
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)研究成果報告書

2020(令和2)年2月

研究代表者 山崎 貞 登

(上越教育大学 大学院学校教育研究科教授)

本研究題目は、「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」である。本報告書 PDF ファイルは、上越教育大学レポジトリの「050 報告書」の下位「051 科研費報告書」フォルダーで公開予定である。上越教育大学レポジトリの URL は、下記である。

<https://juen.repo.nii.ac.jp/>

本研究題目の1年次報告書は、2020年1月21日現在、6586件のダウンロード数である。1年次報告書は、以下の URL からアクセス可能である。

<http://hdl.handle.net/10513/00007428>

本研究題目の2年次報告書は、以下の URL からアクセス可能である。

<http://hdl.handle.net/10513/00007929>

本科研の研究代表者の山崎貞登が1992年に上越教育大学へ着任後、研究代表者として科学研究費（科研）で採択された、他の研究成果報告書の大部分は、前述した上越教育大学レポジトリで公開中である。

本研究成果報告書は、計7章構成である。巻末に、技術・情報教育関係者以外の関係者が読みやすいように、「用語解説集」を掲載した。

第1章のタイトルは、「STEM 教育、STEAM 教育と、コンピューティング教育、プログラミング教育との関連（執筆者：山崎貞登・磯部征尊氏）」である。本研究の最終年次報告書は、同1年次、同2年次報告書と同様に、国立大学法人附属小学校と同附属中学校全校、各都道府県、政令指定都市、中核市教育センター等に郵送で献本している。限られた研究費の中、約450部の郵送料節約のために、原稿の1頁文字数と行数が、通常原稿よりも大幅に多い。そのため、読みにくい報告書になっていることを深くお詫び申し上げる。冊子体献本を希望する関係機関、関係者が例年多いたために、PDF ファイルによるインターネット公開とともに、冊子体を作成した。これまでにいただいたご意見として、我が国では、STEM 教育や STEAM 教育に関する平易な解説書が極めて少ないという意見を、学校関係者のみならず、行政、民間企業、NPO 法人、市民関係者から多数寄せられている。また、いわゆるプログラミング教育や「プログラミング的思考」と、STEAM 教育との関連について、わかりやすく解説した著書や資料があまり見られないといった意見を多数いただいた。さらに、テクノロジーとエンジニアリングの違いと関係性、デザインの意味がわからない、STEAM 教育では、art, arts, the art が混在し、どのような違いがあるのか、Society5.0 を実現するために、なぜ STEAM 教育が注目されているのか等といった質問が多い。そこで、筆者らが現在、学会誌に投稿中の学術論文の内容を中心に、従来の先行研究知見を加えて、平易な文章と内容構成に書き改め、再構成した。

第2章、第3章、第4章の執筆者は、本科研費の支援を受けて、2019年8月23日に宇都宮大学峰キャンパスで開催された日本科学教育学会課題研究「コンピューティング教育を充実させるための小学校段階の教科等構成の在り方—東京都小金井市立前原小学校と茨城県つくば市プログラミング学習の先導的実践事例から—」の登壇者である。

第2章のタイトルは、「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(松田 孝氏)」である。松田氏は、前原小学校の前校長で、2019年4月から(同) MATSUDA Incredible Lab 代表である。2018年11月に文部科学省から公表された「小学校プログラミング教育の手引(第二版)」の特にC分類の扱いについて、注目していただけると幸いである。第2章を読解する前に、巻末の用語解説集の「コンピューティング」を事前にお読みいただければ、誠に幸甚である。難波(2017:p.78)が指摘するように、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、状況との対話、試行錯誤(ティンカリング)、発想や問題解決の方略をデザインするデザイン思考を駆使する場面が多い。松田氏は、「ティンカリング」を、現代の砂場遊びと称している。前原小学校には、デザイン思考を育む原体験の場がある。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、発想を豊かにして、論理的、創造的なデザイン思考を高まる。前原小学校は、

プログラミング活動に限定せずに、デジタルリテラシーやコンピュータ科学の基礎・基本を学び、先端技術の活用に対する興味を誘うカリキュラム・マネジメントを、校長のリーダーシップにより、学校全体で取り組んでいる。

第3章のタイトルは、「算数・数学科におけるコンピュータ利用とプログラミングの教育（二宮裕之氏）」である。二宮氏からは、算数数学教育の立場から、プログラミング教育の目的・目標論について、論じていただいた。

第4章のタイトルは、「小学校理科におけるプログラミング教育とカリキュラム・マネジメント：つくば市の事例から（久保田善彦氏）」である。久保田氏は、赤堀侃司東京工業大学名誉教授とともに、つくば市教育局総合教育研究所と密接に協働して、みどりの学園義務教育学校の先導的実践を支えているとともに、つくば市内全小・中学校のプログラミング教育の総括指導を継続的に行っている。理論と実践の詳細については、赤堀氏・久保田氏が監修された『これならできる小学校教科でのプログラミング教育』、東京書籍（2018）等を参照いただきたい。なお、本科研を取り組むにあたり、つくば市立みどりの学園義務教育学校毛利 靖校長、つくば市教育局総合研究所板谷亜由美所長、中村めぐみ指導主事からは、2019年4月19日の同校授業参観をはじめ、本研究の遂行に多大なご支援ご協力をいただいたので、謝意を表す。

第5章のタイトルは、「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（川原田康文氏）」である。川原田氏からは、本科研の中核となる実践研究を、2017年から3年間にわたって実施し、第1年次および第2年次報告書において、実践研究論文を執筆いただいている。本科研の報告書のアクセス数が多いのは、全国各地の小学校においては、川原田氏が中核となって進めている相模女子大学のプログラミング教育への関心が高いためである。

第6章のタイトルは、「情報活用能力に関する評価基準表と、プログラミング教育の年間指導計画の提案（磯部征尊氏・上野朝大氏）」である。第6章では、磯部氏が本科研成果に基づき、2020年1月に刊行した『必須化！小学校のプログラミング学習 成功する全体計画&授業づくり』の一部を再構成した上で、紹介している。

第7章は、本研究代表者執筆で、「総括」である。7.1では、2000年に米国に本拠をおく、国際技術・エンジニア教育者学会が作成した、「米国の幼稚園から第12学年のための技術教育（デザインと技術教育、情報技術教育、エンジニアリング教育を含む）内容標準」とともに、同生徒評価、教員の専門的職能発達、プログラムの各標準を紹介した。7.2では、筆者らが2000年代から取り組んでいる、他国からの移入ではなく、我が国の伝統と文化に根ざした「日本型(Japan Oriented)」の幼稚園から第12学年のための技術教育（デザインと技術教育、情報技術教育、エンジニアリング教育を含む）内容標準」と、教科内容学体系構築に向けた成果をとりまとめた。7.3では、言語能力、情報活用能力、問題解決能力、STEAMリテラシーを考慮した学習評価の必要性について言及した。

本研究は、幾多の課題を残していることは言うまでもない。本研究報告書及び本成果PDFファイルのURLを広く公開して、読者諸賢の厳しい批評を仰ぐ次第である。この報告書に対する連絡先は、以下の通りである。

〒943-8512 新潟県上越市山屋敷町1番地 上越教育大学

大学院学校教育研究科自然・生活教育学系 山崎 貞登
電話&FAX: 025-521-3406 E-mail: yamazaki@juen.ac.jp

2020年1月吉日

研究代表者 山崎 貞登

目次

I 研究題目	1
II 研究組織	1
III 研究経費	1
IV 研究発表	1
第1章 STEM教育, STEAM教育と, コンピューティング教育, プログラミング教育との関連 (山崎貞登・磯部征尊)	
1.1 目的	4
1.2 STEM教育とは	4
1.3 エンジニアリング教育とは	5
1.4 Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematicsの各々の関係性	5
1.5 第二次STEM教育運動の隆盛とその要因	7
1.6 社会構成主義学習論, 認知心理学, 学習科学の進歩と, STEM教育におけるキャリア教育と市民性教育の重視	8
1.7 教科内容, 教員の継続的専門職能発達, 生徒のパフォーマンス評価等が連動した米国の各教科標準	9
1.8 Vasquezら(2013)が提案したSTEMカリキュラム単元デザインの三つの統合アプローチ	9
1.9 STEAM教育の系譜	12
1.10 美術(審美表現)に着眼したSTEAM教育の分類	13
1.11 日本型STEAM教育の提案	15
1.12 総合考察と結論	15
第2章 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 (松田 孝)	
2.1 プログラミング教育必修化をめぐってー学習指導要領, 学習指導要領解説, 「小学校プログラミング教育の手引(第一版)」と「小学校プログラミング教育の手引(第二版)」	20
2.2 小金井市立前原小学校のプログラミング授業の取り組み	22
2.3 小金井市立前原小学校のプログラミング授業体系	22
2.4 CutleryAppsでの実践	23
2.5 テキスト型言語-IchigoJamBASICでのプログラミング	24
2.6 中学校, 高等学校との接続	25
2.7 フィジカルコンピューティング	25
2.8 総合的な学習の時間におけるプログラミング学習のあり方ー新しい探究の過程	26
2.9 コンピューティング教育の充実を見据えた教科等の構成の在り方	27

第3章 算数・数学科におけるコンピュータ利用とプログラミングの教育（二宮裕之）	
3.1 コンピュータはもともと「計算機」	30
3.2 数学科におけるコンピュータ利用	30
3.3 高等学校数学科におけるプログラミング教育	30
3.4 CAI, CAL, CALessonなどの実践研究	31
3.5 プログラミング教育の展望	31
第4章 小学校理科におけるプログラミング教育とカリキュラム・マネジメント： つくば市の事例から（久保田善彦）	
4.1 学習指導要領解説【理科編】におけるプログラミングと制御	33
4.2 理科におけるプログラミング実践：つくば市の実践から	33
4.3 プログラミング教育とカリキュラム・マネジメント	35
4.4 新たな展開	36
第5章 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（川原田康文）	
5.1 はじめに	37
5.1.1 相模女子大学小学部のプログラミング教育	37
5.1.2 教材を有効に活用するための自作テキスト	38
5.1.3 2019年度の実施状況	39
5.1.3.1 1・2年生のものづくりを中心とした内容	39
5.1.3.2 5年生のSDGsと関連させた内容	40
5.1.3.3 6年生の学習	40
5.2 まとめ	41
表2-1 WeDo2.0のカリキュラム表 入門プロジェクト・基礎プロジェクト （指導内容・指導項目・評価規準）	42
表2-2 カリキュラム表（理科の学習との関連 LEGOWeDo2.0 教師用ガイドより）	46
第6章 情報活用能力に関する評価基準表と、プログラミング教育の年間指導計画の提案 （磯部征尊・上野朝大）	
6.1 情報活用能力に関する評価基準表の提案	48
6.2 小学校6年間ににおける年間指導計画の提案	52
第7章 総括（山崎貞登）	
7.1 米国の幼稚園から第12学年のための「技術教育（デザインと技術教育，情報技術教育， エンジニアリング教育を含む）」の内容標準	56
7.2 日本型の幼稚園から高等学校を一貫した技術（情報技術を含む）内容標準	61
7.3 言語能力，情報活用能力，問題解決能力，STEAMリテラシーを考慮した学習評価の 必要性	74
用語解説集	77

I 研究題目

基盤研究(C) 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

II 研究組織

研究代表者・所属（専門分野）（役割分担）

山崎 貞登 上越教育大学・大学院学校教育研究科・教授（技術・情報教育学）
（総括）

研究分担者・所属（専門分野）（役割分担）

磯部 征尊 愛知教育大学・教育学部・准教授（技術・情報教育学）
（教育実践・授業研究からの小・中・高校を一貫した技術・情報教育課程基準の開発）

大森 康正 上越教育大学・大学院学校教育研究科・教授（知能情報学，教育工学，技術・情報教育学）（知能情報学，教育工学からの小・中・高校を一貫した技術・情報教育課程基準の開発）

研究協力者等・所属（専門分野）

松田 孝 合同株式会社 MAZDA Incredible Lab・代表（前東京都小金井市立前原小学校長）
（小学校生活科と総合的な学習の時間を中心とし，教育課程全体と教育課程外にわたるプログラミング教育実践）

二宮 裕之 埼玉大学教育学部数学科・教授（数学教育学）
（算数科におけるプログラミング教育実践）

久保田善彦 玉川大学教職大学院・教授（理科教育学）（理科におけるプログラム教育実践）

川原田康文 相模女子大学小学部・副校長（技術・情報教育学）（プログラミング教育実践）

上野 朝大 株式会社 CA Tech Kids・代表取締役社長（プログラミング教育実践）

III 研究経費

平成29年度 1,800千円 平成30年度 900千円 平成31年度 900千円

IV 研究発表（著者アルファベット順で掲載）

(1) 図書（関連研究を含む）

磯部征尊：『必須化！ 小学校プログラミング学習 成功する全体計画&授業づくり』，学芸未来社（2020）

松田 孝：『学校を変えた最強のプログラミング教育』，くもん出版（2020年2月28日刊行予定）

山崎貞登・岡島佑介・東原貴志・大森康正・黎 子椰・市村尚史・水野 頌之助・松田 孝・山崎恭平（分担執筆）：STEAM 教育からの Society5.0 で求められる「人間力」と技術科で育成する資質・能力との関係，国立大学法人上越教育大学 大学改革戦略会議「21世紀を生き抜くための能力+α」ワーキンググループ（編集）・上越教育大学（著）：『「思考力」を育てるー上越教育大学からの提言5ー（所収）』（印刷中）

(2) 学会誌等 (関連研究を含む)

< 紀要等 (査読無) >

磯部征尊・大森康正・岡島佑介・川原田康文・上野朝大・山崎恭平・山崎貞登：初等中等教育段階のコンピューティング／プログラミング教育の目標と学習到達水準に関する日米イングランドの比較研究，上越教育大学研究紀要，第 39 巻，第 1 号，pp.179-193 (2019 年 9 月)
<http://hdl.handle.net/10513/00008085> (2019 年 12 月 8 日最終閲覧)

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.195-206 (2019 年 9 月)
<http://hdl.handle.net/10513/00008086> (2019 年 12 月 8 日最終閲覧)

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 (印刷中)

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 (印刷中)

(3) 口頭発表 (関連研究を含む)

久保田幸彦：小学校理科におけるプログラミング教育とカリキュラム・マネジメント：つくば市の事例から，日本科学教育学会年会論文集 43, pp.81-84 シンポジウム・ワークショップ パネル (公募) 2019 年 08 月 23 日，日本科学教育学会，宇都宮大学峰キャンパス

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，日本科学教育学会年会論文集 43, pp.77-78 シンポジウム・ワークショップ パネル (公募) 2019 年 08 月 23 日，日本科学教育学会，宇都宮大学峰キャンパス

水野頌之助・山崎貞登・岡島佑介・磯部征尊生物育成の技術ガバナンスレビュー学習のカリキュラムデザイン，日本産業技術教育学会第 30 回北陸支部大会講演要旨集，p.18 口頭発表 (一般) 2019 年 11 月 16 日，日本産業技術教育学会北陸支部，新潟大学五十嵐キャンパス

二宮裕之：算数・数学科におけるコンピュータ利用とプログラミングの教育，日本科学教育学会年会論文集 43, pp.79-80 シンポジウム・ワークショップ パネル (公募) 2019 年 08 月 23 日，日本科学教育学会，宇都宮大学峰キャンパス

岡島佑介・市村尚史・水野頌之助・大森康正・山崎貞登：新採用大学教員の学校現場研修における教材研究の試行，(一社) 日本産業技術教育学会第 62 回全国大会 (静岡) 講演要旨集，p.110 口頭発表 (一般) 2019 年 08 月 25 日

岡島佑介・市村尚史・水野頌之助・大森康正・山崎貞登：新採用の大学教員の附属中学校における学校実習，(一社) 日本産業技術教育学会第 62 回全国大会 (静岡) 講演要旨集，p.111 口頭発表 (一般) 2019 年 08 月 25 日
山崎貞登：世界の教育から鳥瞰した前原小学校のコンピューティング／STEAM 教育の特徴，東京都小金井市立前原小学校が描く新しい「学び」の Perspective—総務省『次世代学校 ICT 環境』の整備に向けた実証』事業報告会口頭発表 (招待・特別) 2019 年 02 月 23 日

- 岡島佑介・市村尚史・水野頌之助・大森康正・山崎貞登：エネルギー変換の技術学習における「主体的に学習に取り組む態度」と「メタ認知力」の関連分析，日本産業技術教育学会第30回北陸支部大会講演要旨集，p.19 口頭発表（一般） 2019年11月16日，日本産業技術教育学会北陸支部 新潟大学五十嵐キャンパス
- 大江香織・江島徹郎・伊藤大輔・山崎貞登・磯部征尊：クラブ活動における小学校プログラミング教育の実践と評価，（一社）日本産業技術教育学会第62回全国大会（静岡）講演要旨集，p.2 口頭発表（一般） 2019年08月24日
- 山崎貞登：コンピューティング教育を充実させるための小学校段階の教科等の構成の在り方ー東京都小金井市立前原小学校と茨城県つくば市プログラミング学習の先導的実践事例からー，日本科学教育学会年会論文集43, pp.73-76 シンポジウム・ワークショップ パネル（公募） 2019年08月23日，日本科学教育学会，宇都宮大学峰キャンパス
- 山崎貞登・大森康正・川原田康文・上野朝大・磯部征尊：情報学分野の参照基準からの初等中等高等教育を一貫した情報科学技術教育の必要性，（一社）日本産業技術教育学会第62回全国大会（静岡）講演要旨集，p.65 口頭発表（一般） 2019年08月24日
- 山崎貞登・水野頌之助・東原貴志・岡島佑介・大森康正：STEAM教育からのゲノム編集技術をテーマとした技術分野のカリキュラムと学習評価の提案，（一社）日本産業技術教育学会第62回全国大会（静岡）講演要旨集，p.66 口頭発表（一般） 2019年08月24日
- 山崎貞登：STEAM, Engineering 教育概念の比較教育からの論点整理，（一社）日本産業技術教育学会技術教育分科会 2019年度研究発表会講演要旨集，pp.27-28，神戸市教育会館，2019年12月14日
- 山崎貞登：Engineering, STEM, STEAM の捉え方の整理 [招待有り]，（一社）日本産業技術教育学会第3回技術教育アイデアソン 2019 (Society5.0 時代を拓く次世代型技術教育の枠組み) 神戸市教育会館，2019年12月15日

第1章 STEM教育, STEAM教育と, コンピューティング教育, プログラミング教育との関連

上越教育大学大学院 山崎 貞登
愛知教育大学 磯部 征尊

1.1 目的

本章は, STEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics)教育, STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics)教育とは何かについて, 山崎(投稿中), 山崎・磯部(投稿中)の原著学術論文を主構成として, これまでの筆者らの先行研究[大森ら, 2014; 山崎, 2015, 磯部・山崎, 2015; 山崎, 2016; 森山ら(編著), 2016; 山崎ら, 2016; 山崎・磯部, 2016; 山崎ら, 2017; 山崎, 2018; 山崎, 2019; 山崎ら, 2019; 川原田ら(印刷中); 山崎ら, 2019]などの内容を盛り込み, STEM/STEAM 教育の専門外の読者に配慮して, 内容や文章表現を平易にするために再構成した解説である。

本章の目的は, STEM教育, STEAM教育と, 「**コンピューティング(巻末の用語解説集参照)**」, プログラミング教育との関連を, 「エンジニアリング」, 「デザイン思考, デザイン方略」, 「創造性」, 「モデリング(モデルづくりとモデル活用)(吉田, 1996 : p.126)」, 「システム思考」, 「人間力」を鍵語に解説することである。

中央教育審議会初等中等教育分科会(2019年12月)は, 「新しい時代の初等中等教育の在り方 論点まとめ」を公表した。「これからの学びを支える ICT や先端技術の効果的な活用について」とともに, 「教育課程の在り方について(論点)」の「II STEAM教育の推進」で, STEAM教育など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提供の実現が提案された。2019年6月には, 経済産業省「未来の教室」と EdTech 研究会第2次提言「EdTech の力で, 一人ひとりに最適な学びを STEAM の学びで, 一人ひとりが未来を作る当事者(ジェンメイカー)」に, 本稿の内容と深く関連している。さらに, 教育再生実行会議: 技術の進展に応じた教育の革新, 新時代に対応した高等学校改革について(第十一次提言)においては, Society5.0 で求められる力と教育の在り方として, STEAM教育の推進, 基礎的読解力や数学的思考力をはじめ, データサイエンス等に関する教育等も含めた基盤的な学力や情報活用能力の育成, 教育課程の不断の見直し, ICT 環境整備, AI 人材を担う人材育成を提言している。

本稿を読解する際には, 我が国において, 入手や Web で閲覧しやすい STEM 教育と STEAM 教育に関する邦文図書(出版中)と, Web 閲覧可能な学術論文と科研費報告書(2019年1月13日現在)として, 堀田(2011), 胸組(2019), 「Sousa and Pilecki (著), 胸組(訳)(2017)」, ヤング吉原・木島(2019), 熊野(2014), 長洲(2018)などがある。本稿の理解を容易にするために, ぜひ参照いただきたい。

本章で用いる技術は, テクノロジーを意味し, テクニック(技巧, 技量), スキル(技能)と使い分けている。また, discipline(学術分野)と subject(教科)とは, 同義でなく, 区別している。

1.2 STEM教育とは?

海外の STEM 教育では, 1957年~1980年代は第一次 STEM 教育, 1990年代からは第二次 STEM 教育と類型化して論議することが多い。第二次 STEM 教育の契機は, 高性能小型パーソナルコンピュータの進化と, インターネットの普及によるデジタル変革により, グローバル化と情報化が急加速し, 国際競争力が激化した影響が大きい(Banks & Barlex, 2014)。

米国では, 1957年, 旧ソ連による人類発の人工衛星「スプートニク1号」打ち上げの成功によって, スプートニク・ショックが引き起こされた。東西冷戦下, 人工衛星技術は, 国家の科学技術水準レベルを推し量る尺度と見なされていた。米国は, 直ちに危機感を募らせ, 英国をはじめとした西側諸国を巻き込み, 理数教育と科学技術教育のみならず, 社会科, 英語などに亘り, 国家の教育水準の向上を目指す改革運動に発展した。

1959年9月, 米国ケープ・コッドのウッズ・ホールに, National Academy of Science(全米科学アカデミー)の呼びかけにより, 34人の科学者, 教育者が集まって, 会議が行われた。米国の教育心理学者 Bruner が座長を務めた同会議議事録から, 1960年には「The Process of Education(教育の過程)」が刊行された[鈴木・佐藤(訳), 1963]。米国は, 従来の経験主義教育から, 学問の系統性を重視したカリキュラム開発と, 教育内容の現代化運動へと進む。しかし, 米国では, 1960年代末から1970年代初頭には, 過度に学問系統主義に傾斜した教授学習の批判が高まった。経験主義か, 学問系統主義かの二項対立的な議論への反省から, 両主義の融合や, 学習者を中心として, 学習者と, 自然科学・技術・社会との関わりや相互作用を重視する STS(Science, Technology and Society)教育に変容する。

第一次 STEM 教育改革については, 科学教育の立場から胸組(2019)と堀田(2011)が邦文で紹介している。なお, 第一次 STEM 教育期間では, STEM の略称を使った文書等は, 管見の限りほとんど見られないようである。

第二次 STEM 教育運動期の1990年代から, 米国議会図書館所蔵の科学技術教育関連文書では, SMET(Science, Mathematics, Engineering and Technology)が使われ始めるようになった。Watson D. Andrew and Watson H. Gregory (2013)によると, 2001年, アメリカ合衆国(米国) NSF (the National Science Foundation, 全米科学財団)の理事長補佐であった Ramaley A. Judith 女史は, 主に1990年代から使用されていた SMET の略称を, STEM に変更する提案をした。変更の経緯は, 胸組(2019)が邦文で紹介しているで, 参考にされたい。

1990年代からの米国の第二次 STEM 教育については, 技術教育とエンジニアリング教育の立場から, ITEA [(International Technology Education Association, 国際技術教育学会), 2011年から ITEEA (International Technology and Engineering Educators Association, 国際技術・エンジニアリング教育者学会)に組織改名](2000)の「Standards for technological literacy: Content for the study of technology (STL) (技術素養のための標準: 技術学習内容標準)」作成のための Technology for All American Project において, 指揮者(Director)を担った Dugger が報告している(Dugger, 2010a, 2010b, 2016)。

インターネットの普及に伴う情報化, グローバル化による社会の急激な変化への対応や, STEM discipline (学

術分野)系高等教育機関への進学者を増加させることや、STEM人材不足の解消をねらっている。米国では、1980年代までは、エンジニアリング教育は、主として高等教育機関が学習対象であった。しかし、第二次STEM教育では、(幼稚園)初等教育から高等教育までを一貫してエンジニアリング教育を導入する機運が高まった、米国の第二次STEM教育運動の系譜については、科学教育の視点から、堀田(2011)の邦文解説がある。1980年～2010年までの米国STEM学術分野に関連する各教科の「National Standards (国家標準)」作成・検討過程に関する年表がある(pp.12-14) [National Academy of Engineering(NAE), (全米エンジニアリングアカデミー), 2011]。また、1990年代から2015年までの第二次STEM教育改革については、Kelley & Knoles(2016)が紹介している。

1957年から2013年までのSTEM教育改革に関する年表は、Banks & Barlex(2014)が作成し、Howarth & Scott (2014)は英国STEM教育の系譜を解説している。英国STEM教育の動向について、科学教育の立場からは堀田(2011)らが報告し、技術・情報・エンジニアリング教育の立場からは、大森ら(2014)、磯部・山崎(2015)らの先行研究が見られる。グローバル化や情報化が進む中で、大幅に不足するSTEM分野に卓越した人(for excellent)を増やして、イノベーションによる新たな価値の創造を促進し、STEM素養(for all)の向上といった国際競争力の底上げを、政府主導で目指している。

1.3 エンジニアリング教育とは？

胸組(2019)はじめ、多くのSTEM, STEAM教育関係者から、国内外の同分野の実践や研究では、技術とエンジニアリング教育の区別や、相互の学術分野の固有性や相互関連性が不明瞭であることや、初等中等前期教育段階で、エンジニアリング教育を導入する教育的意義や必然性が不明瞭であるとの意見が多いため、最初に言及したい。

我が国では、エンジニアリング教育は、通常、工学教育と呼称される場合が多い。我が国の工学教育は、高専や短大・大学等といった高等教育機関を対象にした専門教育や職業教育であって、普通教育ではないという見解が多い。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(万人のための)とともに、for excellent(卓越した才能を伸ばさせる)ための初等、中等、高等教育段階を一貫した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、工学教育は高等教育を対象とした専門教育や職業教育と限定し、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, J. Garth (1988: p.6)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)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(武上, 2013: p.6)。しかし、1818年に創立された「土木工学会 The Institution of Civil Engineers(武上, 2013: 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(武上, 2013: 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(自然の力の大き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)。武上は、技術と訳したが、原典は mechanical art や fine art 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 を技術、Liberal Art を芸術と翻訳した当時の経緯の詳細等は、飯田(1995)と山本(2016)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。しかし、Technology と Liberal Art 概念の「内包(ある概念がもつ共通な性質)」と「外延(ある概念が適用される事物や範囲)」や、その邦訳を含め、時代とともに著しい変遷と共進化をしていることに留意する必要がある。

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(2013: pp.221-222)の論考がある。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(武上, 2013: p.222)。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芸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)。

1.4 Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics の各々の関係性

技術(テクノロジー)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。日本学術会議運営審議会附置新しい学術体系委員会(2003)は、「新しい学術の体系—社会のための学術と文理の融合」を提案した。同文書では、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)」であると提案している。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。

日本型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と思考方略などの学術分野包括的(transdisciplinary)な体系である。日本工学会元会長の大橋(2005)をはじめ、工学研究者の多くが指摘しているように、明治維新以後にイギリス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)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、テクニクとの区別が不明瞭である。

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、我が国の工学を「日本型エンジニアリング」と表記している。

次に、エンジニアリングと情報学術分野との関係について言及したい。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(巻末の用語解説集参照)」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。The Royal Academy of Engineering(2012)では、コンピューティングは、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。

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(The Royal Academy of Engineering, 2012)。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、別稿で論じたい。

「Computational Thinking(CT)(巻末の用語解説集参照)」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, 2012)。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, 2012)。

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(Computing At School, 2015)。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。**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。**

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、日本発の「日本型STEAM教育」と命名している。山崎(投稿中)、山崎・磯部(投稿中)が示したSTEAM教育の各学術分野の関係図を基に、一部加筆した図を示す(図1)。

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)。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)。

「目指す人間像」では、図1に示したように、SDGsと連動するSociety5.0の実現を支える人間である。技術、科学、数学、アーツを、エンジニアリングとデザイン思考を伴うデザイン方略で架橋し、論理的思考と創造的思考を駆使して、「イノベーション(巻末用語解説集参照)」を牽引し、技術のリスクを評価、選択、協働管理・運用できる「技術ガバナンス力(巻末用語解説集参照)」のある人間像の実現を目指す。先行き不透明かつ不確かで、技術革新が一層急激に進む社会では、認識科学、設計科学、ヒューマニズム間の協調効果と、「学(サイエンス)」と「術(アーツ)」の調和解が重視される。

日本型STEAM教育では、従来の手工・工芸的アプローチのみならず、エンジニアリングのシステム思考、デザイン思考とともに、SDGsによる人間尊重や「人間力(巻末用語解説集参照)」(市川編, 2003:pp.iv-v)が一層重視される。

「システム」は、目的達成のため、全体として一緒に機能し、相互作用、相互関係、相互依存する要素・部分の集合体をいう(ITEA, 2000/2002/2007: p.242)。「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様式をいう。

「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、価値規準や制約条件を明確にしながらか、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、創造的な問題解決方略(プロセス)に必要な思考様式をいう。

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(巻末用語解説集参照)」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、過程、機能、行為の形態の体系である。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。

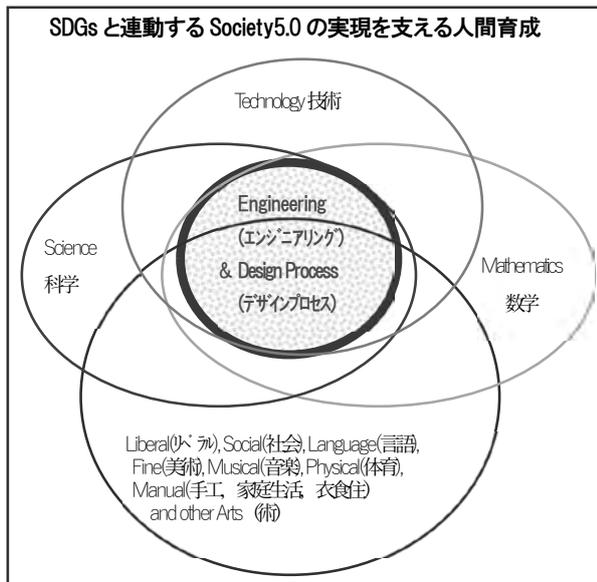


図1 STEAM教育の各 discipline(学術分野)の関係【出典：山崎(投稿中)，山崎・磯部(投稿中)を基に，加筆し再構成】

日本型 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。技術教育とエンジニアリング教育では、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

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、理論およびプロセスをいう[Wiggins Grant & McTighe(2006), 西岡(訳), 2012]。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(西岡, 2012: p.396)。

NAE(2010)の勧告を受けて、米国 NSTA(National Science Teachers Association: 全米科学教師連合学会)の元会長の Vasquez 女史ら(2013)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。Vasquez らがまとめた、4リテラシーは、以下である。

科学リテラシーは、NRC(National Research Council: 全米研究評議会)(2012)が提案した、(1) 鍵事実、概念、原理、法則、科学分野の理論の知識、(2) 科学分野を横断する前述(1)の観念(ideas)を架橋する能力、(3) エンジニアリングを活用した現実世界の問題を解決するために、科学を活用する能力であり、自然世界の知識を進化させる practices(見方・考え方を働かせた実践的問題解決活動)と思考方法に関するリテラシーである。NRC とは、全米科学アカデミー(National Academy of Sciences: 1863年設立)、全米エンジニアリングアカデミー(National Academy of Engineering: 1964年設立)、全米医学アカデミー(National Academy of Medicine: 1970年設立)の実働組織である。

なお、我が国の学習指導要領は、公教育としての各学校における教育水準の質保証等のために、法的拘束力があり、国の教育課程の基準である。一方、米国では、各州あるいは各学区で、各学校基盤型の教育課程編成(School Based Curriculum Development, SBCD)の際の「参照標準(standards)」が設定されていて、連邦政府には、SBCDを統制する権限がない。また、米国の教育に関する各種標準(Content; Teaching; Teacher Professional Development; Assessment; Performanceの標準)は、教育課程基準ではなく、参照標準であることに留意する必要がある。

技術リテラシーは、ITEEA(2000/2002/2007)の Standards for Technological Literacy の「技術を使用、管理、理解、評価する能力」を最初に掲げている。第2に、NRC(2012: p.202)の「人間のニーズや欲求を満たすための自然世界の改変」を掲げている。第3に、National Assessment Governing Board(全米国家評価管理委員会)(2011: p. xi)の定義を引用し、「さらに、テクノロジーは、技術製品を設計、製造、操作、修繕する際に必要とされる全体のインフラストラクチャー(産業や生活の基盤として整備される施設・設備を含む)と、技術の事物、問題解決プロセス(方略)、技術による行為の形態概念を紹介している。第4に、National Governor's Association: 全米知事協会(2007: p.7)を引用し、「生徒は、新しいテクノロジーの使用法を知り、新しい技術がどのように開発されるかを理解し、新しい技術が私達、私達の国家、および世界にどのように影響するかを分析するためのスキルを身に付けなければならない。」を掲載している。

エンジニアリングリテラシーは、NAGB(2011: p.xi, pp.1-4)を引用していた。エンジニアリング・デザイン

ディア策を複数考案し、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デザイン思考が鍵思考様式になる。

1.5 第二次 STEM 教育運動の隆盛とその要因

山崎(投稿中)、山崎・磯部(投稿中)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)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、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調査等の国際学力等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)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)のためのエンジニアリング教育の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のためのエンジニアリング教育の標準作成は、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(NAE, 2010: p.1)。結論に至った根拠の詳細等は、山崎(投稿中)を参照されたい。NAE(2010)は、各教科の標準にengineering教育を新たに盛り込む工夫と、engineering教育の各教科の「Big ideas(重大な観念)」への包括を提案した。

プロセスを活用して、問題を解決し、目標を達成する能力としている。エンジニアリング・デザインプロセス（方略）は、人間のニーズと欲求を適合するために、製品、プロセス、システムを設計（デザイン）するための体系的でしばしば相互に行き交うアプローチと説明している。生徒達は、最適解を得るために、解決可能な問題の定義の方法や、アイデアの生成方法、潜在する解決策の試験方法、複数の考慮要因（機能性、倫理性、経済性、審美性など）の中で比較考量（トレード・オフ）し設計を改良する方法について、新しい状況の中でエンジニアリング実践活動を発揮することができる」と解説している。

エンジニアリングリテラシーとは、学（サイエンス）、術（アーツ）、エンジニアリングの間を相互に支える関係性と、エンジニアが興味と社会のニーズに呼応するための方法や、技術による自然改変や人工のさらなる改変がもたらす社会や環境への影響を認識する能力を含むと記述している。前述の図1で示したように、実社会における問題解決のための「デザインプロセス（方略）」は、各 discipline(学術分野)を架橋し融合する連携方略である。デザイン方略、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にしなが、現実世界で対処しうる選択可能な解決アイデアを選択可能な解決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。

数学的な素養は、数学が世界に果たす役割を識別し、理解している個人の能力である。数学素養のある生徒は、良い判断を見出し、社会構成的で、思慮深く、反省的評価と改善向上を目指す市民として、個々の生活のニーズに適合する方法を創造するために、数学を活用して、創造を拡張することができる(Organization for Economic Co-operation and Development, 2009: p.15) (34)。

1.6 社会構成主義学習論、認知心理学、学習科学の進歩と、STEM教育におけるキャリア教育と市民性教育の重視

海外の第二次 STEM 教育と STEAM 教育は、社会構成主義学習論、認知心理学や学習科学の成果の影響を強く受けている(山崎、投稿中；山崎・磯部、投稿中)。奈須(2017)は、社会構成主義学習論、認知心理学や学習科学の成果から、経験主義と系統主義の対立図式を超えて、児童生徒主体でしっかり教える必要性を提案している(表1)。

