

# STEAM教育とエンジニアリング・デザイン教育を重視した 小・中学校を一貫したプログラミング学習

川原田 康 文\*・磯 部 征 尊\*\*・上 野 朝 大\*\*\*・大 森 康 正\*\*\*\*・  
山 崎 貞 登\*\*\*\*

(令和2年1月30日受付；令和2年4月7日受理)

## 要 旨

本研究の目的は、Vasquezら(2013)の統合の水準に着眼し、「日本発STEAM教育」の鍵語として、Society5.0、学校ver.3.0、SDGs、日本発エンジニアリング教育、デザイン教育、人間力の各鍵語に共有する資質能力を育成する学習方略を探究するために、2017年4月から、小学校の全学年で、既存教科等とは別に、プログラミング学習を導入し、バランスド・カリキュラムを実践している相模女子大学小学部の題材とカリキュラム・マネジメントの具体を明らかにした。統合の各水準では、SDGsや現実社会のオーセンティックな文脈で、主にサイエンス、テクノロジー、アーツに関連させて、エンジニアリング・デザインによる問題解決方略の明示化とともに、ブロック教材を用いたティンカリングによる立体デザイン構成学習と、モデリング学習重視のプロジェクト学習で、他教科等とのカリキュラム・マネジメントを展開していた。各教科において、教科固有の知識および技能等をより確実に身に付けさせることと、プログラミング的思考を育ませることの具現化の難しさを訴える小学校教員が増える中で、既存教科とは別にプログラミング学習を教育課程に導入し、プログラミングの専門的知識や実践的指導力を持つ教員が担当する優位性が明らかになった。

## KEY WORDS

各教科等が調和した教育課程 (Balanced Curriculum)、日本発STEAM教育 (Japan-oriented STEAM Education)、日本発エンジニアリング教育 (Japan-oriented Engineering Education)、エンジニアリング・デザイン (Engineering Design)、小学校プログラミング学習 (Programming Learning in Elementary School)、プログラミング学習専科教員 (Specialized Subject Teacher for Programming Study)

## 1 問題の所在と研究目的

本研究の目的は、バスケス(Vasquez)ら [2013 : p.73の図8.6、胸組(2019)が同図を邦訳]<sup>(1),(2)</sup>が提唱した統合(integration)の水準に着眼し、「日本発STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) 教育」<sup>(3),(4)</sup>の鍵語として、「Society5.0」<sup>(5)</sup>、「学校ver.3.0」<sup>(6)</sup>、「持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals: SDGs)」<sup>(7)</sup>、「日本発エンジニアリング教育」<sup>(3),(4)</sup>、「デザイン教育」<sup>(8)</sup>、「人間力」<sup>(8)</sup>の各鍵語に共通する資質能力を育成する学習方略を探究するために、2017年4月から、小学校及び中学校の全学年で、既存の各教科とは別に、「プログラミング学習」を新設し、各教科等間で「調和のとれた教育課程 (以下、バランスド・カリキュラム)」を編成し実践している、相模女子大学小学部の題材<sup>(9)~(13)</sup>とカリキュラム・マネジメントの要件と具体を明らかにすることである。

Vasquezら(2013)が示した統合の水準を、表1に示す。国内外のSTEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育やSTEAM教育では統合の形態が、Disciplinary (分野別)、Multidisciplinary (多分野的)、Interdisciplinary (分野連携的)、Transdisciplinary (分野包括的)の何れの水準を目指しているのか、何れの専科教員がどのようなカリキュラム・マネジメントで、指導体制や条件整備をするのか、学校のチーム力を高めるかに関心が寄せられている。一方、国内外ともにエビデンスを伴うカリキュラム評価や学習評価を伴う先行実践研究が少ない現状である。

本稿では、海外のSTEM教育、STEAM教育の移入が目的ではなく、我が国独自の学校制度等をはじめ、伝統、文化、慣習等に根ざした文脈をふまえ、「日本発STEAM教育」と命名している。山崎<sup>(3),(4)</sup>が示した日本発STEAM教育の各discipline (学術分野)の関係図を基に、一部加筆した図を示す(図1)。

表1 統合の水準 [出典：原典はVasquez et al. (2013：p.73のFig. 8.6)<sup>(1)</sup>で、胸組(2019：p.63の表3)<sup>(2)</sup>の和訳を引用]

統合の形態	特 徴
Disciplinary (分野別)	概念とスキルを各分野で別々に学ぶ
Multidisciplinary (多分野的)	共通テーマに関する概念とスキルを各分野で別々に学ぶ
Interdisciplinary (分野連携的)	知識とスキルを深める目的で、密接に関連した概念とスキルを2つ以上の学問分野で学ぶ
Transdisciplinary (分野包括的)	2つ以上の学問分野で学んだ知識とスキルを実世界の課題解決とプロジェクトに応用し、学習経験の形成を助ける

