

利用センサに対する汎用性の高い IoT 教材の設計と運用

- 中学校理科「植物のからだのつくりとはたらき」単元への適用事例 -

神田 悠作^{*1}, 香山 瑞恵^{*1}, 舘 伸幸^{*2}, 永井 孝^{*3}, 加藤 孝明^{*1}, 清水 峻司^{*4}

^{*1} 信州大学大学院, ^{*2} マイクロエデュケーション, ^{*3} ものづくり大学, ^{*4} 信州大学

Design and Application of an IoT Teaching Materials with Flexibility in Available Sensors

- A Case Study of Science in Junior High School -

Yusaku KANDA ^{*1}, Mizue KAYAMA^{*1}, Nobuyuki TACHI^{*2},
, Takashi NAGAI^{*3}, Takaaki KATO^{*1}, Takashi SHIMIZU^{*4}

^{*1} Graduate School of Science & Technology, Shinshu University

^{*2} Micro Education, ^{*3} Institute of Technologists,

^{*4} Shinshu University

あらまし：本研究の目的は、授業ニーズに適応的な IoT 教材の導入による正規授業の効率化と高度化である。本稿では、利用センサに対する汎用性を意識した IoT 教材の設計と学校での運用成果として、中学校理科での適用事例を示す。

キーワード: IoT 温度・照度・酸素濃度・二酸化炭素計, 理科, 連続計測, 教育用 IoT 基盤

1. はじめに

現在、小中学校でコンピュータやタブレットを利用することが増えている⁽¹⁾。文部科学省が示した「児童生徒 1 人 1 台コンピュータの実現を見据えた施策パッケージ」によれば、令和 5 年度までに児童生徒 1 人 1 台コンピュータを実現するとある⁽²⁾。この政策により教育の情報化が一層図られる。

本研究の目的は、授業ニーズに適応的な IoT 教材の導入による正規授業の効率化と高度化である⁽³⁾。ここでの授業ニーズとは以下の 4 点を指す。

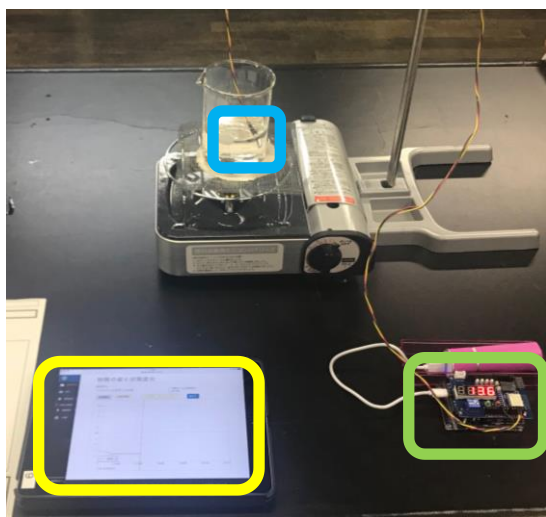
1. 様々な計測単位のデータを扱えること
2. 実験・授業形態に合わせ、計測データの可視化がされること
3. 計測データの可視化手法をユーザが決定できること
4. 同時に複数の学校・クラスで使えるよう安定したサービスを提供すること

