

日本発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

山崎 貞登*・磯部 征尊**

(令和2年1月30日受付；令和2年4月7日受理)

要 旨

豊かな創造性を備えSociety5.0の実現の創り手を育成する日本発STEAM教育を推進するために、実社会における問題を教科横断的に学習課題化し、解決方略の基盤力である「Engineering」及び「Design」概念、他学術分野との関係性に着眼した。次に、日本発STEAM教育を支える各担当教科教員のチーム学校力と、教員の継続的専門職能発達の要件を探究するために、Vasquezら(2013)が示した三つの統合の水準に注目し、Liao(2019)が提案した幼稚園から第12学年を対象にしたSTEAM教育の各種実践のFine Art (美術)－STEMの横軸と、創造的な表現・活用－知識の縦軸による二次元分類体系図(マップ)について、比較教育学的観点から検討することを研究目的とした。検討の結果、STEAM教育の推進に、各教科担任の横の連携と協働によるチーム学校力、小学校における教科担任制の導入、小・中・高校種間の縦の連携と各教科担任の継続的専門職能発達が重要であることが明らかになった。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の要件として、SDGs(持続可能な開発目標)実現のための17の国際目標と、日本産業技術教育学会(2012)の「21世紀の技術教育(改訂)」の目標をテーマとして扱うことを提案した。

KEY WORDS

日本発STEAM教育(Japan-oriented STEAM Education), エンジニアリング(Engineering), デザイン(Design), 持続可能な開発目標(SDGs), 創造的思考(Creative Thinking), コンピューティング(Computing), 計算論的思考(Computational Thinking)

1 問題の所在と研究目的

本小論では、豊かな創造性を備えSociety5.0の実現の創り手を育成する日本発STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics)教育を推進するために、実社会における問題を教科横断的に学習課題化し、解決方略の基盤を支える「Engineering」の「学術分野(discipline)」及び「Design」概念と、他学術分野との関係性に着眼する。本稿では、学術分野と教科(subject)とは同義ではなく、区別して使用する。次に、日本発STEAM教育を支える担当教員のチーム学校力と、教員の「継続的専門職能発達(Continuing Professional Development, 以下CPD)の要件を探究するために、米国NSTA(National Science Teachers Association: 全米科学教師連合学会)の元会長のVasquezら(2013)⁽¹⁾が示した三つの統合の水準[表1: 胸組, 2019(訳)⁽²⁾]に注目し、Liao(2019)⁽³⁾が提案した幼稚園から第12学年を対象にしたSTEAM教育の各種実践の「分類体系図(以下、マップ)」について、比較教育学的観点から検討することを研究目的とする。Liao⁽³⁾のSTEAMマップは、「Art(美術)」－「STEM」の横軸と、「知識・スキル」－「創造的な表現・活用」の縦軸の座標軸から構成された2次元マップである。Artは、美術と仮訳し、訳が適切かどうかも含め論議が必要であるが、10頁の紙幅制限のために、別稿で論じたい。国内外のSTEAM教育の先行研究では、Fine Art, Arts, the Artが混在するが、Liaoの先行研究を論考する文脈では、本稿ではArtと単数表記する。山崎(印刷中, 2020)⁽⁴⁾と山崎(研究代表者)⁽⁵⁾で言及したように、STEAM教育では、Artを美術に限定したタイプ、Artsにリベラルアーツを包含したタイプ、Artsにリベラルアーツ、ランゲージアーツを包含したタイプなど極めて多種多様であり、2次元マップの作成は難しい。Liao⁽³⁾のマップは、Artを美術に限定しているが、分類体系の可視化を試みた研究である。

2019年12月、中央教育審議会初等中等教育分科会は、「新しい時代の初等中等教育の在り方 論点取りまとめ」を公表した⁽⁶⁾。変化を前向きに受け止め、豊かな創造性を備え持続可能な社会の創り手として、予測不可能な未来社会を自立的に生き、社会の形成に参画するための資質・能力を一層確実に育成することが掲げられた。STEAM教育など

*自然・生活教育学系

**愛知教育大学

の実社会での課題解決に生かしていくための教科横断的な学びの実現が提言された。さらに、2022年度をめぐり小学校高学年からの教科担任制の本格的な導入と、小中学校の連携の在り方の検討が盛り込まれた。

国内外のSTEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育やSTEAM教育では、表1に示した統合の形態が、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が、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研究が少ない⁽⁴⁾。

筆者らは、英国、米国など、国内外のSTEM教育、STEAM教育研究を継続している^{(4),(5),(7)~(16)}など。STEM, STEAM, Arts, Engineering, Design等の教育概念については、山崎(印刷中, 2020)⁽⁴⁾と山崎(研究代表者)⁽⁵⁾が論点整理をしている。STEM教育とSTEAM教育の歴史、意義、学術分野の統合水準については、胸組(2019)⁽²⁾が詳しく、本稿に関連する重要な先行研究文献である。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、慣習等の文脈をふまえ、「日本発STEAM教育」と命名している。山崎⁽⁴⁾が示した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)⁽¹⁾で、胸組(2019：p.63の表3)⁽²⁾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、理論的説明を通した、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(ITEA, 2000/2002/2007: p.241)⁽¹⁷⁾。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(ITEA, 2000/2002/2007: p.239)⁽¹⁷⁾。

胸組⁽²⁾が指摘するように、技術(テクノロジー)とエンジニアリングの区別が不明瞭であるので、概念整理する。技術とは、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、人工の事物や情報システム、問題解決方略、行為の形態などの知識や思考方略などの体系である(山崎, 印刷中, 2020)⁽⁴⁾。

