

「物質の成り立ち」(中学校第2学年)

水の電気分解

MAEKAWA Tetsuya

前川 哲也

お茶の水女子大学附属中学校

実験のねらい

「化学変化と原子・分子」では、物質を分解する実験を行う。分解の実験では、すでに、この「定番！化学実験」でも酸化銀や炭酸水素ナトリウムの熱分解^{1,2)}について取り上げたが、今回は熱エネルギーではなく、電気エネルギーを使って物質を分解することに違いがある。

ここでは、水が電気分解したときの変化の様子と、生じた気体の性質を調べ、水は電流によって水素と酸素に分解されたことを確認させたい。

「分解して生成した物質から元の物質が推定できることを見いだす」も授業のねらいの1つであるが、この実験では元の物質は水であることが明らかである。したがって、分解反応に伴って「性質の異なる2種類以上の物質に分かれる」ということを、実験を通して理解させることに主眼をおいた方がよい。それによって「物質は何からできているか」という原子・分子の概念につなげて進める方が、授業として自然な流れになる。

準備

器具：簡易電気分解装置（ステンレス製の電極付き水槽、目盛り付き小型試験管、ピンセット）^{*1}、ゴムせん、電源装置、クリップ付き導線、線香、マッチ、燃えさし入れ、安全めがね（人数分）

試薬：水酸化ナトリウム水溶液（5%）300 g ^{*2}

^{*1} 電解実験器 EB ¥4,800 ケニス理化学機器、平成11～12年度（1999）。

^{*2} 5%水酸化ナトリウム水溶液を作るには、あらかじめピーカーに水285 gを入れておき、ガラス棒でかきまぜながら、数回に分けて固体の水酸化ナトリウム15 gを溶かしてつくる。溶かすときに発熱するので注意し、温度が下がってから容器に保管する。ガラス製のびんに保管するときは、ガラスの栓を用いると栓が取れなくなることがあるので、ゴム栓を使用する。なお、固体の水酸化ナトリウムには潮解性があり、空気中の水分を吸収してべとつき、薬包紙についてしまう。質量の測定は手早く行い、また、試薬瓶のふたはすぐにしめるようにすること。

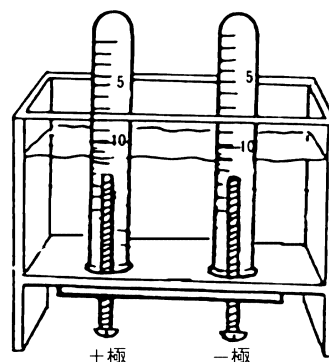
実験操作（授業展開）

【展開1】

実験を開始する前に、安全めがねをつける。

電解装置の水槽に水酸化ナトリウム水溶液を入れる。水酸化ナトリウム水溶液が手につかないように^{*3}注意しながら、ピンセット等を用いて、試験管を水槽に完全に沈めて空気を抜き、次の図のように電極に試験管を差し込む。

^{*3} 水酸化ナトリウム水溶液は手につくとぬるぬるとした感触がある。手についたと感じたらすぐに流水で洗うこと。また、ピンセットで試験管を扱うさい、かなりすべりやすいため電極に試験管を立てにくい。慎重に操作するよう指導する。また、写真用竹製の先端ゴム付きピンセット（中村理科製3本480円）を使用したり、使い捨てのポリ袋でつまんだりすると、取り扱いがしやすい。いずれにせよ、操作の際に液面からはねた水酸化ナトリウム水溶液が手や顔につかないように十分注意して実験を進めるよう指導しておく。



【展開2】

クリップ付き導線を用いて電極と電源装置を接続する。

電源装置の電流計で電流量を確認、調整しながら、電圧をかける^{*4-6}。

^{*4} 直流6～10V程度で、気体の発生の様子に応じて調整する。

^{*5} 電圧をかける前に陰極・陽極がどちらかを確認しておくこと。

^{*6} 電源装置の+極（正極）と接続した電極を陽極、-極（負極）と接続した電極を陰極という。

【展開3】

両極に発生した気体の体積の割合を確認する。

陰極側の試験管を、口を下にしたまま取り出し、素早くマッチの火を試験管の口に近づける^{*7}。

陽極側の試験管にゴムせんをつける。ゴムせんを電気分解装置の液中に立てておき、試験管を上からかぶせる形がやりやすい^{*7}。試験管を取り出したら、口を上にして、ゴムせんをとり、中に火のついた線香を入れる。