2018 年度より、主として中学校を対象に、理科「状

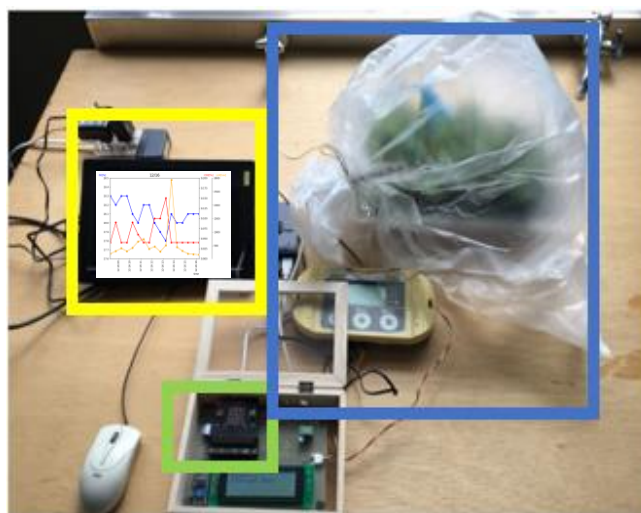
態変化」・技術科「植物育成」等の単元での教材運用を継続してきた⁽⁴⁻⁶⁾。本稿では、特に授業ニーズ 1. に対する解決策となる利用センサに対する汎用性の高い教材の設計成果と授業適用について述べる。この授業運用は、新たな単元：中学校理科「植物のからだのつくりとはたらき」を対象とした。以降、提案教材のシステム構成、授業ニーズ 1. を意識した改良のための設計、改良教材による公立中学校での運用成果と考察、そして今後の課題について示す。



図 1 提案教材の構成概要

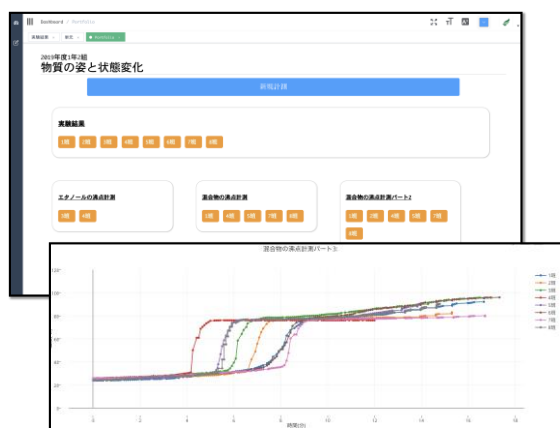


(a) 理科「状態変化」単元での教材利用
(センサ：デジタル温度センサ，計測デバイス：Arduino Leonardo，クラウド：MilkCocoa，可視化アプリ：専用 Web サイトをタブレットで利用)

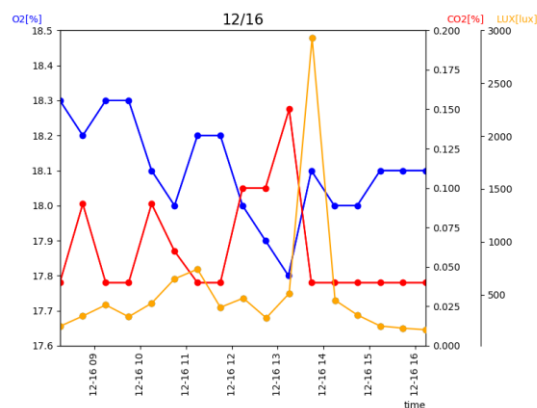


(b) 技術科「植物育成」単元での教材利用
(センサ：酸素・二酸化炭素濃度計とデジタル照度計，計測デバイス：micro:bit と Raspberry Pi[画角外]，クラウド：Firebase，可視化アプリ：ローカル端末上の可視化ツールを Raspberry Pi 用小型モニターで利用)

図 2 提案教材の適用例



(a) 理科「状態変化」単元での参照例



(b) 技術科「植物育成」単元での参照例

図 3 可視化システムの参照例

2. 提案教材の運用事例

提案教材は教育用 IoT 基盤と可視化システムで構成される。本章では，教育用 IoT 基盤の構成と可視化システムのこれまでの運用について述べる。

2.1 教育用 IoT 基盤の構成

教育用 IoT 基盤を構成する要素は，計測用デバイス，センサ，クラウドであり，クラウド上の計測データを可視化システムから参照する。これらの構成要素の関係を図 1 に示す。以降，センサは青色，計測用デバイスは緑色，可視化アプリは黄色で表現する。計測用デバイスに接続されたセンサで対象物の要素を計測する。計測された結果は計測用デバイス(およびクラウド送信用デバイス)を介して学校 Wi-Fi からクラウドへ送

