JSiSE Research Report
vol.36,no.7(2022-3)

“情報のデジタル化”に関連する単元向け教材の提案と授業への適用可能性の検討

丸山凌凱[*1]，向田一成[*1]，香山瑞恵[*2]，舘伸幸[*3]，田口直実[*4]，永井孝[*5]，二上貴夫[*6]
*1 信州大学大学院, *2 信州大学, *3 マイクロエデュケーション
*4 箕輪町立箕輪中学校, *5 ものつくり大学, *6 東陽テクニカ/信州大学

A proposal of teaching materials for units related to "digitization of information" and fundamental consideration for its applicability to classroom lessons

Ryoga Maruyama[*1], Issei Mukoda[*1], Mizue Kayama[*2], Nobuyuki Tachi[*3]
Naomi Taguchi[*4], Takashi Nagai[*5], Takao Futagami[*6]
*1 Graduate School of Science & Technology, Shinshu University
*2 Shinshu University, *3 Micro Education, *4 Minowa Junior High School
*5 Institute of technologists, *6 TOYO Corp./Shinshu University

本研究では“情報のデジタル化”に関連する単元向け教材を提案する．小型マイコンとWebアプリ，金属スプーンで構成される提案教材は，平成29・30・31年改訂学習指導要領の内容に準拠し，中学校技術科と高等学校情報科での“情報のデジタル化”に関連する単元で学習活動を支援する機能を有している．本稿では，まず学習指導要領および学習指導要領解説の内容を概観し，中学校と高等学校での“情報のデジタル化”単元の扱いの違いを整理する．そして，提案教材の機能と実装について述べる．そして，提案教材の授業への適用可能性を検証するために，中学校技術科を対象に実施した評価授業内容と生徒からの評価結果を示す．

キーワード: 情報教育，情報のデジタル化，教材，Webアプリ，小型マイコン

1. はじめに

平成29・30・31年改訂学習指導要領にそった教育の展開が始まっている(1)．令和3年度より中学校での新学習指導要領の全面実施が始まり，高等学校では令和4年度より年次進行で実施される．この新しい学習指導要領では，「何ができるようになるか」「何を学ぶか」「どのように学ぶか」が強く意識されている．そして，情報活用能力の育成と充実が改訂ポイントの1つである．各教科においてコンピュータ等を活用した学習活動の充実が謳われている．

一方，平成20年には「科学技術の智」プロジェクト[1]によって，すべての日本人に身に付けてほしい21世紀の科学技術リテラシーが提案された(2)．特に，情報学専門部門報告書(3)では，「情報を扱う科学技術の原理」として，デジタル化と計算化の2つの概念が基本とされている．この「科学技術の智」プロジェクトは，日本学術会議「大学教育の分野別質保証のための枠組み」の検討や「分野別参照基準」の取りまとめにも関連している．情報学に関する参照基準は平成28年に公開された．参照基準は大学教育を対象としているが，初等中等教育の内容がこの基準の部分集合をなすことは

[1] 平成18～19年科学技術振興調整費によるプロジェクトであり，約150名が参加した(2)．

自然である．

本研究では，情報学の基本原理の１つとされたデジタル化に着目し，中学校技術科と高等学校情報科を対象とした教材を提案する．この教材は，学習単元の学習支援に加え，コンピュータ等を活用した学習活動の充実に寄与することを意識して機能設計される．本稿では，まず学習指導要領および学習指導要領解説の内容を概観し，中学校と高等学校での“情報のデジタル化”単元の扱いの違いを整理する．そして，提案教材の機能と実装について述べる．また，提案教材の授業への適用可能性を検証するために，中学校技術科を対象に実施した評価授業内容と評価結果を示す．

