磁界中の電気化学反応によるイオン流から生じる 液回転によるフレミングの左手の法則の視覚化

Visualization of the Fleming's Left Hand Rule Using the Vortex Motion Caused by Motion of Ion Species During Electrochemical Reactions in the Magnetic Field

矢野 潤^{※1}
Jun YANO

小田 健二^{※1}
Kenji ODA

則包 早百合^{※1}
Sayuri NORIKANE

渡邊 定和^{※1}
Sadakazu WATANABE

松田 雄二^{※1}
Yuji MATSUDA

大村 泰^{※1}
Yasushi OMURA

To visualize the Fleming's left hand rule using ion species as charged particles in aqueous solution, the discharge reactions of the Daniel's cell and the redox reaction of $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ were carried out under vertical magnetic field. A copper tube was united with a circular transparent acryl resin plate, which was employed as an electrolytic cell. A zinc or carbon rods was centrally inserted into the acryl resin plate of the cell. The cell was placed on a permanent magnets (neodymium and ferrite magnets) or an originally prepared electromagnet. The geometrical arrangement was shown in Fig. 5. The cell was filled with electrolyte solution : 0.1 mol/L CuSO_4 aqueous solution for the discharge reaction of the Daniel's cell and 0.1 mol/L H_2SO_4 aqueous solution containing 0.1 mol/L FeSO_4 and 0.1 mol/L $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ for the redox reaction of $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$. The vortex motion of the electrolyte solutions originated from the Lorentz's force was clearly observed as soon as the cell reactions and the redox reaction took place under the vertical magnetic field caused by the electromagnet. The vortex motion visualized Fleming's left hand rule. The magnitude of the vortex motion was estimated by the rotation rate (rotation number a second). The higher the rate became, the larger the electrolytic current of the redox reaction of $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ or the stronger the magnetic field was, which showed the quantitative relationship of the Lorentz's force. On the other hand, for the Daniel's cell, the rate decreased accompanying a decrease of the discharge current in time. The experiment was introduced for college students as estimators.

Keywords : Material Engineering Education, Student, Teaching Tool, Experiment

キーワード : 材料工学教育, 学生, 教材, 実験

1. はじめに

われわれはこれまでに電気化学反応を高等学校、高等専門学校、大学の物理や化学の実験教材に導入することを試みてきた。電気化学反応がどのように実用化に利用されているかを理解させるために、エレクトロクロミックディスプレイ¹⁾、二次電池²⁾、鉄の腐食防止のコーティング³⁾などについての教材を考案・作製して演示実験として用いたほか、学生実験にも導入し利用評価も行ってきた。しかしながら、電気化学反応やその基礎理論の理解を促進させる教材を作製する

試みは充分に行えていない。そこでここでは電気化学反応を利用した教材開発の一環として、磁界中において電池の放電反応と電解反応を行わせることによって、回転液流を生じさせてフレミングの左手の法則を理解させる教材の作製を試みた。

荷電粒子の運動と磁界により発生する力（ローレンツ力）について最初に学習する定性的な法則に、高等学校の物理1や高等専門学校の一般教養課程の物理で学習するフレミングの左手の法則がある。現象そのものは中学校の理科の教科書でも取り扱われているが、法則の名称が現れるのは高等学校になってからである。このフレミングの左手の法則を理解させるための学生実験や演示実験には、電流ブランコ（図1参

平成23年2月14日受付

※1 新居浜工業高等専門学校

図1 フレミングの左手の法則を理解させる電流ブランコの教材（電流（ I ）の向きを左手の中指、磁界（ B ）の向きを左手の人差し指で示すと、左手の親指が力（ F ）の向きを示すことになる）

