

工業技術と学校教育のつながりを目指して ——酸素センサの学校教育現場での利用を一例として——

Aiming for connection between industrial technology and school education

——Use of oxygen sensor in school education——

後藤 顕一* 高橋 三男** 飯田 寛志***

1. はじめに

我が国が誇る工業的なアイデアや技術と初等中等教育における学校教育とを如何に結び付けていくかは、工業界にとっても教育界にとっても重要な視点である。国の教育動向を踏まえ、一例として学校教育（理科）に酸素センサを導入し試行実践授業を行った結果と教材化、製品化について報告する。

大学の工学系教育の在り方について「大学における工学系教育の在り方について（中間まとめ）」（文部科学省，2017）¹⁾との報告書が示され，そこでは，「輩出すべき人物像」として，「社会における工学の価値を理解し，自律的に学ぶ姿勢を具備するとともに，原理・原則を理解する力，構想力，アイデア創出能力，問題発見能力，課題設定能力，モデル化能力，課題解決・遂行能力を持つ人材育成が必要である」としている。また，同報告書では，「工学系学生の拡大に当たっては，より多くの高校生が夢を持ち工学分野に進学を希望してもらうことが重要である」としており，これは，報告書では高校生についての言及であるが，初等中等教育全体で意識していく必要があることを示唆していると言えよう。

2. 本報告の背景と現状

2. 1 学ぶことの有用性における諸課題

国立教育政策研究所が2015年に公表した「学習指導要領実施状況調査質問紙調査結果（小学校）」²⁾では，本報と関係が深い「理科の学習をすれば，ふだんの生活や社会に出て役立つ」という質問に対して肯定的な回答をした児童の割合は，第4学年では8割程度，第5学年で7割以上，第6学年では7割を下回り，学年が進むにつれて低くなる傾向が見られた。また，科学技術政策研

究所¹⁾が2011年に実施した成人対象の日米英の科学技術意識調査³⁾によれば，新しい科学的発見や新しい技術や発明の利用に関する関心度で日本は米英より相対的に低い結果であった。（新しい科学的発見に非常に関心があると答えた割合は日本20.5%，米国40.5%，英国34.7%，関心がないと答えた割合は日本26.2%，米国12.8%，英国11.8%）。科学・技術の基礎的概念理解度でも，日本は3国の中でいちばん低かった。そのほか，科学に対するイメージでも，日本の成人はマイナスイメージを抱いている割合がいちばん多いことが明らかになっている。国民全体が理科の有用性を感じられていない，日常や社会とのつながりが感じられていないことが課題であると言えよう。

2. 2 観察・実験器具の操作の技能の課題

先に示した学習指導要領実施状況調査質問紙調査結果（国立教育政策研究所，2015年）²⁾では，各教科における結果のポイントが示されているが，理科の課題には，「比較対象の設定や条件の制御をすることや，科学的な言葉や概念を的確に記述すること，事象の変化を要因と結びつけて的確に表現すること，一部の観察・実験器具の操作の技能については，課題があると考えられる。」としている。

一方，全国学力学習状況調査では，理科は3年に一度，全国小学校6年生，中学校3年生に向けた悉皆調査を行っているが，その調査結果⁴⁾として，前回（平成24年度）調査で見られた課題「観察・実験の結果などを整理・分析した上で，解釈・考察し，説明すること」について，課題の所在が平成27年（2015）度では明確

¹⁾ 現在は，科学技術・学術政策研究所である。

になったとして以下のように報告している。小学校では、「実験の結果を示したグラフを基に定量的に捉えることに課題がある」、中学校では、「実験結果を数値で示した表から分析して解釈し、規則性を見いだすことには課題がある。」等を挙げている。

