した技術は、師匠岸本亀次郎の活躍期から明治期の技術にまで遡るものと言ってよい。

明治時代のたたら製鉄に関する研究は、俄国一の著「古来の砂鉄製錬法」（以下倭本という）¹⁾がある。これは、前半では明治31年より32年にかけて中国地方の砂鉄製錬業の現場を踏査し、とくに伯耆国砥波鑪（となみたたら）、石見国價谷鑪（あたいだにたたら）に関することを記述し、後半では伯耆国日野郡宮市の鉄山業下原重仲が天明4年（1784）に書き下ろした「鉄山秘書」の解説を加え、その内容は、山陰、山陽における砂鉄製錬法を記述したものとなっている。そして本書を通読すると、日刀保たたらの技法がここに書かれた砥波鑪（鋤押し・けらおし）の内容に極めて近いものとなっていることがわかる。つまり、日刀保たたらの技術は概念的にみた場合、大量の玉鋼生産を目的とした大型炉による直接製鋼法（鋤押し=三日押し）と位置づけることができる。

この章における研究の目的は、この長いたたら製鉄の歴史にあって、この三日押しによる鋤押法が、どこから出雲地方の仁多郡横田町へもたらされたか、換言すれば現在おこなわれている日刀保たたらの技術の源流がどこにあるかを、また、日刀保たたらの前身である「靖國鑪」の操業技術について考察する。

2. 2 『古今鍛冶備考』『鉄山略弁』による考察

『古今鍛冶備考』²⁾は、山田吉睦によって文政2年頃出版され、文政13年(1830)増補版が刊行されている。全7巻からなり、その第1巻目に「雑録」として鉄山(てつざん)、即ちたたら製鉄に関する記事が掲載されている。内容は「鉄山略弁」と題し、前半では天文(1532～1554)頃に始まるとされる播州宍粟郡千草(しそうぐんちぐさ)の白鋼(しろはがね)を吹く法を、後半では天文以前の往古の製鉄法にふれ、それが鉄の生産を主体としたものであったとしている。さらに、そのくだりでは伯州印可(いんが)の例をとり、鉄生産から鋼生産に転移した経緯を記している³⁾⁻⁴⁾。

ここに見る播州と伯州の鋼吹き、とくに播州の場合は現在の日刀保たたらの操業に極めて近似し、また、出雲地方には同地方の製鉄技術が播州より伝わったとする説がいまでも残っていて大変興味深く、ここに本資料を採択した理由がある。以下、①地下構造、②築炉法、③生産品、④操業日数の各比較をもって日刀保たたらの源流について考察する。なお、『古今鍛冶備考』『鉄山略弁』の原文と解説については、別冊資料集「1」に示した。

2. 2. 1 地下構造の比較

播州宍粟郡千草の白鋼吹きにおける地下構造がどのようなものであったかについては、別冊資料集「1」で説明しているが、その内容をより明瞭にするため作図「図2-1」し、「日刀保たたら」(図2-2)との比較を行った。その結果は次の通りである。

- (1) 地下構造(炉床)全体の規模は、正面幅は「千草」が、5.4m、「日刀保たたら」が4.85mで、「千草」の方がやや長い。〔以下(3)までは別冊資料集「1」・付記4を参照〕
- (2) 奥行は、「千草」が5.4m、「日刀保たたら」が3.64mで、「千草」のほうが長い。
- (3) 深さは、「千草」が2.4m～2.7m、「日刀保たたら」が2.73m(排水孔を除く)で、ほぼ同じである。
- (4) 「千草」、「日刀保たたら」とともに、「小舟」(こぶね)(千草では「船」と表現している)が存在する。〔以下(5)までは別冊資料集「1」・付記9を参照〕
- (5) 「千草」は「本床」(ほんどこ)を持たないが、「日刀保たたら」はこれを有する。
- (6) 「千草」は「炉床」の周囲に、幅1.8mほどの炉床を廻る「空堀」と読みとれるものが存在するが、「日刀保たたら」の場合はこれが存在しない。
- (7) 「千草」には、「排水孔」が存在しないが、「日刀保たたら」にはこれが存在する。

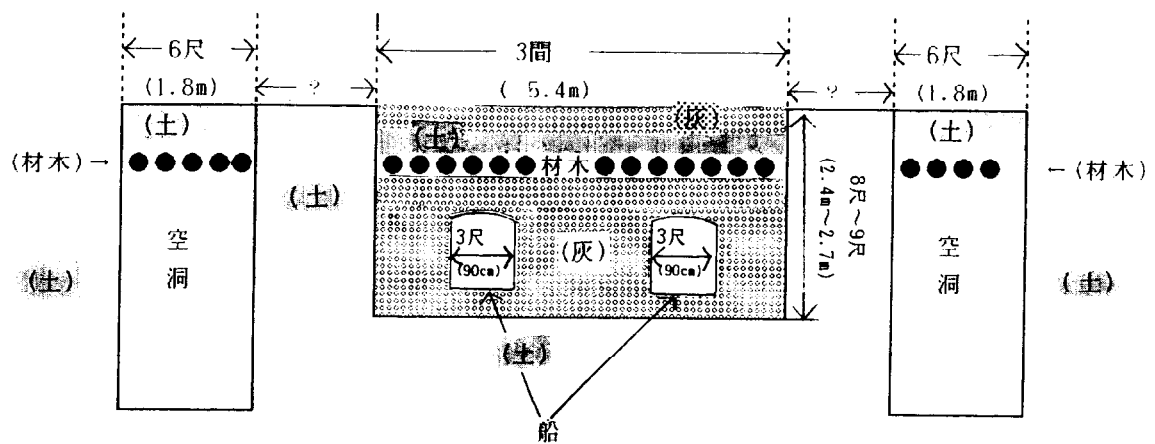


図 2 - 1 播州宍粟郡千草における地下構造想像図

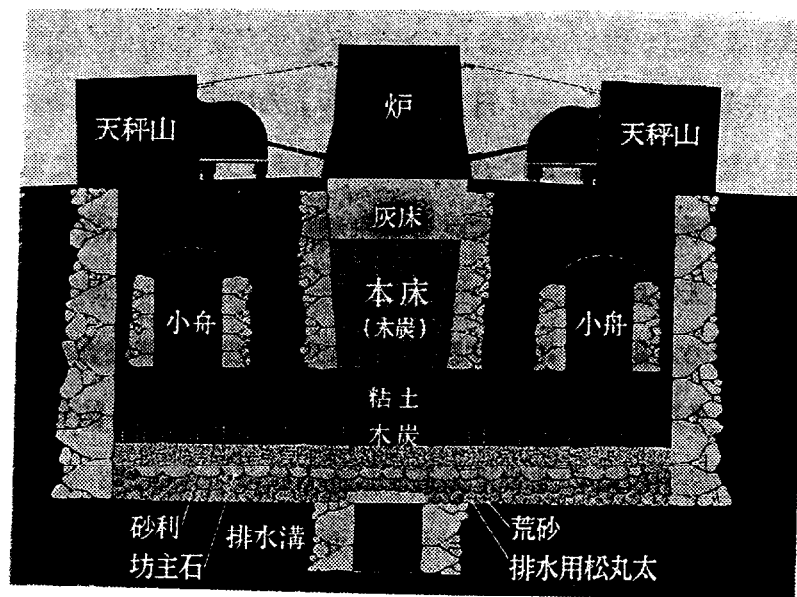


図 2 - 2 日刀保たたら地下構造図

法量は図 3 - 2 を参照

次に、この比較から考えられることを以下に示す。

- (1) 地下構造（炉床）の規模は、奥行が「千草」の方が長いことを除いては、ほぼ同じであることがわかる。これは地域、場所によっても多少異なるが、中世末期以降の大型炉の場合、地下の保温と湿気の除去には、これくらいの規模が常に必用とされたものである。
- (2) 「日刀保たたら」には、「小舟」と「本床」が存在するが、「千草」の場合は、「小舟」（船）のみで、いわゆる「本床」は存在しない。しかし、双方の図を比較してわかることは、「千草」の場合は「日刀保たたら」のように独立した木炭による構築物（本床）とはなっていないが、炉床全体が灰で覆われ、小舟と小舟の間は事実上、「日刀保たたら」でいう「本床」の役目を果たしていることがわかる。
- (3) 「千草」には炉床を廻る「空堀」のようなものが存在するが、これは文中で読みとれるように水分が本床へ伝わらないよう遮断することを目的として築かれたもので、「日刀保たたら」にはこれが存在しないが、これは極めて理に合ったものであり、地域、場所の事情により、それぞれ工夫がなされたもので、排水孔の有無についても同様である。

以上、播州宍粟郡「千草」と「日刀保たたら」の地下構造の構築法の比較をこころみたが、その規模、精緻な内部構造に極めて共通するところがあり、これによって日刀保たたら地下構造の構築法は、時代的に見て室町時代後期の播州宍粟郡千草の製鉄にまで遡る。

2. 2. 2 築炉法の比較

播州宍粟郡千草の白鋼吹きにおける築炉法については、別冊資料集「1」で説明している通りであるが、その内容をより明瞭にするため、その形態と法量を示し、両者の比較をおこなった。その結果は次の通りである。

- (1) 両者とも、形態的には「元釜」（もとがま）（千草の場合は「元釜」のことを「下釜」（したがま）と呼んでいる）、「中釜」（なかがま）、「上釜」（うわがま）の三段をもって構築し、元釜の底部は逆三角形、つまり舟底型に築かれている。

（別冊資料集「1」・付記12, 13を参照）

- (2) 法量は次の通りである。

単位：mm

炉名 \ 寸法	幅	長さ	高さ	備考
千 草	900	1,500	1,500	最大の場合
日刀保たたら	760	2,700	1,200	通 常

次にこの比較から考えられることを以下に示す。

- (1) 「日刀保たたら」のように、炉を三段に組み、炉底を舟底型とする技法は、靖國鍾、「俵本」にみる伯耆国砥波鍾、石見国價谷鍾などにみることが出来るが、この築炉法は「千草」の場合と形態的に全く同じである。
- (2) 炉の長さは「千草」の場合、「日刀保たたら」の約半分である。しかし、炉の高さにあつては、「千草」が1.5m、「日刀保たたら」が1.2mであることが注目される。つまり正面幅、奥行がどうであろうと、砂鉄が還元するためには1.2mくらいの高さは必要とされるということで、これについて東京工業大学の永田和宏工学博士は「もののけ姫にみる製鉄の謎」の中で、「8世紀後半のキナザコ遺跡の炉は内径で長辺90cm、短辺70cm、高さ65cmである（筆者の経験では、高さは1.2mはないと製鉄は難しい。）」、と述べている。

以上、播州宍粟郡「千草」と「日刀保たたら」とにおける築炉法について比較をこころみたが、この技法は時代的に室町時代後期の播州宍粟郡千草の製鉄にまで遡る。

2. 2. 3 生産品の比較

生産品との比較の結果は次の通りである。

- (1) 「千草」における生産品は、「鉄山略弁」のはじめに「中古天文の頃より始まる播州宍粟郡千草の鉄山において白鋼を吹く法をたん略してここに録す」とあるように、鋼の生産（鋸押し）を目的としたことがわかる。なお、「白鋼」とは、鉄滓などの交じらない、白く美しく光った精鋼を意味するもので、それには四方白と八方白とがあり、「四方白」とは、四方からみても白くて美しい鋼、「八方白」とは、八方からみても白くて美しい、つまり四方白よりすぐれた鋼を意味したものである。
- (2) 「日刀保たたら」は「千草」同様、「鋸押し」で、玉鋼の生産を主としたものである。

以上、播州宍粟郡「千草」の生産品と「日刀保たたら」の生産品との比較をこころみた

が、これについて考えられることは、「千草」、「日刀保たたら」とともに、鋼の生産を目的とした「鋸押し法」で、しかも同じ鋼であっても良好な鋼「（千草でいう八方白・四方白、日刀保たたらでいう玉鋼（たまはがね）」の生産を目的としたもので、ここに両者の生産品において共通するものがある。

2. 2. 4 操業日数の比較

操業日数の比較の結果は次の通りである。

（１）「千草」の場合は、文中に「始めよりおよそ三昼夜吹きという」（別冊資料集「１」・付記36を参照）とあるように、１回の操業に３昼夜費やされている。

（２）「日刀保たたら」も１回の操業に３昼夜が費やされている。

以上、播州宍粟郡「千草」と「日刀保たたら」における操業日数について比較をおこなったが、両者とも１回の操業に３昼夜が費やされていることがわかる。なお、「鉄山略弁」はその文中のくだりで、「伯州日野郡俣野村印可」での製鉄法を述べ、そのなかで「印可」は元来鉄生産であったものが、後に「千草」の白鋼吹きにヒントを得て、鋼生産に転移したことを記し、この場合１回の操業に７昼夜、または５昼夜費やしたとし、そしてそこで生産品は白鋼とは異なり、精粗交じった「延鋼」（のべはがね）であったことを述べている（別冊資料集・付記49を参照）。しかし同じ鋼生産を目的としたものであっても、両者には操業日数と生産品に違いがあったことがわかり、したがって「日刀保たたら」の操業技術は、播州宍粟郡「千草」の製鉄法に分類される。

2. 3 室町期から昭和期にいたるまでの鋸押し法

日刀保たたらの源流が室町期の播州宍粟郡「千草」にあることを述べたが、同時代には後述する「菅谷鑪」（すがやたたら）が島根県飯石郡吉田村で稼働し、江戸期には同県仁多郡横田町で「原鑪」が、また鳥取県日南町で「谷中鑪」が稼働している。そして明治期にいたると前出の「砥波鑪」が鳥取県日南町で操業を行っている。

前章で述べた通り、たたら製鉄は大正１４年をもって廃絶するが、その後復活したのが昭和８年に開設された「靖國鑪」で、この技術は現在も「日刀保たたら」へと引き継がれている。

2. 4 日刀保たたらの前身「靖國鑪」

2・4・1 「靖国文献」よりみた靖國鑪の設立

「靖國鑪」とは、昭和8年から20年にかけて、陸軍省を主務官庁とする財団法人日本刀鍛錬会（東京）が、主として将校及び相当官の軍刀を造ることなどを目的として、現在の「日刀保たたら」のある島根県仁多郡横田町大呂において稼働したたたら製鉄のことをいう。前述したように日刀保たたらはこの靖國鑪の遺構を利用して再興をはかったものであるが、靖國鑪の存在はわが国における製鉄史上極めて重要なものであったと位置づけることができる。それはたたら製鉄は、大正14年をもって途絶することになったが、靖國鑪の目的がたとえ前述のものであったにせよ、この開設があったればこそ技術の伝承がはかれ、その後の日刀保たたらの開設へと結びつくことができたからである。

去る昭和63年、東京都千代田区九段の靖國神社に、靖國鑪に関する文献（以下靖国文献という）が存在することがわかった。これは昭和7年12月7日、財団法人日本刀鍛錬会寄付行為ができ、昭和9年3月、靖國鑪落成火入に関する報告書が出るまでの約1年3ヶ月間における理事会などに係わる重要な資料である。途中いくらか資料が不足（未発見）しているが、これにより靖國鑪再興についての発案から完成に至るまでの経緯を知ることができる。別冊資料集「2」に「靖国文献」と解説を示したが、文献は13資料からなり、「資料1」の「財団法人日本刀鍛錬会寄付行為」は11cm×21cmからなる活字体で、他は「資料11」のメモ書きを除いて、B5判、B4判、A5判からなるガリバン印刷によるもので、これらの発信者は、書類によって財団法人日本刀鍛錬会理事長柳川平助、同会常務理事牛島満、同会主事倉田七郎の3氏からなり、その発信相手方は、すべて同会理事賀茂百樹となっている。なお、日本刀鍛錬会寄付行為の理事名簿によると、柳川平助は陸軍中將で賀茂百樹は靖國神社宮司である。

「表2-1」は「靖国文献」の概略を「靖國鑪文献資料一覧」としてまとめたものであり、この発見によって初めて靖國鑪の全貌が明らかになった。そしてここで特記すべきことは、たたら製鉄はそれまで民間でおこなわれてきたものが、靖國鑪に至って初めて官営として取り上げられたことで、これは戦争という社会背景があったことによる。

2・4・2 近代から現代におけるたたら操業（鑄押し）の諸比較

近代における代表的なたたら製鉄には明治初期に鳥取県日野郡日南町で操業された「砥波鑪」、昭和初期に島根県仁多郡横田町で操業された「靖國鑪」があり、現代においては同所で「日刀保たたら」が稼働している。「表2-2」は「表2-1」をもとに、砥波鑪

表 2 - 1 靖國鎗文献資料一覧

資料NO	資料名	発信年月日	内容における特記事項
1	財団法人日本刀鍛錬会 寄付行為	昭和7年12月7日	・ 将校等の軍刀を生産し、国民に愛刀心をうえつけることを目的
2	昭和8年度予算案及「タ タラ」再興に関する所見 送付の件通牒	昭和8年3月22日	・ 昭和8年度予算案及び第1回目たたら再興に関する会議
3	玉鋼及踏輪現状概要	(資料「2」の添付 書類)	・ 第1回目会議に先だって玉鋼の現況を調査報告 ・ 事業の協力者として安来製鋼所(現日立金属安来工場)を 起案 ・ 砂鉄採取上の慣習的権利(鉄穴流)
4	大呂鎗設置予算書	(資料「2」の添付書 類)	・ 「靖國鎗」は当初「大呂鎗」と仮称 ・ 吹子4挺を水車を動力として稼働
5	第4回理事会開催の件通 牒	昭和8年5月1日	・ 昭和8年度予算とたたら再興に関する会議
6	第4回理事会開催の件通 牒	昭和8年5月15日	・ 前回理事会の続き
7	第5回理事会開催の件通 牒	昭和8年6月30日	・ 昭和8年度予算の変更及びたたら再興に関する会議
8	覚 書	昭和8年7月21日	・ (財)日本刀鍛錬会と(株)安来製鋼所との間で、玉鋼生産に 関する協定をおこなう。
9	第7回理事会における報 告書	昭和9年3月	・ 昭和8年12月13日火入式がおこなわれ、1月下旬までに7 代の操業がおこなわれる。玉鋼の名称を1等品鶴、2等品 松、3等品竹、4等品を梅とした。 ・ 「靖國鎗」と命名
10	靖國鎗工場建設費勘定	(資料「9」の添付書 類)	・ 予算11,200円に対して、14,806.47円で決算
11	靖國鎗の生産量を示す メモ	不 明	・ 昭和8年より同19年までに50,710kgの玉鋼を生産 (並河孝義氏よりの聞き取り調査で補足)
12	玉鋼生産額予想並原価計 算書(昭和9年2月末)	不 明	・ 1代(1回)の操業経費888円(現在の約430万円) (現在の「日刀保たたら」は約700万円)
13	刀剣材料鋼1貫匁ノ代価 計算表	不 明	・ 木炭・籠り砂鉄・真砂砂鉄・釜土の使用予測量を記載 ・ 村下以下作業員の名称と員数を記載

・靖國鑪・日刀保たたらについてどのように操業のあり方が変化したかについて諸比較をおこなったものである。これによってわかったことを以下に示す。

(1) 事業の目的と事業者の比較

前述の通りたたら製鉄は、従来民間で一般的産業としておこなわれてきたが、「靖國鑪」は軍需を目的とした国家的産業としておこなわれ、現在の「日刀保たたら」は文化財保護法を目的とし、やはり国家的事業としておこなわれている。

(2) 1代(1回当たり)の使用材料の比較

1) 「砥波鑪」と「靖國鑪」では「籠り期」(こもりき)に「籠り砂鉄」が用いられているが、「日刀保たたら」では「真砂砂鉄」(まささてつ)のみが用いられている。この理由については第4章で述べる。

2) 砂鉄の使用量は「日刀保たたら」が最も少なく、7,848kgは「砥波鑪」12,825kgの約61%、「靖國鑪」14,000kgの約56%である。このように日刀保たたらの砂鉄使用量が少ないのは、日刀保たたらの場合は殆ど出鉄(流鉄)することがなく、鋳のみが造られることによるものである。

3) 木炭の使用量は「靖國鑪」11,250kg、「日刀保たたら」11,932kgでほぼ同量で、「砥波鑪」は13,500kgでやや多い。しかし靖國鑪の場合は、後出の並河孝義からの聞き取り調査からすれば実際には15,000kg使用されたという。これからすると木炭の使用量は日刀保たたらが最も少なく、これは砂鉄の使用量と相関している。

4) 釜土(かまつち)の使用量は、「靖國鑪」3,750kg、「日刀保たたら」3,800kgでほぼ同量である。砥波鑪の場合は不明であるが、「元釜」に2,250kg使用されていることから、靖國鑪と日刀保たたらとほぼ同量の釜土が用いられたものと判断する。

(3) 鋼の名称の比較

たたらで生産された鋼の中で、とくに優れた部分を「玉鋼」と呼ぶが、この名称は明治時代の「砥波鑪」以来同様に用いられている。

(4) 送風装置の比較

「砥波鑪」の時代(明治)では天秤輪が用いられていたが、「靖國鑪」からは4基の木製輪が用いられている。なおその動力は「靖國鑪」では水力(水車)であったが、「日刀保たたら」では電力にかわっている。

表 2-2 砥波鑪・靖國鑪・日刀保たたら操業諸比較

1. 事業目的の比較

砥波鑪	一般的需要
靖國鑪（資料1）	軍刀製作用の玉鋼を生産（軍需産業）
日刀保たたら	美術刀剣製作用の玉鋼を生産（文化財保護・選定保存技術）

2. 事業者の比較

砥波鑪	民営
靖國鑪（資料1）	陸軍省を主務官庁とする（財）日本刀鍛錬会
日刀保たたら	文化庁を主務官庁とする（財）日本美術刀剣保存協会

3. 砂鉄の採取法の比較

砥波鑪	靖國鑪（資料3）	日刀保たたら
鉄穴流	鉄穴流	磁力選鉱

4. 1代（1回）当たりの使用材料の比較

単位：kg

原材料 鑪別	こもり砂鉄		真砂砂鉄	(砂鉄合計)	木炭	釜土	備考
砥波鑪	1,350	(こもり) 787.5	11,475	(12,825)	13,500	不明（但し 元釜土は 2,250kg使用	
		(こもりづき) 562.5					
靖國鑪 (資料13)	2,000	(こもり) 不明	12,000	(14,000)	11,250	3,750	木炭は実際には 15トン使用 (並河孝義氏)
		(こもりづき) 不明					
日刀保たたら	0	(こもり) 0	7,848	(7,848)	11,932	3,800	昭和53年度操業 (7代)におけ る1代の平均
		(こもりづき) 0					

5. 鋼の名称の比較

砥波鑑	鋼最上・玉鋼
靖國鑑（資料9）	玉鋼（鶴・松・竹・梅）
日刀保たたら	玉鋼（1級品・2級品・3級品）

6. 送風装置の比較

砥波鑑	不明（但し同時代の石見の價谷鑑では天秤轆を使用）
靖國鑑（資料4）	4基の木製轆を水車で稼働
日刀保たたら	4基の木製轆を電力で稼働

7. 操業要員の比較

砥波鑑	村下・炭焚・番子
靖國鑑（資料13）	村下・炭焚・小廻・人夫
日刀保たたら	村下・上級養成員・中級養成員・初級養成員

8. 1代（1回）当たりの操業経費の比較

砥波鑑	121.3円（明治31年頃の調査・現在価格不明）
靖國鑑（資料12）	888円（現在価格約430万円）
日刀保たたら	約700万円

(5) 操業要員の比較

「砥波鑪」は、村下・炭焚・番子、「靖國鑪」は、村下・炭焚・小廻・人夫、
「日刀保たたら」は、村下・上級、中級、初級養成員で構成されている。日刀保たたらがこのように養成員制度をとっているのは、技術の後継者を養成するためである。なお、砥波鑪には「番子」（ばんこ）が存在するが、これは轆を踏む職人のことで、送風を動力とした靖國鑪と日刀保たたらにおいては、この職は存在しない。

(6) 1代（1回）当たりの操業経費の比較

1代の操業経費は、「靖國鑪」の場合は888円（現在の約430万円・別冊資料集「2」・付記16を参照）かかっているが、「日刀保たたら」の場合は約700万円かかっている。靖國鑪がこのような低廉であったのは、軍需産業といった国家的圧力があったことによるものである。

2・4・3 玉鋼の生産量からみた「靖國鑪」の操業技術

「表2-3」は、昭和8年から最後の操業がおこなわれた昭和19年までの靖國鑪における玉鋼の生産量を示したものである。靖國鑪の玉鋼の生産量に関する資料には、前出の「靖国文献」（資料11・靖國鑪の生産量を示すメモ書）があるが、これは昭和8年と同16年が不明となっている。しかしここに示した資料は、去る平成4年1月並河孝義より聞き取ったもので完璧であり、かつ各年の操業回数も明確となっている⁵¹。並河は明治38年島根県安来市に生まれ、昭和11年1月1日付をもって、靖國鑪がおかれた仁多郡鳥上村大字大呂（現在の横田町）の安来製鋼所（現在の鳥上木炭鉄工場）へ勤務を命じられ、その3年後工場長となり、靖國鑪の運営に尽力してきた人物である。この資料によりわかったことを以下に示す。

- (1) 1代の玉鋼の生産量の平均は、操業が開始された昭和8年が214kgと最も少なく、最後の操業となった昭和19年が563kgと最も多く、また全体的には年が経過するにしたがってほぼ順調に1代の生産量が向上している。
- (2) 1代における生産量増加の第1期目は昭和12年の396kgである。そしてこの背景をみると、日中戦争の開始があることがわかる。そして、ここにおいて追記することは、この期における玉鋼の生産量の増加の理由が、炉床の改築にもあった可能性があることである。図2-3は、昭和8年8月に設計された「靖國鑪設置図」である。これについてみると、「砥波鑪」の炉床に比較してかなり簡素化し、しかも本床と

小舟の周囲がコンクリートで覆われていることがわかる。これにつき靖國鑪の開設にあたった当時の日立製作所所長である工藤治人は、「昨昭和8年に日本刀鍛錬会の靖國鑪製造に際し、混凝土や鉄板断熱砂等を使用して基礎を簡単にいたしました。が、何ら故障は起こりませんでした。」⁶⁾と述べている。しかし実際には昭和8年の操業成績は最下位であり、このことから昭和11年11月に前出の「靖國鑪釜詳細図・靖國鑪爐詳細図」に基づく炉床の改築工事が行われ、以後玉鋼の増産がはかられたものである。

- (3) 1代における生産量増加の第2期目は昭和14年の537kgで、この年の生産量8,061kgは靖國鑪12年間のうち、操業回数15回とともに最多である。そしてこの背景をみると、第二次世界大戦の開始がある。
- (4) 靖國鑪12年間ににおける前半の昭和13年までの1年間の1代平均は309kgであるが、後半では500kgとなっている。そしてこの背景をみると、第二次世界大戦の開始、太平洋戦争の開始などがあげられる。

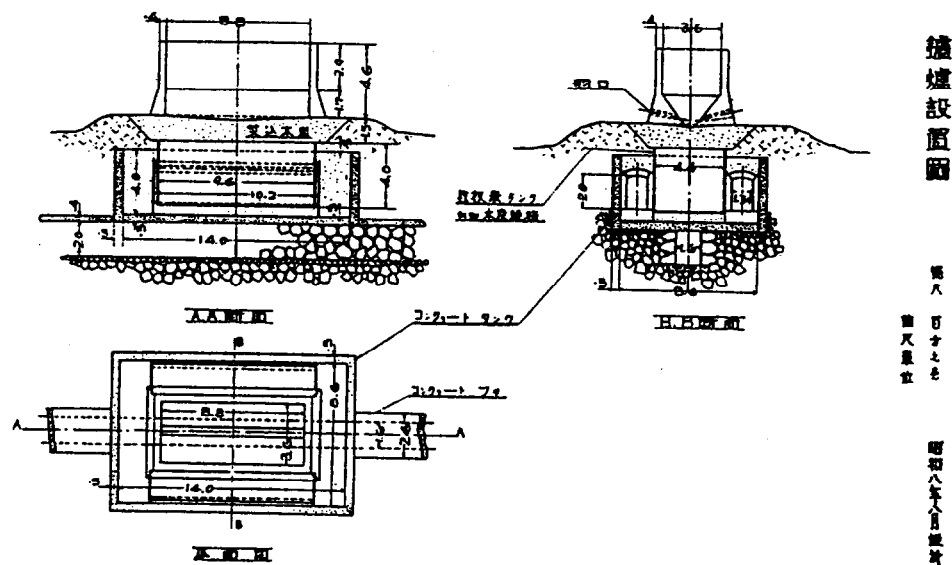


図2-3 昭和8年8月に設計された「靖國鑪」の配置図

なお、靖國鑪での12年間ににおける玉鋼の総生産量は50,710kgで、終戦までに約8,100口の日本刀が製作されており、1口の製作に約3.3kgの玉鋼が使用されていることから、

表 2 - 3 靖國鑪における玉鋼の年次別生産量

年	総生産量 (kg)	回数 (代)	1 代の平均 (kg)	備 考
昭和8	1,500	7	214	日本が国際連盟を脱退
9	1,687	7	241	
10	1,650	7	236	
11	1,913	7	273	炉床の改修をおこなう
12	3,563	9	396	日中戦争始まる
13	5,399	11	491	国家総動員法公布される
14	8,061	15	537	第二次世界大戦始まる
15	5,500	12	458	
16	5,500	12	458	太平洋戦争始まる
17	5,812	12	484	
18	4,500	9	500	
19	5,625	10	563	終戦 1 年前
合計	50,710	118	430	

表 2 - 4 靖國鑪と日刀保たたら玉鋼の生産量と砂鉄量に対する玉鋼の生産歩留の比較

区 分	砂鉄使用量 (kg)	玉鋼生産量 (kg)	歩留 (%)	備 考
靖 國 鑪	14,911	577	3.87	昭和18年操業 (小塚資料) 8
日刀保たたら	9,083	1,282	14.11	昭和53年・平成9年 操業 1 代の平均

50,710kgのうち約27トンが日本刀になった計算になる。終戦時近くの残量は5～6トンで、これらは香川県善通寺町の琴平神社に疎開された³⁾。他は日本刀鍛錬会による品質審査での不合格刀として消耗したものである。

銑は、一部は加工して包丁鉄として日本刀の芯鉄に用いられたが、その多くは安来製鋼所（現日立金属安来工場）に製鋼原料として払い下げられた³⁾。

2.4.4 靖国鑑と日刀保たたら玉鋼の生産量と砂鉄量に対する玉鋼の生産歩留の比較

日刀保たたらの作業の特徴は、玉鋼を主生産物としたところにあることは既に述べた。ここでは、靖国鑑と日刀保たたらにおける1代平均の玉鋼の生産量の比較と、砂鉄使用量に対する玉鋼の生産歩留について調査をし、これを表2-4に示した。その結果、玉鋼の生産量は靖国鑑が577kg⁸⁾、日刀保たたらが1,282kgで、これは前者の2.22倍である。砂鉄使用量に対する玉鋼の生産歩留は靖国鑑が3.87%、日刀保たたらが14.11%で、これは前者の3.65倍である。

以上より、玉鋼生産量、歩留において、靖国鑑より日刀保たたらの方が優位であることがわかった。その理由については第6章で述べる。なお、砥波鑑においては、鋼中の「玉鋼」の生産量を明確にしていないことからこの調査の対象からは除外した。

2.4.5 靖国鑑の村下とその技術の系列

「靖国文献」ではここに従事した村下の名前としては同文献No.11の「靖国鑑の生産量を示すメモ」に見られる細木文之助以外には明らかとなっていない。本項においては「靖国鑑」でどのような人物が村下として働き、村下としてどのような技術の系列を持つ者かについて調査を行った。表2-5は、昭和63年2月22日、日刀保たたらでおこなった、村下安部由蔵、元島上木炭鉄工場長並河孝義、靖国鑑時代同工場の職員であった福本確各氏よりの聞き取り調査、そして他の文献を用いて構成したものである。聞き取り調査からわかったことは以下のとおりである。

- (1) 靖国鑑が開設された昭和8年時の村下は亀山秋蔵・安藤仙太郎で、昭和9年からは細木文之助・安部由蔵・後藤林市が村下を勤めている。
- (2) 亀山・安藤はト蔵（ぼくら）家の運営する「原炉」で、同炉が閉鎖する大正14年まで筆頭村下岸本亀次郎のもとで働き、安部は大正六年岸本に入門し、大正14年まで就業している。
- (3) 岸本は近藤家の運営する「谷中炉」で、同炉が閉鎖する大正10年まで村下として働

いている。

以下、この靖國鑪の村下とその技術の系列について考察する。

靖國鑪の起業目的は、同じ「鋸押し法」であっても日本刀の材料となる玉鋼を生産するところにあった。靖國鑪に岸本の部下である亀山と安藤が村下として招聘されたのは、岸本が日本刀の材料（玉鋼）を生産した「谷中炉」⁹⁾の村下で、岸本の技術が亀山と安藤に伝授されていたことによるものと考える。たたら製鉄は江戸中期には「永代たたら」、「企業たたら」として技術的に完成の域に達し、その主生産物は「鉄」であり、鍋や釜など民生品が製造された。明治期になってもたたら製鉄は出雲地方を中心に我が国の鉄鋼生産を担い、鋸と鉄を半々に製造してきたが、西洋の近代製鉄法の導入により、ついに大正12年商業生産を中止した¹⁰⁾。その後は「原炉」が日本刀の材料としての玉鋼を生産したがこれも大正14年で廃絶した。そして昭和8年に復活したのが靖國鑪で、その起業目的は前述した通りである。つまり靖國鑪が望んだのは玉鋼生産技術者としての村下であり、それには玉鋼を主生産物とした「谷中炉」と「原炉」の村下岸本の技術の流れをくむ亀山と安藤の技術が必要であったことである。

表2-5 谷中炉・原炉（叢雲炉）・靖國炉・日刀保たたらにおける村下の系列

炉名	所在地	経営者	始業期	大正 昭和 和																				起業の目的		
				大正												昭和									和	
谷中炉	鳥取県日野郡日南町	近藤家	江戸末期	67891011121314.....												891011121314151617181920.....								52.....	日本刀の材料確保 日本刀の材料・昭和13年より「原炉」を「叢雲炉」と改名し帝国製鉄が技術保存を目的として再興。 日本刀の材料確保（軍需産業）	
原炉 (叢雲炉)	島根県仁多郡横田町	ト蔵(びろ)家 (帝国製鉄)	江戸中期	村下：岸本龜次郎																						(叢雲炉) 村下：安部由蔵
				村下：岸本龜次郎・亀山秋蔵・安藤仙太郎																						
				安部：6年岸本に入門																						
靖國炉	同上	日本刀鍛錬会	昭和8年													村下：亀山秋蔵・安藤仙太郎 安部：村下見習兼炭焚 (昭和9年以降は以下の体制) 村下：細木文之助・安部由蔵・後藤林市										日本刀の材料確保と技術保存 (文化財保護法)
日刀保 たたら	同上	日本美術刀剣保存協会	昭和52年																					村下：安部由蔵 ・久村勲治 ↓ 村下：木原明		
炉名	所在地	経営者	始業期	大正 昭和 和																				起業の目的		
				大正												昭和									和	
菅谷炉	島根県飯石郡吉田村	田部家	室町中期	67891011121314.....												891011121314151617181920.....								52.....	一般商業生産 一般商業生産 一般商業生産 明治期に栄えた同炉を、帝国製鉄が技術保存を目的として昭和13年に再興。	
宇根炉	島根県仁多郡仁多町	桜井家	江戸初期																							
鉄穴炉	島根県仁多郡横田町	林原家	江戸末期																							
砥波炉	鳥取県日野郡日南町															村下：安部由蔵										

谷中炉は安永8年(1779)近藤平右衛門が鳥取県日南町下谷中に開いたもので¹¹⁾、その製品は「日野郡史」⁹⁾が「その鋼鉄は日本刀の地鉄として名声を博せし」と述べていることから谷中炉での主生産物が玉鋼であったことは明白である。なお、昭和13年に原炉が「叢雲炉」として、また同年に明治期に栄えた「砥波炉」が帝国製鉄(広島)によって俄国一等の知遇により技術保存を目的として再興されているが、¹²⁾ 安部はここで「かげはまり村下」として働いてる。「かげはまり村下」とは出向村下のことで、これに対して正規の村下を「はまり村下」という。安部がこの両炉で働くことができたのはこの二つの炉が、元来玉鋼生産を行った炉であることによる。

以上により、靖國鎚の村下の玉鋼生産技術の系列は、大正時代の「谷中炉」・「原炉」の村下岸本亀次郎の技術にあることがわかった。なお、岸本は安政6年(1859)、鳥取県日野郡日南町に生まれている。そしてこの技術は、現在「日刀保たたら」の村下木原明に引き継がれている。

2.5 結言

以上「日刀保たたら」の源流について考察をおこない、以下の新しい知見を得た。

(1) 「日刀保たたら」(大量の玉鋼生産を目的とした三日押による鋸押法)の源流が

『古今鍛冶備考』『鉄山略弁』に所載する播州宍粟郡千草の「白鋼吹」にあると想定し、これを①地下構造の比較、②築炉法の比較、③生産品の比較、④操業日数の比較から調査をおこなった。その結果、日刀保たたらの源流が、天文時代(室町後期)に現在の兵庫県宍粟郡一宮町他で開発された「白鋼吹」にあることを明らかにした。

(2) 日刀保たたら、その前身である靖國鎚、明治期の砥波鎚(いずれも鋸押し法)における操業技術上の比較でわかったことは、以下の通りである。

- 1) 靖國鎚・砥波鎚においては操業初期に籠り砂鉄が用いられているが、日刀保たたらでは全工程真砂砂鉄が使用されている。その理由については第4章で述べる。
- 2) 1回の操業に用いる砂鉄の使用量は、三者のうち日刀保たたらが最も少ない。その理由は靖國鎚・砥波鎚にあつては大量の出鉄があつたが、日刀保たたらの場合は殆ど出鉄することなく、鋸のみが造られることによる。また、靖國鎚と日刀保たたらにおける1代の玉鋼の生産量と砂鉄に対する玉鋼の生産歩留は、後者の方が優位にたつ。

なおこれらのことについては第6章で詳しく述べる。

3) 靖国鑑の技術の向上は、操業経験年数と戦争という社会背景によって高められたこと、そして炉床の改築が玉鋼の生産量増加につながったことがわかった。

(3) 靖国鑑の村下とその技術の系列について調査をした。その結果、靖国鑑の村下の玉鋼生産技術の系列は、大正時代の鳥取県日野郡日南町の村下岸本亀次郎にあることを明らかにした。

文献及び付記

- 1) 俵国一：古来の砂鉄製錬法，丸善，東京，(昭和8年)。
- 2) 山田吉睦：古今鍛冶備考，書林，江戸，(文政13年)。
- 3) 鈴木卓夫：たたら製鉄と日本刀の科学，p.86－p.94，雄山閣，東京，(平成2年)。
- 4) 鈴木卓夫：作刀の伝統技法，p.2・1－p.2・22，理工学社，東京，(1994)。
- 5) 並河孝義：日刀保たたら村下養成講習会資料，(1994)。
- 6) 工藤治人：日本刀講座第4巻，科学編，p.7，雄山閣，東京，(昭和9年)。

なお、「混凝土」とはコンクリートのことである。

- 7) トム・岸田，靖国刀－伝統と美の極致，p.66，雄山閣，東京，(平成10年)。
- 8) 小塚寿吉：鉄と鋼，52(1966)，1763。

「靖国文献」では昭和18年の1代の玉鋼の生産量の平均を500kgとしているが、小塚は577kgと記している。この77kgの差は作刀に不向きの玉鋼4等品（梅の下という）をも含んだ数量と考える。なお、本考察で小塚資料を使用したのは実際の砂鉄使用量を明確にしていることによる。

- 9) 日野郡史，p.2385－p.2386，鳥取県日野郡自治協会，名著出版，東京，(昭和47年)。
- 10) 高橋一郎：奥出雲横田とたたら，p.57－p.58，横田史談会，(1990)。
- 11) 鳥取県生産物遺跡分布調査報告書，p.97，鳥取県教育委員会，(1984)。
- 12) 日本刀の原料としての玉鋼及び和鉄について，p.8，帝国製鉄，広島，(昭和38年)。

第3章 たたら製鉄「日刀保たたら」の復元

3. 1 緒言

前述のように（財）日本美術刀剣保存協会は、主に日本刀の材料である玉鋼を生産し、たたら操業の技術者を養成するため、昭和52年11月に国庫補助事業として旧「靖國鑪」を「日刀保たたら」として復元した。復元とは文字通り元の位置・形態にもどすことであるが、30余年間途絶していたものを復元することは至難の業であった。復元の内容を大別すると一つは、たたら施設（高殿等）の復元と、もう一つは操業技術の復元即ち復活である。したがって、施設の復元を静とすれば、技術の復活は動であり、この静と動の復元を共になしてこそ本事業の目的にかなうからである。

復元を可能にしたいいくつかの条件が存在した。その一つは、靖國鑪時代の村下（むらげ）であった安部由蔵（平成7年没）と久村歆治（昭和54年没）が健在であったこと、二つには、「靖國鑪釜詳細図・靖國鑪床及釜詳細図」と題する図面「図3-1」と高殿、大鋸場、小鋸場、鑪場等施設の設計図が島上木炭鉄工場によって保存されてきたこと。三つには、靖國鑪時代の高殿及び遺構を同社が管理してきたことである。村下である安部由蔵は明治35年生まれ、久村歆治は明治36年生まれ、ともに生存する最後の村下であり、両者の技術は、昭和52年5月11日に国の選定保存技術に認定された。

この章では、（財）日本美術刀剣保存協会がこの二人の村下の技術を得て、旧「靖國鑪」を「日刀保たたら」として復元するまでの様子を記録としてとりまとめ、また、操業に不可欠である砂鉄・木炭・釜土につき、①靖國鑪と日刀保たたらの砂鉄における性状の比較、②たたら炭のたたら製鉄に及ぼす効用、③釜土成分のノロ生成に及ぼす効用について考察する。

3. 2 炉床の改築

3. 2. 1 炉床の構造と工事の概要

施設などの工事のうち、最も難関であったのはやはり「炉床」（ろしょう）であった。炉床とは、たたら施設のうち最も重要な部分で、炉の保温と乾燥を促進するため考案されたきわめて精緻な地下構造である。前出の「靖國鑪床及釜詳細図」によると、たたら炉は概ね幅1.27m、長さ3m、高さ1.15mで、炉の底は舟底形をしている。そして鑪から送られた風が「天秤山」（てんびんやま）へ集まり、さらに「つぶり」を経てそこから左右に20本ずつ配られた「木呂管」（きろかん）より炉内へ風が送られるように設計されて

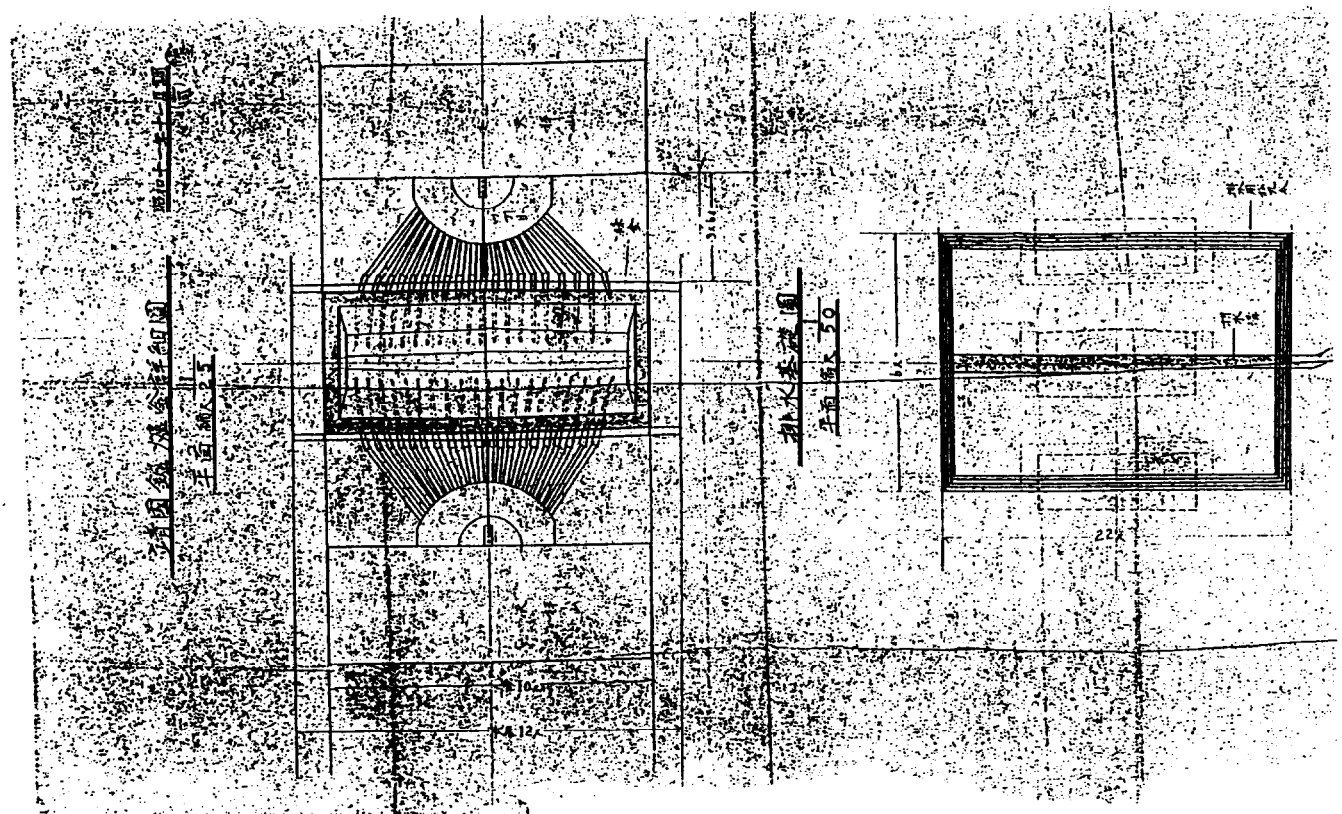
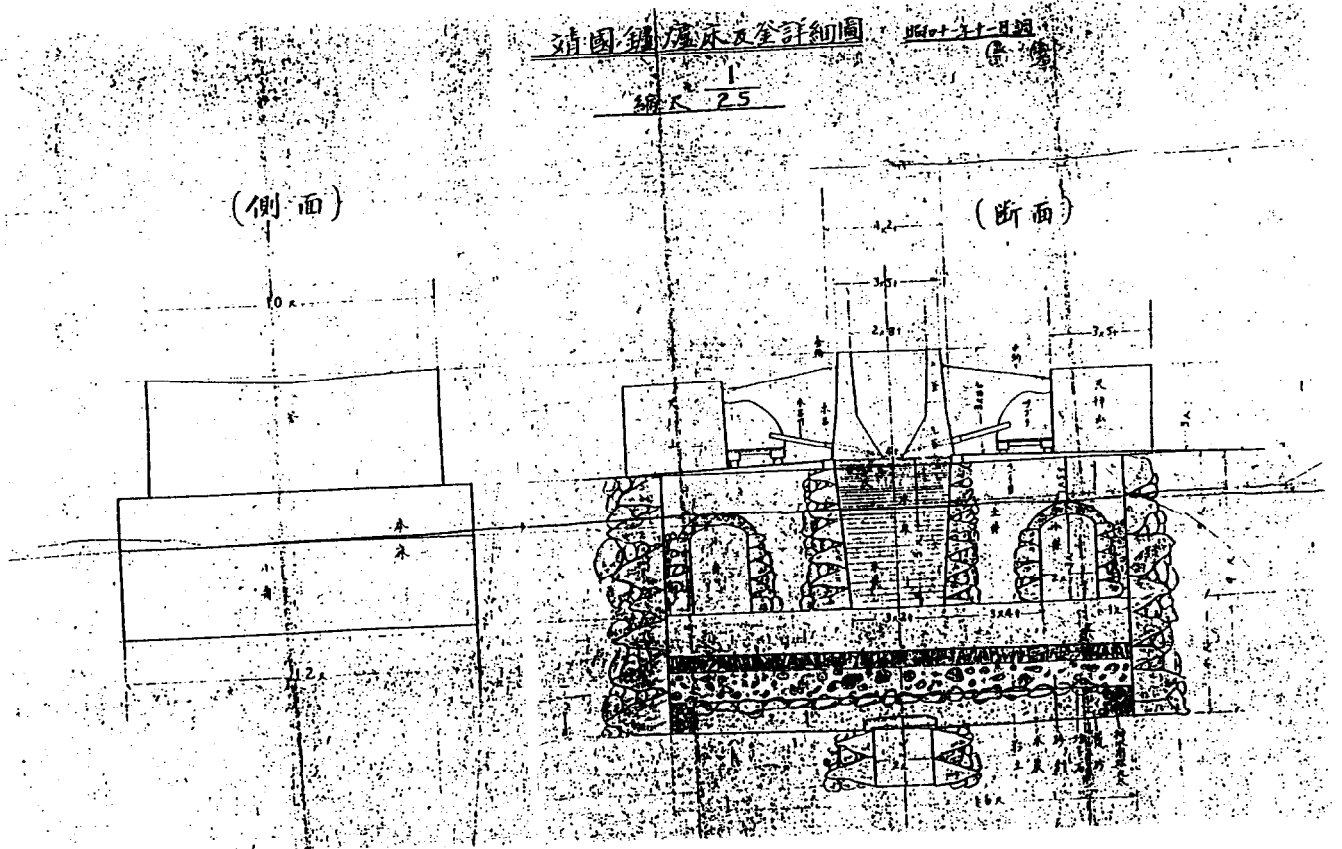


圖 3 - 1 靖國鑪及釜詳細圖 · 靖國鑪及釜詳細圖

いる。炉床には中央に「本床」（ほんどこ）、その左右に「小舟」（こぶね）が配され、これらの設置作業を「床釣」（とこつり）といい、本床には灰と木炭がつめられ、小舟は空洞となっている。その下は粘土・木炭・砂利・坊子石・荒砂と松丸太の順で構築され、最も地下部には60cm四方の排水口が設けられ、これらはいずれも保温と湿気防止のために講じられたものである。（図3-1を参照）

炉床の改築に当たっては、昭和51年12月に発掘調査が開始され、安部・久村両村下の指導によっておこなわれた。その概要は次の通りである。

- （1）炉が位置する周囲、正面幅5.5m、奥行6.5m、深さ2m、容積にして約72m³を切り取り、内蔵する「本床」と「小舟」（2基）を発掘し、その保存状態を調査した。その結果、本床と小舟は一部に破損したところがあったものの、構築物そのものはかなりよい状態で保存されていることがわかった。しかし、本床と小舟の中は相当湿気を含んでいることから外壁を取り外し、本床の中の灰と木炭を取り除け、再構築することとした。
- （2）炉床の構造は前述の通り、下からいうと排水溝、排水用松丸太と荒砂、坊子石、砂利、木炭、粘土の各層からなり、これらは前述の目的を達成するため配水設備として築かれたもので、本床と小舟はこの上に位置するが、この時における改築は経費の問題、また当時現在のような長期にわたる操業計画もなかったことから、これら一連の排水用設備については粘土層の土を若干入れ直す程度にとどめ、本格的な作業は本床と小舟の構築をもう一度最初からやり直すところに重点がおかれた。（写真3-1を参照）

炉床は、「靖国鎮」時代の昭和8年から19年にかけて使われたものであるが、発掘の結果前述の通り保存状態がよく、これはその後の操業において誠に良い条件をもたらしたと言える。そして、この作業に費やされた日数は、村下を始め10名がこれに当たり、全てで3ヶ月間を要した。以下本床と小舟の具体的な構築法について述べる。

3.2.2 本床の構築

- （1）本床の左右の外壁は石垣で、途中からはレンガで補強され、最後に釜土を塗って完成する。（写真3-2・3-3を参照）その中へ口径大(45cm位)、中(25～30cm)、長さ1.5m位の木材（材質は主にクヌギ）を、本床の正面、裏面両方から横に寝かすようにして積んでいく。そして木材の置き方は、正面、裏面とも入口から直ぐに

置かず、若干中の方へ置く。この理由は、後にここに焚口を設けるためである。

(写真3-2・3-3を参照)

- (2) 木材が本床内へギッシリ詰められると、その頂部における木材と木材の間に枝木を詰め込み、凹凸をなくし、さらにその上に藁ゴモをかぶせる。藁ゴモをかぶせる理由は、この上へ後で粘土(釜土)を積み本床の天井を造るが、これは天井の厚さを均一にするためである。(写真3-3を参照)
- (3) 木材の積み上げが終わると、本床の正面と裏面に釜土で壁を築く。壁は積み上げられた木材の面にあわせて25cmほどの厚さに築かれる。(写真3-4を参照)
- (4) 正面壁と裏面壁の構築と平行して焚口を造る。焚口は正面壁、裏面壁の上部と下部に一つずつ、合計四つが設けられる。そして焚口の造り方は、スコップ、鉋鎌などを用いて、ある程度の大きさに切り取ってあげ、その周囲はレンガなどで固定され、最後の焚口の大きさは下部焚口は縦40cm、横50cm、上部焚口は25cm四方となる。(写真 3-5を参照)
- (5) 正面壁、裏面壁、そして焚口が完成すると、次に釜土で天井を築く。その築き方は、(2)で述べた通りであるが、その厚さは約 25cmほどとする。(写真3-5を参照)
- (6) いよいよ着火の段になるが、着火は下部焚口に中程度の丸木を今度は縦に置き、その隙間に小枝を詰めて火が点けられるが、この焚口に丸木を縦に置くのはその方が着火しやすく、また最初の燃焼が容易であることによる。(写真3-5を参照)
- (7) 着火が終わると、いわゆる炭焼きと同じ作業となり、下部焚口は塞がれ、蒸し焼きにされ、生木であった木材は炭化し、木炭の層となる。この間、上部に開けられた焚口からは木材の燃焼と炭化にともなう木材不足を補うため、必要によって木材が補充されるが、この焚口は同時に煙突としての役目を果たすことにもなる。なおこの作業に費やされた日数は約1ヶ月、使用した木材は約40トンであった。

3. 2. 3 小舟の構築

- (1) 小舟の外壁は石垣で構築され、その中へ口径約10cm、長さ約1.5mの生木を詰め込み、この上へ藁ゴモをかぶせる。藁ゴモをかぶせるのは、本床のところで述べた通りである。(写真3-2、3-3を参照)
- (2) 藁ゴモの上に粘土をかぶせる。これは後に小舟の天井となるもので、この粘土は粘性のある釜土が主として用いられている。なお、この粘土の厚みは約25cmである。

- (3) 以上の作業が終わると木材の燃焼にかかる。燃焼は小舟の表側と裏側の入口(焚口)に比較的細い丸木を縦に並べ、その隙間に小枝を差し込み着火される。なお、丸木を縦に置くのは、本床の焚口同様、着火の効果が上がることをねらったものである。木材の燃焼は小舟という空洞を造るための作業であるが、これは同時に炉床の保温と乾燥をはかることにも目的があり、約2週間をかけて燃やし続けられた。そしてこれによって、木材は完全に灰化されて小舟は空洞となり、また積まれた木材の上にかぶせられた粘土は焼かれて硬い素焼製の天井と化し、空洞の構造が保たれることとなる。なおこの小舟の乾燥には約9トンの木材が用いられた。(写真3-4を参照)
- (4) 最後にこの天井の上へ粘土を積み、その正面、裏面はレンガと石によって補強された。(写真3-5を参照)

なお、この小舟についてであるが、「表本」は後で述べる備後国奴可郡八銚村の「小鳥原(しととぼら)」のたたら「本床釣装置横断面図」を示しており、これによると通常の小舟以外に炉の位置する場所の左右に2基ずつ、計4基の小舟が配されていることがわかる。そしてこれを「上小舟」「袖小舟」と呼んでいる。これを図3-2に示したが、この用途は「表本」によれば「此等は何れも一時的のものにして炉底を乾燥せしむる場合に用ゆ。」と述べ、7、8年に一度おこなう炉底乾燥(床焼という)の際、この小舟を構築するとしている。

日刀保たたらでは平成12年1月、地下構造が築後20年以上経過しており湿気がきていて、近年鉄の生産量が少なくなり、さらに玉鋼の1・2級品が少なくなり3級品などが増加してきていることから本床を50cm程掘り下げ、新たな木炭灰を敷き詰める工事をおこなった。これは安部村下より炉底の調子が悪くなったときにこの作業をおこなうよう、とのかつての指示に従ったものであるが、上小舟、袖小舟の効用と構築法については伝受されていない。

3. 2. 4 灰床づくり

本床の上から約50cm下までを「灰床」(はいどこ)といい、ここに灰が充填されている。この部分は最初は上まで木材が充填されているが、これが炭化されることによって下に沈み、最後に約50cmの深さの空洞ができる。ここに木材を燃やして灰の層をつくる

が、その手順は次の通りである。

- (1) 本床の「甲」(粘土でできた本床の天井)を破壊し、これを除去する。
- (2) 「灰床」となるところへまず1,200kgの木材を入れ、燃焼して灰化したところを上から「かけや」という用具(別冊資料集3を参照)などを用いて叩きしめる。この作業を「下灰(したばい)」というが、1回の下灰で約3cmの灰の層が出る。
- (3) 50cmの灰の層をつくるには約17回の下灰が必要となるが、これには1日2回の下灰をおこない、日数にして8日間、木材約20トンが使用された。

表3-1に、改築前の「靖国鐘」と改築後の「日刀保たたら」の本床と小舟の法量の比較を示した。その結果は次の通りである。

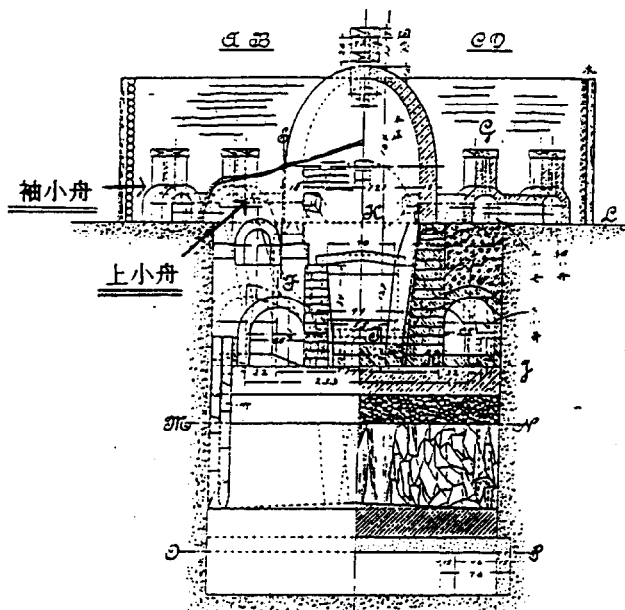


図3-2 小鳥原のたたらの本床釣装置横断面図

表3-1 靖国鐘と日刀保たたらの法量比較

単位: cm

床別	炉別	靖国鐘		日刀保たたら		備考
本 床	高さ	152		高さ	155	本床中央から小舟中央までの距離は靖国鐘182cm、日刀保たたら183cm
	長さ	364		長さ	364	
	頂部幅	127		頂部幅	120	
	底部幅	97		底部幅	90	
	灰床深さ	50		灰床深さ	50	
小 舟	高さ	91		高さ	95	
	長さ	364		長さ	364	
	腹部幅	61		腹部幅	75	
	底部幅	61		底部幅	75	