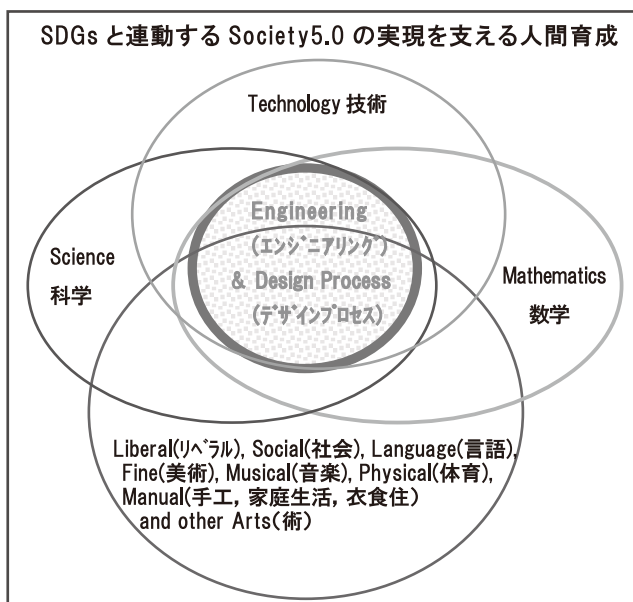


図1 STEAM教育の各discipline (学術分野) の関係  
【出典：山崎(印刷中, 2020)<sup>(3)</sup>を基に一部加筆】

エンジニアリング教育を展開している。一方、我が国の工学教育は、高専や高等教育機関が主な教育対象と認識されている。教育関係者や国民から、初等から高等教育まで一貫した工学教育を導入する必要性については、現時点ではコンセンサスが得られていない。初等教育からの創造性育成は重要で、本稿は「日本発エンジニアリング教育」と表記する。日本発STEAM教育でいうエンジニアリングとは、人類の利益のために、技術、数学、自然科学、人文科学、社会科学、各種芸術をはじめ、他の学術分野体系を活用して、自然や人工の素材や生物、エネルギー、情報、環境等の利用方法を開発する際の思考・判断・表現力と創造力を得るための知識と思考体系である<sup>(3),(4)</sup>。デザインプロセスとは、人間のニーズと欲求の満足や問題解決のために、評価規準と制約条件を明確化しながら、対処し得る選択可能な解決アイデア策を複数考案し、その中から最終的な一つのアイデアを選択するための、体系的な問題解決方略である<sup>(3),(4),(15)</sup>。

市川(編著)<sup>(6)</sup>の著書は、内閣府から2003年4月10日に公表された「人間力戦略研究会報告書 若者に夢と目標を抱かせ、意欲を高める ～信頼と連携の社会システム～」の内容解説本である。同報告書では、「人間力」を、「社会を構成し運営するとともに、自立した一人の人間として力強く生きていくための総合的な力」と定義している。市川らは、人間力の構成要素として、

- ① 「基礎学力 (主に学校教育を通じて修得される基礎的な知的能力)」、「専門的な知識・ノウハウ」を持ち、自らそれを継続的に高めていく力。また、それらの上に応用力として構築される「論理的思考力」、「創造力」などの

図1の科学(自然科学)、数学、技術、エンジニアリングの各学術分野と、デザインプロセスの関係性について、前国際技術教育学会、現国際技術・エンジニアリング教育者学会 [(International Technology and Engineering Educators Association) (2011年からITEEA) 国際技術・エンジニアリング教育者学会 (International Technology and Engineering Educators Association, ITEEA) (2000/2002/2007)]<sup>(14)</sup>のK (幼稚園) から第12学年までの技術素養 (リテラシー) 育成のための技術内容標準 (スタンダード) を一部援用して説明する。同標準の作成プロジェクトの代表は、ダガー (Dugger) であった。

図1に示した科学(自然科学)は、観察、問題の明確化、記述、実験に基づく調査、理論的説明を通じた、自然界の探究に必要な、知識や思考方略などの体系である<sup>(14)</sup>。

数学は、数や記号を用いて行う、「パターンと規則の科学」と「量の測定・性質・関係」についての解明に必要な、知識や思考方略などの体系である (p.239)<sup>(14)</sup>。

技術は、人間の生活や社会をより豊かにするための問題解決を目的として、人間のイノベーションによる新たな価値の創造により生み出された、人工の物や情報システム、過程、機能、行為の形態と、技術が及ぼす人間、社会、環境の相互影響に関する知識と思考体系である。SDGsを支える技術素養 (リテラシー) とは、技術の知識や思考体系の活用と技能遂行による問題解決能力とともに、問題の解決に必要な技術ガバナンスと技術イノベーションの資質・能力である。

欧米のエンジニアリング概念と、我が国の工学概念は、伝統や文化などの違いの文脈から、類似性とともにより差異性があり、留意が必要である<sup>(3),(4)</sup>。米国のエンジニアリング教育は、1980年代までは高等教育機関を対象とした教育であった。しかし、STEM教育の影響で、1990年代から初等から大学まで一貫したエンジニア

知的能力的要素

- ② 「コミュニケーションスキル」、「リーダーシップ」、「公共心」、「規範意識」や「他者を尊重し切磋琢磨しながらお互いを高め合う力」などの社会・対人関係力的要素
- ③ これらの要素を十分に発揮するための「意欲」、「忍耐力」や「自分らしい生き方や成功を追求する力」などの自己制御的要素

などを掲げている。また、人間力は、それを発揮する活動に着目すれば、

- ①職業人としての活動に関わる「職業生活面」
- ②社会参加する市民としての活動に関わる「市民生活面」
- ③自らの教養を高め、文化的活動に関わる「文化生活面」

に分類している。同報告書の内容の鍵語は、「キャリア教育」、「シティズンシップ教育」、「論理的思考と創造力」、「キーコンピテンシー」、「社会人基礎力」である。STEM/STEAM教育では、前述の語句を鍵語とした理論と実践が多く見られる。

国内外を問わずSTEAMでは、「リベラルアーツ」をどのように定義、解釈するかは論争中である。我が国では、リベラルアーツの教育対象を、大学等の高等教育に限定すべきと主張する意見と、初等中等高等教育段階を一貫したリベラルアーツ教育の推進を主張する意見とがあり、見解が大きく分かれている。小田(2007)<sup>(16)</sup>をはじめ、初等中等高等教育段階を一貫したリベラルアーツ教育を推進する主張する意見と、主として中等後期教育から高等教育段階という意見など、論者により多様である。筆者らは、小田の見解を支持している。小田は、「フィードバック・ループ」にもとづく、リベラルアーツ的な探究学習の提案と、「米国S市の交通渋滞改善策」、「森林資源の豊かな地域の課題」の二つの事例を提示し、「総合的な学習の時間」におけるループ設定方法の概略を説明している。しかし、小田の提案と実践は、残念ながら全国に普及しているとは言い難い。

