

小学校 STEM 教育教材としての IoT ブロックの可能性に関する研究 —小学校理科 6 年「電気の利用」における「ものづくり」を通して—

A Study on Possibilities of IoT Blocks as Elementary School Learning Materials of STEM
—Through “Monozukuri” in Elementary School Science curriculum “Use of Electricity”—

竹本 石樹*・小川 博士**・市川 紀史***・
横山 勝之****・堀田 龍也*****・熊野 善介*****

1. 研究の背景と問題意識

第 4 次産業革命における労働力の創出は、日本の喫緊の課題である。経済産業省は、2030 年には、2015 年を基準とした労働人口の 1 割超の 735 万人の雇用が減ると試算しており、産業構造の変化に対応できる人材育成の必要性を訴えている。このような新たな産業構造の変化に対応するためには、21 世紀型の資質と能力を兼ね備えた人材育成が不可欠である。そして、このような人材を育成するためには、科学教育 (Science)、技術教育 (Technology)、工学教育 (Engineering)、数学教育 (Mathematics) を総合的、統合的に学ぶ STEM 教育が有効であることが指摘されている (例えば、熊野、2016)。そして、STEM 教育は、今や、STEM 先進国のアメリカはもちろんのこと、技術立国を目指すアジアの新興国等、多くの国々で取り組みを拡大させ、質の向上を図っている。

さて、日本の学校教育における STEM 教育の現状については、峯村ら (2017) が指摘するように、「学校での正課の時間外の取組が大半」であり、「導入可能性を検証」した実践が見られる程度である。しかし、子どもたちが第 4 次産業革命の時代を生き抜けるようにするためには、学校教育の果たすべき責任が大きいため、一刻も早く、STEM 教育の導入を検討すべきである。ところが、現在の学校は多忙化し、教員が十分な研修時間を確保できていない現状にある。そして、そのために STEM 教育のような新たな挑戦的な試みに対し、負担感を感じる教員も多く存在し、STEM 教育の取組が進んでいるとは言い難い。しかし、STEM 教育の研究者でもあり、実践家でもあった第一筆者は、メンター的な役割を担い、学校の教員とのカンファレンスを通して、授業者の育成と質の高い STEM 教育の実現を同時に進めることができる。学校と連携・協働して STEM 教育の実践開発とその効果等を明らかにし、STEM 教育推進に一石を投じることが筆者らに与えられた使命であると考えている。

このような状況の中で STEM 教育を行うための一つの戦略として、各学校が既に

*浜松学院大学 (理科教育学、科学教育学)、**京都ノートルダム女子大学 (理科教育学)、***浜松学院大学 (教師教育学)、****静岡大学附属浜松小学校 (教師教育学)、*****東北大学大学院情報科学研究科 (教育工学)、*****静岡大学創造科学技術大学院 (理科教育学、科学教育学)

取り組んでいる「ものづくり」の実践を STEM 化することを考えた。子どもたちは、「ものづくり」に取り組む際、何かを作りたいという強い願いを持ち、これまでの経験を総動員し、「ものづくり」に取り組む。このような「ものづくり」は、教科等の枠を超えた活動になり、STEM 教育に通じる。そして、このような主体的な活動の中で、子どもたちが「21 世紀型の資質と能力」を育てていくことは、STEM 教育が目指す目標と一致する。また、STEM 教育における「エンジニアリングデザイン」の過程と小学校理科における「ものづくり」は、共通要素を持っているため（例えば、峯村ら、2017）、「ものづくり」の充実が、一義的には STEM 教育を進める第一歩になると考える。

「ものづくり」が STEM 教育を推進するための一つのアプローチであると捉えると、MESH（ソニー株式会社、以下省略）を導入することにより、「ものづくり」の質を高めることができると考える。その理由は、MESH が、子どもの「ものづくり」をサポートし、これまでにできなかったことを実現できるようにする教材だからである。MESH は、センサーやボタンが内蔵された IoT ブロックであり、センサーから情報を受けてものを動作させたり、ボタンを押し命令を出すことによりものを動作させたりするものである。例えば、ボタンを押したら LED を点灯させる仕組みをつくる場合、専用のアプリ上で、ボタントグのアイコンと LED ダグのアイコンを線で結ぶことにより、その仕組みづくりを実現できる。（ソニー、2018）。

以上を踏まえると、MESH は、これまでに取組みられてきた「ものづくり」をさらに発展させることができる教材であり、同時に「STEM 教育」を充実させることができる教材であると言える。このような教材であるからこそ、MESH の教材としての可能性を追究し、その特性を踏まえる必要がある。この特性を踏まえることなしに、授業は充実しないからである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、IoT ブロックの一種である MESH が、「ものづくり」や「STEM 教育」の文脈で、どのような可能性を有しているかを実証的に検討することである。具体的には、「ものづくり」を行う過程において、MESH を活用して子どもに何を育成できるのかを検討し、それらが育成されているかを調査する。さらに、それらを育成するためには、何に留意すればよいかを明らかにする。本研究は、STEM 教育を推進するための準備段階の研究であるが、これが日本の多くの学校で STEM 教育が始まる序章になることを願っている。