照）のように永久磁石の近くに適当な形状をした導線を配置し、電流を流して導線の動きを観察するというものが多く採用されている。この導線の動きは荷電粒子である電子が磁場によって受けるローレンツ力によるものであり、これも高等学校物理において説明がある。大学の教養課程の物理においては、ローレンツ力の理解に電子の比電荷測定の実験^{4), 5)}の紹介や、そのときに用いられた陰極線の磁場による屈曲の実験が演示実験として行われることもある。ただし、電流ブランコおよび陰極線の磁場による屈曲の実験のいずれにおいても、荷電粒子は負の電荷を帯びた電子である。電子以外の荷電粒子を用いたフレミングの左手の法則（ローレンツ力）の視覚化を行う学生実験や演示実験の例はほとんどみられない。荷電粒子としてイオンを用いてもフレミングの左手の法則を視覚化できれば、学生にとってより深い理解が得られるものと期待される。そこでここでは荷電粒子がイオンの場合でもローレンツ力が働いていることが視認できるような実験教材の作製を試みた。また物理実験において実際に利用したときの評価も簡単に行った。

われわれはこれまでにローレンツ力を液回転で視覚化することに電池反応⁶⁾や電解反応⁷⁾について成功したが、利用評価を行った結果、次のような欠点が指摘された。(a) 電解セルが数cmなので、2～4名程度の学生しか液回転を視認することができない、(b) 磁界が電解セル下に設置されている永久磁石であるネオジム磁石によるので、磁界の向きが判りにくくフレミングの左手の法則から液回転の向きが判断できない、(c) 液回転の速度が、電流と磁界の強さが異なったときにどうなるかを示すことができない、(d) 磁界の向きを変えることにより、液回転の方向を簡単に変えることができない、(e) 銅板リングを完全な円形に作製することが難しく、液回転が円滑に行われないことがある。(f) シャーレ・銅板リング・亜鉛棒（炭素棒）が一体化して耐久性に優れたものではない。これらの(a)～(f)に挙げられた欠点を克服するために、銅管と亜鉛棒あるいは炭素棒をアクリル板に組み入れて固

定化させたものを電解セルとした。磁界発生には永久磁石（ネオジム磁石、フェライト磁石）と自作の電磁石を用いた。その結果、(a)～(f)に挙げられた欠点はほぼ改善された。また学生実験に導入した結果、学生からも肯定的な評価を得ることができた。

2. 実験

2.1 試薬および電極材料と保持材料

硫酸銅(Ⅱ)五水和物（試薬特級・和光純薬工業製）、硫酸鉄(Ⅱ)七水和物（試薬特級・和光純薬工業製）、硫酸鉄(Ⅲ) n 水和物（試薬特級・和光純薬工業製）、0.1mol/L硫酸水溶液（和光純薬工業製）⁸⁾、は市販の特級品を用い、特別な精製は行わなかった。水溶液調製のときに使用した水は、ヤマト科学のWG-22, Auto-stillにより脱イオン後、蒸留したものを用いた。

電極材料には市販の3種類の銅管（外径84mm・内径80mm、外径64mm・内径60mm、外径44mm・内径40mm）、直径20mmと10mmの亜鉛棒、直径16mmの炭素棒を使用した。電池反応における正極および電解反応における陰極には、各銅管を幅20mmに切り出したものを用いた。電池反応における負極には亜鉛棒を高さ50mmと35mmに切断したものを用い、電解反応における陽極には炭素棒を高さ50mmに切断したものを用いた。電極の保持には厚さ5mmのアクリル板を使用した。

2.2 電解質水溶液

ダニエル電池反応の電解質水溶液には0.1mol/Lの硫酸銅(Ⅱ)水溶液を用いた。電解反応には鉄(Ⅱ)イオンと鉄(Ⅲ)イオン間の電子授受（酸化還元反応）を用い、その電解質水溶液は0.1mol/Lの硫酸鉄(Ⅱ)と0.1mol/L硫酸鉄(Ⅲ)を含む0.1mol/Lの硫酸水溶液とした。これは、鉄イオンが水酸化物を形成することを避けること、塩化鉄などでは塩化物イオンの酸化による有害な塩素ガス発生のおそれがあること、硫酸イオンは安定で電池反応や電解反応に関与しないことなどを考慮したためである。

2.3 磁石

永久磁石であるネオジム磁石とフェライト磁石はともに円柱型で、直径80mm、高さ20mmのものを使用した。電磁石は直径82mm、高さ40mmの円柱型の鉄芯に直径1.2mmの被覆銅線（住友電工、ホルメット線）をほぼ500回巻き付けて作製した（図2）。なお、磁石により作り出される磁界の強さの測定には、ガウスメータ（Applied Magnetic Laboratory Inc.）を使用した。

