

実習を含む授業に対する  
遠隔地からのインターネットを  
利用した教育支援に関する研究

2020

兵庫教育大学大学院  
連合学校教育学研究科  
教科教育実践学専攻  
(鳴門教育大学)

岩山 敦志

# 目次

第 1 章 諸言 .....	1
1.1 研究の背景 .....	1
1.1.1 少子化による教育への影響と ICT .....	1
1.1.2 教育への ICT 活用 .....	3
1.1.3 先端技術を用いた教育 .....	5
1.2 研究の目的 .....	7
1.3 論文の構成 .....	7
第 2 章 遠隔教育の現状と課題 .....	10
2.1 遠隔教育の概要 .....	10
2.2 コンピュータ会議ネットワーク .....	12
2.3 先行研究 .....	13
2.3.1 テレビ会議システムを活用した授業 .....	13
2.3.2 テレビ会議システムと支援ツールを利用した授業 .....	14
2.3.3 遠隔教育と学習履歴システム .....	14
2.3.4 実験や実習を含む授業と学習履歴システム .....	15
2.4 コンピュータ会議ネットワーク利用の課題 .....	15
2.4.1 先行研究から見える課題 .....	15
2.4.2 IoT 技術を用いた授業 .....	16
第 3 章 実習を含む授業に対する遠隔教育の位置づけ .....	17
3.1 教科・単元の選定 .....	17
3.2 教員に対する事前調査 .....	17
3.2.1 調査方法 .....	17
3.2.2 結果と考察 .....	19
3.3 教育支援用システム .....	21
3.3.1 教育支援用システムの構成 .....	21
3.3.2 学習教材 .....	23
3.3.3 学習過程・成果集約サーバ .....	25
3.4 教員に対する意識調査 .....	28
3.4.1 意識調査の内容 .....	28
3.4.2 調査結果と考察 .....	28
3.5 まとめ .....	30
第 4 章 実習を含む授業に対する遠隔教育支援用システムの構築 .....	31
4.1 教育支援用システムの開発手順 .....	31
4.2 学習履歴表示コンテンツ .....	32
4.2.1 学習履歴表示コンテンツの構成 .....	32

4.2.2	学習履歴表示コンテンツの設計 .....	32
4.2.3	学習履歴表示コンテンツ .....	34
4.3	学習過程・成果集約サーバ.....	35
4.3.1	学習過程・成果集約サーバの構成 .....	35
4.3.2	解析ソフトウェア .....	36
4.3.3	解析ソフトウェアのシミュレーション評価.....	41
4.4	まとめ .....	44
<b>第 5 章</b>	<b>遠隔地からの教育支援用システムの提案 .....</b>	<b>45</b>
5.1	IoT 車輪移動型ロボット教材.....	45
5.1.1	IoT 車輪移動型ロボット教材の構成 .....	45
5.1.2	IoT 車輪移動型ロボット教材の実装 .....	46
5.1.3	時系列的な学習状態の記録方法.....	59
5.2	IoT 教材からの状態遷移情報による評価 .....	60
5.2.1	シミュレーションによるコンテンツ表示 .....	60
5.2.2	IoT 教材実機データによるコンテンツ表示評価 .....	61
5.3	評価用授業の開発 .....	63
5.4	学習指導計画.....	66
5.5	まとめ .....	68
<b>第 6 章</b>	<b>結言 .....</b>	<b>69</b>
6.1	本研究の成果.....	69
6.2	今後の課題 .....	70
参考文献	.....	72
謝辞	.....	76
本研究に関する学術論文	.....	77

## 目 次

図 1-1	学校数の推移 <sup>1)</sup> .....	1
図 1-2	次世代の学校・教育現場 .....	5
図 1-3	Society5.0 のイメージ .....	6
図 1-4	論文の構成 .....	9
図 2-1	遠隔教育の歴史 .....	10
図 2-2	遠隔教育の分類 .....	11
図 2-3	コンピュータ会議ネットワーク .....	12
図 3-1	プログラムによる計測・制御の授業モデル .....	18
図 3-2	教育支援用システムを導入したプログラムによる計測・制御の授業モデル .....	20
図 3-3	遠隔地からの教育支援用システム .....	22
図 3-4	車輪移動型ロボット教材のモデル .....	23
図 3-5	学習過程・成果集約サーバの実装 .....	25
図 3-6	遠隔地からの教育支援用システムの表示例 .....	26
図 3-7	評価履歴一覧例 .....	27
図 4-1	教育支援用システムの開発手順 .....	31
図 4-2	学習履歴表示コンテンツの画面推移 .....	33
図 4-3	学習履歴表示コンテンツの画面例 .....	34
図 4-4	各サービスと状態遷移情報の関係ブロック図 .....	35
図 4-5	車体の回転角の積算値と移動の関係 .....	37
図 4-6	移動距離と座標値の関係 .....	38
図 4-7	移動座標を求める流れ図 .....	39
図 4-8	状態遷移情報の座標値変換例 .....	40
図 4-9	解析シミュレーション(反時計回り) .....	41
図 4-10	解析シミュレーション(時計回り) .....	42
図 4-11	解析シミュレーション(S字曲線) .....	43
図 5-1	IoT 車輪移動型ロボット教材の構成 .....	45
図 5-2	無線 LAN モジュール回路 .....	47
図 5-3	IoT 車輪移動型ロボット教材の構成 .....	48
図 5-4	IoT 車輪移動型ロボット教材の実装 .....	48
図 5-5	ロータリエンコーダの実装 .....	49

図 5-6	ロータリエンコーダの回路.....	50
図 5-7	ロータリエンコーダの出力信号 .....	51
図 5-8	ロータリエンコーダ改良後の回路.....	52
図 5-9	ロータリエンコーダ改良後の出力信号 .....	53
図 5-10	センサモジュール回路.....	55
図 5-11	安定化電源回路.....	56
図 5-12	情報表示・操作回路 .....	57
図 5-13	プリント基板の実装 .....	58
図 5-14	シミュレーションによる正方形の軌跡 .....	60
図 5-15	IoT 教材からのデータによる軌跡 .....	62
図 5-16	授業計画.....	63

## 表 目 次

表 1-1	学校 ICT 環境の整備方針の目標水準	4
表 3-1	調査内容と結果	19
表 3-2	学習教材に搭載した主な部品の仕様	24
表 3-3	学習過程・成果集約サーバの主な仕様	25
表 3-4	教育支援用システムについての評価	29
表 3-5	学習過程・成果集約サーバについての評価	29
表 5-1	主要部の各仕様	46
表 5-2	位相差による回転数の積算	54
表 5-3	多数決処理の有無によるカウント値	54
表 5-4	学習状態データのフォーマット	59
表 5-5	IoT 教材実機による積算値データの例	61
表 5-6	授業評価の質問項目	64
表 5-7	意識調査の質問項目	65
表 5-8	学習指導計画	67

# 第 1 章 諸言

本章では、本研究の背景、研究目的について述べる。

## 1.1 研究の背景

本節では、研究の背景について、学校教育の現状や課題、特に日本国内の少子化による影響と、教育への ICT(Information and Communication Technology; 情報通信技術)活用の推進について述べる。また、文部科学省による先端技術を用いた教育への取組について述べ、新たな学びの推進に関わる必要性を見出す。

### 1.1.1 少子化による教育への影響と ICT

日本では核家族化や少子化などの影響を受け、学校の統廃合が進められている。図 1-1 に学校基本調査の近年 50 年間の学校数の推移を示す<sup>1)</sup>。学校数は、小学校で 1984 年、中学校で 1992 年をピークに年々減少している。文部科学省は、公立小学校・中学校の適正規模・適正配置等に関する手引き<sup>2)</sup>を示し、学校の統廃合を推進している。統廃合を進めることで、一定の規模の児童生徒集団が確保され、経験年数、専門性、男女比等についてバランスのとれた教職員集団が配置されることが期待されている。学校規模の標準は、学級数により小・中学校ともに 12 学級以上 18 学級以下を標準とし、特別の事情があるときはこの限りでないとされ、弾力的に実施されている。これらと、教育上の課題や地域の実

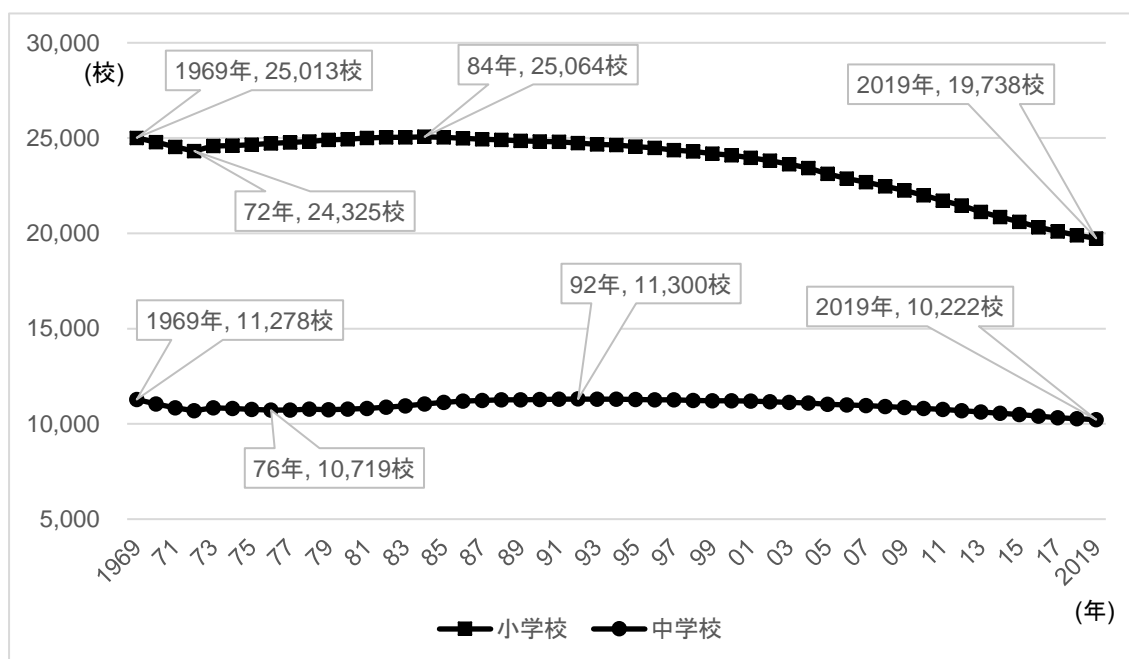


図 1-1 学校数の推移<sup>1)</sup>

情などを加味して、統廃合は進められている。しかし、小規模校であっても統廃合できない条件が次のように示されており、統廃合の困難な学校が存在している。

- (1) 離島や山間部、豪雪地帯など、近隣の学校間の距離が遠すぎる、季節により交通事情が著しく異なるなど、学校統合に伴いスクールバス等を導入しても安全安心な通学ができないと判断される場合。
- (2) 学校統合を行った後に、更なる少子化の進展や地域の産業構造の変化等の事情により児童生徒数が減少するなど、安定的に通学可能な範囲で更なる学校統合を進めることが難しい場合。
- (3) 同一市町村内に一つずつしか小・中学校がなく、かつ既に当該小・中学校が併置されていたり、小中一貫教育が導入されていたりするなど、当該市町村内で統合による学校規模の適正化を進めることが不可能な場合。
- (4) 学校を当該地域コミュニティの存続や発展の中核的な施設と位置付け、地域を挙げてその充実を図ることを希望する場合。

統廃合の困難な学校では、学校が余りにも小規模となったときに多様な意見を取り入れる場面や協働的な学習の場面が減少し、コミュニケーション能力の低下が起こる可能性が懸念されている。また、配属される教員数も限られるため、教員それぞれの専門性を生かした教育を学習者が受けられない可能性も懸念されている。さらに、近隣の学校が遠く離れてしまっていることや、配属されている教員数が限られていることで、学習者の授業時間を確保するために、学校を離れて研修に行くことが困難となっている。これらの懸念されている課題を解決する一つの方法として、ICTの活用が挙げられている。想定されるICTを利用した取組として、参考文献 2)に次のように示されている。

- (1) ICT(例：電子黒板、実物投影機、児童生徒用PC、デジタル教材等)を効果的に活用し、一定レベルの基礎学力を保障する。
- (2) 技能の向上の観点から、ICTを活用して運動のフォームや実習の作業等を動画撮影し、効果的な振り返りに活用する。
- (3) テレビ会議システム等のICTを活用し、他校との合同授業を継続的・計画的に実施する。
- (4) 教室で不足する多様な意見を収集させる観点から、タブレットPC等を全員に整備し、他校の児童生徒との情報交換に活用する。

このように、小規模校ではICT整備を進め、ICTを活用することで、学習者のコミュニケーション能力や学力、技能の向上に効果を発揮できる可能性がある。

一方、少子化による課題とICTについて総務省では、2016年の情報通信白書<sup>3)</sup>に「飲食



業や小売・運輸などで人手不足が顕在化しつつあり、既に労働供給力は限界にきていると警鐘を鳴らしている。これは、1990年代から長らく続いてきた設備や人材などの供給が基本的に過剰だった状況が終焉し、供給力不足が経済の制約要因になりつつあることを示している。」と述べている。また、解決するためには、「ICTによる貢献が期待されるところ、近年ではIoT（Internet of Things）・ビッグデータ・AI（Artificial Intelligence）といった新たなICTの潮流が注目されている。」とし、これらを利用することで、「供給面では基本的には労働投入を増やさずに、業務効率化や財・サービスの高付加価値等が期待できるため、企業活動等の生産性を高めることができる。また、自動化などが進展することにより、労働力をより生産性の高い業務へ集中することができ、効率的に労働の質を高めていくことが可能になる。他方の需要面では、プロダクトイノベーションやマーケティングイノベーションへの貢献から、革新的なサービスやアプリケーションの創出や海外需要の取り込みにも貢献するであろう。」と想定している。これらを受け、社会から見ても少子化から生まれてくる課題に対して、ICTを有効活用していくことは必要不可欠であると考えられる。

### 1.1.2 教育へのICT活用

学習指導要領<sup>4)</sup><sup>5)</sup>においては、情報活用能力が、言語能力、問題発見・解決能力等と同様に「学習の基盤となる資質・能力」と位置付けられ、「各学校において、コンピュータや情報通信ネットワークなどの情報手段を活用するために必要な環境を整え、これらを適切に活用した学習活動の充実を図る」ことが明記されるとともに、小学校においては、プログラミング教育が必修化されるなど、今後の学習活動において、積極的にICTを活用することが想定されている。そのため、学校におけるICT環境整備についても、文部科学省から教育のICT化に向けた環境整備5か年計画<sup>6)</sup>が2018年に策定されている。さらに、2020年にGIGAスクール構想<sup>7)</sup>として、学校のICT環境整備が推進された。これらをまとめた学校におけるICT環境の整備方針で目標とされている水準を表1-1に示す。これまでの整備と大きく変わる点としては、学習者1人に対してコンピュータが1台用意されることと、校内無線LAN整備により、校内のどこからでもネットワークを利用することができることが挙げられる。このことにより、小・中学校の学習者が利用できるコンピュータは、情報端末室もしくはコンピュータ室にしか整備されておらず、利用したいクラスが重なったり、少しの時間だけコンピュータを利用したくても教室移動が必要なため断念したりしていた課題が解決されるようになった。目標水準を満たすことで、学習者は学校内であれば、時間や場所に関係なくコンピュータを利用できるようになる。そのため、学習

者は日常的にコンピュータを利用し、教育内容としても日常的に ICT を利用したものとなることが想定される。また、参考文献 7)によると、学校の ICT 環境整備を行う上で、従来のコンピュータ自身に保存する方式や、学校内もしくは教育センターに設置したファイルサーバに保存する方式ではない、サーバの所在地にとらわれることなく利用できるクラウドサービスの活用も推進されている。そのため、学習者のデータ保存の方式がオンライン上になることで、クラウドサービスの契約の仕方やデータの内容によっては、離れた場所から学習者のデータを利用することができ、遠隔教育につながる活用も想定されている。

表 1-1 学校 ICT 環境の整備方針の目標水準

種類	目標水準
学習者用コンピュータ	1 人に 1 台
教員用コンピュータ	授業を担当する教師 1 人 1 台
大型提示装置・実物投影機	各教室 1 台，特別教室 6 台
超高速インターネット及び無線 LAN	1Gbps 整備を目標にどの教室からも大容量の動画が視聴できる

### 1.1.3 先端技術を用いた教育

文部科学省は 2018 年 11 月から新時代の学びを支える先端技術のフル活用に向けた基本的な方向性を公表し<sup>8)</sup>、その活用方策の具体化の検討を進め、2019 年 3 月に中間まとめを発表した<sup>9)</sup>。その一部をイメージとして図 1-2 に示す。目指すべき次世代の学校・教育現場として、「良質な授業・コンテンツ」、「児童生徒の効果的な学びの支援」、「教師の経験値と科学的視点のベストミックス」、「校務の効率化」の 4 つが挙げられ、具体的な支援方法等について想定されている。子供の力を最大限引き出す学びを実現するため、教員が個々の学習者の様子や学習状態を同時に把握し、それらを定量的に可視化できるように ICT を基盤とした遠隔技術など最適な先端技術を効果的に活用することが示されている。特に、①遠隔教育の推進による先進的な教育の推進、②教師・学習者を支援するための先端技術の効果的な活用、③先端技術の活用のための環境整備については、「新時代の学びを支える先端技術の活用推進方策」<sup>10)</sup>を提示し、研究や整備等も進められている。

また、ICT を基盤とした遠隔技術など最適な先端技術については、内閣府は 2016 年から科学技術基本計画として、Society 5.0 と呼ばれる世界に先駆けた超スマート社会を実現する目標を掲げている<sup>11)</sup>。Society 5.0 は、狩猟社会(Society 1.0)、農耕社会(Society 2.0)、工業社会(Society 3.0)、情報社会(Society 4.0)に続く、新たな社会を指すもので、未来社会

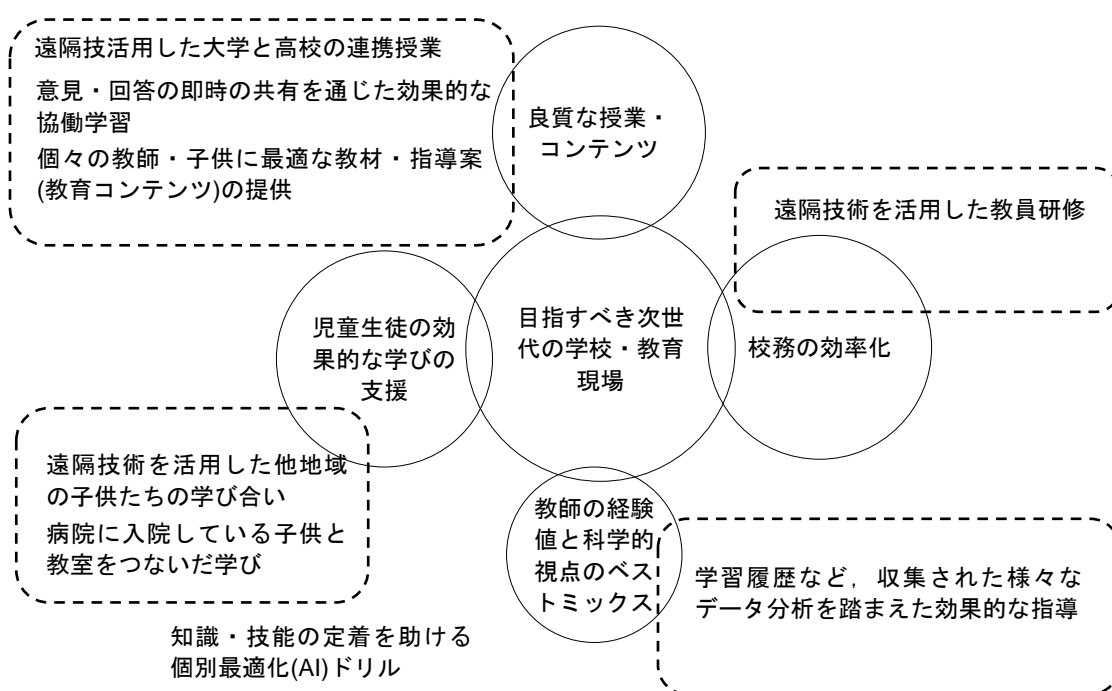


図 1-2 次世代の学校・教育現場

の姿として提唱されている。Society 5.0 で実現する社会は、IoT（Internet of Things）で全ての人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すことで、これまでの分野横断的な連携についての課題や困難を克服するものとされている。Society 5.0 の仕組みについてのイメージ図を図 1-3 に示す。基盤技術について、IoT を用いたシステム構築やビッグデータ解析と利用について強化を図り、これまでの社会になかったサイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムの実現をねらいとしている。

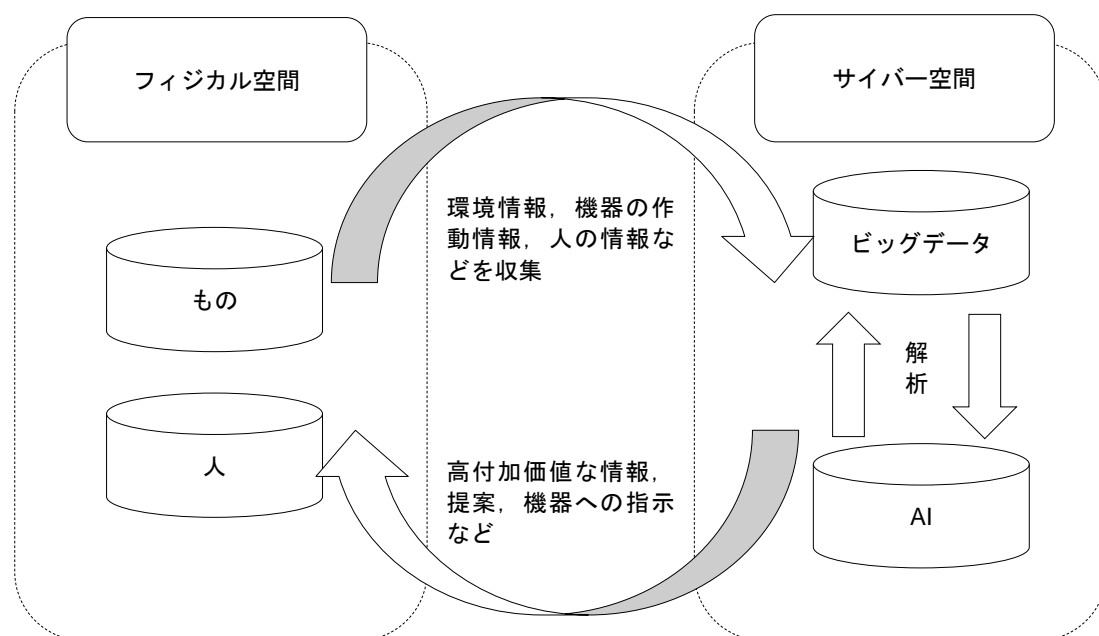


図 1-3 Society5.0 のイメージ

## 1.2 研究の目的

学校教育に ICT が普及し、様々な教科教育活動において利用されている。ICT を生かすことで、遠く離れたところにいる学習者や教員が専門的な知識を持った人から学ぶことが可能となる。また、ICT を利用して学ぶことで学習状態を自動的に記録・解析することで、自己や他者による評価が容易となる。

本研究の目的は、教科内容を取り扱う上で、実験や実習を含む授業を対象として、遠隔地にいる学習者の活動を教員が時系列的に把握し、効果的に指導できる教育支援用システムの構築とその評価を行うことである。

本論文では、教科内容として、中学校技術・家庭科(技術分野)(以下技術科)の「プログラムによる計測・制御」を取りあげ、前述のシステムを構築するための要件と具体的なシステム構成を示すとともに、学習教材に IoT を導入することを提案し、それぞれの具体的な開発方法と評価について述べる。また、教育支援用システムと学習教材に IoT を導入した教材(以下、IoT 教材)を用いた授業実践について検討する。

## 1.3 論文の構成

本論文の構成について図 1-4 に示す。

第 1 章では、研究の背景と研究の目的について述べ、本論文の構成を示している。

第 2 章では、遠隔教育の概要および、前述した先端技術を利用した教育の現状と課題について述べる。最初に遠隔教育の中でも、合同学習として利用されることの多い、テレビ会議システムを用いた教育について述べる。次に先端技術を利用した教育の現状について述べ、課題を明らかとする。

第 3 章では、実験や実習を含む授業に対する遠隔授業の位置づけを明らかとし、教育支援用システムを構築するための要件と具体的なシステム構成を示すとともに、学習教材に IoT を導入することを提案し、教員の視点から評価した結果について示す。