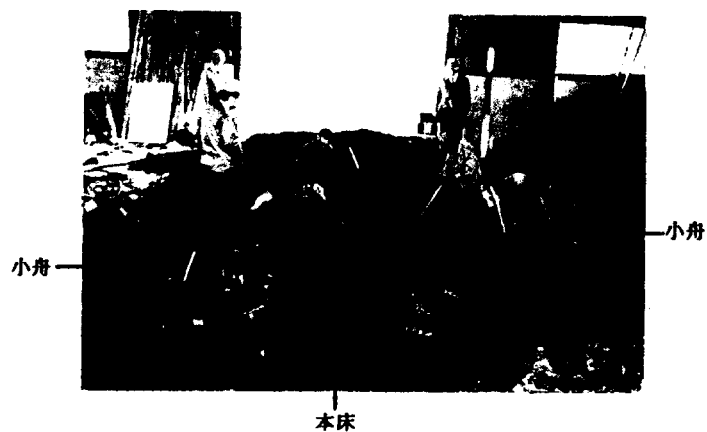


写真3-1 炉床の発掘調査

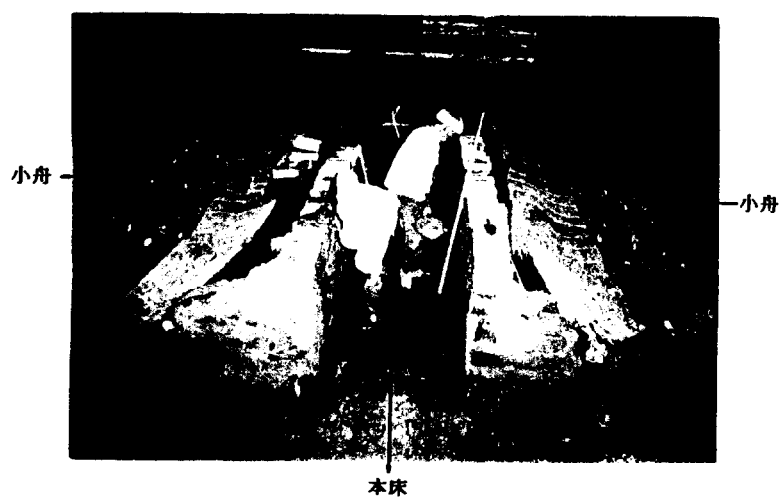


写真3-2 本床と小舟の構築

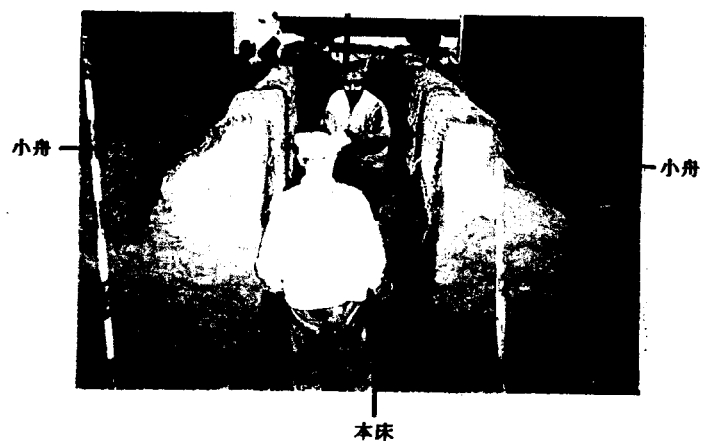


写真3-3 本床と小舟の構築



写真 3 - 4 本床と小舟の構築

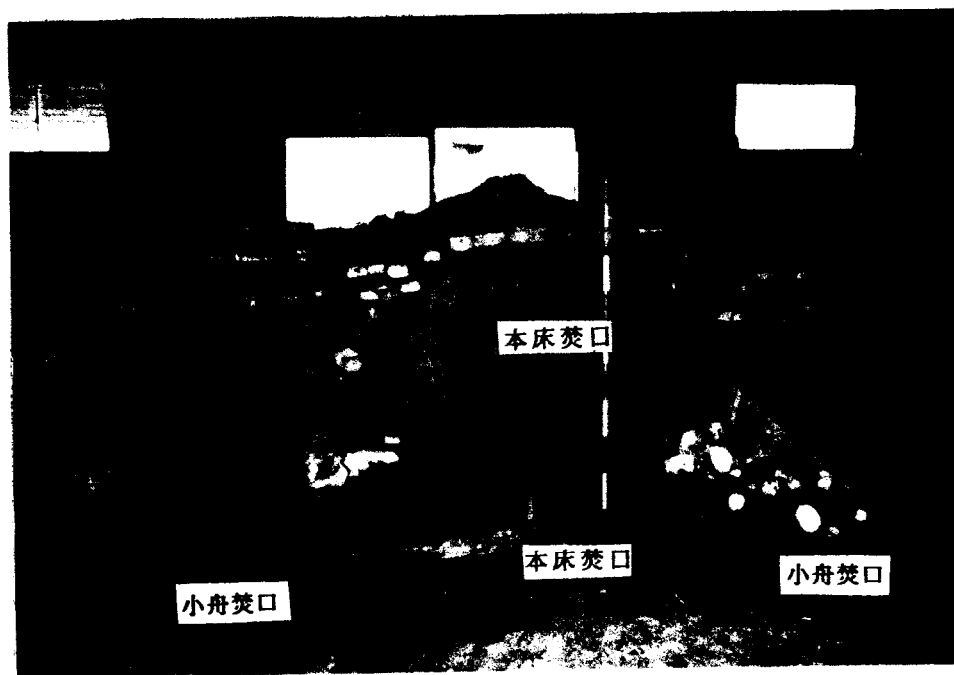


写真 3 - 5 本床と小舟の構築

- (1) 本床と小舟の位置（本床のセンターから小舟のセンターまで）の距離は、ともに約180cmで変わりはない。
- (2) 本床の深さは、「靖國鑑」152cm、「日刀保たたら」155cmで殆どかわりがない。
- (3) 本床の長さはともに364cmで変わりがない。
- (4) 本床の頂部の幅は、「靖國鑑」127cm「日刀保たたら」120cmであまり変わりがない。
- (5) 本床の底部の幅は「靖國鑑」が97cmであるのに対して、「日刀保たたら」は90cmで、改築後の「日刀保たたら」は少し狭く築かれている。
- (6) 灰床の深さは、ともに50cmで変わりはない。
- (7) 小舟の高さは、「靖國鑑」91cm、「日刀保たたら」95cmで殆ど変わりがない。
- (8) 小舟の長さは、ともに364cmで変わりはない。
- (9) 小舟の腹部と底部の幅は、「靖國鑑」61cm、「日刀保たたら」75cmで「日刀保たたら」の方が14cm広く築かれている。

以上により、炉床の改築工事においては、小舟の幅が改築以前より14cm広く築かれたが、これ以外においては基本的に同じである。なお「日刀保たたら」の場合、小舟が広めに築かれたその理由については、安部村下が長年の経験から判断した地質的条件（地下の水分の含有量等）による。

3.3 靖國鑑の炉床と備後国小鳥原の炉床との比較

図3-3に「靖國鑑」と「古来の砂鉄製錬法」（以下倭本という）¹⁾に見る「小鳥原（しととばら）」の炉床（地下構造）の比較図を示した。小鳥原の炉床とは、俄国一が同書で「以下述ぶる所のものは自ら之を見学する機会なく、主に当時備後国奴可郡八銚村大字小鳥原の古老片山半治氏を煩わし、模型を製作し其順序に従ひて見取りせるものを、第二十二図以下二十五に掲げたり。其他其後に至り所々に於て見聞せるもの、殊に其作業法に就いては伯耆國日野郡砥波鑑に於て記録せしものを以て補足する所あり。」と述べているように、主に備後国（広島県）の片山半治からの聞き取り調査をもって作図されたものである。以下、両者の比較の結果と、これによってわかったことを示す。

- (1) 炉床の面積は「靖國鑑」が17.65m²、「小鳥原」が14.70m²で、「靖國鑑」のほうが「小鳥原」より少し（約3m²）広い。また、「靖國鑑」は横長に築かれているの

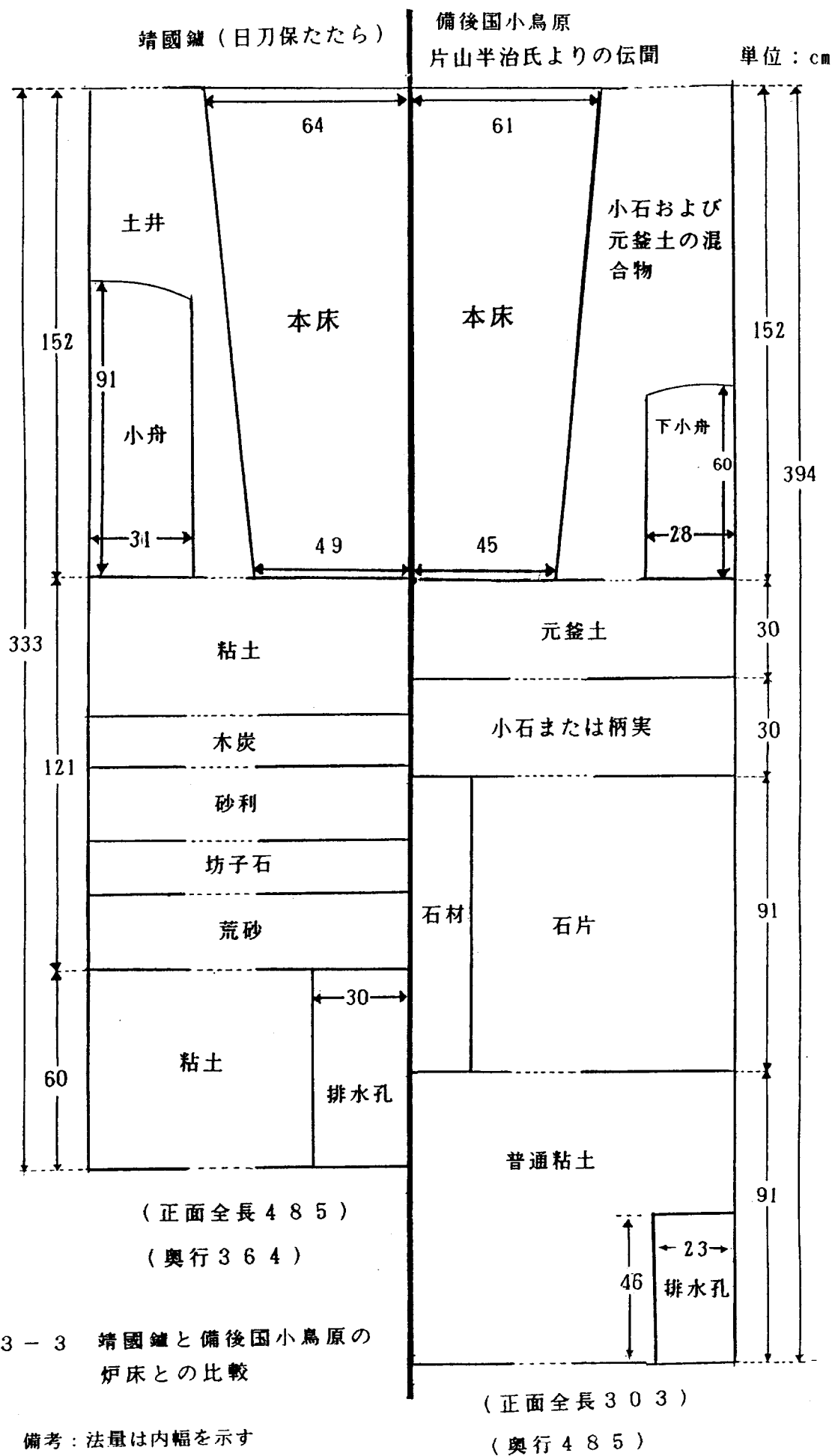


図 3 - 3 靖國鑑と備後国小島原の
炉床との比較

備考：法量は内幅を示す

に対し、「小鳥原」は縦長に築かれている。

- (2) 炉床の深さは、「靖國鑑」が333cm、「小鳥原」が394cmで「小鳥原」の方が少し(61cm)深い。
- (3) 本床は、高さは「靖國鑑」「小鳥原」とともに150cm強で変わりはない。頂部の幅は「靖國鑑」127cm、「小鳥原」121cmであまり変わりはない。底部の幅は「靖國鑑」97cm「小鳥原」90cmで少し「靖國鑑」の方が長い。長さは「靖國鑑」364cm、「小鳥原」485cmで、「小鳥原」の方が121cm長い。
- (4) 小舟は、「靖國鑑」は高さ91cm、幅61cm、長さ364cm、「小鳥原」は高さ60cm、幅55cm、長さ485cmで、容積にして「靖國鑑」の方が「小鳥原」より約1.3倍大きい。
- (5) 本床と小舟の下構造は、両者ともに最上部と最下部は粘土で築かれ、最下部に排水溝が設けられている。中間部はともに石質層となっているが、「小鳥原」は「石片」と「石材」を用いて一層で築いているのに対し、「靖國鑑」の方は、上から「砂利」「坊子石」「荒砂」と三層に築き、また荒砂の左右の脇には排水用の松の丸太が設置されていて「靖國鑑」の方が「小鳥原」より複雑に築かれている。上部粘土層の下は「靖國鑑」が「木炭」を敷き詰めているのに対し、「小鳥原」は「小石」または「柄実」（からみ＝ノロ）を用いている。

以上、「靖國鑑」と「小鳥原」の炉床との比較をおこなったが、その内容は基本的に殆ど同じであり、この構築技法は、明治時代の「小鳥原」、昭和初期の「靖國鑑」、そして現在の「日刀保たたら」に引き継がれていることがわかった。なお、炉床の面積、深さ、小舟における法量、石質層の組み方など各部にみられるいくつかの相違は、その「たたら」が築かれる地質的条件（地下の水分の含有量等）からくる差異である。

3.4 たたら製鉄用具類の復元

3.4.1 各種用具類とその特徴

たたら操業は、築炉等準備作業に3日間、砂鉄と木炭の装荷に3日間、鋸出しに1日、合計7日間を要し、その後、選鋼（鋼造り＝かねづくり）の作業へと進む。この間に用いられる用具類はざっと90種目、合計200点近くにも及ぶ。これらの用具類は、安部村下、久村村下を始めとする有識者の監修指導のもとに製作、あるいは調達されたもので、用具

類の一つ一つに先人達の創意と工夫が感じとられる。

用具類のうち操業関係のものをみると、製作に用いられる材料は、①木材、②木材と鉄材を併用したもの、③鉄材とにはほぼ分類でき、中でも木製のものが多くみられる。これは、一見火と木の関係に不調和を覚えるかもしれないが、極めて合理的な選択であるといえる。

よくたたら操業中に見学者達から、なぜ木製の道具が多いのかと質問を受けることがある。その回答として、金属製であれば耐火性はあっても反面熱伝導が容易であるため、長時間の作業には不向きであること、70時間の操業はかなりの重労働で、体力の消耗が激しいため、なるべく体に負担のかからない軽いものが用いられることなどと説明することによってほぼ理解される。

木の種類は、令法（りょうぶ）、百日紅（ひゃくじっこう=さるすべり）、松、辛夷（こぶし）、槇、檜、栗、杉、朴（ほう）など豊富で、それぞれの用途にしたがって使い分けられている。たとえば、砂鉄を装入するとき用いる種鋤（たねすき）は、軽量で丈夫なものが要求されるため、柄には朴が用いられ、頭部には磨耗の少ない強度な松材、とくに赤みのあるものが使用されている。また下灰（したはい）に用いる長い棒状の「しなえ」と呼ばれる道具には、令法や百日紅が用いられるが、これらの材質は成長がよく、粘りがあり槇には割れにくく持続性があること、辛夷には軽くて手触りがよいなどの特性が認められている。これらの木材は、現地に自生するが、なかでもさるすべり、りょうぶ、こぶしについては最近適当なものが少なくなり、山林を広範囲に探索しないと、なかなか容易に得ることができないと聞く。

もちろん木は火に弱いことは間違いない。しかし、そこには長年に培われてきた経験と勘によって火に負けないよう合理的に使用されている。

たたら製鉄用具類の収蔵について有名な施設に、島根県安来市の和鋼博物館がある。ここには「日刀保たたら」の前身である「靖國鑪」時代に使用された製鉄用具類の殆どが、ほぼ完璧な形で保存されている。「日刀保たたら」の製鉄用具類の復元はこの和鋼博物館のそれがモデルとなったと言えるが、今日現在同博物館においてもこれらの用具類の調査が開始されていない。しかし今述べたように、「日刀保たたら」の製鉄用具類が「靖國鑪」時代のそれがモデルとなった事実からすれば、「日刀保たたら」の製鉄用具類の研究が即「靖國鑪」の製鉄用具類の研究に直結するものと判断されるべきもので、ここに当該研究の一つの意義がある。それからもう一つは、過去の単なる遺産としての用具類の研究では

なく、現実に稼働している用具類を取り上げての研究であるところにも、過去に類例のないことといってよい。過去の文献で用具類について比較的詳しく述べているものとしては「俵本」がある。これは明治時代の伯耆国の「砥波鑪」の主要用具の殆どを絵図で示し、法量を加えたものとなっている。また、その他としては、「鉄山必用記事」（以下鉄山秘書という²⁾）、「芸州加計隅谷鉄山絵巻」³⁾「鉄山記」⁴⁾ などがあるが、これらは用具類全てを網羅し、材質、法量、使用法などについて、完全な形で紹介されたものとはなっていない。本論文においてはこれをほぼ完璧に調査したもので、これについては別冊資料集「3」に「各種用具類とその特徴」として示した。

3. 4. 2 「砥波鑪」の用具類と「日刀保たたら」の用具類との比較

今述べたように、復元された「日刀保たたら」の用具類については別冊資料集に示したが、ここでは前出の伯耆国「砥波鑪」に所載する用具類と、「日刀保たたら」で現在用いられている用具類について比較調査をおこない、これによって両者の製鉄技術の相違がどこにあるのか、またどのように変化してきたかについて考察する。調査の方法は、主要用具のうち①「砥波鑪」に所載するが、「日刀保たたら」では使用されていないもの。②「日刀保たたら」では使用されているが、「砥波鑪」には所載されていないものについて比較をおこなった。「表3-2」はこの調査の結果であり、これによってわかったことを以下に示す。

表3-2 砥波鑪と日刀保たたらにおける主要用具類の比較

炉名 \ 用具名	金池カギ	熊 手	小鉄スキ	初差	竹ベラ
砥 波 鑪	○	○	○	○	△
日刀保たたら	△	△	△	△	○

* 「○印」は使われているもの。「△印」は使われていないもの。

(1) 金池カギ

これは、「砥波鑪」で用いられているが、「日刀保たたら」では用いられていない。金池（かないけ）とは、鋳を水冷するための池のことで、「金池カギ」は、金池へ沈んだ鋳を引き出すときに用いられる用具である。「俵本」第3章「製錬場の諸設備」に、砥波鑪の配置図があり、「銅小屋」・「銅選り場」のすぐ横に「池」があり、同本はこれを「銅

塊冷却池」と説明している。従って「砥波鑪」では、鋸を冷やす方法として「水冷」が用いられたことがわかる。これに対して、「靖國鑪」と「日刀保たたら」では「空冷」が用いられていることから、この用具「金池カギ」は不要であり、存在しない。（金池カギの法量：柄の長さ1,818mm・頭部の長さ455mm・頭部の高さ121mm）

（2）熊手

「熊手」は「日刀保たたら」にも存在するが、ここでいう熊手とは、「倭本」の説明によると、「スラグ中ノ金を掘り□ム」とあり、一字判読不明の所があるが、その意味としては、スラグ（ノロ）の中の未還元鉄を採取するのに用いられた用具と考える。となればこの熊手は「日刀保たたら」には存在せず、またこれに変わるものも存在しない。（熊手の法量：柄の長さ900mm・頭部の高さ155mm）

（3）小鉄スキ

「小鉄スキ」（こがねすき）は、「倭本」の説明によると、「小鉄ヲカキヨス」とある。つまり、砂鉄置場などで砂鉄を掻き寄せるときに用いられた用具と思われ、「日刀保たたら」ではこれは存在しない。しかし「日刀保たたら」においては鉄などがこれに代わって用いられている。（小鉄スキの法量：柄の長さ1,515mm・頭部の長さ455mm・頭部の幅212mm）

（4）初差

「初差」（はつざし）とは、「ホド穴」を明けるときに用いられる用具の一つである。「日刀保たたら」の場合は、「追い出し」「吹ききり」「しらべざし」の三本の保土差（ほどざし）が用いられているが「砥波鑪」では、「初差」「木呂差」（きろざし・日刀保たたらでいう追い出し）、「吹きり」「シラベ」と言ったように、4本の保土差が用いられている。初差は文字通り、ホド穴を明けるとき、目見当のため最初に用いる用具で、形状としては日刀保たたらの「しらべざし」とほぼ同様なものである。（別冊資料集3を参照）この用具が「靖國鑪」「日刀保たたら」で用いられていないことをみれば、「砥波鑪」でのみ用いられたものか、あるいは滅んだ用具である。

（5）竹べら

「竹べら」は「日刀保たたら」では存在するが、「砥波鑪」には所載がない。竹べらは長さ480mm・頭部の長さ40mm・頭部の幅12mmと言った単純な用具ではあるが、これは鋸の成長（厚みを増す）にともない、「ホド穴」の角度や大きさを粘土を用いて補

修する極めて重要な用具である。（別冊資料集3およびp.81を参照）この作業のことを「磨り上げ」というが、この作業について「倭本」に記載が全くないことを見れば、「砥波鑑」にあっては秘技として公開されなかったものか、あるいはこの技術が存在しなかったものである。

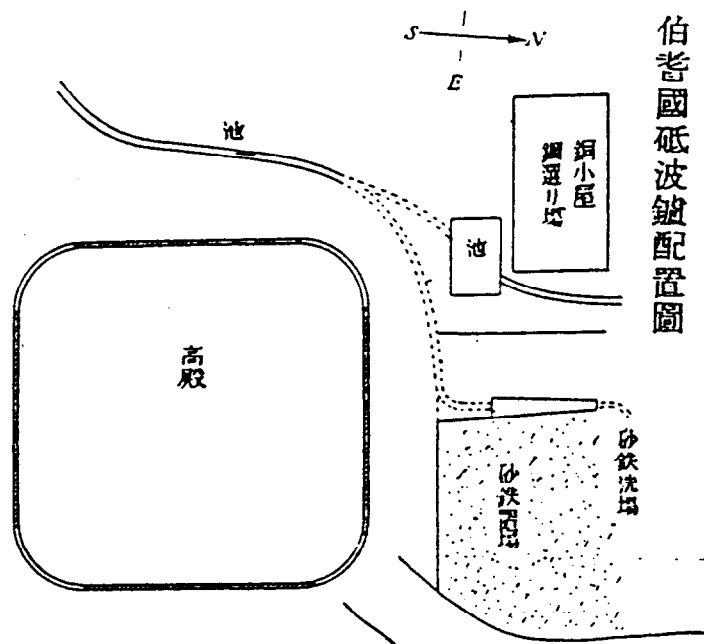


図3-4
伯耆國砥波鑑配置図

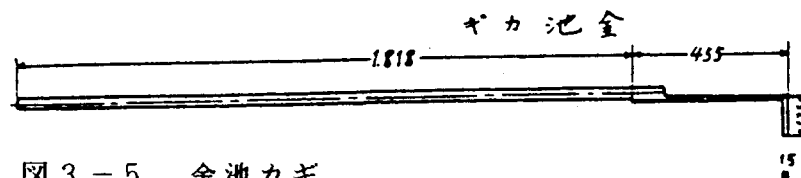


図3-5 金池カギ

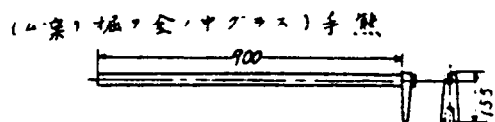


図3-6 熊手

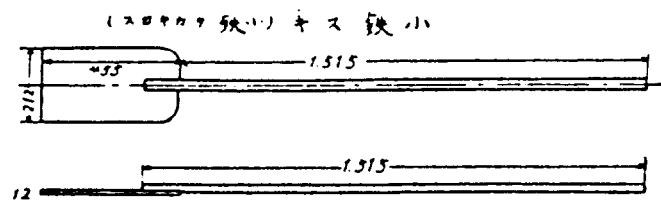
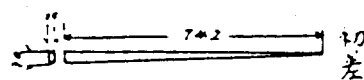


図3-7 小鉄スキ

図3-8 初差



3. 5 砂鉄

たたら操業に砂鉄は不可欠で、しかも優秀なものが要求される。本協会は「日刀保たたら」を開設するにあたり、日立金属御安来工場とその採取場所について協議をしたところ、島根県仁多郡横田町竹崎羽内谷（はないだに）に鉱区を設定することとした。

ここは同社の関連会社である御島上木炭鉄工場（現在の(株)ワイエスエス島上木炭鉄工場）が長年にわたり採取してきている所で、ここは島根県の東南、鳥取県と広島県の県境近くに位置し、標高約600mの山稜地帯で、砂鉄原鉱の埋蔵する地質は今からおよそ1億年前の中世代白亜紀といい、黒雲母花崗閃緑岩、半花崗岩などで構成されていて、ここから採取される砂鉄は酸性で、真砂砂鉄⁵⁾と呼ばれ、その品質には定評があり当地の特産物でもある。

周知の通り、砂鉄には山から採取される「山砂鉄」、河川から採取される「川砂鉄」、海浜から採取される「浜砂鉄」（海砂鉄ともいう）の三つに分類されるが、「日刀保たたら」の場合は「靖國鑑」時代同様、山砂鉄を使用することとした。その理由は、川砂鉄、浜砂鉄の場合は、性質の著しく異なる粒子の混合体で、とくに浜砂鉄は、火山石系のチタン酸を多量に含むことが多く、これは日刀保たたらのような大型炉で、しかも長時間を要する操業には不向きと考えられたことによる。なお、砂鉄の採取方法は後で述べるが、これには後述する「鉄穴流し法（かんながしほう）」ではなく、磁力選鉱が採用され、ここから年間7回の操業に必要となる砂鉄、精鉱にして60トンを採取することが計画された。

3. 5. 1 日刀保羽内谷鉱山の開設

本協会は、前述の通り砂鉄を確保するため、横田町竹崎羽内谷に鉱区を設け、粗鉱権を設定し、「日刀保羽内谷鉱山」として開設した。鉱区は2,027アール(202,700㎡)で、この中に500アール(50,000㎡)の粗鉱権を設定し、選鉱場(89.81㎡)、スライム堆積場(面積11,649㎡、容積17,983m³)、砂骨置場(2,500㎡)、貯水池(1,300m³)などを新設した。工事は昭和52年5月26日に着工し、同年10月10日に完了することとなった。

そして、これらの施設のうち、最も労力を要したのが、スライム堆積場と鉱山運搬路施設工事であった。スライム堆積場とは、砂鉄を採取した後の残土を堆積させる場所のことで、これは前述の通りの面積と容積を切り開く工事であるが、これには全面積に自生する

20年から30年生の雑木の伐採から始まり、14,800m³のブル掘削押土、同じく14,800m³の築堤締固、4,015m³の残土処理、3,600m²の築堤芝張、排水設備などの工事がおこなわれることとなった。(写真3-6)

鉾山運搬路施設工事は、幅5m、延長865mの道路を切り開こうとするもので、ここでもやはり7,200m²にわたる20年から30年生の雑木の伐採から始まり、8,627m³のブル掘削押土、1,285m²の芝張、その他路盤碎石施設などの工事がおこなわれることとなった。これらの施設工事は、それほど大規模というほどのものではなかった。しかし、これにはかなりの労力を要することとなった。それは、当地は風化の進んだ花崗岩地帯であることから土砂が弱く作業に手間がかなりかかったことによる。これは予想されていたこととはいえ、その規模のわりには大工事であったといえる。

このような事情から、工事は最初昭和52年5月15日に着手し、同年7月31日に終了する予定であったが、結果として昭和52年5月26日に着手し、同年10月8日に終了し、かろうじて昭和52年11月8日の第一回たたら操業に間に合うこととなった。

なお、法律における砂鉄採取上の権利については、鉾業権ではなく、粗鉾権をもって設定することとした。粗鉾権とは、鉾業法によって創設された権利であって、これは他人の鉾区において、鉾業権の目的となっている鉾物を採掘し、またそれを取得する権利をいうが、本協会は鉾山を所有していないことから鉾業権取得は不可能であり、このことから前出の御島上木炭鉄工場より土地を借用し、粗鉾権によって砂鉄を確保することとなった。

3.5.2 砂鉄の採取方法

砂鉄採取の方法は前にも述べたように、磁力選鉾方式が用いられることになったが、かつては、「鉄穴流し」という方法で採取された。鉄穴流しとは、いわゆる水洗比重選鉾法で、砂鉄が含有する山を崩し、長い水路を設けて土砂を流し、この流れる過程で砂鉄分を沈殿させて採取する方法である。具体的には、まず砂鉄の含んだ山に一定の場所(鉄穴場という)を設け、鶴嘴などを用いて山崖を崩すことから始まる。そして崩れ落ちた土砂は「走り」という水路に流され、この過程で比重の高い砂鉄は徐々に水路の底へ溜り、軽い土砂はそのまま流され、最終的には河川などに放流されることとなる。(写真3-7)

これにより、砂鉄分は最終的には走りの先に設けられた「下場(したば)」を経過し「樋(ひ)」へと集められる。下場は、「山池(やまいけ)」「大池(おおいけ)」「中池(なかいけ)」「乙池(おといけ)」の順からなり、それぞれに傾斜がつけられていて、ここ

が最終的な選鉱場となる。しかし、この古い伝統をもつ鉄穴流しも、昭和47年3月に水質汚濁防止法の制定により廃止されることとなった。それは鉄穴流しによって土砂が河川に流され、農業用水や農作物等に対する影響が増し、さらには河床が土砂の堆積によって浅くなり、洪水などの被害が考えられるようになったからである。

島根県能義郡広瀬町に富田川（とだがわ）が流れている。広瀬町は戦国時代、中国地方に勢力を誇示した尼子氏の居城である富田城があったところで知られる。寛文6年（1666）この富田川は大氾濫をおこし、富田城下は一夜にして土砂に埋まり、殆ど壊滅状態になったという。もちろんこの原因は鉄穴流しによって流れてきた土砂が、富田川の河床を高くしたことに由来のもので、地元ではこのような事情の川であることから、富田川のことを天井川とも別称している。

本協会も、たたら製鉄を復元するにあたり、なんとか古式の砂鉄採取法である鉄穴流しの復興を試験研究的にでもはかれないであろうか努力したが、厚い法律の壁は到底のりこえることができず、やむなく磁力選鉱法を採用することとなった。そしてこの磁力選鉱法であるが、これはまず、鉱床に切羽（せっぱ）を設置し、長さ30～50m、奥行10～20m、高さ1～5mを単位として、ブルドーザー、ショベルカーで採取する。そして、採掘粗鉱はサンドポンプで選鉱場へ流送され、磁力選鉱機で磁選し、さらにベルトコンベアーに載せられ、比重選鉱され、精鉱として採取される。（写真3-8）

3.5.3 砂鉄の性状

羽内谷鉱山は前にも述べたように花崗岩類で、とくに黒雲母花崗閃緑岩、半花崗岩などで構成されている。このうち鉱床は山頂部のとくに風化の進んだ黒雲母花崗岩、あるいは花崗閃緑岩を母岩として、岩石の成分鉱物である磁鉄鉱（ Fe_3O_4 ）の微粒（ $\pm 50\text{ mesh}$ ）を胚胎する。本鉱は表土下30cmないし60cm下から深部へ10mないし50mへかけてほぼ完全に風化しており、原岩石中の砂鉄の含有量は2～5%、最も少ないところは1%を含有する。

このように含有量から見た場合は数値はかなり低いですが、内容的には、①鉄類にとって有害である、P・S・Cuなどの濃度が極めて低いこと、②大型炉によるたたら製錬において障害となる TiO_2 などの濃度がまた極めて低いこと、③粒形にあまりバラツキがなく、溶解性、還元性が大変優れていて、たたら製鉄にむいていることなどがあげられる。

なお、「俵本」は第2章の「砂鉄採掘及選鉱法」の段で、「原岩石中砂鉄粒の含有量は

極めて微量なるものにして凡そ真砂土に於ては 0.5%、赤目土に於ては 3% を普通とす」と述べているが、「日刀保羽内谷鉱山」の場合は 3.46% で、前者に比べてかなり含有量の多いことがわかる。また同書は同段で、「而して概ね純花崗岩中には粗粒なる磁鐵礦を含むことおおく、之より得たる砂鐵には粗粒の珪石を混じ他物を含むこと少なし所謂真砂小鐵と稱し銅の原料に使用するものとす。」とあり、ここで注目されることは、珪石を含む砂鐵であるということである。これについて「鉄山秘書」は「鐵砂并鐵穴之事」の段で、砂鐵の色は浅黄がよいことを述べているが、これは砂鐵の基質の色ではなく、砂鐵に付着した土の色と判断され、これは土に含有する SiO_2 からくる色合と考えられる。そして、この SiO_2 の効用については第 8 章で述べることにするが、最大の効果は造滓と A 系介在物の発生にある。

3. 5. 4 靖國鑛と日刀保たたら砂鐵における性状の比較

「靖國鑛」と「日刀保たたら」の砂鐵は、ともに島根県仁多郡横田町内から採取された「真砂砂鐵」が用いられている。ここでは、同じ横田町内で採取された真砂砂鐵であっても、靖國鑛時代に用いられたものと、日刀保たたらで現在用いられているものにおいて性状に相違があるのかどうか、このことについて比較調査を行った。表 3-3 は、靖國鑛の真砂砂鐵と、日刀保たたらの真砂砂鐵の成分分析比較を示したもので、表 3-4 は、全鉄分に対し、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{V}_2\text{O}_5$ がどの程度含有するかを調べたものである。結果は以下の通りである。

- (1) $\text{T. Fe} \cdot \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ の含有量は、靖國鑛より日刀保たたらの方が高く検出している。
- (2) $\text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnO}$ の含有量は、靖國鑛より日刀保たたらの方が低く検出されている。
- (3) CaO は靖國鑛より日刀保たたらの方が高く検出されている。 V_2O_5 は日刀保たたらの方が若干高く検出されているが、殆ど変わりはない。
- (4) P と S については、両者殆ど変わりはない。

以上の結果において生じた差異について考察する。前述の通り、靖國鑛と日刀保たたらにおいては、同じ横田町内で採取された真砂砂鐵が使用されているが、比較の結果、日刀保たたらの方が靖國鑛より鉄系元素は高く、他は多くが低い数値を示していることが明確となった。その原因は砂鐵採取法の相違、即ち、靖國鑛時代には「鉄穴流し法」が用いら

れたが、現在の日刀保たたらにおいては、「磁力選鉱法」が用いられていることによるものである。なお、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 濃度の低い磁力選鉱砂鉄の場合は、鉄穴流しによって得られた砂鉄よりノロの生成量が劣るものと考えられるが、靖國鑪の出滓量の記録がないことから、この比較については留保する。

表3-5に靖國鑪と日刀保たたらにおける真砂砂鉄の酸化度の比較を示した。その結果、靖國鑪は2.79、日刀保たたらは2.64で、前者の方が0.15上回っている（酸化が進んでいる）ことがわかったが、このことについては第5章で詳しく述べる。

表3-3 靖國鑪真砂砂鉄と日刀保たたら真砂砂鉄の成分分析比較

重量 %

炉 別	資料No	T. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	V ₂ O ₅	P	S
靖國鑪	1	58.13	21.20	60.46	7.90	2.24	3.86	0.48	0.70		0.29	0.077	0.020
	2	59.86	22.85	62.45	7.45	1.67	2.87	0.32	0.42		0.27	0.062	0.016
	平 均	59.00	22.03	61.46	7.68	1.96	3.37	0.40	0.56		0.28	0.070	0.018
日刀保 たたら	3	60.43	22.03	61.90	7.68	0.93	2.38	0.27	0.90	0.37	0.30	0.080	0.021
	4	61.50	24.66	62.51	5.40	0.69	1.70	0.26	0.86	0.31	0.36	0.071	0.032
	5	63.00	24.37	62.99	5.84	0.67	1.80	0.26	0.83	0.32	0.34	0.068	0.030
	平 均	61.64	23.69	62.47	6.31	0.76	1.96	0.26	0.86	0.33	0.33	0.073	0.028

表3-4 全鉄分に対する各元素のパーセンテージの比較

単位：%

炉 別	T. Fe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	V ₂ O ₅
靖國鑪	59.00	13.0	3.32	5.71	0.68	0.95	0.47
日刀保たたら	61.64	10.24	1.23	3.18	0.42	1.40	0.54

表3-5 酸化度の比較 重量 %

炉 別	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
			FeO
靖國鑪	22.03	61.46	2.79
日刀保たたら	23.69	62.47	2.64

3. 6 たたら炭

たたら操業の燃料には後で述べるが、「たたら炭」と呼ばれる特殊な木炭が用いられる。たたら操業には大量の木炭が用いられるが、それにはその元となる山林資源が豊富でなければならない。その意味で島根県は山林の占める割合が、79%を示して、また横田町となると85%を山林原野が占め、まさにたたら製鉄には格好の地といえる。

横田町の東方と鳥取県境に標高1,143mの船通山（せんつうざん）がそびえ立つ。古くはこの山は鳥上山（とりかみやま）と呼ばれ、伝説によると素戔鳴尊が天からこの山へ下り「天の叢雲剣（あめのむらくものつるぎ）」を得たといわれ、記念碑が建立されている。山の中腹に高さ約20mの鳥上山滝が流れている。この滝は斐伊川（ひいがわ）の源流で、この天の恵は横田盆地を潤し、また山林資源を豊富にしている大きな要因となっている。

出雲の大鉄山師（てつざんし）といわれるものに田部家（たなべけ）⁷⁾（飯石郡吉田村）、桜井家⁸⁾（仁多郡仁多町）、林原家⁹⁾（仁多郡雨川）、卜蔵家（ぼくらけ）¹⁰⁾（仁多郡横田町）などがあるが、これらは、いずれも大規模な山林を有し、田部家は24,000ヘクタール、桜井家は5,000ヘクタール、林原家は4,500ヘクタールを有する大山林地主であった。

とくに仁多地区は土地が肥え、仁多郡の名の起こりは「にたしき」、すなわち「肥沃（ひよく）」からきているというが、豊富な山林資源をみると納得されるものである。

とにかくここは船通山という素晴らしい天のいただきがあったればこそ、古くからたたらが盛んにおこなわれてきたと言える。船通山及びその近隣の山々にはクヌギ、サワグルミ、ミズナラ、クリ、ホウ、ケヤキなどが自生し、木炭の原料となり、とくにたたら炭にはクヌギ系のものが多く用いられてきた。

かつてはこの仁多地区、横田町内にはかなり多くの製炭者がいたはずであるが、「日刀保たたら」開設時には、このたたら炭を焼く者はめっきり減っていた。そこで本協会は、広島県庄原市の友川壽（以下友川氏という）の経営する製炭所（鳥取県日南町阿毘縁・あびれ）で製炭してもらうこととした。なお製炭量は一代に約13トンが想定され、これにもとづいた生産計画がたてられた。

3. 6. 1 たたら炭の造り方

木炭は製精錬の燃料としてみた場合、たたら用の製錬炭は大炭と呼ばれ、鍛錬用の精錬

炭は小炭と呼ばれて区別されるが、かつてはどの種類の炭であっても日本中どこでも焼かれていた。しかし「日刀保たたら」開設時にあっては、すでにたたら炭は全国的にみても、ほぼ友川氏の会社がその技術を保有するのみといった状態にあり、同氏への協力が強く求められたものである。同氏は大正4年3月5日生まれ。成人してから木炭生産に自ら従事したが、のち会社を興し材木業も営んだが、昭和30年頃より、当時の日立金属御安来工場鳥上分工場へ製鉄用木炭の納入を開始し、以来昭和40年8月末日をもって同工場が木炭銑の生産を停止するまで供給を続けた人物である。

幸い昭和53年の夏、阿毘縁で友川氏の製炭所を見学し、従事者（山子・やまこ）である高木広一氏に話を聞くことができたので、その内容を次に示す。

まず炭焼きをおこなうのに相応しい場所、たとえば素材である木材に恵まれ、運搬等に便利なところを選び、そこに約幅9尺から10尺（2,700～3,000mm）奥行11尺から13尺（3,300～3,900mm）、深さ1尺4、5寸（420～450mm）の穴を掘る。そしてその底には水捌けのため、丸太、竹、あるいは笹などを1～2寸（30～60mm）の高さに敷き詰め、その上に粘土を5～7寸（150～210mm）の厚さに置く。次にこの穴の周囲にそって石垣や粘土を用いて、高さ4尺（1,200mm）くらいの壁を築くが、このときどちらかの側は原木あるいは出来上がった木炭の搬入搬出口として開けておき、正面壁には2尺（600mm）四方ほどの焚口を、そして天井には三つの煙突を設ける。窯が完成すると搬入口から木炭となる原木約10トン縦に並べ、これが終わると搬入口は粘土で塞がれる。いよいよ炭焼きの段になると、焚口から着火し、初めは乾燥焼きをし、本焼きへ移り、やがて一週間ほど経つと火を止め、焚口を粘土で塞ぎ、4～5日経つと、約2トンのたたら炭が製産されるという。（写真3-9）

なおこの間、煙の色は、初めは黒茶色で、それが白色、青色、無色へと変化するが、この推移を見定めることが炭焼きのコツであるという。

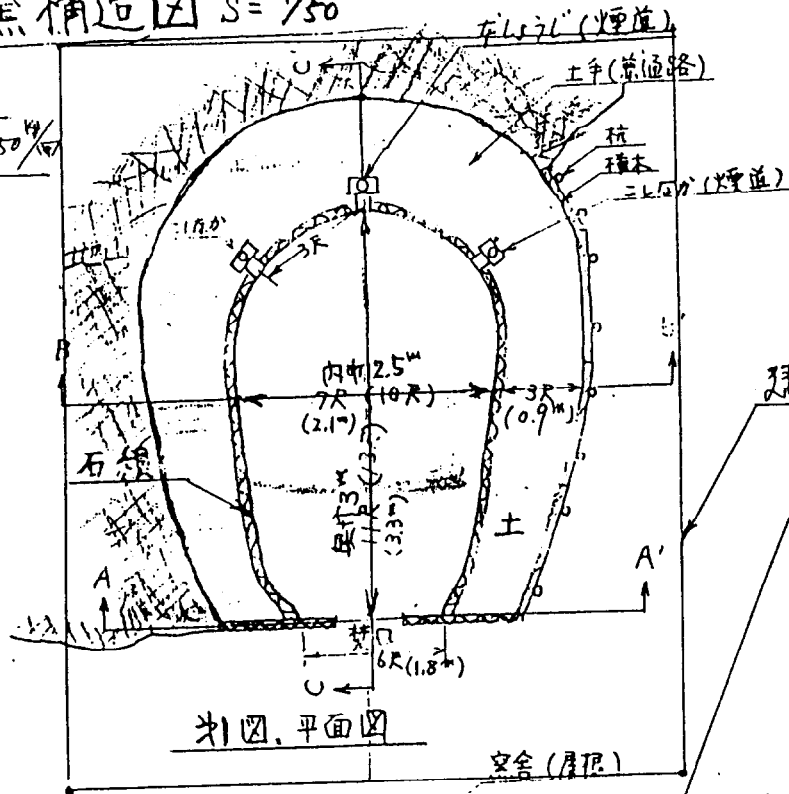
なお、図3-9は、友川氏がたたらの養成員のため、平成3年「日刀保たたら」敷地内に設置した炭焼窯を、「日刀保たたら」の村下である木原明氏（選定保存技術者）が、スケッチしたもので、参考に供する。

3.6.2 たたら炭のたたら製鉄に及ぼす効用

たたら炭とはどのような性状を持ち、たたら製鉄においてどのような効用があるのか、これらについて過去研究されたものがない。ここでは、たたら炭の効用について考察する。

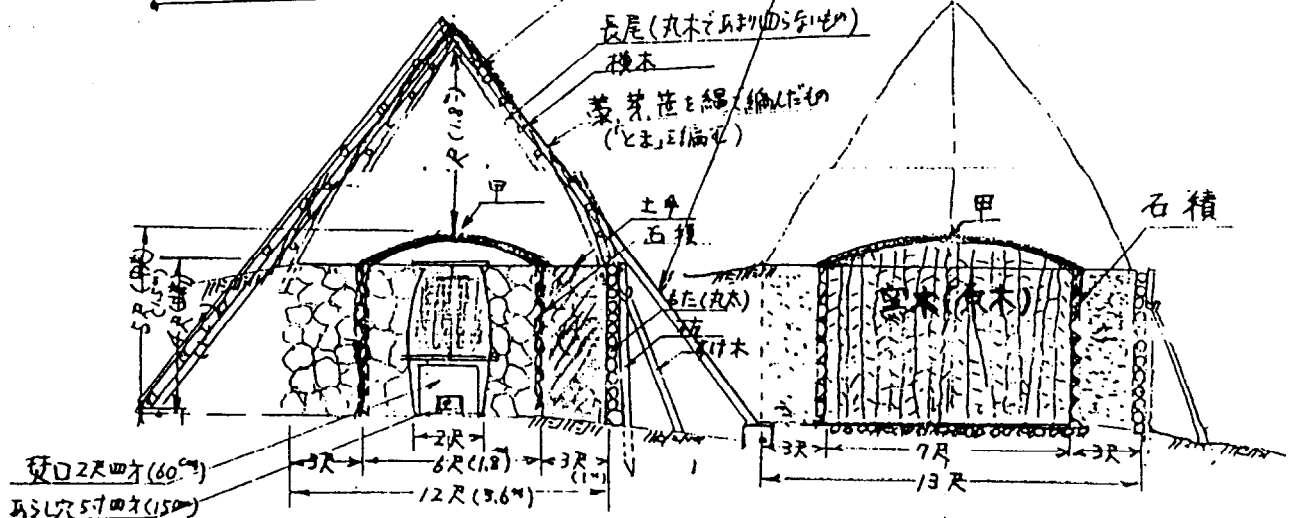
炭窯構造図 $S=1/50$

窯の寸法
 $30\text{尺} \times 15\text{尺} = 450\text{坪}$



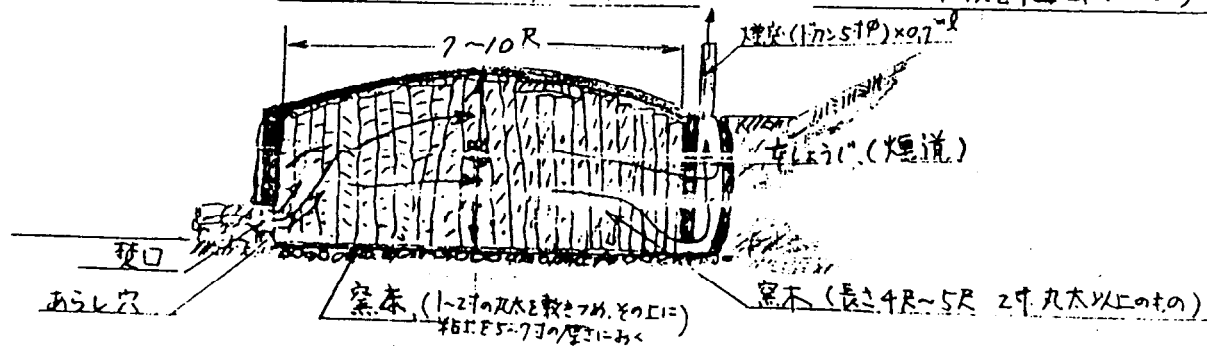
※1図 平面図

建屋 $6\text{尺} \times 6\text{尺} = 36\text{坪}$
 鉄骨波板19張り



※2図 正面図(A-A)

※3図 横断面図(B-B')



※4図 縦断面図(C-C')

図3-9 木原明氏による炭焼窯スケッチ

考察の方法は、鍛錬用・工業用木炭との成分比較をもっておこなう。表3-6にそれぞれの分析値を示した。なお、たたら炭は、昭和52年、日刀保たたら開設以来、前出の友川氏の製炭所で焼かれたもので、鍛錬用木炭は岩手県産で、殆どの刀匠がこの炭を用いて作刀している。工業用は雑木と檜であるが原木の産地は不明である。

- (1) 水分は、たたら用は工業用に比べてやや多いが大差はない。鍛錬用だけが目立って少なく、これは、たたら用の約半分である。
- (2) 揮発分は、たたら用が最も多く、次が工業用で、最も少ないのが鍛錬用である。
- (3) 固定炭素は、鍛錬用が最も多く、次が工業用で、最も少ないのがたたら用である。
- (4) 灰分は、工業用が最も多く、以下、たたら用、鍛錬用の順になるが、灰分はもともと全体的に少ないことから、それほどの大差はない。

以上の結果について、次の通り考察する。たたら用は全体の中で最も固定炭素が少なく、揮発分は逆に最も多いことがわかった。たたら用の場合、固定炭素が少ないのは、たたら炭は、他の木炭の製法とは異なり、あまり炭化しないように製炭するところにある。その理由は、炉内へくべられた砂鉄は約1,200 mmの高さの炉頂から順調の場合約90分かかってホド穴の先端にまで到達するが、それには炉内で順調に燃焼して降下する木炭が求められることとなる。その点一般の木炭は固定炭素が多く、燃焼と降下に時間がかかるが、半燃焼状態とした、つまり固定炭素の少ないものは燃焼と降下時間がほどよいことから、このような木炭が求められ、ここにたたら炭の性状と効用があるものと考えられる。

安部村下は、「たたら炭は普通のものと違って完全に炭化していないものがよい。普通のものを使うと炉がすくむ」と述べたことがあるが、「すくむ」とは木炭がうまく降下しない様子をこのように表現したものである。

なお、たたら炭の揮発分が多いことも指摘したが、揮発分は表3-6でもわかるように固定炭素が少ないほど多くなることがわかるが、これはとくにたたら炭の効用との相関はない。

表3-6 各種木炭の成分分析比較表

単位 %

炭 別	材 質	水 分	揮発分	固定炭素	灰 分
たたら用	クヌギ・他	6.60	25.88	66.31	1.12
鍛錬用	松	3.36	11.76	83.87	1.01
工業用	雑木	5.49	19.64	72.96	1.91
工業用	檜	5.47	14.55	78.43	1.55

3. 7 釜土

釜土（かまつち）とは、たたら炉を築くための土、すなわち粘土をいう。粘土とは岩石が極めて微細に風化した状態のものを総称していい、普通直径 256分の1mm以下、または500分の1mm以下のものをいい、水を含むと粘性が生じるところに特徴がある。主に、Si・Al・Fe・Mg・アルカリ金属・アルカリ土金属・水分などからなるもので、粘性があることから「先ネバ」あるいは「ネバツチ」とも呼ばれている。

たたら製鉄の基本的素材には、原料である砂鉄、燃料である木炭、たたら炉を築くための土があり、三者のすべてが重要な役割をもっているが、たたら製鉄にあつて、土の果たす役割は大きいといわれている。そしてその理由は、装入された砂鉄が、熔融鉄酸化物と反応して混合熔融した鉾滓（ノロ）をつくることにありといわれている。

つまり、ごく簡単にいえば、砂鉄が木炭によって溶かされ、その砂鉄が炉壁である土を消化剤として侵蝕しながら不純物（ノロ）を排出し、立派な鉄鋼（鉾）に成長することとなるが、この過程で消化剤としての役目をもつのが土であり、その品質の良否が鉾の成長に大きく影響することとなる。

それでは、どのような土がよいかということになるが、これについては安部村下は次のように述べている。

- （1）築炉に必要な適度な粘性があること。
- （2）三昼夜（72時間）の操業に耐えられる適度な耐火性があること。
- （3）鉾の育成を助長するため、適度な浸蝕性をもつこと。

釜土には以上のような条件が求められ、このようなことから、「日刀保たたら」の開設にあたっては、「靖國鑑」時代に使用した実例のある場所を調査し、その結果、仁多郡横田町須山（すやま）から産出する「須山土」と、同じく横田町竹崎羽内谷から産出する真砂土（まさつち）を用いることとし、これを2対1の割合で混練して使用することとした。なお、須山は日刀保たたらより南方約100m、羽内谷は前述の砂鉄採取場で、東方やや北寄り約8,000mのところに位置する。

3. 7. 1 釜土の採取方法

釜土の採取法は、鍬やスコップなどを主な用具として使用し、山を掘削して集めるといったもので、取り立てて技術的に難しいといったことはないが、どのような状態のものがよしとされるかが問題とされる。これについては次で述べるが、ここではどのような点に

ついて注意をはらって採取するか、このことについて安部村下より聞き及んだことを記す。

(1) 表面に露出したものよりも、深く掘って得られたものの方が、適度な粘りがある
優秀である(これを先ネバ、またはネバ土という)。

(2) 採掘中にベトついて、鉄などにつくようなものはよくない。

(3) その場で数回素足で踏んでみて、適度な粘りのでるものを採る。

(4) 黒土、これはオンジャク¹²⁾(粉のような柔らかい土)といい、ボロつき粘りが
ないので、このようなところは採らない。

(5) 操業中水気を含むものはよくない。

以上のように安部村下より採取にあたっての指示がなされたが、この内容を考えると
(1)から(4)については、適度な粘性が求められたもので、これは築炉の技術上にお
ける効果が要求されたもの、つまり崩れずにしっかり築くことのできるものがよしとされ
たものと判断され、とくにこのうちの(1)については、「鉄山秘書」は「元釜土の見様」
の段で、「上土は用に不立也、山の底に出る物ならねは不用之、用に不立なり。」と述べ
ていて、安部村下の意見と一致している。

そして(5)については、「水気を含むものはよくない」と述べているが、これは「乾
燥しにくい土はよくない」と解釈される。これについては、第6章に播州宍粟郡千草の鉄
山に関する記事が出てくるが、その文中に「ことごとく成就したる上にて再三火を以て水
気を去る。すべて新釜¹³⁾の吹きかかりには砂鉄も焼けて炉へ納まるるなり。これはいさ
さかも水気ある時は鉄湯速く塊りて鋳鉄(鋳はナマカ子¹⁴⁾と呼ぶもの、俗に下鉄、また地鉄
という)多くできるゆえに忌むなり。」¹⁵⁾とあって、これは釜土が十分に乾燥されるよう
でないと良いものできない、といったことを意味したものと解される。なお、釜土の量
であるが、1回の操業にあたって、約4トンを想定して採取することが計画された。

3.7.2 釜土の性状

前述したように「日刀保たたら」の開設にあたっては、須山土と、羽内谷から採取され
る真砂土を2対1の割合で用いることとしたが、前者は黒雲母花崗岩、後者は花崗閃緑岩
で、これらは共に風化が進んだもので、その性状としては、水に溶けやすく、また混練に
よって適度な粘性が得られ、しかも炉がしっかりと固まってくれるなどの特性があるもの
が求められる。なお、須山土に真砂土を混ぜる理由についてであるが、これについて「鉄
山秘書」は「元釜土の見様」で、「一向ねは土の石は勿論、砂気少なき土に、性強好土有

もの也、是にはまさ砂をましへて是を用いる也」と述べている。つまり「ねは土」（粘りの強い土）は砂気が少し足りなく、性質が強い（粘りすぎる）ので、このような場合は、粘り気の少ない真砂土を加えて調合する必要があることを述べている。

表3-7に須山土と真砂土の成分分析値を示した。

表3-7 須山土・真砂土の分析値

重量 %

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	P	S	T・Fe	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$
須山土	56.20	1.60	20.86	5.17	0.93		1.38	1.11			4.34	5.56
真砂土	62.24	5.55	16.04	2.66	1.19		1.07	2.13			2.78	2.24

この比較でわかることは、両者における鉄分の酸化度（Fe₂O₃ / FeO）に相違があることである。つまり、酸化度は真砂土が2.24であるのに対して須山土は5.56という数値を示し、須山土は真砂土の2倍以上酸化が進んでいることである。土に含有する鉄分の酸化度が高いということは、土そのものの風化が進んでいるものと解してよい。風化のよ進んだ土は水に溶けやすく、混練によって粘性が生じる。しかし一方粘りすぎても後の炉崩作業に不利をもたらすことから、須山土に比べてはあまり風化の進んでいない真砂土をもって粘性の調整をおこなったものである。

なお、次に粘土の代表ともいえるべき、「カオリン」について少し述べておく。それは釜土の性状が極めてカオリンのそれによく似ていることによる。中国の江西省景德鎮（けいとくちん）は陶磁器の有名な産地として古くから知られているところである。この陶磁器に用いられる粘土は白色で、景德鎮の近くの高嶺（高陵とも書く）から採取されてきたといわれている。このカオリンについて、白水晴雄氏は同氏の著「粘土のはなし」¹⁵⁾で次のように述べている。

「この白色粘土がすぐれた陶磁器原料であることが広く知られましたので、世界各地の同じような粘土は産地名の高嶺がなまってカオリンと呼ばれるようになりました。中国や日本では高嶺土と呼ばれました。その後カオリンの主成分がシリカ（二酸化珪素SiO₂）、アルミナ（Al₂O₃）、水（H₂O）であることが明かになり、この三成分からできているカオリンは粘土のもっとも純粋なものと考えられて、鉱物名としても用いられるように

なりました」「カオリン鉱物を主成分とするカオリン粘土は、粘土の中でももっとも古くから利用されている地下資源で、用途は陶磁器、耐火物などの窯業原料になるほか……」。

これによって知れることは、カオリンの主成分が $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ということであるが、水分は別として、シリカとアルミナが築炉用粘土において主成分としてかなり高い数値で検出されていることである。そして「鉄山秘書」の「釜土見様之事」の段に、土の色の見方として、「其色青、白、黄、赤の内白色尤もよし」とあり、この色はカオリンの色と共通し、大変興味がもたれるところである。なお、「日刀保たたら」の釜土は黄色である。

3.7.3 釜土成分のノロ生成に及ぼす効用

釜土の性状の概要については今述べた通りであるが、ここでは釜土の成分がノロ（スラグ）生成に及ぼす効用について考察する。考察の方法は、代表的粘土（チャイナクレイ・天草陶石・泉山陶石）との成分比較をもっておこなう。表3-8に釜土の、表3-9に各種粘土の成分分析値を示した。結果は以下の通りである。

表3-8 釜土の成分分析値 重量 %

区 分	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	P	S	T.Fe	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$
昭和54年操業												
1代目	60.56		18.08	8.50	1.84		1.17	1.45			7.35	4.62
2代目	55.88		20.10	8.62	1.78		1.24	1.52			7.42	4.84
3代目	55.96		20.23	9.01	1.52		1.26	1.30			7.48	5.93
5代目	56.68		19.92	9.45	1.98		1.27	1.21			8.15	4.77
6代目	58.08	1.53	18.97	4.65	0.98		1.29	1.62			4.01	4.74
7代目	56.96		19.80	9.26	1.58		1.24	1.23			7.71	5.86
平均	57.35	1.53	19.52	8.25	1.61		1.25	1.39			7.02	5.13

表3-9 陶磁器用粘土原料の成分分析値 重量 %

区 分	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$
チャイナクレイ	46.8	0.03	37.90	0.55			0.25	0.10	
天草陶石	75.90	0.04	15.89	0.09	0.28	tr	0.07	0.09	0.32
泉山陶石（白色陶磁器用）	79.02	0.03	13.47	0.42	0.14	0.02	0.10	0.03	3.0
泉山陶石（釉薬用）	76.72	0.04	14.06	0.25	0.07	0.01	0.06	0.06	3.57
平均	69.61	0.035	20.33	0.33	0.16	0.015	0.12	0.07	2.30

「粘土の事典」：岩生周一ら編，朝倉書店，東京，(1985)より引用

- (1) SiO_2 濃度は釜土が57.35%であるのに対し陶磁器用は69.61%で、陶磁器用の方が釜土に比べて 1.2倍多い。
- (2) TiO_2 濃度は釜土が1.53倍であるのに対し陶磁器用は0.035%で、圧倒的に釜土の方が多い。
- (3) Al_2O_3 濃度は釜土が19.52%であるのに対し陶磁器用は20.33%で、殆ど差がない。
- (4) FeO 濃度は釜土が1.61%であるのに対し陶磁器用は0.16%、釜土の方が10.1倍多い。
- (5) Fe_2O_3 濃度は釜土が8.25%であるのに対し陶磁器用は0.33%で、釜土の方が25倍多い。
- (6) MgO 濃度は釜土が1.25%であるのに対し陶磁器用は0.12%で、釜土の方が10.4倍多い。
- (7) CaO 濃度は釜土が1.39%であるのに対し陶磁器用は0.07%で、釜土の方が19.9倍多い。
- (8) 鉄分の酸化度($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$)は釜土が5.13であるのに対し陶磁器用は2.30で釜土の方が2.2倍高い。

以上の結果について、次の通り考察する。

- (1) ノロの生成する機構には、第5章でも述べるが、砂鉄中の酸化鉄粒子が釜土に含まれる多量の SiO_2 と Al_2O_3 などと接触してシリカ飽和のファイヤライトの溶融スラグを生成する場合と、砂鉄中の酸化鉄と珪石が反応してノロを生成する場合があります。砂鉄中の酸化鉄はマグネタイトと少量のイルメナイトからなり、シリカはアルミナを含む珪石として混合していることを永田和宏が解明している。調査の結果、鉄以外の元素から見た場合は、釜土は陶磁器用粘土に比較して SiO_2 の含有量は少し少ないが、それでも60%近くを占め、 Al_2O_3 はともに約20%で殆ど差がなく、陶磁器用も一応ノロを生成する要因を含んでいることがわかる。しかし TiO_2 は、陶磁器用は釜土に比べて圧倒的に少ないことから、ノロ生成能力はやや低いものとする。なお、「鉄山秘書」は「元釜土見様」で、「水晶砂のまじる土なをよし。」と述べているが、「水晶砂」とは、珪石であることを付記する。
- (2) 鉄系の元素から見た場合は、釜土は陶磁器用に比べて、 FeO は約10倍、 Fe_2O_3 は25倍も多いことが特筆される。 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TiO_2 は、ノロの生成に大きな役割を果たしたことは今述べた。しかし60%近くの SiO_2 と20%ほどの Al_2O_3 からなる釜土が、その主成分が共に融点が高い($\text{SiO}_2 = 1,410^\circ\text{C}$ 、 $\text{TiO}_2 = 1,750^\circ\text{C}$)にもかかわらず侵蝕され、ノロが生成されることが疑問であった。調査の結果、釜土は他の粘土に比べて酸化鉄の含有量が格段と多いことがわかったが、これは炉

内で溶解された砂鉄が釜土に接した際、釜土に含まれる鉄分を溶解させることによって、炉の侵食が促進され、ここに釜土の成分のノロ生成に及ぼす効用がある。表3-10に靖国鋳時代の成分分析値を示した。この場合も日刀保たたら釜土同様、鉄分が多く含まれていることがわかった。

表3-10 靖国鋳釜土の成分分析値

						重量 %
Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	備 考
4.44	68.54	13.12		0.25	0.26	Fe ₂ O ₃ は陶磁用の13.5倍

3.8 下灰作業

たたら炉の操業にあって事実上一番最初の仕事となるのが、この下灰（したはい）と呼ばれる作業である。炉床の上部には既に灰が深く敷き詰められて基礎をなしているが、たたら炉が築かれるのに先だって、さらに下灰という作業をおこない炉床面、即ちカーボンベットの完成させる。このカーボンベットの上に直接炉が築かれるが、ここは同時に鋳が育つ場所、つまり人間でいえば胎児が育つ母胎ともいうべきところであるため、入念さが要求されると同時に忍耐と体力かものをいう仕事といわれている。この下灰の作業は、その準備作業をして灰木づくり、灰木の燃焼があり、これらを経て本格的な下灰作業へと移るが、次にその手順について述べることにする。

3.8.1 下灰の準備作業—灰木づくりと灰木の燃焼

今述べたように、たたら炉を築く前に炉床面、つまりカーボンベットをつくるために下灰という作業をおこなうが、これに先だって木材を炉床に積み上げて燃焼させる作業をおこなう。これに用いられる木材は「灰木（はいぎ）」と呼ばれ、その種類は檜が用いられている。その理由は檜は燃え残りが出るのが少なくソフトに炭化し、また自生する範囲が広く容易に入手できることなどによる。

灰木は、まず炉床面幅ほどの長さ（約 1,000mm）に切り、燃えやすくするため直径50mm以下に割り、これを交互に組み上げて燃焼させる。これに用いる灰木の総重量は約 500kgで、燃焼は1時間30分から2時間を要して煥となる。（写真3-10）

ただしこの手順は、その年の第1回目の操業に限ってであり、第2回目の操業からは少し事情が異なる。つまり1回の操業がおわると、鋳が大きく成長して炉床面が深く消耗されるため2回目の操業からは次のような手順で、準備作業と下灰作業がおこなわれる。（写

真 3 - 11)

