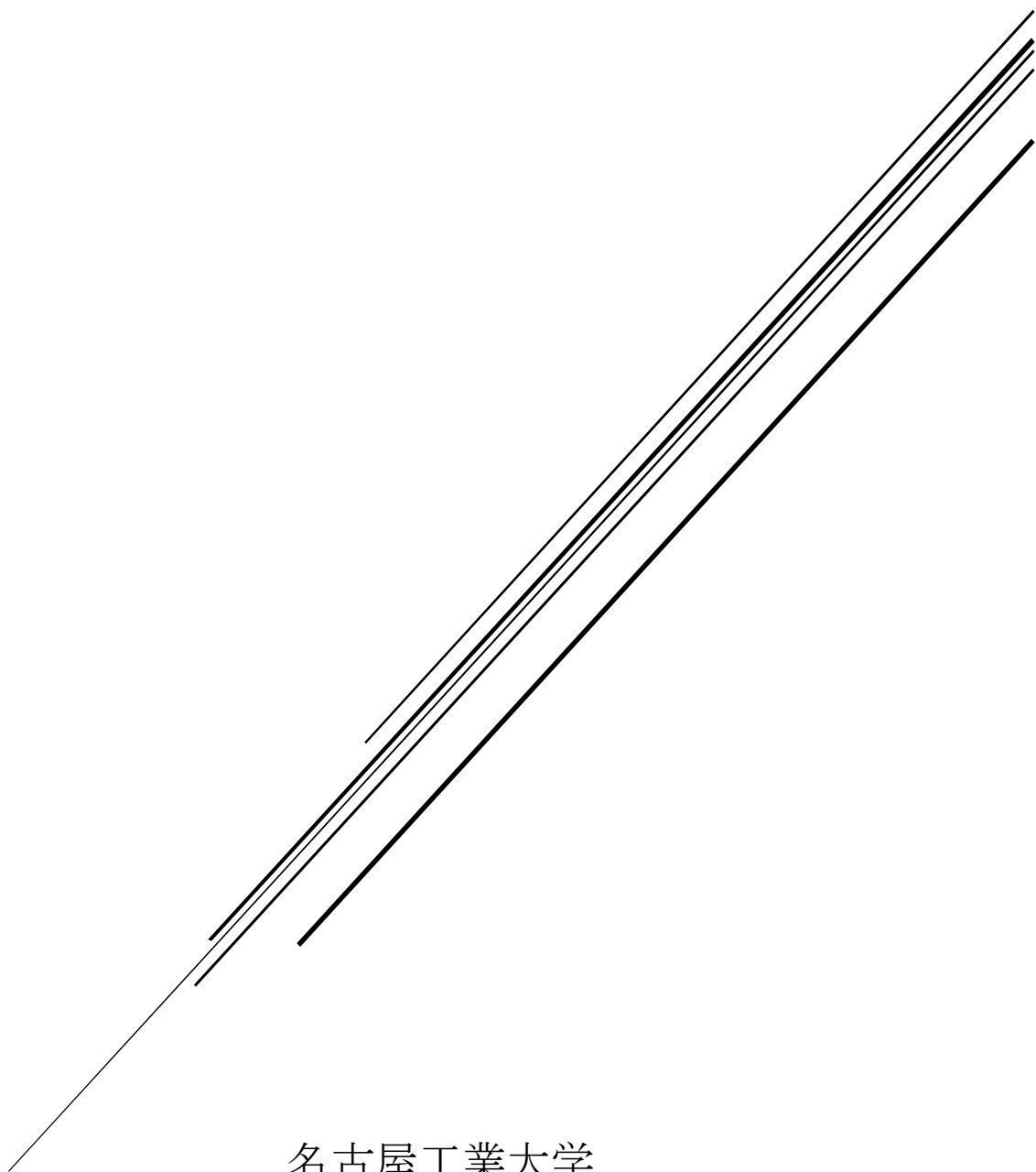


知の探求講座 2015

電気ので分子を操る～目で見えて学ぶ電気化学入門～



名古屋工業大学

生命・物質工学科（無機化学分野）

目次

はじめに	2
タイムテーブル	4
注意事項	5
実験器具・試薬・配布物一覧	5
実験 1 金属空気電池を作ろう！	7
実験 2 水の電気分解を可視化しよう！	13
ポテンショ/ガルバノスタットの使い方	19
手作り分光器の製作	23
光の波長と色・補色	24
回折格子（ホログラムシート）	25
〔補足〕発光ダイオード（LED）の極性	26
〔補足〕抵抗のカラーコード	26

知の探求講座 2015 電気ので分子を操る ～目で見て学ぶ電気化学入門～

日時： 2015年7月31日 13:00 ～ 17:00

担当： 名古屋工業大学 生命・物質工学科（無機化学分野）
川崎晋司（教授），石井陽祐（助教），柳生剛義（助教）
谷口慶充（大学院1年），阪本悠紀（大学院1年），
木戸祐介（大学院1年），鈴木義明（学部4年）

