

令和 5 年 4 月 24 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01735

研究課題名（和文）日本の普通教育におけるエンジニアリングの概念確立と教育方法開発

研究課題名（英文）Establishment of the concept and development of educational methods of engineering in general education in Japan

研究代表者

谷田 親彦（Yata, Chikahiko）

広島大学・人間社会科学研究科（教）・准教授

研究者番号：20374811

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題の成果は主に3つある。まず、イングランド地域にあるAQA試験局が発行したテクニカル・アワード資格STEMのシラバスを分析・検討した。次に、米国ボストン科学博物館：National Center for Technological Literacyが推進する、エンジニアリング教育プロジェクト並びに初等教育カリキュラムであるEngineering is Elementaryの単元構成や内容について分析した。さらにこれらの知見に基づいて、中学校技術科「D情報の技術」における教材としてコーヒーマーカーモデルを開発するとともに、授業実践を通して教材の効果を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、イングランドのSTEM教育や米国初等教育におけるエンジニアリング教育のカリキュラムなどを分析することを通して、学校教育におけるエンジニアリングの取扱いや概念について検討した。このことから、概念が曖昧であり多様な解釈がされるエンジニアリングを日本の学校教育で検討する際の示唆を得ることができたと考える。また、エンジニアリングの概念の解釈を踏まえて、中学校技術科「D情報の技術」においてプログラミングの基礎的な知識・技能を学習するための教材を開発・実践し、実践的な知見を示すことができたと考える。

研究成果の概要（英文）： There are three main outcomes of this research project. First, we analyzed and reviewed the syllabus of the STEM technical award qualification issued by the AQA Examination Board in the England. Second, we analyzed the unit structure and content of Engineering is Elementary, an engineering education project and elementary education curriculum promoted by the National Center for Technological Literacy at the Museum of Science in Boston, USA. Based on these findings, a coffee maker model was developed as a teaching material for the junior high school technology education "D Information Technology," and the effectiveness of the teaching material was examined through classroom practice.

研究分野：技術教育

キーワード：エンジニアリング教育

### 1. 研究開始当初の背景

科学、技術、工学、数学を柱とした STEM 教育は、労働力強化などをひとつの目的とした政策的な意図をもちながら、欧米における国家的規模での教育改革のプロジェクトとして推進されている。STEM 教育では、原理・法則を探究する科学的な活動とともに、新たな製品やシステムを創造する工学的な活動を重要視している。この双方の活動を通して、科学や技術に関する知識や技能などを習得・活用するとともに、実社会における科学者や工学者の実践と問題解決の思考を学び取る学習が目指されている。

このような STEM 教育に準拠した工学的な活動は、日本の小学校、中学校などの学校教育における各教科等の学習活動にも取り入れられ、普及することが予想される。しかし、日本の学校教育において工学(以下エンジニアリングとする)は、高等教育及び専門教育の教科・学習領域として設置されるのみであり、普通教育における教科として設定されていないことから、その扱いは明確ではない。そのため、エンジニアリングの活動が容易となる状況下で、普通教育におけるエンジニアリングを捉えるための概念や、適切な教育方法に対する考え方が不明確であるという問題が浮上する。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、日本の普通教育におけるエンジニアリングの概念と、概念に準拠した適切な教育方法を確立することを目的とする。そのため、米国、英国などにおける STEM 教育実践でのエンジニアリングの位置づけや専門教育における能力定義を調査・分析することを通して、日本の普通教育におけるエンジニアリングの概念確立を目指した理論的研究を行う。また、確立した概念に基づいたエンジニアリングの教育方法を、工学的な活動が可能となるツールを用いて開発し、中学校技術科や小学校各教科等の授業を開発・実践・検証する実践的研究を試みる。

### 3. 研究の方法

本研究成果に関わる主な方法を(1)(2)(3)に示す。

(1) 英国(正式名称は、グレートブリテン及び北アイルランド連合王国)におけるイングランド地域の試験局のひとつである AQA (Assessment and Qualifications Alliance) は、テクニカル・アワード資格 STEM(以下、資格 STEM)を設定し、その仕様(Specification: 以下、シラバス)を公表している。この AQA が発行した資格 STEM のシラバスを分析・探究し、内容構成や評価規準について明らかにすることを試みた。