図2 自作した電磁石（直径82mm、高さ40mmの円柱型の鉄芯に直径1.2mmの被覆銅線をほぼ500回巻き付けて作製）

2.4 電解装置および電磁石の直流電源

電磁石の印加用の直流電源は汎用のもので充分であり、ここではケンウッド製、PR36-3Aを使用した。電気分解も汎用の直流電源を用いても行えるが、ここでは液回転速度の評価を行うために電流と電圧が正確に制御可能な電解装置であるポテンショ・ガルバノスタット（北斗電工社製、HAB-151）を用いた。

3. 結果および考察

3.1 電解セルと各電極の配置

1972年にDossは、垂直方向の磁界の存在下で亜鉛棒と銅リング間に生じる腐食電流によって電解質水溶液の回転液流が生起することを示した⁹⁾。この現象は、金属腐食が局部電池機構によることの実証としても紹介されている¹⁰⁾。これらはペトリ皿中に設置した銅板リング電極内の中心に亜鉛棒を配置して、亜鉛棒のまわりに回転液流が生起することを示したものである。銅(Ⅱ)イオン (Cu^{2+}) を含む水溶液でペトリ皿を満たして銅板リング電極と亜鉛棒間に導通をとると、亜鉛棒からは亜鉛イオン (Zn^{2+}) が溶出し、 Cu^{2+} は銅板リング電極上で還元されてCuとして析出する。このとき、 Cu^{2+} と Zn^{2+} はともに亜鉛棒から銅板リング電極に向かって移動するが、鉛直方向に磁界が存在すると、 Cu^{2+} と Zn^{2+} はともにフレミングの左手の法則に従って回転液流を生じさせる方向に力を受ける(図3)。これらの実験は小さなペトリ皿内で起こる回転液流が観察できる箇所も小さく、2人以上の学生が視認することができない。このことを考慮して、直径50mmの銅板リングを用い一本の亜鉛棒を中心に配置して回転液

図3 ダニエル電池の放電反応を、銅板リング電極とその内側の中心に亜鉛棒電極を配置した電解セルを用いて、鉛直方向の磁界中で行った場合の Zn^{2+} と Cu^{2+} に働くローレンツ力

図4 自作した3種類の電解セル：電解セルA（内径40mm）、電解セルB（内径60mm）、電解セルC（内径80mm）

流の観察を行ったが^{6), 7)}、最初で述べたように(a)～(f)の欠点があった¹¹⁾。これらの欠点を克服するために図4に示す3つの電解セルを作製した。ダニエル電池用のセルが2種類、電解セルが1種類である。欠点の改善は次の(A)～(F)のとおりである。(A)ペトリ皿中に電極を配置せず銅板リング電極自身を電解セルとしたため、上から覗き込まず50cm以上離れたところからでも回転液流を観察することができた(欠点(a)の改善)。(B)磁界発生のための電磁石は鉄心にコイルを巻き付けて自作したため、コイルの巻き方向と通電時の電流の向きによって容易に磁界の方向を知ることができた(欠点(b)の改善)。(C)電磁石に通電する電流と電解電流を変化させることにより、回転液流の速度を変化させることができた(欠点(c)の改善)。(D)電磁石に印加する電圧の極性を変えることにより簡単に磁界の方向を変えることもできた(欠点(d)の改善)。(E)銅板リング電極は銅板を丸めて作製せず銅管から切り出して作製したため、完全な円形リングにすることができた(欠点(e)の改善)。(F)溝付けした円形の亚克力板に銅板リング電極と亜鉛棒あるいは炭素棒電極とを接着させて一体化させたので、液漏れや取扱中に中心電極がずれることなく耐久性のすぐれた電解セルとすることができた(欠点(f)の改善)。なお、電磁石と電解セルの配置は図5に示すとおりである。なお、電磁石の代わりに永久磁石を用いる場合も同じ配置である。

