

たたら製鉄（鋸押し法）の復元と村下安部由蔵の技術

鈴木 卓夫*・永田 和宏*²

Reconstruction of "Tatara" Furnace for Direct Steelmaking and Its Operation Techniques
of Mr. Yoshizo Abe as a Leader Murage

Takuo SUZUKI and Kazuhiro NAGATA

Synopsis : In 1977, Japan Institute of Art Japanese Sword was reconstructed Tatara furnace for direct steelmaking from iron sand and charcoal, so called Kera-oshi method. This Tatara furnace called Nittouho Tatara was constructed on the base of Yasukuni Tatara furnace which had been operated until the end of the World War II in Yokota city in Shimane prefecture. For this reconstruction of the furnace and the direct steelmaking operation, the great effort of Mr. Yoshizo Abe as a leader Murage had been paid and his techniques should be made clear. Until the age of Yasukuni Tatara, Kera-oshi method was consisted of 4 stages; Komori, Komoritsugi, Nobori and Kudari. In the 2nd stage of Komoritsugi, Komori iron sand had been used to charge because of easy reduction and production of pig iron. In 1977, Mr. Abe had met difficulty to collect Komori iron sand. Then, he developed the new technique of Tatara operation using only Masa iron sand for the last two stages in spite of Komori iron sand. He controlled the wet of iron sand and made the residual time of iron sand longer in furnace. The reduced iron particles have enough time to absorb carbon for producing pig iron.

Key words : reconstruction; Tatara; Yoshizo Abe; iron sand; charcoal; direct steelmaking.

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「鳥上木炭銑工場」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)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しるしたもので、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、鋳滓の組成、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。

2. 操業の実施

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333 cm、幅485 cm、奥行き364 cm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。Fig. 1に操業写真を示した。炉の長さは2,700 mm、高さは両端で1,200 mm、中で1,100 mm、幅は両端で761 mm、中で873 mm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

平成11年6月22日受付 平成11年9月20日受理 (Received on June 22, 1999; Accepted on Sep. 20, 1999)

* (財)日本美術刀剣保存協会 (Japan Institute of Art Japanese Sword)

* 2 東京工業大学 (Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama Meguro-ku Tokyo 152-8552)

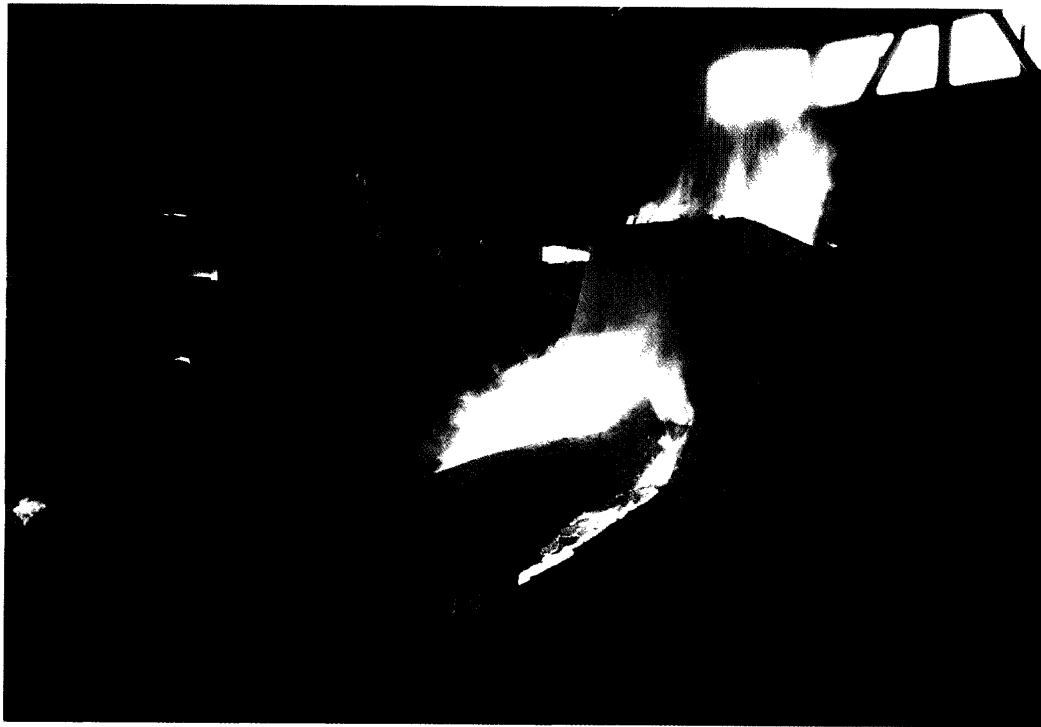


Fig. 1. Operation of Tataro furnace.

