

研究プロジェクト成果報告書（一般研究）

研究課題 「初等・中等教育における次世代型プログラミング学習システムと学習指導案の開発および実践評価」

研究期間 令和2年度～令和3年度

研究代表

大森 康正	自然・生活教育学系・教授（情報工学，プログラミング教育，知識工学）	全体の統括，プログラミング学習に関する教材開発および実践
-------	-----------------------------------	------------------------------

研究分担者

阿部 暢史	柏崎市立東中学校・教諭（技術）	プログラミング学習に関する教材開発および実践に関する助言
-------	-----------------	------------------------------

今出 亘彦	白山市立松任中学校・教諭（技術）	プログラミング学習に関する教材開発および実践に関する助言
-------	------------------	------------------------------

浅岡 正教	一般社団法人FAP・代表理事（プログラミング教育，地域連携）	プログラミング学習に関する教材開発の助言
-------	--------------------------------	----------------------

研究協力者

青木 正和	学校教育専攻・学校教育深化コース（文理深化・技術）・院生	プログラミング学習に関する教材開発および実践の補助
-------	------------------------------	---------------------------

1. 研究概要

我々は、これまでに行ってきた初等・中等教育における体系的なプログラミング学習の資質・能力に基づくカリキュラムに関する研究で明らかになった教科間および学校種間の連携と支援に関する課題に対して、(1)初等・中等教育で統一的な地域課題を扱うこと、(2)情報・データの利活用の4段階に基づき構成される教材の活用することと、(3)各科目と単元を「情報科学技術を学ぶ科目・単元」と「情報科学技術を活用した学びを行う科目・単元」に整理して相互にデータ・システムの視点で関連付けることで解決できる可能性を明らかにしてきた。本研究では、これら3つの観点に基づき、地域課題解決を志向した Cyber-Physical System 学習基盤システムの試作と初等中等教育における体系的な学習指導案を作成すると共に実践評価を通して、これらの効果検証と今後のプログラミング学習のあり方について考察する。

本研究の主な特色は、Cyber-Physical System 学習基盤システムは、情報・データの利活用の4段階を網羅しており関連先端技術およびデータを活用した各教科・単元間の連携が可能なことにある。また、それにより、初等・中等教育において一貫した学習指導が可能となりプログラミング的思考を体系的に学ぶことが可能となったことである。

2. 研究成果の概要

本研究の成果は以下の点にある。

- (1) 研究代表及び分担者が所属する信越地方および北陸地方の主要な産業である農業と関連の深い気象情報等を中心に情報を取り扱う Cyber-Physical System 学習基盤システムを構築した【詳細は [3. 地域課題解決を志向した Cyber-Physical System 学習基盤システムの試作と考察](#) を参照】
- (2) 初等・中等教育における喫緊の課題であるプログラミング教育の体系的なカリキュラムを情報・データの利活用の4段階に基づき構成される学習指導案と教材で構築した【詳細は [3. 地域課題解決を志向した Cyber-Physical System 学習基盤システムの試作と考察](#) および [4. データ駆動型社会の実現に向けた情報システム教材の開発](#) を参照】
- (3) 現職教員や地域のエンジニアの視点を取り入れて、プログラミング環境に日本語を用いたり、問題対象のモデリングと思考法（アルゴリズム化）に重点をおいた教材を開発した【詳細は [4. データ駆動型社会の実現に向けた情報システム教材の開発](#) を参照】

今後、新型コロナ感染症拡大に伴い、十分な実施ができなかった実践的な評価を研究分担者の実践協力校と行い教材およびカリキュラムの改善を行っていく予定ある。

3. 地域課題解決を志向した Cyber-Physical System 学習基盤システムの試作と考察

3.1. はじめに

文部科学省「Society5.0 に向けた人材育成に係る大臣懇談会」によると、Society5.0 におけるボトルネックのひとつとして、“学生や社会人が情報科学の素養を身に付けるための受皿となる情報科学系教育体制の充実が喫緊の課題であると考えられる”が挙げられている。Society5.0 におけるコアとなる情報科学技術は、人工知能 (AI)、ビッグデータ、Internet of Things (IoT)、ロボティクス等が挙げられる。これら個々の技術に関しては、中学校および高等学校の教材として多くの研究開発などが行われている。

Society 5.0 の概念の中に、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合がある。個々の技術

を学ぶことは重要であるが、今後、高度に融合させるために個々の技術の関係等を初等・中等教育において体系的に学ぶ教材および学習基盤システムの研究開発は喫緊の課題であると考えられる。

また、Society5.0において共通して求められる力の一つとして、“機械を理解し使いこなすためのリテラシーや、その基盤となるサイエンスや数学、分析的・クリティカルに思考する力、全体をシステムとしてデザインする力”がこれまで以上に必要な力となることが指摘されている。これらの力を初等・中等教育から体系的に学ぶためには、核となる教科が無いために、既存の教科等間の連携が今以上に必要となる。その際、各教科等で学ぶ内容を体系的に関連付ける鍵が重要な役割をすると考えられる。

本報告では、共通して求められる力を教科等間で連携する鍵として地域課題、サイバー空間とフィジカル空間を融合させる Cyber-Physical System (CPS) を学習基盤とする CPS 学習基盤システムと、教育課程内および教育課程外における活用案について検討した結果を述べる。

3.2. Society5.0 における Cyber-Physical System

Society5.0 は、その概念を整理すると以下のような経済社会であるとされている。

- ① サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させることにより、
- ② 地域、年齢、性別、言語等による格差なく、多様なニーズ、潜在的なニーズにきめ細かに対応した‘もの’やサービスを提供することで経済的発展と社会的課題の解決を両立し、
- ③ 人々が快適で活力に満ちた質の高い生活を送ることができる、人間中心の社会。

Society5.0 以前の情報化社会においては、人が情報やデータを入手して分析を行っていたが、Society5.0 においては、IoT からの膨大なビッグデータを AI が解析し、その結果がロボットなどを通して人間にフィードバックされることで、これまででない、新たな価値が産業や社会にもたらせることが特徴である。このようにサイバー空間とフィジカル空間の高度な融合させた状態（技術）を Cyber-Physical System(以下、CPS と呼ぶ)と呼んでいる。CPS は、IoT と似た概念であるが、IoT は主にセンサ等でデータを収集し、そのデータを用いてアクチュエーター・ロボットなどを動かす M2M なシステムが多くフィジカル空間における技術と捉えられる。それに対して、CPS を支える要素技術は、IoT の他に、クラウド、AI、機械学習などサイバー空間における技術が加えられている。したがって、CPS は、これら技術を高度に融合させた問題解決空間として捉えることが可能である。

情報通信技術 (ICT) ・データ利活用は、一般的に、

- (1) データの収集
- (2) データの蓄積
- (3) データの分析
- (4) 分析・データに基づく作動

の 4 段階にまとめることができる。情報通信技術 (ICT) ・データ利活用の各段階とサイバー空間とフィジカル空間の関係、および各段階において注目されている技術・サービスを、表 3-1 に示す。

表 3-1 ICT・データ利活用の4段階と技術・サービス[エラー! ブックマークが定義されていません。]

