

筑波山地域ジオパークを構成する霞ヶ浦湖岸域の砂鉄から鉄を取り出す



実施担当者 茨城県立土浦第一高等学校
附属中学校
教諭 増田 智

1 はじめに

霞ヶ浦や筑波山の周辺地域は、平成28年に日本ジオパークとして認定されて現在に至っている。ジオパークでは、目的の一つに「教育の推進に活用し、地域の持続可能な発展に寄与すること」を掲げている。地元土浦市が面する霞ヶ浦は、かつて海だった場所が内陸に取り残されて形成された湖で、その周辺には当時の地形や地質が保存されている。霞ヶ浦の堤防造成を伴う護岸工事はほとんど完成しているものの、稲敷市三次地区など一部の地域では砂鉄の堆積層が見られる。また、石岡市にある鹿の子C遺跡では、工房跡が見出され、そこでは砂鉄を用いた製鉄の一部が行われていたことが分かっている。そこで、地元の博物館の資料をもとにした歴史を踏まえながら、身近な物質である鉄のつくり方を「テルミット反応」と「たたら製鉄」を通して知識と技術を学ぶことで、鉄の性質だけでなく、製鉄のプロセスに対しての興味・関心も深まるものと考えた。テルミット反応とは、金属酸化物をアルミニウム粉末で還元して金属単体を得る反応のことで、実験室内で比較的簡単に行うことができる。例えば、酸化鉄(III)から鉄をつくる反応は教科書にも掲載されている。しかし、反応中は周囲に激しく火花が飛び散るなど、安全には十分注意して実施する必要がある。一方、日本古来の独自の製鉄法である「たたら製鉄」では、鉄鉱石ではなく砂鉄を用いるが、木炭で還元するにはかなりの時間がかかるだけでなく、大がかりな炉を用いなければならず、鉄塊(鋳)を取り出すときには、炉を解体しなければならない。近年、マイクロ波を用いた製鉄が実用化を目指して研究が進められていることから、家庭用電子レンジを用いることで、より安全に短時間で鉄をつくることのできるのではないかと考えた。以降、本方法によって鉄をつくることを「電子レンジ製鉄」と呼ぶことにする。

2 実施体制

本研究を実施するにあたり、学年に関係なく希望者を募って製鉄班を編成した。テルミット反応は、周囲の状況を確認しながら点火することを前提に、校舎外の敷地にて小規模で実施した。電子レンジ製鉄に関しては、ドラフトチャンバーや換気扇で排気できる環境にある化学実験室内で行った。また、得られた鉄塊の成分分析をする上で各種測定が必要な場合には、近隣にある筑波大学に依頼する。現在は週3日(月、水、土)で活動しており、限られた時間を有効に活用して研究活動を展開する。

3 研究目的

本研究で使用する砂鉄は、稲敷市三次における砂鉄の堆積層から採集した。表面に付着した汚れを除くために、砂を煮沸した後に 100℃で加熱乾燥させた。それを磁力の異なる複数の磁石を用いて選鉱し、霞ヶ浦の砂鉄として実験に使用した。本研究では、テルミット反応と電子レンジ製鉄の 2通りの方法で、塊状の鉄を短時間で効率よくつくる最適条件を見出すとともに、得られた鉄塊の成分を調べることで、製法について評価することを研究目的とした。

4 研究概要

4-1 テルミット反応

【方法】アルミニウム粉末は、高純度化学研究所製の粒径が異なる 2種類(75 μm、45 μm)の粉末を用いた。砂鉄 3 g に対し、アルミニウム粉末を任意の割合で混合した。次に、円錐状に折ったろ紙を、乳鉢に入れた砂の中に固定し、混合粉末の中央部の上にマグネシウム粉末を載せた。マグネシウムリボンの一端に切れ目を入れ、それが上になるように中央部に差し込み、点火することで反応させた。