3. 方法

3.1 カンファレンス及び、授業・調査の概略

MESH を活用した実践を行う前に、実践、評価の方向性を検討するカンファレンスを行った。ここでいうカンファレンスは、授業をデザインするために、複数の教員で行う検討会のことであり、単元計画から本時計画までをターゲットとする。事前と事後に行い、授業の中で得られた子どもの学習状況に関するフィードバック情報を基に、授業の質的改善を行うものである。進め方の詳細は、竹本(2004)を参照いただきたい。

このような事前のカンファレンスの実施時期は、2018年8月～9月(3回)であり、参加者は実践者3名、研究者2名である(3.2)。そして、カンファレンスに基づいた授業・調査は、静岡県内の大学附属小学校6年生2クラス、66人を対象とし、2018年11月下旬から12月中旬にわたって実施した。また、質問紙による事前調査は、11月上旬に、事後調査は12月下旬に行った(3.3)。さらに、これらのフィードバック情報を基に、事後のカンファレンスを行い、授業の質的改善に取り組んだ。

なお、本項3においては、事前のカンファレンスで検討したことを示し、事後のカンファレンスで検討したことは、「5 成果と課題」に含めることとする。

3.2 カンファレンスの実際(実践と評価の方向性)

研究を進めるに当たり、カンファレンスを行い、授業デザインの方向性について検討した。3.2.1～3.2.4には、カンファレンスで検討されたことを示す。3.2.1と3.2.2では、子どもに何を育成する必要があるのかを検討している。3.2.3では、それらをどのように育成するかを検討している。そして、3.2.4では、子どもの育成状況を見るための評価項目を検討している。

なお、本稿では、「STEM化」という言葉を使用するが、これは、授業にSTEM教育の考え方を取り入れていくという意味である。

3.2.1 STEM化の方向性① ～学習指導要領との関連～

学校の教育課程内の内容をSTEM化する際、学習指導要領に示されている内容を考慮し、授業デザインを行う必要がある。学習指導要領は、学校で行う授業の基準であり、今後、STEM教育が導入されるようになった際にも、基準として意識する必要があると考える。

小学校学習指導要領解説理科編(文部科学省、2018or2017)には、「内容」及び「内容の取扱い」が示されており、本授業に関連することを表1に整理した。なお、表1の右欄には、MESHを活用し、どのような活動を取り入れれば、「内容」及び「内容の取扱い」に迫ることができるか、カンファレンスの中で検討し、その検討結果を示している。

表1 STEM化において意識すべき学習指導要領解説理科編の内容

学習指導要領解説理科編「6年電気の利用」に示されている「内容」及び「内容の取扱い」（本授業関係分）	「内容」及び「内容の取扱い」に関わる MESH を活用した学習活動
<p>ア(ウ) 身の周りには、<u>電気の性質や働きを利用した道具</u>があること</p> <p>イ 電気の性質や働きについて追究する中で、<u>電気の量と働きとの関係、発電や蓄電、電気の変換</u>について、より妥当な考えをつくりだし、表現すること</p>	<p>＜電気の「制御」に関する内容的事項との関連＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ MESH を使って、電気を制御する活動を通して、子どもたちに電気を利用した「道具」があることを実体験させる。 ・ ゼネコンを使って、電気を「発電」し、コンデンサーに「蓄電」し、電気を「変換」し、道具を動かす活動をする。そして、MESH（センサー）を使って、「電気の量」を制御し、道具を自分の考えた通りに動かす活動をする。
<p>「身の周りには、温度センサーなどを使って、エネルギーを効率よく利用している道具があることに気づき、実際に目的に合わせてセンサーを使い、モーターの働きや発光ダイオードの点灯を制御するなどといった<u>プログラミング</u>を体験することを通して、その仕組みを体験的に学習するといったことが考えられる。」</p>	<p>＜「プログラミング」に関する内容的事項との関連＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 電気を制御するためには、プログラミングが不可欠であり、MESH を使って、体験的に学ぶことによって、プログラミングの意味を理解する活動をする。 ・ MESH を使って、電気を制御するプログラムを作成することにより、プログラミングが生活に関係していることに気付かせる活動をする。

3.2.2 STEM化の方向性② ～「意欲」や「21世紀型スキル」への着目～

TIMSS2011 質問紙調査結果から、国際調査比較において、日本の生徒は理科が「役に立つ」、「楽しい」との回答が国際平均より低いことが分かる。意欲の向上は日本の教育の大きな課題であり、平成29年に告示された小学校学習指導要領解説でも「主体的に学習に取り組む態度」「学びに向かう力」等の言葉を使い、子どもの「意欲」向上の取組に力点を置いている。よって、「意欲」の向上は、STEM化された授業を行う上でも力点を置くべき視点である。

また、STEM教育の究極的な狙いは、子どもたちに21世紀型スキルを育成することであり（熊野、2016）、子どもたちが第4次産業革命の有効な労働力になっていくことである。Griffin（2012）らは、21世紀型スキルを表2のように10のスキルに分類し、さらにそれらを大きく4つに分類し、定義している。STEM教育を行う上では、これらを射程に入れ、実践を行う必要がある。しかし、一つの単元で、これら全てを育成していくのは、困難であるため、本単元の中で育成可能なものに焦点を当て、重点的に育成していくことをカンファレンスで確認した。

