

「指導と評価の一体化」を図る授業デザイン

—高等学校 化学基礎「酸化還元反応」の単元開発—

大方 祐輔

高等学校 化学基礎「酸化還元反応」の単元において、①単元を貫く問いの設定、②パフォーマンス課題の提示、③学習を振り返る活動の実施、これら3つの要素を導入した単元開発を行った。その結果、生徒は思考や認知過程の内化・外化を往還させることで自身の学習実態を客観的に把握しながら、見通しをもって学習に取り組むことができるようになった。また、指導者については、生徒の学習履歴を見取することで指導者の意図と生徒の授業をとらえる視点とのずれを認識し、指導者が適切に授業改善を進めていくことができた。以上のことから、本実践によって、形成的評価と授業改善を両輪として行う「指導と評価の一体化」を図る授業をデザインすることができた。

1. はじめに

(1) 指導と評価の一体化

平成30年に改訂された「高等学校学習指導要領総則」では、新たに「学習評価の充実について」という項目が置かれ、学習評価を実施する際の配慮事項が示されている。具体的には、学習評価について「生徒のよい点や進歩の状況などを積極的に評価し、学習したことの意義や価値を実感できるようにすること。また、各教科・科目等の目標の実現に向けた学習状況を把握する観点から、単元や題材など内容や時間のまとまりを見通しながら評価の場面や方法を工夫して、学習の過程や成果を評価し、指導の改善や学習意欲の向上を図り、資質・能力の育成に生かすようにすること。」とある¹⁾。一方、平成31年の「児童生徒の学習評価の在り方について(報告)」によれば、現状の学習評価の課題として「学期末や学年末などの事後での評価に終始してしまうことが多く、評価の結果が児童生徒の具体的な学習改善につながっていない」などの指摘がある²⁾。したがって、学習評価の充実においては、学習の成果だけでなく学習の過程を一層重視し、生徒が主体的に目標や課題をもって学習を進めていけるような評価を目指すことが大切である。学習内容や時間のまとまりを見通しながら、生徒の主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善を行うと同時に、評価の場面や方法を工夫して学習の過程や成果を評価することを示し、授業の改善と評価の改善を両輪として行う「指導と評価の一体化」を図ることが必要である。

(2) 学習を振り返る活動

本実践では、指導と評価の一体化を図る授業をデザインするために、単元を通して学習履歴を書かせることによって生徒の学習過程や質的変容を明確にする「学習を振り返る活動」を導入した。この取り組みは、生徒が毎授業後に「授業のいちばん大切なこと」を自分で考え自分の言葉で表現する、というものである。授業ごとに学

習履歴を蓄積していく過程で、生徒は授業で得た情報を再構成して(内化)、それについて繰り返し考え(内省)、自分の言葉で書いて表現する(外化)。また、この学習履歴は、生徒が学びの進捗を把握しやすいよう一覧できる構成にしており(資料1)、生徒は自分の知識や技能の習得状況をモニタリングし、自分は何を理解しているのか、何ができるのか、学習の過程で自分の知識や技能がどのように変容していったのか、などの自己評価をすることができる。学習による変容を外化し可視化することで、生徒に学ぶ意味や必然性、自己効力感を感得させるための意図的な働きかけができる仕組みになっている。

一方で、指導者にとっても、この学習を振り返る活動は大変有効なものである。生徒に「授業のいちばん大切なこと」を表現させることで、毎授業後の生徒一人ひとりの学習の到達点を把握することができる。また、生徒の学習履歴をもとに、指導者の意図と生徒の授業をとらえる視点との「ずれ」を認識し、指導者が適切に授業改善をすることができる。このように、学習履歴を通じて生徒と指導者が双方向のコミュニケーションをとりながら、指導者が指導に生かすための評価を行う、これはまさに形成的評価と授業改善を両輪として行うことを可能にする方法の1つである。なお、この「学習を振り返る活動」は、堀(2013)が提案する一枚ポートフォリオ評価(One Page Portfolio Assessment;OPPA)を参考に導入した³⁾。

