

たたら製鉄の製造術とその再現実験の試み

ものづくり大学(学部)
ものづくり大学

○森田 鉄也
中田 善久
土居 浩

1. はじめに

鉄は、鉄筋や鉄骨などとして、多くの建物の建材に使われており、わずかに炭素を添加すると鋼となり、炭素量や焼入れなどを行うことなどで硬度をコントロールできる。鋼は建材のほかに刀、刃物および自動車部品などにも使われている。わが国の鉄のルーツは、紀元前3世紀頃水田の稲作、青銅などとほぼ同時期に日本に伝わったが、製鉄技術がなく、当初は輸入されていた。5世紀頃になると出雲地方や九州地方で製鉄がはじめられた。しかし、他の文化圏のように高温を保つ技術力が無かったため、製鉄としては低温なたたら吹きが開発され広まったとされている。たたら吹きでは純度の高い玉鋼を作ることができ、それが後の日本刀を生み出す礎となった。

近年において、このたたら製鉄は、永田和宏博士（東工大教授）により研究¹⁾がされており、“ものづくり教育”として京都大学、室蘭工大などの大学から小学生までで小だたら製鉄²⁾～³⁾に取組んでいる。この小たたら製鉄は、砂鉄と木炭を小型のたたら炉の中に入れ、加熱・送風し、温度を上げ、一定時間をかけて砂鉄を還元し、鋳(ケラ)と呼ばれる鉄塊を取り出している。また、小たたら炉は、耐火レンガで組まれており、規模が比較的に小さいものである。そこで、筆者らは、ものづくりの原点を探るために“もの大式たたら”として、この炉を粘土から構築することを主眼に、たたら製鉄の再現実験を行った。本報告は、たたら製鉄の製造術、もの大式たたら製鉄の検討およびもの大式たたら製鉄の再現実験についてまとめたものである。

2. たたら製鉄製造術^{4)～8)}

たたら製鉄とは日本古来の製鉄法のことをいい、日本独特の製鉄法で、千年以上の歴史をもつものである。たたらという言葉は元来ふいごを意味する言葉で、非常に古い言葉であり、日本書紀に神武天皇のお后になる媛蹈鞬五十鈴姫命（ひめたたらいすずのひめのみこと）が出雲の神、事代主命の姫であったと書かれている。蹈鞬で鉄を吹くことから鉄を製錬する炉のことも、たたらというようになり、さらに、高殿と呼ばれる炉全体を収める大きな家屋、さらにはこれら全体を含めた製鉄工場もたたらと言うようになった。たたら製鉄は鉄原料として砂鉄を木炭の燃焼熱によって砂鉄を還元し、鉄を得る方法である。たたら製鉄には大きく分けて2つの方法がある。1つは砂鉄から直接鋼を作るケラ押し法（直接製鉄法）、もう1つは銑鉄（ズク）を作ることを目的とするズク押し法です。鋳(ケラ)とは、鋼のもとになる塊で、叩いたり、伸ばしたりして鍛えることができ、しかも焼きを入れて硬くすることができるので、日本刀をはじめ、刃物、工具などに用いられてきた。銑鉄（ズク）は炭素量が高く、溶け易いので鋳物にも用いられるが、大部分は大鍛冶場（おおかじば）に運ばれて炭素を抜き、左下鉄（さげがね）と呼ばれる鋼や、さらに炭素を下げて軟らかくした包丁鉄に用いられてきた。用いる砂鉄も2種類に大別される。主にケラ押し法に用いる真砂（まさ）砂鉄とズク押し法に用いる赤目（あこめ）砂鉄がある。真砂砂鉄は酸性岩類の花崗岩系を母岩とし、チタン分が少ない。たたら製鉄と高炉製鉄の比較を表1に示す。ケラ押し法

は、真砂砂鉄が採れる中国山地の北側で主に稼働した方法で操業開始から終了までに三昼夜を要する。低融点で還元性のよい籠り砂鉄を投入し、次に木炭を投入して燃焼させ、ノロ（鉄滓）を作る。その際、発熱反応によって炉内の保温が良くなる（籠もり期）。さらに炉温を上げると、ノロだけでなくズク（銑鉄）も生成される（籠り次ぎ期）。次第に真砂砂鉄の配合を増していくと、ケラ種ができ、炉況は活発になり、炎は山吹色に高く輝き出す。そして、炉が次第に侵食される一方、ケラが成長する（上り期）。さらに真砂砂鉄の装入を増して、ケラを大きく成長させるが、この頃になると炉壁は痩せ細り、これ以上の操業に耐えられなくなり、たたらを完了する（下り期）。以上の工程が一操業であり、一代（ひとよ）と呼ばれている。たたらにおける一代の工程を表2に示す。当時の記録として、一代に装入する砂