第 4 章では、第 3 章に述べた IoT 教材から取得した状態遷移情報に基づく学習履歴を用いて教育支援することや、学習評価することに着目し、教育支援用システムを構成する一部である学習過程・成果集約サーバにおいて、新たに教員の視点で学習履歴を効果的に表示するコンテンツの開発を目的とした。学習履歴表示コンテンツを構成するために必要な状態遷移情報を座標値に変換するソフトウェアの解析試験結果による評価について述べる。

第 5 章では、IoT 教材の実装方法について述べ、第 4 章に述べた学習過程・成果集約サー

バに対してデータ送信を行い，コンテンツ表示について評価する。また，教育支援用システムを用いた学習環境を授業実践で用いるための授業計画について検討する。

第6章では，結言として各章で得られた結果を総括した結論について述べる。

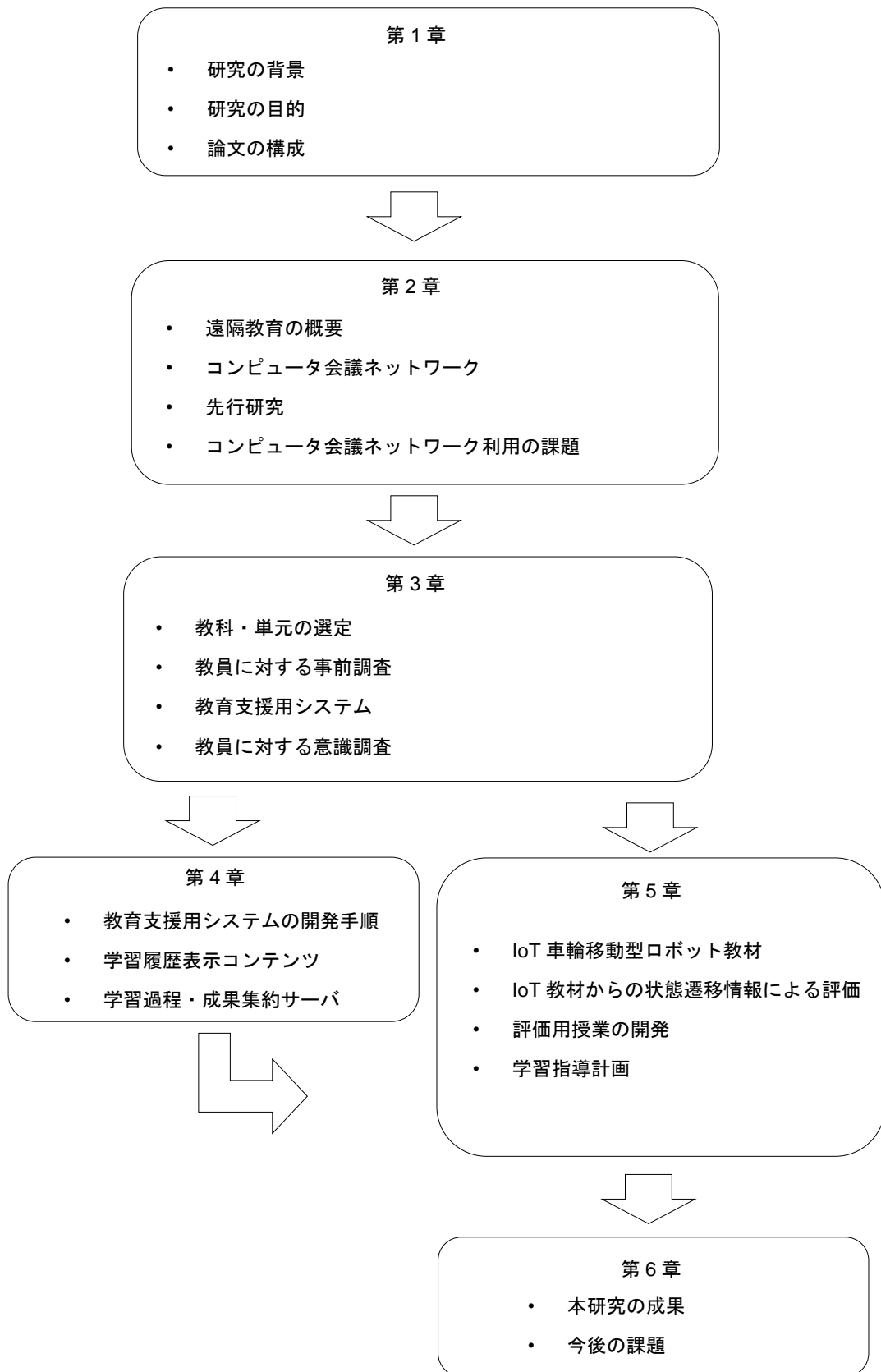


図 1-4 論文の構成

## 第2章 遠隔教育の現状と課題

本章ではまず、本研究が準じる遠隔教育について述べ、その後、現在利用されているコンピュータ会議ネットワークについて述べる。また、先行研究について述べ、本研究のねらいを明確にする。さらに、先行研究から導かれる課題に触れるとともに、IoT (Internet of Things) 技術利用について紹介し、新たな視点に基づく教育支援環境の開発についての可能性を論じる。

### 2.1 遠隔教育の概要

遠隔教育について、Michael G. Moore と Greg Kearsley によると<sup>12)</sup>、「遠隔教育は、教える場所から離れたところで起こる計画的な学習であり、その結果、特別なコースデザインの技術、特別な教授法、電子技術や他の技術による特別なコミュニケーション方法、そして組織・運営面での特別な準備を必要とするものである。」と定義されている。遠隔教育の歴史について図 2-1 に示す。歴史を分類すると、第3世代に分けることができ、1世紀ほど前に第1世代が通信教育として始まった。第2世代は1970年代初期における最初のオープン大学の登場に始まり、テレビ放送やビデオテープによる教材の配信となる。第3世代はテレビ放送やビデオテープによるコース教材の配信や電話等による質疑応答が行われるようになった。新世代は1990年代からのテレビ会議システム(以下 VCS と略記)を含むコンピュータ会議ネットワークとマルチメディアワークステーションを基盤とし、現

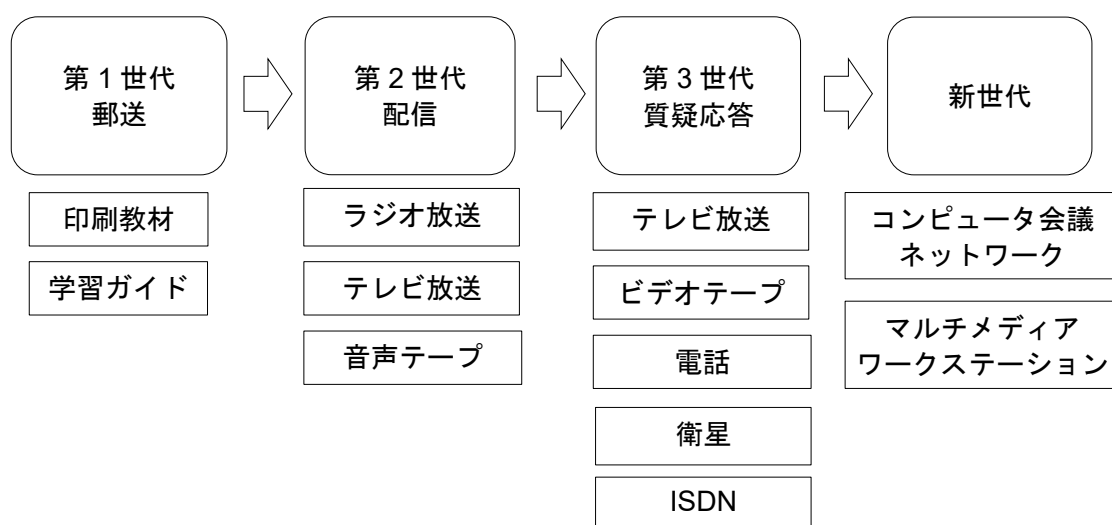


図 2-1 遠隔教育の歴史



代へと続いている。

また、2018年に文部科学省委託事業により作成した遠隔教育システム活用ガイドブック第1版<sup>13)</sup>では、学校における遠隔教育について目的、接続先などを踏まえて分類している。分類について図2-2に示す。A分類は、他の学校とつないで合同で授業を行うことで、協働して学習に取り組んだり、多様な意見や考えに触れたりする機会の充実を図っている。内容は、遠隔地同士を結び、互いの学校や地域を紹介するような「A1：遠隔交流学习」と、同じ内容の学習を遠隔地から同時に行う「A2：遠隔合同授業」の2種類がある。B分類は、遠隔地にいる講師等が参加して授業を支援することで、自校だけでは実施しにくい専門性の高い学習の充実を図っている。内容は、学校の兼務等により他校にいるネイティブスピーカーによる学習を想定した「B1：ALTとつないだ遠隔学習」、学校内では学べないような専門的な知識に触れ、学習ができる「B2：専門家とつないだ遠隔学習」、免許外教科担任が指導する学級と当該教科の免許状を有する教員やその学級を結び、より専門的な指導を行う「B3：免許外教科担任を支援する遠隔授業」、高等学校段階において、学外にいる教員とつなぐことで、校内に該当免許状を有する教員がいなくても、多様な教科・科目を履修できるようにする「B4：教科・科目を充実させるための遠隔授業」の4種類がある。C分類は、特別な配慮を必要とする学習者に対して、遠隔地から支援することでそれぞれの状況に適したきめ細かい支援の充実を図っている。内容は、外国にルーツを持つ学習者と日本語指導教室等を結び、日本語指導の時間を確保する「C1：日本語指導が必要な児童

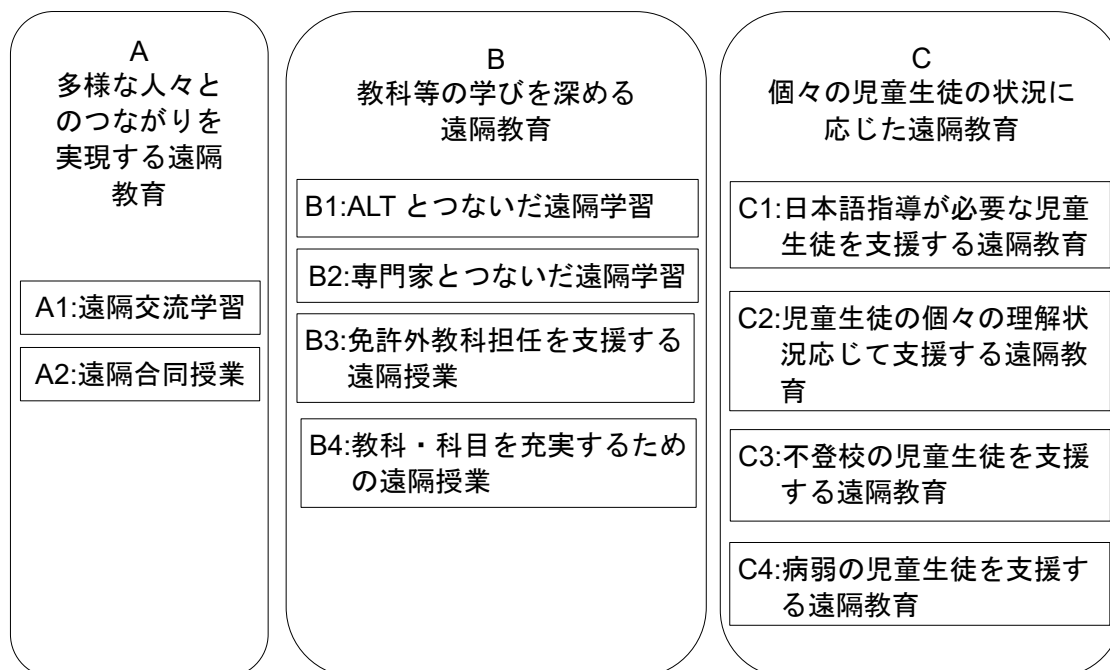


図 2-2 遠隔教育の分類

生徒を支援する遠隔授業」，学習者個々と学習支援員等を個別に結び，学習者の理解状況に応じて学習の支援を行う「C2：児童生徒の個々の理解状況に応じて支援する遠隔授業」，自宅や適応教室を結び，不登校の学習者が授業に参加できる「C3：不登校の児童生徒を支援する遠隔教育」，病室や院内分教室を結び，授業に参加できる「C4：病弱の児童生徒を支援する遠隔教育」，の4種類がある。

さらに，2014年の文部科学省の報告<sup>14)</sup>では，遠隔教育の定義・分類を同時双方向型とオンデマンド型の2種類に分けている。同時双方向型は，リアルタイムで授業配信を行い，質疑応答等の双方向のやりとりを行うことが可能である。オンデマンド型は，事前に収録された授業を配信することにより，視聴したい時間に受講することが可能である。

## 2.2 コンピュータ会議ネットワーク

現代の遠隔教育で用いられているコンピュータ会議ネットワークについて図 2-3 に示す。主幹校となる A 学校と接続校となる B<sub>1</sub> 学校(n は接続校数)の接続を例にすると，必要な機材などは，コンピュータ，コンピュータに接続できるカメラ，マイクおよびネットワーク，会議システムサーバを利用するアプリケーションであり，全学校で必要となる。申し合わせた時間に，全学校からアプリケーションおよびネットワークを利用することで，互いにそれぞれのカメラからの映像や音声を送受信することで会議が成立する。会議の形態は 1 対 1 から，互いのカメラの範囲内に収まる人数を最大として，会議の内容によって個人の

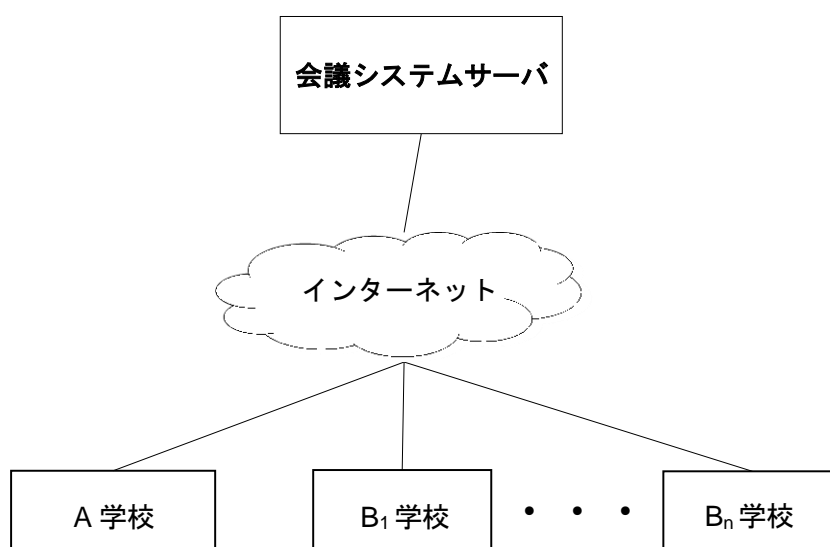


図 2-3 コンピュータ会議ネットワーク

表情が見えるかどうかまでが重要となる。

これまでは、専用機器や専用の部屋を利用した、VCS が主流であり、整備するためには高額となり、環境作りは困難であった。しかし、近年ではカメラやマイク、ネットワーク環境が高性能となったこと、スマートフォンやタブレットコンピュータが普及したこと、学校に電子黒板が導入されたことを受け、専用機器が必要なく、場所を選ばない安価な VCS が整備できるようになった。

## 2.3 先行研究

ここでは遠隔教育の先行研究について、VCS を活用した授業の研究、VCS と支援ツールを利用した授業の研究、遠隔教育に学習履歴システムを導入した研究、実験や実習を含む授業に学習履歴システムを取り入れた研究について報告する。

### 2.3.1 テレビ会議システムを活用した授業

図 2-2 の A に関連する学習として、K 県では、主に総合的な学習の時間における教育活動において、VCS の有用性が認識されている授業事例の報告<sup>15)</sup>がある。連合で修学旅行に行く学校同士で共通理解を図る授業や、互いの学校で作成した新聞や動画を紹介し、それぞれの地域の良さに気づいたり、取り組んだ授業の成果や課題を見つけたりする授業事例が紹介されている。さらに、沢井・東の研究<sup>16)</sup>では、小学校 4 年生対象の授業で VCS を活用して交流学习と教科を合わせた授業実践が行われている。授業内容は、社会科のごみ処理の学習を環境教育に発展させ、総合的な学習の時間に VCS を活用することで、周辺地域の他の学校と協同学習を行ったものである。

一方、図 2-2 の B に関連する学習として、山田・今井らによる、シドニー大学の日本語授業に埋め込むモジュール授業に VCS を活用した実践報告<sup>17)</sup>では、シドニー大学と岐阜大学を VCS で結び、双方向にリアルタイムで授業行うことで、学習者のニーズにあった授業ができた反面、わかりやすい授業を模索するほど準備が必要であるという報告があった。以上のような交流学习に VCS 利用する方法は、堀田・黒田らの研究<sup>18)</sup>でも基礎的知見としてまとめられている。

さらに、萱野・筒井らの研究<sup>19)</sup>では、「理科授業に対して VCS を活用し、肯定的な効果を得ることができたが、VCS だけでは学習者の思考の流れやつまづきを追跡することはできなかった。」という報告があった。

### 2.3.2 テレビ会議システムと支援ツールを利用した授業

鈴木・水越らは、小学生が利用でき、遠隔の教員から教材提示ができ、学習者の学習過程を観察するための教育支援ツールを開発した<sup>20)</sup>。利用形態は、遠隔の教員1名と複数の小学生(10名以下)を想定し、日本語授業を行う。

教育支援ツールはVCSと併用して利用され、ホワイトボード機能、画面提示機能、文字提示機能を有している。ブラウザソフトを介して通信が行え、教員からは学習者のブラウザ上に画像や文字を送信し、教材として提示することができる。学習者と教員の間ではホワイトボード機能を用いて、情報の共有を行うことができる。さらに教員側では各学習者の様子をリアルタイムで表示することができる。評価は、動作評価となっており、サーバ負荷の評価および表示のリアルタイム性の評価となっている。モデルについては有用性を示す結果となっているが、教育実践としては、条件を満たすサーバやネットワークの環境設定の解決が課題となっている。

### 2.3.3 遠隔教育と学習履歴システム

2.1で述べたように、遠隔教育には双方向型とオンデマンド型の2種類があり、双方向型はVCSを利用した授業が多く、学習者の様子を俯瞰して評価できていた。しかし、オンデマンド型は1方向のみの情報発信のため、学習者の様子が特に把握しにくかった。そこで、学習履歴システムの研究<sup>21)</sup>を応用し、学習者の様子を把握する方法を見いだしている。米満・梅崎らは、配信しているVideo-On-Demand(以下VODと略記)の学習コンテンツを、視聴した累計時間や小テストの評点などを学習履歴として集約する研究<sup>22)</sup>を行っている。学習履歴機能はVODのストリーミングサーバと連動しているため、視聴した累計時間を残すことができる。導入によって、教員からは学習者の個々の指導が行いやすくなったという意見があり、学習者には自分の学習状況の確認が可能となったためサービスが向上したという意見があげられている。不破・右代らはオンデマンド型に分類される自学自習型学習では、学習停滞が起りやすいことを指摘し、それを防ぐ方策として学習状況を把握することを挙げている<sup>23)</sup>。学習者の記録された履修履歴を細かく分析することで、学習状況を把握し、早期に意欲低下問題を検知することで、学習者へのサポートを早めている。同様に、高岡・大澤らの研究<sup>24)</sup>においても、学習者の学習履歴を確認することで、自学自習のつまづきを早期発見する報告がされている。

また、双方向型の遠隔教育においてもVCS以外に学習者の様子を個々に把握するための研究がなされている。永森・植野らによる研究<sup>25)</sup>では、教員がリモート操作することのできるカメラを学習者側に設置したり、Webコンテンツを利用したりすることにより、授業

評価を向上させている。Web コンテンツは、授業の出欠席の内容や授業進行の過程において、学習者の理解の応答を送信させる機能を有している。これらにより、遠隔地においても学習者個々の様子が、VCS だけの情報より詳細に教員に伝えられることから、教員が補足説明を行い、学習者全体の理解度および、授業評価を高めることができている。

#### 2.3.4 実験や実習を含む授業と学習履歴システム

実験や実習を含む授業においても、学習履歴システムが取り入れられている事例がある。例えば、長・寛が開発したプログラミング学習履歴検索システム<sup>26)</sup>は、プログラミング学習における、ファイルの保存、プログラムの翻訳、プログラムの実行の記録を保存し、学習履歴の解析に役立てている。教員が利用することで、他の学習者も同じつまづきがないかを確認したり、そのつまづきに対して教材や指導方法を修正したりすることが、迅速に行うことができる。中澤・荒本らもプログラミング学習において、編集中のプログラムを10秒毎に自動保存し、学習履歴を可視化するシステムを開発している<sup>27)</sup>。学習者のプログラミングの変遷は、自動保存されたデータの差分をとって表示され、学習者の理解状況や思考のプロセスを把握するために利用されている。

参考文献<sup>26)</sup>、<sup>27)</sup>では、プログラミングの実習について、コンピュータ以外の媒体に出力する必要がなかったため、学習履歴についても同じコンピュータ上で残すことができた。しかし、プログラミングの実習には、プログラムを別の媒体に記憶させ、実行することでセンサやモータ、ライトとプログラムの関係を学習する授業もある。森はプログラムをロボットに転送し、動作させる授業について学習履歴を記録する研究を行った<sup>28)</sup>。記録方法は、班毎にカメラを設置し、VTR 映像として保存した。授業後にこの VTR 映像を確認しながら、学習者の作業の分析を行い、評価に用いている。

### 2.4 コンピュータ会議ネットワーク利用の課題

ここでは、先行研究から導かれる課題に触れるとともに、IoT 技術利用について紹介し、新たな視点に基づく教育支援環境の開発についての可能性を論じる。

#### 2.4.1 先行研究から見える課題

遠隔教育の先行研究では、総合的な学習の時間や特別活動などの時間を利用した交流学习、合同学習や協同学習の形態が多く、教科教育においても題材としては教科で扱っているが、授業形態として合同学習や協同学習をとっている内容となっている。その際の題材は主に会話が中心とされる内容で構成されている。しかし、会話が中心とならないような

実験や実習を含む授業に対しての授業事例は極端に少なかった。その理由として、参考文献 25)では、(1)教員が学習者の反応がわかりにくい。(2)学習者自身は教員に認知されると感じる必要がある。の2つが遠隔授業の問題点となることを指摘している。参考文献 19)においても、「VCS だけでは学習者の思考の流れやつまづきを追跡することはできなかった。」という報告があり、実際、VCS だけでなく支援ツールや学習履歴システムを導入している事例が多い。そこで、実験や実習を含む授業に対しての学習履歴システムについて調べたが、実験や実習のように教材を扱いながらの学習履歴を残す事例は少なく、VTR 映像を利用して分析するものとなっていた。VTR 映像を分析するには時間と労力を有するため、教員がすぐに扱うには困難なものとなる。そこで、これからのコンピュータ会議ネットワーク利用の課題は、実験や実習による教材を扱う授業において、遠隔地から教育支援を行うことである。そのために、教材自体から学習履歴を取得することが、支援ツールの1つとなることが考えられる。さらに、教材が学習履歴を取得するためには、IoT 技術を取り入れることが有力と考えた。

#### 2.4.2 IoT 技術を用いた授業

現在、IoT を教材として授業に活用している事例については、間辺・長島らによる高等学校におけるプログラミング教育の報告<sup>29)</sup>がある。ここでは、複数言語によるプログラミング教育の中で、IoT を体験させ、学習内容と情報社会との関連を学習者に意識させている。また、川路・谷田らによる技術科での IoT を活用した製品モデルを設計・製作する授業の開発<sup>30)</sup>では、IoT の仕組みについて学習者に理解させ、IoT の製品モデルを設計・製作させている。さらに、岡・田中は IoT 技術について学習する教材が作成できるような遠隔操作システムを試作している<sup>31)</sup>。しかし、これらの研究は IoT 技術の仕組みの理解を深めさせることで、教科教育として教育的な有用性を明らかにしているが、IoT を利用して教育そのものを支援したものではなかった。本研究では、IoT を用いて、実験や実習の授業における学習状況を把握し、効果的に教育支援するシステムの開発を行う。

## 第3章 実習を含む授業に対する遠隔教育の位置づけ

本章では、実験や実習を含む授業において教科や単元の選定を行い、教員に対する課題調査から、開発するシステムを提案する。また、試作したシステムについて教員に説明した後に行った、アンケートによる意識調査の結果について述べる。

