

「宍道たたら」 確立のためのレンガ炉を用いたたたら製鉄操業実験



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

島根県立宍道高等学校（以降、本校と称する）は、汽水湖である宍道湖の沿岸にある定時制・通信制を併設する創立11年目の高校である。本校では地域学習が活発に行われ、本校が所在する宍道町と積極的な交流が行われている。地域学習の1つの場として、本校では2年前に地域系活動同好会が発足し、今年度、活動の実績が認められ、地域探究部へと改称・昇格が実現した。地域探究部では、「課題解決」、「価値創造」、「情報発信」の3つの大きな柱を設定し、地域に関わる探究活動を行っている。本申請題目は3つの柱の内の「価値創造」に該当する活動である。島根県は良質な鋼（玉鋼）を生成することができるたたら製鉄が過去に行われ、その技術を現代に引き継ぐ地である。しかし、宍道町ではたたら製鉄が行われていた証拠となる遺構の発見例はこれまでにない。そこで、地域探究部では「宍道町で過去にたたら製鉄が行われていたら、どのような鉄ができたのだろうか」という問題提起のもと、宍道町やその付近で採取できる材料を用いることで、宍道独自のたたら製鉄「宍道たたら」を確立し、宍道町に新たな価値を生み出すという目的のもと研究を開始した。

2 研究活動

2-1 たたら製鉄操業実験

今年度の第1回目の操業実験は、6月に行われた。新型コロナウイルスによる休校明けから間もない時期であったため、十分な準備ができていない中での実施となってしまった。しかし、生徒たちは昨年までの製鉄実験の成果から、宍道町で産出される来待石（凝灰岩質砂岩）がノロ（鉄滓）の排出を促進させるはたらきを有する可能性を見いだしていたため、第1回目の操業実験では、来待石を炉心部に使用したときの効果を検証することを目的とした。

図1は来待石を用いた製鉄炉の設計図と製作した製鉄炉の外観である。図1(b)において下から4段目から11段目が来待石である。炉心部には、送風管を通して、2カ所から風が送ら

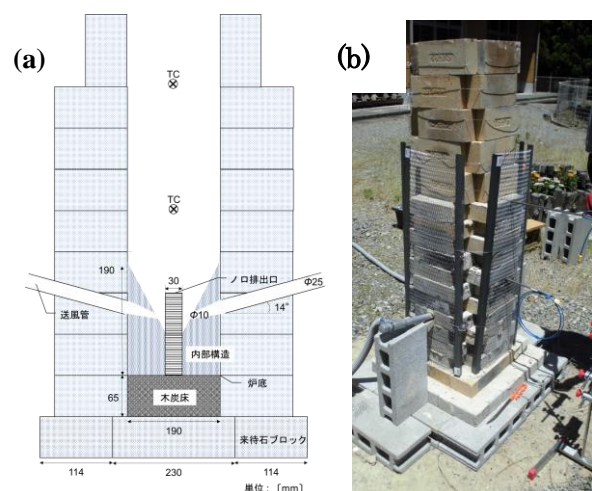


図1 (a)来待石を用いた製鉄炉の設計図（炉心部） (b)製作した製鉄炉の外観

れる。また、炉内部の状況を客観的に判断するために K 型熱電対を炉底から 27 cm と 59 cm の位置に設置している。この炉における独自性は、来待石を用いたことに加え、図 2(a)に示すように来待石を V 字型に加工した内部構造を用いている点が挙げられる。図 2(b)は生徒が内部構造付近の炉を製作している様子であるが、炉心部は内部構造に加え、送風口やノロ排出口、熱電対の設置など、様々な加工が必要になり、わずかに大きさの異なる石材を隙間ができないように積み上げていくことは簡単ではない。しかし、生徒たちは耐火モルタルを用い、隙間を埋めながら、真っ直ぐに炉を組み立てた。

操業実験計画は、砂鉄 0.3 kg と木炭 0.45 kg を 5 分間隔で装入し、砂鉄の総装入量 10 kg を目指した。しかし、実際の総装入量は砂鉄 5.4 kg、木炭 8.1 kg にとどまった。これは、装入している木炭が炉内を落ちなくなったためである。さらに鉬（鋼とノロが合わさった生成物）の生成量は 0 kg であった。すなわち、砂鉄の総装入量に対する得られた鉬の量で定義された収率は 0 % となった。図 3 は砂鉄を装入し始めてからの時間と送风量、炉内温度の関係である。炉底から 27 cm の位置の温度は 60 分以降 1000℃前後の値となっている。炉心からはやや離れているので、炉心はもう少し温度は高く、砂鉄を還元させる状況であると考えられる。

