

初等中等学校での利用を想定した IoT 教材基盤の提案

等々力 崇史^{*1}, 香山 瑞恵^{*2}, 舘 伸幸^{*3}, 永井 孝^{*4}, 二上 貴夫^{*5}, 足助 武彦^{*6}

^{*1} 信州大学大学院総合理工学研究科, ^{*2} 信州大学工学部,

^{*3} 名古屋大学組込みシステム研究センター, ^{*4} ものづくり大学技能工芸学部,

^{*5} 東陽テクニカ, ^{*6} 伊那市立東部中学校

Proposal of IoT based Learning Material and its Management System for Primary/Secondary Education

Takafumi TODORIKI^{*1}, Mizue KAYAMA^{*2}, Nobuyuki TACHI^{*3}, Takashi NAGAI^{*4},
Takao FUTAGAMI^{*5}, Takehiko ASUKE^{*6}

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

^{*2} Shinshu University Faculty of Engineering,

^{*3} Nagoya University, Center for Embedded Computing Systems,

^{*4} Institute of Technologists Department of Mechanical and Production Engineering,

^{*5} TOYO Corporation, ^{*6} Ina City Toubu Junior Highschool

本研究の目的は、初等中等学校の正課授業での利用を想定した IoT 教材基盤の構築および IoT 教材の利用による授業支援である。これまでに計測を伴う実験に利用される教材の IoT 化と、教材を統合管理する管理基盤のプロトタイプ構築を行い、中学校での正課授業への適用をし、評価を行った。本稿では、初等中等学校における授業を想定した IoT 教材基盤の概要、および運用成果に基づく問題点の整理について述べる。

キーワード: IoT, タブレット, 教材評価, 基盤設計, 授業評価

1. はじめに

近年 IoT(Internet of Things)への注目が高まっている。IoT とは身の回りの様々な「モノ」がインターネットに繋がることで情報の発信主体が「モノ」となる仕組みであり、観光や医療をはじめ様々な分野への IoT 活用が進んでいる。

教育分野では、学習指導要領の改定により、文部科学省の「教育の情報化の推進」⁽¹⁾や総務省の「教育クラウドプラットフォーム」⁽²⁾で提唱されるように、初等中等教育において情報活用能力の育成やクラウドを利用した学習の効率化および高度化が図られている。また N 県 I 市では ICT を活用し地域による学習格差の解消を図る取り組みが進められている⁽³⁾。

本研究では、初等中等学校において、IoT を活用して学習の効率化および効率化を図ることを目的として

いる。本稿では、IoT 教材基盤の概要および運用実績に基づく基盤評価について述べる。

2. IoT 教材基盤について

図 1 に IoT 教材基盤の概要を図 1 に示す。本研究で提案する教材基盤では、センサで計測された値は、制御デバイスによって Wi-Fi あるいは 3G を介してクラウドへ格納される。クラウド内のデータは CMS(Contents Management System)で構成されたデータ管理システムに取り込まれ、管理される。CMS 内では教育用途に利用することを前提とし、関連情報と計測データの管理方法が工夫される。CMS 内の情報は計測結果を可視化するツールから参照され、学習活動に利用される。

提案基盤のモデル図を図 2 に示す。以下、図 2 中の教材基盤オブジェクトについて説明する。

2.1 シラバス

シラバスでは、実験内容の登録をする。実験内容は単元と結びついており、さらに年度・科目をメタ情報として持つことで実験を作成する。シラバスで登録された実験内容からポートフォリオを作成し、実験を行なっていく。

2.2 デバイスマネージャ

デバイスマネージャでは、計測時に扱う計測機器の登録をする。デバイスクラスで計測機器の ID もしくはクラウドデータストアの格納先ノード名をメタ情報とし、計測機器の登録をする。登録された計測機器を実験時に選択することで、メタ情報よりクラウドの特定のノードからデータを取得する。これにより特定の計測機器のデータの抽出が可能となり、抽出データの可視化が実現する。

