

## Development of a Small Digital Color Meter to Teach Industrial Chemistry

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-12-17 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小笠原, 早織, 大村, 基将, 青木, 麟太郎, 紅林, 秀治 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.14945/00028490">https://doi.org/10.14945/00028490</a>

## 工業化学分野における小型デジタル比色計教材の開発

### Development of a Small Digital Color Meter to Teach Industrial Chemistry

小笠原早織<sup>1</sup> 大村基将<sup>2</sup> 青木麟太郎<sup>3</sup> 紅林秀治<sup>4</sup>

Saori OGASAWARA<sup>1</sup> Motomasa OMURA<sup>2</sup> Rintaro AOKI<sup>3</sup> and Shuji KUREBAYASHI<sup>4</sup>

（令和 3 年 11 月 30 日受理）

#### ABSTRACT

A small digital color meter is developed to measure the concentration of nitrate nitrogen in soil. Our color meter allows students to measure the concentration of targets, digitalize the measured value, and draw a calibration curve for quantification on a monitor with a PC. We have also simplified the circuitry of our meters by using a microcontroller. Therefore, teachers and students can assemble them by themselves. Moreover, the size of the meter allows students to use it to measure the concentration of both inside and outside targets. We found that high school students were able to learn how to measure the concentration of nitrate nitrogen in soil through lessons using our color meter. Our color meter is used to think of what high school students wanted to measure in life environment, so we thought that it is possible to learn environmental education.

Keywords: color meter, concentration of nitrate nitrogen, environmental education, digital circuits

#### 1. はじめに

環境教育が学校教育の中で展開されている。坪田らの調査 [1] によると、「どのような環境問題が最も懸念されますか？」の質問に対し、「環境汚染や地球温暖化／気候変動、森林破壊」を選択した高校生が 79 % となる一方、「農業」を選択した高校生が全体の 7 % と低く、農業の環境負荷に関する理解が低いことを示した。農業の環境負荷について正しく理解し、関心を高める教育が必要である。

農地には収穫量を増やすため、化学肥料が使用されることが多い。肥料の主な成分は、窒素、リン、カリウムであるが、化学肥料として使用された窒素は、硝酸態窒素として土壌に残留し蓄積される。硝酸態窒素が、土壌中に増えると地下水に溶け込み、それを飲料することでメトヘモグロビン血症を引き起こすなど、健康に被害が及ぶ可能性がある [2]。このような化学肥

<sup>1</sup> 静岡県立吉原工業高校

<sup>2</sup> 大阪電気通信大学

<sup>3</sup> 愛知教育大学・静岡大学共同大学院博士課程

<sup>4</sup> 技術教育系列

料による土壌汚染の問題は、農業の環境負荷の理解を促す意味でも、環境教育として取り上げ学習者に伝えることは大切である。それには、計測方法の科学的な原理や仕組みを理解した上で、自ら計測対象を採取しデータ取得する活動を取り入れた学習が重要である。またそのような学習を行うためには、高等学校学習指導要領[3]が求める、科学的な根拠に基づき判断したり、意思決定できたりする資質を育てることも考慮に入れる必要もある。

そこで、本研究では土中の硝酸態窒素の測定を学習課題として、計測機器の仕組み、計測機器の製作、測定方法、計測データの見方などを学習できる教材の開発に取り組んだ。

本論文では、小型デジタル比色計教材の開発とその授業による評価について述べる。

## 2. 開発の方針

### 2.1 比色計を工業高校教材として選定した理由

高等学校学習指導要領の工業編[3]「第 42 節 工業化学」では「(3)材料や化学製品を製造する力の向上を目指して自ら学び、化学工業の発展に主体的かつ協同的に取り組む態度を養う。」とされていることから、化学に関する知識や技術だけでなく、技術者として求められる態度や倫理観、解決する力を養うことが、これからの授業の在り方と言える。そこで、化学分析の分野において、計測機器を使用するだけでなく生徒自らが考え利用できるような教材の開発・活用をするべきであると考え「比色計」の測定原理に着目をした。

比色計は、光源となる光に特定の波長のみを用いて、光の吸光度を測定するものである。土壌中の硝酸態窒素を分析するための計測機器として、比色計の仕組み [4] [5] [6] を参考にした。なぜなら、比色計ならば、教材として用いたとき、原理を説明しやすかったり、装置を自ら設計・製作したりすることができる [7] [8] と考えたからである。また、工業高校生を対象とした理由は、実習授業の中で計測機器の設計や製作の学習を取り入れることができるからである。特に、工業化学分野ならば、定性分析や定量分析等の内容も扱えるからである。

### 2.2 開発する比色計教材の 3 要件

開発にあたり、比色計の要件（教材が満たす条件）を下記 3 項目とした。

要件 1 生徒自身が製作することが可能である

要件 2 持ち運びができるよう小型化されている

要件 3 検量線から濃度を特定するという測定理論と方法を学ぶことができる

要件 1 に関しては、学習者が、実際に比色計を製作することで、比色計の仕組みを学ぶことにつながる。これにより、学習者が計測方法や機器仕組みを科学的に理解する学習に展開できる。また、実際に製作できなくても、LED や受光センサなど回路の部品などを直接見たり触れたりすることができるようにする。

要件 2 に関しては、計測場所を実習の部屋や特別教室等に限定するのではなく、計測対象の土壌の近くの部屋や教室等でも測定できるようにする。これにより、フィールドワーク的な計測学習も可能になる。そのためには、回路を持ち運び可能な比色計の中に収納できる大きさまで小型化する必要がある。具体的には、回路の電源には単 3 電池を使用したり、制御部には

マイクロコンピュータを用いたりすることで、回路を小さくまとめるようにする。これにより、片手で持ち運べる大きさにする。

要件3に関しては、計測した結果（吸光度）が数値で示され、その場で確認できる比色計にする。第3章で詳しい測定理論と方法を説明しているが、計測した吸光度から濃度を求めるためには、検量線を事前を作る必要がある。開発する教材では、最初に濃度が確定している測定サンプルを作り、その吸光度から検量線を作成する。その後、測定対象の吸光度を測定し、検量線を用いて濃度を割り出す。開発する比色計では、これら一連の作業が可能になる仕組みにする。また、開発する比色計は、PCと連動できるようにし、検量線作成のための基本データは、PCで保存したり、自動でグラフ化できたりするようにもする。

