

研究主題

還元の理解を深める指導法の工夫 ー理科室で実践できる製鉄方法を用いてー

1. 設定理由

新日鐵住金君津製鉄所のある君津市は鉄の町として有名で、製鉄業は市民の中でも中枢産業として認識されている。市内の小学校では製鉄所へ見学に行く学校も多く、どのようにして鉄を得ているか説明を受けている。しかし、生徒へのアンケートからは、その経験が定着しておらず、中学校の還元の授業に結びついていないことがわかる。

そこで、製鉄（酸化鉄の還元）を実際に理科室で行い、還元という化学変化を身近に感じさせることで、製鉄が還元を利用していることや、還元が熱分解や化合とは違う化学変化であることを理解させたいと考え、本主題を設定した。

2. 研究仮説

理科室でできる製鉄を通して還元を身近に感じさせることができれば、還元が「物質（酸化物）から酸素を取り除く化学変化」であるという理解が深まるだろう。

3. 研究内容

- （1）砂鉄（酸化鉄）をアルミニウムで還元する実験（君津亀山少年自然の家のプログラム）
- （2）電子レンジを用いて砂鉄（酸化鉄）を炭素で還元する実験の改良
- （3）アンケートと概念地図を用いた生徒の変容の検証

4. 結 論

○理科室でできる製鉄を実体験することで、製鉄がどのように行われているのか理解が深まり、還元が身近に感じられるようになった。

○還元が身近に感じられるようになったことで、還元が「物質（酸化物）から酸素を取り除く化学変化」であるという理解が深まった。

（分科会番号）

5－2

君津支部
君津市立亀山中学校
佐久間 亮成

1. 設定理由

新日鐵住金君津製鉄所のある君津市は鉄の町として有名で、市民歌に「夜空かがやく鉄の火に」という歌詞があるように、製鉄業は市民の中でも中枢産業として認識されている。市内の小学校では製鉄所へ見学に行く学校も多く、どのようにして鉄を得ているか説明を受けている。

中学校の教科書にも記述されているように、製鉄所ではコークス（炭素）を用いて鉄鉱石（酸化鉄）を還元し、鉄を得ている。製鉄所の見学の際、小学生に対しては還元についての詳しい説明はされないものの、「鉄鉱石」や「コークス」という言葉を用いた説明がされている。しかし、せっかくの製鉄所見学の経験が定着しておらず、中学校の還元の授業に結びついていない現状がある。還元の授業を行う前に、小学校5年生の時に製鉄所を見学した第2学年の生徒7人に実施したアンケート結果を以下に示す。

①製鉄所でどのように鉄を得ているか知っていますか。

はい：0人 いいえ：7人

②製鉄所ではどのように鉄を得ているでしょう。知っている人はその内容を、知らない人は予想を書いてください。

- ・溶かして鉄のみを取り出す。
- ・熱を加えて、物質によって状態変化する温度が違うことを利用して集める。
- ・原料を溶かしている。
- ・とにかく加熱する。
- ・電化製品を溶かして。
- ・輸入した物をとても高い温度で熱して溶かす。
- ・塔みたいな所の中で熱する。

実際に製鉄所へ見学に行って説明を受けたにもかかわらず、①の質問には、7人全員がどのように鉄を得ているか知らないと答えている。②の質問からは、鉄を得るときに「高温まで加熱していること」は覚えている様子が見えるが、鉄鉱石やコークスという言葉は出てこなかった。また、加熱の理由も「溶かす」「状態変化」という言葉しか出てこず、「化学変化」が関わっているという意識がない。

本校では毎年、君津亀山少年自然の家が行っている「エコアドベンチャー ～こども製鉄所～」というプログラムを用いて、砂鉄をアルミニウムの粉末で還元して鉄を得るという授業を行っている。この授業では鉄以外の副生成物にも注目し、その再利用方法を考えることで、環境問題への関心を高める契機にしている。毎年授業を振り返ってみると、確かに環境への意識は高まっている様子が伺えるが、「還元」という化学変化を利用して鉄を得ているという理解が深まっているかというと、あまり実感は得られていない。アルミニウムを用いたテルミット反応は激しい化学変化であり、上記のアンケートのように、「高温で加熱している」という印象が最も強く残っているようである。

このように、「製鉄では還元が利用されている」ということがきちんと理解されていない状況がある。また、「還元」と同時期に「熱分解」や「化合」を学習するが、それらをしっかり区別して理解させるのは難しい。還元は「物質（酸化物）から酸素を取り除く化学変化」であ

ることをしっかり理解させる必要がある。

そこで、製鉄（酸化鉄の還元）を実際に理科室で行い、還元という化学変化を身近に感じさせることで、製鉄が還元を利用していることや、還元が熱分解や化合とは違う化学変化であることを理解させたいと考え、本主題を設定した。

2. 研究仮説

理科室でできる製鉄を通して還元を身近に感じさせることができれば、還元が「物質（酸化物）から酸素を取り除く化学変化」であるという理解が深まるだろう。

3. 研究内容

（1）砂鉄（酸化鉄）をアルミニウムで還元する実験（君津亀山少年自然の家のプログラム）

教科書に沿って還元について学習した後、君津亀山少年自然の家のプログラムを実施した。プログラム自体は環境問題に重点を置いているが、還元を利用していることにも焦点を当てている。

（2）電子レンジを用いて砂鉄（酸化鉄）を炭素で還元する実験の改良

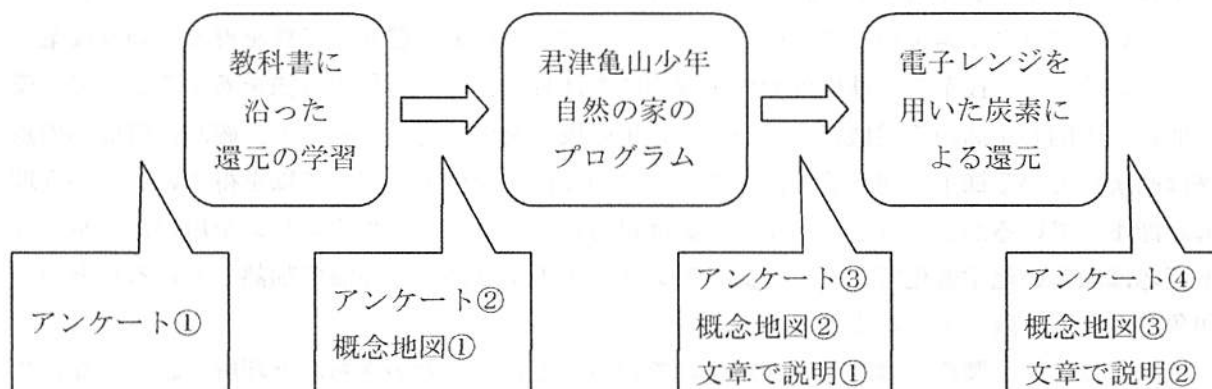
より還元を身近に感じられるように、実際の製鉄と同様、酸化鉄を炭素で還元する実験を理科室で行う方法を研究した。電子レンジを利用することで、理科室で短時間に行うことを目指した。

（3）アンケートと概念地図を用いた生徒の変容の検証

製鉄で還元が利用されていることをどれくらい理解しているか確認するために、「製鉄に関するアンケート」を、①還元の学習前 ②還元の学習後 ③君津亀山少年自然の家のプログラムの後 ④電子レンジを用いた実験の後の4回行った。

また、還元に対する理解が深まったか検証するために、「還元についての概念地図」を、①還元の学習後 ②君津亀山少年自然の家のプログラムの後 ③電子レンジを用いた実験の後の3回行った。

さらに、「還元について文章で説明」させることを、①君津亀山少年自然の家のプログラムの後 ②電子レンジを用いた実験の後の2回行った。それぞれの学習内容とアンケート等の実施スケジュールを模式的に表すと下記のようなになる。



以下、君津亀山少年自然の家のプログラムと、電子レンジを用いた実験方法について詳しく説明する。

(1) 砂鉄（酸化鉄）をアルミニウムで還元する実験（君津亀山少年自然の家のプログラム）

君津亀山少年自然の家の所員2人を講師とし、本校理科室において2時間展開で実施した。

①砂鉄をアルミニウムで還元する

砂鉄 14g、アルミニウム粉末 4g、硝酸カリウム 2g をフィルムケースに入れて、よく混ぜる。耐熱容器に入れたペット用の砂（珪砂）に水を注ぎ、少し固くなったところに乳棒でくぼみを作る。このくぼみの中に先ほど混ぜた砂鉄等を入れ、その上に硝酸カリウムを少量ふりかける。導火線代わりに差したマグネシウムリボンを加熱すると、テルミット反応が起きて、砂鉄が還元される。

還元された鉄は真っ赤に赤熱しているので、赤熱が収まってから水に入れて冷やす。その後、布に包んでハンマーで砕き、磁石で鉄と副生成物を分けていく。



材料をフィルムケースに入れる様子



混ぜた材料を砂のくぼみの中に入れる



テルミット反応直後の様子



冷やした後の様子



布で包み、ハンマーで砕いていく



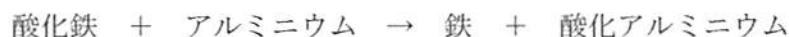
砕いた塊を磁石で分ける

②生成した鉄の性質・質量を調べる

磁石につくだけでは鉄かどうかわからないので、まず磁石についた物質が本当に鉄かどうか確かめる。確かめる方法は班ごとに考えて道具を準備する。副生成物についても同じ方法で確かめ、鉄と区別できることを確認する。得られた鉄の質量を測り、最初に用意し