日本発エンジニアリングの基盤となる主な学問体系は、「工学(情報工学を含む)」と「農学(バイオテクノロジー、バイオエンジニアリングを含む)」である。工学と農学の目的は、人類の利益をもたらす問題解決のために、基盤となる工学、農学、技術社会学、数学、自然科学、人文科学、社会科学、複合科学、各種芸術をはじめ、他の学術分野を活用して、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、論理力、創造力を得るための知識や思考方略などの学術分野包括的(transdisciplinary)な体系である^{(4),(5)}。日本工学会元会長の大橋(2005)⁽¹⁸⁾をはじめ、工学研究者の多くが指摘しているように、明治維新以後にお雇い外国人からエンジニアリングを移入した経緯などの歴史的・社会的文脈の影響を受けて、我が国の工学は、アカデミック・ディシプリン(学問分野)と認識されている。一方、欧米では、エンジニアリングは、専門職業(profession)であり、エンジニアに必要な専門職能体系(profession)と認識されている。また、上野(2006)⁽¹⁹⁾が指摘しているように、「研究－開発－設計－製造－運用－保守管理」の軸上で、欧米では「科学－技術－エンジニアリング－テクニク」の関係性で位置付けられるが、日本では「科学－工学－技術とテクニク」の軸上に位置づけられ、技術とテク

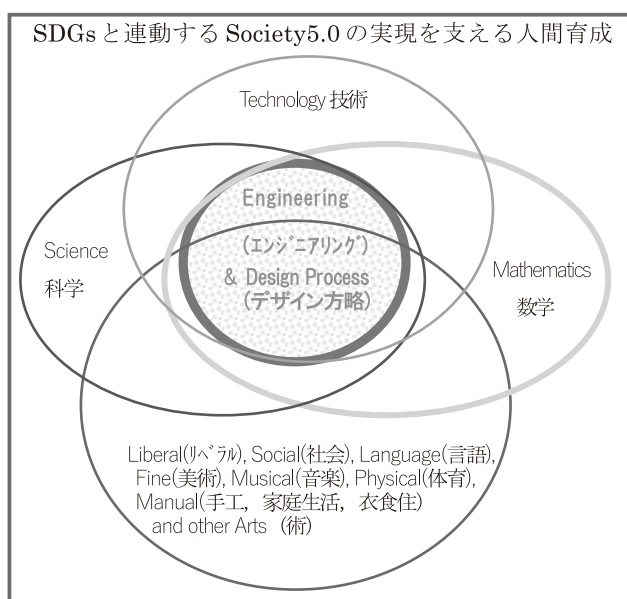


図1 STEAM教育の各discipline (学術分野) の関係 [出典：山崎(印刷中, 2020)⁽⁴⁾を基に一部加筆]

ニックの区別が不明瞭である。さらに、我が国では、テクノロジストの専門職の名称は、ほとんど用いない。以上から、本稿では、欧米のエンジニアリング概念との差異性があることをふまえ、我が国の工学の固有性を尊重し、「日本発エンジニアリング」と表記している。次節で詳細に言及するが、エンジニアリングは、提案当初、サイエンスではなく、アーツに分類されていた。

科学や数学は、「あるものの探究（認識科学）」であるのに対し、アーツ（広義の芸術）は「あるべきものの探求（主体が人であり、デザインの創造と感性の表現）」である⁽²⁰⁾。アーツは、リベラルアーツ、ソーシャルアーツ、ランゲージアーツ（言語芸術）、ファインアーツ（審美芸術）、ミュージカルアーツ（音楽芸術）、フィジカル・アーツ（体育・身体性芸術）、ドラマ（演劇芸術）、マニュアルアーツ（手工術、家政術）等を包含する（仮訳）。

広義のエンジニアリング学術分野には、「コンピューティング」が含まれる。英国イングランドでは、2014年から教科名称がICT（Information and Communication Technology）からコンピューティングに変更となり、教育の不易性と社会の変化や技術の急速な革新に対応すべく、教科目標と内容が大幅に刷新された。コンピューティングとは、学校教育におけるICT（Information and Communication Technology）、産業界のIT（Information Technology）、コンピュータサイエンス（CS）、デジタルリテラシー（DL）を含む広教科領域（Broad subject area）と規定している⁽²¹⁾。CSは、アルゴリズム、データ構造、プログラミング、システムズ構築、設計、問題解決等のような原理を包括するコンピュータ科学分野の体系である⁽²¹⁾。ITの性質は、ソフトウェアの単なる使い方に限定されず、情報の創造と表現、システム設計、プロジェクトのプランニングと管理、情報セキュリティ等について、種々の側面から社会的な問題解決を図る属性を有する。日本のSociety5.0を実現するために、我が国の今後の教科概念の本質と、教科成立の要件を含む将来の教科等構成の在り方については、喫緊の重要課題であるが、紙幅の制約のため、別稿で論じたい。Computational Thinking（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⁽²²⁾。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⁽²²⁾。コンピューティングでは、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）〕が必要である⁽²³⁾。CDの構成要素として、省察（リフレクション）、コーディング（プログラミング）、創造デザイン力、分析力（アナライジング）、活用力（アプライニング）がある⁽²³⁾。いわゆるプログラミング学習のねらいは、実社会に根差した問題を課題化し、論理的思考と創造的思考をともに働かせながら解決方略をデザインして、課題遂行する能力を育成することにある。

2 STEAM教育における欧米のエンジニアリング教育概念と日本発エンジニアリング教育概念

我が国では、工学教育の対象は、高専や短大・大学等といった高等教育機関で、普通教育ではなく専門教育であって、普通教育ではないという見方をする人が多い。一方、米国、英国、中国、台湾、韓国、シンガポールをはじめ、STEM教育やSTEAM教育の盛んな国、地域等では、for allとともに、for excellentのための初等、中等、高等教育段階を一貫したキャリア発達の視点を盛り込み、問題解決のためのデザイン思考や創造性を育成する「エンジニアリング教育」が盛んである。我が国の特に初等、中等教育の普通教育で、STEM教育やSTEAM教育の普及・啓発が著しく遅れている理由として、前述したように、エンジニアリングとテクノロジーの区別が不明瞭な上、工学教育は高等教育を対象とした専門教育と限定し、エンジニアに必要な学問であるという見方が多いからである。