ICT・データ利活用の段階	注目されている技術・サービス
1) データの収集【フィジカル】	IoT 機器[センサー]
2) データの蓄積【サイバー】	クラウド[仮想化・分散技術]
3) データの分析【サイバー】	AI(人工知能)・機械学習
4) 分析・データに基づく作動【フィジカル】	IoT 機器[アクチュエータ・ロボット]

このように CPS は、情報通信技術（ICT）によるデータ利活用の4段階を網羅しており情報科学技術を体系的に学習する基盤として適していると考えられる。

3.3. CPS 学習基盤システム

3.3.1 学習基盤システムの考え方

我々は、すでにプログラミング教育で育む資質・能力および評価規準を提案している。その主な特徴としては、以下の通りである。

- 小学校低学年および中学年は、分解および手順化に重点をおいており、アルゴリズムに基づきプログラム言語で表現するための基礎を習得することを主な目的としている
- 小学校高学年においては、中学校への接続を考慮し、身近な生活圏に関わる課題に対して、プログラムを用いて解決できることに気づくことを目的としている
- 中学校および高等学校は、プログラミングを扱う教科の特徴から実施学年を設けていない

本 CPS 学習基盤システムは、この評価基準に基づき、小学校では主にアルゴリズムに基づきプログラム言語で表現するための基礎を習得することを主な目的として、CPS 全体の動きを把握しアルゴリズムとして表現できるようにしてある。さらに、中学校以降においては、身近な生活圏に関わる課題に対して、プログラムを用いて解決できることに気づくことを目的とすることで、具体的な仕組みについて気づき、さらに作動をプログラムで実現できるようにする必要がある。

プログラミング教育を行うには、これまでの経験により児童生徒のモチベーションの維持が重要であると考えている。モチベーションの維持には、カリキュラムの工夫が重要であるが、児童生徒にとって身近な生活課題を扱うことで、自分たちの活動が地域にとって有意義なものであるという意識（自己肯定感）も重要であると考えている。また、その意識が、近い将来、成人として地域社会の中で活動する際の大きな原動力になると期待される。

著者が勤務している信越・北陸地域は、米など農産物の生産が広く行われている全国でも有数の地域である。農業分野において情報通信技術やデータの利活用を取り入れた AI(Agri-Informatics)農業が注目されている。よって本研究では AI 農業の基礎的なデータである気象データを対象とした CPS 学習基盤システムの構築を行う事とした。

3.3.2 学習基盤システムの概要

図 3-1 に CPS 学習基盤システムの概要を示す。初等教育（小学校）向け CPS 学習基盤システムは、全体の動きをプログラムで把握できようにすることと、分解および手順化に重点をおいて理

解できることが重要である。本システムでは、MESH を用いて構築している。MESH はイベントに対するアクションの連鎖でプログラムを記述できることから児童にとっても順次構造を基本としており、機能（振る舞い）の分解や手順化を思考しやすいと考えられる。

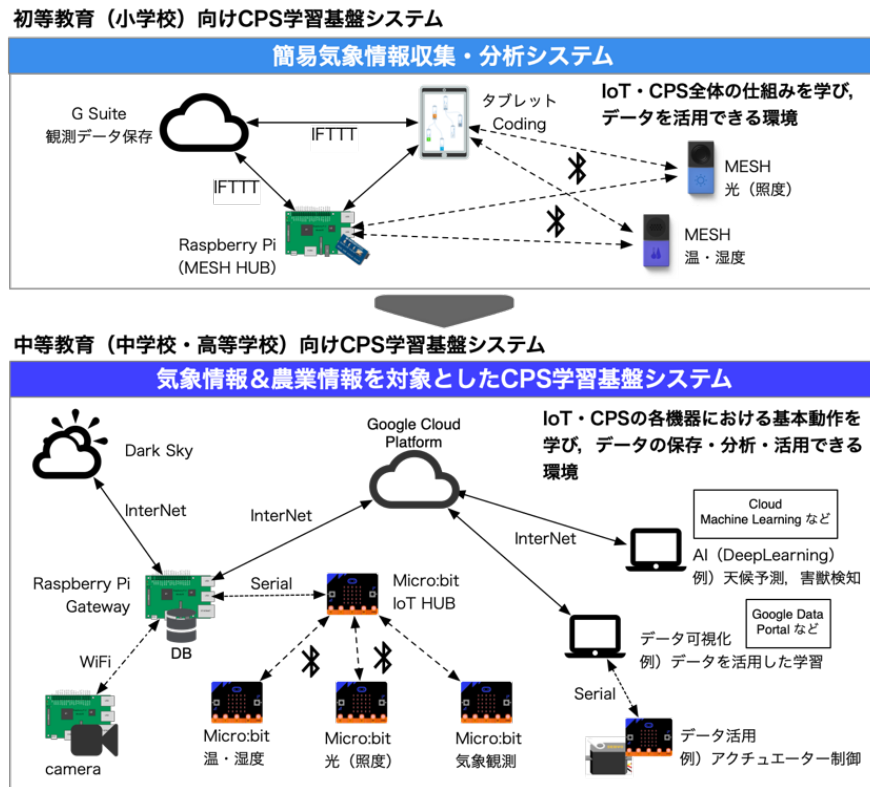


図 3-1 CPS 学習基盤システムの概要

中等教育（中学校・高等学校）向け CPS 学習基盤システムにおいては、初等教育向けの学習基盤システムにおいて学んだ全体の作動に対して、情報通信技術（ICT）によるデータ利活用の 4 段階に沿った技術・サービスを比較的簡単に実現できる仕組みが必要であると考えられる。本システムにおいては、以下の通りである。

「データの収集」においては、気象データ（温度、気圧など）を観測するエッジ・デバイスとそのデータをまとめる IoT HUB デバイスを、micro:bit を用いて構築する。エッジ・デバイスと IoT HUB デバイス間の通信は、BLE 通信を用いて行う。

「データの蓄積」は、HUB デバイスで集めたデータをローカルに一時的に Raspberry Pi Gateway に蓄積し、一定の単位でクラウド（ここでは、Google Cloud Platform を利用）に送信して保存する仕組みを構築する。また、インターネット上の気象情報を WebAPI 経由で取得してクラウドに蓄積している。

「データの分析」は、Google スプレッドシートや Google Data Portal などを用いてデータを可視化したり分析を行ったりする。この段階で AI 技術を活用することも可能である。

「分析・データに基づく作動」は、クラウド上にあるデータや分析結果を用いて、エッジデバイスに接続しているアクチュエーターやロボットなどを動かす。

3.3.3 応用事例：中等教育向け水田気象観測システム

中等教育（中学校・高等学校）向け CPS 学習基盤システムとして、水田気象観測システムを試作した。本システムのエッジ・デバイスとして図 3-2 の観測装置を用いる。本装置は、市販の気象観測セットを用いた 8 種類のセンサ（風向計，風速計，雨量計，温度センサ，湿度センサ，気圧センサ，土中水分センサ，土中温度センサ），micro:bit，防水ケース，電池ボックス等で構成されている。

図 3-3 に、エッジ・デバイスで収集した各種センサの情報・データを、IoT-Hub デバイスからの要求に基づいて送信するプログラム例を示す。この通信は、BLE 通信によって行われる。