2. 情報のデジタル化に関連する学習

中学校学習指導要領のＤ情報の技術では，ア「情報の表現，記録，計算，通信の特性等の原理・法則と，情報のデジタル化や処理の自動化，システム化，情報セキュリティ等に関わる基礎的な技術の仕組み及び情報モラルの必要性について理解すること」が示されている．学習指導要領解説では，情報についての原理・法則として「コンピュータでは情報を０と１の二値化して表現していること」「2 進数や 16 進数などによる計算」「情報のデジタル化の方法と情報の量の関係」を理解することが示されている．

高等学校情報科の学習指導要領には“デジタル化”という文言はない．共通教科情報科情報Ｉの学習指導要領解説において，項目ア（ア）の科学的な理解として，「情報のデジタル化に関して標本化・量子化・符号化」「二進法による表現」「標本化の精度や量子化のレベルによって，ファイルサイズや音質，画質の変化が生じること」が指摘され，それらに関連する実習の必要性が示されている．

すなわち，中学校ではデジタル化の方法として情報を二値化する必要性や仕組みを学び，高等学校では二値化についての各パラメータ調整の影響を確認する学習活動が考えられる．

3. 提案教材の機能

3.1 教材概要

情報のデジタル化に関連する単元では，視覚的にとらえることが難しい計算機内部で処理される二値化に関連する概念を理解する必要がある．我々は，これに対して提案教材：マジカル・スプーンを開発した(4)．この教材では時間的なデジタル化を対象とする．標本化については，標本化周波数の指定と，指定された周波数での信号の入力を学習者が行う．量子化については，入力された信号を２段階で近似する処理を教材内で行う．これにより，入力信号は１と０の２値の符号に変換される．符号化については，特定個数の符号に対する意味付けを学習者が行う．

(a)金属スプーン，マジカル・ボックスと Web アプリケーション

(b)Web アプリケーションの初期画面

図１ 教材構成

3.2 基本構成

マジカル・スプーンの構成を図１に示す．教材を構成する要素（図 1(a)参照）は，金属スプーン，金属スプーンの入力を受け取り符号に変換するマジカル・ボックス，符号列への意味付けや符号列に応じた動作を確認する Web アプリケーションである(5,6,7)．図 1(b)に Web アプリケーションの初期画面を示す．符号列への

意味付けの登録，教材アプリへのログイン，マジカル・ボックスとの接続, シミュレーション等の機能がある．

学習者はスプーンを叩くことで操作対象を制御することや，0 と 1 の符号を組み合わせた符号列を設計するという体験を通して，情報のデジタル化を学習していく．本教材では，符号を入力するために金属スプーンを叩くテンポを学習者が決める．これは，デジタル化するための標本化周波数，すなわち標本化のタイミングを学習者が指定することに相当する．金属スプーンを叩きながら符号を表現することで標本化の仕組みを体験できる．また，本教材では，金属スプーンを叩く際に生じる超音波の有無を 0 と 1 の符号として解釈する．そして，本教材では，符号を 4 つ組み合わせた符号列（以下，指令コード）に学習者が意味付けを指定することで, 操作対象における複数動作を表現する．これにより，符号化の理解を深めることができる．

金属スプーンは身近な物であるため，学習時に興味を抱きやすいと考えた．また，超音波を用いることにより環境音に左右されず学習を行うことができる．

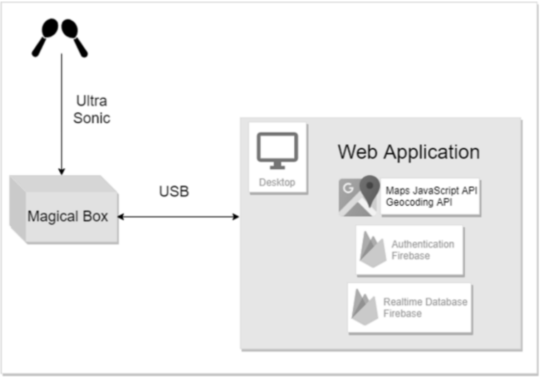
3.3 校種に対応した機能

2 章で示したように情報のデジタル化に関連する単元での学習内容は中学校技術科と高等学校情報科では異なる．情報システムや情報通信ネットワークとの関連も勘案すると，学習教材においても校種の違いに応じた機能設計が必要となる(8)．