2. 3 教育動向と新学習指導要領

これらを踏まえ、文部科学省では平成 28 (2016) 年 12 月 21 日に文部科学省答申²⁾、平成 29 (2017) 年 3 月 31 日には、小学校、中学校の新学習指導要領³⁾を告示した²⁾。答申では、「社会に開かれた教育課程の実現」を目指している。育成すべき資質・能力として、「何を理解しているか、何ができるか (知識・技能)」「理解していること・できることをどう使うか (思考力・判断力・表現力)」「どのように社会・世界と係わり、よりよい人生を送るか (学びに向かう力、人間性)」であるとしている。そのためには、「何を学ぶのか」といった学習内容とともに、「どのように学ぶのか」といった学びの過程を通して、「何ができるようになるか」といったことを循環させながら深めていくことが求められている。理科においては、日常と社会とのつながりを重視するとともに、「課題の把握 (発見)、課題探究、課題解決」といった課題解決のプロセスを重視していくことが示されている。これは先に示した「大学における工学系教育の在り方について (中間まとめ)」で示されている「工学系教育改革」と同様の考え方であると言える³⁾。

初等中等教育における課題を解決するためには、日常や社会とのつながりを重視するとともに、工学的な分野ともつながり、実験装置を用いた計測体験や、実験の結果を示したグラフを基に定量的に捉えたり、求められる

実験結果を数値で示した表から分析して解釈し、規則性を見いだし、まとめたりしていくような体験を重ねることが求められる。

3. 本報告の目的

工業技術と学校教育のつながりを目指し、初等中等教育での教育課題の解決に向けた取組を行う。一例として、高橋式酸素センサの学校教育現場での利用と教材化、製品化について明らかにする。

4. 学校で用いる酸素センサと導入の手立て

4. 1 酸素センサ導入の必要性

後藤ら⁷⁾は、学習指導要領に関する「指導書⁸⁾」、「学習指導要領解説⁹⁾」や教科書における記述について報告している。それによると、「指導書」、「学習指導要領解説」において、酸素を測定する観察、実験は、平成元年から、気体検知管を用いて示されている。この扱いに関しては、平成元年版では第 6 学年「A 生物とその環境」の動物の体、人の体における計測場面で、「指示薬または気体検知管などによる酸素や二酸化炭素の測定」とあり、2カ所に記述されている (文部省、1989) ⁴⁾。平成 20 年版では、酸素を測定する内容は、第 6 学年の燃烧、呼気、光合成を扱う 3 か所の単元に含まれ (文部科学省、2008)、これらの実験で気体検知管を用いることが明記されている。そして、平成 23 年検定済教科書の全てに気体検知管による燃烧、呼気、光合成についての測定が示され、現在でも多くの小学校で気体検知管が使用されている⁵⁾。気体検知管の実践についての先行研究として、平山ら¹⁰⁾ (2014) は、気体検知管では測定の過程を示せないことを示した上で、ICT を活用したデータロガーによる酸素センサの有効性について述べている。また、大黒ら¹¹⁾ (2014) は、気体検知管の操作方法について、マンガを用いた反転授業の結果から気体検知管の操作の困難性を示している。また、気体検知管の実験指導の困難性についての研究も報告されている。科

²⁾ 高等学校は、平成 30 (2018) 年 3 月告示予定

³⁾ 例えば、同報告書 p 5 には、「学生の問題発見し、解決する能力や課題設定する能力などの展開力・適応力の醸成に必要な教育手法 (例えば、インターンシップや PBL など) を取り入れることが必要である」、さらに、p 7 では、「大学では、卒業研究、修了研究を「自分の考えをまとめ、文章で表現できる能力の修得」、「考えを適切に伝えるためのプレゼンテーション能力の修得」、「課題設定と課題解決の過程の経験と修得」などの点で、非常に高く評価しており、企業においても卒業研究等を「研究を行う過程で得られた課題解決などの能力は実務に役立っている」などとして高く評価している。」としている。

⁴⁾ 平成 3 年検定済教科書 7 社 15 冊を調査した。

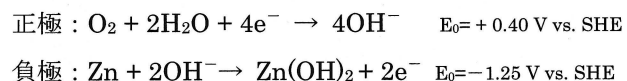
⁵⁾ 平成 23 年検定済教科書 6 社 6 冊を調査した。

学技術振興機構(2011)¹²⁾では、調査した約4割の教員が、気体検知管を用いた実験指導に自信が持てないとの報告がある。これら先行研究から気体検知管には、様々な課題があることがわかってきた。そして、それに変わる新たな工業技術が求められる。学習の充実を考えるにあたり、これら先行研究を踏まえて、小学校理科において、教具として気体検知管と比較するために、理科教育用に開発した空気亜鉛電池式酸素センサ(高橋式酸素センサ)を用いて試行授業を行うとともに結果について検討した。

