

平成21年6月1日現在

研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2007～2008  
課題番号：19500770  
研究課題名（和文） 盲学校理科教育における音声化手作り酸素センサの開発と自然探求型の教材開発

研究課題名（英文） Development of the voice handmade oxygen sensor for the blind science education and development of teaching materials for natural search.

## 研究代表者

高橋 三男（TAKAHASHI MITSUO）  
東京工業高等専門学校・物質工学科・教授  
研究者番号：40197182

研究成果の概要：手作り酸素センサは、大気中の酸素だけでなく溶液中の酸素濃度も計測できるため、理科教材用としては、最適なセンサである。盲学校理科教育のための音声化手作り酸素センサシステムを開発し、筑波大学附属視覚特別支援学校（附属盲学校）に「音声化手作り酸素センサシステム」を寄付した。日本視覚障害理科教育研究会で「音声化手作り酸素センサ」使用方法を発表した。自然探求型教材として「ヘリウムガスと二酸化炭素ガスの特性を調べる」を考案し実際に教材として活用できるか検討を行った。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成19年度	2,300,000	690,000	2,990,000
平成20年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：科学教育, 教育工学・科学教育

キーワード：自然科学教育, 手作り酸素センサ, 盲学校理科教育, 自然探求型、理科教材

## 1. 研究開始当初の背景

理科研究会で筑波大学盲学校の先生とお話する機会を得て、手作り酸素センサの話をしたところ、酸素は眼に見えない物質だが、人間が生きて行く上で必要不可欠な物質であるという観点から、視覚障害者の理科教育にも活用できないだろうかと思いついたのが切掛けである。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、盲学校理科教育のための音声化手作り酸素センサシステムを開発し、酸素に関わる様々な自然現象について関心を促す自然探求型の教材を研究することで、視覚障害教育の向上を目指すことを目的とする。  
(2) 自然探求型教材の例として、簡単な気体の性質を調べるために空気より軽いヘリウ

ムガスHeと空気より重い二酸化炭素ガスCO<sub>2</sub>を使って実験を行ないそれぞれの気体の性質が酸素センサを通してその性質について検証できるか検討を行うことを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 隔膜ガルバニ電池式酸素センサ

手作り酸素センサの原理と構造を示す。

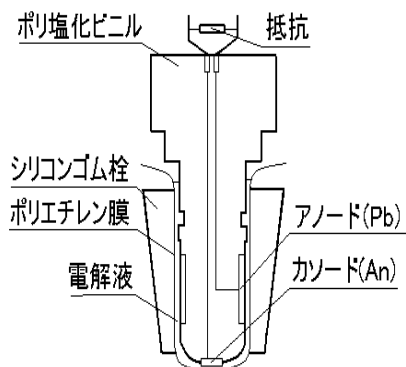


Fig. 1-1 酸素センサーの構造

Fig. 1-1 に示した酸素センサは、金電極と鉛電極とを配置したプラスチック製の本体を電解液に浸し、これを隔膜で包み込んだ、電圧出力型の隔膜ガルバニ電池式酸素センサである。電極が付いたプラスチックのボディ部分については小中学校や普通高校等の設備では作製が困難であるが、この部分さえ入手できればセンサの維持は容易である。

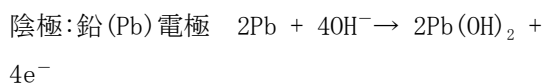
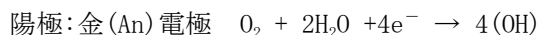
電解液には重曹と洗濯のりの混合液を、酸素透過膜にはポリエチレン膜をそれぞれ使用し、身近な材料で再生可能だからである。

市販の測定装置では、高価なセンサ部分を劣化に伴い定期的に購入しなければならない。現在、手作り酸素センサのボディ部については、供給できる準備が整いつつある。酸素透過膜は、一般にテフロン膜を用いるが、今回は安価で手に入りやすいポリエチレン袋を縦横 10cm 前後の大きさに切って利用した。ポリエチレンは、温度によって網目構造が広がったり縮んだりしてしまうため、温度が上がると酸素透過率が高くなり、温度が下がると低くなってしまふ。そのためこの酸素