中学校向け機能としては，教師が予め定めた指令コードのセットや，金属スプーンを叩くテンポを用いることができる．また，指令コードを構成する 4 つの符号（4 ビット）は，1 ビットのスタートビットと 3 ビットの符号列として構成する．

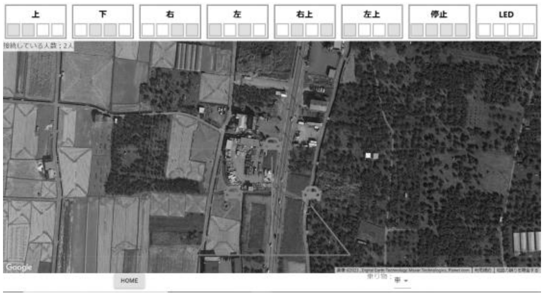
高等学校向け機能としては，4 ビットのうち，最後の 1 つをパリティビットとして扱い，他の 3 つの符号で 8 種類の動作を表現する．この指令コードの送信に際しては，まず予め決められた指令開始コードを入力し，それに続いて設計した指令コードを入力することとした．情報通信ネットワークでの安全性の確保の仕組み（パリティビット）と関連させて，情報のデジタル化を学ぶことができる． これにより，通信セキュリティを高める方法についての学習機会が得られる．

このように校種に応じた機能を実装することより，



(a) マジカル・ボックスと
Web アプリケーション

(b) 指令コード登録



(c) シミュレータ画面例

中学校向け機能では学習項目がより簡潔になり，高等学校向け機能では情報通信ネットワークに関連する学習項目も扱えるようになる．それぞれの校種に適した情報のデジタル化に関する学習が期待される．

4. 提案教材の実装

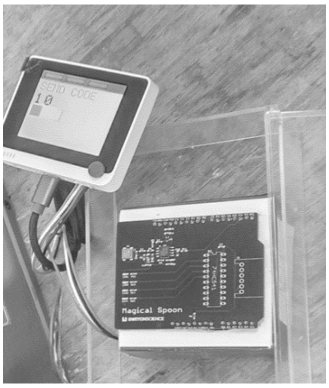
4.1 Web アプリケーション

Web アプリケーションとマジカル・ボックスの関係を図 2(a)に示す．Web アプリケーションの実装は Firebase(9)と Google Maps API(10)を利用している．Firebase はバックエンドの機能を提供している．具体的には, 学習者の識別を Firebase の認証機能により行い，DB には設計した指令コードやシミュレータ上の

情報などが保存される．また，Firebase のホスティングサービスも利用しており，https 通信により Web アプリケーションにアクセスできる．開発に使用した言語は JavaScript で，フレームワークに React を用いた．この Web アプリケーションは WebUSB 規格(11)でマジカル・ボックスと接続される．利用の際には，この規格に対応したブラウザ(Google Chrome 等)を利用する必要がある．

図 2(b)は Web アプリケーションでの指令コード登録画面である．この例は中学生向け機能を示す．ここでは，指令コードを構成する□をクリックすることで 0 と 1 を入れ替えて設計していく．確認ボタンを押すと指令コードに重複があるかを確認できる．高校生向け機能でパリティビットを扱う場合は，パリティ誤りも確認できる．指令コードの重複やパリティ誤りがある箇所は指令部分が強調表示され，どの指令にどのような誤りが生じたかがダイアログ表示される．また，Web アプリケーションでは 0 と 1 で構成される指令コードを進数表記した結果が表示される（図 2(b)左図中右側 2 列）．これにより，□と■で表現された符号と進数表記の対応が視覚的に確認できる．そして，設計した指令コードのセットは，送信ボタンを押すことでマジカル・ボックスに送信される（図 2(b)右段の 2 つの図はその様子を示している．Web アプリケーションから送信された指令コードセットを受信中の画面（上）と，受信した結果を表示している画面（下）である）．