表1 たたら製鉄と高炉製鉄の比較

	たたら製鉄 ^{4)~7)} (ケラ押し法)	高炉製鉄 ⁸⁾
材料	砂鉄	鉄鉱石
燃料	木炭	コークス
炉頂温度(℃)	900~1000	500
炉心温度(℃)	1200	1300~1700
炉底温度(℃)	1500	約2000
還元剤	真砂土 珪酸塩(Na ₂ SiO ₃)	石灰石 CaCO ₃
還元温度(℃)	約1000	1300~1500
精錬時間(h)	97	8
通気方法	ファイゴ (空気)	吹きつけ (一酸化炭素)

表2 たたら製鉄における一代の工程

一夜の区分		操業の展開	作業内容
第1日目	こもり	火入れ	薪をいれ、送風しないで炉を乾燥させる。
		送風開始	火勢をつける。
		砂鉄投入開始	砂鉄は炉の長軸にそって二列に振り入れる。砂鉄と木炭を交互に投入する。
	こもりつぎ	鋤のはじまり	投入間隔、投入量ともに多くし、安定状態にする。
			湯路からノロが出はじめる。
砂鉄の量、投入間隔を1度決めたもので押し通す。			
第2日目	のぼり	鋤の成長	滓の流出が多くなる。
第3日目	くだり	くだり	砂鉄の投入を続ける。送風を強くする。
第4日目		おおくだり	砂鉄投入を完了する。炉体の底は侵食されてうすくなり、炉外に火が噴出すほどに壁もうすくなる。
		釜出し	送風停止
釜出し	炉体を壊し、ケラを外に出す。		
冷却	鋤を池に投入し、急激に冷却する。		

鉄約13t、木炭約13tに対し、できる鋤(ケラ)は約22.8t、銑鉄(ズク)は約0.8tとなっている。したがって、鉄の装入砂鉄に対する歩留りは約28%であり、非常に低い値であった。また、ズク押し法は、鋤押し法と比べると次の点が異なる。

- ①原料砂鉄に赤目砂鉄を用いること。
- ②羽口の位置が低く、傾斜を約1/2弱とし、炉底部全体に風がいきわたるようにしていること。
- ③炉底部傾斜を大きくしていること。
- ④木炭の装入後、砂鉄を入れること。

この方法は、中国地方全体では、山陰、山陽ズク押し法のたたらが多く、中国地方以外で行われた製鉄法もズク押し法が多かった。

3. もの大式たたら製鉄の検討

(1) 使用材料の検討

もの大式たたらに用いられる砂鉄は、国産の砂鉄が枯渇し、入手困難であるためやむを得ずオーストラリア産を使用した。木炭は、火付きが悪く、投入時に温度が低下してしまうため白炭の使用は避けた。たたら製鉄では、主に大炭（黒炭といた方法により作成したもの）と呼ばれるものを用い、赤松および檜を使用している。そこで、もの大式たたらでは、現在も刀鍛冶に用いられ、燃焼温度が高い赤松炭を10cm程度に切ったものを使用した。また、たたら製鉄では、還元剤として、真砂土中に含まれる珪酸塩

を用いていたが、今回は、高炉製鉄に用いられる石灰石を150 μm 以下に微粉碎し、あらかじめ砂鉄に10% 混合して用いた。

(2) もの大式たたら炉の検討

たたら製鉄炉を図1に、もの大式たたら炉を図2に示す。もの大式たたら炉の大きさは、たたら製鉄に用いられた炉の概ね1/3程度のものを構築した。さらに、もの大式たたらでは、湿気防止のため炉床を地上の上に構築した。これにより炉床を乾燥するために用いられる小船を排除し炉寸法を小さくした。炉壁および炉床には、本来であれば真砂土を用いるが、関東地方において真砂土は、山砂として園芸などの目的で流通しているものの、山陰地方で採取されるもの(風化花崗岩)と同様であるかは不明であ