テキストやパワーポイントは，後日Web上にアップします。

本講座の内容に関して質問があれば，下記アドレス（石井）までメールしてください。

Web ページ： <http://kawasaki.web.nitech.ac.jp/jp/>

（入門講座 > 高校生向け > 知の探求講座 2015 の順に進んで下さい。）

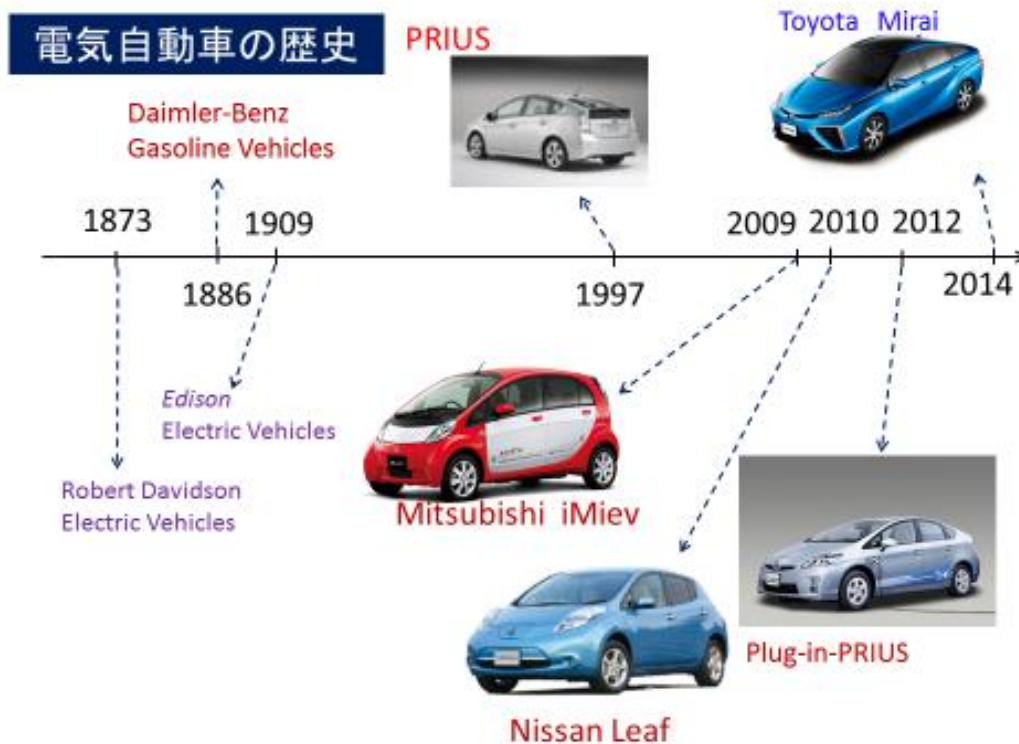
E-mail： ishii.yosuke@nitech.ac.jp

はじめに

近年、環境意識の高まりから電気自動車や燃料電池車など「電気エネルギー」を利用して走行する自動車への注目が高まっています。特に燃料電池車に関しては、昨年末から量産型自動車（トヨタ MIRAI）の販売も開始され、ニュース等で耳にする機会も多いかと思えます。電気エネルギーを利用した自動車は非常にエネルギー効率の良いシステムで、CO₂排出量はガソリン自動車の 1/4 程度とされています。電気自動車が本格稼働すれば大幅な CO₂削減が期待できます。

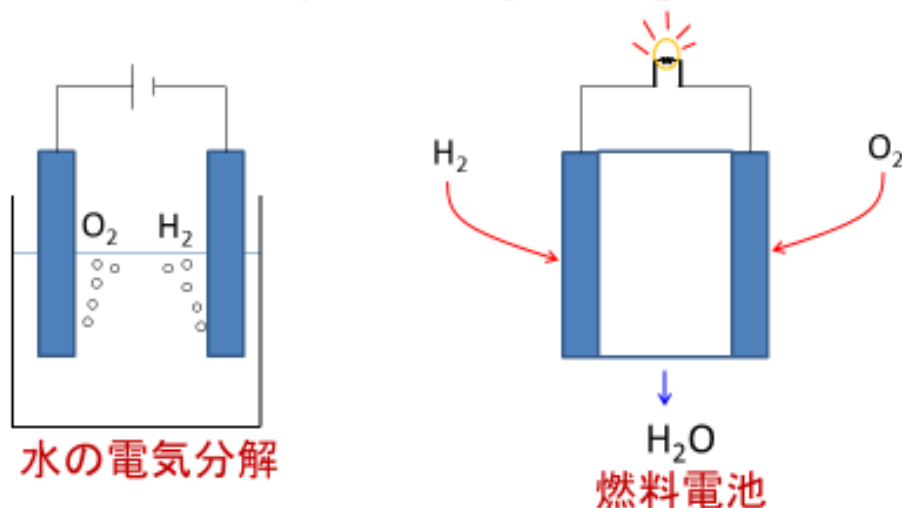
様々な構成の燃料電池が提案・開発されていますが、最も基本的な燃料電池は、水素と酸素で発電するタイプのものです。このタイプの電池の反応は、水の電気分解の逆反応であると理解することができます。つまり、電池内では「水素」と「酸素」から水が生成する反応が進行します。「酸素」は空気中に含まれるものを使用すればよいですが、「水素」は安全性に問題があり、少々取扱いの難しい物質であると言えます。そこで近年、水素を使わないタイプの新しい燃料電池の研究・開発が盛んに行われています。

本講座では、水素を使わない燃料電池として「金属空気電池」に着目し、電池の試作と動作テストを行います。さらに、電池内で起こる反応の様子についての理解を深めるため、水の電気分解反応の可視化実験も行います。本講座を通して電池の仕組みについての理解を深め、エネルギー・環境問題を解決するための先端技術開発について、化学の立場から考えてもらえたらうれしく思います。



簡単な原理の説明

基本的には水の電気分解の逆



電解質(動くイオン種)によりいくつかのタイプがある

燃料電池の種類

種類	固体高分子形 (PEFC)	リン酸形 (PAFC)	熔融炭酸塩形 (MCFC)	固体酸化物形 (SOFC)
電解質	固体高分子膜	リン酸	容酸炭酸塩	安定化ジルコニア
作動温度	常温~100℃	150~200℃	650~700℃	700~1000℃
発電効率	40~60%	40~45%	40~60%	50~60%
発電規模	50 kW以下	50~200 kW	250 kW~数10万 kW	100 kW~数10万 kW
開発状況	実証/実用化段階	実用化段階	実証/実用化段階	研究/実証段階
用途	家庭・小型店舗、 自動車、 モバイル機器など	中型規模の オフィスビルなど	工場や 大規模電力事業用	小規模から 大規模まで 幅広い発電用

H⁺

H⁺

CO₃²⁻

O²⁻

<http://www.raku-eco.jp/fuelcell/kind.html>
http://www.gas.or.jp/fuelcell/contents/01_6.html
<http://www.nedo.go.jp/nenryo/denchi/index.html#nenryo> など

