

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月26日現在

機関番号：52601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500850

研究課題名（和文） 理科教育用O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>計測システムの構築とそれを用いた自然探求型の教材開発研究課題名（英文） Development of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> measurement system for science education

## 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（和文）：

酸素 (O<sub>2</sub>) と二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) に視点を絞った自然探求型の理科教材は、理科教育における「エネルギー」・「粒子」・「生命」・「地球」の科学の基本概念の育成に重要な役割をはたすものと考えている。そこで本研究では、誰でも簡単に操作できる理科教育のための O<sub>2</sub> ガスと CO<sub>2</sub> ガスを計測するシステム教材を開発した。O<sub>2</sub> ガスは、簡単に作製できる手作りによる隔膜ガルバニ電池式酸素センサを採用した。この酸素センサは、大気中の O<sub>2</sub> 濃度だけでなく、溶液中の O<sub>2</sub> 濃度も計測できるため理科教材として最適なセンサである。CO<sub>2</sub> ガスは、固体電解質型センサモジュール (FIGARO:CDM4160-H00) を使用した。

このシステムは、O<sub>2</sub> センサと CO<sub>2</sub> センサを組み合わせると同時に自動計測できるようになっている。センサは USB により PC に接続しデータを取り込み、市販の表計算ソフトにより処理できるように計測ソフトを開発した。さらに盲学校の理科教育にも使えるよう、計測データを読み上げる機能を加え、さらに外国の理科教育でも使用できるように日本語から英語による表示が切替できるようになっている。何よりもこのシステムの重要な利点は、人間には無色透明な酸素と二酸化炭素の気体濃度の変化に対して時間を追って視覚することができることである。

探求実験として発表者個人の呼気を例として実験をおこなった。浅く吸い込んだ空気を呼気袋に吹き込んだ場合（浅い呼気）と深く肺まで吸い込んで 30 秒間息を止めた後の呼気を呼気袋に吹き込んだ場合（深い呼気）の 2 種類について実験をおこなった。それぞれの実験は、5 秒間隔でデータをサンプリングし 90 秒間計測をおこなった。呼気における酸素と二酸化炭素の経時変化を比較し検討を行った。尚、計測器のキャリブレーションは、大気中の酸素濃度と二酸化炭素濃度と同じに酸素 20.9%、二酸化炭素 400ppm として設定した。

実験結果、浅い呼気の場合、酸素濃度は 20.9% から 18.64% と約 2.3% 減少した。一方、二酸化炭素濃度は、呼気後 17828ppm (約 1.78%) となり大気中の二酸化炭素濃度の約 45 倍増加した。深い呼気の場合、酸素濃度は 16.81% と約 4.1% 減少した。一方、二酸化炭素濃度は、呼気後 2485ppm (約 2.48%) となり大気中の二酸化炭素濃度の約 62 倍増加した結果を得ることができた。このように浅い呼気や深い呼気でも、呼気袋と O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 計測システムがあれば、誰でも簡単に呼気の実験をすることができる。しかも定量的に精度よい結果を得ることができる。この計測システムは、自然探求型の理科教材として「生命」の基本概念育成にも大いに期待できる。

研究成果の概要（英文）： In this study, we developed an easy-to-operate O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> measurement system for science education. We used an easily-prepared hand-made diaphragm galvanic cell-type sensor as the O<sub>2</sub> sensor. This O<sub>2</sub> sensor can measure not only the oxygen concentration in air, but also in a solution, making it suitable as an educational tool. We used a solid electrolyte-type sensor module as the CO<sub>2</sub> sensor.

This system makes automatic and simultaneous measurements of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentration possible using the combination of the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> sensors. We also developed measurement software using commercially available spreadsheet software by connecting the sensor with a PC using a USB connection. The most important advantage is to be able to visualize the changes in the concentration of invisible and odorless gases such as O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> as a function of time.

We measured the author's expired air using the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> measurement system, measuring both shallow and deep expirations. First, shallowly inhaled air is exhaled into an expiration bag. Then, air is deeply inhaled and held for 30 seconds before being exhaled into the bag. We sampled the air every 5 seconds and measured the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentration of each sample for 90 seconds.

In respect to the results, the O<sub>2</sub> concentration in shallow expiration was decreased from 20.8% to 18.6%. On the other hand, the CO<sub>2</sub> concentration was 17,8ppm, which was an increase the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. The O<sub>2</sub> concentration in deep expiration was observed to decrease by about 4.1% from 20.9% to 16.8%. On the other hand, the CO<sub>2</sub> concentration was 2,4ppm.