Vasquez ら(2013)は、NAE(2010)からの提案を基に、各教科の標準にエンジニアリング教育を新たに盛り込む工夫と、エンジニアリング教育の各教科の「Big ideas (重大な観念)」[Wiggins Grant & McTighe(2006), 西岡(訳), 2012] への包括提案と、社会構成主義学習論、認知心理学や学習科学の成果を受けて、STEM 関連各学術分野における「プラクティシズ(見方・考え方を働かせた実践活動)」の関係性を示す表を提案している(表2)。

科学、エンジニアリング、数学共に、各学術の分野領域固有のモデリングを重視している。

表1 2017 年告示新学習指導要領の学力論と主体的・対話的で深い学び[出典 奈須正裕(2017)]

① 有意味学習(Meaningful Learning)

児童生徒の既有知識を活かすことで、全員がわかる・できるようになる授業

② 社会構成主義(Social Constructionism)的な知識観の導入

児童生徒たちが、それぞれがもつ個別・具体・特殊的な知識・思考・感情を出し合いながら、他者を目的として扱い、自分とは異なる価値をこそ大切にしながら、対話的・協働的に知識をよりよいものへと更新し続けていく授業

③ オーセンティックな学習(Authentic Learning)

学びの文脈を「本物」にすることで、生活や自己とのつながりが見え、各教科等の「見方・考え方」が感得できる授業

④ 明示的な指導(Explicit Instruction)

学びを俯瞰的に整理・比較・統合することで、各教科等の「見方・考え方」が身に付き、未知の状況にも自在に活用できるようになる授業

NGSS(Next Generation Science Standards)(2013: p.52)では、科学的モデリングは、図式、レプリカ、数学的表現、類推(アナロジー)、コンピュータ・シミュレーションを含む。モデルは、現実の世界と正確には一致しないが、他を覆い隠すことで、特徴の焦点化をもたらしてくれる。すべてのモデルは、妥当性および予言力の範囲の制約に関する近似と仮定を含むために、生徒がモデリングの制約を認識することが重要であると説明している。

数学的モデリングとは、現実の世界における問題の解決を目標として、数学の世界へと翻訳(数学化)し、数学的なモデルをつくり(モデル化)、数学的手法による解決(数学的作業)、さらに、得られた結果を現実の世界で解釈・検討を行う一連の活動である(佐伯ら, 2019: p.220)。

本稿では、Vasquez ら(2013) が表2で示したエンジニアリング的モデリングは、エンジニアリング・デザインとほぼ同義であると考えている。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、主として科学と数学分野や、他の学術分野の原理の、体系的で創造的な活用をいう(ITEA, 2000/2002/2007)。エンジニアリング・デザインプロセスは、記述的モデル、科学的モデル、統合的モデルなど種々のモデルが提案されている[Cross(著), 荒木(監訳), 別府・高橋(共訳), 2008]。技術の分野では、エンジニアリング的モデリングに加えて、科学技術社会学の観点から、社会を支えている技術システムの効果と影響の意識化が図られる。

表2 STEM 関連各学術分野における「プラクティシズ(見方・考え方を働かせた実践活動)」の関係性(出典 Vasquez et al. 2013, p.53 Fig.5.2)

科学 問いの生成	エンジニアリング 問題の定義	技術 社会を支えている技術システムの効果と影響の意識化	数学 問題の意味理解と、解明に向けた探究 数学的モデリング
科学的モデリング	エンジニアリング的モデリング	利用可能な新しい技術の学習の方法	適切なツールの方略的活用
探究計画と実行	探究計画と実行		精緻化
データ分析と解釈	データ分析と解釈		抽象的かつ定量的な推論
数学的思考と計算論的思考の活用	数学的思考と計算論的思考の活用	技術が、科学と数学の進展に果たす役割に対する認識	推論作成で使用する構造の探究と作成
説明の構築	設計(デザイン)による解決	社会と環境との関係性において、技術がもたらす効果・影響についての明確な決定	推論に対する、実行可能な議論の構成と、他の推論の批評
エビデンス・ベースドからのアーギュメントの進展	エビデンス・ベースドからのアーギュメントの進展		繰り返された推論の規則性の探究と表現
情報の獲得, 振り返り評価, 表現と発信	情報の獲得, 振り返り評価, 表現と発信		

エンジニアリング的モデリング(モデル化とモデル活用)の対象は、造形的な属性のみではなく、機能、性能、要求を含む(吉田, 1996:p.126)。

STEM 教育では、STEM 関連の各学術分野固有のモデリングとともに、現実社会における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を選択し、論理的思考と創造的思考を働かせながら、体系的な問題解決方略をデザイン(エンジニアリング・デザイン)する、「デザインプロセス」を重視する共通性を見い出すことができる。

また、社会構成主義学習論の台頭や認知心理学、学習科学の進歩により、表1のオーセンティック学習や意味学習などの重要性が認識されるとともに、各教科において、職業理解を含むキャリア教育や市民性教育、「人間力(市川, 2003)巻末用語解説集参照」の育成、「自己調整学習(巻末用語解説集参照)」が注目されるようになった。このことについては、紙幅の関係で、別稿で論じる予定である。

1.7 教科内容, 教員の継続的専門職能発達, 生徒のパフォーマンス評価等が連動した米国の各教科標準

米国では、1983年に、「教育の卓越性に関する国家委員会(National Commission on Excellence in Education, NCEE)」による「危機に立つ国家(A Nation at Risk)」の報告以来、各教科において、教科内容, 生徒の学力向上, 教員の継続的専門職能発達(Continuing Professional Development, 以下 CPD), チーム学校としてのカリキュラム・マネジメントの向上を図るべく、各教科(subject)の全米標準(standards)の作成に取り組んできた(NAE, 2010: pp.7-9)。1989年に、全米数学教師協議会(National Council of Teachers of Mathematics, NCTM)(1989)は、『学校数学のためのカリキュラムと評価標準(Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics)』、全米科学振興協会(the American Association for the Advancement of Science, AAAS)(1989)は、『すべてのアメリカ人のための科学(Science for All Americans)』、NRC(National Research Council: 全米研究評議会)(1995)からは、『全米科学教育標準(National Science Education Standards)』が公表された。

全米の技術科教育の標準は、国際技術・エンジニアリング教育者学会[ITEA(現 ITEEA)]が「技術リテラシーのための標準—技術学習の内容(Standards for technological literacy: Content for the study of technology, Autor)(2000/2002/2007)が作成した。ITEA(2003)は、生徒評価, 専門職能発達, プログラム(各学校を基盤としてチーム学校のカリキュラム・マネジメント力の向上を図ることを意図)の各標準を刊行した。

Black and Atkin(1996)がまとめているように、主として OECD 諸国を中心に、1980年代から STEM 系の科学、数学、技術(情報技術を含む)教科の統合強化の形態について、イノベーションを鍵語として活発な論議が展開された。ここで、留意したいのは、CPD の条件整備と教員の質保証には、各教科を基盤とした統合の形態の在り方を探っていた点である。次節で紹介する Vasquez ら(2013)の統合アプローチは、CPD の条件整備と指導力の質を保証するために、各教科を基盤とした統合の形態を提案している。

1.8 Vasquez ら(2013)が提案した STEM カリキュラム単元デザインの三つの統合アプローチ

Vasquez ら(2013)が提案した STEM カリキュラム単元デザインの三つの統合アプローチを、表3に示す。

国内外の STEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics)教育や STEAM 教育では、表3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。

一方で、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。

Vasquez ら(2013)は、STEM カリキュラム単元デザインの三つの統合アプローチとして、「multidisciplinary(多分野的)」、「Interdisciplinary(分野連携的)」、「Transdisciplinary(分野包括的)」の三つを提案している。

Vasquez ら(2013: p.61)は、multidisciplinary(多分野的)アプローチの事例として、「太陽系」を共通テー

マにした単元を構想するための、各教科担任間の談話を紹介している。

表3 統合の水準 [出典:原典はVasquez et al. (2013:p.73のFig.8.6)で胸組 (2019:p.63の表3) 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

科学教科担当教師：新しい科学教科書は、今日私達が太陽系について知っていることを説明する際に、良い教材である。しかし、私は、土星および木星の大赤斑のリングや、惑星が太陽の周りをどのように動くのかなど、生徒に、種々の惑星の機能を学ぶことに、没頭させたい。

体育教科担当教師：私は、生徒に野外活動で、惑星の役割を演技させたい。私は、太陽であり、生徒に、私の周りの円を走る、内惑星の役割を演技させるために、中心に立つ。生徒らは、科学の授業から、どのくらいの速さで、種々の惑星が動くのかを覚えているかを確認するための良い試験であると考えている。

美術教科担当教師：私は、生徒に着色した粘土を使って、惑星のモデルを作らせたい。生徒は、惑星のモデルを家に持ち帰り、モビールを作って、吊すことができる。

科学教科担当教師：私は、生徒に、地球から月への距離と、地球と太陽、惑星、星への距離とどのように比較したらよいか理解させるために、大きい数で分ける練習をさせたい。

英語教科担当教師：私が私のスケジュールを変更できるので、生徒は同時期に、SF 小説本を読ませたい。物語の中では、生徒が反重力塗料を発明する。そのペイントは、宇宙船で火星に飛んで行くために用いる。

社会教科担当教師：私は、神話の単元を教えることを計画したい。惑星の起源、ギリシャおよびローマの神と女神とのそれらの出会いについて学ぶために、生徒により機会を提供する。

Vasquez ら(2013, pp.65-66)は、二つ以上の学問分野における interdisciplinary(分野連携的)アプローチの事例として、「太陽系」を共通テーマにした単元を構想するために、以下の各教科担任間の談話を紹介している。

科学教科教師：私は、16~17世紀の世界史を担当している社会科教員からの支援をいただきたい。科学の教科で、私達が使っている教科書では、ガリレオが望遠鏡をどのように使い、地球は他の惑星のように太陽を一周することで、人々にコペルニクスが正しかったことに気がつくことを手助けしたかの物語を話す。しかし、このことが当時の論争中の観念(idea)であった理由について、もっと深く知ることができるならば、よりよいであろう。

社会教科教師：実際、私は、それよりうまくすることができる。私は、それらの観念のために迫害された人々についてのユニットを教えている。私達の生徒が学ぶ人々の1人は、Giordano Brunoであった。彼は、太陽が星であり、空間には居住できる無限の数の惑星が存在する観念を表現し、1600年に火刑に処せられた。ガリレオが、月と木星の彼の観察についての著名な本のタイトル「星界の報告」を出版する、ちょうど10年前であった。

科学教科担当教師：パーフェクトである。あなたに感謝する。ガリレオが使用した望遠鏡で、月が地球のように山々や谷々があり、木星は惑星を持っていること、人々が永遠に持ち続けていた太陽系の理解が変更された。もし生徒が、望遠鏡に自身で目を通し、ガリレオが観察したものを見ることができるならば、それは確かに大きいであろう。

「キャリア教育と技術」教科教師(Career and Technical Education)：私は、支援できる。私達は、ちょうど2つのレンズとスライディング管を含み、ガリレオが使用したような小さい望遠鏡を作るためのいくつかの安価なキットを買うことができる。ただし、そのキットのみでは、月または木星をよく見ることをしっかりとしているように保つことが困難である。しかし、望遠鏡の筒を作ることは、生徒にとっては、大きいエンジニアリング・プロジェクトである。私は、いくらかの廃材を持っている。私は、そのプロジェクトを開始させるために、種々の種類の望遠鏡マウンティングの写真を見せることができる。

数学教科担当教師：私は、生徒が望遠鏡の倍率を計算することを支援できる。倍率は、まさに2つのレンズの焦点距離の比率である。私は、生徒に、ライトを消し、屋外の物体の映像との焦点を合わせるために、個々のレンズを壁の近くに保持することによって、2つのレンズの焦点距離を測定させることができる。映像が鮮明な時のレンズと、壁の間の距離が、焦点距離である。それは、数学で学習する「比率」を、課題プロジェクトで活用する良い事例である。

Vasquez ら(2013: pp.65-66)は、二つ以上の学問分野における transdisciplinary(分野包括的)アプローチの事例として、「太陽系」を共通テーマにした単元を構想するための、各教科担任間の談話を紹介している。

科学教科担当教師：生徒らは、とりわけ、望遠鏡をつくり、木星およびその月を見るために、望遠鏡を通して観察する機会を得て、「太陽系単元」を楽しく学べた。しかし、私は、生徒らにそうであってほしいのと同じくらい、生徒らは、まだ没頭していない。私は、生徒らが没頭することができるように、私が生徒らを宇宙船に乗ることができて、生徒らを惑星に飛行することを願うことにあり、異質な世界の生命を扱わなければいけない。

美術教科教師：生徒らに、別の世界の天候レポーターであると想像するように頼むのはどうか？ 多分、生徒らは、他の惑星の天候に関心を持ち、火星や土星の地方と全国、国際的な天候のための更新を与える。

科学教科教師：それは、すばらしいアイデアである。生徒らは、グループで活動することができる。個々のグループは、異なる惑星の天気予報を提供するために、割り当てられた。しかし、先ず、生徒らは、どのように地球の人々が、天気予報を作成するかを見つけ出す必要がある。私は、主発問が、以下と推測する：気象学者は、どのように惑星 X の天候を予報するか？ 気象学者は、どのように地球の天候を予測するかを考えさせる。そして、異なる惑星で生存することを想像させる。

「キャリア教育と技術(Career and Technical Education)」教科担当教師：生徒は、気象学者をはじめ、テレビ産業に関連するすべての職業など、多くの種々の職業を発見することにもつながる。多分、私は、大学、天気予報サービス、地方テレビ局、ステーションなどから重要なゲスト・スピーカーと連絡を取ることができる。多分、私達は、テレビスタジオのツアーに新卒することができる。スタジオでは、テレビ番組を製作するために、いくつかの種々の種類の仕事が必要であるかについて、生徒らは見つけ出すことができる。

数学教科担当教師：もし生徒らが、別の世界から天気予報を送りたいならば、それらはいくらかの数学が必要である。もし、スタジオの誰かが、それらに質問をしたら？ ラジオの送信時間は、いくらぐらいなのか。回答を発信して届く時間はどのくらいか。いつも、惑星の間の距離が変わるので、それは挑戦であるかもしれない。しかし、私は太陽系のコンピュータモデル知っているの、異なる日付や時間であっても算出は可能である。数学的モデリングの良き入門になるであろう。

美術教科教師：私は、生徒らに、天気予報のためのスタジオセットを作らせることができる。生徒は、スタジオセットができる限り本物にするための表現をすることができる。

英語教科教師：私は、生徒が天気予報の原稿を書くことを支援できる。私は、生徒が、天気予報のレポーターのために、本当のテレビスクリプトが見えるものを見ることができるよう、地方テレビ局に連絡することを始める。テクニカル・ライティングは、重要な役割を果たす別の職業である。

科学教科担当教師：皆さん、ありがとう。生徒の学びを深めることができる。私は、いつも、私の生徒らに、現実世界として惑星の思考をして欲しいと願っている。ちょうど、ガリレオが望遠鏡を通して山々と谷々が見える月を最初に観察したように。教師が協働することによって、私達もまた、地球上で生徒らが、天候予測に関する現実世界と、テレビ局に必要な各種職業と業務内容(career)について、今この場で学ぶことを支援できる。

Vasquez ら(2013: pp.71-72)によると、「本質的な問い(essential question)[Wiggins Grant & McTighe(2006), 西岡(訳), 2012]」は、「気象学者は、惑星 X の天候をどのようにして予測するのか」であると指摘する。そして、「永続的な理解(enduring understanding) [Wiggins Grant & McTighe(2006), 西岡(訳), 2012]」として、「惑星は現実存在し、人々はいつの日か行くであろう」と、美術、英語、他の教科と共に、科学、技術、エンジニアリング、数学の知識と技能が要求される気象予報を含め、多くの異なる種類の『キャリア(職種と、各職種において、実社会を支える社会的役割を各々担っていること)』がある」と示している(Vasquez ら, 2013: p.72)。

Vasquez ら(2013: pp.71-72)が提案した、統合された STEM カリキュラム単元のデザインの三つのアプローチを、表 4 に示す。

1.9 STEAM 教育の系譜

STEAM 教育の誕生と経緯についての邦文による先行研究は、胸組(2019)、山崎ら(2019)、山崎(研究代表者)(2019)などが詳しい。STEAM 教育は、2006 年、Yakman G. Georgette 女史(2006)が初提案した。Yakman は、2006 年の提案後に「STEAM ピラミッド図」、「STΣ@M ロゴ」、「STΣ@M 概念モデル」の商標登録と著作権(Copyright)を取得し、STEAM 教育概念についての詳細を発表している(Yakman, 2008)。さらに、韓国、中国、カナダ、ロシア、タイ、オーストラリアなど、世界各地で STEAM 教育の啓発普及に尽力している(私信など)。Yakman は、STEAM 教育におけるコンピューティング教育、デジタル・ファブリケーション教育、AI やデータサイエンス教育を重視しているが、詳細は別稿で論じる予定である。

一方、Yakman の提案した STEAM 教育の起源を辿ると、Yakman が提案する以前において、例えば、米国ニューメキシコ大学教授(当時)の Taylor Anne と建築家 Vlastos, George が 1980 年代に提唱した「ARCHITECTURE AND CHILDREN(建築と子供たち) <http://architectureandchildren.com/index.php>」の教育プログラムなどは、STEAM 教育の属性を有していると筆者らは考えているが、別稿で改めて論じたい。同プログラムの邦文論文として、田口(2018)がある。第 1 著者は、1994 年 8 月に米国ワシントン大学で実施された同実技研修会に参加した。

STEAM 教育の特徴の第 1 点は、STEM 教育が政府主導のガバメント的なトップダウン型教育改革が多いのに対し、STEAM 教育では、grass roots(草の根)かつ産官民のネットワーク形成と協働参

画を重視した、ガバナンス重視のボトムアップ型教育改革運動のために、STEAM教育の定義等も含め、実践がきわめて多種多様である。STEAM教育の定義や実践の多様性については、Liao 女史(2019)をはじめ、多くの研究者が指摘している。

表4 統合されたSTEMカリキュラム単元デザインの三つのアプローチ(出典 Vasquez et al. 2013, p.74 Fig.8.7)

	Multidisciplinary(多分野的)	Interdisciplinary(分野連携的)	Transdisciplinary(分野包括的)
組織化の中心	学習テーマに関連する教科の標準(standards)	分野連携に関連した各教科の標準に埋め込まれた分野連携的な技能と概念	生徒自ら生成した問いと、現実生活における問題/プロジェクト基盤型学習
学習内容の形成	各教科の構造を通して最善に学ばれる知識と技能	教科内や相互依存している知識と技能	知識と技能は、部分的に先生と学生で決定
教科の役割	他教科のスキルと概念は、他教科で独立に教えられる	分野連携的な技能、プラクティシズ(教科の見方・考え方を働かせた実践活動)、および概念は最後まで織り込まれる	教科の境界は、現実の問題またはプロジェクトへの生徒の学習では重点をおかない。手続は、先生が設定した目標に呼応し、生徒が部分的に決定する
教師の役割	各教科において、教師主導で、生徒の学びを支援する	各教科を架橋して、教師主導で、生徒の学びを支援する	到達目標を設定し、教科を横断して学習する生徒を支援する。学習経験の形成を助けるように、生徒を支援する
学習到達目標	教科固有の概念と機能	教科を架橋する概念と技能	各教科間を架橋する概念と技能。生徒の興味と関心を架橋する概念と技能
統合の程度	低	中	高
評価	普通/通例の方法で評価された教科主体の概念と技能	種々の教科からの方法を結合することによって評価された、教科連携的な概念と技能	種々の教科からの方法を結合し、自己調整学習(巻末用語解説集参照)によって評価された概念とスキル

STEAM教育を大別すると、Fine Art(筆者註: Artは単数)を中核に定義するタイプと、Yakman(2008)のようにArts(筆者註: Artは複数)をLiberal, Language, Musical, Physical, Manual等を包含するタイプに分類できる。Yakman(2008)が提唱したSTEAM教育の全体構造を表現したピラミッド図(p.17)では、胸組(2019)の指摘(p.64)のように、最下層がdiscipline以外の記述もされているため、その理由についての詳しい確認や検証が必要である。Liao(2019: pp.40-41)は、胸組と同様の指摘をしている。

Fine Art(美術)を中核に定義するタイプを支持するSTEAM教育研究者、教育実践者は、審美芸術とデザイン、感性を重視する。我が国では、美術系として扱われる「デザイン」と、エンジニアリング系の「設計デザイン」を共通させて論じる理由や意義については、吉田(1996)が詳細に述べているが、本稿では紙幅の制約で、その紹介は割愛したい。一方、筆者は、STEAMのAを審美芸術、デザイン、感性に限定せず、Yakmanが提唱した各種Artsを包含し、Society5.0の実現に向けた文理芸術融合型素養の育成を目指すSTEAM教育の理論と実践研究を展開している(山崎ら, 2019など)。

第2点は、STEAM教育は、「学(Science, あるものの探究)」と「術(Arts, あるべきものの探求)」(日本学術会議運営審議会附置新しい学術体系委員会, 2003)の調和を目指している点である。STEAM教育では、authenticな学習文脈と明示化の重視、「『学』と『術』教科間との学習時数・内容量の調和」、「デザイン思考と創造性」、「感性、身体性」、Gardner Howardの「多重知能理論」が重視される(Yakman, 2006; 同, 2008; 山崎, 2019; 山崎ら, 2019)。米国では、Yakmanの提唱したSTEAM教育は、2008年にRhods Island School of Design(RISD)美術大学長に就任したMaeda, Johnにより、全米に普及した[ヤング吉原・木島, 2019; Somerson & Hermano(ed.), 2013, 久保田(監訳)・大野(翻訳), 2017]。Maedaは、自身の少年時代の学業成績に対する父親の賞賛経験から、「学」に属する数学に対し、「術」に属する美術が軽視されていた世評に対する不満があった自己エピソードを紹介し(ヤング吉原・木島, 2019: p.35)、学と術の教科間バランスが重要であると考えている。

1.10 美術(審美表現)に着眼したSTEAM教育の分類

Liao(2019)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(表5, 表6)に基づくSTEAM分類体系図(以下、マップ)を提案している(図2)。

国内外のSTEAM教育は、ArtsをFine Art(美術, 審美表現)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るために、2次元マップの作成は難しい。Liao(2019)が提案したマップは、複数形のArts

は表記せずに、単数形の Art を用いている。そのため、審美性芸術である美術に限定している。しかし、STEAM 教育の分類体系の可視化を試みた研究として、有益な知見をもたらしていると考えられる。Liao(2019: p.38)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(原著表記は art と単数)」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を提案している。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を含意している(吉田, 1996)。Liao(2019, p.38)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 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、他分野、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 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)、同(2008)の事例を紹介している。Liao は、Yakman の提案に対して、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(Continuing 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 の説明からは、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)」への懸念について、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。我が国の教育において、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的になり、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表現力と創造力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であり、各々の学術分野の領域固有性が認められる。両学術分野の特性を生かし、相互の架橋と、新たな価値を創造する包括的教育が必要と筆者は考える。

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じた 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。Anderson(2012: p.32)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。

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。おかげでだれ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は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(2019)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じた 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ることを指摘した、こ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(デザイン思考)の学習であった。3 番目に大きな「B-1 タイプ」

表5 STEAM 実践のアプローチ別の分類(出典 Liao, 2019, p.48 Table 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6 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)

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6(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)

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

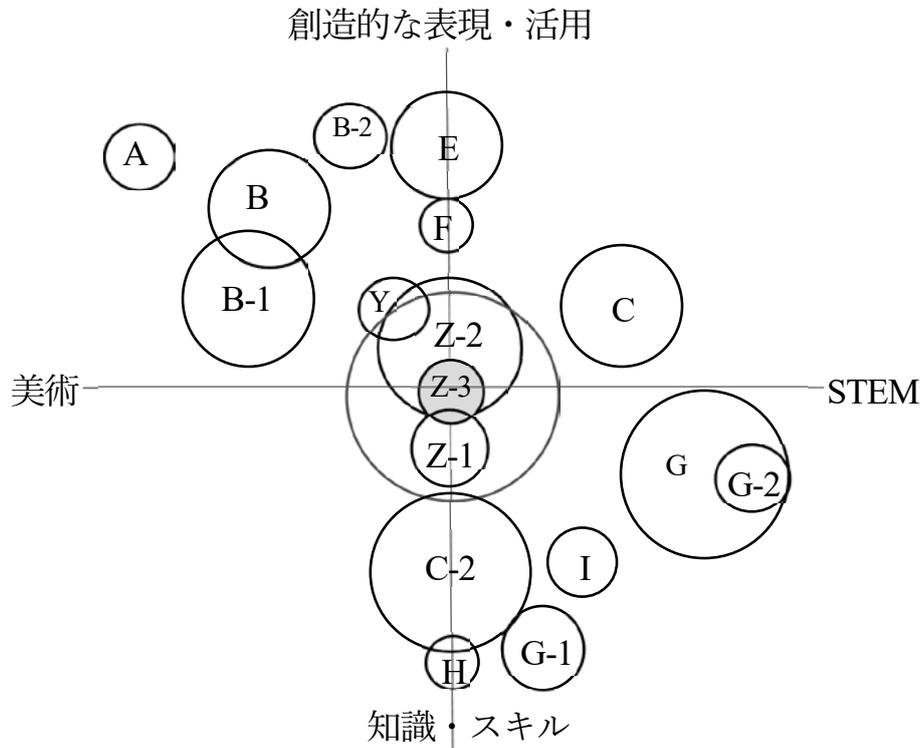


図2 STEAM マップ (出典 Liao, 2019, p.48 Fig.3.1)

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」と「創造表現」が鍵語である。

1.11 日本型 STEAM 教育の提案

ヤング吉原・木島(2019:p.177)は、Society3.0に適合した従来型の教育、Society4.0に適合したSTEM教育、Society5.0の実現を目指す日本型STEAM教育の特徴をまとめた表を提案した。山崎(印刷中)は、ヤング吉原・木島の提案表を基に、加筆再構成した表を提案した。さらに、加筆し、再構成した表を示す(表7)。

Society5.0の実現を目指して、表7の「教育目標」では、オーセンティック(authentic)な文脈と、各教科の見方・考え方を働かせながら、重大な観念の本質理解とデザイン思考が一層重視される。「各教科の関係性」では、「言語能力」、「情報活用能力」、「問題解決能力」をはじめ、コンピテンシーのような汎用的能力やメタ認知能力の育成の一層の充実が求められる。「目指す人間像」では、図1に示したように技術、科学、数学、アーツを、エンジニアリングとデザイン思考(論理的・創造的思考を働かせながら、問題解決のための一連のデザイン方略思考)架橋し、論理的思考と創造的思考を駆使して、イノベティブで、テクノロジーのリスクを評価、選択、協働管理・運用できる「技術ガバナンス力」のある人間像の実現を目指す。先行き不透明かつ不確かで、技術革新が一層急激に進む社会では、認識科学、設計科学、ヒューマニズム間の協調効果と、「学(サイエンス)」と「術(アーツ)」の調和解が重視される。

表7 「従来型の教育」と「STEMからSTEAM教育」との比較

	従来型の教育	STEM教育からSTEAM教育	
教育目標	個別・事実に知識と技能の習得重視	学びの必然性、見方・考え方を働かせ、重大な観念(big idea)の本質理解、論理的思考とデザイン思考の調和と、判断・表現力と主体性重視	
各教科の関係性	各教科が独立	各教科の関係性重視、「通教科的・汎用的能力」を働かせて、俯瞰的に学習	
学習形態	知識の伝達・記憶	デザインプロジェクトとプラクティス重視、EdTechによる個別最適化	
目指す人間像	社会適応	技術、科学、数学、アーツを、engineeringとデザインで架橋し、イノベティブで、テクノロジーのリスクを評価、選択、協働管理・運用できる「科学・技術ガバナンス力」のある人間	
文理芸の関係性	文理芸能系隔離と文理分析	STEM素養とSTEM分野の卓越人の育成	STEAM素養とSTEAM分野の卓越人の育成
解の導き方	〇×評価重視 「あるものの科学(認識科学)」と唯一解の探究	「あるべきものの科学(設計科学)」と最適解を重視	サイエンス(学)とアーツ(術)を、エンジニアリング、デザイン、身体性、人間力で架橋する調和解の探求。人間の強み、人間力の拡張
適合する社会のタイプ	工業社会(Society3.0)	情報社会(Society4.0)	超スマート社会(Society5.0)

出典：ヤング吉原麻里子・木島里江『世界を変えるSTEAM人材』朝日選書(2019)のp.177の図表5-1と、山崎(印刷中)基に、筆者が一部修正し再構成

1.12 総合考察と結論

本章では、STEM教育、STEAM教育とは何かを平易に解説することを試みた。その上で、STEM教育、STEAM教育と、「コンピューティング(巻末の用語解説集参照)、プログラミング教育との関連を解説した。

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型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「エンジニアリング(コンピューティングを含む)」および「デザイン」概念と、他学術分野との関係性に着眼した。次に、日本型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)が示した三つの統合の水準[表3;胸組,2019(訳)]と、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、「他分野的(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。STEM教育を中核とし、STEM教育を越境して、ランゲージアーツ、リベラルアーツ、ファイン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(2013)らは、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(2019)は、Yakman(2006,2008)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(2013)とLiao(2019)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[山崎, 投稿中; 大森ら, 2014; 磯部・山崎, 2015; 森山ら(編著), 山崎ら, 2016; 山崎, 2015; 山崎, 2016; 山崎, 2018; 山崎, 2019; 山崎ら, 2019; 川原田ら(印刷中); 山崎ら, 2019]などにおいて、日本型 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、各教科の内容と時数の調和を図り、各学校における各専科教員数の調和を図る「バランスド・カリキュラム(Balanced Curriculum)」の重要性、各教科研修団体の教員数の確保と条件整備、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(Continuing Professional Development)研修の重要性について、25年以上に亘って指摘してきた。

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」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(山崎・磯部, 2016)。

筆者らは、先行研究(山崎ら, 2017; 山崎ら, 2018)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「他分野的(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激な進化に対応した 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・マネジメントを基盤とした「総合的学習」の充実を提案した。Vasquezら(2013)の実践においても、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(2006)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)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)、Common Core State Standards(2010)の Mathematics と English Language Arts 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)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。日本産業技術教育学会(2012)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)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。「他分野的(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(技術的課題の解決に向けたデザイン思考と解決方略), 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、日本型 STEAM 教育の「他分野的(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)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(文部科学省, 2019)。2017年告示小学校学習指導要領解説 総則編(文部科学省, 2018a)および、同年告示中学校学習指導要領総則編(文部科学省, 2018b)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、前述したように、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(山崎, 投稿中; 山崎・磯部, 投稿中)。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。

Dr. Dugger, E. William, Jr. バージニア工科大学名誉教授は、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での講演や質疑等を通して、同学会会員に貴重な示唆を与え、我が国の STEM 教育の普及啓発に大きな影響を与えた。氏は、2018年6月、病气により逝去したので、哀悼の意を表す。宮川教授には、度重なる招へいに際し多大なご尽力をいただいた。深厚なる謝意を表す。

文献

Anderson, Chris(著), 関美和(訳): 『MAKERS 21世紀の産業革命が始まる』, NHK 出版(2012)

Banks, Frank & Barlex, David: Teaching STEM in the Secondary School - Helping teachers meet the challenge,

- Routledge (2014)
- Black, Paul and Atkin, Myron (Eds.): *Changing the Subject – Innovations in Science, Mathematics and Technology Education, the CERI Science, Mathematics and Technology Education Project*, Routledge (1996)
- Bruner, S. Jerome: *The Process of Education*, Harvard University Press (1960), 鈴木祥蔵・佐藤三郎(訳) : 『教育の過程』, 岩波書店 (1963)
- 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
- Computing At School: *Developing computing thinking in the classroom: a framework* (2014)
<https://community.computingschool.org.uk/resources/252/single>
- Computing At School: *Computational Thinking: A guide for teachers* (2015)
<https://community.computingschool.org.uk/resources/2324/single>
- Common Core State Standards Initiative – *Mathematics Standards* (2010)
<http://www.corestandards.org/Math/>
- Common Core State Standards Initiative – *English Language Arts Standards* (2010)
<http://www.corestandards.org/ELA-Literacy/>
- Cross, Nigel(著), 荒木光彦(監訳), 別府俊幸・高橋 栄(共訳) : 『エンジニアリングデザイン[製品設計のための考え方]』, 培風館 (2008)
- Dugger, E. William, Jr.: *The Status of Technology Education in the United State, 2010*, pp.33-43, Aki Rasinén & Timo Rissanen(ed.): *In the Spirit of Uno Cygnaeus- Pedagogical Questions of Today and Tomorrow, 200th Anniversary of the Birthday of Uno Cygnaeus Symposium 12th-13th October, University of Jyväskylä* (2010a)
- Dugger, E. William, Jr.: *Evolution of STEM in the U.S.. A paper presented at the 6th Biennial International Conference on Technology Education Research*, 8p, Gold Coast, Queensland, Australia, December 8-11 (2010b)
- Dugger, E. William, Jr.: *Evolution of STEM in the U.S.. Slides, 43p., presented XXII International Conference on Technological Education in Schools, Colleges and Universities, Moscow, Russia, October 5* (2016)
- 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
- 堀田のぞみ : 「7 科学技術政策と理科教育—初等中等教育からの科学技術人材育成に関する欧米の取組み—」, pp.121-134, 国立国会図書館調査及び立法考査局 : 『科学技術に関する調査プロジェクト 調査 報告書 科学技術政策の国際的な動向 [本編] (所収)』(2011)
- Howarth Sue & Scott Linda: *Success with STEM*, Routledge (2014)
- 市川伸一編 : 『学力から人間力へ』, 教育出版 (2003)
- 飯田賢一 : 『一語の辞典 技術』, 三省堂(1995)
- 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) <http://hdl.handle.net/10513/2129>
- 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)
- ITEA (International Technology Education 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>
- International Technology Education Association: *Advancing Excellence in Technological Literacy: Student Assessment, Professional Development, and Program Standards*, Authors (2003), 宮川秀俊[編訳] : 続・国際競争力を高めるアメリカの教育戦略 技術的素養をめざして (2011)
- 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 (印刷中)
- 経済産業省「未来の教室」と EdTech 研究会 : 第2次提言「EdTech の力で, 一人ひとりに最適な学びを STEAM の学びで, 一人ひとりが未来を作る当事者 (テックメイカー) に」(2019年6月)
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mirai_kyoshitsu/20190625_report.html
- Kelly, R. Todd & Knoles, Geoff: *A conceptual framework for integrated STEM education*, *International Journal of STEM Education*, Vol.3, 11p. (2016)
- 熊野善介(研究代表者) : 科学技術ガバナンスの形成のための科学教育論の構築に関する基礎的研究 (研究課題番号 23300283) 平成 23 年度~25 年度科学研究費補助金(基盤研究 B) 平成 25 年度最終報告書 (2014)
<http://hdl.handle.net/10297/10371>
- 教育再生実行会議 : 技術の進展に応じた教育の革新, 新時代に対応した高等学校改革について(第十一次提言) (2019年5月17日) <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouikusaisei/dai45/siryuu.html>
- 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)
- 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)

