

1. テーマ名

小中学校理科のためのビデオ教材の開発

- (1)自然対流伝熱の可視化実験
- (2)フェライト磁石や電線のまわりにできる磁界の可視化実験
- (3)酸とアルカリの水溶液を用いた液液界面における中和反応の可視化実験

2. 教材の目的

スペースシャトルや国際宇宙ステーションの中で、簡単な物理実験の様子を記録した映像が今までにも数多く公開されており、これらは児童生徒に重力の働きや無重力場における物体の運動などを考えさせるうえで、とても役立つものである。しかし、これらの映像が、小中学校の理科の授業の中で活用されることは決して多くはない。この背景には、

- ・授業の内容（学習内容）と、宇宙で行われた実験の内容が異なることが多い。
- ・児童生徒が用いる実験装置（方法）と、映像に登場する実験装置（方法）とが、必ずしも一致しないこと

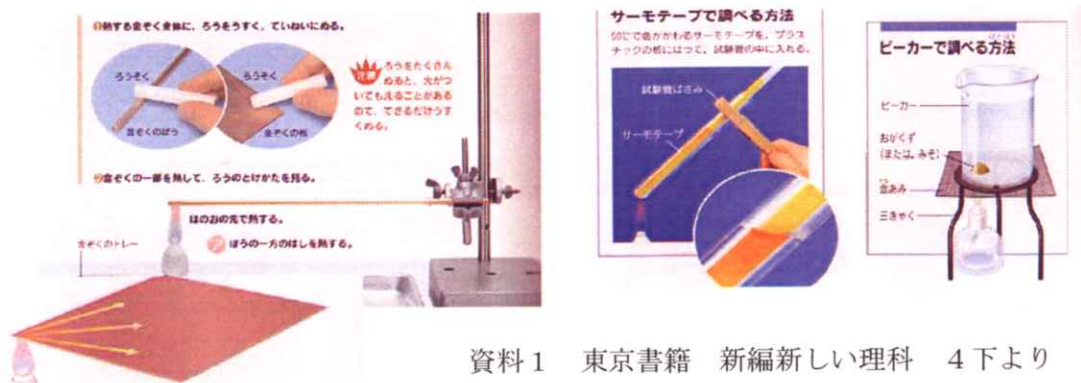
が、考えられる。

特に小学校の理科で映像教材を活用しようとするれば、これらの問題の解決は不可欠である。そこで今回は、地上で実際に児童生徒が手にすることのできる実験装置（教科書などに登場する実験器具にできるだけ近いもの）を無重力場で使用することとした。これにより児童生徒は、同様の実験を学校の理科室などで体験したうえで、映像を見ることができ、学習内容と関連付けて無重力の世界を実感することができるようになると思われる。したがって、扱うテーマや実験内容についても、理科の教科書を参考に、実際に授業で扱われるものと高い整合性を保つことができるよう配慮した。

それぞれの教材の目的については、以下に記す。

(1) 自然対流伝熱の可視化実験

小学校4年「ものの温まり方」で、金属と水や空気では、熱の伝わり方に大きな違いがあることを学習する。(資料1) 一般には、金属は暖められた部位から徐々に熱が伝わるのと、自然対流では水や空気の流れを伴うことのみを扱う。



ここでは、無重力場での実験で、下記の内容を示すことのできる映像教材の開発を行う。

- ・自然対流には重力が不可欠で、無重力下では自然対流が生じないこと
- ・自然対流が生じないときには、水や空気であっても、金属と同様に（熱伝導で）熱が伝わること。
- ・水の熱伝導度は、金属の熱伝導度に比べ、とても小さいこと。
- ・水の場合、対流によって、大量の熱が運ばれていること。

なお、4年生の学習内容には、平板内の熱の流れのほかに、1次元の流れも扱うため、実験は2種類用意する。

（2）フェライト磁石や電線のまわりにできる磁界の可視化実験

磁石やコイルの周りに鉄粉（砂鉄）を撒いて、磁力線のパターンを調べる実験が教科書などに取り上げられているが、いずれもある1平面上のパターンを示しているに過ぎない。そこで、平面上にマグチップ（小さな鉄片）や砂鉄を撒いてフェライト磁石や電線の周りにできる磁力線を可視化し、これをそのまま無重力場に持って行き、磁力線が空中にも広がる様子を撮影する。これによって、児童生徒に磁力線の3次元的な広がりを意識させることのできる映像教材の開発を目指す。

