

# 簡便な手作り酸素センサーの製作

中島 道夫<sup>1</sup>, 菊川 裕子<sup>2</sup>, 山崎 文生<sup>3</sup>, 岡島 俊哉<sup>1</sup>, 古賀 飛鳥<sup>4</sup>, 石原 秀太<sup>5</sup>

## Development of Simple Home-made Oxygen Sensor

Michio NAKASHIMA, Yuuko KIKUKAWA, Fumio YAMASAKI,  
Toshiya OKAJIMA, Asuka KOGA, and Hideta ISHIHARA

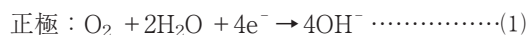
### 要 旨

容易に手に入る材料を用いて安価な酸素センサーを製作することができることを確認した。センサー出力のゆるやかな時間変化を抑えるのには成功していないが、酸素濃度の変化を捉えることには成功したといえる。また、出力電圧の安定性は電解質が塩化カリウムの場合のほうが炭酸水素ナトリウムの場合より優れていた。鉛を使わず真鍮を使うことも可能であるが、出力電圧が低いので電極面積を大きくして電流値を上げて、測定電圧を上げる必要がある。

#### 1. はじめに

理科教育において酸素の発生や消費についての実験や観察を行う場面があり、簡単に作れて、安価な酸素濃度計の有用性が考えられる<sup>1)</sup>。

酸素濃度測定には、電圧をかけて電気分解を行わせ、その電流の大きさを負荷抵抗両端での電圧変化として測定する電解法と、電池反応により発生した電流を負荷抵抗に流すことにより電圧として取り出すガルバニ電池法<sup>2)</sup>の2通りが考えられる。例えば、ガルバニ電池法で電解液にアルカリ性水溶液を用いた場合、



正極では酸素の還元が起こり、負極では電極材の

金属の溶解が起こる。正極では酸素に侵されない不活性な電極材料が必要であり、白金や金が材料として用いられるのが普通である。貴金属を電極に用いるため電極のサイズや厚みを減らして、製造価格を押さえるか、高性能化して価格効率を高める努力がなされている。

近年、家電品の高性能志向により、さびによる接触抵抗の増加が抑えられる金を接触域にメッキした部品が市販され、容易に入手できるようになっている。これらの部品のメッキ表面は不活性な酸素電極として使える可能性があり、種々の形状の接続用金メッキ端子の中から上手に選択すれば簡便な酸素濃度センサーに使える可能性がある。負極材料としては真鍮、鉛を用い、電解溶液

<sup>1</sup> 佐賀大学 文化教育学部 環境基礎講座  
<sup>2</sup> 佐賀大学 文化教育学部 人間環境課程 環境技術選修卒業  
<sup>3</sup> 福岡県福岡市立城南中学校 教諭  
<sup>4</sup> 佐賀大学 教育学研究科教科教育専攻 理数教育専修在学  
<sup>5</sup> 佐賀大学 文化教育学部 理数教育講座

には洗濯のりに炭酸水素ナトリウムを溶かした塩基性のもの、あるいは塩化カリウムを溶かした中性のものを用い、電池型の酸素センサーとしての性能を比較した。

また、電圧測定のためのデジタルマルチメータの性能や負荷抵抗との組み合わせにより、最も価格効率のよい組み合わせについて検討した。

## 2. 実 験

### I 製作

#### A. ピンジャック（金メッキジョイント）を用いたセンサー

材料：

- (1) RCA ピンジャック AP - 2651 OHM 社（ジョイント）
- (2) 鉛球（つり用品： $\phi=11\text{ mm}$ ）
- (3) 真鍮金具：ヨーオレ（壁掛け用直角金具）サイズ32 mm
- (4) オーディオコード（1 m長のを中央で切断、50 cm長のが2本得られる）
- (5) ポリエチレン製ラップ