4. 2 高橋式酸素センサとは

空気電池式酸素センサは、多くの生徒たちが授業中に酸素センサを使って実験でき、なおかつ安価であることを想定して、国立東京工業高等専門学校教授高橋三男氏が開発したものである。

空気電池の原理は、以下の通りである。負極材料として亜鉛、電解液としてアルカリ水溶液、正極材料としてカーボンが用いられている。化学反応からみると空気電池は、酸素が正極活物質、亜鉛が負極活物質の電池で放電反応は次の式で書ける。



正極側に「空気孔」と呼ばれる穴が開いており、この穴から正極活物質の酸素が電池内部に供給される。電池電流が無く電池が平衡状態にあるときの起電力は1.65Vである。空気電池に外部抵抗を接続して電流を流すと過電圧の発生により出力電圧は、1.4V位になる。外部抵抗を小さくしていくと電流は大きくなる。しかし、電流は無制限に大きくなるのではなく正極活物質である酸素の拡散で制限された電流(限界拡散電流)となる。この限界拡散電流は空気中の酸素濃度と関係している電流である。この特性が酸素センサとして使える可能性を示唆している。

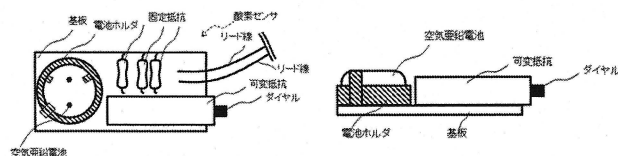


図1 高橋式酸素センサの概略図
 (左図は上から見た図、右図は横から見た図)

4. 3 学校教育への導入を目指して

高橋らは、高橋式酸素センサを用いた実験例とその有効性について学会論文等で示し続けてきた。例えば、使い捨てカイロの実験、呼気の実験、ろうそくの消炎実験等において、学校現場で簡単な実験が可能なことを報告している。また、キノコ、赤・青ピーマン、バナナの呼吸実験など、酸素に関わる実験の工学的な分析において気体検知管と比して2倍以上の検出能力を有することを報告している。なお、詳細は、高橋(2017)¹³⁾を参照にされたい。

これらにより、学校現場における安価な酸素センサの導入を目指した取組とさらなる展開を計画、実践することとした。具体的には、現行の学習指導要領で気体検知管を用いることが示されている酸素測定の実験場面において、酸素センサを導入することで学習者にどのような変容があるのかについて、調査を行うこととした。

5. 学校教育への導入に向けた試行実践と教材化

5. 1 質問紙調査項目の設定

高橋式酸素センサを用いた試行授業の分析のため、質問紙調査を作成した。質問紙調査項目として、中嶋(1993)¹⁴⁾の「小学校における理科教具の見直しと開発」に示されている見直しの視点」を参考にして、「実験の操作性、結果の明瞭性、安全性、実験結果の判読困難性、実験準備・片付けの容易性、簡便性、個別性の視点」から調査することとした。

表1 質問項目

- | |
|----------------|
| ①測定はしやすかった |
| ②実験の結果は分かり易かった |
| ③安全に実験できた |
| ④数値が読みにくかった |
| ⑤実験の準備はしやすかった |

⑥実験の片付けはしやすかった
⑦すぐに測定結果が得られた
⑧一人で実験してみたいと思った

表1の質問項目①～⑧は、「とてもそう思う」「まあまあそう思う」「あまりそう思わない」「まったくそう思わない」の四件法で回答を求めることとした。

5. 2 試行授業実践の概要

酸素センサを用いる試行授業実践の概要を示す。気体検知管を用いた実践との比較を行うため、教科書に記されていて普段の授業で行っている児童が行う実験を計測器のみ置き換えて実践をした。ここでは、後藤ら(2017)⁷⁾の一部を再掲する。