（3）酸とアルカリの水溶液を用いた液液界面における中和反応の可視化実験

酸・アルカリの中和反応は小学校6年と中学校で学習する。通常は、ビーカーを用いて2つの液体を混合してしまうので、反応の過程などを児童生徒が実験の中で意識することは難しい。ここでは、指示薬の色の変化や、沈殿反応が2液の界面でおこる様子を視覚化し、それぞれの液に含まれている何が反応に寄与しているのかを児童や生徒に考えさせる教材を作りたい。なお、本研究に関しては、類似の経験がないため予想が立たない部分も多いが、例えば界面で発熱が生じるため、この様子が屈折率の変化として視覚的に観察できる可能性もある。

3. 教材の対象者及び分野

（1）自然対流伝熱の可視化実験

小学校4年生

（2）フェライト磁石や電線のまわりにできる磁界の可視化実験

中学2年生

（3）酸とアルカリの水溶液を用いた液液界面における中和反応の可視化実験

小学6年生、中学生1年生

4. 教材の製作イメージ及び利用方法

- （1）～（3）のいずれも、機内でビデオカメラを用いて動画を撮影する。得られた映

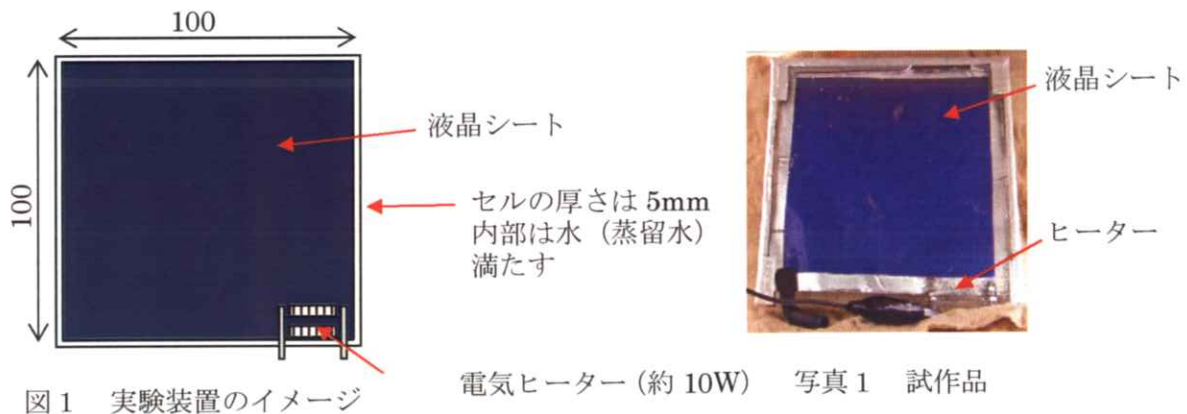
像は WEB など公開し、小中学校の理科授業への活用を目指す。これに加え、伊藤、大野、宮本は、附属学校などの理科の授業の中で、今回撮影できた映像を活用し、子どもたちの反応についても調査する予定である。

5. 実験手順

(1) 自然対流伝熱の可視化実験

①板状のセルと液晶シートを用いた自然対流伝熱の可視化実験

実験装置の外観は以下の通りで、気密かつ単純な構造である。密閉容器に液晶シートとヒーターを設置し、水を入れる。液晶シートは $20^{\circ}\text{C}\sim 32^{\circ}\text{C}$ で色が変化するものを使用している。(図1・写真1) 電流を流して水を温めて、液晶シートの色の変化をビデオに記録する。



地上であれば、 $100\times 100\times 5\text{mm}$ 程度のセルを用いた実験で、20 秒程度で上部の温度が変化している様子が十分に観察できる。これに対し、無重力場のもとでは、ヒーターからの熱が熱伝導のみによって伝わるため、沸騰を生じない程度の出力で加熱する限り、温度の変化が観察できる範囲は、ヒーターの周辺 10mm 程度に収まるものと考えられる。本実験では以下の2つの方法で、無重力場での水の伝熱の様子を可視化する。(図2)

