

来待石を使った宍道高校流たたら製鉄の探究



実施担当者 島根県立宍道高等学校
教諭 別木 政彦

1 はじめに

島根県は、過去に「たたら」によって製鉄が行われていた全国有数の地である。たたら製鉄は、砂鉄・木炭を原材料に、土製の炉を用いて鉄をつくる方法であり、玉鋼（たまはがね）と呼ばれる高品質な鋼を得ることができる。たたら製鉄によって得られた玉鋼は日本刀の材料となる。たたら製鉄の立地条件は「粉金7里に、炭3里」、つまり砂鉄は7里、木炭は3里以内で調達するのがよいと言われていた。これは産業化されたたたら製鉄で利益を生み出すための指標であると同時に、たたら製鉄が地域に根ざした産業であることを表している言葉である。

図 1(a)は江戸時代から明治時代の製鉄遺跡を表している。「出雲」の文字の北側宍道湖沿いに宍道高校は所在しているが、この付近には製鉄遺跡は存在していない。図 1(b)は中国地方の地質図である。図 1(a)と対応させると、製鉄遺跡を表す●は図 1(b)の桃色や紫色で示された花崗岩帯に存在していることがわかる。宍道町は南部が花崗岩帯で北部は安山岩や土砂が堆積した地域となる。たたら製鉄を行う炉をつくるためには土が必要であり、たたら製鉄の発展地域と地質には関連があるように思われる。今年度は、たたら製鉄の地域性に着目し、地質学的差異とたたら製鉄の発展に関連性があるかどうかを調べることを目的として活動を行った。

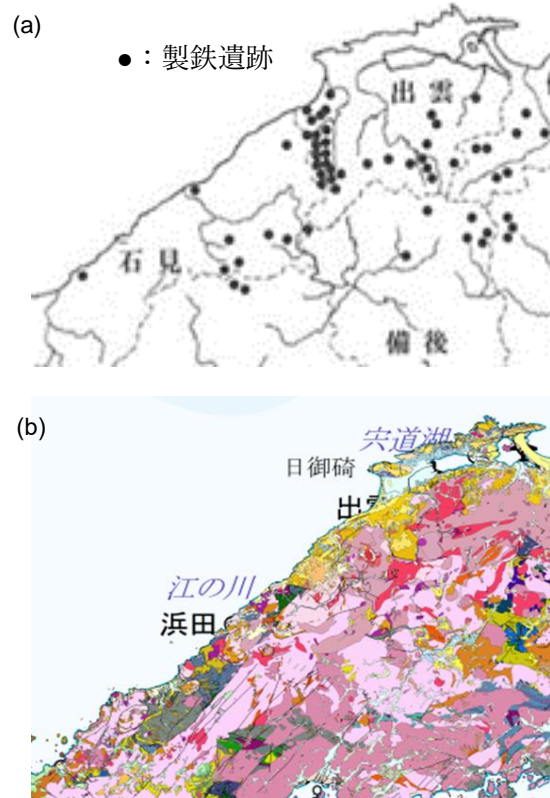


図 1 (a) 江戸時代～明治時代の製鉄遺跡¹⁾ (参考文献 1 の図の一部をさらに拡大) (b) 中国地方の地質図²⁾

2 活動の成果

2-1 小型炉の製作

たたら製鉄によって鉬が生成されるメカニズムは、羽口上部で還元が起こり、羽口前で1350℃程度の低い温度で吸炭が起こる。一部液体となった粒鉄が熔融スラグ（ノロ）上に落下し、その中で粒子同士が互いに合体し、成長して鉬になるという考えが示されている。³⁾つまり、ノロは鉬が生成する上で重要な役割を担っており、このノロのもととなるのが砂鉄に付着している脈石や、炉壁に使われている土なのである。