このうち、(1)から(4)を**写真1**に示した。

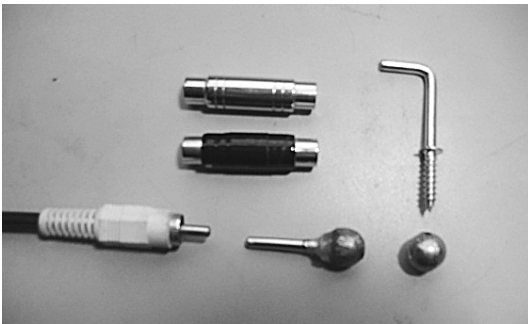


写真1

組み立て（鉛—金および真鍮—金電極の場合）：

1. 鉛球の中心穴を突き通さない程度に広げる（2.5 mm）。
2. ヨーオレのねじ部の先端をカット、鉛球の直径よりねじ部を短くし、ねじ込む。
3. ヨーオレの曲がった部分をワイヤーカッターで切り取り、先端をやすりで丸める。
4. 鉛球とねじ部の間及び直棒部をエポキシで固

める（**写真2**）。真鍮—金電極では、電極はねじ部（**写真2下**）となる。他は同様に加工する。

5. 直棒部をピンジャックに挿入し、接合部分にビニールテープを巻き、絶縁を確実にする。
6. ピンジャックの中央部にビニールテープを巻く（**写真1**、中央2個目）。



写真2

7. のりに溶かした電解質を、筆を使い鉛球—ビニール部—ピンジャックの金露出部まで塗りつけラップを巻き（**写真3**は巻く前）、輪ゴム又はテープで止める。

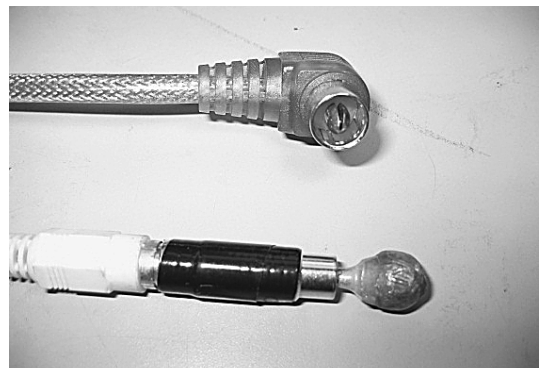


写真3 電解質、ラップをはずした状態

8. ピンジャックの反対側にオーディオコードを接続し、デジタルマルチメータに接続するとともにターミナル間に負荷抵抗（1 k $\Omega$ と10 k $\Omega$ の抵抗の並列で組みあわせたもの）を同時に取り付ける。

**B. 金メッキ同軸ケーブルプラグを用いた電極鉛一金電極 (L-Type、I-Type)**

材料：

- (1) テレビ用の同軸ケーブル (L-type、I-Type、写真3上はL-Typeの例)
- (2) 割りびし大大 (魚釣り用おもり)  
他はAと共通の仕様。

組み立て：

1. 両端に端子のついた1mのケーブルを中央で切る。L-typeとI-typeと両端が異なる物や同じタイプのものが市販されている。
2. 筆を使い電解液を端子内部に押し込み、さらに外側に塗る。
3. 先の細いラジオペンチで割りびしを挟み、端子内部に押し込み、心線を挟み込んで締め付ける。
4. 電解液で鉛を覆いさらにラップで金メッキ部まで包み込み、小型の輪ゴムでとめ、余分のラップを鉋で切り取る。
5. 他端に負荷抵抗を取り付け、メータにつなぐ。

**II. 測定**

(1) 完成テスト

ピンジャック型センサー：

小さなチャック袋 (11×8cm) に製作したセンサーとストローを挿入し、息を吹き込み、メータの数値が変化することを確認した。出力電圧の時間変化があり、さらに湿度の影響があるように見えた。初期の状態に戻すために鉛球を磨きなおして再セットすれば出力は回復したが、球体をサンドペーパーで磨くのは簡単でないことがわかった。そこで、次の改良型センサー (同軸ケーブルプラグ型) に変えてさらに簡便化を図った。この場合、鉛の割りびしは使い捨てとした (釣りに使える)。ピンジャック型は鉛部分の形状を変えられるので何か他の用途に使える可能性はある。

同軸ケーブルプラグ型：

窒素ガスをチャック袋に前もって吹き込んで

チャックを閉じ、再度開けて (空気が漏れ込む) センサーを挿入したときの出力変化を測定した結果、十分な出力電圧変化が観測された (表1)。出力電圧の時間変化については、電解質、負荷抵抗等の組み合わせを検討することにした。

表1 酸素空気混入時の出力電圧

L-Type センサーでの酸素濃度変化 応答テスト (負荷抵抗：5kΩ、電解質：NaHCO<sub>3</sub>) (mV)