### 3.1 教科・単元の選定

教科・単元の選定の候補については、まず第1に実験や実習を含む教科から選定することとした。第2にこれからの教育で求められる内容とし、国の施策に新しく記載された内容とした。2020年度から全面実施される小学校学習指導要領<sup>4)</sup>では、プログラミング教育が必修となり、2021年度から全面実施される中学校学習指導要領<sup>32)</sup>では、プログラミングに関する内容が充実されている。また、新学習指導要領を見据えた小中高等学校教員の「ICT活用指導力向上」のためのICT活用指導力向上研修実施モデル解説書<sup>33)</sup>によると、教員のICT活用指導力の向上が急務とされていることから、プログラミングに関する内容とした。さらに、先行研究も多いことから、対象を中学校技術・家庭科(技術分野)(以下技術科)とし、内容をプログラムによる計測・制御とした。

### 3.2 教員に対する事前調査

ここでは、教員に対する事前調査の方法および、調査結果と考察について述べる。

#### 3.2.1 調査方法

授業を担当している教員が、これまでの授業環境を踏まえて回答できるように、中学校学習指導要領(2008年)に告示された技術科の内容D情報に関する技術(3)プログラムによる計測・制御<sup>34)</sup>を対象として教育支援用システムを設計する。調査のため想定したプログラムによる計測・制御の授業モデルを図3-1に示す。学習者は最初にセンサの働きの仕組み、プログラムの制作方法やプログラムの学習教材への転送の方法など、プログラムを組むための基礎知識について学び、学習課題を解決するためのプログラムを考案する学習を行う。学習者はまず、課題を解決できるプログラムを組み、学習教材にその動作等をさせる。次に、学習教材の状態を確認して、目的とした動きと一致しているかを判断する。学習者は、目的とした動きができるまでプログラムの修正を繰り返して課題を解決する。教員は、学

習教材の動作から読み取れる学習者の学習成果や過程を確認するとともに、学習者の課題に応じたプログラムの工夫や改善に向けてアドバイスや評価を行う。

この授業モデルを想定し、本システム的设计要件を明らかにするため 2017 年度に T 県内公立中学校において主に技術科を担当している教員 20 名に対して課題調査を行った。調査項目は、「プログラミングによる計測・制御における作品の記録に対する意識」で、「作品の記録を残すことは有用であるか」「作品の記録を残すことができていると思うか」「作品の記録を残して利用できると思われる項目は何か」とした。ここで「作品の記録」とは、学習者の作成したプログラムによって動作しているロボットの位置を時系列的に記録することを示す。

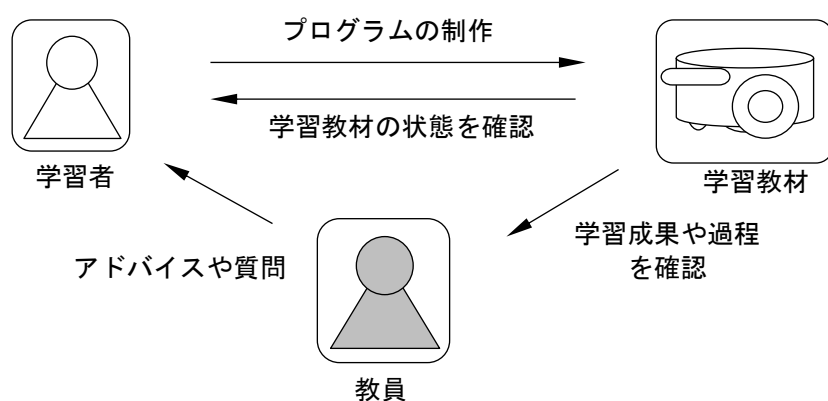


図 3-1 プログラムによる計測・制御の授業モデル



### 3.2.2 結果と考察

調査内容と結果を表 3-1 に示す。生徒のプログラムによる計測・制御の作品に関して時系列的に記録することに対して、95%の教員が有用であると回答した。しかし、55%の教員は、あまり作品の記録を残すことができていないと回答した。作品の記録に関する利用方法について回答率が高かったのは、生徒に対する「生活を工夫し創造する能力」の評価が95%、生徒自身によるプログラムへの修正点の発見が95%、生徒自身によるプログラムへの工夫点の発見も75%の回答であった。

これらの結果から、生徒のプログラムによる計測・制御では作品の記録を重要視しつつも記録がとれていないという実態が見えてきた。そのため、本研究で構築する教育支援用システム的设计要件として、(1) 学習者への評価やプログラムの修正点や工夫点の発見に

表 3-1 調査内容と結果

(n=20)	
質問文	肯定的 回答(%)
生徒のプログラムによる計測・制御の作品の記録（ロボットなら実際の動きの様子のデータ，LED なら実際に光った様子のデータ，など）を時系列とともに残すことは有用だと思いますか。	95
生徒のプログラムによる計測・制御の作品の記録（ロボットなら実際の動きの様子のデータ，LED なら実際に光った様子のデータ，など）を残すことはできていると思いますか。	55

(n=20)	
項目	選 択 割 合(%)
生徒のプログラムによる計測・制御の作品の記録（ロボットなら実際の動きの様子のデータ，LED なら実際に光った様子のデータ，など）を残して利用できると思われる項目	
生徒自身によるプログラムへの修正点の発見	95
生徒自身によるプログラムへの工夫点の発見	75
生徒に対する「生活や技術への関心・意欲・態度」の評価	40
生徒に対する「生活を工夫し創造する能力」の評価	95
生徒に対する「生活の技能」の評価	75
生徒に対する「生活や技術についての知識・理解」の評価	50
生徒自身による「生活や技術への関心・意欲・態度」の自己評価	10
生徒自身による「生活を工夫し創造する能力」の自己評価	65
生徒自身による「生活の技能」の自己評価	40
生徒自身による生活や技術についての知識・理解」の自己評価	20
教師による生徒のプログラムの修正点の発見	40
教師による生徒のプログラムの工夫点の発見	70

対して、一定の役割を果たすために学習者の学習履歴を学習者や教員に対して少ない負担で記録すること (2) 遠隔地にある複数の学校に所属する教員ならびに学習者が学習過程と成果について相互に参照できること, (3) 学習教材の状態を各種センサで計測し、無線 LAN を介してサーバに情報を送信すること, を設定した。

前述した設計要件を満たす教育支援用システムを導入したプログラムによる計測・制御の授業モデルを図 3-2 に示す。これまでの授業では、学習者は学習教材の時々刻々と変化する状態を確認しながらプログラムの制作を行い、教員からのアドバイスについても動作中の教材の状態に応じてしか得られなかった。そこで、教育支援用システムでは、まず学習教材の状態について、各種センサを用いて時系列的なデータとして取得する。そのデータは、学習過程・成果集約サーバ(以下、LCS と略記)のデータベースに無線 LAN を介して保存される。学習者は時々刻々と変化する学習教材の状態を確認するとともに、それまでの状態をデータベースから LCS の Web サービスを介して参照できる。遠隔地から授業を行った際、主幹校の教員および、従属校の教員が LCS から学習者の学習教材の状態履歴を参照し、生徒へアドバイスや質問を行うことができる。

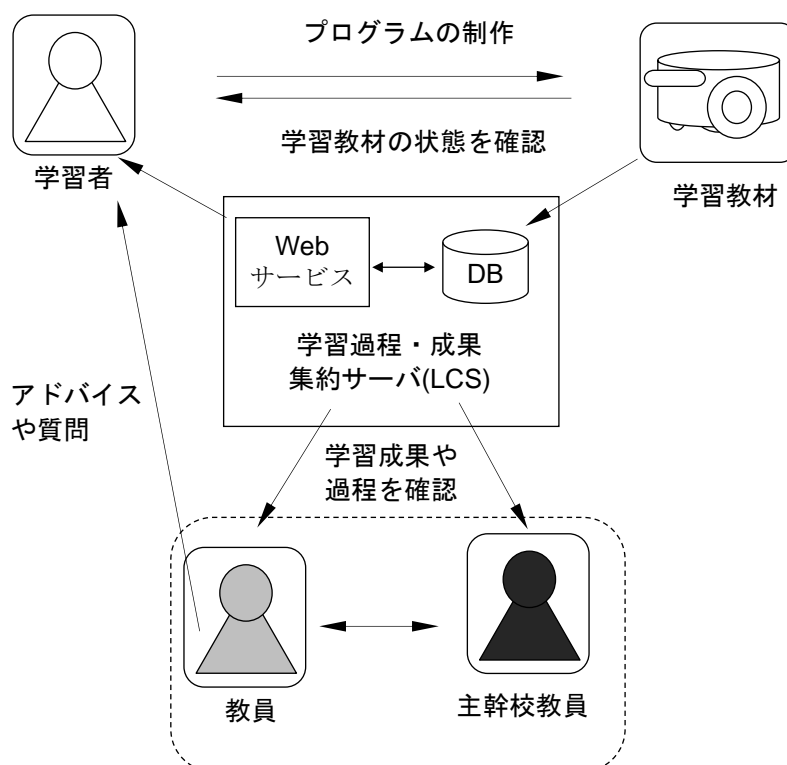


図 3-2 教育支援用システムを導入したプログラムによる計測・制御の授業モデル

### 3.3 教育支援用システム

ここでは、事前調査の結果から得た内容から教育用支援システムを構成し、実装例について述べる。実装例については、システムの一部となる学習教材と、LCS の実装について述べる。

#### 3.3.1 教育支援用システムの構成

遠隔地からの教育用支援システム構成について図 3-3 に示す。調査結果から得られた「生徒の記録を残すことは工夫・修正・評価を支援できること」に着目し、同時に授業を行う必然性よりも授業時間に差違が起きても対応可能なシステム構成とする。そのため、学校間でデータ保存や移動が既設のネットワークで行いやすいクラウドサービスに含まれるオンラインストレージサービスを利用した遠隔地からの教育支援用システムを構築する。このシステムでは各学校に LCS を設置し、必要に応じて学習過程・成果データをオンラインストレージサービスやファイル共有サーバで送受信する構成としている。

本研究で取り扱う遠隔地からの授業支援方法は、インターネット接続された各学校において、主幹校である A 学校の教員がテレビ会議システム(以下 VCS と略記)などを用いて指導し、 $B_i, i=1\sim n$  学校の学習者も含めて一斉授業を行う。ここで、 $B_i, i=1\sim n$  学校の各教員は、仮想的なチーム・ティーチングにかかわる者として振る舞う。A を含め  $B_1\sim B_n$  の学習者たちは所属校の教員に質問できる。所属校の教員がその質問に対応できない場合、主幹校である A 学校の教員が答える。

ICT を活用し学習過程・成果を記録することで学習効果を向上できることから、学習者の実習成果を含めた学習状況を全教員が時系列的に把握できるように、可視化する必要があるとともに、学習者自らもその内容を確認できるようなシステムとする。

図 3-3 では、個々の学習教材に IoT を導入する。IoT によって教材の状態遷移情報が授業を行った教室の無線 LAN を介して LCS に送られる。実習内容に応じて集約された教材の状態遷移情報は LCS 上で解析され、学習過程・成果データとなり可視化される。オンラインストレージやファイル共有サーバを利用し、学習過程・成果データや学習者の作成途中段階のプログラムを送信することで各教材の状態遷移やプログラムを全教員が把握できるため、A 学校の教員と  $B_n$  学校の教員が互いに連携しつつ、学習者の授業に対する取り組みに応じて指導に当たることができると期待される。

また、データを蓄積できることから、教員は授業時間内では評価が難しかった学習者の作品でも授業後に学習過程を確認し、適正に評価できる。さらに、振り返り学習ができることから学習者自身の自己評価として利用できる。

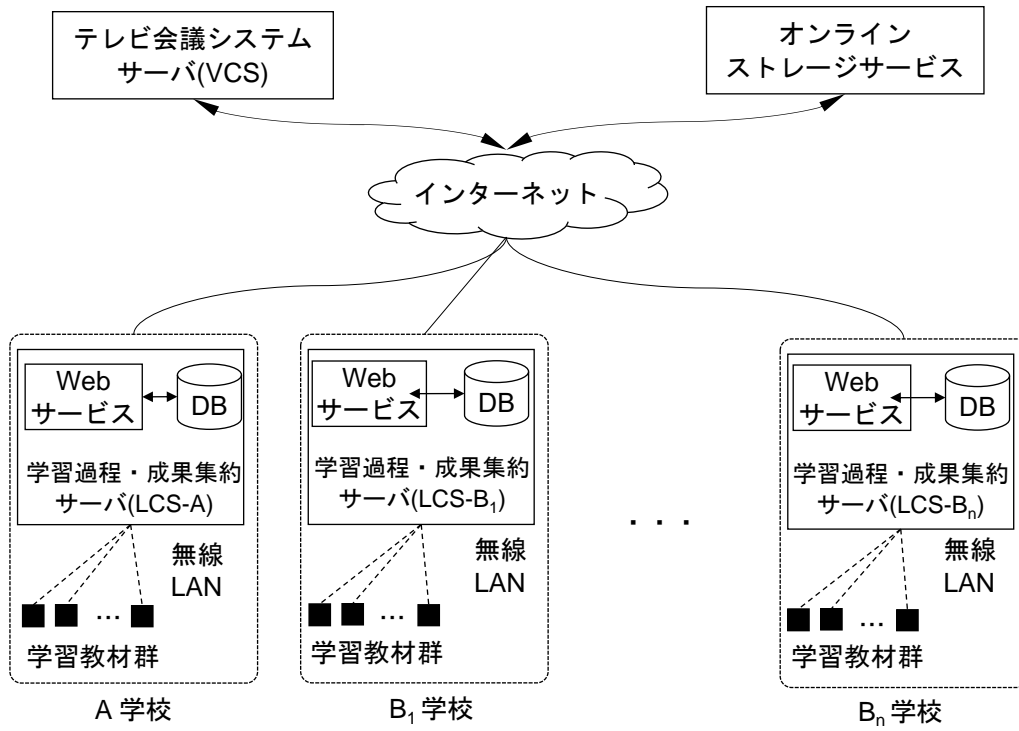


図 3-3 遠隔地からの教育支援用システム

### 3.3.2 学習教材

プログラムによる計測・制御の学習教材として、ブザーや LED、サーボモータなどが用いられている。ここでは、先行研究として実践例が多く<sup>35)~35)</sup>、学習者への学習効果が認められている車輪によって移動可能でマイコンを内蔵する図 3-4 に示すような車輪移動型ロボット教材を用いる。このロボットは左右にある各 DC モータへの電力をプログラムによって制御することにより、自律的に車輪で移動する。また、車体のフロント部分にはタッチセンサや光センサを取り付けることができ、車体周辺の様子を計測することができる。光センサでは、車体下部の明るさの状態を把握できるため、ライントレースの機能を持たせることができる。

ロボットを動作させるプログラムは専用ソフトウェアを用いてパソコンで作成する。そのプログラムは USB を用いてパソコンからロボットに内蔵されたマイコンに転送される。

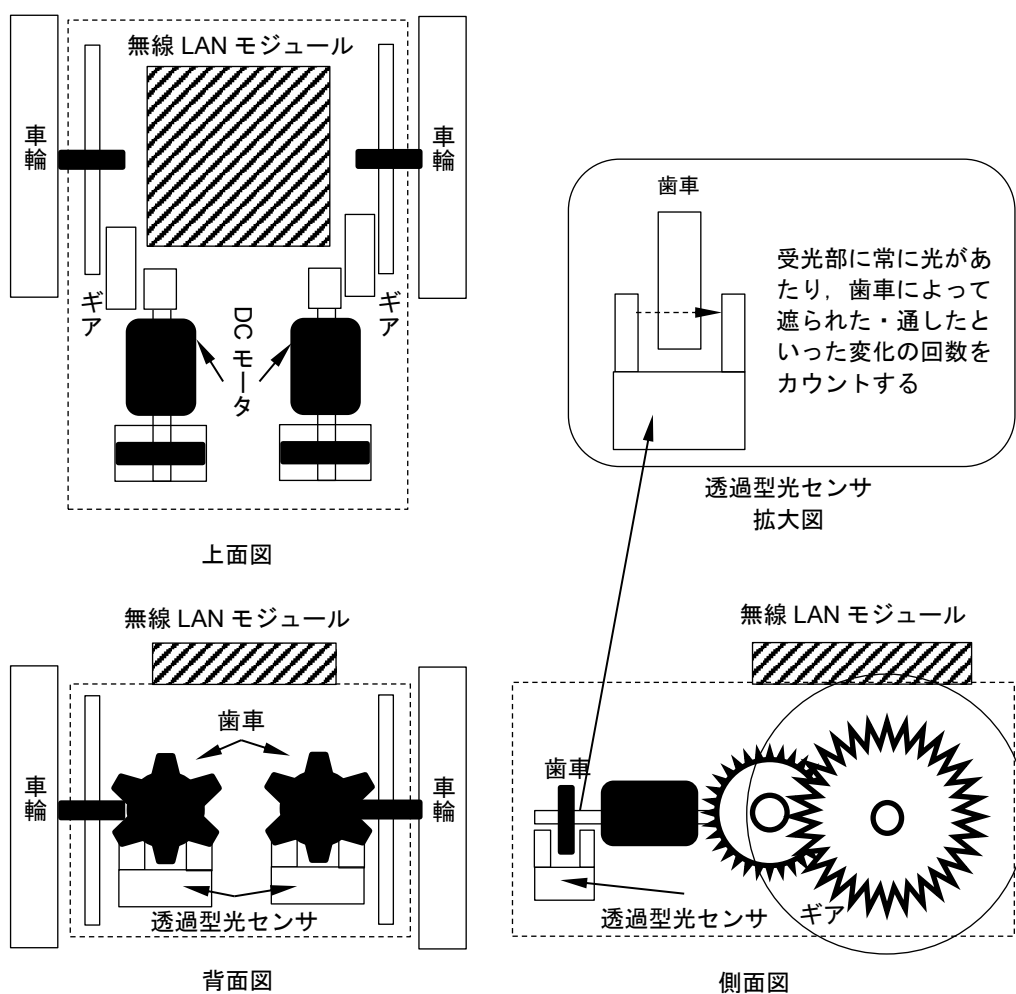


図 3-4 車輪移動型ロボット教材のモデル

車輪移動型ロボット教材を IoT 化するために、必要な部品をまとめた具体的な仕様を表 3-2 に示す。車輪にロータリエンコーダを取り付け、DC モータの回転方向と回転数を積算するための電子回路とプログラムを内蔵した。また、無線 LAN モジュールも取り付け、モジュール内に作成したスクリプトによりデジタル化した計測値や計測時刻などのデータを LCS に送信する。このことにより授業に関わる教員や学習者にロボットの動きを共有することができる。なお、IoT 化に必要な各モジュールの電源については三端子レギュレータによる定電圧化を行い、ロボットを移動させるためのモータに印加される電源については、降圧型 DC-DC コンバータを用いて定電圧化を図る。特に、モータに印加される電圧の定電圧化によって、同一プログラムによるロボットの動作の再現性を著しく向上できる。

表 3-2 学習教材に搭載した主な部品の仕様

	部品	仕様
1	マイコン	Microchip 製 PIC18F27J53 プログラムメモリ：128KB タイマー：8 ビット×4, ：16 ビット×4 ECC (PWM)：3/7 動作電圧：2~3.6V DIP：28 ピン (300mil)
2	無線 LAN モジュール	CPU：32 ビット RISC 型 Tensilica LX106 (80/160MHz) メモリ：80KB フラッシュメモリ：4GB 動作電圧：3.3V
3	LCD	文字表示：8 文字×2 行 消費電流：1mA I <sup>2</sup> C インターフェイス サイズ：30×19.5mm
4	電源	ニッケル水素電池：4 本
5	DC-DC コンバータ	入力電圧：DC2.4V~5.5V 出力電圧：0.6V~3.63V 出力電流：最大 3A 外形寸法：12.2×12.2mm
6	ロータリ エンコーダ	透過型 ギャップ長：3.0mm スリット長：0.4mm 出力タイプ：Phototransistor

### 3.3.3 学習過程・成果集約サーバ

学習教材から送信される状態遷移情報は、個体識別符号、時刻、左右の車輪回転数とする。プロトコルについては言語非依存で軽量である MQTT (Message Queue Telemetry Transport)<sup>39)</sup>を用いた。MQTT は TCP/IP スタックをベースに作成されたメッセージングプロトコルであり、オープンかつ、ライブラリが充実している。MQTT の通信はメッセージの発信側(Publisher)と受信側(Subscriber)が MQTT Broker と呼ばれるサーバを経由して行われる<sup>40)</sup>。MQTT Broker にはオープンソース実装である Mosquitto で構成した。Publisher から Subscriber へ送信されたデータをデータベースへ格納するため、様々な分野のアプリケーションで使われている動的プログラミング言語である Python のライブラリを用いた。また、解析された学習過程・成果データに基づき教育支援に必要な情報を視覚的に提供するためのコンテンツは、オープンソースの汎用スクリプト言語である PHP (Hypertext Preprocessor)を用い、データベースからデータを取得し、JavaScript で成形後、Web サーバから配信されるよう構成した。以上をまとめた具体的な仕様を表 3-3 に示す。構築した学習過程・成果集約サーバ内のデータの受け渡しの流れの概要を図 3-5 に示す。

表 3-3 学習過程・成果集約サーバの主な仕様

項目	仕様
OS	CentOS7
データベース	MySQL
Web サーバ	Apache
プロトコル	MQTT
プログラミング言語	Python, PHP, JavaScript

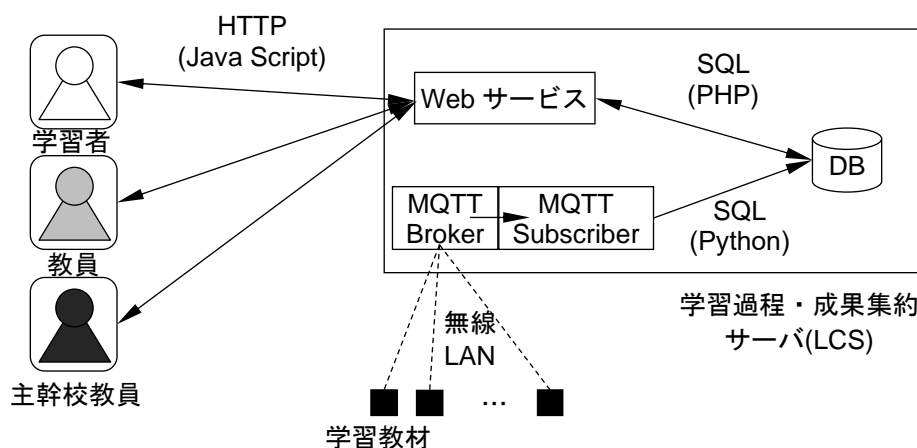


図 3-5 学習過程・成果集約サーバの実装

す。

定量的な送受信実験を行うため、学習教材を **Publisher** とし、コンテンツ内に表示されるよう作成した座標情報である擬似的なデータを **MQTT Broker** に送信した。そのデータを利用し、動的なコンテンツとして **Web** サーバから配信した例を図 3-6 に示す。

ロボットの軌跡を提示するフレームでは、動作始点を **START**、終点を **GOAL** とし、丸印はロボットの位置を示す。閲覧者による動作確認の時間短縮と視覚的効果の両立を図るため、実線による始点から終点まで **Web** 画面読み込み時にすでに描かれている軌跡と、破線による画面をクリックすることでアニメーションによって時間とともに描かれる軌跡の両方を用いた。学習過程・成果データ履歴を提示するフレームでは 1 単位時間中で学習者がロボットを作動させたデータを左から右へ時系列に表示している。縦軸は 1 分間にロータリエンコーダが読み込んだカウント数を示している。ロボットの移動速度が速くなるとカウント数が多くなり、グラフ中の線分は高い位置に表示される。逆に遅くなると線分は低い位置に表示される。そのため、停止しているロボットが一定時間移動し、再度停止する場合、当該グラフは、山のような形状となる。一方、停止した状態のままであれば、水平線に近い線のグラフとなる。横軸の目盛りは 1 分毎にとり、クリックすることで、その時点のロボットの軌跡をフレームに表示させる。プログラムの修正点や工夫点の発見に対