(3) 単元を貫く問い

単元を貫く問いとは「単元を通して生徒に最も身につけさせたい資質・能力に関する本質的な内容を問いの形で表現したもの」である。単元の導入とまとめて問いの内容を同じにすることで、生徒は見通しをもって学習を進めるとともに、学習を振り返る活動を行うことができる。また、単元を貫く問いに迫るための「個別の問い」を学習内容のまとまりごとに設定し、この個別の問いを

解決するため、生徒実験などの「探究活動」を取り入れた授業を計画した。さらに、内容の理解の深化を図るために、探究活動の方略として協働的な学びの場面「パフォーマンス課題」を導入した。パフォーマンス課題は、生徒が授業で獲得した知識やスキルをリアルな文脈において適切に使いこなすことができるかどうかを判断するものである。このような単元全体を見通した学習計画については、ウィギンズらによる「逆向き設計論」にもとづいて設定した⁴⁾。逆向き設計とは、カリキュラム設計にあたって、①教育目標、②評価方法、③学習経験と指導、④カリキュラム改善を一体のものとして設計することを提案するものである。本実践において、①は「単元を貫く問い」の設定、②は「学習を振り返る活動」による形成的評価の実施、③は既習の知識や技能を活用する「パフォーマンス課題」の導入、④は生徒の実態に応じた指導者による適切な授業改善に相当するであろう。高等学校 化学基礎において「逆向き設計論」にもとづいた単元計画および授業実践の報告例は少ない。したがって、化学基礎における単元開発を行いその有効性を検証することは、価値のあるものと考えられる。

(4) 教材について

本実践を行う単元として、高等学校 化学基礎「酸化還元反応」を選択した。酸化還元反応では、その定義を酸素や水素の授受から電子の授受へと拡張し、酸化剤と還元剤のはたらきをそれぞれ電子 e^- を用いた反応式で表す。さらに、酸化還元反応全体の反応式から酸化剤と還元剤の量的関係を確認し、中和滴定と同様の容量分析の手法を用いて、酸化剤あるいは還元剤の濃度を決定する方法を学ぶ。また、酸化還元反応の利用例として、電池の一般的な構造やしくみ、金属の製錬について学習するなど、日常生活と関連の深い単元でもある。このような学習の流れを踏まえ、本単元では、単元を貫く問いとして「酸化還元反応は私たちの生活とどのようなかかわりがあるだろうか」を設定した。また、酸化数の本質的意味を理解するための学び合い活動や、生徒実験「酸化還元滴定」を通して、単元を貫く問いに迫るための個別の問い「酸化剤と還元剤の反応にはどのような量的関係が成り立つだろうか」を解決する探究活動を取り入れた。本稿では、この探究活動の実際を中心に報告する。なお、酸化還元反応の単元計画を表1に示している。