^{*7} ^{*3}でも述べたが、水酸化ナトリウム水溶液が手につかないように慎重に操作させる。もし、手についたらあわてずに手を洗うよう、指導しておく。

【結果とまとめ】

5%水酸化ナトリウム水溶液を8Vで電流を流した場合、1分ごとに陰極・陽極で発生する気体の上部のゴム栓から

表1 陰極・陽極で発生する気体の体積。

時間(分)	1	2	3	4
陰極(ml)	2.5	5.3	8.2	10.6
陽極(ml)	1.2	2.6	4.1	5.3
体積比	2.1:1	2.0:1	2.0:1	2.0:1

陰極側：マッチの火を近づけると、ポンと音がする。

水素の発生の確認

陽極側：気体の中で線香は勢いよく燃える。

酸素の発生の確認

の長さとその比を表1に示す。

なお、このときの電流は、0.29 Aであった。

解説

純粋な水では電圧をかけても、気体は発生しにくい。そこで、水を電気分解するには、水酸化ナトリウムや硫酸のような電解質を加えて、変化を起こりやすくしておく必要がある。

電気分解で気体の発生量は、電流の大きさに比例する(ファラデーの法則)。電流が0.1 A程度以上は流れるように電源装置の電圧を調整する。0.1 A程度の電流があれば、数分間で水素4 ml、酸素2 ml程度は得ることができる。ちなみに、気体の発生量は、電圧を決めても意味はない。電解質の種類や電極間の距離等にもよるが、電解液は何回も使い回すことを考えると、濃度や組成が変化して、同じ電圧でも流れる電流は変化する。

電解質としては次のバリエーションで紹介するように、水酸化ナトリウムのほかにも何種類か考えられる。イオンの電導度は表2のように、水素イオンと水酸化物イオンの場合が特に大きいため、これらのイオンを含む硫酸や水酸化ナトリウム水溶液では、含まない硫酸ナトリウムや炭酸ナトリウム水溶液よりも電流がよく流れ、短時間でより多くの体積の気体が発生する。

表2 水溶液中の当量イオン電導度³⁾ cm^2

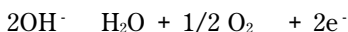
H ⁺	349.8	OH ⁻	198.3
Na ⁺	50.10	Cl ⁻	76.35
K ⁺	73.50	1/2 SO ₄ ²⁻	80.0
1/2 Cu ₂ ⁺	55	1/2 CO ₃ ²⁻	69.3

水酸化ナトリウム水溶液による水の電気分解では次のような変化が起こっている。

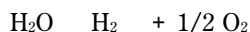
陰極では、イオン化傾向の大きいナトリウムイオンは還元されず、水分子が還元されて水素を発生する。



陽極では、水酸化物イオンが酸化されて酸素が発生する。



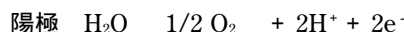
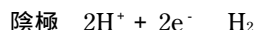
よって、両極をあわせると、



となる。

なお、硫酸による電気分解では、陰極は水素イオンが還

元されて水素が発生し、陽極は酸化されにくい硫酸イオンに代わって水が酸化されて酸素が発生する。



バリエーション1

【電解質を変える】

今回、用いた水酸化ナトリウム水溶液はアルカリ性が強い。濃厚な水溶液になると腐食性に富み、人体の組織までおかす。特に、目が危い。濃度と量によっては角膜をおかし、乱視になったり、ひどいときには失明したりという危険性もあるため、取り扱いに十分注意するようにという指導はもちろんのこと、安全めがねの使用も徹底させたい⁴⁾。

水酸化ナトリウムの代わりになる物質としては、硫酸、炭酸ナトリウム、硫酸ナトリウムなどが挙げられる。ただし、硫酸の場合は、水酸化ナトリウム同様に劇物である点や、ステンレス電極やニッケル電極などを用いた場合、腐食されてしまう欠点がある。一方、炭酸ナトリウム、硫酸ナトリウムは、解説で述べたように、気体が発生するのに時間がかかる欠点はあるが、電解質が強アルカリ性ではないため、危険性は少なくなるという点で、生徒実験としてすすめられる。なお、硫酸ナトリウムの場合、ステンレス電極では陽極付近の水溶液の色がやや黄色みを帯びる。これは電極の金属が一部溶け出したものであると思われる。