2.3 ポートフォリオ

ポートフォリオでは、実験データの管理をする。生徒が実験時に利用するオブジェクトである。

シラバスによって登録された単元から、単元に対する実験ページを生成する。実験時に生徒は実験ページから、デバイスマネージャで登録された計測機器を選択することで、計測機器で計測されたデータをグラフとしてリアルタイム表示画面で確認することが可能となる。リアルタイム表示画面では、計測データの可視化と共に保存も可能である。保存後の計測データは計測した班や実験名等のメタ情報によって実験後に参照

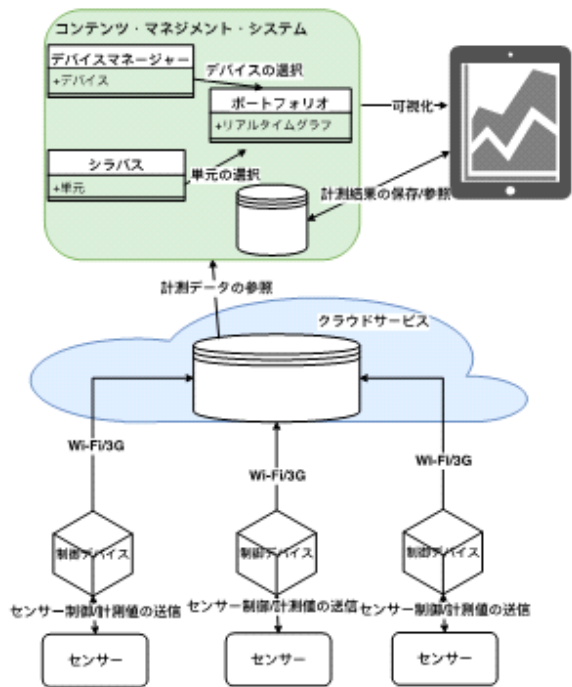


図 1 IoT 教材基盤の概要

可能であり、自班の他の実験の計測データや他班の計測データ、さらに他校の計測データと比較することができる。

3. IoT 教材基盤のプロトタイプ

2 章で示した IoT 教材基盤の設計のもと、プロトタイプの実験ページを作成を行った。図 3 にプロトタイプ教材を示す。図上部は Web ベースの可視化ツールであり、図下部はセンサと制御デバイスである。ここではセンサとしてデジタル温度センサである DS18B20、制御デバイスとして Arduino Leonardo に Wi-Fi モジュール付きシールドも取り付けられたものを利用している。Plone⁽⁴⁾を利用した CMS にシラバス、ポートフォリオとデバイ

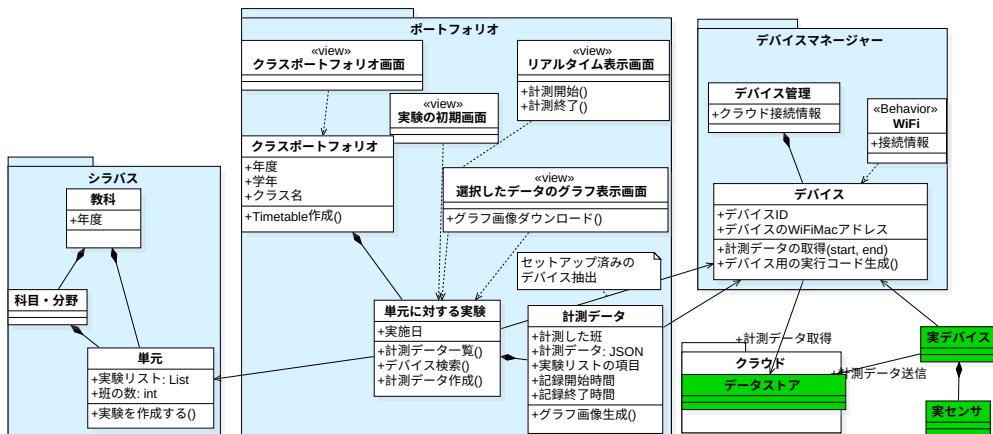


図 2 IoT 教材基盤のモデル図

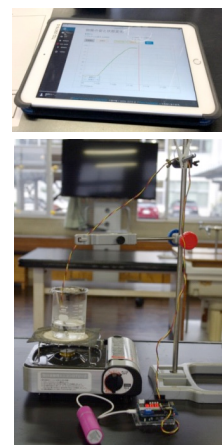


図 3 プロトタイプ教材

スマネージャを実装した。クラウドには Milkcocoa⁽⁵⁾を使用した。CMS ではデバイススマネージャで登録された計測機器を選択することでクラウドのデータストアからデータを取得し、可視化ツール上に表示する。利用者に対して、シラバスで登録された単元に対応する計測データの保存と保存後データの参照をポートフォリオで行う。