表1 酸化還元反応の単元計画

単元計画（全20時）	
1) 酸化と還元	・・・4時間
① 単元を貫く問いのプレテスト ※次章参照。 酸化還元反応の復習【演示実験1】テルミット反応 授業の振り返りシートについて	
② 酸化還元反応の定義の拡張【演示実験2】銅と塩素の反応	
③ 酸化数の導入（取り決めの説明）	
④ 酸化数はどのように決められているか（パフォーマンス課題1） ※次章参照。	
2) 酸化剤と還元剤の反応	・・・5時間
① 酸化還元反応を酸化剤と還元剤にわけて表す	
② 半反応式の作り方	
③ 【実験1】マンガン原子の酸化状態と色	
④ 【実験2】酸化剤にも還元剤にもなる物質の反応	
⑤ 酸化還元反応の化学反応式	
3) 酸化還元の量的関係	・・・4時間（パフォーマンス課題2） ※次章参照。
① オキシドールの濃度を決定するための実験計画	
② 【実験3】酸化還元滴定	
③ 「酸化還元滴定の手引き」をつくろう1	
④ 「酸化還元滴定の手引き」をつくろう2	
4) 金属のイオン化傾向	・・・2時間
① 【実験4】金属のイオン化傾向の違いを見る	
② 金属の反応性【演示実験3】鉄くぎと濃硝酸の反応（不動態の形成）	
5) 電池	・・・4時間
① 電池の歴史および原理【演示実験3】ボルタ電池	
② 【実験5】ダニエル電池	
③ 【実験6】鉛蓄電池	
④ 【実験7】燃料電池	
6) 金属の製錬	・・・1時間
① 鉄の製錬（古代のたたら製鉄と現代の製鉄）、単元を貫く問いのポストテスト ※次章参照。 ※銅の電解製錬（実験）および熔融塩電解は単元「電気分解」で3学期に行う。	

2. 授業の実際

(1) パフォーマンス課題1

対象：4 学年A組(41 名)

使用教科書：「高等学校 化学基礎」第一学習社

副教材：「新課程版 スクエア最新図説化学」第一学習社
課題

分子中の原子の酸化数はどのように決められているか
その考え方を説明しよう

課題の設定について

酸化還元反応では、物質中の原子間で電子の授受を表すために「酸化数」の考え方を導入する。イオンからできた物質がかかわる反応では、イオンの価数の変化に注目すると物質間の電子の授受を判断しやすい。しかし、分子からできている物質だけがかわる反応では、電子の授受がわかりにくい。そこで、分子中の原子の酸化数は、原子の電気陰性度の大小関係によって決まることを学習し、その考え方を活用してさまざまな分子中の原子の酸化数を決めることができるようになることを目的として、この課題(資料2)を設定した。

授業の実際

まず、教科書に掲載されている「分子中の原子の酸化数はどのように決められているか」を読ませた。そして分子中の原子の酸化数は、分子のもつ共有電子対の電子を各原子に割り当て、原子の状態の電子の数と比較して決める、ということを経験したうえで、二フッ化酸素 OF_2 分子中の酸素の酸化数やエタノール $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 分子中の2つの炭素それぞれの酸化数を決める活動を行った。また、化合物中の塩素 Cl 原子がとりうる酸化数の値の差は最大8である、という事実を確認し、それが何に起因しているのかを考えさせる活動を行った。生徒同士の学び合いを観察し、指導者が気づいたことを以下に示す。

① 酸化数は、電子がもつ負電荷の授受に注目して、原子が電子を失ったとみなせる状態を正の値で表すが、酸化数を「電子を失った個数」として捉え「電子を失う⇒酸化数が減少する」と間違った解釈をしている生徒がいた。
② 既習事項である「電気陰性度」「電子式・構造式」の理解が不十分であることに気づき、以前学習した内容を振り返りながら生徒同士で学び合いをしていた。
③ 酸化数の値の差が最大8という事実から、電子の授受にかかわるのは各原子の最外殻電子である、と気づくことによって、電子式表記の意味、電気陰性度の定義やその実用性への理解が深まった。

とくに③について、分子中の原子の酸化数を決めるルールをただ暗記するのではなく、電気陰性度の定義を正確に理解し、その大小関係がわかれば酸化数を自分で決めることができる、という理屈が理解できたことが、一

部の生徒の授業後の学習履歴から見てとれた(図1)。よって、このパフォーマンス課題は、酸化数の決め方の本質を理解するのに有効なものであるといえる。

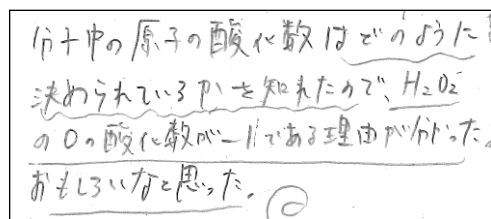


図1 生徒の学習履歴

(2) パフォーマンス課題2

対象：4 学年A組(41 名)