信される。クラウド内では学校・教科・単元・実験等と紐づき，送信データが管理される。教材利用者である教師や生徒は Wi-Fi に接続されたタブレットや PC 等の端末，あるいは計測(送信)デバイスから可視化システムを利用する。

2.2 理科「状態変化」単元への適用

IoT 教材を中学校理科「状態変化」単元へ適用した例を示す(4,5)(図 2(a)参照)。この単元では，純粋な物質と混合物の沸点計測の実験を行う。提案教材の構成は，センサは温度センサ(DS18B20)，計測用デバイスは Arduino Leonardo に enPiT Sheild⁽⁷⁾を追加したもの，クラウドデータストアは MilkCocoa，可視化システムは専用 Web サイトであり，タブレットからアクセスしている。

図 3(a)に可視化の事例を示す。アルコール濃度が異なる 8 種類の混合物に対する沸点計測の結果が参照されている。ここでは 1 クラスで 8 班の計測が同時になされた結果が、グラフを重ね合わせる形式で可視化されている。可視化された個々のグラフは、図 2(a)中の可視化アプリ(黄色枠)でリアルタイムに示されていたものである。リアルタイムでは特定班の結果のみが参照され、実験終了後はクラス全体の計測結果が参照可能となる。ここでは 10 秒間隔で計測された結果が参照されている。アルコールの混合比率が異なる各混合物の沸点変化を読み取ることができ、相互比較が可能となる。

2.3 技術科「植物育成」への適用

IoT 教材を中学校技術科「植物育成」単元へ適用した例を示す⁽⁶⁾(図 2(b)参照)。この単元では植物の育成に適した環境条件を検討する学習活動がなされる。この事例では計測・計測データのクラウドへの蓄積・計測結果の参照が非同期でなされた。提案教材の構成は、センサは、デジタル光センサ(TSL2561)と酸素・二酸化炭素濃度センサ(GOCD-1)、計測用デバイスは micro:bit と Raspberry Pi (クラウドへのデータ送信デバイス)、クラウドは Google Firebase、可視化アプリは Raspberry Pi 内の可視化ツールであり、Raspberry Pi 用小型モニタで計測結果を確認している。

図 3(b)に可視化ツールの内容を示す。ここではセンサでの計測結果がクラウドへ送信前にリアルタイムで参照されている。ここでの計測データは計測とは非同期でクラウドに蓄積された。ここでは 30 分間隔での計測結果が参照されている。照度(オレンジ線)が高くなると、二酸化炭素濃度(赤線)が減り、酸素濃度(青線)が増える様子が読み取れる。光と光合成の関係が定量的に示され、エビデンスに基づく植物育成に適した環境の考察が可能となる。

3. 提案教材の改良

本章では、これまでの提案教材の課題を整理し、改良のための設計・実装の成果について示す。

3.1 提案教材の課題

本節では、これまでの教材運用を通して得られた本

教材の課題を示す。

3.1.1. 計測用デバイスの管理

授業ニーズ 4.に対応するために、計測用デバイスの管理方法を改善する必要が生じた。それは、本教材では計測用デバイス ID を利用者が指定して計測結果を参照するからである。管理者のみならず利用者にも計測用デバイス ID が明示される等、デバイス管理の簡潔化が求められる。

3.1.2. 利用センサの組み合わせの多様化

授業ニーズ 1.に対応するために、計測用センサを利用者が自由に指定・選択・変更できるように改善する必要が生じた。従来教材では、利用者からのニーズに応じて適用単元毎に使用センサを選定し、関連するプログラムを計測用デバイスに書き込んでいた。しかし、この方法では、同一学校内で異なる教科・単元に本教材を同時期に適用しようとした際、プログラムの書き換えが生じるため、教材運用上の不都合があった。利用センサの組み合わせが変わる場合にも、プログラムを書き換える必要がないように、計測用デバイスのプログラムを工夫することが求められる。