た材料に比べると得られる鉄の量が少ないことも確認する。

今回の化学変化は



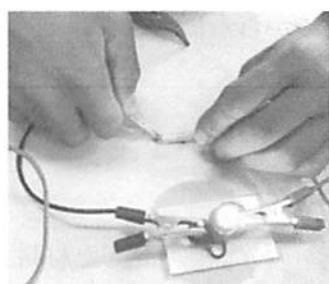
と表されるが、砂鉄には酸化鉄以外の不純物も含まれているので、副生成物の量はその分多くなっているという説明をする。



ハンマーで叩くと薄く広がる（展性）



紙やすりで磨いて光沢を確かめている様子



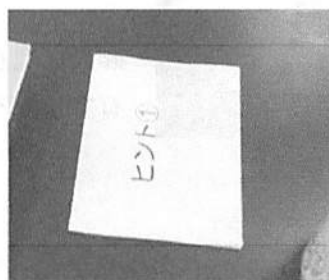
電気伝導性を確かめている様子

③実際の製鉄所で出てくる副生成物（スラグ）の再利用方法を考える

実際の製鉄所では、アルミニウムではなくコークス（炭素）で還元しているが、やはり原料である鉄鉱石（酸化鉄）に不純物が多く混ざっているために、スラグと呼ばれる副生成物がたくさん出てくることを説明する。

2016年度は、実際のスラグの性質について班ごとに自由に調べ、その結果をもとにスラグの再利用方法を考えた。しかし、このスラグとテルミット反応で出てきた副生成物は別物なので、先ほど調べた副生成物の性質等とのつながりがなくて考察しづらいことや、スラグの性質を先が見えないまま自由に調べてもなかなかその後の考察と結びつかず、時間がかかりすぎてしまうことなどが課題として出てきた。

そこで、2017年度は、スラグの性質はヒントとしてこちらから示し、あとはスラグの実物を観察しながら再利用方法を考えることにする。②の鉄かどうか確かめる作業や、④のエコセメントづくりの時間を十分確保することが目的である。



ヒントカード



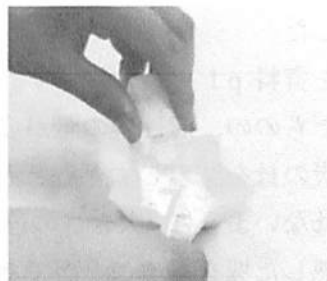
班で話し合った再利用方法を発表する

④エコセメントをつくる

最後に、君津亀山少年自然の家の所員から、実際のスラグの再利用方法について説明を受け、エコセメントづくりを体験する。



君津亀山少年
自然の家の所
員から説明を
受ける

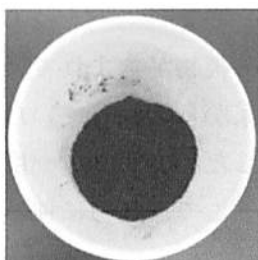


エコセメント
づくり

(2) 電子レンジを用いて砂鉄（酸化鉄）を炭素で還元する実験

そもそも製鉄は、高炉のような大規模な設備を用いたり、たたらのように長い時間をかけたりしなければならない。それを理科室で、しかも授業時間内に実施するために、電子レンジを利用して還元する方法を研究した。

加藤(2002)の手法を参考にして、磁製るつぼに砂鉄と活性炭を入れ、蓋をした上でるつぼ用マッフルでおおい、電子レンジで加熱する方法に改良を重ねた。



るつぼに砂鉄
と活性炭を入
れた様子



るつぼをマッ
フル(下半分)にセ
ットした様子



上のマッフル
もかぶせた様
子



るつぼはマッ
フルでおおいレ
ンジの中へ

4. 研究結果

(1) 電子レンジを用いて砂鉄を炭素で還元する実験の改良

電子レンジで加熱する際、るつぼのみで加熱しても放熱が大きく、るつぼ内の温度がなかなか上昇しないので、るつぼ用マッフル（ムライト質）を用いて断熱的に加熱を行う。

活性炭は還元剤として用いるだけでなく、マイクロ波を当てると急激に温度が上昇するため、熱源としての役割も担う。そのため、活性炭は還元に必要な量以上の過剰量が必要になるが、多すぎると急激に温度が上昇してるつぼが割れたり、蓋を押し上げて炭素粉末が舞い上がったりする危険性がある。まずは、安全かつ確実に砂鉄を還元させられる量（砂鉄と活

性炭の比率)を採った。るつぼは、安価に手に入るムライト製(化学組成: $\text{SiO}_2 = 65\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 30\%$)とアルミナ製(化学組成: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 95\%$, $\text{SiO}_2 = 3\%$)を用いた。また、電子レンジの出力についても、500 W と 700 W でどう違うか確かめる。加藤の実践から、加熱時間は5分程度を目安とした。

実践した結果を資料 p.1 の表 1 に示す。①～⑤では、ちょうど良く反応する砂鉄と活性炭の量を探ってみたものの、活性炭の量が多いとるつぼが割れたり、ひびが入ったりしてしまう。逆に、活性炭の量を減らしすぎると赤熱さえしないこともある。そこで、るつぼが割れても中身がこぼれないように、大きさの違うるつぼを重ねて実験することにした。その結果、⑥のように、赤熱した塊を得ることができたが、アルミニウムで還元したときのような、見るからに鉄の塊というものはまだ見られない。



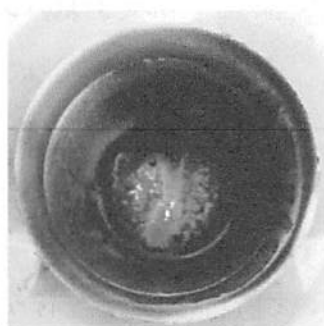
割れてしまっ
たるつぼ



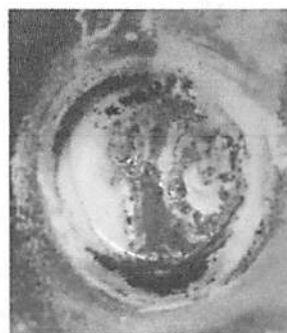
⑥で得られた塊

鉄の塊が上手くできないのは、最初の砂鉄の中に酸化鉄以外の不純物が含まれていることも原因ではないかと考えた。今回の砂鉄は、君津亀山少年自然の家から提供していただいたものだが、これは実際に海岸から採集してきた砂鉄を磁石で精選した物である。一度精選してあるとはいえ、まだ不純物が残っている可能性も考えられる。そこで、さらに何度か精選する作業を行い、なるべく不純物の影響を減らすようにした。

⑦～⑨では、500 W より 700 W の方が赤熱する状態まで持っていきやすい様子がうかがえるので、今後はすべて 700 W で行うことにする。⑨では、これまでで一番大きな塊を得ることができた。塊を少し砕いて小さくし、磁石につくことと電流を流すことを確かめたが、さらに叩くと細かく砕けてしまい、展性を確認することはできなかった。また、るつぼの底の一部が溶融してしまっている様子がうかがえた。



⑨で赤熱して
いる様子

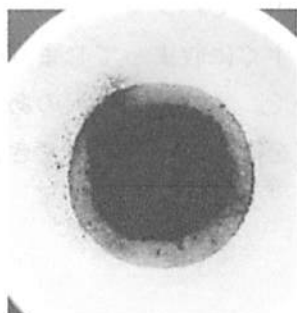


⑨で溶融した
るつぼの底の
様子

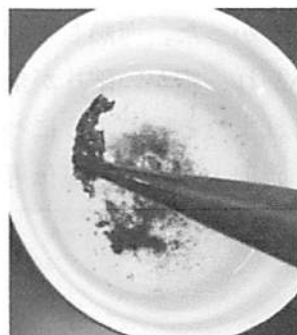
るつぼが割れてしまうことは、費用面の負担や安全面への配慮という点で大変ストレスがかかる。そこで、君津亀山少年自然の家のプログラムでも用いたペット用の砂(珪砂)をるつぼの底に敷き、少し水をたらし固めた上に、砂鉄と活性炭の混合物を入れることにした。

すると、⑩以降、ムライト製のるつぼではひびが入ることもあったが、アルミナ製のるつぼに砂を敷いた場合は割れずに実験することができた。

砂を敷く工夫により、⑩～⑬では2分以下でも赤熱した塊を得られるようになったが、薄く、網目のようにすき間がたくさん空いた状態で固まっていて、ペンチでつまむとすぐに崩れてしまう。



砂を敷いた様子



薄く崩れやすい塊

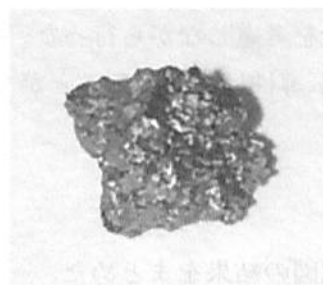
⑩～⑬において2分以下で加熱を終了させたのは、るつぼの割れる音が聞こえたこと、ガタガタという音が非常に大きくなったこと、マッフル上部から内部が光っている様子が見えたことなどから、これ以上続けるのは危険ではないかと判断したからである。しかし、鉄らしい塊を得るためには、加熱時間をもっと長くする必要があるようだ。ガタガタという音は、二酸化炭素（もしくは一酸化炭素）や水蒸気が発生して蓋を持ち上げることで生じていると考えられる。加熱後はるつぼの外に活性炭の粉末がこぼれだしていることから、蓋が動いていることがうかがえる。そして、蓋が持ち上がったときにマッフル上部から光が見えていたと考えた。

そこで、るつぼが割れる音が聞こえたり、マッフル上部から炎が見えたりしたらすぐに加熱をやめることにするが、ガタガタという音が聞こえるだけなら加熱を続けることにした。