図 4 に可視化ツールの画面例を示す。これらの画面を用いて、提案基盤の利用フローを以下に示す。

1. シラバスに登録された単元の実験ページにおいて、図 5(a)に示すグラフ表示のための選択画面で、行う実験名、生徒が所属する班、班で扱う計測機器を選択する。
2. 1.で選択された計測機器で計測された温度がリアルタイムグラフ表示される。
3. リアルタイムのグラフ表示画面を図 5(b)に示す。グラフ表示画面において、計測開始を選択することで、選択した時間からの計測温度の記録が始まる。
4. 3.で計測開始を選択すると、計測開始ボタンが計測停止ボタンに変わる。計測停止を選択することで、選択した時間までの計測温度を記録し、保存ができるようになる。保存するときメモを記述することで、実験の様子などのメモをグラフと一緒に保存される。

5. 保存したグラフの閲覧画面を図 5(c)に示す。グラフとともにメモも閲覧できる。グラフの上にカーソルを合わせることで、プロットされた温度を確認できる。保存されたグラフが複数存在する場合、図 5(c)中の矢印で指し示している部分を選択することでグラフの重ね合わせ表示ができる。

4. IoT 教材基盤の評価

4.1 評価運用

IoT 教材基盤を評価するために、3章で示したプロトタイプを用いて、中学校理科「状態変化」単元を対象として、2017年3月から2018年7月までの4ヶ月間にわたり、提案基盤を運用した。実施校は I 市立中学校3校11クラスである。3校共、従来の実験手法による沸点計測を実施後に、提案基盤を用いた実験を行わせた。実施された実験は以下の4種である。

- 水の沸点の計測
- エタノールの沸点の計測
- 水とエタノールからなる混合物の沸点の計測
- 混合物の蒸留

「状態変化」単元のねらいは、「物質は融点や沸点を境に状態が変化することや、融点や沸点は物質によって決まっていること、融点や沸点の測定により未知の物質を推定できることを理解させるとともに、混合