一般的な IoT のシステムでは、エッジ・デバイス側のタイミングでデータを送信する事が多い。しかし、本システムでは中学校技術・家庭科技術分野の双方向性のあるコンテンツのプログラムへの拡張を視野に入れていることから、エッジ・デバイスと IoT-Hub デバイス間の通信のタイミングを学ぶ教材として試作した。

この図 3-3 で示したプログラムを含むエッジ・デバイスと IoT-Hub デバイスの動作アルゴリズムの概要は次の通りである。



図 3-2 試作した水田気象観測装置

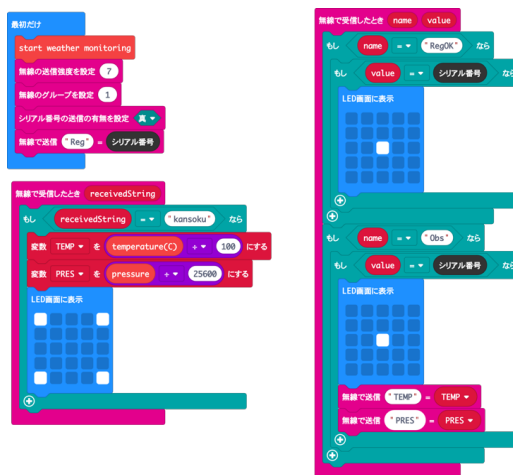


図 3-3 エッジ・デバイスのプログラム例

- 1) 初めに、エッジ・デバイスを起動した際に、デバイスのシリアル番号を IoT-Hub デバイスに対してブロードキャスト送信する。
- 2) ブロードキャストを受信した IoT-Hub デバイスは、配下のエッジデバイスとして認識する。
- 3) IoT-Hub デバイスは、一定のタイミングで、エッジ・デバイスに対して各種センサ情報を観測するよう指示（ブロードキャスト）する。これにより、IoT-Hub デバイスは、すべてのエッジデバイスの観測のタイミングを管理することが可能となる。
- 4) エッジ・デバイスは、IoT-Hub デバイスからの指示に基づき計測した観測データを IoT-Hub デバイスに送信する。

本装置は設置場所が屋外になることから、電源は単三乾電池から給電する。また雨、風などの気象現象から micro:bit を守るために図 3-4 のような防水ケースに格納する。この防水ケースは、中等教育（中学校・高等学校）で、生徒が構想・設計して制作することを考慮して、CAD を用いて設計し、レーザカッターによって制作している。

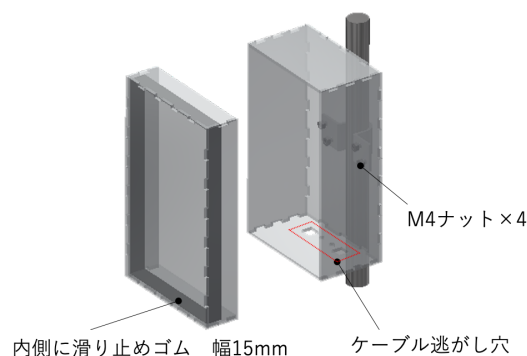


図 3-4 防水ケース（マイコン等収納用）

3.4. 試作システムの機能に関する評価

試作した CPS 学習基盤システムを試行して評価を行った。初等教育（小学校）向け CPS 学習基盤システムは、MESH を用いて部屋の温度と湿度を 5 分間隔で取得して、インターネット経由で Google スプレッドシートに保存する仕組みを試作した。図 3-5 にその試行した結果を示す。

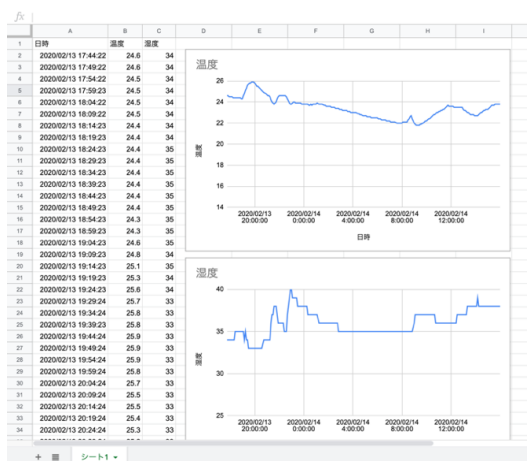


図 3-5 初等教育向け CPS 学習基盤システムの実行例

図 3-5 中のグラフは、Google スプレッドシートのグラフ機能を用いてデータを可視化したものである。これによって、データの収集からデータの分析までを行うシステムを構築することができることを確認した。分析・データに基づく作動は、初等教育の場合、小学校高学年の理科・総合的な学習の時間、特別活動などで実践可能であると考えられる。

中等教育（中学校・高等学校）向け CPS 学習基盤システムは、中学校技術・家庭科技術分野の計測・制御および双方向性のあるコンテンツのプログラムにおいて利活用できると考えられる機能を実験によって評価した。

図 3-6 には、エッジ・デバイスで収集した 2 種類のデータを Google Data Portal で分析（可視化）した例である。左側のグラフは、micro:bit の温度センサでの計測した結果である。右側のグラフは Weather:Bit に搭載されている温度，気圧センサ（BME280）で計測した結果である。micro:bit の温度センサは 1 度単位で計測されていることがわかる。

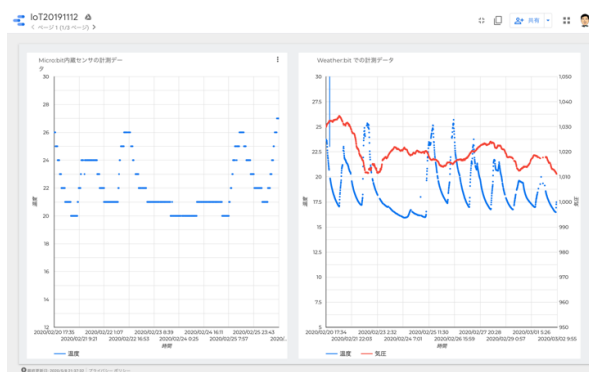


図 3-6 中等教育向け CPS 学習基盤システムの実行例
(エッジ・デバイスで収集したデータの分析)

図 3-7 は、インターネットで公開されている気象情報サイトの WebAPI を利用して上越市の気象情報（気温，体感温度，気圧）を可視化したものである。利用した Dark Sky は海外のサイトであり、レーダー解析等によって観測していることから実際のデータと異なるが、概ね利用範囲内であった。参考情報としてエッジ・デバイスでの観測データの補完機能として導入している。その他に、クラウド上に蓄積したデータを用いて、micro:bit に接続したサーボモータを動かすアナログ型簡易温度計を試作して確認した。その結果，十分利用できることが確認できた。

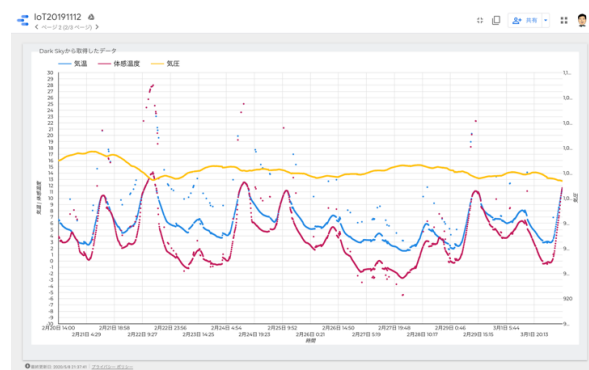


図 3-7 中等教育向け CPS 学習基盤システムの実行例 (WebAPI で収集した気象データの分析)