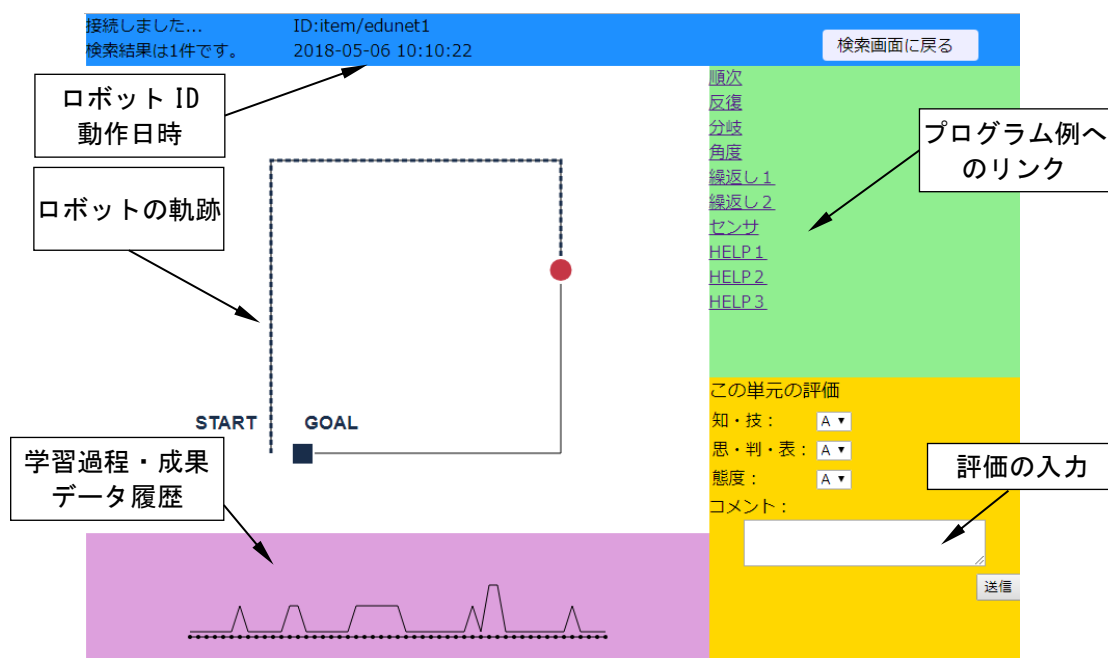


図 3-6 遠隔地からの教育支援用システムの表示例



して、一定の役割を果たすためにプログラム例へのリンクを提示するフレームを作成した。別画面として該当するプログラムの例文や予想される事例に対する問答集をポップアップで表示し、データとの比較ができるようにした。評価の入力を行うフレームでは、1 単位時間分の授業について観点別評価を行い、コメント欄に評価の詳細について記述できるようにした。この評価についてもデータベースに保存でき、それまでの評価履歴一覧を確認できる。評価履歴一覧の例を図 3-7 に示す。評価履歴一覧では、学習者 1 人に対する授業を行った日とその授業内の観点別評価のメモ及び備考となるコメントが表示できる。

ID:item/edunet1

日付	知・技	思・判・表	態度	コメント
4月24日	A		B	時間と距離の設定(知識)
4月27日	A		B	時間と回転の角度の設定(技能)
5月6日	B	A	A	繰り返しを使ってプログラムを簡潔にする工夫ができています(工夫)

検索画面に戻る

図 3-7 評価履歴一覧例

## 3.4 教員に対する意識調査

ここでは、教員に行った教育支援用システムに対する意識調査について述べる。

### 3.4.1 意識調査の内容

教育支援用システムの有用性を評価するため 2018 年度に T 県内公立中学校 24 校において主に技術科を担当している教員 25 名に対して調査を行った。調査の方法として、最初に対象の教員に対して、本研究の背景と目的について説明を行った。次に、研究に対するこの調査の位置づけについて説明した。その後、IoT 化した学習教材が送信したと想定して、試験的に作成した座標情報の擬似的なデータを利用し、動的なコンテンツを表示し、説明した。最後に評価の集計について授業時間毎に集計できることや、単元終了後に振り返って学習者の単元における評価を行う支援に利用できることを説明した。その説明後、アンケートによる意識調査を行った。

### 3.4.2 調査結果と考察

教育支援用システムについての評価を表 3-5 に、LCS についての評価を表 3-4 に、それぞれ示す。ここで、肯定的回答は 4 件法(1~4: 値が大きいほど肯定的)で 3 または 4 と回答した教員の割合(%)を示し、加えて回答の平均値と標準偏差(S.D.)を示す。まず、表 3-4 項目 1 の本システムの有用性についての評価は 92.0%の教員が肯定的に回答し、その平均値は、3.24 であった。項目 2 の遠隔地から専門的意見を取り入れた授業の展開についての有用性についての評価は 88.0%が有用であると肯定的に回答し、その平均値は、3.32 であった。項目 3 の遠隔地から教員が学習者の思考や工夫を見ることができるかの質問では 92.0%が有用であると肯定的に回答し、その平均値は、3.20 であった。また、項目 4 の本システムの教科にとらわれない利用についての評価は 88.0%の教員が肯定的に回答し、その平均値は、3.28 であった。この結果から本教育支援用システムが実習を含む授業に対して有効に働く可能性があると推測され、その有用性が示唆された。

表 3-5 において、項目 5 の学習過程・成果集約サービスの教育活動における有用性については 100.0%が有用であると肯定的に回答し、その平均値は、3.52 であった。項目 6 の学習者自身によるプログラムへの修正点の発見の有用性についての質問では 80.0%が有用であると肯定的に回答し、その平均値は、3.08 であった。項目 7 の学習者自身によるプログラムへの工夫点の発見への有用性についての質問では 88.0%が有用であると肯定的に回答し、その平均値は、3.12 であった。項目 8 の教師による生徒のプログラムの修正点の発見への有用性についての質問では 100.0%が有用であると肯定的に回答し、その平均値は、

3.64 であった。以上の結果から、学習過程・成果集約サービスを利用することで、教員は学習者が修正したプログラムの工夫点を発見できるシステムの運用の方法について可能性があることが示唆された。

表 3-4 教育支援用システムについての評価

(n=25)

項目	質問文	肯定的回答(%)	平均	S.D.
1	今回説明を受けた実習を含む授業の遠隔地からの教育支援用システムについて利用は有用だと思いますか	92.0	3.24	0.71
2	遠隔地からの教育支援用システムについて専門家の意見を聞きながら授業が展開できると思いますか	88.0	3.32	0.68
3	遠隔地からの教育支援用システムを利用することで離れた学校でも教員が学習者の思考や工夫を見ることができると思いますか	92.0	3.20	0.69
4	技術分野だけでなく、どの教科においても利用価値があると思いますか	88.0	3.28	0.67

表 3-5 学習過程・成果集約サーバについての評価

(n=25)

項目	質問文	肯定的回答(%)	平均	S.D.
5	本サービスは、教育活動において有用だと思いますか	100.0	3.52	0.57
6	本サービスは、生徒自身によるプログラムへの修正点の発見に有用だと思いますか	80.0	3.08	0.71
7	本サービスは、生徒自身によるプログラムへの工夫点の発見に有用だと思いますか	88.0	3.12	0.60
8	本サービスは、教師による生徒のプログラムの修正点の発見に有用だと思いますか	100.0	3.64	0.62
9	本サービスは、生徒に対する「知識および技能」の評価に有用だと思いますか	92.0	3.48	0.68
10	本サービスは、生徒に対する「思考力、判断力、表現力等」の評価に有用だと思いますか	96.0	3.36	0.57
11	本サービスは、生徒に対する「学びに向かう力」の評価に有用だと思いますか	96.0	3.36	0.57

また、項目 9 の生徒に対する「知識および技能」の評価への有用性についての質問では 92.0%が有用であると肯定的に回答し、その平均値は、3.48 であった。項目 10 の生徒に対する「思考力・判断力・表現力等」の評価への有用性についての質問では 96.0%が有用であると肯定的に回答し、その平均値は、3.36 であった。項目 11 の生徒に対する「学びに向かう力」の評価への有用性についての質問では 96.0%が有用であると肯定的に回答し、その平均値は、3.36 であった。以上から生徒に対する教員の評価においては、一律の効果が期待されるが、「思考力、判断力、表現力等」および「学びに向かう力」の評価において優位性がみられた。

この結果から学習過程・成果集約サービスが教育活動に対して有効に働く可能性があると推測され、その有用性が示唆された。

### 3.5 まとめ

本章では、「プログラムによる計測・制御」における授業を遠隔地から教育支援するシステムを構築するための要件と具体的なシステム構成を示すとともに、学習教材に IoT を導入することを提案し、教員の視点から評価した結果について述べた。

先行研究ではロボットの様子を一覧として記録する事例の報告は見当たらなかったが、IoT と LCS を用い、これまでにない遠隔地から実習を含む授業を効果的に支援するシステムを構築し、教育での有用性について教員から一定の評価を得ることができた。また、意識調査結果に基づき教育支援用システムを用いることで教員が遠隔地からでも教科にとらわれず、授業支援を行うことができることや、学習成果とその評価を蓄積し、評価支援ができる可能性が示唆された。構築した教育支援用システムを利用することで、移動のための時間や距離的な制限を取り払い、専門的な知識を持った教員による質の高い授業を展開できると期待される。また、授業を媒体として遠隔地から授業の様子が見え、離れた場所同士での教員の研修にも役立てることもできる。

## 第4章 実習を含む授業に対する遠隔教育支援用システムの構築

本章では、第3章に述べた遠隔地からの教育支援用システムにおける機能を授業実践に向けて改良をおこなった。そのシステムについてシミュレーションによる試験から評価する。また、評価の内容と結果、考察について述べる。

### 4.1 教育支援用システムの開発手順

第3章に述べた遠隔地からの教育支援用システムの開発手順を図4-1に示す。開発手順は4段階とし、各段階においての主要項目を記述した。まず、教員の視点で学習履歴を効果的に表示するコンテンツ(以下学習履歴表示コンテンツ)作成では、ブラウザソフトを利用して、IoT教材から得た情報から学習履歴を表示させる画面を開発する。時系列に取得した情報から作業量をグラフで表示するとともに、IoT教材の状態を軌跡として表示される機能を有する。

次に、サーバ構築では、IoT教材から得られる状態遷移情報を蓄積するデータベースと表示するWebサーバの構築が必要となる。また、IoT教材からは状態遷移情報のみが送信されるため、学習履歴表示コンテンツの軌跡を構成するための情報に変換する必要がある。そのため、解析するプログラムを用意する。また、クライアント製作では、ロボットのセンサなどから得られた情報を数値化し、状態遷移情報として内部に保存できる仕組みを構築することと、これをサーバへ送信することが必要となる。それぞれに試験を行い、機能

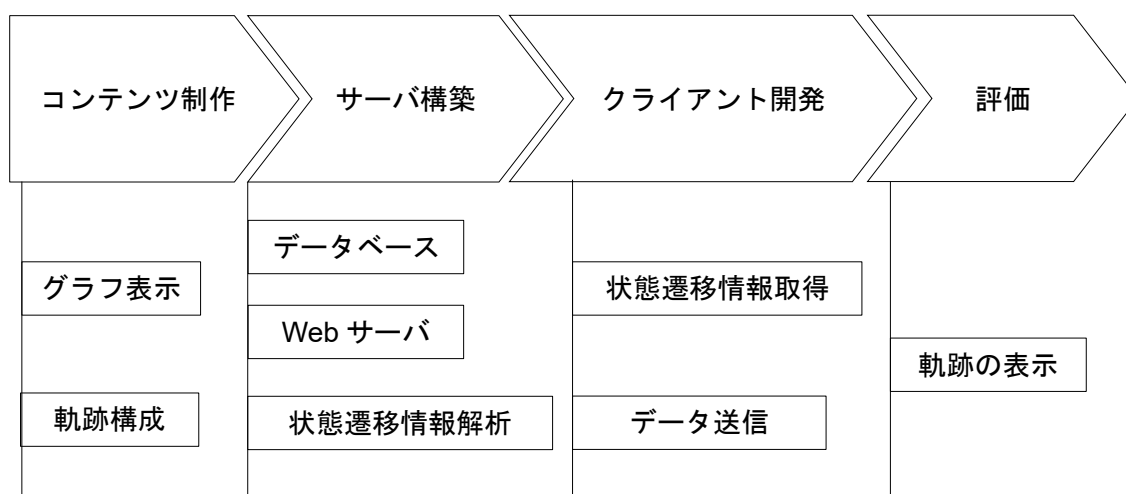


図 4-1 教育支援用システムの開発手順

することを確かめた後、最終的に IoT 教材が得た情報を学習履歴表示コンテンツから表示させることで、評価を行う。

## 4.2 学習履歴表示コンテンツ

本章では、教員が授業後の評価に役立てたり、学習者の意欲低下を予想し、早めに手立てを考察したりするため、授業 1 単位時間における全ての学習者の IoT 教材の情報をとりまとめ、学習者の作業内容と作業量(以下、学習状況)を学習履歴として効果的に表示できる学習履歴表示コンテンツについて述べる。

### 4.2.1 学習履歴表示コンテンツの構成

学習履歴表示コンテンツは、教員の視点に基づき以下の機能を備えることとした。

- (1) 1 クラス分の学習者全員の学習状況を相互に比較できること。
- (2) 1 単位時間の学習状況を時系列的に把握できること。
- (3) 個々の学習者の既習状況を把握できること。
- (4) 個々の学習者の作業内容を再現し表示できること。
- (5) 学習評価項目を表示すること。

上記の機能を満たすために、IoT 教材の状態遷移情報を取り扱うための Web コンテンツは、授業時間検索画面、IoT 教材利用状況一覧画面、および IoT 教材軌跡表示画面の 3 画面構成とした。

### 4.2.2 学習履歴表示コンテンツの設計

学習履歴表示コンテンツの画面遷移を図 4-2 に示す。教員が授業時間検索画面で検索対象となる授業の日にちと授業開始時刻を入力すると、画面は自動的にその授業 1 単位時間における IoT 教材利用状況一覧画面に移行できる。

IoT 教材利用状況一覧画面は、授業の日にち、授業開始・終了時刻を文字列で表示し、その時間内の IoT 教材の利用状況をグラフで表示できる。グラフは横軸に時間、縦軸に IoT 教材が 1 分間毎に移動した道のりを示すことで構成する。また、学習者全員の学習状況を相互に比較するために、1 画面に全 IoT 教材の情報を表示し、グラフには目盛りをつける。1 単位時間の学習状況を時系列に把握するため、グラフには 1 分毎にプロットをつける。各プロットはリンク機能を持ち、その点における情報を IoT 教材の軌跡を表示する画面に渡して、個々の学習者の作業内容を生成できる。

IoT 教材の軌跡を表示する画面は、プロットの時刻およびその時の軌跡を表示できる。作業内容の再現性を高めるため、軌跡には IoT 教材の動く様子が表現されるようにアニメーション機能をつける。また、前後の作業内容が表示できるように画面遷移のボタンをつける。さらに、教員の学習評価を支援するために、同じ画面内に評価を記録できる機能をつける。利便性を高めるため、IoT 教材利用状況一覧画面、および IoT 教材軌跡表示画面は授業時間検索画面に戻るリンクを有する。

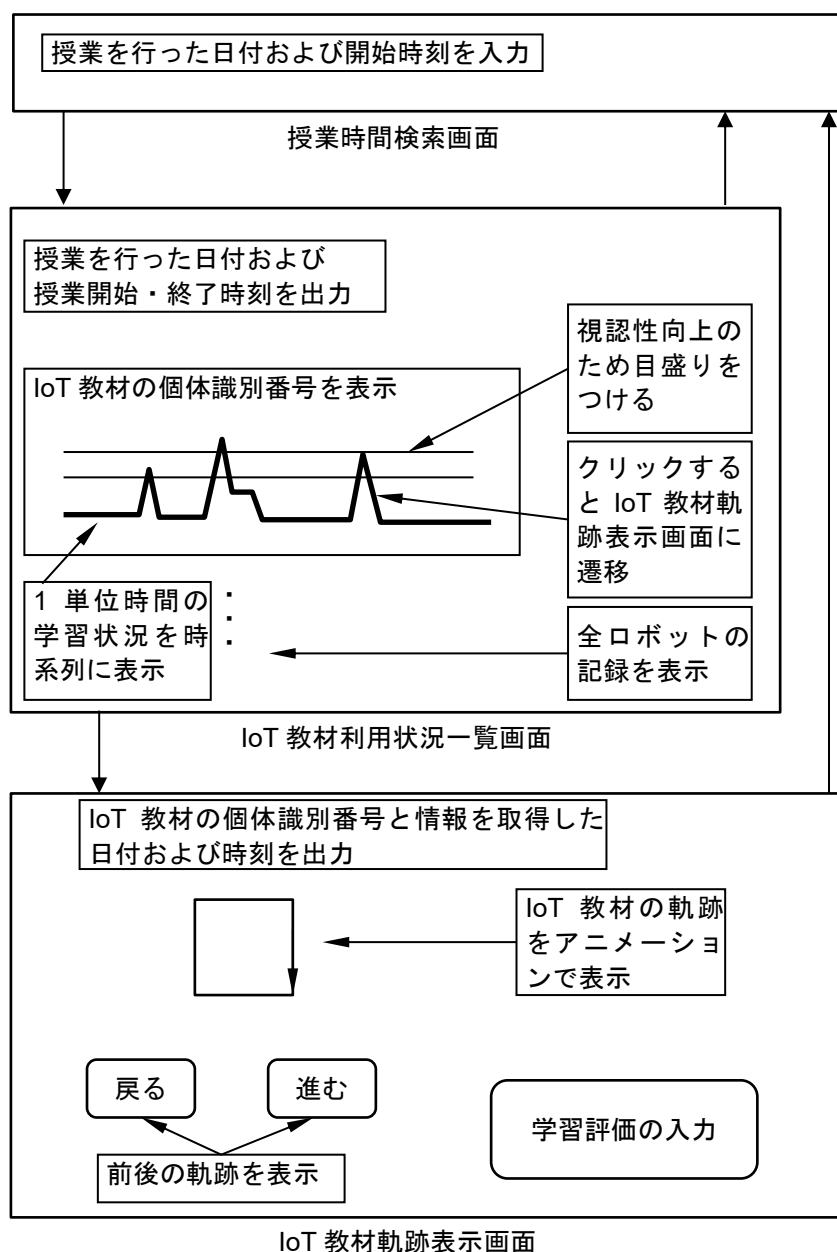
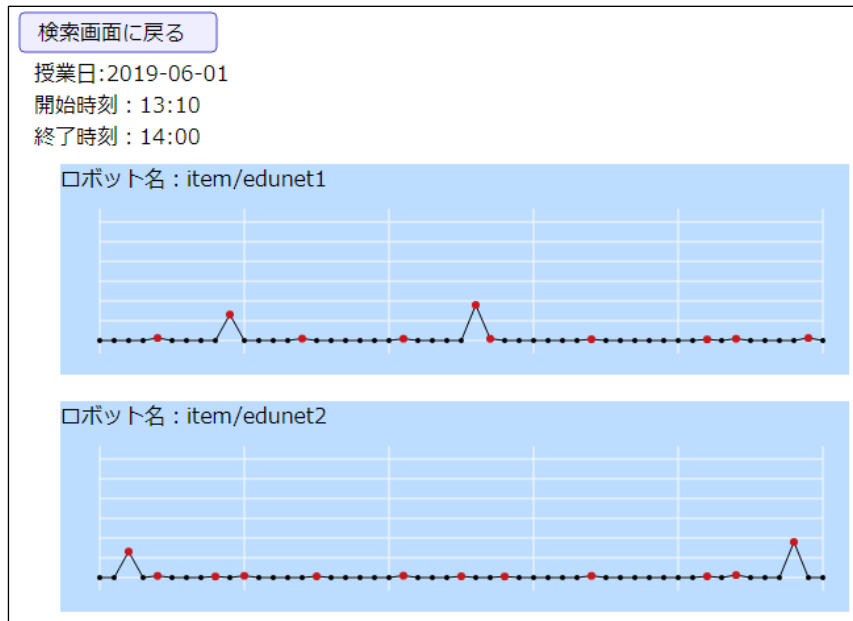


図 4-2 学習履歴表示コンテンツの画面推移

### 4.2.3 学習履歴表示コンテンツ

設計をもとに開発した学習履歴表示コンテンツの画面例を図 4-3 (a), (b) に示す。IoT 教材の状態遷移情報から得ることのできた解析値を利用することで、目的とする学習履歴表示コンテンツを構築する。また、機能や表示画面についても設計に沿った内容を有するコンテンツとする。



(a) IoT教材利用状況一覧画面



(b) IoT教材軌跡表示画面

図 4-3 学習履歴表示コンテンツの画面例



## 4.3 学習過程・成果集約サーバ

本節では、IoT 教材の状態遷移情報を解析するシステムを構成する学習過程・成果集約サーバ(以下 LCS)の構成および解析ソフトウェアについて述べる。

### 4.3.1 学習過程・成果集約サーバの構成

LCS は Linux (CentOS)で構築した。利用する各サービスと状態遷移情報の関係ブロック図を図 4-4 に示す。データベースにはデータベース連動型 Web アプリケーションを開発するために用いられることが多い MySQL を採用した。学習履歴コンテンツを表示するため、Web サーバとして Apache を採用した。

IoT 教材からデータベースへの送信のためのプロトコルは言語非依存で同じ内容の情報量でも HTTP と比べると軽量に送受信でき、メッセージ送達保証レベルを設定できる

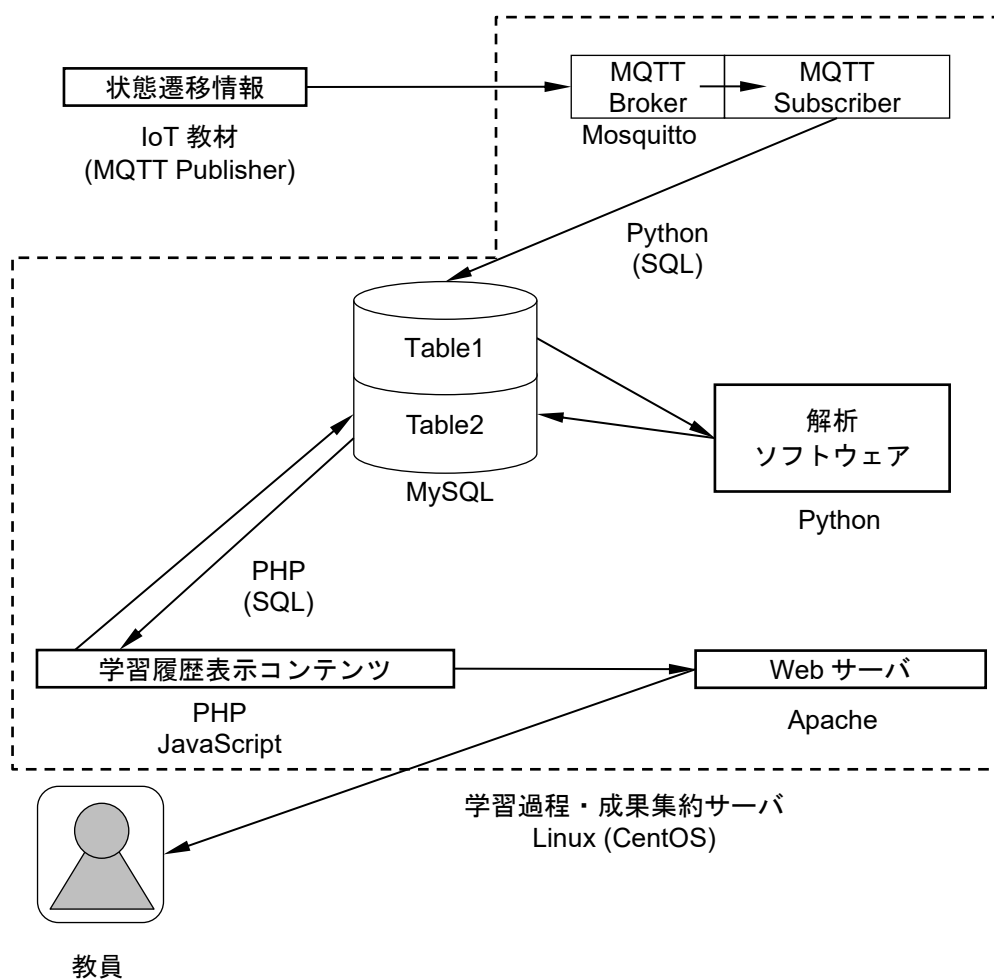


図 4-4 各サービスと状態遷移情報の関係ブロック図

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)を用いた。MQTT の通信はメッセージの発信側(Publisher)と受信側(Subscriber)が MQTT Broker と呼ばれるサーバを経由して行われる。MQTT Broker にはオープンソース実装である Mosquitto で構成した。

Publisher から Subscriber へ送信されたデータをデータベースへ格納するため、SQL 処理に、様々な分野のアプリケーションで使われている動的プログラミング語である Python のライブラリを用いた。データベースの Table1 に保管されたロータリエンコーダから得られたセンサのカウンタの積算値と時刻を利用し、開発した解析ソフトウェアによって、座標データに変換する。その後、データを整理するため、座標データはロータリエンコーダから得られた積算値とは別のデータベーステーブルである Table2 に保存される。学習履歴表示コンテンツは、Table2 に保存された座標データを利用して生成される。

学習履歴表示コンテンツは、オープンソースの汎用スクリプト言語である PHP を使い、データベースへ座標データの SQL 要求と取得を行う。取得した座標データは JavaScript で成形後、Web サーバから教員へ配信されるよう構成した。