表 2 21 世紀型スキルの定義

思考の方法	働く方法	働くためのツール	世界の中で生きる
1. 創造性とイノベーション	4. コミュニケーション	6. 情報リテラシー	8. 地域とグローバルのよい市民であること(シチズンシップ)
2. 批判的思考、問題解決、意思決定	5. コラボレーション(チームワーク)	7. ICTリテラシー	9. 人生とキャリア発達
3. 学び方の学習、メタ認知			10. 個人の責任と社会的責任(異文化理解と異文化適応能力を含む)

3.2.3 STEM 化の方向性③ ～「ものづくり」の段階への着目～

小学校理科の学習指導要領解説では、「ものづくり」について「児童が明確な目的を設定し、その目的を達成するためのものでづくりを行い、設定した目的を達成できているかを振り返り、修正するといったものづくりの活動の充実を図る」(文部科学省、2017)とある。一方、アメリカの「科学に関する次世代スタンダード(以下、NGSS)」(NSTA,2013)では、「エンジニアリングデザイン」について、Define(定義)、Develop Solutions(解決策の模索)、Optimize(最適化)の3つの段階が重要であり、それぞれが相互に関連し合う必要性を示している。学習指導要領における「ものづくり」とNGSSの「エンジニアリングデザイン」のプロセスは、共通要素を含んでいるが、両者の違いは、「段階」とその内実の詳細さにあると考える。これまで行われてきた「ものづくり」を「エンジニアリングデザイン」の視点から捉え直すことによって、従来の「ものづくり」がSTEM化され、さらに充実する可能性があると考えられる。

さて、「エンジニアリングデザイン」の段階を意識したものとして、Sylviaら(2015)の「学習のためのデザインモデル-TMI(Think、Make、Improve)(以下、TMI)」(表3)がある。TMIは、「ものづくり」の過程を、実践経験に基づいた「ものづくり」の豊かな知見から、3つの段階に分け、それぞれの段階ごとの具体的な内容を整理している。これは、NGSSの「エンジニアリングデザイン」の3段階、Define(定義)、Develop Solutions(解決策の模索)、Optimize(最適化)に対応している。よってTMIを拠り所として実践することによって、STEM化された「ものづくり」の具体的な活動のイメージができるようになると思われる。

表3 学習のためのデザインモデル-TMI（考える、作る、改良する）

段階	具体的な内容
Think (考える)	ブレインストーミング、徹底した話し合い、予測、素材収集、必要な専門知識の認識、誰と一緒にやるか（あるいは1人でやるか）の決定、目標の設定、スケッチ、アウトライン、フローチャート（手順）の作成、調査、計画
Make (作る)	遊ぶこと、組み立てること、ティンカリング、創作すること、プログラミング、実験すること、構築すること、解体すること、戦略／素材をテストすること、他の人を観察すること、コードを借りること、コードを共有すること、プロセスを書き留めること、発明の中の弱点を探ること、質問すること、作ったものを手直しすること
Improve (改良する)	調査する、発表する、仲間と議論する、別の観点から問題を見る、異なる素材を使ってみる、一度に1つのパラメーターを変えてみる、過去に似たような問題を解いたときのやり方を考えてみる、それで遊んでみる、分析したり解体したりすることのできる類似のプロジェクト成果を見つける、専門家に尋ねる、冷静になる、新鮮な空気を吸う、一晩寝かせてみる

3.2.4 STEM化の方向性④ ～子どもを育成するための評価～

さらに、表4には、子どもたちが、「内容」及び「内容の取扱い」に関する事項をどの程度理解できているかを評価するためのアンケートを示した。これは、表1の右欄にある、「電気の制御に関する内容的事項」「プログラミングに関する内容的事項」の2つについて、子どもたちの獲得状況を調べるものである。

本単元においては、授業前のカンファレンスにおいて、学習意欲と表2に示す21世紀型スキル（「1. 創造性とイノベーション」「2. 批判的思考、問題解決、意思決定」「4. コミュニケーション」「5. コラボレーション（チームワーク）」）の育成に着目し、授業デザインを行うことを確認した。これらは、坂田（2018）が実践研究で用いた授業評価アンケート（表5）の各項目と対応しているため、これを、本実践の評価に援用することにし、「とてもそう思う（4点）」から「全くそう思わない（1点）」の4件法で回答を求めた。

表4 「内容」及び「内容の取扱い」に関わる評価

	活動前アンケート	活動後アンケート
電気の「制御」に関する内容的事項	・「センサー」という言葉を聞いたことがありますか。 ・「センサー」について知っていることを書いてください。	・「センサー」とは、何ですか。今回の学習を通して、あなたが学んだことを全て書いてください。
「プログラミング」に関する内容的事項	・「プログラミング」という言葉を聞いたことがありますか。 ・「プログラミング」について知っていることを書いてください。	・「プログラミング」とは、何ですか。今回の学習を通して、あなたが学んだことを全て書いてください。