3.5. CPS 学習基盤システムの活用について

3.5.1 教育課程内での活用

将来的には、初等・中等教育においてコアとなる科目を立てで行う教育体制の充実が喫緊の課題であると考えられる。現時点で、児童生徒が情報科学の素養を身に付けるための情報科学系教育を体系的に行う基盤となる教科は高等学校以外では開設されていない。中学校の技術・家庭科技術分野の情報は、情報科学的な視点が不十分である。よって、現時点では、体系的に学習することは困難である。

その解決案の一つとして、我々は、既存の教科等において「情報科学技術を学ぶ科目」と「情報科学技術を活用した学びを行う科目」に分けることで、共通地域課題を取り扱い、データの活用を通じた学びを進めることで情報科学系教育を行える可能性について、現行学習指導要領の内容を分析し検討を行った。その結果が、図 3-8 および表 3-3 である。表 3 は気象データに着目した小学校 4 年生から 6 年生の年間指導計画案である。

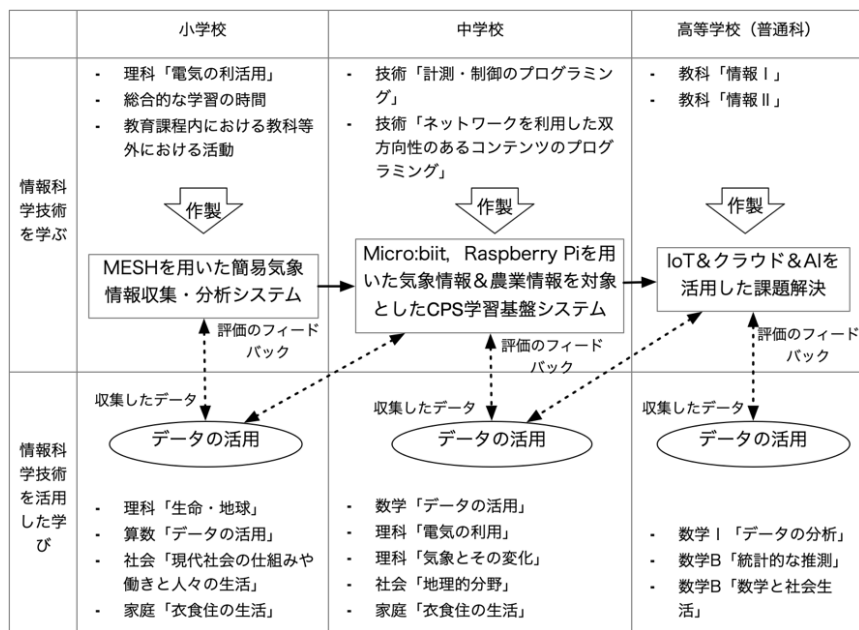


図 3-2 初等・中等教育での体系的な情報科学系教育を行うための教科間・校種間連携案

ここでは、「情報科学技術を学ぶ科目」として特別活動を設定している。そこで収集したデータを他教科で活用する案である。また学校種間連携により中学校技術・家庭科技術分野で作成したシステムで収集したデータを小学校で活用することも可能であると考えられる。

3.5.2 小学校における指導案

表 3-3 中の小学校 4 年生で行う活動のうち、初等教育（小学校）向け CPS 学習基盤システムに関する単元「実践 温度記録装置をつくってみよう」（特別活動）に関連する指導案の事例を表 2 に示す。ここでの特徴は、小学生でも扱いやすい iPad と MESH を用いていること、アルゴリズムを検討する際に、「じゅんばんパズル」を用いたグループ活動を行うところにある。さらに、本システムを用いて観測したデータ（気象情報として温度、湿度等）は Google スプレッドシートに

記録されることから、同学年の理科「季節と生物」で四季に応じた生物・植物と気象情報の関係などを学ぶ活動を行う。それらの結果は、まとめの活動として、記録などを HP にまとめる。この際に使うシステムとしては Google サイトを想定している。

表 3-2 小学校 4 年生における指導案

時期	単元名	時	内容
2 学期 ・ 3 学期	実践・温度記録装置を作ってみよう	1	MESH で作られた温度記録装置を使って、温度記録装置の仕組みはどうなっているのか考える
		2	温度装置の動作の流れをじゅんばんパズル[エラー! ブックマークが定義されていません。]で作る
		3	じゅんばんパズルをもとに MESH でプログラミングを行い、温度記録装置を作る
		4 ～ 5	温度記録装置にあったらよい機能を考える 温度記録装置のプログラムを改良する
		※理科「季節と生物」で観測データを活用	
3 学期	まとめ・今までの記録を HP で紹介	1 ～ 4 5	理科で行ってきた観察日記をまとめたホームページを作成する。 ホームページの作り方を学ぶ。 ホームページを作る。 発表会を行う。

3.5.3 中学校における指導案

表 3-4 に 2021 年度から完全実施される学習指導要領に基づき中学校技術・家庭科技術分野の情報技術に関する指導案を示す。この指導案は、システムの設計過程を重視した指導案を基に新たに検討を行ったものである。設計過程では UML を用いて問題発見からアルゴリズムの構築まで一貫した活動ができるように配慮している。ここで想定されているプログラミング言語は、MicroPython であるが、MakeCode でも可能である。

3.5.4 教育課程外での活用

地域 ICT クラブなど高度な ICT 人材育成を目指した活動が、各地域で行われている。高度な ICT 人材育成を地域で行う場合は、メンターの育成が重要であるが、段階的に学べる学習カリキュラムも重要となると思われる。特に、高度な ICT 技術を取り扱う場合、個々の技術要素を担当するメンターに講座内容を任せるとメンターが扱うカリキュラム間での整合性がとれない場合が予想される。その場合、一貫したテーマを題材で扱い、相互間でデータを共有する取組を行うことで解決すると考えられる。本システムは、設計当初から ICT・データの利活用の 4 段階を意識していることから各技術要素をデータで結びつけることが可能となる。また、地域課題を統一テーマとして扱うことで、複数のメンターで行われる講座でも一貫性が高まることが期待できる。

3.6. おわりに

本報告では、地域課題解決を試行した CPS 学習基盤システムの試作と、活用について教育課程内および課程外での検討結果について述べた。試作した結果、システムは教材化できる可能性が確認できた。今後、教材化を行い、実践を通して確認を行う予定である。

表 3-3 小学校 4 年生から 6 年生での年間指導計画案
「情報科学技術を学ぶ科目」と「情報科学技術を活用した学びを行う科目」

学年： 4 年生												
実施時期 教科等	1 学期					2 学期				3 学期		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
算数		折れ線 グラフ							資料の 整理			
理科	観(季節と 生物)①	天気と 気温		観(季節と 生物)②			観(季節と 生物)③			観(季節と 生物)④		
特別活動	上級生が作った プログラムを 使ってみよう! (温度記録装置等)		プログラミングに 挑戦しよう			実践 温度記録装置を作ってみよう				まとめ 今までの 記録をHPで 紹介		