表3は、電解質を5%硫酸、10%炭酸ナトリウム水溶液、10%硫酸ナトリウム水溶液^{*7)}に変えて表1と同じ装置で電気分解を行ったときの、実験結果である。

表3 電解水溶液の違いにおける電流と電圧(実験で実測した例)

水酸化ナトリウム(5%)	0.29 A	8.0 V
硫酸(5%)	0.28 A	6.0 V
炭酸ナトリウム(10%)	0.11 A	10.0 V
硫酸ナトリウム(10%)	0.09 A	10.0 V

バリエーション2

【電極を変える】

電極はステンレス電極が一般的である。しかし、前述したように、電解質が水酸化ナトリウムのときにはそれでいいが、硫酸だと、しだいに電極が酸化され、溶けて細くなってしまふ。

代わりに炭素棒を電極にする方法もある。この場合は、炭素棒と発生する酸素が何らかの反応をしてしまい、体積比が2:1になりにくいという欠点がある。また、電極が破壊されることがある⁵⁾。

ニッケル電極は、硫酸の場合、腐食が激しくなる。

白金電極なら、ここまで述べた欠点はないが、高価であり生徒実験を行うだけの数をそろえるのが難しい。

したがって、水酸化ナトリウムを電解質にした場合は、ステンレス、ニッケル、白金電極のいずれかを、硫酸を電解質にした場合は白金電極を、硫酸ナトリウムを電解質に

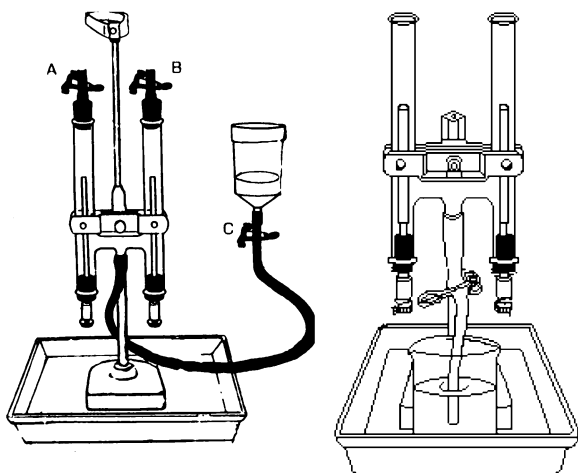
した場合はニッケル，白金電極のいずれかを，炭酸ナトリウムを電解質にした場合は炭素，ニッケル，ステンレス電極のいずれかをを用いることが適切であると考えられる。

バリエーション 3

【電気分解装置を変える】

電気分解装置は，さまざまなタイプのものが市販されている。また，自作することも可能である。それぞれの装置には使いやすさや使用する水溶液の量などに特徴があるため，学校や生徒の実情にあった器具を用いたい。

H字管を用いた装置で，教科書などによく掲載されているタイプのものである。ホフマン型電気分解装置という。



左図のように液だめがついているタイプのもので，右図のようにビーカーをセットするタイプのものである。いずれも，実験操作で使用した装置のように，液を満たしたまま試験管を逆さに立てるといった難しい操作がなく，また必要とする水溶液の量が少ないというメリットがある。しかし実験や水溶液の回収の操作が難しく，水溶液をこぼしてしまいやすいなどのデメリットも多いので，生徒実験で用いるには十分な注意が必要である。