表 5 意欲と 21 世紀型スキルの評価

	活動前アンケート (学校での活動や勉強について)	活動後アンケート (今回の活動について)
Intrinsic Motivation	いつも夢中になって取り組みますか	今回の活動は、夢中になって取り組みましたか
Creativity	いつもいろいろなアイデアを思いつきますか	今日の活動では、よいアイデアを思いつきましたか
Critical Thinking	いつもよりよい答えや方法が見つかるようにいろいろ考えたり、試したりしますか	よりよい答えや方法が見つかるようにいろいろ考えたり、試したりしましたか
Communication	いつも自分から発言したり、人の話を聞いたりすることができますか	自分から発言したり、人の意見を聞いたりすることができましたか
Collaboration	いつも友達と協力したり、分担したりしながら活動できますか	グループの人と協力したり、分担したりしながら活動できましたか

3.3 授業・調査の実際（具体）

カンファレンスで得られた方向性（3.2.1～3.2.4）を基本とし、授業実践を行った。単元の具体、及び MESH を活用した学習活動の具体、MESH を活用した学習評価の具体を以下に示す。（3.3.1～3.3.2）

3.3.1 単元の具体

本研究では、小学校 6 年生「電気の利用」を取り上げた。各学習活動は、1 コマ 45 分として行われた。総時間数は全 11 時間である。単元計画の簡略版は、表 6 の通りであり、本研究対象となるユニットは、第 5 次（8 時～11 時）であるが、STEM 化するためには、子どもの学びの文脈が大切であるため、第 1 次から第 5 次のつながりを理解しておく必要がある。

第 1 次から第 5 次までは、「持続可能」というキーワードでつながっており、全てのまとまりで「持続可能なエネルギー環境を構築するために」という目的意識を大切に活動を展開している。そして、第 5 次において、子どもたちは、「持続可能なエネルギー環境を構築するために電気を制御する」という活動に挑んでいる。

表 6 小学校第 6 学年理科「電気の利用」の簡略版単元構成（全 11 時間）

ユニット	時	主な学習活動
第 1 次 持続可能性	1	日本の電気エネルギー事情を知るための映像を見るときともに、持続可能なエネルギー環境の構築について話し合った。
第 2 次 発電	2	<ul style="list-style-type: none"> ・電気は、様々な方法で発電できることを学んだ。 ・持続可能なエネルギー環境を構築するための一方法として、自ら発電する術を学んだ。
第 3 次 変換	2	<ul style="list-style-type: none"> ・電気は、光、音、動力等に変換できることを学んだ。また、電気を多く消費するものと、そうでないものがあることを学んだ。 ・持続可能なエネルギー環境を構築するための一つの方法として、消費電力の少ない器具を選択する術を学んだ。
第 4 次 蓄電	2	<ul style="list-style-type: none"> ・電気は、コンデンサーに蓄えることができることを学んだ。 ・持続可能なエネルギー環境を構築するための一つの方法として、電気を蓄電する術を学んだ。
第 5 次 制御	4	<ul style="list-style-type: none"> ・電気器具で使用される電気は、プログラミングにより制御できることを学んだ。 ・持続可能なエネルギー環境を構築するための一つの方法として、電気を制御し、電気エネルギーを有効利用するための術を学んだ。

3.3.2 MESH を活用した学習活動の具体とその学習評価

ここでは、「MESH を活用した学習活動の具体」にフォーカスするために、第 5 次の詳細について記述する。3.2.1「STEM 化の方向性①」～3.2.4「STEM 化の方向性④」が統合化するように授業デザインをした。その簡略版は、表 7 である。

活動の評価については、表 4（「内容」及び「内容の取扱い」に関わる評価）と表 5（意欲と 21 世紀型スキルの評価）を用いた。この評価により、量的、質的に子どもの「学習指導要領の内容（制御、プログラミング）習得の状況」及び「意欲・21 世紀型スキルの状況」を把握した。

なお、「学習指導要領の内容（センサー、プログラミング）習得の状況」調査では、子どもの記述内容を計量的に分析することができる KH Coder を使い（樋口、2014）、センサーやプログラミングに関する記述量がどのように変化しているかを調べた。さらに、共起ネットワーク図等を作成し、2 つの言葉が、その他の言葉とどのように関連し、豊かな考えに発展しているかを調べた。

また、「意欲・21 世紀型スキルの状況」調査では、表 5 の評価項目を用い、事前・事後の変容を量的に調べた。さらに、子どもの単元の振り返り記述の言葉とそのつながりを手掛かりとし、量的変容がおきた要因を質的に調べた。