学年： 5 年生												
実施時期 教科等	1 学期					2 学期				3 学期		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
算数								正多角形		割合とグラフ		
社会										暮らしを支え る情報		
理科		天気の変化		植物と発芽と 成長								
家庭				夏は涼しくさ わやかに					冬は明るく暖 かに			
総合	稲作がテーマの場合 米と食文化 → 米作りの課題, 食生活の課題 ・米について知る ・田植え体験 ・バケツ稲作に挑戦						・稲刈り体験 ・米を食べてみる ・米の良さを伝えよう ・課題の解決方法を考える					
特別活動			温度記録装置を評価・改善 しよう			プログラミングで課題解決大作戦①						

学年： 6 年生												
実施時期 教科等	1 学期					2 学期				3 学期		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
理科			動物の からだの はたらき	植物の からだの はたらき					電気と 私たちの 暮らし			
家庭				夏は 涼しく さわやかに					冬は 明るく 暖かに			
特別活動	・プログラマーについて知ろう ・プログラミングで課題解決大作戦②								成果発表	プログラミングと今後の社会 (まとめ)		

※赤字：「情報科学技術を学ぶ科目」、黒字「情報科学技術を活用した学びを行う科目」、緑字：学習指導要領で記載のあった単元

表 3-4 中学校技術・家庭科技術分野における指導案（2年生で行うことを想定した活動案）

時数	活動内容	学習活動
		活動事例案（N県J市N地区を想定）
0	前提	N県J市N地区の小学校では、5年生の理科において地域住民が所有する田んぼにおいて稲作を学び、田植えから収穫までを体験している。小学校で、スクラッチを使って簡単なプログラムを作成する体験をしている。
1	問題発見：地域住民や関係団体から身近な生活の中で困っている事について話を聞いて、問題を見いだす	地域に居住しており、稲作における農業従事者および行政から稲作を中心とした農業従事者の現状について話を聞く。その内容について話し合いを行い問題を明確にする。 問題として、「農業従事者が高齢化及び兼業化しており田んぼの水口の状態を確認行くことが困難であり、また、定期的に状態を確認することが難しい」ことに気付かせる。
2	課題設定：見いだした問題から、課題を整理する	問題および課題の解決を検討するための模型（水田モデル）を用意する。 グループによる話し合い活動により、問題から制約条件と課題を整理する。その際、状況を計測することで、機器を制御（計測・制御）することで解決できる課題、情報をオンデマンドで利用者が取得（双方向性のあるコンテンツ）することで解決できる課題に整理する。
3	課題解決に使う情報技術の理解として、計測・制御に関するシステム構成について理解する	計測・制御システムが、センサ、コンピュータ、アクチュエータから構成されること、および全体の振る舞いを理解する センサの種類と機能を理解する アクチュエータの種類と機能を理解する
4	課題解決に使う情報技術の理解として計測・制御に関するコーディング技術について理解する	2時で整理した制約条件と課題から課題解決として使えると思われる教具を用いて、計測・制御のプログラミングを体験し、プログラミング言語について理解をする 水田の水位を計測して、水口の閉開を調整する課題に取り組む
5	課題解決に使う情報技術の理解として双方向性のあるコンテンツに関するシステム構成について理解する	情報通信ネットワークの構成と機器について理解をする 情報通信ネットワークの通信方法について理解をする クライアントサーバの構成について理解する
6	課題解決に使う情報技術の理解として双方向性のあるコンテンツに関するコーディング技術について理解する	2時で整理した制約条件と課題から課題解決として使えると思われる教具を用いて、双方向性のあるコンテンツのプログラミングを体験し、プログラミング言語について理解をする。 教具として簡易Webサーバを用いて、リクエストした条件に応じてHTMLが生成されるプログラミングを体験する。
7	情報の技術を活用した課題解決の目標（シナリオ）を設定する	3から6時に体験した技術を用いて、課題解決の目標（シナリオ）をグループ活動で作成する。 作成したシナリオが、問題、制約条件および課題に対応したものであるかをグループ内で検証を行い、改善する。
8	シナリオについて、問題を解決する方法となっているかをレビューし、その結果を共有する	各グループで作成したシナリオをグループ間でレビューして、問題、制約条件および課題に対応したものであるかを検証を行い、改善する。
9	シナリオからユースケース図とイベントフロー図を用いて要求分析を整理する技術を理解する	ユースケース図とイベントフロー図に書き方について理解する。 シナリオからユースケース図とイベントフロー図を用いて要求分析を整理する技術を理解する。
10	シナリオから計測・制御に関する機能についての要求分析を行い要件を整理する	計測・制御に関する機能（水田の水位、気象条件などを観察して水口の制御や育成状況を記録など）をユースケース図とイベントフロー図で表現して整理する。
11	シナリオから双方向性のあるコンテンツに関する機能についての要求分析を行い要件を整理する	双方向性のあるコンテンツに関する機能（指定した条件（日時とう場所）に一致する画像・気象情報を表示する等）をユースケース図とイベントフロー図で表現して整理する。
12	システムの振る舞い図（アクティビティ図など）を用いて詳細設計する技術を理解する	システムの振る舞い図（アクティビティ図、シーケンス図など）の書き方について理解する。 要求分析によって作成されたユースケース図などから、システムの振る舞い図（アクティビティ図、シーケンス図など）を用いた詳細設計を行う技術を理解する。
13	要求分析で整理して明確化した要件に基づき計測・制御に関する詳細設計を行う	計測・制御に関する箇所について要求分析で整理して要件を明確化したユースケース図、イベントフロー図などから、システムの振る舞いを表現しているアクティビティ図等で表現する。
14	詳細設計に基づき計測・制御に関するコーディングを行う	アクティビティ図等で表現したシステムの振る舞いを、python等を用いてコーディングする。 模型（水田モデル）を用いて動作を検証し、デバックを行う。
15	要求分析で整理して明確化した要件に基づき双方向性のあるコンテンツに関する詳細設計を行う	双方向性のあるコンテンツに関する箇所について要求分析で整理して要件を明確化したユースケース図、イベントフロー図などから、システムの振る舞いを表現しているシーケンス図等で表現する。 例えば、サーバとクライアントの動きなどを、シーケンス図やアクティビティ図などで表現する。
16	詳細設計に基づき双方向性のあるコンテンツに関するコーディングを行う	シーケンス図等で表現したシステムの振る舞いを、python等を用いてコーディングする。 模型（水田モデル）やPC等を用いて動作を検証し、デバックを行う。
17	制作したプロトタイプのリビューを行い改善点を探る	グループ間で、制作したプロトタイプをプレゼン（レビュー）する。 レビューの結果に基づいて改善点をグループ内でまとめる。
18	改善点に関する要求分析・詳細設計の改訂を行う	改善点に基づき、要求分析、詳細設計で作成した各図の改訂を行う。
19	要求分析・詳細設計の改訂に関する箇所のコーディングを行う	改訂したアクティビティ図、シーケンス図等に基づいて、python等を用いてコーディングする。 模型（水田モデル）やPC等を用いて動作を検証し、デバックを行う。
20	改善したプロトタイプのリビューを行い、地域・生活に関する問題の解決に対する意義について考える	第1時で現状について話をした農業従事者や行政の担当者を含めて、改善したプロトタイプのリビューを行い、地域・生活に関する問題の解決に対する意義について考える。
21	情報通信技術を使った地域課題の解決に関する現状と未来への課題	AI農業で地域課題を解決している事例を調べて、現状と書来の可能性について考える。 情報通信気象を使って地域課題を解決する場合の課題について考える。
22	情報通信技術を使った地域課題の解決を通して学んだことを振り返る	情報通信技術を使った地域課題の解決を通して学んだことを振り返る。