図5 電解反応を磁界下で行うときの電解セルと電磁石の配置

3.2 電解質水溶液の検討

電池を理解するために高等学校の教科書によく紹介されるものにボルタ電池とダニエル電池がある。ボルタ電池の電解質水溶液には硫酸水溶液が用いられるが、硫酸の濃度が高すぎると自発的に生じる亜鉛の溶出反応（(1)式）が優勢になって電池反応（(2）、(3)式）を効率的に行うことができない。しかも銅電極上では水素発生などによって有効電極面積が低下するうえ、水素の一部が酸化されて水素イオンになるために起電力が急激に低下してしまう。したがって、ボルタ電池は本実験では採用しなかった。

本来のダニエル電池は亜鉛電極を浸漬する電解質水溶液が硫酸亜鉛水溶液、銅電極を浸漬する電解質水溶液が硫酸銅（Ⅱ）水溶液であり、二つの電解質水溶液は塩橋や隔膜で仕切られている。しかし液回転を生じさせる本実験では塩橋や隔膜を用いることができない。ダニエル電池の電池反応が亜鉛の酸化による亜鉛イオンの溶出反応（(4)式）と銅イオンの還元反応（(5)式）であることを考慮し、ここでは電解質水溶液として、硫酸銅（Ⅱ）水溶液を用いた。

電解反応のための電解質水溶液には、取扱いが簡単で安全なものがよいことは自明であるが、電極上における電荷移動が速く、可逆的な酸化還元反応が安定な酸化還元電流を与える。そこで学生にもなじみがあり、反応自身も単純である鉄（Ⅱ）イオンの酸化（(6)式）と鉄（Ⅲ）イオンの還元（(7)式）を採用した¹²⁾。その電解質水溶液は0.1mol/Lの硫酸鉄（Ⅱ）と0.1mol/L硫酸鉄（Ⅲ）を含む水溶液とした。硫酸塩としたのは、硫酸イオンが水溶液中で安定であることを考慮したた

めである。たとえば、塩化鉄を用いると塩化物イオンの酸化による塩素ガスが発生する可能性がある。

3.3 磁界の強さと液流の回転数の関係

フレミングの左手の法則は定性的なものであるが、定量的な議論を行う場合はローレンツ力を考慮することになる。フレミングの左手の法則は、電界が存在せず磁界のみが存在する状態のローレンツ力を表現したものである。このときのローレンツ力 $F(\text{N})$ は、荷電粒子の電荷を $q(\text{C})$ 、荷電粒子の速度を $v(\text{m/s})$ 、磁界の磁束密度を $B(\text{Wb/m}^2)$ とすると、(8)式のように表される。したがって qv と B により F を変化させることができる。

$$F = qv \times B \quad (8)$$

電池の放電反応の場合、電解セルと電極の形状が決まれば電池の放電電流が決まってしまう。つまり qv を意図的に変化させることはできない。定電流で電解反応を行う場合は、電解電流は任意に設定できるので qv を意図的に変化させることができる。他方、電磁石を用いれば、 B を変えることができる。(8)式より qv （電解時の設定電流）や B （電磁石の電流）を増加させればさせるほど、 F は増大し液流の回転の程度は大きくなるはずであるが、実際には水の粘性などの抵抗によって F は B や qv と単純な比例関係にはならないと思われる。

そこで B と液流の回転速度の関係を調べるために、まず鉄（Ⅲ）イオン－鉄（Ⅱ）イオンの電解反応において、電磁石に通じる電流（ i_m ）を変化させて、液流の回転速度（ R ）を測定した。 R は1秒間の回転数とし、液面に浮かせた約1mgのゴム片により回転数を測定した。なお、電解セルは図4のCを用いた。図6に電磁石の磁界下で、鉄（Ⅲ）イオンと鉄（Ⅱ）イオンの電解反応を行った場合の i_m と R の関係を示す。電解電流

図6 電磁石の電流（ i_m ）と回転速度（ R ）の関係
（○）電解電流＝800mA、（□）電解電流＝400mA、（△）電解電流＝100mA

図7 電解電流（ i_E ）と回転速度（ R ）の関係
（○） $i_m = 1.0\text{A}$ (100gauss)、（●） $i_m = 2.0\text{A}$ (150 gauss)、（△）フェライト磁石 (700gauss)