### 3. 検量線について

本研究では、絶対検量線法[9]を用いた測定を行い、未知の溶液の濃度を求めていく。特定波長の光の吸光度を測定することにより、溶液の濃度を測定できる。比色計を使用して濃度を測定するためには、以下の手順に従って作業を行う。

1. 基準となる既知濃度を含め異なる溶液を用意する。
2. 最初に標準溶液を入れたセルを用いて装置の較正を行う。
3. ランベルト・ベールの法則により未知の溶液の濃度を求める。

先行研究[10]にある測定理論を参考にした、未知の溶液の濃度を求める方法について説明していく。ランベルト・ベールの法則により、入射光強度  $I_0$  に対する透過光強度を  $I$  とすると、吸光度  $A$  は式(1)より求めることができる。

$$A = -\log \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

吸光度  $A$  は光を吸収する溶質の濃度  $C$  と光の通った距離(光路長) $l$  に比例するため式(2)でも求めることができる。

$$A = \epsilon Cl \quad (2)$$

ここで  $\epsilon$  はモル吸光係数と呼ばれる。実際の測定では、溶液を特定のケースに入れるため光路長  $l$  を一定とみなす。このことから、検量線（濃度を横軸に吸光度を縦軸にとったグラフ）が直線性を示す（ベールの法則）。検量線を利用することで、吸光度が計測できれば、溶液の濃度が特定できることになる。

一般的に検量線には回帰直線が用いられる。測定対象物質の標準液の濃度  $C$  と吸光度  $A$ （センサ出力値）をプロットする(グラフに書き入れる) と、書き入れた値は直線に乗る。つまり、これらのデータは  $x=C$ ,  $y=A$  とした回帰式  $y = ax + b$  に当てはまる。以前は、方眼紙にデータをプロットし、定規を用いて全てのプロットに最も近づく直線を引き回帰直線とし、こ

の直線を検量線とした。これらの操作を測定値のばらつきが最も小さくなる回帰直線を最小二乗法で Excel で求めている。

さらに、Excel 上で検量線である回帰直線を作成した後、データの直線性の目安を出すために相関係数(一般的に"  $r$  "と表記する)を計算する。 $r$  は  $-1 \leq r \leq 1$  の範囲の数値になり、1 または  $-1$  の場合、全データが直線状に並び(完全に不一致)、0 ならば全く相関がないことを示す。また、決定係数とは  $x$  の値によって  $y$  の値が決定できる割合を示し、この値は、回帰平方和を全平方和で除すことにより決まる。この数値は  $r$  の二乗と同じなので  $r^2$  と表記され、 $r^2$  の値が 1 に近いほど直線であると言える。よって、本研究では Excel によって検量線を作成した後、決定係数を求めることによってばらつきの度合いを求めた。なお、濃度  $C$  と吸光度  $A$  との間で相関係数  $r$  の有意差検定を行い、有意水準 1% で相関があると確認できた。

図 1 に検量線から濃度を求める図を示す。図 1 は食紅に蒸留水を加え作成した、濃度  $C$  が 100ppm, 50ppm, 25ppm, 10ppm となる溶液を用い、開発した装置(比色計)で溶液ごとに吸光度  $A$  を測定し、プロットしたグラフとなる。図 1 より、未知試料の吸光度が 0.1 になる時、食紅の検量線  $y=0.0026x-0.001$  に代入すると、濃度が約 38.8ppm であると計算できる。このように比色計では、式(1) と式(2) より、吸光度  $A$  (入射光強度  $I_0$  と透過光強度  $I$ ) の値がわかれば、濃度  $C$  を求めることができる。

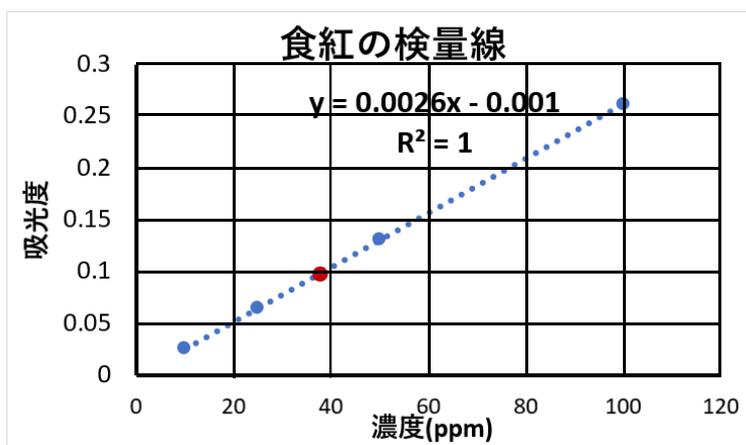


図 1 食紅における検量線【濃度による吸光度の関係】

#### 4. 小型比色計教材の開発

##### 4.1 比色計の構成

開発した小型デジタル比色計は永川らの製作した簡易比色計[11]を参考にその構成を考えた。製作した小型デジタル比色計の構成を図 2 に示す。

図 2 の光源に単色 LED を使用している。光源は、吉村のサイトを参考に LED の選択を行った[12]。製作する小型デジタル比色計の光源には、測定する対象が吸収する波長であればどの波長を選んでいても良い。しかし、実際には光の検出にはある有限の波長幅の光の強度を積算することで求めているため、吸光度の測定は吸光度の変動が少ない波長、つまり吸収極大波長で行うのが良いとされている。本研究中で硝酸態窒素検出のために用いる試薬により濃度 50ppm の試料を着色した時の吸収スペクトルを紫外可視分光光度計 V-660 により計測した。硝酸態窒素検出のために用いる試薬には、富士平工業株式会社より販売されている農家のお医者さん [13]

と呼ばれる検定キットを使用した。実験の結果、呈色させた硝酸態窒素において吸収極大波長は 541.5nm であることを確認した。計測した吸収スペクトルを図 3 に示す。