図2 炉の外観

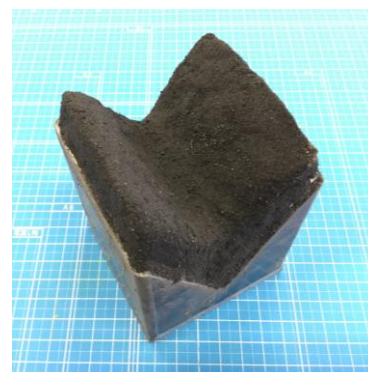


図3 炉の内部構造

今まで本校で行ってきたレンガを機材にした簡易的な操業でも、土を炉心部に塗って乾燥させる過程を含むと準備に数日を要していた。そこで、省力化のために設置の簡易化を図るとともに、炉壁の土の種類を交換を可能にする構造をもつ炉の製作に取り組んだ。

図2は製作した小型炉である。従来は操業実験のたびにレンガを組み立て、鉬を取り出すために破壊していたが、製作した小型炉は図2下部（黒色の部分）の炉心部と図2上部（白色の部分）の木炭を充填させる部分の2つのパーツをつなぎ合わせるだけで完成する。鉬を取り出すときも接続部を離せばよく、大きな省力化につながった。図3は炉心部で炉壁の土の役割を果たす部分である。これを内部構造と呼ぶ。図3の内部構造は炉壁の土として、宍道町で産出される来待石（凝灰岩質砂岩）の粉末を使用している。この内部構造を交換することで様々な種類の土を炉心部に用いることができる。

2-2 小型炉を用いた操業実験

炉壁に用いる土の種類が製鉄へ及ぼす影響を調べるにあたって、まずは過去の経験からよい実験結果が得られている真砂土（花崗岩が風化したもの）を用いて検証を行った。さらに、土の中の特定の成分が製鉄結果に寄与している可能性を調べることも並行して行うために、酸化物を混合して作製した岩石様の混合物（以降、模造岩石と呼ぶ）でも実験を行った。

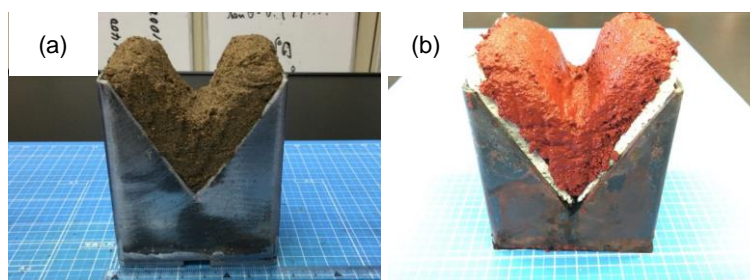


図4 炉心部に用いる内部構造 (a) 真砂土 (b) 花崗岩と同組成の模造岩石

表1 標準的な花崗岩の組成⁴⁾ (数値の単位は%)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	合計
72.2	0.30	14.6	2.40	1.00	1.70	2.90	4.50	99.6

図4は作製した内部構造である。図4(a)は宍道町と隣接する木次町から産出された真砂土を200g使用して作製した内部構造である。一方、図4(b)は表1を参考に作製した模造岩石である。酸化物や炭酸化合物を金属原子の量が表と一致するように秤量して、PVA(ポリビニルアルコール)をバインダとして混練し成型した。模造岩石が赤褐色を呈しているのはFeOの代わりにFe₂O₃を使用したためである。

操業実験においては表2に示すように砂鉄と木炭を装入した。目標値としては砂鉄1.0kg、木炭1.5kgであったが、木炭の燃焼の仕方の違いなどがあり、装入量を統一することができなかった。図5は炉内温度と操業実験の時間の関係を表すグラフである。真砂土を用いた実験では、順調に温度が上昇したが、模造岩石を用いた実験では開始170分以降、温度が低下してしまった。これは炉の上部と下部の密閉が上手くできていなかったことが原因と考えている。図6は操業実験によって生成された鋳である。真砂土、模造岩石いずれの場合でも赤い丸で示したように鉄を生成できたことが目視で確認できた。ただし生成された場所が、真砂土では炉心部のノロの中、一方模造岩石では炉底から12cm上方という違いがあった。真砂土の方は参考文献3で示されている通り、ノロのプールの中で鋳が成長したとみられ、まとまりよく鉄が生成されていると考えられる。模造岩石の方は、操業実験の過程で、木炭のつまりを解消するために炉上方から力を加えたことが原因で、ノロのプールに圧力が加わり、炉底から離れてしまった可能性がある。