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。

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、表村下は安部氏、裏村下は久村敬治氏が努め、さらに木原明氏（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）鉱山より採掘され、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わった。

(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、結局、平均19~24°の角度になった。

(2) 送風量：通常850 m³/hrで行い、後半に950 m³/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750 m³/hrで、6代は10.5時間まで750 m³/hrでその後23時間まで825 m³/hrで、7代は9.5時間まで750 m³/hrでその後32時間まで800 m³/hrの送風を行っ

ている。

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。

3. 結果

3・1 操業結果

操業の結果を Fig. 2 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、排出鉱滓の総量、鋸および鋼、鉄の総量を Table 1 に示した。ここで鋸は鋼と鉄、その他を含んだ総称である。また、鉄は自然に流れ出る流鉄（ながれせん）ではなく、鋸の底部にできた鋸鉄（けらせん）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。

3・1・1 砂鉄の装荷

(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

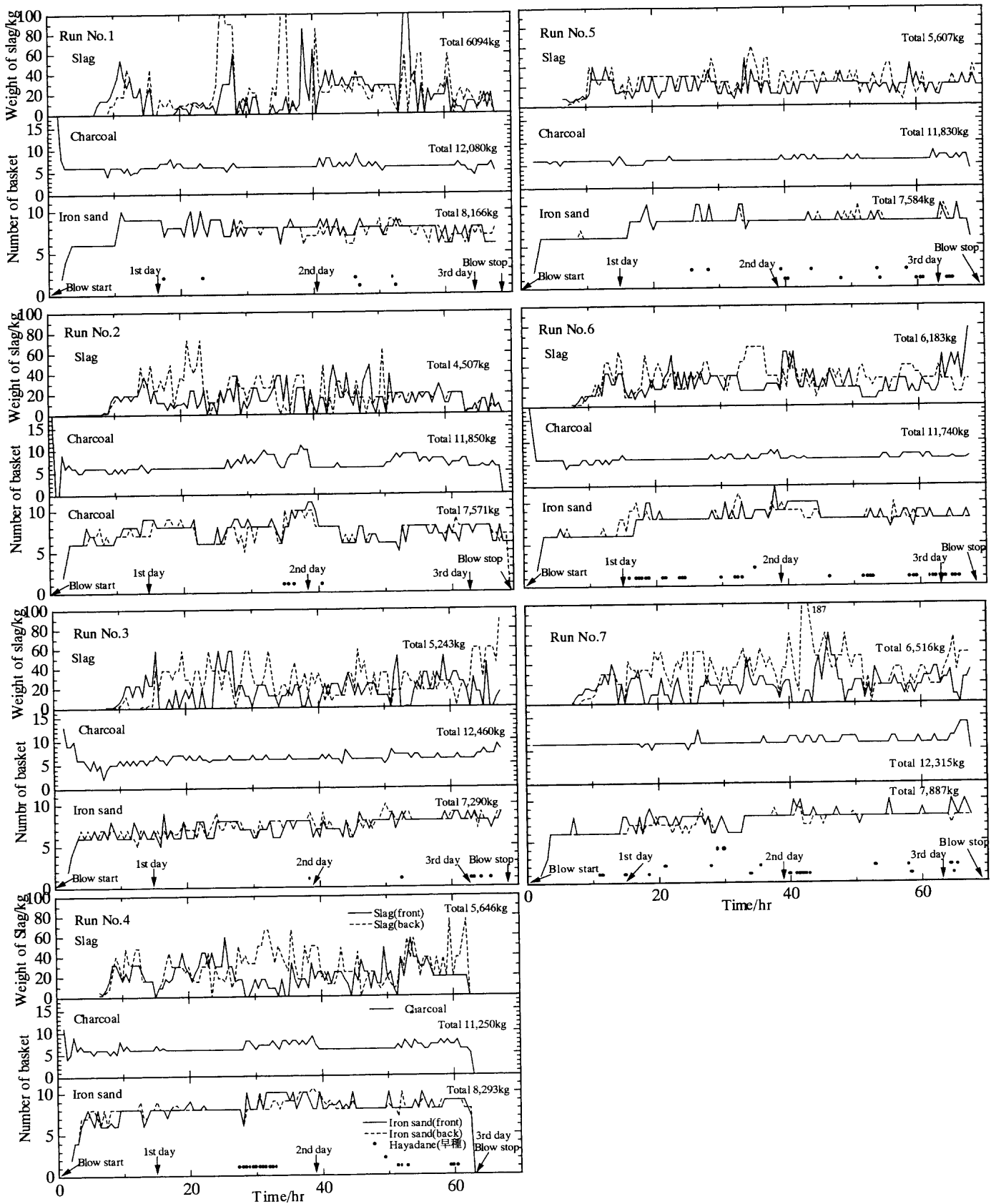


Fig. 2. Charge of iron sand and charcoal and discharge of slag for Tatara operations of Run No.1 to 7.