(2) エンジニアリング教育のカリキュラムを具体化している例には、米国ボストン科学博物館: National Center for Technological Literacy が推進する、エンジニアリング教育プロジェクト並びに初等教育カリキュラムである Engineering is Elementary (EiE) が挙げられる。この EiE のカリキュラムに含まれる単元の目標・内容・方法などを分析することにより、初等教育をはじめとした普通教育におけるエンジニアリング教育の理念や方針に関する知見を得ることを試みた。

(3) 中学校技術科「D 情報の技術」においてプログラミングの基礎的な知識・技能を学習するための教材としてコーヒーマーカーモデルを開発するとともに、授業実践を通して教材の効果を検討することを試みた。

### 4. 研究成果

(1) の研究成果は以下である。

資格 STEM のシラバスに記される目次の構成は「Introduction」「Specification at a glance」「Subject content」「Scheme of assessment」「Internal assessment administration」「General administration」「Grades」であった。「Subject content」や「Scheme of assessment」には、資格 STEM のシラバスにおける学習単元である「Unit1 STEM in industry(以下、単元1)」「Unit2 Creating a STEM product/service(以下、単元2)」「Unit3 Fundamentals of STEM(以下、単元3)」の目標・内容や学習過程及び評価規準などが示されていた。

「単元1」では、産業の中で使用されている STEM を調査する学習活動が想定されていた。調査の対象となる主要な産業として、建築、情報通信、保安、衛生、輸送が挙げられ、この中から選択して調査することが推奨されていた。学習者は STEM の知識と理解を適用して解決策を構想することが求められていた。「単元2」では、STEM の知識と理解を適用して製品やサービスを創造する学習活動が想定されていた。製品やサービスを創造する目的意識を持ち、解決すべき問題を発見するために、AQA 試験局が提供する Web 資料などの活用が想定されていた。「単元3」では、STEM の知識と理解の習得に関する目標と内容が示されていた。学習者は、技能、概念、理論及び知識を選択して適用できる能力があることを示す必要があり、「単元1」や「単元2」の学習との関連が意図されていた。

資格 STEM の「単元2」における学習過程や、「単元3」の学習項目から、問題解決の方略としてデザインプロセスを重視していることが推察できた。すなわち、英国のキーステージ1(5~

7歳)からキーステージ3(11~14歳)の必修教科であるDesign and Technologyで推奨されている学習過程であるDesign(設計), Build(製作), Test(評価)のプロセスを行き来しながら試作を繰り返すデザインプロセスが, 資格STEMの学習活動においても重視されていると考えることができた。また, 資格STEMの学習の基盤となるのは科学, 技術, 工学, 数学などの各教科の学習や原則であることが「単元1」の学習過程, 「単元2」や「単元3」の学習項目などから推察することができた。そのため, 資格STEMがキーステージ4(14~16歳)に相当することを勘案すれば, キーステージ1(5~7歳)からキーステージ3(11~14歳)までの必修教科であるDesign and Technologyや, キーステージ1(5~7歳)からキーステージ4(14~16歳)の必修教科として位置づくScienceとMathematicsの学習に準拠して, それらの学習を産業分野での製品やサービスの創造に向けて活用するとともに, 将来の職業的もしくは学術的な学習に発展する資格STEMとして位置づけていると推察できた。

(2)の研究成果は以下である。

EiEは, 小学校1年生から5年生にエンジニアリングを教えるためのカリキュラムである。エンジニアリングの学習活動には, 「ask(調査)」「imagine(想像)」「plan(計画)」「create(作成)」「improve(改善)」から構成されるEngineering Design Process(以下, EDP)を取り入れていた。EiEの各単元の計画・実践に関して指導書が作成されていた。指導書には, 授業計画, 配布用のワークシートと模範解答, 指導資料, 評価規準・基準などが掲載されていた。指導書によるとEiEの各単元は共通して, 主要な4つのLessonで構成されている。各単元はLesson4に位置付けられた「Engineering Design Challenge(エンジニアリングデザインチャレンジ)」での活動を目指して進められる。「Engineering Design Challenge(エンジニアリングデザインチャレンジ)」の課題は, 身近な材料や素材を用いて製品やシステムを設計・製作することを通して解決することが目指されている。