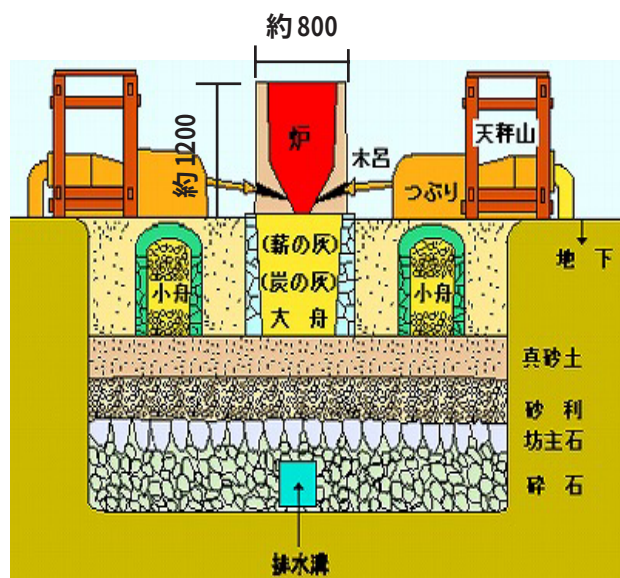


図1 たたら製鉄炉

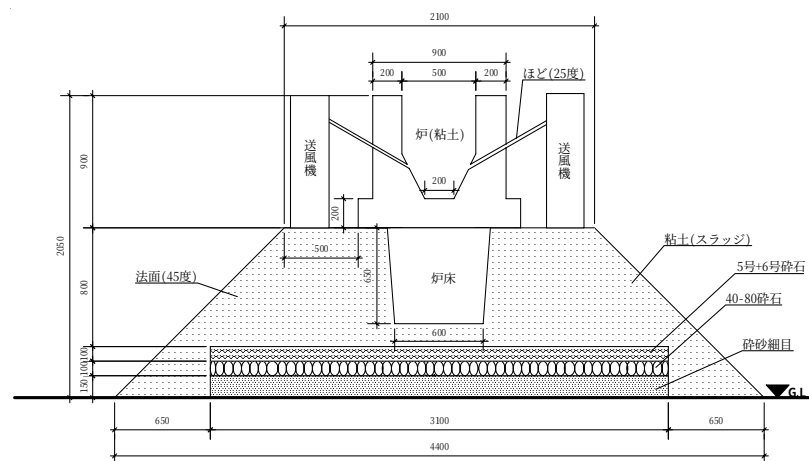


図2 もの大式たたら炉

る。そこでもの大式たたらでは、埼玉県秩父で採取される硬質砂岩碎石を粉碎した際に排出される粘土質のスラッジを用いた。

4. もの大式たたら製鉄の再現実験

(1) もの大式たたら炉の製作

まず、炉床を構築するにあたり、雨を防ぐための仮囲いの作成を行い、砕砂細目、40-80 碎石および2005 碎石の順で敷均した。つぎに、炉の防湿および高温維持のための炉床を積み上げた後、急激な乾燥によるひび割れを防ぐため3日間自然乾燥を行い、昼夜通して11日間薪を燃やし、灰を締め固めたものを炉床の天端まで積み上げた。炉の構築は粘土を積み上げた後、炉床と同様に急激な乾燥を防ぐため29日間自然乾燥を行い、ほど穴を25度の角度で作成した。一代前日は、朝に薪を投入、強制乾燥を行った。なお、薪の灰はすべて撤去した。

(2) もの大式たたら製鉄の操業

表2に示すたたら製鉄における一代の工程に準じてもの大式たたら製鉄の操業を行った。もの大式たたら製鉄の砂鉄の総量は、炉の下部の体積および歩留り(約30%)として算出し、564kgと決定した。また炭の総量も砂鉄との比率により算定を行い、砂鉄投入時に使用する炭191kgであり炉の天端より10cm下がった場合に投入する足し炭310kgの計501kgとした。木炭および砂鉄の投入量と経過時間を図3に