図 4 可視化ツールの画面例

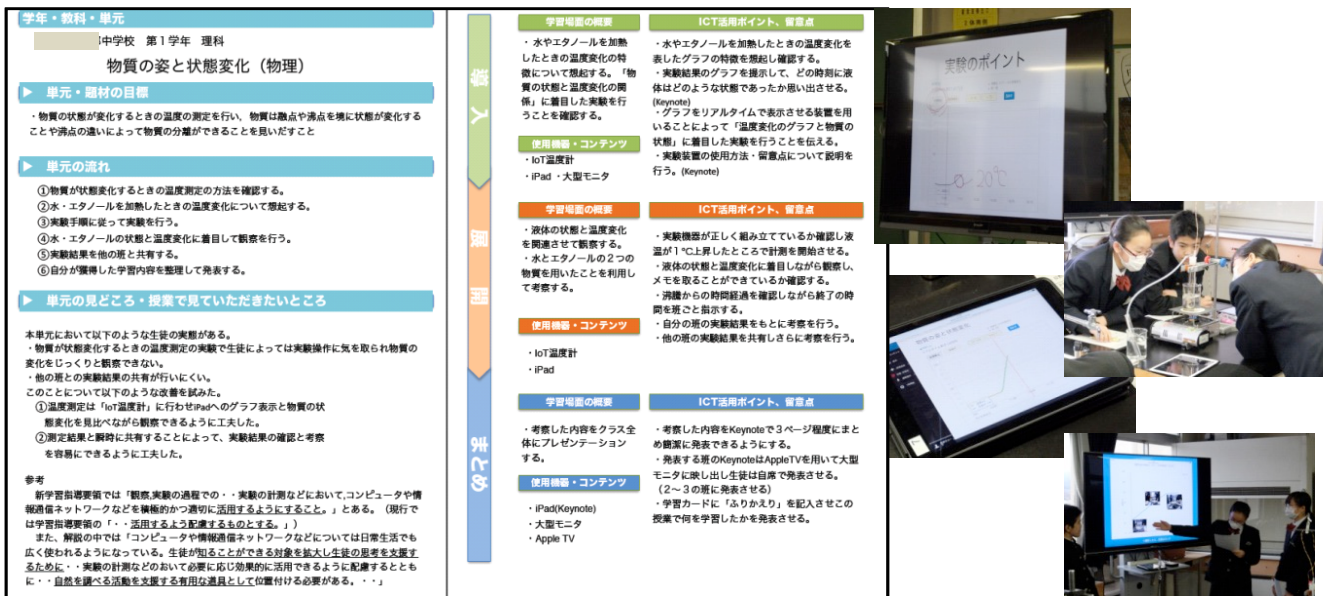


図5 IoT教材基盤を用いた授業の指導案と実際の授業の様子

物を加熱する実験を行い、沸点の違いを利用して混合物から物質を分離できることを見いだして理解させること⁽⁶⁾である。一般に複数名で構成される実験グループにおいて、従来の実験手法では個々の生徒は以下の役割を担う。

- 時間を計測する
- 温度計の数値を読み取る
- 読み取られた数値からグラフを作成する
- 物質の様子を観察する

提案教材基盤を利用した理科教員へのヒアリングの結果、従来の実験手法では以下のような問題があるとのコメントが複数寄せられた。

- 実験中に分担する作業が多く、生徒は物質の変化の観察に集中できない、
- 目視で温度測定をするため、読取データが不確かであることが多い
- 計測結果のグラフは紙媒体に記述されるため、他の実験・班との比較が容易でない

提案教材基盤を利用することでこれらの問題の解決を期待される。

4.2 授業構成

今回、提案基盤を利用した学校では、従来の実験手法を用いる場合、1種の実験に対して、実験1時限と考察1時限の2時限が割り当てられることが一般的であったという。提案基盤を用いることで、1種の実験に割

状態変化:

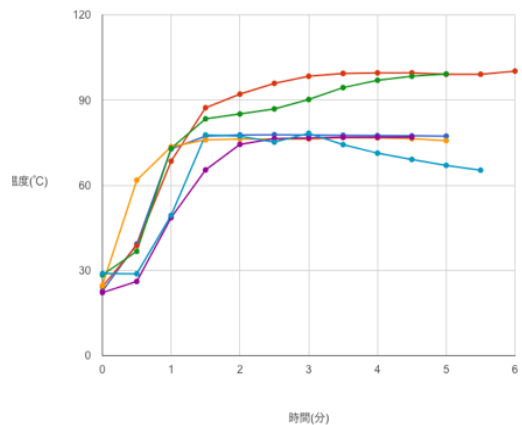
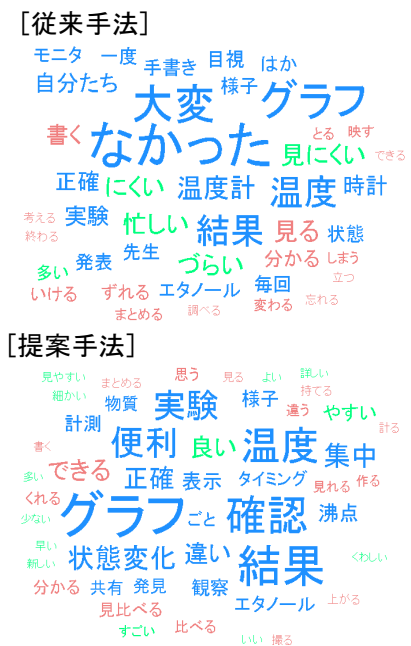


図6 温度変化グラフの重ね合わせ結果

り当てる時限数は1時限となった。提案基盤を用いた授業の指導案と実際の授業の様子を図5に示す。図左が指導案、図右部が実際の授業の様子である。

この授業では、エタノールと、エタノールと水の混合物の沸点計測が行われた。指導案によれば、導入部では水やエタノールを加熱したときの温度変化を表したグラフの特徴を想起し確認する。プロトタイプ教材を使用することによって「温度変化のグラフと物質の状態」に着目した実験を行うことを伝える。展開部では、液体の状態と温度変化を関連させて観察する。この時、タブレット端末での液体の状態の撮影やメモの記述しながら観察を行う。実験後に自分の班の実験結果をもとに考察を行う。さらに他の班の実験結果を共有し考察を行う(図6参照)。まとめ部では、考察した内容をクラス全体に発表する。展開時にまとめた考察