筆者は、普及が進まない主な要因として、3点あると考えている。

第1は、従来の教員養成と継続的な専門職能発達(Continuous Professional Development)のシステムでは、学校教員が「フィードバック・ループ」とループ設定を理解することは容易ではない点である。この方略は、「システム思考」と「デザイン思考」を働かせた、「エンジニアリング・デザイン」を用いた問題解決方略に類似している。「システム思考」とは、複雑な事象や状況の本質を見極めるために、俯瞰的な視点に立ち、様々な事象のつながりや、背景にある構造や、相互作用、相互関係、相互依存の影響関係への理解を深めながら、より根本的で本質的な問題解決に必要な思考方略をいう。「デザイン思考」とは、人間の欲求やニーズに基づく問題解決のために、価値規準、制約条件、各アイデアの便益とリスクを明確にしなが、対処し得る選択可能な解決アイデア策を複数生み出し、その中から最適と考える一つのアイデアを選択するための、体系的、論理的、創造的な問題解決プロセスに必要な思考方略をいう。例えば、費用と安全性といった比較考量(トレード・オフ)が必要であり、考慮すべき複数の価値規準(クライテリオン)の設定と、比較考量により、導かれる解も唯一ではなく、最適解である。換言すると、現実社会では唯一の正解は存在しない。主権者として社会を支え、便益リスク関係のある様々な立場の人々からの参画と協働討議により、納得解を意思決定する。

第2は、小田の提示した二つの事例は、図1に示したサイエンス(学)とアーツ(術)をエンジニアリングとデザイン方略で架橋する最適解の導出であるからである。各教科担任の専門性、チーム学校としてのカリキュラム・マネジメント力と、各学術分野の本質的理解を伴わないと、リソースの教材化や教材解釈が困難であるからである。特に、科学技術社会学とエンジニアリング・デザインとともに、サイエンス(認識科学:あるものの広義の科学)と術(設計科学:あるべきものの広義の科学)<sup>(17)</sup>の理解が必要である。キリスト教の世界観では、サイエンスは神の創造の探究と解明で、アーツは人間の探求と創造である。

第3は、アーツ系教科のうち、授業時数の少ない音楽、美術、家庭、技術専科教員不足、教科研修のハードとソフトの弱体化である。音楽、美術、家庭は小松(編)<sup>(18)</sup>、家庭と技術は、山崎ら(2019)<sup>(19)</sup>を参照されたい。

## 2 国際技術・エンジニアリング教育者学会作成の「エンジニアリング・デザイン」の内容スタンダード

国際技術・エンジニアリング教育者学会<sup>(14)</sup>は、幼稚園から第12学年の「技術内容標準(スタンダード)(STL)」を提案し、エンジニアリング・デザイン、関連の柱(スコープ、範囲)とシーケンス(系統性)を示した(表2)。10頁の紙幅の制約のために、第9~12学年のスコープとシーケンスの掲載は、割愛する。

表2 国際技術・エンジニアリング教育者学会作成の「エンジニアリング・デザイン」の内容スタンダード (STL)<sup>(14)</sup>

	幼稚園～第2学年	第3学年～第5学年	第6学年～第8学年
STL8： 設計の特徴 についての 理解	A. 誰もが問題の解決方法を設計することができる。 B. 設計は創造的な問題解決方略である。	C. 設計方略は、問題に対する実質的な解決策を計画する目的的方法である。 D. 設計に対する必要条件は、製品やシステムに望まれる要素や属性、あるいは、設計上の制限といった要因を含んでいる。	E. 設計は、便利な製品やシステムを導く創造的な問題解決方略である。 F. 完璧な設計はあり得ない。 G. 設計のための必要条件は、評価規準と制約によって構成される。
STL9： エンジニア リング設計 の理解	A. エンジニアリング設計による問題解決方略は、問題を確認すること、アイデアを探すこと、解決策を開発すること、解決策を他人と共有することが含まれる。 B. 口頭およびスケッチや模型を用いて他人にアイデアを説明することは、設計方略の重要な一部分である。	C. エンジニアリング設計方略には、問題を定義すること、アイデアを生み出すこと、解決策を選択すること、解決策を試すこと、ものやシステムを創ること、創ったものやシステムを評価すること、結果を発表することが含まれている。 D. ものやシステムを設計する時、創造的であり、全てのアイデアについて考慮することが重要である。 E. 模型は、設計上のアイデアとプロセスを伝達し、かつ試験するために使われる。	F. 設計は、異なる順序で成し遂げられ、必要ときには繰り返される一連の段階を含んでいる。 G. ブレインストーミングは、グループによる問題解決の設計方略のことであり、そのグループ内のメンバーは、皆の前で自分のアイデアを説明する。 H. 模型製作、試験、評価および修正は、アイデアを実用的な解決策として実現するために用いられている。
STL：10 問題解決に おけるトラ ブルシュー ティング、 研究開発、 発 明、改 善・改良、 実験の役割 の理解	A. 質問や観察は、技術製品やシステムの機能の理解を促す。 B. 全ての製品とシステムは故障する。しかし、多くは修理可能である。	C. トラブルシューティングとは、何かを修理するために、何故動作しないのかを発見する方法である。 D. 発明と改善・改良は、アイデアを現実のものに変える創造的な方法である。 E. 科学において普通に用いられる実験方略は、技術的な問題を解決するためにも用いることができる。	F. トラブルシューティングは、技術的なシステムにおいて、故障の原因を確定するために行われる問題解決方略である。 G. 発明は、アイデアと想像を装置とシステムに具現化した方略である。改善、改良は、既存の製品を修正したり、システムを改良したりする方略である。 H. 技術的な問題の中には、実験を通して最適解を導くことができる問題がある。
STL：11 設計方略の 活用力	A. 人々の要求と欲求に対してブレインストーミングを行い、設計方略によって解決できる問題を取り上げる。 B. 設計方略を使用して、ものを製作する。 C. 技術製品がどのように作られているか、どのように改善することができるか調べる。	D. 技術によって、解決できる日常の問題について情報を取り出し、収集する。そして、アイデアや問題を解決するために必要なことを生み出す。 E. 設計方略は、可視化したいくつかの解決策を示し、多くの中から最適な解決策を選ぶ。 F. 設計方略によって、問題解決方略を試験し、評価する。 G. 設計の解決策を改善する。	H. 実験室や教室外の日常世界で生じた問題を解決するために、設計方略を活用すること。 I. 設計のための評価規準と制約条件を特定する。 J. 構想した解決案を、平面や立体で表現する。 K. 規準と制約条件のような、予め確立している必要条件に関連した設計案を試験し評価して、必要に応じて改良する。 L. 製品やシステムをつくり、解決方法を記録する。