表2 操業実験における砂鉄と木炭の装入量

炉心部の材料	砂鉄 [kg]	木炭 [kg]
真砂土	1.0	2.475
花崗岩の模造岩石	1.406	2.109

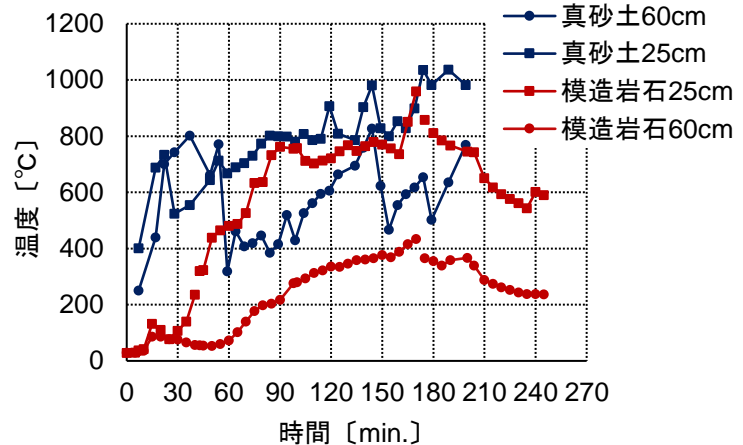


図5 操業実験における炉内温度と時間の関係 凡例の数値は炉底からの高さを表す

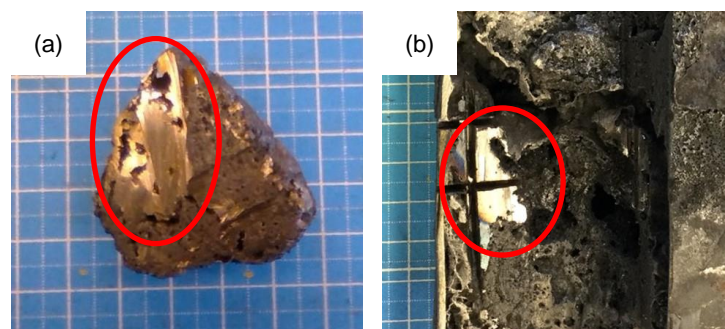


図6 操業実験によって生成された鋳 (a) 真砂土 (b) 花崗岩と同組成の模造岩石

2-3 鉄の分析

表3は生成された鉄の分析結果である。分析は地元企業に依頼した。同時に本校でもキレート滴定法によって全鉄を求めた。本校の分析は鉄の一部分を削り出して行っているため局所的なパーセンテージを見ている。この点が依頼した結果と本校で求めた値に大きな差が生じた原因と考える。模造岩石における全鉄はかなり低い値となった。SEM-EDXで追加分析をして頂いたところ、

表3 元素分析の結果(全鉄の括弧内の数値は本校でキレート滴定法によって求めたもの)

炉心部の材料	全鉄 [%]	炭素 [%]
真砂土	97.4 (65.7)	0.273
花崗岩の模造岩石	56.9 (86.4)	1.744

鉄とは異なる模造岩石由来の元素の存在も多く確認できた。模造岩石が製鉄において土の代替として機能するかどうかはさらに実験を重ねて検討していく必要がある。

図7は金属顕微鏡による微細組織観察の結果である。真砂土、模造岩石いずれの場合もパーライトであると考えられる。パーライトの生成過程についてはまだまだ勉強が必要であるが、真砂土の場合では炭素濃度が0.273%であることから、図8より、オーステナイト単相域から徐冷によってフェライト+オーステナイト2相域との境界に達すると、初析フェライト生成が促進されオーステナイト母相中の炭素濃度が増大し、さらに温度が下がることによってパーライトが生じると説明される亜共析鋼と考えられる。一方、模造岩石の方は炭素濃度が1.744%であることから、セメンタイトが初析する過共析鋼と考えられるが、顕微鏡観察では真砂土の場合と同じ組織であると思われ、更なる考察が必要である。