- Liao, Christine: Chapter 3 Creating a STEAM Map: A Content Analysis of Visual Art Practices in STEAM Education, pp.37-55, Khine, Swe Myint and Areepattamannil Shaljan (Eds.), STEAM Education – Theory and Practice (Receipt), Springer (2019)
- 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)
- 奈須正裕: 新学習指導要領の学力論と主体的・対話的で深い学び, 三鷹市立第三小学校講演会スライド (2017)
<http://www.mitaka-schools.jp/sansho-es/h29/documents/kouensiryoku.pdf>
- National Assessment Governing Board(NAGB) Technology and Engineering Literacy Framework for the 2014 National Assessment of Educational Progress (2010) <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED563947.pdf>
- National Academy of Engineering (NAE) :Standards for K-12 Engineering Education?, the National Academy Press (2010)
- National Council of teachers of Mathematics: Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics (1989), 能田伸彦・清水静海・吉川成夫 (監修): 『21 世紀への学校数学の創造 米国 NCTM による「学校数学におけるカリキュラムと評価のスタンダード」』, 筑波出版会 (1997)
- National Governors Association: Innovation America Building a Science, Technology, Engineering and Math Agenda, Authors, U.S.A. (2007) <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED496324.pdf>
- National Research Council: National Science Education Standards (1995), 長洲南海男 (監修), 熊野善介・丹沢哲郎他(訳): 全米科学教育スタンダード—アメリカ科学教育の未来を展望する—, 梓出版社 (2001)
- National Research Council: A Framework for k-12 Science Education, Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas, Committee on a Conceptual Framework for K-12 Science Education Standard, Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, U.S.A., The National Academy Press (2012)
- NGSS Lead States: Next Generation Science Standards, Vol.2, the National Academies Press (2013)
- 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>
- 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)
- 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)
- Organisation for Economic Co-operation and Development: Mathematical Literacy: Programme for International Student Assessment (PISA) Assessment Framework (2009)
<https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/44455820.pdf>
- 大森康正・磯部征尊・寒川達也・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, 日本産業技術教育学会誌, 第 56 巻, 第 4 号, pp.239-250 (2014)
- 佐伯昭彦・川上 貴・金児正史: 算数・数学教科書の応用問題を数学的モデリングの教材に作り替えるための枠組みに関する一考察, 科学教育研究, 第 43 巻, 第 3 号, pp.220-232 (2019)
- Somerson Rosanne & Hermano L. Mara (ed.): The Art of Critical Making: Rhode Island School of Design on Creative Practice, Rhode Island School of Design (2013), 久保田晃弘 (監訳)・大野千鶴 (翻訳): ロードア
 リランド・スクール・オブ・デザインに学ぶクリティカル・シンキングの授業 アート思考+デザイン思考が
 導く, 批判的ものづくり, ビー・エヌ・エヌ新社 (2017)
- 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)
- Sousa, A. David and Pilecki, Tom: Drom STEAM to STEAM: Using brain-compatible strategies to integrate the arts, Corwin (2013), 胸組虎胤 (訳): 『AI 時代を生きる子どものための STEAM 教育』, 幻冬舎 (2017)
- 田口純子: 米国の子どもの建築教育理論に関する事例研究 「建築と子供たち」カリキュラムの開発とその背景, 日本建築学会環境系論文集, 第 83 巻, 第 749 号, pp.625-635 (2018)
- 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)
- The American Association for the Advancement of Science, Floyd Rutherford, James and Ahlgren, Andrew: Science for All Americans (1989), 日米理数教育比較研究会: プロジェクト 2061 すべてのアメリカ人のための科学, 文部科学省科学技術・学術政策局基盤政策課 (2005)
- The Royal Academy of Engineering: Shut down or reset? The way forward for Computing in U.K. school. The Royal Society (2012) <https://royalsociety.org/~media/education/computing-in-schools/2012-01-12-computing-in-schools.pdf>
- 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
- Vasquez, J. Anne, Sneider, Cary and Comer, Michael: STEM lesson essentials, grade 3-8: integrating science, technology, engineering, and mathematics, Heneman (2013)
- Watson, J. Garth: The Civils -The story of the Institution of Civil Engineers-, Thomas Telford, U.K. ISBN 0 7277 03927 (1988)
- Watson, D. Andrew and Watson, H. Gregory : Transitioning STEM to STEAM: Reformation of Engineering Education, The Journal for quality & participation, October, pp.1-4 (2013)
- Wiggins, Grant & McTighe, Jay: Understanding by Design Expand 2nd Edition, Pearson (2006), 西岡加名恵 (訳): 『理解をもたら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)

- Yakman, G. Georgette : STEM Pedagogical Commons for Contextual Learning: How Fewer 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/downloads-and-resources/>
- 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/downloads-and-resources/>
- 山本貴光：『「百学連環」を読む』，三省堂(2016)
- 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>
- 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)) 最終年次報告書 (2016) <http://hdl.handle.net/10513/00007427>
- 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>
- 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 (17K01023)，平成 29 年度～令和元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 (2019) <http://hdl.handle.net/10513/00007929>
- 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 (投稿中)
- 山崎貞登・磯部征尊(分担執筆)：第 3 章 イギリスにおける技術・情報教育の動向, pp.79-114, 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科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)』, ジアース教育新社 (2016)
- 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 (投稿中)
- 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系統表の改善, 上越教育大学研究紀要, 第 39 巻, 第 1 号, pp.195-206 (2019) <http://hdl.handle.net/10513/00008086>
- 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)
- 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)
- 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)
- ヤング吉原麻里子・木島里江：『世界を変える STEAM 人材』, 朝日新聞出版 (2019)
- 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)
- ※インターネット情報の最終アクセス日は, 2020 年 1 月 17 日

第2章 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

(同) MAZDA Incredible Lab 松田 孝

2.1 プログラミング教育必修化をめぐる一学習指導要領、学習指導要領解説、「小学校プログラミング教育の手引（第一版）」と「小学校プログラミング教育の手引（第二版）」

2020年度からのプログラミング教育必修化を目前に、全国各地の小学校現場ではプログラミング授業の先行実践が行われている。そして各都道府県、各政令地方都市を含む各区市町村や地域等の教育委員会は、それ等授業実践を基に教科等におけるプログラミング体験のカリキュラムを公表し始めた。

それは2017年告示小学校学習指導要領総則、第3「教育課程の実施と学習評価」の1「主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善」の(3)イにおいて、「児童がプログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動」を各教科等の特質に応じて、学習活動を計画的に実施するよう示されたからである^①。

このことは学習指導要領解説によって、プログラミング体験の必要性を「子供たちが将来どのような職業に就くとしても時代を越えて普遍的に求められる『プログラミング的思考（巻末の用語解説集参照）』（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、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、といったことを論理的に考えていく力）を育むため」であるとして、小学校段階においてプログラミングに取り組むねらいを次のように端的に述べている。

プログラミングに取り組むねらいは、プログラミング言語を覚えたり、プログラミングの技能を習得したりといったことではない。

- ①論理的思考力を育む
- ②プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータをはじめとする情報技術によって支えられていることなどに気付く
- ③身近な問題の解決に主体的に取り組む態度やコンピュータ等を上手に活用してよりよい社会を築いていこうとする態度などを育む
- ④教科等で学ぶ知識及び技能等をより確実に身に付けさせること

そしてこのプログラミング体験は「教科等における学習上の必要性や学習内容と関連付けながら計画的かつ無理なく確実に実施されるものであることに留意する必要があることを踏まえ、小学校においては、教育課程全体を見渡し、プログラミングを実施する単元を位置付けていく学年や教科等を決定する必要がある」として、小学校学習指導要領の例示単元を紹介するとともに、「例示以外の内容や教科等においても、プログラミングを学習活動として実施することが可能であり、プログラミングに取り組むねらいを踏まえつつ、学校の教育目標や児童の実情等に応じて工夫して取り入れていくことが求められる」と述べる。

これ等の規定によって、小学校でのプログラミング体験はそれが教科等の時間での実施となり、文科省はその円滑な推進を図るべく、「学習指導要領や同解説で示している小学校段階のプログラミング教育についての基本的な考え方などをわかりやすく解説し、教師がプログラミング教育に対して抱いている不安を解消し、安心して取り組めるようにすることをねらい」に、平成30年の3月「小学校プログラミング教育の手引（第一版）」^②を公表した。

そこでは「小学校プログラミング教育導入の経緯、小学校プログラミング教育で育む力、プログラミング教育のねらいを実現するためのカリキュラム・マネジメントの重要性と取組例などについて解説するとともに、教育課程内における指導例や、企業・団体や地域等との連携の例」が掲載されており、多くの学校や自治体の先行実践の手がかりとなっていく。

ところが文部科学省（以下、文科省）は同年11月に「小学校プログラミング教育の手引（第二版）」^⑨を公表し、「手引（第一版）」^⑩で小学校段階におけるプログラミングに関する学習活動を6つに分類したうちの、C分類での実践を全面に押し出した。つまりは「（C分類の）プログラミング教育としてのねらいを明確化にして、その取組例を提示」したのである。

「手引（第一版）」^⑩で示された6つのプログラミングに関する学習活動とは、「A：学習指導要領に例示されている単元等で実施するもの、B：学習指導要領に例示されていないが、学習指導要領に示される各教科等の内容を指導する中で実施するもの、C：教育課程内で各教科等とは別に実施するもの、D：クラブ活動など、特定の児童を対象として、教育課程内で実施するもの、E：学校を会場とするが、教育課程外のもの、F：学校外でのプログラミングの学習機会」であり、このうちA～Dが教育課程内で実施されるプログラミング活動である。C分類は「教育課程内で各教科等とは別に実施するもの」であることから、そのプログラミング体験のねらいは「プログラミング的思考の育成」や「プログラムの働きやよさへの気付き等」であることを明確化した。つまり学習指導要領、同解説、「手引（第一版）」で明記されていた「教科等で学ぶ知識及び技能等をより確実に身に付けさせること」はC分類での実施においては、考慮しないで良いということである。

さらにC分類のねらいをこのように明確にした上で、ここでのプログラミング体験は「創意工夫により様々な取組を実施することが考えられ」として、①「プログラミングの楽しさや面白さ、達成感などを味わえる題材などでプログラミングを体験する取組」、②「各教科等におけるプログラミングに関する学習活動の実施に先立って、プログラミング言語やプログラミングの技能の基礎についての学習を実施する取組」、③「各教科等の学習と関連させた具体的な課題を設定する取組等を実施することができ」る、と述べるのである。

はたしてこの記述は、学習指導要領解説で述べた「プログラミングに取り組むねらいは、プログラミング言語を覚えたり、プログラミングの技能を習得したりといったことではない」とする内容とどう整合できるのだろうか。C分類におけるプログラミング体験は、学校がその裁量の時間で実施するものであるから、教科等のねらいに縛られることなく実施できることは当然ではあるが、学習指導要領解説において明確に、プログラミング体験のねらいを「教科等で学ぶ知識及び技能等をより確実に身に付けさせること」と述べたこととの整合性を図らなければならない。

現状、多くの学校で行われている先行実践を見ると、「手引（第二版）」^⑨は「手引（第一版）」^⑩の拡充としての理解にとどまっているように思われる。しかし「手引（第一版）」で既にプログラミングに関する学習活動を6つに分類してあり、「手引（第二版）」であえてC分離を全面に押し出す意図は、単に教育課程内でのプログラミング体験はA、B分類だけでなく、C分類でも実施可能であるとの啓発にとどまるものではない。このことは「手引（第二版）」において、「創意工夫により様々な取組を実施することが考えられ」として、「プログラミングの楽しさや面白さ、達成感などを味わえる題材などでプログラミングを体験する取組」を明記したことに、その真意を見いだすことができると考える。

つまり、これまでプログラミング体験のねらいは「教科・領域のねらいをより確実なものとする」、そして「プログラミング的思考を育むこと」とされてきたことから、学校現場ではその授業実施に当たっては、教科のねらいとプログラミング体験とのねらいとの双方向から授業づくりにアプローチして、両者のねらいがまさに「重なる部分」を洗い出し、そこでの授業実践を試みてきた。しかし現実には、このアプローチによる授業づくりが極めて困難であることが判明したからに他ならない。加えて先行実践を行なっている教員が、実際に授業での両者の具現化の難しさを訴えるとともに、教科の中での実施は扱うプログラミング言語の操作や習熟に大きな困難があることは誰が考えても明らかである。極めつけは、この時間での実施に関して、最後はあくまでも「教科等で学ぶ知識及び技能等をより確実に身に付けさせること」にあるため、プログラミング体験はそのための内容理解のためのツールとなって、この体験が子供たちにとっては「プログラミングの楽しさや面白さ、達成感などを味わえる題材」となっていないからである。

このように考えてくれば、「手引（第二版）」^⑨は「手引（第一版）」^⑩の拡充ではなく、むしろその方針の転換、もっと言えば大転換であると考えられるべきものなのである。

2.2 小金井市立前原小学校のプログラミング授業の取り組み

さて、このような状況の中にあって、小金井市立前原小学校では、2016年度よりプログラミングの授業を「総合的な学習の時間」に位置付けて実践してきた。同年4月に産業競争力会議で安倍首相が「プログラミング教育必修化」宣言し、新学習指導要領において正式な必修化に至る経過と、まさに機を一にした取り組みを進めていたのである。そして2017年度からは校内研究を中心に組織的な取り組みをもってプログラミングの授業実践を積み重ね、2019年の6月には小金井市教育委員会の研究奨励校としてプログラミングの授業公開と研究成果の発表を行なった。その内容は、全国の地教委等が開発を進めるカリキュラムとは一線を画す、極めてオリジナリティに富んだプログラミング体系となっている。

それは前原小のプログラミング授業は、まさに「手引（第二版）」^⑨のC分類で考えられる取り組みとして示された①「プログラミングの楽しさや面白さ、達成感などを味わえる題材などでプログラミングを体験する取組」、②「各教科等におけるプログラミングに関する学習活動の実施に先立って、プログラミング言語やプログラミングの技能の基礎についての学習を実施する取組」を、「総合的な学習の時間」における探究活動として実践してきたからである。

この研究過程で、①プログラミングはコンピュータとのコミュニケーションであり、豊かなコミュニケーションのためにプログラミング言語の習得が必要となること、②プログラミング言語の豊かさにより、人間自身では叶えられない表現がコンピュータを介して実現でき、③そのことが子供たちの生きるIoTど真ん中の社会、AI共生社会に必須の資質・能力を育むこと、が見えてきたのである。

他プログラミングカリキュラムと比して、異彩を放つ前原のプログラミング授業の体系図を、図1に示す。

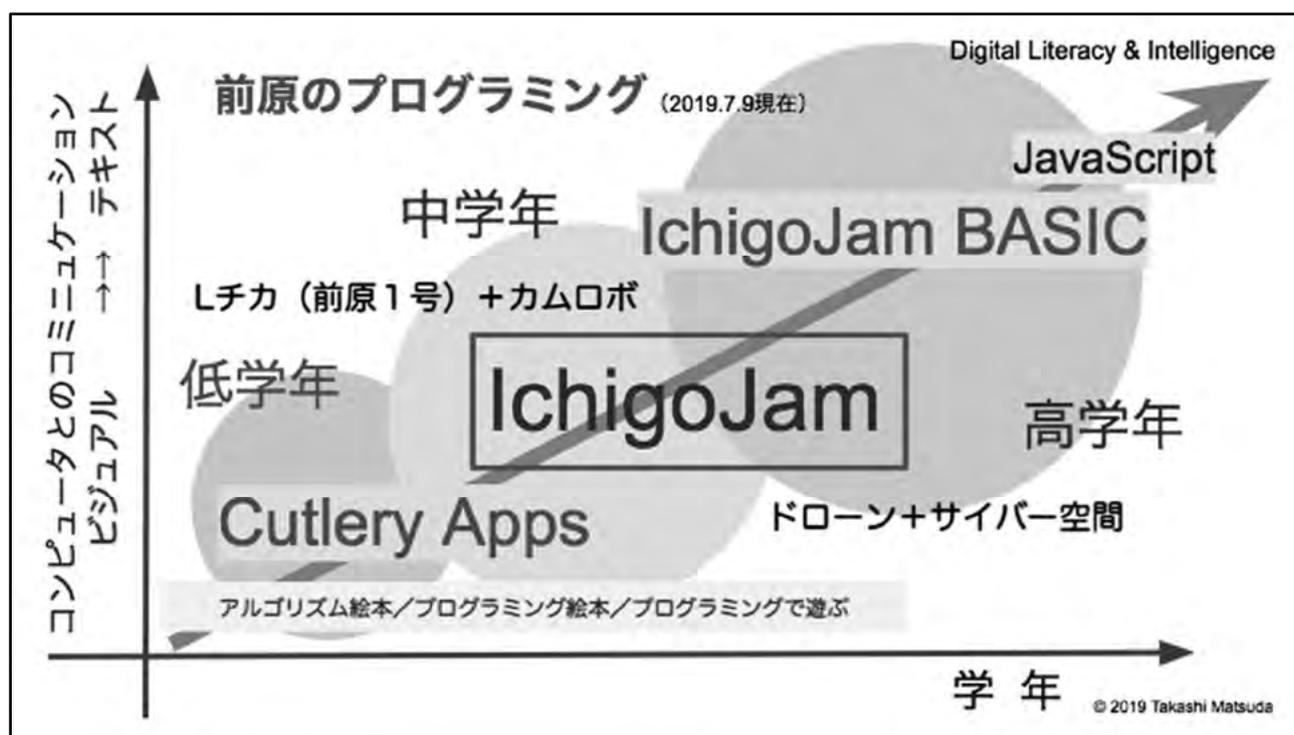


図1 前原小のプログラミングの授業体系

2.3 小金井市立前原小学校のプログラミング授業体系

前原小が作り上げたプログラミング授業体系の最大の特色は、プログラミング授業で取り扱う言語を、全てIchigoJamBASICで貫いていることにある。

前原小では2016年4月からの3年間、様々なプログラミング言語や教材を用いて、プログラミング授業を実践してきた。そこで見せる子どもたちの「学び」の事実と現実のプログラミング環境を勘案してつぐみ出したの

が、ここに示したシングルボードコンピュータ (IchigoJam) を全学年で扱うプログラミング授業の体系である。

IchigoJam は、福野泰介氏 (jig.jp 取締役会長) が開発したシングルボードコンピュータで、BASIC 言語によるプログラミングで様々な処理を行うことができる。BASIC 言語は教育用として開発された手続き型プログラミング言語で、行単位に記述された命令文によって逐次実行される。シングルボードコンピュータとは、通常はむき出しの一枚のプリント基板 (ボード) の上に、必要なものに絞った CPU と周辺部品、入出力インタフェースとコネクタを付けただけの極めて簡素なコンピュータのことをいう。

この言語を小学校全学年でのプログラミング授業に取り入れ、後にその体系化に至ったのは、2018 年 7 月に PCN (プログラミングクラブネットワーク) を展開する松田 (まった) 優一氏 (NaturalStyle 代表取締役) が、IchigoJamBASIC を CutleryApps として開発し提供してくれたことによる。CutleryApps は IchigoJamBASIC をビジュアルなカード Apps にしたもので、そのカードを PC 上でドラッグ&ドロップして並べることでプログラミングができる。低学年にとっても操作しやすい。このカードを裏返せば、そこには IchigoJamBASIC が記述されていて、中学年からはそれを見ながらテキスト入力ができることから、前原小学校のプログラミング授業の核となっていた。

- (1) 低学年 : CutleryApps によるプログラミング カードを並べるプログラミングで LED ライトやロボットを制御する。
- (2) 中学年 : テキスト入力によるプログラミング 3 年生は CutleryApps を裏返してテキスト入力、4 年生はセンサー制御のプログラミングを体験する。
- (3) 高学年 : テキスト入力によるプログラミング 5 年生はドローンの飛行プログラムの作成、6 年生ではモニター画面にアニメーションや簡単なゲームの作成
- (4) JavaScript の授業実践の試み

JavaScript は極めて汎用性の高いプログラミング言語であり、WEB 作成をはじめ様々な場面で使用されている。また BASIC の文法構造に慣れた子どもたちにとっては、比較的扱いやすい言語でもある。

前原小では 2018 年度の 3 学期のプログラミングは、高学年と中学年はいずれも学級の枠を取り外し、子どもたち自身にプログラミング言語を選択させて授業を行った。その中の一つをチャレンジコース「JavaScript」としたところ、20 人あまりの子どもたちがこのコースを選択した。3 学期、全 8 回の授業で子どもたちは、PCN 代表の松田 (まった) 優一氏が作成した学習用テキストを活用して 8 時間、JavaScript で意欲的にプログラミングを行った。

2.4 CutleryApps での実践

Cutlery Apps を開くと左側に 3 つのタブ (きほん、パブリカ、いろいろ) があり、それぞれに BASIC 言語の命令文をカード化したものが配置されている。そのカードを右側の数字 (行番号) が書いてあるフィールドにドラッグ&ドロップして、基本は動作命令とその動作を何秒間保持するかを配置するだけで、プログラミングができる。デジタルネイティブの子どもたちにとっては、全く違和感のない操作活動であり、この操作を行うことで自然と手続き型言語によるプログラミングの基本の考え方 (順次実行と繰り返し) が体感できる。本校では、以下の授業展開によって実践を試みた。CutleryApps のプログラミング例を、図 2 に示す。

【指導計画 (全 5 時間扱い)】

- 第 1 時 : IchigoJam の紹介、プロセッサと計算速度の知識理解、CutleryApps プログラミングの実際 & L チカの師範 (*L チカ : LED の点滅のこと)
- 第 2 時 : タブレット操作 & L チカ基板との接続、L チカプログラミング & 面白プログラムの共有、音楽 (BGM) に合わせた L チカプログラミング
- 第 3 時 : 音楽 (BGM) に合わせた L チカ発表、CutleryApps によるロボットプログラミング
- 第 4 時 : ロボットプログラミングで課題解決 1 (U ターン課題)

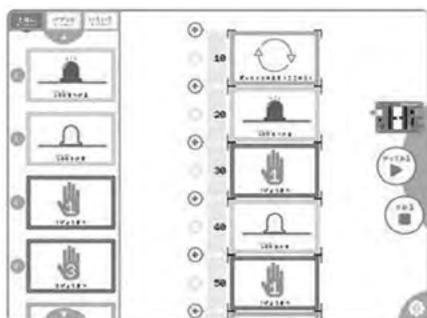


図2 CutleryApps のプログラミング例

CutleryAppsは、右下端をタップすることでカードを裏返すことができ、そこにはBASIC言語がテキストで記述されている。中学年では、これをキーボードでタイピングすることで、3年生から始まるローマ字学習を兼ねてテキストプログラミングへの移行が可能となる。PRINTやLOCATE等の初級コマンドを理解することは、豊かな表現のための言語を獲得するという。プログラミングは、コンピュータとのコミュニケーションの活性化を促すものとなっていく。

2.5 テキスト型言語—IchigoJamBASICでのプログラミング

文科省は、平成30年に「小学校プログラミング教育の手引」の第一版（H30.3）^②と第二版（H30.11）^③を公表した。そこでは第2章（4）のイ「プログラミング言語や教材選定の観点」の項で、「テキスト型プログラミング言語」の活用に言及している。また第二版ではC分類の取り組みを全面に示したことから、第3章のC「教育課程内で各教科等とは別に実施するもの」においては、創意工夫により様々な取り組みが考えられる例として「プログラミング言語やプログラミングの技能の基礎についての学習を実施する取組」等を実施できるとしている。そして未来の学びコンソーシアムが運営する「プログラミング教育ポータル」サイト（<https://miraino-manabi.jp/>）（2020年1月13日最終閲覧）の教材情報では、IchigoJamBASICをテキスト型プログラミング言語の具体として紹介している。

テキスト型プログラミング言語の活用は、キーボード操作が多く、言語の文法の理解も必要となることから実施の難しさが指摘されている。しかしむしろこの難しさを乗り越える体験こそが、産業競争力会議で述べられた「第4次産業革命の時代を勝ち抜く人材を育成する」という小学校プログラミング教育必修化の目的達成に直接的に繋がると考える。

IchigoJamBASICの文法構造はシンプルで分かり易い。コマンド等に使用される英単語の意味理解とキーボード入力は、子どもたちのコンピュータ操作のスキルアップに絶好の機会となる。IchigoJamBASICの習得が基となれば小学校高学年から中学校においては汎用性が高く人気言語の一つであるJavaScriptによるプログラミング授業の可能性が拓けてくる。

3年生からIchigoJamBASICをテキストでプログラミングしてロボットを動かし、ドローンを飛ばしてきた子どもたちは、6年生になればサイバー空間でのプログラミングを始める。

IchigoJamBASICのサイバー空間でのプログラミングでは、簡単なアニメーション作りから始まって、福野泰介氏が考案した「川下りゲーム」や松田優一氏の考案した「縄跳びさっちゃん」などを写経させる。これ等ゲームの改造を図っていくことで子供たちにプログラミング技術とコンピューティング概念の獲得させることができると考える。

サイバー空間でのプログラミングは子どもたちをして、こんなこともやってみたい、あんなこともできるのでとアイデアを次々に沸き立たせ、それを実行するためのプログラムを考えることで、BASIC言語の一層の

習熟へ繋がっていく。サイバー空間でのプログラムは現実の制約がないため、プログラム次第ではものすごい表現が可能となる。

三角関数を使って、縄跳びさっちゃんを大縄跳びさっちゃんというゲームに改造できる。多くの子どもが「三角関数は、何の役に立つの?」と思っていたことが、三角関数を使えばコンピュータを介して自分の表現の幅を広げることに繋がっていることが実感できる。IchigoJamには、Ver1.4の新機能として三角関数(COS、SIN)が追加されている。このようなIchigoJamBASICのプログラミング体験は、プログラミングに興味を抱いた子供たちにとっては汎用性の高いJavaScriptへの関心を沸き立たせ、子どもたちのキャリア形成にも影響を与えるものとなる。

2.6 中学校、高等学校との接続

2020年4月より小学校ではプログラミング教育が必修となり、各自治体がそのためのカリキュラムを公開していることは冒頭述べたが、その実践がしっかりと中学校プログラミングへと繋がっていくことに留意しなければならないことは当然である。

中学校の新しい学習指導要領では、技術・家庭科(技術分野)においてプログラミング、情報セキュリティに関する内容が充実される。子供たちは「計測・制御のプログラミング」に加え、「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミング」等について学ぶことになる⁴⁾。

高等学校においては、情報科において共通必修履修科目「情報Ⅰ」が新設され、全ての子供たちがプログラミングのほか、ネットワーク(情報セキュリティを含む)やデータベースの基礎等について学習することになる⁵⁾。「情報Ⅰ」に加え、選択科目「情報Ⅱ」が開設され、「情報Ⅰ」において培った基礎の上に、「情報システムや多様なデータを適切かつ効果的に活用し、あるいはコンテンツを創造する力」を育成することが求められる⁶⁾。

2024年からの大学入試では、この「情報」とそしてそこに含まれるプログラミングに関する知識と技能の習得が試されることになる。2016年の産業競争力会議で安倍首相が小学校プログラミング教育の必修化を宣言したが、それは小学校段階だけのものではなく、子供たちのキャリア形成や選択にまで影響を及ぼすものとなっていることに注視すべきである。そのことをも視野に入れた小学校段階でのプログラミング授業のカリキュラムづくりが求められている。

2.7 フィジカルコンピューティング

前原小学校のプログラミング授業の体系は、全部IchigoJamBASICで貫かれていることが最大の特色であるとともに、もう一つその具体的実践が「フィジカルコンピューティング(巻末の用語解説集参照)」となっていることも大きな特色である。

低学年では4連LED基板を使ったLチカとカムロボットの制御するためのプログラミングを学習する。中学年ではカムロボットをセンサー制御し、5年生ではドローンを飛行させるプログラミング授業となっている。フィジカルコンピューティングは人間とコンピュータとの意思疎通の幅を拡げるものであり、子供たちはIchigoJamBASICのプログラミングで、まさにLチカの点滅やロボット制御、そしてドローンの飛行を通してこのことを体感している。特に中学年が行う距離センサーや明るさセンサーを使ったロボット制御は、両者の対話をより豊かなものとして、まさにSociety5.0の社会、リアルな空間とサイバー空間とが一体となった世界を子供たちが体感することになる。サイバー空間とは、コンピュータやネットワークの中に広がるデータ領域を、多数の利用者が自由に情報を流したり情報を得たりすることが出来る仮想的な空間のことをいう。

フィジカルコンピューティングは小学校段階の子どもたちがプログラミングに興味をもつためには、極めて有効な手法ともなる。何故ならプログラミングしてリアルな空間でロボットなどを制御することは、それは様々な制約を受けて子供にとってはシンプルな制御のプログラミングに向かわせることになる。そして何よりフィジカルプログラミングをすれば、必ず誤差が生じ、リアルの世界には真値がないことを体感できるのも何

よりの効果である。誤差は誤りではなく、真値との差であり、それをリアルの世界で如何に少なくすることが科学技術の進歩に繋がっていったことを追体験させることができる。IchigoJamBASICでのプログラミングは、アクチュエーターを動かすことからセンサー制御へ発展してフィジカルコンピューティングが必然となる。しかもそのプログラミングはより精緻な制御となるためTextによる記述となっていく。アクチュエーターとは、電気・空気圧・油圧などのエネルギーを機械的な動きに変換し、機器を正確に動かす駆動装置のことをいう。計測・制御システムの構成要素は、センサー（計測する要素）、コンピュータ（情報を判断・指示する要素）、アクチュエーターなど（仕事をする要素）から成る。

以下に、前原小がフィジカルコンピューティングを実践するために使用した機材を紹介する。左が主に低学年が使用する4連Lチカ基板（図3）、真ん中がタミヤのカムプログラミングロボット（図4）、右がTellのドローン（重量80g）（図5）である。Lチカで使用する4連LED基板であるが、これは松田優一氏が前原小学校での研究授業を参観して、子供たちにとって扱いやすい教材として開発したものであり、現在はナチュラルスタイルから「M01（エムゼロワン）として販売されている。



図3 Lチカ4連LED基板



図4 カムプログラミングロボット



図5 Tello ドローン

2.8 総合的な学習の時間におけるプログラミング学習のあり方新しい探究の過程

新学習指導要領には、「総合的な学習の時間」においてプログラミング体験をする場合には、それが「探究的な活動に適切に位置付くこと」との記載がある^①。これは多分にこの時間がプログラミングの活動体験だけに終始しないようにするための歯止めであるけれど、設定した「探究課題」の実感的理解のためだけのプログラミング体験となつては、Society5.0の社会を主体的に創造的に形成しようとする意欲は喚起できない。

前原小では「IoT ど真ん中、AI 共生時代を生きる」を大テーマに、まずは「ティンカリング（巻末の用語解説集参照）」させて、一人一人の気付きを共有し、それを Joint させて協働を生起する、このような新しい探究的な活動を総合的な学習の時間として具現化しようとした。

前原小のプログラミング授業の活動案を、図6に示す。これは従来授業のように達成目標を設定し、そこに子どもたちを到達させることを第一とする指導案とは全く発想が異なる。

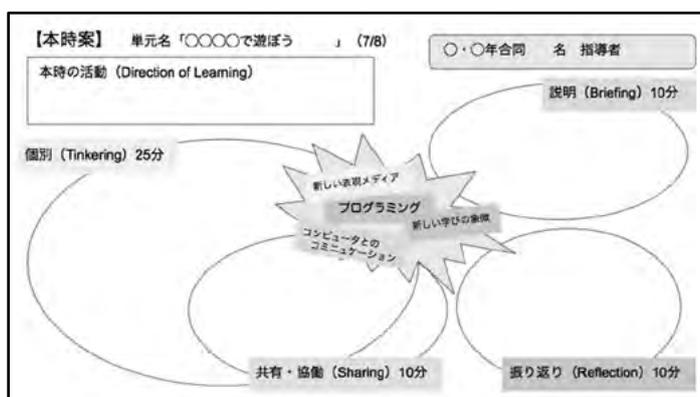


図6 プログラミング授業における活動案フォーマット

(1) ブリーフィング

本時の活動の見通しと活動におけるいくつかの操作等に関わる技能を説明する。単位時間の授業では5分～10分程度を想定する。

(2) ティンカリング

子供たちの活動時間をなるべく多く確保したい。(3)のシェアリングの活動を含めて30分取れば、様々な試行錯誤ができる。

(3) シェアリング

子供たちが活動することで得た気づきを共有する。活動する対象や自分自身に対しての知的で情緒的な気づきをICTの機能を活用することで共有する。

(4) リフレクション

活動を単なる活動に終わらせないために、活動にある学びの価値を子供たち自身にメタ認知させる時間である。そのために前原小では次のような振り返りシート(図7)を作って、子供たちの振り返りを行わせた。

IchigoJam BASIC の振り返り

ワクワクした! たのしかった!

月 日 () の活動 名前

考えをわかりやすく説明できた
予想しながら考えることができた
まとめたり、分けたりして考えることができた
表、図、グラフ、絵で考えを表すことができた

おもしろかった! しあわせだった!

貼り強く取り組むことができた
集中できた
友達に聞くことができた
友達と一緒に考えることができた

ゆかいだった!