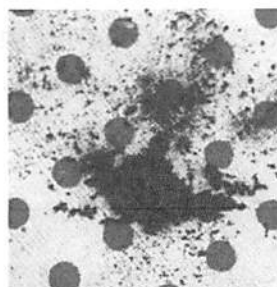
⑭以降はそのような基準で、少しずつ加熱時間を延ばしていった。

⑭⑮では、加熱終了後に蓋を開けたとき、いわゆるバックドラフトのような燃焼が起きた。⑯以降は起きなかったが、加熱時間を長くしたことで起きたのか、その他の要因かわからないので、蓋を開けるときには注意が必要である。

⑯⑰では、塊を砕いたときに表面にやや光沢が見えるようになった。しかし、磁石につき、電流は流れるものの、やはり展性を確認することができなかった。ハンマーで叩くと粉々になってしまうものばかりである。



やや光沢があるように見える面も

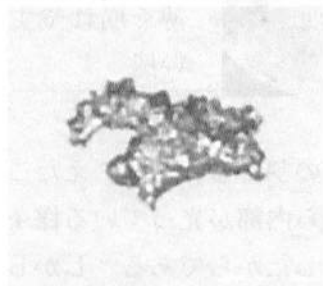


叩くと粉々になってしまう

調べてみると、酸化鉄が還元するとき、液体に融解するほどの温度ではない場合は、固体の酸化鉄から酸素が取り除かれ、海綿状の鉄になってしまうという。⑯⑰では、還元された

鉄は存在するものの、大きな塊の中に不純物と共に混在してしまっている状態になっているため、磁石につき、電流を流すものの、光沢や展性が確かめづらくなっているのではないだろうか。

そこで、⑬では、加熱時間を6分に増やすと共に、赤熱しているうちにハンマーで叩くという、いわゆる鍛錬を行ってみることにした。加熱時間を6分にしても、るつぼが割れたり、炎が出たりすることはなかった。赤熱しているうちに塊を取り出してハンマーで叩いてみると、赤熱している塊が割れ、細かい破片が飛び散った。赤熱もすぐに収まってしまうので、十分に冷やした後、これまでと同じようにハンマーで砕いていく。すると、光沢のあるごく小さな塊を発見した。光沢・展性・電気伝導性・磁性のすべてを確認することができたが、質量は0.01 gにも満たなかった。



⑬で得られた
鉄の塊

①～⑬の実験より、最適な条件をまとめると以下のようになる。

＜電子レンジを用いた実験の最適な条件＞

- ・ るつぼ アルミナ 30 mL・50 mL
- ・ 砂鉄 5.0 g
- ・ 活性炭 0.6 g
- ・ 敷き砂 5.0 g
- ・ 出力 700 W
- ・ 時間 6 分

上記の条件では、鉄の塊を得ることはできたものの、赤熱した塊をハンマーで叩く際には、高温の塊が飛び散る危険があり、生徒実験として行うには大変危険が伴う。安全かつ安定して鉄を得られるように、さらに改良していく必要がある。

実際に授業で行ったときには、演示実験として生徒の安全を考慮しながら行った。そのときには光沢や展性のある塊は得られなかったが、磁性と電気伝導性は確かめることができた。

(2) 生徒の変容

資料 p.3 から p.12 に、生徒に実施したアンケートと概念地図の結果をまとめた。

製鉄に関するアンケートでは、資料 p.3 の表 2 から、回を追うごとに「製鉄所でどのように鉄を得ているか知っている」と答える生徒が増えている様子がわかる。また、資料 p.3 の

表3を見ると、鉄を得ている方法についての質問には、初めは「加熱する」「溶かす」という答えばかりだったが、理科室での製鉄を実体験した後では、「鉄鉱石」「コークス」という原料名を具体的に挙げたり、「還元」という言葉を使ったりするようになった。これらのことから、製鉄がどのように行われているのか理解が深まり、還元を身近に感じられるようになったと言えるだろう。

次に、還元に対する理解が深まったか確認するために、概念地図から生徒の変容を読みとっていく。

大きな変容が見られるのは生徒C（資料 p.7）や生徒E（資料 p.9）、生徒G（資料 p.11）である。特に生徒Gは、1回目・2回目の概念地図では実際に還元の実験で扱った具体的な物質名を記述しているだけであったが、3回目の概念地図では、「化学変化」や「酸化」という言葉が出てきており、一般化されているようすがわかる。また、「酸素をとり出す」「酸素が別の物質と化合」という記述もあり、還元は酸化物から酸素を取り除く化学変化であると理解している様子である。（概念地図の書き方のルールからは外れているものの、理解が深まったか見るためのツールとして用いているので、ここでは書き方については特に問題とはしていない。）生徒Cと生徒Eについても、2回目・3回目の概念地図から「酸化物」や「化学変化」という言葉が現れ始めている。

1回目から多くのラベルを書けている生徒についても、よく見てみると変化しているのがわかる。生徒A（資料 p.5）生徒B（資料 p.6）では、1回目から「酸化」や「酸素」と還元を結んでおり、還元と酸素の間に密接な関係があると理解している様子うかがえる。その上で、2回目・3回目では、「化学変化」というラベルが現れ、化学変化の中に還元が含まれるという意識が高まっている。3回目ともなると、還元よりも化学変化の方が中心的な位置に来ているようにも見える。

生徒D（資料 p.8）については、1回目から2回目においては還元からのリンクが良い方向へ繋がったように感じられるものの、3回目で理解が深まったとは読みとりづらい。「酸化物」ということで一般化されている部分もあるが、そもそも概念地図で表現することが上手にできていない様子もある。

全体的に見ると、1回目の概念地図では「燃焼」や「熱」というラベルが「還元」とリンクされている生徒が多く、2回目・3回目と進むにつれて、そのリンクが無くなり、逆に「化学変化」というラベルが「還元」とリンクされるようになっていく様子うかがえる。

概念地図により、還元に関連する知識が増えていき、知識どうしの結びつきも複雑になっていく様子がわかった。最後に、還元という化学変化について正しく理解できているか確認するために、還元について文章で説明させた。君津亀山少年自然の家のプログラムの後と、電子レンジを用いた実験の後の2回行い、その結果を資料 p.12 の表4に示した。

2回目では、すべての生徒が「酸素をうばう」「酸素をのぞく」「酸素を取り出す」というように、酸化物から酸素を取り除くという意味の表現をしている。還元は「酸化物から酸素を取り除く化学変化である」というように理解していることがわかる。

また、ほとんどの生徒で、1回目から2回目にかけて文章量が減っている。これは、電子

レンジを用いた実験を授業で展開する際（資料 p.15）、最後に班で話し合っ て還元について自分たちの言葉でまとめるという活動を行ったことで、説明に必要な言葉が精選された結果ではないかと考えられる。特に生徒Aの回答にそれがよく現れている。1回目の説明で「よく同時に酸化もおきる。加熱などをする。」という表現を付け加えているが、2回目の説明では、「還元とは、酸化物から酸素を取り出して純粋な物質にすること。」のみで終わらせている。班での話し合いを経て、還元という化学変化において一番重要なことは何かということに着目した様子がうかがえる。さらに、還元の実験を実体験することで、「純粋な物質」を手に入れるために人類が還元を利用してきたということも実感できたのではないだろうか。

一方で、生徒Eは、1回目の説明で「周りの酸素と化合すること」と答えており、間違っ た理解をしていることがわかる。2回目の説明では、「酸素をうばい」と書いているため、正しい方向へ理解が進んでいる様子もうかがえるが、「2つの物質が酸素をうばい別の物質になる」という表現からは、正しく理解できていると言い切ることはできない。表現力が育たなければ、正しく知識を理解しているか判断するのは難しいということを示す一例となった。

5. 研究のまとめと今後の課題

今回、より還元を身近に感じられるように、電子レンジを用いて酸化鉄を炭素で還元する実験を改良した。アルミニウムを用いたテルミット反応ほど大きな鉄の塊を得ることはできなかったが、光沢・展性・電気伝導性・磁性を持った小さな鉄の塊を得ることができた。ただし、見るからに鉄であるという塊は安定的には得られておらず、安全かつ安定して得られるような改良が必要である。しかし、電子レンジを用いた実験は、実際に製鉄所へ見学に行ったり、校内でたたら製鉄を行ったりすることに比べると、時間も労力も少なくてすむことは大きなメリットになる。

そして、教科書にある酸化銅の還元だけでなく、アルミニウムによる酸化鉄の還元、今回改良した炭素による酸化鉄の還元を理科室で行うことにより、還元をより身近に感じることができ、還元は「物質（酸化物）から酸素を取り除く化学変化」であるという理解が深まったといえる。

一方、正しく知識を理解しているか、考えを深めることができているかということを判断するためには、表現力の向上も必要であると改めて実感することとなった。

6. 参考文献

『電子レンジを使用した金属鉱石の還元』 加藤識泰、小野真司、科学と教育、50、(7)、510(2002)