	空气中	窒素入り	空气中	差
1回目	155.90	152.52	155.72	3.29
2回目	155.47	150.26	151.84	3.40
3回目	151.79	147.37	151.34	4.19
4回目	148.80	144.69	148.78	4.10

(2) 測定基礎データ

ピンジャック型 真鍮一金センサー：

鉛を使わず心棒の真鍮を電極として試してみた。

負荷抵抗は出力電流が減少することを見越して10kΩに上げ、電圧値を上げた。しかし、負荷抵抗が大きくなると化学反応の変化による電流処理が遅くなり、レスポンスの遅さが目立つようになった (図4)。

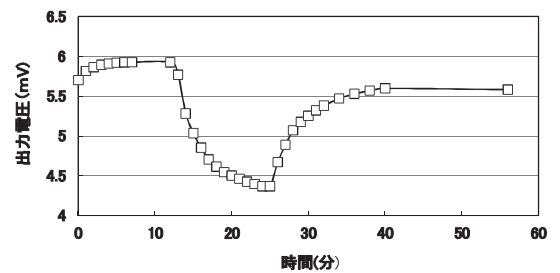


図4 真鍮一金電極による窒素中—空气中時間変化 (負荷抵抗：10kΩ、電解質：NaHCO<sub>3</sub>)

多少時間安定性は増したが、出力が小さくなり、高い性能のデジタルマルチメータ (高価なもの) を必要とするため、教材としての有用性は現在のところ不十分と判断した。

### 同軸ケーブルプラグ型：

製作は容易である。デジタルテレビのアンテナ接続のためのケーブルの端子が最近のものはテレビの高性能化に耐えるため金メッキされて市販されている。

鉛の割りびしは簡単に同軸プラグの中に挿入することができる。電極を同軸の心線にプラグ内で組み込めばフィルムで包むのが容易になる。さらに、本研究の参考にした先行の研究<sup>1)</sup>では炭酸水素ナトリウムを電解質として洗濯のりに溶かしたものをを用いているが、中性の塩化カリウムを用いた実験も行ってみた。L-Type と I-Type の2通り製作したが、これは両端にこれらのタイプの端子のついたケーブルを購入して真ん中で切って2本のセンサーを作ったためであり、本質的な区別はない。

### 感度テスト

空気中でチャック袋にセンサーを挿入したものに窒素ゴム管を挿入し一定量の窒素ガスを入れて、再現性のテストを試みた。一回毎にチャック袋を開けて空気の入れ替えを行った(表2)。

表2

I-Type センサーでの酸素濃度変化 応答テスト  
(負荷抵抗：5 k $\Omega$ 、電解質 NaHCO<sub>3</sub>) (mV)

	空気	窒素入り	空気	差
1回目	131.20	119.95	136.24	13.77
2回目	136.24	116.85	135.75	19.15
3回目	138.22	118.77	133.90	17.29
4回目	135.21	116.17	131.43	17.15
5回目	131.94	111.38	128.06	18.62

はじめのばらつきは操作の慣れの差と思われるので、十分安定した測定値が得られるようになったといえる。詳細な変化の一例を図5に示した。

負荷抵抗を大きくすると電流値が変わらなければ大きな電圧が取り出せるが、電流値が下がるので酸素分圧の大きな変化に追従する場合には時間

がかかるようになることを、電解質を KCl にした場合についても確かめた。また、負荷抵抗を小さくすると電流値の増加を伴うため比例して出力電圧が低下してしまうこともないことが図6と図7を比較してみるとよく分かる。実験では10、5、1 k $\Omega$ を組み合わせて負荷抵抗を構成した。

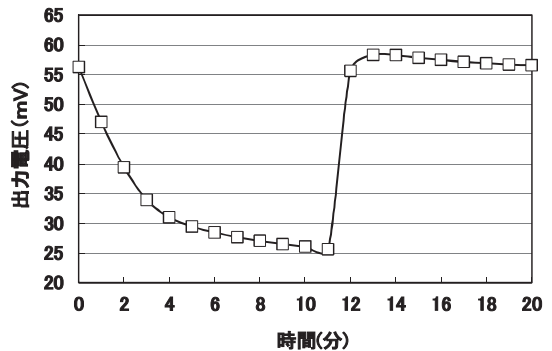


図5 鉛—金電極酸素センサー酸素濃度応答曲線  
(負荷抵抗：833  $\Omega$ 、電解質：NaHCO<sub>3</sub>)

