

【題材名】 化学変化と電池 (ダニエル電池の製作)

【概要】 新しい学習指導要領から、電池の基本的な仕組みについては、ダニエル電池を取り上げることとなった。生徒にとって身近な電池の基本的な仕組みを「イオンへのなりやすさ」と関連付けて理解を深めていくことが本授業の目標である。物質によってイオンへのなりやすさが異なる点や、それに伴う電子の動きを、粒子モデルを用いて説明していく。ダニエル電池の作製については、従来よく用いられてきた「素焼き皿」「セロハン」等の隔壁を用いず、電解質を寒天で固めることで、隔壁に対する生徒の理解の壁を低くする工夫をした。

### 1. 本時の目標

電池の基本的な仕組みを「イオンへのなりやすさ」と関連付けて理解を深める。

### 2. 本時の位置づけ

中学校第3学年の「化学変化と電池」の単元は全6時間を以下に示す計画で行う。

第1時	陽イオンへのなりやすさについて
第2時	陽イオンへのなりやすさと粒子モデル
第3時	電子の移動について
第4時	様々な電池 (ボルタ電池等) の作製とその粒子モデル
第5時 (本時)	ダニエル電池の作製とその粒子モデル
第6時	燃料電池について

中学校2学年で、電子の流れについてや酸化還元について学習している。よって、陽イオンへのなりやすさについては、既習事項を振り返らせることで理解を深めたい。ボルタ電池については、分極等の現象が生徒を混乱させる可能性があるが、イオンへのなりやすさを説明する

過程で、思考の流れがスムーズであるために、単元計画へ入れている。

### 3. 本時の主張

生徒は前時までに、イオンへのなりやすさについてや、それに伴う電子の動きや電極付近の反応について学習している。それらを電池の仕組みの理解へとつなげる必要がある。しかし、そこでどうしてもダニエル電池の隔壁に対する理解不足が障害となる。

そこで、ダニエル電池の2種類の電解質を寒天でかためることで、その間の壁を意識しなくても済むようにした。そうすることで、生徒の既習事項の範疇での試行錯誤が可能となる。

ダニエル電池といえば、銅と亜鉛を用いるが、そこにマグネシウムを加え、3種類の金属と3種類の電解質を用いて、電池の仕組みを考えさせることとした。

課題の与え方や、粒子モデルによってイオンや電子の動きを予想させることで、生徒を意欲的に取り組ませたい。

#### 4. 本時の展開

主な学習活動と予想される生徒の反応	指導上の留意点
<p>(1. 導入)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ダニエル電池の仕組みについて復習する。</li> <li>掲示板投稿の内容紹介</li> </ul> <div data-bbox="159 436 746 739" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>SECHU!</b> 知恵袋</p> <p>MAG_NE_SIJUM さん 2018/6/16 07:30:00</p> <p>私はマグネシウムと言います。自分で言うのもなんですが、色々な物質から好かれています。そんな私の前で、亜鉛と銅が仲良く電池を作っています。「私たちが最強コンビだ」と言い張って、仲間にいれてくれません。どうかお願いします。私マグネシウムとペアを組んだ方がよい理由を2人に説明してください。</p> </div> <p style="text-align: right;">(5分)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スライドを用いて、数人を指名しながら復習を行う。</li> <li>単元の流れを意識しながら、既習事項を振り返る。</li> <li>寒天で行う必要性について軽く触れる。</li> </ul> <div data-bbox="1236 481 1412 548" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;"> <p>振り返り</p> </div>
<p>(2. 展開)</p> <p>(1) 課題を与える。 <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">問題発見</span></p>	
<div data-bbox="183 907 1380 974" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>「マグネシウム」は、「銅」と「亜鉛」のペアよりも大きな電圧を作り出す電池の電極となるのか。</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>使用可能な金属・電解質（寒天で固めたもの）の確認を行う。</li> <li>使用可能な実験道具の確認を行う。 シャーレ、導線、電圧計、プロペラ付きモーター、電子オルゴール 等</li> </ul> <p style="text-align: right;">(5分)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>薬品の取り扱いについて、危険性を十分留意させる。</li> </ul>
<p>(2) 粒子モデル等を用いて予想する。 (個人 → 班 → クラス)</p> <p>・予想される生徒の反応</p> <div data-bbox="534 1332 949 1400" style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;"> <p>計画、情報収集・精査・選択</p> </div> <div data-bbox="183 1411 766 1612" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>ZnとCu、MgとCuの2種類の電池を作製して、電圧の大きさを比較しよう。</li> <li>ZnとMgの電池を作製して、電流が流れる向きを確認しよう。</li> </ul> </div> <div data-bbox="183 1624 646 1948" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>① ZnとCuの電池 MgSO<sub>4</sub> 電圧: Mg &gt; Zn &gt; Cu Znの方を正極とした場合 Zn, Cu &lt; Mg, Cu</p> <p>② MgとCuの電池 Cuの方を正極とした場合 Zn &gt; Cu &gt; Mg Znの方を正極とした場合 Zn, Cu &lt; Mg, Zn</p> </div> <p>写真① 生徒の実験計画例 (その1) (15分)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホワイトボードを配布する。</li> <li>既習事項や既存の知識をもとに、根拠を明確にした予想をさせる。</li> <li>粒子モデルを用いて、誰もが理解しやすい説明ができるように工夫させる。</li> </ul> <div data-bbox="813 1601 1252 1960" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>① ZnとCuの電池 MgSO<sub>4</sub> 電圧: Mg &gt; Zn &gt; Cu</p> <p>② MgとCuの電池 Cuの方を正極とした場合 Zn &gt; Cu &gt; Mg Znの方を正極とした場合 Zn, Cu &lt; Mg, Zn</p> <p>③ CuとMg、オルゴールの音の大きさや電圧計の1回分を測る。そのとき大きい順に、電圧のペアをあげる。</p> <p>④ もし、鳴らなければ、合計の電圧を測り、それが鳴らなければ、電圧のペアを測る。</p> </div> <p>写真② 生徒の実験計画例 (その2)</p>