3. 8. 2 下灰作業の工程

第 1 日目

工程 (1) 準備作業

鋳出しは通常午前 9 時 30 分に終わるが、炉床面は前述の事情で中央部は約 150mm ほど深く浸蝕された状態となっていて、また鉍滓や裏銑（うらずく）が残ることが多く、そのためこれらを除去して次の下灰作業の準備を整える（図 3 - 10 の 1 図）。

工程 (2) 第 1 回下灰作業（10 時から 10 時 30 分）

鋳出しの終えた後、炉内に残留した木炭（座り木炭という）約 350kg を利用して、これを凹んだ炉床面を埋めるようにして入れ、この上を「しなえ」という長い棒で約 15 分間叩き締める。これにより炉床の深さは約 120mm に縮まる（図 3 - 10 の 2 図）。

工程 (3) 第 2 回下灰作業（10 時 30 分から 12 時 30 分）

前工程では座り木炭を使用した but、この時には灰木約 300kg を積み上げて燃やし、前工程同様にして 15 分間ほど叩き締める。これによって炉床面の深さは約 100mm に縮まる（図 3 - 10 の 3 図）。

第 2 日目

工程 (4) 第 3 回下灰作業（8 時から 10 時 30 分）

前工程同様に灰木約 600kg を積み上げて燃やし、30 分間ほど叩き締める。これによって炉床面の深さは約 90mm に縮まる（図 3 - 10 の 4 図）。

工程 (5) 第 4 回下灰作業（10 時 30 分から 13 時）

前工程同様に灰木約 600kg を積み上げて燃やし、30 分間ほど叩き締める。これによって炉床面の深さは 70mm に縮まる（図 3 - 10 の 5 図）。

第 3 日目

工程 (6) 第 5 回最終下灰作業（8 時から 10 時 30 分）

前工程同様に灰木約 600kg を積み上げて燃やし、30 分間ほど叩き締める。これによって炉床面の深さは最終的に 50mm となる（図 3 - 10 の 6 図）。

下灰とは前述の通り炉床面にカーボンベットをつくる作業のことで、その目的は炉床を乾燥させ、保温をはかるところにある。たたら製鉄にあっては、たたら炉にしても炉床にしても湿気があると良い製品ができないことが経験によって知られていることから、この

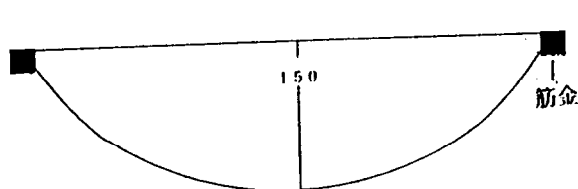


図 3-10 の 1 図

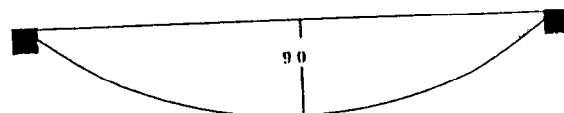


図 3-10 の 4 図

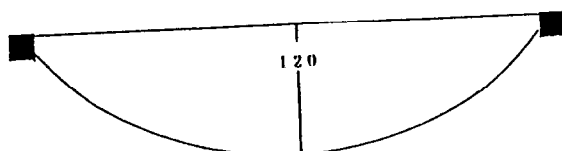


図 3-10 の 2 図

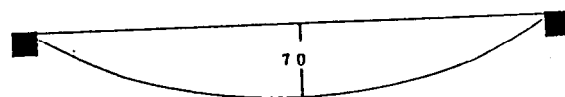


図 3-10 の 5 図

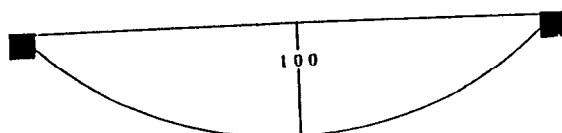


図 3-10 の 3 図

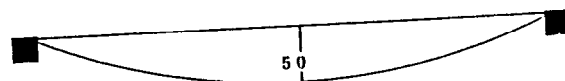


図 3-10 の 6 図

作業は極めて重要とされている。

この作業にあたっては炉床の手前側と裏側に 4 人ずつ、計 8 人が配置につき前記のしなえと呼ばれる道具を用いて交互に煖となったところを叩き締めるが、しなえは約 4 kg ほどあり、また先に行くほど太くなっているため、体のバランスを崩すことがあり、熟練を要するとともに大変な重労働となる。なおこの作業中、村下は「灰もそろ」や「灰えぶり」という用具を用いて煖を攪拌して、均等に叩き締めが行われるよう下灰作業を促し、村下の責任のもとに最終的な仕上げが行われて炉床面は完成する。(写真 3-12)

この下灰作業は、「倭本」にみる「砥波鑪」の場合と比較すると、その作業の仕方については殆ど変わりがないが、これに用いる灰木の量は、「日刀保たたら」の場合 2,450 kg (座り木炭を含む) であるのに対し、「砥波鑪」の場合は、1 回目下灰 3,750 kg、2 回目下灰 3,750 kg、3 回目下灰 4,500 kg、4 回目下灰 4,100 kg、5 回目下灰 3,000 kg、6 回目下灰 4,500 kg、計 33,600 kg となり、なんと「日刀保たたら」の 14 倍近くとなっている。

ことがわかる。ただし、これは特に手数を要した場合で、同本は「通常灰木の量3.75トン
を燃焼し之を打叩く作業を俗に一庭（い）と称し、普通の下灰造りには四庭位を打叩くもの
とす」と述べているが、それにしてもその量は約15,000kgで、この場合でも「日刀保たたら」の6倍以上の量となることがわかる。

なお、この灰木使用量の相違は、安部村下の言によれば、「下灰は多くやればやるほど
よいが、日刀保たたらの場合はそこまでやらなくても良い結果が出ている」と述べている
が、おそらくこれは、たたら場が設けられる場所の違いであると想像したい。つまり、た
たら場が設置されるには、その立地条件として次の二つが考えられる。その一つは、た
たら炉の保温と乾燥に影響が少ない場所を選ぶこと。もう一つは、水利の便がよいこと
であり、これについては「倭本」は第3章の「製鐵場の諸設備」の段で「製鐵場を選定すべき
位置は水利の便あり。殊に水力を利用して送風機などを運轉し得るを宜しとす。其他砂鐵
の精洗、熱鐵塊の冷却等に種々水を使用すること多し。」と記している。

この二つの条件は全く相反することとなっているが、保温と乾燥は人間の労力（下灰な
ど）でカバーできるが、水利という自然の条件には労力は殆ど通用しないこととなる。そ
して、この二者を選択しようとするれば、当然後者が優先することとなる。したがってこの
場合は「下灰作業」が必要なだけおこなわれることとなるが、「日刀保たたら」の場合は
それほど水による害が生じない立地にあるところに、灰木使用量の相違があるものと推考
する。現在「日刀保たたら」では、水車を用いず動力機械で轆を稼働しているが、「靖國
鎭」時代には水車が用いられていた。しかし高殿と河川の相関は、高殿は川の水面より約
4 m高い場所に築かれていて、炉床への浸水が比較的少なかったであろうと想像する。

以上、下灰作業が終わると、炉床面の深さが均等であるかどうかを計測し、この作業の
ことを「灰とり」と呼んでいる。（写真3-13）

3.9 築炉の基礎作業と手順

下灰作業が終わると築炉へと移るが、それに先だっていくつかの基礎作業がおこなわれ
る。その作業工程については順次示すこととするが、その内容は重量約4トンのたたら炉
を支えることのできる基礎固めともいうべき作業と、もう一つは炉底の中心地と出滓孔の
位置を明確に定めることにある。いわば、炉底面の配置どりともいえる作業で、それには、
①筋金（すじがね）の据え付け、②焼粘土（やきねんど）の散布、③中板（なかいた）の

設置、④はぐれの散布、⑤トモ木の据え付け、がある。

これら一連の作業は、3日目の下灰作業が終えた後、直ちに引き続いておこなわれ、概ね10分程度を要し、10時40分には全てが終了するように作業が進められる。なお、この作業にあたっては、村下以下総出でもっておこなわれる。以下、手順を示す。

3.9.1 筋金の据え付け

下灰作業が終えると、炉床の両側面にそって、筋金というものが据え付けられる。筋金とは、たたら炉を支える直接の基礎となるもので、法量 $1,200 \times 120 \times 90\text{mm}$ 、铸铁製の長い角棒状のもので、ちょうど電車のレールのような形をしている。この筋金は炉床の片面にそって2本を長く繋ぐようにして設置し、もう片面においても同様の作業をおこなう。したがって筋金は全部で4本用いられることとなる。そしてこの筋金は、グランドレベルより上に露出しないように、埋め込むようにして設置される。

なお、この筋金の使用と、その名称の起りについては定かではないが、「倭本」によれば、「伯耆国砥波鎗の築炉法」において、その使用例と名称が示されている。(写真3-14)

3.9.2 焼粘土の散布

筋金の据え付けを終えると、炉床面全体に焼粘土という粉末状の土を薄く散布する。この焼粘土は2回目の操業からは使用後の炉壁を細かく打ち砕いたものが用いられるが、この素材に用いられる炉壁は70時間の操業で焼かれた状態にあり、このようなところにこの名称の起りがある。これに用いられる焼粘土は約6kg程度で、「灰おろし」というふるいで2人がかりで散布する。灰おろしは、法量 $970 \times 415 \times 75\text{mm}$ 、金網目4mmで、当然そこに散布される焼粘土の粒形は4mm以下となる。

なお、この焼粘土は「倭本」における「砥波鎗の築炉法」において、この名称と作業のあったことが示されているが、この目的については述べられていない。おそらく、これは粘土で築かれるたたら炉が、炉床面にしっかり密着するように考え出されたものである。(写真3-15)

3.9.3 中板の設置

たたら炉は後でも述べるが、その元釜の内側の底の形は、ちょうど舟の底のように狭く築かれる。そしてこの狭まった炉底幅をきめるのに用いる用具が、この中板と呼ばれるものである。この中板は木製で、長さ $1,200\text{mm}$ 、端部 150mm 、中央部 180mm で、これを2枚用意し、炉床の中央部へ2枚を縦に繋げるようにして設置する。この中板の名称と作業方

法は「倭本」の「砥波鑪の築炉法」において示されていて、それによると、2枚の中板を置いた後、筋金の両中央部から炉床幅の中心点にかけて糸を菱形になるように張り、これによって中板が正確に位置しているかどうかを調べるが、この方法は「日刀保たたら」の場合にも同様にしておこなわれている。そしてこの中板は、元釜が築かれるとその用は終えるので取り除かれることとなる。（写真3-16）

3.9.4 はぐれの設置

中板の位置が正確に決まると、次に「はぐれ」というものを筋金と中板の間に置く。はぐれとは、建築などの時に基盤固めのために用いられる砂利や小石のようなものであるが、これは前出の焼粘土と同じように、操業2回目からは鋳出し後不要となった炉壁などが利用されてつくられる。つくり方は使用後の炉壁片を集めてきて、これを木槌などを用いて砕き、その中から大きさにして50～100mmほどのよく焼かれた部分を選び出す。よく焼かれたものを選ぶのは、粘土は焼かれると吸着水や結晶水の大部分が失われ、これによって素地は収縮し、気孔も減って強度が増すことにより、目的としての効果がよく発揮されるからである。

そしてこれを前述の通り、筋金と中板の間に置くが、その置き方は適当な間隔で両面に15～25個ずつ、計30～50個を長く連鎖するようにして置き、これによって筋金、焼粘土と共に築炉にあたっての基礎固めの作業となる。なお、この作業については「倭本」においても、他の文献にもみられないが、これは建築などにおいて、どこでもおこなわれる基礎作業であることをみれば、いつの時代でも、どこのたたらでも、とくに大型炉であればおこなわれていたことは容易に想像される。（写真3-17）

3.9.5 トモ木の据え付け

「トモ木」とは、たたら炉の内に溜まったノロや銑を流し出すための穴、つまり「湯池穴（ゆじあな）」をあけるのに用いる木型の道具のことをいう。木の種類は栗または松が用いられ、その形は円筒状で取手がついていて、頭の直径は約100mm。これを全部で6本用意し、たたら炉の表正面となるところの下部中央に一つ、その両脇の一つずつ、計3本を設置し、裏正面にも同じく3本を設置する。そして、これによってあけられる穴のことを「湯池穴」¹⁷⁾といい、中央の穴のことを「中湯池」、両側の穴のことを「四ツ目湯池」というが、このことからであろうか、「倭本」第4章第8節「炉の築造」では、このトモ木のことを「湯池木（ゆじき）」という表現で紹介している。また「鉄山秘書」では「ト

モ」といい、真ん中へ置くものを「中トモ」、両脇へ置くものを「脇トモ」と呼んでいる。

トモ木の置き方は、真ん中へ置くものは炉床面の中心に向かって真っ直ぐ（45°）に据え、両側に置くものは炉床面の中心に向かって斜めに据え付け、これが終わると、その上に粘土塊を被せるように置き、トモ木を動かないようにしっかりと固定する。

なお、このトモ木は、元釜が完成すると、抜き取られるが、この時に便利となるのが、トモ木の柄の部分である取手であり、この部分は頭と共に一木でつくられている。（写真 3-18）

3. 10 たたら炉の構築

たたら炉を築くことを「釜塗（かまぬり）」という。釜塗は、「日刀保たたら」の場合は、村下の陣頭指揮で総出でもっておこなわれ、以後同様にしておこなわれているが、どうやら、かつてはそうでなかったようである。「鉄山秘書」によれば、「釜塗之事」の段で、「八人塗と申は、村下、炭坂¹⁸⁾をのけてなり、村下、炭坂、宇成、本主を添れは十二人也。貳人は灰の手子¹⁹⁾、六人は釜塗土を拵る也」とあり、また「其間に村下は保土を切なり、秘密秘伝といふは、此保土穴の事也」とあり、昔は釜塗の仕事は炭焚と、それ以下の者（「日刀保たたら」では小回りという）が担当していたようであり、村下は秘伝ともいうべき「保土穴（ほどあな）」をあける仕事に専念したことがわかる。

この仕事にあたって、「日刀保たたら」では、村下以下全員でおこなわれることは今述べた通りであるが、これはその一つには、技術者の養成を目的においてあることによる。

なお、この「釜塗」という表現についてであるが、幕末の刀剣書である『古今鍛冶備考』（鉄山略弁²⁰⁾）も同様に、たたら炉を築くことを「塗り立てる」と表現している。そこで、この「塗る」のもつ意味についてであるが、『角川漢和辞典』によると、これには「泥」の意味があるといい、これによって粘土で炉を築く作業のことを、「釜塗」あるいは「釜を塗り立てる」と表現したことが理解できる。

次に、築炉に先だって炉床周辺を「床しめ」という丸太状の道具を用いて叩き締め、足場を固める。そしてこれが終わると、炉床面の上に、「元釜」「中釜」「上釜」の順を経て、たたら炉が構築される。

3. 10. 1 釜土の混練

たたら炉を築くのに用いる土を「釜土（かまつち）」という。釜土のつくり方は、約3

トンの良質な粘土を高殿内に設けられた「土町（つちまち）」という場所（面積 2,500×5,700mm）へ運び込み、2,300×4,000mmほどの広さに平らに広げる。そしてこれを混練するが、この方法は素足で踏んでおこなわれ、「から練り」→「本練り」の順でつくられる。素足で踏むのは、粘土の性状を直接肌で感じとることができ、また荒い粘土や小石などの異質物が混入していた場合、その発見に役立つからである。

この釜土の混練法についてであるが、どういうわけか、今のところどの伝書にもこの技法について記したものが経眼されない。おそらく、これは秘伝とされてきたことによるものである。そこで、安部村下より学ぶことのできたこの技法について、具体的に記すこととする。

釜土の混練法と性状の見定め方について安部村下は次のように説明している。

- （１）土町に釜土を約５～７寸（150～210mm）の高さに広げ、その面積は前記ほどとす。
- （２）少し混練してみて、その練り具合によっては（粘り過ぎる場合は）真砂土を適量混ぜる。その混ぜ方は、敷き置いた粘土の上へ真砂土を満遍なく平らに乗せて混練する。
- （３）上積みする真砂土は目が細かく、砂鉄分の少ないものを使用する。
- （４）最初は「から練り」といって、水打ちをしないで、２回以上足で踏んで混ぜ合わせる。
- （５）次に「本練り」に移るが、このときは適当に水打ちをし、８回以上入念に踏む。
- （６）以上ができると、「わらごも」をかけて、一昼夜中土町で寝かせる。
- （７）出来上がった釜土の性状の見定め方は、次の通りである。
 - １）指で撮んでみて、ややサクイ（粘りすぎないもの）感じのするものがよい。
 - ２）操業中に水気を含むものはよくない。
 - ３）鋤などでこねてみて、その結果、鋤の板に釜土が付着して残るようなものはよくない。

以上のうち、（３）の「真砂土」の性状について「目が細かく砂鉄分が少ないものを使用する。」と述べているが、その理由は、真砂土は基本的に荒めのものが多いため、適度に細かいものが求められるということであり、砂鉄分が少ないものを選ぶ理由としては、本体の「須山土」に既に必要量の砂鉄が含まれていることから、これ以上多くなると操業中、炉壁中の砂鉄が多く溶解して炉壁の侵蝕を過剰にすること、また、鋸と接着し、そのために炉崩し作業が難航することによるものである。

また、(7-1)と(7-3)の場合は、適度な粘性があると同時に、反面粘りすぎないものが求められていることがわかり、その理由については、前述した通りである。

また(7-2)については、炉を乾燥した後、一見よく乾燥されたように見えても、操業中、即ち火気が高まってきたときに、粘土の芯に残留した水分が出てくるようなものはよくない。換言すれば、炉の乾燥において、芯まで十分に乾燥されるものがよいという意味である。

なお、釜土に「ワラごも」をかけて一昼夜寝かせることの効果についてであるが、安部村下は、単に「その方法がよい」とのみ述べているが、前出の「白石本」は「ねかしのなぞ」で「一般に素地土を調整したときに、すぐには成形しないで、よく練ってから少なくとも一週間くらいねかせておくのがよいとされています。その理由は、しばらく放置しておく、と、土と水とがよくなじんで、使いやすくなるとか、微生物が繁殖して有機物や鉱物を分解するので、可塑性が改善されるとかいわれますが、その実体は明らかではありません。粘土の種類によって、ねかしの効果は大きく異なるという報告もあります。いずれにしても、ねかしの効用は広くいわれていることですので、はっきりした科学的な裏付けが今後のひとつの課題といえましょう。」と述べていて、この意見には傾聴したい。(写真3-19)

3. 10. 2 元釜の構築

混練された釜土は、土町に厚さ 150～200mm になるように平らに広げられる。次にこれを「土刀(つちがたな)」と呼ばれる鉄製の刀で、約 200×200×厚さ 150～200mm の塊(一個平均重量・約15kg)を 200個ほど切り出し、これを元釜用の土として使用する。

元釜の築き方は、この 200個(約3トン)の粘土塊を、「筋金」と「トモ木」を基準として叩きつけるようにして積み上げるが、そのときの要領は、中板をさけて炉底が舟底型になるようにする点にある。ほぼ炉型が出来上がると、「横尺」と呼ばれる物指をもちいて炉壁の厚さを勘案する。炉壁の厚さが決まると、次に「水縄(みずなわ)」という墨の塗られた長い麻の紐を用い、横尺によって割り出された炉壁の厚さを基準として、元釜の形を墨の線で書き出す。(写真3-20)

元釜の形が決まると、こんどは「釜がえ」と呼ばれる一種の鋤のような道具で、余分な土を削り取り炉の形を整える。最後はトモ木と中板を取り除き、これによって元釜は完成する。(写真3-21)

なお、元釜は直接鋳が育つところであるため、良質な粘土が求められ、この釜土の効用について「俵本」は、第4章「鋳押」（和鋼製造法）の段で、「鋳は十分熔融する能はず従って自ら爐外に流れ出づることなく漸時爐内に蓄積す。製錬作業の進むに従ひ爐壁の材料たる粘土は次第に浸蝕され、一種の媒熔剤の働をなすべし。」と述べていることを前述したが、炉底が舟底形、つまりこの部分の壁が厚く築かれるのは、一つには媒熔剤の働きが促進されやすくするための工夫である。

3. 10. 3 ホド穴の穿孔

「ホド」とは、元来はたたら炉を意味し²¹⁾、その「穴」とは炉内へ風を送り込むために設けられる、いわば送風孔のことで、「羽口（はぐち）」とも呼ばれている。このホド穴をあける作業は、「日刀保たたら」では、「ホドを通す」と呼び元釜が完成すると直ちにおこなわれ、元釜の両側の壁に20個ずつ、計40個の穴がつけられる。以下この作業の工程を示す。

- (1) ホド穴の高さを決める。ホド穴の高さは、外壁にあつては筋金より7寸（210mm）の高さ、内壁にあつては炉床面より5寸（150mm）の高さを基準として、次に水縄を張って、40個のホド穴の高さの一定化をはかる。
- (2) ホド穴の間隔を決める。間塗（まぬり・炉の中心部）を中心として、外壁と内壁に20本ずつ均等に縦の線を刻む。この作業に用いる道具は「ホド配り」と呼ばれ、これは四角の木の板に、釘が片側に120mm間隔、もう片側に130mm間隔で打たれていて、これによって外壁に120mm間隔、内壁に130mm間隔の線が刻まれ、この交差するところが風が通過する孔となる。（写真3-22）
- (3) ホド穴をあける。ホド穴をあけるのには、樺の木でつくった3本の棒状の道具が用いられる。その用い方は、最初に「追い出し」（またはおいざし）と呼ばれる細長い円錐形の棒で、炉壁につけたホド穴の位置を基準として貫通させる。次に「吹き切り」と呼ばれる太めの棒を押し込んで、目的の穴の大きさに広げる。最後に、「しらべ」（またはしらべざし）という細長い棒を用いて、穴の中に残った土などを除去して仕上げる。（写真3-23・24・25）

以上によってホド穴は完成するが、これによってできた穴の大きさは、概ね、内壁は縦6.0mm、横5.0mm、外壁は縦53mm、横32mmの楕円形で、ホド穴の勾配は15～17°となる。このホド穴のことについては第6章で詳しく述べるとするが、「鉄山秘書」は「釜塗之

事」の段で、この作業のことを「保土を切る」と表現し、また「秘密秘伝というは、此保土穴の事也」と述べていて、いかに重要な仕事であるかわかるが、「日刀保たたら」においては、この技術は村下となった木原明氏とその補佐役である村下代行の渡部勝彦氏に伝授されている。

なお、この「ホド穴」のあけ方についてであるが、これにはコツがありそれには棒（追い出し）の先近くを左手で軽く握り、元の方を右手でしっかり握り締め、さらに棒の後端面を右膝にあてがい、脚の力を利用して一気にあけられる。

3. 10. 4 中釜の構築

元釜が完成すると、この上に中釜が築かれるが、中釜の築き方は土町から切り出した粘土塊をブロック状に固め、さらに「おじり灰」と呼ばれる乾燥した土の粉をまぶしてからブロック塀状に積み上げる。「おじり」とは、たたら炉が築かれるところが小高い山状になっていて、この場所がどういう理由か昔からおじりと呼ばれ、ここに灰状の土粉をつけることからこのようにいわれている。（写真3-26）

中釜を1枚壁としないで、ブロック塀状に積み上げるのは、一つには操業後炉を崩して銅を取り出すのにやりやすいように工夫されたものであり、また釜壁が乾燥しやすいように考えられたものだという。元釜の上へブロックを3～4段、高さにして400mmほど積み上げ、これに用いられる粘土塊は直径130×200mmほどで、1個の重量は約5kg、個数にして250個程度が用いられる。

中釜の構築がいちおう終わると、内壁・外壁の面を揃えるため、元釜をつくる時と同様にして、「釜がえ」という道具を用いて余分の土を削り取る。さらに壁面の凹凸をなくすため、粘土を水で泥状に溶いた「とうじ」を塗り、壁面を奇麗に仕上げ、最後に炉内に削り落ちた不要の粘土を「頭えぶり」「尻ほり」という二つの道具を用いて除去し、中釜は完成する。（写真3-27）

なお、この中釜に用いる粘土であるが、これは「二割土（にわりつち）」といって、元釜構築時に削除されて余った粘土などを2割とし、古い使い残りの炉壁などを利用した土8割を利用することからこの名の起りがあるが、「倭本」第4章第8節「炉の築造」においては、中釜の構築について、「二割土とて稍劣等にして耐火度の劣れる粘土を以て爐上部を形成す」と述べ、さらにその理由として、「製錬に際し直接に化学作用を受くることなく、強ひて撰擇吟味せざる粘土を用ゆ」と述べている。つまり、中釜は元釜のように直

接銅に接触しないで、浸蝕の化学反応を受けなく、単に炉壁としての役目を果たせばよいので、中釜には特に良質の粘土は必要ないとしていて、これは「日刀保たたら」においても同様に理解している。

操業2回目以降の場合、完成されたたたら炉を見ると、元釜に比べて中釜と上釜の色は茶黒く見えるが、これは中釜と上釜に用いられる粘土がリサイクルによるもので、焼け爛れたり、炭粉が混じったりしたことによって生じたものである。（写真3-28）

3. 10. 5 元釜・中釜の乾燥

上釜の構築に先だって元釜の乾燥がおこなわれる。この段階で炉の乾燥をはかるのは、幅約1m、長さ約3m、高さ約1m20cmほどもある大きな炉を一度に築くとなると、炉崩れがおこる可能性があるからである。元釜・中釜は23%前後の水分を含んでいて、その重量は約3～4トンにもなり、どうしても中釜の段階で乾燥をはからなければならないからである。

乾燥は、炉内と炉外へ薪が配されるが、炉内はホド穴を保護するため、先ず炉壁へ丸木を8～10本立て掛け、さらに種火（たねび）用の木炭約20kg、薪300kgを充填し燃焼する。

さらに外壁の周囲には、着火用の木炭40kgと、薪500kgを積んで強制乾燥をする。

この中釜の乾燥には約17時間が費やされるが、中釜の完成するのが14時頃であるため、村下は村下座に寝泊まりして炉の管理にあたることとなる。（写真3-29）

この作業について、「鉄山秘書」によれば、この仕事にあたっては、村下が1人でおこなったと記しているが、「日刀保たたら」の場合でも同様に村下1人がこの任にあたる。

また、「倭本」第4章第8節「炉の築造」では、「次に爐の乾燥法を行ふ、先づ役木とて割りたる林木を爐の中に入れて燃焼せしめ、外部にも四方に役木を焚き爐頂は薄鐵板にて之を覆ひ午前十時半作業を終了す。役木は午後二時全く燃え切り、更に新しく燃料を加へて爐の内外を乾燥する為め夜を徹して一人之を司る」と記し、乾燥の手順を詳しく述べると同時にこの作業にあたっては、村下が一人でおこなったことがわかる。そこでこの仕事にあたって村下が一人でおこなった理由についてであるが、安部村下から直接聞くことができなかった。しかし、この作業に立ち会った著者の考えとしては、安部村下の行動からとくに「ホド穴」の観察にあるものと見受けられた。これについて「倭本」は、ホド穴のつくり方について、第4章第8節「炉の築造」の中で、「後章に記載せるが如く羽口を造るに前記の物差に類するものを用ふるものにして、基礎作業に格段の相違あるを認むべ

し²²⁾。而して之等の形状を造る際、調べ²³⁾にて上下に動かし之を修整するを以て、其手加減に依り其寸度定まれり。凡て之等の作業即ち爐の下部を築き、又は保土配りをなす等は爐築中最も重用なるいものとし、其技術は一家相傳にして秘密を守り村下一人之を司るものとす」と記し、たたら操業において「ホド穴」のあけ加減がいかに大切であることを述べ、これは「秘密を守り」「村下一人『司る』」の表現でも知ることができる。

つまり、たたら炉の乾燥にあたっては、炉体の変形、とくに「ホド穴」の変形にたえず注意を注いだものと考えられ、ここに村下が一人でおこなう理由があると判断される。

なお、この乾燥作業の手順についてであるが、「倭本」の内容と「日刀保たたら」の場合と殆ど変わりはなく、また着手から完了に至る時間帯についても一致している。また、ここで使用される木材であるが、「日刀保たたら」の場合では、とくにこの木材に対して特別の固有名詞は有していない。(写真3-30)

3. 10. 6 上釜の構築

元釜と中釜の乾燥が前日に引き続き当日の午前7時までおこなわれ、これが完了すると、この上に「上釜」が築かれる。上釜の築き方は、中釜の築き方と同じで、やはり二割土が用いられ、約25cmの高さに積み上げられる。(写真3-31)

上釜が築かれ、たたら炉が完成すると、次に「釜しぼり」という鋼材でつくられた、幅25×1,685mmの帯状の鉄板で上釜の周囲を巻くようにして縛りつける。その目的は釜が崩れないように講じた措置で、その様子から「八巻」とも呼ばれている。(写真3-32)

最後に仕上げとして、「薬帚(わらぼうき)」という薬製の刷毛で泥状に溶かされた粘土(とうじという)を炉壁全体に塗布する。これでたたら炉は完成し、次に送風管等の据付け作業へと移る。

さて、この三段組による、たたら炉の構築法であるが、これはいつ頃から開発されたのであろうか。これについて考察しておきたい。

三段組の炉が文献にあらわれるものとして最も古い例は、前出の幕末に山田吉睦によって書かれた『古今鍛冶備考』の中にみられる「鉄山略弁」の段であろう。この伝書については、第2章の「日刀保たたらの源流」で述べたが、その内容は天文(1532~1554・室町時代後期)に播州(兵庫県)宍粟郡千草の鉄山で鋼を生産する方法を述べたものであるが、その内容によると、「炉釜にも大小種々あれども、大概正面5尺(1,500mm)ほどの幅にして、横尺3尺(900mm)、高さ5尺(1,500mm)くらいなるを大とし、先ず塗り立てる

始めに内の広みは8寸（240mm）角ほどの木を真中へ横たへ、底の幅はこの木にならひ、はなはだ狭く、上に至るほど次第に広め、下釜の塗り立て成就したる上にはその角木は抜き去るなり。それより中釜、上釜と別々に塗り立てること下釜にならふ」とあり、三段組の手法がとられていたことがわかる。そしてこの手法は、以後、「鉄山秘書」にみられ、さらに「倭本」の伯耆国（鳥取県）「砥波鑪」にも、石見国（島根県西部）「價谷鑪」にも見られ、そしてこの形態は「靖國鑪」を経て、現在の「日刀保たたら」に移行していることがわかる。

そしてこの三段の炉の名称であるが、「鉄山略弁」においては、「下釜」「中釜」「上釜」、「鉄山秘書」では「元釜」「仲」「上」と表現し、「砥波鑪」と「價谷鑪」については「倭本」は「釜土」のところで「元釜土」という表現をとっていることから、一段目の釜を「元釜」と呼んだことがわかるが、二段目、三段目の釜については、単に「二回目」「三回目」とのみ記し、「砥波鑪」と「價谷鑪」で「中釜」「上釜」の表現がとられたかどうかについては不明である。そして「靖國鑪」に至っては、小塚寿吉氏の『日本古来の砂鉄製錬法』²⁴⁾で、「元釜」「中釜」「上釜」の表現がとられたことがわかり、以後この表現は現在の「日刀保たたら」に引き継がれている。

以上、たたら炉本体の築き方について詳しく述べたが、この技法については、「倭本」、また他の伝書を見ても、炉を三段に組むこと以外は殆どふれていない。やはり釜土の混練法と同じように、秘伝とされたものである。

なお、前出の「靖國鑪爐床及び釜詳細図」についてであるが、これをみると炉が「元釜」と「上釜」の二段に組まれていることがわかる。しかし、これは明らかに誤記であることを述べておきたい。この「詳細図」は前にも述べた通り、当時島上木炭銑工場の臨時職員であった、横田町在住の福本確氏が描いたものであるが、誤記となった理由は、「日刀保たたら」の村下である木原明氏の言によると、たたら炉は作業の前日に「元釜」と「中釜」が一度に築かれ、粘土による表面仕上げがおこなわれ、翌日朝に、この上へもう一度「上釜」が築かれるが、この時点でスケッチをするならば、二段組みに見えてしまうといい、また実際として炉を二段に築くことは築炉作業において大変無理があり、このような不合理な仕事は、同氏の経験からいって絶対あり得ないと述べている。

以上、築炉の工程について述べたが、昭和53年度に実施した7代（回）のたたら炉の計測記録を表3-11と図3-11に示す。

表 3 - 11

日刀保たたら炉

単位 : mm

操 業	炉 底		炉 復		炉 頂		炉 長	ホド穴 勾配(度)
	間塗り	はな	間塗り(a)	はな(b)	塗り(A)	はな(B)		
第一代	180	150	760	620	890	720	2,580	24~30
第二代	180	150	770	600	870	760	2,600	15~18
第三代	180	150	780	640	850	780	2,600	24~27
第四代	180	150	740	650	850	770	2,640	20~25
第五代	180	150	770	640	880	760	2,700	20~25
第六代	180	150	770	640	880	770	2,670	16~20
第七代	180	150	760	650	890	770	2,700	15~20

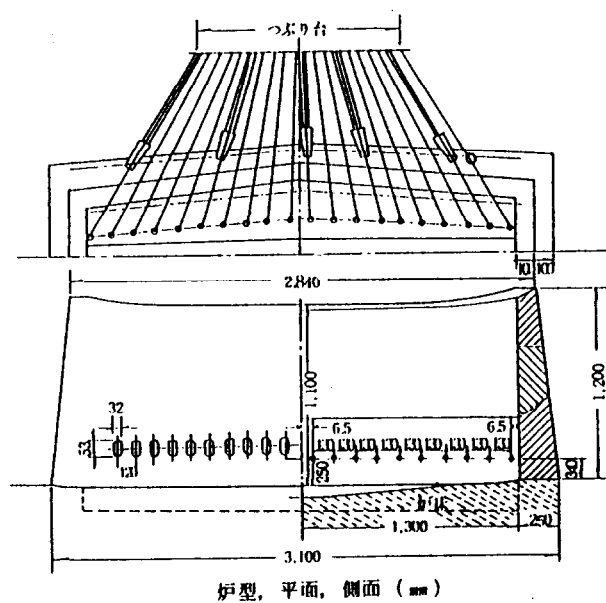
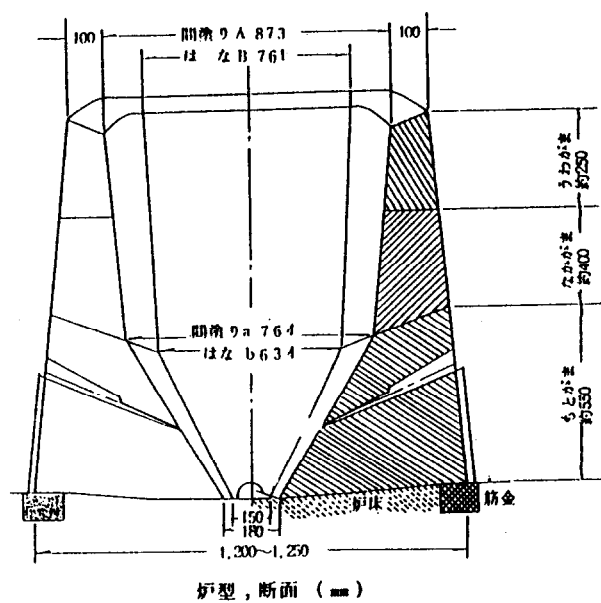


図 3 - 11 日刀保たたら炉型断面図・平面図・側面図

3. 11 つぶり台・鰐口・木呂管などの据付け

鑪場で四挺の鑪でおこされた風は、地下の長い管を通してたたら炉の両側にある「天秤山（てんびんやま）」へ送られる。天秤山とは、かつてはこの上に天秤鑪が設けられていたことからこの名があるが、現在は「風箱（かざばこ）」とも別称され、空洞につくられたこの箱に空気が溜まることとなる。（写真3-33）

さらに空気は、この天秤山から「つぶり」「木呂管」をへて、炉内へ送られる。つぶりとは天秤山の内側に付設される、やはり天秤山と同じように一種の風箱で、この据付け作業は「つぶり台」の設置から始まる。つぶり台とは、つぶりを置く木製の台のことで、まずこの台のうえに粘土が厚く敷かれる。次に天秤山からくる風をつぶりに受け入れるための「鰐口（わにぐち）」を取り付ける。鰐口の取り付けが終えると木呂管を配置する。木呂管は本体が竹製であるが、その先端には鉄製のキャップがはめられていて、とくにこの部分を「鉄木呂（てっきろ）」と呼んでいる。（写真3-34）

木呂管は、つぶりから炉体へ向かって扇状に配され、その先端すなわち鉄木呂の先は元釜に設けられたホド穴へと接続される。木呂管の数は炉の両側に20本ずつ、計40本が配される。（写真3-35）

木呂管の配置が終わると、今度はブロック状に固めた粘土を中を空洞にするようにしてつぶり台の縁にそって積み上げ、これが終わると「雲板（くもいた）」という木製の板で蓋をし、つぶり全体に粘土をまぶし、いちおうつぶりと木呂管の据付けは終える。

そして最後につぶりと木呂管全体に「とうじ」を十分塗って完成する。つぶりを粘土で固め、つぶりと木呂管にとうじを塗るのは、風漏れを防止するためであり、またつぶりの頭部にくぼみをつくり水を溜めるが、これは乾燥によるつぶりの亀裂を防止するために設けられたものである。（写真3-36）

なお「倭本」（砥波鑪）では、この木呂管の数を、まず中央に1本を配し、その左右に9本ずつ配して19本とし、両壁面に合計38本を配しているが、安部村下によれば38本と40本による差から生ずる作業上の問題点はないという。

次に、この作業内容をより明確にするため、その構造図を「図3-12」に示すこととするが、これは「倭本」にみる「砥波鑪」の場合と殆ど同じ形態であることがわかる。（図3-13）

図3-12の中で、「天秤山」と「上釜」との間に「釜引っ張り」というものが見られる。これは第6章でも述べるが、炉壁は操業の最期は内側が膨張して外側に反るので天秤山と上釜との間に「押し棒」という鉄製のパイプを差し込み外側への反りを防止する。しかし操業2日目頃になると、今度は逆に内側が収縮して炉壁が内側に反るようになるので、今度は押し棒から釜引っ張りに変えられて、炉がしっかりと支えられ、炉崩れを防止することとなる(写真3-37・38 炉と天秤山の間を参照)。簡単なことのようにあるが、炉崩れは操業において致命的なこととなるので、引っ張りの状態と押しの状態は、たたら炉の状態を知る大きな指針となるもので、村下は常にこの状態を監視し続けるが、これについてはどの伝書にも説明をみない。

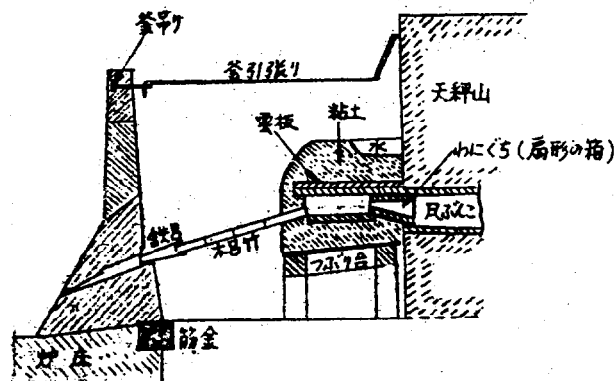


図3-12 日刀保たたらをつぶり台・木呂管などの据え付け

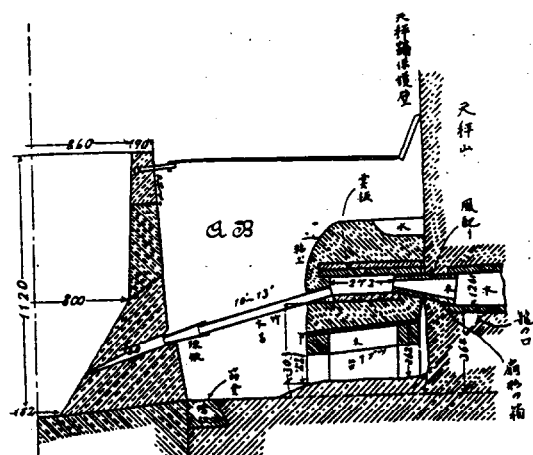


図3-13 砥波爐をつぶり台・木呂管などの据え付け

「古来の砂鉄製錬法」より引用

3. 12 神事

以上でたたら炉のすべてが完成すると、たたら操業の無事を、また立派な鋸ができることを祈って神事がおこなわれる。神事は「湯立（くがだて）の神事」といわれ、高殿内にお祭りした「金屋子神（かなやごしん）」の前で湯を釜で沸し、この湯を笹につけて、たたら炉・砂鉄町・炭町・土町・鋼造場・鞆場など、そして村下をはじめ従業員・関係者を御祓いするものである。もちろん、村下・従業員・関係者は、金屋子神に対し深甚な祈りを捧げる。

以上は神官による神事であるが、村下による神事もおこなわれる。「日刀保たたら」では、安部村下がたたら炉の周囲を塩で清めて終わるが、かつてはまず表村下が金屋子神・たたら炉・天秤山・炭町・土町・出入口（高殿）・村下座・砂鉄町の順で塩で清め、次に裏村下に手渡し、同様に清めたという。そしてこの清めの塩は、三合杓に入れて神に供え、清めが終わると表村下が戴いて帰ったという。「鉄山秘書」によれば、金屋子神は女神で、播磨国（兵庫県）から白鷺にのって出雲国比田に着き、鉄を吹く技術を伝えたとされている。そして、中国地方のたたら師・村下、また製鉄関係者から厚い信仰を受けてきた。

本社は「日刀保たたら」から約4キロ離れた能義郡広瀬町西比田にある。このお社は、安政5年（1858）に火災に遭っていることから縁起が定かでないが、一説に古事記中巻の応神天皇（4世紀後半～5世紀前半）紀に登場する「韓鍛²⁵¹卓素（たくそ）」系の神ともいわれている。

昔は高殿へ女性が入ることは厳禁であった。それは、金屋子神が女神であることから、とくに美人に対しては嫉妬し、そのために神の庇護が得られず、よい操業ができなかったからだという。もちろん今はそんなことはない。「鉄山秘書」の「鐵山ニ血ノ穢ヲ忌嫌事」の段に「月水ノ有穢ヲハ、七日ガ間不入ラ鑪ノ内エ、子ヲ産タル時ヲハ三十三日不入鑪、其夫ハ十七日ガ間不入、産後ノ女ト同火不喰事三十日」の記述がみられ、確かに昔は大変厳しいものがあり、その拘束が夫にまで及んでいることがわかる。

安部村下の話によると、「ト蔵・叢雲たたら時代は火入れのときはその都度宮司が来て神事がおこなわれた。金屋子さんはなぜか血を徹底的に嫌うという言い伝えがあり、女性が高殿に入るときは、金屋子さんの前を通過することは絶対に許されなかった。また、オナリ（食事の世話をする女性のこと）の人は、すでに忌みのない者を使うか、水月のときはその期間は休むことになっていた。いずれにして、もなぜ金屋子さんが女性を嫌ったか

わからないが、自分も大祭には努めて金屋子さんに参拝して、よい鋳ができることをお願いしている。」と述べ、かなり厳しい状況にあったことがわかるが、上記以外のことは、かなり寛大で、当時（大正末年～昭和初年）は「鉄山秘書」にみられるほどのことはなかったようである。

写真3-39の「金屋子神とたたら」の図は、出雲国母里藩のお抱え絵師である長塩雪山（ながしおせつざん・安永3年～天保4年〔1774～1833〕）が描いたものであるが、そこには飯焚きの女性が登場している。雪山は出雲地方でかなり多くの同様の絵を描いているようである。この絵は、ト蔵家の所蔵であるが、同様の絵がかつてのたたら師であった桜井家・絲原家、また安来市の和鋼博物館などにも所蔵されている。これからすると、この当時から特定の女性については寛大であったものと考えられる。

「日刀保たたら」のある鳥上木炭鋳工場の敷地の中にも金屋子神社が祭られている。この神社は、同工場が大正7年開設するにあたり、比田の本社より分神を請けてその2～3年後に建立したもので、たたら操業中はもちろんのこと、平素にあっても金屋子神に対する崇拝の念は奥出雲では自然なかたちで引き継がれている。（写真3-40）

3.13 操業

たたら作業は下灰・築炉・砂鉄と木炭の装荷、鋳出し（けらだし）の順でおこなわれ、これに6～7日間を要する。この間におこなわれる作業工程は、安部村下・久村村下の記憶にたよるところがはなはだ大であり、おおむね次のような標準仕様が作成された。

第1日目

8時～17時 下灰作業、その他準備作業

第2日目

8時～14時 下灰・元釜・中釜構築

14時～24時 元釜・中釜乾燥

第3日目

0時～7時30分 元釜・中釜乾燥

7時30分～9時 上釜構築・木呂・つぶりの据付け

9時～24時 9時火入れ送風開始 操業第1日目

第4日目

0時～24時 操業第2日目

第5日目

0時～24時 操業第3日目

第6日目

0時～6時 操業第4日目 停風6時（操業時間述べ69時間）

6時～7時30分 釜こわし作業

7時30分～9時30分 鋳出し作業（途中空冷時間を含む）

9時30分～12時 炉床補修及び下灰作業

作業工程のうち、火入れから送風停止までの3昼夜約70時間をとくに操業という。この間、約30分おきに砂鉄と木炭がくべられるが、炉況を監視し続け、砂鉄を装入する村下にとっては、ほぼ不眠無休の仕事で、この3昼夜の操業を1代²⁶⁾と呼んでいる。

なお、この操業時間についてであるが、「倭本」（砥波鑑）では停風の時間が明記されていないので定かではないが、送風から鋳出しまでを68時間としていることをみれば、操業時間が両者において、ほぼ一致していることがわかる。

さて、この3昼夜の操業法について述べておきたい。「鉄山秘書」（釜塗之事）の段に、次のようなことが記されている。

「釜塗の翌日仕掛、此日朝鶏鳴に起きる、惣人数惣懸りに取付を朝仕掛と申。八割と申而四日四夜にて四日也、四日押と申、（中略）是は近世の初りし事也、上代には、なかりし仕方也。晩仕掛、宵仕掛三日押と申、六ツ割と申古法也」

この内容によると、四日押しは近世の方法で、三日押しは古法であることを述べている。これは、前出の『古今鍛冶備考』（鉄山略弁）に、室町時代後期に播州宍粟郡千種で「三昼夜吹き」による「白鋼」生産が開発されたことが記されていることを述べたが、これからして「鉄山秘書」の内容にはかなりの信憑性があるものと判断される。

以下、操業の内容について述べるものとする。

3. 13. 1 送風の開始

たたら炉が完成すると、準備作業開始から3日目の朝9時より送風が開始される。たたら炉の内にはすでに木炭が炉頂まで充満し、種火によって燃焼しているが、送風の開始によって本格的に火炎を上げ、この時点をもって火入れ、送風の開始とする。

この送風開始の時間について少し述べておきたい。「倭本」（砥波鑑）はこの送風の開

始について、「次に翌日朝午前五時に至り凡ての準備を終りたるを以て、吹始めに移る此日を初日とす。全く乾燥せる爐内に炭火を入れ、其上に木炭を装入し盛んに燃焼するを待ちて、　々五時三十分より送風を開始す」と記していて、「日刀保たたら」が前日までに「元釜」「中釜」を築き、翌朝早くから「上釜」を築き、9時より送風を開始するのと時間帯を異にしている。またこれについて「鉄山秘書」（釜塗之事）も同様に次のように記している。

「鑪仕掛る也、此日を仕懸の日と申。釜にうつ高く炭をくへ置て、鑪仕掛る也、此日を仕掛の日と申。（中略）釜塗の翌日仕掛、此日朝鶏鳴二起きる、惣人数惣懸りに取付を朝仕掛と申」

これからすると、釜塗の翌日、鶏の声で目が覚め、つまり5時頃起こされ、総人数で作業をおこない、これを朝おこなうことから「朝仕掛」と呼んだことがわかり、さらに同書は、「晩仕掛」というものがあることを記している。いずれにしても「鉄山秘書」の出来た江戸中後期には送風開始の時間帯について、いくつかの方法がとられていたことがわかる。

「日刀保たたら」の場合は、この区分からすれば朝仕掛けの部類に属するが、異なるところは前述の通り、火入れの早朝「上釜」を築き、9時より送風を開始するところにある。そしてこの手法は、島根県飯石郡吉田村でおこなわれた操業実験の報告書「たたら製鉄の復元とその鋳について」によると、上釜の構築早朝、送風開始10時26分とあり、基本的には「日刀保たたら」の場合と同じであることがわかる。

なお、このような送風開始の時間帯が、いつごろより始まったかについてであるが、遂に安部村下より聞き取ることができなかった。

3. 13. 2 砂鉄と木炭の装荷

送風開始後約2時間を経過して炉温が上がり、炎が高く伸びてくると砂鉄の装荷が開始される。本来操業開始第1日目に使用する砂鉄は、まだ炉内の温度がそれほど高くないため、同じ真砂砂鉄であっても「籠砂鉄（こもりさてつ）」と呼ばれる、とくに溶解還元されやすいものが用いられているが、現在は諸事情によりこの籠砂鉄が採取できないため、日刀保羽内谷鉾山で磁力選鉱によって採取した通常の真砂砂鉄を全量使用している。なお、これについては第5章で詳しく述べることとする。（写真3-41）

かつては、70時間3昼夜の操業を「籠り」「籠り次ぎ」「上り（のぼり）」「下り（く

だり)」と四段階に分け、それぞれ内容を異にした真砂鉄が用いられた。砂鉄を炉に装荷する方法は、表村下と裏村下が「種鋤（たねすき）」と呼ぶ木製の鋤で、炉の中央を境として半分を表村下（主任の村下）、もう半分を裏村下がそれぞれ担当し、炉壁にそって帯状に装荷していく。（写真3-42）

種鋤の1杯の砂鉄量は平均4.0kgであり、最初の装荷は両村下とも炉の両側面の壁にそって概ね1杯ずつ計2杯、合計4杯を装荷する。

次に村下の合図で、やはり正面側と裏面側とに別れた炭焚職2人が木炭を「炭取り」を用いて砂鉄を装荷するときと同様炉壁にそって入れていく。（写真3-43）炭の大きさは直径15mmから拳大、重量にして炭取り1杯10～15kg、これを1人で概ね3杯ずつ計6杯を装荷する。

木炭の装荷の仕方は、炉壁の周囲は山状になるように高く積み上げ、炉の中心部は逆に谷状になるように装荷し、さらに「炭えぶり」という用具で炭の表面を丁寧にならし、積まれた炭の山と谷を整える。（写真3-44）

砂鉄の装荷から30分ほど経過すると、木炭は燃焼しておよそ10～15cmほど降下する。その頃をみはからい、今度は「前ごしき」と呼ばれる長い柄の先に長方形の薄い板（木製）のついた道具を用いて炭の表面を軽く叩いて平らにならし、次の砂鉄と木炭の装荷の準備をおこなう。2回目からは、砂鉄と木炭の装荷量は微妙に変化するが、これについては第4章と第6章に示す。

1代に装荷する砂鉄と木炭の回数は、30分ごとにおこなわれるので、140回ほどとなるが、1回に装荷される砂鉄の量は平均56kg、杯数にすると種鋤1杯が約4kgであるので、2人の村下によって14杯が装荷されることとなる。そして、一代に140回装荷するならば、その合計は1,960杯ということとなり、村下1人はなんと1,000杯ほどの装荷をおこなわなければならない。

ちなみに一代に使用する砂鉄は、おおむね8トン、木炭は13トンである。

次に安部村下より知り得た、砂鉄と木炭の装荷技法について具体的に述べることとする。

（1）砂鉄の装荷について

1）装荷量の推移について

A、初種（一番最初に装荷する砂鉄）は、炉の表側²⁷⁾のワテ²⁸⁾に1杯、マエに1杯、炉の裏側のワテに1杯、マエに1杯、計4杯を装荷する。

B、2回目は、炉の表側のワテに2杯、マエに2杯、裏側のワテに2杯、マエに2杯、計8杯を装荷する。

C、3回目は、炉の表側のワテに3杯、マエに3杯、裏側のワテに3杯、マエに3杯、計12杯を装荷する。

D、4回目からは、その後の炎の色、鉾澤の出具合、羽口（ホド）などの状況を見ながら、同様に計12杯～18杯を装荷する。

E、以上の量は原則で、これを初種の装入以後30分ごとに、最後まで装荷する。

2) 装荷の注意点

A、1日目に使用する砂鉄は、やや湿り気のあるものを用いる。あまり乾燥したものはよくない。

B、2日目以降に使用する砂鉄は、順次乾いたものを用いる。

C、同じく2日目以降に使用する砂鉄は、よく清めたものを用いる。

D、早種（はやだね）を用いて、炉内の調整をおこなう。

E、砂鉄の装荷は、どんなときでも極力軽吹きとする。強吹きは禁物。

以上砂鉄の装荷量の推移と装荷の注意点について記したが、これについては第4章で考察をおこなう。とくに早種は、他の伝書等には全く見られない技術として注目される。

(2) 木炭の装荷について

1) 装荷量の推移について

A、第1日目装荷開始時は14～15杯くらいとする。

B、次の木炭は、砂鉄を装荷したと同じ場所に、全部で6～8杯くらい装荷する。

C、以後は同様にして適宜装荷するが、その量は概ね6杯くらいで、多いときでは9杯くらいとする。

D、以上の量は原則で、これを最初の装荷以後30分ごとに、最後まで装荷する。

2) 装荷の注意点

A、1日目の木炭の装入は、炉温があまり上がっていないので、木炭がゆっくり下がるようにするため、炉の端のほうにはやや小さめの炭を、そして炉の中央に沿っては大きめの炭を装荷する。

B、2日目以降は風量も強くなり、炉温も上がるので、全体的に大きめの炭を装荷する。

C、木炭の装荷の仕方は、常に中央部は低く、炉壁側は高めになるよう調整しておく。

D、木炭はできるだけ横に並べるようにして入れ、細めのものはその上に乗せるようにする。

これらの装荷上の注意点のうち、特記されることは、「C」についてである。このような方法をとるのは、第4章でも述べるが、おそらく炉壁から伝わって昇ってくる対流熱を拠所として求め、燃焼効果を高めることにありとみられ、これは砂鉄の装荷においても同様なことと考える。つまり、木炭を燃料とするたたら製鉄にあっては、燃焼温度にも溶解温度にも限界があることから、これらの作業にあって、最も効率のよい場所が経験的に看取できたのであろう。ただし、これは大型炉に限っていえるもので、小型炉にあっては特別意味をなすものではない。

以上、砂鉄と木炭の装荷について述べたが、このような詳細な技術の記録は「倭本」、「鉄山秘書」にも見当たらず、古くから村下の秘伝としたところである。

なお、砂鉄と木炭の1回ごとの装入量とその集計については、昭和53年度に記録をとったので、これについては別冊資料集「4」に示す。

3. 13. 3 ホド穴の観察

ホド穴の観察については第6章で詳しく述べるが、ここでは概略について記す。

元釜の両壁には、20個ずつ計40個のホド穴が開けられており、ここに風を送るための木呂管がホド穴の下半に置かれるようにして接続されているが、この上部の穴から炉内をのぞいて炉況を診断する。たとえば炉内が満月の状態にみえるときは、砂鉄の装荷量や降下の状態が順調なときで、逆に黒く、ときには赤黒くみえるときは砂鉄の量が少ないか、多すぎるときである（写真3-45）。このようなときは、半溶融状の鉱滓がホド穴先端に溶着し、送風を妨害することとなる。

こうした状態が長く続くと鉗の生成を阻害することとなり、操業を中止しなければならなくなるので、たえずホド穴を観察し、状態の悪いときには「ホド突き」という鉄製の棒をホド穴へ直接挿入して、ていねいに半溶融の鉱滓を除去して適性な通風をはかり、鉗の生成をはかる。この作業は、ホド突きで炉内を突いたときの感触、あるいはホド突きの先端に付着した鉱滓・色・発生火花などからも炉況を判断することができるので、きわめて重要な仕事である。（写真3-46）

次に示す記事は、木原明村下が安部村下より直接指導を受けたホド穴の観察方法と、そ

の対処の仕方について述べたものであり、後で述べることに重複する部分もあるが、それらを以下に示す。

「砂鉄を初めて装入し、1時間30分経過すると、ホド穴の先端へ砂鉄が降下し、還元、溶解を始めるので、砂鉄装入前に村下は炉頂に吹き抜ける炎の状態と、ホド穴全部を覗き、先端から炉内の様子を観察し、炉況診断の重要な指針とする。

ホド穴の観察は、ホドの先端で起こる砂鉄の反応状態を注視し、砂鉄の装入量が適性で、降下順調な時は先端は満月の状態で推移するが、多すぎたり少なすぎたりしたときは、ホドの先端の周囲または全体が、黒あるいは赤黒くみえる。このような色の時は半熔融状の鉱滓がホド先に溶着し、送風を妨害し、銅の生育を阻害していることを示しているので、砂鉄の装入量を加減しなければならない。そして、この状態が長く続くとホド先が完全につまってしまう、送風が完全に遮断され、砂鉄が順調に降下されなくなり、最悪なときは操業中止となる。

そのためには、ホド先端の損傷に気を使いながら、『ホド突き』あるいは『打ち抜き』と呼ぶ道具で丁寧に溶着した半熔融の鉱滓を除去する。また、ホド突きをホド穴から炉内へ深く押し込んで、そのときの感触と引き抜いたときに付着した鉱滓の粘性・色・火花の観察からも銅の生育状態を診断する。ホドのトラブルで最も多いのが、ホド詰りである。このようなときは早種（乾燥砂鉄）を用いると効果的である。」

また「俵本」はこの作業について秘事ともいうべきものを第4章（鋳押し）で、次の通り記している。

「今一、二の例を述ぶるに保土突に柄實の付着する場合は、當該羽口の前面に溶鍊すべき砂鐵なくして柄實の沸騰し居るを認め得可く。之に反して砂鐵の量多く堆積する場合は、鐵棒の先端に觸ると鐵塊堅く、又その爐局部の色合を覗ひ見れば著しく暗黒なり。而して恰も適當に砂鐵の量羽口前面に堆積せる場合は、鐵棒の觸れ具合適當に柔軟なる塊に突き當てし如き感覺を与え、羽口内部にも明かなる光りを呈すべし。」

以上両者の見解は、その共通するところは砂鉄の適量にあると見られるが、その適量とは村下のみが知る秘事といってよい。そしてこれは、後で述べる安部村下の格言「砂鉄を入れることは、人間が飯を食う場合と全く同じで、どんな場合でも胃袋、つまり炉の状態と相談しながら、決して消化不良をおこすような食べ方、装入の仕方をしてはいけない」によって、その奥義ともいうべきものを垣間見ることができる。

3. 13. 4 ノロの取り出し

ノロの取り出しについても第6章で詳しく述べるが、ここでは概略について記す。

操業開始後6～8時間くらいが経過すると、鉄のカスである鉍滓（ノロ）が出始める。最初に出たノロであることから、これを「初ノロ」という。ノロとは、人間でいえば排せつ物のようなもので、出滓状態がよいときは砂鉄がよく溶けていることとなる。しかし、とくに最初のノロはなかなか出にくく、また出ても固まりやすいので、「湯はね」「鉤湯はね」「鉄又」など多くの道具を駆使して出滓の促進に全力をあげる。

最初のノロは元釜の正面側と裏面側に3つずつもうけられた「湯池穴」のうち、中央の穴（中湯池という）から流出する。そして、さらに初ノロから5～9時間ほど経過すると、鉍の成長により舟底形をした元釜の壁はかなり浸食され、出滓も盛んになると中央の穴を粘土で塞ぎ、両側の穴（四つ目湯池という）からノロを流出させる。（写真3-47・48）

前述の通りたたら製鉄は、木炭を燃料として砂鉄を溶かし、炉壁を培養剤として浸食しながら徐々に大きな鉄塊（鉍）に成長するところに特徴があるが、鉍の成長剤ともいえるべき釜土の良否が鉍の出来、不出来に影響する。すなわち、釜土は適度な SiO_2 （酸化珪素）が含まれているものが選ばれ、この成分が大きな役割を果たすこととなる。その一つは、 SiO_2 は出滓の効果を促進する大きな働きがあり、もう一つは鉍の中に残留した SiO_2 は FeO （酸化鉄）と反応してファイヤライトとなり、鉄類の中にあって良質な介在物（A系介在物）を形成することとなる。そして、この介在物が、日本刀製作にあって有効なものとして働くものとする。これについては、第8章で詳しく述べることとする。なお、このノロ出しは、大型炉のたたらにあっては、大変大きな意味と技術を要するものであるが、どういうわけか、どの伝書にもこれについて多くを語ったものは見ない。

3. 13. 5 磨り上げ

操業開始後55時間くらいが経過すると、鉍は舟底形をした元釜の壁を浸食しながら、幅70～80cmに育ってくる。そうすると、鉍の厚さを増すために「磨り上げ」という作業をおこなう。

この作業はホド穴の入り口を金槌で砕いて穴を広げ、ホド穴の底部に粘土を竹ベラで1～1.5cmくらい盛り土する。これによって風のあたる角度は高くなり、それだけ鉍の厚さが増すこととなる。そして最後に羽口を粘土で補修して作業を終える。

なお、この技術については、今のところどの伝書等にも見当たらない。（写真3-49）

3. 13. 6 停風と鋳出し

約70時間の操業により炉がかなり浸食され、これ以上炉が対応できないと判断されると、送風を停止して操業を終了し、鋳出し作業へと移る。鋳出しは、簡単にいえば炉を崩して鋳を引き出す作業である。その工程は、概ね次の順でおこなわれる。

- (1) 送風装置である「木呂管」と「つぶり」を撤去する。
- (2) 炉を崩しやすくするため、炉の正面壁と裏面壁に、「はながけ」という槍のような用具で突いて溝をいれる。(写真3-50)
- (3) 側面の壁を崩すため、「天秤山」の上へ数人が上がり、「大かぎ」という用具を釜壁にひっかけて引っ張り、上釜・中釜・元釜の順に引き倒して炉を破壊する。(写真3-51)
- (4) 炉がほぼ破壊されると、下から鋳が顔を出す。この段階では赤熱した木炭が鋳の周囲にたくさん残っているので、天秤山の上から「しわりおし」という用具で天秤山と鋳の間に引き出し、さらに「金えぶり」という用具で掻き集めて鋳の上を清掃する。掻き集められた木炭は、鋳出し後次の操業の下灰用に使用する。これを「座り木炭」と呼んでいる。
- (5) 赤熱した木炭を除去すると、鋳の姿が完全に現われる。さらに「灰かき熊手」等で鋳の上の残滓や側面に溶着した釜壁を取り除き、最後の仕上げの清掃をおこなう。以上の作業は、70時間の厳しい操業のあとの高熱や舞い上がる粉塵の中でおこなわれるため、大変な重労働で危険な作業である。
- (6) 鋳が露出すると、その場で約1時間30分～2時間かけて自然冷却した後、外に引き出し、さらに冷却をする。