資料

1. 電子レンジを用いて砂鉄を炭素で還元する実験についての資料

表1 電子レンジを用いた還元の実験データ

	るつぼ	砂鉄 [g]	活性炭 [g]	敷き砂 [g]	出力 [W]	時間	結果
①	アルミナ 50 mL	6.0	1.0	なし	700	3 分	3 分で音がし、るつぼが割れた。 赤熱した塊あり。磁石につくが、 叩くと砕けた。
②	ムライト 50 mL	2.0	1.0	なし	500	3 分	3 分で音がし、るつぼにひび。砂 鉄には変化なし。
③	ムライト 50 mL	5.0	0.5	なし	500	5 分	5 分経ったので終了。砂鉄に変化 なく、るつぼも無事。
④	ムライト 50 mL	5.0	0.5	なし	700	5 分	5 分経ったので終了。砂鉄に変化 なく、るつぼも無事。
⑤	ムライト 50 mL	5.0	0.8	なし	700	1 分 30 秒	1 分 30 秒で音がし、るつぼが割れ た。赤熱したが、塊はできず。
⑥	アルミナ 30 mL・50 mL	3.0	0.4	なし	700	3 分 50 秒	3 分 50 秒でガタガタ音がしたので 終了。赤熱した塊あり。磁石につ くが、叩くと砕けた。るつぼにひ び。
⑦	ムライト 30 mL・50 mL	3.0	0.4	なし	500	6 分 30 秒	6 分 30 秒経ったので終了。砂鉄に 変化なく、るつぼも無事。
⑧	ムライト 30 mL・50 mL	3.0	0.4	なし	700	23 秒	⑦終了後、少ししてから 700 W に して加熱。23 秒で音がし、るつぼ が割れた。やや赤熱していた。
⑨	ムライト 30 mL・50 mL	4.0	0.4	なし	700	3 分	3 分でガタガタ音がすごいので終 了。赤熱した大きな塊。るつぼの 一部も熔融。砕いた塊は磁石につ き、電流が流れた。しかし、叩く と砕けた。るつぼにひび。
⑩	アルミナ 30 mL・50 mL	4.0	0.3	目分量	700	3 分	3 分で音がし、るつぼにひび。赤 熱したが、塊はできず。
⑪	アルミナ 50 mL	4.0	0.3	6.0	700	1 分 30 秒	1 分 30 秒でガタガタ音がすごい ので終了。赤熱した薄い網目状の塊。 磁石につき、電流が流れた。
⑫	ムライト 30 mL・50 mL	4.0	0.3	5.0	700	2 分	2 分でガタガタ音がすごく、終了。 赤熱した薄い網目状の塊。磁石に つき、電流が流れた。るつぼにひ び。

	るつぼ	砂鉄 [g]	活性炭 [g]	敷き砂 [g]	出力 [W]	時間	結果
⑬	アルミナ 30 mL・50 mL	4.0	0.4	4.0	700	2 分	2 分でマッフル上部の穴から内部が光っている様子が見え、終了。赤熱した薄い網目状の塊。
⑭	アルミナ 30 mL・50 mL	4.0	0.4	4.0	700	3 分	3 分で終了させた。蓋を開けたとき燃焼が起きた。赤熱した薄板状の塊。磁石につくが、叩くと砕けて粉々に。
⑮	アルミナ 30 mL・50 mL	4.0	0.4	4.0	700	4 分 20 秒	4 分過ぎに終了。蓋を開けたとき燃焼。赤熱した大きめの塊。少し砕いたものは磁石につき、電流が流れた。さらに叩くと粉々に。
⑯	アルミナ 30 mL・50 mL	4.0	0.5	4.0	700	5 分	5 分で終了。赤熱した塊。少し砕いた物は磁石につき、電流が流れた。割れた面にやや光沢が見えた。しかし、叩くと粉々に。
⑰	アルミナ 30 mL・50 mL	5.0	0.5	5.0	700	5 分	5 分で終了。赤熱した大きな塊。少し砕いた物は磁石につき、電流が流れた。⑰より光沢感あり。叩くと砕けた。
⑱	アルミナ 30 mL・50 mL	5.0	0.6	5.0	700	6 分	6 分で終了。大きな塊を、赤熱しているうちにハンマーで軽く叩くと少し割れた。冷やした後少し砕くと、光沢と展性のある小さな塊。磁石にもつき、電流も流れた。

2. 生徒のアンケート・概念地図の結果

(1) 「製鉄に関するアンケート」について

生徒に実施した製鉄に関するアンケートの内容は以下の2点。

ア. 製鉄所でどのように鉄を得ているか知っていますか？（はい・いいえ）

イ. 製鉄所ではどのように鉄を得ているでしょう？（知っている人はその内容を、知らない人は予想を書いてください）

このアンケートを、①還元の学習前 ②還元の学習後 ③君津亀山少年自然の家のプログラムの後 ④電子レンジを用いた実験の後の4回行った。結果を表2, 3にまとめた。

表2 製鉄に関するアンケート：アの質問の結果

実施時期	はい	いいえ
①還元の学習前	0人	7人
②還元の学習後	3人	4人
③君津亀山少年自然の家のプログラムの後	7人	0人
④電子レンジを用いた実験の後	7人	0人

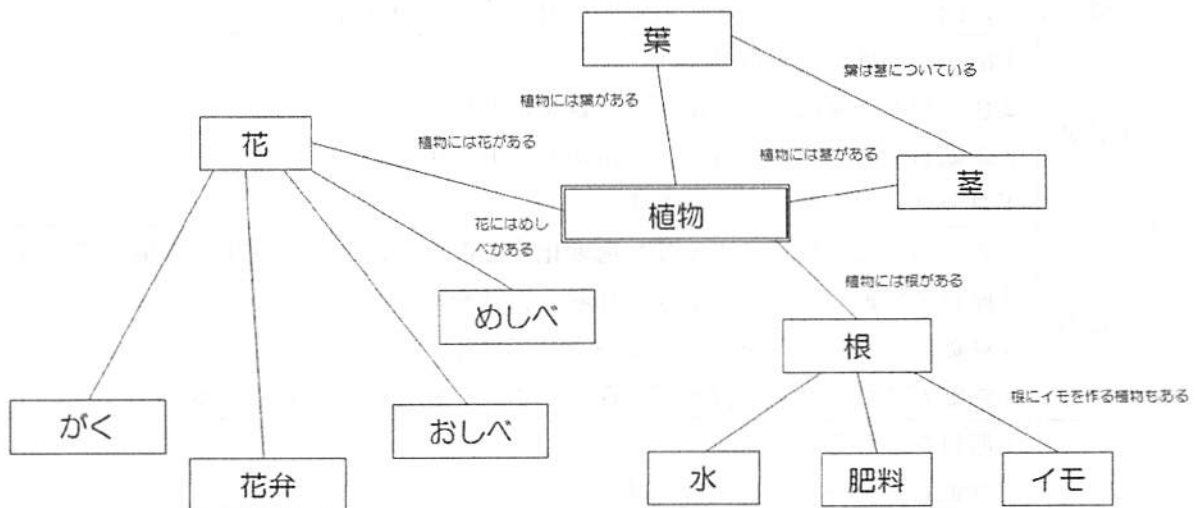
表3 製鉄に関するアンケート：イの質問に対する答えの変容

生徒A	①溶かして鉄のみを取り出す。 ②色々なものを混ぜて、溶かして鉄を取り出す。 ③鉄鉱石やコークスを混ぜて、溶かして取り出す。 ④コークスなどを混ぜて溶かす。
生徒B	①熱を加えて、物質によって状態変化する温度が違う事を利用して集めている。 ②原料の鉄鉱石と石炭を混ぜて加熱し、鉄を取り出している。 ③鉄鉱石にコークスを混ぜて加熱させている。 ④鉄鉱石にコークスを混ぜて、還元をさせて鉄を取り出している。
生徒C	①原料をとかしている。 ②鉄鉱石とコークスを化合させる。 ③鉄鉱石とコークスと石灰石を加熱して、鉄と副生成物に変える。 ④酸化鉄と炭素を加熱して鉄を得ている。
生徒D	①とにかく、鉄などを加熱する。 ②物質を高温に熱してとる。 ③鉄鉱石とコークスを一緒に高温で熱して、鉄鉱石についている酸素をコークスにつけさせる。 ④鉄鉱石とコークスを一緒に熱する。

生徒E	①ケータイなど、電化製品をとかして。 ②電化製品から。 ③コークスを燃やして取り出している。 ④コークスと物質を加熱してつくっている。
生徒F	①輸入した物をととても高い温度で熱して溶かす。 ②資源を熱して溶かし、分別する。 ③原料を混ぜて溶かし、化学変化を起こさせて作る。 ④原料を還元させて鉄を取り出す。
生徒G	①塔みたいな所の中が熱せられていて、その中でやる。 ②鉄鉱石とコークスを混ぜる。 ③鉄鉱石とコークスを熱する。 ④鉄鉱石とコークスを混ぜ、熱する。

(2) 概念地図について

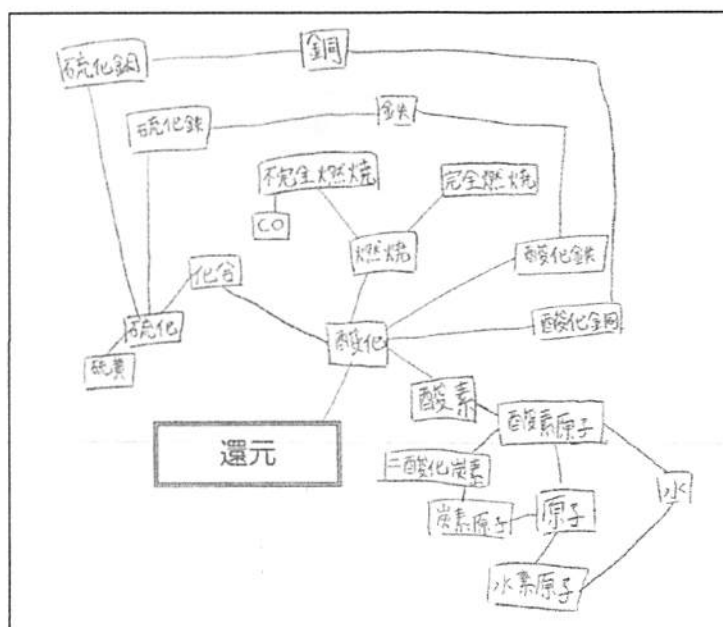
概念地図とは、コーネル大学のノヴァックらが開発したもので、獲得している概念どうしの繋がりを視覚化するツールである。ある単語（ラベルと呼ぶ）に、関係のある単語を考え出して線（リンクと呼ぶ）で結び、線で結んだところには、二つの単語の関係を説明する文を書く。以下に、植物を起点とした概念地図の例を示す。