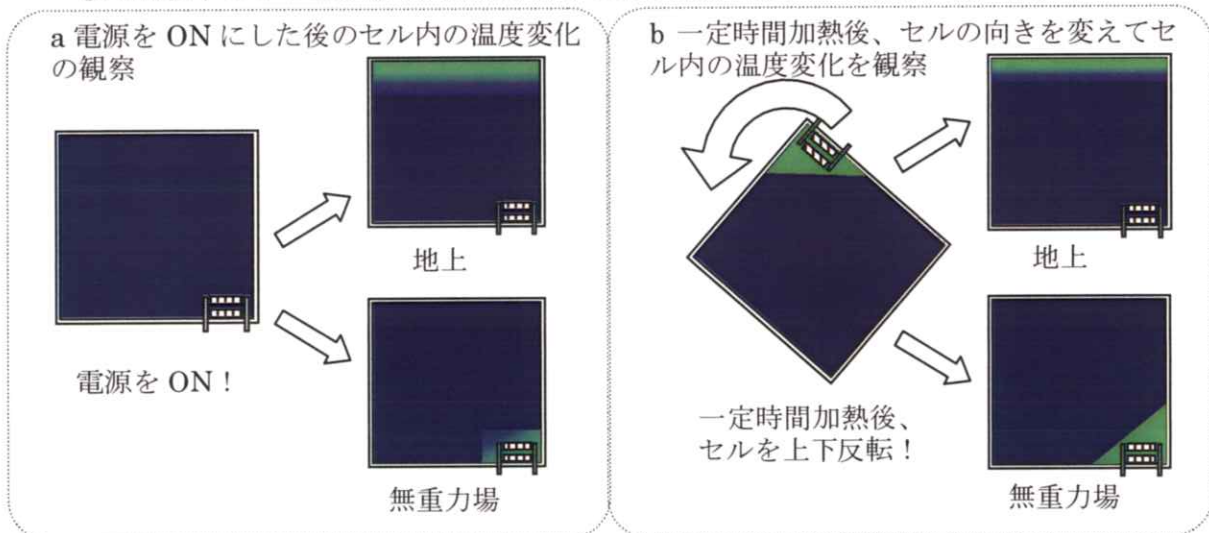
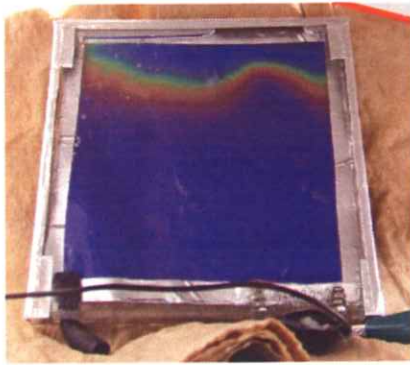


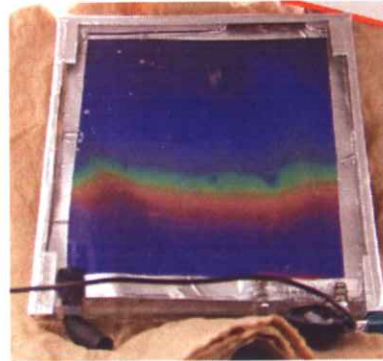
図2 実験①のイメージ

地上での実験結果を以下に示す。

a ヒーターを下にして通電した後のセル内の温まり方 (写真2)



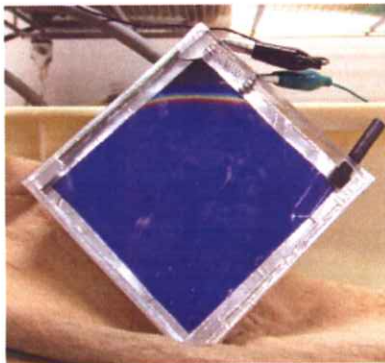
加熱開始10秒後



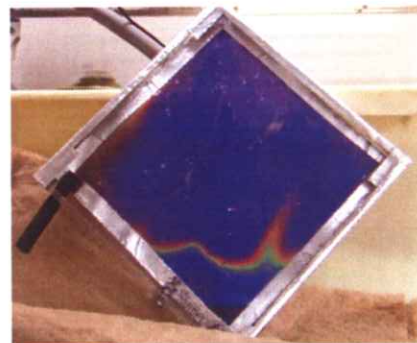
加熱開始20秒後

写真2 地上における模擬実験aの結果

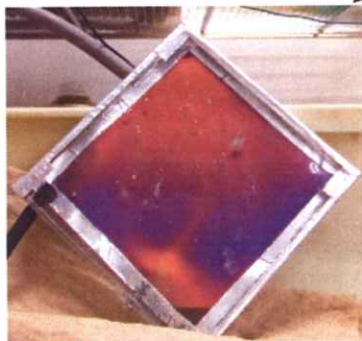
b セルの向きを変えたときの様子 (写真3)