SAVE RUN LIST GOTO
WAIT Enter Delete
IF ESC ROAD ANA(2)
< & >

うまうまなかった回数: 回

[振り返り]

図7 振り返りシート

基本これ等要素を単位時間や単元で保障しながら、授業展開していく。そして一番大切にすることは、子どもたちのティンカリングの時間の確保であり、そこでの気づきを共有して、さらなる活性化と自分たちの生きる社会のより良いあり方を追究していったことである。

山崎貞登氏は、2019年2月に前原小で行われた公開研究会での講演で、「従来型教育」と「STEMからSTEAM教育」の比較を6つの観点から行なった。そこで従来型教育は、個別・事実に基づく知識と技能の習得を重視し、各教科が独立していて知識の伝達とその記憶を促し、子供たちにはその定着を測るために不可謬論に基づく唯一解を求めた、と指摘した。不可謬論とは、知識が絶対に真理であるという考え方である。一方、可謬論は、知識は時として誤りであるという主張である。そしてその学びを通して子供たちが工業化社会(Society3.0)に社会適応できることを目指す教育であったと述べた。さらに Society5.0 を主体的に生きる人間像として、「イノベーションと技術ガバナンス(巻末の用語解説集参照)」力の育成を掲げ、前原小が「総合的な学習の時間」で行なったプログラミング教育の実践はそこへ向かおうとするチャレンジであると、前原小の取り組みを位置付けた。

2.9 コンピューティング教育の充実を見据えた教科等の構成の在り方

プログラミングで「ティンカリング(Tinkering)(巻末の用語解説集参照)」している子どもたちを見ていると、それが算数的活動となっていることに直ぐに気付く。

低学年の子どもたちがロボット制御するとき、はしたの数(小数)は必要不可欠な概念だ。現行中学校の学習内容となっているマイナス概念もロボットの進行方向を定めるベクトル概念であることを体得する。さらにはあ

一つの動きをどのくらいの時間実行させるかで単位量あたりの考え方が必要となってくる。中学年でのセンサー制御プログラムは不等号の概念と閾値について学ぶことができ、高学年のサイバー空間でのプログラミングはさらに多様な算数的概念を獲得するチャンスに恵まれている。

新学習指導要領はプログラミング活動を教科の特質を踏まえその理解をより確かなものとするよう実施を求め、文科省がプログラミング教育の手引（第二版）で自ら方針転換を図ったようにプログラミング活動の中に教科の学びを見出し、子どもたち一人一人の個性的な学びを磨く中で、いわゆる理数系の概念を一人一人が獲得することこそがSTEM教育の本質なのだと考える。

先に示した前原小のプログラミング授業体系で実際に授業を行なっていくと、下図に示したように子供たちは算数や理科などの知識や技能を必要とし、自身のアイディアの実現のためにそれらを自ら獲得するようになる。



図8 IchigoJamBASICのプログラミング体験が内包する理数的な知識&概念

学校は子どもたちの未来に責任をもつ教育を展開する場であり、新学習指導要領の全面实施により必修となるプログラミング教育がその責務の一翼を担うには、「コンピューティング（巻末の用語解説集を参照）」としての実践が極めて重要な位置を占めると考える。何故なら子どもたちは Society5.0 の社会を生きるものであり、そこへの主体的参画を期待されている。サイバー空間とリアルな空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会を形成するためには、コンピューティングの中核となる「コンピュテーショナルシンキング(CT)」理解と活用が必須となる。CTの意味は、巻末の用語解説集「プログラミング的思考」を参照いただきたい。なお、CTと、2017年告示小学校学習指導要領^①で述べられている「プログラミング思考」は同義ではない。換言すると、プログラミング的思考は、CTの一部を限定的に解釈している。

コンピュータを積極的に活用して、より良い社会の形成に向けて自然や社会の事象を情報の動きとしてとらえ、その特徴、特色を見出したり、また逆に、実現したいことを情報の動きとして表現してそれを創り出したりする技能（技術）や意欲、態度、思考等を育てていかなければならない。

そのためには、子どもたちが自ら「コンピューティング（巻末の用語解説集参照）」の概念である①アルゴリズム、②プログラミング・開発、③データ・データ表現、④ハードウェア・処理、⑤コミュニケーション・ネットワーク、⑥情報技術等を、まさにプログラミング言語でティンカリングしながら、その過程で知的で情緒的な気付きを得て友だちと共有することのできる新しい学びの場を保障していくことが求められているのだと考える。

引用文献

- (1)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）
- (2)文部科学省：小学校プログラミング学習の手引（第一版）（2018b）
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1410886.htm
- (3)文部科学省：小学校プログラミング学習の手引（第二版）（2018c）
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm
- (4)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（2018）
- (5)文部科学省：高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説 情報編，開隆堂（2019）

第3章 算数・数学科におけるコンピュータ利用とプログラミングの教育

埼玉大学教育学部 二宮 裕之

3.1 コンピュータはもともと「計算機」

コンピュータという言葉が我々は普通に使うようになってきているが、元々日本では「電子計算機」と呼ばれていた。その名が示す通り、「計算をする機械」が元々のコンピュータであった。従って、数学科においてはかなり以前よりコンピュータが教育課程に組み込まれていた。具体的には、昭和 45 年告示の高等学校数学には既に流れ図が内容として示されており、「プログラムを作成し実際に計算機にかけ結果が求められるようにする」ことが明記されている。一方で、Mathematica(計算ソフト)、Cabri-Geometry(図形の動的ソフト)、GeoGebra(グラフ・図形作成ソフト)などのソフトウェアを活用した算数・数学の授業についての実践研究は、以前から行われてきている。

このように、コンピュータは算数・数学科において古くから活用されており、算数・数学教育におけるコンピュータ利用の実践研究にも蓄積がある。

3.2 数学科におけるコンピュータ利用

「計算機」としてのコンピュータは古くから数学の研究において用いられてきた。そしてコンピュータが単に「計算」のみをするものではなく、現在のように様々な使い方ができるようになって以降、単なる「計算機」ではない「コンピュータ」を教育に利用・活用しようとする実践研究が、数学教育の領域において 1980 年代以降に精力的に進められた。

その先駆的研究と言える町田(1986)は、実現可能なコンピュータ利用教育を考える際の留意事項を次のように述べている。

1. なぜ、コンピュータが算数・数学の授業に導入されなければならないか、に関する共通理解
2. 学校でのコンピュータはどのような機能を持っているべきか。何台あればよいか。それをどのような場所にどのように配置すればよいか。
3. 教育ソフトが備えるべき条件、プログラム開発と利用の問題
4. コンピュータ支援授業の展開、教師・生徒・コンピュータの授業での役割
5. 教員研修の問題 (Post-Service, Pre-Service)

また、教育におけるコンピュータ利用について、算数・数学の学習の立場から、次のような可能性を示した。

- (a) 思考過程のチェック
- (b) 概念の直観的、総括的把握
- (c) 思考実験の用具、シミュレータとして
- (d) ドリル提出、採点、集計の簡略化
- (e) データベースの利用
- (f) 形成的評価への利用

3.3 高等学校数学科におけるプログラミング教育

高等学校数学科では、昭和 45 年告示の学習指導要領から、コンピュータ（電子計算機）についての内容が記載されている。

昭和 45 年告示

「数学一般」「数学ⅡA」電子計算機と流れ図：計算や思考の手順を分析し、系列化し、流れ図に表すことができるようにする。電子計算機を利用できる場合には、さらにプログラムを作成し、実際に計算機にかけ結果が求められるようにする。

昭和 53 年告示

「数学Ⅱ」電子計算機と流れ図：使用する計算機の機能に応じてプログラムを作成し、実際に計算機にかけ結果が求められるようにする。

平成元年告示

「数学A」計算とコンピュータ：(ア)コンピュータの操作，(イ)流れ図とプログラム，(ウ)コンピュータによる計算．内容(イ)については，プログラムの構造について理解させることを重点におき，簡単なプログラムを扱う程度とする．

3.4 CAI, CAL, CALesson などの実践研究

コンピュータの教育利用の推移は，以下のように纏めることができる．(町田,1995)

コンピュータの教育利用はアメリカで始まった．Skinner のプログラム学習理論が提唱され，汎用コンピュータ上で動く CAI (Computer Assisted Instruction) がプログラム学習をコンピュータ上で実現できるという理由から研究された．日本においてパソコンが利用されるようになったのは昭和 50 年頃のことである．最初は，コンピュータマニアの教員が自分でプログラムを組み，教室にコンピュータを持ち込んで授業に使っていた．この当時の CAI は「概念の解説，小問題の提示，回答待ち，採点評価，強化，分岐」を繰り返す，個別対応のチュートリアル方式であった．

1984 年に行われた数学教育世界会議 (ICME6) において，イギリスの Fraser 女史が CAL (Computer Assisted Learning) についての講演を行い，大きなインパクトを与えた．このようなコンピュータ利用は，児童生徒がコンピュータ画面を通じて小集団で話し合い，問題解決をし合いながら，課題を深く理解していく授業論を目指すものであった．日本では町田彰一郎氏の指導のもと，恩田・青木(1989)において CALesson (Computer Assisted Lesson) が提唱された．CALesson は，学校教育が集団の中での教育であることを前提に考え，一人一人の個性や習熟度を考慮し，友だちや教師との人間的な触れあいの中から学習を作り上げる教育を目指すものであった．

「問題を感じ，それを自分の解ける範囲で定式化し何とか解決できるような体験を持たせ，ひとりで解けなければ集団で問題解決できる人間に育てる」ことを実現するためにコンピュータを利用するとしている．

3.5 プログラミング教育の展望

コンピュータテクノロジーが授業にどのような影響を与えるかを示す指標の一つに「SAMR モデル」がある．その概要は以下の通りである．(Puentedura,2010)

1. Substitution (代替)
テクノロジーが他のツールの代替として機能する．機能における本質的な差異はない．
2. Augmentation (増強)
テクノロジーが他のツールの代替として機能し，その機能に向上が見られる．
3. Modification (変容)
テクノロジーが学習課題の再設計を可能とさせる．
4. Redefinition (再定義)
テクノロジーにより，従来では考えられなかった新しい学習課題が創造される．

同様の指摘として，数学教育におけるコンピュータ利用について先駆的な研究を進めてきた町田彰一郎氏は，数学教育におけるコンピュータ利用に関する研究の望ましい進展について，次の3つのステップを述べている．

- ① コンピュータを使って何が出来るか探る段階
- ② ①の中で，特にコンピュータを使わなくても実現できるものを選別し，コンピュータがその威力を本当に発揮するものを選び出す段階
- ③ 最終的には，このような授業を実現したいという教育目標が先にあり，コンピュータを使わなければその目標を実現することが不可能であるが故に，コンピュータを利用する段階

現在注目される「プログラミング教育」についても同様のことが言えるのではないだろうか．そして現在は①「プログラミングを使って何が出来るかを探る段階」にあるように思う．それが，②「プログラミングを有効に授業に用いること」について研究を進め，最終的には③「ある教育目標を達成するためにプログラミングが不可欠」といった位置づけでなければならない．

プログラミング教育に関して，そもそも「何を目的・目標としているのか」についての明確な議論とビジョンが求められるように思う．

文献

青木義弘・恩田和彦(1989).小学校における CALesson の実践事例—第 6 学年の指導を通して—.日本数学教育学会

- 誌,臨時増刊 71,210,
- 町田彰一郎(1986). CAI の考え方その実践の立場から.日本科学教育学会年会論文集 10,569-572
- 町田彰一郎(1995).算数・数学教育とコンピュータ:情報教育としての算数・数学教育.日本数学教育学会誌 77(6-7),122-125
- 町田彰一郎・吉田章司・池田孝司(1994).数学とのよりよいインターフェースを確立するためのコンピュータの活用.日本科学教育学会年会論文集 18,29-30
- Puente dura, R.(2010).SAMR and TPACK: Intro to Advanced Practice.
http://hippasus.com/resources/sweden2010/SAMR_TPACK_IntroToAdvancedPractice.pdf

第4章 小学校理科におけるプログラミング教育とカリキュラム・マネジメント：つくば市の事例から

玉川大学大学院 久保田 善彦

4.1 学習指導要領解説【理科編】におけるプログラミングと制御

学習指導要領（平成29年3月公示）の実施に伴い、複数の教科でプログラミング教育が導入される。理科は、6年生「電気の利用」に明記されている。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）の議論のとりまとめにおいて、「プログラミング的思考」が提案された。それ以降、理科に限らず多くのプログラミング実践は、プログラミング的思考の育成を目指している。

一方で、小学校プログラミング教育の手引（第二版）（2018）によれば、プログラミング教育のねらいは以下の三点とされる。「ねらい①：「プログラミング的思考」を育む。ねらい②：プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータ等の情報技術によって支えられていることなどに気付くことができるようにするとともに、コンピュータ等を上手に活用して身近な問題を解決したり、よりよい社会を築いたりしようとする態度を育む。ねらい③：各教科等の内容を指導する中で実施する場合には、各教科等での学びをより確実なものとする。」ここで確認すべきは、ねらい①「プログラミング的思考」の育成のみを目的としていない点である。既存の教科の中でプログラミング教育を行うのであれば、ねらい③にある教科の学びをより確実なものにしたり、深めたりすることを最優先にして授業を設計すべきである。

学習指導要領解説【理科編】の「電気の利用」においてプログラミングと関わる内容は以下になる。

（ウ）身の回りにある、電気を利用している道具の働きに着目して、電気の利用の仕方を多面的に調べる。これらの活動を通して、発電や蓄電、電気の変換について、より妥当な考えをつくりだし、表現するとともに、発電したり、蓄電したり、変換させたりしながら利用していることを捉えるようにする。その際、身の回りには、電気の働きを目的に合わせて制御したり、電気を効率よく利用したりしている物があることを捉えるようにする。（p. 83）

まず、電気の働きはプログラムによって制御できることを理解する。それによって電気の効率的な利用など人々の生活が変化することを理解する。

小学校理科では、電気の働きの制御もしくは電気（電流）の“制御”とは聞き慣れない用語である。しかし、児童はそれまでの理科学習で体験的に学んでいる。3年生「電気の通り道」では、回路にスイッチを接続し点灯と消灯（電流のOn-Off）を制御する。手動で金属を接触させるので、「物理スイッチ」という。4年生「電流の働き」では、物理スイッチに加え、乾電池の向きや数を変えることでモーターカーの動き（電流の方向や量）を制御する。5年生「電流が作る磁力」では、4年生の電流の向きや量と関連付けながら磁力を制御する。6年生は、これまでの物理スイッチを、プログラムによって作動する「電子スイッチ」に置き換え、電気とその働きを制御する。物理スイッチも便利ではあるが、電子スイッチに変わることによって応用の範囲が格段に広がる。解説には、更に具体的な活動として、以下が例示されている。

日常生活との関連としては、エネルギー資源の有効利用という観点から、電気の効率的な利用について捉えるようにする。このことについて、例えば、蓄電した電気を使って、発光ダイオードと豆電球の点灯時間を比較することが考えられる。また、身の回りには、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付き、実際に目的に合わせてセンサーを使い、モーターの動きや発光ダイオードの点灯を制御するなどといったプログラミング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. 83）

プログラムによる電子スイッチの制御は、センサーと組み合わせることで、日常生活を改善できることを体験的に理解する。“体験的に”とは、PCやタブレットを使ったプログラミングであり、それらが不可欠であることを留意したい。つまり、PCを使わないアンプラグドな活動（活動計画をフローチャートで示すなど）のみでは、ねらいは十分に達成できない。実際にプログラミングする過程で、組み合わせなどのプログラミング的思考を活用するため、必然的に“ねらい①”に迫ることになる。

4.2 理科におけるプログラミング実践：つくば市の実践から

つくば市は、すでに市内の全ての小学校の全学年でプログラミング教育を実施している。つくば市が作成した「プログラミング学習の手引き-第3版-(2019)」をもとに検討する。取り組みの詳細は、つくば市教育局総合教育研究所（2018）を参照してほしい。

先の手引きでは理科のモデルカリキュラムとして、4年生の「季節と生き物」、「方位磁石を作ろう」、6年生の「電気の利用①（電子掲示板の点滅）」、「電気の利用②（センサー付き信号機）」の四つの学習を提案している。

（1）既習事項の整理

4年生の季節の生き物は、それまでの学習に関するクイズを作成している。クイズの形式は、学習内容や自身のプログラミングスキルに応じて工夫することになる(図1)。完成したクイズは、クラスやグループ内に紹介する。これまで単元のまとめは、紙ベースが多い。選択肢の一つとしてプログラミングによるインタラクティブなプレゼンテーションが加わったと理解できる。この学習は、教科や学年は限定されない。この学習を契機に、他の教科や単元でも同様の活動を展開できる。

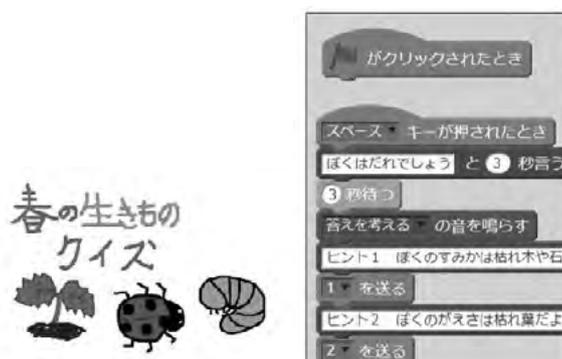


図1 季節の生き物クイズの例

(2) 測定機器

方位磁石の実践は、4年生の「月や星」の単元で実施している。小型のセンサー付きコンピューターボード(micro:bit)を利用し、「北を向いたら00になる」プログラムを作成し、天体観測で利用する(図2)。00には、LEDに文字やアイコンを表示したり、メロディを流したりと工夫を凝らした方位磁石を制作している。プログラムを変更することで、電磁石の磁力の測定や太陽高度(傾き)の測定なども可能になる。これまでもICT機器による測定や観察が行われてきた。小型のセンサー付きコンピューターボードとプログラミングによって、児童自身が開発した測定機器を活用できる。



図2 micro:bitで方位磁石を製作

(3) 電気(電流)の制御

6年生の電気の利用は2つの実践で構成される。第一は「電光掲示板の点滅」に関する学習である(中村(2018)に詳しい)(図3)。まず、既習の物理スイッチと電子スイッチの違いを理解する。次に、プログラミングによってLEDの点滅を制御する。第二は「センサー付き信号機」に関する学習である(図4)。まず、信号機の点灯をフローチャートで検討する。次に、センサーや押しボタンを使い、安心かつ効率的な信号機をプログラミングする。



図3 物理スイッチによる電光掲示板の点灯体験



図4 信号機実践で利用する人感センサー

以上から6年理科のプログラミングは、「点滅型」と「センサー型」があることがわかる。「点滅型」とは、既習である物理スイッチによる点滅をプログラムによる電子スイッチに置き換えることで、制御方法と活用の違いを理解する学習である。プログラムは、同じ点滅を間違えることなく何度でも繰り返すことができることを学ぶ。ボタンを押すと一定時間だけ点灯するなど、センサーを使わなくてもエネルギーの効率的な利用の学習も可能である。「センサー型」とは、電子スイッチにセンサーを連動させることで、点灯やモーターの動きを制御する。センサーは、明るさセンサー、人感センサー、温度センサーなどが考えられる。室内がある値より暗くかつ人を感じたときに点灯するなど、2つのセンサーを組み合わせるには高度なプログラミング的思考が必要になる。先の事例では、「センサー型」の学習の前提として、「点滅型」で物理スイッチと電子スイッチについて丁寧に学ばせている点は注目に値する。

4.3 プログラミング教育とカリキュラム・マネジメント

小学校におけるプログラミング教育は始まったばかりである。そのため、計画と学習者や教師の実態との乖離が見られる可能性が大きい。また、複数の学年でプログラミング教育を実施するならば、児童は学年進行に伴い加速度的にプログラミングスキルが向上するかもしれない。更には、時代の変化に伴いプログラミング環境が変化したり、より安価で簡便な教材が開発されることもある。何より、効果的な活動とするには、総合的な学習の時間や他教科との教科横断的なカリキュラムを検討すべきであろう。これらを解決するには、不断のカリマネが必要になる。

さて、つくば市教育研究所(2019)「プログラミング学習の手引き・第3版」には、理科と関連する他教科のプログラミング実践が紹介されている。例えば、3年生の総合的な学習の時間に「ロボットカー」の走行をプログラミングする。6年生の保健体育の「室内の空気や明るさと健康」では、照度センサーで身近な環境の明るさを測定する。前章で取り上げた、理科のプログラミング実践を含めると、既に多くの実践が実施されている。そこで、以下では次期学習指導要領を見据え、理科の電気(電流)の制御を中核とした教科横断的なカリマネを提案する。

【3年生】

3学年の「電気の通り道」は、物理スイッチによる制御を学ぶ。単元終末のものづくりでは複数回点滅する物理スイッチを作成することもある。ものづくりに関連付けて「点滅型」のプログラミングを導入することができる。ただし、それまでにはある程度のプログラミング体験が必要になる。この学習によって、身の回りのスイッチを、物理スイッチと電子スイッチに分類することや、それぞれの良さを理解する学習が可能になる。

【4年生】

既習事項の整理としてのクイズ作りは、汎用性の高い学習である。まず「総合的な学習の時間」で実施することを提案する。そこで身につけたプログラミングスキルを活用することで、理科をはじめ他教科での実践が容易になる。

ロボットカーのプログラミングは、電流のOn-Off、電流の向き(進行方向)、電流量(速さや回転)などの制御が伴う。これらは4年生の電気の働き(電流)の学習と関連が強い。4年生の電気単元の後に、「総合的な学習の時間」において、理科と関連付けながら実施することが効果的である。

「方位磁石」の実践は、モデルカリキュラムと同様に4年生の「月と星」で行うことができる。このプログラムは、6年生の「月と太陽」など、他の単元でも利用できる。また、磁力を測定するプログラムに改変することで、5年生の「電磁石」において磁力を定量的に測定することが可能になる。

【6年生】

私案では、電子スイッチを理解する「点滅型」のプログラミングは3年生で実施する。6年生の「電気の働き」は、「センサー型」の活動を中心に進めることで、エネルギーの効率的な利用に積極的に繋げることができる。「電気の働き」の前に、保健体育の「室内の空気や明るさと健康」や家庭科の「住居」において、照度センサーによる照度の測定を行うことも効果的である。その活動によって、制御の閾値(On-Offを切り替える明るさの規準)を検討できる。保健体育や家庭科で照度センサーの利用は既習になる。それらは、人感センサーなどを加えた複数センサーのプログラミングの足場となるであろう。

4.4 新たな展開

本稿では、小学校理科におけるプログラミング、特に電気（電流）の制御を中心としたプログラミングを検討した。一方で、校種や学校を超えたプログラミング教育も始まっている。例えば、食物連鎖シミュレーションプログラムを改良するプロジェクトがある。つくば市内の中学校に通う科学部の生徒が Scratch を利用し、食物連鎖シミュレーションプログラムを開発した。画面内には植物が固定され、草食動物と肉食動物がランダムに動く。衝突によって捕食・被食が発生する簡単なものである。そのプログラムは電子掲示板に掲示され、市内の児童生徒は閲覧や変更ができる。閲覧した児童生徒は、環境を海に変更したり、生物の数やそれぞれの寿命を変更できる仕様にしたたり、時間経過に季節の変化を取り入れたりと、様々な改良を行っている。また、その一部は電子掲示板に公開している。

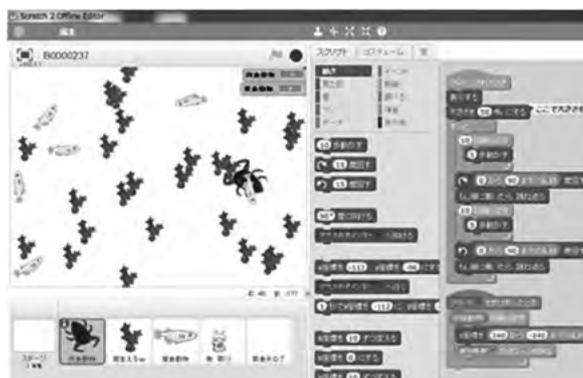


図5 食物連鎖シミュレーション

多くの児童生徒は、理科に限らず教育課程内でプログラミングを経験する。上記の取り組みは、プログラミングに関心を持った児童生徒が、自主的にプログラミングに取り組み、校種や学校を超えて協働的に理科を学ぶ場を構築する可能性がある。このように、教育課程外に留まらない活動にも注目すべきであろう。

文献

- 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) : http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/houkoku/1372522.htm
- 2) 文部科学省 (2018) : 小学校プログラミング教育の手引 (第二版), http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/11/06/1403162_02_1.pdf
- 3) つくば市教育局総合教育研究所 (2018) : これならできる小学校教科でのプログラミング教育, 東京書籍.
- 4) つくば市教育研究所(2019) : つくば市プログラミング学習の手引き (第3版), <https://www.tsukuba.ed.jp/~souken/?p=8436>
- 5) 中村めぐみ(2018) : 「電気の性質とその利用」においてプログラミング教材を活用した実践から, 理科の教育, 787, 92-94.

第5章 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

相模女子大学小学部 川原田 康文

5.1 はじめに

来年から始まろうとする Society5.0 の社会に向けて 子どもたちがどのようなことを学習していけばよいかということを考えなければいけない時期に来ている。また、子どもたちが活躍する社会は 2030 年以降ということは、現在の社会では考えられないということも考えないといけない。そして、インターネットを通してありとあらゆるものがつながり、AI の活用やロボットやコンピュータがさらに活躍するという時代がやってこようとしている。

プログラミング教育の手引によると、「あらゆる活動でコンピュータ等を活用することが求められるこれからの社会では、コンピュータを理解し、上手に活用していく力を身に付けることは、これからの社会ではどのような職業に就くとしても極めて重要」であるとしている。つまり、コンピュータを理解し、上手に活用していく力を身につけることは、あらゆる活動において、コンピュータを活用することが予想されるこれからの社会を生きていく子どもたちにとって、将来どのような職業に就くとしても極めて重要であるとする。

本校では、2017 年度より、小・中学生を対象にプログラミングの授業を実施してきた。学年間の系統性、学習内容、目標等、3 年目の取組み等も含めて報告する。

5.1.1 相模女子大学小学部のプログラミング教育

2017 年度より、全学年で、プログラミングの授業を教科内に設定せず、「プログラミング」の授業として、実施してきた。

文部科学省の小学校プログラミング教育の手引き（第二版）（平成 30 年 11 月）において、プログラミング教育のねらいは、

- 1 「プログラミング的思考」を育むこと
- 2 プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータ等の情報技術によって支えられていることなどに気付くことができるようにするとともに、コンピュータ等を上手に活用して身近な問題を解決したり、よりよい社会を築いたりしようとする態度を育むこと
- 3 各教科等の内容を指導する中で実施する場合には、各教科等での学びをより確実なものとするのとある。

これらのねらいを参考に、カリキュラムを作成し、授業を行なっているが、1 単位時間やそれぞれのアクティビティの中で、次の 4 つの項目を重視している。

- 1 楽しく意欲的に取り組める
- 2 継続して学習することができる
- 3 いろいろな角度から考えることができる
- 4 複数の教科の学習と関連づける

これらを達成するために、LEGO を使ったものづくりを重視したプログラミング学習を中心として構成している。LEGO は幼少期の時から遊んでいることが多く、直感的に組み立てたりすることができるため、小学校の児童にとってもわかりやすい教材であるとする。

系統的に学習を進めるために、低学年・中学年・高学年での目標を表 1 のように設定した。WeDo2.0 のカリキュラム表 入門プロジェクト・基礎プロジェクト（指導内容・指導項目・評価規準）を、表 2（章末に掲載）に示す。

表1 学年ごとのプログラミングの学習目標

1・2年
1・2年では、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 を使ったものづくり（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。
3・4年生
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。
5・6年生
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。

5.1.2 教材を有効に活用するための自作テキスト

学習がスムーズに進行するために重要なことは、どの教科でも同じであるが、学習の課題設定、導入時の発問、学習内容にあった教材、学習内容、評価などがある。

しかし、児童が主体的に取り組むにはどのようにすれば良いか、これは、この学習は、他の教科や学習より容易であると考ええる。

「主体性」とは、「ある活動や思考などをなす時、その主体となって働きかけるさま。他のものによって導かれるのではなく、自己の純粋な立場において行うさま。」と広辞苑にあるように、子どもの「主体性」を保証することとは、子どもが自ら望む経験を積み重ねていくこと(勝手ではなく、夢や願いを実現する、実現しようとする)ができる学びを組み立てていくことであり、そこにみられる「～をしたい」「～をわかりたい」などの子どもの願いは、自己課題への追求でもあると解釈することができる。また、LEGO は、遊び感覚で取り組むことができる教材であると考ええる。授業中、授業者が、決めた課題について考える時間や、自由に取り組む時間などを設定し、取り組むことで、発見または理解できたことを共有することも容易と考ええる。

深い学びについては、単なる課題への取り組みでは、なし得ないものであり、複数時間の授業や他教科との関連があって、初めて達成することができる。この取り組みについては、今年度の5学年での実践を紹介する。

学びをより効果的に系統的に積み上げることができるかは、課題の中での取り上げる観点・項目が重要と考ええる。作成しているテキスト(LEGO WeDo 2.0版)は図1に示すような構成となっている。



図1 LEGO WeDo 2.0版の児童用テキスト

各学習は、1項で構成されており、学習する目標があり、基礎課題や、プログラムの理解、実験や追加課題、しくみについての実験・理解、まとめ等で構成している。1年生から学習については、表2のようになる。

5.1.3 2019 年度の実施状況

2019 年度に実施した内容は、表 3 の通りである。

表 3 2019 年度の取組み状況

学年	1 学期	2 学期	3 学期
1 学年	シンプルマシンセット		WeDo 2.0 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

プログラミングの授業を実施して 3 年目が経過するが、3 年目の今年からは隔週で 1 時間必ず授業を確保するように設定した。最終的には各学年とも年間 35 時間の実施を目指す。現在の時数であれば、この学習内容で系統的に進めることができると考える。

5.1.3.1 1・2 年生のものづくりを中心とした内容

1 年生は、昨年から始めたものづくりを中心とした学習をまず行なっている。後半は、WeDo 2.0 の入門のアクティビティを行った。授業の中で、プログラミングや実験などを行うためには、限られた時間内でロボットを制作する必要がある。簡単なものづくりを通して、歯車や、車輪、車軸などの機構とともに LEGO を使った制作に慣れ親しむ時間をとる必要があると考えている。ものづくりを通して、基本的なしくみを理解し、3 次元でものを見る力を養う。この学習内容には、算数の学習内容や力学的な学習、ものづくりの学習が網羅される。そして、この学習を繰り返すことで、ものづくりを通じたプログラミングの学習の基礎を作ることができる。シンプルマシンセットを使った学習のカリキュラムを表 4 に示す。

表 4 シンプルマシンセットを使った学習カリキュラム

学年	学習内容	指導項目	時数
1 年	歯車の歯数を数える	歯数の数え方	1
	同じ大きさの 2 つの歯車の回転の向きと回転の速さ	回転方向と回転数	2
	違う大きさの 2 つの歯車の回転の向きと回転の速さ	回転方向と回転数	2
	違う大きさの 3 つの歯車の回転の向きと回転の速さ	回転方向と回転数	2
	歯車と使った作品の制作	歯車のしくみ、機能	1
	回転軸を 90 度変えるしくみ	クラウンギヤの使い方	1
	クラウンギヤを使った作品の制作	クラウンギヤの使い方	1
2 年	てこのしくみ	てこの種類	1
	てこのしくみを使った作品の制作	てこのしくみ、機能	2
	カムのしくみ	カム	1
	カムのしくみを使った作品の制作	カムのしくみ、機能	1

2 年生の学習は、シンプルマシンセットの学習を行い、WeDo2.0 の学習を行う。身の回りで使われている機械やセンサなどについても伝え、今学習している内容が社会や生活と繋がっていることを意識させるようにしている。

3 年生と 4 年生は、それぞれの基礎プロジェクトを行い、実験等を行いながら科学的に考える学習を進める。各学習で学んだり理解したりしたことは、発表等の時間を取り、共有している。少し違ったことでも、こちらでまとめるのではなく、少し時間がかかっても自分たちで考えさせ、取り組ませるようにしている。

5.1.3.2 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5)。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5 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	モデルロボットの制作	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

5年生の学習は、今年度初めての取り組みであったが、様々なことを考え、ロボットにも工夫を加えながら、プロジェクト学習として行うことができた。

5.1.3.3 6年生の学習

6年生の学習は、これまで中学生で扱ってきたLEGO Mindstorms EV3を使った学習を行った(表6)。

表6 LEGO Mindstorms EV3のSTEP学習の基礎基本の各課題と指導の視点

STEP	課題内容	学習項目	指導の観点
1	前進して、停止	モータのパワーと進行方向	プログラムの理解
2	【実験】モータのパワーと時間と走行距離の関係	実験を通してそれぞれの関係について考える	等速度運動等
3	6秒間前進して、2秒間後退し、止まる	モータのパワーと進行方向	モータのパワーの値 + または
4	円を描く	両方のモータのパワーと進行方向	左右のモータの出力の違いによる動き
5	3秒間前進し、右に90°曲がり、止まる	90°曲がるしくみ	前進と方向転換
6	正方形を描く		【STEP5の発展】直進+90°回転+直進+90°回転+...
7	STEP6のプログラムを改良し、何度も繰り返す	ループを使ったプログラム	【STEP6の発展】繰り返しの概念
8	前進して、黒い線を見つけたら止まるプログラム	センサが色や反射率の変化によって反応する	カラーセンサを使ったプログラムの作り方
9	線の右側をたどりながら動くプログラム	しきい値の違いで動きを変える	ラインの右側をたどるための概念とプログラム
10	【実験】カラーセンサの読みとり値の実験	机からセンサまでの高さでセンサの値の変化	センサの特性の理解
11	線の両側をたどりながら動くプログラム	センサの読み取り値と動きの分析	【STEP9の発展】
12	タッチセンサをつかったプログラム	センサの測定値でモータの動きを変える	タッチセンサの反応で止まる
13	【実験】タッチセンサの読みとり値の実験	センサの測定値の変化	センサの特性の理解
14	壁を見つけたら止まるプログラム	センサの測定値でモータの動きを変える	設定した壁からの距離で止まる
15	【実験】超音波センサの読みとり値の実験	センサの測定値の変化	センサの特性の理解
17	障害物を回避するプログラム	センサの測定値でモータの動きを変える	センサの測定値と動きの理解
18	【課題】ブロック出し	カラーセンサと時間内の動きの思考	課題への多様な取り組み
19	【課題】カーリング	動きとチームワークの思考と分析	課題への多様な取り組み
20	【課題】迷路抜け	多様な制御方法と動きの思考	課題への多様な取り組み
21	【課題】ラインレースの速さ	多様な制御方法と動きの思考	課題への多様な取り組み
22	まとめ	学習のまとめ・ふり返り	学習で学んだ内容の理解

オリジナルのカリキュラムであるが、ロボットの動きやセンサから得られた数値から考えたり、課題に対して取り組んだりする学習としている。

Mindstorms EV3 の制御は、iPad のアプリを使用している。ロボットの数は2人で1キットを使用しているため、ロボットの組み立て、改良等はしていない。また設定した STEP は 22 であるが、1 STEP が1時間かかるわけではない。STEP18 から 20 の課題については、後半で行うのではなく、STEP3、8、14 の後などに入れることで、思考の幅が変わってきたことを子どもたち自身に認識させることができる。

5.2. まとめ

ものづくりを通じたプログラミングの学習は、3年を経て、学習の系統性ある流れを作ることができたと考えている。今年5年生で実施したプロジェクト型の学習のような学習を増やしていく必要があると考える。プログラミングの学習は、横断的・複合的な学習を展開できることが未来につながる学習となると考える。

文献

- 1) 文部科学省：小学校プログラミング教育の手引き（第二版）（平成30年11月）（2018a）
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm
- 2) 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（2018b）
- 3) 川原田康文（分担執筆）：「第3章 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」，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）（2018）<http://hdl.handle.net/10513/00007428>

表2-1 WeDo2.0のカリキュラム表 入門プロジェクト・基礎プロジェクト(指導内容・指導項目・評価規準)

学習項目	学習内容	指導項目・関連する教科	学びに向かう力	思考力・判断力・表現力	知識及び技能	時数	仕組み	プログラム	発展課題
パーツの理解	各パーツの特徴を知る	パーツの名称、特徴	各パーツの特徴に興味を持ち観察することができる。	特徴などを見つけて観察することができる。	部品の名称と使用を理解できる。	2	大きさの違う歯車のベグの形状と用途		ギヤを使った回転比(算数、技術)
光の特性	作り方ガイドをみながら組み立てる(LED)	プログラムの作成方法LEDの色とコマンドの数の変更と時間のコマンド	ロボット制作やプログラムの作成に意欲的に取り組むことができる。	パラメータの変更と結果の変化について考えることができる。	LEDを光らせるプログラムの作成して、数値などを変え、結果を理解することができる。	0.5	LED	スタートコマンドの色とコマンドの番号	ウエイトのコマンドを入れて、色の変わり方(時間等)を変える
音	作り方ガイドをみながら組み立てる(モーター)	プログラムの作成方法モーターのコマンドや時間の変更	ロボット制作やプログラムの作成に意欲的に取り組むことができる。	パラメータの変更と結果の変化について考えることができる。	モーターを回すプログラムを作成して、数値などを変え、結果を理解することができる。	1	モーター	モーターのスピード	スピードを変えて、回り方を楽しむモーションセンサを使って、人が来たら動くようにする
動き	作り方ガイドをみながら組み立てる(モーター)	プログラムの作成方法モーターのコマンドや時間の変更	ロボット制作やプログラムの作成に意欲的に取り組むことができる。	パラメータの変更と結果の変化について考えることができる。	モーターを回すプログラムを作成して、数値などを変え、結果を理解することができる。	0.5	モーター	モーターの回転時間	回る速さを変えたり、音を入れたりして、動きを楽しむ
パイロット	作り方ガイドをみながら組み立てる(モーションセンサ)	プログラムの作成方法モーションセンサとコマンドの数や変更	ロボット制作やプログラムの作成に意欲的に取り組むことができる。	モーションセンサのはたらきについて考えることができる。	モーションセンサを使ったプログラムを作成して、その働きを理解することができる。	0.5	モーションセンサ	モーションセンサ音	LEDの色も変えて、音とともに人に伝える自分の声を録音し、再生させる
ロボットの製作	ロボットの作成方法を知る	基本的な作成方法、回転比(技術・理科・算数)	ロボット制作やプログラムの作成に意欲的に取り組むことができる。	プログラムの数値の変化とロボットの動きの関係について考えることができる。	基本的なプログラムを作成して、数値などを変え、結果を理解することができる。	2	回転比と移動距離	モーターの回転時間	速さを変えたり、時間を変えたりして走る距離を測定するある長さや速さについて調べる
プログラムの理解	プログラムの意味の理解	コマンドの意味(技術・国語)	各コマンドの言葉に興味を持ち取り組むことができる。	各コマンドの働きを使って説明することができる。	各コマンドの意味を言葉でまとめることができる。	2			作成したプログラムを人に説明する

その他のアクティビティ

			モーターの回転を促すことについて考える。	モーターの回転を促すことについて考える。	手の動きや指の動きについて考えることができる。	回む機構が身のように使われているか考えることができる。	回む機構と自分たちの関係について理解することができる。	2	回む	モーターの回転時間を繰り返す	ロボットアームと蛇ロボット
	ものをまっすぐ動かすしくみ	ピニオンギヤを使って、まっすぐ動かすしくみについて考える。	ピニオンギヤを使って興味を持つことができる。	ピニオンギヤを使ったしくみについて考えることができる。	ピニオンギヤを使って興味を持つことができる。	ピニオンギヤを使ったしくみについて考えることができる。	ピニオンギヤと自分たちの関係について理解することができる。	2	押す ピニオンギヤ	モーターの回転時間を繰り返す	青虫ロボットとカマキリロボット
	ものを揺らすように動かすしくみ	回転から揺動運動を作ると考える。	揺動する動きを作ると考える。	揺れる機構が身のように使われているか考えることができる。	揺れる機構が身のように使われているか考えることができる。	揺れる機構が身のように使われているか考えることができる。	揺れる機構と自分たちの関係について理解することができる。	2	揺動する 回転比 ウォーム歯車	モーターの回転時間を繰り返す	アームロボットと端ロボット
	向きを変え、しくみ	モーターの回転を変え、動きを促すしくみについて考える。	回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	モーターの回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	モーターの回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	モーターの回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	モーターの回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	2	ハンドルを回す 回転比	モーターの回転時間を繰り返す	フオークリフトと除雪車
	ものをかき集めるしくみ	回転させるしくみを使って、ものをかき集めるしくみについて考える。	回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	回む機構が身のように使われているか考えることができる。	回む機構が身のように使われているか考えることができる。	回む機構が身のように使われているか考えることができる。	回む機構と自分たちの関係について理解することができる。	2	掃く 歯車の回転比	モーターの回転時間を繰り返す	海の掃除機とホウキロボット
	センサでものを認識するしくみ	センサを使って、ものの認識について考える。	センサのしくみや特性について考える。	センサが身のように使われているか考えることができる。	センサが身のように使われているか考えることができる。	センサが身のように使われているか考えることができる。	センサの活用と自分たちの関係について理解することができる。	2	モーション	モーションセンサーの音	測定器ロボットと発券機ロボット
	傾きを認識するしくみ	チルトセンサーを使って、傾きの認識について考える。	センサのしくみや特性について考える。	センサが身のように使われているか考えることができる。	センサが身のように使われているか考えることができる。	センサが身のように使われているか考えることができる。	センサの活用と自分たちの関係について理解することができる。	2	傾く	チルトセンサーの音	蜜ロボットとコントローラー
	一つのモーターで2つの動きをさせるしくみ	モーターの回転を、違う動きをさせるしくみについて考える。	回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	モーターの回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	モーターの回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	モーターの回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	モーターの回転の速い、遅い、向きを変え、動きを促すしくみについて考える。	2	回る 回転比 ベヤンセンサー	モーターの回転時間を繰り返す モーションセンサー	月面探査機とスキャンロボット