3.1.3. センサと計測用デバイスの接続方法の多様化

提案教材で利用するセンサ種が増加したことにより、センサと計測用デバイスの接続方法も多様化する。あらゆるセンサの接続方法に全て対応することは難しい。そのため、センサと計測用デバイスの接続方法を統一する、あるいは必要最小限の規格を選定することが求められる。

3.2 設計

本節では、3.1 の課題をふまえて新たに設計した教育用 IoT 基盤の概要を示す。

3.1 の課題を解決するために、ディスプレイを備えた小型マイコンである M5Stack を計測デバイスとすることとした。M5Stack による計測デバイスを中心とした教育用 IoT 基盤の設計成果の概要を図 4 に示す。構成はセンサ、M5Stack with Plus Encoder Module (以下、M5)、クラウド(Google Firebase)である。

この基盤でのセンサ接続インタフェースは、1-Wire、I2C、UART の 3 種とした。利用センサとしては、照度センサ・温度センサ・酸素二酸化炭素濃度センサを想定する。

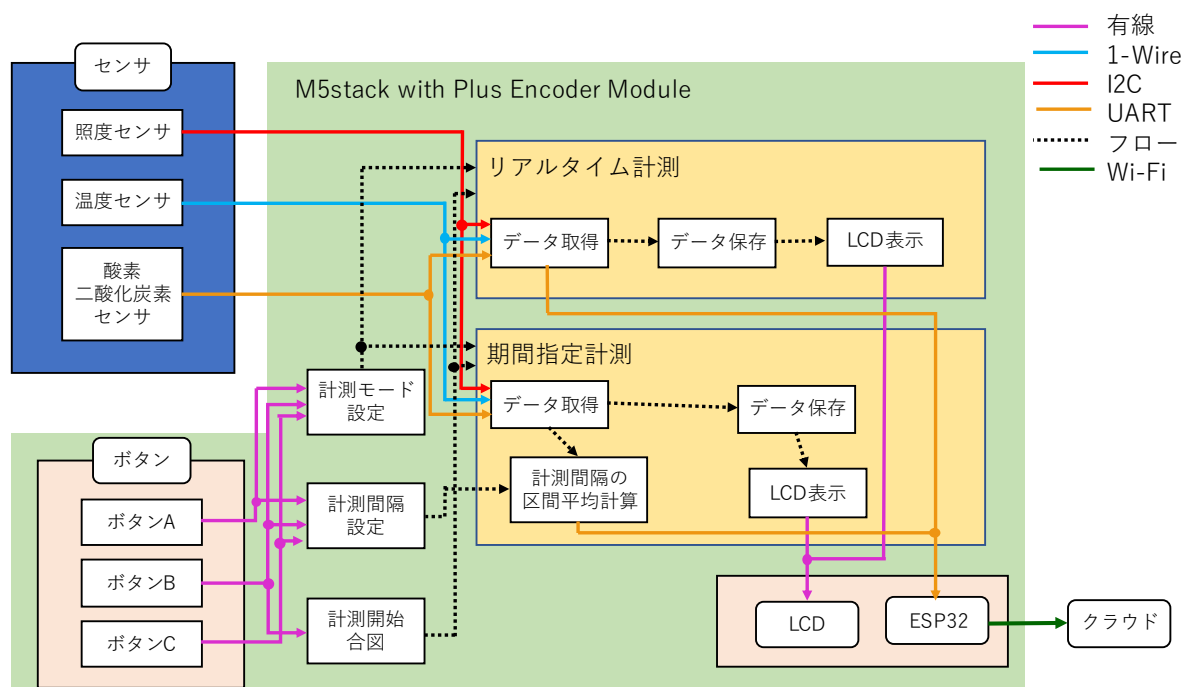


図 4 計測デバイスを中心とした教育用 IoT 基盤の設計概要



(a) Wi-Fi 接続中画面



(b) 計測開始画面



(c) 計測中画面

図 5 計測用デバイスのモニタ上の表示例

M5 では、計測モード・計測間隔の設定を行う。計測モードとはリアルタイム計測と期間指定計測の 2 種である。これらのモードでは計測間隔が異なる。リアルタイム計測では 2 秒間隔(デフォルト)で、期間指定計測では 4 種(5 秒・10 秒・5 分・30 分)から選択可能である。期間指定計測の内、5 分間隔の計測では 1 分毎の区間平均、30 分間隔の計測では 5 分毎の区間平均が計算される。