参考文献

- [1] 文部科学省. Society 5.0 に向けた人材育成～社会が変わる、学びが変わる～. Society5.0 に向けた人材育成に係る大臣懇談会.
- [2] 林康平, 西ヶ谷浩史, 大村基将, 兼宗進. インターネットに計測値を送信できる計測・制御教材の提案. 情報処理学会研究報告. 2018, Vol.2018-CE-145, No. 6, p.1-6.
- [3] 西正明, 手塚綾. IoT を利用した電気の省エネルギー学習教材の開発. 日本産業技術教育学会

会第 62 回全国大会（静岡）. 2019, 2B33, p. 82.

[4] 坂中靖志. Society 5.0 における IoT の役割. 電子情報通信学会誌. 2019, Vol.102, No. 5, p. 378-382.

[5] 総務省. 1-1 : IoT とデータ利活用の全体像. ICT スキル総合習得教.

https://www.soumu.go.jp/ict_skill/pdf/ict_skill_1_1.pdf

[6] 大森康正, 今出亘彦. 初等・中等教育における体系的なプログラミング教育のための評価規
準に関する試案. 情報処理学会研究報告. 2018, Vol. 2018-CE-145, No. 11, p. 1-9.

[7] 大森康正, 荒木彩香音, 飯田弘基. 小学校プログラミング教育のためのアルゴリズム表現の
評価. 日本産業技術教育学会情報分科会. 2020, Vol. 5, p. 29-32

[8] 文部科学省. 中学校学習指導要領. https://www.mext.go.jp/content/1413522_002.pdf

[9] 今出亘彦, 大森康正. 設計プロセスに基づいた課題解決型学習教材の開発と評価. 情報処理
学会第 8 2 回全国大会, 2020, 1ZH-01

[10] 総務省. 地域 ICT クラブ普及推進事業.

https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/kyouiku_joho-ka/IoT_learning.html

4. データ駆動型社会の実現に向けた情報システム教材の開発

4. 1. はじめに

文部科学省「Society5.0 に向けた人材育成に係る大臣懇談会」によると, Society5.0 における
ボトルネックのひとつとして, “学生や社会人が情報科学の素養を身に付けるための受皿となる
情報科学系教育体制の充実が喫緊の課題であると考えられる” が挙げられている。Society5.0 に
おけるコアとなる情報科学技術は, 人工知能 (AI), ビッグデータ, Internet of Things (IoT),
ロボティクス等が挙げられる。これら個々の技術に関しては, 中学校および高等学校の教材と
して多くの研究開発が行われている。

Society 5.0 は, サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合し, データ中心のデータ駆動型
社会である。Society 5.0 の中核となる個々の技術を学ぶことは重要であるが, 高度に融合させ
るためにデータに基づく問題解決を行い, データを中心に個々の技術の関係等を初等・中等教育
において体系的に学ぶ教材および学習基盤システムの研究開発は喫緊の課題であると考えられる。

特に, データ駆動型社会である Society5.0 において共通して求められる力の一つとして, “機
械を理解し使いこなすためのリテラシーや, その基盤となるサイエンスや数学、分析的・クリテ
ィカルに思考する力, 全体をシステムとしてデザインする力” がこれまで以上に必要な力となる
ことが指摘されている。よって, 情報やデータ, ICT に対する見方を, これまでのサイロ型情報シ
ステムの見方から, データ連携型情報システムの見方に転換する必要があると考えられる。

本章では, データ連携型情報システムの見方に基づく, サイバー空間とフィジカル空間を融合
させた Cyber-Physical System (CPS) を学習基盤とする CPS 学習基盤システムとその教材の開発
について述べる。

4. 2. データ駆動型社会における情報システム

4. 2. 1 情報通信技術・データ利活用

情報通信技術 (ICT) ・データ利活用は, 一般的に, (1) データの収集, (2) データの蓄積,
(3) データの分析, (4) 分析・データに基づく作動, の 4 段階にまとめることができる。ICT ・デー

タ利活用の各段階とサイバー空間とフィジカル空間の関係，および各段階において注目されている技術・サービスを，表 4-1 に示す。この ICT・データ利活用の 4 段階により情報システムの技術の評価することができ，システム振る舞い構造や情報・データの流れを考える視点となっている。

表 4-1 ICT・データ利活用の 4 段階と技術・サービス

ICT・データ利活用の段階	注目されている技術・サービス
(1) データの収集【フィジカル】	IoT 機器[センサー]
(2) データの蓄積【サイバー】	クラウド[仮想化・分散技術]
(3) データの分析【サイバー】	AI(人工知能)・機械学習
(4) 分析・データに基づく作動【フィジカル】	IoT 機器[アクチュエータ・ロボット]

したがって，この ICT・データ利活用の 4 段階は，情報システムを体系的に理解・学習する視点として適していると考えられる。

4.2.2 サイロ型とデータ連携型の違い

現在の情報システムの多くは，サイロ型に分類できる。サイロ型は，データ連携基盤の構築を行わず，各システムが，サイロのように垂直方向にいくつも並列される。データ駆動型社会においてはデータやサービスの連携・流通ができないことが課題となる。また，構築されたシステムやサービスの利用をするためには，個々のシステムやサービス毎に API を公開し，それぞれに対応する必要がある，開発コストが高いと考えられる。それに対してデータ連携型は，すべてのシステムやサービスのデータ連携基盤を構築することにより，センサー等の端末から送られるデータなどを効率的に収集・管理したり，システムやサービスで相互に連携させることが可能となる。

代表例がスマートシティ構想の都市 OS などがある。図 4-1 に参考文献[3]に示されているサイロ型とデータ連携型の概念図を示す。サイロ型とデータ連携型の情報システムと ICT・データ利活用の 4 段階は次のようになる。図 4-1 にある端末部分が「データの収集」，データ部分が「データの蓄積」，アプリケーション部分が「データの分析」および「分析・データに基づく作動」にあたる。

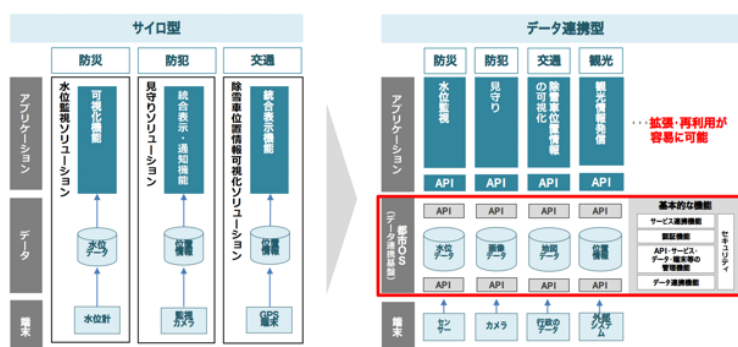


図 4-1 サイロ型とデータ連携型情報システム

このように，ICT・データ利活用の 4 段階に基づき情報システムを明確に構築できるデータ連携型情報システムの一つとしてサイバー空間とフィジカル空間を融合させる Cyber-Physical