写真1 ものつくりたたらの状況

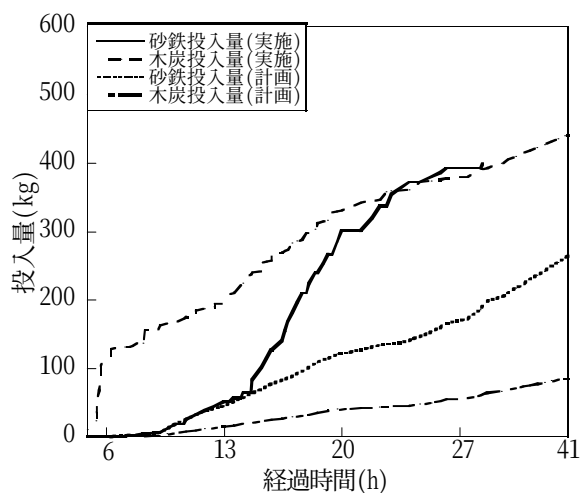


図3 木炭および砂鉄の投入量と経過時間

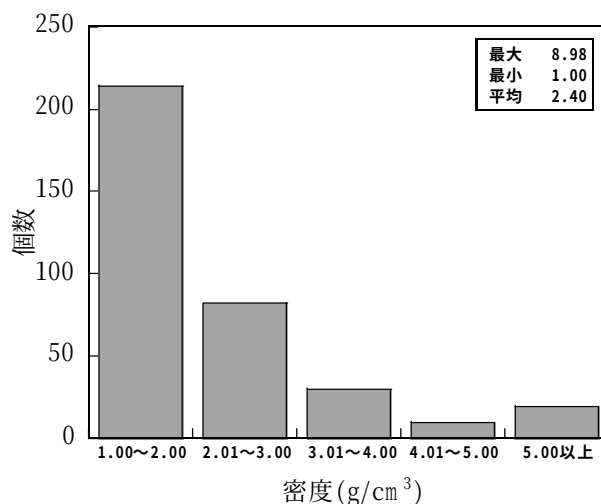


図4 得られた鋳(ケラ)の密度の分類



写真1 得られた鋳(ケラ)の状態

示す。砂鉄の投入時期は、たたら製鉄と同様に初期段階において、1時間ごと2.1kgとし、その後、40分ごとに6.4kgとした。投入方法は、炉の長辺に沿って平行に2列に振り分けた。しかし、当初の計画より炭の消失が早かったため火入れ開始から10時間後に砂鉄の投入量を増加した。その14時間後に、砂鉄が溶融していないことが目視により確認できたため砂鉄の投入を中止し、炭のみの投入を続け、火入れから釜出しまで41時間の操業を行った。

(3) 得られた鋳(ケラ)

得られた鋳(ケラ)の密度の分類を図4に、得られた鋳(ケラ)の状態を写真1に示す。得られた鋳(ケラ)は、大小363個あり、大きいもので約1.783kgあった。鋳の密度は、1.00～2.00のものが全体の約60%であった。また、密度が大きくなるとその数は減少する傾向となった。しかし、鉄の密度は概ね7.8前後であることから一部のものは鉄に近いものと考えられる。

5. まとめ

もの大式たたら鉄の再現実験を行い、ものづくりの難しさを痛感した。今年の6月、現地(島根県雲南市吉田)に調査したときに、吉田研究員(鉄の歴史村地域振興事業団)から「鋳のかけらができたら『成功』と言って良いでしょう。」と言われた。ここで考えることは、便利な社会の中で一見、無駄と思えることにやってみるという「ものづくり」感が一番大切であることを忘れてはならない。

【謝辞】

本実験を行うにあたり、(財)鉄の歴史村地域振興事業団吉田利江氏、大木崇輔君はじめとするものづくり大学中田研究室一同に多大なるご協力を頂きました。ここに付記し、心より感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 永田和宏, たたら製鉄の技術論(15) 製鉄炉の炉高と炉内状態 (その1) (通号 1040), 1061~1068, 2006/9
- 2) (株)新日本製鉄, 社報しんにつつvol206, 2006, 3, pp40~44
- 3) (財)鉄の歴史村地域振興事業団, 鉄の歴史村フォーラム, 2005
- 4) (社)日本鉄鋼協会製作ビデオ: 靖国たたら
- 5) 渡辺ともみ: たたら製鉄の近代史, 2006, 7
- 6) 山内登貴夫: 和光風土記-出雲のたたら師-, 1975, 7
- 7) 日立金属HP, <http://www.hitachi-metals.co.jp/tatara/>
- 8) (社)日本鉄鋼協会: 高炉製鉄法, 1999, 3