#### 4.3.2 解析ソフトウェア

解析ソフトウェアには、車輪型移動ロボットにおける車輪の回転数や回転角度から移動量を求め、ロボットの位置を推定する手法のオドメトリを利用した<sup>4)</sup>。オドメトリによる車体の回転角の積算値と移動の関係を図 4-5、移動距離と座標値の関係を図 4-6に示す。ここで、 $r$ は車輪の半径、 $d$ は中心線から車輪までの間隔を表している。ある積算時間間隔 $\Delta t$ における車輪型移動ロボットの左右の車輪の移動距離 $\Delta L_{Li}$ 、 $\Delta L_{Ri}$ は、それぞれ

$$\Delta L_{Li} = r(L_{i+1} - L_i) \quad (1)$$

$$\Delta L_{Ri} = r(R_{i+1} - R_i) \quad (2)$$

で表され、ロボット自体の移動距離 $\Delta L_i$ は、

$$\Delta L_i = \frac{1}{2}(\Delta L_{Ri} + \Delta L_{Li}) \quad (3)$$

となる。移動した角度 $\Delta\theta_i$ 、円弧の中心 $O_i$ から車体の中心線までの距離 $\rho_i$ は、それぞれ

$$\Delta\theta_i = \frac{1}{2d}(\Delta L_{Ri} - \Delta L_{Li}) \quad (4)$$

$$\rho_i = \frac{\Delta L_i}{\Delta\theta_i} \quad (5)$$

となる。

次に、移動距離を利用して移動座標は、 $\theta_i$ を点 $P_i(x_i, y_i)$ における車体の進行方向と X 軸方向のなす角、 $\theta_{i+1}$ を点 $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ における車体の進行方向と X 軸方向のなす角とすると、

$$\theta_{i+1} = \theta_i + \Delta\theta_i \quad (6)$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta L_i \cos(\theta_i + \frac{\Delta\theta_i}{2}) \quad (7)$$

$$y_{i+1} = y_i + \Delta L_i \sin(\theta_i + \frac{\Delta\theta_i}{2}) \quad (8)$$

$$\Delta L'_i = 2\rho_i \sin(\theta_i + \frac{\Delta\theta_i}{2}) \quad (9)$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta L'_i \cos(\theta_i + \frac{\Delta\theta_i}{2}) \quad (10)$$

$$y_{i+1} = y_i + \Delta L'_i \sin(\theta_i + \frac{\Delta\theta_i}{2}) \quad (11)$$

と表される。

式(1)～(11)から移動座標を求める流れ図を図 4-7 に示す。ここでは $\Delta\theta_i$ が大きいときは $\Delta L'_i$ に示す直線距離から移動後の座標値を求めるが、式(5)および式(9)から $\Delta\theta_i$ が限りなく 0 に近づくと $\rho_i$ が無限に近づいてしまうため、 $\Delta L'_i$ で求めることができない。そこで、 $\Delta L_i$ の弧の長さを直線近似として移動後の座標値を求める。

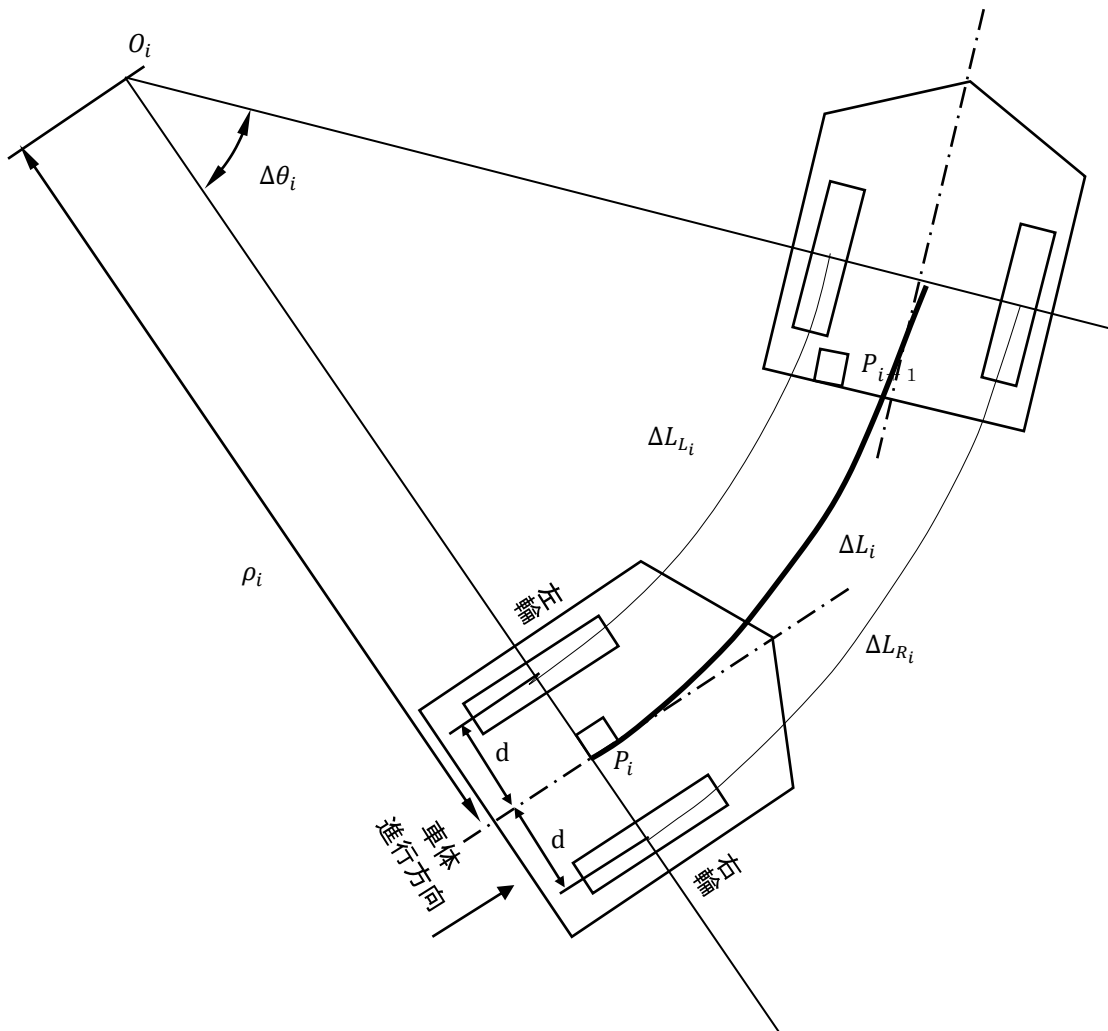


図 4-5 車体の回転角の積算値と移動の関係

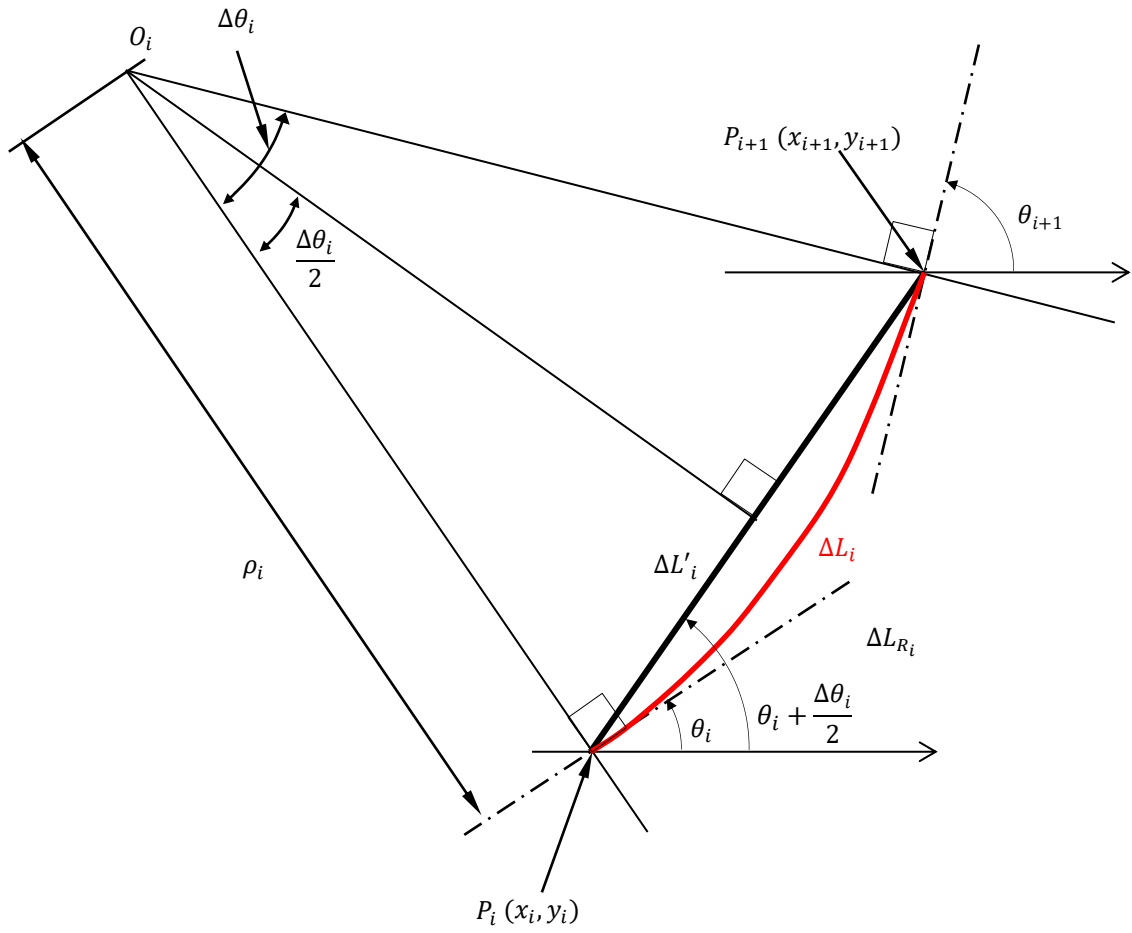


図 4-6 移動距離と座標値の関係

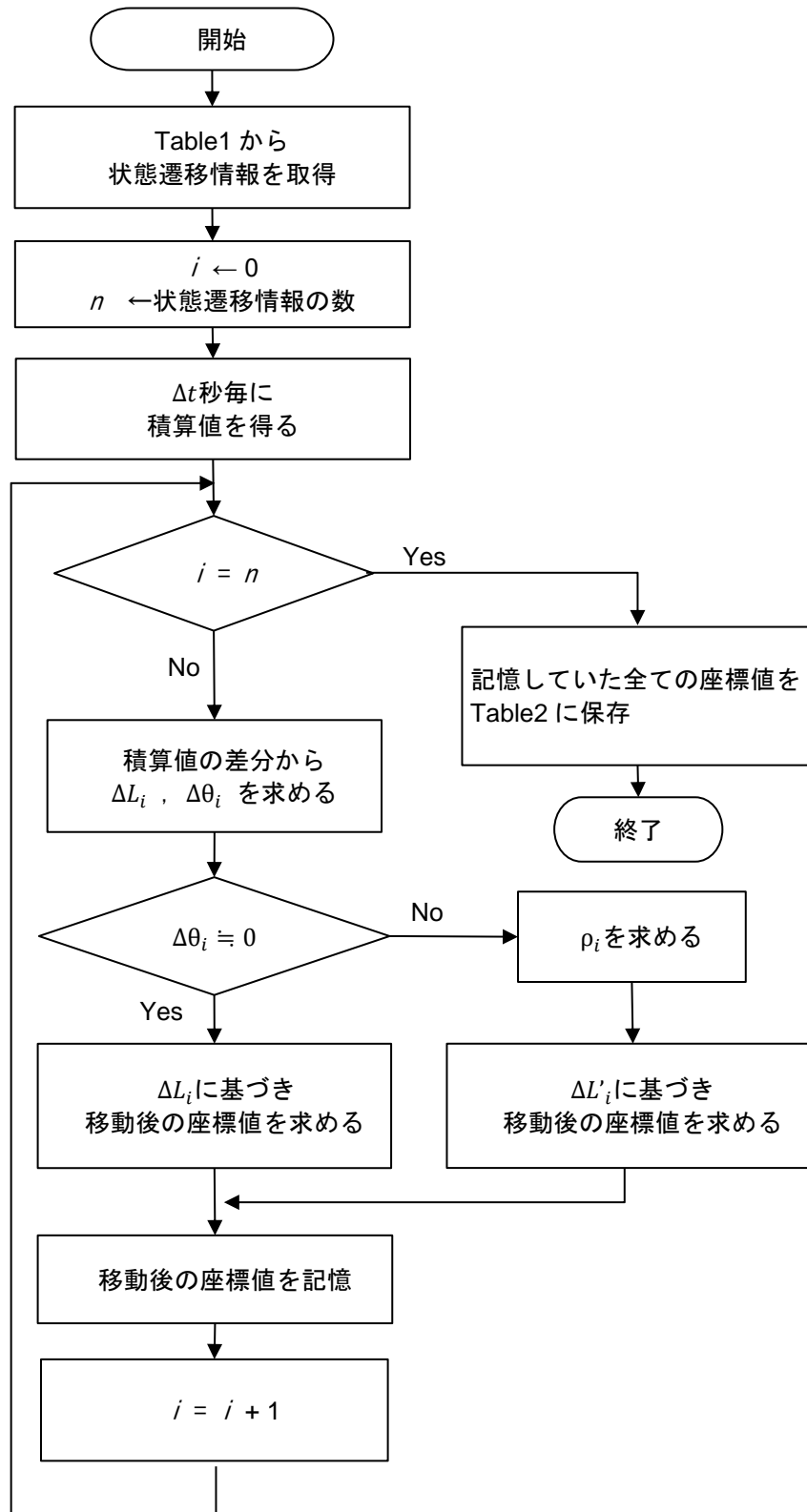


図 4-7 移動座標を求める流れ図

状態遷移情報を座標値に変換した例を図 4-8 に示す。状態遷移情報は 100 ミリ秒毎の記録を想定し、1 行毎に更新して、積算値を取得している。この積算値を解析ソフトウェアにより、座標値に変換する。座標値は、JavaScript の値として利用するため、頭文字が M で表される軌跡の開始座標と頭文字が L の移動先毎の座標で構成する。軌跡の開始座標は、学習履歴表示コンテンツの IoT 教材の軌跡をアニメーションで表示する部分の中心座標で固定値としている。

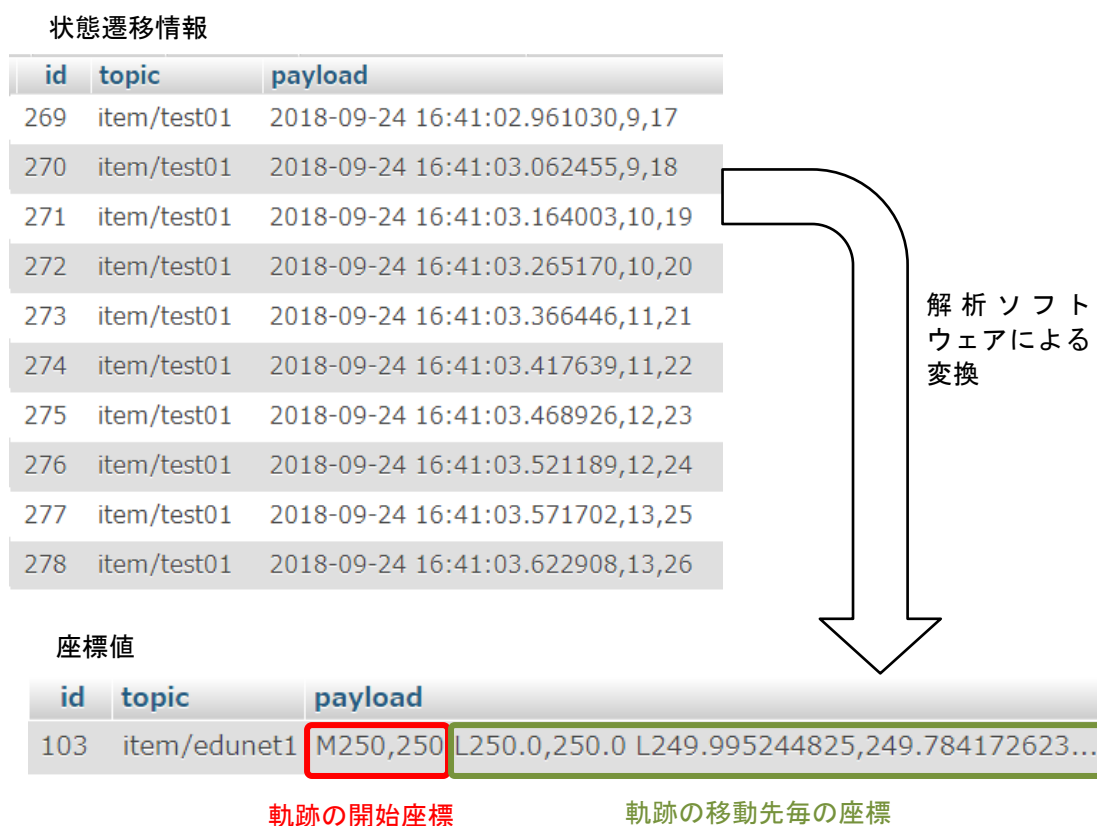


図 4-8 状態遷移情報の座標値変換例

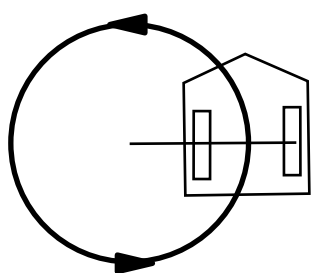
### 4.3.3 解析ソフトウェアのシミュレーション評価

シミュレーションのため、クライアント機から送信する状態遷移情報を 3 種類作成した。作成した状態遷移情報は最終的に表示される軌跡を予想して計算し、データの内容を決定した。データの内容については、誤差が判断できること、図形が塗りつぶされないことを配慮し、同じ動きを 2 回程度繰り返すこととした。また、3 種類の状態遷移情報が混ざって処理されるのを防ぐため、データベースでは 3 つテーブルを作成し、それぞれに分けて送信し、解析シミュレーションを行った。同様に解析後の処理においても座標値はそれぞれ状態遷移情報とは別のテーブルに保存した。

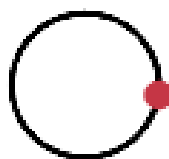
理論値は計算による図形の大きさ(mm)、Web 上の軌跡はピクセル単位で表した座標のため、シミュレーションの評価は、両者の比率を求めて距離誤差に換算する。

#### 4.3.3.1 等速円運動（反時計回り）

オドメトリによる車体の回転角の積算値と移動の関係が正しく表示されるかを確認するため、図 4-5 に示した方向と同じになる車輪移動型ロボットが「正方向に進みながら左側車輪と右側車輪が 1:2 の速度で走行する等速円運動」の状態遷移情報を作成し、2 周分行うデータを作成しシミュレーションを行った。理論値で示される軌跡と、解析後表示された軌跡をそれぞれ図 4-9(a), (b)に示す。理論値による軌跡では同じ運動が繰り返されるため円は 1 つだけが表示される。解析後の軌跡について、形状は理論値による軌跡と同様となり、走行距離が理論値 923.2mm に対して、終点における距離誤差は 8.8mm となった。



(a) 理論値による軌跡



(b) 解析後の軌跡

図 4-9 解析シミュレーション(反時計回り)

#### 4.3.3.2 等速円運動（時計回り）

車体の回転角の積算値と移動の関係が逆回転においても正しく表示されるかを確認するため、「正方向に進みながら左側車輪と右側車輪が 2:1 の速度で走行する等速円運動」の状態遷移情報を作成し、2 周分行うデータを作成しシミュレーションを行った。理論値で示される軌跡と、解析後表示された軌跡を図 4-10(a), (b)に示す。反時計回りのシミュレーションと同様に解析後の軌跡の形状は理論値による軌跡と同様となり、走行距離が理論値 923.2mm に対して、終点における距離誤差は 9.1mm となった。

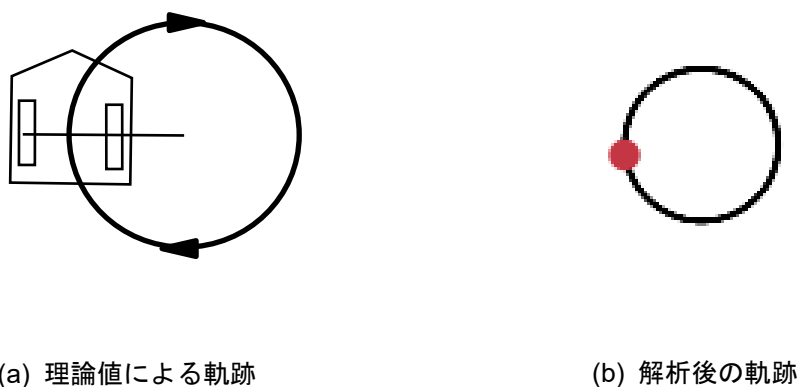


図 4-10 解析シミュレーション(時計回り)



#### 4.3.3.3 S字曲線

車体の回転角の積算値と移動の関係が途中から逆回転になっても正しく表示されるかを検証するため、「正方向に進みながら左側車輪と右側車輪が 1:2 の速度で走行する等速円運動を半周分行い、左側車輪と右側車輪が 2:1 の速度で走行する等速円運動を半周分行う」状態遷移情報を作成し、シミュレーションを行った。理論値で示される軌跡と、解析後表示された軌跡を図 4-11(a), (b)に示す。これまでのシミュレーションと同様に解析後の軌跡の形状は、理論値による軌跡と同様となり、走行距離が理論値 692.4mm に対して、終点における距離誤差は、6.6mm となった。

#### 4.3.3.4 評価結果

今回のシミュレーションでは理論値と解析後の軌跡が同じ大きさには表示できないため、形状の類似性と終点における距離誤差に関して評価した。表示された形状は 3 種類とも理論値をもとに作成した状態遷移情報とほぼ類似したものとなった。また、距離誤差についても、学習指導する上で問題ないレベルであると考えられる。

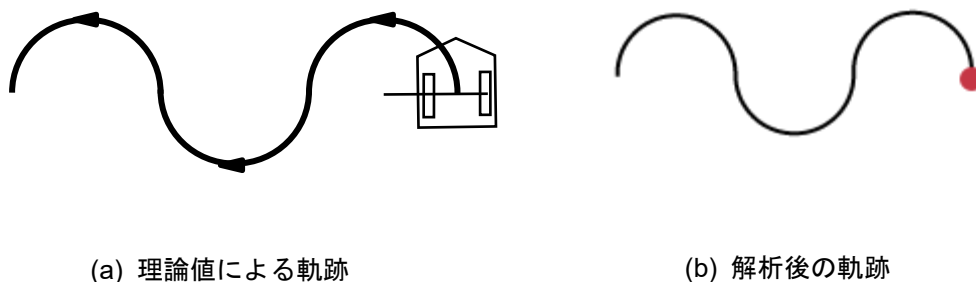


図 4-11 解析シミュレーション(S字曲線)

## 4.4 まとめ

本章では、第 3 章に述べた遠隔地からの教育支援用システムを授業実践に向けて実装し、コンテンツ、サーバについてのシミュレーション試験について述べた。その結果、コンテンツに表示された形状は、理論値をもとに作成した状態遷移情報とほぼ類似したものとなった。また、距離誤差についても、学習指導する上で問題ないレベルであると考えられた。

さらに、IoT 教材については、必要となる回路を調査し、状態遷移情報を正確に取得できるよう改良を行った。改良した回路をもとに実装し、サーバへ送信するための時系列的な学習状態の記録方法について述べた。

## 第 5 章 遠隔地からの教育支援用システムの提案

本章では、IoT 教材の実装方法について述べ、第 4 章に述べた学習過程・成果集約サーバに対してデータ送信を行い、コンテンツ表示について評価する。また、教育支援用システムを用いた学習環境を授業実践で用いるための授業計画について検討する。

### 5.1 IoT 車輪移動型ロボット教材

ここではクライアントとして開発した IoT 車輪移動型ロボット教材について述べる。

#### 5.1.1 IoT 車輪移動型ロボット教材の構成

IoT 車輪移動型ロボット教材は、サーバとの通信内容に基づき次の機能を備えることとした。

- (1) 学習過程・成果集約サーバに無線通信する。
- (2) 時系列的な学習状態として、各車輪の積算回転数などを記録する。
- (3) 駆動用モータに対して安定した電圧を供給する。

上記の機能を満たすためのハードウェア構成を、図 5-1 に示す。車輪移動型ロボット教材に無線モジュールとロータリエンコーダを備えることとした。また、積算処理や安定電圧処理ができる回路を含むものとした。