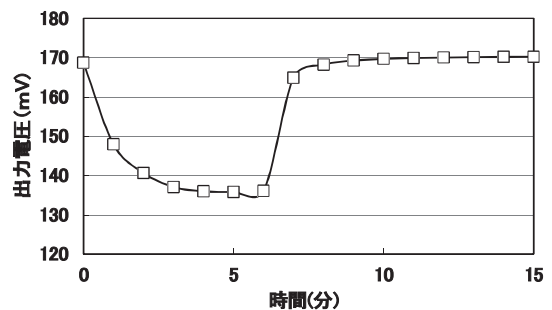


図6 I-Type センサー応答曲線  
(負荷抵抗：10 k $\Omega$ 、電解質：KCl)

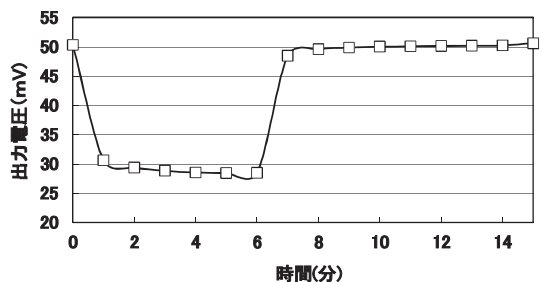


図7 I-Type センサー応答曲線  
(負荷抵抗：909  $\Omega$ 、電解質：KCl)

以上の基礎実験の結果から実用センサーとしては、感度、レスポンスの点から同軸プラグ型で負

荷抵抗値 1 kΩと設定し、窒素20%（空気）から0%の間で約20 mVの電圧差があることから、0.1 mVまで測れる安価（安売りで2千円程度）なデジタルテスターで電圧を測定すればよいことがわかった。

教育実験例

1. 携帯用酸素ボンベ

市販のリフレッシュ用酸素ボンベを使って酸素に対する応答の実験を行った。ビニル袋の中にボンベから酸素を吹き込みチャックおよびビニルテープで封をして測定した（写真4、図8）。



写真4

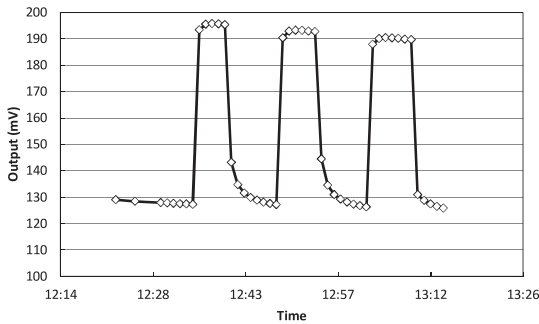


図8 O<sub>2</sub>ガス封入による出力変化

規格表示によれば酸素ボンベの酸素濃度は95%であることから、単純に酸素濃度に比例すれば大気中（酸素濃度約20%）で130 mV程度だから十分な酸素置換の状態では130 (mV) × 5 = 650 (mV) 付近まで上昇するはずであるが、完全に空気を酸素に置換しているわけではないことにも

より、そこまでは出力電圧は上昇しなかった。しかし、少なくとも酸素濃度が高い条件下では出力電圧が上昇することは確かめられた。

2. 酸素発生実験での利用

水を入れた50 mLの三角フラスコに二酸化マンガンを1 gを入れ、ピペットで過酸化水素水を2 mL加えてガラス管を通したゴム栓を付けビニル袋にガラス管から発生する気体を導いた。2回繰り返した様子を図9に示した。気体導入によりセンサーの出力電圧が上昇することから酸素発生を確認できた。

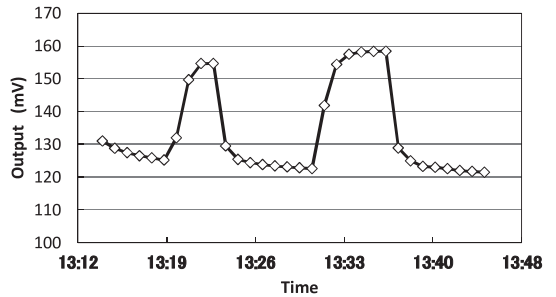


図9 発生酸素による出力変化  
(MnO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>水溶液)