以上の全工程を鋳出しというが、鋳を外に引き出す作業をとくに狭義の意味で鋳出しといい、これには鋳の底に丸太を敷いて鋳にチェーンを巻き、ウインチに連結して引き出し、全作業を完了する。(写真3-52・53・54)

なお、この鋳の冷却法であるが、これには空冷する方法と、水冷する方法とがあり、前者を「火鋼（ひはがね）」、後者を「水鋼（みずはがね）」と呼んでいる。

「日刀保たたら」の場合、この二法のどちらを取るかが検討されたが、結果としては、自然冷却する空冷法が採用された。その理由は、水冷すれば鋳は割りやすくなり仕事が早く進むが、「日刀保たたら」の場合は、鋳の年間生産数も少なく、それほど急いで破砕す

る必要もないこと。水冷法をとるとすれば、それなりの施設と経費がかかり、また、池から鉗を引き上げるための技術が必要であること。そして水冷であっても空冷であっても、鋼の品質にはなんら影響がないことなどによったものである。

3. 13. 7 なめくじりと床ぬくめ

鉗出しが終わり、最後の仕事として「なめくじり」の構築作業がある。この作業の目的は次の年の操業開始までにおける空間の時間にあって、なるべく乾燥状態が保たれるよう工夫されたものである。そして、次の年の操業は、事実上このなめくじり崩しから始まる。

以下、なめくじりの構築の手順と「なめくじり崩し」、そして「床ぬくめ」について述べる。

(1) なめくじりの構築

- 1) 炉床面に、「すわり」（またはしわり）といって、鉗出しの後、炉内や鉗の上に残った赤熱した木炭を敷き、下灰作業をおこなう。（写真3-55）
- 2) 激しい鉗出し作業によって筋金が正常の位置からずれることがしばしばあり、このようなときは、筋金を正常の位置に戻す。
- 3) 長さ3 mくらいの薪を、炉床面に約2トンほど蒲鉾形に積み上げる。（写真3-56）
- 4) 薪を積み上げると、崩れ防止のため、また次の粘土積み作業をしやすくするため、濡れたむしろ数枚を薪がはみ出さないように被せる。（写真3-57）
- 5) 焚き口（50×50cm）を、正面と裏正面にレンガと石を用いてつくる。（写真3-58）
- 6) むしろを被せると、次に粘土を9～12cmの厚さで全体を覆い、その上から「床しめ」と呼ばれる用具を用い、粘土を叩いて締め、真ん中に煙突を一つ設ける。（写真3-59.60）
- 7) 以上が完成すると、両焚き口から着火し、4～5日かけてじっくりと燃やす。なお、この間粘土が乾燥し、ひび割れがおきるので、その都度藁箒で水を少しかけながら、床しめで叩いて補修をおこなう。

(2) なめくじり崩しと床ぬくめ

- 1) 焚き口を開いて中の炉床面に「こも」か「わら」を敷く（但し近年はトタンを用いている）。これは「なめくじり」を崩したとき、粘土が炉床面に直接落ちないための防止策である。
- 2) 「ハンガケ」「湯ハネ」「大鉤」「小鉤」などの用具を用い、正面と裏正面から背部にかけて、粘土が炉床面になるべく落ちないようにして崩す。このとき崩された粘土塊は、小塊のものは再利用できるので、その場で叩いて粉にし、大塊で焼けただけたものは除去する。
- 3) 崩し作業が全て終わると、「こも」や「わら」を粘土塊とともに外へ引き出す。
- 4) 最後に炉床面を掻きならし、下灰作業を入念におこない、この上に元釜が築かれることとなる。

なお、この「なめくじり」崩しをおこなう前に、「床ぬくめ」という作業がある。この作業は、なめくじり構築後におこなったと同じように、薪をなめくじりに充満し、約7日間くらい燃やし続けられ、これは湿気を可能なかぎり除去し、保温と乾燥を促進するためにおこなわれるが、この作業についての記述については、「俵本」をはじめ詳細な記載は、今のところ経眼していない。

3.14 結言

本章においては、以下の新しい知見と結論を得た。

- (1) 安部由蔵・久村歆治の両村下によって復活された「日刀保たたら」の詳細な記録を作成することができ、また併せて、たたら製鉄に関する文献、とくに倭国一の「古来の砂鉄製錬法」、下原重仲の「鉄山秘書」を用い、その内容と対比しながら日刀保たたら技術について考察を加えた。そしてこの中から、「日刀保たたら」の技術が、「俵本」(砥波鑑)、「鉄山秘書」とその技法面において基本的には変わらない。換言すればかなり忠実に古式の技術に則って復元されたことがわかった。しかし反面、古文書にもみられない技術が、日刀保たたらには存在することがわかった。その中で特筆されることは、日刀保たたらにおいては、乾燥砂鉄を用いて炉内調整をおこなう「早種」(はやだね)という技術と、鋸の厚さを増すためにおこなう「ホド」の補修技術(磨り上げという)が存在することである。とくに早種は注目される技術である。

- (2) 「日刀保たたら」の前身である「靖國鑪」で用いられた「真砂砂鉄」と、現在日刀保たたらで用いられている真砂砂鉄との間に、性状において相違があるのかどうか、このことについて比較調査をおこなった。その結果、日刀保たたらの方が靖國鑪より鉄系元素は高く、他は多くが低い数値を示していることを明らかにした。そしてその原因は砂鉄採取方の相違、即ち、靖國鑪時代には「鉄穴流し法」が用いられたが、現在の日刀保たたらにおいては、「磁力選鉱法」が用いられていることによるものである。
- (3) たたら炭のたたら製鉄に及ぼす効用について考察をおこなった。その結果、たたら炭は、他の鍛錬用木炭・工業用木炭との比較において固定炭素量が最も少ないことがわかった。その理由は、炉内へくべられた砂鉄は約 1,200mm の高さの炉頂から順調の場合約90分かかってホド穴の先端にまで到達するが、それには炉内で順調に燃焼してほどよく降下する木炭が求められることとなる。その点一般の木炭は固定炭素が多く、燃焼と降下に時間がかかるが、半燃焼状態とした、つまり固定炭素の少ないものは、燃焼と降下時間がほどよいことから、このような木炭が求められ、ここにたたら炭の性状と効用がある。
- (4) 釜土成分のノロ生成に及ぼす効用について考察をおこなった。釜土は60%近くの SiO_2 、約20%の Al_2O_3 、1.5%ほどの TiO_2 からなり、これらはノロ生成に大きな役割を果たしている。しかし、その主成分である SiO_2 の融点が高いのにもかかわらず釜土が侵蝕され、ノロが生成されることが疑問であった。そこで他の粘土との成分比較をおこなった。その結果、釜土には他の粘土に比較して FeO は約10倍、 Fe_2O_3 は約25倍も多く含んでいることがわかり、これは炉内で溶解された砂鉄が釜土に接した際、釜土に含まれる鉄分（酸化鉄）を溶解させることによって、炉の侵蝕が促進され、ここに釜土の成分のノロ生成に及ぼす効用がある。

文献及び付記

- 1) 俵国一：古来の砂鉄製錬法，丸善，東京，（昭和8年）。
- 2) 下原重仲：鉄山必用記事，（天明4年）。
- 3) 「芸州加計隅谷鉄山絵巻」は、菊池俊彦編「江戸科学古典叢書」1988年、恒和出版、491～ 492ページに所載がある。

- 4) 「鉄山記」は島根県安来市にある和鋼博物館が所有し、地元の鉄山業等について著したものであり、作者は不明であるが、時代は絵の内容から幕末と思われる。
- 5) 「真砂砂鉄」とは、「俵本」によれば、「而して概ね純花崗岩中には粗粒なる磁鉄鉱を含むこと多く、之より得たる砂鉄には粗粒の珪石を混じ他物を含むこと少なし所謂真砂小鉄と称し、鋳押の原料に使用す。」とあり、また赤目砂鉄については、「其砂鉄粒の大きさ概ね小にして磁鉄鉱の他赤鉄鉱、珪酸鉄又は多量のチタン鉄鉱を含む、之を赤目小鉄と通称し専ら鋳押の原料にせり。」とある。
- 6) 「鉄穴流し」については「俵本」の第2章「砂鉄採掘及選鉱法」で、伯耆国日野郡地方の様子について詳しく述べられている。また、「先大津阿川村山砂鉄洗取図」(幕末)は、山口県豊浦郡豊北町での鉄穴流しによる砂鉄採取法と、境川村(現在の長門市境川)での浜砂鉄の採取法が記されている。さらに「日本山海名物図絵」(1754)にみる「鉄山の絵」も鉄穴流しの様子を描いたものとして有名である。ただこの絵では、場所が特定されていないが、その解説に「石見 備中 備後の三カ国おをく鉄あり」としているところを見ると、これらの国々における様子を描いたことが想像される。
- 7) 田部家は、紀州(和歌山県)田部庄の流れをくむ田辺入道安西が鎌倉時代吉田村に土着したことから始まるという。安西十代の子孫に彦左衛門がいて、寛正年間(1460~1465)の頃から鉄山稼業を始めたとされ、田部家ではこの人を鉄山元祖としている。以後大正10年まで460年間続き、「菅谷たたら」の名で知られ、その施設等は国の重要民俗資料に指定されている。
- 8) 桜井家は、戦国の武将塙団右衛門(ぼんだんうえもん)を遠祖とし、後に鉄山業を営む。三世桜井三郎左衛門直重は正保元年(1644)に仁多郡阿井呑谷に良質の砂鉄を発見し、この地に定住し、「可部屋(かべや)」を屋号とした。現在、同家では財団法人可部屋集成館を設立し、資料の公開をおこなっている。
- 9) 林原家は、寛永元年(1624)備後から移住し、寛政10年(1798)に今の地に移り、たたら製鉄をおこなったが、徳川時代には鉄師頭取の地位を得、以後大正12年まで操業をおこなった。現在、同家では財団法人林原記念館を設立し、資料の公開をおこなっている。
- 10) ト蔵家は、中世後期から家を興し、たたら師として栄えたが、はっきりしているところ

ろでは享保年間（1716～1735）から大正14年まで操業し、その後は昭和13年から20年まで「叢雲たたら（むらくもたたら）」などを経営した。

- 11) 「真砂土」とは、真砂砂鉄を含有する土のことで、「日刀保たたら」の砂鉄は仁多郡横田町の羽内谷（はないだに）から産出する。
- 12) 「オンジャク」の名の起りは不明である。
- 13) 「新釜」とは一番最初におこなう操業のときの、たたら炉のことである。
- 14) 「ナマカネ」「下鉄」「地鉄」については第4章で述べている。
- 15) 白水晴雄：粘土のはなし，p.37.-p.39，技法堂，東京，(1990)。
- 16) 「一庭」とは、たたら炉の築かれる炉床面を、一つの庭と想定したのである。
- 17) この「湯池穴」からは、鉄押しの場合は勿論のこと、鋳押しにあっても最初は鉄、すなわち鉄湯が流れ出て、池のように溜まることからこの名がある。
- 18) 「炭坂」とは村下の補佐役で、裏村下に相当する職。
- 19) 「灰の手子」とは「炭焚」のこと。
- 20) 山田吉睦：古今鍛冶備考，書林，江戸，（文政13年）。
- 21) 「ホド」とは、製精錬をおこなう炉のことで、刀鍛冶の世界においても現在この用語が用いられている。
- 22) 「相違あるを認むべし」とは、「鋳押し」と「鉄押し」とによるホド穴の開け方の違いを述べたものである。
- 23) 「調べ」とは、前に述べた「しらべざし」のことである。
- 24) 小塚寿吉：「鉄と鋼」，52(1966) 1763。
- 25) 「韓鍛冶」は「広辞苑」に「古代、刀剣その他の鍛造に従った品部（しなべ）。4世紀後半～5世紀に朝鮮の進んだ技術を取り入れて編成したものを韓鍛冶・韓鍛冶部といい、それ以前の倭鍛冶・倭鍛冶部と区別する」とある。
- 26) 1回のたたら操業を「一代（ひとよ）」と呼んでいるが、「鉄山秘書」では「一夜」と表現している。
- 27) 「表側」とは、「日刀保たたら」では高殿において、鋳が引き出される、いわゆる出口側をいい、高殿の入口側は「裏側」という。但しこの表現は「鉄山秘書」にも他の文献にも見当たらない。あるいは2人制の村下（表村下、裏村下）をおいた「靖國鑑」時代ごろから使われはじめたのかもしれない。

- 28)「ワテ」とは、「日刀保たたら」では、たたら炉を中心として、金屋子神を祭っている方、すなわち高殿正面から入って左側をいい、「マエ」はその逆、つまり右側をいう。



写真3-6 鉱山の開設工事

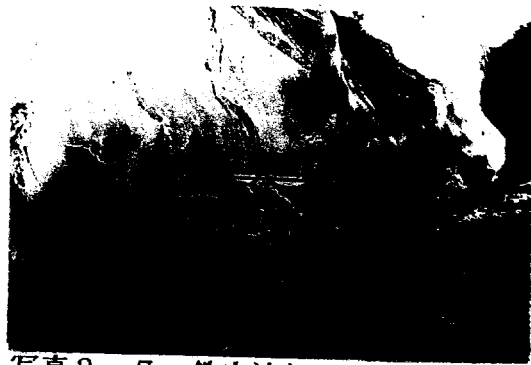


写真3-7 鉄穴流し



写真3-8 磁力選鉱される砂鉄



写真3-9 たたら炭を焼く



写真3-10 灰木



写真3-11 下灰作業

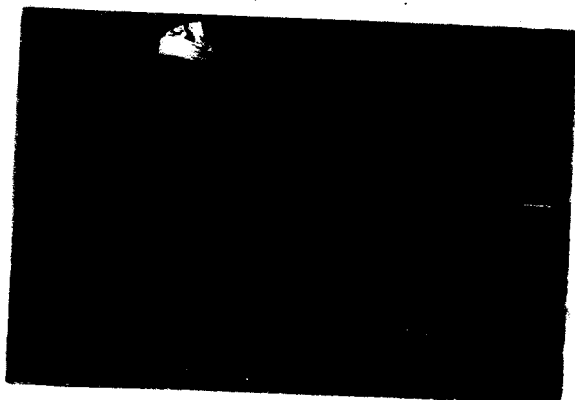


写真3-12 炉床面の仕上げ

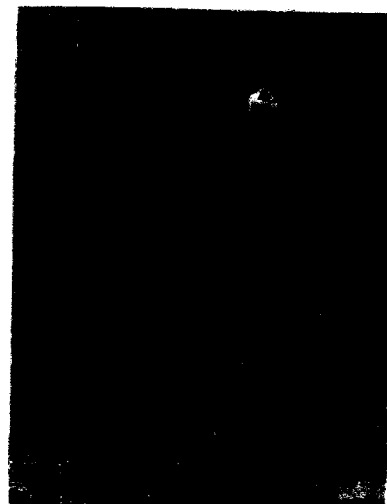


写真3-13 灰とり



写真3-14 筋金の据え付け

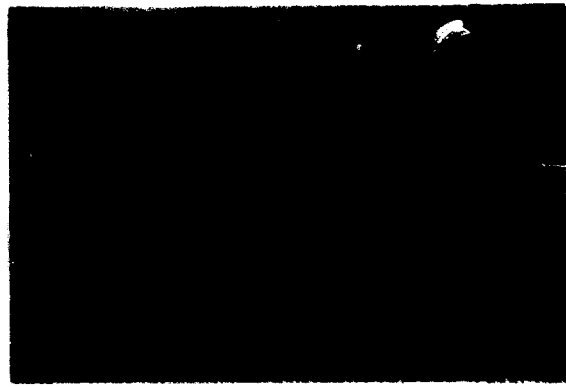


写真3-15 焼き粘土の散布

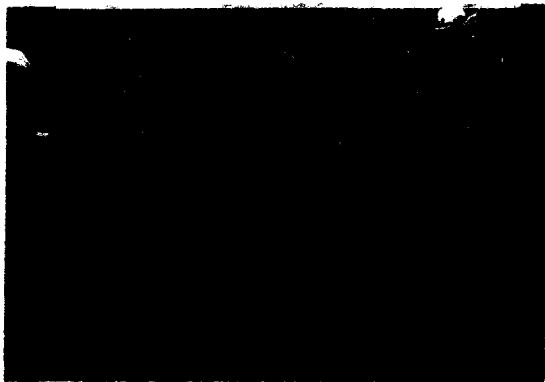


写真3-16 中板の設置



写真3-17 はぐれの設置



写真3-18 トモ木の据え付け



写真3-19 釜土の混練



写真3-20 元釜の構築



写真3-21 完成した元釜



写真3-22 ホド穴の位置をきめる



写真3-23 ホド穴の穿孔（追い出し）



写真3-24 ホド穴の穿孔（吹き切り）



写真3-25 ホド穴の穿孔（しらべ）



写真3-26 中釜の構築



写真3-27 完成した中釜



写真3-28 二割土



写真3-29 元釜・中釜の乾燥



写真3-30 「役木」



写真3-31 上釜を築く

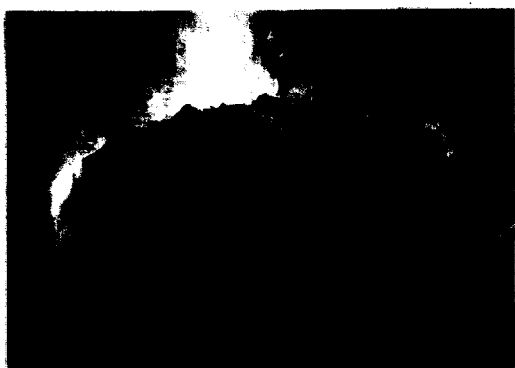


写真3-32 八巻



写真3-33 天秤山（向かって右）



写真3-34 つぶり台・鰐口・木呂管



写真3-35
完成したたたら炉と木呂管の接続



写真3-36 つぶりの水溜



写真3-37 押し棒



写真3-38 釜引っ張り



写真3-39 金屋子神とたたら図



写真3-40 金屋子神社



写真3-41 真砂砂鉄

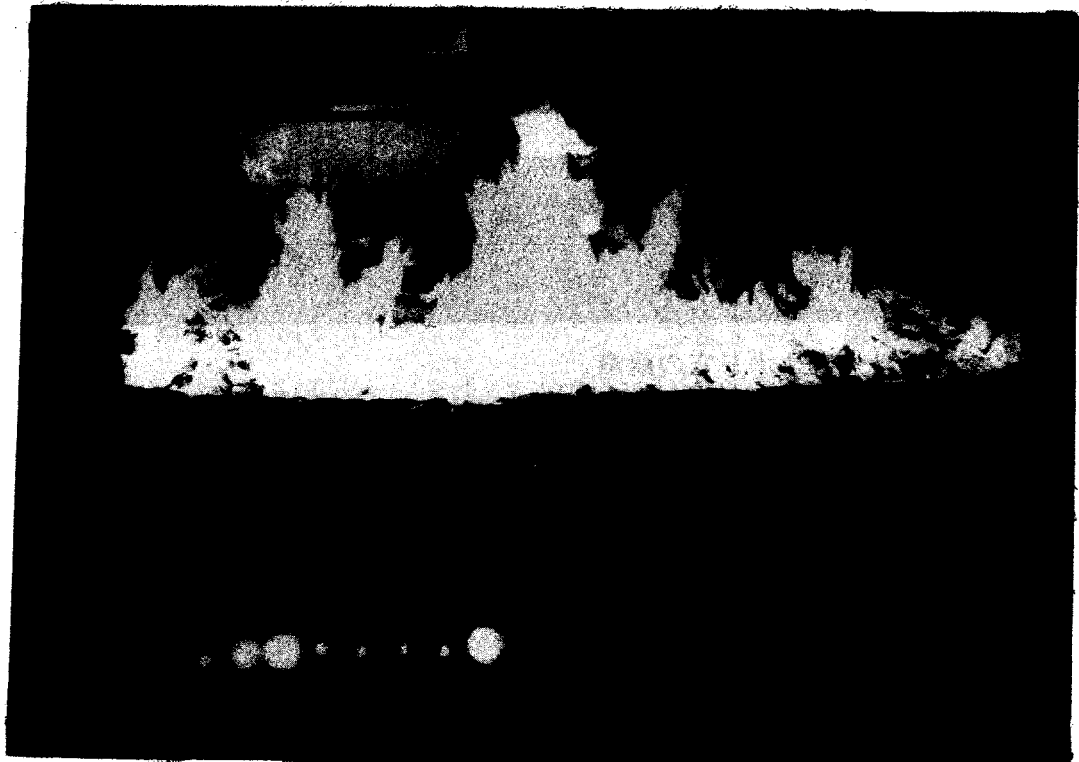


写真3-42 砂鉄の装荷



写真3-43 木炭の装荷



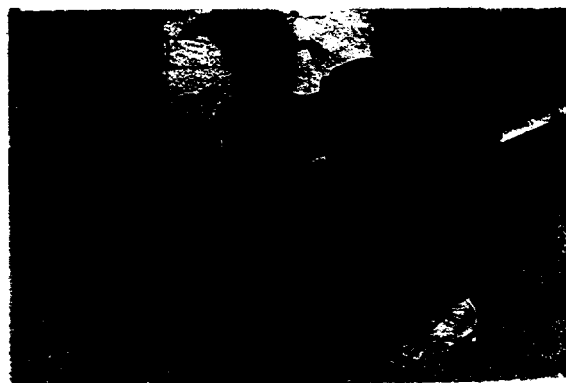
写真3-44 炭の山と谷を整える



写真3-45 ホド穴の観察



写真3-46 ホド突き



- 94 - 写真3-47 中湯池からのノロの取り出し



写真3-48 四つ目湯池からのノロの取り出し

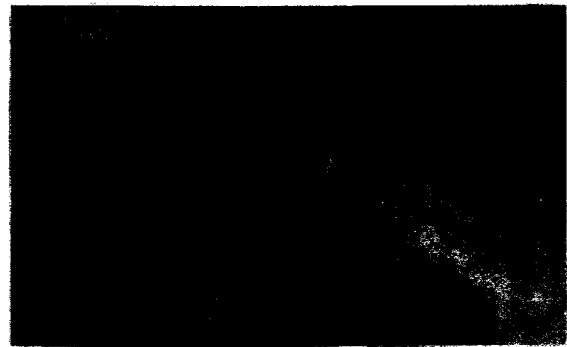


写真3-49 磨り上げ

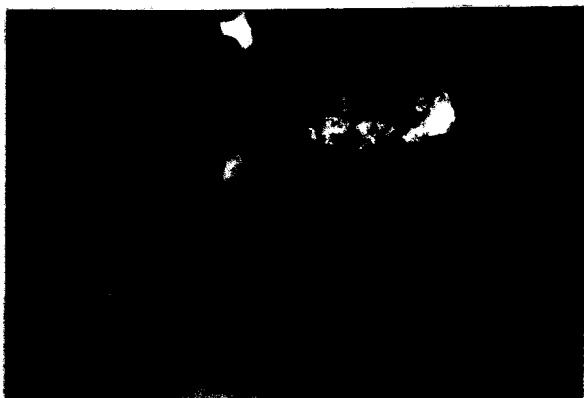


写真3-50 「はんがけ」で炉壁に溝を入れる



写真3-51 「大かぎ」で炉を崩す



写真3-52 鋏を引き出す(1)



写真3-53 鋏を引き出す(2)



写真3-54 鋏を引き出す(3)

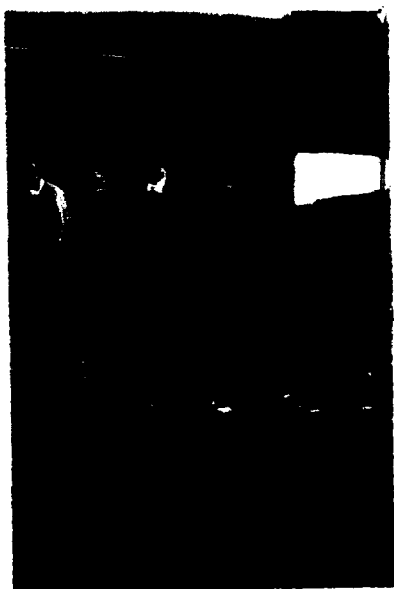


写真3-55



写真3-58



写真3-56

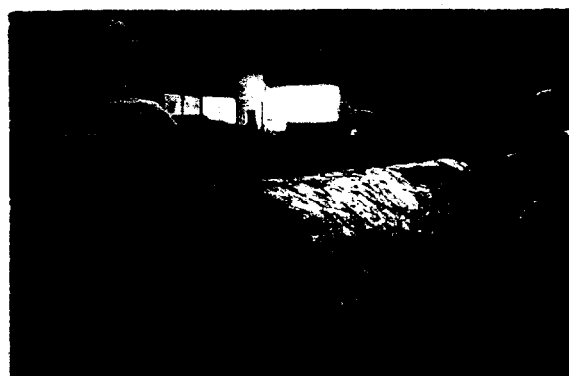


写真3-59



写真3-57

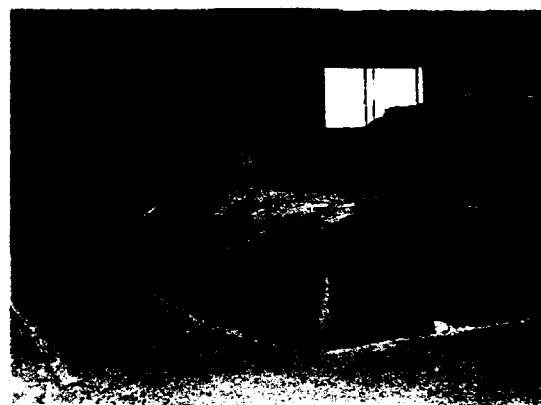


写真3-60

第4章 たたら製鉄（鋳押し法）の復元と村下安部由蔵の技術

4.1 緒言

(財)日本美術刀剣保存協会(東京)は、国の重要無形文化財に指定されている日本刀の製作技術を材料の面から保護し、あわせてたたら製鉄技術者の伝承者を養成することを目的として、昭和52年、島根県仁多郡横田町にある「島上木炭鉄工場」内に残されていた「靖國鑪(やすくにたたら)」の遺構を利用し、たたら製鉄を復元することに成功した。ここに復活したたたら製鉄を「日刀保たたら(にっとうほたたら)」と言う。この技術は、国の選定保存技術に指定され、平成11年2月までに102回の操業が実施された。復元が可能となった要因の中で最も大きなことは、靖國鑪時代村下職(たたら操業の長(おさ))を務めたことのある安部由蔵(あべよしぞう、明治35年生・平成7年没)の努力がはなはだ大であったことによる。日刀保たたらにおける同氏の技術の特徴は、後で述べる籠り砂鉄(こもりさてつ)の入手が困難であったことから、通常の実砂砂鉄(まささてつ)のみによる技術開発を行ったところにある。

本論文は、たたら製鉄の復元を成功へと導いた村下安部由蔵の技術とはどのようなものであったか、これを操業記録と同氏からの聞き取り調査の記録から解析するものである。

なお、たたら操業の記録作成については、社団法人日本鉄鋼協会が昭和46年に発刊した、「たたら製鉄の復元とその鋸について」と題する報告書¹⁾にみることができ、これは、昭和44年10月から11月にかけて同会が実施した3回のたたら操業の記録を克明に記したもので、約30年経た今日にあっても不動の大作の書となっている。そしてその内容は、物質精算、鉾滓の組成、熱精算、炉内反応について解析をはかったものとなっている。

操業記録の作成、そして聞き取り調査からは高殿(たかどの)の構造、粘土の混練法、道具類の作成法など極めて多くの資料を得ることができた。その中で本論文においては、砂鉄と木炭の装荷法について考察するものとする。

4.2 操業の実施

4.2.1 炉の構造

炉は地下からの湿気を遮断すると言われている地下構造の上に構築された。日刀保たたらでは靖國鑪の地下構造を補修して使用しており、この構造は小塚寿吉が報告しているので詳細は省略する²⁾。深さ 333cm、幅 485cm、奥行き 364cmの長方形の穴底に排水溝があり、下から荒砂、坊主石、砂利、木炭、粘土の層が重なり、その上に中心に本床、その両

脇に小舟が配置されている。

本床の上に箱形炉が構築された。写真4-1に築炉を示した。炉の長さは2,700mm、高さは両端で1,200mm、中で1,100mm、幅は両端で761mm、中で873mmと中が少し低く、膨らんでいる。ホド穴（羽口）は片側20本ずつ両側に合計40本が一行に開けられた。炉は1代目（ひとよめ、代とは操業回数を示す単位）毎に壊される。送風は4台のピストン型送風機を用い、間欠的に送られた。

4.2.2 操業条件

昭和53年度において実施した1代目から7代目までの7代の操業につき、30分毎における砂鉄・木炭の装荷量、出滓量、送風量、風圧、炉壁厚、高殿室内温度等の推移などを記録した³⁾。操業は炉の長手方向を2分割し一方を「表（おもて）」、他方を「裏（うら）」と称して、表村下は安部、裏村下は久村歆治が務め、さらに木原明（現日刀保たたら村下）等が加わって操業が行われた。砂鉄は羽内谷（はないだに）鉾山より採掘され、磁力選鉱された“真砂砂鉄”を用いた。木炭はくぬぎ、なら等の落葉樹の雑炭で拳大の大きさに砕いたものを用いた。

1代から7代まで操業条件は炉況により少しずつ変った。

（1）羽口の角度：1代目の炉は24～30°で最も大きく炉底中心に向かって開けられたが、

2代目は9～10°で最も小さく、平均19～24°の角度になった。

（2）送風量：通常850m³/hrで行い、後半に950m³/hrに増風した。その時期は代により異なり、4代では24.5時間後、2代では31.5時間後、4、5、7代では50～56時間後である。1代と6代ではこの増風が行われていない。また、操業の前半から中頃までに徐々に送風量を上げる場合もあり、3代では、8.5時間まで750m³/hrで、6代は10.5時間まで750m³/hrでその後23時間まで825m³/hrで、7代は9.5時間まで750m³/hrでその後32時間まで800m³/hrの送風を行っている。

4.2.3 聞き取り調査

平成2年1月2日・同年1月6日・平成3年1月6日・平成4年1月8日に開催された「村下養成講習会」において、安部由蔵より、砂鉄と木炭の装荷法について聞き取り調査を行った。

4.3 結果



写真4-1 築炉

4. 3. 1 操業結果

操業の結果を図4-1に示す。また、約68時間の連続操業の結果得られた各代の砂鉄と木炭の使用総量、排出鉍滓の総量、鉍及び鋼、鉄の総量を表4-1に示した。ここで鉍は鋼と鉄、その他を含んだ総称である。また、鉄は自然に炉外に流れ出る流鉄（ながれずく）ではなく、鉍の底部にできた鉍鉄（けらずく）である。生産効率は16.0～19.0%である。4代が16.0%と最も少ないのは炉壁の減肉が早く63.5時間で操業を中止したためである。

4. 3. 1. 1 砂鉄の装荷法

- (1) 操業第1日目第1回目の砂鉄の装荷を初種（はつだね）と呼ぶ。これは7代の操業のほとんどが表と裏各2杯ずつの計4杯（1杯は約4kg）である。これは4日間の操業（約70時間）において最も量が少ない。そして初種から1時間ないし1時間30分経過した時、つまり装荷回数が3～4回目以降の装荷量は計12杯程度に急増されている。この理由は、装荷開始時では炉温も十分上がっていないことから、初種はなるべく少量とし、炉温が上がってきた頃を見計らって増量されたものである。
- (2) 1代の操業約70時間にあつて、操業第1日目、もしくはその前半が最も装荷量が少ない傾向にある。この期間は、「籠り」期と言い、炉内温度の上昇に専念する時期である。そのため、熱を吸収する砂鉄の装荷量を最小限にとどめている。
- (3) 砂鉄は操業第2日目、もしくは第1日目後半からさらに増量され平均16杯となっている。不規則ながらもその量は第4日目まで推移する。この間の装荷量の増減にあつては、特に7代全体に共通した特徴というものは発見できない。この間は、その時の炉況に応じて村下が臨機応変の措置をとっている。

4. 3. 1. 2 木炭の装荷法

- (1) 操業の開始に先だつて、大量の木炭（1代平均 580kg）、杯数にして約46杯（1杯は10kgから15kg）が充填されている。これは、構築直後の炉は事前に乾燥を行ったとはいえ、まだ水分を多く含んでいるので、炉の乾燥を促進させるための策である。この技術については、『古今鍛冶備考』『鉄山略弁』には、「ことごとく成就したる上にて再三火をもって水気を去る。すべて新釜の吹きかけには鉄砂も焼けて炉へ納まるなり。これはいささかも水気ある時は鉄湯速く塊りて鉍鉄（鉍はナマカ子と呼ぶもの、俗に下鉄、また地鉄という）多くできるゆえに忌むなり。」と説明し、この技術の目的とその重要性を知ることができる。なお、ここに見られる「鉍鉄」と

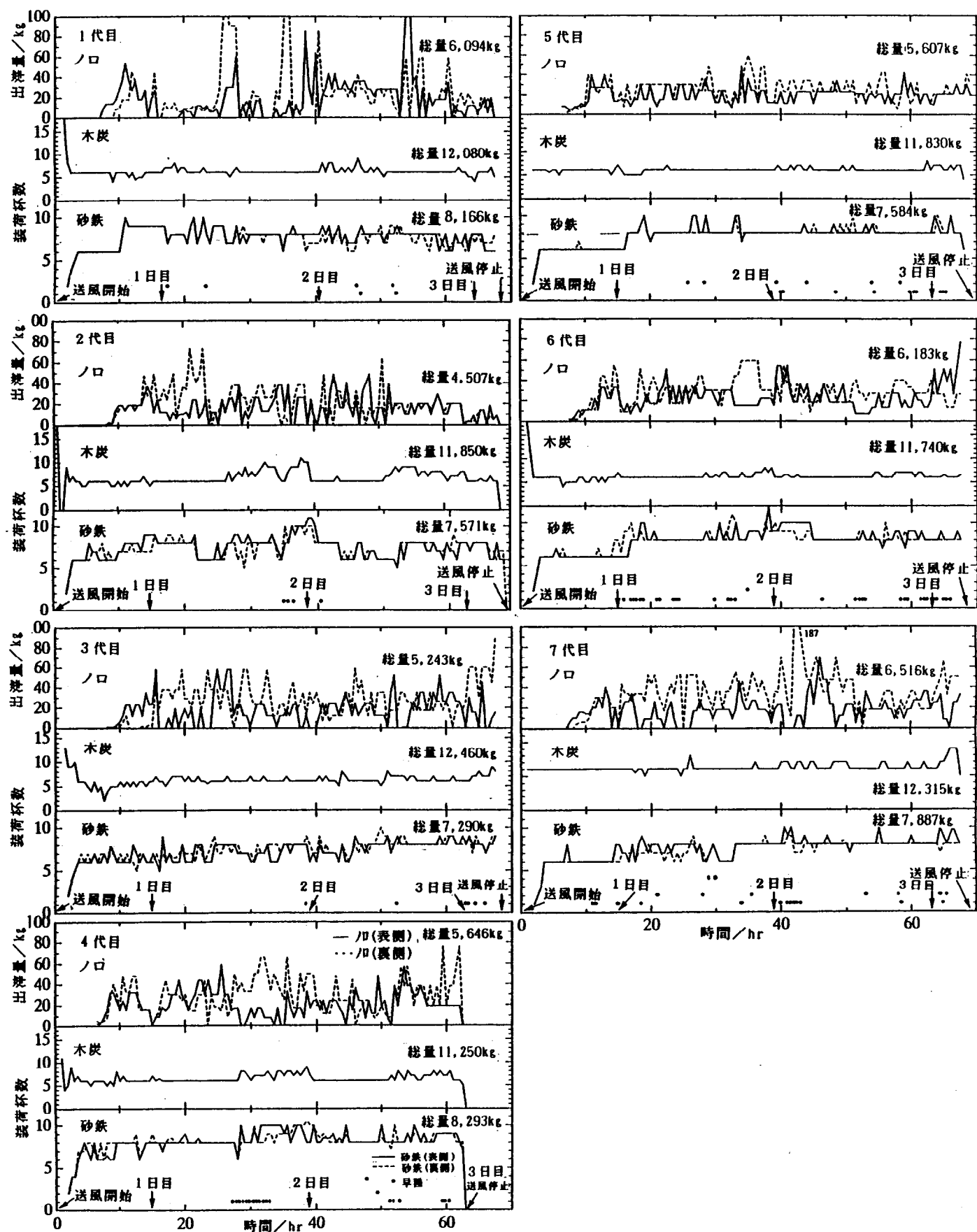


図4-1 第1代から第7代の操業における砂鉄・木炭の使用量と出洋量

表 4 - 1 砂鉄・木炭の使用量及び出滓量と鋼・鉄の生産量

代 (回)	砂 鉄 (kg)	木 炭 (kg)	ノ 口 (kg)		鋼 (kg)	鉄 (kg)	平 均 (%)
			表側	裏側			
1代目	8,166	12,080	2,355	2,739	1,133	206	16.4
2代目	7,571	11,850	1,942	2,565	1,239	200	19.0
3代目	7,290	12,460	2,073	3,170	1,065	230	17.8
4代目	8,293	11,250	2,356	3,290	1,195	129	16.0
5代目	7,584	11,830	2,494	3,113	1,154	125	16.9
6代目	8,142	11,740	2,777	3,406	1,253	175	17.5
7代目	7,887	12,315	2,203	4,313	1,320	170	18.9

鋳の重量は2.0トンから2.5トン、この中に鋼と鉄が含まれる

表 4 - 2 各炉における砂鉄の酸化度

炉 名	操業の区分	Fe ₂ O ₃ (mass%)	FeO (mass%)	$\frac{(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{(\text{FeO})}$
靖國爐	籠り	66.05	21.52	3.07
	籠次ぎ	60.50	20.33	2.98
	上り	60.46	21.20	2.85
	下り	62.45	22.86	2.73
日刀保たたら	真砂	62.51	24.66	2.53
	籠り	61.71	20.91	2.95
砥波爐	籠り	70.30	11.38	6.18
	籠次ぎ	64.28	17.54	3.66
	上り	60.79	22.91	2.65
	下り	62.59	21.30	2.94

は、「鋸押し法」における「鋸＝鋼」の意味とは異なり、「ナマガネ」すなわち炭素濃度の低い鉄をこのように表現している。

- (2) 第1回目の木炭の装荷は、第1回目の砂鉄の装荷に先だって行われるが、第5代目と第7代目を除いては、11杯から18杯が装荷され、これは4日間の操業中最も量が多く、初種の砂鉄装荷量と正反対になっている。

この理由は、操業の開始に先立ち、大量の木炭を用いて炉が乾燥されるが、それでもまだ少し湿気が残っていて、炉温も十分上がっていないことから、砂鉄装荷に先だって炉の保温と乾燥を十分はかり、砂鉄の溶冶（製錬）を容易に促進させるためである。

- (3) 最初の木炭の装荷から1～2時間経過したとき、つまり装荷回数の3～5回目に木炭の装荷は減量され、以後は1回の装荷6杯を機軸とした装荷が行われている。

これは、炉の保温と乾燥に目途がたったため、通常の装荷量にしている。なお、これ以後の装荷において、木炭の装荷量は砂鉄の装荷量に追隨して増減している。

4. 3. 1. 3 排出鉍滓量

- (1) 出滓は送風開始から6～8時間後に中湯池から、また12.5～14.5時間後に四つ目湯池から自然に流出し始めた。ただし、1代目は16.5時間、2代目は15.5時間と少し時間がかかっている。

- (2) 鉍滓の総流出量は4.5～6.5トンで、表より裏の方が平均40%多い。特に7代は約2倍になっている。

- (3) 鉍滓は炉壁が砂鉄と反応してファイヤライト組成の低融点スラグ（ノロ）となって流出する。このため、ホド穴で計測した壁の厚さは約45cmから操業の終了する約68時間後には10cm以下にまで減肉した。特に4代では送風量を増加させた時間が早かったため炉壁の減肉が早まり約63時間で終了した。

4. 3. 2 聞き取り調査

昭和初期の靖國鑪時代までの鋸押し法によるたたら操業においては、約70時間の操業を、「籠り」、「籠り次ぎ」、「上り」、「下り」の4期にわけ、それぞれ性状の異なる砂鉄が使用されてきた²⁾。ここで砂鉄の性質を表す尺度として、酸化度を砂鉄中の $(\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ 濃度}) / (\text{FeO 濃度})$ の比で定義する。籠り期にあってはまず鉄（ずく）を造るため同じ真砂砂鉄であっても最も酸化の進んだものが用いられ、籠り次ぎ期にあっては鉄から鋼の生産に切り換える時期であることから、やや酸化度の高い砂鉄が用いられ、上り期、下り

期では鋼造りに専念することから、酸化のあまり進んでいない通常の真砂砂鉄が用いられてきた。表4-2は、明治時代の砥波鑪（となみたたら）⁵⁾（鳥取県）、靖國鑪²⁾（島根県）、日刀保たたら⁶⁾における砂鉄の酸化度を計算し比較してみたものであるが、とくに操業期（籠り・籠り次ぎ）における砥波鑪、靖國鑪の砂鉄は、日刀保たたらの砂鉄に比較してかなり酸化の進んだものが用いられていることがわかる。

しかし日刀保たたらの開設にあたっては、諸事情によって籠り砂鉄が入手できなかったため、安部由蔵は操業期を「籠り」、「上り」、「下り」の3期に分け、この間通常の真砂砂鉄のみによる操業法を開発した。ここでは安部由蔵がこの新規操業技術の開発にどのような工夫をしたのか、これについて以下に聞き取り調査の結果を示した。

4.3.2.1 砂鉄の装荷法

- (1) 操業第1日目に使用する砂鉄は、やや湿り気のあるものを用いる。あまり乾燥したものは良くない。
- (2) 操業第2日目以降に使用する砂鉄は、順次乾いたものを用いる。
- (3) 同じく操業第2日目以降に使用する砂鉄は、よく清めたものを用いる。
- (4) 「早種」を用いて、炉内の調整を行う。
- (5) 砂鉄の装荷はどんなときでも極力軽吹きとする。強吹きは禁物。

4.3.2.2 木炭の装荷法

- (1) 操業第1日目の木炭の装荷は、炉の端の方にはやや小さめのものを、炉の中央には大きめのものを装荷する。
- (2) 操業第2日目以降は、全体的に大きめの木炭を装荷する。
- (3) 木炭の装荷の仕方は、常に炉の中央部は低く、炉壁側は高めになるようにする。

4.4 考察

4.4.1 安部由蔵のたたら操業技術

4.4.1.1 砂鉄に関する聞き取り調査から

- (1) 操業第1日目に使用する砂鉄

湿気のある砂鉄は水分でまとまっており、乾燥しさらさらしたものよりも降下が遅い。したがって、時間をかけて十分加熱されることから、早めに還元され、さらに炉内を降下する間に炭素の吸収も十分進行するので、鉄が沸き（生成し）やすく、ここに安部は籠り

砂鉄に代わる方法を考案したものである。」

(2) 操業第2日目以降に使用する砂鉄

日刀保たたらの場合、送風開始から操業第2日目の8時頃までを「籠り」、第2日目8時頃より24時頃までを「上り」、第3日目以降を「下り」と3期に分けている。すなわち「籠り次ぎ」がない。第2日目は主に上り期に該当し、鋳の成長を促進しなければならない時期なので、鉄になりやすい湿った砂鉄を避け、炭素の吸収に十分な時間がなく1.5%程度の炭素濃度の固液共存状態で鋳になる、乾いた砂鉄に順次切り換えている。

(3) 「よく清めた砂鉄」について

「よく清めた砂鉄」とは、磁力選鉱後さらに手作業により良く水洗いをし、土砂を取り除いたもので、これはT.Feの高い砂鉄である。つまり、先に述べたように、第2日目の8時頃から鋳の成長を促進する必要があるので、鉄分の多い、つまり鋼になりやすい砂鉄に切り換えることを意味している。これは俄国一博士が「古来の砂鉄製錬法」の第9節「製錬操業」の中で、「次に上り小鐵、終りに下り小鐵を興ふ、最も還元し難く、粗粒にして、鋼を造るべき主原料となるべきものとす。」と述べていることと一致している。

(4) 炉内反応の調整方法

早種とはよく乾燥した砂鉄のことで、これは30分ごとの砂鉄装荷時間の合間に、ホド穴や炎の状態から炉況を診断して局部的に装荷するもので、特に砂鉄がうまく降下しないような場所へ装荷される。安部由蔵がこの技術の重要性を強調するのは、通常の実砂砂鉄のみによる難しい操業では、常に慎重に炉況を判断し状況の変化に迅速に対応する必要があるからである。つまり、籠り砂鉄に比べてあまり酸化が進んでおらずまた粒形の大きい真砂砂鉄は、ややもすると局所的に砂鉄の装荷量が多くなる事態（ヘビーチャージ）を起しがちなので、なるべく「軽吹き」（装荷量を少なめに）することが求められるが、結果として砂鉄が炉内全体へ平均して行き渡らないことがあり、このようなときにこの早種という作業が求められる。

なお、この早種という技術は過去の文献等には全く見当たらないが、安部由蔵によれば靖國鐘時代には、既に行われていたという。

4. 4. 1. 2 木炭装荷に関する聞き取り調査から

(1) 木炭の大きさ

操業第1日目の木炭の装荷は、炉温がまだあまり上がっていないので、炉の中央より炉

壁の温度を上げるために、炉壁側へ小さめの炭を入れ、炭の燃焼効果の促進をねらったものである。

操業第2日目以降は風量も強くなり、炉温も上がるので、炭が大きめのものであっても問題はないとの判断に基づいている。

(2) 木炭の装荷法

木炭を炉の中央部には低く、炉壁側へは高く装荷する。炉壁側は空気の通りも良く、木炭の燃焼による発熱と熱対流の関係で炉の中央部より温度が上がる。木炭の燃焼による炉の温度上昇に限界のあるたたら製鉄では、最も火力が強く温度の上がる場所、すなわち炉壁側へ木炭を多く装荷することが考案された。またこれは、砂鉄においても同様なことが言え、壁から約15cm辺りに装荷している。

4.5 結言

以上「日刀保たたら」の村下安部由蔵の技術について解析を行い、以下の結論を得た。

- (1) たたら製鉄における砂鉄と木炭の装荷法において最も複雑な技術を要するのは、操業初期、つまり「籠り期」であることがわかった。この間、最初に装荷される砂鉄（初種）の量は最も少なく、逆に木炭の装荷量は最も多く、そして時間の経過に従って砂鉄の装荷量は漸次増量されていくのがわかった。このような作業が行われるのは、まだ湿気が残る操業初期の炉で、いかに温度を上昇させ、無理なく砂鉄を溶冶させるかということに力点をおくためである。
- (2) 籠り砂鉄を使用せず、真砂砂鉄のみを使用した安部由蔵の新規技術の開発における工夫とは、操業初期において、湿気をもたせた砂鉄を使用し、炉内滞留時間を長くして砂鉄の還元と炭素の吸収を十分行わせて鉄を造り、これをもって被還元性の良い籠り砂鉄の代用としたことである。また、上り期以降においては鋳（鋼）を造るため、順次乾いた砂鉄を使用し、また水洗いをよく行い、T. Feを高めた砂鉄を用いたところにあり、さらに早種の効果を大いに活用した点にあることがわかった。

安部由蔵の技術を靖國鑑までの技術と比較すると以下の通りとなる。

区 分	籠 り 期	上り期 ・ 下り期
靖國鑑まで	「籠り期」「籠り次ぎ期」に、よく酸化の進んだ「籠り砂鉄」を用いて鉄を造る。	鋼をつくるため、籠り期よりもT. Feを徐々に高め、酸化度を高いものから徐々に低いものへ落としている。
安部の技術	全量を真砂砂鉄とし、操業第1日目には湿気のある砂鉄を用い、これによって炉内滞留時間を長くして砂鉄の還元と炭素の吸収をよくし鉄をつくり、これをもって「籠り砂鉄」の代用とする新しい技術を開発した。	鋼を造るため、籠り期よりも砂鉄の乾燥と水洗を徐々によくし、T. Feを高め、靖國鑑までの操業に代わる新しい技術を開発した。

文献

- 1) たたら製鉄の復元とその鋸について(たたら製鉄復元計画委員会報告), 日本鉄鋼協会, 東京, (昭和46年)。
- 2) 小塚寿吉: 鉄と鋼, 52(1966), 1763.
- 3) 玉鋼品質の研究, 日本美術刀剣保存協会, 東京, (昭和54年—昭和56年)。
- 4) 山田吉睦: 古今鍛冶備考, 書林, 江戸, (文政13年)。
- 5) 俵国一: 古来の砂鉄製錬法, p. 78, 丸善, 東京, (昭和8年)。
- 6) 鈴木卓夫: たたら製鉄と日本刀の科学, p. 128, 雄山閣, (平成2年)。
- 7) 永田和宏: 鉄と鋼, 84(1998), 715.

第5章 たたら生産物「玉鋼」の性質に及ぼす「籠り砂鉄」使用の影響

5. 1 緒言

昭和初期の靖國時代までのたたら操業においては、約70時間の操業を「籠り」「籠り次ぎ」「上り」「下り」の4期に分け、それぞれ性状の異なる砂鉄を用いてきた。前章¹⁾で、^財日本美術刀剣保存協会が、昭和52年、島根県仁多郡横田町にある島上木炭銑工場内に残されていた「靖國鎗」の遺構を利用し、「日刀保たたら」として復元した際、それまでのたたら操業方法とは異なり、真砂砂鉄のみによる操業を村下安部由蔵が開発したことを述べた。

本研究では、通常の真砂砂鉄のみを使用した操業と、「籠り期」に酸化の進んだ籠り砂鉄を使用した操業の両者を比較し、生産される「玉鋼」の性質に及ぼす影響を調査した。

なお、昭和45年に^財日本鉄鋼協会が島根県飯石郡吉田村において行った「復元たたら」においても、籠り期に赤目（あこめ）系砂鉄を使用した操業が行われていて、「報告書」²⁾にまとめられている。しかしその内容においては、籠り砂鉄の効用については言及されていない。

5. 2 実験

安部由蔵が古法に基づく籠り砂鉄使用による操業ができなかった理由は、籠り砂鉄の埋蔵する場所が国有地、県有地であったりして籠り砂鉄を確保できなかったことによる。そこで日刀保たたらでは昭和55年にいたり、地元の土地所有者の協力を得、ある程度の籠り砂鉄を確保することができたので、古法を研究しておく必要から、籠り砂鉄使用による操業実験を昭和55年11月から同年12月にかけて3代実施した。また同時期に真砂砂鉄のみを使用した操業を4代実施し、比較した。

5. 2. 1 砂鉄採取の場所および期間

安部由蔵と木原明の調査のもとに、島根県仁多郡横田町大崎竹崎細谷（ほそだに）から、昭和55年11月2日より同年11月22日にかけて籠り砂鉄を採取した。

5. 2. 2 砂鉄の採取方法

細谷より原鉱 170トンを採取し、これを日刀保羽内谷（はないだに）鉱山において磁選し、3,400kgの精鉱を得た。原鉱におけるT. Feは約2%である。表5-1に示すように精鉱のT. Feは59.41%ある。

表5-1 砂鉄の分析

重量 %

炉 名	操業の区分	T. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	V ₂ O ₅	$\frac{Fe_2O_3}{FeO}$
砥波鍾	籠り	58.05	11.38	70.30	6.24	5.40	4.55	0.88	0.29	0.20	0.14	6.18
	籠次ぎ	58.64	17.54	64.28	5.03	4.60	5.80	1.42	0.34	0.13	0.15	3.66
	上り	60.37	22.91	60.79	4.61	4.73	4.03	0.91	0.72	0.21	0.20	2.65
	下り	60.38	21.30	62.59	7.23	2.69	4.17	0.67	0.32	0.05	0.16	2.94
靖國鍾	籠り	56.55	21.52	66.05	7.90	2.15	5.50	0.57	0.38	—	0.30	3.07
	籠次ぎ	56.96	20.33	60.50	8.18	2.46	5.90	0.57	0.58	—	0.27	2.98
	上り	58.13	21.20	60.46	7.90	2.24	3.86	0.48	0.70	—	0.29	2.85
	下り	59.86	22.85	62.45	7.45	1.67	2.87	0.32	0.42	—	0.27	2.73
日刀保た たら	籠り	59.41	20.91	61.71	7.38	3.06	2.43	1.005	0.34	0.27	0.18	2.95
	真砂	61.50	24.66	62.51	5.40	0.69	1.70	0.26	0.86	0.31	0.36	2.53

日刀保たたらの籠り砂鉄は細谷産出でPは0.052%, Sは0.009%。真砂砂鉄は羽内谷産出でPは0.071%, Sは0.032%を含有する。

5. 2. 3 操業実施日

昭和55年度の操業は7代行ったが、このうち2代、3代、5代の計3回の操業は「籠り期」に籠り砂鉄を、「上り期」と「下り期」は羽内谷鉱山で採取した真砂砂鉄を使用して操業を実施した。他の1代、4代、6代、7代は真砂砂鉄のみを使用した。具体的な実施日は次の通りである。ここで「籠り期」は従来の「籠り次ぎ期」を含んでおり、区別されていない。

第1回目(2代)は昭和55年11月30日から12月6日まで、第2回目(3代)は12月7日から13日まで、第3回目(5代)は12月25日から31日までのいずれも7日間であった。操業には、表村下を安部由蔵が、裏村下を木原明村下代行(現日刀保たたら村下)が務めた。

5. 2. 4 操業方法

たたら炉の設備および操業方法は前章)と同じである。炉は写真5-1に示すように箱型で、その長さは2,700mm、高さは両端で1,200mm、中で1,100mm、幅は両端で761mm、中で873mmと中が少し低く、膨らんでいる。炉壁低部にホド穴(羽口)が片側20本ずつ両側に合計40本一列に開けられた。炉は1代目(ひとよめ、代とは操業回数を示す単位)毎に壊される。送風は4台のピストン型送風機(轆)を用い、間欠的に送られた。



写真 5 - 1 操業

木原明村下による砂鉄の装荷

砂鉄をくべる道具を「種鋤」(たねすき) といい、1 枚の装荷量は約 4 kg である。

全操業時間は約68時間である。使用送風量は籠り砂鉄を使用した場合で $710 \text{ m}^3/\text{hr}$ から約24時間後に $839 \text{ m}^3/\text{hr}$ に増風された。真砂砂鉄のみを使用した場合では $775 \text{ m}^3/\text{hr}$ から 839 あるいは $904 \text{ m}^3/\text{hr}$ に増風された。木炭の装荷は30分毎に行われ、1 日目の籠り期では1 回に平均 8 杯、それ以降は平均12杯であった。砂鉄 1 杯は約 4 kg である。木炭は平均 3 杯 (約45kg) である。なお、木炭はなら、くぬぎ等の落葉樹の雑炭であり、拳大の大きさに砕いてある。

籠り砂鉄の使用時間と使用量を表 5 - 2 に示した。第 1 回目 (2 代) では初装入から10時間経過するまでに 500kg を使用し、第 2 回目 (3 代) では13時間経過するまでに 1,100kg を使用、第 3 回目 (5 代) では12時間経過するまでに 1,105kg を使用した。以後は真砂砂

鉄を装荷した。

全工程を真砂砂鉄のみ用いた操業では、前章で明らかにしたように「籠り期」において湿気のある砂鉄を用いた。

炉内反応状況の調整には“早種”（乾燥した真砂砂鉄）が適宜用いられた。

5. 3 結果

5. 3. 1 操業結果

操業結果を表5-2に示す。鋼の中で良質な部分を「玉鋼」と呼び、その等級の区分基準を表5-3に示す(3-5)。

- (1) 「籠り期」に籠り砂鉄を使用した操業で得られた玉鋼の生産量と、全工程真砂砂鉄のみを使用した操業で得られた玉鋼の生産量とを比較してみると、前者の場合、その平均値は玉鋼1級品が356kg、2級品が233kg、合計589kg、後者の場合、玉鋼1級品が245.3kg、2級品は147.3kg、合計392.6kgとなる。これを全鋼量に対する割合でみると、前者で玉鋼が41.3%、内1級品が24.9%、後者では玉鋼が29.1%、内1級品が18.2%となり、籠り砂鉄を使用した場合の方が高い収率を得た。
- (2) 第3回目の操業では、砂鉄を十分洗ってT.Feが60～63%と高くなった籠り砂鉄を第2回目の操業の時とほぼ同量（1,105kg）使用した。この場合、玉鋼の合計も1級品も収率が少し落ちている。
- (3) 第2回目（3代）の操業について特記すべきことは、次の通りである。操業第1日目の送風開始から9時間で、数カ所のホド穴で「金花（かねばな）」を確認した。金花とは、ホド突きという鉄棒をホド穴（羽口）へ差し込み、それを抜いたとき、棒の先に付着した鉄が線香花火のように飛び散る様子をいい、このような早い時間に確認出来たということは、通常の操業に比べて早期に鉄が沸き（銅が生成し）始めていることを示している。
- (4) 1代から7代いずれの操業でも初ノロ（最初に流出するスラグ）が出る時間は送風開始から9時間半ほどであった。しかし、籠り砂鉄を使用した操業ではいずれも第1日目の出滓と流動が特に良好で、2代では1.5kg、3代では4kg、5代では5kgと、他の操業での1～2kgと比べるとノロの出が良かった。特に、3代では普通であれば「湯はね」という道具を用いてノロの流出を促すことが多いが、この時はこ

表5-2 籠り砂鉄を使用した場合と真砂砂鉄のみを使用した場合における操業結果の比較

代 (回)	操業 時間 (hr)	籠り砂鉄		真砂 砂鉄 (kg)	木炭 (kg) () ⁺	鋼 (kg) *	鉄 (kg)	玉鋼(kg) (): % 玉鋼の出来高			ノロ (kg) () ⁺⁺
		使用時間	使用量					一級品	二級品	合計	
2代目	67:35	0-10	500	6,100	9,574 (1.45)	1,385	21	354 (25.6)	202	556 (40.1)	4,910 (74.4)
3代目	66:50	0-13	1,100	6,534	11,218 (1.47)	1,558	56.5	408.5 (26.2)	297	705.5 (45.3)	6,420 (84.1)
5代目	66:40	0-12	1,105	6,994	10,316 (1.27)	1,339	45	306 (22.9)	199	505 (37.7)	6,780 (83.7)
Mean	67:02	0-12	902	6,543	10,369 (1.39)	1,427	40.8	356 (24.9)	233	589 (41.3)	6,037 (81.1)
1代目	67:20	—	—	7,854	9,988 (1.27)	1,362	27	273 (20.0)	173	446 (32.7)	5,320 (67.7)
4代目	67:30	—	—	8,837	10,419 (1.18)	1,570	80	280 (17.8)	200	480 (30.6)	6,070 (68.7)
6代目	68:20	—	—	7,985	9,884 (1.24)	1,153	20	193 (16.7)	121	314 (27.2)	5,490 (68.5)
7代目	69:10	—	—	8,190	11,144 (1.36)	1,307	74	235 (18.0)	95	330 (25.2)	5,020 (61.3)
平均	68:05	—	—	8,217	10,359 (1.26)	1,348	50.3	245.3 (18.2)	147.3	392.6 (29.1)	5,475 (66.6)
砥波	68	0-9:57	1,350	11,475	13,500 (1.05)	1,125 3,712.5(Total)	1,575				15,200 (118)
靖國	71	0-17	2,610	12,301	14,900 (1.00)	577# 3,728(Total) ^{\$}	1,519 ^{\$}			577 ^{\$}	

* : 玉鋼をはじめとする鋼の全数量を示す。砥波の成績は1898年の操業結果を示す。

+ : 砂鉄量に対する木炭の使用量の割合を示す。++ : 砂鉄使用量に対するノロの生産量の割合を示す。^{\$} : 1943年の操業結果を示す。# : 577kgは玉鋼のみの数量を示す。

表5-3 玉鋼の等級の区分基準

等級	炭素量(mass%)	破面
玉鋼一級品	1.0~1.5	均質
玉鋼二級品	0.5~1.2	やや均質
玉鋼三級品	0.2~1.0	粗野

の作業を行わなくても自然に吹き出るように沸き出した。このことは従来の真砂砂鉄のみを用いた操業には見られなかった現象である。

(5) 全出洋量の全砂鉄量に対する割合を見ると、籠り砂鉄を使用した操業の場合74.4から84.1%で、真砂砂鉄のみを用いた操業の場合の61.3から68.7%を上回っている。

(6) 鉄の生産量は、昭和52年は1代平均 178kg (鋸に対し14.8%)、昭和53年 194kg (同13.7%)、昭和54年 178kg (同11.3%)、昭和55年46kg (同 3.2%)、昭和56年 363kg (同20.5%)と昭和55年だけ少なく、これは7代全てに共通している。しかし、この理由は不明である。

5. 3. 2 玉鋼の性質

5. 3. 2. 1 元素分析

表5-4では、籠り砂鉄を使用して得られた玉鋼と真砂砂鉄だけを使用して得られた玉鋼の成分分析値を比較した。後者は昭和54年度第6代の結果である。これを比較すると、炭素濃度は総じて前者の方が高く、またリン濃度と硫黄濃度も前者の方が低いことがわかる。

5. 3. 2. 2 組織観察

籠り砂鉄使用による玉鋼1級品、2級品、3級品の組織と、比較のために昭和54年度第6代の羽内谷産真砂砂鉄のみ使用による玉鋼1級品、2級品、3級品の組織を写真5-2に示した。

○玉鋼1級品

細谷産籠り砂鉄使用の玉鋼は、過共析パーライト組織を呈し、良く発達した初析セメントタイトが棒状に生じている。この初析セメントタイトが発達した組織は、昭和54年度第6代の玉鋼には見られない。