Watson(1988: p.6)⁽²⁴⁾によると、1768年に世界で初めてシヴィル・エンジニアを自称したのは、イギリス人スミートン(Smeaton, John: 1724-1792)であった。エンジニアの呼称は、公権力やアカデミズムの権威に依らず、自立した一人のシヴィリアンとしての矜持をこめた呼び名(武上, 2013)⁽²⁵⁾である。エンジニアの職名は、「職人（テクニシャン）」ではなく、「専門職」として定義したものである。スミートンは、1771年に「協会」(The Society of Civil Engineers)を立ち上げて、シヴィル・エンジニアの存在を社会に知らしめた。この協会は実質上、会員間の親睦や情報交換の場を提供するに留まった(p.6)⁽²⁵⁾。しかし、1818年に創立された「土木工学会The Institution of Civil Engineers(p.6)」は、「シヴィル・エンジニアの職業に必要とされる専門的知識の獲得を促進し、物理学的知識の向上に寄与すること(p.7)」を設立目的に掲げ、学術あるいは高級職能団体を目指したものであった。10年後、同学会は勅許を得て The Royal Institution of Civil Engineers となった。この時の勅許状に示されたシヴィル・エンジニアリングの定義は、「the art of directing the Great Sources of Power for the Use and convenience of man（自然の力のたいなる諸資源を人間の便益に供する術（art）」であった(武上, 2013: pp.220-221)⁽²⁵⁾。武上は、技術と訳したが、原典はmechanical art（器械技）やfine art（奇麗藝）(山本, 2016: p.180)⁽²⁶⁾ではないために、本稿では「術」と邦訳する。当時のシヴィル・エンジニアリングが学（science）ではなく、art（術）として位置付けられていた経緯

と、西周が『百学連環』において、Mechanical Artを器械技(山本, 2016: p.180)⁽²⁶⁾や技術(飯田, 1995: p.94)⁽²⁷⁾, Liberal Artを上品藝(山本, 2016: p.180)⁽²⁶⁾や藝術(飯田, 1995: p.94)⁽²⁷⁾と翻訳した当時の経緯の詳細等は, 両書を参照されたい。また, 今日では技術の邦訳はTechnologyが一般的であるが, Technology, Liberal Art, Liberal Arts (諸術) 概念の内包と外延や, その邦訳を含め, 時代とともに極めて著しく変遷し, 単数や複数扱いを含めて使用される文脈を丁寧に読み解く必要がある。Technology, Liberal Art(s), Science, Mathematics概念は, その互いの関係性の在り方や社会との相互作用の影響度を含めて, 共進化が現在も進行している。

1768年から71年にかけて創刊され, その後改訂を重ねた大事典エンサイクロペディア・ブリタニカにおけるシヴィル・エンジニアリング誕生と変容の歴史については, 武上(pp.221-222)⁽²⁵⁾が詳細に解説している。18世紀中ごろから軍務から独立したシヴィル・エンジニアリングは, 19世紀初頭の「学会」創立から同世紀の半ばごろまで市民生活の全領域を網羅するartであったが, 産業の各分野の発展・拡大に歩調を合わせて, 機械分野(メカニカル・エンジニアリング)が分派し, その母体であったシヴィル・エンジニアリングは, 公共事業の設計・建設のためのartに特化されていった(p.222)⁽²⁵⁾。武上は, 日本における工学教育制度の導入に関して, 1886年に公布された帝国大学令を受け, 文部省管轄の東京大学工学部と工部省の所管であった工部大学校を合併し, 帝国大学工科大学創設についても言及している(p.233)⁽²⁵⁾。

3 STEMリテラシー

第一次STEM教育運動は, スプートニク・ショック後に米国で生じ, 直後にイギリスなどの西欧諸国に波及し, 1960年代には全世界に広がる^{(4),(5)}。1970年代から80年代のSTS (Science, Technology and Society) 教育運動を経て, 1990年代から第二次STEM教育運動が生じている。山崎^{(4),(5)}は, 1990年代末から, 第二次STEM教育運動が活発になった経緯として, 米国の著名な科学教育研究者で, BSCS(Biological Science Curriculum Study)のBybee元会長らをはじめとした, 構成主義学習論者の科学教育と数学教育研究者の後押しが大きく影響したと指摘している。さらに, 1990年にインターネットによる情報化, グローバル化が急加速し, 習得型知識から, 佐藤(2003)⁽²⁸⁾らが指摘するように, リテラシー, コンピテンスといった, 育成すべき資質・能力や, 学校知に閉ざされずに, 現実の生活や実社会で, 知識・技能が活用できる社会に開かれた教育課程編成や, PISA調査等の国際学力調査の影響も大きい。

NAE (National Academy of Engineering, 米国エンジニアリングアカデミー)(2010)⁽²⁹⁾は, STEM関連の各学術分野(discipline)の著名な研究者が参画し, K(幼稚園)–12(学年)のためのEngineering教育のStandards(標準)作成の可能性について委員会で議論した。議論の結果, K–12 Engineering教育の標準作成は, 理論的には可能であるが, 教育実践有用性についての水準を保証する標準作成は, きわめて困難との結論に至った(p.1)⁽²⁹⁾。結論に至った根拠等は, 山崎⁽⁵⁾を参照されたい。同委員会⁽²⁹⁾は, 各教科の標準にEngineering教育を新たに盛り込む工夫と, Engineering教育の各教科に「Big ideas(重大な観念)」を包括する提案した。重大な観念とは, カリキュラム, 指導, 評価の焦点として役立つような, 核となる概念, 原理, 理論及びプロセスをいう⁽³⁰⁾。重大な観念の学習は, 永続的な理解を伴い, 特定の単元の範囲を超えて転移可能をもたらすことを期待している。重大な観念は, 個別的な事実やスキルを超えて, より大きな概念, 原理やプロセスに焦点を合わせるものである(p.396)⁽³⁰⁾。