使用教科書：「高等学校 化学基礎」第一学習社

副教材：「新課程版 スクエア最新図説化学」第一学習社
課題

オキシドールの濃度決定のための酸化還元滴定の手引きをつくろう

課題の設定について

生徒はこれまでに中和滴定実験を通して、滴定に必要な実験器具の正しい使用方法や化学実験の安全に関する基本的な知識・技能を習得している。これを踏まえ、濃度既知の過マンガン酸カリウム KMnO_4 水溶液を用いて過酸化水素 H_2O_2 水(オキシドール)の質量パーセント濃度を決定するための実験計画を立て、酸化還元滴定実験を行った。さらに、実験結果にもとづいて、酸化還元滴定の原理や正しい操作法および実験の注意事項などを正確かつわかりやすくまとめた「酸化還元滴定の手引き」を作成する活動を行った。その際、活動に対応したチェックシート(図2)を活用し、生徒の実験技能の向上を図るとともに、既習の知識を関連づけながら統合し、表現する力を身につけることを目的として、この課題を設定した。なお、生徒の成果物を資料3に示している。

項目	視 点	チェック
1	酸化還元滴定実験の目的が示されているか。	
2	実験で使用した試薬やガラス器具(準備物)が示されているか。	
3	実験手順が示されているか。	
4	試薬やガラス器具の取り扱いなど、実験を安全に行うための注意事項が示されているか。	
5	なぜ硫酸酸性にするのか、その理由が示されているか。	
6	酸化還元滴定における終点の判定のしかたが示されているか。	
7	酸化剤と還元剤の反応の量的関係が示されているか。	
8	得られた測定値の扱い方(有効数字や誤差の扱い、計算の方法など)が示されているか。	
9	オキシドール中の過酸化水素の濃度を決定することの実用的な意義が示されているか。(私たちの生活において、どのように役に立っているのか。)	
10	手引きは、読み手に伝わるデザイン(レイアウト)になっているか。	

図2 「酸化還元の手引き」記入チェックシート

【探究課題】酸化還元滴定

1. 酸化還元滴定によって市販のオキシドールの質量パーセント濃度を決定するための実験計画を立てよう。
2. 酸化還元滴定によって市販のオキシドールの質量パーセント濃度を決定しよう。
3. 市販のオキシドールの濃度決定をするための「酸化還元滴定の手引き」をつくろう

準備物

オキシドール H_2O_2 (10 倍希釈), 0.0196 mol/L 過マンガン酸カリウム KMnO_4 水溶液, 3 mol/L 硫酸 H_2SO_4 , 褐色ビュレット (25 mL), ホールピペット (10.0 mL), コニカルビーカー (3 個), 駒込ピペット (5 mL), ろうと, 安全ピペッター, ビュレット台, 廃液回収用ビーカー

授業の実際

(1 時間目) 酸化還元滴定によって市販のオキシドールの質量パーセント濃度を決定するための実験計画

既習の知識や技能を統合しながら, 酸化還元滴定の実験計画を立てる活動を行った。図 3 に生徒が立てた実験計画の一例を示す。褐色ビュレットを使う理由, 反応の終点の判定のしかた, 硫酸酸性にする理由など, 実験の技能に関する内容についての記述がなされている。また,

図 3 には、生徒が立てた酸化還元滴定の実験計画の一例が示されています。計画には、滴定装置の図解、試薬の濃度（ KMnO_4 0.0196 mol/L、 H_2O_2 10 mL、 H_2SO_4 5 mL）、反応式、および濃度計算の表が含まれています。また、実験の繰り返しと平均値の算出についても記述されています。

図 3 酸化還元滴定の実験計画

滴定に必要な水溶液の体積を, 滴定量の平均をとって求めることに言及している。さらに, イオン反応式の係数に注目し, KMnO_4 と H_2O_2 の反応の物質質量比が 2:5 であることから, 酸化剤と還元剤の反応の量的関係を考えることができています。