表2-2 カリキュラム表(理科の学習との関連 LEGOWeDo2.0 教師用ガイドより)

	①引く力	②速度	③頑丈な構造	④カエルの成長	⑤植物と受粉を助ける生き物たち	⑥洪水を防ごう	⑦防災と救助	⑧リサイクル・ゴミの分別
生物分野				<ul style="list-style-type: none"> 身近な自然の観察(第3学年) 季節と生物(第4学年) 植物の発芽・成長・結実(第5学年) 動物の誕生(第5学年) 生物と環境(第6学年) 	<ul style="list-style-type: none"> 季節と生物(第4学年) 植物の発芽・成長・結実(第5学年) 			<ul style="list-style-type: none"> 生物と環境(第6学年)
地学分野			<ul style="list-style-type: none"> 土地のつくりと変化(第6学年) 火山と地震 			<ul style="list-style-type: none"> 流水の動き(第5学年) 洪水のメカニズム 	<ul style="list-style-type: none"> 天気の変化(第5学年) 気象観測 	
物理分野	<ul style="list-style-type: none"> 電気の働き(第4学年) 電気の利用(第6学年) 摩擦・力のつり合い 	<ul style="list-style-type: none"> 電気の働き(第4学年) 電気の利用(第6学年) 摩擦 						<ul style="list-style-type: none"> 素材の分別
工学・技術	<ul style="list-style-type: none"> プログラミン 歯車の製作、比較 	<ul style="list-style-type: none"> 速さの計算 プログラミン 車輪、車軸、プーリー 	<ul style="list-style-type: none"> プログラミン 耐震構造 リング装置 	<ul style="list-style-type: none"> プログラミン 回転運動 	<ul style="list-style-type: none"> プログラミン センサの働き 	<ul style="list-style-type: none"> プログラミン 歯車の製作、比較 	<ul style="list-style-type: none"> プログラミン プーリー、滑車 モデルの製作、比較 	<ul style="list-style-type: none"> プログラミン プーリー、リング装置 解決案のモデル設計、製作

入門プロジェクト	マイロボットの製作	モーターの回転方向	モーターの回転方向	プログラムの作成方法	モーションセンサのコマンドとサウンドの数の変更	プログラムの作成方法	モーションセンサのコマンドとサウンドの数の変更	リサイクル・ゴミの分別
入門プロジェクト	マイロボットの製作	モーターの回転方向	モーターの回転方向	プログラムの作成方法	モーターの回転方向	プログラムの作成方法	モーションセンサのコマンドとサウンドの数の変更	リサイクル・ゴミの分別
入門プロジェクト	マイロボットの製作	モーターの回転方向	モーターの回転方向	プログラムの作成方法	モーターの回転方向	プログラムの作成方法	モーションセンサのコマンドとサウンドの数の変更	リサイクル・ゴミの分別

学習項目	プログラム	しくみ
光るタリ	スタートコマンド LEDの色とコマンドの番号	プログラムの作成方法 LEDのコマンドと色の数の変更と時間のコマンド
せんぶうき	モーターのスピード	プログラムの作成方法 モーターのコマンドとスピードや時間の変更
動く人こえいせ	モーターの回転方向 時間	プログラムの作成方法 モーターのコマンドとスピードや時間の変更

相模女子大学小学部「ロボティクス」ルーブリック表 (WeDo 2.0)

2	センサー				用と特性	
	マイロとセンサー	チャルトセンサを使った制御LEDの色とコマンドの番号			チャルトセンサの活用と特性	
	マイロ共同作業	モータの回転停止				
	引く力	文字の表示、モータの回転方向 時間			ベベルギヤ	摩擦力比例
	速度	数字の表示と積算、モーションセンサを使用した発進と停止、繰り返し停止			スピードと移動距離回転比	
	丈夫な構造	文字の表示、パワーの増期待機、繰り返し			リンク機構	
	カエルの成長	モータの回転方向 時間			ギヤ比と動き足と相き	
	植物と受粉を助ける生物	モータの回転モーションセンサを使った制御			モーションセンサの特性	
	洪水を防ごう	モータの回転方向 時間の画像の表示			ベベルギヤ	
	災害と救助	モータの回転方向 時間			回転比	
	リサイ	モータの回転			回転比	

	クルとゴミの分別	方向	時間		
--	----------	----	----	--	--

第6章 情報活用能力に関する評価基準表と、プログラミング教育の年間指導計画の提案

愛知教育大学 磯部 征尊
CA Tech Kids 上野 朝大

本章は、「必須化！小学校のプログラミング学習 成功する全体計画&授業づくり（磯部，2020）」¹⁾の一部を加筆・修正した内容であることを最初に述べておく。

6.1 情報活用能力に関する評価基準表の提案

初めに、小学校学習指導要領解説総則編²⁾の解説を以下に引用する。

情報活用能力をより具体的に捉えれば、（中略）情報手段の基本的な操作の習得や、プログラミング的思考、情報モラル、情報セキュリティ、統計等に関する資質・能力等も含むものである（pp. 50-51）。

情報活用能力は、「情報活用の実践力」「情報の科学的な理解」「情報社会に参画する態度」の三つの力から構成されている。これら三つの力を育成する際、プログラミング的思考を働かせる授業づくりが必要となる（図1）。



図1. 情報活用能力の三つの力とプログラミング的思考との関係

図1は、文部科学省の提案³⁾を基に、筆者らがプログラミング的思考との関係が分かるように図式化したものである。プログラミング教育とは、プログラミング的思考の育成を通して、三つの力から構成される情報活用能力を総合的に身に付けさせる教育である。「情報活用の実践力」では、読み・書き・計算のように、ICTの習得・活用を充実させる。「情報の科学的な理解」については、プログラミングに取り組むことが求められる。「情報社会に参画する態度」では、社会科や「特別の教科 道徳」など、教科横断的に情報モラルを育成する。

そこで、様々の先行研究の成果^{4~9)}を踏まえ、三つの力が目指す目標を、資質・能力の三つの柱「知識及び技能」、「思考力、判断力、表現力等」、「学びに向かう力、人間性等」に沿って整理した表を、表1に提案する。

表1は、最終的に到達することが求められる力（到達目標）である。このように、情報活用能力の目指す目標と、三つの柱との関係を整理しておくこと、各学校での情報活用能力を教科横断的な視点で検討する際に役立つと考える。

表 1. 学習の基盤となる資質・能力（情報活用能力）と三つの柱との関係

情報活用能力 三つの柱	A 情報活用の実践力	B 情報の科学的な理解	C 情報社会に参画する態度
知識・技能	<ul style="list-style-type: none"> 課題や目的に応じた情報手段を適切に活用する（文字の入力、電子ファイルの保存・整理、インターネットの閲覧、電子メールの送受信） 	<ul style="list-style-type: none"> 身近な生活でコンピュータが活用されていることに気付く 問題解決のためにコンピュータに指示を出すには必要な手順があることに気付く（手順、データ、構造化など） 	<ul style="list-style-type: none"> 情報社会でのルール・マナーを遵守する（法の理解と遵守） 情報を正しく安全に利用することに努める（安全への知恵） 生活の中で必要となる情報セキュリティの基本を知る（情報セキュリティ）
思考力、判断力、表現力等	<ul style="list-style-type: none"> 必要な情報の主体的な収集・判断・表現・処理・創造する 	<ul style="list-style-type: none"> 論理的に考えを進める 動きに分ける 記号にする 一連の活動にする 組み合わせる 振り返る 	<ul style="list-style-type: none"> 発信する情報や情報社会での行動に責任を持つ（情報社会の倫理） 情報社会の危険から身を守ると共に、不適切な情報に対応する（安全への知恵） 情報セキュリティの確保のために、対策・対応がとれる（情報セキュリティ）
学びに向かう力、人間性等	<ul style="list-style-type: none"> 受け手の状況を踏まえた発信・伝達を行う 	<ul style="list-style-type: none"> 試行錯誤する態度を養う 多様性を認める人間性を養う 挑戦する態度を養う 協働する態度を養う 	<ul style="list-style-type: none"> 情報に関する自分や他者の権利を尊重する（情報社会の倫理） 安全や健康を害するような行動を制御する（安全への知恵） 情報社会の一員として、公共的な意識を持つ（公共的なネットワーク社会の構築）

次に、表1の目標を低学年・中学年・高学年という3段階に分けた目標（評価基準）を理解しておくこと、それぞれの学年に適したプログラミング学習を考えることが容易になる。そこで、筆者らは、様々な先行研究^{4~9)}を踏まえ、情報活用能力を構成する三つの力についての評価基準表（表2～4）を作成した。その際、低学年から高学年まで、少しでもスモールステップの目標になるように系統化を図ることと、平易な言葉で表現することに努めた。

表1の三つの柱に示されている到達目標に到達するためには、複数の段階をステップアップして身に付けることが必要になる。表2～4には、低・中・高学年の2学年毎に関する評価基準表が整理されている。

情報活用能力の実践力に関する評価基準表の知識・技能では、2学年毎にICTに関する小さな目標を6項目示してある。思考力、判断力、表現力等においては、ICTを使う場面を系統的に記載してある。学びに向かう力、人間性等では、ICTを使って発表する（ICTで表現したものを使って発表する）場面を想定している。

情報の科学的な理解に関する評価基準表の知識・技能では、プログラミングに必要な基本要素が示されている。具体的には、低学年では、手順（順次処理・反復処理・分岐処理）に関する基本要素を理解することが求められる、という意味である。中学年では、それぞれの手順と収集したデータ（真偽値や集合データ）とを適切に組み合わせたプログラムづくりまでが期待されている。高学年になると、座標や乱数への理解が必要となる。

思考・判断・表現では、学ぶ対象や内容に応じて、六つの思考を少しずつステップアップしていく。例えば、情報の科学的な理解に関する評価基準表の「思考・判断・表現」における「論理的に考えを進める」を確認する。

低学年では、「問題を解決するために自らの予想を立てる」レベルが示されている。具体的には、生活科の植物の観察場面で予想を立てさせる授業場面では、子供に予想を一生懸命に立てさせると、子供の頭の中に「論理的に考えを進める」という思考が働く、という意味である。

中学年では、「原因や結果の中から必要な関係性を見付け、筋道を立てて考える」とある。例えば、4年生算数科「垂直・平行と四角形」において、三角形の面積の求め方は分かるけど、四角形の面積の求め方が分からないという原因の場面を取り上げる。この時、子供たちは二つの三角形から四角形が成り立つという関係性を見付け、三角形の面積の求め方を利用すると解決できそうだ、という筋道を立てて考える。このような学習場面で子供に考えさせる授業を位置付けると、子供たちの頭の中は、「論理的に考えを進める」という思考が働く。

高学年では、「ルールや原則を帰納的に見出し、筋道を立てて表現したことを他の問題に当てはめて考える」とある。例えば、6年生理科「水よう液の性質」では、各水溶液の特徴を整理するために、青色リトマス紙を付

けると、赤色に変化する水溶液を2種類（塩酸と炭酸水）提示する。この時、水溶液の性質をすぐに教えるのではなく、何色に変化するのかを予想させたり、実験結果から分かること、もっと調べたいことを考えさせたりなど、自ら考えさせる授業を大切に。子供たちは、同じ色に変化した水溶液には共通点があることを見出し、他の水溶液にも同じ変化が起きるのかを考えようとする。これは、「論理的に考えを進める」という思考を働かせた姿である。

表2. 情報活用の実践力に関する評価基準表

三つの柱	目標	低学年	中学年	高学年
知識・技能	課題や目的に応じた情報手段を適切に活用する（文字の入力、電子ファイルの保存・整理、インターネットの閲覧、電子メールの送受信など）。	ICT 機器の基本的な操作を行っている。 <ul style="list-style-type: none"> キーボードやマウスなどの基本的な入力や簡単な作図と、プリンタやモニタなどの出力 コンピュータと周辺機器を接続して、デジタルカメラの画像のコンピュータへの取り込みと印刷 コンピュータの基本的な操作（起動・終了・ファイルへの保存など） インターネットの使用 デジタルカメラやビデオカメラを使って、目的に合った写真・動画撮影や画像収集、音声記録 大型提示装置（電子黒板やプロジェクタなど）を活用した写真や動画の投影 	目的に応じて、ICT 機器を操作している。 <ul style="list-style-type: none"> 適切なフォルダを利用したファイル保存 マウスを用いた図形の作図・移動・変形や、簡単なデジタル作品の構想 コンピュータと周辺機器（デジタルカメラやビデオカメラなど）を接続して、画像データのコンピュータへの適切な保存 目的を満たすインターネットや印刷物等のメディアの閲覧と検索 ブラウザのリンクやお気に入りなどの基本機能の使用 ネットワーク上のルールやエチケットを理解しつつ、宛先やタイトルなどを正確に入力した伝達ツール（電子メール、SNS など）の送受信 	目的に応じて、ICT 機器を複数操作している。 <ul style="list-style-type: none"> デジタル媒体による共同作業を行うソフト（レポート作成支援ソフト）の活用 様々なデータや情報について、コンピュータを用いた図表化 プレゼンテーションソフトによる基本操作と、画像や文字などの編集 ネットワーク上のルール・エチケット・特性を十分に理解した Web ページによる情報発信 検索エンジンの適切な活用（キーワード検索、類似語検索など） インターネット上の伝達技術（インスタグラム、You Tube など）における適切な利用（閲覧と書き込み）
思考力、判断力、表現力等	必要な情報の主体的な収集・判断・表現・処理・創造する。	ICT 機器の操作やメディアとの関わりを通して、興味・関心のある情報を自らまたは、先生と一緒に収集・判断・表現している。	先生が準備したメディアやリンク集または、児童用検索エンジンの中から必要な情報を見付け、メモしたり、コピーしたりして、必要な情報の収集・判断・処理・表現している。	問題解決に必要な情報を見付けるために、関連のあるメディアを創造したり、複数の web ページを参照したりして、主体的に収集・判断・処理・表現している。
学びに向かう力、人間性等	受け手の状況を踏まえた発信・伝達を行う。	絵や短い文章などで自分の考えをまとめたり、簡単なデジタル作品を制作したりして、情報を正確に発信・伝達している。	受け手や状況に応じた適切なツールを用いて、情報を分かりやすく発信・伝達している。	受け手の意図や状況を正確に理解し、複数の意見や考えをまとめつつ、的確な応答や、詳細な情報を発信・伝達している。

情報社会に参画する態度については、学年が上がるにつれて、対象内容が増えていく。例えば、知識・技能の「情報を正しく安全に利用することに努める（安全への知恵）」においては、低学年では、知らない人には連絡先を教えない範囲である。中学年になると、連絡先のみならず、性別や家族構成などの個人情報対象範囲となる。高学年では、個人で得た情報が確かなものかどうかを踏まえつつ、友だちや家族など、他者の個人情報についても守るための知識・技能が求められる。

大切なことは、個々の評価基準表で示されている小さな目標に到達するために、どのような教科で、どのような学習内容が必要になるのかを考えた授業づくりや年間指導計画を立てることである。各学校においては、表1及び、表2～4で紹介した情報活用能力の各評価基準表を参考にしつつ、独自の情報活用能力一覧表と、各学年の題材指導計画表を作成し、2020年度からの必修化に向けた体制づくりを整えることを期待する。

表3. 情報の科学的な理解に関する評価基準表

三つの柱	目標	低学年	中学年	高学年	
知識・技能	身近な生活でコンピュータが活用されていることや、問題解決のためにコンピュータ等に指示を出すには必要な手順があることに気付く。	身近な生活でコンピュータが活用されていることや、手順（順次処理・反復処理・分岐処理）に気付き、一つの手順を用いた簡単なプログラムを作成・修正している。	社会におけるコンピュータの役割や影響に気付き、各手順（順次処理・反復処理・分岐処理）と、データ（真偽値や集合データ）とを適切に組み合わせたプログラムを作成・修正している。	身近な生活の中にプログラミングが使われていることを理解し、座標・乱数に気付き、目的を満たすプログラムを作成・修正している。	
思考力, 判断力, 表現力等	プログラミング的思考の基本的な考え方を理解し、必要に応じて適切なプログラミング的思考を活用する。	論理的に考えを進める。	問題を解決するために自らの予想を立てる。	原因や結果の中から必要な関係性を見付け、筋道を立てて考える。	ルールや原則を帰納的に見出し、筋道を立てて表現したことを他の問題に当てはめて考える。
		動きに分ける。	大きな動き（事象）を細かい動き（事象）に分けて考える。	問題を解決するために、大きな動き（事象）を細かい動き（事象）に分けて考える。	問題を解決するためには、大きな動き（事象）を細かい動き（事象）に効率よく分けて考える。
		記号にする。	類似している動き（事象）同士を分類して、必要な要素（観点）を他者と一緒に考え、選ぶ。	類似している動き（事象）同士を分類して、必要な要素（観点）を考え、選ぶ。	問題解決のために必要な要素（観点）を複数取り出し、最適な要素（観点）を考え、選ぶ。
		一連の活動にする。	問題の中にある類似性や関係性に注目して考える。	見出した類似性や関係性が、他の場合でも活用できることを考える。	見出した類似性や関係性の中から、問題を解決するために必要な類似性や関係性を取り出し、考える。
		組み合わせる。	問題解決のために、色々な方法や手順を考える。	効率的または、効果的な方法や手順を考える。	問題に応じて、効率的かつ、効果的な方法や手順を考える。
		振り返る。	アイデア（方法や手順など）の出来栄を考え、また、友達や先生と一緒に修正しようとしている。	他者評価を取り入れつつ、出来栄の修正点または、改善点を考える。	問題点や課題を見出し、より良いアイデア（方法や手順など）を見付けようとしている。
学びに向かう力, 人間性等	コンピュータの働きを、よりよい人生や社会づくりに生かそうとする態度を涵養する。	試行錯誤する態度を養う。	最初に思い浮かべた考えと実際とを比べ、その違いに気付き、失敗を恐れずに修正しようとする、または、友達や先生と一緒に修正しようとしている。	学習過程について、当初の見通し通りかを振り返り、その原因に気付き、自ら修正しようとしている。	学習過程について、当初の見通し通りかどうかを何度も振り返ったり、活動記録を残したりして、改善点を見付け、最後まで修正しようとしている。
		多様性を認める人間性を養う。	問題解決のアイデア（方法や手順など）が複数あることに気付き、進んで認めようとしている。	問題解決のアイデアを尊重し、それぞれの良い所を見付け、適切なアイデアを取り入れようとしている。	問題解決のアイデアを尊重し、それぞれの課題や改善点など建設的な評価と助言をしようとしている。
		挑戦する態度を養う。	目的に向かって最後までやり遂げようとしている。	難易度の高い問題を自ら選び、最後までやり遂げようとしている。	新たな価値を創造する問題に最後まで取り組み、解決策や作品などを社会に公開しようとしている。
		協働する態度を養う。	友達の意見に耳を傾けて、友達を手伝おうとしている。	自分から進んで友達に意見を求め、友達と協働して取り組もうとしている。	創造的な活動において、自分の意見と大きく異なる友達の意見も大切にして取り組もうとしている。

表4. 情報社会に参画する態度に関する評価基準表

三つの柱	目標	低学年	中学年	高学年
知識・技能	情報社会でのルール・マナーを遵守する(法の理解と遵守)。	日常生活における公共の情報(新聞, チラシ, 雑誌など)を扱うルール・マナーを知り, 守る。	情報の発信や情報のやりとりにおけるルール・マナーを知り, 守る。	ルール・マナーに反する行為や, ルール・決まりを守ることの社会的意味, 契約行為の意味を知り, 守る。
	情報を正しく安全に利用することに努める(安全への知恵)。	知らない人には連絡先を教えないことを知る。	情報には誤ったものもあること気付き, 個人情報を他人に漏らさないことを知る。	情報の正確性を判断する方法と, 自他の個人情報を第三者に漏洩しないことを知る。
	情報セキュリティの確保のために, 対策・対応がとれる(情報セキュリティ)。	本や雑誌などから引用する時の約束事を知る。	情報が持つ影響を考え, 相手の気持ちや立場を考えた文章と言葉の使い方を知る。	情報の破壊や流出を守る方法を知る。
思考力, 判断力, 表現力等	発信する情報や情報社会での行動に責任を持つ(情報社会の倫理)。	約束や決まりを守ることを考え, 判断, 行動しようとする。	相手への影響を考え, 判断, 行動しようとする。	他人や社会への影響を考え, 判断, 行動しようとする。
	情報社会の危険から身を守ると共に, 不適切な情報に対応する(安全への知恵)。	情報伝達機器を大人と一緒に使うことと, 不適切な情報に出合わない環境で利用することを考える。	危険や不適切な情報に出合った時には, 大人に意見を求め, 適切に対応することを考える。	危険な内容や不適切な情報を予測・判断したり, 対応策を考えたりする。
	生活の中で必要となる情報セキュリティの基本を知る(情報セキュリティ)。	周囲の安全を確認し, 状況に応じて相手に正しい情報の発信方法を考える。	認証の重要性を理解し, 正しい利用方法を考える。	不正使用や不正アクセスされない利用方法を考える。
学びに向かう力, 人間性等	情報に関する自分や他者の権利を尊重する(情報社会の倫理)。	人が作ったものを大切にすることを心をもつ。	自分の情報や他人の情報を大切にすることを心をもつ。	情報にも自他の権利があることを知り, 尊重する心をもつ。
	安全や健康を害するような行動を制御する(安全への知恵)。	安全や健康を害する行動を抑制するために, 決められた利用時間や約束を守る心構えを持つ。	安全な生活や健康の目標を立てて, 利用時間を自ら決めて守る心構えを持つ。	健康を害するような行動を自制し, 人の安全を脅かす行為を行わない心構えを持つ。
	情報社会の一員として, 公共的な意識を持つ(公共的なネットワーク社会の構築)。	公共の場において, ネットワークが使われていることへの興味・関心を示し, 先生と一緒に使おうとしている。	友達と協力し合って, ネットワークを使おうとしている。	ネットワークは共用のものであるという意識を持って使おうとしている。

6.2 小学校6年間における年間指導計画の提案

年間指導計画をつくる時に心掛けたいことは, 必須の学習内容を年間指導計画表に位置付け, 確実に実施することである。必須の学習内容とは, 次の3点である。

- (1) A分類及び, B分類に示されている学習内容を配置すること
- (2) 各学年における情報活用能力に関する授業を最低9単元設定・実施すること
- (3) 低・中・高学年の2学年毎に, アンブラグド型学習と, ビジュアル型プログラミング学習と, フィジカルプログラミング学習をバランス良く取り入れること

(1) は, A分類と, B分類の内容のことである。A分類及び, B分類の事例は, 他にも複数存在する。例えば, 小学校を中心としたプログラミング教育ポータル (<https://miraino-manabi.jp/>) のサイトも参考にしつつ, 年間指導計画の中に適宜位置付けると良い。

(2) の根拠は, 情報活用能力の三つの力×三つの柱=9, という意味である。つまり, 各力の知識・技能で1単元, 思考力, 判断力, 表現力等で1単元, 学びに向かう力, 人間性等で1単元, 合計9単元取り入

れよう、と考える。この9単元は、あくまでも最低単元数である。特に、「情報活用の実践力」は、ICTの基本的な操作等、2学年毎に6項目の評価基準表を設定してある。つまり、1学年3単元だけでは十分ではない。大切なことは、各学年の先生方が、「知識・技能は、この教科で必ずICTを扱いましょう」という意識を高く持って取り組むことである。

- (3) のバランスという意味を詳しく紹介する。研修先の先生方からは、「何学年には、どのようなプログラミング学習を行えばよいのでしょうか。」という質問を良く聞く。ある先生は、アンプラグド型学習は低学年、ビジュアル型プログラミング学習は中学年、という風に考えている先生もいる。低・中・高学年のどの段階においても、アンプラグド型学習・ビジュアル型プログラミング学習・フィジカルプログラミング学習を発達段階に即して位置付けることができるので、色々と悩んでしまうのは仕方がないことである。

そこで、(1)～(3)を重点的に取り入れた年間指導計画表(表5)を基本モデルとして提案する¹⁰⁾。

表5の主な特徴は、2・4年生において、ビジュアル型を位置付け、6年生ではロボット型を位置付け、発達段階や系統性を考慮に入れたことである。また、他学年では、アンプラグド型の学習を各教科で位置付け、プログラミング的思考を継続的に育成していく。特に、「B 情報の科学的な理解」の内容に関しては、6種類の思考・判断・表現を全学年に位置付け、プログラミング的思考を無駄なく育成することを図っている点がポイントである。さらに、学びに向かう力、人間性等の4観点も、色々の教科でバランス良く設定している点にも注目したい。表5は、モデルプランの一つである。各市町村教育委員会や各小学校では、教育予算や動作環境が異なるため、指導方法の組み合わせを考えた年間指導計画の作成が急務である。

文献

- 1) 磯部征尊：『必須化！小学校のプログラミング学習 成功する全体計画&授業づくり』, 学芸みらい社 (2020)
- 2) 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 (2018)
- 3) NTTラーニングシステムズ株式会社：小学校プログラミング教育の円滑な実施に向けた具体的な取組方法について、平成30年度文部科学省委託次世代の教育情報化推進事業「小学校プログラミング教育の趣旨と計画的な準備の必要性について(1)」, <https://nttls-edu.jp/mextkenshu2018/programmingseminar/>
- 4) 磯部征尊・大森康正・岡島佑介・川原田康文・上野朝大・山崎恭平・山崎貞登：初等中等教育段階のコンピューティング/プログラミング教育の目標と学習到達水準に関する日米イギリスの比較研究, 上越教育大学研究紀要, 第39巻第1号, pp.177-191 (2019)
- 5) 大森康正・今出亘彦：初等・中等教育における体系的なプログラミング教育のための評価規準に関する試案, 情報処理学会研究報告, pp.1-9 (2016)
- 6) 高嶋悠司：小学校段階における体系的なプログラミング教育カリキュラムと支援方法に関する研究, 2017年度上越教育大学学校教育研究科修士論文(未刊行) (2018)
- 7) 小島寛義・高井久美子・渡辺博芳：小学校におけるプログラミング教育で育てる資質能力を考慮した指導内容の検討, 情報処理学会研究報告, pp.1-12 (2018)
- 8) 文部科学省：情報モラル指導モデルカリキュラム (2007) : http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2010/09/07/1296869.pdf
- 9) (株)ベネッセコーポレーション：プログラミングで育成する資質・能力の評価規準 : <http://benes.se/keyc>, 2019年5月6日にアクセス
- 10) 文部科学省 (2018) : 情報活用能力の体系表例, (平成30年度)次世代の教育情報化推進事業「情報教育の推進等に関する調査研究」成果報告書 (2018) https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1400796.htm
- 11) 表中の各教科の単元名については、国語・社会・家庭は東京書籍, 算数は新興出版社啓林館, 理科・生活・保健は大日本図書, 音楽は教育芸術社, 図工・道徳は日本文教出版の教科書, つくば市総合教育研究所「つくば市プログラミング学習の手引き【第3版】」の (<https://www.tsukuba.ed.jp/~programming/>) を各々参照し, 一部改変した。

表5. 必須(1)～(3)の学習内容を取り入れた年間指導計画表(基本モデル)(下線が引いてある項目は、A分類。二重線が、B分類。ビジュアル型プログラミング学習には★マーク。ロボット型プログラミング学習には◆マーク)

学年	情報活用の実践力	情報の科学的な理解	情報社会に参画する態度
1	<p>○国語「あめですよ」(知・技) 自分の発表の声をレコーダーで録音し、声の大きさを考えて音読する。</p> <p>○国語「わたしのはっけん」(思・判・表) 発見したことを複数取り出し、比べながら文章を書く。</p> <p>○国語「ほんのひろば」(学び) 図書館で読みたい本を選び、簡単に紹介する。</p>	<p>○算数「たしざん(2)」(知・技) 細かく分けて順序立てて考える【<u>順次</u>】【<u>分岐</u>】。</p> <p>○国語「おもい出してかこう」(思・判・表) 経験した出来事や文章の書き方を思い出して、時間的な順序に沿って文章を書く【<u>一連の活動にする</u>】。</p> <p>○算数「大きさくらべ(2)」(学び) 色々な大きさの数を比べながら、多様な考えを見付ける【<u>試行錯誤</u>】。</p>	<p>○道徳「すこしだからいいの？」(知・技) 生活の中でのルールやマナーを知る。</p> <p>○道徳「かたづけると……」(思・判・表) 大人と一緒に使い、危険に近付かない。</p> <p>○道徳「きそくただけしい せいかつ」(学び) 約束や決まりを守る。</p>
2	<p>○国語「かたかなで書くことば」(知・技) カタカナ入力を使って、単語を打つことを理解する。</p> <p>○国語「名人をしょうかいしよう」(思・判・表) 紹介する名人について、アイデアを出し合い、具体的に話し合う。</p> <p>○国語「どうぶつのひみつをみんなでさぐるう」(学び) ICT機器を使い、本や絵を友だちに紹介する。</p>	<p>○国語「ことばで絵をつたえよう」(知・技) 絵の描き方について、聞き手に分かるように順序立てをする【<u>順次</u>】【<u>反復</u>】。</p> <p>○算数「1000までの数」(思・判・表) 買えるか買えないか、に関する問題について、今まで学習した方法を用いて解決方法を考える【<u>一連の活動にする</u>】。</p> <p>○道徳「しっかりと やりぬく心」(学び) 何事も挑戦することの価値や良さを考える【<u>挑戦</u>】。</p>	<p>○道徳「わたしの 学校」(知・技) みんなと楽しい学校生活を過ごすために、友だちや先生と情報機器の使用ルールを決めて使うことを理解する。</p> <p>○道徳「あんぜんに くらす ために」(思・判・表) 危険な場所に近付かない。</p> <p>○道徳「ものや おかねを たいせつに」(学び) 人の作ったものを大切にすることを学ぶ。</p>
3	<p>○国語「ローマ字」(知・技) キーボード操作を通して、アルファベットの配列を理解する。</p> <p>○国語「調べて書こう、わたしのレポート」 知りたいことに応じた調べ方を考えて調べ、分かったことを整理してレポートを書く。</p> <p>○国語「ゆうすげ村の小さな旅館」(学び) 物語の通読を通して、物語のしかけを分かりやすく伝えるツールを用いて伝える。</p>	<p>○国語「漢字の組み立てと意味を考えよう」(知・技) 漢字の構成を細かく分けて、書き方の順番を理解する【<u>順次</u>】【<u>反復</u>】。</p> <p>○算数「2けたをかけるかけ算の筆算」(思・判・表) 筆算をフローチャートで表し、アルゴリズムを理解する【<u>記号にする</u>】【<u>一連の活動にする</u>】。</p> <p>○国語「案内の手紙を書こう」(学び) Scratchを用いて、構成を意識した説明を発信しようとする【<u>挑戦</u>】。</p>	<p>○道徳「自分のよさ」(知・技) 個人の権利(プライバシーや人格権、肖像権など)を尊重する。</p> <p>○国語「インタビューをしてメモを取ろう」(思・判・表) 文字だけで伝えることの難しさを踏まえつつ、相手に正しく伝わるように話す。</p> <p>○道徳「よく考えて」(学び) 雰囲気流されることなく、節度ある生活をしようとしている。</p>
4	<p>○国語「新聞をつくろう」(知・技) 写真や図を選ぶときの注意について理解する。</p> <p>○国語「だれもがかかわり合えるように」(思・判・表) かかわり合うための工夫について情報を収集し、伝わるように話す。</p> <p>○算数「わくわく算数学習」(学び) 自分の考えを伝えるとき、いろいろな言葉を使って説明すると、分かりやすく伝えることを理解できる。</p>	<p>○算数「垂直・平行と四角形」(知・技) Scratchを用いて、それぞれの性質・特徴を理解する【<u>反復</u>】【<u>分岐</u>】。</p> <p>○総合「みんなが楽しめるゲームを作ろう」(思・判・表) Scratchを用いて、友だちが楽しめるゲームを計画・制作する【<u>一連の活動をする</u>】。A-④[※]</p> <p>○国語「わたしたちの生活とロボットについて考えよう」(学び) 「ゆめのロボット」について考える学習課題を確かめ、協働して学習を進める【<u>協働</u>】。</p>	<p>○道徳「わたしたちの学級や学校」(知・技) 情報には、正しい情報と誤った情報があることに気付く。</p> <p>○総合「メッセージの送受信にチャレンジしよう」(思・判・表) Scratchの「メッセージを送る」「メッセージを受け取る」のブロックを用いて、「はい」か「いいえ」で答える会話プログラムづくりを通して、マナーやエチケットを考える。</p> <p>○国語「お願いやお礼の手紙を書こう」(学び) 必要な事柄を落とさずに、目的に合わせて依頼状や礼状、メールなどの内容を考える。</p>

5	<p>○国語「わたしの文書見本帳をつくろう」(知・技) 自分の成長を振り返りながら「文章見本帳」を作る活動と共に、適切な外部機関のHPにある資料を活用する。</p> <p>○国語「きいてきてみよう」(思・判・表) インタビューした資料を整理し、文章に書く。</p> <p>○総合「学校周辺の歴史・文化を発見しよう」(学び) 意見交換の際、聞き手の意図を踏まえて、効果的な発表資料を準備し、適切に応答する。B-④</p>	<p>○算数「円と正多角形」第1章参照(知・技)(思・判・表) プログラミングを通した正多角形のかき方を基に、発展的に考察したり、図形の性質を見いだしたりする【順次】【反復】【分岐】。A-①</p> <p>Scratchを用いて、正多角形の特性や描き方を理解する【記号にする】。A-①</p> <p>○総合「偉人」(学び) すごろくを題材に偉人のエピソードを分かりやすくまとめようとする【多様性】。</p>	<p>○道徳「自信と責任」(知・技) 何がルール・マナーに反する行為かを知る。</p> <p>○道徳「ふだんがたいせつ」(思・判・表) 予測される危険の内容が分かり、回避方法への考えを深める。</p> <p>○道徳「限りある命」(学び) 人の安全を脅かす行為をしない気持ちを持ち、制御する態度や心構えを持つ。</p>
6	<p>○国語・総合「町の未来をえがこう」(知・技) 調べて考えたことについて、プレゼンテーションソフトやScratchなど、伝えやすいツールで制作する。B-④</p> <p>○算数「わくわく算数」(思・判・表) 面積の求め方を仲間と協力して考え、結果に基づき新たな方法を見つけることができる。</p> <p>○国語「未来がよりよくあるために」(学び) どんな未来にしたいか分かりやすく発表しようとする。</p>	<p>○総合「プログラミングって何だろう」(知・技) Scratchを使って、下級生や家族などを楽しませる作品をつくる【順次】【反復】【分岐】。</p> <p>○総合「事故を起こさない車を考えよう」第1章参照(思・判・表)(学び) 様々な車の特徴を整理しつつ、起こりうる事故を整理する【論理的に考えを進める】【動きに分ける】。A-⑤</p> <p>これからの時代に必要な未来の車を試行錯誤して考える【試行錯誤】。A-⑤</p>	<p>○国語「複数の情報を活用する」(知・技) 本や資料などから情報を集める活動を通して、情報破壊や流出を守る方法を知る。</p> <p>○道徳「ほんとうの友達」(思・判・表) メールの配信やアンケート回答ページなど、不正使用や不正アクセスされないための利用の仕方を考える。</p> <p>○道徳「自分を守る力」(学び) 情報には、自他の権利があることを知り、尊重しようとする。</p>