(3) 電池の作製

- それぞれの実験計画をもとに、実験を行う。

解決の実行



実験に必要な薬品等を教卓にとりくくる。

- 粒子モデル等を用いたレポートを作成する。

振り返り

(15分)

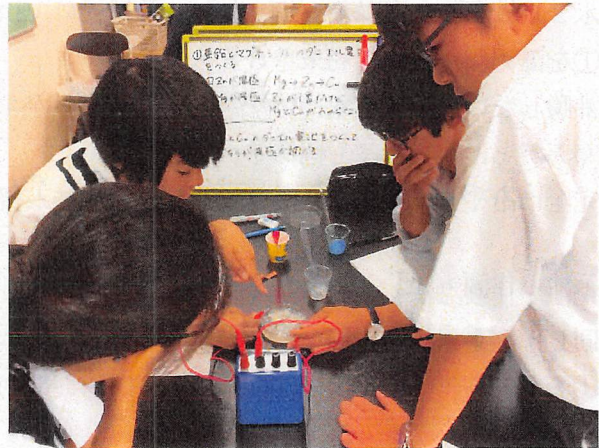
(3. まとめ)

- レポートを回収する。
- 教師からダニエル電池についての補足説明を行う。

(5分)

- 実験計画を確認しながら、生徒同士が協力して効率よく実験を行えるように支援する。

- 必要な薬品・器具等は、その都度前に取りに来るようにさせる。



実験計画通りに実験を行っている。

- ※次時のレポート返却の際に、いくつかのレポートを用いて、ダニエル電池に関して、教師の説明を加える。

【レポート例】

実験内容 ダニエル電池(亜鉛と銅)(亜鉛とマグネシウム)を2種類作る。

① (亜鉛と銅) (亜鉛とマグネシウム)  
 $Cu^{2+}$   $Zn^{2+}$   $ZnSO_4$   $MgSO_4$   
 ↑ ↑  
 電圧計の正負極を判断 電圧計の正負極を判断

結果

① アロハラが銅側から亜鉛に回転して銅が正極亜鉛が負極になると考える  
 - 下線部が正極は陽イオンへのリヤササが亜鉛(Zn)と銅(Cu)であるという点。

② 電圧計の+側に Zn、-側に Mg とつくと電圧計の示す値が +0.6V となり Zn が正極、Mg が負極と考える。  
 - 下線部が正極は陽イオンへのリヤササがマグネシウム(Mg)と亜鉛(Zn)であること。

結果わかること(考察)

大前提として  
 電圧の大きい電池とは陽イオンへのリヤササの速い方、その金属が使用した電圧が高い陽イオンへのリヤササ  
 $Zn > Cu$ ,  $Mg > Zn$  より  $(Mg > Zn > Cu)$  となるので  
MgとCuの組み合わせは、次に電池のなかで亜鉛と銅を使ったダニエル電池より電圧が大きい電池と言えるので。

結論  
 マグネシウムが銅とペアを組む方が亜鉛と銅の方がよい。

以上

実験内容 1.①ダニエル電池の方法で作る。亜鉛と銅の金属板1枚ずつ。(2つの金属板が接触しないこと) ②アロハラを付けた試験管に①の亜鉛、試験管①の銅の上に入れる。③付けた金属板に電圧計を接続して回路をつくる。(電流の向き、電圧の向き)