教材起動後は、Wi-Fi への接続とクラウドへの接続が確認され、M5 上のボタン操作により計測と送信が開始される。M5 は接続されているセンサの計測値を取得し、LCD 小型モニタへの表示と ESP32 を使用したクラウド送信を行う。

3.3 実装

3.3.1 教材構成例

図 6 に教材構成の例を示す。図 6(a)はセンサと計測デバイスの外観である。計測用デバイス(緑枠)は M5 である。センサ(青枠)は照度センサ(TSL2561)、温度センサ(DS18B20)、酸素・二酸化炭素センサ(GOCD-1)である。これら 3 種のセンサには教育現場で利用するための加工を施した。照度センサは卓球玉を用いて減光処理をした。温度センサは熱収縮チューブで防水処理をした。酸素・二酸化炭素センサは UART 通信用端子を加工した。そしてこれら 3 種のセンサを GROVE 接続で M5 と接続する。

この教材での計測結果を参照した様子を図 6(b)に示す。グラフの線は、緑色が照度(Lux)、青色が温度(℃)、



(a) センサと計測デバイス



(b) 計測結果の参照例

図 6 教材構成例

赤色が酸素濃度(%), オレンジ色が二酸化炭素濃度(%)である。図 3 の参照例とは異なり, ここでは参照対象期間の日時を指定している。その期間での計測値の平均値が図 6(b)上部に表示されている。また, 中央のグラフ下部に示された縮小表示グラフ内の区間指定バーにより, 中央のグラフで参照している期間内の特定区間をより詳細に表示できる。

3.3.2 計測デバイスの画面表示

計測デバイスのモニタ表示例を図 5 に示す。計測デバイス起動後, 計測デバイス ID が表示される。この表示は計測デバイスでの計測が開始されるまで表示され続ける。計測デバイスは起動後に Wi-Fi 接続を試みる (図 5(a))。Wi-Fi に接続されるとクラウドへの接続を試みる。クラウド接続中には図 5(a)の「Connecting to Wi-Fi」が「Connecting to Firebase」に変わる。クラウドへの接続を完了すると計測デバイスに接続されているセンサの確認がなされ, 計測開始待機状態となる(図 5(b))。この例では図中の「lux」表示により照度センサのみが接続されていることが分かる。「press」の矢印で指示されているボタンを押下するとセンサでの計測と計測値のクラウド送信が開始される(図 5(c))。

計測中に左ボタン(ボタン A)を長押しすることで計測モードを変更できる。また, 期間指定計測の最中に中央ボタン(ボタン B)を長押しすると計測間隔の変更が随時行える。

3.4 新構成の利点

本節では, 前節までの改良による利点を示す。

3.4.1. 計測用デバイスの変更

2 章で示した従来教材の計測用デバイスは Arduino Leonardo と micro:bit であった。これを新構成では M5 に変更した。この変更により実現するのは, 教材状態の詳細表示と microSD カードの使用である。

教材状態の表示に関して, 従来教材では Arduino Leonardo に組み合わせた enPit Shield 上の 4 桁の 7 セグ LED を使用していた。micro:bit では小型モニタを外付けしていた。これに対して M5 は小型 LCD モニタ(320 x 240 カラー)を内蔵しており, 教材状態を表示する自由度が増した。利用者に対して提示する情報を増やすことが容易になる。

microSD カードが使用可能になったことで, ネットワークセキュリティが向上する。従来は学校 Wi-Fi の SSID とパスワードを個々の計測デバイス用プログラムにハードコーディングしていた。これを新構成では利用者が microSD カードに書き込む仕様に変更した。これにより, IoT 教材利用時でも学校 Wi-Fi の情報を学校関係者のみで管理できるようになる。