比色計の光源としては吸収極大波長に近いことが望ましい。本教材では、計測器自体の作成を生徒自身が行なう場合も想定したため、安価かつ一般販路で入手可能な光源で発光時の波長が推定可能なものとして LED を用いることにした。今回は対象となる溶液の吸収極大波長に近い 525nm 付近で最大光度をとる OptoSupply 社製 LED の OSG5GP5111A を選択した[14]。

図 2 の測定部の対象側とは、溶媒だけの状態の試料を計測する。その値を入射光強度  $I_0$  とする。同図の試料側で計測した値を透過光強度  $I$  とする。計測した  $I_0$  と  $I$  の値をもとに式 (1) より吸光度をマイコンにより算出する。

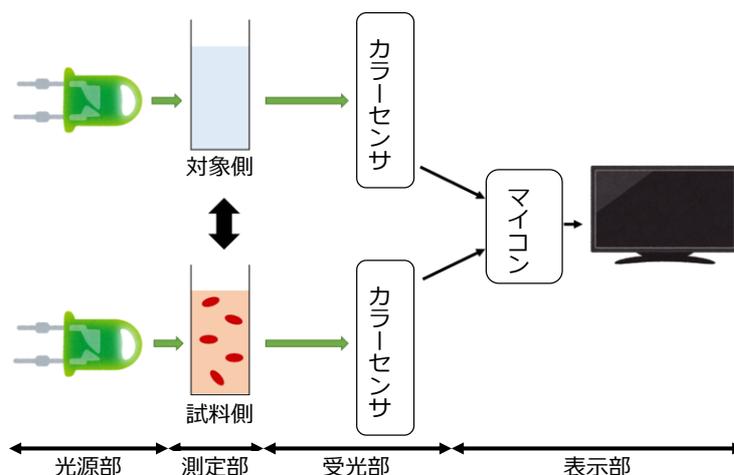


図 2 製作した比色計の構成図

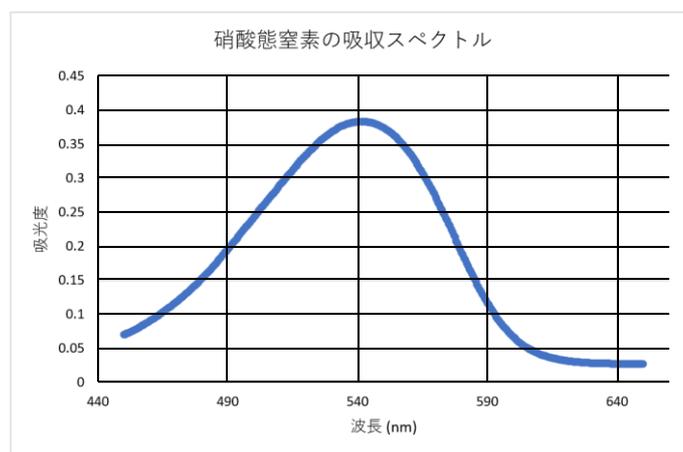


図 3 50ppm における硝酸態窒素の吸収スペクトル

製作した小型デジタル比色計教材の回路図を図 4 に示す。回路は試料の測定を行う測定部、得られたデータをもとに吸光度を求める制御部、計測したデータを PC に送る送信部の三つで構成されている。LED とカラーセンサが測定部のケースに設置される。制御部にはマイコンを用い、想定部のカラーセンサから取得した値をもとに吸光度を算出する。カラーセンサには浜松ホトニクス社の S11059-02DT を利用した。

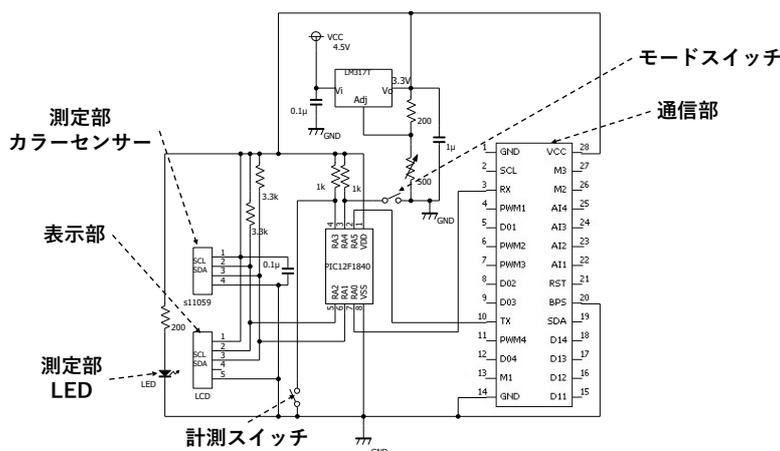


図4 小型デジタル比色計教材の回路図

モードスイッチにより、 $I_0$  を計測する回路と  $I$  を計測する回路を切り替える。また、計測スイッチにより、LCD に計測値を表示させる。測定する試料は、アクリル製のセル(12.5mm × 12.5mm × 45.0mm)に入れ、LED の光を透過させる。測定する試料を格納する測定部のケースは、アクリル製のセルが入るように製作した。黒色の反射率の低い塗料[15] を用い、外壁を黒塗りすることにより、外部からの光を遮断し、LED から照射される光のみで測定できるようにした。製作した小型デジタル比色計を図5に、外形寸法を表1、測定部の外形を図6にそれぞれ示す。