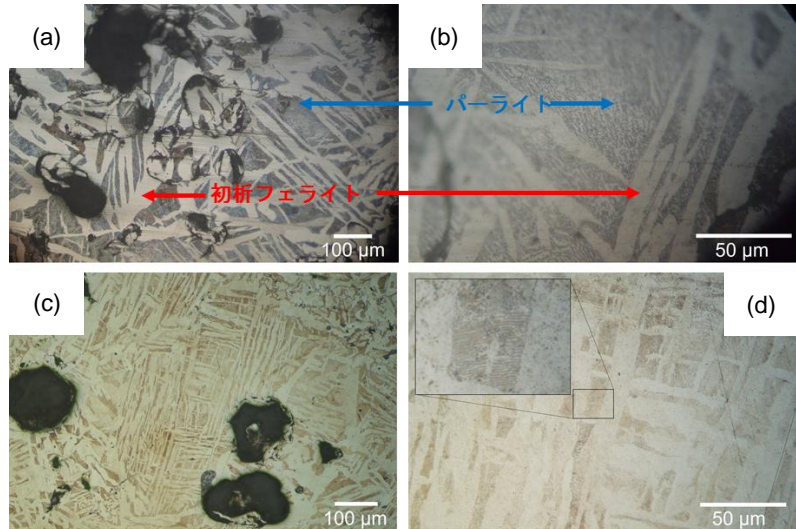


図7 金属顕微鏡観察の結果 (a) (b)真砂土 (c)(d)花崗岩と同組成の模造岩石

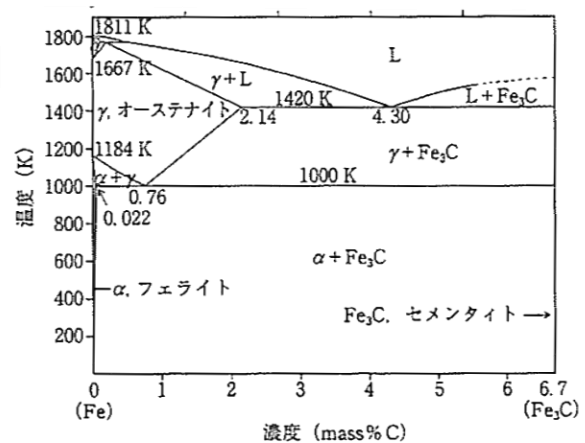


図8 鉄-セメンタイト系状態図⁵⁾

3 まとめ

たたら製鉄の発展地域と地質との関係を見出すために、それを調べることができる小型炉を開発し、その実用性の検証を行った。模造岩石については今後も検討が必要になるが、模造岩石が実際の土と同等の効果を発揮することが言えれば、任意の組成で模造岩石を製作し、製鉄に大きく寄与する成分を特定することが可能になるという発展性を含んでいる。題目に挙げている来待石の使用にまでは今回至らなかったが、さらに研究を重ねて宍道高校だけのたたら製鉄を追究していきたい。

謝辞

本研究は中谷医工計測技術振興財団科学教育振興助成を受け実施されたものである。御助成に際して御礼申し上げます。

参考文献

- 『たたら製鉄の歴史』株式会社吉川弘文館発行 角田 徳幸著
- 国立研究開発法人産業総合研究所地質調査総合センターウェブサイト『地質図 navi』
<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#8,35.053,133.310>
- 永田和宏：鉄と鋼, **84**(1998), 715.
- 『理科年表 2019 (机上版)』丸善出版株式会社 発行,自然科学研究機構国立天文台 編
- 『鉄の事典』株式会社朝倉書店発行 増本 健他編