表 7 STEM 化の方向性①②③④を踏まえた授業デザイン

4.2.3 STEM 化の 方向性③	4.2.1 STEM 化の方向性①	4.2.2 STEM 化の方向性②	4.2.4 STEM 化の方向性 ④
ものづくりの 段階: TMI	学習指導要領の内容(制御、プログラミング)に迫るための学習活動	「意欲」「21 世紀型スキル」を高めるため学習活動	子どもを育成するための評価
Think (考える)	<p><u>学びの文脈を作り</u> MESH を活用したものづくりに入る前に、電気の発電、蓄電、変換に関する授業を行い、一連の授業の中で、電気の持続可能性について学習する。そして、学習課題「MESH を使って、エコ扇風機を作ろう」を設定する。(制御) + (Intrinsic Motivation)</p> <p><u>アイデアの創出</u> ブレーストーミングを行い、アイデアを付箋に書き、エコ扇風機を製作するための設計図をデザインする。(制御) + (Creativity)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・学習指導要領の内容(制御、プログラミング)習得の状況調査(事前) ・意欲・21 世紀型スキルの状況調査(事前)
Make (作る)	<p><u>アイデアを実現する教材の提示</u> 自らが考えたアイデアを実現するツールとして MESH を紹介する。(制御) + (Intrinsic Motivation)</p> <p><u>アイデアの実現</u> 2人一組で協力しながら MESH を活用した電気を制御するプログラムを作成する。ティンカリングしながらプログラムを改善する。(制御、プログラミング) + (Communication, Collaboration, Critical Thinking)</p>		
Improve (改良する)	<p><u>アイデアの見える化</u> 友達のアイデアに刺激を受ける機会とするため、アイデアを見える化する。(制御、プログラミング) + (Intrinsic Motivation)</p> <p><u>アイデアの改良</u> 仲間と議論し、問題点を見出し、車体やプログラムを改良する。また、発表会を行い、自分たちの製作活動を振り返り、新たなプロダクトを創出する。(制御、プログラミング) + (Communication, Collaboration, Critical Thinking, Creativity)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・学習指導要領の内容(制御、プログラミング)習得の状況調査(事後) ・意欲・21 世紀型スキルの状況調査(事後)

4. 結果

本調査は、66 人から回答を得ることができ、その全ての回答を分析の対象とした。以下では、「学習指導要領の内容(センサー、プログラミング)の習得状況」と「意欲・21 世紀型スキルの育成状況」の 2 側面からの結果を示す。

なお、ここでの授業分析は、小川(2019)を参考としている。

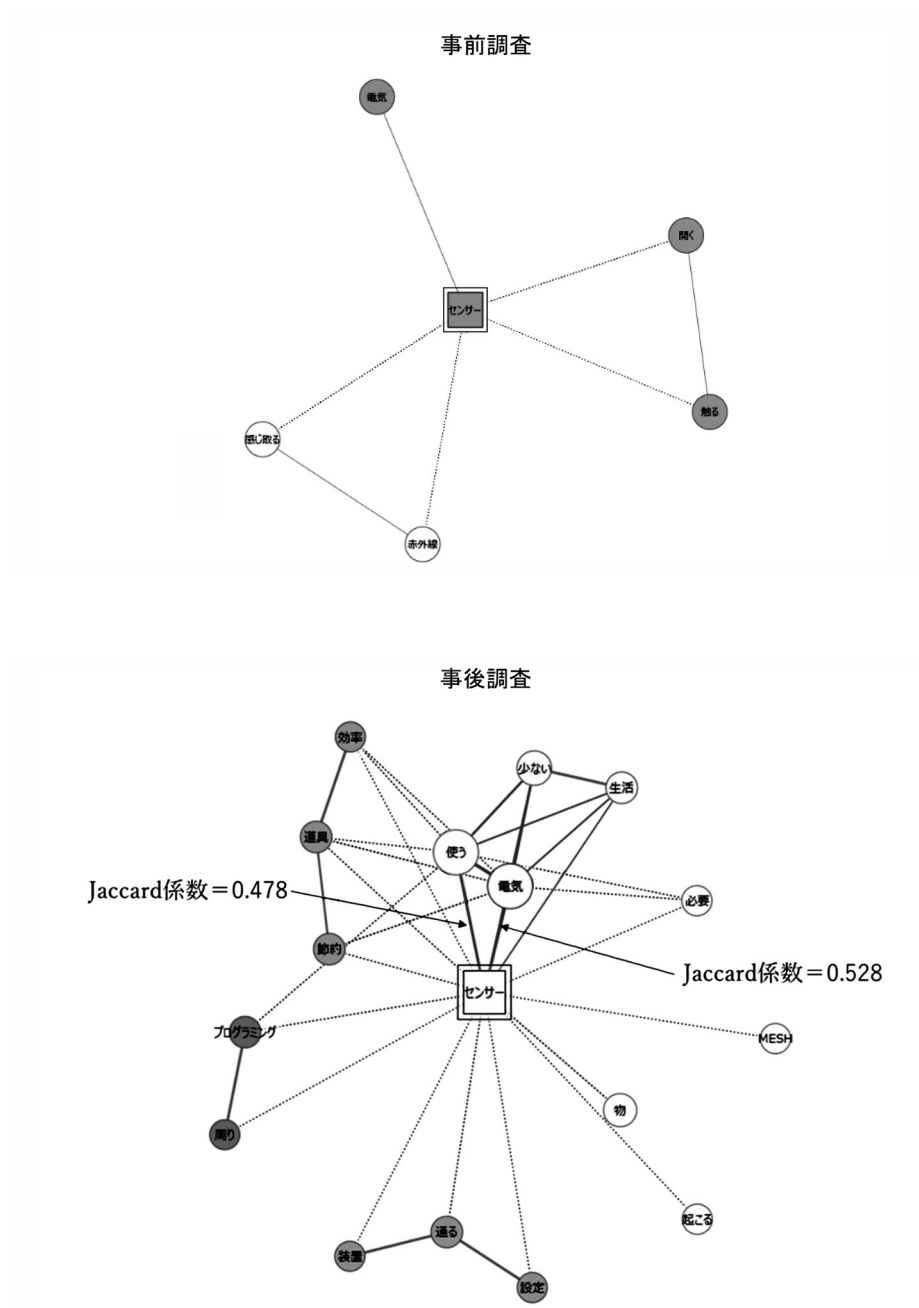
4.1 学習指導要領の内容(センサー、プログラミング)の習得状況

図 1、図 2 は、「内容」及び「内容の取扱い」に関わる評価設問(表 4)に対する 66 人分のアンケート回答を KH Coder に読み込ませ、「センサー」、「プログラミング」とどのような語が関連しているかを調べたものである。これにより、子どもが本単元