同委員会⁽²⁹⁾の勧告を受けて, Vasquezら(2013)⁽¹⁾は, STEMリテラシーとは, 科学(Scientific), 技術(Technological), エンジニアリング(Engineering), 数学(Mathematical)の4リテラシーを, 相互に関係づける機能学力であると提案している。

4 統合に着目したSTEAM教育の分類

Liao(2019)⁽³⁾は, 幼稚園から第12学年を一貫したSTEAM教育(STEM教育を含む)を対象にした先行実践論文の計55事例(p.45)を収集した上で, STEAM教育の体系化を試みるための分類カテゴリーの作成と, 実践アプローチ方法のカテゴリーに基づくSTEAMマップを提案している(表2, 表3, 図2)。Liaoの研究では, リベラルアーツやランゲージアーツは除いて, 「美術(Liaoの表記はart)」と「デザイン」に焦点化して, K–12学年のSTEAM教育の分類体系を示すマップの作成を試みている(p.38)⁽³⁾。なお, 「デザイン」の意味は, 「意匠」「装飾」といった事物概念にとどまらず, 人工物の構想・考案・企画・計画・設計など, 人間の創造活動の機能概念とともに, 自然環境や社会環境にもたらす影響と相互作用といった人間の行為の形態や動的概念を含意している⁽³¹⁾。

表2 STEAM実践のアプローチ別の分類
(出典 Liao, 2019, p.48 Table 3.3)⁽³⁾

カリキュラムアプローチ	カテゴリー
知識の共有	H
デザイン基盤型STEAM教育	C-2
分野連携的・分野包括的協働	Y, Z-1, Z-2, Z-3
美術を統合したアプローチ	B-1, C, G, G-1
プロジェクト基盤型学習	B-2, E, F
メーカー・ムーブメント型アプローチ	I
美術家と美術教育への焦点化	A, B

表3 STEAM教育実践タイプ別の分類カテゴリー
(出典 Liao, 2019, p.47 Table 3.2)⁽³⁾

A	STEMまたは、STEM知識に基づく美術概念で形成された美術の創造
B	美術（STEM知識は、アートメイキング目標を達成する道具）を創造するためのSTEM知識の活用
B-1	美術・メディアとプロセスの活用と同時に、STEM知識も獲得する美術の創造
B-2	STEMに関連した問題や諸問題について教育・啓発するための、STEM知識に関連した美術の創造
C	創造的な方法に基づく美術の創造と、探究・学習したSTEM知識の表現
C-2	STEAMスキル・知識を学ぶ方法におけるデザインプロセス（デザイン思考）の学習

表3 (続き) STEAM教育実践タイプ別の分類カテゴリー
(出典 Liao, 2019, p.47 Table 3.2)⁽³⁾

E	STEM（プロジェクト）を創造する美術とデザインスキル、STEM知識の活用
F	美術とSTEM内容の両方を学ぶとともに、現実世界での活用を由来とするプロジェクトの創造
G	STEM内容の学習、理解、表現、説明のための美術の創造
G-1	STEMスキル・知識・内容を学ぶ美術技法の活用と、美術メディアの探究
G-2	STEM内容・データの視覚化を表現する美術の活用
H	美術とSTEMの両方に共通した知識・スキルに関するスキル・概念の学習
I	（メーカースペース環境における）STEM・STEAMプロジェクトを創造する実践活動の実施
Y	STEM関連の議論されるべき問題点（issues）の強調・解決に必要な美術創造のために、STEMに携わる人々との協働
Z-1	STEM内容・知識を包含した美術を創造する（教授する）アーティストとの協働、あるいは、STEMと美術の両方を学ぶ美術の創造に必要な、諸分野連携的協働
Z-2	分野連携的学習または、協働に基づくトピック・テーマ・概念の探究
Z-3	分野包括的協働に基づく問題解決