通信部には、モノワイヤレス株式会社の TWELite を使用し、計測したデータを外部に保存する機能を加えた。実際に測定を行う全体のシーケンス図を図7に示す。

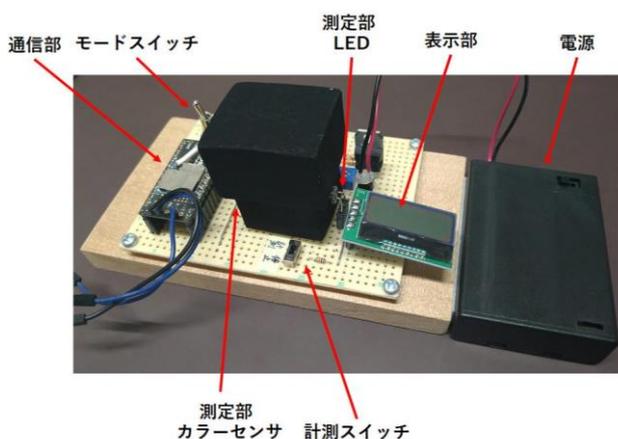


表1 製作した小型デジタル比色計の寸法

項目	数値
質量	198.4 g
幅	95.0 mm
奥行き	72.0 mm
高さ	50.0 mm

図5 製作した小型デジタル比色計

#### 4.2 測定のための操作

測定する  $I_0$  の計測値をブランク値、 $I$  の値を試料値とする。それぞれの値を求める際にモードスイッチ (図4) で切り替える。以降、ブランク値を測定するモードをブランクモード、試料値を測定し吸光度を求めるモードを吸光度モードとする。測定時の処理の流れを図8に示す。図9に本装置のブランクモードと吸光度モードが各種測定を行う際の処理フローを示す。

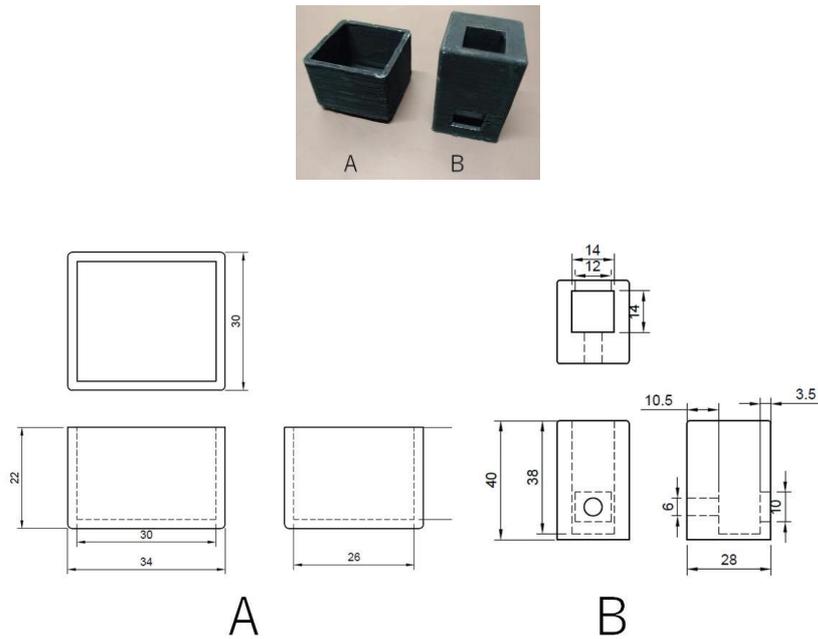


図6 製作した測定部のケース (Aふた, Bホルダー)

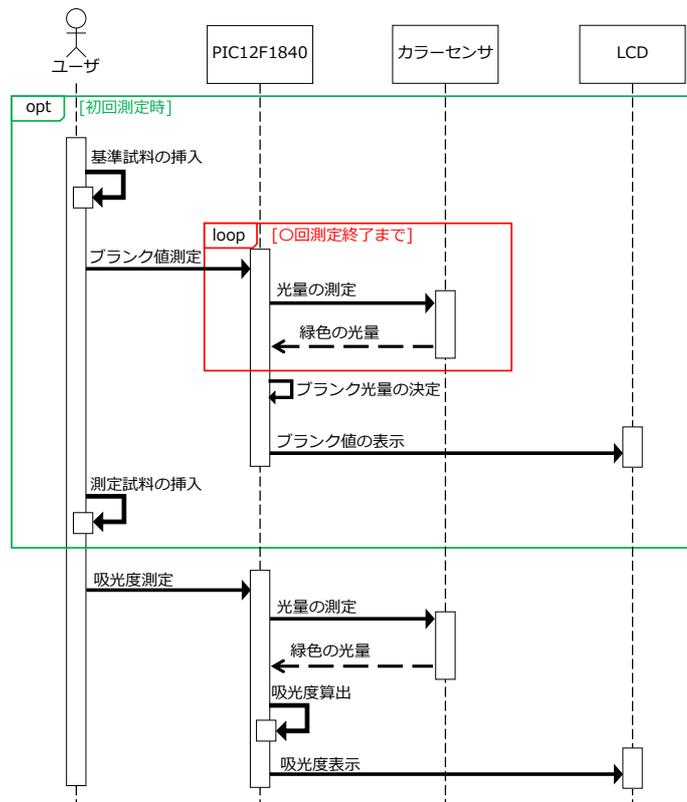


図7 全体のシーケンス図

す。吸光度モードで測定された値はブランクモードと同様に数値で表示される。測定された数値は式(1)の  $I$  に代入され、装置の制御部(図4)で計算が行われる。計算結果は小数が並ぶ数字となるため、制御部で小数第二位の値を四捨五入し、小数第一位までの吸光度の値を表示部

に表示する。そのため、吸光度モードにおける測定は5桁の数値が表示された後、吸光度値が表示されるため数値が2度切り替わる形となっている。図10に本装置で吸光度測定が行われる手順を示す。