シミュレータの画面例を図 2(c)に示す．地図シミュレータでは，地図上に学習者毎のアイコンを表示する．各学習者のアイコンは自ら指定した色のアイコンで示される．アイコンはマジカル・ボックスから指令を受け取ると地図上を移動する．シミュレータ上を移動すると各学習者のアイコンの色で軌跡が表示される．この例では 3 名の学習者が協調して課題解決（ここでは軌跡で三角形を描画する課題）している様子が示されている．スプーン入力以外にも，シミュレータ上の各指令領域（図 2(c)の上部領域）をマウス等でクリックすることでも指令コードをシミュレータに送信できる．



(a) Wio Terminal（左）と超音波センサ（右）

(b) インタフェース例

図 3 マジカル・ボックス

4.2 マジカル・ボックス

マジカル・ボックスの構成を図 3(a)に示す．提案教材のマジカル・ボックス用マイコンとして Wio Terminal(12)を用いる．このデバイスは 2.4 インチ LCD を内蔵している．LCD があることにより，学習者はこのデバイス上でも指令コードの設計や登録を行うことができる．これにより，本教材のみでの学習を行うことも可能となる．マイコンには，スプーンでの入力を受け付けるための超音波センサを接続する．マイコン用のソフトウェアの開発言語には Arduino(13)を用いた．

図 3（b）にマジカル・ボックスのインタフェース例を示す．ここでは，指令コード登録，テンポ登録，指令コード送信が行える．指令コードの登録には,マイコン上の 5 方向ボタンを使用する．登録時には，指令コード重複とパリティビット誤りの 2 種のエラーが生じる可能性がある．これらのエラーが生じている場合には，当該指令コード部分の背景色を変更する．テンポ登録機能では，スタートボタンを押した後，指令コード送信時のリズムでスプーンを 4 回入力する．マジカル・ボックスは超音波を計測すると画面上に赤丸を表示する．この時の打音間隔の平均を指令コード認識時

表１　中学校技術科“情報のデジタル化”単元の指導プラン

時間	内　容
1	コンピュータのハードウェア・ソフトウェア，五大機能の学習を行う．その上でコンピュータ内での情報の扱い（コンピュータの中では情報がデジタル化されていること，デジタル化とは情報を数値化すること，数値化された情報は０と１の信号となること）を学ぶ．座学（動画視聴含む）中心に学習する．
2	情報をコンピュータで扱うためにデジタル化することを知った生徒が，１と０の情報の組み合わせでマジカル・スプーンを用いて車を操作する．デジタル化された情報が意味を持ち，コンピュータを操作できることを理解する．
3	マジカル・スプーンの指令・テンポを自分で決め，車を操作する活動で，２進数の命令に意味を持たせること，コンピュータは２進数で動作することを体験的に学ぶ．人の指令を数値化することでコンピュータに伝えることで指示通りに動く関係に気づく．ビット・バイトという用語にも触れる．
4	文字，音声，画像がデジタル化される仕組みを知る．文字はコード化される．音声は時間で量子化・標準化される．画像は空間内の RGB の組み合わせで量子化，標準化されることを知る．