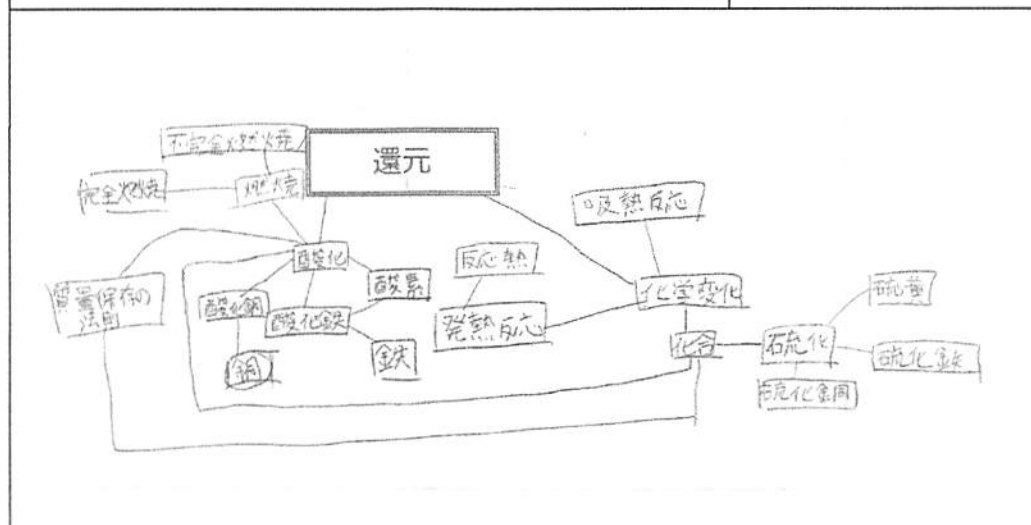
今回の実践では、検証するときに見やすいように、リンクのそばに書く説明文は省略した。実施するタイミングは、①還元の学習後 ②君津亀山少年自然の家のプログラムの後 ③電子レンジを用いた実験の後の3回。