ヒーターで上部の水を加熱



上下を反転した直後の様子



上に温度の高い水が移動する様子

写真3 地上における模擬実験bの結果

上の実験より、温められた水が上昇するのは重力と関連していることがわかり、水が対流する根拠を理解することができる。加えて、水の熱伝導度と金属の熱伝導度の違いや水の熱を運ぶ力も知ることができる。これらのことより、科学的な見解や考えを養うことができることが期待される。また、無重力という普段の生活からかけ離れた世界にふれることで、自然現象への関心を高めることも期待できる。

②試験管とサーモテープを用いた自然対流伝熱の可視化実験

実験の概要は、以下の通り。(図3)

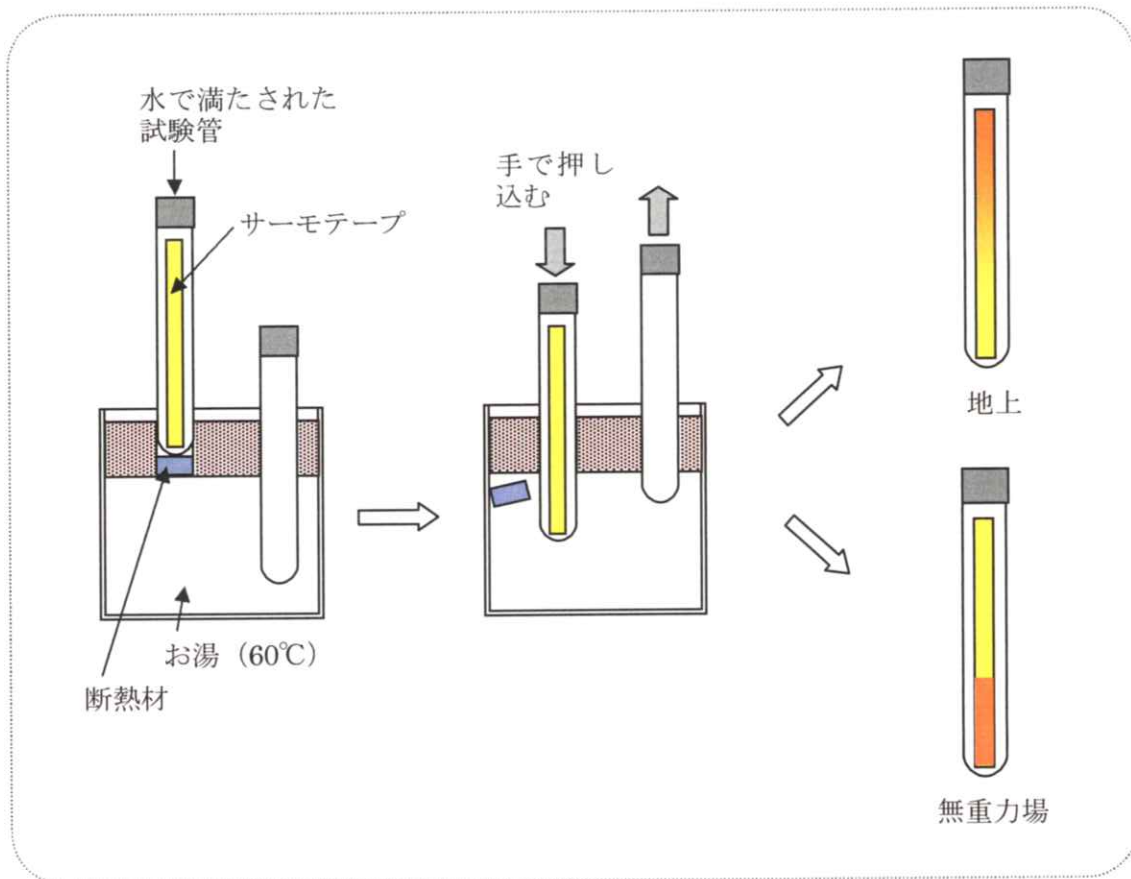


図3 実験②のイメージ

(2) フェライト磁石や電線のまわりにできる磁界の可視化実験

①棒磁石の周りの磁界の可視化

地上での実験は、厚紙の下に棒磁石を用意しておき、その上からマグチップを少しずつ撒き、磁力線を表示させる。撒いた後は厚紙を軽くトントンと叩き、マグチップを綺麗に散らせる。この状態で無重力場におくと紙の上に作られたマグチップが空間中にできた磁力線に添って浮き上がると考えられる。(砂鉄にくらべマグチップは、チップ同士が強く引き付けあうため磁力線を可視化しやすい。以下の写真4にあるように、地上でもある程度