でどのような内容的事項を学んだのかを明らかにした。なお、ここでは、単語の最小出現数を 10 以上とし、共起ネットワーク図を作成した。特殊な単語を避けることにより、子どもの個人的な経験を省き、授業者が授業全般においてねらっていた部分を浮き彫りにするためである。

図 1 は、「センサー」に関する関連語の変化を示したものである。まず、事前調査と事後調査を比較すると、明らかに本活動を通して関連語が増え、センサーに関する内容的知識が増大していることが分かる。さらに、事後調査では、「センサー」とどの語が強く結び付いているかを調べるために、Jaccard 係数を調べた。その結果、「センサー」と「電気」、「使う」は、強く結び付いており、Jaccard 係数は、それぞれ 0.528、0.478 であった。さらに、KH Coder の KWIC コーダンス機能を用いて、それぞれの語が使用された文脈を確認したところ、「センサーによって電気は少ない量が使われる」、「電気を節約するには、センサーを使う」等の文脈で使用されていることが分かった。

図 2 は、「プログラミング」に関する事後調査における関連語を示したものである。なお、ここでは、事前調査においては、「プログラミング」に関する関連語が少なく、共起ネットワークを形成できなかったため、事後調査の結果のみを示している。「プログラミング」との関連語で、Jaccard 係数が大きかった語は、「自分」、「簡単」、「MESH」であり、それぞれ、0.522、0.473、0.472 であった。そして、上と同様に KH Coder の KWIC コーダンス機能を用いて、それぞれの語が使用された文脈を確認したところ、「プログラミングは、MESH を使えば、自分でもできる」、「プログラミングは、MESH を使えば、簡単にできる」等の文脈で使用されていることが分かった。



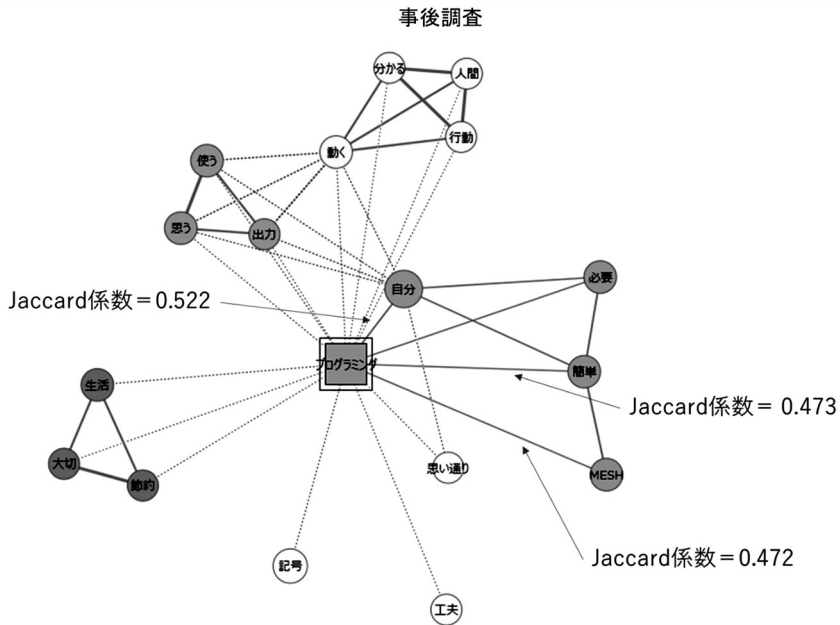


図2 「プログラミング」に関する関連語の変化

4.2 意欲、21世紀型スキルの育成状況

本単元の授業実践の前後で、意欲と21世紀型スキルへの態度に差異がみられるかどうかを検討するために、対応のあるt検定を実施した。結果は、表8の通りである。Intrinsic Motivation、Creativity、Critical Thinking、Communicationは、実践後の平均値の方が実践前のそれよりも有意に高かった。Collaborationは、有意な差が認められなかった。

表8 意欲・21世紀型スキルに関する評価の事前・事後比較

	事前		事後		t 値	
	平均値	SD	平均値	SD		
Intrinsic Motivation	3.05	0.79	3.56	0.81	3.76	**
Creativity	2.91	0.87	3.26	0.83	2.48	*
Critical Thinking	2.74	0.93	3.33	0.77	3.83	**
Communication	2.79	0.90	3.15	0.83	2.75	*
Collaboration	3.11	0.98	3.24	0.93	0.85	