2. 1と同様に亜鉛とマグネシウムの反応を見る  
 3. 1と同様に銅とマグネシウムの反応を見る

結果

	正極	負極	電圧(V)
1.	Cu	Zn	1.1
2.	Zn	Mg	0.6
3.	Cu	Mg	1.8

電圧計の向きは+の方

結果わかること

実験2から、アロハラは亜鉛より陽イオンへのリヤササが速いことわかる。(負極の向きが+側) したがって  $Mg > Zn$  となり、1, 2, 3より、陽イオンへのリヤササは  $Mg > Zn > Cu$  (この時、最も大きな電圧をつくる組み合わせは陽イオンへのリヤササが最も速い  $Mg > Cu$ .)

1.1と1.8より、銅は亜鉛より陽イオンへのリヤササが速いことわかる。したがって、銅と亜鉛の組み合わせは、銅とマグネシウムの組み合わせより電圧が大きい。



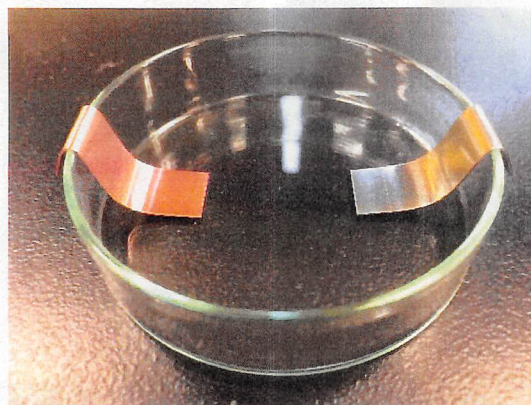
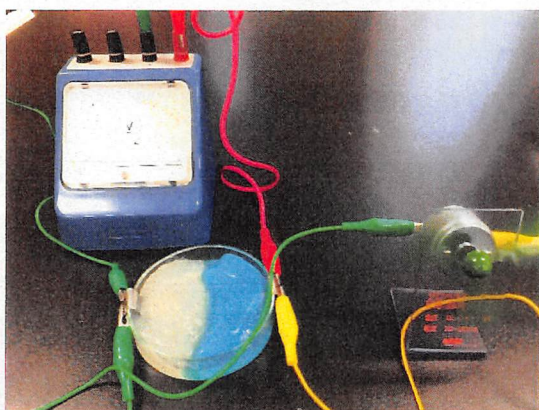
生徒の実験計画及びレポート内容は、おおきく2つに分かれた。亜鉛と銅、亜鉛とマグネシウムそれぞれの組合せによるダニエル電池を作製し、プロペラの回転方向などから金属の陽イオンへのなりやすさを判断している方法が1つ（レポート例左）。もう1つは、3つの金属による3通りの組合せでダニエル電池を作製し、それぞれ電圧計の値を全てはかり、それらと比較する方法（レポート例右）である。後者の場合は、電圧計の針の動きから、正極・負極の判断もでき、より明確な判断が可能である。

#### 【寒天電解質の作製方法】

- ①水200 mLに硫酸塩（銅、亜鉛、マグネシウム）28 gを入れ、よくかき混ぜる。
- ②①を温めながら寒天粉末を3 g入れる。
- ③沸騰しないように気をつけながら、寒天をとかす。
- ④寒天がとけたら冷やし固める。
- ⑤完全に冷やした後にかき混ぜておくと、生徒が授業で扱いやすい。

#### 【電池の作製方法】

- ①同じ形の金属板を準備する。（15 mm×45 mm ケニス）
- ②①をシャーレの淵に引っ掛けられるように折り曲げておく。
- ③直径9 cm程度のシャーレに②を2種類置く。
- ④③の中に寒天電解質水溶液2種類を入れる。



※マグネシウム板は手に入れづらいが、ケニスから購入することができる。ケニスから発売されている同規格（15 mm×45 mm×0.5 mm）の板でそろえることができる金属は、以下の通りである。

・マグネシウム ・銅 ・鉄 ・アルミニウム ・亜鉛 ・ニッケル ・鉛



ダニエル電池として通常用いる銅板と亜鉛版以外の金属として、イオン化傾向比較実験として活用可能かどうかを検証する。

①マグネシウム (◎)

- ・起電力の違いが出やすい。
- ・硫酸マグネシウムは、硫酸銅・硫酸亜鉛と比較すると毒性が低いため扱いやすい。

②鉄 (△)