タイムテーブル

13 : 00 ~ 13 : 15	・全体説明
13 : 15 ~ 13 : 45	・実験 1 (前半) 空気極の作成 ・手作り分光器の制作
13 : 45 ~ 14 : 20	・実験 2 (前半) アントシアニンの抽出 ・実験 2 (前半) pH によるアントシアニンの色変化を観察 ・実験 2 (前半) 寒天セルの制作
14 : 20 ~ 14 : 30	・光と色についての解説, ホログラムシートを使った回折実験
14 : 30 ~ 15 : 00	・実験 2 (前半) アントシアニンの吸収スペクトル測定 ・実験 1 (後半) 金属空気電池の評価 (市販キットに付属の部材を用いた実験)
15 : 00 ~ 15 : 15	・休憩
15 : 15 ~ 15 : 50	・実験 1 (後半) 金属空気電池の評価 (自作の電極を用いた実験)
15 : 50 ~ 16 : 20	・実験 2 (後半) 寒天セルの電気分解実験 ・実験結果のまとめ, 報告内容の検討
16 : 20 ~ 16 : 50	・実験結果の報告会 (<u>1 グループ 2~3 分程度で実験・観察の成果を発表・議論</u>) ・質疑応答
16 : 50 ~ 17 : 00	・片付け

注意事項

- やけどに注意！（ホットプレートの天板、熱湯）
- 金属板等で、手を切らないように注意してください。
- 酸・塩基を取り扱う人は適切な保護具を着用すること。
（各班に保護メガネと手袋を配布）
- 手作り分光器でレーザー光や太陽光など、強い光源を直視しないこと。
- 取り扱い方法のよく分からない機器に関しては、使用方法について TA から指導を受けること。（マイクロピペット、ロールプレス、デジタル pH メータなど）
- Pt, MnO₂, CuO や酸・塩基の付着したゴミは実験系廃棄物として別途回収します。
一般ごみとして捨てないように注意してください。
ゴミの分別や廃液の処理に関しては、TA の指示に従ってください。

実験器具・試薬・配布物一覧

～足りないものや追加で必要なものがあれば、随時お知らせください～

【全員に配布】

テキスト（1冊）、手作り分光器製作キット（厚紙、ホログラムシート、アルミホイル、カラーフィルムの入った袋。1個）

【2班で共有】

エタノールの入った洗ビン（色付ビニールテープの貼ってあるもの。1個）、台所洗剤（1個）、スポンジ（1個）、キムワイプ（1箱）、油性ペン（1本）、はさみ（1個）、カッターナイフ（1個）

1 mol L⁻¹水酸化ナトリウム水溶液（20 mL）、1 mol L⁻¹塩酸（20 mL）、10%アンモニア水（50 mL）、1 mol L⁻¹酢酸（20 mL）、3 mol L⁻¹塩化ナトリウム水溶液（20 mL）

【各班】

ポテンショメーター/ガルバノスタット（1台）、ホットプレート（1台）

蒸留水の入った洗ビン（色付ビニールテープの貼っていないもの。1個）、キムテックス（数枚程度）、ゴム手袋（2双）、保護メガネ（1個）、雑巾（1枚）

スパークテル（大・小1本ずつ）、ピンセット（1個）、パスツールピペット（5本）、パスツールピペット用ニップル（1個）、ガラス棒（1本）、500 mL ビーカー（1個）、乳鉢・乳棒（1セット）

金属空気電池カー（1台）、金属空気電池カーの取り扱い説明書（1枚）、空気極の見本（1

個), プラスチックケース (3 個), 20 mL サンプル瓶 (1 個), 5 mL サンプル瓶 (5 個)

ワニロクリップ (2 本), セロテープ (1 個), ラベルテープ (1 シート)

マグネシウム板 (金属空気電池カーのキットに付属のものを使用), アルミニウム板, 銅板, ニッケル板, 亜鉛板, ステンレス板 (プラスチックケースにセットできるよう成型済み), ステンレス線

[紫キャベツの担当班 (A 班, C 班, E 班, G 班)]

紫キャベツ (1/8 玉), ザル・受け皿セット (1 組)

[ブルーベリーの担当班 (B 班, D 班, F 班)]

ブルーベリー (1/4 パック), ザル (1 個), 200 mL ビーカー (1 個)

[共有 (共通実験台などに設置)]

電子天秤 (粉末をこぼした場合, 他の班に受け渡す前にしっかりと掃除すること!), 冷蔵庫, 乾燥機, ロールプレス, マイクロピペット, デジタル pH メータ, 温度計, デジタルマルチメータ

メスシリンダー, メスフラスコ, 各種ビーカー

ピペットチップ, 薬包紙, アルミホイル, サランラップ, pH 試験紙

レーザーポインタ (赤, 緑), 巻尺 (1 個), ストップウォッチ (2 台)

発光ダイオード, 抵抗器, アルカリ乾電池, ホログラムシート, 関数電卓

ビニールテープ, エアダスター (天秤の掃除用), ゴミ袋 (可燃, 不燃, 薬品付着可燃, 薬品付着不燃)

カーボンブラック, 活性炭, Pt 担持カーボンブラック, MnO₂ 担持カーボンブラック, CuO 担持カーボンブラック, Al₂O₃ 担持カーボンブラック, PTFE 分散液, 塩化ナトリウム, 8 mol L⁻¹ 水酸化ナトリウム水溶液 (使用時には保護メガネと手袋を着用し, TA の指示に従うこと), アガロース

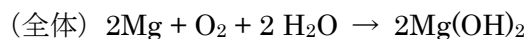
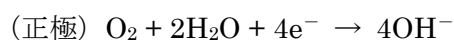
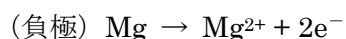
[実験 1] 金属空気電池を作ろう！

実験の概要

家庭用の定置型燃料電池や電気自動車用の燃料電池として、酸素と水素を利用した燃料電池（水素－酸素電池）が普及しています。しかし、この構成の電池に不可欠な「水素」は安全性、貯蔵・運搬性の点で少々取扱いの難しい物質であると言えます。