「エンジニアリング・デザイン」とは、効率的で経済的な構造、機械、プロセス、システムのデザイン、製造、操作などのような、実際の最終目標達成のための、科学と数学の原理の体系的で創造的な活用のことという(p.238)<sup>(14)</sup>。1980年代までは、欧米のエンジニアリング・デザイン教育は、大学等の高等教育段階を対象としていた<sup>(14)</sup>。しかし、1990年代からの第2次STEM教育改革運動では、社会的構成主義学習論の台頭と、デジタル化、グローバル化と知識基盤型社会の到来により、唯一の正解を教え込む学校から、先行き不透明で将来の予測が難しい変化が激しい社会で、いかに主体性を発揮して協働的で深い学びが世界的に注目されるようになった。そのため、米国では1990年代から、初等中等教育段階の科学、数学、技術科で、内容標準にエンジニアリング・デザイン (EbD) が盛り込まれ、EbD教育実践が展開されている<sup>(4),(15)</sup>。

大森は、文部科学省(2016)「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」<sup>(20)</sup>で提案された「プログラミング的思考」について、表3で説明している<sup>(21)</sup>。エンジニア

リング・デザインによる技術的問題解決方略の処理過程を図2, 「プログラミング的思考力」に必要な「情報技術とエンジニア・デザインによる問題解決の処理過程を図3に示す。

表3 文部科学省(2016)「小学校段階における論理的思考力や創造性, 問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」有識者会議が提案した「プログラミング的思考力」に必要な技術・情報のモデリング能力

「プログラミング的思考力」の定義(出典1) <sup>(20)</sup>	尾崎らの「プログラミング的思考力」に必要な技術・情報モデリング能力(出典2) <sup>(21)</sup>
自分が意図する一連の活動を実現するために, どのような動きの組合せが必要であり一つ一つの動きに対応した記号を, どのように組み合わせたらいいのか	機能・振る舞いを, アルゴリズムやデータ構造として分解できる能力
記号の組合せをどのように改善していけばより意図した活動に近づくのか	実世界の事象に対する働きかけを意図し, データ構造を変化させるためのモデリングや, 操作手順をアルゴリズム化するために, コード(プログラム)に変換する能力
論理的に考えていく	試行錯誤(トライ&エラー)する能力。手続きを, 抽象化や一般化する能力
	評価(デバッグ)する能力
	説明できる能力

出典1: 小学校段階における論理的思考力や創造性, 問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議(2016年6月16日) 小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について(議論の取りまとめ)

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.HTM](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.HTM)

出典2: 尾崎裕介・大森康正・上野朝大・磯部征尊・山崎貞登(2016) 数学的, 技術的, 科学的モデリング概念の比較からの「プログラミング的思考力」概念に関する基礎的検討, 日本産業技術教育学会第28回北陸支部大会(福井) 講演論文集(2016.11.5), p.7.

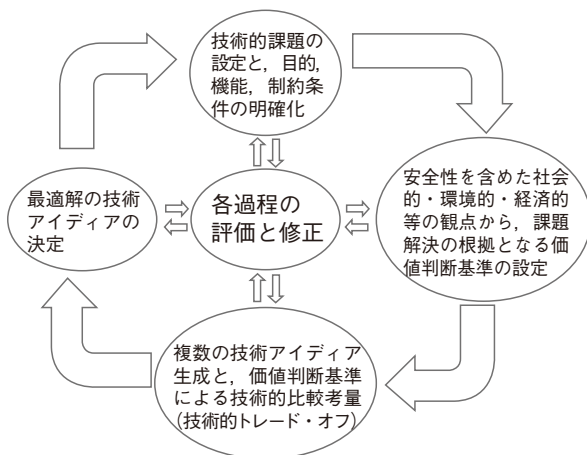


図2 エンジニアリング・デザインによる技術的問題の解決方略の流れ [出典 山崎ら(2017b)]<sup>(22)</sup>

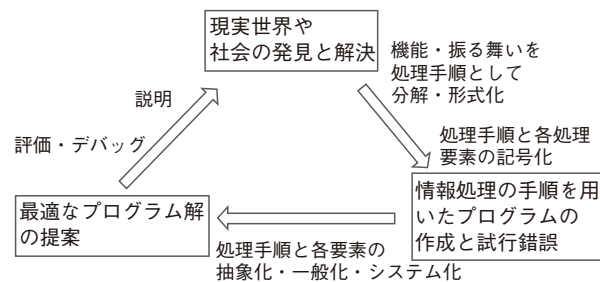


図3 「プログラミング的思考力」に必要な技術・情報モデリング能力 [出典: 尾崎裕介・大森康正・上野朝大・磯部征尊・山崎貞登(2016) 数学的, 技術的, 科学的モデリング概念の比較からの「プログラミング的思考力」概念に関する基礎的検討, 日本産業技術教育学会第28回北陸支部大会(福井) 講演論文集(2016.11.5), p.7.]<sup>(21)</sup>

特に, 学習導入の「ティンカリング(現象, 道具, 素材をいろいろ直接いじくりまわして遊ぶこと) [Wilkinson and Petrich(著), 金井(訳)(2015: p.13)]<sup>(23)</sup>が重要である。人は, ティンカリングにより, デザインセンスを磨き, 問題解決の力を高めることができる(p.10)<sup>(23)</sup>。同著(pp.14-15)<sup>(23)</sup>では, ティンカリングの理念を掲げている。