名詞			動詞			形容詞		
before	単語	after	before	単語	after	before	単語	after
50	グラフ	50	11	できる	89	95	多い	5
46	結果	54	87	見る	13	100	見にくい	0
50	温度	50	88	書く	12	100	づらい	0
100	なかった	0	57	分かる	43	100	くわしい	0
39	実験	61	100	いける	0	100	忙しい	0
100	大変	0	100	ずれる	0	0	悪い	100
48	正確	52	63	まとめる	37	0	やすい	100
0	確認	100	0	見比べる	100	0	すごい	100
89	自分たち	11	0	思う	100	0	細かい	100
89	時計	11	0	比べる	100	0	いい	100
0	便利	100	0	くれる	100	0	早い	100
53	様子	47	81	みれる	19	0	見やすい	100
74	状態	26	100	映す	0	0	よい	100
53	エタノール	47	81	忘れる	19	0	詳しい	100
100	温度計	0	100	とる	0	0	くわしい	100
0	集中	100	81	終わる	19	0	少ない	100
0	状態変化	100	100	変わる	0	0	新しい	100
36	計測	64	66	調べる	32	---	---	---
36	観察	64	81	考える	19	---	---	---
41	沸騰	59	81	かかる	19	---	---	---
0	違い	100	81	立つ	19	---	---	---
0	沸点	100	100	しまう	0	---	---	---
0	表示	100	0	違う	100	---	---	---
74	全て	26	0	作る	100	---	---	---
74	作業	26	0	見れる	100	---	---	---
100	毎回	0	0	増える	100	---	---	---
100	モニター	0	0	撮る	100	---	---	---
100	先生	0	0	計る	100	---	---	---
100	目視	0	0	持てる	100	---	---	---
100	一度	0	0	上がる	100	---	---	---

黄色：従来手法のみ、あるいは従来手法に多い単語
 紫色：提案手法のみ、あるいは提案手法に多い単語
 白色：両方に同程度出現している単語

図7 2017年度の生徒評価(図左：ワードクラウド、図右：頻出語のリスト)

結果をプレゼンテーションツールを用いて3ページ程度のプレゼン資料として作成する。その資料をモニターに映し出しながら発表する。

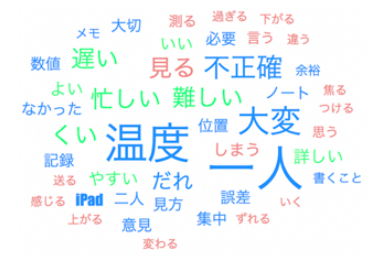
4.3 生徒による評価

提案基盤を用いた授業後に本教材の評価のための質問紙調査を実施した。アンケート内容は「タブレット端末で温度を測定してみて感じたこと、普通の温度計を使って測定した授業と比べて感じたことなど実験について記入してください」であり、個々の生徒に自由記述で回答させた。調査実施対象は2017年度1クラス29名、2018年度1クラス35名である。

図7に2017年度実施クラスの評価のテキストマイニングした結果を示す。分析にはWeb上のテキストマイニングツールの使用した。図左は実験に対する感想のワードクラウドであり、図右が文中の頻出単語割合を示したものである。生徒の記述から従来の実験手法(従来手法)に対する内容と、提案基盤を用いた教材での実験手法(提案手法)に対する内容とに分けたテキストマイニングの結果から両者の違いを考察する。

従来手法の実験では、「大変」や「忙しい」「ずれる」の単語が多く見られた。提案手法での実験では、「集中」や「見比べられる」「正確」の単語が多く見られた。頻出単語に関しては、従来手法と提案手法の両方に

[従来手法]



[提案手法]