○玉鋼2級品

細谷産籠り砂鉄使用の玉鋼は、ウッドマンステッテン組織と、ネット状、棒状の初析セメントタイトが生じている。

○玉鋼3級品

細谷産籠り砂鉄使用の玉鋼は、ほとんどが亜共析組織を呈し、ウッドマンステッテン組織と発達したフェライト組織を示している。

表5-4 玉鋼の成分分析値

重量 %

砂鉄	等級	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Co	Cu	Al
籠りと真砂	一級品	1.42	0.01	<0.01	0.025	0.004	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.002
	二級品	1.19	0.02	<0.01	0.025	0.005	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.003
	三級品	0.60	0.02	<0.01	0.025	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.005
真砂	一級品	1.30	0.02	0.01	0.057	0.012	0.01	0.01		0.01		0.01	0.003
	二級品	0.44	0.02	0.01	0.057	0.018	0.01	0.01		0.01		0.01	0.027
	三級品	0.19	0.31	0.01	0.021	0.004	<0.01	0.01		0.01		0.01	0.11
砥波	最上	1.33	0.04	Tr.	0.014	0.006							
	普通	0.89	0.04	Tr.	0.008	Tr.							
	鉄	3.61	0.03	0.01	0.033	0.01							
	鉄	3.55	0.02	Tr.	0.043	0.01							

5. 4 考察

5. 4. 1 砂鉄の性状

表5-1には、明治期の伯耆国の砥波鐵⁶⁾、日刀保たたら⁷⁾の前身の靖國鐵⁸⁾における「籠り」、「籠り次ぎ」、「上り」および「下り」各段階で用いられた砂鉄と、および日刀保たたらで用いられた本実験での籠り砂鉄と真砂砂鉄の成分の分析値を比較した。これを見ると、砥波鐵と靖國鐵にあつては、T. Feは低いものから高いものへと変化していることがわかり、また $(\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ 濃度}) / (\text{FeO 濃度})$ の比は高いものから低いものへと順次変化していることがわかる。

この数値の移行について俄国⁹⁾は「古来の砂鉄製錬法」の第9節「製錬操業」で砥波鐵につき次のように述べている。「銅押しの場合専ら真砂小鐵用ゆ。此地方にありて砂鐵の種類に依り、籠り小鐵と稱するものあり最初之を爐に加ゆ。恰も赤目小鐵に似て粒細かくその條痕も亦赤褐色にして、爐内に於て還元され易きものなるを以て、其温度漸く高まるに従ひ装入す。又他に籠り次小鐵と稱する砂鐵あり。爐内の温度漸く高まるに従ひ装入す。次ぎに上り小鐵、終りに下り小鐵を與ふ。最も還元し難く粗粒にして、鋼を造るべき主要原料となるべきものとす」。

また小塚寿吉¹⁰⁾は靖國鐵の操業について、「第1の籠り期は、まだ炉温が上がっていないので装入鉄源は全部炉底壁を造滓原料としてslagになり、これが炉底に熱を籠らせる役目をする。そのため其の鉄源の砂鉄は特に溶けやすいものを用い、これを籠り小金といって砂鉄でも特に別格扱いにされているものである。次の籠り次ぎ期になると、炉温も次第に上り炉底には滓だけでなく、鉄も段々できてはくるが、それでも溶けやすい方が望ましいので、先の籠り小金を40%前後混ぜた鉄源を使う。次の上り期になると炉底には鉄、滓、ともにあり、十分熱も籠ってくるので次の下り期で銅を作っていくための銅種を作るべく、

玉鋼一級品



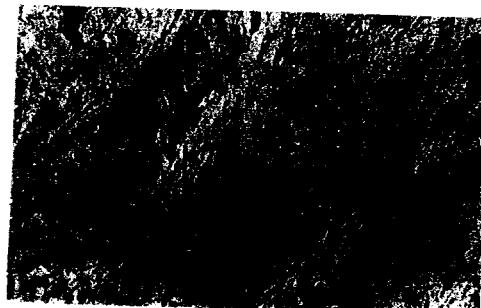
玉鋼一級品



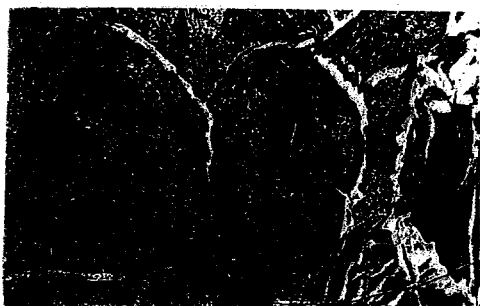
玉鋼二級品



玉鋼二級品



玉鋼三級品



玉鋼三級品



写真5-2 籠り砂鉄を使用した操業（左）と真砂砂鉄のみによる操業（右）において得られた玉鋼のミクロ組織

（黒部はパーライト、白部はセメンタイト、但し真砂砂鉄による玉鋼の三級品白部はフェライト）

少し硬いすなわち溶けにくい砂鉄を入れていく。」と述べている。

本実験で用いた細谷の籠り砂鉄と、通常の実砂鉄である日刀保羽内谷鉾山の砂鉄とを比較すると、細谷の砂鉄（酸化度、 $(\text{Fe}_2\text{O}_3)/(\text{FeO})=2.95$)は羽内谷の砂鉄（同2.53）に比べてかなり酸化していて、籠り砂鉄としての適性を備えていることがわかる。一方、靖國鑪と砥波鑪に用いられたものと比較すると酸化度はそれほど高くない。すなわち、細谷の砂鉄の酸化度（2.95）は靖國の籠り次ぎ（2.98）、砥波鑪の下り（2.94）にほぼ該当し、これらの鑪に用いられた砂鉄と比べると酸化度は低いことがわかる。とくに砥波鑪にあっては、籠り期の砂鉄の酸化度は6.17という高い数値を示していることが注目される。一方、靖國鑪は国家をあげての大事業であった。しかしその靖國鑪でさえ砥波鑪に比較して酸化度の低い砂鉄が用いられているのは、いかに籠り砂鉄の確保が難しいかがわかる。

5. 4. 2 「籠り期」における籠り砂鉄使用の効果

砥波鑪では鉄が約50%生産されており、 $(\text{Fe}_2\text{O}_3)/(\text{FeO})$ 比が6.18であることから、「籠り期」というまだ十分に温度が上がっていない時期から早期に還元が進み、炭素の吸収が促進されて鉄が早くから生成したと考えられる。砥波鑪では送風開始から4時間10分で初ノロと同時に鉄も流出し始めている。

細谷の籠り砂鉄使用による操業実験においても初ノロの生成量が多い。

5. 4. 3 玉鋼の組成と組織から見た籠り砂鉄使用の効果

表5-4で明らかのように、籠り砂鉄を使用した場合は玉鋼一級品の収量も多いが炭素濃度も高い。また、写真5-2で分かるようにセメント相が良く成長している。これはこの場合、早期に還元が進み、炭素の吸収が促進されたことを示している。

5. 4. 4 「籠り期」の炉内反応

炉内反応について俵⁶⁾は次のように述べている。「籠り時期より上り時期において与えられたる砂鉄の一部はその鉄分還元せられ進んで炉内において炭素を十分吸収し鉄鉄となり得べし。しかれども他の一部はその鉄分還元せらるるも、十分炭素を吸収し得ざるものあるべく炉底に固着しいわゆる鉞を造るべし」。さらに、炭素を十分吸収した鉄鉄は羽口下に滴下して、温度低下と共に鉞を核として晶出し、残りはさらに滴下して鉄になるとしている。永田⁷⁾は小型たたら炉で鉞の生成機構を研究し、還元した砂鉄が羽口前で炭素を吸収し滴下すること、その鉄の粒の炭素濃度が0.87から2.55%にまで大きくばらついてお

り、これらの粒鉄が銅の上を覆っている熔融スラグ（ノロ）中で互いに結合し沈下して銅に結合し、緻密な銅を成長させることを実証した。

本研究では、「籠り期」において、2種類の砂鉄を装荷する方法を実施した。一つは、酸化度の高い細谷の砂鉄を使用した。他は、通常の羽内谷の砂鉄でこれは真砂砂鉄と呼ばれているもので、粒径は大きく、酸化度は低い。前者は、還元が容易で速やかに鉄になり、炭素を吸収して銑鉄を生成する。一方、後者は、粒径も大きく還元にかかる砂鉄である。後者のみを使う技術は安部由蔵により開発されたが、かれは、この砂鉄に湿り気を与えることにより、炉内の還元帯での滞留時間を長くし、結果として前者と同じ効果を出すことに成功した。

本実験で全造滓量は籠り砂鉄を使用した場合が真砂砂鉄を使用した場合に比べて多い。ノロ（スラグ）が生成する機構は2通りあると考えられる。一つは炉壁が60%近くの SiO_2 と20%程度の Al_2O_3 からなる粘土で出来ているので、これと砂鉄中の酸化鉄粒子が接触し反応してシリカ飽和のイルメナイト組成の熔融スラグが生成する場合である。炉底の形はV字になっており、操業初期はV形の底近くに羽口が来ているので、空気はそこから漏斗状に上昇し、その中の木炭を燃焼し、それに伴い砂鉄が徐々に降下してくる。したがって、酸化鉄粒子が鉄に還元されて炉底に達する確率は大きく、この機構では初期のノロが生成し難いであろう。もう一つの機構は、砂鉄中の酸化鉄と珪石が反応してノロを生成する場合である。砂鉄中の酸化鉄はマグネタイトと少量のイルメナイトからなっており、シリカはアルミナを含む珪石として混合している。平成11年2月に行われた操業では、初期のノロは酸化鉄飽和に近く、粒鉄と共に多数の珪石の粒子がノロ中に観察された⁹⁾。この状態は、永田⁸⁾が小型たたら炉で行った、炉壁を耐火レンガで構築し、かつ造滓剤となる粘土を使用しない場合、ノロが酸化鉄飽和に近いイルメナイト組成の熔融スラグになる場合と一致している。表5-1をみると、籠り砂鉄の方が真砂砂鉄に比べて SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 濃度が高い。したがって、籠り砂鉄を使用した場合の方がノロの生成量が多くなる。

以上から、「籠り期」の炉内反応では、炉が比較的低い温度にある時期に、十分還元を行わせた上で炭素を吸収させ銑鉄とすることが重要である。このために酸化度の高い砂鉄を使用するか、あるいは炉内の還元帯での滞留時間を長くする必要がある。また、砂鉄中の珪石と酸化鉄を反応させ、ノロを生成させ、生成した鉄の再酸化を防止すると同時に、

炉底の保温を図ることが重要である。籠り砂鉄は酸化度が高く還元され易いと同時に、ノロを生成するための珪石など脈石成分を比較的多めに含んでいることが重要である。この意味で、安部が日刀保たたらを真砂砂鉄のみで操業する方法を開発した時¹⁾、砂鉄の湿り気が高すぎると初期のノロの生成を困難にし、低すぎると銑の生成を困難にするという矛盾を、適度な湿り気で両立させたことは注目に値する。

玉鋼のリンや硫黄は砂鉄以外にも木炭にも起因する。本研究では使用した木炭は同じなので、籠り砂鉄を使用した方がこれらの成分の濃度が低くなっていることは、表5-1の注に示したように、砂鉄中のこれらの成分濃度に依存している。

5.5 結言

以上、籠り砂鉄使用によるたたら操業への効果は以下のようなになる。

(1) 操業の結果からは、通常の真砂砂鉄のみによる操業より、操業初期に籠り砂鉄を使用した操業の方が玉鋼の生産量と品位において優れている。すなわち炭素濃度はより高く、リンと硫黄濃度は低い。また、特に一級品において初析セメントイトが発達している。また早期に鉄が沸き、ノロの流動もよい。リンと硫黄濃度が低いことは砂鉄中のこれらの成分濃度に依存している。

(2) 砂鉄の性状からは次のことがわかった。

1) 昭和初期の靖國鑪までは、約70時間の操業の流れにあってT. Feは低いものから順次高いものへ移行し、酸化度 (Fe_2O_3) / (FeO) 比は高いものから順次低いものへと移行することがわかった。

2) 細谷の砂鉄は通常の真砂砂鉄に比べて酸化しており、籠り砂鉄としての適性を備えていることがわかった。しかし、靖國鑪までに用いられた砂鉄と比較すると、酸化度は小さい。

文献

- 1) 鈴木卓夫ら：鉄と鋼，85(1990)，905.
- 2) たたら製鉄の復元とその鋸について（たたら製鉄復元計画委員会報告），日本鉄鋼協会，東京，（昭和46年）.
- 3) 玉鋼品質の研究：日本美術刀剣保存協会、東京，（1979-1981）.

- 4) 鈴木卓夫：たたら製鉄と日本刀の科学，p.70，雄山閣，東京，（平成2年）。
- 5) 鈴木卓夫：作刀の伝統技法，p.2-21，理工学社，東京，(1994)。
- 6) 俵国一：古来の砂鉄製錬法，p.80，丸善，東京，（昭和8年）。
- 7) 小塚寿吉：鉄と鋼，52（1966），1763。
- 8) 永田和宏：鉄と鋼，84(1998)，715。
- 9) 永田和宏：鉄と鋼，86(2000)，65。

第6章 たたら製鉄の炉内反応機構と操業技術

6. 1 緒言

たたら製鉄とは、粘土で築いた箱形の低炉で、原料に砂鉄を用い、木炭を燃料とし、送風動力に竈（ふいご）を使用して行う日本古来から行われてきた製鉄技術である。日本における製鉄技術の開始期は、製鉄遺跡から見た場合、上限は6世紀後半で朝鮮半島から伝えられた技術と考えられている。時代が進むにつれて変革がなされ、江戸中期に技術的に完成し、「永代鑪（たたら）」あるいは「企業たたら」と呼ばれている¹⁾。その技術的特徴は次の点にある。「高殿（たかどの）」という建物の中で、湿気の防止と保温のための大がかりな地下構造を有し、その上に箱形の炉を粘土で築く。下部から空気を脈動的に吹き込むと同時に、木炭と砂鉄を交互に装荷し、3昼夜1操業で約3トンの鋼と銑を生産し、1操業毎に炉を造り直す。

明治以降たたら製鉄は生産性に劣るため、輸入鋼に対抗できず、ついには大正12年に商業生産を終えた。明治期におけるたたら製鉄研究は俄国²⁾が詳細に行っている。その後も日本刀の原料としての需要があり断続的に生産された。第2次大戦終了までは「靖國鑪」が生産を続けていた³⁾。戦後しばらく途絶えていたが、昭和52年に勸日本美術刀剣保存協会が文化庁の補助事業として島根県仁多郡横田町で高殿式たたらを復活した。これを「日刀保（にっとうほ）たたら」という。その目的は国の重要無形文化財に指定されている日本刀の製作技術を材料（和鉄）の面から保護し、また、たたら製鉄技術の伝承者を養成することであった。

日刀保たたらの操業は前章で述べた通り、それまでのたたらとは少し異なり、3昼夜全工程を一種類の「真砂砂鉄」だけで操業し鋼（けら：鋼）を生産している。その開発には村下（むらげ：たたら操業の長（おさ））安部由蔵（あべよしぞう）の功績が大きい⁴⁻⁵⁾。

また、日刀保たたらの操業の特徴は、同じ鋸押し法であっても日本刀の材料となる玉鋼の量産を意図したところにあり、その結果かつての操業に比べると大量の玉鋼が生産されているが、反面銑の生成は極めて少ない。

従来、たたら操業技術は一家相伝であり、村下から直接得た技術のノウハウともいうべきものはほとんど記載がない。そこで本研究では、「日刀保たたら」の操業から村下の操業技術について調査を行い、その内容と化学反応機構を考察する。

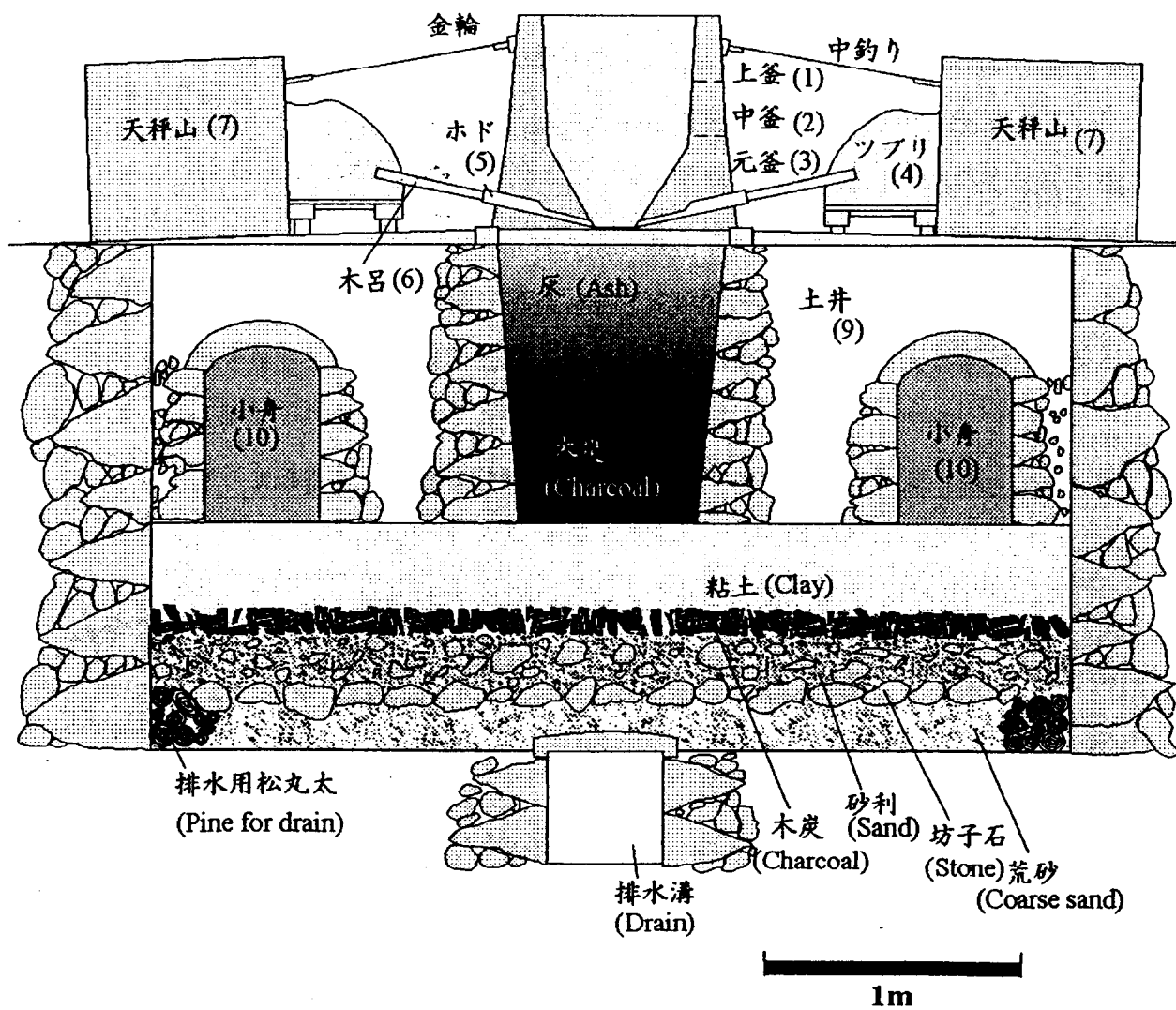
6. 2 日刀保たたら炉の構造

炉の地下構造は昭和初期から第2次大戦終了まで操業された「靖國爐」の遺構を改築したものである。前章でも述べたが、図6-1に示すように、深さ 333cm、幅 485cm、奥行き 364cmの長方形の穴底に排水溝があり、下から荒砂、坊主石、砂利、木炭、粘土の層が重なり、その上に、中心に本床、その両脇に小舟が配置されている。本床の上に構築された箱形炉の構造を図6-2に示す。炉の長さは 2,700mm、高さは両端で 1,200mm、中で 1,100mm、幅は両端で 761mm、中で 873mmと中が少し低く、膨らんでいる。ホド穴（羽口）は片側20本ずつ両側に合計40本が一行に開けられた。炉底（元釜）はV字型になっており、羽口の角度は19～24°で炉底に向かって斜めに開けられる。羽口の間隔は 120mmである。炉は1代目（ひとよめ、代とは操業回数を示す単位）毎に壊される。送風は4台の轆（ピストン型電動送風機）を用い、間欠的に送られる。炉の両脇には天秤台と呼ばれる炉と同程度の高さの台があり、ここにそれぞれ送風管が来ており、「つぶり」と呼ぶ送風分配箱から「木呂」と呼ぶ送風管を通して羽口に送風される。炉の両端の炉底には熔融スラグ（ノロ）を流出させるための直径10cm程度の穴が中心と左右に3本開けられており、通常は木炭粉を詰めて塞いである。中心の穴を「中湯池（なかゆじ）」と呼び、操業の初期に開けられる。両脇の二つの穴を「四つ目湯池（よつめゆじ）」と呼び、中湯池を粘土で閉じた後、操業中頃から使われる。

なお、ホド穴の大きさや角度は操業に大きく影響するので、その開け方は秘伝とされてきた。下原重仲は「鉄山秘書」（釜塗之事）²⁾の中で、「先つ元釜程塗、中板を取残し土を掃除して、他の役人は休、其間に村下は保土を切なり、秘密秘伝といふ、此保土穴の事也」と述べ、また俵国一は「古来の砂鉄製錬法」²⁾第4章「炉の築造」で、「保土配りをなす等は爐築中最も重要なものとし、其技術は一家相伝にして秘密を守り村下一人之を司るものとす」とあり、さらにこの中でも「爐の内外を乾燥する為夜を徹して一人之を司る」と述べている。「日刀保たたら」においても代々表村下がこの任にあたり、炉の乾燥から来る炉体の変形、とくに「ホド穴」の変形に常に注意を注ぎ、これを秘伝としてきた。

6.3 操業

平成10年度日刀保たたら第3代目の操業において、送風開始（平成11年2月3日）から鋳出し（平成11年2月6日）に至るまでの4日間の作業を観察し、①炎の状態、②ホド穴の状態、③出滓の状態、および④炉内から発生する音を記録し、良好な操業のあり方、炉



1. (うわがま) 2. (なかがま) 3. (もとがま) 6. (きろ)
7. (てんびんやま) 8. (ほんどこ) 9. (どい) 10. (こぶね)

図6-1 日刀保たたら地下構造と炉の断面図

の不調時の対応について調査した。なお、温度は波長 650 μm の放射温度計を使用した。

たたら操業の標準作業⁶⁾は、下灰（したはい）・築炉・砂鉄と木炭の装荷・鋳（けら）出しの順で行われ、計6日間かかる。この内、製鉄操業は送風開始から鋳出しまでの約70時間である。下灰作業とは、木を燃して燠（おき）となったところを「しなえ」と呼ぶ長柄の木の棒で叩き締める操作である。炉床を固く叩き締めておくことにより、炉床の損耗を少なくすることが出来る。その上に図6-2に示す元釜、中釜、上釜を築く。

元釜、中釜を一晚木を燃して乾燥し、翌朝、上釜、木呂および「つぶり」を据え付ける。木炭を上釜の中程まで装荷し、送風を開始する。乾燥の際の火種が残っているのですぐに木炭の燃焼が始まり、徐々に炉の温度が上昇する。その間に上釜を「かなしばり」と呼ぶ鉄の帯で補強し、炉周りには前回使用した釜土を砕いた土を敷き詰め叩き締める。ホド穴に「ホド蓋」と呼ぶ木栓をし、火勢を強くして木炭を炉一杯に装荷する。この木栓は木炭の燃焼が盛んになり空気がホド穴から吸引されるようになると取り外される。ホド穴は羽口と木呂管の繋ぎ目に開けてある穴で、ここから羽口先端の炉内を観察すると同時に羽口の補修を行う。なお、炉壁は最初内側が膨脹し外に反るので天秤山との間に「押し棒」と呼ぶ鉄パイプを入れ、反りを防止する。操業が進行すると、今度は逆に内側が収縮し内に反るので「かま引張り」と呼ぶ鉄線で引っ張る。

操業は表村下と裏村下で炉の長手方向に対し半分ずつ担当する。また、小金町（砂鉄置き場）側の半分を「ワテ」、反対側を「マエ」と呼び、4分割した領域について木炭と砂鉄の装荷量を記録した。砂鉄は羽内谷鉱山から採取され、磁力選鉱されている。木炭はならやくぬぎ等の雑炭で、拳大に砕かれている。

送風開始より約1時間後に「初種」と称する砂鉄を種鋤（木製のシャベル、1杯で約4kg）で表、裏のワテ、マエにそれぞれ各1杯ずつ計4杯装荷し、木炭を「竹養（みの）」（1杯で約15kg）で表、裏各1杯ずつ装荷する。この後30分毎に砂鉄と木炭の装荷を繰り返す。木炭は壁際に装荷し、砂鉄も壁際から約15cm辺りに壁に沿って入れて行く。

標準操業では、送風開始より約20時間までを「籠り（こもり）」、以後16時間までを「上り（のぼり）」、以後28時間30分を「下り（くだり）」に区分し、この間の砂鉄と木炭の装荷量および送風量には標準的な値がある⁴⁾。

6. 4 操業結果

表6-1に操業の記録を示した。また、図6-3には、砂鉄、木炭および早種々の装荷量を操業時間に対して表した。操業を見ると、送風開始から9時間後（19:00 頃）に初ノロが出ており、また、23時間後には鋳が成長している時に発する「チンチン」あるいは「ジジ」という「しじる音」が聞こえ操業は順調に進んでいることが分かった。しかし、33時間目（2日目20:40）から約6時間裏マエの砂鉄量が減量され、40時間目からは表と裏共に5時間程木炭の装荷量を減らしている。その後は砂鉄、木炭共に装荷量が非常に不安定になっている。58時間目にはついに裏への砂鉄と木炭の装荷を一時中止するが炉況は回復せず、67時間で送風を停止した。結局、この時の操業は実質2昼夜半で終了している。これは通風に支障を来したためである。また、今回の操業では最後までホド穴の木栓は外されなかった。

炉解体後の元釜の炉壁は羽口上約10cmの辺りで最も厚さが減っていたが、まだ10数cmの厚さが残っていた。また、羽口での厚さは15cmであった。鋳は幅約90cm、長さ約2.5m、厚さ約50cmあり、表の方が裏より厚かった。なお、表ワテ側に「やまぶし」と呼ばれる突起が生成していた。これは、操業の終わり頃装荷された砂鉄が還元して積もったものである。

6. 4. 1 炎の観察

木炭は炉壁近傍に入るため中は凹んでおり、炎は中心部より炉壁近傍で勢い良く上がる。炎の上がり方は両壁近傍で対称でなく、表と裏でも偏っていた。炎の色も場所により微妙に異なり、これらを均一にするべく砂鉄や早種の装荷量が調整された。

（1）操業が順調な場合

炎を“ホセ”と呼び、山吹色の場合「山吹きボセ」あるいは「キワダボセ」ともいい、砂鉄・木炭・風の量が適当で操業が順調なことを示す。操業4日間において炎の色は多少異なり、「籠り期」は赤黄色であるが、「上り期」は赤色が少なく黄色が強かつ火勢が強くなる。「下り期」は上り期とほぼ同じである。

（2）操業が不調な場合

ホセの色が黒みがかかる場合「黒ボセ」といい、砂鉄の装荷量が多すぎるとき（以下ヘビーチャージという）におこる。一方、ホセの色が赤みがかかる場合「赤ボセ」といい、砂鉄の装入量が少なすぎるとき（以下ライトチャージという）におこる。炎は紫色がかかることがあり、風が足りないときあるいはライトチャージのときにおこる。これを「やかんボセ」

表6-1 操業記録

1日目 8:30 乾燥した中釜の上に上釜を築く。
 9:13 長目の木炭の燃焼した方を下にしてV字型の炉壁に並べる。
 9:30 拳大の木炭を中釜まで入れる。
 10:00 つぶり台、木呂管設置完了。
 10:17 送風開始 (ほど穴に木栓をする。) 12回/分 (775m³/hr)
 10:30 上釜中程まで木炭を入れる。
 11:30 上釜一杯に木炭を装荷。
 12:33 初種 (表と裏に種すきで砂鉄各1杯) と木炭を簀に各1杯装荷。
 13:17 砂鉄各2杯と木炭各2杯。中湯池に粘いノロ。中湯池温度 1175℃。中湯池から出る炎に鉄が酸化する時発する沸花あり。送風量 12回/分 (775m³/hr) 送風圧 12cm 水柱。
 13:40 砂鉄各3杯と木炭各2杯。以後 30分毎に砂鉄と木炭を装荷。 (“籠り”に入る)
 14:50 中湯池から鉄棒を挿入し炉底に風が回る様にした。ノロ粘く珪石粒多い。(Slag sample 1)
 頻繁にホド穴の掃除をする。
 15:38 以後木炭量を各2.5杯に増加。
 ホド穴より燃焼している木炭上に還元した砂鉄が炭素を吸収して液化し丸く光って見える。
 16:15 表湯池付近に溶融ノロの溜まりがある。黒くガラス化しているが珪石粒多い。(Slag sample 2)
 17:00 この頃頻繁にほど穴の掃除を行う。村下が裏の木炭の大きさが大きいと注意。
 19:00 頃 表より初ノロ流出。
 23:40 この頃から砂鉄各4杯木炭各3杯に様子を見ながら徐々に増加させた。 (“上り”に入る)
 2日目 0:15 中湯路から四つ目湯路にノロ出口を変更。
 8:38 送風量 12.5回/分に増加。炎は山吹色で操業は順調。送風量約 775m³/hr 送風圧 6.5cm 水柱。
 表ワテと裏マエのノロ流出。ノロの出ている側の炎は大きい。(Slag sample 3)
 8:55 裏ワテ湯池温度 1358℃
 9:22 ホド穴より “チンチン” と “しじる音” が聞こえる。炎は山吹色。
 10:07 送風量 13.5回/分に増加 (872m³/hr)。炎が少し赤みを増す。
 11:30 この頃より “早種” を度々使用する。
 14:03 送風圧 12cm 水柱。
 18:59 表マエ端のホド穴温度 1377℃。
 20:40~3日目 2:10 まで裏マエの砂鉄装荷量を2杯に減量。
 以後回復するが、木炭量を表と裏それぞれ2杯と2.5杯に減量。
 早朝から炉況悪い。表の炎が弱い。9:28 頃回復。
 9:14~10:10 表ワテとマエの砂鉄量各3杯に減量。木炭も1.5杯に減量。送風圧 9cm 水柱。
 10:40 回復。砂鉄表ワテ4杯、マエ5杯、裏ワテ4杯、5杯マエ。 (“下り”に入る)
 以後砂鉄量をそれぞれ3~5杯に調整し、それに伴って木炭量も1.5~4杯の間で調整。
 11:37 表ワテのノロ温度 1266℃。
 13:00 裏ワテの木炭が順調に落ちない。13:40 回復。
 14:25 表ワテ、裏マエ湯池ノロ温度 1248℃。表ワテホド穴 No.1 温度 1274℃。送風圧ワテ 9cm、マエ 6cm。
 16:30 表マエ湯池温度 1300℃、裏ワテ湯池温度 1245℃。
 17:40 ホド穴からの噴出し弱い。
 18:09 送風量 14回/分 (904m³/hr) に増加したが、20:00 に 13.5回/分 (872m³/hr) に戻した。
 20:30 裏ワテ、マエ共に砂鉄、木炭装荷せず。以後、砂鉄各2杯に木炭1杯に減量。
 裏の通風状態が悪化。
 24:00 砂鉄と木炭を表、裏共に減量。
 4日目 状態回復せず。
 3:37 通風状態が全体に悪化。青い炎が少し出る程度。表はしじれ音弱い。裏は風の音のみ。
 砂鉄を表、裏のワテ、マエに各1杯を装荷し、終了。木炭装荷せず。
 送風量 13回/分 (839m³/hr)。送風圧ワテ 8cm、マエ 7cm 水柱。
 4:15 表マエよりノロ流出。(Slag sample 4)
 5:00 送風量 12回/分 (775m³/hr) に減らす。
 5:17 送風停止。
 5:50 炉の解体開始。
 9:15 鋳出し。

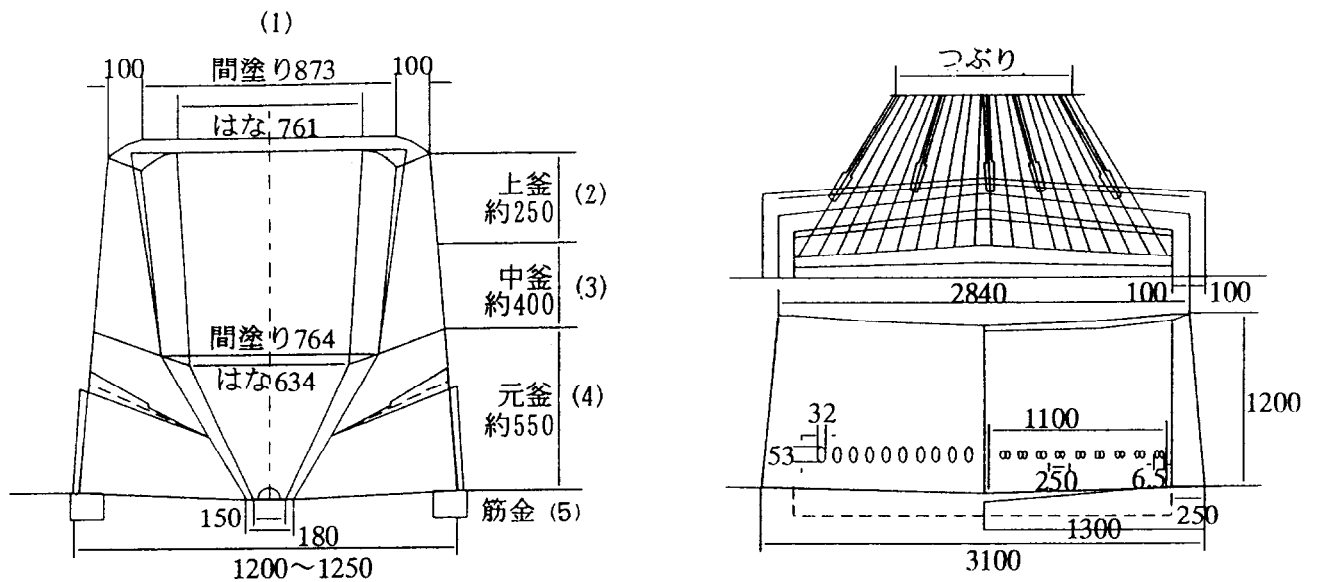


図 6 - 2 日刀保たたら炉の構造 単位：mm

1. (まぬり) 2. (うわがま) 3. (なかがま) 4. (もとがま)
5. (すじがね)

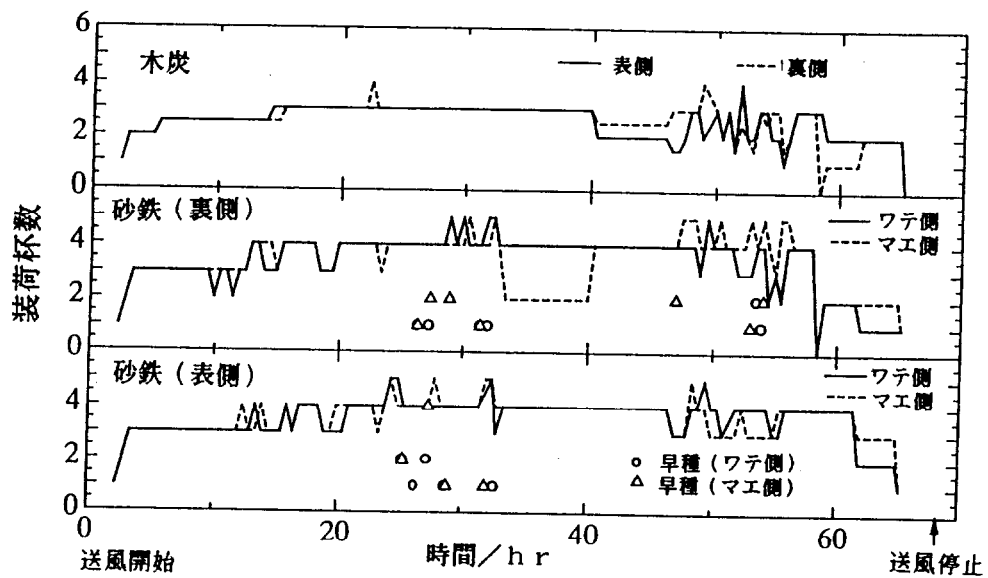


図 6 - 3 送風開始から送風停止までにおける砂鉄・木炭・早種の装荷量の推移
鋤 1 枚の砂鉄の重量は約 4 kg。箕 1 枚の木炭の重量は約 15kg。

といい、このとき木炭の表面に灰が残り白く見える。

(3) 回復の仕方

黒ボセのときはやや砂鉄を減量し、赤ボセのときはやや砂鉄を増量し、やかんボセのときは風をやや強くし、砂鉄は増量しながら様子を見るが、早く回復させる必要があるときは「早種（はやだね）」を使用する。

6. 4. 2 ホド穴の観察

(1) 操業が順調な場合

ホド穴の色が光り輝き、満月のような状態が続く。この場合「ホド突き」（ホドの状態を調べるときに用いる鉄製の細長い道具）で、ホドから炉内へこの棒を挿入したとき炉の奥深くまで通る。ホド突きをホドから引き抜いたときホド突きの先に火花が確認できる。

ホド穴にノロが垂れ下がるように付着している場合でも、ホド突きで突くことによって「パリ・パリ」と剥がれるような感触で簡単に取れる。

鋳の成長の具合は、ホド突きをホド穴深く差し込んだときの感触（磁石のようにすいつく）によって判断する。

(2) 操業が不調な場合

ホド穴を覗くと中が黒い色をしているときは全く不調な場合で、砂鉄が全く足りないか、逆に「生鋳降（なまこおり）」と言って砂鉄が溶けないでそのまま降りてくるときにおこる。赤黒く見えるときはヘビーチャージをおこしており、黄白色で光り輝き過ぎるときはライトチャージをおこしている。ホド突きは炉の奥深くまで通らず、ホド穴にノロが粘りついてホド突きで突いても粘って取れない。ホド突きでホドを突き、引き抜いたときにホド突きの先端に粘いノロが多量に付着している。

(3) 回復の仕方

ヘビーチャージをおこしているときは、やや軽めに砂鉄を装入し、また砂鉄に湿り気を与えて、砂鉄の降下を遅らせる。ライトチャージをおこしているときは、やや多めに砂鉄を装入するか、早種を使用する。

ホド穴が黒く見える場合には、「ホド突き」と「打ち貫き」という道具を用いて、ホドの中のノロを完全に除去して通風を良くし、同時に隣の状態の良いホドの保全により状態の悪いホドを蘇生させ、ホドの状態を連鎖的に回復させることが出来る。逆に不良のホドをそのまま放置しておく、と、吹けが悪くなり温度が低下して隣のホドへ影響し、バランス

が崩れて送風を阻害し、次々と隣のホドへ伝染することがある。

(4) ホド穴の管理方法

操業約70時間におけるホド穴の管理で重要なことは、良い通風状態を常に保つことであり、そのためにはノロの除去の他、次のことが心がけられる。

①細長いホド穴の底部（カワラ）は常に平らに保ち、風が滑らかに送られるようにする。常にホド穴を観察しカワラに凹凸が生じたときはホド突き、竹ベラなど用い、粘土で平らに補修する。

②炉の乾燥が進み、または路壁が浸食されてホド穴の太さや形が変形し、場合によっては順調な送風ができなくなる。細くなったときにはホド突きで削って広げ、太くなったときはホド穴の内側に竹ベラで粘土を塗って細くする補修作業を行う。

③木呂管からの風漏れに注意する。竈でおこされた風は一度たたら炉の両脇にある風箱（かざばこ）に集められ、ここからそれぞれ20本の木呂管によって炉内に送られる。木呂管は竹製で、その上に紙がまかれ、それに粘土を塗って仕上げているが、ときにはひび割れを生じて風漏れがおこり、ホド穴へ適量の風を送ることができなくなることが極く希れにある。

6. 4. 3 ノロの観察

(1) 操業が順調な場合

30分おきに自然に安定して流出し、粘らず流動性の良いものがでる。色は黄赤色で、外観からは蟹の甲羅のように見え、これを「蟹ノロ」という。

(2) 操業が不調な場合

出滓がない、あるいはあっても少ない、また道具を用いても粘ってなかなか流れ出ない場合は、ライトチャージ、ヘビーチャージ等が考えられる。多く出過ぎるときは、ヘビーチャージをおこなっているときで、この状態が長く続くと銅が良く成長せず、玉鋼の歩留が低下する。赤味が強く、輝きが弱く、ノロ塊を持ったとき重い感じがする場合は、主に未還元のスラグがノロへ流出している。総じて「イズホセ」の出が弱い。イズホセとは、「湯池穴（ゆじあな）」から出る炎のことをいい、これは風の抜けが悪い状態を示す。

(3) 回復の仕方

「湯ハネ」という道具を用いて、湯池穴を突き、湯池穴に固まったノロを除去し、ノロの流れを良くする。ノロの出が悪いときは、同時に湯池口に近いホド（1番目から5番目

くらい)も、ノロの付着、ヘビーチャージ、ライトチャージなどが原因で不調なときである。したがってホドの管理を十分に行い、ノロの通る道を造る。つまり風の通りを良くし、イズホセの出を活発にさせることによって出滓を促進させる。ただしあまり出し過ぎると炉の温度が下がるので注意する。

ノロ出しを終えたあとは、湯池穴へ炭、または炭の粉を詰め、湯池口を常に高温に保ち、湯池口でノロが固まらないようにする。

6. 4. 4 音の状態

砂鉄の溶ける音と炎の上る音を聞く。炉内で砂鉄を溶かし銅に成長させることを「しじる」という。良く銅が育っているときは炉の外側で静かに聞いていると、「ジ・ジ・ジ」という音がする。これを「しじる音」と言い、多く聞こえるほど良い。音が聞こえない、あるいは聞こえても小さいときは銅の成長が不調なときである。またしじる音が高いときは同時に炎の上りも良く、「ゴー・ゴー」というリズムカルな音をたてる。反面、音が不良のときは炎の上りも悪く、「グーゴー・グーゴー」という炉がきしむような音となる。これは炉が風を嫌い、風を受け付けない感じで、このときは木炭の降下も悪くなる。これらを回復させるには全ての観察を総合的に行って判断する。

6. 4. 5 生産量と品質

炉を解体した後取り出される銅は、玉銅の1級品(炭素濃度 1.0-1.5mass%)、2級品(0.5-1.2mass%)および3級品(0.2-1.0mass%)、玉銅の小粒の目白(めじろ)、品質が劣る銅下(どうした)と卸鉄(おろしがね)、さらに銅の下部に生成する銅銑(けらずく)からなっている。銑にはこの他、銅の下に液体で溜まる裏銑(うらずく)と、ノロと共に流出した流れ銑(ながれずく)がある。

平成10年度の3代の操業での生産物を、平成8年度の4代の平均と9年度の4代の平均と共に表6-2に示した。銑はほとんどが「銅銑」である。表6-1に示した記録は第3代の操業工程である。各年度の平均値と比較すると、平成10年度の第1代と第2代の全生産量は例年並みである。第3代だけ操業状態が悪く全生産量が落ちている。しかも、銑の生産量は極端に少ない。平成8年度と比べると、9年度、10年度と次第に1、2級品が少なくなり、3級品や卸鉄が増加している。また銑の生産量も減少している。すなわち、還元した鉄への炭素の吸収量が減少している。この原因について考えられることは、炉内温度が低くなっており、炭素を吸収する領域および時間が短くなっていることである。この

ことは地下構造が築後20年以上経過しており、湿気の遮断効果が低くなってきていることが考えられる。

6. 5 考察

6. 5. 1 炎と炉内反応

村下は多年の経験から、炎の色は「山吹ボセ」あるいは「キワダホセ」（木の名前で黄色をしている）とも呼んで、赤みが少なく黄色の強いものを良い炎としている。これは、いわゆる還元炎を意味している。そしてこの還元炎を持続するためには、砂鉄の装荷量と送風量に気をつけていることが分かる。なお、赤みの多い炎から還元炎への移行の時期は、昭和56年日刀保たたら第1代の操業において実施した炎の色の推移調査から、送風開始後8～9時間で起きていることがわかっていて、以後の操業においてもほぼ同様であることが確認されている。

6. 5. 2 ホド穴管理の重要性

村下はホド穴が満月色の状態が続くことが最も良いとしている。この色は炎が山吹色をしているのと同様に砂鉄がよく炉内で還元し、炭素を十分吸収していることを示している。そのために村下はホドの管理を余念なく行うが、これは結果として通風状態を良く保つことに専念していることが分かる。

6. 5. 3 轆による断続通風の効果

操業が順調であること2日目のはじめの頃より、「ジ・ジ・ジ」という音が聞こえだし、これは鋳が育ってきたこと、つまり鉄が沸いてきたことを示す。そしてこのときは同時に風の吸収（炉上への吹き上がり）と排出（湯池口からの吹き出し）が良好であるときでもある。轆と一般のファンとの基本的な相違は、轆は断続通風で強い風圧を出せるのに対し、ファンの場合は連続通風で風圧が弱いことにある。強い送風では、風が炉内へ送られたとき、充填されている木炭が、この風の力によって押しやられ、風の通りが良くなり燃焼効果が上がる。表6-1で示したように送風圧は水柱で6から12cmある。たたら製鉄の送風、特に大型炉では、燃え上がった炭が風力によって押しやられ、次の休風時に効率良く新しい炭が降下する状態をつくる。連続送風の場合はこの効果が少ない。そしてこれがたたら製鉄における「正しい呼吸法」と言われ、その音のあり方に注意が払われる。

なお、日本鉄鋼協会の「還元たたら」はファンが用いられ、その送風圧は水柱1.4か

ら3. 1cmである。

6. 5. 4 ノロによる炉内状況判断

表6-3に今回の操業の各段階で採取したスラグの分析値を示した。試料No 1は送風開始後約4.5時間後に中湯池で採取されたもので、ノロは粘く珪石粒が多い。また、金属鉄がお多い。この時期、図6-4に示すように羽口の長さで計測した元釜の炉壁はまだほとんど浸食されていない。ただし、このデータは、日刀保たたら開設当時の昭和53年度に、安部由蔵によって行われた7代の操業について調査したものである。空気はV字形の炉底近傍の羽口から漏斗状に吹き上がっており、装荷された砂鉄中の酸化鉄成分は還元されて鉄になる一方、砂鉄中のアルミナを含む珪石粒などは脈石成分として酸化鉄と反応して、酸化鉄飽和に近いファイヤライト組成の低融点スラグを形成する。しかし、温度が十分上がっていないため、未反応の珪石粒や、細かい金属鉄粒がスラグ中に懸濁する。永田⁸⁾は耐火煉瓦で構築した炉の内部に粘土を内張りしない場合、生成するスラグは酸化鉄飽和に近いファイヤライト組成に近くなることを明らかにしている。

試料No 2は6時間後の試料である。黒くガラス化しているが珪石粒がまだ多い。炉の温度が上がり、表湯池付近にノロの溜まりができ、熔融スラグは生成しているが、未反応の珪石粒や、細かい金属鉄粒がスラグ中に懸濁している。この時点でも元釜の炉壁の浸食はほとんど進んでいない。

試料No 3は約22時間後に湯池から流出したノロである。すでに完全に熔融しており、金属鉄成分が非常に少なくなっており、シリカ飽和に近いファイヤライト組成のスラグが生成している。この時期では、炉底に銅が成長しており、元釜の炉壁も20%程度溶けており、その分だけホド穴も後退し、同時にその傾斜分だけ銅の厚さが高くなっている。したがって、羽口から漏斗状に上昇する空気は炉壁近傍を通り、壁際の木炭を燃焼して、壁の温度を上げると共に、砂鉄中の酸化鉄と炉壁が反応するようになり、シリカ飽和に近いファイヤライト組成のノロを生成する。この反応は解体後の炉壁を見ると、羽口上約10cm辺りでおこっている。羽口近傍に流れ落ちてきたノロは、羽口前で炭素を吸収した固液共存状態の粒鉄を含んだまま、銅と炉壁の間を流れ落ち、粒鉄は銅に溶着して成長させ、ノロは元釜の炉壁を溶解しながら炉底に溜まり、湯池から流出する。銅はこのようにして成長するので次第に厚くなり、横幅も広くなる。したがって、玉鋼は銅の真中ではなくマエとワテ両側のそれぞれ中心部分に生成する。

試料№4は66時間後に採取されたもので、この時期は炉の状況が悪く、ほとんど炎が立っていない状態で、最後に表マエから流出したノロである。溶融しており、金属鉄もほとんど含まれていないが、酸化鉄飽和に近いファイヤライト組成である。これは炉壁の温度が十分上がってなく、装荷した砂鉄が還元されず、また炉壁とそれほど反応しないでそのまま降下してノロになったものである。実質58時間で操業が終わったため、羽口における元釜の壁の厚さは15cm程度残っており、図6-4での結果と良く一致している。

出雲地方においては、たたら操業で最も重要なものを土とし、2に風、3に村下としてゐる。そしてこの土の重要性について倭国²⁾は「古来の砂鉄製錬法」第4章「鋳押し」の中で釜土の効用について「鋳は十分溶融する能はず従って自から爐外に流れ出ずことなく漸次爐内に蓄積する。製錬作業の進むに従ひ爐壁の材料たる粘土は次第に侵蝕され一種の媒熔剤の働をなすべし」と説明している。そしてさらに、「爐材は適當なる酸性媒熔剤に当たるべし。実地操業に於て之等熔剤の不足来し生成せる柄実の流動性悪しき時は、別に珪石の粉を砂鉄と共に加ふ」と述べていて、土の選定には SiO_2 が重要な役目を果たすことを説明している。そしてまたさらに「鉄山秘書」²⁾は「水晶砂の交る土なをよし」と述べているが、水晶砂とは SiO_2 のことである。釜土は風化の進んだ花崗岩から採取される。表6-3には壁土の組成を示す。アルミナを含む珪石であることが分かる。花崗岩と流紋岩は SiO_2 と Al_2O_3 がそれぞれ70.18mass%と14.47%、72.80%と13.49%で共に玄武岩や安山岩、閃緑岩より濃度が高いことがわかる⁹⁾。

次に「蟹ノロ」を最も良いノロとしている理由は、「イズホセ」に勢いがあるとき、つまり湯池穴から風の抜けが良いときに押し出されるように流出し、十分溶融しているからである。なお、外觀が蟹の甲羅のようになるのは、溶融された軟らかいノロの表面を強い風が流れることによって起きる現象である。

6.5.5 早種について

早種⁴⁾は通常30分毎の砂鉄装荷時間の合間に、ホド穴や炎の状態等から判断して、砂鉄がうまく降下していないところに局部的に装荷し、炉況を早く回復させる。早種には十分乾燥された真砂砂鉄が用いられ、これは降下が早いことから早種と呼ばれている。基本的にはなるべくこの早種に頼らず、適度な湿り気を帯びた真砂砂鉄⁴⁾だけで通常の操業が行われる。「日刀保たたら」でこの技法を活用する重要性と理由については前述したが、これにはホド穴や炎の正しい見方が要求される。

表 6 - 2 1997年から1999年におけるたたら操業の生産品 (kg)

等級		1999				1998	1997
		1 代目	2 代目	3 代目	平 均	平 均	平 均
玉鋼	1 級	277	360	237	292	497	811
	2 級	397	363	301	354	570	504
	3 級	972	854	618	815	601	228
目白		104	136	107	116	136	254
銅下		298	338	287	308	317	275
卸鉄		449	455	317	407	179	52
鉄		41	52	8	34	49	133
合計		2, 538	2, 558	1, 875	2, 326	2, 349	2, 257
砂鉄					10, 233	10, 325	10, 375
木炭					10, 545	10, 725	10, 413

玉鋼 1 級品は炭素 1.0-1.5、2 級品は 0.5-1.2、3 級品は 0.2-1.0 を含有する。① 目白（めじろ）とは玉鋼 1 級品で小粒のものをいう。銅下（どうした）とは玉鋼 2 級品で小粒のものをいう。卸鉄（おろしがね）とは等級外の鋼をいう。鉄は殆どが鑄鉄と呼ばれるもので、これは鑄の底に生成する。これに対して炉底に溜まったものを裏鉄、炉外へ流れ出たものを流れ鉄という。

表 6 - 3 操業中に採取したノロの分析値

重量 %

No.	時間	T. Fe	M. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	S
1	1 日目 14:50	72.71	62.72	5.31		3.27	12.79	3.07	0.45	1.52	0.022
2	1 日目 16:15	62.67	51.53	6.81		3.84	17.25	4.24	0.66	2.59	0.024
3	2 日目 8:38	12.40	1.82	11.11		1.67	59.39	13.50	0.89	3.01	0.012
4	4 日目 4:15	42.85	0.13	52.67		2.32	28.69	6.55	0.54	1.86	0.029
真砂砂鉄		60.23		23.10	62.83	1.11	7.88	2.01	0.87	1.06	0.021
釜 土		4.11		1.58	4.12	0.47	64.00	17.69	0.99	0.19	0.016

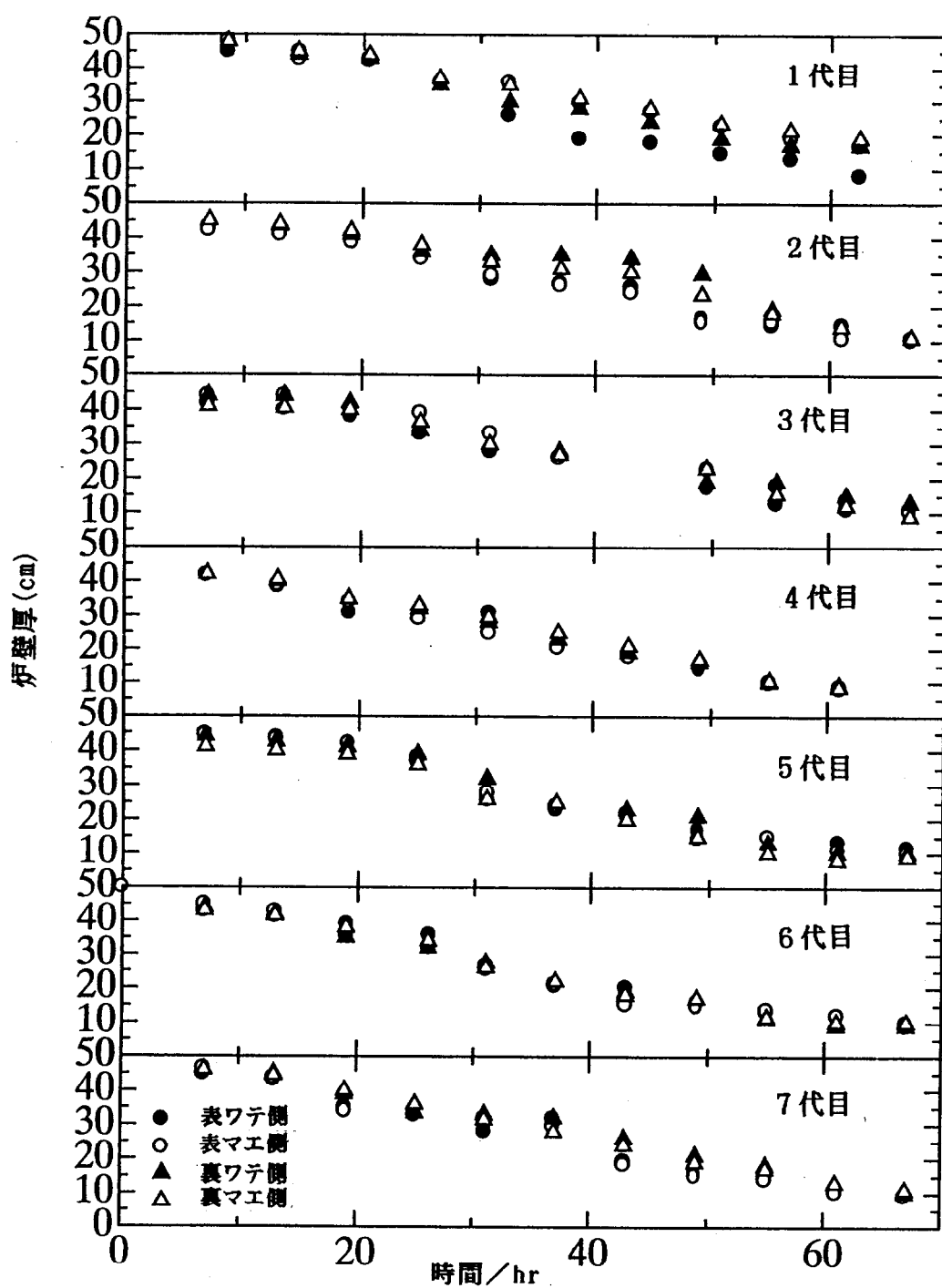


図6-4 1978年におこなった村下安部由蔵による7代の操作における炉壁厚の変化

早種を必要とする判断基準は、ホド穴の色（砂鉄の降りの少ないところは燃えが強く温度が上がりすぎて黄白色に強く光り輝く）、ホド突きで突いたときの感触（ノロの中に酸化鉄が少ないため粘りを感じる）、炎の状態（炎の高さが低い）などにある。万一この診断に誤りがあった場合、逆効果となる危険性がある。特に最も注意を要する操業初期の「籠り期」にあつては、基本的な技術を順守し、早種をなるべく使わないよう心がける。早種の装入については昭和 53 年度の全 7 代の記録を前章⁵⁾で示したが、この内容を見ると「籠り期」において早種が用いられたのは第 1 代目、第 6 代目、第 7 代目の 3 回で、しかもこの 3 回は全て籠り期の後半に用いられている。

6. 6 浸炭のプロセス

俵国一は、鋳押し法における浸炭のプロセスについて以下のように述べている。²⁾ ここでは日刀保たたらとの操業比較から同問題を考察する。

○ 籠り期から上り期

「籠り時期より上り時期に於いて奥へられたる砂鉄の一部は、其鐵分還元せられ進んで爐内に於て炭素を十分に吸収し銑鐵となり得べし。然れ共他の一部は其鐵分還元せらるるも、十分炭素を吸収し得ざるものある可く爐底に固着して所謂鋳を造る可し。」

○ 下り期

○ 「炉内の温度上昇し過剰なる木炭の存在する時も、各砂鐵粒の還元せらるる程度は等からず、其内多量の炭素を吸収せしもの先ず鎔銑鐵の小粒となりて羽口以下に滴下す。其温度低下すると同時に、既に堆積せる鋳塊に接触し巧みに之を核となし、其一部は結晶して固體に變じ、殘餘は其儘更に滴下し爐底に溜るべし。」

以上につき、過去から現在に至るまでの「日刀保たたら」の操業と比較し、これを検証し、その結果を写真 6-1 と写真 6-2 に示した。写真 6-1 はそれまでの代表的な鋳の断面で、これにより底部に銑(鋳銑)が溜まりその上に鋼が生成されていることがわかる。写真 6-2 は炉底に滴下した銑で、これを「裏銑」という（なお、このとき炉外へ流れでたものを流銑「ながれずく」という）。以上より日刀保たたらの浸炭プロセスが俵理論と基本的に同様であることを検証した。

6. 7 鋳押し法における「日刀保たたら」の操業技術の位置づけ



写真 6 - 1 鋳の断面

黄色の部分は銑、赤色と青色の部分は玉鋼



写真 6 - 2 炉底に滴下した裏銑

同じ鋳押し法であっても、明治期の伯耆国の「砥波鑪」₂₎、日刀保たたらの前身である「靖國鑪」₃₎においては鋼とともに大量の銑（鋳銑・裏銑・流銑）が生成されている。前者においては一代の操業で、鋼 1,125kg に対し銑が 1,575kg、後者においては同じく一代の操業で鋼 577kg にたいし、銑が 1,519kg 生成されている。これに対して「日刀保たたら」の場合は、第 4 章表 4-1 に示したように銑の生産量は僅かで、生産品の殆どが鋼であることがわかる。つまり、日刀保たたらにあっては、同じ鋳押し法であっても大量の玉鋼生産、つまりほぼ鋳のみが生成されるところに従来の操業法と異なるところがある。

6. 8 砂鉄中の酸化チタン量と釜土中の酸化ケイ素量並びに砂鉄の装荷法からみた銑の生成機構

靖國鑪時代までのたたら操業においては、操業約 70 時間を、「籠り」「籠り次ぎ」「上り」「下り」の 4 期に分け、その初期においては酸化度が進み溶けやすく、また T. Fe の少ない砂鉄（籠り砂鉄）を用い、銑を生成したことは既に述べた。しかし日刀保たたらの場合は籠り砂鉄の入手が困難であったことから、全量真砂砂鉄を使用しておこなう操業技術を安部由蔵が開発したが、それでも生産されるものはほぼ鋳のみで、銑の生成量はかつての操業に比べて極めて少ない。そこで本論においては、なぜ日刀保たたらの場合銑の生成量が少ない理由について考察する。

山本は₁₀₎、真砂砂鉄・赤目砂鉄・浜砂鉄の 3 種の砂鉄の溶融点がどこにあるかをゼーゲル錐、光学温度計を併用して実験し、その結果、真砂砂鉄、赤目砂鉄、浜砂鉄の順で融点が下がり、この場合、砂鉄中の TiO₂ 濃度の増加に従って融点の下がっていることをデーターとして明らかにした。

○ 真砂砂鉄：1,420 度（1.27）

○ 赤目砂鉄：1,390 度（5.32）

○ 浜砂鉄：1,370 度（6.98）

() 内は TiO₂ 量：重量%

そして酸性岩組織中にある TiO₂ は融点を低下させる作用のあることを、また、これが未選粗鉱で SiO₂、Al₂O₃ 量が多いと約 1,200 度、あるいはそれ以下までに低下することを確認したと述べている。

先ずこのデーターに基づき、砂鉄中の TiO₂ 濃度と釜土中の SiO₂ 濃度から、銑の

生成機構について検証する。

表 6-4 に、日刀保たたら・靖國鑪₃₎・砥波鑪₂₎・價谷鑪₂₎ における砂鉄中の TiO_2 濃度と銑生成量の比較を示した。これによって明らかになったことは以下のとおりである。