(2 時間目) オキシドールの濃度決定

前時の実験計画にしたがい, 中和滴定実験で習得した実験技能を活用しながら, 各班でオキシドールの濃度決定を行った(図 4)。授業終了時には, 決定したオキシドールのモル濃度をクラス全体で共有することができた(表 2)。モル濃度を質量パーセント濃度に変換する過程や, 酸化還元滴定の手引きの作成は, 3~4 時間目で実施した。生徒の作品については, 資料 3 に示している。この作品では, とくに酸化還元滴定による終点の判定のしかたや硫酸酸性にする理由について, 既習の知識をもとにしっかりと記述できていることがわかる。



図 4 酸化還元滴定実験のようす

表 2 市販のオキシドールの濃度

班	濃度 [mol/L]	*濃度 [%]
1	0.856	2.8
2	0.859	2.8
3	0.858	2.8
4	0.858	2.8
5	0.872	2.8
6	0.843	2.7
7	0.861	2.8
8	0.865	2.8
9	0.869	2.8
10	0.861	2.8

*オキシドールの密度を $1.05\text{g}/\text{cm}^3$ として計算した値(有効数字 2 桁)。成分表示には $2.5\text{w}/\text{v} \sim 3.5\text{w}/\text{v}$ と記載されていた。

(3) 単元を貫く問い(プレテストとポストテスト)

単元を貫く問い「酸化還元反応は私たちの生活とどのようなかかわりがあるだろうか」を, 単元の導入およびまとめにてそれぞれ生徒に実施したところ, 次のような記述が見られた。その一部を抜粋して示す。

単元の導入

鉄が酸化するときには発生する熱が化学カイトに利用されている／金属がさびることは酸化である／10 円硬貨が時間とともに黒ずんでいく

単元のまとめ

トタンやブリキなどに利用されるめっきは、酸化されやすい金属の酸化を防ぐために施される／電池は電子の授受を離れた場所で起こしてその間を導線でつなぐことによって電流が流れる装置である／鉄の製錬では酸化鉄を主成分とする鉄鉱石からコークスによって酸素を取り除く反応が利用されている

単元の導入では、中学校での既習事項である「金属が酸素と結びつく反応」についての記述が多数あった。一方、生活とのかかわりについて全く書けない生徒も若干見られ、一部の生徒は、学んだ事象をリアルな文脈と関連付けて考察できていないことが示唆された。このような生徒の実態を踏まえ、とりわけ授業で獲得した知識やスキルを統合的に活用するパフォーマンス課題2の教材開発に重点をおいて単元計画(表1)をデザインした。

単元のまとめでは、イオン化傾向の差を利用しためっきや電池、電気分解と日常生活のかかわりについて書いていた生徒が多く見られた。学習を振り返る活動の際に「酸化還元反応と生活とのかかわり」を常に意識させたことで、学習の前後でこのような生徒の記述の質的変容が確認されたと考えられる。

(4) 学習を振り返る活動

生徒が毎授業後に書く「振り返りシート」の学習履歴(資料1)をもとにして、学習による生徒の実態の外化と可視化を行った。その結果、概ね生徒は自身の学習の到達度を客観的に確認しながら、見通しをもって学習に取り組むことができていた。たとえば、資料1の生徒は、単元導入時の「酸化還元反応の定義の拡張(1時間目)」から「半反応式による電子の授受の量的関係を考える過程(10時間目)」までを見るに、授業で獲得した知識が再構成され(内化)、自分の言葉で表現し蓄積され(外化)、そして新たな問いが生まれる(内省)、この一連の往還がなされているようすが見てとれる。このことから、振り返りシートに学習履歴を蓄積していくことによって、酸化還元反応の本質的な理解に到達していることが示唆された。