System (CPS) がある。我々は、これまでに CPS に基づく学習基盤システムを提案[4]して開発を行っている。

4.3. CPS 学習基盤システムを用いた情報システム教材の開発

4.3.1 CPS 学習基盤システムの概要

図 4-2 に CPS 学習基盤システムの概要を示す。初等教育（小学校）向け CPS 学習基盤システムは、全体の動きをプログラムで把握できようにすることと、分解および手順化に重点をおいて理解できることが重要である。本システムでは、MESH を用いて構築している。MESH はイベントに対するアクションの連鎖でプログラムを記述できることから児童にとっても分解や手順が考えやすいと思われる。

中等教育（中学校・高等学校）向け CPS 学習基盤システムにおいては、初等教育向けの学習基盤システムにおいて学んだ全体の作動に対して、ICT・データ利活用の 4 段階に沿った技術・サービスを比較的簡単に実現できる仕組みが必要であると考えられる。本システムにおいては、以下の通りである。

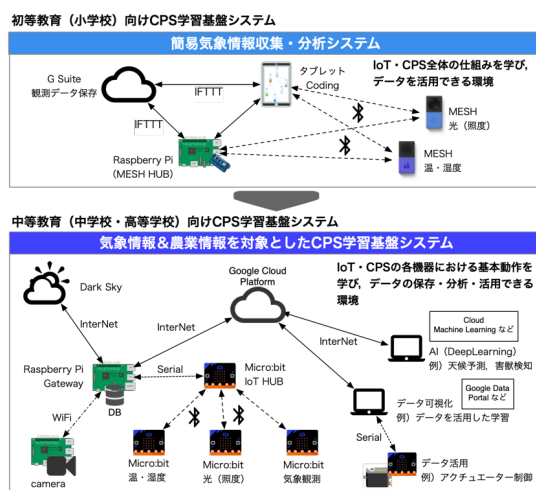


図 4-2 CPS 学習基盤システムの概要

「データの収集」においては、気象データ（温度、気圧など）を観測するエッジ・デバイスとそのデータをまとめる IoT HUB デバイスを、micro:bit を用いて構築する。エッジ・デバイスと IoT HUB デバイス間の通信は、BLE 通信を用いて行う。「データの蓄積」は、HUB デバイスで集めたデータをローカルに一時的に Raspberry Pi Gateway に蓄積し、一定の単位でクラウド（ここでは、Google Cloud Platform を利用）に送信して保存する仕組みを構築する。また、インターネット上の気象情報を Web API 経由で取得してクラウドに蓄積している。「データの分析」は、Google スプレッドシートや Google Data Portal などを用いてデータを可視化したり分析を行ったりする。この段階で AI 技術を活用することも可能である。「分析・データに基づく作動」は、クラウド上にあるデータや分析結果を用いて、エッジデバイスに接続しているアクチュエーターやロボットなどを動かす。

本章では、中等教育（中学校・高等学校）向け CPS 学習基盤システムに基づく情報システム教材を提案する。

4.3.2 CPS 学習基盤システムに基づく情報システム教材の概要

本教材の特徴は以下の通りである。

1. 中学校技術家庭科技術領域の3年次の総合的な課題解決型教材とする
2. 地域課題に対応するCPSを構築する全体像を意識させる
3. ICT・データ利活用の4段階毎に設計から実装までを体験させる
4. 各段階では設計に集中させるために実装段階のアルゴリズムが簡単（できるだけ逐次構造のみ）にするように関数を提供する
5. 製作に関しては、レーザカッターなどデジタルファブリケーションを活用する
6. 先端領域の技術を評価できるように工夫する

地域課題として、我々が生活している北陸地方の主要産業である農業を対象に、気象データ情報を基に農作業など影響を与える天候（雨）を予測する課題を設定することとした。この課題は、理科で学ぶ気圧と天気の利用知識を活用する事とする。それにより、知識とAIによる予測を比較することで先端技術であるAIの評価が可能となることが期待できる。

表4-2に本教材の指導内容と標準的な時数を示す。

表 4-2 教材の指導内容

時数	内容
1	データ駆動型社会における情報システムとは データ駆動型社会, ICT・データの利活用の4段階 (データの収集・蓄積・分析・作動)
2	気象データなどの収集に関する要求分析から設計を行う
3	データの収集 材料加工: 百葉箱の設計
4	材料加工: 百葉箱の制作
5	データ収集のプログラム作成 (micro:bit)
6	データ蓄積 データをクラウドに蓄積するための要求分析から設計を行う
7	プログラムの作成 (python)
8	データの分析手法 (中学校理科で学ぶ, 気圧と天気の関係) の検討
9	データの分析と作動 分析結果から何を作動させるかを決定し, 要求分析から設計を行う
10	作動部分の機構作成とプログラミング(micro:bit)
11	同上
12	総合的な動作確認 各システムの統合と評価
13	中間プレゼンと相互評価
14	AI(機械学習)を用いた分析 数時間分の気圧データを用いた機械学習(python)
15	プログラム作成
16	システムの改良 改良するポイントを検討し再設計を行う
17	再設計に基づきプログラミングを行う
18	プレゼン・まとめ

最初に情報システムの見方として、ICT・データ利活用の4段階を示し、データ駆動型社会にお

ける情報システムの考え方と課題について意識させる。以下、データの収集に関する部分について述べる。

2時間目から5時間目に、データの収集を設計し情報システムを構築する。使う教具は、センサを有しデータを計測するエッジ端末とエッジ端末からのデータを中継する HUB 端末として micro:bit を用いる。また、収集したデータを保管する機器として Raspberry Pi を用いる。Raspberry Pi を用いる理由は、次の段階であるデータの蓄積において Google Cloud Platform などの活用をスムーズに行うためである。

百葉箱は、Tinker Cad を用いて設計を行い、レーザカッターなどで加工を行う。3D モデルとして制作物を設計（図 4-3）するが、部品の表示を制御することで各部品の設計図（図 4-4）を作成することができる。

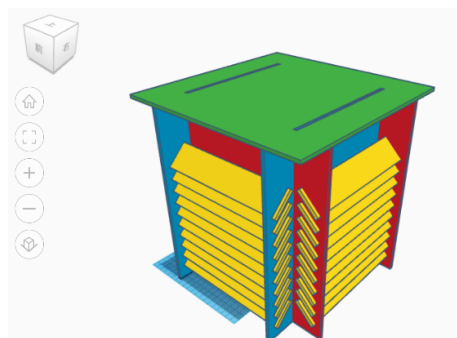


図 4-3 作成する百葉箱の設計（Tinker CAD）

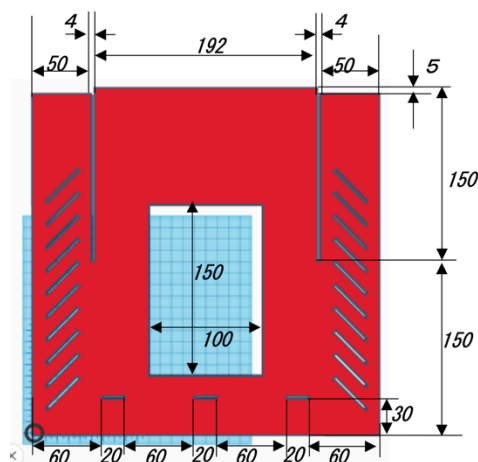


図 4-4 作成する百葉箱の設計図（Tinker Cad から作成）

データの収集に関する情報システムの設計は、上流工程を重視し、ユースケース、ユースケースシナリオを作成する。要求を言語化することで、処理の流れ、データの流れを意識することができる。シナリオを図式化する際に、シーケンス図を拡張した教育用シーケンス図として新たに開発を行った。図 4-5 はデータ収集の段階を表した教育用シーケンス図である。特徴は、時間の流れを意識できること、オブジェクト間のデータ等の流れを明確化していること、処理の手順を記入できること、である。処理の流れは角丸四角で示されており、処理名がプログラミングを行う関数ブロックと対応するようにしている。