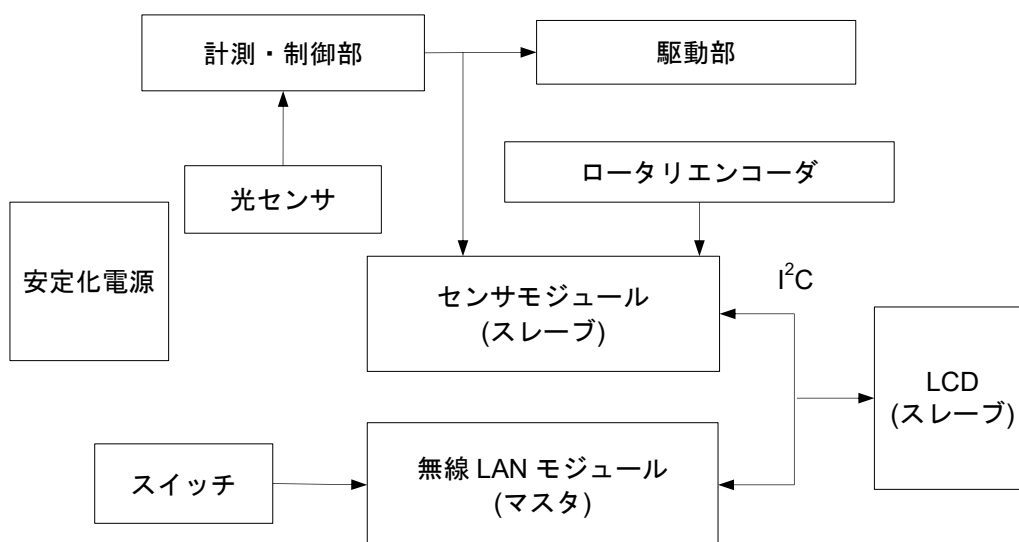


図 5-1 IoT 車輪移動型ロボット教材の構成

### 5.1.2 IoT 車輪移動型ロボット教材の実装

車輪移動型ロボットについては、先行研究<sup>42)</sup>より、ロータリエンコーダを備え、拡張スペースがあることに基づき教材を選定した。その結果、ロータリエンコーダを搭載するヴイストン社製ビュートローバーARMを採用した。無線LANモジュールは32bit CPU、メモリ、フラッシュメモリを備える Espressif Systems 製 ESP-WROOM-02 (ESP8266EX) とし、センサモジュールは PIC マイコン(Microchip 製 PIC18F27J53)を中心として各種インターフェース回路を構成するものとした。主要部の各仕様について、表 5-1 に示し、無線LANモジュールについては回路を図 5-2 に示す。また、これらを用いて再構成した図を図 5-3 に示し、実装について図 5-4 に示す。なお、網掛けしている部分は既製品として構成した。

表 5-1 主要部の各仕様

	項目	規格
ビュートローバーARM	サイズ	130mm×112mm×57mm
	電源	単三乾電池×2本
	モータ	DC モータ×2
	CPU	ARM CortexM3 LPC1343 (32ビットマイコン)
	インターフェース	USB 接続
	開発環境	専用：ビュートビルダー2 C 言語：LPCXpresso
無線LANモジュール	サイズ	18mm×20mm×3mm
	消費電流	80mA
	電源電圧	3.0～3.6V
	CPU	Tensilica L106 32-bit RISC
	対応WiFiプロトコル	802.11b/g/n (2.4 GHz)
	内蔵フラッシュメモリ	4MB
センサモジュール	動作電圧	2.0～3.6V
	プログラムメモリ	128k バイト
	SRAM	3.8k バイト
	ECCP/PWM	3 / 7
	タイマー	8ビット×4 16ビット×4

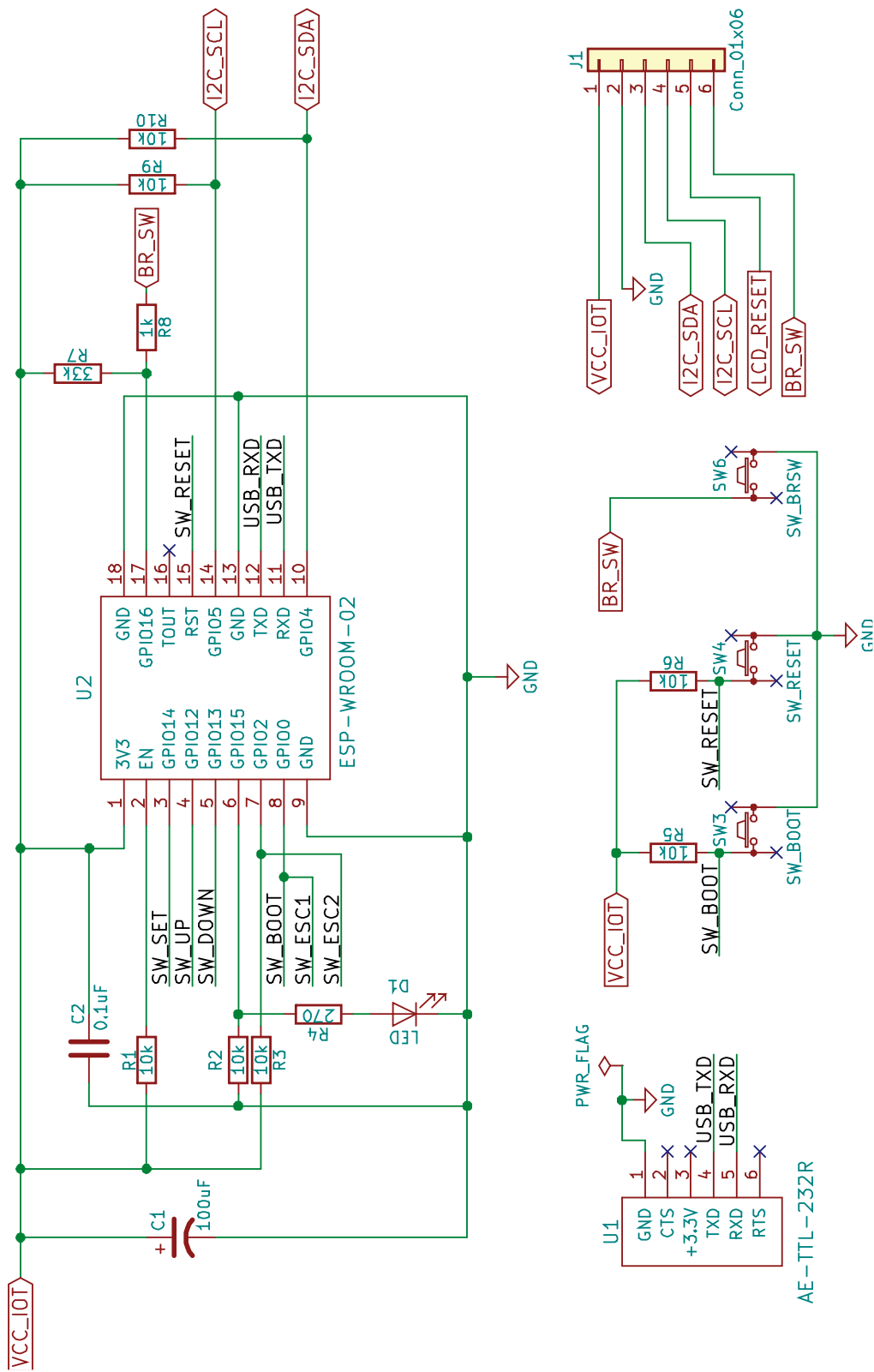


図 5-2 無線 LAN モジュール回路

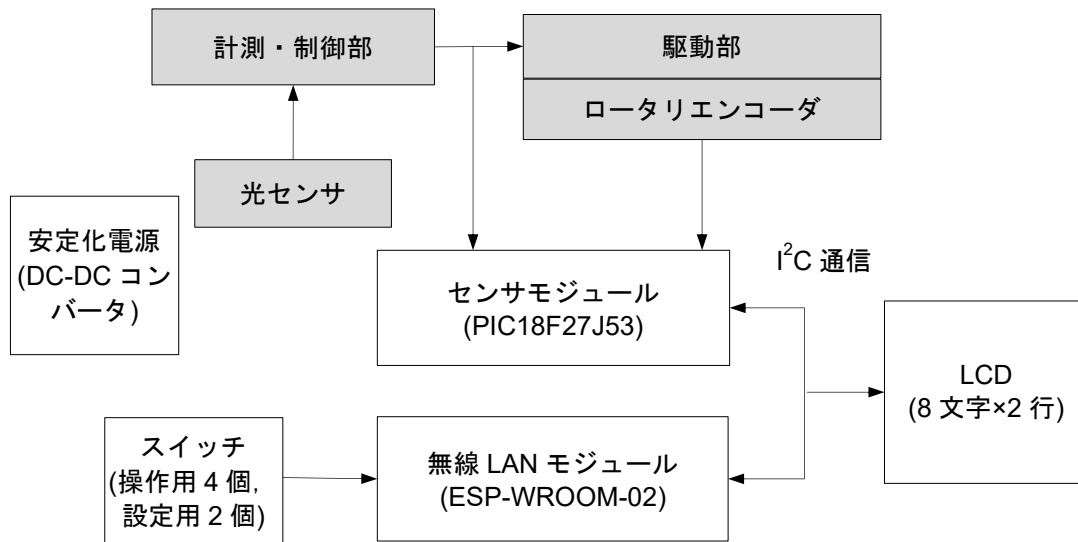


図 5-3 IoT 車輪移動型ロボット教材の構成

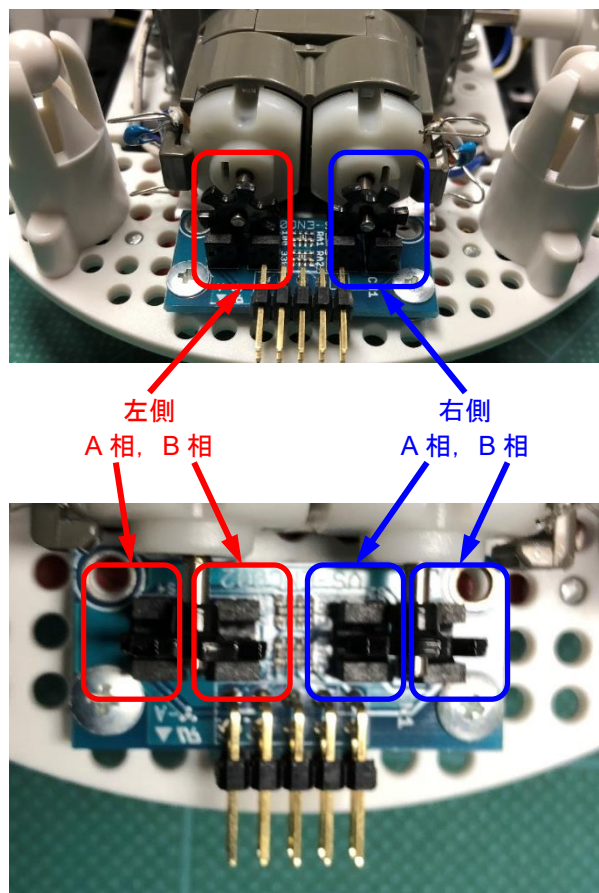


図 5-4 IoT 車輪移動型ロボット教材の実装

ロータリエンコーダの実装について図 5-5 に示す。ロータリエンコーダ(歯車数 6)は各モータの回転軸に直接取り付けられており、2つの透過型光センサを用いて A 相, B 相の信号を得る。ロータリエンコーダの回路および出力信号を図 5-6, 図 5-7 に示す。ロータリエンコーダを既製品のままの回路を利用すると、信号の立ち上がりと終わりの信号が弱いことや、モータの回転速度が速くなると、出力信号が弱まることから、位相差を明確に取得することが困難となった。そこで、ロータリエンコーダのインターフェース回路を改良した。改良したロータリエンコーダのインターフェース回路および、改良後の出力信号を図 5-8, 図 5-9 に示す。トランジスタを用いた増幅回路を追加することで、位相差を明確に取得することができた。位相差による回転数の積算について表 5-2 に示す。表の左側は信号の位相を表し、右側は積算の設定を表す。静止, 正回転, 逆回転, エラーの 4 種類を示すことで、積算を行った。

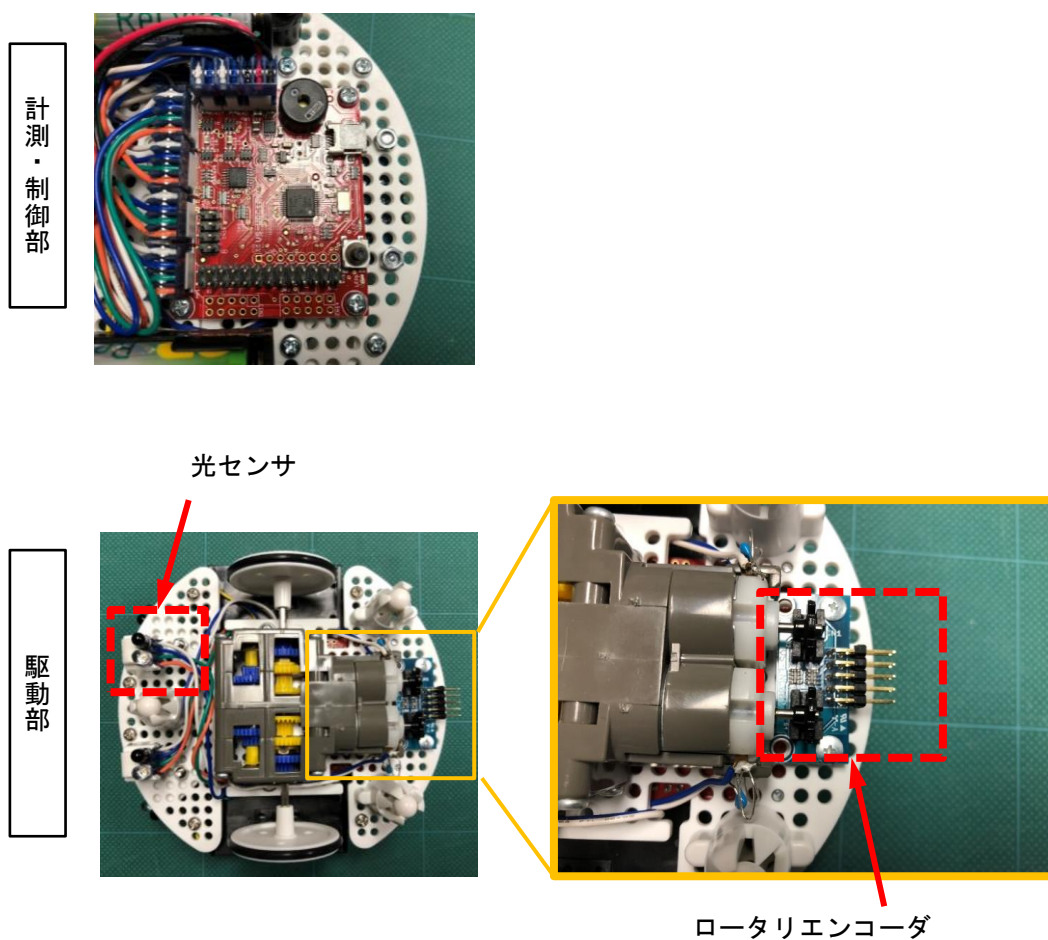


図 5-5 ロータリエンコーダの実装

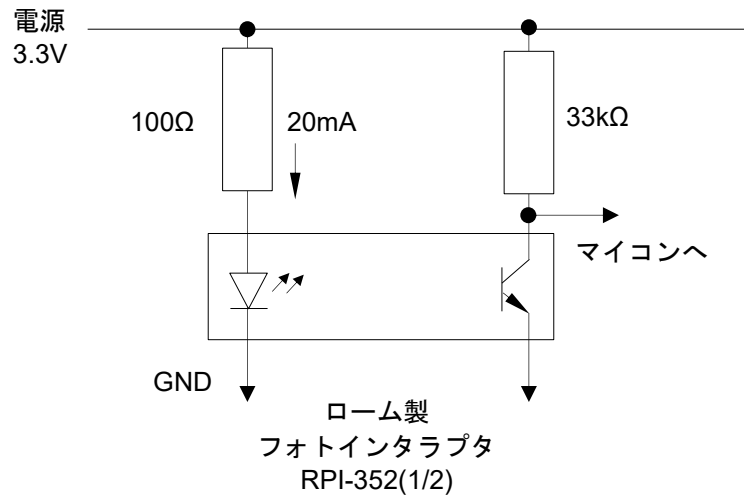
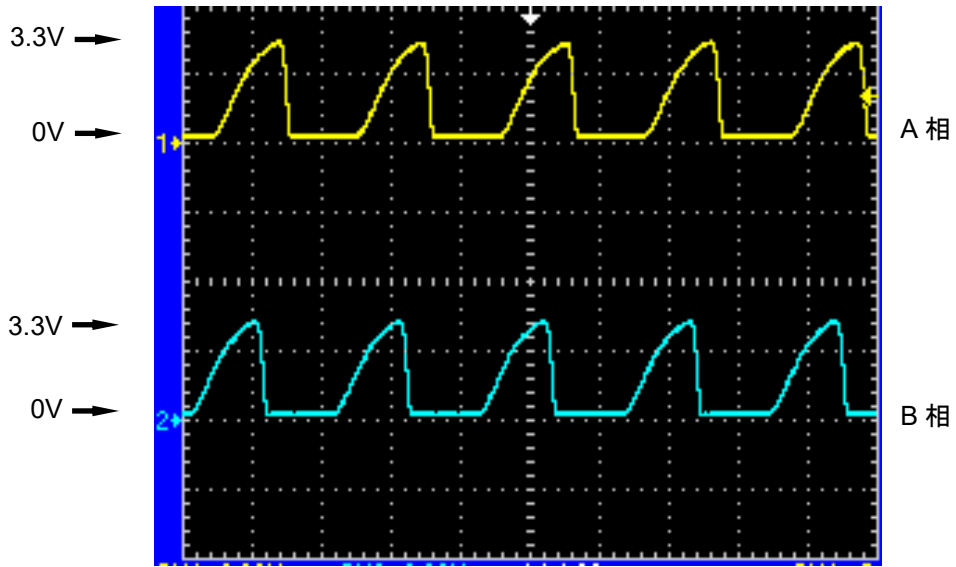
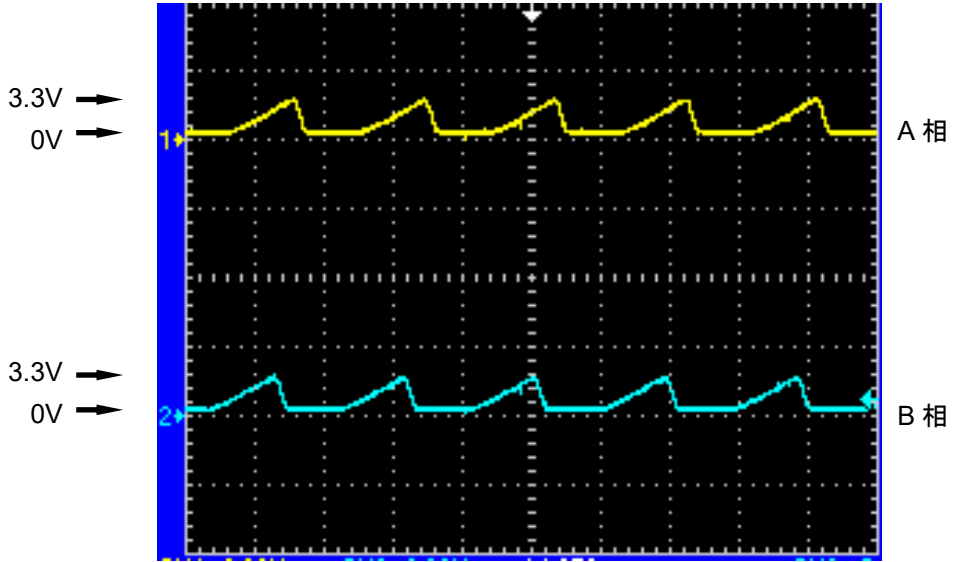


図 5-6 ロータリエンコーダの回路





設定速度：25% (80 回転/秒)



設定速度：100% (464 回転/秒)

図 5-7 ロータリエンコーダの出力信号

電源  
3.3V

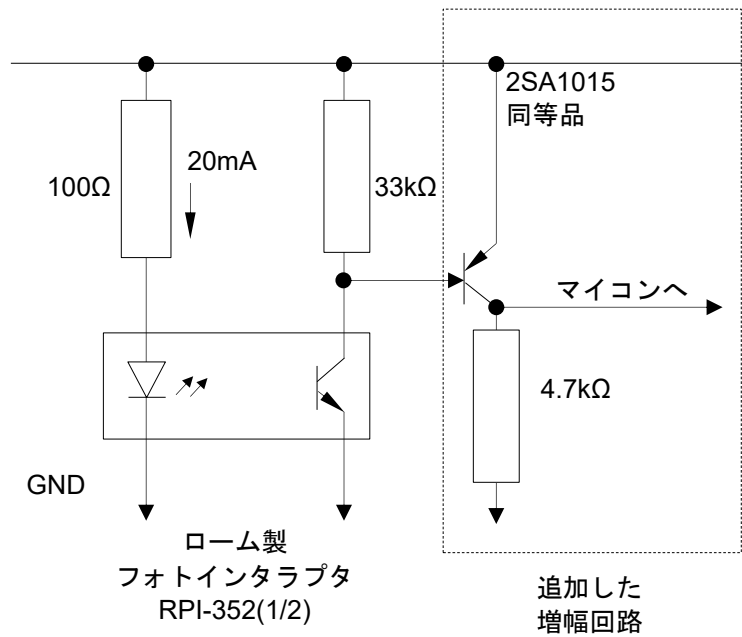
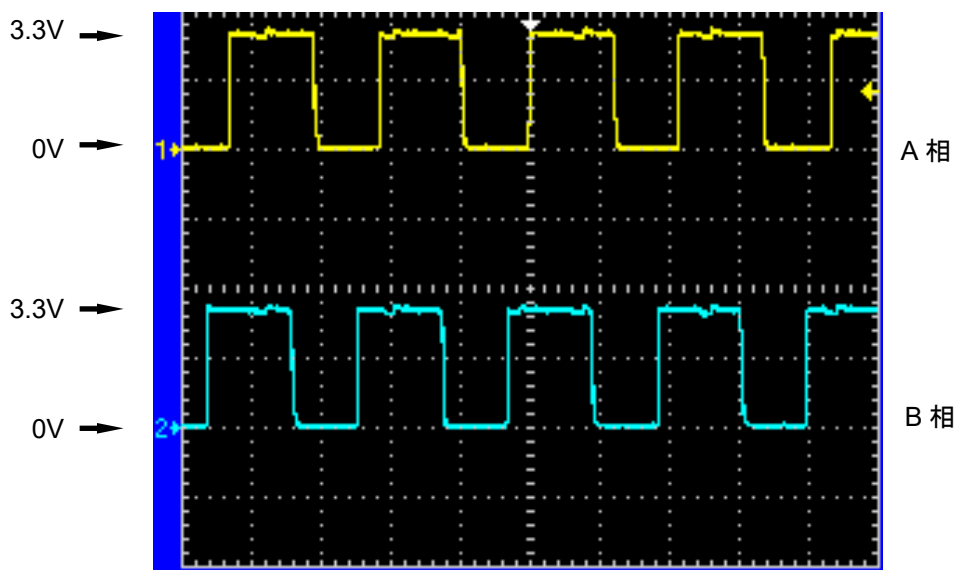
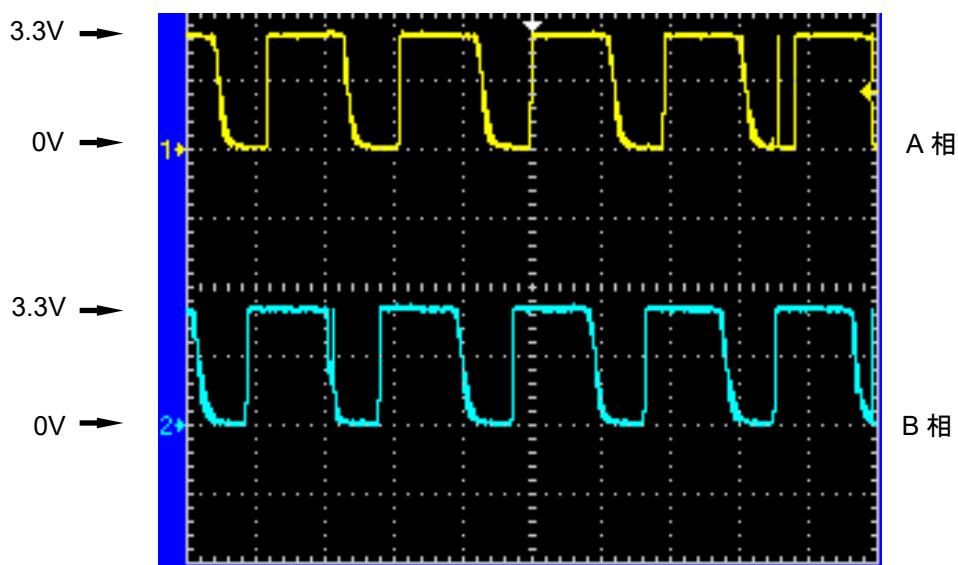