図 4 は操業実験後の内部構造の様子である。四角で囲んでいるところに着目すると、ノロが流れる途中で固まっていることがわかる。さらに、図中の矢印の始点が送風口の位置になるが、ノロで塞がれていることがわかる。これらの状況から、図 3 の温度が約 1100℃になっている時間帯に炉底ではノロが生成されたが、そのノロは固まってしまい、送風口をふさいでしまった。送風口がふさがることによって、木炭が燃えにくくなり、炭が落ちなくなったと、生徒たちは炉の状況を推察した。そして、来待石のノロを生成する効果については、ノロを生成する能力はあるが、流動性が小さいという性質があり、来待石を使用するときには、炭酸カルシウム分などの添加物が必要であると考察を行った。実際、地学の図録で確認すると

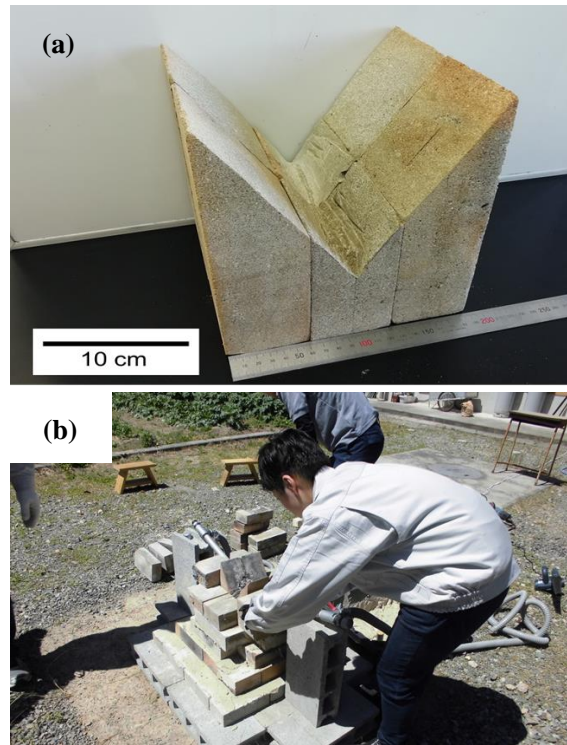


図 2 (a)来待石を用いた内部構造 (b)生徒が内部構造付近の炉を製作する様子

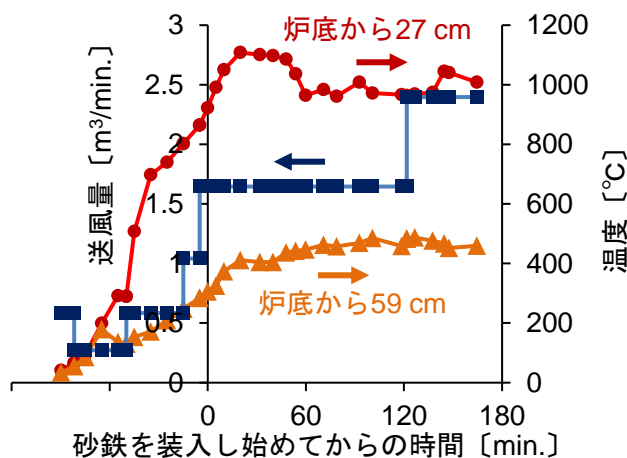


図3 砂鉄を装入し始めてからの時間と送风量、炉内温度の関係

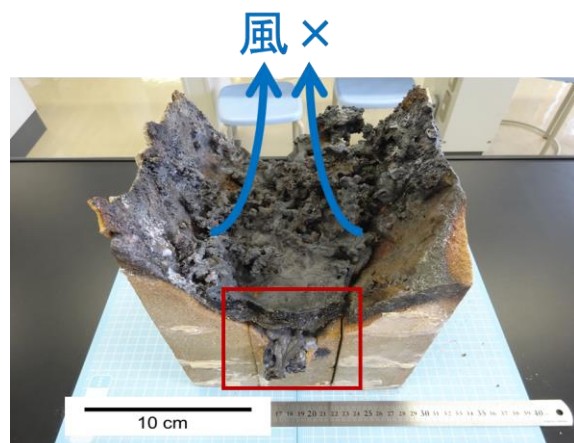


図 4 操業実験後の内部構造の様子

来待石は安山岩に近い組成であり、安山岩は火成岩の中では中程度の粘性を有するので、この記載は来待石でできたノロが流れにくいという実験結果の裏付けとなる。

今年度の2回目の実験は10月に行われた。1回目の実験では、来待石によってつくられたノロの流動性の小ささが、鉤の収率0%につながったと考察した。そこで、2回目の実験では、ノロの流動性を大きくする物質である炭酸カルシウムを添加することにした。本校は全国でも有数のシジミの漁獲量を誇る宍道湖の沿岸にある。これまでの操業実験でも炭酸カルシウム分としてシジミの貝殻を添加してきた経験から、2回目の操業実験では、シジミの貝殻が来待石のノロの流動性に与える効果について調べることを目的とした。