3. 藻の光合成による酸素発生

ペットボトルに藻と水を入れ、キャップの位置にセンサーを取り付けた。

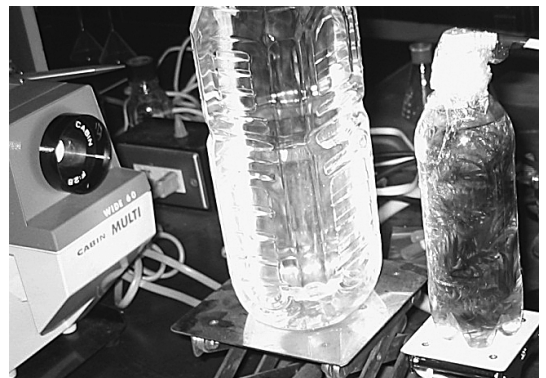


写真5

スライド映写機を光源として用いたが、かなりの熱を発生するため、熱線フィルタとしてペットボトルに水を入れたものを被測定ペットボトル

の前において測定した。図10は照射5分間を3回繰り返した結果である。

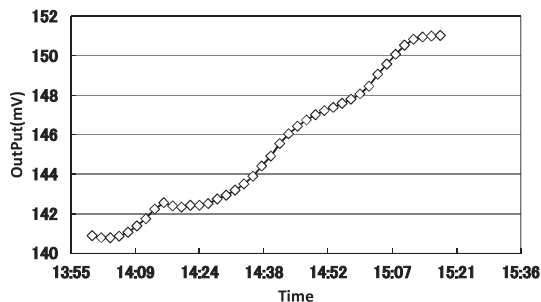


図10 藻の光合成による酸素発生  
水熱線フィルタ、炭酸水（40 mL）を水500 mLに加える。

#### 4. 酸素消費実験

ペットボトルの底を切り取ったものに底からセンサーを入れ中ほどに固定し、浅いガラス皿の中央にろうそくを立て回りに水を張った状態で火をつけ、センサー付きペットボトルをかぶせて出力変化を測定した様子を図11に示した。



写真6

最初、3番目、5番目の測定点群はセンサー付きペットボトルを机に立てておいた状態で2番目、4番目の測定点群は火の付いたろうそくの上から被せてからの変化の様子である。センサーを動かしてセットしなければならないので条件設定が難しいが1、3、5群の線に対して2、4群の

線が酸素濃度の低下を反映し、出力電圧が下がってゆき、酸素が消費されて酸素濃度が低下している様子がわかる。

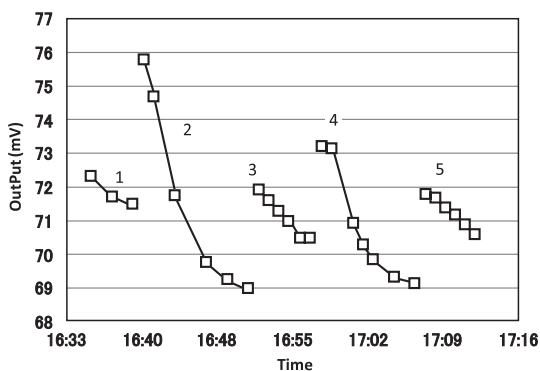


図11 ろうそく燃焼による酸素消費

#### まとめ

容易に手に入る材料を用いて安価な酸素センサーを製作することができることを確認した。センサー出力のゆるやかな時間変化を抑えるのには成功していないが、酸素濃度の変化を捉えることには成功したといえる。また、出力電圧の安定性は電解質が塩化カリウムの場合のほうが炭酸水素ナトリウムの場合より優れていた。これは塩化鉛の溶解度積が炭酸鉛のものに比べて大きいので鉛表面の遮蔽が少ないためと考えられる。また弱塩基性とはいえ高濃度であるので使用に関しては中性の塩化カリウムのほうが安全性は高い。一方、更なる安全性の面からは、鉛を使わず真鍮を使うことも可能であるが、出力電圧が低いので面積を大きくして電流値を上げて測定電圧を上げる必要がある。使用した鉛は魚釣り用の錘であるから危険性も魚釣り程度であると言える。

本研究は日産科学振興財団・理科環境教育助成を受けて行なった。日産科学振興財団には深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 高橋三男 化学と教育54巻6号 p. 326(2006)
- 2) 高橋三男 トランジスタ技術2003年12月 pp. 199-204