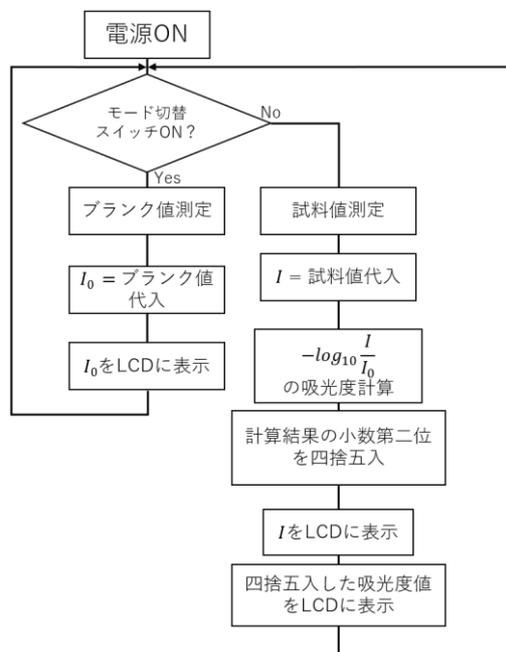


図8 測定処理の流れ

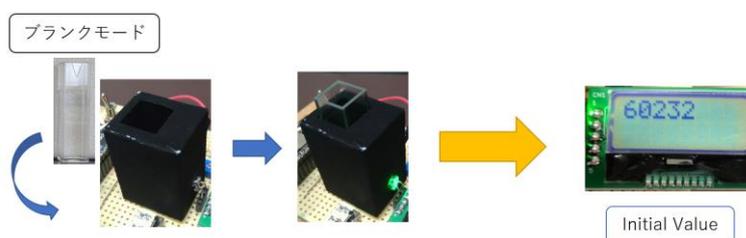


図9 ブランクモードの測定の手順

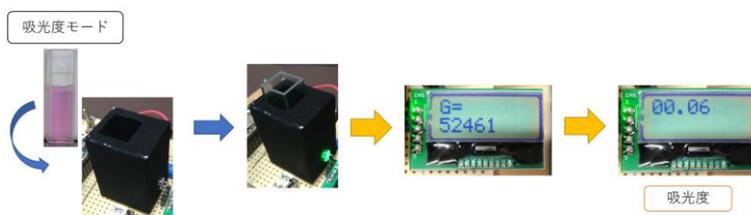


図10 吸光度モードの測定の手順

### 4.3 無線通信

測定したデータは表示部で表示され、同時にPCに保存することも可能である。無線通信には、IEEE802.15.4に準拠し低速ながらも長距離を低消費電力で安定したデジタル双方向通信を実現できるTWELITEを用いることにした[16]。PCに保存する機能はMicrosoft社から提供されているExcelのData Streamer [17]を使用しており、同アドインが動作する環境下で利用することができる。実際に測定した際のPC上の画面を図11に示す。なお、溶液が正しく

挿入されていないなどにより、吸光度が負を示す明らかな計測失敗ケースは図 11 の④に「Error」と表示し、実験者に警告を促す。

さらに既知濃度の試料を使って吸光度を測定した後、検量線を作成するが Excel 上にデータが保存されるため、検量線を簡易的に作成することができる。実際に検量線を作成した様子を図 12 に示す。PC 上ですぐに検量線が作成できるメリットは、測定した値に大きなずれや間違えないかをすぐに判断することができ測定をより正確に行うことができることである。

①	②	③	④
12:22:17.05	13190	13286	0
12:22:24.11	13190	16004	Error
12:22:31.67	13190	570	1.36
12:22:39.22	13190	599	1.34
12:22:46.77	13190	601	1.34
12:22:54.34	13190	650	1.31
12:23:01.89	13190	8287	0.20
12:23:17.00	13190	8296	0.20
12:23:24.55	13190	8278	0.20
12:23:31.61	13190	15365	Error
12:23:39.17	13190	8964	0.17
12:23:46.72	13190	8971	0.17
12:23:54.27	13190	8972	0.17
12:24:01.84	13190	8968	0.17
12:24:08.89	13190	14894	Error
12:24:16.46	13190	11187	0.07
12:24:24.01	13190	11187	0.07
12:24:31.56	13190	11192	0.07
12:24:39.13	13190	11360	0.06
12:24:46.68	13190	12049	0.04
12:24:54.24	13190	12042	0.04
12:25:01.79	13190	12047	0.04

セルの入れ替えによる値のずれ

①計測された時刻  
②ブランク値  
③計測されたデータ値  
④吸光度

図 1 1 PC 上の画面



図 1 2 検量線を作成した様子

## 5. 検証実験

自作装置だけでなく紫外可視分光光度計 V-660(日本分光)と同じ条件で測定した際の検量線と未知試料濃度を比較することにより精度の検証を行った。検量線を作成するために 50ppm, 25ppm, 10ppm, 5ppm の 4 種類の濃度の溶液を作成した。製作した硝酸態窒素溶液を図 13 に示す。

上記の硝酸態窒素溶液を用いて紫外可視分光光度計 V-660 で作成した硝酸態窒素の検量線を図 14, 開発した小型デジタル比色計で作成した硝酸態窒素の検量線を図 15 に示す。