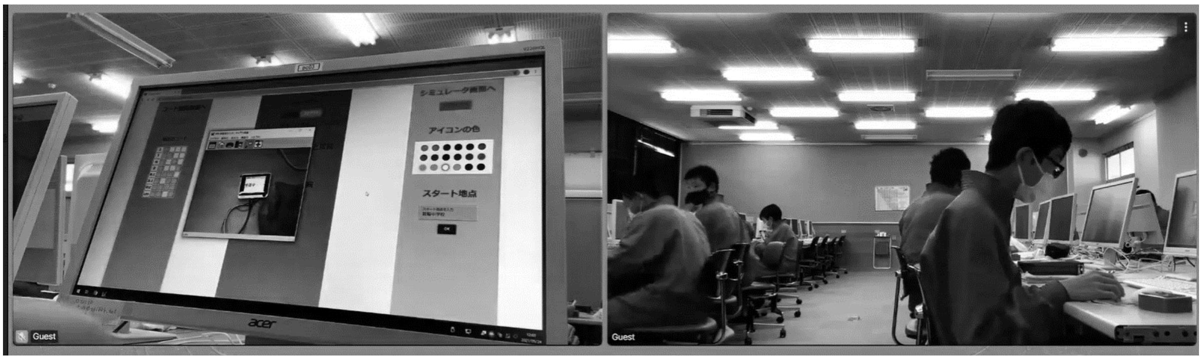


図 4 授業の様子

の標本化周期として記憶する．指令コードの開始までは，ディスプレイ上にスプーンを叩くリズムと登録された指令コードが表示されている．指令コードの入力開始の合図（スタートビット）は一度スプーンを叩くこととした．それに続けて登録した指令コードをスプーンで入力する．指令コードを受け付ける画面では，登録した時間間隔がタイムバーのように表示される．これにより，コードを入力するタイミングを視覚的に確認できるようになり，入力ミス抑止や標本化タイミングの適切性の理解等につながることが期待される．

5. 提案教材の適用可能性の評価と考察

5.1 評価方法

2021 年 5～6 月，公立中学校において，提案教材による 3 年生向けの授業実践がなされた．担当教員によれば，中学生にとって，情報を二値化することを座学のみで理解することは難しいという．本教材は情報の二値化を体験的に学習するために導入された．担当教員が作成した簡易指導案を表 1 に，授業の様子を図 4 に示す．情報のデジタル化では全 4 回の授業構成となる．本教材は 2 時間目と 3 時間目で用いられる．これらの授業は 4 クラス 80 名を対象に実施された．

2 時間目の授業後に受講生に対して自己評価を求めた．初回授業クラスを除く 3 クラス分（全項目に回答していた 47 名）の結果をまとめた[2](14)．初回授業クラスを除いた理由は，担当教師にとって提案教材を用いた初回の授業であり，授業計画を確認しながら慎重に授業を進行したためである．他クラスと比較して，授業進度に若干の差があったことが担当教師から報告されていた．

提案教材を用いた授業に対する評価項目は以下の 5 つである[3]．

[2] 全ての回答において 3 クラス間で等分散であり，平均値に有意差がなかったため，3 クラス分を統計処理した．
[3] これらの評価項目は担当教師により設定された．