本実験では、水素を使わない燃料電池として「金属空気電池」に着目した実験を行います。金属空気電池は、負極で金属の酸化反応、正極で酸素の還元反応を起こすことで発電する電池です。（負極に水素ではなく、金属を使うことがポイント。正極反応は基本的に水素－酸素電池と同じです。）例えば負極に亜鉛を用いた「亜鉛空気電池」は、補聴器用の電源として広く普及しています。

亜鉛空気電池よりも大きなエネルギーを取り出せる電池として最近注目されているのが、「マグネシウム空気電池」です。この電池の各電極では、以下のような反応が起こり、発電を行います。



最近、災害時の非常用電源として、下図（左）のようなマグネシウム空気電池の市販が始まりました。

本実験では、下図（右）のような小型の自動車模型を用いて金属空気電池の動作実験を行い、金属空気電池の仕組みについて学びます。実際に電池を組み立てて電池の内部構造を理解し、電極や電解液の種類によって電池特性がどのように変化するのか調べてみましょう。



<http://www.furukawadenchi.co.jp/mgbox/index.htm>

<http://www.elekit.co.jp/product/JS-7900>

各班の分担

下記のような分担で様々な種類の空気極を作成します。出来上がったシートは全班で共有し、空気極の組成と動作特性の関係を調べてみましょう。

グループ名	空気極①	空気極②
A 班	カーボンブラック	Pt 担持カーボンブラック (Pt 10 wt.%)
B 班	カーボンブラック	MnO ₂ 担持カーボンブラック (MnO ₂ 10 wt.%)
C 班	活性炭	MnO ₂ 担持カーボンブラック (MnO ₂ 10 wt.%)
D 班	カーボンブラック	CuO 担持カーボンブラック (CuO 10 wt.%)
E 班	活性炭	CuO 担持カーボンブラック (CuO 10 wt.%)
F 班	カーボンブラック	Al ₂ O ₃ 担持カーボンブラック (Al ₂ O ₃ 10 wt.%)
G 班	活性炭	Al ₂ O ₃ 担持カーボンブラック (Al ₂ O ₃ 10 wt.%)

- ✓ 各班「2人 / 3人」または「2人 / 2人」の小グループに別れ、それぞれ「空気極①」か「空気極②」のどちらか1枚の作成を担当してもらいます。
- ✓ 乳鉢は各班に1個ずつしかないので、待機しているグループは23ページに記載の「手作り分光器」を製作しながら待機してください。

実験手順（前半）—空気極の作成—

- ✓ 各班2種類のシートを作成します。「各班の分担」で説明したように、班内で2つの小グループにわかれて作業してください。（待機組は23ページの手作り分光器を製作）
 - ✓ 試料を交換する前に、乳鉢・乳棒等をしっかりと洗浄すること。（キムワイプで固形物を拭き取り、水道水で洗浄 → 蒸留水で洗浄 → エタノールで洗浄。最後にキムワイプでエタノールの水滴を拭き取る。）
- (1) カーボン粉末 50 mg を電子天秤で秤量し、乳鉢の中へ入れる。
 - (2) PTFE 分散液 4 μL をマイクロピペットではかり取り、(1) に加える。
※マイクロピペットの具体的な使用方法は TA に聞いてください。
 - (3) パスツールピペットを用いて(2) にエタノールを少量ずつ滴下しながら粉末を乳棒で混練し、シート状に成形する。（エタノールを加えすぎないことがポイントです。全体が均一に湿る程度が適量。）
 - (4) (3) のシートをアルミホイルに乗せ、ガラス棒で薄く引き伸ばす。厚さが 2 μm （各班に配布した見本を参照）より少し厚い程度まで引き伸ばせたら、シートを薬包紙の間に挟み、ロールプレスで厚さ 2 μm に仕上げる。
 - (5) (4) のシートをアルミホイルで軽く包み、乾燥機に入れる。
※アルミホイルの外側に油性ペンで班名と試料名を記入すること。

実験手順（後半）—金属空気電池の動作テスト—

前半の実験で作成した空気極を使用して、「金属板 | 電解液をしみ込ませたセパレータ | 空気極」という構成の金属空気電池を作成し、動作テストをしてみましょう。

以下の観察例を参考に、電池の構造・組成と動作特性の関係を調べてみましょう。
(皆さんの知恵と工夫に期待します!)

<電池の動作試験の例>

- ポテンショ/ガルバノスタットを用いて電池電圧を測定する。
(使い方は19ページを参照。)
- 空気電池カーのスピードを比較する。
(ストップウォッチを使用したスピード計測。他のグループとの競争など。)
- 発光ダイオードを用いて動作時の電流方向を確認。
- 燃料電池カーの動作がどのくらいの時間継続するか、耐久テストを行う。
※この電池の耐久試験には時間がかかります。短時間でできる実験を終了させてから、他のグループと連絡を取り合い、計画的・効率的な実験を行いましょう。

<電池構造の改変例>

- 空気極の種類を変えてみる。
- 金属極の種類を変えてみる。
- 電解液のpHを変えてみる。
- 電解液の濃度を変えてみる。
- 空気極や金属極の面積を変えてみる。

<金属空気電池の基本的な組み立て方> (詳細は製品の取り扱い説明書を参照)

- (1) 市販キットの電極を参考に、電極やセパレータ(ポリプロピレン不織布, キムテックス)を切り抜く。
- (2) 空気電池カーの型枠に金属板, セパレータ, 空気極の順でセットする。
- (3) セパレータに電解液をしみ込ませると電池となる。