対象：6年生（男子12人，女子11人，計23人）

場所：公立A小学校理科室

アンケート等分析対象：児童計60名

「生物と環境」における植物の光合成について教材を同一にするため、教科書で示されている学習内容で実施し、授業では「生物と環境」の光合成に伴う酸素濃度変化の測定について気体検知管を用いて行った。試行実践は、同じ学習内容を、酸素センサを活用した同じ6年生で行った。試行実践の流れと概要を表2に示す。

表2 授業の流れと概要

内容 (経過時間)	概要	児童の動き	授業の様子
1 時間目 1 気体検知管と酸素センサ(0～11分)	気体検知管を用いた代表児童による呼気中の酸素濃度の測定と教師による酸素センサの操作説明	実験方法の共有	児童全員が気体検知管の使用方法を振り返るとともに、気体検知管を扱う際の注意点についての再確認が促されていた。
2 呼気とコマツナの光合成による酸素濃度変化の測定(11～41分)	酸素センサを用いた ・呼気測定体験 ・コマツナをビニル袋に入れ、呼気を吹き込んだ後、光を照射し1分ごとの変化を測定 ・全体共有	・全員が体験測定値を共有 ・各班実験、測定値を読み上げて記録 ・班で発表	・全員が測定値を共有できていた。 ・全班記録できていた。 ・共有できていた。
3 他の葉物野菜の光合成による酸素濃度変化についての仮説(41～45分)	切った葉物野菜を袋に入れ光を当てると、酸素の割合は増えるのか？	仮説「増えると思う(同じ葉物野菜だから)」後、用意された他の野菜を各班で選択	・仮説にいたる思考過程について質問され、児童は「類推」と一斉に回答していた。
2 時間目 4 光を当てて	実験結果の予想をする	個人で考えた後、	まとめる時間が確保

はかつてみよう (0～21分)	とともに、実験開始前にノート整理	班での話し合い	され、思考の整理が促されていた。
5 実験 (21～45分)	酸素センサを用いた測定実験開始	・各班での実験の工夫 ・分担を決め、ローテーションし、意見交換しながら実験を遂行	・センサを自由に使用していた。 ・技術的な困難は全くない様子であった。 ・経時的な変化を無理なく測定していた。

5. 3 試行授業の状況

表2の「呼気とコマツナの光合成による酸素濃度変化の測定」におけるコマツナの光合成による酸素濃度変化の測定結果例を表3に示す。

表3 コマツナへの光照射と酸素濃度の変化の例

光照射時間(分)	0	1	2	3	4	5
酸素濃度(%)	16.8	16.9	17.2	17.3	18.1	18.5

6年生「生物と環境」では、目的として、植物の光合成による酸素濃度の増加を測定するための実験を行う。教科書では、一般に酸素濃度の測定実験に酸素用気体検知管を用い、植物に日光を当てる前後の酸素濃度を測定する。日光の照射時間は1時間程度またはそれ以上であるとされている。

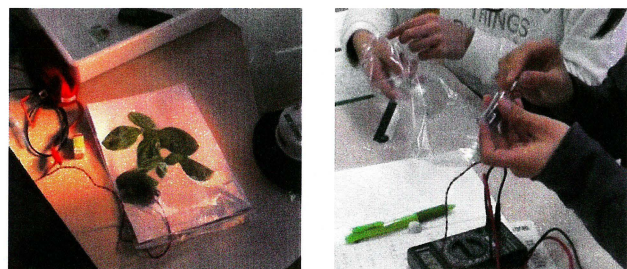


図2 光合成による酸素濃度変化の測定

気体検知管を用いる場合には1時間では終わることのできない同様の実験が、酸素センサを用いると、5分程度の測定で結果が得られる。これは、高い感度と応答性により、微小な酸素濃度の時間変化も捉えることができるためである。これにより、実験実施後、測定値を全員で確認・共有し、その場で測定したデータを基に思考し、分かったことを児童の言葉で説明するなどの時間を授業時間内で十分に確保することが可能である。