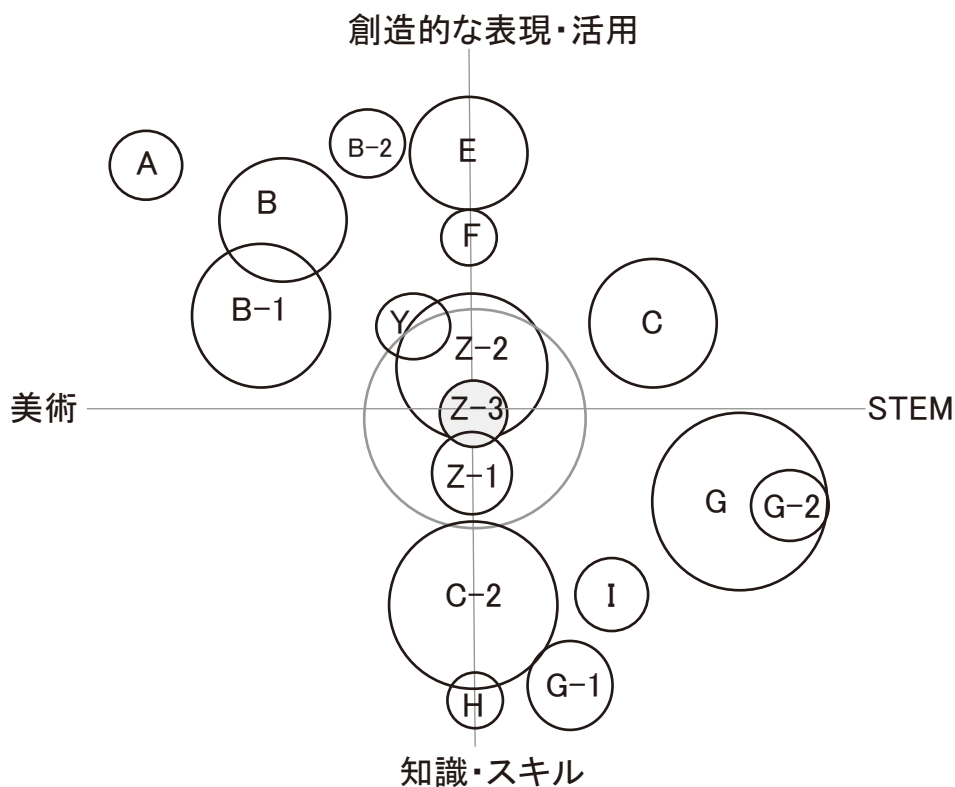


図2 STEAMマップ (出典 Liao, 2019, p.48 Fig. 3.1)⁽³⁾

Liao(p.38)⁽³³⁾は、artに音楽 (music)、演劇 (drama/theater)、舞踊 (dance) は含めずに分析しているため、本小論ではLiaoが分析したartを「美術」と仮訳した (英語はすべて仮訳)。表2、表3及び図2のカテゴリー記号 (図表中の凡例) は、すべて共通である。Liaoは、分析に先立ち、STEAM教育アプローチを5類型に分類している。

第1は、「STEAMカリキュラムアプローチ」である。STEAMを構成するS、T、E、A、Mの各カリキュラムを基軸としたアプローチである。

第2は、「デザイン教育基盤型STEAMアプローチ」である。「デザイン思考」と「創造的な問題解決過程」を鍵語とし、多分野、分野連携的、分野包括的なアプローチの事例を紹介している。

第3は、「協働型のSTEAMアプローチ」である。Liao⁽³³⁾は、このタイプに属する実践として、STEAM教育の提唱者であるYakman(2006)⁽³²⁾、同(2008)⁽³³⁾の事例を紹介している。Liaoは、Yakmanの先行研究において、美術のみならず、リベラルアーツなどの広範な各種アーツ分野を担当する教員の継続的専門職能発達 (Continuous Professional Development, CPD) の体制と条件整備の具体的な提案がなされていないと指摘している。さらに、STEAM教育を担当する教員の負担が加重することへの懸念とともに、STEAMカリキュラムの具体的な編成論が不明瞭であると述べている。

第4は、「美術統合による (Through Arts Integration) STEAMアプローチ」である。Liaoの文献からは、美術教科担当教員による統合であるか、他教科との協働による指導体制であるのか、指導体制やCPDに関する明確な記述が見られなかったために、不明である。同アプローチは、主に美術教科に焦点化するために、実践しやすい反面、STEAM関連教科のS、T、E、Mとの関係性の強化や、「エンジニアリング・デザインによる合目的化 (aesthetics of designing a prosthetic)」の懸念について、他研究者による先行文献の同様のレビューを紹介しながら指摘していた。我が国の学校教育では、美術教育にエンジニアリング・デザイン教育を導入することで、行き過ぎた合目的かつ大人目線の問題解決過程になり、審美性表現力と創造力育成のねらいが不明瞭になりやすいという懸念は、従来から指摘されてきた。

美術教育は、絵画や造形等の審美性と造形表現力、創造力、感性の表現等をねらいとしているのに対して、エンジニアリング・デザイン教育は、人間の欲求やニーズに基づく合目的かつ、費用対効果、設計・製作期間、社会や環境等に対する影響等の各種制約条件の下で、最適解を求める問題解決方略の育成であり、各々の学術分野の領域固有性が認められる。このため、国内外の美術教育関係者の中には、エンジニアリング教育や技術教育は、実用的な問題解決方略と、社会からの要求や安全性等の制約条件により、機能と構造を考案するために、学習者の思いや願い、発想を制限しているとの批判がある。一方、Society5.0を実現するためには、従来の「美学」と「実学」の二項対立的な確執を超えて、両学術分野の特性を生かし、相互架橋と協調により、AI等の技術を賢く活用するための人間力の拡張と、人間の主体性と審美性を発揮し、新たな価値を創造する包括的 (transdisciplinary) 教育が必要である。

第5は、「プロジェクト (基盤型) 学習とメーカームーブメントを通したSTEAMアプローチ (Approaching STEAM Through Project-Based Learning and the Maker Movement)」である。「メーカームーブメント」は、米国の起業家のAnderson(2012)が提案した⁽³⁴⁾。Andersonは、メーカームーブメントの特徴として、以下の三つの特徴があると述べている (p.32)⁽³⁴⁾。第1は、デスクトップのデジタル工作機械を使って、モノをデザインし、試作することである [デジタルDIY (Do It Yourself)]。第2は、それらのデザインをオンラインのコミュニティで当たり前に共有し、仲間と協力することである。第3は、デザインファイルが標準化されたことである。誰でも自分のデザインを製造業者に送り、欲しい数だけ作ってもらうことができる。また自宅でも、家庭用のツールで手軽に製造できる。これが、発案から起業への道のりを劇的に縮めた。まさに、ソフトウェア、情報、コンテンツの分野でウェブが果たしたのと同じことがここで起きていると、3点の特徴を述べている。Andersonは、ウェブによる地球上のあらゆるガレージのオンライン化による、デジタル製造の潮流のトレンドを、「第三の産業革命」と称している。