メモ

メモ

メモ

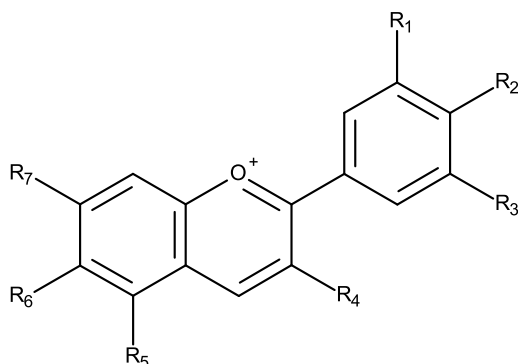
[実験 2] 水の電気分解を可視化しよう！

実験の概要

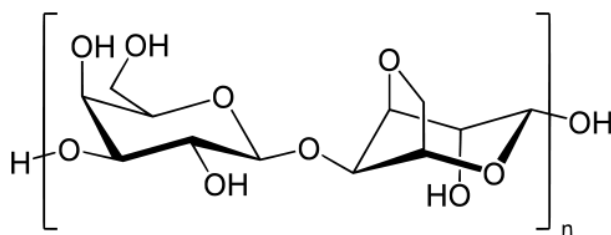
燃料電池（水素－酸素電池）の反応は、基本的には「水の電気分解の逆反応」であると考えられます。皆さんは中学や高校の授業で「水の電気分解を行うと、陽極側では酸素、陰極では水素が発生する」と習った記憶があるかと思います。

電極ごとの化学反応式を書いてみると分かると思いますが、電気分解時にはガス発生と同時に H^+ や OH^- の生成も起こります。 H^+ や OH^- が発生すると溶液の pH が変化するため、これらのイオンが発生する様子は pH 指示薬を用いて観察することができます。そこで本実験では pH 指示薬として、身近な食品（紫キャベツ、ブルーベリー）に含まれる「アントシアニン」を使用し、水の電気分解に伴うイオン発生可視化を試みます。

アントシアニンには以下のような分子構造の色素です。ここで、 $R_1 \sim R_7$ は $-H$ 、 $-OH$ 、または $-OCH_3$ であり、植物の種類によって少しずつ異なります。



アントシアニンは pH に依存してはっきりとした色変化を示す色素です。アントシアニンを溶かした水溶液を電気分解すれば電極反応に伴う pH 変化をとらえられるはずですが、水溶液中のイオンは非常に高速に対流・拡散するため、水溶液系では変化の様子をはっきりと観察するのは困難です。そこで本実験では、アガロース（寒天、以下の構造式に示す多糖類）を用いてゲル化した電解液を用いて対流・拡散の速度を抑えた条件で観察を行います。



実験手順（前半）—①アントシアニンの抽出—

食品からアントシアニン色素を抽出します。各班は、紫キャベツまたはブルーベリーのどちらか1つを担当します。（抽出後、班間でブルーベリー色素と紫キャベツ色素の一部を分け合って特性を比較してみましょう。）

<紫キャベツの担当班> ※A班, C班, E班, G班

- (1) 紫キャベツを細かくちぎり、500 mL ビーカーに投入する
- (2) このビーカーに、ビーカーの目盛りで約 300 mL の位置まで水を注ぐ。
- (3) (2)をホットプレートに乗せ、加熱を開始する。（ホットプレートの出力を 8 分目程度に設定。ホットプレートの具体的な操作方法は TA に聞いてください。）
- (4) 激しく沸騰するようになったら、沸騰寸前の温度が維持できる程度にホットプレートの出力を弱め、ガラス棒で内部を攪拌して出来る限り多くの色素を抽出する。
- (5) 5～10 分程度経過し、溶液が十分に色づいたらホットプレートの加熱を止め、やけどしない程度の温度までビーカーを放冷する。
- (6) 受け皿付のザルを用いて抽出液をろ過し、紫キャベツの固形分を取り除く。

<ブルーベリーの担当班> ※B班, D班, F班

- (7) 500 mL ビーカーにブルーベリーを数粒入れ、これをガラス棒で押し潰す。
- (8) このビーカーに、ビーカーの目盛りで約 300 mL の位置まで水を注ぐ。
- (9) (2)をホットプレートに乗せ、加熱を開始する。（ホットプレートの出力を 8 分目程度に設定。ホットプレートの具体的な操作方法は TA に聞いてください。）
- (10) 激しく沸騰するようになったら、沸騰寸前の温度が維持できる程度にホットプレートの出力を弱め、内部のブルーベリーをガラス棒で突いて出来る限り多くの色素を抽出する。
- (11) 5～10 分程度経過し、溶液が十分に色づいたらホットプレートの加熱を止め、やけどしない程度の温度までビーカーを放冷する。
- (12) 内側にポリプロピレン不織布（キムテックス）をセットしたザルを用いて抽出液をろ過し、ブルーベリーの果肉を取り除く。ろ液は 500 mL ビーカーで回収。最後に不織布を直接掴んで搾り出し、できるだけ多くのアントシアニン色素の回収を目指す。

実験手順（前半）—②アントシアニンの色と pH の関係の観察—

- (1) ①で抽出したアントシアニン水溶液を、5 mL のサンプル瓶に約 3 mL ずつ取り分ける。
- (2) 酸または塩基を少しずつ加え、色変化の様子を観察する。(強酸性、弱酸性、中性、弱塩基性、強塩基性のときの色の違いを確認する。)
- (3) (光と色についての解説が終わったら) 各班 1 つずつ試料を持参し、市販の分光光度計を用いたスペクトル測定を行う。

実験手順（前半）—③寒天セルの制作—

ステンレス電極をセットしたプラスチックケースにアントシアニンの入ったアガロース電解液を流し込み、電気分解実験用のセルを構築します。セルは1班3つまで制作できます。1つはステンレス平板を対向させたセルとし、残り2つはステンレス線を自由に配置・成形したオリジナルなものを構築してください。

- (1) 500 mL ビーカーに、①で抽出したアントシアニン水溶液を約 150 mL 入れる。
- (2) 沸騰するまで、ホットプレートで (1) を加熱する。
(最初は、ホットプレートの出力を 8 分目程度に設定。沸騰し始めたら出力を弱め、軽い沸騰が維持できる程度に調節する。)
- (3) アガロース 1.5 g と塩化ナトリウム 1.5 g を (2) に投入し、完全に溶けるまでガラス棒でよく攪拌する。
- (4) 8 分程度経過したら加熱を止め、45 °C 程度までビーカーを放冷する。
(ゲル化するまで冷やさないこと！)
待機時間を利用して、プラスチックケース内にステンレス電極をセットする。ケースの側面または裏面に、班名を書いたラベルテープを張り付ける。
- (5) ステンレス電極をセットしたプラスチックケースに (4) を流し込む。
(流し込む量は、プラスチックケースの高さの 8 分目程度が適量)
- (6) 冷蔵庫に入れて、十分にゲル化するまで冷却する。