3.4.2. Wi-Fi 接続とクラウド接続の確認

従来では計測デバイスが Wi-Fi に接続されたら利用者に通知する仕様であった。この仕様では, 計測結果が可視化アプリで参照できない場合に, 問題個所が Wi-Fi 接続かクラウド接続のどちらにあるのか判断できない。これを新構成では Wi-Fi 接続の様子(接続中と接続完了)とクラウド接続の様子(接続中と接続完了)を利用者に通知する仕様に変更した(図 5 参照)。また, M5 でのクラウド接続時の認証手続きを暗号化したことで, クラウドの fingerprint 更新時にも接続用プログラムの書き換えを不要にした。

3.4.3. センサ接続

従来では計測用デバイスとセンサの接続に際して, 計測用デバイスのインタフェースに合わせたアダプタを作成したり, ジャンパ線等を用いたりしていた。こ

れを新構成では M5 の Plus Encoder Module を使用することとした。これにより GROVE 接続用端子(I2C 通信, UART 通信, GPIO 用)が 3 口利用可能となる。異なる通信方法のセンサであっても GROVE 接続が可能になった。

4. 授業での運用成果

本章では、中学校正規授業へ新構成教材を適用した成果を示す。

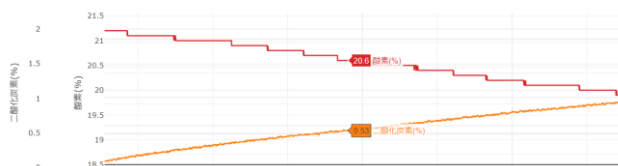
4.1 教材の使用方法

2021 年 10 月に長野県伊那市の公立中学校において新構成の IoT 教材を正規授業に適用した。適用対象は理科「植物のからだのつくりとはたらき」であり、中学生 2 年生 36 名向けに授業が展開された。

対象授業では、葉大根の葉・茎・根における呼吸と光合成の条件が検討された。生徒は光の有無による呼吸と光合成の発生の有無を予測した。教師はあらかじめ本教材を用いて、光の有無の条件ごとに各部位での酸素・二酸化炭素濃度の時間変化を計測しておいた(図 7 参照。左の袋が茎、右の袋が根)。図 8 に葉大根の根の計測結果を示す((a)が明るいところでの計測結果、(b)が暗いところでの計測結果)。



図 7 教師による事前計測の様子
(左：葉大根の茎、右：葉大根の根)



(a) 明るいところ

4.2 授業での利用の様子

授業では、植物の部位(葉・茎・根)における光の有無による呼吸と光合成の有無を予測する課題が提示された。多くの生徒の予想は、「葉と茎に関しては明るいところでは光合成をするため、酸素濃度が上昇し二酸化炭素濃度が減少する」であった。しかし、根に関しては、明るいところで酸素濃度が上昇するか減少するかで意見が分かれた。その後、教師から図 8 に示す計測結果が提示された。この計測結果より、根は明るいところでも暗いところでも時間経過に伴い二酸化炭素濃度が上昇するので、光合成ではなく呼吸をしているということが説明された。この説明を受け、各生徒は授業のまとめをしていた。その際に、授業資料として提示されたグラフ資料を、生徒が自分のタブレットから参照している様子を図 9 に示す。提案教材での計測結果は、教師による説明のみならず生徒による考察時にも参照されていた。

4.3 教材の機能評価

この適用事例において、3.1 で示した課題は解決され、3.4 で示した利点は効果を示した。また、この適用事例では、提案教材による植物育成用簡易ビニルハウス内での長時間連続計測も試みた。図 6(b)では 10/4～