Liaoは、第5の「プロジェクト (基盤型) 学習とメーカームーブメントを通したSTEAMアプローチ」に関して、美術がしばしばSTEMの「道具/媒体 (tool/medium)」として使用されたり、美術が装飾のように扱われていたりしている事例があり、懸念を示した。同様の指摘をした複数の他研究者による先行研究レビューを、数例紹介している。また、メーカームーブメントについて、電化製品やロボットのような男性の興味が優先するために、概念の表現や文化の関係性が弱いことを指摘した先行研究レビューを掲載している。

図2に示したように、最も円の大きい「Gタイプ」は、STEM内容の学習、理解、表現、説明のための美術の創造であった。2番目に大きな「C-2タイプ」の円は、STEAMスキル・知識を学ぶ方法におけるデザインプロセス (デザイン方略) の学習であった。3番目に大きな「B-1タイプ」の円は、美術・メディアとプロセスの活用と同時に、STEM知識も獲得する美術の創造であった。「デザインプロセス (方略)」と「創造表現」が鍵語である。

5 総合考察及び結論

本小論では、豊かな創造性を備えSociety5.0の実現の創り手を育成する日本発STEAM教育を推進するために、実社会における問題を教科横断的に学習課題化し、解決方略の基盤を支える「Engineering (Computingを含む)」及び「Design」概念と、他学術分野との関係性に着眼した。次に、日本発STEAM教育を支える担当教員のチーム力と、教員の継続的専門職能発達の要件を探究するために、Vasquezら(2013)⁽¹⁾が示した三つの統合の水準〔表1；胸組、2019(訳)⁽²⁾〕に着目し、Liao(2019)⁽³⁾が提案した幼稚園から第12学年を対象にしたSTEAM教育の各種実践を分類し体系化したマップについて、比較教育学的観点から検討することを研究目的とした。

本稿では、第1点に、STEAM教育を担当する学校教員の専門性と、カリキュラム・マネジメントを充実させる各教員の協働体制の要件、第2点に、「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の要件の2点に焦点化して総合考察と結論について述べる。

第1点に関して、Vasquezら⁽¹⁾の主としてミドルスクール（第3～8学年）段階でのSTEM教育の理論と実践では、科学、技術、数学のSTEM系教科だけではなく、社会、英語、美術、体育といった各教科担当教員の協働によるカリキュラムのデザインであった。したがって、STEM教育を越境して、アーツを盛り込んだSTEAM教育であることが明らかになった。また、Vasquezら⁽¹⁾は、各教科の専門性を活かしたカリキュラム・マネジメントによる協働性を強調していた。さらに、Liao⁽³⁾は、Yakman^{(32), (33)}が提案したようなリベラルアーツをはじめ各種アーツを、教科の専門性を持たない教員や、一部の限られた学校教員が幅広く担当することは、教員の負担過重になり、各教科内容は社会の変化や技術の急激な進化に絶えず対応することは難しいと述べていた。Vasquezら⁽¹⁾とLiao⁽³⁾に共通していることは、各教科の専門性を基盤とした、STEAM関連教科の協働によるカリキュラム・マネジメントの重要性である。

筆者らは、先行研究^{(4), (5), (7)～(16)}などにおいて、日本発STEAM教育では、時代への変化や技術革新に対応した各教科の実践的指導力と、小学校高学年からの小・中学校教科担任制を基盤として、他教科等とのカリキュラム・マネジメント力を図るための、継続的な専門職能発達 (Continuous Professional Development) 研修の重要性を指摘してきた。

2019年12月26日に、中央教育審議会初等中等教育分科会から公表された「新しい時代の初等中等教育の在り方 論点取りまとめ」⁽⁶⁾では、小・中学校の連携による小学校から中学校への円滑な接続など、義務教育9年間を見通した指導体制の整備に向けて、小学校高学年の児童の発達の段階、外国語教育をはじめとした教育内容の専門性の向上などを踏まえ、令和4年度を目途に小学校高学年からの教科担任制の本格的な導入を提言した。我が国のみならず、海外においても、小学校段階では学級担任制を導入する事例が多いため、小学校高学年段階（ミドルスクール段階）における各教科担任の協働 (collaboration) が基盤となったSTEAM教育実践による学習やカリキュラム評価に関する実証研究は少ない。イングランドの小学校では、学年が進行すると、各教科の指導は、学級担任制から教科担任制や当該教科に専門性を有する教員がカリキュラム・コーディネータとして学級担任を支援する体制が増加している⁽⁹⁾。

筆者らは、先行研究^{(35), (36)}で、小学校高学年からの教科担任制を導入し、免許外教員解消と、小中学校の各教科等における「多分野的 (Multidisciplinary)」、「分野連携的 (Interdisciplinary)」を推進して、社会の著しい変化と技術の急速な進化に対応したCPDの条件整備を図るために、学級担任や同一学年の教員チームが担当する「総合的な学習の時間」から、各教科担任間のカリキュラム・マネジメントとチーム学校を基盤とした「総合的学習」の充実を提案した。Vasquezら⁽¹⁾実践においても、STEAM教育の推進に、各教科担任が協働したSTEAM関連教科チーム力が極めて重要であることを、本研究の第1の結論とする。

次に、第2点に関して、Wiggins & McTighe⁽³⁰⁾は、「重大な観念 (big idea)」と、「永続的理解 (enduring understandings)」が、社会における様々な場面に転移し、活用できる学習テーマの要件として重要であることを述べている。長洲(2018: p.19)⁽³⁷⁾は、観念 (ideas) と概念 (concepts) との違いについて、観念は、子どもがそれまでの生活経験に基づいて子ども自身が規定したそれぞれの「考え方 (ideas)」の中で、将来に科学の基礎概念 (concepts) に繋がる核となる考え方 (Core Ideas) を基に、科学者の行う (或いは模擬的) 実験や実習により、科学概念 (Scientific Concepts) に洗練していく学習の捉え方に変換、転換するという意味であることを指摘している。このため、NGSS(2013)⁽³⁸⁾、Common Core State StandardsのMathematics⁽³⁹⁾とEnglish Language Arts⁽⁴⁰⁾とともに、「プラクティシズ (見方・考え方を働かせた実践活動)」を重視している。表2で述べたように、我が国における今次の学習指導要領では、各教科等の見方・考え方を働かせた主体的・対話的で深い学びが重視されている。