が100mAと400mAの場合は i_m と R は直線関係が認められるが、800mAの場合は i_m が大きくなるにつれて R は飽和していく傾向にある。これは水の粘性による速度に関わる抵抗の寄与が大きくなったことに起因すると考えられる⁷⁾。なお i_m が80mA以下の場合は電磁石による磁界が小さいため、ほとんど回転液流を観察することができなかった。

3.4 電解電流と液流の回転数の関係

電解反応の場合、(8)式中の qv を意図的に変化させることができるので、液流の回転速度を変化させることができるはずである。図7に図4のCの電解セルを用いた場合の電解電流(i_E)と R の関係を示す。図から明らかなように電磁石の磁界の強さが100および150gaussの両方の場合とも、 i_E が0.4mA程度までは R は i_E に比例して変化するが、それ以上になると R は i_E に比例せず飽和傾向を示している。これはおそらく i_E がある程度以上大きくなると、水の粘性による運動抵抗⁷⁾に加えて分子やイオン間の衝突が激しくなることに起因していると考えられる。なお、図7から明らかなように電磁石の代わりにさらに強い磁界を発生するフェライト磁石を用いると R を増加させることができる。

i_E が900mAを超えると銅電極上に水素の発生が顕著に観察された。これは900mAの電流値を得るためには印加電圧が大きくなり(5)式の Cu^{2+} の還元反応以外に(3)式の H^+ の還元による水素発生も併発してしまうためである。したがって、図4のCの電解セルを用い、この電解質溶液を用いた場合、 i_E は900mAを超えないように設定した方がよい。

3.5 電池反応における液流の回転

ダニエル電池の放電反応を電磁石を用いた磁界下で行ったが、磁界の強さが弱く回転液流は生じなかった。前述したように電池の放電電流は、電解セルと電極の大きさなどで決まり意図的に変えることはできないので、電磁石の代わりに強い磁界を発生させる永久磁石を用いてダニエル電池の放電反応を行った結果、回転液流を観察できた。得られた回転液流の R を表1に示す。電解セルA(内径40mm)と電解セルB(内径60mm)を用いた場合はフェライト磁石の発生磁界

(700gauss)でも回転液流を生起させることができたが、電解セルC(内径80mm)では回転液流を生起させることはできなかった。これは電解質溶液の液量が多く、回転液流を生むためには発生するローレンツ力が小さすぎたためと思われる。このことは、フェライト磁石の代わりにネオジム磁石(2000gauss)を用いると明瞭に回転液流が見られたことから支持された。

表1の回転数はいずれも放電時間が長くなると減少した。永久磁石による磁界の強さは一定なので、これはダニエル電池の電池電流が時間とともに減少したためである。これは両電極上で反応する銅(II)イオンと亜鉛イオンの消費によって電極表面近傍の反応物質の濃度が減少していくためである¹³⁾。

3.6 学生実験への導入

これまでの実験データを考慮して学生実験に導入することを試みた。学生数が42名のクラスについて、実験台1台に6名になるように班分けした。各実験台1台について準備したものは以下の通りである。

1) 試薬(市販品、試薬特級)

- ・硫酸銅(II)五水和物：
99%, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 249.69$
- ・硫酸鉄(II)七水和物：
99%, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 278.02$
- ・硫酸鉄(III) n 水和物：
99%, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} = 543.98 (n = 8 \text{ として})$
- ・0.1mol/L硫酸水溶液

2) ガラス器具など

- ・1Lメスフラスコ2本(0.1mol/Lの硫酸銅(II)水溶液および0.1mol/Lの硫酸鉄(II)と0.1mol/L硫酸鉄(III)を含む0.1mol/Lの硫酸水溶液保存用)
- ・300mLのビーカー6個(0.1mol/Lの硫酸銅(II)水溶液および0.1mol/Lの硫酸鉄(II)と0.05mol/L硫酸鉄(III)を含む0.1mol/Lの硫酸水溶液調製用および学生分取用)
- ・洗浄ビン(純水による電解セルや電極の洗浄用)