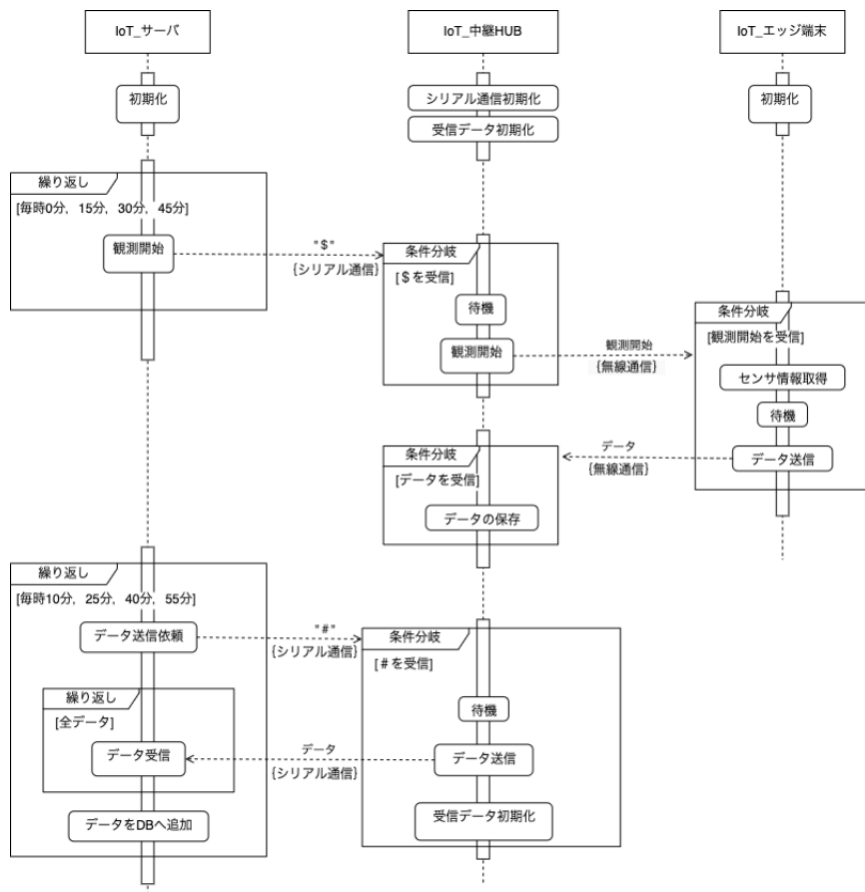


図 4-5 データの収集段階の設計（一部）

図 4-6 に教育用シーケンス図で設計した IoT_中継 HUB を micro:bit のプログラミング環境である MakeCode でプログラミングした結果を示す。関数は、事前に用意している。



図 4-6 図 4-5 に基づき作成したプログラム（一部）

用意している関数を図 4-7 に示す。この事前に用意する関数の定義は、生徒の実態等を考慮して可能な限り生徒が作成するアルゴリズムが逐次構造になるように配慮する。それにより、生徒が設計の上流工程に集中できると考えられる。

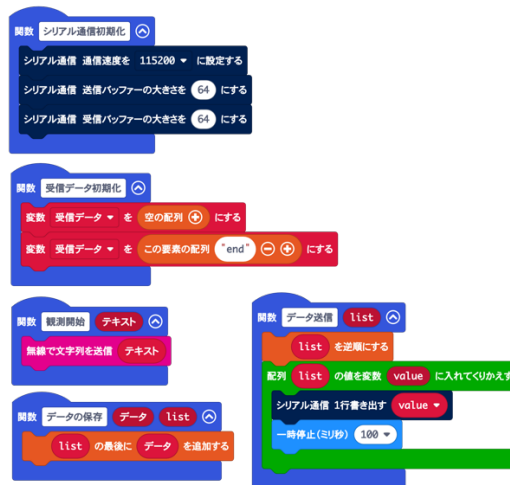


図 4-7 事前に用意する関数プログラム (一部)

なお、データの蓄積以降の段階では、プログラミング言語は python などを用いるが、同様に必要な関数をライブラリ、モジュール化することでプログラミングに対する負荷を軽減するようにしている。

4.4. おわりに

本章では、データ駆動型社会の実現に向けた情報システム教材の開発について述べた。本教材を扱うためには、1年生と2年生の教材を工夫することが重要である。今後、1年生、2年生で扱う教材についても検討を行うとともに高等学校の教科情報との連携についても検討を行い、総合的で体系的な教材へと改良する予定である。

参考文献

- [1] 文部科学省：“Society 5.0 に向けた人材育成～社会が変わる、学びが変わる～”，Society5.0 に向けた人材育成に係る大臣懇談会
- [2] 西正明, 手塚綾乃：“IoT を利用した電気の省エネルギー学習教材の開発”，日本産業技術教育学会第 62 回全国大会（静岡），2B33, pp. 82（2019）
- [3] 総務省：スマートシティ・ガイドブック，ver. 1.00，（2021）
- [4] 大森康正, 荒木彩香音, 浅岡正教, 小林康博：“地域課題解決を志向した Cyber-Physical System 学習基盤システムの試作”，日本産業技術教育学会第 35 回情報分科会（高知），pp. 6568(2020)

5. 研究成果の発表状況

- (1) 大森康正, 阿部暢史: “データ駆動型社会の実現に向けた情報システム教材の開発”, 日本産業技術教育学会第 37 回情報分科会, Vol. 37, pp. 43-46 (2022)
- (2) 大森康正, 荒木彩香音: “アンプラグド型小学校プログラミング教育教材「じゅんばんパズル」の開発”, 日本産業技術教育学会第 63 回全国大会 (千葉) 講演論文集, (2020)
- (3) 大森康正, 荒木彩香音, 浅岡正教, 小林康博: “地域課題解決を志向した Cyber-Physical System 学習基盤システムの試作と考察”, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (CE) 2020-CE-155, pp. 1-8 (2020)

6. 学校現場や授業への研究成果の還元について

研究成果は、学会発表、ホームページでの教材の公開を通して広く社会に還元すると共に、現職教員向けの研修会などを通してその内容を周知し行く。また、学部および大学院における情報関係の授業において、成果を述べると共に演習科目において実践的な教材開発課題として還元していく。