センサで酸素濃度を計測する間は、温度を一定に維持しておく必要がある。この酸素センサの精度は高く、下 6 桁まで計測が可能であるが、上記の理由により、温度を一定に保たなければ精度は低くなってしまふ。

#### ① 酸素センサの原理

ポリエチレン膜を通じて拡散してくる酸素によって、金電極と鉛電極上で次に示す電極反応が起こる。



この反応により起電力が発生する。センサ出力電圧は酸素濃度に比例するため、電極を抵抗で結線することにより、校正で得たセンサ出力電圧から物理量への変換パラメータを用いて酸素濃度を検出することができる。今回、抵抗は 1kΩ を使用した。

#### ② 温度センサ

##### 高精度 IC 温度センサの概要

手作り酸素センサはポリエチレン膜を使用しているため、その測定値は温度変化による影響を受けやすく、酸素濃度測定の際には温度センサを併せて使用した。これには、3 芯ケーブルに相互のピンを接触させないように半田付けした高精度 IC 温度センサ (トランジスタ温度計、LM35DZ、秋月電子通商製、Fig. 3) を、パイレックスガラスの試験管 (サンプルチューブ、R-6x60、NEG 製) 内にエポキシ充填したものをを用いた。LM35DZ は、摂氏 (°C) に比例 (直読可能) した電圧出力が得られる。

#### (2) USB 接続酸素濃度・温度データ収集システム

##### ① USB 接続

Fig. 2-1 に本研究で使用した 2 チャンネル

のデータ収集システムを示す。 Fig. 2-1 に示すデータ収集システムでは、物理量に比例した電圧を出力するセンサを接続する。このシステムは、センサ部、電圧測定装置、Windows XP パソコン、そのパソコン上で動作するデータ収集ソフトウェアから構成されている。

電圧測定装置 (Fig. 2-1 右から 2 番目) は OP アンプ、PIC マイコン (PIC12F675、PIC16C771)、USB シリアル変換モジュール (ストロベリー・リナック社) で構成されている。PIC マイコンで AD 変換とデータの送信処理を行っている。AD 変換の分解能は 10 ビットあるいは 12 ビットである。また、この装置への電力はパソコンから USB ケーブルで供給されるため装置電源は不要である。

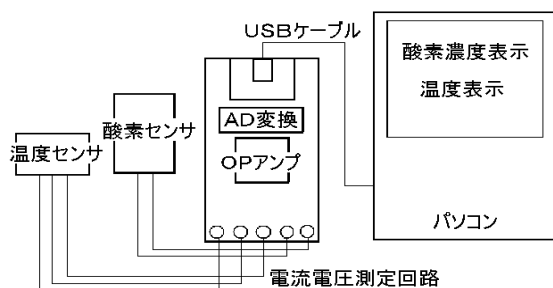


Fig. 2-1 酸素濃度・温度データ収集システム

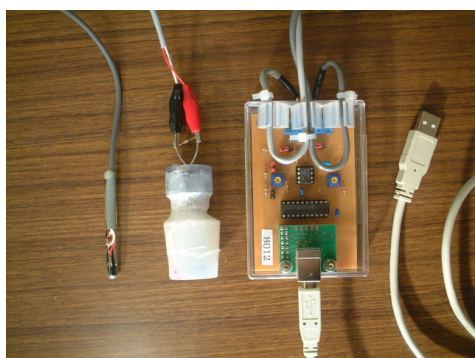


Fig. 2-2 センサ部と電圧測定装置

Fig. 2-1 において、CH-2 に接続されたト

ランジスタ温度計は、高精度 I C 温度センサ (秋月電子通商) を 3 芯ケーブルに半田付けし、防水加工 (パイレックスガラス試験管内へのエポキシ充填) を施したものである。また、電圧測定装置は OP アンプ、PIC マイコン (PIC12F675、PIC16C771)、USB シリアル変換モジュール (ストロベリー・リナック社) で構成されている。PIC マイコンで AD 変換とデータの送信処理を行っている。

## ②データ収集の操作

データ収集の操作として、まず、USB シリアル変換モジュール用ドライバ、データ収集ソフトウェア、マイクロソフト TTS (Text-to-Speech) エンジンを実インストールする。ソフトウェアを起動すると電圧測定装置との接続が確立され、主画面が表示される。零点校正、気体酸素濃度校正、溶存酸素濃度校正、気体測定、液体測定が主なメニューとボタンである。