2回目の操業実験で用いる製鉄炉は図1に示したものと同形であり、内部構造も図2(a)に示したものと同質、同形である。操業実験計画は、砂鉄0.3kgと木炭0.45kgに加え、シジミの貝殻粉0.03kg(砂鉄量の10%)を5分間隔で装入し、砂鉄の総装入量10kgを目指した。操業実験では砂鉄7.8kg、木炭9.7kgを装入し、0.68kgの鉤を得ることができた。収率は8.7%となり、1回目の操業実験から改善された。図5(a)はノロ排出口から見えるノロの様子である。紙面手前に向かって、流れていることがわかるが、途中で固まってしまい排出には至らなかった。図5(b)は製鉄炉を解体し現れたノロと鉤が混合した塊である。ノロが排出されなかったために大量のノロが付着している。この塊をハンマーで砕くことで、0.68kgの鉤を取り出した。図6は砂鉄を装入し始めてからの時間と送风量、炉内温度の関係である。炉底から24cmのデータが途切れているのは、保護管の耐熱温度を超えて、熱電対の先端が露出し、熱電対の溶着部が離れてしまったためである。図6より、炉心部の温度は1200°C以上という高温状態を保っていたのではないかと推察される。ノロの流動性が1回目の操業実験より改善された要因を生徒たちは次のように考察した。シジミの貝殻の添加に

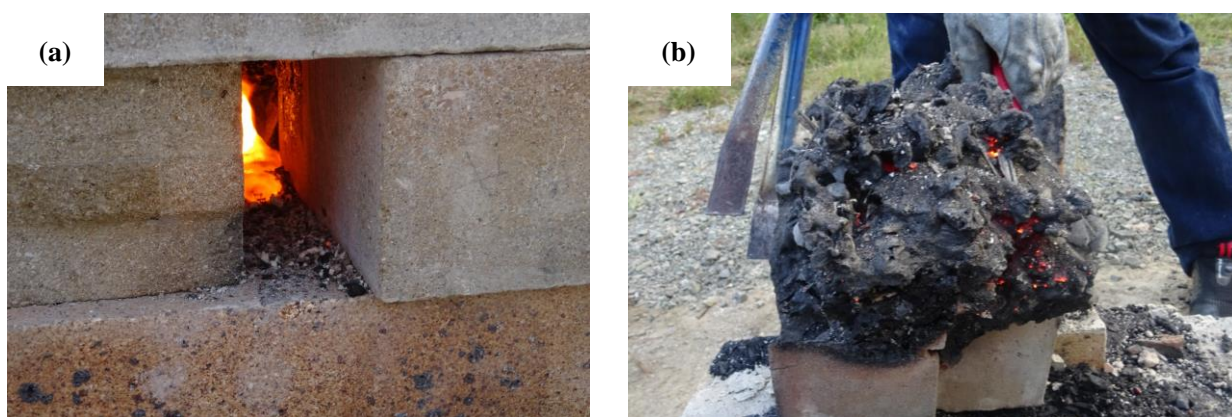


図5 (a)ノロ排出口から見えるノロ (b)ノロと鉤が混合した塊

より流動性が改善されたノロが生成される。ノロには流動性があるため送風口を塞ぎにくく、常に木炭が燃焼されている状態を維持することができ、高温状態が実現された。したがって、シジミの貝殻にはノロの流動性を増加させる効果がある。それとともに、操業においては、送風口の周囲にノロが固まり、送風を妨害しないような構造が必要である。2回目の実験によって新たに出了課題については来年度以降検証していきたい。