図 5-8 ロータリエンコーダ改良後の回路



設定速度：25% (80 回転/秒)



設定速度：100% (464 回転/秒)

図 5-9 ロータリエンコーダ改良後の出力信号

表 5-2 位相差による回転数の積算

位相		積算の種類
A相	B相	
0	0	0(静止)
0	1	+1
1	0	-1
1	1	エラー
0	0	-1
0	1	0(静止)
1	0	エラー
1	1	+1
0	0	+1
0	1	エラー
1	0	0(静止)
1	1	-1
0	0	エラー
0	1	-1
1	0	+1
1	1	0(静止)

ロータリエンコーダからの出力信号を得ることはできたが、モータとロータリエンコーダが近く、モータの微細な動きを出力してしまうため、ノイズが多く入ることを確認した。そこで、センサモジュールでは、両信号を  $16\mu$  秒毎に 3 回読み取りノイズ除去のための多数決演算を行うとともに、正逆転を考慮し回転数を積算する。多数決処理を行っていない場合と行った場合のエラーカウントの様子を表 5-3 に示す。約 100 万カウントの内、多数決処理を行っていない場合はエラーが平均約 1494.9 あったのに対し、多数決処理を行った場合は平均約 0.3 となった。これらを踏まえ、センサモジュールの回路図を図 5-10 に示す。ロータリエンコーダが高速回転しても、信号をカウント処理できるようにセンサモジュールにマイコンを使用している。

表 5-3 多数決処理の有無によるカウント値

多数決処理なし	1	2	3	平均
カウント値	1023020	1009794	1023808	-
エラーカウント値	1334	1404	1833	-
エラー(PPM)	1304.0	1390.4	1790.4	1494.9
多数決処理有り	1	2	3	平均
カウント値	1032684	1017510	1010100	-
エラーカウント値	1	0	0	-
エラー(PPM)	1.0	0.0	0.0	0.3



IoT 車輪移動型ロボット教材の電源は電池からとなるため、使用時間とともに電圧は低下する。同一プログラムによるロボットの動作の再現性を向上させるため、モータに印加される電圧の定電圧化を行った。安定化電源回路図について図 5-11 に示す。IoT 化に必要な各モジュールの電源については三端子レギュレータによる定電圧化を行い、ロボット

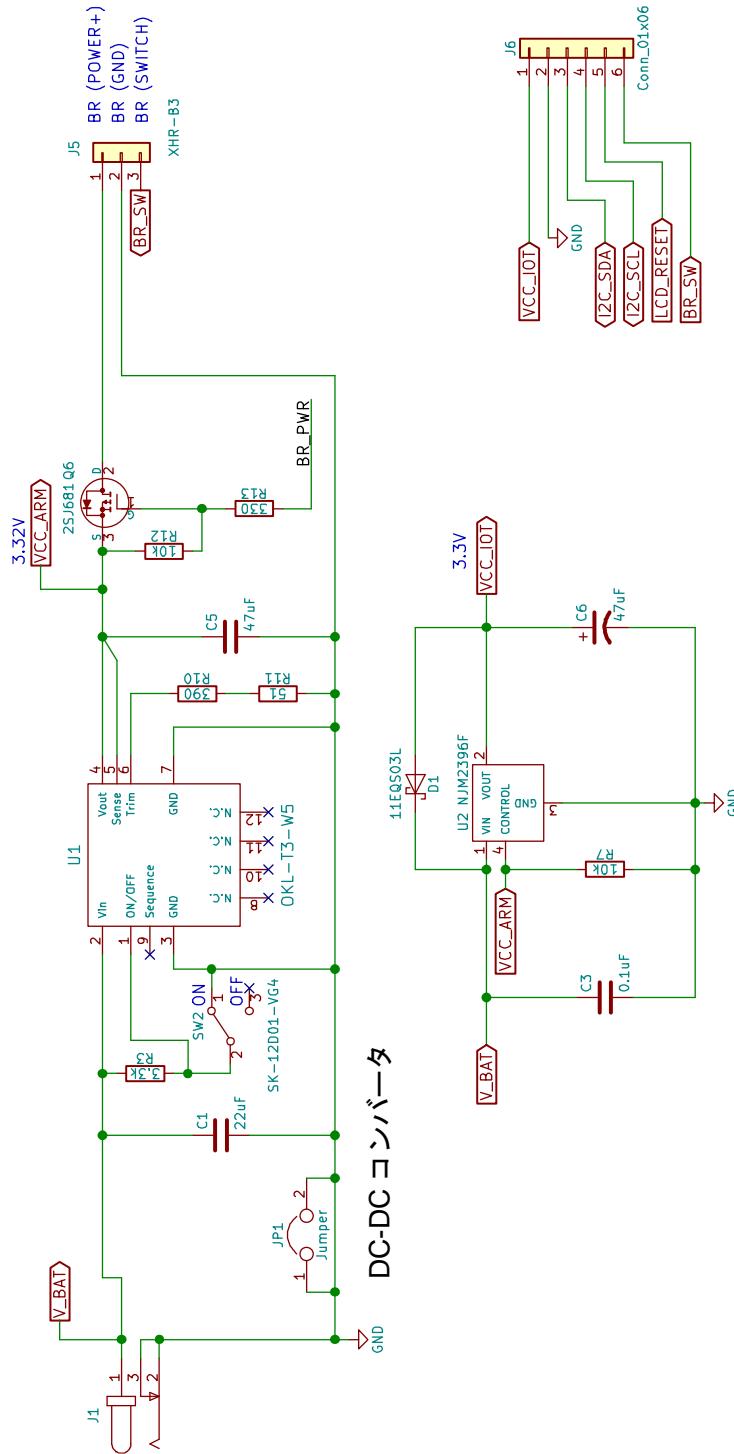
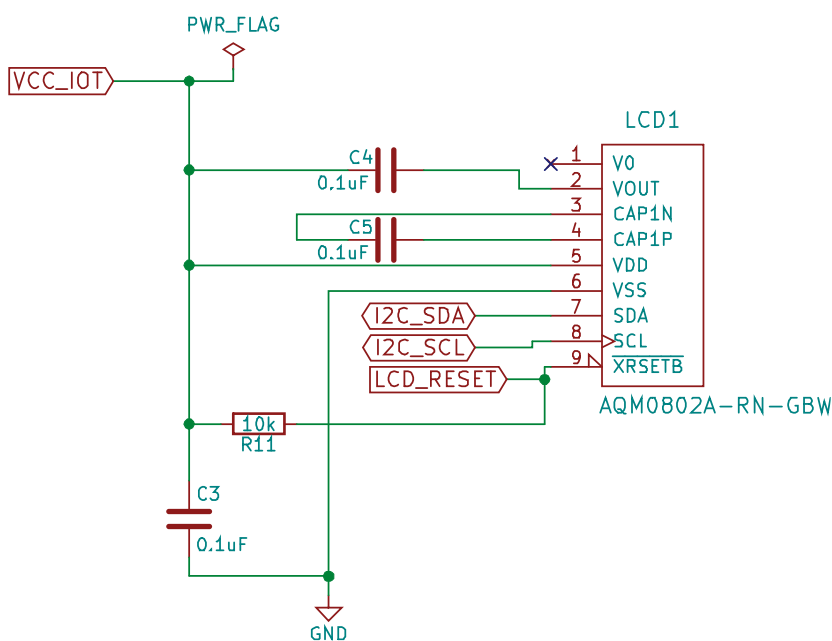


図 5-11 安定化電源回路

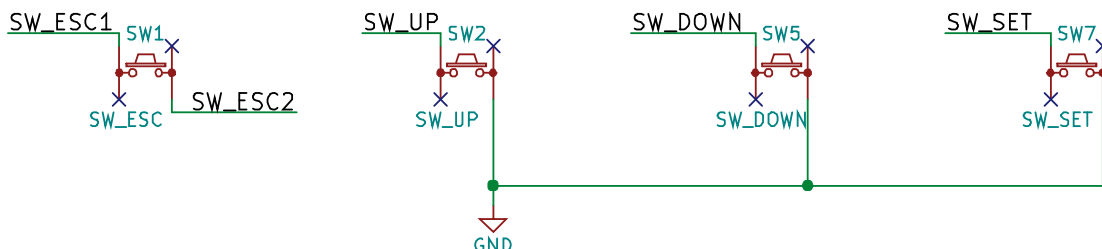
を移動させるためのモータに印加される電源については、降圧型 DC-DC コンバータを用いて定電圧化を図った。

また、各種情報を表示できるように LCD と操作用にスイッチ回路を組み込んだ。情報表示・操作回路を図 5-12(a), (b)に示す。LCD は Xiamen Zettler Electronics 製で 1 行 8 文字を 2 行表示できる。消費電力は 1mA でサイズは横 30mm, 縦 19.5mm のものを採用した。スイッチはモード切り替えボタン, プラスボタン, マイナスボタン, セットボタンの 4 つの機能とした。

以上の回路や演算処理を用いて、プリント基板を開発し、IoT 車輪移動型ロボット教材



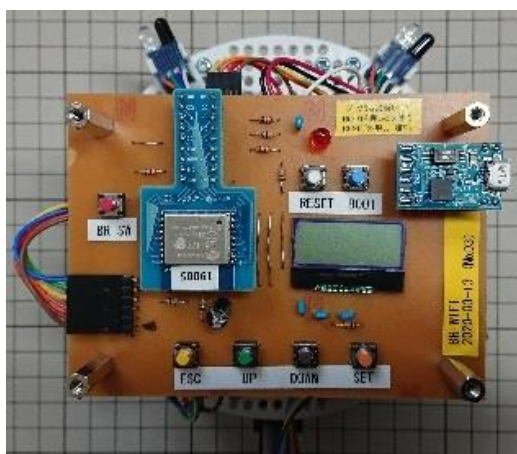
(a) LCD 回路



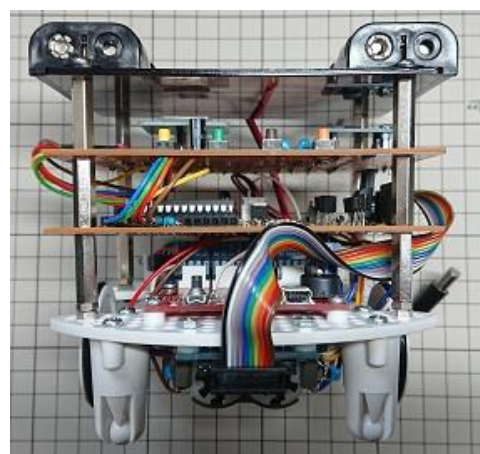
(b) スイッチ回路図

図 5-12 情報表示・操作回路

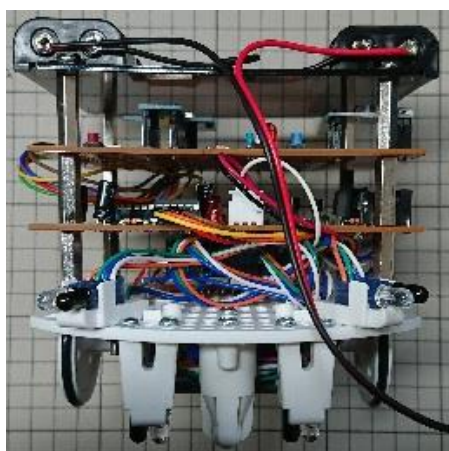
への実装を行った。実装の様子を図 5-13 に示す。基板は片面プリント 2 層とし、最上部に LCD とスイッチが配置されるように設計した。ロボット教材自体の電源及び各モジュールの電源として単 3 乾電池 2 本を 2 セット備え、車輪の滑りを軽減させるために、タイヤの上部にそれぞれ設置した。



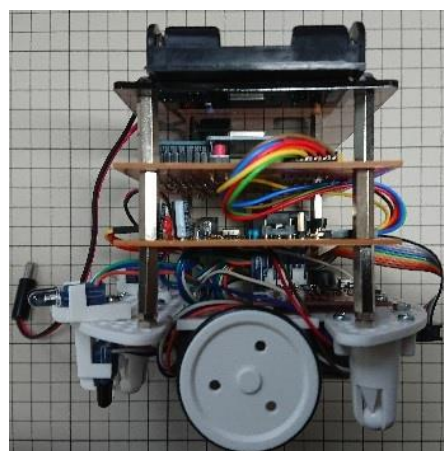
上面



背面



正面



側面

図 5-13 プリント基板の実装



### 5.1.3 時系列的な学習状態の記録方法

時系列的な学習状態はシミュレーション結果からロボットが移動した軌跡を再現できるように 100 ミリ秒毎に記録する。記録する内容は、経過時刻、左右車輪の積算回転数、さらに、PWM 制御されたモータの両極からローパスフィルタを介して得られた 2 つの信号を AD 変換した制御量とした。学習状態データのフォーマットを表 5-4 に示す。ヘッダーに必要な情報は 32 バイトとし、1 行のレコードに 24 バイトを要する。無線通信を用いてリアルタイムで、学習状態を学習過程・成果集約サーバにアップロードすることは通信の遅延などに期待できないため、今回はデータを一定時間蓄積し、送信することとした。ま

表 5-4 学習状態データのフォーマット

ヘッダー	型	バイト数	備考
個体識別符号	unit8_t*6	6	MAC アドレス
開始時刻	time_t	4	NTP サーバからの正確な時刻
ファイルの通し番号	unit8_t	1	1 から数える
レコード数	unit_16_t	2	
予備		19	
合計		32	

レコード	型	バイト数	備考
経過時間	unit16_t	2	開始時刻からの経過時間(100 ミリ秒)1 以上、108 分間まで
左エンコーダ・カウンタの積算	int32_t	4	オーバーフローを考慮して、サーバ側で phase unwrapping 処理を入れること
右エンコーダ・カウンタの積算	int32_t	4	オーバーフローを考慮して、サーバ側で phase unwrapping 処理を入れること
左エンコーダのエラー積算値	unit16_t	2	オーバーフローした場合は、0xffff とする
右エンコーダのエラー積算値	unit16_t	2	オーバーフローした場合は、0xffff とする
左モータ PWM 制御量 1	unit8_t	1	
左モータ PWM 制御量 2	unit8_t	1	
右モータ PWM 制御量 1	unit8_t	1	
右モータ PWM 制御量 2	unit8_t	1	
チェックサム	unit8_t	1	すべての要素を unit8_t として加算した場合、0 となる値
予備	unit8_t	5	値はすべて 0 とする
合計		24	

た、無線 LAN モジュールは、I<sup>2</sup>C を介して、センサモジュールに対して学習状態を取り出す命令を送信し、そのデータを受信した後フラッシュメモリ(4M バイト)に記録する。フラッシュメモリへのブロック単位の書き込み時間として最長 316 ミリ秒必要とするため、センサモジュール側にキューを備えた。

## 5.2 IoT 教材からの状態遷移情報による評価

### 5.2.1 シミュレーションによるコンテンツ表示

第 2 種類目のシミュレーションでは、中学校技術・家庭科(技術分野)(以下技術科)におけるプログラムによる計測・制御での車輪移動型ロボットを題材とした場合に動作させる機会が多い、正方形の軌跡について正しく表示されるか検証した。正方形の軌跡では等速円運動と違い、直線運動や方向転換の動きが評価の対象となる。直線運動は、左側車輪と右側車輪を 1 : 1 の速度で回転させ前方に移動させた。方向転換は、左側車輪を前方に、右側車輪を後方に 1 : 1 の速度で回転させた。これらの運動を交互に 4 回繰り返すことで正方形を描くデータを作成し、シミュレーションを行った。理論値で示される軌跡と、解析値による軌跡を図 5-14(a), (b)に示す。学習履歴表示コンテンツ上の軌跡について、形状は理論値による軌跡と同様となり、走行距離が理論値 912.0mm に対して、理論値と解析値の終点座標値の位置誤差は 9.0mm となった。

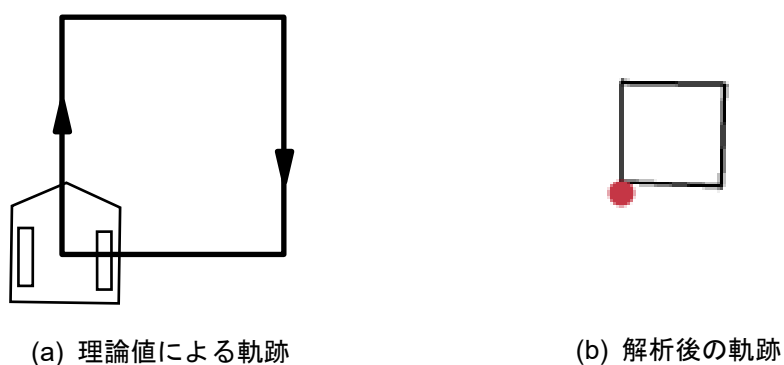


図 5-14 シミュレーションによる正方形の軌跡

## 5.2.2 IoT 教材実機データによるコンテンツ表示評価

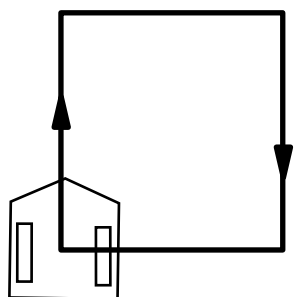
IoT 教材から発信された状態遷移情報を解析する試験では、ロボットにシミュレーションで用いた軌跡と相似関係となる移動をさせ、その状態遷移情報を用いた。解析ソフトウェアの評価について、シミュレーションでは理論値と学習履歴表示コンテンツ上の軌跡が同じ大きさには表示できないため、形状の類似性とそれぞれの終点座標値における位置誤差に関して評価した。5.2.1 と同様の正方形の軌跡となるように走行実験を 10 回行い、実機の始点と終点の差と学習履歴表示コンテンツ上の軌跡の始点と終点の差を比較して評価した。IoT 教材実機から取得した積算値を表 5-5 に示す。ロータリエンコーダ(表内 RE と略記)の左側の積算値は IoT 教材が前進した場合、逆回転となるため、負の数値となっている。今回の走行試験では、左右のロータリエンコーダからエラー値は検出されなかった。PWM 制御量については、左右のモータの両極に制御プログラムに沿ってどれぐらい印加されているかを計測しており、ロータリエンコーダの積算値の変化と PWM 制御量に急激な変化がなかったため、内部の計測としても正しく走行できたものとした。

実機にから得たデータによる学習履歴表示コンテンツ上の軌跡の例を図 5-15 に示す。結果は、平均走行距離 1127.1mm に対し、位置誤差は 19.2mm±1.5mm となり、その割合は 1.7%であった。表示された形状は、10 回とも、図 5-14 に示す再現された IoT 教材の (b)解析後の軌跡と図 5-15 に示すシミュレーションの(b)解析値による軌跡について形状の

表 5-5 IoT 教材実機による積算値データの例

経過時間 (100ms)	左 RE 積算値	右 RE 積算値	左 RE 積算値の エラー 積算値	右 RE 積算値の エラー 積算値	左 モータ PWM 制御量 1	左 モータ PWM 制御量 2	右 モータ PWM 制御量 1	右 モータ PWM 制御量 2
5	0	0	0	0	255	255	255	255
6	-24	17	0	0	244	191	245	205
7	-89	78	0	0	249	190	248	204
8	-186	168	0	0	247	188	248	202
9	-298	276	0	0	248	186	249	201
10	-419	395	0	0	248	186	249	200
11	-546	522	0	0	249	185	249	200
12	-677	656	0	0	248	185	249	200
13	-808	791	0	0	248	184	250	199
( 中 略 )								
78	-5777	8961	0	0	248	187	249	200
79	-5906	9092	0	0	248	186	249	200
80	-5989	9180	0	0	255	255	255	255

類似性が認められた。IoT 教材を構成する左右のモータ性能の不統一性や車輪の滑りなどによる誤差要因はあるものの、実機による走行距離に対する位置誤差の割合は 1.7%と小さく、学習指導する上で問題ないレベルであると考えられる。



(a) 理論値による軌跡



(b) 解析後の軌跡

図 5-15 IoT 教材からのデータによる軌跡

### 5.3 評価用授業の開発

遠隔地からの教育支援用システムの有用性を評価するために、IoT 教材を用い、状態遷移情報を取得し、学習記録を残す授業実践を行う。技術科で行われているプログラムによる計測・制御の授業では、ロボットなど計測・制御が可能な教材を用いて学習する。授業で教員は、各学習者の評価はもちろん、学習者個々の質問に対し、アドバイスをっており、学習者の人数が多くなればなるほど、1 人の学習者がどのような学習過程をたどって結果を導き出しているのかを正確に把握できない。このことは遠隔地ではもちろん起こる可能性が高く、教員と学習者が同じ空間にいる教室内の授業でも起こりえることである。そこで、評価用授業として、教員と学習者が同じ空間にいる教室内の授業で、テレビ会議システム(以下 VCS と略記)を除いた教育支援用システムを用いて、学習状況を確認することとした。

遠隔地からの教育支援用システムの有用性を評価するための授業計画を図 5-16 に示す。授業実践は中学生を対象とし、3 単位時間とした。第 1 時では、従来方法のように、プログラムの説明と、プログラムを作成するアプリケーションであるエディタの説明を授業前半で行い、後半に IoT 化した車輪移動型ロボットに順次処理のプログラムを組み込み、走行させる実習を行う。ここでは、教員は教育支援用システムを用いず、従来の授業記録を用いて学習者の評価を行い、その後、授業評価(A)の回答を行う。第 2 時では、IoT 化した車輪移動型ロボットに反復処理を有するプログラムを組み込み、走行させる実習を行う。

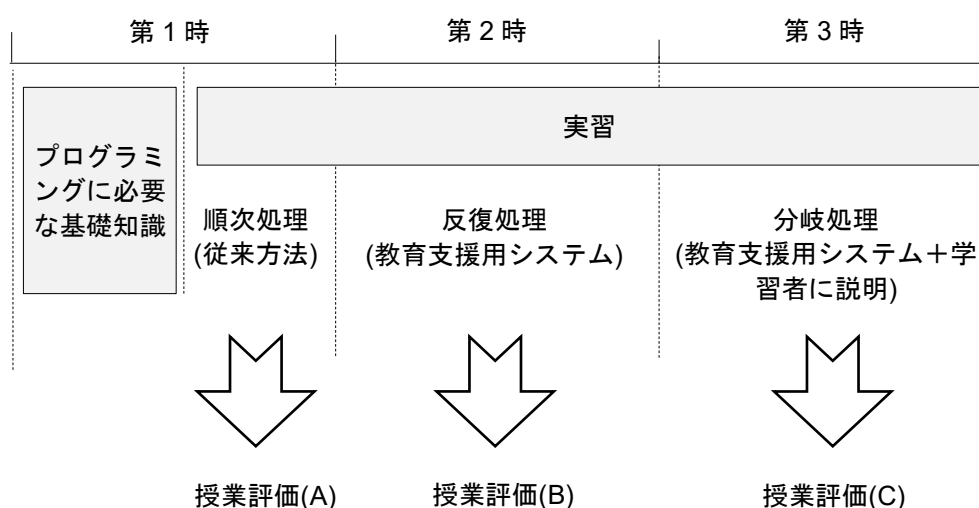


図 5-16 授業計画

ここでは、VCS を除いた教育支援用システムを用いて学習者の学習状況の記録を行い、そのデータを利用して教員が評価を行う。その後、教員は授業評価(B)の回答を行う。第3時では、授業の始めに学習者に対して、VCS を除いた教育支援用システムについての説明を行った後、車輪移動型ロボットに分岐処理を有するプログラムを組み込み、走行させる実習を行う。ここでも第2時と同様に、VCS を除いた教育支援用システムを用いて教員は学習者の評価を行い、その後、授業評価(C)の回答を行う。すべての内容が終了した後、授業評価(A)、(B)、(C)を用いて教員に対し、意識調査を行う。授業評価(A)、(B)、(C)の質問項目については表 5-6(a)、(b)、意識調査の質問項目については表 5-7 に示す。

教員の授業評価では(A)と(B)を比較し、従来の授業記録や評価方法で難解な内容に対して、教育活動を支援できるか、また学習効果や有用性があるかどうかを調査する。次に、(B)と(C)を比較し、学習者の活動に変化が見られるかどうかについても評価を行う。意識調査では、VCS を除いた教育支援用システムの有用性と、遠隔地から利用する本教育支援