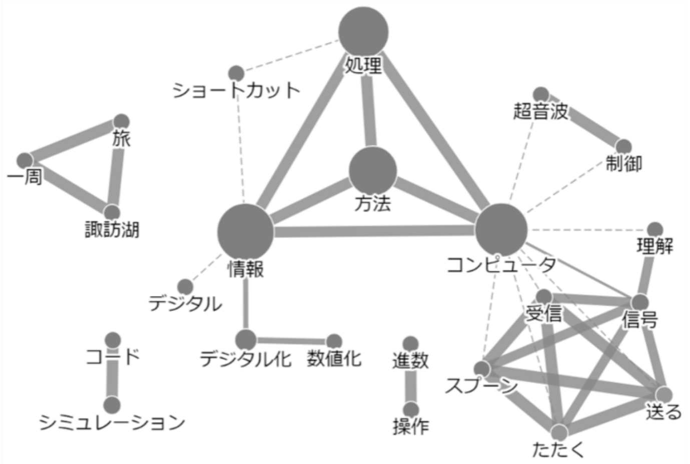


図 5　生徒による自己評価：Q1:学習内容

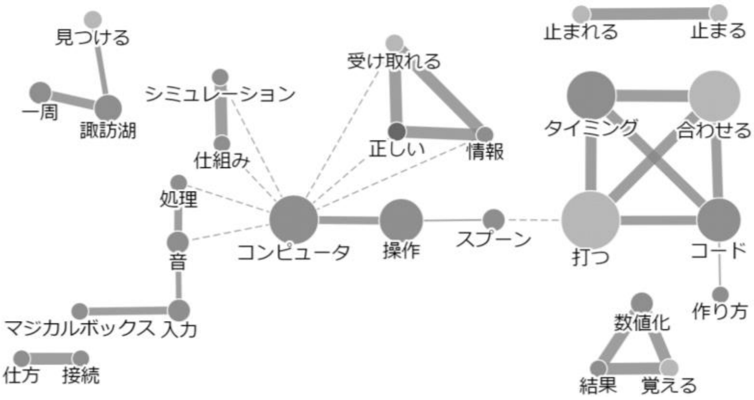


図 7　生徒による自己評価：Q3:難しかったこと

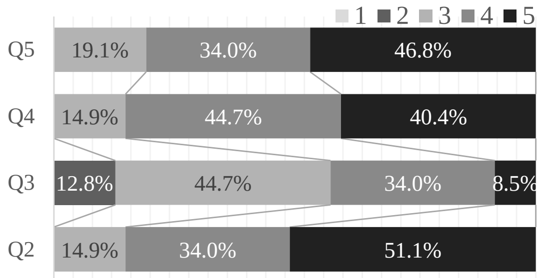


図 6　Q2～Q5 の回答割合

Q1:今回の学習内容（自由記述）

Q2:学習内容は理解できたか　(5 段階・自由記述)

Q3:授業は難しかったか　(5 段階・自由記述)

Q4:先生の説明はわかりやすかったか　(5 段階)

Q5:教材は理解しやすかったか (5 段階)

5.2　評価結果

評価項目における自由記述回答に対しては，まず著者らが個別に，全回答の誤記や表記ゆれを抽出し，修正案を作成した．その結果を突合せ，異なる表記となった単語に対して共通単語となるまで協議した．

図 5 は Q1 の回答における自由記述を整理した単語の共起グラフである．このグラフで〇は自由記述に含まれる単語を表し，〇をつなぐ線の太さと線種が共起確率を示す (点線は最細線よりも低い確率)．〇の大きさは分析対象文書における出現頻度を相対的に示している．大きい〇は出現頻度が高い単語である．

この結果から，今回の学習内容は「情報をコンピュータで処理する方法」「情報のデジタル化」とした生徒が多かった．また，Q2 の自由記述から，授業で理解したのは「情報をデジタル化し，スプーンで音として表現することでコンピュータを操作できること」「デジタル化とは数値にすること」 とした生徒が多かった．

図 6 は Q2～Q5 の 5 段階評価の結果である．1 が最も否定的な回答，5 が最も肯定的回答となる．各平均値は Q2 で 4.36，Q3 で 3.38，Q4 で 4.26，Q5 で 4.28 であった．Q3 のみで 4 点以下となる結果であった．

図 7 は Q3 で難しいと感じた内容に関する自由記述の共起グラフである．「タイミングに合わせて（テンポを一定にして）コードを発信すること」「コンピュータが正しい情報を受け取れるようにスプーンを打つこと」が難しかったことが分かる．

5.3 考察

これらの結果から，学習内容は「よく理解できた」が，授業の難易度は「中程度」であり，先生の説明は「分かりやすく」，教材は「よく理解できた」様子が分かる．難しいと感じた内容については，タイミングを合わせてスプーンを入力するという点が多く，コンピュータでの情報処理と人間による情報処理の違いに気づいていることが分かる．学習内容や教材についてはよく理解できたとあるため，体験的な学習により情報のデジタル化に関する概念の理解が容易になることがうかがえる．