** p < .01, * p < .05 自由度はいずれも 65

次に、実践の効果が有意に見られた Intrinsic Motivation、Creativity、Critical Thinking、Communication について、子どもの具体的な活動に影響を与えている要素はなにかを調べるために、小川ら（2019）の分析方法を参考に、子どもの「単元の振り返り記述」の回答内容の傾向を探った。図3は、KH Coder で、「単元の振り返り記述」を単語に分解し、全体的な傾向（頻出語）を確認し、最小出現数が、10以上の単語を選択し、作成した共起ネットワーク図である。ここでは、比較的強く結び付いている部分、言い換えれば、文章中に扱われている話題のまとまりをサブグラフ検出（modularity）によって、7つのグループごとに色分けしている。

また、表9は、それぞれのまとまりがどのような内容で構成されているかを調べたものである。KH Coder の KWIC コーダンス機能を用いて、それぞれの語が使用された文脈を確認した。それぞれのまとまりは、ほとんど同様の意味内容で構成されているため、「内容例」として代表的な一例を示す。また、全ての「内容例」の中にどのような話題が含まれているかを確認したうえで、「コード」を検討し示した。

さらに、表10には、表9に示したコード間の関連度を表す Jaccard 係数を示した。

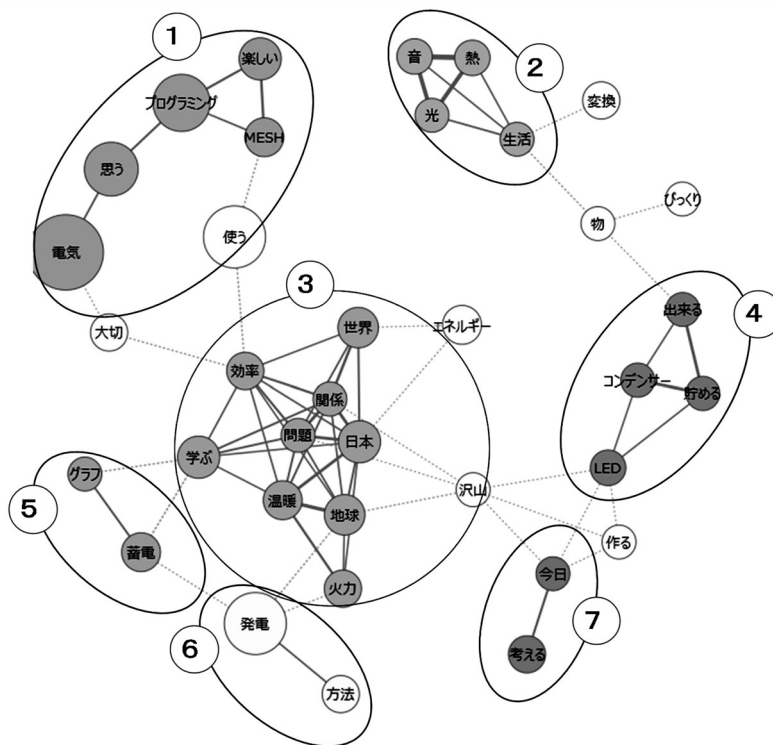


図3 「単元の振り返り記述」の共起ネットワーク図

表 9 「単元の振り返り記述」に含まれるコードと内容例

コード	内容例
MESHによるプログラミング	・MESH を使うと、プログラミングが楽しくできた。・MESH で楽しみながらプログラミングをし、電気を節約できた。等
変換	・電気は、光や熱や音に変換されて生活の中で身近なものを動かしていることを学んだ。 ・ゼネコンで作った電気は、いろいろなものに変換される。等
社会との関連	・世界と日本の電気の関係について学び、日本では、地球温暖化などやお金など、沢山の 問題があり、電気を効率よく使わないといけないと思った。・火力発電が多いが、環境によ くない。自分たちで電気を作ることができるといい。等
蓄電	・コンデンサーにためた電気が弱くて回らないなどの事態もあったけれど、コンデンサーに電 気を最大限にためて LED をつけることができた。・電気をゼネコンで作り、ためることがで きる。等
グラフ化	・ゼネコンを使って電気をためた。(ゼネコンを回す際の)疲れと電気のたまった量は途中ま で比例した。グラフに表すと分かる。等 ※()内は筆者加筆
発電	・自分で発電機から電球や LED につなげて実験をした。数秒回しただけで LED が光った。 発電の方法をかえたら限りなく発電できると思う。・発電方法はたくさんあるけれど、中には 環境に悪いものもある。世界で電気の発電方法は、火力発電が多い。しかし、人力で発電 し、電気を、熱・光・動き・音などいろいろな物に変えることができる。等
未来志向	・エネルギーは作るためにも、沢山の燃料を使うので今日から発電のために使った手回しや 消費する時に使った LED など地球にやさしい方法電気を効率よく使おうと、強く思えた授業 でした。今日から電気の使い方について考えようと思う。等

表 10 Jaccard 係数による各コード間の関連

	MESHに よるプロ gramming	変換	社会との 関連	蓄電	グラフ化	発電	未来志向
MESHによる プログラミング	—						
変換	0.275	—					
社会との関連	0.541	0.463	—				
蓄電	0.138	0.462	0.405	—			
グラフ化	0.121	0.123	0.181	0.235	—		
発電	0.223	0.445	0.415	0.221	0.195	—	
未来志向	0.231	0.245	0.241	0.231	0.183	0.224	—