3. 成果と課題

本実践では、高等学校化学基礎「酸化還元反応」の単元において、①単元を貫く問いを設定し、それに迫るための方略として、②パフォーマンス課題を導入し、③学習を振り返る活動を通して「指導と評価の一体化」を図る授業をデザインすることを試みた。その結果、①～③

について、以下のことが明らかになった。

① 単元を貫く問い

「酸化還元反応は私たちの生活とどのようなかかわりがあるだろうか」を設定し、授業後の学習を振り返る活動を通して、生徒は、電池や金属の製錬などの酸化還元反応の利用と日常生活や社会とのかかわりを意識するとともに、自身の学習実態を客観的に把握しながら、見通しをもって学習を進めることができた。

② パフォーマンス課題

「酸化数の決め方」は、生徒が互いに協働して探究する過程を通して、酸化数の本質的意味を理解するための有効な課題であった。「酸化還元滴定」は、既習の知識や実験技能を統合する活動を通して、市販の薬品の濃度を決定するという滴定の実利的な意義を考えるための適切な課題であった。

③ 学習を振り返る活動

毎授業後に思考や認知過程を外化、可視化して学習履歴として明確にすることによって、生徒が自身の実態を客観的に把握し、見通しをもって学習をすすめる一助となった。また、指導者が生徒の学習履歴を見取することで、指導者の意図と生徒の授業をとらえる視点とのずれを認識し、指導者が適切に授業改善をすることができた。

一方、指導者は、生徒の学習履歴を見取るだけでなく、指導者自身の指導履歴や生徒の実態を蓄積して考察していくことで、授業計画の適切性や自身の力量形成に何が求められているか、自己評価することができる。今後は、OPPA論にもとづいて本実践を改善、発展させ、学習と指導と評価が三位一体となり、より有機的に機能していく授業デザインを目指したいと考えている。

参考・引用文献

- 1) 文部科学省. (2019). 高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)解説 総則編.
- 2) 文部科学省. (2010). 児童生徒の学習評価の在り方について(報告).
https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2019/04/17/1415602_1_1_1.pdf
- 3) 堀哲夫. (2013). 一枚ポートフォリオ評価 OPPA: 教育評価の本質を問う 一枚の用紙の可能性. 東洋館出版社.
- 4) McTighe, J., & Thomas, R. S. (2003). Backward design for forward action. *Educational leadership*, 60 (5), 52-55.

2022 年度 4 年生 化学基礎 授業の振り返りシート

単元：酸化還元反応 (教科書 p.165～)

今日の授業で最も大切なと思ったこと	質問や感想
10月27日(木) 2限 酸化還元反応は、酸化数から決まる。反応も含まれる。定義がわかる。	Fe_2O_3 は $16g/mol$, $2 \times 111.85g/mol$ で約 301 たかろ、 $2 \times 111.85g/mol$ のときに酸化数 (II) と Fe^{2+} を 3:1 で混合したのでいいか。
11月(木) 6限 酸化以外でも、水素と電子についても酸化還元反応の定義ができる。	なぜ水素と電子では定義できて、他の物質では定義できないのか？
11月(木) 5限 共有電子対と酸化数の関係は関係が深い。水素は 1 つたか酸化数は +1、酸素は 0 2 つたか酸化数は -2。例外のものも述べてその人数で計算すればいい。	酸化と還元が同時に起こることは、酸化数で証明できる気がする。
11月(木) 5限 電気陰性度によって、酸化数を計算することができる。	酸化数の Max と min の差が 8 になるのは、電子式と共有電子対の計算でわかる。
11月(木) 2限 酸化された物質は相手も還元し、還元された物質は相手も酸化している。	酸化剤・還元剤の半反応式の作り方が分かったか？ (個人) 5×10^{-2} の電荷の調整より先に O 原子の調整をしようか？
11月(木) 6限 O 原子、 H 原子、 e^- を交換か？ SO_4^{2-} 化還元反応が起ころい、 H_2O の状態でも変化する。	H_2SO_4 以外の酸ではなぜ SO_4^{2-} のか？ SO_4^{2-} なのに、酸の陰イオンが影響するしないの理由がわかる。