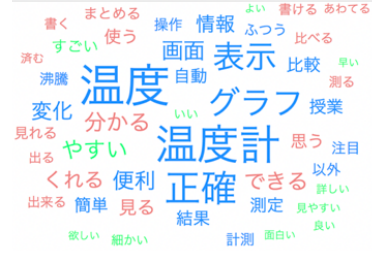


図8 2018年度の生徒評価

出現する単語は、名詞では「グラフ」「結果」「温度」「実験」「正確」「様子」「状態」「エタノール」「計測」「観察」「沸騰」「全て」「作業」であり、動詞では「分かる」「調べる」であった。形容詞に両者に共通して現れる単語はなかった。従来手法に多く出現する単語は、名詞では「なかった」「大変」「自分たち」「時計」「温度計」「毎回」「モニター」「先生」「目視」「一度」であり、動詞は「見る」「書く」「いける」「ずれる」「みれる」「映す」「忘れる」「とる」「終わる」「変わる」「考える」「かかる」「立つ」「しまう」、形容詞は「多い」「見に

くい」「づらい」「にくい」「忙しい」であった。提案手法に多く出現する単語は、名詞では「確認」「便利」「集中」「状態変化」「違い」「沸点」「表示」であり、動詞は「見比べる」「思う」「比べる」「くれる」「違う」「作る」「見れる」「増える」「撮る」「計る」「持てる」「上がる」、形容詞は「よい」「やすい」「すごい」「細かい」「いい」「早い」「見やすい」「よい」「詳しい／くわしい」「少ない」「新しい」であった。

また、図 8 に 2018 年度実施クラスの評価をテキストマイニングした結果を示す。従来手法では、「誤差」や「不正確」「忙しい」「大変」の単語が見られた。提案手法では、「正確」や「できる」「分かる」の単語が見られた。さらに「比較」という単語が提案手法に対する記述にのみ出現していた。

2017 年度と 2018 年度の調査結果において、従来型実験には肯定的な意見はなかった。従来手法に対する生徒の具体的なコメントには、温度計測時間を気にしていたという意見が回答者の 38%であった。余裕がなかったという意見は 17%であった。すなわち、従来手法では時間に追われており、作業の多さにより物質の観察に集中できていなかったことが推察される。また目視による計測のため計測に誤差が含まれることを懸念していたこともうかがえる。しかし提案手法では、計測及びグラフ作成の自動化により生徒は物質の観察に集中出来ており、実験結果をすぐ比較することで他班や他の実験との比較ができたことが考えられる。

4.4 教員の評価

本提案教材を用いた実験を担当した教員 5 名に対し、ヒアリング調査を行った。主な意見を以下に示す。

- 本単元ではグラフから読み取ることではなくグラフに書くことに集中してしまう。その問題点を本教材では解決できている
- 実験時間が短縮され、考察の時間が増えたことにより、理解の深化につながる
- 今までは 1 時間実験を行い、もう 1 時間で実験結果の考察を行っていたが、1 時間の中で実験・まとめ・議論ができた
- グラフの読み取りができないことが防げた
- 本単元でグラフ描画を学ぶため、別にグラフ描画に関する授業をする必要がある

- グラフの比較やスクリーンに結果を映し出すなどの技術が難しく、アシスタントやコーディネーターが必要
- IoT 教材を使用することで指導内容が変わるので、教員の課題の与え方の変更など考えなければならない

温度計測及びグラフの作成を自動化しグラフの重ね合わせ表示が容易になったことで考察の時間が増えたこと、物質の観察に集中出来ていたことに対する好意的な意見が得られた。一方で運用に関する教員の技術的不安や、グラフ描画技術の取得を他で行う必要性などの意見も得られた。

5. IoT 教材の問題点と教材基盤の汎用性

4 ヶ月間の継続運用を経て、IoT 教材のプロトタイプに問題点及び改善点が確認された。

1 点目はクラウドの問題である。プロトタイプでは Milkcooa をクラウドとして使用していた。本提案教材ではデータを格納するためのデバイス、データを抽出する際のコンテンツ・マネジメント・システムが同時に接続するため、教材 1 セットを動作させるとクラウドへの接続数は 2 となる。Milkcooa では 1 つのアプリケーションに対し、同時接続制限が 20 までであるため、学校での運用に関して制約が厳しいことがわかった。またサービス面で安定したサービスが受けられない可能性もあった。そこで、今後はクラウドサービスを Firebase へ移行することとした。Firebase は Google が提供するモバイルプラットフォーム⁽⁸⁾であり、また、データベースの同時接続制限が 100,000 であるので学校のような多数の利用場面で同時に使用される可能性がある場面に適しているためである。