- ・硫酸第一鉄は、青緑色の結晶だが、寒天作成時の加熱によって組成が変化してしまい変色（褐色）する。
- ・起電力の違いが出やすい。

③アルミニウム (◎)

- ・硫酸アルミニウムは他の金属塩から比べると固まりづらいため、寒天の割合を少し増やすとよい。

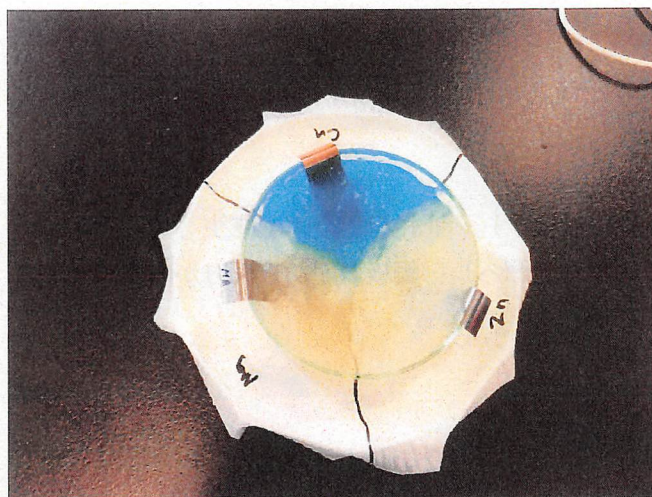
④ニッケル (△)

- ・硫酸ニッケルは、加熱すると分解し、毒性もあり、扱いづらい。

⑤鉛 (×)

- ・硫酸鉛は水に溶けづらく、毒性もあり、不向き。

【生徒の発想力】



実験: Cu, Zn, Mg とシャーレに入れて電圧計を測る

電圧計を測るために、途中に  
和紙を入れて並列に作る  
し。

この3つの組み合わせで行う

結果:

正×負	電圧(V)
Cu×Zn	0.9V
Zn×Mg	0.6V
Cu×Mg	1.6V

電圧計の針がマイナスに振れたら  
⇒ 負極側にある電極を入れかえ  
よう。

結果からわかること  
ZnとMg、CuとMgでMgがどちらとも負極に付いたときに  
電圧計の針がマイナスに振れたことから、Mgは「陽イオン」  
になりやすいとわかった。Cu×ZnとCu×Mgの電圧も大きい。  
だから、Cu×ZnはMgとペアで組むのがいい。

生徒の発想力の高さを思い知らされた例を一つ紹介する。3種類の金属及び硫酸塩の組合せを図のように一つのシャーレ中で分けた生徒がいた。1つのシャーレにすることで、電圧測定の時間を短くできるだけでなく、片付けも楽になり、大変効率的である。また、比較実験の様子が見た目にもわかりやすく、測定結果も複数シャーレの場合とほぼ同じ値となった。電解質溶液を寒天で作成したことによる利点を上手に活かした例と言える。

### 【起電力の測定方法について】

電池の性能をどのように比較するかについては、多くの意見があり議論が絶えない。どの方法にも一長一短があるからである。

電池の性能として、最もわかりやすいものは起電力の測定であろう。起電力を測定する方法としては、そのまま電池の両極に電圧計を挟むのが一般的である。しかし、この場合、電圧計に電流が流れている回路となっているため、生徒が混乱することがある。実際にレポートに回路図を書く際に、電圧計に電流が流れている矢印を書いていいものか疑問に思う生徒がいる。

「電圧計は並列につなぐ」と習っているため、電子オルゴール（もしくはモーター）を鳴らす回路を作った後に、電子オルゴールに対して並列に電圧計をつなぎ測定する生徒もいる。この場合、電池の起電力を測っていることにならなくなってしまう。

電流計を用いる場合やモーターの回転速度、オルゴールの音量などでも同様のことが言え、電池の性能を直接はかっているとは説明しにくい。

### 【廃液処理方法】

硫酸銅や硫酸亜鉛の寒天溶液の処理に関しては、水溶液の場合と同様に、専門の業者に委託する。

### 【単元計画】

#### ●第1時・第2時 陽イオンへのなりやすさと粒子モデル

- ・銅と薄い塩酸の反応 ( $\text{Cu} < \text{H}$ )
- ・亜鉛と薄い塩酸の反応 ( $\text{Zn} > \text{H}$ )
- ・亜鉛と硫酸銅水溶液の反応 ( $\text{Zn} > \text{Cu}$ )
- ・銅と硝酸銀水溶液の反応 ( $\text{Cu} > \text{Ag}$ )