実験手順（後半）—寒天セルの電気分解実験—

ポテンショ/ガルバのスタットを用いて、③で得られた寒天セルの電気分解を行います。電解条件は、定電位電解、定電流電解どちらでも構いません。電解過程の色変化の様子を観察しましょう。ポテンショ/ガルバのスタットの使い方は、19 ページを参照してください。

メモ

メモ

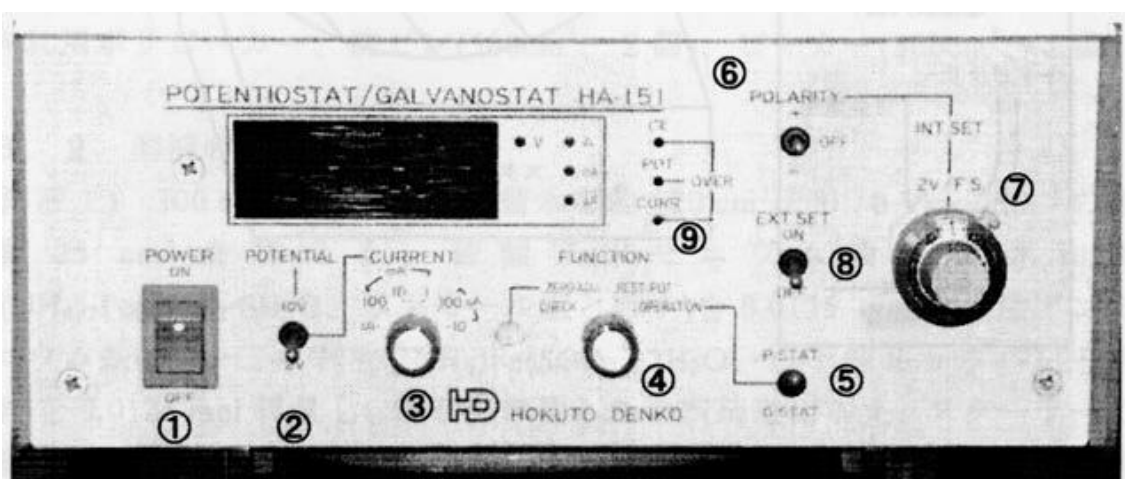
メモ

ポテンショ/ガルバナスタットの使い方

電気化学の実験では、

- イ) 電圧を正確に測定する。
- ロ) 一定の電圧を印加・維持する。
- ハ) 一定の電流を印加・維持する。

といった測定・制御ができる機器が不可欠です。このような実験を行うための装置が「ポテンショ/ガルバナスタット」です。高機能な電源装置だと理解していただいて構いません。今回の実験では、下図に示すアナログ制御型のポテンショ/ガルバナスタットを使用した実験を行います。



取り扱いの注意

- (1) 感電に注意！（電源を入れている間は、接続対象を触らない。）
- (2) 電源を入れる前に回路がショートしていないかチェックする。
- (3) 電極を繋ぎ替えるときは、電源（①）をOFFにする。
- (4) 使用中は警告ランプ（⑨）が点灯していないかチェックする。

・ CURR が点灯：

電流レンジ（②）を大きくする。（つまみを左へ回す）

・ POT または CE が点灯：

接続に問題があるかもしれません。

そのままの状態電源（①）を切り、TAに相談してください。

電源を入れる前に確認すること（初期設定）

- 電圧レンジ (②) : 10 V (トグルスイッチを一番上にセット)
 - 電流レンジ (③) : 1 mA
 - Function (④) : CHECK
 - P STAT / G STAT (⑤) : P STAT
 - PORARITY (⑥) : OFF (トグルスイッチを中央にセット)
 - INT SET のダイヤル値 (⑦) : 0
 - EXT SET (⑧) : OFF
- ✓ ポテンショスタットのケーブルからは 4 本の接続端子がでています。「**黒色クリップー白線 (WE_E)**」と「**黒色クリップー黒線 (WE_I)**」で 1 セット (以降, 作用極端子とよぶ), 「**緑色クリップー緑線 (RE)**」と「**赤色クリップー赤線 (CE)**」で 1 セット (以降, 対極端子とよぶ) にまとめて使用します。
 - ✓ 作用極端子と対極端子のそれぞれを, ワニ口クリップを介して測定対象・制御対象に接続してください。(クリップ線の先端を溶液に浸さないように注意!)
 - ✓ 作用極端子と対極端子が**直接接触 (ショート)** した状態でないことを確認。

平衡電圧の測定方法

電極間に電流を流さない (回路的に切り離れた状態) で, 電極間の電圧を測定します。
(測定時に電流が流れると, セル電圧は変化してしまいます。)

- (1) 電源 (①) を ON にする。
- (2) Function (④) を REST POT にする。
- (3) 表示された電圧値が安定したら, 数値を記録する。

[測定のポイント]

まずは電圧レンジ (②) を 10 V (トグルスイッチを一番上) にセットして測定し, 表示された電圧の絶対値が 2 V 未満であれば, 電圧レンジ (②) を 2 V (トグルスイッチを一番下) にセットしてみましょう。「2 V レンジ」の方が「10 V レンジ」よりも精密に電圧測定ができます。レンジを変えて, 小数点以下の表示桁数を比較してみましょう。