次に測定に先立って零点と校正点でセンサの校正を行う。零点校正は物理量が 0 のときのセンサ出力電圧を測定して物理量への変換パラメータとして保存する。この零点校正は OP アンプのオフセット補正をソフトウェアで行うことでもある。また、校正点での物理量に対するセンサ出力電圧も測定し、物理量への変換パラメータとして保存する。気体酸素濃度は標準気体 (酸素濃度 20.9%) で校正される。溶存酸素濃度は温度に対応した純水飽和溶存酸素濃度で校正される。この校正では校正温度の値が必要であるが、これは温度センサの測定値が自動記入される。

測定では、パソコンが電圧測定装置からセンサ出力電圧を受信し、校正で取得した変換パラメータを参照して電圧値から物理量への変換を行なう。サンプリング周期と回数を指定して、気体測定ボタンあるいは液体測定ボタンをクリックするとデータ収集が始ま

る。物理量に変換された測定値が表示され、同時にグラフにもプロットされる。また、付加機能として、Excel ボタンをクリックすると収集データが Excel ソフトに送信され Excel 画面でグラフ表示される。

### (3) 自然探求型教材

手作り酸素センサを使った教材例として、気体の簡単な性質を調べる実験を行なった。実験では、空気より軽い He と空気より重い CO<sub>2</sub> の 2 種類の気体を用いた。空気中の酸素濃度が約 21%であることを利用し、空気中への He ガス、CO<sub>2</sub> ガスの拡散の様子を酸素センサによって調べることができた。

実験は、Fig. 3 に示す装置で測定を行なった。ただし、500ml メスシリンダーは、直径 5.5cm、高さ 33.0cm であり、酸素センサと温度センサはメスシリンダーの底から 5.0cm の位置に固定した。He を用いた実験では、Fig. 3—①に示す装置で、酸素濃度と温度の測定を開始した後、メスシリンダー内の酸素濃度がほぼ 0 になるまでボンベから He ガスを流し込んだ。ガスを止め、引き続きメスシリンダー内の酸素濃度と温度を 10 分おきに測定し、酸素濃度の変化を調べた。

CO<sub>2</sub>を用いた実験では、Fig. 3—②に示す装置で、酸素濃度と温度の測定を開始した後、He を用いた実験同様に CO<sub>2</sub>ガスをメスシリンダー内に流し込み、メスシリンダー内の酸素濃度と温度を測定し、酸素濃度の変化を調べた。

#### ①結果と考察

##### He、CO<sub>2</sub>の比重の大小の比較

空気を比重 1 とすると He ガスの比重は 1 より小さく、CO<sub>2</sub>ガスの比重は 1 より大きいということを示すことができた。

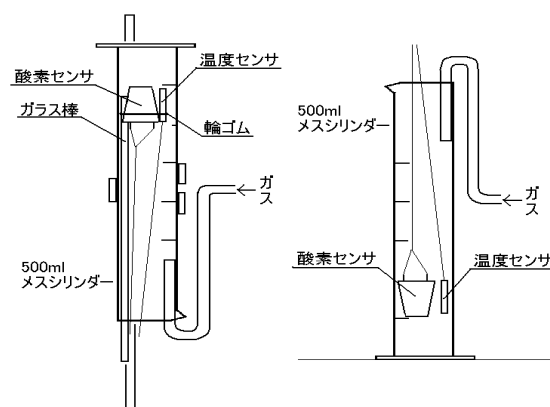
文献における He ガスと CO<sub>2</sub>ガスの比重は、それぞれ 0.1785g/L(0°C, 1atm), 1.976g/L(0°C, 1atm) となっている。したがって、こ

の実験結果は文献からも言える。

底の直径 5cm、深さ 34cm の 500ml メスシリンダー内に He ガスと CO<sub>2</sub>ガスをいっぱいに入れ、これらの気体が拡散し、メスシリンダー内の酸素濃度が空気中の酸素濃度と平衡になるまでの時間を調べた結果のグラフを以下に示す。

Fig. 3-1 と Fig. 3-2 は実験で He を用いた場合の結果を示し、Fig. 3-3 と Fig. 3-4 は CO<sub>2</sub>ガスを流した結果を示している。