日本産業技術教育学会(2012)⁽⁴¹⁾は、重大な観念に相当する内容構成として、内容知と、方法知 (技術的課題解決方略知) を提案している。同文献⁽⁴¹⁾と、2006年～2008年度文部科学省研究開発学校の東京都大田区立矢口小・安方中・

蒲田中学校と、2009～2012年度同新潟県三条市立長沢小・荒沢小・下田中学校の小・中学校を一貫した技術教育課程開発の実践成果に基づき、磯部・山崎(2013)⁽⁴²⁾は、幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育課程基準を提案している。「多分野的 (Multidisciplinary)」、 「分野連携的 (Interdisciplinary)」、 「分野包括的 (Transdisciplinary)」な STEAM教育を推進するために、磯部・山崎⁽⁴²⁾が報告した、教育目標 1 (材料と加工, 生物育成, エネルギー変換, 情報の各技術内容), 教育目標 2-1 (技術的課題解決方略), 教育目標 2-2 (技術ガバナンスと技術イノベーション) を連携鍵としたSTEAM関連教科のカリキュラム・マネジメントが有効であると考えている。

第 2 点に関する提案として、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⁽⁴³⁾として扱うことが考えられる。文部科学省 Web pageにおいて、教育現場におけるSDGsの達成における取組好事例集として、江東区立八名川小学校「ジャパンSDGsアワード特別賞を受賞した八名川流SDGsの推進」、名古屋国際中学校・高等学校「Sustainability in Action! で未来を拓くソーシャル・アントレプレナーの育成」など、小・中学校と高等学校の好事例が紹介されている⁽⁴⁴⁾。2017 年告示小学校学習指導要領解説 総則編⁽⁴⁵⁾及び、同年告示中学校学習指導要領総則編⁽⁴⁶⁾では、「付録 6：現代的な諸課題に関する教科等横断的な教育内容についての参考資料」が示されている。同参考資料で示されたテーマは、SDGs 実現のための17の国際目標と密接に関連している。

今後の課題としては、本小論第 1 節で述べたように、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研究が少ない^{(4)・(5)}。小・中・高校の各校種と、STEAM関連教科間の連携による実践研究と実証が必要である。

謝辞

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) Liao, Christine: Chapter 3 Creating a STEAM Map: A Content Analysis of Visual Art Practices in STEAM Education, pp.37-55, In Khine, Swe Myint and Areepattamannil Shaljan (Eds.), STEAM Education – Theory and Practice, Springer (2019)
- (4) 山崎貞登：STEM, STEAM, Engineering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)
- (5) 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 (基盤研究(C)) 第 3 年次(最終年次)報告書 (2018) <http://hdl.handle.net/10513/00007427>
- (6) 中央教育審議会初等中等教育分科会：新しい時代の初等中等教育の在り方 論点取りまとめ (2019年12月) https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo4/houkoku/1382996_00003.htm
- (7) 大森康正・磯部征尊・寒川達也・山崎貞登：2014年実施のイングランドのナショナルカリキュラム「Design and Technology」と「Computing」の改訂に対するSTEM教育運動の影響，日本産業技術教育学会誌，第56巻，第 4 号，pp.239-250 (2014)
- (8) 磯部征尊・山崎貞登：Design and TechnologyからのイングランドSTEM教育の現状と課題，科学教育研究，第39巻，第 2 号，pp.86-93 (2015)
- (9) 森山潤・菊地章・山崎貞登 (編著)，兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究所共同研究プロジェクト(P)研究グループ (著)：『イノベーション力を育成する技術・情報教育の展望 (所収)』，ジァース教育新社 (2016)
- (10) 山崎貞登・大森康正・磯部征尊：イノベーション型学習能力を育むSTEM/STEAM教育からの小学校国語・社会・理科教科書の教材解釈，上越教育大学研究紀要，第36巻，第 1 号，pp.203-215 (2016)
- (11) 山崎貞登 (研究代表者)：防災・エネルギー・リスク評価リテラシー育成の科学・技術連携カリキュラムの開発 (課題番号 25350240)，平成25年度～27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 (2015) <http://hdl.handle.net/10513/00007426>
- (12) 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 (基盤研究(C)) 第 1 年次報告書 (2018) <http://hdl.handle.net/10513/00007428>
- (13) 前掲書(12)の第 2 年次報告書 (2019) <http://hdl.handle.net/10513/00007929>