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時間にあって、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。

Table 1. Total weight of iron sand and charcoal used for Tatara operations, Noro (slag) discharged and the production of Hagane (steel) and Zuku (pig iron).

Run No.	Iron sand (kg)	Charcoal (kg)	Noro (kg)		Hagane (kg)	Zuku (kg)	Gain (%)
			Front	Back			
1	8,166	12,080	2,355	2,739	1,133	206	16.4
2	7,571	11,850	1,942	2,565	1,239	200	19.0
3	7,290	12,460	2,073	3,170	1,065	230	17.8
4	8,293	11,250	2,356	3,290	1,195	129	16.0
5	7,584	11,830	2,494	3,113	1,154	125	16.9
6	8,142	11,740	2,777	3,406	1,253	175	17.5
7	7,887	12,315	2,203	4,313	1,320	170	18.9

*Each product weighed about 2.0 to 2.5 ton which included Hagane, Zuku and Kera.

(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。

3・1・2 木炭の装荷

(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』⁴⁾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かりには鉄砂も焼けて炉へ納まるるなり。これはいささかも水気あるときは鉄湯速く塊りて鋸鉄(鋸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「鋸鉄」とは、「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つて行われるが、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となっている。

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、砂鉄装荷に先だつて炉の保温と乾燥を十分はかり、砂鉄の溶冶(製鍊)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従して増減している。

Table 2. Oxidation degree of iron sand; $(\text{Fe}_2\text{O}_3)/(\text{FeO})$ ratio.

Name of Tatara	Operation	Fe_2O_3 (mass%)	FeO (mass%)	$(\text{Fe}_2\text{O}_3)/(\text{FeO})$
Yasukuni ²⁾ *1	Komori*4	66.05	21.52	3.06
	Komoritugi*5	60.50	20.33	2.97
	Nobori*6	60.46	21.20	2.86
	Kudari*7	62.45	22.86	2.73
Nittoho*2	Masa*8	62.51	24.66	2.53
	Komori*4	61.71	20.91	2.96
Tonami ⁵⁾ *3	Komori*4	70.30	11.38	6.17
	Komoritugi*5	64.28	17.54	3.66
	Nobori*6	60.79	22.91	2.66
	Kudari*7	62.59	21.30	2.93

Note:*1:靖国鑑,*2:日刀保たたら,*3:砥波鑑,*4:籠り,*5:籠次ぎ,*6:上り,*7:下り,*8:真砂.

3・1・3 排出鋳滓量

(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) 鋳滓の総流出量は4.5~6.5ton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) 鋳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63時間で終了した。

3・2 聞き取り調査結果

昭和初期の靖国鑑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 (Fe_2O_3) 濃度 (FeO) 濃度の比で定義する。籠り期にあつてはまず銑(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、籠り次ぎ期にあつては銑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。Table 2は、明治時代の砥波鑑(となみたたら)⁵⁾(鳥取県)、靖国鑑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、とくに操業初期(籠り・籠り次ぎ)における砥波鑑、靖国鑑の砂鉄は、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つては、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。

3・2・1 砂鉄の装荷

- 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。

3・2・2 木炭の装荷

- 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. 考察

4・1 安部由蔵のたたら操業技術

4・1・1 砂鉄に関する聞き取り調査から

(1) 操業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き、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、銑が沸き（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と考えられる。

(2) 操業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期にわけている。すなわち「籠り次ぎ」が無い。第2日目は主に上り期に該当し、鋸の成長を促進しなければならない時期なので、銑になり易い湿った砂鉄を避け、炭素の吸収に十分な時間が無く1.5%程度の炭素濃度の固液共存状態で鋸になる⁷⁾乾いた砂鉄に順次切りかえている。

(3) 「よく清めた砂鉄」

「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時頃から鋸の成長を促進する必要があるため、鉄分の多い、つまり鋼になりやすい砂鉄に切りかえることを意味している。これは俵国一博士が「古来の砂鉄製錬法」⁵⁾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、銅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、通常の真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）を起こしがちなので、なるべく「軽吹き」（装荷量を少な目に）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あたらないが、安部由蔵によれば靖國鑑時代には、既に行われていたという。

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) 木炭の装荷方法

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、最も火力が強くて温度の上がる場所、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。

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銑を造り、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。

なお、操業の記録は木原明氏に依頼して行われた。ここに深く感謝する。

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、(1971).
- 2) J.Kozuka: *Tetsu-to-Hagané*, **52** (1966), 1763.
- 3) 玉鋼品質の研究、日本美術刀剣保存協会、東京、(1979).
- 4) 山田吉睦: 古今鍛冶備考、書林、江戸、(1830).
- 5) 俵 国一: 古来の砂鉄製錬法、丸善、東京、(1934).
- 6) 鈴木卓夫: たたら製鉄と日本刀の科学、雄山閣出版、東京、(1990).
- 7) K.Nagata: *Tetsu-to-Hagané*, **84** (1998), 715.