- (1) TiO_2 濃度が増加するに従って銑の生成量が増加している。
- (2) TiO_2 濃度が 2.13% 以上において大量の銑が生成している。(靖國鑪)

以上により、 TiO_2 の濃度と銑生成量に相関のあることがわかる。これから見て日刀保たたらの場合、銑の生成量の少ないことは、 TiO_2 濃度が極めて低いことによる。

表 6-5 は、昭和 55 年度に「日刀保たたら」でおこなった真砂砂鉄のみを使用した操業と、籠り期に籠り砂鉄を使用した場合の銑生産量を示したものである。その結果、前者において銑生成量が少ないのは、表 6-4 の場合(日刀保たたら①、同②)と同様 TiO_2 濃度が低いことによるが、籠り砂鉄を使用した場合の TiO_2 濃度が 3.06% を示しながらも銑の生成量は少ない。これは釜土による影響である。表 6-4 でわかるように、大量の銑が生成されているのは、砂鉄の TiO_2 濃度が 2.13% (靖國鑪)、釜土の SiO_2 濃度が 65.59% (砥波鑪₂₎) 以上の時である。このことから、この時の操業においては釜土の成分分析はおこなわなかったが SiO_2 濃度が低かったことが考えられる。

TiO_2 単体では融点が高い(1,720℃)。これにつき雀部₁₁₎ は、 $Fe_2SiO_4-TiO_2$ 擬 2 元系状態図を作成し(図 6-5)、 $1,135 \pm 5^\circ C$ 、12.5mass% TiO_2 の付近を共晶点があるものと推測している。つまり今述べたように、 TiO_2 は単体では融点が高いが、 $FeO + SiO_2$ (Fe_2SiO_4)- TiO_2 の関係において融点が低下することである。表 6-6 は砥波鑪₂₎ と靖國鑪₃₎ における砂鉄の TiO_2 量の操業期における推移を示したものである。これによってわかることは、両者ともに下り期になって TiO_2 濃度の低い砂鉄を用いていることである。これは下り期は鋳の生成を促すことから、融点の高い砂鉄に切り換えたものである。

以上において、大量の銑を生成させるためには、砂鉄中の TiO_2 濃度は約 2%、釜土の SiO_2 濃度は約 66% が必要である。

なお、日本鉄鋼協会のおこなった「復元たたら」₇₎ では TiO_2 濃度 4.94% の砂鉄を用いているが、銑の生成量は 1 代平均 228 kg (但し目測) と少ない。この時に用いた釜土は SiO_2 濃度 58.4% の赤粘土と、同じく SiO_2 濃度 70.6% の真砂土を

表 6 - 4 各炉における砂鉄の酸化チタン増加とそれともなう銑生成量の比較
並びに出滓量と SiO_2 との関係

区 分	TiO_2 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	砂鉄使用 量(kg)	鋳重量 (kg)	銑生成量 (kg)	出滓量 (kg)	備 考
日 刀 保 た たら ①	0.68 (1.53)	5.62 (58.08)	1.75 (18.97)	8,040	2,230	27 *0.34	5,439 *67.6	昭和 54 年度第 6 代操業
日 刀 保 た たら ②	0.93 (0.47)	7.68 (64.0)	2.38 (17.69)	7,848	約 2,500	176 *2.2	5,542 *70.6	昭和 53 年度操 業 7 代の平均
靖國鑪	2.13 (不明)	7.86 (68.54)	4.53 (13.12)	14,911	約 3,500	1,519 *10.2	不明	鋳重量は「靖國 文献」による
砥波鑪	4.36 (不明)	5.78 (65.59)	4.64 (18.63)	12,825	2,810	1,575 *12.3	15,200 *118.5	
價谷鑪 (銑押)	9.83 (不明)	5.27 (77.16)	0.55 (14.91)	18,000	337	4,500 *25.0	不明	

() 内は釜土の分析値

*印は砂鉄使用量に対する出来高 (%)

表 6 - 5 真砂砂鉄のみを使用した操業と籠り砂鉄を使用した操業における銑生成量

区 分	TiO_2 (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	銑生成量 (kg)	出滓量 (kg)	備 考
真砂砂鉄のみを 使用した操業	0.69 (不明)	5.40 (不明)	1.70 (不明)	50.3	5,475	玉鋼 1 級品 245 k g
籠り砂鉄を使用し た操業	3.06 (不明)	7.38 (不明)	2.43 (不明)	40.8	6,037	玉鋼 1 級品 356 k g

() 内は釜土の分析値

表 6 - 6 砥波鑪・靖國鑪における砂鉄中の酸化チタン量の推移

(%)

区 分	籠り期	籠り次ぎ期	上り期	下り期
砥 波 鑪	5. 4 0	4. 6 0	4. 7 3	2. 6 9
靖 國 鑪	2. 1 5	2. 4 6	2. 2 4	1. 6 7

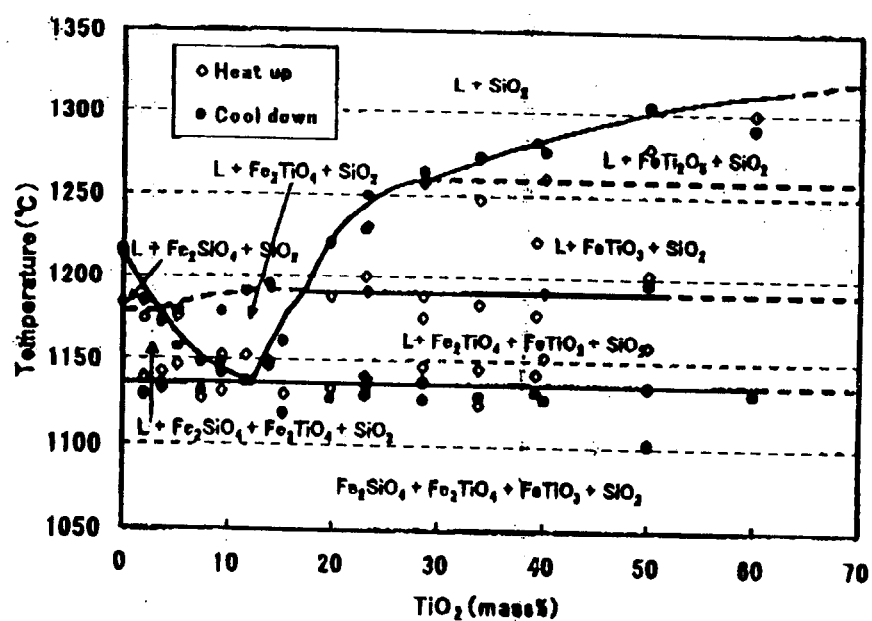


图 6-5 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4\text{-TiO}_2$ 拟二元系状态图

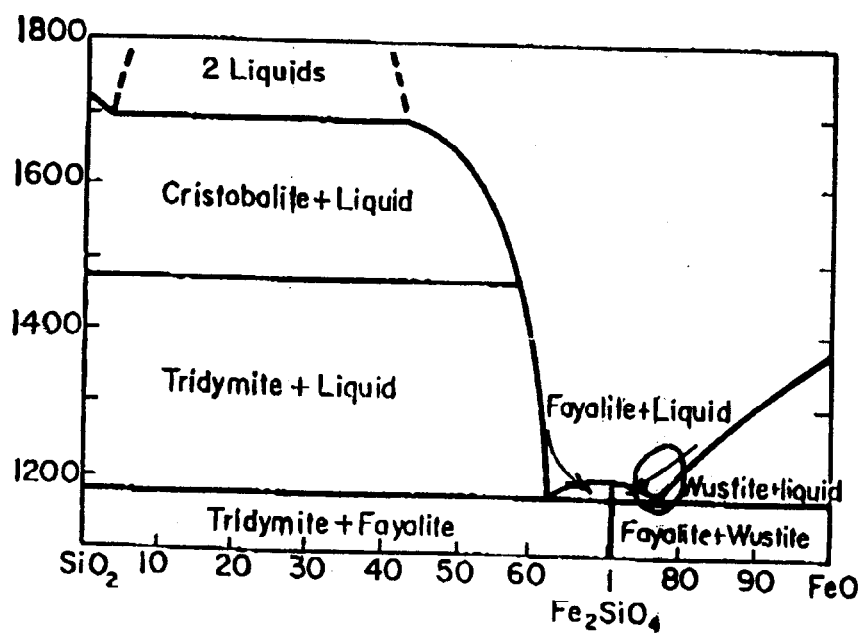


图 6-6 FeO-SiO_2 二元状态图

用いているが、主要粘土である赤粘土の SiO_2 濃度が低いことから、やはりその原因は釜土にある。

次に出銑量と出滓量の関係について述べる。表 6-4 のうち、銑生成量と出滓量が明らかとなっているものは「日刀保たたら①」「日刀保たたら②」「砥波鑪」₂₎ である。これによって明らかなことは次の通りである。

(1) 銑の生成量は出滓量の増加に比例している。

(2) 釜土中の SiO_2 濃度が 65.59% において大量の出滓がなされている (砥波鑪)

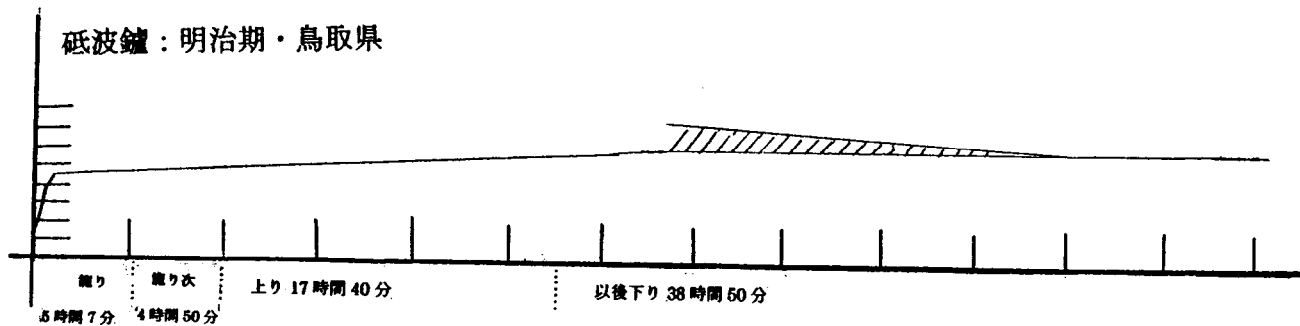
N. L. Bowen と J. F. Schairer₁₂₎ は、 $\text{FeO}-\text{SiO}_2$ 2 元状態図を作成し (図 6-6)、その結果、 Fe_2SiO_4 は、温度約 $1,180^\circ\text{C}$ 、 SiO_2 濃度は 62~63% の時に育成し始めるとしている。そしてこれは今述べた釜土中の SiO_2 濃度が 65.59% において大量の出滓がなされていることとほぼ一致し、また大量の銑の生成がなされるのは SiO_2 濃度 65.59% 以上と述べたことともほぼ一致している。

第 5 章でノロ(スラグ)が生成する機構には二通りあり、その一つは 60% 以上の SiO_2 などからなる粘土でできている炉壁と砂鉄中の酸化鉄粒子が接触してシリカ飽和のファイヤライトの熔融スラグを生成する場合であることは述べた。つまり銑とノロの生成には SiO_2 をもととして相関のあることがわかる。しかし銑の生成がノロの生成を助長させるのか、ノロの生成が銑の生成を助長させるのかについて明らかにならず、これについては今後の研究に委ねたい。

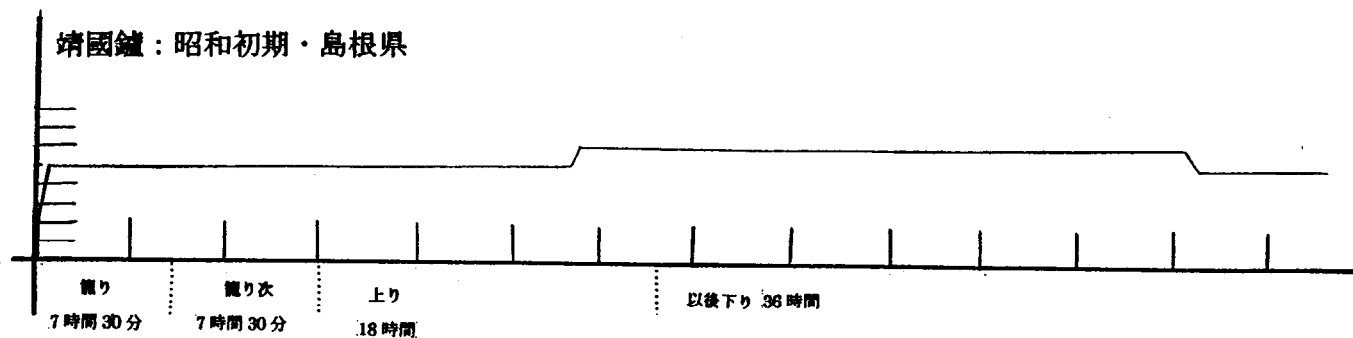
次に砂鉄の装荷法より本題を解析する。図 6-7 に「砥波鑪」₂₎「靖國鑪」₃₎「復元たたら」₇₎「日刀保たたら」の砂鉄の装荷法の比較を示した。4 者に共通するところは、最初の砂鉄(初種)は少量で徐々に増加され、このように装荷する理由については第 4 章で述べた。しかしこの 4 者の比較で明らかになったことは、操業初期における 1 回の装荷量が、砥波鑪が約 45~60kg、靖國鑪が約 50kg、復元たたらが約 40~60kg、これに対して日刀保たたらは 50~60kg であり、特にこの期の約 3 分の 2 の時間において 1 回約 60kg の砂鉄が装荷されていて、他者に比べてやや強吹き気味であることである。つまりこの条件下にあっては砂鉄は十分熔融せず、銑になりにくいことが指摘される。

日刀保たたらで安部由蔵は、第 4 章で述べたとおり、砂鉄の装荷法はどんなときでも軽吹き、重吹きは禁物と述べている。しかし安部がこのような装荷法をとったのは、操業初期に銑を造らなければならない、そのために第 4 章で述べた操業法を開発したわけ

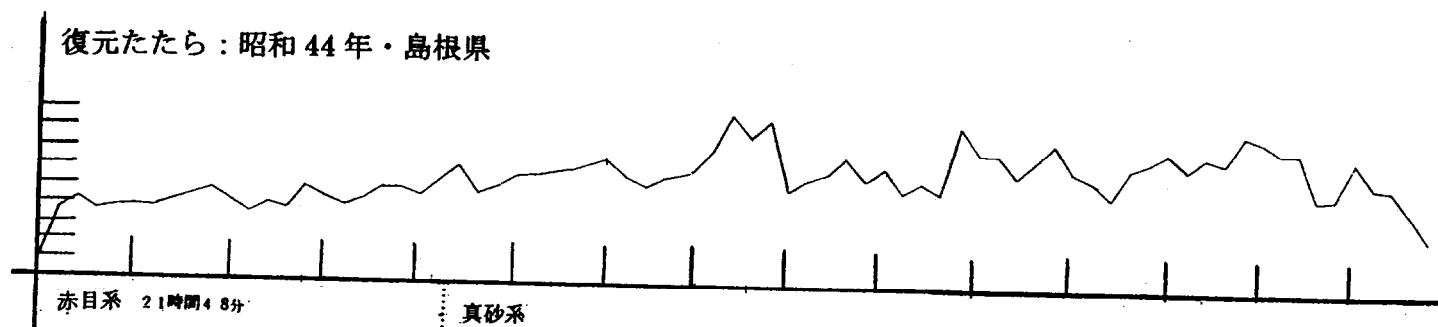
砥波鑑：明治期・鳥取県



靖國鑑：昭和初期・島根県



復元たたら：昭和44年・島根県



日刀保たたら：昭和53年・島根県

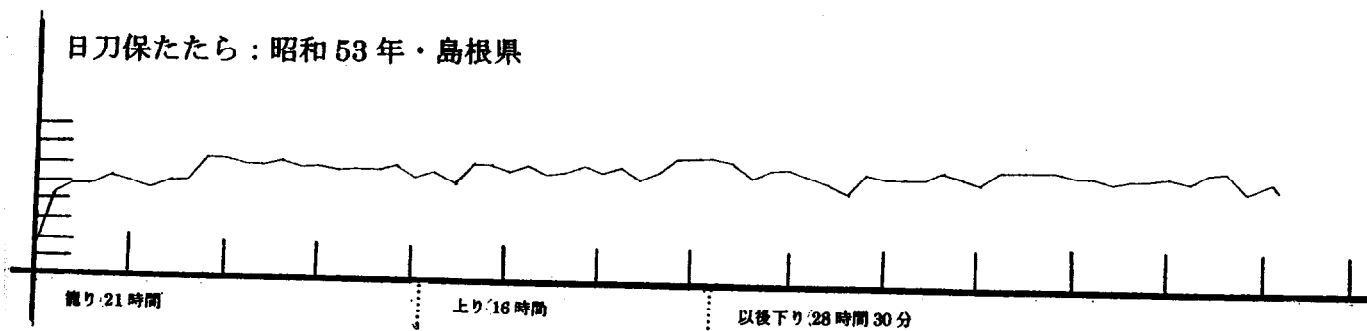


図6-7 各炉における砂鉄装荷量の推移

縦線 砂鉄の装荷量（1目盛10kg）

横線 時間の経過（1目盛5時間）

であるが、一方、玉鋼の生産量を多くするため、このような装荷法をとったものと考えられ、ここに銑が多く生成されない理由があるものとする。

なお、日刀保たたらでの砂鉄の装荷量については、昭和 53 年度操業第 1 代目・2 代目・3 代目の平均値を示した。また、「復元たたら」においては、10kg の出銑があった第 1 代目のデータを使用した。

以上、日刀保たたらにおいて銑を多く生成させるためには、①砂鉄中の TiO_2 濃度は約 2 %、釜土の SiO_2 濃度は約 66 % が必要となる。②砂鉄の装荷法においては、操業初期において軽吹きに心がける必要がある。

6. 9 結言

(1) かつて、故安部由蔵村下に、たたら操業の秘訣はどこにあるかについて質問したことがある。そしてこれに対して安部は、「人間飯を食べ過ぎても腹が減っていても体調が狂う。たたらも同じで、砂鉄や木炭を入れすぎても足りなくても炉の調子は悪くなる。いかに無理なく砂鉄や木炭を入れることが大切」、つまり「快食、快便が大切」と答えている。以下この格言のもとに本研究で得られた結果を示す。

- 1) 砂鉄と木炭、特に砂鉄の装荷は炉に負担をかけないように、ヘビーチャージ、ライトチャージに気をつけ、時には早種を用いて炉内の調整を行う。
 - 2) よい出滓を得るためには、よい釜土の選定が重要である。
 - 3) 送風の仕方が重要である。とくに轆による送風は効果的である。
- (2) 日刀保たたらは同じ鋤押し法であっても大量の玉鋼、つまりほぼ鋤のみが生成されるところに、従来の操業法と異なることを明らかにした。
- (3) 日刀保たたらにおいて銑が多く生成されない理由は、砂鉄中の TiO_2 濃度が 2 % (約) に達さないこと、釜土の SiO_2 濃度が 66 % (約) に達さないこと、また、操業初期の砂鉄の装荷において、やや強吹きをしたことによる。そして安部がこの技法をとったのは玉鋼の量産を意図したものである。

なお、本調査においては日刀保たたらの木原明氏に、またスラグの分析は新日本製鉄(株)にご協力頂いた。深く感謝する。

文献

- 1) 高橋一郎:Bull.ISTJ, 1(1996),854.
- 2) 俵国一：古来の砂鉄製錬法, 丸善, (昭和8年).
- 3) 小塚寿吉：鉄と鋼, 52 (1966), 1763.
- 4) 鈴木卓夫ら：鉄と鋼, 85(1999), 905.
- 5) 鈴木卓夫ら：鉄と鋼, 85(1999), 911.
- 6) 鈴木卓夫：たたら製鉄と日本刀の科学,p.48, p.70,雄山閣, 東京, (平成2年).
- 7) たたら製鉄の復元とその鋳について (たたら製鉄復元計画委員会報告) , p.41-p.65,
日本鉄鋼協会、東京, (昭和46年).
- 8) 永田和宏：鉄と鋼, 85(1999),715.
- 9) 岩生周一ら：粘土の事典,p.74, 朝倉書店, 東京, (1985).
- 10) 山本真之助：たたら研究, 2 (1959),1-9.
- 11) 雀部実：材料とプロセス,12(1999)4,772.
- 12) N.L.Bowen and J.F. Schairer,*Am. J. Sci.*,5th Ser.,24,200(1932).

第7章 鋸押し法と銑押し法における操業技術の比較

7. 1. 緒言

たたら製鉄とは今までにも述べてきているが、粘土で築いた箱形の低い炉で、原料に砂鉄を用い、燃料を木炭とし、送風動力に竈を使用して行う日本古来から行われていた製鉄技術である。そしてこの技術には鋼の生産を主体としたものと、鉄の生産を目的としたものがあり、前者を「鋳押し法」、後者を「鉄押し法」と呼んで区別している。この二つの製鉄法における実際の操業に基づいた記録の作成と解析については、鋳押し法においては倭国一の「古来の砂鉄製錬法」¹⁾ (以下倭本という)、(社)日本鉄鋼協会の「たたら製鉄とその鋳について」²⁾ また著者らによる「日刀保たたら」についての研究発表³⁾⁻⁵⁾がある。そして鉄押しについては前出の倭の研究があり、たたら製鉄の全貌がかなり明瞭になってきている。しかし鋳押し法と鉄押し法における技術の相違についてはほとんど解明されていない。その理由は、鋳押し法は現在でも日刀保たたらが稼働しているが、鉄押し法については既に滅びた技術となっていることによる。

そこで本論においては、鋳押し法と鉄押し法が技術的にどのように相違するかについて考察する。

7. 2 調査の方法

鋳押し法と鉄押し法について、①炉床の構築法、②炉の構築法、③ホド穴、④操業法について比較資料を作成し、また、砂鉄と木炭の装荷法と送風法から、鋳押し法と鉄押し法における鋳と鉄の生成機構について比較を行う。この比較資料の作成については、鋳押し法と鉄押し法の区別を明確にすることが出来る次の資料を主に使用した。なお、弓谷製鉄跡と野土たたら跡を鉄押し法と判定した理由については表7-1に示した。

鋳押し法

- 千草 兵庫県宍粟郡千種町 室町時代後期 ⁶⁾
- 砥波鑪 鳥取県日野郡日南町 明治時代 ¹⁾
- 靖國鑪 島根県仁多郡横田町 昭和時代初期 ⁷⁾
- 日刀保たたら 島根県仁多郡横田町 現在稼働 ³⁾⁻⁵⁾

鉄押し法

- 價谷鑪 島根県江津市 ¹⁾

○弓谷製鉄跡 島根県飯石郡頓原町 江戸時代末期～明治時代⁸⁾

○野土たたら跡 島根県仁多郡仁多町 江戸時代後期～明治時代⁹⁾

7. 3 結果

7. 3. 1 伊床の構築法の比較

たたら製鉄の大きな特徴の一つに、炉の下（地下）に設けられた特殊な地下構造がある。これは地下の湿気防止と保温を目的としたもので、特に近世になると、大規模で精緻なものが造られた。伊床の一般的な型は、炉の下に「本床」があり、この中には木炭などが詰められている。そして本床の左右に小舟があり、この中は空洞となっている。そしてこの地下構造の作り方には、石（坊主石という）を積んで柱として用いたものと、石の柱を用いないものと二様あり、本論文では、前者を「立石柱状型」、後者を「非立石柱状型」と表現することとする。

図7-1は、各たたらの地下構造の外観比較図である。なお、「千種」については「古今鍛冶備考」⁶⁾の記述をもとに著者が作図した。これをもとに調査した結果を表7-1に示した。これによってわかったことは次の通りである。

- (1) 立石柱状型は、鉄押し法である弓谷製鉄跡、野土たたら跡に見られる。
- (2) 非立石柱状型は、鋳押し法である千草と靖國鑑に見られる。
- (3) 通気孔（または火渡等）は、鋳押し法である千草と靖國鑑には見られなく、鉄押し法である弓谷製鉄跡、野土たたら跡に見られる。
- (4) 空洞（空洞とは小舟以外に設けられた大きな穴のこと）は鋳押し法である千草と靖國鑑にはなく、鉄押し法においてはあるものとなないものがある。

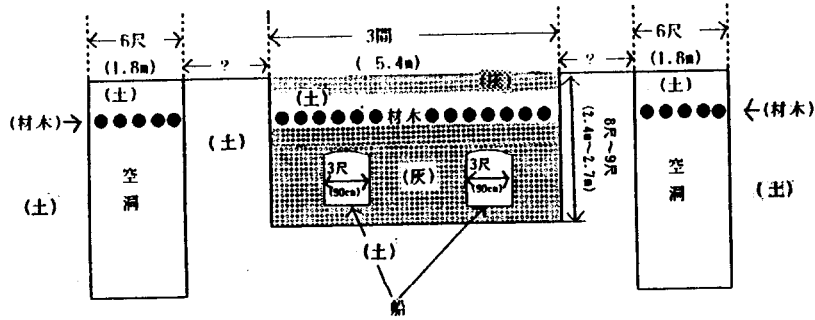
注1 表7-1の「片山半治」とは、「倭本」第3章「製錬場の諸設備」に見る地下構造のこと
で、これは広島県比波郡八銚村小鳥原の片山半治の話をもととして、これに砥波鑑の記録などを加えて倭が作図したものである。従って、この図を鋳押し法か鉄押し法か正しく判断することは出来ないが、砥波鑑の記録が使用されていることから、一応鋳押し法に分類しておく。

注2 日刀保たたらは、靖國時代の地下構造を使用して操業をおこなっている。

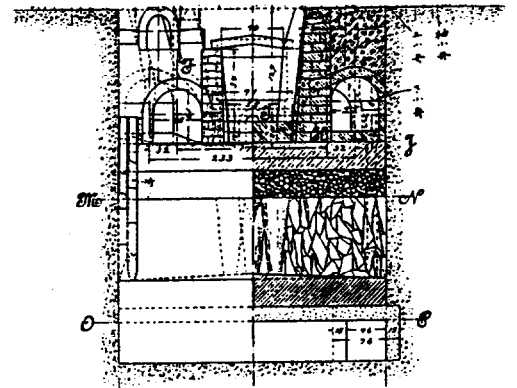
7. 3. 2 炉の構築法の比較

たたら炉は、鋳押し法、鉄押し法ともに粘土を用い、下から「元釜」「中釜」「上釜」

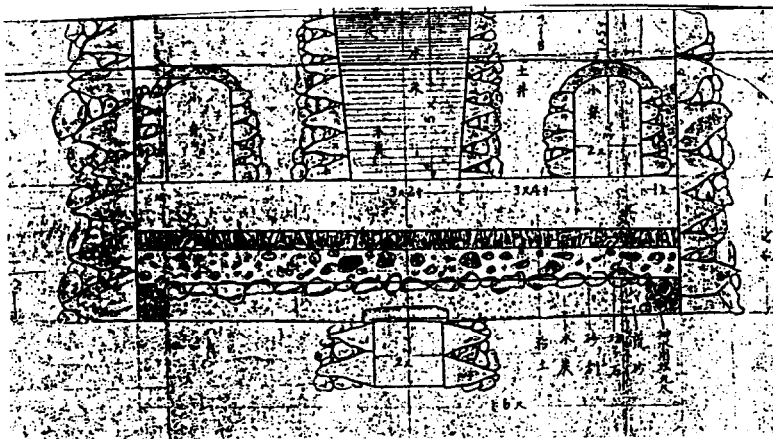
千草（鋤押）



砥波鐘（鋤押）



靖國鐘 「日刀保たたら」（鋤押）



弓谷製鉄遺跡（鋤押）

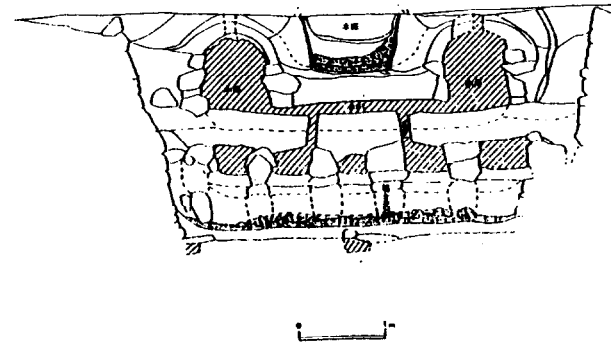


図7-1 各たたらの地下構造の外観比較

野土たたら跡（鉄押）

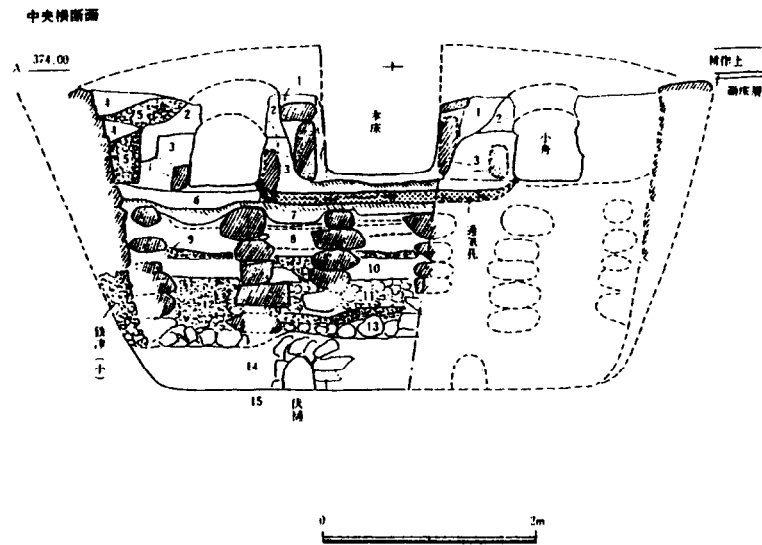


図7-1 （続き）

表7-1 各たたらの地下構造の構築型の比較

区 分		構 築 型	特 徴	備 考
鋳押	千 草	非立石柱状型	通気孔（又は火渡等）なし 空洞なし	
	靖國鎮（日刀 保たたら）			
	片山半治			
	弓 谷	立石柱状型	火渡3本、火落6本 空洞あり	焙焼炉があることなどから 鉄押と判定
鉄押	野 土	立石柱状型	通気孔5本、空洞なし	焙焼炉があること、赤目砂鉄が出 土していることなどから鉄押と判定

の順で築かれ、左右の元釜の壁には炉内へ風を送るための穴（ホド穴という）が多数設けられており、元釜の底はV字型に築かれている。元釜をV字型に築く理由は、炉壁が砂鉄と反応してファイヤライト組成の低融点スラグを造るのに都合がよいことによる。俄国一は「倭本」第5章「鉄押」で、「鉄押に関し其作業の大要は既に記述せる鋳押の夫に類似せり、唯其相違せる重要なる点を見るに使用せる原料砂鉄の種類、炉型の相違殊に羽口孔の形状及傾斜の緩急又は炉底の傾斜の差異を上げべし」と述べている。これは「倭本」にみる砥波鑪（鋳押し）と價谷鑪（鉄押し）と比較して述べたものであるが、その内容は鉄押し法の構築法は鋳押し法に比較して、ホド穴の角度が緩やかであること、炉底の傾斜が急、つまり炉底の幅が狭いことのみを指摘したものとなっている。

図7-2に各たたら炉の外観比較図を示した。そしてこれらの炉がどのような法量で築かれているかを調査した。そしてこの結果を表7-2に示した。これによってわかった事はつぎの通りである。

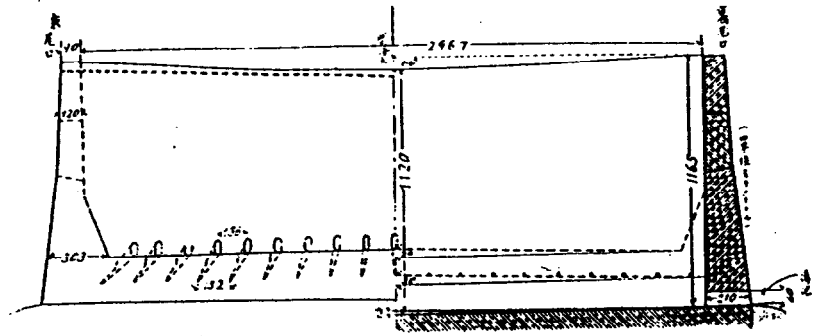
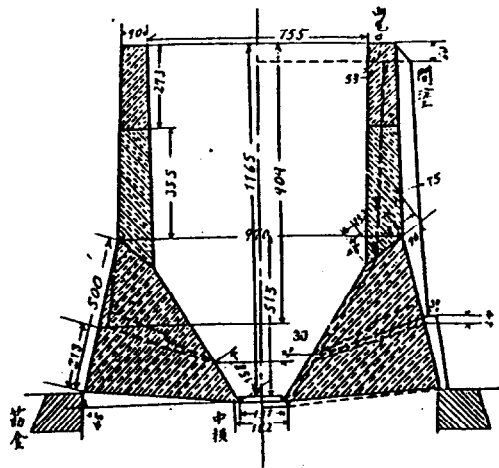
- (1) 炉の外観比較からは、鋳押し炉である靖國鑪と日刀保たたらは、元釜頂部から上釜頂部に行くに従って、若干広がりを見せている。砥波鑪は殆ど変わりが無い。鉄押し炉である價谷鑪は、元釜頂部の幅 576mm に対し、上釜の頂部の幅 515mm といったようにかなり狭く、また炉腹を広げて築いている。
- (2) 炉の法量計算比較からは、①炉の高さは炉の長さの何倍で築かれているかを調査した。その結果4者とも殆ど差がないことがわかった。②炉の高さは炉の幅の何倍で築かれているかを調査した。その結果、鋳押し法より鉄押し法のほうが炉幅に対して炉高が一段と高い。言い換えれば炉高に対して炉幅が一段と狭く築かれている。

7. 3. 3 ホド穴の比較

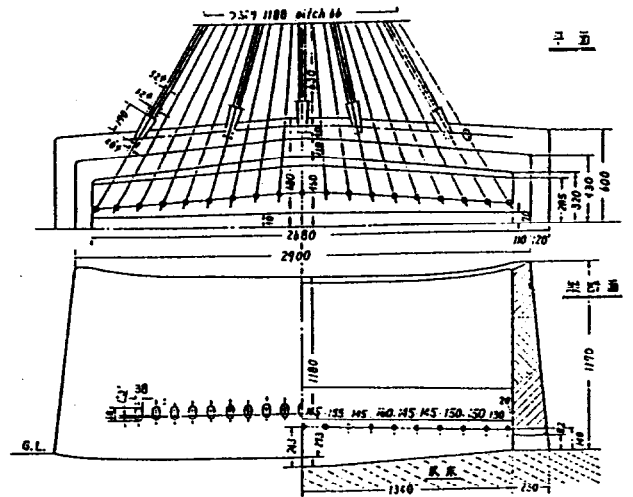
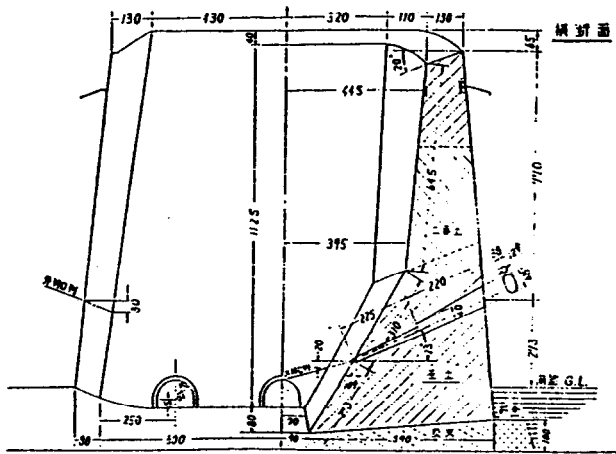
各たたらホド穴について調査した結果を表7-3に示した。これによってわかったことは次の通りである。

- (1) ホド穴の個数は片側で、鋳押し法である砥波鑪・靖國鑪・日刀保たたらが、19本から20本である。鉄押し法である價谷鑪は16本で鋳押し法と比べて少ない。
- (2) 地上からのホドの穴位置、すなわち高さは、鋳押し法である靖國鑪が 273mm、同じく日刀保たたらが 270mm で最も高く、鉄押し法である價谷鑪 106mm と最も低く、砥波鑪（鋳押し法）は 218mm で價谷鑪の約2倍高い。
- (3) ホド穴の勾配は鋳押し法の平均が23度であるのに対し、鉄押し法である價谷鑪は

砥波鎗 (鋳押)



靖國鎗 (鋳押)



日刀保たたら (鋳押)

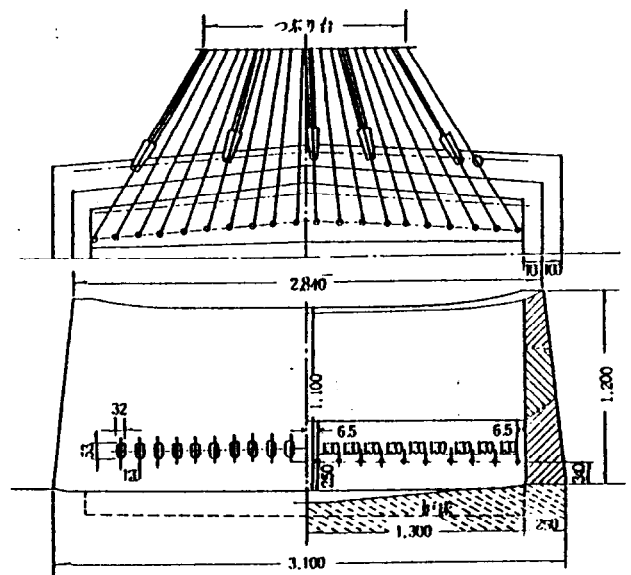
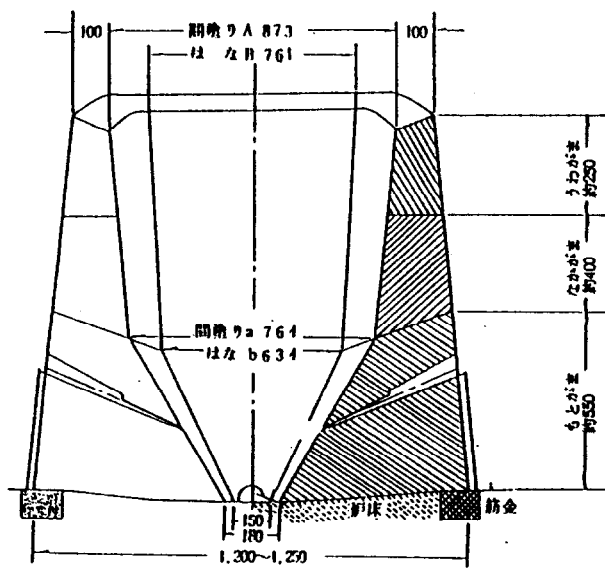


図7-2 各たたら炉の外観比較

價谷鑪（銑押）

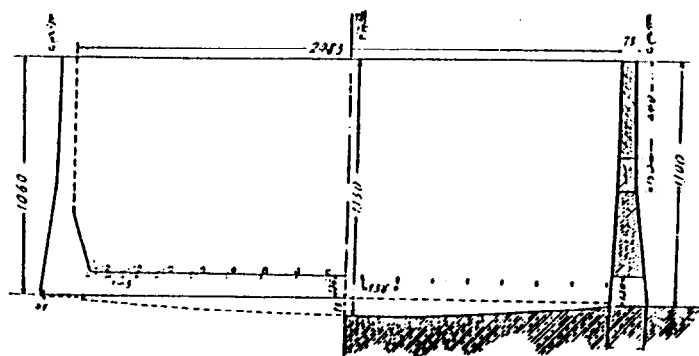
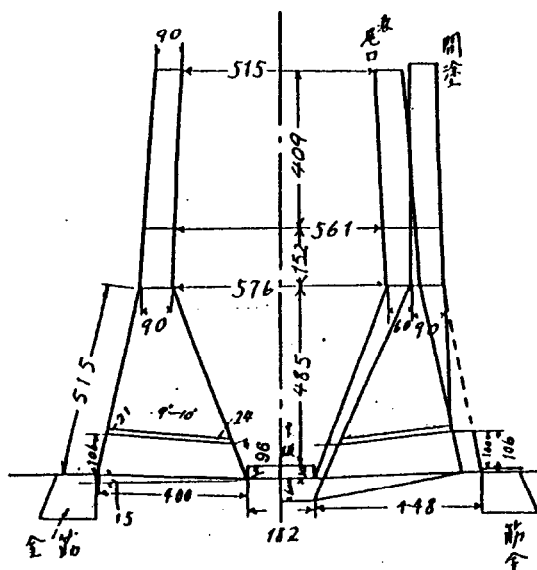
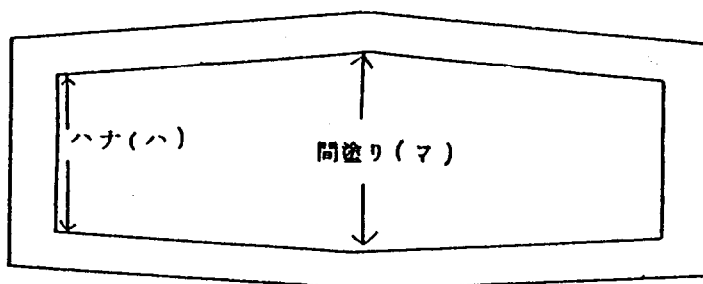


図 7-2 (続き)

表 7-2 各たたら鑪の法量計算比較 (単位 mm)

区 分		炉高	炉長	炉高 炉長	炉高	炉幅	炉高 炉幅
鋸押	砥波鑪	1,165	2,967	0.39	1,165	7860 755	1.35 1.54
	靖國鑪	1,170	2,640	0.44	1,170	7860 640	1.36 1.83
	日刀保たたら	1,200	2,640	0.45	1,200	7873 761	1.37 1.58
鉄押	價谷鑪	1,100	2,485	0.44	1,100	7665 515	1.65 2.14



9～10度で、鋤押し法の約半分である。

- (4) ホド穴とホド穴との間隔は、鉄押し法である價谷鑪が145mmで最も長く、次が鋤押し法の砥波鑪の136mmで、日刀保たたら（鋤押し）は120mmで價谷鑪と砥波鑪のはほぼ中間である。なお、靖國鑪については記録はないが、日刀保たたらの前身が靖國鑪であることからすれば、ほぼ同様といってよい。

7.3.4 操業の比較

たたら操業は下灰（したはい）・築炉・砂鉄と木炭の装荷・鋤（けら）出しの順で行われ、これには6～7日間を要し、この全体を操業というが、特に砂鉄と木炭が装荷されている間を狭義において操業という。ここでいう操業とは後者のことで、この項においては、①操業時間の比較、②砂鉄と木炭の種類の比較、③砂鉄の成分の比較、④操業諸比率の比較、以上について調査を行った。

その結果を 図7-3、表7-4・5・6 に示した。これによってわかったことは次の通りである。

- (1) 操業時間（但し砂鉄と木炭の装荷時間）の比較では、鋤押し法が65時間30分（日刀保たたら）から66時間27分（砥波鑪）であるのに対し、鉄押し法である價谷鑪は83時間40分と長時間にわたって操業が行われている。また鋤押し法は操業時間を「籠り」「籠り次ぎ」「上り」「下り」の4期に分けているが鉄押し法は、「籠り」「明押し」「降り」の3期に分けている。
- (2) 砂鉄と木炭の種類の比較では、鋤押し法である三者は真砂砂鉄（こもり砂鉄を含む）を使用し、鉄押し法である價谷鑪は浜砂鉄を70%、赤目砂鉄を30%使用し、少量の洗い滓を混入し、このうちの3分の1を焙焼している。また、砂鉄の装荷に先だって洗い滓を装荷している。
- 木炭は鋤押し法である三者は、たたら炭のみを使用し、鉄押し法である價谷鑪は、最初の3時間は松炭を使用し、その後はたたら炭のみを使用している。
- (3) 砂鉄の成分の比較では、 TiO_2 量が鋤押し法（真砂砂鉄）では0.69%（日刀保たたら）から5.40%（砥波鑪のこもり砂鉄）であるのに対し、鉄押し法（浜砂鉄・赤目砂鉄）は9.83%とかなり高い。
- (4) 操業の諸比率においては、鉄押し法は鋤押し法に比較して生産歩留まりが大きい。
- (5) 鋤押し法でも、砥波鑪と靖國鑪では、鋼とともに大量の鉄が生成している。

表 7 - 3 鋤押し法と鉄押し法におけるホドの比較

区分	炉 別	個数(片側)	地上からの高さ	勾 配	ホドとホドの間隔
鋤押	砥波 釜	19本	218mm	26度	136mm
	靖 國 釜	20本 時に19本	273mm	23度	記載なし
	日刀保たたら	20本	270mm	19～24度	120mm
鉄押	價 谷 釜	16本	106mm	9～10度	145mm

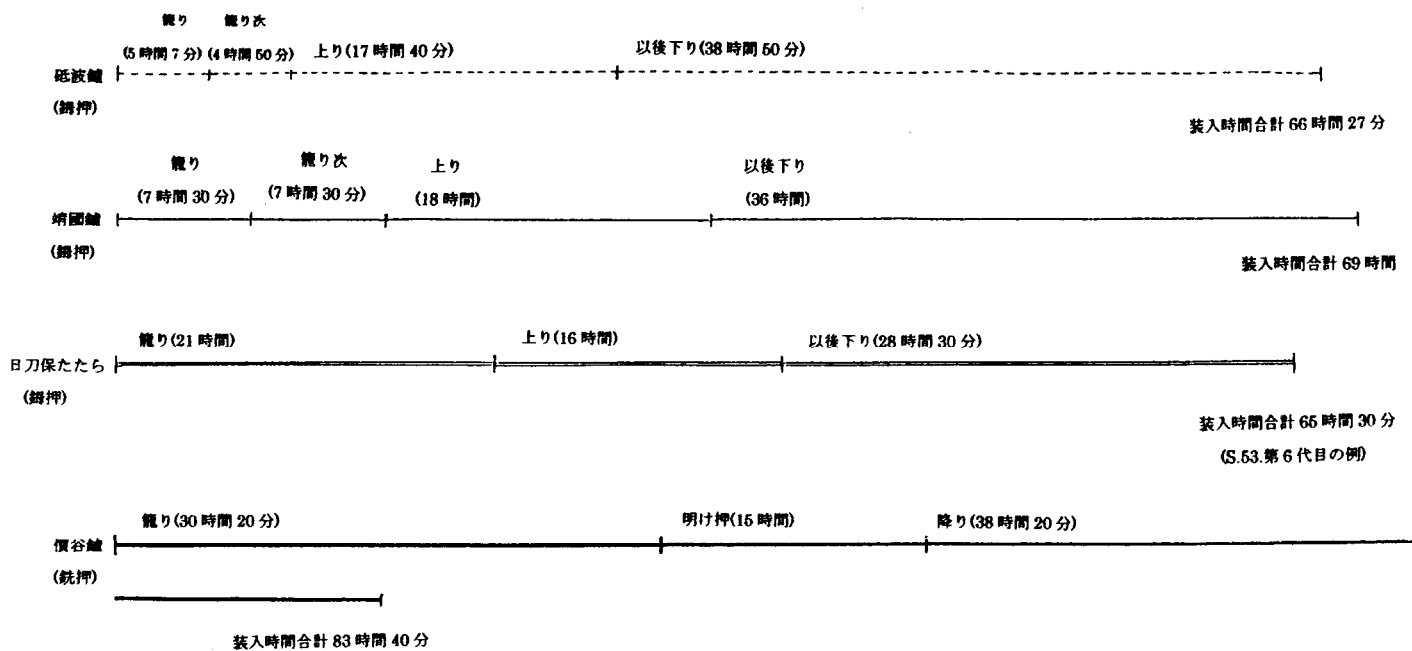


図 7 - 3 鋤押し法と鉄押し法における作業時間の比較

表 7 - 4 鋤押し法と鉄押し法における砂鉄と木炭の種類の比較

区分	炉 別	砂鉄の種類	木炭の種類	その他の特徴
鋤押	砥波 釜	こもり砂鉄(小粒) 真砂砂鉄 (粗粒)	たたら炭(雑木)	
	靖 國 釜	こもり砂鉄(小粒) 真砂砂鉄 (粗粒)	たたら炭(雑木)	
	日刀保たたら	真砂砂鉄 (粗粒)	たたら炭(雑木)	
鉄押	價 谷 釜	山小鉄(赤目)「小粒」(30%) 浜小鉄(70%)	最初の3時間は松炭を使用. その後 はたたら炭(雑木)のみ	・砂鉄の3分1を焙焼 ・砂鉄の装荷に先だっ て洗い滓を装荷 のみ

表 7-5 鋳押し法と鉄押し法における砂鉄の成分分析比較

重量 %

区分	砂鉄		T. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	P	S	CaO	MgO	V ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ FeO	
鋳押	真砂 (砥波鍾)	こもり	58.05	11.38	70.30	6.24	0.88	—	—	0.29	0.20	0.14	4.55	5.40	6.18	
		こもりつき	58.64	17.54	64.28	5.03	1.42	—	—	0.34	0.13	0.15	5.80	4.60	3.66	
		のぼり	60.37	22.91	60.79	4.61	0.91	—	—	0.72	0.21	0.20	4.03	4.73	2.65	
		くだり	60.38	21.30	62.59	7.23	0.67	—	—	0.32	0.05	0.16	4.17	2.69	2.94	
	真砂 (靖國鍾)	こもり	56.55	21.52	66.05	7.90	0.57	0.056	0.032	0.38	—	0.30	5.50	2.15	3.07	
		こもりつき	56.96	20.33	60.50	8.18	0.57	0.077	0.027	0.58	—	0.27	5.90	2.46	2.98	
		のぼり	58.13	21.20	60.46	7.90	0.48	0.077	0.020	0.70	—	0.29	3.86	2.24	2.85	
		くだり	59.86	22.85	62.45	7.45	0.32	0.062	0.016	0.42	—	0.27	2.87	1.67	2.73	
	真砂 (日刀保たたら)		61.50	24.66	62.51	5.40	0.26	0.071	0.032	0.86	0.31	0.36	1.70	0.69	2.53	
	鉄押	浜砂鉄 赤目	} (價谷)		57.19	21.41	57.98	5.27	1.04	—	—	0.41	0.29	0.18	0.55	9.83

表 7-6 鋳押し法と鉄押し法におけるたたら製鉄の諸比率の比較

区 分	鋳 押				鉄 押
	砥波鍾	靖國鍾	日刀保たたら (1978年度)	日刀保たたら (1997年度)	價谷鍾
砂鉄量(kg)	12,825	14,911	7,840	10,325	18,000
木炭量(kg)	13,500	14,900	11,932	10,725	18,000(内松炭 1.1トン)
①鋼(kg)	1,125	577(但し玉 鋼のみ)	1,194(玉鋼 他)	2,300(玉鋼 他)	337(但し 鋳塊)
②鉄(kg)	1,575 (流鉄を含む)	1,519 (流鉄を含む)	176 (鋳鉄)	49 (鋳鉄)	4,500 (流鉄)
①+②(kg)	2,700	577(但し玉 鋼のみ)	1,370	2,349	4,837
木炭/砂鉄	1.05	1.00	1.52	1.04	1.00
砂鉄量に対する ①+②の歩留(%)	21.1	3.87(但し玉鋼 のみの計算)	17.5	22.8	26.9

7. 4 考察

7. 4. 1 炉床の構築法

まず、立石柱状型と非立石柱状型についてであるが、調査の結果からは立石柱状型は鉄押し法に、非立石柱状型は鋤押し法に分類されるという結果を得た。しかし操業法と構築型の相関については今後の研究に委ねたく、本論文においては地下構造の構築型にこの二法があったことについてのみ記しておく。

つぎに、通気孔について考えて見る。調査の結果からは、通気孔は鋤押し法ではなく、鉄押し法にあることがわかった。通気孔とは小舟から本床の下を通り、もう一つの小舟につながる細長いパイプ状のもので、弓谷製鉄跡の場合は太い竹を用いて構築し、野土たたら跡は直径約15cmの型木を用いて構築している。そしてこの設備は江戸時代の石見地方（現在の島根県の西半分）の製鉄を述べた「金屋子縁起抄」¹⁰⁾に見ることができ、同書はこの設備のことを「火渡し」と表現している。従ってこの構築の目的は地下の湿気防止と保温ををより良くするための工夫であると考ええる。

石見地方は、「鉄山必用記事」¹¹⁾に「石州の職人は鉄に吹涌す事上手なり。鉋はなし」とあり、鉄生産が行われていたことがわかる。俵国一は「俵本」第3章「炉底の構造」で「最初に述べた如く本炉の如き小型なるものにて能く製鉄作業を行ひ、殊に鉄鉄を製造するが如きは、蓋し異数と称すべく従って炉熱を巧に貯へ、之が放散を妨ぐ為め古来大いに努力せるものとす。」と述べていて、鉄押し法は鋤押し法よりさらに湿気防止と保温のための工夫がなされたことがわかる。

弓谷製鉄跡は、火渡し以外に「火落し」と呼ばれるもの、そして「小舟」以外に「空洞」が五つ見られるが、これは徹底した湿気除去のための工夫であることが考えられる。なお、表7-7に鋤押し法と鉄押し法における地下構造の法量を示したが、この比較からは両者の特徴を見いだすことは出来なかった。

7. 4. 2 炉の構築法

炉の外観比較、炉の計測比較から、鉄押し法は鋤押し法より蓄熱に大変努力していることがわかる。外観比較図で指摘したように鋤押しの炉は上へ行くに従って、少し広くなるように築いているのに対し、鉄押しの炉は逆に狭くなるように築いている。これは放熱を防ぎ熱を炉内へできるだけ溜めて砂鉄の熔融を高め、鉄を造る事を考えたものである。

図7-4は「俵本」にみる眞谷鍾の砂鉄焙焼炉の図である。これを見ると提灯のように上

表 7-7 鋤押し法と鉄押し法における地下構造の法量の比較

(単位 mm)

区 分		鋤 押		鉄 押	
		小島原	増國 (日刀保)	弓 谷	野 土
炉 床	正面幅	3,030	4,850	6,000	5,300
	深さ	3,940	3,330	3,000	3,300
	奥行	4,850	3,640	13,000	6,500以上
本 床	正面幅 (上部)	1,210	1,270	1,200	1,100
	正面幅 (下部)	900	970	900	1,000
	高さ	1,520	1,520	700	1,300
	奥行	4,850	3,640	8,000	6,500
小 舟	正面幅	550	610	750	600
	高さ	600	910	880	700
	奥行	4,850	3,640	8,000	6,500

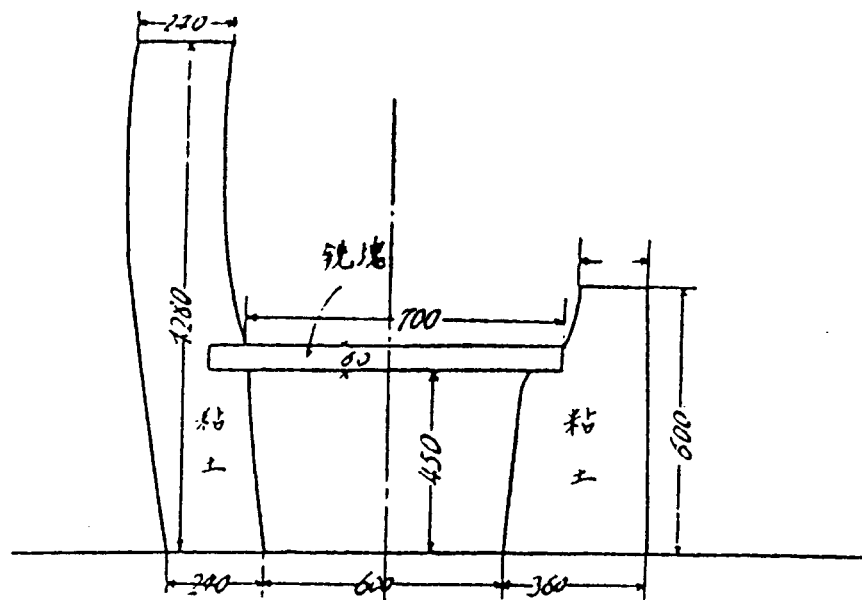


図 7-4 價谷鍾の砂鉄焙焼炉

部と下部がつぼんでいることがわかる。焙焼とは、砂鉄や鉄鉱石を加熱によってヘマタイト化する事をいうが、この場合も蓄熱を必要とすることからこのような型に築かれもので、鉄押し炉と共通したものとなっている。

炉の計測比較では、炉の幅は鉄押し炉の場合には鋳押し炉に比べて一段と狭いことを指摘した。これは結果として炉底の傾斜が急、つまり狭いということで、やはり鉄押し炉がこのように築かれるのは蓄熱効果を考えたものである。

7. 4. 3 ホド穴

本考察については、後で述べる。

7. 4. 4 操業

操業時間の比較（図7-3）からは、鉄押し法（價谷鍾）が鋳押し法（砥波鍾・靖國鍾・日刀保たたら）よりも1.25倍かかっている。これは鋳押し法は炉内へ鋳を生成させるのに対し、鉄押し法は炉外へ鉄を流し出すことから、炉の耐久時間が異なることによる。

「古今鍛冶備考」⁶⁾は播州宍粟郡千草（ばんしゅうしろうぐんちぐさ）で天文時代（室町時代後期）に鉄生産にかかわって鋼生産が開始され、これを3昼夜吹きと呼んだことを述べている。そしてこれ以前においては、「往古の砂吹きの方は踏輪を踏むこと7日7夜という。炉も一重に塗りたて鉄湯を流し取るばかりにしてこれを鉄と唱へ、このひと色の鉄をもって万器を造る。」と述べ、鉄生産には7日間が費やされたことがわかる。また、「剣工秘伝誌」^{11, 2)}は、「諸国鉄山にて始て鉄を流し取ることは古に同じ。然れども3日4夜にて吹止め、釜を打崩して釜底に流れ残りたる鉄をひきだし 切割、延鋼と号し（以下略）」と述べている。これからして、3昼夜吹き（鋳押し法）は7昼夜吹き（鉄押し法）が改良されてできたものとする。また、鋳押し法は操業時間を4期にわけ、この理由については前章で述べたが、鉄押し法が3期にわけられる理由については手許の資料からは結論を出すことはできない。

なお、図7-3に鋳押し法における籠り期・籠り次ぎ期・上り期・下り期の時間区分を示したが、その内容を見ると籠り期に費やされている時間数は、砥波鍾が5時間7分、靖國鍾が7時間30分、日刀保たたらが21時間の順となっている。これは表7-8に示したように籠り期に用いる砂鉄の酸化度と相関していることがわかる。つまり砂鉄の酸化度が高くなるに従って、逆に籠り期の時間数は短くなっていることである。籠り期に費やされた時間数は、砥波鍾が最も短い。これは酸化度6.18といった極めて溶けやすい、つまり、還

元と浸炭がしやすい砂鉄を籠り期に使用したことにより、短時間で鉄の生成が可能となったものである。反面、復元たたらと日刀保たたらでは、共に籠り砂鉄としては酸化度の低いものが用いられていることから、この場合は籠り期の時間をなるべく長くして鉄の生成に努めたものである。

表7-8に籠り砂鉄の酸化の度合いと鉄生成量の比較を示したが、酸化度の増加は鉄の生成量の増加に比例していることがわかる。しかし鉄の生成要因については砂鉄中の TiO_2 濃度、釜土中の SiO_2 濃度からも考えられることから、これについては後で述べる。

砂鉄と木炭の種類の比較(表7-4)では、鋸押し法は真砂砂鉄を用い、鉄押し法である價谷釜は浜砂鉄を70%、山砂鉄(赤目砂鉄)を30%使用し、赤目砂鉄の使用量が意外と少ない。しかしこれは例外ではなく、「鉄山必用記事」¹¹⁾は「伯州の内八橋郡の内種村といふ所にて、松炭を焼き、演粉てつにて石州村下を呼迎えて吹せしかば能涌ける也。」と記し「演粉てつ」とは浜砂鉄であることを付記している。しかし、「演」の字のもつ意味については不明である。そして同書は浜砂鉄のことを「漬粉鉄」とも表現し、「元来漬粉てつは浪打たる物にして性軽し。」と述べ、山陰地方における鉄押し法においては粒形の小さい浜砂鉄が主体でこれを焙焼してさらに溶けやすくして用いたことがわかる。鋸押し法においては鋼を造ることが目的であることから焙焼は行われていない。なお、鉄押し法である價谷釜においては砂鉄の装荷に先だって洗い滓を装荷している。洗い滓とは砂鉄を水洗いしたときにでる滓、つまり土のことで、倭国一は「倭本」第5章(製鍊操業)の中で洗い滓を用いる理由について「是鉄分すくなくして珪酸物多く、炉内にて適当なる柄実を造るを以てなり。」と述べている。價谷釜では操業開始から3時間まで松炭を使用している。これは「籠り」の初期においてできるだけ温度を上げるための工夫である。なお、たたら炭は雑木で、日刀保たたらの場合はクヌギ、ナラなどが用いられている。

砂鉄の成分の比較(表7-5)で、鉄押し法の價谷釜の砂鉄(浜砂鉄・赤目砂鉄)の TiO_2 の濃度が、鋸押し法の真砂砂鉄に比べてかなり多いという結果を得た。表7-9は、山陰地方における各種砂鉄の成分について調査したものである。これによると、酸化系元素において総体的に TiO_2 と SiO_2 が高く検出され、その順序は TiO_2 の濃度においては真砂(1.11mass%)→籠り真砂(2.46)→川(5.00)→赤目(5.32)→浜(7.10)。 SiO_2 においては川(2.43)→浜(4.51)→籠り真砂(6.53)→真砂(7.88)→赤目(12.49)となり、これは浜砂鉄と赤目砂鉄を用いた價谷釜の TiO_2 の濃度が高いこと(9.83)とほぼ一致している。また俄国

表 7-8: 各炉による籠り期の時間・砂鉄の酸化度、銑生成量の比較

炉 別	籠り期の時間	砂鉄の酸化度 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$)	銑生成量 (kg)	備 考
砥 波 爐	5時間7分	6.18	1,575	倭国一：古来の砂鉄 製錬法
靖 國 爐	7時間30分	3.07	1,519	同 上
復元たたら	21時間48分	2.90	210	日本鉄鋼協会：たたら 製鉄の復元とその 鋳について
日刀保たたら	21時間	2.53	176	昭和53年度操業7 代の平均