3) 電極と電解装置

- ・亜鉛棒電極1本(20mmφ×50mm, 自作)
- ・亜鉛棒電極1本(10mmφ×35mm, 自作)
- ・炭素棒電極1本(16mmφ×50mm, 自作)
- ・電解セル3個(自作, 図3参照)
- ・電解装置1台(市販のポテンシオスタットあるいは直流電源)
- ・直流電源1台(電磁石用)
- ・各電極と直流電源やポテンシオスタットを連結するためのミノ虫クリップ付きの導線4本
- ・直流電流計2台(電磁石用および電解セル用)

学生実験の操作手順の概略は以下のとおりである。

1) 電解質水溶液の調製

0.1mol/Lの硫酸銅(II)水溶液および0.1mol/Lの硫酸鉄(II)と0.05mol/L硫酸鉄(III)を含む0.1mol/Lの

表1 ダニエル電池の放電電流と液流の回転数(R)の関係

	放電電流/mA	R/s^{-1}
電解セルA (内径40mm)	40	0.222
電解セルB (内径60mm)	42	0.141
電解セルC (内径80mm)	100	0.0435*

*ネオジム磁石を使用

硫酸水溶液は教員があらかじめ調製するものとし、学生は各実験に必要な電解質水溶液を300mLのビーカーに分取する。

2) 電極の設置と配線

図4のように各電極を配置する。ダニエル電池の放電反応を行うときは、A端子とB端子間に直流電流計とスイッチ付きの導線を連結する。電解反応を行うときは、A端子を動作極端子(WE)に、B端子を対極(CE)と参照極端子(RE)と同一に接続する。また、電磁石の両端子間にも直流電流計とスイッチ付きの導線を連結する。配線・接続や設置が正しいかどうかは教員が確認する。

3) 回転液流の観察(電池の放電電流の場合)

ダニエル電池の放電反応を行う場合、スイッチをオンにすると回転液流を観察することができる。実験を行う学生には、あらかじめ回転液流の向きを予想させてからスイッチをオンにさせる。回転速度を測定させる場合は、ゴム片に加えて炭素粉末(炭素棒から削り取ったもの)を浮かせてから行うと回転液流が観察しやすい。発泡スチロール片や木片を用いると静電気により電極に付着して回転液流を観察することが困難な場合が多い。

4) 回転液流の観察(電解電流の場合)

ポテンシostatを操作して、一定にさせる電解電流値(i_E)を設定する。設定が正しいかどうか、またポテンシostatの使用法を学生に教員が確認させた後、電解を開始させる。回転速度を測定させる場合は、ゴム片を浮かせてから行う。

5) 磁界の強さを変化させたときの回転液流の観察

4)の実験において i_E を一定にした状態で、電磁石の直流電源によって i_m を変化させて R を測定する。また実験終了後に、 i_m の極性(電流を流す向き)を変えて、液流の回転方向が逆転することも確認させる。実験時間に余裕がある場合には、3)についても電磁石の直流電源によって i_m を変化させて R を測定する。

6) 結果の整理と考察

得られた各結果をもとに、結果の考察を学生に行わせる。

3.7 利用評価

学生に実験を行わせ、実験終了後に以下の各点について学生にアンケート調査を行った。

- 1) フレミングの左手の法則の視覚化の興味、回転液流の観察のインパクト
- 2) 電池反応および電解反応の電流および磁界の強さが回転液流の回転速度(F , ローレンツ力)に与える影響の理解
- 3) 磁界の方向変化による液流の回転方向が逆転することについてのインパクト
- 4) ポテンシostatの操作などへの興味

アンケート結果はすべてについて肯定的な評価が学

生から得られた。

4. おわりに

電流ブランコとは別の形でフレミングの左手の法則を視覚化することは、学生に与えるインパクトもあり意義深いと思われる。電解セルの中心に円柱状の電極を、またそれを取り巻く銅板リング電極を配置して電池反応や電解反応を電磁石の磁界中で行わせることにより、イオンに働くローレンツ力に基づく回転液流を起こすことができた。ここではダニエル電池の放電反応と鉄(Ⅲ)イオンの電解還元・鉄(Ⅱ)イオンの電解酸化反応を採用したが、他の電池反応や電解反応を行うことももちろん可能である。たとえば、導電性高分子であるポリ(*o*-フェニレンジアミン)を得るために*o*-フェニレンジアミンの電解酸化重合を行えば中心の炭素電極表面に鮮明な赤色を呈するカチオン性のオリゴマーが生成する。この赤色のオリゴマーが螺旋状に回転するのが視認できるので、強いインパクトを学生に与えることができると思われる。