の立体感が得られるため、無重力下では、かなり明確なパターンが期待できる。)

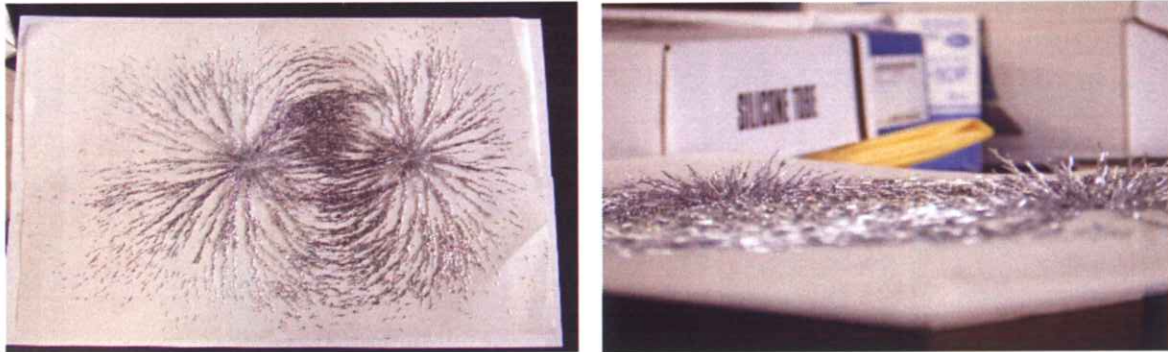


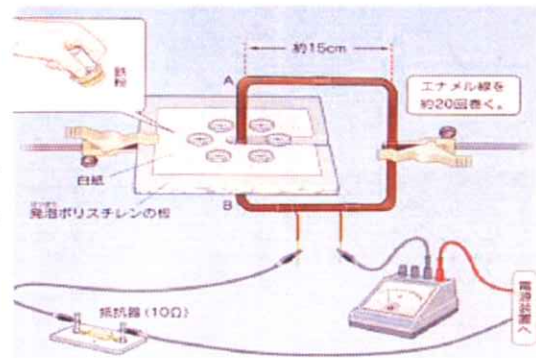
写真4 地上で撮影された棒磁石の磁力線（マグチップを使用）

左：真上から撮影、 右：真横から撮影

②コイルの周りの磁界の可視化

エナメル線を箱のようなものに20周ほど巻きつけて、四角のコイルを作成する。コイルをスタンドで固定して、厚紙をコイルの真ん中くらいの高さに設置する。この時、厚紙には切れ込みを入れておき、コイルが厚紙の中心を通るようにしておく。エナメル線の両端を削り、乾電池を接続する。マグチップを少しずつ撒き、磁力線を表示させる。(資料2)