表 7-9 山陰地方における各種砂鉄の成分分析

重量 %

区 分	銘 柄	T.Fe	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	V ₂ O ₅	
真 砂	羽内谷	60.43	0.93	22.03	61.90	7.68	0.27	2.38	0.90	0.37	0.080	0.021	0.300	日刀保たたら
	羽内谷	61.50	0.69	24.66	62.51	5.40	0.26	1.70	0.86	0.31	0.071	0.032	0.360	日刀保たたら
	羽内谷	59.98	1.54	20.98	62.45	10.02	0.19	1.62	0.22	1.27	0.060	0.023	0.240	
	中 倉	59.00	1.27	24.72	64.45	8.40	0.05	2.34	2.24	1.54	0.064	0.009	0.258	
	平 均	60.23	1.11	23.10	62.83	7.88	0.19	2.01	1.06	0.87	0.069	0.021	0.290	
赤 日	籬 家	54.56	6.82	18.48	51.08	14.90	0.05	4.98	1.60	1.74	0.032	0.036	—	
	三 沢	53.17	4.40	—	—	11.32	—	—	—	—	0.040	0.030	—	
	楮 谷	52.07	5.32	19.55	52.71	14.50	—	4.30	2.68	0.94	0.095	0.026	0.370	
	復元たたら	54.06	4.75	19.26	55.90	9.24	0.78	2.27	0.29	0.33	0.035	0.017	0.530	
	平 均	53.47	5.32	19.10	53.23	12.49	0.42	3.85	1.52	1.00	0.051	0.027	0.450	
こもり	半 田 (真砂)	65.68	2.15	23.28	68.03	2.66	0.57	1.51	Tr	0.30	0.056	0.032	0.280	
	細 谷 (真砂)	59.41	3.06	20.91	61.71	7.38	1.005	2.43	0.34	0.27	0.052	0.009	0.180	日刀保たたら
	—— (真砂)	56.55	2.15	21.52	66.05	7.90	0.57	5.50	0.38	—	0.056	0.032	0.300	靖國爐(こもり)
	—— (真砂)	56.96	2.46	20.33	60.50	8.18	0.57	5.90	0.58	—	0.077	0.027	0.270	靖國爐(こもり つき)
	平 均	59.65	2.46	21.51	64.07	6.53	0.68	3.84	0.43	0.29	0.060	0.025	0.258	
川	斐伊川	62.55	5.23	22.13	64.84	2.24	nil	4.51	0.50	1.10	0.082	0.014	—	
	斐伊川	64.23	5.81	25.00	68.21	2.70	0.15	2.68	0.17	0.39	0.062	0.016	0.210	
	斐伊川	65.23	3.95	25.15	65.32	2.34	0.21	1.99	r	0.63	0.072	0.024	0.170	
	平 均	64.00	5.00	24.09	66.12	2.43	0.18	3.06	0.34	0.71	0.072	0.018	0.190	
浜	皆 生	62.50	6.05	24.68	62.27	3.20	Tr	1.30	r	0.41	0.063	0.018	0.270	
	戸 屋	55.64	8.69	23.72	56.87	4.90	0.03	1.79	2.36	0.31	0.090	0.032	—	
	喜久志	57.38	6.55	20.41	50.79	5.42	0.35	2.55	0.11	0.76	0.078	0.026	0.220	
	平 均	58.51	7.10	22.94	56.64	4.51	0.19	1.88	1.24	0.49	0.077	0.025	0.245	

一が「俵本」第2章で、概ね純花崗岩中には粗粒なる磁鉄鉱を含むこと多く、是より得たる砂鉄には粗粒の珪石を混じ他物を含むこと少なし。所謂真砂小鉄と称し鋳押の原料に使用するものとす。「其砂鉄粒の大きさ概ね小にして磁鉄鉱の他赤鉄鉱、珪酸鉄又は多量のチタン鉄鉱を含む、之を赤目小鉄と通称し専ら鉄押し原料に供せり。」と述べていることとはば一致している。

山本真之助は酸性岩組織中にある TiO_2 は融点を低下させるといい、真砂砂鉄・赤目砂鉄・浜砂鉄を用い、溶融点の測定を行い、その結果 TiO_2 の増加に従って融点の下がることを報告している¹³⁾。つまり TiO_2 は単体では融点は高いが、酸性岩組織中において融点がさがるということであり、このことについては第6章で述べた。

操業の諸比率の比較(表7-6)において、生産量の歩留まりは、鉄押し法である價谷鑪は鋳押し法である砥波鑪の1.27倍、同じく鋳押し法である日刀保たたら(1978年度産)の1.54倍、日刀保たたら(1997年度産)の1.18倍で優位に立っていることがわかった。これは前述の通りたたら炉の耐久性の相違によるものである。

鋳押し法においても砥波鑪では鉄が1,575kg、靖國鑪においても1,519kgと大量に生産されていることがわかった。鋳押し法であっても最初に鉄が生成されることは日刀保たたらの操業においても確認されている。しかしこのように大量に鉄が生成されたのは籠り期の砂鉄の酸化度が表7-5に示したように高いことが大きな要因である。

7. 5 鋳押し法と鉄押し法における鋳と鉄の生成機構の比較

かつてのたたら操業において、鋳押し法にあっては操業初期に還元性のよい籠り砂鉄が用いられ、鉄押し法においても還元性のよい赤目砂鉄や焙焼砂鉄などが用いられ、炉型、また砂鉄や木炭の装荷法や送風法などに工夫がなされてきた。本論においては、砂鉄と木炭の装荷法と送風法(ホド穴の形状)から、鋳押し法と鉄押し法における鋳と鉄の生成機構について考察する。

7. 5. 1 砂鉄と木炭の装荷法

表7-10に日刀保たたら(鋳押し法)と「俵本」にみる石見国の價谷鑪(鉄押し法)における砂鉄と木炭の装荷法の比較を示した。これによってわかることは、鋳押し法では砂鉄は木炭の隙間を通して比較的早く降下するが、鉄押し法では木炭を密に装荷することから降下が遅く、それだけ砂鉄の炉内における滞留時間が長くなり、還元と浸炭が促進さ

れ、最も木炭の燃焼が激しく行われる羽口近傍に鉄粒が達したとき、木炭と接触することによって大量の吸炭がなされ、鉄生成を有利にする。

表 7 - 10 鋳押し法と鉄押し法における木炭と砂鉄の装荷法の比較

区 分	木 炭・砂 鉄	結 果
鋳押し法 (日刀保たたら)	木炭を粗に装荷し、その上に砂鉄を装荷する。	砂鉄は木炭の隙間を通して比較的早く降下する。
鉄押し法 (價谷鑪)	先ず大塊の木炭を装荷し、その間隔を小塊又は粉炭で充填し、スコップで叩いて平らにし、その上へ砂鉄を装荷する。	木炭を密に充填することから、砂鉄の炉内滞留時間が長くなる。

7. 5. 2 送風法 (ホド穴の形状)

鋳押し法と鉄押し法におけるホド穴の形状と法量を図 7 - 5 に示した。砥波鑪と價谷鑪については、「俵本」をもとに作図した。この比較によってわかることは、鋳押し法 (砥波鑪・靖國鑪・日刀保たたら) の場合は、吹入口より吹出口の方が著しく狭い (断面積平均 51mm^2) のに対し、鉄押し法 (價谷鑪) の場合は吹入口より吹出口の方が広がっていることである (断面積 216mm^2)。以下この比較のもとに鋳押し法と鉄押し法における鋳と鉄の生成機構について考察する。

図 7 - 6 に鋳押し法である砥波鑪・図 7 - 7 に日刀保たたら、図 7 - 8 に鉄押し法である價谷鑪の炉とホド穴の断面図を示した。これによって羽口から風がどのように炉内へ送られるかを考えてみる。

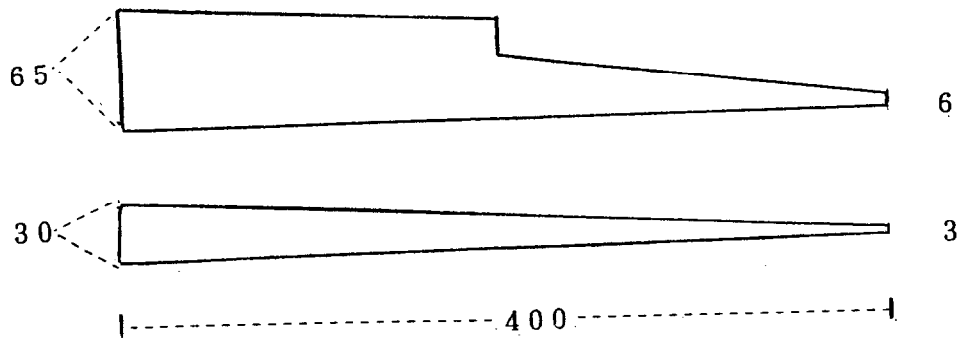
鋳押し法の場合

ホド穴の吹出口が著しく狭いことからハードブローであり、図 7 - 6 と図 7 - 7 の断面図から見て、ホド穴の勾配が急であることから、風は羽口近傍に送られる。

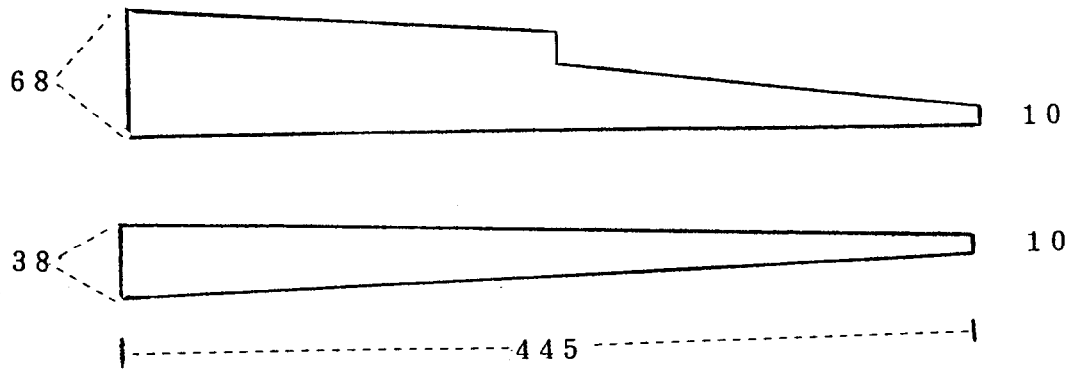
鉄押し法の場合

ホド穴の吹出口が鋳押し法に比べて著しく広いことからソフトブローであり、図 7 - 8

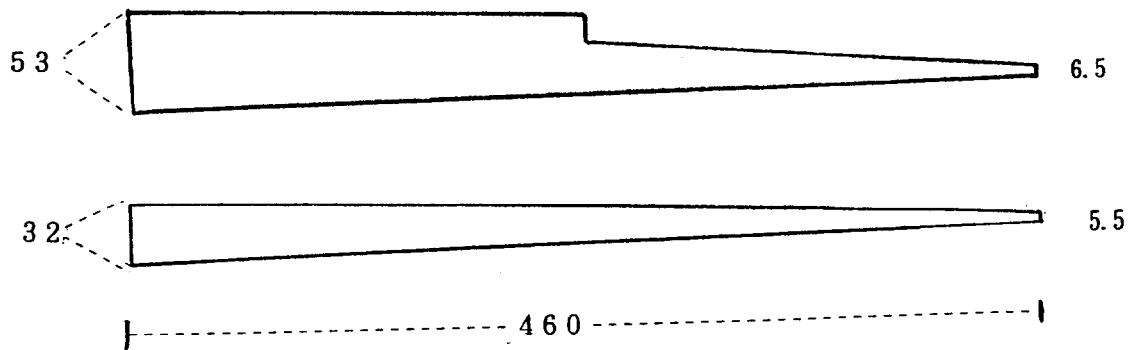
砥波鑑（銅押）



靖國鑑（銅押）



日刀保たたら（銅押）



價谷鑑（鉄押）

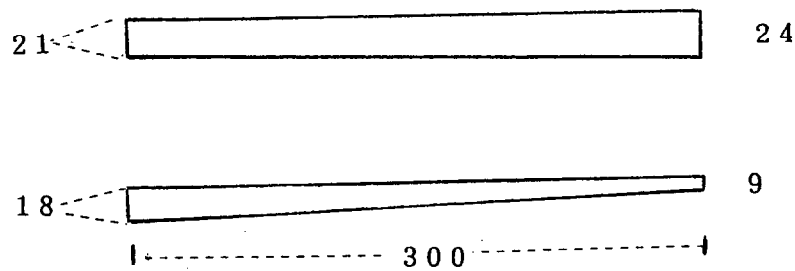


図7-5 鋤押し法と鉄押し法におけるホドの形状と法量の比較 単位：mm

図中上掲はホドの縦の長さ
下掲は横の長さ

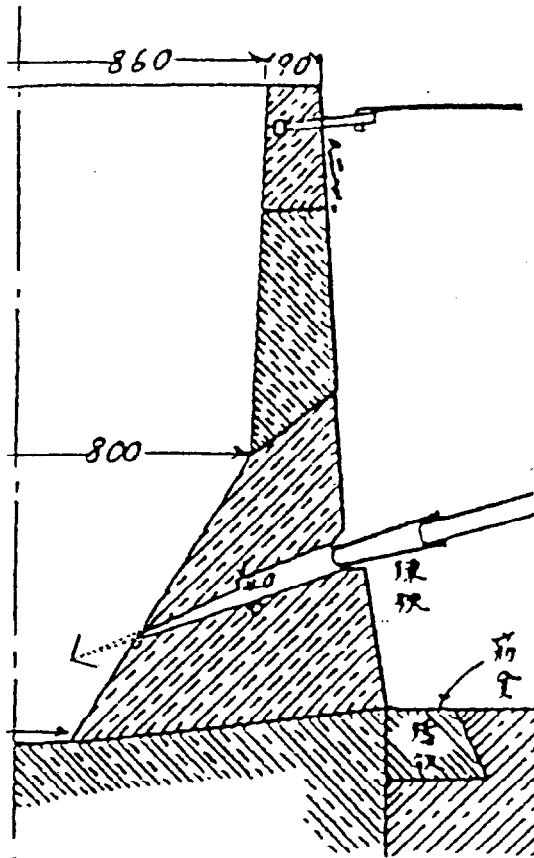


図7-6 砥波鑪（鋸押）の炉とホド穴の断面図

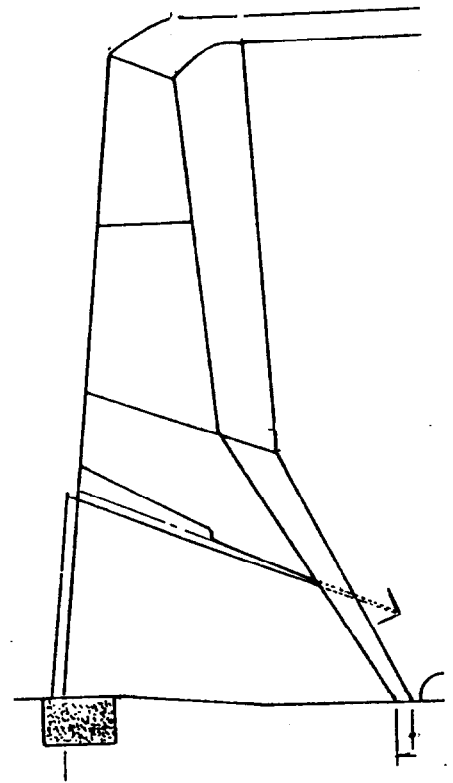


図7-7 日刀保たたら（鋸押）の炉とホド穴の断面図

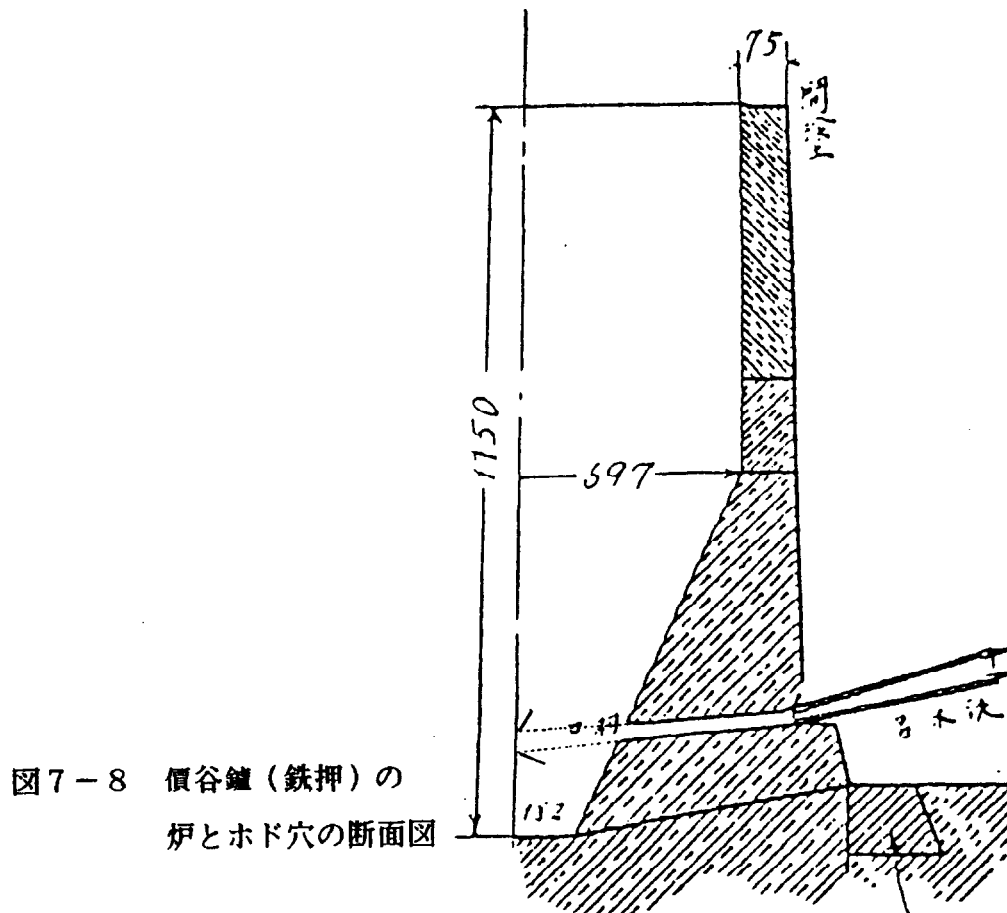


図7-8 傾谷鑪（鉄押）の炉とホド穴の断面図

の断面図から見て、ホド穴の勾配が緩やかであることから、風はソフトながらも炉内へ幅広く送られる。

以上よりまず考えられることは、鋳押し法にあってはハードブローで羽口近傍に比較的狭い還元と浸炭のゾーンを設けるが、これに対して鉄押し法の場合は風の流れの幅を広くし、炉内において比較的広い還元と浸炭のゾーンを設けていることである。次に考えられることは、鉄押し法はソフトブローであることから、ハードブローである鋳押し法より低温で製錬されることである。

永田は鋳の生成および成長の機構を小型たたら炉を用いて熱力学的に解明し¹⁴⁾、その結果羽口上部で還元がおこり、羽口前では1,350度程度で吸炭と溶融が起こるとしている。また「鉄-炭素系状態図」を示し、「還元した鉄が炭素を吸収し、その濃度を増すとオーステナイトと液相の共存する状態が存在する。1,300℃で液相が生成するのは平均炭素濃度が1.3%を越えるあたりである¹⁵⁾。」とし、そして鉄生成においては、やはり「鉄-炭素系状態図」から見て炉内温度を共晶温度(1,154度)以上に保てば木炭床からさらに炭素を吸収して鉄を生成することができるとしている¹⁶⁾。つまり鉄押し法は鋳押し法より低温で製錬されることを提案している。鉄押し法のホド穴の形状において、吹出口が鋳押し法に比べてかなり広く、ローブローであることを指摘したが、これは鉄押し法は鋳押し法より低温で製錬されることである。

次にホド穴の吹出口の断面積の相違が木炭の燃焼に与える影響について考える。本項において、鋳押し法は木炭を粗に装荷し、鉄押し法では木炭を密に装荷することから砂鉄の降下が遅く、それだけ砂鉄の炉内における滞留時間が長くなり、還元と浸炭が促進することを述べた。鉄押し法のホド穴の吹出口が鋳押し法より断面積が広いことを指摘したが、これはローブローであることから木炭の燃焼を遅くし、さらに砂鉄の炉内における滞留時間を長くすることにも効果がある。

7. 6 結言

以上、鋳押し法と鉄押し法における操業技術の比較について考察を行い、以下の新しい知見を得た。

(1) 炉の構築法

鋳押し法は元釜の頂部から上釜頂部に行くに従って若干広がりを見せるか、又は同

じ幅であるのに対し、鉄押し法は上釜の頂部の幅をかなり狭く、また炉腹を広げて築いている。また、鉄押し法は炉高は低いが炉高に対して炉幅が一段と狭く築かれている。鉄押し法がこのように築かれるのは蓄熱の効果をねらったものである。

(2) 操業

1) 操業時間においては、鉄押し法は鋳押し法に比べて1.25倍かかっている。これは鋳押し法は炉内へ鋳を生成させるのに対し、鉄押し法は炉外へ鉄を流し出すことから炉の耐久性が持続することによる。なお、鋳押し法（砥波鑪・靖國鑪・日刀保たたら）における籠り期に費やされる時間の比較を行ったが、その結果、籠り砂鉄の酸化度が高くなるに従って逆に籠り期の時間が短くなっていることを明らかにした。それは酸化度が高くなるほど鉄の生成が加速され、その結果籠り期に費やされる時間が短くてすんだものである。

2) 砂鉄と木炭

鋳押し法では真砂砂鉄が用いられ、鉄押し法では浜砂鉄と赤目砂鉄が用いられている。これは後者は前者に比べて粒形が小さく溶けやすく、つまり還元と浸炭が容易で、鉄になりやすいためである。また、鉄押し法においては砂鉄を焙焼しているが、これも同様である。

鉄押し法においては、操業初期に松炭が用いられている。これは操業初期において温度をできるだけ上昇させるための工夫である。

(3) 鋳押し法と鉄押し法の鋳と鉄の生成機構

1) 砂鉄と木炭の装荷法

鋳押し法は木炭を粗に装荷するが、鉄押し法は密に装荷する。これは後者の場合砂鉄の炉内における滞留時間を長くすることによって還元と浸炭を促進するためである。

2) 送風法

鋳押し法においては風の流れの幅を狭くし、羽口近傍に比較的狭い還元と浸炭のゾーンを設けるが、これに対して鉄押し法の場合は、風の流れの幅を広くし、炉内に幅広い還元と浸炭のゾーンを設けている。

鉄押し法は鋳押し法に比べて低温で製錬され、この生成機構は、還元した鉄の炭素濃度と共晶温度に相関する。

鉄押し法がローブローであることは、木炭の燃焼に与える影響から、砂鉄の還元と浸炭にも効果がある。

以上を鋳押し法と鉄押し法におけるホド穴の形状の比較から明らかにした。

文献

- 1) 俵国一：古来の砂鉄製錬法，丸善，東京，（昭和8年）。
- 2) たたら製鉄の復元とその鋳について（たたら製鉄復元計画委員会報告），日本鉄鋼協会，東京，（昭和46年）。
- 3) 鈴木卓夫ら：鉄と鋼，85(1999)，905。
- 4) 鈴木卓夫ら：鉄と鋼，85(1999)，911。
- 5) 永田和宏ら：鉄と鋼，86(2000)，64。
- 6) 山田吉睦：古今鍛冶備考，書林，江戸，（文政13年）。
- 7) 小塚寿吉：鉄と鋼：52(1966)，1763。
- 8) 弓谷たたら，建設省中国地方建設局，島根県頓原町教育委員会，(2000)。
- 9) 野土たたら跡，島根県仁多町教育委員会，(1992)。
- 10) 石田春律：金屋子縁起抄，（文政8年）。
- 11) 下原重仲：鉄山必用記事，（享和3年）。
- 12) 水心子正秀：剣工秘伝誌，（文政8年）。
- 13) 山本真之助：たたら研究，たたら研究会，広島，2(1959)，1-9。
- 14) 永田和宏：小型たたら炉による鋳（ケラ）と鉄（ズク）の生成機構，(2000)。
- 15) 永田和宏：Inorganic Materials, Vol.4, Nov. (1997)。
- 16) 永田和宏：鉄と鋼，84(1998)，720。

第8章 真砂砂鉄のみを使用した玉鋼による日本刀の組織と強度

8. 1 緒言

「日刀保たたら」の開設の目的は、第1章で述べた通り、国の重要無形文化財に指定されている日本刀の製作技術を素材（和鉄）の面から保護することにあつた。従ってここで生産された製品が実際に使用してみて、使用にかなうことが確認されて、初めてたたら製鉄の復活に成功したと言える。本章においては、真砂鉄のみを使用した日刀保たたらの玉鋼の場合、製作された日本刀において、江戸期までに製作された古作刀と比較して組織と強度に差があるかどうかについて調査を行った。日本刀を科学的に研究したものに俄国一による「日本刀の科学的研究」がある¹⁾。しかし、この研究は江戸期までに製作された日本刀を対象としたもので、昭和期のたたらによって生産された生産品による日本刀との比較とはなっておらず、ここに従来の研究と相違するところがある。なお、日刀保たたらの玉鋼の品質の調査については、「玉鋼品質の研究」²⁾にまとめられている。

8. 2 調査の項目と調査の方法

8. 2. 1 調査の項目

本研究の調査項目は以下の通りである。

1. 生産品（玉鋼・鉄）の分類と成分組成
2. 日刀保たたら産の玉鋼で製作した試作刀と江戸期までに造られた古作刀との比較

(1)成分

(2)ミクロ・マクロ組織

(3)非金属介在物

1)清浄度

2)非金属介在物の種別

(4)硬度

8. 2. 2 調査の方法

生産品（玉鋼・鉄）の分類と成分組成については、日刀保たたらにおける生産品の分類基準を示し、これによって得られた玉鋼と鉄の成分分析値を（砥波鑑）³⁾、「靖國鑑」⁴⁾（ともに鐸押し）、「價谷鑑」⁵⁾（鉄押し）の製品の成分分析値と比較し、ここに差異があるかどうかについて調査を行った。

日刀保たたら産の玉鋼で製作した試作刀と江戸期までに造られた古作刀との比較につい

ては刀匠3名に玉鋼4kgを支給し試作刀を造り、①成分分析の比較、②組織の比較、③非金属介在物の比較、④硬度の比較を行った。資料として用いた試作刀と古作刀は以下の通りである。資料として供した玉鋼は平均的玉鋼である2級品(昭和53年度産・表8-1)とした。

1. 試作刀

刀匠名	出身地	備 考
隅谷正峯	石川県	重要無形文化財保持者(人間国宝)
川島忠善	島根県	島根県重要無形文化財保持者
吉原義人	東京都	東京都葛飾区重要無形文化財保持者

2. 古作刀

刀 匠 名	出 身 地	時 代
了戒(りょうかい)	京 都 府	鎌 倉
長船政光(おさふねまさみつ)	岡 山 県	南 北 朝
広光(ひろみつ)	神奈川県	南 北 朝
長船康光(おさふねやすみつ)	岡 山 県	室町初期
村正(むらまさ)	三 重 県	室町後期
二王清貞(におうきよさだ)	山 口 県	室 町
兼常(かねつね)	岐 阜 県	室町後期
兼房(かねふさ)	岐 阜 県	室町後期
肥前忠広(ひぜんただひろ)	佐 賀 県	桃山～江戸
越後守包貞(えちごのかみかねさだ)	大 阪 府	江 戸
三善長道(みよしながみち)	福 島 県	江 戸
奥忠重(おくただしげ)	鹿児島県	江 戸
平安城国継(へいあんじょうくにつぐ)	福 井 県	江 戸

以上をもとに先ず古作刀がどのようなものであるかを明らかにし、次いで試作刀が古作刀に比べて差異があるかどうかについて調査を行った。図8-1から図8-3は調査のために行った試作刀の切断箇所である。

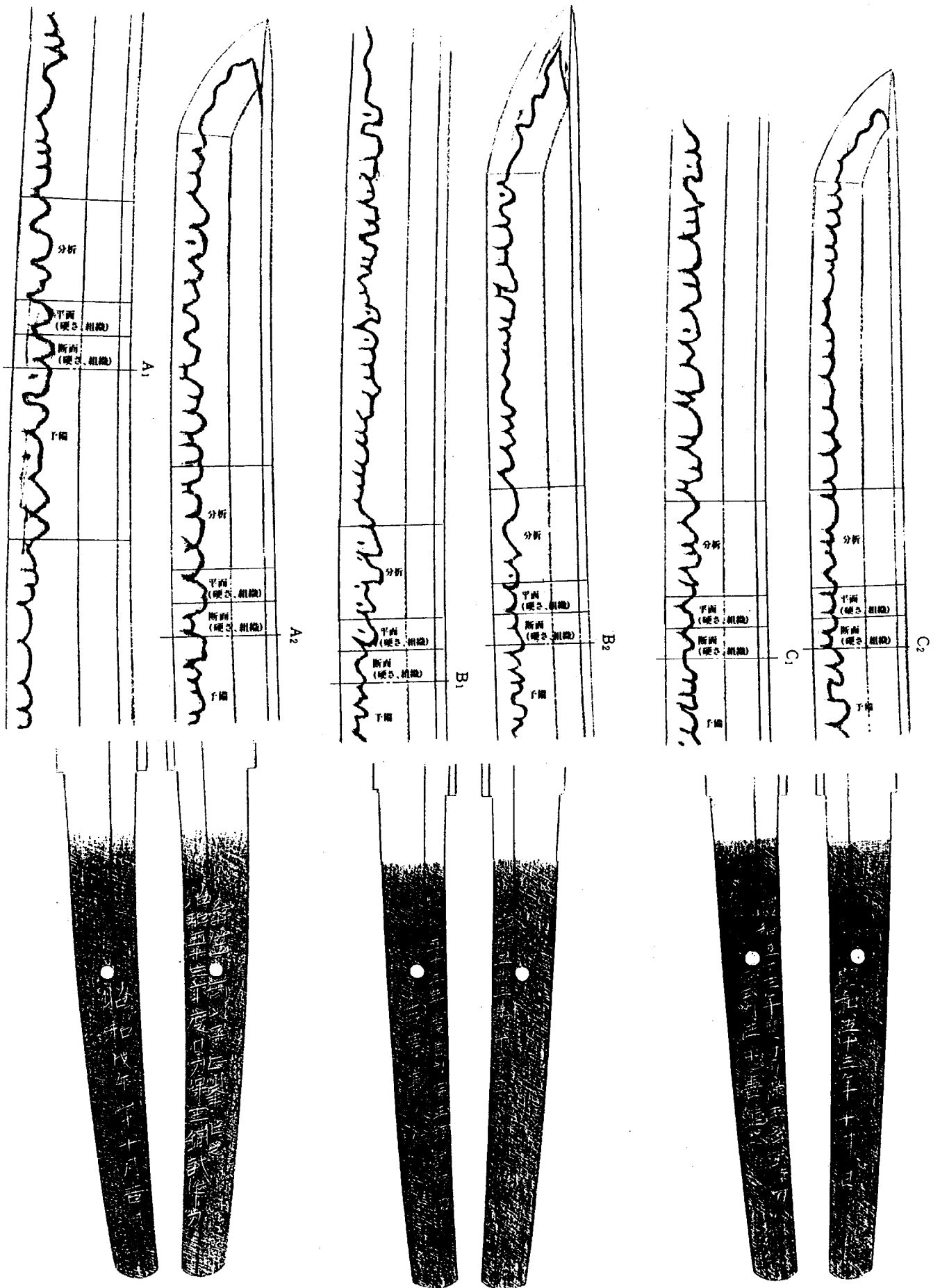


図8-1 試作刀隅谷の切断箇所

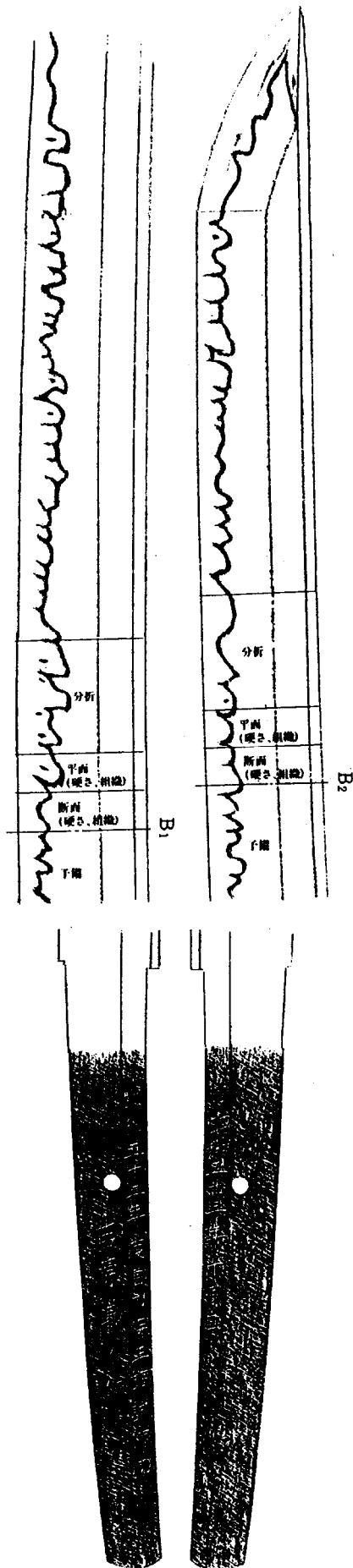


図8-2 試作刀吉原の切断箇所

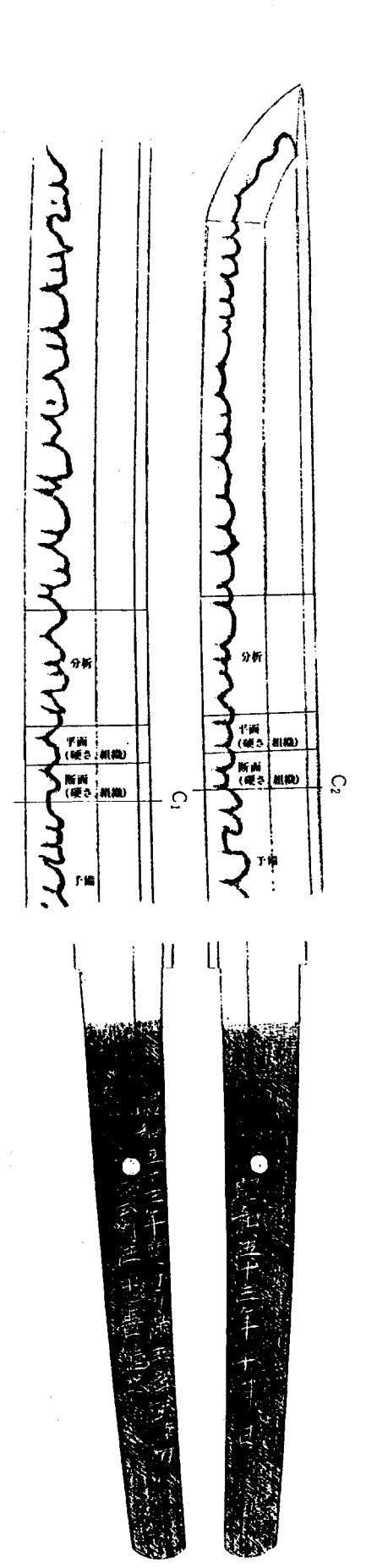


図8-3 試作刀川島の切断箇所

8. 3 結果

8. 3. 1 生産品（玉鋼・鉄）の分類と成分組成

8. 3. 1. 1 生産品（玉鋼・鉄）の分類

1回のたたら操業においてできた鋳塊は約2～2.5トン（但し近年は3トン近い鋳が生産されている）で、この鋳は大鋳場（おおどうば）・小鋳場（こどうば）・鋼造場（かねつくりば）で「鋼造師」の手によって破碎選別され、概ね次のような等級の製品に仕上げられた。

○玉鋼1級品：炭素 1.0～1.5%含有し、破面が均質なもの。

○玉鋼2級品：炭素 0.5～1.2%含有し、破面がやや均質なもの。

○玉鋼3級品：炭素 0.2～1.0%含有し、破面が粗野なもの。

○目白（めじろ）：炭素 1.0～1.5%含有し、破面は均質で大きさが2 cm以下の小粒のもの。

○鋼下（どうした）：炭素 0.2～1.5%含有し、破面が粗野で大きさが2 cm以下の小粒のもの。

○鉄：炭素 1.7%以上含有し、溶解したもの。

○大鍛冶屋用（おおかじやよう）：炭素 0～0.5%含有し、鋼・半還元鉄・鉍滓・木炭等が混成したもの。

8. 3. 1. 2 玉鋼の成分

表8-1に日刀保たたらと靖國鑪・砥波鑪の玉鋼の分析比較を示した。これによって得た結果を以下に示す。

C濃度は、1級品の場合、（S・53-1）から（S・55-3）までの平均は1.40%で、これは靖國鑪（1級品）、砥波鑪の（鋼最上）とほぼ同じ数値を示している。2級品の場合は、（S・53-1）から（S・55-3）までの平均は0.94%で、これは砥波鑪（玉鋼）の0.89%に近いものとなっている。玉鋼3級品については、平成元年度産、同2年度産のものを分析したが、その平均は0.40%である。

P濃度は、1級品の場合、（S・53-1）から（S・55-3）までの平均は0.034%、2級品の場合は、（S・53-1）から（S・55-3）までの平均は0.038%、3級品（H・元、H・2）の平均は0.020%で、いずれも靖國鑪、砥波鑪のリン濃度に比較してやや高い数値を示している。これについては後の考察で述べる。

S濃度は、1級品の場合、（S・53-1）から（S・55-3）までの平均は0.006%でこれは靖國鑪と砥波鑪（鋼最上）と同じ数値を示している。他の成分は資料間においてそれほど有意差はない。

表8-1 玉鋼の分析比較

重量 %

分析成分 科目	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V	Cu	Ti
日刀保(1級品)										
S. 53-1	1.47	0.02	0.01	0.025	0.004	Nil	Tr		<0.01	0.003
53-2	1.57	0.06	0.01	0.032	0.002	Nil	0.01		<0.01	0.010
53-3	1.05	0.01	0.01	0.029	0.002	Nil	Tr		<0.01	0.003
(平均)	(1.36)	(0.03)		(0.029)	(0.0026)					(0.005)
54-1	1.31	0.02	0.01	0.017	0.003	0.01	<0.01	Tr	0.01	0.002
54-2	1.23	0.03	0.01	0.024	0.003	0.01	<0.01	Tr	0.01	0.002
54-3	1.64	0.02	Nil	0.053	0.009	0.01	0.01	Tr	0.01	0.002
(平均)	(1.39)	(0.023)		(0.031)	(0.005)					
55-1	1.37	0.01	0.01	0.017	0.005	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01
55-2	1.39	0.01	0.01	0.029	0.009	0.01	<0.01	0.02	0.02	<0.01
55-3	1.54	0.01	0.02	0.079	0.015	0.01	<0.01	0.03	0.01	<0.01
(平均)	(1.43)		(0.013)	(0.042)	(0.010)			(0.02)	(0.013)	
日刀保(2級品)										
S. 53-1	0.86	0.02	0.01	0.030	0.004	Nil	Tr		<0.01	0.004
53-2	0.77	0.01	0.01	0.022	0.004	Nil	Tr		<0.01	0.003
53-3	0.93	0.01	0.01	0.024	0.003	Nil	Tr		<0.01	0.003
(平均)	(0.85)	(0.013)		(0.025)	(0.0036)					(0.0033)
54-1	1.12	0.030	Nil	0.032	0.006	0.01	0.01	Tr	0.01	0.002
54-2	1.20	0.10	0.01	0.057	0.018					
54-3	0.60									
(平均)	(0.97)	(0.065)		(0.045)	(0.012)					
55-1	1.02	0.02	0.01	0.038	0.007	0.01	<0.01	0.02	0.01	<0.01
55-2	1.05	0.01	0.01	0.023	0.004	0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01
55-3	0.90	0.02	0.01	0.074	0.008	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01
(平均)	(0.99)	(0.017)		(0.045)	(0.0063)			(0.013)		
日刀保(3級品)										
H. 元	0.31	0.02	0.004	0.021	0.007	<0.01	0.01	0.010	0.01	0.003
H. 2	0.48	0.05	<0.01	0.018	0.005	<0.01	0.01	0.009		0.004
靖園(1級品)	1.41	0.01	0.01	0.017	0.006					
砥波(鋼最上)	1.33	0.04	痕跡	0.014	0.006					痕跡
砥波(玉鋼)	0.89	0.04	痕跡	0.008	痕跡					痕跡

表8-2 鉄の分析比較

重量 %

炉別	品名	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	Cu	Al	Ti	備考
日刀保	鋳鉄	1.78	0.02	0.02	0.046	0.006	Nil	0.01					<0.01		0.003	昭和53年度産
	鋳鉄	2.01	0.02	0.010	0.016	0.005	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.021	<0.01	0.01	0.005	0.003	平成元年度産
	鋳鉄	1.89	0.02	0.014	0.022	0.008	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.046	0.01	0.01	0.005	0.003	"
	裏鉄	3.95			0.12 0.072											昭和56年度産
砥波	流鉄	3.55	0.02	Tr	0.043	0.01									Tr	検査2日目
	流鉄	3.61	0.03	0.01	0.033	0.01										検査3日目
價谷	流鉄	3.63	Tr	Tr	0.10	0.003					ナシ				Tr	鉄押し

8. 3. 1. 3 鉄の成分

表8-2に日刀保たたらとから砥波鑪・價谷鑪の鉄の分析比較を示した。これによって得た結果を以下に示す。

鉄は、鑪の底部に生成したものと、炉底に溶けて溜まったものがあり、前者を「鑪鉄」（けらずく）、後者を「裏鉄」（うらずく）という。さらに裏鉄は多量に生成されると炉の「湯池穴」（ゆじあな）からノロとともに炉外に流出し、これを「流鉄」、「ながしずく」「ながれずく」などと呼んでいる。日刀保たたらの鑪鉄のC濃度は、1.78%から2.01%を示し、裏鉄は3.95%で、これは砥波鑪の流鉄3.55%、3.61%、そして價谷鑪の流鉄の3.63%に比べて遜色はない。

P濃度は昭和56年度産の鑪鉄が0.072%、同じく、昭和56年度産の裏鉄が0.12%で、砥波鑪の0.043%、0.033%に比べてかなり高い数値を示している。これは日本刀の素材としては高い数値で、これについては後の考察で述べる。

S濃度は、日刀保たたらの場合0.005~0.008%という数値が検出されていて、これは價谷鑪の0.003%より多い数値を示しているが、0.008%以下で検出されていることから資料間における有意差はない。なお、砥波鑪の流鉄は0.01%とかなり高い数値を示しているが、これは砥波鑪の砂鉄においてS濃度の分析がなされていないものの、やはりP濃度同様砂鉄の性状に依存されたものと考ええる。

8. 3. 2 日刀保たたら産の玉鋼で製作した試作刀と江戸期までに造られた古作刀との比較

8. 3. 2. 1 成分

古作刀（政光・長道・包貞）の成分分析値を表8-3に、試作刀の成分分析値を表8-4に示した。各部の分析位置は図8-4の通りである。この比較によって得た結果を以下に示す。文中の括弧内表示は、図8-1から図8-3に示した調査のために行った試作刀の切断箇所である。

C濃度は、古作刀は上限が包貞の刃先部0.84%。下限は政光の刃先部0.16%。平均0.56%である。これに対して、試作刀は上限が川島の刃先部・地部0.66%（C・1）、下限は隅谷の刃先部0.53%（A・1）、平均0.61%で、試作刀の方がやや高い数値を示している。俄国一は古名刀の炭素濃度の調査から、0.7%内外である結果を報告しているが、本調査の結果においてもほぼ同様となっている。

8-3 古作刀の成分分析

重量 %

刀 記号	分析 位置	分 析 元 素															
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	Cu	Al	Ti	N	O
政光	刃先	0.16				0.002										0.0030	0.132
	地	0.20	0.08	0.01	0.040	0.002	0.01	0.01	Nil	Nil	Nil	Nil	0.01	0.013	0.078	0.0031	
		0.52															
長道	刃先	0.73				0.003										0.0040	0.142
	地	0.65	0.12	0.01	0.009	0.002	0.01	0.02	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	0.015	0.036	0.0036	
包貞	刃先	0.84				0.002										0.0028	0.142
	地	0.83	0.14	0.01	0.013	0.002	0.01	0.01	Nil	0.01	0.01	Nil	0.01	0.027	0.075	0.0022	

表 8-4 試作刀の成分分析

(重量: %)

刀記号	切断 位置	刃先 区分	分 析 元 素 (Wt %)															
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	Cu	Al	Ti	N	O
隅谷	A ₁	刃先	0.53	0.15	0.01	0.07	0.003	Nil	Nil	Nil	Nil	0.02	Nil	0.01	0.054	0.036	0.0044	0.139
		地	0.61				0.003										0.0047	
	A ₂	刃先	0.62	0.14	0.01	0.019	0.003	Nil	Nil	Nil	Nil	0.03	Nil	0.01	0.048	0.032	0.0044	0.152
		地	0.56				0.003										0.0042	
	B ₁	刃先	0.55	0.11	0.01	0.021	0.004	Nil	Nil	Nil	Nil	0.01	Nil	Tr	0.023	0.005	0.0036	0.106
		地	0.60				0.003										0.0031	
吉原	B ₂	刃先	0.59	0.14	0.01	0.022	0.002	Nil	Nil	Nil	Nil	0.01	Nil	Tr	0.035	0.006	0.0034	0.114
		地	0.60				0.003										0.0036	
	C ₁	刃先	0.66	0.06	0.01	0.016	0.003	Nil	Nil	Nil	Nil	0.02	Nil	Tr	0.006	0.007	0.0045	0.073
		地	0.66				0.003										0.0050	
川島	C ₂	刃先	0.64	0.07	0.01	0.015	0.003	Nil	Nil	Nil	Nil	0.02	Nil	Tr	0.014	0.009	0.0045	0.088
		地	0.65				0.003										0.0044	

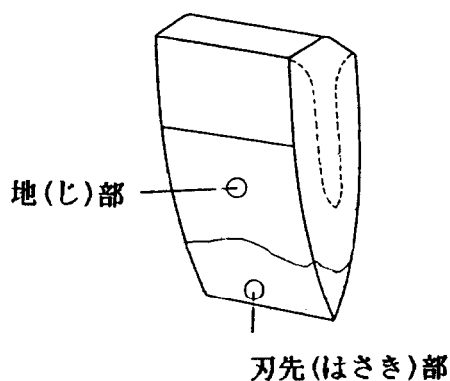


図 8-4 古作刀・試作刀の成分分析位置

S i 濃度は、古作刀の上限が包貞の地部 0.14%、下限が政光の地部 0.08%、平均 0.11%である。これに対して、試作刀は上限が隅谷の刃先部・地部 0.15% (A・1)、下限が川島の刃先部・地部 0.06% (C・1)、平均 0.11%で同じ数値を示している。

P 濃度は、古作刀の上限は政光の地部 0.040%、下限が長道の地部 0.009%、平均 0.021%である。これに対して、試作刀は上限は隅谷の刃先部・地部が 0.07%、下限は川島の刃先部・地部が 0.015%、平均 0.027%で平均においては余り変わりはない。

S 濃度は、古作刀は刃先部・地部の平均は 0.002%。試作刀は刃先部・地部の平均が 0.003%で殆ど変わりはない。

他の成分においては資料間にそれほどの有意差はない。

8. 3. 2. 2 ミクロ・マクロ組織

古作刀(政光・包貞・長道)のミクロ・マクロ組織を写真 8-1・2・3 に、試作刀のミクロ・マクロ組織を写真 8-4・5・6 に示し、これを表 8-5 にまとめた。各部の観察位置は図 8-5 の通りである。この比較によって得た結果を以下に示す。

地部は古作刀・試作刀とともに、ソルバイトとフェライト、もしくはソルバイトで構成されている。

刃文部は古作刀・試作刀ともに全てがマルテンサイトとトルースタイトで構成されている。

刃部は古作刀・試作刀ともに全てがマルテンサイトで構成されている。

心部は古作刀の包貞がソルバイトである以外はフェライトで構成されている。これに対して試作刀は全てがフェライトとパーライトで構成されている。

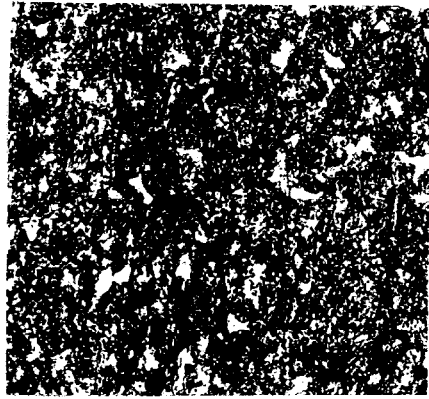
断面マクロ組織は古作刀に比べて、試作刀の方が心鉄(しんがね)が明瞭となっている。

8. 3. 2. 3 非金属介在物

8. 3. 2. 3. 1 清浄度

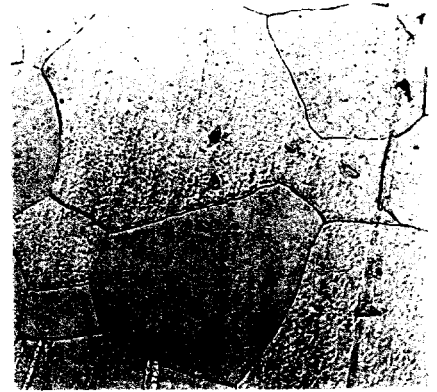
古作刀の清浄度、即ち素材中に占める非金属介在物の割合の測定については、俵国一が前出の「日本刀の科学的研究」(以下俵本という)で 13 口、15 地点からの調査を行っている。この中から有名刀工による作品 7 口を選び表 8-6 に示した。また試作刀 3 口における清浄度の調査の結果を表 8-7 に示した。この比較によって得た結果を以下に示す。

古作刀は上限が康光の 1.69%、下限が了戒の 0.32%、平均値は 0.77%である。これに対して試作刀は 3 者ほぼ同様に平均値 0.71%を示し、この平均値のみからみた場合は、試作



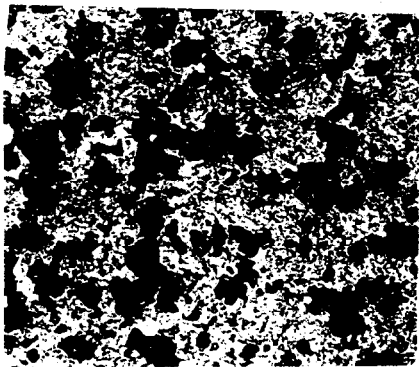
地部

× 400



心部

× 400



刃文部

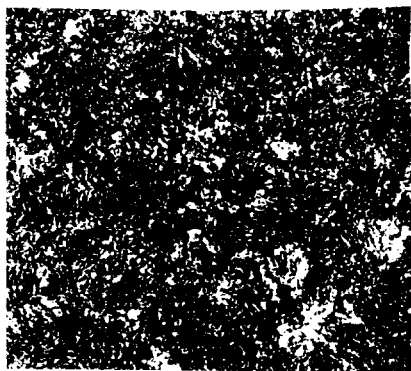
× 400



刃部

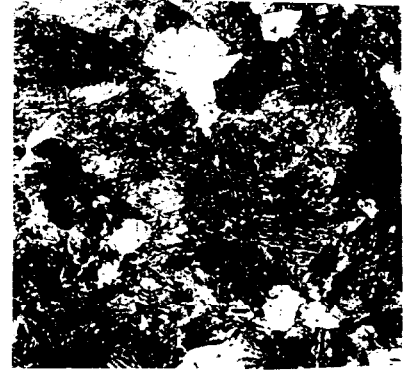
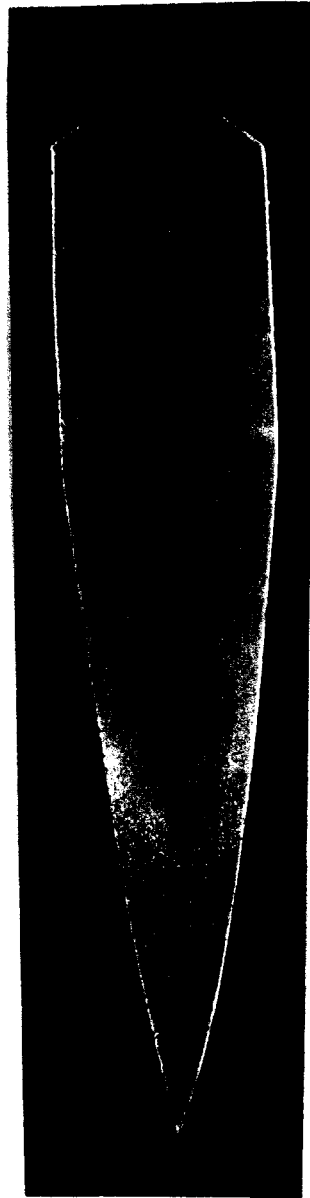
× 400

写真 8 - 1 試作刀政光のミクロ・マクロ組織



地部

× 400



心部

× 400



刃文部

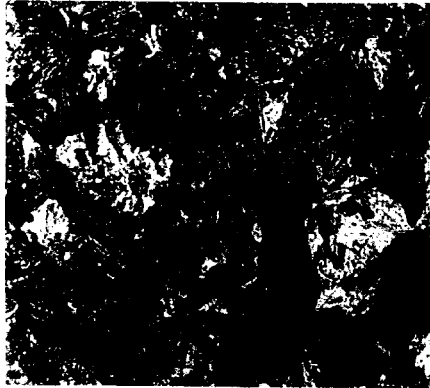
× 400



刃部

× 400

写真 8-2 古作刀包貞のミクロ・マクロ組織



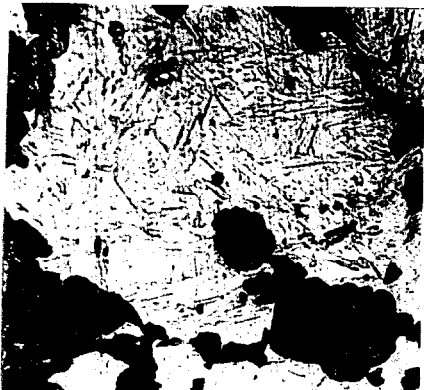
地部

× 400



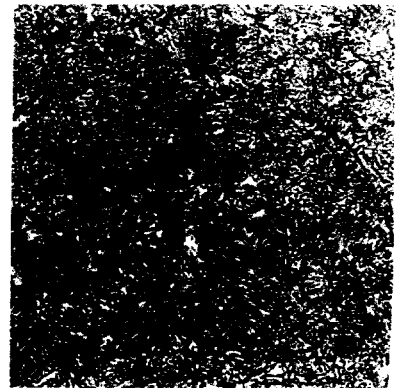
心部

× 400



刃文部

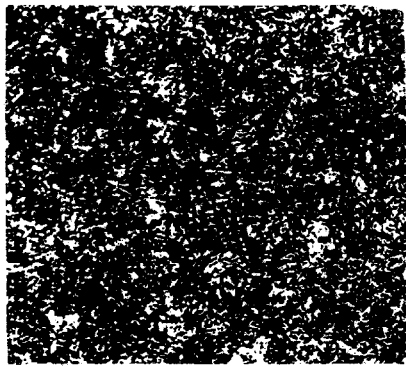
× 400



刃部

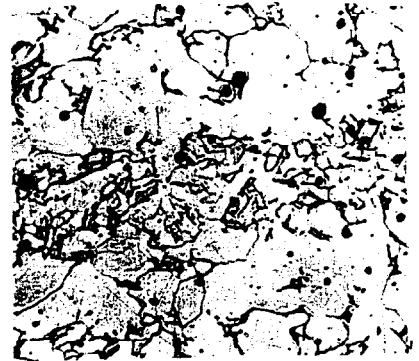
× 400

写真 8-3 古作刀長道のミクロ・マクロ組織



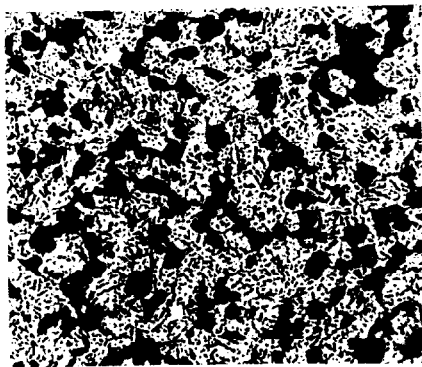
地部

× 400



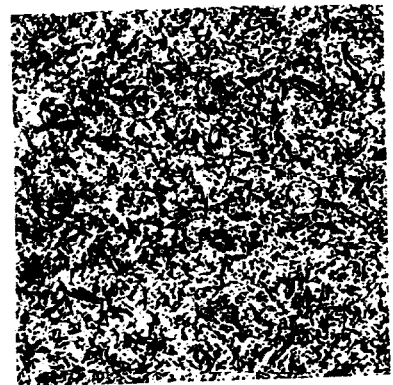
心部

× 400



刃文部

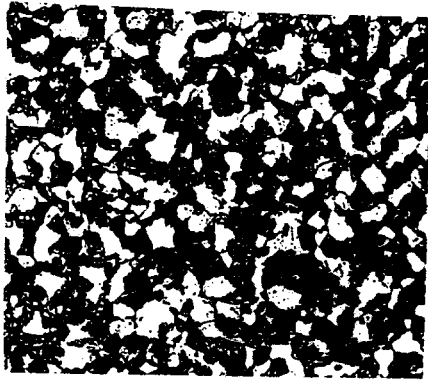
× 400



刃部

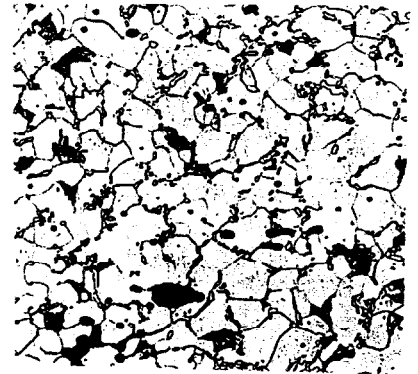
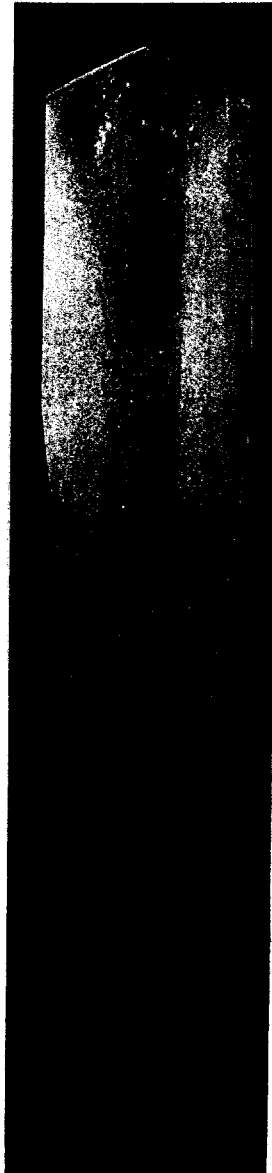
× 400

写真 8 - 4 試作刀隔谷のミクロ・マクロ組織



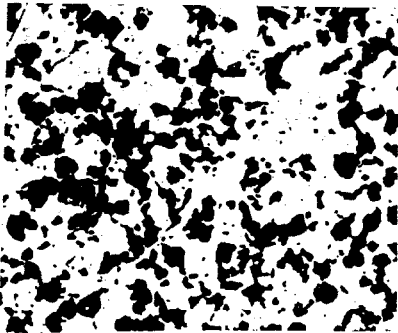
地部

× 400



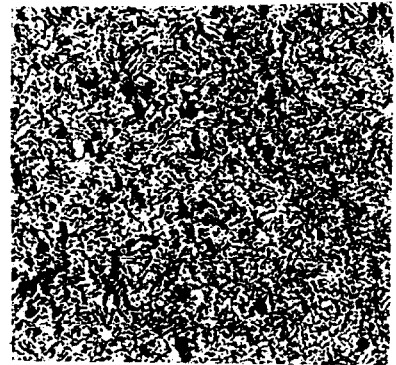
心部

× 400



刃文部

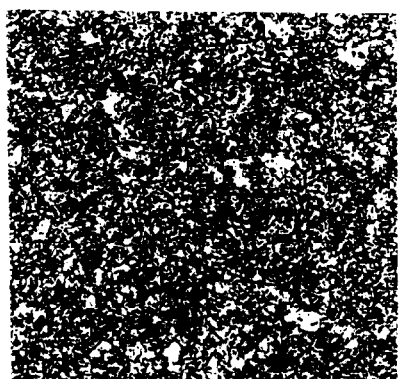
× 400



刃部

× 400

写真 8-5 試作刀吉原のミクロ・マクロ組織



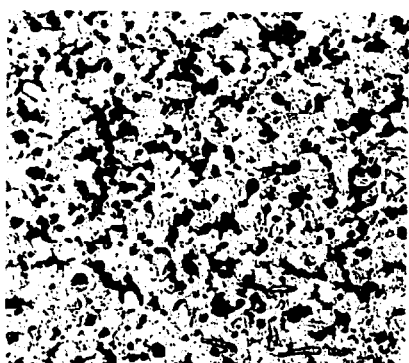
地部

× 400



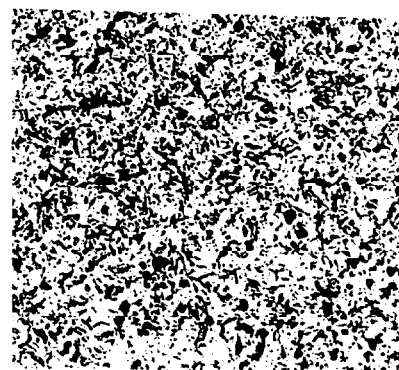
心部

× 400



刃文部

× 400



刃部

× 400

写真 8-6 試作刀川島のミクロ・マクロ組織

表 8-5 古作刀と試作刀の組織一覧

区分	刀匠別	ミクロ組織				マクロ組織
		地部	刃文部	刃部	心部	断面
古作刀	政光	ソルバイト +フェライト	マルテンサイト +トルースタイト	マルテン サイト	フェライト	心鉄多し
	包貞	ソルバイト	マルテンサイト +トルースタイト	マルテン サイト	ソルバイト	心鉄不明瞭
	長道	ソルバイト	マルテンサイト +トルースタイト	マルテン サイト	フェライト	心鉄やや明瞭
試作刀	隅谷	ソルバイト +フェライト	マルテンサイト +トルースタイト	マルテン サイト	フェライト +パーライト	心鉄明瞭
	吉原	ソルバイト +フェライト	マルテンサイト +トルースタイト	マルテン サイト	フェライト +パーライト	心鉄明瞭
	川島	ソルバイト +フェライト	マルテンサイト +トルースタイト	マルテン サイト	フェライト +パーライト	心鉄極めて 明瞭