5. 4 試行授業の結果と考察

異なる教具を用いた実践でそれぞれ同じ項目からなるアンケートを行い、比較分析した。分析には、四件法で用いた「とてもそう思う」「まあまあそう思う」を肯定的回答、「あまりそう思わない」「まったくそう思わない」を否定的回答として、気体検知管を用いる場合と酸素センサを用いる場合に対する肯定的回答と否定的回答の回答数を表4に示した。また、各質問項目について、気体検知管に対して否定的回答をし、かつ、酸素センサに対して肯定的回答をした人数と、逆に気体検知管に対して肯定的回答をし、かつ、酸素センサに対して否定的回答をした人数、それ以外の回答人数を表5に示した。

まず、気体検知管に対して否定的回答をし、かつ、酸素センサに対して肯定的回答をした人数と、気体検知管に対して肯定的回答をし、かつ、酸素センサに対して否定的回答をした人数を比較したところ、すべての質問項目の視点で、気体検知管に対して否定的な回答をし、かつ、酸素センサに対して肯定的な回答をした人数が有意に多いことが分かった（直接確率計算，両側検定）。また、酸素センサのみについて肯定的な回答と否定的な回答を比較したところ、すべての質問項目で肯定的な回答が有意に多いことが分かった（直接確率計算，両側検定）。

表4 気体検知管と酸素センサに対する回答

質問項目	気体検知管			酸素センサ		
	肯定	否定	N	肯定	否定	N
①測定はしやすかった	36**	15	51	57**	3	60
②実験の結果は分かり易かった	31	22	53	58**	1	59
③安全に実験できた	37**	15	52	59**	1	60
④数値が読みにくかった	29	24	53	9	50**	59
⑤実験の準備はしやすかった	35*	18	53	56**	3	59
⑥実験の片付けはしやすかった	34*	18	52	51**	3	54
⑦すぐに測定結果が得られた	23	28	51	50**	9	59
⑧一人で実験してみたいと思った	19	32†	51	37†	23	60

Nは調査人数 60 人のうちの無回答を除いた人数

**p<.01 *p<.05 †p<.10

表5 気体検知管と酸素センサの比較結果

質問項目	酸素センサ 肯定 気体検知管 否定	酸素センサ 否定 気体検知管 肯定	それ以外	N
①測定はしやすかった	15**	3	33	51
②実験の結果は分かり易かった	22**	1	29	52
③安全に実験できた	15**	1	36	52
④数値が読みにくかった	4	25**	23	52
⑤実験の準備はしやすかった	16**	1	35	52
⑥実験の片付けはしやすかった	16**	2	30	48
⑦すぐに測定結果が得られた	22**	2	27	51
⑧一人で実験してみたいと思った	17**	3	31	51

Nは調査人数 60 人のうちの無回答を除いた人数

**p<.01

6. 教材化、製品化に向けて

6. 1 教材化、製品化に向けて

気体検知管では測定が困難な酸素濃度0.1%の変化を、児童にとって特別な操作を要せずに繰り返し測定できる点が、小学校理科における酸素濃度の測定教具としての高橋式酸素センサの優れた特徴であるといえる。その後、高橋式酸素センサのアイデアを取り入れ各教材会社による教材化、製品化が進められた。

6. 2 株式会社ヤガミ、ケニス株式会社、ナリカ株式会社等による製品化⁶

国内の主要な教材メーカーによる製品開発が進められている。現在も掲載以外の会社でもさらに製品化が進められている。ここでは、すでにHPやカタログレベルで示されている会社の製品についてその一例を示すこととする。

①株式会社ヤガミ「デジタル酸素濃度チェッカー」⁷

高橋式酸素センサの考え方を基に、独自にアイデアを付加させて、酸素センサに空気亜鉛電池を利用した安価なデジタル酸素濃度チェッカーとして、2017年に製品化がなされた。校正も、リセットボタンを押すだけで簡