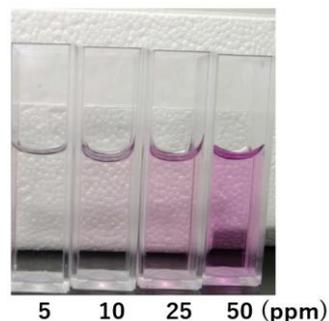


図 13 製作した硝酸態窒素溶液

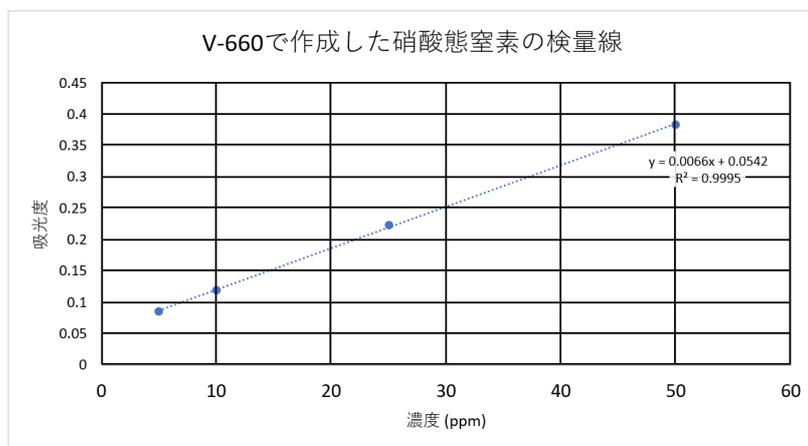


図 14 V-660 で作成した硝酸態窒素の検量線

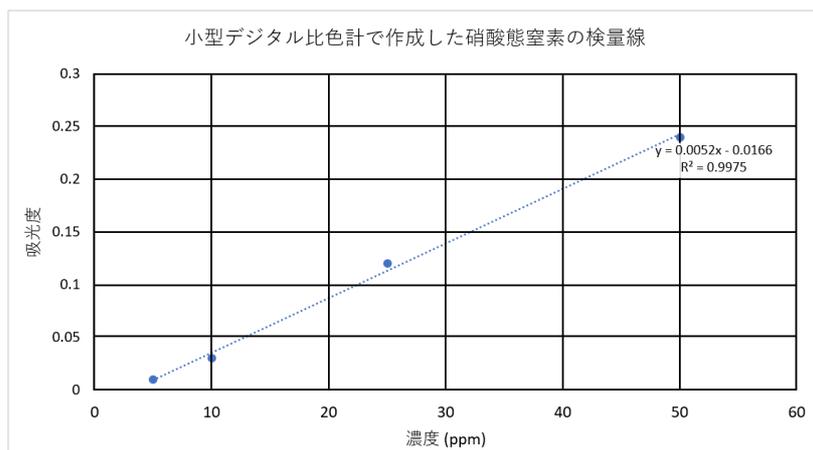


図 15 小型デジタル比色計教材で作成した硝酸態窒素の検量線

V-660 で作成した検量線は決定係数  $r^2$  が 0.99 となったため、ばらつきはなく精度良い検量線が得られたことが分かる。また、小型デジタル比色計で作成した検量線も決定係数  $r^2$  も 0.99 と 1 に近い値となっているため、自作装置でも精度良い検量線が得られたと考えられる。なお、V-660 と本機とで検量線の吸光度が大きく異なっている点については、光源として

V-660 が最大吸光率を示す重水素 525nm での吸光度の計測結果、本教材が感度最大の波長 525nm を中心とした計測結果 [14]となり、各装置で波長が同じだが、強度が異なるため、放射される光のスペクトルが異なることおよび、色の識別のために利用しているカラーセンサについても最大感度波長が 530nm であるものの分光感度特性としてその周囲の波長の光についても一定の測光を行っているため影響をうけたことが考えられる。しかし、検量線から濃度を求める際、吸光度は相対的な指標であるため、同じ機器で測定する限り問題はない。

## 6. 小型デジタル比色計教材を用いた授業

開発した装置の有用性を確認するために静岡県内の総合高校にて 70 分 2 回の構成で授業を行った。授業は放課後の時間帯に希望する生徒のみ集めて行った。生徒は担当校の教員が選んだ。参加した総合学科の生徒は 1, 2 年生 12 名であった。参加した生徒全員は硝酸態窒素（硝酸性窒素）という物質を知らなかった。また、環境科に属した生徒 2 名は次年度学習予定であるため、分光光度計を知っていた。教材は全部で 6 台準備し、1 回目の授業では 2 人 1 組計 6 グループ、2 回目の授業では 1 名が欠席し、3 人 1 組 1 グループ、2 人 1 組 4 グループの計 5 グループで行った。表 2 に授業内容を示す。図 16 に授業の様子を示す。

表 2 授業の内容

No	授業目標	内容	時間
1	吸光度や検量線を理解する。	吸光度を計測し検量線を描く	70 分
2	濃度の計測ができる	土中の硝酸態窒素濃度を測定する。	70 分

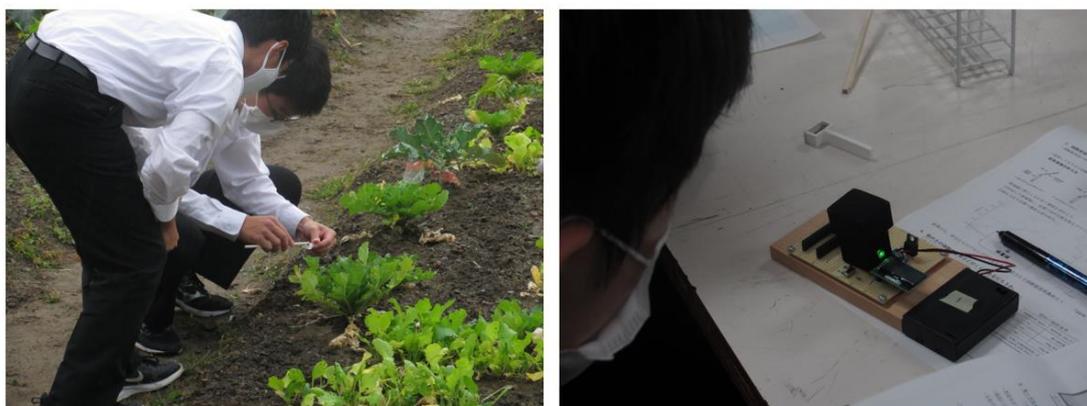


図 16 授業の様子

表 2 の No.1 の授業では、濃度を測定する身近な例について説明した。その後、開発した小型デジタル比色計教材の仕組みと使い方を学習するために、食紅を用いて濃度測定を行った。

「分光光度計」や「吸光度」などの用語に関して、分光光度計の使う場面や測定原理、単語の定義について説明した。食紅の濃度は、500ppm, 100ppm, 50ppm, 25ppm, 10ppm を用意した。

検量線の作成は各グループ 1 枚のグラフ用紙を配布し、グループごと作成した。検量線を作成するための吸光度の測定は、小型デジタル比色計教材を用いて行った。

表 2 の No.2 の授業では、小型デジタル比色計を用いて硝酸態窒素の検量線を作成し、実際に実習等で使用している畑から土を採取して硝酸態窒素の濃度を求めた。土の採取場所は、グループごと実習地の畑の中で自由に選択させた。ブロッコリーの根元の土を 2 グループ、大根