7.1 米国の幼稚園から第12学年のための「技術教育(デザインと技術教育, 情報技術教育, エンジニアリング教育を含む)」の内容標準

本科研の課題は、「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」である。

第1章で述べたように、米国では、1983年に、「教育の卓越性に関する国家委員会(National Commission on Excellence in Education, NCEE)」による「危機に立つ国家(A Nation at Risk)」の報告以来、各教科において、教科内容、生徒の学力向上、教員の継続的専門職能発達(Continuing Professional Development, 以下CPD)、チーム学校としてのカリキュラム・マネジメントの向上を図るべく、各教科(subject)の全米標準(standards)の作成に取り組んできた(NAE, 2010: pp.7-9)。

ITEA(International Technology Education Association, 国際技術教育学会)[現 ITEEA (International Technology and Engineering Educators Association, 国際技術・エンジニア教育者学会)](1990)は、技術内容標準の作成に向けて、Savage と Sterry が指揮者として責任編集した「技術教育のための概念の枠組み(A Conceptual Framework for Technology Education)」を公表した。Savage氏は、2006年3月15日~2006年5月14日まで、短期外国人招へい教授として、筆者が受け入れ研究者になり、上越教育大学で主に滞在し、同大学で大学院の授業と演習、講演、交流会を行い、上越・妙高地区小・中学校の授業を参観した。さらに、国立教育政策研究所、筑波大学などの講演や交流会、同施設の見学や、ITEAのDistinguished Technology Educators (DTE, 名誉ある技術教育者)の資格を有し、ITEA(2000)の技術教育内容標準の国際査読者であった宮川秀俊中部大学教授の温かい支援により実現した、トヨタ本社工場の見学と討議会などを行った。

Savage and Sterry(1990)の成果を受けて、ITEAは1994年に、故Dugger, E. William, Jr.を指揮者として、「万人のための技術プロジェクト(Technology for All American Project)」を立ち上げ、「技術学習のための理論的根拠と構造(A Rational and Structure for the Study of Technology)」を刊行した(ITEA, 1996)。

ITEAは、1996年秋から内容標準の作成を本格的に着手し、作業部会の草稿について、郵便、公聴会、インターネットを利用した意見募集、世界各地の著名な技術教育、情報技術教育研究者、同教育者等からの査読のやりとりが行われ、草稿のバージョンアップを重ねた。

1999年春から同年秋にかけて、「全米研究評議会 標準審議委員会(National Research Council Standards Review Committee, SRC)」が組織されて、技術内容標準(草稿)について、査読審査が行われた。1999年秋には、第6草稿に対して、全米エンジニアリングアカデミー、全米研究評議会、同標準審議委員会の査読審査が行われ、承認された。

国際技術教育学会は、2000年に、情報技術(Information Technology, IT)教育を含む「技術内容標準(Contents Standards for Technology)」を公表した(表1)。ITEA(2003)は、生徒評価(Student Assessment)(表2)、継続的な専門職能発達(Continuing Professional Development, CPD)(表3)、プログラム(全米、各州等で作成された標準を参照し、各学校を基盤としたカリキュラム開発とカリキュラム・マネジメント)(表4)の各標準を刊行した。プログラム標準は、各学校を基盤としてチーム学校のカリキュラム・マネジメント力の向上を図ることを意図している。

表1 国際技術教育学会(ITEA)(2000)技術内容スタンダードの到達目標の概要 出典:国際技術教育協会(著)宮川英俊/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 Standards for Technological Literacy』教育開発研究所のpp.269-278の appendix Cを基に筆者が一部修正し再構成

領域	教育階梯 ストランド(柱)	幼稚園 ~2学年	3学年 ~5学年	6学年 ~8学年	9学年 ~12学年
技術の本質	1 技術の性格と範囲	◎自然界と人工の世界◎人間と技術	◎自然物と人工物, ◎道具, 材料, 技能, ◎創造的思考	◎技術の有用性◎技術の開発◎人間の創造性と動機◎製品需要	◎技術の本質◎技術普及の速度◎合目的的研究◎技術の商業化
	2 技術の中核的概念	◎システム◎資源◎プロセス	◎システム◎資源◎必要条件◎プロセス	◎システム◎資源◎必要条件◎トレード・オフ◎プロセス◎制御	◎システム◎資源◎必要条件◎最適化とトレード・オフ◎プロセス
	3 技術相互間の関連性と、技術と他教科の関係	◎技術と他教科の結びつき	◎各技術の融合◎技術と他教科との関連性	◎システムの相互作用◎技術と環境の相互関係◎他教科の知識と技術	◎技術移転◎発明と改良◎知識の保護と特許◎技術の知識と科学, 数学の発達との相互関係
技術と社会	4 技術の文化的, 社会的, 経済的, 政治的な影響	◎有益と有害	◎良い効果と負の効果◎意図しない結果	◎開発と利用に対する態度◎影響と結果◎倫理的な問題◎経済, 政治文化への影響	◎急進的, 漸進的変化◎トレード・オフと効果◎倫理的な考慮◎文化的, 社会的, 経済的, 政治的変化
	5 環境に対する技術の影響	◎材料の再利用とリサイクル	◎リサイクルと廃棄物の処理◎良い方法, 負の方法がもたらす環境への影響	◎廃棄物の管理◎技術による被害の復旧◎環境と経済の関係	◎節約保存◎省資源◎環境の監視◎自然のプロセスと技術とのプロセスとの整合性◎負の技術の結果減少◎決定とトレード・オフ

表1(続き) 国際技術教育学会(ITEA)(2000)技術内容スタンダードの到達目標の概要 出典:国際技術教育学会(著),宮川英俊/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 Standards for Technological Literacy』教育開発研究所のpp.269-278のappendix Cを基に筆者が一部修正し再構成

領域	ストラト/教育階梯	幼稚園~2学年	3学年~5学年	6学年~8学年	9学年~12学年
技術と社会	6 技術の開発と利用における社会の役割	◎個人の必要性と欲求	◎必要性と欲求の変化◎発展の拡大と限界	◎需要, 価値, 利益による開発の促進◎発明と改良◎社会的, 文化的優先事項◎製品, システムの受容と利用	◎異なる文化と技術◎開発の決定◎技術のデザインおよび, 需要に影響する要素
	7 歴史に対する技術の影響力	◎人々の生活と労働の様式	◎衣食住のための道具	◎発明と改良のプロセス◎労働の専門化◎技能の発展, 測定法と資源◎技術と科学の知識	◎技術の進化的発達◎社会の劇的变化◎技術の歴史◎古代技術史◎鉄器時代◎中世◎ルネサンス時代◎産業革命時代◎情報時代
デザイン	8 設計(デザイン)の特徴	◎誰でもデザインは可能◎デザインは創造プロセス	◎デザインの定義◎デザインの必要条件	◎デザインが有用な製品やシステムを導くこと◎完璧なデザインは無いこと◎必要条件	◎デザイン問題はたいてい不明瞭な要素があること◎デザインは洗練が必要◎必要条件
	9 エンジニアリング設計(デザイン)	◎エンジニアリング設計プロセス◎デザインのアイデアの発表	◎エンジニアリング設計プロセス◎デザインの創造と全アイデアの熟慮の重要性	◎繰り返しプロセス◎プレインストール◎モデル化と模型(プロトタイプ)製作(制作), 試験, 評価, 修正	◎デザイン原理◎個人的特性の影響◎試作品◎エンジニアリング設計上の諸要因
	10 問題解決における課題の発見, 探究と発明改良, 実験の役割	◎質問, 観察◎製品全てで保守の必要性	◎トラブルシューティング◎発明と改良◎実験	◎トラブルシューティング◎発明と改良◎実験	◎探究◎技術の問題の探究◎全てが技術の問題とは限らず, 解決不能な問題も存在◎教科横断的アプローチ
技術社会に必要な能力	11 設計方略(デザイン・プロセス)の活用	◎デザインによる問題解決◎ものを製作すること◎どのようなものを製作するか	◎情報の収集◎解決策の視覚化◎解決策の試験と評価◎デザインの改善	◎デザイン・プロセスの活用◎標準と制約の確認◎解決策のモデル化◎試験と評価◎製品やシステムの製作	◎デザイン課題の認識◎標準と制約の認識◎デザインの洗練◎デザインの評価◎品質管理を用いた製品, システムの探究◎最終的な解決策の再評価
	12 技術製品とシステムの使用と保守管理	◎製品の仕組みの発見◎適切で安全な道具の使用◎身の回りの記号の理解と使用	◎説明書に基づく適切な使用◎道具の選択と適切な使用◎情報を収集整理するためのコンピュータ利用◎標準記号の使用	◎製品の仕組みを調べるための情報の利用◎診断, 調整, 修理のための道具の安全な使用◎コンピュータや電卓の使用◎システムの操作	◎プロセスと手順の文書化と伝達◎不良システムの診断◎システムのトラブルシューティングと保守◎システムの操作とメンテナンス
	13 製品やシステムの影響評価	◎日用製品に関する情報収集◎製品の品質の判断	◎仕組みを理解するための情報収集◎技術による影響の評価◎トレード・オフの検討	◎データ収集のための計測器のデザインと使用◎傾向を発見するための収集データの使用◎傾向の確認◎情報の精度の解釈と評価	◎情報の収集と情報の質の判断◎結論を導くための情報の組織化◎評価手法の適用◎予測手法のデザイン
デザインされた環境	14 医療技術	◎ワクチン接種◎薬品◎健康管理のための製品	◎ワクチンと薬品◎義手義足等の開発◎診療器具の使用	◎医療技術の進歩と改善◎衛生のプロセス◎免疫学◎遺伝子工学についての意識	◎予防と回復のための医療技術◎遠隔医療◎遺伝子療法◎生化学
	15 農業及び関連するバイオテクノロジー	◎農業における技術◎生態系で使用される道具と材料	◎人工生態系◎農業廃棄物◎農業のプロセス	◎農業技術の発展◎専門設備とその作業◎バイオテクノロジーと農業◎人工生態系とその管理◎冷蔵, 冷凍, 乾燥, 保存, 放射線照射の開発	◎農業生産物と農業システム◎バイオテクノロジー◎保全◎生態系のエンジニアリングデザインと管理
	16 エネルギーと動力技術	◎エネルギーの種々の形態◎省エネルギー	◎エネルギーの形態変換◎工具, 機械, 製品, システムの動作はエネルギーの変換と利用	◎エネルギーは仕事をできる能力◎多様なプロセスでの仕事に利用可能◎動力はエネルギーの形態変換の速度	◎エネルギー保存則◎エネルギー源◎熱力学第2法則◎再生可能及び不可能なエネルギーの形態
	17 情報通信技術	◎情報◎通信◎符号	◎情報処理◎様々な情報源◎通信◎符号	◎情報通信システム◎通信システムと情報の符号化, 送信及び受信◎メッセージのデザインに影響する要因◎技術用語	◎情報通信システムの要素◎情報通信システム◎情報通信技術の目的◎通信システムとサブシステム◎種々の通信方法◎記号を使った通信

人工世界・技術内容	18 輸送技術	◎輸送システム◎人の輸送と物の輸送◎輸送装置、システムの管理	◎輸送システムの利用◎輸送システムとサブシステム	◎輸送システムのデザインと運行◎輸送システムのサブシステム◎公的規制◎輸送プロセス	◎輸送技術と他の技術の関係◎共同一貫輸送◎輸送サービスとその方法◎輸送システムの正と負の作用◎輸送プロセスと効率
	19 製造技術	◎製造システム◎製品のデザイン	◎天然材料◎製造プロセス◎商品の消費◎化学技術	製造システム◎製品製造◎製造プロセス◎化学技術◎材料の使用◎製品のマーケティング	◎アフターサービスと陳腐化◎耐久財と非耐久財◎製品システム◎部品の互換性◎化学技術◎製品のマーケティング
	20 建設技術	◎いろいろな目的の建築◎目的にかなった部品	◎現代の地域社会◎建造物◎利用されるシステム	◎建設デザイン◎基礎◎建造物の目的◎建物のシステムとサブシステム	◎インフラストラクチャー（公共施設・システム）◎建設のプロセスと方法◎必要条件◎維持管理、改変、改装、プレハブ材料

表2 生徒評価スタンダードのガイドライン —技術リテラシーの卓越性の推進—(出典:International Technology Education Association, (2003) Advancing Excellence in Technological Literacy: Student Assessment, Professional Development, and Program Standards, International Technology Education Association, Reston, VA, USA, p.121)

スタンダードA-1 生徒の学習評価は、『技術リテラシーのスタンダード:技術の学習内容』に対応する。

スタンダードA-1に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目を必要とする。

- A. 技術と他教科等との連携的かつ総合的な計画の策定
- B. 各教育階梯間の総合的な計画と開発の具体化
- C. 技術の問題を解決するための認知学習要素の包含
- D. 技術を活用するための精神運動（筆者註：単なる筋肉運動と異なり、複雑な刺激場面に対する非言語的・動作的な反応）学習要素の包含
- E. 生徒に対して、感情領域、見通し、感情移入、自己評価を作用する能力の支援

スタンダードA-2:生徒の学習評価は意図する目的に明確に適合させる。

スタンダードA-2に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目を必要とする。

- A. 評価ツールの明確な目的の公表
- B. 生徒や保護者等に対して、評価ツールの構想計画と評価データの報告の公表と熟考
- C. 公平で公正な生徒評価方法の利用
- D. 根拠が明確で信頼できる測定の確立は、実践的指導経験に反映

スタンダードA-3:生徒の学習評価は、体系的かつ学術研究を拠り所とした評価原理に基づく。

スタンダードA-3に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目を必要とする。

- A. 生徒の学習論・評価論の最新の学術成果に依拠すること
- B. 形成的評価計画の作成
- C. 総括的評価計画の確立
- D. 生徒の学習を促すための教員の手立て
- E. 生徒の評価プロセスへの参画

スタンダードA-4:生徒の学習評価は、技術の本質と一致した実際の状況に反映させる。

スタンダードA-4に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目を必要とする。

- A. 技術の問題解決の導入
- B. 技術内容の総合性を考慮したパフォーマンス評価の導入
【同著用語集：「パフォーマンス」とは、生徒が活用した知識や能力の表現行為。たいていは、課題学習、プロジェクト学習において、生徒が実際に知ったことや活動したことが何かを評価して表現したり、生徒の課題解決方法、観察、インタビュー、製作の評価をしたりする表現活動】
- C. 生徒のクリティカル・シンキングと意思決定を促進する教員の手立て
- D. 生徒評価の工夫
- E. オーセンティック評価の導入
【同著用語集：「オーセンティック評価」とは、技術リテラシーの発達に必要なかつ価値のあることと密接に関連した課題を、生徒に取り組ませて、生徒の活動状況を直接に評価する方法】
【筆者註：「オーセンティック評価」とは、現実生活で役に立つ学力を評価するものであり、そのため何を知っているかだけでなく、実際に現実生活に近い場面で何ができるかを評価しようとする。真正の評価などと訳される。(辰野千壽ら監修(2006)『教育評価事典』図書文化)】

スタンダードA-5:生徒の学習評価は、説明責任、専門職能発達、プログラム強化のためのデータ収集を包含する。

スタンダードA-5に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目を必要とする。

- A. 説明責任のためにデータ収集を継続すること
- B. 生徒評価は、専門職能発達の鍛錬に有用であること
- C. 生徒評価は、プログラムの改善に有用であること

表3 教員専門職能発達スタンダードのガイドライン –技術リテラシーの卓越性の推進–(出典:International Technology Education Association, (2003) Advancing Excellence in Technological Literacy: Student Assessment, Professional Development, and Program Standards, International Technology Education Association, Reston, VA, USA, pp.122-123)

スタンダード PD-1:教員の専門職能発達は、「技術リテラシーのためのスタンダード:技術学習の内容」と対応し、教員に技術リテラシーのためのスタンダードに関する知識、能力、理解を提供する。

PD-1に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目の準備を必要とする。

- A. 技術の本質の理解
- B. 技術と社会との関係性の認識
- C. デザインの属性を知ること
- D. 技術社会で必要な能力の発達
- E. 広く現代社会で活用されている技術の影響に関する認識発達

スタンダード PD-2:教員の専門職能発達は、技術の学習者である生徒の教育の見通しを、教員に提供する。

PD-2に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目の準備を必要とする。

- A. 学習を促進するための共通性と多様性の包含
- B. 認知、精神運動、感情を伴う学習機会の提供
- C. 生徒が効果的な学習者になることへの支援
- D. 生徒の技術の学習方法に関する研究への誘いと適用

スタンダード PD-3:教員の専門職能発達は、技術カリキュラムとプログラムをデザインし、評価する準備を教員に提供する。

スタンダード PD-3に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目の準備を必要とする。

- A. カリキュラムのデザインと評価は、全ての生徒に技術リテラシーの獲得を可能にさせること
- B. 他教科等と連携したカリキュラムとプログラムをデザインし、評価をすること
- C. 各教育階梯間のカリキュラムとプログラムのデザインと評価をすること
- D. マルチメディア情報源の使用によるカリキュラムとプログラムのデザインと評価をすること

スタンダード PD-4:教員の専門職能発達は、技術教授、生徒の学習と評価を促進する教育方略の使用を、教員に提供する。

PD-4に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目の準備を必要とする。

- A. カリキュラムにおける教育方略の組織化
- B. 教育工学の包含
- C. 生徒評価の有効性

スタンダード PD-5:教員の専門職能発達は、技術リテラシーを育成するための学習環境のデザインと管理を教員に提供する。

PD-5に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目の準備を必要とする。

- A. 十分な学習資源の提供に基づく学習環境のデザインと管理
- B. 生徒の技術学習の興味・学習動機・学習支援の提供に基づく学習環境のデザインと管理
- C. 生徒の共通性と多様性に配慮した学習環境のデザインと管理
- D. 生徒の学習と教員の指導の充実に基づいた学習環境のデザインと管理
- E. 安全・適切なデザインと十分な維持に基づく学習環境のデザインと管理
- F. 融通性のある学習環境のデザインと管理

スタンダード PD-6:教員の専門職能発達は、自分自身の職能発達への責任を教員に提供する。

PD-6に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目の準備を必要とする。

- A. 継続的な職能発達のための自己評価と責任の付託
- B. 私生活とともに教育環境における倫理的なサービスを個人に託すこと
- C. 他者との協働のファシリテーション
- D. 専門組織への参加
- E. 技術生徒組織へのアドバイザーとしての貢献
- F. 教育におけるリーダーシップの提供

スタンダード PD-7:教員の専門職能発達は、教員養成と教員の現職研修の計画、遂行、評価を提供する。PD-7に適応するガイドラインとして、教員は絶えず以下の項目の準備を必要とする。

- A. 教員養成と教員の現職研修の計画
- B. 教員が教育実地で適用する場面指導を考慮にいれた教育実習のモデル化
- C. 教員が教育実地で必要とする状況対応能力を考慮に入れた専門職能発達の評価
- D. 州/地域や国/連邦が認可したガイドラインに基づく技術教員養成プログラムの提供
- E. 「生徒評価・専門職能発達・プログラムスタンダードのガイドライン」や「技術リテラシーのためのスタンダード」に基づく教員免許取得プログラムの提供
- F. 技術の内容・教育・評価の理解を促進する現職研修の提供
- G. 現職研修による専門職能発達の機会を提供する常設の基金の獲得
- H. 教員養成と現職研修レベルの両方の教育活動の創造と遂行

表4 教員のためのプログラムスタンダードのガイドライン – 技術リテラシーの卓越性の推進– (出典: International Technology Education Association, (2003) Advancing Excellence in Technological Literacy: Student Assessment, Professional Development, and Program Standards, International Technology Education Association, Reston, VA, USA, p.124)

スタンダード P-1:技術プログラムスタンダードは、『技術リテラシーのスタンダード:技術の学習内容』と対応する。
スタンダード P-1 に適応したガイドラインとして、教員は以下の技術プログラムを絶えず必要とする責任がある。

- A. プログラム内容と、『技術リテラシーのスタンダード:技術の学習内容』との連携
- B. プログラム内容と、他教科等の学区、州(地域)、国(連邦)のスタンダードとの連携
- C. 他教科等との連携化プログラムの計画と発展
- D. 教育階梯間の連携化プログラムの計画と発展
- E. プログラム内容と、適切な認知、精神運動、感情の学習要素との連携の試み
- F. プログラム強化の適応度の促進

スタンダード P-2:技術プログラムの遂行は、全生徒の技術リテラシーの発達を助長する。

スタンダード P-2 に適応したガイドラインとして、教員は以下の技術プログラムを絶えず必要とする責任がある。

- A. 教材・教具の提供は、生徒の技術学習の方法に関する研究と対応
- B. 教材・教具の提供は、カリキュラムの到達目標と生徒のニーズと適応
- C. 全生徒の技術リテラシーの獲得を可能にさせるカリキュラムのデザインと遂行
- D. 生徒のリーダーシップの機会の促進

スタンダード P-3:技術プログラムの評価は、全生徒の技術リテラシーの発達を保証し助長する。

スタンダード P-3 に適応したガイドラインとして、教員は以下の技術プログラムを絶えず必要とする責任がある。

- A. 技術リテラシーのためのスタンダードと、プログラムスタンダードのガイドラインとを対応させて、評価をして利用すること
- B. 体系的・継続的な評価の遂行と使用
- C. 教育実地の状況場면을重視した教材・教具の評価
- D. プログラム改定のための計画
- E. 生徒の共通性と多様性に対する教員の手立て
- F. 効果的な生徒評価の利用

スタンダード P-4:技術プログラムの学習環境は、全生徒の技術リテラシーを助長する。

スタンダード P-4 に適応したガイドラインとして、教員は以下の技術プログラムを絶えず必要とする責任がある。

- A. 学習環境の創造と管理は、生徒の学び合いや、生徒の質問、探究、デザイン、発明、イノベーション能力の支援となること
- B. 学習環境の創造と管理は、日々の更新と調整を伴うこと
- C. 記述された総合的な安全プログラムの遂行
- D. 生徒の技術の道具、機械、材料、プロセスの適切で安全な活用をもたらす知識と能力の発達の促進
- E. 技術実習室の学習許容人数の確認

スタンダード P-5:技術プログラムの管理は、学校、学区、州(地域)レベルで任命された担当者によって行われる。

スタンダード P-5 に適応したガイドラインとして、教員は以下の技術プログラムを絶えず必要とする責任がある。

- A. 『技術リテラシーのためのスタンダード』に基づくアクション・プランの作成と使用
- B. 説明責任のためのデータ収集の継続
- C. 技術学習の啓発・普及

表1に示したストランド(柱)「17 情報通信技術」については、ICT や先端技術の効果的な活用の視点から、CSTA(Computer Science Teachers Association, 全米コンピュータ科学教師学協会)、ISTE(International Society for Technology in Education, 国際教育工学協会)、バージョンアップが検討されているようである

ITEA(2000/2002/2007)の技術内容標準では、技術的問題に対する解決能力の重要性と、現実社会の異なる種類の問題への活用が強調されている(ITEA, 2000: pp.2-6)。エンジニア、建築家、コンピュータ科学者、テクニシャン、その他技術に従事する人々は、トラブルシューティング(トラブルの発見と修繕)、研究開発、発

明, 改良, 実装試験などの多様なアプローチを, 問題解決のために使う。学習者は, デザイン・プロセス (設計による問題解決方略) が, 技術における主要な問題解決アプローチであることを学ぶ重要性が述べられている。

技術内容標準では, 技術科教育における**統合学習(Integrated Learning)の重要性**(Technological Studies as an Integrator) (ITEA, 2000: pp.6-7)について言及している。技術科は, 他の教科領域, すなわち数学, 科学, コンピュータ科学の授業だけではなく, リベラルアーツ, ファインアーツ (美術), 社会, ランゲージアーツなど, 他の学術分野間連携をして, 同知識や技能などを統合するアプローチを学習できると述べている。

技術内容標準の計 20 のストランド(柱)は, 「認識」標準と, 「プロセス (方略スキル・能力)」標準の 2 種類から構成されていて, 二つのタイプの標準は, お互いに補い合うものである(ITEA, 2000: p.14)。

20 のストランドに到達目標(ベンチマーク)が, 幼稚園から第 2 学年, 第 3 学年から第 5 学年, 第 6 学年から第 8 学年, 第 9 学年から第 12 学年と設定されている。全米研究評議会(NRC)(1999)は, 各ストランドにおいて, 心身の発達水準に応じた各教育階梯 (段階) の系統性と連続性のある到達目標の設定は, 学習者の自己調整学習 (巻末の用語解説集参照) の活性につながると指摘している。

7.2 日本型の幼稚園から高等学校を一貫した技術(情報技術を含む)内容標準

我が国では, 米国 Savage and Sterry(1990)とイングランドの 5~16 歳のための 1990 年版ナショナル・カリキュラム(NC)「Design and Technology」と「Information Technology」導入の動きを受けて, 日本産業技術教育学会が日本教育大学協会全国技術教育部門, 全日本中学校技術・家庭科研究会, 国立教育研究所(現国立教育政策研究所)の研究官らが協働し, 米国の技術標準とイングランドの NC の移入ではなく, **日本型の幼稚園から高等学校を一貫した技術(設計デザインと技術, 情報技術を含む)内容標準の理念と枠組みに関する研究を展開している**。日本産業技術教育学会(1999)は, 「21 世紀の技術教育」, 2012 年に同改訂を公表した。2012 年の同改訂では, 「技術教育目標 1 : 技術教育固有の対象と内容構成 (内容知)」として, 「材料と加工技術」, 「エネルギー変換技術」, 「情報・システム・制御技術」, 「生物育成技術」, 「発明・知的財産とイノベーション」, 「社会安全と技術ガバナンス」の 6 つを提案した (表 5)。「教育目標 2 : 技術的課題解決力」の各プロセスの構成要素を表 6 に示す。

表 5 技術教育固有の対象と内容構成 (内容知)

(出典 : 日本産業技術教育学会 : 21 世紀の技術教育 (改訂), 日本産業技術教育学会誌, Vol. 54, No. 4 (別冊), p. 4 の表 1⁽²⁾)

対 象	内 容 構 成		
材料と加工技術	材料の種類・性質・用途, 加工の方法と手段, 設計・製図, 機能と構造, 生産技術と環境保全	発明・知的財産とイノベーション	社会安全と技術ガバナンス
エネルギー変換技術	変換方法, 変換効率, 変換機器, 伝達機構, 利用方法, エネルギー変換技術と環境保全		
情報・システム・制御技術	計測・制御, ソフトウェア, 情報通信ネットワーク, マルチメディア, 技術的・社会的・環境的意義, 情報倫理		
生物育成技術	栽培・飼育, バイオテクノロジー, 生命倫理, 生物育成技術と環境保全		

表 6 「技術的課題解決力」の各プロセスの構成要素 [出典 : 日本産業技術教育学会 : 21 世紀の技術教育 (改訂), 日本産業技術教育学会誌, Vol. 54, No. 4 (別冊), p. 6 の図 2 (2012)]

プロセス	構成要素	各プロセスで育成が期待される主な能力・態度
創造の動機	(1) 課題の探索 (2) 課題の分析と調査 (3) 制約条件の認識	・生活や社会に存在する課題の認識力や分析力, 情報収集力等
設計・計画	(1) 解決策の見通し (2) 構想・設計 (3) 試行・試作 (モデリング) (4) 製作・制作・育成の計画	・解決策を生み出す創造力, 計画力, 修正力等 ・技術的な課題解決に関する合理的な意思決定力等
製作・制作・育成	(1) 技能の獲得 (2) 活動の創意工夫 (3) 安全管理, 作業改善 (4) 計画的, 効率的活動	・製作活動に必要な技能, 作業管理能力等 ・危険予測, 事故対応力などの安全管理能力等
成果の評価	(1) 課題, 制約条件からの評価 (2) 製品の価値に関する評価 (3) 環境影響評価	・技術社会, 技術活動の公正な評価力, 価値観, 倫理観等

日本産業技術教育学会(1999,2012)は、「技術教育目標2：技術教育固有の方法（方法知）」として、外環状に「創造の動機」、「設計・計画」、「製作・制作・育成」、「成果の評価」の4プロセスが相互に行き交い、内環には「各プロセスの評価と修正（国研の「21世紀型能力」のメタ認知・適応的学習力）」が、外環状の各プロセスでの評価と修正を繰り返す、「技術的な課題解決力」とした（図1、表6）。山崎ら(2017a)が提案した「技術の見方・考え方」のサイクルを、図2に示す。

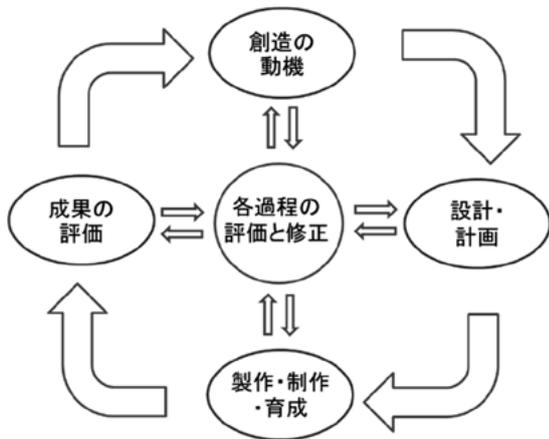


図1 教育目標2：「技術的課題解決力」（出典：日本産業技術教育学会：21世紀の技術教育（改訂）日本産業技術教育学会誌, Vol. 54, No. 4（別冊），p.6の図2（2012））

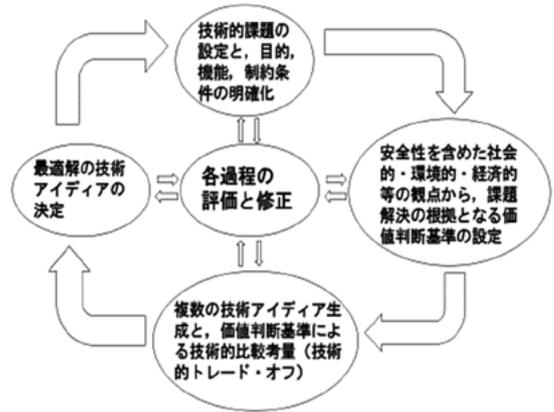


図2 技術の見方・考え方(技術の論理的・創造的思考力)[出典 山崎ら(2017a)]

山崎ら(2011)は、米国、イングランドなどのイギリス各地域を含む、諸外国・地域の技術科教科内容の構成原理と構成要素を俯瞰し、我が国の伝統と文化を尊重した技術科内容学体系の構成原理と構成要素を提案した（表7）。

表7 技術科教科内容学体系の構成要素 [出典 山崎ら(2011) : p. 269の表6を筆者が一部加筆し再構成]

- 1) 我が国の伝統と文化に根ざす日本型技術や日本型エンジニアリングの本質とともに、科学・技術・社会・アーツ（リベラル、ランゲージ、ソーシャル、ファイン、ミュージック、ドラマ、フィジカル、マニュアル等を含む）相互関係を理解する力（異分野統合的なSTEAM学習力）
 - i 技術とエンジニアリングの意義と必要性について理解する力
 - ii ものづくりの技術、情報通信技術、日本型エンジニアリング（デジタルエンジニアリング、バイオエンジニアリングを含む）中核概念を理解する力
 - iii 技術が及ぼす影響と技術倫理を理解し、技術を評価、選択、管理・運用する力（技術ガバナンス）
 - iv 「材料と加工」「生物育成」「エネルギー変換」「情報」に関する技術の相互関係と、技術と他教科との相互関係について理解するSTEAM学習力
- 2) 技術（情報技術を含む）と日本型エンジニアリングの「デザイン・プロセス（論理的かつ創造的なデザイン思考とシステム思考による問題解決方略）」力
 - i 現実の状況から技術の課題を設定し、構想計画から解決策を提案する力
 - ii 設計とモデリング（モデル力とモデルづくり）する力
 - iii 手順・段取り力、試行錯誤し工夫・改良する力
 - iv 製作・制作・育成し、工夫・改善する力
 - v 報告書を作成・表現し・他者と相互交流する力
- 3) デザインされた各技術を適切に評価、選択、管理・運用（技術ガバナンス）し、知的財産を創造・活用する力（技術イノベーション）
 - i 材料と加工の技術のイノベーションとガバナンス力
 - ii 生物育成の技術のイノベーションとガバナンス力
 - iii エネルギー変換の技術のイノベーションとガバナンス力
 - iv 情報に関する技術のイノベーションとガバナンス力

本報告書第1章で言及したように、「全米エンジニアリングアカデミーの幼稚園から第12学年のエンジニアリング標準作成検討委員会(Committee on Standards for K-12 Engineering Education, National Academy of Engineering)は、2010年に「幼稚園から第12学年のエンジニアリング教育標準は作成可能か？(Standards for K-12 Engineering Education?)」において、著名なSTEM教育研究者間で論議し、実践研究知見が少ないために、

STEM 関連各教科の標準に、エンジニアリング教育内容を盛り込むことに決めた、委員会は、各教科の標準に engineering 教育を新たに盛り込む工夫と、engineering 教育の各教科の「Big ideas (重大な観念)」への包括を提案した。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、理論およびプロセスをいう(Wiggins and McTighe, 2006)。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(Wiggins and McTighe, 2006, p.396)。

長洲(2018:p.19)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。社会的構成主義学習論の立場から、児童生徒のそれまでの生活経験に基づいて、一人ひとりの考え方や素朴概念を尊重した上で、技術の見方・考え方を働かせた学習活動により、技術概念に繋げて、変換あるいは転換していくことを重視したい。

磯部・山崎(2013)は、表5と表6に基づいた技術内容標準(基準)の提案以来、山崎ら(2017b)、川原田ら(2018)、山崎ら(2019)などで、改善を重ねてきている。教育目標1「材料と加工技術」教育内容標準表を、表8に示す。

表8. 教育目標1「材料と加工技術」教育内容標準表[出典 磯部・山崎(2013)の表4]