⁶ 平成29年10月15日現在、確認できているいくつかの会社の製品について掲載した。

⁷ 株式会社ヤガミ「デジタル酸素濃度チェッカー」のHP、
<http://ec.yagami-inc.co.jp/shop/o/06221200-R01>

単に行うことを可能にし、また、温度補正を自動で行う機能を付加させ、さらにデータのラップ機能を付加する等、製品の高性能化を果たしている。

②ケニス株式会社「簡易デジタル酸素センサ TDO」⁸

酸素濃度の連続測定ができる簡易型の酸素測定器として、製品化している1つの空気電池で約30時間の連続測定が可能であるとしている。

③株式会社ナリカ「児童用酸素モニタ 検ちゃん」⁹

「気体検知管に代わる、簡易酸素濃度モニタが新登場！」とし、高橋式酸素センサの原理をそのまま製品化している。

7. 今後の展開とまとめ

本報では、工業技術と学校教育のつながりを目指して、酸素センサの学校教育現場での利用を一例として取り上げた。高橋式酸素センサの最大の特徴は、経時変化を捉えることができることである。これは、先に示した小中学校の理科の課題である「実験の結果を示したグラフを基に定量的に捉える」、「実験結果を数値で示した表から分析して解釈し、規則性を見いだすこと」の解決に向けて直接的に寄与できる実験装置であると考えられる。さらに、子供たちが、工業技術と理科教育の直接的な結びつきを感じることができる最良の実験教材であると捉えている。

一人の科学技術者のアイデアが、現状の課題を解決し、試行実践を踏まえて価値を創出し、教材化、製品化することで、学校教育ばかりではなく、社会を変えていく可能性を示した。「より多くの夢を持ち工学分野に進学を希望してもらうことが重要」であるが、このような取組や実現を周知し共有することは、工学系学生の拡大に寄与するものであると考える。さらに、工業技術と学校教育のつながるような例は、初等中等教育の児童・生徒の興味・関心を高めるだけでなく、これから求められる資質・能力の育成にもつながり、引いては、工業界が求め

る人材の育成にもつながるものとする。

参考文献

- 1) 大学における工学系教育の在り方に関する検討委員会(2017)「大学における工学系教育の在り方について(中間まとめ)」, p16, 文部科学省.
- 2) 国立教育政策研究所(2015)「小学校学習指導要領実施状況調査」.
https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h24/index.htm
- 3) 科学技術政策研究所(2011)「日・米・英における国民の科学技術に関する意識の比較分析—インターネットを利用した比較調査—」.
<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/mat196j/pdf/mat196j.pdf>
- 4) 国立教育政策研究所(2015)「1.平成27年度全国学力・学習状況調査の結果について(概要)」,「平成27年度全国学力・学習状況調査 報告書・調査結果資料」.
<http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/index.html>
- 5) 中央教育審議会(2016)「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申)」(中教審第197号), 文部科学省.
- 6) 文部科学省(2017)「新学習指導要領」.
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1383986.htm
- 7) 後藤頭一, 高橋三男, 飯田寛志(2017)「小学校理科教具の視点からの学習環境に関する一考察—酸素センサ導入の試行授業における評価分析を通して—」,「理科教育学研究」, 理科教育学会, 第57巻(4), 325-336.
- 8) 文部省(1989)「小学校指導書 理科編」, 教育出版, 76, 79.
- 9) 文部科学省(2008)「小学校学習指導要領解説理科編」大日本図書, 67, 73, 76.
- 10) 平山大輔, 森川英美, 後藤太一郎(2014)「光合成の授業におけるICTの活用とその有効性:—小学校理科6年小単元「生物と空気のかかわり」に注目して—」,「理科教育学研究」, 第54巻(3), 419-426.
- 11) 大黒孝文, 舟生日出男, 竹中真希子, 山本智一, 黒田秀子(2014)「実験操作技能を高めるマンガ反転授業用教材の改良: 気体検知管の操作」,「日本理科教育学会全国大会要項」第64号, 470.
- 12) 科学技術振興機構(2011)「理科を教える小学校教員養成課程に関する調査報告書」.
- 13) 高橋三男(2017)「『酸素が見える!』楽しい理科授業」, 日刊工業新聞社.
- 14) 中嶋博和(1993)「小学校における理科教具の見直しと開発」,「理科教育学講座8理科の学習環境と教具」日本理科教育学会編, 理科教育学会編, 111.

⁸ ケニス株式会社「簡易デジタル酸素センサ TDO」のHP
<http://www.kenis.co.jp/online-shop/product/1164870>

⁹ 株式会社ナリカ「児童用酸素モニタ 検ちゃん」のHP
<http://www.rika.com/o2monitor>