極性 (+, -) については, 電池の正極を作用極, 負極を対極に繋ぐと表示値は+となります。市販の乾電池を接続して確認してみてください。

電圧の印加方法（定電圧制御）

設定した電圧が電極間に印加されます。常に一定の電圧を保持できるよう、電極端子間に流す電流を自動でコントロールしてくれます。（フィードバック制御）

このような制御を行うための装置をポテンショスタットとよびます。

- (1) 電源 (①) を **ON** にする。
- (2) Function (④) を **REST POT** にする。（このとき表示される値が平衡電圧）
- (3) 電圧値を平衡電圧に設定する。
 - ・PORARITY つまみ (⑥) で極性 (+, -) を指定する。
 - ・INT SET のダイヤル (⑦) のダイヤルを回して電圧値を設定する。
- (4) Function (④) を **OPERATION** にする。（この時点で電圧が印加されます。）
- (5) 電極間に流れている電流値を読み取る。（電流表示に変更する）
 - ・トグルスイッチ (②) を **中央**（電流）にセットする。
 - （平衡電圧に正しく設定できた場合は、電流値はゼロに近いはず）
- (6) トグルスイッチ (②) を操作し、電圧表示にもどす。
- (7) 「PORARITY スイッチ (⑥)」と「INT SET (⑦)」を使って、加えたい電圧値まで徐々に変化させる。

[測定のポイント]

設定電圧を変化させながら電極の変化を観察し、ときどき (5) の手順で電流値を確認してみてください。（電流が流れているときは、各電極で何らかの電気化学反応が起こっているはずです。）

終了手順

- (1) Function (④) を **REST POT** にする。（電圧の印加が止まります。）
- (2) 電圧の設定値をゼロにもどす。
 - ・PORARITY (⑥) を **OFF**（トグルスイッチを中央）にする。
 - ・INT SET のダイヤル値 (⑦) を **0** にする。
- (3) 電源 (①) を **OFF** にする。

電流の印加方法（定電流制御）

電極間に、設定した電流値を流します。常に一定の電流が流れるよう、出力を自動でコントロールしてくれます。（フィードバック制御）

※このような制御を行うための装置をガルバノスタットとよびます。

- (8) 電源 (①) を ON にする。
- (9) トグルスイッチ (⑤) を G STAT 側にセットする。
- (10) トグルスイッチ (②) を 中央 (電流) にセットする。
- (11) 印加する電流値を設定する。
 - ・電流レンジつまみ (③) を、流したい電流値を超えない範囲で可能な限り大きなものを選択する。
 - ・PORARITY つまみ (⑥) で電流の極性 (+, -) を指定する。
 - ・INT SET のダイヤル (⑦) のダイヤルを回して電流値を設定する。
- (12) Function (④) を OPERATION にする。(この時点で電流が印加されます。)
- (13) 電極間の電圧を読み取る。(電圧表示に変更する)
 - ・トグルスイッチ (②) を 10 V (一番上) にセットする。
表示された値の絶対値が 2 V 未満であれば、②を 2 V (一番下) にする。
- (14) トグルスイッチ (②) を 中央 (電流) にセットし、電流表示にもどす。
- (15) 「PORARITY スイッチ (⑥)」と「INT SET (⑦)」を使って、目的の電流値まで徐々に変化させる。
- (16) 目的の電流値まで達したら、トグルスイッチ (②) を 10 V または 2 V にセットし、電圧の経時変化を観察する。

[電流の方向（極性）について]

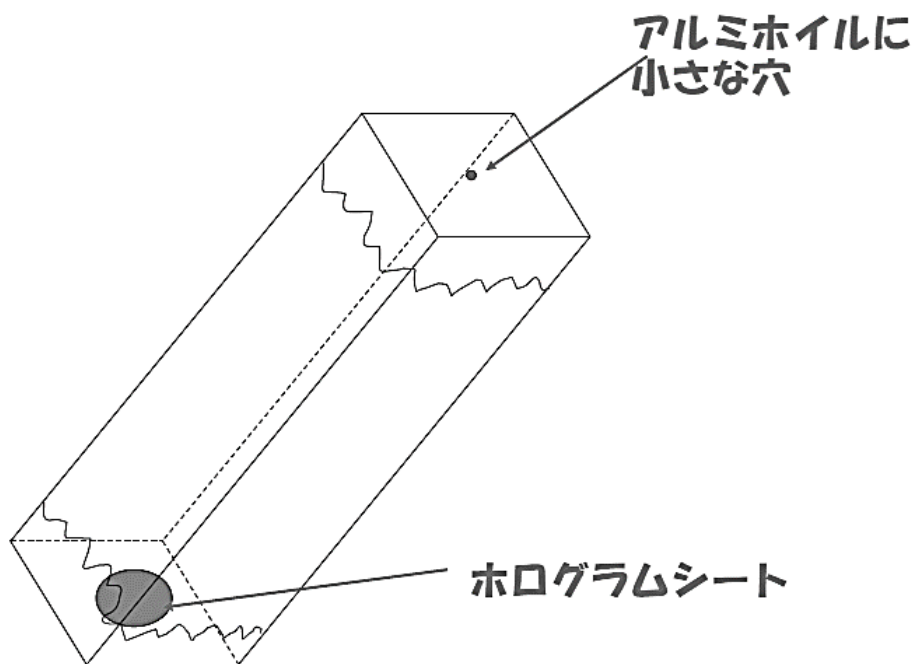
電流値の極性を+にした場合、作用極が陽極、対極が陰極になります。逆に電流値の極性を-にした場合、作用極が陰極、対極が陽極になります。

終了手順

- (4) Function (④) を REST POT にする。(電流の印加が止まります。)
- (5) 電流の設定値をゼロにもどす。
 - ・PORARITY (⑥) を OFF (トグルスイッチを中央) にする。
 - ・INT SET のダイヤル値 (⑦) を 0 にする。
- (6) トグルスイッチ (⑤) を P STAT 側に戻す。
- (7) 電源 (①) を OFF にする。

手作り分光器の製作

- 厚紙を切り抜き、アルミホイルとホログラムシートを用いて、下図に示すような直方体上の簡易型分光器を製作します。



- 完成した分光器を用いて蛍光灯の光をのぞいてみましょう。
- 蛍光灯と分光器の間にカラーフィルム（黄色）を挟んで観察してみましょう。フィルムの有無でスペクトルがどのように変化しましたか？

光の波長と色・補色

光は電磁波の一種で、人間の目は 400 nm ～ 800 nm 程度の波長を「色」として認識することができます。この波長範囲の電磁波は可視光とよばれます。例えば波長が 460 nm の光は「青色」、530 nm の光は「緑」、650 nm の光は「赤」と認識されます。