あるデザインが試され, 問題が見つかりと修正される。試されては, 再び修正されるという繰り返しが, 往還的(iterative)に続く [Norman, 1988, 野島(訳), 1990: p.230]<sup>(24)</sup>。難波(2017: p.78)<sup>(25)</sup>は, 初等中等教育段階のプログラミング学習では, 実行トレースやデバッグ場面で「論理的思考」を使うものの, むしろ発想やデザイン思考を駆使する場面が多いことを指摘した。難波は, データを水平思考的に自由に解釈して課題解決を行う訓練や, パターン化しそれを改良したり組み合わせたりすることにより, 発想とデザイン思考を高め, データの意味を他人に説明する訓練を行うことにより, デザイン思考力が高まることと指摘している。ショーン(Schön)(1992)<sup>(26)</sup>は, 子どもの積み木遊びのティンカリングを通じた状況との対話が, デザイン思考力と問題解決方略力を育む原体験であると指摘している。

### 3 相模女子大学小学部の低、中、高学年のプログラミング学習目標と内容

2020年度から小学校において、プログラミング学習の必修化が全面実施される。しかし、コンピューティングに専門性を有さない学級担任の指導で、既存教科内容の学びをより確実にすることと、プログラミング的思考育成との両立の困難性を指摘する意見が多い<sup>(15),(27),(28)</sup>など。そこで、相模女子大学小学部は、2017年度から、プログラミング学習の授業を既存教科内に設定せずに、バランスド・カリキュラムとして、プログラミング学習として別に設定した。低・中・高学年ごとに、学習目標を設定している（表4）。

表4 相模女子大学小学部の低、中、高学年のプログラミング学習目標

低学年	1・2年生では、LEGOシンプルマシンセットを使って、歯車などを使った動きの学習をする。大きな歯車と小さな歯車の組み合わせで動きがどのように変わるか、実際に作って動かして考える。そして、LEGO®WeDo 2.0を使ってものづくり(ロボットづくり)とプログラムの作成、入門プロジェクトの各ロボットで回転比やセンサ、実験から得られたデータからわかることを考え、科学的思考の基礎を育てる。
中学年	3・4年生では基礎プロジェクトとしてプロトタイプやモデルのロボットをつくり、プログラムの作成、様々な実験から得られたデータやそのグラフ化を通してわかることを考える。推測する科学的思考の、学習から社会で使われている技術などを調べる学習に発展させ、系統的に構成し学習する。特に4年生からは自分のタブレットを使って動画や写真を撮影し、よりレベルアップしたデジタル記録を作成する。
高学年	5・6年生ではこれまで積み上げてきた基礎プロジェクトの学習をさらに発展させ、少ない情報とこれまで学んで来たロボットづくりやプログラム作成スキルをベースにして、高度なロボットの作成に取り組む。2019年度から、5年生は、英語科との共同プロジェクトに取り組み始めた。SDGsとESD学習に英語を加えて実施する。6年生は、LEGO®Mindstorms EV3を使って、学習を実施する。また、Pepperを使ったプログラミングの学習も加えて、より具体的な人間とロボットのコミュニケーションや人間とロボットの共生、そして将来の社会について考えを深める。

表2の内容基準と対比して、表4の目標を検討する。表4の低、中、高学年ともに、プロジェクト学習（Project-Based Learning, PBL）である（Vasquezら, 2013: p.111）<sup>(1)</sup>。Vasquezら（pp.115-119）は、九つのSTEM教育のPBLの特徴を指摘している。「(1)学習者は、学習展開の中心」、「(2)PBLが単元の中心展開」、「(3)小単元モジュール型の単元構成」、「(4)現実世界と関連が強い」、「(5)プロジェクト活動は製作やパフォーマンス中心」、「(6)デジタル技術が学習環境の質を豊かにしている」、「(7)思考スキルを働かせながらプロジェクト活動が展開する」、「(8)指導方略、教材・教具、学習形態が多様」、「(9)多様な種類の学習評価を併用」である。同校の目標は、前述の(1)～(9)の特徴を充たすような配慮がされていた。中・高学年と発達段階に対応して、モデル〔プロトタイプ（模型）〕化と、モデル活用といった「モデリング活動」が組織化されていた。

また、「計算論的思考（Computational Thinking, CT）」と、「計算論的活動（Computational Doing, CD）」を調和した活動展開が行われていた。CTは、情報手段を用いた問題解決と、対象、手続き、システムをよりよくするための、論理的推論を含む認知と思考プロセスである（Computing At School, 2014）<sup>(29)</sup>。CTの構成要因として、(1)アルゴリズム的思考力、(2)一連の要素に分解する思考力、(3)パターンの認識と作成の思考力、(4)抽象化、選択、優れた表現思考力、(5)一連の評価思考力がある（Computing At School, 2015）<sup>(30)</sup>。

統合の各水準では、SDGsや現実社会のオーセンティックな文脈で、主に科学、技術、リベラルアーツを含むアーツに関連させて、エンジニアリング・デザインによる問題解決方略の明示化とともに、ブロック教材を用いたティンカリングによる立体デザイン構成学習と、モデリング学習重視のプロジェクト学習で、他教科等とのカリキュラム・マネジメントを展開していた。

同校の2019年度の学年別年間単元指導計画表を、表5に示す。紙幅の制約で、「シンプルマシンセット」、「LEGO®WeDo 2.0基礎および発展プロジェクト」、「LEGO®Mindstorms EV3」の学習カリキュラムは本稿に掲載できないため、山崎（研究代表者）（2020）<sup>(15)</sup>を参照されたい。川原田ら（2018）<sup>(31)</sup>は、磯部・山崎（2013）<sup>(32)</sup>の「幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準」の教育目標1「エネルギー変換技術」と、大森ら（2017）<sup>(33)</sup>の幼稚園から高等学校までを一貫した「情報・システム・制御に関する技術の鍵概念と教材例」、「技術的課題解決過程」の教育段階別学習到達水準表との対応関係を報告した。