の根元の土を3グループが選択した。試料の採取場所については、各グループとも3メートル以上離れた場所を選んだ。硝酸態窒素の検量線の作成については、土から硝酸態窒素を抽出る過に30分ほどの時間がかかることを考慮し、ろ過作業の待ち時間にて行うこととした。また、授業時間の関係上、基準となる濃度の硝酸態窒素溶液については、筆者らが予め200ppm, 100ppm, 50ppm, 25ppmの濃度の硝酸態窒素溶液を準備した。硝酸態窒素の吸光度から検量線を作成する作業を行った。図17に、授業で使用したワークシートから抜粋した、土から硝酸態窒素を抽出る過し溶液を作成する手順(富士平工業株式会社の資料[13]を参考に作成)を示す。

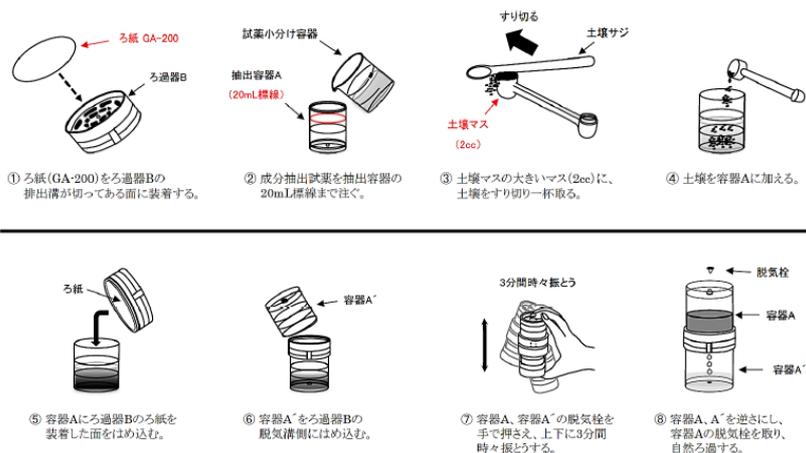


図17 土から硝酸態窒素を抽出る過し溶液を作成する手順

ろ過を終えた後、硝酸態窒素に色を付けるための操作を行った。呈色させた溶液は時間を置くごとに劣化が現れるため(吸光度の値が下がる)、呈色後すぐに小型デジタル比色計教材を使って吸光度の測定を行った。吸光度を測定した後、各グループで採取した土の硝酸態窒素濃度を求めた。図18に、授業で使用したワークシートから抜粋した、硝酸態窒素に色を付ける操作の手順(富士平工業株式会社の資料[13]を参考に作成)を示す。

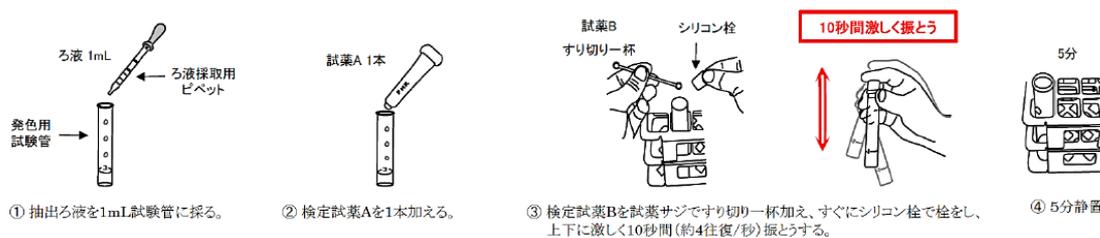


図18 硝酸態窒素に色を付ける操作の手順

5グループ全てで硝酸態窒素濃度を求めることができた。表3に授業で求めたそれぞれのグループが計測した硝酸態窒素濃度を示す。表3の結果と、日本での水道水の硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素の基準値が合計10mg/L以下であること[18]と比較した。その結果、畑では水道水の基準値を超えない硝酸態窒素の濃

表3 授業で生徒が求めた硝酸態窒素濃度

班	採取場所	吸光度	濃度(ppm)
1	ブロッコリーの根元	0.11	6.5
2	大根の根元	0.05	3.0
3	大根の根元	0.13	8.5
4	大根の根元	0.12	8.0
5	ブロッコリーの根元	0.06	3.5

度が出たが、作物を育てるため畑に肥料をまいたことが確認できる結果になったと考えられる。授業後にアンケートを行い、以下の質問Ⅰ～Ⅲの回答結果について述べていく。

- I. 授業の内容は理解できましたか。
- II. 本装置の計測原理を簡単に図や言葉で書いてください。
- III. 本装置を使って、実験してみたいことはありますか。

質問Ⅰに関しては、5件法（1 よく理解できた、2 理解できた、3 どちらでもない、4 分からず、5 全然わからない）で回答を求め、1と2は肯定的、4と5は否定的回答と分類した。11名の生徒全員が肯定的回答を示した。そのため、授業前には分光光度計を知らなかったほとんどの生徒達は、分光光度計の使用方法だけを学ぶのではなく、測定原理を理解するための授業を難しすぎると捉えることなく、理解することができたと考えられる。

質問Ⅱは、自由記述式で回答を求め、回答内容から筆者が本装置の計測原理を理解できたかどうかを判断し、評価を行った。質問Ⅱの結果、10名の生徒は本装置の測定原理を理解した図や、「水で測定した時と溶液を測定した時の光の差が濃度の差となる」、「LED から出る光をカラーセンサで読み取り、その間に溶液を入れて吸光度を測定する」といった言葉で説明できたと評価した。そのため、本装置を用いた授業を受けた生徒のほとんどは、本装置の測定原理を理解することができたと考えられる。