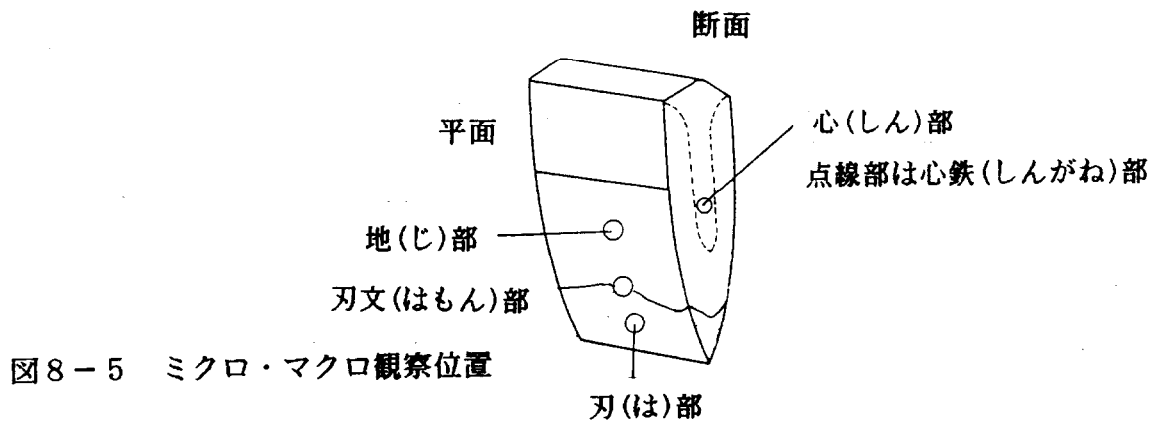


図 8-5 ミクロ・マクロ観察位置

表 8-6 古作刀の清浄度

単位：％

刀匠銘	康光	兼常	兼房	了戒	村正	広光	二王清貞	平均
清浄度	1.69	0.71	0.66	0.32	0.88	0.45	0.70	0.77

表 8-7 試作刀の清浄度

単位：％

刀匠銘	隅谷	吉原	川島	平均	備考
清浄度	0.74	0.71	0.69	0.71	JIS G0555

刀の方が清浄度がよいことになる。しかしこれについては問題があるので後の考察で述べる。

8. 3. 2. 3. 2 非金属介在物の種別

非金属介在物には、A系・B系・C系の3種があり、次の基準で分類される。

A系：加工によって粘性変化したもの（硫化物・珪酸塩）

B系：加工方向に集団をなし、連続的に粒状の介在物が並んだもの（アルミナ）

C系：粘性変形しないで不規則に分散するもの（粒状酸化物）

古作刀（政光・忠広・国継・忠重）の非金属介在物を写真8-7・8・9・10に試作刀の非金属介在物を写真8-11・12・13に示した。この比較によって得た結果を以下に示す。

（古作刀）

○政光 A系が殆どで、C系が若干存在する。B系はこの資料においては見られない。

○忠広 A系が殆どで、C系が若干存在する。B系はこの資料においては見られない。

○国継 A系が殆どで、C系が極僅かに見られる。B系はこの資料においては見られない。

○忠重 A系が殆どで、C系が若干存在する。B系はこの資料においては見られない。

（試作刀）

○隅谷 A系が主で、これにC系が混在する。B系はこの資料においては見られない。

○吉原 A系が主で、これにC系が混在する。B系はこの資料においては見られない。

○川島 A系が主で、これにC系が混在する。B系はこの資料においては見られない。

以上により、古作刀も試作刀もA系が殆どまたは主として存在し、C系は適量存在し、B系は今回も調査においては見られなかった。

8. 3. 2. 4 硬度

古作刀（政光・包貞・長道）と試作刀の硬度の測定結果を表8-8に示した。この比較によって得た結果を以下に示す。単位はHVである。

刃先部は、古作刀の平均は 805である。これに対して試作刀の平均は 827でやや硬い。

刃文部は、古作刀の平均は 365である。これに対して試作刀の平均は 358であまり変わりはない。

地部は、古作刀の平均は 208である。これに対して試作刀の平均は 287でやや硬い。

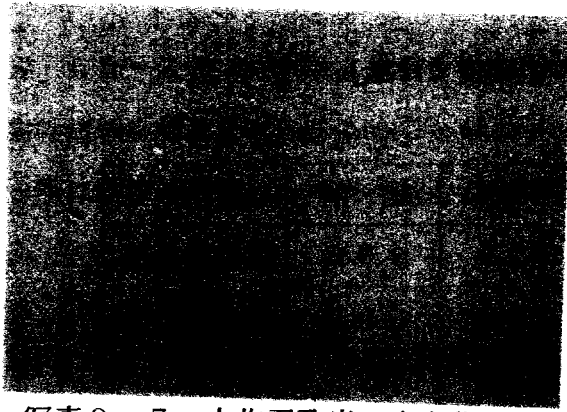


写真 8-7 古作刀政光の介在物

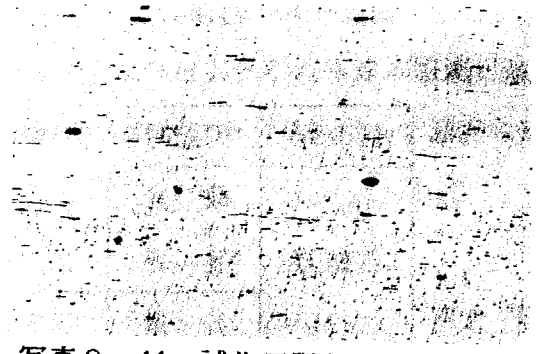


写真 8-11 試作刀隅谷の介在物



写真 8-8 古作刀忠広の介在物

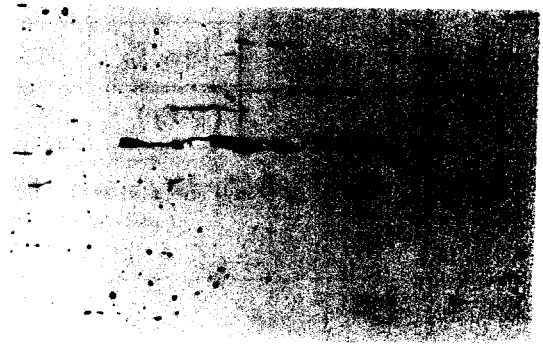


写真 8-12 試作刀吉原の介在物

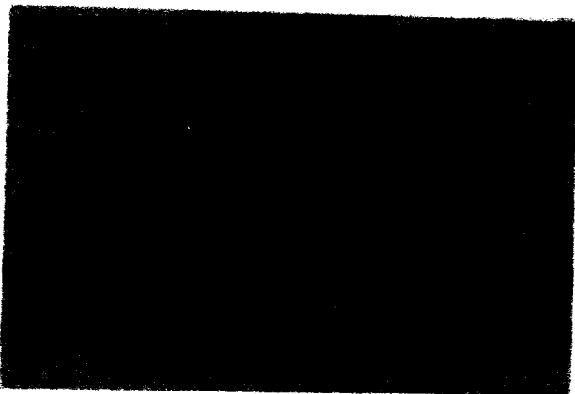


写真 8-9 古作刀国継の介在物

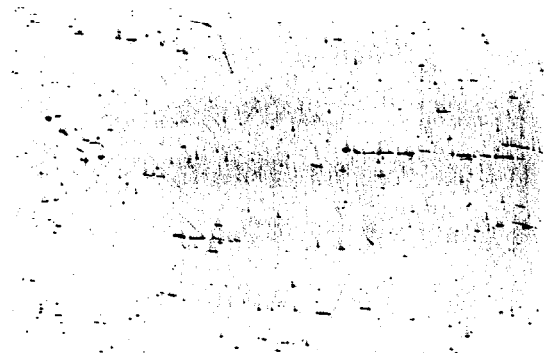


写真 8-13 試作刀川島の介在物



写真 8-10 古作刀忠重の介在物

× 100

表 8-8 古作刀と試作刀（平面）の硬度（HV）

区 分	刀記号	刃先部	刃文部	地 部	備 考
古作刀	政 光	7 2 0	3 2 5	1 9 0	数値は各部 所の平均を 示す。
	包 貞	8 2 5	3 8 0	3 0 0	
	長 道	8 7 0	3 9 0	1 3 5	
	(平均)	(8 0 5)	(3 6 5)	(2 0 8)	
試作刀	隅 谷	8 2 0	4 1 5	2 8 0	
	吉 原	7 8 5	3 0 0	2 8 0	
	川 島	8 7 5	3 6 0	3 0 0	
	(平均)	(8 2 7)	(3 5 8)	(2 8 7)	

8. 4 考察

8. 4. 1 日刀保たたら産の玉鋼・鉄の成分とリン濃度の日本刀鍛錬に与える

脆性の影響

玉鋼の成分分析の結果、玉鋼 1 級品・2 級品・3 級品、何れも良好であるが、靖國鎧・砥波鎧の玉鋼に比べてはややリン濃度が高いという結果を得た。また、鉄においても日本刀の素材としてはやや濃度が高いと思われるものがあることを指摘した。かつて刀匠から日刀保たたら産の玉鋼と鉄の一部に粘りがなく、折り返し鍛錬が不可能なものがあることを指摘されたことがある。これにつきリン濃度が影響していることが考えられることから、リン濃度の日本刀の鍛錬に与える脆性の実験を著者は昭和58年に日刀保たたら日本刀鍛錬場において行なった。その結果を表 8-9 に示した。実験の結果、鍛錬良好と判定されたもののリン濃度は 0.051%までのもので、不良と判定されたものは 0.069%以上のものであった。つまり、リン濃度の日本刀鍛錬に与える脆性の影響の臨界領域が 0.052%から 0.068%までの間にあることを明らかにした。この実験で主に鉄を用いたのは、鉄は概して玉鋼に比べてリン濃度が高いことによる。

この実験の結果のもとに表 8-1 に示した玉鋼の分析値と表 8-2 に示した鉄の分析値におけるリン濃度を検討すると、玉鋼の分析からは 1 級品 S・55-3 の 0.079%、2 級

品S・55-3の0.074%。鉄の分析からは昭和56年度産の裏鉄0.072%といったように臨界領域を越えたものがあることがわかった。前述の通り日刀保たたら産の玉鋼と鉄の一部に鍛錬不可能なものがあることを刀匠より指摘されたが、その原因はリン濃度にある。

表8-9 鍛錬過程におけるリン濃度の測定

重量 %

No.	素 材	担当刀匠	鍛錬回数	判 定	P
1	鋳鉄100%	吉原義人	4回	鍛錬回数増加するに従い粘りがでる。(良好)	0.044
2	鋳鉄100%	隅谷正峯 川島忠善	6回	" (良好)	0.051
3	鋳鉄15% 裏鉄35% 玉鋼50%	隅谷正峯	8回	鍛錬回数増加するに従い脆くなる。(不良)	0.069
4	鋳鉄50% 裏鉄50%	天田昭次	4回	" (不良)	0.076
5	鋳鉄50% 裏鉄50%	隅谷正峯	9回	" (不良)	0.084

真砂砂鉄は極めて優秀な砂鉄である。表8-10は「わが国著名砂鉄」¹⁾と真砂砂鉄のP・S濃度を比較したものである。これによってわかるように島根県の真砂砂鉄は全国の著名砂鉄の中にあって特に上質の部類であることがわかる。しかし日本刀の製作にあってはさらにリン濃度の低い砂鉄、たとえば第7章にしめした「細谷」の砂鉄や「靖國鐘」のような籠り砂鉄を用いることがよりよい製品を生む。

真砂砂鉄のS濃度は砂鉄の段階でかなり低濃度であり、製品となった場合表8-4に示したようにさらに低下することから鍛錬には全く影響はない。なお、「傾谷鐘」の流鉄のリン濃度が0.10%と高い数値を示しているが、これは傾谷鐘の砂鉄のリン濃度が0.19%というように高濃度であることに依存する。リン濃度の高い製品は脆性は高いが、反面鋳物用として用いた場合には湯回りがよいことから全く問題はない。

表 8-10 わが国著名砂鉄と真砂砂鉄の化学分析比較

重量 %		
産 地	P	S
鹿児島県種子村安城金浜	0.172	0.111
同上 熊野浜	0.086	0.034
同県 上屋久村宮の浦	0.191	0.092
青森県下北郡地内	0.052	0.061
同県同郡 岩屋海岸	0.068	0.004
北海道噴火湾沿岸海浜	0.369	0.022
同上 八雲村海岸	0.069	0.021
岩手県九戸郡大野村水沢	0.043	0.049
同上 金ヶ沢	0.029	0.043
島根県仁多郡横田町「真砂」	0.080	0.021
同上	0.071	0.032

8. 4. 2 日刀保たたら産の玉鋼で製作した試作刀と江戸期までに造られた古作刀との組織と硬度の比較

試作刀の成分分析の結果、隅谷の作品にリン濃度 0.07%という高い数値が検出されたが古作刀からはこれほど高濃度なものは検出されていない。また、俄国一の「倭本」第5章に見る古作刀の成分分析値においても上限は 0.045mass%である。これにつき隅谷は後で行った聞き取り調査において、「折り返し鍛錬が進むにつれて脆性が増し、なんとかだましまし鍛えたが、折り返し鍛錬8回目で限界を感じ、その先はそのまま打ち延ばして作品になんとかまとめた。」と述べている。これは前述したようにリン濃度が素材に与える脆性の臨界領域を越えていることによる。

地部・刃文部・刃部におけるミクロ組織の観察からは、試作刀は古作刀同様刃部が最も硬く、地部が最も軟らかく、刃文部は地部と刃部のやや中間の硬さの組織である。日本刀がこのような組織の構図をとるのは折れず、曲がらず、良く切れるといった武器としての機能を考慮したものである。最も冷却速度の遅い地部はソルバイトとフェライトからなり、最も冷却速度の早い刃部はマルテンサイトからなり、地と刃のやや中間部である刃文部は、

マルテンサイトと不完全焼入れ組織であるトルースタイトが混在して「刃文」という日本刀独特の文様を呈している。そしてマルテンサイトの塊が大きいものを「沸出来」（にえでき）、細かいものを「匂出来」（においでき）、その中間のものを「小沸出来」（こにえでき）といい、この妙味が鍛え肌とともに古来日本刀を鑑賞するにあたって重要な要素とされてきた。隅谷・吉原・川島の各刀匠はともに板目肌（いためはだ）で匂い出来の刃文を焼きその一例を写真8-14に示した。また沸出来の刃文を昭和55年度におこなった前出の「玉鋼品質の研究」から上林恒平の例を写真8-15に示した。

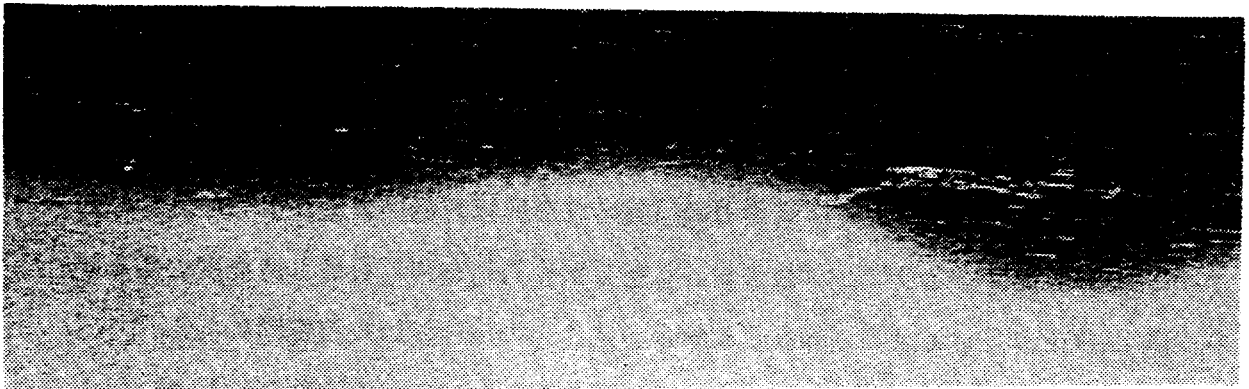


写真8-14 試作刀吉原の匂出来の刃文

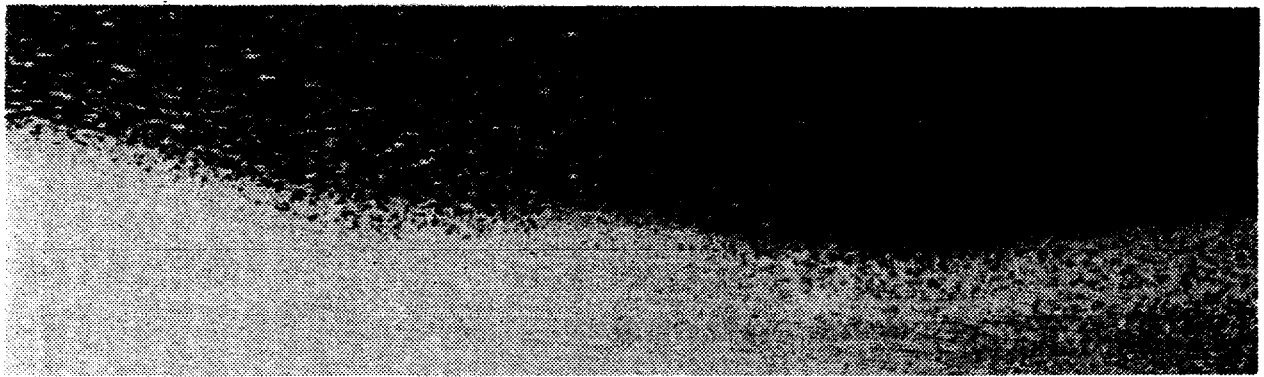


写真8-15 試作刀上林の沸出来の刃文

心部のミクロ組織からは古作刀は包貞以外はフェライトで構成されているのに対し、試作刀は全てがフェライトとパーライトで構成されていることがわかった。しかし、資料間においてそれほどの有意差はなく、試作刀の心部の組織は心鉄としての機能を十分備えて

いる。

断面マクロ組織は、古作刀に比べて試作刀の方が明瞭となっている。日本刀は製作面において折れないためと切れるために炭素量が少なく軟らかい心鉄を、炭素量が多くて硬い鋼（皮鉄「かわがね」という）で包む方法がとられた。これを「造り込み」といい、多種多様な技術が存在するが、現代の刀匠の多くはそれらの内で最も簡単な心鉄と皮鉄の組み合わせである「甲伏せ」（こうふせ）⁸⁾という方法をとっている。試作刀において心鉄と皮鉄が明瞭となっているのはこの造り込みによるもので、機能的には全く問題はない。

非金属介在物の清浄度の調査においては、古作刀が上限が康光の 1.69%、下限が了戒 0.32%、平均は 0.77%である。これに対して試作刀は 3 者はほぼ同様に、平均値 0.71%を示している。この平均値のみからみた場合は、試作刀の方が清浄度がよいことになる。しかし古作刀において特別高い康光を除くとその平均値は 0.62%で、しかも 0.32%（了戒）、0.45%（広光）といったように試作刀には見られないほど低い数値が出ていることから、古作刀の方が優位に立つことがわかる。しかし試作刀においても最も清浄度の劣る隅谷の 0.74%は村正の 0.88%以下であることから、試作刀の清浄度は許容範囲にある。

非金属介在物の種別の調査では、古作刀、試作刀ともに A 系介在物が殆ど或いは主であることがわかった。この結果は、俄国一が「倭本」第 8 章で珪酸鉄は延びがよく、酸化鉄は延びが悪いと述べていること、また、佐藤知雄は珪酸塩系の介在物の調査を行い、「珪酸塩系介在物は熱間加工によって長く変形する。」⁹⁾と述べていることと一致している。

写真 8-16 に A 系介在物の例（忠吉）、写真 8-17 に C 系介在物の例（吉原）を EDX 線分析により観察して示した。その結果、加工によって粘性変化する A 系介在物は $\text{SiO}_2 + \text{FeO}$ （ファイヤライト）から成立し、粘性変化をしない C 系介在物は FeO を主体としていることがわかった。A 系介在物形成には SiO_2 が不可欠である。俄国一は「倭本」第 8 章で、珪酸鉄が日本刀に含まれる理由について、「酸化鉄は日本刀鍛錬するに際し、其表面に生じました鉄肌が基になります。珪酸鉄は其際に鉄片の上に注ぎました粘土が基になると思います。」と述べている。しかし理由はこればかりではなく他にも経路がある。

本論文の第 6 章で俄国一が釜土の効用について、「精錬作業の進むに従ひ炉壁の材料たる粘土は次第に浸食され一種の媒熔剤の働をなすべし。」と述べていることを示した。この釜土は第 3 章で述べたように約 60% の SiO_2 を主成分としていることから釜土からの侵入がある。

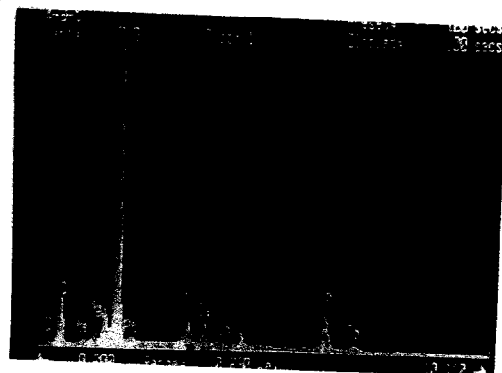
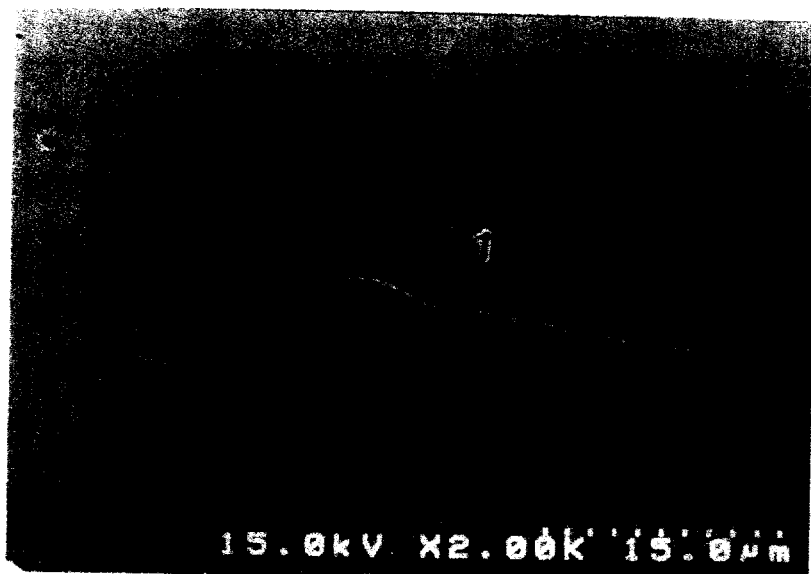


写真 8-16 A系介在物(忠広)

× 2000

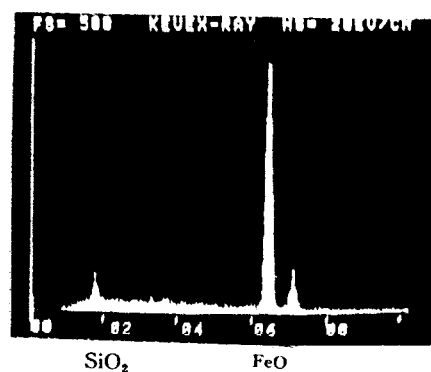
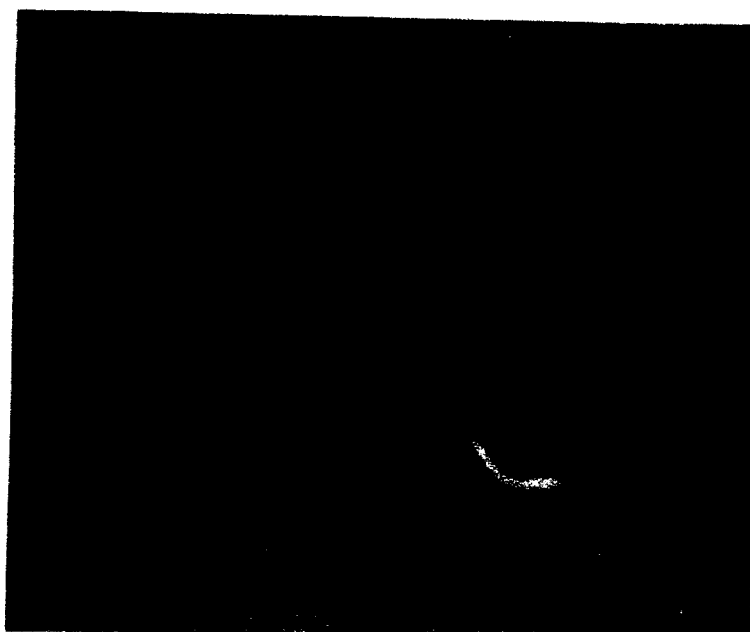


写真 8-17 C系介在物(吉原)

× 2000

第3章・第5章で砂鉄の分析値を示したが、 SiO_2 の濃度が4.61%から7.90%であり、鉄以外の主要元素となっていることから、砂鉄に付着した土からの侵入がある。

以上の通り、 SiO_2 の侵入経路は以上の三点にある。日本刀（和鉄）の場合、A系介在物が多く発生するのは、和鉄には元来 SiO_2 が多く含まれていて、酸化鉄と化合し、ファイヤライトとなり、融点が下がり(1,180度)、鍛錬等の加圧下により延びることに由来する。写真8-18に玉鋼刀の介在物を、写真8-19に電解鉄で造った刀の介在物を示した。玉鋼刀はよく粘性変化しているが電解鉄刀の方は粒状介在物(FeO)が多く見られる。これは、玉鋼刀の場合は SiO_2 を吸収する機会が前述の通り3回あるが電解鉄刀は鍛錬時における粘土水1回しかないことから、このような結果となる。表8-11に玉鋼刀・電解鉄刀・玉鋼と電解鉄を混錬した刀に見る介在物の清浄度の測定を示した。その結果、線状介在物は玉鋼刀が最も多く、次いで、玉鋼・電解鉄刀、最も少ないのが電解鉄刀、球状（粒状）介在物は電解鉄刀が最も多く、次いで玉鋼・電解鉄刀、最も少ないのが玉鋼刀であることがわかった。

以上のことから、日本刀にはA系介在物が多く、C系介在物が少ないことがわかり、ここに和鉄が優秀である一つの所以がある。俄国一は「倭本」第8章で折り返し鍛錬を5回行ったときの鉄滓（珪酸鉄）の延びる模様を想定し、さらに折り返し鍛錬を進めた場合、どのように変化していくかを想像して説明している（図8-6）。写真8-20は著者が鍛錬の一番最初の作業「水へし」¹⁰⁾から始まり、折り返し鍛錬12回にいたるまでの過程を順を追って観察したものである。その結果、水へしの段階では介在物はほとんどが丸みをおびているが、鍛錬（加重）が加わるに従い、粘性変化をおこし、A系介在物が形成されていくことがわかった。そして、粘性変化により酸化鉄の部分が次第に分離され、鍛錬が進むにつれて酸化鉄は細かく分散され、ファイヤライトはさらに細長く小さくなることがわかった。なお、この観察において特筆することは、最も鍛錬回数の進んだ折り返し12回目において、粒状介在物に混じって一見粒状に見えるが、仔細にみると短いながらも確実に延びているものが存在することである。そしてこれは古作刀にも見られ、特に刃部に多く存在することが忠吉の写真8-21の観察でわかった。この部分のEDX線分析を写真8-22に示した。その結果、この介在物はC系（酸化鉄）に見紛うが SiO_2 と FeO で成立し、ファイヤライト、つまりA系介在物であることがわかった。この種の介在物の分類はいままでの研究には全くなく、本論文ではこれを「新型A系介在物」として分類する。この種

玉鋼刀の介在物と電解鉄刀の介在物

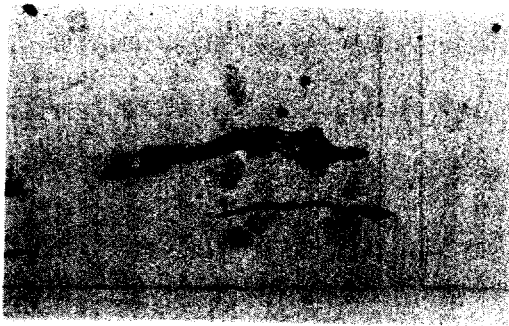


写真 8-18 玉鋼刀の介在物(吉原)

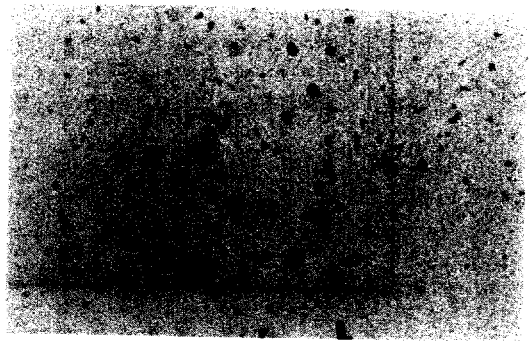


写真 8-19 電解鉄刀の介在物

表 8-11 玉鋼刀・電解鉄刀・玉鋼刀と電解鉄を混錬した刀に見る介在物の清浄度

	J I S 法	
	(線状) d A 60×400	(球状) d (B+C) 60×400
玉	0.125	0.5
電	0.050	1.25
玉・電	0.083	0.75

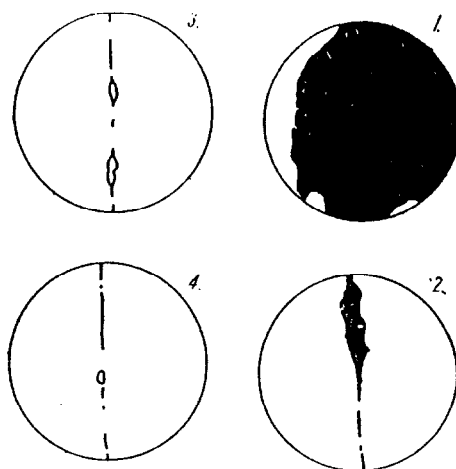
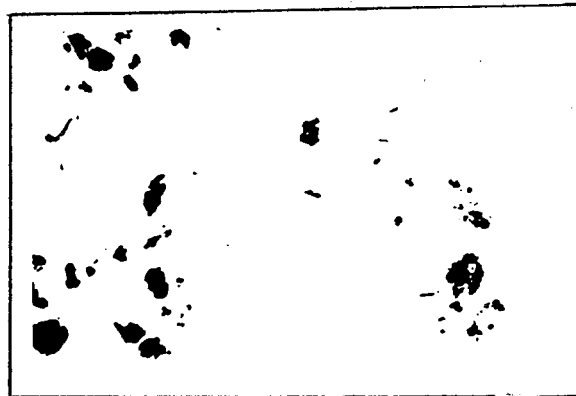
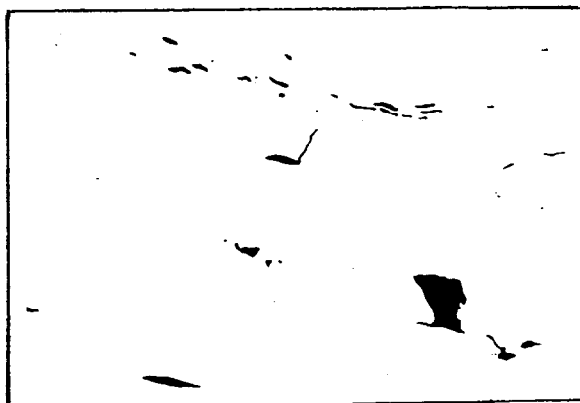


図 8-6 「俵本」に見る鍛錬中の鉄滓の形状の推移

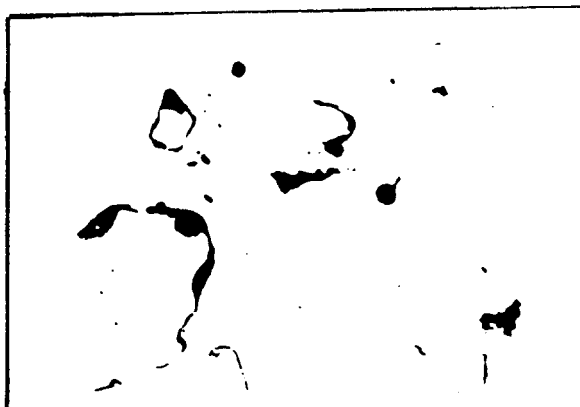
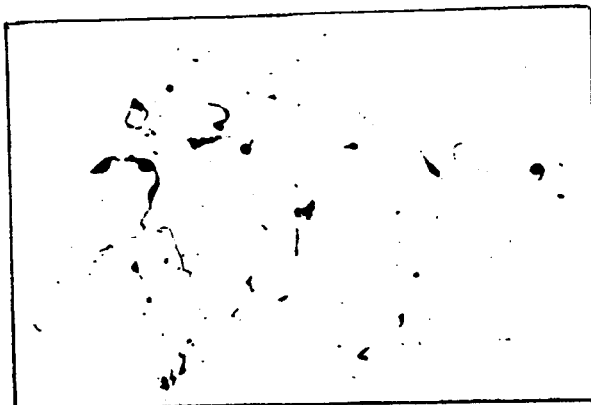
水へし



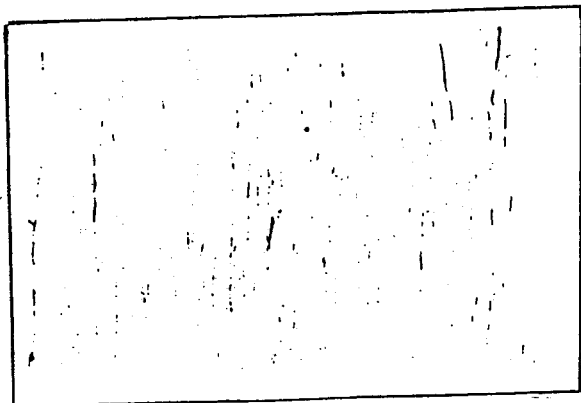
4 回 折り返し



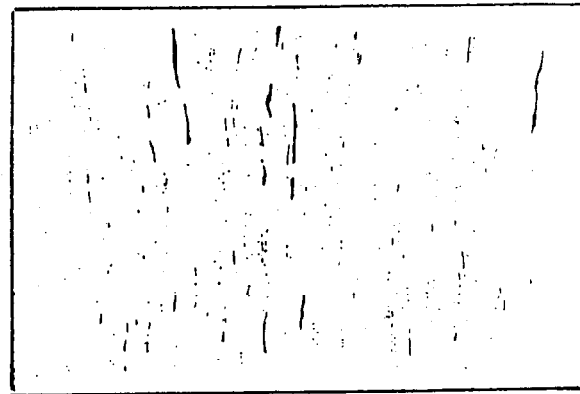
8 回 折り返し



12 回 折り返し

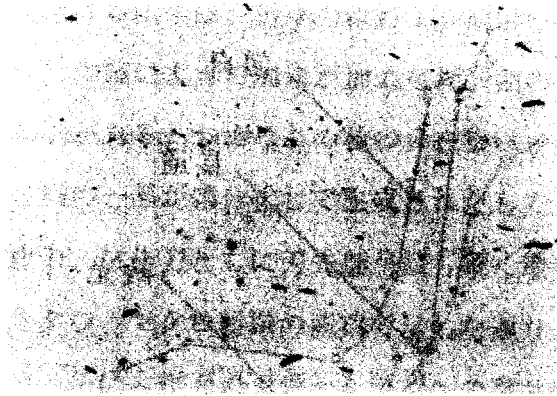


×50



×100

写真 8-20 玉鋼刀鍛錬による A 系介在物の粘性変化の観察



刃先

写真8-21 古作刀忠広の刃部の介在物 ×100



× 2 0 0 0



2



3

写真8-22 古作刀忠広の刃部のEDX線分析

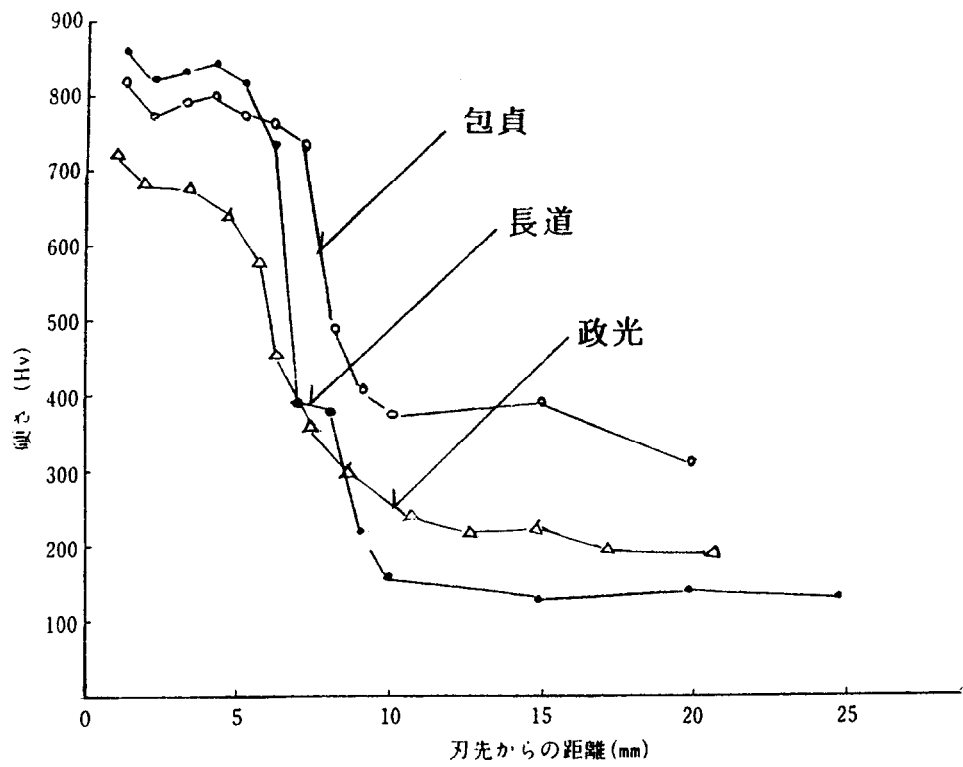


図8-7 古作刀の刃先から地部へ向かっての硬さの変化

隅谷

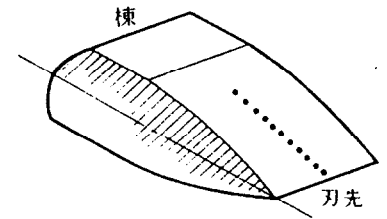


図8-9 硬さの測定位置(平面)

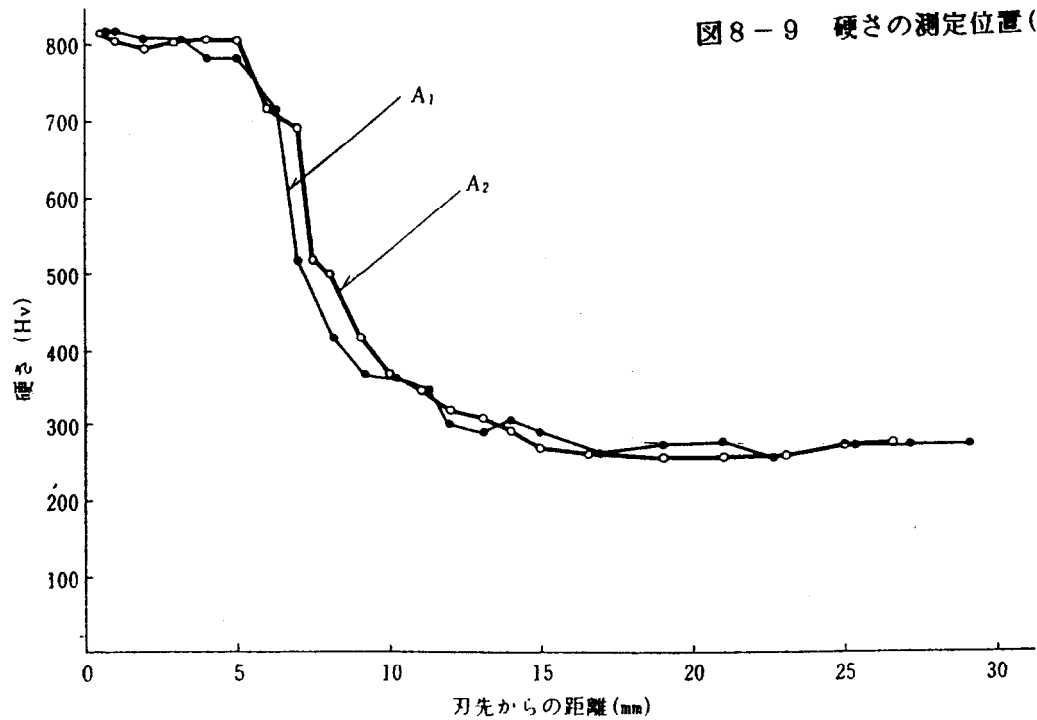


図8-8 試作刀の刃先から地部へ向かっての硬さの変化

の介在物が日本刀に生成される由来は、日本刀は約15回ほどの折り返し鍛錬が加えられ、さらに刃部は刃の打ち出し作業によって加重が加えられ、他の製品には見られないほどの加重をうけるとところに特徴がある。つまりこの種の介在物は、この異常なほどとも言える加圧下によってA系介在物の一部が細分化して生成されたものである。

硬度においては、古作刀、試作刀ともに刃先部が最も硬く地部に向かうに従って軟らかくなっており、これはミクロ、マクロ組織の観察で示した通り、刃部から地部への組織変化と相関している。図8-7に古作刀の刃先から地部への硬さの変化を、同じく図8-8に試作刀の中から隅谷の例を示した。図8-9に硬さの測定位置を示した。

日本刀が強靱である理由は、一つには刀身全体が同じ組織、つまり硬さではなく、複合的構造をしているところにある。

8.5 結言

本章においては、以下の新しい知見と結果を得た。

- (1) 真砂砂鉄のみを使用した日刀保たたら産の玉鋼による日本刀の組織と強度は、江戸期までに造られた古作刀に比較して殆ど遜色のないことがわかった。しかし、生産品の一部に粘性がなく、鍛錬の不可能なものがあることを刀匠から指摘されたことがあり、これを調査したところリン濃度に問題があることがわかった。日本刀鍛錬におけるリン濃度の素材に及ぼす影響、即ち臨界領域は0.052%から0.068%までの間にある。
- (2) 日本刀の非金属介在物はA系が主流をなし、これにC系が加わることが電解鉄刀との比較でわかった。そしてA系介在物が日本刀に発生する由来について考察した結果、日本刀の鍛錬時における粘土水に含まれる SiO_2 とする従来の倭国一の説に加えて、釜土と砂鉄に含有する SiO_2 にも大いに由来があることを提案した。
- (3) 非金属介在物の調査の中で日本刀には一見C系介在物に見紛うが、仔細に見ると、細かくて短いながらも確実に延びているものが存在することがわかった。そしてこれをEDX線分析で調べたところ、 SiO_2 と FeO からなるファイヤライトであることがわかり、本論においてはこれを新型A系介在物として初めて分類した。

文献及び付記

- 1) 俵国一：日本刀の科学的研究，日立評論社，東京，(1953)。
- 2) 玉鋼品質の研究：日本美術刀剣保存協会，東京，(1978～1980)。
- 3) 俵国一：古来の砂鉄製錬法，丸善，東京，(1993)。
- 4) 小塚寿吉：鉄と鋼，52(1966)，1768。
- 5) 俵国一：日本刀の科学的研究，p.64-65，日立評論社，東京，(1953)。
- 6) 大和久重雄：アグネ金属述語辞典，p.251，アグネ，東京，(1965)。
- 7) 長谷川熊彦：わが国古代製鉄と日本刀，p.44，技術書院，東京，(昭和52年)。
- 8) 鈴木卓夫：作刀の伝統技法，理工学社，p.3・26，p.3・30，東京，(1994)。
- 9) 佐藤知雄：鉄鋼の顕微鏡写真と解説，p.18，丸善，東京，(1963)。
- 10) 「水べし」とは、玉鋼を火床で熱して薄く打ち延ばす作業のことをいう。

第9章 総括

9. 1 本論文の結論

第2章 日刀保たたら源流

本章においては、前半では日刀保たたら技術を大量の玉鋼生産を目的とした大型炉による直接製鋼法（鋸押し＝三日押し）と位置づけた上で、この技術の源流がどこにあるかについて考察した。後半においては、日刀保たたらの前身である「靖國鑪」について、「靖国文献」から設立の経緯と技術について考察した。その結果、以下の新しい知見を得た。

（1）「日刀保たたら」（大量の玉鋼生産を目的とした三日押しによる鋸押法）の源流が

『古今鍛冶備考』『鉄山略弁』に所載する播州宍粟郡千草の「白鋼吹」にあると想定し、これを①地下構造の比較、②築炉法の比較、③生産品の比較、④操業日数の比較から調査をおこなった。その結果、日刀保たたらの源流が、天文時代（室町後期）に現在の兵庫県宍粟郡一宮町他で開発された「白鋼吹」にあることを明らかにした。

（2）日刀保たたら、その前身である靖國鑪、明治期の砥波鑪（いずれも鋸押し法）における操業技術上の比較でわかったことは、以下の通りである。

1）靖國鑪・砥波鑪においては操業初期に籠り砂鉄が用いられているが、日刀保たたらでは全工程真砂砂鉄が使用されている。

2）1回の操業に用いる砂鉄の使用量は、三者のうち日刀保たたらが最も少ない。その理由は靖國鑪・砥波鑪にあっては大量の出鉄があったが、日刀保たたらの場合は殆ど出鉄することなく、鋸のみが造られることによる。また、靖國鑪と日刀保たたらにおける1代の玉鋼の生産量と砂鉄に対する玉鋼の生産歩留は、後者の方が優位にたつ。

3）靖國鑪の技術の向上は、操業経験年数と戦争という社会背景によって高められたこと、そして炉床の改築が玉鋼の生産量増加につながったことがわかった。

（3）靖國鑪の村下とその技術の系列について調査をした。その結果、靖國鑪の村下の玉鋼生産技術の系列は、大正時代の鳥取県日野郡日南町の村下岸本亀次郎にあることを明らかにした。

第3章 たたら製鉄「日刀保たたら」の復元

本章においては、（財）日本美術刀剣保存協会が旧「靖國鑪」を「日刀保たたら」として復元するまでの様子を記録としてとりまとめ、また、操業に不可欠である砂鉄・木炭・釜土につき、①靖國鑪と日刀保たたらの砂鉄における性状の比較、②たたら炭のたたら製鉄に及ぼす効用、③釜土成分のノロ生成に及ぼす効用について考察した。その結果、以下

の新しい知見を得た。

- (1) 安部由蔵・久村歆治の両村下によって復活されたたたら「日刀保たたら」の詳細な記録を作成することができ、また併せて、たたら製鉄に関する文献、とくに俄国一の「古来の砂鉄製錬法」、下原重仲の「鉄山秘書」を用い、その内容と対比しながら日刀保たたらの技術について考察を加えた。そしてこの中から、「日刀保たたら」の技術が、「倭本」(砥波鑑)、「鉄山秘書」とその技法面において基本的には変わりがない。換言すればかなり忠実に古式の技術にそって復元されたことがわかった。しかし反面、古文書にも見られない技術が、日刀保たたらには存在することがわかった。その中で特筆されることは、日刀保たたらにおいては、乾燥砂鉄を用いて炉内調整をおこなう「早種」(はやだね)という技術と、鋸の厚さを増すためにおこなう「ホド」の補修技術(磨り上げという)が存在することである。とくに早種は注目される技術である。
- (2) 「日刀保たたら」の前身である「靖國鑑」で用いられた「真砂砂鉄」と、現在日刀保たたらで用いられている真砂砂鉄との間に、性状において相違があるのかどうか、このことについて比較調査をおこなった。その結果、日刀保たたらの方が靖國鑑より鉄系元素は高く、他は多くが低い数値を示していることを明らかにした。そしてその原因は砂鉄採取法の相違、即ち、靖國鑑時代には「鉄穴流し法」が用いられたが、現在の日刀保たたらにおいては、「磁力選鉱法」が用いられていることによるものである。
- (3) たたら炭のたたら製鉄に及ぼす効用について考察をおこなった。その結果、たたら炭は、他の鍛錬用木炭・工業用木炭との比較において固定炭素量がもっとも少ないことがわかった。その理由は、炉内へくべられた砂鉄は約1,200mmの高さの炉頂から順調の場合約90分かかってホド穴の先端にまで到達するが、それには炉内で順調に燃焼してほどよく降下する木炭が求められることとなる。その点一般の木炭は固定炭素が多く、燃焼と降下に時間がかかるが、半燃焼状態とした、つまり固定炭素の少ないものは、燃焼と降下時間がほどよいことから、このような木炭が求められ、ここにたたら炭の性状と効用があるものである。
- (4) 釜土成分のノロ生成に及ぼす効用について考察をおこなった。釜土は60%近くの SiO_2 、約20%の Al_2O_3 、1.5%程の TiO_2 からなり、これらはノロ生成に大きな役

割を果たしている。しかし、その主成分である SiO_2 の融点が高いのにもかかわらず釜土が侵蝕され、ノロが生成されることが疑問であった。そこで他の粘土との成分比較をおこなった。その結果、釜土には他の粘土に比較して FeO は約10倍、 Fe_2O_3 は約25倍も多く含んでいることがわかり、これは炉内で溶解された砂鉄が釜土に接した際、釜土に含まれる鉄分（酸化鉄）を溶解させることによって、炉の侵蝕が促進され、ここに釜土の成分のノロ生成に及ぼす効用があるものである。

第4章 たたら製鉄「鋸押し法」の復元と村下安部由蔵の技術

本章においては安部由蔵が日刀保たたらの開設にあたり、籠り砂鉄を用いず、全工程を真砂砂鉄とした新規操業技術を開発したことを述べ、その操業技術とはどのようなものであるかについて考察した。その結果、以下の新しい知見を得た。

- (1) たたら製鉄における砂鉄と木炭の装荷法において最も複雑な技術を要するのは、操業初期、つまり「籠り期」であることがわかった。この間、最初に装荷される砂鉄（初種）の量は最も少なく、逆に木炭の装荷量は最も多く、そして時間の経過にしたがって砂鉄の装荷量は漸次増量されていくのがわかった。このような作業が行われるのは、まだ湿気が残る操業初期の炉で、いかに温度を上昇させ、無理なく砂鉄を溶冶金させるかということに力点をおくためである。
- (2) 籠り砂鉄を使用せず、真砂砂鉄のみを使用した安部由蔵の新規技術の開発における工夫とは、操業初期において、湿気を持たせた砂鉄を使用し、炉内滞留時間を長くして砂鉄の還元と炭素の吸収を十分おこなわせて鉄を造り、これをもって被還元性のよい籠り砂鉄の代用としたことである。また、上り期以降においては鋸（鋼）を造るため、順次乾いた砂鉄を使用し、また水洗いをよく行い、 T. Fe を高めた砂鉄を用いたところにあり、さらに早種の効果を大いに活用した点にあることがわかった。

第5章 たたら生産物「玉鋼」の性質に及ぼす「籠り砂鉄」使用の影響

本章においては、籠り期に籠り砂鉄を用いた場合と、全量真砂砂鉄のみを用いた操業における実験比較から、籠り砂鉄を用いた場合の優位性と、その操業機構について考察した。その結果、以下の新しい知見を得た。

- (1) 操業の結果からは、通常の真砂砂鉄のみによる操業より、操業初期に籠り砂鉄を使用した操業の方が玉鋼の生産量と品位において優れている。すなわち炭素濃度はより高く、リンと硫黄濃度は低い。また、とくに一級品において初析セメントイトが発達

している。また早期に鉄が沸き、ノロの流動もよい。リンと硫黄濃度が低いことは砂鉄中のこれらの成分濃度に依存している。

(2) 砂鉄の性状からは次のことがわかった。

- 1) 昭和初期の靖國鑛までは、約70時間の操業の流れにあってT. Feは低いものから順次高いものへ移行し、酸化度(Fe_2O_3) / (FeO) 比は高いものから順次低いものへと移行することがわかった。
- 2) 細谷の砂鉄は通常の真砂砂鉄に比べて酸化しており、籠り砂鉄としての適性を備えていることがわかった。しかし、靖國鑛までに用いられた砂鉄と比較すると、酸化度は小さい。

第6章 たたら製鉄の炉内反応機構と操業技術

従来たたら製鉄は一家相伝であり、村下から得た技術のノウハウともいえるべきものは殆ど記録がない。そこで本章では「日刀保たたら」の操業から村下の操業技術について調査を行い、その内容と化学反応機構について考察した。その結果、以下の新しい知見を得た。

(1) かつて、安部由蔵村下に、たたら操業の秘訣はどこにあるかについて質問したことがある。これに対し安部は、「人間飯を食べ過ぎても腹が減っても体調が狂う。たたらも同じで、砂鉄や木炭を入れすぎても足りなくても炉の調子は悪くなる。いかに無理なく砂鉄や木炭を入れることが大切」、つまり、「快食、快便が大切」と答えている。以下この格言のもとに本研究で得られた結果を示す。

- 1) 砂鉄と木炭、とくに砂鉄の装荷は炉に負担をかけないように、ヘビーチャージ、ライトチャージに気をつけ、時には早種を用いて炉内の調整を行う。
- 2) よい出滓を得るためには、よい釜土の選定が重要である。
- 3) 以上を円滑に行うためには、送風の仕方が重要である。とくに轆による送風は効果的である。

(2) 日刀保たたらは同じ鋤押し法であっても大量の玉鋼、つまりほぼ鋤のみが生成されるところに、従来の操業法と異なることを明らかにした。

(3) 日刀保たたらにおいて鉄が多く生成されない理由は、砂鉄中の TiO_2 濃度が2% (約) に達さないこと、釜土の SiO_2 濃度が66% (約) に達さないこと、また、操業初期の砂鉄の装荷において、やや強吹きをしたことによる。そして安部がこの技法をとったのは玉鋼の量産を意図したものである。

第7章 鋤押し法と鉄押し法における操業技術の比較

本章においては、鋤押し法と鉄押し法の技術の相違がどこにあるのかを、①炉床と炉の構築法、②操業法、③ホド穴、④鋤押し法と鉄押し法における鋤と鉄の生成機構から考察した。その結果、以下の新しい知見を得た。

(1) 炉の構築

鋤押し法は元釜の頂部から上釜頂部にいくに従って若干広がりを見せるか、または同じ幅であるのに対し、鉄押し法は上釜の頂部の幅をかなり狭く、また炉腹を広げて築いている。また、鉄押し法は炉高は低いが炉高に対して炉幅が一段と狭く築かれている。鉄押し法がこのように築かれるのは蓄熱の効果をねらったものである。

(2) 操業

1) 操業時間においては、鉄押し法は鋤押し法に比べて1.25倍かかっている。これは鋤押し法は炉内へ鋤を生成させるのに対し、鉄押し法は炉外へ鉄を流し出すことから炉の耐久性が持続することによる。なお、鋤押し法（砥波釜・靖國釜・日刀保たたら）における籠り期に費やされる時間の比較を行ったが、その結果、籠り砂鉄の酸化度が高くなるに従って逆に籠り期の時間が短くなっていることを明らかにした。それは酸化度が高くなるほど鉄の生成が加速され、その結果籠り期に費やされる時間が短くてすんだものである。

2) 砂鉄と木炭

鋤押し法では真砂砂鉄が用いられ、鉄押し法では浜砂鉄と赤目砂鉄が用いられている。これは後者は前者に比べて粒形が小さく溶けやすく、つまり還元と浸炭が容易で、鉄になりやすいためである。また、鉄押し法においては砂鉄を焙焼しているが、これは酸化度を高くし、同じく溶けやすくしたものである。鉄押し法においては操業初期に松炭が用いられている。これは操業初期において温度を上げるためである。

(3) 鋤押し法と鉄押し法における鋤と鉄の生成機構

1) 砂鉄と木炭の装荷法

鋤押し法は木炭を粗に装荷するが鉄押し法は密に装荷する。これは後者の場合砂鉄の炉内における滞留時間を長くすることによって還元と浸炭を促進するためである。

2) 送風法

鋤押し法においては風の流れの幅を狭くし、羽口近傍に比較的狭い還元と侵炭のゾ

ーンを設けるが、これに対して鉄押し法の場合は、風の流れの幅を広くし、炉内に幅広い還元と浸炭のゾーンを設けている。

鉄押し法は鋳押し法に比べて低温で製錬され、この生成機構は、還元した鉄の炭素濃度と共晶温度に相関する。

鉄押し法がローブローであることは、木炭の燃焼に与える影響から、砂鉄の還元と浸炭にも効果がある。

以上を鋳押し法と鉄押し法におけるホド穴の形状の比較から明らかにした。

第8章 真砂砂鉄のみを使用した玉鋼による日本刀の組織と強度

本章においては、①生産品（玉鋼・鉄）の分類と成分組成の調査から、②玉鋼による試作刀と江戸期にまで造られた古作刀の比較から日刀保たたらで生産された玉鋼の品質について調査を行った。その結果、以下の新しい知見を得た。

- (1) 真砂砂鉄のみを使用した日刀保たたら産の玉鋼による日本刀の組織と強度は、江戸期までに造られた古作刀に比較して殆ど遜色のないことがわかった。しかし、生産品の一部に粘性がなく、鍛錬の不可能なものがあることを刀匠から指摘されたことがあり、これを調査したところリン濃度に問題があることがわかった。日本刀鍛錬におけるリン濃度の素材に及ぼす影響、即ち臨界領域は0.052%から0.068%までの間にある。
- (2) 日本刀の非金属介在物はA系が主流をなし、これにC系が加わることが電解鉄刀との比較でわかった。そしてA系介在物が日本刀に発生する由来について考察した結果、日本刀の鍛錬時における粘土水に含まれる SiO_2 とする従来の倭国一の説に加えて、釜土と砂鉄に含有する SiO_2 にも大いに由来があることを提案した。
- (3) 非金属介在物の調査の中で日本刀には一見C系介在物に見紛うが、仔細に見ると、細かくて短いながらも確実に延びているものが存在することがわかった。そしてこれをEDX線分析で調べたところ、 SiO_2 と FeO からなるファイヤライトであることがわかり、本論においてはこれを新型A系介在物として初めて分類した。

9.2 日刀保たたらの操業における今後の研究課題

日刀保たたらの操業における今後の研究課題は、先に結論を述べれば、靖國鐘までの操業（以下古法という）同様、操業初期においていかに鉄を多く生成させることにある。操

業初期に鉄を生成させる理由は、①先に鉄を生成し、これを核としてその上に鋼を生成させること、②これによって鋼中のリンを鉄へ移動させ、鋼中のリン濃度を少なくすることにある。古法における操業法を見ると本論文で述べたとおり、操業初期には粒形が小さく、また酸化度の進んだ砂鉄を用い、還元と浸炭を容易にして鉄を生成している。しかし、日刀保たたらにおいては籠り砂鉄が入手できなかったことから全量真砂砂鉄を使わざるを得なかったが、村下安部由蔵は、操業初期に砂鉄に湿り気を与えることによって炉内における砂鉄の滞留時間を長くし、還元と浸炭を促進させ、鉄を生成する方法を開発した。しかし、それでも鉄の生産量は古法に比較するとかなり少ない。日刀保たたらの開設の目的は第2章緒言で述べたとおり、日本刀の素材である玉鋼をなるべく多く生産することであり、安部はこの認識のもとに玉鋼の量産に成功したが、その結果として、生産品の一部に日本刀の素材としてはややリン濃度の高いものがあることが本研究で明らかになった。この解決のためには、砥波鍾、靖國鍾の砂鉄のようにリン濃度の低い砂鉄を使用することを提案したが、リン濃度を下げるためにはやはり操業初期に鉄を多く生成させる必要がある。それには本論文で明らかにしたように、砂鉄中の TiO_2 濃度と釜土中の SiO_2 濃度の関係が極めて重要である。

真砂砂鉄の大きな特徴の一つは TiO_2 濃度が極少であることにある。これは鋼生産にはよいが、鉄を多く生成させることにおいては不向きといえる。従って今後の日刀保たたらの操業においては、籠り砂鉄が入手できない現在の状況下にあっては SiO_2 濃度約66%の釜土をもとめ、操業初期に TiO_2 濃度約2%の砂鉄を使用して鉄を造り、以後は現状の真砂砂鉄を使用して鋼を造る操業法を開発することを課題とする。

本論文における分析資料は、本文に表記したもの以外は日立金属冶金研究所によるもの及び、同所に依頼して作成したものである。

謝 辭

本研究を遂行するにあたり、終始懇切なるご指導を賜りました東京工業大学大学院理工学研究科 永田和宏教授（工博）並びに東京工業大学 道家達将名誉教授（理博）に対し、心より深謝いたします。

本研究の過程において、多大なご教示とご支援を賜りました日刀保たたら村下木原明氏に対し、また、玉鋼を始めとする多くの資料の分析等につき多大なご協力を賜りました日立金属（株）冶金研究所に対し、心より感謝いたします。

最後になりましたが、日刀保たたら開設を成功へと導いた故日刀保たたら村下安部由蔵並びに同じく故日刀保たたら村下久村歆治の両者に対し、深甚なる感謝と敬意の念を表します。

鈴木 卓夫