本実験では磁界発生に電磁石を用いることにより、磁界の方向の逆転や磁界の強弱の制御を行うことができるので、学生のフレミングの左手の法則(ローレンツ力)の理解がより深まると期待される。また、電解電流や電磁石の強弱と液流の回転速度の測定のパラエティより、行う授業や講義の時間(45分、50分、60分、90分)にも対応することもできる。

この視覚化教材は、実験台で観察することによる学生実験や教員が行う演示実験として利用できることはもちろん、DVDカメラによる時間を短縮した再生による教師用演示教材として利用することも可能である。今後はさらなる利用評価を行って改善を試みたい。

謝 辞

本実験を行うにあたり、新居浜工業高等専門学校平成22年度校長裁量経費(項目名:磁界中の電池反応および電解反応によるイオン流から生じる液回転によるフレミングの左手の法則の視覚化)の援助を受けた。ここに記して感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 矢野 潤:化学物理実験の教材としての導電性高分子-ポリアニリンのエレクトロクロミズム-,物理教育, 38-4, pp.308-311, 1989
- 2) 矢野 潤, 樋川和之, 菅野善則, 田中孝昭:物理化学実験の教材としてのポリアニリン・亜鉛二次電池, 化学と教育, 38-1, pp.90-93, 1990
- 3) 矢野 潤, 中村紀幸, 山崎鈴子, 一森勇人, 尾崎信一, 岡野 寛:鉄腐食と導電性高分子ポリアニリンのコーティングによる鉄腐食防止の教育システムの開発とその教育効果, 工学教育, 55-2, pp.37

- 42, 2007

- 4) J. J. Thomson : Cathode Rays, Proceedings of the Royal Institution, 15, pp.419-432, 1897
- 5) J. J. Thomson : Cathode Rays, Philosophical Magazine, 44, pp.293-316, 1897
- 6) 矢野 潤, 稲田 誠: 磁界中におけるボルタ電池反応の進行によるイオン流の視覚化, 化学と教育, 47-8, pp.562-565, 1999
- 7) 矢野 潤, 塩原正雄, 平木弘一, 竹田 正: 磁場中の電気分解により発生した液回転によるローレンツ力の可視化, 科学教育研究, 29-4, pp.308-312, 2005
- 8) ここでは市販品を用いたが濃硫酸を希釈して調製してもよい
- 9) K. S. G. Doss : Effect of Magnetic Field on Electrodeposition and Electrothinning, Proceedings of the 13th Seminar on Electrochemistry, pp. 355-363, 1972
- 10) 佐々木和夫, 九内淳堯: 電極反応入門, 化学同人, p.59, 1980
- 11) 電解質溶液の液量はペトリ皿の高さに制限され, ペトリ皿の高さの7~8割程度である. 他方, 銅板リング電極の高さはミノ虫クリップなどで導通を取るため, ペトリ皿の高さを超えてしまう. したがって, 回転液流を観察するためには, どうし

ても電解セル上部から覗き込まなくてはならない. このため, 銅板リング電極を直径50mmにしても, 2~4名の学生しか観察することができず欠点(a)を改善することができなかった.

- 12) 鉄イオンの廃液処理などの問題がある場合は, 0.1 mol/Lの硫酸水溶液などを電解質水溶液に用いて電解を行っても液回転は得られる. しかしこの場合の酸化還元反応は, 水素イオンの還元反応と水の酸化による酸素発生反応で, 反応自身が単純ではない
- 13) 喜多英明, 魚崎浩平: 電気化学の基礎, 技報堂出版, p.185, 1983

著 者 紹 介

矢野 潤

1987年 広島大学大学院工学研究科博士課程単位取得退学
1987年 山梨大学教育学部助手
1988年 工学博士
1991年 山口大学工学部助手
1997年 東亜大学工学部助教授
2004年 新居浜工業高等専門学校教授 現在に至る
米国電気化学会, 国際電気化学会, 電気化学会, 日本化学会, 日本分析化学会, 高分子学会会員