In conclusion, anyone can easily measure changes in the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentration as a function of time in shallow and deep expiration using an expiration bag and the sensor system. We can also carry out experiments easily and obtain highly accurate data. This sensor system can be expected to promote the basic concept of "Life" as an educational tool for the study of natural science.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計			4,680,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：分科；科学教育・教育工学・細目；科学教育

キーワード：自然科学教育（水学、理科、物理・化学・生物・地学、情報）

#### 1. 研究開始当初の背景

現在、教育現場で行われている酸素（O<sub>2</sub>）濃度と二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）濃度の検出は、ガス検知管式測定器を使って測定するのが主流である。しかし、この手法は継続的な濃度変化を観察するには不向きであり、O<sub>2</sub>の濃度低下とCO<sub>2</sub>の生成を示す方法は間接的で、その変化も小さく、明確な数値としての表示もされないため、計測していても実感的と言い難い。また、ガラスの切断工程があり危険性を伴う操作がある。さらに検知管が消耗品なためその費用も安くはない。やはり使い捨てではなく、何度も実験に使えるO<sub>2</sub>センサやCO<sub>2</sub>センサの方が望ましい。ところが、市販の計測システムは、非常に高価で生徒一人ひとりが実験に使用するには難しいのが現状である。

この様な背景から、安価で誰もが簡単に操作できるO<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の計測システムが切望されていた。

#### 2. 研究の目的

本研究室では、安価で身の回りの材料を使

った理科教育用の手作りによるO<sub>2</sub>センサをいろいろ開発してきた。原理は、隔膜ガルバニ電池式酸素センサで身の回りの材料で作ることができるため破損しても簡単に直すことができる。酸素透過膜にポリエチレンを使用し、電解液も重曹と洗濯のりの混合液を使っており安全面でも工夫された手作りO<sub>2</sub>センサである。すでに、長年の研究によりO<sub>2</sub>計測システムとしてかなり構築されている。市販のCO<sub>2</sub>計測システムもかなり高価なため教育現場で導入するには難しい状況にある。研究室で安価なCO<sub>2</sub>センサを初めから開発するには、膨大な開発費と長い開発時間を要する。

本研究は、O<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>濃度の状況変化をモニターするために、安価で簡単に操作できるO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>計測システムを構築することを目的とする。さらに、このO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>計測システムを100セット用意し、この計測システムに関心がある小・中・高校・大学へ提供し、自然探求型教材を共同で開発することを目的とする。

### 3. 研究の方法

東京高専で O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 計測システムを作製し、システムの活用を希望する教育機関へ貸し出ししている。

### 4. 研究成果

本研究は、O<sub>2</sub> と CO<sub>2</sub> 濃度の状況変化をモニターするために、安価で簡単に操作できる O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 計測システムを構築することができた。

さらに、この O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 計測システムを 100 セット用意し、この計測システムに関心がある小・中・高校・大学へ提供し、自然探求型教材を共同で開発している。試作品を北海道道立教育研究所 附属理科教育センター 理科支援員配置事業 (SCOT) コーディネーターの中村隆信先生に評価を依頼し、現場の教員実習で使用してもらった。

理科教育用 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 計測システムを 100 セット、試作品を準備したので、中学校・高等学校・大学・都道府県の教育センターに配布し、実際の教育現場で使用してもらうことを予定している。

現在、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 計測システムを理科教育に活用して協力頂いている研究機関と学校を紹介する。

- ① 富山県総合教育センター
- ② 静岡県総合教育センター
- ③ 北海道立教育研究所附属理科教育センター
- ④ 新潟県総合教育センター
- ⑤ 群馬県総合教育センター
- ⑥ お茶の水女子大学附属中学校
- ⑦ 東京学芸大学附属国際中学校
- ⑧ 駒場東邦中等高等学校
- ⑨ 都立六本木高等学校
- ⑩ 札幌市立向陵中学校
- ⑪ 千歳市立千歳小学校
- ⑫ 秦野市立南が丘小学校
- ⑬ 相模女子大学
- ⑭ 岐阜聖徳学園大学

### 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 4 件)

① Takahiro Arakawa, Eri Ando, Xin Wang, Miyajima Kumiko, Hiroyuki Kudo, Hirokazu Saito, Tomoyo Mitani, Mitsuo Takahashi and Koji Mitsubayashi “A highly sensitive and temporal visualization system for gaseous ethanol with chemiluminescence enhancer”, LUMINESCENCE, in press, 2011.

② Teruo Niki, Mitsuo Takahashi and Daniel K. Gladish

“Comparison of the effects of flooding vs. Low-oxygen gas on pea(Pisum sative L, cv.'Alaska')primary roots” Plant Root, www.plantroot.org, 31-38, 2011.