EiEの単元の中から, エンジニアリングの分野として日本でも最も一般的であると考えられ, 中学校技術・家庭科技術分野の内容としても含まれている「Mechanical Engineering(機械工学)」と「Electrical Engineering(電気工学)」を対象として, 各Lessonの特徴を把握するとともに, 単元がどのような意図で構成されているのかをエンジニアリングの多様な概念から推察することを試みた。

日本及び欧米の資料を参照してエンジニアリングの概念として, 「engineering science」「engineering profession」「engineering activity」の3つを同定した。各物語の主人公がテクノロジーに関する知識とEDPを習得して問題解決する過程に, 読者である児童が共感して学習することが想定されているLesson1を含め, EiEの単元構成とエンジニアリングの概念との関係を整理して図1のように解釈した。

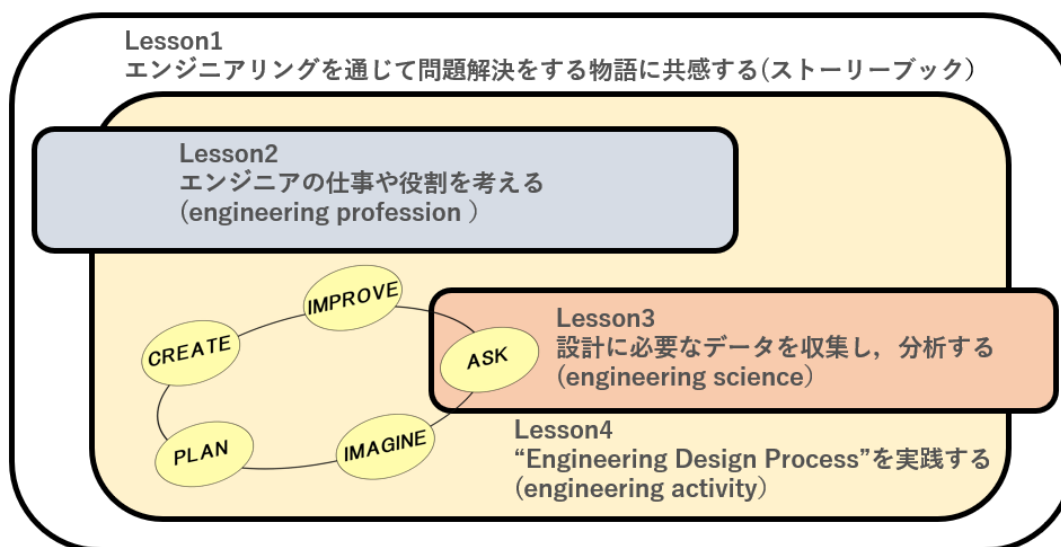


図1 EiEの単元構成の関係図

Lesson 2では, 対象となるエンジニアリング分野の問題解決過程やテクノロジーの活用など, 「engineering profession」としてのエンジニアの役割や考え方などを学習する。Lesson 3では, テクノロジーの特性を明確にするため, 実験などのデータを収集する方法や, その結果を分析・比較・説明するなどの内容や学習活動が含まれており, 「engineering science」に対応するのではないかと考えられた。Lesson 4では, EDPに沿って問題解決に取り組む学習活動が採用されている。この学習過程は「engineering activity」とおおむね一致すると考えられた。

(3)の研究成果は以下である。

コンビニエンスストアのコーヒーメーカーをモデル化した教材の概略図を図2に示す。開発した教材では、4種類のコップを自動判別し、それに対応する画像を表示する仕様となっている。教材は、Scratch3.0で記述されたプログラムをmicro:bit v2により実行する。3Dプリンタで形成されたコーヒーメーカーモデルには、コップが置かれる背面と左右にそれぞれ5か所の高さにブロックの取り付け位置を設けている。micro:bit v2にはI/Oシールドを取り付け、ブロック化された赤外線センサと光センサ(CdS)などを接続する。センサなどによるコップ判別の結果は、Scratch3.0のディスプレイに表示される。