5. 成果と課題

本研究の目的は、IoT ブロックの一種である MESH が、「ものづくり」や「STEM 教育」の文脈で、どのような可能性を有しているかを実証的に調査することであった。以下に、本研究によって明らかになったことを示す。また、その後、本研究において十分明らかにできなかったことを課題として示し、引き続き、MESH を活用した実践的研究を進めていく。

5.1 成果

- 学習指導要領に示されている内容については、MESH を使用した活動によって、言葉同士のつながりが増え、知識的内容が豊かになっていることを示すことができた。「センサー」とつながりの強い言葉は、「電気」、「使う」であり、「センサーによって電気は少ない量が使われる」、「電気を節約するには、センサーを使う」等の文脈で使用されていた。MESH を実際に使い、電気を制御した経験から、「センサー」の概念を豊かにしていったことが推察できる。また、「プログラミング」とつながりの強い言葉は、「自分」、「簡単」、「MESH」であり、「プログラミングは、MESH を使えば、自分でもできる」、「プログラミングは、MESH を使えば、簡単にできる」等の文脈で使用されていた。このことから、MESH は、子どもたちに、プログラミングを身近なものにすることができる教材であると言える。(4.1 より)
- MESH を使った活動は Intrinsic Motivation、Creativity、Critical Thinking、Communication の各項目に対し、効果があったと言える。また、MESH を使った活動は「MESH によるプログラミング」、「変換」、「社会との関連」、「蓄電」、「グラフ化」、「発電」、「未来志向」のコードにカテゴリー化された。そして、「社会との関連」と、「MESH によるプログラミング」、「変換」、「蓄電」、「発電」の各コード間とのつながりが強いことが分かった。このことから、MESH を使った教育活動を充実させるためには、「社会との関連」を意識させ、「変換」、「蓄電」、「発電」の具体的な活動に取り組みさせることが必要であるといえる。さらに、「社会との関連」と「MESH によるプログラミング」の両者の関係は、大変強いことから、MESH を使用した活動では、「社会との関連」のある学習課題の設定が不可欠であると言える。(4.2 より)

5.2 課題

- Collaboration に対しては、今回の活動においては効果が認められなかったが、その理由としては、授業の進め方に問題があったことが考えられる。授業後のカンファレンスにおいて、「MESH で自分のやりたいことを実現したいという思いが強く、協働で課題を解決する姿は見られなかった」ことが指摘されていた。
- 「未来志向」のカテゴリーは、持続可能な社会を築いていくためには、不可欠な要素であり、様々な「コード」と強い結びつきをもって学ばれることが理想であると考えられる。しかし、残念ながら、「未来志向」は、各コードとの関連が小さい数値になっており、この数値を向上させていくことは今後の大きな課題であると考えている。現時点で、その理由を突き止めることができていないが、事後の授業カンファレンスにおいては、「Creativity」を伸ばすことにより、この数

値を向上させることができるのではないかとの意見が出ている。

謝辞

本研究論文の作成にあたり、授業実践において、「浜松のみらい教育研究会」の皆様には、大変お世話になりました。

また、本研究は JSPS 科研費 JP90805277（研究代表者 竹本石樹）、JP16H03058（研究代表者 熊野善介）の助成を受けたものです。ここに合わせて感謝申し上げます。

<引用文献・参考文献>

- 小川博士・高林厚志・池野弘昭・竹本石樹・平田豊誠・松本伸示（2019）、実社会・実生活との関連を志向する真正の学習論に着目した中学校理科の単元開発とその実践—生徒の科学や理科学習に対する態度に与える効果—、理科教育学研究 59-3 号、印刷中、日本理科教育学会
- 熊野善介（2016）、最新のアメリカの STEM 教育の展開、日本科学教育学会研究会研究報告 vol.30 NO.9、pp.57-62
- 竹本石樹（2004）、校内研修の刷新 ～教師の「観」を豊かにする研究計画書とカンファレンスを通して～、学校の研修ガイドブック NO.3「学力向上・学習評価」研修、教育開発研究所、pp.210-215
- 樋口耕一（2014）、社会調査のための計量テキスト分析、ナカニシヤ出版
- SONY 株式会社 MESH プロジェクトホームページ、
<https://www.sony.jp/professional/solution/pgm-edu/mesh/casestudy/>（2018 年 1 月 31 日現在）
- Next Generation Science Standards
<http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards>（2013.4 月現在）
- Sylvia Libow Martinez, Gary Stager 著、阿部和広監修、酒匂寛訳(2015)、作ることで学ぶ、OREILLY JAPAN (Sylvia Libow Martinez, Gary Stager(2012) Invent to Learn: Making, Thinking, and Engineering in the Classroom.Lightning Source.)
- 峯村恒平、野村泰朗（2017）、STEM 教育の考え方を取り入れたものづくり活動の意義と効果の検討、埼玉大学紀要 66 (2)、PP.295-303
- 文部科学省（2017）小学校理科学習指導要領解説
- P.グリフィン、B.マクゴー、E.ケア編、三宅監訳、益川・望月編訳（2012）「21 世紀型スキル 学びと評価の新たなかたち」、北大路書房
- 坂田尚子（2018）「インフォーマルな教育施設における『砂』をテーマとした STEM 教育の試み」、全国地学教育研究大会・日本地学教育学会全国大会講演予稿集、全国地学教育研究大会・日本地学教育学会全国大会要項、pp.129-130