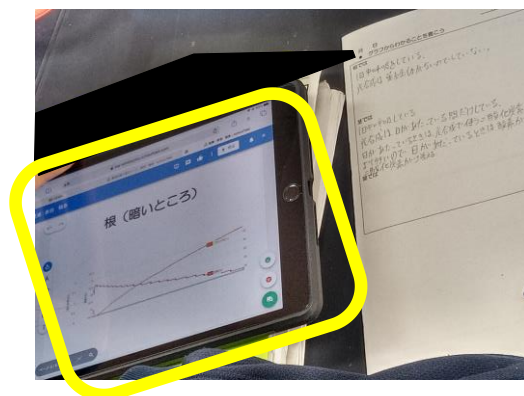
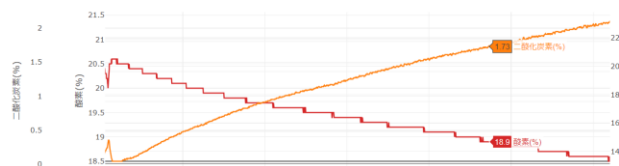


図 9 生徒による計測結果の利用の様子
(根「暗いところ」の資料を自身の
タブレット端末で参照している)



(b) 暗いところ

図 8 葉大根の根の計測結果
(オレンジ線：二酸化炭素濃度、赤線：酸素濃度)

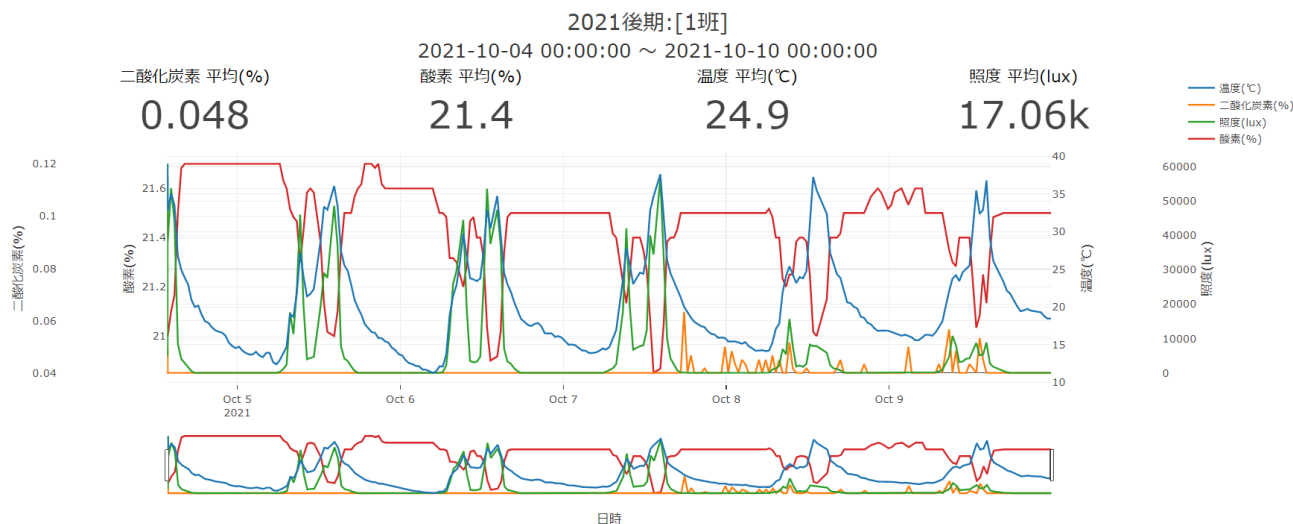


図 10 光合成の様子が確認できなかった計測例

10/19 の約 2 週間の計測結果が示されている。これにより本教材では長時間連続計測は可能であることが示された。

このうち、10/4～10/10 の計測結果を図 9 に示す。ここに示す計測結果では、照度(緑線)が低い時には酸素濃度(赤線)は高い値を維持することは示されるが、二酸化炭素濃度の変化は読み取れない。これは、計測場所とした簡易ビニルハウスの密閉度が低かったことが原因であった。ビニルハウスに常に新しい空気が入ってくる状況では、昼夜での温度と照度の変化は計測データから読み取れるが、酸素濃度と二酸化炭素濃度の時間変化は期待された結果とはならなかった。