【結果と考察】

霞ヶ浦の砂鉄の主成分を磁鉄鉱(四酸化三鉄)とすると、反応は式(1)で表せる。



式(1)における係数比から、砂鉄とアルミニウムは質量比にして 29 : 9 で反応する。そこで、質量比 3 : 1 (27 : 9)の条件下では、鉄塊の生成を確認できたものの、8 : 3 (24 : 9)になると何度繰り返しても鉄塊は得られなかった。表 1 に示す結果から、アルミニウム粉末過剰下では、テルミット反応が進行しないことが考えられる。また、アルミニウムの助燃剤となるマグネシウム粉末の添加量の影響について調べた結果を図 1 に示す。図 1 から、得られた鉄塊の生成量とマグネシウム粉末の添加量には相関が見られないことが考えられるが、マグネシウムの添加量を増加させると、表面に青色の光沢が生じることから、マグネシウムを含む合金が生じた可能性もある。さらに、テルミット反応でつくった鉄塊には、孔が生じやすくなる特徴が見られた。得られた鉄塊を図 2 に示す。

Fe : Al	45μm [g]	75μm [g]
8 : 3	0	0
3 : 1	0.28	0.17

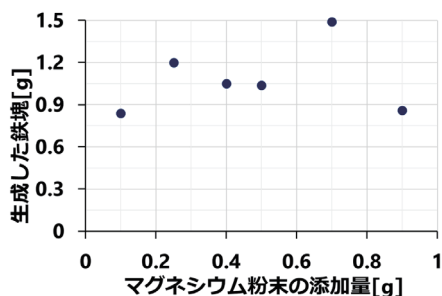
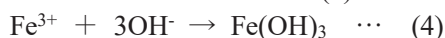


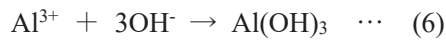
図 2

図 1

鉄塊の成分について分析するために、濃塩酸に溶解させた。溶液は黄褐色となった(式(2)および式(3))ことから、チオシアン酸カリウム水溶液を滴下したところ、溶液が赤色に変化した。このことから、鉄(III)イオンが生じていることが分かった。また、黄褐色溶液に水酸化ナトリウム水溶液を過剰に加えたところ、水酸化鉄(III)の赤褐色沈殿が生成した(式(4))。



沈殿を除いたろ液に希塩酸を加えたところ、白色ゲル状沈殿が生じた(式(6))。さらに希塩酸を加えていくと、沈殿は溶解した(式(7))。このことから、白色沈殿は水酸化アルミニウムであり、塩酸酸性下ではアルミニウムイオンになったことが考えられる。一連の実験の結果から、テルミット反応では、純粋な鉄は得られず、アルミニウムとの合金ができることが分かった。



また、アルミニウムは面心立方格子をとるが、鉄は高温になると体心立方格子から面心立方格子に単位格子が変化する。それゆえ、鉄原子とアルミニウム原子がランダムに置き換わることで、合金が生じやすくなったのではないかと考えている。

4-2 電子レンジ製鉄

【方法】電子レンジ製鉄の利点として、マイクロ波で炭素を短時間で高温に加熱できること、家庭用単機能モデルは安価で購入できる上、安全に実験を行えること、反応容器を繰り返し使用できるため、環境にやさしいことがあげられる。木炭として岩手県産の松炭を砕いた粉末、るつぼのすき間の充填材に富士フィルム和光純薬製の顆粒状活性炭を用いた。断熱容器は、丸越工業製の高温雰囲気用耐火断熱れんが GM-30 をボール盤で加工して自作した。家庭用電子レンジ(AC100 V、2450 MHz)の出力は、切り替え可能な中で 900 W と 1000 W で使用した。なお、使用した電子レンジの連続運転時間は、900 W で 3 分、1000 W で 1 分 30 秒である。はじめに、アルミなるつぼの内壁に道具土を数 mm の厚さで貼り付けて、電子レンジで加熱乾燥させた。次に、松炭粉末の上に砂鉄をのせ、すき間に顆粒状活性炭を敷き詰めた後にふたをし、るつぼの外側全体に道具土を数 mm の厚さで貼り付けた。耐熱れんがにあけた溝の中に入るつぼを入れ、すき間にセラミックファイバーを詰めて、同じく溝をあけたれんがを用いてふたをし、そのすき間を道具土でふさいだ。作製した反応容器を電子レンジに入れ、任意の回数だけ連続運転を繰り返した。