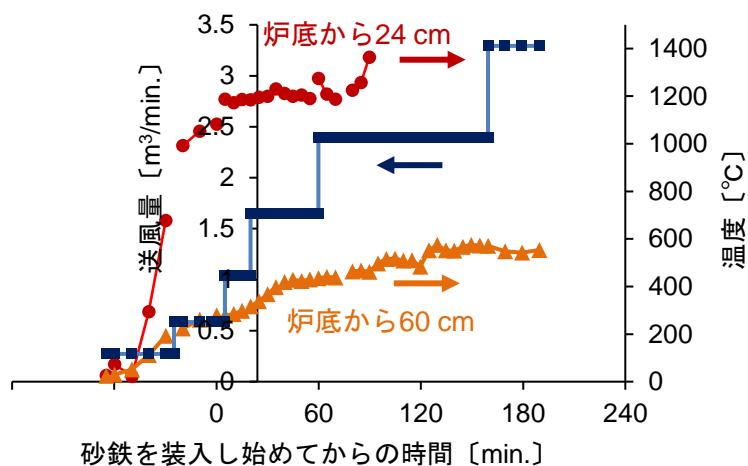


図6 砂鉄を装入し始めてからの時間と送风量、炉内温度の関係

2-2 鋼内の鉄の割合の決定

本校では、たたら製鉄による製鉄と併せて、生成された鋼に含まれる鉄の割合を、エチレンジアミン四酢酸 (EDTA) を用いたキレート滴定法によって決定している。この方法は、滴定の終点を目視という、人間の主観に依存した方法で求めるので、信頼性に疑問がある。そこで、より客観的に終点を決定する方法として、溶液の透過度を測定するための装置を自作し (図7)、測定された透過度から吸光度を算出、滴下量と吸光度の関係から終点を求める方法を用いた。この自作装置は昨年度から使用しているが、光の強度を制御することに課題があり、今年度はその課題解決に取り組んでいた。

光強度を制御する方法として、図8に示すフィルターを作成し、これらを組み合わせることで制御を試みた。比較的、安定して測定することができた結果を図9に示す。適切に測定が行われた場合、溶液色が紫色から淡黄色へ変化するタイミングと、グラフ上の傾きの異なる直線の交点が一致するが、図9にはそのような点は存在しない。この原因は、フィルターの微妙な位置関係のずれのために、基準として測定していた溶媒の透過度をきちんと定めることができていないことが挙げられる。

たたら製鉄によってつくった鋼の諸情報を取得していく上で客観性の高さは重要であるので、この課題を解決したり、今後様々な方法を考案したりしていく必要がある。

2-3 研究の成果の報告

今年度、研究を行い得られた成果は、第44回全国総合文化祭や令和2年度島根県高文連自然科学発表会、中谷医工計測技術振興財団成果発表会などで報告を行った。島根県高文連自然科学発表会では研究内容が評価され、最優秀賞を受賞し来年度の全国総合文化祭の代表候補に選出された。生徒たちは、研究成果をまとめ、発表会を通して報告することで、情報を発信する力を身につけている。それとともに、発表会で出会った人たちと新たな関係を築き、様々な意見を交換することで、研究へのモチベーションをさらに高めるなど、発表会は生徒たちにとって重要な場となっている。

3 まとめ

地域学習の一環として、本校地域探究部で行われているたたら製鉄に関連する研究は、宍道町に新たな価値を創造するという大きな目的のもとで行われている。生徒たちは研究活動を通して、たたら製鉄によって鉄が生み出されることの不思議を探究する心や、探究の姿勢を学んでいる。生徒たちの研究の成果が、どのような形で宍道町へ価値を与えていくのか。今後の本研究の発展が期待される。

謝辞

本研究は、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団の助成によって実施されるものである。御助成に際しまして、心より御礼申し上げます。

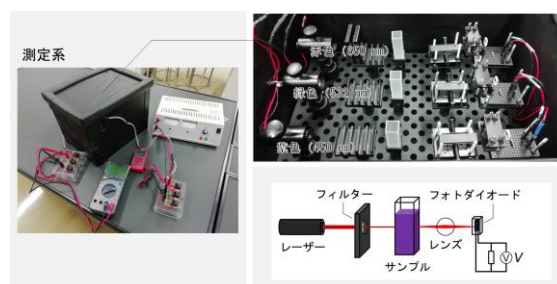


図7 自作透過度測定装置の外観と概要

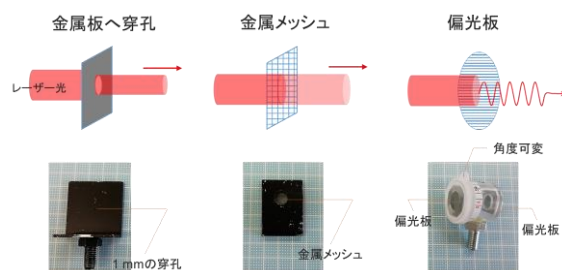


図8 光強度を制御するためのフィルター

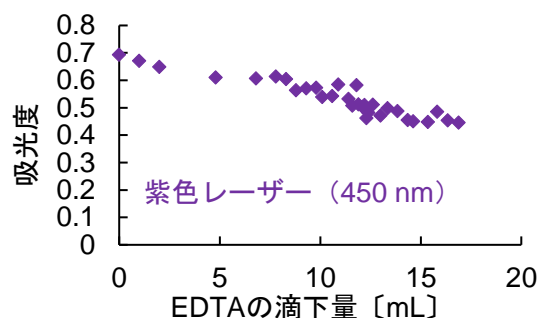


図9 EDTAの滴下量と吸光度の関係