#### ●第3時 電子の移動について

- ・銅と亜鉛を薄い塩酸に同時に入れる（銅板と亜鉛板を離す）→亜鉛板から水素発生
- ・銅と亜鉛を薄い塩酸に同時に入れる（銅板と亜鉛板を重ねる）→銅板・亜鉛板両方から水素発生
- ・話し合い活動「なぜ銅板からも水素が発生したのか」  
→仮説「亜鉛板から銅板へ電子が移動したのではないか」

#### ●第4時 様々な電池（ボルタ電池等）の作製とその粒子モデル

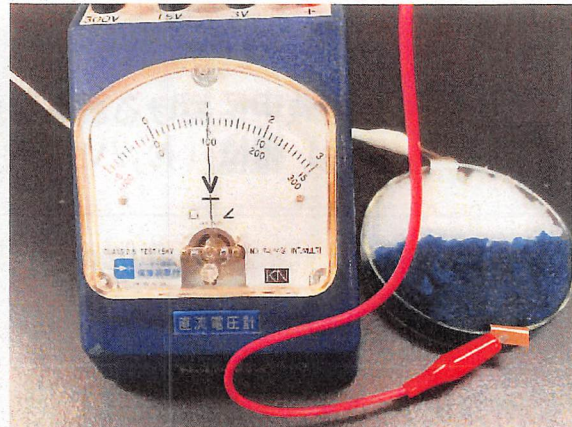
- ・亜鉛板と銅板を薄い塩酸に入れ、それぞれを導線で結びプロペラを回す→電池の仕組み
- ・陽イオンへのなりやすさが異なる2種類の金属板と電解質による電子の流れを確認
- ・亜鉛板・銅板・鉛板と食塩水による人間電池  
→検流計の目盛りから、正極・負極の判断及び、どの組合せが最も大きな電流を流しているか判断
- ・ボルタ電池の問題点について
- ・ダニエル電池の説明

#### ●第5時 ダニエル電池の作製とその粒子モデル



### 【吸水性ポリマーでの代用】

電解質をかためる方法として、寒天ではなく吸水性ポリマーでの代用が可能かを調べた。



14%硫酸銅水溶液 40mL と吸水性ポリマー12g を混ぜることで、写真のような成形しやすい状態となる。(14%硫酸亜鉛水溶液 40mL の場合は、吸水性ポリマーは 10g 程度がよい。) 生じる起電力も問題ないと言える。寒天と比較しての利点は以下の通りである。

- ・寒天と違って加熱が必要なく、加熱による金属塩の変性を防げる。
- ・寒天と違って作成方法が簡単で短時間で済むため、授業中の生徒による作成が可能である。
- ・寒天よりも固めの調整が可能であるため、様々な容器での作成が可能である。



100mL ビーカーに半分ずつ電解質を充填させることも可能。金属板をさせば、低電圧プロペラ付きモーターを勢いよく回転させるダニエル電池となる。

【参考資料】

水溶液中におけるおもな金属およびイオンの標準電極（酸化還元）電位 ( $E_0$ /V vs. NHE, 25°C)

$K^+ - K$	-2.925	$2H^+ - H_2$	0.00
$Ca^{2+} - Ca$	-2.84	$Cu^{2+} - Cu$	+0.337
$Na^+ - Na$	-2.714	$Hg^{2+} - Hg$	+0.789
$Mg^{2+} - Mg$	-2.659	$Ag^+ - Ag$	+0.799
$Al^{3+} - Al$	-1.662	$Pt^{2+} - Pt$	+1.19
$Zn^{2+} - Zn$	-0.763	$Au^{3+} - Au$	+1.50
$Fe^{2+} - Fe$	-0.440		
$Ni^{2+} - Ni$	-0.228		
$Sn^{2+} - Sn$	-0.138		
$Pb^{2+} - Pb$	-0.129		
$Ti^{4+} - Ti^{3+}$ (酸性)	-0.666	$Fe^{3+} - Fe^{2+}$ (酸性)	+0.771
$Sn^{4+} - Sn^{2+}$ (酸性)	-0.154	$MnO_4^- - Mn^{2+}$ (酸性)	+1.51
$SO_4^{2-} - SO_3^{2-}$ (塩基性)	-0.93	$Ce^{4+} - Ce^{3+}$ (酸性)	+1.74
$SO_4^{2-} - SO_3^{2-}$ (酸性)	+0.171	$Cr^{VI} - Cr^{III}$	+2.10
$I_2 - 2I^-$	+0.536	$O_2 - OH^-$	+0.401
$Br_2 - 2Br$	+1.065	$O_2 - H_2O$ (酸性)	+1.229
$Cl_2 - 2Cl^-$	+1.360		