地上では磁力線が平面上の同心円として表現されるが無重力場では、複数のリングが電線の周囲に並ぶものと考えられる。



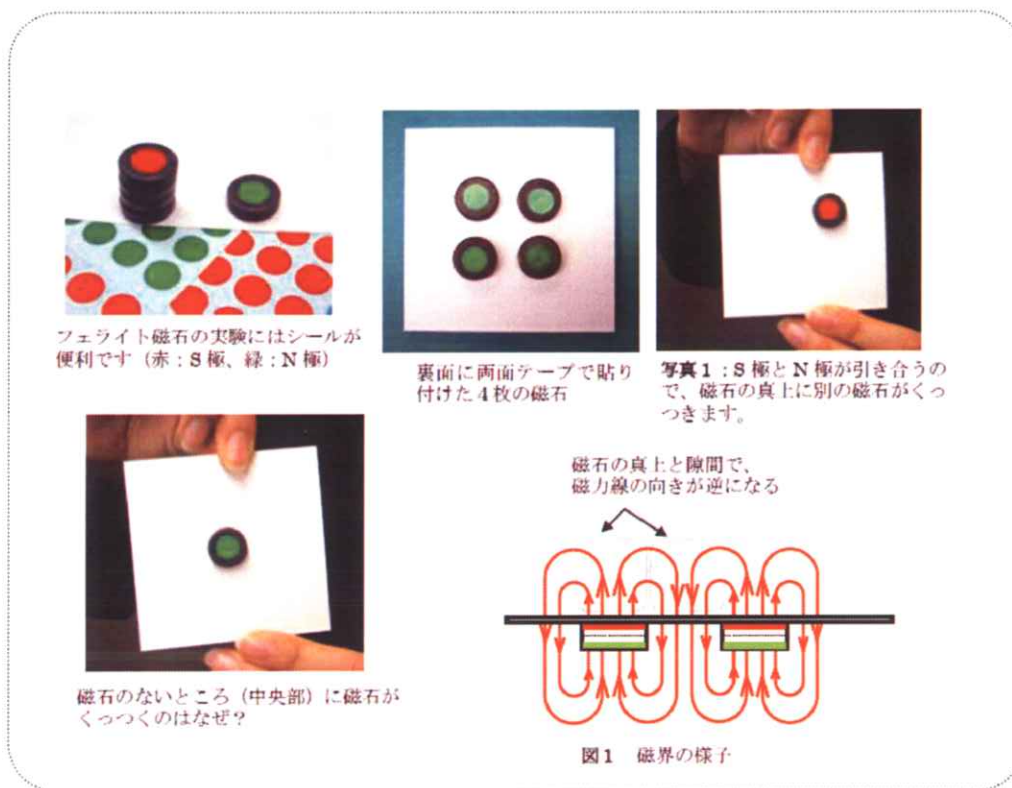
資料2 啓林館 1分野上より

③複数のフェライト磁石で構成される磁界の可視化

資料3にあるように、4枚のフェライト磁石を、向きを同じ方向に合わせて紙の上に両面テープで固定する。このようにすると、4枚の磁石の中央には何も無いにもかかわらず、紙の裏面で磁石を引き付けることができる。

この実験は、磁力線の空間的な分布を考えさせるうえで有効で、また、磁石のないところに磁石が引き付けられるため、児童生徒の関心を高めるうえでも有効な教材である。しかし、実際に磁力線の分布を立体的に可視化することは容易ではないため、これについても無重力場での映像を撮影したい。

具体的には①と同じ操作となるが、③の実験では、磁性流体を用いた可視化についても合わせて行う予定である。



資料3 フェライト磁石を利用した磁界の様子

(3) 酸とアルカリの水溶液を用いた液液界面における中和反応の可視化実験

0.1mol/L 硫酸水溶液と 0.1mol/L 水酸化バリウム水溶液を 50ml ずつ用意する。それぞれに、BTB 溶液を数滴加える。次に、2つの透明な同じ大きさのプラスチックコップを用意する。それぞれのコップに、硫酸水溶液と水酸化バリウム水溶液を溢れる手前のところまで入れる。次に、プラスチックシートを正方形に切ったものを水酸化バリウム水溶液が入ったコップの上ののせ、空気が入らないように水酸化バリウム水溶液の入ったコップをさかさまにし、硫酸水溶液の入ったコップにコップの口がぴったり合うようにのせる。これが用意できたら、コップがずれないようにプラスチックシートを引き抜くと2液の界面で反応が起こる。2つの水溶液の密度が等しく、反応によって気体や固体 (沈殿) が生じない場合には地上でも液液界面で反応が徐々に進行する様子を確認できるはずであるが、現実には、界面で発熱を伴うこともあり、安定した界面を維持することはできない。

そこで、2つのコップを重ね合わせ、振動などによってずれることがないように固定した後、無重力場で、プラスチックシートを引き抜くこととする。これにより、界面に沈殿物である BaSO_4 が蓄積される様子を観察・記録する。この実験を、沈殿が生じない塩酸と水酸化ナトリウム水溶液で試した際の様子を写真5に示す。

また、界面で起こる反応の速さについては、界面への Ba^{2+} や SO_4^{2-} の移動速度に依存すると考えられるため、図4・図5のように2つの電極に電流を流すと界面での沈殿形成の速度に差が生じ、この現象を視覚的にとらえることができれば、水溶液中におけるイオン

の挙動についてより深く考えさせることができる。



写真5 プラスチックシートをはさみ、塩酸(下)の上に水酸化ナトリウム水溶液(上)をのせたもの

左:プラスチックシートを引き抜く前、
右:シートを引き抜いたのち(界面付近で中和反応が進行)