これらのグラフは全て、He ガスもしくは CO<sub>2</sub>ガスをメスシリンダー内の酸素濃度が減少しきるまで流し入れた後、これらの気体の



① He ガスを用いた実験      ② CO<sub>2</sub>ガスを  
用いた実験

Fig. 3 実験装置

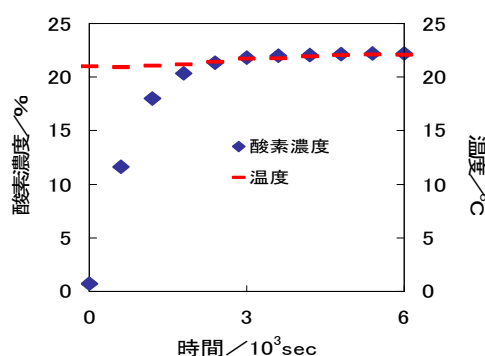


Fig. 3-1 He ガスをメスシリンダー上方に流し入れた後の酸素濃度変化

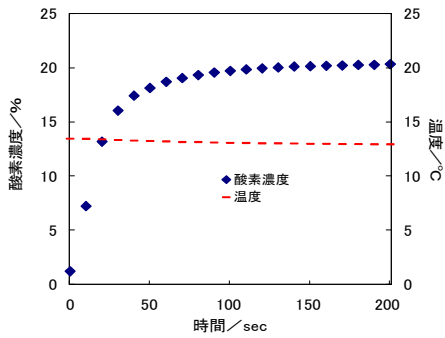


Fig. 3-2 He ガスをメスシリンダー下方に流し入れた後の酸素濃度変化

流入を止めた時点からの酸素濃度変化と温度変化を示している。まずは、実験で He ガスを用いた場合について述べる。Fig. 3-1 と Fig. 3-2 より、He ガスの流入を止めると酸素濃度は上昇し、20%を超えた辺りで一定になっていることが分かる。これは大気中の酸素

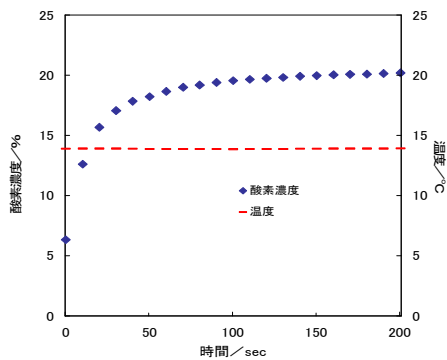


Fig. 3-3 CO<sub>2</sub>ガスをメスシリンダー上方に流し入れた後の酸素濃度変化

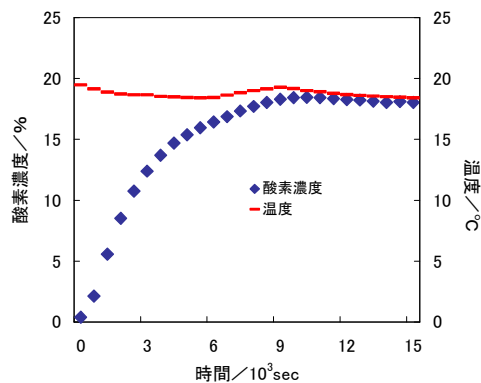


Fig. 3-4 CO<sub>2</sub>ガスをメスシリンダー下方に流し入れた後の酸素濃度変化

濃度が 20.9%であることから、He ガスが拡散してメスシリンダー内の酸素濃度が空気中とほぼ濃度平衡に至った状態であると考えられる。ここで、酸素濃度が上昇して一定になり始めるまでの時間を見ると、He ガスを上方に流し入れた場合は 50 分 (3000 秒)、下方に流し入れた場合は 1 分程度である。したがって、He ガスは上方に流し入れた方が拡散に時間がかかり、上方に He ガスが滞留しやすいことが分かる。よって、空気よりも軽いことが検証できる。