2 点目はグラフ保存に関する問題である。計測時に操作ミスがあった場合、計測データが消失してしまうことがあった。破壊的アクションを伴う操作には確認画面を表示させる等の工夫を検討する。

3 点目はログイン操作に関する問題である。あるクラスの実験で本教材を使用した後、サイト内でログアウトをし、次に使用するクラスは自分のクラスを選択する必要がある。しかし前のクラス情報を維持したまま実験を行なってしまう、実験結果の参照時に自分の

実験結果の表示が正常に行われないことがあった。この問題に関して、図 4(b)において実験中のクラス情報の表示をしたり、クラスの選択をより意識させるようなユーザーインターフェースの改善を検討する。

4 点目はデバイスに関する改善である。現在、小学校でプログラミング教育の必修化がされた。それに伴いビジュアル型プログラミング言語が発展している。イギリスの BBC が中心となり開発した小型マイコンボード **micro:bit** はブロックプログラミングによる開発が可能であり、小中学校で導入がされている場面もある。プロトタイプには **Arduino Leonardo** を使用したが、**micro:bit** に変更することで生徒は計測機器に対して違和感を感じず、さらに学外で自主的にプログラミングを学びたい場合に、容易に取り組むことができる。そのため今後、教材の汎用化を進めていく際にデバイスを **micro:bit** に変更することを検討している。

上記の問題点及び改善点を解決する際、図 2 に示した教材基盤のモデル図に変更点は生じない。そのため本稿で提案する教材基盤には汎用性があると考えられる。本稿では「状態変化」単元を対象としたが、センサ部分を変更することで他の単元への適用を見込める。

6. まとめ

本稿では、初等中等学校での利用を想定した IoT 教材基盤の概要と、プロトタイプの運用成果に基づく問題点について述べた。中学校理科「状態変化」単元を対象とした IoT 教材のプロトタイプでは生徒の評価から、物質の観察に集中でき、他班や他の実験のグラフと比較することで考察が深まったことが示唆された。また、教員の評価では、実験時間の短縮による考察時間の増加や、従来手法での問題点を解決している等の意見があった。これらより提案教材の適用により、学習の効率化の示唆がされた。しかし運用に関して操作性の問題や授業内容の変更の必要があり、支援体制の整備が必要であるとわかった。

今後は、5章で述べた問題点の解決をし、教材の改善を進めていく。また、教材の汎用化についても検討していく。汎用化に関しては、中学校理科「植物のからだのつくり」を対象とし、可視化手法の検討および計測機器を **micro:bit** に、二酸化炭素・酸素濃度センサー

および照度センサーを取り付けたものを使用し、教材の汎用化を進めている。

謝辞

提案教材に対してご指導をいただきました上伊那理科教育研究会の先生方と、伊那市立東部中学校理科教科会の先生方に感謝申し上げます。本研究は JSPS 科研費 22300286 と 16H03074 の助成を受けた。

参考文献

- (1) 文部科学省，“教育の情報化の推進”，
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1369603.htm (2019/02/03 確認)
- (2) 総務省，“教育クラウドプラットフォームについて”，
http://www.soumu.go.jp/main_content/000411858.pdf (2019/02/03 確認)
- (3) 竹生秀之，足助武彦：“伊那における遠隔授業”，日本デジタル教科書学会発表原稿集，6(0)，pp63- 64 (2017)
- (4) 鈴木たかのり，寺田学，永井孝，中西直樹，堀田直孝，本多重夫，本多誉子，間中宏修，安田善一郎，“Plone 4 Book”，有限会社 Talpa-Tech，東京，(2011)
- (5) Milkcocoa，
<https://mlkcca.com/> (2019/02/07 確認)
- (6) 文部科学省，“中学校指導要領解説 理科編”
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/06/12/1387018_5_2_2.pdf (2019/02/03 確認)
- (7) テキストマイニングツール，
<https://textmining.userlocal.jp/> (2019/02/03 確認)
- (8) Firebase，
<https://firebase.google.com/?hl=ja> (2019/02/07 確認)