(3) 概念地図に見られる生徒一人ひとりの変容

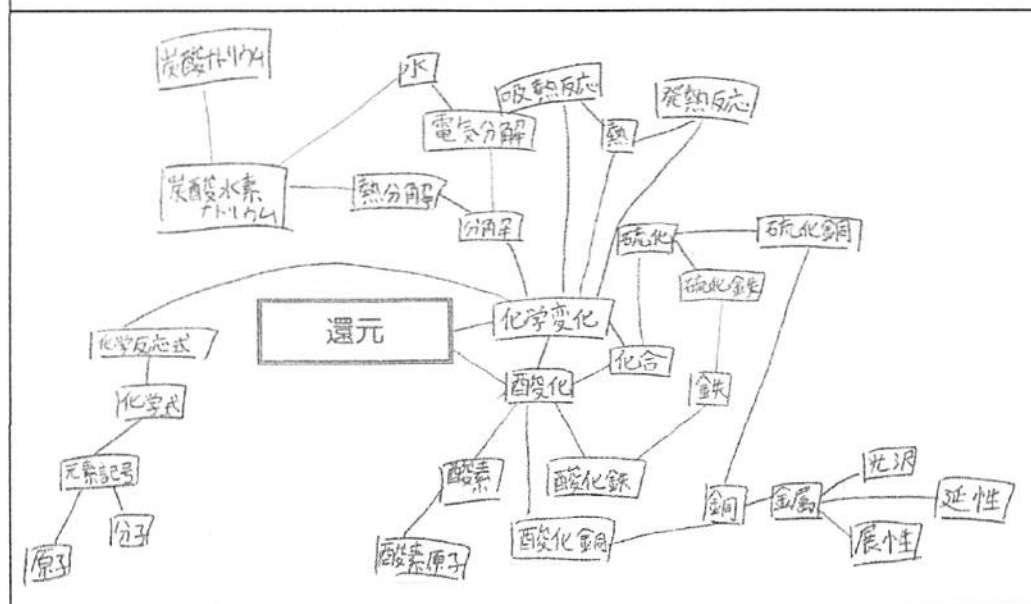
生徒A ①

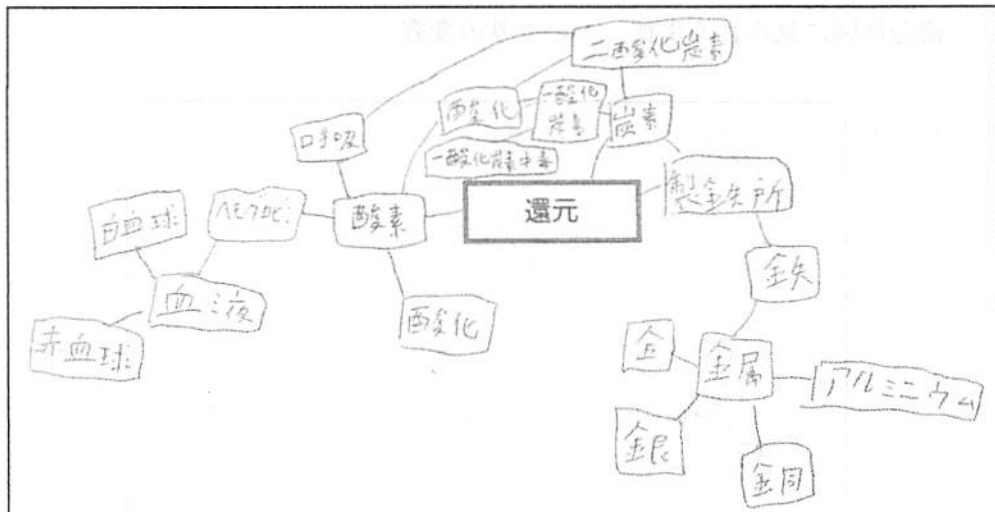


②

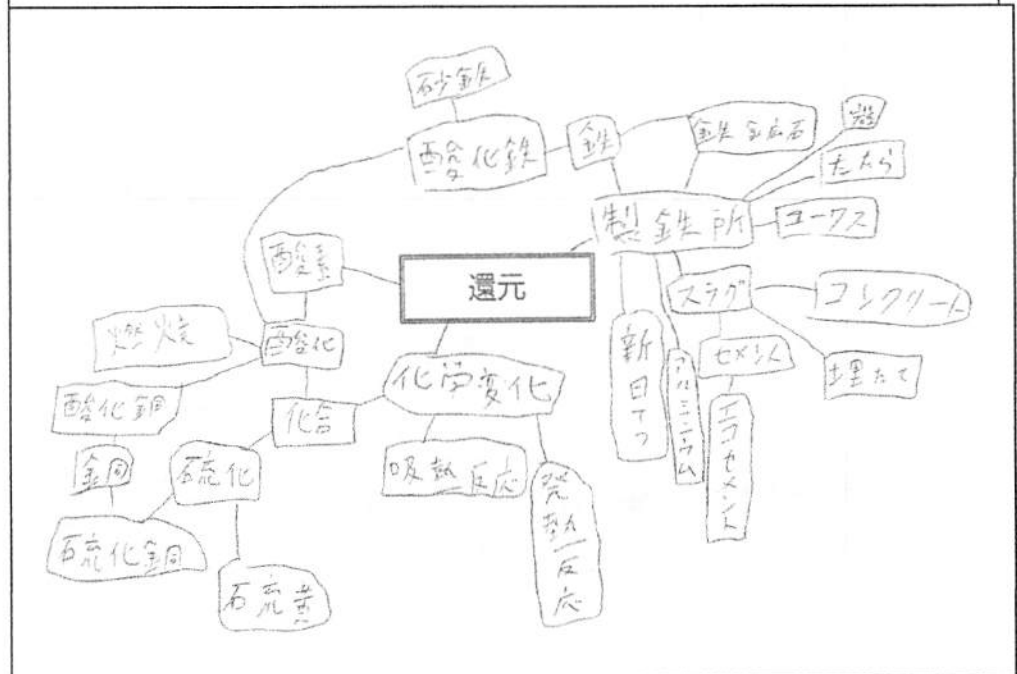


③

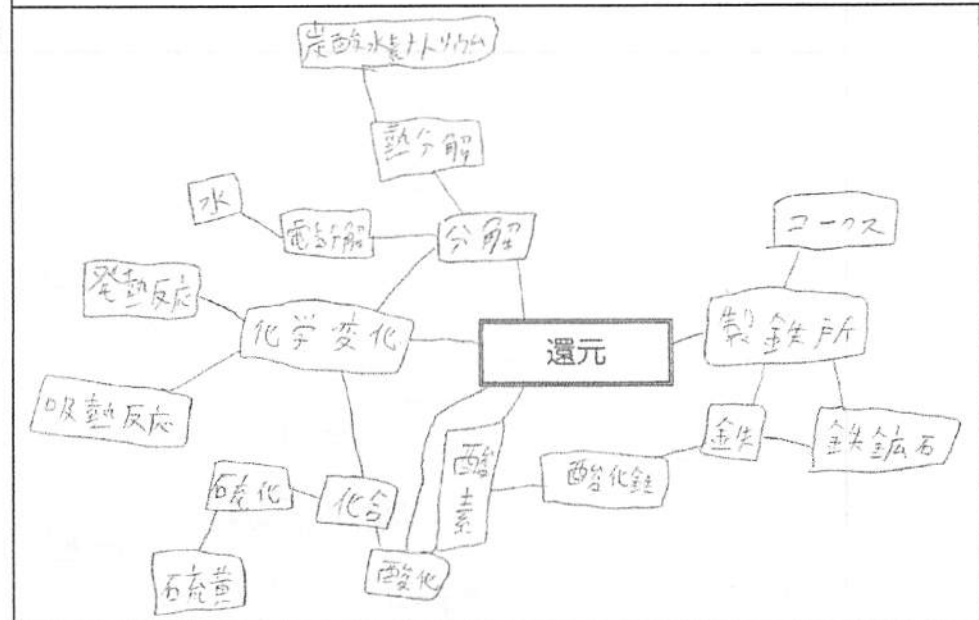




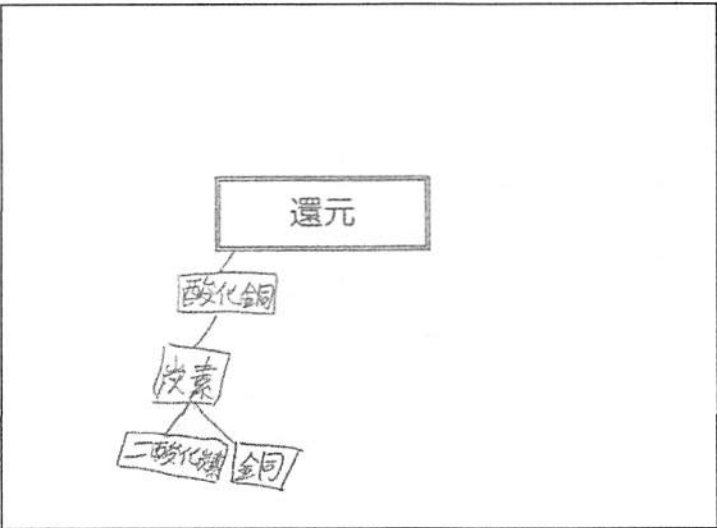
②



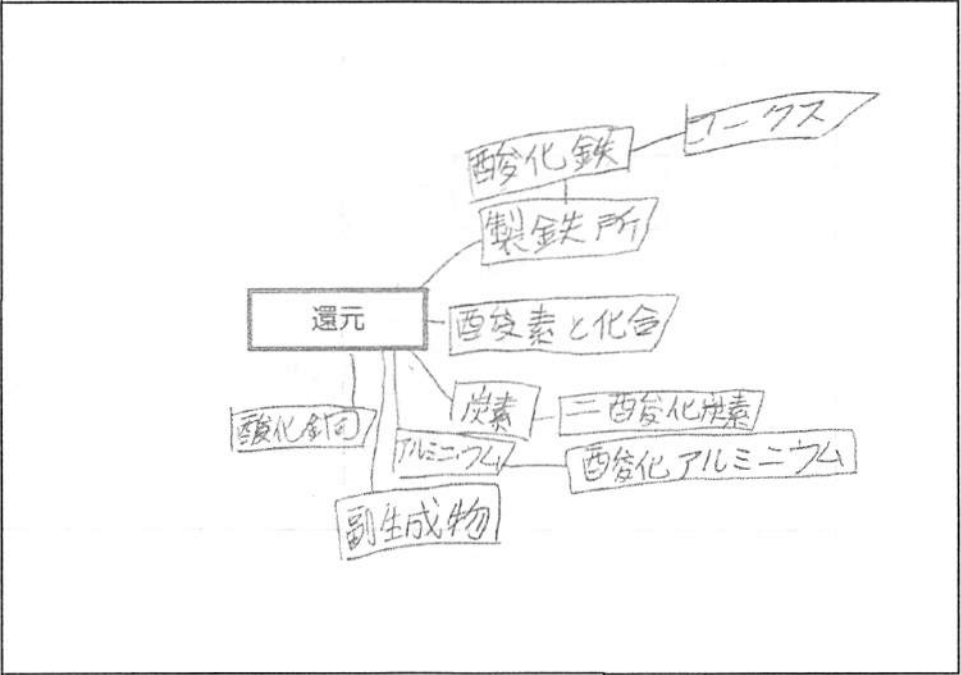
③



生徒C ①

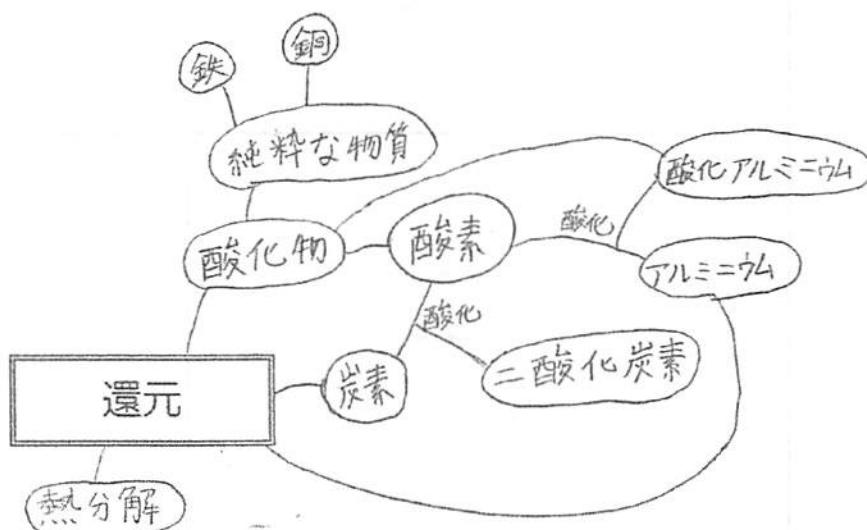
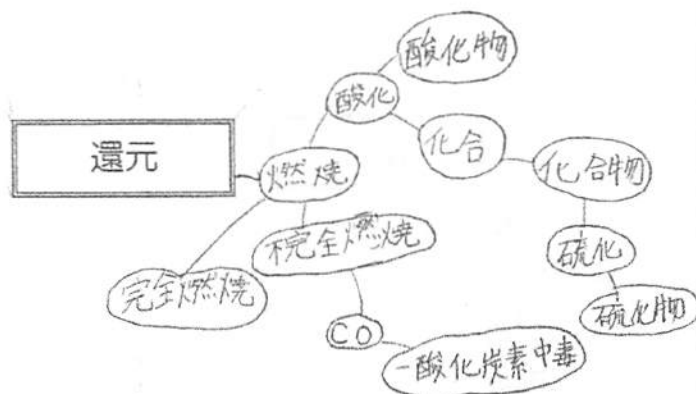