質問Ⅲは、自由記述式で回答を求め、回答内容から筆者が本装置の活用方法を理解し測定が可能な対象であるかどうかを判断し、評価を行った。質問Ⅲの結果、6名の生徒は「色々な種類の植物や野菜付近の土を比べてどれくらい差があるのか」、「スイカや野菜などのゴミなどが捨てられているコーナーの土壌」等と回答し、本装置の測定方法を理解した上での測定が可能な対象を考えることができたと評価した。また、残り5名の生徒はメロン果汁や雨水等の溶液を回答し、溶液を測定対象に考えることができたと評価した。そのため、生徒全員は溶液が測定対象であることを理解できており、生徒が土壌から抽出する活動も含む測定対象を思いつくこともできると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、高校生を対象とし、定量分析の測定原理が理解しやすく、また生徒自身で測定可能な小型デジタル比色計教材の開発を行った。本装置を用いることで、高校生が比色計の仕組みや、吸光度や検量線について学ぶことができたことがわかった。また、土壌中の硝酸態窒素の濃度を実際の畑の土から測定できることができたことがわかった今回の実践では、農業の環境負荷にまで授業で扱うことはできなかったが、開発した比色計を用いることで、濃度の計測の仕組みを理解し、計測できることから、科学的な理解や根拠を元に、土中の硝酸態窒素の濃度に関して学ぶことができる。計測場所を広げながら、土中の硝酸態窒素の濃度を計測することを繰り返すことにより、環境負荷に関する問題などを意識させることができると考える。さらに、高等学校工業編[19]に示されている、技術者としての態度や倫理観、解決する力を養うことができる教材につながると期待できる。

また、環境省は硝酸態窒素が環境中に溶け込むと、地下水・河川が汚染され、湖沼や沿岸海洋水域の富栄養化により、特定種生物の大発生（赤潮・緑潮）、無酸素水塊の形成等が起きたり、

多量の硝酸塩を含む飼料作物や牧草の摂取により、家畜が硝酸塩中毒で死亡したりする事例を報告している[20]。そのため、硝酸態窒素が影響する他の環境負荷の事例に対し本装置を用いることで、高等学校水産編[21]や農業編[22]でも環境の汚染状況を科学的にモニタリングする必要性を体験的に学ぶのにもつながると期待できる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、静岡県立藤枝北高等学校の鈴木裕貴教諭にご協力いただきました。紙面を借りて御礼を申し上げます。

## 参考文献

- [1] 坪田幸政・松本直記・杵島正洋：高校生と大学生を対象とした持続可能性に関する認識調査，日本科学教育学会第43回年会論文集，pp.379-380(2020)
- [2] 渡邊昭三：硝酸塩当代三題ばなし-環境・ブルーベビー症候群・家畜の中毒，獣医畜産新報，61(11)，pp. 917-930(2008)
- [3] 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成30年度告示），東山書房，p.287(2018)
- [4] 紺野昇・大塚淳子：コンピュータを活用した環境調査の教育実践，日本科学教育学会 年会論文集19，p.D117(1995)
- [5] 紺野昇・杉本良一・芝本和代：パソコンを用いた比色計による環境調査の教材化：大気中の粉塵調査とその実践，科学教育研究，第24巻，第4号，pp.240-247(2000)
- [6] 紺野昇・杉本良一・井上晴貴：パソコンを用いた比色計による環境調査の教材化 III -河川水のCOD測定-，鳥取大学教育学部研究報告 教育科学 第3巻 第1号，pp.55-74(1997)
- [7] 江口啓・須藤達也・杉村竜也・西ヶ谷浩史・紅林秀治：小・中学校における“ものづくり”教育のための手作り比色計の開発，電気学会論文A 130巻第1号，pp. 59-66(2010)
- [8] 井奥加奈・光永法明・任田康夫・種田将嗣：フォトランジスタを用いた簡易比色計の教材化，大阪教育大学紀要 人文社会科学・自然科学 第68巻，pp.149-155(2020)
- [9] 株式会社 島津製作所ホームページ：  
[https://www.an.shimadzu.co.jp/gc/support/faq/fundamentals/quantitative\\_method.htm#gc\\_2\\_4\\_3](https://www.an.shimadzu.co.jp/gc/support/faq/fundamentals/quantitative_method.htm#gc_2_4_3)  
(2021年10月25日確認)
- [10] 株式会社 日立ハイテクサイエンス：第3回 比色分析について，[https://www.hitachi-hightech.com/hhs/products/tech/ana/uv/basic/uv\\_course3.html](https://www.hitachi-hightech.com/hhs/products/tech/ana/uv/basic/uv_course3.html) (2020年12月21日確認)
- [11] 永川元. 自作簡易比色計による環境分析. 化学と教育,41(11),p.762 - 765(1993)
- [12] 吉村洋介. 光吸収を用いた溶液中の化学種の定量：[http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/ubung/yyosuke/uebung/light\\_abs03.htm](http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/ubung/yyosuke/uebung/light_abs03.htm) (2020年12月22日確認)
- [13] 富士平工業株式会社 農家のお医者さん（土壌養分検定キット）：  
<http://www.fujihira.co.jp/index.html> (2020年12月21日確認)
- [14] OSG5GP5111A PDF データシート：  
<https://akizukidenshi.com/download/ds/optosupply/OSG5GP5111A.pdf> (2021年10月21日確認)
- [15] @Press 圧倒的な黒さを誇るペンキ：<https://www.atpress.ne.jp/news/187339> (2020年12月21日確認)

- [16] TWELITE 無線マイコンデータシート : <https://mono-wireless.com/jp/products/TWELITE/MW-PDS-TWELITE-JP.pdf> (2021年7月19日確認)
- [17] Data Streamer とは : <https://support.microsoft.com/ja-jp/office/data-streamer-%E3%81%A8%E3%81%AF-1d52ffce-261c-4d7b-8017-89e8ee2b806f> (2021年7月19日確認)
- [18] 厚生労働省 : 水質基準項目と基準値 (51項目) : <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html> (2021年10月28日確認)
- [19] 文部科学省 : 高等学校学習指導要領 (平成30年度告示), 東山書房, p.241(2018)
- [20] 環境省 : 硝酸性窒素等による地下水汚染対策マニュアル, [https://www.env.go.jp/water/chikasui\\_jiban/conf/manual\\_1.pdf](https://www.env.go.jp/water/chikasui_jiban/conf/manual_1.pdf) (2021年10月17日確認)
- [21] 文部科学省 : 高等学校学習指導要領 (平成30年度告示) 東山書房, p.356(2018)
- [22] 文部科学省 : 高等学校学習指導要領 (平成30年度告示) 東山書房, p.212(2018)