- (14) 山崎貞登・岡島佑介・東原貴志・大森康正・黎 子椰・磯部征尊・山崎恭平：STEM/STEAM教育からの小・中・高等学校を一貫した技術ガバナンス力と技術イノベーション力の学習到達水準表の改善，上越教育大学研究紀要，第39巻，第1号，pp.193-203（2019）
- (15) 川原田康文・松田 孝・磯部征尊・上野朝大・大森康正・山崎貞登：Society5.0に必要な資質・能力を育成する小学校段階におけるSTEAM/STREAM教科の教育課程の参照基準，上越教育大学研究紀要，第39巻，第2号，pp.539-553（2019）
- (16) 山崎貞登・松田 孝・二宮裕之・久保田善彦・磯部征尊・川原田康文・大森康正・上野朝大：Society5.0を支えるSTEAM/STREAM教育の推進に向けた小学校教育課程の教科等構成の在り方と学習指導形態，上越教育大学研究紀要，第39巻，第2号，pp.525-538（2020）
- (17) 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>
- (18) 大橋秀雄：『これからの技術者－世界に羽ばたくプロを目指して－』, オーム社 (2005)
- (19) 上野晴樹：まえがき，pp.4-5, 社団法人日本工学アカデミー エンジニアリングと社会（E & P）作業部会報告：「エンジニアリングと社会的責任－エンジニアと社会との相互理解の促進のために－（所収）」(2006) https://www.eaj.or.jp/en/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/engineering_shakai.pdf
- (20) 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>
- (21) The Royal Academy of Engineering: Shut down or reset? The way forward for Computing in U.K. school. The Royal Society (2002) <https://royalsociety.org/~media/education/computing-in-schools/2012-01-12-computing-in-schools.pdf>
- (22) Computing At School: Developing computing thinking in the classroom: a framework (2014) <https://community.computingatschool.org.uk/resources/252/single>
- (23) Computing At School: Computational Thinking: A guide for teachers (2015) <https://community.computingatschool.org.uk/resources/2324/single>
- (24) Watson J. Garth: The Civils -The story of the Institution of Civil Engineers-, Thomas Telford, U.K. ISBN 0 7277 03927 (1988)
- (25) 武上真理子：シヴィル・エンジニアリングの語と概念の翻訳－「市民の技術」とは何か？，pp.217-251, 石川禎浩・狭間直樹編：近代東アジアにおける翻訳機能の展開（所収）(2013)
- (26) 山本貴光：『「百学連環」を読む』, 三省堂 (2016)
- (27) 飯田賢一：『一語の辞典 技術』, 三省堂 (1995)
- (28) 佐藤 学：リテラシーの概念とその再定義，教育学研究，第70巻，第3号，pp.2-11（2003）
- (29) Committee on Standards for K-12 Engineering Education, National Academy of Engineering: Standards for K-12 Engineering Education?, the National Academic Press (2010)
- (30) Wiggins Grant & McTighe Jay: Understanding by Design Expand 2nd Edition, Pearson (2006), 西岡加名恵（訳）：『理解をもたすカリキュラム設計－逆向き設計の理論と方法』, 日本標準 (2012)
- (31) 吉田武夫：『デザイン方法論の試み [初期デザイン方法を読む]』, 東海大学出版会 (1996)
- (32) Yakman, G. Yakman: STEM Pedagogical Commons for Contextual Learning: How Fever Teaching Divisions Can Provide More Relevant Learning Connections, Paper written for Virginia Tech STEM Education Pedagogy including the first appearance of the STEAM Pyramid (2006) <https://steamedu.com/research/>
- (33) Yakman, G. Georgette: STEAM Education an overview of creating a model of integrative education, Pupils Attitude Toward Technology, 2008 Annual Proceedings (2008) <https://steamedu.com/research/>
- (34) Anderson, Chris (著), 関美和（訳）：『MAKERS 21世紀の産業革命が始まる』, NHK出版 (2012)
- (35) 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（2017）
- (36) 山崎貞登・尾崎裕介・大森康正・川原田康文・上野朝大・磯部征尊：小学校技術・情報科におけるプログラミング学習の実施と専科担任制度の導入の提案，上越教育大学研究紀要，第38巻，第1号，pp.121-134（2018）
- (37) 長洲南海男（研究代表者）：教科と内容構成新ビジョンの解明－米国・欧州STEM・リテラシー教育との比較より（課題番号15H034493），平成27年度～平成29年度科学研究費補助金（基盤研究(B)）最終報告書（2018）
http://member.tokoha-u.ac.jp/STEM/wp-content/uploads/2018/04/STEM_Final_Report.pdf
- (38) NGSS Lead States: Next Generation Science Standards, Vol.2, the National Academies Press (2013)
- (39) <http://www.corestandards.org/Math/>
- (40) <http://www.corestandards.org/ELA-Literacy/>
- (41) 日本産業技術教育学会：21世紀の技術教育，日本産業技術教育学会誌，第54巻，第4号別冊，pp.1-7（2012）
- (42) 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-

343 (2013)

- (43) 外務省：「持続可能な開発目標」(SDGs) について (2019年1月)
https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/about_sdgs_summary.pdf
 - (44) 文部科学省：教育現場におけるSDGsの達成に資する取組 好事例集
https://www.mext.go.jp/unesco/sdgs_koujireisyu_education/index.htm
 - (45) 文部科学省：『小学校学習指導要領（平成29年告示）解説 総則編』，東洋館出版社（2018a）
 - (46) 文部科学省：『中学校学習指導要領（平成29年告示）解説 総則編』，東山書房（2018b）
- ※インターネット情報の最終アクセス日は，2020年1月16日

The Relation between Engineering, Design and Multidisciplinary Areas in Japan-oriented STEAM Education and Continuing Professional Development Conditions Maintained

Sadato YAMAZAKI* · Masataka ISOBE**

ABSTRACT

The paper reported the relation between engineering (as a basis for resolution), design and multidisciplinary areas to promote Japan-oriented STEAM education which develops human resources with full creativity toward Society 5.0. This study' purpose was to investigate three integrated standards (Vasquez et al., 2013) and a map of each discipline from Kindergarten to 12th grade in STEAM education (Liao, 2019) to explore from comparative pedagogy perspective team capability, and Continuing Professional Development bases for STEAM education.

The results clarify the collaborative capability of the team with each subject teacher in charge to promote STEAM education. This study proposed to use 17 international goals toward SDGs as learning themes which meet the conditions of each integrated standard multidisciplinary, interdisciplinary and transdisciplinary in Japan-oriented STEAM education.

* Natural and Living Science ** Aichi University of Education