表5 相模女子大学小学部「プログラミング学習」の2019年度の学年別年間単元指導計画表

学年	1学期	2学期	3学期
1学年	シンプルマシンセット	LEGO®WeDo2.0プロジェクトの入門	
2学年	シンプルマシンセット(てこ・カム)	WeDo 2.0プロジェクトの入門	基礎プロジェクト
3学年	WeDo 2.0基礎プロジェクト		
4学年	WeDo 2.0基礎プロジェクト+発展		
5学年	SDGsの課題を解決するロボットとプレゼンテーション		WeDo 2.0 応用
6学年	LEGO®Mindstorms EV3		Pepper

#### 4 相模女子大学小学部の5年生のSDGsと関連させた学習

5年生は、SDGsの課題を解決するロボットとプレゼンテーションと題して学習を進めた(表6)。これまで学習した内容を活用・発展させ、社会の諸課題に目を向け、その諸課題を解決する手段を創造し、解決するためのロボットのモデルの制作、プログラムの作成、将来の展望について考える。

表6 SDGsの課題を解決するロボットとプレゼンテーションのカリキュラム

STEP	学習内容	指導項目	時数
1	学習についての説明を理解する	ガイダンス	1
2	SDGsとは何かについて調べ、考える	2030年に向けての動き	1
3	今、地球の抱えている問題について考える	環境変動の実態の理解	2
4	モデルライブラリのロボットをつくる	ロボットのしくみと考えられる機能	3
5	自分の取り組む課題を決める (設計と発表までの構想)	取り組む流れの決定	1
6	モデルロボットの製作	モデルロボットの写真とビデオの撮影	2
7	プレゼンテーションの作成		2
8	発表		1
9	まとめ		1

日本発STEAM教育の「多分野的 (Multidisciplinary)」、 「分野連携的 (Interdisciplinary)」、 「分野包括的 (Transdisciplinary)」の各統合水準で扱う学習テーマは、図1に示したように、SDGs (持続可能な開発目標) 実現のための、17の国際目標をテーマ (外務省, 2017)<sup>(7)</sup>として扱うことは、有効である。

#### 5 総合考察と結論

本研究の目的は、Vasquezら [2013 : p.73の図8.6, 胸組(2019)が同図を邦訳]<sup>(1),(2)</sup>が提唱した統合の水準に着眼し、「日本発STEAM教育」<sup>(3),(4)</sup>の鍵語として、「Society5.0」<sup>(5)</sup>、「学校ver.3.0」<sup>(6)</sup>、「持続可能な開発目標 (SDGs)」<sup>(7)</sup>、「日本発エンジニアリング教育」<sup>(3),(4)</sup>、「デザイン教育」<sup>(8)</sup>の各鍵語に共通する資質能力を育成する学習方略を探究するために、2017年4月から、小学校及び中学校の全学年で、既存の各教科とは別に、「プログラミング学習」を新設し、各教科等間でバランスド・カリキュラムを編成し実践している、相模女子大学小学部の題材<sup>(9)~(13)</sup>とカリキュラム・マネジメントの要件と具体を明らかにすることであった。

「Society5.0に向けた学校ver.3.0」<sup>(6)</sup>では、(1)人間としての強み (現実世界を理解し状況に応じて意味付け、倫理観、板挟みや想定外と向き合う力、責任を持って遂行する力など)、(2)共通して求められるのは、文章や情報を正確に読み書き対話する力、科学的に思考・吟味し活用する力、価値を見つけ生み出す感性と力、好奇心・探求力が目標として謳われている。

デザイン方略は、人間のニーズと欲求の満足や問題解決のために、評価規準と制約条件を明確化しながら、対処し得る選択可能な解決アイデア策を複数考案し、その中から最終的な一つのアイデアを選択するための、体系的な問題解決方略である。近未来においてSociety5.0と学校ver.3.0を実現するためには、デジタル化・グローバル化が加速する知識基盤型社会において、唯一の正解を教え込む学校から、先行き不透明で将来の予測が難しい変化が激し

い社会で、人間の主体性を発揮しながら革新技術を賢く活用して人間力を拡張するべく、協働的で深い学びの環境づくりが求められる。エンジニアリング・デザインを活用し、問題の解決を図るプロジェクト学習が有効であると考えられる。

本研究の結果、相模女子大学小学部における既存の各教科等とは別に教育課程内で新設した「プログラミング学習」の特徴として、以下の4点を明らかにした。

第1点は、「システム思考」と「デザイン思考」を働かせ、「エンジニアリング・デザイン（設計）」方略を活用した問題解決の重視である。中・高学年と発達段階に対応して、モデル[プロトタイプ（模型）]化と、モデル活用といった「モデリング活動」が組織化されていた。また、「計算論的思考（Computational Thinking, CT）」と「計算論的デザイン行為（Computational Doing, CD）」を調和した展開が行われていた。特に、CTとともに、情報手段を用いた問題解決のデザインと遂行力[Computational Doing(CD)]が重視されていた。

第2点は、同校では、Vasquezら(2013)が提案した統合水準の「多分野的（Multidisciplinary）」、「分野連携的（Interdisciplinary）」、「分野包括的（Transdisciplinary）」の各統合水準で扱う学習テーマとして、各教科とプログラミング学習専任教員のバランスド・カリキュラムで、SDGsのテーマを重視していた点である。

第3点は、ティンカリングから導入するプロジェクト学習（PBL）重視である。Vasquezら(pp.115-119)のSTEM教育のPBLの特徴である「(1)学習者は、学習展開の中心」、「(2)PBLが単元の中心展開」、「(3)小単元モジュール型の単元構成」、「(4)現実世界と関連が強い」、「(5)プロジェクト活動は製作やパフォーマンス中心」、「(6)デジタル技術が学習環境の質を豊かにしている」、「(7)思考スキルを働かせながらプロジェクト活動が展開する」、「(8)指導方略、教材・教具、学習形態が多様」、「(9)多様な種類の学習評価を併用」を充たすカリキュラム・マネジメントが展開されていた。ブロック教材の利点を生かし、ティンカリングによる状況との対話活動により、デザイン思考力と問題解決方略力を育む原体験的学習展開を重視していた。