4 年 () 組 () 番 () 班 名前 ()

授業の振り返りシート

2022 年度 4 年生 化学基礎 授業の振り返りシート

単元：酸化還元反応 (教科書 p.165～)

今日の授業で最も大切なと思ったこと	質問や感想
11月16日(土) 限 MnO_4^- (過マンガン酸イオン) には含まれる Mn は、水溶液の酸性の条件によって、酸化数が変化します。	教科書に熱濃硫酸は酸化剤として使われると書いてある。これは、硫酸であって水溶液に酸化剤になるのには使えないのか？
Fe^{3+} は H_2O_2 の分解の触媒として使われる。	H_2O_2 (酸性条件) と KIO_4 の反応で生じた IO_3^- の酸化力が水溶液の水面に月夜ができていて、黒色の物質が浮いてきた。黒色の物質は IO_3^- か、 Fe^{3+} は行かないのか？
11月(木) 6限 反応前後で電子は変化しない。半反応式は、電子の数を合わせて消せば、完全なイオン反応式が作れる。	なぜ H_2O や H^+ の数を合わせなくてはいけないのか？
11月(木) 5限 酸化・還元反応を利用した滴定では、酸化剤が受け取った電子の mol と還元剤が失った電子の mol で等式を作ればいい。	半反応式が書けた化学反応式の係数で、左に書いた電子の係数が逆になるので、多少の混乱がある。
11月(木) 5限 濃硝酸を加えることで、酸化被酸化が起生し、不動態となる金属が存在する。	中学校のときに、何の酸化剤は金属の陽イオンを析出させる。これは含まれている NO_3^- の酸化力によるのか？ H_2O は低温で重水の性質をもつようになるのか？
11月(木) 6限 ボルタ電池は、電子のやりとりなので、酸化還元反応として説明することができる。	銅板や亜鉛板の表面に気泡 (H_2) が付着することによって、電流が流れるようになるのか？

4 年 () 組 () 番 () 班 名前 ()

授業の振り返りシート

2022 年度 4 年生 化学基礎プリント No. 18 (1 月 10 日 (木))

4 年 () 組 () 番 () 班 名前 ()

○酸化還元反応 (教科書 p.164~)

原子の酸化数

物質中の原子間で電子の授受を表すために、酸化数を用いる方法を学習した。酸化数を用いれば、分子からできている物質がかわる反応においても、電子の授受を判断しやすい。

【課題 1】(教科書 p.171 問 6)

次の各反応において、各原子の酸化数の増減を調べ、酸化された物質および還元された物質をそれぞれ化学式で答えよ。

(1) $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$

酸化された物質 Fe 還元された物質 H_2SO_4

(2) $2\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{HF} + \text{O}_2$

酸化された物質 Fe 還元された物質 H_2O

(3) $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$

酸化された物質 N_2 還元された物質 H_2

(4) $2\text{Mg} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{MgO} + \text{C}$

酸化された物質 Mg 還元された物質 CO_2

酸化数は、教科書 p.169 の表 1 の取り決めにしたがって決められる。このとき、化合物中の酸素原子の酸化数は +1、酸素原子の酸化数は -2、などと学習したが、これらはどのようにして決められているのだろうか。とくに、分子中の原子の酸化数の決め方について詳しくみていこう。