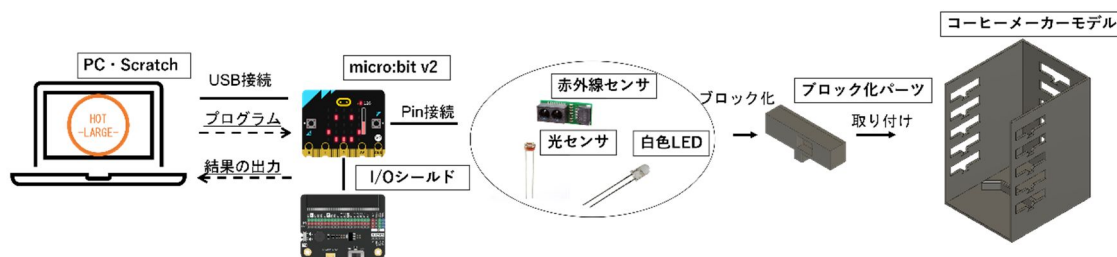


図2 教材の概略図

コーヒーメーカーモデルを教材として使用した授業計画を表1のように立案した。中学校技術科における「D情報の技術」での6時間を想定したものである。

表1 授業計画

	授業の目標	学習活動の概要	評価規準の設定
第1時	センサの機能を知り、アルゴリズムを考えることができる。	コーヒーカップの大きさや色を判別するためのセンサの種類と役割を知り、それらのセンサを利用してコップの大きさや種類を判別するアルゴリズムを考える。	センサの機能を知り、コップ判別アルゴリズムを考えることができる(思考・判断・表現)。
第2時	アルゴリズムを表す方法(アクティビティ図やフローチャートなど)を知り、適切に表すことができる。	アルゴリズムを、順次・反復・分岐などのルールに沿って構造化し、フローチャートやアクティビティ図などにより表現する。	コップ判別のアルゴリズムを考えフローチャートで表すことができる(思考・判断・表現)。
第3時	Scratchのプログラミングでセンサを動作させることができる。	micro:bitとセンサを接続し、製作済みのプログラムをScratch3.0で実行する。	Scratchのプログラミングでセンサを正常に動作させることができる(知識・技能)。
第4時	複数のセンサを使用しコップを判別するモデルを構成することができる。	適切なセンサとプログラムが実装されたコーヒーメーカーモデルにより、4種類のコーヒーカップを判別する。	複数のセンサを使用するプログラミングを実装し、コップを判別するモデルを構成することができる(知識・技能)。
第5時			
第6時			

開発したコーヒーメーカーモデルを用いた授業は、2022年10月から12月にかけて広島県の公立中学校2年生56名を対象に行った。このうち、授業や教材に対する意識の調査の有効回答は51名であった。授業では、2時間目のフローチャートに表す活動と5時間目のプログラミングの活動は個人、他の時間は3人1グループで活動を行った。また、各授業での評価は、1、2時間目はワークシート、3時間目はプログラムの実行の様子を撮影した動画、4時間目から6時間目にかけては動画及び作成したプログラムを評価材料とした。