表 5-6 授業評価の質問項目

(a) 授業評価(A),(B) の質問項目

質問内容
授業全体をとおして学習者全員の作業進捗状況を把握できましたか。
支援を必要としている生徒にアドバイスができましたか。
学習者の評価の際に全員の作品を確認できましたか。
学習者の評価にどれぐらいの時間が必要でしたか。
学習者の評価について数値など客観的な資料を用いて説明できますか。

(b) 授業評価(C) の質問項目

質問内容
授業全体をとおして学習者全員の作業進捗状況を把握できましたか。
支援を必要としている生徒にアドバイスができましたか。
学習者の評価の際に全員の作品を確認できましたか。
学習者の評価にどれぐらいの時間が必要でしたか。
学習者の評価について数値など客観的な資料を用いて説明できますか。
前回の授業記録は今回の授業で、生徒のアドバイスに有用でしたか。
学習記録について説明後、学習者の取組はより積極的になりましたか。

用システムの想定される有用性について調査する。授業評価(A), (B), (C)および意識調査の各項目に対する回答は4件法(1~4, 値が大きいほど肯定的)とする。

表 5-7 意識調査の質問項目

質問内容①
テレビ会議システムを除いた本システムを利用して、有用性について次の質問に回答してください。
授業中に学習者の学習状況の記録をとるのは大変ですか。
授業中に学習者の評価記録をとるのは大変ですか。
本システムは学習者全員の作業進捗状況を把握するために有用ですか。
本システムを利用して生徒にアドバイスができましたか
授業中、優先して行いたいものはどれですか順番をつけてください <ul style="list-style-type: none"> <li>○学習者への学習意欲を高める働きかけ</li> <li>○学習者へのアドバイス等の支援</li> <li>○学習者の学習記録</li> <li>○学習者の評価</li> </ul>
本システムの学習記録の機能のみを学習者に提供した場合、学習者の学習意欲の向上に有用だと思いますか。
本システムの学習記録の機能のみを学習者に提供した場合、学習者の自己評価に有用だと思いますか。

質問内容②
テレビ会議システムを含めた本システムを利用して、遠隔地から授業を行うことを想定していますが、その有用性について次の質問に回答してください。
本システムを利用することで、遠隔地の学習者の様子を把握できると思いますか。
本システムを利用して授業を行うことで、遠隔地にいる教員間の指導力向上に有用だと思いますか。
本システムを利用して、教員が遠隔地で指導力向上の研修を行うことは可能だと思いますか。
本システムを利用して授業を行うことで、学習者たちに遠隔地での学習という新たな学習の機会を提案できると思いますか。

## 5.4 学習指導計画

遠隔地からの教育支援用システムの有用性を評価するための学習指導計画を表 5-8 に示す。授業実践は中学生を対象とし、3 単位時間とした。

第 1 時では、従来方法のように、プログラムの説明とプログラムを作成するアプリケーションであるエディタの説明を授業前半で行い、後半に IoT 化した車輪移動型ロボットを用い、順次処理のプログラムを組み込み、走行させる実習を行う。実習は、学習者の技術習得速度によって段階的に課題を与えるため、3 種類用意することとした。初級はロボットを直線上に走行させ、3 秒後に動作を止めるプログラムの作成、中級はロボットを直線上に走行させ、2 秒後に 90 度旋回させ、また 2 秒分直線上を走行するプログラムの作成、上級はロボットを直線上に走行させ、2 秒後に 90 度分カーブさせ、また 2 秒分直線上を走行するプログラムの作成である。旋回とカーブの違いは、旋回は左車輪と右車輪を同じ速度で、それぞれを正回転と逆回転させる方法であり、カーブは左車輪と右車輪を違う速度で正方向に回転させるものとなる。カーブの場合、遅くする片方の車輪が 0 となっても構わないこととする。教員は授業後に授業評価(A)の回答を行う。

第 2 時では、IoT 化した車輪移動型ロボットを用い、反復処理を有するプログラムを組み込み、走行させる実習を行う。こちらの実習も学習者の技術習得速度によって段階的に課題を与えるため、3 種類用意することとした。初級は直線上に走行させ、2 秒後に 90 度右旋回させる動作を 4 回繰り返す、正方形の軌跡を描くプログラムの作成、中級は直線上に走行させ、2 秒後に 90 度右旋回させる動作を 2 回繰り返した後、直線上に走行させ、2 秒後に 90 度左旋回させる動作を 2 回繰り返すプログラムの作成、上級は直線上に走行させ、2 秒後に 90 度右カーブさせる動作を 2 回繰り返した後、直線上に走行させ、2 秒後に 90 度左カーブさせる動作を 2 回繰り返すプログラムの作成とした。教員は授業後に授業評価(B)の回答を行う。

第 3 時では、授業の始めに学習者に対して、教育支援用システムについての説明を行った後、IoT 化した車輪移動型ロボットを用い、分岐処理を有するプログラムを組み込み、走行させる実習を行う。こちらの実習も学習者の技術習得速度によって段階的に課題を与えるため、3 種類用意することとした。初級は直線上に走行させ、前方に置かれた障害物をセンサで読み取り、衝突する前に停止するプログラムの作成、中級は前方に置かれた障害物をセンサで読み取り、衝突する前に旋回し回避するプログラムの作成、上級は左右に曲がった水路のようなコースを衝突することなく通過するプログラムの作成とした。教員は授業後に授業評価(C)の回答を行う。



各学習のまとめとして、プログラム作成の流れには順次処理・反復処理・分岐処理があることを理解させるとともに、身の回りにある電気製品および施設・設備・機械においても様々なプログラムが使われていることに気づかせ、日常生活との関連性も意識させる。

表 5-8 学習指導計画

時	内容	時間 (分)	学習活動	評価基準・ 評価方法
1	プログラミン グに必要 な基礎 知識	5	・本時の学習活動を確認する。	情報処理の手順に ついての知識を身 に付けている。 (知識・技能) ・ワークシート ・車輪移動型ロ ボット教材
		10	・生活の中のプログラムについて知る。	
		10	・プログラムの出力方法について知る。	
		20	・順次処理について知る。 ・課題のプログラムを作成する。	
		5	・学習のまとめ	
2	実 習	5	・本時の学習活動を確認する。	情報処理の手順に ついての知識を身 に付けている。 (知識・技能) ・ワークシート ・車輪移動型ロ ボット教材
		10	・例題のプログラムを作成する。	
		10	・反復処理について知る。	
		20	・課題のプログラムを作成する。	
		5	・学習のまとめ	
3		5	・本時の学習活動を確認する。	設計に基づき、簡 単な計測・生後の プログラムを作成 できる。 (技能) ・ワークシート ・車輪移動型ロ ボット教材
		10	・教育支援用システムの機能について知る。	
		10	・分岐処理について知る。	
		20	・課題のプログラムを作成する。	
		5	・学習のまとめ	

## 5.5 まとめ

本章では、IoT 教材の実装方法について述べ、第 4 章に述べた学習過程・成果集約サーバに対してデータ送信を行い、学習履歴表示コンテンツ上の表示について評価した。その結果、表示された形状は理論値をもとに作成した状態遷移情報とほぼ類似したものとなった。また、IoT 教材から取得した状態遷移情報の解析においても、IoT 教材の動きが学習履歴表示コンテンツ上に軌跡として再現された。IoT 教材を構成する左右のモータ性能の不統一性や車輪の滑りなどによる誤差要因はあるものの、学習指導する上で問題ないレベルであると考えられた。また、教育支援用システムを用いた学習環境を授業実践で用いるための授業計画について検討した。

IoT 教材実機からの状態遷移情報を時系列的に記録することで、生徒の学習履歴を詳細に追えることができ、遠隔地においても学習者全員の状況を一覧として把握できることが明らかとなった。このことにより、プログラムによる計測・制御の単元において不安を持つ教員に対して、専門的な技術を持った教員や経験の豊富な教員等が移動時間や存在位置を意識することなく、容易に支援を行うことができる可能性が示唆された。また、専門的な技術を持った教員や経験の豊富な教員等が、不安を持つ教員に対して授業の流れ等を説明する場面よりも、実際の授業をチーム・ティーチングとして一緒に経験できる場を増やすことで、より質の高い支援になると期待できる。さらに、生徒全員の状態を時系列的に記録できることから、教員による生徒の評価等についても遠隔地から支援できる可能性が確認できた。

## 第 6 章 結言

### 6.1 本研究の成果

第 1 章では、研究の背景と研究の目的について述べ、本論文の構成について述べた。

第 2 章では、本研究が準じる遠隔教育について述べ、その後、現在利用されているコンピュータ会議ネットワークについて述べた。また、先行研究について述べ、本研究の分類を明確にした。さらに、先行研究から導かれる課題に触れるとともに、IoT 技術利用について紹介し、新たな視点に基づく教育支援環境の開発についての可能性を述べた。

第 3 章では、実験や実習を含む授業において教科や単元の選定を行い、「プログラムによる計測・制御」における授業を遠隔地から教育支援するシステムを構築するための要件と具体的なシステム構成を示すとともに、学習教材に IoT を導入することを提案し、教員の視点から評価した結果について述べた。また、IoT と学習過程・成果集約サーバを用い、これまでにない遠隔地から実習を含む授業を効果的に支援するシステムを構築し、教育での有用性について教員から一定の評価を得ることができた。試作したシステムについて教員に説明した上で、実施したアンケートによる意識調査の結果について述べた。意識調査結果に基づき教育支援用システムを用いることで教員が遠隔地からでも教科にとらわれず、授業支援を行うことができることや、学習成果とその評価を蓄積し、評価支援ができる可能性が示唆された。構築した教育支援用システムを利用することで、移動のための時間や距離的な制限を取り払い、専門的な知識を持った教員による質の高い授業を展開できると期待ができた。また、授業を媒体として遠隔地から授業の様子が見え、離れた場所同士での教員研修にも役立てる可能性も考えられた。

第 4 章では、第 3 章に述べた遠隔地からの教育支援用システムにおける機能を授業実践に向けて改良をおこなった。IoT 教材から取得した状態遷移情報に基づく、学習履歴を用いて教育支援することや学習評価することに着目し、学習過程・成果集約サーバにおいて、教員の視点で学習履歴を効果的に表示する学習履歴表示コンテンツの開発について述べた。開発した教育支援用システムの学習過程・成果集約サーバおよび、学習履歴表示コンテンツについて模擬データを作成し、シミュレーションによる解析試験を行い、評価した。評価は、3 種類の模擬データによる軌跡の終点の位置について、理論値による座標と解析値による座標との差を求めることで行った。

解析ソフトを用いて状態遷移情報を座標値に変換することで、目的とする軌跡が表示できる学習履歴表示コンテンツを構築することができた。また、シミュレーションの成果に

より IoT 教材実機の軌跡においても利用できる可能性が示唆された。以上の成果により、これまでにない授業を効果的に支援するシステムを構築し、教育への有用性が示唆された。

第 5 章では、まず IoT 教材の実装方法について述べた。実装については、選定した教材に含まれるモジュールだけでは、IoT 化ができなかったこと、計測値が安定しなかったことから、必要となる回路やモジュールを開発して行った。IoT 化するために必要な回路やモジュールを実装することで、エラー値を最小限にして本体に状態遷移情報を保存することができた。次に第 4 章に述べた学習過程・成果集約サーバに対して IoT 教材が実際に走行する軌跡の模擬データを作成し、軌跡を表示させ、評価を行った。評価については、第 4 章に述べた内容と同様に行い、理論値による座標と解析値による座標との差についても同等の結果を得ることができた。そして、IoT 教材を走行させ、記録した状態遷移情報を送信し、軌跡を表示して評価を行った。評価は、IoT 教材を 10 回同じ動作をさせ、走行が終わった位置と、表示させた位置の関係について差を求めて行った。その結果、シミュレーションで想定された内容と同等の結果を得ることができ、学習過程・成果集約サーバおよび、学習履歴表示コンテンツについて、IoT 教材実機から得たデータから走行した軌跡を表示できる成果を得た。この成果により IoT 教材実機の軌跡においても利用でき、授業実践への利用について可能性が示唆された。

また、本システムを利用した教員や学習者に対して操作性や有用性を調査の目的として、授業実践で用いるための授業計画について検討した。授業計画は中学生を対象とし、3 単位時間とし、教員と学習者が同じ空間にいる状態で学習過程・成果を記録する計画とした。

本論文では、教科内容を取り扱う上で、実験や実習を含む授業を対象として、遠隔地にいる学習者の活動を教員が時系列的に把握し、効果的に指導できる教育支援用システムの構築について提案し、その有用性について調査や解析試験に基づき明らかにした。教科内容として、中学校技術・家庭科(技術分野)の「プログラムによる計測・制御」を取りあげ、前述のシステムを構築するための要件と具体的なシステム構成を示すとともに、学習教材に IoT を導入することによって、教育支援を促進できることが示された。

## 6.2 今後の課題

遠隔地における学習者の学びの様子を把握することや、学習履歴を残すことは、教科に関係なく、学習者 1 人 1 人の自己評価や、教員が行う学習者評価の資料として期待は高い。教育支援用システムは、特に実験や実習を含む場面において、学習者の学びの様子を把握する際に効果を発揮する。IoT 技術が発達し、様々なものから状態遷移情報を取得するこ

とができるようになれば、学習教材はもちろん学習者が利用する筆などの文房具，ボールなどの体育用具からも情報を取得し，学習に利用できる可能性がある。

今後，教材の IoT 化に関わる技術的な課題を解決するとともに，学習過程・成果集約サーバの研究開発を行った後，模擬授業を踏まえて研究授業を実施し，教育支援用システムの実践的な側面から評価し，その効果の検証が必要である。

## 参考文献

- 1) 文部科学省：学校基本調査，学校数（2019）
- 2) 文部科学省：公立小学校・中学校の適正規模・適正配置に関する手引き（2015）
- 3) 総務省：情報通信白書 ICT 白書（2016）
- 4) 文部科学省：小学校学習指導要領，開隆堂（2017）
- 5) 文部科学省：中学校学習指導要領，開隆堂（2017）
- 6) 教育の ICT 化に向けた環境整備 5 か年計画（2018），[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2018/04/12/1402839\\_1\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/04/12/1402839_1_1.pdf)（最終アクセス日：2019年5月24日）
- 7) 文部科学省：GIGA スクール構想の実現パッケージ（2020），[https://www.mext.go.jp/content/20200219-mxt\\_jogai02-000003278\\_401.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200219-mxt_jogai02-000003278_401.pdf)（最終アクセス日：2020年1月24日）
- 8) 文部科学省：「新時代の学びを支える先端技術のフル活用に向けて ～柴山・学びの革新プラン～」について（2018），[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/other/1411332.htm#1411332](http://www.mext.go.jp/a_menu/other/1411332.htm#1411332)（最終アクセス日：2019年5月24日）
- 9) 文部科学省：新時代の学び支える先端技術活用推進方策(中間まとめ)（2019），[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/other/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/06/24/1311332\\_01.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/06/24/1311332_01.pdf)（最終アクセス日：2019年5月24日）
- 10) 文部科学省：新時代の学びを支える先端技術の活用推進方策(最終まとめ)（2019），[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/other/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/06/24/1418387\\_02.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/06/24/1418387_02.pdf)（最終アクセス日：2019年11月23日）
- 11) 内閣府：科学技術政策，Society 5.0，[https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html)（最終アクセス日：2019年4月30日）
- 12) 高橋悟編：遠隔教育・生涯学習社会への挑戦，海文堂（2004）
- 13) 文部科学省：遠隔教育システム活用ガイドブック 第1版（2018）
- 14) 文部科学省：高等学校における遠隔教育の在り方について(報告)（2014年12月8日）
- 15) 熊本県教育委員会：テレビ会議システムを活用した交流学习・学校間連携の支援，<http://ws.higo.ed.jp/tv-jirei/>（最終アクセス日：2018年6月21日）
- 16) 沢井正美・東徹哉：小学校におけるテレビ会議システムを利用した遠隔授業の試み(その2)-小学校4年生の社会科におけるごみ処理の学習から，日本科学教育学会研究会研究報告，第14巻3号，pp.57-60（1999）

- 17) 山田敏弘・今井亜湖・江馬諭・加藤直樹・小林一貴・西澤康夫・松原正也・大和隆介・H. Clarke・岩下真実：テレビ会議システムを用いたシドニー大学向け日本語授業の実践報告，岐阜大学教育学部研究報告，教育実践研究第7巻，pp.19-41 (2004)
- 18) 堀田龍也・黒田卓・中原淳・西森年寿・佐藤宏隆・高橋純・杉本圭優・湯辺美由紀・堀井清一：テレビ会議システムの利用による学校間交流学習の実践的研究，日本科学教育学会研究会研究報告，第14巻2号，pp.17-22 (1999)
- 19) 萱野貴広・筒井昌博・久田隆基：TV 会議システムを用いた理科授業分析に関する実践的研究，日本科学教育学会年会論文集，第22巻，pp.89-90 (1998)
- 20) 鈴木新一・水越一貴・深澤昌志・八代一浩・鳥養映子：学校間ネットワーク上に構築した遠隔教育支援システムの接続方法の提案とその評価，情報処理学会論文誌，第54巻，3号，pp.1050-1060 (2013)
- 21) 松本寿一・中易秀敏・森田英嗣・亀島鉦二：教育支援のための教材学習履歴分析システム，情報処理学会論文誌，Vol.40，No.9，pp.3596-3607 (1999)
- 22) 米満潔・梅崎卓哉・藤井俊子・江原由裕・穂屋下茂・角和博・高崎光浩・大谷誠・大月美佳・皆本晃弥・岡崎泰久・渡辺健次・近藤弘樹：Moodle と XOOPS を基盤とし大学の要求を考慮した学習管理システムの開発と運用，情報処理学会論文誌，Vol.48，No.4，pp.1710-1720 (2007)
- 23) 不破泰・右代美香・國宗永佳・新村正明：e-Learning を用いた社会人遠隔学習における質保証への取組ー学生サポートの実践と評価ー，メディア教育研究，第3巻，第2号，pp.13-23 (2007)
- 24) 高岡詠子・大澤佑至・吉田淳一：e-Learnig 学習履歴を用いたドロップアウト兆候者早期抽出手法の提案，検証および今後の課題，情報処理学会誌，Vol.52，No.12，pp.3080-3095 (2011)
- 25) 永森正仁・植野真臣・安藤雅洋・ソムムアンポクポン・遠藤和己・永岡慶三：携帯電話レスポンスアナライザを用いた遠隔授業，日本教育工学論文誌，第29巻，Suppl.，pp.57-60 (2006)
- 26) 長慎也・笈捷彦：proGrepープログラミング学習履歴検索システム，情報処理学会，第2005巻，第15 (CE-78)号，pp.29-36 (2005)
- 27) 中澤真・荒本道隆・後藤正幸・平澤茂一：編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics～Scratch を用いた初等教育向けプログラミング教育における学習者の思考パターン分析，情報処理学会第78回全国大会講演論文集，第2016巻，第1号，pp.531-532 (2016)

- 28) 森慎之助：ロボット教材を用いた制御・プログラミング学習の授業実践と作業分析，日本産業技術教育学会誌，第 47 巻，第 3 号，pp.201-207(2005)
- 29) 間辺広樹・長島和平・長慎也・並木美太郎・兼宗進：高等学校における複数言語によるプログラミング教育の提案～情報システムの理解を目標としたドリトル，JavaScript，PHP の連携～，情報処理学会研究報告，コンピュータと教育，第 2016 巻，第 3 号，pp.1-10 (2016)
- 30) 川路智治・谷田親彦・竹野英敏：技術科における IoT を活用した製品モデルを設計・製作する授業の開発，日本産業技術教育学会誌，第 61 巻，第 1 号，pp.17-25 (2019)
- 31) 岡正人・田中幹也：動画・音声通信ソフトウェアを用いた遠隔操作システムの構築，日本産業技術教育学会誌，第 59 巻，第 1 号，pp.29-37 (2017)
- 32) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説，技術・家庭編，開隆堂 (2017)
- 33) 文部科学省：新学習指導要領を見据えた小中高等学校教員の「ICT 活用指導力向上」のための ICT 活用指導力向上研修実施モデル解説書 (2019)
- 34) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成 20 年告示)解説，技術・家庭編，開隆堂 (2017)
- 35) 西ヶ谷浩史・青木浩幸・井上修次・江口啓・紅林秀治：自律型 3 モータ制御ロボット教材を用いた計測の授業，情報処理学会研究報告コンピュータと教育(CE)，第 2009 巻，第 15 号，pp.113-120 (2009)
- 36) 井戸坂幸男・兼宗進・久野靖：中学校における自律型制御ロボット教材の評価と授業～新学習指導要領の「計測・制御」授業に向けて～，情報処理学会研究報告コンピュータと教育(CE)，第 2010 巻，第 22 号，pp.1-7 (2010)
- 37) 中村亮太・吉田智子・松浦敏雄：プログラムによる計測・制御を学ぶための LilyPad Arduino シミュレータと学習環境の開発，情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集，第 2015 巻，第 1 号，pp.565-566 (2015)
- 38) 紅林秀治・室伏春樹・樋口大輔・江口啓：計測学習を取り入れたロボット制御教材の開発，日本産業技術教育学会誌，第 52 巻，第 3 号，pp.159-167 (2010)
- 39) Michael Yuan：MQTT の基本知識，developerWorks，<https://www.ibm.com/developerworks/jp/iot/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html> (最終アクセス日：2018 年 6 月 20 日)
- 40) 粕谷貴司・近藤正芳・茂手木直也・松岡康友・矢野雅・秋山貴紀・境野哲・貞田洋明・堀越崇・畠山英之：スマートシティのための MQTT プラットフォームの検証，電子情報通信学会信学技報，Vol.114，No.65，pp.45-46 (2014)
- 41) (一社)日本機械学会：“ロボティクス”，(一社)日本機械学会，pp.34-39 (2011)



- 42) 藤野溪佑・岩山敦志・伊藤陽介：車輪移動型ロボット教材を遠隔地から教育利用するためのシステム構成，日本産業技術教育学会第 33 回情報分科会研究発表会講演論文集，pp.93-94 (2018)

## 謝辞

本研究の遂行並びに学位論文の執筆にあたり大変多くの方々のご指導，ご支援を頂きましたことを深く感謝申し上げます。

鳴門教育大学の伊藤陽介教授からは，指導教員となる以前より 2 年近く，研究の助言や兵庫教育大学連合大学院の入試に向けてのご指導をしていただきました。入学後は指導教員として 3 年間懇切丁寧にご指導いただきました。研究テーマについてご相談した折には，親身に話を聞いていただき，その教育的意義について方向性を示してくださいました。研究中においても，論理の組み立て方から，教材の調達，翻訳の方法まで，熱心にご指導くださり，また暖かく見守ってくださいました。各学会への論文投稿の際には，一語一句を吟味し，丁寧に原稿を推敲してくださいました。2 度の国際学会参加の際も発表の準備や現地での生活についてご助言いただき，支えていただきました。本研究が博士論文としてまとめられたのも，伊藤教授の熱意あるご指導があったからこそであり，深く感謝しております。心よりお礼申し上げます。

鳴門教育大学の菊地章特命教授からは，副指導教員として学位論文に対しての研究の方向性や意義，教育分野との関わり，論理の組み立て方についてなどをご示唆いただきました。兵庫教育大学の森山潤教授には，副指導教員として統計学を用いた評価法や学習指導要領とその背景についてご指導いただいたことが，本研究の支えとなりました。

また，生活・健康系教育連合講座の先生方，学生の皆様，現場で教育活動をおこなっている同じ技術科教諭の皆様にも，被験者としてご協力いただいたことはもちろん，数々の激励，ご助言をいただきましたことを感謝いたします。

上記の皆様方並びに，これまでの私の研究を支えていただいた同僚，友人，および家族に心より感謝の意を表し，結びといたします。

2020 年 8 月

岩山 敦志

## 本研究に関する学術論文

### 第3章 実習を含む授業に対する遠隔授業の位置づけ

- 岩山敦志, 伊藤陽介: 「プログラムによる計測・制御」における遠隔地から教育支援するシステムの構築, 日本産業技術教育学会誌, 第61巻, 第1号, pp.9-16, 2019
- Atsushi Iwayama, Yosuke Ito : A Distance Educational Support Method for Class with Practical Training Using IoT, Technology Education New Zealand(TENZ) Conference and International Conference on Technology Education, pp.82-89, 2017

### 第4章 実習を含む授業に対する遠隔教育支援システムの構築

- 岩山敦志, 伊藤陽介: IoT教材の状態遷移情報を利用した学習履歴表示コンテンツの開発, 日本産業技術教育学会誌, 第62巻, 第1号, pp.21-28, 2020
- Atsushi Iwayama, Yosuke Ito : Development of Learning Activity Status Recording System, International Conference on Education and New Developments (END) 2019, pp.326-328, 2019