	幼稚園	小学校1, 2年	小学校3, 4年	小学校5, 6年	中学校	高等学校	
材 料 と 加 工 技 術	目 標	身近な素材を使って、手や道具で簡単な加工をして、製作品で遊ぶことにより、ものづくりの面白さに気づくことができる。	自分の思いを作品にして表現することを目的として、製作活動を通して、技術のものづくりを楽しむことができる。	仲間と集団とともに、製作の目的を持ちながら、製作計画を立てて材料を加工し、実用的な製作品をつくり出すことができる。	製作の目的を社会生活に広げ、素材の種類に応じて明確な製作計画を作成し、工具を安全に操作しながら製作活動を行い、製作品を家庭や地域などの生活に利用することができる。	環境保全や循環型社会形成の観点から、社会生活に必要なものを合目的に設計し、工具や機器の安全な使用方法と仕組みを理解するとともに、材料の適切な加工と製作を通して、加工技術を適切に評価することができる。	持続可能な社会を支える視点から、材料と加工に関する技術が、社会、環境、経済等に与える影響を考慮し、材料と加工に関する技術を適切に活用することができる。
	内 容	ア(発想) ・身近な素材とのかかわりにより、自分のつくりたいものを考案すること。	ア(発想) ・身近にある製作品に触れ、自分のつくりたいものを考案すること。	ア(発想) ・生活の中の既製品は、様々な材料が様々な方法で加工されていることを知り、製作したいものを考案すること。	ア(発想) ・製作品の魅力や素材の特徴を引き出すための加工法、製作品のデザインを考案すること。	ア(発想) ・使用目的、使用条件、機能、構造などを検討して、構想を具体化すること。	ア(発想) ・構造の強度や安全性、経済面等を考慮し、他分野(人間工学や美学)の知識や情報を活用して考案すること。
		イ(計画) ・使う素材や道具を確認すること。	イ(計画) ・ものを製作するための手順を考え、製作工程を計画すること。	イ(計画) ・構想と製作工程、加工方法などを適切に計画として書き表すこと。	イ(計画) ・製作品の特徴などを含めた構想と製作工程表を作成し、進行状況を確認しながら、工程表を必要に応じて修正すること。	イ(計画) ・作業に必要な時間を予測した計画を作成し、実習状況の変化に応じて計画を修正・更新すること。	イ(計画) ・様々な基準(経済面、環境面、政治面、倫理面、社会的課題面など)に基づき必要条件を考慮して、計画・修正・更新すること。
		ウ(設計) ・自分のアイデアを簡単な絵で描き表すこと。	ウ(設計) ・自分のアイデアを構想図やスケッチ等で描き表し、それを基に作りたいものを伝えること。	ウ(設計) ・形や寸法のわかる設計図をフリーハンドで作成し、それを基に材料を加工して、組み立てること。	ウ(設計) ・他者にも理解できる設計図を、定規を使って作成し、それを基に製作すること。	ウ(設計) ・製作品の全体像及び、部品の形状、接合方法を把握するための製図を作成すること。	ウ(設計) ・コンピュータを活用して、必要な材料や部品を含む図面を作成すること。
		エ(素材) ・例えば、紙や粘土などの柔らかい素材に触れ、気に入った材料を選ぶこと。	エ(素材) ・例えば、自然物や人工の材料などの素材に触れ、その特徴を感じることで目的に合った材料を選択すること。	エ(素材) ・木切れや、板材など扱いやすい素材の特徴・性質を活かしながら、製作に適した材料を選択すること。	エ(素材) ・厚みのある板材や広い布、プラスチックなど、やや硬い素材の性質を知った上で、必要な材料を選択すること。	エ(素材) ・金属など硬い材料の特徴や性質を知った上で、様々な素材を含んだ材料を選択すること。	エ(素材) ・合板などの実用強度を持つ材料の特徴や性質を知り、材料に適した結合方法や用途を評価した上で、必要な材料を選択すること。
		オ(加工・製作) ・はさみやのり等の工具を使用し、切る・折る・貼るなど、手を働かせてつくること。	オ(加工・製作) ・簡単な小刀等の工具を安全に使用し、材料の易しい加工と、製作をすること。	オ(加工・製作) ・材料に適した工具の使用や作業環境で安全に配慮し、材料の加工・組み立てを行い製作すること。	オ(加工・製作) ・材料や加工目的に適した工具を選択し、計画書に基づいて日常生活で活用できる製品を製作すること。	オ(加工・製作) ・起こりうる危険を予測しながら工作機械や工具を使用し、製作品の部品の加工や仕上げを行うこと。	オ(加工・製作) ・加工機械(旋盤やフライス盤など)を使用し、製作品の修正・改善と共に、品質管理にも取り組むこと。

教育目標1「生物育成技術」教育内容標準表を、表9に示す。

表9 幼稚園から高等学校までを一貫した「生物育成に関する技術（特に作物栽培と小学校段階での飼育）」の「鍵概念（対象内容）」と「鍵プロセス（技術的課題解決プロセス）」の教育段階ごとの学習到達水準表
 [出典 山崎ら(2017)のpp.584-585の表1]

	鍵概念				技術的課題解決プロセス			
	育種	土壌肥料・飼養	生育管理	育成生物保護	創造の動機	設計・計画	育成	成果の評価
幼稚園	・日常生活で見かける種類の野菜、草花栽培、動物飼育	・土に触れる遊び ・先生や保護者と一緒に、えさやり	・先生や保護者と一緒に、苗の植え付け、水やり	・葉や茎に集まる虫の発見と観察	・対象と具体的にふれあいながら、栽培に自己の思いや願いを持つこと	・自己の願いをふくませるためのイメージと活動の見通し	・五感を通して、栽培植物、土などの対象に働きかけ	・収穫や観賞の喜びの表現 ・生命尊重への気づき
小低学年	・「食べる」、「遊ぶ」、「観賞」などの目的の明確化	・適切な施肥や給餌	・安全と衛生に気をつけた生育管理、種まき、苗の植え付け、水やり	・観察を通じた虫の食害、病徴の発見と観察	・自己の願いや要求を持った栽培・	・イメージ、言語を用いた簡単な育成計画作成	・対象とのふれあいによる自己の思いや願いの深め合い ・絵日記による観察記録	・収穫祭、発表会、自他の生命尊重への気づき ・振り返り活動の重要性の気づき
小中学年	・人とのかわりから見た、野生動物と、栽培飼育動物の特徴の違い	・生ゴミや落ち葉からのたい肥作り	・安全と衛生に配慮した生育管理、種まき、植え付け、草取り、支柱立て、道具の手入れ	・木酢液などの自然素材散布など、簡単な虫害、病害予防	・話し合いや情報収集で、栽培・飼育の目的の明確化	・栽培・飼育ごよみに対応した構想・計画表の作成	・育成の計画的な実施 ・活動記録の作成 ・活動を創意・工夫する重要性	・簡単な科学・技術用語を用いた表現 ・判断と根拠、目的に対する結果（収穫量等）と原因の関係を明確にした発表と意見交換
小高学年	・目的に応じた、作物や飼育動物の種類や品種の選択	・栽培植物や飼育動物の種類に応じた、適切な土作りと施肥、給餌	・摘芽、摘芯、株分け、挿し木などの栽培技術の活用、 ・生育環境の管理・衛生環境の保持	・身近な素材を用いた、防風・防寒シート、防鳥ネットなどを活用した生物保護	・自己と他者を思いやる動機をともなう課題設定	・これまでの栽培・飼育経験を活かした構想・計画作成 ・生育記録の作成の工夫	・「創意・工夫」ともなう育成活動の展開	・飼育動物の出荷等を体験することによる自他の生命尊重 ・健康・食糧・人口・環境・エネルギー問題と関連させた成果の評価
中学校	・持続可能な循環型社会の視点から、地域の環境条件や育種技術の進歩を考慮し、栽培する作物の種類や品種の適切な選択	・環境保全や持続可能な循環型社会の推進に留意しながら、作物の生育に適した土作り、 ・肥料の性質を理解し、安全と環境	・環境保全に配慮しながら、栽培技術を適切に活用と、育成管理、 ・食糧安全保障・防災・減災・危機管理に果たす農業、生物育成に関	・安全と環境に配慮した、病害虫の防除	・産業技術の視野を大切にされた課題設定、 ・技術評価や環境影響評価との関連を図る課題の設定、 ・技術の発達史を	・既存体験による見通しを持った栽培計画の構成と環境保全に配慮した工夫 ・技術的課題解決活動の段取りと組織化、 ・定量と共に定性的な施肥計画、	・科学的論理と思考活動を伴い、創意・工夫を中核にした育成活動 ・生活や社会を支える視点からの育成活動 ・理科・社	・言語活動の一層の充実を図るための学習の振り返りと発表・表現・交流・学び合い活動 ・社会的・環境的・経済的側面等からの技術評価を重視し、生活や社会に繋がる学習の振り返り

	と活用	に配慮しながら、適切な施肥・活用	する技術の役割と管理・運用		考慮した技術的活動の構成	病虫害の予防と防除計画	会科・家庭分野、他教科等との関連を図る育成活動	
高校	・光補償点、光環境制御の最適化技術と育種技術の評価と活用 ・植物工場等、育成環境の最適化技術と育種技術の評価・活用	・土壌肥料や土壌根圏有用生物利用する技術が、社会、環境、経済等に与える影響を考慮し、生物の育成環境の最適化のための技術評価・活用	・生物の育成管理技術が、社会、環境、経済等に与える影響を考慮した生物育成管理 ・育成環境と育成管理の最適化技術の評価 ・食糧安全保障・防災・減災・危機管理に果たす農業・生物育成に関する技術の役割と管理・運用	・持続可能な循環型社会、生物多様性等の環境保全の最適化を図る、システムの生物保護技術の工夫・改良・創造（イノベーション）と、技術評価・協働管理・運用（ガバナンス）	・生活と社会を支える産業技術の視座を中核にし、技術イノベーションとガバナンスからの問題の明確化と、課題設定・探究	・バイオテクノロジーと環境制御（制約条件・限界要因も考慮して）的視点からの構想・計画 ・技術イノベーションと技術ガバナンスからの構想・計画・探究	・生活と社会を支える産業技術の視座を中核にし、技術イノベーションと技術ガバナンスからの生物育成技術活動	・生物育成に関する技術と生命倫理 ・農業従事者の著しい減少・超高齢化問題と、農業関連技術のイノベーション・ガバナンス ・言語活動の一層の充実を図るための学習の振り返りと発表・表現・交流・学び合い活動、社会的・環境的・経済的側面等からの技術評価を重視し、生活や社会に繋がる学習の振り返り

教育目標1「エネルギー変換技術」教育内容標準表を、表10に示す。

表10. 教育目標1「エネルギー変換技術」教育内容標準表[出典 磯部・山崎(2013)のp.337の表5]

		幼稚園	小学校1, 2年	小学校3, 4年	小学校5, 6年	中学校	高等学校
エ ネ ル ギ ー 変 換 技 術	目 標	風やゴムなどの力で動く簡単なおもちゃをつくり、つくったおもちゃなどを使って遊ぶことができる。	自分の思いを製作品にして表現することを目的にしながら、設計と製作過程を通して、風やゴムの力などを動力に利用したものづくりを楽しむことができる。	仲間や集団とともに目的をもちながら、設計と製作過程を通して、自然、電気エネルギーの発生や伝達の過程を学び、その変換技術や利用について家庭生活に生かすことができる。	製作の目的を社会生活に広げ、動力源やエネルギー変換技術の種類について理解し、その仕組みを取り入れた製作品の設計と製作をおこない、製作品を家庭や地域などの生活に利用できる。	環境保全や循環型社会形成の観点から、エネルギーの変換効率や環境、安全に配慮した製作品の設計・製作活動を通し、これからの社会に必要なエネルギー変換技術システムや利用計画について考案できる。	持続可能な社会を支える視点から、エネルギー変換に関する技術が、社会、環境、経済等に与える影響を考慮し、これからの社会に必要なエネルギー変換技術システムや利用計画について、技術創造と工夫ができる。
	内 容	ア(変換方法、仕組み) ・おもちゃを動かすための仕組みがあることや、自然の不思議さに気付くこと。	ア(変換方法、仕組み) ・おもちゃが動く仕組みについて、興味や関心を持つこと。	ア(変換方法、仕組み) ・身近な機器を教材にして、自然エネルギー(風力や水力など)や電気エネルギーの変換技術について知ること。	ア(変換方法、仕組み) ・身近なエネルギーの変換技術について興味をもち、それぞれのエネルギーの仕組みを知り、循環型社会に向けた改善策を選択すること。	ア(変換方法、仕組み) ・これからの社会に必要なエネルギー変換技術システムや利用計画、伝達方法の仕組みを理解し、エネルギー問題を改善するための代替策を考案すること。	ア(変換方法、仕組み) ・これからの社会に必要なエネルギー変換技術の方法について、エネルギー問題を改善するための代替策を複数考案したり、工夫したりすること。
		イ(変換効率、性質) ・動きのあるおもちゃを、より早く動かす方法に気がつくこと。	イ(変換効率、性質) ・動きのあるおもちゃを、効率よくまたは、能率よく動く工夫をすること。	イ(変換効率、性質) ・自然エネルギー(風力や水力など)と電気エネルギーを比較し、変換効率や利用方法の違いに気づくこと。	イ(変換効率、性質) ・エネルギーの変換効率や変換システム、負荷の変化について考え、その性質や特徴について理解すること。	イ(変換効率、性質) ・エネルギー変換効率や熱損失、熱効率について、実験や実習を通して理解すること。	イ(変換効率、性質) ・これからの社会に必要なエネルギー変換効率や、環境負荷量について、実習や現地調査等を通して理解すること。
ウ(変換機器のものづくり) ・風やゴムなどの力で動く簡単なおもちゃ(風車など)をつくること。		ウ(変換機器のものづくり) ・動きのあるおもちゃ(ゴム自動車、ゴムロケット、風で動く車など)をつくること。	ウ(変換機器のものづくり) ・自然エネルギー(風力や水力など)や電気エネルギーを活用し、エネルギー変換機器のものづくり(ソーラークッカー、電気自動車の模型、水でつぼうなど)をすること。	ウ(変換機器のものづくり) ・身近なエネルギーの変換技術の性質を活用し、エネルギー変換機器のものづくり(簡易モーターや手回し発電機、簡易風力発電の模型など)をすること。	ウ(変換機器のものづくり) ・エネルギーの種類とエネルギー資源について理解し、変換効率や安全面、環境面に配慮して、目的に応じたものづくりをすること。	ウ(変換機器のものづくり) ・これからの社会に必要なエネルギー変換技術の方法を理解し、持続可能な循環型社会の構築に向けた技術の現状と地球温暖化防止に応じたものづくりをすること。	

教育目標1「情報・システム・制御に関する技術」教育内容標準表を、表11に示す。

表11 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「技術的課題解決プロセス」教育内容標準表

	鍵概念と教材例		技術的課題解決プロセス			
	コンピュータシステムとネットワーク利用	プログラミング	創造の動機	設計・計画	制作	成果の評価
幼稚園	<ul style="list-style-type: none"> ・遊具としての情報技術の活用への親しみ、ごく簡単なプログラミング的体験と親しみ ・コンピュータやProgrammable Toyの起動・終了 ・先生と一緒に、コンピュータやインターネットを使った遊び 	<ul style="list-style-type: none"> ・Programmable Toy (Bee Bot 等の遊具型のもの、ライトポットなどのソフトウェア型のもの)を用いた、自分が意図して実現したい動きの表現 ・遊びのために、自分が意図して実現したい動きと、実際の動きの違いへの気づき 	<ul style="list-style-type: none"> ・Programmable Toy 等との遊びで、自分が実現したい動作に対しての、思いや願いを持つこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・情報技術の活用による遊びで、自分の思いや願いをふくらませるための手順についての、イメージと見通しの萌芽 	<ul style="list-style-type: none"> ・決められた時間や決まりを守って、コンピュータやネットワークを遊具とした遊び ・先生や友達と一緒に、遊びを豊かにするための、動作内容の試行・工夫 ・先生や友達と一緒に、遊びを豊かにするため、活動の簡単な手順の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・遊具としての情報技術機器の活用への親しみ ・情報技術を活用して、事前に思い浮かべた動きと、実際の動きを比べ、その違いへの気づき

表11 (続き) 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「技術的課題解決プロセス」の教育内容標準表

小 低学年	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータシステムやネットワークの活用に対する関心の萌芽 ・自分の思いや願いの実現や、調べるために、先生と一緒に、インターネットサイトなどの閲覧 ・自分のやりたい目的に見合うソフトウェアの選択と使用 	<ul style="list-style-type: none"> ・Programmable Toy (Bee Bot 等の遊具型のもの、ライトポットなどのソフトウェア型のもの)を用いた、自分が意図した動きを実現するための表現 ・マウスを用いた、文字の入力や簡単な作図 ・ごく簡単なコンテンツのプログラミングによる、自分の意図した動きの表現 ・自分の実現したい動作を多様にするために、教材用ロボットを活用し、モータ回転時間や速さなどを変える易しいプログラムの作成、ロボットの動きの変更 	<ul style="list-style-type: none"> ・Programmable Toy 等を用い、自分の意図する一連の動作を実現させたいという思いや願いを持つこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・目的に応じた、ソフトウェアの選択と活用 ・必要に応じてブラウザ等のソフトを起動し、学習に用いるインターネットサイトなどへの閲覧 ・動かしたい対象や意図する一連の動きについての口頭発表と説明 	<ul style="list-style-type: none"> ・自分が意図する動作を実現するための活動手順を知り、一連の手順を意識した制作活動 ・班やグループによる、協力した制作活動 ・コンピュータシステム、ネットワークの活用、情報コンテンツ制作への関心の萌芽 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータシステム、ネットワークの活用、ごく簡単なプログラミングに対する親しみと好奇心の萌芽 ・事前に思い浮かべた動きと、実際の動きを比べ、その違いへの気づきと修正、言語活動充実(主語と述語、比較の観点、判断と理由、時系列等)のための発表と意見交換 ・ルールやマナーを守った、情報技術機器、教材用ロボットの適切な使用、学習の振り返り、改善
小 中学年	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータシステムやネットワークの活用に対する親しみの深まり ・データの適切な保存または、格納、再生 ・検索エンジンなどを用いた、必要な情報収集 ・収集した情報の適切性に関する易しい評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・学習用プログラミングソフト(Scratchなど)を用いて、与えられたテーマに対して、自分が意図する一連の活動を実現するための、コンテンツのプログラミングと表現 ・マウスを用いた作図や、キーボ 	<ul style="list-style-type: none"> ・自分が作りたいコンテンツや作品について、その内容や制作目的、ねらいについて、他者への伝達と表現 	<ul style="list-style-type: none"> ・目的に応じたソフトウェアの選択と、適切な使用 ・制作に必要な情報を、インターネットによる収集 ・制作したいコンテンツに関する 	<ul style="list-style-type: none"> ・制作に対して、自分の力で粘り強く最後まで成し遂げる努力と試行錯誤 ・必要に応じて、他者に助言を求め、協同的な学び合い ・コンテン 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータシステム・ネットワークの活用や、簡単なプログラミングに対する親しみと好奇心の深まり ・アイディア創造・工夫の達成感についての発表と意見交換、言語活動充実(判断と根拠、条件、簡単な科学・技術用語や概念等の使用)のための発表と意見交換 ・自分の情報と他者の情

		<p>ードからの文字入力による簡単な情報コンテンツや作品の構想・制作</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンテンツや計測制御のためのプログラミングと、他者への分かりやすい伝達と表現 ・教材用ロボットを使って、目的とする動作課題を達成するためのプログラミングと、易しい動きから、より複雑な動きを目的とした課題の遂行 		<p>見通しを持つための構想</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自分が意図する活動を実現するための、発想やアイデアに対する関心の萌芽 ・動かしたい対象や動きについての、図示による説明 	<p>ツや教材用ロボットを完成させるために、活動の手順、見通し、実行、評価・改善を重視した活動</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実現したいコンテンツやロボット動作、構想・計画、実行、改善を繰り返すことによる試行錯誤 	<p>報を大切にし、情報を許可なく流出しないようこと</p> <ul style="list-style-type: none"> ・他者の作品を尊重し、その良さを見付ける評価 ・構想・計画・制作工程について、当初の見通しと、実際の成果の照合、改善点の検討 ・制作過程で、意図しない動きをしたプログラムについて、その原因を探究し、次回の制作に活かすこと
小 高学年	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータシステムやネットワークを活用した問題発見・解決に対する興味の特長 ・データの適切な保存と格納・再生 ・収集した情報の適切さについての検討と判断 ・ネットワーク上のルールやエチケット・特性を理解し、電子メールやWeb ページによる情報発信・収集 	<ul style="list-style-type: none"> ・問題解決のために、学習用プログラミングソフト (Scratch 等) を用いて、自分と他者 (ユーザー) 視点の両方を考慮したテーマ設定と、処理手順と組合せを意識した、意図する一連の動作の表現 ・問題解決のために、コンピュータを活用して、図・表・画像などが入った簡単な作品の構想・制作と、相手に分かりやすい伝達・表現 ・教材用ロボットを使って、目的の課題を児童が主体的に設定することと、4～5人の班の構成による、仲間と協力した簡単なロボットの製作、制御プログラムの作成・工夫による課題解決 	<ul style="list-style-type: none"> ・問題解決のために、自分が意図する思いや願いと共に、園児や低学年児童等の他者 (ユーザー) 視点で、作りたいコンテンツや作品を構想し、企画書としてまとめること 	<ul style="list-style-type: none"> ・問題解決のために、他者 (ユーザー) 視点で、自分が制作するコンテンツや作品について、作品の内容 (動きや見た目等) や制作目的、制作・処理手順・工程について資料をまとめ、説明すること ・目的に応じたソフトウェアの選択と適切な使用 ・制作に際し、必要な情報に関するネットワークを通じた複数の収集 ・決められた時間的制限の中で、成果が出るよう、手順 (工程と段取り) 計画を立てること 	<ul style="list-style-type: none"> ・問題解決に必要な情報収集をすることができること ・必要に応じて他者に積極的に助言を与えることができること ・制作経験を基に、立案した手順・工程に基づいて、活動し、評価・改善をしていくこと ・制作品について他者に説明し、工夫点についての意見を聞き、互いの情報を共有し、より良い制作に活かすことができること 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータシステム・ネットワークの活用や、簡単なプログラミングによるアイデア形成、工夫・創造への親しみと好奇心の深まり ・アイデア創造・工夫の達成感についての発表と意見交換、言語活動充実 (演繹法や帰納法などの論理的表現、規則性や決まりなどを用いた表現、科学・技術用語や概念等の使用) のための発表と意見交換 ・完成した作品を必要に応じてネットワークに公開 (アップロード) すること ・作品の公開に際し、公開する情報の適切性について慎重に検討することと、自分の情報と他者の情報を大切に、情報を許可なく流出させないようすること ・他者 (第三者を含む) の作品を尊重した相互評価と学び合い ・活動記録をとりつつ、発表を通じた自己評価と相互評価

表 11 (続き) 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「技術的課題解決プロセス」の教育内容標準表

<p>中学校</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータシステムとネットワークシステムなどの情報技術が、生活や社会を支え発展させている役割 ・ハードウェア、ソフトウェアの種類とシステム ・文字や音、画像など質の異なった情報の、デジタル化による統合的な扱いの利点 ・静止画や動画のコンピュータへの取り込みと加工・編集 ・コンピュータの主要構成要素（入力・記憶・制御・演算・出力）についてのそれぞれの役割 ・著作権や情報モラルに留意し、電子メールや Web ページを適切に活用して、必要な情報の取捨選択と収集 ・コンピュータシステムやネットワークを利用した技術の最適化、技術の適切な評価・管理・運用、改良・応用 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータや情報技術の活用と、情報コンテンツのプログラミングが、生活や社会を支え発展させている役割 ・コンピュータを活用し、順次・条件分岐・反復といった、情報処理の手順を考えた、情報コンテンツのプログラミング ・計測・制御システムの構成と働きを知ると共に、目的とする技術課題を解決するために、順次・条件分岐・反復といった、情報処理の手順を考えたプログラミング ・コンピュータや情報技術を活用したプログラミングによる技術の最適化、技術の適切な評価・管理・運用、改良・応用 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術の問題発見・解決プロセスを意識した課題設定と、情報コンテンツに関連する必要条件と制約を明確にした取り組み ・技術の問題の明確化、課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を、図表等による表現 	<ul style="list-style-type: none"> ・自分が作りたい情報コンテンツ・作品のアイデア、構想・計画表等による表現 ・自ら提案する情報コンテンツや作品の、具体的な工夫・改良点の説明・表現 ・使用する素材、安全、費用など、トレード・オフした結果を活かした構想・計画 ・構想・計画段階における情報処理の手順の視覚的表現 	<ul style="list-style-type: none"> ・生活や社会を支え発展させるという視点から、情報技術の活用、情報コンテンツのプログラミング、情報コンテンツを創造するための実践・評価・改善 ・小学生の時やこれまでの作品作りの経験を基に、創造・工夫を取り入れた手順・工程も基づく活動実践 ・活動や作品の工夫点や改善点について、意見を出し合い、共有した情報を基に、学び合いによる新たな方策の見いだし 	<ul style="list-style-type: none"> ・生活や社会を支え発展させるコンピュータシステム・ネットワークの活用や、基礎的なプログラミングによるアイデア形成力、工夫・創造力、情報化社会への参画力 ・生活や社会を支えるエンジニアや情報技術産業のキャリアへの関心 ・アイデア形成、創造・工夫の達成感についての発表と意見交換、言語活動充実（演繹法、帰納・類推法などの論理的表現、規則性や決まりなどを用いた表現、科学・技術用語や概念等の文脈）のための発表と意見交換 ・制作した作品の他者への発信と、その効果に関する自己評価及び、相互評価 ・発明・工夫及び、情報は、自他の権利があることを知り、学習活動や日常生活で、それらの権利を尊重して活用すること ・知的財産権制度の目的及び、役割に関する理解と表現
------------	--	---	---	---	--	---

表 11 (続き) 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「技術的課題解決プロセス」の教育内容標準表

<p>高校</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・情報のデジタル化の優位性に関する説明 ・コンピュータを利用した、二つの画像の合成や、画像、音、動画を含む情報コンテンツの編集と表現 ・コンピュータ内での情報処理の仕組みに関する説明と理解 ・情報通信ネットワークを安全に利用するために、ユーザーの立場からの情報セキュリティの確保 ・情報社会の進展 	<ul style="list-style-type: none"> ・中学校までのプログラミング経験の実態等を考慮し、タイプライター型プログラミング言語により、問題をシステムとして構造化した問題解決 ・分類や検索などのアルゴリズム（処理手順）の活用、それらのアルゴリズムの比較・検討・評価 ・問題解決の処理を自動化するアルゴリズムの構想、計算量や計 	<ul style="list-style-type: none"> ・課題探究学習プロセスを活用し、問題の発見・解決に、ブレインストーミングなどの創出技法や多様な調査技法を取り入れながら、情報技術とプログラミングを活用した課題の遂行、コンテンツや制作作品に関連する必要条件と制約を明確にした、課題への取り組み 	<ul style="list-style-type: none"> ・課題探究プロセスによる、情報技術とプログラミングを活用した課題の遂行とコンテンツ・制作作品に関連する必要条件と制約を満たす工夫点の明確化 ・機能や構造などを要素・要因に分解し、要素間の構造の明確化 	<ul style="list-style-type: none"> ・課題探究プロセスと、持続的発展が可能な社会を支えるという視点から、情報技術とプログラミングの活用と、情報コンテンツを創造するための実践・評価・改善 ・製作段階の途中で中間評価・発表会の実施、寄せら 	<ul style="list-style-type: none"> ・課題探究のプロセスと成果報告書の作成、発表会の実施し、情報技術の活用と情報コンテンツのプログラミングによる課題探究学習過程を、生涯学習で活用する方法の提案 ・制作した情報コンテンツ作品の他者への表現・伝達、その効果に関する確かな自己評価と相互評価 ・Web ページで得た情報に関する信頼性・信憑性の観点からの評価 ・生活や社会を支えるエンジニアや情報技術産業のキャリア・就業への関心とガイダンス
-----------	--	--	--	--	--	---

と情報技術との関係の歴史的理解・説明、AI等の情報技術、IoT関連情報技術に関する適切な評価・管理・運用、改良・応用	算可能性の概念と、アルゴリズムの実用性の判断 ・モデル化とシミュレーションの概念、問題解決に必要なモデルの構築とシミュレーションの実行・評価	・課題設定から活動のまとめ・提案までの手順・工程を、図表で表現し、自己評価・他者評価による、手順や工程の改善	・事象のモデル化とシミュレーションの概念理解と表現、問題解決に必要なモデルの構築とシミュレーションの実行、モデルの評価	れた意見を基に、設計や手順・工程を変更や、新たな方策の導入	・これまでの学習の振り返りによる学習の総合化と、生涯にわたる情報社会への公正な参画
--	---	--	---	-------------------------------	---

教育目標2-1「技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード」教育内容標準表を、表12に示す。

表12 教育目標2-1「技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード」各教育階梯の学習到達水準表[出典 山崎ら(2019)のpp.201-202の表3]

	幼稚園	小学校1・2年	小学校3・4年	小学校5・6年	中学校	高等学校
技術教育固有の方法・プロセスのスタンダード	目標	身近な材料から、自分が作りたい作品の完成図を簡単な絵等に表わし、製作(制作・育成)遊びを楽しむことができる。	自分の思いや願いを込めた課題を設定し、自分の発想に基づく作品を、図に表し、必要な材料や手順を考え、技術の製作(制作・育成)を通して課題を解決することができる。	技術発想や技術の発明と工夫・改良に関心を持ち、課題の解決を目的とした作品を仕上げるための必要条件を見つけて、技術の製作(制作・育成)活動を通して、課題を解決することができる。	技術イノベーションによる創造に関心を持ち、他者視点からの技術課題を解決するために、様々な必要条件を考慮し、設計から製作(制作・育成)までの手順や製作(制作・育成)方法を考え、製作(制作・育成)後、活動を評価し、課題を解決することができる。	技術創造を目的とし、様々な必要条件を考慮して、社会生活に必要なものやシステムを設計、工夫、提案、製作(制作・育成)と、技術評価からトレードオフし、改善を行う学習過程で、技術の見方・考え方を働かせながら課題解決できる。技術イノベーションと技術ガバナンスに必要な学習過程で、技術の見方・考え方を働かせながら、技術の問題を課題化させて解決し、生涯学習能力として、新たな課題解決場面で活用しようとする。
	内容	ア(課題の設定) ・自分が作りたい作品で、どのように遊びたいかを話すこと。 ・コンピュータを使って遊ぶこと。	ア(課題の設定) ・製作・プログラミングによる制作・生物育成をした理由を述べること。	ア(課題の設定) ・製作・プログラミングによる制作・育成する目的を、話し合いや情報収集により、明確にすること。 ・身近な生活や地域の技術とものづくり、生物育成の技術、プログラムによる情報技術の活用について、情報収集や調査をすること。	ア(課題の設定) ・製作・プログラミングによる制作・育成する目的を、便利さ、リスク、生活への影響、ユーザ視点などを考えて、明確にすること。	ア(課題の設定) ・技術課題の遂行と製作品(プログラミングによる制作・育成生物)に関連する必要条件と制約条件を明確にし、課題に取り組み、技術課題を解決すること。

						合わせて、多様な視点から開発対象の動的及び静的な振る舞いを検討すること。
イ（設計・計画・） ・自分の作りたい作品の完成図や育成生物を、簡単な絵で表現し、他人に伝えること。 ・自分の意図した動作を実現するための命令の手順を、ごく簡単な言葉や図などで示すこと。	イ（設計・計画） ・製作見本や育成生物の写真等から、使われている材料、使用道具等について考えること。 ・自分の製作・制作・育成したい作品の図を描き、自分の思いや願いを他人に伝えること。 【情報技術の設計】 ・自分の意図した動作を実現するための命令の手順を、言葉や図などに示すこと。	イ（設計・計画） ・製作したい作品の図を、立体表現で示し、簡単な模型を作って、他人に説明すること。 ・育成生物のライフサイクルに合わせて、簡単な育成計画を作成すること。 【情報技術の設計】 ・自分の意図した動作を実現するためのアルゴリズムを、記号を用いて示すこと。	イ（設計・計画） ・製作したい作品を構想図に表現し、使用する材料や道具、工夫点などを表現すること。 ・設計上のアイデアと過程を伝達し、試験するために、簡単なモデリング（模型等）を行い、他人に説明すること。 ・育成生物のライフサイクルに合わせて、育成計画を作成すること。 【情報技術の設計】 ・自分の意図した動作を実現するためのアルゴリズムを、フローチャートを用いて示すこと。	イ（設計・計画） ・等角図を用いて、構想図を作成すること。 ・構想を具体化するために、第三角法による製図と、モデリング（模型等による試作）を通して、解決策を、他人に説明すること。 ・使用する材料、安全、費用など、トレードオフした結果を生かした設計・育成計画立案をすること。 ・育成環境の調節方法等の最適化を考慮した育成計画を作成すること。 【情報技術（アルゴリズム・データ構造（設計））】 ・自分の意図した動作や通信を実現するために、通信と手順を簡単なアクティビティ図で示すこと。	イ（設計・計画） ・CADによるモデリングで、仮想空間で試験し、評価、改善すること。 ・技術課題の遂行と製作品（制作品・育成生物）に関連する必要条件と制約を満たす工夫点を示すこと。 ・模型や試作によるモデリングで、設計仕様に問題がないかを試験し、評価して、必要な改善を施すこと。 ・IoTやアグリテックを活用し、育成環境の調節方法等の最適化を考慮した育成計画を作成すること。 【情報技術（アルゴリズム・データ構造（設計・詳細設計））】 1. 機能要求や比機能要求の実現手段を具体的に決定すること。 2. 個別の実現方法について、プログラミングを実際に行うことを想定して、正確に設計書・設計モデルを作成すること。	
ウ（製作・制作・育成） ・先生や仲間と一緒に、作業内容を確認しながら進めること。 プログラム（実装）と実行・評価】 ごく簡単なブロック型プログラミングで遊ぶこと。	ウ（製作・制作・育成） ・一つひとつの作業内容を知り、順番に製作をすすめていくこと。 ・班やグループを通し、協力して製作活動をする事。 【プログラム（実装）と実行・評価】 ・ごく簡単な設計書に従って、主にブロック型プログラミングソフトでコーディングすること。 ・作成したソースコードを実際にコンピュ	ウ（製作・制作・育成） ・製作品を完成させるために、どのような順番で作業を行えばよいか、見直しをもつこと。 ・仲間と相談しながら、工夫点を意識して製作・制作・育成すること。 【プログラム（実装）と実行・評価】 ・簡単な設計書に従って、ブロック型やテキスト型プログラミング言語を用いてソースコードを作成すること。 ・作成したソースコードを実際	ウ（製作・制作・育成） ・製作経験を基に、自ら作業内容や作業工程について見直しをもち、計画をたてること。 ・製作品について説明し、工夫点について意見を聞き、互いの情報を共有すること。 【プログラム（実装）と実行・評価】 ・設計書に従って、主としてテキスト型プログラミング言語を用いてソースコードを作成すること。 ・作成したソースコードを実際	ウ（製作・制作・育成） ・製作経験を基に、製作活動で工夫を取り入れた作業計画を立てること。 ・製作品の工夫点や改善点について意見を出し合い、共有した情報をもとに新たな方策を見いだすこと。 【プログラム（実装）と実行・評価】 ・設計書・設計モデルに従って、特定のテキスト型プログラミング言語を用いてソースコードを作成すること。 ・作成したソースコードを実際にコンピュ	ウ（製作・制作・育成） ・効率的な製作活動にするための工夫や内容を取り入れた計画を立てること。 ・製作段階の途中で中間発表会を行い、寄せられた意見を基に、設計図や作業計画を変更したり、新たな方策を導入したりすること。 【プログラム（実装）と実行・評価】 ・設計書・設計モデルに従って、特定のテキスト型プログラミング言語を用いてソースコードを作成すること。 ・作成したソースコードを実際にコンピュータを用いて試験を行うこと。	

	一タを用いて試験を行うこと。 ・試験結果に基づき評価を行い、改善等の指針を作成すること。	にコンピュータを用いて試験を行うこと。 ・試験結果に基づき評価を行い、改善等の指針を作成すること。	にコンピュータを用いて試験を行うこと。 ・試験結果に基づき評価を行い、改善等の指針を作成すること。	て試験を行うこと。 ・試験結果に基づき評価を行い、改善等の指針を作成すること。	・試験結果に基づき評価を行い、改善等の指針を作成すること。
エ(活動のまとめと提案) ・活動の様子や作った作品を、簡単な絵に表すこと。	エ(活動のまとめと提案) ・簡単な活動記録をとり、発表すること。 ・先生や仲間と一緒に振り返ること	エ(活動のまとめと提案) ・活動記録をとり、発表し、振り返ること。	オ(活動のまとめと提案) ・活動記録をとり、発表をして、自己評価と相互評価すること。	オ(活動のまとめと提案) ・活動全体を総括し、発表をして、自己評価と相互評価することで、今後の技術のものづくり活動に生かすこと。	オ(活動のまとめと提案) ・成果報告書の作成と発表会を実施し、技術のものづくりの学習過程を、生涯学習で活用する方法を提案すること。

教育目標2-2「技術の適切な評価・活用能力」教育内容標準表を、表12に示す。日本産業技術教育学会(2012)では、「発明・知的財産とイノベーション」と「社会安全と技術ガバナンス」を教育目標1の構成要素で提案している。筆者らは、「発明・知的財産とイノベーション」と「社会安全と技術ガバナンス」は認識対象内容というよりも、「プロセス(方略、能力)」標準と考えたために、教育目標2-2の構成要素として提案している。

表12 教育目標2-2「技術の適切な評価・活用能力(技術イノベーションと技術ガバナンス能力)」教育内容標準表[出典 山崎ら(2019)pp.202-203の表4]