5. 考察

本教材による授業運用によって、酸素濃度・二酸化炭素濃度の時間変化と、植物の光合成・呼吸を関連付けた考察が可能となった。従来は、二酸化炭素の存在を石灰水の濁りの有無で確認していた。これに対し、具体的な時間変化をグラフとして提示することで生徒の納得感が増し、授業内容への理解が深まったことが推察された。また、根が明るいところで光合成をするかという問題に対して、生徒間で活発な意見交換があった。本教材は公立中学校において、理科での発展的な内容を授業で取り上げる際の一助となり、授業の高度化を実現する可能性を見いだした。

また、対象物の計測に関して教師が常に温度を見ながら記録する必要がなくなったことから、授業準備の効率化が図られたと考えられる。また、技術科の学習

活動として行われていた、生徒によるビニルハウス内の温度計測は、本教材のよる代替が可能となる。従来は各生徒が 1 日に始業前 1 回だけ計測していたのに対して、本教材により連続計測することで、昼夜の変化や日ごとの変化を考察しやすくなる。生徒の計測が容易になるだけでなく、より詳細な計測が可能になり、授業の効率化と高度化が図られることが期待される。

従来教材を改良し、新構成の教材とした結果、個々の計測デバイスへのプログラムの書き込みは 1 回で済むようになり、計測デバイス等の管理が容易になった。これにより、提案教材を実践校に提供した後は、実践校において microSD カードにネットワーク情報を書き込むだけで教材を利用できるようになる。教材利用途中で、計測用センサの組み合わせも変更可能である。

6. おわりに

本稿では、利用センサに対する汎用性を高めた教材の設計と、中学校理科「植物のからだのつくりとはたらき」単元に提案教材を適用した成果について述べた。その結果、提案教材を使用することで、生徒の授業内容へ理解の深まりが担当教師により確認された。また、提案教材の汎用性が高まったことも運用者により確認された。今回、教材を適用した「植物のからだのつくりとはたらき」単元では、授業運営の効率化と学習内容の高度化が図られた。今後は、他単元や他科目へ提案教材を適用することでの、正規授業の効率化と高度化の可能性を引き続き検討していく。また、計測結果の参照方法の柔軟化と共に、教育用 IoT 基盤と可視化

システムのさらなる改善と授業運用事例の蓄積を進めていく。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 16H03074 の助成を受けた。

参 考 文 献

- (1) 文部科学省 “GIGA スクール構造の実現に向けた ICT 環境整備の進捗状況について(速報値)”, https://www.mext.go.jp/content/20210315-mxt_jogai01-000009827_001.pdf, (2021/11/22 アクセス)
- (2) 文部科学省 “教育の情報化～GIGA スクール構想の実現～”, https://www.mext.go.jp/content/20200626-mxt_kyoikujinzai01-000008282-5.pdf, (2021/11/22 アクセス)
- (3) 等々力崇史:授業ニーズに適応的な IoT 教材の管理環境の設計に関する研究, 信州大学大学院修士論文, 2020.
- (4) Takafumi Todoriki, Mizue Kayama, Nobuyuki Tachi, Takashi Nagai, Takao Futagami, Takehiko Asuke: Proposal of IoT based Learning Material and its Management System for Primary/Secondary Education, Proc. of the 3rd International Conference on Digital Technology in Education, pp.168–171, 2019.
- (5) 等々力崇史, 香山瑞恵, 館伸幸, 永井孝, 二上貴夫, 足助武彦:中等教育向け IoT 教材のための BaaS による情報管理基盤の設計, 第 44 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp.137-138, 2019.
- (6) 山崎進, 館伸幸:実験的オンライン実技実験講義～北九州市立大学 国際環境工学部のチャレンジ, 大学等におけるオンライン教育とデジタル変革に関するサイバーシンポジウム 第 10 回講演資料, https://www.nii.ac.jp/event/upload/20200605-6_Yamazaki.pdf (2021/11/22 アクセス)