また，H字管への水溶液の入れ方が初心者にはわかりにくいので，以下に詳しく解説する。

(1) 液だめ型(左図)の場合

H字管，ゴム管，液だめを図のように組み立て，バットのの中に置く*⁸。

H字管の下に電極を差し込む*⁹。

液だめをH字管より低い位置におき液を入れる*¹⁰⁻¹¹。

H字管の上部に液が入るように液だめの高さを調節する。

H字管の上部のゴム管から液がこぼれる直前にピンチコックA，Bを閉じる。

*⁸ 図のA，B，Cのピンチコックはすべてあけておく。

*⁹ 差し込み方がゆるいと液が漏れてしまうため，しっかり差し込む。

*¹⁰ ゴム管がつぶれて液の流れが止まってしまうように注意する。

*¹¹ H字管の横の管の部分に泡が入らないように注意する。

(2) ビーカー型(右図)の場合

H字管，ゴム管，ビーカー，電極を図のように組み立

て，バットの中に置く*¹²。

H字管の上部より水溶液を入れる。

H字管の上部にゴム栓をする。

ピンチコックを開ける*¹³。

*¹² 図のピンチコックはしめておく。

*¹³ 電圧をかけると，ゴム管から水溶液がポタポタとたれ，それをビーカーが受ける。そのためピンチコックを開けないで電圧をかけると，密閉されたH字管内に気体が発生し，圧力が高くなり，危険である。また，ピンチコックを開けたときに，少量の水溶液がたれる場合があるので，手につけないように注意する。

バリエーション 4

【エネルギーの変換に注目する】

エネルギーの変換については中学校第3学年の「運動の規則性」や「物質と化学反応の利用」で学習するが，電気分解は，電気エネルギーから化学エネルギーへの変換であることを学ぶことができる。

(1) 手回し発電機を使って

電気分解に必要な電気エネルギーは，電源装置で供給されたが，これを手回し発電機で代用することができる。手回し発電機は運動エネルギーを電気エネルギーに変換する道具であり，運動エネルギー → 電気エネルギー → 化学エネルギーの変換の実験が行える。

(2) 燃料電池

最近では携帯電話やノートパソコンなどのモバイル機器などに用いるバッテリーに，燃料電池が脚光を浴びている。

燃料電池は水の電気分解とは逆に，水素と酸素を反応させて水をつくることで，電気を発生させるエネルギー変換装置である。水素と酸素の化学エネルギーを電気エネルギーに変換させることができる。エネルギー効率が高いうえ，生成される物質が水だけなので，環境にやさしいといわれている。水の電気分解と燃料電池の両方の実験が一つの装置でできる「リバーシブル燃料電池」を使った教材*¹⁴も販売されている。

*¹⁴ Hy Runner(ハイランナー) ¥58,000⁶⁾

成功のコツ

酸素の溶解度が水素に比べて大きいので，適切な電極を選んでも，電圧をかけ始めた直後は，発生した水素と酸素の体積比が2:1からずれることがある。この影響を小さくするには，事前に一度電気分解して，水溶液中に気体を溶解させてから実験するとよい。

参考文献

- 1) 山口舞子，化学と教育，52，98(2004)
- 2) 山口晃弘，化学と教育，51，176(2003)
- 3) 国立天文台 編，理科年表，平成3年版，535。
- 4) 山口晃弘，化学と教育，51，774(2003)
- 5) 鈴木智恵子・居林尚子，化学と教育，41，396(1993)
- 6) テラマート <http://www.terramart.ne.jp/>

連絡先：112 8610 東京都文京区大塚2 1 1(勤務先)

☆☆ あると便利！ ☆☆

3色ボールペン(評価場面の工夫)

【授業ノートでの個別評価】

「評価の日常化」を図る方法の1つとして、ノートを活用する。1単元で20回近く、生徒全員を対象に個別にフィードバックができる。その方法はいたって単純である。

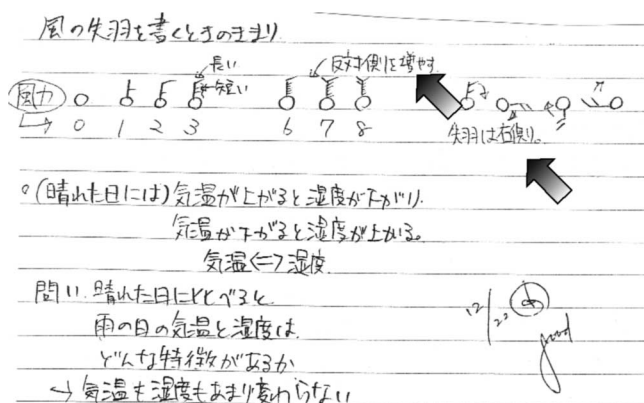
ノートを書き終えた生徒から、見せにこさせる。その場で評価を下し、ノートを返す。

授業の後半の数分間で、40名近い学級の生徒全員を個別に評価する。生徒一人当たりにかかる時間は数秒から十数秒である。ほとんどの生徒には、「合格」とだけ、言って、日付と「good」をボールペンでサインする。その後、ノートを返した生徒から順に器具の片付けをさせる。