また,担当教師からは,「実際に授業で利用してみて，当該単元の学習目標を生徒に体験的に理解させることができる優れた教材であると実感した」とのコメントを得た．

これらのことから，中学校段階の生徒に対しても本教材が適用可能であることを見出した．

6. おわりに

本稿では,”情報のデジタル化”に関連する学習項目について述べ，それに対する学習教材の機能や実装について示した．また，中学校技術科での“情報のデジタル化”単元における体験的学習教材の適用事例を示し，受講生の自己評価からその有効性を検討した．

今後は，Web アプリケーションのシミュレータではなく，マジカル・ボックスから BLE や Wi-Fi 通信により制御可能な IoT デバイスを操作するなど，現実世界のオブジェクトが動く様子を体験できるような機能拡張を進めていく．これにより，更なる実体験を伴う体験的な学習が行えるようになる．

この時間の授業は教師が与えた符号列を用いて生徒が 0 と 1 を表現する学習活動がなされた．従来，情報のデジタル化では，1 時間目の内容（座学と動画視聴）で学習していた．本教材導入の効果を今後，単元学習全体を通して検証していく． また，本教材を用いた授業は今後複数の中学校で展開される．より多くの利用者からフィードバックを得ることで，本教材の有用性について更なる検証を進めていく．

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金（16H03074「情報科学の基礎概念理解向け“万人のための情報学”指向な IoT 学習パッケージの開発」）に支援された． 教材開発に対して有益なコメントをいただきました伊那谷プログラミング教育研究会および伊那谷 ICT 活用教育研究会の諸先生方，長野県中山間・小規模校エリアコーディネータ足助武彦先生に感謝申し上げます．

参 考 文 献

(1) 文部科学省：平成 29・30・31 年改訂学習指導要領（本文，解説），https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm(2021.10.2 参照)

(2) 科学技術の智プロジェクト：総合報告書, http://literacy-report.scri.co.jp/2018/11/12/総合報告書/(2021.10.2 参照)

(3) 科学技術の智プロジェクト：情報学専門部会報告書, http://literacy-report.scri.co.jp/2018/11/12/情報学専門部会/(2021.10.2 参照)

(4) 香山瑞恵，二上貴夫：“Lets Go Go!マジカル・スプーン：高等学校情報科における符号化の基礎概念学習用プログラム―プログラム展開と教育成果―”，教育システム情報学会, 26 巻 2 号 pp.172-183(2009).

(5) 丸山凌凱，向田一成，香山瑞恵他：“情報のデジタル化教材に対する協働性を意識した汎用化の研究”,教育システム情報学会 2020 年度学生研究発表会北信越地区講演論文集, pp.35-36(202).

(6) 向田一成，丸山凌凱，香山瑞恵他：“情報のデジタル化に関するセミプラグド教材の研究”，教育システム情報学会 2020 年度学生研究発表会北信越地区講演論文集, pp.37-38 (2021).

(7) 丸山凌凱，向田一成，香山瑞恵他：“中学生による情報のデジタル化教材の試用に対する考察”,第 46 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp.57-588(2021).

(8) 向田一成，丸山凌凱，香山瑞恵他：“情報のデジタル化教材における校種に応じた機能の検討”，第 46 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp.59-60 (2021).

(9) Google ：“ Firebase ”， https://firebase.google.com/(2021.10.2 参照)

(10) Google: “ Google Map Platform API ”，https://developers.google.com/maps/apis-by-platform

(2021.10.2 参照)
(11) Mozilla: ” WebUSB API ” , https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebUSB_API
(2021.10.2 参照)
(12) Seeed: “ Wio TerminaL ” , https://wiki.seeedstudio.com/jp/Wio-Terminal-Getting-Started/
(2021.10.2 参照)
(13) Arduino : “ Arduino IDE ” , https://www.arduino.cc/en/software(2021.10.2 参照)
(14) 香山瑞恵, 舘伸幸, 田口直美 :“中学校技術科“情報のデジタル化”単元向け教材の導入と教材評価の試行“, 日本情報科教育学会第 14 回全国大会講演論文集,pp.12-13(2021)