		幼稚園	小学校1・2年	小学校3・4年	小学校5・6年	中学校	高等学校
技術の適切な評価・活用能力のスタンダード	目 標	身近な遊具・道具・技術製品等で遊ぶ活動や、栽培飼育活動を通して、ものづくりを楽しむことができる。	創造と工夫を活かした技術の製作・制作・育成を楽しむことができる。	便利で豊かな生活をするために、創造・工夫を主体的に行いながら、技術の製作・制作・育成を通して、発明の面白さに気付くことができる。	技術の発明・創造・工夫の重要性を意識しながら、目的を持った技術の製作・制作・育成を見通しと計画を立案しながら取り組み、技術評価をすることができる。	持続可能な社会を支える国民として、ガバナンス(共治)社会における技術の製作・制作・育成にかかわる課題解決に参画し、倫理観を持ちながら、防災・安全を含む技術の適切な評価と活用をすることができる。	持続可能な社会を支える国民として、ガバナンス(共治)社会における技術の製作・制作・育成にかかわる課題解決に参画し、倫理観を持ちながら、防災・減災・安全を含む技術の適切な評価と活用する生涯学習能力を育むことができる。
	内 容	ア(技術の意義、必要性) ・簡単な工夫ができる技術のものづくりで遊ぶこと。	ア(技術の意義、必要性) ・工夫と改善を活かした技術のものづくりの楽しさを実感すること。	ア(技術の意義、必要性) ・生活や社会で、ものづくりに技術が必要な理由について、自らの技術の製作・制作・育成活動を通して考え、発表すること。	ア(技術の意義、必要性) ・生活や社会における技術創造・工夫について、発表すること。 ・科学と技術の違いや両者が密接に関係し相互不可分であることを、自らの技術課題解決活動を通して、具体的に説明すること。	ア(技術の意義、必要性) ・持続可能な社会を支え、産業の継承と発展に果たしている技術の社会的役割と、技術の進展が社会や環境に与える影響について説明すること。 ・技術(テクノロジー)、技能(スキル)、技術知識、技法・技巧等(テクニック)の違いや相互不可分性の重要性を説明すること。	ア(技術の意義、必要性) ・安全、健康、社会、経済、環境影響要因等からの技術便益リスク分析を通じて、ものづくりに必要な技術の社会的役割と意義を説明すること。 ・これからの社会の発展と技術の在り方を考える活動において、STEM/STEAM教育*の概念的理解や、技術イノベーションと技術ガバナンス概念が何故必要

					・自らの技術課題の解決活動を通して、STEM/STEAM教育*の重要性を説明すること。	かを説明し、他者に発表すること。
イ (技術評価) ・身近な遊具・道具・技術製品等で遊ぶ活動や、栽培飼育活動の際に、事故等のリスクを回避するための留意点について、先生等から指示を受けて、知ること。 ・安全に活動できたかについて、先生等といっしょにふりかえり、反省点をまとめ、次の活動に生かすこと。	イ (技術評価) ・身近な道具・技術製品等を使う学習活動や、栽培飼育活動の際に、事故等のリスクを回避する留意点について、主体的に情報収集し、知ること。 ・安全に技術の製作・製作・育成ができたかについて、クラスの間とふりかえり、事故につながるリスクを回避する方法について話し合い、次の活動に生かすこと。	イ (技術評価) ・身近な技術を利用する際の便益 (ベネフィット) とリスクを指摘すること。 ・技術のものづくり過程や技術製品 (制作品・育成生物) のリスク情報を収集し、比較・分類すること。 ・学習活動で利用する技術のリスク回避策を計画し、実行すること。 ・安全、健康、環境への影響という観点から、技術の学習活動の反省と、事故につながるリスクを回避する方法について話し合い、次の活動に生かすこと。	イ (技術評価) ・持続可能な社会を支える観点から、身近な技術を利用する際の個人、家庭、地域、環境への影響に関する情報を収集すること。 ・技術の判断規準 (クライテリア) を設定し、事実や根拠に基づいて、簡単な技術便益リスク評価を行うこと。 ・防災・減災・安全を優先させた技術評価すること。 ・データに基づいたり、予想と結果の規則性や事実に基づく推論をしたりしながら、リスク回避について児童同士の共同学習により話し合い、次の活動に生かすこと。	イ (技術評価) ・技術課題には、安全性を含めた社会的・環境的・経済的等の制約をはじめとした必要条件とともに、技術便益リスク分析と評価、価値判断規準の設定、トレードオフが伴うことを理解すること。 ・価値判断規準の重み付けを変えながら、複数の最適解を提案し、最終解を採用した根拠を説明すること。 ・技術課題の便益リスク分析に必要な情報の収集方法を工夫すること。 ・持続可能な社会を支え、安全、健康、社会、経済、環境への影響要因等から、技術便益リスクを分析し、事実、推論などに基づく論理的思考を通して、採用する技術の最終解決案を意思決定すること。	イ (技術評価) ・生産者・消費者・行政関係者等といった異なる利害関係者が参画し、ガバナンス (協働統治) に基づく持続可能社会を支えるという視点から、技術課題の便益リスク分析に必要な情報を収集し、情報の根拠や質を評価すること。 ・持続可能なガバナンス社会を支え、安全、健康、社会、経済、環境影響要因等からの技術便益リスク分析と、事実、推論などに基づく論理的思考を通して、採用する技術の最終解決案の意思決定をして、最適解を求めること。	
ウ (技術創造と活用) ・他の人が作ったものを大切に使うこと。	ウ (技術創造と活用) ・ルールやマナーを守って、技術製品を大切に使うこと。	ウ (技術創造と活用) ・身近な技術製品の発明・工夫に関心を持つこと。 ・自分の情報と他人の情報を大切に、情報を許可なく流出させないこと。	ウ (技術創造と活用) ・発明・工夫及び情報は、自他の権利があることを知り、学習活動や日常生活で、それらの権利を尊重して活用すること。 ・知的財産権制度の目的及び役割を知ること。	ウ (技術創造と活用) ・自分達が取り組んだ技術のプロセスと制作品 (制作品・育成生物) を技術評価し、リスク回避の改善案を提案できること。	ウ (技術創造と活用) ・安全、健康への配慮を高め、環境負荷やリスク軽減等を図る技術の検討を行い、ものづくりの技術や情報通信技術に関わる倫理観や知的財産権を含む新しい発想を生み出し活用すること。 ・持続可能な社会を支える技術課題解決のために、知的財産権を尊重し	ウ (技術創造と活用) ・安全、健康への配慮を高め、環境負荷やリスク軽減等を図る技術の検討を通して、ものづくりの技術や情報通信技術にかかわる倫理観や知的財産権を含む新しい発想の創出と活用を深めること。 ・持続可能な社会を支える技術課題解決のために、知的財産権を尊重し

					た判断・処理すること。	た判断・処理を深めること。
	エ（技術と勤労観・職業観） ・決められた時間やきまりを守って、技術のものづくりを楽しむこと。	エ（技術と勤労観・職業観） ・身近で技術製作・制作・育成している人々の様子を見て、関心を持つこと。	エ（技術と勤労観・職業観） ・技術のものづくりを、自分の力で、粘り強く最後まで成し遂げようと努力すること。	エ（技術と勤労観・職業観） ・地域の技術のものづくりを調べ、技術で環境改善や地域貢献できる工夫について例示し、表現・発信すること。	エ（技術と勤労観・職業観） ・職場体験学習を通して、職業観や勤労観の重要性を知り、技術教育が勤労観・職業観の形成に果たす役割について、理解すること。	エ（技術と勤労観・職業観） ・技術教育が勤労観・職業観の形成に果たす役割について、理解を深めながら、将来設計、進路希望の実現を目指すこと。

7.3 言語能力, 情報活用能力, 問題解決能力, STEAMリテラシーを考慮した学習評価の必要性

7.2 でまとめた日本型技術内容標準は、オーセンティックな文脈場面におけるパフォーマンス評価を基盤とした記述語である。目標準拠評価(criterion referenced assessment)の評価基準(assessment standards)には、ドメイン準拠評価とスタンダード準拠評価がある(鈴木, 2006: pp.88-89)。詳細は、同書を参照いただきたい。ドメイン準拠評価は、「できた, できない」, 「○×」といった明瞭な採点が可能な、主として筆記試験や実技スキ試験問題を出題し、これに対する個人の学習状況を測定する評価法である。ドメイン準拠評価法は、「知識・技能」観点の評価法には適しているが、「思考・判断・表現力」といった能力評価や、「主体的に学習に取り組む態度」といった、学習の主体性を評価することは、困難と筆者は考えている。スタンダード準拠評価では、通常は初等から中等教育段階の長期スパンから、個人の学習レベルを、各レベルに相当する特徴や性質を述べた言語表現と、各レベル(例えば、イングランドでは5歳~16歳までで7段階のレベルを予め設定)に相当する実際の学習事例(事例集)を組み合わせた評価基準を用いて評価する。学習事例は、学習内容の特質に応じて、レポートやエッセイ、作品や製作(制作・育成)物、テストの答案例などを用いる。

その上で、鈴木(2019)は、国立教育政策研究所の評価規準の新「方針」の問題点を指摘した上で、「思考・判断・表現」の観点では、長期的な視点からの発達段階を考えたスタンダード準拠評価の必要性を指摘している。鈴木は、我が国のスタンダード準拠評価研究の国内第一人者であり、イングランドの中等教育修了資格試験「社会」教科のモデレータの資格を有する専門家である。筆者は、約30年にわたり、イギリスを中心としたスタンダード準拠評価やコースワークの評価を研究してきたが、鈴木(2019)の指摘は説得力があると考えている。

筆者が本章で提案した表8から表12の幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育内容標準表は、表2で示したオーセンティックな文脈場面におけるパフォーマンス評価法による学習者のパフォーマンス評語である。パフォーマンス評語には、表13に示す児童生徒の発達段階に対応した言語能力育成を目指して、作成している。

久野(文責)(2019)は、日本学術会議(2016)の「情報学の参照基準」に基づき、初等中等教育段階、及び高等教育における一般教育並びに専門基礎教育までの各段階について、情報学のうちから何を学ぶことが望まれるかを検討し整理し、「情報教育の参照基準(2019.2.23版)」を提案した。この情報教育の参照基準は、2017年より、バージョンアップを重ねてきた。久野(文責)によると、情報教育の参照基準では、「学士力」, 「情報学の参照基準」の内容に基づき、初等中等教育、大学一般教育・専門基礎教育で扱うべき学習内容・学習水準を整理している。筆者が本章で提案した表8から表12の幼稚園から高等学校までを一貫した技術教育内容標準表は、情報活用能力育成のために、久野(文責)がこれまで更新し続けた「情報教育の参照基準」と関連する先行研究を参考にしてしている(川原田ら, 印刷中)。

山崎(研究代表者)(2019)は、本科研2年次報告書の中に、「言語能力」, 「情報活用能力」の育成を図る2017年告示中学校学習指導要領技術分野の3年間指導計画事例と、学習指導案事例集を紹介した。

2018年度に実施したPISA調査の結果、我が国ではデジタル読解力に課題があることが判明した。

(株)ニューラル(2019)が運営するWebによると、スイスのビジネススクールIMDの世界競争力センターは、2019年5月28日に国ごとの競争力を示した2019年度版「世界競争力ランキング」を発表した。総合順位の第1位はシンガポール、第2位は香港、第3位は米国で、日本は30位であった。東アジアでは、上位20位以内に中国、台湾が入り、韓国は28位であった。日本の項目別ランキングは、軒並み前年順位より下がった。

私たちの未来である子供たちとともに、本報告書第1章で述べたSDGsと連動するSociety5.0を実現するためには、STEAMリテラシー、言語能力、デジタルリテラシーや計算論的思考を含む情報活用能力、デザイン思考、問題解決方略、イノベーションと技術ガバナンス能力の育成が不可欠と考えている。

表 13 児童生徒の発達段階に対応した言語能力の教育段階別のパフォーマンス[出典 文部科学省(2011), 同(2012)]

小学校低学年

- 主語と述語（例えば、性質、状態、関係など）を明確にして表現する。
- 比較の視点（例えば、大きさ、色、形、位置など）を明確にして表現する。
- 判断と理由の関係を明確にして表現する。
- 時系列（例えば、まず、次に、そして、など）で表現できる。
- 互いの話に集中して聞き、話題に沿って話し合う。
- 書いた物を読み合い、よいところを見付けて感想を伝え合う。
- 文章の内容と自分の経験とを結びつけて、自分の思いや考えをまとめ、発表し合う。

中学年

- 判断と根拠、結果と原因の関係を明確にして表現する。
- 条件文（例えば、○○○ならば、△△△である）で表現する。
- 科学用語や概念を用いて表現する。
- 互いの考えの共通点や相違点を整理し、司会者や提案者などの役割を果たしながら、進行に沿って話し合う。
- 書いた物を発表し合い、書き手の考えの明確さなどについて意見を述べ合う。
- 文章を読んで考えたことを発表し合い、一人一人の感じ方について違いのあることに気付く。

高学年

- 演繹法や帰納法などの論理を用いて表現する。
- 規則性やきまりなどを用いて表現する。
- 互いの物を発表し合い、表現の仕方に着目して助言し合う。
- 本や文章などを読んで考えたことを発表し合い、自分の考えを広げたり深めたりする。

中学校

- 帰納・類推、演繹などの推論を用いて、説明し伝え合う活動を行う
- 日常生活の中で気付いた問題について、自分の意見をまとめ説得力のある発表をする。
- 社会生活の中から話題を決め、それぞれの視点や考えを明らかにし、資料などを活用して話し合う。
- グループで協同的に問題を解決するため、学習の見通しを立てたり、調査や観察等の結果を分析し解釈したりする話し合いを行う。
- 新聞、読み物、統計その他の資料を基に、根拠に基づいて考えをまとめ報告書を作成する。
- 実験や観察の結果、調査結果などを整理し重点化し、相手に分かりやすく、ポスターやプレゼンテーション資料などに表現する。
- テーマを決めて複数の本や資料などを読み、内容を比較したり、批判的にとらえたりするなど、知識や考えを深める。

高等学校

- 現代の社会生活で必要とされる実用的な文章を読んで内容を理解し、自分の考えをもって話し合う。
- 文字、音声、画像などのメディアによって表現された情報を、課題に応じて取捨選択してまとめる。
- 授業のまとめとして、その時間のポイントなどを説明する。
- 課題についての自分の考え方を板書し、どのようにすればよりよい考えや表現になるのかを考える。
- 適切な主題を設定し、資料を活用して探究し、考えを論述する。
- 観察、実験などの結果を分析し解釈して自らの考えを導き出し、表現する。
- 学習の成果を互いに伝え合ったり、助言し合ったりして、新たな追究に向かう。
- 自己評価や相互評価を通して、自己の変容を確認する。

文献(URL は、2020年1月13日最終閲覧)

- Committee on Standards for K-12 Engineering Education, National Academy of Engineering : Standards for K-12 Engineering Education?, the National Academic Press (2010)
- 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) <http://hdl.handle.net/10513/2129>
- ITEA (International Technology Education Association): Technology for All Americans – A Rational and Structure for the Study of Technology, Authors (1996)
- ITEA (International Technology Education 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>
- ITEA(International Technology Education Association): Advancing Excellence in Technological Literacy:

- Student Assessment, Professional Development, and Program Standards, Authors (2003), 宮川秀俊[編訳]: 続・国際競争力を高めるアメリカの教育戦略 技術的素養をめざして (2011)
- 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 卷, 第 1 号, pp.135-147 (2018) <http://hdl.handle.net/10513/00007919>
- 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 卷, 第 2 号(印刷中)
- 久野 靖 (文責): 情報教育の参照基準 (2019.2.23 版)
<https://www.edu.cc.uec.ac.jp/~ka002689/9282981/ieduref-0223.pdf>
- 文部科学省: 『言語活動の充実に関する指導事例集～思考力, 判断力, 表現力等の育成に向けて～【小学校版】』, 教育出版 (2011a)
- 文部科学省: 『言語活動の充実に関する指導事例集～思考力, 判断力, 表現力等の育成に向けて～【中学校版】』, 教育出版 (2011b)
- 文部科学省: 『言語活動の充実に関する指導事例集～思考力, 判断力, 表現力等の育成に向けて～【高等学校版】』, 教育出版 (2012)
- 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
- National Academy of Engineering (NAE): Standards for K-12 Engineering Education?, the National Academy Press (2010)
- National Research Council(NRC): How people learn: Brain, mind, experience, and school, National Academy Press (1999)
- 日本学術会議: 大学教育の分野別保証のための教育課程編成上の参照基準 情報学分野, (2016)
<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/daigakuhosyo/daigakuhosyo.html>
- 日本産業技術教育学会 (1999) 21 世紀の技術教育—技術教育の理念と社会的役割とは何か そのための教育課程の構造はどうあるべきか—, 日本産業技術教育学会誌, Vol.41, No.3 (別冊), pp.1-10.
<http://www.jste.jp/main/data/21te.pdf>
- 日本産業技術教育学会 (2012) 21 世紀の技術教育 (改訂), 日本産業技術教育学会誌, Vol.54, No.4 (別冊), pp.1-8. <http://www.jste.jp/main/data/21te-n.pdf>
- Savage, Ernest and Sterry, Leonard: A conceptual framework for Technology Education, International Technology Education Association (1990)
- 鈴木秀幸: ドメイン準拠評価とスタンダード準拠評価, pp.88-89, 辰野千壽・石田恒好・北尾倫彦: 『教育評価事典(所収)』, 図書文化社 (2006)
- 鈴木秀幸: これだけは押さえない学習評価 4 観点別学習状況の評価は, 従来の方法でよいか?, 指導と評価, 第 65 卷 11 月号, pp.31-33 (2019)
- Wiggins Grant & McTighe Jay: Understanding by Design Expand 2nd Edition, Pearson (2006), 西岡加名恵 (訳): 『理解をもたらすカリキュラム設計—逆引き設計の理論と方法』, 日本標準 (2012)
- 山崎貞登: 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 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(2019)
<http://hdl.handle.net/10513/00007929>
- 山崎貞登・東原貴志・菊地 章・森山 潤: 「技術科内容学」構成案, pp.256-290, 三大学研究協議会(国立大学法人上越教育大学・国立大学法人鳴門教育大学・国立大学法人兵庫教育大学): 平成 22-23 年度 文部科学省先導的の大学改革推進委託事業研究成果報告書 教科専門と教科教育を架橋する教育研究領域に関する調査研究(所収), 永田印刷 (2011)
<https://www.juen.ac.jp/050about/050approach/030relation/sendou/sendou01.html>
- 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 (2017)
- 山崎貞登・山本利一・田口浩継・安藤明伸・大谷 忠・大森康正・磯部征尊・上野朝大: 小・中・高校を一貫した技術・情報教育の教科化に向けた構成内容と学習到達水準表の提案, 上越教育大学研究紀要, 第 36 卷, 第 2 号, pp.581-593 (2017b) <http://hdl.handle.net/10513/00007276>
- 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系統表の改善, 上越教育大学研究紀要, 第 39 卷, 第 1 号, pp.195-206 (2019) <http://hdl.handle.net/10513/00008086>

自己調整学習

自己調整学習とは、学習者自身が<動機づけ><学習方略><メタ認知>の3要素において自分自身の学習過程に能動的に関与していく学習をいう

文献

伊藤崇達：「自ら学ぶ力」を育てる方略－自己調整学習の観点から－，BERD, NO.13, pp.14-18(2008)
https://berd.benesse.jp/berd/center/open/berd/2008/07/pdf/13berd_03.pdf

コンピューティング(Computing)

国外では、プログラミングの知識とスキルに限定した教育せずに、「コンピューティング」教育の目標達成のために、プログラミング教育を実施している国・地域等が多い。例えば、イングランドでは、2014年度実施のナショナル・カリキュラムから、5歳～16歳まで一貫して実施していた教科 ICT(Information and Communication Technology)の目標と内容を大幅に刷新し、教科名を「コンピューティング」に名称変更した。

英国のロイヤル・アカデミ・オブ・エンジニアリング(2012)では、「コンピューティング」を、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⁽¹⁾。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⁽¹⁾。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⁽¹⁾。

文献

(1)The Royal Academy of Engineering: Shut down or reset? The way forward for Computing in U.K. school. The Royal Society (2012) <https://royalsociety.org/~media/education/computing-in-schools/2012-01-12-computing-in-schools.pdf>

イノベーションと技術ガバナンス(Innovation and Technological Governance)

「イノベーション」は、「科学の発見や技術の発明による新たな知的・文化的価値を創造すること、それらの知識を発展させて、政治的・社会的・公共的価値の創造に結びつける革新」⁽¹⁾である。

「ガバナンス」は、「ガバメント」の対義語として、しばしば用いられる⁽²⁾。ガバメントは、政府内の上下間の階層関係を基礎とする組織形態である。ガバナンスは、専門家や市民による様々な社会の団体・企業等との水平的関係、政府相互間の水平的関係を含む組織形態を指す(城山, 2007 : p. vi)⁽³⁾。多様な「アクター(主体)(個人、企業、行政、市民団体、NPO、NGOなど)」が参画して、自律と協働的な意思決定プロセスを尊重し、相互理解と合意形成を目指す。

ガバナンスは、様々な解釈で使用されることが多く、文脈や意味内容で大きく異なるために留意する必要がある。特に、「技術ガバナンス」と企業等で用いられる「コーポレートガバナンス」は、企業等の構成かつ効率的な運営のために、法律制度や社会慣習などに基づき、企業等経営に規律づけを与える仕組みの総称をいう(谷口, 2008)⁽⁴⁾。企業等では、トップダウン型の組織形態の在り方や、権限と責任の所在の明確化が常に問われる。

特に西ヨーロッパや米国、カナダ等では、1990年代から学校において、ガバナンス教育が実施されている。我が国における、ガバナンス教育の重要性についての最初の提起は、文部科学省(2004 : p. 44)⁽⁵⁾の科学技術白書における以下の記述である。

「科学技術と社会の調和のためには、政府、科学者コミュニティ、企業、地域社会、国民等のそれぞれの主体間の対話と意思疎通を前提として、各主体から能動的に発せられる意思を政策決定等の議論の中に受け入れられるような、いわゆる科学技術ガバナンスの確立が重要であろう。」

日本産業技術教育学会は、「技術ガバナンス」を、「立場の違いや利害関係を有する人たちがお互いに協働し、問題解決のための討議に主体的に参画し、意思決定に関与するシステム」⁽¹⁾と用語解説している。本稿では、「技術ガバナンス」を「父場の違いや利害関係を有する人たちがお互いに協働し、技術(テクノロジー)に関わる問題解決のための討議に主体的に参画し、意思決定に関与するシステム」とする。技術ガバナンスのシステムへの主体的参画と、意思決定に必要な能力を、「技術ガバナンス能力」と定義する。

上野ら(2015 : p. 6)⁽⁶⁾は、「技術ガバナンス能力」を、「科学技術革新の成果が広く深く社会と生活に浸透した21世紀において、国民が自ら技術の光と影に対して理解し、判断・発言・行動できる能力」と定義した。

山崎ら(2019)⁽⁷⁾は、「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系統表の改善」を提案している。

科学技術社会学の立場から、我が国における科学・技術ガバナンス教育の普及と啓発の必要性を訴える研究者が近年増加している。平川(2010)⁽⁸⁾は、遺伝子組換え作物から再生医療まで、暮らしに深く関わる科学・技術の問題にどのように向き合ったらよいのか、専門家と市民の知性を架橋するシステム構築、主体的参画と協働による意思決定、リスクの協働管理の重要性を指摘している。サイエンスの不確実性、テクノロジーの便益とともに、リスク評価と管理を協働管理していく能力の育成が必要と述べている。

技術イノベーションが自動車のアクセルとすれば、技術ガバナンスは、ハンドルとブレーキのように、技術イノベーションの適切な評価、選択、管理・運用等といった、「制御」の役割を果たす。

Society5.0の実現に向けて、学校Ver.3.0の教育を推進する上で、科学・技術のイノベーション能力とガバナンス能力を育成は、極めて喫緊の教育課題といえる。

文献

- (1)日本産業技術教育学会：技術教育の理解と創造（2012）<http://www.jste.jp/main/data/leaflet.pdf>
- (2)山崎貞登・磯部征尊（分担執筆）：7.1 技術イノベーションと技術ガバナンス，pp.276-281，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科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教育の展望』，ジヤース教育新社（2016）
- (3)城山英明：『科学技術ガバナンス』，東信堂（2007）
- (4)谷口武俊：『リスク決定論』，大阪大学出版会（2008）
- (5)文部科学省：『科学技術白書』，財務省印刷局（2004）
- (6)上野耕史・他8名：技術ガバナンス能力調査とカリキュラムの検討，pp.5-17，上野耕史（代表）：「中学校の技術に関わるガバナンス能力の調査とそれに基づいたカリキュラムの開発・検討」，国立教育政策研究所 科学研究費補助金助成事業シンポジウム要項集（所収）（2015）
- (7)山崎貞登・他6名：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系統表の改善，上越教育大学研究紀要，第39巻，第1号，pp.195-206（2019）
- (8)平川秀幸：『科学は誰のものか 社会の側から問い直す』，NHK出版（2010）

人間力

「人間力」は、2002年11月から2003年3月までの間、内閣府に設置された「人間力戦略委員会」の鍵語である。文献の編著者である市川伸一氏は、同委員会の座長であった。特に、同著の「はじめに」に同委員会の趣旨と目的、人間力が鍵語になった理由がわかりやすく解説されている。

同委員会では、**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総合的な力」と**とらえて、議論を展開した。委員会では、人間力という概念を明確にしつつ、その現状を分析し、今後の社会・経済の発展に結びつくような政策提言を行った。

同委員会では、教育界と産業界の接点となる議論が行われた。教育界、とくに学校教育の分野では、社会における「自己実現」を基本的理念としているものの、現実には、教科学習を中心としたアカデミニズムと、学校組織という枠の中での社会の涵養に重きがおかれ、産業界からの要請に直接応えようとするには抵抗感が強い (iv) と、市川氏は指摘している。

氏は、人間力をとらえる際に、「職業生活と、「市民生活」の二つの側面からとらえる重要性を指摘する。職業理解教育や市民教育といった、社会の中での活動を見習生に伝える教育を行うためには、民間企業や市民団体が主体的に教育の場を提供する重要性を指摘する。

2003年4月10日に、同研究会は、「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～」を公表した。報告書では、人間力を構成する要素として、

- 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**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**

などがあげられ、**これらを総合的にバランス良く高めることが、人間力を高めることと述べている。**

文献

市川伸一（編著）：『学力から人間力へ』，教育出版（2003）

フィジカルコンピューティング(Physical Computing)

「フィジカルコンピューティング」についての解説は、小林ら(2011pp.136-137)⁽¹⁾がわかりやすいので、同著を引用して解説する。ニューヨーク大学芸術学部のITP(Interactive Telecommunications Program)で、インタラクティブデザインを教えるための方法の一つとして考案されたものである。Igoe(アイゴ) and O'Sullivan(オサリバ)ン(2004)⁽²⁾『Making Things Talk』が考案者といわれている。エンジニアリングの専門教育を受けていないデザイナーなどやアーティストのみならず、社会科学、政治学、文学など様々なジャンルの学生に対して、「人々がいかにコンピュータとコミュニケーションし得るか？」について考え直すことを提案した教育プログラムであった。また、ウェブ電通報(Dentsu Lab Tokyo)の2016年11月25日付け「世界のクリエイティブテクノロジストに聞く、No.8、トム アイゴ×木田東吾」のオンライン通話による対談記録⁽³⁾は、たいへんわかりやすい。

人とコンピュータとの接点を、キーボードやマウス以外にも広げ、熱センサーや光センサーなどの各種センサーなどを使って光や音などを感知させることで、物理世界とコンピュータとの接点を拡張した。フィジカルコンピューティングは、同学部ティッシュ・スクール・オブ・アーツで、オサリバンが、1992年に授業を開始した。授業では、コンピュータを通じた身体表現ができるようなツールを紹介していた。触ったり音をたてたりといった身体表現を感知できる電子部品や、マイクロプロセッサ（半導体チップでコンピュータの頭脳に相当）などを扱っていた。

アイゴらは、プログラム環境を誰もが理解できるように変えるために、2005年にArduino(アルディーノ)の開発に着手した。フィジカルコンピューティングでは、「ツールキット」と呼ばれるものを使うことが一般的である。ツールキットは、ハードウェア、開発環境、プログラミング言語、サンプルなどがセットになっている。ツールキットとして、アルディーノは世界的に普及している。アルディーノなどのツールキットを用いることにより、物理世界とコンピュータのバーチャル世界をつなぐフィジカルコンピューティングを体験できる。

日本では、フィジカルコンピューティングという「デバイス(装置)」という印象が強いが、通常のWebブラウザ上のコンテンツとの組合せも現実的なアプローチである。iOSやアンドロイドを搭載したスマートフォンやタブレットなどを活用したアプローチも考えられる。

文献

- (1)小林 茂・他21名:『フィジカルコンピューティングを「仕事」にする』、(株)ワークコーポレーション(2011)
- (2)Igoe, Tom and O'Sullivan, Dan: "Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers", Thomson (2004), 小林 茂(監訳), 水原 文(訳):『Making Things Talk - Arduinoで作る「会話」するモノたち』、オライリー・ジャパン (2008)
- (3) <https://dentsu-ho.com/articles/4701> (2020年1月13日最終閲覧)

プログラミング的思考

2017年告示小学校学習指導要領解説 総則編では、プログラミング的思考を、「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み合わせが必要であり、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よいか、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、といったことを論理的に考えていく力(p.85)」⁽¹⁾と解説している。しかし、この定義に関して、情報科学や情報工学を専門とする研究者、技術・情報教育関係者からは、再定義が必要であるという意見が多い(山崎ら、印刷中)⁽²⁾。例えば、難波(2017:p.78)⁽³⁾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⁽³⁾。

英国イングランドのコンピューティング教育の鍵となるデザイン方略は、「計算論的思考[Computational Thinking(CT)]」と、情報手段を用いた問題解決のデザインと遂行力[Computational Doing(CD)]である。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⁽⁴⁾。CTの構成要因として、(1)アルゴリズムの思考力、(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⁽⁴⁾。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(CD)が必要である⁽⁴⁾。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⁽⁵⁾。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。

計算論的思考(CT)は、Wing(2006)⁽⁶⁾が提唱した思考方略概念である。Wingの原著論文の内容は、抽象的かつ難解な論文であるために、専門外の人たちにとってはわかりにくいといった意見を、国内でよく聞く。Wingの原著論文に対する国内の文献では、松・難波(2018)⁽⁷⁾がわかりやすい。同著では、CTの鍵語を、「抽象化(モデル化)思考」、「ヒューリスティック推論」、「再帰的思考」、「創造性」の思考方略に焦点化して、わかりやすく説明している。

「ヒューリスティック推論」は、発見的(手法)ともいわれ、必ず正しい答えを導けるわけではないが、ある程度水準で正解に近い解を得ることができる方法である。「ヒューリスティック推論」では、答えの精度が保証されない代わりに、コンピュータが計算するために、解答に至るまでの時間が有限で少ないという特徴がある。

「再帰的思考」は、帰納的思考であり、物事を分析する際できるだけ単純な構造を探し、それを繰り返すことで、事象を単純化して考えることができる。

山崎ら(2017)⁽⁸⁾は、「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」⁽⁹⁾で提案された「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として、表1を提案した。近年、教育・学術関係者等からは、「プログラミングにおける情報・技術的モデリング過程」と「数学的モデリング過程」との類似性と差異性についての研究や実践の推進が指摘されている。そこで、「プログラミングにおける情報・技術的モデリング過程(尾崎ら、2016)⁽¹⁰⁾」を図1、「数学的モデリング過程(西村、2011:p.23の図1-9)⁽¹¹⁾」を図2に示す。

洗練された課題解決には、教科領域固有知識・スキルと共に、課題解決プロセス・コンテンツと、現実世界や生活・社会との繋がり、学習する意味を実感的に理解できる、コンテキスト(文脈)が必要である。

計算論的思考(CT)は、「論理的思考」とともに、「創造的思考」を必要とする問題解決のデザイン方略である。なお、有識者会議や学習指導要領等で用いられている我が国の「プログラミング的思考」と、CTとは、同義ではない。「プログラミング的思考」は、CT概念を矮小化して解釈されている。

文献

- (1)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(2018)

- (2)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 卷，第 2 号（印刷中）
- (3)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）
- (4)Computing At School: Developing computing thinking in the classroom: a framework (2014)
<https://community.computingatschool.org.uk/resources/252/single>
- (5)Computing At School: Computational Thinking: A guide for teachers (2015)
<https://community.computingatschool.org.uk/resources/2324/single>
- (6)Wing, Janenette M.: Computational thinking, Communications of the ACM, 49(3), pp.33-35 (2006)
- (7)松 秀樹・難波宏司：プログラミング教育の意義に関する研究，園田学園女子大学論文集，第 52 号，pp.49-60（2018）
- (8)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 卷，第 1 号，pp.217-227（2017）
- (9)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
- (10)尾崎裕介・大森康正・上野朝大・磯部征尊・山崎貞登：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.（2016）
- (11)西村圭一：『数学的モデルを遂行する力を育成する教材開発とその実践に関する研究』，東洋館出版社（2011）

表 1 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・情動的モデリング能力

「プログラミング的思考力」の定義(出典1)	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)
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

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.

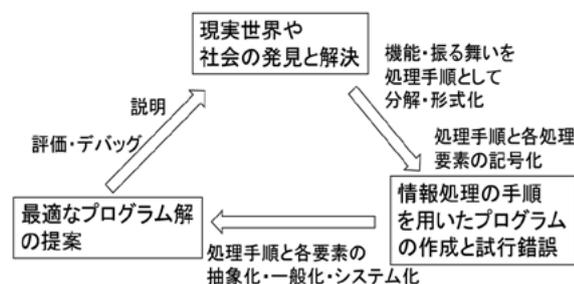


図 1 「プログラミング的思考力」に必要な技術・情報モデリング能力 [出典：尾崎裕介・大森康正・上野朝大・磯部征尊・山崎貞登（2016）数学的、技術的、科学的モデリング概念の比較からの「プログラミング的思考力」概念に関する基礎的検討，日本産業技術教育学会第 28 回北陸支部大会（福井）講演論文集（2016.11.5），p.7.]

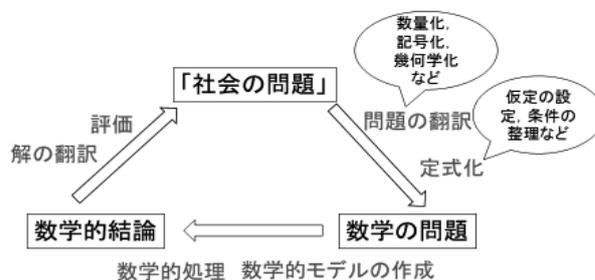


図 2 数学的モデリング過程 [出典：西村圭一：『数学的モデル化を遂行する力を育成する教材開発とその実践に関する研究』，p.23の図1-9，東洋館出版社（2011）]

ティンカリング(Tinkerling)

ティンカリングとは、「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)]⁽¹⁾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)⁽¹⁾。

同著(pp.14-15)では、ティンカリングの理念を掲げている。ここでは、掲げられた理念の幾つかを紹介する。

第1は、「科学とアートと技術を融合させる」である。科学もアートも技術も、それぞれ単独でも十分に面白い学習になるが、これらを組み合わせると、技術的な知識・スキル・解決方略と、科学的原理で、芸術的な表現ができるという、ティンカリングの「三連奏」が狙える。本稿では、原著通りアートの表記にするが、研究代表者は、アートの表記の立場をとっている。詳細は、本報告書の第1章を参照されたい。

同書の訳者の金井は、アートは「自己表現」と訳すのがよく、アートは言葉を使わないコミュニケーションの手段であると考えていると、同書「あとがき」で述べている。

第2は、「よく知っている素材を知らないことに使う」である。世界には、特定の目的のために発明されたものがたくさんある。しかし、ありふれたものを別の目的に使ってみると、思いがけない、びっくりするような冒険が始まる。

第3は、「イメージしたアイデアの可視化表現とモデルづくり」である。何かアイデアを思いついたら、できるだけ早くそれを頭の中から外へ引き出すことが大切である。スケッチを描いたり、身のまわりのもので動くモデルを作ってみたりする。そうすると、アイデアは現実となり、工夫・改良することで、次のステップのための具体的な知識が得られる。

第4は、「道具を愛せよ」である。

第5は、「試行錯誤」である。ティンカリングの最中に、失敗して壊れてしまうこともある。失敗は自身に何が足りないのかを教えてくれる。失敗する意味を教えてくれる。

第6は、「古い技術を見直し、新しい技術の発見」である。

第7は、「自主性と協力の均衡」である。

文献

- (1)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)

(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) 研究成果報告書

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
2020(令和2)年2月

発行者 上越教育大学大学院学校教育研究科
山崎 貞 登

印刷 永田印刷