第4点は、STEAM教育の要件であるサイエンスとアーツを、エンジニアリングとデザイン方略で架橋する最適解の導出を重視した実践である。各教科担任の専門性、チーム学校としてのカリキュラム・マネジメント力と、各学術分野の本質的理解を伴わないと、リソースの教材化や教材解釈が困難である。プログラミング学習に長年の実践経験と指導力のある専科教員が中心となり、チーム学校として、カリキュラム・マネジメントを実践していた。既存の各教科内での実践では、教科固有の知識および技能等をより確実に身に付けさせることと、プログラミング的思考を育ませることの具現化の難しさを訴える小学校教員が増える中で(松田, 2020)<sup>(34)</sup>、既存教科とは別にプログラミング学習を教育課程に導入し、プログラミングの専門的知識や実践的指導力を持つ教員が担当する優位性と、CPD（教員の継続的専門職能発達）の重要性が明らかになった。

松田は、小学校3年の国語科におけるローマ字の学習に合わせ、小学校1、2年生でのCutlery Appsでのブロック型言語によるプログラミング学習と、3年生から6年生までのIchigoJam Basicによるテキスト型言語を使った体系的なプログラミング学習の有効性を実証した。今後、小学校生活科において、アンブラグドとブロック型やビジュアル型言語を活用したプログラミング学習の導入と、小学校中・高学年における「総合的な学習の時間」に代わり、小・中・高・大の学習到達目標・教科内容と、到達水準のプロGRESSION・マップが見通せる教科「コンピューティング」の導入などを検討する必要がある。

STL<sup>(14)</sup>の作成責任者Dr. Dugger, E. William, Jr. バージニア工科大学名誉教授からは、宮川秀俊中部大学教授の招へいにより、日本産業技術教育学会等の講演等で、貴重な示唆を賜った。氏は、2018年6月、病気により逝去したので、哀悼の意を表す。宮川教授には、招へいに際し多大なご尽力をいただいた。謹んで謝意を表す。本研究の一部は、JSPS科研費（基盤研究C代表：山崎貞登，課題番号17K01023）の助成を受けた。

## 引用文献

- (1) Vasquez, J. Anne, Sneider, Cary and Comer, Michael: STEM lesson essentials, grade 3-8: integrating science, technology, engineering, and mathematics, Heneman (2013)
- (2) 胸組虎胤：STEM教育とSTEAM教育－歴史、定義、学問分野統合、鳴門教育大学研究紀要、第34巻、pp.58-72 (2019)
- (3) 山崎貞登：STEM, STEAM, エンジニアリング教育概念の比較教育からの論点整理、日本産業技術教育学会誌、第62巻、第3号（印刷中、2020）
- (4) 山崎貞登・磯部征尊：日本型STEAM教育におけるEngineering, Designと他学術分野との関係性と担当教員の継続的専門職能発達の条件整備、上越教育大学研究紀要、第40巻、第1号、pp.295-305 (2020)
- (5) 内閣府：Society5.0 [https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html)