③鄭優莉、北折典之、高橋三男，“紙の変色を用いたに焼け止めクリームの開発”，表面，Vol.49, No.2, 24(58)-35(69), 2011.

④ Md.Mominul Islam, Tatsuya Imase, Takeyoshi Okajima, Mitsuo Takahashi, Yoshihiro Niikura, Norimichi Kawashima, Yoshiyuki Nakamura and Takeo Ohasaka, “Stability of Superoxide Ion in Imidazolium Cation-Based Room-Temperature Ionic Liquids”, J. Phys. Chem. A,113,912-916, 2009.

[学会発表] (計 10 件)

①Susum Saito, Teruo Niki, Mitsuo Takahashi, Daniel K Gladish, “Granules in the cells of maize root tips”, BC2011 XVIII International botanical congress, MELBORNE AUSTRALIA, 23-30,JULY, 2011.

②Mitsuo Takahashi, Norimichi Kawashima, Tetsuo Hori, Katsuhiko Yamamoto, Shosuke Teratani, Shizuo Matsubara. “Development of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> measurement system for science education”,

③高橋三男・園部幸枝・佐藤道幸・後藤頭一\*・林誠一\*・堀哲夫・山本勝博・寺谷徹介・松原静郎，“理科教育のための空気電池を利用した 手作り酸素センサーキットの開発”，平成24年度日本化学会（慶応大学），2012.

④高橋三男，雑賀章浩，園部幸枝，佐藤道幸，飯田寛志，大平和之，石黒光弘，近藤浩文，後藤頭一，林誠一，山本勝博，堀哲夫，寺谷徹介，松原静郎.” 理科教育のための空気電池を利用した酸素センサーキットの開発-(1)-ロウソクの消炎反応の実験-”，日本理科教育学会 関東支部大会研究発表要旨集（横浜国立大学）p. 66, 2011.

⑤高橋三男，雑賀章浩，園部幸枝，佐藤道幸，飯田寛志，大平和之，石黒光弘，近藤浩文，

後藤顕一、林誠一、山本勝博、堀哲夫、寺谷徹介、松原静郎、”理科教育のための身の回りの電池を利用した酸素センサキットの開発” 日本理科教育学会 北海道支部大会論文集(北海道大学)B-9,p.31, 2011.

⑥高橋三男、山内峯生、堀哲夫、山本勝博、寺谷徹介、松原静郎、”空気電池を酸素センサとして利用するための教材開発”，日本化学会 第5回関東支部大会(東京農工大学), 1C1-21, p. 85, 2011.

⑥高橋三男、雑賀章浩、福司稔、飯田寛志、田島公基、石黒光弘、近藤浩文、後藤顕一、林誠一、山本勝博、堀哲夫、寺谷徹介、松原静郎、”理科教育のためのO2/CO2計測—(3)—生姜の内呼吸の実験—”，日本科学教育学会 年会論文集35(東京工業大学)、p.363-364, 2011.

⑦高橋三男、菌部幸枝、佐藤道幸、柳澤秀樹、飯田寛志、田島公基、石黒光弘、近藤浩文、後藤顕一、林誠一、山本勝博、堀哲夫、寺谷徹介、松原静郎、”手作り酸素センサの開発と理科教育への活用—手作り酸素センサキットによるソラマメの内呼吸の実験例—”，第61回全国大会日本理科教育学会全国大会発表論文集 第9号、(島根大学) p. 396, 2011.

⑧林誠一、後藤顕一、近藤浩文、飯田寛志、松原静郎、松原静郎、高橋三男、”酸素/二酸化炭素センサの活用”，第61回全国大会日本理科教育学会全国大会発表論文集、第9号、(島根大学)p.171, 2011.

⑨清水和樹、高橋信人、日月想、中村駿、高橋三男、”根から放出された水素イオンの可視化による探究実験”，第13回化学工学会学生発表会(秋田大会), p.72, 2011.

⑩吉岡眞由子、北折典之、高橋三男、”食塩の電気分解を利用した効果的な紅茶汚染布の漂白”，2010年材料技術研究討論会, p.9-10, 2010.

[図書] (計0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

## 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

柚賀 正光 (YUGA MASAMITSU)  
東京工業高等専門学校・電子工学科・教授  
研究者番号：40123997

### (3) 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

### (4) 研究分担者

堤 博貴 (TSUTSUMI HIROKI)  
東京工業高等専門学校・機械工学科・講師  
研究者番号：30300544

### (5) 連携研究者

川島 徳道 (KAWASHIMA NOIMICHI)  
桐蔭横浜大学・医用工学科・教授  
研究者番号：20112888