②

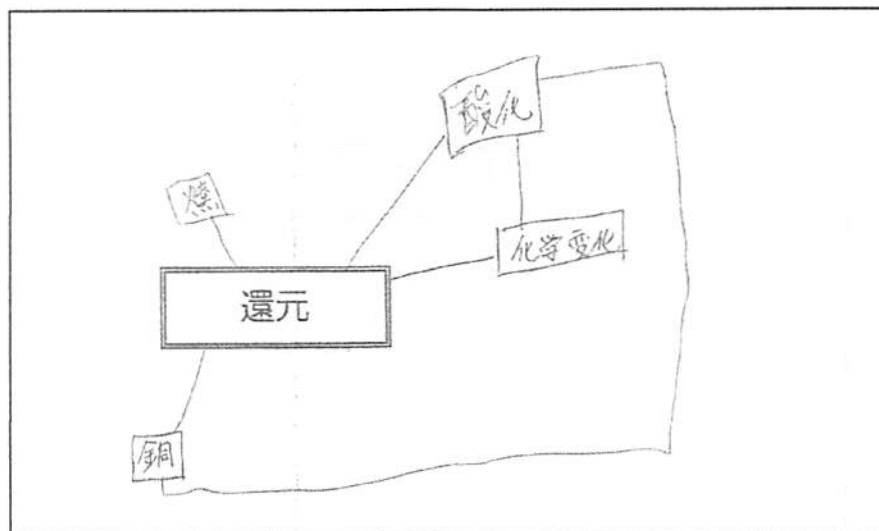


③

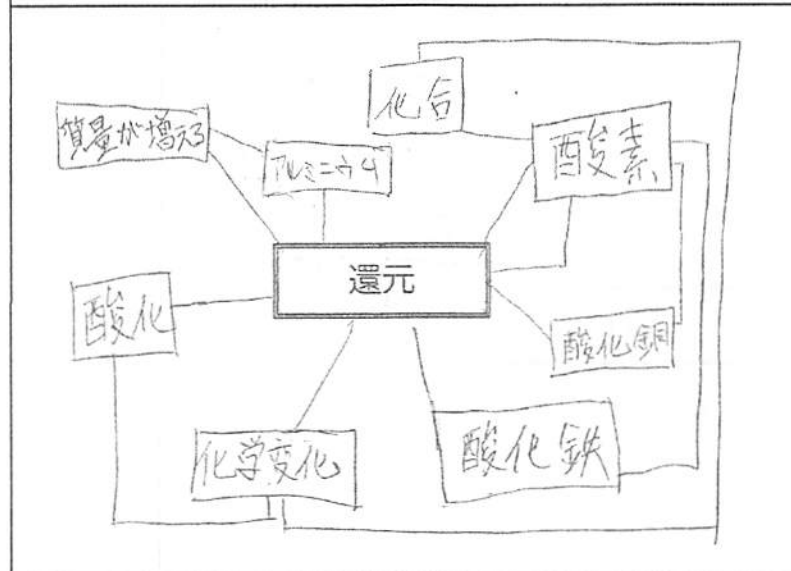




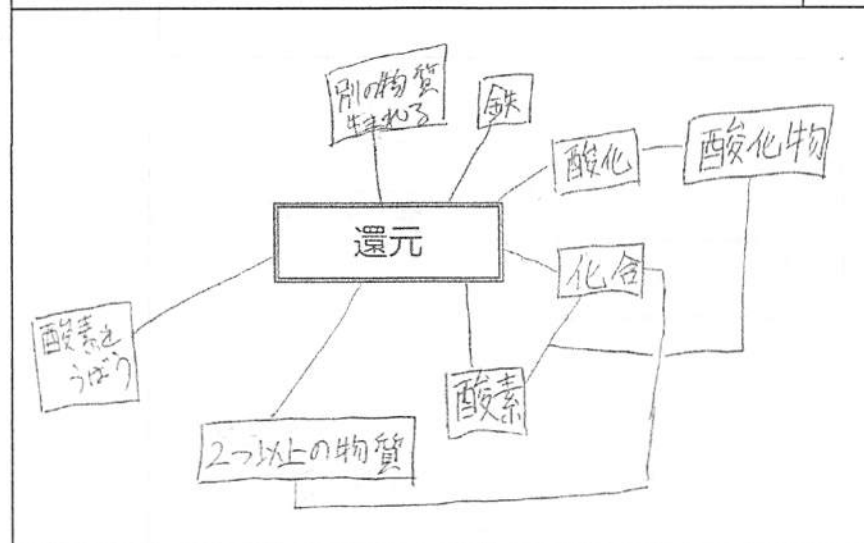
生徒E ①

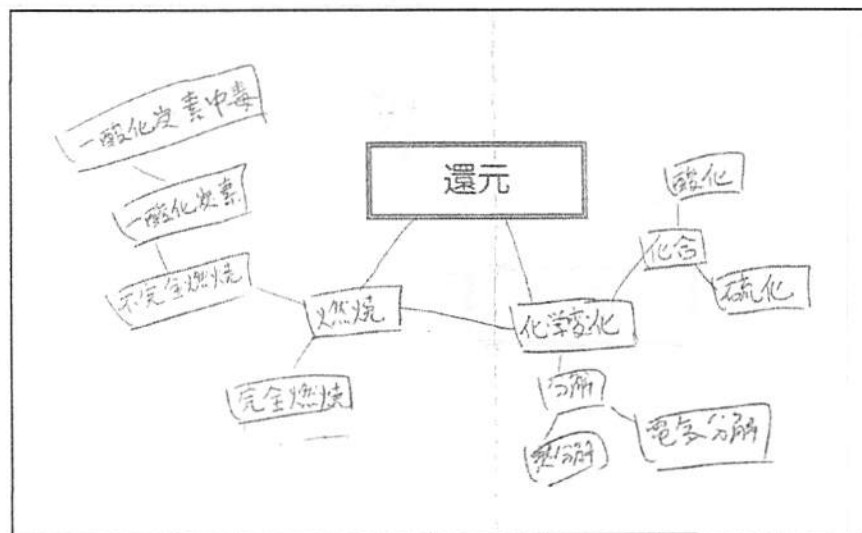


②

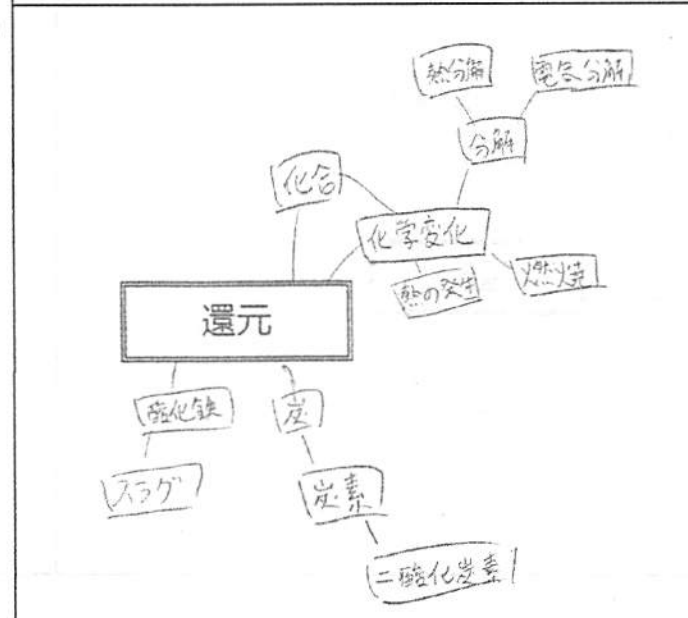


③

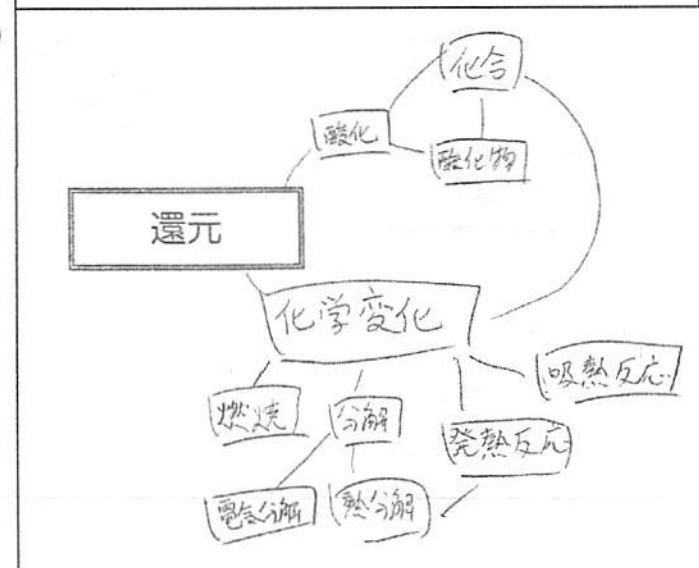




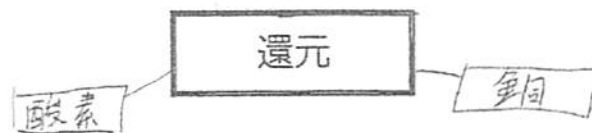
②



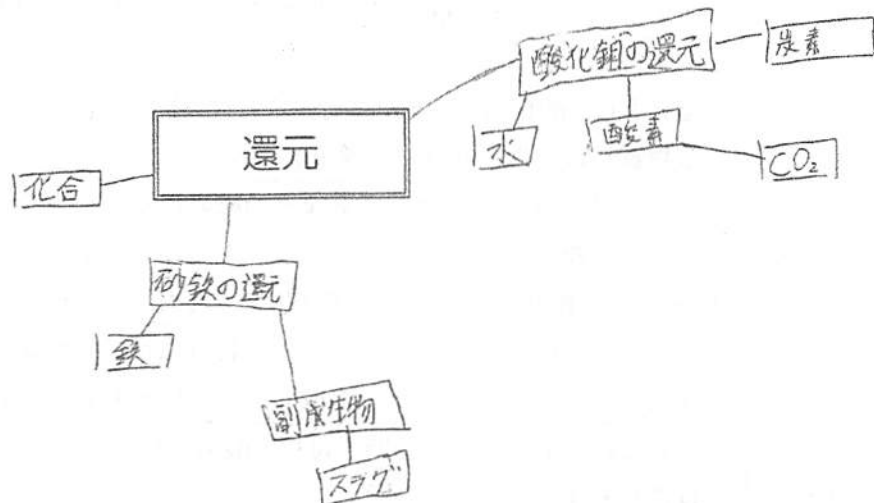
③



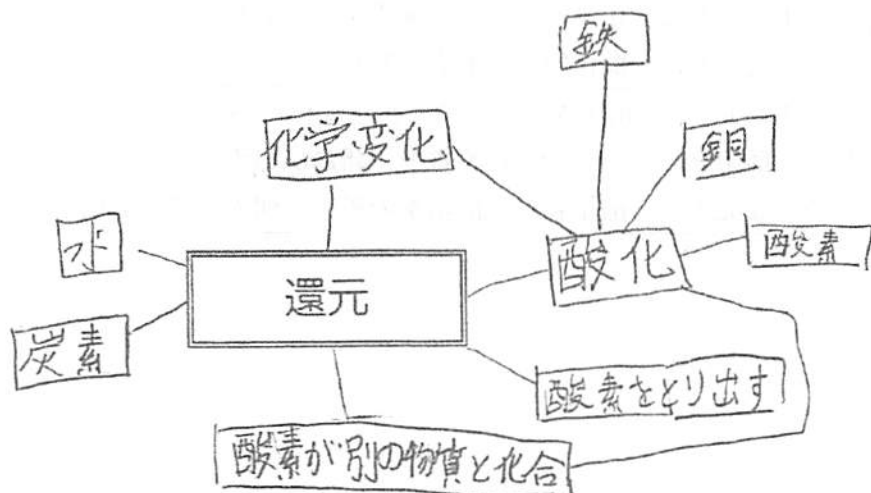
生徒G ①



②



③



(4) 還元を文章で説明させたときの様子

①君津亀山少年自然の家のプログラムの後 ②電子レンジを用いた実験の後の2回、還元について文章で説明させた。表3にその様子を示す。

表4

生徒A	①還元とは、酸化物から酸素を取り出すこと。還元をする時、よく同時に酸化もおきる。加熱などをする。その空間の中で酸化物はできてしまう。 ②還元とは、酸化物から酸素を取り出して純粋な物質にすること。
生徒B	①還元とは、酸化している物質から、炭素やアルミニウムなどを混ぜて加熱し、酸化している物質の酸素をとりのぞく化学変化です。製鉄所でも使われています。 ②還元とは、酸化物から酸素を別の物質に移して化合させ、酸素が化合している物質だけを取り出す化学変化。
生徒C	①還元とは、酸化した物と炭素などの酸素にくっつきやすい物とを加熱して、酸化した物から酸素をとって、もう1つの方に酸化させることを言う。 ②還元とは、酸化物から酸素を取り出して、もう1つの物質に化合させること。
生徒D	①還元とは、酸化物から、酸素を他の物質につけて酸素を取り出すこと。 ②還元とは、酸化物から酸素を取り出し、別の物質につけること。
生徒E	①還元とは、化学変化する時、周りの酸素と化合することです。そして別の物質になります。 ②還元とは、2つの物質が酸素をうばい別の物質になること。
生徒F	①還元とは、化学変化の際に物質から酸素をうばうことである。 ②還元とは、酸化物から酸素を取り出すこと。
生徒G	①還元とは、酸素をとりのぞく化学変化である。やり方は、酸化した物質より酸素とくっつきやすい物質と一緒に加熱する。 ②還元とは、酸化物から酸素をのぞき、別の物質を酸化させる。