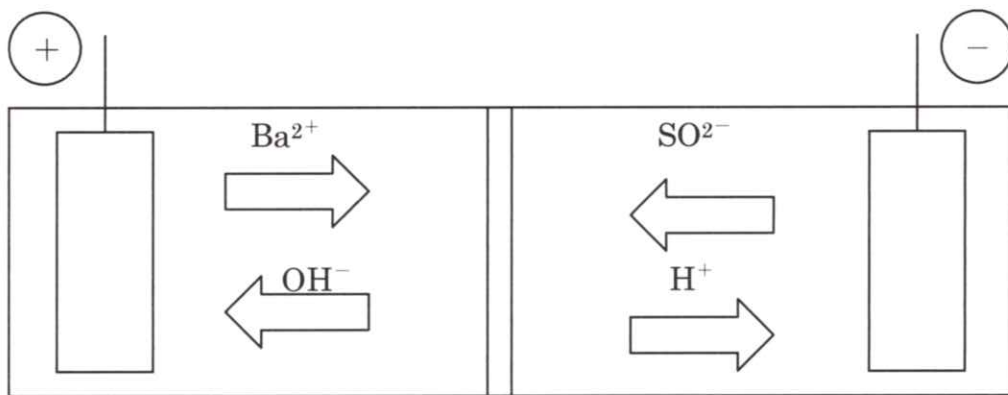


図4 電流を流したときの反応の模式図

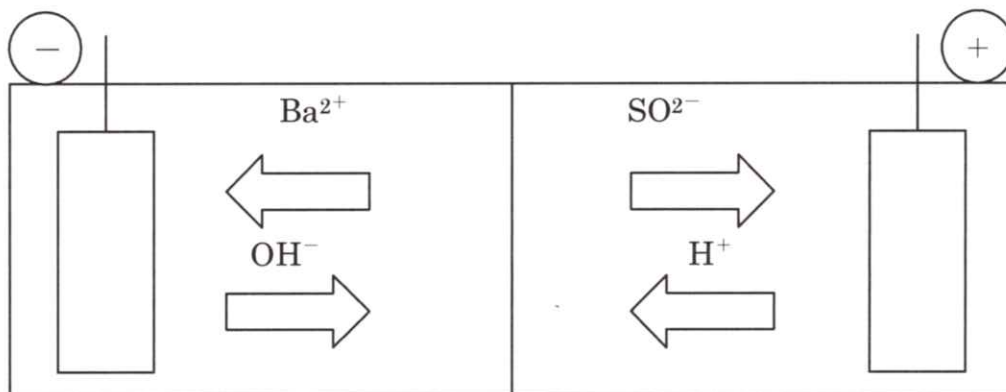


図5 電流を図4と逆に流したときの反応の模式図

6. 実験装置概要

(1) 自然対流伝熱の可視化実験

装置の概要については、上記の「5. 実験手順」を参照のこと

なお、板状セルの電源は、乾電池（単3乾電池×6本）、試験管を加熱するためのお湯は地上で装置にセットして、保温箱（発泡スチロール製容器）に入れて保温しておく。

総重量 2kg 以下

(2) フェライト磁石や電線のまわりにできる磁界の可視化実験

1) マグチップ約 60 個 棒磁石約 20 個

2) エナメル線・電池など 200 個 マグチップ約 60 個

3) マグチップ約 60 個 フェライト磁石約 5 個×4 磁性流体 50mL

いずれも、300×300×300 程度の透明な箱に入れて、金属片や磁性流体が飛散しないよう配慮する。

総重量 2kg 以下

(3) 酸とアルカリの水溶液を用いた液液界面における中和反応の可視化実験

実験装置のサイズ 5cm×5cm×15cm

300×300×300 程度の透明な箱に入れて、酸やアルカリが飛散しないよう配慮する。

なお、機内で酸やアルカリの使用が困難な時には、腐食性のない、硫酸ナトリウムや塩化バリウムを代用する。

総重量 2kg

・その他、撮影用に小型 VTR カメラ（2台、電源を含む）、デジカメ 1台を使用

7. 必要な電源容量概算

AC 100V：最大 3 アンペア（VTR カメラ駆動用）

8. 実験支援装置の利用要望

特になし

9. 危険物等の搭載の有無

無

10. 実験実施時の航空機への登場希望有無

有