- (6) 中央教育審議会教員養成部会(第100回)配付資料No.8-3 (2018年6月5日) [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/002/siryo/1406021.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/002/siryo/1406021.htm)
- (7) 外務省: JAPAN SDGs Action Platform <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/index.html>
- (8) 市川伸一(編): 『学力から人間力へ』, 教育出版(2003)
- (9) 川原田康文: 相模女子大学小学部及び中学部におけるプログラミング教育の実践, pp.51-118, 山崎貞登(研究代表者): プログラミング的思考力を育成する技術・情報教育課程基準(所収), 平成29年度～31年度科学研究費補助金(基盤研究(C))第1年次研究成果報告書(課題番号17K01023), 122p. (2018a) <http://hdl.handle.net/10513/00007428>
- (10) 川原田康文: 小学部におけるロボット及びプログラミング学習の取り組みと課題, 相模女子大学子ども教育研究, 第10号, pp.49-56 (2018b)
- (11) 川原田康文: 考える癖を育むロボット・プログラミング教育, 東京書籍 教室の窓, pp.12-15 (2018c)
- (12) 川原田康文: 相模女子大学小学部「ロボティクス」学習指導案(LEGO®WeDo2.0学習指導案付き), pp.17-33, 山崎貞登(研究代表者): プログラミング的思考力を育成する技術・情報教育課程基準(所収), 平成29年度～31年度科学研究費補助金(基盤研究(C))第2年次研究成果報告書(課題番号17K01023), 166p. (2019) <http://hdl.handle.net/10513/00007929>
- (13) 川原田康文: 相模女子大学小学部のロボティクス学習の目標と内容の参照基準, pp.37-47, 山崎貞登(研究代表者): プログラミング的思考力を育成する技術・情報教育課程基準(所収), 平成29年度～31年度科学研究費補助金(基盤研究(C))第3年次(最終年次)研究成果報告書(課題番号17K01023), 86p. (2020) <http://hdl.handle.net/10513/00008106>
- (14) ITEA [(International Technology Education Association; Current Association Name: ITEEA (International Technology and Engineering Educators Association)]: Standards for technological literacy: Content for the study of technology, Autor (2000/2002/2007), 国際技術教育学会 [著], 宮川秀俊/桜井 宏/都築千絵 [編訳]: 『国際競争力を高めるアメリカの教育戦略』, 教育開発研究所(2002) <https://www.iteea.org/Publications/StandardsOverview.aspx>
- (15) 山崎貞登(研究代表者): プログラミング的思考力を育成する技術・情報教育課程基準(課題番号17K01023), 2017(平成29)年度～2019(令和元)年度科学研究費補助金(基盤研究(C))第3年次(最終年次)報告書(2020) <http://hdl.handle.net/10513/00008106>
- (16) 小田勝巳: 探究学習とリベラル・アーツ, 国立教育政策研究所紀要, 第136集, pp.207-215 (2007)
- (17) 日本学術会議運営審議会附置新しい学術体系委員会: 新しい学術の体系-社会のための学術と文理の融合(2003) <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/18youshi/1829.html>
- (18) 小松佳代子(編), 西島 央・上野裕一・有賀康二・赤堀博美・工藤和美: 『周辺教科の逆襲』, 叢文社(2012)
- (19) 山崎貞登・大森康正・磯部征尊・上野朝大: プログラミング教育の小・中・高各校種間連携・一貫教育推進のための技術・情報教育課程と専門職能発達体系の改革, 上越教育大学研究紀要, 第37巻, 第1号, pp.217-227 (2017a)
- (20) 文部科学省: 小学校段階における論理的思考力や創造性, 問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議(2016) [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shotou/122/index.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/index.htm)
- (21) 尾崎裕介・大森康正・上野朝大・磯部征尊・山崎貞登(2016) 数学的, 技術的, 科学的モデリング概念の比較からの「プログラミング的思考力」概念に関する基礎的検討, 日本産業技術教育学会第28回北陸支部大会(福井)講演論文集, p.7 (2016.11.5)
- (22) 山崎貞登・東原貴志・川崎直哉・黎 子椰・大森康正: 技術科における「21世紀を生き抜くための能力」の「思考力」の捉え方, pp.203-228, 国立大学法人上越教育大学大学改革戦略会議(編), 上越教育大学(著): 『「思考力」を育てる-上越教育大学からの提言1-(所収)』, 上越教育大学出版会(2017b)
- (23) Wilkinson, K. and Petrich (著), 金井哲夫(訳): 『ティンカリングをはじめよう アート, サイエンス, テクノロジーの交差点で作って遊ぶ』, オライリー・ジャパン(2015)
- (24) Norman, S. Donald: The Psychology of everyday things, Basic Books (1988) 野島久雄: 『誰のためのデザイン? 認知科学者のデザイン原論』, 新曜社(1990)
- (25) 難波宏司: フィジカルコンピューティングの教育教材作成の研究, 園田学園女子大学論文集, 第51号, pp.71-91 (2017)
- (26) Schön, Donald: The Theory of Inquiry: Dewey's Legacy to Education, Curriculum Inquiry, 22(2), pp.119-139 (1992)
- (27) 尾崎 光・伊藤陽介: 小学校におけるプログラミング教育実践上の課題, 鳴門教育大学情報教育ジャーナル, No.15(1), pp.31-38 (2017)
- (28) 板東哲也・藤原伸彦・曾根直人・他3名: 情報活用能力育成を基盤とした小学校プログラミング教育カリキュラム・マネジメントの提案, 鳴門教育大学情報教育ジャーナル, No.16, pp.27-36 (2019)
- (29) Computing At School: Developing computing thinking in the classroom: a framework (2014) <https://community.computingatschool.org.uk/resources/252/single>
- (30) Computing At School: Computational Thinking: A guide for teachers (2015) <https://community.computingatschool.org.uk/resources/2324/single>
- (31) 川原田康文・大森康正・磯部征尊・上野朝大・山崎貞登: 小・中学校一貫したロボット及びプログラミング学習実践と教育階梯別の学習水準表との対応, 上越教育大学研究紀要, 第38巻, 第1号, pp.135-147 (2018)

- (32) 磯部征尊・山崎貞登：幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準，上越教育大学研究紀要，第32巻，pp.331-344 (2013)
- (33) 大森康正・磯部征尊・上野朝大・尾崎裕介・山崎貞登：小学校プログラミング教育の発達段階に沿った学習到達目標とカリキュラム・マネジメント，上越教育大学研究紀要，第37巻，第1号，pp.205-215 (2017)
- (34) 松田 孝：東京都小金井市立前原小学校のコンピューティング教育の特徴，pp.20-29，前掲(15)に所収
- ※インターネット情報の最終アクセス日は，2019年12月12日

# Programming Study Focusing on STEAM and Engineering Design Education from Elementary to Lower Secondary School

Yasufumi KAWARADA\* · Masataka ISOBE\*\* · Tomohiro UENO\*\*\* ·  
Yasumasa OOMORI\*\*\*\* and Sadato YAMAZAKI\*\*\*\*

## ABSTRACT

The purpose of this practical research was to clarify study strategies in “Japan-oriented STEAM” education, which aims to develop pupils’ common competencies related to such key concepts as “Society 5.0,” “School ver.3.0,” “SDGs,” “Japan-oriented Engineering Education,” “Design Education” and “Human Power.” Focusing on levels of integration proposed by Vasquez et al. (2013), this study investigated Sagami Women’s University Elementary School. The School has introduced programming as one of its independent curricular areas of a balanced whole curriculum since the April 2017 school year. Programming study was remarkable in generating authentic and realistic context-based learning environments, and was related to study materials about school science, social studies and technology subjects. This paper investigated the constructional rationale of the curriculum unit, its development and detailed curriculum management strategies. The characteristics of the programming study aim to develop pupils’ real problem-solving strategies by using an engineering design process model with their own self-regulated and meta cognitive capabilities. Developing the curriculum management involved collaboration among other subject teachers as “a team school”. Through tinkering and project-based learning activities, pupils’ 3-D construction design, modeling capabilities were nurtured. Previous studies have reported elementary schoolteachers’ difficulty in accomplishing both their subject’s goals and pupils’ thinking capabilities in programming. This article shows the benefits of being taught by a programming-specialized teacher with specific knowledge and practical teaching techniques. Also important is programming-specialized teachers’ initiative in guiding curriculum management for programming and other subjects.

---

\* Sagami Women’s University Elementary School    \*\* Aichi University of Education    \*\*\* CA Tech Kids Co.  
\*\*\*\* Natural and Living Science