観点別学習状況の評価及び授業後に行った授業や教材に対する意識の調査結果からは、アルゴリズムを考えて書き表す学習活動に対する効果や意識が高いと考えられた。また、センサの位置を考えることや、モデル製品を作ることなどの教材の持つ特徴的な学習活動に対して肯定的な意識を持ったことが分かった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 川路智治・笹口和己・谷田親彦	4. 巻 44.2
2. 論文標題 Designing Safer Learning Environments for Integrative STEM Education」に基づいた日本の技術科で扱う安全に関する資質・能力の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 科学教育研究	6. 最初と最後の頁 123-133
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14935/jssej.44.123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 川路 智治, 谷田 親彦	4. 巻 43.3
2. 論文標題 安全能力の構造に基づいた技術科教科書の分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本教科教育学会誌	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18993/jcrdajp.43.3_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田中祐也・谷田親彦	4. 巻 44.Su44.
2. 論文標題 大学生の3Dモデリング過程の分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本教育工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 53-56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15077/jjet.S44028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 谷田親彦・磯部征尊・大谷忠	4. 巻 44.3
2. 論文標題 イングランドAQA試験局によるテクニカル・アワード資格STEM	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本教育工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 315-324
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15077/jjet.44007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 C. Yata, T. Ohtani, M. Isobe	4. 巻 7
2. 論文標題 Conceptual framework of STEM based on Japanese subject principles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of STEM Education	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40594-020-00205-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 伴 修平, 谷田 親彦	4. 巻 62
2. 論文標題 全米学力調査におけるTechnology and Engineering Literacyに関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本産業技術教育学会誌	6. 最初と最後の頁 11-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計13件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 桜井裕奈, 谷田親彦
2. 発表標題 米国初等教育におけるエンジニアリング教育「Engineering is Elementary」の単元構成と内容
3. 学会等名 日本産業技術教育学会関東支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安藤明伸、齋藤真子、西川洋平、安達勲、新田佳忠、渡部智喜、上杉泰貴、三宅丈夫、早川健太郎
2. 発表標題 小学校と中学校において同一の教材を用いたSTEAM教育の実践と教育的効果の比較
3. 学会等名 日本STEM教育学会 第4回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chikahiko YATA, Johnny J Moye
2. 発表標題 Identifying current and future trends and issues facing technology education in Japan
3. 学会等名 International Conference on Technology Education in the Asia-Pacific Region. (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Issei Kojima, Hiroyuki Muramatsu, Mitsunori Yatsuka
2. 発表標題 Developing a Cognitive Scale for Ability to Solve Problems in STEM Related Subjects
3. 学会等名 International Conference on Technology Education in the Asia-Pacific Region. (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三好愛美, 横地勇樹, 高野健人, 村松浩幸
2. 発表標題 中学校技術科の水産生物の養殖におけるトレードオフの理解を促すシナリオゲーム教材の開発
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第63回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中祐也・谷田 親彦
2. 発表標題 3Dモデリングによる立体物形成過程の分析
3. 学会等名 日本産業技術教育学会 第32回九州支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷田 親彦・磯部 征尊・大谷 忠
2. 発表標題 イングランドAQA試験局による職業資格 STEM の内容・評価仕様
3. 学会等名 日本科学教育学会第 43 回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大谷忠, 谷田親彦, 上野耕史
2. 発表標題 中学校技術科を取り巻く学校教育におけるSTEM教育の現状とエンジニアリングの関わり
3. 学会等名 日本工学教育協会第 67 回年次大会工学教育研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taisuke KOIWA・Hiroyuki MURAMATSU
2. 発表標題 Programming Education in Elementary School Using Physical Computing
3. 学会等名 TENZ 2019 Conference ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北原大介, 鈴木隆将, 谷塚光典, 村松浩幸
2. 発表標題 中学校技術科におけるe評価システムを活用した相互評価による教育効果の分析
3. 学会等名 日本産業技術教育学会技術教育分科会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 寺崎健志朗, 安藤明伸
2. 発表標題 計測・制御におけるアーテックロボ 2.0 を用いた教材の開発
3. 学会等名 第 37 回日本産業技術教育学会東北支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊谷吏矩, 安藤明伸, 鈴木康洋
2. 発表標題 アーテックロボ 2.0 を用いたチャットプログラムの指導用教材の試作
3. 学会等名 第 37 回日本産業技術教育学会東北支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤明伸, 渡邊優太, 井上敬土郎, 額田一利
2. 発表標題 小学校プログラミング教育における embot の教材分析と補助教材の開発
3. 学会等名 第 37 回日本産業技術教育学会東北支部大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	安藤 明伸  (Ando Akinobu)  (60344743)	宮城教育大学・教育学部・教授    (11302)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大谷 忠  (Ohtani Tadashi)  (80314615)	東京学芸大学・教育学研究科・教授    (12604)	
研究分担者	村松 浩幸  (Muramatsu Hiroyuki)  (80378281)	信州大学・学術研究院教育学系・教授    (13601)	
研究分担者	川路 智治  (Kawaji Tomoharu)  (90909201)	茨城大学・教育学部・助教    (12101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関