ノートを見て結果や気づいたことがはっきりしない場合は、そこを問いただす。ときには、「やり直し」*1として、再提出を求めることもある。結果的には、ほぼ全員がサインをもらうことになる。

*1 経験的には、最初にノートを持ってきた生徒に「やり直し」と言うと実験の考察のレベルが学級全体で上がる。「やり直し」の根拠を示すと、その情報が他の生徒にも伝染するように伝わるのである。

授業全体からすれば、このノート点検はわずかな時間であるが、定着すると授業が引き締まってくる。うまく判定できるようになると、生徒からの信頼が増す。また、点検をすることを通して、無理なく一人一人の生徒とコミュニケーションがとれ、生徒指導上も有効である。



上の図は「化学」の領域ではないが、天気記号を指導した授業の例である。矢印の部分は、板書にはない文字を説明の中から自らとらえてノートに書いたものである。こういう生徒の工夫を見つけた場合にはその場でほめて、次の学習への意欲につなげる。実験の結果を色鉛筆でわかりやすくまとめたり、考察に自分なりの考えを詳細に記述したりした場合も同様である。やはり、ほめて、サインを追加する。

いずれにせよ、生徒の見ている目の前でノート点検を行

っているのが、アドバイスがしやすい。必然的に助言が形成的な評価になる。

この評価場面で、3色ボールペン*2が役に立つ。評価の観点を色で区別するのである。「赤色」は興味・関心、「青色」は技能・表現、「黒色」は科学的思考を示す。実験のときにするサインは、通常「赤色」の興味・関心である。特に、顕著な行動や気づいたことの記述があった場合には、「青色」や「黒色」のサインを追加する。



*2 ペンを色ごとに使い分けたり、サインの種類を変えたり、ゴム印やスタンプ台の色で評価を区別するも可能である。しかし、短時間に評価し分けるには、3色ボールペンがもっとも使いやすい。学校の事務室で用意されていなくても、100円で市販されている。ふだんから3色ボールペンを用意し、ポケットに入れて携帯しておくとうい。

なお、この方法のノート点検は、実験の進行具合によって、休み時間にまでかかることがあるし、時間がとれないときもあるが、教師さえ慣れてくれば、ほぼ時間内で終了できる*3。次の授業の開始時間が迫ったときは、ノートを集めておいて、後でまとめてノート点検をすればよい。

*3 短時間で公平な評価を下すのは難しい。その実験のねらいにそった着眼点をあらかじめ考えておく。また、一目で生徒のノートを見取る訓練が必要である。ちなみに、教育実習生にはすすめない。

【授業ノートを自己評価に生かす】

単元のまとめりごとに自己評価を行わせる。そのときにもノートを活用している。

授業のノートを通して、自分の学習を振り返らせる。具体的には、「サイン集計表」を生徒に書かせている。生徒が自ら集計することで、学習を振り返ることになる。「反省・要望」欄を含めて自己評価につなげる。

また、集計された数は学期末の評定と関係させている。

山口晃弘(品川区立日野中学校)

「定番！化学実験」では、ふだんの授業で行われる「定番」の化学実験を、簡単、安全、確実、効果的なものにしていくための工夫を、実践例をもとに紹介していきます。このため、必ずしも実験のオリジナリティーにはこだわりませんが、もとにしたアイデア等については文献等を明記します。

また、実験を安全・確実に成功させるための「成功のコツ」や、実験に役立つ書籍や便利な器具とその入手方法などワンポイントアドバイスを随時掲載していきます。

実験を行う際は、注意事項をお守りいただき、安全確認のため必ず予備実験を行った上で実施してください。

この「定番！化学実験」は、下記のメンバーが、運営を担当しています。

梶山 正明, 城戸 律雄, 小森 栄治, 荘司 隆一,
高梨 賢英, 平賀 伸夫, 前川 哲也, 牧野 順子,
宮内 卓也, 山口 晃弘, 山口 舞子