次に、実験で CO<sub>2</sub> ガスを用いた場合について述べる。Fig. 3-3 と Fig. 3-4 を見ると、He ガスの場合と同様、CO<sub>2</sub> ガスの流入を止めた後酸素濃度は上昇し、20%前後で酸素濃度は一定になっている。酸素濃度が一定になっているときは、すでに CO<sub>2</sub> ガスが拡散し、メスシリンダー内の酸素濃度は空気中とほぼ濃度平衡に達していると考えられることから、それまでに要した時間を見ると、CO<sub>2</sub> ガスを上方に流し入れた場合は 1 分程度であるが、下方に流し入れた場合は約 2 時間半 (10000 秒) と大きな開きがあることが分かる。したがって、CO<sub>2</sub> ガスは下方に流し入れた方が拡散に時間がかかり、下方に滞留しやすい。よって空気よりも重いことが簡単に検証することができる。

#### 4. 研究成果

(1) 日本視覚障害理科教育研究会で「音声化手作り酸素センサ」使用方法を発表した。さらに筑波大学附属視覚特別支援学校 (附属盲学校) に「音声化手作り酸素センサ」の試作品を寄贈した。

(2) 自然探求型教材としての成果は、メスシリンダー内に He ガスを流し入れた後の酸素濃度変化と CO<sub>2</sub> ガスを流し入れた後の酸素濃度変化を行ったところ、簡単に拡散速度を比

較することができることが分かった。空気中の濃度(20.9%)と平衡に達するまでに、He ガスの場合は3000秒(約50分)、CO<sub>2</sub>ガスの場合10000秒(約2時間半)である。このことからHeガスはCO<sub>2</sub>ガスより平均拡散速度が約3.3倍速いことが検証された。これらの理由はHeガスの原子量4とCO<sub>2</sub>ガスの分子量44の大きさに大きく起因することが分かった。

今回、盲学校の生徒が、手作り酸素センサを使って計測数値の変化が読み上げができることで、ガスの特性を理解上で非常に役立つことが期待される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

① 山内峯生, 高橋三男

「パソコンを使用した電圧出力センサ対応USB接続データ収集システム」, 東京工業高等専門学校研究報告書 第38(2)号, pp. 67-70, (2007). 無

② 高橋三男 砥粒加工学会誌,

「手作り酸素センサによる探求型教育の試み」, Journal of the Japan Society for Abrasive Technology Vol. 53 No. 4 2009 ARP. 212-215、(2009). 有

[学会発表](計4件)

① 高橋三男, 筒井健太郎, 堤博貴,

柚賀正光, 園部幸枝, 佐藤道幸, 手作り酸素センサの開発と理科教育への活用(7) - ガスの特性を調べる -, 第58回日本理科教育学会全国発表大会論文集第6号(2008)

② 高橋三男, 柚賀正光, 小池清之, 阿津勝博, 新田武父, 松岡敏, 児玉康一, 「東京高等専門学校における感光器作製の取り組みについて」, 日

本視覚障害理科教育研究発表(JASEB)第28回大会, (2008)

- ③ 高橋三男, 園部幸枝, 佐藤道幸, 「手作り酸素センサの開発と理科教育への活用(6) - 酵母菌の呼吸 -」, 日本理科教育学会 第57回全国大会, 日本理科教育学会全国大会発表論文集第5号, p. 146, (2007).
- ③ 高橋三男, 柚賀正光, 小池清之, 阿津勝博, 新田武父, 「筑波大学附属盲学校と東京工業高等専門学校の教材開発連携について」, 日本視覚障害理科研究会(JASEB), (2007).

[その他]

- ① 平成20年度 理数科課題研究報告書, 岐阜県立大垣東高校 理数科 第2年(3期生), 隔膜ガルバニ電池式酸素センサーの研究~西濃地域の湧水系の溶存酸素濃度調査~ 高木 香奈, 戸田 朱香, 安藤 嘉哉

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

高橋 三男 (TAKAHASHI MITSUO)  
東京工業高等専門学校・物質工学科・教授  
研究者番号: 40197182

##### (2) 研究分担者

筒井 健太郎 (TSUTSUI KENTAROU)  
東京工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号: 60249761

堤 博貴 (TSUTSUMI HIROKI)

東京工高等専門学校・機械工学科・助教  
研究者番号: 30300544

ジョン・ウエイド・ゲイツ (JOHN WADE GATES)

東京工高等専門学校・一般教科・准教授  
研究者番号: 90446237

##### (3) 連携研究者

川島 徳道 (KAWASHIMA NORIMICHI)

桐蔭横浜大学・医用工学部・教授

研究者番号: 90112888