ヒトの網膜には「明るさ」を検出する桿体細胞と「色」を検出する錐体細胞が含まれています。さらに、錐体細胞は「赤色」の光を検出する細胞、「緑色」の光を検出する細胞、「青色」の光を検出する細胞の 3 種類に分けられます。つまり、ヒトは赤、緑、青の組み合わせで色を認識していることとなります。これらの色は光の三原色とよばれます。

複数の波長の光が混ざると混色が起こります。たとえば、「青」と「緑」の光が混ざると「黄色」と認識されます。また、三原色（赤・緑・青）のすべてが混ざると「白色」に感じます。

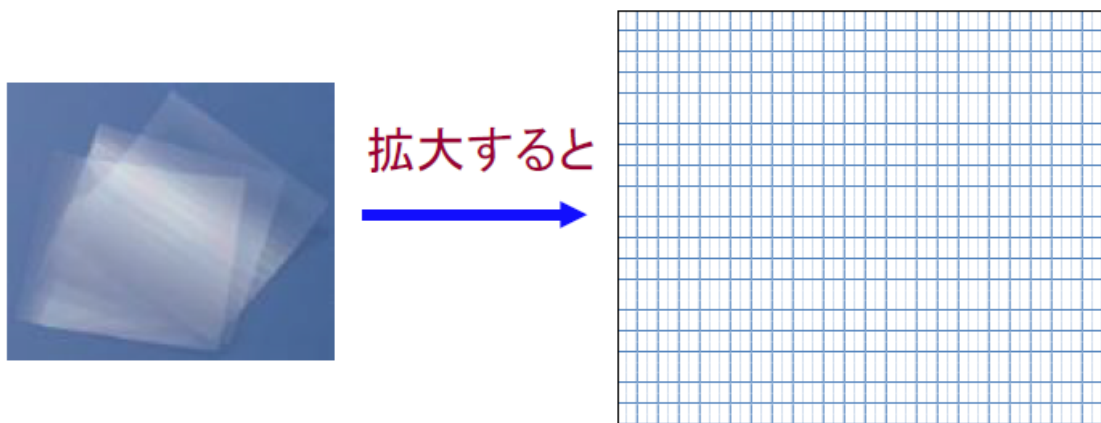
物質が可視光を吸収する場合、吸収されなかった光（反射光・透過光）が目に入ります。このとき、吸収されなかった光の色（ヒトの目が認識する色）を補色と言います。例えば、青色の補色は黄色です。白色光源（太陽光や蛍光灯）の下で青色の光を吸収する物質を見た場合、この物質は黄色と認識されます。光の三原色のうち青色光が吸収され、残りの緑色光と赤色光が混ざった光、つまり黄色光が補色として目に到達するためです。

<電磁波の波長と色の関係>

波長 (nm)	色		補色
100 ～ 400	紫外線		
400 ～ 435	可視光	紫	黄緑
435 ～ 480		青	黄
480 ～ 490		緑青	橙
490 ～ 500		青緑	赤
500 ～ 560		緑	紫赤
560 ～ 580		黄緑	紫
580 ～ 595		黄	青
595 ～ 610		橙	緑青
610 ～ 750		赤	青緑
750 ～ 800		紫赤	緑
800 ～ 500000		赤外線	

回折格子（ホログラムシート）

- ホログラムシートには，下図に示すように等間隔の細かな溝が刻まれています。



- ホログラムシートに直線光を入射すると，規則正しい回折スポットのパターンが現れます。
- 詳しくは高校物理で習うと思いますが，格子線の間隔を d ，回折角を θ ，入射光の波長を λ とすると，以下の関係式が成り立ちます。

$$d \sin \theta = m\lambda$$

ただし， m は整数。※光の光路差を作図すれば導出できます。

- 本講座の途中で，赤色レーザー（波長 650 nm）と緑色レーザー（波長 532 nm）を用いたホログラムシートの回折実験（有志参加型の演示実験）を行います。ホログラムシートとスクリーンの距離，回折スポットの間隔を測定し，ホログラムシートの格子間隔を見積もってみましょう！

<実験メモ>

レーザー波長	ホログラムシートとスクリーン間の距離 (cm)	1 次の回折スポットまでの距離 (cm)	格子間隔の計算結果 (μm)
650 nm (赤)			
532 nm (緑)			

発光ダイオード（LED）の極性

長い端子がアノード，短い端子がカソード。アノード→カソード方向に電流が流れると点灯する。逆に繋ぐと電流が流れず、点灯しないので注意！

抵抗のカラーコード

リード線付の抵抗器の表面には色のついた帯がプリントされており，この色の配列から抵抗値と誤差を読み取ることができます。

帯の数に関しては，4本のもものと5本のもものがありますが，読み方は基本的に同じです。

<4本の線がある場合>

「(左) 3本の等間隔の帯 幅広の空白 1本の帯 (右)」の向きになるように置きます。以下の対応表を用いて各帯の色を数値に置き換え，左から順に①，②，③，④とします。(対応表では①～③を数値，④を誤差として読む。)

そして「① ② × 10^③ ± ④」と読みます。

例) 茶 緑 橙 幅広の空白 金 → 15 × 10³ ± 5% → 15000 ± 5%

<5本の線がある場合>

「(左) 4本の等間隔の帯 幅広の空白 1本の帯 (右)」の向きになるように置きます。以下の対応表を用いて各帯の色を数値に置き換え，左から順に①，②，③，④，⑤とします。(対応表では①～④を数値，⑤を誤差として読む。)

そして「① ② ③ × 10^④ ± ⑤」と読みます。

例) 茶 橙 緑 黒 幅広の空白 茶 → 135 × 10⁰ ± 1% → 135 ± 1%

<カラーコード対応表>

色	数値	誤差	色	数値	誤差
黒	0	×	紫	7	×
茶	1	±1%	灰	8	×
赤	2	±2%	白	9	×
橙	3	×	金	×	±5%
黄	4	×	銀	×	±10%
緑	5	×	無色	×	±20%
青	6	×			