3. 授業の展開とワークシート

(1) 君津亀山少年自然の家プログラム（2時間展開）

< 1 時間目 >

指導過程	時配	学習内容と活動	支援、留意点と評価 ○支援 ・留意点 ◎評価	授業形態 資料 等
見いだす	3 分	1 還元の復習をする。	○酸化銅の還元について具体的に復習する。	教科書 ノート
	2 分	2 学習課題を確認する。		
		還元を用いて、砂鉄から鉄を手に入れよう。		
調べる	10 分	3 実験方法について確認し、実験の準備をする。 ①手順の確認をする。 ②砂鉄、アルミニウム粉末、硝酸カリウムをフィルムケースに入れて混ぜる。	○君津亀山少年自然の家職員が説明を行い、授業者は机間指導を行う。 ・激しい化学変化を伴う実験なので、安全面の指導をしっかりと行う。	班別実験 (2 班) ワークシート
	15 分	4 砂鉄から鉄を得る実験を行う。 ①手順通りに化学変化させる。 ②化学変化後の物質をかなづちで砕き、磁石にくっついたものを集める。 ③集めた鉄の質量を測る。	○君津亀山少年自然の家職員と授業者が分担して机間指導を行う。 ・安全メガネを着用させる。 ・かなづちの扱いに気を付けさせる。 ・副生成物の量が多いことに気付かせる。	
	20 分	5 得られた鉄と副生成物に、金属の性質があるか調べる。 ①得られた鉄に金属の性質があるか確かめる。 ②副生成物に金属の性質があるか調べる。(①と同じ方法で) ③各班の結果を共有し、化学変化についてまとめる。	○性質を調べるために必要な器具をそろえておく。 ＜豆電球と電池、かなづち、紙やすり、その他＞ ◎金属の性質について、適切な方法を用いて調べることができたか。(技能) [ワークシート、観察] ・結果の共有とともに、今回の化学変化についてまとめる。	

< 2 時間目 >

指導過程	時配	学習内容と活動	支援、留意点と評価 ○支援 ・留意点 ◎評価	授業形態 資料 等
深める	5 分	6 実際の製鉄所で行われている化学変化を学ぶ。 ①コストなどの面で、アルミニウムではなく、コークス（炭素）を用いて還元していることを知る。 ②実際は不純物が多いので、鉄や二酸化炭素以外にも様々な副生成物が出てくることを知る。	○実物（鉄鉱石、コークス、スラグ）を提示し、鉄を作るたびに副生成物が出てしまうことを再確認。	一斉
見いだす	1 分	7 後半の学習課題を確認する。		
製鉄後に出てくる副生成物の再利用方法を考えよう。				
深める	12 分	8 副生成物の再利用方法を考える。 ①3～4 人の班になり、再利用方法について話し合う。 ④班ごとに、話し合った内容を口頭で発表する。	○4 分経ったところでヒントカードを各班に 1 枚ずつ渡す。その後 4 分話し合い。 ◎副生成物の再利用方法について意欲的に考えることができたか。（関心・意欲・態度）[発表、ワークシート]	班別 話し合い
まとめ あげる	25 分	9 副生成物の再利用方法を知る。 ①スライドで様々な再利用方法を知る。 ②実際にエコセメントを作ってみる。	○君津亀山少年自然の家職員が説明を行う。 ・水酸化ナトリウム水溶液を使うので安全に留意する。（保護メガネ）	プロジェクト パソコン 個別実験
	7 分	10 今回の授業を受けて考えたこと、感じたことをまとめる。 ①ワークシートに記入する。 ②考え、感じたことを発表する。	○机間指導を行い、発表時に指名できるよう準備しておく。	ワークシート

2年理科 「子ども製鉄所～エコアドベンチャー～」

2年1組()番 氏名()

学習課題

☆おさらい

酸化銅 + →

<実験> 砂鉄を還元して、鉄を手に入れよう。

準 備 砂鉄 14g、アルミニウム粉末 4g、硝酸カリウム 2g、マグネシウムリボン、チャッカマン、容器、砂、磁石、布、金づち、金とこ、電子てんびん、性質を調べるためのセット

- 方 法**
1. 材料をよく混ぜ、装置にセットする。
☐ 砂鉄、アルミニウム粉末、硝酸カリウムをフィルムケースに入れ、よく振って混ぜる。
☐ 容器に砂を入れてめらし、乳棒で開けた穴に、混ぜた材料を入れる。
 2. 還元させる。
☐ マグネシウムリボンを材料の中心にさし、チャッカマンで火をつける。
☐ 反応が落ち着いたら、反応後の物質を水に入れて冷ます。
 3. 反応後の物質を調べる。
☐ 水をふいて布にとり、金づちでたたいて細かくする。
☐ 磁石を使い、鉄とそれ以外の物質を分ける。これを何度か繰り返す。
☐ 鉄の質量をはかる。
☐ 得られた鉄と副生成物について、金属の性質があるか調べる。

結 果

得られた鉄の質量・・・g 材料の合計質量・・・g

調べる方法	鉄	副生成物

<今回の化学変化>

酸化鉄 + →

学習課題

2年1組()番 氏名()

製鉄所から出る副生成物（スラグ）は、どんなことに再利用できるだろうか？

☆班ごとに再利用方法を考えてみる。

<ヒント>スラグの性質

◇実際の製鉄所ではどうしているか（自然の森の方の話を聞き、メモをとろう）

<授業を終えて>今日の授業を受けて考えたこと、感じたことを書きましょう。

(2) 電子レンジを用いて砂鉄を炭素で還元する実験

指導過程	時配	学習内容と活動	支援、留意点と評価 ○支援 ・留意点 ◎評価	授業形態 資料 等
見いだす	3 分	1 これまで行った還元の実験の復習をする。	○酸化鉄をアルミニウムで還元する方法、製鉄所で行われている方法を確認する。	ワークシート
	2 分	2 学習課題を確認する。		
		還元を自分の言葉で説明しよう。		
調べる	5 分	3 実験方法を聞く。 ・製鉄所と同じで、酸化鉄を炭素で還元する方法であることを確認する。	・活性炭が電子レンジのマイクロ波によって高温になりやすいことを説明する。	一斉
	20 分	4 電子レンジで酸化鉄を還元する実験を行う。 ①材料をフィルムケースに入れてよく混ぜる。 ②電子レンジで加熱する。 ③赤熱した塊をかなづちで叩く。(鍛錬) ④冷えた塊をかなづちで砕き、磁石にくっついたものを集める。 ⑤鉄の性質を持つか調べる。	○演示実験をしながら、音や光などの変化に注目させる。 ・少し離れたところで、安全メガネを着用して見学させる。 ・展性が確認できない場合も、砂鉄と加熱後の塊では電気伝導性に大きな違いがあることに気付かせる。	演示実験
深める	5 分	5 これまで行った還元の実験をもとに、還元について自分の言葉で説明する。	○黒板にこれまで行った還元の化学反応式を書く。 ◎還元について、自分の言葉で説明することができたか。(思考・表現)[ワークシート、観察]	個別 ワークシート
まとめ あげる	7 分	6 班の中で自分の考えを発表し合った後、話し合っで1つにまとめる。	◎自分の考えを発表し、進んで話し合いに参加できたか。(関心・意欲・態度)[観察]	班別 ワークシート
	8 分	7 班でまとめた内容を発表する。	○どのような話し合いになったか、まとめから外した意見なども発表させる。	全体

2年理科 「電子レンジで製鉄」

2年1組()番 氏名()

学習課題

☆おさらい

・きみかめと一緒にやった製鉄は・・・

酸化鉄 + →

・実際の製鉄所で行われている製鉄は・・・

酸化鉄 + →

＜実験＞ 砂鉄を炭素で還元して、鉄を手に入れよう。

準 備 砂鉄 5g、活性炭粉末 0.6g、砂 5g、るつぼ (30 mL・50 mL)、
マッフル、るつぼばさみ、電子レンジ、磁石、布、金づち、金とこ、
電子てんびん、性質を調べるためのセット

方 法

1. 砂鉄と活性炭粉末をよく混ぜ、るつぼの中に入れる。
☐ 砂鉄、活性炭粉末をフィルムケースに入れ、よく振って混ぜる。
☐ 30 mL のるつぼの底に砂を敷いて濡らし、混ぜた材料を入れる。
☐ 30 mL のるつぼを 50 mL のるつぼに重ね、ふたをしてマッフルの中に入れる。
2. 還元させる。
☐ るつぼをセットしたマッフルを電子レンジの中に入れ、700 W で 6 分間加熱する。
☐ 反応後の物質が赤熱しているうちに、金づちで数回叩き、水で冷やす。
3. 反応後の物質を調べる。
☐ 反応後の物質の水らいて布にとり、金づちでたたいて細かくする。
☐ 磁石を使い、鉄とそれ以外の物質を分ける。これを何度か繰り返す。
☐ 得られた鉄に、金属の性質があるか調べる。

結 果 得られた鉄の性質をまとめる

調べた方法	結果

「電子レンジで製鉄」

考 察

○還元について説明してください。(個人で考え、記入する)

還元とは

○班の中で自分の考えを説明し、班で一つの説明にまとめましょう。

還元とは