【結果と考察】砂鉄 2 g、松炭粉末 2 g、出力 900 W に固定し、「(松炭粉末上に)敷き広げる」か、「(松炭粉末につくった)窪みに入れる」の 2 通りの砂鉄の載せ方で、加熱時間を変化に伴う鉄塊の生成量について検討した。結果を図 3 に示す。加熱時間が長くなるほど鉄塊が生成しやすい傾向が見られた。また、鉄塊生成量は砂鉄を薄く広げて載せた方が増加したが、この理由として炭素と触れる表面積が大きくなり、より短時間で加熱されやすいことが考えられる。そこで、松炭粉末 2 g、出力 900 W に固定して、砂鉄の質量を変化させて検討した結果を図 4 に示す。砂鉄の使用量を増加させると鉄塊をつくるには加熱時間も必要となるが、加熱時間が 18 分近くになると、るつぼのふたの破損が見られるようになった。ゆえに、反応スケールを大きくすると、るつぼ内の温度を保てなくなり、生成量(収率)低下の一因となることが考えられる。

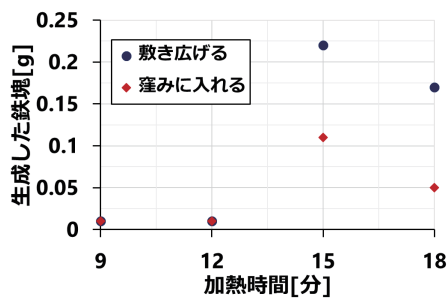


図 3

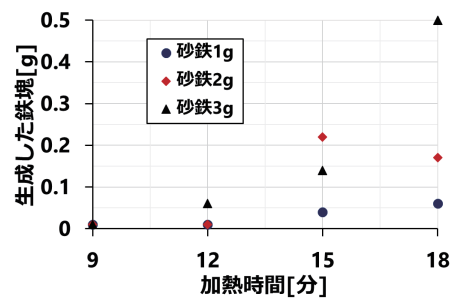


図 4

また、出力が鉄塊の生成量に及ぼす影響についても検討した。その結果が図 5 である。出力を 900 W から 1000 W に上げると、短時間で高温に到達するため、生成量が増加すると考えられる。以上のことから、電子レンジ製鉄では、砂鉄 2 g を松炭粉末 2 g 上に薄く広げ、900 W で 15 分間加熱することが、反応容器も繰り返し用いることができ、高収率で鉄塊を得る最適条件であることが明らかになった。

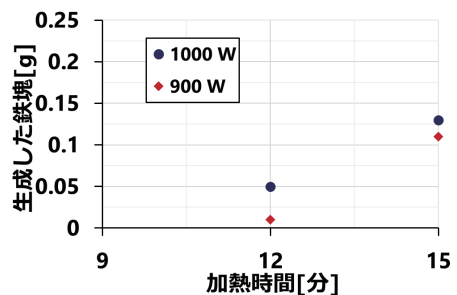


図 5

5 結論

本研究の結論としては、テルミット反応は短時間で進行するものの、鉄とアルミニウムの合金となるため、純粋な単体の鉄が得られない。一方で、電子レンジ製鉄では、同じ容器を用いて鉄塊を繰り返しつくり出すことができるため、環境にやさしい。しかし、どちらの方法も実験室で行うことが前提であるため、得られた研究成果からは、反応スケールを大きくするときの課題が示唆される結果となった。

6 研究成果

本研究で得られた成果については、公益財団法人日本化学会関東支部主催の第40回化学クラブ研究発表会にて口頭発表を行った。茨城県教育委員会では、地域の教育資源を活用すべく、「いばらき理科アイテム」の創生と活用を行っている。本研究では、「筑波山地域ジオパーク」に着目し、地元土浦市が誇る霞ヶ浦の地形・地質に着目し、湖岸域の砂鉄から鉄を取り出すことに成功した。地域に密着した課題研究の開発につながり、理解が深まることで、郷土の歴史への興味・関心を喚起することが期待できたと考えている。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、反応容器の作製、特に材料となる耐火断熱レンガについて、有益なご助言を賜りました、東京大学大学院工学研究科 マテリアル工学専攻 森田一樹教授に深く感謝申し上げます。また、研究全般に対して、親身になってご指導いただきました、筑波大学数理物質科学研究科 物性・分子工学専攻 合成金属研究室 准教授 後藤博正先生に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 小松寛、化学と教育、57、242 (2009).
- [2] 新野邊幸市、山本誠司、瀧山直之、武邊勝道、鉄と鋼、95、86 (2009).