ポイント 分子中の原子の酸化数はどのように決められているか

分子中の原子の酸化数は、次の規則にしたがって、分子の持つ共有電子対の電子を各原子に割り当て、原子の状態の電子の数と比較して決められる。

①同じ元素の原子間の共有電子対

共有電子対を形成する電子を、各原子に均等に割り当てる。

②異なる元素の原子間の共有電子対

共有電子対を形成する電子を、電気陰性度の大きい原子に割り当てる。

例えば、同じ原子からなる水素 H_2 や酸素 O_2 では、それぞれの分子中で共有電子対の電子をそれぞれの原子に同じ数ずつ割り当てるので、酸化数は 0 となる。

水分子 H_2O と過酸化水素 H_2O_2 の各原子の酸化数は、O の電気陰性度が H より大きいので、O-H 間の 2 個の電子はすべて O に割り当てられ、O-O 間の 2 個の電子は均等に O に割り当てられる (図 a)。したがって、 H_2O 中の O の酸化数は -2、 H_2O_2 中の O の酸化数は -1 となる。

1 個ずつ O に割り当てる

2 個ずつ O に割り当てる

図 a 電子の割り当て

・は酸素原子からの電子、・は水素原子からの電子である。

教科書 p.170 「分子中の原子の酸化数はどのように決められているか」

【課題 2】

左の「分子中の原子の酸化数はどのように決められているか」を参考にし、二フッ化酸素 OF_2 の O の酸化数を求めよ。なお、 OF_2 の電子式を示し、酸化数を決める考え方も記すと。O、F 各元素の原子の電気陰性度は、教科書 p.66 や図説 p.39 を参考にせよ。

電子式 $\text{F}:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{F}}:$ → $\text{F}:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{F}}:$

O の電気陰性度 < F の電気陰性度

酸化数 $+2$

【課題 3】

(1) エタノール分子 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ の構造式および電子式をかけ。

構造式 $\text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$

電子式 $\text{H}:\ddot{\text{C}}:\ddot{\text{C}}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$

(2) エタノール分子に含まれる 2 つの炭素原子の酸化数をそれぞれ求めよ。なお、酸化数を決める考え方も記すこと。各元素の原子の電気陰性度は、教科書 p.66 や図説 p.39 を参考にせよ。

電気陰性度 $\text{H} 1.0 < \text{C} 2.6 < \text{O} 3.4$

炭素原子の酸化数 -3 -1

【課題 4】

(1) 下線部の Cl の酸化数を求めよ。(教科書 p.170 問 4)

塩化水素 HCl 過塩素酸 HClO_4 塩素酸 HClO_3 亜塩素酸 HClO_2 次亜塩素酸 HClO

酸化数 -1 $+7$ $+5$ $+3$ $+1$

(2) (1) より、塩素の酸化数は +7 から -1 まで、化合物によつてさまざまな値をとり、酸化数の最大値と最小値の差は 8 である。これは何に起因しているか。塩素原子の電子式に着目して考察せよ。

Cl の最外殻の電子の最大数が 8 であり、
最小値は 1 (Cl の電子の割り当て)。
最大値 (Cl の最外殻の電子はすべて電子が 7 (酸化数 -1) の状態で、
最小値 (Cl の最外殻の電子はすべて電子が 1 (酸化数 +7) の状態で、
Cl の酸化数は +7 から -1 までの範囲が考えられる。

(3) 化合物中の硫黄原子がとり得る酸化数の最大値と最小値はそれぞれいくらか。またその差はいくらか。化合物の例を挙げて説明せよ。

最大値 $+6$ (例: H_2SO_4)
最小値 -2 (例: H_2S)
差 8

0.5mm パーセント濃度に換算
 元の材料の 100 の密度を $\rho_{\text{原材}} / \text{kg/m}^3$ とすると、
 新たに材料のセル密度は $\rho_{\text{セル}} / \text{kg/m}^3$ である。求めるセル
 パーセント濃度は

$$\text{セルの密度} / \text{元の材料の密度} = \rho_{\text{セル}} / \rho_{\text{原材}}$$

$$\text{セルの密度} = \rho_{\text{セル}} / \rho_{\text{原材}} \times 100$$

$$= 0.5 / 0.5 \times 100 = 100\%$$
 である。